



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



**“DESEMPEÑO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN DE 12 NIVELES
EN UN SISTEMA CONVENCIONAL, CON AISLADORES
ELASTOMÉRICOS Y DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO
VISCOSO”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. LUZ MARINA TURPO AGUILAR

Bach. BRAJEAN FREDDY PAREDES MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado a mis padres Candelaria Aguilar Chino y Elías Turpo Ramírez por su comprensión, sacrificio, esfuerzo y apoyo incondicional en conseguir mis objetivos.

A mi hermana Wendy por su comprensión y su apoyo.

A mi abuela Eleuteria Chino Maquera por compartirme sus experiencias y recomendaciones.

Y a todos mis familiares, amigos y amigas que contribuyeron en lograr este sueño en realidad.

Luz Marina Turpo Aguilar



DEDICATORIA

A mis padres Hilda y Fredy quienes, con su amor, paciencia, apoyo incondicional y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir un sueño.

A mis hermanas Brizzet y Rocio por su cariño y apoyo incondicional.

A toda mi familia por sus consejos y palabras de aliento, hicieron de mí una mejor persona, acompañaron en todos mis sueños y metas, en especial a mis Tías Elizabeth y Olga, a mis Primos Nils y Helder, a mi Abuelo Eloy por su motivación y ejemplo.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todas mis amigos y amigas, por extender su mano en momentos difíciles y por su comprensión brindada cada día.

Brajean Freddy Paredes Mamani



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme dado salud, fuerza y así permitirme a llegar a cumplir esta meta en mi vida profesional.

A mis padres por el esfuerzo, apoyo brindado en todos los años de estudio y en cada uno de mis objetivos.

Al Ing. Diana Elizabeth Quinto Gastiaburu por compartir sus recomendaciones durante la ejecución de la presente investigación.

A mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por la enseñanza, consejos motivacionales y valores en mi formación profesional.

A todos mis compañeros de estudio que estuvieron en los buenos y malos momentos.

Luz Marina Turpo Aguilar

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición me da fuerza y valor

A toda mi familia por estar siempre presentes.

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal de la escuela profesional de Ingeniería Civil, en especial a sus docentes, quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. Diana Elizabeth Quinto Gastiaburu, quien, durante todo este proceso, nos brindó su asesoramiento, conocimiento y enseñanza permitiendo el desarrollo de este trabajo.

Brajean Freddy Paredes Mamani



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRONIMOS

RESUMEN 18

ABSTRACT..... 19

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 20

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 21

1.2.1. Pregunta general 21

1.2.2. Pregunta específica 22

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN..... 22

1.3.1. Hipótesis general 22

1.3.2. Hipótesis específicas..... 23

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO..... 23

1.5. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN..... 25

1.5.1. Objetivo general..... 25

1.5.2. Objetivos específicos 25

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES..... 26

2.1.1. Antecedentes internacionales..... 27

2.1.2. Antecedentes nacionales 28

2.1.3. Antecedentes locales..... 29

2.2. MARCO TEÓRICO – GENERALIDADES 30

2.2.1. Definición de términos 30

2.3. NORMAS VIGENTES DE DISEÑO Y SOFTWARE 32

2.4. DESEMPEÑO SÍSMICO..... 33



2.4.1. Nivel de amenaza sísmica.....	33
2.4.2. Nivel de desempeño.....	35
2.4.3. Desempeño esperado de una edificación.....	43
2.5. SISTEMA CONVENCIONAL	44
2.5.1. Características de los materiales	44
2.5.2. Criterios de estructuración	47
2.5.3. Predimensionamiento	48
2.5.4. Metrado de cargas.....	53
2.5.5. Acción sísmica de acuerdo a la norma E.030	55
2.5.6. Análisis sísmico	60
2.5.7. Verificaciones normativas	65
2.6. SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA	67
2.6.1. Sistemas de control activo	68
2.6.2. Sistemas de control híbrido	70
2.6.3. Sistemas de control semiactivo.....	71
2.6.4. Sistemas de control pasivo.....	72
2.7. SISTEMAS DE AISLAMIENTO DE BASE.....	73
2.7.1. Aislador elastomérico	75
2.7.2. Procedimiento diseño de sistemas de aislamiento de base	80
2.7.3. Análisis sísmico	93
2.7.4. Verificaciones con norma E.031 de la estructura con aisladores	95
2.8. SISTEMAS DE DISIPACION DE ENERGIA	96
2.8.1. Disipadores histéricos	97
2.8.2. Disipadores viscoelásticos	98
2.8.3. Disipadores de fluido viscoso	98
2.8.4. Características del disipador utilizado	99
2.8.5. Procedimiento de cálculo de disipación de energía.....	100
CAPITULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	110
3.1.1. Tipo de investigación.....	110
3.1.2. Nivel de la investigación	111
3.1.3. Esquema de la investigación.....	111
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	112



3.2.1. Población	112
3.2.2. Muestra	112
3.3. RECOLECCIÓN DE DATOS	113
3.3.1. Arquitectura del proyecto	113
3.3.2. Perfiles de suelos	114
3.3.3. Acelerogramas	114
3.4. MODELAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN EN UN SISTEMA CONVENCIONAL	118
3.4.1. Valores de las características de los materiales	118
3.4.2. Estructuración y predimensionamiento del proyecto.....	118
3.4.3. Metrado de cargas.....	120
3.4.4. Procedimiento de cálculo de acción sísmica según E.030.....	122
3.4.5. Modelamiento de la edificación en un sistema convencional	125
3.4.6. Análisis sísmico de estructura	127
3.4.7. Verificaciones en un sistema convencional.....	135
3.5. MODELAMIENTO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA CON AISLADORES ELASTOMÉRICOS	142
3.5.1. Procedimiento diseño de sistemas de aislamiento de base	142
3.5.2. Modelamiento del sistema aislado.....	155
3.5.3. Análisis sísmico	157
3.5.4. Verificaciones del sistema con aisladores	161
3.6. MODELAMIENTO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA CON DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO	163
3.6.1. Procedimiento de diseño de sistema con disipadores de energia	163
3.6.2. Modelamiento del sistema de disipación de energía	185
3.6.3. Análisis sísmico.....	187
3.6.4. Verificaciones del sistema con disipadores de energía.....	188
CAPITULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	197
4.1.1. Periodo fundamental de vibración	197
4.1.2. Aceleración de entrepiso.....	199
4.1.3. Fuerza cortante en la base.....	203
4.1.4. Desplazamientos laterales absolutos.....	205



4.1.5. Derivas de entrepiso	209
4.2. DETERMINACIÓN E INTERPRETACIÓN DE DESEMPEÑO SÍSMICO	212
4.2.1. Desempeño sísmico del modelamiento del sistema convencional	213
4.2.2. Desempeño sísmico del modelamiento del sistema con aisladores elastoméricos	214
4.2.3. Desempeño sísmico del modelamiento del sistema con disipadores de energía de fluido viscoso	215
4.2.4. Comparación del desempeño sísmico.....	216
V. CONCLUSIONES.....	220
VI. RECOMENDACIONES	222
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	224
ANEXOS.....	228

Área: Estructuras

Tema: Desempeño sísmico

Línea de investigación: Análisis y diseño estructural

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 12 de julio del 2022



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Adaptación de matriz de desempeño sísmico según Visión y HAZUS	43
Figura 2.	Adaptación de tabla de límites de deriva según Visión y HAZUS	44
Figura 3.	Gráfico esfuerzo a compresión – deformación unitaria del concreto.	45
Figura 4.	Gráfico de esfuerzo a tracción – deformación unitaria y modelo elastoplástico del acero.	47
Figura 5.	Clasificación de los sistemas de protección sísmica.....	68
Figura 6.	Esquema de funcionamiento de un sistema de control activo	68
Figura 7.	Sistema de masa activa (AMD)	69
Figura 8.	Esquema de funcionamiento de sistema de control híbrido.....	70
Figura 9.	Sistema de aislamiento pasivo y actuador.....	71
Figura 10.	Esquema de funcionamiento de sistema de control semiactivo.....	71
Figura 11.	Sistema de disipador de energía de fluido viscoso con amortiguamiento .	72
Figura 12.	Sistema disipador de energía pasivo de péndulo y TMD.....	73
Figura 13.	Sistema de aislamiento sísmico.....	74
Figura 14.	Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento (NRB).....	76
Figura 15.	Fuerza de corte VS desplazamiento aislador NRB	76
Figura 16.	Aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR)	77
Figura 17.	Fuerza de corte VS desplazamiento aislador HDR	77
Figura 18.	Aislador elastomérico de núcleo de plomo (LRB).....	78
Figura 19.	Fuerza de corte VS desplazamiento aislador LRB.....	78
Figura 20.	Diagrama de flujo de diseño de los aisladores elastoméricos LRB	82
Figura 21.	Propiedades del modelo bilineal fuerza - deformación del aislador	93
Figura 22.	Clasificación de disipadores de energía	97
Figura 23.	Diagrama de histéresis de disipadores histeréticos por fluencia y freccion respectivamente.....	97
Figura 24.	Diagrama de Histéresis de disipadores viscoelásticos	98
Figura 25.	Diagrama de Histéresis de disipadores fluido viscoso.....	98
Figura 26.	Disipador de energía de fluido viscoso y sus componentes.....	99
Figura 27.	Diagrama de flujo de diseño de los disipadores de energía de fluido viscoso	102
Figura 28.	Catálogo de disipadores de energía disponibles comercialmente	108



Figura 29.	Procedimiento para el desarrollo de la Investigación	111
Figura 30.	Plano arquitectónico de la planta típica de la edificación	113
Figura 31.	Acelerograma de sismo Lima 1966 E-W	115
Figura 32.	Acelerograma de sismo Lima 1966 N-S	115
Figura 33.	Acelerograma de sismo Ancash 1970 E-W	115
Figura 34.	Acelerograma de sismo Ancash 1970 N-S	115
Figura 35.	Acelerograma de sismo Lima 1974 E-W	115
Figura 36.	Acelerograma de sismo Lima 1974 N-S	116
Figura 37.	Acelerograma de sismo Arequipa 2001 E-W	116
Figura 38.	Acelerograma de sismo Arequipa 2001 N-S.....	116
Figura 39.	Acelerograma de sismo Ica 2007 E-W	116
Figura 40.	Acelerograma de sismo Ica 2007 N-S.....	116
Figura 41.	Acelerograma de sismo Puno 2019 E-W	117
Figura 42.	Acelerograma de sismo Puno 2019 N-S	117
Figura 43.	Acelerograma de sismo Loreto 2019 E-W.....	117
Figura 44.	Acelerograma de sismo Loreto 2019 N-S.....	117
Figura 45.	Espectro inelástico de sismo en dirección “X=Y”	125
Figura 46.	Modelo de la estructura.....	126
Figura 47.	Definición de sismo estático	127
Figura 48.	Definición de espectro	128
Figura 49.	Definición de caso de carga sismo dinámico	129
Figura 50.	Definición sismo dinámico modal	129
Figura 51.	Acelerograma corregida y filtrada por línea base	131
Figura 52.	Desplazamiento, velocidad y desplazamiento corregida y filtrada.....	131
Figura 53.	Ingreso de acelerograma de Arequipa 2001 E-W	132
Figura 54.	Acelerograma real y escalado a espectro objetivo de Arequipa 2001 E-W	133
Figura 55.	Acelerograma real y escalado a espectro objetivo de Arequipa 2001 N-S	133
Figura 56.	Función “rampa” para cargas gravitacionales.....	134
Figura 57.	Definición del caso de carga para el análisis historia de respuesta FNA para cargas gravitacionales	134
Figura 58.	Definición del caso de carga para el análisis historia de respuesta FNA para uno de los movimientos del terreno Arequipa 2001 E-W.....	135



Figura 59.	Mensaje de verificación exitosa sin posibles errores	136
Figura 60.	Cálculo de irregularidad de rigidez – piso blando	137
Figura 61.	Cálculo de irregularidad de resistencia – piso débil	138
Figura 62.	Cálculo de irregularidad de masa o peso	138
Figura 63.	Cálculo de irregularidad de geométrica vertical	139
Figura 64.	Cálculo de irregularidad torsional.....	139
Figura 65.	Cálculo de esquinas entrantes	140
Figura 66.	Cálculo de discontinuidad del diafragma.....	140
Figura 67.	Espectros de diseño	144
Figura 68.	Propiedades del modelo bilineal del aislador LRB LL065G4-C – Límite inferior.....	154
Figura 69.	Propiedades del modelo bilineal del aislador LRB LL065G4-C – Límite nominal.....	154
Figura 70.	Propiedades del modelo bilineal del aislador LRB LL065G4-C – Límite superior.....	154
Figura 71.	Modelo de la estructura aislado	155
Figura 72.	Aislador LRB en el límite inferior, para análisis no lineal	156
Figura 73.	Aislador LRB en el límite nominal, para análisis no lineal	156
Figura 74.	Aislador LRB en el límite superior, para análisis no lineal	157
Figura 75.	Asignación de fuerzas laterales a los diafragmas, en el límite inferior....	158
Figura 76.	Asignación de fuerzas laterales a los diafragmas, en el límite nominal. .	159
Figura 77.	Asignación de fuerzas laterales a los diafragmas, en el límite superior. .	159
Figura 78.	Espectros modificados, para el límite inferior, nominal y superior.	160
Figura 79.	Carga para el análisis modal y modificación de amortiguamiento	160
Figura 80.	Espectro básico de diseño y espectro de sismo máximo considerado.	165
Figura 81.	Caso 01 del registro sísmico Lima 1974.....	166
Figura 82.	Caso 02 del registro sísmico Lima 1974.....	167
Figura 83.	Datos del registro sísmico de diseño Lima 1966 caso 02 con el SMC	169
Figura 84.	Datos del registro sísmico de diseño seleccionado Lima 1966 caso 02 con el SMC	170
Figura 85.	Aplicabilidad de sistema de disipación de energía y aislamiento	172
Figura 86.	Niveles de desempeño y estados de daño	172
Figura 87.	Tipos de edificios y denominaciones.	173
Figura 88.	Rango de derivas en función al estado de daño y tipo de edificación.	173



Figura 89.	Cálculo de deriva objetivo según Hazus.	174
Figura 90.	Cálculo de relación de amortiguamiento efectivo y viscoso.....	176
Figura 91.	Valores del parámetro λ	176
Figura 92.	Cálculo de periodos de la estructura del modelamiento.	177
Figura 93.	Cálculo de frecuencia natural y angular de la estructura	177
Figura 94.	Ubicación de los disipadores de energía en planta en eje X	178
Figura 95.	Ubicación de los disipadores de energía en planta en eje Y	179
Figura 96.	Determinación de la ubicación de los dispositivos en altura	180
Figura 97.	Disposición Chevron brace normal.....	181
Figura 98.	Valores de amplitud, vector de masa, desplazamientos absolutos y relativos y cálculo del coeficiente de amortiguamiento en la dirección X	183
Figura 99.	Valores de amplitud, vector de masa, desplazamientos absolutos y relativos y cálculo del coeficiente de amortiguamiento en la dirección Y	183
Figura 100.	Calculo de rigidez axial en el brazo del disipador en la dirección X.....	185
Figura 101.	Cálculo de rigidez axial en el brazo del disipador en la dirección Y.....	185
Figura 102.	Datos del disipador en el programa Etabs en la dirección X e Y.....	186
Figura 103.	Distribución de disipadores en elevación de dirección X e Y.	186
Figura 104.	Distribución de disipadores en planta	187
Figura 105.	Caso de carga de historia de respuestas no lineal de registro sísmico Lima 1966.....	188
Figura 106.	Distribución final de disipadores de energía de elevación en dirección X e Y	189
Figura 107.	Distribución final de disipadores de energía en planta del nivel 5	190
Figura 108.	Fuerzas axiales en los dispositivos en la dirección X	191
Figura 109.	Fuerzas axiales en los dispositivos en la dirección Y	192
Figura 110.	Selección de dispositivos según catálogo de Taylor De vice.....	192
Figura 111.	Diagrama de histéresis del máximo stroke en la dirección X (nivel 6, eje 1, entre los ejes C-D, K100).....	193
Figura 112.	Diagrama de histéresis del máximo stroke en la dirección Y (nivel 5, eje F, entre los ejes 2-3, K89)	194
Figura 113.	Balance de energía de la estructura.....	195
Figura 114.	Valores numéricos del balance de energía de la estructura	196
Figura 115.	Periodo fundamental de vibración.	198
Figura 116.	% variación de periodo fundamental de vibración.....	198



Figura 117. Diagrama de aceleraciones de entrepiso en “cm/s ² ” en la dirección “X”	200
Figura 118. Diagrama de aceleraciones de entrepiso en “cm/s ² ” en la dirección “Y”	201
Figura 119. % de variación de aceleraciones de entrepiso en la dirección “X”	201
Figura 120. % de variación de aceleraciones de entrepiso en la dirección “Y”	201
Figura 121. Resultados de fuerza cortante en la base en “ton” en la dirección “Y”	203
Figura 122. Diagrama de fuerza cortante en la base en “ton” en la dirección “X”	204
Figura 123. Diagrama de fuerza cortante en la base en “ton” en la dirección “Y”	205
Figura 124. % de variación de fuerza cortante en la base en la dirección “X”	205
Figura 125. % de variación de fuerza cortante en la base en la dirección “Y”	205
Figura 126. Diagrama de desplazamientos laterales en “cm” en la dirección “X”	207
Figura 127. Diagrama de desplazamientos laterales en “cm” en la dirección “Y”	208
Figura 128. % de variación de desplazamientos laterales en “X”	208
Figura 129. % de variación de desplazamientos laterales en “Y”	208
Figura 130. Diagrama de derivas en la dirección “X”	210
Figura 131. Diagrama de derivas en la dirección “Y”	210
Figura 132. % de variación de derivas en la dirección “X”	211
Figura 133. % de variación de derivas en la dirección “Y”	211
Figura 134. Estado comparativo del desempeño sísmico del sistema de muros estructurales ante sismo raro y muy raro.	217



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Niveles de movimiento sísmico	34
Tabla 2.	Estados de daño y niveles de desempeño.....	36
Tabla 3.	Tipos de estructura de edificio (edificio modelo)	39
Tabla 4.	Deriva en el límite de estado de daño según el nivel de diseño sísmico....	39
Tabla 5.	Deriva límite para daño no estructural promedio en elementos sensibles a derivas	41
Tabla 6.	Aceleración límite para daño no estructural promedio en elementos sensibles aceleraciones en gales	41
Tabla 7.	Adaptación de desempeño sísmico y estados de daño estructural	42
Tabla 8.	Adaptación de desempeño sísmico y estados de daño no estructural	43
Tabla 9.	Relación factor lambda – peso unitario del concreto	45
Tabla 10.	Espesor típico del aligerado y pesos propios	49
Tabla 11.	Peso estimado de la edificación según la categoría	52
Tabla 12.	Factores de zona “Z”	55
Tabla 13.	Resume valores típicos y clasificación de perfiles de suelo	55
Tabla 14.	Factor de suelo “S”	56
Tabla 15.	Periodos “TP” Y “TL”	56
Tabla 16.	Categoría de las edificaciones y factor “U”	56
Tabla 17.	Categoría y sistema estructural de las edificaciones.....	57
Tabla 18.	Categoría de la edificación e irregularidad	57
Tabla 19.	Coeficiente Básico de Reducción R_0	57
Tabla 20.	Irregularidades estructurales en altura	58
Tabla 21.	Irregularidades estructurales en planta.....	58
Tabla 22.	Límites para la distorsión del entrepiso	67
Tabla 23.	Coeficientes α y β	81
Tabla 24.	Factor de amortiguamiento β_M	84
Tabla 25.	Factores de modificación máximos y mínimos para fabricantes desconocidos	88
Tabla 26.	Factores de modificación máximos y mínimos para fabricantes calificados	89
Tabla 27.	Derivas en función al nivel de desempeño.....	104



Tabla 28.	Clasificación de estructura según altura de la edificación y sistema estructural.....	105
Tabla 29.	Sismos históricos de Perú	114
Tabla 30.	Predimensionamiento de losa aligerada, viga columna	119
Tabla 31.	Carga distribuida lineal de muros en los ejes principales	121
Tabla 32.	Carga distribuida lineal de muros en los ejes secundarios.....	121
Tabla 33.	Carga distribuida de muros en áreas de losa	121
Tabla 34.	Carga distribuida lineal de muros en los ejes principales	121
Tabla 35.	Carga distribuida lineal de muros en los ejes secundarios.....	122
Tabla 36.	Secciones finales de elementos estructurales.....	126
Tabla 37.	Verificación de Sistema Estructural.....	136
Tabla 38.	Ubicación del Centro de Masa y Rigidez.....	137
Tabla 39.	Resumen de irregularidades en altura	140
Tabla 40.	Resumen de irregularidades en planta	140
Tabla 41.	Periodos de vibración de la estructura y modos de vibración.....	141
Tabla 42.	Cortante basal mínimo	141
Tabla 43.	Derivas estático vs dinámico.....	141
Tabla 44.	Datos del modelamiento de la estructura convencional.....	143
Tabla 45.	Resumen valores calculados del sistema	150
Tabla 46.	Comprobación fuerza restauradora	152
Tabla 47.	Comprobación área reducida y el área efectiva >30%.....	153
Tabla 48.	Comprobación de deformaciones por corte <5.5	153
Tabla 49.	Parámetros a utilizar en el programa computacional ETABS V19	153
Tabla 50.	Cortante basal mínimo en límite inferior	161
Tabla 51.	Cortante basal mínimo en límite nominal	161
Tabla 52.	Cortante basal mínimo en límite superior	161
Tabla 53.	Fuerza lateral de diseño de subestructura V_b	161
Tabla 54.	Fuerza lateral de diseño de superestructura V_s	162
Tabla 55.	El desplazamiento total del sistema de aislamiento sísmico DTM.....	162
Tabla 56.	Desplazamiento del sistema de aislamiento sísmico.....	162
Tabla 57.	Deriva del sistema de aislamiento sísmico	163
Tabla 58.	Derivas en la dirección X e Y de espectro básico de diseño $R=1$	165
Tabla 59.	Derivas en la dirección X e Y de espectro de SMC.....	165
Tabla 60.	Registros sísmicos utilizados.	166



Tabla 61.	Resumen de derivas en dirección X en el Centro de masa del análisis historia de respuesta lineal con registros sísmicos escalados.	167
Tabla 62.	Resumen de derivas en dirección Y en el Centro de masa del análisis historia de respuesta lineal con registros sísmicos escalados.	168
Tabla 63.	Relación de derivas en dirección X en el Centro de masa, del análisis historia de respuesta lineal con espectro básico de diseño.....	168
Tabla 64.	Relación de derivas en dirección Y en el Centro de masa, del análisis historia de respuesta lineal con espectro básico de diseño.....	169
Tabla 65.	Cálculo de derivas con análisis historia de respuesta lineal del sismo de diseño seleccionado Lima 1966 caso 02 con el SMC.....	170
Tabla 66.	Presentación de derivas sin dispositivos, con dispositivos y porcentaje de reducción.....	190
Tabla 67.	Periodo fundamental de vibración (T) en “segundos”.....	197
Tabla 68.	Resultados de aceleraciones de entrepiso en “cm/s ² ” en la dirección “X”	199
Tabla 69.	Resultados de aceleraciones de entrepiso en “cm/s ² ” en la dirección “Y”	199
Tabla 70.	Resultados de fuerza cortante en la base en “ton” en la dirección “X” ...	203
Tabla 71.	Resultados de desplazamientos laterales en “cm” en la dirección “X” ...	206
Tabla 72.	Resultados de desplazamientos laterales en “cm” en la dirección “Y” ...	206
Tabla 73.	Resultados de derivas en la dirección “X”.....	209
Tabla 74.	Resultados de derivas en la dirección “Y”.....	209



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RNE: Reglamento Nacional de Edificaciones.

ASCE: American Society of Civil Engineers.

SAP: Structural Analysis Program.

DPS: Dispositivos de protección sísmica.

ASE: Aisladores Sísmicos Elastómeros.

DEFV: Disipadores de energía de fluido viscoso

NRB: Natural Rubber Bearing - Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento

HDR: High-Damping Rubber Bearing - Aislador elastomérico de alto amortiguamiento

LRB: Lead-plug Rubber Bearing - Aislador elastomérico con núcleo de plomo

FPS: Frictional Pendulum System - Aislador de péndulo friccional

TFP: Triple Friction Pendulum TFP - Aislador de Triple Péndulo de Fricción

SEAOC: Structural Engineers Association of California

FEMA: Federal Emergency Management Agency

ASCE: American Society of Civil Engineers

SMC: Sismo Máximo Considerado

AMD: Active Mass Damper - amortiguador de masa activa

TMD: Tuned Mass Damper- Amortiguador De Masa Sincronizada



RESUMEN

En la presente investigación se realizó un análisis del desempeño sísmico, estimado del proceso de modelamiento y análisis sísmico, realizada a la propuesta arquitectónica de una edificación de uso común con 12 niveles, en un sistema convencional, con aisladores elastoméricos y disipadores de energía de fluido viscoso, siguiendo un diseño de investigación experimental. Para el desarrollo de los objetivos primeramente, se realiza la estructuración y dimensionamiento de elementos estructurales a la propuesta arquitectónica, mediante un análisis sísmico, según la normativa E.030 “Diseño sismorresistente”, obteniendo así el modelamiento convencional, posteriormente y tomando como base al modelamiento convencional se procede al diseño de aisladores elastoméricos, según la normativa E.031 “Aislamiento sísmico” y el diseño de disipadores de energía de fluido viscoso, según el preestandar FEMA 356 obteniendo así el modelamiento del sistema con aisladores y con disipadores respectivamente. Una vez obtenidos los modelamientos, se procede a realizar un análisis historia de respuesta, con registros sísmicos escalados por un espectro sísmico correspondiente a un sismo máximo considerado (SMC), definido por la normativa E.031, para así obtener los parámetros de respuesta estructural con fines de determinar el desempeño sísmico para los tres sistemas. Finalmente se determinó el desempeño sísmico en función de las respuestas estructurales, teniendo como resultado que el modelamiento estructural de la edificación convencional, con aisladores y con disipadores alcanzan un nivel de desempeño de cerca al colapso, totalmente operacional y operacional respectivamente, concluyendo que un diseño convencional con la normativa E.030 no asegurara la seguridad de vida de las personas ante un SMC y que el uso tanto de aisladores y disipadores, mejoran de manera efectiva el nivel de desempeño de la edificación de uso común de 12 niveles.

Palabras claves: aisladores, desempeño sísmico, disipadores, estado de daño.



ABSTRACT

In the present investigation, an analysis of the seismic performance was carried out, estimated from the modeling process and seismic analysis, carried out on the architectural proposal of a building for common use with 12 levels, in a conventional system, with elastomeric insulators and fluid energy dissipators. viscous, following an experimental research design. For the development of the objectives, firstly, the structuring and dimensioning of structural elements to the architectural proposal is carried out, through a seismic analysis, according to the E.030 regulation "Earthquake resistant design", thus obtaining the conventional modeling, later and taking as a base the conventional modeling, we proceed to the design of elastomeric isolators, according to regulation E.031 "Seismic isolation" and the design of viscous fluid energy dissipators, according to the FEMA 356 pre-standard, thus obtaining the modeling of the system with isolators and with dissipators, respectively. Once the modeling has been obtained, a response history analysis is carried out, with seismic records scaled by a seismic spectrum corresponding to a maximum considered earthquake (SMC), defined by regulation E.031, in order to obtain the structural response parameters. in order to determine the seismic performance for the three systems. Finally, the seismic performance was determined based on the structural responses, with the result that the structural modeling of the conventional building, with insulators and dissipators, reached a performance level close to collapse, fully operational and operational, respectively, concluding that a design conventional with the E.030 standard will not ensure the safety of people's lives before an SMC and that the use of both insulators and dissipators effectively improve the performance level of the 12-level building for common use.

Keywords: seismic performance, isolators, dissipators, damage status.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La predicción del comportamiento de una estructura ante un evento sísmico, es un área que se viene estudiando desde el nacimiento de la Ingeniería Sismorresistente, teniendo en la actualidad el concepto de niveles de desempeño de una edificación, como una variable para la determinación de este comportamiento, siendo este concepto poco diversificado y utilizado en los reglamentos a nivel de Latinoamérica; y amenaza sísmica que representa el eventual movimiento sísmico al que será sometido una estructura. Componiendo estas dos premisas surge una interrogante ¿Cómo será el desempeño sísmico de una edificación ante una cierta amenaza sísmica?

En el Perú se tiene las normativas E.030 “Diseño Sismorresistente” (2018), el cual define un nivel de amenaza correspondiente a un “sismo de diseño” (con 10% de probabilidades de ser excedido en 50 años y con un periodo de retorno de 475 años) utilizado en la presente investigación, para el diseño de especifico de edificaciones de uso común y E.031 “Aislamiento sísmico” (2019), que define un nivel de amenaza de un “Sismo máximo considerado” (con 2% de probabilidades de ser excedido en 50 años y con un periodo de retorno de 2475 años) para el diseño de edificaciones con aislamiento sísmico; sin embargo, en ambas normativas vigentes a la fecha de la presente investigación no se menciona los niveles de desempeño que presentaran durante y después evento sísmico de una manera explícita. Si bien es cierto la normativa E.030 (2018), menciona en su artículo 3 que las estructuras se diseñan para un nivel de desempeño que resguarde la vida de las personas que se encuentren dentro de la edificación, cuando esta es sometida ante un sismo de diseño para un uso común, sin



embargo se desconoce si esta edificación podrá garantizar la seguridad de vida de las personas cuando la estructura sea sometida ante un sismo máximo considerado definido por la normativa E.031 (2019), es por este motivo que nace la necesidad de conocer y problematizar a la incertidumbre del desempeño sísmico de una estructura de uso común diseñada convencionalmente (con una amenaza de un sismo de diseño) siguiendo los lineamientos de la normativa E.030, ante un sismo máximo considerado.

Es materia de investigación de la ingeniería sismorresistente la obtención de un mejor comportamiento ante eventos sísmicos en las edificaciones, por lo que la presente investigación presenta como aporte al problema formulado en el anterior párrafo la implementación de aisladores elastoméricos y disipadores de energía de fluido viscoso a la estructura diseñada de manera convencional, con el objeto de conocer la medida en el que se puede mejorar su nivel de desempeño ante un sismo máximo considerado, mediante estos mecanismos. Así mismo se menciona que los aisladores elastoméricos y disipadores de energía de fluido viscoso, son los dispositivos más conocidos y disponibles comercialmente en el Perú, incrementándose en gran medida el uso de los mismos.

Adicionalmente se observa que el crecimiento poblacional de la ciudad de Puno se está dando de manera vertical por su topografía accidentada, por lo que en los últimos años se han estado construyendo edificaciones altas consideradas según HAZUS (2010) mayores a 8 pisos, siendo este tipo de edificaciones las más afectadas por un sismo. Para la presente investigación se tomó como muestra a la propuesta arquitectónica de una edificación de 12 niveles proyectada en la ciudad de Puno.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Pregunta general

¿Cómo es el desempeño sísmico del modelamiento estructural de una edificación de uso común de 12 niveles en un sistema convencional, ante un sismo máximo



considerado; presentara una mejora si se le añade aisladores elastoméricos o si se le añade disipadores de energía de fluido viscoso?

1.2.2. Pregunta específica

- ¿Cómo es la respuesta estructural y desempeño sísmico del modelamiento de un sistema convencional de la edificación de uso común de 12 niveles ante un sismo máximo considerado?
- ¿Cómo es la respuesta estructural y desempeño sísmico del modelamiento del sistema con aisladores elastoméricos de la edificación de uso común de 12 niveles ante un sismo máximo considerado?
- ¿Cómo es la respuesta estructural y desempeño sísmico del modelamiento del sistema con disipadores de energía de fluido viscoso, de la edificación de uso común de 12 niveles ante un sismo máximo considerado?
- ¿Mejora el desempeño sísmico del modelamiento del sistema convencional cuando se le añade un sistema de aisladores elastoméricos o disipadores de energía de fluido viscoso?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

El desempeño sísmico, del modelamiento estructural de la edificación de uso común de 12 niveles en un sistema convencional es muy deficiente ante un sismo máximo considerado; y mejora ampliamente con la implementación de un sistema de aisladores elastoméricos o disipadores de energía de fluido viscoso.



1.3.2. Hipótesis específicas

- La respuesta estructural y desempeño sísmico del modelamiento del sistema convencional de la edificación 12 niveles es muy deficiente ante un sismo máximo considerado.
- La respuesta estructural y desempeño sísmico del modelamiento del sistema con aisladores elastoméricos de la edificación de 12 niveles es muy favorable ante un sismo máximo considerado.
- La respuesta estructural y desempeño sísmico del modelamiento del sistema con disipadores de energía de fluido viscoso de la edificación de 12 niveles es favorable ante un sismo máximo considerado.
- El desempeño sísmico del modelamiento del sistema con aisladores elastoméricos o con disipadores de energía de fluido viscoso mejora ampliamente en comparación con el sistema convencional.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

En los últimos años se han desencadenado movimientos sísmicos en las costas del anillo de fuego del Pacífico, en donde se producen el 85% de sismos anuales, siendo el Perú, parte de esta zona con alto peligro sísmico. Países como Chile, EEUU, Japón, Honduras, México han sido afectados en gran medida por este fenómeno natural.

El Perú también ha sido afectado por eventos sísmicos en las últimas décadas, teniendo como anfitriones de estos eventos en los departamentos: Arequipa-Ocoña 2001 (con una magnitud de 8.4°), Pisco-Ica-Nazca 2007 (con una magnitud de 8°), Puno-Azángaro 2019 (con una magnitud de 7°), Loreto-Lagunas 2019 (con una magnitud de 8°) y Puno-Melgar-Ayaviri 2022 (con una magnitud de 6.9°).

Estados Unidos, Japón y en Sudamérica Chile, son los países con mayor desarrollo en Ingeniería Sismorresistente, debido a que han sufrido en toda su historia de la edad



Contemporánea, los movimientos sísmicos con mayor magnitud e intensidad. El uso de dispositivos de protección sísmica como son los aisladores sísmicos y disipadores de energía han sido de gran ayuda para estos países obteniendo desempeños adecuados ante eventos sísmicos reales que sufrieron estas edificaciones. Se afirma que actualmente gran parte de las edificaciones cuentan con sistemas de aisladores elastoméricos y disipadores de energía de fluido viscoso, debido a que son de los más comerciales.

La presente investigación busca realizar una revisión, del nivel de desempeño de una edificación de uso común, diseñado en base a un sismo de diseño definido por la normativa E.030 “Diseño sismorresistente”, cuando es sometido a un sismo máximo considerado. De esta manera buscando revisar, la efectividad, de la normativa vigente ante una amenaza sísmica probable como lo es el sismo máximo considerado no descrito en la normativa E.030.

La investigación cuenta, con un análisis de resultados del desempeño sísmico del modelamiento estructural de una edificación de 12 niveles: en un sistema convencional, con aisladores elastoméricos y con disipadores de energía de fluido viscoso, donde se busca proponer alternativas de mejora estructural a una edificación de uso común diseñado con los requisitos de un sismo de diseño (definido por la normativa E.030) cuando se somete a un sismo máximo considerado, riesgo que es completamente probable en el Perú, por razones que se describen en el primer párrafo de este ítem. Así mismo se busca difundir los sistemas más conocidos y comerciales de protección sísmica que son los aisladores elastoméricos y disipadores de energía de fluido viscoso, haciendo de esta manera el uso de estas alternativas de solución estructural más frecuentes.

Adicionalmente se toma como referencia al Decreto Supremo N° 003-2016-VIVIENDA, que modifica la normativa E.030 Diseño sismorresistente (2016) del RNE, donde se menciona que “se permite la utilización de sistemas de aislamiento sísmico o de



disipación de energía en una edificación, siempre y cuando se cumplan las disposiciones de esta norma como la mínima fuerza cortante en la base y distorsión de entrepiso máxima permisible”.

Por último, se comenta que cualquier trabajo de investigación en la línea de fenómenos naturales, tiene la finalidad de prevenir y evitar que este se convierta en desastre, por esto se menciona el comentario de la Doctora en Ingeniería Sismorresistente, Carmen Fernández (Chile) - “Durante un evento sísmico ya no se puede hacer nada solo rezar si se es creyente, la tarea es antes”.

1.5. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Obtener y analizar el desempeño sísmico del sistema convencional, con aisladores elastoméricos y con disipadores de energía de fluido viscoso de una edificación de uso común de 12 niveles.

1.5.2. Objetivos específicos

- Obtener la respuesta estructural y desempeño sísmico del modelamiento del sistema convencional de la edificación de 12 niveles.
- Obtener la respuesta estructural y desempeño sísmico del modelamiento del sistema con aisladores elastoméricos de la edificación de 12 niveles.
- Obtener la respuesta estructural y desempeño sísmico del modelamiento del sistema con disipadores de energía de fluido viscoso de la edificación de 12 niveles.
- Analizar el desempeño sísmico del modelamiento estructural del sistema convencional, con aisladores elastomericos y con disipadores de energía de fluido viscoso.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Los fenómenos naturales como la sequía, lluvia , inundaciones, actividad sísmica han sido uno de los causantes de la pérdida de vidas humanas desde tiempos pre históricos, sin embargo los movimientos sísmicos son los que más repercusión han tenido en el mundo actual, siendo causante de la destrucción de diferentes ciudades importantes a nivel mundial, grandes crisis debido a las pérdidas económicas suscitadas por el evento y post evento sísmico, como es el caso de los sismos México (1985), Chile-Valdivia (1960), EE.UU-Alaska (1964), Japón-Costa de Honsho (2011) y Perú (1868).

En la actualidad se ha desarrollado tecnologías para la protección sísmica de edificaciones, sin embargo, estas tecnologías no son exclusivamente del mundo contemporáneo, ya que se han encontrado mecanismos de protección sísmica en culturas como la Greca- Romana, donde se colocaban capas de área de arena y grava debajo de las cimentaciones de sus edificaciones para que estas se deslicen en un evento sísmico, en Irán se han encontrado edificaciones con troncos en su cimentación, los cuales funcionaban como deslizadores en un evento sísmico.

En el mundo contemporáneo en países como Japón, Chile y EE. UU, se cuenta con normativas para el diseño de edificaciones con mecanismos de protección sísmica, esto se debe a que estos países han sido víctimas de los sismos más destructivos y con las magnitudes e intensidades más altas en las últimas décadas. En EE. UU, el SEAOC (1986), realizó una publicación denominada “Tentative Seismic Isolation Desing Requeriments”, donde se presentan métodos estáticos para el diseño de tecnología de protección sísmica; posteriormente en el año de 1995 el FEMA (Federal Emergency



Magnament Agency”), presenta requerimientos para el diseño de Aislamiento Sísmico FEMA274, y en el año de 1997 adiciona los requerimientos para diseñar Disipadores de Energía o Amortiguadores.

En el 2003, Chile, adiciona a su normativa metodología de diseño para Aisladores Sísmicos basados en el FEMA 274 (1997), y para el año 2013, debido al sismo Chile (2010) el cual fue de una magnitud de 9° en la escala de Richter, se modificó y adiciono nuevos requerimientos y especificaciones para el diseño de estos dispositivos.

En los últimos años investigadores han estudiado la influencia de estos mecanismos de protección sísmica mediante la respuesta estructural de edificaciones analizadas con y sin el uso de estos dispositivos de protección sísmica.

2.1.1. Antecedentes internacionales

En estudios realizados a edificaciones con aislamiento sísmico tenemos a Arriagada (2005), en su tesis de pregrado titulado “Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos”, donde analizo un edificio de 7 pisos con y sin Aisladores Sísmicos, desde un enfoque estructural y económico, concluyendo que el comportamiento del dispositivo de protección sísmica es mucho más seguro que el convencional en la edificación, conllevando a que el dimensionamiento y diseño de acero de las secciones de columna se reduzcan en un 25%, también económicamente y a largo plazo, el costo del edificio aislado resulta ser un 50% más económico que el edificio convencional.

Estudios realizados a edificaciones con disipadores de energía fueron realizados por Miyamoto y Galiani (2011), donde analizaron la respuesta estructural de una edificación con disipadores de energía, en el mismo compararon costos de la edificación con y sin estos dispositivos, donde concluyeron que la edificación con disipadores de energía tenía un menor costo a largo plazo.



Estudios de comparación entre comportamiento estructural para los sistemas convencional, aislado en la base y con el uso de disipadores sísmicos en una estructura Ruiz y Torres (2018), donde se evaluó el desempeño de cada uno de los sistemas estructurales propuestos con la ayuda del software ETABS 2016 utilizando la metodología tiempo historia no lineal para lo cual fue necesario utilizar registros sísmicos que representen las aceleraciones del lugar de la estructura en estudio. Obteniendo el desempeño sísmico en la estructura convencional alcanza un nivel de desempeño de prevención de colapso, para la estructura con aisladores de base se ubica en el nivel totalmente operacional y un nivel de ocupación inmediata para la estructura con disipadores de energía.

2.1.2. Antecedentes nacionales

En el Perú se encuentra un estudio propuesto por Portillo (2019), en el cual propone un procedimiento de diseño de aisladores sísmicos elastoméricos, tomando como base el proyecto de un hospital moderno que se ubicara en el distrito de Llata región de Huánuco basándose en los lineamientos del antes Proyecto de norma E.031 “Aislamiento Sísmico”, el cual dio como producto un juego completo de planos estructurales tanto como de la subestructura y superestructura.

Fuentes (2015), realizó una investigación sobre el funcionamiento de los disipadores de energía de fluido viscoso lineal y no lineal, concluyendo que los disipadores no lineales reducen en mayor medida las fuerzas internas de los elementos estructurales.

Herrera (2018), propuso un análisis comparativo de Aisladores Sísmicos y Disipadores de Energía, de una estructura virtual donde concluye que las edificaciones con gran altura se desempeñan mejor con disipadores y con poca altura con aisladores sísmicos.



2.1.3. Antecedentes locales

En la región de Puno – Perú; Chacón (2018), realizó un estudio de la eficiencia de la respuesta sísmica de un hospital denominado “Hospital Materno Infantil Juliaca – Puno”, analizando 3 tipos de aisladores sísmicos (HDR, LRB y TFP), llegando a la conclusión que el TFP es el más idóneo para la edificación.

Luque (2016), propuso alternativas de reducción de la demanda sísmica mediante aisladores de base elastoméricos (HDR, HDR+LRB) y de fricción, a la propuesta estructural de la edificación de 15 pisos ubicada en la Universidad Nacional del Altiplano de la ciudad de Puno, donde se concluyó que los aisladores de fricción tipo FPS, reducen la demanda sísmica de desplazamiento y aceleración en mayor medida en comparación con los elastoméricos en sus dos configuraciones analizadas HDR y HDR+LRB.

Quenta (2017), planteo un sistema de aislamiento sísmico a los bloques 15 (regular) y 19 (irregular) del hospital “Lucio Aldazabal Pauca” ubicada en la ciudad de Huancané, donde a la propuesta arquitectónica de dichos bloques, se le realizó la estructuración y dimensionamiento de elementos estructurales, mediante un análisis sísmico, siguiendo los lineamientos de la normativa E.030 “Diseño Sismorresistente” – 2016. Posterior a ello se diseñó un sistema aisladores elastoméricos del tipo HDR, a las estructuras de los bloques previamente dimensionados, llegando a la conclusión que en el bloque 15 (regular), se tiene una reducción de distorsión de entrepiso a un 59.57% y en el bloque 19 irregular una reducción de 40.68%, respecto al sistema convencional, por tal motivo se afirmó que el sistema con aislamiento presenta menores demandas en comparación con el convencional y la reducción las mismas, es más favorable en una estructuración regular frente a una irregular.



2.2. MARCO TEÓRICO – GENERALIDADES

2.2.1. Definición de términos

2.2.1.1. Aisladores sísmicos

“Elemento estructural del sistema de aislamiento sísmico que es verticalmente rígido y horizontalmente flexible, y que permite grandes deformaciones laterales bajo sollicitaciones sísmicas” (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)

2.2.1.2. Disipadores de energía

“Elemento estructural flexible axialmente del sistema de amortiguamiento, que disipa la energía, causada por el movimiento relativo de cada extremo del dispositivo” (ASCE 7 Capítulo 18, 2016).

2.2.1.3. Aceleración sísmica de piso:

Es la aceleración que experimentan los pisos de la estructura al estar sometido a un movimiento del terreno ocasionado por un sismo (Chopra, 2014, pág. 23)

2.2.1.4. Aceleración sísmica:

“La aceleración sísmica es una medida utilizada en terremotos que mide de manera directa las aceleraciones que sufre el terreno; por lo tanto, siendo su unidad de medición la intensidad del campo gravitatorio; es decir, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ” (Instituto Geofísico del Perú, s.f.)

“En ingeniería, la aceleración sísmica es la medida de un terremoto más utilizada, por lo tanto, sus valores son considerados para la elaboración de las normas sísmicas y mapas de zonificación sísmica” (Instituto Geofísico del Perú, s.f.)

2.2.1.5. Periodo

“Es el tiempo requerido para que un sistema complete un ciclo de vibración” (Chopra, 2014, pág. 41)



2.2.1.6. Desplazamiento

Se define como el cambio de posición que experimenta un punto en la estructura, ocasionada por la acción de fuerzas externas como cargas sísmicas, cargas gravitacionales, etc. (Chopra, 2014, pág. 8)

2.2.1.7. Deriva de entrepiso

“Es la diferencia del desplazamiento de dos entrepisos dividido entre la altura del piso, también conocida como distorsión angular de piso” (E.030 Diseño Sismorresistente, 2018)

2.2.1.8. Cortante basal

“Es la sumatoria de las fuerzas cortantes de cada piso tomando como valor máximo en la base del edificio” (E.030 Diseño Sismorresistente, 2018)

2.2.1.9. Nivel de desempeño

“Representa una condición límite de daños físicos sobre una edificación, considerando los daños estructurales y no estructurales, usando la definición de objetivos de desempeño” (ASCE 41, 2017)

2.2.1.10. Amortiguamiento

Es un proceso mediante el cual se disipa energía de vibración por medio de diversos mecanismos de un sistema, se puede definir también como la reducción gradual de la amplitud en un proceso de vibración libre de una estructura. (Chopra, 2014, pág. 7)

2.2.1.11. Norma o código

“Es un documento publicado por una organización de desarrollo de estándares (SDO) que debe ser considerado como obligatorio para su uso dentro de su alcance establecido” (Medina, 2016)



2.2.1.12. Estándar

“Es un documento publicado por un SDO que contiene métodos y requisitos estandarizados. Los requisitos en los estándares deben considerarse obligatorios a menos que se haya elaborado documentación escrita para justificar alternativas” (Medina, 2016)

2.2.1.13. Practica recomendada

“Es un documento publicado por un SDO que contiene pautas que usualmente no se consideran obligatorias pero que deben seguirse a menos que se pueda desarrollar una justificación para no hacerlo” (Medina, 2016)

2.2.1.14. Publicación

“Es un documento que contiene información útil pero que no se considera que contenga requisitos obligatorios o directrices” (Medina, 2016)

2.3. NORMAS VIGENTES DE DISEÑO Y SOFTWARE

Para la realización, del presente trabajo de investigación se recurrió al contenido de normativas, códigos, estándares y publicaciones; las mismas que indican procedimientos de diseño de los sistemas estructurales propuestos y el análisis respuestas. En la investigación se dan uso a los siguientes documentos: para el metrado de cargas la normativa E.020 “Cargas”, para el análisis sísmico la normativa E.030 “Diseño sismorresistente”, para el aislamiento sísmico la normativa E.031 “Aislamiento Sísmico”, para disipadores de energía el preestándar FEMA 356 y el estándar ASCE 7-16 y para el análisis por desempeño los manuales técnicos de la metodología HAZUS, VISION 2000-SEAOC y el estándar ASCE 41-2017. Se utiliza para el modelamiento, cálculo de los sistemas convencional, con aisladores elastoméricos y con disipadores de energía de fluido viscoso, el software computacional “ETABS” en su versión 19.

2.4. DESEMPEÑO SÍSMICO

Las normas de diseño sísmico, presentan la mayoría metodologías de evaluación para diseño sísmico, considerando solo un nivel de movimiento de terreno para el cual la edificación no debería colapsar. Por ello, se impulsaron una variedad de propuestas de evaluación del desempeño sísmico en edificaciones. Actualmente se destacan los niveles de desempeño y estados de daño propuestos por las publicaciones de la metodología HAZUS 2.1 2010, estándar ASCE 41-2017 y algunas más antiguas como, VISION 2000-SEAOC y ATC.

En el desempeño sísmico se realiza una cuantificación del daño sufrido en una edificación afectada por un movimiento del terreno y las consecuencias que tiene de este daño en sus funciones post-sismo.

El diseño basado en desempeño implica la elección de diversos procesos de evaluación de manera apropiada que condicione el dimensionado y detallado tanto de los elementos estructurales, como no estructurales, de manera que, para una cierta amenaza sísmica, la estructura no se dañe más allá de los límites establecidos.

El comportamiento que se espera de un edificio cuando está sometido a movimientos sísmicos depende de los siguientes conceptos básicos: el nivel de desempeño, el nivel de amenaza y el desempeño esperado de un edificio.

2.4.1. Nivel de amenaza sísmica

Según la publicación del SEAOC (1995): Los movimientos de terreno se presentan en espectros de respuesta, aceleraciones pico, etc. para fines de diseño. El periodo de retorno y la probabilidad de ser excedida en una cierta cantidad de años se pueden relacionar mediante la siguiente formula:

$$T = -\frac{t}{\ln(1-p)}$$

T: Periodo de retorno (años)

p: Probabilidad de ser excedida

t: Tiempo de exposición (años)

2.4.1.1. Nivel de amenaza sísmica según VISION 2000

La propuesta del Comité VISION 2000 (SEAOC, 1995) establece cuatro niveles de amenaza sísmica, los cuales se muestran en la siguiente figura:

Tabla 1. Niveles de movimiento sísmico

Nivel del movimiento sísmico	Periodo medio de retorno (T)	Probabilidad de excedencia (p,t)
Frecuente	43 años	69% en 50 años
Ocasional	72 años	50% en 50 años
Raro	475 años	10% en 50 años
Muy Raro	2475 años	2% en 50 años

Fuente: (SEAOC, 1995)

2.4.1.2. Nivel de amenaza sísmica según ATC-40

La publicación ATC-40 (1996) define tres niveles de amenaza sísmica, los cuales son denominados de la siguiente manera:

Sismo de servicio (SS): corresponde a un movimiento del terreno de bajo a moderado nivel de intensidad, se presenta frecuentemente y tiene una probabilidad del 50% de ser excedido en 50 años, con un período de retomo de 72 años. Representa aproximado del 50% del sismo de diseño.

Sismo de diseño (SD): corresponde a un movimiento del terreno de moderado a severo nivel de intensidad, se presenta con poca frecuencia y tiene una probabilidad el 10 % de ser excedido en un periodo de 50 años, con un período de retorno de 475 años. A menudo se establecen las normas de diseño latinoamericanas para las estructuras convencionales.

Sismo máximo (SMC): corresponde a un movimiento del terreno de severo a muy severo nivel de intensidad, se presenta en muy rara ocasión, que tiene una probabilidad del 5 % de ser excedido en 50 años, con un período de retorno de 975 años.

2.4.1.3. Nivel de amenaza sísmica según ASCE 7-16

El estándar ASCE 7-16, define explícitamente 2 niveles de amenaza sísmica:

Sismo máximo considerado (MCE): Corresponde al efecto sísmico más severo definido por el estándar ASCE 7 (2016). Se divide en 2: MCEg correspondiente al sismo máximo considerado, que define el valor máximo promedio de respuesta de aceleración (PGAM) y el MCEr, que define el valor máximo de respuesta en el suelo en el sentido horizontal. El cual considera con una probabilidad de 2 % de excedido en 50 años y con un periodo de retorno de 2475 años.

Sismo básico de diseño (BDE): Corresponde al efecto sísmico básico definido por el estándar ASCE 7 (2016). Este sismo representa los 2/3 del sismo máximo considerado según las recomendaciones del NERPH (2009). El cual considera que tiene una probabilidad de 10 % de excedido en 50 años, con un periodo de retorno de 475 años.

2.4.1.4. Nivel de amenaza sísmica según E.030 y E.031 del RNE

Sismo máximo considerado (SMC): La normativa E.031 “Aislamiento sísmico” (2019) del RNE, define al sismo máximo considerado como 1.5 veces el sismo de diseño especificado en la normativa E.030 “Diseño sismorresistente.

Sismo de diseño: Corresponde al efecto sísmico definido por la normativa E.030 “Diseño sismorresistente”. En donde se determina la demanda sísmica mediante aceleraciones máximas horizontales con una probabilidad del 10% de ser excedida en 50 años y con periodo de retorno de 475 años.

2.4.2. Nivel de desempeño

El nivel de desempeño describe un estado límite de daño. Representa una condición límite o tolerable establecida en función de los posibles estados de daños, físicos sobre la edificación, la amenaza sobre la seguridad de ocupantes y funcionalidad de estructura posterior al sismo.

2.4.2.1. Desempeño sísmico según VISION 2000

Totalmente Operacional. - Nivel en el cual no ocurren daños, la edificación permanece funcional, disponible para su uso después del evento sísmico y no requiere reparación.

Operacional. - Nivel en el cual ocurren daños moderados en elementos no estructurales y en el contenido de la edificación, la edificación puede ser ocupada inmediatamente después del evento sísmico. Se requiere algunas reparaciones.

Seguridad. - Nivel en el cual ocurren daños moderados en los elementos estructurales y el contenido de la edificación se ve afectado. La rigidez lateral de la edificación se reduce notablemente, pero no se encuentra cerca al colapso. Las instalaciones quedan fuera de servicio el edificio requiere reparaciones importantes

Pre-Colapso. - Nivel en el cual el daño es severo, la rigidez lateral se degrada notablemente y no se podrá habilitar el edificio. La edificación es completamente insegura para los ocupantes y el costo de reparación es tan alto que lo recomendable es construir un edificio nuevo.

Se resume alguna de las principales características asociadas a niveles de desempeño y su relación con estado de daño:

Tabla 2. Estados de daño y niveles de desempeño

Estado de daño	Nivel de desempeño	Características principales
Despreciable	Totalmente operacional	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Las instalaciones continúan prestando servicios y funciones después del sismo.
Ligero	Operacional	Daños ligeros. Las instalaciones esenciales continúan en servicio y las no esenciales pueden sufrir interrupciones de inmediata recuperación.
Moderado	Seguridad	Daños moderados. La estructura sufre daños pero permanece estable. Seguridad de ocupantes. Algunos elementos no estructurales pueden dañarse.
Severo	Pre-Colapso	Daño estructural severo, en la proximidad del colapso estructural. Falla de elementos no estructurales. Seguridad de ocupantes comprometida.
Completo	Colapso	Colapso estructural.

Fuente: (SEAOC, 1995)

2.4.2.2. Desempeño sísmico estructural según ASCE 41-17

Según lo descrito en el capítulo 2 del estándar ASCE 41 (2017), define los siguientes niveles de desempeño estructural:

Ocupación Inmediata (S-1). – Es definido como el estado de daño después del sismo, en el cual una estructura conserva la fuerza y rigidez (entre otras propiedades), que poseía antes del sismo, por lo tanto y a su vez, sigue siendo segura para su ocupación después del evento sísmico.

Control del daño (S-2). - Se define como un estado estructural después del sismo, que se encuentra entre el nivel de desempeño estructural de Seguridad de Vida (S-3) y el nivel de desempeño de ocupación inmediata (S-1). Se puede estimar como el punto intermedio exacto entre S-1 y S-3 mediante interpolación.

Seguridad de vida (S-3). - Se define como el estado estructural después del sismo, en el cual la estructura presenta daño de sus componentes estructurales, pero conserva un margen de seguridad para su colapso parcial o total.

Seguridad Limitada (S-4). – Se define como un estado estructural después del sismo, que se encuentra entre el nivel de desempeño estructural de prevención al colapso (S-5) y el nivel de desempeño de seguridad de vida (S-3). Se puede estimar como el punto intermedio exacto entre S-3 y S-5 mediante interpolación.

Prevención al colapso (S-5). - Se define como el estado estructura después del sismo, en el cual una estructura tiene componentes estructurales altamente dañados, pero continúa soportando las cargas por gravedad, sin embargo, en este nivel de desempeño no se tiene ningún margen de colapso.

2.4.2.3. Desempeño sísmico no estructural según ASCE 41-17

Según lo descrito en el capítulo 2 del estándar ASCE 41 (2017), define los siguientes niveles de desempeño no estructural:



Operacional (N-A). – Es el estado de daño posterior al sismo, en el que los componentes no estructurales pueden desempeñar las mismas funciones y en igual medida que lo hacían antes del terremoto.

Retención de posición (N-B). - Es el estado de daño posterior al sismo en el cual los componentes no estructurales, se dañan hasta un nivel que no puedan funcionar inmediatamente, sin embargo, están asegurados de daños causados por caídas, vuelcos o roturas de conexiones de servicios públicos. Los sistemas de acceso a la estructura, puertas, escaleras, ascensores, iluminación de emergencia, alarmas contra incendios, y los sistemas de supresión de incendios, permanecen disponibles y operable, siempre que la energía y los servicios públicos estén disponibles.

Seguridad de vida (N-C). - Es el estado de daño posterior al sismo, en el que los componentes no estructurales se dañan, sin embargo, no representa una amenaza para la seguridad de la vida.

Riesgos reducidos (N-D). – Se define como el estado de daño posterior al sismo en el cual componentes no estructurales están dañados y presentan potencialmente el riesgo a caídas, sin embargo, los componentes no estructurales de alto riesgo, están asegurados para evitar caídas en áreas de reunión pública y que pueda representar un riesgo a la seguridad de vida de muchas personas a la vez. La seguridad de vida de las personas que dependan de la conservación de la salida, del sistema de protección contra incendios y problemas similares de seguridad humana, no se abordan en este nivel de desempeño no estructural.

2.4.2.4. Daño estructural según HAZUS

Para definir el daño estructural para edificios se describen mediante valores de deriva que definen los límites de los estados de daño leve, moderado, extenso y completo.

En general, estas estimaciones de la deriva son diferentes para cada tipo de edificio modelo (incluida la altura) y nivel de diseño sísmico.

Tipos de edificio según altura. - en edificios de concreto armado, Hazus clasifica a las edificaciones de concreto armado en tres tipos: pórticos de concreto armado (C1), muros de corte de concreto (C2) pórticos de concretos rellenos de muros de albañilería (C3), y a su vez a cada tipo se realiza una distinción en función a la altura de la edificación: medianos (M), bajos (L) y altos (H), como se muestra en la siguiente figura:

Tabla 3. Tipos de estructura de edificio (edificio modelo)

Tipo de estructura	Descripción	Nombre	Número de pisos
C1L	Pórticos de concreto armado (C1)	Bajo	1-3
C1M		Mediano	4-7
C1H		Alto	8+
C2L	Muros de corte de concreto (C2)	Bajo	1-3
C2M		Mediano	4-7
C2H		Alto	8+
C3L	Pórticos de concreto rellenos con muros de albañilería (C3)	Bajo	1-3
C3M		Mediano	4-7
C3H		Alto	8+

Fuente: (HAZUS, 2010)

Nivel de diseño sísmico. - en cuanto al nivel de diseño estructural, Hazus considera 4 niveles: alto, moderado, bajo y pre-código. Los tipos de daño se dividen en leve, moderados, severos y completos. En la figura se muestra la lista de las relaciones de deriva del estado de daño para todos los tipos de edificios para cada nivel de diseño sísmico.

Tabla 4. Deriva en el límite de estado de daño según el nivel de diseño sísmico



Nivel de diseño sismico	Tipo de estructura	Distorsion angular de entrepiso en el limite de estado de daño			
		Daño leve	Daño moderado	Daño severo	Daño completo
Alto	C1L	0.0050	0.0100	0.0300	0.0800
	C1M	0.0033	0.0067	0.0200	0.0533
	C1H	0.0025	0.0050	0.0150	0.0400
	C2L	0.0040	0.0100	0.0300	0.0800
	C2M	0.0027	0.0067	0.0200	0.0533
	C2H	0.0020	0.0050	0.0150	0.0400
Moderado	C1L	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600
	C1M	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400
	C1H	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300
	C2L	0.0040	0.0084	0.0232	0.0600
	C2M	0.0027	0.0056	0.0154	0.0400
	C2H	0.0020	0.0042	0.0116	0.0300
Bajo	C1L	0.0050	0.0080	0.0200	0.0500
	C1M	0.0033	0.0053	0.0133	0.0333
	C1H	0.0025	0.0040	0.0100	0.0250
	C2L	0.0040	0.0076	0.0197	0.0500
	C2M	0.0027	0.0051	0.0132	0.0333
	C2H	0.0020	0.0038	0.0099	0.0250
Pre - codigo	C3L	0.0030	0.0060	0.0150	0.0350
	C3M	0.0020	0.0040	0.0100	0.0233
	C3H	0.0015	0.0030	0.0075	0.0175
	C1L	0.0040	0.0064	0.0160	0.0400
	C1M	0.0027	0.0043	0.0107	0.0267
	C1H	0.0020	0.0032	0.0080	0.0200
	C2L	0.0032	0.0061	0.0158	0.0400
	C2M	0.0021	0.0041	0.0105	0.0267
	C2H	0.0016	0.0031	0.0079	0.0200
	C3L	0.0024	0.0048	0.0120	0.0280
	C3M	0.0016	0.0032	0.0080	0.0187
	C3H	0.0012	0.0024	0.0060	0.0140

Fuente: (HAZUS, 2010) 215-218

2.4.2.5. Daño no estructural según HAZUS

Para definir el daño no estructural se considera 4 estados de daño: Leve, moderado, extenso y completo. El daño no estructural como tabiques, equipamientos, etc. Sufren daños cuando se somete a la estructura a las derivas y aceleraciones de entrepiso.

El daño en los componentes no estructurales se divide en dos: los sensibles a las aceleraciones y derivas de entrepiso. Los elementos no estructurales sensibles a las derivas de entrepiso son los muros divisorios o tabiques con sus acabados; y los elementos

sensibles a la aceleración son en su mayoría los equipamientos como ascensores, maquinas, equipos de hospital, etc.

Tabla 5. Deriva límite para daño no estructural promedio en elementos sensibles a derivas

Relacion de deriva en elemetnos no estructurales			
Leve	Moderado	Extenso	Completo
0.004	0.008	0.025	0.050

Fuente: (HAZUS, 2010) 215-218

Tabla 6. Aceleración límite para daño no estructural promedio en elementos sensibles aceleraciones en gales

Nivel de diseño sismico	Aceleracion de piso en elemetnos no estructurales			
	Leve	Moderado	Extenso	Completo
codigo alto	0.30	0.60	1.20	2.40
corliao moderado	0.25	0.50	1.00	2.00
codigo bajo	0.20	0.40	0.80	1.60
pre codigo	0.20	0.40	0.80	1.60

Fuente: (HAZUS, 2010)215-218

Según HAZUS, el daño en componentes no estructurales como tabiques, mismos que son sensibles a derivas se clasifican de la siguiente manera.

Daño no estructural leve: Se observan algunas grietas en las intersecciones de paredes, techos y en las esquinas de las aberturas de las puertas.

Daño no estructural moderado: Se presentan grietas más grandes y extensas que requieren reparación y repintado, algunas particiones pueden requerir el reemplazo de placas de yeso u otros acabados.

Daños no estructurales extensos: La mayoría de las particiones están agrietadas y una parte significativa puede requerir reemplazo de acabados; algunos marcos de las puertas en las particiones también están dañados y requiere reajuste.

Daño no estructural completo: La mayoría de los materiales de acabado de las particiones y los marcos tienen que ser eliminados y reemplazados. Se repararán los

montantes dañados y se tendrán que restaurar las paredes. La mayoría de los marcos de las puertas también deben de ser reparados y reemplazados.

El daño en componentes no estructurales como ascensores y otros equipos, mismos que son sensibles a aceleraciones, se clasifican de la siguiente manera:

Daño no estructural leve: El equipo más vulnerable (por ejemplo, sin anclaje o en resorte aisladores) se mueve y daña las tuberías o conductos adjuntos.

Daño no estructural moderado: Los movimientos son más grandes y el daño es más extenso; tubería fugas en algunos lugares; La maquinaria y los rieles del elevador pueden requerir realineación.

Daños no estructurales extensos: El equipo de los aisladores de resorte se vuelca y cae; otro el equipo no anclado se desliza o cae rompiendo conexiones a tuberías y conductos; las fugas se desarrollan en muchas ubicaciones; Los equipos anclados indican pernos estirados o tensión en los anclajes.

Daño no estructural completo: El equipo se daña por deslizamiento, vuelco o falla de sus soportes y no es operable; las tuberías tienen fugas en muchos lugares; algunos soportes de tuberías y conductos han fallado, lo que ha provocado que las tuberías y los conductos se caigan o cuelguen; los rieles del elevador están doblados o tienen soportes rotos y / o contrapesos descarrilados.

Tabla 7. Adaptación de desempeño sísmico y estados de daño estructural

ASCE 41-17	VISION 2000	HAZUS
Ocupación inmediata	Totalmente operacional	Despreciable
Control de daño	Operacional	Leve
Seguridad de vida	Seguridad	Moderado
Seguridad Limitada		
Prevención al colapso	Pre colapso	severo
-----	Colapso	Completo

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 8. Adaptación de desempeño sísmico y estados de daño no estructural

ASCE 41-17	VISION 2000	HAZUS
Operacional	Totalmente operacional	Despreciable
Retención de posición	Operacional	Leve
Seguridad de vida	Seguridad	Moderado
Riesgos reducidos	Pre colapso	severo
----	Colapso	Completo

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

2.4.3. Desempeño esperado de una edificación

El desempeño esperado de una edificación describe un comportamiento sísmico que pueden considerarse satisfactorio para una edificación sometida a movimientos sísmicos de diferentes intensidades. Pueden definirse múltiples niveles de desempeño esperado de la edificación para cada uno de los niveles de movimientos, su elección debe estar basada en características y ocupación de la edificación, importancia, consideraciones económicas relacionadas con los costos de reparación de daño y de interrupción de servicios, etc.

El desempeño esperado de las edificaciones establece los requerimientos mínimos sobre el desempeño sísmico ante diferentes niveles de amenaza sísmica. De acuerdo al grado de importancia de la edificación se recomiendan desempeños esperados en edificaciones como se muestra en la figura:

		Nivel de desempeño sísmico				
		Totalmente operacional	Operacional	Seguridad de vida	Prevencion del colapso	Colapso
1	Edificaciones básicas					
2	Edificaciones esenciales					
3	Edificaciones de seguridad crítica					
0	Desempeño inaceptable					
Nivel de movimiento sísmico	Sismo frecuente (43 años)	1	0	0	0	0
	Sismo ocasional (72 años)	2	1	0	0	0
	Sismo raro (475 años)	3	2	1	0	0
	Sismo muy raro (2475 años)	3	3	2	1	0

Figura 1. Adaptación de matriz de desempeño sísmico según Visión y HAZUS

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Importancia de la Edificación. - De acuerdo al grado de importancia de la edificación, durante y después de un sismo, la propuesta del Comité VISION 2000 clasifica a las edificaciones en tres grandes grupos:

- Edificaciones de Seguridad Crítica. Aquellas que contienen materiales peligrosos. Se encuentran: plantas industriales y centrales nucleares.

- Edificaciones Esenciales. Similares a las denominadas esenciales por la norma E-030, como hospitales, cuarteles de bomberos, policía, etc.

- Edificaciones Comunes. En este grupo se encuentran todas las edificaciones que no hayan sido incluidas anteriormente: edificios de viviendas, oficinas, hoteles, entre otras.

		Nivel de desempeño sísmico				
		Totamente operativo	Operacional	Seguridad de vida	Prevención del colapso	Colapso
	Edificaciones básicas					
	Edificaciones esenciales					
	Edificaciones de seguridad crítica					
	Desempeño inaceptable					
Nivel de movimiento sísmico	Sismo frecuente (43 años)	≤0.0016	0.0016-0.0031	0.0031-0.0079	0.0079-0.0200	≥0.0200
	Sismo ocasional (72 años)	≤0.0020	0.0020-0.0038	0.0038-0.0099	0.0099-0.0250	≥0.0250
	Sismo raro (475 años)	≤0.0020	0.0020-0.00420	0.00420-0.0116	0.0116-0.0300	≥0.0300
	Sismo muy raro (2475 años)	≤0.0020	0.0020-0.0050	0.0050-0.015	0.0150-0.0400	≥0.0400

Figura 2. Adaptación de tabla de límites de deriva según Visión y HAZUS

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

2.5. SISTEMA CONVENCIONAL

2.5.1. Características de los materiales

2.5.1.1. Concreto

Es un material homogéneo e isotrópico, el cual tiene como característica principal su efectiva resistencia a esfuerzos de compresión.

2.5.1.2. Resistencia a la compresión del concreto (f'_c)

Se puede conocer el comportamiento del concreto mediante la relación esfuerzo-deformación. (ACI 318-19)

$$\text{Ley de HOOKE: } f_c = E_c * \epsilon_c$$

f_c = Esfuerzo a la compresión del concreto

E_c = Deformación unitaria del concreto

ε_c = Módulo de elasticidad del concreto

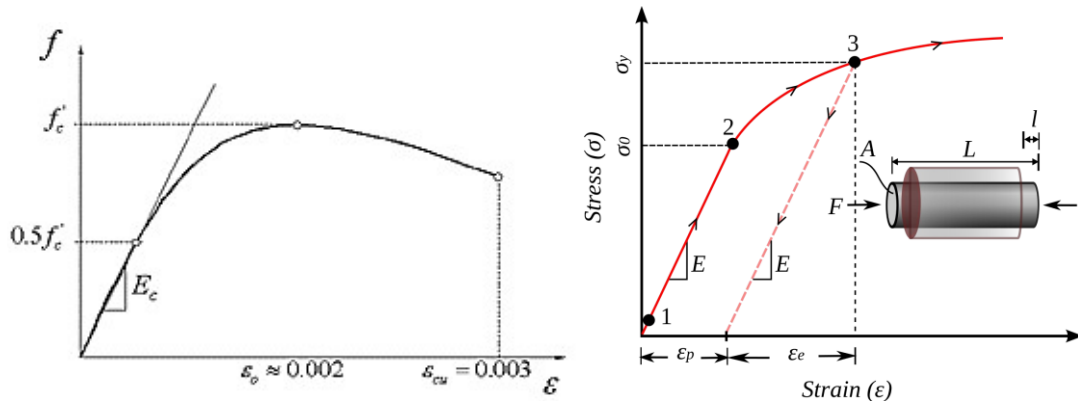


Figura 3. Gráfico esfuerzo a compresión – deformación unitaria del concreto.

Fuente: ACI 318 - 19.

2.5.1.3. Resistencia a la tracción del concreto: Módulo de rotura (f_r)

Según E060: El módulo de ruptura del concreto debe calcularse con: $f_r = 2 * \sqrt{f_c}$

$$= 0.62 * \lambda * \sqrt{f_c} \text{ (MPa)}$$

Tabla 9. Relación factor lambda – peso unitario del concreto

Wc (lbs/ft ³)	λ	
≤ 100	0.75	(a)
$100 < Wc \leq 150$	$0.0075 * Wc \leq 1.0$	(b)
> 150	1.0	(c)

Fuente: ACI 318-19.

2.5.1.4. Peso unitario del concreto armado

Según el Anexo 1 de la Norma E.020 “Cargas” (1996), se encuentra los pesos unitarios de los materiales típicos usados en la construcción, donde se describe que al concreto simple se le debe añadir 100 Kg/m³, para el cálculo del concreto armado. El concreto simple utilizado será de grava ($P_g = 2300 \text{ Kg/m}^3$), por lo tanto, el peso específico utilizado será:

$$\gamma_c = 2300 + 100 = 2400 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

2.5.1.5. Módulo de elasticidad del concreto (E_c)

Según la normativa E.060 “Concreto armado” (2009) en el ítem 8.5.3 se describe que para concretos de peso unitario normal ($w_c = 2300 \text{ kg/m}^3$), E_c , puede tomarse

$$\text{como: } E_c = 4700 * \sqrt{f_c} \text{ (MPa)} = 15000 * \sqrt{f_c} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)$$

2.5.1.6. Módulo de corte del concreto (G) y módulo de Poisson (μ)

Según la normativa E.060 “Concreto armado (2009) en el ítem 8.5.44 se dice que, en ausencia de resultados experimentales confiables, el módulo de rigidez al esfuerzo

$$\text{cortante del concreto se podrá suponer igual a: } G = \frac{E_c}{2*(1+\mu)} = \frac{E_c}{2.3}$$

Según la formula el módulo de corte y la suposición de la norma E.060 se puede obtener el módulo de Poisson $\mu=0.15$

2.5.1.7. Acero

En una estructura de concreto se incluye barras de acero con fin que la estructura tenga resistencia a la tracción. Ya que el concreto es un material que resiste muy bien los esfuerzos a compresión. Sin embargo, es muy débil ante esfuerzos a tracción.

2.5.1.8. Resistencia a la fluencia del acero de refuerzo (f_y)

Se considera Resistencia a la fluencia al esfuerzo máximo del acero de refuerzo en el intervalo de comportamiento lineal, es decir hasta el punto donde se cumple la ley de Hooke. Según la normativo E.060 “Concreto armado” (2009), considera para el análisis y diseño estructural, el modelo elastoplástico de este.

En el Perú es común utilizar aceros de $f_y=4200\text{kg/cm}^2$, sea en acero longitudinal o acero transversal (estribos).

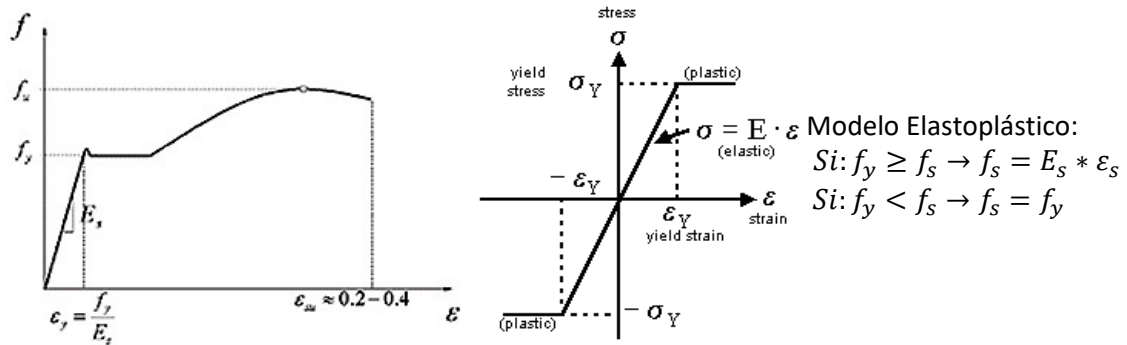


Figura 4. Gráfico de esfuerzo a tracción – deformación unitaria y modelo elastoplástico del acero.

Fuente: ACI 318 - 19

2.5.1.9. Resistencia a la rotura del acero de refuerzo ($f'u$)

Es el esfuerzo del acero en que se produce la falla. La resistencia a la rotura para acero grado 60 es de $f'u=6300\text{kg/cm}^2$.

2.5.1.10. Peso unitario del acero

Según el anexo 1 de la Norma E.020 “Cargas” (1996), se encuentra los pesos unitarios de los materiales típicos usados en la construcción, en este puede verificarse que el peso específico del acero es 7850 kg/m^3 .

2.5.1.11. Módulo de elasticidad del acero de refuerzo (E_s)

Según E.060 “Concreto armado (2009) en el ítem 8.5.5: El módulo de elasticidad, E_s , para el acero de refuerzo no pre esforzado puede tomarse como $200\,000 \text{ MPa}$.

2.5.2. Criterios de estructuración

El termino configuración se refiere tanto a la forma de conjunto del edificio, como a su tamaño, su naturaleza (uso del edificio como hospitales, escuelas, departamentos, etc.), localización, tipo de elementos resistentes y elementos no estructurales.

La única forma de saber cómo influye el sismo en una edificación es conocer el comportamiento dinámico de esta, sin embargo, mientras más compleja sea la geometría y configuración estructural del edificio más impredecible será su comportamiento dinámico, por lo cual una edificación sencilla geoméricamente (simetría) siempre será



una mejor opción. Por esto es importante tomar en cuenta a la hora de estructurar una edificación algunos criterios como las proporciones en planta de la edificación que determinaran el efecto de torsión en una estructura y la esbeltez que determinara la rigidez lateral que este tenga, otros criterios a considerar son la distribución y concentración de elementos estructurales, mientras más elementos resistentes tiene una estructura esta tendrá un desempeño favorable en comparación que uno que no tenga tantos y si la ubicación de elementos estructurales resistentes como placas, se encuentran en el perímetro se reduce el riesgo a torsión de la estructura (Reitherman, 1987).

2.5.3. Predimensionamiento

2.5.3.1. Predimensionamiento de losa

“Las losas son elementos que permiten la existencia de pisos y techos de una edificación”. (Blasco, 1994, pág. 43)

“Las losas junto con las vigas conforman diafragma, al igual que al amarrar con los pórticos compuestos por las columnas y placas permite una adecuada distribución de cargas laterales entre sí” (Blasco, 1994, pág. 43)

Según Blasco (1994) señala que las losas tienen dos funciones principales: “la primera está relacionada con las cargas de gravedad, que es la transmisión hacia las vigas de las cargas propias de la losa, el piso terminado, la sobrecarga y eventualmente tabiques u otros elementos apoyados entre ellos; y el segundo, en cuanto a las cargas sísmicas, que consiste en uniformar la estructura, para que se comporte uniformemente en cada piso”

La losa aligerada unidireccional es generalmente de 17cm, 20cm, 25cm y 30cm considerado que los ladrillos se fabrican en espesores de 12cm, 15cm, 20cm y 25cm respectivamente.

$$h = L/18 \rightarrow L/25$$

Donde:

h = Peralte de losa

L = Longitud en el sentido de armado de la losa

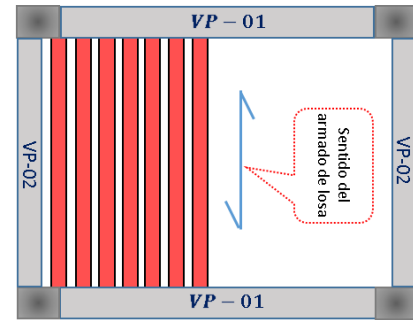
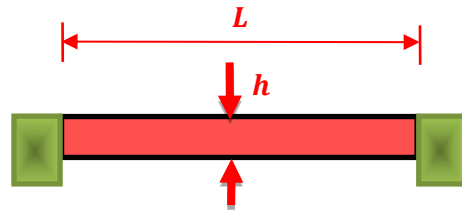
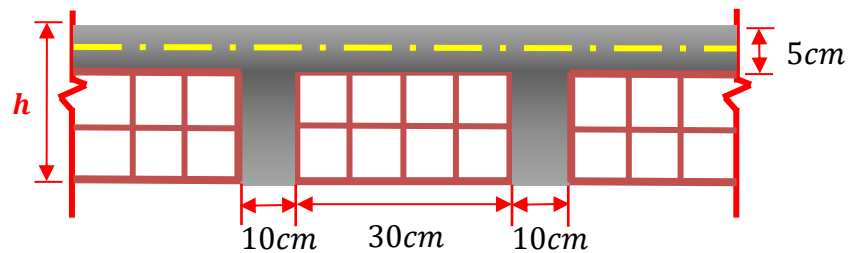


Tabla 10. Espesor típico del aligerado y pesos propios

Espesor del aligerado (cm)	Espesor de losa superior (cm)	Peso propio kPa (kg/m ²)
17	5	280
20	5	300
25	5	350
30	5	420

Fuente: (E.020 Cargas, 1996)



Las losas aligeradas armados en una dirección se usan generalmente hasta luces de aproximadamente 7m.

2.5.3.2. Predimensionamiento de vigas

“La viga es un elemento estructural que trabaja fundamentalmente a flexión y cortante” (E.060 Concreto Armado, 2009).

“Las vigas son elementos que reciben cargas de las losas, y hacia las columnas o muros, se comporta a flexión origina esfuerzos de compresión y tracción. El conjunto formado por columnas y vigas recibe el nombre de pórtico” (Blasco, 1994, pág. 25).

El dimensionamiento de vigas sismo resistentes debe asegurar la rigidez y resistencia para soportar las cargas de gravedad y las cargas sísmicas. “Las vigas se dimensionan generalmente considerando un orden de 1/10 a 1/12 de la luz libre, esta

altura incluye el espesor de la losa de techo el ancho puede variar de 30cm a 50cm de la altura” (Blasco, 1994, pág. 43):

$$h = \frac{L}{10} \rightarrow \frac{L}{12} ; b = \frac{h}{2}$$

Donde:

h=Peralte de viga principal

b=Base de la viga principal

L= Luz libre más crítica

Según ACI 318.99

$$h = \frac{Ln}{4} ; W_u = 1.4 * W_D + 1.7 * W_L$$

Donde:

WU = Carga por unidad de área

WD = Carga muerta por unidad de área

WL = Carga viva por unidad de área

Ln = Luz libre

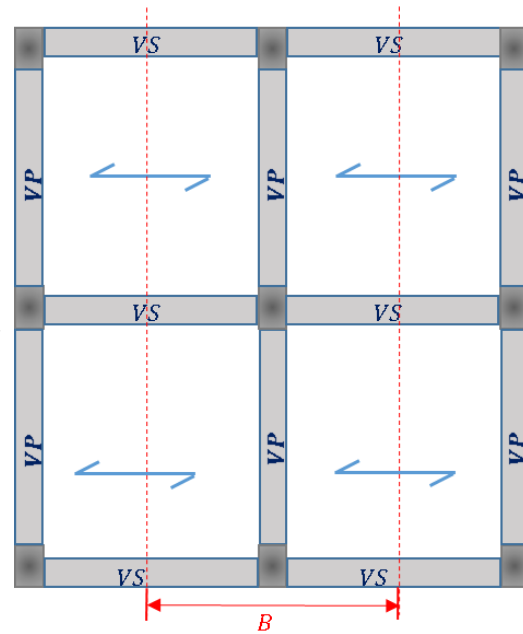
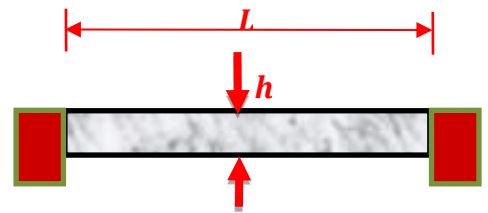
La norma (E.060 Concreto Armado, 2009) indica que las vigas deben tener un ancho mínimo de 25cm.

“Las vigas se denominan secundarias, porque no cargan la losa, sin embargo, si se tiene en cuenta que los esfuerzos de sismo son muchas veces más importantes que los de cargas por gravedad” (Blasco, 1994, pág. 40)

. “Debe considerarse vigas peraltadas en las dos direcciones, a menos que se haya considerado un número importante de placas en la dirección secundaria ya que al reducir mucho su peralte se estará perdiendo rigidez lateral en esa dirección” (Blasco, 1994, pág. 40)

$$h = \frac{L}{14} ; b = \frac{h}{2}$$

Donde:



h =Peralte de viga secundaria

b =Base de la viga secundaria

L = Luz libre más crítica en el sentido secundario

La norma (E.060 Concreto Armado, 2009) indica que las vigas que forman parte del pórtico o elementos sismo resistentes deben tener un ancho mínimo de 25cm.

En las vigas que no forman parte del pórtico su ancho podría variar de 15cm a 20cm.

Las vigas de voladizo soportan techo, se pueden usar peraltes comprendidos entre $L/6$ a $L/4$.

2.5.3.3. Predimensionamiento de columnas

“Son elementos generalmente verticales, que reciben las cargas de losas y vigas para transmitirlos a la cimentación y permitir que una edificación tenga varios niveles” (Blasco, 1994, pág. 30)

La columna es el elemento que está sometido principalmente a esfuerzos de compresión y al mismo tiempo está sujeto a esfuerzos de flexión (flexocompresión).

Según Blasco (1994) menciona que “para edificios que tengan muros de corte en las dos direcciones, tal que la rigidez lateral y la resistencia van a estar principalmente controladas por los muros, las columnas pueden dimensionarse suponiendo un área”, como sigue a continuación y de acuerdo al tipo de columna:

Columnas centrales

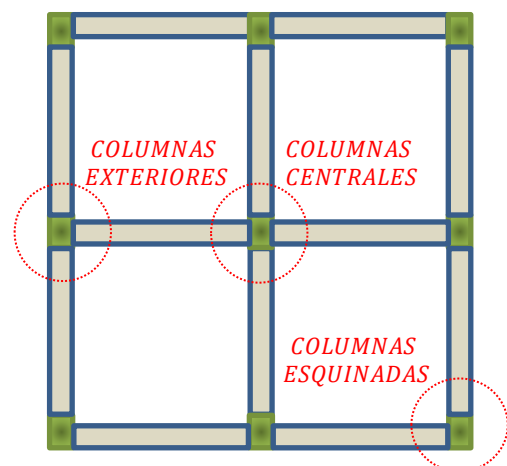
$$A_{\text{columna}} = \frac{P_{\text{servicio}}}{0.45 * f'c}$$

$$P_{\text{servicio}} = P * A_T * N$$

- **Columnas exteriores y esquinadas**

$$A_{\text{columna}} = \frac{P_{\text{servicio}}}{0.35 * f'c}$$

$$P_{\text{servicio}} = P * A_T * N$$





Donde:

P_{servicio} = Peso de servicio

P = Peso estimado de acuerdo a la categoría estructural

A_T = Área tributaria

N = Número de pisos de la edificación

$f'c$ = Resistencia a la compresión del concreto

Tabla 11. Peso estimado de la edificación según la categoría

CATEGORÍA DE LA EDIFICACIÓN	PESO ESTIMADO (kg/m ²)
A: Edificaciones esenciales	1500
B: Edificaciones importantes	1250
C: Edificaciones comunes	1000

Fuente: (Cisneros R.)

2.5.3.4. Predimensionamiento de placas

“La placa es un muro estructural diseñado para resistir la combinación de fuerzas de corte, momento y fuerzas axiales causadas por cargas laterales” (E.060 Concreto Armado, 2009).

“Son muros de concreto armado, de mayores dimensiones en una dirección, mucho mayores que su ancho, proporciona gran rigidez y resistencia en esa dirección” (Blasco, 1994, pág. 43)

“Su principal función es absorber fuerzas sísmicas, cuanto más abundantes o importantes sean, mayor proporción tendrán en la fuerza total de corte sísmico” (Blasco, 1994, pág. 43)

“Las placas pueden hacerse de mínimo de 10 cm de espesor, pero generalmente se consideran 15cm de espesor en el caso de edificaciones de pocos pisos y de 20, 25, 30 conforme se aumente el número de pisos o se disminuye su densidad” (Blasco, 1994, pág. 43)

Los muros de corte se pueden predimensionar como si fueran columnas anchas, también deben comportarse como columnas. Como se recomienda en muchos textos especializados.

$$L_{min} = \left(\frac{V_s * H^2}{n * \eta * E_c * t} \right)^{\frac{1}{3}}; V_s = ZUCSPe$$

V_s = Cortante por sismo

H = Altura de primer nivel

n = Número de Placas

η = Factor para el desplazamiento permisible Δ_p

$E_c = 15000\sqrt{f_c}$ (Módulo de elasticidad del concreto)

t = Se define el espesor del muro

Z = Factor de zona

U = Factor de uso

C = Coeficiente de amplificación sísmica

S = Factor de suelo

N = Número de niveles

P_e = Peso de la edificación = $N \times \text{Área techada} \times P$

P = Peso estimado de acuerdo a la categoría estructural

2.5.4. Metrado de cargas

2.5.4.1. Metrado de cargas

Las cargas son fuerzas u otras acciones que resulten del peso de los materiales de construcción, los ocupantes y sus pertenencias, los impactos ambientales, el movimiento diferencial y los cambios dimensionales limitados.

La norma E.020 recomienda que “los valores mínimos para las cargas a considerar en el diseño de una estructura, dependiendo del uso previsto”. Las cargas que se tienen en cuenta son las denominadas: muertas, vivas y sísmicas.



- **Carga muerta**

Es el peso de los materiales, equipos, equipos de servicio, tabiques y demás elementos que soporta la edificación, incluido su propio peso, propuesto para ser permanente o con variación pequeña en su magnitud en el tiempo.

- **Carga viva**

Es el peso de todos los ocupantes, equipos, materiales, accesorios y otras partes móviles soportadas por el edificio.

- **Carga de sismo**

Es la carga generada debido a la acción sísmica sobre la estructura.

2.5.4.2. Combinaciones de carga

Se utilizarán las combinaciones indicadas en la norma (E.060 Concreto Armado, 2009).

La resistencia requerida para cargas muertas (CM) y cargas vivas (CV) será como mínimo:

$$U = 1.4 CM + 1.7 CV$$

Si en el diseño se tuvieran que considerar cargas de sismo (CS), la resistencia requerida será como mínimo:

$$U = 1.25 (CM + CV) \pm CS$$

$$U = 0.9 CM \pm CS$$

Dónde:

CM = carga muerta

CV = carga viva

CS = carga por sismo

2.5.5. Acción sísmica de acuerdo a la norma E.030

En el procedimiento para la determinación de la acción sísmica se siguen los lineamientos de la (E.030 Diseño Sismorresistente, 2018), las acciones sísmicas para el diseño estructural dependen de la zona sísmica (Z), del uso del edificio (U), en especial del perfil de suelo (S, TP, TL), del sistema de reducción (R) y de su peso (P).

Paso 1: Factor de zona

Se determina según el artículo 10 de la E.030 en base al mapa de zonificación y se resume en la siguiente tabla:

Tabla 12. Factores de zona “Z”

ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Fuente: (E.030 Diseño Sismorresistente, 2018)

Paso 2: Perfil de suelo y parámetros de sitio

Con los resultados de estudio mecánica de suelos se determina según el artículo 12 de la E.030, donde se definen 5 perfiles de suelo y se resume en la siguiente tabla:

Tabla 13. Resume valores típicos y clasificación de perfiles de suelo

Perfil	V_s	N_{60}	S_u
S0 - Roca Dura	> 1500 m/s	-	-
S1 - Roca o suelos muy rígidos	500 m/s a 1500 m/s	> 50	>100 kPa
S2 - Suelos intermedios	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50kPa a 100kPa
S3 - Suelos blandos	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S4 - Condiciones excepcionales	Clasificación según EMS	EMS	EMS

Fuente: (E.030 Diseño Sismorresistente, 2018)

Parámetros de Sitio (S, TP y TL)

Se determina según el artículo 13 de la E.030, donde el factor suelo depende de perfil y factor de zona, se resume en la siguiente tabla:

Tabla 14. Factor de suelo “S”

FACTOR DE SUELO “S”				
Zona - Suelo	S0	S1	S2	S3
Z 4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z 3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z 2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z 1	0.80	1.00	1.60	2.00

Fuente: (E.030 Diseño Sismorresistente, 2018)

Tabla 15. Periodos “TP” Y “TL”

PERIODOS “TP” Y “TL”				
	Perfil de suelo			
	S0	S1	S2	S3
TP (S)	0.30	0.40	0.60	1.00
TL (S)	3.00	2.50	2.00	1.60

Fuente: (E.030 Diseño Sismorresistente, 2018)

Paso 3: Categoría de la edificación y el factor de uso “U”

Se definen según el artículo 15 de la E.030 y se resume de la siguiente tabla:

Tabla 16. Categoría de las edificaciones y factor “U”

CATEGORÍA	FACTOR U
A. Edificaciones esenciales A1 y A2	1.5 (Ver nota 1)
B. Edificaciones importantes	1.3
C. Edificaciones comunes	1.0
D. Edificaciones temporales	Ver nota 2

Fuente: (E.030 Diseño Sismorresistente, 2018)

En la norma E.030 en nota 1 señala que “las edificaciones A1 tendrán aislamiento sísmico en las zonas 4 y 3, en las zonas 1 y 2, la entidad responsable puede decidir si usa o no aislamiento sísmico”

En la norma E.030 en nota 2 señala que “en las edificaciones temporales deberá proveerse resistencia y rigidez adecuadas para acciones laterales, a criterio del proyectista”

Paso 4: Sistema estructural y restricciones de irregularidad

Se determina según los artículos 16, 17 y 21 de la E.030 y se resume de las siguientes tablas:

Tabla 17. Categoría y sistema estructural de las edificaciones

Categoría de la Edificación	Zona	Sistema Estructural
A1	4 y 3	Aislamiento Sísmico con cualquier sistema
	2 y 1	Estructuras de acero, estructuras de concreto y albañilería armada o confinada.
A2	4, 3 y 2	Estructuras de acero, estructuras de concreto y albañilería armada o confinada.
	1	Cualquier sistema.
B	4, 3 y 2	Estructuras de acero, estructuras de concreto, albañilería armada o confinada y estructuras de
	1	Cualquier sistema.
C	4, 3, 2 y 1	Cualquier sistema.

Fuente: (E.030 Diseño Sismorresistente, 2018)

Tabla 18. Categoría de la edificación e irregularidad

Categoría de la Edificación	Zona	Restricciones
A1 y A2	4, 3 y 2	No se permiten irregularidades
	1	No se permiten irregularidades extremas
B	4, 3 y 2	No se permiten irregularidades extremas
	1	Sin restricciones
C	4 y 3	No se permiten irregularidades extremas
	2	No se permiten I. extremas excepto en edificios de hasta 8 m
	1	Sin restricciones

Fuente: (E.030 Diseño Sismorresistente, 2018)

Paso 5: Coeficiente básico de reducción de fuerzas sísmicas, R₀

Se define según los artículos 16 y 18 de la E.030 y se resume de las siguientes tablas:

Tabla 19. Coeficiente Básico de Reducción R₀



SISTEMA ESTRUCTURAL	Coficiente básico de reducción R_o (*)
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	8
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	6
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
Muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería armada o confinada	3
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7

Fuente: (E.030 Diseño Sismorresistente, 2018)

Paso 6: Factores de Irregularidad (I_a , I_p)

Se determina según el artículo 21 de la E.030 y se resume de las siguientes tablas:

Tabla 20. Irregularidades estructurales en altura

Irregularidades estructurales en planta	Factor de irregularidad I_a
Irregularidad Torsional	0.75
Irregularidad Torsional Extrema	0.60
Esquinas Entrantes	0.90
Discontinuidad del Diafragma	0.85
Sistemas no Paralelos	0.90

Fuente: (E.030 Diseño Sismorresistente, 2018)

Tabla 21. Irregularidades estructurales en planta

Irregularidades estructurales en planta	Factor de irregularidad I_p
Irregularidad Torsional	0.75
Irregularidad Torsional Extrema	0.60
Esquinas Entrantes	0.90
Discontinuidad del Diafragma	0.85
Sistemas no Paralelos	0.90

Fuente: (E.030 Diseño Sismorresistente, 2018)

L a irregularidad por planta I_a y altura I_p se determina como el menor valor

Paso 7: Coeficiente de reducción de la fuerza sísmica R

Se determina según el artículo 22 de la E.030, donde $R = R_0 * I_a * I_p$.

Paso 8: Período Fundamental de Vibración

Se determina para cada dirección con la siguiente expresión: $T = \frac{h_n}{C_T}$

Donde:

$C_T = 35$ Para edificios cuyos elementos resistentes son pórticos de concreto armado sin muros de corte y pórticos dúctiles, sin arriostramiento.

$C_T = 45$ Para edificios cuyos elementos resistentes son pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores, escaleras y pórticos de acero arriostrados.

$C_T = 60$ Para edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado.

Paso 9: Factor de amplificación sísmica (C)

Dependiendo de las características de sitio, se determina mediante las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} T < T_p & \dots \dots \dots C = 2.5 \\ T_p < T < T_L & \dots \dots \dots C = 2.5 * \left(\frac{T_p}{T}\right) \\ T > T_L & \dots \dots \dots C = 2.5 * \left(\frac{T_p * T_L}{T^2}\right) \end{aligned}$$

T es el período fundamental de vibración

Paso 10: Estimación del Peso (P)

Se calcula según el artículo 26 de la E.030, donde adicionando a la carga muerta de la edificación un porcentaje de la carga viva que se determinará de la siguiente manera:

- a. En los edificios de las categorías A y B, se tomará el 50 % de la carga viva.
- b. En los edificios de la categoría C, se tomará el 25 % de la carga viva.
- c. En depósitos, el 80 % del peso total que es posible almacenar.
- d. En azoteas y techos en general se tomará el 25 % de la carga viva.
- e. En estructuras tanques, silos y similares se considerará el 100 %.

Paso 11: Exponente “K” para el sismo estático

Se calcula según el artículo 28 de la E.030, donde “K” relacionado con el período fundamental de la estructura (T), en la dirección considerada, que se calcula de acuerdo a:

- a) Para T menor o igual a 0,5 segundos: $k = 1,0$.
- b) Para T mayor que 0,5 segundos: $k = (0,75 + 0,5 T) \leq 2,0$.

Paso 12: Espectro de sismo de diseño según E.030 2018

Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R_y} * g$$

“Para el análisis en la dirección vertical podrá usarse un espectro con valores iguales a los 2/3 del espectro empleado para las direcciones horizontales” (E.030 Diseño Sismorresistente, 2018)

2.5.6. Análisis sísmico

2.5.6.1. Análisis sísmico estático o fuerzas estáticas equivalentes

“Este método representa las solicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masas de cada nivel de la edificación” (E.030 Diseño Sismorresistente, 2018)

- **Fuerza Cortante en la Base**

La fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determinará por la siguiente expresión:

$$V = \frac{Z * U * C * S}{R} * P$$

El valor de C/R no deberá considerarse menor que: $\frac{C}{R} \geq 0.125$

- **Distribución de la Fuerza Sísmica en Altura**

Las fuerzas sísmicas horizontales en cualquier nivel i , correspondientes a la dirección considerada, se calcularán mediante:

$$F_i = \alpha_i * V$$
$$\alpha_i = \frac{P_i * (h_i)^k}{\sum_{j=i}^n P_j * (h_j)^k}$$

Donde n es el número de pisos del edificio, k es un exponente relacionado con el período fundamental de vibración de la estructura (T), en la dirección considerada, que se calcula de acuerdo a:

- a) Para T menor o igual a 0,5 segundos: $k = 1,0$
- b) Para T mayor que 0,5 segundos: $k = (0,75 + 0,5 T) \leq 2,0$

2.5.6.2. Análisis sísmico dinámico modal espectral

“Cualquier estructura puede ser diseñada usando los resultados de los análisis dinámicos por combinación modal” (E.030 Diseño Sismorresistente, 2018).

- **Modos de Vibración**

“Los modos de vibración podrán determinarse por un procedimiento de análisis que considere apropiadamente las características de rigidez y la distribución de las masas.” (E.030 Diseño Sismorresistente, 2018)

Según la norma E.030 señala que en cada dirección “se considerarán aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90 % de la masa total, pero deberá tomarse en cuenta por lo menos los tres primeros modos predominantes en la dirección de análisis”.

- **Aceleración Espectral**

En cada dirección horizontal analizada, un espectro de aceleración pseudo-inelástica está determinado por la siguiente formula:

$$V = \frac{Z * U * C * S}{R} * g$$

“Para el análisis en la dirección vertical podrá usarse un espectro con valores iguales a los 2/3 del espectro empleado para las direcciones horizontales” (E.030 Diseño Sismorresistente, 2018).

- **Espectro de respuesta y tipos**

Mediante un espectro de respuesta se define la amenaza sísmica de una zona para efectos del diseño sismorresistente.

Espectros de respuesta elástica: estos espectros representan los parámetros de respuesta máxima para un sismo determinado y, por lo general, incluyen varias curvas que tienen en cuenta diferentes factores de amortiguamiento.

Espectros de respuesta inelástica: Similar al caso anterior, pero en este caso los valores del espectro de respuesta elástica se dividen por el factor de reducción de carga sísmica (R).

Espectros de diseño: Debido a que los sismos tienen características diferentes, se realiza un suavizado de los espectros anteriores para que represente una envolvente del espectro de respuesta de los sismos típicos en un área determinada.

2.5.6.3. Análisis sísmico dinámico tiempo – historia

“En análisis sísmico historia de respuestas debe utilizarse un modelo matemático de la estructura, determinándose la respuesta frente a un conjunto de aceleraciones del terreno” (E.030 Diseño Sismorresistente, 2018)

“Los registros de aceleración para el análisis se usarán como mínimo tres conjuntos de registros de aceleraciones del terreno, cada uno de los cuales incluirá dos componentes en direcciones ortogonales” (E.030 Diseño Sismorresistente, 2018)



“Cada conjunto de registros de aceleraciones del terreno consistirá en un par de componentes de aceleración horizontal, elegidas y escaladas de eventos individuales” (E.030 Diseño Sismorresistente, 2018)

“En caso se utilicen por lo menos 07 juegos de registros del movimiento del suelo, las fuerzas de diseño, las deformaciones y las distorsiones de entrepiso se evaluarán a partir de los promedios de los correspondientes resultados máximos” (E.030 Diseño Sismorresistente, 2018)

“Si se utilizarán menos de siete juegos de registros, las fuerzas de diseño, las deformaciones y las distorsiones de entrepiso serán evaluadas a partir de los máximos valores obtenidos de todos los análisis” (E.030 Diseño Sismorresistente, 2018)

2.5.6.3.1. Procesamiento de Acelerogramas

Antes de utilizar los registros sísmicos o acelerogramas seleccionados, es necesario verificar que se hayan procesado correctamente para poder realizar el análisis del historial de respuesta.

A los registros sísmicos se realizan un procesamiento que consiste en la corrección por línea base obteniendo y el filtrando aquellas señales adicionales que están incluidos accidentalmente en la toma de datos como son los ruidos.

El Seismo Signal es un software computacional gratuito y ampliamente utilizado para corregir por línea base el registro, también permite verificar que la línea de ceros no esté indebidamente desplazada del origen, los acelerogramas están listos para ser utilizados en un análisis dinámico historia de respuestas, si no hay alguna distorsión propia de ruido ambiental en los acelerogramas, este procedimiento consiste en ingresar el registro sísmico luego realizar la corrección de la línea base, así como el filtrado de frecuencias altas y bajas.

Las gráficas de velocidad y desplazamiento deben tener formas sinusoidales para confirmar si el acelerograma está corregido por línea base, ya que, si alguna de estas gráficas tiende a ser una línea recta, sería una indicación de que los registros sísmicos no han sido corregidos.

2.5.6.3.2. Escalamiento de acelerogramas

El acelerograma original se escala amplificando la señal sísmica hasta superar la aceleración especificada hasta superar una cierta aceleración específica dentro del rango de valores especificado por la normativa.

Para determinar los valores de aceleración correctamente escalados se realiza un ajuste a una forma espectral apropiada compatible con el espectro objetivo, se puede realizar un ajuste espectral en el dominio del tiempo “Abscisas” o en el dominio de las frecuencias “Ordenadas”. Ambos métodos son aceptados para realizar análisis dinámicos lineales o no lineales, siendo el escalado en el dominio del tiempo el método asociado con mayor precisión en la obtención de los resultados.

El dominio del tiempo es el procedimiento mucho más amplio que el ajuste espectral en el dominio de las frecuencias, ya que resulta ser mucho más preciso. Debido al grado de complejidad que representa aplicar detenidamente esta metodología y al no ser parte de los objetivos de esta investigación, se efectuará el ajuste espectral en el dominio del tiempo mediante la ayuda de un software computacional.

2.5.6.3.3. Historia de respuesta FNA

Es el análisis no lineal rápido (Fast No Lineal -FNA) es un método de análisis modal útil para la evaluación estática o dinámica de sistemas estructurales lineales o no lineales. Debido a su formulación computacionalmente eficiente, FNA es muy adecuado para el análisis de la historia de respuestas y de vez en cuando se recomienda sobre las aplicaciones de integración directa. Durante la aplicación dinámica-no lineal de FNA.



Además de las relaciones de fuerza-deformación del material no lineal, estos objetos de enlace pueden simular mediante un modelamiento a los dispositivos de amortiguación concentrados, aisladores y disipación de energía. Si los mecanismos de los fusibles no son integrales a la intención del diseño, un análisis elástico inicial puede revelar ubicaciones donde es probable que ocurra la falla inelástica.

2.5.7. Verificaciones normativas

Para finalizar el diseño de la estructura, se realiza las siguientes verificaciones:

2.5.7.1. Verificación de Sistema Estructural

La verificación de sistema estructural de elementos de concreto armado deberán cumplir con lo previsto en el Capítulo 21 “Disposiciones especiales para el diseño sísmico” de la Norma Técnica E.060 Concreto Armado del RNE.

Pórticos. Por lo menos el 80 % de la fuerza cortante en la base actúa sobre las columnas de los pórticos. En caso se tengan muros estructurales, éstos deberán diseñarse para resistir una fracción de la acción sísmica total de acuerdo con su rigidez.

Muros Estructurales. Sistema en el que la resistencia sísmica está dada predominantemente por muros estructurales sobre los que actúa por lo menos el 70 % de la fuerza cortante en la base.

Dual. Las acciones sísmicas son resistidas por una combinación de pórticos y muros estructurales. La fuerza cortante que toman los muros está entre 20 % y 70 % del cortante en la base del edificio. Los pórticos deberán ser diseñados para resistir por lo menos 30 % de la fuerza cortante en la base.

2.5.7.2. Verificación de Irregularidades en Planta (Ip)

La verificación de irregularidades en planta de la estructura se sigue las especificaciones de la norma E 030 de diseño sismorresistente o en el ítem del presente capítulo de parámetros y procedimiento para determinar la acción sísmica.

2.5.7.3. Verificación de Irregularidades en Altura (Ia)

La verificación de irregularidades en altura de la estructura se sigue las especificaciones de la norma E 030 de diseño sismorresistente o en el ítem del presente capítulo de parámetros y procedimiento para determinar la acción sísmica.

2.5.7.4. Verificación de Cortante Basal del Estático vs Dinámico

La verificación de cortante basal del estático vs dinámico se sigue las especificaciones de la norma E 030, se realiza para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante dinámico en el primer entrepiso del edificio no puede ser menor que el 80% del valor fuerza cortante estático. Para estructuras regulares, ni menor que el 90% para estructuras irregulares.

$$V_{dinamico} \geq 0.80 * V_{estatico} \dots \dots \dots \text{Para estructuras regulares}$$

$$V_{dinamico} \geq 0.90 * V_{estatico} \dots \dots \dots \text{Para estructuras irregulares}$$

Si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se escalan proporcionalmente todos los otros resultados obtenidos, excepto los desplazamientos.

2.5.7.5. Verificación de periodos y modos de vibración

Los modos de vibración determinan el comportamiento de la estructura ante un evento sísmico

La verificación de los modos de vibración podrá determinarse por un procedimiento de análisis que considere apropiadamente las características de rigidez y la distribución de las masas.

En cada dirección se considerarán aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90 % de la masa total, pero deberá tomarse en cuenta por lo menos los tres primeros modos predominantes en la dirección de análisis.

2.5.7.6. Verificación de Derivas del Estático vs Dinámico

Los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por 0,75 R los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las sollicitaciones sísmicas reducidas para estructuras regulares. Y por R para estructuras irregulares.

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso, no deberá exceder la fracción de la altura de entrepiso (distorsión) que se indica en la en la siguiente tabla.

Tabla 22. Límites para la distorsión del entrepiso

LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO	
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010
Edificios de concreto armado con MDL	0.005

Fuente: (E.030 Diseño Sismorresistente, 2018)

2.6. SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA

En la actualidad se tiene un grupo muy amplio de mecanismos de protección sísmica los cuales pueden ser utilizados de acuerdo a las necesidades de cada proyecto; estos se pueden diferenciar y seleccionar en caso de su disposición: por su forma de trabajo, por la adición de propiedades (aumento de amortiguamiento y/o rigidez), por la factibilidad económica y tecnológica.

En el siguiente diagrama se presenta una clasificación moderna y apropiada para los sistemas de protección sísmica:

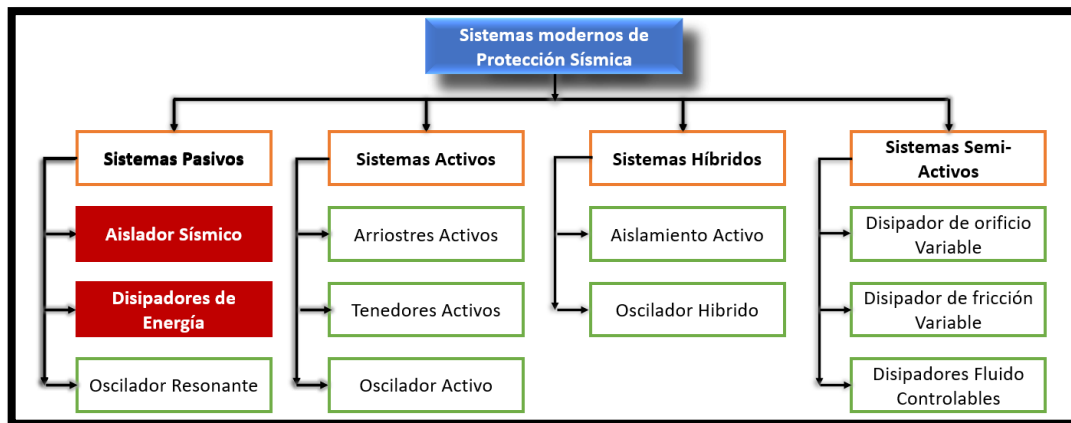


Figura 5. Clasificación de los sistemas de protección sísmica.

Fuente: Villarreal Genner, Oviedo Sarmiento – edificaciones con dispositivos pasivos de disipación de energía 2009.

2.6.1. Sistemas de control activo

“Los sistemas de control activo contrarrestan directamente la acción de los sismos, mediante dispositivos actuadores. Estos dispositivos actuadores, requieren de una gran demanda energética y se sostienen en algoritmos de control muy complejos” (Villarreal y Oviedo, 2009)

En el siguiente grafico se muestran un esquema de funcionamiento que tiene el sistema de control activo:



Figura 6. Esquema de funcionamiento de un sistema de control activo

Fuente: Villarreal Genner, Oviedo Sarmiento – edificaciones con disipadores de energía 2009.

- **Sensores:** Están situados en la propia estructura, tienen la función de medir las variables de la excitación (sismo, viento, etc) y de la respuesta estructural.

- **Controladores:** Los sistemas de controladores tienen la función de calcular la fuerza que contrarrestara a la excitación, ejecutado por los actuadores, en función de los datos proporcionados por los sensores.
- **Actuadores:** Tienen la función de contrarrestar la excitación, mediante energía externa.

A continuación, se presenta el ejemplo más conocido de un sistema de control activo, Active Mass Damper AMD (amortiguador de masa activa). El cual consta de sensores para medir el comportamiento de un edificio y el movimiento de masa, una computadora para calcular una fuerza de control, actuadores hidráulicos para generar la fuerza de control, una masa móvil de un tanque de hielo para generar una fuerza restauradora, y soportes para evitar movimientos innecesarios en la masa.

En el siguiente grafico se muestran un esquema de funcionamiento que tiene el sistema de control activo:

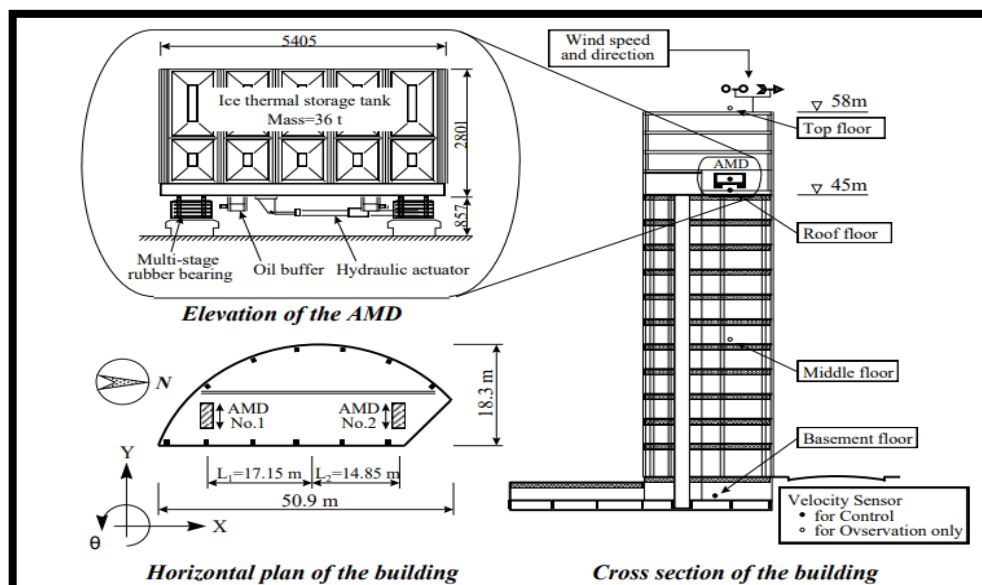


Figura 7. Sistema de masa activa (AMD)

Fuente: Villarreal Genner, Oviedo Sarmiento – edificaciones con disipadores de energía 2009.

2.6.2. Sistemas de control híbrido

El sistema de control híbrido es una combinación del sistema pasivo y activo, debido a que se acoplan en una sola edificación tanto elementos de sistema pasivo como sistema activo.

En el siguiente gráfico se muestran un esquema de funcionamiento que tiene el sistema de control híbrido:

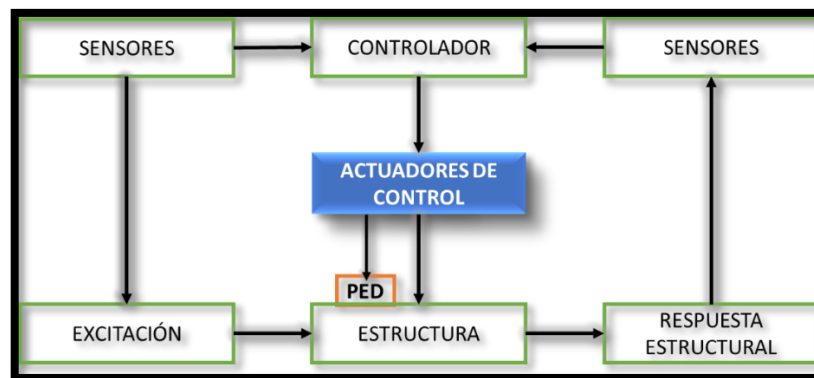


Figura 8. Esquema de funcionamiento de sistema de control híbrido

Fuente: Villarreal Genner, Oviedo Sarmiento – edificaciones con disipadores de energía 2009.

El esquema de funcionamiento del sistema de control híbrido es similar a los sistemas de control activos, sin embargo, la respuesta estructural también será dependiente del sistema pasivo.

A continuación, se presenta un ejemplo de un sistema de control híbrido, compuesto de un sistema de aislamiento sísmico pasivo y actuadores.

“El comportamiento pasivo desacopla parcialmente la estructura del terreno, producto de un desplazamiento significativo entre subestructura y superestructura” (Villareal y Oviedo, 2009)

“El objetivo del componente activo es controlar este movimiento mediante un actuador. Desde un punto de vista práctico, es importante que el control se consiga con

una única fuerza y que la demanda energética de esta se encuentre dentro de los límites aceptable” (Villarreal y Oviedo, 2009)

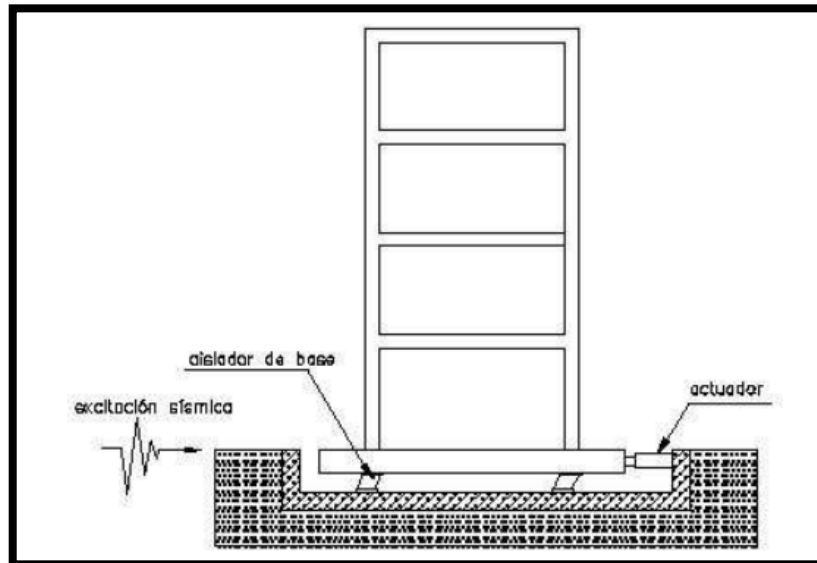


Figura 9. Sistema de aislamiento pasivo y actuador

Fuente: Villarreal Genner, Oviedo Sarmiento – edificaciones con disipadores de energía 2009.

