

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO ESTRUCTURAL CON
SISTEMAS DE AISLAMIENTO DE BASE PARA EL EDIFICIO 15
NIVELES DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE PUNO”**

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. MELANIO LUQUE YTUSACA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

PROMOCIÓN 2010

Puno – Perú

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO ESTRUCTURAL CON
SISTEMAS DE AISLAMIENTO DE BASE PARA EL EDIFICIO 15
NIVELES DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE PUNO”

Presentado por el bachiller en ciencias de la ingeniería civil MELANIO
LUQUE YTUSCA, a la dirección de investigación de la facultad de ingeniería
civil y arquitectura para optar el título de:

INGENIERO CIVIL

APROBADO POR:

PRESIDENTE

:

ING. JAIME MEDINA LEIVA.

PRIMER MIEMBRO

:

ING. RAÚL FERNANDO ECHEGARAY CHAMBI

SEGUNDO MIEMBRO

:

ING. YASMANI TEÓFILO VITULAS QUILLE

DIRECTOR DE TESIS

:

ING. VÍCTOR MARIO QUISOCALA CHOQUE

ASESOR DE TESIS:

:

ING. GUIDO CALSÍN APAZA

Área: Estructuras

Tema: Ingeniería Sísmoresistente

Línea de Investigación: Nuevas tendencias en diseño estructural



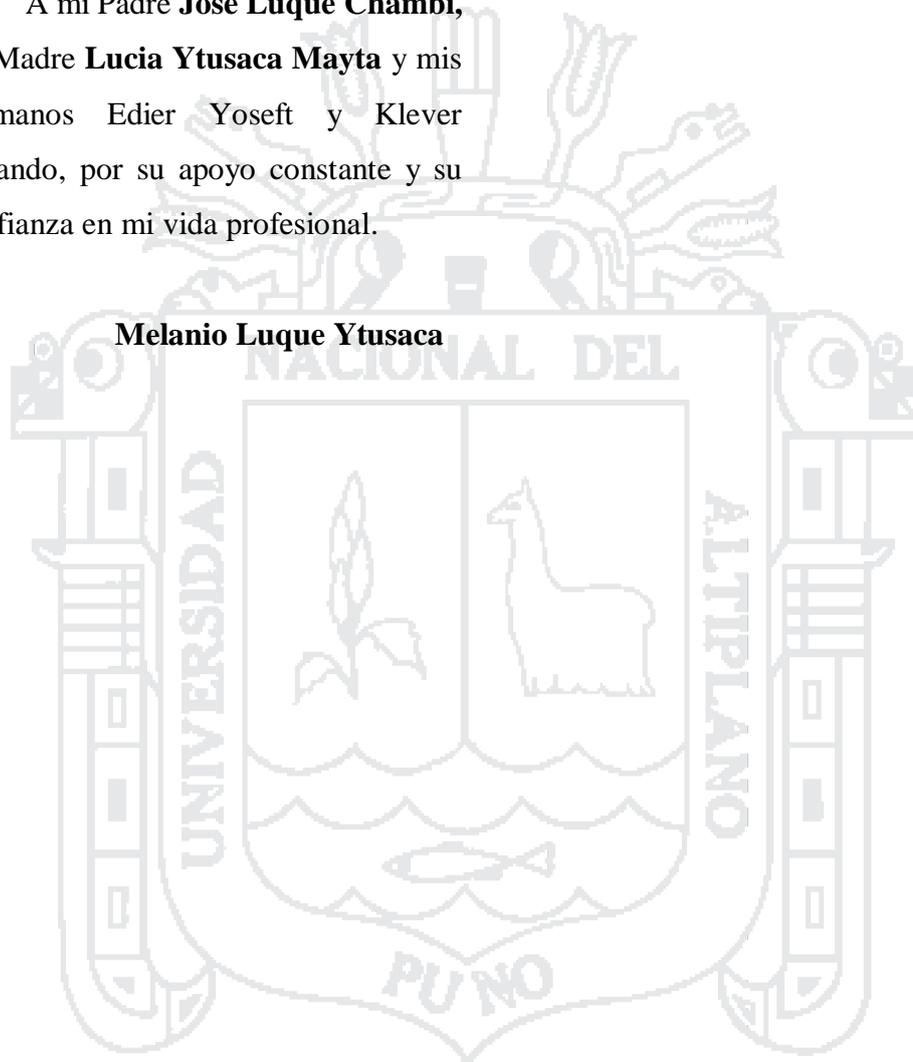
AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento a Dios, y a quienes me impartieron los conocimientos necesarios para la realización del presente tema de investigación.

DEDICATORIA

A mi Padre **José Luque Chambi**,
mi Madre **Lucia Ytusaca Mayta** y mis
hermanos Edier Yoseft y Klever
Rolando, por su apoyo constante y su
confianza en mi vida profesional.

Melanio Luque Ytusaca

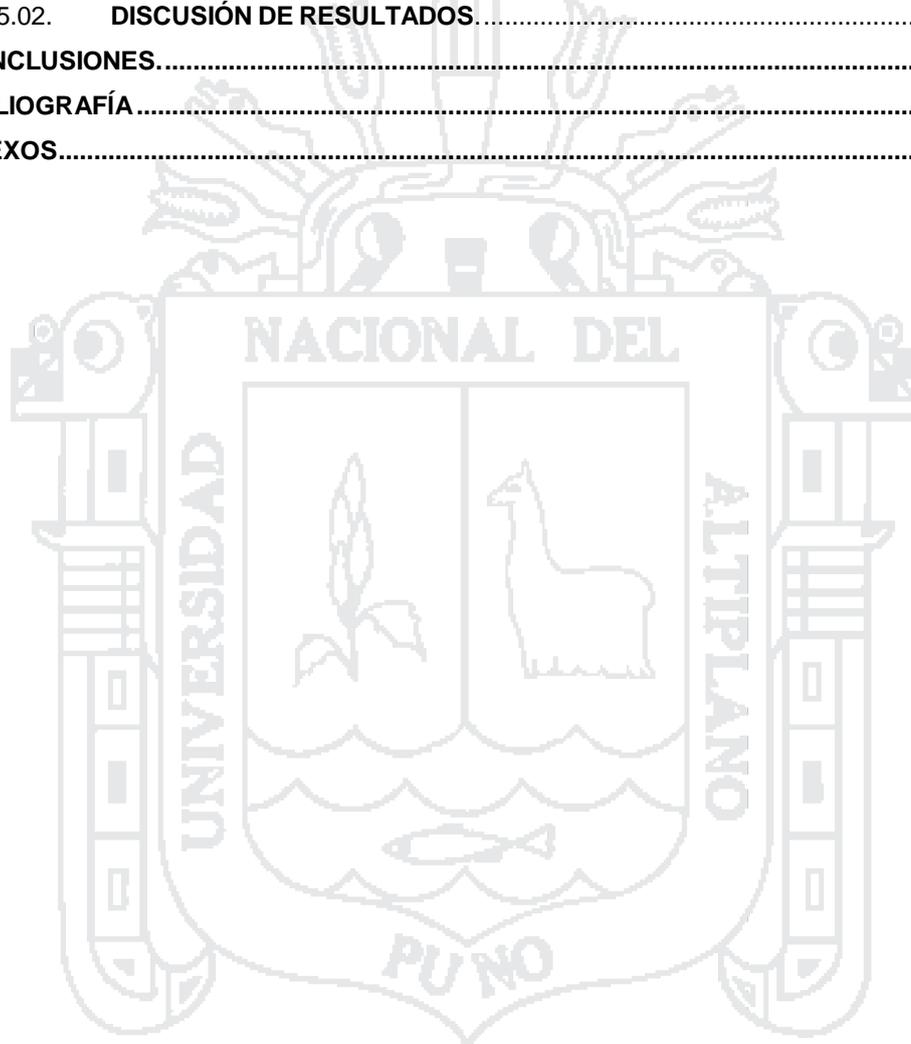


ÍNDICE

RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	13
01.01. INTRODUCCIÓN.....	13
01.02. JUSTIFICACIÓN.....	14
01.02.1. OBJETIVO GENERAL.....	15
01.02.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
01.02.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
01.02.4. FLUJOGRAMA REFERENCIAL DE LA METODOLOGÍA INVESTIGATIVA.....	18
01.03. LOCALIZACIÓN.....	19
01.03.1. UBICACIÓN.....	19
01.03.2. ALTURA.....	19
01.03.3. LÍMITES.....	19
CAPÍTULO II	21
MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL NORMATIVO	21
02.01. INGENIERÍA SÍSMICA	21
02.01.1. COSTOS ECONÓMICOS DE LOS DAÑOS EN EDIFICIOS, PRODUCIDOS POR SISMOS. 24	
02.02. AISLAMIENTO SÍSMICO	27
02.02.1. FUNDAMENTOS.....	27
02.02.2. AMORTIGUAMIENTO EN LOS SISTEMAS AISLADOS.....	33
02.02.3. SISTEMA DE AISLACIÓN DE LA BASE.....	35
02.02.4. TIPOS DE AISLAMIENTO POR LA BASE.....	37
02.02.4.1. AISLADOR ELASTOMÉRICO.....	40
02.02.4.1.1. AISLADOR ELASTOMÉRICO DE BAJO AMORTIGUAMIENTO (LDRB)..	41
02.02.4.1.2. AISLADOR ELASTOMÉRICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDRB).	42
02.02.4.2. AISLADOR ELASTOMÉRICO DE NÚCLEO DE PLOMO (LRB).....	43
02.02.4.3. AISLADORES DESLIZANTES.....	44
02.02.4.3.1. AISLADORES FRICCIONALES.....	45
02.02.4.3.2. AISLADOR PÉNDULO FRICCIONAL.....	46
02.02.5. CONSIDERACIONES RESPECTO A LA INSTALACIÓN DE AISLADORES DE BASE. 48	
02.02.6. CONSIDERACIONES PARA EVALUAR ECONÓMICAMENTE LA INSTALACIÓN DE AISLADORES SÍSMICOS.....	49
02.03. ASPECTOS GENERALES DEL DISEÑO SISMORRESISTENTE	50
02.03.1. ANTECEDENTES GENERALES.....	50
02.03.1.1.1. EFECTO DE LAS OSCILACIONES VERTICALES.....	53
02.03.1.1.2. EFECTO DE LAS OSCILACIONES HORIZONTALES.....	53
02.03.1.1.3. ACCIÓN SÍSMICA.....	54
02.03.1.1.4. CONSIDERACIONES GENERALES DE LOS EFECTOS SÍSMICOS EN LAS ESTRUCTURAS.....	55
02.03.2. EL SISMO COMO ACCIÓN DE DISEÑO.....	62
02.03.3. ESPECTRO DE RESPUESTA.....	64
02.03.3.1.1. TIPOS DE ESPECTROS.....	66
02.04. MARCO NORMATIVO	71
02.05. MARCO CONCEPTUAL	71
02.05.1. AISLAMIENTO SÍSMICO.....	71
02.05.2. AISLADORES SÍSMICOS DE BASE.....	72
02.05.3. AMORTIGUAMIENTO.....	73
02.05.4. MODELO DINÁMICO PARA EDIFICIOS CON AISLADORES SÍSMICOS.....	74
02.05.4.1. ECUACIONES DE MOVIMIENTO PARA DEFINIR EL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA.....	74
02.05.4.2. ECUACIÓN DE MOVIMIENTO DEL AISLADOR COMO SISTEMA LINEAL.	77
02.05.4.3. ECUACIÓN DE MOVIMIENTO DEL AISLADOR COMO SISTEMA NO LINEAL.	79

CAPÍTULO III.....	82
DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO TRADICIONAL DEL PROYECTO.....	82
03.01. DESCRIPCIÓN ESTRUCTURAL CON SISTEMA TRADICIONAL.	82
03.01.1. LA CIMENTACIÓN.....	82
03.01.2. PÓRTICOS Y PLACAS.....	83
03.01.3. SISTEMAS DE PISO.....	85
03.01.4. LOSAS DE ESCALERAS.....	85
03.01.5. CONFINAMIENTO DE MUROS.....	86
03.02. DESCRIPCIÓN ARQUITECTÓNICA DEL PROYECTO ORIGINAL.	87
03.02.1. CONCEPCIÓN DEL PROYECTO.....	87
03.02.2. FUNCIÓN.....	89
03.02.3. DISTRIBUCIÓN DE ESPACIOS.....	89
03.03. DESCRIPCIÓN DE LA TOPOGRAFÍA DEL TERRENO DONDE SE DESARROLLA EL PROYECTO.	92
03.03.1. ASPECTOS GENERALES.....	92
03.03.2. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL TERRENO.....	92
03.04. PARÁMETROS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL INICIAL.	93
03.04.1. PRIMERA ESTRUCTURACIÓN DESARROLLADA EN EL PROYECTO.....	93
03.04.2. DESCRIPCIÓN DE CARGAS VIVAS Y MUERTAS EN EL PROYECTO.....	95
03.04.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	99
03.05. CONSIDERACIONES FINALES PARA ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL PROYECTO CON SISTEMA TRADICIONAL DE BASE FIJA.	102
CAPÍTULO IV	105
PLANTEAMIENTO DE SISTEMA ESTRUCTURAL CON AISLACIÓN DE LA BASE.	105
04.01. ESTRUCTURACIÓN PARA SISTEMA CON AISLACIÓN DE LA BASE.	105
04.01.1. CONSIDERACIONES GENERALES.....	105
04.01.2. CRITERIOS GENERALES DE ESTRUCTURACIÓN PARA LA CIMENTACIÓN.....	107
04.02. UBICACIÓN DE AISLADORES Y SUS CARGAS INTERVINIENTES.	108
04.02.1. UBICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AISLADORES DE BASE.....	108
04.02.2. CARGAS ADMISIBLES PARA EL DISEÑO DE AISLADORES.....	109
04.02.3. CARGAS MÁXIMAS PARA EL DISEÑO DE AISLADORES.....	110
04.03. ANÁLISIS SÍSMICO DEL SISTEMA TRADICIONAL DE LA ESTRUCTURA EMPOTRADA.	111
04.03.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS POR SUPERPOSICIÓN MODAL.....	112
04.03.2. FUERZA CORTANTE MÍNIMA EN LA BASE.....	113
04.03.3. ANÁLISIS DINÁMICO ESPECTRAL.....	115
04.04. ELECCIÓN DE CARGA VERTICAL ÚTIL PARA ACTIVACIÓN IDEAL DEL AISLADOR.	117
04.05. ELECCIÓN DEL SISTEMA DE AISLACIÓN.	117
04.05.1. A NIVEL DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO.....	117
04.05.2. A NIVEL DE LA ESTRUCTURA.....	118
04.05.3. ANÁLISIS DE MODOS Y FRECUENCIAS.....	119
04.06. DISEÑO DE AISLADOR.	120
04.06.1. ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON AISLACIÓN DE LA BASE (HDR).....	122
04.06.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON AISLACIÓN DE LA BASE (LRB Y HDR).....	126
04.06.3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON AISLACIÓN DE LA BASE (FPS).....	129
04.07. CONTROL DE LA DISTORSIÓN DE PISO O DERIVAS.	132
04.07.1. DERIVAS DE PISO DEL SISTEMA TRADICIONAL EMPOTRADO.....	133
04.07.2. DERIVAS DE PISO DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO HDR.....	134
04.07.3. DERIVAS DE PISO SISTEMA COMBINADO HDR+LBR.....	135
04.07.4. DERIVA DE PISO DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO FPS.....	136
04.07.5. DESPLAZAMIENTO RELATIVO DEL SISTEMA CON AISLACIÓN DE LA BASE.	137
04.07.6. DESPLAZAMIENTO RELATIVO DE LA SUPERESTRUCTURA CON AISLACIÓN DE LA BASE.....	139
04.07.7. ACELERACIONES ABSOLUTAS EN LA SUPERESTRUCTURA DEL SISTEMA TRADICIONAL FRENTE A LA AISLACIÓN DE BASE.....	149
04.08. REDUCCIÓN DE PLACAS COMO MEJORA EN LOS ELEMENTOS DE LA SUPERESTRUCTURA CON AISLACIÓN DE LA BASE.....	156
04.08.1. PLACAS DE CONCRETO EN EDIFICIO.....	156

04.08.2.	VERIFICACIÓN DE PERIODOS EN EL SISTEMA CON AISLACIÓN DE LA BASE CON REDUCCIÓN EN LAS DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES. ...	157
04.08.3.	DERIVAS DE PISO DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO FPS CON MEJORA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES.	157
CAPÍTULO V		160
ESTUDIO COMPARATIVO DE COSTOS		160
05.01.	ANTECEDENTES GENERALES	160
05.01.1.	COSTOS DE IMPACTO DIRECTO.....	161
05.01.2.	COSTOS DE IMPACTO INDIRECTO.....	166
05.02.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	169
CONCLUSIONES		177
BIBLIOGRAFÍA		180
ANEXOS		183



ECUACIONES

Ecuación 1: Ecuación de equilibrio de desplazamiento en la base.	36
Ecuación 2: Periodo de la estructura.	56
Ecuación 3: Relación de periodos.	57
Ecuación 4: Ecuación de ductilidad.....	58
Ecuación 5: Ecuación de movimiento del edificio.	75
Ecuación 6: Pre multiplicado de ecuación 5.....	76
Ecuación 7: Ecuación de movimiento del edificio con aislamiento.....	76
Ecuación 8: Solución de ecuación 5 usando superposición modal.	76
Ecuación 9: Ecuación modal de aislamiento.	76
Ecuación 10: Frecuencia natural.	76
Ecuación 11: Ecuación del movimiento de la base con aislación.	77
Ecuación 12: Fuerza de amortiguamiento y rigidez de la base aislada.	78
Ecuación 13: Ecuación de un movimiento debido a una aceleración horizontal lineal.	78
Ecuación 14: Ecuación de un movimiento debido a una aceleración horizontal no lineal.	80



ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Flujograma de investigación.....	18
Ilustración 2: Plano de ubicación del proyecto de investigación.....	20
Ilustración 3: Diagrama Tensión vs Deformación del Hormigón.	27
Ilustración 4: Curva de Capacidad (análisis no lineal de la estructura).	28
Ilustración 5: Aislamiento sísmico en edificaciones.....	32
Ilustración 6: Sistema de piso blando (planta baja flexible) con deformaciones controladas.	33
Ilustración 7: Reducción del cortante debido al incremento del período.	34
Ilustración 8: Disminución de los desplazamientos por al incremento de amortiguamiento.....	34
Ilustración 9: Edificio con aislación de la base. (a) Esquema. (b) Modelo dinámico.....	36
Ilustración 10: Ciclo de histéresis de un sistema estructural, energía elástica e inelástica.	37
Ilustración 11: Técnica de Aislamiento Sísmico.....	38
Ilustración 12: Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento.	41
Ilustración 13: Aislador elastomérico de alto amortiguamiento.	42
Ilustración 14: Aislador elastomérico de núcleo de plomo.....	43
Ilustración 15: Aislador friccional.....	45
Ilustración 16: Aislador péndulo friccional.	46
Ilustración 17: Definición gráfica de la respuesta dinámica.....	51
Ilustración 18: Fuerzas de inercia.	52
Ilustración 19: Efecto de oscilación vertical.....	53
Ilustración 20: Efecto de oscilación horizontal.....	54
Ilustración 21: (a) Acción sísmica CORTE (b) Acción sísmica VOLCAMIENTO.....	55
Ilustración 22: Modos de vibración.....	56
Ilustración 23: Deflexión lateral de la estructura y definición de la distorsión de piso.....	59
Ilustración 24: Esquema de la ubicación de la fuerza sísmica y fuerza cortante.	60
Ilustración 25: Momento Torsor.	61
Ilustración 26: Excentricidad.	62
Ilustración 27: Osciladores simples.	65
Ilustración 28: Respuesta temporal de cada oscilador.	65
Ilustración 29: Espectro de respuesta.....	66
Ilustración 30: Espectro elástico de respuesta, en términos de aceleración.	67
Ilustración 31: Modelos de histéresis.....	69
Ilustración 32: Espectros de Diseño.	70
Ilustración 33: Diagrama edificio aislado en la base y del modelo dinámico de la estructura.	75
Ilustración 34: Modelo dinámico lineal de los aisladores de la base del edificio.....	77
Ilustración 35: Modelo dinámico no lineal para los aisladores de la base del edificio.....	79
Ilustración 36: Propuesta arquitectónica planta típica del edificio.....	88
Ilustración 37: Distribución de zonas en planta típica.....	91
Ilustración 38: Planta típica pre dimensionado inicial de la estructura.	94
Ilustración 39: Vista en 3d de modelo estructural propuesto.....	94
Ilustración 40: Vista del modelo de la estructura en 3d, frontal y posterior respectivamente.	95
Ilustración 41: Propiedades del concreto.	100
Ilustración 42: Propiedades de los muros armados.....	101
Ilustración 43: Vista del modelo de la estructura en 3d, frontal y posterior respectivamente.	103
Ilustración 44: Propuesta estructural planta típica del edificio.	104
Ilustración 45: Vista del modelo de la estructura en 3d, acondicionado para aisladores de base.	106
Ilustración 46: Vista de la cimentación aislada donde se ubicarán aisladores de base.....	107
Ilustración 47: Ubicación de aisladores de base y ubicación de cargas efectivas sobre aislador.	108
Ilustración 48: Vista en 3D de modelación de estructura convencional.	120
Ilustración 49: Flujograma de diseño.	121
Ilustración 50: Datos de las propiedades de enlace para el aislador tipo HDR.....	122

Ilustración 51: Propiedades Lineales para el Aislador tipo HDR eje 01.....	123
Ilustración 52: Propiedades No Lineales para el aislador HDR eje 02 y 03.	123
Ilustración 53: Distribución de aisladores HDR.	125
Ilustración 54: Datos de las propiedades de enlace para el aislador tipo LRB.....	126
Ilustración 55: Propiedades Lineales para el Aislador tipo LRB eje 01.....	127
Ilustración 56: Propiedades No Lineales para el aislador HDR eje 02 y 03.	127
Ilustración 57: Distribución de aisladores HRD y LRB.....	128
Ilustración 58: Datos de las propiedades de enlace para el aislador tipo FPS.....	130
Ilustración 59: Propiedades Lineales para el Aislador tipo FPS eje 01.....	130
Ilustración 60: Propiedades No Lineales para el aislador FPS eje 02 y 03.	131
Ilustración 61: Factor de ductilidad de entrepiso.	132
Ilustración 62: Derivas y desplazamientos estructura empotrada.....	133
Ilustración 63: Derivas de piso del sistema aislado para al aislador HDR.	134
Ilustración 64: Derivas de piso del sistema aislado combinado HDR y LBR.	135
Ilustración 65: Derivas de piso obtenidas de la estructura aislada tipo FPS.....	136
Ilustración 66: Desplazamiento del sistema de aislamiento (Fuente propia).....	138
Ilustración 67: Desplazamiento relativo de la superestructura en dirección X.....	140
Ilustración 68: Desplazamiento relativo de la superestructura en dirección Y.....	142
Ilustración 69: Desplazamiento relativo por nivel para la estructura convencional empotrada y aislada en dirección X.....	144
Ilustración 70: Desplazamiento relativo por nivel para la estructura convencional empotrada y aislada en dirección Y.....	145
Ilustración 71: Desplazamientos máximos en X de la estructura aislada y tradicional, sin considerar el desplazamiento en la interfaz de aislamiento para el aislador FPS.	147
Ilustración 72: Desplazamientos máximos en Y de la estructura aislada y tradicional, sin considerar el desplazamiento en la interfaz de aislamiento para el aislador FPS.	147
Ilustración 73: Comparación de las aceleraciones absolutas en X para los sistemas de aislamiento.	150
Ilustración 74: Comparación de las aceleraciones absolutas en Y para los sistemas de aislamiento.	152
Ilustración 75: Comparación de las aceleraciones absolutas en X del sistema de aislamiento FPS VS la estructura tradicional.	154
Ilustración 76: Comparación de las aceleraciones absolutas en Y del sistema de aislamiento FPS VS la estructura tradicional.	155
Ilustración 77: Reducción de placas de concreto sistema con aislamiento de base FPS.....	156
Ilustración 78: Derivas de piso del sistema aislado combinado FPS con mejora de elementos estructurales.	159
Ilustración 79: Curva de Vulnerabilidad para una estructura de hormigón armado calibrada a partir de lo ocurrido en Viña del Mar en el terremoto del 3 marzo de 1985.	166
Ilustración 80: Evolución de costos totales edificio 15 Niveles.	169
Ilustración 81: Desplazamientos laterales sistema tradicional vs Aislación de la base HDR, LRB y FPS.	170
Ilustración 82: Aceleraciones sistema tradicional vs Aislación de la base HDR, LRB y FPS.	171

TABLAS

Tabla 1: Distribución de áreas por niveles (UNAP , 2012).....	90
Tabla 2: Pesos específicos referencia Norma E.020 cargas.	97
Tabla 3: Cargas vivas de uso referencia Norma E.020 cargas.....	98
Tabla 4: Reacción de carga CM+1.25CV1.	109
Tabla 5: Reacción de carga CM+1.25CV2.	109
Tabla 6: Reacción de carga CM+1.25CV3.	110
Tabla 7: Reacción de carga CM+1.50CV1.	110
Tabla 8: Reacción de carga CM+1.50CV2.	110
Tabla 9: Reacción de carga CM+1.50CV3.	111
Tabla 10: Periodos del análisis modal del sistema tradicional.	112
Tabla 11: Distribución de fuerzas laterales en centros de edificio.	114
Tabla 12: Espectro de respuesta del sistema tradicional (RNE).....	116
Tabla 13: Resumen de cargas verticales útiles para elección de aislador.....	117
Tabla 14: Resumen de periodos y frecuencias HDR.	124
Tabla 15: Resumen de periodos y frecuencias 30HRD + 22LRB.	129
Tabla 16: Resumen de periodos y frecuencias FPS.	131
Tabla 17: Resumen de los desplazamientos del sistema de aislamiento (Fuente Propia).....	137
Tabla 18: Desplazamiento relativo de la superestructura en dirección X.	139
Tabla 19: Desplazamiento relativo de la superestructura en dirección Y.	141
Tabla 20: Comparación de la deformación relativa por nivel para la estructura convencional empotrada y aislada.....	143
Tabla 21: Desplazamientos máximos de cada nivel de la estructura aislada y tradicional, sin considerar el desplazamiento en la interfaz de aislamiento para el aislador FPS.	146
Tabla 22: Factor de reducción calculado con los valores de los drift de la estructura tradicional y del sistema aislado FPS.....	148
Tabla 23: Comparación de aceleraciones absolutas en X en coordenada de piso, para los sistemas de aislamiento.	149
Tabla 24: Comparación de las aceleraciones absolutas en Y en coordenada de piso, para los sistemas de aislamiento.	151
Tabla 25: Aceleraciones absolutas en X en coordenada de piso, comprobación entre el sistema FPS y la estructura tradicional.	153
Tabla 26: Aceleraciones absolutas en Y en coordenada de piso, comprobación entre el sistema FPS y la estructura tradicional.	154
Tabla 27: Periodos y frecuencias de mejora de edificio con aislación de la base FPS.	157
Tabla 28: Calculo de derivas con mejora estructural en modelo con aislación FPS.	158
Tabla 29: Presupuesto formula de estructuras.	163
Tabla 30: Presupuesto formula de estructuras (Con aislación de la Base FPS).	164
Tabla 31: Resumen de costo y variación.....	165
Tabla 32: Costo por daños estructurales.....	167
Tabla 33: Costo por daños a equipamiento.....	168
Tabla 34: Costo totales directos e indirectos.....	168

RESUMEN

En este documento se presenta la investigación realizada sobre la reducción de la demanda sísmica para las estructuras de configuración tipo pórticos y placas en concreto reforzado resistente a momentos, cuando se emplean aisladores de base elastoméricos y de fricción, estableciendo una comparación entre estructuras convencionales con base fija y estructuras aisladas en su base.

Para este caso de estudio se emplean diferentes aisladores de base entre ellos las gomas de alto amortiguamiento, las gomas de bajo amortiguamiento con núcleo de plomo y el sistema de péndulo de fricción, se definen las propiedades de cada sistema de aisladores empleando el modelo bilineal, el modelado y los análisis correspondientes se desarrollan empleando el Software SAP2000.

Los resultados del presente documento miden la reducción de la demanda sísmica (desplazamientos y aceleraciones) y evidencian la importancia de emplear técnicas de control estructural para lograr un nivel de desempeño superior garantizando la seguridad a la vida y la integridad de la estructura y sus contenidos para sismos de intensidades altas; comparaciones realizadas en el capítulo cuatro.

Se puede también mencionar que en edificaciones importantes (recintos con equipamiento importante) a largo plazo se podrá obtener un beneficio no solo estructural; sino también económico, como se demuestra en el capítulo cinco.

PALABRAS CLAVE: Aislador, Aislamiento, Desplazamiento y Aceleración.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.

01.01. INTRODUCCIÓN.

A pesar de todos los avances científicos y tecnológicos que hemos logrado los seres humanos en el curso de nuestra vida en la tierra, existen fenómenos que no están bajo nuestro total control, uno de los más representativos son los sismos, resultado de la interacción de las placas tectónicas. La frecuencia de ocurrencia de estos eventos catastróficos es incierta y ha llevado al hombre a la necesidad de buscar herramientas que le permitan enfrentar de manera eficaz los efectos de los mismos, estudiando sus causas, sus manifestaciones y sus consecuencias, lo cual se ha traducido en la formulación de teorías de análisis y diseño sísmico, y en la elaboración de códigos de diseño y construcción sismorresistentes, que han sido modificados conforme a la ocurrencia de sismos, en donde son los jueces que estiman la eficacia de estas teorías.

A través de múltiples investigaciones se llegó a la promulgación de la teoría de asilamiento por la base, la cual se basa en la hipótesis de la separación suelo-

estructura, buscando así independizar a la estructura del movimiento que se propaga a través del suelo en donde esta cimentada. Esta situación es ideal ya que es imposible separar totalmente a la estructura de su fundación, pero se han desarrollado dispositivos que logran cumplir con este objetivo, reduciendo notablemente la rigidez de la estructura y aumentando el valor del periodo fundamental. Entre los países que han implementado la técnica del asilamiento por la base tanto en edificios como en puentes se destacan Japón, Estados Unidos, Nueva Zelanda y China. A nivel latinoamericano el primer país en implementar el aislamiento de la base en el diseño y construcción de edificios fue Chile, país que tiene un gran historial de eventos sísmicos, por lo que no es extraño que lleven la delantera en este tema (BECERRA E., 1998, pág. 22).

El Perú es un país sísmico y, por ende, toda estructura importante debe ser diseñada para resistir este tipo de solicitaciones. El objetivo de la ingeniería sismorresistente es la protección de la vida y así, su evolución sólo puede tender a la mejora del comportamiento sísmico de las edificaciones para reducir el riesgo de colapso. Por otro lado, en el presente tema de investigación se toma el término desempeño estructural como condición de la estructura frente a la demanda sísmica del edificio.

01.02. JUSTIFICACIÓN.

Un objetivo fundamental del presente tema de investigación es evaluar el desempeño estructural del Edificio 15 niveles de la Ciudad Universitaria de Puno con una propuesta de sistema estructural con aislamiento de la base, minimizando el desplazamiento entre pisos y las aceleraciones de los pisos presentes en la estructura. Al minimizar los desplazamientos entre pisos se

rigidiza la estructura, pero esto además de ser una solución cara, conduce a la amplificación del movimiento de la base, lo cual se traduce en altas aceleraciones en los pisos generando posibles daños al equipamiento interno, a la vez para disminuir estas aceleraciones se podría hacer utilizando un sistema más flexible, pero esto nos lleva al problema inicial de tener considerables desplazamientos entre pisos.

Desacoplar al edificio o estructura de los componentes horizontales del movimiento del suelo interponiendo elementos estructurales con rigidez horizontal baja entre la estructura y la fundación. Esto permite “ablandar” la respuesta sísmica de la estructura logrando una frecuencia fundamental que es mucha más baja que su frecuencia como base fija y las frecuencias predominantes del movimiento del suelo.

Para ello se hará uso de la selección de los tres sistemas de asilamiento por la base más usados en el medio nacional e internacional:

- Aislador elastomérico convencional (HDR).¹
- Aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB).²
- Aislador de péndulo friccional (FPS).³

01.02.1. OBJETIVO GENERAL.

- Evaluar el desempeño estructural del Edificio 15 niveles de la Ciudad Universitaria de Puno con una propuesta de sistema estructural con aislación de la base.

¹ HDRB = High-Damping Rubber Bearing.

² LRB = Lead-plug Rubber Bearing.

³ FPS = Frictional Pendulum System.

01.02.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Evaluar los desplazamientos del Edificio 15 niveles de la Ciudad Universitaria de Puno frente a solicitaciones sísmicas.
- Evaluar las aceleraciones del Edificio 15 niveles de la Ciudad Universitaria de Puno frente a solicitaciones sísmicas.
- Demostrar que un sistema estructural con aislación de la base es económicamente beneficioso para el Edificio 15 niveles de la Ciudad Universitaria de Puno.

01.02.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

Para cumplir con los objetivos y fines del presente trabajo de investigación, se debe utilizar una metodología que permita entregar en forma clara los fundamentos que sustentaran las conclusiones. Como se trata de la evaluación de un proyecto de ingeniería “MEJORAMIENTO DE SERVICIOS ACADÉMICOS EN LA FORMACIÓN BÁSICA, INFORMÁTICA Y VIRTUAL EN LAS ESCUELAS PROFESIONALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO”, lo que se pretende es ver si realmente es conveniente estructuralmente la aislación de la base con respecto al mismo proyecto realizado en forma convencional, todo esto respaldado por un estudio estructural el cual muestre si existen bondades en el nuevo diseño justificando la implementación del nuevo sistema. Para lograr evaluar el proyecto, se enfoca el presente trabajo en tres grandes partes.

La primera consiste en el análisis y diseño de la estructura convencional, esto quiere decir sin el sistema de asilamiento por la base, con el Reglamento Nacional de Edificaciones y el código ACI 318-02, apoyado por un programa de

análisis y cálculo estructural, de esta manera se tiene la visión y comportamiento del edificio si se realizara en forma tradicional sin ningún sistema de aislación de la base con la normativa vigente, como es que realizan la mayoría de los edificios del país.

El segundo estudio a realizar es el de analizar y diseñar diferentes alternativas de sistemas de aislación de la base seleccionando el más adecuado para el funcionamiento deseado de la estructura, como existen múltiples tipos se decidió seleccionar tres de ellos, el criterio que se utilizó para la elección que son los más usados en el mundo y en el país, existen mayores estudios y antecedentes sobre ellos y que para los tipos de estructuraciones típicas del país presenta mayores ventajas.

Los sistemas escogidos son: aislador elastomérico convencional (HDR), aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB) y un sistema friccional el cual es el del péndulo friccional (FPS). Esta parte consta de todo el respaldo teórico que se pueda encontrar en la bibliografía existente y en las experiencias experimentales realizadas sobre estos sistemas, contando con las curvas representativas, curvas histeréticas y otras de los sistemas escogidos. Además de una modelación en programa computacional de análisis y cálculo estructural para poder acoplarla al modelo del edificio tradicional y tener la visión computacional del comportamiento del edificio aislado.

La tercera parte consiste en el análisis del edificio aislado con el Reglamento Nacional de Edificaciones, y normas internacionales NCh 2745 Of 2003, UBC 1997 y ASCE⁴, se realizará un detallado análisis de ella aplicada al edificio, realizando análisis dinámicos no lineales, análisis espectral y los

⁴ Normas internacionales para diseño de sistemas con aislamiento de base.

diferentes tipos de análisis que contemple o sugiera la normativa para casos como el edificio en estudio.

Para que con estos antecedentes se proceda al diseño de la estructura aislada, con esto además de tener el edificio con sus características nuevas estructurales, funcionales y de serviciabilidad; se podrá tener un parámetro de la metodología, desarrollo y desempeño de la norma aplicada a un edificio real (BONILLA SOSA, 2012, pág. 32).

01.02.4. FLUJOGRAMA REFERENCIAL DE LA METODOLOGÍA INVESTIGATIVA.

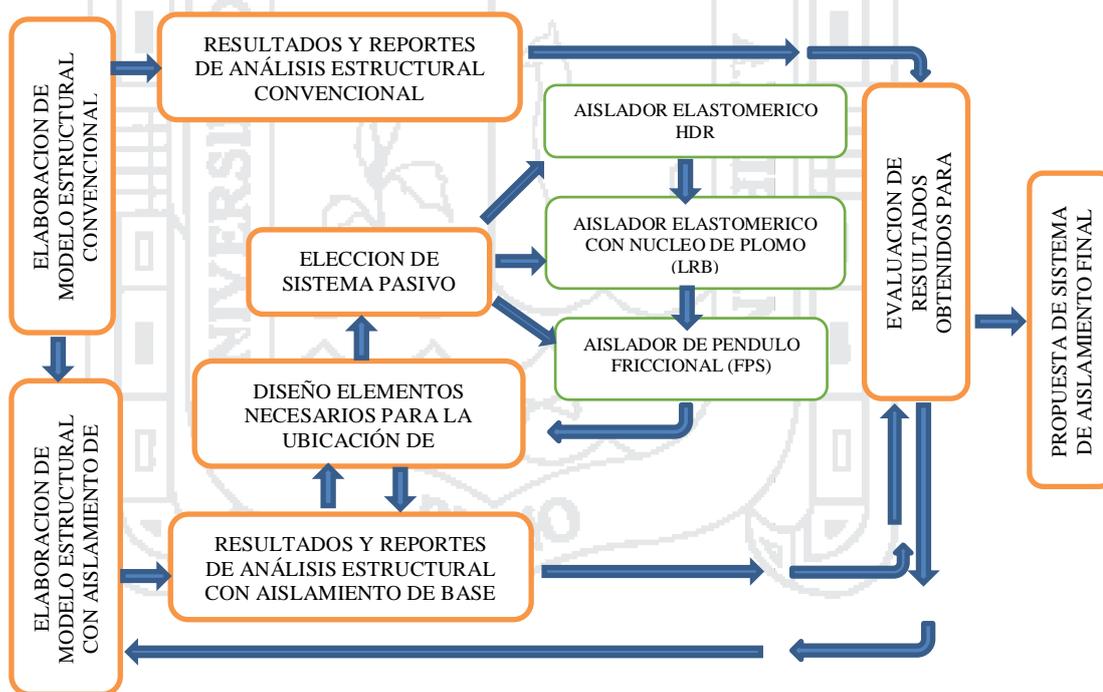


Ilustración 1: Flujoograma de investigación⁵.

⁵ Fuente: Elaboración propia del autor.

01.03. LOCALIZACIÓN.

01.03.1. UBICACIÓN.

El sitio destinado para este proyecto fue determinado por la autoridad universitaria y se encuentra emplazado dentro de los límites de la Ciudad Universitaria, el cual se encuentra en el sector Nor-Este de la ciudad de Puno entre los barrios Llavini, San José, y Alto San José al que antiguamente se le denominaba “Fundo Valderrama”.

01.03.2. ALTURA.

El distrito de Puno se encuentra a una altura de 3848 metros sobre el nivel del mar, siendo la superficie llana y semibordeada por cadenas cerros.

01.03.3. LÍMITES.

- NORTE : Construcción existente CEI UNA.
- SUR : Residencia de Docentes.
- ESTE : Nuevo hospital Universitario.
- OESTE : Taller de mantenimiento de la UNA.

Las coordenadas geográficas UTM son las siguientes:

- Longitud: 391500 este.
- Latitud: 8250100 sur.
- Altitud: 3 822 m.s.n.m.
- Perímetro: 142.14 ml.
- Área: 1106.66 m2.

01.03.4. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

La ciudad de Puno, es la capital del departamento de Puno, ubicado al sur del país dentro del departamento de Puno, basados en coordenadas, su ubicación es de 15°29'24" de Latitud Sur y 70°08'00" de Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich (UNAP , 2012).



Ilustración 2: Plano de ubicación del proyecto de investigación⁶.

⁶ Fuente: Elaboración propia del autor.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL NORMATIVO.

02.01. INGENIERÍA SÍSMICA.

El derrumbe de construcciones hechas por el hombre, ha cobrado un elevado porcentaje de víctimas que deja un evento sísmico, por lo que el riesgo ha crecido en la misma medida que las áreas urbanas y también se han hecho más densas.

Por esta razón, es inevitable contar con los instrumentos necesarios que puedan ayudarnos a prevenir este tipo de eventos, en el supuesto caso que las construcciones deben soportar aceptablemente los sismos más severos y sin mayores daños, los sismos moderados que con más frecuencia pueden presentarse durante la vida útil de las edificaciones, entonces existe una importante necesidad de mitigar los efectos destructivos de un evento sísmico, mejorando las técnicas adecuadas de diseño y en particular, dando a conocer la importante y cuantiosa información experimental, teórica y práctica existente acerca del diseño sismorresistente.

Hasta hace poco, las soluciones adoptadas para resistir las acciones sísmicas, se desarrollaron esencialmente analizando los efectos de los terremotos en las construcciones, la incorporación y desarrollo de la Resistencia de Materiales en el proyecto de las edificaciones, facilitó la predicción cuantitativa del estado de tensiones en las construcciones.

En la actualidad la Ingeniería Sísmica comienza a desarrollarse sobre bases científicas, con un cuerpo organizado de conocimientos, programas de investigación, para entender ciertos problemas no resueltos y la experiencia de ingenieros proyectistas y constructores, también la combinación de una serie de disciplinas variadas y complejas, cómo la sismología, la dinámica estructural y de suelo, el análisis estructural, la geología, la mecánica de los materiales, etc., que de manera integrada permiten el diseño de obras capaces de resistir los sismos más severos que puedan presentarse en el futuro de una determinada zona.

Durante un terremoto, la energía que recibe una estructura puede ser soportada por resistencia, ductilidad y disipación.

Por resistencia, se dimensionan los elementos estructurales de tal forma que soportan las cargas sísmicas sin llegar a la rotura. Por ductilidad, se dimensionan los elementos para que la energía del sismo se disipe por deformaciones plásticas de los propios elementos estructurales, finalmente por disipación, se introducen en la estructura elementos con el fin de disipar la energía recibida durante un terremoto, existen principalmente tres tipos de sistemas de disipación:

- AISLAMIENTO SÍSMICO: es la técnica que consiste en desacoplar el edificio del suelo con el fin de evitar que la energía del terremoto penetre en el edificio.
- ELEMENTOS DE DISIPACIÓN PASIVA: son amortiguadores que absorben la energía del terremoto proporcionando un amortiguamiento suplementario y de esta forma evitando daños en el edificio.
- ELEMENTOS DE DISIPACIÓN ACTIVA: son amortiguadores que absorben la energía por desplazamiento de elementos preparados para ello.

Los sistemas de control pasivo, emplean dispositivos bastante simples que reducen la respuesta dinámica por medios mecánicos. Los sistemas pasivos más comunes son aisladores sísmicos, disipadores de energía y osciladores resonantes. Básicamente existen dos tipos de aisladores: los apoyos elastomérico y los apoyos deslizantes.

Los tipos de apoyos elastomérico ampliamente usados son: apoyos de caucho natural (NRB), apoyos de caucho con núcleo de plomo (LRB), y apoyos de caucho de alta disipación de energía (HDR). Uno de los dispositivos más innovadores es el sistema pendular friccionante (FPS) que representa los apoyos deslizantes (VILLALOBOS P., 1997, pág. 35).

También es importante tener un conocimiento basto sobre la Normativa Peruana (RNE), esta normativa, contempla requisitos mínimos que se deberán observar al momento de realizar los diseños, al construir y controlar la ejecución de las obras.

02.01.1. COSTOS ECONÓMICOS DE LOS DAÑOS EN EDIFICIOS, PRODUCIDOS POR SISMOS.

La utilización de diseños antisísmicos en obras, aumenta considerablemente el coste de construcción y por ello en muchos casos se evita su aplicación. Sin embargo, el costo por diseño antisísmico es un porcentaje muy bajo salvo el caso de estructuras especiales. El respeto a la normativa peruana de la construcción (RNE) debería ser rigurosa para evitar daños mayores.

Cuando se produce un terremoto, los daños en las construcciones están relacionados con los tipos de elementos constructivos, materiales empleados, modo de ejecución, subsuelo, topografía, etc. Este último factor, desempeña un papel muy importante a la hora de considerar el emplazamiento de una obra en zonas sísmicas, ya que, según las características fisiográficas de cada zona, las ondas sísmicas varían su comportamiento. Esto es especialmente importante, cuando existen materiales sueltos o de baja coherencia y extremadamente peligroso cuando concurren los tres factores siguientes: gradiente topográfico alto, materiales inconsolidados y alto contenido en agua.

Los terremotos no sólo producen efectos fácilmente perceptibles, también, desatan consecuencias que se desarrollan lentamente o se manifiestan mucho tiempo después de ocurrido el desastre, como por ejemplo, el desabastecimiento de productos esenciales varios meses después de la catástrofe.

En términos esquemáticos, los efectos de un fenómeno natural como el sismo pueden clasificarse en: aquellos que ocasiona sobre los acervos (daños directos); los que provoca sobre los flujos de producción de bienes y servicios

(daños indirectos); y los que se reflejan en el comportamiento de los grandes agregados macroeconómicos (efectos secundarios). Los primeros ocurren prácticamente en el momento del desastre, o a las pocas horas; en cambio los dos siguientes, conllevan la idea de temporalidad que, dependiendo de la magnitud del fenómeno, debe entenderse como un lapso de hasta cinco años (ROCHEL, 2006, pág. 28).

Desde el punto de vista de la apreciación rápida de los daños, aquellos originados en efectos directos son relativamente más claros en cuanto a su identificación y evaluación. No sucede lo mismo, con los daños que se originan en los efectos indirectos del desastre. Estos se manifiestan en periodos variables después del desastre y son, por lo tanto, más difíciles de identificar en una apreciación rápida.

Una gran mayoría de estos efectos indirectos no son aparentes al efectuar dicha evaluación y aunque puedan identificarse al momento de estimar los daños, no siempre es posible medirlos en términos de unidades monetarias.

Otra observación inicial sobre el tema es que las dos primeras categorías de efectos (daños directos e indirectos) pueden ser acumulables, una vez que se hagan las salvedades correspondientes por tratarse de acervos y flujos, para obtener un orden de magnitud del ámbito total de los daños; en cambio los efectos secundarios constituyen una visión diferente de la evaluación, que se refiere a los efectos sobre el funcionamiento de la economía y a los desequilibrios macroeconómicos atribuibles al evento natural.

A continuación, se describirá con mayor precisión el contenido de los daños a ser incluido en cada una de estas dos categorías de efectos.

- DAÑOS DIRECTOS.

Son todos aquellos sufridos por los activos inmovilizados y en las existencias (tanto de bienes finales como de bienes en proceso, materias primas, materiales y repuestos). Se trata en esencia, de acervos que acaecieron prácticamente durante el lapso mismo en que ocurrió el siniestro. Entre los principales rubros que figuran en esta categoría se consideran, la destrucción total o parcial de la infraestructura física, instalaciones, maquinaria, equipos, medios de transporte y almacenaje, mobiliario, perjuicios en las tierras de cultivo, en obras de riego, embalses, etc.

Convencionalmente se ha optado también por incluir como un "daño directo" el costo estimativo que se pagará por la demolición y limpieza de áreas destruidas, ya que forman parte del presupuesto necesario para reparar o reconstruir lo dañado y pueden tomarse en cuenta sin mayor dificultad al calcular el costo del metro cuadrado de construcción (ROCHEL, 2006, pág. 39).

- DAÑOS INDIRECTOS.

Se refieren básicamente, a los flujos de bienes que se dejan de producir o de servicios que se dejan de prestar durante un lapso de tiempo, que se inicia apenas ha ocurrido el desastre, y puede prolongarse durante el proceso de rehabilitación y reconstrucción que convencionalmente se ha establecido con un horizonte máxima de cinco años, aunque las mayores pérdidas ocurren durante los dos primeros. En todo caso, el cálculo de su efecto debe extenderse durante el lapso necesario para la recuperación parcial o total de la capacidad productiva. Su ocurrencia deriva de los daños directos que han afectado la capacidad productiva y la infraestructura social y económica (ROCHEL, 2006, pág. 40).

Los desastres generan también efectos indirectos importantes que son difíciles de identificar e imposibles de cuantificar. Son efectos que originan daños (o beneficios) "intangibles", tales como el sufrimiento humano, la inseguridad, el sentimiento de orgullo o de antipatía por la forma en que las autoridades han enfrentado las consecuencias del desastre, la solidaridad, la participación desinteresada, los efectos sobre la seguridad nacional y muchos otros factores del mismo temor que inciden en el bienestar y la calidad de vida.

02.02. AISLAMIENTO SÍSMICO.

02.02.1. FUNDAMENTOS.

Sabemos que ductilidad es la capacidad de un sistema estructural de sufrir deformaciones considerables (por encima del límite elástico) bajo una carga variable, sin padecer daños excesivos. Esta propiedad, en una estructura que debe resistir efectos sísmicos, elimina la posibilidad de una falla frágil y además suministra una fuente adicional de amortiguamiento. Es por ello que una parte importante del diseño sísmico consiste en proporcionar a la estructura además de la resistencia necesaria, la capacidad de deformación que permita la mayor ductilidad posible para salvar así un edificio del colapso.

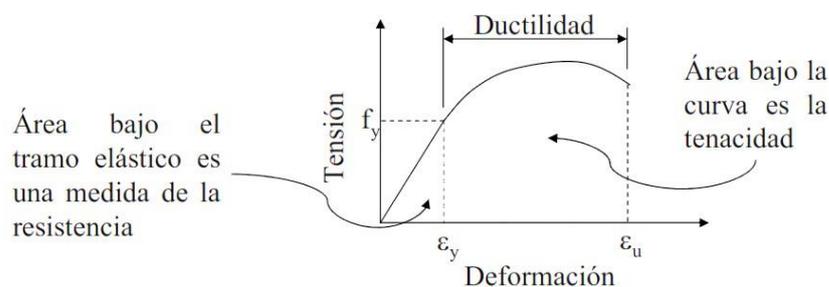


Ilustración 3: Diagrama Tensión vs Deformación del Hormigón⁷.

⁷ Fuente: (BONILLA SOSA, 2012, pág. 18)

Para minimizar los desplazamientos entre pisos se rigidiza la estructura, sin embargo esta solución amplifica los movimientos de la base (suelo), lo cual se traduce en altas aceleraciones en los pisos generando daños al equipamiento interno, a la vez para disminuir estas aceleraciones se podría utilizar un sistema más flexible, pero esto nos lleva al problema inicial de tener considerables desplazamientos entre pisos. Tradicionalmente, el factor de ductilidad asociado al desplazamiento se ha utilizado como criterio para establecer el espectro de respuesta inelástica para el diseño sismorresistente de edificios. De ahí la resistencia mínima requerida (capacidad de resistir fuerzas laterales) en un edificio se estima con base en ese espectro (Arriagada Rosas, 2005, pág. 37).

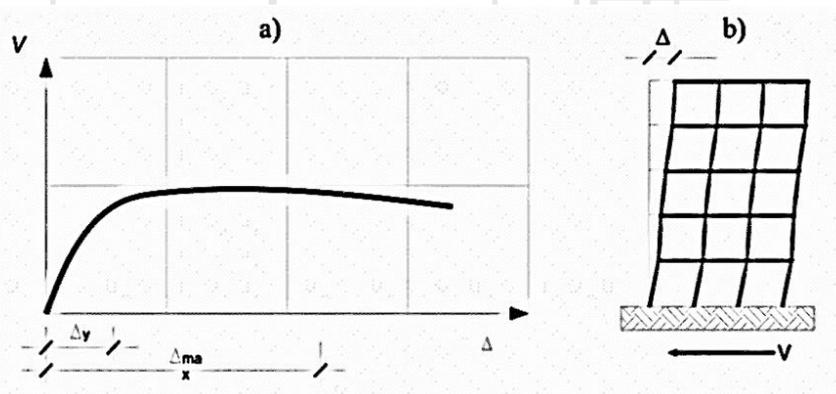


Ilustración 4: Curva de Capacidad (análisis no lineal de la estructura)⁸.

Al estudiar la respuesta inelástica de los edificios, es especialmente ilustrativa la denominada curva de capacidad que se muestra en la Figura 04.

Dicha curva se obtiene a partir del análisis no lineal de estructuras sometidas a fuerzas estáticas horizontales, denominado en inglés pushover analysis, que relaciona el desplazamiento del nivel superior del edificio Δ , con el cortante en la base. Estudios recientes realizados sobre estructuras sometidas a cargas cíclicas horizontales, han puesto de manifiesto que, para alcanzar

⁸ Fuente: (IZAGUIRRE CORONA, 2007, pág. 22)

valores de ductilidad estructural próximos a los valores de proyecto, es necesario que los valores de la ductilidad seccional sean mucho más altos. Esto se debe a que los distintos elementos que conforman la estructura, no plastificarán al mismo tiempo cuando están sometidos a cargas cíclicas. En otras palabras, en un instante dado, la estructura tendrá algunos elementos que habrán alcanzado la plastificación, generándose en ellos rótulas plásticas, mientras que otros se mantendrán dentro del rango elástico. Este comportamiento requiere que los elementos plastificados tengan secciones con giros muy altos, es decir, altos valores de ductilidad seccional.

Es por eso que en base del concepto de ductilidad se fundamenta el diseño sismorresistente, en este sentido puede distinguirse entre un proyecto con base en la resistencia y uno con base en los desplazamientos.

El diseño sismorresistente con base en la resistencia, consiste en dimensionar las secciones de hormigón armado procurando evitar fallos frágiles de los elementos. El comportamiento global de la estructura debe ser tal, que se garantice al menos que su resistencia lateral sea igual a la resistencia elástica afectada por factores de reducción de respuesta.

Para tener un satisfactorio comportamiento sísmico, la estructura debe disponer de una alta resistencia lateral, si es que no ofrece un comportamiento dúctil, o de una ductilidad suficiente para la resistencia lateral con que ha sido diseñada. En la medida que la estructura se diseña con mayor resistencia lateral, menor es la necesidad de ductilidad, y viceversa. Ambas características que intervienen en el diseño están relacionadas, y los colapsos que se producen están generalmente asociados a una deficiente provisión de ductilidad para la resistencia lateral que se ha considerado en el diseño.

El diseño sismorresistente con base en el desplazamiento, fija límites a los desplazamientos para poder garantizar que la estructura no sobrepase ciertos umbrales de deterioro, esto significa que la estructura se proyecta de acuerdo con criterios de comportamiento global.

Además, es importante también introducir el concepto de redundancia estructural, pues éste tiene un rol nulo en la respuesta de estructuras mientras éstas se mantienen intactas, sin embargo, dicho rol puede convertir en esencial una vez que alguno o varios de los elementos de esa estructura, ha sufrido daño tal que lo haga incapaz de seguir recibiendo incrementos de carga, o de mantener las cargas que le correspondía transmitir, lo cual provoca una redistribución de esas carga hacia el resto de los elementos de la estructura que permanecen intactos.

La redundancia en un sistema puede ser de dos tipos; redundancia activa y redundancia pasiva. La redundancia activa, implica que todos los elementos de un mismo tipo son capaces de recibir y distribuir cargas, mientras que la reserva de resistencia pasiva implica que ciertos componentes comienzan a funcionar una vez que ha ocurrido el fallo de otros elementos (MORENO, YAMIN, & REYES, 1992, pág. 35).

El diseño convencional de estructuras sismorresistentes se fundamenta en los conceptos de ductilidad y redundancia estructural, que permiten reducir de forma significativa las fuerzas inducidas por sismos severos, teniendo también en cuenta la capacidad de disipación de energía de los elementos de las estructuras y en sus nudos, la ductilidad global de una estructura se alcanza por la plastificación local de estos elementos, en particular en los extremos de barras, donde es más fácil y eficiente proporcionar los detalles que aseguran la

ductilidad. Un diseño sismorresistente racional, garantiza que para una determinada demanda de ductilidad estructural global, no se sobrepase la capacidad de ductilidad del material seccional y de elementos. El diseño convencional de edificios difícilmente garantiza que los elementos no estructurales no sufran daños frente a un sismo severo, e incluso la reparación de los elementos principales puede ser difícil. Por lo mencionado, en los últimos 20 años se han propuesto diversos sistemas de disipación de energía y de aislación de la base que localizan los fenómenos no lineales en ciertas zonas predefinidas de una estructura (Arriagada Rosas, 2005, pág. 24).

Actualmente, se están implementando aisladores sísmicos en la base para favorecer el comportamiento de la estructura, y evitar los efectos más dañinos que se producen en la estructura a causa de los esfuerzos resultantes de los desplazamientos relativos entre pisos.

El aislamiento sísmico es una técnica de diseño sismo resistente que consiste en introducir un elemento de apoyo de alta flexibilidad o baja resistencia, que independiza a la estructura del movimiento horizontal del suelo.

Los aisladores reducen notablemente la rigidez del sistema estructural, haciendo que el periodo fundamental de la estructura aislada sea mucho mayor que el de la misma estructura con base fija.

A continuación, se expone una representación gráfica en la que podemos apreciar las diferencias entre los sistemas de resistencia sísmica.

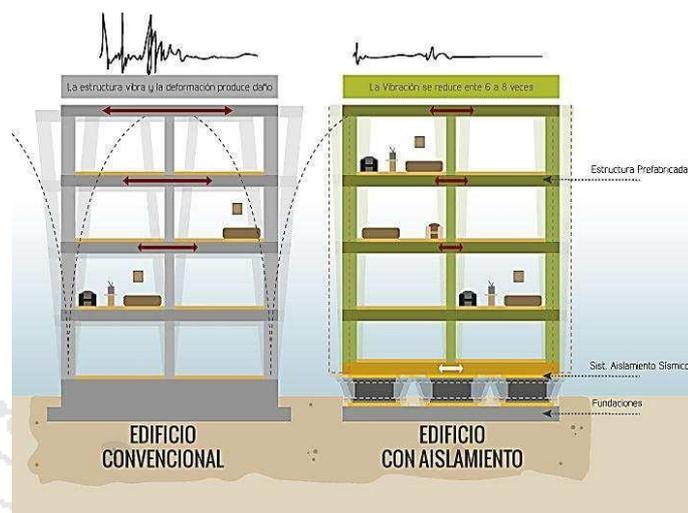


Ilustración 5: Aislamiento sísmico en edificaciones⁹.

Una estructura debe resistir la diferencia entre el coeficiente sísmico requerido por un terremoto severo, y el correspondiente al nivel de las fuerzas de diseño proporcionadas por las normativas, a través de su ductilidad y redundancia. Por el contrario, las fuerzas requeridas en una estructura con aislación de la base son menores que las fuerzas de diseño estipuladas en la normativa. Esta observación es particularmente importante considerando que un edificio aislado tendrá un comportamiento prácticamente lineal elástico, sin plastificación de los elementos no estructurales. En general, la aislación de la base es conveniente para estructuras relativamente rígidas, mientras que los disipadores de energía son más eficientes en el caso de estructuras con períodos intermedios y largos.

La aislación de la base fue propuesta inicialmente para la construcción de edificios nuevos, sin embargo su empleo ha tenido mucho éxito en la rehabilitación sísmica de edificios históricos. El refuerzo sísmico de los edificios

⁹ Fuente: (SAAVEDRA QUEZADA, 2005, pág. 45)

antiguos empleando técnicas convencionales puede necesitar modificaciones importantes del edificio, además de su coste elevado.

02.02.2. AMORTIGUAMIENTO EN LOS SISTEMAS AISLADOS.

Los principios en los cuales se basa el funcionamiento del asilamiento por la base son dos: en primer lugar, la flexibilización del sistema estructural o alargamiento del período y en segundo lugar, el aumento del amortiguamiento.

La flexibilización o alargamiento del período fundamental de la estructura, se logra a través de la introducción de un piso blando entre el suelo de fundación y la superestructura. Intuitivamente se reconoce que la rigidez lateral de este piso blando es mucho menor que la rigidez lateral de la superestructura, el sistema tenderá a deformarse sólo en la interfaz de aislamiento, transmitiendo bajos esfuerzos cortantes a la superestructura, la que sufre un movimiento de bloque rígido, por ende sin deformación ni daño durante la respuesta sísmica.

Por este motivo, el aislamiento de base es más recomendable en estructuras rígidas sobre terrenos firmes.

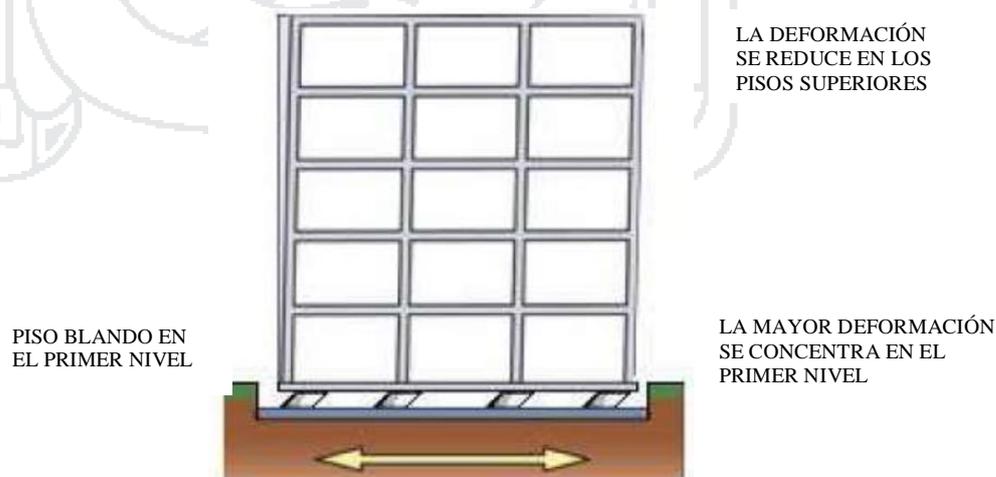


Ilustración 6: Sistema de piso blando (planta baja flexible) con deformaciones controladas¹⁰.

¹⁰ Fuente: (GATICA LAGOS, 2012, pág. 34).

El aumento del amortiguamiento viene dado principalmente por el sistema de aislamiento utilizado, éste busca reducir la demanda de deformaciones sobre el sistema de aislamiento y la superestructura, sin producir un aumento sobre las aceleraciones de esta última.

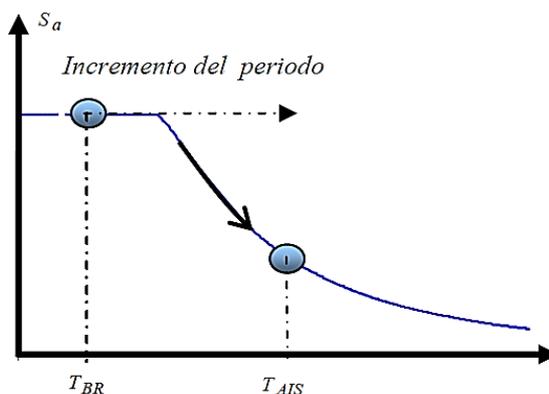


Ilustración 7: Reducción del cortante debido al incremento del periodo¹¹.

El amortiguamiento en los sistemas aislados puede proveerse de diversas maneras. La figura 07 representa que al aumentar las fuerzas laterales disminuye el cortante. Esta disminución en las fuerzas laterales, también se ve beneficiada con una reducción de los desplazamientos necesarios para llegar a dichas fuerzas, sin incurrir en un incremento del periodo. Véase Figura 08.

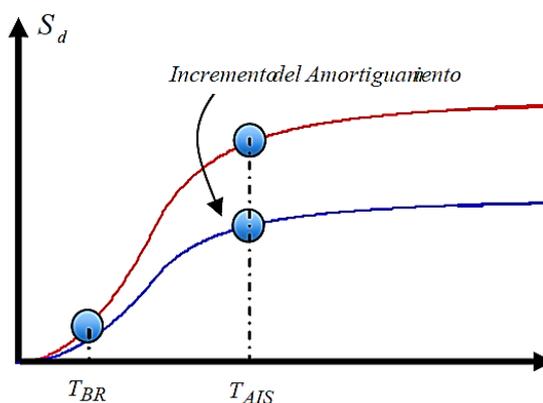


Ilustración 8: Disminución de los desplazamientos por al incremento de amortiguamiento¹².

¹¹ Fuente: (QUIROZ LOZANO, 2010, pág. 8).

¹² Fuente: (QUIROZ LOZANO, 2010, pág. 8).

02.02.3. SISTEMA DE AISLACIÓN DE LA BASE.

El diseño sismorresistente convencional, se fundamenta en la capacidad de una estructura para disipar la energía que le entrega el sismo, por medio de deformaciones inelásticas, lo que implica un daño controlado de la estructura.

El incremento del amortiguamiento efectivo de una estructura, lleva a una disminución de la respuesta estructural, como el amortiguamiento estructural está limitado al amortiguamiento que es inherente, o propio de los materiales, acero, hormigón o una mezcla de ambos. Cuando éste no es suficiente se hace necesario incorporar dispositivos auxiliares que impongan un amortiguamiento adicional al sistema, y que pueda ser evaluado de manera bastante precisa. Una de las maneras de lograr una mejora en la respuesta estructural y evitar el efecto destructivo de los terremotos, es por medio de los sistemas de aislación de la base.

El diseño de estructuras con asilamiento por la base, se fundamenta en el principio de separar la superestructura (componentes del edificio ubicados por sobre la interfaz de aislamiento) de los movimientos del suelo o de la subestructura, a través de elementos flexibles en dirección horizontal, generalmente ubicados entre la estructura y su fundación, o a nivel del cielo del subterráneo (subestructura), sin embargo, existen casos donde se han colocado aisladores en pisos superiores.

La incorporación de aisladores sísmicos permite reducir la rigidez del sistema estructural logrando que el período de vibración de la estructura aislada sea, aproximadamente, tres veces mayor al período de la estructura sin sistema de aislamiento.

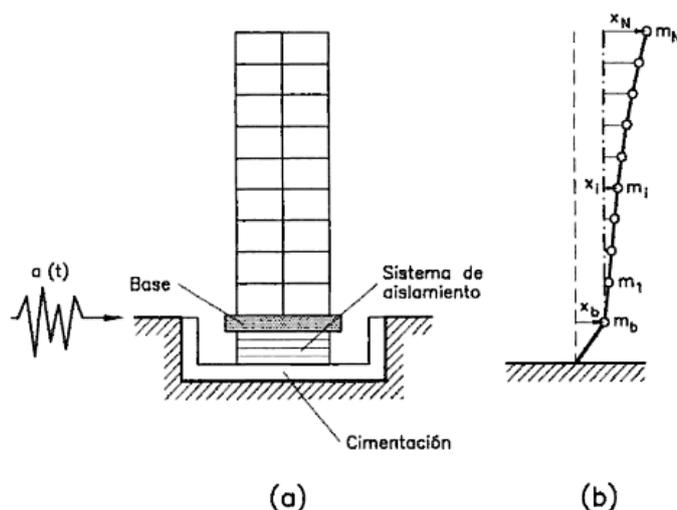


Ilustración 9: Edificio con aislación de la base. (a) Esquema. (b) Modelo dinámico¹³.

El diseño de edificios con aisladores de base, busca mantener la estructura en el rango lineal elástico, concentrando las no linealidades en la base.

Para un edificio dado, y considerando la notación de la figura 09, la ecuación del movimiento del sistema sometido a una excitación sísmica de aceleración $a(t)$, es:

$$m_b(\ddot{u}_g + \ddot{q}_b) + r^t M(\sum \phi_i \ddot{y}_i + r \ddot{u}_g + r \ddot{q}_b) + f = 0$$

Ecuación 1: Ecuación de equilibrio de desplazamiento en la base.

Adicionalmente, los aisladores dinámicos requieren, en general, dispositivos que mantengan los desplazamientos máximos horizontales dentro de límites aceptables de diseño.

Los sistemas de aislación de la base para una edificación deben dotar a ésta de:

¹³ Fuente: (SAAVEDRA QUEZADA, 2005, pág. 4).

- FLEXIBILIDAD para aumentar el período de vibración, y por tanto reducir la fuerza de respuesta sísmica.
- CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA para reducir los desplazamientos producidos por sismo, los cuales están directamente relacionados con el daño en un edificio.
- RIGIDEZ PARA NIVELES BAJOS DE CARGA, como lo son las fuerzas de viento y sismos de menor importancia.

02.02.4. TIPOS DE AISLAMIENTO POR LA BASE.

Las técnicas de control de respuesta sísmica, se pueden clasificar según la forma como el sistema maneja la energía impuesta por el sismo, su absorción y disipación. Se conocen como sistemas de disipación de energía, aquellos que aportan al término E_{sP} (energía disipada por deformación permanente del sistema) en el balance de energía y se conocen como sistemas aisladores, los que se enfocan a disminuir la energía de entrada al sistema estructural, término E_{sS} (energía elástica) (ROMO, AGUILAR, & BRAVO, 2005).

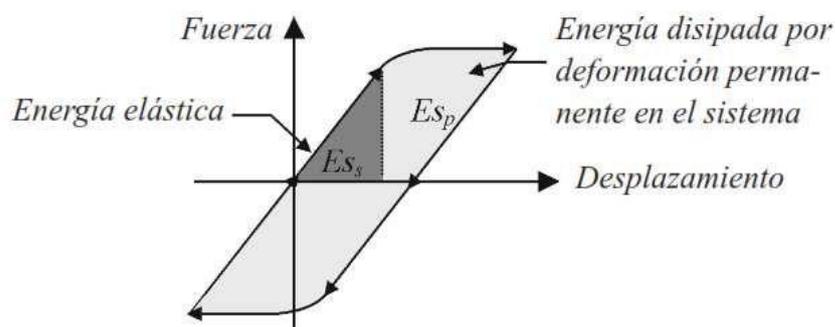


Ilustración 10: Ciclo de histéresis de un sistema estructural, energía elástica e inelástica¹⁴.

¹⁴ Fuente: (ANDRÉS OVIEDO & DUQUE, 2006, pág. 108).

En términos generales, los sistemas de asilamiento por la base limitan la energía que el sismo transfiere a la superestructura, reduciendo considerablemente los esfuerzos y deformaciones de la estructura aislada. Por su parte, los sistemas de disipación de energía, si bien no evitan el ingreso de energía a la estructura, permiten que la disipación de energía se concentre en dispositivos especialmente diseñados para éste fin, reduciendo sustancialmente la porción de la energía que debe ser disipada por la estructura.

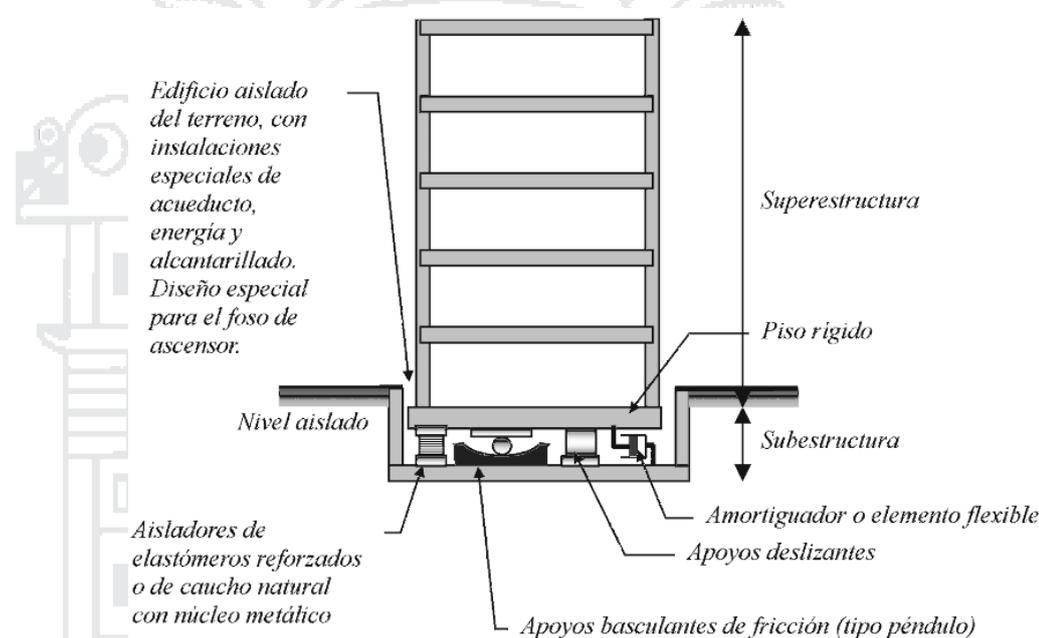


Ilustración 11: Técnica de Aislamiento Sísmico¹⁵.

Existen numerosos dispositivos para el asilamiento por la base, de los cuales los aisladores friccionales, y elastomérico con o sin núcleo de plomo son los más conocidos y utilizados, ambos se instalan individualmente o junto a otros dispositivos como amortiguadores.

Los aisladores elastoméricos con baja rigidez horizontal, cambian el periodo fundamental de la estructura evitando la resonancia de la excitación

¹⁵ Fuente: (ANDRÉS OVIEDO & DUQUE, 2006, pág. 110).

sísmica, mientras que el sistema de aislamiento deslizante, está basado en el concepto de deslizamiento friccionante. Un sistema de aislamiento, debe ser capaz de soportar la estructura mientras provee una flexibilidad adicional y disipación de energía. Las tres funciones pueden ser concentradas en un solo mecanismo o pueden ser provistas por diferentes componentes.

En general los aisladores sísmicos tienen cuatro funciones importantes

- Aislar la estructura, logrando que la demanda de desplazamiento se concentre en los aisladores y no en la estructura evitando, de esta manera el daño de la misma.
- Suministrar rigidez suficiente para un nivel de cargas, tales como viento, viva y sismos.
- Introducir amortiguamiento adicional en el sistema, ya que los desplazamientos relativos a través de los aisladores pueden controlarse. En algunos casos el amortiguamiento se suministra directamente por los aisladores; en otros casos se instalan dispositivos adicionales (disipadores viscosos) que proveen dicho amortiguamiento.
- Capacidad de auto centrado después de la deformación.

Antes de 1995 en Japón, había 80 edificios con aisladores de base, luego, al observar el gran comportamiento que tuvieron esos edificios durante el sismo de Kobe (1995), el número de estructuras con aisladores de base creció notablemente habiendo actualmente más de 600 edificios con aisladores. Algo similar ocurrió en Estados Unidos de Norte América luego del sismo de Northridge (1994) (BONILLA SOSA, 2012, pág. 8).

02.02.4.1. AISLADOR ELASTOMÉRICO.

Los aisladores elastoméricos, están formados por un conjunto de láminas planas de goma intercaladas por placas planas de acero, adheridas a la goma durante un proceso de vulcanización (bajo presión y temperatura), por lo general, presentan una sección circular o cuadrada y cubierta en su extremo superior e inferior por dos placas de acero, donde se conecta con la superestructura, en su parte superior, y con la subestructura en su parte inferior. Las láminas de acero, confinan lateralmente a la goma haciendo que el aislador tenga una gran rigidez vertical, y a su vez una rigidez horizontal muy baja, permitiendo el desplazamiento horizontal de la estructura en relación al suelo. La rigidez vertical del sistema es comparable con la rigidez vertical de una columna de hormigón armado. El comportamiento de los aisladores elastoméricos depende de la amplitud de la deformación a la que son sometidos, y en menor grado de la temperatura, el envejecimiento y la frecuencia del movimiento.

Con el objetivo de aumentar la capacidad de disipación del aislador elastomérico descrito anteriormente, se puede elegir entre varias alternativas tales como:

- a) Agregar aditivos a la goma para aumentar sus propiedades de amortiguamiento.
- b) Incorporar un corazón de plomo en el centro del disipador, para aprovechar las propiedades disipativas del plomo y así aumentar la disipación del aislador.

- c) Acoplar a los aisladores otros dispositivos, tales como los amortiguadores viscosos, de fricción o por extrusión de plomo.

Existen varios tipos de apoyos elastoméricos, entre ellos se encuentran los apoyos de goma natural (NRB, Natural Rubber Bearing), los apoyos de goma de bajo amortiguamiento (LDRB, Low-Damping Rubber Bearing) y alto amortiguamiento (HDRB, High-Damping Rubber Bearing), y los apoyos de goma con núcleo de plomo (LRB, Lead-plug Rubber Bearing) (Division, 2012).

02.02.4.1.1. AISLADOR ELASTOMÉRICO DE BAJO AMORTIGUAMIENTO (LDRB).

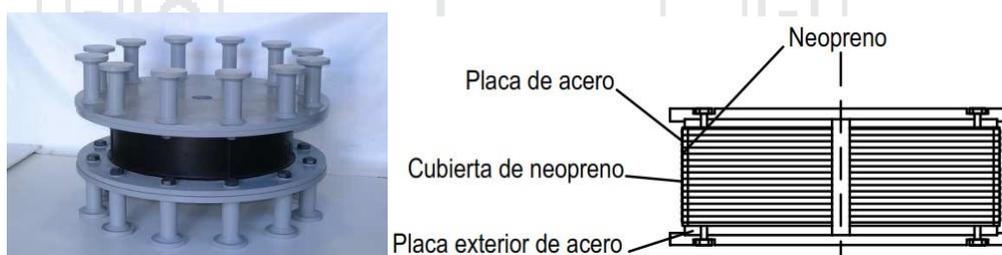


Ilustración 12: Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento¹⁶.

Éste tipo de dispositivos son los más simples dentro de los aisladores elastoméricos. Los aisladores elastoméricos de caucho natural de bajo amortiguamiento, han sido usados vinculados con dispositivos de amortiguamiento adicionales. La rigidez horizontal del aislador es controlada por el bajo módulo de corte del caucho.

El comportamiento del material en cortante es casi lineal hasta deformaciones por corte del orden de 100%, con amortiguamiento hasta 7%.

Las ventajas de los aisladores de caucho de bajo amortiguamiento son: la fácil

¹⁶ Fuente: (Arriagada Rosas, 2005, pág. 15).

manufactura, moldeado simple, y sus propiedades mecánicas no son afectadas por la temperatura y el envejecimiento. La única desventaja es que por lo general van acompañados por sistemas de amortiguamiento adicional.

02.02.4.1.2. AISLADOR ELASTOMÉRICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDRB).



Ilustración 13: Aislador elastomérico de alto amortiguamiento¹⁷.

Los HDRB, son aisladores elastoméricos cuyas láminas de elastómeros son fabricados adicionando elementos como carbón, aceites y resinas, con el fin de aumentar el amortiguamiento de la goma hasta niveles cercanos al 10-15%. Este incremento en rigidez y amortiguamiento ha sido dirigido para producir un sistema que será, rígido para pequeñas sollicitaciones, casi lineal y flexible para un nivel de diseño y que puede limitar los desplazamientos para niveles de sollicitación mayor, para precisar lo citado anteriormente se exponen los siguientes casos:

- Para deformaciones por corte menores que el 20%, el material tiene un comportamiento no lineal y se caracteriza por su alta rigidez y

¹⁷ Fuente: (Arriagada Rosas, 2005, pág. 15).

amortiguamiento, el cual tiende a minimizar la respuesta bajo cargas sísmicas pequeñas.

- Para deformaciones por corte de entre el 20% y el 120% el módulo de corte es bajo y constante.
- Para deformaciones por corte mayores, el módulo de corte se incrementa debido al proceso de cristalización por deformación del caucho, lo cual va acompañado con un incremento en la energía disipada.

La relación de la deformación lateral entre el espesor de la lámina de caucho alcanza niveles de hasta el 300%. Los aisladores tipo HDRB presentan mayor sensibilidad a cambios de temperatura y frecuencia que los aisladores tipo LDRB, a su vez, los aisladores HDRB presentan una mayor rigidez para los primeros ciclos de carga, que generalmente se estabiliza luego del tercer ciclo de carga.

02.02.4.2. AISLADOR ELASTOMÉRICO DE NÚCLEO DE PLOMO (LRB).

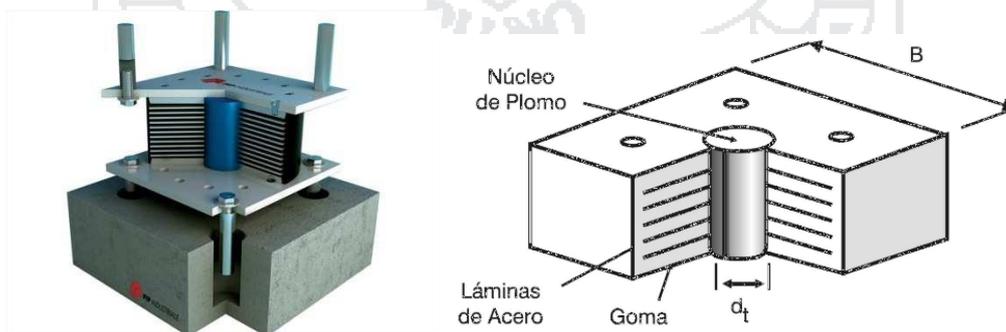


Ilustración 14: Aislador elastomérico de núcleo de plomo¹⁸.

¹⁸ Fuente: (Arriagada Rosas, 2005, pág. 16).

Este tipo de aisladores son similares a los anteriores, (compuestos por láminas de caucho y acero de forma intercalada) pero contiene un núcleo de plomo que permite aumentar el nivel de amortiguamiento del sistema hasta niveles cercanos al 25-30%, estos núcleos de plomo generalmente van ubicados en el centro, de modo que al deformarse lateralmente el aislador durante la acción de un sismo, el núcleo de plomo fluye, incurriendo en deformaciones plásticas, y disipando energía en forma de calor. Al término de la acción sísmica, la goma del aislador retorna la estructura a su posición original, mientras el núcleo de plomo se recrystaliza, de esta forma el sistema queda listo para un nuevo evento sísmico.

La relación de la deformación lateral entre el espesor de la lámina de caucho alcanza niveles de hasta el 200%. La rigidez inicial y el amortiguamiento efectivo del aislador dependen del desplazamiento.

02.02.4.3. AISLADORES DESLIZANTES.

Los aisladores deslizantes o también llamados deslizadores friccionales, utilizan una superficie de deslizamiento típicamente de acero inoxidable, sobre la que desliza una placa de acero revestida de Politetra Fluoro Etileno (PTFE), sobre la que se soporta la estructura. La superficie de deslizamiento permite el movimiento horizontal de la estructura de manera independiente del suelo. Éste sistema de aislamiento por la base, permite disipar energía por medio de las fuerzas de rozamiento que se generan durante un sismo. El coeficiente de fricción del aislador depende de variables tales como: la temperatura de trabajo, la presión de contacto, la velocidad de movimiento, el estado de las superficies de contacto (limpieza, rugosidad, etc.) y el envejecimiento. Adicionalmente,

estos sistemas requieren de mayor mantenimiento y cuidado, ya que cualquier modificación en las superficies deslizantes puede resultar en un coeficiente de fricción distinto al de diseño.

02.02.4.3.1. AISLADORES FRICCIONALES.

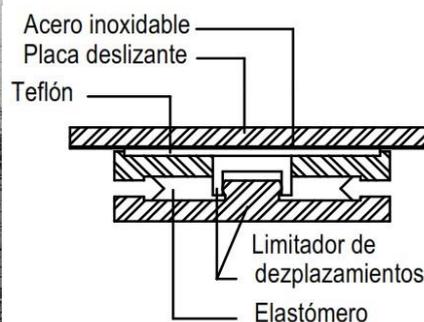
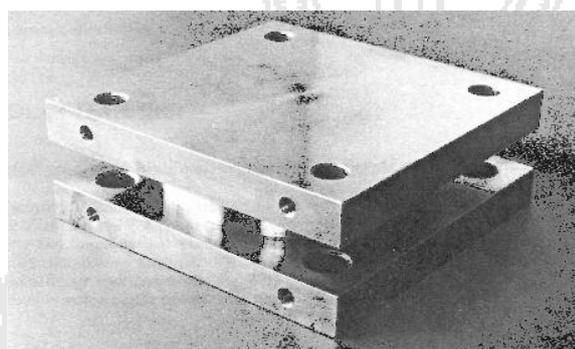


Ilustración 15: Aislador friccional¹⁹.

Los apoyos deslizantes planos, son los aisladores deslizantes más simples, que consisten básicamente en dos superficies, una adherida a la superestructura y la otra a la subestructura, poseen un bajo coeficiente de fricción, permitiendo los movimientos horizontales y resistir las cargas verticales. Generalmente, llevan una capa de material elastomérico que facilita el movimiento del deslizador en caso de sismos. Por lo general, las superficies deslizantes son de acero inoxidable pulido espejo, y de un material polimérico de baja fricción. Este tipo de aislamiento puede requerir de disipadores de energía adicionales.

A fin de prevenir deformaciones residuales luego de un evento sísmico, los aisladores deslizantes planos, generalmente deben ser acompañados por mecanismos o sistemas restitutivos (típicamente aisladores elastoméricos con o

¹⁹ Fuente: (Arriagada Rosas, 2005, pág. 16).

sin núcleo de plomo), que regresen la estructura a su posición original luego de un sismo.

La Figura 15 muestra un esquema de un apoyo deslizante plano. La combinación de estos sistemas con aisladores elastoméricos o con núcleo de plomo permite, en general, ahorros de costos del sistema de aislamiento.

02.02.4.3.2. AISLADOR PÉNDULO FRICCIONAL.



Ilustración 16: Aislador péndulo friccional²⁰.

Dentro de los aisladores deslizantes uno de los representantes más conocidos de esta clase es el sistema de péndulo friccional FPS (Frictional Pendulum System). El aislador FPS consiste de un deslizador articulado sobre una superficie de acero inoxidable de forma esférica como se muestra en la figura 16. Las características de estos apoyos son: la superficie deslizante esférica de acero inoxidable pulido y el deslizador articulado, que está revestido con un material compuesto, de alta capacidad de soporte basado en politetrafluoroetileno (teflón) que tiene un bajo coeficiente de fricción (aproximadamente 5 a 7%). Los apoyos están sellados e instalados con la superficie deslizante boca abajo, para evitar la contaminación de la interfaz de deslizamiento.

²⁰ Fuente: (Arriagada Rosas, 2005, pág. 16).

Este dispositivo, trabaja limitando la transferencia de corte a lo largo de la superficie de aislamiento, y cuanto menor sea el coeficiente de fricción menor será el corte transmitido. Para proveer una adecuada resistencia a las cargas del viento, y evitar movimientos innecesarios bajo pequeños sismos u otras perturbaciones, se necesita un valor adecuadamente alto del coeficiente de fricción. Uno de los problemas que presentan este tipo de dispositivos es que no tienen ninguna fuerza efectiva de recuperación. Estas fuerzas pueden introducirse combinando este tipo de dispositivo con los elastoméricos.

El aislador FPS, proporciona una rigidez relativa al desplazamiento lateral directamente proporcional al peso de la estructura e inversamente proporcional al radio de curvatura. Una de las propiedades de interés de este dispositivo, es su capacidad en proporcionar períodos y desplazamientos largos, manteniendo su capacidad portante de utilidad ante la presencia de terremotos caracterizados por la presencia de pulsos largos (BECERRA E., 1998, pág. 40).

El aislador FPS es activado sólo, cuando la fuerza de corte sobre la interfaz de aislamiento debida a las fuerzas sísmicas, supera la fuerza de fricción estática. Una vez en movimiento, el cursor articulado (deslizador) se mueve a lo largo de la superficie esférica cóncava, causando la elevación de la masa soportada, con movimientos equivalentes a los de un péndulo simple. Los resultados de aislamiento por la base deseados, se alcanzan por la geometría del apoyo y la gravedad. Durante la elevación a lo largo de la superficie esférica, el aislador desarrolla una fuerza resistente lateral, igual a la combinación de la fuerza friccional movilizada y una fuerza de restauración inducida por la gravedad. Verdaderamente, esta última fuerza es la fuerza de restauración del sistema.

En base a lo indicado, en el párrafo anterior se tienen dos fases en un sistema FPS, la primera denominada de agrupamiento en que el deslizador no se mueve y la segunda que corresponde al deslizador en movimiento.

02.02.5. CONSIDERACIONES RESPECTO A LA INSTALACIÓN DE AISLADORES DE BASE.

En general, los dispositivos de asilamiento por la base se instalan en las plantas bajas de los edificios, sobre las fundaciones, o entre el cielo del primer subterráneo y el primer piso de la estructura.

Los aisladores sísmicos, generan una interfaz donde en caso de un sismo, se produce un gran desplazamiento horizontal relativo entre la superestructura y la subestructura. Éste desplazamiento, que suele estar en el rango entre 40 y 60 cm (o más), debe ser considerado en el diseño de cañerías y ductos de servicios y redes distribuidas como agua, gas, electricidad, alcantarillado, red seca, etc., además de sistemas de ascensores, escaleras, accesos al edificio y en general, cualquier instalación, servicio o componente arquitectónico que cruce de la estructura aislada a la no aislada. Un espacio de similares dimensiones debe disponerse alrededor de la estructura, a fin de prevenir el impacto de la estructura aislada con sectores no aislados de la estructura o estructuras adyacentes.

Los aisladores sísmicos, deben ser instalados en puntos de la estructura donde puedan ser inspeccionados, y donde se les pueda dar mantenimiento en caso necesario. Por requerimiento normativo, los aisladores sísmicos deben ser susceptibles de reemplazo. Se debe tomar las precauciones en el diseño arquitectónico para que esto sea factible.

Se recomienda considerar el uso de dispositivos de asilamiento por la base desde las etapas iniciales del proyecto, a fin de mitigar el impacto de su incorporación en la arquitectura del proyecto.

02.02.6. CONSIDERACIONES PARA EVALUAR ECONÓMICAMENTE LA INSTALACIÓN DE AISLADORES SÍSMICOS.

Estos aspectos varían dependiendo del tipo de aislamiento que se instale y las características de cada proyecto.

Costos:

- a) Costo de los dispositivos.
 - Costos del proyecto de aislamiento.
 - Costos de fabricación y ensayo de prototipos y aisladores de obra.
 - Costos de instalación. Costos directos (insertos, anclajes, etc.) y gastos generales por aumento de plazos.
 - Costo de protección al fuego de los dispositivos (en caso que se requiera).
 - Costo del sistema de conectores flexibles en las instalaciones y juntas de dilatación.
 - Costo del diafragma adicional requerido por sobre el nivel de aislamiento y columnas de gran dimensión o envigados por debajo del sistema de aislamiento.
 - Costos de la súper y subestructuras requeridas para alcanzar objetivos de desempeño compatibles con los provistos por el sistema de aislamiento.

- b) Costos de mantención e inspección.
- c) Costo de proveer un espacio físico adicional para la instalación de los aisladores.

02.03. ASPECTOS GENERALES DEL DISEÑO SISMORRESISTENTE.

02.03.1. ANTECEDENTES GENERALES.

Generalmente, toda estructura ofrece una respuesta dinámica ante la acción de cargas dinámicas o deformaciones, de esta forma genera fuerzas inerciales iguales a su masa por la aceleración, (Segunda Ley de Newton). Para cargas o deformaciones aplicadas de una manera lenta, que es el caso de cargas muertas y vivas no dinámicas, las fuerzas inerciales pueden despreciarse, lo que hace posible un análisis estático de la estructura (BONILLA SOSA, 2012, pág. 23).

Sin embargo, cuando una estructura está bajo la acción de cargas dinámicas o deformaciones rápidas, como por ejemplo, las causadas por viento, sismo, y vivas dinámicas o con impacto, las fuerzas inerciales no son despreciables y se hace necesario un análisis dinámico.

Es decir, que una acción tiene carácter dinámico cuando su variación con el tiempo es rápida, es así como se originan fuerzas de inercia comparables en magnitud con las fuerzas estáticas. Algunas fuentes importantes de vibraciones son:

- Sismos
- Vientos
- Olas y corrientes de agua
- Explosiones e impactos

- Cargas móviles (vehículos, personas, etc.)

La respuesta dinámica de una estructura, es cualquier magnitud que pueda caracterizar el efecto de una masa dinámica sobre la estructura, por ejemplo, para un punto arbitrario se calculan: deformaciones, aceleraciones, tensiones, etc.

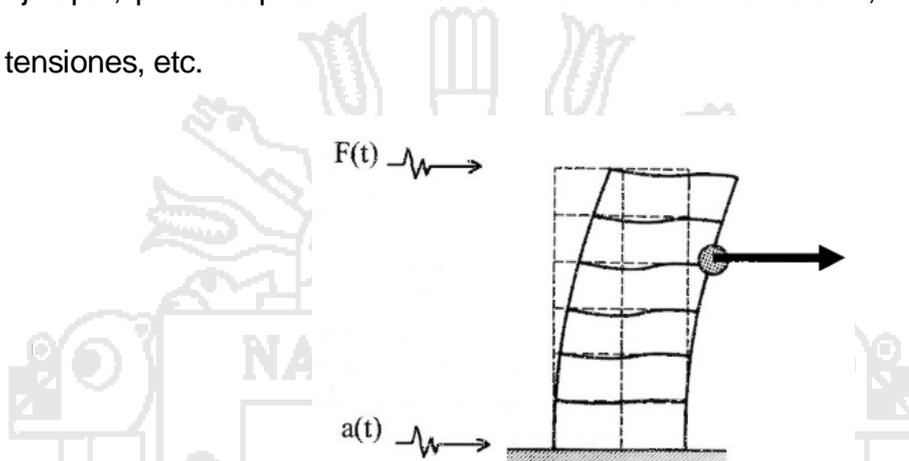


Ilustración 17: Definición gráfica de la respuesta dinámica²¹.

Formulando una idea más general, sabemos que una estructura posee rigidez (k) y masa (m), esta última no se considera como “carga” sino como una propiedad intrínseca de la estructura, entonces la acción dinámica $a(t)$ da origen a fuerzas de inercia comparables con las estáticas, ya que el período propio de la estructura depende de (k) y (m).

Las fuerzas de inercia se definen como: $F=m \cdot a$, donde (m) es la masa del edificio, mientras que (a) es la aceleración de las ondas sísmicas. Entonces podemos decir, que la masa contenida en el edificio va a generar una fuerza sísmica directamente proporcional a ella y a la aceleración, por lo que determinar las masas del edificio es un proceso importante en el análisis sísmico. La masa de la construcción debe incluir todas las cargas de carácter permanente o muerto en la estructura, más aquellos valores probables de las cargas variables,

²¹ Fuente: (GUERRERO MELO, 2011, pág. 27).

móviles o vivas. Por lo general se supone que la masa está concentrada a nivel de piso en cada uno de los entrepisos.

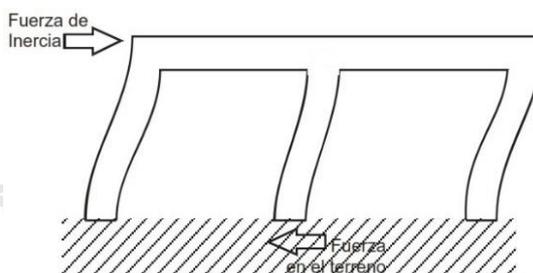


Ilustración 18: Fuerzas de inercia²².

Dicho en otras palabras, la fuerza de inercia se genera debido al movimiento sísmico que se trasmite del suelo a la edificación, ya que la base del edificio tiende a seguir el movimiento del suelo mientras que la masa del edificio por inercia se opone a ser desplazada y seguir el movimiento de su base, como se observa en la figura 18.

El fenómeno sísmico es un movimiento oscilatorio, con oscilaciones que pueden ser: verticales y horizontales, éste último produce:

- Esfuerzos globales sobre el edificio
- Efectos individuales en los elementos estructurales.

Los edificios son deformables en menor o mayor medida, de acuerdo a las sollicitaciones que los afectan, y las características de rigidez de las estructuras que los constituyen. En el caso de los sismos, éstas sollicitaciones están determinadas por las oscilaciones que ellos provocan en el terreno sobre el cual se encuentra fundado el edificio, teniendo en cuenta las condiciones elásticas

²² Fuente: (GUERRERO MELO, 2011, pág. 30).

del mismo incluyendo particularmente las de esa fundación, de acuerdo a lo anterior cabe distinguir entre:

- Efecto de las oscilaciones Verticales
- Efecto de las oscilaciones Horizontales

02.03.1.1.1. EFECTO DE LAS OSCILACIONES VERTICALES.

En este caso el sismo podrá alternativamente levantar el edificio y luego hacerlo descender, debido al principio de acción y reacción.

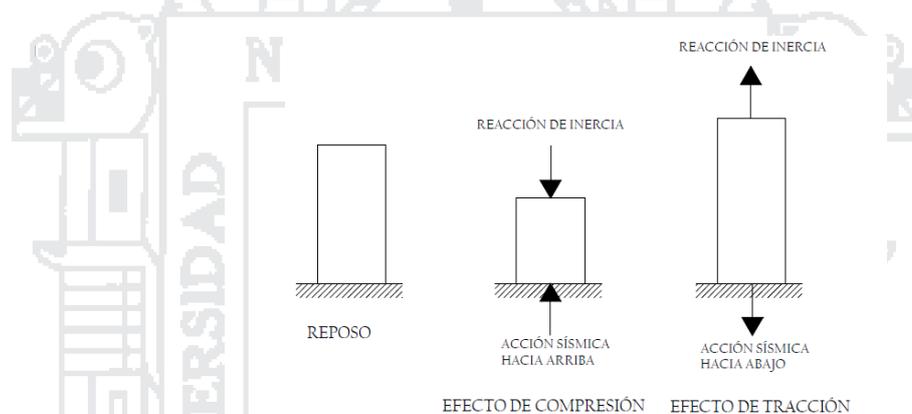


Ilustración 19: Efecto de oscilación vertical²³.

En el primer ejemplo, producirá un efecto de compresión vertical y en el segundo de tracción. El edificio generalmente es pesado y se calcula para soportar importantes cargas verticales, por lo tanto las sollicitaciones de los sismos, son resistidas sin dificultad debido a los coeficientes de seguridad adoptados para las cargas estáticas verticales.

02.03.1.1.2. EFECTO DE LAS OSCILACIONES HORIZONTALES.

Un sismo que produzca movimientos horizontales en el suelo, puede provocar reacciones de inercia en las diferentes partes de la estructura y en su

²³ Fuente: (RUIZ, 1974, pág. 240).

conjunto, esfuerzos que no alcancen a ser absorbidos y sobrepasen los coeficientes de seguridad que se consideraron al suponer la existencia de cargas verticales solamente.

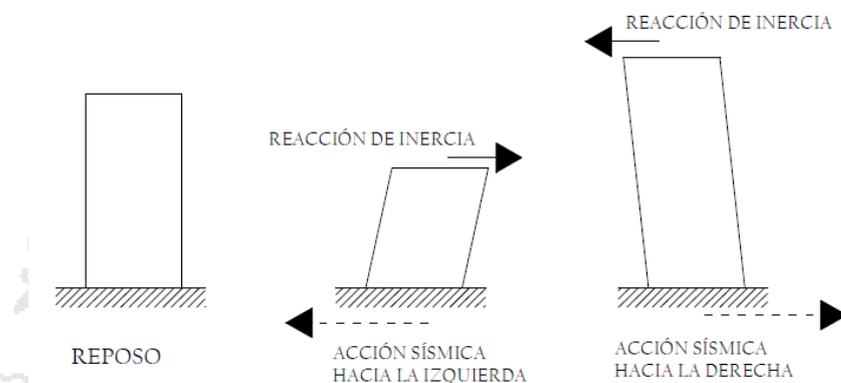


Ilustración 20: Efecto de oscilación horizontal²⁴.

Puesto que los edificios resisten relativamente bien la variación de cargas verticales según se dijo anteriormente, el máximo peligro lo presentan las fuerzas horizontales producidas por el sismo. Por este motivo y a los fines de cálculo, se ha asimilado a la fuerza sísmica como un empuje horizontal que en un sentido y en otro actúa sobre la estructura alternativamente.

02.03.1.1.3. ACCIÓN SÍSMICA.

La acción sísmica global, para fines prácticos se reduce a un empuje horizontal aplicado en el centro de gravedad del edificio, por donde se asume la resultante de los esfuerzos horizontales parciales originados en las masas de los distintos elementos de la construcción.

Este empuje tiende a producir 2 efectos:

²⁴ Fuente: (RUIZ, 1974, pág. 268).

- a) Tendencia a deslizarse la parte superior del edificio, separándose de la base fija al terreno (corte). En general los edificios entran en colapso por este esfuerzo.
- b) Tendencia del conjunto de la estructura a volcarse. Este efecto aumenta cuanto más alto se encuentra el centro de gravedad, al estar más arriba aumentará el peligro de volcamiento.



Ilustración 21: (a) Acción sísmica CORTE (b) Acción sísmica VOLCAMIENTO²⁵.

02.03.1.1.4. CONSIDERACIONES GENERALES DE LOS EFECTOS SÍSMICOS EN LAS ESTRUCTURAS.

02.03.1.1.4.1. FUERZA DE INERCIA.

Como vimos al iniciar este capítulo, la fuerza de inercia es la generada por el movimiento sísmico que se transmite desde la cimentación a la superestructura.

02.03.1.1.4.2. PERÍODO.

En un sistema elástico de un grado de libertad la respuesta sísmica depende de su período de vibración, por lo que la respuesta máxima de una

²⁵ Fuente: Elaboración propia.

estructura ante un sismo varía principalmente por el período de vibración que está en función de la masa y la rigidez del sistema (R).

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{R}}$$

Ecuación 2: Período de la estructura.

Si queremos variar el período debemos modificar la masa o la rigidez del edificio; sin embargo, en la práctica es más recomendable variar la rigidez lateral, principalmente dependiendo del sistema estructural que se elija, por ejemplo, un sistema estructural a base de pórticos puede ser relativamente flexible, pero cuando tiene muros estructurales es muy rígido.

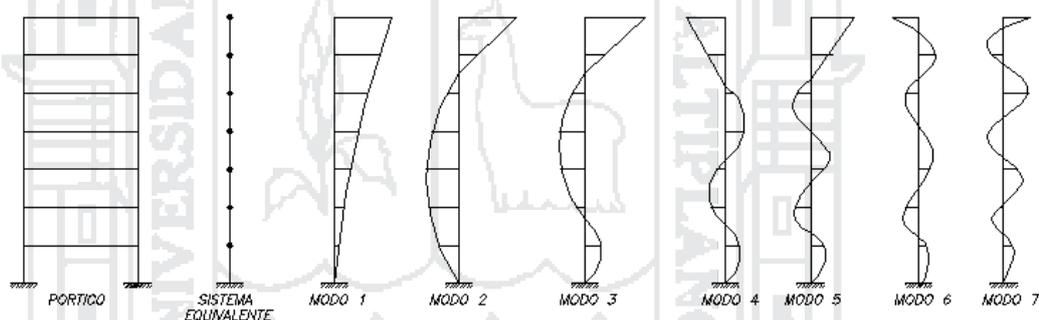


Ilustración 22: Modos de vibración²⁶.

Además, los períodos de vibración de un edificio aumentan con el número de pisos, por lo que se acostumbra a numerar a las T en orden decreciente, es decir el primer período 1 T se denomina período fundamental y tiene mayor valor, mientras que la última n T es el de menor valor. En cada período se obtiene una deformada llamada modo de vibración.

La relación entre el período fundamental del edificio ET y el período dominante del suelo ST influye en la respuesta de una estructura real. La resonancia ocurre

²⁶ Fuente: (ROMO, AGUILAR, & BRAVO, 2005, pág. 35).

cuando esta relación está cerca de la unidad, ya que la amplitud de la respuesta es mayor. Por ello, es conveniente evitar esta situación en los edificios, alejando el valor T_E del T_S , es recomendable procurar que la relación cumpla con el siguiente rango:

$$0.70 \leq \frac{T_E}{T_S} \leq 1.20$$

Ecuación 3: Relación de periodos.

Por lo general cuando el movimiento del terreno es lento con periodos dominantes largos, son las estructuras altas y flexibles donde se amplifican las vibraciones y generan aceleraciones más elevadas y por ende fuerzas sísmicas mayores. Por el contrario, movimiento de periodo corto afecta más a las estructuras bajas y rígidas.

02.03.1.1.4.3. AMORTIGUAMIENTO.

En las estructuras, el amortiguamiento es generado por las fricciones internas de los elementos, apoyos, elementos no estructurales, etc., todos estos disipan la energía sísmica, al ser el amortiguamiento una característica estructural influye en la respuesta sísmica, porque decrece el movimiento oscilatorio, se expresa normalmente como una fracción del amortiguamiento crítico (ε), donde el movimiento resultante en vez de ser oscilatorio decrece exponencialmente con el tiempo hasta hacerse cero.

02.03.1.1.4.4. DUCTILIDAD.

Es la capacidad de un sistema estructural de sufrir deformaciones considerables bajo una carga variable, sin padecer daños excesivos. La

ductilidad (μ), se define como el cociente entre el máximo desplazamiento (δ_p) y el desplazamiento de cedencia (δ_y).

$$\mu = \frac{\delta_p}{\delta_y}$$

Ecuación 4: Ecuación de ductilidad.

02.03.1.1.4.5. RESISTENCIA Y RIGIDEZ.

La resistencia y la rigidez, son los dos aspectos más importantes del diseño sísmico. El diseño por resistencia, busca que las dimensiones de los elementos garanticen la integridad de la estructura sometida a todas las combinaciones de carga posibles y la rigidez relaciona la deformación de la estructura con las cargas aplicadas, este parámetro asegura que la estructura cumpla con las funciones impuestas.

La rigidez lateral, se refiere a la deflexión horizontal de piso a piso y previene así, que la estructura se salga del alineamiento vertical más allá de una cantidad dada. El desplazamiento, se debe limitar a causa de su efecto sobre los muros divisorios, fachadas y la comodidad de los ocupantes. También, la deflexión horizontal excesiva puede hacer que las cargas se apliquen excéntricamente sobre las columnas, lo que genera un momento flector, el cual aumenta el desplazamiento lateral que a su vez incrementa el momento flector, continuando hasta llegar al colapso, este efecto se denomina P- Δ .

Como medida de control para la rigidez necesaria de una estructura, se utiliza el desplazamiento relativo de entrepiso que representa una medida de la respuesta de un sistema estructural sujeto a cargas laterales. Resulta conveniente el uso de un índice adimensional de este desplazamiento, al dividir el desplazamiento relativo del entrepiso entre la altura del mismo se obtiene en

el índice γ . Este índice γ se denomina distorsión de entrepiso o deriva, y es el más empleado para cuantificar la respuesta de edificios, a fin de comparar el comportamiento de diferentes sistemas y para estimar el grado de daño que puede presentarse, tanto en la estructura misma como en los elementos no estructurales.

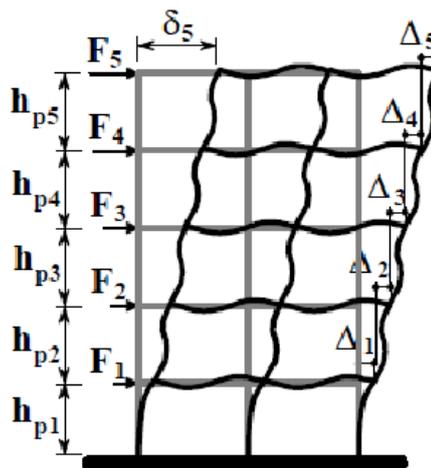


Ilustración 23: Deflexión lateral de la estructura y definición de la distorsión de piso²⁷.

02.03.1.1.4.6. DISTRIBUCIÓN DE LAS FUERZAS DE INERCIA.

Las fuerzas de inercia que se generan sobre una estructura son función de la masa, rigidez y amortiguamiento; pero conocer el punto de aplicación de la fuerza es primordial, ya que éstas se pueden amplificar.

Para cuantificar la amplificación de la fuerza, se hace una simplificación de la distribución de las fuerzas, determinando la ubicación de las resultantes en cada piso a nivel de losa. Los puntos geométricos que permiten ponderar la amplificación de las fuerzas de inercia se indican a continuación.

²⁷ Fuente: (GUERRERO MELO, 2011, pág. 55).

02.03.1.1.4.7. CENTRO DE MASAS.

La resultante de la fuerza de inercia en cada entrepiso se ubica en el centro de masas (CM), que es el lugar geométrico o punto en el entrepiso donde todo el movimiento puede representarse solamente por el movimiento del centro de masas.

02.03.1.1.4.8. CENTRO DE CORTANTE.

En un edificio sometido a una carga sísmica, la base del edificio es la que está sometida a la mayor fuerza, pues sostiene la suma de todas las fuerzas de inercia o fuerzas sísmicas (F) que se generan en cada entrepiso; esta suma de las fuerzas sísmicas por encima de cada nivel analizado se denomina fuerza cortante (V) y el lugar geométrico donde actúa esta fuerza en un nivel es el centro de cortante (CC).

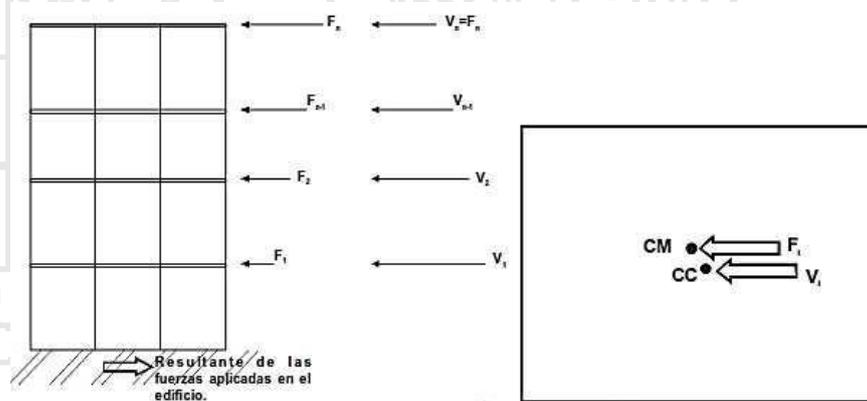


Ilustración 24: Esquema de la ubicación de la fuerza sísmica y fuerza cortante²⁸.

02.03.1.1.4.9. CENTRO DE RIGIDEZ.

El centro de rigidez (CR), representa el centro geométrico de los elementos estructurales de un nivel y es el punto del entrepiso que al aplicar una fuerza

²⁸ Fuente: (GUERRERO MELO, 2011, pág. 57).

cortante, el nivel se traslada sin rotar respecto al nivel inferior, esta situación es hipotética, ya que la fuerza cortante se aplica en el centro de cortante.

02.03.1.1.4.10. MOMENTO TORSOR.

El momento torsor, es originado por la situación dada al aplicar la fuerza cortante en el centro de cortante, y el edificio moverse alrededor del centro de rigidez, lo que hace que el edificio además de trasladarse, gire alrededor del mencionado punto. Ésta condición no es ideal para los elementos verticales (columnas y muros de corte), por ser los elementos que mantienen unidos los distintos entrepisos y deben soportar fuerzas muy grandes. Así mismo este momento torsor, se puede descomponer en pares de fuerzas que se suman a las fuerzas de inercia, incrementándolas de esta manera.

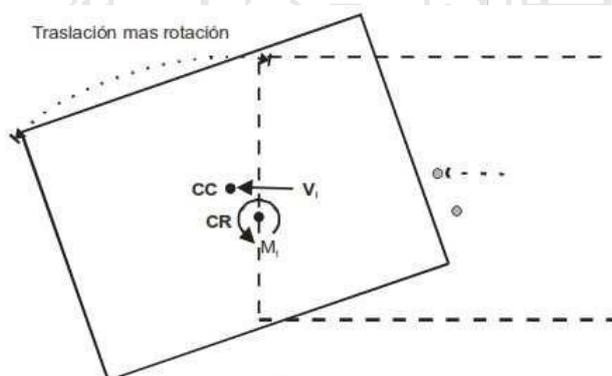


Ilustración 25: Momento Torsor²⁹.

El momento torsor se puede obtener de dos formas: la más sencilla es, como el producto de la fuerza cortante del nivel multiplicada por su distancia con respecto al centro de rigidez de ese nivel, y la segunda es considerando el grado de libertad dinámico de rotación por nivel en un análisis de este tipo. El cociente entre el momento torsor proveniente de una análisis dinámico con tres grados

²⁹ Fuente: (GUERRERO MELO, 2011, pág. 63).

de libertad por nivel, calculado con respecto al centro de rigidez y la fuerza cortante de ese nivel se denomina excentricidad dinámica (BONILLA SOSA, 2012, pág. 78).

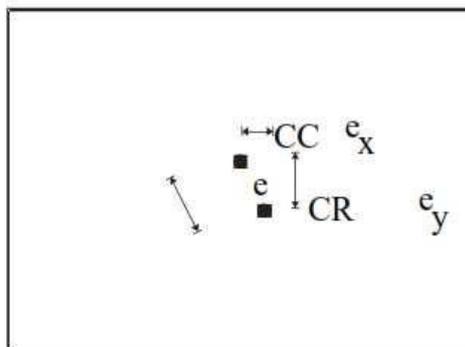


Ilustración 26: Excentricidad³⁰.

Al existir excentricidad, indica que se va a originar fuerzas adicionales a las de inercia, que dependerán de la ubicación en planta de las masas y los elementos resistentes, aspectos relativos a la configuración arquitectónica principalmente, de ahí la influencia de la configuración en el análisis sismorresistente. Por otra parte, la verticalidad de la línea que une los centros de masa, corte y rigidez de cada entrepiso, es fundamental en la manera de responder el edificio ante una fuerza sísmica, a pesar de no influir en la dimensión de la excentricidad.

02.03.2. EL SISMO COMO ACCIÓN DE DISEÑO.

El fenómeno sísmico es un problema netamente dinámico, la Reglamenteo Nacional de Edificaciones (RNE) en su capítulo E.030 permite la aplicación de método de diseño, para construcciones de baja y mediana altura y de configuración aproximadamente regular. En este método, el efecto vibratorio del

³⁰ Fuente: (GUERRERO MELO, 2011, pág. 65).

sismo se reemplaza por fuerzas laterales que en general, siguen una distribución creciente con la altura. El corte basal sísmico, se determina a partir de un coeficiente sísmico que es igual a la aceleración horizontal dividida para la aceleración de la gravedad y multiplicado por el peso total de la construcción, incluyendo las sobrecargas de uso.

Actualmente el desarrollo y difusión de computadoras personales y de los programas de análisis estructural, han permitido una generalizada aplicación de métodos dinámicos para considerar la acción sísmica. En estos métodos, y dependiendo del tipo de análisis a realizar, el sismo se cuantifica a través de un espectro de aceleraciones o mediante una serie de registros de aceleración (acelerogramas). Estos últimos representan la variación de la aceleración del terreno en función del tiempo. Los registros de aceleración se obtienen de mediciones de sismos reales, o bien se generan artificialmente mediante programas computacionales para cumplir ciertos requisitos (BOZZO & AGUIAR, 1996, pág. 38).

Independientemente del método aplicado, se consideran cuatro aspectos fundamentales para cuantificar la acción sísmica:

- a) Sismicidad propia del lugar
- b) Características del suelo de fundación
- c) Destino o importancia de la construcción
- d) Características principales de la respuesta estructural, vinculadas principalmente a su ductilidad y sobre resistencia.

Los dos primeros aspectos se definen a través de un espectro de diseño, normalmente en términos de aceleraciones horizontales. La importancia de la

construcción se cuantifica a través de un factor que mayor la demanda sísmica para obras de infraestructura pública, edificios con alta ocupación, etc. El comportamiento estructural, se representa mediante un factor de modificación de respuesta, R , el cual se ha calibrado a partir de resultados experimentales y analíticos obtenidos para distintos tipos de estructuras.

Es importante mencionar que usualmente la acción sísmica de diseño, se define a partir de aceleraciones (o del coeficiente sísmico para el método estático), razón por la cual los métodos que utilizan este criterio se denominan “métodos de diseño basados en fuerza”.

Este criterio se utiliza tradicionalmente desde los comienzos de la ingeniería sísmica. Sin embargo, en las últimas décadas, ha comenzado a desarrollarse una nueva definición de la acción sísmica, considerando los desplazamientos laterales como variable principal de diseño. Es así que han surgido distintos “métodos de diseño basado en desplazamiento”, los cuales han madurado en su formulación e implementación, de modo que es muy probable que en un futuro se incorporen a los códigos de diseño.

Un concepto de gran importancia para definir y cuantificar la acción sísmica es el espectro de respuesta y de diseño.

02.03.3. ESPECTRO DE RESPUESTA.

Los espectros de aceleración juegan un papel muy importante en el diseño sismorresistente, ya que a través de ellos, se define la amenaza sísmica de una zona para efectos del diseño sismorresistente. En forma general, espectro es la representación gráfica de la respuesta máxima (expresada en términos de desplazamiento, velocidad, aceleración, o cualquier otro parámetro) que

produce una acción dinámica determinada en una estructura u oscilador de un grado de libertad. En estos gráficos, se representa en las abscisas el periodo propio de la estructura (o la frecuencia) y en las ordenadas la respuesta máxima calculada para distintos factores de amortiguamiento ξ .

Para explicar en forma conceptual el procedimiento de construcción de un espectro de respuesta, consideremos una serie de estructuras de un grado de libertad u osciladores simples con diferentes periodos de vibración T , y con igual factor de amortiguamiento, si sometemos todos estos osciladores a la acción de un mismo terremoto (registro de aceleraciones).

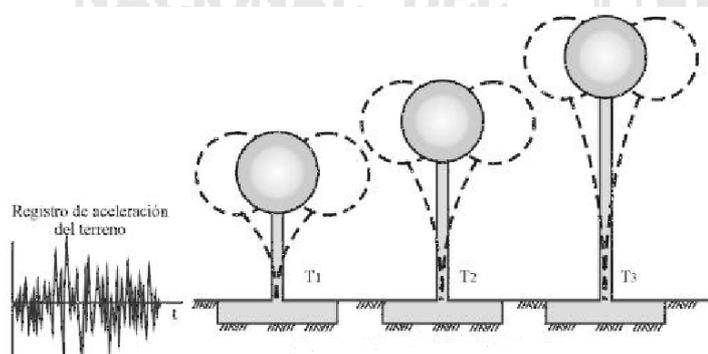


Ilustración 27: Osciladores simples³¹.

Cada uno de estos osciladores exhibirá una respuesta diferente, la cual puede representarse, por ejemplo, a través de la historia de desplazamientos.

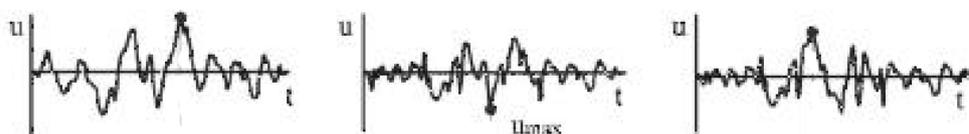


Ilustración 28: Respuesta temporal de cada oscilador³².

³¹ Fuente: (ANDRÉS OVIEDO & DUQUE, 2006, pág. 107).

³² Fuente: (ANDRÉS OVIEDO & DUQUE, 2006, pág. 117).

Con la respuesta de los osciladores se determinar el máximo (valor absoluto) de cada uno de ellos. Finalmente se realiza un gráfico en función del periodo de vibración, para obtener así un espectro de respuesta.



Ilustración 29: Espectro de respuesta³³.

Podemos observar en la Fig. 29 que la respuesta máxima de cada oscilador con periodo T representa un punto del espectro de respuesta.

Por lo expuesto, el espectro de respuesta elástica representa el máximo de un parámetro de respuesta (aceleración, desplazamiento, etc.) para osciladores simples de un grado de libertad con un periodo de vibración T y un amortiguamiento relativo ξ para un terremoto dado.

02.03.3.1.1. TIPOS DE ESPECTROS.

Como mencionamos anteriormente, el concepto de espectro ha ganado una amplia aceptación como herramienta de la dinámica estructural. Es por ello que se han desarrollado varios tipos de espectros, los cuales presentan características diferentes y se utilizan con distintos objetivos.

³³ Fuente: (QUIROZ LOZANO, 2010, pág. 13).

Espectros de respuesta elástica: representan parámetros de respuesta máxima para un terremoto determinado y usualmente incluyen varias curvas que consideran distintos factores de amortiguamiento. Se utilizan fundamentalmente para estudiar las características del terremoto y su efecto sobre las estructuras. Las curvas de los espectros de respuesta presentan variaciones bruscas, con numerosos picos y valles, que resultan de la complejidad del registro de aceleraciones del terremoto.

En la práctica se construye un espectro completo calculando el espectro de respuesta para distintos periodos T ; normalmente se considera un rango de periodos de vibración que varía entre 0 y 3.0 o 5.0 segundos, que comprende la mayoría de las construcciones comunes. Las curvas se construyen para valores constantes del factor de amortiguamiento, por ejemplo, 0, 2 y 5%.

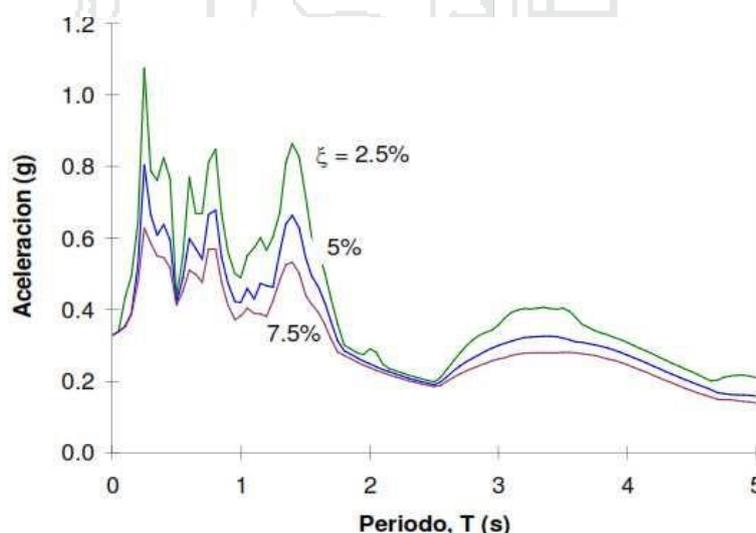


Ilustración 30: Espectro elástico de respuesta, en términos de aceleración³⁴.

Espectros de respuesta inelástica: son similares a los anteriores, pero en este caso se supone que el oscilador de un grado de libertad presenta comportamiento no-lineal, es decir que la estructura puede experimentar

³⁴ Fuente: (ROCHEL, 2006, pág. 105).

deformaciones en rango plástico por acción del terremoto. Este tipo de espectros son muy importantes en el diseño sismorresistente, dado que por razones prácticas y económicas la mayoría de las construcciones se diseñan bajo la hipótesis que incursionarán en campo plástico (RUIZ, 1974, pág. 78).

Este tipo de espectros, pueden determinarse en base a dos enfoques que se han desarrollado conforme han avanzado las herramientas de cálculo. El primer enfoque, conocido como enfoque indirecto consisten en calcular los espectros de comportamiento inelástico a partir de los espectros de proyecto elásticos, mediante la reducción de ordenadas basadas en factores de reducción de respuesta o factores de reducción de resistencia.