2.6.3. Sistemas de control semiactivo

El sistema de control semiactivo, emplean dispositivos de control pasivos, sin embargo, estos dispositivos pasivos, pueden cambiar sus propiedades mecánicas como son las rigidez y amortiguamiento, en función del grado de excitación. El cambio de propiedades de estos sistemas se realiza mediante actuadores regulables.

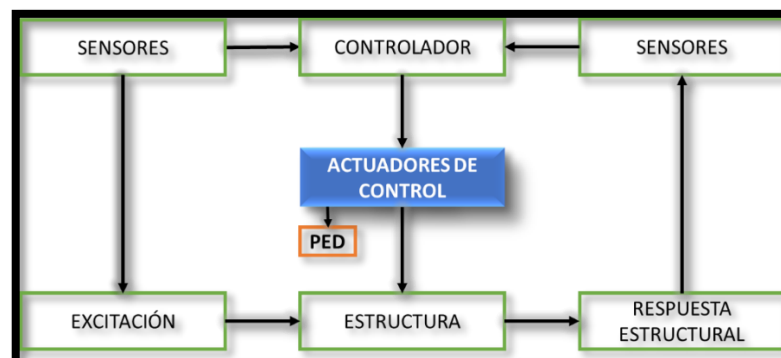


Figura 10. Esquema de funcionamiento de sistema de control semiactivo

Fuente: Villarreal Genner, Oviedo Sarmiento – edificaciones con disipadores de energía 2009.

El funcionamiento de control semiactivo es similar al activo, sin embargo, en este sistema el actuador se enfoca en la modificación de las propiedades del dispositivo.

Un ejemplo muy común de este tipo de sistema, es el dispositivo de amortiguamiento variable, que no es más que un disipador de energía de fluido viscoso con una variación controlada de la velocidad del fluido en el dispositivo.

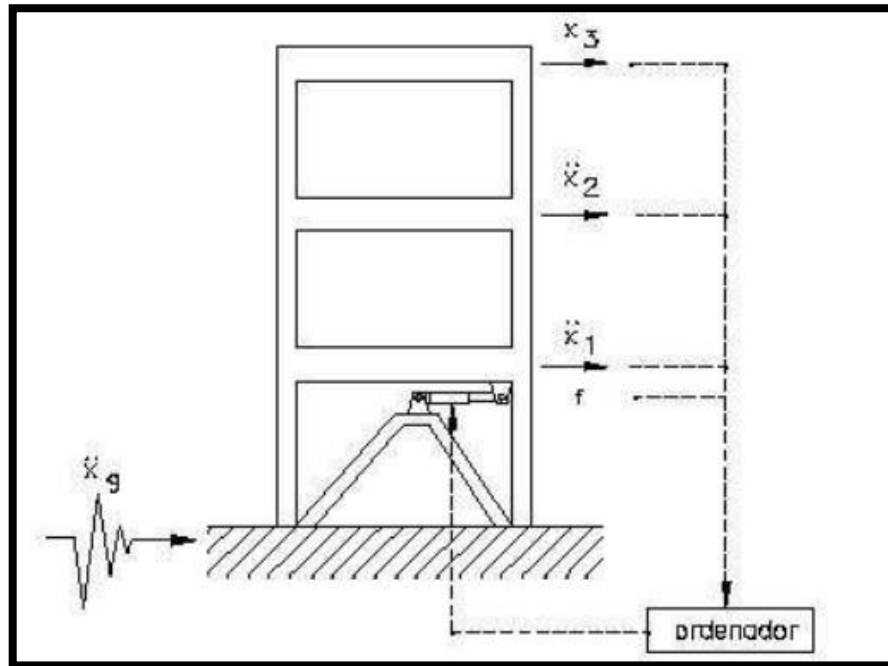


Figura 11. Sistema de disipador de energía de fluido viscoso con amortiguamiento
Fuente: Villarreal Genner, Oviedo Sarmiento – edificaciones con disipadores de energía 2009.

2.6.4. Sistemas de control pasivo

Los sistemas pasivos tienen un funcionamiento automático ante un evento sísmico y no requieren de una energía añadida., mientras que los sistemas activos, existen mecanismos que actúan directamente en la disipación de energía mediante dispositivos de control que añaden energía diferente a la sísmica al sistema.

Los sistemas de protección sísmica de interés en el presente proyecto de investigación son los sistemas pasivos de aislamiento sísmico los cuales desacoplan la estructura de su cimentación, aportando al sistema una flexibilidad necesaria para

disminuir la energía de entrada y en consecuencia sus respuestas sísmicas; y de disipación de energía el cual mediante dispositivos ensamblados en la estructura disipan la energía que generan los sismos, protegiendo así los elementos estructurales y su posible colapso.

Un ejemplo adicional de los sistemas pasivos es el amortiguador de masa sincronizada (TMD), el cual añade en los últimos niveles de la estructura una masa (péndulo), en donde se dimensiona el péndulo teniendo en cuenta que el péndulo tiene que tener el mismo periodo que el de la estructura.

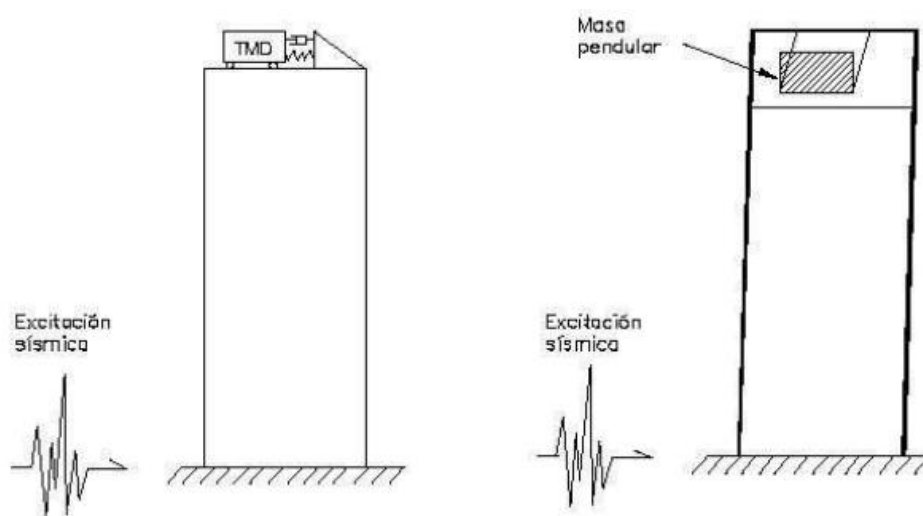


Figura 12. Sistema disipador de energía pasivo de péndulo y TMD

Fuente: Villarreal Genner, Oviedo Sarmiento – edificaciones con disipadores de energía 2009.

2.7. SISTEMAS DE AISLAMIENTO DE BASE

El aislamiento sísmico en la base consiste en desacoplar la subestructura de la superestructura, permitiendo así disminuir las derivas, aceleraciones, fuerzas de diseño y aumentando periodo, amortiguamiento, desplazamientos del sistema estructural.

“El sistema de aislamiento sísmico es un conjunto de elementos estructurales que incluye los aisladores, así como todos los elementos que transfieren fuerzas entre elementos del sistema de aislamiento sísmico, como vigas, losas, capiteles y sus conexiones” (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)

“El sistema de aislamiento sísmico también incluye los sistemas de restricción contra viento, los dispositivos de disipación de energía y los sistemas de restricción de desplazamiento” (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)

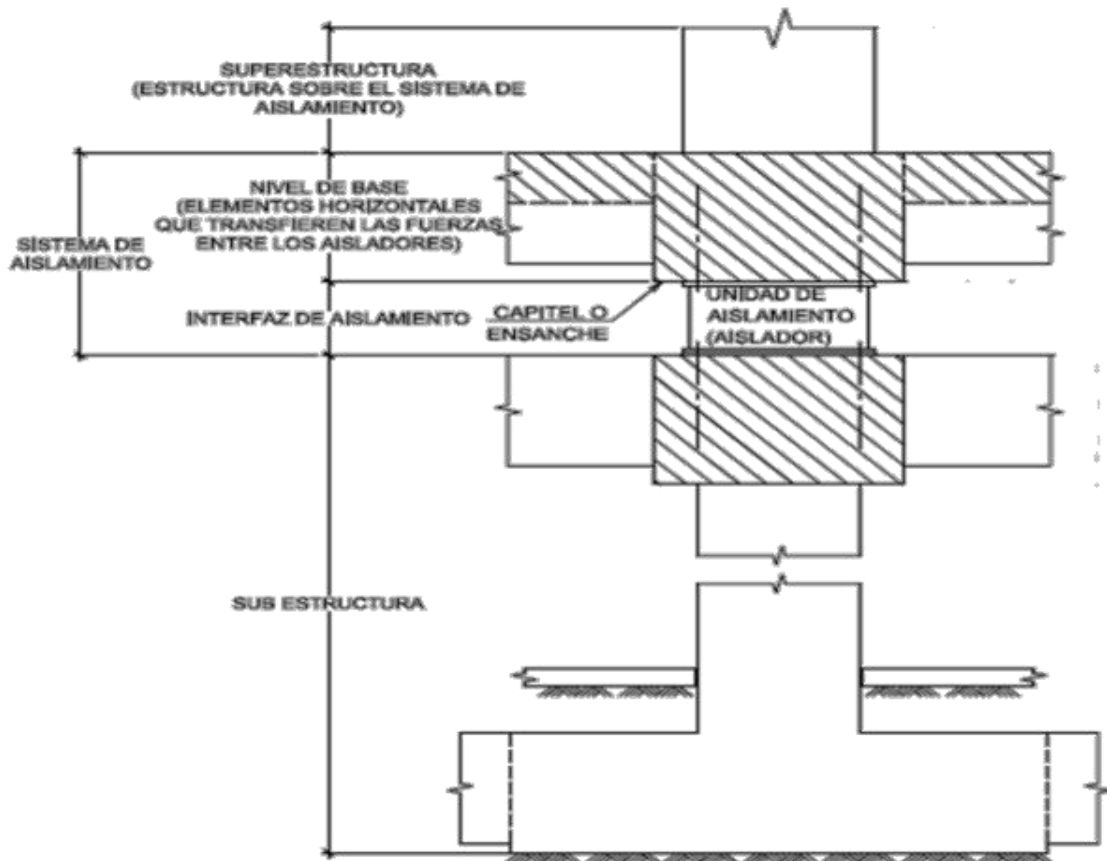


Figura 13. Sistema de aislamiento sísmico

Fuente: (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)

“La subestructura comprende los elementos estructurales por debajo del sistema de aislamiento, se diseña usando los requerimientos de una estructura no aislada y las fuerzas obtenidas en un análisis dinámico sin coeficiente de reducción R igual a 1” (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)

“La superestructura comprende los elementos estructurales sobre el sistema de aislamiento, se diseña usando los requerimientos de una estructura no aislada y las fuerzas obtenidas en un análisis dinámico con un coeficiente (R_a) calculado como $3/8 R_0$ pero no menor que 1 ni mayor que 2” (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)

“El aislador es un elemento estructural del sistema de aislamiento sísmico que es verticalmente rígido y horizontalmente flexible, y que permite grandes deformaciones laterales bajo sollicitaciones sísmicas” (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)

2.7.1. Aislador elastomérico

Los aisladores elastoméricos están conformados por capas o láminas de caucho natural intercaladas con capas de acero, las cuales son vulcanizadas entre sí. El caucho que tiene la capacidad de proporcionar flexibilidad horizontal por lo tanto soporta grandes deformaciones, mientras el acero tiene gran resistencia a las cargas verticales que genera la estructura. Asimismo, cuenta con un recubrimiento de material flexible como pueden ser gomas de alta resistencia. En sus extremos están unidos con placas de acero para dar conexión a la subestructura y superestructura. Los aisladores elastoméricos tienen un buen comportamiento ante el envejecimiento y el intemperismo.

2.7.1.1. Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento (NRB) Natural Rubber Bearing

Este dispositivo utiliza caucho natural, se caracteriza por tener un amortiguamiento bajo (aproximadamente 2 ~ 3% de relación de amortiguamiento equivalente), excelente linealidad y una fuerza de restauración estable. Se requiere un amortiguador separado, pero el diseño de aislamiento general tiene una flexibilidad mucho mayor.

“El comportamiento lineal en corte para deformaciones por corte hasta y que exceden el 100%. Aportan amortiguamiento entre 2 y 3 %, pero suele despreciarse por ser muy bajo” (Bridgestone, 2017)

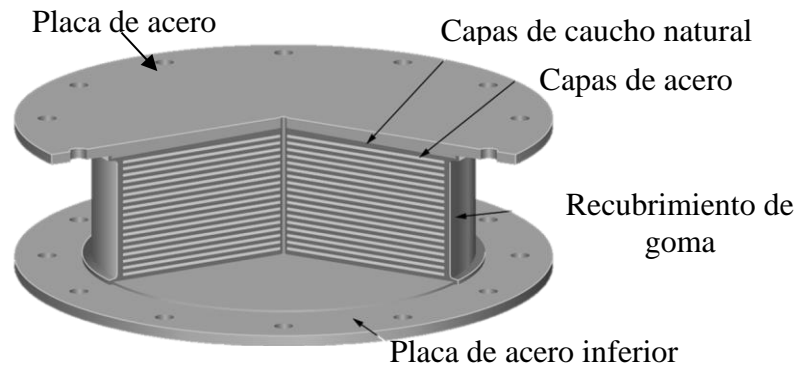


Figura 14. Aislador elástico de bajo amortiguamiento (NRB)

Fuente: (Bridgestone, 2017)

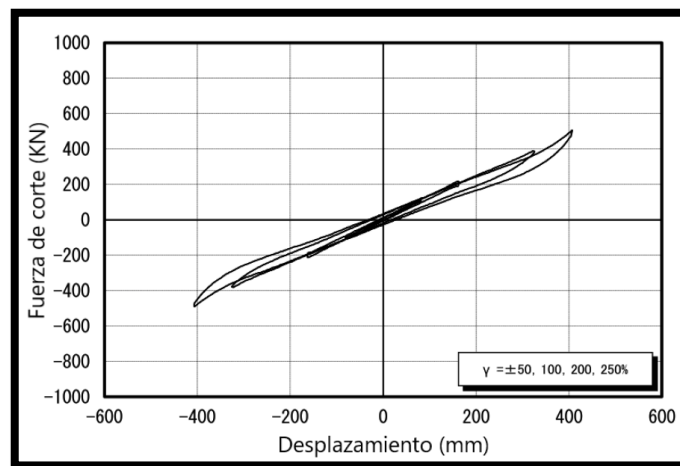


Figura 15. Fuerza de corte VS desplazamiento aislador NRB

Fuente: (Bridgestone, 2017)

2.7.1.2. Aislador elástico de alto amortiguamiento (HDR) High Damping Rubber Bearing

Este dispositivo utiliza un caucho de alto amortiguamiento, modificado agregando aditivos que permite obtener un mejor desempeño. Aportan amortiguamiento entre 10% y 20%.

“En este dispositivo generalmente, no se requiere un amortiguador separado, lo que lo convierte en una excelente opción para áreas con limitaciones de espacio” (Bridgestone, 2017)

“Las curvas de histéresis son relativamente suaves, el aislamiento sísmico también se puede extender al equipo dentro del edificio, se pueden acomodar desde cargas de columnas ligeras hasta edificios de gran altura” (Bridgestone, 2017).

“Una de las desventajas es que sus propiedades se deterioran significativamente para varios ciclos de carga” (Bridgestone, 2017)

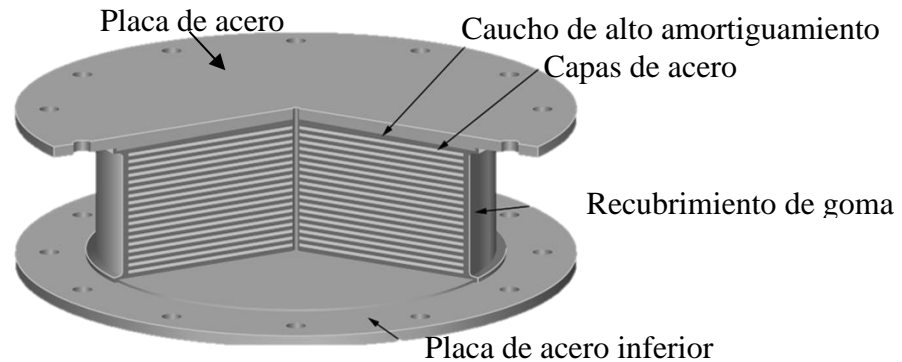


Figura 16. Aislador elástico de alto amortiguamiento (HDR)

Fuente: (Bridgestone, 2017)

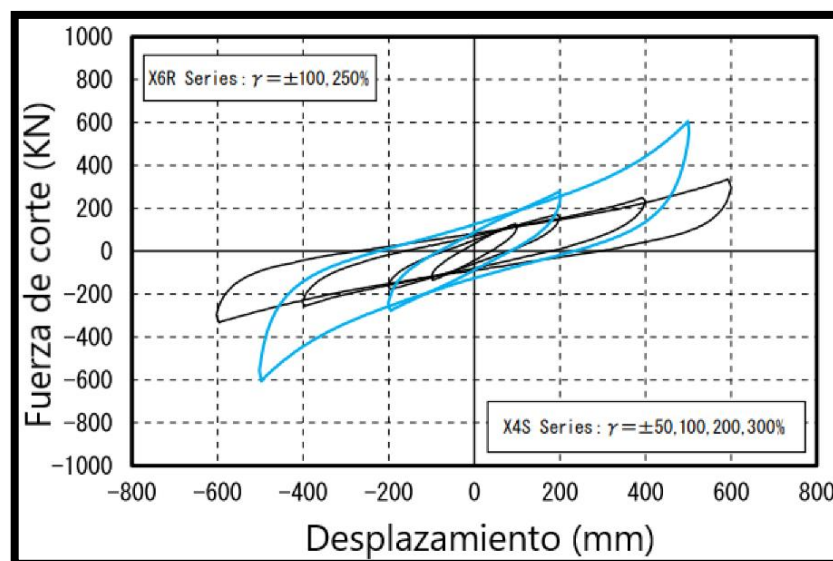


Figura 17. Fuerza de corte VS desplazamiento aislador HDR

Fuente: (Bridgestone, 2017)

- Deformación máxima por corte del 200 al 300 %.
- Relación del amortiguamiento del 10 al 20 % en deformación por corte al 100 %.
- Modulo de corte de 50 a 200 psi.

2.7.1.3. Aislador elastomérico de núcleo de plomo (LRB)

“Este aislador incluye un núcleo de plomo colocado en el centro del aislador de caucho natural laminado, donde el caucho incorpora la capacidad de resorte y el núcleo de plomo proporciona la capacidad de amortiguación” (Bridgestone, 2017)

“En este tipo de aislador generalmente, no se requiere un amortiguador separado, lo que lo convierte en una buena opción para áreas con limitaciones de espacio. Su histéresis se asemeja a los materiales elastoplásticos” (Bridgestone, 2017)

“La atenuación se puede ajustar variando el diámetro de la clavija del cable. Aportan amortiguamiento entre 15% y 35%” (Bridgestone, 2017)

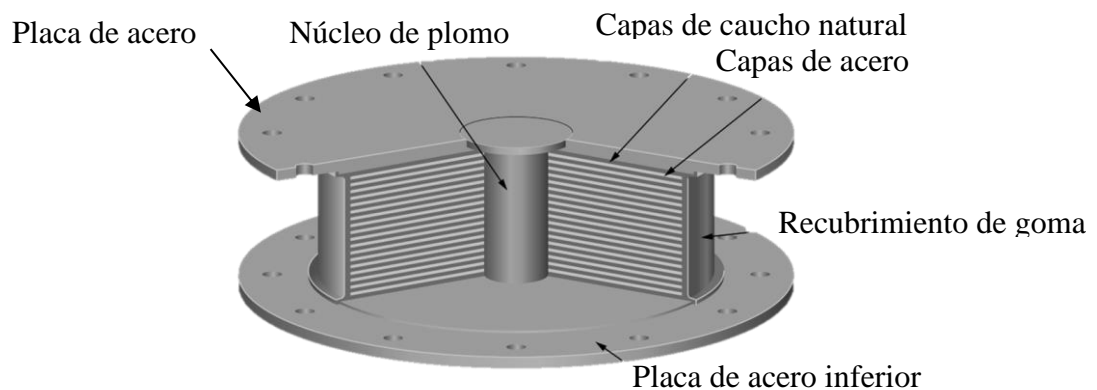


Figura 18. Aislador elastomérico de núcleo de plomo (LRB)

Fuente: (Bridgestone, 2017)

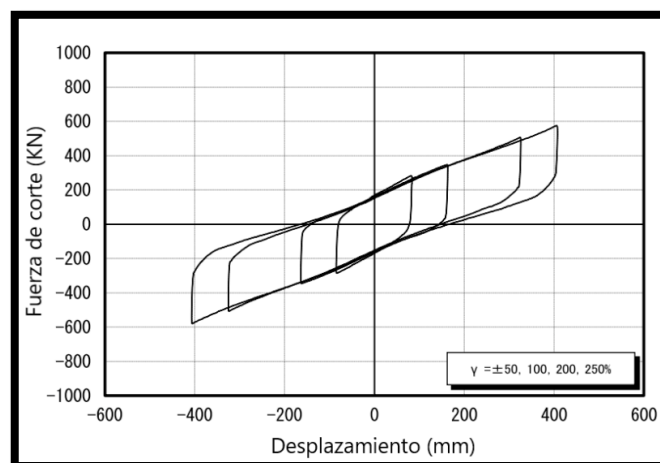


Figura 19. Fuerza de corte VS desplazamiento aislador LRB

Fuente: (Bridgestone, 2017)

“El plomo es utilizado principalmente por su comportamiento elastoplástico, su capacidad de mantener la resistencia durante múltiples ciclos de deformaciones plásticas, además tiene altos valores de amortiguamiento, pueden llegar al 25% o inclusive al 30% del amortiguamiento crítico” (Chopra, 2014).

- Deformación máxima por corte del 125 al 250%.
- Relación del amortiguamiento del 15 al 35 % en deformación por corte al 100%.
- Modulo de corte de 85 a 100 psi.

2.7.1.4. Aisladores deslizantes

“Este aislador consta de 2 piezas: un aislador de caucho natural unido con material de PTFE (teflón) y una placa de deslizamiento de acero inoxidable” (Bridgestone, 2017)
“Los pequeños desplazamientos son absorbidos por la propia goma, mientras que los grandes desplazamientos hacen que el aislador de goma se deslice sobre la placa” (Bridgestone, 2017)

Dado que no hay fuerza de restauración, el aislador de deslizamiento se utiliza normalmente en combinación con NRB, LRB o HDR. Se encuentran disponibles dos coeficientes de fricción diferentes para adaptarse a los requisitos de amortiguación.

“Se basan en apoyos con planchas metálicas que permiten desplazamientos relativos entre las dos planchas, Una plancha va sujeta a la fundación y la otra a la estructura” (Bridgestone, 2017)

“El desplazamiento relativo de las planchas permite aislar el movimiento de la fundación del de la estructura, por lo que no se transmite toda la energía de movimiento a la estructura” (Bridgestone, 2017)

“Estos sistemas deben producir poca fricción a fin de sólo transmitir parte de la fuerza de corte, pero, por otro lado, la fricción debe ser suficiente como para que fuertes vientos o pequeños temblores no generen desplazamientos” (Bridgestone, 2017)

2.7.2. Procedimiento diseño de sistemas de aislamiento de base

En el diseño de aisladores elastomericos se sigue las recomendaciones de las normas peruanas la E.030 diseño sismorresistente, E.031 de aislamiento sísmico, como también catálogo de fabricación de aisladores. La metodología de diseño consiste en un procedimiento iterativo.

Se procede con el diseño de aisladores en el base una vez concluido el modelamiento de la estructura convencional, en donde se determina las características como: parámetros sísmicos (Z , S , R , T_P y T_L), peso sísmico de la estructura total (W), Peso sísmico de la estructura sin considerar base (W_s), periodo fundamental de la estructura convencional (T), excentricidad real (e), dimensiones en planta corta y larga de la estructura.

Se realiza el predimensionamiento de elementos estructurales como: viga y losa maciza para para proceder a obtener peso sísmico de la estructura total (W) con sistema aislado.

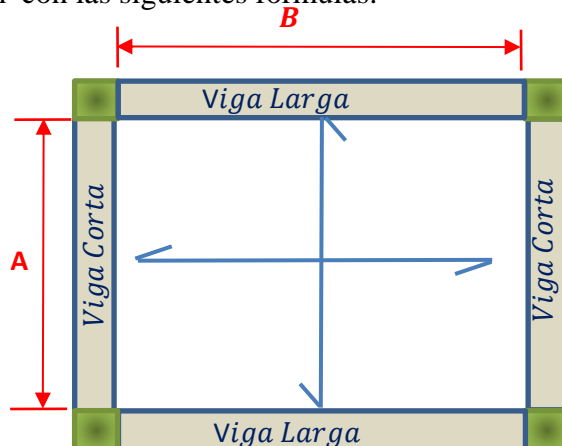
Las **losas macizas** bidireccionales por encima del nivel de aislamiento se pre dimensionan el perímetro dividido entre 180. Las losas macizas trabajan como elementos en dos direcciones son más resistentes y con mayor inercia.

Las **vigas** que corresponden a losas macizas bidireccionales por encima del nivel de aislamiento se predimensionan con las siguientes formulas:

$$b = \frac{A}{20}$$

$$h_A = \frac{A}{\alpha}$$

$$h_B = \frac{B}{\beta}$$





Donde:

b = Ancho de la viga

h = Peralte de la viga

A = Dimensión menor del panel

B = Dimensión mayor del panel

α y β = Coeficientes obtenidos de la tabla

Tabla 23. Coeficientes α y β

A/B	Sobrecarga (kg/m ²)	α	β
A/B > 0.67 o A/B = 1.0	250	13	13
	500	11	11
	750	10	10
	1000	9	9
A/B < 0.67	250	13	11
	500	11	10.3
	750	10	9.2
	1000	9	8.3

Fuente: (Morales, 2010)

Posteriormente se realiza un procedimiento iterativo, culmina cuando los valores finales obtenidos periodo $T_M(2)$, el amortiguamiento efectivo $\beta_M(2)$ coincidan con los valores estimados $T_M(1)$ y $\beta_M(1)$.

A continuación, se presenta un diagrama de flujo en donde se indica el procedimiento a desarrollar en forma general.

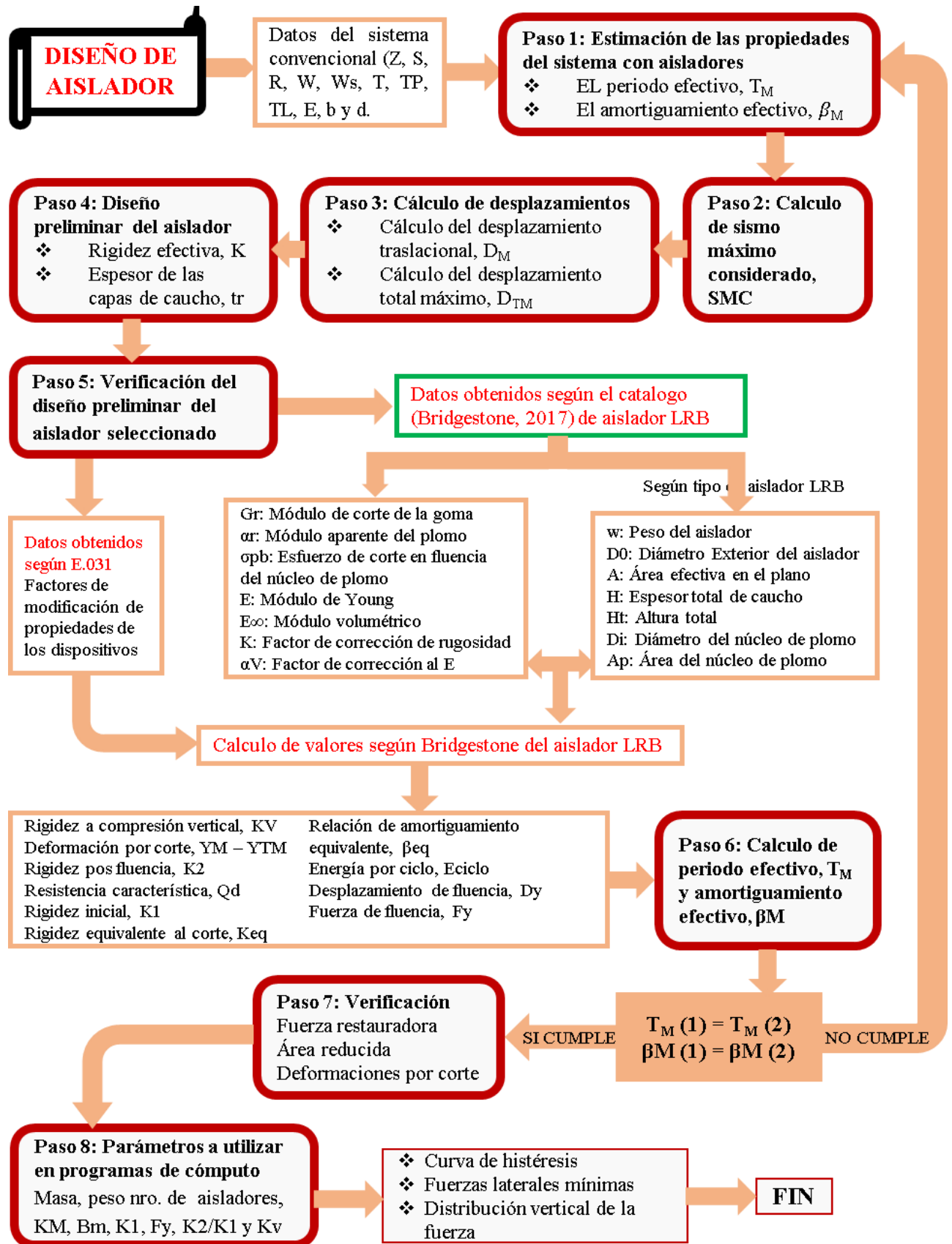


Figura 20. Diagrama de flujo de diseño de los aisladores elastoméricos LRB

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Paso 1: Estimación de las propiedades del sistema con aisladores

EL periodo efectivo de la estructura aislada T_M , se puede asumir inicialmente como 2 a 3 veces el periodo de la estructura convencional T , estos valores son para una primera iteración.

$$T_M = (2 \text{ a } 3) * T_{Estructura\ convencional}$$

El amortiguamiento efectivo de la estructura β_M , se puede asumir como 15% a 20% del amortiguamiento crítico, estos valores son para una primera iteración.

Posteriormente deberá ser verificado mediante el procedimiento iterativo como se indica en el diagrama de flujo de diseño de los aisladores elastoméricos LRB.

Paso 2: Calculo de sismo máximo considerado

El espectro elástico de pseudo aceleraciones correspondiente al sismo máximo considerado (SMC), se determina como:

$$SMC = 1.5 * ZCS * g$$

Según norma (E.030 Diseño Sismorresistente, 2018) se definen los siguientes parámetros:

Z: Factor de zona

C: Factor de amplificación sísmica

S: Factor de suelo

El parámetro “C” es definido por las siguientes ecuaciones:

$$T < 0.2 * T_p \dots \dots \dots C = 1 + 7.5 * \left(\frac{T}{T_p}\right)$$

$$0.2 * T_p < T < T_p \dots \dots \dots C = 2.5$$

$$T_p < T < T_L \dots \dots \dots C = 2.5 * \left(\frac{T_p}{T}\right)$$

$$T > T_L \dots \dots \dots C = 2.5 * \left(\frac{T_p * T_L}{T^2}\right)$$

T es el período fundamental de vibración

Paso 3: Cálculo de desplazamiento laterales considerados para el diseño

Cálculo del desplazamiento traslacional, D_M

Es el desplazamiento en el centro de rigidez del sistema de aislamiento sísmico, en la dirección de análisis.

“El sistema de aislamiento sísmico debe ser diseñado y construido para soportar, como mínimo, el desplazamiento máximo, D_M , determinado utilizando los límites superiores e inferiores de las propiedades” (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)

$$D_M = \frac{SMC * T_M^2}{4 * \pi^2 * B_M}$$

SMC: Ordenada del espectro elástico de pseudo aceleraciones correspondiente al sismo máximo considerado (mm/s^2)

T_M : Período efectivo de la estructura sísmicamente aislada (s)

B_M : Factor de amortiguamiento, correspondiente a la razón entre la ordenada espectral para 5% del amortiguamiento crítico y el amortiguamiento efectivo β_M

Tabla 24. Factor de amortiguamiento β_M

Amortiguamiento Efectivo, β_M (En porcentaje del amortiguamiento crítico)	Factor B_M
≤ 2	0.80
5	1.00
10	1.20
20	1.50
30	1.70
≥ 40	1.90

Fuente: Hoja de cálculo Excel

a: β_M se basa en el amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento sísmico

b: Para valores de β_M diferentes de los indicados, el factor B_M se obtendrá por interpolación lineal.

Cálculo del desplazamiento total máximo, D_{TM}

“El desplazamiento total de los elementos del sistema de aislamiento sísmico debe incluir el desplazamiento adicional de la torsión real y accidental, calculado con la rigidez lateral del sistema de aislamiento y la ubicación más desfavorable de la masa excéntrica” (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)

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

D_M : Desplazamiento traslacional en el centro de rigidez del sistema de aislamiento sísmico, en la dirección de análisis

y : Distancia entre el centro de rigidez del sistema de aislamiento sísmico y el elemento de interés.

e : Excentricidad obtenida como la suma de la distancia en planta entre el centro de masa de la estructura sobre la interfaz de aislamiento y el centro de rigidez del sistema de aislamiento sísmico, más la excentricidad accidental, tomada como 5% de la mayor dimensión en planta del edificio

b : Dimensión menor de la proyección en planta de la estructura (mm)

d : Dimensión mayor de la proyección en planta de la estructura (mm)

P_T : Razón entre el período traslacional efectivo y el período rotacional efectivo.

Nota: El desplazamiento total D_{TM} no será menor que $1.15 D_M$

Paso 4: Diseño preliminar del aislador

Diámetro del aislador

El aislador elastomérico deberá tener un diámetro, de no menos que 1.25 veces la demanda de desplazamiento del sismo máximo considerado.

$$\varphi_{Aislador} = 1.25 * D_{TM}$$

Rigidez efectiva, K_M

$$K_M = \frac{4\pi^2}{g} * \frac{W}{T_M^2}$$



W: Peso sísmico de la estructura total (Ton ó kN-s2/m)

T_M: Periodo objetivo (s)

Espesor de las capas de caucho, t_r

$$t_r = \frac{G_{100\%} * A}{K_M}$$

t_r: Espesor de las capas de caucho (mm)

G_{100%}: Módulo de corte de la goma (psi)

A: Área del aislador (m²)

K_M: Rigidez efectiva (klb/plg)

Paso 5: Verificación del diseño preliminar del aislador seleccionado

Se procede a seleccionar el tipo aislador elastomérico LRB del catálogo Bridgestone (2017), con el diámetro del aislador y el espesor de las capas de caucho calculados en el paso 4, tomando en cuenta estos valores como mínimos.

Se obtienen datos la norma E.031 Aislamiento Sísmico, también del catálogo Bridgestone, del aislador LRB y del tipo de aislador LRB seleccionado.

- Datos obtenidos del catálogo (Bridgestone, 2017) del aislador LRB

G_r: Módulo de corte de la goma

α_r: Módulo aparente de corte del plomo

σ_{pb}: Esfuerzo de corte en fluencia del núcleo de plomo

E: Módulo de Young

E_∞: Módulo volumétrico

K: Factor de corrección de E por rugosidad

α_v: Factor de corrección al módulo de young

- Datos obtenidos del catálogo (Bridgestone, 2017) en función al tipo de aislador LRB

w: Peso del aislador

D₀: Diámetro Exterior del aislador



A: Área efectiva en el plano

H: Espesor total de caucho

Número de capas de caucho

t_r : Espesor de cada capa de caucho

H_t : Altura total

D_i : Diámetro efectivo del núcleo de plomo

A_p : Área efectiva del núcleo de plomo

- Datos obtenidos de la norma (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)

Factores de modificación de propiedades de los dispositivos

“El diseño de estructuras sísmicamente aisladas, debe considerar la posible influencia de la velocidad de carga y las variaciones en las propiedades del aislador durante la vida útil, incluyendo cambios debidos al envejecimiento, contaminación, exposición al ambiente y temperatura” (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)

“Los factores de modificación de las propiedades, máximo y mínimo (λ) se utilizan para tener en cuenta la variación de los parámetros de diseño nominal de cada tipo de unidad de aislamiento por los efectos del calentamiento debido al movimiento dinámico cíclico, velocidad de carga, scragging y recuperación, variabilidad en las propiedades de producción, temperatura, envejecimiento, exposición ambiental y contaminación” (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)

“Para cada tipo de aislador, el factor máximo de modificación de las propiedades, λ_{max} , y el factor mínimo de modificación de propiedad, λ_{min} , se establecerán a partir de la contribución de los factores de modificación de propiedad” (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)

$$\lambda_{min} = (1 - (0.75 * (1 - \lambda_{ae,min}))) * \lambda_{tvs,min} * \lambda_{fab,min}$$

$$\lambda_{max} = (1 + (0.75 * (\lambda_{ae,max} - 1))) * \lambda_{tvs,max} * \lambda_{fab,max}$$

$\lambda_{ae,min}$: Factor de modificación para determinar el máximo valor de una propiedad del aislador, considerando las condiciones ambientales y el envejecimiento.

$\lambda_{ae,max}$: Factor de modificación para determinar el mínimo valor de una propiedad del aislador, considerando las condiciones ambientales y el envejecimiento.

$\lambda_{tvs,min}$: Factor de modificación para determinar el máximo valor de una propiedad del aislador, considerando las condiciones de temperatura, velocidad de carga y scragging.

$\lambda_{tvs,max}$: Factor de modificación para determinar el mínimo valor de una propiedad del aislador, considerando las condiciones de temperatura, velocidad de carga y scragging.

$\lambda_{fab,min}$: Factor de modificación para determinar el máximo valor de una propiedad del aislador, considerando la variabilidad en la fabricación de aisladores de la misma dimensión.

$\lambda_{fab,max}$: Factor de modificación para determinar el mínimo valor de una propiedad del aislador, considerando la variabilidad en la fabricación de aisladores de la misma dimensión.

Tabla 25. Factores de modificación máximos y mínimos para fabricantes desconocidos

	Interfaz sin lubricación	Interfaz lubricada	Aislador de bajo amortiguamiento	Aislador de caucho con núcleo de plomo	Aislador de caucho con núcleo de plomo	Aislador de alto amortiguamiento	Aislador de alto amortiguamiento
Variable	u o Qd	u o Qd	K	Kd	Qd	Kd	Qd
Máximo Factor de Modificación λ máx.	2.1	3.2	1.8	1.8	1.8	2.2	1.8
Mínimo Factor de Modificación λ min.	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

Fuente: (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)

Tabla 26. Factores de modificación máximos y mínimos para fabricantes calificados

	Interfaz sin lubricación	Interfaz lubricada	Aislador de bajo amortiguamiento	Aislador de caucho con núcleo de plomo	Aislador de caucho con núcleo de plomo	Aislador de alto amortiguamiento	Aislador de alto amortiguamiento
Variable	u o Qd	u o Qd	K	Kd	Qd	Kd	Qd
Máximo							
Factor de Modificación λ máx.	1.6	2.25	1.3	1.3	1.5	2	1.7
Mínimo							
Factor de Modificación λ min.	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

Fuente: (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)

Cálculo de parámetros según del catalogo (Bridgestone, 2017)

Rigidez a compresión vertical, K_V

$$K_V = \alpha_V * E_C * \frac{A}{H}$$

$$S_1 = \frac{D_0}{4*Tr} \quad ; \quad S_2 = \frac{D_0}{\#Goma*Tr} \quad y \quad E_C = \frac{E*(1+2*k*S_1^2)}{1+E*(1+2*k*S_1^2)/E_\infty}$$

S_1 : Primer factor de forma del material

S_2 : Segundo factor de forma del material

E_C : Módulo de compresión efectivo

Deformación por corte, $Y_M - Y_{TM}$

$$\gamma_M = \frac{D_M*100\%}{H} \quad y \quad \gamma_{TM} = \frac{D_{TM}*100\%}{H}$$

D_M : Desplazamientos máximo

D_{TM} : Desplazamiento total máximo

H: Espesor total de caucho

Rigidez post fluencia, K_2

$$K_2 = K_D = C_{Kd} * (K_r + K_p)$$



$$K_r = \frac{G_r * A_r}{H} \quad ; \quad K_p = \frac{\alpha_p * A_p}{H} \quad \text{y} \quad C_{Kd} = \begin{cases} \text{Si: } \gamma_M < 0.25 \rightarrow 0.779 * \gamma_M^{-0.43} \\ \text{Si: } 0.25 \leq \gamma_M < 1.00 \rightarrow \gamma_M^{-0.25} \\ \text{Si: } 1.00 \leq \gamma_M < 2.50 \rightarrow \gamma_M^{-0.12} \end{cases}$$

C_{Kd} : Factor de corrección a la rigidez post-fluencia

K_r : Rigidez al corte de la goma laminada

K_p : Rigidez al corte adicional por núcleo de goma

Resistencia característica, Q_d

$$Q_d = C_{Qd} * \sigma_{pb} * A_p$$

$$C_{Qd} = \begin{cases} \text{Si: } \gamma_M \leq 0.10 \rightarrow 2.036 * \gamma_M^{0.41} \\ \text{Si: } 0.10 < \gamma_M < 0.50 \rightarrow 1.106 * \gamma_M^{0.145} \\ \text{Si: } 0.50 \leq \gamma_M \rightarrow 1 \end{cases}$$

C_{Qd} : Factor de corrección a la resistencia característica

Rigidez inicial, K_1 y rigidez equivalente al corte, K_{eq}

$$K_1 = \beta * K_2 \quad \text{y} \quad K_{eq} = \frac{2\pi}{\gamma_M * H} + K_2$$

β : Relación entre la rigidez inicial y la rigidez post fluencia que se encuentra entre

10 a 15. (Valor recomendado: 13)

Relación de amortiguamiento equivalente, β_{eq}

$$\beta_{eq} = \frac{2}{\pi} * \frac{Q_d * (\gamma_M * H - \frac{Q_d}{(\beta-1) * K_d})}{K_{eq} * (\gamma_M * H)^2}$$

β : Relación entre la rigidez inicial y la rigidez post fluencia que se encuentra entre

10 a 15. (Valor recomendado: 13)

Energía por ciclo, E_{ciclo} : $E_{ciclo} = 2\pi * K_{eq} * \beta_{eq} * D_M^2$

Desplazamiento de fluencia, D_y : $D_y = \frac{Q_d}{K_1 - K_2}$

Fuerza de fluencia, F_y : $F_y = Q_d + K_2 * D_y$

Fuerza en el asiento de apoyo: $F_{apoyo} = Q_d + D_M * K_2$

Paso 6: Calculo de periodo efectivo, T_M y amortiguamiento efectivo, β_M

$$T_M = 2\pi * \sqrt{\frac{m}{K_{eq}}} \text{ y } \beta_M = \frac{E_{ciclo}}{2 * \pi * K_{eq} * D_M^2}$$

β : Relación entre la rigidez inicial y la rigidez post fluencia que se encuentra entre 10 a 15. (Valor recomendado: 13)

Paso 7: Verificación

Verificación de fuerza restauradora

“El sistema de aislamiento sísmico debe ser diseñado para que sea capaz de producir una fuerza lateral de restitución en el desplazamiento máximo, considerando tanto sus propiedades límite superior como inferior, a fin que resulte mayor en por lo menos 0,025 P a la fuerza lateral correspondiente al 50% del desplazamiento máximo” (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)

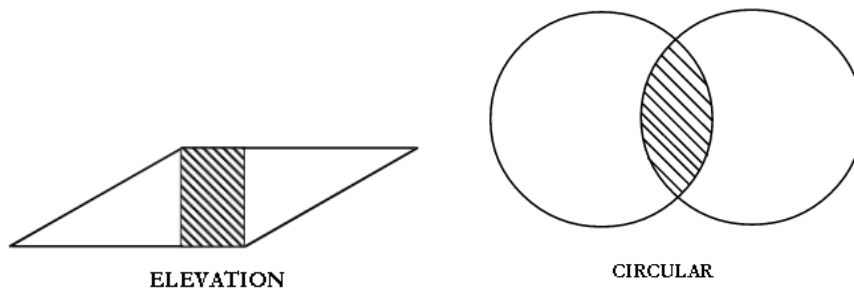
$$F_{DD} = K_{eq} * D_M \text{ y } F_{0.5DD} = K_{eq(0.5DD)} * D_{M(0.5DD)}$$

$$F_{DD} - F_{0.5DD} > 0.025 * P \rightarrow P: \text{Peso sísmico}$$

Verificación de la relación entre el área reducida y el área efectiva >30%

Un área reducida de caucho, A_r , se calcula con base en las áreas superpuestas entre la parte superior e inferior del rodamiento en un desplazamiento

$$\zeta = \sqrt{D_0^2 - D_M^2} \rightarrow A_r = 0.5 * (D_0^2 * A_{SENO}(\frac{\zeta}{D_0}) - D_M * \zeta)$$



Verificación de las deformaciones por corte <5.5

La deformaciones por corte, $\varepsilon_{s,eq} + 0.5\varepsilon_r \leq 5.5$

$$\Delta_s = 0.05 * D_M \rightarrow \varepsilon_{s,eq} = \frac{\Delta_s}{H}$$



$$\varepsilon_r = 0.375 * D_0^2 * H * \frac{\theta}{tr}$$

Δ_s : Deformación debido al desplazamiento no sísmico (5%DM)

$\varepsilon_{s,eq}$: Deformación por corte debido al desplazamiento no sísmico

θ : Rotación de diseño por efectos de DL, LL y construcción

ε_r : Rotación de diseño por efectos de DL, LL y construcción

Paso 8: Parámetros a utilizar en programas de cómputo

- Número total de aisladores
- Masa
- Peso
- Rigidez efectiva, K_{eq} (U2, U3)
- Amortiguamiento efectivo, β_e (U2, U3)
- Rigidez, K_1 (U2, U3)
- Resistencia a la fluencia, F_y (U2, U3)
- Relación de la rigidez post-fluencia, K_2 / K_1 (U2, U3)
- Rigidez efectiva vertical, K_v (U1)

Paso 9: Curva de histéresis del aislador LRB - no lineal

Los dispositivos de aislamiento son introducidos en el análisis del sistema por medio de un modelo bilineal. Se define por los siguientes valores Q_d , F_y , D_y , $K_2= K_d$ y K_{eff} para tener unas características histeréticas bilineales.

“El valor asumido de k_e , es mediante un ajuste visual a la rigidez elástica de la unidad de aislador durante la descarga inmediatamente después de D_M ” (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)

“Se permite utilizar diferentes métodos para ajustar los parámetros, tal como un ajuste de la recta de, K_d , directamente en la curva de histéresis y luego determinar K_e para

que coincida con E_{ciclo} , o la definición de D_y y F_y por ajuste visual y luego determinar K_d para que coincida con E_{ciclo} ” (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)

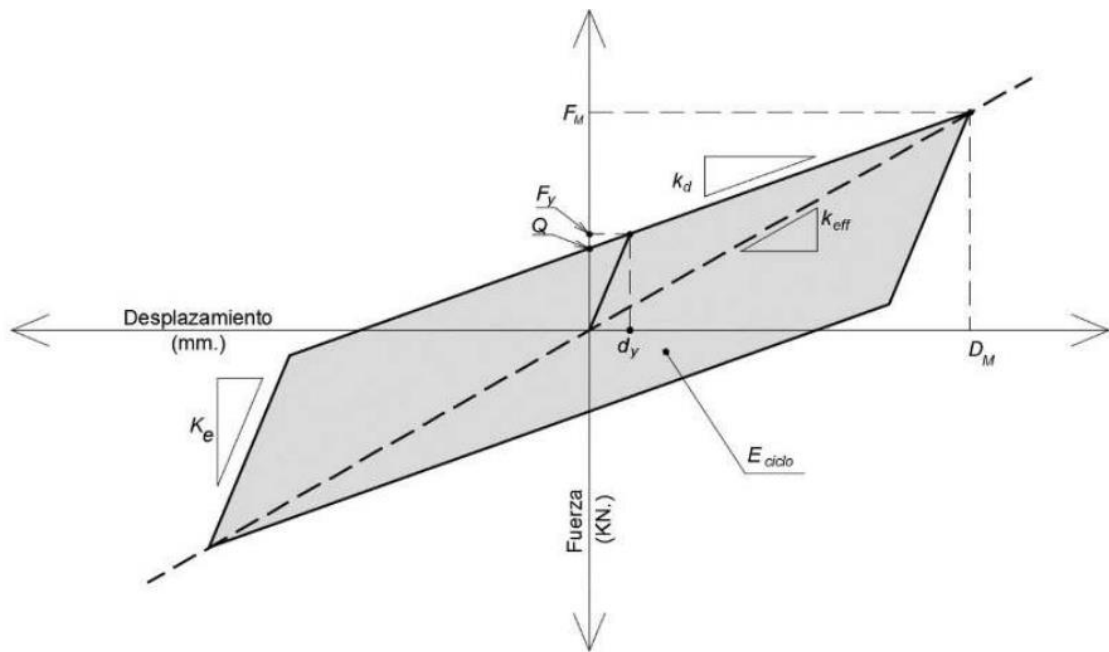


Figura 21. Propiedades del modelo bilineal fuerza - deformación del aislador

Fuente: (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)

2.7.3. Análisis sísmico

2.7.3.1. Fuerzas laterales mínimas y distribución vertical de la fuerza

2.7.3.1.1. Sistema de aislamiento y elementos estructurales por debajo del nivel base

El sistema de aislación, la cimentación, y todos los elementos estructurales por debajo del nivel de base deberán diseñarse y construirse para mantener una fuerza sísmica mínima lateral, V_b , usando todos los requerimientos aplicables para una estructura no aislada.

$$V_b = K_M * D_M \rightarrow Coef_b = \frac{V_b}{W}$$

K_M = Rigidez efectiva del sistema de aislamiento sísmico en la dirección de análisis.

D_M = Desplazamiento traslacional en la dirección de análisis.

2.7.3.1.2. Elementos estructurales sobre el nivel base

La estructura por encima del nivel de base debe ser diseñada y construida utilizando todos los requisitos aplicables para una estructura no aislada, para una fuerza de corte mínima, V_s , determinada considerando los límites superior e inferior de las propiedades del sistema de aislamiento sísmico

$$V_{st} = V_b * \left(\frac{W_s}{W}\right)^{(1-2.5*\beta)} \rightarrow V_s = \frac{V_{st}}{R_a} \rightarrow Coef_s = \frac{V_s}{W}$$

R_a : Coeficiente de reducción aislado, calculado como $R_a=3/8R_0$, $1 < R_a < 2$

R_0 : Coeficiente básico de reducción convencional, definido por E.030.

V_{st} : Fuerza cortante no reducida actuante sobre los elementos por encima del nivel de base.

Fuerzas laterales mínimas

Distribución vertical de la fuerza

2.7.3.1.3. Distribución vertical de la fuerza

La fuerza sísmica lateral V_s debe distribuirse entre los distintos niveles de la estructura sobre el sistema de aislamiento sísmico

$$F_1 = \frac{V_s - V_{st}}{R_a} \rightarrow F_i = \frac{W_i * h_i^k}{\sum_{j=2}^n W_j * h_j^k} * V_s \rightarrow K = 14 * T_{fb} * \beta_{eff}$$

F_1 : Fuerza sísmica lateral en el nivel de base

F_i : Fuerza sísmica lateral en el nivel i .

h_i : Altura del nivel i respecto al nivel de base

n : Número de pisos de la estructura sobre la interfaz de aislamiento.

W_i : Parte del peso P que se ubica en o se asigna al nivel i

T_1 : Periodo fundamental de la estructura considerada con base fija

β_{eff} : Amortiguamiento efectivo

2.7.3.2. Análisis dinámico modal espectral

El análisis dinámico modal espectral se puede realizar mediante dos opciones:

En la primera opción se realiza el cálculo usando un espectro de diseño modificado tomando en cuenta la diferencia en el amortiguamiento debido a los modos aislados. Se genera espectros modificados reducidos y se considera una relación de amortiguamiento calculado en procedimiento de diseño de sistema de aislamiento.

En la segunda opción se realiza el cálculo modificando directamente el valor del amortiguamiento efectivo β_M para los modos aislados calculado en el procedimiento de diseño de aisladores, se utiliza directamente el espectro de respuesta para sismo de diseño elástico para sistemas con aislamiento en la base con una relación de amortiguamiento del 5% y modificar las relaciones de amortiguamiento de los modos aislados.

2.7.3.3. Análisis dinámico tiempo historia

Se realizó tal como se indica en el ítem de modelamiento de la edificación con un sistema convencional.

2.7.4. Verificaciones con norma E.031 de la estructura con aisladores

2.7.4.1. Periodos de participación modal y modos de vibración

Los modos de vibración determinan el comportamiento de la estructura ante un evento sísmico, la verificación de los modos de vibración podrá determinarse por un procedimiento de análisis que considere apropiadamente las características de rigidez y la distribución de las masas.

2.7.4.2. Fuerzas y desplazamientos laterales mínimos

Sistema de aislamiento sísmico y elementos estructurales en la subestructura:

a) El sistema de aislamiento sísmico, la cimentación y todos los elementos estructurales de la subestructura deben ser diseñados usando todos los requerimientos apropiados para una estructura no aislada y las fuerzas obtenidas del análisis dinámico sin reducción.



b) Esta fuerza lateral de diseño para el sistema de aislamiento sísmico, la subestructura y la cimentación, no debe ser menor a 90% de V_b determinada con la ecuación 10.

c) El desplazamiento total del sistema de aislamiento sísmico debido al SMC, no debe ser menor que el 80 % de DTM especificado en el numeral 20.3 del artículo 20 de la presente Norma Técnica pudiendo usar $D'M$ en lugar de DM

2.7.4.3. Desplazamiento y límites de la deriva

Los desplazamientos se calculan en cada nivel y de forma independiente para el límite superior e inferior de las propiedades del sistema de aislamiento sísmico.

La deriva máxima de entrepiso correspondiente al SMC y un factor de reducción $R_a=1$, incluyendo el desplazamiento ocasionado por la deformación vertical del sistema de aislamiento sísmico, debe cumplir con alguno de los siguientes límites:

a) La máxima deriva de entrepiso de la superestructura calculado por el análisis modal espectral no debe exceder 0,0035.

b) La máxima deriva de entrepiso de la superestructura calculado por el análisis tiempo-historia, considerando las características de fuerza-deformación no lineales de la interfaz de aislamiento, no debe exceder 0,005.

2.8. SISTEMAS DE DISIPACION DE ENERGIA

La disipación de energía consiste en introducir en la edificación, dispositivos que tienen la función de canalizar la energía hacia el dispositivo y disipar la misma ocasionada por vibraciones provenientes de los sismos, estos también dependen de su tipo pueden añadir propiedades mecánicas a la estructura (amortiguamiento, rigidez).

Según el ASCE 7 – 10, se tiene una clasificación de disipadores de energía presentada en el siguiente diagrama:

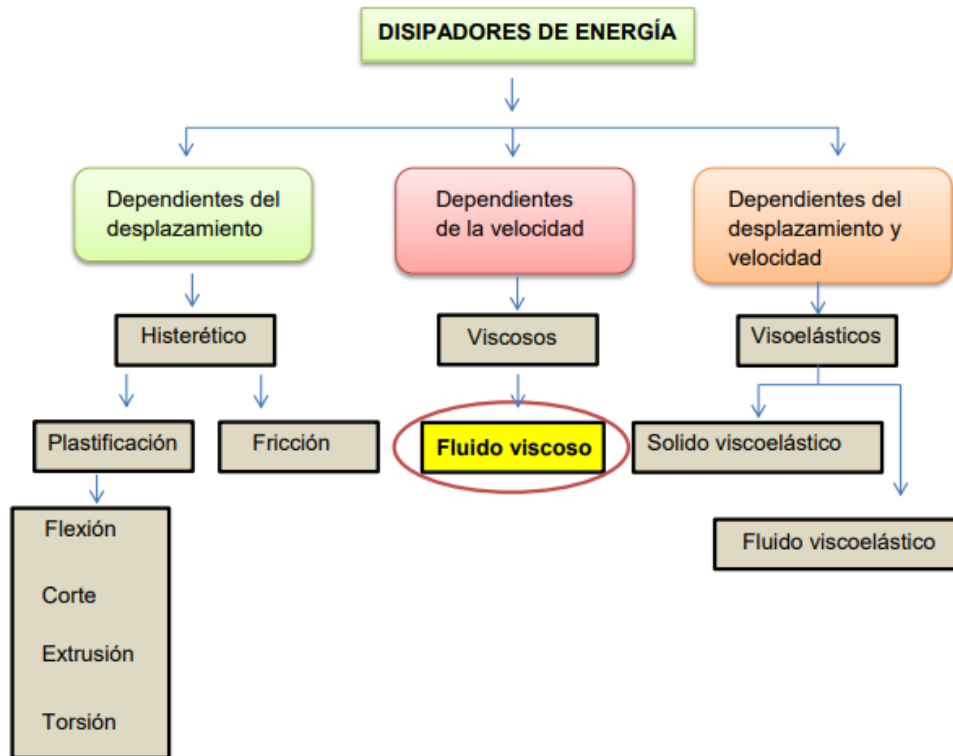


Figura 22. Clasificación de disipadores de energía

Fuente: Villarreal Genner, Oviedo Sarmiento – edificaciones con dispositivos pasivos de disipación de energía 2009.

2.8.1. Disipadores histéricos

Los disipadores histéricos tienen la dependencia del desplazamiento; estos dispositivos incrementan rigidez y amortiguamiento en las estructuras, sin embargo, las desventajas de los disipadores histéricos es la adición de rigidez en la estructura, lo cual lo hace menos dúctil, lo cual sería poco útil para las edificaciones con una elevada rigidez. Estos disipadores histéricos tienen que ser cambiados después de un sismo severo.

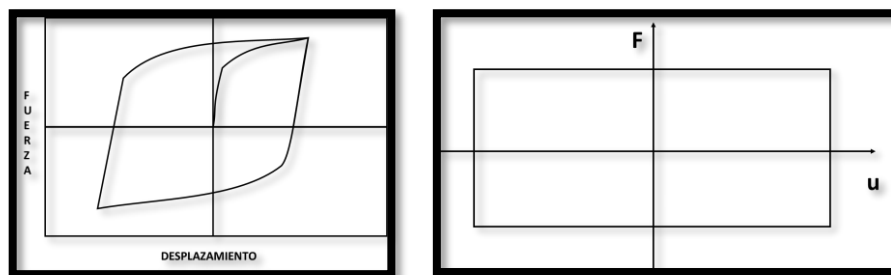


Figura 23. Diagrama de histéresis de disipadores histéricos por fluencia y fricción respectivamente

Fuente: (Fuentes, 2015)

2.8.2. Disipadores viscoelásticos

Los disipadores viscoelásticos, dependen de la velocidad y desplazamiento, estos modifican las propiedades dinámicas de la estructura de manera mínima, aportan rigidez a la estructura, son recomendables para edificaciones altas donde el periodo de la estructura es alto, sin embargo, tiene una capacidad limitada de deformaciones y tiene dependencia por la temperatura del ambiente como desventajas de uso.

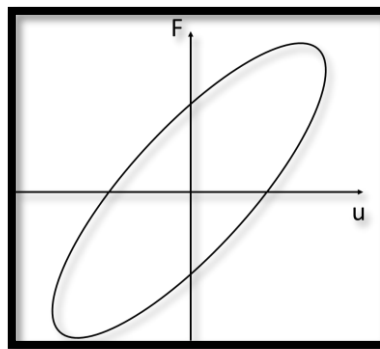


Figura 24. Diagrama de Histéresis de disipadores viscoelásticos

Fuente: (Fuentes, 2015).

2.8.3. Disipadores de fluido viscoso

Los disipadores de fluido viscoso dependen solamente de la velocidad, son los dispositivos más ideales debido a que aporta amortiguamiento a la estructura en gran medida, la dinámica de la estructura no varía (periodo), no tiene dependencia de la temperatura, y tiene muchas pruebas de su óptimo funcionamiento en operaciones militares, sin embargo, tiene como desventaja el posible drenaje del fluido viscoso compuesto por silicona líquida.

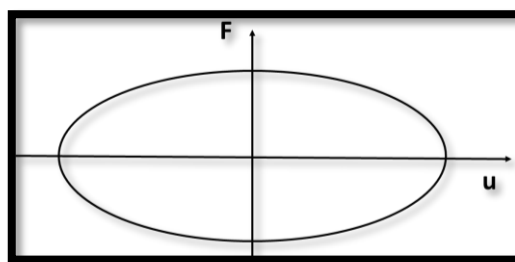


Figura 25. Diagrama de Histéresis de disipadores fluido viscoso

Fuente: (Fuentes, 2015).

2.8.4. Características del disipador utilizado

La presente investigación se enfocará en el caso de disipadores de energía de fluido viscoso debido a su facilidad de análisis matemático, por ser el disipador en la actualidad más usado y con la finalidad de aportar a la escasa información de diseño de este tipo de dispositivos. Los más comercializados en el Perú son distribuidos por la empresa Taylor, el cual es una empresa fundada en 1955 con sede principal en New York, empezó a distribuir los disipadores de energía en el año de 1977, y su primera aplicación al campo específico de la ingeniería civil fue en el año de 1993 en 5 estructuras de un centro médico ubicado en los Ángeles – California.

El dispositivo de disipación de energía y sus componentes se presentan en la siguiente imagen:

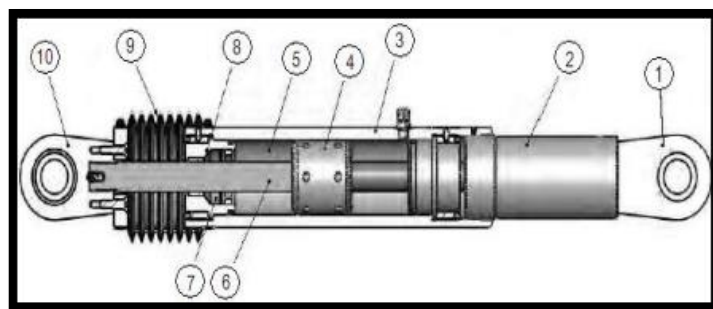


Figura 26. Disipador de energía de fluido viscoso y sus componentes

Fuente: TAYLOR DEVICE INC

A continuación, se mencionan los componentes enumerados en el diagrama:

- 1.- Horquilla final con tratamiento térmico de aleaciones de acero con protección contra la corrosión.
- 2.- Extensor de acero de carbono forjado en aluminio y protegido contra la corrosión.
- 3.- Cilindro de aleaciones de acero, resistente a los cambios de temperatura por tratamiento, protegido contra la corrosión por pintura y placas.



4.- Cabeza del pistón con orificios (intercambian de cámara al fluido) de bronce o de acero sólido.

5.- Fluido viscoso de silicona inerte, resistente al fuego, inflamación de altas temperaturas e incompresible.

6. Vástago de acero inoxidable

7.- Sellos de rodamiento y juntas dinámicas

8.- Tapa resistente a los cambios de temperatura por tratamiento, protegido contra la corrosión por pintura y placas.

9.- Fuelle de nylon reforzado con neopreno.

10.- Cojinete esférico con aleación de acero.

2.8.5. Procedimiento de cálculo de disipación de energía

En el diseño de disipadores de energía de fluido viscoso se tiene varios pasos de diseño los cuales serán enumerados a continuación:

1.- Se realiza un análisis modal espectral con el sismo de diseño $R=1$ (Según los lineamientos de la normativa E.030, E0.31 del reglamento nacional de edificaciones)

2.- Se realiza un análisis historia de respuestas lineal con los registros sísmicos de mayor magnitud en el Perú en los últimos años, con los debidos procedimientos de filtrado, corregido y escalado según las normativas E.030, E0.31 del reglamento nacional de edificaciones y recomendaciones del ASCE 7 -16)

3.- Se realiza la elección del sismo de diseño para los dispositivos de protección sísmica según las recomendaciones de diseño del FEMA 356.

4.- Se identifica el nivel de desempeño que se quiere llegar con el disipador de fluido viscoso, en donde se identificara una deriva y un amortiguamiento objetivo. (Según normativa del HAZUS, VISION 2000 y según lo especificado en la normativa E.030 y



E.031 del Reglamento Nacional de Edificaciones sobre estado de daño y niveles de sismos de diseño).

5.- Se procede al cálculo de las propiedades del dispositivo necesarias para el dispositivo específico de la edificación (coeficiente de amortiguamiento, exponente de velocidad y rigidez del dispositivo) según normativas FEMA 356 y ASCE-7-16.

6.- Se analiza la estructura con los disipadores de energía de fluido viscoso, en donde verifica la fuerza, desplazamientos propios del disipador y si cumplen con las derivas objetivas trazadas. Según las respuestas calculadas, seleccionar un disipador comercial disponible, en caso que no haya disponibilidad se realiza un procedimiento iterativo hasta llegar a estos valores.

8.- Por último, se procede a verificar el comportamiento de los dispositivos: máximo stroke (velocidad máxima del dispositivo), balance de energía (cantidad de energía disipada por el dispositivo).

A continuación, se presenta un diagrama de flujo en donde se indica el procedimiento a desarrollar en forma general.

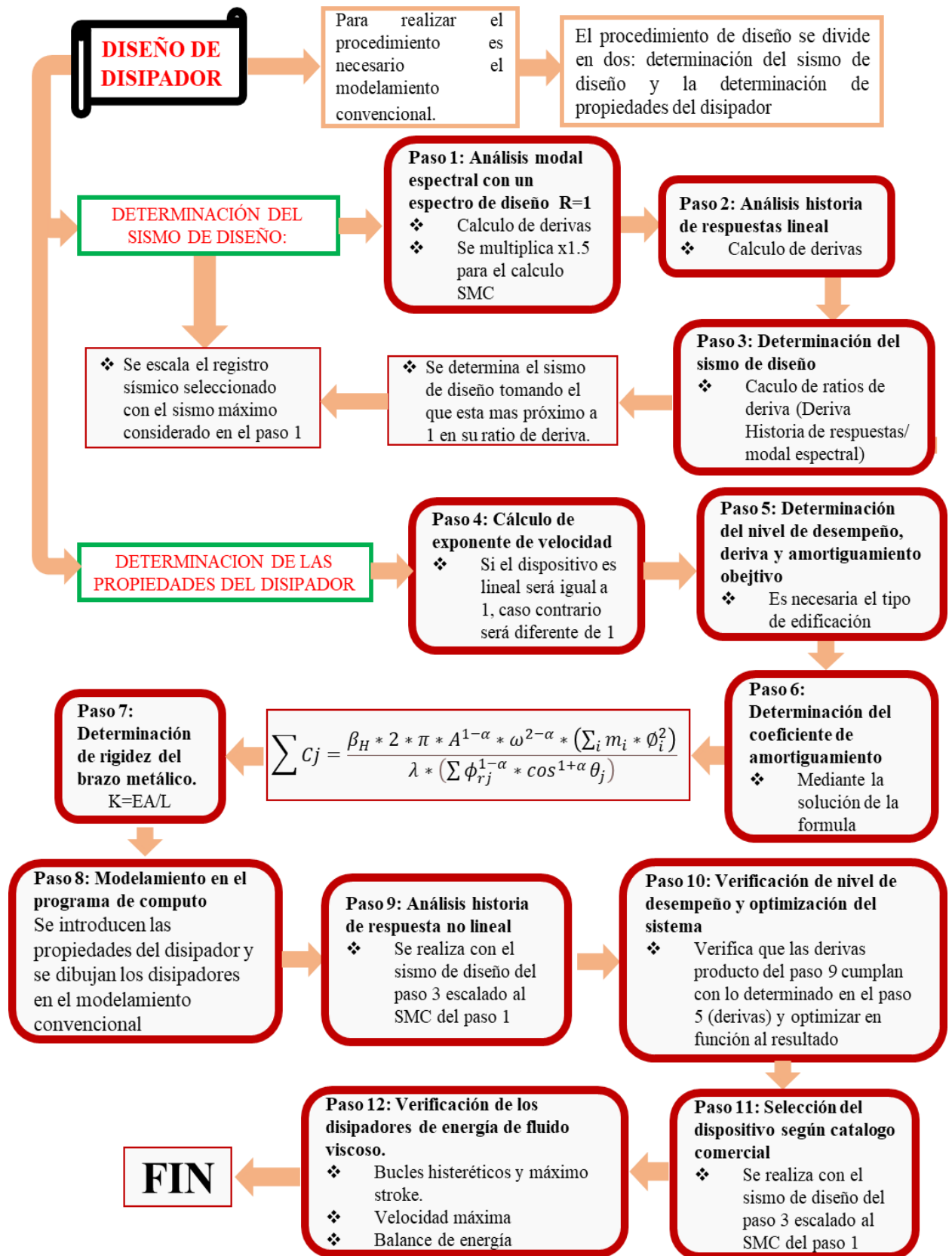


Figura 27. Diagrama de flujo de diseño de los disipadores de energía de fluido viscoso

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Paso 1: Análisis modal espectral con un sismo de diseño ($R=1$) de la edificación convencional y cálculo del sismo máximo considerado

Para comenzar con el diseño de disipadores de energía, es necesario tener previamente el modelamiento convencional de la estructura a la que se va implementar los disipadores de energía de fluido viscoso.

Se construye los espectros para un sismo de diseño y un sismo máximo considerado, siguiendo los mismos procedimientos del diseño de aisladores.

Una vez obtenido el espectro para un sismo de diseño se procede a realizar un análisis modal espectral con el espectro en mención, con la finalidad de obtener derivas correspondientes a este análisis.

Paso 2: Análisis historia de respuesta lineal:

Se realiza el análisis de historia de respuesta lineal en función a los lineamientos establecidos por la E.030 y E.031, del reglamento nacional de edificaciones, en donde especifica que los registros sísmicos para dicho análisis son 3 como mínimo para una tomar calcular resultados con las respuestas máximas del análisis y un mínimo de 7 para calcularlos con el promedio de las respuestas.

Los registros sísmicos seleccionados pasan por un proceso de corrección por línea base, filtrado de la señal original, y por consiguiente un escalado al espectro correspondiente al sismo de diseño.

Una vez concluido con las correcciones y el escalado a cada uno de los registros sísmicos que se utilizaran, se procede a realizar el cálculo de derivas mediante un análisis historia de respuestas lineal para las dos direcciones de análisis.

Paso 3: Determinación del sismo de diseño o registro sísmico de diseño:

El registro sísmico de diseño, será utilizado específicamente para el diseño del de fluido viscoso, mediante un análisis tiempo historia no lineal con registro ya mencionado.

El registro sísmico de diseño deberá tener repuestas de derivas iguales o muy cercanas a las repuestas de derivas del espectro de diseño, para lo cual según recomendaciones del libro de Genner Villareal, 2016, la relación de derivas de cada nivel del registro sísmico y el espectro de diseño no deberá ser menor a 0.8 ni mayor a 1.2.

$$0.8 \leq \frac{\Delta(\text{Deriva del registro sísmico})}{\Delta(\text{Deriva de espectro de diseño } R = 1)} \leq 1.2$$

Paso 4: Cálculo de exponente de velocidad α :

El exponente de velocidad es el valor que define la linealidad y no linealidad del dispositivo ALFA igual a 1, el dispositivo será lineal, si este es diferente de 1 será no lineal, para edificaciones los valores oscilan entre 0.4 a 0.6, sin embargo, este valor exacto te lo da el fabricante en este caso la empresa Taylor te recomienda para diseño el uso de un valor de 0.5.

Paso 5: Determinación del nivel de desempeño, deriva objetivo y amortiguamiento del sistema de disipación:

El nivel de desempeño se determina en función del estado y funcionalidad que se quiere tener en una estructura luego de un evento sísmico severo. Se referencia a la metodología Hazus para la clasificación del estado de daño, que nos valoriza el estado de daño que una edificación tendrá en derivas de entrepiso para una edificación, estas dependen también del tipo de estructura, altura de la edificación y el nivel de desempeño que queremos llegar, como lo vemos en la siguiente imagen:

Tabla 27. Derivas en función al nivel de desempeño

NIVEL DE DESEMPEÑO	Porticos de concreto resistentes a momento			Muros estructurales		
	Edificios bajos	Edificios medianos	Edificios altos	Edificios bajos	Edificios medianos	Edificios altos
	C1L	C1M	C1H	C2L	C2M	C2H
Totalmente operacional	0.005	0.033	0.025	0.004	0.027	0.002
Operacional	0.075	0.005	0.375	0.007	0.047	0.355
Seguridad	0.010	0.067	0.005	0.010	0.067	0.005
Pre colapso	0.003	0.002	0.015	0.003	0.002	0.015
Colapso	0.008	0.533	0.004	0.008	0.533	0.004

Fuente: (HAZUS, 2010)

Tabla 28. Clasificación de estructura según altura de la edificación y sistema estructural

Altura de la edificación		Porticos de concreto resistentes a momento	Muros de concreto resistentes a corte	Porticos de concreto
Edificios bajos	1-3 pisos	C IL	C2L	C3L
Edificios medianos	4 - 8 pisos	C IM	C2M	C3M
Edificios altos	9 a mas	C IH	C2H	C3H

Fuente: (HAZUS, 2010)

Ya definido la deriva objetivo se calcula la relación de amortiguamiento objetivo, mediante el cálculo del parámetro de amplificación de amortiguamiento, propuesta por el FEMA 273 mediante la siguiente fórmula:

$$B_{mD} = \frac{\Delta_{max} (Deriva maxima)}{\Delta_{obj} (Deriva objetivo)}$$

$$B_{mD1} = \frac{2.31 - 0.41 * \ln(\beta_0)}{2.31 - 0.41 * \ln(\beta_{eff})}$$

$$\beta_H = \beta_{eff} - \beta_0$$

Donde:

Δ_{max} : Deriva maxima

Δ_{obj} : Deriva objetivo

β_0 : Amortiguamiento Inherente

β_{eff} : Amortiguamiento efectivo

β_H : Amortiguamiento del disipador

Paso 6: Determinación del coeficiente de amortiguamiento:

El coeficiente de amortiguamiento se calculará por medio de la formula especificada en el FEMA 356:

$$\sum C_j = \frac{\beta_H * 2 * \pi * A^{1-\alpha} * \omega^{2-\alpha} * (\sum_i m_i * \phi_i^2)}{\lambda * (\sum \phi_{rj}^{1-\alpha} * \cos^{1+\alpha} \theta_j)}$$

Donde:

β_H : Amortiguamiento viscoso de la estructura.



C_j : Coeficiente de amortiguamiento del disipador

m_i : Masa del nivel

θ_j : Ángulo de inclinación del disipador j

ϕ_i : Desplazamiento modal en el nivel (correspondiente al primer modo de vibración)

ϕ_{rj} : Desplazamiento modal relativo entre ambos extremos del disipador j en la dirección horizontal (correspondiente al primer modo de vibración)

A : Amplitud del desplazamiento del modo fundamental (desplazamiento modal relativo desde el techo hasta la base)

ω : Frecuencia angular

λ : Parámetro lambda.

Paso 7: Rigidez del brazo metálico K:

La rigidez del brazo metálico le corresponde a la rigidez axial del brazo debido a que es un elemento de acople adicional, y está libre de momentos en su apoyo.

$$K = \frac{E * A}{L}$$

Paso 8: Modelamiento de la estructura con disipador

En este paso se incluye al modelamiento de la estructura convencional el sistema de disipadores de energía. Para realizar este procedimiento primeramente se debe definir la ubicación de los dispositivos en la estructuración del sistema convencional e introducir las propiedades del disipador (coeficiente de amortiguamiento, exponente de velocidad y la rigidez del brazo metálico) calculados en los pasos previos, al programa de cómputo utilizado que para el caso de la presente investigación es el Etabs en su versión 19.



Paso 9: Análisis historia de respuesta no lineal

Con la finalización del modelamiento del sistema de disipadores de energía de fluido viscoso, se procede a realizar un análisis historia de respuestas no lineal con el sismo de diseño seleccionado en el paso 3, sin embargo, el mencionado deberá ser escalado al espectro del sismo máximo considerado (obtenido en el paso 1) mas no al espectro de diseño utilizado para la selección del mismo.

Paso 10: Verificación del nivel de desempeño y optimización del sistema

En este paso se procede a calcular las derivas sometiendo a la estructura modelada definida en el paso 8 al registro sísmico definido en el paso 9, en las direcciones X e Y, estas derivas deberán ser contrastadas en función al nivel de desempeño seleccionado en el paso 5.

Si las derivas están en el rango del nivel de desempeño seleccionado, entonces, se optará por una optimización del sistema o definir al sistema de disipación como final; si por el contrario no cumplen se deberá realizar una reestructuración del sistema de disipación que contemplaría aumentar la cantidad de dispositivos o rigidizar el sistema en función de que tan amplia es la brecha de deriva a cubrir.

Paso 11: Selección del tipo de dispositivo en función a catálogos comerciales

Una vez definida la estructuración final del sistema de disipación de energía, cumpliendo con el nivel de desempeño objetivo, entonces se procede a seleccionar, a los disipadores que se encuentran disponibles de manera comercial, siendo necesario para esto calcular la fuerza axial máxima que ejerce cada disipador en el análisis historia de respuestas, eligiendo así el disipador disponible con igual o mayor capacidad de fuerza axial. Para el caso de la presente investigación se tomó el catálogo de la empresa Taylor.

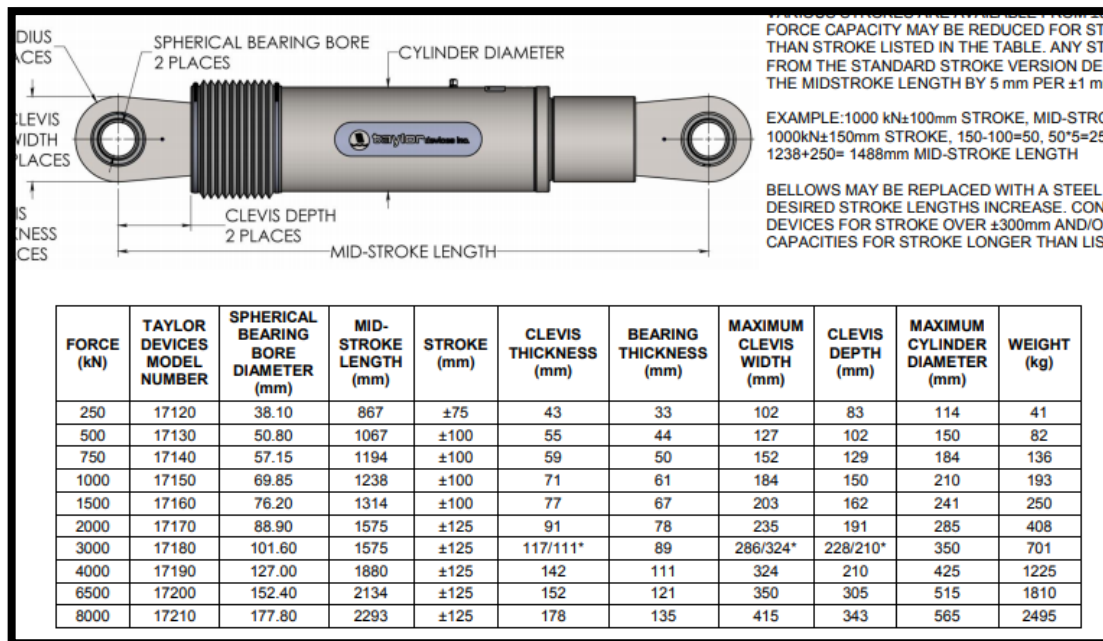


Figura 28. Catálogo de disipadores de energía disponibles comercialmente

Fuente: TAYLOR DEVICE INC

Paso 12: Verificación del sistema de disipadores de energía de fluido viscoso:

- **Bucles históricos:** “Es un gráfico que representa a la historia de la relación esfuerzo - deformación de un elemento estructural (disipador de energía de fluido viscoso), el cual está sometido a deformaciones cíclicas que son las esperadas en un sismo” (Chopra, 2014). Para la verificación de los disipadores de energía se usará la relación fuerza axial – desplazamiento del disipador.
- **Máximo stroke:** “El máximo stroke es el desplazamiento máximo, que ejecuta el disipador en su eje axial. Este valor te lo proporciona el fabricante para cada tipo de disipadores” (Chavez, 2016), sin embargo, según recomendaciones bibliográficas (Genner Villareal y Oviedo Sarmiento, 2008), este valor no debe ser mayor a 50mm. Para la verificación del disipador de energía se verificará el desplazamiento máximo de cada disipador en el bucle histórico del mismo



- **Velocidad máxima:** Es la velocidad máxima que presentara el disipador durante el análisis historia de respuesta. Se calcula mediante la siguiente formula:

$$V = \alpha \sqrt{\frac{F}{C}}, \text{ donde:}$$

F: fuerza axial, C: Coeficiente de amortiguamiento, α : exponente de velocidad

- **Balance de energía:** “Durante un evento sísmico, una cantidad finita de energía entra a la estructura, esta energía de entrada es transformada en energía cinética y energía potencial (deformación), las cuales deben ser absorbidas o disipadas a través del calor” (Villareal y Oviedo, 2009)

“En caso que no hubiese amortiguamiento, las vibraciones podrían existir por todo el tiempo. Por otro lado, siempre existe algún nivel de amortiguación inherente la cual absorbe parte de la energía de entrada y reduce la amplitud de vibración hasta que el movimiento cese” (Villareal y Oviedo, 2009)

“El desempeño estructural puede ser mejorado si una porción de la energía de entrada puede ser absorbida, no por la estructura misma, pero si por algún tipo de dispositivo suplementario. Esto se muestra claramente en la relación de la conservación de la energía” (Villareal y Oviedo, 2009).

La energía absoluta de entrada se calcula mediante la siguiente formula:

$$E = E_{cinetica} + E_{potencial} + E_{estructura} + E_{disipador}$$



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación pertenece al enfoque cuantitativo debido a que se está tratando de probar de manera precisa (niveles de desempeño) una hipótesis ya planteada en otras investigaciones el cual es: “La deficiencia del desempeño sísmico del modelamiento estructural de un sistema convencional ante un sismo máximo considerado; y su mejora con la implementación de un sistema con aisladores elastoméricos o disipadores de energía de fluido viscoso”. Adicionalmente, se sustenta la pertenencia de la investigación al enfoque cuantitativo, debido a que se mide la variable “nivel de desempeño sísmico” de manera concreta para obtener resultados y analizarlos para probar la hipótesis.

Se selecciona para la solución del problema un diseño experimental debido a que, en el estudio se realizó ensayos de experimentación, en donde se modifica directamente la variable independiente el cual es: el modelamiento del sistema estructural convencional, modificándolo a un sistema estructural con aisladores y luego a un sistema con disipadores de energía de fluido viscoso; y así medir el valor y la consecuencia en la variable dependiente y principal de la investigación “El desempeño sísmico”, cuando se le somete a un sismo máximo considerado.

Según Sampieri (2015) una investigación de diseño experimental es aquella que en su procedimiento desarrolla ensayos de experimentación (experimentos). Siendo considerado a los experimentos a “un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas antecedentes), para analizar las

consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos consecuentes), dentro de una situación de control” (Fleiss, 2013).

3.1.2. Nivel de la investigación

El presente trabajo investigación corresponde al nivel descriptivo - explicativo

Es de nivel descriptivo, ya que se realiza y evalúa a la muestra mediante procedimientos ya establecidos en las normativas de manera conservadora, y se presenta y describe resultados de acuerdo a las normativas utilizadas en la presente investigación.

Es de nivel explicativo, ya que en la presente investigación se explica los efectos que se tiene en la variable principal (desempeño sísmico), cuando se modifican las variables secundarias (amenaza sísmica, sistemas estructurales)

3.1.3. Esquema de la investigación

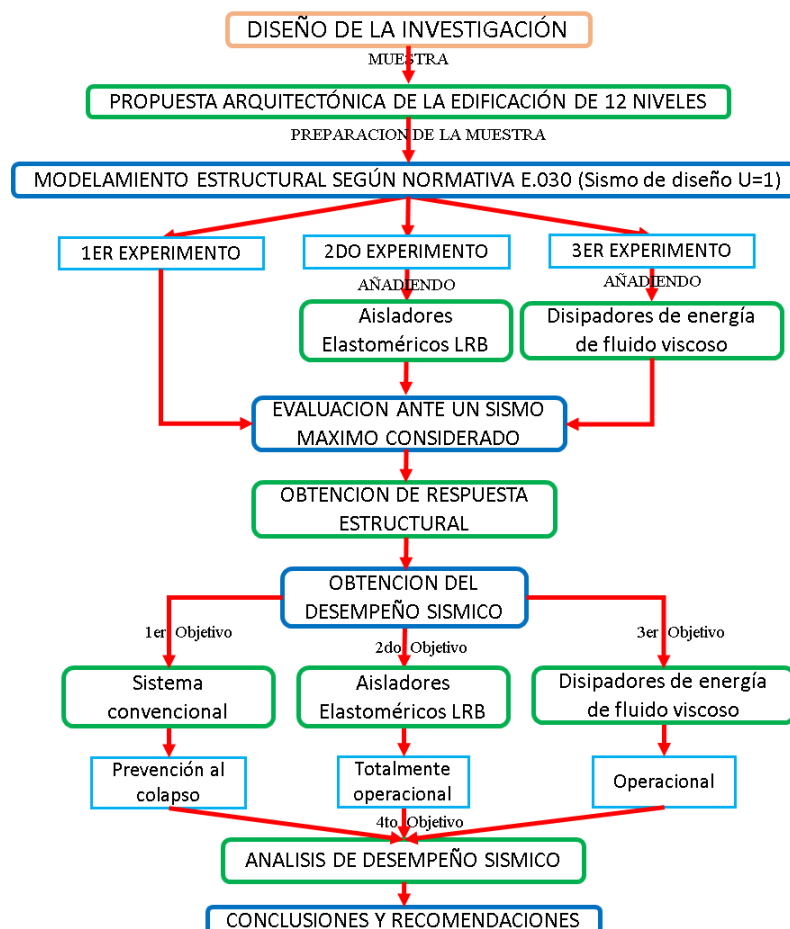


Figura 29. Procedimiento para el desarrollo de la Investigación

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

Se tomó como población a todas las edificaciones de uso común de la ciudad de Puno, debido a que todas pueden tener daño en un evento sísmico, y las propuestas arquitectónicas son diseñadas estructuralmente para un desempeño sísmico estipulado en el Reglamento Nacional de Edificaciones, el cual forma parte del problema de la presente investigación.

3.2.2. Muestra

La muestra fue seleccionada por el método de muestro, no probabilístico discrecional y por conveniencia, teniendo en cuenta que la selección de la misma no fue realizada mediante procesos estadísticos, ni tampoco se considera que todas las edificaciones de uso común de la ciudad de Puno, tienen las mismas probabilidades de ser seleccionadas, debido a la limitada disposición de datos (planos e información de edificios comunes) que se tiene para realizar la investigación. Es del tipo discrecional por que la muestra fue elegida a criterio de los investigadores, teniendo en cuenta a las edificaciones con mayor probabilidad de tener daño durante un evento sísmico, el cual son las edificaciones altas de la ciudad de Puno. Es del tipo por conveniencia debido a que la muestra fue seleccionada en función a la disponibilidad de datos (planos de arquitectura y estudios de la edificación). Siendo la muestra final de la presente investigación el anteproyecto del planteamiento arquitectónico de una edificación de 12 niveles ubicado en el Jr. Chucuito de la ciudad de Puno, el mismo que fue elegido por su número de niveles (12 niveles), que es superior a la mayoría de edificaciones de la ciudad de Puno, y por la disposición de información del proyecto (planos de arquitectura y estudio de suelos).

3.3. RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. Arquitectura del proyecto

Se tomó la arquitectura de un edificio de uso vivienda multifamiliar con sistema dual de concreto armado, de 12 niveles, cada piso con 2.80 m de altura. Con un área de terreno de 207 m² de 12 niveles con un diseño destinado para departamentos. La primera planta consta de estacionamiento para vehículos y área verde. La planta típica es de 10 niveles está destinado para vivienda multifamiliar, cuenta con 2 departamentos, escalera y ascensor.

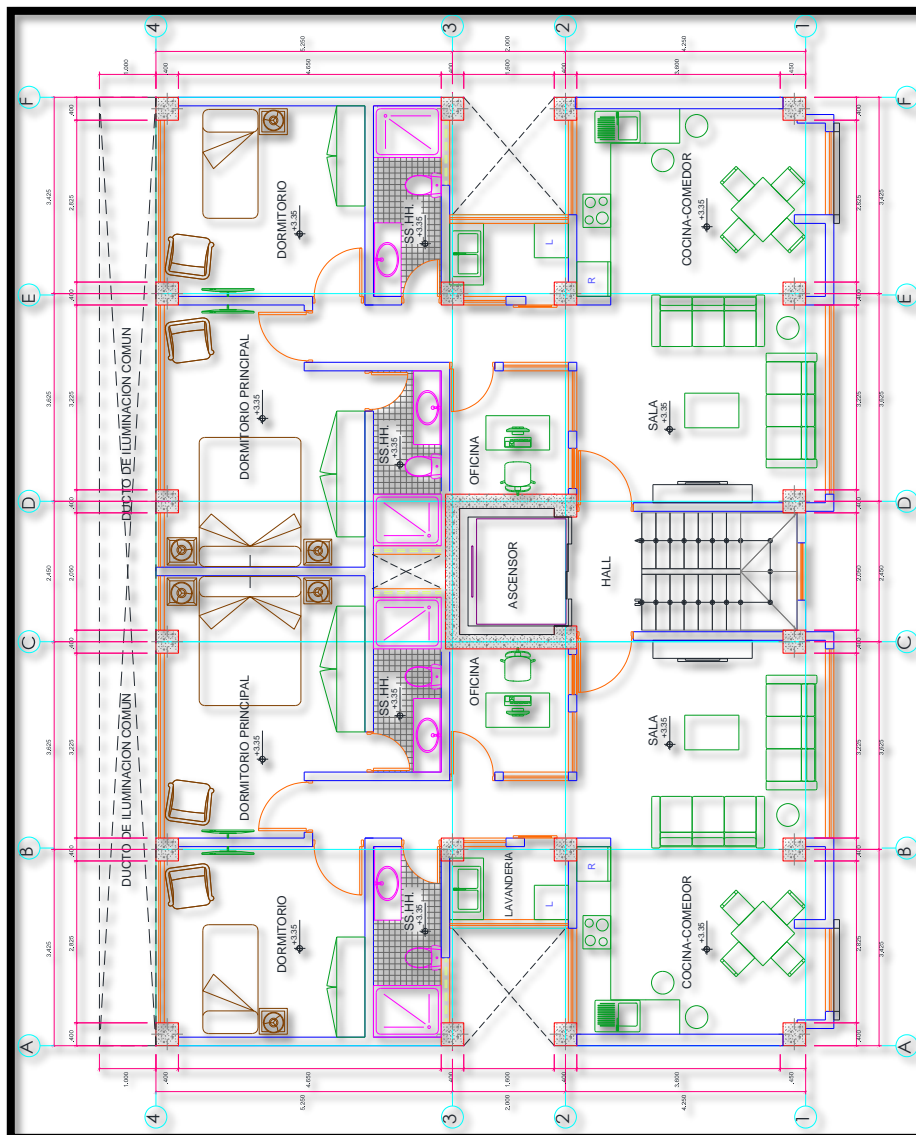


Figura 30. Plano arquitectónico de la planta típica de la edificación

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.3.2. Perfiles de suelos

Los perfiles de suelos utilizados en la presente investigación, se toman del estudio geotécnico, disponible de la edificación muestreada, en donde se determinó que el suelo existente en el estrato de la cimentación es de una arena limosa con presencia de rocas frágiles, Se determina también en el estudio geotécnico que el suelo pertenece al perfil S2 “Suelos Intermedios”, según la clasificación de la E.030 “Diseño Sismorresistente”.

3.3.3. Acelerogramas

Se tomó 07 pares de registros sísmicos de magnitudes representativas territorio peruano para el análisis tiempo historia, ya que según la metodología norma E.031 es el número mínimo de registros sísmicos aceptados.

Tabla 29. Sismos históricos de Perú

Fecha UTC	Hora UTC	Latitud (°)	Longitud (°)	Profundidad (Km)	Magnitud (M)	Provincia	Departamento
17/10/1966	21:41:58.00	-10.832	-78.648	37	8	Callao	Lima
31/05/1970	20:23:32.00	-9.272	-78.838	43	7.8	Chimbote	Ancash
03/10/1974	14:21:34.00	-12.279	-77.536	21	7.7	Callao	Lima
23/06/2001	20:33:14.00	-16.2021	-73.7555	32	8.4	Ocoña	Arequipa
15/08/2007	23:40:53.00	-13.5485	-76.8598	40	8	Pisco	Ica
01/03/2019	08:50:41.99	-14.9521	-70.0337	265	7	Azangaro	Puno
26/05/2019	07:41:16.28	-5.7373	-75.5542	135	8	Lagunas	Loreto

Fuente: Instituto Geofísico del Perú - IGP

Las señales elegidas cuentan con las tres componentes y están corregidas por línea base, a excepción los registros sísmicos de Ancash 1970 y Lima 1974.

Se descargó los acelerogramas de los sismos ocurridos en Perú e en las páginas web <http://www.cismid.uni.edu.pe/ceois/red/> y <https://ultimosismo.igp.gob.pe/descargar-datos-SÍSMICOS> de las estaciones con mayor aceleración.

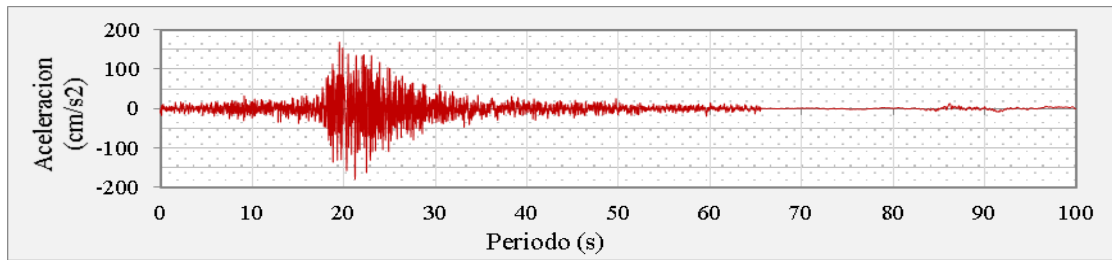


Figura 31. Acelerograma de sismo Lima 1966 E-W

Fuente: CISMID - UNI

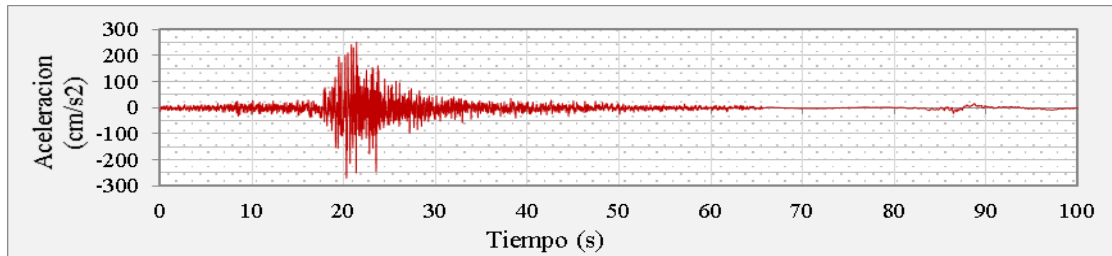


Figura 32. Acelerograma de sismo Lima 1966 N-S

Fuente: CISMID - UNI

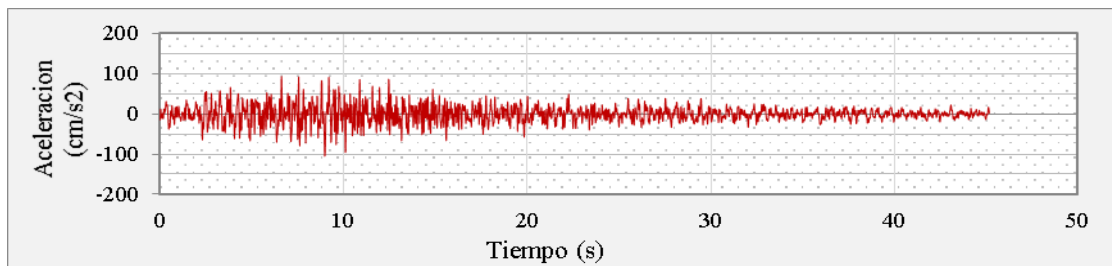


Figura 33. Acelerograma de sismo Ancash 1970 E-W

Fuente: CISMID - UNI

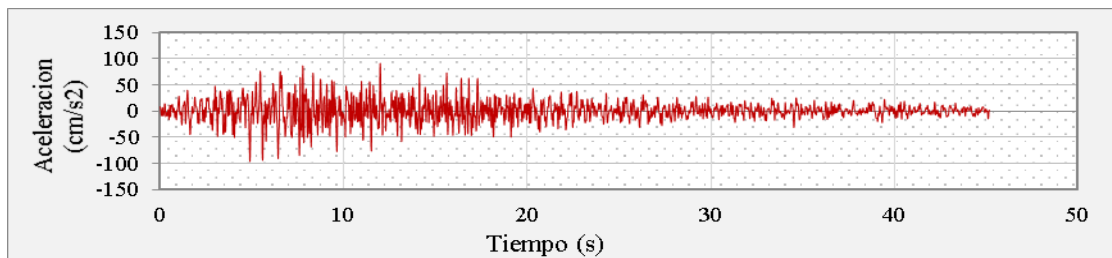


Figura 34. Acelerograma de sismo Ancash 1970 N-S

Fuente: CISMID - UNI

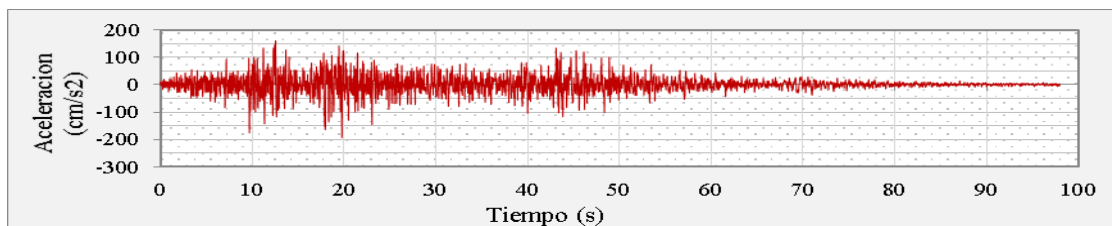


Figura 35. Acelerograma de sismo Lima 1974 E-W

Fuente: CISMID - UNI

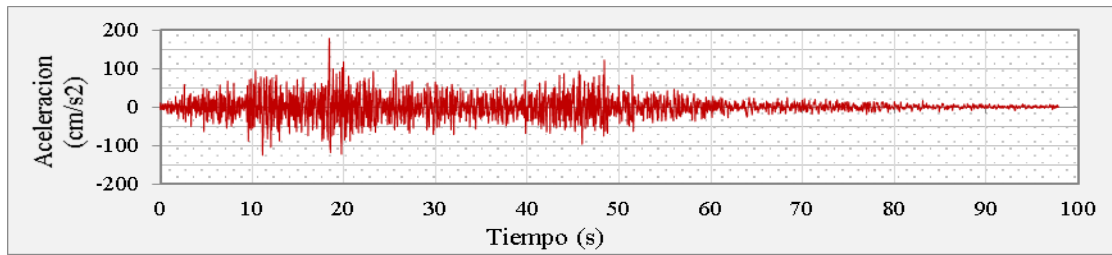


Figura 36. Acelerograma de sismo Lima 1974 N-S

Fuente: CISMID - UNI

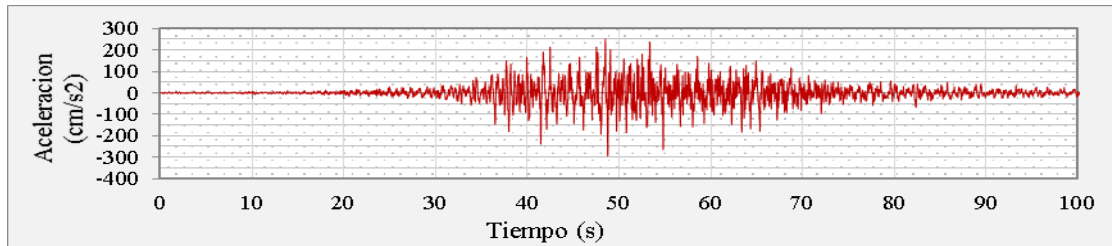


Figura 37. Acelerograma de sismo Arequipa 2001 E-W

Fuente: CISMID - UNI

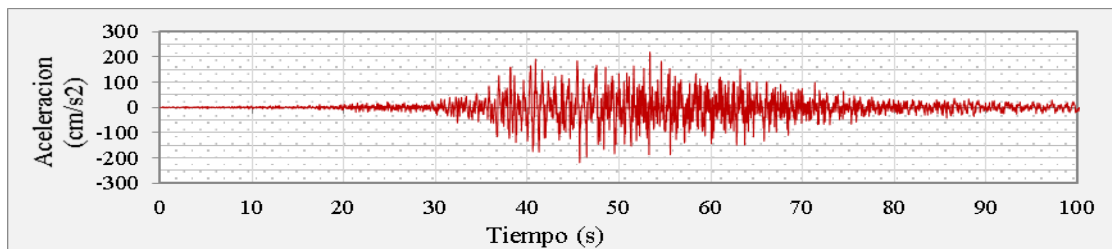


Figura 38. Acelerograma de sismo Arequipa 2001 N-S

Fuente: CISMID - UNI

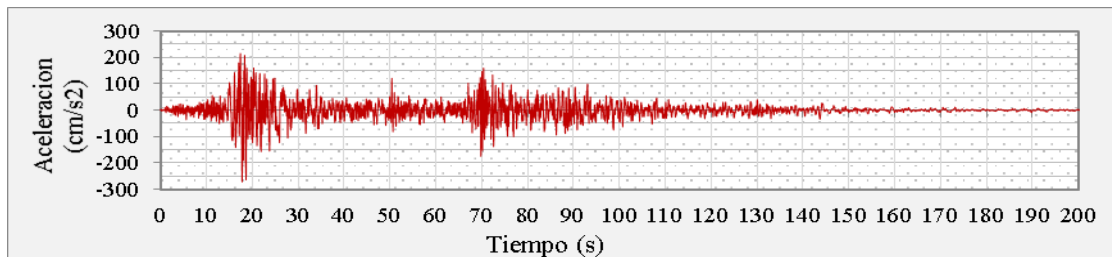


Figura 39. Acelerograma de sismo Ica 2007 E-W

Fuente: CISMID - UNI

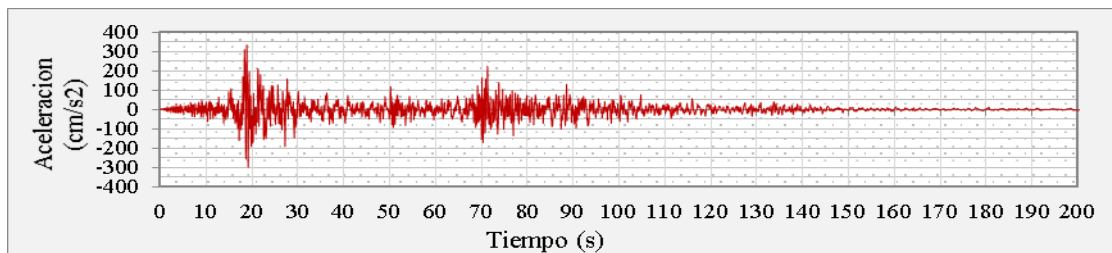


Figura 40. Acelerograma de sismo Ica 2007 N-S

Fuente: CISMID - UNI

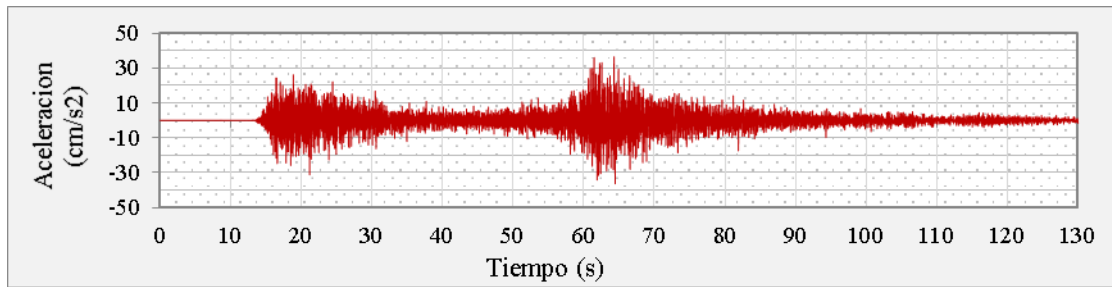


Figura 41. Acelerograma de sismo Puno 2019 E-W

Fuente: Instituto Geofísico del Perú - IGP

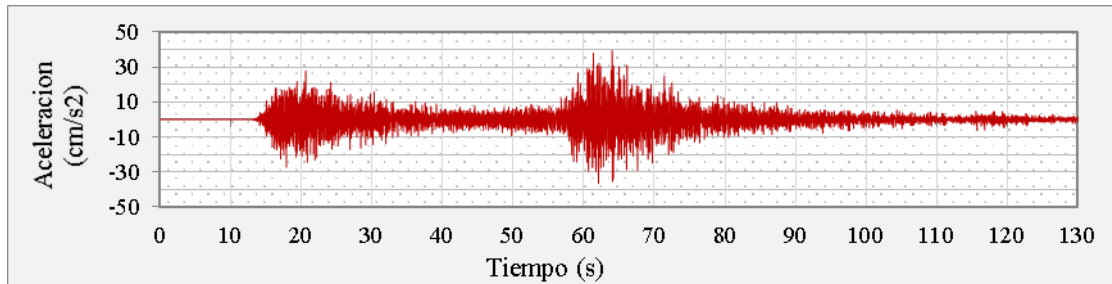


Figura 42. Acelerograma de sismo Puno 2019 N-S

Fuente: Instituto Geofísico del Perú - IGP

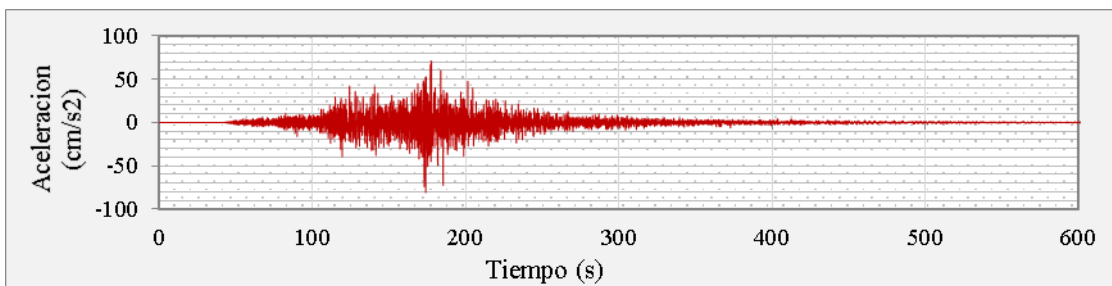


Figura 43. Acelerograma de sismo Loreto 2019 E-W

Fuente: CISMID - UNI

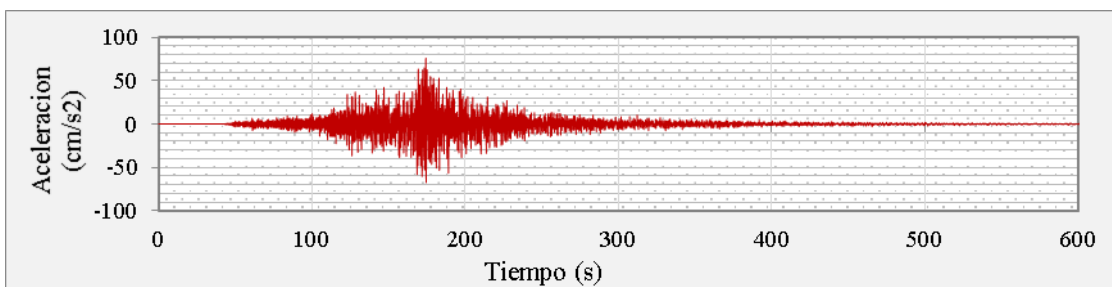


Figura 44. Acelerograma de sismo Loreto 2019 N-S

Fuente: CISMID - UNI

3.4. MODELAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN EN UN SISTEMA CONVENCIONAL

3.4.1. Valores de las características de los materiales

Resistencia a la compresión del concreto: $f'_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

Resistencia a la tracción del concreto - módulo de rotura: $f_r = 2 * \sqrt{280} = 33.47 \text{ Kg/cm}^2$

Peso unitario del concreto armado: $\gamma_c = 2400 \text{ Kg/cm}^3$

Módulo de elasticidad del concreto: $E_c = 15000 * \sqrt{280} = 250998.01 \text{ Kg/cm}^2$

Módulo de corte del concreto: $G = \frac{250998.01}{2.3} = 109129.57 \text{ Kg/cm}^2$

Resistencia a la fluencia del acero de refuerzo: $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$

Resistencia a la rotura del acero de refuerzo: $f_y = 6300 \text{ Kg/cm}^2$

Peso unitario del acero: $\gamma_c = 7850 \text{ Kg/cm}^3$

Módulo de elasticidad del concreto: $E_s = 200000 \text{ MPa}$

3.4.2. Estructuración y predimensionamiento del proyecto

3.4.2.1. Biografía de la estructuración

- **Primera estructuración**

La primera estructuración se idealizó como un sistema estructural regular de pórticos de concreto armado, se modeló con las dimensiones calculadas en el primer predimensionamiento preliminar, de este predimensionamiento se tomó las dimensiones mayores, se uniformizó la losa aligerada, vigas y columnas considerando diafragmas rígidos en el modelo y masas concentradas por cada nivel en su respectivo centro de masas. Se modeló en el programa computacional Etabs en su versión 19, en donde se pudo apreciar la deformación excesiva de los elementos sometidos tanto a flexión como a compresión, etc. Por lo que se realizó una nueva estructuración, dimensionamiento de los elementos estructurales añadiendo muros resistentes a corte, hasta que se cumplan con

los parámetros mínimos especificadas en el RNE. Cabe mencionar que el primer modelo se realizó considerando la base empotrada y un análisis sísmico dinámico.

- **Consideraciones para la estructuración final**

Se aumenta y uniformiza la sección de columnas y vigas, se añaden muros estructurales en: el ascensor que favorece tanto al eje X como Y, en el perímetro de colindancia que favorece a la dirección “Y” y en el eje 2 que favorece a la dirección “X”, siendo estos muros necesarios para evitar que la estructura presente modos torsionales y el control de derivas.

- **Estructuración final**

La estructuración final es de un sistema de muros estructurales en la dirección “X” e “Y”, según la clasificación que presenta la E.030. Es regular ya que no presenta ninguna irregularidad ni en planta, ni en altura.

La estructuración final cumple con todos los requisitos de sencillez, simetría, continuidad. 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 analizado.

Del predimensionamiento inicial se ha modificado: la sección de las columnas, se ha uniformizado algunos elementos como son las columnas, vigas, se plantea placas estructurales debido que el primer predimensionamiento no cumplía los requisitos. Más adelante se muestra algunos ejemplos del predimensionamiento.

3.4.2.2. Predimensionamiento

3.4.2.3. Predimensionamiento de losa aligerada, viga y columna

Tabla 30. Predimensionamiento de losa aligerada, viga columna

Elemento	Losa aligerada	Vigas	Columnas	
Tipo	Unidireccional	VP - 01	Centrales	Exteriores y esquinadas
Formula	$h = \frac{L}{18} \rightarrow \frac{L}{25}$	$h = \frac{L}{10} \rightarrow \frac{L}{12}$	$A_{col} = \frac{P_{servicio}}{0.45 * f'c}$	$A_{col} = \frac{P_{servicio}}{0.35 * f'c}$
			$P_{servicio} = P * A_T * N$	$P_{servicio} = P * A_T * N$
Datos	L = 3.60m	L = 5.025m	$P_{servicio} = 1000 * 12.59 * 12$	$P_{servicio} = 1000 * 9.32 * 1$
Secciones	h = 20cm	h = 50.25cm	$P_{servicio} = 151078.13 \text{ Kg}$	$P_{servicio} = 111840.00 \text{ Kg}$
	h = 14.4cm	h = 41.875cm	$A_{columna} = 1598.7 \text{ cm}^2$	$A_{columna} = 1521.6 \text{ cm}^2$
Seccion promedio	h = 17.5cm	h = 46cm b = 25cm	L = 39.98 cm	L = 39.01 cm
Seccion adoptado	h = 20cm	bxh = 50cmx25cm	LxL = 40cmx40cm	LxL = 40cmx40cm

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.4.2.4. Predimensionamiento de placas

$$L_{min} = \left(\frac{V_s * H^2}{n * \eta * E_c * t} \right)^{\frac{1}{3}}; V_s = ZUCSPE$$

$$P_e = P * A_T * N = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 239.98 \text{ m}^2 * 12 = 2880 \text{ Ton}$$

$$V_s = 0.35 * 1.00 * 2.50 * 1.15 * 2880 \text{ Ton} = 2897698.13 \text{ Kg}$$

Se define el espesor del muro $t = 25 \text{ cm}$

$$L_{min} = \left(\frac{2897698.13 \text{ Kg} * 3.20^2}{4 * 0.007 * 15000 * \sqrt{210} * 25} \right)^{\frac{1}{3}} = 150 \text{ cm}$$

3.4.3. Metrado de cargas

- Carga muerta de acabados, ladrillo de techo y concreto armado de techo

$$CM_{Acabados} = 100.00 \text{ Kg/m}^2$$

$$CM_{Ladrillo \text{ de } \text{techo}} = 7.80 \text{ Kg} * 8.333 \text{ 1/m}^2 = 70.00 \text{ Kg/m}^2$$

$$CM_{\text{Concreto armado de techo}}$$

$$= CM_{\text{Concreto de techo}} + CM_{\text{Ladrillo de techo}} + CM_{\text{Varillas de acero}}$$

$$CM_{\text{Concreto armado de techo}} = 2400 \text{ Kg/m}^3 * 0.0875 \text{ m}^3 + (70 + 10.75) \text{ Kg/m}^2 = 300 \text{ Kg/m}^2$$

- **Carga muerta de muros en niveles típicos**

Se realizó el metrado de carga distribuida lineal en los muros de los ejes principales, en los ejes secundarios y en áreas de losa.

Tabla 31. Carga distribuida lineal de muros en los ejes principales

	Tramo 1-2	Tramo 2-3	Tramo 3-4
Eje A	410 Kg/m	-	410 Kg/m
Eje B	100 Kg/m	150 Kg/m	350 Kg/m
Eje C	300 Kg/m	-	-
Eje D	300 Kg/m	-	-
Eje E	100 Kg/m	150 Kg/m	350 Kg/m
Eje F	410 Kg/m	-	410 Kg/m

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 32. Carga distribuida lineal de muros en los ejes secundarios

	Tramo A-B	Tramo B-C	Tramo C-D	Tramo D-E	Tramo E-F
Eje 4	150 Kg/m	150 Kg/m	150 Kg/m	150 Kg/m	150 Kg/m
Eje 3	400 Kg/m	350 Kg/m	-	350 Kg/m	400 Kg/m
Eje 2	300 Kg/m	150 Kg/m	-	150 Kg/m	300 Kg/m
Eje 1	850 Kg/m	450 Kg/m	300 Kg/m	450 Kg/m	850 Kg/m

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 33. Carga distribuida de muros en áreas de losa

Entre	Tramo A-B	Tramo B-C	Tramo C-D	Tramo D-E	Tramo E-F
Tramo 3-4	150 Kg/m ²	150 Kg/m ²	300 Kg/m ²	150 Kg/m ²	150 Kg/m ²
Tramo 2-3	-	100 Kg/m ²	-	100 Kg/m ²	-
Tramo 1-2	-	-	-	-	-

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- **Carga muerta de muros en azotea**

Se realizó el metrado de carga distribuida lineal en los muros de los ejes principales, en los ejes secundarios y en áreas de losa.

Tabla 34. Carga distribuida lineal de muros en los ejes principales

	Tramo 1-2	Tramo 2-3	Tramo 3-4
Eje A	200 Kg/m	-	200 Kg/m
Eje C	300 Kg/m	-	-
Eje D	300 Kg/m	-	-
Eje F	200 Kg/m	-	200 Kg/m

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 35. Carga distribuida lineal de muros en los ejes secundarios

	Tramo A-B	Tramo B-C	Tramo C-D	Tramo D-E	Tramo E-F
Eje 4	200 Kg/m	200 Kg/m	200 Kg/m	200 Kg/m	200 Kg/m
Eje 1	450 Kg/m	450 Kg/m	200 Kg/m	450 Kg/m	450 Kg/m

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Se realizó el metrado de carga puntual en azotea en los ejes (1-c y 1-d) se obtuvo 4637.34 kg y en el eje (2-c y 2-d) se obtuvo 3638.94 kg.

- **Carga viva**

$$CV_{\text{VIVIENDAS}} = 200 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

$$CV_{\text{CORREDORES Y ESCALERA}} = 200 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

$$CV_{\text{AZOTEA}} = 200 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

3.4.4. Procedimiento de cálculo de acción sísmica según E.030

Las acciones sísmicas para el diseño estructural dependen de la zona sísmica (Z), del perfil de suelo (S, TP, TL), del uso de la edificación (U), del factor de reducción sísmica (R) y las características dinámicas de la edificación (T, C) y de su peso (P).

Paso 1: Factor de zona

Departamento: Puno

Provincia: Puno

Distrito: Puno

Zona Sísmica: 3 → Z=0.35g

Paso 2: Perfil de suelo y parámetros de sitio

Perfil de Suelo Tipo → S2: Suelos Intermedios

Parámetros de Sitio:

$$S = 1.15$$

$$T_P = 0.60$$



$$T_L = 2.00$$

Clasificación de los perfiles de suelo:

$$V_s = 180 \text{ m/s a } 500 \text{ m/s}$$

$$N_{60} = 15 \text{ a } 50$$

$$S_U = 50 \text{ kPa a } 100 \text{ kPa}$$

Paso 3: Categoría de la edificación y factor de uso (C, U)

Categoría del edificio: C → Edificaciones comunes

$$U = 1.00$$

Paso 4: Sistema estructural y restricciones de irregularidad

Sistema estructural según "C" y "Z": Cualquier sistema.

Restricciones a la Irregularidad según "C" y "Z": No se permiten irregularidades extremas.

Paso 5: Coeficiente básico de reducción de fuerzas sísmicas, R0

Sistema estructural – Dirección “X”

Material: Concreto armado

Sistema Estructural: Muros estructurales $R_{0x} \rightarrow 6.00$

Sistema estructural – Dirección “Y”

Material: Concreto armado

Sistema Estructural: Muros estructurales $R_{0Y} \rightarrow 6.00$

Paso 6: Factores de Irregularidad (Ia, Ip)

Irregularidad estructural – Dirección “X”

Irregularidad en altura, Ia: Regular - Sistema Estructural Continuo → $I_{ax} = 1.00$

Irregularidad en planta, Ip: Regular - Sistema Estructural Simétrico → $I_{px} = 1.00$

Irregularidad estructural – Dirección “Y”

Irregularidad en altura, Ia: Regular - Sistema Estructural Continuo → $I_{ay} = 1.00$

Irregularidad en planta, I_p : Regular - Sistema Estructural Simétrico $\rightarrow I_{py} = 1.00$

Paso 7: Coeficiente de reducción de la fuerza sísmica R

Se determina $R_x = R_0 * I_{ax} * I_{px} = 6.00 * 1.00 * 1.00 = 6.00$

Se determina $R_y = R_0 * I_{ay} * I_{py} = 6.00 * 1.00 * 1.00 = 6.00$

Paso 8: Período Fundamental de Vibración

El período calculado para una primera iteración, considerando como sistema de muros estructurales.

$$Si: C_{TX} = 60; h_{nX} = 32.60 \rightarrow T_X = \frac{32.60}{60} = 0.543seg$$

$$Si: C_{TY} = 60; h_{nY} = 32.60 \rightarrow T_Y = \frac{32.60}{60} = 0.543seg$$

El período obtenido del programa computacional Etabs para la última iteración.

$$T_X = 0.788 seg$$

$$T_Y = 0.534 seg$$

Paso 9: Factor de amplificación sísmica (C)

De acuerdo a las características de sitio, se define C:

$$Si: T_X = 0.788 seg y T_p = 0.60 \rightarrow T_p < T_X < T_L \rightarrow C_X = 2.5 * \frac{0.60}{0.788} = 1.90$$

$$Si: T_Y = 0.534 seg y T_p = 0.60 \rightarrow T_Y < T_p \rightarrow C_Y = 2.5$$

Paso 10: Estimación del Peso (P)

El peso (P), se calculará adicionando a la carga permanente y total de la edificación un 25 % de la carga viva por ser una edificación de la categoría C.

Paso 11: Coeficientes para el sismo estático

Exponente K relacionado con el periodo fundamental T:

$$Si: T_X > 0.5seg \rightarrow K_X = (0.7 + 0.5 * T) = (0.75 + 0.5 * 0.788seg) \rightarrow K_X = 1.144$$

$$Si: T_Y > 0.5seg \rightarrow K_Y = (0.7 + 0.5 * T) = (0.75 + 0.5 * 0.534seg) \rightarrow K_Y = 1.017$$

Coeficiente de la Cortante Basal C_b :

$$Si: V_x = \frac{ZUC_x S}{R_x} * P = C_{bx} * P \rightarrow C_{bx} = \frac{0.35 * 1.00 * 1.90 * 1.15}{6.00} \rightarrow C_{bx} = 0.128$$

$$Si: V_y = \frac{ZUC_y S}{R_y} * P = C_{by} * P \rightarrow C_{by} = \frac{0.35 * 1.00 * 2.5 * 1.15}{6.00} \rightarrow C_{by} = 0.168$$

$$\frac{C_x}{R_x} = \frac{1.90}{6.00} = 0.317 \geq 0.11 \dots \dots \dots \text{OK}$$

$$\frac{C_y}{R_y} = \frac{2.50}{6.00} = 0.417 \geq 0.11 \dots \dots \dots \text{OK}$$

Copiar todos los valores de K_x , K_y , C_{bx} y C_{by} , pegarlos en la generación de patrones de la carga sísmica estática para ambas direcciones de análisis "X" e "Y", en el programa computacional.

Paso 12: Espectro de sismo de diseño según E.030 2018

Espectro inelástico de sismo de diseño S_a/g en dirección "X=Y":

$$S_a = \frac{ZUCS}{R_x = R_y} * g \rightarrow \begin{matrix} Z = 0.35 & T_p = 0.60 \\ U = 1.00 & T_L = 2.00 \\ S = 1.15 & R_x = R_y = 6.00 \end{matrix}$$

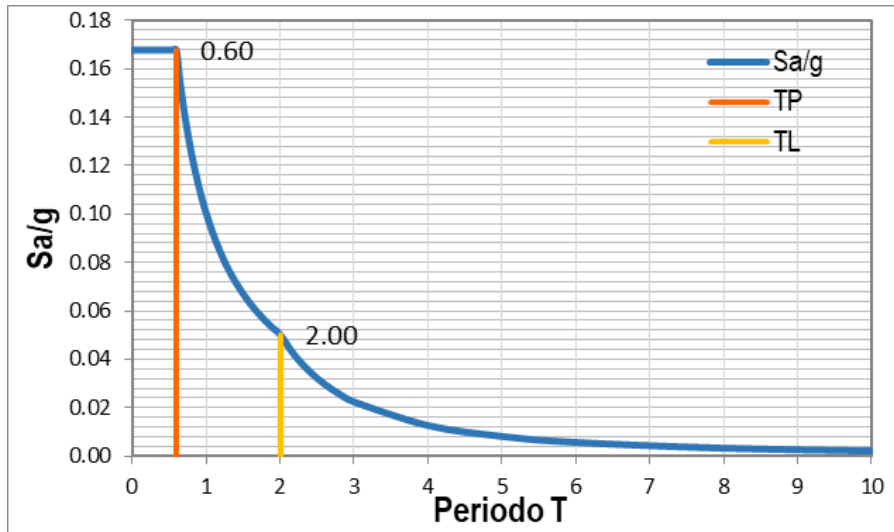


Figura 45. Espectro inelástico de sismo en dirección "X=Y"

Fuente: Hoja de cálculo Excel

3.4.5. Modelamiento de la edificación en un sistema convencional

Los pasos del modelamiento del sistema convencional de la propuesta arquitectónica de la edificación de 12 niveles se realizaron en el programa computacional ETABS V19. El procedimiento del modelamiento se encuentra en el ANEXO N° 01 de

la presente investigación. Se dibuja los elementos estructurales considerando los datos del predimensionamiento, metrado de cargas, característica de materiales y los datos para el diseño sísmico.

Siguiendo los pasos del ANEXO N° 01, se obtiene el modelamiento en ETABS V19 de la edificación, mostrado a continuación:

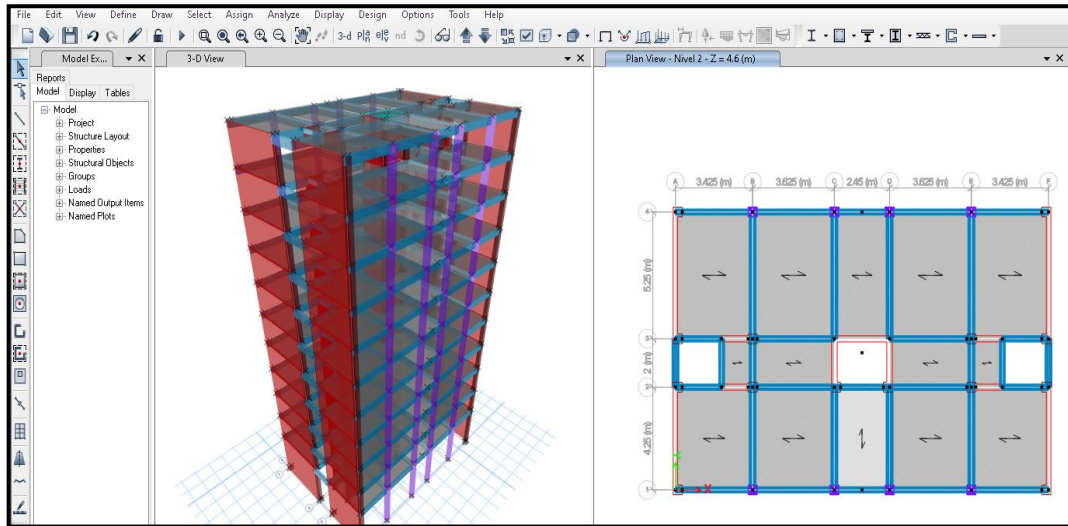


Figura 46. Modelo de la estructura

Fuente: Programa computacional ETABS V19

Del modelamiento estructural convencional se obtuvieron las secciones finales de los elementos estructurales vigas, columnas y placas mediante un proceso iterativo en cumplimiento con verificaciones de la norma E.030

Tabla 36. Secciones finales de elementos estructurales

Secciones finales de elementos estructurales			
Losa	Columnas	Vigas	Placas
Losa aligerada unidireccional en todos los niveles (2° nivel hasta 12° nivel)	Columnas en ejes 1-B, 1-C, 1-D y 1-E bxh = 40cmx40cm	Vigas en ejes B, C, D y E. bxh = 30cmx50cm	Placas en el ascensor en forma de "U" Placas en ejes 2 y 3 tramo A`-B y E`-F Espesor = 25cm
	Columnas en ejes 4-B, 4-C, 4-D y 4-E bxh = 40cmx40cm	Vigas en ejes 1, 2, 3 y 4. bxh = 25cmx45cm	Placas en ejes A y F tramo 1-2 y 3-4 Espesor = 20cm
h = 20cm		Vigas de borde bxh = 25cmx20cm	Columnas de arriostres en bordes en placas Espesor = 40cmx40cm

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.4.6. Análisis sísmico de estructura

3.4.6.1. Análisis sísmico estático o fuerzas estáticas equivalentes

- **Definición de sismo estático en ETABS V19**

En definición de los sistemas de carga, se selecciona en menu/Define/Load Patterns, esta acción llevará a la ventana de Define Load Patterns, se definen los sistemas de cargas: Editar carga de sismo estático en “X” e “Y” (CSE_x y CSE_y).

Definimos el sismo estático en ventana de Define Load Patterns, Clic en Modify Lateral Load esta acción llevará a la ventana de Seismic Load Pattern- User Defined, editamos la carga de sismo estático en “X” e “Y” (SE_x y SE_y) como se muestra en la figura:

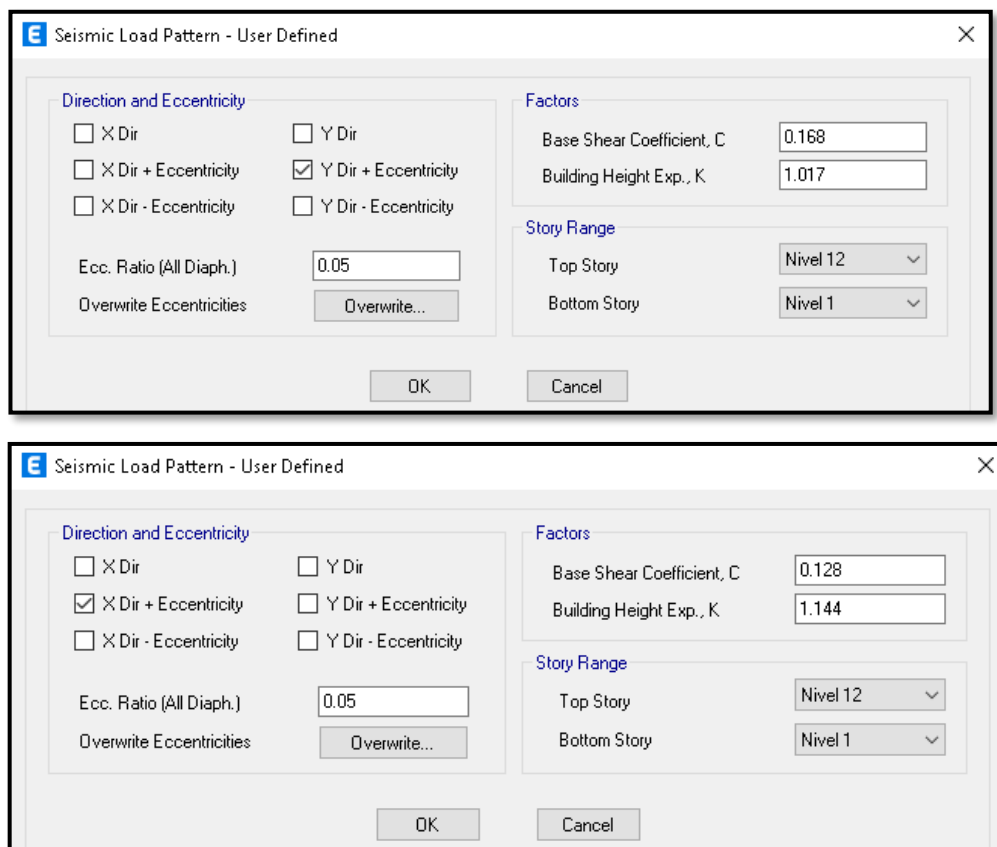


Figura 47. Definición de sismo estático

Fuente: Programa computacional ETABS V19

3.4.6.2. Análisis sísmico dinámico modal espectral

- **Definición de espectro de Pseudo aceleración en ETABS V19**

Definimos el espectro, cargamos el espectro en menú/ Define/ Funtions/ Response Spectrum, esta acción te conlleva a la ventana de Define Response Spectrum, Clic en Chosse Funtion Type To Add escoger From File, Clic en Add New Funtion, luego editar como se muestra en la figura:

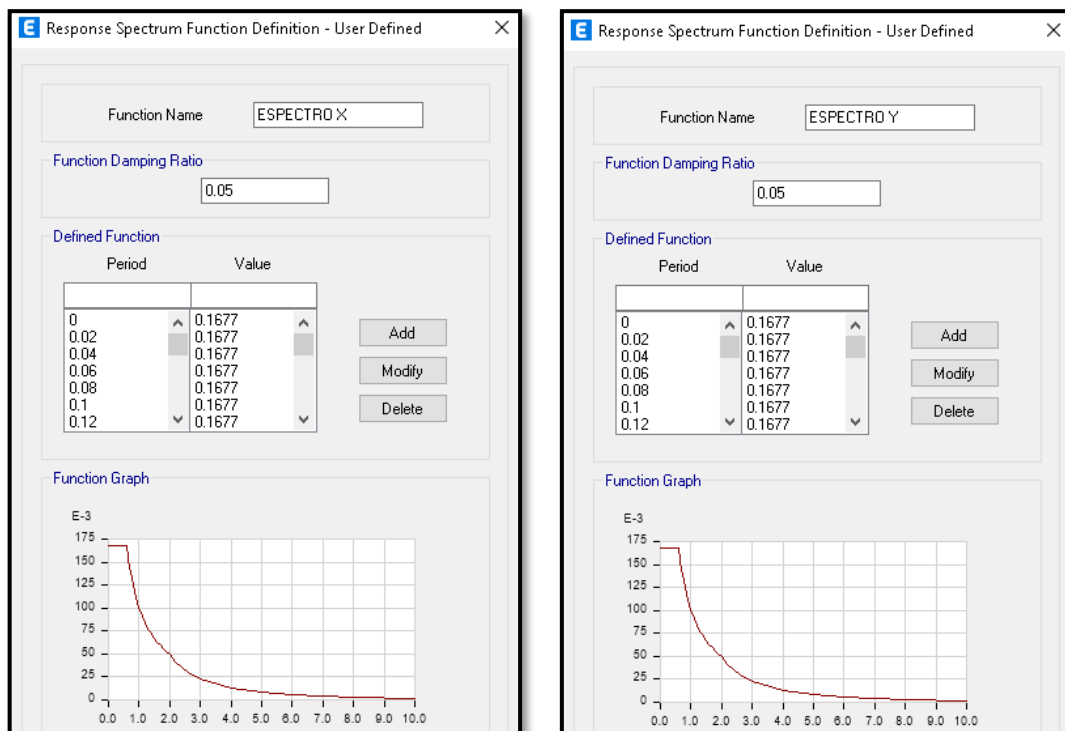


Figura 48. Definición de espectro

Fuente: Programa computacional ETABS V19

- **Definir sismo dinámico en ETABS V19**

Definimos el sismo dinámico en ventana de Define/ Load Case, esta acción te conlleva a la ventana Load Cases Clic en Add New Case, luego editamos la carga de sismo dinámico en “X” e “Y” (SDx y SDy) como se muestra en la figura:

Left Screenshot (CSDx):

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	ESPECTRO X	9.8067
Acceleration	U2	ESPECTRO X	2.942
Acceleration	U3	ESPECTRO Z	9.8067

Right Screenshot (CSDy):

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	ESPECTRO Y	9.8067
Acceleration	U1	ESPECTRO Y	2.942
Acceleration	U3	ESPECTRO Z	9.8067

Figura 49. Definición de caso de carga sismo dinámico

Fuente: Programa computacional ETABS V19

- **Definir número de modos a considerar en ETABS V19**

Definimos el sismo dinámico en ventana de Define/ Modal Case, esta acción te conlleva a la ventana Modal Case Data, luego editamos el número de modos a considerar como se muestra en la figura:

Modal Case Data Dialog:

Load Case Name: Modal

Load Case Type/Subtype: Modal / Ritz

Mass Source: Masa estructural

Analysis Model: Default

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Maximum Cycles	Target Dyn. Par. Ratio, %
Acceleration	UX	0	99
Acceleration	UY	0	99
Acceleration	UX	0	99

Other Parameters:

Maximum Number of Modes: 150

Minimum Number of Modes: 150

Figura 50. Definición sismo dinámico modal

Fuente: Programa computacional ETABS V19



3.4.6.3. Análisis sísmico dinámico tiempo - historia

En la presente investigación se usó para el análisis siete conjuntos de registros de aceleración de terreno, cada conjunto de registros de aceleración consiste en un par de componentes de aceleración horizontal, como se indica en la recolección de datos. Se realizó este procedimiento para posteriormente determinar el desempeño del modelamiento del edificio en un sistema convencional, con aisladores elastoméricos y con disipadores de energía de fluido viscoso.

3.4.6.3.1. Procesamiento de Acelerogramas

Se procedió a corregir por línea base y filtrar a los acelerogramas seleccionados en el ítem de recolección de datos.

El procedimiento se realizó en software computacional Seismo Signal, lo cual consiste en ingresar el registro sísmico de interés y efectuar la corrección de la línea base, así como el filtrado de frecuencias altas.

Los dos conjuntos de registros de aceleración de terreno (Ancash 1970 y Lima 1974), se corrige y filtra por línea base en el programa computacional Seismo Signal.

Los demás conjuntos de registros de aceleración ya se descargaron filtrados por línea base.

Se guarda la línea base corregida y filtrada, ya que es el movimiento de las ondas sísmicas.

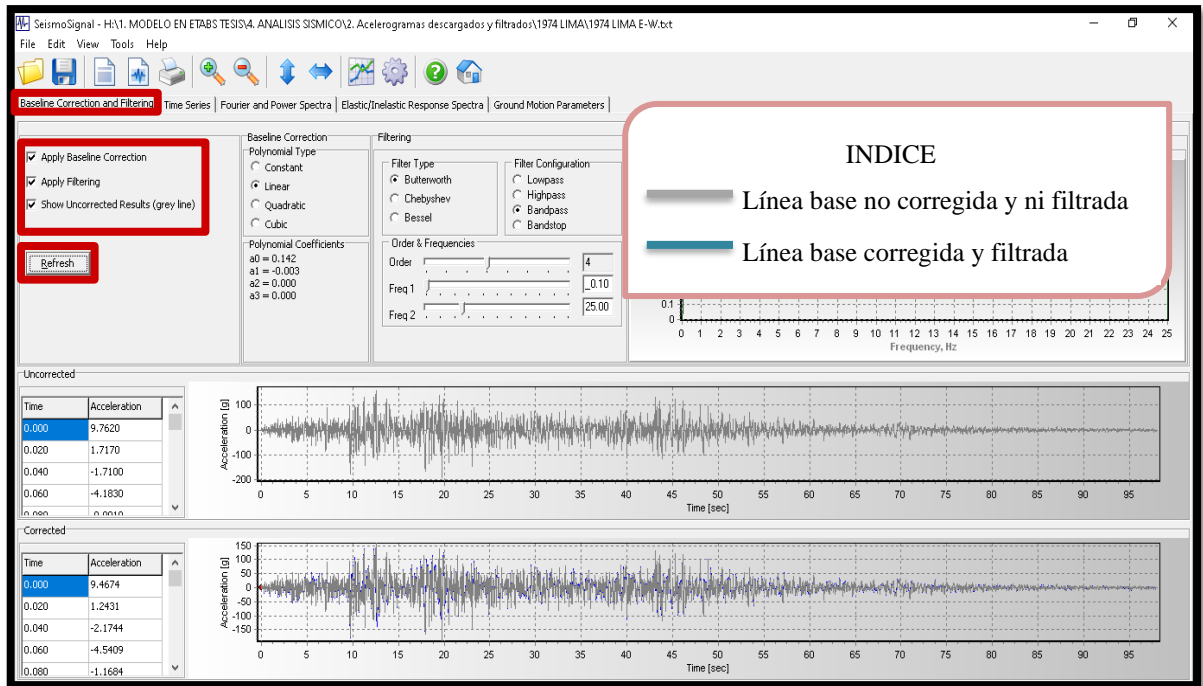


Figura 51. Acelerograma corregida y filtrada por línea base

Fuente: Programa computacional Seismo Signal

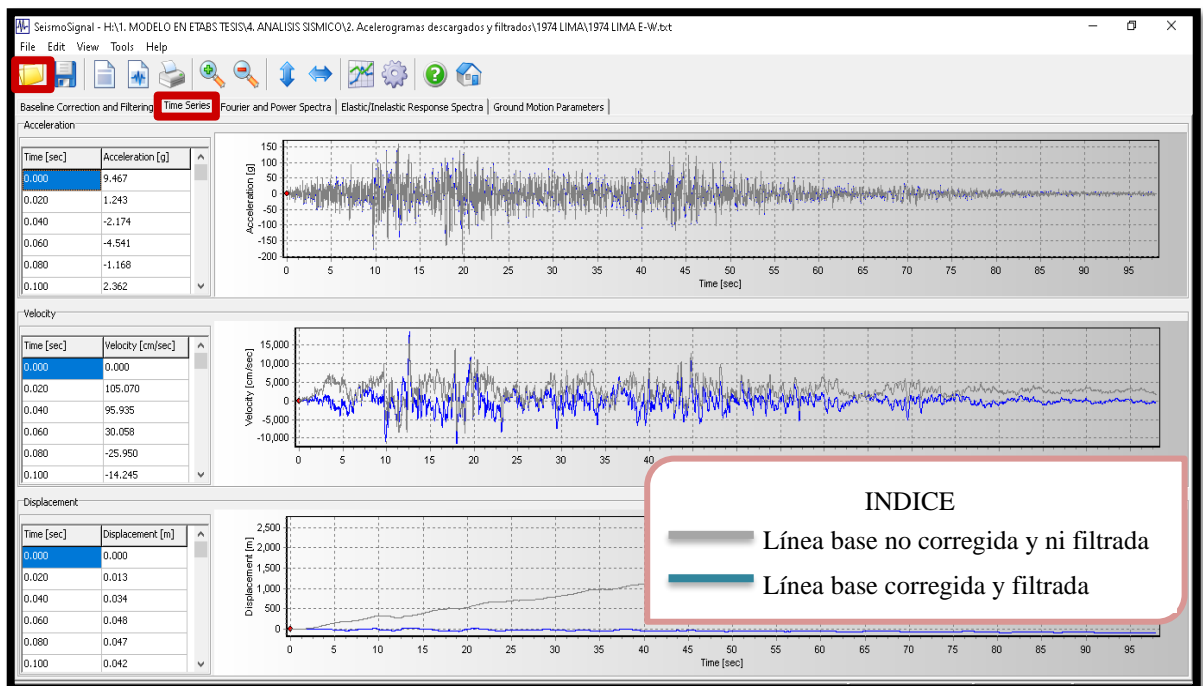


Figura 52. Desplazamiento, velocidad y desplazamiento corregida y filtrada

Fuente: Programa computacional Seismo Signal

3.4.6.3.2. Ingreso de acelerogramas en Etabs

Se ingresa para el análisis siete conjuntos de registros de aceleración de terreno elegidas, corregido, filtrado por línea base en el programa computacional Etabs.

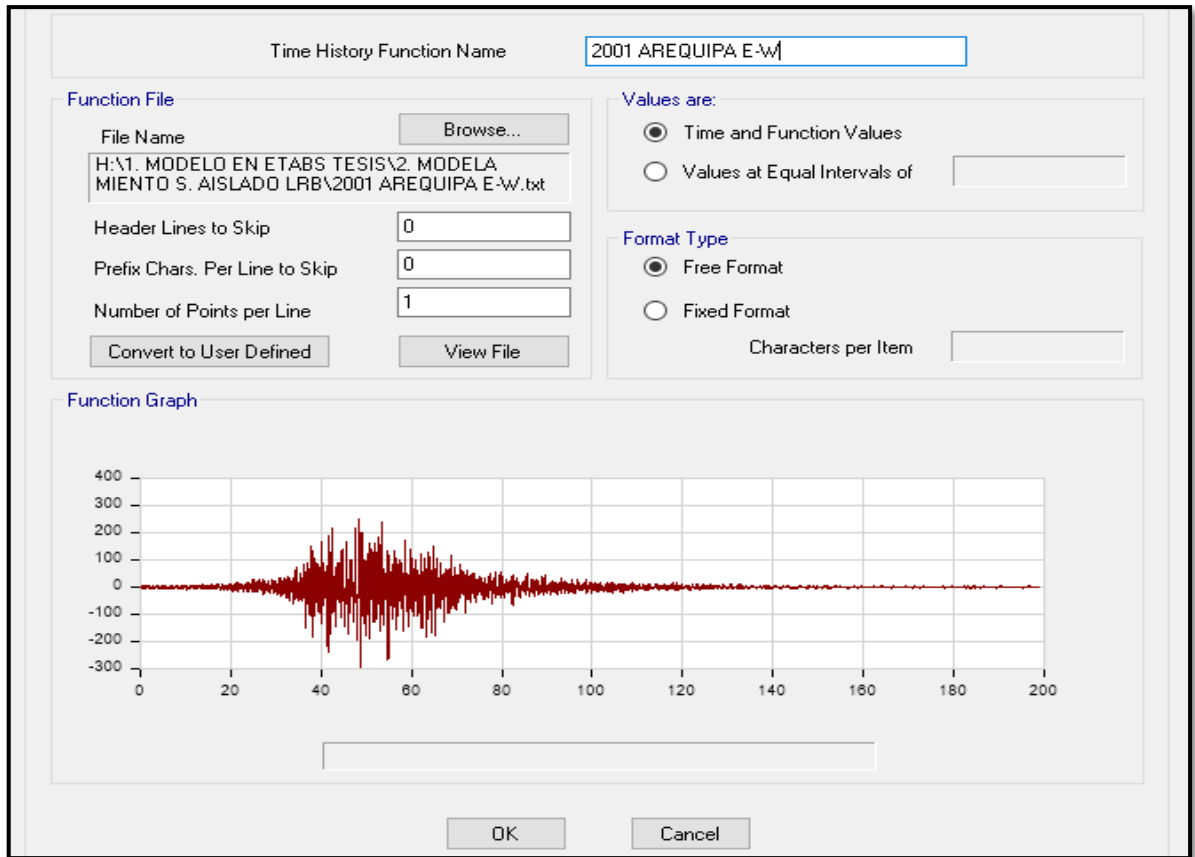


Figura 53. Ingreso de acelerograma de Arequipa 2001 E-W

Fuente: Programa computacional ETABS V19

3.4.6.3.3. Escalamiento de acelerogramas en Etabs

Se efectuó un escalamiento en dominio del tiempo mediante en el programa computacional ETABS, ya que el proceso es mucho más preciso, amplio que el ajuste en el dominio de las frecuencias.

Se procedió a transformar los acelerogramas reales a espectros de respuesta y escalarlos al espectro objetivo, mediante el programa computacional, obteniéndose los siguientes resultados:

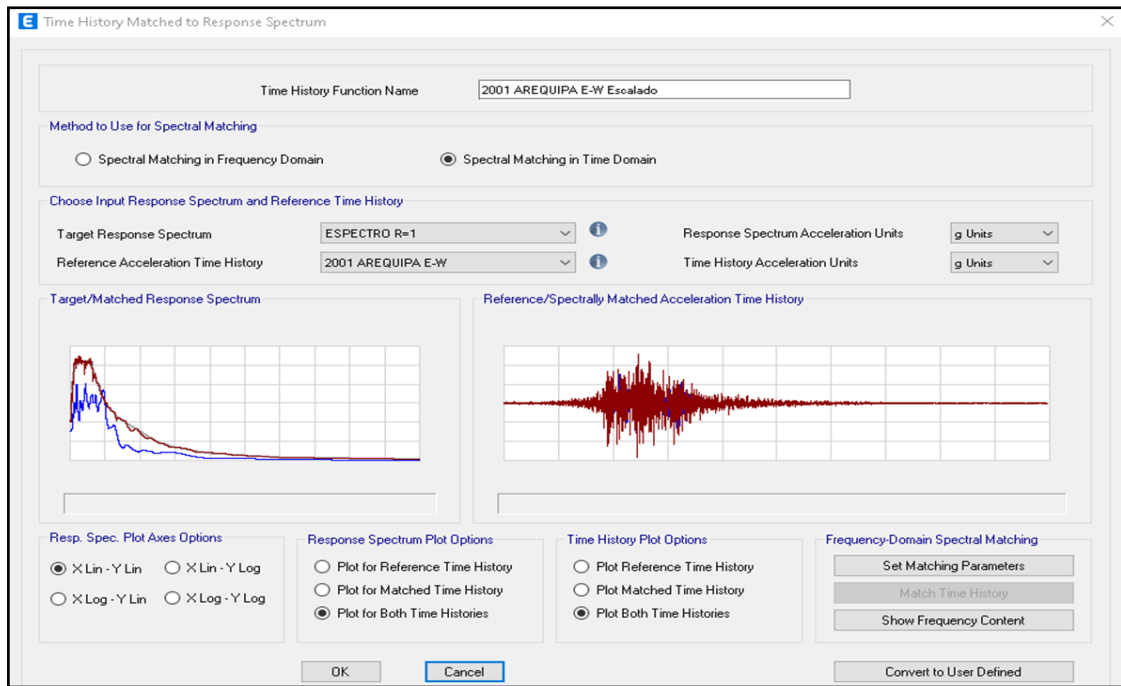


Figura 54. Acelerograma real y escalado a espectro objetivo de Arequipa 2001 E-W

Fuente: Programa computacional ETABS V19

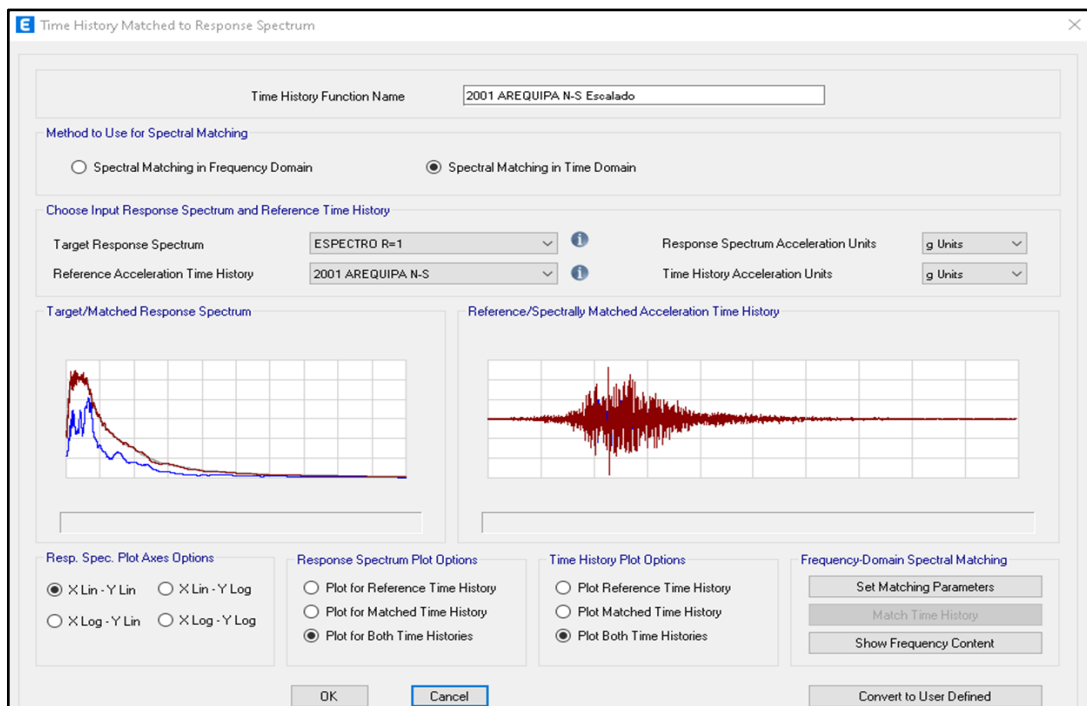


Figura 55. Acelerograma real y escalado a espectro objetivo de Arequipa 2001 N-S

Fuente: Programa computacional ETABS V19

3.4.6.3.4. Historia de respuesta FNA en Etabs

Se asigna la función “rampa” al caso de historia de respuesta FNA para cargas gravitacionales.

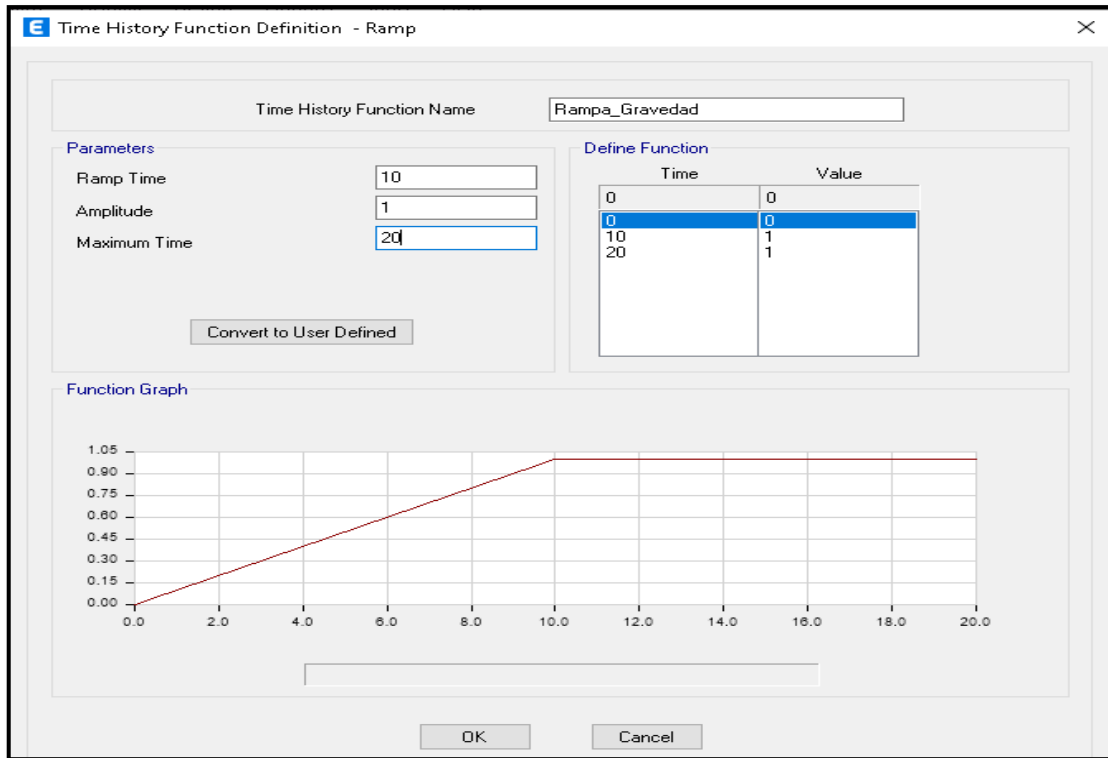


Figura 56. Función “rampa” para cargas gravitacionales

Fuente: Programa computacional ETABS V19

Se define el análisis historia de respuesta FNA de uno de los movimientos del terreno, indicando los factores de escala y amortiguamientos asumidos.

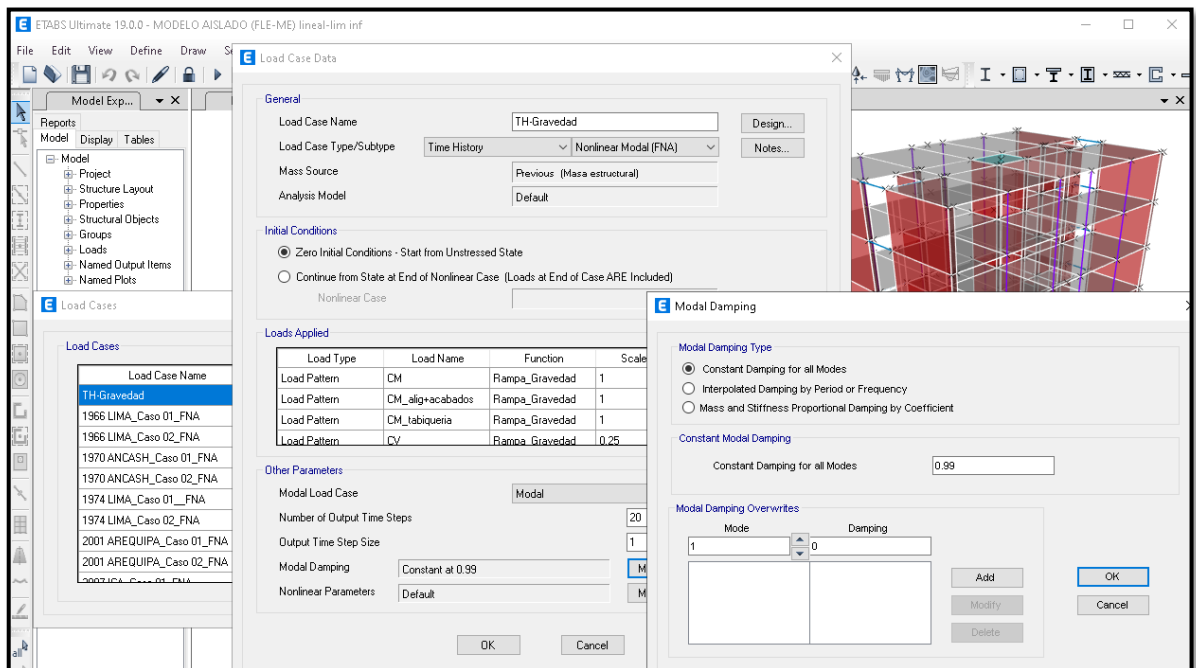


Figura 57. Definición del caso de carga para el análisis historia de respuesta FNA para cargas gravitacionales

Fuente: Programa computacional ETABS V19

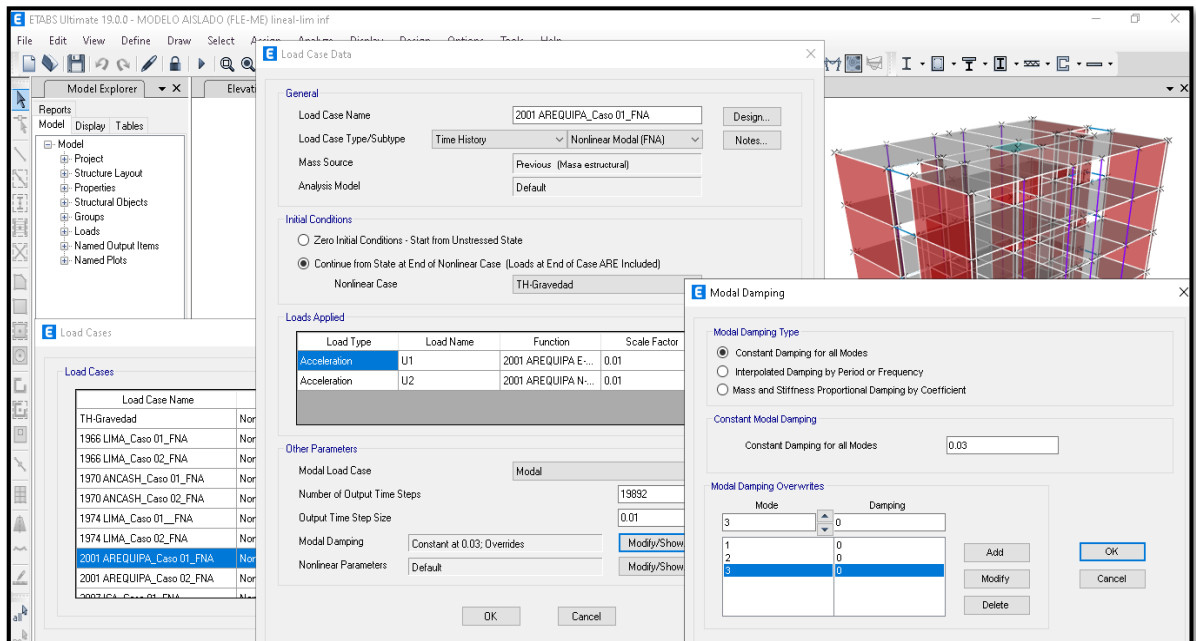


Figura 58. Definición del caso de carga para el análisis historia de respuesta FNA para uno de los movimientos del terreno Arequipa 2001 E-W

Fuente: Programa computacional ETABS V19

3.4.7. Verificaciones en un sistema convencional

Para ver si cumple con los parámetros mínimos el análisis del modelo estructural, se verifica con los resultados del software Etabs V19, para luego proceder con el diseño de concreto armado.

Se obtiene el modelo estructural convencional en ETABS V19 con las solicitaciones sísmicas reducidas.

Se verifica los posibles errores cometidos en el modelamiento, se selecciona en menu/Analyze /Check Model.

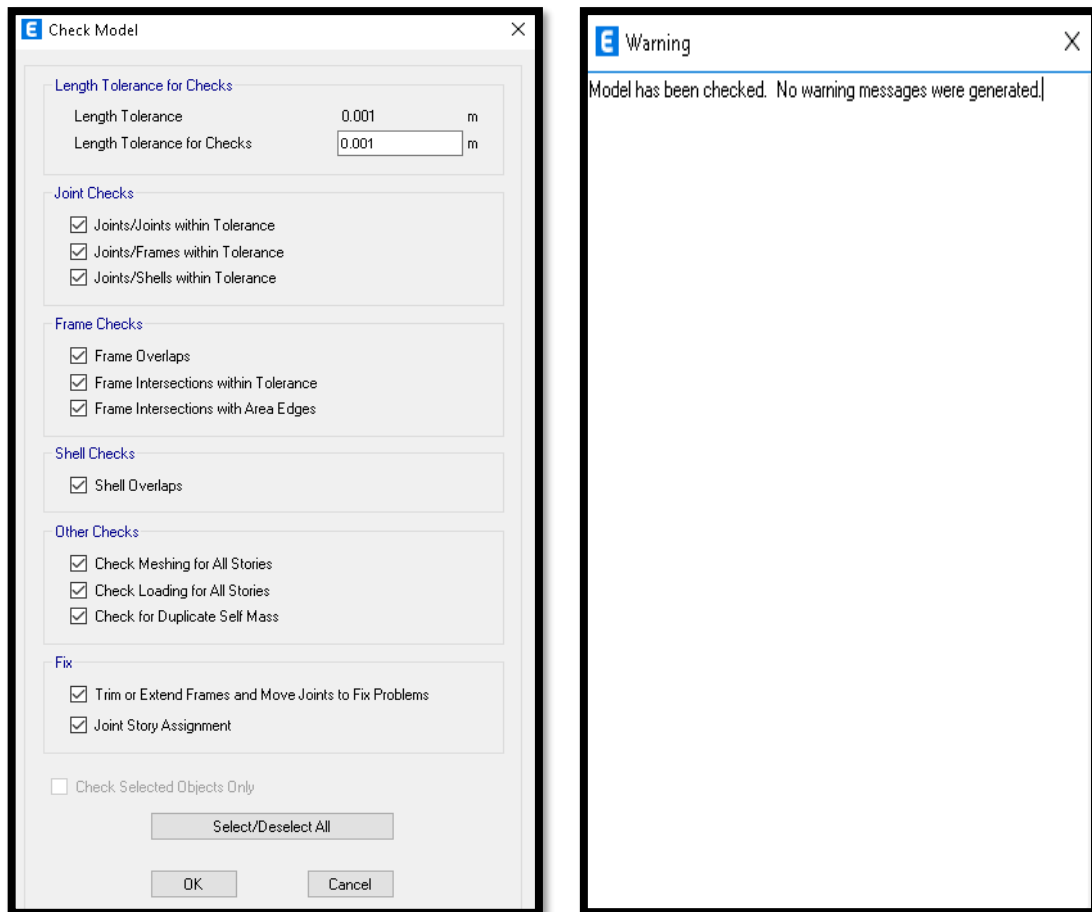


Figura 59. Mensaje de verificación exitosa sin posibles errores

Fuente: Programa computacional ETABS V19

Se corre el modelamiento en menú/Run Analysis(F5)

3.4.7.1. Verificación de Sistema Estructural

Se filtran los resultados de fuerza cortante total, fuerza cortante en columnas en menú/Display/Show Tables y se verifica el sistema estructural que se consideró.

Tabla 37. Verificación de Sistema Estructural

Fuerza cortante total		Fuerza cortante-columnas		Fuerza cortante-placas	
VX	VY	VX	VY	VX	VY
280.4696	266.8081	7.7722	2.052	272.6974	264.7561
100.00%	100.00%	2.77%	0.77%	97.23%	99.23%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Sistema estructural en dirección "X": Muros estructurales

Sistema estructural en dirección "Y": Muros estructurales

3.4.7.2. Ubicación del Centro de Masa y Centro de Rigidez

Se filtran los resultados de centro de masa y rigidez en menú/Display/Show Tables.

Tabla 38. Ubicación del Centro de Masa y Rigidez

Diafragma	Centro de masa		Centro de rigidez		Excentricidad	
	XCM (m)	YCM (m)	XCR (m)	YCR (m)	ex (m)	ey (m)
Diafragma 2	8.275	5.6739	8.275	5.789	0.00	-0.12
Diafragma 3	8.275	5.6791	8.275	5.9144	0.00	-0.24
Diafragma 4	8.275	5.6791	8.275	5.8503	0.00	-0.17
Diafragma 5	8.275	5.6791	8.275	5.7652	0.00	-0.09
Diafragma 6	8.275	5.6791	8.275	5.6861	0.00	-0.01
Diafragma 7	8.275	5.6791	8.275	5.6171	0.00	0.06
Diafragma 8	8.275	5.6791	8.275	5.5578	0.00	0.12
Diafragma 9	8.275	5.6791	8.275	5.5066	0.00	0.17
Diafragma_10	8.275	5.6791	8.275	5.4615	0.00	0.22
Diafragma_11	8.275	5.6791	8.275	5.4225	0.00	0.26
Diafragma_12	8.275	5.1516	8.275	5.3889	0.00	-0.24

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.4.7.3. Verificación de Irregularidades en Altura (Ia)

Se filtran los resultados en menú/Display/ Show Tables, se analiza en una hoja de cálculo Excel para ver las irregularidades en altura y se verifica si se consideró el factor de irregularidad correspondiente.

- Irregularidad de rigidez – piso blando

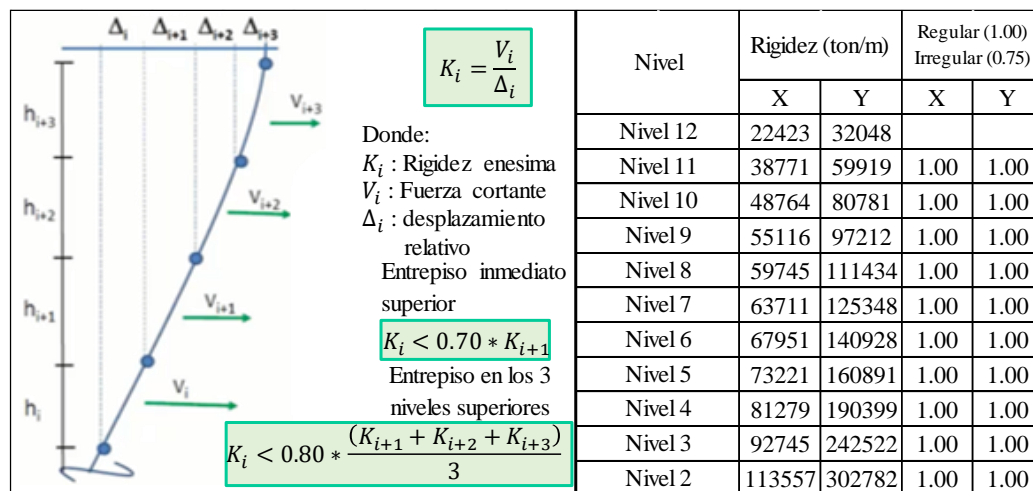


Figura 60. Cálculo de irregularidad de rigidez – piso blando

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- **Irregularidad de resistencia – piso débil**

	Nivel	Resistencia (ton)		Regular (1.00) Irregular (0.75)	
		X	Y	X	Y
		$0.80 * R_i > R_{i+1}$	Nivel 12	42.737	45.587
Donde: R_{i+1} : Resistencia R_{i+1} : Resistencia del piso inmediato superior	Nivel 11	85.994	89.528	1.00	1.00
	Nivel 10	124.173	126.550	1.00	1.00
	Nivel 9	157.937	158.094	1.00	1.00
	Nivel 8	187.593	185.012	1.00	1.00
	Nivel 7	213.269	207.837	1.00	1.00
	Nivel 6	234.975	226.880	1.00	1.00
	Nivel 5	252.641	242.269	1.00	1.00
	Nivel 4	266.137	254.000	1.00	1.00
	Nivel 3	275.342	262.029	1.00	1.00
	Nivel 2	280.470	266.808	1.00	1.00

Figura 61. Cálculo de irregularidad de resistencia – piso débil

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- **Irregularidad extrema de rigidez**

Sin irregularidad

- **Irregularidad extrema de resistencia**

Sin irregularidad

- **Irregularidad de masa o peso**

	Nivel	Masa (Kg)		Regular (1.00) Irregular (0.90)	
		X	Y	X	Y
		$w_i > 1.5 * w_{i+1}$ o $w_i > 1.5 * w_{i-1}$	Nivel 2	242863	242863
Donde: W_i : Peso W_{i+1} : Peso inmediato superior W_{i-1} : Peso inmediato inferior	Nivel 3	221938	221938	1.00	1.00
	Nivel 4	221938	221938	1.00	1.00
	Nivel 5	221938	221938	1.00	1.00
	Nivel 6	221938	221938	1.00	1.00
	Nivel 7	221938	221938	1.00	1.00
	Nivel 8	221938	221938	1.00	1.00
	Nivel 9	221938	221938	1.00	1.00
	Nivel 10	221938	221938	1.00	1.00
	Nivel 11	221938	221938	1.00	1.00
	Nivel 12	191203	191203		

Figura 62. Cálculo de irregularidad de masa o peso

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- **Irregularidad geométrica vertical**

<p>Quando $a_2 > 1.3 * a_1$; $b_2 > 1.3 * b_1$</p> <p>Donde:</p> <p>a_1 : Dimension corta en planta en eje "X"</p> <p>a_2 : Dimension larga en planta en eje "X"</p> <p>b_1 : Dimension corta en planta en eje "Y"</p> <p>b_2 : Dimension larga en planta en eje "Y"</p>	<p>$a_1 = 16.55$ m</p> <p>$a_2 = 16.55$ m</p> <p>$b_1 = 11.50$ m</p> <p>$b_2 = 11.50$ m</p>	<p>Regular (1.00)</p> <p>Irregular (0.90)</p>	
		X	Y
		1.00	1.00

Figura 63. Cálculo de irregularidad de geométrica vertical

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- **Discontinuidad en los sistemas resistentes**

Sin irregularidad

- **Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes**

Sin irregularidad

3.4.7.4. Verificación de Irregularidades en Planta (Ip)

Se filtran los resultados en menú/Display/Show Tables, se analiza en una hoja de cálculo Excel para ver las irregularidades en planta y se verifica si se consideró el factor de irregularidad correspondiente.

- **Irregularidad torsional**

<div style="border: 1px solid green; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> $\frac{\Delta_{max}}{h_1} > 1.20 * \frac{\Delta_{PROM}}{h_1} \text{ y}$ $\frac{\Delta_{max}}{h_1} > 0.50 * \left(\frac{\Delta}{h}\right) \text{ permisible}$ </div> <div style="border: 1px solid green; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> $\Delta_{PROM} = \frac{\Delta_{max} + \Delta_{min}}{2}$ </div> <p>Donde:</p> <p>Δ_{max} : Desplazamiento maximo</p> <p>Δ_{min} : Desplazamiento minimo</p> <p>Δ_{PROM} : Desplazamiento promedic</p> <p>h_i : Altura enesima</p>	Nivel	Derivas maximas		Derivas promedio		Regular (1.00) Irregular (0.75)	
		X	Y	X	Y	X	Y
	Nivel 12	0.0007	0.0005	0.0007	0.0005	1.00	1.00
	Nivel 11	0.0008	0.0006	0.0008	0.0005	1.00	1.00
	Nivel 10	0.0009	0.0006	0.0009	0.0006	1.00	1.00
	Nivel 9	0.0010	0.0006	0.0010	0.0006	1.00	1.00
	Nivel 8	0.0011	0.0006	0.0011	0.0006	1.00	1.00
	Nivel 7	0.0012	0.0006	0.0012	0.0006	1.00	1.00
	Nivel 6	0.0013	0.0006	0.0012	0.0006	1.00	1.00
	Nivel 5	0.0012	0.0006	0.0012	0.0005	1.00	1.00
Desplazamiento Relativo Admisible :	Nivel 4	0.0012	0.0005	0.0012	0.0005	1.00	1.00
Concreto Armado	Nivel 3	0.0011	0.0004	0.0011	0.0004	1.00	1.00
0.007	Nivel 2	0.0005	0.0002	0.0005	0.0002	1.00	1.00

Figura 64. Cálculo de irregularidad torsional

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- **Irregularidad torsional extrema**

Sin irregularidad

- **Esquinas entrantes**

$(a > 0.20 * A)$ y $(b > 0.20 * B)$ Donde: a : Dimension entrante en X b : Dimension entrante en Y A : Dimension en X B : Dimension en Y		$A = 11.50 \text{ m}$ $a = 2.00 \text{ m}$ $B = 16.55 \text{ m}$ $b = 4.10 \text{ m}$	Regular (1.00)	
			Irregular (0.90)	
			X	Y
			1.00	1.00

Figura 65. Cálculo de esquinas entrantes

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- **Discontinuidad del diafragma**

$A' > 50\% * A_{Total}$ Donde: A' : Area total de ductos A_{Total} : Area total		$A = 182.13 \text{ m}$ $A' = 4.90 \text{ m}$ Discontinuidad abrupta del diafragma Reduccion del area de diafragma	Regular (1.00)	
			Irregular (0.85)	
			X	Y
			1.00	1.00
			1.00	1.00

Figura 66. Cálculo de discontinuidad del diafragma

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- **Sistemas no paralelos**

Sin irregularidad

- **Resumen de irregularidades**

Tabla 39. Resumen de irregularidades en altura

IRREGULARIDADES EN ALTURA	"X"	"Y"
Irregularidad de rigidez – piso blando	Sin irregularidad	Sin irregularidad
Irregularidades de resistencia – piso débil	Sin irregularidad	Sin irregularidad
Irregularidad extrema de rigidez	Sin irregularidad	Sin irregularidad
Irregularidad extrema de resistencia	Sin irregularidad	Sin irregularidad
Irregularidad de masa o peso	Sin irregularidad	Sin irregularidad
Irregularidad geométrica vertical	Sin irregularidad	Sin irregularidad
Discontinuidad en los sistemas resistentes	Sin irregularidad	Sin irregularidad
Discontinuidad extrema de los sistemas resistentes	Sin irregularidad	Sin irregularidad

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 40. Resumen de irregularidades en planta

IRREGULARIDADES EN PLANTA	"X"	"Y"
Irregularidad torsional	Sin irregularidad	Sin irregularidad
Irregularidad torsional extrema	Sin irregularidad	Sin irregularidad
Esquinas entrantes	Sin irregularidad	Sin irregularidad
Discontinuidad del diafragma	Sin irregularidad	Sin irregularidad
Sistemas no paralelos	Sin irregularidad	Sin irregularidad

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.4.7.5. Verificación de periodos y modos de vibración

Se filtran los resultados de periodos y modos de vibración en menú/Display/Show Tables, y se verifica el comportamiento de la estructura ante un evento sísmico

Tabla 41. Periodos de vibración de la estructura y modos de vibración

Modo	Periodos de participacion modal y modos de vibración			
	Periodo(seg)	UX	UY	RZ
1	0.788	0.7774	0	0
2	0.534	0	0.729	0
3	0.419	0.00001234	0	0

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

El primer modo es de traslación en el eje “X” y tiene un periodo de vibración de la estructura de 0.788 segundos.

El segundo modo es de traslación en el eje “Y” y tiene un periodo de vibración de la estructura de 0.534 segundos.

El tercer modo es rotacional y tiene un periodo de vibración de la estructura de 0.419 segundos.

3.4.7.6. Verificación de Cortante Basal del Estático vs Dinámico

$$V_{\text{minimo}} = 0.80 * V_{\text{estatico}}$$

Tabla 42. Cortante basal mínimo

SISMO	ESTATICO (ton)	DINAMICO (ton)	80% ESTATICO	CORTANTE MINIMO
X	311.233	280.4696	248.9864	OK
Y	369.5892	295.6714	295.67136	OK

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.4.7.7. Verificación de derivas estático vs dinámico

Se filtran los resultados derivas estático y dinámico en menú/Display/Show Tables, y se verifica la distorsión mínima según norma E.030.

Tabla 43. Derivas estático vs dinámico

NIVEL	DERIVA DINAMICA				DERIVA MAXIMA PERMITIDA POR NORMA		DERIVA ESTATICA				DERIVA MAXIMA PERMITIDA POR NORMA	
	ELASTICA		INELASTICA		X	Y	ELASTICA		INELASTICA		X	Y
	X	Y	X	Y			X	Y	X	Y		
Nivel 12	0.0006	0.0005	0.0029	0.0022	OK	OK	0.0007	0.0006	0.0032	0.0029	OK	OK
Nivel 11	0.0008	0.0005	0.0034	0.0023	OK	OK	0.0009	0.0007	0.0039	0.0031	OK	OK
Nivel 10	0.0009	0.0005	0.0040	0.0024	OK	OK	0.0010	0.0007	0.0045	0.0032	OK	OK
Nivel 9	0.0010	0.0005	0.0045	0.0025	OK	OK	0.0011	0.0007	0.0051	0.0033	OK	OK
Nivel 8	0.0011	0.0006	0.0049	0.0025	OK	OK	0.0012	0.0008	0.0056	0.0034	OK	OK
Nivel 7	0.0012	0.0006	0.0053	0.0025	OK	OK	0.0013	0.0008	0.0060	0.0034	OK	OK
Nivel 6	0.0012	0.0005	0.0055	0.0024	OK	OK	0.0014	0.0007	0.0062	0.0033	OK	OK
Nivel 5	0.0012	0.0005	0.0055	0.0023	OK	OK	0.0014	0.0007	0.0061	0.0031	OK	OK
Nivel 4	0.0012	0.0005	0.0052	0.0020	OK	OK	0.0013	0.0006	0.0058	0.0028	OK	OK
Nivel 3	0.0010	0.0004	0.0047	0.0016	OK	OK	0.0012	0.0005	0.0053	0.0023	OK	OK
Nivel 2	0.0005	0.0002	0.0024	0.0008	OK	OK	0.0006	0.0003	0.0027	0.0011	OK	OK

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.5. MODELAMIENTO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA CON AISLADORES ELASTOMÉRICOS

3.5.1. Procedimiento diseño de sistemas de aislamiento de base

Para realizar el modelamiento del sistema aislado se continuo en el modelo del sistema convencional, definiendo una losa maciza bidireccional de entrepiso para el aislamiento de la base con sus respectivas vigas (listo para incluir los elementos de aislación sísmica que se calculan los parámetros en el presente ítem), se predimensiono los elementos estructurales necesarios para el sistema de aislamiento.

Se predimensiono la losa maciza bidireccional, teniendo como dato un perímetro de 17.25m, siendo las luces más críticas 5.03m y 3.60m le corresponde un peralte de 10 cm. Sin embargo, se adoptó un peralte de 20 cm ya que son elementos en el nivel de aislamiento que deben ser diseñadas con un factor R igual a 1.

Se predimensiono la losa maciza vigas, teniendo como dato el paño más crítico con dimensiones A=5.03m, B=3.60m y siendo la edificación de uso común se tiene una sobrecarga de 250 kg/m² en su primer nivel por tener un uso de garaje, entonces le

corresponde una sección de 30x50cm, se adoptó la dimensión de viga de 30x60cm ya que son elementos en el nivel de aislamiento que deben ser diseñadas con un factor R igual a 1.

se procedió a obtener los nuevos parámetros del programa computacional como los periodos, peso sísmico de la estructura total y sin considerar base, tal como se muestra en la siguiente figura:

Tabla 44. Datos del modelamiento de la estructura convencional

Datos del modelamiento de la estructura convencional			
Factor de zona (Z) =	0.35		
Factor de uso (U) =	1.00		
Factor de suelo (S) =	1.15		
Periodo corto (T_P) =	0.60	→ Coef. de amplificación sísmica (C_P) =	2.50
Periodo largo (T_L) =	2.00	→ Coef. de amplificación sísmica (C_L) =	0.75
Periodo (T_1) =	0.748	→ Coef. de amplificación sísmica (C_1) =	2.01
Periodo (T_2) =	0.502	→ Coef. de amplificación sísmica (C_2) =	2.50
Periodo (T_3) =	0.395	→ Coef. de amplificación sísmica (C_3) =	2.50
Dimensión en planta más larga de la estructura (d) =	16.55	m	
Dimensión en planta más corta de la estructura (b) =	11.50	m	
Excentricidad real entre el centro de masas y rigidez (d) =	0.25	m	
Peso sísmico de la estructura total (W) =	2639.255	Tn ó kN-s2/m	
Peso sísmico de la estructura sin considerar base (W_s) =	2416.396	Tn ó kN-s2/m	
Coefficiente de reducción para el sistema convencional (R) =	6		
Coefficiente de reducción para el sistema aislada (R_a) =	2.00		

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

La metodología de diseño del aislador consiste en un procedimiento iterativo, donde se calculó los parámetros con las fórmulas detalladas en el marco teórico del procedimiento de diseño de sistemas con aislamiento en base.

El procedimiento se realizó con la última iteración.

Paso 1: Estimación de las propiedades del sistema con aisladores

$$T_{M,min}(1) = 2.372s, T_{M,nom}(1) = 1.916s \text{ y } T_{M,max}(1) = 1.150s$$

$$\beta_{M,min}(1) = 14.95\%, \beta_{M,nom}(1) = 20.67\% \text{ y } \beta_{M,max}(1) = 32.91\%$$

Paso 2: Calculo de sismo máximo considerado

$$Si: T = 2.372 > T_L = 2.00 \rightarrow C = 2.5 * \left(\frac{0.60 * 2.00}{2.372^2} \right) = 0.53$$

$$SMC = 1.5 * 0.35 * 1.00 * 1.15 * 0.53 * 9.81 = 3.156 \text{ m/s}^2$$

$$SMC = 1.5 * \frac{ZUCS}{R} * g \rightarrow \begin{matrix} Z = 0.35 & T_p = 0.60 \\ U = 1.00 & T_L = 2.00 \\ S = 1.15 & R = 1.00 \end{matrix} \quad g = 981 \text{ cm/s}^2$$

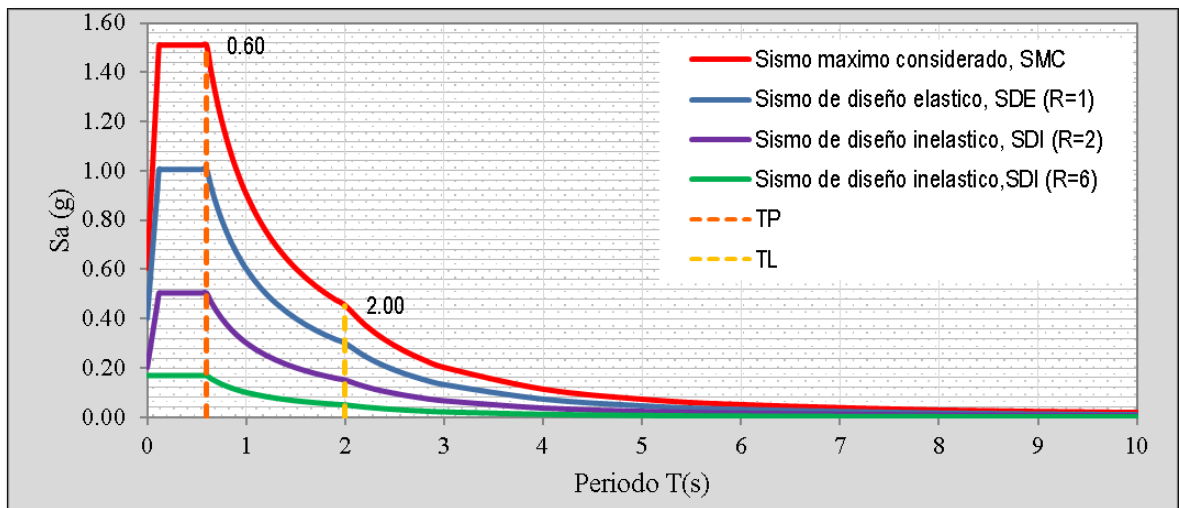


Figura 67. Espectros de diseño

Fuente: Hoja de cálculo Excel

Paso 3: Cálculo de desplazamiento laterales considerados para el diseño

Cálculo del desplazamiento traslacional, D_M

$$Si: \beta_{M,min}(1) = 14.95\% \rightarrow B_{M,min} = \frac{4}{5.6 - \ln(14.95)} = 1.38$$

$$Si: \beta_{M,nom}(1) = 20.67\% \rightarrow B_{M,nom} = \frac{4}{5.6 - \ln(20.67)} = 1.56$$

$$Si: \beta_{M,max}(1) = 32.91\% \rightarrow B_{M,max} = \frac{4}{5.6 - \ln(32.91)} = 1.90$$

$$D_{M,min} = \frac{3.156 * 2.372^2}{4 * \pi^2 * 1.38} = 0.326m$$

$$D_{M,nom} = \frac{3.156 * 1.916^2}{4 * \pi^2 * 1.56} = 0.189m$$

$$D_{M,max} = \frac{3.156 * 1.150^2}{4 * \pi^2 * 1.90} = 0.056m$$

Cálculo del desplazamiento total máximo, D_{TM}

$$y = \frac{d}{2} = \frac{16.55}{2} = 8.275m ; P_T = \frac{T_1}{T_3} = \frac{0.748}{0.395} = 1.894$$

$$e = e_{accidental} + e_{real} = 16.55 * 0.05 + 0.25 = 1.08m$$

$$D_{TM,min} = 0.326 * \left[1 + \left(\frac{8.275}{1.894^2} \right) \left(\frac{12 * 1.08}{11.50^2 + 16.55^2} \right) \right] = 0.350m$$

$$D_{TM,nom} = 0.189 * \left[1 + \left(\frac{8.275}{1.894^2} \right) \left(\frac{12 * 1.08}{11.50^2 + 16.55^2} \right) \right] = 0.203m$$

$$D_{TM,max} = 0.056 * \left[1 + \left(\frac{8.275}{1.894^2} \right) \left(\frac{12 * 1.08}{11.50^2 + 16.55^2} \right) \right] = 0.060m$$

$$\frac{D_{TM,min}}{D_{M,min}} = \frac{0.350}{0.326} = 1.07 < 1.15 \rightarrow D_{TM,min} = 0.326 * 1.15 = 0.375m$$

$$\frac{D_{TM,nom}}{D_{M,nom}} = \frac{0.203}{0.189} = 1.07 < 1.15 \rightarrow D_{TM,nom} = 0.189 * 1.15 = 0.217m$$

$$\frac{D_{TM,max}}{D_{M,max}} = \frac{0.060}{0.056} = 1.07 < 1.15 \rightarrow D_{TM,max} = 0.056 * 1.15 = 0.064m$$

Paso 4: Diseño preliminar del aislador

Diámetro del aislador

$$\varphi_{Aislador} = 1.25 * 0.372 = 468.157mm \rightarrow 500mm$$

Rigidez efectiva, K_M

$$K_M = \frac{4\pi^2}{386.4 \frac{pulg}{s^2}} * \frac{2639.3 * 1000 Kg}{(2.372s)^2} * \frac{1 lb}{0.453592 Kg} = 105.64 \frac{klb}{plg}$$

$$Si: \text{Número de aisladores} = 24 \rightarrow K_M = \frac{105.64}{24} = 4.402 \frac{klb}{pulg}$$

Espesor de las capas de caucho, t_r

$$Si: D_{TM,min} = 0.056 * 1.15 = 0.064m = 100mm \rightarrow A = \frac{\pi * \left(\frac{100}{25.4} \right)^2}{4} = 12.17 pulg^2$$

$$Segun bridgestone: G_{100\%} = 0.385 \frac{N}{mm^2} = 55.82psi$$



$$t_r = \frac{55.82 \text{ psi} * 12.17 \text{ pulg}^2}{4.402 * 1000 * \frac{\text{lb}}{\text{pulg}}} * \frac{25.4 \text{ mm}}{1 \text{ pulg}} = 3.92 \text{ mm}$$

Paso 5: Verificación del diseño preliminar del aislador seleccionado

Se procede a seleccionar el tipo aislador elastomérico LRB del catálogo Bridgestone (2017), con el diámetro del aislador y el espesor de las capas de caucho calculados en el paso 4, tomando en cuenta estos valores como mínimos.

Se obtienen datos la norma E.031 Aislamiento Sísmico, también del catálogo Bridgestone, del aislador LRB y del tipo de aislador LRB seleccionado.

Datos obtenidos del catálogo (Bridgestone, 2017) del aislador LRB

G_r : Módulo de corte de caucho = 0.385N/mm²

α_p : Módulo aparente de corte del plomo = 0.583N/mm²

σ_{pb} : Esfuerzo de corte en fluencia del núcleo de plomo = 7.967N/mm²

E : Módulo de Young = 2.20N/mm²

E_∞ : Módulo volumétrico = 1176N/mm²

K : Factor de corrección de E por rugosidad = 0.85

α_ν : Factor de corrección al módulo de young = 1.23

Datos obtenidos del catálogo (Bridgestone, 2017) en función al tipo de aislador LRB

Tipo de aislador LRB = LL065G4-C

w : Peso del aislador = 6.5kN

D_0 : Diámetro Exterior del aislador = 650mm

A_r : Área efectiva en el plano = 322300mm²

H : Espesor total de caucho = 163mm

Número de capas de caucho = 37

t_r : Espesor de cada capa de caucho = 4.4mm

H_t : Altura total = 330.4mm



D_i : Diámetro efectivo del núcleo de plomo = 110mm

A_p : Área efectiva del núcleo de plomo = 9503.32mm²

Datos obtenidos de la norma (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)

Factores de modificación de propiedades de aislador LRB

Factor de modificación para $K_2 \rightarrow \lambda_{min} = 0.80, \lambda_{nom} = 1.00$ y $\lambda_{max} = 1.30$

Factor de modificación para $K_d \rightarrow \lambda_{min} = 0.80, \lambda_{nom} = 1.00$ y $\lambda_{max} = 1.50$

Cálculo de rigidez a compresión vertical, K_V

$$S_1 = \frac{650}{4 \cdot 4.4} = 36.89 \quad \text{y} \quad S_2 = \frac{650}{37 \cdot 4.4} = 3.99$$

$$E_C = \frac{2.20 \cdot (1 + 2 \cdot 0.85 \cdot 36.89^2)}{1 + 2.20 \cdot (1 + 2 \cdot 0.85 \cdot 36.89^2) / 1176} = 995.32 \text{ N/mm}^2$$

$$K_V = 1.23 \cdot 995.32 \cdot \frac{322300 + 9503.32}{163} = 2391923.59 \text{ kN/m}$$

Cálculo de parámetros según del catálogo (Bridgestone, 2017)

Se realizó el cálculo de valores para desplazamiento máximo (D_M) al 100%

Deformación por corte, γ_M

$$\gamma_{M,min} = \frac{325.67 \cdot 100\%}{163} = 199.8\%$$

$$\gamma_{M,mon} = \frac{188.66 \cdot 100\%}{163} = 115.7\%$$

$$\gamma_{M,max} = \frac{55.66 \cdot 100\%}{163} = 34.1\%$$

Rigidez pos fluencia, K_2

$$K_r = \frac{0.385 \cdot 322300}{163} = 761.26 \text{ kN/m} \quad \text{y} \quad K_p = \frac{0.583 \cdot 9503.32}{163} = 33.99 \text{ kN/m}$$

$$C_{Kd} = \begin{cases} Si: \gamma_M < 0.25 \rightarrow 0.779 \cdot \gamma_M^{-0.43} \\ Si: 0.25 \leq \gamma_M < 1.00 \rightarrow \gamma_M^{-0.25} \\ Si: 1.00 \leq \gamma_M < 2.50 \rightarrow \gamma_M^{-0.12} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} C_{Kd,min} = 1.998^{-0.12} = 0.92 \\ C_{Kd,nom} = 1.157^{-0.12} = 0.98 \\ C_{Kd,max} = 0.341^{-0.25} = 1.31 \end{cases}$$

$$K_{2,min} = K_{D,min} = 0.92 \cdot (761.26 + 33.99) \cdot 0.8 = 585.49 \text{ kN/m}$$

$$K_{2,nom} = K_{D,nom} = 0.98 \cdot (761.26 + 33.99) \cdot 0.8 = 781.42 \text{ kN/m}$$

$$K_{2,max} = K_{D,max} = 1.31 * (761.26 + 33.99) * 1.3 = 1352.43 \text{ kN/m}$$

Resistencia característica, Q_d

$$C_{Qd} =$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Si: } \gamma_M \leq 0.10 \rightarrow 2.036 * \gamma_M^{0.41} \\ \text{Si: } 0.10 < \gamma_M < 0.50 \rightarrow 1.106 * \gamma_M^{0.145} \\ \text{Si: } 0.50 \leq \gamma_M \rightarrow 1 \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} C_{Kd,min} = 1 \\ C_{Kd,nom} = 1 \\ C_{Kd,max} = 1.106 * 0.341^{0.145} = 0.95 \end{array} \right.$$

$$Q_{d,min} = 1 * 7.967 * 9503.32 * 0.80 = 60.57 \text{ kN}$$

$$Q_{d,nom} = 1 * 7.967 * 9503.32 * 1.00 = 75.71 \text{ kN}$$

$$Q_{d,max} = 0.95 * 7.967 * 9503.32 * 1.50 = 107.49 \text{ kN}$$

Rigidez inicial, K_1 y rigidez equivalente al corte, K_{eq}

β : Relación entre la rigidez inicial y la rigidez post fluencia que se encuentra entre

10 a 15. (Valor recomendado: 13)

$$K_{1,min} = 13 * 585.49 = 7611.4 \text{ kN/m}$$

$$K_{1,nom} = 13 * 781.42 = 10158.4 \text{ kN/m}$$

$$K_{1,max} = 13 * 1352.43 = 17581.6 \text{ kN/m}$$

$$K_{eq,min} = \frac{60.57}{1.994 * 0.163} + 585.49 = 771.48 \text{ kN/m}$$

$$K_{eq,nom} = \frac{75.71}{1.157 * 0.163} + 781.42 = 1182.73 \text{ kN/m}$$

$$K_{eq,max} = \frac{107.49}{0.341 * 0.163} + 1352.43 = 3283.63 \text{ kN/m}$$

Relación de amortiguamiento equivalente, β_{eq}

$$\beta_{eq,min} = \frac{2}{\pi} * \frac{60.57 * \left(1.994 * 0.163 - \frac{60.57}{(13-1) * 585.49}\right)}{771.48 * (1.994 * 163)^2} = 0.149$$

$$\beta_{eq,nom} = \frac{2}{\pi} * \frac{75.71 * \left(1.157 * 0.163 - \frac{75.71}{(13-1) * 781.42}\right)}{1182.73 * (1.157 * 163)^2} = 0.207$$

$$\beta_{eq,max} = \frac{2}{\pi} * \frac{107.54 * \left(0.341 * 0.163 - \frac{107.49}{(13-1) * 1352.43}\right)}{3283.63 * (0.341 * 163)^2} = 0.330$$

Energía por ciclo, E_{ciclo} :

$$E_{ciclo,min} = 2 * \pi * 771.48 * 0.149 * 325.67^2/1000 = 76816.1 \text{ kNmm}$$

$$E_{ciclo,nom} = 2 * \pi * 1182.73 * 0.207 * 188.66^2/1000 = 54692.1 \text{ kNmm}$$

$$E_{ciclo,max} = 2 * \pi * 3283.63 * 0.330 * 55.66^2/1000 = 21081.9 \text{ kNmm}$$

Desplazamiento de fluencia, Dy:

$$D_{y,min} = \frac{60.57*1000}{76816.1-585.49} = 8.62 \text{ mm}$$

$$D_{y,nom} = \frac{75.71*1000}{54692.1-781.42} = 8.07 \text{ mm}$$

$$D_{y,max} = \frac{107.49*1000}{21081.9-1352.43} = 6.62 \text{ mm}$$

Fuerza de fluencia, Fy:

$$F_{y,min} = 60.57 + 585.49 * 0.00862 = 65.62 \text{ kN}$$

$$F_{y,nom} = 75.71 + 781.42 * 0.00807 = 82.02 \text{ kN}$$

$$F_{y,max} = 107.49 + 1352.43 * 0.00662 = 116.44 \text{ kN}$$

Fuerza en el asiento de apoyo:

$$F_{apoyo,min} = 60.57 + 0.32567 * 585.49 = 251.25 \text{ kN}$$

$$F_{apoyo,nom} = 75.71 + 0.18866 * 781.42 = 223.14 \text{ kN}$$

$$F_{apoyo,max} = 107.51 + 0.05566 * 1352.43 = 182.76 \text{ kN}$$

Se realizó un resumen de resultados de valores calculados para desplazamiento (DM) al 100%.

Se siguió el mismo procedimiento en el presente paso 5, para el cálculo de valores del desplazamiento (DM) al 50%, ya que posteriormente se usará para la verificación de fuerza restauradora:

$$D_{M(0.5DD),min} = \frac{325.67}{2} = 162.84 \text{ mm}$$

$$D_{M(0.5DD),nom} = \frac{188.66}{2} = 94.33 \text{ mm}$$

$$D_{M(0.5DD),max} = \frac{55.73}{2} = 27.83 \text{ mm}$$

A continuación, se muestra la figura de resumen de valores para D_M de 100% y 50%.

Tabla 45. Resumen valores calculados del sistema

Valores calculados con formulas del catalogo (Bridgestone, 2017)	Calculo para 100% del Desplazamiento			Calculo para 50% del Desplazamiento			Unidad
	Límite inferior	Límite nominal	Límite superior	Límite superior	Límite inferior	Límite superior	
Desplazamientos maximo, $D_M =$	325.67	188.66	55.66	162.84	94.33	27.83	mm
Deformación por corte, $Y_M =$	199.80%	115.75%	34.15%	99.90%	57.87%	17.07%	
Factor de corrección a la rigidez post-fluencia, $C_{Kd} =$	0.92	0.98	1.31	1.00	1.15	1.67	-
Rigidez al corte del caucho laminado, $K_r =$	761.26	761.26	761.26	761.26	761.26	761.26	kN/m
Rigidez al corte adicional por núcleo de plomo, $K_p =$	33.99	33.99	33.99	33.99	33.99	33.99	kN/m
Rigidez postfluencia, $K_2 =$	585.49	781.42	1352.43	636.36	911.77	1722.24	kN/m
Factor de corrección a la resistencia caract., $C_{Qd} =$	1.00	1.00	0.95	1.00	1.00	0.86	-
Resistencia característica, $Q_d =$	60.57	75.71	107.49	60.57	75.71	97.21	kN
Rigidez inicial, $K_1 =$	7611.43	10158.45	17581.56	8272.68	11853.03	22389.16	kN/m
Rigidez equivalente al corte, $K_{eq} =$	771.48	1182.73	3283.63	1008.33	1714.39	5215.33	kN/m
Relación de amortiguamiento equivalente, $\beta_{eq} =$	0.149	0.207	0.330	0.223	0.276	0.354	-
Energía por ciclo, $E_{ciclo} =$	76816.1	54692.1	21081.9	37530.7	26473.0	8991.7	kN-mm
Desplazamiento de fluencia, $D_y =$	8.62	8.07	6.62	7.93	6.92	4.70	mm
Fuerza de fluencia, $F_y =$	65.62	82.02	116.44	65.62	82.02	105.31	kN
Fuerza en el asiento de apoyo =	251.25	223.14	182.76	164.19	161.72	145.14	kN

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Paso 6: Calculo de periodo efectivo, T_M (2) y amortiguamiento efectivo, β_M (2)

$$Si: W = 2639.3 \text{ ton o } kN \text{ o } \frac{S2}{m} \rightarrow W_{por \text{ aislador}} = \frac{2639.3}{24} = 109.97 \text{ ton o } kN \text{ o } \frac{S2}{m}$$

$$T_{M,min}(2) = 2\pi * \sqrt{\frac{109.97}{771.48}} = 2.372 \text{ s}$$

$$T_{M,nom}(2) = 2\pi * \sqrt{\frac{109.97}{1182.73}} = 1.916 \text{ s}$$

$$T_{M,max}(2) = 2\pi * \sqrt{\frac{109.97}{3283.63}} = 1.150 \text{ s}$$

$$\beta_{M,min}(2) = \frac{76816.1}{2 * \pi * \frac{771.48}{1000} * 325.67^2} = 14.94 \%$$

$$\beta_{M,nom}(2) = \frac{54692.1}{2 * \pi * \frac{1182.73}{1000} * 188.66^2} = 20.68 \%$$

$$\beta_{M,max}(2) = \frac{21081.9}{2 * \pi * \frac{3283.63}{1000} * 55.66^2} = 32.99 \%$$

$$T_{M,min}(1) = T_{M,min}(2) \dots\dots\dots OK \quad y \quad T_{M,max}(1) = T_{M,max}(2) \dots\dots\dots OK$$

$$T_{M,nom}(1) = T_{M,nom}(2) \dots\dots\dots OK \quad y \quad T_{M,nom}(1) = T_{M,nom}(2) \dots\dots\dots OK$$

$$\beta_{M,min}(1) = \beta_{M,min}(2) \dots\dots\dots OK \quad y \quad \beta_{M,max}(1) = \beta_{M,max}(2) \dots\dots\dots OK$$

Se itera los valores de los periodos y amortiguamientos efectivos, hasta que coincidan los valores estimados con los calculados

$$Si: \beta_{M,min}(1) = 14.94 \% \rightarrow B_{M,min} = \frac{4}{5.6 - \ln(14.94)} = 1.381$$

$$Si: \beta_{M,nom}(1) = 20.68 \% \rightarrow B_{M,nom} = \frac{4}{5.6 - \ln(20.68)} = 1.556$$

$$Si: \beta_{M,max}(1) = 32.99 \% \rightarrow B_{M,max} = \frac{4}{5.6 - \ln(32.99)} = 1.901$$

$$\beta_{e,min} = 2 * (0.1494 - 0.05) * \sqrt{771.48 * 109.97} = 57.911 \text{ kN} - \frac{s}{m}$$

$$\beta_{e,nom} = 2 * (0.2068 - 0.05) * \sqrt{1182.73 * 109.97} = 133.073 \text{ kN} - s/m$$

$$\beta_{e,max} = 2 * (0.3299 - 0.05) * \sqrt{3283.63 * 109.97} = 336.345 \text{ kN} - s/m$$

Convergencia entre desplazamientos máximos y desplazamiento espectral

$$S_{d,min} = \frac{3.156 * 2.372^2}{4 * \pi^2 * 1.381} = 325.73 \text{ mm} \rightarrow \text{Convergencia}_{min} = \frac{325.73}{325.67} = 1.000$$

$$\approx 1$$

$$S_{d,nom} = \frac{3.156 * 1.916^2}{4 * \pi^2 * 1.556} = 188.63 \text{ mm} \rightarrow \text{Convergencia}_{nom} = \frac{188.63}{188.66} = 1.000$$

$$\approx 1$$

$$S_{d,max} = \frac{3.156 * 1.150^2}{4 * \pi^2 * 1.901} = 55.60 \text{ mm} \rightarrow \text{Convergencia}_{max} = \frac{55.60}{55.66} = 0.999 \approx 1$$

Paso 7: Verificación

Verificación de fuerza restauradora

$$F_{DD,min} = 771.48 * 0.32567 = 251.25 \text{ KN}$$

$$F_{DD,nom} = 1182.73 * 0.18866 = 223.14 \text{ KN}$$

$$F_{DD,max} = 3283.63 * 0.05566 = 182.76 \text{ KN}$$

$$F_{0.5DD,min} = 1008.33 * 0.16284 = 164.19 \text{ KN}$$

$$F_{0.5DD,nom} = 1714.39 * 0.09433 = 161.72 \text{ KN}$$

$$F_{0.5DDmax} = 5215.33 * 0.02783 = 145.14 \text{ KN}$$

$$F_{DD} - F_{0.5DD} > 0.025 * P \rightarrow P: \text{Peso sismico}$$

Tabla 46. Comprobación fuerza restauradora

	Valores calculados	Lím. inferior	Lím. nominal	Lím. superior	Unidad
Fuerza al 100% del desplazamiento (F_{DD}) =	251.25	223.14	182.76	KN	
Fuerza al 50% del desplazamiento ($F_{0.5DD}$) =	164.19	161.72	145.14	KN	
$(F_{DD} - F_{0.5DD}) =$	87.06	61.42	37.62	KN	
0.025 P =		26.96		KN	
Verificación de fuerza restauradora =	OK	OK	OK		

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Verificación de la relación entre el área reducida y el área efectiva >30%

Un área reducida de caucho, Ar, se calcula con base en las áreas superpuestas entre la parte superior e inferior del rodamiento en un desplazamiento

$$\zeta_{min} = \sqrt{650^2 - 325.67^2} = 562.53 \text{ mm}$$

$$Ar_{min} = 0.5 * (650^2 * ASENSO(\frac{562.53}{650}) - 325.67 * 562.53) = 129367.08 \text{ mm}^2$$

$$\zeta_{nom} = \sqrt{650^2 - 188.66^2} = 622.02 \text{ mm}$$

$$Ar_{nom} = 0.5 * (650^2 * ASENSO(\frac{622.02}{650}) - 188.66 * 622.02) = 210942.98 \text{ mm}^2$$

$$\zeta_{min} = \sqrt{650^2 - 55.66^2} = 647.61 \text{ mm}$$

$$Ar_{max} = 0.5 * (650^2 * ASENSO(\frac{647.61}{650}) - 55.66 * 647.61) = 295697.78 \text{ mm}^2$$

Tabla 47. Comprobación área reducida y el área efectiva >30%

	Valores calculados	Lím. inferior	Lím. nominal	Lím. superior	Unidad
ζ para area reducida =	562.53	622.02	647.61		mm
Area reducida, Ar1 =	129367.08	210942.98	295697.78		mm ²
Relación Ar/A (No menor al 30%)=	40.14%	65.45%	91.75%		-

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Verificación de las deformaciones por corte <5.5

La deformaciones por corte, $\varepsilon_{s,eq} + 0.5\varepsilon_r \leq 5.5$

$$\Delta_{s,min} = 0.05 * 325.67 = 16.28 \text{ mm} \rightarrow \varepsilon_{s,eq,min} = \frac{16.28}{163} = 0.10$$

$$\Delta_{s,nom} = 0.05 * 188.66 = 9.43 \text{ mm} \rightarrow \varepsilon_{s,eq,min} = \frac{9.43}{163} = 0.06$$

$$\Delta_{s,max} = 0.05 * 55.66 = 2.78 \text{ mm} \rightarrow \varepsilon_{s,eq,max} = \frac{2.78}{163} = 0.02$$

$$\varepsilon_r = 0.375 * 650^2 * \frac{0.010}{163 * 4.40} = 2.206$$

Tabla 48. Comprobación de deformaciones por corte <5.5

	Valores calculados	Lím. inferior	Lím. nominal	Lím. superior
Deformación debido al desplazamiento no sísmico (5% D _M), $\Delta_s =$	16.28	9.43	2.78	
Deformación por corte debido al desplazamiento no sísmico, $\varepsilon_{s,eq} =$	0.10	0.06	0.02	
Rotación de diseño por efectos de DL, LL y construcción, $\theta =$	0.010	0.010	0.010	
Rotación de diseño por efectos de DL, LL y construcción, $\varepsilon_r =$	2.206	2.206	2.206	
$\varepsilon_{s,eq} + 0.5\varepsilon_r \leq 5.5$	2.306	2.264	2.223	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Paso 8: Parámetros a utilizar en el programa computacional ETABS

Se resumen las propiedades, tanto para un análisis lineal como no lineal

Tabla 49. Parámetros a utilizar en el programa computacional ETABS V19

	Tipo de aislador LRB = <u>LL065G4-C</u>			Unidad
	Limite = inferior	nominal	superior	
Número total de aisladores =		24		-
Masa =		0.663		Ton ó kN-s ² /m
Peso =		6.500		kN
Rigidez efectiva, K _{eq} (U ₂ , U ₃) =	771.5	1182.7	3283.6	kN/m
Amortiguamiento efectivo, β_e (U ₂ , U ₃) =	57.9	113.1	336.3	kN-s/m
Rigidez, K ₁ (U ₂ , U ₃) =	7611.4	10158.4	17581.6	kN/m
Resistencia a la fluencia, F _y (U ₂ , U ₃) =	65.618	82.022	116.443	kN
Relación de rigidez postfluencia, K ₂ / K ₁ (U ₂ , U ₃) =	0.077	0.077	0.077	-
Rigidez efectiva vertical, K _v (U ₁) =		2391923.595		kN/m

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Paso 9: Curva de histéresis del aislador LRB - No lineal

Los dispositivos de aislamiento son introducidos en el análisis del sistema por medio de un modelo bilineal. Se define por los siguientes valores Q_d , F_y , D_y , $K_2=K_d$ y K_{eff} para tener unas características histeréticas bilineales.

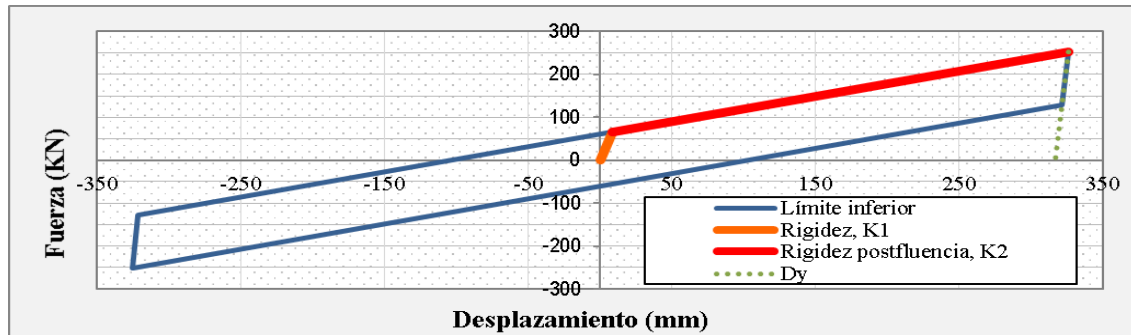


Figura 68. Propiedades del modelo bilineal del aislador LRB LL065G4-C – Límite inferior

Fuente: (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)

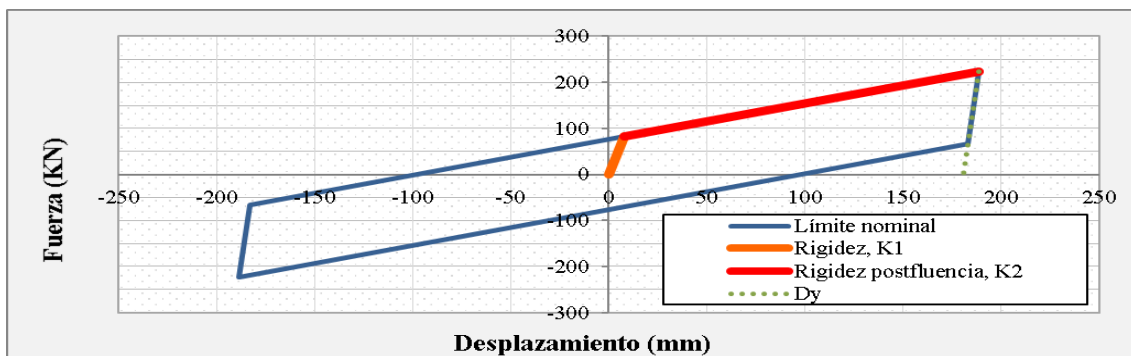


Figura 69. Propiedades del modelo bilineal del aislador LRB LL065G4-C – Límite nominal

Fuente: (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)

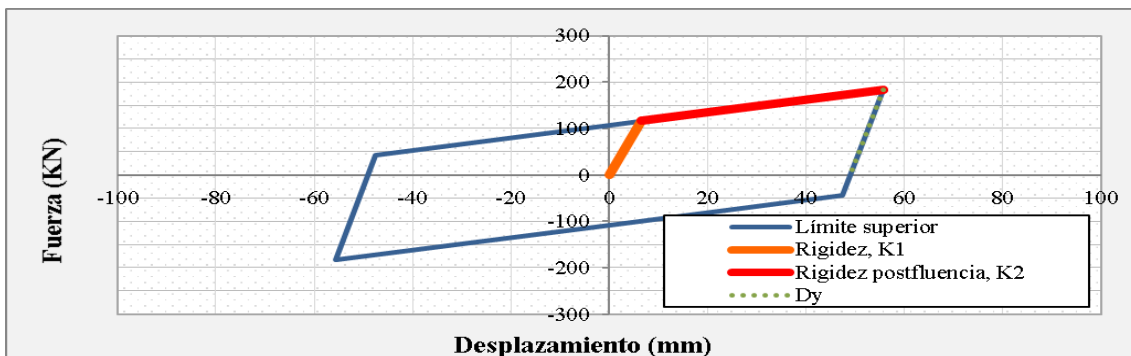


Figura 70. Propiedades del modelo bilineal del aislador LRB LL065G4-C – Límite superior

Fuente: (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)

3.5.2. Modelamiento del sistema aislado

En el modelamiento de la estructura aislada realizado en el programa computacional Etabs. Se procedió incluir los elementos de aislación sísmica, continuando al modelo de la estructura convencional usado para la obtención de datos, tal como se muestra a continuación.

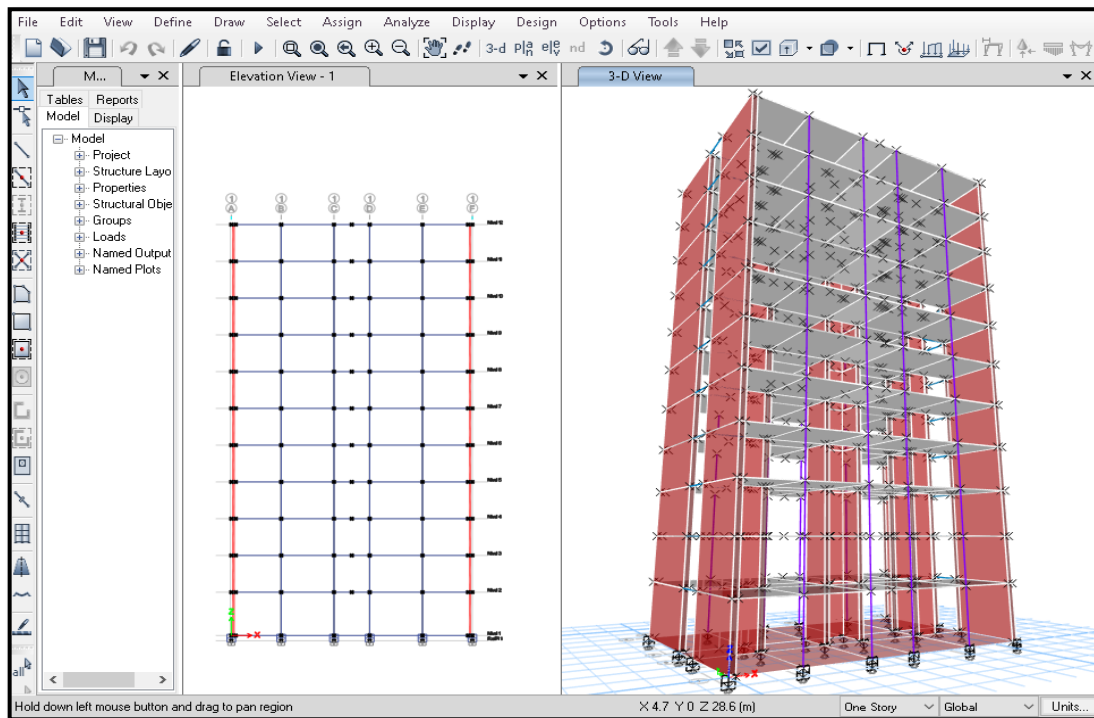


Figura 71. Modelo de la estructura aislado

Fuente: Programa computacional ETABS V19

Un aislador sísmico del tipo LRB - aislador elastomérico con núcleo de plomo, en el programa ETABS se puede modelar mediante dos maneras:

- Mediante un elemento tipo Link (Línea-Enlace), considerando un punto inicial y un punto final. Se dibuja uno por uno (Para ver las histéresis del aislador en cada apoyo)
- A través de un Spring (Resorte) y dentro de ella tiene asignado el elemento tipo Link (Línea-Enlace). Se dibuja en general (Para ver las histéresis del aislador en general del sistema)

Se define los aisladores en Etabs Define/Section properties/Link/Support properties esta acción te conlleva a la ventana Define link properties

A continuación, se muestran los parámetros ingresados al programa computacional Etabs calculadas en el procedimiento de diseño del aislador.

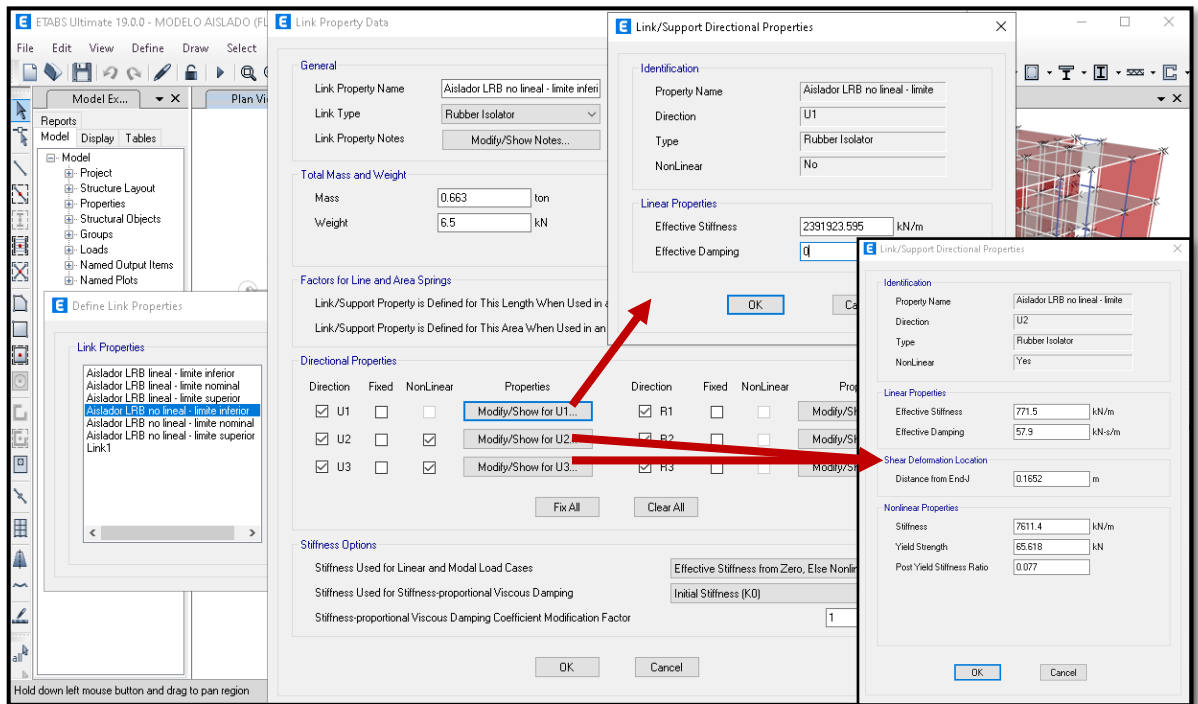


Figura 72. Aislador LRB en el límite inferior, para análisis no lineal

Fuente: Programa computacional ETABS V18.1.1

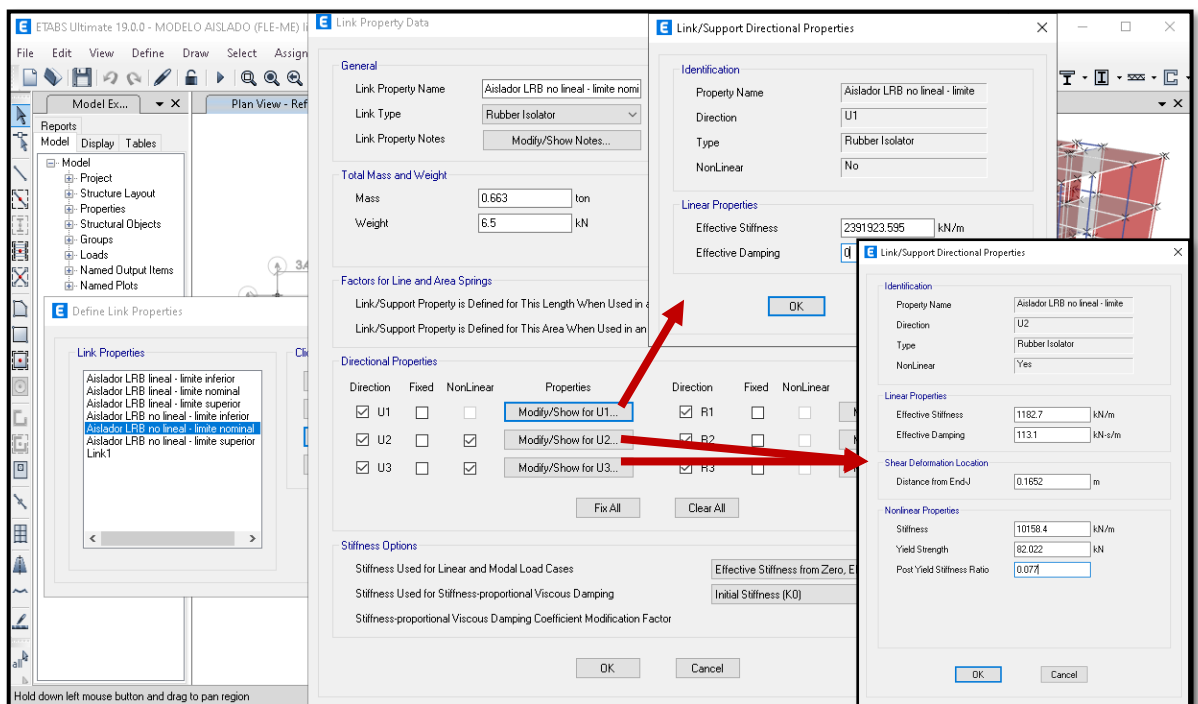


Figura 73. Aislador LRB en el límite nominal, para análisis no lineal

Fuente: Programa computacional ETABS V18.1.1

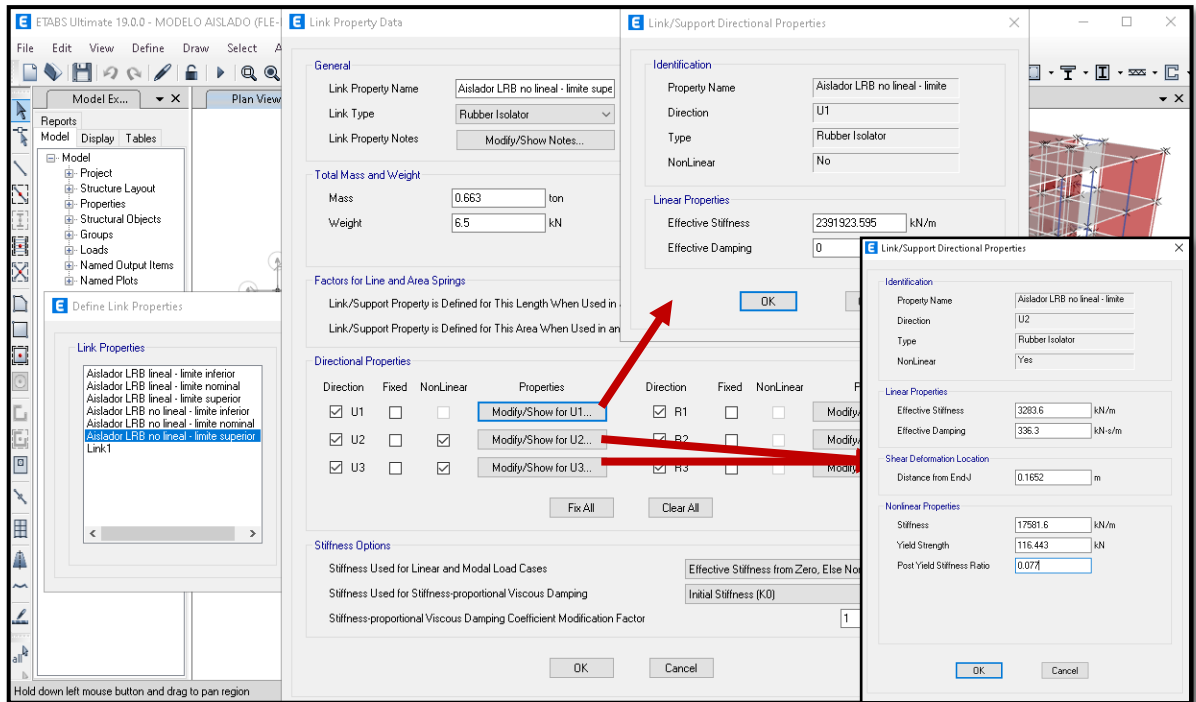


Figura 74. Aislador LRB en el límite superior, para análisis no lineal

Fuente: Programa computacional ETABS V18.1.1

3.5.3. Análisis sísmico

3.5.3.1. Fuerzas laterales equivalentes

Sistema de aislamiento y elementos estructurales por debajo del nivel base

$$V_{b,min} = (771.5 * 24) * 0.325 = 6030.0 \text{ kN} \rightarrow Coef_{b,min} = \frac{6021.87 \text{ kN}}{2639.3 * 9.81 \text{ kN}} = 0.233$$

$$V_{b,nom} = (1182.7 * 24) * 0.188 = 5355.3 \text{ kN} \rightarrow Coef_{b,max} = \frac{5355.3 \text{ kN}}{2639.3 * 9.81 \text{ kN}} = 0.207$$

$$V_{b,max} = (3283.6 * 24) * 0.0556 = 4386.2 \text{ kN} \rightarrow Coef_{b,max} = \frac{4386.2 \text{ kN}}{2639.3 * 9.81 \text{ kN}} =$$

0.169

Elementos estructurales sobre el nivel base

$$V_{st,min} = 6030.0 \text{ kN} * \left(\frac{2416.4 \text{ ton}}{2639.3 \text{ ton}} \right)^{(1-2.5*0.1495)} = 5705.80 \text{ kN}$$

$$V_{S,min} = \frac{5705.80 \text{ kN}}{2.00} = 2852.90 \text{ kN} \rightarrow Coef_{S,min} = \frac{2852.90 \text{ kN}}{2639.3 * 9.81 \text{ kN}} = 0.110$$

$$V_{st,nom} = 5355.3 \text{ kN} * \left(\frac{2416.4 \text{ ton}}{2639.3 \text{ ton}} \right)^{(1-2.5*0.2067)} = 5131.90 \text{ kN}$$

$$V_{S,nom} = \frac{5131.90 \text{ kN}}{2.00} = 2565.95 \text{ kN} \rightarrow Coef_{S,nom} = \frac{2565.95 \text{ kN}}{2639.3 * 9.81 \text{ kN}} = 0.099$$

$$V_{st,max} = 4386.2 \text{ kN} * \left(\frac{2416.4 \text{ ton}}{2639.3 \text{ ton}} \right)^{(1-2.5*0.3291)} = 4318.86 \text{ kN}$$

$$V_{S,max} = \frac{4318.86 \text{ kN}}{2.00} = 2159.43 \text{ kN} \rightarrow Coef_{S,max} = \frac{2159.43 \text{ kN}}{2639.3*9.81 \text{ kN}} = 0.083$$

Distribución vertical de la fuerza

$$F_{1,min} = \frac{6030.0-5705.80}{2.00} = 162.11 \text{ kN} \rightarrow k_{min} = 14 * 0.75 * 0.1494 = 1.56$$

$$F_{1,nom} = \frac{5355.3-5131.90}{2.00} = 111.72 \text{ kN} \rightarrow k_{nom} = 14 * 0.75 * 0.2068 = 2.16$$

$$F_{1,max} = \frac{4386.2-4318.86}{2.00} = 33.93 \text{ kN} \rightarrow k_{max} = 14 * 0.75 * 0.3299 = 3.44$$

$$F_i = \frac{W_i * h_i^k}{\sum_{j=2}^n W_i * h_i^k} * V_S$$

Story	Diaphragm	Fx kN	Fy kN	Mz kN-m
Nivel 12	Diafragma_12	518.39	518.39	0
Nivel 11	Diafragma_11	519.96	519.96	0
Nivel 10	Diafragma_10	442.57	442.57	0
Nivel 9	Diafragma 9	369.75	369.75	0
Nivel 8	Diafragma 8	301.75	301.75	0
Nivel 7	Diafragma 7	238.85	238.85	0
Nivel 6	Diafragma 6	181.4	181.4	0
Nivel 5	Diafragma 5	129.84	129.84	0
Nivel 4	Diafragma 4	84.78	84.78	0
Nivel 3	Diafragma 3	47.06		
Nivel 2	Diafragma 2	18.54		
Nivel 1	Diafragma 1	162.11		

Límite inferior					
Nivel	Peso ton	Altura h (m)	wh ^k	Coeficiente C _v	Fuerza kN
Nivel 12	191.20	31.30	40934	0.1817	518.39
Nivel 11	221.94	28.50	41058	0.1823	519.96
Nivel 10	221.94	25.70	34947	0.1551	442.57
Nivel 9	221.94	22.90	29197	0.1296	369.75
Nivel 8	221.94	20.10	23827	0.1058	301.75
Nivel 7	221.94	17.30	18860	0.0837	238.85
Nivel 6	221.94	14.50	14324	0.0636	181.40
Nivel 5	221.94	11.70	10253	0.0455	129.84
Nivel 4	221.94	8.90	6694	0.0297	84.78
Nivel 3	221.94	6.10	3716	0.0165	47.06
Nivel 2	227.75	3.30	1464	0.0065	18.54
Total			225272		2852.90
Nivel Base					162.11

Figura 75. Asignación de fuerzas laterales a los diafragmas, en el límite inferior.

Fuente: Programa computacional ETABS V18.1.1

User Seismic Loads on Diaphragms

Number of Load Sets: 1

Load Set 1 of 1

Story	Diaphragm	Fx kN	Fy kN	Mz kN-m	
Nivel 12	Diafragma_12	564.08	564.08	0	
Nivel 11	Diafragma_11	534.94	534.94	0	
Nivel 10	Diafragma_10	428.01			
Límite nominal					
Nivel	Peso ton	Altura h (m)	wh ^k	Coefficiente C _v	Fuerza kN
Nivel 12	191.20	31.30	321169.9	0.2198	564.08
Nivel 11	221.94	28.50	304579.6	0.2085	534.94
Nivel 10	221.94	25.70	243694.5	0.1668	428.01
Nivel 9	221.94	22.90	190023.3	0.1301	333.74
Nivel 8	221.94	20.10	143436.6	0.0982	251.92
Nivel 7	221.94	17.30	103791.1	0.0710	182.29
Nivel 6	221.94	14.50	70924.9	0.0485	124.57
Nivel 5	221.94	11.70	44652.4	0.0306	78.42
Nivel 4	221.94	8.90	24754.5	0.0169	43.48
Nivel 3	221.94	6.10	10960.9	0.0075	19.25
Nivel 2	227.75	3.30	2990.0	0.0020	5.25
Total			1460977.6		2565.95
Nivel Base					111.72

Figura 76. Asignación de fuerzas laterales a los diafragmas, en el límite nominal.

Fuente: Programa computacional ETABS V18.1.1

User Seismic Loads on Diaphragms

Number of Load Sets: 1

Load Set 1 of 1

Story	Diaphragm	Fx kN	Límite superior			
Nivel	Peso ton	Altura hx(m)	wh ^k	Coefficiente C _v	Fuerza kN	
Nivel 12	191.20	31.30	267207.50	0.2966	640.50	
Nivel 11	221.94	28.50	224678.18	0.2494	538.55	
Nivel 10	221.94	25.70	157414.26	0.1747	377.32	
Nivel 9	221.94	22.90	105848.66	0.1175	253.72	
Nivel 8	221.94	20.10	67580.27	0.0750	161.99	
Nivel 7	221.94	17.30	40334.29	0.0448	96.68	
Nivel 6	221.94	14.50	21971.86	0.0244	52.67	
Nivel 5	221.94	11.70	10502.14	0.0117	25.17	
Nivel 4	221.94	8.90	4097.94	0.0045	9.82	
Nivel 3	221.94	6.10	1117.18	0.0012	2.68	
Nivel 2	227.75	3.30	138.48	0.0002	0.33	
Total			900890.75		2159.43	
Nivel Base					33.66	

Figura 77. Asignación de fuerzas laterales a los diafragmas, en el límite superior.

Fuente: Programa computacional ETABS V18.1.1

3.5.3.2. Análisis dinámico modal espectral

Para el análisis modal de respuesta espectral en el etabs se tiene dos opciones:

1. Se realizó el cálculo usando un espectro de diseño modificado tomando en cuenta la diferencia en el amortiguamiento debido a los modos aislados. Se generó espectros modificados reducidos y se consideró una relación de amortiguamiento calculado en procedimiento de diseño de sistema de aislamiento.