El método directo se basa en modelos histeréticos o de reproducción de la relación fuerza-deformación, bajo cargas cíclicas en las estructuras. Por ejemplo, podemos mencionar los espectros de ductilidad (relación entre el desplazamiento máximo que experimenta la estructura y el desplazamiento de fluencia). Estos espectros representan la ductilidad requerida por un terremoto, en función del periodo de vibración de la estructura y se grafican usualmente para distintos niveles de resistencia. También, se construyen espectros de aceleración, desplazamiento de fluencia o desplazamiento último de sistemas inelásticos, en donde se consideran distintos niveles de ductilidad o distintos tipos de comportamiento histerético de la estructura.

Uno de los modelos más populares ha sido el modelo bilineal de Takeda (1970) utilizado para reproducir el comportamiento de elementos o pórticos de hormigón armado. En la figura 31 se muestra el diagrama fuerza-deformación de este modelo, se observa que la variación de la rigidez tanto en el proceso de carga como en descarga depende de la deformación plástica alcanzada en el

ciclo previo, pero sin admitir la disminución de la resistencia, ya que la fuerza de cedencia se mantiene constante, lo cual se ajusta a la respuesta cíclica de pórticos de hormigón armado. A partir de este modelo, se han desarrollado otros modelos poligonales que permiten la incorporación de otros efectos de degradación, como la pérdida de la rigidez, la plastificación o formación de rótulas plásticas en diferentes puntos de la estructura y la pérdida de la capacidad de disipación que gráficamente corresponde al 'estrangulamiento' de los lazos de histéresis. Otros modelos frecuentemente utilizados en la obtención de la respuesta inelástica de las estructuras, son los modelos suavizados que se diferencian de los anteriores en que las ramas elásticas y plásticas tanto en fase de carga como en descarga, en lugar de ser poligonales se ajustan mediante trazos curvos de distinto tipo.

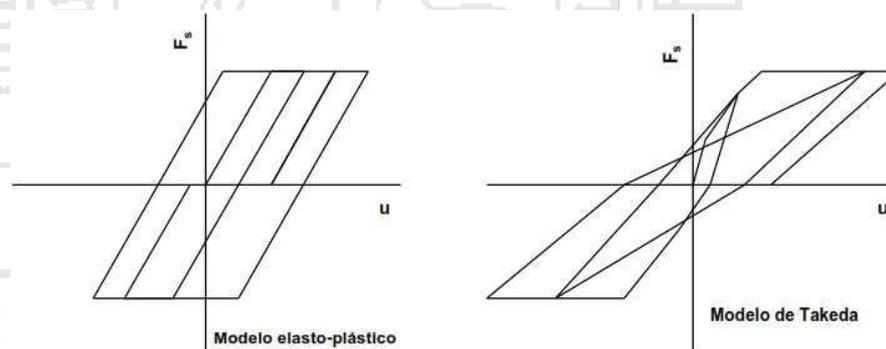


Ilustración 31: Modelos de histéresis³⁵.

Espectros de diseño: las construcciones no pueden diseñarse para resistir un terremoto en particular en una zona dada, puesto que el próximo terremoto probablemente presentará características diferentes.

³⁵ Fuente: (QUIROZ LOZANO, 2010, pág. 35).

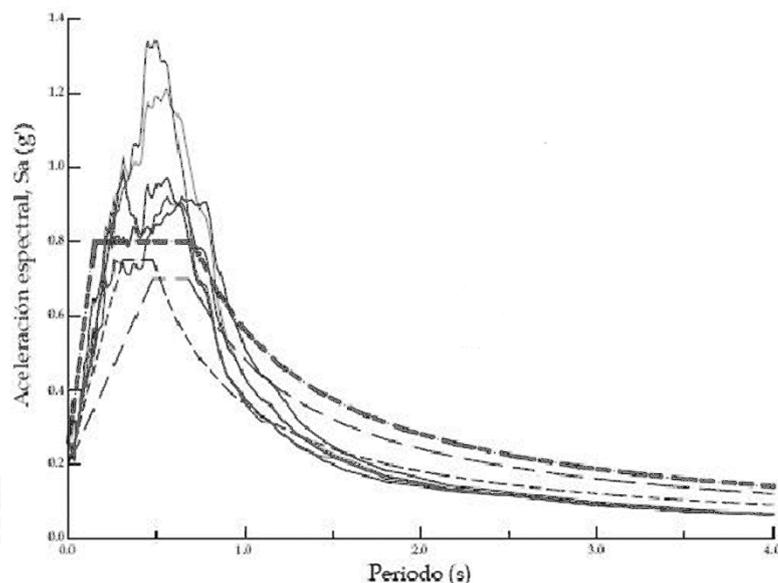


FIGURA 1

Ilustración 32: Espectros de Diseño³⁶.

Por lo tanto, los espectros de respuesta elástica o inelástica, descritos previamente, no pueden utilizarse para el diseño sismorresistente. Por esta razón, el diseño o verificación de las construcciones sismorresistentes, se realiza a partir de espectros que son suavizados (no tienen variaciones bruscas) y que consideran el efecto de varios terremotos, es decir que representan una envolvente de los espectros de respuesta de los terremotos típicos de una zona. Los espectros de diseño se obtienen generalmente mediante procedimientos estadísticos.

Es muy importante que distingamos entre espectros de respuesta, que se obtienen para un terremoto dado, y espectros de diseño, los cuales se aplican al cálculo y verificación de estructuras que representan la sismicidad probable del lugar (RUIZ, 1974, pág. 37).

³⁶ Fuente: (BONILLA SOSA, 2012, pág. 56).

02.04. MARCO NORMATIVO.

Para el análisis del edificio 15 niveles con aislación de la base, se tomara como referencia el Reglamento Nacional de Edificaciones, y normas internacionales como la NCh - 2745 Of 2003, ASCE/SEI 7-10, UBC 1997³⁷, y demás necesarias puesto que nuestra norma aun no contempla esta disposición, se realiza una primera mención en el Anexo 03 “Sistemas de Protección Sísmica, específica para el caso de Establecimientos de Salud” a la Norma Técnica de Edificación E.030 “Diseño Sismo resistente”, del Reglamento Nacional de Edificaciones – RNE, iniciándose así con la incorporación de estos nuevos sistemas de diseño estructural en edificaciones con la única finalidad de lograr una mejor respuesta estructural de las edificaciones frente a las sollicitaciones sísmicas finales.

02.05. MARCO CONCEPTUAL.

02.05.1. AISLAMIENTO SÍSMICO

El aislamiento sísmico es una técnica de control que puede ser pasivo o combinado con sistemas de amortiguamiento u otras técnicas de control esto se conoce como aislamiento inteligente y no será abarcado en esta tesis. Hoy por hoy la tecnología de aislamiento, es ampliamente usada en estructuras civiles, sus resultados, por demás satisfactorios, han logrado ser comprobados tanto en eventos reales como experimentales. Básicamente, el aislamiento sísmico es una técnica que consiste en desacoplar una estructura del suelo, colocando un mecanismo entre la cimentación de la estructura y el suelo. Este dispositivo es

³⁷ Norma técnica: Norma Chilena NCh-2745 2003, Asce=Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, Norma técnica=UBC 1997, Capítulo 16.

muy flexible en la dirección horizontal; pero, sumamente rígido en la dirección vertical.

Al ser la estructura muy flexible en la dirección horizontal, los edificios experimentan grandes desplazamientos en su base; sin embargo, los desplazamientos en la superestructura se mantienen en el rango elástico con deformaciones mínimas, es decir, la respuesta que caracteriza a estos edificios, altas deformaciones y periodos cortos, se ve modificada.

De esta manera, los edificios aislados sísmicamente logran tener un comportamiento, por mucho, superior al de los edificios que no cuentan con dispositivos aisladores de base, es decir, luego de un sismo los edificios pueden ser habilitados inmediatamente, ya que equipos de gran sensibilidad no sufrirán mayores daños. Esto resulta fundamental, por ejemplo, en el caso de hospitales, centros de comunicación, o industrias donde a veces el equipo al interior del edificio supera con creces el precio de la estructura.

02.05.2. AISLADORES SÍSMICOS DE BASE.

Los aisladores sísmicos de base se basan en el concepto de la reducción de la demanda sísmica. Estos sistemas tienen como finalidad aislar la cimentación de la superestructura. Al colocarlos en una estructura se alarga considerablemente el periodo fundamental de vibración de esta, llevándolo a zonas en donde las aceleraciones espectrales son reducidas y, consecuentemente, las fuerzas que producen disminuyen en menor cuantía.

02.05.3. AMORTIGUAMIENTO.

El amortiguamiento es generalmente asociado con la reducción en la respuesta dinámica (vibración) debida a la disipación de energía en los componentes estructurales y no estructurales del edificio y de la cimentación. Mientras en el concepto sencillo, la cuantificación y representación del amortiguamiento es complicada por relaciones entre su representación matemática y su origen físico subyacente. Por ejemplo, la medición del amortiguamiento es una característica del movimiento vibratorio registrado, mientras que las contribuciones subyacentes al amortiguamiento son muchas, y pueden ser modeladas matemáticamente en una variedad de caminos, incluyendo el amortiguamiento por fricción, el amortiguamiento histerético, o el amortiguamiento viscoso. En el contexto del análisis estructural no lineal, se ha sugerido que una terminología más apropiada para el amortiguamiento es “disipación de energía no modelada”, basadas en las interpretaciones comunes de “amortiguamiento” como una parte de la disipación de energía que no es capturada en la respuesta histerética de los componentes que han sido incluidos en el modelo.

En gran parte por conveniencia matemática, el amortiguamiento es a menudo modelado como amortiguamiento viscoso equivalente, generalmente como un porcentaje del amortiguamiento crítico en uno o más modos de vibración. La matriz de amortiguamiento puede ser definida en una variedad de formas, pero las rutinas aplicadas son generalmente definidas ya sea como una combinación lineal de masas y matrices de rigidez, o como amortiguamiento modal. Así, la principal justificación para seleccionar, cualquiera de estas

definiciones es conveniencia práctica en definir el amortiguamiento como un porcentaje del amortiguamiento crítico.

02.05.4. MODELO DINÁMICO PARA EDIFICIOS CON AISLADORES SÍSMICOS.

El propósito de esta sección es dar a conocer el modelo matemático que se utilizará para estudiar el comportamiento dinámico de edificios con aisladores sísmicos, el cual se basa en la extensión de la teoría lineal para edificios de base aislada. Se presentarán las ecuaciones dinámicas para los dos modelos que se utilizan; edificio con aisladores de comportamiento lineal y edificio con aisladores de comportamiento no lineal. Los modelos en estudio consideran un análisis plano del edificio.

02.05.4.1. ECUACIONES DE MOVIMIENTO PARA DEFINIR EL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA.

Se considera en esta sección el estudio de la respuesta sísmica de un edificio de cortante de varios pisos aislado en la base, con un grado de libertad por planta, y que se encuentra solicitado por un registro de aceleración como se indica en la figura 33. Se analiza la respuesta numérica de un edificio con sistema de aislamiento en su base, considerando que la estructura tiene un comportamiento elástico lineal y que el aislador puede ser simulado usando un modelo lineal y uno no lineal.

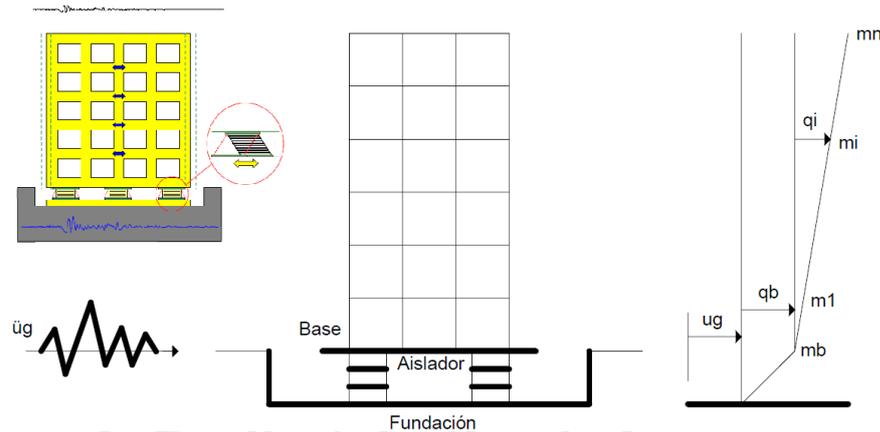


Ilustración 33: Diagrama edificio aislado en la base y del modelo dinámico de la estructura³⁸.

Para el modelo indicado se tiene:

u_g : Excitación ó movimiento de terreno.

q_b : Desplazamiento relativo entre la fundación y la base del edificio.

q : Vector de desplazamiento de piso relativo a la base del edificio.

m_b : Masa de la base del edificio

La ecuación de movimiento del edificio con respecto a la base es:

$$M\ddot{q} + C\dot{q} + Kq = -Mr(\ddot{u}_g + \ddot{q}_b)$$

Ecuación 5: Ecuación de movimiento del edificio.

En el que:

M: Matriz de masa.

C: Matriz de amortiguamiento.

K: Matriz de rigidez.

r: Vector que acopla cada grado de libertad al movimiento del suelo. Para

edificios de cortante, $r = \{1\}_{nx1}$

³⁸ Fuente: (SAAVEDRA QUEZADA, 2005, pág. 14).

Pre multiplicando la ecuación 5 por $r^t = (111\dots 1)$, se puede encontrar que la fuerza de disipación y elástica ejercida por el edificio sobre la base es:

$$r^t C \dot{q} + r^t K q = -(r^t M r (\ddot{u}_g + \ddot{q}_b) + r^t M \ddot{q})$$

Ecuación 6: Pre multiplicado de ecuación 5.

luego la ecuación del movimiento para la base del edificio es:

$$m_b (\ddot{u}_g + \ddot{q}_b) + r^t M (\ddot{q} + r \ddot{u}_g + r \ddot{q}_b) + f = 0$$

Ecuación 7: Ecuación de movimiento del edificio con aislamiento.

en que f es la fuerza ejercida por el aislador a la base del edificio de masa. La expresión que define esta fuerza depende del tipo de aislador usado (HDR, LRB y FPS).

Si se supone que la no linealidad se concentra sólo a nivel del aislador, la solución general de la ecuación 5 usando superposición modal es:

$$q = \sum_{i=1}^j \phi_i y_i$$

Ecuación 8: Solución de ecuación 5 usando superposición modal.

En que: ϕ_i : Modo de vibración.

y_i : Amplitud modal.

j : Número de modos considerados en el análisis.

luego la ecuación modal es:

$$\ddot{y}_i + 2\omega_i \beta_i \dot{y}_i + \omega_i^2 y_i = -L_i (\ddot{u}_g + \ddot{q}_b)$$

Ecuación 9: Ecuación modal de aislamiento.

en que ω_i : es la frecuencia natural y está dada por:

$$M \phi_i \omega_i^2 = K \phi_i$$

Ecuación 10: Frecuencia natural.

β_i : Coeficiente de amortiguamiento.

L_i : Factor de participación modal y está dado por:

$$L_i = \frac{\phi_i^t M r}{\phi_i^t M \phi_i} \quad M_i = \phi_i^t M \phi_i$$

Donde: M_i : Masa Modal efectiva.

Finalmente, la ecuación del movimiento para la base del edificio se obtiene al reemplazar 8 en 7, esto es:

$$m_b(\ddot{u}_g + \ddot{q}_b) + r^t M \left(\sum \phi_i \dot{y}_i + r \ddot{u}_g + r \ddot{q}_b \right) + f = 0$$

Ecuación 11: Ecuación del movimiento de la base con aislación.

02.05.4.2. ECUACIÓN DE MOVIMIENTO DEL AISLADOR COMO SISTEMA LINEAL.

En el análisis lineal una de las más importantes es que este sistema permite obtener una solución numérica aproximada y simple para los aisladores que se utilicen en la base del edificio.

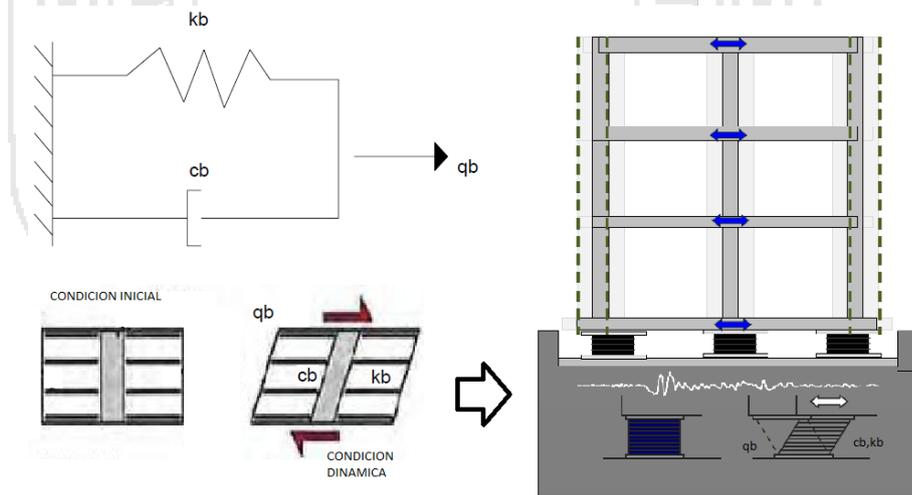


Ilustración 34: Modelo dinámico lineal de los aisladores de la base del edificio³⁹.

³⁹ Fuente: (SAAVEDRA QUEZADA, 2005, pág. 16).

En este modelo la expresión de la fuerza debido al amortiguamiento y rigidez del de la base aislada es:

$$f = c_b \dot{q}_b + k_b q_b$$

Ecuación 12: Fuerza de amortiguamiento y rigidez de la base aislada.

Donde: c_b : Amortiguamiento equivalente de la base aislada.

k_b : Rigidez equivalente de la base aislada.

q_b : Desplazamiento relativo entre la fundación y la base del edificio.

Luego la ecuación del movimiento para la base del edificio debido a una aceleración horizontal es:

$$m_b(\ddot{u}_g + \ddot{q}_b) + r^t M \left(\sum \phi_i \ddot{y}_i + r \ddot{u}_g + r \ddot{q}_b \right) + c_b \dot{q}_b + k_b q_b = 0$$

Ecuación 13: Ecuación de un movimiento debido a una aceleración horizontal lineal.

Desarrollando las ecuaciones 9 y 6 se llega al siguiente sistema de ecuaciones.

$$L_i \ddot{q}_b + \ddot{y}_i + 2\omega_i \beta_i \dot{y}_i + \omega_i^2 y_i = -L_i \ddot{u}_g$$

$$\sum \frac{L_i M_i}{m + m_b} \ddot{y}_i + \ddot{q}_b + 2\beta_b \omega_b \dot{q}_b + \omega_b^2 q_b = -\ddot{u}_g$$

En el que:

$$\omega_b = \sqrt{\frac{k_b}{m + m_b}} \quad 2\beta_b \omega_b = \frac{c_b}{m + m_b} \quad m = r^t M r = m_1 + m_2 + \dots + m_n$$

Donde: ω_b : Frecuencia fundamental de la base aislada.

β_b : Factor de amortiguamiento de la base aislada.

m : Masa total del edificio.

Según la teoría lineal de aislamiento de base, se concluye en general que el edificio responde como una estructura prácticamente rígida, registrándose los

máximos desplazamientos en la base del edificio. Por lo tanto, como una aproximación adecuada se puede asumir que el edificio vibra en el primer modo, obteniéndose las siguientes expresiones (para el modo $i=1$).

$$L_1 \ddot{q}_b + \dot{y}_1 + 2\omega_1 \beta_1 \dot{y}_1 + \omega_1^2 y_1 = -L_1 \ddot{u}_g$$

$$\frac{L_1 M_1}{m + m_b} \ddot{y}_1 + \dot{q}_b + 2\beta_b \omega_b \dot{q}_b + \omega_b^2 q_b = -\ddot{u}_g$$

Luego al resolver las ecuaciones acopladas anteriormente, se obtienen las amplitudes modales $y_1(t)$ y el desplazamiento de la base q_b .

02.05.4.3. ECUACIÓN DE MOVIMIENTO DEL AISLADOR COMO SISTEMA NO LINEAL.

Dentro de los modelos no lineales para considerar fuerzas restitutivas no lineales que se presentan en el sistema, se ha elegido incluir el modelo histerético de Wen. Dicha elección se debe a que con esta ecuación es posible simular variadas respuestas elastoplásticas como así también bilineales o lineales.

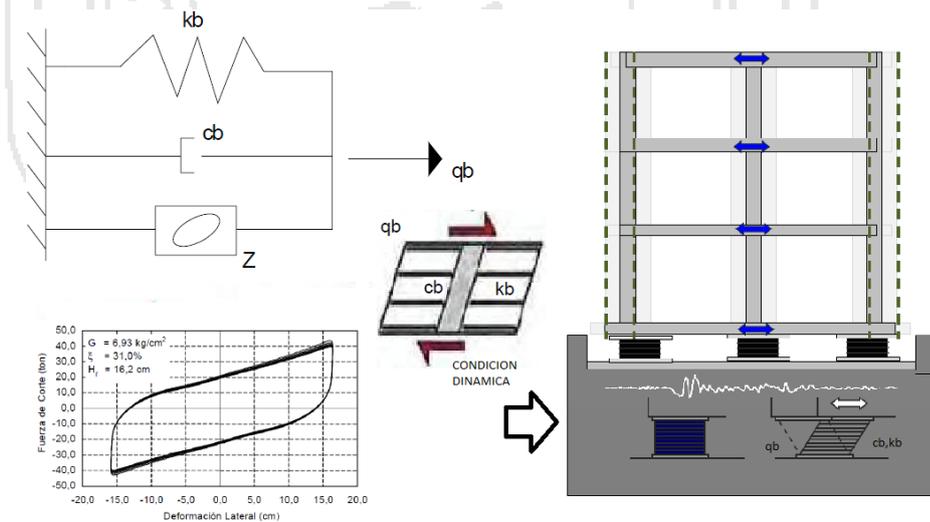


Ilustración 35: Modelo dinámico no lineal para los aisladores de la base del edificio⁴⁰.

⁴⁰ Fuente: (SAAVEDRA QUEZADA, 2005, pág. 18).

En este modelo dinámico no lineal la relación que representa al sistema está dada por la expresión:

$$f = \alpha k_b q_b + (1 - \alpha) k_b Z(t)$$

En el que $Z(t)$ es la componente histerética dada por la ecuación no lineal de primer orden.

$$\dot{Z} = A \dot{q}_b - (\beta \dot{q}_b |Z|^n + \gamma |\dot{q}_b| |Z|^{n-1} Z)$$

En el que:

k_b : Rigidez equivalente de la base aislada.

q_b : Desplazamiento relativo entre la fundación y la base del edificio.

c_b : Amortiguamiento equivalente de la base aislada.

$A, \alpha, \beta, \gamma, n$ son parámetros adimensionales de la ecuación de Wen:

A : Factor de escala general.

α : Razón de proporción entre la fuerza lineal y la no lineal, factor de endurecimiento.

β, γ : Determinan la forma de la curva.

n : Número entero que controla la suavidad de la transición de la fase lineal a la fase inelástica.

Luego la ecuación del movimiento para la base del edificio debido a una aceleración horizontal es:

$$m_b(\ddot{u}_g + \ddot{q}_b) + r^t M \left(\sum \phi_i \ddot{y}_i + r \ddot{u}_g + r \ddot{q}_b \right) + c_b \dot{q}_b + \alpha k_b q_b + (1 - \alpha) k_b Z(t) = 0$$

Ecuación 14: Ecuación de un movimiento debido a una aceleración horizontal no lineal.

Asumiendo que la estructura vibra en el primer modo, se obtienen finalmente las siguientes expresiones para el sistema dinámico:

$$L_1 \ddot{q}_b + \dot{y}_1 + 2\omega_1 \beta_1 \dot{y}_1 + \omega_1^2 y_1 = -L_1 \ddot{u}_g$$

$$\ddot{q}_b + 2\beta_b \omega_b \dot{q}_b + \alpha \omega_b^2 q_b + (1-\alpha) \omega_b^2 Z + \frac{L_1 M_1}{m + m_b} \dot{y}_1 = -\ddot{u}_g$$

$$\dot{Z} = A \dot{q}_b - (\beta \dot{q}_b |Z|^n + \gamma |\dot{q}_b| |Z|^{n-1} Z)$$

Para $\alpha = 1$ tenemos el modelo lineal planteado con anterioridad.



CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO TRADICIONAL DEL PROYECTO.

03.01. DESCRIPCIÓN ESTRUCTURAL CON SISTEMA TRADICIONAL.

03.01.1. LA CIMENTACIÓN.

La cimentación del edificio está compuesta por zapatas conectadas mediante vigas de cimentación, en la zona perimetral se ha dispuesto una cimentación corrida reforzada.

La profundidad de cimentación de la edificación se encuentra a una cota de - 5.50 metros; con respecto al nivel de piso terminado del primer nivel de la construcción (nivel de la vía que da al lado sur). En la zona del ascensor, se tiene una cota de cimentación de -8.00 metros (UNAP , 2012).

Debajo de toda la cimentación existe un solado de concreto simple, $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$, el cual se colará directamente sobre el suelo de cimentación.

La cimentación tiene diferentes secciones transversales, cuyas dimensiones características son las siguientes:

- Peralte de Platea de Fundación en zona de ascensor: 0.60 metros.
- Peralte de Vigas de Cimentación: 0.90 metros.
- Ancho de Vigas de Cimentación: 0.50 metros.
- Peralte de cimentación corrida perimetral: 0.60 metros.
- Peralte de zapatas: 1.00 metros.

Sobre esta cimentación se apoyan y empotran todas las columnas y placas de concreto armado de la edificación.

Para los muros de ladrillo (elementos no estructurales verticales), se han dispuesto cimientos corridos de concreto ciclópeo y sobre cimientos de concreto armado, cuya sección transversal depende de su ubicación (sobre viga de cimentación o cimentación corrida reforzada) y del espesor del muro.

En el perímetro del sótano existen muros de contención que controlan el empuje del suelo. Cabe resaltar que estos Muros de Contención se empotran en una losa perimetral de cimentación y están conectados al Sistema Aporticado (Placas-Columnas y Vigas). Es preciso mencionar que dichos muros están considerados en el modelo matemático para su verificación, y comportamiento e interacción con el resto de la estructura (UNAP , 2012).

03.01.2. PÓRTICOS Y PLACAS.

El armazón estructural principal del edificio, que tiene la función de resistir las fuerzas verticales y laterales que solicitan la construcción, está conformado por un sistema Aporticado tridimensional constituido por un sistema dual (conjunto de columnas - placas y vigas de concreto armado). Contamos con un total de 11 Placas (05 Tipos). Todas las placas estructurales de concreto armado son de 0.30 metros de espesor. Con el propósito de incrementar la resistencia

y la rigidez de la edificación frente a solicitaciones sísmicas prescritas por las actuales normas peruanas de diseño sismo resistente, se ha considerado necesario la introducción de un sistema de placas estructurales de concreto armado, dispuestas en las dos direcciones principales ortogonales en planta (UNAP, 2012).

En cuanto a las columnas principales de concreto armado, en el presente proyecto se han considerado 03 tipos de estos elementos, entre columnas cuadradas y rectangulares.

Además, también se consideran 02 tipos de columnas para confinamiento y ductilización de muros, y 01 tipo de viga de amarre, los cuales se identifican claramente en los correspondientes planos de columnas.

En lo posible, en este proyecto estructural se ha tratado de mantener constantes las secciones transversales de todas las columnas y placas en toda la altura la edificación, con el objetivo de evitar cambios bruscos de rigidez lateral de las placas y columnas que puedan generar concentración de esfuerzos.

Por lo expuesto anteriormente, y por la importancia que cobran las cargas sísmicas respecto a las cargas de gravedad, todas las vigas en ambos sentidos y en todos los niveles tienen una sección transversal de 0.40 m x 0.75 m. Excepcionalmente, en la zona del ascensor existe una viga pared de 0.35 x 1.50 m, debido a la concentración de esfuerzos en las placas del ascensor.

También se ha previsto la existencia de vigas de borde de 0.15 x 0.75 m, en la zona de los voladizos de las losas de piso. En los sectores de escaleras se han dispuesto vigas intermedias de apoyo de 0.30 x 0.70 m de sección transversal.

En el techo existe un parapeto perimetral de 0.90 m de altura de concreto armado y espesor 0.15 m, anclado en las vigas principales correspondientes.

Para aquellos muros de ladrillo que no se encuentran ubicados en los ejes estructurales de la edificación, se han dispuestos vigas chatas secundarias para evitar la acción directa de cargas concentradas en las losas de piso.

03.01.3. SISTEMAS DE PISO.

En el nivel de sótano, el sistema de piso consistirá en un falso piso convencional de concreto simple de 0.15 metros de espesor.

El sistema de piso del primer al décimo quinto nivel consistirá en losas aligeradas con viguetas prefabricadas de 0.25 metros de espesor.

Todos los sistemas de piso de esta edificación se apoyarán sobre las vigas de concreto armado que estarán dispuestas en todos los ejes estructurales del edificio, según las dos direcciones ortogonales principales en planta.

En el nivel de techo, se ha proyectado un Tanque elevado de Concreto Armado que se eleva por encima de la losa aligerada de este nivel. Este tanque se apoya en las cuatro columnas arriostradas con elementos diagonales (contravientos), que suben hasta la base del mismo, y se hallan unidas mediante vigas de 0.40 x 0.75 m en todo el perímetro del tanque elevado.

03.01.4. LOSAS DE ESCALERAS.

En esta edificación se han proyectado dos núcleos de escaleras tipo losa maciza plana. El primer núcleo ubicado entre los ejes 1-2 y C-D, que corresponde al sistema principal de circulación vertical del edificio, y el segundo

núcleo ubicado entre los ejes 5-6 y C-D corresponde al sistema secundario de circulación vertical (escalera de emergencia).

El primer núcleo de las escaleras está constituido por cincuenta y un tramos; el segundo núcleo, que corresponde a la escalera de emergencia, está constituido por treinta y dos tramos, todas las losas de las escaleras convencionales son sólidas de concreto armado, de 0.20 metros de espesor.

03.01.5. CONFINAMIENTO DE MUROS.

En la estructuración de la presente edificación se tomó la decisión de aislar todos los muros de ladrillo del armazón estructural principal del edificio, con el propósito de que estos elementos no interactúen desfavorablemente con las columnas, vigas y placas de la construcción, en caso de eventuales movimientos sísmicos severos.

No es conveniente que los muros de ladrillo absorban fuerzas verticales y laterales de sismo porque estos elementos son demasiado frágiles y vulnerables, por lo cual, se podrían agrietar prematuramente, aún con sismos de leve intensidad.

Por lo manifestado, los muros de ladrillo se encuentran aislados de la estructura principal de la edificación mediante dos juntas laterales verticales y una junta horizontal superior de una pulgada de espesor.

Consecuentemente, estos muros no han de contar con el confinamiento y arriostre lateral de la estructura principal de la edificación, razón por la cual, se hace necesario introducir elementos especiales que aseguren la estabilidad lateral de estos elementos no estructurales.

Para asegurar la estabilidad lateral de los muros de ladrillo, en este proyecto de estructuras se han introducido columnas de concreto armado y vigas de coronación las mismas que son para el confinamiento de muros. Estas columnas van dispuestas en los extremos y en el centro de los muros de ladrillo; se hallan conectadas por la viga de coronación en la parte superior de los tabiques, y son colados monolíticamente con ellos, adquiriendo una configuración dentada en elevación.

En los sectores donde existe ventana en toda la longitud del muro, se han ubicado las columnas de confinamiento correspondientes, pero, adicionalmente, se han proyectado vigas de amarre entre las columnas de confinamiento

03.02. DESCRIPCIÓN ARQUITECTÓNICA DEL PROYECTO ORIGINAL.

03.02.1. CONCEPCIÓN DEL PROYECTO.

El desarrollo del proyecto está basado en responder las condiciones determinadas por el uso efectivo del espacio arquitectónico planteado por el profesional responsable, es así que se concibe una edificación compuesta de volumetría simple con una base sólida, que se inserta e integra a la conformación rocosa natural, esta base se manifiesta con una forma trapezoidal emulando las formas de la cultura inca, con un enchape de piedra rústica considerando unas bruñas horizontales de 0.10 m de ancho con una profundidad de 0.05 m, es este elemento, el que manifiesta la seguridad y equilibrio de toda la volumetría del edificio respecto al lugar en el que se emplaza; a partir de esta base es que se proyecta un volumen prisma rectangular en la fachada principal (Sur), intersecado con un elemento vertical, segmento de circunferencia, en el cual funcionan los ascensores panorámicos

que dan frente al majestuoso lago Titicaca de la ciudad de Puno, la edificación se caracteriza por el manejo de la fusión de materiales a manera de bandas horizontales con la envolvente de cristal templado gris de $e=6\text{mm}$, y placas de aluminio de color plomo plata (REYNOBOND) con características propias de una edificación moderna.

En la fachada posterior Norte se manifiesta una volumetría de vidrio templado de color gris, cuya volumetría hace las veces de colector solar (bioclimático), el cual, por la orientación aprovecha al máximo el asoleamiento traducida en la recepción de la mayor cantidad de horas de los rayos solares con la finalidad de climatizar el interior del hecho arquitectónico, el calor captado es distribuido a través de los pasillos a los diferentes pisos que considera el edificio académico, obteniendo una temperatura adecuada del orden natural, con esto se garantiza el confort en el interior del edificio, muy a pesar que se considera también sistemas automáticos de climatización en los ambientes.

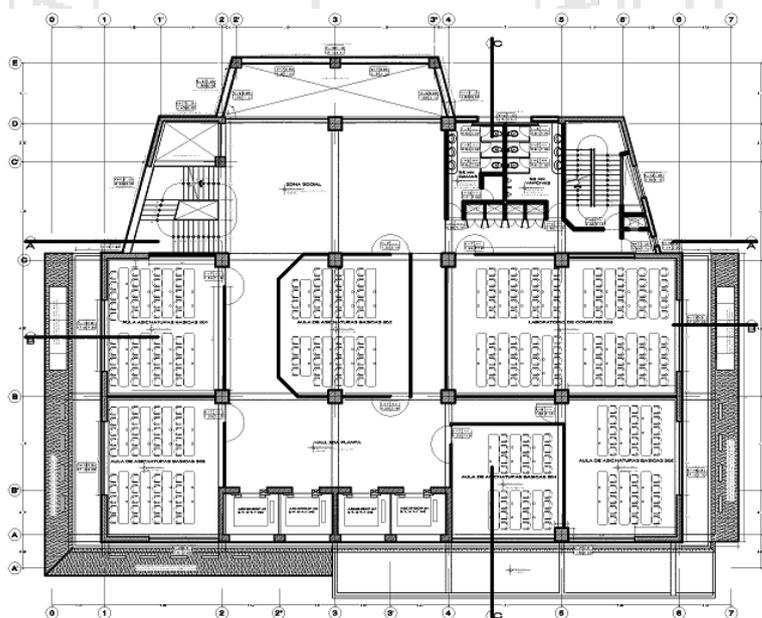


Ilustración 36: Propuesta arquitectónica planta típica del edificio⁴¹.

⁴¹ Fuente: (UNAP, 2012).

03.02.2. FUNCIÓN.

En el edificio funcionaran áreas de exposición, aulas de educación de asignaturas básicas en la formación de los estudiantes de pre grado, así mismo se plantean laboratorios de computo e informática como parte de la formación profesional de las escuelas profesionales que funcionan en la Universidad, también contará con un área de servicios complementarios, y el área administrativa del edificio; por otro lado, desde el sótano y a los 15 pisos se acceden desde una caja de 04 ascensores, también cuenta con una caja de escaleras principal, y una caja de escaleras de servicio o escape, ubicados estratégicamente en una distribución simple de espacios adjuntos.

03.02.3. DISTRIBUCIÓN DE ESPACIOS.

El presente proyecto comprende 01 bloque, todos los espacios son interiores, el sótano está compuesto por un espacio destinado para el uso como un ambiente de archivo, y el Data Center del edificio, en la primera planta se distribuye como espacio principal en área de exposiciones, a partir de la segunda planta a la catorceava planta se distribuyen las aulas y laboratorios académicos, y en la quinceava planta se distribuye una salón de reuniones con oficinas de administración del edificio, desde el sótano hasta la planta quince se comunican a través de una caja de escalera principal, caja de 04 ascensores panorámicos, y una caja de escalera de escape, en los pisos que comprenden ambientes académicos, cuentan con un área social en cada planta y desde este amplio espacio se ingresan a las aulas, laboratorios, y servicios higiénicos, mediante las circulaciones que se encuentran completamente señalizados.

PROGRAMACIÓN ARQUITECTÓNICA Y CUADRO DE ÁREAS

PROGRAMACIÓN ARQUITECTÓNICA Y CUADRO DE ÁREAS				
1	SÓTANO			
	AMBIENTE	UNIDAD	CANTIDAD	PARCIAL
	SÓTANO PLANTA LIBRE (DATA CENTER)	M2	1111.42	
				1,111.42
2	PRIMERA PLANTA			
	SALA DE EXPOSICIÓN ACADÉMICO, CIENTÍFICO, Y CULTURAL	M2	557.22	
	SERVICIOS HIGIÉNICOS DAMAS Y VARONES	M2	27.45	
	OFICINA DE ADMINISTRACIÓN Y SECRETARIA	M2	40.62	
	ESCALERAS, ASCENSORES, PASILLOS, DUCTOS, ETC.	M2	526.27	
				1,151.56
3	PRIMERA PLANTA (MEZANINE)			
	SALA DE EXPOSICIÓN ACADÉMICO	M2	225.39	
	CAFETÍN	M2	65.51	
	ESCALERAS, ASCENSORES, PASILLOS, DUCTOS, ETC.	M2	246.69	
				537.59
4	SEGUNDA PLANTA			
	05 AULAS BÁSICAS, LABORATORIO DE CÓMPUTO 01	M2	458.37	
	SERVICIOS HIGIÉNICOS DAMAS Y VARONES	M2	26.56	
	ESCALERAS, ASCENSORES, PASILLOS, DUCTOS, ETC.	M2	524.9	
				1,009.83
5	TERCERA PLANTA A LA CATORCEAVA PLANTA			
	05 AULAS BÁSICAS, LABORATORIO DE CÓMPUTO 01	M2	458.37	
	SERVICIOS HIGIÉNICOS DAMAS Y VARONES	M2	26.56	
	ESCALERAS, ASCENSORES, PASILLOS, DUCTOS, ETC.	M2	324.44	
				809.37
6	QUINCEAVA PLANTA			
	SALA DE CONVENCIONES Y REUNIONES	M2	378.93	
	02 OFICINAS	M2	132.83	
	SERVICIOS HIGIÉNICOS DAMAS Y VARONES	M2	26.56	
	ESCALERAS, ASCENSORES, PASILLOS, DUCTOS, ETC.	M2	271.05	
				809.37
TOTAL ÁREA CONSTRUIDA		M2		14,332.21

Tabla 1: Distribución de áreas por niveles (UNAP, 2012).

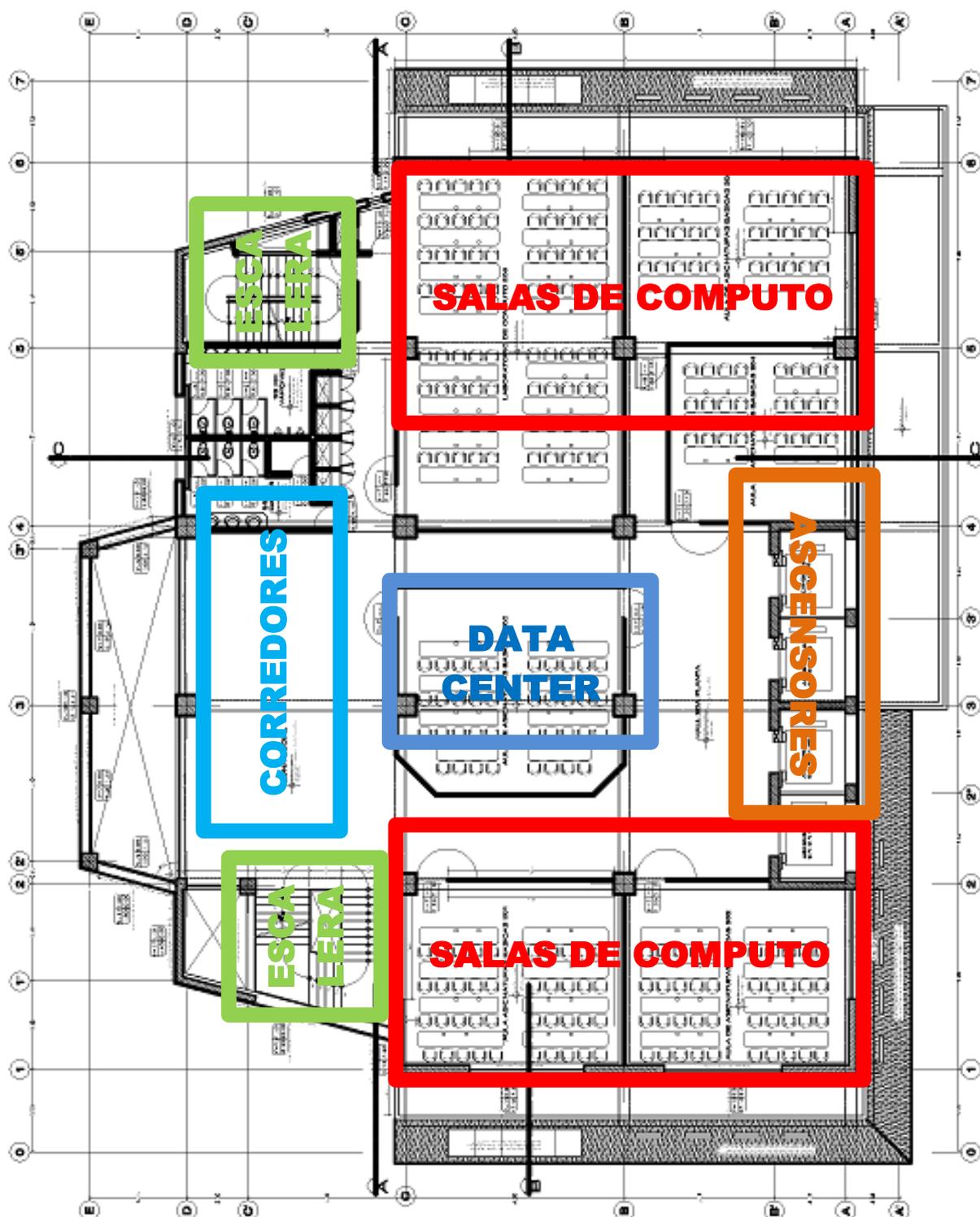


Ilustración 37: Distribución de zonas en planta típica⁴².

⁴² Fuente: (UNAP , 2012) y elaboración propia.

03.03. DESCRIPCIÓN DE LA TOPOGRAFÍA DEL TERRENO DONDE SE DESARROLLA EL PROYECTO.

03.03.1. ASPECTOS GENERALES.

Los principales aspectos del planteamiento de este trabajo se resumen como sigue:

El estado actual del terreno donde se realiza la construcción de la obra: “MEJORAMIENTO DE SERVICIOS ACADÉMICOS EN LA FORMACIÓN BÁSICA, INFORMÁTICA Y VIRTUAL EN LAS E. P. DE LA UNA - PUNO - EDIFICIO 15 NIVELES”, presenta una conformación irregular cuenta con patios y accesos secundarios para peatones y vehículos menores; estos adecuados de acuerdo a la necesidad de la circulación de los residentes de los diferentes ambientes ubicados en esta zona.

Se observa irregularidades propias de la zona, con una pendiente que asciende en 15.56% de sur a norte hacia el Centro Educativo Inicial Nro. 252, además se nota la presencia de árboles y arbustos.

03.03.2. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL TERRENO.

Los principales aspectos del terreno encontrado, se resume en los términos siguientes:

Se contó en un inicio con un terreno de pendiente variable con una pendiente máxima de 15.56% y un área de 5062.50 m², se nota el acopio de material de relleno y una vegetación densa de árboles y arbustos propios de esta zona de la Universidad Nacional del Altiplano.

Se nota además la presencia de 02 vías de trocha para vehículos menores en su mayoría estos de acorde, accesos dispuestos en su parte lateral

izquierda y superior posterior los mismos que actualmente se encuentran en uso, así como una vía peatonal por la parte inferior derecha los que acceden al resto de las Residencias y la puerta principal de residencias.

En el presente trabajo se tomó como consideración la construcción futura de las vías colindantes a la obra; es así que se deberá de considerar una altura de +0.55 m sobre en el eje para la calzada futura y +0.70 m a la vereda receptora del ingreso principal de proyecto antes mencionado.

Por otro lado, los problemas de tipo de suelo desde roca hasta material limoso, hacen necesaria la realización de un talud de descanso, los que son calculados de acuerdo al especialista encargado en esta área.

03.04. PARÁMETROS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL INICIAL.

03.04.1. PRIMERA ESTRUCTURACIÓN DESARROLLADA EN EL PROYECTO.

Se realizó un primer pre dimensionamiento preliminar, de este pre dimensionamiento se tomó las dimensiones mayores, se uniformizo las vigas y se idealizo un modelo basado en vigas y columnas considerando diafragmas rígidos en el modelo y masas concentradas por cada nivel en su respectivo centro de masas.

En esta primera estructuración se pudo apreciar la deformación excesiva de los elementos sometidos tanto a flexión como a compresión, etc. por lo que se tuvo que realizar un reajuste en el dimensionamiento de los elementos estructurales.

Cabe mencionar que el primer modelo se realizó considerando la base empotrada y un análisis sísmico estático y dinámico espectral.

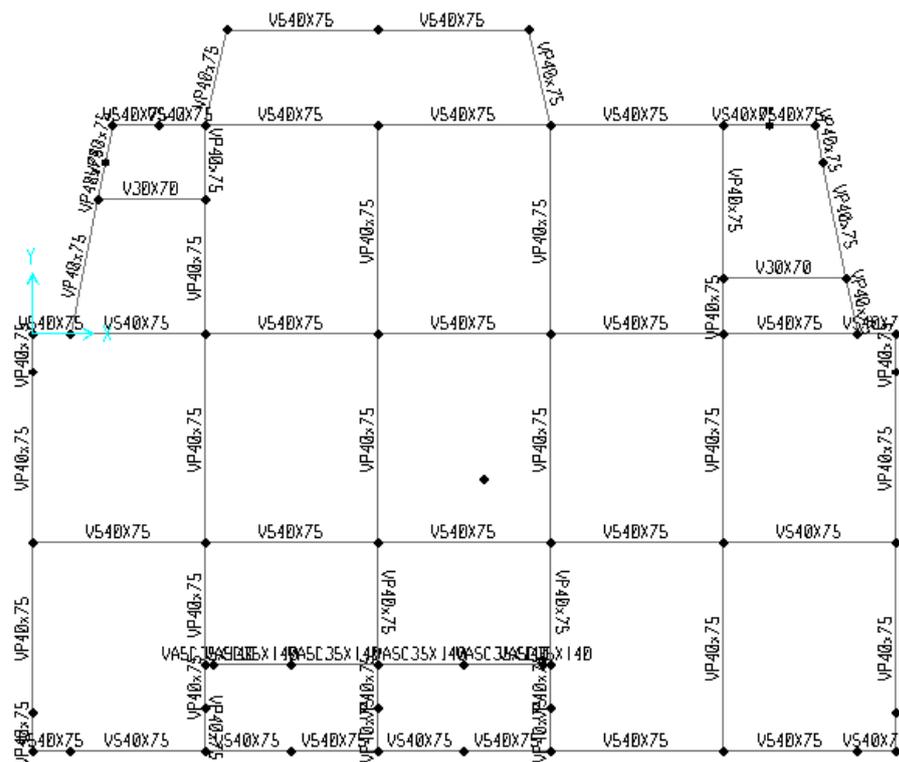


Ilustración 38: Planta típica pre dimensionado inicial de la estructura⁴³.

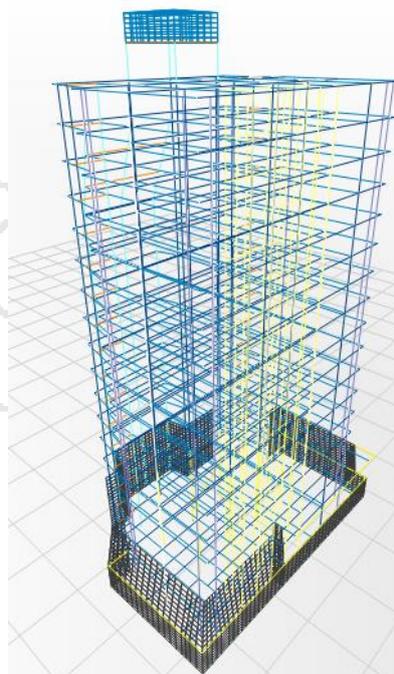


Ilustración 39: Vista en 3d de modelo estructural propuesto⁴⁴.

⁴³ Fuente: Elaboración propia.

⁴⁴ Fuente: Elaboración propia.

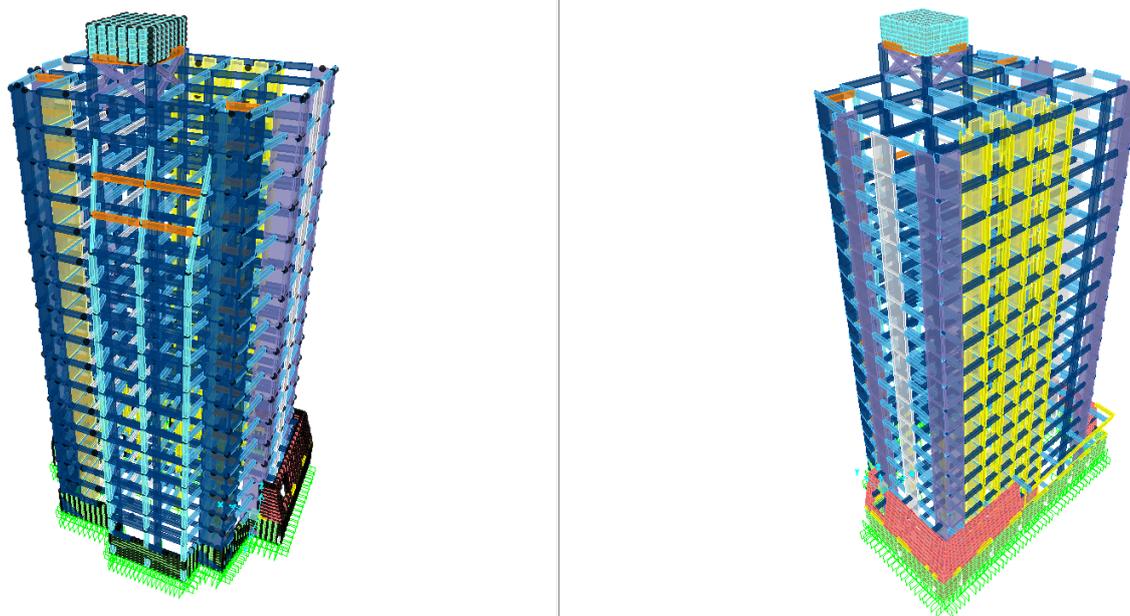


Ilustración 40: Vista del modelo de la estructura en 3d, frontal y posterior respectivamente⁴⁵.

Este pre dimensionamiento cumple los requisitos en todos los elementos estructurales, así como los desplazamientos permisibles y la distorsión.

03.04.2. DESCRIPCIÓN DE CARGAS VIVAS Y MUERTAS EN EL PROYECTO.

Las edificaciones y todas sus partes deberán ser capaces de resistir las cargas que se les imponga como consecuencia de uso previsto. Estas actuarán en las combinaciones prescritas y no causarán esfuerzos que excedan los admisibles señalados para cada material estructural, en su norma de diseño específica. En ningún caso las cargas asumidas serán menores que los valores establecidos en RNE.

El metrado de cargas es cuantificar las cargas que pueden presentarse durante la vida útil de una estructura. Esto puede requerir a menudo una recolección de datos en el lugar en que se ubicara la estructura, como registros

⁴⁵ Fuente: Elaboración propia.

climáticos que cuantifiquen el viento, temperatura y las lluvias. Este tipo de información, junto con los requisitos del reglamento de diseño, forman la base a partir del cual se puede iniciar el metrado de carga.

En general, las cargas más usuales son: cargas muertas, cargas vivas de piso, cargas debido a viento, debidas al cambio de temperatura y cargas sísmicas.

a) CARGAS MUERTAS.

Las cargas muertas se determinan del cálculo directo del peso de todos los componentes estructurales y de elementos no estructurales cuya posición no se modificará durante la vida útil de la edificación. Si se conocen con precisión las dimensiones de los elementos la determinación es rápida; sin embargo, esto no sucede frecuentemente, ya que un diseño estructural se parte de una estimación preliminar de las dimensiones de los mismos, pudiendo modificarse a medida que se refina el diseño. La norma E-020 del RNE nos proporciona algunos pesos unitarios para calcular la carga muerta, en nuestro caso tenemos:

☞ Concreto armado	2500 kg/m ³
☞ Muro de albañilería hueca	1350 kg/m ³
☞ Mortero de cemento	2000 kg/m ³
☞ Piso terminado (pt)	100 kg/m ²
☞ Losa maciza (h=17.50 cm) + pt	437.5 kg/m ²
☞ Losa aligerada (h=25 cm)	350 kg/m ²

PESOS ESPECÍFICOS DE MATERIALES			
MATERIAL	PESO ESPECÍFICO		
Albañilería	Adobe	1600	kg/m ³
	Ladrillo Sólido	1800	kg/m ³
	Ladrillo Sólido (incluye Acabados)	1900	kg/m ³
	Ladrillo Hueco	1350	kg/m ³
Concreto	Armado	2400	kg/m ³
	Simple	2300	kg/m ³
Maderas	Dura seca	700	kg/m ³
	Dura húmeda	1000	kg/m ³
Enlucidos	Cemento	2000	kg/m ³
	Yeso	1000	kg/m ³
Líquidos	Agua	1000	kg/m ³
	Petróleo	870	kg/m ³
Metales	Acero	7850	kg/m ³
	Plomo	11400	kg/m ³
	Aluminio	2750	kg/m ³
	Mercurio	13600	kg/m ³
Otros	Mármol	2700	kg/m ³
	Losetas	2400	kg/m ³
	Cemento	1450	kg/m ³
	Tierra	1600	kg/m ³
	Piedra Pómez	700	kg/m ³
	Bloque de vidrio	1000	kg/m ³
	Vidrio	2500	kg/m ³
	Papel	1000	kg/m ³
	Arena seca	1600	kg/m ³
	Hielo	920	kg/m ³

Tabla 2: Pesos específicos referencia Norma E.020 cargas⁴⁶.

b) CARGAS VIVAS DE PISO O USO.

La carga de piso que se va aplicar a un área determinada de una edificación depende de su pretendida utilización u ocupación. Estas cargas se deben a los seres humanos, al equipo, al almacenamiento en general, a los automóviles, etc., debido a que estas cargas son de naturaleza aleatoria, no hay una forma precisa para aplicar las cargas reales a un área dada. Por esa razón se especifican como cargas distribuidas uniformemente en el área. Cabe indicar

⁴⁶ Fuente: (REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES, 2006).

que estas cargas son extremadamente conservadoras debido a la incertidumbre acerca de cómo pudieran distribuirse las cargas reales. La norma E020 nos da cargas distribuidas para distintos tipos de ocupación o uso, en nuestro caso tenemos las siguientes tablas:

TABLA 02	
CARGAS VIVAS MÍNIMAS REPARTIDAS	
Almacenaje	500 kg/m ²
Baños	Igual a la carga principal del resto del área
Bibliotecas	
Salas de lectura	300 kg/m ²
Salas de almacenaje	750 kg/m ²
Corredores y escaleras	400 kg/m ²
Oficinas	
Exceptuando salas de archivo y computación	250 kg/m ²
Salas de archivo	500 kg/m ²
Salas de computación	350 kg/m ²
Corredores y escaleras (igual a la carga principal del resto del área)	
Centros de educación	
Aulas, laboratorios	300 Kg/m ²
Corredores y escaleras	400 kg/m ²

Tabla 3: Cargas vivas de uso referencia Norma E.020 cargas⁴⁷.

c) CARGAS DE DISEÑO USADOS EN LA MODELACIÓN.

El análisis de los elementos estructurales se ha realizado con las siguientes cargas de diseño:

Carga Permanente o Muerta (D), incluye el peso propio de la estructura.

(No se realizó el metrado de peso propio de la estructura, debido que el programa que se utilizó, contempla o asume su propio peso).

Carga Viva (L), (350 – 400 kg/m²) que considera las cargas vivas, básicamente incluye la posible acumulación de personas, además las cargas de montaje o proceso constructivo.

⁴⁷ Fuente: (REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES, 2006).

Carga de Sismo (Q), calculado de acuerdo con lo estipulado en la Norma Técnica de estructuras E.030 Diseño sismorresistente. Así mismo se realizó un análisis sísmico dinámico (análisis modal). Para el cálculo de la masa se ha considerado un peso de 1.20 ton/m² en el primer nivel y de 1.00 ton/m² para la azotea.

d) **COMBINACIONES DE CARGA:**

Para el análisis se han considerado las siguientes combinaciones de carga, puesto que son combinaciones de carga del proyecto original el mismo que nos servirán para validar nuestros resultados:

- 1.4D + 1.7L
- 1.25 (D + L) ± 1.00 Qi
- 0.90D ± 1.00 Qi⁴⁸

03.04.3. **CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.**

El diseño se ha realizado para las siguientes características de materiales:

a) **VIGAS Y COLUMNAS.**

Columna de concreto armado, $f_c=280\text{kg/cm}^2$ el cual tiene acero de refuerzo con $f_y=4200\text{kg/cm}^2$. La sección de la columna es de sección variable tipo placa en 04 juegos y columnas regulares, los que tienen el siguiente material:

⁴⁸ D= Carga muerta, L=carga viva y Qi=Carga sísmica.

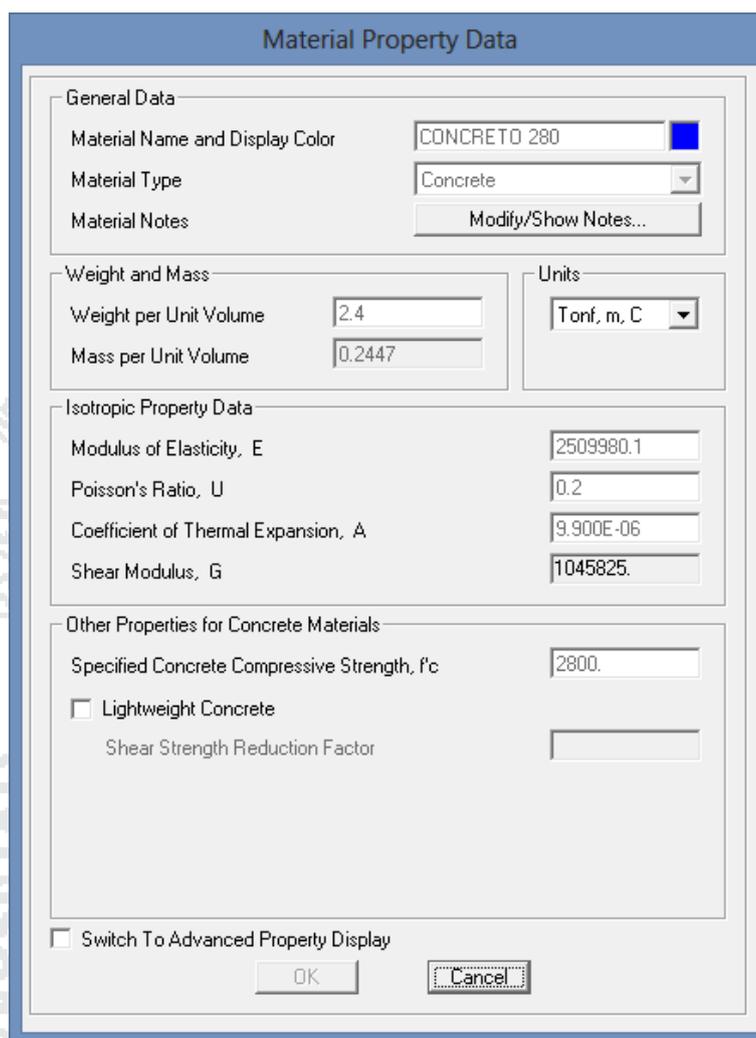


Ilustración 41: Propiedades del concreto⁴⁹.

b) CIMENTACIÓN.

Conformado por zapatas conectadas mediante vigas de cimentación, $f'c=280\text{kg/cm}^2$ el cual tiene acero de refuerzo con $f_y=4200\text{kg/cm}^2$.

c) CAJA DE ASCENSOR.

Caja de ascensor y caja de escalera en concreto armado, $f'c=280\text{kg/cm}^2$ el cual tiene acero de refuerzo con $f_y=4200\text{kg/cm}^2$. La sección de los muros varía de 0.25m a 0.30m.

⁴⁹ Fuente: Elaboración propia programa SAP2000.

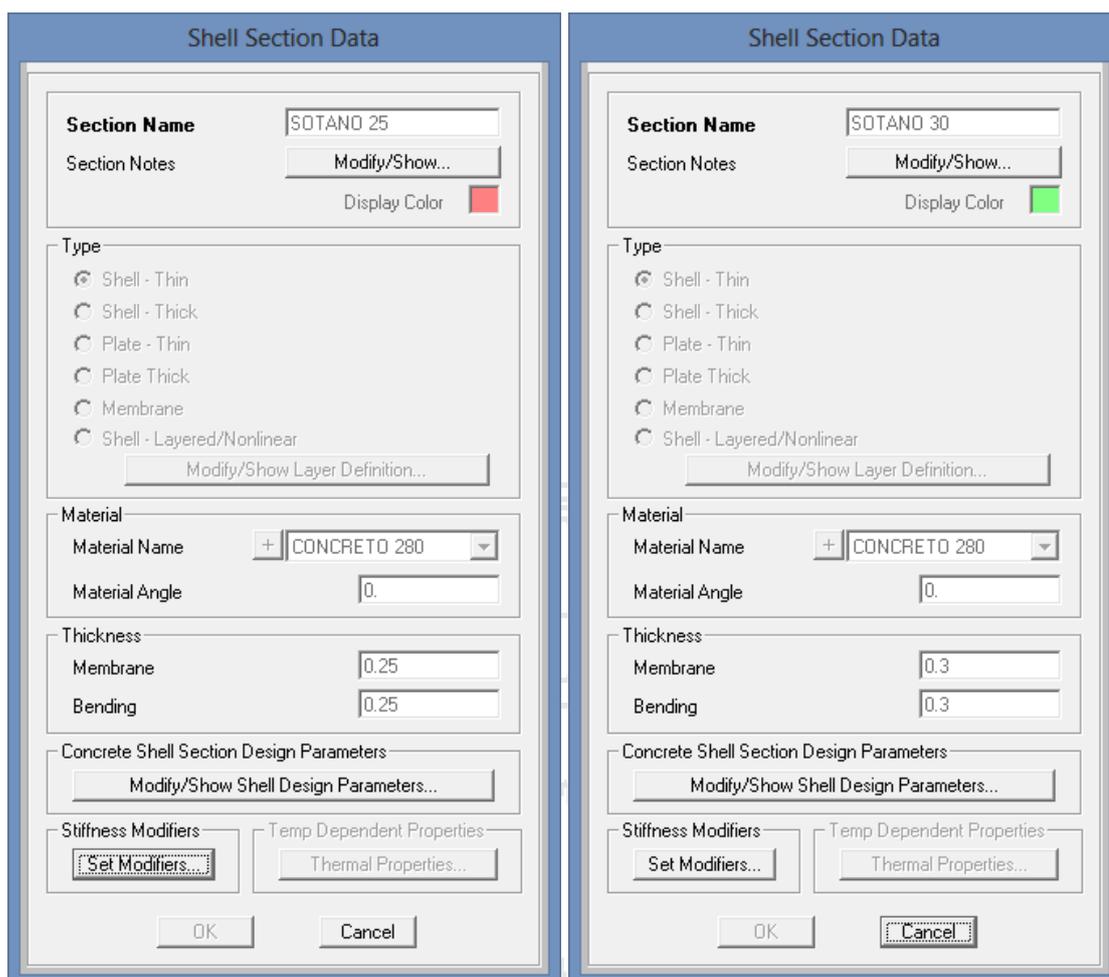


Ilustración 42: Propiedades de los muros armados⁵⁰.

d) LOSA ALIGERADA.

Losa aligerada compuesto por viguetas pre esforzadas prefabricadas, con complementos de poliestireno expandido con la finalidad de aligerar la carga, $f_c=350\text{kg/cm}^2$ (vigüeta), para la capa de compresión se utilizará concreto con $f_c=280\text{kg/cm}^2$ acero de refuerzo con $f_y=4200\text{kg/cm}^2$.

⁵⁰ Elaboración propia programa SAP2000.

e) TANQUE CISTERNA Y TANQUE ELEVADO.

Tanque cisterna y tanque elevado conformado por losas macizas, de espesor 0.15 – 0.20m en concreto $f'c=280\text{kg/cm}^2$ el cual tiene acero de refuerzo con $f_y=4200\text{kg/cm}^2$.

03.05. CONSIDERACIONES FINALES PARA ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL PROYECTO CON SISTEMA TRADICIONAL DE BASE FIJA.

Para la realización de este proyecto de investigación se ha tomado como muestra el proyecto: “MEJORAMIENTO DE SERVICIOS ACADÉMICOS EN LA FORMACIÓN BÁSICA, INFORMÁTICA Y VIRTUAL EN LAS ESCUELAS PROFESIONALES DE LA UNA - PUNO - EDIFICIO 15 NIVELES”, que está destinado a áreas de exposición, aulas de educación de asignaturas básicas en la formación de los estudiantes de pre grado, así mismo se plantean laboratorios de cómputo e informática como parte de la formación profesional de las escuelas profesionales que funcionan en la Universidad, también contará con un área de servicios complementarios, y el área administrativa del edificio.

Se ha ubicado 17 diafragmas en la dirección z, que además coinciden con el hueco de las escaleras, ascensores y tragaluces, la dimensión de longitud varía dependiendo de la ubicación.

Las columnas son de hormigón armado de dimensión 30/200 cm, las vigas también de dimensiones 30/75 cm., la losa tipo tiene un espesor de 20 cm., los mismo que alojan las vigas pretensadas según especificación.

Se ha establecido un hormigón de resistencia $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, el acero de refuerzo con una resistencia a la tensión de $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.

La descripción anterior corresponde al diseño estructural; la figura 44, que se muestra a continuación es una planta tipo de la estructura.

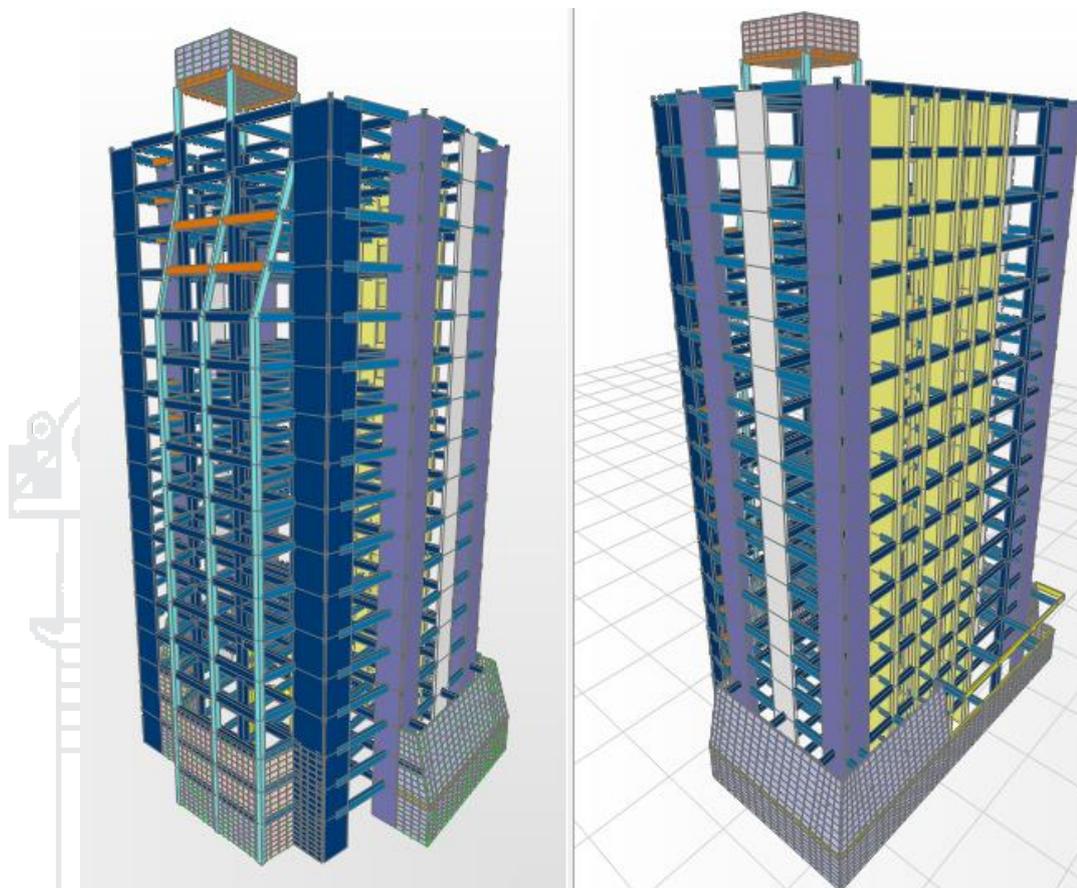


Ilustración 43: Vista del modelo de la estructura en 3d, frontal y posterior respectivamente.

Para una visualización más acertada a continuación se presenta una distribución estructural en planta, resaltándose los componentes más destacados en este proyecto como son las placas, los que son sujetos a modificación en el presente tema de investigación, para poder así finalmente evaluar si son necesarios o no en la implementación de un sistema de aislamiento por la base.

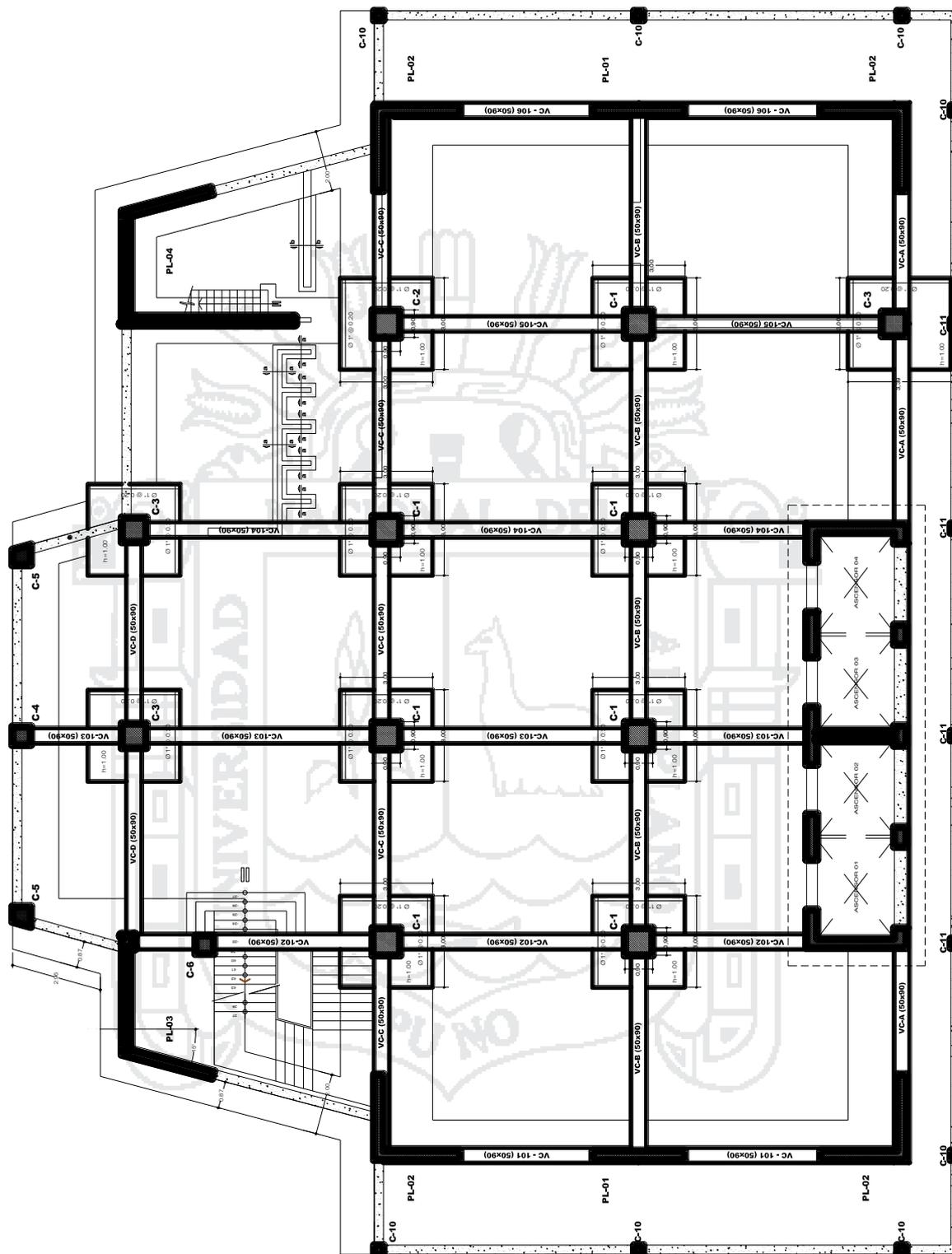


Ilustración 44: Propuesta estructural planta típica del edificio⁵¹.

⁵¹ Elaboración propia programa.

CAPÍTULO IV

PLANTEAMIENTO DE SISTEMA ESTRUCTURAL CON AISLACIÓN DE LA BASE.

04.01. ESTRUCTURACIÓN PARA SISTEMA CON AISLACIÓN DE LA BASE.

04.01.1. CONSIDERACIONES GENERALES.

Con la finalidad de que todo el sistema se mueva como un solo elemento se utiliza un diafragma rígido que se logra mediante el uso de un sistema de losas o vigas.

En el modelo se utiliza una losa que permite amarrar a las columnas y placas para que existan momentos en su base; y vigas capaces de resistir las cargas últimas para que puedan transmitirlas hacia los aisladores.

El criterio que se sigue para la disposición de la losa y vigas es crear un enmallado de tal forma que los aisladores se encuentren ubicados debajo de cada punto de intersección de la malla; para ello también se debe controlar las dos consideraciones anteriores.

Para que se logre el comportamiento de diafragma rígido de la losa, en el modelo se le asigna una gran rigidez a la deformación ante cargas contenidas en su plano.

Por último, la línea de aislamiento se ubica en la base del primer nivel; por lo tanto, la presencia de los sótanos no influye significativamente en su comportamiento (los sótanos se mueven con el terreno y así no hay amplificación sísmica). De esta manera, no se incluyó el sótano en el modelo.



Ilustración 45: Vista del modelo de la estructura en 3d, acondicionado para aisladores de base⁵².

⁵² Elaboración propia.

04.01.2. CRITERIOS GENERALES DE ESTRUCTURACIÓN PARA LA CIMENTACIÓN.

La estructuración final cumple con todos los requisitos de continuidad, ductilidad, rigidez lateral, así mismo los elementos estructurales cumplen satisfactoriamente las secciones propuestas para su posterior análisis estructural, en el proceso de análisis se ha ido mejorando el modelo a analizar, del pre dimensionamiento inicial se ha incorporado algunas secciones de columnas y vigas hasta lograr el mejor desempeño de la estructura desacoplada y de tal forma quitar placas y muros reforzados con la finalidad de darle menor peso a la estructura, como se aprecia en la figura 46 y posteriormente con la mejora en la figura 77.

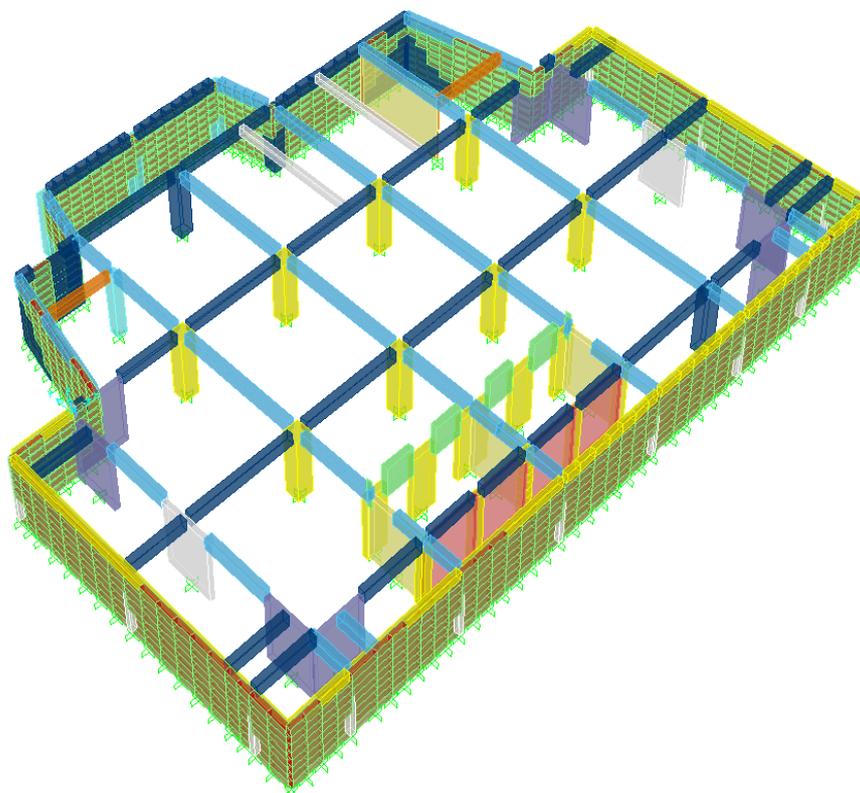


Ilustración 46: Vista de la cimentación aislada donde se ubicarán aisladores de base⁵³.

⁵³ Elaboración propia.

04.02. UBICACIÓN DE AISLADORES Y SUS CARGAS INTERVINIENTES.

Las cargas de diseño son las cargas aplicadas en los apoyos. En el proceso de diseño se necesita conocer tres tipos de carga:

- ☑ Carga permanente vertical: es la carga aplicada al apoyo cuando la estructura solo está sometida a carga viva y carga muerta.
- ☑ Carga no permanente vertical o rápida: es la carga aplicada al apoyo cuando la estructura está sometida a carga viva, carga muerta y sismo.
- ☑ Carga horizontal: es el valor del cortante presente en cada apoyo.

04.02.1. UBICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AISLADORES DE BASE.

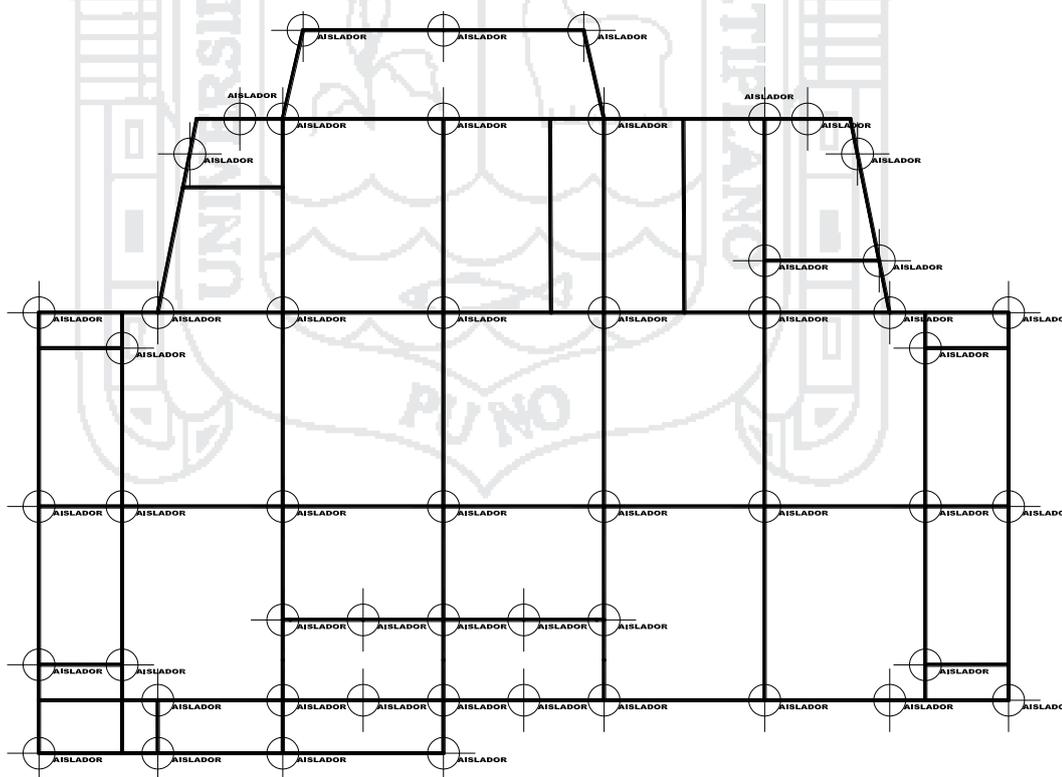


Ilustración 47: Ubicación de aisladores de base y ubicación de cargas efectivas sobre aislador⁵⁴.

⁵⁴ Elaboración propia.

04.02.2. CARGAS ADMISIBLES PARA EL DISEÑO DE AISLADORES.

Las reacciones estáticas de base consideran el peso propio calculado por el programa de cálculo estructural con el 25% de la carga viva, para efectos de un buen comportamiento en servicio que contemple la activación correspondiente del sistema de aislación de la base, también se considera una situación dinámica máxima en la que intervienen más cargas y por eso se toma el 50% de la carga viva, para efectos de comportamiento de la capacidad ultima de los aisladores que se utilicen; sin embargo, por ser Puno zona no sísmica de acuerdo al RNC (Perú) se considerara el 25% de la carga viva.

- Para la primera combinación CM + 1.25 CV01 (Ver anexo 1):

RESUMEN DE REACCIONES EN LA BASE (CM+1.25CV1)								
NRO.	Joint	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
36	1371	CM+1.25CV1	1.09	11.66	1063.81	-15.32	3.19	-0.20
41	1386	CM+1.25CV1	0.00	0.00	20.68	4.63	8.65	0.00
CARGA TOTAL					21041.12	-967.63	384.33	-855.78
VALOR MÁXIMO					1063.81	85.43	111.73	0.39
VALOR MÍNIMO					20.68	-138.51	-81.45	-853.39

Tabla 4: Reacción de carga CM+1.25CV1⁵⁵.

- Para la segunda combinación CM + 1.25 CV02 (Ver anexo 2):

RESUMEN DE REACCIONES EN LA BASE (CM+1.25CV2)								
NRO.	Joint	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
36	1371	CM+1.25CV2	0.63	9.93	933.07	-16.41	-2.35	-0.08
41	1386	CM+1.25CV2	0.00	0.00	17.07	4.63	5.76	0.00
CARGA TOTAL					18361.82	-672.27	155.65	-883.51
VALOR MÁXIMO					933.07	75.23	68.43	0.33
VALOR MÍNIMO					17.07	-108.44	-70.21	-882.68

Tabla 5: Reacción de carga CM+1.25CV2⁵⁶.

⁵⁵ Elaboración propia programa SAP2000.

⁵⁶ Elaboración propia programa SAP2000.

- Para la tercera combinación CM + 1.25 CV03 (Ver anexo 3):

RESUMEN DE REACCIONES EN LA BASE (CM+1.25CV3)								
NRO.	Joint	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
35	1369	CM+1.25CV3	2.23	0.92	854.92	-17.84	0.20	-0.07
41	1386	CM+1.25CV3	0.00	0.00	13.01	2.93	5.41	0.00
CARGA TOTAL					17830.04	-671.28	141.26	-903.63
VALOR MÁXIMO					854.92	74.76	69.57	0.33
VALOR MÍNIMO					13.01	-105.12	-72.85	-902.85

Tabla 6: Reacción de carga CM+1.25CV3⁵⁷.

04.02.3. CARGAS MÁXIMAS PARA EL DISEÑO DE AISLADORES.

- Para la primera combinación CM + 1.50 CV01 (Ver anexo 4):

RESUMEN DE REACCIONES EN LA BASE (CM+1.50CV1)								
NRO.	Joint	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
36	1371	CM+1.50CV1	1.21	12.56	1135.49	-16.56	4.00	-0.22
41	1386	CM+1.50CV1	0.00	0.00	22.21	4.97	9.29	0.00
CARGA TOTAL					22171.73	-1037.38	428.64	-873.76
VALOR MÁXIMO					1135.49	89.01	125.15	0.42
VALOR MÍNIMO					22.21	-146.48	-85.05	-871.08

Tabla 7: Reacción de carga CM+1.50CV1⁵⁸.

- Para la segunda combinación CM + 1.50 CV02 (Ver anexo 5):

RESUMEN DE REACCIONES EN LA BASE (CM+1.50CV2)								
NRO.	Joint	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
36	1371	CM+1.50CV2	0.66	10.48	978.59	-17.87	-2.65	-0.07
41	1386	CM+1.50CV2	0.00	0.00	17.88	4.97	5.83	0.00
CARGA TOTAL					18956.57	-682.94	154.23	-907.03
VALOR MÁXIMO					978.59	76.76	70.00	0.34
VALOR MÍNIMO					17.88	-110.40	-71.57	-906.23

Tabla 8: Reacción de carga CM+1.50CV2⁵⁹.

- Para la tercera combinación CM + 1.50 CV03 (Ver anexo 6):

⁵⁷ Elaboración propia programa SAP2000.

⁵⁸ Elaboración propia programa SAP2000.

⁵⁹ Elaboración propia programa SAP2000.

RESUMEN DE REACCIONES EN LA BASE (CM+1.50CV3)								
NRO.	Joint	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
35	1369	CM+1.50CV3	2.30	0.44	886.90	-20.18	-0.07	-0.07
41	1386	CM+1.50CV3	0.00	0.00	13.01	2.93	5.41	0.00
CARGA TOTAL					18318.45	-681.76	136.96	-931.17
VALOR MÁXIMO					886.90	76.20	71.38	0.34
VALOR MÍNIMO					13.01	-107.98	-74.74	-930.44

Tabla 9: Reacción de carga CM+1.50CV3⁶⁰.

04.03. ANÁLISIS SÍSMICO DEL SISTEMA TRADICIONAL DE LA ESTRUCTURA EMPOTRADA.

Los métodos de análisis han evolucionado paulatinamente según los avances de la ingeniería sismorresistente y el desarrollo de programas computacionales como herramienta de cálculo.

El primer método aplicado fue el de las fuerzas estáticas equivalentes, en el cual el efecto dinámico de la acción sísmica se representa en forma simplificada mediante fuerzas laterales. Este criterio aún se aplica en la actualidad para construcciones de baja o mediana altura con características de regularidad estructural en planta y en elevación. El segundo procedimiento es el “método de análisis modal espectral” que considera la naturaleza dinámica del problema, esto podría ser la base del sistema de aislamiento en LRB y / o cojinetes HDR.

Sin embargo, los reglamentos contemplan la posibilidad de realizar análisis dinámicos con integración temporal, definiendo la acción sísmica mediante varios registros de aceleración, de esta forma se puede representar la naturaleza dinámica de la acción sísmica. La norma RNE permite también realizar análisis dinámicos no lineales, incorporando directamente al modelo características no

⁶⁰ Elaboración propia programa SAP2000.

lineales fuerza- deformación de los componentes individuales y los elementos debido a la respuesta del material inelástico, es decir, considerando el comportamiento real de la estructura. Sin embargo, la complejidad del análisis y la interpretación de los resultados son significativamente mayores, por lo cual este procedimiento debería ser aplicado solo por diseñadores con experiencia y conocimientos profundos de la dinámica no lineal. Es importante señalar que las ventajas del diseño dinámico no lineal, es que se puede aplicar a cualquier estructura con asilamiento por la base sin restricciones de nivel estructural con finalidades de diseño o verificación del cortante basal y el desplazamiento máximo.

04.03.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS POR SUPERPOSICIÓN MODAL.

Ante una acción exterior, la respuesta de la estructura dependerá de sus modos de vibrar y sus respectivas frecuencias o períodos; los períodos de vibración dependen de las características geométricas, de la rigidez y de la masa que la estructura opone al movimiento, teniéndose como resultado el resumen de la siguiente tabla 10 (Ver anexo 7).

TABLE: Modal Periodos y Frecuencias					
StepNum	OutputCase	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Unitless	Text	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
1	MODAL	1.40	0.71	4.48	20.06
2	MODAL	1.32	0.76	4.76	22.66
3	MODAL	0.93	1.07	6.72	45.19
4	MODAL	0.41	2.41	15.15	229.56
5	MODAL	0.40	2.52	15.83	250.63

Tabla 10: Periodos del análisis modal del sistema tradicional⁶¹.

⁶¹ Elaboración propia programa SAP2000.

04.03.2. FUERZA CORTANTE MÍNIMA EN LA BASE.

El cálculo de fuerzas cortantes en la base se podrá realizar cuando la estructura esta empotrada en casos de aislamiento deberá de considerar un porcentaje inferior, para lo cual las fuerzas laterales debido a su carga se calcularon de la cuantificación de elementos participantes en el diseño.

CÁLCULO DE LA FUERZA HORIZONTAL Y MASAS

DATOS GENERALES DE LA EDIFICACIÓN

Z =	0.30	Tp =	0.40
U =	1.50	hn =	63.00
S =	1.00	N =	16
R =	5.25	Ct =	60

PERIODO FUNDAMENTAL DE LA ESTRUCTURA

$$T = \frac{h_n}{C_t} \implies T = 1.05 < 0.70 \implies F_a = \text{Calcular } F_a$$

FACTOR DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA:

$$C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right) \leq 2.5 \quad C = 0.95 \implies \therefore C = 0.95$$

$$\frac{C}{R} \geq 0.125 = 0.18 \implies \text{Correcto}$$

CÁLCULO DEL CORTANTE BASAL

$$V = \frac{ZUCS}{R} \times P \quad V = 1239.58 \text{ Ton}$$

CÁLCULO DE LA FUERZA SÍSMICA EN CADA PISO

NOTA: PARA ESTE CASO LA FUERZA NO SE UTILIZA, DEBIDO AL ANÁLISIS DINÁMICO

NIVEL	Pi (Ton)	hi (m)	Pixhi	(Pixhi)/(∑Pixhi)	Fi (Ton)
15º NIVEL	859.31	61.25	52632.73	0.112	139.15
14º NIVEL	859.31	59.25	50914.11	0.109	134.60
13º NIVEL	862.54	55.25	47655.28	0.102	125.99
12º NIVEL	898.73	51.25	46060.16	0.098	121.77
11º NIVEL	898.73	47.25	42465.22	0.091	112.27
10º NIVEL	898.73	43.25	38870.28	0.083	102.76
9º NIVEL	898.73	39.25	35275.34	0.075	93.26
8º NIVEL	898.73	35.25	31680.40	0.068	83.75
7º NIVEL	898.73	31.25	28085.46	0.060	74.25
6º NIVEL	898.73	27.25	24490.52	0.052	64.75
5º NIVEL	898.73	23.25	20895.58	0.045	55.24
4º NIVEL	898.73	19.25	17300.64	0.037	45.74
3º NIVEL	898.73	15.25	13705.70	0.029	36.23
2º NIVEL	898.73	11.25	10110.77	0.022	26.73
1º NIVEL	898.735	7.25	6515.83	0.014	17.23
MEZANINE	632.782	3.50	2214.74	0.005	5.86
SÓTANO	1186.041	0.00	0.00	0.000	0.00
	15184.798		468872.74		

SISTEMA DE FUERZAS ACTUANTES EN LA ESTRUCTURA

MASAS (TON-SEG ² /M)		FUERZA (TON)	INERCIA MASICA POLAR	C.M. (X, Y)
87.68	15° NIVEL	63.00	13168.48	Xcm= 17.29 -Ycm= -5.15
87.68	14° NIVEL	59.00	13168.48	Xcm= 17.29 -Ycm= -5.15
88.01	13° NIVEL	55.00	13217.97	Xcm= 17.31 -Ycm= -5.13
91.71	12° NIVEL	51.00	13772.65	Xcm= 17.66 -Ycm= -5.75
91.71	11° NIVEL	47.00	13772.65	Xcm= 17.66 -Ycm= -5.75
91.71	10° NIVEL	43.00	13772.65	Xcm= 17.66 -Ycm= -5.75
91.71	9° NIVEL	39.00	13772.65	Xcm= 17.66 -Ycm= -5.75
91.71	8° NIVEL	35.00	13772.65	Xcm= 17.66 -Ycm= -5.75
91.71	7° NIVEL	31.00	13772.65	Xcm= 17.66 -Ycm= -5.75
91.71	6° NIVEL	27.00	13772.65	Xcm= 17.66 -Ycm= -5.75
91.71	5° NIVEL	23.00	13772.65	Xcm= 17.66 -Ycm= -5.75
91.71	4° NIVEL	19.00	13772.65	Xcm= 17.66 -Ycm= -5.75
91.71	3° NIVEL	15.00	13772.65	Xcm= 17.66 -Ycm= -5.75
91.71	2° NIVEL	11.00	13772.65	Xcm= 17.66 -Ycm= -5.75
91.71	1° NIVEL	7.00	13772.65	Xcm= 17.37 -Ycm= -5.90
64.57	MEZANINE	3.50	9380.02	Xcm= 14.91 -Ycm= -3.79
121.02	SOTANO	0.00	19955.74	NO APLICABLE POR ESTAR AL NIVEL DEL SUELO
		-4.50		

Las masas se aplicaran al centro de masas de la estructura.
 las fuerzas por sismo solo sirven para el calculo de los momentos accidentales.

Tabla 11: Distribución de fuerzas laterales en centros de edificio.

04.03.3. ANÁLISIS DINÁMICO ESPECTRAL.

Una acción dinámica es aquella cuya variación en el tiempo es rápida y da origen a fuerzas de inercia comparables en magnitud con las fuerzas estáticas.

Para realizar el análisis a una estructura es necesario definir su modelo mecánico y definir el movimiento del terreno, de modo que el análisis dinámico puede realizarse mediante procedimientos de análisis espectral o de tiempo historia.

Debido a la carencia de registro de los eventos sísmicos cercanos al lugar de implantación del proyecto, el análisis dinámico se realizará con el espectro de respuesta propio de la estructura definido con los máximos valores de la respuesta del sistema expresado en función del período propio de la estructura.

CÁLCULO DE LA ACELERACIÓN ESPECTRAL SEGÚN NORMA SÍSMICA E.030

MEJORAMIENTO DE SERVICIOS ACADÉMICOS EN LA FORMACIÓN BÁSICA, INFORMÁTICA Y VIRTUAL EN LAS ESCUELAS PROFESIONALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

DATOS GENERALES:

Z =	0.30	Tp =	0.40	
U =	1.50	hn =	63.00	
S =	1.00	N =	16	
R =	5.25	CT =	60	Pe = 15185 Ton

PERIODO FUNDAMENTAL DE LA ESTRUCTURA

$$T = \frac{hn}{Ct} \implies T = 1.05 < 0.70 \quad Fa = \text{Calcular Fa} \quad \text{Calcular Fa}$$

FACTOR DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA:

$$C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right) \leq 2.5 \quad C = 0.95 \implies \therefore C = 0.95$$

$$\frac{C}{R} \geq 0.125 \implies 0.18 \text{ Correcto} \quad V = \frac{ZUCS}{R} Pe \implies V = 1239.58 \text{ Ton}$$

CÁLCULO DE LA ACELERACIÓN ESPECTRAL

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

$$S_A = 0.841 \text{ Ci}$$

$$C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right) \leq 2.5$$

T	C	Sa (x,y)	Sa (z)
0.10	2.50	2.10	1.40
0.25	2.50	2.10	1.40
0.50	2.00	1.68	1.12
0.75	1.33	1.12	0.75
1.00	1.00	0.84	0.56
1.25	0.80	0.67	0.45
1.50	0.67	0.56	0.37
1.75	0.57	0.48	0.32
2.00	0.50	0.42	0.28
2.25	0.44	0.37	0.25
2.50	0.40	0.34	0.22
2.75	0.36	0.31	0.20
3.00	0.33	0.28	0.19
3.25	0.31	0.26	0.17
3.50	0.29	0.24	0.16
3.75	0.27	0.22	0.15
4.00	0.25	0.21	0.14
4.25	0.24	0.20	0.13

4.50	0.22	0.19	0.12
4.75	0.21	0.18	0.12
5.00	0.20	0.17	0.11
5.25	0.19	0.16	0.11
5.50	0.18	0.15	0.10
5.75	0.17	0.15	0.10
6.00	0.17	0.14	0.09
6.25	0.16	0.13	0.09
6.50	0.15	0.13	0.09
6.75	0.15	0.12	0.08
7.00	0.14	0.12	0.08
7.25	0.14	0.12	0.08
7.50	0.13	0.11	0.07
7.75	0.13	0.11	0.07
8.00	0.13	0.11	0.07
9.00	0.11	0.09	0.06
10.00	0.10	0.08	0.06
11.00	0.09	0.08	0.05
20.00	0.05	0.04	0.03

Respuesta Sísmica

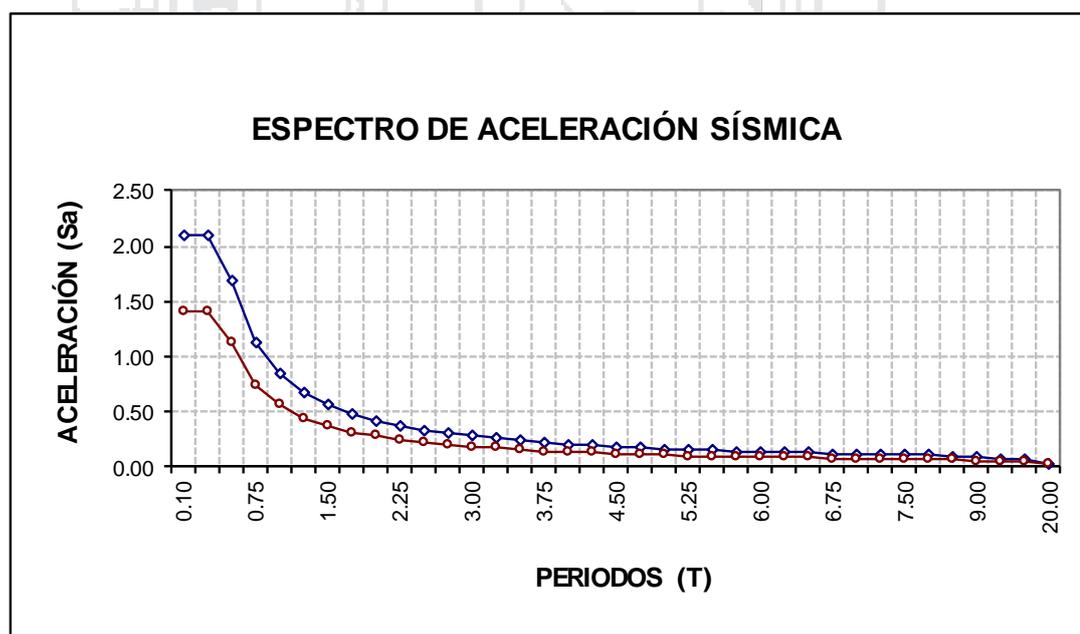


Tabla 12: Espectro de respuesta del sistema tradicional (RNE)⁶².

⁶² Elaboración propia.

04.04. ELECCIÓN DE CARGA VERTICAL ÚTIL PARA ACTIVACIÓN IDEAL DEL AISLADOR.

Para culminar con la elección de la combinación útil para el funcionamiento del aislador se tiene el siguiente cuadro resumido (Ver anexo 8):

JUEGO DE CARGAS PARA AISLADOR				
NRO.	Joint	CM+1.25CV1	CM+1.25CV2	CM+1.25CV3
35	1369	1061.10	876.36	854.92
36	1371	1063.81	933.07	849.70
41	1386	20.68	17.07	13.01
CARGA TOTAL		21041.12	18361.82	17830.04
VALOR MÁXIMO		1063.81	933.07	854.92
VALOR MÍNIMO		20.68	17.07	13.01

Tabla 13: Resumen de cargas verticales útiles para elección de aislador⁶³.

04.05. ELECCIÓN DEL SISTEMA DE AISLACIÓN.

Existen una serie de consideraciones a tomarse en cuenta para el análisis y diseño de una edificación con aisladores sísmicos:

04.05.1. A NIVEL DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO.

- De acuerdo con las especificaciones técnicas, cada aislador tiene un valor máximo de capacidad de carga, por lo que es necesario repartir uniformemente toda la carga del edificio para impedir que algún aislador se encuentre sobrecargado.
- La opción de flexibilizar a la estructura no podría ser ejecutada si existiesen desplazamientos diferenciales horizontales en ambas direcciones a nivel del sistema de aisladores, por lo que se deberá

⁶³ Elaboración propia programa SAP2000.

garantizar un diafragma rígido a nivel de la interfaz de aislamiento de la base.

- Evitar efectos de torsión en el nivel de aislamiento de la base, para controlar una mayor participación en el movimiento de los aisladores en la dirección perpendicular a la del análisis; ya que el objetivo de independizar el movimiento en cada dirección puede reducirse.
- Dado que los aisladores poseen una resistencia a tracción del orden del 10 – 15% de la de compresión, este parámetro tendrá que ser evaluado constantemente. Valores fuera de este rango modifican las propiedades de los aisladores y en casos extremos pueden llegar a dañarse.
- También se deberán considerar las deformaciones verticales, ya que podrían generar deformaciones diferenciales entre los distintos elementos de la superestructura.

04.05.2. A NIVEL DE LA ESTRUCTURA.

- Los desplazamientos en la interfaz de aislamiento pueden generar una excentricidad de la carga que resulta en momentos adicionales que deben ser tomados por la estructura.
- En el desplazamiento de diseño se debe contemplar las juntas de separación, que pueden ser alrededor de 50 cm
- Como esta tecnología es nueva, no se tiene mucha información real sobre los cambios mecánicos que ocurren en los aisladores a lo

largo del tiempo. En todo caso, deben instalarse de manera que pudieran ser intercambiados en un futuro.

- El desplazamiento de los aisladores puede producir momentos $P-\Delta$ elevados que deben ser tomados por la cimentación (o en el caso de aisladores FPS, estos son tomados enteramente por la superestructura).
- Se deberá conocer el comportamiento del suelo para seleccionar la combinación aisladores – estructura más apropiada.

04.05.3. ANÁLISIS DE MODOS Y FRECUENCIAS.

La modelación de la estructura de base fija se hizo en forma detallada considerando todos los elementos de la estructura, las únicas salvedades fueron las escaleras.

Se consideró la base del edificio empotrada al suelo. Para el sistema que conforma el piso en cada nivel se utilizó el constrain de diafragma, ya que se crearon las losas siendo estas junto con las uniones a vigas y pilares suficientes para generar el efecto de rigidez y la resistencia suficiente para lograr la distribución de las fuerzas inerciales entre los planos y subestructura verticales resistentes.

Las masas que son necesarias para el análisis modal se consideran a través metrado de cargas y su posterior colocación en el modelo manualmente.

Para la carga sísmica en la estructura convencional, se utilizó el análisis modal espectral contemplado en la norma NRE (Reglamento Nacional de Edificaciones), ingresando el espectro correspondiente a las características

sísmicas de la estructura, realizando el análisis en dos direcciones ortogonales entre sí.

En la figura 48 se muestra la vista tridimensional representativa de la estructura convencional:

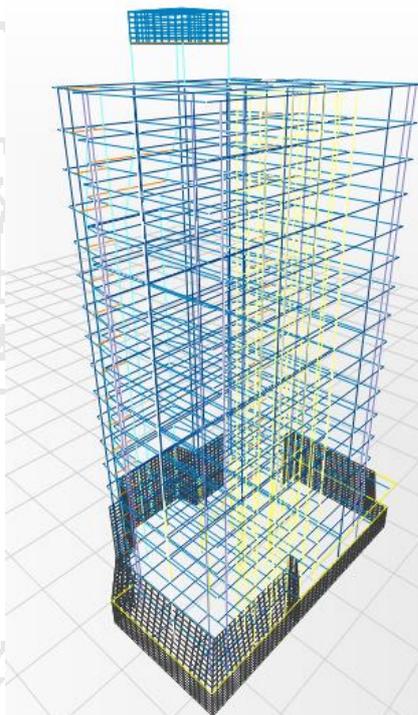


Ilustración 48: Vista en 3D de modelación de estructura convencional⁶⁴.

04.06. DISEÑO DE AISLADOR.

Aunque el elastómero utilizado en este tipo de aisladores se denomina de “alto amortiguamiento”, el principal mecanismo de disipación de energía del elastómero es histerético, es decir, la curva fuerza-deflexión forma una histéresis no lineal, sin embargo el código UBC 97 proporciona un procedimiento que permite convertir el área bajo la curva de histéresis a una relación equivalente de amortiguamiento viscoso útil para el análisis lineal equivalente.

⁶⁴ Elaboración propia programa SAP2000.

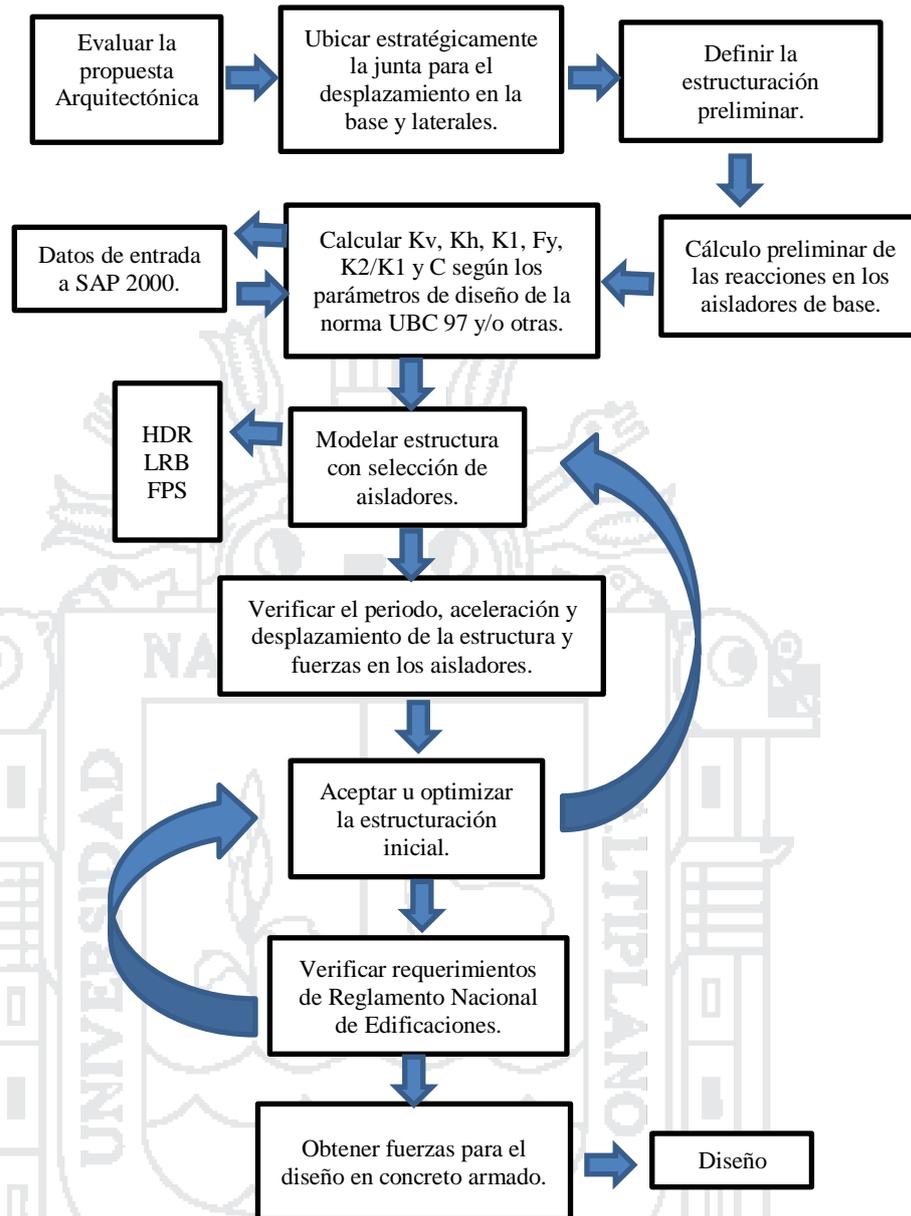


Ilustración 49: Flujograma de diseño⁶⁵.

El comportamiento del aislador elastomérico de alto amortiguamiento es diferente en compresión que en tracción, por lo que para el modelado se debe tener en cuenta las diferentes propiedades, ya que cada aislador se modela usando combinaciones de diferentes elementos del SAP2000. Los elementos que se utilizan para dar precisión al modelo de aisladores son: un elemento

⁶⁵ Elaboración propia programa SAP2000.

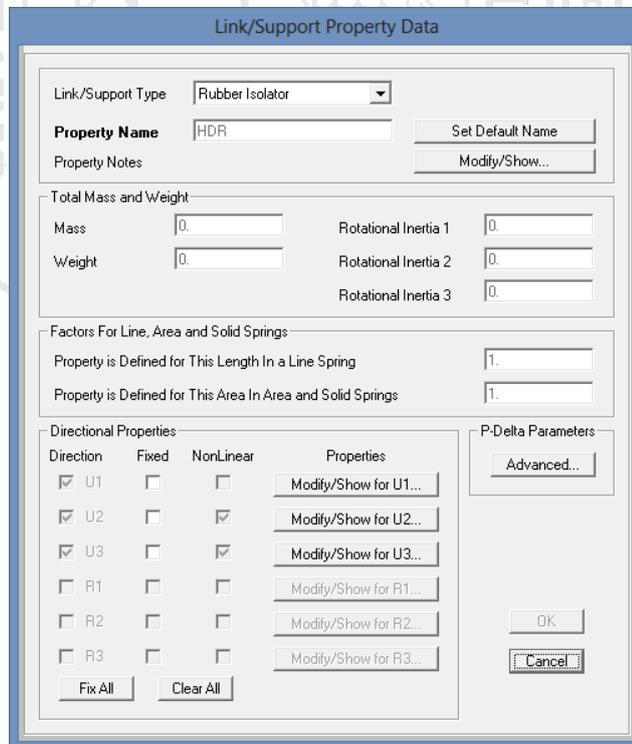
bilineal de histéresis con rigidez lineal combinado con un elemento uniaxial conectados por un enlace extremadamente rígido.

En el anexo 25 podremos visualizar los diferentes cálculos realizados para obtener las diferentes propiedades y demás requerimientos que el programa SAP2000 busca para el cálculo y desarrollo de estos elementos.

04.06.1. ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON AISLACIÓN DE LA BASE (HDR).

a) PARÁMETROS DEL MODELAMIENTO DE AISLADOR HDR.

Las variaciones de frecuencia de los aisladores son explícitamente modeladas utilizando “NLLink” o “propiedades de enlace” en español, con velocidad de amortiguación dependiente y exponentes no lineales, el elemento RUBBER ISOLATOR se utiliza para modelar el aislador elastomérico con los datos obtenidos en la memoria de cálculo.



Link/Support Property Data

Link/Support Type: Rubber Isolator

Property Name: HDR

Property Notes:

Total Mass and Weight

Mass: 0.0, Rotational Inertia 1: 0.0, Weight: 0.0, Rotational Inertia 2: 0.0, Rotational Inertia 3: 0.0

Factors For Line, Area and Solid Springs

Property is Defined for This Length In a Line Spring: 1.0

Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs: 1.0

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
U1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...
U2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...
U3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...
R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...

P-Delta Parameters: Advanced...

Buttons: Fix All, Clear All, OK, Cancel

Ilustración 50: Datos de las propiedades de enlace para el aislador tipo HDR

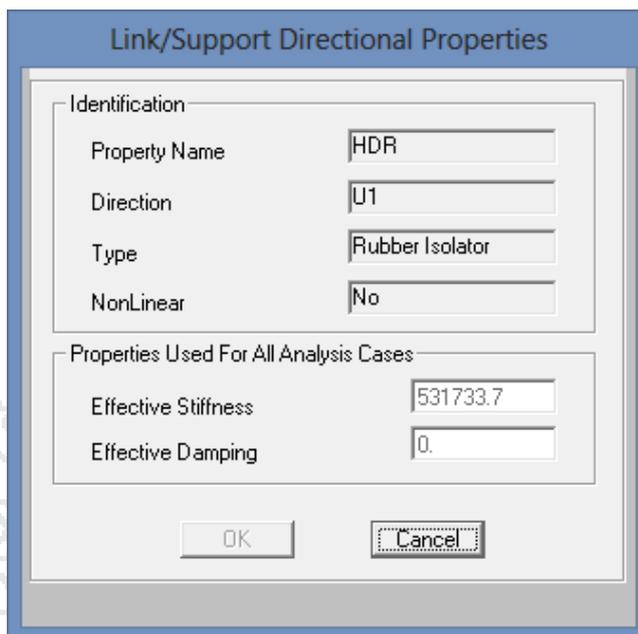


Ilustración 51: Propiedades Lineales para el Aislador tipo HDR eje 01⁶⁶.

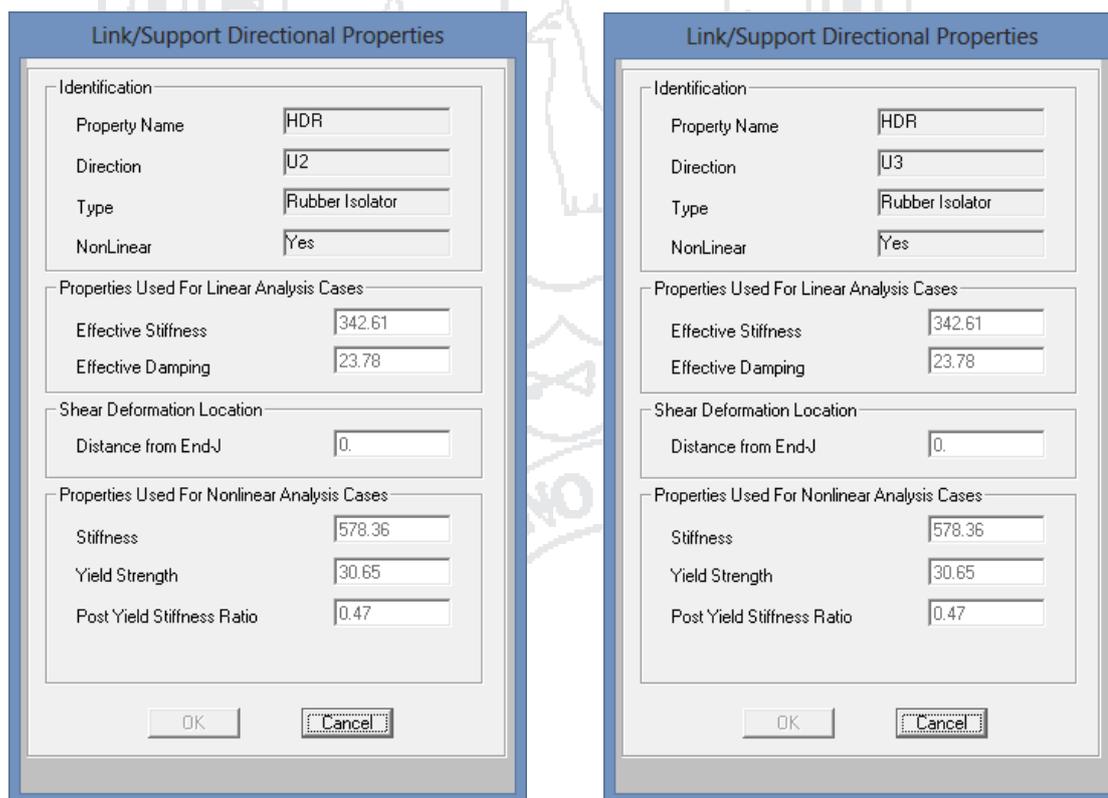


Ilustración 52: Propiedades No Lineales para el aislador HDR eje 02 y 03⁶⁷.

⁶⁶ Elaboración propia programa SAP2000.

⁶⁷ Elaboración propia programa SAP2000.

Después, habiendo seleccionado los puntos en la base donde se colocarán los aisladores, se les asigna el elemento link correspondiente. Finalmente, se seleccionan todos los puntos en la base y se les asigna un diafragma rígido.

b) VERIFICACIÓN DE RESULTADOS DEL SISTEMA DE AISLACIÓN DE LA BASE.

Ante una acción exterior, la respuesta de la estructura dependerá de sus modos de vibrar y sus respectivas frecuencias o períodos; los períodos de vibración dependen de las características geométricas, de la rigidez y de la masa que la estructura opone al movimiento.

Se ha obtenido los períodos y modos de vibración, cabe señalar que el uso de aisladores concentra la vibración de la edificación prácticamente en un solo modo por dirección.

Para mayor detalle ver anexo 9:

TABLE: Modal Periods And Frequencies					
StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
Mode	1	2.26	0.44	2.78	7.72
Mode	2	2.20	0.45	2.86	8.16
Mode	3	1.66	0.60	3.79	14.35
Mode	4	0.67	1.50	9.40	88.32
Mode	5	0.65	1.55	9.74	94.86

Tabla 14: Resumen de periodos y frecuencias HDR⁶⁸.

A continuación, podremos ver la ubicación de los aisladores en la línea de aislamiento, esta ubicación representa no solamente el esquema usado para la obtención de las reacciones en un estado inicial de empotramiento sino también

⁶⁸ Elaboración propia programa SAP2000.

para el modelado de los diferentes tipos de sistema de aislación de la base que usaremos en el presente tema de investigación.

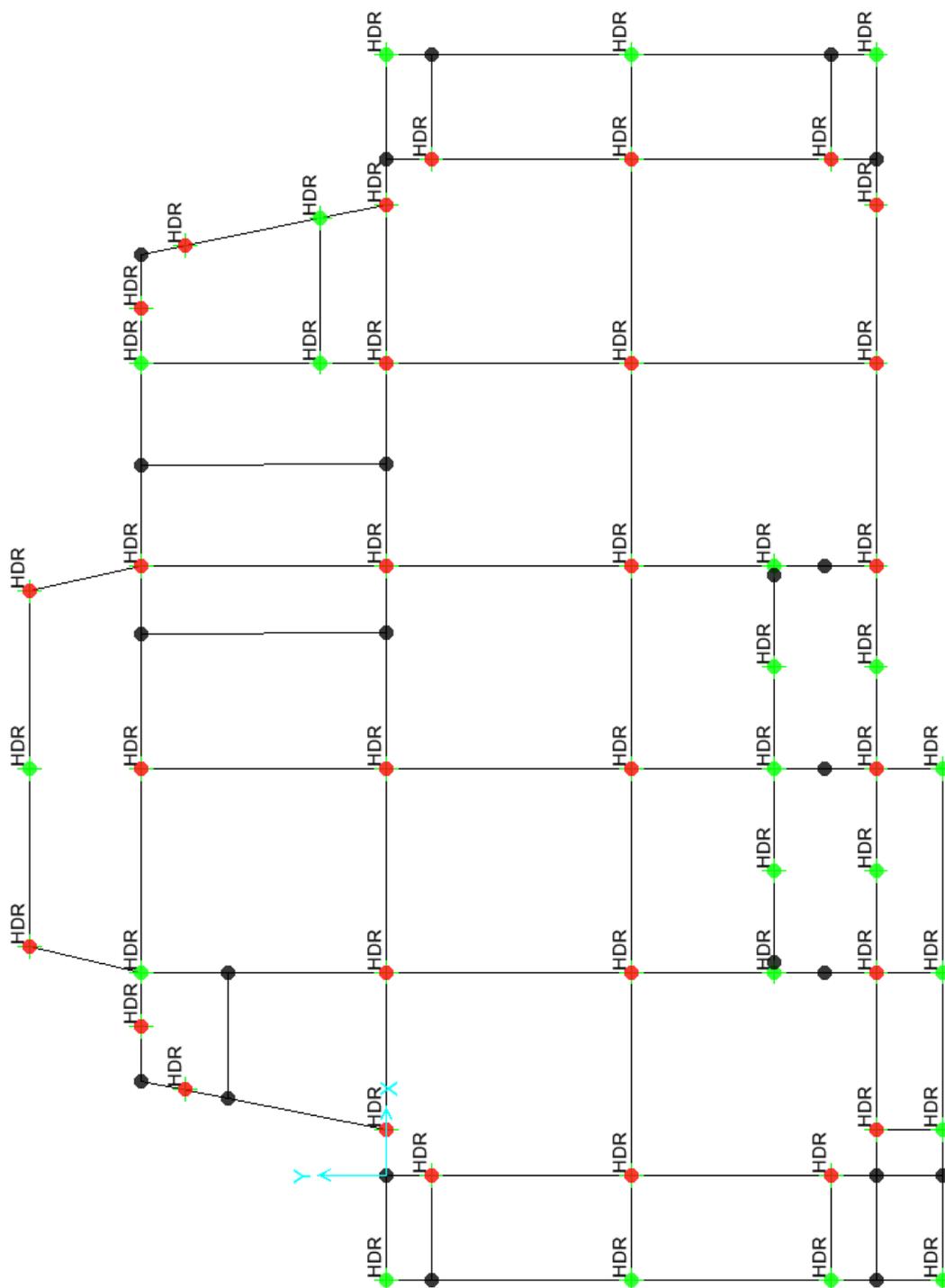


Ilustración 53: Distribución de aisladores HDR⁶⁹.

⁶⁹ Elaboración propia.

04.06.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON AISLACIÓN DE LA BASE (LRB Y HDR).

a) PARÁMETROS DEL MODELAMIENTO DE AISLADOR LRB Y HDR.

El modelamiento con aisladores sísmicos tipo LBR y HDR, tiene la misma metodología que para el aislador tipo HDR, por lo que a continuación se presenta el modelamiento del sistema aislado.

Con los aisladores tipo LBR básicamente se adiciona amortiguamiento al sistema de aislamiento, es decir que disminuiría el desplazamiento de diseño, aumentaría a rigidez del sistema y finalmente habría una disminución del período objetivo.

Los aisladores tipo LBR se colocarán en 22 columnas ubicadas en los extremos del edificio.

El modelamiento del aislador HDR se realiza de forma idéntica que en la sección anterior.