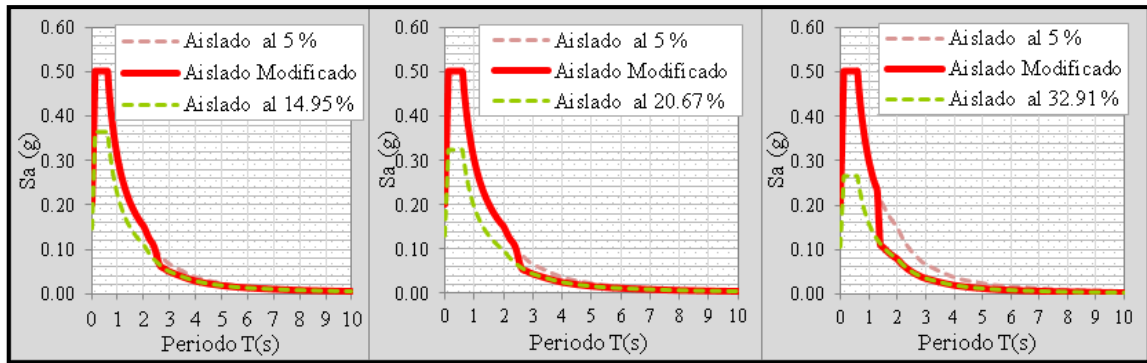


Figura 78. Espectros modificados, para el límite inferior, nominal y superior.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

2. Se realizó el cálculo modificando directamente el valor del amortiguamiento efectivo para los modos aislados, se utilizó directamente el espectro de sismo de diseño elástico para sistemas con aislamiento en la base con una relación de amortiguamiento del 5% y modificar las relaciones de amortiguamiento de los modos aislados.

The screenshot shows the 'Load Case Data' window in ETABS. The 'General' section includes 'Load Case Name' (SD_Aislado (Lim...)), 'Load Case Type' (Response Spec...), 'Mass Source' (Previous (Masa...)), and 'Analysis Model' (Default). The 'Loads Applied' table is as follows:

Load Type	Load Name	Function
Acceleration	U1	Espectro aislado R...
Acceleration	U2	Espectro aislado R...

The 'Other Parameters' section shows 'Modal Load Case' set to 'Modal', 'Modal Combination Method' set to 'CQC', and 'Directional Combination Type' set to 'SRSS'. The 'Modal Damping' section is set to 'Constant at 0.05; Overrides' with 'Diaphragm Eccentricity' set to '0.05 for All Diaphragms'.

Three 'Modal Damping' dialog boxes are overlaid on the right, labeled 'LIMITE INFERIOR', 'LIMITE NOMINAL', and 'LIMITE SUPERIOR'. Each dialog shows 'Modal Damping Type' set to 'Constant Damping for all Modes' and 'Constant Modal Damping' set to 0.05. The 'Modal Damping Overrides' table in each dialog is as follows:

Mode	Damping
3	0.1495
1	0.1495
2	0.1495

The 'LIMITE SUPERIOR' dialog shows a different set of overrides:

Mode	Damping
3	0.3298
1	0.3298
2	0.3298

Figura 79. Carga para el análisis modal y modificación de amortiguamiento

Fuente: Programa computacional ETABS V19

En la presente investigación se optó por la segunda opción para realizar el análisis dinámico modal espectral en el modelamiento estructural con un sistema aislado.

3.5.3.3. Análisis dinámico tiempo historia

Se realizó tal como se indica en el ítem de sistema convencional el análisis dinámico tiempo historia

3.5.4. Verificaciones del sistema con aisladores

3.5.4.1. Periodos de participación modal y modos de vibración

Tabla 50. Cortante basal mínimo en límite inferior

Modo	Periodos de participacion modal y modos de vibración			
	Periodo(seg)	UX	UY	RZ
1	2.480	0.9844	0	
2	2.424	0	0.9993	0
3	2.281	0	0	0.9863

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 51. Cortante basal mínimo en límite nominal

Modo	Periodos de participacion modal y modos de vibración			
	Periodo(seg)	UX	UY	RZ
1	2.047	0.986	0.000	0.000
2	1.978	0.000	0.998	0.000
3	1.856	0.009	0.000	0.990

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 52. Cortante basal mínimo en límite superior

Modo	Periodos de participacion modal y modos de vibración			
	Periodo(seg)	UX	UY	RZ
1	1.362	0.9685	0	0
2	1.252	0	0.9895	0
3	1.156	0	0	0.9927

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.5.4.2. Fuerzas y desplazamientos laterales mínimos

Tabla 53. Fuerza lateral de diseño de subestructura Vb

Fuerza de diseño de subestructura Vb	Limite inferior		Limite nominal		Limite superior	
	X (kN)	Y (kN)	X (kN)	Y (kN)	X (kN)	Y (kN)
FLE_Aislado :	3015.00	3015.00	2677.67	2677.67	2193.09	2193.09
SD_Aislado :	1569.97	1624.63	1975.69	2046.67	2841.67	3112.94
100% Vb :	3015.00	3015.00	2677.67	2677.67	2193.09	2193.09
Verificacion :	Escalar	Escalar	Escalar	Escalar	OK	OK
Factor de escalamiento :	1.920	1.856	1.355	1.308	0.772	0.705

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 54. Fuerza lateral de diseño de superestructura Vs

Fuerza de diseño de superestructura Vs	Limite inferior		Limite nominal		Limite superior	
	X (kN)	Y (kN)	X (kN)	Y (kN)	X (kN)	Y (kN)
FLE_Aislado :	2852.89	2852.89	2565.95	2565.95	2159.43	2159.43
SD_Aislado :	1443.71	1488.54	1821.15	1878.22	2633.16	2872.07
90% Vs :	2567.60	2567.60	2309.36	2309.36	1943.49	1943.49
Verificacion :	Escalar	Escalar	Escalar	Escalar	OK	OK
Factor de escalamiento :	1.778	1.725	1.268	1.230	0.738	0.677

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 55. El desplazamiento total del sistema de aislamiento sísmico DTM

El DTM del sistema de aislado	Limite inferior		Limite nominal		Limite superior	
	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)
DTM :	40.00	40.00	25.00	25.00	10.00	10.00
DTM (ETABS) :	32.56	32.57	18.86	18.87	5.57	5.57
80% DTM :	32.00	32.00	20.00	20.00	8.00	8.00
Verificacion :	Escalar	Escalar	OK	OK	OK	OK

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.5.4.3. Desplazamiento y límites de la deriva

Tabla 56. Desplazamiento del sistema de aislamiento sísmico

Nivel	Altura hx(m)	Limite inferior				Limite nominal				Limite superior			
		Estatico_FLE		Dinamico_SD		Estatico_FLE		Dinamico_SD		Estatico_FLE		Dinamico_SD	
		X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)
Nivel 12		40.11	36.62	37.98	35.30	26.07	22.77	26.19	24.44	12.14	9.16	18.53	16.24
Nivel 11	2.80	39.57	36.25	37.62	35.07	25.56	22.40	25.88	24.20	11.66	8.81	18.09	15.87
Nivel 10	2.80	39.02	35.87	37.29	34.83	25.01	22.03	25.55	23.96	11.12	8.45	17.60	15.48
Nivel 9	2.80	38.40	35.47	36.92	34.58	24.39	21.64	25.17	23.70	10.52	8.08	17.04	15.08
Nivel 8	2.80	37.70	35.06	36.49	34.32	23.71	21.23	24.74	23.44	9.87	7.70	16.40	14.66
Nivel 7	2.80	36.95	34.64	36.00	34.05	22.98	20.83	24.26	23.16	9.20	7.33	15.69	14.22
Nivel 6	2.80	36.16	34.22	35.47	33.77	22.22	20.43	23.74	22.87	8.51	6.96	14.92	13.78
Nivel 5	2.80	35.35	33.81	34.91	33.50	21.45	20.04	23.17	22.59	7.82	6.61	14.09	13.33
Nivel 4	2.80	34.55	33.43	34.31	33.23	20.70	19.68	22.58	22.31	7.16	6.28	13.23	12.90
Nivel 3	2.80	33.80	33.09	33.72	32.97	20.00	19.36	22.00	22.05	6.55	6.00	12.37	12.50
Nivel 2	2.80	33.12	32.81	33.15	32.75	19.37	19.09	21.44	21.83	6.01	5.76	11.56	12.16
Nivel 1	3.30	32.56	32.57	32.68	32.57	18.86	18.87	20.96	21.64	5.57	5.57	10.87	11.86

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 57. Deriva del sistema de aislamiento sísmico

Nivel	Altura	Limite inferior				Limite nominal				Limite superior			
		Estatico_FLE		Dinamico_SD		Estatico_FLE		Dinamico_SD		Estatico_FLE		Dinamico_SD	
	hx (m)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)
Nivel 12		0.0019	0.0013	0.0013	0.0008	0.0018	0.0013	0.0011	0.0008	0.0017	0.0012	0.0016	0.0013
Nivel 11	2.80	0.0020	0.0014	0.0012	0.0008	0.0020	0.0013	0.0012	0.0009	0.0019	0.0013	0.0017	0.0014
Nivel 10	2.80	0.0022	0.0014	0.0013	0.0009	0.0022	0.0014	0.0013	0.0009	0.0021	0.0013	0.0020	0.0014
Nivel 9	2.80	0.0025	0.0015	0.0015	0.0009	0.0024	0.0014	0.0015	0.0010	0.0023	0.0013	0.0023	0.0015
Nivel 8	2.80	0.0027	0.0015	0.0017	0.0010	0.0026	0.0015	0.0017	0.0010	0.0024	0.0013	0.0025	0.0016
Nivel 7	2.80	0.0028	0.0015	0.0019	0.0010	0.0027	0.0014	0.0019	0.0010	0.0025	0.0013	0.0028	0.0016
Nivel 6	2.80	0.0029	0.0014	0.0020	0.0010	0.0027	0.0014	0.0020	0.0010	0.0024	0.0013	0.0030	0.0016
Nivel 5	2.80	0.0029	0.0014	0.0021	0.0010	0.0027	0.0013	0.0021	0.0010	0.0024	0.0012	0.0031	0.0015
Nivel 4	2.80	0.0027	0.0012	0.0021	0.0009	0.0025	0.0011	0.0021	0.0009	0.0022	0.0010	0.0031	0.0014
Nivel 3	2.80	0.0024	0.0010	0.0020	0.0008	0.0022	0.0010	0.0020	0.0008	0.0019	0.0008	0.0029	0.0012
Nivel 2	2.80	0.0017	0.0007	0.0014	0.0006	0.0015	0.0007	0.0014	0.0006	0.0013	0.0006	0.0021	0.0009
Nivel 1	3.30												
Maximo		0.0029	0.0015	0.0021	0.0010	0.0027	0.0015	0.0021	0.0010	0.0025	0.0013	0.0031	0.0016

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.6. MODELAMIENTO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA CON DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO

3.6.1. Procedimiento de diseño de sistema con disipadores de energía

Para proceder al diseño de los disipadores de energía, se tomará como punto de partida el modelo convencional, el cual fue definido como un sistema con muros estructurales. Al modelo mencionado se le realizara un análisis dinámico modal – espectral, usando el espectro básico de diseño ($R=1$), donde sus resultados serán contrastados con los del tiempo – historia lineal y posteriormente se definirá al sismo de diseño para definir las propiedades y disipadores a usar.

El análisis sísmico con el sismo básico de diseño ($R=1$), se determina para que los elementos estructurales de la edificación, se comporten de una manera lineal.

3.6.1.1. Determinación de sismo de diseño en análisis historia de respuesta

Paso 1: Espectro de diseño elástico $R=1$ Y SMC del sistema convencional

Se realiza un análisis modal espectral mediante un espectro básico de diseño (espectro de E.030 del RNE), el mismo que tiene un 10% de probabilidad de ser excedida en 50 años, y periodo de retorno de 475 años, considerado también un sismo raro según

el Comité VISION2000- SEAOC,1995. El espectro mencionado, será utilizado para el escalado de los registros sísmicos utilizados en el presente trabajo de investigación. A continuación, se presenta la fórmula de construcción del espectro:

$$SDI = \frac{ZUCS}{R} * g$$

Los componentes de la formula ya fueron definidas anteriormente y tomaran los mismos valores del análisis modal espectral en la edificación convencional, exceptuando el valor de R (factor de reducción sísmica), el cual tomara el valor de 1, esto debido a que la estructura, será diseñada para que se comporte de manera elástica, el cual es un requisito para el diseño de sistemas de protección sísmica.

Se identifica también el espectro perteneciente a un sismo máximo considerado SMC, el mismo que tiene 2% de probabilidad de ser excedida en 50 años, y un periodo de retorno 2475 años considerado también un sismo muy raro según el Comité VISION2000- SEAOC, 1995. El espectro mencionado, será utilizado para el diseño del sistema de disipación de energía, según ASCE 7-16. A continuación se presenta la fórmula del sismo máximo considerado:

$$SMC = 1.50 * \frac{ZUCS}{R_1}$$

Los parámetros de la formula son los mismos tomaran los mismos valores del espectro básico de diseño; el coeficiente 1.5 es un factor de escala de espectros, la cual es recomendada por “National Earthquake Hazards Reduction Program” NERPH.

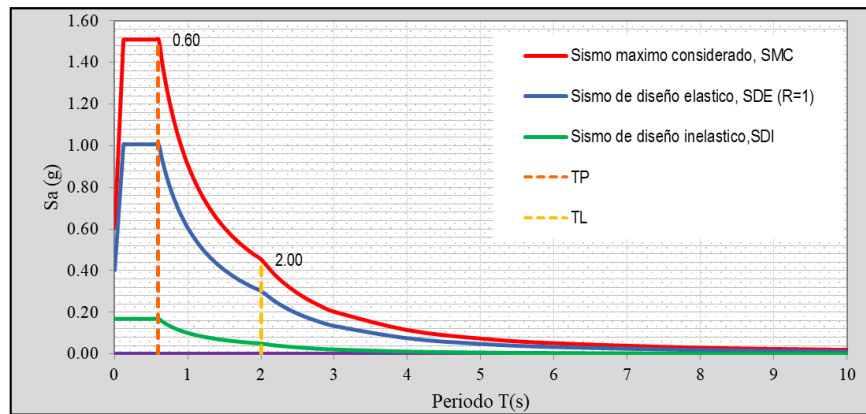


Figura 80. Espectro básico de diseño y espectro de sismo máximo considerado.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Definido el espectro básico de diseño y el sismo máximo considerado, se calculan las respuestas de deriva de la edificación convencional, para ambos casos del sismo y para cada una de las direcciones de análisis.

Tabla 58. Derivas en la dirección X e Y de espectro básico de diseño R=1

NIVEL	ALTURA	DESP. ABSOLUTO		DESPL. RELATIVO		DERIVA INELASTICA	
	m	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X	Y
Azotea	2.80	0.163	0.103	0.010	0.009	0.003	0.003
Nivel 11	2.80	0.153	0.094	0.011	0.010	0.004	0.003
Nivel 10	2.80	0.142	0.084	0.013	0.010	0.005	0.004
Nivel 9	2.80	0.129	0.074	0.015	0.011	0.005	0.004
Nivel 8	2.80	0.114	0.063	0.016	0.011	0.006	0.004
Nivel 7	2.80	0.098	0.053	0.017	0.011	0.006	0.004
Nivel 6	2.80	0.081	0.042	0.018	0.010	0.006	0.004
Nivel 5	2.80	0.063	0.031	0.018	0.010	0.006	0.004
Nivel 4	2.80	0.045	0.021	0.017	0.009	0.006	0.003
Nivel 3	2.80	0.028	0.013	0.016	0.007	0.006	0.003
Nivel 2	4.60	0.013	0.006	0.013	0.006	0.003	0.001

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 59. Derivas en la dirección X e Y de espectro de SMC

NIVEL	ALTURA	DESP. ABSOLUTO		DESPL. RELATIVO		DERIVA ELASTICA	
	m	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X	Y
Azotea	2.8	0.244	0.155	0.014	0.014	0.005	0.005
Nivel 11	2.8	0.230	0.141	0.017	0.015	0.006	0.005
Nivel 10	2.8	0.213	0.126	0.019	0.015	0.007	0.005
Nivel 9	2.8	0.194	0.111	0.022	0.016	0.008	0.006
Nivel 8	2.8	0.172	0.095	0.024	0.016	0.009	0.006
Nivel 7	2.8	0.148	0.079	0.026	0.016	0.009	0.006
Nivel 6	2.8	0.122	0.063	0.027	0.016	0.010	0.006
Nivel 5	2.8	0.095	0.047	0.027	0.015	0.010	0.005
Nivel 4	2.8	0.068	0.032	0.026	0.013	0.009	0.005
Nivel 3	2.8	0.043	0.019	0.023	0.011	0.008	0.004
Nivel 2	4.6	0.019	0.009	0.019	0.009	0.004	0.002

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Paso 2: Análisis historia de respuesta lineal y cálculo de derivas

Se realizó un análisis de historia de respuestas lineales, utilizando los registros sísmicos mencionados en el apartado de selección de registros sísmicos, los mismos que fueron escalados en función al espectro básico de diseño en el mismo apartado.

Tabla 60. Registros sísmicos utilizados.

FECHA UTC	PROFUNDIDAD (Km)	MAGNITUD (M)	PROVINCIA	DEPARTAMENTO	PGA(E-W)	PGA(N-S)
17/10/1966	37	8	CALLAO	LIMA	180.592	269.336
31/05/1970	43	7.8	CHIMBOTE	ANCASH	104.818	97.749
03/10/1974	21	7.7	CALLAO	LIMA	192.489	178.951
23/06/2001	32	8.4	OCOÑA	AREQUIPA	295.225	220.040
15/08/2007	40	8	PISCO	ICA	272.206	334.113
01/03/2019	265	7	AZANGARO	PUNO	36.305	39.164
26/05/2019	135	8	LAGUNAS	LORETO	81.076	75.976

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Los registros sísmicos disponibles, tienen dos paquetes de registros; una está en la dirección Este-Oeste y la otra en la dirección Norte-Sur. Para el análisis historia de respuesta de la estructura, estos dos paquetes se separarán y se analizará dos casos:

CASO 01: En la dirección X actúa el registro sísmico en dirección Este Oeste, y en la dirección Y actúa el registro sísmico Norte Sur.

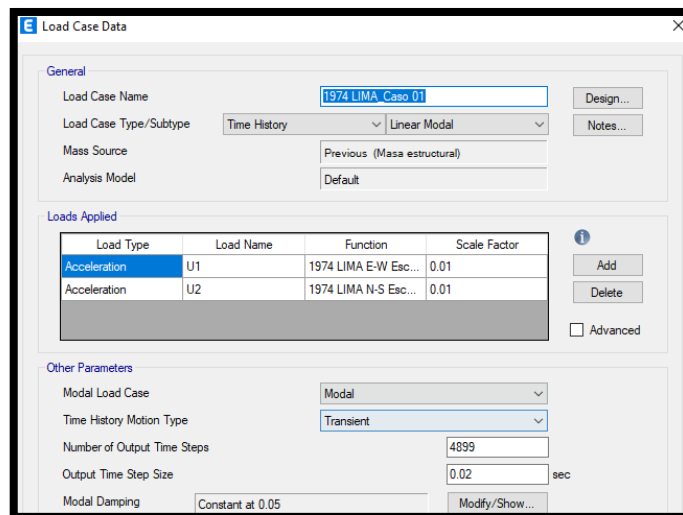


Figura 81. Caso 01 del registro sísmico Lima 1974.

Fuente: Programa ETABS

CASO 02: En la dirección Y actúa el registro sísmico en dirección Este Oeste, y en la dirección X actúa el registro sísmico Norte Sur.

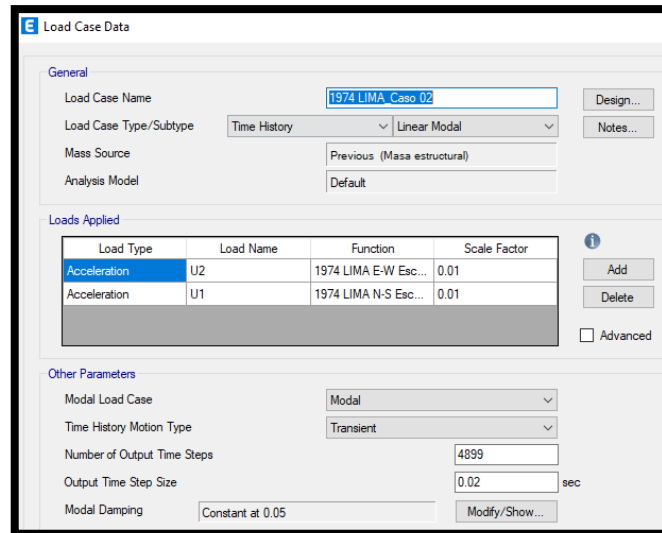


Figura 82. Caso 02 del registro sísmico Lima 1974.

Fuente: Programa ETABS

Los otros registros sísmicos fueron introducidos al programa Etabs de la misma manera. Mediante estos dos casos de carga, obtenidos de los registros sísmicos, previamente escalados (el escalamiento de los registros sísmicos y la introducción al programa fue visto anteriormente en el ítem de Registros sísmicos de análisis historia de respuesta) en función del espectro de diseño básico; se realiza un análisis historia de respuestas lineal en la estructura convencional, para obtener respuestas de derivas.

Tabla 61. Resumen de derivas en dirección X en el Centro de masa del análisis historia de respuesta lineal con registros sísmicos escalados.

NIVEL	1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 LORETO		2019 PUNO	
	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02
	Nivel 12	0.0031	0.0033	0.0033	0.0032	0.0032	0.0034	0.0032	0.0031	0.0035	0.0032	0.0034	0.0030	0.0029
Nivel 11	0.0036	0.0039	0.0038	0.0037	0.0038	0.0040	0.0037	0.0036	0.0042	0.0037	0.0040	0.0035	0.0034	0.0037
Nivel 10	0.0043	0.0044	0.0044	0.0041	0.0043	0.0047	0.0043	0.0042	0.0048	0.0043	0.0047	0.0040	0.0038	0.0042
Nivel 9	0.0050	0.0050	0.0050	0.0047	0.0049	0.0052	0.0049	0.0048	0.0048	0.0049	0.0052	0.0044	0.0043	0.0048
Nivel 8	0.0056	0.0055	0.0056	0.0051	0.0055	0.0058	0.0053	0.0054	0.0054	0.0053	0.0057	0.0048	0.0047	0.0053
Nivel 7	0.0060	0.0059	0.0060	0.0054	0.0059	0.0062	0.0057	0.0060	0.0059	0.0057	0.0061	0.0050	0.0050	0.0057
Nivel 6	0.0064	0.0061	0.0063	0.0055	0.0062	0.0065	0.0058	0.0063	0.0062	0.0058	0.0061	0.0050	0.0051	0.0060
Nivel 5	0.0066	0.0062	0.0063	0.0054	0.0065	0.0065	0.0058	0.0064	0.0064	0.0058	0.0061	0.0049	0.0050	0.0061
Nivel 4	0.0063	0.0059	0.0059	0.0050	0.0065	0.0062	0.0054	0.0061	0.0061	0.0055	0.0056	0.0046	0.0047	0.0059
Nivel 3	0.0058	0.0055	0.0054	0.0043	0.0061	0.0057	0.0049	0.0056	0.0057	0.0049	0.0050	0.0041	0.0042	0.0054
Nivel 2	0.0030	0.0028	0.0027	0.0021	0.0032	0.0029	0.0025	0.0028	0.0029	0.0025	0.0025	0.0021	0.0021	0.0027
Nivel 1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 62. Resumen de derivas en dirección Y en el Centro de masa del análisis historia de respuesta lineal con registros sísmicos escalados.

NIVEL	1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 LORETO		2019 PUNO	
	CASO	CASO	CASO	CASO	CASO	CASO	CASO	CASO	CASO	CASO	CASO	CASO	CASO	CASO
	01	02	01	02	01	02	01	02	01	02	01	02	01	02
Nivel 12	0.0033	0.0032	0.0029	0.0034	0.0035	0.0031	0.0031	0.0030	0.0036	0.0032	0.0034	0.0031	0.0032	0.0032
Nivel 11	0.0034	0.0033	0.0031	0.0035	0.0037	0.0032	0.0032	0.0032	0.0038	0.0034	0.0035	0.0032	0.0034	0.0034
Nivel 10	0.0036	0.0035	0.0032	0.0037	0.0038	0.0034	0.0034	0.0033	0.0040	0.0036	0.0037	0.0034	0.0035	0.0035
Nivel 9	0.0037	0.0036	0.0034	0.0038	0.0039	0.0035	0.0034	0.0035	0.0041	0.0037	0.0038	0.0035	0.0036	0.0037
Nivel 8	0.0038	0.0037	0.0035	0.0039	0.0039	0.0036	0.0034	0.0035	0.0040	0.0037	0.0039	0.0036	0.0037	0.0038
Nivel 7	0.0038	0.0037	0.0035	0.0039	0.0039	0.0036	0.0034	0.0035	0.0040	0.0038	0.0039	0.0036	0.0037	0.0038
Nivel 6	0.0037	0.0036	0.0035	0.0038	0.0037	0.0036	0.0033	0.0034	0.0038	0.0038	0.0038	0.0035	0.0036	0.0037
Nivel 5	0.0035	0.0034	0.0033	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0032	0.0035	0.0036	0.0036	0.0033	0.0033	0.0035
Nivel 4	0.0031	0.0030	0.0029	0.0031	0.0029	0.0030	0.0028	0.0028	0.0031	0.0032	0.0032	0.0030	0.0029	0.0031
Nivel 3	0.0026	0.0025	0.0024	0.0025	0.0023	0.0024	0.0023	0.0023	0.0025	0.0027	0.0026	0.0024	0.0023	0.0026
Nivel 2	0.0013	0.0012	0.0012	0.0013	0.0011	0.0012	0.0012	0.0011	0.0012	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0013
Nivel 1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Paso 3: Determinación del sismo de diseño

Una vez obtenidas las derivas del análisis historia de respuestas lineal, se procede a la determinación del sismo de diseño, el cual tiene la característica, de ser lo más igual posible al espectro que fue escalado, que en este caso es un espectro básico de diseño ($R=1$).

Según bibliografía de Oviedo Sarmiento. “Diseño de disipadores de energía de fluido viscoso”, se calcula una relación entre las derivas en el centro de masa de cada registro sísmico y para cada caso, en el cual, se toma como el sismo de diseño el caso del registro más próximo a 1, y descartando los registros que cuya relación es menor a 0.8 y mayor a 1.2.

Tabla 63. Relación de derivas en dirección X en el Centro de masa, del análisis historia de respuesta lineal con espectro básico de diseño.

NIVEL	1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 LORETO		2019 PUNO	
	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02
	Nivel 12	0.8946	0.9595	0.9511	0.9480	0.9475	0.9995	0.9261	0.8971	1.0342	0.9242	0.9926	0.8637	0.8417
Nivel 11	0.9045	0.9616	0.9538	0.9251	0.9563	1.0047	0.9310	0.9018	1.0383	0.9285	0.9998	0.8681	0.8443	0.9117
Nivel 10	0.9238	0.9613	0.9564	0.8959	0.9215	1.0111	0.9341	0.9113	1.0318	0.9299	1.0076	0.8616	0.8313	0.9173
Nivel 9	0.9494	0.9618	0.9615	0.8974	0.9352	1.0013	0.9341	0.9288	0.9288	0.9290	0.9953	0.8472	0.8284	0.9245
Nivel 8	0.9724	0.9633	0.9694	0.8942	0.9628	1.0078	0.9300	0.9491	0.9448	0.9259	0.9907	0.8292	0.8227	0.9243
Nivel 7	0.9788	0.9643	0.9782	0.8845	0.9579	1.0151	0.9228	0.9696	0.9621	0.9206	0.9887	0.8075	0.8144	0.9345
Nivel 6	1.0055	0.9592	0.9850	0.8676	0.9761	1.0202	0.9137	0.9879	0.9795	0.9139	0.9647	0.7881	0.8040	0.9449
Nivel 5	1.0271	0.9671	0.9858	0.8435	1.0203	1.0229	0.9042	1.0015	0.9956	0.9056	0.9512	0.7686	0.7912	0.9541
Nivel 4	1.0427	0.9770	0.9725	0.8135	1.0627	1.0233	0.8950	1.0089	1.0096	0.8965	0.9198	0.7528	0.7710	0.9618
Nivel 3	1.0489	0.9891	0.9719	0.7747	1.1036	1.0214	0.8891	1.0100	1.0224	0.8860	0.8961	0.7425	0.7514	0.9696
Nivel 2	1.0574	0.9977	0.9704	0.7427	1.1295	1.0228	0.8859	1.0073	1.0300	0.8777	0.8949	0.7353	0.7577	0.9744
Nivel 1														

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 64. Relación de derivas en dirección Y en el Centro de masa, del análisis historia de respuesta lineal con espectro básico de diseño.

NIVEL	1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 LORETO		2019 PUNO	
	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02
	Nivel 12	0.9822	0.9600	0.8851	1.0293	1.0584	0.9316	0.9212	0.9161	1.0933	0.9797	1.0151	0.9215	0.9649
Nivel 11	0.9822	0.9608	0.8861	1.0082	1.0583	0.9326	0.9225	0.9171	1.0943	0.9807	1.0157	0.9227	0.9659	0.9788
Nivel 10	0.9817	0.9619	0.8897	1.0092	1.0510	0.9346	0.9227	0.9172	1.0903	0.9826	1.0168	0.9259	0.9659	0.9739
Nivel 9	0.9812	0.9637	0.8959	1.0100	1.0380	0.9377	0.9071	0.9156	1.0810	0.9759	1.0182	0.9305	0.9647	0.9784
Nivel 8	0.9819	0.9657	0.9035	1.0102	1.0209	0.9411	0.8708	0.9108	1.0443	0.9699	1.0202	0.9355	0.9620	0.9839
Nivel 7	0.9845	0.9679	0.9120	1.0099	1.0019	0.9446	0.8817	0.9098	1.0290	0.9858	1.0229	0.9408	0.9577	0.9904
Nivel 6	0.9896	0.9702	0.9206	1.0088	0.9825	0.9478	0.8928	0.9080	1.0011	1.0042	1.0257	0.9449	0.9478	0.9971
Nivel 5	0.9975	0.9720	0.9284	1.0072	0.9630	0.9507	0.9032	0.9055	0.9953	1.0228	1.0290	0.9482	0.9429	1.0044
Nivel 4	1.0075	0.9735	0.9357	1.0055	0.9436	0.9534	0.9131	0.9026	0.9886	1.0395	1.0327	0.9502	0.9380	1.0117
Nivel 3	1.0200	0.9745	0.9421	1.0038	0.9196	0.9566	0.9227	0.8996	0.9905	1.0533	1.0377	0.9513	0.9322	1.0201
Nivel 2	1.0359	0.9746	0.9490	1.0023	0.9119	0.9612	0.9342	0.8957	0.9995	1.0643	1.0451	0.9516	0.9241	1.0310
Nivel 1														

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Se elige el registro de Lima 1966 en su caso 02, debido a que su relación de derivas es la más cercana a 1.

El sismo de diseño elegido deberá de tener una variación mínima entre las respuestas del análisis tiempo historia lineal con respecto a las respuestas del análisis modal con espectro elástico sin reducción (R=1), esto se traduce a que se escogera el sismo de diseño cuyos ratios calculados en el presente paso deberá de ser lo más próximo a 1, el mismo que será utilizado para los procedimientos de diseño siguientes	SISMO DE DISEÑO ESCOGIDO	LIMA 1966	
	DEPARTAMENTO	LIMA	
	PROVINCIA	CALLAO	
	FECHA	17/10/1966	
	MAGNITUD	8	Magnitud Momento
	PROFUNDIDAD	37	Kilómetros
	Deriva máxima X	CASO 02	0.0062
	Deriva máxima Y	CASO 02	0.0039

Figura 83. Datos del registro sísmico de diseño Lima 1966 caso 02 con el SMC

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Para el cálculo de las propiedades y el diseño de los disipadores de energía, se utilizará el registro escogido, sin embargo, escalado al sismo máximo considerado. Se recalcula las derivas para el sismo máximo considerado en el programa Etabs, multiplicando al registro de diseño seleccionado por 1.5.

Tabla 65. Cálculo de derivas con análisis historia de respuesta lineal del sismo de diseño seleccionado Lima 1966 caso 02 con el SMC

NIVEL	ENTR	DESPLAZAMIENTO		DESPLAZAMIENTO		DERIVA ELASTICA	
	EPISO	ABSOLUTO		RELATIVO MAXIMO		X	Y
	m	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X	Y
Azotea	2.8	0.236811	0.149769	0.01379	0.01336	0.004926	0.004771
Nivel 11	2.8	0.223019	0.13641	0.01625	0.01402	0.005805	0.005008
Nivel 10	2.8	0.206765	0.122387	0.01869	0.01471	0.006674	0.005255
Nivel 9	2.8	0.188077	0.107673	0.02109	0.01530	0.007532	0.005465
Nivel 8	2.8	0.166987	0.09237	0.02322	0.01566	0.008292	0.005594
Nivel 7	2.8	0.143769	0.076706	0.02486	0.01569	0.008880	0.005603
Nivel 6	2.8	0.118906	0.061017	0.02565	0.01528	0.009159	0.005457
Nivel 5	2.8	0.09326	0.045738	0.02592	0.01433	0.009255	0.005116
Nivel 4	2.8	0.067345	0.031413	0.02497	0.01271	0.008917	0.004541
Nivel 3	2.8	0.042377	0.018699	0.02302	0.01031	0.008223	0.003680
Nivel 2	4.6	0.019354	0.008394	0.01935	0.00839	0.004207	0.001825
Base		0	0				

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

SISMO DE DISEÑO	DEPARTAMENTO	LIMA	
	PROVINCIA	CALLAO	
	FECHA	17/10/1966	
	MAGNITUD	8	Magnitud Momento
	PROFUNDIDAD	37	Kilometros
	Deriva maxima X	0.0093	
	Deriva maxima Y	0.0059	

Figura 84. Datos del registro sísmico de diseño seleccionado Lima 1966 caso 02 con el SMC

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.6.1.2. Determinación de las propiedades del disipador de energía

Previamente al modelamiento de la estructura en el programa ETABS, se calcula las propiedades del disipador de energía de fluido viscoso, necesarios para el cálculo de respuestas de la estructura con disipadores de fluido viscoso en el programa ya



mencionado. Las propiedades son: el exponente de velocidad, el coeficiente de amortiguamiento del disipador y la rigidez del brazo metálico que sostiene al dispositivo.

Paso 4: Calculo de exponente de velocidad

El exponente de velocidad es el valor que define la linealidad y no linealidad del dispositivo. Si el valor de este coeficiente (α) es igual a 1, el dispositivo será lineal. Y si este es diferente de 1 será no lineal. El comportamiento de estos dispositivos para estructura en estudio será no lineal, por lo cual el valor de α será diferente de 1. Según recomendaciones bibliográficas se tomará un valor de 0.5.

Paso 5: Determinación de nivel de desempeño y deriva objetivo

La deriva objetivo para el diseño de los dispositivos dependerán directamente del nivel de desempeño y del estado de daño a la cual se requiere llegar después de un evento sísmico, que para el caso del presente trabajo de investigación se consideró a dicho evento como un sismo muy raro (Sismo máximo considerado).

Según la normativa FEMA 273 y el comité VISION 2000, referencian 5 niveles de desempeño y daño. El nivel de desempeño al que se puede llegar de manera óptima con la utilización de los disipadores de energía es el operacional, con un estado de daño ligero, por lo cual se pueden continuar con las actividades esenciales después de un evento sísmico. Por lo tanto, el nivel de desempeño objetivo de la presente edificación que se definió en el apartado anterior será el operacional.

Performance Level	Performance Range	Isolation	Energy Dissipation
Operational	Damage Control	Very Likely	Limited
Immediate Occupancy		Likely	Likely
Life Safety	Limited Safety	Limited	Likely
Collapse Prevention		Not Practical	Limited

Figura 85. Aplicabilidad de sistema de disipación de energía y aislamiento

Fuente: Tabla C 9 – 1 - FEMA 273

Estado de daño	Nivel de Desempeño	Características principales
Despreciable	Totalmente Operacional	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Las instalaciones continúan prestando sus servicios y funciones después del sismo.
Ligero	Operacional	Daños ligeros. Las instalaciones esenciales continúan en servicio y las no esenciales pueden sufrir interrupciones de inmediata recuperación.
Moderado	Seguridad	Daños moderados. La estructura sufre daños pero permanece estable. Seguridad de ocupantes. Algunos elementos no estructurales pueden dañarse
Severo	Pre-Colapso	Daño estructural severo, en la proximidad del colapso estructural. Falla de elementos no estructurales. Seguridad de ocupantes comprometida.
Completo	Colapso	Colapso estructural

Figura 86. Niveles de desempeño y estados de daño

Fuente: Comité VISION 2000 - SEAOC

Para determinar la deriva objetivo en un nivel de desempeño operacional se referencia a la metodología HAZUS, el cual, requiere como datos de entrada la altura de la edificación y su composición estructural. La estructura cuenta con 12 niveles por lo cual se considera una edificación alta (más de 8 niveles), y se compone de pórticos y muros estructurales de concreto armado, por lo cual su clasificación será C2H. Una vez clasificada la edificación, se determina la deriva objetivo con datos de entrada de estado de daño objetivo y clasificación según Hazus.

No.	Label	Description	Height			
			Range		Typical	
			Name	Stories	Stories	Feet
1	W1	Wood, Light Frame ($\leq 5,000$ sq. ft.)		1 - 2	1	14
2	W2			All	2	24
3	S1L	Steel Moment Frame	Low-Rise	1 - 3	2	24
4	S1M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
5	S1H		High-Rise	8+	13	156
6	S2L	Steel Braced Frame	Low-Rise	1 - 3	2	24
7	S2M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
8	S2H		High-Rise	8+	13	156
9	S3	Steel Light Frame		All	1	15
10	S4L	Steel Frame with Cast-in-Place Concrete Shear Walls	Low-Rise	1 - 3	2	24
11	S4M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
12	S4H		High-Rise	8+	13	156
13	S5L	Steel Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	Low-Rise	1 - 3	2	24
14	S5M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
15	S5H		High-Rise	8+	13	156
16	C1L	Concrete Moment Frame	Low-Rise	1 - 3	2	20
17	C1M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
18	C1H		High-Rise	8+	12	120
19	C2L	Concrete Shear Walls	Low-Rise	1 - 3	2	20
20	C2M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
21	C2H		High-Rise	8+	12	120

Figura 87. Tipos de edificios y denominaciones.

Fuente: Tabla 3.1 Hazus

Building Properties			Interstory Drift at			
Type	Height (inches)		Threshold of Damage State			
	Roof	Modal	Slight	Moderate	Extensive	Complete
W1	168	126	0.0040	0.0120	0.0400	0.1000
W2	288	216	0.0040	0.0120	0.0400	0.1000
S1L	288	216	0.0060	0.0120	0.0300	0.0800
S1M	720	540	0.0040	0.0080	0.0200	0.0533
S1H	1872	1123	0.0030	0.0060	0.0150	0.0400
S2L	288	216	0.0050	0.0100	0.0300	0.0800
S2M	720	540	0.0033	0.0067	0.0200	0.0533
S2H	1872	1123	0.0025	0.0050	0.0150	0.0400
S3	180	135	0.0040	0.0080	0.0240	0.0700
S4L	288	216	0.0040	0.0080	0.0240	0.0700
S4M	720	540	0.0027	0.0053	0.0160	0.0467
S4H	1872	1123	0.0020	0.0040	0.0120	0.0350
S5L						
S5M						
S5H						
C1L	240	180	0.0050	0.0100	0.0300	0.0800
C1M	600	450	0.0033	0.0067	0.0200	0.0533
C1H	1440	864	0.0025	0.0050	0.0150	0.0400
C2L	240	180	0.0040	0.0100	0.0300	0.0800
C2M	600	450	0.0027	0.0067	0.0200	0.0533
C2H	1440	864	0.0020	0.0050	0.0150	0.0400

Figura 88. Rango de derivas en función al estado de daño y tipo de edificación.

Fuente: Tabla 5.9 Hazus

Se determina que la deriva objetivo estará en un rango de 0.002 a 0.005, según la clasificación Hazus. Para el cálculo de las propiedades del disipador se estimó que el valor de la deriva objetivo es 0.0045.

Sistema estructural	Numero de pisos	
Muros de concreto resistentes a corte ▼	12	Edificación alta
Nombre del sistema según Hazus	C2H	
Nivel de desempeño	Operacional	▼
Deriva según Hazus (deriva objetivo) calculado	0.0036	
Deriva según Hazus (deriva objetivo) tomado	0.0045	

Figura 89. Cálculo de deriva objetivo según Hazus.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Paso 6: Calculo de coeficiente de amortiguamiento

El coeficiente de amortiguamiento de los disipadores no lineales, se calculará mediante la fórmula siguiente, establecida por el FEMA 273:

$$\sum C_j = \frac{\beta_H * 2 * \pi * A^{1-\alpha} * \omega^{2-\alpha} * (\sum_i m_i * \phi_i^2)}{\lambda * (\sum \phi_{rj}^{1-\alpha} * \cos^{1+\alpha} \theta_j)}$$

Donde:

β_H : Amortiguamiento viscoso de la estructura.

C_j : Coeficiente de amortiguamiento del disipador

m_i : Masa del nivel

θ_j : Ángulo de inclinación del disipador j

ϕ_i : Desplazamiento modal en el nivel (correspondiente al primer modo de vibración)

ϕ_{rj} : Desplazamiento modal relativo entre ambos extremos del disipador j en la dirección horizontal (correspondiente al primer modo de vibración)

A : Amplitud del desplazamiento del modo fundamental (desplazamiento modal relativo desde el techo hasta la base)

ω : Frecuencia angular

λ : Parámetro lambda

Cada parámetro de la formula se calculará, según el ASCE 7, E.030, E.031 y FEMA 273. Los mismos que se detallan a continuación.

Amortiguamiento inherente β_0

Proveniente de la estructura, la cual disipa energía mediante diversos mecanismos complejos, los reglamentos establecen un porcentaje del amortiguamiento crítico.

Según el ASCE-7-16 se considera el 3.00% del crítico en caso que no haya ningún estudio y 5% para un análisis de un sistema convencional.

Se tomará un amortiguamiento del 3% con respecto al crítico.

Amortiguamiento efectivo β_{eff}

El amortiguamiento efectivo se puede calcular a través de la determinación del coeficiente de modificación de amortiguamiento, mediante un proceso analítico con las siguientes expresiones.

$$B_{mD} = \frac{\Delta_{max} (Deriva maxima)}{\Delta_{obj} (Deriva objetivo)}$$

$$B_{mD1} = \frac{2.31 - 0.41 * \ln(\beta_0)}{2.31 - 0.41 * \ln(\beta_{eff})}$$

Amortiguamiento viscoso β_H

Es el amortiguamiento perteneciente al aporte del disipador de energía, el cual se determina como la diferencia del amortiguamiento efectivo y el amortiguamiento inherente de la estructura.

$$\beta_H = \beta_{eff} - \beta_0$$

El cálculo de los valores de estos coeficientes de amortiguamiento se resume en la siguiente imagen:

Deriva según Hazus (deriva objetivo) tomado		0.0045	
Deriva maxima	0.0093	Deriva maxima	0.0059
Bmd (X)	2.057	Bmd (Y)	1.300
Beff (X) calculado	30.85%	Beff (X) calculado	8.56%
Beff (X) tomado	25.00%	Beff (X) tomado	20.00%
Bhx	22.00%	Bhy	17.00%

Figura 90. Cálculo de relación de amortiguamiento efectivo y viscoso.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Coefficiente Lambda (λ)

El parámetro lambda está en función del exponente de velocidad α , según la tabla del FEMA 273, para un exponente de velocidad (α) de 0.5 corresponde un coeficiente lambda de 3.5.

Exponent α	Parameter λ
0.25	3.7
0.50	3.5
0.75	3.3
1.00	3.1
1.25	3.0
1.50	2.9
1.75	2.8
2.00	2.7

Figura 91. Valores del parámetro λ .

Fuente: Tabla C9-4 FEMA 273

Cálculo de frecuencia angular (ω)

La frecuencia angular se calculó previa determinación de los periodos. Los periodos de la estructura son pertenecientes al análisis modal de la estructura convencional con mayor masa participativa en el eje X e Y respectivamente.

$$f = \frac{1}{T}; w = \frac{2 * \pi}{T}$$

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX
Modal	1	0.788	0.7774	0	0	0.7774	0	0	0
Modal	2	0.534	0	0.729	0	0.7774	0.729	0	0.311
Modal	3	0.419	1.234E-05	0	0	0.7774	0.729	0	0

Figura 92. Cálculo de periodos de la estructura del modelamiento.

Fuente: ETABS

2.2. PERIODO Y FRECUENCIA	
PERIODO NATURAL (s)	
0.788	0.534
FRECUENCIA NATURAL (Hz)	
1.269	1.873
FRECUENCIA ANGULAR	
7.974	11.766

Figura 93. Cálculo de frecuencia natural y angular de la estructura

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Estructuración de los disipadores de energía en la edificación convencional en planta:

En la dirección X debido a que se tiene una deriva de 0.0093, se requiere una cantidad de amortiguamiento adicional alto por lo que se propone la disposición Chevron brace normal en los ejes 1 y 4, entre los ejes B-C y D-E, debido a que, en los pórticos ubicados en los ejes mencionados, se concentraran las velocidades más altas en la estructura. Por lo tanto, existirá en la dirección X un total de 8 dispositivos por nivel.

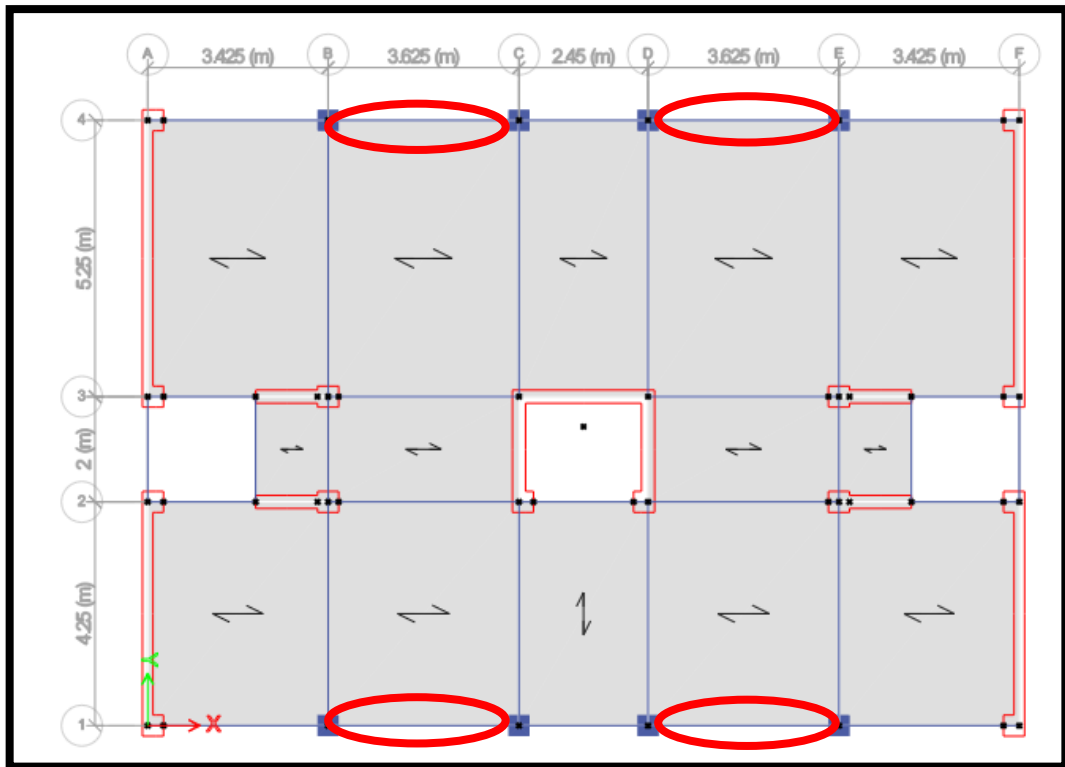


Figura 94. Ubicación de los disipadores de energía en planta en eje X

Fuente: ETABS

En la dirección Y debido a que se tiene una deriva de 0.0056, se requiere una cantidad de amortiguamiento adicional bajo. Se propone la disposición Chevron brace normal con un solo dispositivo, en los ejes A y F, entre los ejes 2-3, debido al bajo requerimiento de amortiguamiento y la dimensión del pórtico ubicado en los ejes mencionados.

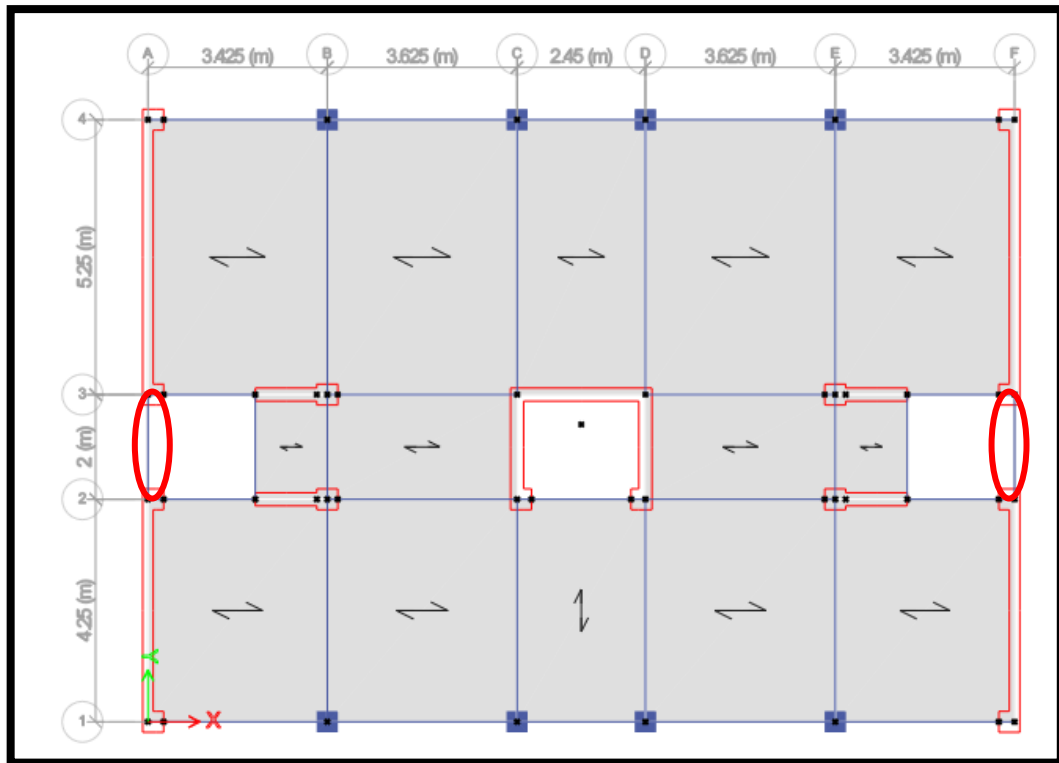


Figura 95. Ubicación de los disipadores de energía en planta en eje Y

Fuente: ETABS

Estructuración de los disipadores de energía en la edificación convencional en altura:

La ubicación de los disipadores, en las elevaciones de la estructura, tanto en la dirección X, como en la dirección Y, se colocó tomando el criterio, que en los niveles en donde las derivas de entrepiso que superaban a la deriva del rango operacional se colocaba el sistema de disipación de energía que se diseñó.

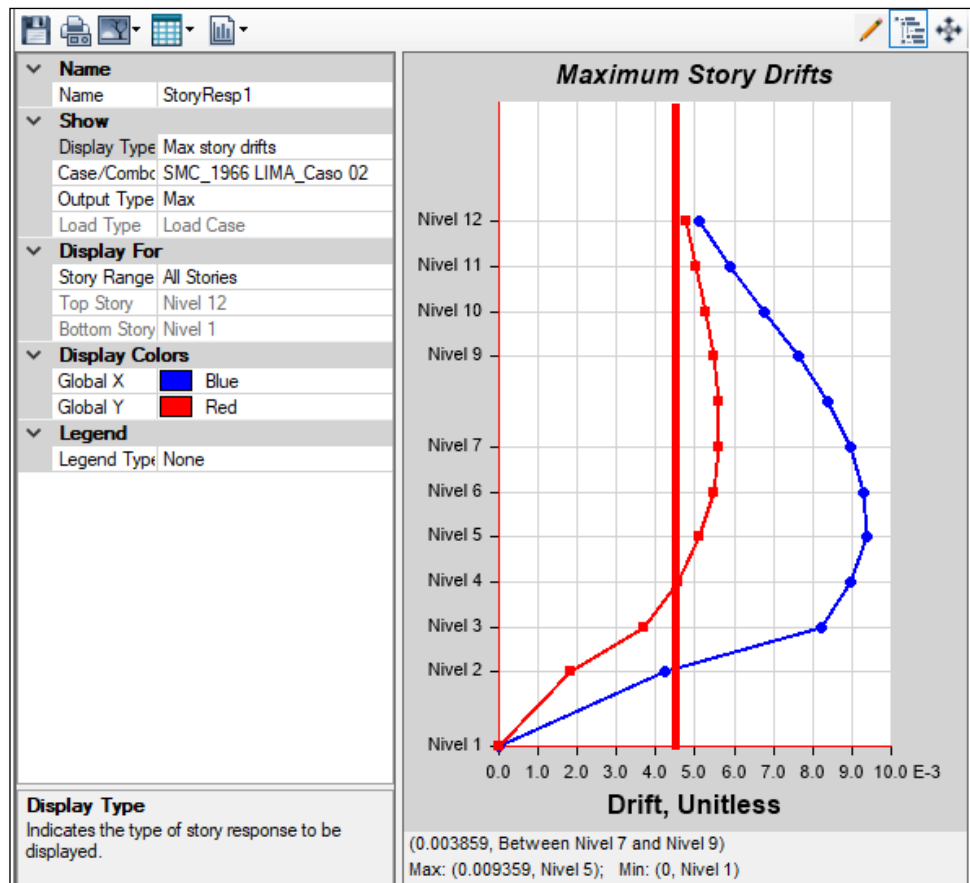


Figura 96. Determinación de la ubicación de los dispositivos en altura

Fuente: ETABS

Se determina que en el eje X, existirán disipadores desde el nivel 3 al nivel 12 y en el eje Y desde el nivel 5 al nivel 12.

Cabe resaltar que esta es una estructuración preliminar de los disipadores de energía, se podrá cambiar esta distribución en función de los resultados del modelamiento y el cumplimiento de las respuestas.

Angulo de inclinación de los dispositivos (θ):

En el eje X e Y, la disposición elegida es la Chevron Brace normal, la misma que tiene la característica que los dispositivos están horizontales, por lo tanto, el ángulo de inclinación será igual a 0.

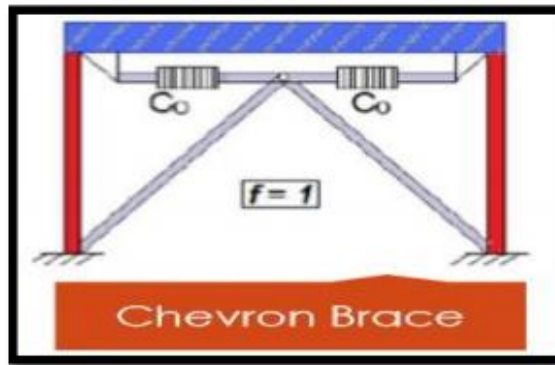


Figura 97. Disposición Chevron brace normal

Fuente: Genner Villareal 2018

Amplitud (A):

La amplitud se define como el desplazamiento modal máximo de la estructura, el mismo que se producirá en el último nivel. El cálculo de la amplitud se puede realizar mediante la fórmula establecida en el FEMA 273.

$$A = \frac{g * Sa * T}{4 * \pi^2 * B_{mD}} * \Gamma$$

Donde:

g: gravedad

Sa: Aceleración espectral en g

T: Periodo natural del primer modo de la dirección.

B_{mD}: Coeficiente de modificación por amortiguamiento

Γ: Factor de participación modal

Según bibliografía amplitud también puede tomar el valor del desplazamiento en el último nivel del análisis historia de respuesta lineal del registro sísmico escalado al espectro del sismo máximo considerado, siendo este un criterio más conservador, debido a que se trabaja directamente con la respuesta del registro sísmico de diseño y que los valores que toma la amplitud considerando ambos criterios tiene una variación mínima (Chávez, 2017).



En el presente trabajo de investigación se tomará como el valor de la amplitud como el desplazamiento en el último nivel, proveniente del análisis historia de respuestas de sismo de diseño (Lima 1966), escalado con el espectro del sismo máximo considerado. El valor de la amplitud será identificada y presentada más adelante.

Vector de masa de la estructura (m):

La masa de la estructura fue estimada mediante lo estipulado en el artículo 26 de la E.030 “Diseño Sismorresistente” del RNE. Los valores numéricos del vector de masas se obtuvieron del programa ETABS, y sus valores serán presentados más adelante.

Desplazamiento modal en el primer modo de vibración en cada dirección (Φ):

Los desplazamientos considerados son los pertenecientes al análisis historia de respuestas lineal con el registro sísmico de diseño (Lima 1966). Los valores de los desplazamientos fueron calculados en el programa ETABS, y serán presentados más adelante.

Desplazamiento modal relativo en el primer modo de vibración en cada dirección (Φ_{rj}):

El desplazamiento modal relativo de la estructura es considerado como la diferencia de desplazamiento que un dissipador tendrá que reducir. Para efectos de calculo este desplazamiento relativo puede ser considerado como la diferencia entre el desplazamiento de un nivel determinado y el desplazamiento del nivel inmediatamente inferior a este.

A continuación, se presenta los valores de amplitud, vector de masa, desplazamientos absolutos del registro sísmico de diseño y desplazamientos relativos dl mismo, extraídos del programa Etabs, así como el cálculo del coeficiente de amortiguamiento, mediante la fórmula del FEMA 273.

2.5. VECTORES DE MASA, AMPLITUD MAXIMA Y DESPLAZAMIENTOS DEL MODO 1, DIFERENCIA ENTRE AMBOS EXTREMOS DEL DISIPADOR, ANGULO DE INCLINACION											
NIVEL	Desplazamiento X_CM (modo 1)	Masa (Ton*s^A / 2/m)	Peso (Ton)	Angulo θ_j	Cos (θ_j)	Punto 1 ϕ_{rj}^1	Punto 2 ϕ_{rj}^2	Diferencia	$(\sum_i m_i * \phi_i^2)$	$\sum \phi_{rj}^{1+\alpha} * \cos^{1+\alpha} \theta_j$	
Nivel 12	0.237 Amplitud	19.35	189.83	0.00	1.00	0.24	0.24	0.014	1.085	0.0016	
Nivel 11	0.223	22.48	220.57	0.00	1.00	0.22	0.22	0.016	1.118	0.0021	
Nivel 10	0.207	22.48	220.57	0.00	1.00	0.21	0.21	0.019	0.961	0.0026	
Nivel 9	0.188	22.48	220.57	0.00	1.00	0.19	0.19	0.021	0.795	0.0031	
Nivel 8	0.167	22.48	220.57	0.00	1.00	0.17	0.17	0.023	0.627	0.0035	
Nivel 7	0.144	22.48	220.57	0.00	1.00	0.14	0.14	0.025	0.465	0.0039	
Nivel 6	0.119	22.48	220.57	0.00	1.00	0.12	0.12	0.026	0.318	0.0041	
Nivel 5	0.093	22.48	220.57	0.00	1.00	0.09	0.09	0.026	0.196	0.0042	
Nivel 4	0.067	22.48	220.57	0.00	1.00	0.07	0.07	0.025	0.102	0.0039	
Nivel 3	0.042	22.48	220.57	0.00	1.00	0.04	0.04	0.023	0.040	0.0035	
Nivel 2	0.019	24.62	241.51	0.00	1.00	0.02	0.02	0.019	0.009	0.0027	
Nivel 1_Bas	0.000					0.00	0.00				
CALCULO FINAL DE COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO POR DISIPADOR								X	5.72	0.0352	
$\sum C_j = \frac{\beta_H * 2 * \pi * A^{1-\alpha} * \omega^{2-\alpha} * (\sum_i m_i * \phi_i^2)}{\lambda * (\sum \phi_{rj}^{1+\alpha} * \cos^{1+\alpha} \theta_j)}$								Bhx	22.00%	1260.613004	
$C(\text{por disipador}) = \frac{\sum C_j}{\# \text{ de disipadores}}$								A	0.237		
								w	7.97		
								Lambda	3.5		
								Alfa	0.5		
								# disipadores/piso	8	C/disp	157.5766254

Figura 98. Valores de amplitud, vector de masa, desplazamientos absolutos y relativos y cálculo del coeficiente de amortiguamiento en la dirección X

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

2.5. VECTORES DE MASA, AMPLITUD MAXIMA Y DESPLAZAMIENTOS DEL MODO 1, DIFERENCIA ENTRE AMBOS EXTREMOS DEL DISIPADOR, ANGULO DE INCLINACION											
NIVEL	Desplazamiento Y_CM (modo 1)	Masa (Ton*s^A / 2/m)	Peso (Ton)	Angulo θ_j	Cos (θ_j)	Punto 1 ϕ_{rj}^1	Punto 2 ϕ_{rj}^2	Diferencia	$(\sum_i m_i * \phi_i^2)$	$\sum \phi_{rj}^{1+\alpha} * \cos^{1+\alpha} \theta_j$	
Nivel 12	0.15	19.35	189.83	0.00	1.00	0.15	0.15	0.01	0.434	0.0015	
Nivel 11	0.14	22.48	220.57	0.00	1.00	0.14	0.14	0.01	0.418	0.0017	
Nivel 10	0.12	22.48	220.57	0.00	1.00	0.12	0.12	0.01	0.337	0.0018	
Nivel 9	0.11	22.48	220.57	0.00	1.00	0.11	0.11	0.02	0.261	0.0019	
Nivel 8	0.09	22.48	220.57	0.00	1.00	0.09	0.09	0.02	0.192	0.0020	
Nivel 7	0.08	22.48	220.57	0.00	1.00	0.08	0.08	0.02	0.132	0.0020	
Nivel 6	0.06	22.48	220.57	0.00	1.00	0.06	0.06	0.02	0.084	0.0019	
Nivel 5	0.05	22.48	220.57	0.00	1.00	0.05	0.05	0.01	0.047	0.0017	
Nivel 4	0.03	22.48	220.57	0.00	1.00	0.03	0.03	0.01	0.022	0.0014	
Nivel 3	0.02	22.48	220.57	0.00	1.00	0.02	0.02	0.01	0.008	0.0010	
Nivel 2	0.01	24.62	241.51	0.00	1.00	0.01	0.01	0.01	0.002	0.0008	
Nivel 1	0.00					0.00	0.00				
CALCULO FINAL DE COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO POR DISIPADOR								Y	1.94	0.0177	
$\sum C_j = \frac{\beta_H * 2 * \pi * A^{1-\alpha} * \omega^{2-\alpha} * (\sum_i m_i * \phi_i^2)}{\lambda * (\sum \phi_{rj}^{1+\alpha} * \cos^{1+\alpha} \theta_j)}$								Bhy	17.00%	522.7222041	
$C(\text{por disipador}) = \frac{\sum C_j}{\# \text{ de disipadores}}$								A	0.150		
								w	11.77		
								Lambda	3.5		
								Alfa	0.5		
								# disipadores/piso	2	C/disp	261.361102

Figura 99. Valores de amplitud, vector de masa, desplazamientos absolutos y relativos y cálculo del coeficiente de amortiguamiento en la dirección Y

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Se calcula que en la dirección X de la estructura convencional el coeficiente de amortiguamiento necesario para cada disipador de energía es de $157.57 \text{ Ton} * (s/m)^\alpha$, para los cálculos de disipador de energía se tomara un valor redondeado de $160 \text{ Ton} * (s/m)^\alpha$.

Se calcula que en la dirección Y de la estructura convencional el coeficiente de amortiguamiento necesario para cada disipador de energía es de $261.36 \text{ Ton} * (s/m)^\alpha$, para los cálculos de disipador de energía se tomara un valor redondeado de $265 \text{ Ton} * (s/m)^\alpha$.

Paso 7: Calculo de rigidez del brazo metálico

Selección de sección de diseño y propiedades del material.

El brazo metálico que sostiene al disipador no aportará rigidez a la estructura por lo cual se modelará libre de momentos y solo tendrá la función de transmitir las fuerzas de la estructura al disipador. Se recomienda utilizar como brazo metálico del disipador de energía secciones tipo PIPE y HSS, debido al carácter estético de estas secciones y al ensamblaje con el dispositivo.

Longitud efectiva del Brazo

La longitud del brazo metálico para el eje X, se calculará de la siguiente manera.

$$\text{Altura de entrepiso} = 2.8 \text{ m}$$

$$\text{Longitud horizontal del brazo} = \frac{Luz}{2} = \frac{3.625}{2} = 1.813 \text{ m}$$

$$\text{Longitud del brazo} = \sqrt{1.813^2 + 2.8^2} = 3.34 \text{ m}$$

La longitud del brazo metálico para el eje Y, se calculará de la siguiente manera.

$$\text{Altura de entrepiso} = 2.8 \text{ m}$$

$$\text{Longitud horizontal del brazo} = Luz = 2 \text{ m}$$

$$\text{Longitud del brazo} = \sqrt{2^2 + 2.8^2} = 3.44 \text{ m}$$

Cálculo de la rigidez efectiva (K)

Debido a que el brazo está libre de momentos la rigidez que posee es netamente axial, por lo cual se utilizara para su cálculo la siguiente expresión:

$$K = \frac{E * A}{L}$$

3. CALCULO DE RIGIDEZ DEL BRAZO METALICO X					
3.1. Selección de sección de diseño y propiedades del material	3.2. Longitud efectiva del Brazo		3.3 Calculo de la rigidez efectiva (K)		
Se recomienda utilizar como brazo metalico del disipador de energia secciones tipo PIPE y HSS					
	HSS20X0.375		3.3 Calculo de la rigidez efectiva (K)		
	Area =	21.500	in^2	0.0139	m^2
	Diametro externo=	20.000	in	0.508	m
	Diametro interno=	19.302	in	0.4903	m
	Espesor=	0.375	in	0.0095	m
	Modulo de elasticidad=	21000000			Ton/m^2
	Longitud del brazo metalico	3.34			m
				$K = \frac{E * A}{L}$ 87212.67143	

Figura 100. Cálculo de rigidez axial en el brazo del disipador en la dirección X

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3. CALCULO DE RIGIDEZ DEL BRAZO METALICO Y					
3.1. Selección de sección de diseño y propiedades del material	3.2. Longitud efectiva del Brazo		3.3 Calculo de la rigidez efectiva (K)		
Se recomienda utilizar como brazo metalico del disipador de energia secciones tipo PIPE y HSS					
	HSS20X0.375		3.3 Calculo de la rigidez efectiva (K)		
	Area =	21.500	in^2	0.0139	m^2
	Diametro externo=	20.000	in	0.508	m
	Diametro interno=	19.302	in	0.4903	m
	Espesor=	0.375	in	0.0095	m
	Modulo de elasticidad=	21000000			Ton/m^2
	Longitud del brazo metalico	3.44			m
				$K = \frac{E * A}{L}$ 84677.41935	

Figura 101. Cálculo de rigidez axial en el brazo del disipador en la dirección Y

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.6.2. Modelamiento del sistema de disipación de energía

Paso 8: Modelamiento del sistema de disipación de energía en la estructura

El modelamiento de disipadores de energía, continuo al modelamiento convencional ya realizado anteriormente en el programa Etabs, donde se requieren datos previamente calculados en los apartados anteriores, exponente de velocidad, coeficiente de amortiguamiento y rigidez del brazo metálico. Se requiere también la ubicación preliminar de los dispositivos en el sistema.

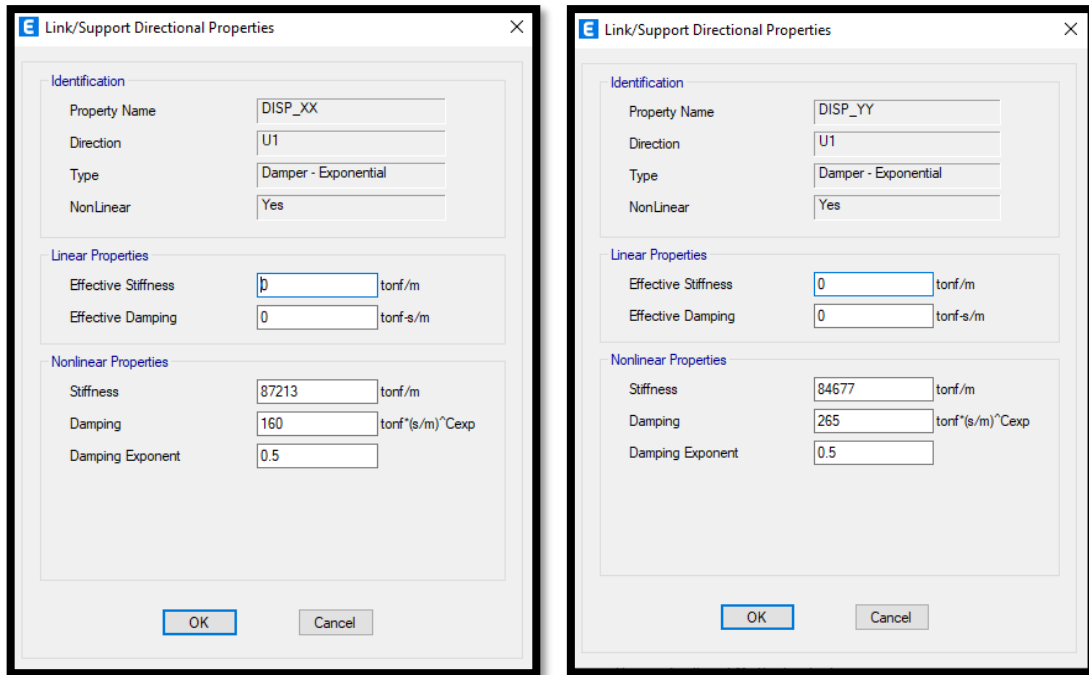


Figura 102. Datos del disipador en el programa Etabs en la dirección X e Y

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

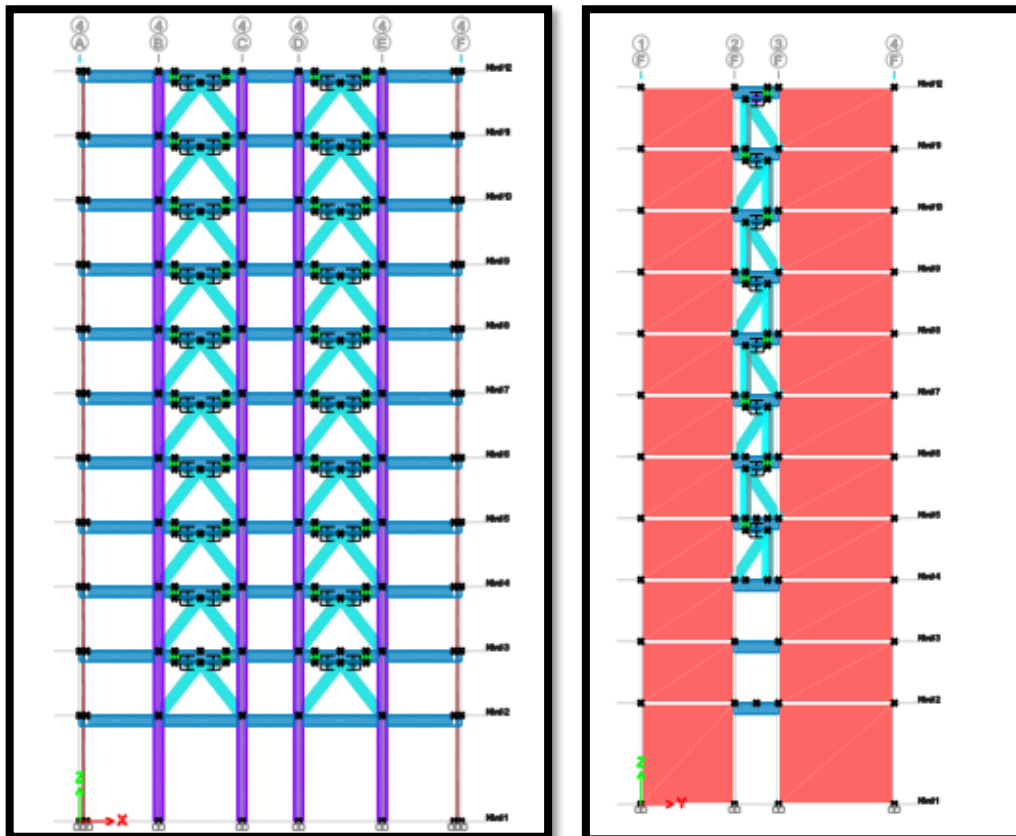


Figura 103. Distribución de disipadores en elevación de dirección X e Y.

Fuente: ETABS

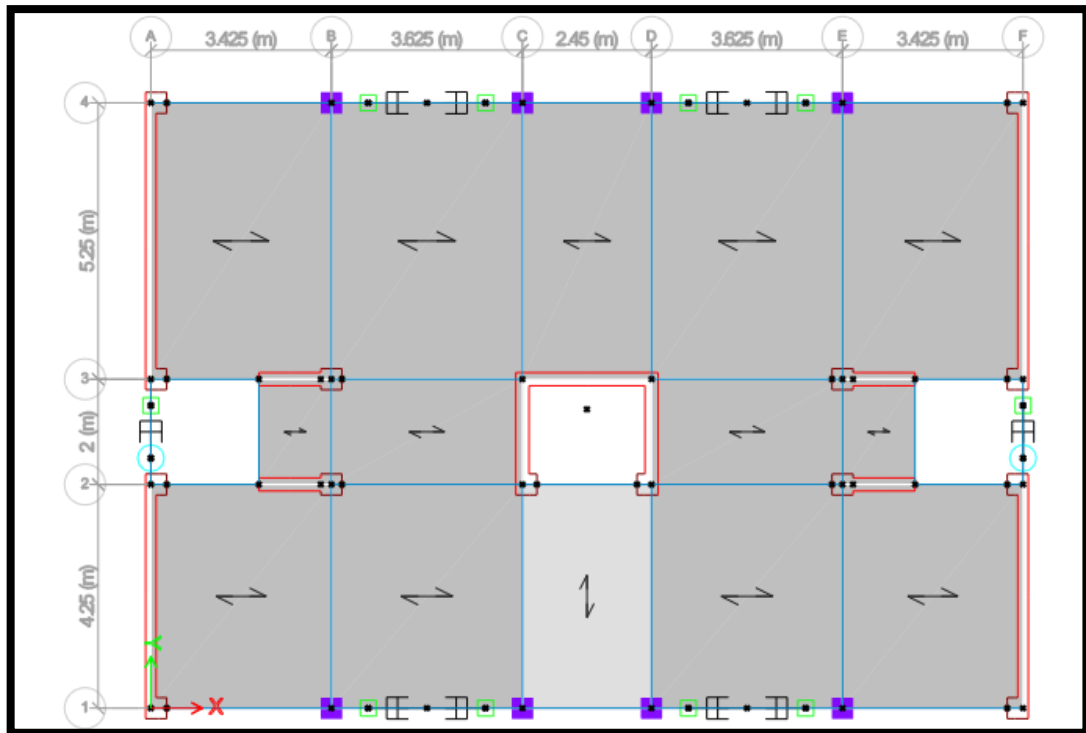


Figura 104. Distribución de disipadores en planta

Fuente: ETABS

3.6.3. Análisis sísmico

Paso 9: Análisis historia de respuesta no lineal

Se realizó el análisis tiempo historia no lineal de la estructura con disipadores de energía aplicando el sismo de diseño escalado con el espectro del sismo máximo considerado. Este análisis se realizó en el programa Etabs, siguiendo los lineamientos de la E.030 y ASCE-7-16.

Para el análisis tiempo historia no lineal se utilizó una relación de amortiguamiento del 3% con respecto al crítico, registro sísmico de Lima 1966, en su caso 02 y una función no lineal por gravedad, para la consideración de las cargas estáticas de la estructura en el análisis.

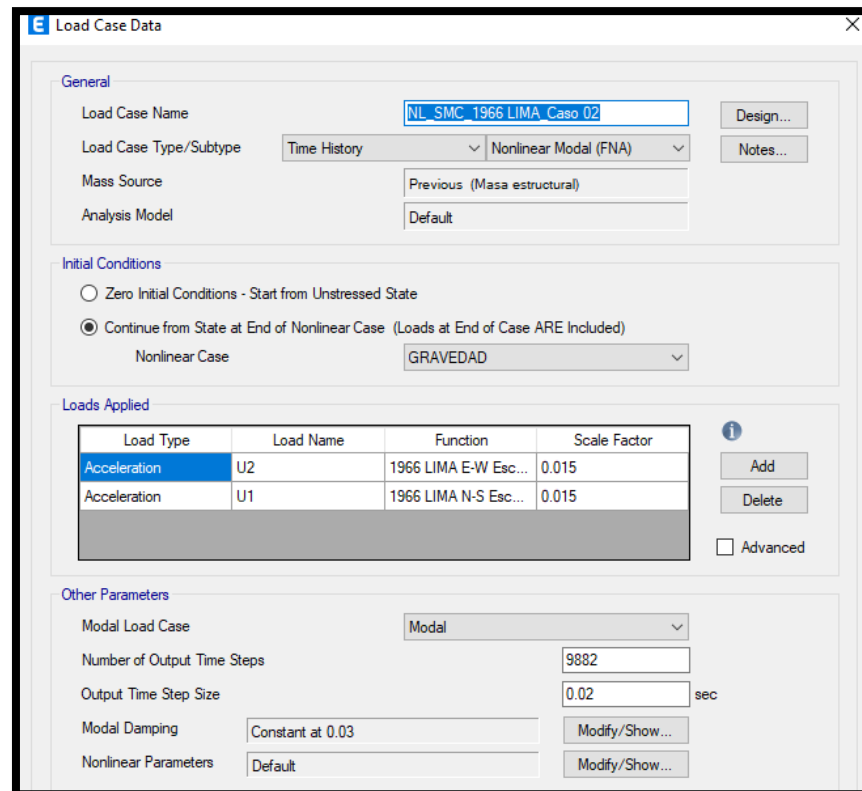


Figura 105. Caso de carga de historia de respuestas no lineal de registro sísmico Lima 1966

Fuente: ETABS

3.6.4. Verificaciones del sistema con disipadores de energía

Paso 10: Verificación de derivas y optimización del sistema

Se verifica las respuestas de la estructura con disipadores de energía de fluido viscoso, con el registro sísmico de diseño escalado con el espectro del sismo máximo considerado. La verificación de respuestas, se realiza verificando que las derivas de la estructura calculadas con el registro sísmico ya mencionado, se encuentren en el rango de derivas, para un nivel de desempeño operacional, según la metodología Hazus el cual dicho rango es de 0.0025 a 0.005.

En el caso que las derivas, de la estructura no sean las más adecuadas para los objetivos trazados en la estructura se procede a una modificación en la estructuración de

la ubicación de los dispositivos y de las propiedades, de forma iterativa hasta obtener los resultados óptimos.

En la estructura en estudio con la distribución de disipadores inicial y las propiedades previamente calculadas, se verificó; que en la dirección X la deriva máxima de entrepiso era de 0.006, el cual aún no cumplía con el rango operacional, por lo cual se optó por redistribuir los disipadores de energía y aumentar el coeficiente de amortiguamiento de 160 a $265 \text{ Ton} * (s/m)^{\alpha}$, con el objetivo también de uniformizar dichos coeficientes con los dispositivos de la dirección Y; en la dirección Y la deriva máxima de entrepiso era de 0.003, por lo cual se optó por optimizar el sistema, quitando disipadores de los últimos niveles.

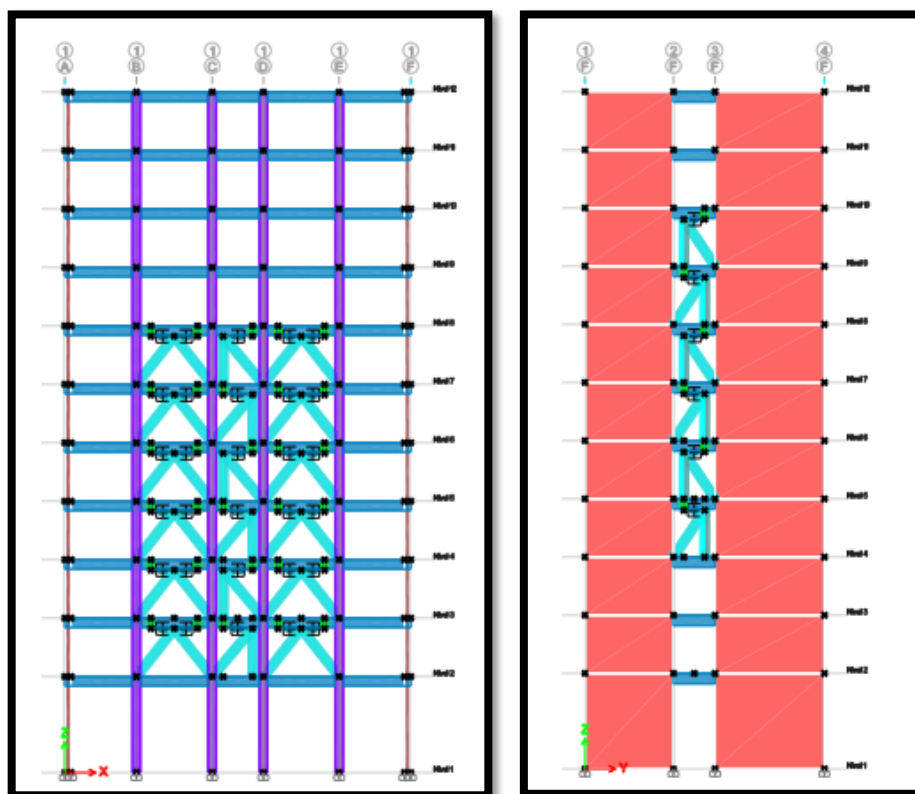


Figura 106. Distribución final de disipadores de energía de elevación en dirección X e Y

Fuente: ETABS

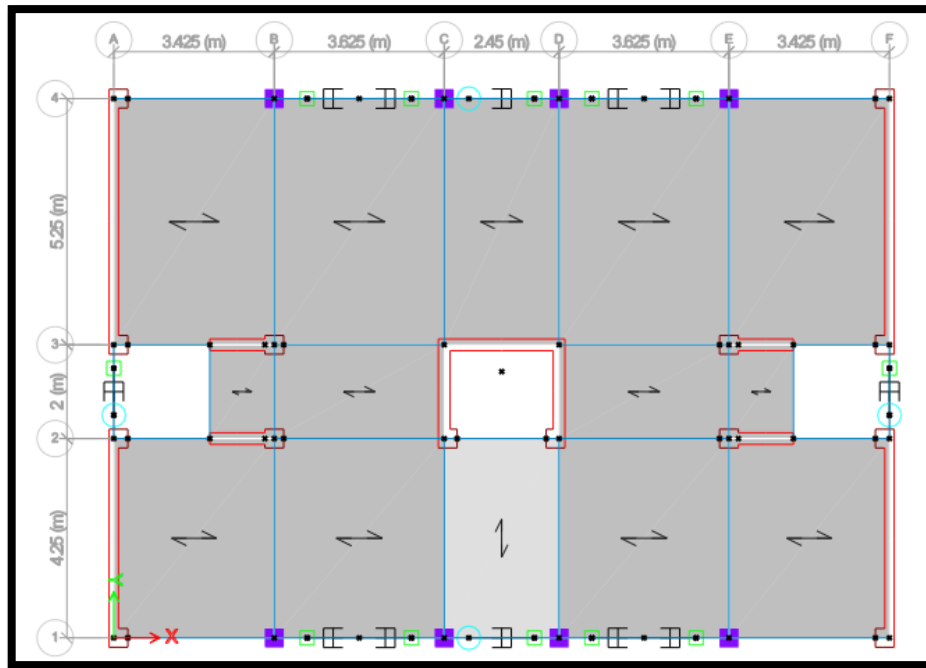


Figura 107. Distribución final de disipadores de energía en planta del nivel 5

Fuente: ETABS

Tabla 66. Presentación de derivas sin dispositivos, con dispositivos y porcentaje de reducción

NIVEL	ENTR EPISO m	DESPLAZAM		DESPLAZAM		DERIVA		DESPLAZAM		DESPLAZAM		DERIVA		PORCENTAJ	
		IENTO		IENTO		SMC (R=1)		IENTO		IENTO		SMC (R=1)		E DE	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X	Y	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X	Y	X	Y
Nivel 12	2.80	0.237	0.15	0.0138	0.0134	0.0049	0.0048	0.109	0.102	0.0063	0.0094	0.0022	0.0034	54.68%	29.49%
Nivel 11	2.80	0.223	0.136	0.0163	0.0140	0.0058	0.0050	0.103	0.093	0.0074	0.0098	0.0027	0.0035	54.33%	30.16%
Nivel 10	2.80	0.207	0.122	0.0187	0.0147	0.0067	0.0053	0.096	0.083	0.0086	0.0102	0.0031	0.0036	53.79%	30.87%
Nivel 9	2.80	0.188	0.108	0.0211	0.0153	0.0075	0.0055	0.087	0.073	0.0096	0.0104	0.0034	0.0037	54.71%	31.99%
Nivel 8	2.80	0.167	0.092	0.0232	0.0157	0.0083	0.0056	0.078	0.062	0.0098	0.0106	0.0035	0.0038	57.85%	32.57%
Nivel 7	2.80	0.144	0.077	0.0249	0.0157	0.0089	0.0056	0.068	0.052	0.0103	0.0105	0.0037	0.0038	58.46%	32.83%
Nivel 6	2.80	0.119	0.061	0.0256	0.0153	0.0092	0.0055	0.057	0.041	0.0110	0.0102	0.0039	0.0037	57.00%	33.06%
Nivel 5	2.80	0.093	0.046	0.0259	0.0143	0.0093	0.0051	0.046	0.031	0.0116	0.0095	0.0041	0.0034	55.23%	33.70%
Nivel 4	2.80	0.067	0.031	0.0250	0.0127	0.0089	0.0045	0.035	0.021	0.0117	0.0086	0.0042	0.0031	53.16%	32.40%
Nivel 3	2.80	0.042	0.019	0.0230	0.0103	0.0082	0.0037	0.023	0.013	0.0118	0.0071	0.0042	0.0025	48.92%	31.34%
Nivel 2	4.60	0.019	0.008	0.0194	0.0084	0.0042	0.0018	0.011	0.006	0.0113	0.0058	0.0025	0.0013	41.59%	30.70%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Paso 11: Selección de dispositivos según catálogo

Se tomo como catálogo de diseño, el brindado por la empresa Taylor Device, el mismo que selecciona los dispositivos, según la fuerza axial existente en el dispositivo en unidades de KN.

Se obtiene que las fuerzas axiales actuantes en el los dispositivos de la dirección X, en los niveles 3 y 4 son de 675 a 885 KN, con presencia de valores mayores a 750 KN,

por lo cual se estandarizo a 1000 KN; en el nivel 5 en el eje 1 y 4 entre los ejes C-D, se tienen fuerzas axiales máximas de 978 y 976 respectivamente por lo que estos dos dispositivos serán de 1000 KN; en el nivel 6 al nivel 8 en los ejes 1 y 4, entre los ejes C-D, las fuerzas axiales varían de 1020 a 1039 KN, por lo que estos dispositivos serán de 1500 KN; desde el nivel 5 al nivel 8 en los ejes 1 y 4, entre los ejes B-C y D-E, las fuerzas axiales varían entre 453 y 681 KN, por lo que estos dispositivos serán de 750 KN.

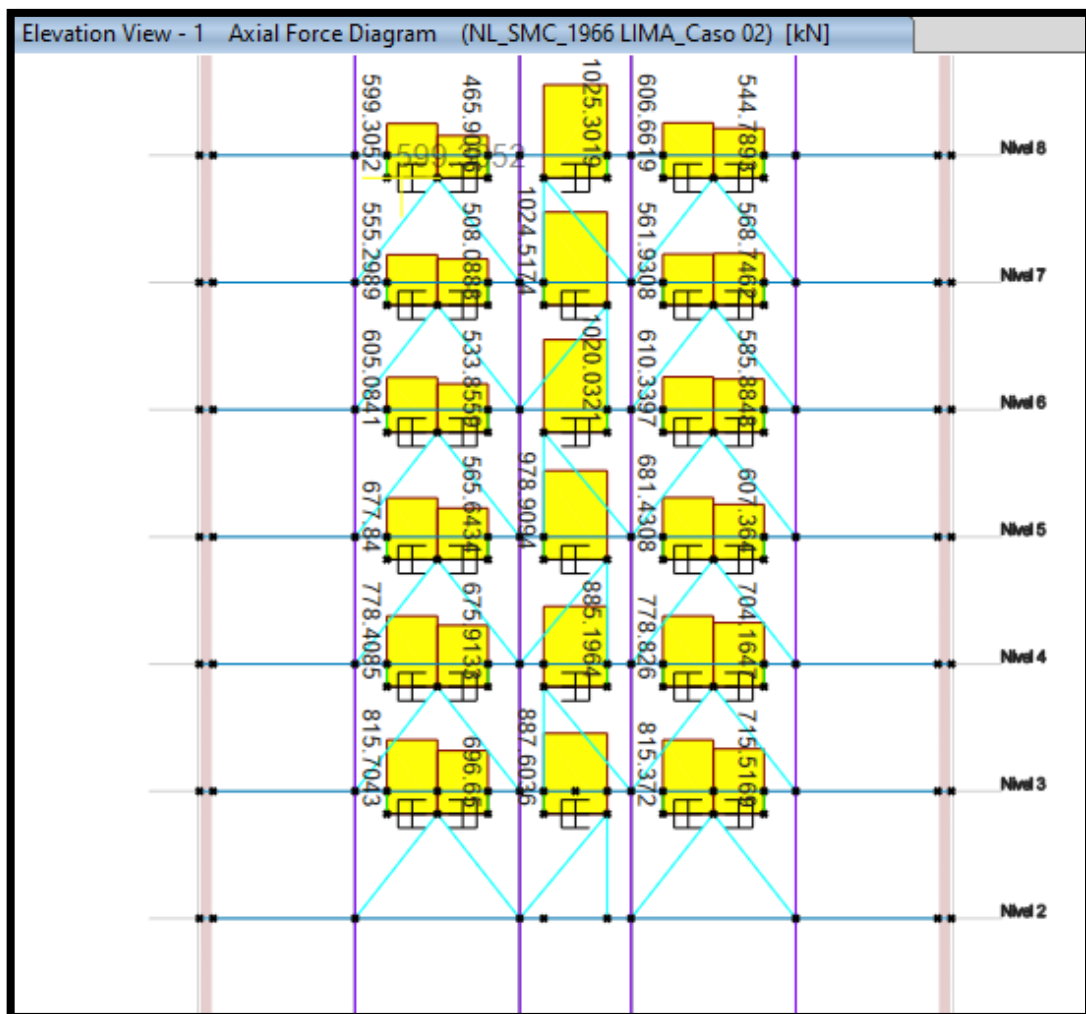


Figura 108. Fuerzas axiales en los dispositivos en la dirección X

Fuente: ETABS

Se obtiene las fuerzas axiales actuantes en los dispositivos de la dirección Y, tienen fuerzas que varían en un rango entre 1048 a 1277 KN, por lo que según el catálogo se usara los dispositivos de 1500 KN.

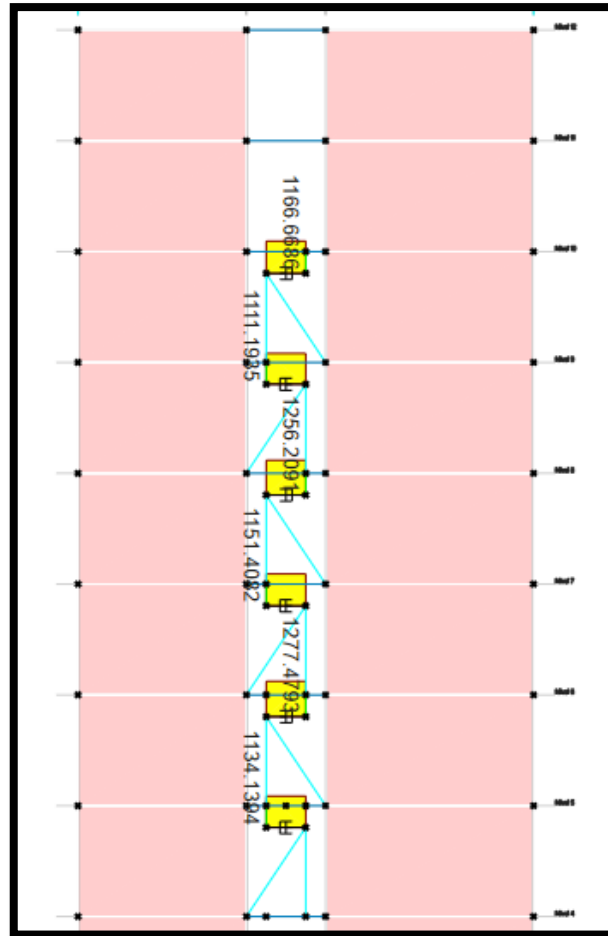


Figura 109. Fuerzas axiales en los dispositivos en la dirección Y

Fuente: ETABS

FORCE (kN)	TAYLOR DEVICES MODEL NUMBER	SPHERICAL BEARING BORE DIAMETER (mm)	MID-STROKE LENGTH (mm)	STROKE (mm)	CLEVIS THICKNESS (mm)	MAXIMUM CLEVIS WIDTH (mm)	CLEVIS DEPTH (mm)	BEARING THICKNESS (mm)	MAXIMUM CYLINDER DIAMETER (mm)	WEIGHT (kg)	"A" (mm)	"B" (mm)	"C" (mm)	"D" (mm)	PLATE THICKNESS (mm)
250	17120	38.10	787	±75	43	102	83	33	114	44	178±3	127±25	†	20.6±25	38±76
500	17130	50.80	997	±100	55	127	102	44	146	98	282±3	203±25	†	31.8±25	38±76
750	17140	57.15	1016	±100	59	152	129	50	184	168	343±3	254±25	127±25	28.7±25	61±76
1000	17150	69.85	1048	±100	71	184	150	61	210	254	419±3	318±25	159±25	31.8±25	76±1.5
1500	17160	76.20	1105	±100	77	203	162	67	241	306	432±3	330±25	165±25	34.9±25	76±1.5
2000	17170	88.90	1346	±125	91	235	191	78	292	503	457±3	343±25	171.5±25	38.1±25	102±1.5
3000	17180	101.60	1441	±125	117	286	203	89	350	805	508±3	406±25	203±25	41.4±25	102±1.5
4000	17190	127.00	1645	±125	142	324	273	111	425	1088	**	**	**	**	**
6500	17200	152.40	1752	±125	152	350	305	121	515	1930	**	**	**	**	**
8000	17210	177.80	1867	±125	178	415	343	135	565	2625	**	**	**	**	**

Figura 110. Selección de dispositivos según catálogo de Taylor De vice

Fuente: Catalogo Taylor Device inc.

Paso 12: Verificación de los dispositivos en el modelamiento

Bucles histereticos y máximo stroke.

El máximo stroke es el desplazamiento máximo, que ejecuta el disipador en su eje axial. Este valor te lo proporciona el fabricante para cada tipo de disipadores (Chavez,

2016), sin embargo, según recomendaciones bibliográficas (Genner Villareal y Oviedo Sarmiento, 2008), este valor no debe ser mayor a 50 mm.

A continuación, se presentarán los bucles histeréticos con el máximo stroke, en los disipadores de energía en ambas direcciones.

El disipador con máximo stroke en la dirección X, se presentó en el denominado K100 por el programa Etabs, ubicado en el eje 1 y entre los ejes C-D, del nivel 6, el mismo que tiene una deformación máxima de 15 mm, siendo este menor al valor máximo que puede tomar 50mm.

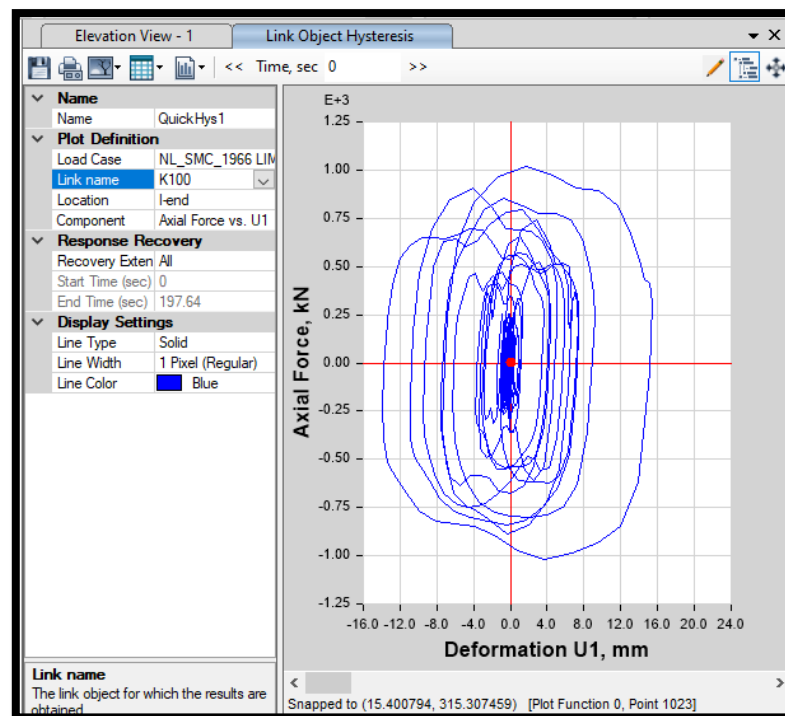


Figura 111. Diagrama de histéresis del máximo stroke en la dirección X (nivel 6, eje 1, entre los ejes C-D, K100)

Fuente: ETABS

El disipador con máximo stroke en la dirección Y, se presentó en el denominado K89 por el programa Etabs, ubicado en el eje F y entre los ejes 2-3, del nivel 5, el mismo que tiene una deformación máxima de 21.40 mm, siendo este menor al valor máximo que puede tomar 50mm.

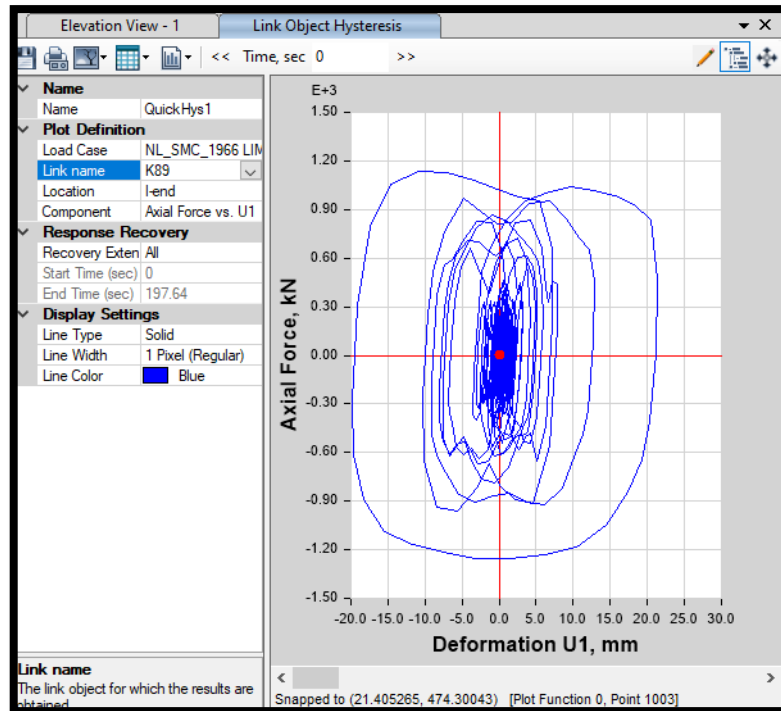


Figura 112. Diagrama de histéresis del máximo stroke en la dirección Y (nivel 5, eje F, entre los ejes 2-3, K89)

Fuente: ETABS

Velocidad máxima.

La velocidad máxima se calculará mediante el despeje de la formula siguiente:

$$F = C * V^\alpha \rightarrow V = \sqrt[\alpha]{\frac{F}{C}}$$

Donde:

C: Coeficiente de amortiguamiento

F: Fuerza axial

α : exponente de velocidad

El coeficiente de amortiguamiento, se determinó como $265 \text{ Ton} * (s/m)^\alpha$, tanto para la dirección X como para la dirección Y. La fuerza axial en disipador, para el cálculo de la velocidad máxima serán correspondientes a la fuerza máxima de cada tipo de disipador seleccionado.

Se seleccionó un total de tres tipos de disipadores 750, 1000 y 1500 KN, por lo cual, se tomarán en cuenta las fuerzas máximas de los disipadores de cada tipo.

Disipadores de 750 KN, el valor máximo de este tipo de disipador será de 681 KN:

$$V_{max} = \sqrt[0.5]{\frac{681/9.81}{265}} = 0.068 \text{ m/s}$$

Disipadores de 1000 KN, el valor máximo de este tipo de disipador será de 978 KN:

$$V_{max} = \sqrt[0.5]{\frac{978/9.81}{265}} = 0.142 \text{ m/s}$$

Disipadores de 1500 KN, el valor máximo de este tipo de disipador será de 1277 KN:

$$V_{max} = \sqrt[0.5]{\frac{1277/9.81}{265}} = 0.241 \text{ m/s}$$

Los valores de la velocidad máxima serán proporcionados al fabricante para su diseño.

Balance de energía.

Se verifica el balance de energía del sistema, para el conocimiento de la cantidad de energía disipada por los disipadores, por la estructura y otros mecanismos.

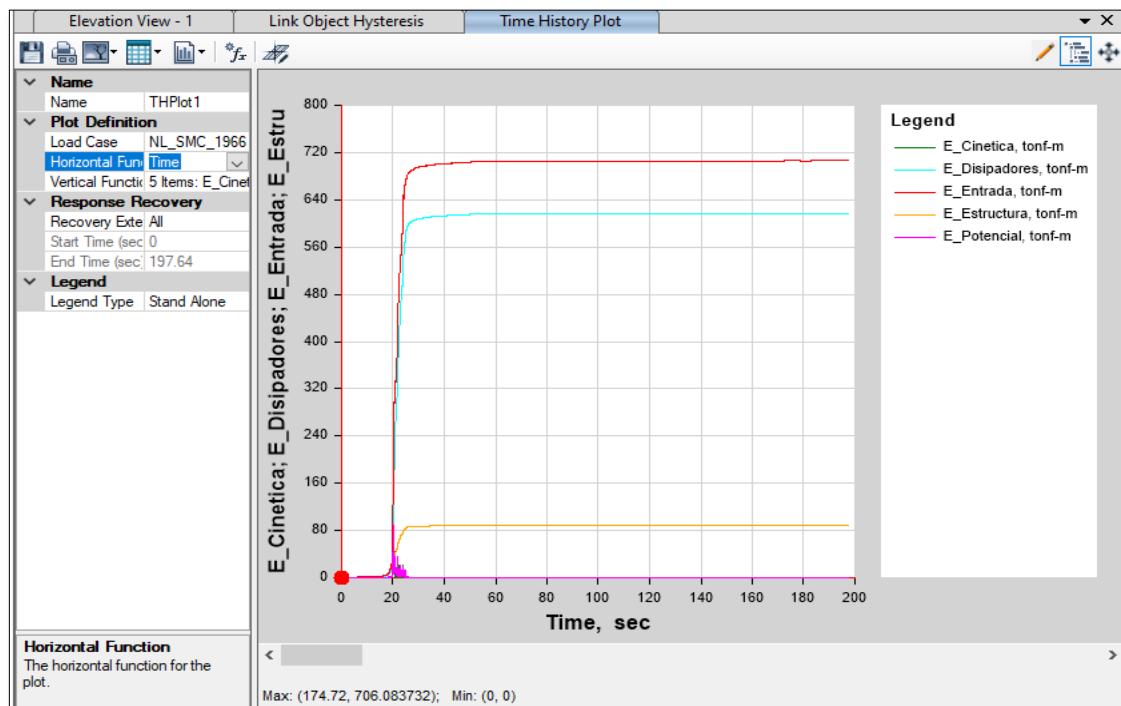


Figura 113. Balance de energía de la estructura

Fuente: ETABS

Time sec	E_Cinetica tonf-m	E_Disipadores	E_Entrada tonf-m	E_Estructura	E_Potencial
197.4	2.009E-06	617.231	706.0789	88.7455	0.099
197.42	2.584E-06	617.231	706.0788	88.7455	0.0989
197.44	2.83E-06	617.231	706.0788	88.7455	0.0989
197.46	2.582E-06	617.231	706.0787	88.7455	0.0988
197.48	1.933E-06	617.231	706.0786	88.7455	0.0987
197.5	1.153E-06	617.231	706.0785	88.7455	0.0986
197.52	5.488E-07	617.231	706.0784	88.7455	0.0985
197.54	0	617.231	706.0784	88.7455	0.0985
197.56	0	617.231	706.0783	88.7455	0.0984
197.58	5.735E-07	617.231	706.0782	88.7455	0.0983
197.6	7.191E-07	617.231	706.0782	88.7455	0.0983
197.62	6.638E-07	617.231	706.0782	88.7455	0.0983
197.64	0	617.231	706.0782	88.7455	0.0983

Figura 114. Valores numéricos del balance de energía de la estructura

Fuente: ETABS

$$\%ED(\text{disipadores}) = \frac{ED(\text{Disipadores})}{E(\text{total})} = \frac{617.231}{706.0782} = 87.41\%$$

$$\%ED(\text{estructura}) = \frac{ED(\text{Estructura})}{E(\text{total})} = \frac{88.745}{706.0782} = 12.56\%$$

De los resultados de balance de energía se puede concluir que la disipación de la energía entrada, será tomada en su mayoría por el sistema de disipadores (87.41%) de energía de fluido viscoso, de una manera inmediata según el desarrollo del sismo muy raro. La energía restante por disipar lo tomara la estructura (12.56%), implicando un cierto daño a los elementos estructurales, sin embargo, por el bajo porcentaje de energía que toma se puede predecir que serán daños leves y reparables, los cuales cumplen con los requisitos para definir el nivel de desempeño operacional.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo, se presenta las respuestas sísmicas promedio de la estructura en un sistema convencional, con aisladores elastoméricos y con disipadores de energía de fluido viscoso; obtenidos de un análisis historia de respuestas realizado con 7 registros sísmicos (Ver anexos), escalados con un Sismo Máximo Considerado (SMC), calculado según la normativa E.031. Las respuestas sísmicas a evaluar en esta comparación son: el período de la estructura, aceleración de entrepiso, fuerza cortante en la base, los desplazamientos totales laterales de entrepiso y las derivas de entrepiso.

Se procede a describir mediante cuadros comparativos los resultados promedio obtenidos del análisis historia de respuestas realizado con el software ETABS 2019 de los tres modelamientos estructurales en un sistema convencional, con aisladores elastoméricos de núcleo de plomo LRB y con disipadores de energía de fluido viscoso.

4.1.1. Periodo fundamental de vibración

De los modelos analizados se obtuvieron los periodos de los tres primeros modos de vibración para cada tipo de sistema estructural.

Tabla 67. Periodo fundamental de vibración (T) en “segundos”

MODO	PERIODO NATURAL			% de variacion de periodos		
	CONVENCIONAL	CON AISLADORES	CON DISIPADORES	CONVENCIONAL	CON AISLADORES	CON DISIPADORES
1	0.788	2.047	0.790	100.00%	259.77%	100.25%
2	0.534	1.978	0.536	100.00%	370.41%	100.37%
3	0.419	1.856	0.421	100.00%	442.96%	100.48%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

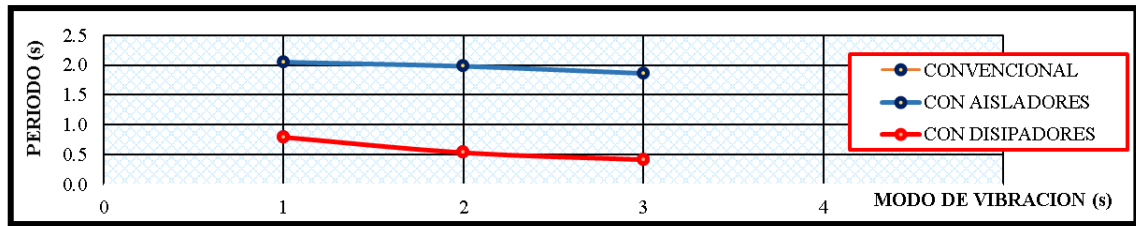


Figura 115. Periodo fundamental de vibración.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Realizando un análisis comparativo de los resultados de los periodos anteriormente calculados, se observa que el de sistema aislado tiene periodos iguales al 259.77% en el modo 1, 370.41% en el modo 2 y 442.96% en el modo 3 respecto al sistema convencional, en donde se puede verificar que el sistema con aisladores tiene periodos muy superiores al sistema convencional debido a que el objetivo de un diseño de aislamiento sísmico es flexibilizar la estructura desacoplando la base de la superestructura.

Se observa que el sistema con disipadores de energía tiene periodos iguales al 100.25% en el modo 1, 100.37% en el modo 2 y 100.48% en el modo 3 respecto al sistema convencional, en donde se puede verificar que el sistema con disipadores de energía tiene una variación mínima del periodo, respecto al convencional, debido a que los disipadores incrementan el amortiguamiento efectivo de la estructura, sin incrementar la rigidez de la misma.

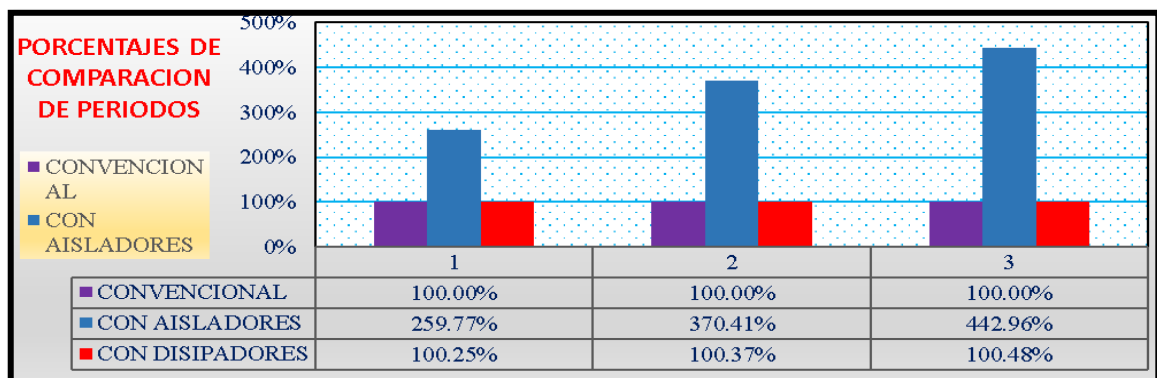


Figura 116. % variación de periodo fundamental de vibración.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.1.2. Aceleración de entrepiso

Se obtuvieron las aceleraciones de entrepiso en la dirección “X” e “Y” para la estructura convencional, con aisladores y con disipadores.

Tabla 68. Resultados de aceleraciones de entrepiso en “cm/s²” en la dirección “X”

NIVEL	ACELERACIONES			% de variación de aceleraciones		
	CONVENCION AL	CON AISLADORES	CON DISIPADORES	CONVENCION AL	CON AISLADORES	CON DISIPADORES
Nivel 12	3475.31	615.81	1177.67	100.00%	17.72%	33.89%
Nivel 11	3162.20	507.45	997.22	100.00%	16.05%	31.54%
Nivel 10	2894.08	414.84	877.31	100.00%	14.33%	30.31%
Nivel 9	2667.99	352.28	803.62	100.00%	13.20%	30.12%
Nivel 8	2408.58	309.18	748.06	100.00%	12.84%	31.06%
Nivel 7	2102.98	284.45	696.23	100.00%	13.53%	33.11%
Nivel 6	1799.51	294.75	659.00	100.00%	16.38%	36.62%
Nivel 5	1541.90	327.40	636.66	100.00%	21.23%	41.29%
Nivel 4	1274.62	356.06	622.74	100.00%	27.93%	48.86%
Nivel 3	999.54	388.85	611.10	100.00%	38.90%	61.14%
Nivel 2	704.95	432.75	590.92	100.00%	61.39%	83.83%
Nivel 1	0.00	470.87	0.00			
MAXIMO	3475.31	615.81	1177.67	100.00%	0.61	33.89%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 69. Resultados de aceleraciones de entrepiso en “cm/s²” en la dirección “Y”

NIVEL	ACELERACIONES			% de variación de aceleraciones		
	CONVENCION AL	CON AISLADORES	CON DISIPADORES	CONVENCION AL	CON AISLADORES	CON DISIPADORES
Nivel 12	5173.42	528.78	833.91	100.00%	10.22%	16.12%
Nivel 11	4648.31	441.50	728.16	100.00%	9.50%	15.66%
Nivel 10	4138.22	362.46	653.83	100.00%	8.76%	15.80%
Nivel 9	3655.90	302.05	588.37	100.00%	8.26%	16.09%
Nivel 8	3182.19	263.73	530.87	100.00%	8.29%	16.68%
Nivel 7	2728.14	238.13	485.04	100.00%	8.73%	17.78%
Nivel 6	2277.21	252.11	451.11	100.00%	11.07%	19.81%
Nivel 5	1850.52	282.17	418.42	100.00%	15.25%	22.61%
Nivel 4	1420.14	316.18	399.27	100.00%	22.26%	28.12%
Nivel 3	1022.96	346.92	383.48	100.00%	33.91%	37.49%
Nivel 2	724.23	375.44	360.55	100.00%	51.84%	49.78%
Nivel 1	0.00	398.04	0.00			
MAXIMO	5173.42	528.78	833.91	100.00%	10.22%	16.12%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Se realiza un análisis comparativo de los resultados de las aceleraciones máximas en la dirección “X”, que se encuentran en el último nivel, donde se observa que el sistema aislado tiene una aceleración igual al 17.72% y el sistema con disipadores de energía una aceleración igual al 33.89% con respecto al sistema convencional.

También se realiza el análisis comparativo de los resultados de las aceleraciones máximas en la dirección “Y”, que se encuentran en el último nivel, donde se observa que el sistema aislado tiene aceleración igual a 10.22% y el sistema con disipadores de energía una aceleración igual a 16.12% con respecto al sistema convencional.

Por lo tanto, se puede verificar que el sistema con aisladores y disipadores tienen unas aceleraciones inferiores al sistema convencional, siendo esto favorable para la disminución del daño en los componentes no estructurales sensibles a la aceleración. Se verifica también que el sistema con aisladores tiene una aceleración menor al sistema con disipadores, por lo cual sería aún más favorable en los daños no estructurales, por lo cual se puede verificar que los sistemas con aislamiento sísmico serían recomendables para edificaciones en donde los elementos no estructurales tienen alta demanda en costos y donde las edificaciones requieran movimientos leves y poco perceptibles.