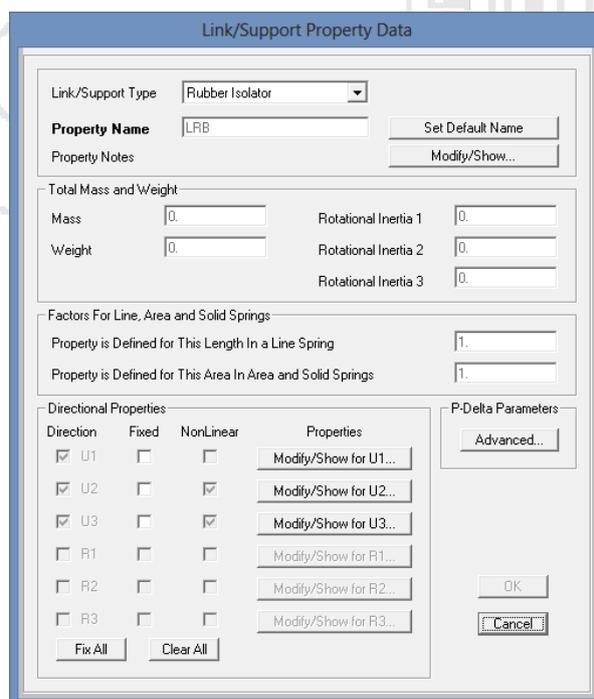


Ilustración 54: Datos de las propiedades de enlace para el aislador tipo LRB.

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: LRB

Direction: U1

Type: Rubber Isolator

NonLinear: No

Properties Used For All Analysis Cases

Effective Stiffness: 424603.4

Effective Damping: 0.

OK Cancel

Ilustración 55: Propiedades Lineales para el Aislador tipo LRB eje 01⁷⁰.

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: LRB

Direction: U2

Type: Rubber Isolator

NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness: 1185.77

Effective Damping: 26.44

Shear Deformation Location

Distance from End-J: 0.

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases

Stiffness: 1243.63

Yield Strength: 16.08

Post Yield Stiffness Ratio: 0.09

OK Cancel

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: LRB

Direction: U3

Type: Rubber Isolator

NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness: 1185.77

Effective Damping: 26.44

Shear Deformation Location

Distance from End-J: 0.

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases

Stiffness: 1243.63

Yield Strength: 16.08

Post Yield Stiffness Ratio: 0.09

OK Cancel

Ilustración 56: Propiedades No Lineales para el aislador HDR eje 02 y 03⁷¹.

⁷⁰ Elaboración propia programa SAP2000.

⁷¹ Elaboración propia programa SAP2000.

Después, habiendo seleccionado los puntos en la base donde se colocarán los aisladores, se les asigna el elemento link correspondiente según la siguiente figura. Finalmente, se seleccionan todos los puntos en la base y se les asigna un diafragma rígido.

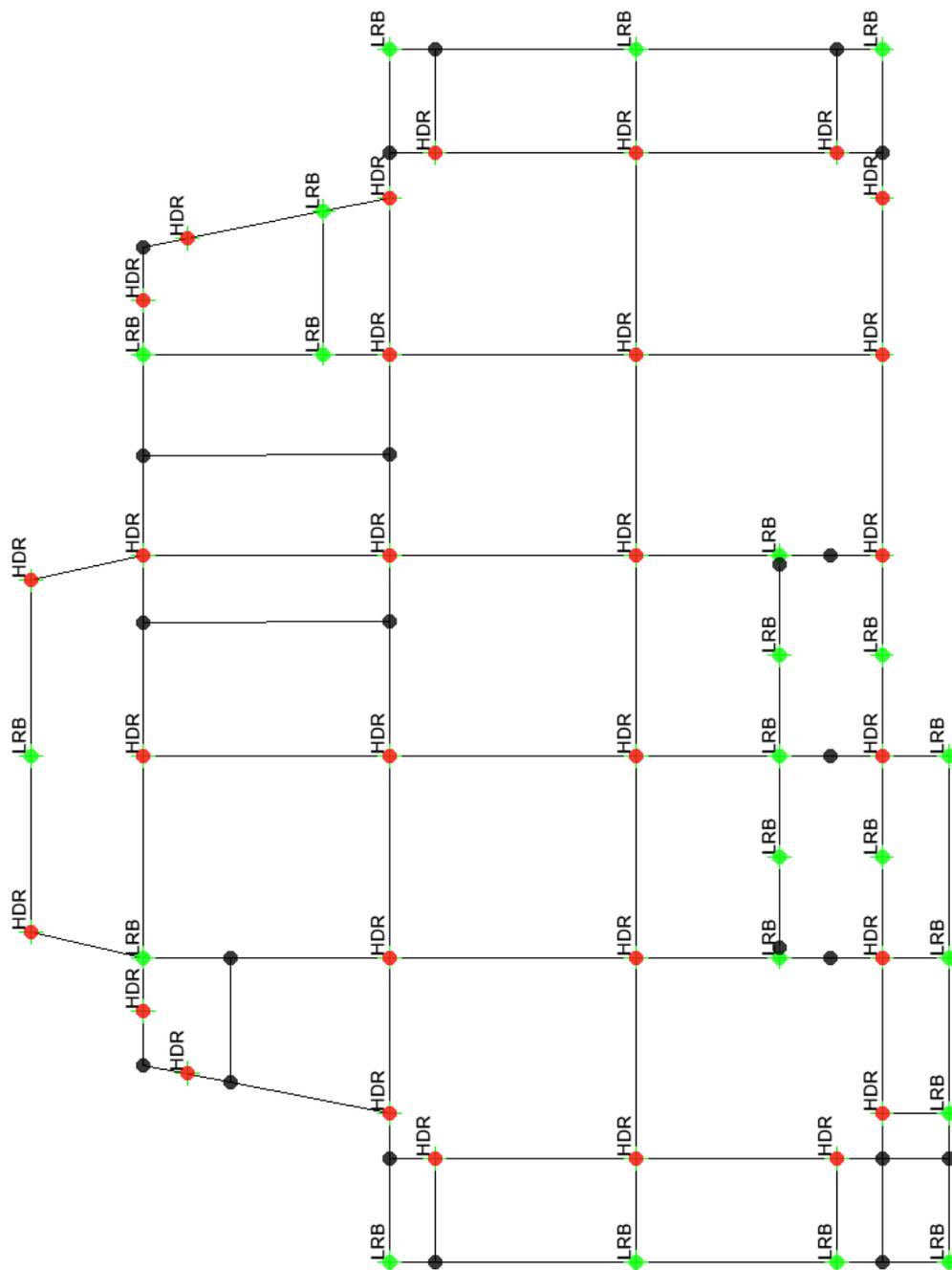


Ilustración 57: Distribución de aisladores HDR y LRB⁷².

⁷² Elaboración propia.

b) VERIFICACIÓN DE RESULTADOS DEL SISTEMA DE AISLACIÓN DE LA BASE HDR Y LRB.

Ante una acción exterior, la respuesta de la estructura dependerá de sus modos de vibrar y sus respectivas frecuencias o períodos; los períodos de vibración dependen de las características geométricas, de la rigidez y de la masa que la estructura opone al movimiento.

Para mayor detalle ver anexo 10:

TABLE: Modal Periods And Frequencies					
StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
Mode	1	1.89	0.53	3.33	11.11
Mode	2	1.83	0.55	3.43	11.74
Mode	3	1.32	0.76	4.77	22.73
Mode	4	0.60	1.66	10.42	108.55
Mode	5	0.59	1.70	10.66	113.64

Tabla 15: Resumen de periodos y frecuencias 30HRD + 22LRB⁷³.

04.06.3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON AISLACIÓN DE LA BASE (FPS).

a) PARÁMETROS DEL MODELAMIENTO DE AISLADOR FPS.

El modelamiento de los aisladores tipo péndulo friccionante varía con relación a los sistemas anteriores HDR y LBR, ya que el aislador tipo FPS posee característica adiciones a los sistemas anteriores.

Después, habiendo seleccionado los puntos en la base donde se colocarán los aisladores, se les asigna el elemento link correspondiente. Finalmente, se seleccionan todos los puntos en la base y se les asigna un diafragma rígido.

⁷³ Elaboración propia programa SAP2000.

Ilustración 58: Datos de las propiedades de enlace para el aislador tipo FPS⁷⁴.

Ilustración 59: Propiedades Lineales para el Aislador tipo FPS eje 01⁷⁵.

⁷⁴ Elaboración propia programa SAP2000.

⁷⁵ Elaboración propia programa SAP2000.

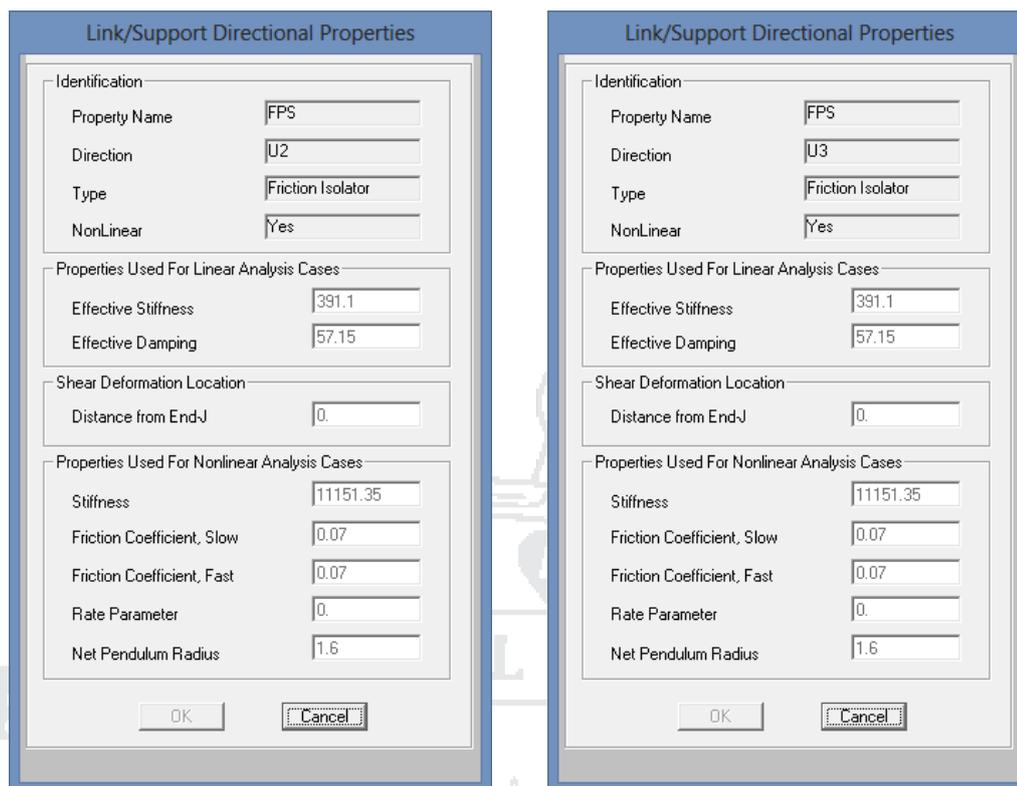


Ilustración 60: Propiedades No Lineales para el aislador FPS eje 02 y 03⁷⁶.

b) VERIFICACIÓN DE RESULTADOS DEL SISTEMA DE AISLACIÓN DE LA BASE FPS.

Se ha obtenido los períodos y modos de vibración, cabe señalar que el uso de aisladores concentra la vibración de la edificación prácticamente en un solo modo por dirección. Para mayor detalle ver anexo 11:

TABLE: Modal Periods And Frequencies					
StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
Mode	1	2.17	0.46	2.89	8.37
Mode	2	2.11	0.47	2.98	8.88
Mode	3	1.59	0.63	3.96	15.66
Mode	4	0.66	1.52	9.56	91.47
Mode	5	0.63	1.58	9.90	98.03

Tabla 16: Resumen de periodos y frecuencias FPS⁷⁷.

⁷⁶ Elaboración propia programa SAP2000.

⁷⁷ Elaboración propia programa SAP2000.

04.07. CONTROL DE LA DISTORSIÓN DE PISO O DERIVAS.

La deriva de piso es el parámetro más importante para cumplir con los objetivos de este proyecto de investigación, que es comparar el comportamiento de las distintas estructuras aisladas versus la estructura tradicional con cimentaciones.

Este parámetro se conoce como factor de ductilidad de entrepiso y se define como la relación del máximo desplazamiento en el cual se presenta la primera fluencia en alguna sección.

Para fines de un correcto diseño sísmico, se debe evitar el daño de elementos no estructurales causado por sismos moderados que puedan presentarse en la vida útil de la construcción, es por esto que el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), establece desplazamientos laterales admisibles para el sismo de diseño.

$$\Delta_M = 0,75 * R * \Delta_E$$

Ilustración 61: Factor de ductilidad de entrepiso.

En vista de la falta de experiencia sobre asilamiento por la base en nuestro país, se han considerado las experiencias de otros países latinoamericanos, por lo que es necesario diferenciar entre el factor de reducción de fuerza sísmica (R), que se refiere al coeficiente entre el cual se divide la fuerza sísmica amplificada del espectro de aceleraciones y, el factor de reducción (FR), el cual indica el número de veces que se reduce la fuerza representativa entre la obtenida del análisis del edificio empotrado y de su versión aislada.

04.07.1. DERIVAS DE PISO DEL SISTEMA TRADICIONAL EMPOTRADO.

Mediante las derivas y un parámetro comparativo podemos evaluar la aceptación en diseño de una edificación; es así, que la norma peruana el Reglamento Nacional de Edificaciones establece que la distorsión máxima o deriva no excederá el valor $\Delta=0.007$, cumpliéndose este parámetro en un sistema convencional como el que se proyectó.

Se encontraron valores que se encuentran alejados de este parámetro en el eje "X" se encontró una deriva máxima de $\Delta=0.003$, y en el eje "Y" una deriva máxima de $\Delta=0.003$; valores que se encuentran alejados del parámetro del reglamento el que nos hace presumir que la estructura es muy rígida y por lo tanto más costosa, para ver con mayor detalle el cálculo de las derivas ver anexo 12 para encontrar los desplazamientos importantes y ver anexo 13 para encontrar las derivas de la edificación, como se muestra en la figura 62.

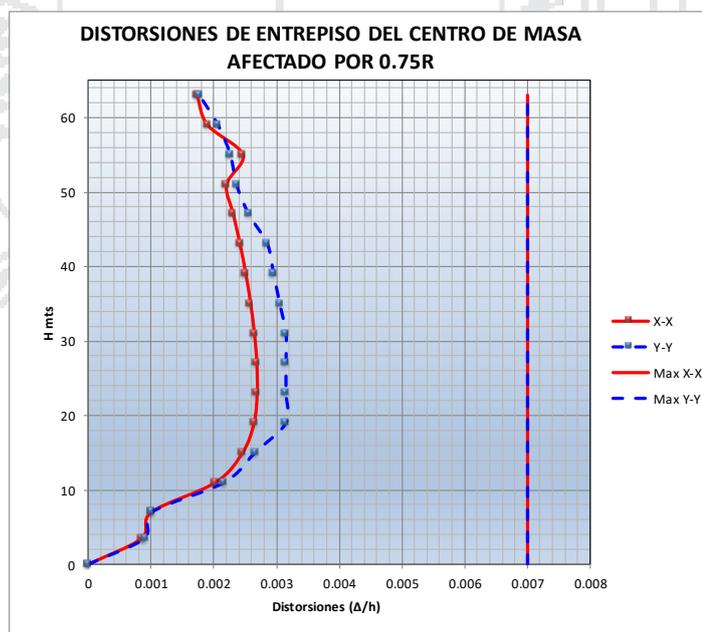


Ilustración 62: Derivas y desplazamientos estructura empotrada⁷⁸.

⁷⁸ Elaboración propia.

04.07.2. DERIVAS DE PISO DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO HDR.

La figura 63 se observa las máximas derivas de piso, que se obtienen por el espectro sísmico tanto en X como en Y, cuyos valores se obtuvieron tomando en cuenta los parámetros iniciales de diseño, al hacer una comparación con las derivas de piso del sistema convencional se puede decir que ocurren reducciones en las derivas de piso del sistema aislado.

Se nota un salto en la línea de aislamiento dejándonos decir que la base estructura aislada incide en las derivas significativamente, también se puede notar una disminución notable en las derivas que inicialmente eran más pronunciadas, en este cálculo se usaron 52 aisladores tipo HDR, distribuidos en la línea de aislamiento. Para ver con mayor detalle el cálculo de las derivas ver anexo 14 para encontrar los desplazamientos importantes y ver anexo 15 para encontrar las derivas de la edificación, como se muestra en la figura 63.



Ilustración 63: Derivas de piso del sistema aislado para al aislador HDR⁷⁹.

⁷⁹ Elaboración propia.

04.07.3. DERIVAS DE PISO SISTEMA COMBINADO HDR+LBR.

La figura 64 se observa las máximas derivas de piso, que se obtienen por el espectro sísmico tanto en X como en Y, cuyos valores se obtuvieron tomando en cuenta los parámetros iniciales de diseño, al hacer una comparación con las derivas de piso del sistema convencional una vez más se puede concluir que ocurren reducciones en las derivas de piso del sistema aislado.

Al igual que lo anterior se nota un salto en la línea de aislamiento dejándonos decir que la base estructura aislada incide en las derivas significativamente, también se puede notar una disminución notable en las derivas, en este cálculo se usaron 30 aisladores tipo HDR y 22 aisladores LRB, distribuidos en la línea de aislamiento como se hizo anteriormente.

Ver anexo 16 para encontrar los desplazamientos importantes y ver anexo 17 para encontrar las derivas de la edificación, como se muestra en la figura 64.

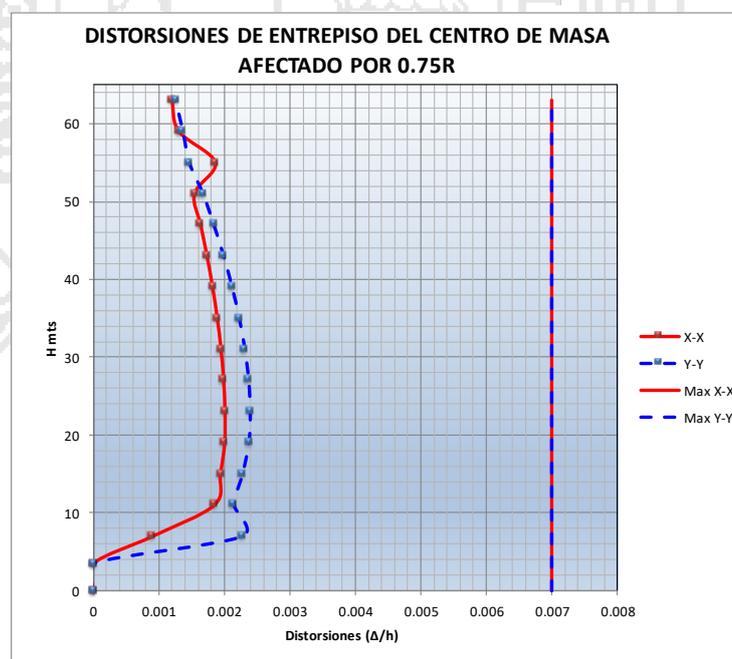


Ilustración 64: Derivas de piso del sistema aislado combinado HDR y LBR⁸⁰.

⁸⁰ Elaboración propia.

04.07.4. DERIVA DE PISO DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO FPS

La figura 65 se observa las máximas derivas de piso, que se obtienen por el espectro sísmico tanto en X como en Y, cuyos valores se obtuvieron tomando en cuenta los parámetros iniciales de diseño, al hacer una comparación con las derivas de piso del sistema convencional una vez más se puede concluir que ocurren reducciones en las derivas de piso del sistema aislado.

Debemos aclarar que en este cálculo se usaron 52 aisladores tipo FPS, distribuidos en la línea de aislamiento como se hizo anteriormente para poderlas comparar, sin duda este es el mejor comportamiento obtenido.

Para ver con mayor detalle el cálculo de las derivas ver anexo 18 para encontrar los desplazamientos importantes y ver anexo 19 para encontrar las derivas de la edificación, como se muestra en la figura 65.

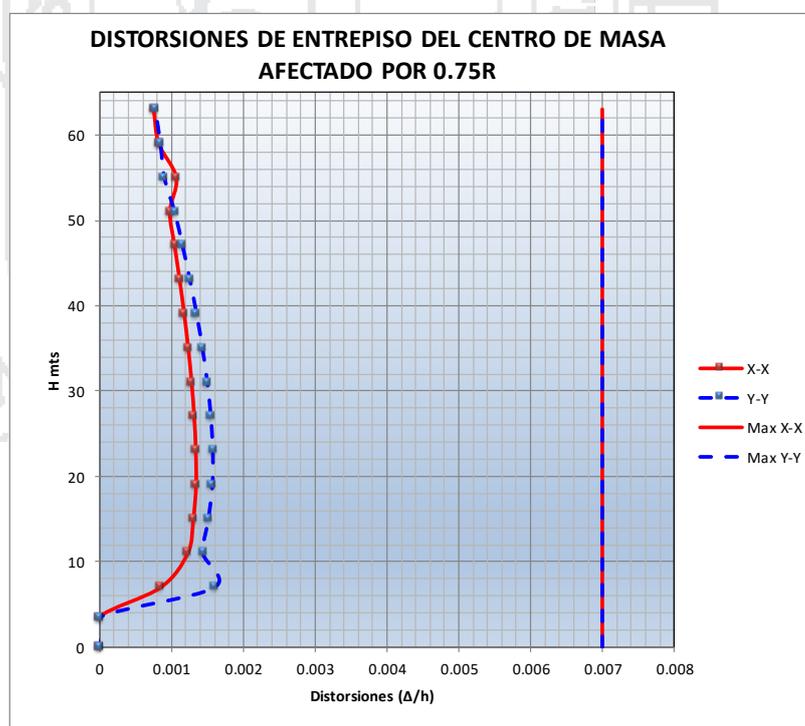


Ilustración 65: Derivas de piso obtenidas de la estructura aislada tipo FPS⁸¹.

⁸¹ Elaboración propia programa SAP2000.

04.07.5. DESPLAZAMIENTO RELATIVO DEL SISTEMA CON AISLACIÓN DE LA BASE.

DESPLAZAMIENTO MÁXIMO DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO [cm]		
TIPO DE AISLAMIENTO	SISMO X	SISMO Y
HDR	4.43	4.66
HDR+LBR	4.28	4.68
FPS	3.68	3.90

Tabla 17: Resumen de los desplazamientos del sistema de aislamiento (Fuente Propia).

Una de las medidas representativas de un sistema estructural sujeto a fuerzas laterales, es el desplazamiento lateral de entrepiso, para evitar el daño de los elementos estructurales y no estructurales no deberían presentar grandes desplazamientos relativos.

Los valores de la tabla 17 representan la deformación de los diferentes sistemas de aislamiento, como se puede apreciar, el aislador tipo FPS presenta la menor deformación en la interfaz de aislamiento con un desplazamiento de 3.68 cm en dirección X debido al espectro sísmico X, y un desplazamiento de 3.90 en dirección Y debido al espectro sísmico en dirección Y.

Comparando los desplazamientos del sistema de aislamiento tipo HDR observamos que el desplazamiento respecto del sistema FPS se ha incrementado en 0.75 cm en X y 0.76 cm en dirección Y frente a un sistema tradicional.

Comparando los desplazamientos del sistema combinado HDR+LBR respecto del sistema FPS vemos que se desplaza 0.60 cm más que el aislador FPS, en sentido X, mientras que en el sentido Y, se desplaza 0.78 cm más que el aislador tipo FPS.

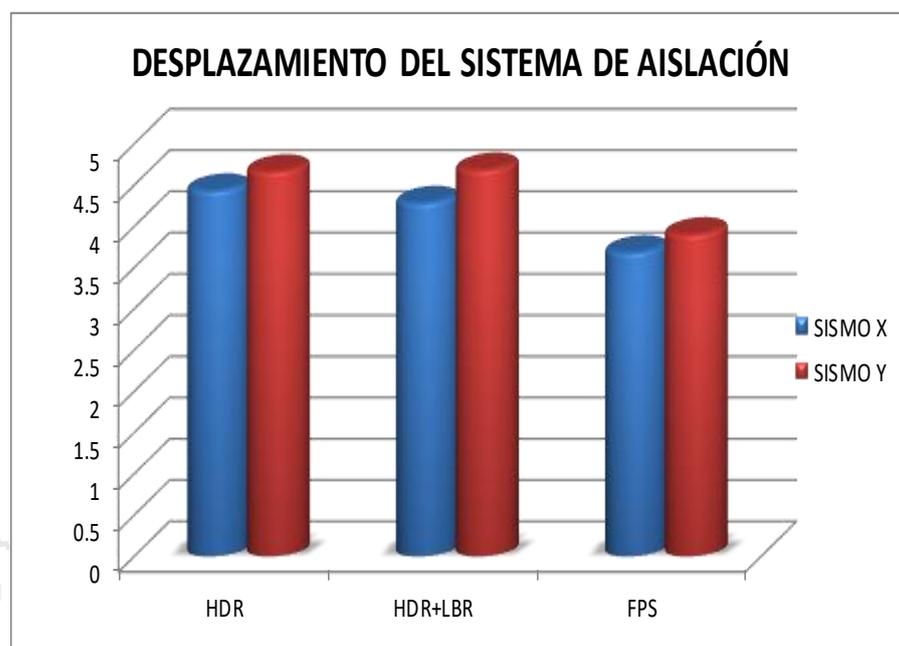


Ilustración 66: Desplazamiento del sistema de aislamiento (Fuente propia).

En la figura 66 se representa gráficamente los desplazamientos representativos que los sistemas de aislamiento sufren como consecuencia del espectro sísmico en X e Y. Al respecto de los datos expuestos, se puede ver que las deformaciones tanto en X como en Y son menores a los 4.66 cm impuestos por lo normal en un sistema tradicional. Recordemos que, para el diseño del segundo sistema de aislamiento, se combinó 22 HDR + 30 LRB con la finalidad de adicionar amortiguamiento al sistema de aislamiento y además dar mayor rigidez torsional al edificio aislado.

04.07.6. DESPLAZAMIENTO RELATIVO DE LA SUPERESTRUCTURA CON
AISLACIÓN DE LA BASE.

DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS EN X				
PISO	H (m)	HRD (cm)	HRD+LRB(cm)	FPS (cm)
BASE	0.00	0.00	0.00	0.00
MZ	3.50	2.50	1.68	1.97
P1	7.00	2.57	1.76	2.05
P2	11.00	2.71	1.95	2.17
P3	15.00	2.86	2.15	2.31
P4	19.00	3.02	2.35	2.44
P5	23.00	3.17	2.55	2.58
P6	27.00	3.33	2.76	2.71
P7	31.00	3.47	2.96	2.84
P8	35.00	3.62	3.15	2.97
P9	39.00	3.75	3.33	3.09
P10	43.00	3.88	3.51	3.20
P11	47.00	4.00	3.68	3.31
P12	51.00	4.12	3.83	3.41
P13	55.00	4.25	4.02	3.52
P14	59.00	4.34	4.16	3.60
P15	63.00	4.43	4.28	3.68

Tabla 18: Desplazamiento relativo de la superestructura en dirección X⁸².

Como se ha mencionado anteriormente, el control del desplazamiento de entrepiso o drift es un parámetro muy importante, ya que está relacionado de manera muy directa con el daño a los elementos estructurales y no estructurales, lo que implicaría que para evaluar la eficiencia de los sistemas aislados, estos deberían conseguir disminuir los desplazamientos relativos en la superestructura de esta forma lograr dar mayor protección a la estructura.

En la tabla 18 se presentan los desplazamientos de entrepiso expresados en cm, se puede observar como el desplazamiento de la superestructura va aumentando para cada piso respecto de la base de aislamiento.

Como se puede apreciar, los sistemas de aislamiento responden de manera adecuada ya que los desplazamientos relativos son pequeños en

⁸² Fuente: elaboración propia.

dirección X, lo que resulta muy beneficioso para la estructura. Para facilitar la interpretación de los desplazamientos de la superestructura debido al espectro sísmico en X, se ha realizado una representación gráfica en la figura 67 para facilitar la comparación entre los sistemas de asilamiento por la base.

Es importante, notar también que los mayores desplazamientos se concentran en la interfaz de aislamiento.

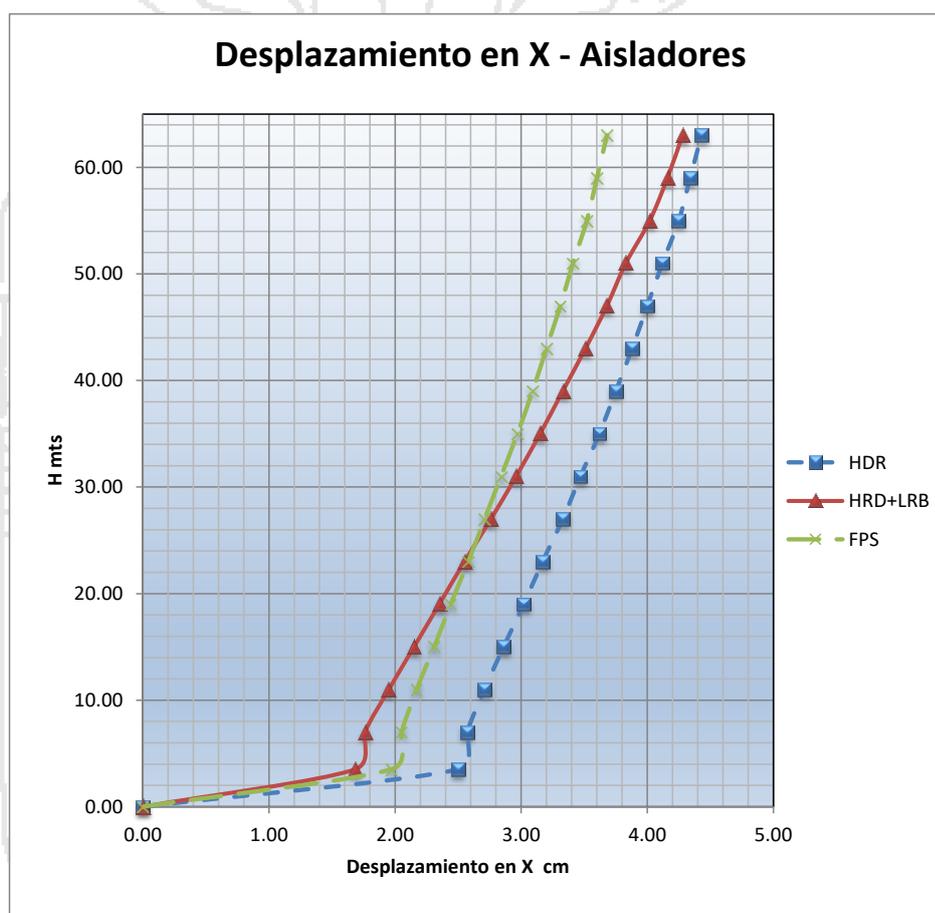


Ilustración 67: Desplazamiento relativo de la superestructura en dirección X⁸³.

Se aprecia claramente que el sistema de aislamiento tipo FPS, es el que presenta los menores desplazamientos en dirección X, pues el desplazamiento en el último piso llega a 3.68 cm, el sistema combinado HDR+LBR permite un

⁸³ Fuente: elaboración propia.

desplazamiento hasta 4.28 cm, mientras que el aislador HDR permite un desplazamiento hasta 4.43 cm.

DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS EN Y				
PISO	H (m)	HRD (cm)	HRD+LRB (cm)	FPS (cm)
BASE	0.00	0.00	0.00	0.00
MZ	3.50	2.43	1.66	1.94
P1	7.00	2.61	1.86	2.08
P2	11.00	2.77	2.08	2.23
P3	15.00	2.95	2.31	2.38
P4	19.00	3.12	2.55	2.54
P5	23.00	3.31	2.79	2.70
P6	27.00	3.48	3.03	2.86
P7	31.00	3.65	3.27	3.01
P8	35.00	3.82	3.50	3.16
P9	39.00	3.97	3.71	3.30
P10	43.00	4.12	3.91	3.42
P11	47.00	4.25	4.10	3.54
P12	51.00	4.37	4.27	3.65
P13	55.00	4.47	4.42	3.74
P14	59.00	4.57	4.56	3.83
P15	63.00	4.66	4.68	3.90

Tabla 19: Desplazamiento relativo de la superestructura en dirección Y⁸⁴.

En la tabla 26 se presentan las deformaciones de la superestructura por el espectro sísmico en Y, vemos que el aislador FPS es el que permite los menores desplazamientos de la superestructura.

En la figura 68 fácilmente se puede comparar los sistemas de aislamiento, de modo que el aislador FPS permite el desplazamiento de la estructura hasta 3.90 cm en el piso más alto, el sistema combinado HRD+LBR permite un desplazamiento hasta los 4.68 cm, mientras que el aislador tipo HDR permite un desplazamiento hasta los 4.66 cm.

⁸⁴ Fuente: elaboración propia.

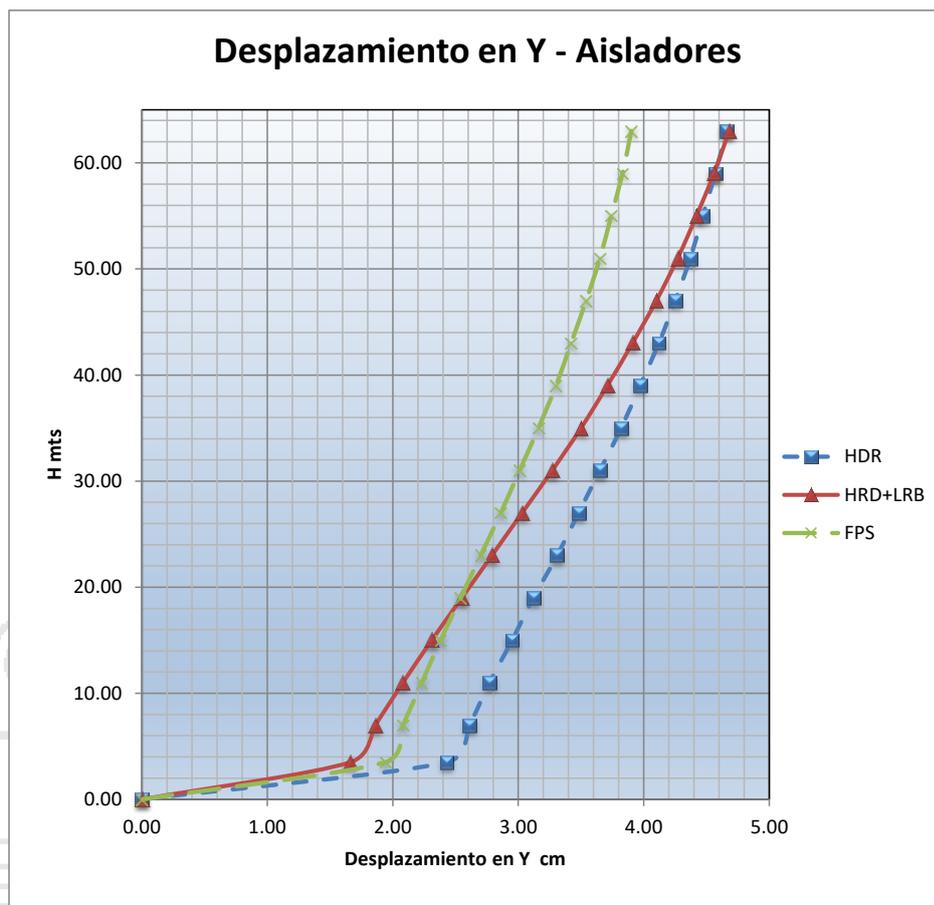


Ilustración 68: Desplazamiento relativo de la superestructura en dirección Y⁸⁵.

Es importante notar que los tres sistemas de aislamiento tienen la misma tendencia en ambas direcciones. Finalmente podemos decir que el sistema FPS es el que entrega los mejores resultados tanto en X, como en dirección Y, está claro que a mayor amortiguamiento obtenemos menores desplazamientos en todos los parámetros X e Y, permitiendo una disminución de los desplazamientos relativos respecto del aislador tipo HDR, lo que también se debe a que los aisladores con núcleo de plomo fueron ubicados justo donde el sistema de aislamiento experimenta mayores desplazamientos transversales. Hablando en forma general, vemos que los valores del desplazamiento en X son semejantes a los desplazamientos en Y, lo que significa que los tres sistemas

⁸⁵ Fuente: elaboración propia.

de aislamiento permiten el giro de la superestructura evitando de esta manera esfuerzos torsionales innecesarios.

Para terminar con el análisis del desplazamiento relativo de la superestructura, es necesario comparar los desplazamientos del sistema FPS con los desplazamientos de la estructura empotrada.

PISO	H (m)	DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS EN X		DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS EN Y	
		Empotrado (cm)	FPS (cm)	Empotrado (cm)	FPS (cm)
BASE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MZ	3.50	0.08	1.97	0.08	1.94
P1	7.00	0.16	2.05	0.17	2.08
P2	11.00	0.37	2.17	0.39	2.23
P3	15.00	0.62	2.31	0.66	2.38
P4	19.00	0.89	2.44	0.98	2.54
P5	23.00	1.16	2.58	1.30	2.70
P6	27.00	1.43	2.71	1.62	2.86
P7	31.00	1.70	2.84	1.94	3.01
P8	35.00	1.97	2.97	2.25	3.16
P9	39.00	2.22	3.09	2.55	3.30
P10	43.00	2.47	3.20	2.84	3.42
P11	47.00	2.70	3.31	3.10	3.54
P12	51.00	2.92	3.41	3.34	3.65
P13	55.00	3.17	3.52	3.57	3.74
P14	59.00	3.37	3.60	3.78	3.83
P15	63.00	3.54	3.68	3.96	3.90

Tabla 20: Comparación de la deformación relativa por nivel para la estructura convencional empotrada y aislada⁸⁶.

Al comparar los datos expuestos en la tabla 20 podemos apreciar que el sistema convencional empotrado tiene el menor desplazamiento en X, pues en el décimo quinto piso el desplazamiento llega a 3.54 cm mientras que para el sistema FPS el desplazamiento en el último piso llega a 3.68 cm.

Sin embargo, el desplazamiento en la base del edificio convencional es 0,00 cm y va aumentando conforme la altura del edificio, el que es un

⁸⁶ Fuente: elaboración propia.

comportamiento normal de este tipo de sistemas, ya que de esta forma se disipa la energía entregada por el sismo, al compáralo con el sistema aislado FPS, podemos ver que en la interfaz de aislamiento se disipa la mayor cantidad de la energía del sismo, es por esto que presenta un desplazamiento de 1.97 cm en la interfaz de aislamiento y va aumentando hasta que en el último piso el desplazamiento llega a 3.68 cm, es necesario mencionar que la superestructura se desplaza únicamente 1.71 cm que técnicamente es menor al desplazamiento de la estructura tradicional.

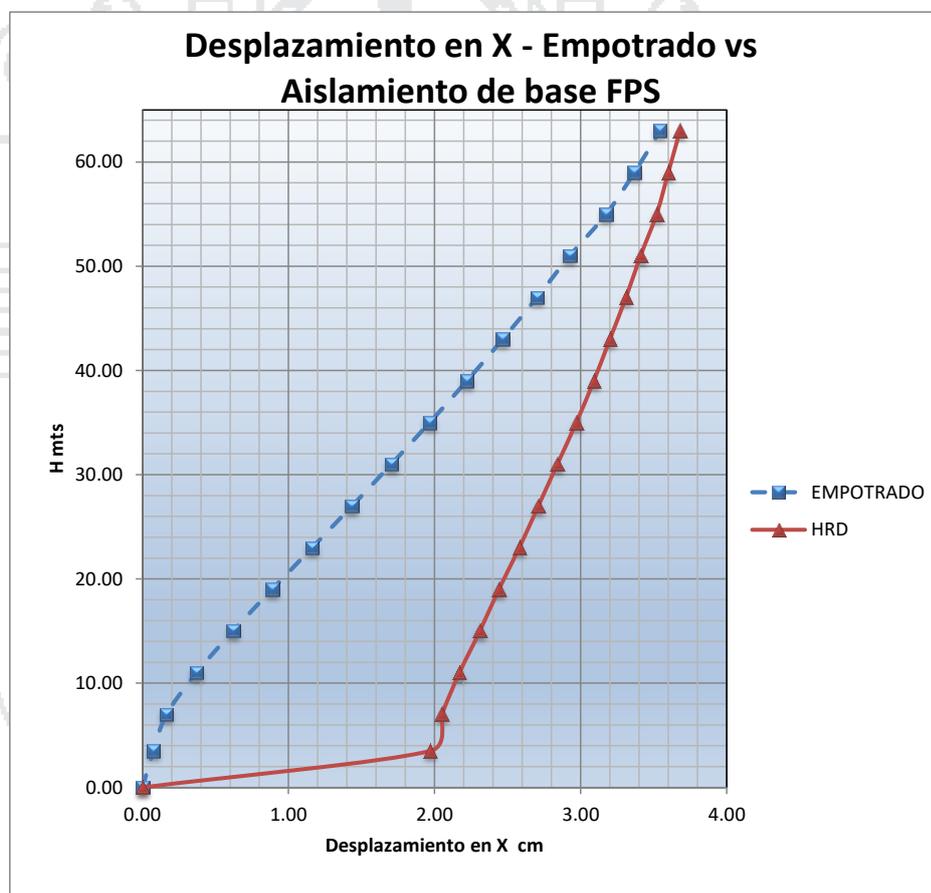


Ilustración 69: Desplazamiento relativo por nivel para la estructura convencional empotrada y aislada en dirección X⁸⁷.

⁸⁷ Fuente: elaboración propia.

La figura 69 muestra la representación gráfica de las deformaciones relativas en X, y facilita la comparación entre el edificio convencional y el edificio aislado, de igual forma en la figura 70 se puede ver las deformaciones relativas causadas por el espectro en Y.

Fácilmente se comprueba la eficiencia del sistema de aislamiento al concentrar la mayor parte de la deformación del edificio en la interfaz de aislamiento lo que permite una reducción de desplazamientos en la superestructura, para evidenciar lo mencionado se hará una comparación de los desplazamientos máximos de cada piso respecto de la base de la estructura de tal modo que para el caso del edificio aislado se calcula la diferencia de los desplazamientos de cada piso y el desplazamiento de la interfaz de aislamiento, de esta forma se obtiene los datos de la tabla 21.

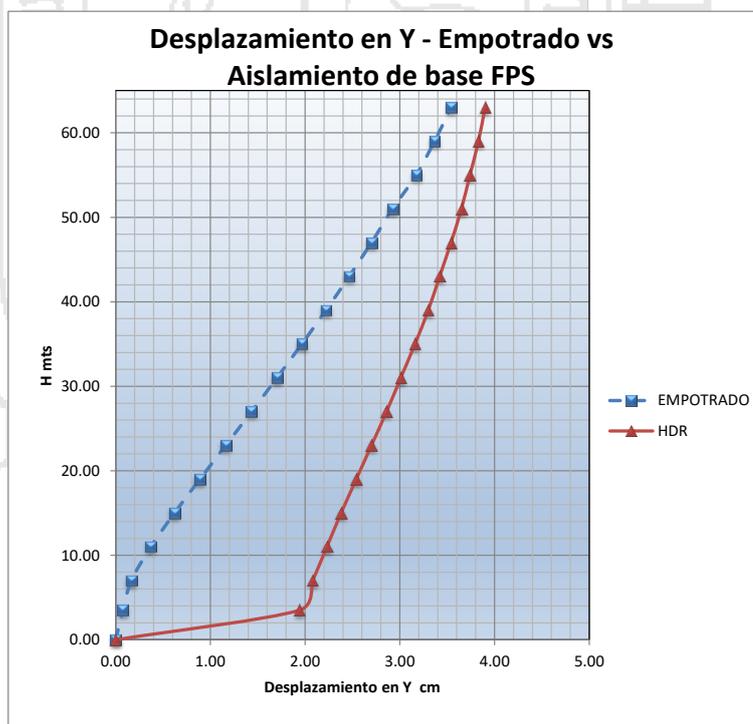


Ilustración 70: Desplazamiento relativo por nivel para la estructura convencional empotrada y aislada en dirección Y⁸⁸.

⁸⁸ Fuente: elaboración propia.

Según los datos expuestos en la tabla 21 vemos que para la estructura tradicional los desplazamientos son mayores, alcanzando 3.54 cm en X, y 3.96 cm para la dirección Y. Sin embargo, para el caso de la estructura aislada los desplazamientos en el último piso se reducen notablemente, de tal forma que para el espectro X el desplazamiento llega a 1.71 cm y para el espectro en Y, tiene un desplazamiento de 1.96 cm.

PISO	H (m)	DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS EN X		DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS EN Y	
		Empotrado (cm)	FPS (cm)	Empotrado (cm)	FPS (cm)
BASE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MZ	3.50	0.08	0.00	0.08	0.00
P1	7.00	0.16	0.08	0.17	0.14
P2	11.00	0.37	0.20	0.39	0.29
P3	15.00	0.62	0.34	0.66	0.44
P4	19.00	0.89	0.47	0.98	0.60
P5	23.00	1.16	0.61	1.30	0.76
P6	27.00	1.43	0.74	1.62	0.92
P7	31.00	1.70	0.87	1.94	1.07
P8	35.00	1.97	1.00	2.25	1.22
P9	39.00	2.22	1.12	2.55	1.36
P10	43.00	2.47	1.23	2.84	1.48
P11	47.00	2.70	1.34	3.10	1.60
P12	51.00	2.92	1.44	3.34	1.71
P13	55.00	3.17	1.55	3.57	1.80
P14	59.00	3.37	1.63	3.78	1.89
P15	63.00	3.54	1.71	3.96	1.96

Tabla 21: Desplazamientos máximos de cada nivel de la estructura aislada y tradicional, sin considerar el desplazamiento en la interfaz de aislamiento para el aislador FPS⁸⁹.

Para mejorar considerablemente esta comparación y notar como se reduce la demanda de energía sísmica, se realizó la diferencia del desplazamiento realizado en la base a todos los desplazamientos relativos posteriores; puesto que este desplazamiento no es atribuible a los niveles que se encuentran por encima de la línea de aislación, teniéndose así un mejor

⁸⁹ Fuente: elaboración propia.

gráfico de comparación para la elección del sistema de aislación más adecuado para nuestro sistema.

Para ilustrar de mejor manera lo expuesto en el párrafo anterior, se presentan las respectivas representaciones gráficas en las figuras 71 y 72.

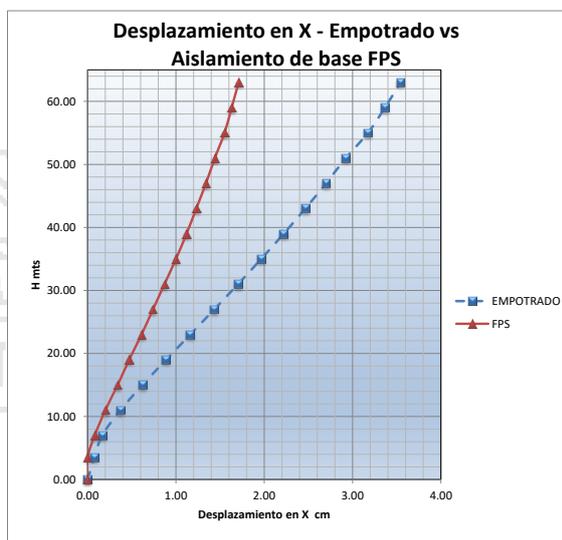


Ilustración 71: Desplazamientos máximos en X de la estructura aislada y tradicional, sin considerar el desplazamiento en la interfaz de aislamiento para el aislador FPS⁹⁰.

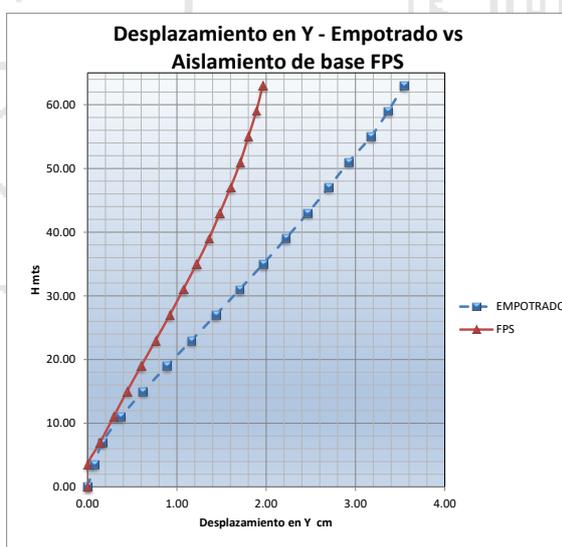


Ilustración 72: Desplazamientos máximos en Y de la estructura aislada y tradicional, sin considerar el desplazamiento en la interfaz de aislamiento para el aislador FPS⁹¹.

⁹⁰ Fuente: elaboración propia.

⁹¹ Fuente: elaboración propia.

De esta forma, podemos evaluar gráficamente cómo el sistema de aislamiento tipo FPS permite una reducción importante de los desplazamientos, lo que se traduce en mayor seguridad para el sistema estructural, lo que nos lleva a obtener en factor de reducción mediante la relación entre la respuesta de la estructura tradicional y la estructura aislada.

PISO	H (m)	DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS EN EJE "X"			DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS EN EJE "Y"		
		Empotrado (cm)	FPS (cm)	FR	Empotrado (cm)	FPS (cm)	FR
BASE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MZ	3.50	0.08	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00
P1	7.00	0.16	0.08	2.06	0.17	0.14	1.21
P2	11.00	0.37	0.20	1.85	0.39	0.29	1.34
P3	15.00	0.62	0.34	1.82	0.66	0.44	1.50
P4	19.00	0.89	0.47	1.89	0.98	0.60	1.63
P5	23.00	1.16	0.61	1.90	1.30	0.76	1.71
P6	27.00	1.43	0.74	1.94	1.62	0.92	1.76
P7	31.00	1.70	0.87	1.96	1.94	1.07	1.81
P8	35.00	1.97	1.00	1.97	2.25	1.22	1.84
P9	39.00	2.22	1.12	1.98	2.55	1.36	1.88
P10	43.00	2.47	1.23	2.00	2.84	1.48	1.92
P11	47.00	2.70	1.34	2.02	3.10	1.60	1.94
P12	51.00	2.92	1.44	2.03	3.34	1.71	1.95
P13	55.00	3.17	1.55	2.05	3.57	1.80	1.98
P14	59.00	3.37	1.63	2.07	3.78	1.89	2.00
P15	63.00	3.54	1.71	2.07	3.96	1.96	2.02

Tabla 22: Factor de reducción calculado con los valores de los drift de la estructura tradicional y del sistema aislado FPS⁹².

En la tabla 22 se muestran los factores de reducción, tenemos que en la dirección X, el menor valor es de 1.82 con un valor máximo de 2.07, lo que significa que, en la dirección X las drift se reducen en 1.95 veces. Para la dirección Y el valor mínimo es 1.21 mientras que el valor máximo es del orden de 2.02, es decir que para el sentido Y los drift se reducen 1.61 veces en

⁹² Fuente: elaboración propia.

comparación de la estructura tradicional, es importante recordar que los datos fueron obtenidos de análisis inelástico de la estructura.

De esta forma, se puede concluir que efectivamente los aisladores son más flexibles, que por su mayor desplazamiento aumentan el amortiguamiento del sistema, traerán una mayor reducción del efecto sísmico.

04.07.7. ACELERACIONES ABSOLUTAS EN LA SUPERESTRUCTURA DEL SISTEMA TRADICIONAL FRENTE A LA AISLACIÓN DE BASE.

ACELERACIONES ABSOLUTAS EN "X"					
PISO	H (m)	Empotrado (m/sec ²)	HRD (m/sec ²)	HRD+LRB (m/sec ²)	FPS (m/sec ²)
BASE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MZ	3.50	0.73	0.33	0.48	0.31
P1	7.00	0.89	0.33	0.48	0.31
P2	11.00	0.98	0.33	0.48	0.31
P3	15.00	1.07	0.32	0.47	0.30
P4	19.00	1.11	0.32	0.46	0.29
P5	23.00	1.13	0.31	0.44	0.29
P6	27.00	1.13	0.31	0.43	0.28
P7	31.00	1.10	0.31	0.42	0.28
P8	35.00	1.06	0.31	0.42	0.28
P9	39.00	1.01	0.32	0.42	0.29
P10	43.00	0.95	0.33	0.43	0.29
P11	47.00	0.90	0.34	0.46	0.31
P12	51.00	0.90	0.36	0.50	0.32
P13	55.00	1.01	0.39	0.55	0.34
P14	59.00	1.14	0.41	0.60	0.36
P15	63.00	1.41	0.44	0.66	0.39

Tabla 23: Comparación de aceleraciones absolutas en X en coordenada de piso, para los sistemas de aislamiento⁹³.

Las aceleraciones absolutas por piso, nos permiten evaluar el nivel de fuerzas y daños que puede sufrir el equipamiento al interior de la estructura debido a la acción de un sismo severo, este parámetro es de suma importancia debido a que el "MEJORAMIENTO DE SERVICIOS ACADÉMICOS EN LA

⁹³ Fuente: elaboración propia.

FORMACIÓN BÁSICA, INFORMÁTICA Y VIRTUAL EN LAS ESCUELAS PROFESIONALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO”, está destinado a áreas de cómputo y charlas virtuales, cabe señalar además que unos valores de aceleración bajos ayudan a evitar el pánico entre los ocupantes del edificio.

En la tabla 23 se resumen las máximas aceleraciones en X, el efecto de esta aceleración está definido por cierta uniformidad de tendencia entre los perfiles de los sistemas de aislamiento.

Para facilitar la interpretación de los datos expuestos en la tabla 23, se ha realizado la representación gráfica, en la cual se puede observar con mayor claridad que el sistema de aislamiento que permite las menores aceleraciones para el caso del sismo en X, es el aislador tipo FPS.

Análogamente se puede apreciar las máximas aceleraciones absolutas para un sismo en Y, en la tabla 24.

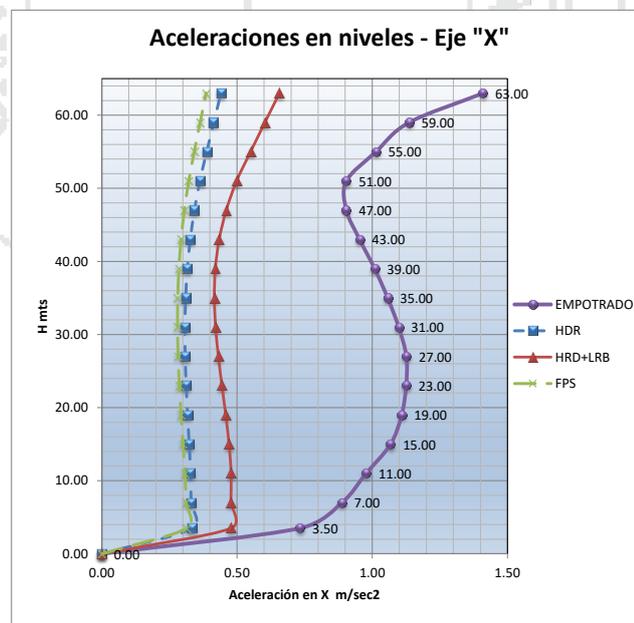


Ilustración 73: Comparación de las aceleraciones absolutas en X para los sistemas de aislamiento⁹⁴.

⁹⁴ Fuente: elaboración propia.

Para una mejor interpretación de lo expuesto anteriormente se muestra la representación gráfica de las máximas aceleraciones absolutas para el sismo en X, en la figura 73 donde se aprecia que el sistema de aislamiento tipo FPS es el que permite las menores aceleraciones.

ACELERACIONES ABSOLUTAS EN "Y"					
PISO	H (m)	Empotrado (m/sec ²)	HRD (m/sec ²)	HRD+LRB (m/sec ²)	FPS (m/sec ²)
BASE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MZ	3.50	0.73	0.34	0.50	0.32
P1	7.00	0.91	0.34	0.51	0.32
P2	11.00	1.03	0.34	0.51	0.31
P3	15.00	1.14	0.33	0.50	0.31
P4	19.00	1.20	0.32	0.49	0.30
P5	23.00	1.22	0.32	0.47	0.29
P6	27.00	1.22	0.31	0.46	0.28
P7	31.00	1.20	0.31	0.45	0.28
P8	35.00	1.16	0.31	0.45	0.28
P9	39.00	1.11	0.32	0.45	0.29
P10	43.00	1.06	0.33	0.46	0.30
P11	47.00	1.03	0.35	0.49	0.31
P12	51.00	1.02	0.37	0.52	0.32
P13	55.00	1.08	0.39	0.57	0.34
P14	59.00	1.21	0.42	0.63	0.37
P15	63.00	1.60	0.45	0.70	0.39

Tabla 24: Comparación de las aceleraciones absolutas en Y en coordenada de piso, para los sistemas de aislamiento⁹⁵.

Para una mejor interpretación de lo expuesto anteriormente se muestra la representación gráfica de las máximas aceleraciones absolutas para el sismo en Y, en la figura 74 donde se aprecia que de igual forma, el sistema de aislamiento tipo FPS es el que permite las menores aceleraciones.

Las aceleraciones absolutas para el sismo en Y son menores que para el sismo en X, aunque en general las aceleraciones son de magnitud pequeña sin presentar mayores diferencias entre cada sistema, lo que implica que no existen importantes efectos torsionales.

⁹⁵ Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con el análisis realizado, el sistema FPS en el que mejores resultados proporciona al disminuir la aceleración absoluta, es por esta razón que se va a comparar con la aceleración absoluta de la estructura convencional, para aclarar las ventajas de la implementación de este sistema de aislamiento.

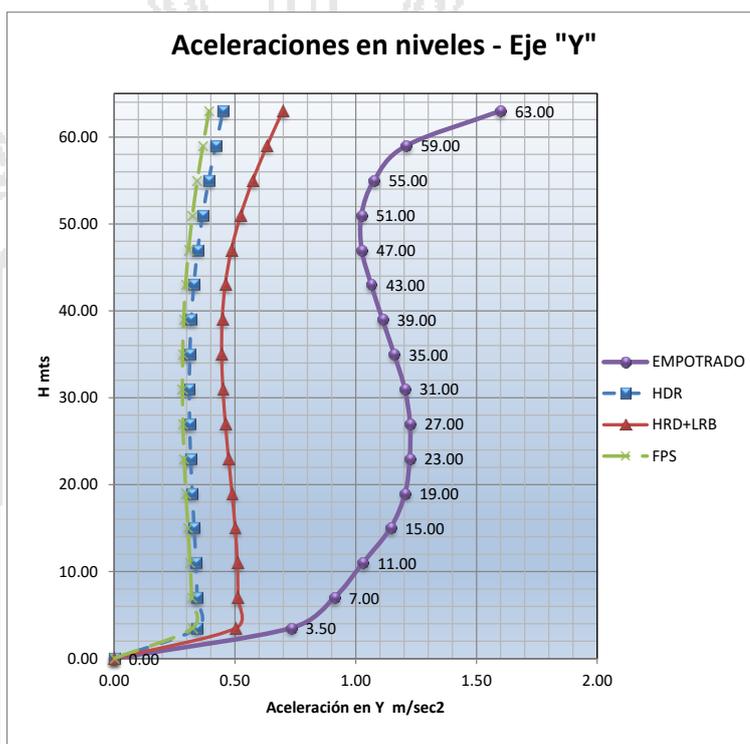


Ilustración 74: Comparación de las aceleraciones absolutas en Y para los sistemas de aislamiento⁹⁶.

La tabla 25 muestra los valores de las aceleraciones absolutas producidas por el sismo en X, podemos ver que efectivamente el sistema de aislamiento tipo FPS tiene menores aceleraciones absolutas en relación con el sistema tradicional.

⁹⁶ Fuente: elaboración propia.

ACELERACIONES ABSOLUTAS EN "X"			
PISO	H (m)	Empotrado (m/sec ²)	FPS (m/sec ²)
BASE	0.00	0.00	0.00
MZ	3.50	0.73	0.31
P1	7.00	0.89	0.31
P2	11.00	0.98	0.31
P3	15.00	1.07	0.30
P4	19.00	1.11	0.29
P5	23.00	1.13	0.29
P6	27.00	1.13	0.28
P7	31.00	1.10	0.28
P8	35.00	1.06	0.28
P9	39.00	1.01	0.29
P10	43.00	0.95	0.29
P11	47.00	0.90	0.31
P12	51.00	0.90	0.32
P13	55.00	1.01	0.34
P14	59.00	1.14	0.36
P15	63.00	1.41	0.39

Tabla 25: Aceleraciones absolutas en X en coordenada de piso, comprobación entre el sistema FPS y la estructura tradicional⁹⁷.

En la figura 75 se representa las máximas aceleraciones absolutas para el sismo en X, nos muestra la notoria disminución de las aceleraciones que el sistema FPS permite, he inclusive que existe un incremento uniforme de aceleraciones conforme aumenta el número de pisos.

Por el contrario, para el caso de la estructura tradicional vemos que la aceleración en el último piso es 1.41 m/seg², además se puede apreciar que existe una disminución de la aceleración para los pisos intermedios y un incremento en la aceleración de 0.73 m/seg² para el primer piso.

⁹⁷ Fuente: elaboración propia.

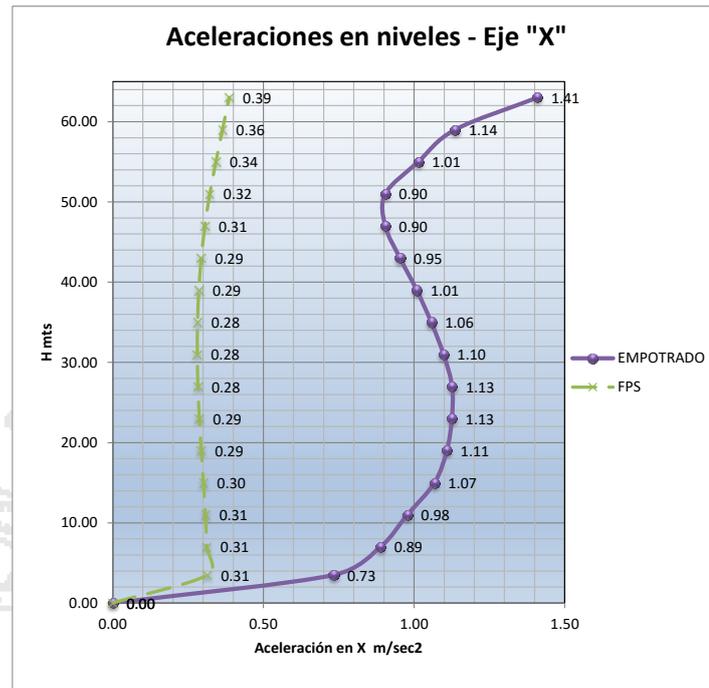


Ilustración 75: Comparación de las aceleraciones absolutas en X del sistema de aislamiento FPS VS la estructura tradicional⁹⁸.

En la tabla 26 se muestran las máximas aceleraciones debidas al sismo Y, de modo que se pueda establecer una diferencia entre el sistema de aislamiento FPS y el sistema tradicional de aislamiento.

ACELERACIONES ABSOLUTAS EN "Y"			
PISO	H (m)	Empotrado (m/sec ²)	FPS (m/sec ²)
BASE	0.00	0.00	0.00
MZ	3.50	0.73	0.32
P1	7.00	0.91	0.32
P2	11.00	1.03	0.31
P3	15.00	1.14	0.31
P4	19.00	1.20	0.30
P5	23.00	1.22	0.29
P6	27.00	1.22	0.28
P7	31.00	1.20	0.28
P8	35.00	1.16	0.28
P9	39.00	1.11	0.29
P10	43.00	1.06	0.30
P11	47.00	1.03	0.31
P12	51.00	1.02	0.32
P13	55.00	1.08	0.34
P14	59.00	1.21	0.37
P15	63.00	1.60	0.39

Tabla 26: Aceleraciones absolutas en Y en coordenada de piso, comprobación entre el sistema FPS y la estructura tradicional⁹⁹.

⁹⁸ Fuente: elaboración propia.

⁹⁹ Fuente: elaboración propia.

En la figura 76 se aprecia la gran efectividad del sistema de aislamiento FPS en relación al sistema tradicional, ya que para el caso de la estructura aislada la máxima aceleración en el último piso es de 0.39 m/seg² mientras que para la estructura tradicional la aceleración en el último piso es de 1.60 m/seg².

Con lo analizado anteriormente, es suficiente para afirmar que las aceleraciones absolutas al implementar el sistema de aislamiento tipo FPS, tienen un mejor comportamiento, ya que el hecho de reducir de manera importante las aceleraciones absolutas se traduce en una reducción de los daños de la estructura misma y principalmente de los equipos y contenidos, además el hecho de que la distribución de las aceleraciones en altura resulte casi uniforme favorece la reducción de los momentos volcantes en especial de los pisos bajos.

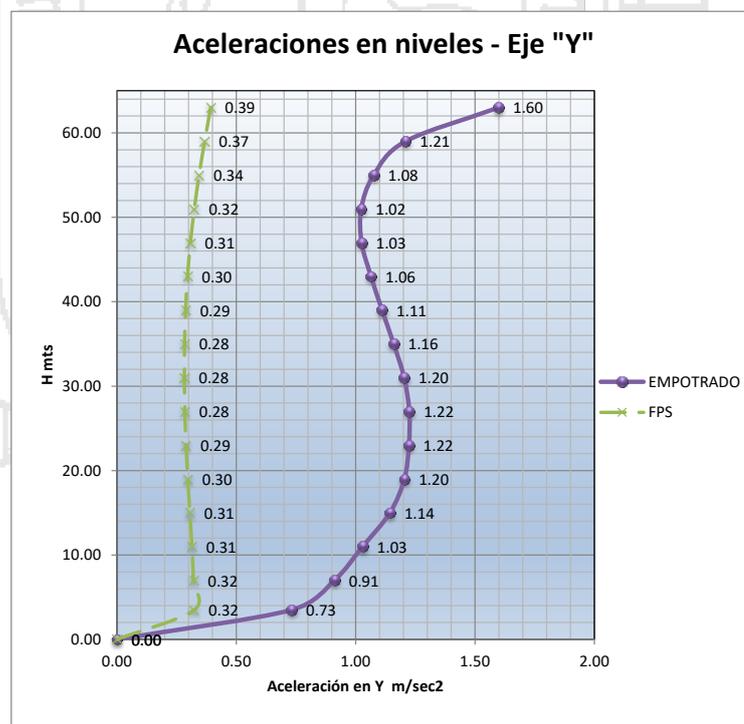


Ilustración 76: Comparación de las aceleraciones absolutas en Y del sistema de aislamiento FPS VS la estructura tradicional¹⁰⁰.

¹⁰⁰ Fuente: elaboración propia.

04.08. REDUCCIÓN DE PLACAS COMO MEJORA EN LOS ELEMENTOS DE LA SUPERESTRUCTURA CON AISLACIÓN DE LA BASE.

04.08.1. PLACAS DE CONCRETO EN EDIFICIO.

Existen placas de concreto en la disposición inicial que van detallados de la siguiente manera: PL-01 (30x300cm), PL-02 (Placa en “L” de 280cm y E=30cm), PL-03 (Placa en “L” convexa E=30cm) y PL-04 (Placa en “L” convexa E=30cm), el que se modificó debido a un desempeño óptimo en el uso de aisladores de base.

La placa PL-04 cambio en el diseño presentando a continuación pues se descompuso en una placa de las siguientes dimensiones 560cm x 20cm el que en adelante se denominara PL-05.

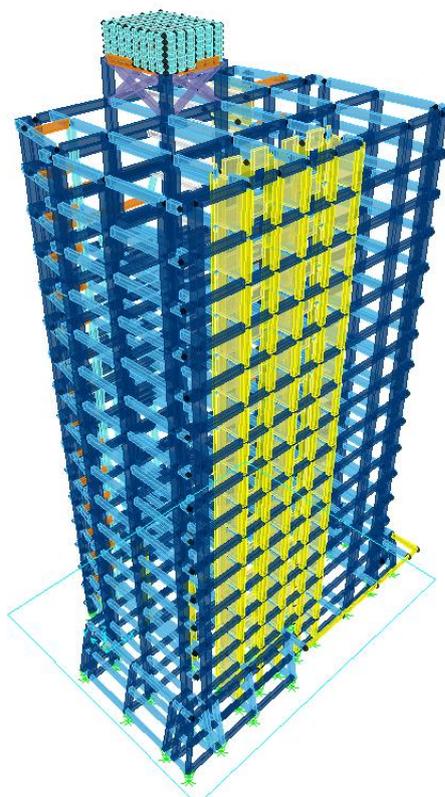


Ilustración 77: Reducción de placas de concreto sistema con aislamiento de base FPS¹⁰¹.

¹⁰¹ Fuente: elaboración propia.

La placa PL-04 cambio en el diseño presentando a continuación pues se descompuso en una placa de las siguientes dimensiones 560cm x 20cm el que en adelante se denominara PL-05.

04.08.2. VERIFICACIÓN DE PERIODOS EN EL SISTEMA CON AISLACIÓN DE LA BASE CON REDUCCIÓN EN LAS DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

Ante una acción exterior, la respuesta de la estructura dependerá de sus modos de vibrar y sus respectivas frecuencias o períodos; los períodos de vibración dependen de las características geométricas, de la rigidez y de la masa que la estructura opone al movimiento.

Al igual que los periodos presentados anteriormente se puede mostrar la tabla 27, notando un incremento notable del periodo de 2.17 seg. a 2.38 seg.

TABLE: Modal Periods And Frequencies					
StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
Mode	1	2.38	0.42	2.64	6.99
Mode	2	2.21	0.45	2.84	8.05
Mode	3	1.77	0.56	3.55	12.57
Mode	4	0.76	1.32	8.28	68.60
Mode	5	0.70	1.43	9.01	81.25

Tabla 27: Periodos y frecuencias de mejora de edificio con aislación de la base FPS¹⁰².

04.08.3. DERIVAS DE PISO DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO FPS CON MEJORA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

Para poder continuar con la aceptación del sistema propuesto este deberá cumplir con las disposiciones del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) y consecuentemente por su acápite e.030.

¹⁰² Fuente: elaboración propia.

A continuación, en la tabla 28 se muestran el desplazamiento relativo del edificio y el control de derivas que se requiere para aceptar esta estructuración.

NIVEL	DIRECCION X-X					DIRECCION Y-Y			
	Desplazam. Absolt. (cm)	Δi (cm)	he (m)	$\Delta i/he$	OBS.	Desplazam. Absolt. (cm)	Δi (cm)	$\Delta i/he$	OBS.
M	0.00	0.000	3.50	0.000	OK	0.00	0.000	0.000	OK
1	0.09	0.087	3.50	0.001	OK	0.18	0.180	0.002	OK
2	0.24	0.148	4.00	0.001	OK	0.38	0.205	0.002	OK
3	0.39	0.158	4.00	0.002	OK	0.61	0.221	0.002	OK
4	0.56	0.162	4.00	0.002	OK	0.84	0.233	0.002	OK
5	0.72	0.160	4.00	0.002	OK	1.08	0.236	0.002	OK
6	0.87	0.157	4.00	0.002	OK	1.31	0.234	0.002	OK
7	1.03	0.152	4.00	0.001	OK	1.54	0.228	0.002	OK
8	1.17	0.146	4.00	0.001	OK	1.76	0.219	0.002	OK
9	1.31	0.139	4.00	0.001	OK	1.96	0.208	0.002	OK
10	1.44	0.132	4.00	0.001	OK	2.16	0.194	0.002	OK
11	1.57	0.123	4.00	0.001	OK	2.34	0.178	0.002	OK
12	1.68	0.116	4.00	0.001	OK	2.50	0.161	0.002	OK
13	1.82	0.134	4.00	0.001	OK	2.64	0.141	0.001	OK
14	1.91	0.096	4.00	0.001	OK	2.77	0.131	0.001	OK
15	2.00	0.085	4.00	0.001	OK	2.89	0.120	0.001	OK

Tabla 28: Cálculo de derivas con mejora estructural en modelo con aislación FPS¹⁰³.

Como se puede apreciar en la Tabla 28, la reestructuración es adecuada y cumple con los requerimientos necesarios por parte del RNE, se debe de aclarar que como parámetros iniciales se mantuvo lo usado desde el sistema empotrado hasta el desarrollo de este nuevo sistema.

¹⁰³ Fuente: Elaboración propia.

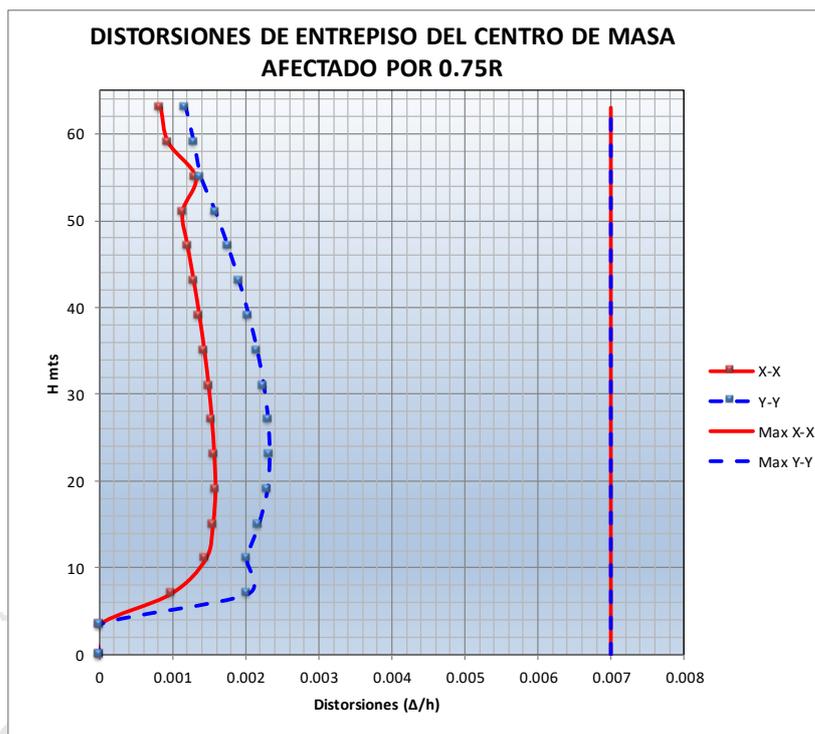


Ilustración 78: Derivas de piso del sistema aislado combinado FPS con mejora de elementos estructurales¹⁰⁴.

¹⁰⁴ Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

ESTUDIO COMPARATIVO DE COSTOS.

05.01. ANTECEDENTES GENERALES.

Este capítulo pretende cuantificar los costos de construcción en la fórmula de Estructuras del Edificio 15 Niveles, de un modelo tradicional a uno con aislación de la base, se debe aclarar que las otras fórmulas no se tocan en el presente tema de investigación porque no forman parte de la presente comparación económica por ser las mismas del proyecto original; además, los análisis de costo unitario y precios son las mismas del proyecto original, fecha en la que posiblemente pudo implementarse este sistema de aislación.

Partiendo de los costos económicos de los daños producidos por sismos en edificios se va a considerar los costos directos e indirectos.

Para determinar los costos de impacto directo, se considerará el costo del edificio propiamente dicho y para el caso del edificio aislado se añade el costo total de los aisladores en la línea de aislamiento. Adicionalmente para el edificio aislado se realizó una reducción considerable de las secciones de las placas con respecto al edificio convencional; como indicio inicial para poder ver si podemos

reducir sustancialmente las dimensiones de los elementos que componen esta estructura.

Los costos de impacto indirecto, se obtienen a partir de los costos de reparación por daños estructurales y no estructurales que se pueden presentar después de un movimiento sísmico. En los siguientes párrafos se presentan experiencias de otros países que han implementado aislación de la base y que continúan desarrollando esta técnica.

De acuerdo a observaciones registradas en los últimos grandes terremotos, en especial el ocurrido en Japón en marzo del 2011, donde se puso a prueba una gran cantidad de edificios con sistemas de protección sísmica, con lo cual se puede concluir que los sistemas de protección han tenido un rendimiento sobresaliente. Un caso emblemático es el Teaching Hospital de la Universidad de South California (USC), en los Ángeles (EEUU), construido sobre 81 apoyos elastoméricos y 68 aisladores con núcleo de plomo, que ubicado a 36 kilómetros del epicentro del terremoto de Northridge (1994) no sufrió daños estructurales ni en sus contenidos y pudo continuar operando (BECERRA E., 1998).

En esta estructura, que se encuentra totalmente instrumentada, el sistema de aislamiento permitió reducir en un 75% las aceleraciones de campo libre.

05.01.1. COSTOS DE IMPACTO DIRECTO.

Para el caso de la estructura tradicional se toman los costos de la estructura en la fase de inversión, sin embargo para la evaluación económica de la estructura aislada se debe tener presente una serie de costos que dependen del tipo de aislamiento que se instale y de las características de cada proyecto.

Es importante aclarar que los puntos de acceso al edificio típicamente están fijados a la superestructura, y deslizan sobre la estructura bajo el nivel de aislamiento o suelo. Es posible disponer deslizadores para permitir los movimientos horizontales, igualmente los ductos, canalizaciones, tuberías, y otros sistemas distribuidos que cruzan la interfaz de aislamiento, deben ser diseñados de manera de acomodar los movimientos horizontales de la interfaz de aislamiento.

No es común reducir los costos iniciales de las estructuras con sistemas de protección sísmica, no obstante, en el caso de aislamiento sísmico es posible generar algún grado de aligeramiento de la estructura sismorresistente. De todas formas, el objetivo principal de los dispositivos de protección sísmica es mejorar la respuesta y seguridad sísmica de las estructuras. En general la inversión inicial en una estructura con sistemas de protección sísmica suele ser mayor que una estructura convencional.

No obstante, la reducción de la probabilidad de daño estructural y no estructural durante un evento sísmico severo en la vida útil de la estructura compensa la inversión inicial en la fase de Inversión.

A continuación, tomamos el presupuesto inicial en la fórmula de estructuras del proyecto (ver anexo 22 para mayor detalle) para un sistema de tipo convencional y evaluamos los costos y cambio generados a partir de la instalación de un sistema de aislación de la base FPS, se debe aclarar que el tipo de cambio de moneda en este presupuesto es el Nuevo Sol del Perú y la fecha de elaboración del presupuesto es Marzo del 2012, los que pueden variar según cambio de moneda e incrementos por el tiempo.

Subpresupuesto	MEJORAMIENTO DE LOS SERVICIOS ACADÉMICOS EN LA FORMACIÓN BÁSICA, INFORMÁTICA Y VIRTUAL DE LAS ESCUELAS PROFESIONALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
Cliente	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO	20/03/2012
Lugar	PUNO - PUNO - PUNO	
Ítem	Descripción	TRADICIONAL
01.05.01	ZAPATAS	S/. 73,271.22
01.05.02	VIGAS DE CIMENTACIÓN	S/. 88,806.69
01.05.03	CIMENTACION REFORZADA PARA MUROS DE CONTENCIÓN	S/. 219,052.29
01.05.04	MURO DE CONTENCIÓN	S/. 200,190.07
01.05.05	COLUMNAS	S/. 781,888.33
01.05.06	PLACAS	S/. 1,076,347.29
01.05.07	PLACA DE ASCENSOR	S/. 679,799.84
01.05.08	VIGAS	S/. 2,110,895.11
01.05.09	LOSAS ALIGERADAS CON VIGUETAS PREFABRICADAS	S/. 1,837,613.14
01.05.10	ESCALERAS	S/. 191,620.47
01.05.11	PLACA INCLINADA REFORZADA	S/. 112,257.70
01.05.12	COLUMNETAS Y VIGUETAS	S/. 160,563.33
01.05.13	TANQUE ELEVADO	S/. 34,913.30
01.05.14	CUARTO DE CAJA DE ESCALERAS	S/. 38,992.69
01.05.15	CASA DE MÁQUINA DE ASCENSOR	S/. 26,427.56
PRESUPUESTO TOTAL		S/. 7,632,639.04

Tabla 29: Presupuesto formula de estructuras¹⁰⁵.

De los cambios realizados en la estructuración del edificio para la instalación de aislación de la base mediante aisladores FPS, se tuvo que insertar en el sistema un juego adicional de vigas y columnas debajo del nivel +0.00 m, esto con la finalidad de incluir, una fase llamada línea de aislamiento donde se ubicaran dichos aisladores y aislaran la superestructura de la subestructura, teniéndose así una variación del cuadro anterior de la siguiente forma:

¹⁰⁵ Fuente: (UNAP , 2012).

Subpresupuesto	MEJORAMIENTO DE LOS SERVICIOS ACADÉMICOS EN LA FORMACIÓN BÁSICA, INFORMÁTICA Y VIRTUAL DE LAS ESCUELAS PROFESIONALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
Cliente	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO	20/03/2012
Lugar	PUNO - PUNO - PUNO	
Ítem	Descripción	 AISLADO
01.05.01	ZAPATAS	S/. 73,271.22
01.05.02	VIGAS DE CIMENTACIÓN	S/. 88,806.69
01.05.03	CIMENTACIÓN REFORZADA PARA MUROS DE CONTENCIÓN	S/. 219,052.29
01.05.04	MURO DE CONTENCIÓN	S/. 200,190.07
01.05.05	COLUMNAS	S/. 1,587,061.07
01.05.06	PLACAS	S/. 88,312.48
01.05.07	PLACA DE ASCENSOR	S/. 679,799.84
01.05.08	VIGAS	S/. 2,241,489.00
01.05.09	LOSAS ALIGERADAS CON VIGUETAS PREFABRICADAS	S/. 1,837,613.14
01.05.10	ESCALERAS	S/. 191,620.47
01.05.11	PLACA INCLINADA REFORZADA	
01.05.12	COLUMNETAS Y VIGUETAS	S/. 160,563.33
01.05.13	TANQUE ELEVADO	S/. 34,913.30
01.05.14	CUARTO DE CAJA DE ESCALERAS	S/. 38,992.69
01.05.15	CASA DE MÁQUINA DE ASCENSOR	S/. 26,427.56
PRESUPUESTO TOTAL		S/. 7,468,113.14

Tabla 30: Presupuesto formula de estructuras (Con aislamiento de la Base FPS)¹⁰⁶.

En la tabla 29 y tabla 30 se resumen los costos directos de modelo tradicional y aislado para el edificio de 15 niveles.

El costo de los aisladores que se ha estimado según el costo en Chile (donde ya se han introducido al mercado), es aproximadamente de 5 mil dólares por aislador (VILLALOBOS P., 1997).

No obstante, este es el costo directo al momento de construcción mientras que a lo largo de la vida de la estructura también se deberá considerar un costo de mantenimiento.

Por otro lado, también se deben notar los puntos a favor del uso de aisladores y si bien este tema de investigación no contempla el análisis de costos a largo plazo, especialmente por lo difícil que es cuantificar muchos de ellos, se

¹⁰⁶ Fuente: Elaboración propia.

tiene que mencionar que durante la vida útil del edificio ocurrirán por lo menos un sismo de magnitudes importantes.

VARIACIÓN DE COSTOS SISTEMA EMPOTRADO vs AISLACIÓN DE LA BASE “FPS”				
(Ver Anexo 22 y 23)				
Cliente	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO	20/03/2012		
Lugar	PUNO - PUNO - PUNO			
Ítem	Descripción	SISTEMA TRADICIONAL	SISTEMA CON AISLAMIENTO	DIFERENCIA DE COSTO
01.05.01	ZAPATAS	S/. 73,271.22	S/. 73,271.22	S/. 0.00
01.05.02	VIGAS DE CIMENTACIÓN	S/. 88,806.69	S/. 88,806.69	S/. 0.00
01.05.03	CIMENTACIÓN REFORZADA PARA MUROS DE CONTENCIÓN	S/. 219,052.29	S/. 219,052.29	S/. 0.00
01.05.04	MURO DE CONTENCIÓN	S/. 200,190.07	S/. 200,190.07	S/. 0.00
01.05.05	COLUMNAS	S/. 781,888.33	S/. 1,587,061.07	-S/. 805,172.73
01.05.06	PLACAS	S/. 1,076,347.29	S/. 88,312.48	S/. 988,034.82
01.05.07	PLACA DE ASCENSOR	S/. 679,799.84	S/. 679,799.84	S/. 0.00
01.05.08	VIGAS	S/. 2,110,895.11	S/. 2,241,489.00	-S/. 130,593.88
01.05.09	LOSAS ALIGERADAS CON VIGUETAS PREFABRICADAS	S/. 1,837,613.14	S/. 1,837,613.14	S/. 0.00
01.05.10	ESCALERAS	S/. 191,620.47	S/. 191,620.47	S/. 0.00
01.05.11	PLACA INCLINADA REFORZADA	S/. 112,257.70		S/. 112,257.70
01.05.12	COLUMNETAS Y VIGUETAS	S/. 160,563.33	S/. 160,563.33	S/. 0.00
01.05.13	TANQUE ELEVADO	S/. 34,913.30	S/. 34,913.30	S/. 0.00
01.05.14	CUARTO DE CAJA DE ESCALERAS	S/. 38,992.69	S/. 38,992.69	S/. 0.00
01.05.15	CASA DE MÁQUINA DE ASCENSOR	S/. 26,427.56	S/. 26,427.56	S/. 0.00
PRESUPUESTO TOTAL		S/. 7,632,639.04	S/. 7,468,113.14	S/. 164,525.90

Tabla 31: Resumen de costo y variación¹⁰⁷.

El costo directo de la estructura aislada es menor al costo directo de la estructura tradicional en un porcentaje del 2.16%, que es un porcentaje bajo, esto se debe a la disminución de las secciones de hormigón en las placas que son representativas en el diseño contra fuerza horizontal sísmica, cabe señalar que estas reducciones se han realizado sin afectar el buen comportamiento estructural de la edificación, pudiéndose realizar más cambios en los elementos del edificio.

¹⁰⁷ Fuente: Elaboración propia.

05.01.2. COSTOS DE IMPACTO INDIRECTO.

Dado que los sistemas de aislación sísmica, evitan los efectos más perjudiciales que se producen en la estructura como consecuencia de un sismo, los costos indirectos del edificio aislado, representan las principales ventajas económicas en la fase Post Inversión.

CURVA DE VULNERABILIDAD

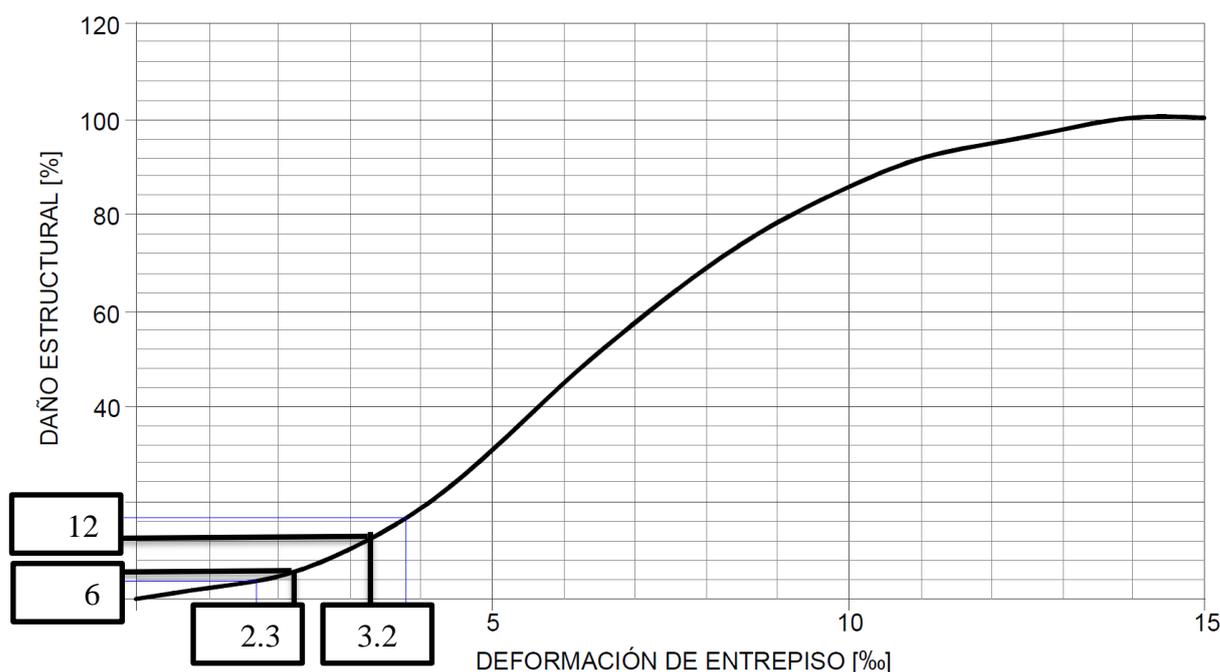


Ilustración 79: Curva de Vulnerabilidad para una estructura de hormigón armado calibrada a partir de lo ocurrido en Viña del Mar en el terremoto del 3 marzo de 1985¹⁰⁸.

Los costos de impacto indirecto se obtienen a partir de parámetros representativos y cuantificables como son: los costos por daño y reparación de la estructura, los costos y pérdidas en los contenidos del edificio y el lucro cesante, para dicho fin se utiliza una curva de vulnerabilidad para estructura de muros de hormigón armado calibrada a partir del terremoto del 3 de marzo de 1985, ocurrido en Viña del Mar. Con las curvas de fragilidad se obtiene una

¹⁰⁸ Fuente: (Arriagada Rosas, 2005).

probabilidad de daño para un valor dado de deformación de piso (VILLALOBOS P., 1997).

Partiendo de los valores de las derivas de piso expuestos en los capítulos anteriores, tenemos que la distorsión máxima de piso para el edificio convencional es de 3.2 ‰, que se da en dirección Y, para el edificio aislados la máxima distorsión de piso es de 2.3‰, también en dirección Y. Se encontró que la vulnerabilidad sísmica para el edificio convencional en un 12%, que representa el porcentaje de daño estructural que tendría el edificio. Para el edificio aislado el porcentaje de daño estructural sería 6%, estos valores son obtenidos por interpolación en el gráfico, el análisis de costos por daño y reparación de la estructura se muestra en la tabla 32.

COSTO DEBIDO AL DAÑO ESTRUCTURAL			
Ítem	Descripción	SISTEMA TRADICIONAL	SISTEMA CON AISLAMIENTO
1	INVERSIÓN TOTAL (Fase Inversión)	S/. 7,632,639.04 (Ver Anexo 22)	S/. 7,468,113.14 (Ver Anexo 23)
2	AISLADORES	S/. 0.00	S/. 884,000.00 (Ver Anexo 24)
3	DERIVA REPRESENTATIVA	0.0032	0.0023
4	DAÑO (%)	12.0%	6.0%
5	COSTO POR DAÑO (Fase Post Inversión) $((1+2) \times 4)$	S/. 915,916.68	S/. 501,126.79
COSTO POR DAÑO ESTRUCTURAL		S/. 915,916.68	S/. 501,126.79

Tabla 32: Costo por daños estructurales¹⁰⁹.

De igual forma se va a evaluar los costos y pérdidas de los contenidos del edificio, estimando el daño del equipamiento de 2078 computadoras según la arquitectura a un costo por unidad de S/. 3200.00; asumiendo así una posición no exagerada con respecto al daño sufrido en el equipamiento del edificio 15 niveles, para lo que se asume solamente el equipamiento de computadoras

¹⁰⁹ Fuente: Elaboración propia.

según la distribución arquitectónica fin de la presente edificación, el análisis de costos por pérdidas y daños en contenidos se muestran en la tabla 33.

COSTOS POR DAÑOS EN CONTENIDOS DEL EDIFICIO			
Ítem	Descripción	SISTEMA TRADICIONAL	SISTEMA CON AISLAMIENTO
1	EQUIPAMIENTO CON COMPUTADORAS	S/. 6,649,600.00	S/. 6,649,600.00
2	DAÑO (%)	12.0%	6.0%
3	COSTO POR DAÑO (Fase Post Inversión) (1x2)	S/. 797,952.00	S/. 398,976.00
COSTO POR DAÑO A EQUIPAMIENTO		S/. 797,952.00	S/. 398,976.00

Tabla 33: Costo por daños a equipamiento¹¹⁰.

Finalmente, en la tabla 34 se presentan los costos totales del Edificio 15 niveles suponiendo que el edificio ha sufrido un sismo severo, de antemano sabemos que el porcentaje de daño estructural disminuyó 6% para el modelo aislado.

RESUMEN DE COSTOS FINALES			
Ítem	Descripción	TRADICIONAL	AISLADO
1	INVERSIÓN TOTAL EN CONSTRUCCIÓN (Fase de Inversión) (Edificación y Aisladores tabla 32)	S/. 7,632,639.04	S/. 8,352,113.14
2	COSTO DE IMPACTO INDIRECTO DEBIDO A DAÑOS ESTRUCTURALES (Fase de Post Inversión) (Ver Tabla 32)	S/. 915,916.68	S/. 501,126.79
3	COSTO DE IMPACTO INDIRECTO DEBIDO A DAÑOS EN EQUIPAMIENTO (Fase de Post Inversión) (Ver Tabla 33)	S/. 797,952.00	S/. 398,976.00
PRESUPUESTO TOTAL (1+2+3)		S/. 9,346,507.72	S/. 9,252,215.93

Tabla 34: Costo totales directos e indirectos¹¹¹.

En la tabla 34 se puede observar con claridad la importancia de los costos indirectos que se tienen en la edificación, ya que para el caso del Edificio 15 niveles, estos costos son tan importantes que los costos directos, de tal forma que para el caso del edificio tradicional los costos indirectos totales son el 87% de los costos directos totales; mientras que para el edificio aislados, los costos indirectos son 80% de los costos directos totales.

¹¹⁰ Fuente: Elaboración propia.

¹¹¹ Fuente: Elaboración propia.

Analizando los costos totales en la figura 80, se aprecia que la estructura aislada resulta más económica que la estructura tradicional en un porcentaje de 1.01%, podemos ver las ventajas económicas que ofrece este sistema de aislación de la base al aprovechar las ventajas de aislamiento desde el punto de vista de la respuesta estructural, como se ha tratado de demostrar en este proyecto de tesis, para finalizar se muestra en siguiente cuadro el cual nos ayuda a entender el beneficio a largo plazo.

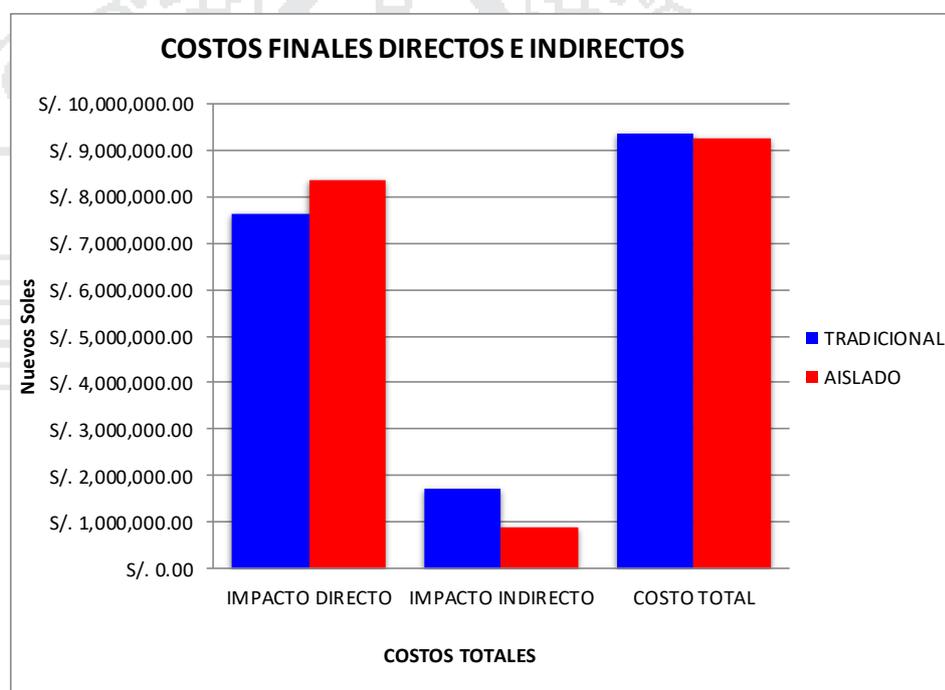


Ilustración 80: Evolución de costos totales edificio 15 Niveles¹¹².

05.02. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

- Entendiéndose que la respuesta del análisis estructural (entendido en el presente tema de investigación como desempeño estructural), ha mejorado considerablemente por el decremento de dimensiones de elementos

¹¹² Fuente: Elaboración propia.

estructurales tipo placa PL-01 (30x300cm), PL-02 (Placa en “L” de 280cm y E=30cm), PL-03 (Placa en “L” convexa E=30cm) y PL-04 (Placa en “L” convexa E=30cm) a columnas en 0.60 m x 0.60m, con una deriva máxima de 0.002 mucho menor que 0.007, es que podemos concluir la respuesta en los elementos de una estructura con aislamiento de la base es mucho menor frente a un sistema tradicional.

- Los desplazamientos laterales mejoraron considerablemente si se observa en la figura 81 podemos notar una reducción en desplazamiento notable producido por los sistemas de aislación y principalmente por el sistema FPS, desplazamiento que es considerado desde la interfaz de aislamiento, también podemos concluir que los desplazamientos se redujeron en 1.95 veces en el sentido “X” y 1.61 veces en el sentido “Y”; así como lo muestra la tabla 22.

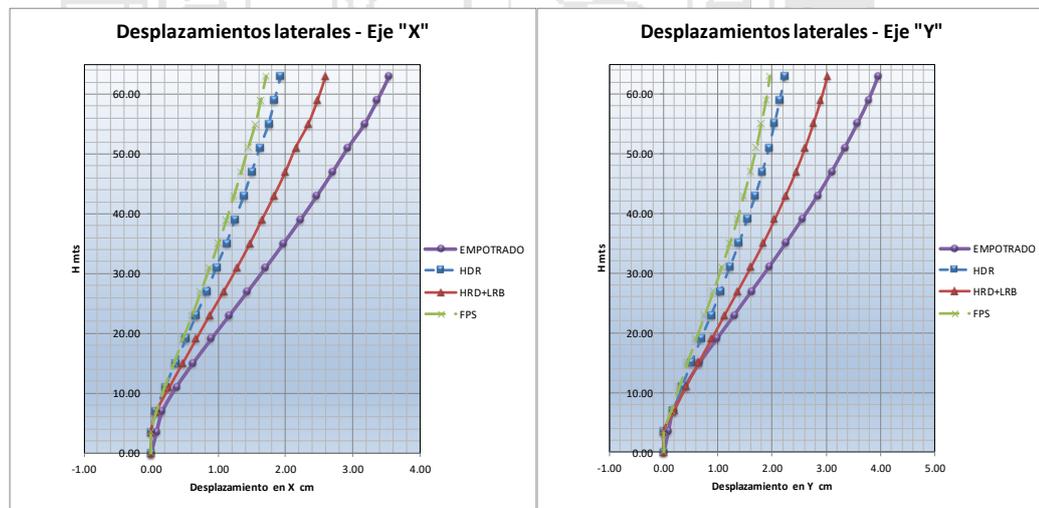


Ilustración 81: Desplazamientos laterales sistema tradicional vs Aislación de la base HDR, LRB y FPS.

- Al mejorar los desplazamientos laterales también mejoraron las aceleraciones desarrolladas por cada nivel, podemos entender que la consecuencia de la aceleración es producir el impacto en el equipamiento interno de la edificación, estos mejoraron considerablemente como se muestra

en la figura 82; es así que, en un sistema con aislación de la base FPS, las aceleraciones se redujeron de 1.41 m/seg² a 0.73 m/seg² con un factor de reducción de 1.93 en el eje "X" y en el eje "Y" de 1.60 m/seg² a 0.39 m/seg² con un factor de reducción 4.10, datos extraídos de la tabla 25 y 26 respectivamente.

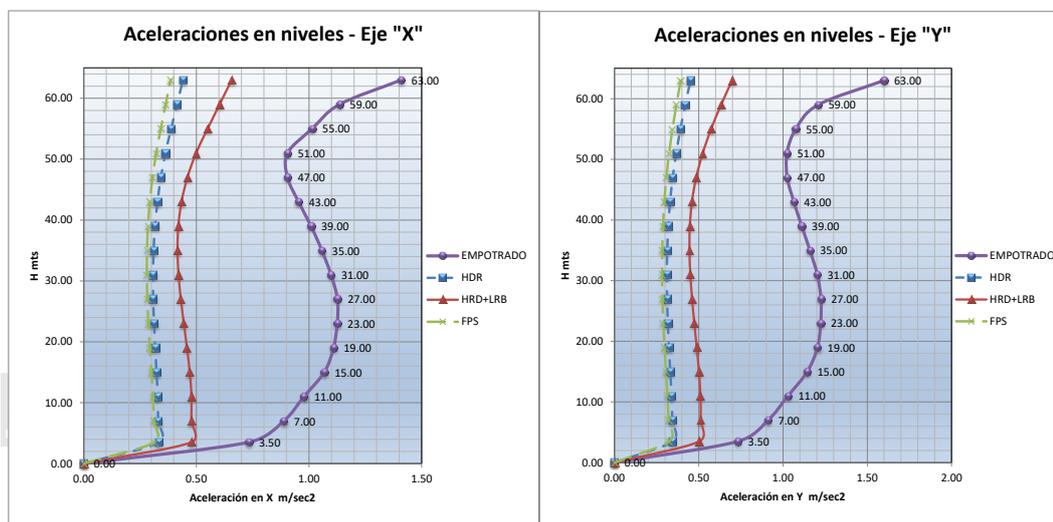


Ilustración 82: Aceleraciones sistema tradicional vs Aislación de la base HDR, LRB y FPS.

- Con respecto a las derivas de entrepiso se pudo notar que el diseño estructural tradicional propuesto cumple con los parámetros establecidos por el Reglamento Nacional de Edificaciones en su capítulo E.030, teniendo derivas muy por debajo al valor 0.007 para estructuras de concreto armado, los que representa el 42.86% del límite permisible lo que hace suponer que la estructura presenta una rigidez importante el que pudo mejorarse; con una deriva máxima de 0.003.
- De los resultados obtenidos en la tabla 22, 25 y 26 en cuanto a desplazamiento y aceleración de niveles que aportan los aisladores HDR, LRB y FPS, se puede tomar como elección óptima al sistema de aislación de base FPS; por demostrar mejores condiciones de disipación de energía sísmica, todos estos tipos de aisladores hasta la fecha no son comerciales en nuestro

país debido a su poca difusión y uso pero se vienen usando en todo el mundo y han demostrado una respuesta efectiva frente a una sollicitación sísmica.

- Hasta la fecha la norma peruana no contempla el diseño de estos dispositivos en la norma vigente; por esta razón se tiene que buscar reglamentación internacional (NCh - 2745 Of 2003, ASCE/SEI 7-10 y UBC 1997), para poder conocer cada característica del diseño de los aisladores; se puede apreciar vagamente la inclusión del uso de estos sistemas de diseño en recintos hospitalarios mencionados en el Anexo 03 “Sistemas de Protección Sísmica, específica para el caso de Establecimientos de Salud”, donde recomienda el uso de aislación sísmica en el desarrollo de estos proyectos.

- Existen varios sistemas de disipación de energía sísmica, en el presente trabajo se estudió básicamente tres de los más usados en el mundo; como son aisladores de goma de alto amortiguamiento (HDRB, High-Damping Rubber Bearing), los aisladores de goma de alto amortiguamiento con núcleo de plomo (LRB, Lead-plug Rubber Bearing) y el aislador de fricción pendular (FPS, Frictional Pendulum System).

- No basta con conocer el diseño y el cálculo de estos elementos; debemos conocer también, el modo de instalación y la existencia de otros prototipos en el mercado; es así, que el Perú viene incursionando poco a poco en el uso de estos sistemas; la mano especializada en la instalación aún se vienen capacitando en el usos de estos dispositivos, siendo el aislamiento FPS en muchos casos el mejor de todos, pero al mismo tiempo el de menos comerciabilidad en Latinoamérica y el Perú; en el presente trabajo se demostró su efectividad, pero aun toman fuerza la adquisición e instalación de los

aisladores elastoméricos con goma y/o caucho de alto amortiguamiento con núcleo de plomo o sin él.

- El edificio 15 niveles presenta una rigidez importante y por lo tanto un peso considerable, en la presente investigación no se realizó una reestructuración general, y se vio con conveniente que todas las placas de concreto se pudieran sustituir por las columnas más representativas; se pudo observar y comparar que tan efectivos son estos sistemas de aislamiento en este tipo de edificaciones; es necesario aclarar que parte de la incorporación de estos sistemas como propuesta; fue el tipo de suelo un factor importante en su elección, algunos entendidos en el tema mencionan que se deben de incorporar estos dispositivos en estructuras que posean en la cimentación con suelos rígidos (capacidad de carga del edificio 31.16 kg/cm² y un esfuerzo admisible de 12.5 kg/cm² mayor a los 5kg/cm² de la norma peruana) como es el caso del edificio 15 niveles.

- En el aspecto económico no solamente se consideró el costo de impacto directo (Fase de Inversión) entendido como el costo total de construcción, sino también el costo de impacto indirecto (Fase de Post Inversión) como es el equipamiento que alberga; todo con la finalidad de poder evaluar si realmente el sistema empleado tiene beneficios considerables a largo plazo, más aun cuando su inclusión puede ser cara; es así, que se realizó un análisis mediante una curva de vulnerabilidad, esta curva nos da valores porcentuales de daño en una edificación en función a la deriva más representativa del análisis estructural realizado, en nuestro caso del sistema tradicional la deriva más representativa es 3.2‰ y para un sistema aislado 2.3‰; es así que, si el sistema es tradicional en nuestro caso se obtendrá 12% y si el sistema fuese

aislado en la base para el mismo edificio se obtendrá 6%, estos valores son obtenidos por interpolación en la curva de vulnerabilidad y para determinar el costo por daño, se procede a realizar una multiplicación simple del costo total de inversión (costo total de la fórmula de estructuras con o sin aislamiento), como se muestra en la tabla:

COSTO DEBIDO AL DAÑO ESTRUCTURAL			
Ítem	Descripción	TRADICIONAL	 AISLADO
1	INVERSIÓN TOTAL (Fase Inversión)	S/. 7,632,639.04 (Ver Anexo 22)	S/. 7,468,113.14 (Ver Anexo 23)
5	AISLADORES	S/. 0.00	S/. 884,000.00
2	DERIVA REPRESENTATIVA	0.0032	0.0023
3	DAÑO (%)	12.0%	6.0%
4	COSTO POR DAÑO (Fase Post Inversión) $((1+2)*3)$	S/. 915,916.68	S/. 501,126.79
COSTO POR DAÑO ESTRUCTURAL		S/. 915,916.68	S/. 501,126.79

Referencia: Ver tabla 32 de la página 167.

También se generó un costo por impacto indirecto, costo por daño en equipamiento a 2078 computadoras a un costo de S/. 3200.00 que poseerá este recinto, tenemos entonces un costo total de S/. 6,649,600.00 en ambos casos el que, realizando una multiplicación simple del porcentaje por el costo obtenemos los siguientes valores que nos muestra la siguiente tabla:

COSTOS POR DAÑOS EN CONTENIDOS DEL EDIFICIO			
Ítem	Descripción	TRADICIONAL	 AISLADO
1	EQUIPAMIENTO CON COMPUTADORAS (Fase Inversión)	S/. 6,649,600.00	S/. 6,649,600.00
2	DAÑO (%)	12.0%	6.0%
3	COSTO POR DAÑO DAÑO (Fase Post Inversión) $(1x2)$	S/. 797,952.00	S/. 398,976.00
COSTO POR DAÑO A EQUIPAMIENTO		S/. 797,952.00	S/. 398,976.00

Referencia: Ver tabla 33 de la página 168.

Finalmente, para poder concluir con un costo total a largo plazo (costo fase de inversión y fase de post inversión), se realiza una suma de los daños en costo ocasionados por un sismo en los elementos estructurales y daños ocasionados en el equipamiento que contiene el Edificio 15 Niveles, es así que la estructura aislada resulta más económica a largo plazo que la estructura con un sistema

tradicional en un porcentaje de 1.01% frente a un eventual sismo real, como se muestra en la siguiente tabla:

RESUMEN DE COSTOS FINALES			
Ítem	Descripción	TRADICIONAL	AISLADO
1	INVERSIÓN TOTAL EN CONSTRUCCIÓN (Fase de Inversión) (Edificación y Aisladores tabla 32)	S/. 7,632,639.04	S/. 8,352,113.14
2	COSTO DE IMPACTO INDIRECTO DEBIDO A DAÑOS ESTRUCTURALES (Fase de Post Inversión) (Ver Tabla 32)	S/. 915,916.68	S/. 501,126.79
3	COSTO DE IMPACTO INDIRECTO DEBIDO A DAÑOS EN EQUIPAMIENTO (Fase de Post Inversión) (Ver Tabla 33)	S/. 797,952.00	S/. 398,976.00
PRESUPUESTO TOTAL (1+2+3)		S/. 9,346,507.72	S/. 9,252,215.93

Referencia: Ver tabla 34 de la página 168.

- Un punto importante es la ubicación de los aisladores que se darán sobre la estructura del sótano, debido a las siguientes razones:

a) La poca accesibilidad y la necesidad un nivel técnico (entiéndase como el piso de circulación para la reparación técnica, donde deberá de movilizarse sin problemas todo personal técnico y con acceso restringido a otras personas), para el mantenimiento y evaluación del estado de los aisladores, la finalidad es de ver periódicamente la existencia de deterioro, o la necesidad de reparación y/o sustitución de alguno de estos aisladores, sobre todo después de un posible evento sísmico donde generalmente se realiza una revisión general de estos dispositivos.

b) En los cálculos realizados se tuvo que lidiar con el peso de la estructura, que es un factor muy importante debido a que, si no se controla la carga de aplastamiento sobre la goma y/o elastómero de los aisladores; este efecto puede deteriorar rápidamente este componente muy importante en la disipación de energía sísmica, debido a su oscilación horizontal (caso aislador HDR y LRB).

c) La rigidez del sótano mediante sus placas perimetrales y el arrostramiento de las columnas por las vigas que se plantean, ayuda a la estabilidad de la ubicación de los aisladores sobre la estructura del sótano.

- ¿Qué pasaría si se ubicaran los aisladores en la base del sótano? En la eventual ubicación de los aisladores debajo de la estructura de la cimentación, se suscitarían los siguientes problemas:

a) Se tendría que implementar un nivel técnico debajo del sótano, y esto ocasionaría más movimiento de tierras y un cambio del nivel de fundación (debiéndose verificar el análisis estructural con nivel de fundación final).

b) Si se redujera la altura del sótano el principal problema sería del equipamiento de los ascensores, ya que el proyecto original se ubica en el sótano; para esto se tendría que realizar la consulta respectiva al especialista del área.

c) Para todos los casos es necesario modificar el acceso para el personal técnico que evalúa el estado de los aisladores, garantizándose en todo momento el retiro e inserción de los aisladores, de forma que no se pueda originar algún inconveniente en el mantenimiento y/o retiro de este dispositivo (en el proyecto original se puede apreciar una escalera de acceso técnico insuficiente para estas actividades).

d) Los muros perimetrales tendrían que ser aislados de toda la estructura, al mismo tiempo sufrirían una expansión en su geometría en planta como se muestra en los planos de estructuras; ya que se necesitaría una distancia horizontal de desplazamiento para los aisladores en un eventual sismo; además se debería de proteger a los peatones contra un eventual accidente, mediante un piso en volado en el espacio originado en todo el perimétrico.

CONCLUSIONES.

CONCLUSIONES.

- Según el análisis y diseño modal tridimensional del proyecto MEJORAMIENTO DE SERVICIOS ACADÉMICOS EN LA FORMACIÓN BÁSICA, INFORMÁTICA Y VIRTUAL EN LAS ESCUELAS PROFESIONALES DE LA UNA - PUNO - EDIFICIO 15 NIVELES, y las consideraciones del Reglamento Nacional de Edificaciones y el código ACI 318-08, esta estructura posee una deriva máxima 0.003 en su estado tradicional y una deriva optima de 0.002 con un sistema de aislamiento de la base y reducción de elementos tipo placa; menores al valor 0.007 de deriva que establece la norma.
- El aislador FPS (Frictional Pendulum System), aporta mejores condiciones a la estructura por reducir considerablemente los desplazamientos laterales en 1.95 veces en el sentido "X" y 1.61 veces en el sentido "Y".
- El aislador FPS (Frictional Pendulum System), aporta mejores condiciones a la estructura por reducir considerablemente las aceleraciones en los pisos en 1.93 veces en el sentido "X" y 4.10 veces en el sentido "Y".

- El sistema tradicional presenta una deriva de 0.003 frente a lo estipulado por la norma de 0.007, con un porcentaje menor al 50% establecido por la norma, presentando una rigidez importante.
- Para el diseño de los sistemas aislados se tomaron las consideraciones del apéndice del capítulo 16 de la norma UBC-97, que se refieren a las regulaciones sísmicas para edificios con asilamiento por la base, específicamente el diseño se realizó por el método de los mínimos desplazamientos laterales, alejando a la estructura de las zonas de mayor energía sísmica para asegurar buenos niveles de respuesta, el sistema utilizó un total de 52 aisladores, con una carga máxima de 1135.49 T, la carga mínima de 1063.81 T y un peso total de 21041.12 T de la estructura.
- Del diseño de los aisladores se obtuvo que, los aisladores tipo HDR tendrán un diámetro de 170 cm y una altura total de 75 cm; los aisladores tipo LBR un diámetro de 150 cm con un núcleo de plomo de 15 cm de diámetro y una altura total de 70 cm; los aisladores FPS tendrán un diámetro total de 95 cm y una altura total de 75 cm.
- Las derivas para el caso del edificio con sistema tradicional y con sistema de asilamiento con reducción de elementos tipo placa, varían desde 0.003 hasta 0.002; es decir, que el porcentaje de reducción de las derivas de entrepiso es del 15%, pudiéndose optimizar aún más de acuerdo a nuestro reglamento si se realiza una reestructuración general.
- La instalación y existencia en el mercado peruano del sistema de aislación FPS no es muy alta; es así que por su uso más comercial cobra fuerza la adquisición e instalación de los aisladores elastoméricos con goma y/o caucho de alto amortiguamiento con núcleo de plomo o sin él.

- La capacidad portante del suelo del Edificio 15 niveles es una característica muy importante para la inclusión de estos sistemas de aislación por tener un suelo rígido de 12.5 kg/cm², y evitar así cualquier tipo de asentamiento diferencial, necesidad importante para estos sistemas de aislación.
- El costo total de la inversión (Fase de Inversión más Fase Post Inversión) en el Edificio 15 niveles; a futuro y frente a daño sísmico resulta más económico que va desde S/. 9,346,507.72 a S/. 9,252,215.93, teniéndose una variación porcentual de 1.01%, donde el daño estructural y posibles reparaciones a la estructura y equipamiento representan variables que no se deberían de obviar en una evaluación de costo, más aún si el emplazamiento del proyecto tuviera actividad sísmica constante.
- La ubicación de la línea de aislamiento (línea de ubicación de aisladores), se dará por encima de la estructura del sótano por presentar mejores condiciones de inspección y acceso al sótano que a su vez se podrá usar como nivel técnico, también por presentar una rigidez importante y por el ahorro en costo de la excavación de material rocoso que podría originarse con el cambio del nivel de fundación, entendiéndose que en sistemas de aislación sísmica es necesario la inclusión de un nivel técnico (entiéndase como el piso de circulación para la reparación técnica, donde deberá de movilizarse sin problemas todo personal técnico y con acceso restringido a otras personas), además de las diferentes complejidades que se tocaron en la discusión de resultados.

BIBLIOGRAFÍA

ANDRÉS OVIEDO, J., & DUQUE, M. (2006). SISTEMAS DE CONTROL DE RESPUESTA SÍSMICA EN EDIFICACIONES EN EDIFICACIONES. EIA, ISSN 1794-1237, 105-120.

Arriagada Rosas, J. A. (2005). Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos. (Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional). Valdivia – Chile.

BECERRA E., C. G. (1998). Aislación basal de un edificio de vivienda tipo social. Tesis Ing. Civil. Universidad de Concepción.

BONILLA SOSA, L. M. (2012). “TEORÍA DEL AISLAMIENTO SÍSMICO PARA EDIFICACIONES”. MÉXICO, CIUDAD UNIVERSITARIA.

BOZZO, L., & AGUIAR, L. (1996). eds. Ingeniería de estructuras. Escuela superior politécnica del ejército. Quito, Ecuador.

Division, W. M. (2012). New business and product development. Weir Minerals Division.

GATICA LAGOS, D. V. (2012). RESPUESTA SÍSMICA DE UN EDIFICIO DE ESTRUCTURA METÁLICA CON AISLADORES. Madrid, ESPAÑA.

GUERRERO MELO, J. (2011). REDUCCIÓN DE LA DEMANDA SÍSMICA EN ESTRUCTURAS APORTICADAS EMPLEANDO AISLADORES DE BASE.

Bucaramanga.

IZAGUIRRE CORONA, A. (2007). SISTEMA DE AISLADORES SISMICOS DE BASE PARA EDIFICIOS. MEXICO.

MORENO, D., YAMIN, L., & REYES, J. C. (1992). "Estudio Experimental de Aisladores Sísmicos Tipo Péndulo de Fricción en Modelos A Escala Reducida". Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.

QUIROZ LOZANO, J. (2010). COEFICIENTE DE FRICCIÓN ÓPTIMO PARA EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS AISLADAS UBICADAS EN LA COSTA DE GUERRERO. Mexico, MEXICO.

(2006). REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES. Lima.

ROCHEL, R. (2006). "Análisis y diseño sísmico de edificios". Universidad EAFIT Medellín.

ROMO, M., AGUILAR, R., & BRAVO, V. (2005). "Alternativas de Modelamiento de Estructuras con Aisladores Sísmicos mediante SAP 2000. Escuela Politécnica del Ejército. Guayaquil, Ecuador.

RUIZ, P. (1974). Dinámica de Estructuras. Santiago. Escuela de Ingeniería Pontificia Universidad Católica de Chile.

SAAVEDRA QUEZADA, M. (2005). ANÁLISIS DE EDIFICIOS CON AISLADORES SÍSMICOS MEDIANTE PROCEDIMIENTOS SIMPLIFICADOS. Valdivia, CHILE.

UNAP, P. (2012). "MEJORAMIENTO DE SERVICIOS ACADÉMICOS EN LA FORMACIÓN BÁSICA, INFORMÁTICA Y VIRTUAL EN LAS ESCUELAS

PROFESIONALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO -
PUNO". PUNO, CIUDAD UNIVERSITARIA.

VILLALOBOS P., H. S. (1997). Diseño de aisladores sísmicos para un
edificio de aulas Tesis Ing. Civil. Universidad de Chile. Depto. Ing. Civil.



ANEXOS

ANEXO 1: Juego de cargas para diseño de aislador primera combinación (CM+1.25CV1).....	184
ANEXO 2: Juego de cargas para diseño de aislador segunda combinación (CM+1.25CV2).....	186
ANEXO 3: Juego de cargas para diseño de aislador tercera combinación (CM+1.25CV3).....	188
ANEXO 4: Juego de cargas para diseño de aislador primera combinación segunda condición (CM+1.50CV1).....	190
ANEXO 5: Juego de cargas para diseño de aislador segunda combinación segunda condición (CM+1.50CV2).....	192
ANEXO 6: Juego de cargas para diseño de aislador primera combinación segunda condición (CM+1.50CV3).....	194
ANEXO 7: Periodos obtenidos del cálculo con sistema tradicional empotrado.....	196
ANEXO 8: Resumen general de cargas primera condición, para diseño de aislador.....	198
ANEXO 9: Periodos y frecuencias del diseño con el aislador HDR.....	200
ANEXO 10: Periodos y frecuencias de combinación de aisladores HRD y LRB.....	202
ANEXO 11: Periodos y frecuencias de diseño con aisladores FPS.....	204
ANEXO 12: Desplazamientos laterales del cálculo estructural tradicional empotrado.....	206
ANEXO 13: Calculo de las derivas del diseño sísmico tradicional empotrado.....	207
ANEXO 14: Desplazamientos laterales del cálculo estructural con aisladores HDR.....	209
ANEXO 15: Calculo de derivas del diseño sísmico con aisladores HDR.....	210
ANEXO 16: Desplazamientos laterales del cálculo estructural con la combinación de aisladores HRD y LRB.....	211
ANEXO 17: Calculo de las derivas del diseño sísmico con aisladores HRD y LRB.....	212
ANEXO 18: Desplazamientos laterales del cálculo estructural con aisladores FPS.....	213
ANEXO 19: Calculo de las derivas del diseño sísmico con aisladores FPS.....	214
ANEXO 20: Desplazamientos laterales del cálculo estructural de mejora en las placas de concreto con sistema de aislación de la base FPS.....	215
ANEXO 21: Calculo de las derivas del diseño sísmico de estructura con mejora en las placas y sistema de aislación de la base FPS.....	216
ANEXO 22: Presupuesto general según Expediente Técnico en la fórmula de estructuras.....	218
ANEXO 23: Nuevo presupuesto en la fórmula de Estructuras por cambio realizados en la mejora de la estructuración.....	221
ANEXO 24: Costo por instalación de aislador sísmico.....	224
ANEXO 25: Experiencias en edificaciones en el mundo y el Perú.....	225
ANEXO 26: Diseño de aislador HDR, LRB y FPS.....	231
ANEXO 27: PLANOS DE DETALLE.....	232
ANEXO 28: CATALOGOS DE REFERENCIA.....	234

ANEXO 1: Juego de cargas para diseño de aislador primera combinación (CM+1.25CV1).