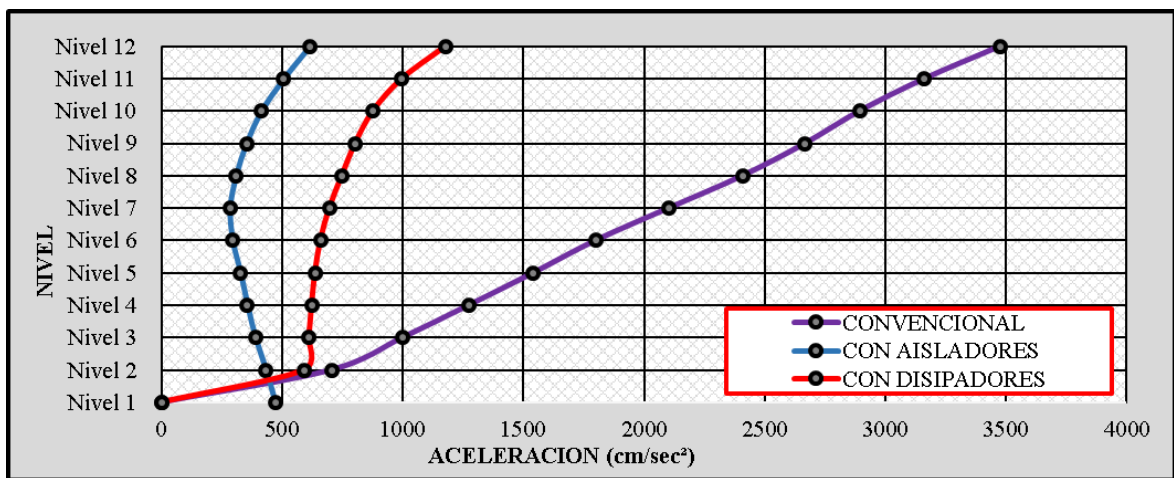


Figura 117. Diagrama de aceleraciones de entrepiso en “cm/s²” en la dirección “X”

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

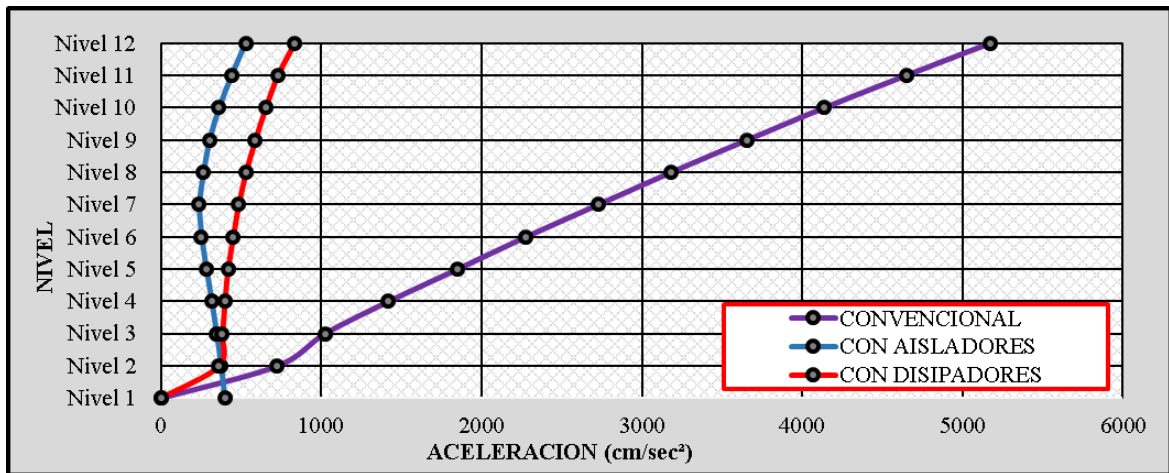


Figura 118. Diagrama de aceleraciones de entrepiso en “cm/s²” en la dirección “Y”

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

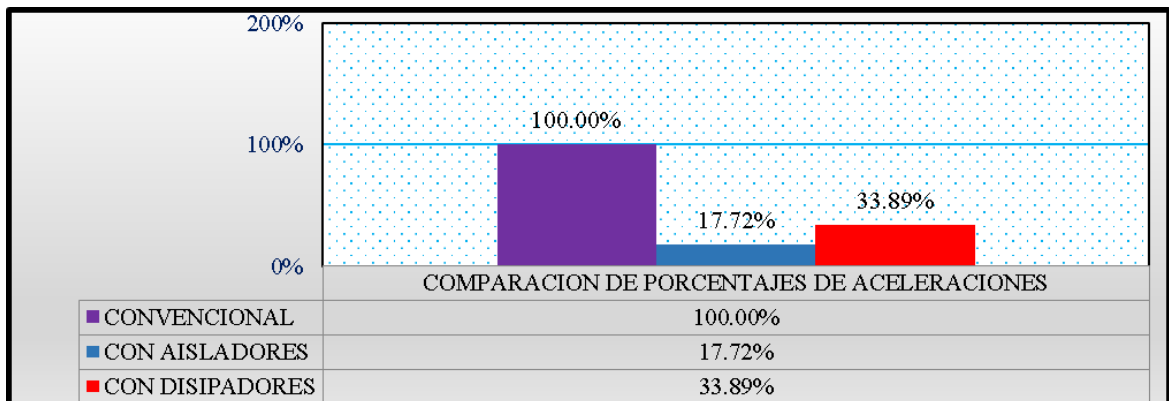


Figura 119. % de variación de aceleraciones de entrepiso en la dirección “X”

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

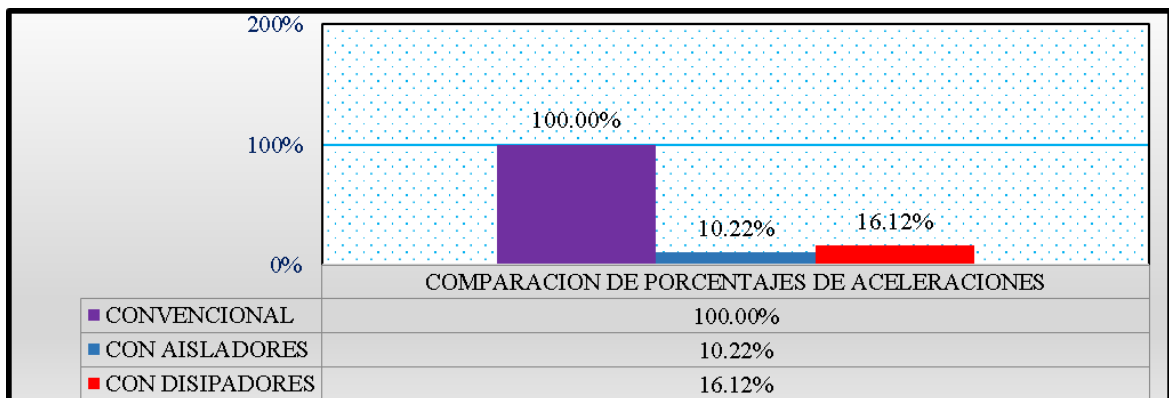


Figura 120. % de variación de aceleraciones de entrepiso en la dirección “Y”

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Se observa que en el sistema con aisladores las respuestas obtenidas de aceleraciones máximas se reducen en la dirección “X” al 17.72% y en “Y” al 10.22%, los cuales representan un aproximado de 5 a 10 veces menores que el sistema convencional.



En la tesis de Cáceres Callo & Aquino Mamani (2017) “Aislamiento sísmico de un hospital de 4 pisos en la región de Arequipa” se obtuvo los valores de aceleraciones en el sistema aislado, que son muchos menores que el sistema con base fija, con valores máximos en el sentido X para el sistema aislado de 1.6 m/s² y 6.46 m/s² para el sistema con base fija, mientras que el sentido Y el valor máximo que toma la aceleración es de 1.56 m/s² y para el sistema de base fija es de 6.33 m/s², como se puede ver en ambos casos las aceleraciones que presentan el sistema con base fija son 5 veces mayores que el sistema con base aislada. (Pag-143).

Por lo tanto, se puede verificar que, en un sistema convencional, los valores de aceleraciones son aproximadamente 5 veces mayores que el sistema con aisladores.

Se observa que en el sistema con disipadores las respuestas obtenidas de aceleraciones máximas se reducen en la dirección “X” al 33.89 % y en “Y” al 16.12 %, los cuales representan un aproximado de la tercera parte en comparación con el sistema convencional.

En la tesis de Enriquez Acosta & Sánchez Guevara (2018) “Evaluación sísmica y propuesta de reforzamiento con disipadores de energía al “hospital nacional Almanzora Aguinaga Asenjo” de Chiclayo – región Lambayeque, actualizado a la norma E.030 2016” evaluada a un edificio de 6 niveles donde se obtuvo los valores de aceleraciones en el sistema con disipadores, que son mucho menores que el sistema convencional, con valores máximos en el sentido X para el sistema con disipadores de 8.27 m/s² y 22.92 m/s² para el sistema con convencional, mientras que el sentido Y el valor máximo que toma la aceleración es de 8.56 m/s² y para el sistema de base fija es de 22.83 m/s², como se puede ver en ambos casos las aceleraciones se reducen al 30% respecto al sistema convencional (Pag.317).

Por lo tanto, se puede verificar que las aceleraciones obtenidas en la investigación de un sistema con disipadores, se reducen a una tercera parte del sistema convencional.

4.1.3. Fuerza cortante en la base

Se obtuvieron las fuerzas cortantes en la estructura, en la dirección “X” e “Y” para la estructura convencional, con aisladores y con disipadores.

Tabla 70. Resultados de fuerza cortante en la base en “ton” en la dirección “X”

NIVEL	CORTANTE BASAL			% de variacion de cortante basal		
	CONVENCION AL	CON AISLADORES	CON DISIPADORES	CONVENCION AL	CON AISLADORES	CON DISIPADORES
Nivel 12	673.52	117.35	197.52	100.00%	17.42%	29.33%
Nivel 11	1377.56	229.43	389.55	100.00%	16.65%	28.28%
Nivel 10	2013.22	316.26	550.03	100.00%	15.71%	27.32%
Nivel 9	2578.39	383.52	686.21	100.00%	14.87%	26.61%
Nivel 8	3077.55	434.93	832.23	100.00%	14.13%	27.04%
Nivel 7	3514.99	470.92	809.61	100.00%	13.40%	23.03%
Nivel 6	3878.95	498.36	911.61	100.00%	12.85%	23.50%
Nivel 5	4161.68	517.16	1056.10	100.00%	12.43%	25.38%
Nivel 4	4361.13	529.06	651.62	100.00%	12.13%	14.94%
Nivel 3	4492.38	535.88	935.88	100.00%	11.93%	20.83%
Nivel 2	4561.13	550.60	1353.59	100.00%	12.07%	29.68%
Nivel 1	0.00	0.00	0.00			
MAXIMO	4561.13	550.60	1353.59	100.00%	12.07%	29.68%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 121. Resultados de fuerza cortante en la base en “ton” en la dirección “Y”

NIVEL	CORTANTE BASAL			% de variacion de cortante basal		
	CONVENCION AL	CON AISLADORES	CON DISIPADORES	CONVENCION AL	CON AISLADORES	CON DISIPADORES
Nivel 12	1023.46	102.13	473.48	100.00%	9.98%	46.26%
Nivel 11	2091.17	200.47	524.72	100.00%	9.59%	25.09%
Nivel 10	3035.61	279.80	609.28	100.00%	9.22%	20.07%
Nivel 9	3860.09	341.12	716.45	100.00%	8.84%	18.56%
Nivel 8	4562.23	388.54	825.08	100.00%	8.52%	18.08%
Nivel 7	5150.10	425.93	935.27	100.00%	8.27%	18.16%
Nivel 6	5626.81	455.43	1069.85	100.00%	8.09%	19.01%
Nivel 5	5988.19	480.93	1224.11	100.00%	8.03%	20.44%
Nivel 4	6248.47	506.03	1439.07	100.00%	8.10%	23.03%
Nivel 3	6411.67	529.74	1613.22	100.00%	8.26%	25.16%
Nivel 2	6512.74	557.83	1675.13	100.00%	8.57%	25.72%
Nivel 1	0.00	0.00	0.00			
MAXIMO	6512.74	557.83	1675.13	100.00%	8.57%	25.72%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Se realiza un análisis comparativo de los resultados de las fuerzas cortantes basales máximas las mismas que se dan en el primer entrepiso. En la dirección “X”, se

observa que el sistema aislado tiene fuerzas cortantes igual a 12.07 % y el sistema con disipadores de energía una fuerza cortante igual a 29.68% con respecto al sistema convencional.

También se realiza el análisis comparativo de los resultados de las fuerzas cortantes basales máximas las mismas que se dan en el primer entrepiso. En la dirección “Y”, se observa que el sistema aislado tiene fuerzas cortantes igual a 8.57 % y el sistema con disipadores de energía una aceleración igual a 25.72% con respecto al sistema convencional.

Por lo tanto, se puede verificar que el sistema con aisladores y disipadores ante un sismo desarrolla mucho menos cortante basal y por lo tanto menores fuerzas en sus elementos estructurales. Tomando en consideración que el sismo utilizado para obtener dichos resultados se encuentra escalado con espectro perteneciente a un sismo máximo considerado, y con un factor de reducción $R=1$ (el cual es un parámetro para un sismo elástico) se puede estimar que los elementos estructurales no incursionaran en el rango inelástico, cumpliendo así el objetivo de un diseño de protección sísmica.

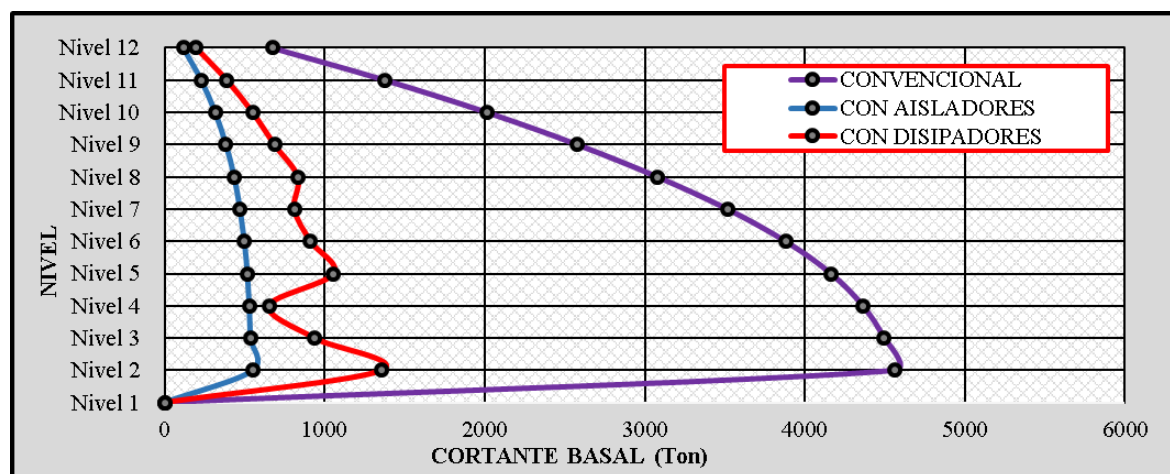


Figura 122. Diagrama de fuerza cortante en la base en “ton” en la dirección “X”

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

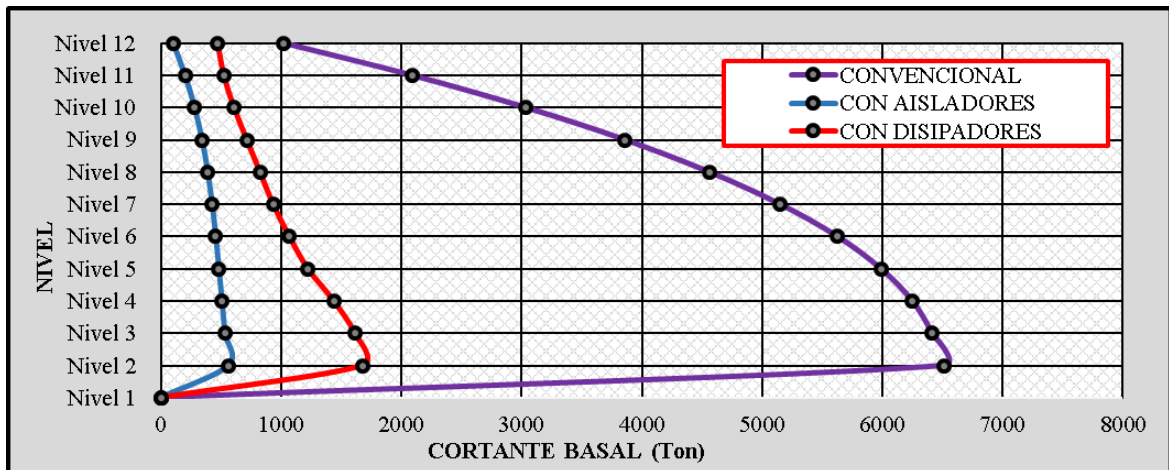


Figura 123. Diagrama de fuerza cortante en la base en “ton” en la dirección “Y”

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

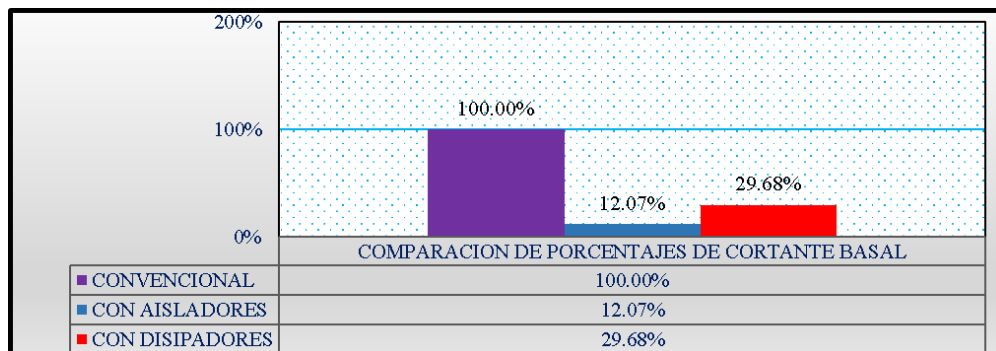


Figura 124. % de variación de fuerza cortante en la base en la dirección “X”

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

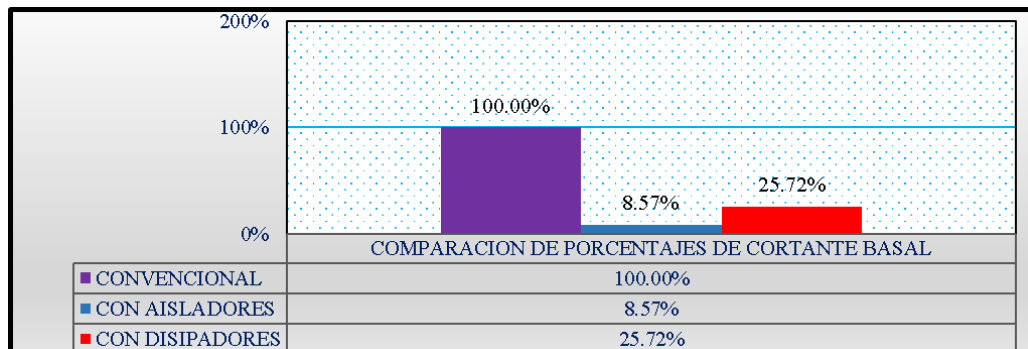


Figura 125. % de variación de fuerza cortante en la base en la dirección “Y”

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.1.4. Desplazamientos laterales absolutos

Se calculó los desplazamientos de entrepiso de la edificación convencional, con aisladores elastoméricos y con disipadores de energía en cada entrepiso y en cada dirección.

Tabla 71. Resultados de desplazamientos laterales en “cm” en la dirección “X”

NIVEL	DESPLAZAMIENTOS			% de variacion de desplazamiento		
	CONVENCION AL	CON AISLADORES	CON DISIPADORES	CONVENCION AL	CON AISLADORES	CON DISIPADORES
Nivel 12	51.04	23.32	8.44	100.00%	45.68%	16.54%
Nivel 11	48.05	23.02	7.86	100.00%	47.90%	16.35%
Nivel 10	44.52	22.65	7.17	100.00%	50.88%	16.10%
Nivel 9	40.45	22.24	6.39	100.00%	54.98%	15.81%
Nivel 8	35.86	21.79	5.59	100.00%	60.78%	15.58%
Nivel 7	30.80	21.31	4.82	100.00%	69.19%	15.66%
Nivel 6	25.38	20.79	4.06	100.00%	81.91%	15.99%
Nivel 5	19.77	20.26	3.27	100.00%	102.51%	16.53%
Nivel 4	14.16	19.73	2.46	100.00%	139.33%	17.37%
Nivel 3	8.83	19.20	1.65	100.00%	217.38%	18.71%
Nivel 2	4.01	18.71	0.82	100.00%	467.00%	20.46%
Nivel 1	0.00	18.29	0.00			
MAXIMO	51.04	23.32	8.44	100.00%	45.68%	16.54%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 72. Resultados de desplazamientos laterales en “cm” en la dirección “Y”

NIVEL	DESPLAZAMIENTOS			% de variacion de desplazamiento		
	CONVENCION AL	CON AISLADORES	CON DISIPADORES	CONVENCION AL	CON AISLADORES	CON DISIPADORES
Nivel 12	36.52	21.30	7.31	100.00%	58.33%	20.02%
Nivel 11	33.24	21.07	6.64	100.00%	63.39%	19.96%
Nivel 10	29.81	20.84	5.94	100.00%	69.91%	19.94%
Nivel 9	26.20	20.61	5.24	100.00%	78.64%	19.99%
Nivel 8	22.45	20.37	4.52	100.00%	90.71%	20.13%
Nivel 7	18.62	20.12	3.79	100.00%	108.08%	20.36%
Nivel 6	14.79	19.88	3.06	100.00%	134.42%	20.68%
Nivel 5	11.07	19.63	2.34	100.00%	177.41%	21.11%
Nivel 4	7.59	19.40	1.64	100.00%	255.63%	21.65%
Nivel 3	4.51	19.18	1.00	100.00%	425.29%	22.20%
Nivel 2	2.02	18.99	0.46	100.00%	939.36%	22.72%
Nivel 1	0.00	18.83	0.00			
MAXIMO	36.52	21.30	7.31	100.00%	58.33%	20.02%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Se realiza un análisis comparativo de los resultados de desplazamientos máximos mismos que se dan en el último nivel. En la dirección “X”, se observa que el sistema aislado presenta un desplazamiento del 45.68% y el sistema con disipadores de energía un desplazamiento igual a 16.54 % con respecto al sistema convencional.

También se realiza el análisis comparativo de los resultados de los desplazamientos máximos, los mismos que se dan en el último nivel. En la dirección “Y”, se observa que el sistema aislado tiene desplazamientos igual a 58.33 % y el sistema con

disipadores de energía tiene desplazamientos igual a 20.02% con respecto al sistema convencional.

Por lo tanto, se puede verificar que el sistema con aisladores y disipadores ante un sismo presenta un desplazamiento menor, con lo que se protege los elementos estructurales. Se puede observar que los desplazamientos en la edificación con aisladores elastoméricos son mayores que los desplazamientos en la edificación con disipadores, estos valores se presentan debido a que los aisladores están desacoplando la estructura de la cimentación por lo que el desplazamiento total en este sistema presentado será igual al desplazamiento que se presenta en los aisladores y la estructura.

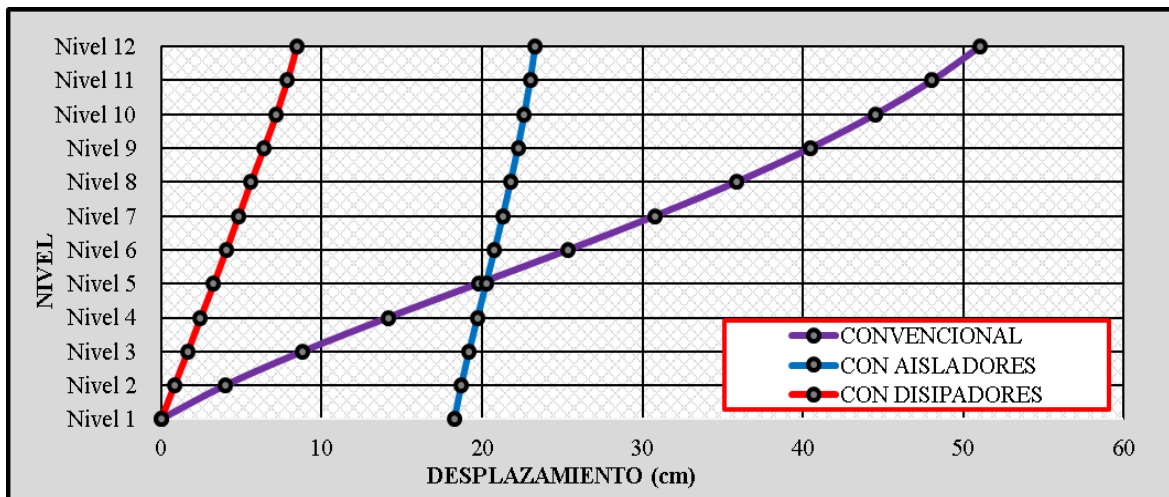


Figura 126. Diagrama de desplazamientos laterales en “cm” en la dirección “X”

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

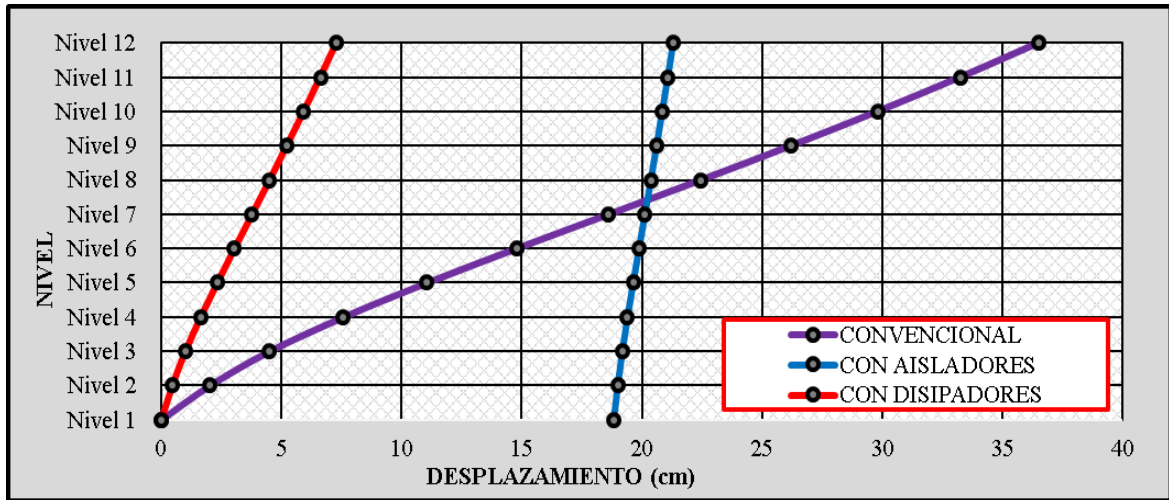


Figura 127. Diagrama de desplazamientos laterales en “cm” en la dirección “Y”

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

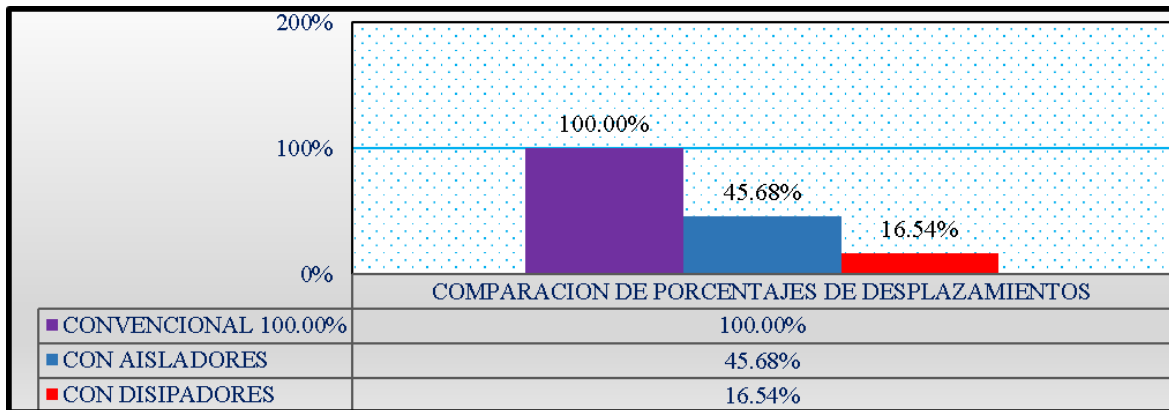


Figura 128. % de variación de desplazamientos laterales en “X”

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

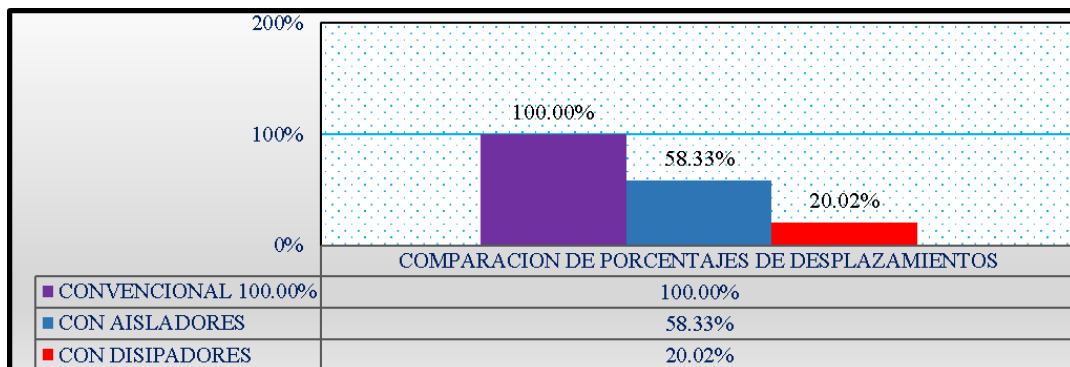


Figura 129. % de variación de desplazamientos laterales en “Y”

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.1.5. Derivas de entrepiso

Tabla 73. Resultados de derivas en la dirección “X”

NIVEL	DERIVAS			% de variacion de deriva		
	CONVENCION AL	CON AISLADORES	CON DISIPADORES	CONVENCION AL	CON AISLADORES	CON DISIPADORES
Nivel 12	0.0107	0.0011	0.0021	100.00%	10.01%	19.47%
Nivel 11	0.0126	0.0013	0.0025	100.00%	10.36%	19.49%
Nivel 10	0.0145	0.0015	0.0028	100.00%	10.06%	19.06%
Nivel 9	0.0164	0.0016	0.0029	100.00%	9.77%	17.54%
Nivel 8	0.0181	0.0017	0.0027	100.00%	9.57%	15.11%
Nivel 7	0.0193	0.0018	0.0027	100.00%	9.55%	14.12%
Nivel 6	0.0201	0.0019	0.0028	100.00%	9.38%	14.08%
Nivel 5	0.0200	0.0019	0.0029	100.00%	9.58%	14.41%
Nivel 4	0.0190	0.0019	0.0029	100.00%	9.88%	15.15%
Nivel 3	0.0172	0.0018	0.0030	100.00%	10.21%	17.26%
Nivel 2	0.0121	0.0013	0.0025	100.00%	10.45%	20.46%
Nivel 1	0.0000	0.0000	0.0000			
MAXIMO	0.0201	0.0019	0.0030	100.00%	9.57%	14.84%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 74. Resultados de derivas en la dirección “Y”

NIVEL	DERIVAS			% de variacion de deriva		
	CONVENCION AL	CON AISLADORES	CON DISIPADORES	CONVENCION AL	CON AISLADORES	CON DISIPADORES
Nivel 12	0.0117	0.0008	0.0024	100.00%	6.91%	20.58%
Nivel 11	0.0123	0.0008	0.0025	100.00%	6.78%	20.14%
Nivel 10	0.0129	0.0008	0.0025	100.00%	6.46%	19.62%
Nivel 9	0.0134	0.0008	0.0026	100.00%	6.35%	19.12%
Nivel 8	0.0137	0.0009	0.0026	100.00%	6.38%	19.02%
Nivel 7	0.0137	0.0009	0.0026	100.00%	6.40%	19.14%
Nivel 6	0.0133	0.0009	0.0026	100.00%	6.54%	19.38%
Nivel 5	0.0124	0.0008	0.0025	100.00%	6.74%	19.94%
Nivel 4	0.0110	0.0008	0.0023	100.00%	7.07%	20.84%
Nivel 3	0.0089	0.0007	0.0019	100.00%	7.60%	21.77%
Nivel 2	0.0061	0.0005	0.0014	100.00%	8.04%	22.72%
Nivel 1	0.0000	0.0000	0.0000			
MAXIMO	0.0137	0.0009	0.0026	100.00%	6.40%	19.13%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Se realiza un análisis comparativo de los resultados de las derivas de entrepiso.

En la dirección “X”, se observa que el sistema aislado presenta una deriva máxima del 9.57% y el sistema con disipadores de energía una deriva igual a 14.84% con respecto al sistema convencional.

En la dirección “Y”, se observa que el sistema aislado tiene derivas iguales a 6.40% y el sistema con disipadores de energía tiene derivas igual a 19.13% con respecto al sistema convencional.

Por lo tanto, se puede verificar que el sistema con aisladores y disipadores ante un sismo presenta derivas inferiores a la analizadas en el sistema convencional, con lo que se protege los elementos estructurales de incursionar en el rango no lineal. Se puede verificar aquí que las derivas de entrepiso del sistema con aislamiento sísmico son menores que el sistema con disipadores de energía, mismos resultados que son inversos al de desplazamientos, esta distorsión de resultados se presenta debido a que el desacople de la estructura en sistema de aislamiento incrementa desplazamientos en la base, con la finalidad de disminuir desplazamientos en la superestructura.

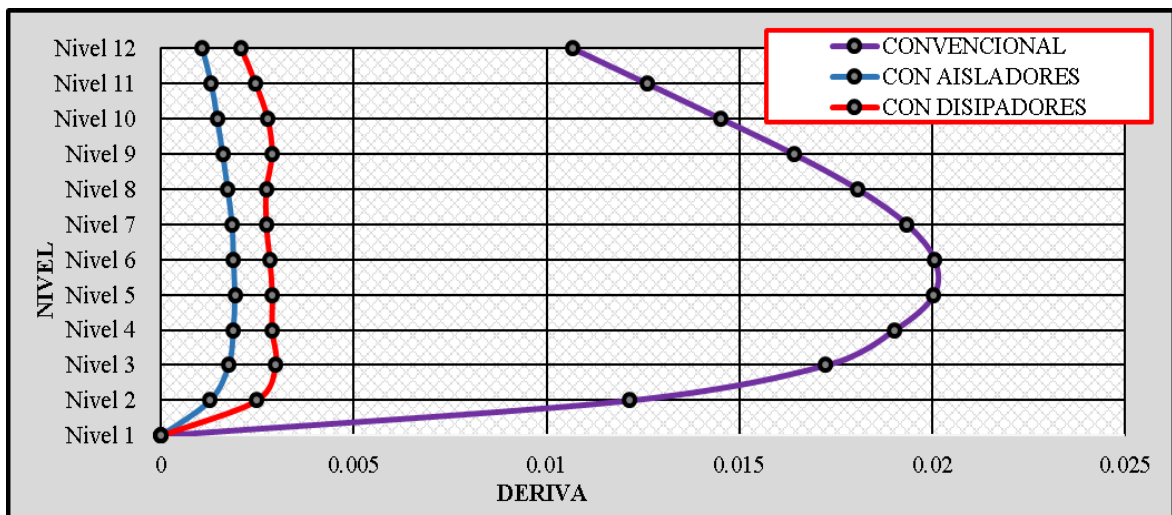


Figura 130. Diagrama de derivas en la dirección "X"

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

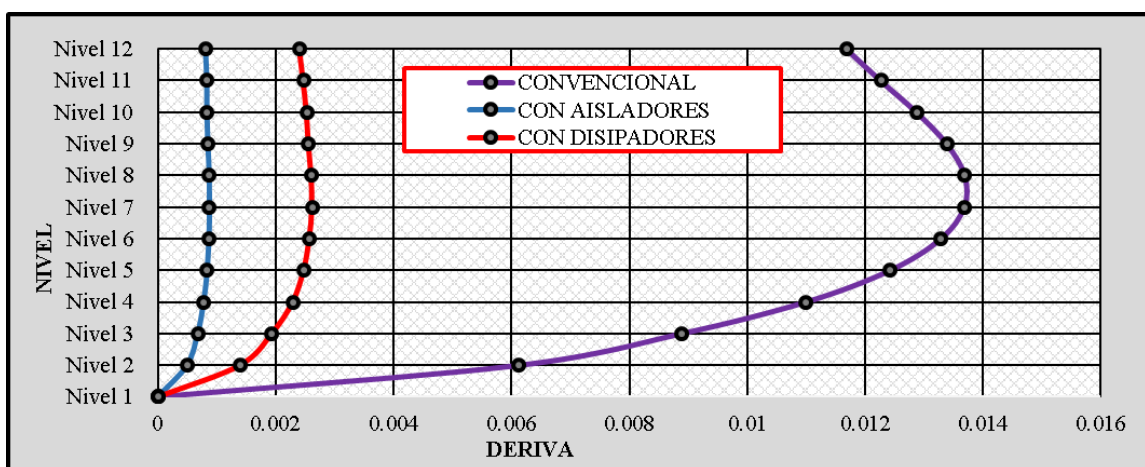


Figura 131. Diagrama de derivas en la dirección "Y"

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

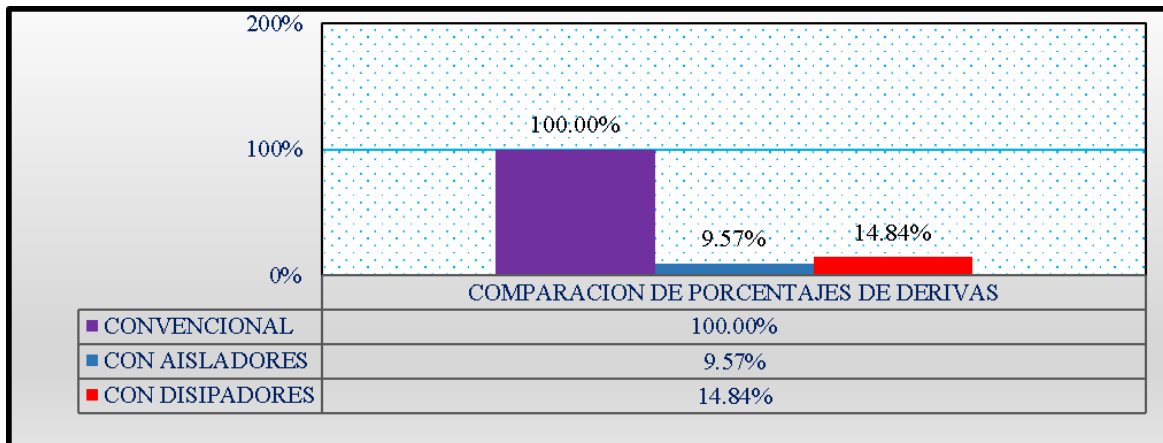


Figura 132. % de variación de derivas en la dirección “X”

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

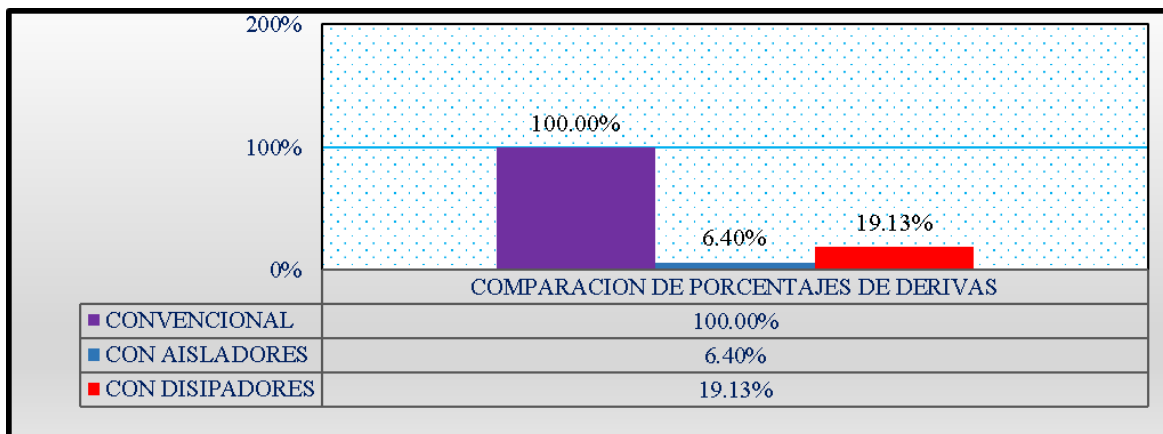


Figura 133. % de variación de derivas en la dirección “Y”

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Se observa que en el sistema con aisladores las derivas máximas obtenidas en la dirección “X” es de 0.0019 y 0.0201 para el sistema convencional, mientras que el sentido “Y” es de 0.0009 y 0.0137 para el sistema convencional. Por lo tanto, las derivas del sistema convencional se reducen en un aproximado de 10%.

En la tesis de Portillo Cazorla, (2019) “Diseño de un hospital con aislamiento sísmico según la normativa peruana”, un hospital de 4 niveles se obtuvo las derivas de entrepiso determinadas mediante un análisis tiempo historia no lineal, en donde las derivas oscilan entre 0.00209 y 0.0038, en el sistema aislado, que son menores que el sistema con base fija que las derivas varían entre 0.032 y 0.067, como se puede ver las



derivas se reducen en un aproximado de 10% respecto al sistema convencional (Pag.49 y 52).

Por lo tanto, se puede verificar que las derivas de entrepiso máximas obtenidos en la investigación de un sistema aislado, se reducen a una décima parte del sistema convencional.

Se observa que en el sistema con disipadores las derivas máximas obtenidas en la dirección “X” es de 0.003 y 0.0201 para el sistema convencional, mientras que el sentido “Y” es de 0.0026 y 0.0137 para el sistema convencional. Por lo tanto, las derivas del sistema convencional se reducen al 14.84% en la dirección “X” al 19.13% en la dirección “Y”.

En la tesis de Enriquez Acosta & Sánchez Guevara (2018) “Evaluación sísmica y propuesta de reforzamiento con disipadores de energía al “hospital nacional Almanzor Aguinaga Asenjo” de Chiclayo – región Lambayeque, actualizado a la norma E.030 2016” evaluada a un edificio de 6 niveles donde se obtuvo los valores de derivas en el sistema con disipadores, que son muchos menores que el sistema convencional, con valores máximos en el sentido “X” para el sistema con disipadores de 0.00608 y 0.02854 para el sistema con convencional, mientras que el sentido “Y” el valor máximo que toma la deriva es de 0.00545 y para el sistema convencional es de 0.0288, como se puede ver en ambos casos las derivas se reducen al 20% respecto al sistema convencional (Pag.279).

Por lo tanto, se puede verificar que las derivas obtenidas en la investigación de un sistema con disipadores, se reducen a una quinta parte del sistema convencional.

4.2. DETERMINACIÓN E INTERPRETACIÓN DE DESEMPEÑO SÍSMICO

Se obtuvo el desempeño sísmico de los sistemas mediante tablas de derivas presentados en el capítulo II.



4.2.1. Desempeño sísmico del modelamiento del sistema convencional

Según los resultados obtenidos en el modelo convencional se tiene una deriva de entrepiso máxima de 0.0196 en la dirección X y de 0.0137 en la dirección Y; ambos valores se encuentran en el intervalo que lo define en un nivel de desempeño de “Cerca al colapso” y un estado de daño “Severo” en sus componentes estructurales. En los componentes no estructurales, según los valores previos de deriva, desarrollaran un nivel de desempeño de “Seguridad de vida” y un estado de daño “Moderado”

Los valores de aceleraciones máximas se presentan en el último nivel de la estructura, en la dirección X se presenta una aceleración máxima de 3.54 gales y en la dirección Y una aceleración máxima de 5.27 gales; ambos valores se encuentran en el intervalo que define a la estructura en su sistema no estructural sensible a la aceleración, en un nivel de desempeño de “Colapso”, y en un estado de daño “Completo”.

Interpretando los niveles y estados de daño alcanzados por la estructura diseñada en una estructuración convencional, sometida a un Sismo máximo considerado (Sismo muy raro con 2% de probabilidades de ser excedida en 2475 años), se puede concluir según HAZUS, que la edificación en su componente estructural, presentara algunos elementos estructurales (vigas, columnas y muros), que alcancen o se encuentren cerca de su límite de ductilidad, presentando también grietas grandes, provocadas por la flexión cíclica de los elementos durante el sismo, mismo que origina el pandeo permanente los refuerzo principales, la rotura y falla de estribos resistentes al corte, y por la cantidad de elementos estructurales en su estado dúctil se puede presentar un colapso parcial del edificio. En el componente no estructural sensible a la deriva la edificación presenta muros de tabiquería los mismos que presentaran en algunos de ellos grietas grandes, siendo necesario en ciertos casos un reemplazo y en otras una reparación, los acabados en su mayoría requieren el reemplazo de los mismos. En los componentes no estructurales

sensibles a la aceleración, la edificación presenta un equipo de ascensor mismo que pertenece al equipamiento, el mismo que tendrá un daño completo del ascensor por la falla de sus soportes, su carril doblado y el ascensor descarrilado. Se resume que la estructura convencional se encontrara en un estado de colapso parcial, con muros que presentan grietas grandes, acabados para reemplazar y su equipo de ascensor con un daño completo.

4.2.2. Desempeño sísmico del modelamiento del sistema con aisladores elastoméricos

Según los resultados obtenidos en el modelo con aisladores elastoméricos, se tiene una deriva de entrepiso máxima de 0.0019 en la dirección X y de 0.0009 en la dirección Y; ambos valores se encuentran en el intervalo que lo define en un nivel de desempeño de “Totalmente operacional” y un estado de daño “Despreciable o nulo” en sus componentes estructurales y no estructurales.

Los valores de aceleraciones máximas se presentan en el último nivel de la estructura, en la dirección X se presenta una aceleración máxima de 0.6 gales y en la dirección Y una aceleración máxima de 0.54 gales; ambos valores se encuentran en el intervalo que define a la estructura en su sistema no estructural sensible a la aceleración, en un nivel de desempeño de “Operacional”, y en un estado de daño “Leve”.

Interpretando los niveles y estados de daño alcanzados por la estructura con aisladores elastoméricos, sometida a un Sismo máximo considerado (Sismo muy raro con 2% de probabilidades de ser excedida en 2475 años), se puede concluir según HAZUS, que la edificación en su componente estructural, es decir que en sus elementos estructurales (vigas, columnas y muros), desarrollaran un movimiento sin superar el rango elástico, por tal motivo el daño estructural en la edificación será despreciable o nulo. En el componente no estructural sensible a la deriva la edificación presenta muros de tabiquería los mimos que al igual que en el daño estructural no presentaran daños. En los

componentes no estructurales sensibles a la aceleración, la edificación presenta un equipo de ascensor el cual pertenece al equipamiento, el mismo que tendrá un daño leve provocada por movimientos de muy baja intensidad del equipo, mismo movimiento que puede causar el daño de tuberías de conducción pertenecientes a la instalación del equipo. Se resume que la edificación con aisladores elastoméricos, tendrá sus elementos estructurales y muros de tabiquería en perfectas condiciones, sin presencia de rotulas plásticas, ni grietas, el equipo de ascensor presentará algunas tuberías en mal estado, por lo tanto, esta estructura será perfectamente habitable después de un sismo máximo considerado.

4.2.3. Desempeño sísmico del modelamiento del sistema con disipadores de energía de fluido viscoso

Según los resultados obtenidos en el modelo convencional se tiene una deriva de entrepiso máxima de 0.0030 en la dirección X y de 0.0026 en la dirección Y; ambos valores se encuentran en el intervalo que lo define en un nivel de desempeño de “Operacional” y un estado de daño “Leve” en sus componentes estructurales. En los componentes no estructurales, según los valores previos de deriva, desarrollaran un nivel de desempeño de “Totalmente operacional” y un estado de daño “Despreciable o nulo”

Los valores de aceleraciones máximas se presentan en el último nivel de la estructura, en la dirección X se presenta una aceleración máxima de 1.2 gales y en la dirección Y una aceleración máxima de 0.85 gales; ambos valores se encuentran en el intervalo que define a la estructura en su sistema no estructural sensible a la aceleración, en un nivel de desempeño de “Resguardo de vida”, y en un estado de daño “Moderado”.

Interpretando los niveles y estados de daño alcanzados por la estructura diseñada sísmicamente convencional (según RNE) incorporando disipadores de energía de fluido viscoso, sometido a un Sismo máximo considerado (Sismo muy raro con 2% de



probabilidades de ser excedida en 2475 años), se puede concluir según HAZUS, que la edificación en su componente estructural, presentara algunos elementos estructurales (vigas, columnas y muros), los muros presentan leves grietas diagonales, algunas vigas presentan ligeras grietas en donde se proyectan las rotulas plásticas. En el componente no estructural sensible a la deriva la edificación presenta muros de tabiquería en los mismos que no se presentarían daños. En los componentes no estructurales sensibles a la aceleración, la edificación presenta un equipo de ascensor mismo que pertenece al equipamiento, el cual tendrá un daño por los fuertes movimientos del equipo provocada por la aceleración, pueden presentarse fugas provocado por la rotura de tuberías y puede necesitar una realineación de los rieles del equipo de ascensor. Se resume que la estructura con disipadores de energía se encontrara en un estado de daño leve en donde algunos elementos estructurales como muros de corte presentan rajaduras los mismos que dañarían a los acabados por lo que requeriría reparación de acabados, los muros de tabiquería no presentan daños y el ascensor podría requerir un mantenimiento del equipo y sus instalaciones.

4.2.4. Comparación del desempeño sísmico

Se resume que los sistemas diseñados ante un sismo máximo considerado de 2% en 50 años y con un periodo de retorno de 2475 años, el cual es la amenaza sísmica que define la norma E.031, para el **sistema convencional** se tiene un nivel de desempeño de **prevención al colapso**, para el **sistema con aisladores** se tiene un nivel de desempeño de **totalmente operacional**, para el **sistema con disipadores** se tiene un nivel de desempeño de **operacional**.

Sin embargo, al someterlo a la amenaza de un sismo de diseño de 10% en 50 años y con un periodo de retorno de 475 años, el cual es definido por la norma E.030, sus

niveles de desempeño alcanzan a **seguridad de vida** en el **sistema convencional**, **totalmente operacional** en el **sistema con disipadores** y **sistema con aisladores**.

Nivel de desempeño sísmico						
Nivel de movimiento sísmico	Sistema convencional	Totalmente operacional	Operacional	Seguridad de vida	Prevención del colapso	Colapso
	Sistema con aisladores					
	Sistema con disipadores					
	Sismo frecuente (43 años)					
Sismo ocasional (72 años)						
Sismo raro (475 años)	Sistema aislado			Sistema convencional		
	Sistema con disipadores					
Sismo muy raro (2475 años)	Sistema aislado		Sistema con disipadores		Sistema convencional	

Figura 134. Estado comparativo del desempeño sísmico del sistema de muros estructurales ante sismo raro y muy raro.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

A edificación añadida con aisladores elastoméricos mejora el desempeño sísmico ya que se ubica en un nivel de desempeño totalmente operación en comparación al convencional que está en prevención al colapso, ya que el aislador desacopla la superestructura de la subestructura.

Se puede verificar que el uso de aisladores con núcleo de plomo LRB o disipadores de energía de fluido viscoso mejoran en gran medida el nivel de desempeño de la estructura llegando al nivel “totalmente operacional” en el caso del sistema con aisladores, y al nivel de “operacional” en el sistema con disipadores. Esto representa un gran beneficio en este tipo de estructuras ya que en caso de ser sometida la estructura a un sismo máximo considerado no presentaría daños o en su defecto daños leves.

4.2.4.1. Sistema convencional y aislado

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede confirmar que, al implementar un sistema de aislación sísmica en una estructura se logra un mejor comportamiento estructural respecto a su versión convencional con altos niveles de seguridad y protección

sísmica tanto de la estructura como de los contenidos, tal como concluye la investigación: “Aislación sísmica de un edificio de oficinas de siete pisos. (Análisis comparativo de comportamiento y costos con un edificio tradicional)” (Arriagada, 2005)

Por otra parte, también se llega a confirmar que: el sistema con aislamiento sísmico las derivas máximas de entrepiso calculadas mediante un análisis tiempo historia no lineal oscilan entre 2.1 y 3.8%, por lo que según los valores recomendados de HAZUS le correspondería un estado de daño leve, las conclusiones de la investigación: “Diseño de un hospital con aislamiento sísmico según la normativa peruana” (Portillo, 2019).

En la investigación: “Análisis y diseño estructural con aisladores sísmicos del hospital Lucio Aldazabal Pauca de la ciudad de Huancané - Puno - 2015” (Quenta, 2015), también concluye que la incorporación de un sistema de aislación a un sistema convencionales, permite determinar que el sistema aislado presenta mejor respuesta estructural frente a uno convencional.

4.2.4.2. Sistema convencional y con disipadores

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede verificar que, la implementación de un sistema de disipadores de energía en una estructura se logra reducir las derivas de entrepiso de un aproximado de 0.012 que corresponde a un nivel de desempeño cerca al colapso a una deriva menor a 0.005 que corresponde a un nivel de desempeño operacional y de esta manera esperar que el daño estructural ante un sismo sea controlado, tal como concluye la investigación: “protección de una edificación existente con disipadores de energía” (Morales y Contreras, 2012)

4.2.4.3. Sistema aislado y disipadores

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación de la propuesta arquitectónica de una edificación de 12 niveles tiene una esbeltez menor a 1.2, se puede confirmar que, el sistema con los aisladores tiene un mejor desempeño sísmico que los



amortiguadores en edificaciones con esbeltez menor a 1.2, tal como concluye la investigación: “Desempeño sísmico en edificaciones con aisladores elastoméricos y amortiguadores de fluido viscoso” (Herrera, 2018)



V. CONCLUSIONES

- En el presente trabajo de investigación se obtuvo el desempeño sísmico y estados de daño según las tablas descritas en el manual HAZUS 2.1 y la correlación del mismo con el ASCE 41-17; de los modelos estructurales convencional, con aisladores y con disipadores de una edificación de uso común de 12 niveles; a los mismos que se les realizó un análisis sísmico dinámico historia de respuestas escalados mediante un SMC, empleando 07 registros sísmicos correspondientes a sismos ocurridos en Lima (1966), Ancash (1970), Lima (1974), Arequipa (2001), Ica (2007), Puno (2019) y Loreto (2019); considerando como respuestas finales al promedio de resultados calculados para cada registro sísmico escalado.
- Primeramente, se realizó el modelamiento estructural del sistema convencional en conformidad con los lineamientos y verificaciones de la normativa peruana E.030 “Diseño sismorresistente”; la misma que establece una amenaza sísmica de un sismo de diseño de 10% en 50 años con un periodo de retorno de 475 años y un desempeño sísmico de “seguridad de vida”, esta última mencionada implícitamente. Posteriormente se evaluó el sistema mencionado ante un sismo máximo considerado de 2% en 50 años con un periodo de retorno de 2475 años definido por la normativa peruana E.031 donde se logró obtener una deriva 0.0167, alcanzando un nivel de desempeño de “Cerca al colapso”, que representa que los elementos estructurales en su mayoría han llegado a su máxima capacidad pudiendo llegar a un colapso parcial de la edificación; verificando de esta manera que al someter a un sistema convencional de uso común, diseñado bajo estricto cumplimiento de la normativa E.030, el desempeño sísmico es muy desfavorable y no asegura la seguridad de la vida de las personas cuando es sometido ante un SMC.



- Se implementó al modelamiento del sistema convencional, aisladores elastoméricos de núcleo de plomo LRB, siendo este sistema diseñado en conformidad con la normativa peruana E.031 obteniendo las propiedades del aislador tipo LL065G4-C del catálogo de la empresa fabricante Bridgestone. Se sometió al sistema con aisladores elastoméricos a un SMC, obteniendo una respuesta de deriva de 0.0014, que corresponde a un nivel de desempeño de “Totalmente operacional”, donde el daño estructural y no estructural es despreciable, siendo este el escenario más favorable que puede presentar una edificación cuando es expuesto a un sismo.
- Se implementó al modelamiento del sistema convencional, disipadores de energía de fluido viscoso, siendo este sistema diseñando en conformidad con el pre estándar FEMA 356 y estándar ASCE 7-16, siendo necesarios para satisfacer la demanda requerida los disipadores de 500, 1000 y 1500 KN del catálogo Taylor Device. Se sometió al sistema con disipadores de energía de fluido viscoso a un SMC obteniendo una respuesta de deriva igual a 0.0028, que corresponde a un nivel de desempeño de “Operacional” cuando es sometido a un sismo máximo considerado, siendo este un escenario favorable para la protección de elementos estructurales, no estructurales, y por ende para la seguridad de las personas.
- Se concluye que tanto el sistema con aisladores elastoméricos como el de disipadores de energía de fluido viscoso, mejoran ampliamente el desempeño sísmico en comparación con el sistema convencional de la edificación de uso común, pasando de un desempeño de estar “cerca al colapso” en el sistema convencional a un nivel de desempeño de “totalmente operacional” para el sistema con aisladores y “operacional” para el sistema con disipadores, proponiendo de esta manera dos alternativas de solución para el desfavorable nivel de desempeño sísmico que presenta el modelamiento estructural convencional de la edificación sometido a un SMC.



VI. RECOMENDACIONES

- Para la obtención del desempeño sísmico y estados de daño según el HAZUS 2.1 se recomienda usar la tabla mediante rangos de valores como se presenta en la figura 8 ya que en las tablas presentadas en la publicación HAZUS, no se menciona explícitamente la manera adecuada de usarla. En el análisis no lineal tiempo - historia se recomienda el uso mínimo de 07 o considerar el mayor número de registros sísmicos ya que así, se podrá realizar un promedio de los resultados que se obtendrán de estaciones aceleró métricas, así también evitar el sobredimensionamiento y representar de la mejor manera posible el peligro sísmico.
- De las conclusiones llegadas por la presente investigación se pudo verificar que el desempeño sísmico alcanzado por el modelamiento estructural convencional es de “cerca al colapso” por lo mismo que no asegura la seguridad de vida de las personas cuando es sometido a un sismo máximo considerado; por lo cual se recomienda realizar un diseño conservador cuando se siguen los lineamientos y verificaciones de la normativa E.030.
- De las características de un sistema con aisladores elastoméricos se verifica un incremento del periodo en 2 o 3 veces con respecto al convencional, por lo cual se recomienda verificar antes de proponer un sistema de aislamiento una verificación de la efectividad de este, en función a los periodos de la estructura convencional a la que se le añadirá aisladores; por ejemplo: En una edificación muy alta donde ya se tiene un periodo alto, al añadirle aisladores el periodo de este será incrementado aún más, por ende la reducción de respuestas será cada vez menor, incluyendo un riesgo por volteo. De todo lo descrito en el presente párrafo se puede recomendar para futuras investigaciones, un análisis de la efectividad de un sistema de aislamiento sísmico en función de la altura y esbeltez de la edificación.



- El aporte principal de la implementación de un sistema de disipadores de energía de fluido viscoso, en una edificación convencional, es la propiedad de amortiguamiento que para casos reales puede llegar hasta un 30% respecto al crítico. Motivo por el cual esta alternativa de solución estructural, por tener una limitante de amortiguamiento no disminuirá las respuestas estructurales en gran medida, es por esto que si se opta por esta solución previamente se recomienda verificar que la rigidez de la estructura sea óptima y rigidizar la estructura de ser necesario para alcanzar la solución estructural objetivo.
- De los resultados de la investigación se concluyó que los aisladores elastoméricos reducen en mayor medida el daño estructural y principalmente no estructural de la edificación en comparación con los disipadores de energía de fluido viscoso, por lo que se recomienda el uso de aisladores elastoméricos en edificaciones donde es imperativo salvaguardar los elementos no estructurales como el caso de hospitales.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arriagada Rosas, J. A. (2005). *Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos*. Chile.
- ASCE 41. (2017). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. Virginia: Sociedad Americana de Ingenieros Civiles.
- ASCE 7 Capitulo 18. (2016). *Cargas mínimas de diseño y criterios para edificios y otras estructuras*. Virginia: Sociedad Americana de Ingenieros Civiles.
- ATC. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Redwood City: Applied Technology Council .
- Blasco, A. B. (1994). *Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado* (2 ed.). (C. d. Capítulo de Ingeniería Civil, Ed.) Lima, Peru: Capitulo Ingeniería Civil.
- Bridgestone. (2017). *Seismic isolation product line-up* (Vol. 1).
- Cáceres Callo , Y., & Aquino Mamani, C. A. (2017). *Aislamiento sísmico de un hospital de 4 pisos en la región de Arequipa*. Arequipa: Universidad Nacional San Agustín.
- CGMSER. (2020). Obtenido de evaluaciones estructurales: <https://www.cgmsr.com/evaluaciones-estructurales>
- Chacón Cruz, C. (2018). *Eficiencia de respuesta sísmica de la infraestructura del hospital materno infantil de la ciudad de Juliaca, diseñado con aisladores de base considerando la flexibilidad del suelo*. Juliaca: Universidad Peruana Union.
- Chavez, J. P. (2016). *Análisis, Diseño y Efectos de Interacción Sísmica Suelo – Estructura con Disipadores de Energía Viscosos – Taylor, en un Edificio Aporticado de 5 Niveles en la Urbanización Buenos Aires, Distrito de Nuevo Chimbote - 2016*. Chimbote: Universidad Cesar Vallejo.



- Chopra, A. K. (2014). *Dinamica de estructuras*. Estado de Mexico: Cámara Nacional de la Industria.
- E.020 Cargas. (1996). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- E.030 Diseño Sismorresistente. (2016). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- E.030 Diseño Sismorresistente. (2018). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- E.031 Aislamiento Sísmico. (2019). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- E.050 Suelos y Cimentaciones. (2018). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- E.060 Concreto Armado. (2009). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Enriquez Acosta, M. A., & Sánchez Guevara, C. F. (2018). *Evaluación sísmica y propuesta de reforzamiento con disipadores de energía al “Hospital Nacional Almanzor Aguinaga Asenjo” de Chiclayo – región Lambayeque, actualizado a la norma E.030 2016”*. Lambayeque: Universidad Señor de Sipan.
- FEMA 274. (1997). *NEHRP Comentary on the guidelines for the seismic rehabilitation of buldings*. Washintong, D.C: Federal Emergency Management Agency.
- FEMA 356. (2000). *Prestandard and comentary for the seismic rehabilitation of buldings*. Washintong, D.C: Federal Emergency Management Agency.
- Fuentes, J. C. (2015). *Análisis sísmico de una edificación con disipadores de fluido viscoso*. Lima: Pontificie Universidad Catolica del Perú.



- HAZUS. (2010). *Departamento de Seguridad Nacional Agencia Federal para el Manejo de Emergencias División de Mitigación Washington, D.C.* Washington, D.C: Federal Emergency Management Agency.
- Herrera Mena, T. T. (2018). *Desempeño sísmico en edificaciones con aisladores elastoméricos y amortiguadores de fluido viscoso*. Piura: Universidad de Piura.
- Instituto Geofísico del Perú. (s.f.). *Glosario*. Obtenido de IGP: <https://www.igp.gob.pe/servicios/informacion-acelerometrica/informacion-acelerometrica>
- Medina, N. J. (2016). *¿Sabes cuál es la diferencia entre un código, un estándar una práctica recomendada y una publicación?* Obtenido de <https://es.linkedin.com/pulse/sabes-cu%C3%A1-es-la-diferencia-entre-un-c%C3%B3digo-est%C3%A1ndar-una-medina>
- Miyamoto y Galiani. (2011). *Performance based engineering by using seismic dampers*. Miyamoto International.
- Nch 2745. (2003). *Diseño de edificios con aislación sísmica*. Santiago: Instituto Nacional de Normalización.
- Portillo Cazorla, A. R. (2019). *Diseño de un hospital con aislamiento sísmico según norma E.031*. LIMA: Pontificie Universidad Católica del Perú.
- Quenta Yanapa, A. F. (2017). *Análisis y diseño estructural con aisladores sísmicos del hospital Lucio Aldazabal Pauca de la ciudad de Huancané - Puno - 2015*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Reitherman, C. A. (1987). *Configuración y diseño sísmico de edificios*. Mexico: LIMUSA.



- Ruiz Carrillo, C. N., & Torres Reino, Á. I. (2018). *Análisis comparativo del comportamiento sísmico dinámico de estructuras esenciales con aisladores de base del tipo elastomérico con núcleo de plomo LRB y disipadores tipo contraventeos restringidos al pandeo BRB*. Ecuador.
- Sampieri, D. R. (2015). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). México: McGraw Hill.
- SEAOC. (1986). *Tentative Seismic Isolation Design Requirements*. Estados Unidos: Structural Engineers Association of California.
- SEAOC. (1995). *COMMITTEE VISION 2000*. Structural Engineers Association of California.
- Villareal y Oviedo. (2009). *Edificaciones con disipadores de energía*. Lima: ANR.



ANEXOS



ANEXOS N° 01

MODELAMIENTO DEL SISTEMA CONVENCIONAL EN ETABS

V19.1.1

MODELAMIENTO DEL SISTEMA CONVENCIONAL EN ETABS V19.1.1

Se realizó el modelamiento de la vivienda multifamiliar en el programa computacional Etabs V19.1.1, se dibuja los elementos estructurales considerando los datos del pre dimensionamiento, metrado de cargas, característica de materiales y los datos para el diseño sísmico.

Paso 1: Abrir programa computacional ETABS V19.0.0

Se ejecuta el programa ETABS V19.0.0

Del menú principal (parte superior), se elige la opción de File/New Model. Esta acción llevará a la ventana de Model Initialization, se selecciona Use Built-in Settings With y clic en OK.

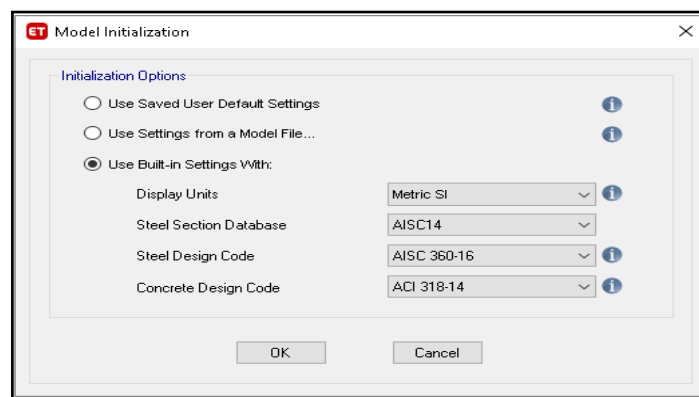


Fig N° 1. Ventana de nuevo modelo

Fuente: Programa computacional ETABS V19.0.0

Esta acción llevará a la ventana de New Model Quick templates y clic en OK.

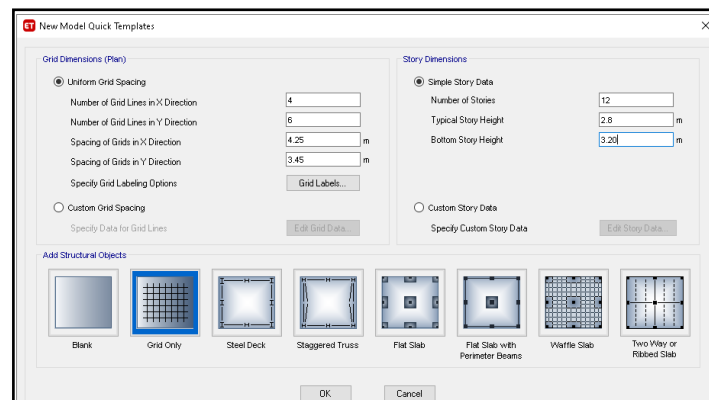


Fig N° 2. Ventana de nuevo modelo plantillas rápidas

Fuente: Programa computacional ETABS V19.0.0

Paso 2: Definir unidades

Se selecciona las unidades en las que deseamos trabajar (Ton, m, C). Esta opción se encuentra en la parte inferior derecha de la pantalla principal de ETABS V18.1.1. Clic en la opción Units/ Consistent units y clic en OK.

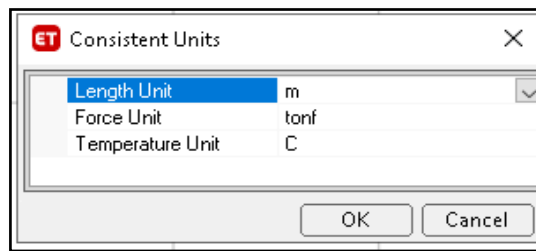


Fig N° 3. Selección de unidades

Fuente: Programa computacional ETABS V19.0.0

Paso 3: Edición de los espacios para graficar la grilla

En la ventana del modelo, se realiza clic derecho y luego elige la opción de Add/ Modific Grid. Esta acción llevará a la ventana de Edit Story and Grid System Data.

En el menú Modify/ Show Story Data, Esta acción llevará a la ventana story Data, se edita las alturas de entrepiso como se muestra a continuación:

Story	Height m	Elevation m	Master Story	Similar To	Splice Story	Splice Height m	Story Color
12avo Nivel	2.8	34	Yes	None	No	0	Green
11avo Nivel	2.8	31.2	No	12avo Nivel	No	0	Cyan
10mo Nivel	2.8	28.4	No	2do Nivel	No	0	Red
9no Nivel	2.8	25.6	No	2do Nivel	No	0	Magenta
8vo Nivel	2.8	22.8	No	2do Nivel	No	0	Yellow
7mo Nivel	2.8	20	No	2do Nivel	No	0	Grey
6to Nivel	2.8	17.2	No	2do Nivel	No	0	Blue
5to Nivel	2.8	14.4	No	2do Nivel	No	0	Light Green
4to Nivel	2.8	11.6	No	2do Nivel	No	0	Cyan
3er Nivel	2.8	8.8	No	2do Nivel	No	0	Red
2do Nivel	2.8	6	Yes	None	No	0	Magenta
1er Nivel	3.2	3.2	Yes	None	No	0	Yellow
Base		0					

Note: Right Click on Grid for Options

Refresh View
OK Cancel

Fig N° 4. Ventana para la edición de alturas

Fuente: Programa computacional ETABS V19.0.0

En el menú Modify/ Show Grid System, Esta acción llevará a la ventana Grid System Data, se edita los espacios para graficar la grilla tanto en X, Y como se muestra a continuación:

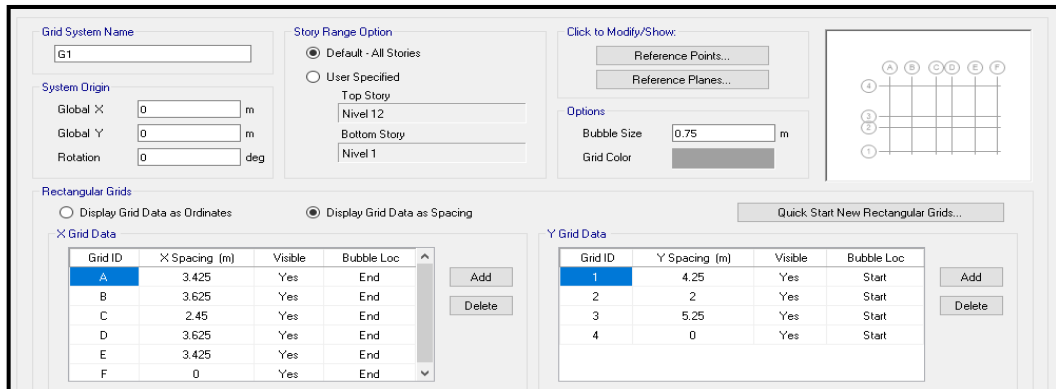


Fig N° 5. Ventana para la edición de alturas

Fuente: Programa computacional ETABS V19.0.0

Paso 4: Definición de propiedades de los materiales

Definimos el material tipo concreto $f'_c=210\text{Kg/cm}^2$ y acero corrugado $f_y=4200\text{Kg/cm}^2$. Para definir las propiedades de los materiales, se selecciona Menú/Define/Material Properties como se muestra en la figura:

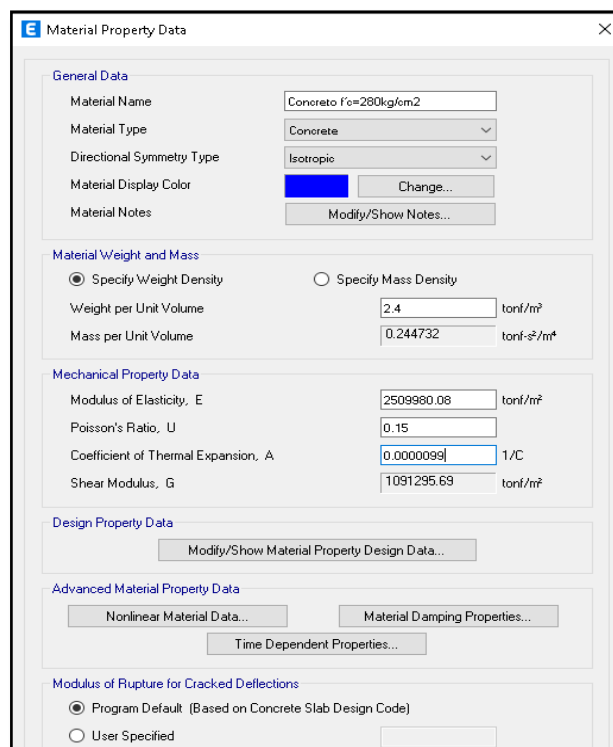


Fig N° 6. Propiedades del Concreto f'_c

Fuente: Programa computacional ETABS V19.0.0

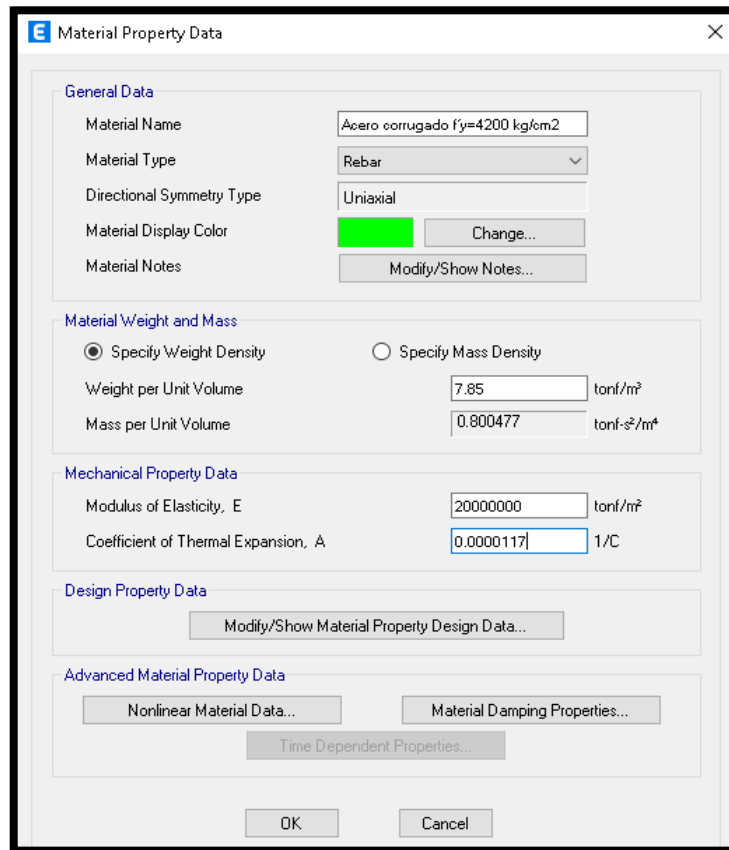


Fig N° 7. Propiedades del Acero Corrugado f_y

Fuente: Programa computacional ETABS V19.0.0

Paso 5: Definición y dibujo de las secciones de los elementos vigas y columnas

Definimos las secciones de los elementos, se selecciona menú/Define/Section Properties/Frame Sections, esta acción llevará a la ventana de Frame Properties, se selecciona Add New Property en el cual se edita las dimensiones de la sección de los elementos estructurales como columna, viga de acuerdo al predimensionamiento y asignamos el tipo de material. Luego se procede a dibujar con las opciones Quick Draw Beams/ Columns (Plan, Elev 3D), Quick Draw Columns (Plan, 3D) y Quick Draw Secondary Beams (Plan, 3D) de acuerdo a la estructuración.

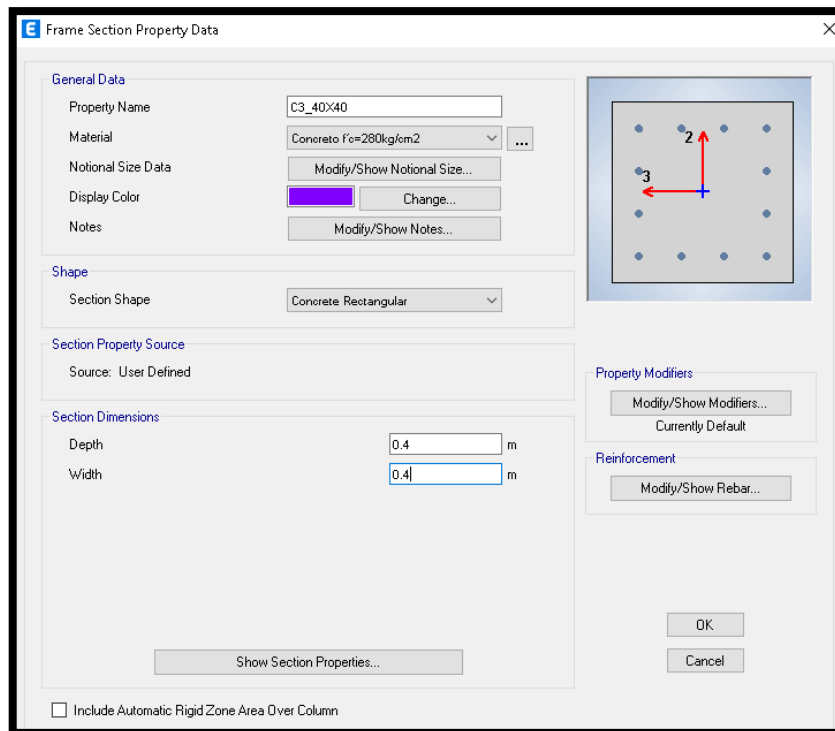


Fig N° 8. Características de la columna C1

Fuente: Programa computacional ETABS V19.0.0

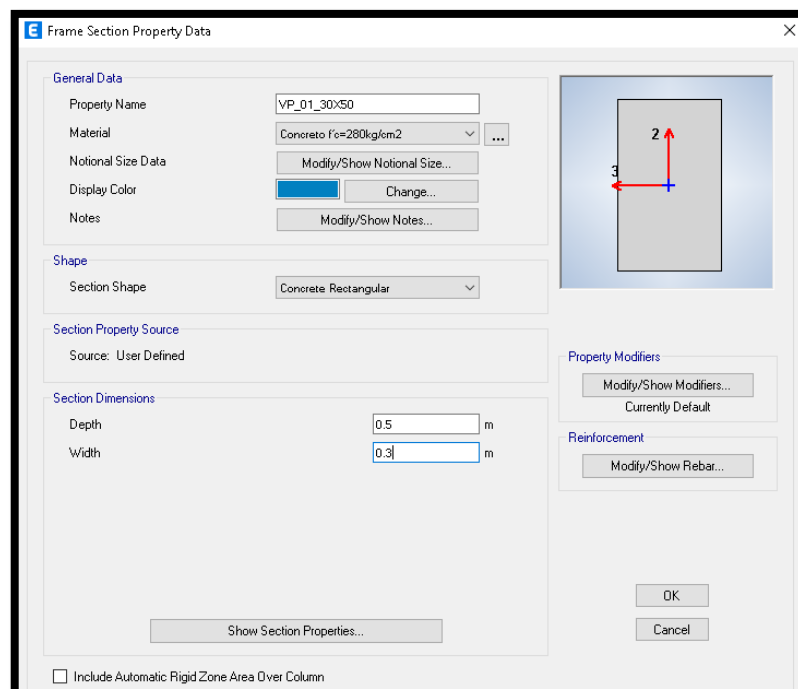


Fig N° 9. Figura 1: Características de la viga principal VP

Fuente: Programa computacional ETABS V19.0.0

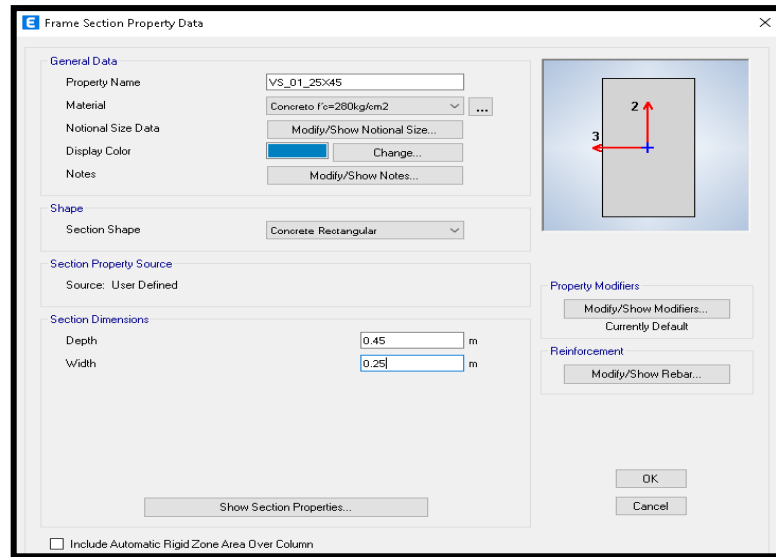


Fig N° 10. Características de la viga secundaria VS

Fuente: Programa computacional ETABS V19.0.0

Paso 6: Definición de las secciones de placas y losa aligerada

Definimos las secciones de los elementos losa aligerada y placa, se selecciona en menu/Define/Section Properties/Slab Section o Wall Section creamos elementos de tipo shell y editamos el espesor de la losa. Luego se procede a dibujar con las opciones Draw Floor/ Wall (Plan, Elev 3D), Draw Rectangular Floor/ Wall (Plan, Elev) y Quick Draw Floor/ Wall (Plan, Elev 3D).

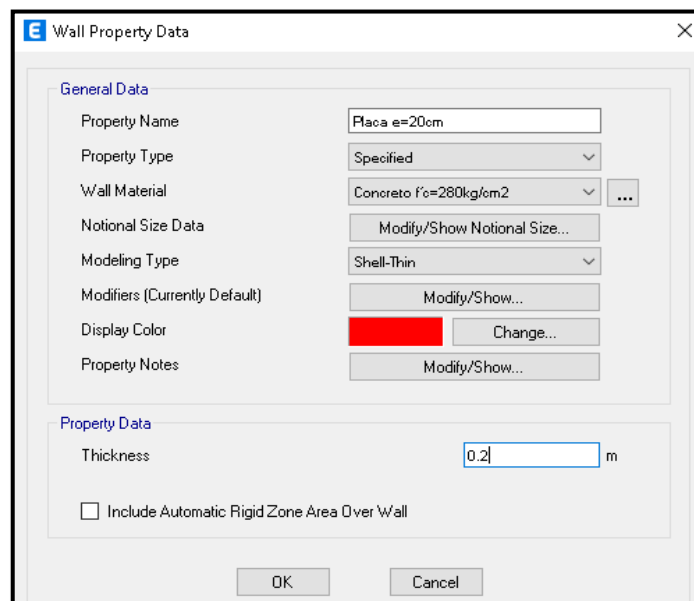


Fig N° 11. Características de la placa e=25cm

Fuente: Programa computacional ETABS V19.0.0

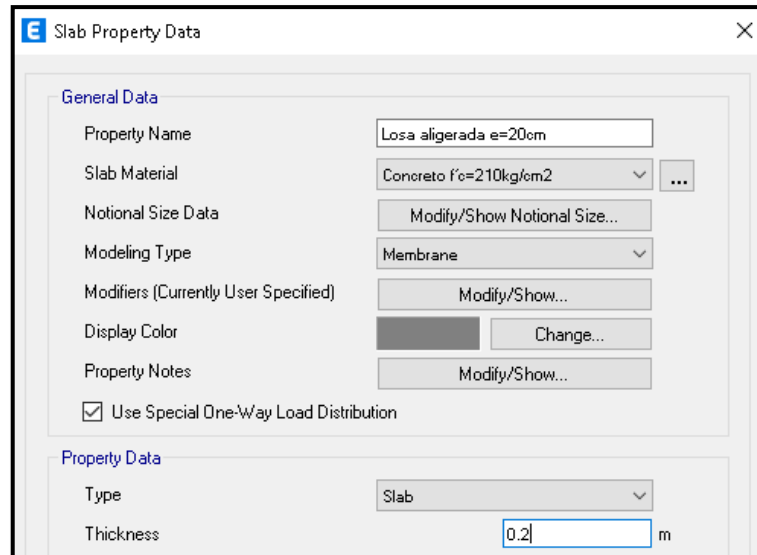


Fig N° 12. Características de la losa aligerada e=20cm

Fuente: Programa computacional ETABS V19.0.0

Paso 7: Definición de las condiciones de apoyos

Se selecciona los apoyos y en menú assign/ joint/ restraints se selecciona el apoyo o soporte fijo (fixed) que restringe los desplazamientos y rotaciones en todas las direcciones.

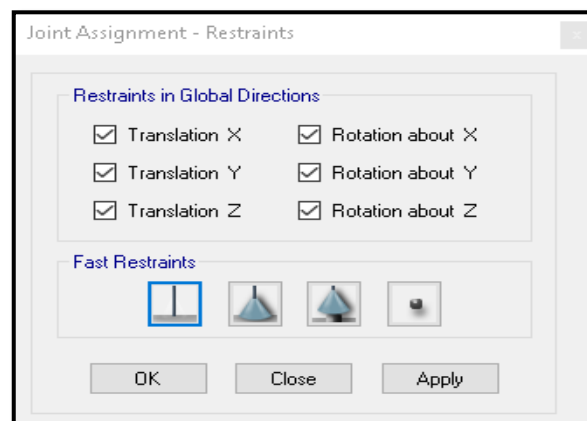


Fig N° 13. Tipo de restricciones en los apoyos

Fuente: Programa computacional ETABS V19.0.0

Paso 8: Definir patrones de carga

Definimos los sistemas de carga, se selecciona en menu/Define/Load Patterns, esta acción llevará a la ventana de Define Load Patterns, se definen los sistemas de cargas: Carga muerta (CM), Carga muerta de tabiquería, acabados e instalaciones (CMS), Carga

viva de techo (L-Azotea), Carga viva (CV), Carga de sismo estático en “X” e “Y” (CSE_x y CSE_y), Carga de sismo dinámico en “X” e “Y” (CSD_x y CSD_y). Editamos los sistemas de carga, como se muestra en la figura:

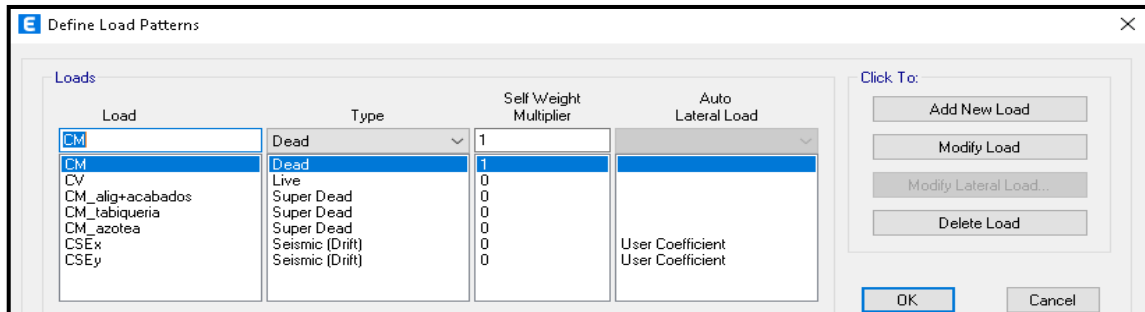


Fig N° 14. Definición de los patrones de carga

Fuente: Programa computacional ETABS V19.0.0

Paso 9: Definir la masa de la estructura

Para definir la masa en nuestro modelo se selecciona Define/Mass Source, en el cual editamos de acuerdo a lo señalado en las normas E.030

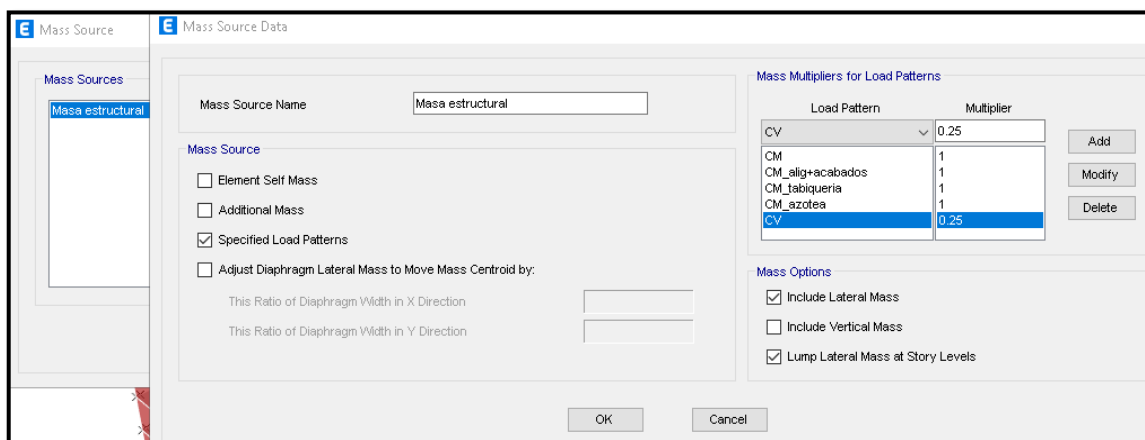


Fig N° 15. Definición masa estructural

Fuente: Programa computacional ETABS V19.0.0

Paso 10: Asignar las cargas a la estructura

Se selecciona los elementos en que se desea asignar cargas, luego se selecciona menú/assign/Shell Load/Uniform y menú/assign/frame loads y se asigna las cargas las distribuidas. Tal como se muestra en la Figura:

Asignación de Carga muerta (SD): De acuerdo a las cargas debidas a tabiquería, acabados e instalaciones.

Asignación de Carga Viva (L): se asigna las cargas de acuerdo al uso del edificio.

Asignación de Carga de techo (L-azotea): Por último, se asigna la carga respectiva de techo.

Paso 11: Definir brazos rígidos para vigas y columnas

Para modelar la unión de las columnas con las vigas en nuestro modelo, se asigna los brazos rígidos, seleccionando assign/frame/end (length) offsets, asignando a todas las vigas, tal como se muestra en la siguiente imagen.

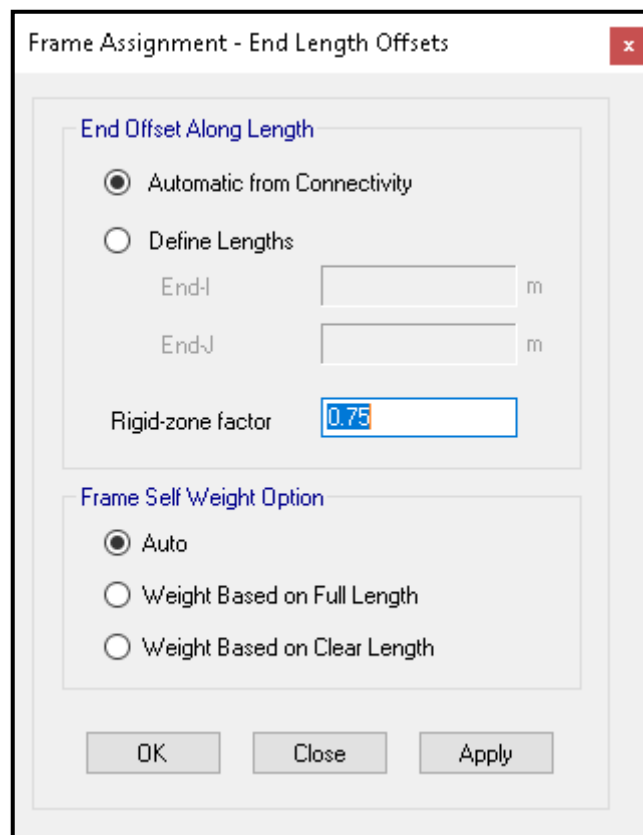


Fig N° 16. Asignación de brazos rígidos

Fuente: Programa computacional ETABS V19.0.0

Paso 12: Definir diafragmas rígidos de entrepiso

Se consideró en el modelo diafragmas rígidos en el plano horizontal, se define en menú/ Define/ Diaphragm esta acción te conlleva a la ventana Define Diaphragm, luego

se crea diafragmas para cada nivel como se muestra en la figura. Se asigna el diafragma seleccionando cada planta e ir a menú/ Asign/ Join/ / Diaphragms, con lo que se estaría considerando el movimiento de los nudos de una manera dependiente por nivel del centro de masas de dicho nivel.

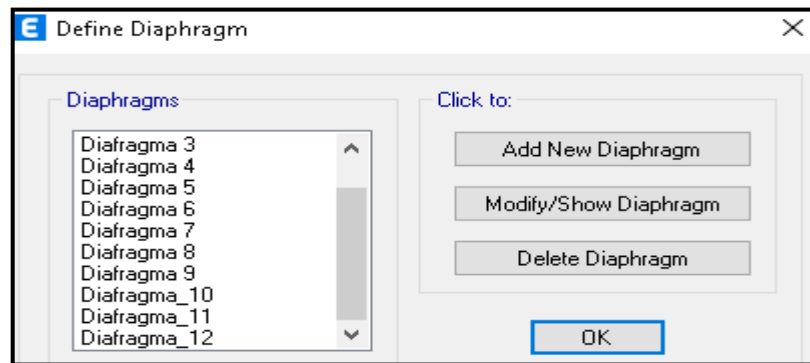


Fig N° 17. Definición de limitación del diafragma

Fuente: Programa computacional ETABS V19.0.0

Paso 14: Modelo de la estructura convencional

Finalmente, se obtiene el modelamiento de la edificación, mostrado a continuación:

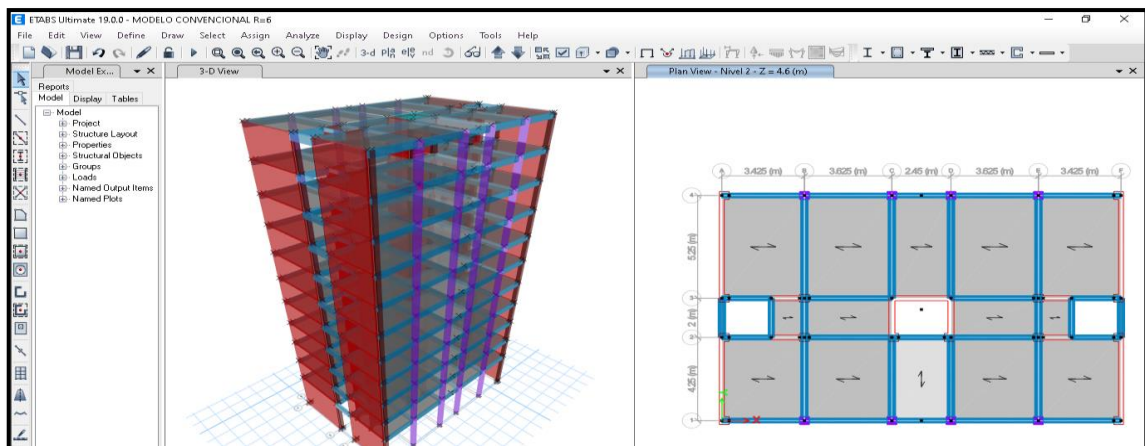


Fig N° 18. Modelo de la estructura

Fuente: Programa computacional ETABS V19.0.0



ANEXOS N° 02

ESPECTRO DE SISMO SEGÚN LA NORMA E.030-2018 PARA

MODELO CONVENCIONAL R=6

ESPECTRO DE SISMO SEGÚN LA NORMA E.030-2018

01 Zonificación, Según E.030-2018 (Art.10)

Departamento :	Provincia :	Distrito :
O21_PUNO	O21_PUNO.	21 PUNO

Zona Sísmica : 3 $Z = 0.35 \text{ g}$

02 Parámetros de Sitio, Según E.030-2018 (Art.12 y 13)

Perfil de Suelo Tipo : S2 Suelos Intermedios

Parámetros de Sitio: Clasificación de los perfiles de suelo:

$S = 1.15$	$V_s = 180 \text{ m/s a } 500 \text{ m/s}$
$T_p = 0.60$	$N_{60} = 15 \text{ a } 50$
$I_L = 2.00$	$S_u = 50\text{kPa a } 100\text{kPa}$



03 Categoría del Edificio, Según E.030-2018 (Art.15)

Categoría del Edificio :	C_Comunes	Edificaciones comunes cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.
Tipo de Edificación :	Vivienda	
$U = 1.00$		

04 Sistema Estructural y Restricciones de Irregularidad, Según E.030-2018 (Art.17 y Art.21)

Sistema Estructural según "C" y "Z" : Cualquier sistema.

Restricciones a la Irregularidad : No se permiten irregularidades extremas

05 Coeficiente Básico de Reducción de Fuerzas Sísmicas, Según E.030-2018 (Art.18)

<p style="text-align: center;"><i>SISTEMA ESTRUCTURAL – DIRECCION "X"</i></p> <p style="text-align: center;">Material : Concreto_armado</p> <p style="text-align: center;">Sistema Estructural :</p> <div style="border: 1px solid red; text-align: center; background-color: #fff9c4; padding: 2px; margin: 5px 0;">Muros estructurales</div> <p style="text-align: center; background-color: #e0f0ff; padding: 2px;">$R_{0x} = 6.00$</p>	<p style="text-align: center;"><i>SISTEMA ESTRUCTURAL – DIRECCION "Y"</i></p> <p style="text-align: center;">Material : Concreto_armado</p> <p style="text-align: center;">Sistema Estructural :</p> <div style="border: 1px solid red; text-align: center; background-color: #fff9c4; padding: 2px; margin: 5px 0;">Muros estructurales</div> <p style="text-align: center; background-color: #e0f0ff; padding: 2px;">$R_{0y} = 6.00$</p>
---	---

Sistema en el que la resistencia sísmica está dada predominantemente por muros estructurales sobre los que actúa por lo menos el 70 % de la fuerza cortante en la base.

Sistema en el que la resistencia sísmica está dada predominantemente por muros estructurales sobre los que actúa por lo menos el 70 % de la fuerza cortante en la base.

06 Factores de Irregularidad, Según E.030-2018 (Art.20)

SISTEMA ESTRUCTURAL – DIRECCION "X"
irregularidad en altura, I_a :

Regular - Sistema Estructural Continuo

$I_{ax} = 1.00$

SISTEMA ESTRUCTURAL – DIRECCION "Y"
irregularidad en altura, I_a :

Regular - Sistema Estructural Continuo

$I_{ay} = 1.00$

irregularidad en Planta, I_p :

Regular - Sistema Estructural Simetrico

$$I_{px} = 1.00$$

irregularidad en Planta, I_p :

Regular - Sistema Estructural Simetrico

$$I_{py} = 1.00$$

07 Coeficiente de Reducción de Fuerzas Sísmicas, Según E.030-2018 (Art.22)

SISTEMA ESTRUCTURAL – DIRECCION "X"

$$R_{0x} * I_{ax} * I_{px} = 6.00$$

SISTEMA ESTRUCTURAL – DIRECCION "Y"

$$R_{0y} * I_{ay} * I_{py} = 6.00$$

08 Período Fundamental de Vibración, Según E.030-2018 (Art.28 Ítem 28.4)

SISTEMA ESTRUCTURAL – DIRECCION "X"
Elementos resistentes en la dirección considerada :

Muros estructurales

$$C_{TX} = 60.00$$

Atura total de la edificación :

$$h_{nx} = 32.60 \text{ m}$$

Período fundamental de vibración :

$$T_X = 0.788 \text{ seg}$$

SISTEMA ESTRUCTURAL – DIRECCION "Y"
Elementos resistentes en la dirección considerada :

Muros estructurales

$$C_{TY} = 60.00$$

Atura total de la edificación :

$$h_{ny} = 32.60 \text{ m}$$

Período fundamental de vibración :

$$T_Y = 0.534 \text{ seg}$$

09 Distribución de fuerza sísmica en altura, Según E.030-2018 (Art.28 Ítem 28.3)

SISTEMA ESTRUCTURAL – DIRECCION "X"

Exponente k relacionado con el período fundamental T :

$$K_X = 1.144$$

SISTEMA ESTRUCTURAL – DIRECCION "Y"

Exponente k relacionado con el período fundamental T :

$$K_Y = 1.017$$

Copiar todos los valores de K_X y K_Y y pegarlos en la generación de patrones de la carga sísmica estática para ambas direcciones de análisis "X" e "Y", en el programa computacional.

Las fuerzas sísmicas horizontales en cualquier nivel :

$$F_i = \alpha_i \cdot V$$

$$\alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_j(h_j)^k}$$

10 Fuerza Cortante en la Base, E.030-2018 (Art. 28 - Ítem 28.2)

SISTEMA ESTRUCTURAL – DIRECCION "X"

$$\text{Fuerza Cortante en la Base : } V_X = \frac{ZUC_x S}{R_x} * P = C_{bx} * P$$

$$\text{Factor de Amplificación Sísmica (C) : } C_X = 1.90$$

El valor de C/R no deberá considerarse menor que :

$$C_X / R_X = 0.317 \geq 0.11 \quad \text{OK}$$

Coefficiente de la Cortante Basal :

$$C_{bx} = 0.128$$

SISTEMA ESTRUCTURAL – DIRECCION "Y"

$$\text{Fuerza Cortante en la Base : } V_Y = \frac{ZUC_y S}{R_y} * P = C_{by} * P$$

$$\text{Factor de Amplificación Sísmica (C) : } C_Y = 2.50$$

El valor de C/R no deberá considerarse menor que :

$$C_Y / R_Y = 0.417 \geq 0.11 \quad \text{OK}$$

Coefficiente de la Cortante Basal :

$$C_{by} = 0.168$$

Copiar todos los valores de C_{bx} y C_{by} y pegarlos en la generación de patrones de la carga sísmica estática para ambas direcciones de análisis "X" e "Y", en el programa computacional.



ESPECTRO DE SISMO DE DISEÑO SEGÚN E.030 2018 (SISTEMA ESTRUCTURAL – DIRECCION “X”)

$$S_a = \frac{ZUCS}{R_x} * g$$

Z = 0.35
U = 1.00
S = 1.15

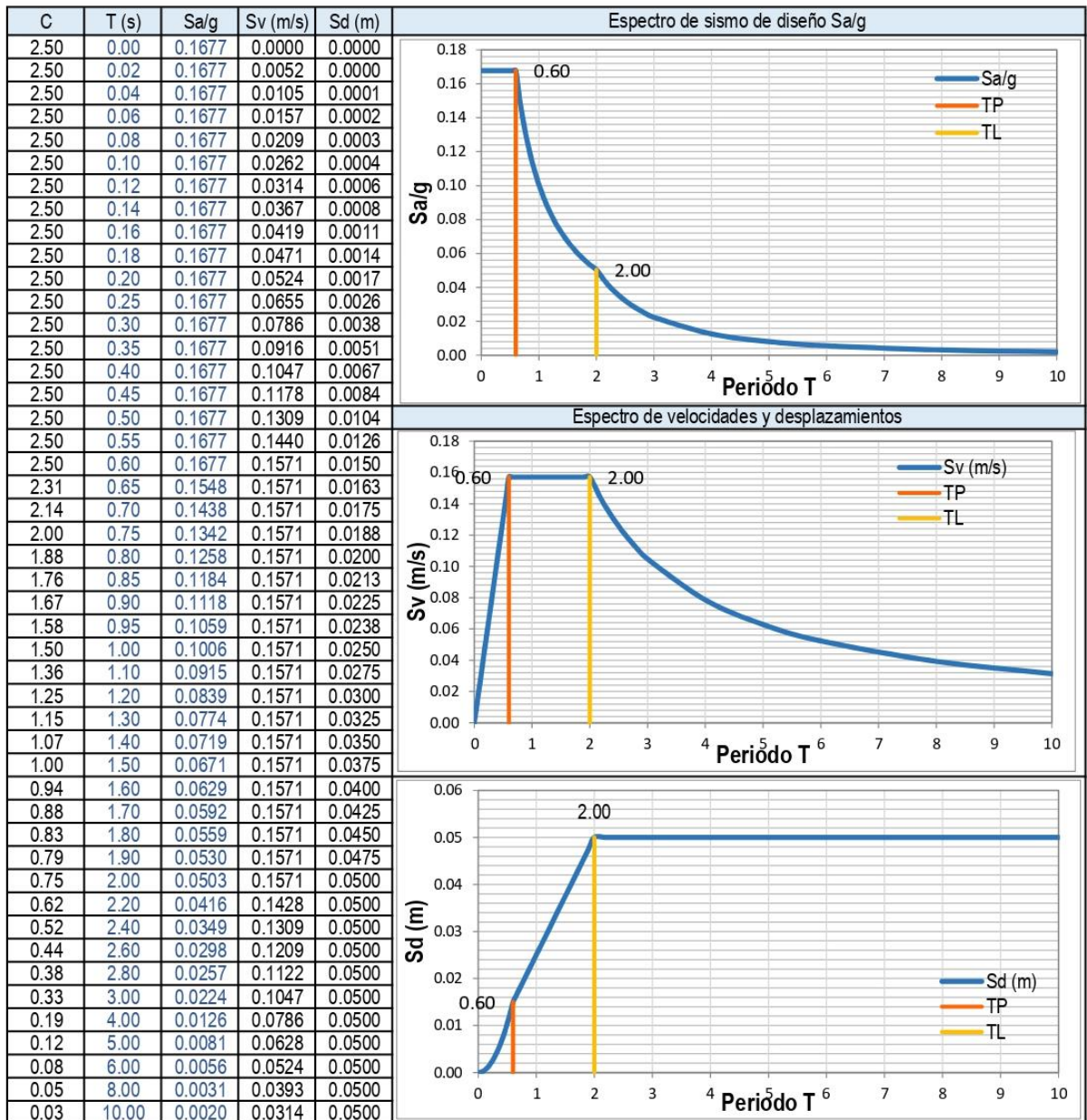
$T_p = 0.60$
 $T_L = 2.00$
 $R_x = 6.00$

$T < T_p \quad C = 2,5$

$T_p < T < T_L$

$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right)$

$T > T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2}\right)$



Copiar todos los valores de T(s) y Sa/g y pegar como valores sin fórmulas en un libro nuevo y guardarlo como texto delimitado por tabulaciones, así podrá importar el espectro de diseño en el programa computacional.

ESPECTRO DE SISMO DE DISEÑO SEGÚN E.030 2018 (SISTEMA ESTRUCTURAL – DIRECCION “Y”)



$$S_a = \frac{ZUCS}{R_y} * g$$

Z = 0.35
U = 1.00
S = 1.15

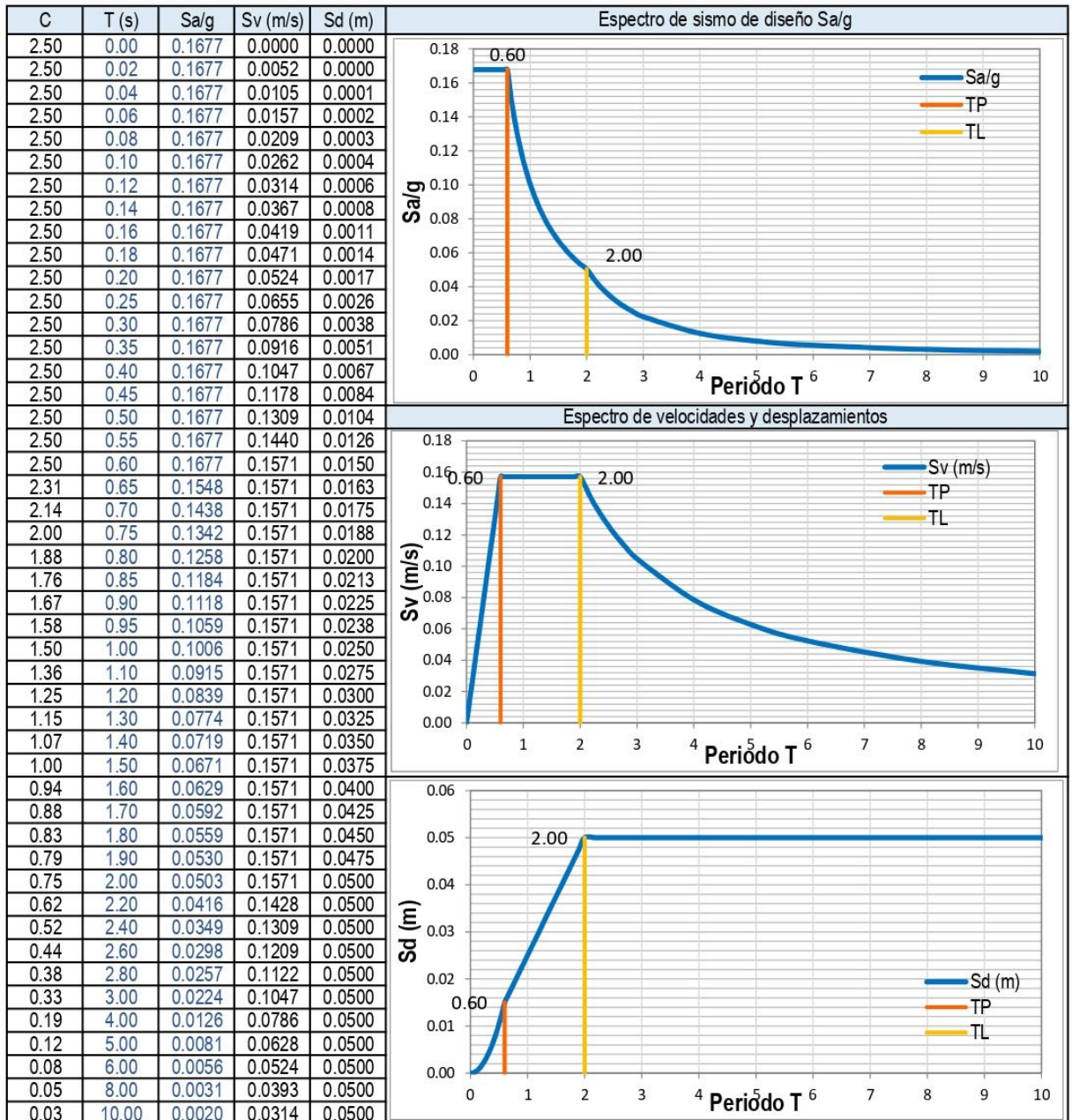
$T_p = 0.60$
 $T_L = 2.00$
 $R_y = 6.00$

$T < T_p \quad C = 2,5$

$T_p < T < T_L$

$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right)$

$T > T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2}\right)$



Copiar todos los valores de T(s) y Sa/g y pegar como valores sin fórmulas en un libro nuevo y guardarlo como texto delimitado por tabulaciones, así podrá importar el espectro de diseño en el programa computacional.

ESPECTRO DE SISMO DE DISEÑO SEGÚN E.030 2018 (SISMO VERTICAL 2/3 DE SISMO DE "X")



$$Sa = \frac{2}{3} * \frac{ZUCS}{Rx} * g$$

$$0.2 * T_p = 0.120$$

Z = 0.35
U = 1.00
S = 1.15

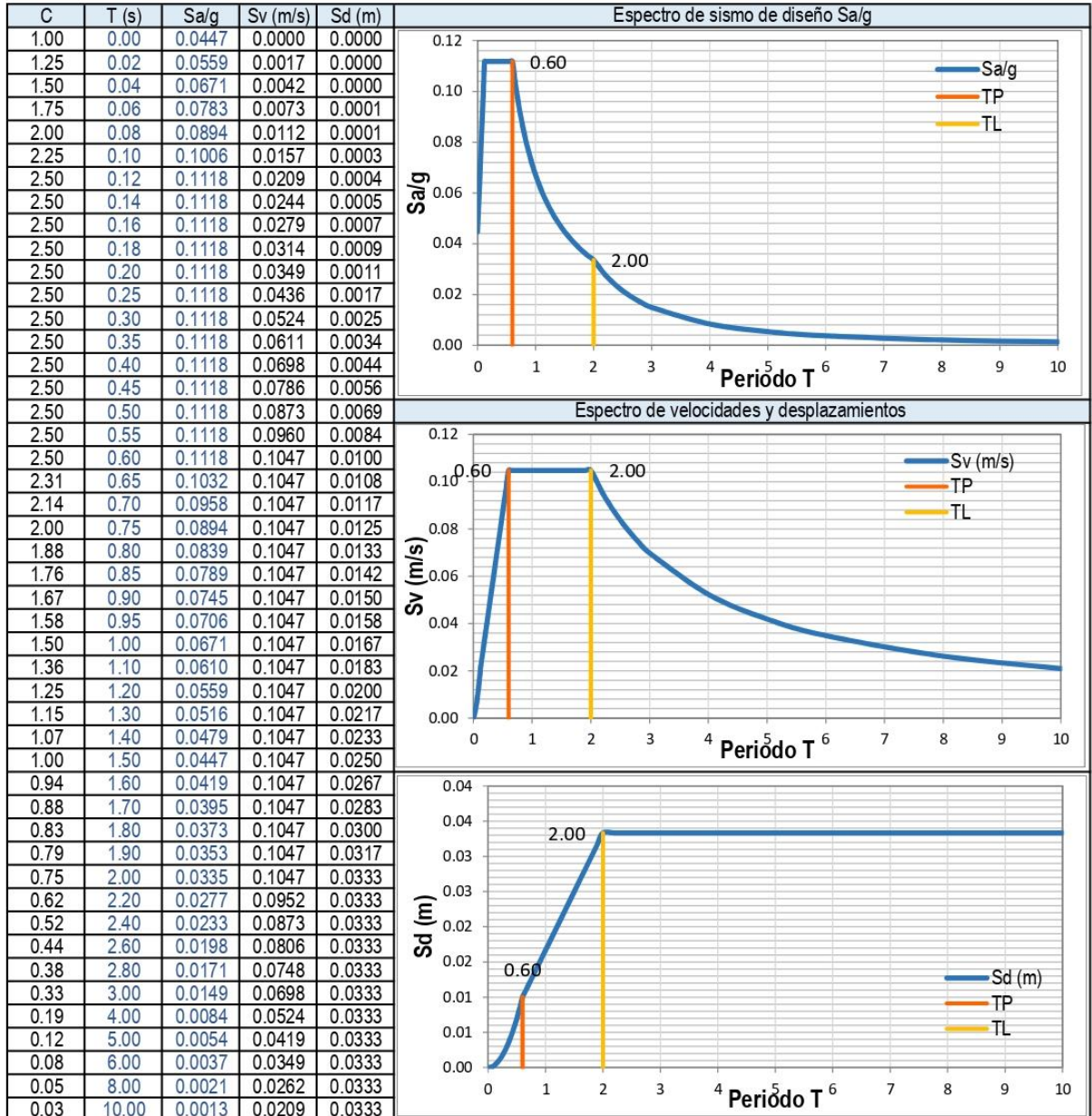
$T_p = 0.60$
 $T_L = 2.00$
 $R_x = 6.00$

$T < T_p$ C = 2,5

$T_p < T < T_L$ C = 2,5 * $\left(\frac{T_p}{T}\right)$

$T > T_L$ C = 2,5 * $\left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2}\right)$

$T < 0,2 T_p$ C = 1 + 7,5 * $\left(\frac{T}{T_p}\right)$



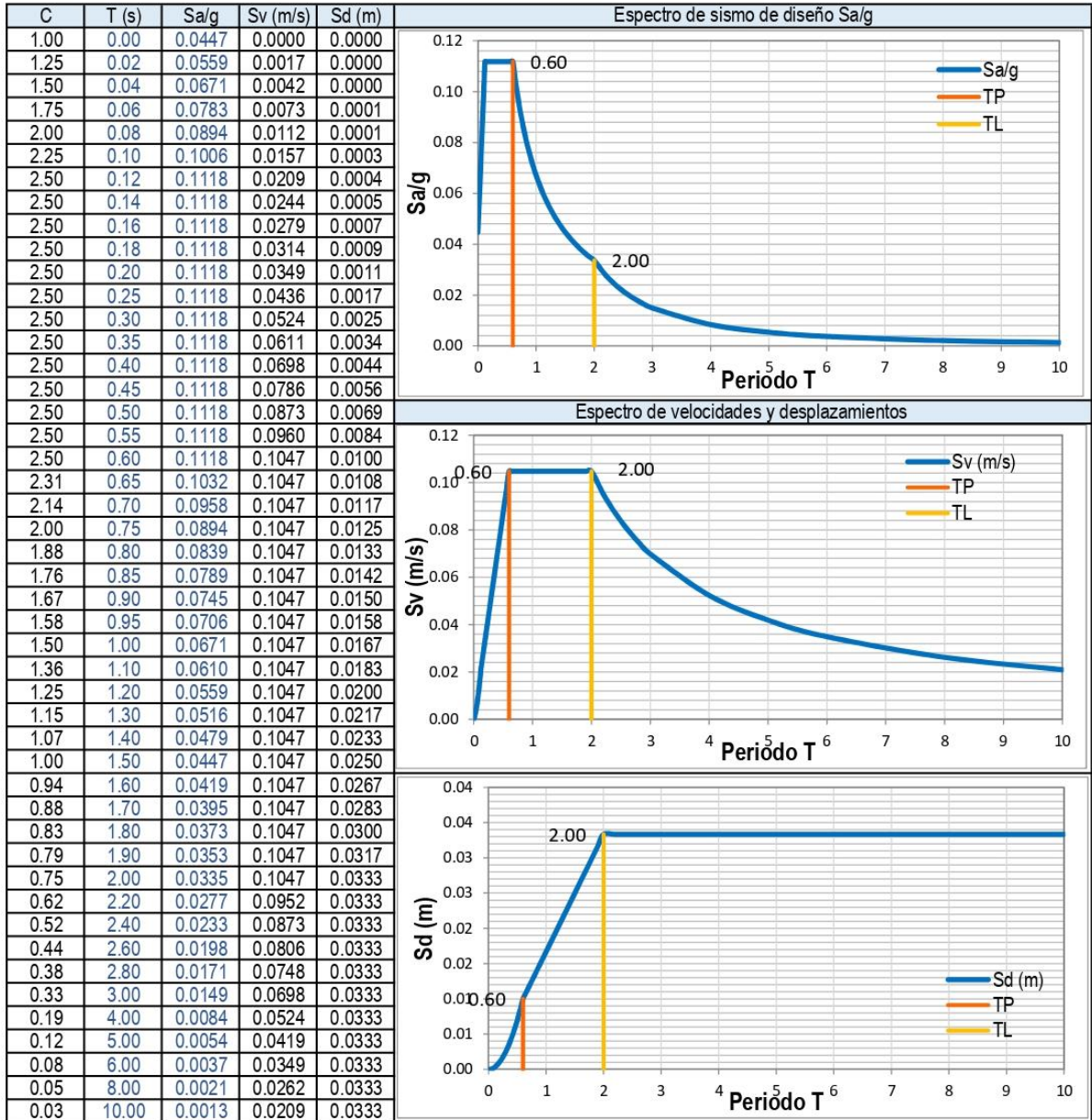
Copiar todos los valores de T(s) y Sa/g y pegar como valores sin fórmulas en un libro nuevo y guardarlo como texto delimitado por tabulaciones, así podrá importar el espectro de diseño en el programa computacional.



ESPECTRO DE SISMO DE DISEÑO SEGÚN E.030 2018 (SISMO VERTICAL 2/3 DE SISMO DE "Y")

$$S_a = \frac{2}{3} * \frac{ZUCS}{R_y} * g$$

$0.2 \cdot T_p = 0.120$ $Z = 0.35$ $T_p = 0.60$ $T < T_p \quad C = 2,5$ $T > T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2}\right)$
 $U = 1.00$ $T_L = 2.00$ $T_p < T < T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right)$ $T < 0,2 T_p \quad C = 1 + 7,5 \cdot \left(\frac{T}{T_p}\right)$
 $S = 1.15$ $R_y = 6.00$



Copiar todos los valores de T(s) y Sa/g y pegar como valores sin fórmulas en un libro nuevo y guardarlo como texto delimitado por tabulaciones, así podrá importar el espectro de diseño en el programa computacional.



ANEXOS N° 03

**ESPECTRO DE SISMO SEGÚN LA NORMA E.030-2018 Y E.031-
2019 PARA MODELO CON AISLADORES**



ESPECTRO DE SISMO SEGÚN LA NORMA E.030-2018 Y E.031-2019

ESPECTROS PARA EL ANALISIS SISMICO DINAMICO - MODAL ESPECTRAL

Z = 0.35 S = 1.15
U = 1.00 0.2 * T_p = 0.120
T_p = 0.60 R = 6.00
T_L = 2.00 R₁ = 1.00
g = 9.81 R_a = 2.00

Sismo de diseño inelástico

$$SDI = \frac{ZUCS}{R} * g$$

Sismo de diseño elástico

$$SDE_1 = \frac{ZUCS}{R_1} * g$$

Sismo de diseño elástico

$$SDE_a = \frac{ZUCS}{R_a} * g$$

Sismo máximo considerado

$$SMC = 1.50 * \frac{ZUCS}{R_1}$$

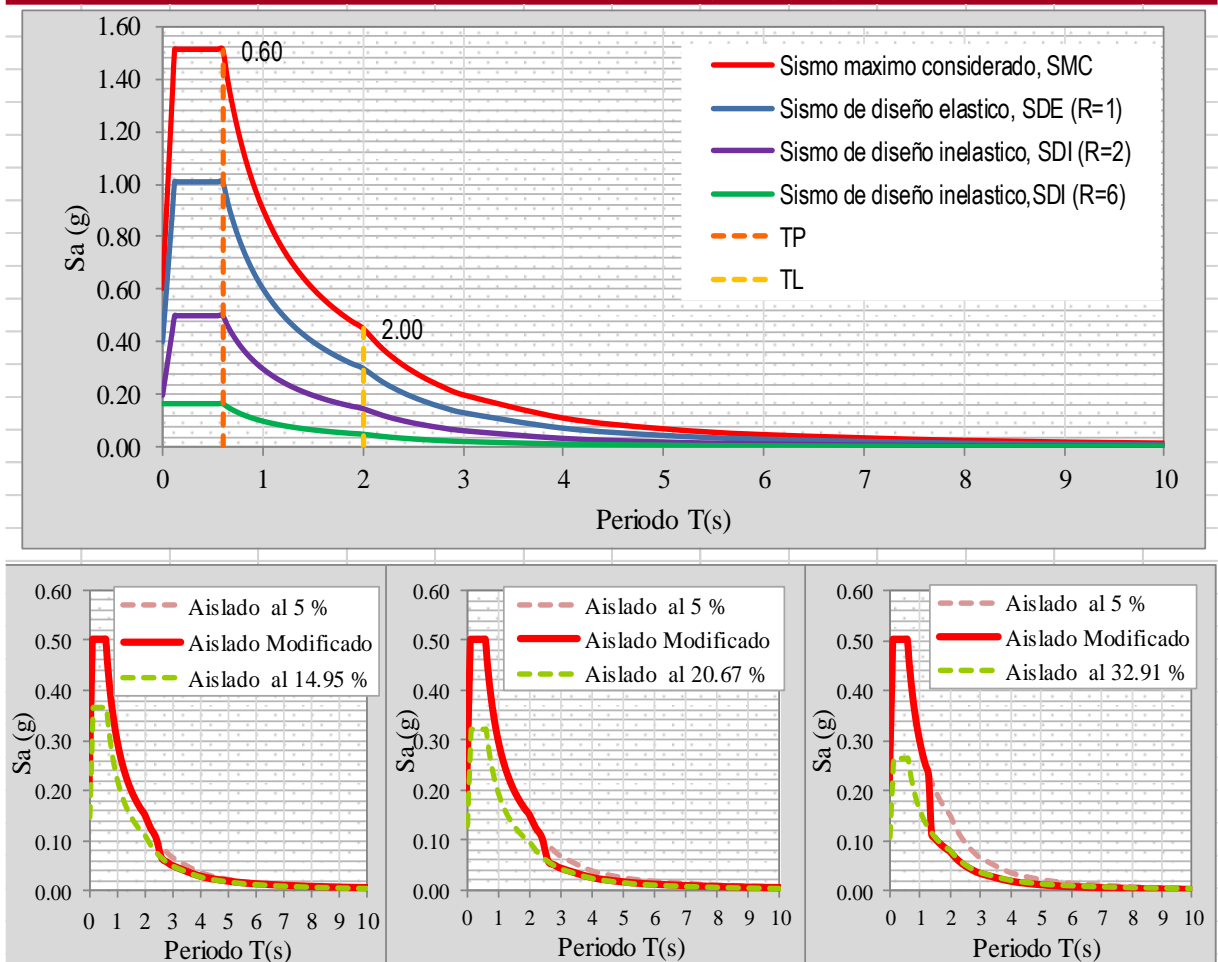
Sismo de diseño elástico para amortiguamiento β ≠ 5%

$$SDE_{a(\beta \neq 5\%)} = \frac{SDE_a}{B} * g B = \frac{4}{5.6 - \ln(\beta)}$$

Sismo de diseño aislado modificado

$$SDA_{a(mod.)} = \begin{cases} Si: T \geq T_a \rightarrow SDE_a \\ Si: T < T_a \rightarrow SDE_{a(\beta \neq 5\%)} \end{cases}$$

ESPECTRO DE DISEÑO INELASTICO, ELASTICO, SMC





Espectros Horizontales							Espectro Aislado Modificado						
C convencional	C	T	Sismo de diseño inelástico, SDI (R=6)	Sismo de diseño elástico, SDE (R=1)	Sismo de diseño inelástico, SDI (R=2)	Sismo maximo considera do, SMC	Límite inferior		Límite nominal		Límite superior		Sismo de diseño elástico, SDE (R=1)
							$\beta = 14.95$		$\beta = 20.67$		$\beta = 32.91$		
							Ta = 2.48		Ta = 2.05		Ta = 1.36		
							Aislado al 14.95 %	Aislado Modificad o	Aislado al 20.67 %	Aislado Modificad o	Aislado al 32.91 %	Aislado Modificad o	
		s	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	cm/s ²
2.50	1.00	0.00	0.168	0.403	0.201	0.604	0.1457	0.2013	0.1294	0.2013	0.1060	0.2013	394.85
2.50	1.25	0.02	0.168	0.503	0.252	0.755	0.1821	0.2516	0.1617	0.2516	0.1325	0.2516	493.57
2.50	1.50	0.04	0.168	0.604	0.302	0.906	0.2185	0.3019	0.1941	0.3019	0.1590	0.3019	592.28
2.50	1.75	0.06	0.168	0.704	0.352	1.057	0.2549	0.3522	0.2264	0.3522	0.1854	0.3522	690.99
2.50	2.00	0.08	0.168	0.805	0.403	1.208	0.2913	0.4025	0.2587	0.4025	0.2119	0.4025	789.71
2.50	2.25	0.10	0.168	0.906	0.453	1.358	0.3278	0.4528	0.2911	0.4528	0.2384	0.4528	888.42
2.50	2.50	0.12	0.168	1.006	0.503	1.509	0.3642	0.5031	0.3234	0.5031	0.2649	0.5031	987.13
2.50	2.50	0.14	0.168	1.006	0.503	1.509	0.3642	0.5031	0.3234	0.5031	0.2649	0.5031	987.13
2.50	2.50	0.16	0.168	1.006	0.503	1.509	0.3642	0.5031	0.3234	0.5031	0.2649	0.5031	987.13
2.50	2.50	0.18	0.168	1.006	0.503	1.509	0.3642	0.5031	0.3234	0.5031	0.2649	0.5031	987.13
2.50	2.50	0.20	0.168	1.006	0.503	1.509	0.3642	0.5031	0.3234	0.5031	0.2649	0.5031	987.13
2.50	2.50	0.25	0.168	1.006	0.503	1.509	0.3642	0.5031	0.3234	0.5031	0.2649	0.5031	987.13
2.50	2.50	0.30	0.168	1.006	0.503	1.509	0.3642	0.5031	0.3234	0.5031	0.2649	0.5031	987.13
2.50	2.50	0.35	0.168	1.006	0.503	1.509	0.3642	0.5031	0.3234	0.5031	0.2649	0.5031	987.13
2.50	2.50	0.40	0.168	1.006	0.503	1.509	0.3642	0.5031	0.3234	0.5031	0.2649	0.5031	987.13
2.50	2.50	0.45	0.168	1.006	0.503	1.509	0.3642	0.5031	0.3234	0.5031	0.2649	0.5031	987.13
2.50	2.50	0.50	0.168	1.006	0.503	1.509	0.3642	0.5031	0.3234	0.5031	0.2649	0.5031	987.13
2.50	2.50	0.55	0.168	1.006	0.503	1.509	0.3642	0.5031	0.3234	0.5031	0.2649	0.5031	987.13
2.50	2.50	0.60	0.168	1.006	0.503	1.509	0.3642	0.5031	0.3234	0.5031	0.2649	0.5031	987.13
2.31	2.31	0.65	0.155	0.929	0.464	1.393	0.3362	0.4644	0.2985	0.4644	0.2445	0.4644	911.20
2.14	2.14	0.70	0.144	0.863	0.431	1.294	0.3121	0.4313	0.2772	0.4313	0.2271	0.4313	846.11
2.00	2.00	0.75	0.134	0.805	0.403	1.208	0.2913	0.4025	0.2587	0.4025	0.2119	0.4025	789.71
1.88	1.88	0.80	0.126	0.755	0.377	1.132	0.2731	0.3773	0.2426	0.3773	0.1987	0.3773	740.35
1.76	1.76	0.85	0.118	0.710	0.355	1.065	0.2571	0.3551	0.2283	0.3551	0.1870	0.3551	696.80
1.67	1.67	0.90	0.112	0.671	0.335	1.006	0.2428	0.3354	0.2156	0.3354	0.1766	0.3354	658.09
1.58	1.58	0.95	0.106	0.636	0.318	0.953	0.2300	0.3178	0.2043	0.3178	0.1673	0.3178	623.45
1.50	1.50	1.00	0.101	0.604	0.302	0.906	0.2185	0.3019	0.1941	0.3019	0.1590	0.3019	592.28
1.36	1.36	1.10	0.091	0.549	0.274	0.823	0.1986	0.2744	0.1764	0.2744	0.1445	0.2744	538.44
1.25	1.25	1.20	0.084	0.503	0.252	0.755	0.1821	0.2516	0.1617	0.2516	0.1325	0.2516	493.57
1.15	1.15	1.30	0.077	0.464	0.232	0.697	0.1681	0.2322	0.1493	0.2322	0.1223	0.2322	455.60
1.07	1.07	1.40	0.072	0.431	0.216	0.647	0.1561	0.2156	0.1386	0.2156	0.1135	0.2156	423.06
1.00	1.00	1.50	0.067	0.403	0.201	0.604	0.1457	0.2013	0.1294	0.2013	0.1060	0.2013	394.85
0.94	0.94	1.60	0.063	0.377	0.189	0.566	0.1366	0.1887	0.1213	0.1887	0.0993	0.1887	370.17
0.88	0.88	1.70	0.059	0.355	0.178	0.533	0.1285	0.1776	0.1141	0.1776	0.0935	0.1776	348.40
0.83	0.83	1.80	0.056	0.335	0.168	0.503	0.1214	0.1677	0.1078	0.1677	0.0883	0.1677	329.04
0.79	0.79	1.90	0.053	0.318	0.159	0.477	0.1150	0.1589	0.1021	0.1589	0.0837	0.1589	311.73
0.75	0.75	2.00	0.050	0.302	0.151	0.453	0.1093	0.1509	0.0970	0.1509	0.0795	0.1509	296.14
0.62	0.62	2.20	0.042	0.249	0.125	0.374	0.0903	0.1247	0.0802	0.1247	0.0657	0.1247	244.74
0.52	0.52	2.40	0.035	0.210	0.105	0.314	0.0759	0.1048	0.0674	0.1048	0.0552	0.1048	205.65
0.44	0.44	2.60	0.030	0.179	0.089	0.268	0.0646	0.0646	0.0574	0.0574	0.0470	0.0470	175.23
0.38	0.38	2.80	0.026	0.154	0.077	0.231	0.0557	0.0557	0.0495	0.0495	0.0405	0.0405	151.09
0.33	0.33	3.00	0.022	0.134	0.067	0.201	0.0486	0.0486	0.0431	0.0431	0.0353	0.0353	131.62
0.19	0.19	4.00	0.013	0.075	0.038	0.113	0.0273	0.0273	0.0243	0.0243	0.0199	0.0199	74.03
0.12	0.12	5.00	0.008	0.048	0.024	0.072	0.0175	0.0175	0.0155	0.0155	0.0127	0.0127	47.38
0.08	0.08	6.00	0.006	0.034	0.017	0.050	0.0121	0.0121	0.0108	0.0108	0.0088	0.0088	32.90
0.05	0.05	8.00	0.003	0.019	0.009	0.028	0.0068	0.0068	0.0061	0.0061	0.0050	0.0050	18.51
0.03	0.03	10.00	0.002	0.012	0.006	0.018	0.0044	0.0044	0.0039	0.0039	0.0032	0.0032	11.85

Copiar todos los valores de T(s) y Sa/g y pegar como valores sin fórmulas en un libro nuevo y guardarlo como texto delimitado por tabulaciones, así podrá importar el espectro en el programa computacional.



ANEXOS N° 04

**DISEÑO DE AISLADOR ELASTOMERICO DE NÚCLEO DE
PLOMO (LRB)**



PROCEDIMIENTO DISEÑO DE AISLADOR LRB							
Datos del modelamiento de la estructura convencional:							
Factor de zona (Z) =	0.35	Dimensión en planta más larga de la estructura (d) =	16.55				
Factor de uso (U) =	1.00	Dimensión en planta más corta de la estructura (b) =	11.50				
Factor de suelo (S) =	1.15	Excentricidad real entre el centro de masas y rigidez (d) =	0.25				
Periodo corto (T _p) =	0.60	→ Coef. de amplificación sísmica (C _p) =	2.50				
Periodo largo (T _L) =	2.00	→ Coef. de amplificación sísmica (C _L) =	0.75				
Periodo (T ₁) =	0.748	→ Coef. de amplificación sísmica (C ₁) =	2.01				
Periodo (T ₂) =	0.502	→ Coef. de amplificación sísmica (C ₂) =	2.50				
Periodo (T ₃) =	0.395	→ Coef. de amplificación sísmica (C ₃) =	2.50				
Peso sísmico de la estructura total (W) =		2639.3 Tn ó kN-s ₂ /t	25882 KN				
Peso sísmico de la estructura sin considerar base (Ws) =		2416.4 Tn ó kN-s ₂ /t	23697 KN				
Coeficiente de reducción para el sistema convencional (R) =		6					
Coeficiente de reducción para el sistema aislada (R _a) =		2.00					
Paso 1: Estimación de las propiedades del sistema con aisladores							
	Limite =	Inferior	Nominal	Superior			
Periodo efectivo, T _M (1) =	2.372 s	1.916 s	1.150 s				
Coef. de amplificación, C _M (1) =	0.53	0.78	1.30				
Amortiguamiento efectivo, β _M (1) =	14.95 %	20.67 %	32.91 %				
Factor, B _M (1) =	1.38	1.56	1.90				
Paso 2: Cálculo de sismo máximo considerado		SMC = 1.5 * g * (Z * U * C * S) g = 9.81 m/s²					
SMC =		3.156 m/s²					
Paso 3: Cálculo de desplazamiento laterales considerados para el diseño							
Desplazamiento máximo (D_M)							
$D_M = \frac{SMC * T_M^2}{4 * \pi^2 * B_M}$		Limite =	Inferior	Nominal	Superior	Unidad	
		D _M =	0.326	0.189	0.056	m	
Desplazamiento total máximo (D_{TM})							
e _{accidental} =		Limite =	Inferior	Nominal	Superior	Unidad	
0.83 m		D _{TM} =	0.375	0.217	0.064	m	
e =		D _{TM} / D _M =		1.15	1.15	1.15	-
1.08 m				1.073333			
y =				0.350	0.203	0.060	
8.275 m							
P _T =							
1.894							
$D_{TM} = D_M \left[1 + \left(\frac{y}{P_T^2} \right) \left(\frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right]$							
Paso 4: Diseño preliminar del aislador							
$h_r = \frac{G_{100\%} * A}{K_{eff}}$		Limite =	Inferior	Nominal	Superior		
Desplazamientos total máximo, D _{TM} =		0.375	0.217	0.064	m		
Diámetro a usar, φ _{Aislador} =		400.000	250.000	100.000	mm		
Diámetro recomendado sólo método FLE, φ _{Aislador} =		468.157	271.206	80.007	mm		
Diámetro recomendado con análisis dinámico, φ _{Aislador} =		374.525	216.964	64.006	mm		
Área del aislador, A =		194.78	76.09	12.17	pulg ²		
$K_M = \frac{4\pi^2}{g} * \frac{W}{T_M^2}$		Rigidez efectiva, k _M =	105.64	161.96	449.64	klb/pulg	
		Número de aisladores, # =	24				
		Rigidez efectiva por aislador, k _M =	4.402	6.748	18.735	klb/pulg	
		Módulo de corte de la goma, G _{100%} =	0.385	N/mm ² =	55.82	psi	
		Espesor de caucho recomendada, t _r =	3.92			mm	

Paso 5: Verificación del diseño preliminar del aislador seleccionado							
Datos obtenidos de la norma (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)							
	Limite =	Inferior	Nominal	Superior			
		λ_{\min}	λ_{nom}	λ_{\max}			
Factor de modificación para K2 =		0.80	1.00	1.30			
Factor de modificación para Qd =		0.80	1.00	1.50			
Datos obtenidos del catálogo (Bridgestone, 2017) del aislador LRB							
Módulo de corte de la caucho, G_r =		0.385				N/mm ²	
Módulo aparente de corte del plomo, α_p =		0.583				N/mm ²	
Esf. de corte en fluencia del n. de plomo, σ_{pb} =		7.967				N/mm ²	
Módulo de young, E =		2.20				N/mm ²	
Módulo volumétrico, E_v =		1176.00				N/mm ²	
Factor de corrección de E por rugosidad, k =		0.85				-	
Factor de corrección al módulo de young, α_v =		1.23				-	
Datos obtenidos del catálogo (Bridgestone, 2017) en función al tipo de aislador LRB							
Tipo de aislador LRB =		LL065G4-C					
Peso del aislador =		6.5				kN	
Diámetro Exterior del aislador, D_0 =		650				mm	
Área efectiva en el plano, A_r =		322300				mm ²	
Espesor total de caucho, H =		163				mm	
Número de capas de caucho =		37				-	
Espesor de cada capa de caucho, t_r =		4.41				mm	
Altura total, H_t =		330.4				mm	
Diámetro efectivo del núcleo de plomo, D_i =		110				mm	
Área efectiva del núcleo de plomo, A_p =		9503.32				mm ²	
Calculo de Rigidez a compresión vertical, KV							
Primer factor de forma del material, S_1 =		36.89				-	
Segundo factor de forma del material, S_2 =		3.99				-	
Módulo de compresión efectivo, E_C =		955.32				N/mm ²	
Rigidez a compresión vertical, K_V =		2391923.59				kN/m	
Calculo de parámetros según catalogo (Bridgestone, 2017)							
Valores calculados con formulas del catalogo (Bridgestone, 2017)	100% del Desplazamiento			50% del Desplazamiento			Unidad
	Inferior	Nominal	Superior	Inferior	Nominal	Superior	
Desplazamientos maximo, D_M =	325.67	188.66	55.66	162.84	94.33	27.83	mm
Desplazamientos total maximo, D_{TM} =	374.53	216.96	64.01	187.26	108.48	32.00	mm
Deformación por corte, Y_M =	199.8%	115.7%	34.1%	99.9%	57.9%	17.1%	
Deformación por corte, Y_{TM} =	229.8%	133.1%	39.3%	114.9%	66.6%	19.6%	
F. de corrección a la rigidez post-fluencia, C_{Kd} =	0.92	0.98	1.31	1.00	1.15	1.67	-
Rigidez al corte del caucho laminada, K_r =	761.26	761.26	761.26	761.26	761.26	761.26	kN/m
Rigidez al corte adic. por núcleo de plomo, K_p =	33.99	33.99	33.99	33.99	33.99	33.99	kN/m
Rigidez postfluencia, K_2 =	585.49	781.42	1352.43	636.36	911.77	1722.24	kN/m
F. de corrección a la resistencia caract., C_{Qd} =	1.00	1.00	0.95	1.00	1.00	0.86	-
Resistencia característica, Q_d =	60.57	75.71	107.49	60.57	75.71	97.21	kN
Rigidez inicial, K_1 =	7611.4	10158.4	17581.6	8272.7	11853.0	22389.2	kN/m
Rigidez equivalente al corte, K_{eq} =	771.48	1182.73	3283.63	1008.33	1714.39	5215.33	kN/m
Relación de amortiguamiento equivalente, β_{eq} =	0.149	0.207	0.330	0.223	0.276	0.354	-
Energía por ciclo, E_{ciclo} =	76816.1	54692.1	21081.9	37530.7	26473.0	8991.7	kN-mm
Desplazamiento de fluencia, D_y =	8.62	8.07	6.62	7.93	6.92	4.70	mm
Fuerza de fluencia, F_y =	65.62	82.02	116.44	65.62	82.02	105.31	kN
Fuerza en el asiento de apoyo =	251.25	223.14	182.76	164.19	161.72	145.14	kN

Paso 6: Calculo de periodo efectivo, T_M y amortiguamiento efectivo, β_M						
Cantidad de aisladores =	24			-		
Masa por cada aislador =	109.97			kN-s ² /m		
Peso por cada aislador =	1078.43			kN		
Limite =	Inferior	Nominal	Superior			
Periodo efectivo, T_M (2) =	2.372	1.916	1.150	s		
Amortiguamiento efectivo, β_M (2) =	0.1494	0.2068	0.3299	-		
Factor, B_M (2) =	1.381	1.556	1.901			
Amortiguamiento, β_e =	57.911	113.073	336.345	kN-s/m		
Sd =	325.73	188.63	55.60	mm		
Convergencia =	1.000	1.000	0.999	-		
Paso 7: Verificación						
Fuerza al 100% del desplazamiento (F_{DD}) =	251.25	223.14	182.76	KN		
Fuerza al 50% del desplazamiento ($F_{0.5DD}$) =	164.19	161.72	145.14	KN		
($F_{DD} - F_{0.5DD}$) =	87.06	61.42	37.62	KN		
0.025 P =	26.96			KN		
Verificación de fuerza restauradora =	OK	OK	OK			
ζ para area reducida =	562.53	622.02	647.61			
Area reducida, Ar1 =	129367	210943	295698			
Relación Ar1/Ar (No menor al 30%)=	40.14%	65.45%	91.75%			
Deformación debido al desplazamiento no sísmico (5%D _M), Δ_s =	16.28	9.43	2.78			
Deformación por corte debido al desplazamiento no sísmico, $\epsilon_{s,eq}$ =	0.10	0.06	0.02			
Rotación de diseño por efectos de DL, LL y construcción, θ =	0.010	0.010	0.010			
Rotación de diseño por efectos de DL, LL y construcción, ϵ_r =	2.206	2.206	2.206			
$\epsilon_{s,eq} + 0.5\epsilon_r \leq 5.5$	2.306	2.264	2.223			
Paso 8: Parámetros a utilizar en el programa computacional ETABS						
LL065G4-C						
Limite =	Inferior	Nominal	Superior	Unidad		
Número total de aisladores =	24			-		
Masa =	0.663			Tn ó kN-s ² /m		
Peso =	6.500			kN		
Rigidez efectiva, K_{eq} (U_2, U_3) =	771.5	1182.7	3283.6	kN/m		
Amortiguamiento efectivo, β_e (U_2, U_3) =	57.9	113.1	336.3	kN-s/m		
Rigidez, K_1 (U_2, U_3) =	7611.4	10158.4	17581.6	kN/m		
Resistencia a la fluencia, F_y (U_2, U_3) =	65.618	82.022	116.443	kN		
Relación de rigidez postfluencia, K_2/K_1 (U_2, U_3) =	0.077	0.077	0.077	-		
Rigidez efectiva vertical, K_v (U_1) =	2391923.595			kN/m		
Fuerza cortante en la base						
$V_b = K_M * D_M$	$Coef_b = \frac{V_b}{W}$	Limite =	Inferior	Nominal	Superior	Unidad
		k_M =	18515.5	28385.5	78807.2	kN/m
		V_b =	6030.0	5355.3	4386.2	kN
$V_{st} = V_b * (\frac{W_S}{W})^{(1-2.5*\beta)}$		$Coef_b$ =	0.233	0.207	0.169	
		V_{st} =	5705.80	5131.90	4318.86	kN
$V_S = \frac{V_{st}}{R_a}$	$Coef_S = \frac{V_S}{W}$	V_S =	2852.90	2565.95	2159.43	kN
		$Coef_S$ =	0.11023	0.09914	0.08343	
Distribución vertical de la fuerza						
$F_1 = \frac{V_b - V_{st}}{R_a}$	$K = 14 * T_{fb} * \beta_M$	$F_{1,min}$ =	162.11	111.72	33.66	kN
		T_{fb} =	0.75 s	Periodo efectivo de base fija		
		k_{min} =	1.56	2.16	3.44	

Distribución vertical de la fuerza para análisis de fuerzas laterales equivalente FLE

$$F_1 = C_v * V_S$$

$$F_i = \frac{p_i * h_i^k}{\sum_{j=2}^n p_j * h_j^k} * V_S$$

Límite inferior					
Nivel	Peso	Altura	wh ^k	Coeficiente	Fuerza
	ton	h (m)		C _v	kN
Nivel 12	191.20	31.30	40934	0.1817	518.39
Nivel 11	221.94	28.50	41058	0.1823	519.96
Nivel 10	221.94	25.70	34947	0.1551	442.57
Nivel 9	221.94	22.90	29197	0.1296	369.75
Nivel 8	221.94	20.10	23827	0.1058	301.75
Nivel 7	221.94	17.30	18860	0.0837	238.85
Nivel 6	221.94	14.50	14324	0.0636	181.40
Nivel 5	221.94	11.70	10253	0.0455	129.84
Nivel 4	221.94	8.90	6694	0.0297	84.78
Nivel 3	221.94	6.10	3716	0.0165	47.06
Nivel 2	227.75	3.30	1464	0.0065	18.54
Total			225272		2852.90
Nivel Base					162.11

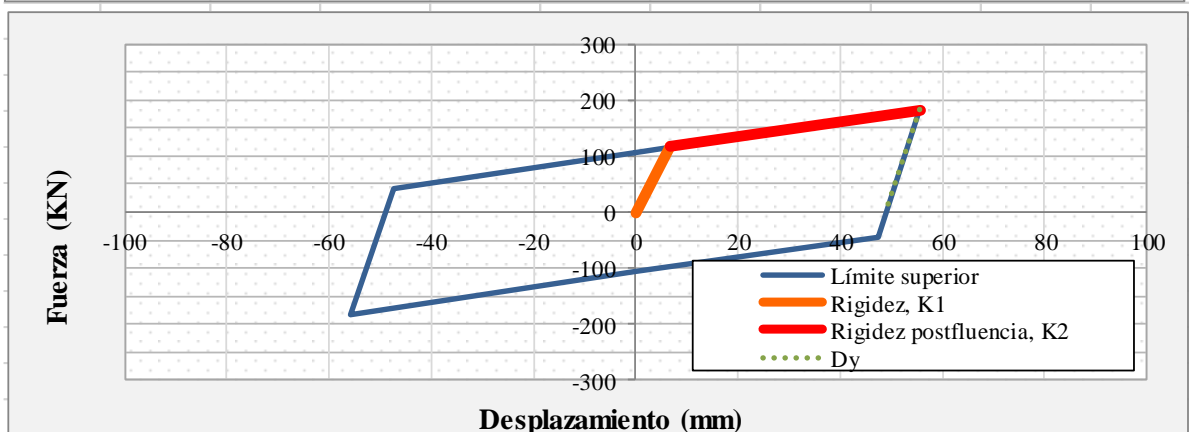
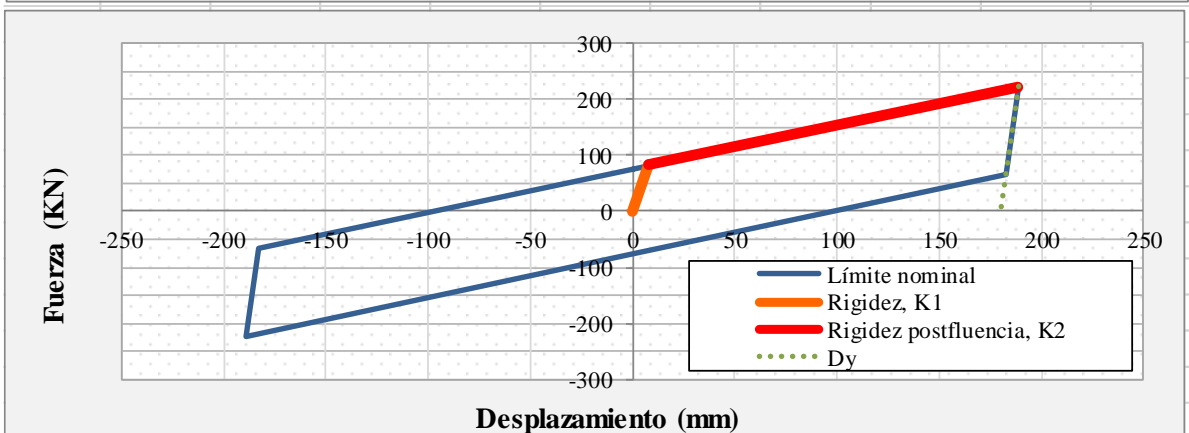
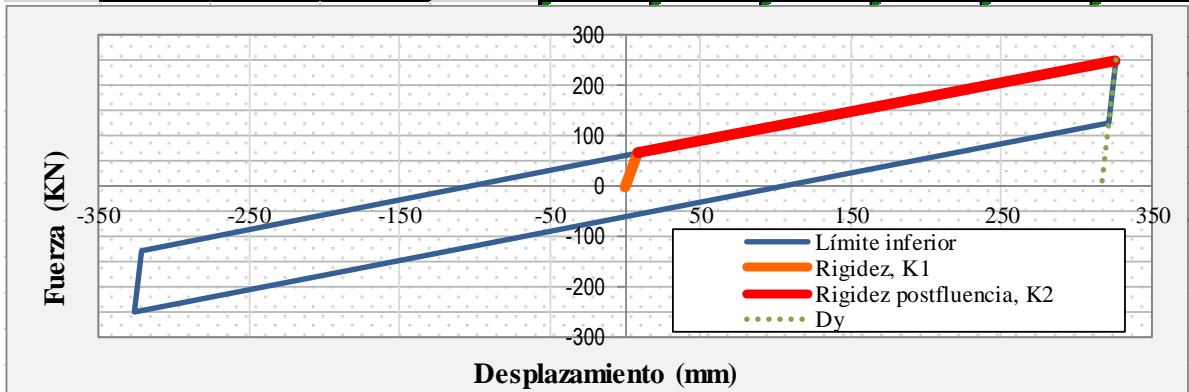
Límite nominal					
Nivel	Peso	Altura	wh ^k	Coeficiente	Fuerza
	ton	h (m)		C _v	kN
Nivel 12	191.20	31.30	321169.9	0.2198	564.08
Nivel 11	221.94	28.50	304579.6	0.2085	534.94
Nivel 10	221.94	25.70	243694.5	0.1668	428.01
Nivel 9	221.94	22.90	190023.3	0.1301	333.74
Nivel 8	221.94	20.10	143436.6	0.0982	251.92
Nivel 7	221.94	17.30	103791.1	0.0710	182.29
Nivel 6	221.94	14.50	70924.9	0.0485	124.57
Nivel 5	221.94	11.70	44652.4	0.0306	78.42
Nivel 4	221.94	8.90	24754.5	0.0169	43.48
Nivel 3	221.94	6.10	10960.9	0.0075	19.25
Nivel 2	227.75	3.30	2990.0	0.0020	5.25
Total			1460977.6		2565.95
Nivel Base					111.72

Límite superior					
Nivel	Peso	Altura	wh ^k	Coeficiente	Fuerza
	ton	hx (m)		C _v	kN
Nivel 12	191.20	31.30	26720750	0.2966	640.50
Nivel 11	221.94	28.50	22467818	0.2494	538.55
Nivel 10	221.94	25.70	15741426	0.1747	377.32
Nivel 9	221.94	22.90	10584866	0.1175	253.72
Nivel 8	221.94	20.10	6758027	0.0750	161.99
Nivel 7	221.94	17.30	4033429	0.0448	96.68
Nivel 6	221.94	14.50	2197186	0.0244	52.67
Nivel 5	221.94	11.70	1050214	0.0117	25.17
Nivel 4	221.94	8.90	409794	0.0045	9.82
Nivel 3	221.94	6.10	111718	0.0012	2.68
Nivel 2	227.75	3.30	13848	0.0002	0.33
Total			90089075		2159.43
Nivel Base					33.66



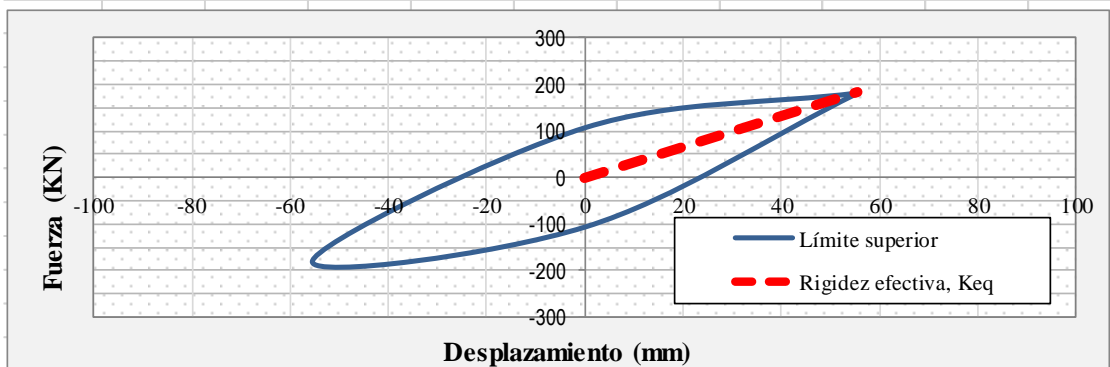
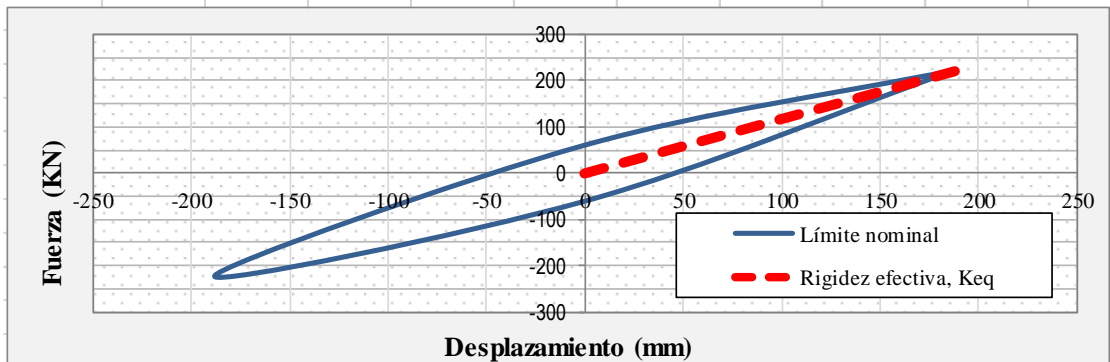
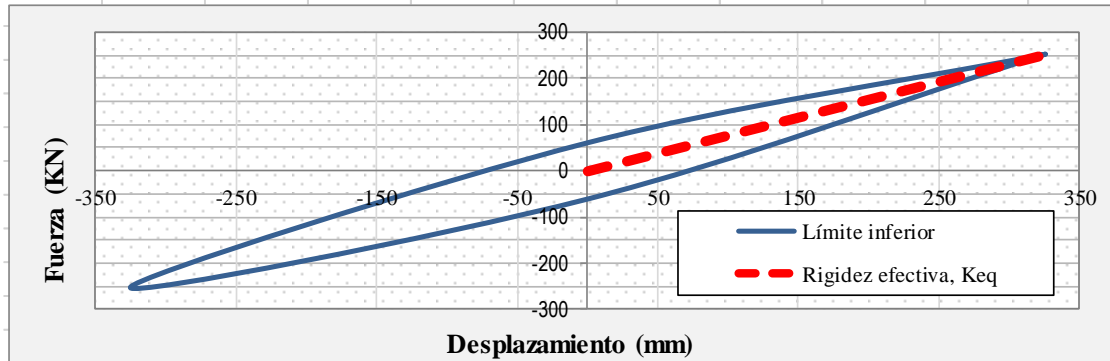
CURVA DE HISTÉRESIS DEL AISLADOR LRB - NO LINEAL

DATOS				Límite inferior		Límite nominal		Límite superior		
Limite =	Inferior	Nominal	Superior	Desplaz. (mm)	Fuerza (KN)	Desplaz. (mm)	Fuerza (KN)	Desplaz. (mm)	Fuerza (KN)	
M (mm)	325.67	188.66	55.66	Eje =	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Q_d (kN)	60.57	75.71	107.49	K_1 =	8.62	65.6	8.07	82.0	6.62	116.4
k_1 (kN/m)	7611.4	10158.4	17581.6	K_2 =	325.67	251.3	188.66	223.1	55.66	182.8
k_2 (kN/m)	585.5	781.4	1352.4	D_y =	317.05	0.0	180.59	0.0	49.03	0.0
D_y (mm)	8.62	8.07	6.62		0.00	60.57	0.00	75.71	0.00	107.49



CURVA DE HISTÉRESIS DEL AISLADOR LRB - LINEAL

DATOS				Límite inferior		Límite nominal		Límite superior		
				Desplaz. (mm)	Fuerza (kN)	Desplaz. (mm)	Fuerza (kN)	Desplaz. (mm)	Fuerza (kN)	
Límite =	Inferior	Nominal	Superior	Eje =	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D_M (mm) =	325.67	188.66	55.66	K_{eq} =	325.67	251.3	188.66	223.1	55.66	182.8
k_{eq} (kN/m) =	771.48	1182.73	3283.63	Q_d =	0.00	60.6	0.00	60.6	0.00	107.5
Q_d (kN) =	60.57	75.71	107.49		-325.67	-251.25	-188.66	-223.14	-55.66	-182.76
					0.00	-60.57	0.00	-60.57	0.00	-107.49
					325.67	251.25	188.66	223.14	55.66	182.76





ANEXOS N° 05

DISEÑO DE DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO

DETERMINACION DE SISMO DE DISEÑO EN ANALISIS HISTORIA DE RESPUESTA

1. ESPECTRO DE DISEÑO INELASTICO R=1

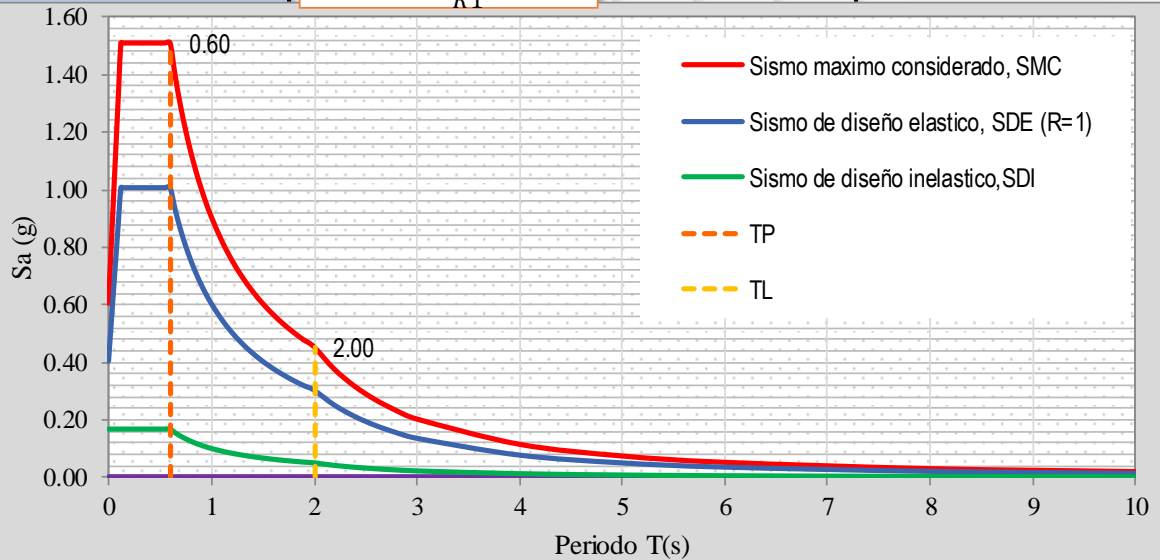
Z = 0.35 S = 1.15
U = 1.00 0.2 * T_p = 0.120
T_p = 0.60 R = 6.00
T_L = 2.00 R = 1.00
g = 9.81

Sismo de diseño elástico
 $SDI = \frac{ZUCS}{R} * g$

Sismo de diseño inelástico
 $SDI = \frac{ZUCS}{R1} * g$

Sismo máximo considerado
 $SMC = 1.50 * \frac{ZUCS}{R1}$

Se realiza el cálculo del sismo con los mismos parámetros de un análisis convencional, sin embargo con el factor de reducción sísmica R=1.



CALCULO DE DERIVAS CON ESPECTRO BASICO DE DISEÑO R=1

NIVEL	ALTURA m	DESP. ABSOLUTO		DESPL. RELATIVO		DERIVA INELASTICA		DERIVA PERMITIDA		DERIVA PERMITIDA	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X	Y	X	Y	X	Y
Azotea	2.8	0.163	0.103	0.010	0.009	0.003	0.003	NC	NC	NC	NC
Nivel 11	2.8	0.153	0.094	0.011	0.010	0.004	0.003	NC	NC	NC	NC
Nivel 10	2.8	0.142	0.084	0.013	0.010	0.005	0.004	NC	NC	NC	NC
Nivel 9	2.8	0.129	0.074	0.015	0.011	0.005	0.004	NC	NC	NC	NC
Nivel 8	2.8	0.114	0.063	0.016	0.011	0.006	0.004	NC	NC	NC	NC
Nivel 7	2.8	0.098	0.053	0.017	0.011	0.006	0.004	NC	NC	NC	NC
Nivel 6	2.8	0.081	0.042	0.018	0.010	0.006	0.004	NC	NC	NC	NC
Nivel 5	2.8	0.063	0.031	0.018	0.010	0.006	0.004	NC	NC	NC	NC
Nivel 4	2.8	0.045	0.021	0.017	0.009	0.006	0.003	NC	NC	NC	NC
Nivel 3	2.8	0.028	0.013	0.016	0.007	0.006	0.003	NC	NC	NC	NC
Nivel 2	4.6	0.013	0.006	0.013	0.006	0.003	0.001	NC	NC	NC	NC
Base		0	0								

3. REGISTROS SISMICOS UTILIZADOS

FECHA UTC	PROFUNDIDAD (Km)	MAGNITUD (M)	PROVINCIA	DEPARTAMENTO	PGA(E-W)	PGA(N-S)
17/10/1966	37	8	CALLAO	LIMA	180.592	269.336
31/05/1970	43	7.8	CHIMBOTE	ANCASH	104.818	97.749
03/10/1974	21	7.7	CALLAO	LIMA	192.489	178.951
23/06/2001	32	8.4	OCOÑA	AREQUIPA	295.225	220.040
15/08/2007	40	8	PISCO	ICA	272.206	334.113
01/03/2019	265	7	AZANGARO	PUNO	36.305	39.164
26/05/2019	135	8	LAGUNAS	LORETO	81.076	75.976

Los registros sísmicos utilizados pasan por un proceso de filtrado y corrección por línea base y se realizan por medio de programas especializados. Los sismos disponibles en el IGP y CISMID por lo general están filtrados y corregidos. Una vez filtrados y corregidos por línea base se procede al escalado del registro sísmico en función del espectro normativo con un coeficiente de reducción sísmica igual a 1



4. ANALISIS HISTORIA DE RESPUESTA LINEAL Y CALCULO DE DERIVAS

Los registros sismicos disponibles tienen dos componentes direccionales de registro Este a Oeste y Norte a Sur. Según el Reglamento Nacional de Edificaciones ambos deben de ser utilizados en el momento del calculo para los cuales se crea dos casos: Caso 01, la direccion Este Oeste actuara frente al eje X y la Norte Sur frente a la direccion Y; y en el caso 02: la viceversa

RESUMEN DE DERIVAS EN X

NIVEL	1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 LORETO		2019 PUNO	
	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02
Nivel 12	0.0031	0.0033	0.0033	0.0032	0.0032	0.0034	0.0032	0.0031	0.0035	0.0032	0.0034	0.0030	0.0029	0.0031
Nivel 11	0.0036	0.0039	0.0038	0.0037	0.0038	0.0040	0.0037	0.0036	0.0042	0.0037	0.0040	0.0035	0.0034	0.0037
Nivel 10	0.0043	0.0044	0.0044	0.0041	0.0043	0.0047	0.0043	0.0042	0.0048	0.0043	0.0047	0.0040	0.0038	0.0042
Nivel 9	0.0050	0.0050	0.0050	0.0047	0.0049	0.0052	0.0049	0.0048	0.0048	0.0049	0.0052	0.0044	0.0043	0.0048
Nivel 8	0.0056	0.0055	0.0056	0.0051	0.0055	0.0058	0.0053	0.0054	0.0054	0.0053	0.0057	0.0048	0.0047	0.0053
Nivel 7	0.0060	0.0059	0.0060	0.0054	0.0059	0.0062	0.0057	0.0060	0.0059	0.0057	0.0061	0.0050	0.0050	0.0057
Nivel 6	0.0064	0.0061	0.0063	0.0055	0.0062	0.0065	0.0058	0.0063	0.0062	0.0058	0.0061	0.0050	0.0051	0.0060
Nivel 5	0.0066	0.0062	0.0063	0.0054	0.0065	0.0065	0.0058	0.0064	0.0064	0.0058	0.0061	0.0049	0.0050	0.0061
Nivel 4	0.0063	0.0059	0.0059	0.0050	0.0065	0.0062	0.0054	0.0061	0.0061	0.0055	0.0056	0.0046	0.0047	0.0059
Nivel 3	0.0058	0.0055	0.0054	0.0043	0.0061	0.0057	0.0049	0.0056	0.0057	0.0049	0.0050	0.0041	0.0042	0.0054
Nivel 2	0.0030	0.0028	0.0027	0.0021	0.0032	0.0029	0.0025	0.0028	0.0029	0.0025	0.0025	0.0021	0.0021	0.0027
Nivel 1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

RESUMEN DE DERIVAS EN Y

NIVEL	1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 LORETO		2019 PUNO	
	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02
Nivel 12	0.0033	0.0032	0.0029	0.0034	0.0035	0.0031	0.0031	0.0030	0.0036	0.0032	0.0034	0.0031	0.0032	0.0032
Nivel 11	0.0034	0.0033	0.0031	0.0035	0.0037	0.0032	0.0032	0.0032	0.0038	0.0034	0.0035	0.0032	0.0034	0.0034
Nivel 10	0.0036	0.0035	0.0032	0.0037	0.0038	0.0034	0.0034	0.0033	0.0040	0.0036	0.0037	0.0034	0.0035	0.0035
Nivel 9	0.0037	0.0036	0.0034	0.0038	0.0039	0.0035	0.0034	0.0035	0.0041	0.0037	0.0038	0.0035	0.0036	0.0037
Nivel 8	0.0038	0.0037	0.0035	0.0039	0.0039	0.0036	0.0034	0.0035	0.0040	0.0037	0.0039	0.0036	0.0037	0.0038
Nivel 7	0.0038	0.0037	0.0035	0.0039	0.0039	0.0036	0.0034	0.0035	0.0040	0.0038	0.0039	0.0036	0.0037	0.0038
Nivel 6	0.0037	0.0036	0.0035	0.0038	0.0037	0.0036	0.0033	0.0034	0.0038	0.0038	0.0038	0.0035	0.0036	0.0037
Nivel 5	0.0035	0.0034	0.0033	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0032	0.0035	0.0036	0.0036	0.0033	0.0033	0.0035
Nivel 4	0.0031	0.0030	0.0029	0.0031	0.0029	0.0030	0.0028	0.0028	0.0031	0.0032	0.0032	0.0030	0.0029	0.0031
Nivel 3	0.0026	0.0025	0.0024	0.0025	0.0023	0.0024	0.0023	0.0023	0.0025	0.0027	0.0026	0.0024	0.0023	0.0026
Nivel 2	0.0013	0.0012	0.0012	0.0013	0.0011	0.0012	0.0012	0.0011	0.0012	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0013
Nivel 1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	p	0.0000

5. DETERMINACION DEL SISMO DE DISEÑO

Para la determinacion final del sismo de diseño se calcula la variacion de las respuestas de derivas del analisis tiempo historia lineal de cada sismo con respecto a la respuesta de derivas de el espectro elastico R=1

RATIOS DE DERIVAS DE ANALISIS TIEMPO HISTORIA REPECTO ANALISIS MODAL X

NIVEL	1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001		2007 ICA		2019 LORETO		2019 PUNO	
	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02
Nivel 12	0.8946	0.9595	0.9511	0.9480	0.9475	0.9995	0.9261	0.8971	1.0342	0.9242	0.9926	0.8637	0.8417	0.9069
Nivel 11	0.9045	0.9616	0.9538	0.9251	0.9563	1.0047	0.9310	0.9018	1.0383	0.9285	0.9998	0.8681	0.8443	0.9117
Nivel 10	0.9238	0.9613	0.9564	0.8959	0.9215	1.0111	0.9341	0.9113	1.0318	0.9299	1.0076	0.8616	0.8313	0.9173
Nivel 9	0.9494	0.9618	0.9615	0.8974	0.9352	1.0013	0.9341	0.9288	0.9288	0.9290	0.9953	0.8472	0.8284	0.9245
Nivel 8	0.9724	0.9633	0.9694	0.8942	0.9628	1.0078	0.9300	0.9491	0.9448	0.9259	0.9907	0.8292	0.8227	0.9243
Nivel 7	0.9788	0.9643	0.9782	0.8845	0.9579	1.0151	0.9228	0.9696	0.9621	0.9206	0.9887	0.8075	0.8144	0.9345
Nivel 6	1.0055	0.9592	0.9850	0.8676	0.9761	1.0202	0.9137	0.9879	0.9795	0.9139	0.9647	0.7881	0.8040	0.9449
Nivel 5	1.0271	0.9671	0.9858	0.8435	1.0203	1.0229	0.9042	1.0015	0.9956	0.9056	0.9512	0.7686	0.7912	0.9541
Nivel 4	1.0427	0.9770	0.9725	0.8135	1.0627	1.0233	0.8950	1.0089	1.0096	0.8965	0.9198	0.7528	0.7710	0.9618
Nivel 3	1.0489	0.9891	0.9719	0.7747	1.1036	1.0214	0.8891	1.0100	1.0224	0.8860	0.8961	0.7425	0.7514	0.9696
Nivel 2	1.0574	0.9977	0.9704	0.7427	1.1295	1.0228	0.8859	1.0073	1.0300	0.8777	0.8949	0.7353	0.7577	0.9744
Nivel 1														

RATIOS DE DERIVAS DE ANALISIS TIEMPO HISTORIA REPECTO ANALISIS MODAL Y														
NIVEL	1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001		2007 ICA		2019 LORETO		2019 PUNO	
	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02	CASO 01	CASO 02
Nivel 12	0.9822	0.9600	0.8851	1.0293	1.0584	0.9316	0.9212	0.9161	1.0933	0.9797	1.0151	0.9215	0.9649	0.9785
Nivel 11	0.9822	0.9608	0.8861	1.0082	1.0583	0.9326	0.9225	0.9171	1.0943	0.9807	1.0157	0.9227	0.9659	0.9788
Nivel 10	0.9817	0.9619	0.8897	1.0092	1.0510	0.9346	0.9227	0.9172	1.0903	0.9826	1.0168	0.9259	0.9659	0.9739
Nivel 9	0.9812	0.9637	0.8959	1.0100	1.0380	0.9377	0.9071	0.9156	1.0810	0.9759	1.0182	0.9305	0.9647	0.9784
Nivel 8	0.9819	0.9657	0.9035	1.0102	1.0209	0.9411	0.8708	0.9108	1.0443	0.9699	1.0202	0.9355	0.9620	0.9839
Nivel 7	0.9845	0.9679	0.9120	1.0099	1.0019	0.9446	0.8817	0.9098	1.0290	0.9858	1.0229	0.9408	0.9577	0.9904
Nivel 6	0.9896	0.9702	0.9206	1.0088	0.9825	0.9478	0.8928	0.9080	1.0011	1.0042	1.0257	0.9449	0.9478	0.9971
Nivel 5	0.9975	0.9720	0.9284	1.0072	0.9630	0.9507	0.9032	0.9055	0.9953	1.0228	1.0290	0.9482	0.9429	1.0044
Nivel 4	1.0075	0.9735	0.9357	1.0055	0.9436	0.9534	0.9131	0.9026	0.9886	1.0395	1.0327	0.9502	0.9380	1.0117
Nivel 3	1.0200	0.9745	0.9421	1.0038	0.9196	0.9566	0.9227	0.8996	0.9905	1.0533	1.0377	0.9513	0.9322	1.0201
Nivel 2	1.0359	0.9746	0.9490	1.0023	0.9119	0.9612	0.9342	0.8957	0.9995	1.0643	1.0451	0.9516	0.9241	1.0310
Nivel 1														

El sismo de diseño elegido debera de tener una variacion minima entre las respuestas del analisis tiempo historia lineal con respecto a las respuestas del analisis modal con espectro elastico sin reduccion (R=1), esto se traduce a que se escogera el sismo de diseño cuyos ratios calculados en el presente paso debera se lo mas proximo a 1, el mismo que sera utilizado para los procedimientos de diseño siguientes	SISMO DE DISEÑO ESCOGIDO	LIMA 1966
	DEPARTAMENTO	LIMA
	PROVINCIA	CALLAO
	FECHA	17/10/1966
	MAGNNITUD	8 Magnitud Momento
	PROFUNDIDAD	37 Kilometros
	Deriva maxima X	CASO 02 0.0062
	Deriva maxima Y	CASO 02 0.0039

DISEÑO DE DISIPADOR DE ENERGIA DE FLUIDO VISCOSO			
1. IDENTIFICACION DE DERIVA MAXIMA DEL SISMO SELECCIONADO Y SISMO DE DISEÑO			
SISMO MAXIMO CONSIDERADO	DEPARTAMENTO	LIMA	
	PROVINCIA	CALLAO	
	FECHA	17/10/1966	
	MAGNNITUD	8	Magnitud Momento
	PROFUNDIDAD	37	Kilometros
	Deriva maxima X	0.0093	
	Deriva maxima Y	0.0059	
Para el calculo estructural, el cual sera ejecutado en el programa etabs, se introducen 3 datos fundamentales: 1. EXPONENTE DE VELOCIDAD, 2. RIGIDEZ DEL BRAZO METALICO Y COEFICIENTE DE AMORIGUAMIENTO, los cuales se calcularan en la presente hoja de calculo		<p>Ecuacion de fuerza del disipador</p> $F = C * V^\alpha$ <p>C: Coeficiente de amortiguamiento Alfa: Exponente de velocidad.</p>	
1. CALCULO DE EXPONENTE DE VELOCIDAD α			
El exponente de velocidad es el valor que define la linealidad y no linealidad del dispositivo ALFA igual a 1, el dispositivo sera lineal, si este es diferente de 1 sera no lineal, para edificaciones los valores oscilan entre 0.4 a 0.6, sin embargo este valor exacto te lo da el fabricante en este caso la empresa taylor te recomienda para diseño el uso de un valor de 0.5		ESTIMACION DE EXPONENTE DE VELOCIDAD <input type="text" value="0.50"/> VALOR DE EXPONENTE 0.5	
2. CALCULO DE COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO			
El coeficiente de amortiguamiento se define como la relacion entre la Fuerza de amortiguamiento con respecto a la velocidad, para el caso de dispositivos de disipacion de energia estos pueden tener un comportamiento lineal (exponente de amortiguamiento igual 1) y no lineal (exponente de amortiguamiento diferente de 1)		ECUACION DE AMORTIGUAMIENTO LINEAL $F = C * V$ ECUACION DE AMORTIGUAMIENTO NO LINEAL $\sum C_j = \frac{\beta_H * 2 * \pi * A^{1-\alpha} * \omega^{2-\alpha} * (\sum m_i * \phi_i^2)}{\lambda * (\sum \phi_{rj}^{1-\alpha} * \cos^{1+\alpha} \theta_j)}$	
2.1. AMORITGUAMIENTO INHERENTE β_0	2.2. PERIODO Y FRECUENCIA	2.3. COEFICIENTE LAMBDA λ	
Proveniente de la estructura, la cual disipa energia mediante diversos mecanismos, el RNE establece un porcentaje del amortiguamiento critico segun sea lineal y no lineal	PERIODO NATURAL (s)	El parametro lambda Esta en funcion del exponente de velocidad ALFA, el parametro lambda se calcula con la tabla del FEMA 274	Exponente ALFA
	FRECUENCIA NATURAL (Hz)		0.5
	FRECUENCIA ANGULAR		Lambda
<input type="text" value="3.00%"/>	0.788 0.534 1.269 1.873 7.974 11.766		3.5

2.4. AMORTIGUAMIENTO VISCOZO DE LA ESTRUCTURA

Es el amortiguamiento perteneciente al aporte del disipador de energía, el cual se determina como la diferencia del **amortiguamiento efectivo** y el amortiguamiento inherente de la estructura.

2.4.1. PARAMETRO DE AMORTIGUAMIENTO, DERIVA OBJETIVO, AMORTIGUAMIENTO EFECTIVO Y VISCOZO

 β_{eff}

El parametro de amortiguamiento puede ser calculado analiticamente por los siguientes expresiones, el cual necesita valores los datos deriva maxima y deriva objetivo en la primera expresion, en la segunda se requiere la relacion de amortiguamiento efectiva e inherente respecto al critico, con lo que si igualmos ambas expresiones podemos calcular el amortiguamiento efectivo

$$B_{mD} = \frac{\Delta_{max} (Deriva maxima)}{\Delta_{obj} (Deriva objetivo)}$$

$$B_{mD1} = \frac{2.31 - 0.41 * \ln(\beta_0)}{2.31 - 0.41 * \ln(\beta_{eff})}$$

$$\beta_H = \beta_{eff} - \beta_0$$

2.4.2. CALCULOS DE PARAMETRO DE AMORTIGUAMIENTO, DERIVA OBJETIVO, AMORTIGUAMIENTO EFECTIVO Y VISCOZO

La deriva objetivo para el diseño de los dispositivos dependeran directamente del nivel de desempeño y del estado de daño a la cual se requiere llegar despues de un sismo, según las normativas ASCE 7 y FEMA 273, las cuales referencian 5 niveles de desempeño y daño. Segun la clasificacion HAZUS las derivas para cada tipo de desempeño tambien depende del sistema estructural y la clasidficacion de altura de la edificacion.

Sistema estructural		Numero de pisos	
Muros de concreto resistentes a corte	12	Edificacion alta	
Nombre del sistema según Hazus		C2H	
Nivel de desempeño		Operacional	
Deriva según Hazus (deriva objetivo) calculada		0.0036	
Deriva según Hazus (deriva objetivo) tomada		0.0045	
Deriva maxima	0.0093	Deriva maxima	0.0059
Bmd (X)	2.057	Bmd (Y)	1.300
Beff (X) calculada	30.85%	Beff (X) calculada	8.56%
Beff (X) tomado	25.00%	Beff (X) tomado	20.00%
Bhx	22.00%	Bhy	17.00%

2.5. VECTORES DE MASA, AMPLITUD MAXIMA Y DESPLAZAMIENTOS DEL MODO 1, DIFERENCIA ENTRE AMBOS EXTREMOS DEL DISIPADOR, ANGULO DE INCLINACION

NIVEL	Desplazamiento X_CM (modo 1)	Masa (Ton*s^2/m)	Peso (Ton)	Angulo θ_j	Cos (θ_j)	Punto 1 ϕ_{rj}^1	Punto 2 ϕ_{rj}^2	Diferencia	$(\sum_i m_i * \phi_i^2)$	$\sum \phi_{rj}^{1+\alpha} * \cos^{1+\alpha} \theta_j$
Nivel 12	0.237 Amplitud	19.35	189.83	0.00	1.00	0.24	0.24	0.014	1.085	0.0016
Nivel 11	0.223	22.48	220.57	0.00	1.00	0.22	0.22	0.016	1.118	0.0021
Nivel 10	0.207	22.48	220.57	0.00	1.00	0.21	0.21	0.019	0.961	0.0026
Nivel 9	0.188	22.48	220.57	0.00	1.00	0.19	0.19	0.021	0.795	0.0031
Nivel 8	0.167	22.48	220.57	0.00	1.00	0.17	0.17	0.023	0.627	0.0035
Nivel 7	0.144	22.48	220.57	0.00	1.00	0.14	0.14	0.025	0.465	0.0039
Nivel 6	0.119	22.48	220.57	0.00	1.00	0.12	0.12	0.026	0.318	0.0041
Nivel 5	0.093	22.48	220.57	0.00	1.00	0.09	0.09	0.026	0.196	0.0042
Nivel 4	0.067	22.48	220.57	0.00	1.00	0.07	0.07	0.025	0.102	0.0039
Nivel 3	0.042	22.48	220.57	0.00	1.00	0.04	0.04	0.023	0.040	0.0035
Nivel 2	0.019	24.62	241.51	0.00	1.00	0.02	0.02	0.019	0.009	0.0027
Nivel 1_Bas	0.000					0.00	0.00			

CALCULO FINAL DE COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO POR DISIPADOR

X 5.72 0.0352

$$\sum C_j = \frac{\beta_H * 2 * \pi * A^{1-\alpha} * \omega^{2-\alpha} * (\sum_i m_i * \phi_i^2)}{\lambda * (\sum \phi_{rj}^{1+\alpha} * \cos^{1+\alpha} \theta_j)}$$

$$C(\text{por disipador}) = \frac{\sum C_j}{\# \text{ de disipadores}}$$

Bhx	22.00%	1260.613004	
A	0.237		
w	7.97		
Lambda	3.5		
Alfa	0.5		
# disipadores/piso	8	C/diso	157.5766254

NIVEL	Desplazamiento Y_CM (modo 1)	Masa (Ton*s ² /m)	Peso (Ton)	Angulo θ_j	Cos (θ_j)	ϕ_{rj}^1 Punto 1	ϕ_{rj}^2 Punto 2	Diferencia	$(\sum_i m_i * \phi_i^2)$	$\sum \phi_{rj}^{1+\alpha} * \cos^{1+\alpha} \theta_j$																																		
Nivel 12	0.15	19.35	189.83	0.00	1.00	0.15	0.15	0.01	0.434	0.0015																																		
Nivel 11	0.14	22.48	220.57	0.00	1.00	0.14	0.14	0.01	0.418	0.0017																																		
Nivel 10	0.12	22.48	220.57	0.00	1.00	0.12	0.12	0.01	0.337	0.0018																																		
Nivel 9	0.11	22.48	220.57	0.00	1.00	0.11	0.11	0.02	0.261	0.0019																																		
Nivel 8	0.09	22.48	220.57	0.00	1.00	0.09	0.09	0.02	0.192	0.0020																																		
Nivel 7	0.08	22.48	220.57	0.00	1.00	0.08	0.08	0.02	0.132	0.0020																																		
Nivel 6	0.06	22.48	220.57	0.00	1.00	0.06	0.06	0.02	0.084	0.0019																																		
Nivel 5	0.05	22.48	220.57	0.00	1.00	0.05	0.05	0.01	0.047	0.0017																																		
Nivel 4	0.03	22.48	220.57	0.00	1.00	0.03	0.03	0.01	0.022	0.0014																																		
Nivel 3	0.02	22.48	220.57	0.00	1.00	0.02	0.02	0.01	0.008	0.0010																																		
Nivel 2	0.01	24.62	241.51	0.00	1.00	0.01	0.01	0.01	0.002	0.0008																																		
Nivel 1	0.00					0.00	0.00																																					
CALCULO FINAL DE COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO POR DISIPADOR								Y	1.94	0.0177																																		
$\sum C_j = \frac{\beta_H * 2 * \pi * A^{1-\alpha} * \omega^{2-\alpha} * (\sum_i m_i * \phi_i^2)}{\lambda * (\sum \phi_{rj}^{1+\alpha} * \cos^{1+\alpha} \theta_j)}$						<table border="1"> <tr><td>Bhy</td><td>17.00%</td></tr> <tr><td>A</td><td>0.150</td></tr> <tr><td>w</td><td>11.77</td></tr> <tr><td>Lambda</td><td>3.5</td></tr> <tr><td>Alfa</td><td>0.5</td></tr> <tr><td># disipadores/piso</td><td>2</td></tr> </table>		Bhy	17.00%	A	0.150	w	11.77	Lambda	3.5	Alfa	0.5	# disipadores/piso	2	522.7222041																								
Bhy	17.00%																																											
A	0.150																																											
w	11.77																																											
Lambda	3.5																																											
Alfa	0.5																																											
# disipadores/piso	2																																											
$C(\text{por disipador}) = \frac{\sum C_j}{\# \text{ de disipadores}}$						<table border="1"> <tr><td>C/disp</td><td>261.361102</td></tr> </table>		C/disp	261.361102																																			
C/disp	261.361102																																											
3. CALCULO DE RIGIDEZ DEL BRAZO METALICO X																																												
3.1. Selección de sección de diseño y propiedades del material			3.2. Longitud efectiva del Brazo			3.3. Calculo de la rigidez efectiva (K)																																						
Se recomienda utilizar como brazo metalico del disipador de energia secciones tipo PIPE y HSS																																												
		<table border="1"> <tr><td colspan="5">HSS20X0.375</td></tr> <tr><td>Area =</td><td>21.500</td><td>in²</td><td>0.013871</td><td>m²</td></tr> <tr><td>Diametro externo=</td><td>20.000</td><td>in</td><td>0.508</td><td>m</td></tr> <tr><td>Diametro interno=</td><td>19.302</td><td>in</td><td>0.490271</td><td>m</td></tr> <tr><td>Espesor=</td><td>0.375</td><td>in</td><td>0.009525</td><td>m</td></tr> <tr><td>Modulo de elasticidad=</td><td>21000000</td><td></td><td></td><td>Ton/m²</td></tr> <tr><td>Longitud del brazo metalico=</td><td>3.34</td><td></td><td></td><td>m</td></tr> </table>				HSS20X0.375					Area =	21.500	in ²	0.013871	m ²	Diametro externo=	20.000	in	0.508	m	Diametro interno=	19.302	in	0.490271	m	Espesor=	0.375	in	0.009525	m	Modulo de elasticidad=	21000000			Ton/m ²	Longitud del brazo metalico=	3.34			m	3.3 Calculo de la rigidez efectiva (K)		$K = \frac{E * A}{L}$	
HSS20X0.375																																												
Area =	21.500	in ²	0.013871	m ²																																								
Diametro externo=	20.000	in	0.508	m																																								
Diametro interno=	19.302	in	0.490271	m																																								
Espesor=	0.375	in	0.009525	m																																								
Modulo de elasticidad=	21000000			Ton/m ²																																								
Longitud del brazo metalico=	3.34			m																																								
						87212.67143																																						
3. CALCULO DE RIGIDEZ DEL BRAZO METALICO Y																																												
3.1. Selección de sección de diseño y propiedades del material			3.2. Longitud efectiva del Brazo			3.3. Calculo de la rigidez efectiva (K)																																						
Se recomienda utilizar como brazo metalico del disipador de energia secciones tipo PIPE y HSS																																												
		<table border="1"> <tr><td colspan="5">HSS20X0.375</td></tr> <tr><td>Area =</td><td>21.500</td><td>in²</td><td>0.013871</td><td>m²</td></tr> <tr><td>Diametro externo=</td><td>20.000</td><td>in</td><td>0.508</td><td>m</td></tr> <tr><td>Diametro interno=</td><td>19.302</td><td>in</td><td>0.490271</td><td>m</td></tr> <tr><td>Espesor=</td><td>0.375</td><td>in</td><td>0.009525</td><td>m</td></tr> <tr><td>Modulo de elasticidad=</td><td>21000000</td><td></td><td></td><td>Ton/m²</td></tr> <tr><td>Longitud del brazo metalico=</td><td>3.44</td><td></td><td></td><td>m</td></tr> </table>				HSS20X0.375					Area =	21.500	in ²	0.013871	m ²	Diametro externo=	20.000	in	0.508	m	Diametro interno=	19.302	in	0.490271	m	Espesor=	0.375	in	0.009525	m	Modulo de elasticidad=	21000000			Ton/m ²	Longitud del brazo metalico=	3.44			m	3.3 Calculo de la rigidez efectiva (K)		$K = \frac{E * A}{L}$	
HSS20X0.375																																												
Area =	21.500	in ²	0.013871	m ²																																								
Diametro externo=	20.000	in	0.508	m																																								
Diametro interno=	19.302	in	0.490271	m																																								
Espesor=	0.375	in	0.009525	m																																								
Modulo de elasticidad=	21000000			Ton/m ²																																								
Longitud del brazo metalico=	3.44			m																																								
						84677.41935																																						



ANEXOS N° 06

RESULTADOS DE MODELO CONVENCIONAL CON ANÁLISIS DINÁMICO HISTORIA DE RESPUESTAS ANTE SMC

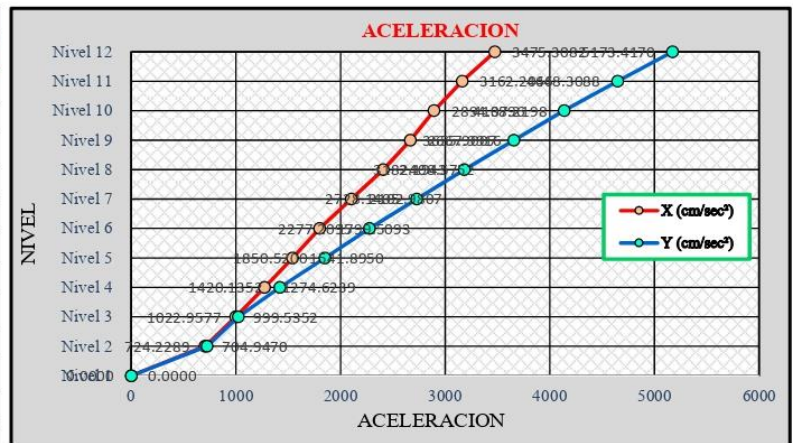
RESULTADOS DEL MODELO CONVENCIONAL EN LIMITE NOMINAL (PROMEDIO NO LINEAL TH)

PERIODO

Modo	Periodos de participacion modal y modos de vibración			
	Periodo(seg)	UX	UY	RZ
1	0.788	0.777	0.000	0.000
2	0.534	0.000	0.729	0.000
3	0.419	0.009	0.000	0.736

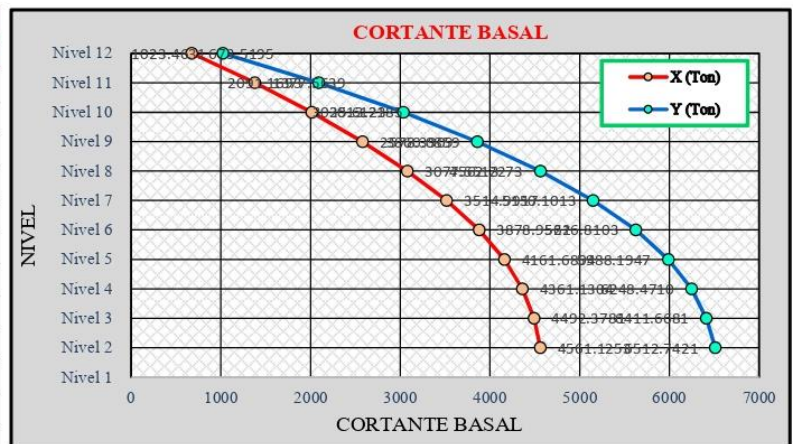
ACELERACIONES LIMITE NOMINAL

	PROMEDIO	
	X (cm/sec ²)	Y (cm/sec ²)
Nivel 12	3475.3082	5173.4170
Nivel 11	3162.2046	4648.3088
Nivel 10	2894.0796	4138.2198
Nivel 9	2667.9916	3655.9007
Nivel 8	2408.5752	3182.1943
Nivel 7	2102.9807	2728.1405
Nivel 6	1799.5093	2277.2095
Nivel 5	1541.8950	1850.5200
Nivel 4	1274.6239	1420.1352
Nivel 3	999.5352	1022.9577
Nivel 2	704.9470	724.2289
Nivel 1	0.0000	0.0000



CORTANTE BASAL LIMITE NOMINAL

	PROMEDIO	
	X (Ton)	Y (Ton)
Nivel 12	673.5195	1023.4631
Nivel 11	1377.5639	2091.1693
Nivel 10	2013.2185	3035.6123
Nivel 9	2578.3909	3860.0859
Nivel 8	3077.5513	4562.2273
Nivel 7	3514.9917	5150.1013
Nivel 6	3878.9521	5626.8103
Nivel 5	4161.6804	5988.1947
Nivel 4	4361.1304	6248.4710
Nivel 3	4492.3781	6411.6681
Nivel 2	4561.1253	6512.7421
Nivel 1		



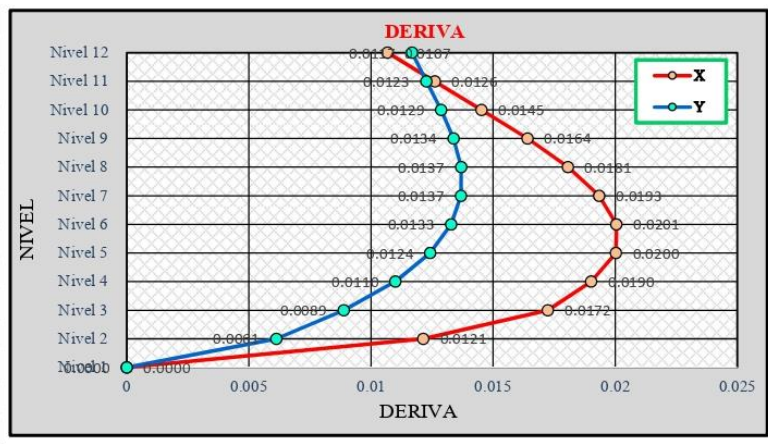
DESPLAZAMIENTO LIMITE NOMINAL

	PROMEDIO	
	X (cm)	Y (cm)
Nivel 12	51.04	36.52
Nivel 11	48.05	33.24
Nivel 10	44.52	29.81
Nivel 9	40.45	26.20
Nivel 8	35.86	22.45
Nivel 7	30.80	18.62
Nivel 6	25.38	14.79
Nivel 5	19.77	11.07
Nivel 4	14.16	7.59
Nivel 3	8.83	4.51
Nivel 2	4.01	2.02
Nivel 1	0.00	0.00



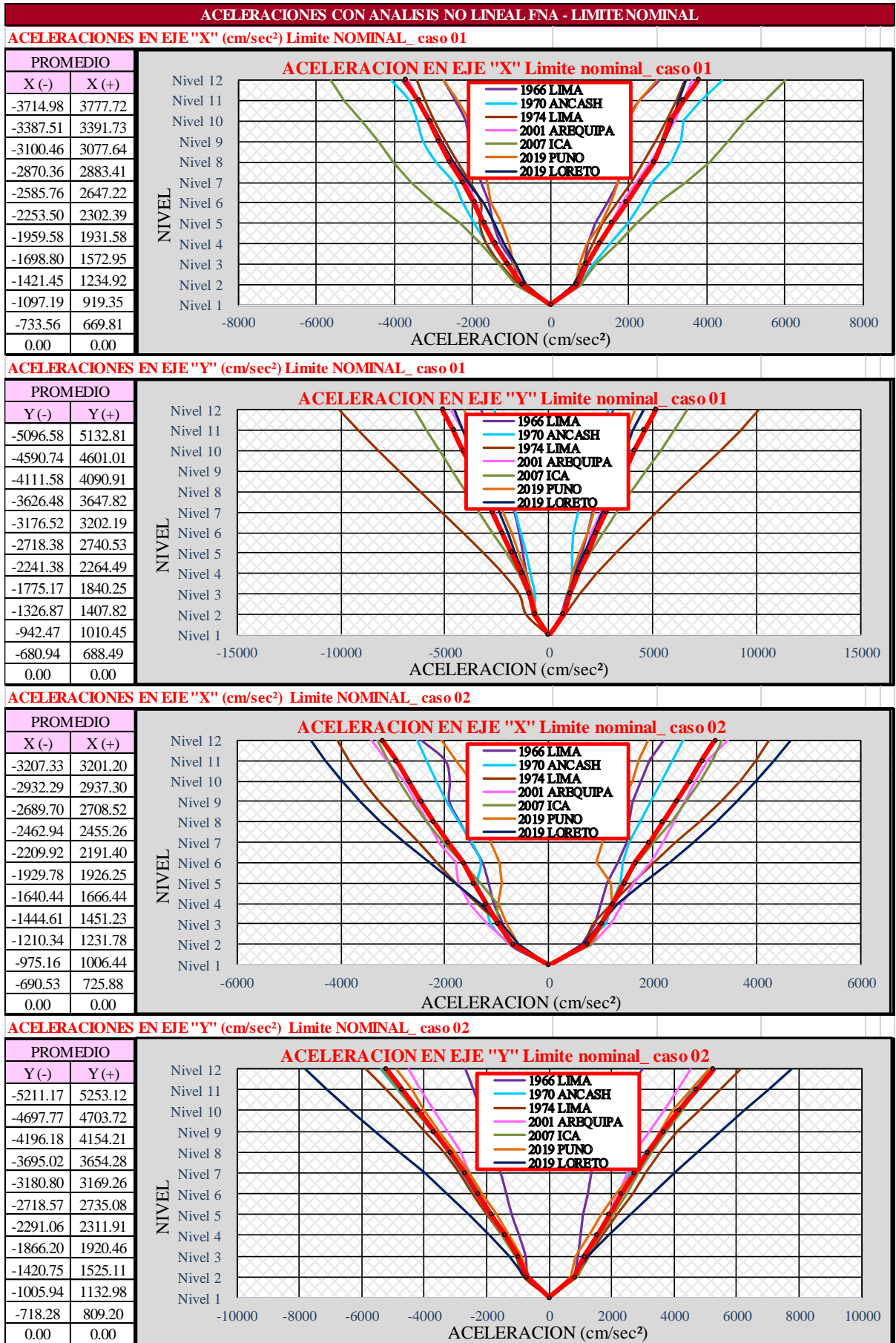
DERIVA LIMITE NOMINAL

	PROMEDIO	
	X	Y
Nivel 12	0.0107	0.0117
Nivel 11	0.0126	0.0123
Nivel 10	0.0145	0.0129
Nivel 9	0.0164	0.0134
Nivel 8	0.0181	0.0137
Nivel 7	0.0193	0.0137
Nivel 6	0.0201	0.0133
Nivel 5	0.0200	0.0124
Nivel 4	0.0190	0.0110
Nivel 3	0.0172	0.0089
Nivel 2	0.0121	0.0061
Nivel 1	0.0000	0.0000





ACELERACIONES CON ANALISIS NO LINEAL FNA - LIMITE NOMINAL													
ACELERACIONES EN EJE "X" (cm/sec ²) Limite NOMINAL_ caso 01													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)
-2739.21	2774.76	-4072.74	4385.96	-3421.32	3437.78	-3624.84	3627.68	-5632.34	6003.51	-2729.79	2735.25	-3784.65	3479.09
-2437.34	2252.39	-3614.78	3849.59	-3212.31	3221.27	-3395.72	3417.66	-5270.88	5485.14	-2379.81	2249.70	-3401.72	3266.37
-2173.88	1906.95	-3414.87	3415.56	-2969.96	2970.74	-3153.38	3172.62	-4853.66	4978.71	-2073.03	1981.50	-3064.47	3117.42
-2086.73	1992.98	-3259.34	3354.18	-2688.12	2697.47	-2863.91	2887.50	-4417.02	4544.13	-1974.39	1790.60	-2803.01	2917.01
-1944.53	1919.97	-2931.77	3078.99	-2381.61	2394.92	-2527.53	2560.91	-4048.97	4071.99	-1763.60	1848.87	-2502.36	2654.91
-1775.66	1739.58	-2484.77	2604.51	-2059.74	2058.63	-2160.30	2189.88	-3567.90	3458.76	-1615.92	1735.19	-2110.23	2330.18
-1578.21	1446.66	-2242.19	2311.65	-1777.70	1695.96	-1894.94	1827.81	-2973.36	2737.08	-1528.97	1549.52	-1721.72	1952.39
-1466.45	1126.98	-1951.59	1979.90	-1811.25	1325.90	-1681.43	1546.41	-2300.99	2180.04	-1256.01	1283.16	-1423.88	1568.24
-1274.25	938.34	-1630.76	1512.92	-1643.28	1074.12	-1393.23	1256.25	-1771.08	1684.10	-1063.44	914.09	-1174.14	1264.65
-940.59	850.49	-1291.07	1068.63	-1283.12	829.25	-1052.33	928.41	-1322.78	1128.62	-925.10	723.59	-865.38	906.51
-743.34	781.47	-831.77	722.57	-775.98	570.18	-670.73	618.60	-863.19	768.86	-607.83	655.89	-642.12	571.13
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ACELERACIONES EN EJE "Y" (cm/sec ²) Limite NOMINAL_ caso 01													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)
-3273.90	3088.10	-2640.54	2871.06	-10062.12	10087.20	-4686.80	4554.80	-6432.11	6663.29	-4050.48	4132.52	-4530.11	4532.72
-2827.44	2724.87	-2399.36	2504.06	-9142.46	9184.29	-4134.35	4025.70	-5858.01	6016.94	-3643.47	3721.82	-4130.12	4029.41
-2533.58	2500.49	-2196.60	2123.64	-8178.26	8234.64	-3625.59	3472.49	-5255.84	5338.76	-3280.73	3290.54	-3710.49	3675.83
-2186.78	2426.58	-2030.18	1798.74	-7172.42	7233.44	-3134.27	3161.46	-4625.16	4662.21	-2965.71	2930.64	-3270.84	3321.68
-1925.75	2307.62	-1838.30	1604.99	-6162.02	6193.32	-2866.17	2860.89	-4002.72	3969.03	-2627.75	2534.76	-2812.98	2944.73
-1664.97	2124.42	-1622.21	1391.63	-5140.83	5185.59	-2631.60	2479.85	-3357.33	3272.75	-2232.95	2183.27	-2378.79	2546.25
-1436.69	1873.86	-1367.45	1158.33	-4115.85	4196.85	-2268.99	2034.24	-2702.16	2615.66	-1806.24	1839.77	-1992.27	2132.75
-1257.95	1562.24	-1103.78	1137.63	-3119.12	3223.11	-1844.60	1779.74	-2050.64	1987.91	-1446.09	1475.76	-1604.06	1715.37
-1085.55	1213.34	-899.48	1087.38	-2188.31	2299.22	-1372.41	1413.96	-1423.62	1394.78	-1090.29	1135.59	-1228.46	1310.46
-825.30	868.28	-677.73	954.32	-1422.18	1468.26	-1002.62	965.54	-985.91	956.93	-795.63	915.74	-887.90	944.09
-592.89	616.07	-657.63	771.78	-1077.09	784.46	-667.23	589.88	-590.13	646.91	-570.05	773.22	-611.60	637.13
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ACELERACIONES EN EJE "X" (cm/sec ²) Limite NOMINAL_ caso 02													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)
-2469.60	2212.08	-2541.20	2593.23	-4075.74	4247.81	-3420.42	3443.66	-3294.14	3343.71	-2069.82	1902.30	-4580.43	4665.62
-2001.38	1926.51	-2361.17	2382.32	-3852.33	3982.77	-3112.41	3054.66	-3104.49	3143.30	-1788.60	1737.02	-4305.63	4334.52
-1910.46	1784.34	-2174.00	2174.25	-3586.04	3672.38	-2795.22	2828.42	-2885.54	2909.34	-1489.88	1600.88	-3986.76	3990.03
-1919.06	1620.81	-1973.12	1964.45	-3269.61	3308.87	-2551.28	2619.38	-2632.52	2642.33	-1260.92	1407.17	-3634.13	3623.82
-1721.09	1543.01	-1739.84	1741.44	-2898.14	2891.09	-2335.82	2411.25	-2345.40	2345.15	-1203.75	1195.25	-3225.41	3212.61
-1503.86	1501.70	-1487.78	1542.30	-2507.54	2434.65	-2110.74	2182.16	-2027.78	2015.99	-1113.95	1021.92	-2756.85	2785.05
-1280.18	1323.35	-1315.35	1428.81	-2156.10	2039.81	-1792.44	1955.78	-1684.91	1692.92	-961.70	904.10	-2292.39	2320.34
-1162.86	1115.79	-1377.69	1370.22	-1788.98	1616.72	-1735.80	1631.66	-1324.77	1410.21	-908.73	1187.03	-1813.46	1826.97
-1062.08	1002.57	-1220.64	1216.65	-1378.22	1214.00	-1529.91	1425.06	-994.46	1218.39	-968.76	1217.42	-1318.32	1328.39
-887.78	886.10	-1113.33	1099.34	-950.51	830.82	-1187.34	1182.66	-981.60	1037.37	-811.11	1018.79	-894.45	989.99
-752.78	636.03	-735.32	688.26	-690.57	681.84	-740.79	826.10	-740.19	822.65	-585.62	773.91	-588.44	652.41
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ACELERACIONES EN EJE "Y" (cm/sec ²) Limite NOMINAL_ caso 02													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)
-2676.81	2973.54	-5387.01	5167.22	-5844.38	6116.55	-4515.48	4534.67	-5344.65	5146.35	-4906.85	5099.00	-7802.99	7734.50
-2418.38	2535.03	-4837.13	4564.50	-5188.76	5473.28	-4110.75	4115.60	-4831.02	4703.54	-4404.95	4536.36	-7093.41	6997.71
-2213.55	2080.07	-4259.49	4133.28	-4565.91	4797.11	-3688.58	3676.02	-4292.55	4239.41	-3999.18	3928.97	-6353.99	6224.64
-2041.19	1783.92	-3741.77	3642.05	-3974.01	4096.35	-3247.89	3223.40	-3734.45	3751.83	-3530.93	3575.70	-5594.94	5506.74
-1808.67	1528.80	-3239.22	3077.15	-3364.01	3564.62	-2852.88	2758.83	-3168.09	3293.88	-3025.52	3186.32	-4807.25	4775.24
-1551.65	1344.38	-2817.26	2598.99	-2870.87	3110.33	-2561.22	2516.91	-2644.31	2858.06	-2567.07	2692.91	-4017.63	4023.98
-1368.62	1228.02	-2355.35	2228.69	-2449.46	2648.28	-2215.32	2213.54	-2234.45	2459.64	-2132.28	2123.06	-3281.94	3282.17
-1196.99	1082.67	-1860.17	1992.27	-1987.07	2176.44	-1823.37	1901.61	-1934.01	2058.93	-1678.83	1653.02	-2582.97	2578.28
-963.45	1009.82	-1356.26	1660.14	-1513.41	1710.11	-1404.96	1533.02	-1525.38	1619.67	-1278.81	1258.13	-1902.96	1884.87
-754.20	919.50	-985.25	1252.98	-1059.95	1261.26	-990.14	1184.36	-1078.02	1207.13	-898.40	860.43	-1275.65	1245.20
-642.59	825.65	-722.51	806.58	-822.30	870.14	-653.42	813.14	-757.92	903.89	-653.69	689.64	-775.58	755.37
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00





CORTANTE BASAL CON ANALISIS NO LINEAL FNA - LIMITE NOMINAL

CORTANTE BASAL EN EJE "X" (ton) Limite NOMINAL_ caso 01

1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)
-525.1	542.2	-785.1	862.2	-665.9	658.6	-702.8	696.6	-1087.7	1161.7	-529.8	530.2	-399.1	369.3
-1036.7	1053.3	-1591.3	1738.2	-1393.4	1376.0	-1464.3	1460.1	-2271.2	2385.5	-1021.5	1035.9	-787.2	759.2
-1504.3	1450.6	-2282.6	2486.1	-2066.9	2038.6	-2176.3	2169.7	-3361.8	3492.1	-1485.4	1432.6	-1112.7	1109.8
-1874.3	1755.7	-2925.7	3124.1	-2677.3	2639.3	-2823.9	2816.3	-4347.3	4472.7	-1842.1	1745.8	-1357.0	1421.3
-2229.0	2023.3	-3568.0	3674.4	-3216.3	3171.2	-3395.6	3390.7	-5216.5	5338.8	-2086.2	2020.4	-1553.8	1690.2
-2588.3	2328.5	-4112.5	4264.9	-3677.4	3627.7	-3882.1	3882.6	-5959.8	6081.7	-2364.2	2216.2	-1716.5	1896.5
-2906.8	2611.2	-4536.9	4735.3	-4056.6	4003.4	-4277.6	4283.1	-6570.4	6682.0	-2617.8	2443.4	-1836.2	2034.6
-3155.3	2831.5	-4845.2	5091.6	-4352.8	4294.5	-4585.1	4587.6	-7066.7	7098.4	-2794.8	2672.2	-1952.4	2134.9
-3336.8	2962.1	-5052.5	5354.7	-4570.0	4500.2	-4802.5	4797.4	-7420.1	7342.2	-2914.4	2820.1	-2044.0	2179.7
-3457.0	3103.1	-5200.8	5541.9	-4708.2	4625.1	-4935.4	4921.3	-7626.1	7550.4	-3005.0	2882.7	-2100.6	2200.2
-3483.1	3215.9	-5271.6	5670.7	-4778.2	4682.5	-4997.9	4994.4	-7718.8	7648.5	-3023.4	2913.1	-2132.3	2214.4
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

CORTANTE BASAL EN EJE "Y" (ton) Limite NOMINAL_ caso 01

1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)
-609.4	619.5	-499.7	563.6	-1940.7	1984.6	-889.7	889.0	-1229.0	1311.6	-771.4	817.8	-936.4	1008.5
-1224.4	1232.1	-1053.6	1111.9	-4011.7	4057.7	-1825.5	1777.5	-2553.3	2662.6	-1604.3	1648.4	-1937.2	2026.0
-1786.4	1768.1	-1545.6	1585.0	-5857.4	5923.0	-2626.8	2551.5	-3735.1	3868.5	-2335.8	2387.6	-2815.5	2914.5
-2276.1	2255.1	-1989.3	1976.3	-7475.3	7562.0	-3324.6	3202.9	-4775.0	4915.7	-2984.9	3023.7	-3609.3	3662.3
-2677.8	2733.9	-2409.3	2287.7	-8858.8	8965.6	-3899.9	3734.4	-5668.1	5804.0	-3549.4	3567.5	-4283.7	4274.0
-2990.6	3214.9	-2777.3	2529.9	-10004.2	10129.8	-4353.2	4212.0	-6411.4	6543.8	-4037.8	4046.3	-4826.8	4767.1
-3225.3	3640.6	-3087.5	2714.3	-10913.2	11055.9	-4694.8	4646.2	-7014.0	7128.2	-4430.7	4427.1	-5238.1	5235.3
-3397.1	3997.4	-3335.8	2873.6	-11594.7	11751.5	-4963.6	4988.0	-7474.1	7564.3	-4728.8	4711.7	-5537.3	5576.9
-3600.0	4275.3	-3521.1	3004.4	-12071.0	12231.5	-5225.4	5223.1	-7792.2	7864.4	-4939.4	4908.5	-5797.1	5794.7
-3773.9	4474.8	-3644.6	3074.9	-12376.1	12522.7	-5390.5	5357.2	-7981.5	8047.4	-5075.8	5031.1	-5959.7	5913.3
-3912.7	4614.7	-3726.0	3116.2	-12551.4	12670.6	-5472.6	5424.3	-8078.3	8141.2	-5169.3	5119.6	-6060.9	5964.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

CORTANTE BASAL EN EJE "X" (ton) Limite NOMINAL_ caso 02

1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)
-471.4	436.0	-495.8	493.6	-790.8	822.3	-662.3	669.0	-636.0	648.9	-529.8	900.2	-886.1	900.2
-868.8	867.5	-1031.7	1023.2	-1659.1	1719.1	-1361.7	1358.6	-1332.5	1357.6	-1021.5	1871.3	-1854.1	1871.3
-1235.4	1233.8	-1522.2	1507.7	-2467.7	2546.3	-1983.6	1955.9	-1980.5	2014.0	-1485.4	2758.5	-2751.3	2758.5
-1622.8	1600.6	-1962.9	1939.6	-3204.4	3292.0	-2528.1	2507.7	-2572.1	2609.7	-1842.1	3561.9	-3566.5	3561.9
-2009.7	1926.4	-2359.3	2314.3	-3856.0	3943.5	-3003.4	3005.3	-3099.6	3136.9	-2086.2	4283.9	-4288.9	4283.9
-2312.0	2207.0	-2698.4	2628.7	-4410.6	4493.5	-3402.1	3442.1	-3556.0	3589.6	-2364.2	4903.8	-4909.1	4903.8
-2600.5	2439.4	-2976.4	2881.5	-4861.2	4939.6	-3729.4	3821.9	-3935.6	3963.2	-2617.8	5414.4	-5420.1	5414.4
-2797.4	2621.6	-3191.5	3084.9	-5225.1	5280.8	-4021.4	4113.6	-4234.5	4256.5	-2794.8	5811.9	-5818.0	5811.9
-2980.9	2753.9	-3345.0	3235.8	-5496.0	5524.3	-4233.9	4316.9	-4451.0	4467.4	-2914.4	6096.2	-6103.4	6096.2
-3128.7	2838.7	-3442.1	3327.1	-5672.1	5683.2	-4372.7	4442.6	-4587.5	4600.3	-3005.0	6273.3	-6282.0	6273.3
-3251.7	2884.4	-3494.1	3366.9	-5769.7	5781.4	-4447.7	4528.1	-4656.0	4669.3	-3023.4	6361.0	-6372.0	6361.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

CORTANTE BASAL EN EJE "Y" (ton) Limite NOMINAL_ caso 02

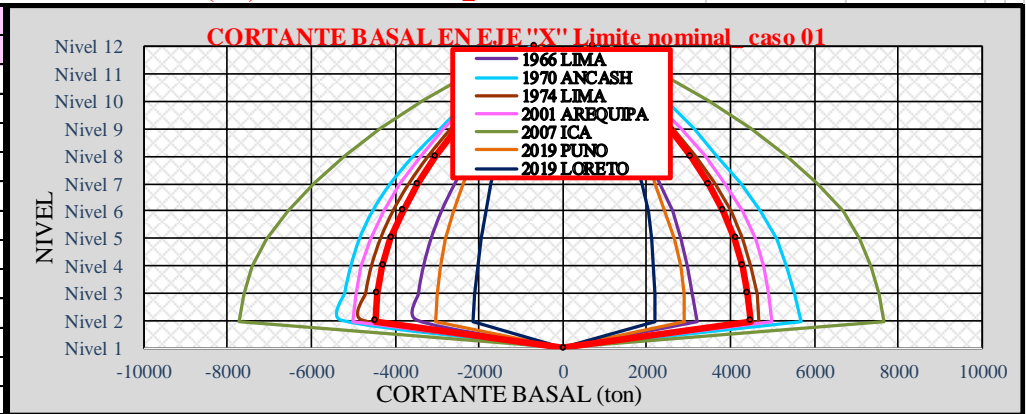
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)
-497.8	593.3	-1027.7	1029.7	-1121.5	1206.2	-856.7	897.7	-1023.2	1014.0	-771.4	1522.0	-1502.8	1522.0
-1043.3	1159.3	-2122.4	2064.0	-2302.5	2433.5	-1787.2	1819.0	-2122.0	2065.5	-1604.3	3095.7	-3112.1	3095.7
-1522.2	1632.1	-3076.6	2967.7	-3321.9	3514.3	-2615.6	2648.5	-3092.5	3020.6	-2335.8	4502.0	-4544.6	4502.0
-1963.2	2002.7	-3890.3	3785.0	-4213.4	4435.9	-3344.1	3374.9	-3936.7	3866.7	-2984.9	5726.2	-5799.7	5726.2
-2356.5	2268.6	-4563.7	4491.7	-4977.4	5197.2	-3971.3	3997.9	-4652.2	4598.6	-3549.4	6762.7	-6878.6	6762.7
-2697.8	2508.2	-5129.3	5058.6	-5602.3	5804.1	-4493.4	4513.6	-5238.7	5212.7	-4037.8	7641.0	-7779.4	7641.0
-2981.0	2737.8	-5612.6	5482.3	-6091.1	6267.8	-4909.9	4922.2	-5699.6	5707.6	-4430.7	8377.9	-8501.1	8377.9
-3202.9	2910.5	-5980.8	5774.2	-6448.8	6600.4	-5223.6	5227.4	-6041.9	6085.0	-4728.8	8949.5	-9051.3	8949.5
-3363.5	3029.9	-6239.9	5955.0	-6684.5	6814.5	-5441.1	5435.9	-6277.9	6350.6	-4939.4	9366.4	-9444.0	9366.4
-3462.1	3103.3	-6399.4	6049.3	-6812.2	6928.5	-5584.2	5560.5	-6418.8	6516.2	-5075.8	9647.3	-9698.4	9647.3
-3512.1	3139.7	-6491.3	6156.7	-6861.4	6963.0	-5742.1	5682.8	-6495.5	6602.4	-5169.3	9828.7	-9861.2	9828.7
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



CORTANTE BASAL CON ANALISIS NO LINEAL FNA - LIMITE NOMINAL

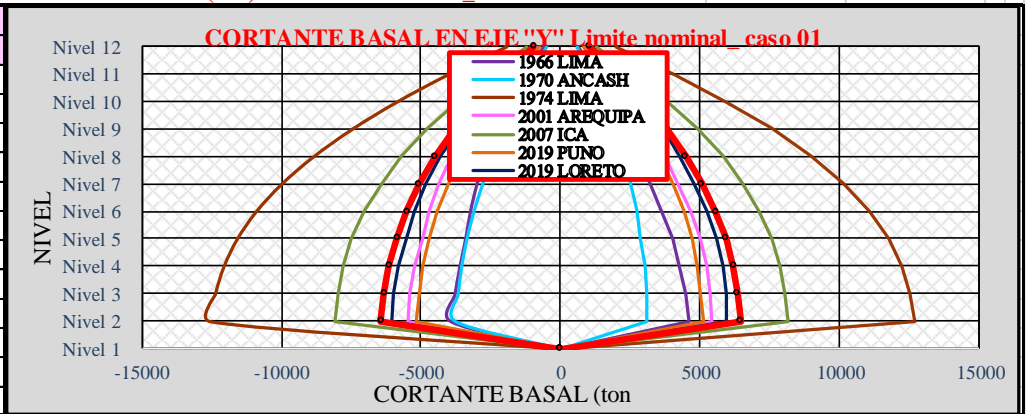
CORTANTE BASAL EN EJE "X" (ton) Limite NOMINAL_ caso 01

PROMEDIO	
X (-)	X (+)
-670.8	688.7
-1366.5	1401.2
-1998.6	2025.6
-2549.7	2567.9
-3037.9	3044.1
-3471.5	3471.2
-3828.9	3827.6
-4107.5	4101.5
-4305.7	4279.5
-4433.3	4403.5
-4486.5	4477.1
0.0	0.0



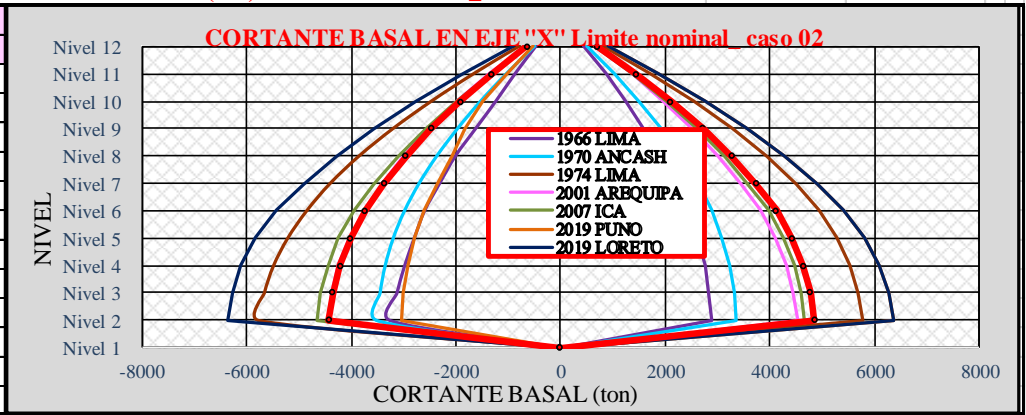
CORTANTE BASAL EN EJE "Y" (ton) Limite NOMINAL_ caso 01

PROMEDIO	
Y (-)	Y (+)
-982.3	1027.8
-2030.0	2073.7
-2957.5	2999.7
-3776.4	3799.7
-4478.1	4481.0
-5057.3	5063.4
-5514.8	5549.7
-5861.6	5923.3
-6135.2	6186.0
-6314.6	6345.9
-6424.5	6435.8
0.0	0.0



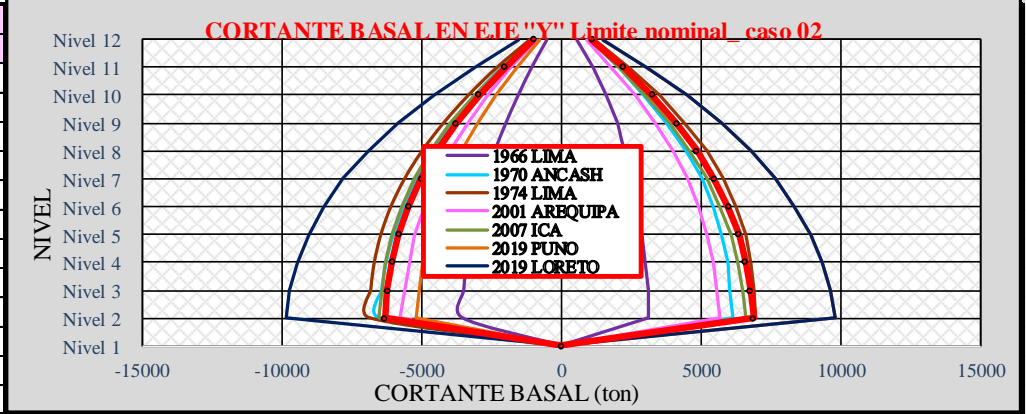
CORTANTE BASAL EN EJE "X" (ton) Limite NOMINAL_ caso 02

PROMEDIO	
X (-)	X (+)
-638.9	695.7
-1304.2	1438.4
-1918.0	2110.7
-2471.3	2724.8
-2957.6	3270.6
-3378.9	3738.3
-3734.4	4124.9
-4011.8	4425.9
-4217.8	4641.5
-4355.7	4776.9
-4430.7	4850.3
0.0	0.0



CORTANTE BASAL EN EJE "Y" (ton) Limite NOMINAL_ caso 02

PROMEDIO	
Y (-)	Y (+)
-971.6	1112.1
-2013.4	2247.5
-2929.9	3255.3
-3733.2	4131.1
-4421.3	4868.5
-4996.9	5482.7
-5460.9	5981.9
-5811.2	6356.6
-6055.8	6617.0
-6207.3	6778.9
-6304.7	6886.0
0.0	0.0





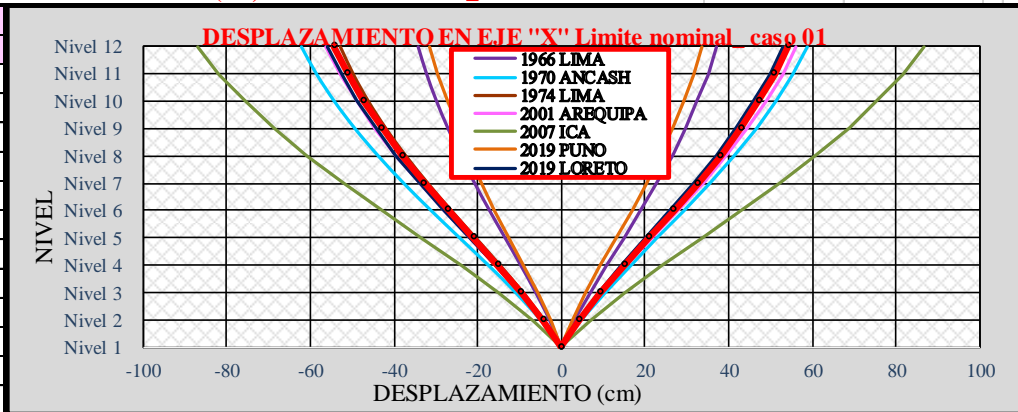
DESPLAZAMIENTO CON ANALISIS NO LINEAL FNA - LIMITE NOMINAL													
DESPLAZAMIENTO EN EJE "X" (cm) Limite NOMINAL_ caso 01													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)
-34.07	37.13	-62.01	58.81	-52.73	53.50	-56.25	56.29	-87.11	86.71	-31.58	33.79	-55.82	53.07
-32.05	35.08	-58.40	55.44	-49.65	50.38	-52.97	53.00	-81.96	81.64	-29.53	31.77	-52.63	49.92
-29.66	32.65	-54.13	51.47	-46.01	46.69	-49.10	49.12	-75.88	75.65	-27.13	29.39	-48.86	46.20
-26.93	29.80	-49.20	46.85	-41.81	42.43	-44.62	44.64	-68.85	68.73	-24.58	26.73	-44.48	41.90
-23.87	26.53	-43.64	41.58	-37.05	37.61	-39.54	39.56	-60.91	60.90	-22.01	23.70	-39.50	37.03
-20.58	22.86	-37.57	35.72	-31.81	32.29	-33.94	33.96	-52.21	52.28	-19.08	20.34	-33.98	31.71
-17.03	18.95	-31.03	29.43	-26.20	26.60	-27.95	27.97	-42.90	43.06	-15.85	16.77	-28.03	26.04
-13.33	14.84	-24.22	22.90	-20.40	20.71	-21.74	21.77	-33.28	33.52	-12.42	13.06	-21.86	20.18
-9.61	10.68	-17.38	16.38	-14.60	14.83	-15.56	15.58	-23.80	24.00	-8.93	9.35	-15.67	14.38
-6.04	6.68	-10.86	10.21	-9.10	9.25	-9.69	9.71	-14.84	14.96	-5.58	5.84	-9.77	8.91
-2.76	3.04	-4.94	4.63	-4.12	4.19	-4.39	4.40	-6.73	6.78	-2.53	2.65	-4.43	4.02
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DESPLAZAMIENTO EN EJE "Y" (cm) Limite NOMINAL_ caso 01													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)
-23.41	21.48	-18.23	20.10	-73.17	72.24	-30.32	31.32	-47.28	46.31	-29.17	29.18	-33.12	32.66
-21.39	19.54	-16.56	18.34	-66.60	65.76	-27.63	28.48	-43.03	42.17	-26.56	26.58	-30.19	29.73
-19.28	17.51	-14.81	16.48	-59.71	58.95	-24.81	25.50	-38.56	37.81	-23.82	23.84	-27.11	26.66
-17.05	15.37	-12.98	14.54	-52.48	51.81	-21.85	22.37	-33.88	33.24	-20.95	20.97	-23.88	23.44
-14.71	13.14	-11.08	12.50	-44.96	44.39	-18.76	19.12	-29.02	28.49	-17.96	17.98	-20.51	20.09
-12.30	10.88	-9.15	10.41	-37.28	36.80	-15.59	15.82	-24.05	23.63	-14.90	14.93	-17.06	16.66
-9.85	8.65	-7.23	8.30	-29.60	29.21	-12.41	12.53	-19.09	18.77	-11.84	11.87	-13.59	13.23
-7.43	6.50	-5.41	6.24	-22.14	21.85	-9.30	9.34	-14.27	14.04	-8.86	8.89	-10.21	9.89
-5.14	4.47	-3.71	4.30	-15.17	14.97	-6.39	6.39	-9.77	9.63	-6.07	6.10	-7.02	6.78
-3.08	2.67	-2.21	2.56	-9.01	8.89	-3.80	3.78	-5.80	5.72	-3.61	3.63	-4.19	4.03
-1.39	1.21	-0.99	1.15	-4.03	3.98	-1.71	1.70	-2.60	2.56	-1.62	1.63	-1.89	1.80
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DESPLAZAMIENTO EN EJE "X" (cm) Limite NOMINAL_ caso 02													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)
-32.14	33.57	-38.10	39.21	-65.21	64.00	-49.96	49.55	-52.25	51.81	-26.80	25.01	-71.31	71.41
-30.28	31.65	-35.84	36.92	-61.39	60.28	-47.08	46.60	-49.20	48.80	-25.17	23.43	-67.16	67.24
-28.07	29.40	-33.17	34.22	-56.86	55.89	-43.68	43.11	-45.60	45.25	-23.25	21.58	-62.25	62.32
-25.52	26.79	-30.10	31.10	-51.65	50.82	-39.74	39.11	-41.45	41.15	-21.03	19.49	-56.58	56.64
-22.62	23.84	-26.63	27.56	-45.74	45.08	-35.25	34.59	-36.74	36.49	-18.53	17.15	-50.15	50.21
-19.44	20.57	-22.83	23.66	-39.24	38.74	-30.30	29.72	-31.55	31.36	-15.80	14.63	-43.07	43.12
-16.02	17.04	-18.81	19.49	-32.30	31.94	-25.00	24.52	-26.00	25.86	-12.91	12.00	-35.48	35.53
-12.48	13.34	-14.65	15.18	-25.13	24.90	-19.48	19.13	-20.25	20.15	-9.97	9.32	-27.63	27.66
-8.94	9.61	-10.49	10.86	-17.98	17.84	-13.96	13.72	-14.50	14.44	-7.09	6.66	-19.78	19.81
-5.58	6.05	-6.54	6.77	-11.21	11.14	-8.72	8.57	-9.04	9.01	-4.39	4.15	-12.34	12.35
-2.53	2.77	-2.96	3.07	-5.08	5.05	-3.96	3.89	-4.10	4.09	-1.98	1.88	-5.59	5.60
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DESPLAZAMIENTO EN EJE "Y" (cm) Limite NOMINAL_ caso 02													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)
-18.14	19.52	-36.14	37.05	-41.89	40.37	-32.60	32.43	-37.70	37.81	-34.69	34.48	-55.38	56.27
-16.51	17.79	-32.89	33.74	-38.08	36.73	-29.67	29.52	-34.33	34.41	-31.54	31.38	-50.43	51.23
-14.80	15.98	-29.47	30.26	-34.09	32.91	-26.60	26.48	-30.79	30.84	-28.23	28.13	-45.24	45.94
-13.00	14.07	-25.88	26.61	-29.90	28.91	-23.37	23.28	-27.07	27.09	-24.77	24.71	-39.80	40.39
-11.14	12.08	-22.16	22.81	-25.56	24.75	-20.02	19.95	-23.21	23.20	-21.18	21.15	-34.13	34.62
-9.24	10.04	-18.34	18.93	-21.14	20.50	-16.59	16.54	-19.25	19.22	-17.53	17.52	-28.33	28.71
-7.33	8.00	-14.54	15.04	-16.74	16.26	-13.17	13.14	-15.30	15.25	-13.90	13.89	-22.52	22.81
-5.49	6.00	-10.85	11.26	-12.49	12.15	-9.85	9.83	-11.45	11.40	-10.38	10.41	-16.87	17.07
-3.76	4.12	-7.42	7.72	-8.53	8.31	-6.75	6.74	-7.85	7.81	-7.12	7.15	-11.58	11.71
-2.23	2.45	-4.40	4.59	-5.05	4.93	-4.01	4.00	-4.67	4.63	-4.23	4.25	-6.89	6.96
-1.00	1.10	-1.96	2.06	-2.26	2.20	-1.79	1.79	-2.09	2.07	-1.89	1.91	-3.09	3.12
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



DESPLAZAMIENTO CON ANALISIS NO LINEAL FNA - LIMITE NOMINAL

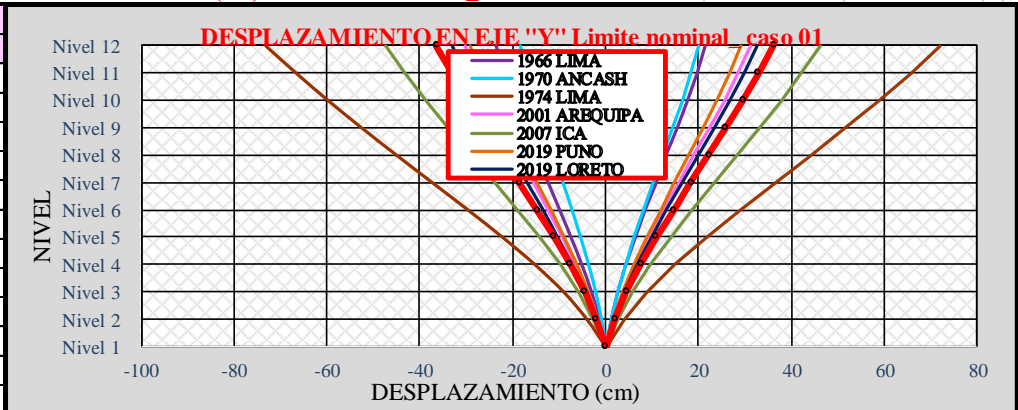
DESPLAZAMIENTO EN EJE "X" (cm) Limite NOMINAL_ caso 01

PROMEDIO	
X (-)	X (+)
-54.22	54.19
-51.03	51.03
-47.25	47.31
-42.93	43.01
-38.08	38.13
-32.74	32.74
-27.00	26.97
-21.03	21.00
-15.08	15.03
-9.41	9.37
-4.27	4.25
0.00	0.00



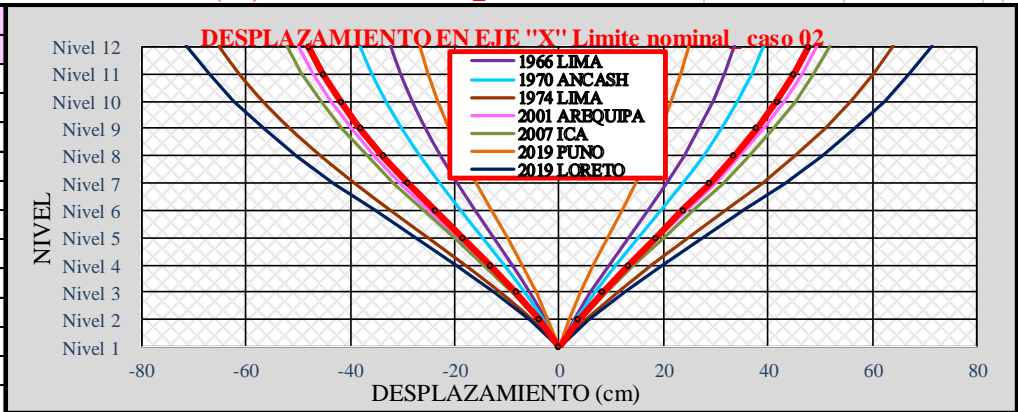
DESPLAZAMIENTO EN EJE "Y" (cm) Limite NOMINAL_ caso 01