REACCIONES EN LA BASE (CM+1.25CV1)								
NRO.	Joint	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
1	1249	CM+1.25CV1	9.56	6.79	41.15	-2.98	4.14	0.19
2	1255	CM+1.25CV1	-0.46	14.04	85.25	-4.89	0.12	0.11
3	1261	CM+1.25CV1	0.20	6.96	59.57	0.32	7.40	-0.07
4	1268	CM+1.25CV1	-0.27	9.45	79.07	1.13	10.67	0.05
5	1298	CM+1.25CV1	0.64	2.26	397.40	-5.33	17.89	-0.04
6	1299	CM+1.25CV1	0.48	-0.99	199.00	41.16	1.76	-0.02
7	1300	CM+1.25CV1	0.36	-0.14	149.49	-0.31	0.68	-0.02
8	1301	CM+1.25CV1	0.17	-1.37	255.41	85.43	0.47	-0.02
9	1302	CM+1.25CV1	0.47	0.26	147.87	-0.78	0.82	-0.02
10	1303	CM+1.25CV1	1.05	1.50	224.09	31.07	-2.93	-0.02
11	1304	CM+1.25CV1	-0.72	2.48	509.18	28.08	3.52	-0.11
12	1305	CM+1.25CV1	-1.49	0.40	463.07	-0.97	14.78	-0.04
13	1310	CM+1.25CV1	-10.62	1.00	53.75	-1.31	1.01	-0.43
14	1313	CM+1.25CV1	0.84	33.81	411.19	-87.83	2.54	-0.04
15	1314	CM+1.25CV1	0.19	13.21	435.97	-20.62	-7.94	-0.04
16	1315	CM+1.25CV1	9.36	0.75	54.63	-8.38	-0.18	0.28
17	1322	CM+1.25CV1	0.00	0.00	640.64	-138.51	-81.45	0.00
18	1324	CM+1.25CV1	4.94	2.38	308.11	-5.89	13.34	-0.04
19	1325	CM+1.25CV1	7.75	8.52	510.12	-88.57	21.91	-0.05
20	1326	CM+1.25CV1	5.19	1.83	280.84	-4.38	11.93	-0.04
21	1328	CM+1.25CV1	0.00	0.00	531.80	-109.51	77.14	0.00
22	1337	CM+1.25CV1	11.87	1.02	58.77	4.84	0.41	0.39
23	1338	CM+1.25CV1	1.89	34.99	572.30	-107.91	-2.52	-0.05
24	1339	CM+1.25CV1	1.44	9.35	758.09	-0.63	4.63	-0.20
25	1340	CM+1.25CV1	-0.20	9.57	761.37	1.27	2.42	-0.20
26	1341	CM+1.25CV1	0.67	2.87	737.90	8.87	3.39	-0.19
27	1342	CM+1.25CV1	0.74	0.98	867.33	-4.98	3.26	-0.19
28	1343	CM+1.25CV1	-0.46	11.96	561.16	-39.75	4.52	-0.05
29	1344	CM+1.25CV1	-10.08	0.25	52.19	-0.45	1.59	-0.12
30	1356	CM+1.25CV1	0.48	29.27	554.64	-103.84	11.62	-0.04
31	1357	CM+1.25CV1	0.51	8.53	498.32	-44.95	-8.18	-0.04
32	1361	CM+1.25CV1	8.58	-0.53	54.26	0.06	-0.01	-0.25
33	1367	CM+1.25CV1	15.66	2.77	566.15	9.58	24.69	-0.04
34	1368	CM+1.25CV1	4.03	7.46	853.43	27.09	7.50	-0.20
35	1369	CM+1.25CV1	3.85	5.33	1061.10	-9.95	3.99	-0.20
36	1371	CM+1.25CV1	1.09	11.66	1063.81	-15.32	3.19	-0.20
37	1373	CM+1.25CV1	0.85	6.28	690.28	-38.97	18.15	-0.20
38	1374	CM+1.25CV1	6.83	3.08	540.91	-2.32	49.38	-0.04
39	1380	CM+1.25CV1	-6.32	-0.78	41.95	0.74	2.25	0.30
40	1385	CM+1.25CV1	0.74	64.01	429.46	-5.67	-6.72	-0.02
41	1386	CM+1.25CV1	0.00	0.00	20.68	4.63	8.65	0.00
42	1399	CM+1.25CV1	6.25	22.01	529.36	-118.09	18.11	-0.05

43	1400	CM+1.25CV1	-0.83	4.85	358.74	-32.73	-6.05	-0.05
44	1405	CM+1.25CV1	25.17	3.09	628.96	-5.57	111.73	-0.06
45	1407	CM+1.25CV1	0.00	0.00	79.88	-104.71	-7.04	0.00
46	1408	CM+1.25CV1	-1.74	-2.80	675.82	-37.86	-2.28	-0.11
47	1410	CM+1.25CV1	0.36	-3.71	685.10	-36.11	17.96	-0.11
48	1418	CM+1.25CV1	0.25	-29.00	375.30	-13.96	20.59	0.02
49	1420	CM+1.25CV1	0.00	0.00	494.05	0.00	-2.11	-0.06
50	1431	CM+1.25CV1	15.42	-212.42	144.38	-2.79	-0.32	-853.39
51	1439	CM+1.25CV1	0.27	0.84	227.50	-2.30	1.45	-0.03
52	1447	CM+1.25CV1	0.34	0.87	260.34	-2.79	2.44	-0.03
CARGA TOTAL					21041.12	-967.63	384.33	-855.78
VALOR MÁXIMO					1063.81	85.43	111.73	0.39
VALOR MÍNIMO					20.68	-138.51	-81.45	-853.39

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 2: Juego de cargas para diseño de aislador segunda combinación (CM+1.25CV2).

REACCIONES EN LA BASE (CM+1.25CV2)								
NRO.	Joint	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
1	1249	CM+1.25CV2	7.32	5.09	32.39	-1.86	3.37	0.11
2	1255	CM+1.25CV2	-0.40	10.89	68.75	-3.00	0.10	0.10
3	1261	CM+1.25CV2	0.15	5.72	49.29	0.68	7.30	-0.05
4	1268	CM+1.25CV2	-0.28	7.13	62.68	1.26	10.63	0.07
5	1298	CM+1.25CV2	-0.23	1.55	337.21	-3.82	8.45	-0.02
6	1299	CM+1.25CV2	0.15	-0.72	160.75	31.97	1.57	-0.01
7	1300	CM+1.25CV2	0.21	-0.14	123.27	-0.11	0.34	-0.01
8	1301	CM+1.25CV2	0.11	-1.17	220.63	75.23	-0.20	-0.01
9	1302	CM+1.25CV2	0.23	0.13	132.49	-0.44	0.37	-0.01
10	1303	CM+1.25CV2	0.65	0.89	195.29	28.65	-2.15	-0.01
11	1304	CM+1.25CV2	-0.70	1.62	475.62	29.82	1.57	-0.04
12	1305	CM+1.25CV2	-2.60	0.33	442.73	-0.80	7.88	-0.02
13	1310	CM+1.25CV2	-10.43	1.04	52.84	-1.34	0.67	-0.43
14	1313	CM+1.25CV2	0.60	22.96	362.10	-46.66	2.09	-0.02
15	1314	CM+1.25CV2	0.13	11.85	424.43	-14.42	-8.35	-0.02
16	1315	CM+1.25CV2	8.33	0.42	50.02	-6.84	-0.59	0.16
17	1322	CM+1.25CV2	0.00	0.00	520.57	-108.44	-70.21	0.00
18	1324	CM+1.25CV2	1.74	1.70	263.80	-4.01	5.07	-0.01
19	1325	CM+1.25CV2	2.57	7.14	454.24	-75.88	7.36	-0.02
20	1326	CM+1.25CV2	1.61	1.38	256.85	-3.18	3.37	-0.01
21	1328	CM+1.25CV2	0.00	0.00	496.10	-100.95	68.43	0.00
22	1337	CM+1.25CV2	9.95	0.66	51.17	4.36	-0.26	0.26
23	1338	CM+1.25CV2	1.47	21.87	494.22	-66.61	-3.25	-0.02
24	1339	CM+1.25CV2	0.32	8.46	655.55	10.40	3.12	-0.08
25	1340	CM+1.25CV2	-0.68	5.15	630.40	-5.17	-1.37	-0.08
26	1341	CM+1.25CV2	0.33	2.68	657.58	17.03	1.39	-0.04
27	1342	CM+1.25CV2	0.46	-0.20	748.88	-15.77	1.40	-0.04
28	1343	CM+1.25CV2	-0.68	10.26	541.63	-33.75	4.46	-0.02
29	1344	CM+1.25CV2	-10.46	0.23	52.55	-0.42	0.67	-0.10
30	1356	CM+1.25CV2	0.16	19.25	463.25	-58.86	9.39	-0.02
31	1357	CM+1.25CV2	0.26	7.26	466.42	-41.27	-8.83	-0.02
32	1361	CM+1.25CV2	7.42	-0.60	47.12	0.39	-0.57	-0.26
33	1367	CM+1.25CV2	9.08	2.30	510.44	10.58	1.60	-0.02
34	1368	CM+1.25CV2	2.21	3.34	741.13	14.10	2.22	-0.08
35	1369	CM+1.25CV2	1.71	6.17	876.36	4.76	2.71	-0.08
36	1371	CM+1.25CV2	0.63	9.93	933.07	-16.41	-2.35	-0.08
37	1373	CM+1.25CV2	-0.25	4.65	561.82	-23.36	10.70	-0.08
38	1374	CM+1.25CV2	2.10	2.62	487.30	-1.69	23.67	-0.02
39	1380	CM+1.25CV2	-6.77	-0.82	43.68	0.80	1.52	0.33
40	1385	CM+1.25CV2	0.47	54.17	366.92	-3.10	-4.24	-0.01
41	1386	CM+1.25CV2	0.00	0.00	17.07	4.63	5.76	0.00
42	1399	CM+1.25CV2	4.09	13.86	427.70	-72.03	9.65	-0.02

43	1400	CM+1.25CV2	-0.80	4.31	305.72	-31.67	-6.28	-0.02
44	1405	CM+1.25CV2	13.26	2.15	523.90	-3.72	40.05	-0.02
45	1407	CM+1.25CV2	0.00	0.00	60.34	-80.35	-5.40	0.00
46	1408	CM+1.25CV2	-1.83	-3.59	605.42	-33.88	-3.55	-0.04
47	1410	CM+1.25CV2	-0.17	-3.58	608.26	-30.32	10.90	-0.04
48	1418	CM+1.25CV2	0.14	-26.63	329.35	-11.37	15.02	0.01
49	1420	CM+1.25CV2	0.00	0.00	413.59	0.00	-0.78	-0.02
50	1431	CM+1.25CV2	9.33	-180.85	129.92	-1.88	-0.66	-882.68
51	1439	CM+1.25CV2	0.18	0.61	195.02	-1.53	0.64	-0.01
52	1447	CM+1.25CV2	0.16	0.70	234.02	-2.01	1.25	-0.01
CARGA TOTAL					18361.82	-672.27	155.65	-883.51
VALOR MÁXIMO					933.07	75.23	68.43	0.33
VALOR MÍNIMO					17.07	-108.44	-70.21	-882.68

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 3: Juego de cargas para diseño de aislador tercera combinación (CM+1.25CV3).

REACCIONES EN LA BASE (CM+1.25CV3)								
NRO.	Joint	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
1	1249	CM+1.25CV3	6.95	4.85	30.79	-1.79	3.30	0.11
2	1255	CM+1.25CV3	-0.38	10.29	64.92	-2.90	0.11	0.09
3	1261	CM+1.25CV3	0.15	5.63	48.38	0.65	7.30	-0.05
4	1268	CM+1.25CV3	-0.28	7.08	62.14	1.24	10.63	0.07
5	1298	CM+1.25CV3	-0.09	1.48	315.03	-3.67	7.38	-0.02
6	1299	CM+1.25CV3	0.17	-0.71	159.17	31.93	1.58	-0.01
7	1300	CM+1.25CV3	0.19	-0.13	122.23	-0.11	0.30	-0.01
8	1301	CM+1.25CV3	0.10	-1.15	219.14	74.76	-0.23	-0.01
9	1302	CM+1.25CV3	0.22	0.13	132.06	-0.44	0.34	-0.01
10	1303	CM+1.25CV3	0.55	0.88	194.31	28.94	-2.30	-0.01
11	1304	CM+1.25CV3	-0.67	2.31	387.88	14.82	1.56	-0.04
12	1305	CM+1.25CV3	-2.28	0.33	383.64	-0.79	6.93	-0.02
13	1310	CM+1.25CV3	-9.41	0.96	47.90	-1.25	0.72	-0.40
14	1313	CM+1.25CV3	0.52	22.11	324.48	-50.00	1.96	-0.02
15	1314	CM+1.25CV3	0.18	10.74	360.72	-19.52	-7.65	-0.02
16	1315	CM+1.25CV3	7.77	0.42	47.27	-6.34	-0.66	0.16
17	1322	CM+1.25CV3	0.00	0.00	530.79	-105.12	-72.85	0.00
18	1324	CM+1.25CV3	0.79	1.73	263.50	-4.10	3.52	-0.01
19	1325	CM+1.25CV3	2.26	6.13	443.19	-78.21	6.39	-0.02
20	1326	CM+1.25CV3	1.93	1.35	257.35	-3.10	3.54	-0.01
21	1328	CM+1.25CV3	0.00	0.00	508.70	-97.93	69.57	0.00
22	1337	CM+1.25CV3	9.80	0.66	50.53	4.40	-0.27	0.26
23	1338	CM+1.25CV3	1.29	23.90	476.93	-52.55	-2.10	-0.02
24	1339	CM+1.25CV3	0.88	4.83	622.68	-6.08	0.58	-0.07
25	1340	CM+1.25CV3	-0.73	8.65	660.59	11.31	1.50	-0.07
26	1341	CM+1.25CV3	0.37	1.38	615.31	-0.63	-0.13	-0.03
27	1342	CM+1.25CV3	0.31	1.62	720.30	8.79	2.52	-0.03
28	1343	CM+1.25CV3	-0.58	11.21	482.97	-26.59	3.19	-0.02
29	1344	CM+1.25CV3	-9.73	0.24	49.53	-0.43	0.72	-0.10
30	1356	CM+1.25CV3	0.16	18.37	476.29	-63.31	9.43	-0.02
31	1357	CM+1.25CV3	0.27	7.30	456.97	-40.53	-8.76	-0.02
32	1361	CM+1.25CV3	7.52	-0.61	47.58	0.42	-0.59	-0.27
33	1367	CM+1.25CV3	9.10	1.69	508.43	6.32	-0.06	-0.02
34	1368	CM+1.25CV3	1.82	7.73	737.40	42.98	3.67	-0.07
35	1369	CM+1.25CV3	2.23	0.92	854.92	-17.84	0.20	-0.07
36	1371	CM+1.25CV3	-0.35	9.09	849.70	-0.92	-0.60	-0.07
37	1373	CM+1.25CV3	0.03	5.04	603.10	-38.09	8.74	-0.07
38	1374	CM+1.25CV3	1.74	1.98	478.10	-1.55	23.74	-0.02
39	1380	CM+1.25CV3	-6.71	-0.82	43.35	0.80	1.49	0.33
40	1385	CM+1.25CV3	0.42	55.94	383.09	-2.67	-4.29	-0.01
41	1386	CM+1.25CV3	0.00	0.00	13.01	2.93	5.41	0.00
42	1399	CM+1.25CV3	4.46	14.13	456.47	-69.67	7.68	-0.02

43	1400	CM+1.25CV3	-0.93	4.87	251.25	-28.94	-5.75	-0.02
44	1405	CM+1.25CV3	13.76	2.64	596.46	-4.37	37.25	-0.02
45	1407	CM+1.25CV3	0.00	0.00	77.86	-102.38	-7.08	0.00
46	1408	CM+1.25CV3	-3.37	-1.08	521.47	-22.61	-3.12	-0.04
47	1410	CM+1.25CV3	0.19	-3.50	593.55	-30.34	10.32	-0.04
48	1418	CM+1.25CV3	0.13	-28.54	347.76	-11.42	15.92	0.01
49	1420	CM+1.25CV3	0.00	0.00	404.02	0.00	-0.78	-0.02
50	1431	CM+1.25CV3	10.12	-181.20	128.80	-1.85	-0.93	-902.85
51	1439	CM+1.25CV3	0.22	0.61	189.26	-1.51	0.67	-0.01
52	1447	CM+1.25CV3	0.19	0.70	228.76	-1.99	1.25	-0.01
CARGA TOTAL					17830.04	-671.28	141.26	-903.63
VALOR MÁXIMO					854.92	74.76	69.57	0.33
VALOR MÍNIMO					13.01	-105.12	-72.85	-902.85

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 4: Juego de cargas para diseño de aislador primera combinación segunda condición (CM+1.50CV1).

REACCIONES EN LA BASE (CM+1.50CV1)								
NRO.	Joint	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
1	1249	CM+1.50CV1	10.09	7.18	43.22	-3.23	4.32	0.21
2	1255	CM+1.50CV1	-0.48	14.85	89.64	-5.31	0.12	0.11
3	1261	CM+1.50CV1	0.22	7.27	62.19	0.27	7.42	-0.08
4	1268	CM+1.50CV1	-0.27	9.98	83.01	1.13	10.68	0.05
5	1298	CM+1.50CV1	0.84	2.44	417.82	-5.68	19.67	-0.05
6	1299	CM+1.50CV1	0.53	-1.05	209.57	43.56	1.91	-0.02
7	1300	CM+1.50CV1	0.39	-0.14	156.62	-0.35	0.75	-0.02
8	1301	CM+1.50CV1	0.21	-1.44	266.66	89.01	0.55	-0.02
9	1302	CM+1.50CV1	0.52	0.29	154.16	-0.85	0.92	-0.02
10	1303	CM+1.50CV1	1.13	1.62	234.16	32.25	-2.99	-0.02
11	1304	CM+1.50CV1	-0.71	2.53	538.31	30.68	3.79	-0.12
12	1305	CM+1.50CV1	-1.40	0.42	485.54	-1.02	16.52	-0.05
13	1310	CM+1.50CV1	-10.97	1.02	55.46	-1.34	1.06	-0.44
14	1313	CM+1.50CV1	0.91	36.44	432.47	-95.42	2.66	-0.05
15	1314	CM+1.50CV1	0.18	13.92	456.56	-21.52	-8.07	-0.05
16	1315	CM+1.50CV1	9.74	0.81	56.42	-8.84	-0.09	0.30
17	1322	CM+1.50CV1	0.00	0.00	674.47	-146.48	-85.05	0.00
18	1324	CM+1.50CV1	5.66	2.54	322.65	-6.32	15.11	-0.04
19	1325	CM+1.50CV1	8.81	9.09	532.77	-92.21	24.86	-0.05
20	1326	CM+1.50CV1	5.88	1.94	291.76	-4.68	13.59	-0.04
21	1328	CM+1.50CV1	0.00	0.00	550.84	-113.71	80.45	0.00
22	1337	CM+1.50CV1	12.43	1.10	61.04	4.99	0.56	0.42
23	1338	CM+1.50CV1	2.03	37.71	603.05	-117.66	-2.58	-0.05
24	1339	CM+1.50CV1	1.61	10.08	805.49	-0.64	5.18	-0.22
25	1340	CM+1.50CV1	-0.12	10.33	809.16	1.44	2.84	-0.22
26	1341	CM+1.50CV1	0.75	3.12	783.48	9.60	3.81	-0.22
27	1342	CM+1.50CV1	0.81	1.04	924.39	-5.33	3.64	-0.22
28	1343	CM+1.50CV1	-0.46	12.55	589.72	-41.90	4.75	-0.05
29	1344	CM+1.50CV1	-10.35	0.26	53.55	-0.46	1.74	-0.12
30	1356	CM+1.50CV1	0.56	31.54	583.40	-113.08	12.17	-0.05
31	1357	CM+1.50CV1	0.54	8.82	520.19	-47.66	-8.25	-0.05
32	1361	CM+1.50CV1	8.92	-0.53	56.41	0.00	0.08	-0.25
33	1367	CM+1.50CV1	17.11	2.99	591.85	10.23	28.88	-0.05
34	1368	CM+1.50CV1	4.48	7.91	903.25	27.92	8.32	-0.22
35	1369	CM+1.50CV1	4.25	5.73	1134.31	-10.71	4.49	-0.22
36	1371	CM+1.50CV1	1.21	12.56	1135.49	-16.56	4.00	-0.22
37	1373	CM+1.50CV1	1.00	6.69	728.88	-42.19	19.84	-0.22
38	1374	CM+1.50CV1	7.78	3.30	565.63	-2.49	54.32	-0.05
39	1380	CM+1.50CV1	-6.38	-0.78	42.61	0.75	2.42	0.31
40	1385	CM+1.50CV1	0.80	67.30	451.13	-6.11	-7.21	-0.02
41	1386	CM+1.50CV1	0.00	0.00	22.21	4.97	9.29	0.00
42	1399	CM+1.50CV1	6.72	23.74	556.25	-128.24	19.92	-0.05

43	1400	CM+1.50CV1	-0.83	4.98	379.19	-34.19	-6.26	-0.05
44	1405	CM+1.50CV1	27.62	3.30	657.33	-5.98	125.15	-0.07
45	1407	CM+1.50CV1	0.00	0.00	84.55	-110.77	-7.38	0.00
46	1408	CM+1.50CV1	-1.72	-3.09	717.11	-40.99	-2.20	-0.12
47	1410	CM+1.50CV1	0.44	-4.06	724.11	-38.99	19.43	-0.12
48	1418	CM+1.50CV1	0.27	-30.24	392.85	-14.81	21.90	0.02
49	1420	CM+1.50CV1	0.00	0.00	520.15	0.00	-2.37	-0.07
50	1431	CM+1.50CV1	16.74	-222.42	149.26	-3.00	-0.27	-871.08
51	1439	CM+1.50CV1	0.29	0.89	238.56	-2.48	1.60	-0.04
52	1447	CM+1.50CV1	0.38	0.93	272.81	-2.98	2.66	-0.04
CARGA TOTAL					22171.73	-1037.38	428.64	-873.76
VALOR MÁXIMO					1135.49	89.01	125.15	0.42
VALOR MÍNIMO					22.21	-146.48	-85.05	-871.08

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 5: Juego de cargas para diseño de aislador segunda combinación segunda condición (CM+1.50CV2).

REACCIONES EN LA BASE (CM+1.50CV2)								
NRO.	Joint	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
1	1249	CM+1.50CV2	7.39	5.14	32.71	-1.88	3.39	0.11
2	1255	CM+1.50CV2	-0.40	11.08	69.84	-3.05	0.10	0.10
3	1261	CM+1.50CV2	0.15	5.79	49.86	0.70	7.30	-0.05
4	1268	CM+1.50CV2	-0.28	7.20	63.34	1.28	10.63	0.07
5	1298	CM+1.50CV2	-0.21	1.58	345.59	-3.87	8.35	-0.02
6	1299	CM+1.50CV2	0.13	-0.74	163.66	32.53	1.68	-0.01
7	1300	CM+1.50CV2	0.21	-0.14	125.16	-0.11	0.35	-0.01
8	1301	CM+1.50CV2	0.13	-1.20	224.92	76.76	-0.25	-0.01
9	1302	CM+1.50CV2	0.24	0.12	135.70	-0.44	0.38	-0.01
10	1303	CM+1.50CV2	0.66	0.89	199.60	29.35	-2.06	-0.01
11	1304	CM+1.50CV2	-0.69	1.50	498.05	32.77	1.45	-0.04
12	1305	CM+1.50CV2	-2.74	0.34	461.14	-0.81	8.24	-0.02
13	1310	CM+1.50CV2	-10.75	1.07	54.37	-1.38	0.65	-0.45
14	1313	CM+1.50CV2	0.63	23.42	373.56	-46.02	2.12	-0.02
15	1314	CM+1.50CV2	0.11	12.29	442.71	-14.08	-8.56	-0.02
16	1315	CM+1.50CV2	8.50	0.42	50.89	-6.98	-0.58	0.16
17	1322	CM+1.50CV2	0.00	0.00	530.38	-110.40	-71.57	0.00
18	1324	CM+1.50CV2	1.81	1.73	269.48	-4.08	5.19	-0.01
19	1325	CM+1.50CV2	2.60	7.43	465.71	-76.99	7.39	-0.02
20	1326	CM+1.50CV2	1.58	1.41	262.97	-3.24	3.31	-0.01
21	1328	CM+1.50CV2	0.00	0.00	508.00	-103.43	70.00	0.00
22	1337	CM+1.50CV2	10.13	0.67	51.91	4.42	-0.25	0.26
23	1338	CM+1.50CV2	1.52	21.97	509.35	-68.10	-3.46	-0.02
24	1339	CM+1.50CV2	0.27	9.01	682.45	12.60	3.36	-0.07
25	1340	CM+1.50CV2	-0.70	5.03	652.00	-6.29	-1.71	-0.07
26	1341	CM+1.50CV2	0.34	2.89	687.09	19.39	1.40	-0.03
27	1342	CM+1.50CV2	0.47	-0.38	782.25	-18.28	1.41	-0.03
28	1343	CM+1.50CV2	-0.73	10.50	566.30	-34.70	4.67	-0.02
29	1344	CM+1.50CV2	-10.80	0.24	53.98	-0.43	0.64	-0.10
30	1356	CM+1.50CV2	0.17	19.52	473.73	-59.11	9.50	-0.02
31	1357	CM+1.50CV2	0.25	7.29	481.90	-43.24	-9.02	-0.02
32	1361	CM+1.50CV2	7.54	-0.61	47.84	0.40	-0.61	-0.27
33	1367	CM+1.50CV2	9.21	2.42	524.99	11.44	1.17	-0.02
34	1368	CM+1.50CV2	2.30	2.96	768.48	12.32	1.99	-0.07
35	1369	CM+1.50CV2	1.67	6.73	912.62	6.95	2.95	-0.07
36	1371	CM+1.50CV2	0.66	10.48	978.59	-17.87	-2.65	-0.07
37	1373	CM+1.50CV2	-0.32	4.73	574.72	-23.46	10.90	-0.07
38	1374	CM+1.50CV2	2.10	2.75	501.29	-1.72	23.47	-0.02
39	1380	CM+1.50CV2	-6.93	-0.84	44.69	0.81	1.55	0.34
40	1385	CM+1.50CV2	0.47	55.50	376.08	-3.03	-4.23	-0.01
41	1386	CM+1.50CV2	0.00	0.00	17.88	4.97	5.83	0.00
42	1399	CM+1.50CV2	4.13	13.98	434.26	-72.97	9.76	-0.02

43	1400	CM+1.50CV2	-0.80	4.33	315.57	-32.92	-6.53	-0.02
44	1405	CM+1.50CV2	13.33	2.18	531.26	-3.76	39.13	-0.02
45	1407	CM+1.50CV2	0.00	0.00	61.11	-81.53	-5.42	0.00
46	1408	CM+1.50CV2	-1.84	-4.03	632.62	-36.22	-3.73	-0.04
47	1410	CM+1.50CV2	-0.19	-3.90	631.91	-32.04	10.96	-0.04
48	1418	CM+1.50CV2	0.14	-27.39	337.72	-11.71	15.21	0.01
49	1420	CM+1.50CV2	0.00	0.00	423.60	0.00	-0.78	-0.02
50	1431	CM+1.50CV2	9.44	-184.53	131.90	-1.90	-0.67	-906.23
51	1439	CM+1.50CV2	0.18	0.62	199.59	-1.56	0.63	-0.01
52	1447	CM+1.50CV2	0.16	0.73	241.23	-2.05	1.23	-0.01
CARGA TOTAL					18956.57	-682.94	154.23	-907.03
VALOR MÁXIMO					978.59	76.76	70.00	0.34
VALOR MÍNIMO					17.88	-110.40	-71.57	-906.23

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 6: Juego de cargas para diseño de aislador primera combinación segunda condición (CM+1.50CV3).

REACCIONES EN LA BASE (CM+1.50CV3)								
NRO.	Joint	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
1	1249	CM+1.50CV3	6.95	4.85	30.78	-1.80	3.31	0.11
2	1255	CM+1.50CV3	-0.38	10.36	65.25	-2.93	0.10	0.09
3	1261	CM+1.50CV3	0.15	5.68	48.76	0.66	7.29	-0.05
4	1268	CM+1.50CV3	-0.28	7.14	62.69	1.26	10.63	0.07
5	1298	CM+1.50CV3	-0.05	1.50	318.97	-3.69	7.07	-0.02
6	1299	CM+1.50CV3	0.16	-0.72	161.76	32.48	1.69	-0.01
7	1300	CM+1.50CV3	0.19	-0.13	123.90	-0.11	0.30	-0.01
8	1301	CM+1.50CV3	0.12	-1.17	223.14	76.20	-0.29	-0.01
9	1302	CM+1.50CV3	0.22	0.13	135.19	-0.44	0.34	-0.01
10	1303	CM+1.50CV3	0.54	0.87	198.43	29.69	-2.24	-0.01
11	1304	CM+1.50CV3	-0.65	2.33	392.75	14.76	1.44	-0.04
12	1305	CM+1.50CV3	-2.35	0.34	390.23	-0.80	7.10	-0.02
13	1310	CM+1.50CV3	-9.52	0.97	48.43	-1.27	0.71	-0.41
14	1313	CM+1.50CV3	0.53	22.41	328.42	-50.02	1.97	-0.02
15	1314	CM+1.50CV3	0.18	10.97	366.27	-20.19	-7.72	-0.02
16	1315	CM+1.50CV3	7.84	0.42	47.59	-6.39	-0.66	0.16
17	1322	CM+1.50CV3	0.00	0.00	542.64	-106.41	-74.74	0.00
18	1324	CM+1.50CV3	0.68	1.76	269.12	-4.19	3.33	-0.01
19	1325	CM+1.50CV3	2.22	6.22	452.46	-79.77	6.23	-0.02
20	1326	CM+1.50CV3	1.97	1.37	263.57	-3.14	3.52	-0.01
21	1328	CM+1.50CV3	0.00	0.00	523.13	-99.81	71.38	0.00
22	1337	CM+1.50CV3	9.95	0.67	51.15	4.46	-0.27	0.26
23	1338	CM+1.50CV3	1.31	24.40	488.61	-51.23	-2.08	-0.02
24	1339	CM+1.50CV3	0.94	4.66	643.00	-7.18	0.32	-0.07
25	1340	CM+1.50CV3	-0.77	9.23	688.22	13.49	1.74	-0.07
26	1341	CM+1.50CV3	0.39	1.33	636.37	-1.80	-0.42	-0.02
27	1342	CM+1.50CV3	0.29	1.82	747.95	11.19	2.75	-0.02
28	1343	CM+1.50CV3	-0.61	11.64	495.90	-26.12	3.15	-0.02
29	1344	CM+1.50CV3	-9.92	0.25	50.36	-0.44	0.69	-0.11
30	1356	CM+1.50CV3	0.17	18.47	489.38	-64.45	9.55	-0.02
31	1357	CM+1.50CV3	0.26	7.35	470.56	-42.35	-8.95	-0.02
32	1361	CM+1.50CV3	7.66	-0.63	48.39	0.43	-0.62	-0.27
33	1367	CM+1.50CV3	9.23	1.69	522.58	6.32	-0.81	-0.02
34	1368	CM+1.50CV3	1.83	8.24	764.01	46.98	3.73	-0.07
35	1369	CM+1.50CV3	2.30	0.44	886.90	-20.18	-0.07	-0.07
36	1371	CM+1.50CV3	-0.52	9.47	878.55	0.72	-0.55	-0.07
37	1373	CM+1.50CV3	0.01	5.20	624.27	-41.14	8.54	-0.07
38	1374	CM+1.50CV3	1.66	1.99	490.26	-1.56	23.55	-0.02
39	1380	CM+1.50CV3	-6.86	-0.83	44.30	0.81	1.52	0.34
40	1385	CM+1.50CV3	0.42	57.62	395.48	-2.51	-4.30	-0.01
41	1386	CM+1.50CV3	0.00	0.00	13.01	2.93	5.41	0.00
42	1399	CM+1.50CV3	4.57	14.30	468.79	-70.14	7.40	-0.02

43	1400	CM+1.50CV3	-0.96	5.01	250.20	-29.65	-5.90	-0.02
44	1405	CM+1.50CV3	13.93	2.75	618.33	-4.53	35.77	-0.02
45	1407	CM+1.50CV3	0.00	0.00	82.14	-107.98	-7.43	0.00
46	1408	CM+1.50CV3	-3.68	-1.02	531.89	-22.68	-3.21	-0.04
47	1410	CM+1.50CV3	0.24	-3.81	614.26	-32.07	10.27	-0.04
48	1418	CM+1.50CV3	0.13	-29.69	359.81	-11.76	16.29	0.01
49	1420	CM+1.50CV3	0.00	0.00	412.12	0.00	-0.78	-0.02
50	1431	CM+1.50CV3	10.38	-184.96	130.56	-1.87	-1.00	-930.44
51	1439	CM+1.50CV3	0.23	0.62	192.68	-1.53	0.66	-0.01
52	1447	CM+1.50CV3	0.19	0.72	234.92	-2.02	1.24	-0.01
CARGA TOTAL					18318.45	-681.76	136.96	-931.17
VALOR MÁXIMO					886.90	76.20	71.38	0.34
VALOR MÍNIMO					13.01	-107.98	-74.74	-930.44

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 7: Periodos obtenidos del cálculo con sistema tradicional empotrado.

TABLE: Modal Periodos y Frecuencias

StepNum	OutputCase	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Unitless	Text	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
1	MODAL	1.40	0.71	4.48	20.06
2	MODAL	1.32	0.76	4.76	22.66
3	MODAL	0.93	1.07	6.72	45.19
4	MODAL	0.41	2.41	15.15	229.56
5	MODAL	0.40	2.52	15.83	250.63
6	MODAL	0.29	3.49	21.92	480.57
7	MODAL	0.21	4.71	29.63	877.63
8	MODAL	0.21	4.82	30.29	917.74
9	MODAL	0.15	6.53	41.02	1683.00
10	MODAL	0.14	7.25	45.56	2075.60
11	MODAL	0.13	7.48	47.00	2209.20
12	MODAL	0.10	9.65	60.66	3679.80
13	MODAL	0.10	10.21	64.17	4117.90
14	MODAL	0.10	10.47	65.80	4329.10
15	MODAL	0.08	12.02	75.55	5707.40
16	MODAL	0.08	12.59	79.13	6261.70
17	MODAL	0.07	13.90	87.35	7629.90
18	MODAL	0.07	14.31	89.93	8086.80
19	MODAL	0.07	15.16	95.28	9077.40
20	MODAL	0.06	16.90	106.20	11278.00
21	MODAL	0.05	18.63	117.08	13707.00
22	MODAL	0.05	19.09	119.94	14386.00
23	MODAL	0.05	20.23	127.11	16157.00
24	MODAL	0.04	23.35	146.68	21515.00
25	MODAL	0.04	23.43	147.24	21680.00
26	MODAL	0.04	23.89	150.13	22539.00
27	MODAL	0.04	27.18	170.78	29167.00
28	MODAL	0.04	27.97	175.72	30877.00
29	MODAL	0.03	28.81	181.01	32765.00
30	MODAL	0.03	30.75	193.19	37322.00
31	MODAL	0.03	32.57	204.61	41866.00
32	MODAL	0.03	34.08	214.12	45846.00
33	MODAL	0.03	34.16	214.65	46073.00
34	MODAL	0.03	37.01	232.54	54074.00
35	MODAL	0.03	37.06	232.86	54224.00
36	MODAL	0.03	39.03	245.26	60152.00
37	MODAL	0.03	39.72	249.57	62285.00
38	MODAL	0.02	40.69	255.65	65357.00
39	MODAL	0.02	41.26	259.25	67209.00
40	MODAL	0.02	44.35	278.64	77639.00
41	MODAL	0.02	45.07	283.21	80208.00
42	MODAL	0.02	46.88	294.56	86763.00
43	MODAL	0.02	47.50	298.42	89057.00

44	MODAL	0.02	49.34	310.00	96099.00
45	MODAL	0.02	50.23	315.63	99620.00
46	MODAL	0.02	53.24	334.53	111910.00
47	MODAL	0.02	54.97	345.38	119290.00
48	MODAL	0.02	57.93	363.96	132470.00
49	MODAL	0.02	60.02	377.10	142210.00
50	MODAL	0.01	67.61	424.80	180450.00

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 8: Resumen general de cargas primera condición, para diseño de aislador.

JUEGO DE CARGAS PARA AISLADOR				
NRO.	Joint	CM+1.25CV1	CM+1.25CV2	CM+1.25CV3
1	1249	41.15	32.39	30.79
2	1255	85.25	68.75	64.92
3	1261	59.57	49.29	48.38
4	1268	79.07	62.68	62.14
5	1298	397.40	337.21	315.03
6	1299	199.00	160.75	159.17
7	1300	149.49	123.27	122.23
8	1301	255.41	220.63	219.14
9	1302	147.87	132.49	132.06
10	1303	224.09	195.29	194.31
11	1304	509.18	475.62	387.88
12	1305	463.07	442.73	383.64
13	1310	53.75	52.84	47.90
14	1313	411.19	362.10	324.48
15	1314	435.97	424.43	360.72
16	1315	54.63	50.02	47.27
17	1322	640.64	520.57	530.79
18	1324	308.11	263.80	263.50
19	1325	510.12	454.24	443.19
20	1326	280.84	256.85	257.35
21	1328	531.80	496.10	508.70
22	1337	58.77	51.17	50.53
23	1338	572.30	494.22	476.93
24	1339	758.09	655.55	622.68
25	1340	761.37	630.40	660.59
26	1341	737.90	657.58	615.31
27	1342	867.33	748.88	720.30
28	1343	561.16	541.63	482.97
29	1344	52.19	52.55	49.53
30	1356	554.64	463.25	476.29
31	1357	498.32	466.42	456.97
32	1361	54.26	47.12	47.58
33	1367	566.15	510.44	508.43
34	1368	853.43	741.13	737.40
35	1369	1061.10	876.36	854.92
36	1371	1063.81	933.07	849.70
37	1373	690.28	561.82	603.10
38	1374	540.91	487.30	478.10
39	1380	41.95	43.68	43.35
40	1385	429.46	366.92	383.09
41	1386	20.68	17.07	13.01
42	1399	529.36	427.70	456.47
43	1400	358.74	305.72	251.25
44	1405	628.96	523.90	596.46

45	1407	79.88	60.34	77.86
46	1408	675.82	605.42	521.47
47	1410	685.10	608.26	593.55
48	1418	375.30	329.35	347.76
49	1420	494.05	413.59	404.02
50	1431	144.38	129.92	128.80
51	1439	227.50	195.02	189.26
52	1447	260.34	234.02	228.76
CARGA TOTAL		21041.12	18361.82	17830.04
VALOR MÁXIMO		1063.81	933.07	854.92
VALOR MÍNIMO		20.68	17.07	13.01

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 9: Periodos y frecuencias del diseño con el aislador HDR.

TABLE: Modal Periods And Frequencies					
StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
Mode	1	2.26	0.44	2.78	7.72
Mode	2	2.20	0.45	2.86	8.16
Mode	3	1.66	0.60	3.79	14.35
Mode	4	0.67	1.50	9.40	88.32
Mode	5	0.65	1.55	9.74	94.86
Mode	6	0.45	2.20	13.82	191.04
Mode	7	0.29	3.41	21.45	460.28
Mode	8	0.28	3.56	22.35	499.63
Mode	9	0.21	4.85	30.48	928.89
Mode	10	0.17	5.78	36.33	1319.90
Mode	11	0.17	5.95	37.37	1396.60
Mode	12	0.12	8.01	50.35	2535.00
Mode	13	0.12	8.42	52.89	2797.60
Mode	14	0.11	8.86	55.64	3095.60
Mode	15	0.09	10.92	68.58	4703.30
Mode	16	0.09	11.58	72.76	5293.80
Mode	17	0.08	11.88	74.61	5566.90
Mode	18	0.08	13.02	81.81	6693.20
Mode	19	0.07	13.56	85.19	7257.00
Mode	20	0.07	15.36	96.48	9307.70
Mode	21	0.06	16.29	102.33	10471.00
Mode	22	0.06	17.09	107.35	11525.00
Mode	23	0.05	18.72	117.59	13827.00
Mode	24	0.05	20.93	131.53	17301.00
Mode	25	0.05	21.40	134.44	18074.00
Mode	26	0.04	22.36	140.51	19743.00
Mode	27	0.04	25.50	160.21	25668.00
Mode	28	0.04	25.93	162.90	26538.00
Mode	29	0.04	26.62	167.25	27972.00
Mode	30	0.03	29.29	184.01	33858.00
Mode	31	0.03	30.55	191.96	36848.00
Mode	32	0.03	31.82	199.95	39982.00
Mode	33	0.03	32.76	205.85	42375.00
Mode	34	0.03	35.10	220.55	48642.00
Mode	35	0.03	35.83	225.11	50673.00
Mode	36	0.03	37.16	233.50	54522.00
Mode	37	0.03	38.49	241.83	58483.00
Mode	38	0.03	39.40	247.58	61294.00
Mode	39	0.02	40.13	252.15	63580.00
Mode	40	0.02	41.19	258.82	66989.00
Mode	41	0.02	42.64	267.91	71778.00
Mode	42	0.02	43.47	273.11	74590.00
Mode	43	0.02	46.16	290.02	84113.00

Mode	44	0.02	48.06	301.96	91178.00
Mode	45	0.02	48.48	304.62	92796.00
Mode	46	0.02	49.70	312.29	97524.00
Mode	47	0.02	52.55	330.21	109040.00
Mode	48	0.02	56.16	352.89	124530.00
Mode	49	0.02	58.78	369.30	136380.00
Mode	50	0.02	60.31	378.91	143570.00

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 10: Periodos y frecuencias de combinación de aisladores HRD y LRB.

TABLE: Modal Periods And Frequencies					
StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
Mode	1	1.89	0.53	3.33	11.11
Mode	2	1.83	0.55	3.43	11.74
Mode	3	1.32	0.76	4.77	22.73
Mode	4	0.60	1.66	10.42	108.55
Mode	5	0.59	1.70	10.66	113.64
Mode	6	0.41	2.42	15.22	231.56
Mode	7	0.28	3.53	22.18	492.04
Mode	8	0.27	3.65	22.92	525.35
Mode	9	0.20	4.99	31.35	982.58
Mode	10	0.17	5.86	36.80	1354.50
Mode	11	0.17	6.01	37.77	1426.20
Mode	12	0.12	8.10	50.87	2587.90
Mode	13	0.12	8.48	53.27	2837.40
Mode	14	0.11	8.91	55.96	3131.00
Mode	15	0.09	10.94	68.75	4726.90
Mode	16	0.09	11.62	73.02	5331.50
Mode	17	0.08	11.93	74.98	5622.70
Mode	18	0.08	13.04	81.95	6715.30
Mode	19	0.07	13.59	85.38	7289.20
Mode	20	0.07	15.38	96.66	9342.90
Mode	21	0.06	16.34	102.69	10545.00
Mode	22	0.06	17.12	107.58	11573.00
Mode	23	0.05	18.74	117.73	13860.00
Mode	24	0.05	20.99	131.86	17388.00
Mode	25	0.05	21.43	134.63	18125.00
Mode	26	0.04	22.39	140.65	19781.00
Mode	27	0.04	25.53	160.39	25725.00
Mode	28	0.04	25.96	163.08	26594.00
Mode	29	0.04	26.65	167.47	28045.00
Mode	30	0.03	29.30	184.12	33899.00
Mode	31	0.03	30.58	192.11	36908.00
Mode	32	0.03	31.86	200.19	40075.00
Mode	33	0.03	32.78	205.95	42414.00
Mode	34	0.03	35.12	220.68	48698.00
Mode	35	0.03	35.84	225.18	50708.00
Mode	36	0.03	37.19	233.69	54612.00
Mode	37	0.03	38.50	241.92	58523.00
Mode	38	0.03	39.42	247.68	61343.00
Mode	39	0.02	40.14	252.20	63606.00
Mode	40	0.02	41.20	258.88	67019.00
Mode	41	0.02	42.67	268.08	71869.00
Mode	42	0.02	43.49	273.24	74658.00
Mode	43	0.02	46.17	290.09	84149.00

Mode	44	0.02	48.09	302.13	91280.00
Mode	45	0.02	48.49	304.67	92826.00
Mode	46	0.02	49.71	312.31	97538.00
Mode	47	0.02	52.58	330.37	109140.00
Mode	48	0.02	56.18	353.01	124620.00
Mode	49	0.02	58.79	369.38	136440.00
Mode	50	0.02	60.31	378.94	143600.00

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 11: Periodos y frecuencias de diseño con aisladores FPS.

TABLE: Modal Periods And Frequencies					
StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
Mode	1	2.17	0.46	2.89	8.37
Mode	2	2.11	0.47	2.98	8.88
Mode	3	1.59	0.63	3.96	15.66
Mode	4	0.66	1.52	9.56	91.47
Mode	5	0.63	1.58	9.90	98.03
Mode	6	0.45	2.23	14.01	196.27
Mode	7	0.29	3.43	21.56	464.87
Mode	8	0.28	3.57	22.45	504.01
Mode	9	0.21	4.87	30.59	935.52
Mode	10	0.17	5.79	36.41	1325.40
Mode	11	0.17	5.96	37.44	1401.90
Mode	12	0.12	8.03	50.42	2542.40
Mode	13	0.12	8.43	52.95	2804.10
Mode	14	0.11	8.86	55.70	3102.10
Mode	15	0.09	10.92	68.62	4708.20
Mode	16	0.09	11.59	72.81	5301.00
Mode	17	0.08	11.89	74.68	5576.60
Mode	18	0.08	13.03	81.84	6698.50
Mode	19	0.07	13.57	85.23	7264.70
Mode	20	0.07	15.36	96.52	9315.10
Mode	21	0.06	16.30	102.39	10483.00
Mode	22	0.06	17.09	107.40	11535.00
Mode	23	0.05	18.72	117.62	13835.00
Mode	24	0.05	20.94	131.59	17315.00
Mode	25	0.05	21.40	134.49	18087.00
Mode	26	0.04	22.37	140.54	19752.00
Mode	27	0.04	25.50	160.25	25679.00
Mode	28	0.04	25.93	162.95	26551.00
Mode	29	0.04	26.63	167.29	27987.00
Mode	30	0.03	29.29	184.03	33869.00
Mode	31	0.03	30.56	192.00	36863.00
Mode	32	0.03	31.83	200.00	40000.00
Mode	33	0.03	32.77	205.88	42386.00
Mode	34	0.03	35.11	220.58	48658.00
Mode	35	0.03	35.83	225.13	50682.00
Mode	36	0.03	37.17	233.54	54539.00
Mode	37	0.03	38.49	241.85	58494.00
Mode	38	0.03	39.41	247.61	61310.00
Mode	39	0.02	40.13	252.17	63587.00
Mode	40	0.02	41.20	258.84	66997.00
Mode	41	0.02	42.65	267.95	71795.00
Mode	42	0.02	43.47	273.15	74611.00
Mode	43	0.02	46.16	290.04	84123.00

Mode	44	0.02	48.06	301.99	91200.00
Mode	45	0.02	48.49	304.64	92807.00
Mode	46	0.02	49.70	312.30	97529.00
Mode	47	0.02	52.56	330.24	109060.00
Mode	48	0.02	56.17	352.92	124550.00
Mode	49	0.02	58.78	369.32	136400.00
Mode	50	0.02	60.31	378.92	143580.00

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 12: Desplazamientos laterales del cálculo estructural tradicional empotrado.

TABLE: Joint Displacements							
Joint	OutputCase	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	cm	cm	cm	Radians	Radians	Radians
1782	QUAKE X	0.08	0.01	0.00	0.000000	0.000000	0.000018
2167	QUAKE X	0.16	0.03	0.00	0.000000	0.000000	0.000045
2246	QUAKE X	0.37	0.07	0.00	0.000000	0.000000	0.000105
2306	QUAKE X	0.62	0.11	0.00	0.000000	0.000000	0.000181
2366	QUAKE X	0.89	0.16	0.00	0.000000	0.000000	0.000264
2426	QUAKE X	1.16	0.22	0.00	0.000000	0.000000	0.000348
2486	QUAKE X	1.43	0.27	0.00	0.000000	0.000000	0.000430
2546	QUAKE X	1.70	0.32	0.00	0.000000	0.000000	0.000509
2606	QUAKE X	1.97	0.38	0.00	0.000000	0.000000	0.000584
2666	QUAKE X	2.22	0.43	0.00	0.000000	0.000000	0.000654
2726	QUAKE X	2.47	0.47	0.00	0.000000	0.000000	0.000719
2786	QUAKE X	2.70	0.52	0.00	0.000000	0.000000	0.000780
2846	QUAKE X	2.92	0.56	0.00	0.000000	0.000000	0.000836
2906	QUAKE X	3.17	0.59	0.00	0.000000	0.000000	0.000886
2966	QUAKE X	3.37	0.62	0.00	0.000000	0.000000	0.000930
3023	QUAKE X	3.54	0.65	0.00	0.000000	0.000000	0.000969
3087	QUAKE X	4.33	0.65	0.03	0.000021	0.000158	0.000973
TABLE: Joint Displacements							
Joint	OutputCase	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	cm	cm	cm	Radians	Radians	Radians
1782	QUAKE Y	0.01	0.08	0.00	0.000000	0.000000	0.000005
2167	QUAKE Y	0.03	0.17	0.00	0.000000	0.000000	0.000011
2246	QUAKE Y	0.07	0.39	0.00	0.000000	0.000000	0.000018
2306	QUAKE Y	0.11	0.66	0.00	0.000000	0.000000	0.000030
2366	QUAKE Y	0.16	0.98	0.00	0.000000	0.000000	0.000046
2426	QUAKE Y	0.21	1.30	0.00	0.000000	0.000000	0.000063
2486	QUAKE Y	0.26	1.62	0.00	0.000000	0.000000	0.000081
2546	QUAKE Y	0.31	1.94	0.00	0.000000	0.000000	0.000098
2606	QUAKE Y	0.36	2.25	0.00	0.000000	0.000000	0.000114
2666	QUAKE Y	0.41	2.55	0.00	0.000000	0.000000	0.000129
2726	QUAKE Y	0.46	2.84	0.00	0.000000	0.000000	0.000143
2786	QUAKE Y	0.50	3.10	0.00	0.000000	0.000000	0.000156
2846	QUAKE Y	0.55	3.34	0.00	0.000000	0.000000	0.000167
2906	QUAKE Y	0.60	3.57	0.00	0.000000	0.000000	0.000176
2966	QUAKE Y	0.63	3.78	0.00	0.000000	0.000000	0.000183
3023	QUAKE Y	0.66	3.96	0.00	0.000000	0.000000	0.000190
3087	QUAKE Y	0.83	4.02	0.03	0.000122	0.000026	0.000192

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 13: Calculo de las derivas del diseño sísmico tradicional empotrado.

CALCULO DE LA ACELERACION ESPECTRAL SEGÚN NORMA SISMICA E.030

MEJORAMIENTO DE SERVICIOS ACADEMICOS EN LA FORMACION BASICA, INFORMATICA Y VIRTUAL EN LAS ESCUELAS PROFESIONALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

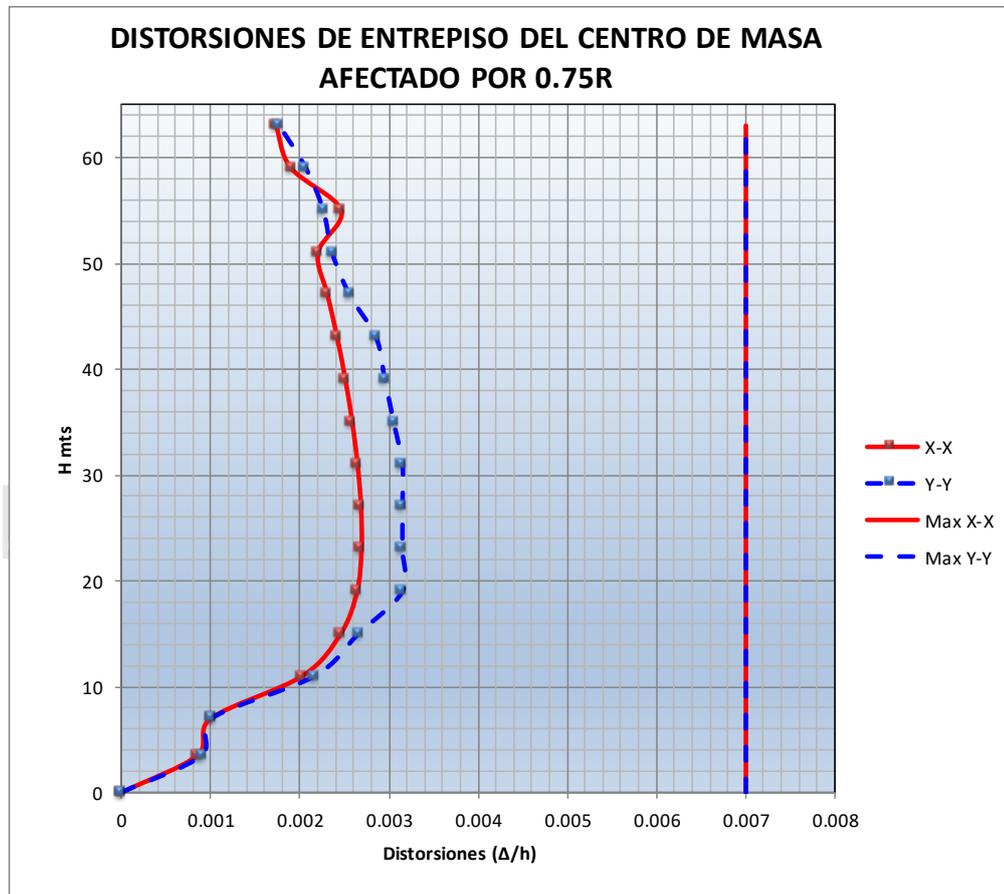
DATOS GENERALES:

$Z = 0.30$ $T_p = 0.40$
 $U = 1.50$ $h_n = 63.00$
 $S = 1.00$ $N = 16$
 $R = 5.25$ $CT = 60$ $P_e = 15185 \text{ Ton}$

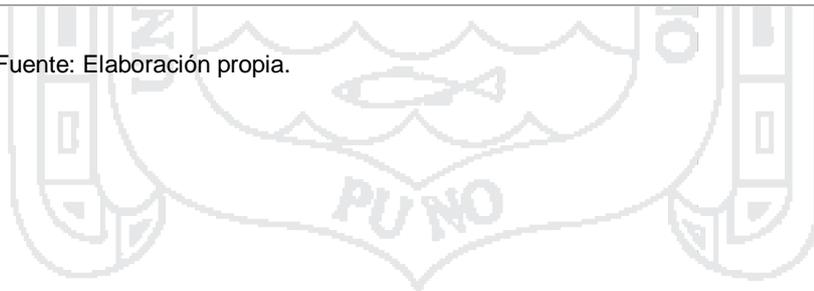
Factor	Nomenclatura	Clasificación	Valor	Justificación
Coeficiente de	Rx	Sistema Aporticado	5.25	Pórticos de Concreto
	Ry	Sistema Aporticado	5.25	Pórticos de Concreto

NIVEL	DESPLAZAMIENTO RELATIVO DE ENTREPISO EN EL CENTRO DE MASA								
	DIRECCION X-X					DIRECCION Y-Y			
	Desplazam. Absolt. (cm)	Δ_i (cm)	he (m)	Δ_i/h_e	OBS.	Desplaz am. Absolt. (cm)	Δ_i (cm)	Δ_i/h_e	OBS.
M	0.08	0.076	3.50	0.001	OK	0.08	0.080	0.001	OK
1	0.16	0.089	3.50	0.001	OK	0.17	0.090	0.001	OK
2	0.37	0.206	4.00	0.002	OK	0.39	0.220	0.002	OK
3	0.62	0.250	4.00	0.002	OK	0.66	0.270	0.003	OK
4	0.89	0.268	4.00	0.003	OK	0.98	0.320	0.003	OK
5	1.16	0.273	4.00	0.003	OK	1.30	0.320	0.003	OK
6	1.43	0.273	4.00	0.003	OK	1.62	0.320	0.003	OK
7	1.70	0.269	4.00	0.003	OK	1.94	0.320	0.003	OK
8	1.97	0.263	4.00	0.003	OK	2.25	0.310	0.003	OK
9	2.22	0.255	4.00	0.003	OK	2.55	0.300	0.003	OK
10	2.47	0.245	4.00	0.002	OK	2.84	0.290	0.003	OK
11	2.70	0.235	4.00	0.002	OK	3.10	0.260	0.003	OK
12	2.92	0.224	4.00	0.002	OK	3.34	0.240	0.002	OK

13	3.17	0.250	4.00	0.002	OK	3.57	0.230	0.002	OK
14	3.37	0.193	4.00	0.002	OK	3.78	0.210	0.002	OK
15	3.54	0.176	4.00	0.002	OK	3.96	0.180	0.002	OK



Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 14: Desplazamientos laterales del cálculo estructural con aisladores HDR.

TABLE: Joint Displacements (X)								
Nivel	Joint	OutputCase	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	cm	cm	cm	Radians	Radians	Radians
M	1782	QUAKE X	2.50	0.07	0.00	0.00000	0.00000	0.00026
1	2167	QUAKE X	2.57	0.02	0.00	0.00000	0.00000	0.00028
2	2246	QUAKE X	2.71	0.01	0.00	0.00000	0.00000	0.00031
3	2306	QUAKE X	2.86	0.02	0.00	0.00000	0.00000	0.00034
4	2366	QUAKE X	3.02	0.02	0.00	0.00000	0.00000	0.00036
5	2426	QUAKE X	3.17	0.02	0.00	0.00000	0.00000	0.00039
6	2486	QUAKE X	3.33	0.03	0.00	0.00000	0.00000	0.00041
7	2546	QUAKE X	3.47	0.03	0.00	0.00000	0.00000	0.00044
8	2606	QUAKE X	3.62	0.04	0.00	0.00000	0.00000	0.00046
9	2666	QUAKE X	3.75	0.04	0.00	0.00000	0.00000	0.00048
10	2726	QUAKE X	3.88	0.05	0.00	0.00000	0.00000	0.00050
11	2786	QUAKE X	4.00	0.05	0.00	0.00000	0.00000	0.00052
12	2846	QUAKE X	4.12	0.06	0.00	0.00000	0.00000	0.00053
13	2906	QUAKE X	4.25	0.08	0.00	0.00000	0.00000	0.00055
14	2966	QUAKE X	4.34	0.09	0.00	0.00000	0.00000	0.00056
15	3023	QUAKE X	4.43	0.09	0.00	0.00000	0.00000	0.00057
T.E.	3087	QUAKE X	4.86	0.12	0.02	0.00001	0.00006	0.00057

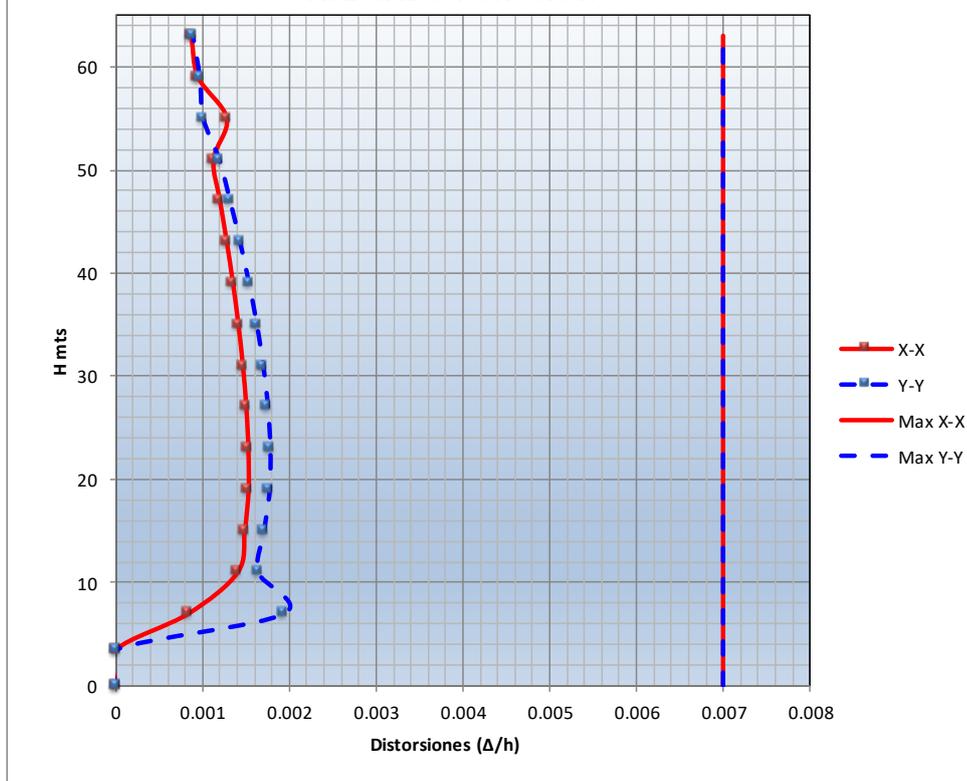
TABLE: Joint Displacements (Y)								
Nivel	Joint	OutputCase	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	cm	cm	cm	Radians	Radians	Radians
M	1782	QUAKE Y	0.03	2.43	0.00	0.00000	0.00000	0.00023
1	2167	QUAKE Y	0.04	2.61	0.00	0.00000	0.00000	0.00024
2	2246	QUAKE Y	0.04	2.77	0.00	0.00000	0.00000	0.00024
3	2306	QUAKE Y	0.04	2.95	0.00	0.00000	0.00000	0.00024
4	2366	QUAKE Y	0.05	3.12	0.00	0.00000	0.00000	0.00024
5	2426	QUAKE Y	0.05	3.31	0.00	0.00000	0.00000	0.00025
6	2486	QUAKE Y	0.05	3.48	0.00	0.00000	0.00000	0.00025
7	2546	QUAKE Y	0.05	3.65	0.00	0.00000	0.00000	0.00025
8	2606	QUAKE Y	0.05	3.82	0.00	0.00000	0.00000	0.00026
9	2666	QUAKE Y	0.06	3.97	0.00	0.00000	0.00000	0.00026
10	2726	QUAKE Y	0.06	4.12	0.00	0.00000	0.00000	0.00026
11	2786	QUAKE Y	0.06	4.25	0.00	0.00000	0.00000	0.00026
12	2846	QUAKE Y	0.06	4.37	0.00	0.00000	0.00000	0.00026
13	2906	QUAKE Y	0.05	4.47	0.00	0.00000	0.00000	0.00027
14	2966	QUAKE Y	0.05	4.57	0.00	0.00000	0.00000	0.00027
15	3023	QUAKE Y	0.06	4.66	0.00	0.00000	0.00000	0.00027
T.E.	3087	QUAKE Y	0.20	4.68	0.018	0.00006	0.00001	0.00027

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 15: Calculo de derivas del diseño sísmico con aisladores HDR.