PROMEDIO	
Y (-)	Y (+)
-36.39	36.18
-33.14	32.94
-29.73	29.54
-26.15	25.96
-22.43	22.25
-18.62	18.44
-14.80	14.65
-11.09	10.97
-7.61	7.52
-4.53	4.47
-2.03	2.00
0.00	0.00



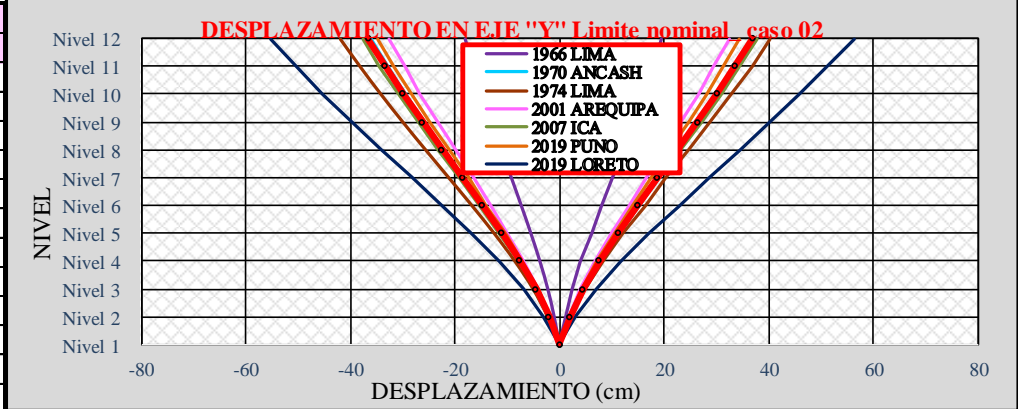
DESPLAZAMIENTO EN EJE "X" (cm) Limite NOMINAL_ caso 02

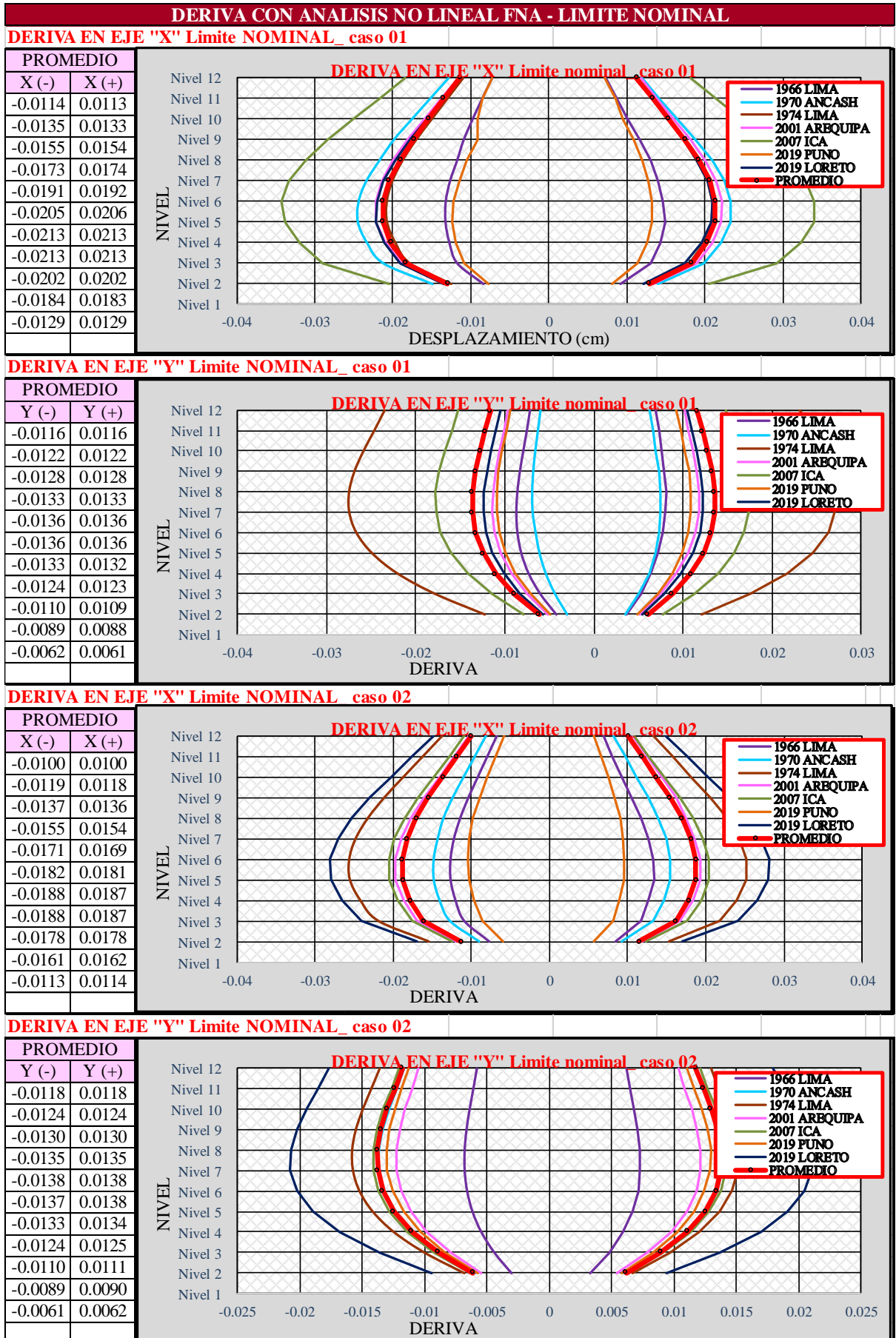
PROMEDIO	
X (-)	X (+)
-47.97	47.79
-45.16	44.99
-41.84	41.68
-38.01	37.87
-33.67	33.56
-28.89	28.83
-23.79	23.77
-18.51	18.52
-13.25	13.28
-8.26	8.29
-3.74	3.76
0.00	0.00



DESPLAZAMIENTO EN EJE "Y" (cm) Limite NOMINAL_ caso 02

PROMEDIO	
Y (-)	Y (+)
-36.65	36.84
-33.35	33.54
-29.89	30.08
-26.26	26.44
-22.49	22.65
-18.63	18.78
-14.79	14.91
-11.06	11.16
-7.57	7.65
-4.50	4.55
-2.01	2.04
0.00	0.00







ANEXOS N° 07

RESULTADOS DE MODELO CON AISLADOR ELASTOMERICO DE NÚCLEO DE PLOMO (LRB) CON ANÁLISIS DINÁMICO HISTORIA DE RESPUESTAS ANTE SMC



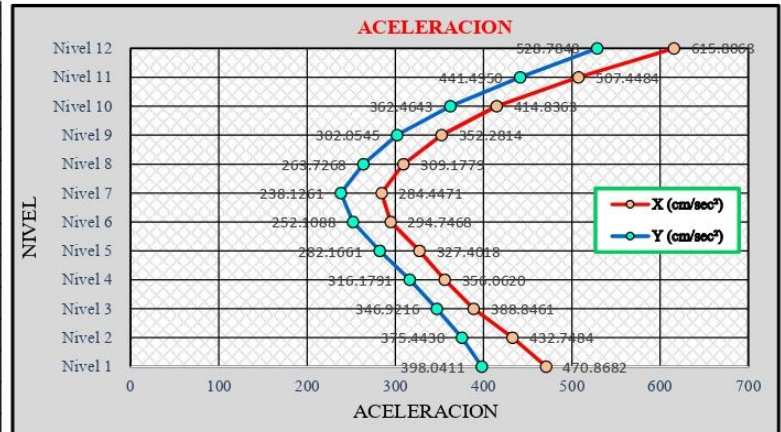
RESULTADOS DEL MODELO AISLADO EN LIMITE NOMINAL (PROMEDIO NO LINEAL TH)

PERIODO

Modo	Periodos de participacion modal y modos de vibración			
	Periodo(seg)	UX	UY	RZ
1	2.047	0.986	0.000	0.000
2	1.978	0.000	0.998	0.000
3	1.856	0.009	0.000	0.990

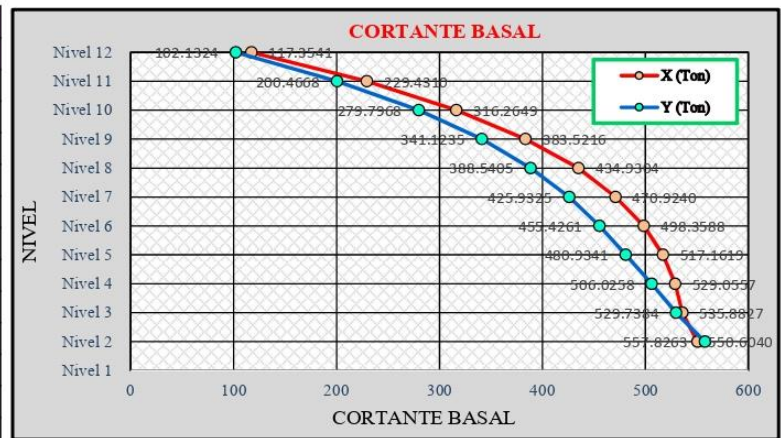
ACELERACIONES LIMITE NOMINAL

	PROMEDIO	
	X (cm/sec ²)	Y (cm/sec ²)
Nivel 12	615.8068	528.7848
Nivel 11	507.4484	441.4950
Nivel 10	414.8363	362.4643
Nivel 9	352.2814	302.0545
Nivel 8	309.1779	263.7268
Nivel 7	284.4471	238.1261
Nivel 6	294.7468	252.1088
Nivel 5	327.4018	282.1661
Nivel 4	356.0620	316.1791
Nivel 3	388.8461	346.9216
Nivel 2	432.7484	375.4430
Nivel 1	470.8682	398.0411



CORTANTE BASAL LIMITE NOMINAL

	PROMEDIO	
	X (Ton)	Y (Ton)
Nivel 12	117.3541	102.1324
Nivel 11	229.4310	200.4668
Nivel 10	316.2649	279.7968
Nivel 9	383.5216	341.1235
Nivel 8	434.9304	388.5405
Nivel 7	470.9240	425.9325
Nivel 6	498.3588	455.4261
Nivel 5	517.1619	480.9341
Nivel 4	529.0557	506.0258
Nivel 3	535.8827	529.7384
Nivel 2	550.6040	557.8263
Nivel 1		





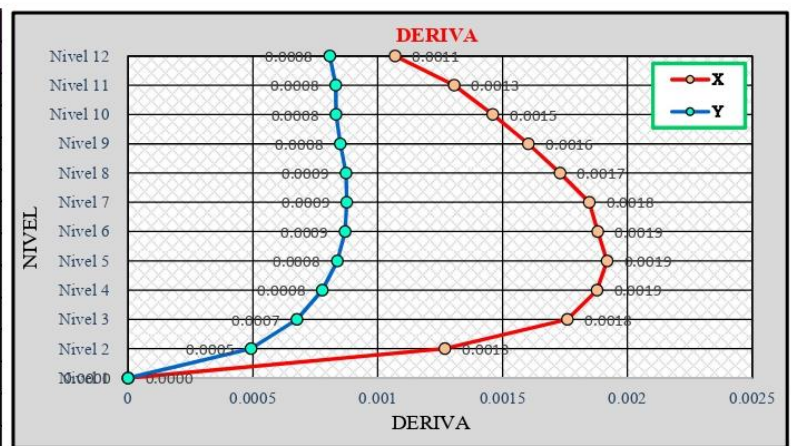
DESPLAZAMIENTO LIMITE NOMINAL

	PROMEDIO	
	X (cm)	Y (cm)
Nivel 12	23.32	21.30
Nivel 11	23.02	21.07
Nivel 10	22.65	20.84
Nivel 9	22.24	20.61
Nivel 8	21.79	20.37
Nivel 7	21.31	20.12
Nivel 6	20.79	19.88
Nivel 5	20.26	19.63
Nivel 4	19.73	19.40
Nivel 3	19.20	19.18
Nivel 2	18.71	18.99
Nivel 1	18.29	18.83



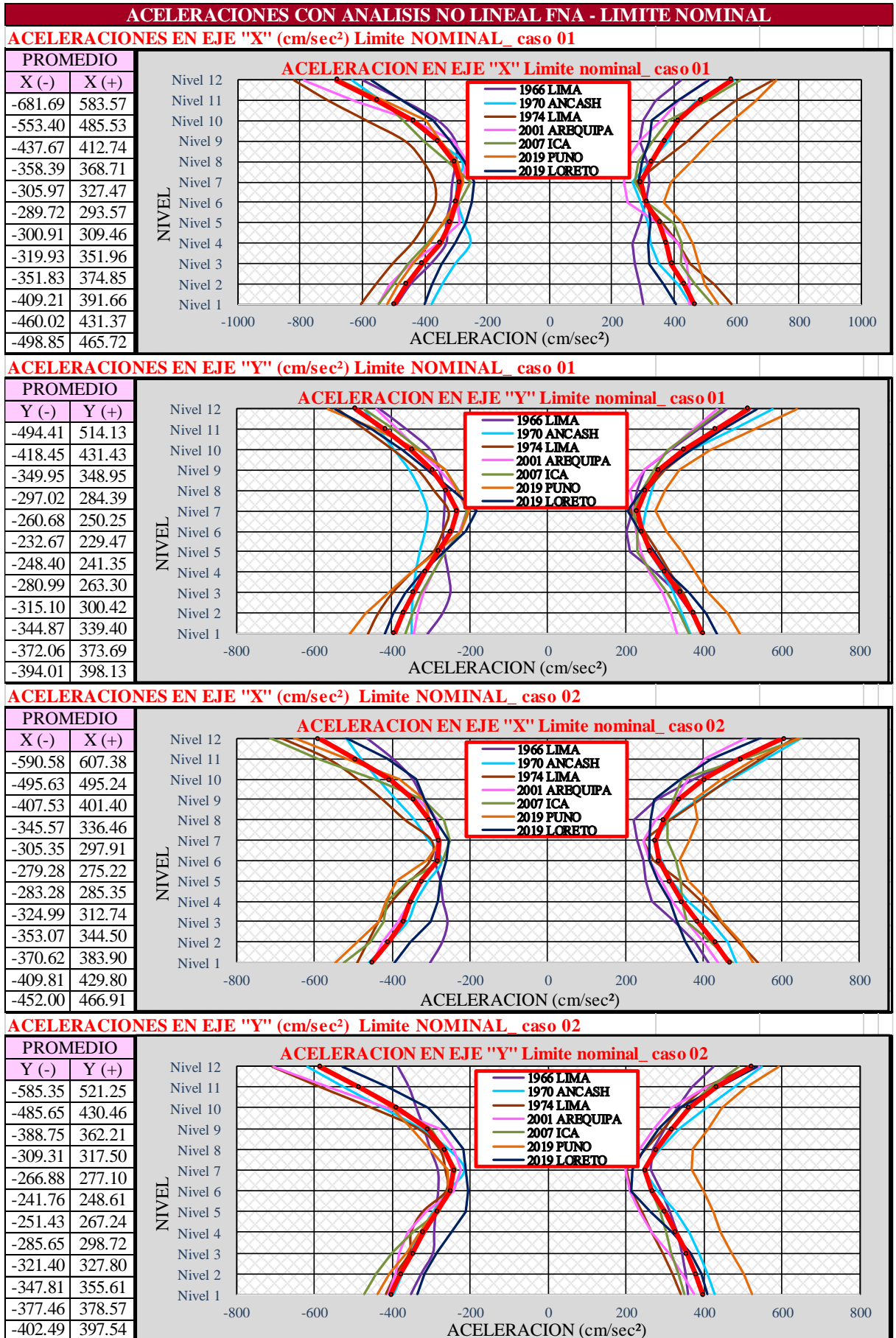
DERIVA LIMITE NOMINAL

	PROMEDIO	
	X	Y
Nivel 12	0.0011	0.0008
Nivel 11	0.0013	0.0008
Nivel 10	0.0015	0.0008
Nivel 9	0.0016	0.0008
Nivel 8	0.0017	0.0009
Nivel 7	0.0018	0.0009
Nivel 6	0.0019	0.0009
Nivel 5	0.0019	0.0008
Nivel 4	0.0019	0.0008
Nivel 3	0.0018	0.0007
Nivel 2	0.0013	0.0005
Nivel 1	0.0000	0.0000





ACELERACIONES CON ANALISIS NO LINEAL FNA - LIMITE NOMINAL													
ACELERACIONES EN EJE "X" (cm/sec²) Limite NOMINAL_ caso 01													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)
-597.05	421.16	-634.67	592.38	-820.50	714.63	-788.72	507.69	-673.56	611.96	-686.09	728.13	-571.28	509.04
-468.23	340.86	-540.57	470.69	-709.56	597.29	-624.74	413.91	-531.17	502.52	-529.19	661.85	-470.34	411.63
-355.95	299.69	-445.05	411.42	-584.04	516.09	-437.34	360.77	-471.44	384.39	-397.53	587.57	-372.36	329.28
-302.00	291.05	-363.24	382.49	-461.30	446.06	-307.25	290.37	-404.79	331.76	-351.20	517.67	-318.96	321.60
-300.68	314.54	-279.89	325.56	-403.62	361.01	-264.68	248.87	-326.78	287.01	-295.08	457.32	-271.10	298.02
-312.48	320.39	-296.46	265.32	-368.13	278.19	-279.60	239.72	-253.86	273.51	-275.93	391.64	-241.58	286.26
-318.08	310.52	-294.77	294.78	-364.97	309.18	-295.19	252.71	-288.20	314.33	-297.83	367.74	-247.34	316.97
-332.09	288.09	-274.77	315.24	-396.60	364.13	-286.05	349.86	-338.78	397.08	-341.06	423.93	-270.15	325.37
-331.80	267.23	-253.68	325.82	-439.64	415.50	-359.45	413.88	-393.32	425.31	-383.18	460.67	-301.76	315.53
-379.67	274.32	-301.34	351.98	-501.53	453.69	-445.01	441.08	-453.50	421.82	-437.99	479.39	-345.44	319.35
-443.82	290.21	-343.44	415.04	-555.18	530.90	-512.58	448.73	-499.70	468.23	-487.13	497.69	-378.30	368.82
-489.42	302.76	-378.35	452.22	-604.80	583.97	-549.11	449.27	-548.10	523.20	-520.88	542.49	-401.28	406.13
ACELERACIONES EN EJE "Y" (cm/sec²) Limite NOMINAL_ caso 01													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)
-429.75	458.03	-470.49	577.98	-541.16	507.38	-439.74	434.18	-470.67	446.21	-563.19	639.45	-545.90	535.71
-360.80	383.81	-433.07	473.58	-469.92	436.52	-385.05	373.40	-393.39	377.36	-437.90	528.05	-449.01	447.29
-300.24	313.05	-393.98	365.40	-397.13	362.12	-330.27	310.50	-324.81	307.89	-332.33	417.09	-370.88	366.63
-278.15	249.95	-355.19	287.18	-332.19	299.88	-277.98	247.88	-263.42	273.98	-262.94	337.10	-309.30	294.77
-264.65	231.03	-327.11	268.20	-291.17	254.81	-232.49	212.57	-230.18	243.38	-232.95	300.69	-246.26	241.10
-265.25	218.93	-309.63	250.65	-254.10	211.49	-207.20	219.59	-208.56	221.61	-200.58	277.83	-183.35	206.21
-268.28	203.03	-316.28	241.31	-268.79	248.30	-225.95	227.61	-222.77	229.43	-224.60	305.04	-212.19	234.77
-264.59	211.37	-329.58	259.73	-294.27	283.38	-263.03	239.33	-262.29	228.90	-285.60	345.80	-267.56	274.64
-255.21	276.99	-339.83	295.04	-350.15	314.48	-294.68	261.96	-295.41	267.57	-348.83	379.52	-321.63	307.40
-249.95	330.93	-346.59	321.72	-399.71	346.70	-318.92	293.79	-324.23	306.39	-409.61	412.94	-365.13	363.32
-270.18	370.32	-349.79	344.28	-436.79	375.93	-335.09	316.83	-347.93	339.05	-468.33	463.83	-396.32	405.60
-308.09	396.68	-349.91	366.87	-462.83	399.71	-345.08	332.57	-366.11	362.40	-508.85	493.04	-417.24	435.63
ACELERACIONES EN EJE "X" (cm/sec²) Limite NOMINAL_ caso 02													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)
-465.69	608.37	-518.00	651.45	-684.80	634.85	-581.45	509.82	-713.15	653.67	-652.61	646.46	-518.42	547.07
-399.21	488.21	-480.24	561.56	-565.52	550.17	-501.80	404.27	-592.88	507.68	-516.59	533.01	-413.16	421.79
-348.09	376.73	-436.91	473.46	-488.43	465.17	-413.21	360.89	-447.47	344.96	-381.36	447.62	-337.25	341.01
-320.87	278.88	-390.44	385.59	-424.31	390.71	-332.52	328.23	-318.33	322.68	-314.72	374.99	-317.79	274.16
-287.78	221.64	-342.74	312.38	-366.23	314.96	-281.76	277.98	-266.85	307.64	-304.55	385.44	-287.58	265.37
-282.78	230.07	-306.86	274.02	-298.29	245.36	-284.46	246.05	-251.73	306.39	-275.93	364.43	-254.93	260.21
-288.95	246.90	-272.96	292.02	-301.28	272.04	-280.68	259.91	-268.91	327.99	-308.61	338.54	-261.56	260.04
-275.81	253.16	-307.17	318.62	-352.20	339.48	-321.17	293.64	-355.89	341.24	-387.39	361.41	-275.31	281.61
-269.18	267.83	-338.78	361.59	-399.69	393.96	-352.44	320.09	-412.67	343.53	-416.93	411.92	-281.82	312.62
-257.88	327.72	-360.60	420.54	-434.07	444.65	-383.48	358.11	-422.79	356.69	-433.29	447.95	-302.27	331.62
-271.83	379.74	-409.04	463.52	-461.58	491.36	-424.95	401.90	-456.66	418.10	-491.31	498.51	-353.30	355.46
-302.66	413.93	-459.86	485.73	-488.84	541.14	-449.10	437.24	-522.92	476.84	-547.13	528.27	-393.54	385.20
ACELERACIONES EN EJE "Y" (cm/sec²) Limite NOMINAL_ caso 02													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)
-384.53	425.48	-616.28	547.08	-708.48	517.68	-705.09	541.64	-579.96	489.20	-576.21	590.30	-526.89	537.38
-356.24	368.40	-521.27	477.96	-582.32	402.42	-562.34	404.61	-486.20	415.16	-480.56	506.64	-410.66	438.02
-336.92	330.63	-422.54	405.98	-450.99	339.26	-413.28	316.67	-389.39	358.10	-400.10	447.36	-308.04	337.49
-317.42	300.93	-325.91	337.34	-331.92	298.41	-281.07	272.39	-302.12	317.93	-349.97	410.90	-256.79	284.61
-300.96	269.01	-254.49	288.29	-276.96	250.56	-243.75	235.62	-268.53	277.65	-304.40	372.14	-219.06	246.41
-281.69	263.88	-215.06	243.48	-262.28	202.40	-225.08	197.64	-236.33	250.91	-259.11	367.01	-212.79	214.97
-280.80	289.88	-256.82	282.98	-259.92	211.85	-241.85	208.83	-258.18	266.64	-256.40	398.58	-206.09	211.97
-287.21	312.41	-294.32	327.66	-319.94	241.77	-313.80	236.51	-280.97	287.00	-291.54	423.71	-211.80	262.02
-291.20	330.72	-326.42	362.37	-350.54	266.45	-359.03	267.57	-346.55	304.67	-328.67	443.30	-247.41	319.50
-294.14	344.49	-352.89	387.95	-354.93	295.29	-382.56	310.70	-399.71	314.72	-363.30	470.13	-287.13	366.00
-324.14	353.64	-373.16	409.49	-389.60	317.63	-390.84	342.27	-440.37	332.85	-407.09	500.36	-317.03	393.74
-351.06	358.97	-395.88	428.00	-415.49	341.84	-409.20	374.66	-470.66	349.11	-438.90	522.17	-336.23	408.06





CORTANTE BASAL CON ANALISIS NO LINEAL FNA - LIMITE NOMINAL

CORTANTE BASAL EN EJE "X" (ton) Limite NOMINAL_ caso 01

1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)
-109.6	86.5	-111.7	122.7	-160.2	133.1	-149.8	95.2	-129.2	115.5	-129.7	141.1	-107.0	96.3
-206.2	168.7	-220.8	237.3	-322.1	258.8	-287.5	184.8	-247.6	225.7	-244.8	289.8	-209.0	186.8
-267.9	234.4	-307.3	321.6	-455.4	364.0	-383.4	260.5	-334.0	307.3	-320.3	421.5	-287.9	255.9
-316.4	298.4	-374.6	394.4	-556.9	446.5	-435.6	324.9	-424.5	358.1	-362.1	534.4	-342.8	308.6
-350.8	353.8	-418.8	473.7	-624.8	518.1	-446.2	367.9	-497.2	406.0	-424.7	629.0	-387.8	341.2
-382.1	404.3	-437.4	530.1	-673.0	564.1	-422.1	384.4	-550.1	453.1	-473.7	706.2	-422.5	380.3
-422.6	459.9	-428.7	563.7	-701.2	580.1	-456.7	379.2	-582.6	489.2	-502.6	768.5	-443.1	413.5
-463.3	523.9	-392.2	573.3	-723.9	577.2	-477.8	394.7	-594.7	516.1	-509.1	814.3	-451.5	434.6
-505.0	584.5	-395.0	610.2	-742.8	544.6	-486.3	410.2	-588.4	536.0	-492.9	842.8	-453.2	444.4
-546.5	637.5	-426.2	639.5	-751.3	498.0	-484.3	412.0	-567.9	551.9	-456.1	854.5	-466.1	451.5
-610.5	685.0	-461.0	662.5	-755.6	454.1	-483.8	420.0	-549.4	568.1	-458.2	853.0	-496.2	505.2
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

CORTANTE BASAL EN EJE "Y" (ton) Limite NOMINAL_ caso 01

1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)
-66.8	102.2	-83.7	119.7	-88.6	112.2	-72.1	96.8	-77.3	100.5	-97.6	138.5	-92.9	115.9
-150.8	181.4	-195.2	212.7	-197.1	204.0	-164.8	173.0	-169.6	178.9	-200.1	251.2	-201.2	208.6
-211.2	249.8	-291.1	288.5	-283.3	286.2	-238.3	241.9	-239.8	247.6	-273.7	344.4	-282.4	288.1
-254.7	300.4	-377.8	341.1	-352.4	351.7	-297.9	296.9	-295.7	299.6	-323.8	411.5	-342.3	349.6
-290.8	344.0	-456.1	372.0	-404.7	400.0	-349.5	337.9	-338.5	336.1	-347.6	455.5	-393.3	399.2
-340.8	375.7	-527.9	384.1	-440.5	434.0	-390.7	365.8	-368.4	381.1	-359.6	483.2	-435.1	432.1
-386.8	396.2	-592.5	383.8	-472.3	462.5	-421.0	383.0	-387.5	419.2	-395.2	504.4	-463.0	448.6
-426.8	434.1	-650.3	415.7	-503.8	477.6	-440.9	393.1	-415.1	451.8	-422.8	526.6	-477.6	450.0
-465.1	473.3	-706.4	448.3	-525.6	486.4	-453.1	406.9	-448.4	480.1	-442.4	550.8	-481.9	465.0
-502.2	508.4	-759.9	475.1	-538.7	492.9	-472.7	430.4	-478.4	505.2	-454.4	583.5	-475.3	477.9
-572.1	521.3	-839.5	480.3	-569.3	485.5	-517.1	461.4	-528.3	510.1	-480.4	619.0	-484.1	468.9
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

CORTANTE BASAL EN EJE "X" (ton) Limite NOMINAL_ caso 02

1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)
-86.0	116.7	-106.1	120.1	-128.9	122.4	-111.6	96.2	-136.7	127.3	-122.9	121.0	-98.1	104.5
-171.0	226.4	-220.8	239.7	-251.7	246.1	-223.6	185.6	-269.1	242.1	-236.7	236.5	-189.2	195.9
-238.3	305.7	-325.7	336.1	-343.3	349.2	-315.4	261.8	-369.0	320.0	-317.2	336.5	-254.9	260.8
-296.8	360.9	-419.7	412.6	-416.6	434.6	-386.2	325.6	-431.4	362.5	-372.9	416.3	-306.1	318.1
-358.1	391.9	-501.8	467.4	-483.9	501.4	-437.2	380.4	-455.6	375.4	-400.0	477.5	-348.7	358.5
-410.3	395.7	-573.2	498.8	-538.2	549.7	-470.9	423.4	-454.0	385.4	-403.0	523.1	-392.1	384.7
-452.3	388.7	-634.1	512.4	-575.5	579.7	-490.1	449.3	-452.4	412.7	-428.5	559.4	-424.2	403.1
-484.1	409.3	-684.1	508.5	-589.8	591.7	-497.8	455.8	-465.5	422.4	-457.0	603.5	-442.1	422.3
-507.6	445.5	-724.4	483.9	-598.5	585.5	-496.8	441.3	-465.0	434.9	-470.6	636.4	-440.6	446.3
-534.4	481.7	-756.7	442.5	-590.6	561.5	-487.2	451.7	-456.2	448.1	-473.0	655.2	-459.2	463.4
-557.1	538.8	-783.7	447.2	-582.6	525.3	-469.4	481.9	-499.3	482.2	-468.3	672.8	-472.3	473.7
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

CORTANTE BASAL EN EJE "Y" (ton) Limite NOMINAL_ caso 02

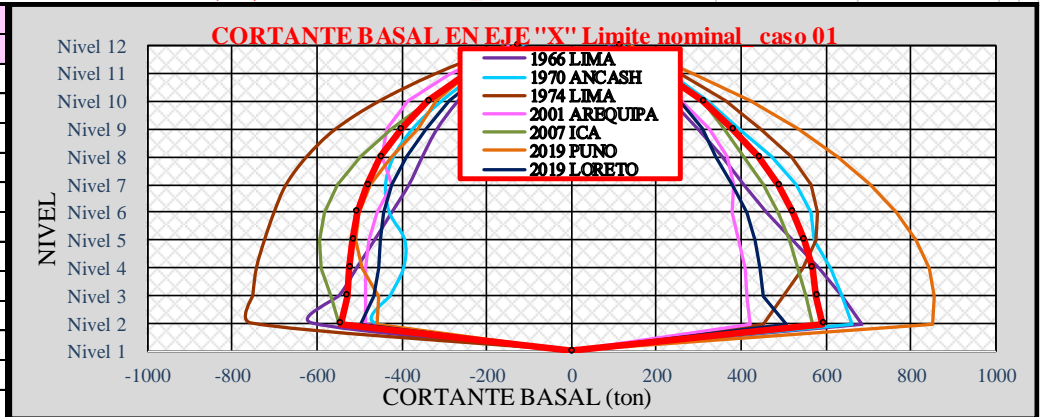
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)
-56.0	97.8	-96.8	127.1	-128.9	110.4	-122.7	117.7	-99.9	106.3	-98.8	128.7	-88.0	116.0
-138.9	177.2	-210.7	236.5	-272.3	185.7	-255.7	201.1	-217.3	190.7	-213.1	233.0	-186.9	205.7
-210.0	256.4	-295.8	336.6	-379.0	251.6	-348.4	259.1	-305.6	264.9	-296.9	332.6	-251.8	279.4
-275.9	327.6	-358.6	420.7	-455.4	303.6	-407.3	300.0	-370.9	330.7	-367.7	418.3	-289.2	329.9
-337.2	390.7	-400.3	489.2	-503.7	347.4	-434.3	345.6	-413.6	393.0	-424.4	494.3	-323.5	356.8
-394.0	446.8	-422.3	543.5	-526.9	386.1	-432.6	380.1	-434.8	446.4	-471.5	561.8	-358.4	402.0
-446.6	496.9	-426.8	585.6	-529.5	411.2	-420.8	415.5	-459.5	491.4	-509.5	619.5	-382.9	440.4
-495.0	539.8	-416.2	617.8	-528.9	422.3	-421.0	442.5	-494.3	528.8	-539.3	664.8	-397.7	471.7
-539.1	577.2	-419.8	643.8	-577.5	419.4	-440.7	461.6	-523.2	560.0	-556.4	698.1	-421.5	496.8
-580.1	621.5	-415.5	664.2	-621.6	414.1	-474.0	474.3	-545.1	587.0	-561.5	740.8	-460.7	517.2
-639.7	671.2	-432.3	659.8	-684.0	407.1	-536.4	462.5	-585.5	595.7	-576.9	796.6	-519.4	514.6
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



CORTANTE BASAL CON ANALISIS NO LINEAL FNA - LIMITE NOMINAL

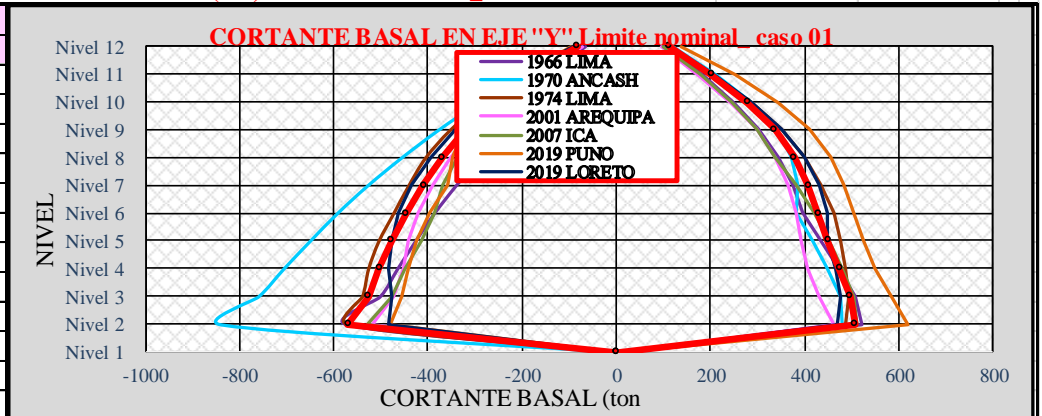
CORTANTE BASAL EN EJE "X" (ton) Limite NOMINAL_ caso 01

PROMEDIO	
X (-)	X (+)
-128.2	112.9
-248.3	221.7
-336.6	309.3
-401.9	380.8
-450.1	441.4
-480.1	488.9
-505.4	522.0
-516.1	547.7
-523.4	567.5
-528.3	577.8
-545.0	592.6
0.0	0.0



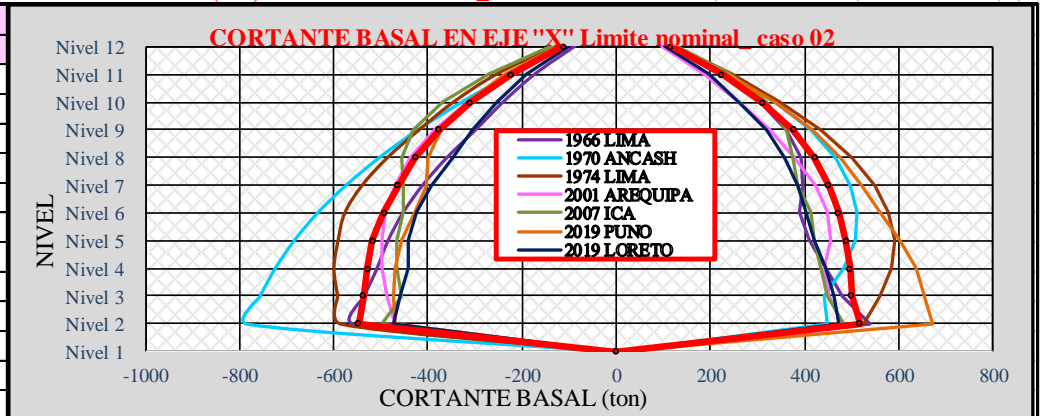
CORTANTE BASAL EN EJE "Y" (ton) Limite NOMINAL_ caso 01

PROMEDIO	
Y (-)	Y (+)
-82.7	112.2
-182.7	201.4
-260.0	278.1
-320.7	335.8
-368.6	377.8
-409.0	408.0
-445.5	428.2
-476.7	449.8
-503.3	473.0
-525.9	496.2
-570.1	506.6
0.0	0.0



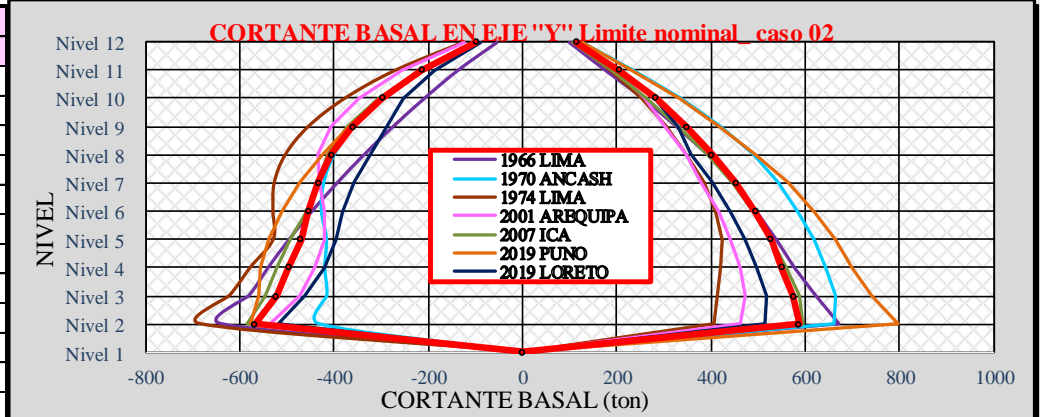
CORTANTE BASAL EN EJE "X" (ton) Limite NOMINAL_ caso 02

PROMEDIO	
X (-)	X (+)
-112.9	115.5
-223.1	224.6
-309.1	310.0
-375.7	375.8
-426.5	421.8
-463.1	451.6
-493.9	472.2
-517.2	487.7
-529.1	496.2
-536.8	500.6
-547.5	517.4
0.0	0.0



CORTANTE BASAL EN EJE "Y" (ton) Limite NOMINAL_ caso 02

PROMEDIO	
Y (-)	Y (+)
-98.7	114.8
-213.5	204.3
-298.2	282.9
-360.7	347.3
-405.3	402.4
-434.4	452.4
-453.7	494.4
-470.3	526.8
-496.9	551.0
-522.6	574.2
-567.7	586.8
0.0	0.0



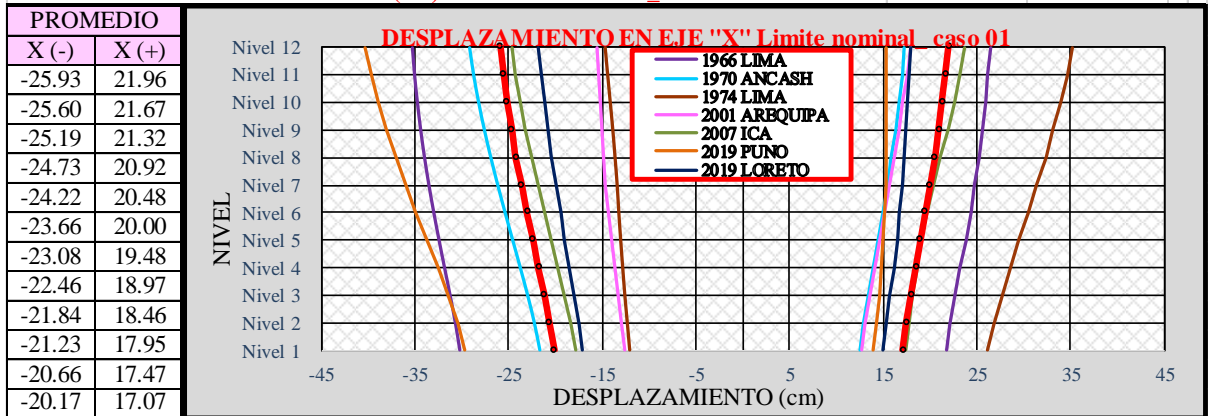


DESPLAZAMIENTO CON ANALISIS NO LINEAL FNA - LIMITE NOMINAL													
DESPLAZAMIENTO EN EJE "X" (cm) Limite NOMINAL_ caso 01													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)
-35.24	26.40	-29.19	17.21	-14.78	35.27	-15.50	17.88	-24.65	23.66	-40.37	15.38	-21.82	17.96
-35.01	26.17	-28.75	16.97	-14.50	34.68	-15.40	17.54	-24.26	23.17	-39.74	15.39	-21.56	17.81
-34.70	25.89	-28.21	16.66	-14.20	33.96	-15.25	17.14	-23.77	22.58	-38.97	15.39	-21.23	17.63
-34.35	25.58	-27.60	16.30	-13.91	33.16	-15.08	16.68	-23.22	21.90	-38.09	15.38	-20.85	17.45
-33.94	25.21	-26.91	15.89	-13.66	32.34	-14.88	16.19	-22.60	21.15	-37.11	15.35	-20.43	17.24
-33.47	24.79	-26.17	15.43	-13.42	31.43	-14.64	15.65	-21.93	20.36	-36.04	15.29	-19.97	17.01
-32.94	24.31	-25.38	14.94	-13.24	30.46	-14.37	15.11	-21.22	19.61	-34.90	15.19	-19.48	16.75
-32.38	23.78	-24.57	14.42	-13.03	29.53	-14.05	14.58	-20.50	19.00	-33.73	15.02	-18.98	16.44
-31.79	23.22	-23.76	13.90	-12.80	28.57	-13.70	14.05	-19.77	18.55	-32.57	14.79	-18.49	16.11
-31.20	22.64	-22.97	13.39	-12.56	27.66	-13.34	13.55	-19.07	18.17	-31.46	14.52	-18.00	15.74
-30.63	22.07	-22.26	12.92	-12.28	26.86	-12.97	13.09	-18.44	17.79	-30.46	14.22	-17.55	15.37
-30.15	21.68	-21.66	12.54	-12.01	26.19	-12.66	12.70	-17.92	17.44	-29.65	13.92	-17.15	15.03
DESPLAZAMIENTO EN EJE "Y" (cm) Limite NOMINAL_ caso 01													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)
-26.60	21.15	-17.51	37.95	-18.83	20.20	-16.29	17.46	-22.24	19.12	-25.91	13.74	-19.89	13.84
-26.43	20.99	-17.27	37.67	-18.50	20.08	-16.14	17.26	-22.08	18.96	-25.62	13.57	-19.76	13.53
-26.25	20.81	-17.01	37.37	-18.17	19.96	-15.98	17.05	-21.92	18.80	-25.32	13.40	-19.63	13.19
-26.06	20.63	-16.74	37.07	-17.84	19.83	-15.82	16.84	-21.76	18.63	-25.02	13.24	-19.49	13.00
-25.86	20.44	-16.46	36.76	-17.50	19.69	-15.65	16.61	-21.59	18.46	-24.73	13.08	-19.35	12.85
-25.65	20.25	-16.18	36.43	-17.16	19.54	-15.47	16.39	-21.41	18.29	-24.42	12.92	-19.21	12.70
-25.43	20.05	-15.90	36.09	-16.81	19.37	-15.28	16.16	-21.24	18.10	-24.13	12.76	-19.06	12.54
-25.23	19.85	-15.62	35.75	-16.48	19.20	-15.09	15.93	-21.07	17.93	-23.83	12.60	-18.91	12.39
-25.02	19.66	-15.36	35.41	-16.20	19.03	-14.90	15.71	-20.90	17.75	-23.56	12.44	-18.75	12.25
-24.83	19.48	-15.13	35.09	-15.95	18.85	-14.72	15.50	-20.75	17.59	-23.31	12.29	-18.61	12.13
-24.66	19.32	-14.93	34.80	-15.75	18.69	-14.55	15.32	-20.62	17.45	-23.09	12.16	-18.48	12.02
-24.52	19.19	-14.77	34.55	-15.58	18.55	-14.41	15.16	-20.50	17.32	-22.90	12.03	-18.37	11.93
DESPLAZAMIENTO EN EJE "X" (cm) Limite NOMINAL_ caso 02													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)
-27.90	23.05	-15.74	40.62	-20.27	24.63	-17.09	18.88	-23.26	21.85	-30.27	16.00	-21.54	16.46
-27.66	22.84	-15.76	40.13	-20.02	24.18	-16.88	18.45	-22.98	21.65	-29.78	15.80	-21.28	16.15
-27.38	22.56	-15.78	39.52	-19.79	23.61	-16.61	17.94	-22.66	21.38	-29.18	15.52	-20.96	15.76
-27.07	22.24	-15.79	38.81	-19.68	22.97	-16.30	17.35	-22.30	21.08	-28.49	15.22	-20.58	15.35
-26.72	21.91	-15.79	38.01	-19.63	22.27	-15.94	16.73	-21.90	20.73	-27.74	14.87	-20.16	14.89
-26.33	21.55	-15.78	37.14	-19.57	21.50	-15.53	16.06	-21.72	20.35	-26.93	14.48	-19.70	14.39
-25.89	21.16	-15.73	36.21	-19.48	20.69	-15.08	15.38	-21.51	19.94	-26.07	14.06	-19.19	13.86
-25.41	20.81	-15.65	35.23	-19.33	19.90	-14.58	14.94	-21.26	19.50	-25.20	13.62	-18.67	13.30
-24.90	20.44	-15.52	34.25	-19.11	19.11	-14.07	14.55	-20.97	19.05	-24.34	13.15	-18.13	12.73
-24.38	20.06	-15.34	33.30	-18.83	18.38	-13.55	14.15	-20.64	18.59	-23.51	12.69	-17.61	12.31
-23.87	19.70	-15.14	32.43	-18.51	17.74	-13.06	13.79	-20.29	18.16	-22.76	12.25	-17.13	12.10
-23.43	19.41	-14.94	31.71	-18.20	17.20	-12.65	13.47	-19.96	17.80	-22.14	11.87	-16.73	11.91
DESPLAZAMIENTO EN EJE "Y" (cm) Limite NOMINAL_ caso 02													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)
-33.47	25.93	-27.08	12.51	-12.02	26.34	-15.04	18.52	-23.17	20.50	-36.95	18.07	-18.18	17.83
-33.15	25.65	-26.92	12.36	-11.78	26.05	-14.76	18.30	-22.93	20.30	-36.71	17.73	-17.91	17.62
-32.83	25.34	-26.76	12.20	-11.54	25.75	-14.47	18.07	-22.69	20.10	-36.47	17.38	-17.63	17.40
-32.51	25.03	-26.59	12.04	-11.29	25.43	-14.17	17.83	-22.45	19.91	-36.21	17.02	-17.34	17.17
-32.18	24.70	-26.44	11.91	-11.03	25.10	-13.87	17.58	-22.21	19.72	-35.93	16.65	-17.04	16.92
-31.83	24.36	-26.28	11.77	-10.76	24.76	-13.55	17.32	-21.96	19.53	-35.64	16.27	-16.74	16.67
-31.52	24.01	-26.11	11.66	-10.49	24.41	-13.25	17.06	-21.71	19.33	-35.33	15.89	-16.45	16.42
-31.21	23.67	-25.93	11.53	-10.23	24.08	-12.96	16.80	-21.46	19.13	-35.02	15.52	-16.16	16.16
-30.91	23.34	-25.74	11.41	-10.00	23.76	-12.69	16.55	-21.22	18.93	-34.70	15.18	-15.90	15.92
-30.65	23.04	-25.54	11.28	-9.80	23.46	-12.46	16.32	-20.99	18.73	-34.39	14.87	-15.66	15.69
-30.43	22.78	-25.37	11.17	-9.63	23.20	-12.27	16.11	-20.79	18.56	-34.11	14.61	-15.46	15.48
-30.25	22.55	-25.21	11.07	-9.48	22.98	-12.12	15.93	-20.61	18.40	-33.87	14.40	-15.29	15.31

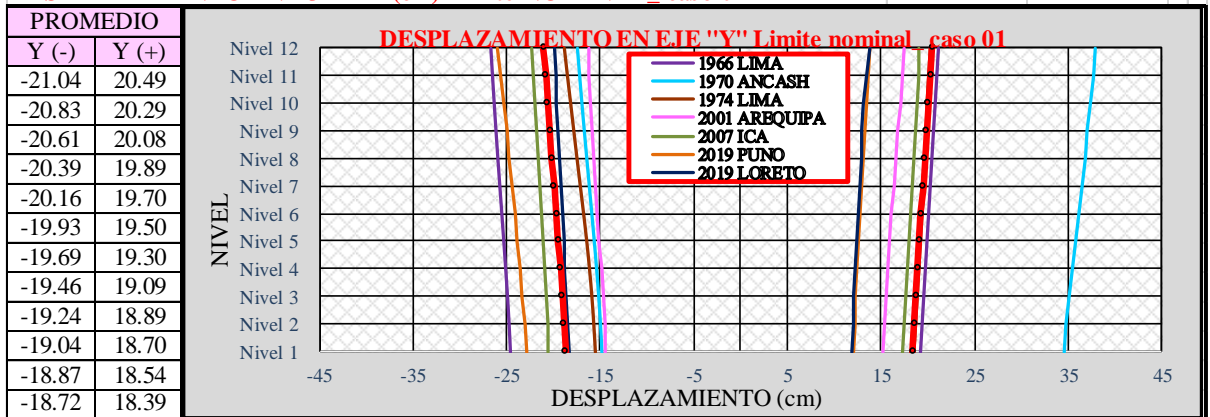


DESPLAZAMIENTO CON ANALISIS NO LINEAL FNA - LIMITE NOMINAL

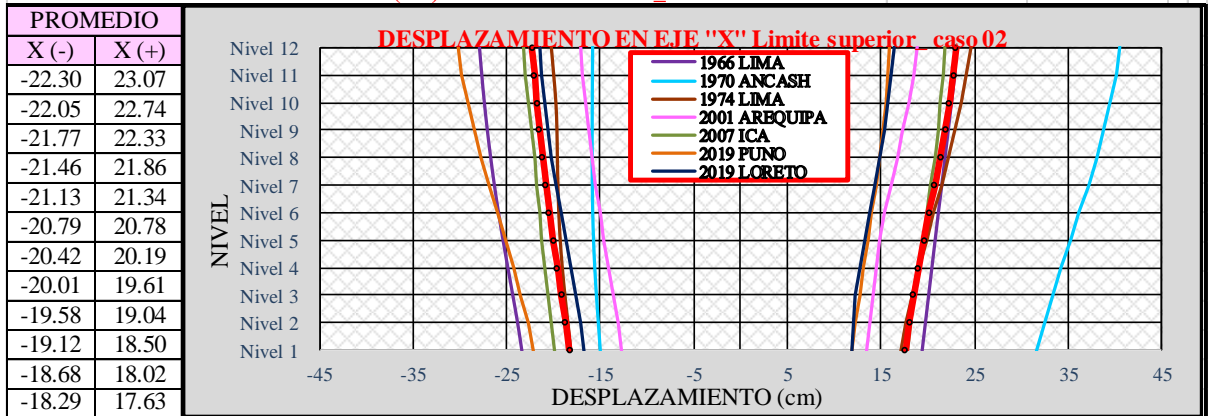
DESPLAZAMIENTO EN EJE "X" (cm) Limite NOMINAL_ caso 01



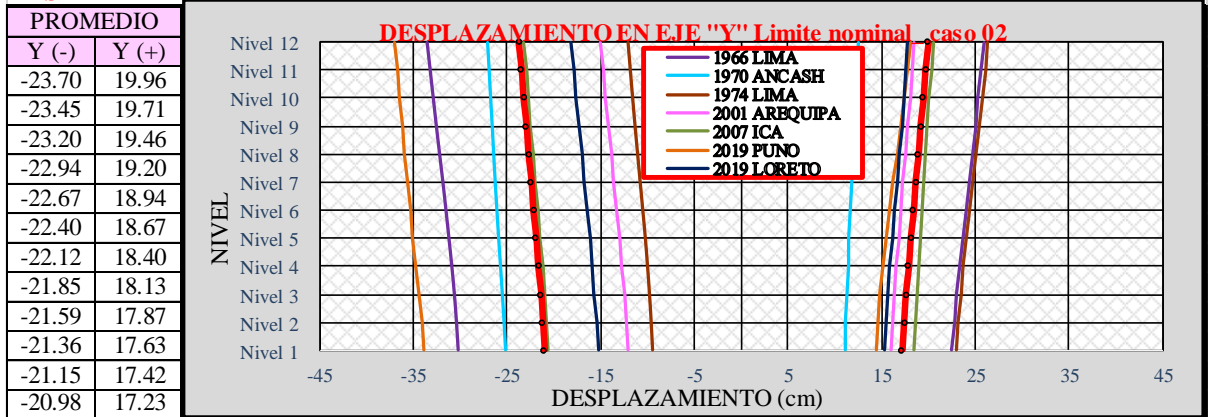
DESPLAZAMIENTO EN EJE "Y" (cm) Limite NOMINAL_ caso 01



DESPLAZAMIENTO EN EJE "X" (cm) Limite NOMINAL_ caso 02

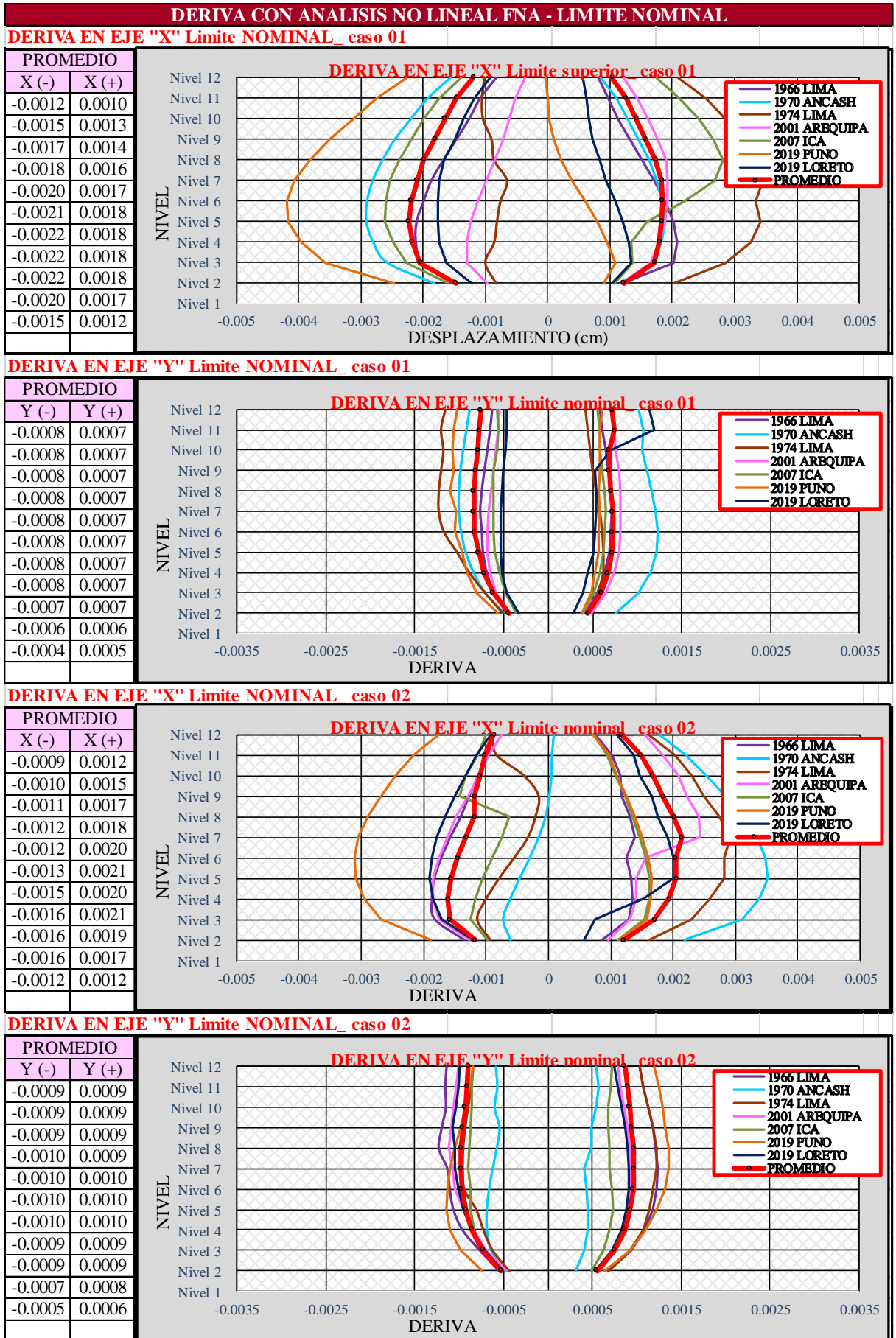


DESPLAZAMIENTO EN EJE "Y" (cm) Limite NOMINAL_ caso 02





DERIVA CON ANALISIS NO LINEAL FNA - LIMITE NOMINAL													
DERIVA EN EJE "X" Limite NOMINAL_ caso (
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)
-0.0008	0.0008	-0.0016	0.0008	-0.0010	0.0021	-0.0004	0.0012	-0.0014	0.0018	-0.0023	0.0000	-0.0009	0.0006
-0.0011	0.0010	-0.0019	0.0011	-0.0010	0.0025	-0.0005	0.0014	-0.0017	0.0021	-0.0028	0.0000	-0.0012	0.0006
-0.0013	0.0011	-0.0022	0.0013	-0.0010	0.0029	-0.0006	0.0016	-0.0020	0.0024	-0.0031	0.0000	-0.0013	0.0007
-0.0015	0.0013	-0.0025	0.0015	-0.0009	0.0029	-0.0007	0.0018	-0.0022	0.0027	-0.0035	0.0001	-0.0015	0.0007
-0.0017	0.0015	-0.0026	0.0016	-0.0009	0.0033	-0.0008	0.0019	-0.0024	0.0028	-0.0038	0.0002	-0.0017	0.0008
-0.0019	0.0017	-0.0028	0.0018	-0.0007	0.0034	-0.0010	0.0019	-0.0025	0.0027	-0.0041	0.0004	-0.0017	0.0009
-0.0020	0.0019	-0.0029	0.0018	-0.0008	0.0033	-0.0011	0.0019	-0.0026	0.0022	-0.0042	0.0006	-0.0018	0.0011
-0.0021	0.0020	-0.0029	0.0019	-0.0008	0.0034	-0.0012	0.0019	-0.0026	0.0016	-0.0042	0.0008	-0.0018	0.0012
-0.0021	0.0021	-0.0028	0.0018	-0.0009	0.0033	-0.0013	0.0018	-0.0025	0.0013	-0.0040	0.0010	-0.0017	0.0013
-0.0020	0.0020	-0.0026	0.0017	-0.0010	0.0028	-0.0013	0.0017	-0.0023	0.0014	-0.0036	0.0011	-0.0016	0.0013
-0.0015	0.0012	-0.0018	0.0012	-0.0008	0.0020	-0.0010	0.0012	-0.0016	0.0011	-0.0025	0.0009	-0.0012	0.0010
DERIVA EN EJE "Y" Limite NOMINAL_ caso (
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)
-0.0006	0.0006	-0.0009	0.0010	-0.0012	0.0004	-0.0005	0.0007	-0.0006	0.0006	-0.0010	0.0006	-0.0005	0.0011
-0.0007	0.0006	-0.0009	0.0011	-0.0012	0.0004	-0.0006	0.0007	-0.0006	0.0006	-0.0011	0.0006	-0.0005	0.0012
-0.0007	0.0006	-0.0010	0.0011	-0.0012	0.0005	-0.0006	0.0008	-0.0006	0.0006	-0.0011	0.0006	-0.0005	0.0007
-0.0007	0.0007	-0.0010	0.0011	-0.0012	0.0005	-0.0006	0.0008	-0.0006	0.0006	-0.0011	0.0006	-0.0005	0.0005
-0.0007	0.0007	-0.0010	0.0012	-0.0012	0.0005	-0.0006	0.0008	-0.0006	0.0006	-0.0011	0.0006	-0.0005	0.0005
-0.0008	0.0007	-0.0010	0.0012	-0.0012	0.0006	-0.0007	0.0008	-0.0006	0.0006	-0.0010	0.0006	-0.0005	0.0005
-0.0007	0.0007	-0.0010	0.0012	-0.0012	0.0006	-0.0007	0.0008	-0.0006	0.0006	-0.0010	0.0006	-0.0005	0.0005
-0.0007	0.0007	-0.0009	0.0012	-0.0010	0.0006	-0.0007	0.0008	-0.0006	0.0006	-0.0010	0.0006	-0.0005	0.0005
-0.0007	0.0006	-0.0008	0.0012	-0.0009	0.0006	-0.0007	0.0007	-0.0005	0.0006	-0.0009	0.0005	-0.0005	0.0005
-0.0006	0.0006	-0.0007	0.0010	-0.0007	0.0006	-0.0006	0.0006	-0.0005	0.0005	-0.0008	0.0005	-0.0005	0.0004
-0.0004	0.0004	-0.0005	0.0008	-0.0005	0.0004	-0.0004	0.0005	-0.0004	0.0004	-0.0006	0.0004	-0.0003	0.0003
DERIVA EN EJE "X" Limite NOMINAL_ caso (
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)
-0.0009	0.0007	0.0001	0.0018	-0.0009	0.0016	-0.0008	0.0015	-0.0010	0.0007	-0.0018	0.0007	-0.0009	0.0011
-0.0010	0.0010	0.0000	0.0022	-0.0008	0.0020	-0.0010	0.0018	-0.0011	0.0009	-0.0022	0.0010	-0.0012	0.0014
-0.0011	0.0011	0.0000	0.0025	-0.0004	0.0023	-0.0011	0.0021	-0.0013	0.0011	-0.0024	0.0011	-0.0013	0.0015
-0.0013	0.0012	0.0000	0.0028	-0.0002	0.0025	-0.0013	0.0022	-0.0014	0.0012	-0.0027	0.0012	-0.0015	0.0017
-0.0014	0.0013	-0.0001	0.0031	-0.0002	0.0027	-0.0015	0.0024	-0.0006	0.0014	-0.0029	0.0014	-0.0017	0.0018
-0.0016	0.0014	-0.0002	0.0033	-0.0003	0.0029	-0.0016	0.0024	-0.0008	0.0015	-0.0030	0.0015	-0.0018	0.0019
-0.0017	0.0012	-0.0003	0.0035	-0.0005	0.0028	-0.0018	0.0016	-0.0009	0.0016	-0.0031	0.0016	-0.0019	0.0020
-0.0018	0.0013	-0.0005	0.0035	-0.0008	0.0028	-0.0018	0.0014	-0.0011	0.0016	-0.0031	0.0017	-0.0019	0.0020
-0.0019	0.0014	-0.0006	0.0034	-0.0010	0.0026	-0.0018	0.0014	-0.0012	0.0016	-0.0030	0.0016	-0.0019	0.0015
-0.0018	0.0013	-0.0007	0.0031	-0.0011	0.0023	-0.0017	0.0013	-0.0012	0.0015	-0.0027	0.0016	-0.0017	0.0007
-0.0013	0.0009	-0.0006	0.0022	-0.0009	0.0016	-0.0013	0.0010	-0.0010	0.0011	-0.0019	0.0011	-0.0012	0.0006
DERIVA EN EJE "Y" Limite NOMINAL_ caso (
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)
-0.0011	0.0010	-0.0006	0.0005	-0.0008	0.0010	-0.0010	0.0008	-0.0008	0.0007	-0.0008	0.0012	-0.0010	0.0008
-0.0012	0.0011	-0.0006	0.0006	-0.0009	0.0011	-0.0010	0.0008	-0.0009	0.0007	-0.0009	0.0013	-0.0010	0.0008
-0.0011	0.0011	-0.0006	0.0005	-0.0009	0.0011	-0.0011	0.0009	-0.0009	0.0007	-0.0009	0.0013	-0.0010	0.0008
-0.0012	0.0012	-0.0005	0.0005	-0.0009	0.0012	-0.0011	0.0009	-0.0009	0.0007	-0.0010	0.0013	-0.0011	0.0009
-0.0012	0.0012	-0.0006	0.0005	-0.0010	0.0012	-0.0011	0.0009	-0.0009	0.0007	-0.0010	0.0014	-0.0011	0.0009
-0.0011	0.0012	-0.0006	0.0004	-0.0010	0.0012	-0.0011	0.0009	-0.0009	0.0007	-0.0011	0.0014	-0.0011	0.0009
-0.0011	0.0012	-0.0007	0.0004	-0.0009	0.0012	-0.0010	0.0009	-0.0009	0.0007	-0.0011	0.0013	-0.0010	0.0009
-0.0011	0.0012	-0.0007	0.0005	-0.0008	0.0011	-0.0010	0.0009	-0.0009	0.0007	-0.0011	0.0012	-0.0009	0.0009
-0.0010	0.0011	-0.0007	0.0004	-0.0007	0.0011	-0.0008	0.0008	-0.0008	0.0007	-0.0011	0.0011	-0.0009	0.0008
-0.0008	0.0009	-0.0006	0.0004	-0.0006	0.0009	-0.0007	0.0007	-0.0007	0.0006	-0.0010	0.0009	-0.0007	0.0007
-0.0005	0.0007	-0.0005	0.0003	-0.0004	0.0007	-0.0005	0.0005	-0.0005	0.0005	-0.0007	0.0006	-0.0005	0.0005





ANEXOS N° 08

**RESULTADOS DE MODELO CON DISIPADORES DE ENERGÍA
DE FLUIDO VISCOSO CON ANÁLISIS DINÁMICO HISTORIA DE
RESPUESTAS ANTE SMC**

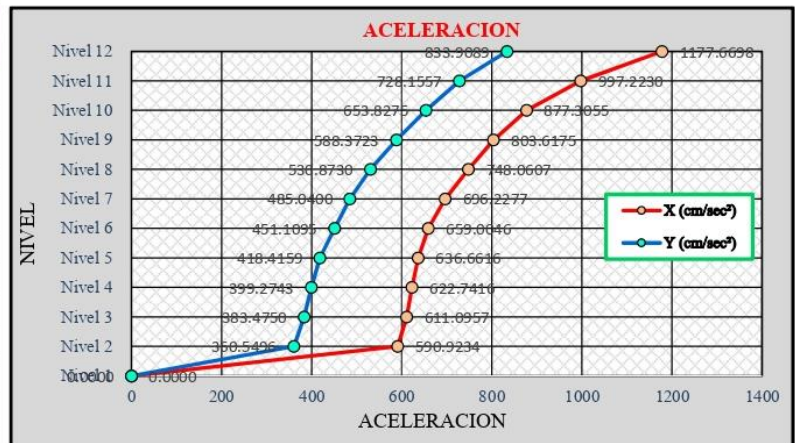
RESULTADOS DEL MODELO CON DISPADORES EN LIMITE NOMINAL (PROMEDIO NO LINEAL TH)

PERIODO

Modo	Periodos de participacion modal y modos de vibración			
	Periodo(seg)	UX	UY	RZ
1	2.047	0.986	0.000	0.000
2	1.978	0.000	0.998	0.000
3	1.856	0.009	0.000	0.990

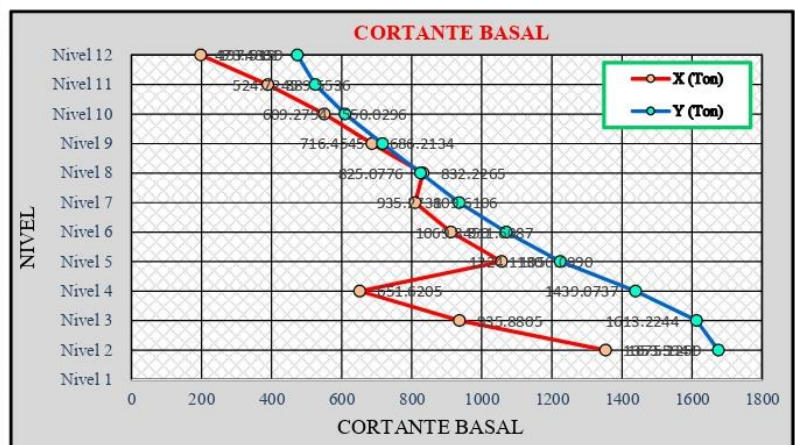
ACELERACIONES LIMITE NOMINAL

	PROMEDIO	
	X (cm/sec ²)	Y (cm/sec ²)
Nivel 12	1177.6698	833.9089
Nivel 11	997.2230	728.1557
Nivel 10	877.3055	653.8275
Nivel 9	803.6175	588.3723
Nivel 8	748.0607	530.8730
Nivel 7	696.2277	485.0400
Nivel 6	659.0046	451.1095
Nivel 5	636.6616	418.4159
Nivel 4	622.7416	399.2743
Nivel 3	611.0957	383.4750
Nivel 2	590.9234	360.5496
Nivel 1	0.0000	0.0000



CORTANTE BASAL LIMITE NOMINAL

	PROMEDIO	
	X (Ton)	Y (Ton)
Nivel 12	197.5159	473.4801
Nivel 11	389.5536	524.7245
Nivel 10	550.0296	609.2794
Nivel 9	686.2134	716.4545
Nivel 8	832.2265	825.0776
Nivel 7	809.6106	935.2731
Nivel 6	911.6087	1069.8450
Nivel 5	1056.0990	1224.1130
Nivel 4	651.6205	1439.0737
Nivel 3	935.8805	1613.2244
Nivel 2	1353.5941	1675.1259
Nivel 1		





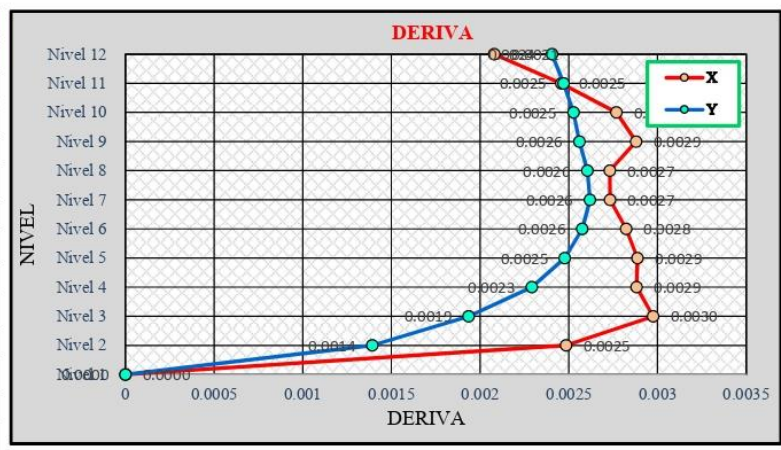
DESPLAZAMIENTO LIMITE NOMINAL

	PROMEDIO	
	X (cm)	Y (cm)
Nivel 12	8.44	7.31
Nivel 11	7.86	6.64
Nivel 10	7.17	5.94
Nivel 9	6.39	5.24
Nivel 8	5.59	4.52
Nivel 7	4.82	3.79
Nivel 6	4.06	3.06
Nivel 5	3.27	2.34
Nivel 4	2.46	1.64
Nivel 3	1.65	1.00
Nivel 2	0.82	0.46
Nivel 1	0.00	0.00



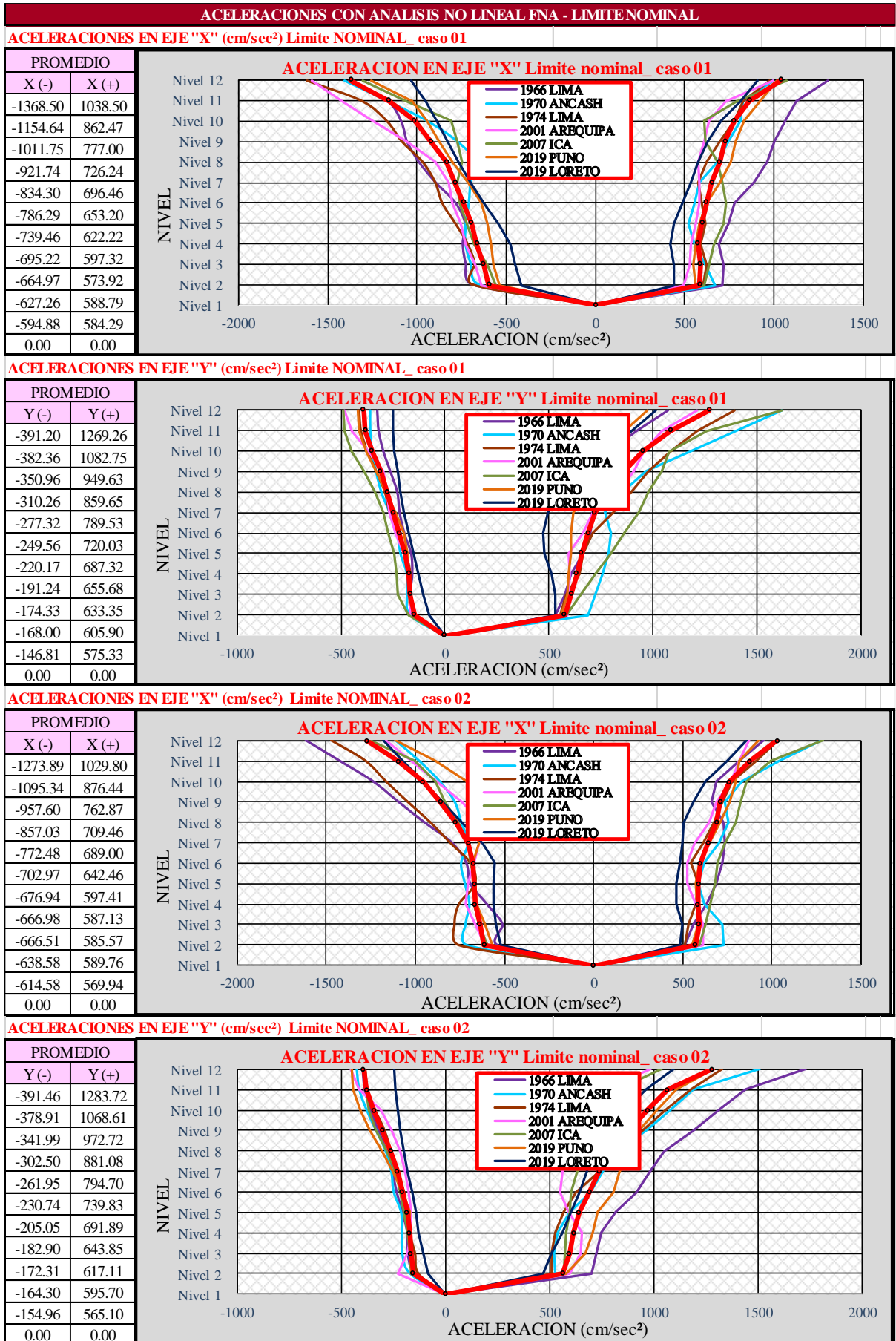
DERIVA LIMITE NOMINAL

	PROMEDIO	
	X	Y
Nivel 12	0.0021	0.0024
Nivel 11	0.0025	0.0025
Nivel 10	0.0028	0.0025
Nivel 9	0.0029	0.0026
Nivel 8	0.0027	0.0026
Nivel 7	0.0027	0.0026
Nivel 6	0.0028	0.0026
Nivel 5	0.0029	0.0025
Nivel 4	0.0029	0.0023
Nivel 3	0.0030	0.0019
Nivel 2	0.0025	0.0014
Nivel 1	0.0000	0.0000





ACELERACIONES CON ANALISIS NO LINEAL FNA - LIMITE NOMINAL													
ACELERACIONES EN EJE "X" (cm/sec ²) Limite NOMINAL_ caso 01													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)
-1379.00	1303.23	-1401.93	999.48	-1616.58	975.59	-1588.53	998.78	-1304.40	1070.24	-1255.58	1015.49	-1033.49	906.71
-1165.55	1124.76	-1160.76	826.50	-1308.48	828.00	-1417.91	730.34	-1058.31	793.52	-1022.39	922.22	-949.11	811.95
-1088.13	1062.18	-934.79	812.88	-1166.99	776.63	-1252.16	636.93	-810.93	611.43	-942.77	835.02	-886.53	703.97
-1054.86	1001.91	-768.80	746.64	-1082.48	694.85	-1060.56	611.48	-775.76	614.07	-878.12	786.65	-831.65	628.10
-987.98	960.44	-668.52	687.39	-966.86	626.39	-896.84	575.64	-745.65	683.87	-803.70	762.39	-770.58	579.09
-894.29	888.48	-696.98	581.04	-897.02	576.95	-824.82	581.09	-773.99	711.57	-714.20	697.01	-702.77	536.25
-783.09	782.49	-707.13	552.44	-858.15	599.03	-799.26	580.56	-758.99	731.60	-641.81	622.22	-627.78	487.20
-730.34	747.54	-724.20	518.78	-784.71	617.66	-754.10	559.65	-723.12	716.48	-604.55	579.53	-545.57	441.62
-743.19	689.70	-725.73	554.61	-716.52	592.79	-728.12	534.29	-677.63	664.17	-587.03	564.11	-476.58	417.77
-726.08	718.26	-694.94	619.95	-676.13	624.69	-673.88	528.03	-601.97	639.15	-572.10	552.06	-445.71	439.41
-689.36	709.76	-648.00	668.34	-688.98	604.46	-635.51	495.08	-555.15	607.68	-534.60	563.49	-412.59	441.24
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ACELERACIONES EN EJE "Y" (cm/sec ²) Limite NOMINAL_ caso 01													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)
-325.49	1070.75	-360.53	1618.76	-414.74	1388.21	-480.59	1207.98	-487.40	1617.08	-420.18	969.36	-249.48	1012.73
-318.75	917.16	-360.00	1395.99	-405.68	1211.70	-448.91	1041.72	-483.03	1258.46	-412.04	860.48	-248.10	893.75
-295.71	785.09	-351.21	1174.71	-374.75	1084.58	-365.63	955.07	-447.83	1078.05	-380.25	796.80	-241.38	773.13
-261.69	725.94	-332.00	965.07	-330.71	976.01	-294.83	905.79	-392.49	1038.89	-330.71	749.73	-229.41	656.12
-228.98	711.06	-306.23	853.07	-289.61	898.47	-279.87	829.73	-336.06	979.61	-285.74	691.82	-214.74	562.94
-217.92	708.26	-266.42	769.85	-267.26	810.80	-264.83	709.94	-295.38	929.78	-237.83	618.69	-197.30	492.89
-195.00	698.48	-230.57	796.59	-231.11	710.01	-236.51	664.97	-275.34	861.98	-197.15	605.57	-175.56	473.69
-162.36	662.13	-214.25	787.80	-188.84	664.50	-198.17	590.91	-242.72	799.32	-179.96	606.38	-152.39	478.73
-157.53	606.86	-182.96	757.91	-167.45	647.66	-176.31	597.44	-231.24	720.48	-176.91	591.71	-127.95	511.38
-166.40	578.88	-182.75	719.37	-171.68	582.29	-164.04	590.94	-224.58	652.70	-164.93	585.44	-101.66	531.72
-144.89	527.78	-166.73	686.43	-149.96	555.12	-169.98	589.08	-172.26	580.37	-146.48	560.31	-77.40	528.21
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ACELERACIONES EN EJE "X" (cm/sec ²) Limite NOMINAL_ caso 02													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)
-1614.68	953.97	-1110.75	1276.83	-1472.40	1032.02	-1166.37	873.32	-1255.77	1287.80	-1114.59	927.68	-1182.65	856.97
-1425.08	814.55	-978.17	1040.58	-1280.73	909.47	-1023.83	815.22	-1000.65	992.03	-889.32	817.22	-1069.64	746.03
-1238.25	685.70	-863.64	830.01	-1166.19	778.19	-879.39	768.02	-890.37	857.46	-708.71	793.70	-956.64	627.00
-1095.80	664.08	-779.07	737.69	-1043.85	724.10	-741.39	687.54	-831.20	826.67	-660.53	766.13	-847.35	560.04
-950.61	729.33	-742.70	757.64	-917.40	674.52	-631.29	647.12	-760.88	796.92	-667.25	711.60	-737.27	505.89
-795.20	736.98	-704.55	703.19	-805.79	611.73	-641.34	563.10	-704.01	737.19	-644.49	645.33	-625.40	499.68
-715.04	721.94	-743.25	618.41	-691.65	544.80	-669.96	527.96	-688.67	693.44	-673.79	593.13	-556.23	482.18
-692.48	690.47	-721.74	589.17	-666.77	587.30	-701.48	522.18	-660.65	680.78	-661.43	573.56	-564.30	466.46
-599.69	634.77	-697.10	620.94	-757.13	570.54	-715.80	573.48	-671.37	654.81	-659.81	577.04	-564.68	467.43
-512.39	556.50	-718.95	718.89	-781.77	529.65	-660.71	610.98	-643.23	629.06	-606.44	584.36	-546.56	498.89
-539.09	513.39	-709.89	728.37	-755.73	509.51	-609.15	610.28	-593.34	591.30	-571.29	551.31	-523.55	485.46
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ACELERACIONES EN EJE "Y" (cm/sec ²) Limite NOMINAL_ caso 02													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)
-399.00	1728.87	-426.57	1508.69	-387.63	1330.62	-454.04	989.82	-383.22	1038.06	-446.75	1289.79	-243.02	1100.16
-389.52	1439.85	-414.12	1192.85	-375.35	1176.50	-411.68	768.98	-378.24	829.20	-443.04	1110.23	-240.44	962.66
-361.22	1313.42	-378.81	1081.59	-339.29	1059.09	-308.15	694.32	-365.70	783.68	-410.28	1014.03	-230.52	862.94
-323.40	1191.51	-332.87	964.04	-293.93	947.96	-258.87	631.38	-330.33	735.92	-360.89	931.47	-217.23	765.30
-284.36	1049.15	-286.58	817.47	-263.28	843.81	-216.39	573.63	-277.35	685.94	-304.26	885.59	-201.42	707.36
-256.07	983.61	-259.26	754.40	-235.85	736.34	-192.86	560.76	-238.89	631.55	-249.57	835.16	-182.70	677.04
-234.62	916.20	-247.61	695.90	-199.31	627.26	-177.51	550.91	-213.84	600.93	-202.73	807.02	-159.72	645.06
-207.11	817.85	-211.94	599.96	-187.88	566.18	-162.17	591.87	-197.96	595.62	-172.58	731.10	-140.66	604.40
-182.70	749.93	-206.39	538.65	-172.71	528.74	-163.94	655.41	-179.34	578.96	-173.00	706.44	-128.09	561.66
-180.45	727.19	-206.69	519.72	-145.88	511.94	-180.44	652.85	-169.68	573.20	-158.87	674.39	-108.09	510.62
-146.25	702.96	-167.22	528.24	-128.58	509.99	-229.20	595.37	-166.11	570.11	-164.63	578.96	-82.73	470.10
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00





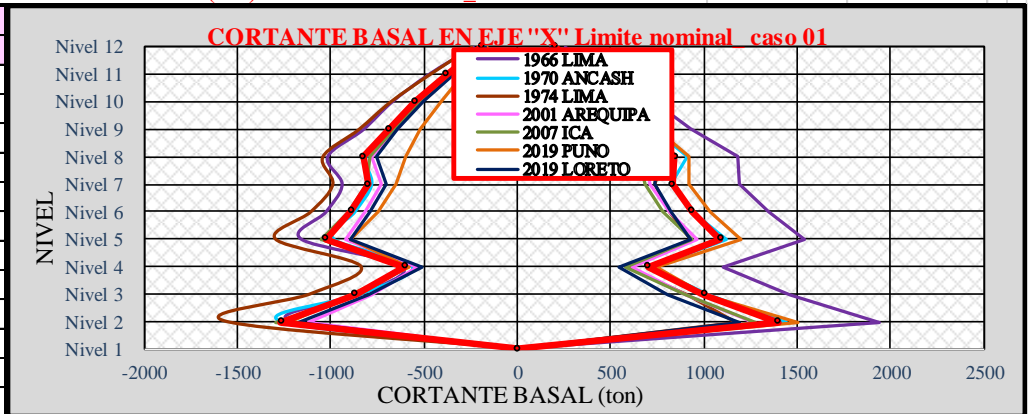
CORTANTE BASAL CON ANALISIS NO LINEAL FNA - LIMITE NOMINAL													
CORTANTE BASAL EN EJE "X" (ton) Limite NOMINAL_ caso 01													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)
-238.5	257.6	-183.3	201.2	-247.3	179.5	-184.8	194.0	-174.8	207.0	-158.7	196.6	-170.2	177.0
-477.4	511.7	-373.2	394.9	-472.1	355.9	-371.2	359.7	-349.9	387.0	-295.3	398.7	-348.2	361.2
-672.7	731.4	-538.3	554.2	-681.6	513.7	-523.2	461.7	-512.2	493.2	-406.3	585.8	-504.1	518.8
-824.5	928.3	-674.8	723.6	-850.5	659.7	-645.9	560.7	-662.6	550.2	-516.9	745.4	-641.6	651.9
-1015.2	1183.8	-810.6	913.4	-1042.8	789.9	-785.1	695.4	-792.8	644.8	-601.2	922.3	-753.1	757.9
-938.2	1193.4	-781.3	822.7	-989.9	737.7	-730.4	713.9	-806.9	681.5	-653.8	922.0	-703.4	738.9
-1023.0	1351.2	-869.9	933.8	-1106.4	816.5	-813.5	817.5	-905.5	778.1	-744.5	1035.5	-788.3	822.8
-1157.1	1542.2	-984.0	1119.8	-1296.1	930.8	-924.2	967.1	-1050.2	940.7	-895.4	1194.6	-895.0	924.8
-616.3	1100.9	-564.3	716.4	-839.4	589.6	-535.6	613.4	-588.8	581.9	-584.1	742.3	-513.9	541.2
-834.5	1460.2	-837.4	1022.0	-1109.3	911.5	-784.7	902.6	-849.6	902.7	-893.7	1010.7	-799.2	804.5
-1214.8	1942.6	-1267.5	1439.9	-1562.7	1171.9	-1125.7	1267.5	-1294.5	1279.0	-1230.3	1501.3	-1171.3	1191.2
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CORTANTE BASAL EN EJE "Y" (ton) Limite NOMINAL_ caso 01													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)
-512.0	495.9	-552.6	583.2	-468.8	488.6	-562.8	471.3	-442.7	476.3	-448.6	422.2	-433.6	420.3
-563.5	481.2	-600.0	676.5	-567.8	565.4	-649.6	510.3	-490.2	576.7	-488.4	432.6	-447.0	454.4
-617.7	497.5	-593.1	752.8	-729.1	708.6	-784.4	582.9	-530.6	707.9	-581.5	482.4	-545.6	478.7
-755.3	563.2	-640.2	835.4	-871.3	832.5	-907.4	698.6	-588.8	880.7	-682.2	573.1	-667.8	548.8
-862.9	664.2	-715.7	975.6	-985.3	957.2	-1026.0	825.4	-661.2	1006.7	-808.1	687.0	-776.1	618.4
-1016.0	764.8	-803.4	1105.4	-1106.4	1082.9	-1139.4	930.9	-756.2	1129.2	-942.1	792.5	-890.6	679.6
-1174.7	895.0	-927.6	1247.3	-1273.3	1216.4	-1279.2	1065.4	-887.3	1283.3	-1092.2	916.5	-1041.7	768.4
-1351.3	1075.7	-1034.8	1359.0	-1433.9	1396.1	-1412.8	1244.4	-1059.4	1455.5	-1248.6	1064.7	-1192.2	881.8
-1617.7	1274.3	-1224.4	1525.7	-1722.2	1640.6	-1603.4	1410.1	-1311.4	1721.8	-1475.8	1252.5	-1399.2	1040.2
-1800.5	1480.0	-1447.2	1636.4	-1939.5	1834.3	-1756.8	1577.3	-1498.4	1921.7	-1643.8	1411.2	-1562.5	1166.4
-1855.4	1587.7	-1557.2	1657.2	-1993.7	1877.2	-1794.0	1642.9	-1607.5	2002.0	-1714.7	1478.1	-1630.4	1192.3
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CORTANTE BASAL EN EJE "X" (ton) Limite NOMINAL_ caso 02													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)
-189.2	189.6	-174.5	243.9	-266.5	202.7	-222.3	168.7	-182.8	251.5	-162.9	175.6	-162.9	166.9
-371.3	373.2	-353.1	469.6	-513.6	411.9	-446.7	337.6	-353.6	476.8	-321.8	354.8	-331.4	335.7
-535.6	527.3	-512.1	638.0	-697.3	588.4	-634.7	504.3	-482.1	629.9	-478.3	523.1	-477.3	475.1
-721.1	648.9	-640.1	753.3	-843.8	736.0	-786.6	650.7	-565.4	738.0	-627.7	680.4	-604.9	580.5
-890.5	864.0	-789.8	857.1	-988.3	904.8	-928.8	774.4	-669.3	898.0	-793.7	847.5	-719.7	667.9
-939.1	782.8	-753.3	804.8	-952.7	878.1	-855.7	796.5	-598.4	810.3	-816.9	895.9	-704.7	666.0
-1066.2	895.0	-861.1	912.5	-1077.3	978.6	-935.2	896.0	-688.4	911.8	-928.7	1016.9	-798.7	752.0
-1268.7	1086.0	-986.2	1061.4	-1199.3	1111.1	-1012.5	1041.1	-869.4	1039.5	-1099.4	1189.3	-920.7	864.0
-864.2	706.7	-727.0	661.1	-747.2	650.5	-543.3	635.9	-482.5	576.3	-686.5	774.7	-550.7	510.7
-1249.3	952.3	-997.5	978.2	-1038.9	905.6	-762.4	932.2	-740.9	845.1	-971.7	1112.9	-813.5	781.5
-1652.8	1497.3	-1345.8	1348.6	-1644.8	1316.9	-1210.2	1308.5	-1238.0	1414.1	-1403.5	1499.4	-1219.4	1141.1
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CORTANTE BASAL EN EJE "Y" (ton) Limite NOMINAL_ caso 02													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)
-557.6	541.2	-379.8	502.4	-522.3	505.2	-441.1	395.6	-475.3	417.5	-390.6	440.3	-465.4	444.4
-644.8	675.5	-418.0	594.5	-581.1	553.5	-486.1	395.7	-501.2	426.9	-427.5	499.1	-509.7	475.0
-791.8	859.2	-506.6	703.4	-760.5	674.2	-549.8	425.0	-551.5	483.2	-411.7	622.8	-586.9	540.8
-920.2	1003.6	-595.0	827.3	-887.1	784.0	-655.4	518.0	-681.4	574.7	-511.6	722.4	-710.0	624.4
-1046.1	1176.1	-702.1	942.5	-1008.5	904.0	-718.1	599.7	-793.8	681.2	-577.6	840.1	-809.4	733.1
-1167.8	1343.2	-808.7	1041.7	-1157.8	1010.9	-781.2	667.2	-904.3	788.2	-663.7	970.0	-909.1	834.5
-1319.1	1498.1	-930.5	1179.9	-1284.2	1121.0	-890.9	782.5	-1058.4	916.9	-787.6	1118.0	-1047.3	953.1
-1451.7	1724.2	-1071.6	1335.5	-1470.0	1286.5	-988.9	928.3	-1217.8	1077.5	-938.5	1298.8	-1182.7	1093.0
-1666.3	2035.3	-1254.6	1606.9	-1727.1	1486.7	-1151.1	1077.2	-1412.2	1276.4	-1160.9	1560.5	-1379.2	1280.2
-1817.1	2277.0	-1429.3	1792.4	-1899.5	1655.9	-1277.4	1236.8	-1579.2	1443.8	-1342.5	1770.0	-1511.5	1461.7
-1821.9	2346.3	-1512.1	1796.7	-1947.4	1670.6	-1334.7	1331.7	-1654.5	1510.7	-1458.0	1850.1	-1542.4	1536.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



CORTANTE BASAL CON ANALISIS NO LINEAL FNA - LIMITE NOMINAL

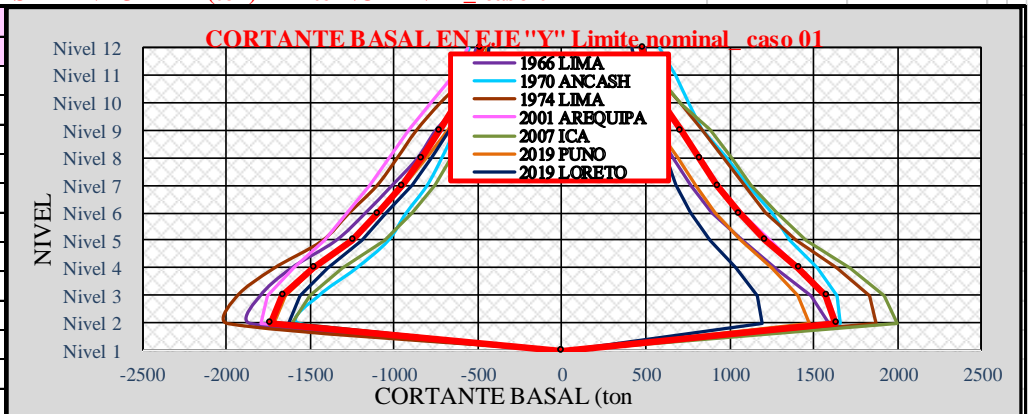
CORTANTE BASAL EN EJE "X" (ton) Limite NOMINAL_ caso 01

PROMEDIO	
X (-)	X (+)
-193.9	201.9
-383.9	395.6
-548.4	551.3
-688.1	688.6
-828.7	843.9
-800.5	830.0
-893.0	936.5
-1028.9	1088.6
-606.1	697.9
-872.6	1002.0
-1266.7	1399.1
0.0	0.0



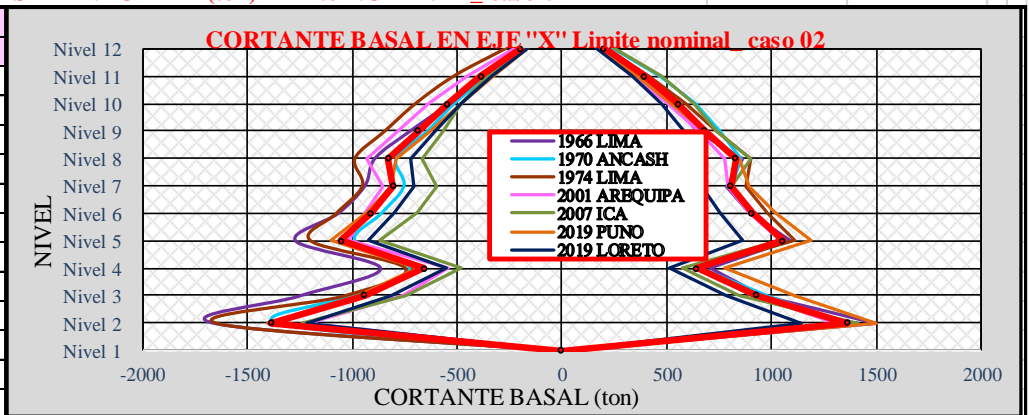
CORTANTE BASAL EN EJE "Y" (ton) Limite NOMINAL_ caso 01

PROMEDIO	
Y (-)	Y (+)
-488.7	479.7
-543.8	528.2
-626.0	601.5
-730.4	704.6
-833.6	819.2
-950.6	926.5
-1096.6	1056.0
-1247.6	1211.0
-1479.1	1409.3
-1664.1	1575.3
-1736.1	1633.9
0.0	0.0



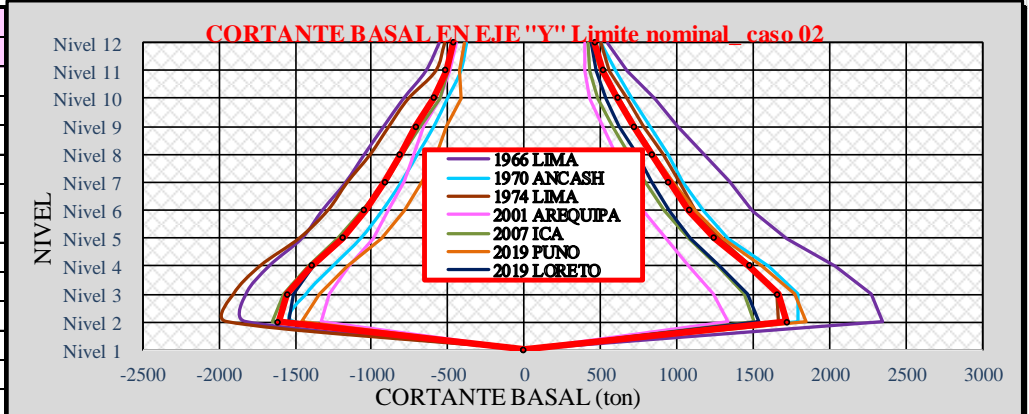
CORTANTE BASAL EN EJE "X" (ton) Limite NOMINAL_ caso 02

PROMEDIO	
X (-)	X (+)
-194.4	199.8
-384.5	394.2
-545.4	555.2
-684.2	684.0
-825.7	830.5
-803.0	804.9
-907.9	909.0
-1050.9	1056.1
-657.3	645.1
-939.2	929.7
-1387.8	1360.9
0.0	0.0



CORTANTE BASAL EN EJE "Y" (ton) Limite NOMINAL_ caso 02

PROMEDIO	
Y (-)	Y (+)
-461.7	463.8
-509.8	517.2
-594.1	615.5
-708.7	722.1
-807.9	839.5
-913.2	950.8
-1045.4	1081.4
-1188.8	1249.1
-1393.1	1474.8
-1550.9	1662.5
-1610.1	1720.3
0.0	0.0





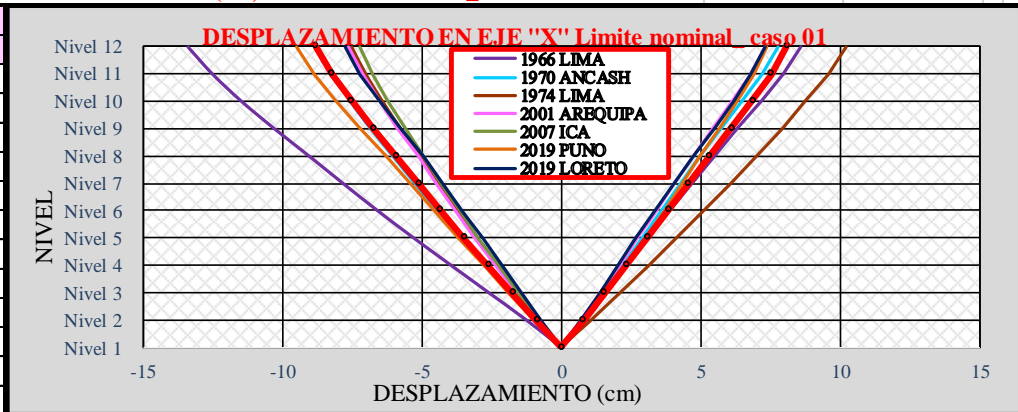
DESPLAZAMIENTO CON ANALISIS NO LINEAL FNA - LIMITE NOMINAL													
DESPLAZAMIENTO EN EJE "X" (cm) Limite NOMINAL_ caso 01													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)
-13.38	8.57	-8.75	7.78	-7.51	10.22	-7.61	7.34	-7.20	8.07	-9.51	7.37	-7.77	7.33
-12.50	7.93	-8.20	7.21	-7.01	9.56	-7.12	6.81	-6.75	7.51	-8.86	6.89	-7.20	6.80
-11.45	7.17	-7.57	6.53	-6.41	8.77	-6.54	6.18	-6.21	6.83	-8.09	6.33	-6.53	6.18
-10.28	6.31	-6.84	5.76	-5.76	7.93	-5.87	5.48	-5.60	6.06	-7.20	5.69	-5.77	5.48
-9.03	5.49	-6.05	4.97	-5.07	7.02	-5.16	4.75	-4.94	5.26	-6.28	5.01	-4.98	4.75
-7.82	4.69	-5.25	4.26	-4.39	6.08	-4.48	4.07	-4.30	4.51	-5.42	4.35	-4.26	4.06
-6.58	3.90	-4.44	3.57	-3.71	5.12	-3.80	3.41	-3.65	3.78	-4.56	3.68	-3.55	3.38
-5.28	3.12	-3.59	2.88	-2.99	4.13	-3.08	2.73	-2.96	3.04	-3.68	2.98	-2.83	2.69
-3.94	2.34	-2.70	2.17	-2.25	3.10	-2.33	2.05	-2.25	2.28	-2.77	2.26	-2.11	2.00
-2.60	1.55	-1.81	1.46	-1.52	2.07	-1.58	1.37	-1.52	1.54	-1.86	1.52	-1.41	1.36
-1.25	0.77	-0.90	0.73	-0.75	1.01	-0.78	0.68	-0.76	0.77	-0.92	0.75	-0.71	0.69
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DESPLAZAMIENTO EN EJE "Y" (cm) Limite NOMINAL_ caso 01													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)
-6.05	8.11	-8.49	6.54	-8.43	8.47	-7.27	8.88	-8.29	5.78	-6.25	7.42	-5.49	6.90
-5.53	7.38	-7.68	5.92	-7.64	7.68	-6.60	8.05	-7.53	5.25	-5.69	6.75	-4.97	6.28
-4.99	6.63	-6.85	5.29	-6.83	6.88	-5.92	7.18	-6.74	4.73	-5.11	6.07	-4.42	5.64
-4.43	5.85	-6.00	4.66	-6.00	6.07	-5.22	6.30	-5.94	4.20	-4.51	5.36	-3.87	4.98
-3.86	5.05	-5.16	4.01	-5.18	5.25	-4.50	5.39	-5.14	3.66	-3.90	4.63	-3.32	4.31
-3.26	4.24	-4.30	3.35	-4.34	4.41	-3.78	4.48	-4.33	3.10	-3.28	3.89	-2.77	3.63
-2.66	3.44	-3.44	2.70	-3.50	3.56	-3.04	3.58	-3.50	2.54	-2.65	3.14	-2.22	2.94
-2.05	2.64	-2.61	2.05	-2.67	2.72	-2.33	2.71	-2.69	1.98	-2.03	2.40	-1.69	2.26
-1.46	1.86	-1.81	1.44	-1.87	1.90	-1.64	1.88	-1.90	1.42	-1.44	1.69	-1.18	1.59
-0.90	1.13	-1.09	0.87	-1.13	1.17	-1.00	1.13	-1.17	0.88	-0.88	1.03	-0.72	0.97
-0.42	0.52	-0.49	0.40	-0.52	0.54	-0.46	0.51	-0.54	0.41	-0.40	0.47	-0.33	0.45
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DESPLAZAMIENTO EN EJE "X" (cm) Limite NOMINAL_ caso 02													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)	X (-)	X (+)
-8.18	10.06	-8.19	8.69	-8.87	10.23	-8.26	8.44	-8.38	6.28	-9.42	8.50	-6.89	7.50
-7.60	9.48	-7.64	8.13	-8.24	9.45	-7.71	7.76	-7.72	5.85	-8.81	7.96	-6.40	6.97
-6.91	8.78	-6.99	7.45	-7.48	8.52	-7.06	6.97	-6.93	5.34	-8.08	7.31	-5.82	6.33
-6.14	7.98	-6.25	6.69	-6.63	7.52	-6.31	6.08	-6.08	4.76	-7.25	6.57	-5.16	5.62
-5.42	7.09	-5.48	5.91	-5.74	6.50	-5.51	5.17	-5.23	4.16	-6.38	5.78	-4.48	4.88
-4.74	6.18	-4.75	5.13	-4.92	5.58	-4.76	4.36	-4.47	3.60	-5.54	5.01	-3.86	4.20
-4.02	5.24	-4.03	4.34	-4.11	4.67	-4.01	3.60	-3.75	3.05	-4.69	4.23	-3.26	3.53
-3.27	4.23	-3.27	3.50	-3.29	3.73	-3.22	2.84	-3.00	2.47	-3.81	3.42	-2.63	2.84
-2.50	3.20	-2.48	2.63	-2.47	2.80	-2.43	2.10	-2.25	1.88	-2.88	2.58	-2.00	2.14
-1.73	2.16	-1.67	1.74	-1.66	1.87	-1.63	1.40	-1.52	1.28	-1.94	1.74	-1.35	1.44
-0.87	1.06	-0.83	0.84	-0.82	0.93	-0.81	0.69	-0.77	0.65	-0.95	0.86	-0.68	0.72
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DESPLAZAMIENTO EN EJE "Y" (cm) Limite NOMINAL_ caso 02													
1966 LIMA		1970 ANCASH		1974 LIMA		2001 AREQUIPA		2007 ICA		2019 PUNO		2019 LORETO	
Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)	Y (-)	Y (+)
-10.39	9.12	-8.14	6.36	-7.84	9.02	-5.21	6.16	-6.33	7.00	-7.67	5.24	-6.64	7.18
-9.43	8.27	-7.37	5.79	-7.10	8.19	-4.73	5.57	-5.76	6.37	-6.96	4.78	-6.03	6.52
-8.44	7.39	-6.58	5.20	-6.35	7.33	-4.25	4.96	-5.18	5.72	-6.24	4.30	-5.40	5.84
-7.43	6.48	-5.79	4.59	-5.58	6.44	-3.77	4.34	-4.57	5.05	-5.50	3.82	-4.75	5.14
-6.42	5.55	-4.99	3.96	-4.81	5.53	-3.28	3.72	-3.96	4.37	-4.75	3.32	-4.10	4.42
-5.38	4.62	-4.17	3.33	-4.02	4.63	-2.78	3.09	-3.33	3.68	-3.98	2.82	-3.43	3.70
-4.33	3.70	-3.35	2.68	-3.23	3.73	-2.26	2.47	-2.70	2.97	-3.22	2.31	-2.76	2.98
-3.30	2.81	-2.54	2.05	-2.46	2.84	-1.75	1.88	-2.07	2.28	-2.47	1.79	-2.11	2.27
-2.30	1.95	-1.78	1.44	-1.72	1.99	-1.24	1.31	-1.47	1.61	-1.75	1.28	-1.48	1.59
-1.41	1.18	-1.09	0.88	-1.04	1.20	-0.77	0.79	-0.90	0.98	-1.07	0.80	-0.90	0.96
-0.65	0.53	-0.50	0.41	-0.47	0.55	-0.36	0.36	-0.41	0.45	-0.49	0.37	-0.41	0.44
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



DESPLAZAMIENTO CON ANALISIS NO LINEAL FNA - LIMITE NOMINAL

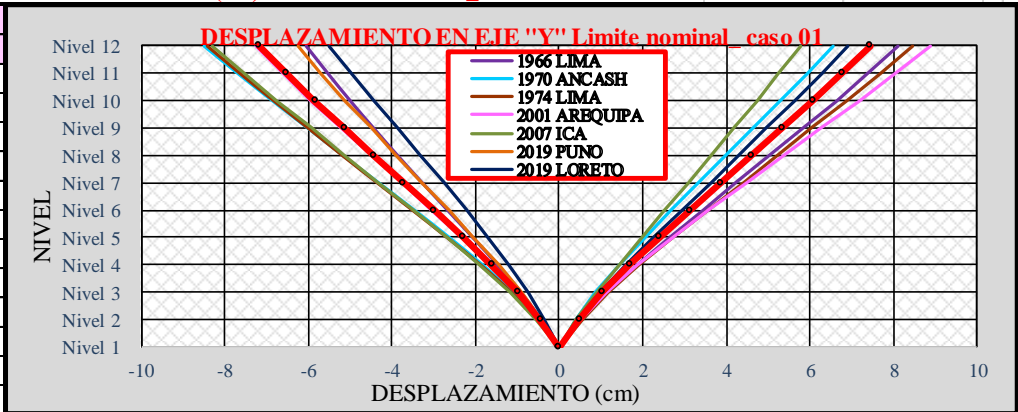
DESPLAZAMIENTO EN EJE "X" (cm) Limite NOMINAL_ caso 01

PROMEDIO	
X (-)	X (+)
-8.82	8.10
-8.23	7.53
-7.54	6.85
-6.76	6.10
-5.93	5.32
-5.13	4.57
-4.33	3.83
-3.49	3.08
-2.62	2.31
-1.76	1.55
-0.87	0.77
0.00	0.00



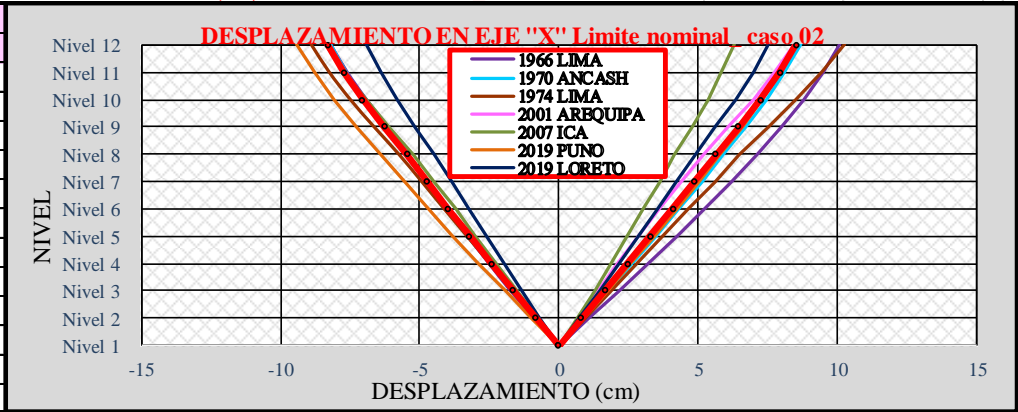
DESPLAZAMIENTO EN EJE "Y" (cm) Limite NOMINAL_ caso 01

PROMEDIO	
Y (-)	Y (+)
-7.18	7.44
-6.52	6.76
-5.84	6.06
-5.14	5.35
-4.44	4.62
-3.72	3.87
-3.00	3.13
-2.29	2.39
-1.61	1.68
-0.98	1.03
-0.45	0.47
0.00	0.00



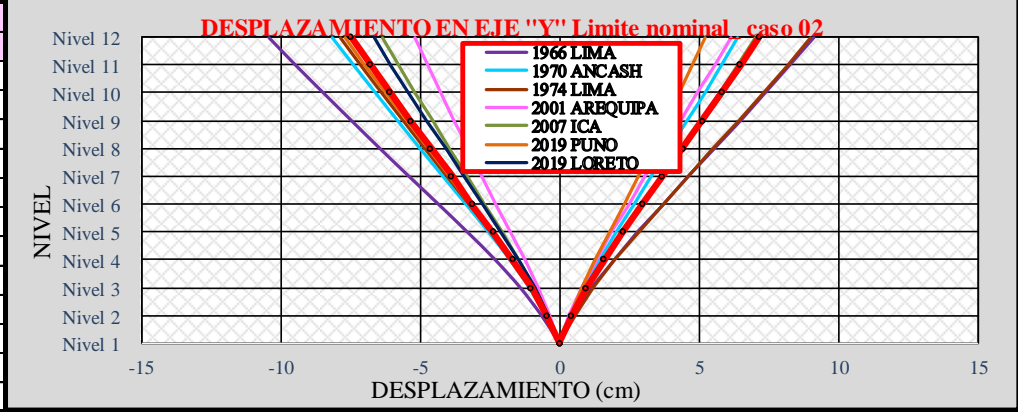
DESPLAZAMIENTO EN EJE "X" (cm) Limite NOMINAL_ caso 02

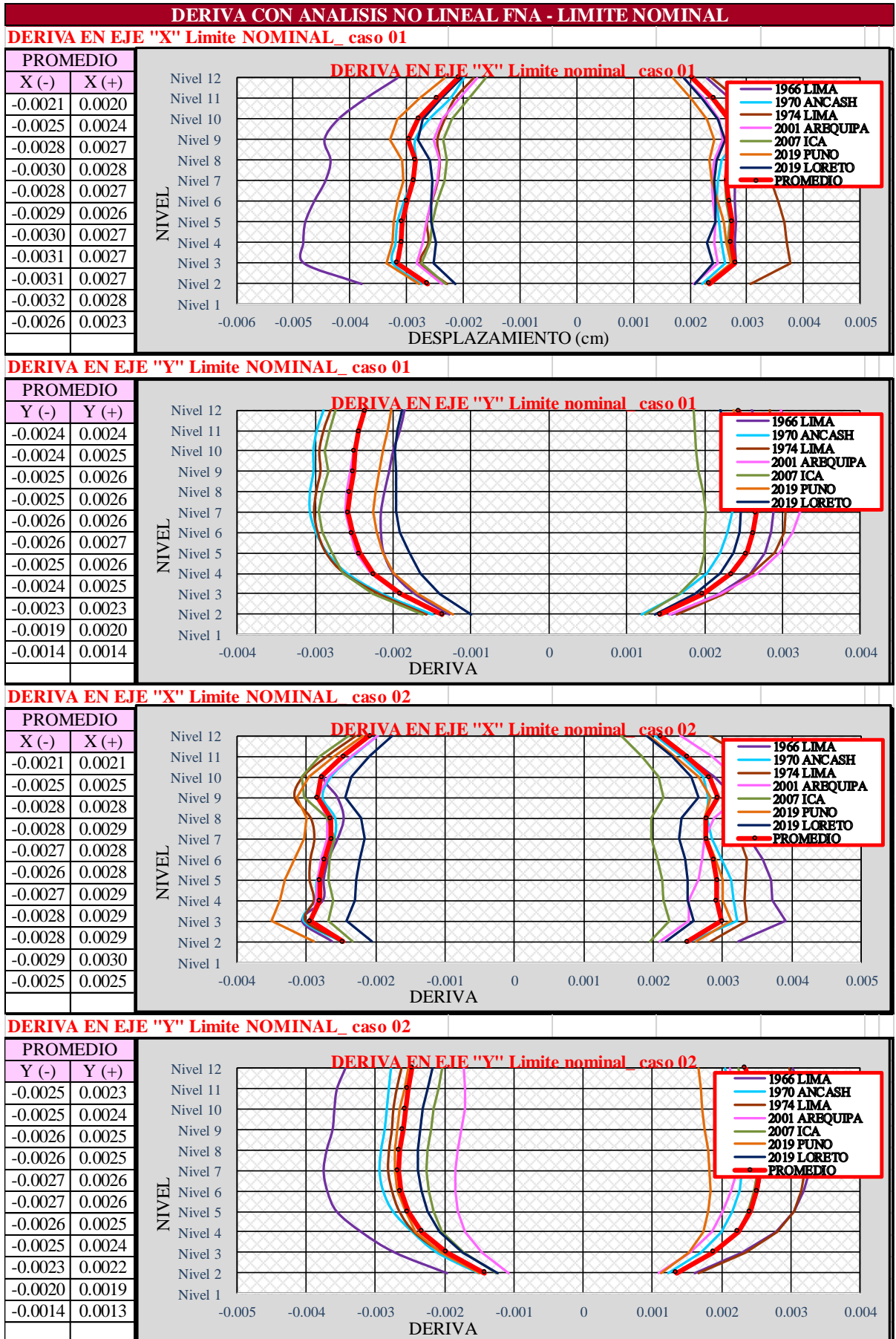
PROMEDIO	
X (-)	X (+)
-8.31	8.53
-7.73	7.94
-7.04	7.24
-6.26	6.46
-5.46	5.64
-4.72	4.87
-3.98	4.09
-3.21	3.29
-2.43	2.47
-1.64	1.66
-0.82	0.82
0.00	0.00



DESPLAZAMIENTO EN EJE "Y" (cm) Limite NOMINAL_ caso 02

PROMEDIO	
Y (-)	Y (+)
-7.46	7.15
-6.77	6.50
-6.06	5.82
-5.34	5.12
-4.61	4.41
-3.87	3.69
-3.12	2.98
-2.39	2.27
-1.68	1.60
-1.02	0.97
-0.47	0.44
0.00	0.00







ANEXOS N° 09

ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS CON FINES DE

CIMENTACION



ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACION (EMS)
VIVIENDA MULTIFAMILIAR

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

ESTUDIO GEOTECNICO CON FINES DE
VERIFICAR LA CAPACIDAD DE CARGA
ADMISIBLE DEL TERRENO DE FUNDACION
CON FINES DE CIMENTACION



INFORME TECNICO

“EVALUACION PARA LA CONSTRUCCION DE
VIVIENDA MULTIFAMILIAR”

PROPIETARIO : SR. JUAN JESUS FLORES SANCHEZ Y
SRA. ELIZABETH ANDIA VELASQUEZ

UBICACIÓN: Jirón chucuito N° 349



ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN (EMS)
VIVIENDA MULTIFAMILIAR

1. MEMORIA DESCRIPTIVA

a.- Resumen de las condiciones de Cimentación

El presente Informe Técnico se refiere al Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) con fines de cimentación del Proyecto Vivienda Multifamiliar ubicado en Jirón chucuito N° 349

Los trabajos de exploración de suelos, los ensayos de campo y ensayos de laboratorio, efectuados en los materiales del lugar investigado tienen por objeto determinar las características físicas y mecánicas de los suelos subyacentes al área en estudio a fin de establecer la presión admisible del terreno de fundación de la cimentación y el comportamiento del suelo ante las cargas impuestas por la edificación proyectada.