DESPLAZAMIENTO RELATIVO DE ENTREPISO EN EL CENTRO DE MASA									
NIVEL	DIRECCION X-X					DIRECCION Y-Y			
	Desplazam. Absolt. (cm)	Δ_i (cm)	he (m)	Δ_i/he	OBS.	Desplazam. Absolt. (cm)	Δ_i (cm)	Δ_i/he	OBS.
M	0.00	0.000	3.50	0.000	OK	0.00	0.000	0.000	OK
1	0.07	0.074	3.50	0.001	OK	0.17	0.172	0.002	OK
2	0.22	0.142	4.00	0.001	OK	0.34	0.166	0.002	OK
3	0.37	0.150	4.00	0.001	OK	0.51	0.173	0.002	OK
4	0.52	0.155	4.00	0.002	OK	0.69	0.180	0.002	OK
5	0.68	0.155	4.00	0.002	OK	0.87	0.180	0.002	OK
6	0.83	0.152	4.00	0.001	OK	1.05	0.177	0.002	OK
7	0.98	0.148	4.00	0.001	OK	1.22	0.172	0.002	OK
8	1.12	0.143	4.00	0.001	OK	1.38	0.164	0.002	OK
9	1.26	0.137	4.00	0.001	OK	1.54	0.155	0.002	OK
10	1.39	0.129	4.00	0.001	OK	1.68	0.145	0.001	OK
11	1.51	0.121	4.00	0.001	OK	1.82	0.133	0.001	OK
12	1.62	0.114	4.00	0.001	OK	1.94	0.120	0.001	OK
13	1.75	0.129	4.00	0.001	OK	2.04	0.102	0.001	OK
14	1.85	0.096	4.00	0.001	OK	2.14	0.098	0.001	OK
15	1.93	0.088	4.00	0.001	OK	2.23	0.090	0.001	OK

DISTORSIONES DE ENTREPISO DEL CENTRO DE MASA AFECTADO POR 0.75R



Fuente: Elaboración propia.

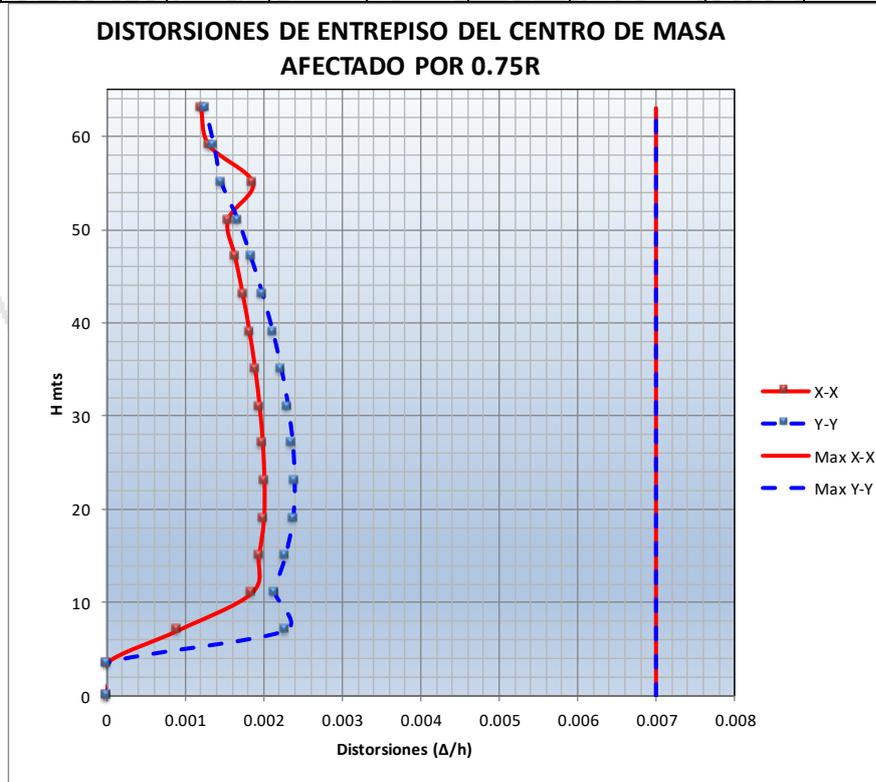
ANEXO 16: Desplazamientos laterales del cálculo estructural con la combinación de aisladores HRD y LRB.

TABLE: Joint Displacements (X)								
Nivel	Joint	OutputCase	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	cm	cm	cm	Radians	Radians	Radians
M	1782	QUAKE X	1.68	0.06	0.00	0.00000	0.00000	0.00037
1	2167	QUAKE X	1.76	0.04	0.00	0.00000	0.00000	0.00042
2	2246	QUAKE X	1.95	0.05	0.00	0.00000	0.00000	0.00047
3	2306	QUAKE X	2.15	0.04	0.00	0.00000	0.00000	0.00053
4	2366	QUAKE X	2.35	0.04	0.00	0.00000	0.00000	0.00058
5	2426	QUAKE X	2.55	0.04	0.00	0.00000	0.00000	0.00064
6	2486	QUAKE X	2.76	0.04	0.00	0.00000	0.00000	0.00069
7	2546	QUAKE X	2.96	0.05	0.00	0.00000	0.00000	0.00074
8	2606	QUAKE X	3.15	0.05	0.00	0.00000	0.00000	0.00078
9	2666	QUAKE X	3.33	0.06	0.00	0.00000	0.00000	0.00083
10	2726	QUAKE X	3.51	0.07	0.00	0.00000	0.00000	0.00087
11	2786	QUAKE X	3.68	0.08	0.00	0.00000	0.00000	0.00090
12	2846	QUAKE X	3.83	0.09	0.00	0.00000	0.00000	0.00094
13	2906	QUAKE X	4.02	0.12	0.00	0.00000	0.00000	0.00096
14	2966	QUAKE X	4.16	0.13	0.00	0.00000	0.00000	0.00099
15	3023	QUAKE X	4.28	0.14	0.00	0.00000	0.00000	0.00101
T.E.	3087	QUAKE X	5.06	0.19	0.02	0.00002	0.00009	0.00101
TABLE: Joint Displacements (Y)								
Nivel	Joint	OutputCase	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	cm	cm	cm	Radians	Radians	Radians
M	1782	QUAKE Y	0.05	1.66	0.00	0.00000	0.00000	0.00017
1	2167	QUAKE Y	0.04	1.86	0.00	0.00000	0.00000	0.00017
2	2246	QUAKE Y	0.04	2.08	0.00	0.00000	0.00000	0.00017
3	2306	QUAKE Y	0.04	2.31	0.00	0.00000	0.00000	0.00017
4	2366	QUAKE Y	0.05	2.55	0.00	0.00000	0.00000	0.00017
5	2426	QUAKE Y	0.05	2.79	0.00	0.00000	0.00000	0.00017
6	2486	QUAKE Y	0.05	3.03	0.00	0.00000	0.00000	0.00017
7	2546	QUAKE Y	0.06	3.27	0.00	0.00000	0.00000	0.00017
8	2606	QUAKE Y	0.06	3.50	0.00	0.00000	0.00000	0.00017
9	2666	QUAKE Y	0.07	3.71	0.00	0.00000	0.00000	0.00017
10	2726	QUAKE Y	0.07	3.91	0.00	0.00000	0.00000	0.00017
11	2786	QUAKE Y	0.08	4.10	0.00	0.00000	0.00000	0.00017
12	2846	QUAKE Y	0.08	4.27	0.00	0.00000	0.00000	0.00018
13	2906	QUAKE Y	0.08	4.42	0.00	0.00000	0.00000	0.00018
14	2966	QUAKE Y	0.08	4.56	0.00	0.00000	0.00000	0.00018
15	3023	QUAKE Y	0.09	4.68	0.00	0.00000	0.00000	0.00018
T.E.	3087	QUAKE Y	0.15	4.72	0.02	0.00008	0.00001	0.00018

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 17: Calculo de las derivas del diseño sísmico con aisladores HRD y LRB.

DESPLAZAMIENTO RELATIVO DE ENTREPISO EN EL CENTRO DE MASA									
NIVEL	DIRECCION X-X					DIRECCION Y-Y			
	Desplazam. Absolt. (cm)	Δ_i (cm)	h_e (m)	Δ_i/h_e	OBS.	Desplazam. Absolt. (cm)	Δ_i (cm)	Δ_i/h_e	OBS.
M	0.00	0.000	3.50	0.000	OK	0.00	0.000	0.000	OK
1	0.08	0.081	3.50	0.001	OK	0.20	0.202	0.002	OK
2	0.27	0.188	4.00	0.002	OK	0.42	0.218	0.002	OK
3	0.47	0.197	4.00	0.002	OK	0.65	0.231	0.002	OK
4	0.67	0.204	4.00	0.002	OK	0.89	0.241	0.002	OK
5	0.87	0.205	4.00	0.002	OK	1.14	0.243	0.002	OK
6	1.08	0.202	4.00	0.002	OK	1.38	0.241	0.002	OK
7	1.28	0.198	4.00	0.002	OK	1.61	0.235	0.002	OK
8	1.47	0.193	4.00	0.002	OK	1.84	0.226	0.002	OK
9	1.65	0.185	4.00	0.002	OK	2.05	0.215	0.002	OK
10	1.83	0.177	4.00	0.002	OK	2.25	0.202	0.002	OK
11	2.00	0.167	4.00	0.002	OK	2.44	0.187	0.002	OK
12	2.15	0.157	4.00	0.002	OK	2.61	0.170	0.002	OK
13	2.34	0.190	4.00	0.002	OK	2.76	0.149	0.001	OK
14	2.48	0.133	4.00	0.001	OK	2.90	0.139	0.001	OK
15	2.60	0.122	4.00	0.001	OK	3.03	0.127	0.001	OK



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 18: Desplazamientos laterales del cálculo estructural con aisladores FPS.

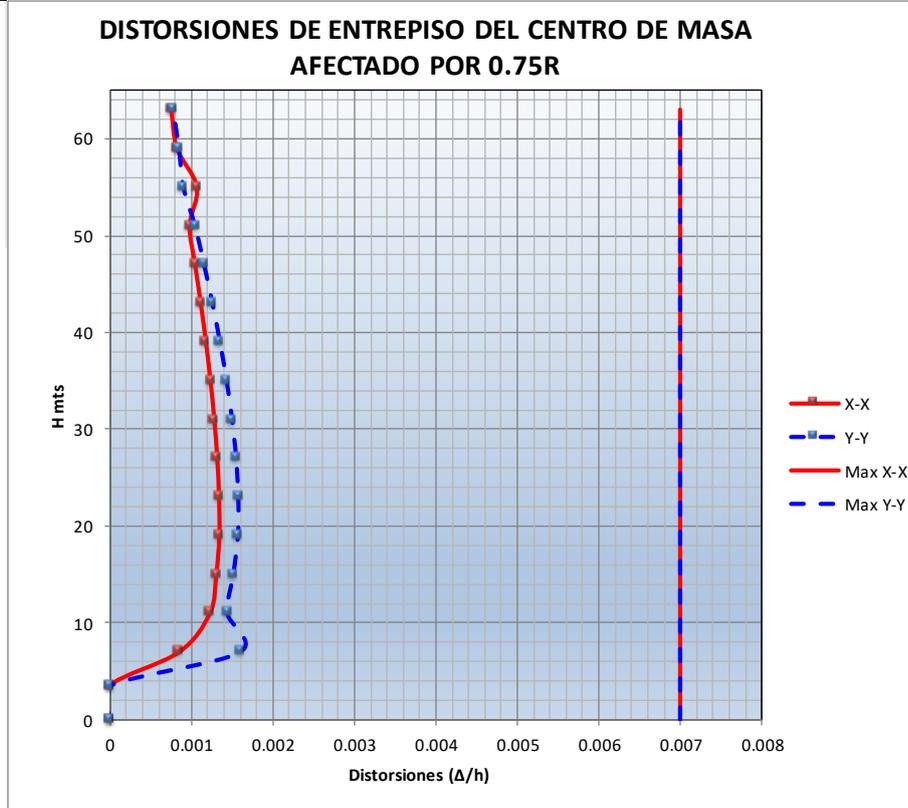
TABLE: Joint Displacements (X)								
Nivel	Joint	OutputCase	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	cm	cm	cm	Radians	Radians	Radians
M	1782	QUAKE X	1.97	0.04	0.00	0.00000	0.00000	0.00016
1	2167	QUAKE X	2.05	0.01	0.00	0.00000	0.00000	0.00018
2	2246	QUAKE X	2.17	0.01	0.00	0.00000	0.00000	0.00020
3	2306	QUAKE X	2.31	0.01	0.00	0.00000	0.00000	0.00022
4	2366	QUAKE X	2.44	0.01	0.00	0.00000	0.00000	0.00024
5	2426	QUAKE X	2.58	0.01	0.00	0.00000	0.00000	0.00026
6	2486	QUAKE X	2.71	0.02	0.00	0.00000	0.00000	0.00027
7	2546	QUAKE X	2.84	0.02	0.00	0.00000	0.00000	0.00029
8	2606	QUAKE X	2.97	0.03	0.00	0.00000	0.00000	0.00031
9	2666	QUAKE X	3.09	0.03	0.00	0.00000	0.00000	0.00033
10	2726	QUAKE X	3.20	0.03	0.00	0.00000	0.00000	0.00034
11	2786	QUAKE X	3.31	0.04	0.00	0.00000	0.00000	0.00036
12	2846	QUAKE X	3.41	0.04	0.00	0.00000	0.00000	0.00037
13	2906	QUAKE X	3.52	0.06	0.00	0.00000	0.00000	0.00038
14	2966	QUAKE X	3.60	0.06	0.00	0.00000	0.00000	0.00039
15	3023	QUAKE X	3.68	0.07	0.00	0.00000	0.00000	0.00040
T.E.	3087	QUAKE X	3.98	0.09	0.01	0.00001	0.00006	0.00040

TABLE: Joint Displacements (Y)								
Nivel	Joint	OutputCase	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	cm	cm	cm	Radians	Radians	Radians
M	1782	QUAKE Y	0.02	1.94	0.00	0.00000	0.00000	0.00015
1	2167	QUAKE Y	0.03	2.08	0.00	0.00000	0.00000	0.00015
2	2246	QUAKE Y	0.03	2.23	0.00	0.00000	0.00000	0.00015
3	2306	QUAKE Y	0.03	2.38	0.00	0.00000	0.00000	0.00015
4	2366	QUAKE Y	0.03	2.54	0.00	0.00000	0.00000	0.00015
5	2426	QUAKE Y	0.03	2.70	0.00	0.00000	0.00000	0.00015
6	2486	QUAKE Y	0.03	2.86	0.00	0.00000	0.00000	0.00015
7	2546	QUAKE Y	0.03	3.01	0.00	0.00000	0.00000	0.00015
8	2606	QUAKE Y	0.04	3.16	0.00	0.00000	0.00000	0.00015
9	2666	QUAKE Y	0.04	3.30	0.00	0.00000	0.00000	0.00015
10	2726	QUAKE Y	0.04	3.42	0.00	0.00000	0.00000	0.00015
11	2786	QUAKE Y	0.04	3.54	0.00	0.00000	0.00000	0.00015
12	2846	QUAKE Y	0.05	3.65	0.00	0.00000	0.00000	0.00015
13	2906	QUAKE Y	0.04	3.74	0.00	0.00000	0.00000	0.00016
14	2966	QUAKE Y	0.04	3.83	0.00	0.00000	0.00000	0.00016
15	3023	QUAKE Y	0.04	3.90	0.00	0.00000	0.00000	0.00016
T.E.	3087	QUAKE Y	0.11	3.92	0.02	0.00005	0.00000	0.00016

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 19: Calculo de las derivas del diseño sísmico con aisladores FPS.

DESPLAZAMIENTO RELATIVO DE ENTREPISO EN EL CENTRO DE MASA									
NIVEL	DIRECCION X-X					DIRECCION Y-Y			
	Desplazam. Absolt. (cm)	Δ_i (cm)	he (m)	Δ_i/he	OBS.	Desplazam. Absolt. (cm)	Δ_i (cm)	Δ_i/he	OBS.
M	0.00	0.000	3.50	0.000	OK	0.00	0.000	0.000	OK
1	0.08	0.076	3.50	0.001	OK	0.14	0.143	0.002	OK
2	0.20	0.125	4.00	0.001	OK	0.29	0.147	0.001	OK
3	0.33	0.133	4.00	0.001	OK	0.44	0.154	0.002	OK
4	0.47	0.137	4.00	0.001	OK	0.60	0.160	0.002	OK
5	0.61	0.136	4.00	0.001	OK	0.76	0.161	0.002	OK
6	0.74	0.134	4.00	0.001	OK	0.92	0.158	0.002	OK
7	0.87	0.131	4.00	0.001	OK	1.08	0.153	0.002	OK
8	1.00	0.126	4.00	0.001	OK	1.22	0.146	0.001	OK
9	1.12	0.120	4.00	0.001	OK	1.36	0.138	0.001	OK
10	1.23	0.114	4.00	0.001	OK	1.49	0.128	0.001	OK
11	1.34	0.107	4.00	0.001	OK	1.60	0.118	0.001	OK
12	1.44	0.100	4.00	0.001	OK	1.71	0.106	0.001	OK
13	1.55	0.109	4.00	0.001	OK	1.80	0.092	0.001	OK
14	1.63	0.084	4.00	0.001	OK	1.89	0.086	0.001	OK
15	1.71	0.077	4.00	0.001	OK	1.97	0.079	0.001	OK



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 20: Desplazamientos laterales del cálculo estructural de mejora en las placas de concreto con sistema de aislación de la base FPS.

TABLE: Joint Displacements (X)							
Joint	OutputCase	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	cm	cm	cm	Radians	Radians	Radians
1782	QUAKE X	1.950	0.060	0.000	0.00000	0.00000	0.00027
2167	QUAKE X	2.037	0.009	0.000	0.00000	0.00000	0.00031
2246	QUAKE X	2.185	0.010	0.000	0.00000	0.00000	0.00035
2306	QUAKE X	2.343	0.010	0.000	0.00000	0.00000	0.00040
2366	QUAKE X	2.505	0.013	0.000	0.00000	0.00000	0.00045
2426	QUAKE X	2.666	0.018	0.000	0.00000	0.00000	0.00049
2486	QUAKE X	2.823	0.023	0.000	0.00000	0.00000	0.00054
2546	QUAKE X	2.975	0.029	0.000	0.00000	0.00000	0.00058
2606	QUAKE X	3.121	0.034	0.000	0.00000	0.00000	0.00062
2666	QUAKE X	3.261	0.038	0.000	0.00000	0.00000	0.00066
2726	QUAKE X	3.392	0.042	0.000	0.00000	0.00000	0.00069
2786	QUAKE X	3.515	0.045	0.000	0.00000	0.00000	0.00072
2846	QUAKE X	3.631	0.048	0.000	0.00000	0.00000	0.00074
2906	QUAKE X	3.765	0.076	0.000	0.00000	0.00000	0.00076
2966	QUAKE X	3.861	0.079	0.000	0.00000	0.00000	0.00078
3023	QUAKE X	3.946	0.080	0.000	0.00000	0.00000	0.00079
3087	QUAKE X	4.458	0.116	0.015	0.00001	0.00008	0.00080
TABLE: Joint Displacements (Y)							
Joint	OutputCase	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	cm	cm	cm	Radians	Radians	Radians
1782	QUAKE Y	0.021	1.914	0.000	0.00000	0.00000	0.00014
2167	QUAKE Y	0.031	2.094	0.000	0.00000	0.00000	0.00014
2246	QUAKE Y	0.031	2.299	0.000	0.00000	0.00000	0.00014
2306	QUAKE Y	0.033	2.520	0.000	0.00000	0.00000	0.00014
2366	QUAKE Y	0.035	2.753	0.000	0.00000	0.00000	0.00014
2426	QUAKE Y	0.038	2.990	0.000	0.00000	0.00000	0.00014
2486	QUAKE Y	0.041	3.224	0.000	0.00000	0.00000	0.00014
2546	QUAKE Y	0.043	3.452	0.000	0.00000	0.00000	0.00014
2606	QUAKE Y	0.045	3.671	0.000	0.00000	0.00000	0.00014
2666	QUAKE Y	0.047	3.879	0.000	0.00000	0.00000	0.00014
2726	QUAKE Y	0.049	4.073	0.000	0.00000	0.00000	0.00015
2786	QUAKE Y	0.050	4.251	0.000	0.00000	0.00000	0.00015
2846	QUAKE Y	0.050	4.412	0.000	0.00000	0.00000	0.00015
2906	QUAKE Y	0.042	4.553	0.000	0.00000	0.00000	0.00016
2966	QUAKE Y	0.041	4.684	0.000	0.00000	0.00000	0.00016
3023	QUAKE Y	0.041	4.803	0.000	0.00000	0.00000	0.00017
3087	QUAKE Y	0.132	4.833	0.017	0.00008	0.00001	0.00017

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 21: Calculo de las derivas del diseño sísmico de estructura con mejora en las placas y sistema de aislación de la base FPS.

CALCULO DE LA ACELERACION ESPECTRAL SEGÚN NORMA SISMICA E.030

MEJORAMIENTO DE SERVICIOS ACADEMICOS EN LA FORMACION BASICA, INFORMATICA Y VIRTUAL EN LAS ESCUELAS PROFESIONALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

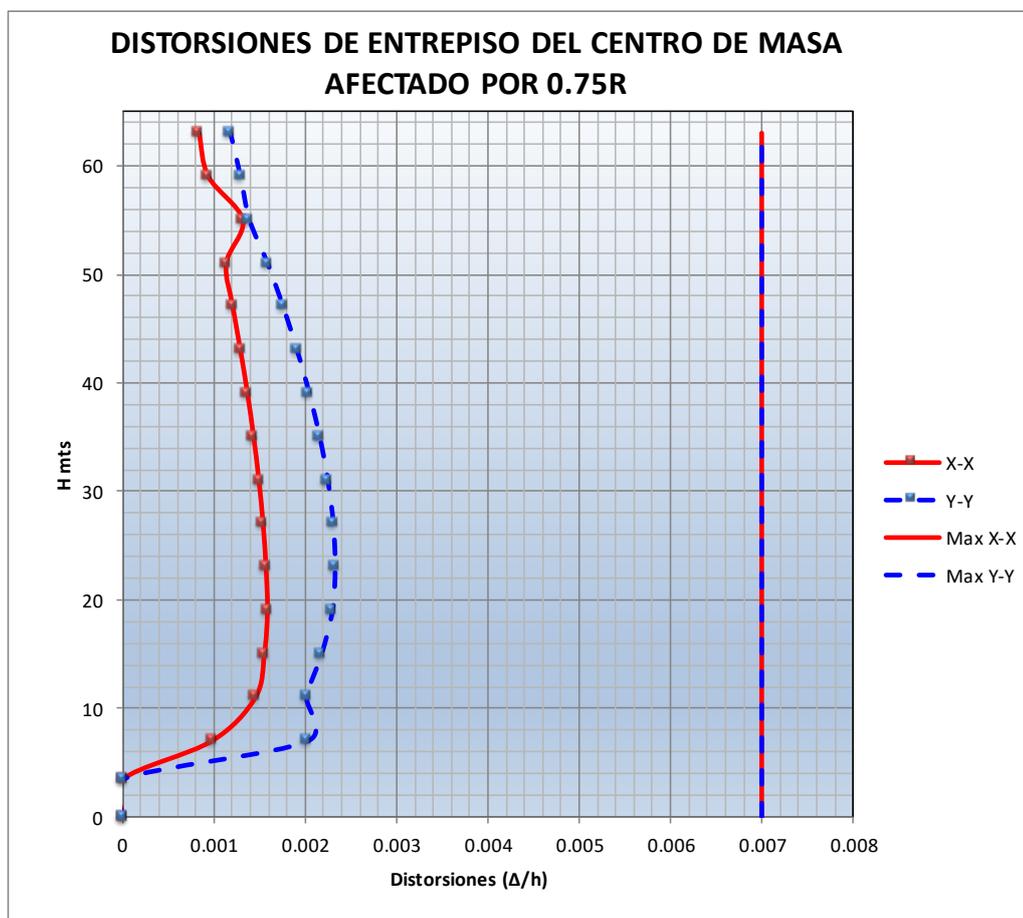
DATOS GENERALES:

Z =	0.30	Tp =	0.40	
U =	1.50	hn =	63.00	
S =	1.00	N =	16	
R =	5.25	CT =	60	Pe = 15185 Ton

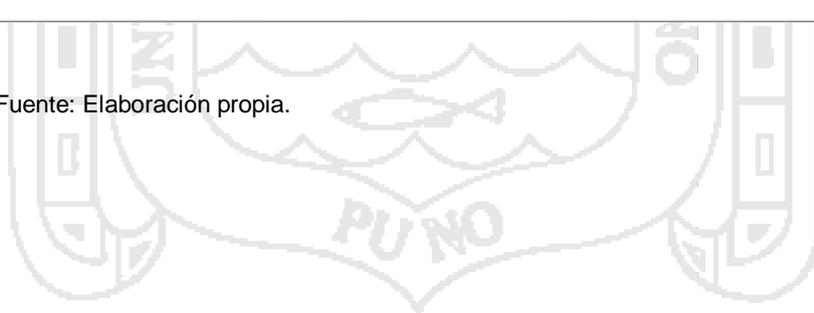
Factor	Nomenclatura	Clasificación	Valor	Justificación
Coeficiente de	Rx	Sistema Aporticado	5.25	Pórticos de Concreto
	Ry	Sistema Aporticado	5.25	Pórticos de Concreto

DESPLAZAMIENTO RELATIVO DE ENTREPISO EN EL CENTRO DE MASA									
NIVEL	DIRECCION X-X					DIRECCION Y-Y			
	Desplazam. Absolt. (cm)	Δ_i (cm)	he (m)	Δ_i/he	OBS.	Desplazam. Absolt. (cm)	Δ_i (cm)	Δ_i/he	OBS.
M	0.00	0.000	3.50	0.000	OK	0.00	0.000	0.000	OK
1	0.09	0.087	3.50	0.001	OK	0.18	0.180	0.002	OK
2	0.24	0.148	4.00	0.001	OK	0.38	0.205	0.002	OK
3	0.39	0.158	4.00	0.002	OK	0.61	0.221	0.002	OK
4	0.56	0.162	4.00	0.002	OK	0.84	0.233	0.002	OK
5	0.72	0.160	4.00	0.002	OK	1.08	0.236	0.002	OK
6	0.87	0.157	4.00	0.002	OK	1.31	0.234	0.002	OK
7	1.03	0.152	4.00	0.001	OK	1.54	0.228	0.002	OK
8	1.17	0.146	4.00	0.001	OK	1.76	0.219	0.002	OK
9	1.31	0.139	4.00	0.001	OK	1.96	0.208	0.002	OK
10	1.44	0.132	4.00	0.001	OK	2.16	0.194	0.002	OK
11	1.57	0.123	4.00	0.001	OK	2.34	0.178	0.002	OK
12	1.68	0.116	4.00	0.001	OK	2.50	0.161	0.002	OK
13	1.82	0.134	4.00	0.001	OK	2.64	0.141	0.001	OK

14	1.91	0.096	4.00	0.001	OK	2.77	0.131	0.001	OK
15	2.00	0.085	4.00	0.001	OK	2.89	0.120	0.001	OK



Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 22: Presupuesto general según Expediente Técnico en la fórmula de estructuras.

PRESUPUESTO - "FÓRMULA ESTRUCTURAS"

Subpresupuesto	MEJORAMIENTO DE LOS SERVICIOS ACADÉMICOS EN LA FORMACIÓN BÁSICA, INFORMÁTICA Y VIRTUAL DE LAS ESCUELAS PROFESIONALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO				
Cliente	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO	Costo al	20/03/2012		
Lugar	PUNO - PUNO - PUNO				
Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01.05	OBRAS DE CONCRETO ARMADO				7,632,639.04
01.05.01	ZAPATAS				73,271.22
01.05.01.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN ZAPATAS F _c =280KG/CM2	m3	99.00	540.31	53,490.69
01.05.01.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN ZAPATAS	m2	110.00	40.64	4,470.40
01.05.01.03	ACERO DE REFUERZO F _y =4200KG/CM2 EN ZAPATAS	kg	3,487.50	4.39	15,310.13
01.05.02	VIGAS DE CIMENTACIÓN				88,806.69
01.05.02.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN VIGAS DE CIMENTACIÓN F _c =280KG/CM2	m3	61.85	551.53	34,112.13
01.05.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN VIGAS DE CIMENTACIÓN	m2	247.41	39.84	9,856.81
01.05.02.03	ACERO DE REFUERZO F _y =4200KG/CM2 EN VIGAS DE CIMENTACIÓN	kg	10,213.61	4.39	44,837.75
01.05.03	CIMENTACIÓN REFORZADA PARA MUROS DE CONTENCIÓN				219,052.29
01.05.03.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN CIMENTACIÓN PARA MUROS DE CONTENCIÓN F _c =280KG/CM2	m3	284.40	547.03	155,575.33
01.05.03.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN CIMENTACIÓN DE MUROS DE CONTENCIÓN	m2	86.71	58.14	5,041.32
01.05.03.03	ACERO DE REFUERZO F _y =4200KG/CM2 EN MUROS DE CONTENCIÓN	kg	13,311.08	4.39	58,435.64
01.05.04	MURO DE CONTENCIÓN				200,190.07
01.05.04.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN MURO DE CONTENCIÓN	m3	152.65	544.03	83,046.18
01.05.04.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN MUROS DE CONTENCIÓN	m2	1,017.68	46.27	47,088.05
01.05.04.03	ACERO DE REFUERZO F _y =4200KG/CM2 EN MUROS DE CONTENCIÓN	kg	10,333.63	4.39	45,364.64
01.05.04.04	IMPERMEABILIZACIÓN DE MURO DE CONTENCIÓN CON ADITIVO BITUMINOSO 02 MANOS	m2	1,920.00	12.86	24,691.20
01.05.05	COLUMNAS				781,888.33
01.05.05.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN COLUMNAS F _c =350KG/CM2	m3	127.01	609.49	77,411.32
01.05.05.02	CONCRETO PREMEZCLADO EN COLUMNAS F _c =280KG/CM2	m3	463.71	572.61	265,524.98
01.05.05.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN COLUMNAS	m2	3,051.79	44.98	137,269.51
01.05.05.04	ACERO DE REFUERZO F _y =4200KG/CM2 EN COLUMNAS	kg	68,720.39	4.39	301,682.51
01.05.06	PLACAS				1,076,347.29
01.05.06.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN PLACAS F _c =280KG/CM2	m3	855.86	486.35	416,247.51
01.05.06.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN PLACAS	m2	5,092.07	28.67	145,989.65
01.05.06.03	ACERO DE REFUERZO F _y =4200KG/CM2 EN PLACAS	kg	117,109.37	4.39	514,110.13
01.05.07	PLACA DE ASCENSOR				679,799.84
01.05.07.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN PLACA DE ASCENSOR F _c =280KG/CM2	m3	437.56	492.43	215,467.67

01.05.07.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN PLACA DE ASCENSOR	m2	2,993.00	50.15	150,098.95
01.05.07.03	ACERO DE REFUERZO F'y=4200KG/CM2 EN PLACA DE ASCENSOR	kg	71,579.32	4.39	314,233.21
01.05.08	VIGAS				2,110,895.11
01.05.08.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN VIGAS F'c=280KG/CM2	m3	1,262.06	488.79	616,882.31
01.05.08.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN VIGAS	m2	8,356.55	60.01	501,476.57
01.05.08.03	ACERO DE REFUERZO F'y=4200KG/CM2 EN VIGAS	kg	226,090.26	4.39	992,536.24
01.05.09	LOSAS ALIGERADAS CON VIGUETAS PREFABRICADAS				1,837,613.14
01.05.09.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN LOSAS ALIGERADAS F'c=280 KG/CM2	m3	846.08	485.24	410,551.86
01.05.09.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN LOSAS ALIGERADAS CON VIGUETAS PREFABRICADAS	m2	10,355.99	31.89	330,252.52
01.05.09.03	ACERO DE REFUERZO F'y=4200KG/CM2 EN LOSAS ALIGERADAS PREFABRICADAS	kg	22,607.13	4.39	99,245.30
01.05.09.04	PLASTOFORMO P/VIGUETAS EJE 41cm H=20CM SEGUN E.T.	m3	1,461.46	156.05	228,060.83
01.05.09.05	VIGUETAS PRETENSADOS PREFABRICADAS	m	25,688.47	23.38	600,596.43
01.05.09.06	MALLA ELECTROSOLDADO COCADA 10X10CM D=4.20MM SEGUN E.T.	m2	10,355.99	16.31	168,906.20
01.05.10	ESCALERAS				191,620.47
01.05.10.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN ESCALERAS F'c=280KG/CM2	m3	171.35	506.39	86,769.93
01.05.10.02	ESCALERAS: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	833.88	53.22	44,379.09
01.05.10.03	ACERO DE REFUERZO F'y=4200KG/CM2 EN ESCALERAS	kg	13,378.64	4.52	60,471.45
01.05.11	PLACA INCLINADA REFORZADA				112,257.70
01.05.11.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN PLACA INCLINADA F'c=280KG/CM2	m3	85.95	490.64	42,170.51
01.05.11.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN PLACA INCLINADA	m2	687.60	53.16	36,552.82
01.05.11.03	ACERO DE REFUERZO F'y=4200KG/CM2 EN PLACA INCLINADA	kg	7,691.37	4.36	33,534.37
01.05.12	COLUMNETAS Y VIGUETAS				160,563.33
01.05.12.01	CONCRETO F'C=175 KG/CM2 PARA COLUMNETAS DE ARRIOSTRE	m3	90.81	334.36	30,363.23
01.05.12.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN COLUMNETAS DE ARRIOSTRE	m2	2,041.92	38.20	78,001.34
01.05.12.03	ACERO DE REFUERZO F'y=4200KG/CM2 EN COLUMNETAS DE ARRIOSTRE	kg	9,486.72	4.37	41,456.97
01.05.12.04	JUNTA DE CONSTRUCCIÓN CON POLIESTIRENO EXPANDIDO	m2	337.05	31.87	10,741.78
01.05.13	TANQUE ELEVADO				34,913.30
01.05.13.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN TANQUE ELEVADO F'c=280KG/CM2	m3	24.50	543.80	13,323.10
01.05.13.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN TANQUE ELEVADO	m2	153.34	38.32	5,875.99
01.05.13.03	ACERO DE REFUERZO F'y=4200KG/CM2 EN TANQUE ELEVADO	kg	3,595.93	4.37	15,714.21
01.05.14	CUARTO DE CAJA DE ESCALERAS				38,992.69
01.05.14.01	COLUMNAS				9,878.51
01.05.14.01.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN COLUMNAS F'c=280KG/CM2	m3	6.16	572.61	3,527.28
01.05.14.01.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN COLUMNAS	m2	65.08	44.98	2,927.30
01.05.14.01.03	ACERO DE REFUERZO F'y=4200KG/CM2 EN COLUMNAS	kg	779.94	4.39	3,423.94
01.05.14.02	VIGAS				11,103.98
01.05.14.02.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN VIGAS F'c=280KG/CM2	m3	6.88	488.79	3,362.88
01.05.14.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN VIGAS	m2	71.09	60.01	4,266.11
01.05.14.02.03	ACERO DE REFUERZO F'y=4200KG/CM2 EN VIGAS	kg	791.57	4.39	3,474.99

01.05.14.03	LOSAS MACIZAS				18,010.20
01.05.14.03.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN LOSAS MACIZAS F'c=280 KG/CM2	m3	13.74	567.18	7,793.05
01.05.14.03.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN LOSAS MACIZAS	m2	68.68	36.42	2,501.33
01.05.14.03.03	ACERO DE REFUERZO F'y=4200KG/CM2 EN LOSAS MACIZAS	kg	1,757.59	4.39	7,715.82
01.05.15	CASA DE MÁQUINA DE ASCENSOR				26,427.56
01.05.15.01	COLUMNAS				5,349.34
01.05.15.01.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN COLUMNAS F'c=280KG/CM2	m3	1.63	572.61	933.35
01.05.15.01.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN COLUMNAS	m2	18.00	44.98	809.64
01.05.15.01.03	ACERO DE REFUERZO F'y=4200KG/CM2 EN COLUMNAS	kg	821.49	4.39	3,606.34
01.05.15.02	PLACAS				2,962.42
01.05.15.02.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN PLACA DE ASCENSOR F'c=280KG/CM2	m3	1.38	492.43	679.55
01.05.15.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN PLACA DE ASCENSOR	m2	12.00	50.15	601.80
01.05.15.02.03	ACERO DE REFUERZO F'y=4200KG/CM2 EN PLACA DE ASCENSOR	kg	382.93	4.39	1,681.06
01.05.15.03	VIGAS				4,981.65
01.05.15.03.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN VIGAS F'c=280KG/CM2	m3	5.33	488.79	2,605.25
01.05.15.03.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN VIGAS	m2	22.37	60.01	1,342.42
01.05.15.03.03	ACERO DE REFUERZO F'y=4200KG/CM2 EN VIGAS	kg	235.53	4.39	1,033.98
01.05.15.04	LOSAS MACIZAS				13,134.16
01.05.15.04.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN LOSAS MACIZAS F'c=280 KG/CM2	m3	14.74	567.18	8,360.23
01.05.15.04.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN LOSAS MACIZAS	m2	73.70	36.42	2,684.15
01.05.15.04.03	ACERO DE REFUERZO F'y=4200KG/CM2 EN LOSAS MACIZAS	kg	476.03	4.39	2,089.77

Fuente: Expediente Técnico presentado a la Unidad de Arquitectura y construcciones de la Universidad Nacional del Altiplano..

ANEXO 23: Nuevo presupuesto en la fórmula de Estructuras por cambio realizados en la mejora de la estructuración.

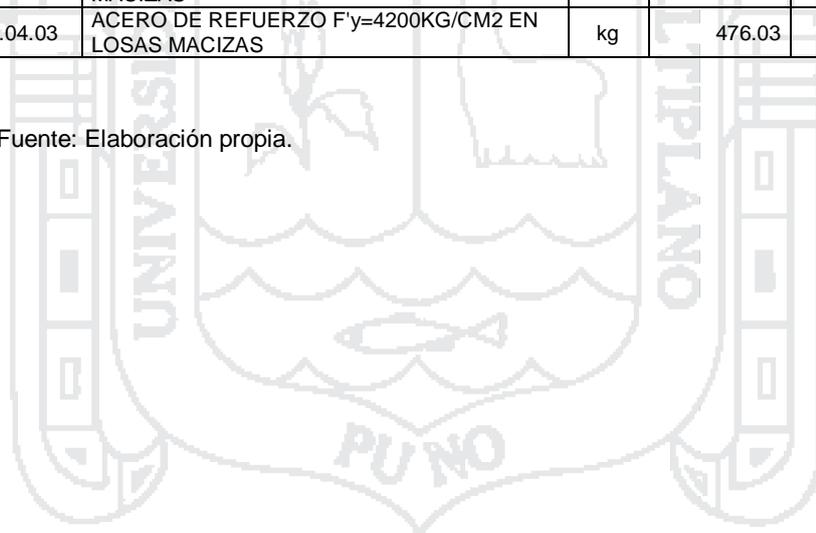
PRESUPUESTO - "FORMULA ESTRUCTURAS"
(Con aislamiento de base FPS)

Subpresupuesto	MEJORAMIENTO DE LOS SERVICIOS ACADÉMICOS EN LA FORMACIÓN BÁSICA, INFORMÁTICA Y VIRTUAL DE LAS ESCUELAS PROFESIONALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO				
Cliente	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO	Costo al	20/03/2012		
Lugar	PUNO - PUNO - PUNO				
Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01.05	OBRAS DE CONCRETO ARMADO				7,468,113.14
01.05.01	ZAPATAS				73,271.22
01.05.01.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN ZAPATAS F _c =280KG/CM ²	m ³	99.00	540.31	53,490.69
01.05.01.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN ZAPATAS	m ²	110.00	40.64	4,470.40
01.05.01.03	ACERO DE REFUERZO F _y =4200KG/CM ² EN ZAPATAS	kg	3,487.50	4.39	15,310.13
01.05.02	VIGAS DE CIMENTACIÓN				88,806.69
01.05.02.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN VIGAS DE CIMENTACIÓN F _c =280KG/CM ²	m ³	61.85	551.53	34,112.13
01.05.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN VIGAS DE CIMENTACIÓN	m ²	247.41	39.84	9,856.81
01.05.02.03	ACERO DE REFUERZO F _y =4200KG/CM ² EN VIGAS DE CIMENTACIÓN	kg	10,213.61	4.39	44,837.75
01.05.03	CIMENTACION REFORZADA PARA MUROS DE CONTENCIÓN				219,052.29
01.05.03.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN CIMENTACION PARA MUROS DE CONTENCIÓN F _c =280KG/CM ²	m ³	284.40	547.03	155,575.33
01.05.03.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN CIMENTACION DE MUROS DE CONTENCIÓN	m ²	86.71	58.14	5,041.32
01.05.03.03	ACERO DE REFUERZO F _y =4200KG/CM ² EN MUROS DE CONTENCIÓN	kg	13,311.08	4.39	58,435.64
01.05.04	MURO DE CONTENCIÓN				200,190.07
01.05.04.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN MURO DE CONTENCIÓN	m ³	152.65	544.03	83,046.18
01.05.04.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN MUROS DE CONTENCIÓN	m ²	1,017.68	46.27	47,088.05
01.05.04.03	ACERO DE REFUERZO F _y =4200KG/CM ² EN MUROS DE CONTENCIÓN	kg	10,333.63	4.39	45,364.64
01.05.04.04	IMPERMEABILIZACIÓN DE MURO DE CONTENCIÓN CON ADITIVO BITUMINOSO 02 MANOS	m ²	1,920.00	12.86	24,691.20
01.05.05	COLUMNAS				1,587,061.07
01.05.05.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN COLUMNAS F _c =350KG/CM ²	m ³	298.61	609.49	181,998.59
01.05.05.02	CONCRETO PREMEZCLADO EN COLUMNAS F _c =280KG/CM ²	m ³	1,144.33	572.61	655,256.11
01.05.05.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN COLUMNAS	m ²	5,865.54	44.98	263,831.96
01.05.05.04	ACERO DE REFUERZO F _y =4200KG/CM ² EN COLUMNAS	kg	110,700.32	4.39	485,974.42
01.05.06	PLACAS				88,312.48
01.05.06.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN PLACAS F _c =280KG/CM ²	m ³	124.76	486.35	60,678.50
01.05.06.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN PLACAS	m ²	493.47	28.67	14,147.76
01.05.06.03	ACERO DE REFUERZO F _y =4200KG/CM ² EN PLACAS	kg	3,072.03	4.39	13,486.22

01.05.07	PLACA DE ASCENSOR				679,799.84
01.05.07.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN PLACA DE ASCENSOR F _c =280KG/CM ²	m ³	437.56	492.43	215,467.67
01.05.07.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN PLACA DE ASCENSOR	m ²	2,993.00	50.15	150,098.95
01.05.07.03	ACERO DE REFUERZO F _y =4200KG/CM ² EN PLACA DE ASCENSOR	kg	71,579.32	4.39	314,233.21
01.05.08	VIGAS				2,241,489.00
01.05.08.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN VIGAS F _c =280KG/CM ²	m ³	1,350.05	488.79	659,893.04
01.05.08.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN VIGAS	m ²	8,937.71	60.01	536,352.01
01.05.08.03	ACERO DE REFUERZO F _y =4200KG/CM ² EN VIGAS	kg	238,096.57	4.39	1,045,243.95
01.05.09	LOSAS ALIGERADAS CON VIGUETAS PREFABRICADAS				1,837,613.14
01.05.09.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN LOSAS ALIGERADAS F _c =280 KG/CM ²	m ³	846.08	485.24	410,551.86
01.05.09.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN LOSAS ALIGERADAS CON VIGUETAS PREFABRICADAS	m ²	10,355.99	31.89	330,252.52
01.05.09.03	ACERO DE REFUERZO F _y =4200KG/CM ² EN LOSAS ALIGERADAS PREFABRICADAS	kg	22,607.13	4.39	99,245.30
01.05.09.04	PLASTOFORMO P/VIGUETAS EJE 41cm H=20CM SEGUN E.T.	m ³	1,461.46	156.05	228,060.83
01.05.09.05	VIGUETAS PRETENSADOS PREFABRICADAS	m	25,688.47	23.38	600,596.43
01.05.09.06	MALLA ELECTROSOLDADO COCADA 10X10CM D=4.20MM SEGUN E.T.	m ²	10,355.99	16.31	168,906.20
01.05.10	ESCALERAS				191,620.47
01.05.10.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN ESCALERAS F _c =280KG/CM ²	m ³	171.35	506.39	86,769.93
01.05.10.02	ESCALERAS: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m ²	833.88	53.22	44,379.09
01.05.10.03	ACERO DE REFUERZO F _y =4200KG/CM ² EN ESCALERAS	kg	13,378.64	4.52	60,471.45
01.05.12	COLUMNETAS Y VIGUETAS				160,563.33
01.05.12.01	CONCRETO F _c =175 KG/CM ² PARA COLUMNETAS DE ARRIOSTRE	m ³	90.81	334.36	30,363.23
01.05.12.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN COLUMNETAS DE ARRIOSTRE	m ²	2,041.92	38.20	78,001.34
01.05.12.03	ACERO DE REFUERZO F _y =4200KG/CM ² EN COLUMNETAS DE ARRIOSTRE	kg	9,486.72	4.37	41,456.97
01.05.12.04	JUNTA DE CONSTRUCCIÓN CON POLIESTIRENO EXPANDIDO	m ²	337.05	31.87	10,741.78
01.05.13	TANQUE ELEVADO				34,913.30
01.05.13.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN TANQUE ELEVADO F _c =280KG/CM ²	m ³	24.50	543.80	13,323.10
01.05.13.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN TANQUE ELEVADO	m ²	153.34	38.32	5,875.99
01.05.13.03	ACERO DE REFUERZO F _y =4200KG/CM ² EN TANQUE ELEVADO	kg	3,595.93	4.37	15,714.21
01.05.14	CUARTO DE CAJA DE ESCALERAS				38,992.69
01.05.14.01	COLUMNAS				9,878.51
01.05.14.01.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN COLUMNAS F _c =280KG/CM ²	m ³	6.16	572.61	3,527.28
01.05.14.01.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN COLUMNAS	m ²	65.08	44.98	2,927.30
01.05.14.01.03	ACERO DE REFUERZO F _y =4200KG/CM ² EN COLUMNAS	kg	779.94	4.39	3,423.94
01.05.14.02	VIGAS				11,103.98
01.05.14.02.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN VIGAS F _c =280KG/CM ²	m ³	6.88	488.79	3,362.88
01.05.14.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN VIGAS	m ²	71.09	60.01	4,266.11
01.05.14.02.03	ACERO DE REFUERZO F _y =4200KG/CM ² EN VIGAS	kg	791.57	4.39	3,474.99
01.05.14.03	LOSAS MACIZAS				18,010.20
01.05.14.03.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN LOSAS MACIZAS F _c =280 KG/CM ²	m ³	13.74	567.18	7,793.05

01.05.14.03.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN LOSAS MACIZAS	m2	68.68	36.42	2,501.33
01.05.14.03.03	ACERO DE REFUERZO F'y=4200KG/CM2 EN LOSAS MACIZAS	kg	1,757.59	4.39	7,715.82
01.05.15	CASA DE MÁQUINA DE ASCENSOR				26,427.56
01.05.15.01	COLUMNAS				5,349.34
01.05.15.01.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN COLUMNAS F'c=280KG/CM2	m3	1.63	572.61	933.35
01.05.15.01.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN COLUMNAS	m2	18.00	44.98	809.64
01.05.15.01.03	ACERO DE REFUERZO F'y=4200KG/CM2 EN COLUMNAS	kg	821.49	4.39	3,606.34
01.05.15.02	PLACAS				2,962.42
01.05.15.02.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN PLACA DE ASCENSOR F'c=280KG/CM2	m3	1.38	492.43	679.55
01.05.15.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN PLACA DE ASCENSOR	m2	12.00	50.15	601.80
01.05.15.02.03	ACERO DE REFUERZO F'y=4200KG/CM2 EN PLACA DE ASCENSOR	kg	382.93	4.39	1,681.06
01.05.15.03	VIGAS				4,981.65
01.05.15.03.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN VIGAS F'c=280KG/CM2	m3	5.33	488.79	2,605.25
01.05.15.03.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN VIGAS	m2	22.37	60.01	1,342.42
01.05.15.03.03	ACERO DE REFUERZO F'y=4200KG/CM2 EN VIGAS	kg	235.53	4.39	1,033.98
01.05.15.04	LOSAS MACIZAS				13,134.16
01.05.15.04.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN LOSAS MACIZAS F'c=280 KG/CM2	m3	14.74	567.18	8,360.23
01.05.15.04.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN LOSAS MACIZAS	m2	73.70	36.42	2,684.15
01.05.15.04.03	ACERO DE REFUERZO F'y=4200KG/CM2 EN LOSAS MACIZAS	kg	476.03	4.39	2,089.77

Fuente: Elaboración propia.

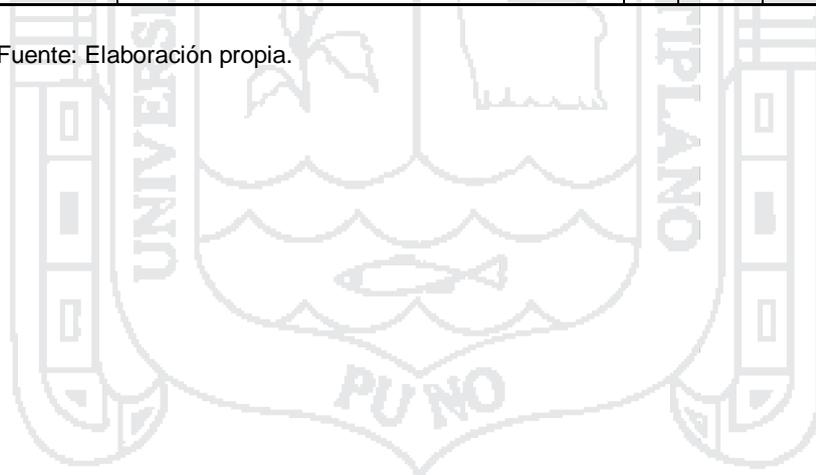


ANEXO 24: Costo por instalación de aislador sísmico.

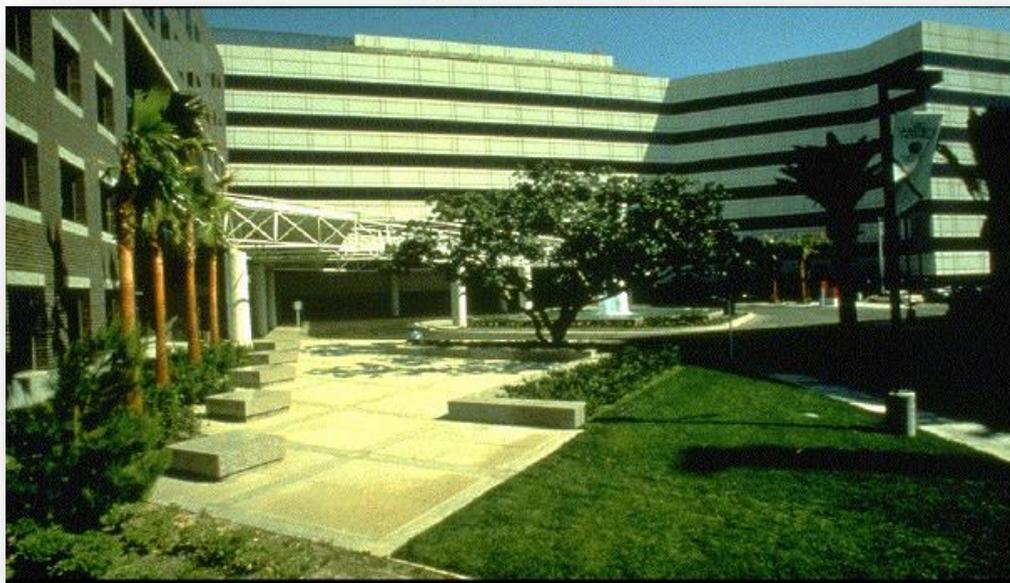
PRESUPUESTO ADICIONAL - "FORMULA ESTRUCTURAS"
(Costo por aislador de base FPS)

Subpresupuesto	MEJORAMIENTO DE LOS SERVICIOS ACADEMICOS EN LA FORMACIÓN BÁSICA, INFORMÁTICA Y VIRTUAL DE LAS ESCUELAS PROFESIONALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO				
Cliente	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO	Costo al	20/03/2012		
Lugar	PUNO - PUNO - PUNO				
01.05.16	52 AISLADORES SÍSMICOS				884,000.00
01.05.16.01	NIVELADO DE AISLADORES				174.28
01.05.16.01.01	TRAZO, NIVELES Y REPLANTEO PRELIMINAR	m2	101.92	1.71	174.28
01.05.16.02	MONTAJE DE AISLADORES				6,617.52
01.05.16.02.01	MONTAJE DE AISLADORES CON GRUA	und	52.00	127.26	6,617.52
01.05.16.03	ENCOFRADO PARA MORTERO DE ALTA RESISTENCIA				1,309.82
01.05.16.03.01	ENCOFRADO Y DEENCOFRADO EN INSTALACIÓN DE AISLADORES	m2	29.12	44.98	1,309.82
01.05.16.04	MORTERO DE ALTA RESISTENCIA PARA SELLADO				2,473.99
01.05.16.04.01	CONCRETO PREMEZCLADO EN INSTALACIÓN DE AISLADOR $F'c=280\text{KG/CM}^2$	m3	4.37	566.13	2,473.99
01.05.16.05	SUMINISTRO DE AISLADORES SISMICOS				873,424.39
01.05.16.05.01	ADQUISICIÓN DE AISLADOR SÍSMICO	und	52.00	16,796.62	873,424.39

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 25: Experiencias en edificaciones en el mundo y el Perú.



EEUU, USC University Hospital, 68 LRB en el perímetro y 81 HRD Interior (Fuente: Diplomado UPC).



EEUU, Centro de justicia, Estados Unidos Consta de 98 aisladores de capas múltiples (Fuente: Diplomado UPC).



EEUU, Utah State Capitol, el sistema de aislamiento de la base se compone de 265 aisladores
(Fuente: Tesis teoría de aislamiento sísmico para edificaciones).



CHILE, Hospital militar, consta de 162 aisladores sísmicos elastoméricos de 90 cm de diámetro, algunos se componen de corazón de plomo (Fuente: Tesis teoría de aislamiento sísmico para edificaciones).



CHILE, Viaducto Marga-Marga, se conforma por 36 aisladores sísmicos, distribuidos en 2 estribos y 7 ceapas (Fuente: Tesis teoría de aislamiento sísmico para edificaciones).



JAPON, Tohoku Power Electrical Company, se apoya en 120 aisladores elásticos con un cierto número adicional de amortiguadores de acero y plomo (Fuente: Diplomado FiC UNI).



PERU, Universidad Peruana de Ciencias aplicadas, pabellón de ciencias de la salud 18 aisladores 6 deslizadores (Fuente: Diplomado FiC UNI).



PERU, Inmobiliaria Labok, Proyecto Atlantik, 47 aisladores 5 deslizadores (Fuente: Diplomado FiC UNI)..



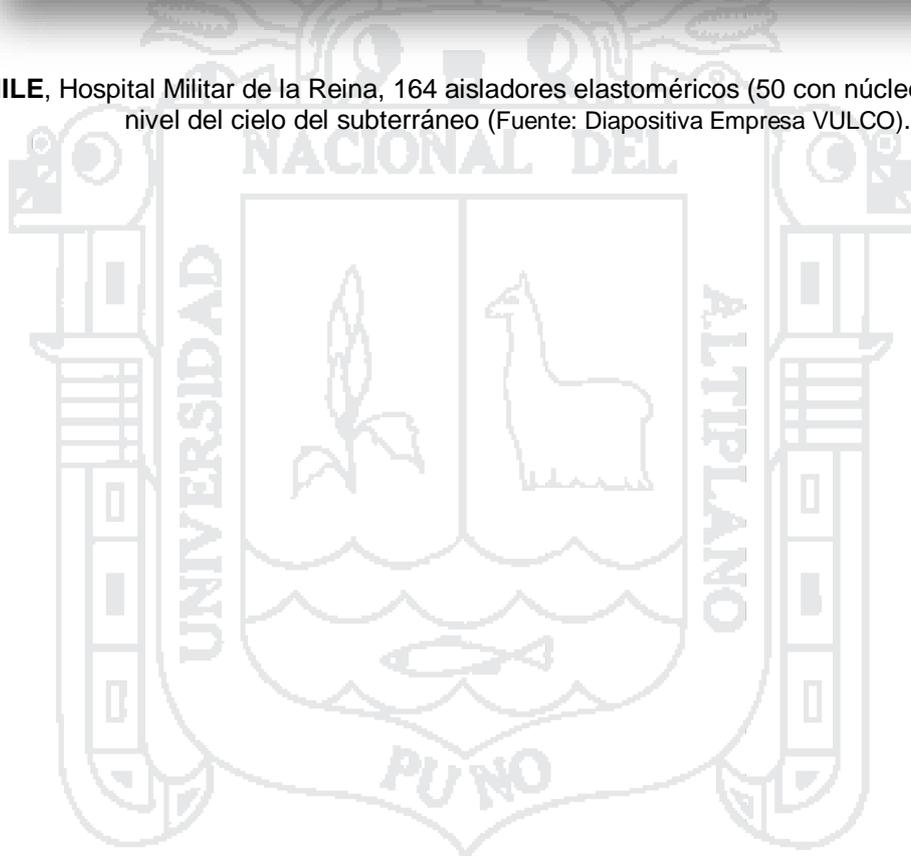
PERU, Universidad Católica del Perú, aula 36 aisladores 3 deslizadores (Fuente: Diplomado FIC UNI)..

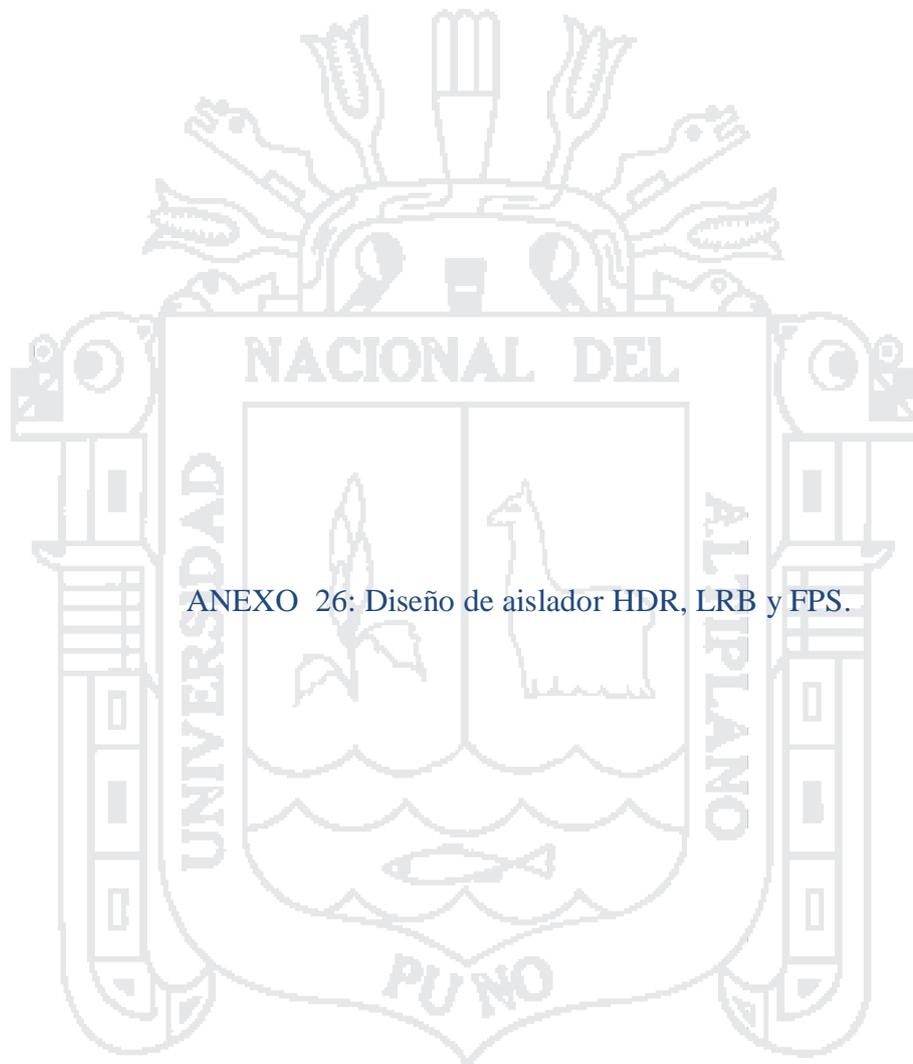


CHILE, Edificio VULCO, 12 Aisladores 6 Deslizadores (Fuente: Diapositiva Empresa VULCO).



CHILE, Hospital Militar de la Reina, 164 aisladores elastoméricos (50 con núcleo de plomo) a nivel del cielo del subterráneo (Fuente: Diapositiva Empresa VULCO).





ANEXO 26: Diseño de aislador HDR, LRB y FPS.



RELACIÓN DE PLANOS

Plano AI-01: Ubicación de Aisladores FPS.

Plano AI-02: Ubicación de Aisladores HDR Y LRB.

Plano AI-03: Ubicación de Aisladores HDR.

Plano AI-04: Detalles generales de aislación.





RELACIÓN DE CATÁLOGOS

Catálogo 01: Aisladores Elastoméricos HDR.

Catálogo 02: Aisladores Elastoméricos LRB.

Catálogo 03: Aisladores FPS.