El informe de mecánica de suelos se ha realizado en conformidad con la norma técnica E.20 Suelos y Cimentaciones. El informe contiene los resultados de los ensayos insitu practicados en las excavaciones, los resultados de los ensayos de laboratorio, el cálculo de la capacidad portante, el cálculo de los asentamientos, así como las conclusiones y recomendaciones.



1.1. Tipo de cimentación

La cimentación propuesta esta conformada por zapatas aisladas de 1.20 m de lado, conectadas cimentadas a una profundidad de 1.40 m.

1.2. Estrato de Apoyo de la Cimentación

El estrato de apoyo de la cimentación, corresponde al nivel de cota relativa -1.50 m, con respecto al nivel actual del terreno (ver fotografía) y esta conformada por gravas bien gradadas con limos de baja plasticidad clasificada según el sistema SUCS como GW-GM.

ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACION (EMS)
VIVIENDA MULTIFAMILIAR

1.3. Parámetros de diseño para la cimentación

De acuerdo a la norma se toma como presión admisible la que resulte menor de la aplicación de las ecuaciones de capacidad de carga por corte, afectada por un factor de seguridad correspondiente o la presión que cauce el asentamiento admisible.

Profundidad de la Cimentación	1.50 m
Presión admisible	1.00 Kg/cm ²
Factor de seguridad por corte	3.00
Asentamiento total	0.50 cm.

La zona estudiada esta clasificada como zona II con un factor de zona de 0.40. El tipo de suelo encontrado corresponde a un perfil tipo S2, con un periodo predominante del suelo de 0.60 y un factor de suelo de 1.20

1.4. Conclusiones y Recomendaciones



1. El suelo de fundación esta constituido por materiales granulares gruesos en matriz limosa; que bajo la aplicación de esfuerzos exhibirán asentamientos inmediatos.
2. la resistencia al esfuerzo cortante no drenado del suelo de fundación es 0.75kg/cm² valor relativamente bajo por ser un suelo básicamente friccionante, el ángulo de fricción interna es de 21° los parámetros fueron obtenidos del ensayo de corte directo con muestra remoldeada.
3. El sistema de cimentación debe estar conformado por zapatas aisladas conectadas.
4. se propone un nivel de cimentación de 2.00 m por debajo del nivel de referencia.
5. los resultados, conclusiones y recomendaciones indicados en el presente informe no deberán ser aplicados indiscriminadamente a otras zonas.

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN (EMIS)
VIVIENDA MULTIFAMILIAR

b.- Información Previa

No se dispone de información de estudios de mecánica de suelos previamente realizados en el lugar.

c.- Exploración de Campo

En la zona en estudio se practico 2 calicatas cuyas características se indican a continuación:

DENOMINACION	PROFUNDIDAD
Calicata -1	2.10
Calicata -2	2.20

Con la finalidad de determinar las características del suelo de fundación, así como los parámetros de comportamiento mecánico, se realizaron los siguientes ensayos in situ: Densidad Natural

A fin de determinar los parámetros característicos de los suelos de fundación se tomo una muestra alterada en bolsa (Mab) del estrato de cimentación.



d.- Ensayos de Laboratorio

Con las muestras alteradas extraídas de la perforación se practicaron los siguientes ensayos de laboratorio, cuyos resultados se muestran en el punto 3.

- Contenido de Humedad (ASTM D 2216)
- Análisis Granulométrico (ASTM D 422)
- Limite liquido y plástico (ASTM D 4318)
- Corte Directo (ASTM D 3080)

e.- Perfil del Suelo



ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN (EMS)
VIVIENDA MULTIFAMILIAR

El perfil estratigráfico en la excavación practicada se muestra a continuación y cuya evolución sedimentológica del nuevo sector designado para el proyecto a continuación se describe: —

En nivel superior se presenta una secuencia de depósitos arenos limosos con espesores que varían de 0.20 a 0.30 m.

Al horizonte descrito continúan arenas limosas de deficiente gradación de tonalidad beige con concentraciones de arenas de oxidación, estos depósitos en profundidad se presentan consolidados de tonalidad gris claro.

Infrayacen a los materiales descritos lentes de suelos friccionantes mal gradados de perfiles redondeados a sub redondeados.

Por debajo de los materiales descritos se presentan ignimbritas frágiles intemperizadas constituidas por arenas de deficiente gradación empacadas en limos de baja plasticidad.



Los constituyentes descritos muestran una buena consolidación incrementando sus parámetros físico – mecánicos a mayor soterramiento.

f.- Análisis de Cimentación.

Las condiciones de estabilidad de diseño de la cimentación están dadas por el cálculo de la capacidad de carga y el asentamiento inmediato del estrato de cimentación.

Los parámetros mecánicos han sido tomados de los ensayos de corte en laboratorio, debido a las condiciones del material se ha considerado como crítica una falla de corte local, habiéndose corregido los valores de cohesión ($c' = 0.028c$) y Angulo de fricción interna ($\Phi' = \tan^{-1}(0.67 \tan \Phi)$)

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN (ESES)
VIVIENDA MULTIFAMILIAR

1.1. Cálculo de la Capacidad Portante

La expresión portante por corte fue calculada haciendo uso de la siguiente expresión:

$$q_u = S_u N_c S_c + \gamma_{nat} D_f N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma S_\gamma$$

Donde

q_u	:	Capacidad de carga
S_u	:	Resistencia al esfuerzo cortante (cohesión)
γ_{nat}	:	Densidad natural del suelo
D_f	:	Profundidad de desplante
B	:	Ancho de la cimentación
N_c, N_γ, N_q	:	Factores de carga

$$N_q = \frac{e^{(0.75\pi - \theta/2) \tan \theta}}{2 \cos^2 (45 + \theta/2)}$$

$$N_\gamma = \frac{\tan \theta}{2} \left(\frac{Kp\gamma}{\cos^2 \theta} - 1 \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \theta$$



S_c, S_γ : factores de corrección de forma y profundidad

La capacidad admisible de carga es calculada como:

q_{adm}	:	capacidad admisible de carga
F.S	:	factor de seguridad acápite 3.3 a) Norma E020

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN (ESIS)
VIVIENDA MULTIFAMILIAR

Los resultados de la capacidad portante se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 1: Cálculo de la Capacidad Portante

UBICACION		ZAPATA
Profundidad	(m)	1.20
Ancho de cimentación	(m)	1.20
Densidad Natural	γ (gr/cm ³)	1640
Resistencia al esfuerzo cortante no drenado	S_u (kg/cm ²)	0.75(0.50)
Angulo de fricción interna	Φ	21.7
Factores de Carga	N_c	21.3
	N_q	9.9
	N_γ	8.3
Factores de forma	S_c	1.3
Factor de profundidad	S_γ	0.8
Q_u	(kg/cm ²)	4.59
$Q_{adm} = (S_u \cdot N_c \cdot S_c + \gamma \cdot D_r \cdot N_q \cdot S_q) / 3$	(kg/cm ²)	1.53

El tipo de suelo encontrado ante la imposición de un incremento de carga es susceptible de deformarse principalmente por asentamiento inmediato. A continuación se calculan los asentamientos en la cimentación.



1.2. Cálculo de Asentamientos

2.1. Asentamiento Vertical Inmediato

2.2.

El suelo donde se proyecta construir la cimentación corresponde a gravas bien gradadas en matriz de limos de baja plasticidad este tipo de suelos presenta asentamientos elásticos o inmediatos. La deformación fue calculada a partir de la siguiente expresión (Schmertmann):

$$\delta_e = C_1 C_2 C_3 q' \sum_i I_{zi} \frac{H_i}{E_i}$$



ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN (EMIS)
VIVIENDA MULTIFAMILIAR

Donde:

- δ = asentamiento de la cimentación
- $C_1C_2C_3$ = factores de profundidad, compresión secundaria y forma
- q' = esfuerzo actuante (capacidad portante neta)
- I_{z1} = factor de influencia de la deformación para el estrato i
- H_i = espesor del estrato i
- E_i = modulo de elasticidad del estrato i

Los resultados se muestran en el cuadro siguiente:

Cuadro 2: Asentamientos Inmediatos

ASENTAMIENTO INMEDIATO				
Ubicación	profundidad	q'	E	δ
	(m)	Esfuerzo (Mpa)	Modulo de elasticidad (Mpa)	Deformación Inmediata (cm)
zapata	1.20	0.15	32.00	0.50

1.3. Presión admisible del terreno

De acuerdo a la Norma Técnica Peruana E.020 se toma como presión admisible la que resulte menor de la aplicación de las ecuaciones de capacidad de carga por corte, afectada por un factor de seguridad correspondiente o la presión que cause el asentamiento admisible. Por tanto el valor de capacidad admisible es el siguiente:



Cuadro 3: Capacidad Admisible

UBICACION	ASENTAMIENTOS (cm)			CAPACIDAD ADMISIBLE (kg/cm ²)	
	INMEDIATO	CONSOLIDACION	TOTAL	POR CORTE	POR ASENTAMIENTO
zapata	0.50	-	0.50	1.53	1.53

g- Efecto de Sismo.



ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACION (EMIS)
VIVIENDA MULTIFAMILIAR

Conforme a la Norma E.030 de Diseño Sismo Resistente la zona estudiada esta clasificada como zona III (sismicidad alta) con los siguientes parámetros:

Cuadro 4: parámetros de Sitio

PARAMETRO	VALOR
Factor de Zona (Z)	0.40
Tipo de Perfil	S ₂
Periodo predominante del duelo (T _p)	0.60
Factor de suelo (S)	1.20





ANEXOS N° 10

EVALUACIÓN DEL MODELAMIENTO ESTRUCTURAL CON

AISLADORES ELASTOMERICOS Y CON DISIPADORES DE

ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO

OPTIMIZACION DEL SISTEMA CON AISLADORES ELASTOMERICOS Y DISIPADORES DE ENERGIA DE FLUIDO VISCOSO

En el presente anexo se presenta un diseño sísmico optimizado, de la propuesta arquitectónica con un sistema de aisladores elastoméricos y con disipadores de energía de fluido viscoso, ante registros sísmicos escalados a un sismo máximo considerado. Este procedimiento se realizó con la finalidad de recomendación de buenas prácticas de diseño en de un sistema con aisladores elastoméricos y de disipadores de energía de fluido viscoso. La optimización tanto del sistema de aislamiento y disipación de energía, se realizó para el presente anexo, en función al cumplimiento del artículo 26.4 de la norma E.031 “Aislamiento sísmico”, el cual describe un límite de deriva de 0.005 si se realiza un análisis sísmico historia de respuestas.

EVALUACION DEL MODELAMIENTO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA CON AISLADORES ELASTOMÉRICOS

Se realizó el procedimiento de modelamiento estructural con sistema de aisladores a partir propuesta arquitectónica de la edificación de 12 niveles ubicada en la ciudad de Puno, con un sistema estructural aporticado. Este procedimiento se realizó con fines comparativos y verificación de resultados.

Para la realización del modelamiento del sistema aporticado en mención, se realizó iteraciones sucesivas con secciones de elementos estructurales de razonable dimensión, con la finalidad de obtener un óptimo comportamiento sísmico de la estructura convencional aporticado para luego añadir aisladores elastomericos. Se presenta una estructuración y dimensionamiento de elementos estructurales del sistema convencional tal como se muestra en la siguiente figura:

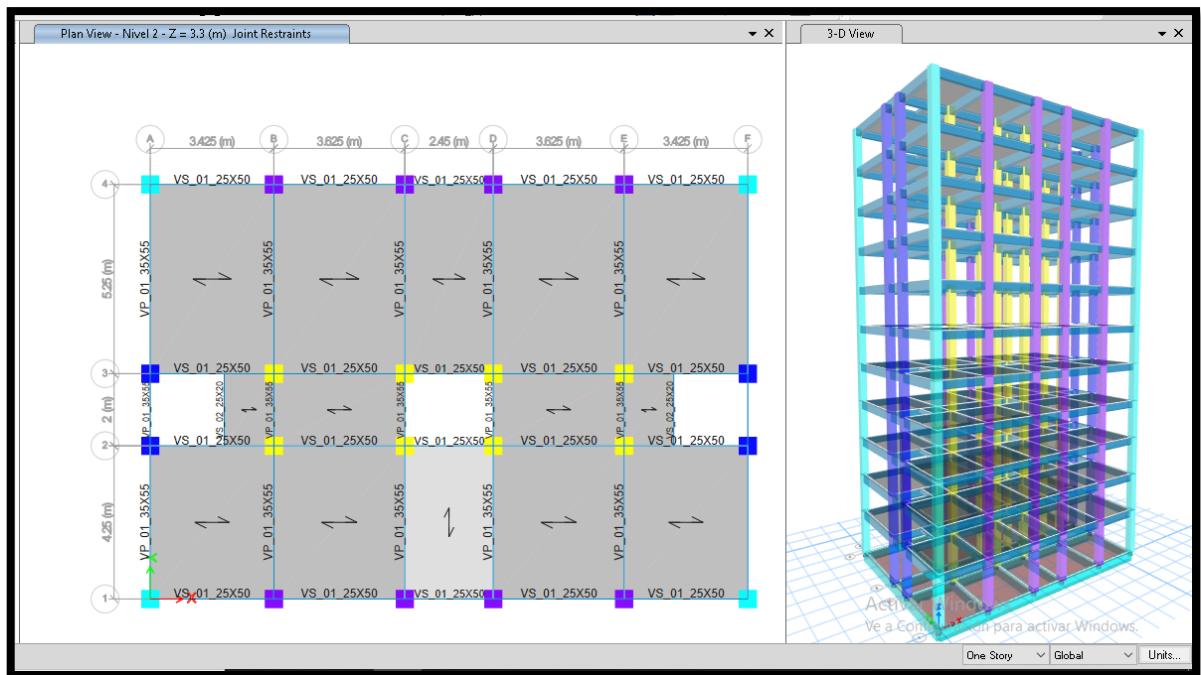


Fig N° 19. Modelamiento estructural del sistema convencional apertocado.

Fuente: Programa computacional ETABS V19.0.0

Las columnas presentan una sección de 50x50cm, las vigas que tienen la misma dirección del sentido de la losa poseen una sección de 35x55 cm, las vigas que tienen una sección perpendicular al sentido de la losa poseen una sección de 25x50cm y la losa aligerada de espesor de 20cm.

Se definió una losa maciza bidireccional de entrepiso para el aislamiento de la base con sus respectivas vigas (listo para incluir los elementos de aislamiento sísmica). Se adoptó para la losa maciza un peralte de 25 cm y la viga de cimentación de sección 35x65cm ya que son elementos en el nivel de aislamiento que deben ser diseñadas con un factor R igual a 1.

Procedimiento diseño de sistemas de aislamiento de base

Se procedió a obtener los parámetros del programa computacional como los periodos, peso sísmico de la estructura total y sin considerar base, tal como se muestra en la siguiente figura:

Factor de zona (Z) = 0.35	Dimensión en planta más larga de la estructura (d) = 16.55
Factor de uso (U) = 1.00	Dimensión en planta más corta de la estructura (b) = 11.50
Factor de suelo (S) = 1.15	Excentricidad real entre el centro de masas y rigidez (d) = 0.18
Periodo corto (T_p) = 0.60	→ Coef. de amplificación sísmica (C_p) = 2.50
Periodo largo (T_L) = 2.00	→ Coef. de amplificación sísmica (C_L) = 0.75
Periodo (T_1) = 1.082	→ Coef. de amplificación sísmica (C_1) = 1.39
Periodo (T_2) = 1.015	→ Coef. de amplificación sísmica (C_2) = 1.48
Periodo (T_3) = 0.925	→ Coef. de amplificación sísmica (C_3) = 1.62
Peso sísmico de la estructura total (W) = 2636.8	T_n ó $kN\cdot s^2/t$ 25858 KN
Peso sísmico de la estructura sin considerar base (Ws) = 2413.1	T_n ó $kN\cdot s^2/t$ 23665 KN
Coeficiente de reducción para el sistema convencional (R) = 8	
Coeficiente de reducción para el sistema aislada (R_a) = 2.00	

Fig N° 20. Datos del modelamiento de la estructura convencional

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

La metodología de diseño del aislador consiste en un procedimiento iterativo, se calculó los parámetros con las formulas detalladas en el marco teórico de procedimiento diseño de sistemas de aislamiento de base.

El procedimiento se realizó con la última iteración.

Paso 1: Estimación de las propiedades del sistema con aisladores

$$T_{M,nom}(1) = 1.915s \text{ y } \beta_{M,nom}(1) = 20.67\%$$

Limite =	Inferior	Nominal	Superior
Periodo efectivo, $T_M(1) =$	2.371 s	1.915 s	1.148 s
Coef. de amplificación, $C_M(1) =$	0.53	0.78	1.31
Amortiguamiento efectivo, $\beta_M(1) =$	14.95 %	20.67 %	33.01 %
Factor, $B_M(1) =$	1.38	1.56	1.90

Fig N° 21. Estimación de periodo y amortiguamiento

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Paso 2: Calculo de sismo máximo considerado

$$Si: T = 2.371 > T_L = 2.00 \rightarrow C = 2.5 * \left(\frac{0.60 * 2.00}{2.371^2} \right) = 0.53$$

$$SMC = 1.5 * 0.35 * 1.00 * 1.15 * 0.53 * 9.81 = 3.159 \text{ m/s}^2$$

Paso 3: Cálculo de desplazamiento laterales considerados para el diseño

Cálculo del desplazamiento traslacional, D_M

$$Si: \beta_{M,nom}(1) = 20.67\% \rightarrow B_{M,nom} = \frac{4}{5.6 - \ln(20.67)} = 1.56$$

$$D_{M,nom} = \frac{3.156 * 1.916^2}{4 * \pi^2 * 1.56} = 0.189m$$

Limite =	Inferior	Nominal	Superior	Unidad
D _M =	0.326	0.189	0.055	m

Fig N° 22. Cálculo del desplazamiento traslacional

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Cálculo del desplazamiento total máximo, D_{TM}

$$y = \frac{d}{2} = \frac{16.55}{2} = 8.275m ; P_T = \frac{T_1}{T_3} = \frac{1.082}{0.925} = 1.170$$

$$e = e_{accidental} + e_{real} = 16.55 * 0.05 + 0.18 = 1.00m$$

$$D_{TM,nom} = 0.189 * \left[1 + \left(\frac{8.275}{1.170^2} \right) \left(\frac{12 * 1.00}{11.50^2 + 16.55^2} \right) \right] = 0.223m$$

$$\frac{D_{TM,nom}}{D_{M,nom}} = \frac{0.223}{0.189} = 1.17 < 1.15 \rightarrow D_{TM,nom} = 0.189 * 1.15 = 0.223m$$

Limite =	Inferior	Nominal	Superior	Unidad
D _{TM} =	0.384	0.223	0.065	m
D _{TM} / D _M =	1.18	1.18	1.18	-

Fig N° 23. Cálculo del desplazamiento total máximo

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Paso 4: Diseño preliminar del aislador

Diámetro del aislador

$$\varphi_{Aislador} = 1.25 * 0.384 = 480.176mm \rightarrow 500mm$$

Rigidez efectiva, K_M

$$K_M = \frac{4\pi^2}{386.4 \frac{pulg}{s^2}} * \frac{2636.8 * 1000 Kg}{(2.371s)^2} * \frac{1 lb}{0.453592 Kg} = 105.64 \frac{klb}{plg}$$

$$Si: \text{Número de aisladores} = 24 \rightarrow K_M = \frac{105.64}{24} = 4.402 \frac{klb}{pulg}$$

Espesor de las capas de caucho, t_r

$$Si: D_{TM,min} = 0.056 * 1.15 = 0.065m = 100mm \rightarrow A = \frac{\pi * \left(\frac{100}{25.4}\right)^2}{4} = 12.17 pulg^2$$

$$Segun bridgestone: G_{100\%} = 0.385 \frac{N}{mm^2} = 55.82psi$$

		Limite =	Inferior	Nominal	Superior	
$h_r = \frac{G_{100\%} * A}{K_{eff}}$	Desplazamientos total maximo, D_{TM} =		0.384	0.223	0.065	m
	Diametro a usar, $\phi_{Aislador}$ =		400.000	250.000	100.000	mm
	Diámetro recomendado sólo método FLE, $\phi_{Aislador}$ =		480.176	278.168	81.761	mm
	Diámetro recomendado con análisis dinámico, $\phi_{Aislador}$ =		384.141	222.534	65.409	mm
$K_M = \frac{4\pi^2}{g} * \frac{W}{T_M^2}$	Área del aislador, A =		194.78	76.09	12.17	pulg ²
	Rigidez efectiva, k_M =		105.64	161.96	450.64	klb/pulg
	Número de aisladores, # =		24			
	Rigidez efectiva por aislador, k_M =		4.402	6.748	18.777	klb/pulg
	Módulo de corte de la goma na, $G_{100\%}$ =		0.385	N/mm ² =	55.82	psi
	Espesor de caucho recomendada, t_r =		3.92			mm

Fig N° 24. Cálculo del espesor de las capas de caucho

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$t_r = \frac{55.82 \text{ psi} * 12.17 \text{ pulg}^2}{4.402 * 1000 * \frac{\text{lb}}{\text{pulg}}} * \frac{25.4 \text{ mm}}{1 \text{ pulg}} = 3.92 \text{ mm}$$

Paso 5: Verificación del diseño preliminar del aislador seleccionado

Se procede a seleccionar el tipo aislador elastomérico LRB del catálogo Bridgestone (2017), con el diámetro del aislador y el espesor de las capas de caucho calculados en el paso 4, tomando en cuenta estos valores como mínimos.

Se obtienen datos la norma E.031 Aislamiento Sísmico, también del catálogo Bridgestone, del aislador LRB y del tipo de aislador LRB seleccionado.

Datos obtenidos del catálogo (Bridgestone, Seismic isolation product line-up, 2017) del aislador LRB

G_r : Módulo de corte de caucho = 0.385N/mm²

α_p : Módulo aparente de corte del plomo = 0.583N/mm²

σ_{pb} : Esfuerzo de corte en fluencia del núcleo de plomo = 7.967N/mm²

E : Módulo de Young = 2.20N/mm²

E_{∞} : Módulo volumétrico = 1176N/mm²

K : Factor de corrección de E por rugosidad = 0.85

α_v : Factor de corrección al módulo de young = 1.23

Datos obtenidos del catálogo (Bridgestone, Seismic isolation product line-up, 2017) en función al tipo de aislador LRB

Tipo de aislador LRB = LL065G4-C

w: Peso del aislador = 6.5kN

D₀: Diámetro Exterior del aislador = 650mm

A_r: Área efectiva en el plano = 322300mm²

H: Espesor total de caucho = 163mm

Número de capas de caucho = 37

t_r: Espesor de cada capa de caucho = 4.4mm

H_t: Altura total = 330.4mm

D_i: Diámetro efectivo del núcleo de plomo = 110mm

A_p: Área efectiva del núcleo de plomo = 9503.32mm²

Datos obtenidos de la norma (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)

Factores de modificación de propiedades de aislador LRB

Factor de modificación para $K_2 \rightarrow \lambda_{min} = 0.80, \lambda_{nom} = 1.00$ y $\lambda_{max} = 1.30$

Factor de modificación para $K_d \rightarrow \lambda_{min} = 0.80, \lambda_{nom} = 1.00$ y $\lambda_{max} = 1.50$

Cálculo de rigidez a compresión vertical, K_V

$$S_1 = \frac{650}{4 \cdot 4.4} = 36.89 \quad \text{y} \quad S_2 = \frac{650}{37 \cdot 4.4} = 3.99$$

$$E_C = \frac{2.20 \cdot (1 + 2 \cdot 0.85 \cdot 36.89^2)}{1 + 2.20 \cdot (1 + 2 \cdot 0.85 \cdot 36.89^2) / 1176} = 995.32 \text{ N/mm}^2$$

$$K_V = 1.23 \cdot 995.32 \cdot \frac{322300 + 9503.32}{163} = 2391923.59 \text{ kN/m}$$

Cálculo de parámetros según del catálogo (Bridgestone, Seismic isolation product line-up, 2017)

Se realizó el cálculo de valores para desplazamiento máximo (D_M) al 100%

Deformación por corte, Y_M

$$\gamma_{M,mon} = \frac{188.66 * 100\%}{163} = 115.7\%$$

Rigidez pos fluencia, K_2

$$K_r = \frac{0.385 * 322300}{163} = 761.26 \text{ kN/m} \quad \text{y} \quad K_p = \frac{0.583 * 9503.32}{163} = 33.99 \text{ kN/m}$$

$$C_{Kd} = \begin{cases} \text{Si: } \gamma_M < 0.25 \rightarrow 0.779 * \gamma_M^{-0.43} \\ \text{Si: } 0.25 \leq \gamma_M < 1.00 \rightarrow \gamma_M^{-0.25} \\ \text{Si: } 1.00 \leq \gamma_M < 2.50 \rightarrow \gamma_M^{-0.12} \end{cases} \rightarrow C_{Kd,nom} = 1.157^{-0.12} = 0.98$$

$$K_{2,nom} = K_{D,nom} = 0.98 * (761.26 + 33.99) * 0.8 = 781.42 \text{ kN/m}$$

Resistencia característica, Q_d

$$C_{Qd} = \begin{cases} \text{Si: } \gamma_M \leq 0.10 \rightarrow 2.036 * \gamma_M^{0.41} \\ \text{Si: } 0.10 < \gamma_M < 0.50 \rightarrow 1.106 * \gamma_M^{0.145} \\ \text{Si: } 0.50 \leq \gamma_M \rightarrow 1 \end{cases} \rightarrow C_{Kd,nom} = 1$$

$$Q_{d,nom} = 1 * 7.967 * 9503.32 * 1.00 = 75.71 \text{ kN}$$

Rigidez inicial, K_1 y rigidez equivalente al corte, K_{eq}

β : Relación entre la rigidez inicial y la rigidez post fluencia que se encuentra entre 10 a 15. (Valor recomendado: 13)

$$K_{1,mon} = 13 * 781.42 = 10158.4 \text{ kN/m}$$

$$K_{eq,nom} = \frac{75.71}{1.157 * 0.163} + 781.42 = 1182.73 \text{ kN/m}$$

Relación de amortiguamiento equivalente, β_{eq}

$$\beta_{eq,nom} = \frac{2}{\pi} * \frac{75.71 * \left(1.157 * 0.163 - \frac{75.71}{(13-1) * 781.42}\right)}{1182.73 * (1.157 * 163)^2} = 0.207$$

Energía por ciclo, E_{ciclo} :

$$E_{ciclo,nom} = 2 * \pi * 1182.73 * 0.207 * 188.66^2 / 1000 = 54692.1 \text{ kNmm}$$

Desplazamiento de fluencia, D_y :

$$D_{y,nom} = \frac{75.71 * 1000}{54692.1 - 781.42} = 8.07 \text{ mm}$$

Fuerza de fluencia, F_y :

$$F_{y,nom} = 75.71 + 781.42 * 0.00807 = 82.02 \text{ kN}$$

Fuerza en el asiento de apoyo:

$$F_{apoyo,nom} = 75.71 + 0.18866 * 781.42 = 223.14 \text{ kN}$$

Se realizó un resumen de resultados de valores calculados para desplazamiento (D_M) al 100%.

Se siguió el mismo procedimiento en el presente paso 5, para el cálculo de valores del desplazamiento (D_M) al 50%, ya que posteriormente se usará para la verificación de fuerza restauradora:

$$D_{M(0.5DD),nom} = \frac{188.66}{2} = 94.33 \text{ mm}$$

A continuación, se muestra la figura de resumen de valores para D_M de 100% y 50%.

Valores calculados con formulas del catalogo (Bridgestone, 2017)	100% del Desplazamiento			50% del Desplazamiento			Unidad
	Inferior	Nominal	Superior	Inferior	Nominal	Superior	
Desplazamientos maximo, $D_M =$	325.67	188.66	55.45	162.84	94.33	27.73	mm
Desplazamientos total maximo, $D_{TM} =$	384.14	222.53	65.41	192.07	111.27	32.70	mm
Deformación por corte, $Y_M =$	199.8%	115.7%	34.0%	99.9%	57.9%	17.0%	
Deformación por corte, $Y_{TM} =$	235.7%	136.5%	40.1%	117.8%	68.3%	20.1%	
F. de corrección a la rigidez post-fluencia, $C_{Kd} =$	0.92	0.98	1.31	1.00	1.15	1.67	-
Rigidez al corte del caucho laminada, $K_r =$	761.26	761.26	761.26	761.26	761.26	761.26	kN/m
Rigidez al corte adic. por núcleo de plomo, $K_p =$	33.99	33.99	33.99	33.99	33.99	33.99	kN/m
Rigidez postfluencia, $K_2 =$	585.49	781.42	1353.67	636.36	911.77	1724.96	kN/m
F. de corrección a la resistencia caract., $C_{Qd} =$	1.00	1.00	0.95	1.00	1.00	0.86	-
Resistencia característica, $Q_d =$	60.57	75.71	107.43	60.57	75.71	97.16	kN
Rigidez inicial, $K_1 =$	7611.4	10158.5	17597.7	8272.7	11853.0	22424.4	kN/m
Rigidez equivalente al corte, $K_{eq} =$	771.48	1182.73	3290.93	1008.33	1714.39	5228.99	kN/m
Relación de amortiguamiento equivalente, $\beta_{eq} =$	0.149	0.207	0.330	0.223	0.276	0.354	-
Energía por ciclo, $E_{ciclo} =$	76816.1	54691.9	20987.4	37530.7	26472.9	8951.3	kN-mm
Desplazamiento de fluencia, $D_y =$	8.62	8.07	6.61	7.93	6.92	4.69	mm
Fuerza de fluencia, $F_y =$	65.62	82.02	116.38	65.62	82.02	105.25	kN
Fuerza en el asiento de apoyo =	251.25	223.14	182.49	164.19	161.72	144.98	kN

Fig N° 25. Resumen valores calculados del sistema

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Paso 6: Calculo de periodo efectivo, T_M (2) y amortiguamiento efectivo, β_M (2)

$$Si: W = 2636.8 \text{ ton o kN o } \frac{S2}{m} \rightarrow W_{por \text{ aislador}} = \frac{2636.8}{24} = 109.87 \text{ ton o kN o } \frac{S2}{m}$$

$$T_{M,nom}(2) = 2\pi * \sqrt{\frac{109.87}{1182.73}} = 1.915 \text{ s}$$

$$\beta_{M,nom}(2) = \frac{54691.9}{2 * \pi * \frac{1182.73}{1000} * 188.66^2} = 20.68 \%$$

$$T_{M,nom}(1) = T_{M,nom}(2) \dots \dots \dots OK \quad y \quad T_{M,nom}(1) = T_{M,nom}(2) \dots \dots \dots OK$$

Se itera los valores de los periodos y amortiguamientos efectivos, hasta que coincidan los valores estimados con los calculado

$$Si: \beta_{M,nom}(1) = 20.68 \% \rightarrow B_{M,nom} = \frac{4}{5.6 - \ln(20.68)} = 1.556$$

$$\beta_{e,nom} = 2 * (0.2068 - 0.05) * \sqrt{1182.73 * 109.87} = 133.021 \text{ kN} - s/m$$

Convergencia entre desplazamientos máximos y desplazamiento espectral

$$S_{d,nom} = \frac{3.156 * 1.915^2}{4 * \pi^2 * 1.556} = 188.63 \text{ mm} \rightarrow \text{Convergencia}_{mon} = \frac{188.63}{188.66} = 1.000$$

$$\approx 1$$

Paso 7: Verificación

Verificación de fuerza restauradora

$$F_{DD,nom} = 1182.73 * 0.18866 = 223.14 \text{ KN}$$

$$F_{0.5DD,nom} = 1714.39 * 0.09433 = 161.72 \text{ KN}$$

$$F_{DD} - F_{0.5DD} > 0.025 * P \rightarrow P: \text{Peso sismico}$$

Valores calculados	Lím. inferior	Lím. nominal	Lím. superior	Unidad
Fuerza al 100% del desplazamiento (F _{DD}) =	251.25	223.14	182.49	KN
Fuerza al 50% del desplazamiento (F _{0.5DD}) =	164.19	161.72	144.98	KN
(F _{DD} - F _{0.5DD}) =	87.06	61.42	37.51	KN
0.025 P =		26.94		KN
Verificación de fuerza restauradora =	OK	OK	OK	

Fig N° 26. Comprobación fuerza restauradora

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Verificación de la relación entre el área reducida y el área efectiva >30%

Un área reducida de caucho, Ar, se calcula con base en las áreas superpuestas entre la parte superior e inferior del rodamiento en un desplazamiento

$$S_{nom} = \sqrt{650^2 - 188.66^2} = 622.02 \text{ mm}$$

$$Ar_{nom} = 0.5 * (650^2 * ASENSO(\frac{622.02}{650}) - 188.66 * 622.02) = 210943.40 \text{ mm}^2$$

Valores calculados	Lím. inferior	Lím. nominal	Lím. superior	Unidad
ζ para area reducida =	562.53	622.02	647.63	mm
Area reducida, Ar1 =	129367.08	210943.40	295829.53	mm ²
Relación Ar/A (No menor al 30%)=	40.14%	65.45%	91.79%	-

Fig N° 27. Comprobación área reducida y el área efectiva >30%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Verificación de las deformaciones por corte <5.5

La deformaciones por corte, $\varepsilon_{s,eq} + 0.5\varepsilon_r \leq 5.5$

$$\Delta_{s,nom} = 0.05 * 188.66 = 9.43 \text{ mm} \rightarrow \varepsilon_{s,eq,min} = \frac{9.43}{163} = 0.06$$

$$\varepsilon_r = 0.375 * 650^2 * \frac{0.010}{163 * 4.40} = 2.206$$

Valores calculados	Lím. inferior	Lím. nominal	Lím. superior
Deformación debido al desplazamiento no sísmico (5% D _M), Δ_s =	16.28	9.43	2.77
Deformación por corte debido al desplazamiento no sísmico, $\varepsilon_{s,eq}$ =	0.10	0.06	0.02
Rotación de diseño por efectos de DL, LL y construcción, θ =	0.010	0.010	0.010
Rotación de diseño por efectos de DL, LL y construcción, ε_r =	2.206	2.206	2.206
$\varepsilon_{s,eq} + 0.5\varepsilon_r \leq 5.5$	2.306	2.264	2.223

Fig N° 28. Comprobación de deformaciones por corte <5.5

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Paso 8: Parámetros a utilizar en el programa computacional ETABS

Se resumen las propiedades, tanto para un análisis lineal como no lineal

Tipo de aislador LRB =	LL065G4-C			Unidad
Limite =	inferior	nominal	superior	
Número total de aisladores =	24			-
Masa =	0.663			Ton ó kN-s ² /m
Peso =	6.500			kN
Rigidez efectiva, $K_{eq}(U_2, U_3)$ =	771.5	1182.7	3290.9	kN/m
Amortiguamiento efectivo, $\beta_e(U_2, U_3)$ =	57.9	113.0	336.8	kN-s/m
Rigidez, $K_1(U_2, U_3)$ =	7611.4	10158.5	17597.7	kN/m
Resistencia a la fluencia, $F_y(U_2, U_3)$ =	65.618	82.022	116.381	kN
Relación de rigidez postfluencia, $K_2 / K_1(U_2, U_3)$ =	0.077	0.077	0.077	-
Rigidez efectiva vertical, $K_v(U_1)$ =	2391923.595			kN/m

Fig N° 29. Parámetros a utilizar en el programa computacional ETABS V19

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Paso 9: Curva de histéresis del aislador LRB - No lineal

Los dispositivos de aislamiento son introducidos en el análisis del sistema por medio de un modelo bilineal. Se define por los siguientes valores Q_d , F_y , D_y , $K_2 = K_d$ y K_{eff} para tener unas características histeréticas bilineales.

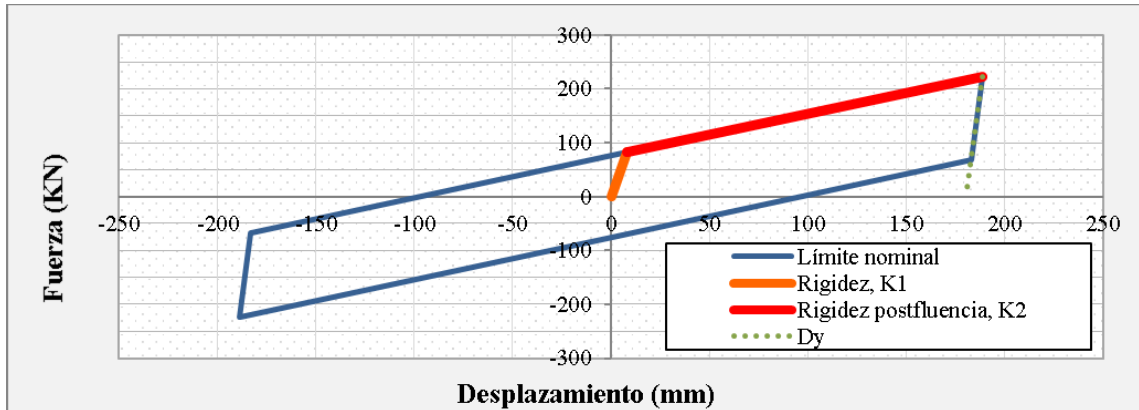


Fig N° 30. Propiedades del modelo bilineal del aislador LRB LL065G4-C – Límite nominal

Fuente: (E.031 Aislamiento Sísmico, 2019)

Modelamiento de la estructura con sistema aislado

En el modelamiento de la estructura aislada realizado en el programa computacional Etabs. Se procedió incluir los elementos de aislamiento sísmica, continuando al modelo de la estructura convencional aperticado usado para la obtención de datos, tal como se muestra a continuación.

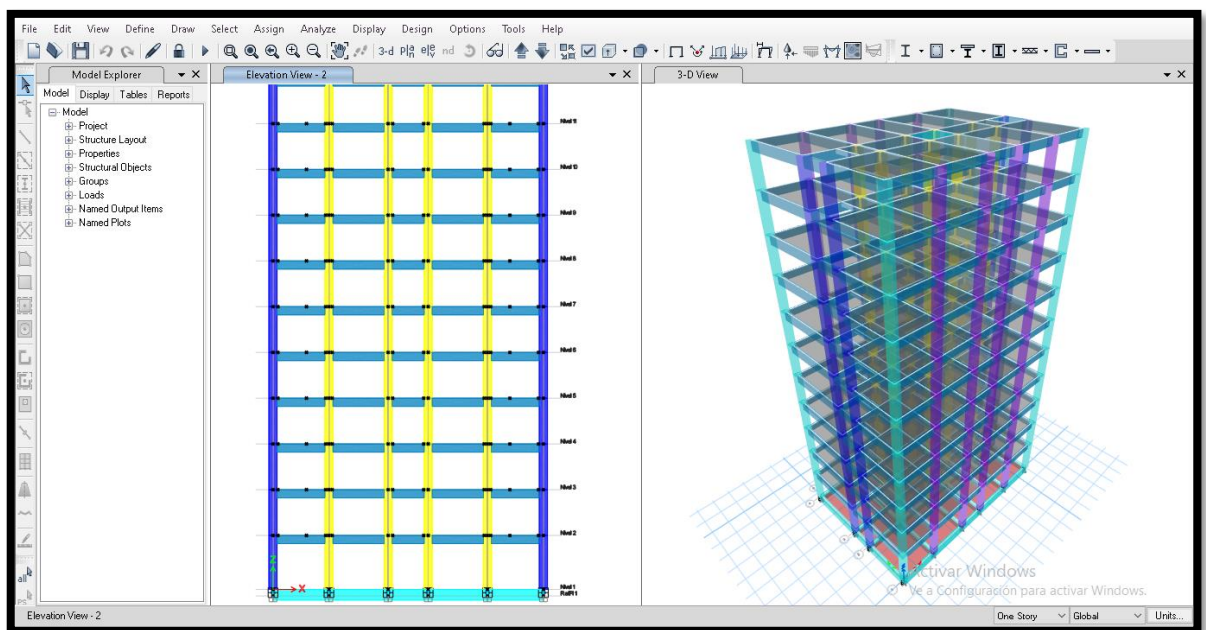


Fig N° 31. Modelo de la estructura aislado

Fuente: Programa computacional ETABS V19

Un aislador sísmico del tipo LRB - aislador elastomérico con núcleo de plomo, en el programa ETABS se puede modelar de la siguiente manera:

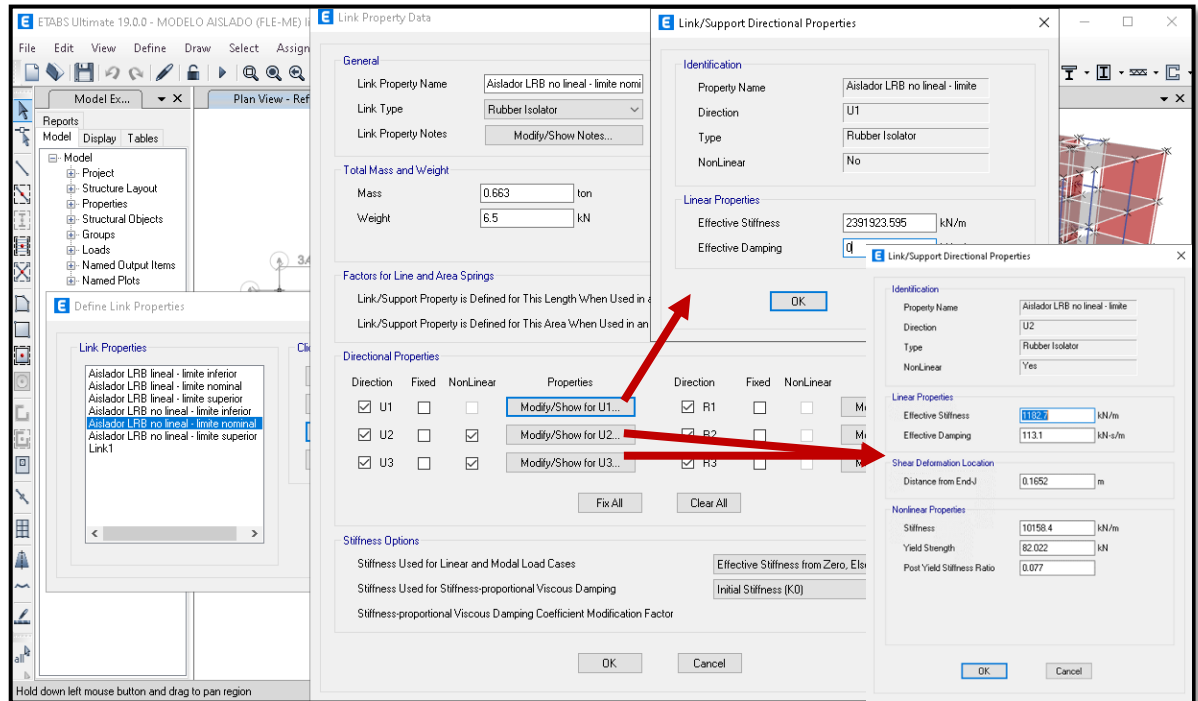


Fig N° 32. Aislador LRB en el límite nominal, para análisis no lineal

Fuente: Programa computacional ETABS V18.1.1

RESULTADOS DE PERIODOS, DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS

A continuación, se presentan los resultados del análisis sísmico del modelamiento estructural convencional aperturado, añadiendo un sistema de aisladores elastoméricos, los cuales fueron evaluado sísmicamente con 7 registros sísmicos escalados por un sismo máximo considerado (2% de probabilidad de ser excedido en 50 años y un periodo de retorno de 2475 años), obteniendo los siguientes resultados:

Periodo fundamental de vibración

Del modelamiento se obtuvieron los periodos de los tres primeros modos de vibración:

Modo	Periodos de participacion modal y modos de vibración			
	Periodo(seg)	UX	UY	RZ
1	2.167	0.972	0.000	0.000
2	2.141	0.000	0.989	0.989
3	2.011	0.015	0.000	0.000

Fig N° 33. Periodo fundamental de vibración (T) en “segundos”.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Desplazamientos laterales absolutos

Se calculó el promedio de resultados de los desplazamientos de entrepiso del análisis no lineal tiempo historia en cada dirección.

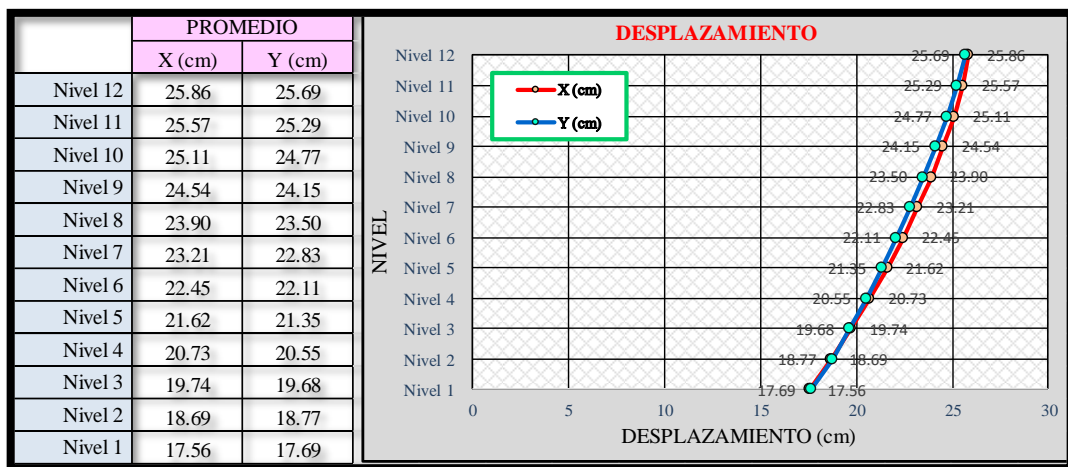


Fig N° 34. Resultados de desplazamientos laterales en “cm”.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Derivas de entrepiso

Se calculó el promedio de resultados de las derivas de entrepiso del análisis no lineal tiempo historia en cada dirección.

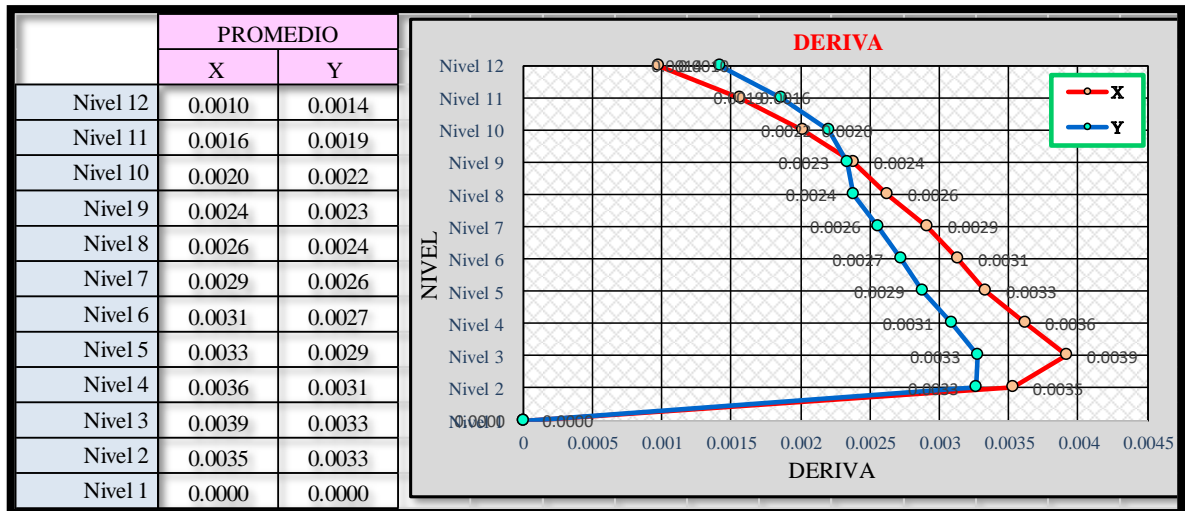


Fig N° 35. Resultados de derivas de entrepiso

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Según los resultados obtenidos en el modelo con aisladores elastoméricos, se tiene una deriva de entrepiso máxima de 0.0039 en la dirección “X” y de 0.0033 en la dirección “Y”.

Desempeño sísmico del modelamiento del sistema con aisladores elastoméricos

Según los resultados obtenidos en el ítem anterior, se determina que la edificación en su totalidad se encuentra en un nivel de desempeño de “Operacional” y un estado de daño “Leve” en sus componentes estructurales.

Interpretando los niveles y estados de daño alcanzados por la estructura con aisladores elastoméricos, sometida a un Sismo máximo considerado (Sismo muy raro con 2% de probabilidades de ser excedida en 2475 años), que la edificación presentara pequeñas grietas finas ocasionadas por la flexión y corte tanto en columnas como vigas.

Se realizó una comparación del desempeño sísmico, cuando la edificación es sometida a un sismo máximo considerado (2% en 50 años y con un periodo de retorno de 2475 años) definido por la norma E.031 y cuando está sometida a un sismo de diseño (10% en 50 años y con un periodo de retorno de 475 años) definido por la norma E.030 para edificaciones de uso común.

Ante un sismo máximo considerado la estructura con **sistema de aisladores** alcanza un nivel de desempeño de **operacional**. Sin embargo, al someterlo a la amenaza de un sismo de diseño, el nivel de desempeño que alcanza a **totalmente operacional**.

Nivel de desempeño sísmico						
		Totalmente operacional	Operacional	Seguridad de vida	Prevención del colapso	Colapso
	Sistema convencional					
	Sistema con aisladores					
	Sistema con disipadores					
Nivel de movimiento sísmico	Sismo frecuente (43 años)					
	Sismo ocasional (72 años)					
	Sismo raro (475 años)	Sistema aislado				
	Sismo muy raro (2475 años)		Sistema aislado			

Fig N° 36. Desempeño sísmico la estructura con sistema de aisladores.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

EVALUACION DEL MODELAMIENTO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA CON DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO

Procedimiento de diseño de sistema con disipadores de energía

Para proceder al diseño de los disipadores de energía, se tomará como punto de partida de un modelo convencional, en el cual se recomienda realizar una rigidización previa. Para realizar la rigidización previa se puede tomar como recomendación un valor máximo de deriva de 0.01 a 0.015, con la finalidad de que se llegue a un nivel de desempeño operacional, con una deriva menor a 0.005; se recomienda también que para el caso de adición de disipadores de energía que los modos de vibración no sean torsionales en el primer y segundo modo. Para el cumplimiento de la deriva recomendada se realizó una serie de iteraciones de la estructuración llegando, finalmente a un sistema de muros estructurales.

Determinación de sismo de diseño en análisis historia de respuesta

El sismo de diseño se considerará para el presente anexo, el calculado en el ítem 3.6.1.1 de la presente investigación, por lo cual se omitirán los pasos 1, 2 y 3 El sismo de diseño seleccionado fue el Caso 02 del registro sísmico de Lima 1966.

Para el cálculo de las propiedades y el diseño de los disipadores de energía, se utilizará el registro escogido, sin embargo, escalado al sismo máximo considerado.

REGISTRO SISMICO PARA SISMO MAXIMO CONSIDERADO (LIMA 1966)							
DERIVA TIEMPO HISTORIA CASO 02							
NIVEL	ENTREPISO	DESPLAZAMIENTO ABSOLUTO MAXIMO		DESPLAZAMIENTO RELATIVO MAXIMO		DERIVA ELASTICA	
	o m	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X	Y
Azotea	2.8	0.345658	0.163361	0.02250	0.01466	0.008035	0.005236
Nivel 11	2.8	0.323161	0.148699	0.02585	0.01536	0.009231	0.005485
Nivel 10	2.8	0.297313	0.13334	0.02929	0.01610	0.010459	0.005748
Nivel 9	2.8	0.268028	0.117245	0.03208	0.01673	0.011458	0.005975
Nivel 8	2.8	0.235946	0.100515	0.03492	0.01712	0.012470	0.006115
Nivel 7	2.8	0.201029	0.083392	0.03685	0.01715	0.013161	0.006125
Nivel 6	2.8	0.164178	0.066242	0.03740	0.01669	0.013356	0.005961
Nivel 5	2.8	0.126781	0.049552	0.03674	0.01563	0.013121	0.005581
Nivel 4	2.8	0.090042	0.033926	0.03372	0.01382	0.012043	0.004937
Nivel 3	2.8	0.056322	0.020102	0.02998	0.01114	0.010709	0.003979
Nivel 2	4.6	0.026338	0.008961	0.02634	0.00896	0.005726	0.001948
Base		0	0				

Figura 135. Cálculo de derivas con análisis historia de respuesta lineal del sismo de diseño seleccionado Lima 1966 caso 02 con el SMC

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

SISMO DE DISEÑO	DEPARTAMENTO	LIMA	
	PROVINCIA	CALLAO	
	FECHA	17/10/1966	
	MAGNITUD	8	Magnitud Momento
	PROFUNDIDAD	37	Kilometros
	Deriva maxima X	0.0134	
	Deriva maxima Y	0.0061	

Figura 136. Datos del registro sísmico de diseño seleccionado Lima 1966 caso 02 con el SMC

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Determinación de las propiedades del disipador de energía

Previamente al modelamiento de la estructura en el programa ETABS, se calcula las propiedades del disipador de energía de fluido viscoso, necesarios para el cálculo de respuestas de la estructura con disipadores de fluido viscoso en el programa ya mencionado. Las propiedades son: el exponente de velocidad, el coeficiente de amortiguamiento del disipador y la rigidez del brazo metálico que sostiene al dispositivo.

Paso 4: Calculo de exponente de velocidad

El exponente de velocidad es el valor que define la linealidad y no linealidad del dispositivo. Si el valor de este coeficiente (α) es igual a 1, el dispositivo será lineal. Y si este es diferente de 1 será no lineal. El comportamiento de estos dispositivos para estructura en estudio será no lineal, por lo cual el valor de α será diferente de 1. Según recomendaciones bibliográficas se tomará un valor de 0.5.

Paso 5: Determinación de nivel de desempeño y deriva objetivo

La deriva objetivo para el diseño de los dispositivos dependerán directamente del nivel de desempeño y del estado de daño a la cual se requiere llegar después de un evento sísmico, que para el caso del presente trabajo de investigación se consideró a dicho evento como un sismo muy raro (Sismo máximo considerado).

Según la adaptación de la normativa FEMA 356, el comité VISION 2000, HAZUS 2.1 y ASCE 41-17; referencian 6 niveles de desempeño y 5 estados de daño. El nivel de desempeño al que se puede llegar de manera óptima con la utilización de los disipadores de energía es el operacional, con un estado de daño ligero, por lo cual se pueden continuar con las actividades esenciales después de un evento sísmico. Por lo tanto, el nivel de desempeño objetivo de la presente edificación que se definió en el apartado anterior será el operacional o control de daño.

Performance Level	Performance Range	Isolation	Energy Dissipation
Operational	Damage Control	Very Likely	Limited
Immediate Occupancy		Likely	Likely
Life Safety	Limited Safety	Limited	Likely
Collapse Prevention		Not Practical	Limited

Figura 137. Aplicabilidad de sistema de disipación de energía y aislamiento

Fuente: Tabla C 9 – 1 - FEMA 273

Estado de daño	Nivel de Desempeño	Características principales
Despreciable	Totalmente Operacional	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Las instalaciones continúan prestando sus servicios y funciones después del sismo.
Ligero	Operacional	Daños ligeros. Las instalaciones esenciales continúan en servicio y las no esenciales pueden sufrir interrupciones de inmediata recuperación.
Moderado	Seguridad	Daños moderados. La estructura sufre daños pero permanece estable. Seguridad de ocupantes. Algunos elementos no estructurales pueden dañarse.
Severo	Pre-Colapso	Daño estructural severo, en la proximidad del colapso estructural. Falla de elementos no estructurales. Seguridad de ocupantes comprometida.
Completo	Colapso	Colapso estructural

Figura 138. Niveles de desempeño y estados de daño

Fuente: Comité VISION 2000 - SEAOC

Para determinar la deriva objetivo en un nivel de desempeño operacional se referencia a la metodología HAZUS, el cual, requiere como datos de entrada la altura de la edificación y su composición estructural. La estructura cuenta con 12 niveles por lo cual se considera una edificación alta (más de 8 niveles), y se compone de pórticos y muros estructurales de concreto armado, por lo cual su clasificación será C2H. Una vez clasificada la edificación, se determina la deriva objetivo con datos de entrada de estado de daño objetivo y clasificación según Hazus.

No.	Label	Description	Height			
			Range		Typical	
			Name	Stories	Stories	Feet
1	W1	Wood, Light Frame ($\leq 5,000$ sq. ft.)		1 - 2	1	14
2	W2			All	2	24
3	S1L	Steel Moment Frame	Low-Rise	1 - 3	2	24
4	S1M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
5	S1H		High-Rise	8+	13	156
6	S2L	Steel Braced Frame	Low-Rise	1 - 3	2	24
7	S2M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
8	S2H		High-Rise	8+	13	156
9	S3	Steel Light Frame		All	1	15
10	S4L	Steel Frame with Cast-in-Place Concrete Shear Walls	Low-Rise	1 - 3	2	24
11	S4M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
12	S4H		High-Rise	8+	13	156
13	S5L	Steel Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	Low-Rise	1 - 3	2	24
14	S5M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
15	S5H		High-Rise	8+	13	156
16	C1L	Concrete Moment Frame	Low-Rise	1 - 3	2	20
17	C1M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
18	C1H		High-Rise	8+	12	120
19	C2L	Concrete Shear Walls	Low-Rise	1 - 3	2	20
20	C2M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
21	C2H		High-Rise	8+	12	120

Figura 139. Tipos de edificios y denominaciones.

Fuente: Tabla 3.1 Hazus

Building Properties			Interstory Drift at			
Type	Height (inches)		Threshold of Damage State			
	Roof	Modal	Slight	Moderate	Extensive	Complete
W1	168	126	0.0040	0.0120	0.0400	0.1000
W2	288	216	0.0040	0.0120	0.0400	0.1000
S1L	288	216	0.0060	0.0120	0.0300	0.0800
S1M	720	540	0.0040	0.0080	0.0200	0.0533
S1H	1872	1123	0.0030	0.0060	0.0150	0.0400
S2L	288	216	0.0050	0.0100	0.0300	0.0800
S2M	720	540	0.0033	0.0067	0.0200	0.0533
S2H	1872	1123	0.0025	0.0050	0.0150	0.0400
S3	180	135	0.0040	0.0080	0.0240	0.0700
S4L	288	216	0.0040	0.0080	0.0240	0.0700
S4M	720	540	0.0027	0.0053	0.0160	0.0467
S4H	1872	1123	0.0020	0.0040	0.0120	0.0350
S5L						
S5M						
S5H						
C1L	240	180	0.0050	0.0100	0.0300	0.0800
C1M	600	450	0.0033	0.0067	0.0200	0.0533
C1H	1440	864	0.0025	0.0050	0.0150	0.0400
C2L	240	180	0.0040	0.0100	0.0300	0.0800
C2M	600	450	0.0027	0.0067	0.0200	0.0533
C2H	1440	864	0.0020	0.0050	0.0150	0.0400

Figura 140. Rango de derivas en función al estado de daño y tipo de edificación.

Fuente: Tabla 5.9 Hazus

Se determina que la deriva objetivo estará en un rango de 0.002 a 0.005, según la clasificación Hazus. Para el cálculo de las propiedades del disipador se estimó que el valor de la deriva objetivo es 0.005.

Sistema estructural	Numero de pisos	
Porticos de concreto resistentes a mom ▼	11	Edificacion alta
Nombre del sistema según Hazus	C1H	
Nivel de desempeño	Operacional ▼	
Deriva según Hazus (deriva objetivo) calculada	0.0025 a 0.005	
Deriva según Hazus (deriva objetivo) tomado	0.0050	

Figura 141. Cálculo de deriva objetivo según Hazus.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Paso 6: Calculo de coeficiente de amortiguamiento

El coeficiente de amortiguamiento de los disipadores no lineales, se calculará mediante la fórmula siguiente, establecida por el FEMA 356:

$$\sum C_j = \frac{\beta_H * 2 * \pi * A^{1-\alpha} * \omega^{2-\alpha} * (\sum_i m_i * \phi_i^2)}{\lambda * (\sum \phi_{rj}^{1-\alpha} * \cos^{1+\alpha} \theta_j)}$$

Cada parámetro de la formula se calculará, según el ASCE 7, E.030, E.031 y FEMA 273. Los mismos que se detallan a continuación.

Amortiguamiento inherente β_0

Proveniente de la estructura, la cual disipa energía mediante diversos mecanismos complejos, los reglamentos establecen un porcentaje del amortiguamiento crítico.

Según el ASCE-7-16 se considera el 3.00% del crítico en caso que no haya ningún estudio y 5% para un análisis de un sistema convencional.

Se tomará un amortiguamiento del 3% con respecto al crítico.

Amortiguamiento efectivo β_{eff}

El amortiguamiento efectivo se puede calcular a través de la determinación del coeficiente de modificación de amortiguamiento, mediante un proceso analítico con las siguientes expresiones.

$$B_{mD} = \frac{\Delta_{max} (Deriva maxima)}{\Delta_{obj} (Deriva objetivo)}$$

$$B_{mD1} = \frac{2.31 - 0.41 * \ln(\beta_0)}{2.31 - 0.41 * \ln(\beta_{eff})}$$

Amortiguamiento viscoso β_H

Es el amortiguamiento perteneciente al aporte del disipador de energía, el cual se determina como la diferencia del amortiguamiento efectivo y el amortiguamiento inherente de la estructura.

$$\beta_H = \beta_{eff} - \beta_0$$

El cálculo de los valores de estos coeficientes de amortiguamiento se resume en la siguiente imagen:

Deriva según Hazus (deriva objetivo) tomado		0.0050	
Deriva maxima	0.0134	Deriva maxima Y	0.0061
Bmd (X)	2.680	Bmd (Y)	1.220
Beff (X) calculado	51.51%	Beff (Y) calculado	6.80%
Beff (X) tomado	25.00%	Beff (Y) tomado	20.00%
Bhx	22.00%	Bhy	17.00%

Figura 142. Cálculo de relación de amortiguamiento efectivo y viscoso.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Coefficiente Lambda (λ)

El parámetro lambda está en función del exponente de velocidad α , según la tabla del FEMA 273, para un exponente de velocidad (α) de 0.5 corresponde un coeficiente lambda de 3.5.

Exponent α	Parameter λ
0.25	3.7
0.50	3.5
0.75	3.3
1.00	3.1
1.25	3.0
1.50	2.9
1.75	2.8
2.00	2.7

Figura 143. Valores del parámetro λ .

Fuente: Tabla C9-4 FEMA 356

Cálculo de frecuencia angular (ω)

La frecuencia angular se calculó previa determinación de los periodos. Los periodos de la estructura son pertenecientes al análisis modal de la estructura convencional con mayor masa participativa en el eje X e Y respectivamente.

$$f = \frac{1}{T}; w = \frac{2 * \pi}{T}$$

Case	Mode	Period Sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX
Modal	1	0.995	0.7777	0	0	0.7777	0	0	0
Modal	2	0.549	0	0.727	0	0.7777	0.727	0	0.3095
Modal	3	0.427	0.0002	0	0	0.7778	0.727	0	0

Figura 144. Cálculo de periodos de la estructura del modelamiento.

Fuente: ETABS

2.2. PERIODO Y FRECUENCIA	
PERIODO NATURAL (s)	
0.995	0.549
FRECUENCIA NATURAL (Hz)	
1.005	1.821
FRECUENCIA ANGULAR	
6.315	11.445

Figura 145. Cálculo de frecuencia natural y angular de la estructura

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Estructuración de los disipadores de energía en la edificación convencional en planta:

En la dirección X debido a que se tiene una deriva de 0.013, se requiere una cantidad de amortiguamiento adicional alto por lo que se propone la disposición Chevron brace normal en los ejes 1 y 4, entre los ejes B-C y D-E, debido a que, en los pórticos ubicados en los ejes mencionados, se concentraran las velocidades más altas en la estructura. Por lo tanto, existirá en la dirección X un total de 8 dispositivos por nivel.

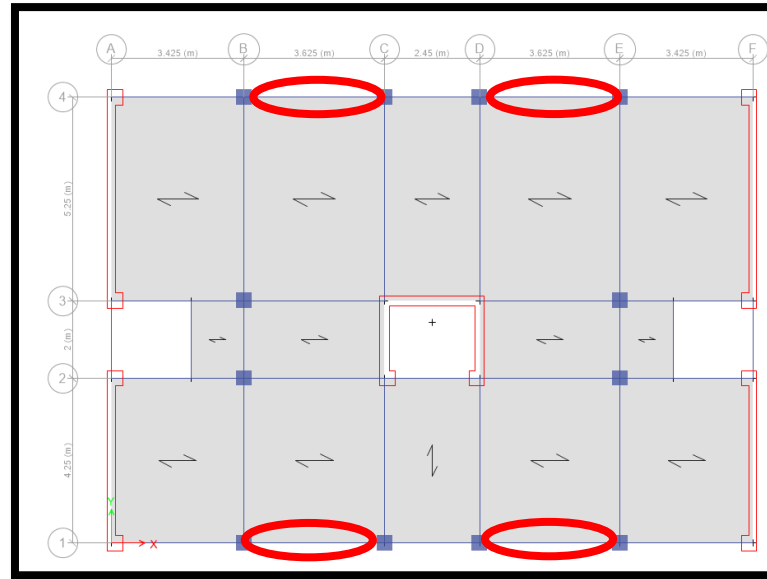


Figura 146. Ubicación de los disipadores de energía en planta en eje X

Fuente: ETABS

En la dirección Y debido a que se tiene una deriva de 0.0056, se requiere una cantidad de amortiguamiento adicional bajo. Se propone la disposición Chevron brace normal con un solo dispositivo, en los ejes A y F, entre los ejes 2-3, debido al bajo requerimiento de amortiguamiento y la dimensión del pórtico ubicado en los ejes mencionado.

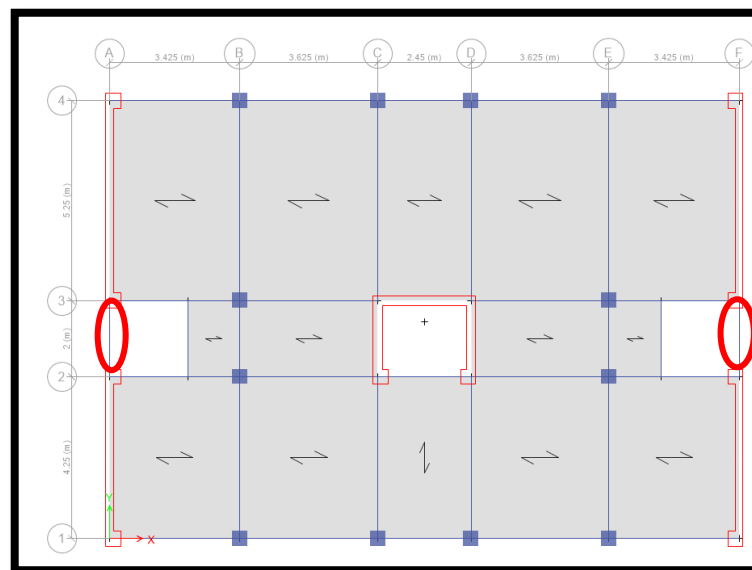


Figura 147. Ubicación de los disipadores de energía en planta en eje Y

Fuente: ETABS

Estructuración de los disipadores de energía en la edificación convencional en altura:

La ubicación de los disipadores, en las elevaciones de la estructura, tanto en la dirección X, como en la dirección Y, se colocó tomando el criterio, que en los niveles en donde las derivas de entrepiso que superaban a la deriva del rango operacional se colocaba el sistema de disipación de energía que se diseñó.

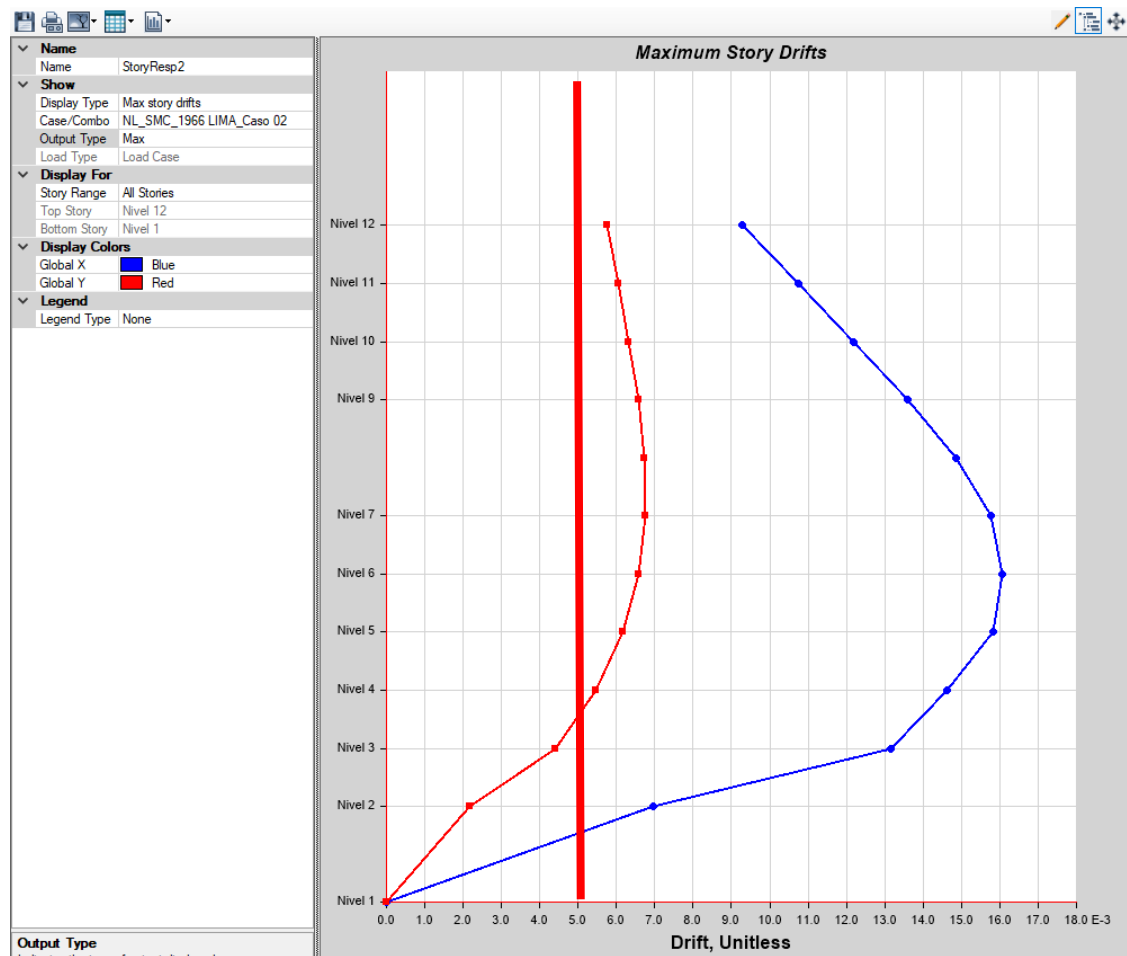


Figura 148. Determinación de la ubicación de los dispositivos en altura

Fuente: ETABS

Se determina que en el eje X, existirán disipadores desde el nivel 1 al nivel 12 y en el eje Y desde el nivel 3 al nivel 12.

Cabe resaltar que esta es una estructuración preliminar de los disipadores de energía, se podrá cambiar esta distribución en función de los resultados del modelamiento y el cumplimiento de las respuestas.

Angulo de inclinación de los dispositivos (θ):

En el eje X e Y, la disposición elegida es la Chevron Brace normal, la misma que tiene la característica que los dispositivos están horizontales, por lo tanto, el ángulo de inclinación será igual a 0.

Amplitud (A):

La amplitud se define como el desplazamiento modal máximo de la estructura, el mismo que se producirá en el último nivel. El cálculo de la amplitud se puede realizar mediante la formula establecida en el FEMA 273.

$$A = \frac{g * Sa * T}{4 * \pi^2 * B_{mD}} * \Gamma$$

La amplitud como el desplazamiento en el último nivel, proveniente del análisis historia de respuestas de sismo de diseño (Lima 1966), escalado con el espectro del sismo máximo considerado. El valor de la amplitud será identificada y presentada más adelante.

Vector de masa de la estructura (m):

La masa de la estructura fue estimada mediante lo estipulado en el artículo 26 de la E.030 “Diseño Sismorresistente” del RNE. Los valores numéricos del vector de masas se obtuvieron del programa ETABS, y sus valores serán presentados más adelante.

Desplazamiento modal en el primer modo de vibración en cada dirección (Φ):

Los desplazamientos considerados son los pertenecientes al análisis historia de respuestas lineal con el registro sísmico de diseño (Lima 1966). Los valores de los desplazamientos fueron calculados en el programa ETABS, y serán presentados más adelante.

Desplazamiento modal relativo en el primer modo de vibración en cada dirección

(Φ_{rj}):

El desplazamiento modal relativo de la estructura es considerado como la diferencia de desplazamiento que un dissipador tendrá que reducir. Para efectos de cálculo

este desplazamiento relativo puede ser considerado como la diferencia entre el desplazamiento de un nivel determinado y el desplazamiento del nivel inmediatamente inferior a este.

A continuación, se presenta los valores de amplitud, vector de masa, desplazamientos absolutos del registro sísmico de diseño y desplazamientos relativos del mismo, extraídos del programa Etabs, así como el cálculo del coeficiente de amortiguamiento, mediante la fórmula del FEMA 273.

2.5. VECTORES DE MASA, AMPLITUD MAXIMA Y DESPLAZAMIENTOS DEL MODO 1, DIFERENCIA ENTRE AMBOS EXTREMOS DEL DISIPADOR, ANGULO DE INCLINACION											
NIVEL	Desplazamiento X_CM (modo 1)	Masa (Ton*s ² /m)	Peso (Ton)	Angulo θ _j	Cos (θ _j)	Punto 1 φ _{rj} ¹	Punto 2 φ _{rj} ²	Diferencia	(∑ m _i * φ _i ²)	∑ φ _{rj} ^{1+α} * cos ^{1+α} θ _j	
Nivel 12	0.346 Amplitud	18.99	186.33	0.00	1.00	0.35	0.35	0.022	2.269	0.0034	
Nivel 11	0.323	21.81	213.95	0.00	1.00	0.32	0.32	0.026	2.278	0.0042	
Nivel 10	0.297	21.81	213.95	0.00	1.00	0.30	0.30	0.029	1.928	0.0050	
Nivel 9	0.268	21.81	213.95	0.00	1.00	0.27	0.27	0.032	1.567	0.0057	
Nivel 8	0.236	21.81	213.95	0.00	1.00	0.24	0.24	0.035	1.214	0.0065	
Nivel 7	0.201	21.81	213.95	0.00	1.00	0.20	0.20	0.037	0.881	0.0071	
Nivel 6	0.164	21.81	213.95	0.00	1.00	0.16	0.16	0.037	0.588	0.0072	
Nivel 5	0.127	21.81	213.95	0.00	1.00	0.13	0.13	0.037	0.351	0.0070	
Nivel 4	0.090	21.81	213.95	0.00	1.00	0.09	0.09	0.034	0.177	0.0062	
Nivel 3	0.056	21.81	213.95	0.00	1.00	0.06	0.06	0.030	0.069	0.0052	
Nivel 2	0.026	23.68	232.34	0.00	1.00	0.03	0.03	0.026	0.016	0.0043	
Nivel 1_Bas	0.000					0.00	0.00				
CALCULO FINAL DE COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO POR DISIPADOR X									11.34	0.0618	
$\sum C_j = \frac{\beta_H * 2 * \pi * A^{1-\alpha} * \omega^{2-\alpha} * (\sum_i m_i * \phi_i^2)}{\lambda * (\sum \phi_{rj}^{1+\alpha} * \cos^{1+\alpha} \theta_j)}$ $C(\text{por disipador}) = \frac{\sum C_j}{\# \text{ de disipadores}}$						Bhx	22.00%	1648.846985			
						A	0.346				
						w	6.31				
						Lambda	3.5				
						Alfa	0.5				
# disipadores/piso	8	C/disp	206.1058731								

Figura 149. Valores de amplitud, vector de masa, desplazamientos absolutos y relativos y cálculo del coeficiente de amortiguamiento en la dirección X

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

NIVEL	Desplazamiento Y_CM (modo 1)	Masa (Ton*s^2/m)	Peso (Ton)	Angulo θ_j	Cos (θ_j)	ϕ_{rj}^1 Punto 1	ϕ_{rj}^2 Punto 2	Diferencia	$(\sum_i m_i * \phi_i^2)$	$\sum \phi_{rj}^{1+\alpha} * \cos^{1+\alpha} \theta_j$
Nivel 12	0.16	18.99	186.33	0.00	1.00	0.16	0.16	0.01	0.507	0.0018
Nivel 11	0.15	21.81	213.95	0.00	1.00	0.15	0.15	0.02	0.482	0.0019
Nivel 10	0.13	21.81	213.95	0.00	1.00	0.13	0.13	0.02	0.388	0.0020
Nivel 9	0.12	21.81	213.95	0.00	1.00	0.12	0.12	0.02	0.300	0.0022
Nivel 8	0.10	21.81	213.95	0.00	1.00	0.10	0.10	0.02	0.220	0.0022
Nivel 7	0.08	21.81	213.95	0.00	1.00	0.08	0.08	0.02	0.152	0.0022
Nivel 6	0.07	21.81	213.95	0.00	1.00	0.07	0.07	0.02	0.096	0.0022
Nivel 5	0.05	21.81	213.95	0.00	1.00	0.05	0.05	0.02	0.054	0.0020
Nivel 4	0.03	21.81	213.95	0.00	1.00	0.03	0.03	0.01	0.025	0.0016
Nivel 3	0.02	21.81	213.95	0.00	1.00	0.02	0.02	0.01	0.009	0.0012
Nivel 2	0.01	23.68	232.34	0.00	1.00	0.01	0.01	0.01	0.002	0.0008
Nivel 1	0.00					0.00	0.00			
CALCULO FINAL DE COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO POR DISIPADOR Y									2.23	0.0201
$\sum C_j = \frac{\beta_H * 2 * \pi * A^{1-\alpha} * \omega^{2-\alpha} * (\sum_i m_i * \phi_i^2)}{\lambda * (\sum \phi_{rj}^{1+\alpha} * \cos^{1+\alpha} \theta_j)}$ $C(\text{por disipador}) = \frac{\sum C_j}{\# \text{ de disipadores}}$						Bhy	17.00%	529.9444096		
						A	0.163			
						w	11.44			
						Lambda	3.5			
						Alfa	0.5			
# disipadores/piso	2	C/disp	264.9722048							

Figura 150. Valores de amplitud, vector de masa, desplazamientos absolutos y relativos y cálculo del coeficiente de amortiguamiento en la dirección Y

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Se calcula que en la dirección X de la estructura convencional el coeficiente de amortiguamiento necesario para cada disipador de energía es de $210.1 \text{ Ton} * (\text{s/m})^\alpha$, para los cálculos de disipador de energía se tomara un valor redondeado de $210 \text{ Ton} * (\text{s/m})^\alpha$.

Se calcula que en la dirección Y de la estructura convencional el coeficiente de amortiguamiento necesario para cada disipador de energía es de $264.97 \text{ Ton} * (\text{s/m})^\alpha$, para los cálculos de disipador de energía se tomara un valor redondeado de $265 \text{ Ton} * (\text{s/m})^\alpha$.

Paso 7: Calculo de rigidez del brazo metálico

Selección de sección de diseño y propiedades del material.

La rigidez del brazo metálico, será la misma calculada en el paso 7 descrito en el ítem 3.6.1.2. de la presente investigación, donde se obtuvieron las siguientes secciones

3. CALCULO DE RIGIDEZ DEL BRAZO METALICO X					
3.1. Selección de seccion de diseño y propiedades del material		3.2. Longitud efectiva del Brazo		3.3 Calculo de la rigidez efectiva (K)	
Se recomienda utilizar como brazo metalico del disipador de energia secciones tipo PIPE y HSS					
	HSS20X0.375		3.3 Calculo de la rigidez efectiva (K)		
	Area =	21.500	in^2	0.0139	$K = \frac{E * A}{L}$
	Diametro externo=	20.000	in	0.508	
	Diametro interno=	19.302	in	0.4903	
	Espesor=	0.375	in	0.0095	
	Modulo de elasticidad=	21000000		Ton/m^2	
Longitud del brazo metalico	3.34		m	87212.67143	

Figura 151. Cálculo de rigidez axial en el brazo del disipador en la dirección X

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3. CALCULO DE RIGIDEZ DEL BRAZO METALICO Y					
3.1. Selección de seccion de diseño y propiedades del material		3.2. Longitud efectiva del Brazo		3.3 Calculo de la rigidez efectiva (K)	
Se recomienda utilizar como brazo metalico del disipador de energia secciones tipo PIPE y HSS					
	HSS20X0.375		3.3 Calculo de la rigidez efectiva (K)		
	Area =	21.500	in^2	0.0139	$K = \frac{E * A}{L}$
	Diametro externo=	20.000	in	0.508	
	Diametro interno=	19.302	in	0.4903	
	Espesor=	0.375	in	0.0095	
	Modulo de elasticidad=	21000000		Ton/m^2	
Longitud del brazo metalico	3.44		m	84677.41935	

Figura 152. Cálculo de rigidez axial en el brazo del disipador en la dirección Y

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Modelamiento del sistema de disipación de energía

Paso 8: Modelamiento del sistema de disipación de energía en la estructura

El modelamiento de disipadores de energía, continuo al modelamiento convencional ya realizado anteriormente en el programa Etabs, donde se requieren datos previamente calculados en los apartados anteriores, exponente de velocidad, coeficiente de amortiguamiento y rigidez del brazo metálico. Se requiere también la ubicación preliminar de los dispositivos en el sistema.

Identification	
Property Name	DISP_XX
Direction	U1
Type	Damper - Exponential
NonLinear	Yes

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

Nonlinear Properties	
Stiffness	87213 tonf/m
Damping	210 tonf*(s/m)^Cexp
Damping Exponent	0.5

Figura 153. Datos del disipador en el programa Etabs en la dirección X

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Identification	
Property Name	DISP_YY
Direction	U1
Type	Damper - Exponential
NonLinear	Yes

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

Nonlinear Properties	
Stiffness	84677 tonf/m
Damping	265 tonf*(s/m)^Cexp
Damping Exponent	0.5

Figura 154. Datos del disipador en el programa Etabs en la dirección Y

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

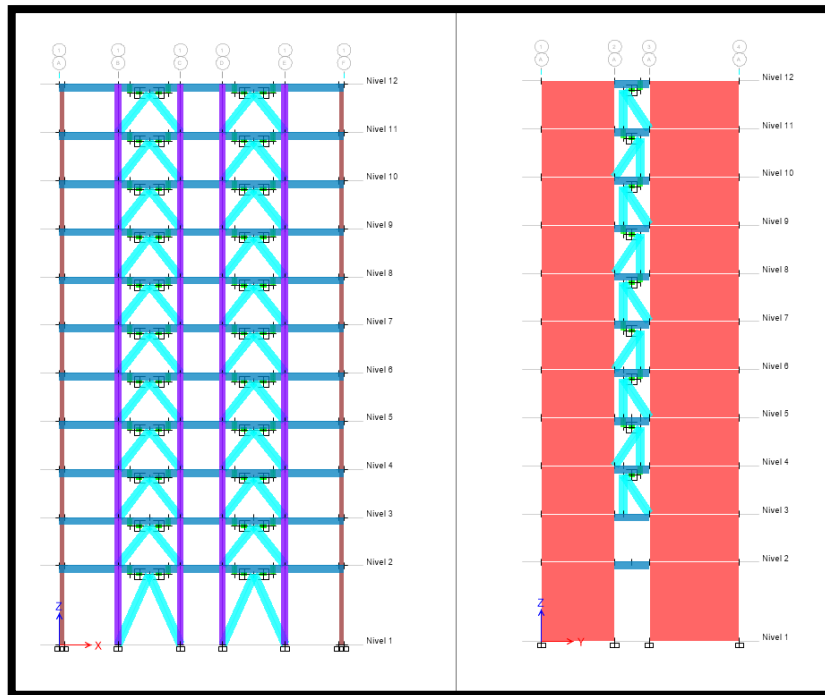


Figura 155. Distribución de disipadores en elevación

Fuente: ETABS

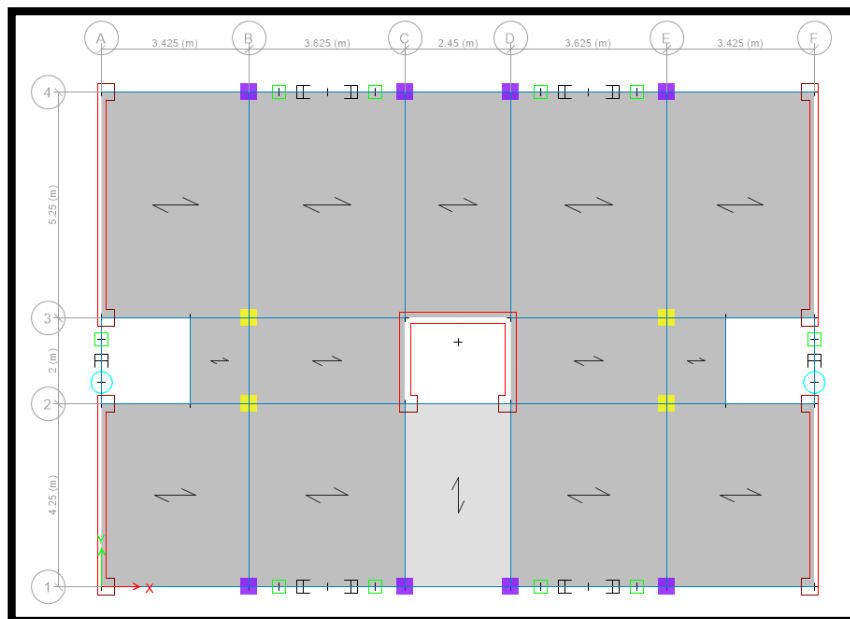


Figura 156. Distribución de disipadores en planta

Fuente: ETABS

Análisis sísmico

Paso 9: Análisis historia de respuesta no lineal

Se realizó el análisis tiempo historia no lineal de la estructura con disipadores de energía aplicando el sismo de diseño escalado con el espectro del sismo máximo considerado. Este análisis se realizó en el programa Etabs, siguiendo los lineamientos de la E.030 y ASCE-7-16.

Para el análisis tiempo historia no lineal se utilizó una relación de amortiguamiento del 3% con respecto al crítico, registro sísmico de Lima 1966, en su caso 02 y una función no lineal por gravedad, para la consideración de las cargas estáticas de la estructura en el análisis.

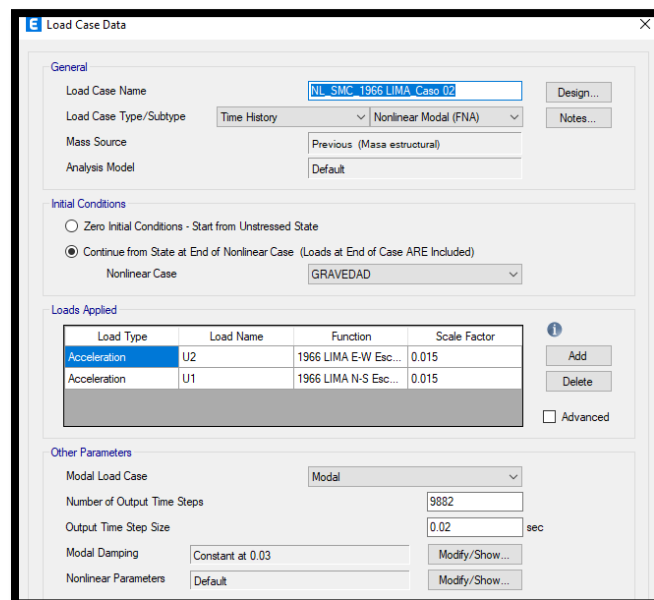


Figura 157. Caso de carga de historia de respuestas no lineal de registro sísmico Lima 1966

Fuente: ETABS

Verificaciones del sistema con disipadores de energía

Paso 10: Verificación de derivas y optimización del sistema

Se verifica las respuestas de la estructura con disipadores de energía de fluido viscoso, con el registro sísmico de diseño escalado con el espectro del sismo máximo considerado. La verificación de respuestas, se realiza verificando que las derivas de la estructura calculadas con el registro sísmico ya mencionado, se encuentren en el rango de

derivas, para un nivel de desempeño operacional, según la metodología Hazus el cual dicho rango es de 0.002 a 0.005.

En el caso que las derivas, de la estructura no sean las más adecuadas para los objetivos trazados en la estructura se procede a una modificación en la estructuración de la ubicación de los dispositivos y de las propiedades, de forma iterativa hasta obtener los resultados óptimos.

En la estructura en estudio con la distribución de disipadores inicial y las propiedades previamente calculadas, se verifico; que en la dirección X la deriva máxima de entrepiso era de 0.0068, el cual aún no cumplía con el rango operacional, por lo cual se optó por redistribuir los disipadores de energía y aumentar el coeficiente de amortiguamiento de 210 a $265 \text{ Ton} * (\text{s/m})^\alpha$, con el objetivo también de uniformizar dichos coeficientes con los dispositivos de la dirección Y; en la dirección Y la deriva máxima de entrepiso era de 0.0033, por lo cual se optó por optimizar el sistema, quitando disipadores de los últimos niveles.

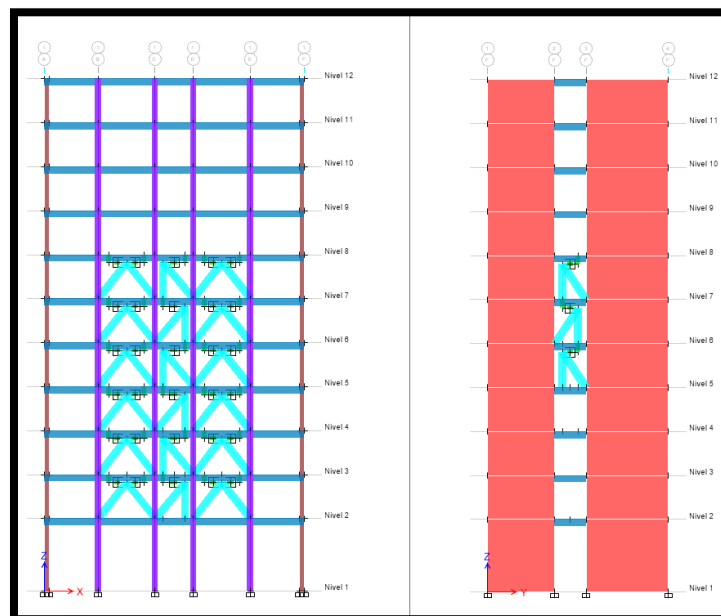


Figura 158. Distribución final de disipadores de energía de elevación

Fuente: ETABS

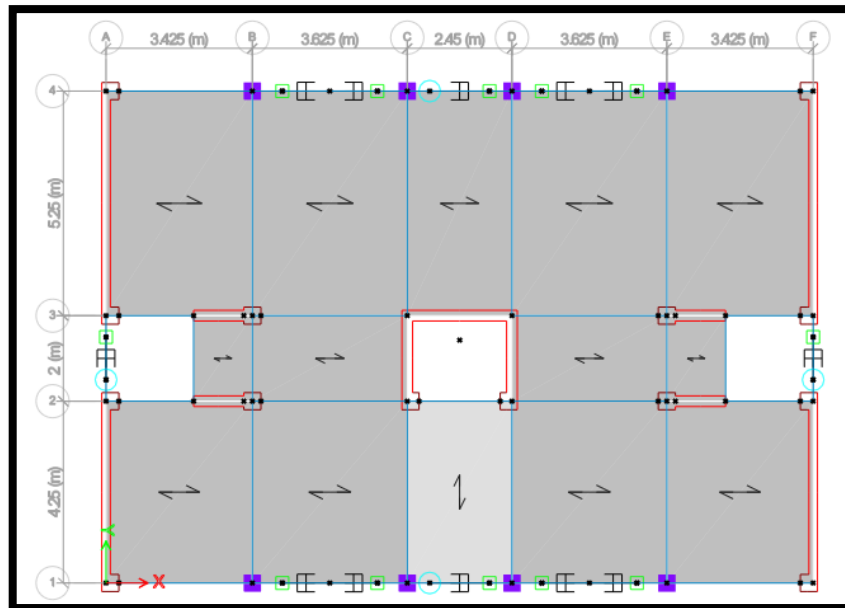


Figura 159. Distribución final de disipadores de energía en planta del nivel 5

Fuente: ETABS

DERIVA TIEMPO HISTORIA CASO 02 Maximo																
NIVEL	ENTR EPIS O	DESPLAZAMIENTO ABSOLUTO			DESPLAZAMIENTO RELATIVO		DERIVA SMC (R=1) SIN DISPOSITIVOS		DESPLAZAMIENTO ABSOLUTO		DESPLAZAMIENTO RELATIVO		DERIVA SMC (R=1) CON DISPOSITIVOS		PORCENTAJE DE REDUCCION DE DERIVAS	
		m	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X	Y	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X	Y	X	Y
Nivel 12	2.80	0.34566	0.16336	0.0225	0.0147	0.0080	0.0052	0.11907	0.12104	0.0071	0.0111	0.0025	0.0040	68.62%	24.17%	
Nivel 11	2.80	0.32316	0.1487	0.0258	0.0154	0.0092	0.0055	0.11201	0.10992	0.0082	0.0115	0.0029	0.0041	68.38%	24.85%	
Nivel 10	2.80	0.29731	0.13334	0.0293	0.0161	0.0105	0.0057	0.10384	0.09838	0.0096	0.0121	0.0034	0.0043	67.31%	25.03%	
Nivel 9	2.80	0.26803	0.11725	0.0321	0.0167	0.0115	0.0060	0.09426	0.08631	0.0107	0.0124	0.0038	0.0044	66.77%	25.97%	
Nivel 8	2.80	0.23595	0.10052	0.0349	0.0171	0.0125	0.0061	0.0836	0.07392	0.0104	0.0125	0.0037	0.0045	70.08%	26.93%	
Nivel 7	2.80	0.20103	0.08339	0.0369	0.0172	0.0132	0.0061	0.07316	0.06141	0.0108	0.0124	0.0039	0.0044	70.64%	27.45%	
Nivel 6	2.80	0.16418	0.06624	0.0374	0.0167	0.0134	0.0060	0.06234	0.04897	0.0115	0.0121	0.0041	0.0043	69.31%	27.24%	
Nivel 5	2.80	0.12678	0.04955	0.0367	0.0156	0.0131	0.0056	0.05086	0.03683	0.0122	0.0115	0.0044	0.0041	66.83%	26.21%	
Nivel 4	2.80	0.09004	0.03393	0.0337	0.0138	0.0120	0.0049	0.03867	0.0253	0.0119	0.0103	0.0043	0.0037	64.63%	25.50%	
Nivel 3	2.80	0.05632	0.0201	0.0300	0.0111	0.0107	0.0040	0.02675	0.015	0.0125	0.0083	0.0045	0.0030	58.33%	25.25%	
Nivel 2	4.60	0.02634	0.00896	0.0263	0.0090	0.0057	0.0019	0.01425	0.00667	0.0143	0.0067	0.0031	0.0014	45.89%	25.59%	

Figura 160. Presentación de derivas sin dispositivos, con dispositivos y porcentaje de reducción

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Paso 11: Selección de dispositivos según catálogo

Se tomo como catálogo de diseño, el brindado por la empresa Taylor Device, el mismo que selecciona los dispositivos, según la fuerza axial existente en el dispositivo en unidades de KN.

Se obtiene que las fuerzas axiales actuantes en los dispositivos de la dirección X, en los niveles 3 y 4 son de 704 a 923 KN, con presencia de valores mayores a 750 KN,

por lo cual se estandarizo a 1000 KN; del nivel 5 al nivel 8 en los ejes 1 y 4, entre los ejes C-D, las fuerzas axiales varían de 898 a 996 KN, por lo que estos dispositivos serán de 1000 KN; desde el nivel 5 al nivel 8 en los ejes 1 y 4, entre los ejes B-C y D-E, las fuerzas axiales varían entre 544 a 677 KN, por lo que estos dispositivos serán de 750 KN.

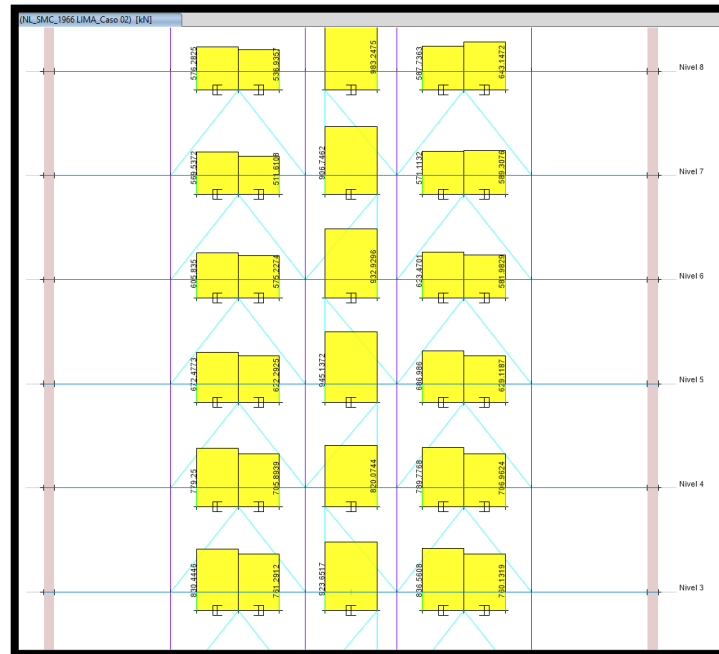


Figura 161. Fuerzas axiales en los dispositivos en la dirección X

Fuente: ETABS

Se obtiene las fuerzas axiales actuantes en los dispositivos de la dirección Y, en el nivel 6 y 7 tienen fuerzas que varían en un rango entre 1324 a 1477 KN, por lo que según el catálogo se usara los dispositivos de 1500 KN, en el nivel 8 se tiene una fuerza axial de 1582 y 1592 en el eje A y F respectivamente, por lo que se usaran los dispositivos de 2000 KN.

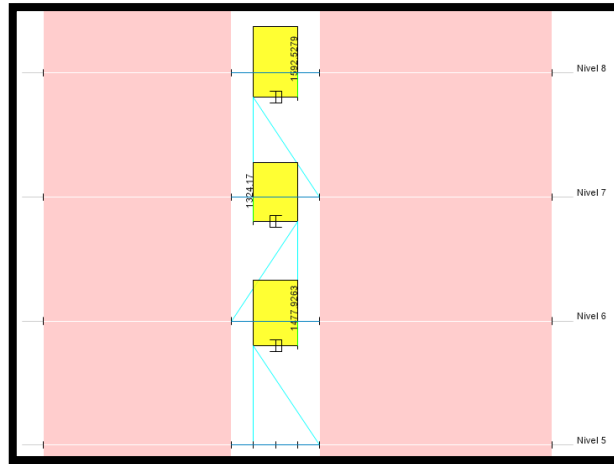


Figura 162. Fuerzas axiales en los dispositivos en la dirección Y

Fuente: ETABS

FORCE (kN)	TAYLOR DEVICES MODEL NUMBER	SPHERICAL BEARING BORE DIAMETER (mm)	MID-STROKE LENGTH (mm)	STROKE (mm)	CLEVIS THICKNESS (mm)	MAXIMUM CLEVIS WIDTH (mm)	CLEVIS DEPTH (mm)	BEARING THICKNESS (mm)	MAXIMUM CYLINDER DIAMETER (mm)	WEIGHT (kg)	"A" (mm)	"B" (mm)	"C" (mm)	"D" (mm)	PLATE THICKNESS (mm)
250	17120	38.10	787	±75	43	102	83	33	114	44	178±3	127±25	†	20.6±25	38±76
500	17130	50.80	997	±100	55	127	102	44	146	98	282±3	203±25	†	31.8±25	38±76
750	17140	57.15	1016	±100	59	152	129	50	184	168	343±3	254±25	127±25	28.7±25	61±76
1000	17150	69.85	1048	±100	71	184	150	61	210	254	419±3	318±25	159±25	31.8±25	76±1.5
1500	17160	76.20	1105	±100	77	203	162	67	241	306	432±3	330±25	165±25	34.9±25	76±1.5
2000	17170	88.90	1346	±125	91	235	191	78	292	503	457±3	343±25	171.5±25	38.1±25	102±1.5
3000	17180	101.60	1441	±125	117	286	203	89	350	805	508±3	406±25	203±25	41.4±25	102±1.5

Figura 163. Selección de dispositivos según catálogo de Taylor De vice

Fuente: Catalogo Taylor Device inc.

Paso 12: Verificación de los dispositivos en el modelamiento

Bucles histeréticos y máximo stroke.

El máximo stroke es el desplazamiento máximo, que ejecuta el disipador en su eje axial. Este valor te lo proporciona el fabricante para cada tipo de disipadores (Chavez, Análisis, Diseño y Efectos de Interacción Sísmica Suelo – Estructura con Disipadores de Energía Viscosos – Taylor, en un Edificio Aporticado de 5 Niveles en la Urbanización Buenos Aires, Distrito de Nuevo Chimbote - 2016, 2016), sin embargo, según recomendaciones bibliográficas (Genner Villareal y Oviedo Sarmiento, 2008), este valor no debe ser mayor a 50 mm.

A continuación, se presentarán los bucles histereticos con el máximo stroke, en los disipadores de energía en ambas direcciones.

El disipador con máximo stroke en la dirección X, se presentó en el denominado K106 por el programa Etabs, ubicado en el eje 4 y entre los ejes C-D, del nivel 6, el mismo que tiene una deformación máxima de 16.5 mm, siendo este menor al valor máximo que puede tomar 50mm.

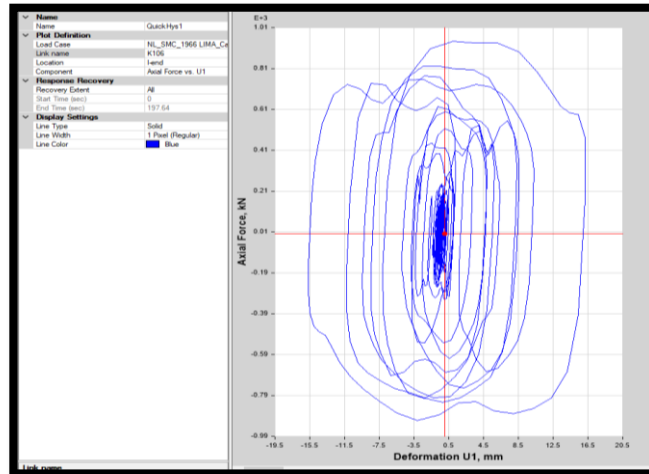


Figura 164. Diagrama de histéresis del máximo stroke en la dirección X (nivel 6, eje 4, entre los ejes C-D, K106)

Fuente: ETABS

El disipador con máximo stroke en la dirección Y, se presentó en el denominado K90 por el programa Etabs, ubicado en el eje F y entre los ejes 2-3, del nivel 6, el mismo que tiene una deformación máxima de 30 mm, siendo este menor al valor máximo que puede tomar 50mm.

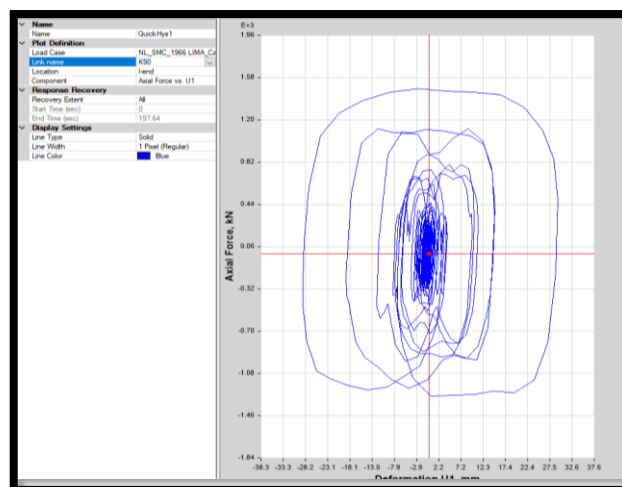


Figura 165. Diagrama de histéresis del máximo stroke en la dirección Y (nivel 5, eje F, entre los ejes 2-3, K89)

Fuente: ETABS

Velocidad máxima.

La velocidad máxima se calculará mediante el despeje de la formula siguiente:

$$F = C * V^\alpha \rightarrow V = \sqrt[\alpha]{\frac{F}{C}}$$

El coeficiente de amortiguamiento, se determinó como $265 \text{ Ton} * (s/m)^\alpha$, tanto para la dirección X como para la dirección Y. La fuerza axial en disipador, para el cálculo de la velocidad máxima serán correspondientes a la fuerza máxima de cada tipo de disipador seleccionado.

Se seleccionó un total de cuatro tipos de disipadores 750, 1000, 1500 y 2000 KN, por lo cual, se tomarán en cuenta las fuerzas máximas de los disipadores de cada tipo.

Disipadores de 750 KN, el valor máximo de este tipo de disipador será de 681 KN:

$$V_{max} = \sqrt[0.5]{\frac{677/9.81}{265}} = 0.068 \text{ m/s}$$

Disipadores de 1000 KN, el valor máximo de este tipo de disipador será de 978 KN:

$$V_{max} = \sqrt[0.5]{\frac{996/9.81}{265}} = 0.147 \text{ m/s}$$

Disipadores de 1500 KN, el valor máximo de este tipo de disipador será de 1277 KN:

$$V_{max} = \sqrt[0.5]{\frac{1477/9.81}{265}} = 0.323 \text{ m/s}$$

Disipadores de 2000 KN, el valor máximo de este tipo de disipador será de 1277 KN:

$$V_{max} = \sqrt[0.5]{\frac{1592/9.81}{265}} = 0.375 \text{ m/s}$$

Los valores de la velocidad máxima serán proporcionados al fabricante para su diseño.

Balance de energía.

Se verifica el balance de energía del sistema, para el conocimiento de la cantidad de energía disipada por los disipadores, por la estructura y otros mecanismos.

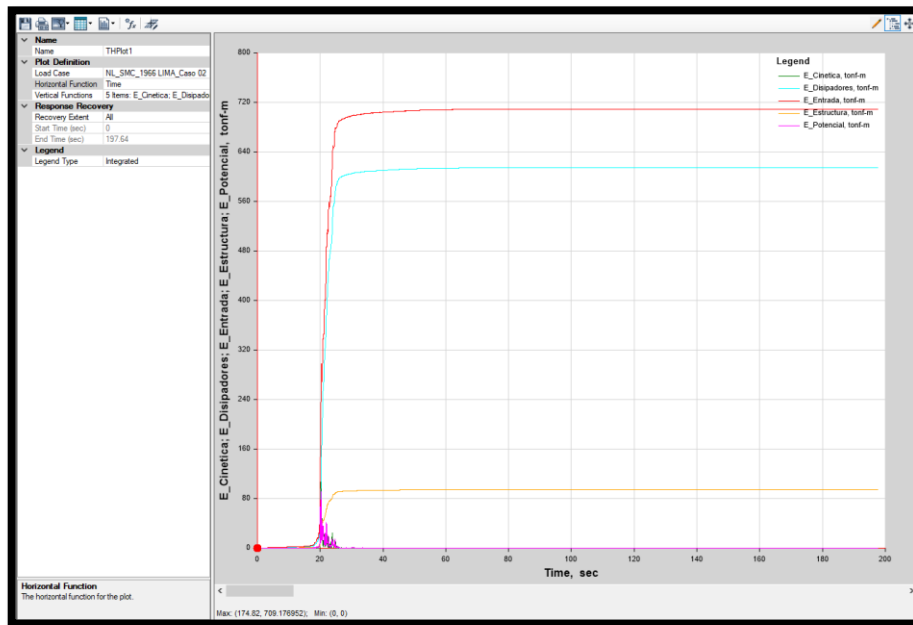


Figura 166. Balance de energía de la estructura

Fuente: ETABS

Time sec	E_Cinetica tonf-m	E_Disipadores tonf-m	E_Entrada tonf-m	E_Estructura tonf-m	E_Potencial
197.24	0	614.4592	709.1712	94.5818	0.1274
197.26	0	614.4592	709.1712	94.5818	0.1274
197.28	0	614.4592	709.1712	94.5818	0.1274
197.3	0	614.4592	709.1712	94.5818	0.1274
197.32	0	614.4592	709.1712	94.5818	0.1274
197.34	0	614.4592	709.1712	94.5818	0.1274
197.36	5.528E-07	614.4592	709.1712	94.5818	0.1274
197.38	7.512E-07	614.4592	709.1713	94.5818	0.1275
197.4	9.965E-07	614.4592	709.1713	94.5818	0.1275
197.42	1.274E-06	614.4592	709.1713	94.5818	0.1275
197.44	1.504E-06	614.4592	709.1713	94.5818	0.1275
197.46	1.6E-06	614.4592	709.1713	94.5818	0.1275
197.48	1.543E-06	614.4592	709.1713	94.5818	0.1275
197.5	1.362E-06	614.4592	709.1712	94.5818	0.1274
197.52	1.129E-06	614.4592	709.1711	94.5818	0.1273
197.54	9.133E-07	614.4592	709.1711	94.5818	0.1273
197.56	7.599E-07	614.4592	709.171	94.5818	0.1272
197.58	6.81E-07	614.4592	709.1709	94.5818	0.1271
197.6	6.635E-07	614.4592	709.1708	94.5818	0.127
197.62	6.725E-07	614.4592	709.1707	94.5818	0.1269
197.64	6.678E-07	614.4592	709.1706	94.5818	0.1268

Figura 167. Valores numéricos del balance de energía de la estructura

Fuente: ETABS

$$\%ED(\text{disipadores}) = \frac{ED(\text{Disipadores})}{E(\text{total})} = \frac{614.46}{709.17} = 86.64\%$$

$$\%ED(\text{estructura}) = \frac{ED(\text{Estructura})}{E(\text{total})} = \frac{94.58}{709.17} = 13.34\%$$

De los resultados de balance de energía se puede concluir que la disipación de la energía entrada, será tomada en su mayoría por el sistema de disipadores (86.64%) de energía de fluido viscoso, de una manera inmediata según el desarrollo del sismo muy raro. La energía restante por disipar lo tomara la estructura (13.34%), implicando un cierto daño a los elementos estructurales, sin embargo, por el bajo porcentaje de energía que toma se puede predecir que serán daños leves y reparables, los cuales cumplen con los requisitos para definir el nivel de desempeño **operacional**.

RESULTADOS DE PERIODOS, DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS

A continuación, se presentan los resultados del análisis sísmico del modelamiento estructural convencional, añadiendo un sistema de aisladores elastoméricos o disipadores de energía de fluido viscoso, los cuales fueron evaluado sísmicamente con 7 registros sísmicos escalados por un sismo máximo considerado (2% de probabilidad de ser excedido en 50 años y un periodo de retorno de 2475 años), obteniendo los siguientes resultados:

Periodo fundamental de vibración

De los modelos analizados se obtuvieron los periodos de los tres primeros modos de vibración:

Modo	Periodos de participacion modal y modos de vibración			
	Periodo(seg)	UX	UY	RZ
1	0.994	0.777	0.000	0.000
2	0.574	0.000	0.723	0.000
3	0.443	0.000	0.000	0.731

Fig N° 37. Periodo fundamental de vibración (T) en “segundos”.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Desplazamientos laterales absolutos

Se calculó el promedio de resultados de los desplazamientos de entrepiso del análisis no lineal tiempo historia en cada dirección.

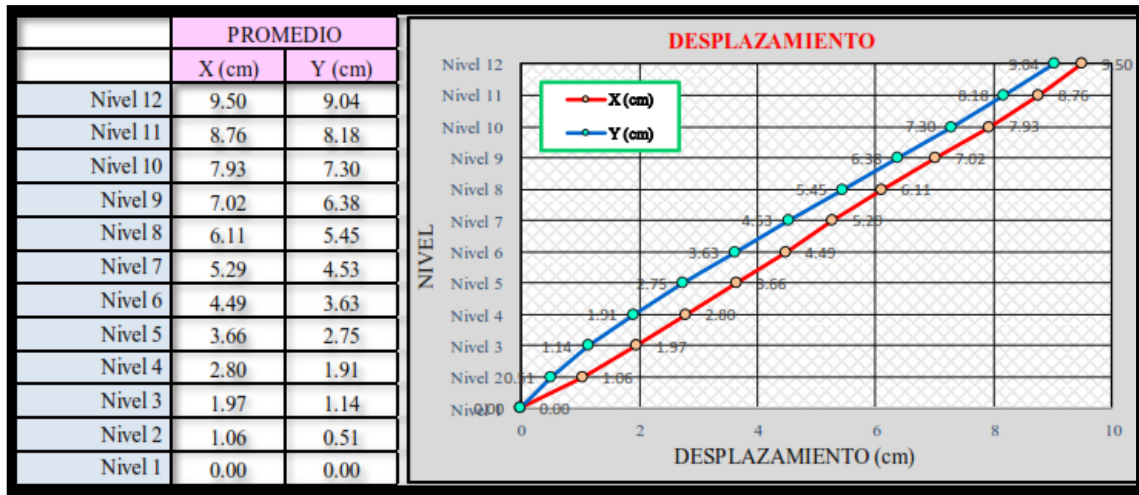


Fig N° 38. Resultados de desplazamientos laterales en “cm”

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Derivas de entrepiso

Se calculó el promedio de resultados de las derivas de entrepiso del análisis no lineal tiempo historia en cada dirección.

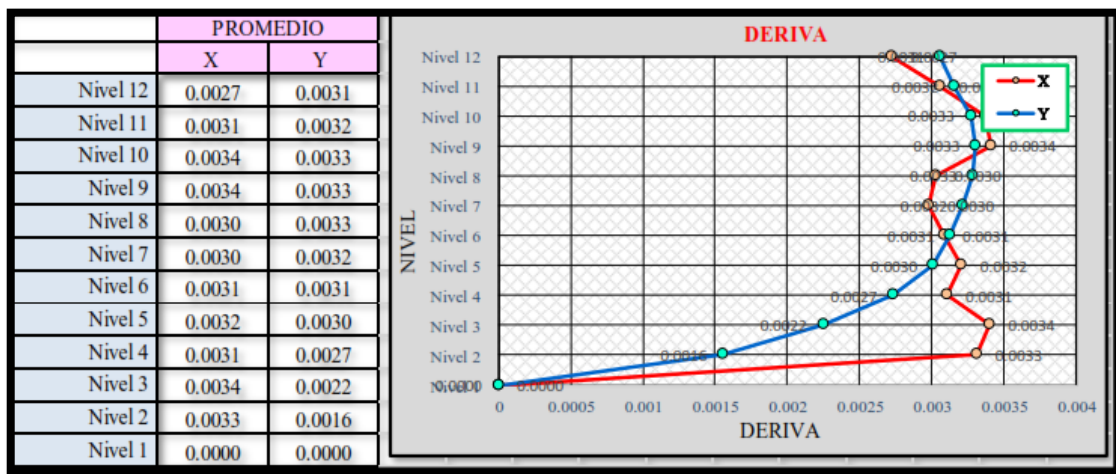


Fig N° 39. Resultados de derivas de entrepiso

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Según los resultados obtenidos en el modelo con disipadores de energía de fluido viscoso se tiene una deriva de entrepiso máxima de 0.0034 en la dirección “X” y de 0.0033 en la dirección “Y”.

Desempeño sísmico del modelamiento del sistema con disipadores de energía de fluido viscoso

Según los resultados obtenidos en el ítem anterior, se determina que la edificación en su totalidad se encuentra en un nivel de desempeño de “Operacional” y un estado de daño “Leve” en sus componentes estructurales.

Interpretando los niveles y estados de daño alcanzados por la estructura con disipadores de energía de fluido viscoso, sometida a un Sismo máximo considerado (Sismo muy raro con 2% de probabilidades de ser excedida en 2475 años), se la edificación presentara pequeñas grietas finas ocasionadas por la flexión y corte tanto en columnas como vigas.

Se realizó una comparación del desempeño sísmico, cuando la edificación es sometida a un sismo máximo considerado (2% en 50 años y con un periodo de retorno de 2475 años) definido por la norma E.031 y cuando está sometida a un sismo de diseño (10% en 50 años y con un periodo de retorno de 475 años) definido por la norma E.030 para edificaciones de uso común.

Ante un sismo máximo considerado la estructura con **sistema de disipadores** alcanza un nivel de desempeño de **operacional**. Sin embargo, al someterlo a la amenaza de un sismo de diseño, el nivel de desempeño que alcanza a **totalmente operacional**.

Nivel de desempeño sísmico						
		Totalmente operacional	Operacional	Seguridad de vida	Prevencion del colapso	Colapso
	Sistema convencional					
	Sistema con aisladores					
	Sistema con disipadores					
Nivel de movimiento sísmico	Sismo frecuente (43 años)					
	Sismo ocasional (72 años)					
	Sismo raro (475 años)	Sistema con disipadores				
	Sismo muy raro (2475 años)		Sistema con disipadores			

Fig N° 40. Desempeño sísmico del sistema con disipadores.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo