

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
ESCUELA DE POSGRADO
Programa de Doctorado en Ingeniería Civil



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

**Resiliencia sísmica de viviendas sociales mediante la
implementación de un dispositivo de disipación
sísmica de bajo costo**

**Tesis para optar el grado de Doctor en
Ingeniería Civil**

Autor:

Mg. Maza Rubina, David Nonato
Código ORCID: 0000-0003-2838-6868

Asesor:

Dr. Reyes Roque, Reynaldo Melquiades
DNI. N° 31658163
Código ORCID: 0000-0002-9408-0069

Línea de Investigación:
Viviendas antisísmicas

Nuevo Chimbote - PERÚ
2026



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

CONSTANCIA DE ASESORAMIENTO DE TESIS

Yo, **Dr. Reynaldo Melquiades Reyes Roque**, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la Tesis Doctoral titulada: "**Resiliencia sísmica de viviendas sociales mediante la implementación de un dispositivo de disipación sísmica de bajo costo**", por el magister **David Nonato Maza Rubina**, para obtener el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Civil en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, marzo del 2026.

.....
Dr. Reyes Roque Reynaldo Melquiades
ASESOR
CODIGO ORCID: 0000-0002-9408-0069
DNI N° 31658163



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

"Resiliencia sísmica de viviendas sociales mediante la implementación de un dispositivo de disipación sísmica de bajo costo"

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR EN INGENIERÍA CIVIL

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:



DR. LÓPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN
PRESIDENTE
CODIGO ORCID: 0000-0002-3631-2001
DNI N° 32965940



DRA. FERNÁNDEZ MANTILLA JENISSE DEL ROCÍO
VOCAL
CODIGO ORCID: 0000-0003-3336-4786
DNI N° 33264434



DR. REYES ROQUE REYNALDO MELQUIADES
VOCAL
CODIGO ORCID: 0000-0002-9408-0069
DNI N° 31658163



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

A los veinte días del mes de febrero del año 2026, siendo las 10 horas, en el aula P-01 de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 796-2025-EPG-UNS de fecha 04.09.2025, conformado por los docentes: Dr. Atilio Rubén López Carranza (Presidente), Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla (Secretaria) y Dr. Reynaldo Melquiades Reyes Roque (Vocal); con la finalidad de evaluar la tesis intitulada: "**RESILIENCIA SÍSMICA DE VIVIENDAS SOCIALES MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE DISIPACIÓN SÍSMICA DE BAJO COSTO**"; presentado por el tesista **David Nonato Maza Rubina**, egresado del programa de Doctorado en Ingeniería Civil.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 103-2026-EPG-UNS de fecha 05 de febrero de 2026.

El presidente del jurado autorizó el inicio del acto académico; producido y concluido el acto de sustentación de tesis, los miembros del jurado procedieron a la evaluación respectiva, haciendo una serie de preguntas y recomendaciones al tesista, quien dio respuestas a las interrogantes y observaciones.

El jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como APROBADO, asignándole la calificación de DIECISIETE.

Siendo las 11:10 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.


Dr. Atilio Rubén López Carranza
Presidente


Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla
Secretaria


Dr. Reynaldo Melquiades Reyes Roque
Vocal/Asesor



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: David Nonato MAZA RUBINA
Título del ejercicio: DOCTORADO 2026 - 2
Título de la entrega: Resiliencia Sísmica de Viviendas Sociales Mediante La Implem...
Nombre del archivo: Tesis_Maza_Rubina_David.pdf
Tamaño del archivo: 11.39M
Total páginas: 271
Total de palabras: 41,124
Total de caracteres: 228,857
Fecha de entrega: 30-abr-2026 08:35a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2830726243

CAPITULO I
PORTADA O CARATULA

Resiliencia Sísmica de Viviendas Sociales Mediante La Implementación de un Dispositivo de Disipación Sísmica de Bajo Costo

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%	20%	1%	5%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	9%
2	ciencialatina.org Fuente de Internet	2%
3	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	www.academia.edu Fuente de Internet	1%
5	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
6	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	dokumen.pub Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	<1%

CAPITULO IX
DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

A mis padres, César y Carlota,

por enseñarme con su ejemplo que la perseverancia y el esfuerzo constante son el verdadero camino hacia cualquier meta. Gracias por su sacrificio silencioso y su amor incondicional, que fueron la base de este logro.

A mi esposa, Olga,

compañera de vida y de sueños, por su paciencia infinita, por sostenerme en los momentos de cansancio y por recordarme siempre que la dedicación vale la pena cuando se ama lo que se hace. Este triunfo también es tuyo.

A mis hijas, Adriana y Brenda,

para que sepan que los obstáculos se superan con constancia, que el esfuerzo diario construye victorias y que la perseverancia es el puente entre el deseo y la realidad. Que este trabajo sea un testimonio de que los sueños se alcanzan cuando nunca se deja de luchar.

Con todo mi corazón, para ustedes, mi mayor motivación.

CAPITULO X
INDICE

CONTENIDO	PÁGINA
CAPÍTULO I: PORTADA	i
CAPÍTULO II: HOJA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR	ii
CAPÍTULO III: HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO	iii
CAPÍTULO IV: ACTA DE SUSTENTACIÓN	iv
CAPÍTULO VII: RECIBO TURNITIN	xi
CAPÍTULO VIII: REPORTE PORCENTUAL DE TURNITIN	xii
CAPÍTULO IX: DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO	xiv
CAPÍTULO X: ÍNDICE	xv
CAPÍTULO XI: RESUMEN Y ABSTRACT	xxxi
 CAPÍTULO XII: INTRODUCCIÓN	
12.1. Objeto de la investigación	34
12.1.1. Realidad genérica del problema	34
12.1.2. Características de la realidad específica	35
12.2. Formulación del problema de investigación	37
12.2.1. Problema general	37
12.2.2. Problemas específicos	37
12.3. Objetivos de la investigación	37
12.3.1. Objetivo general	37
12.3.2. Objetivos específicos	37
12.4. Hipótesis de la investigación	38
12.4.1. Hipótesis general	38
12.4.2. Hipótesis específicas	38
12.5. Justificación e importancia de la investigación	39
12.5.1. Contexto sísmico y vulnerabilidad estructural	40
12.5.2. Impacto social y urbano	40
12.5.3. Viabilidad económica	40
12.5.4. Innovación técnica	41
12.6. Limitaciones de la investigación	41
 CAPÍTULO XIII: MARCO TEÓRICO	
13.1. Antecedentes	44
13.1.1. Antecedentes internacionales	44
13.1.2. Antecedentes nacionales	47
13.2. Marco conceptual	51

13.2.1. Edificación social	51
13.2.2. Definición de Peligro Sísmico	51
13.2.3. Contexto Sísmico del Perú	52
13.2.4. Mapa de amenazas por sismos en el Perú	52
13.2.4.1. El Sismo del 31 de Mayo de 1970: Impacto en Huaraz	53
13.2.4.2. Intensidades y Daños en Huaraz	53
13.2.4.3. Condiciones Locales del Suelo y su Influencia	54
13.2.4.4. Tipo de Suelo según Norma E.030 para Independencia	54
13.2.5. Resiliencia	56
13.2.6. Resiliencia Sísmica	56
13.2.7. Definición de un mecanismo resiliente	57
13.2.8. Diseño sísmico basado en resiliencia	57
13.2.9. Indicadores Cuantitativos de la Resiliencia Estructural	57
13.2.10. Tipología de los dispositivos de protección frente a sismos	58
13.2.11. Disipadores metálicos	62
13.2.12. Disipadores metálicos de plastificación	63
13.2.13. Clasificación de los Disipadores de Energía por su Comportamiento	65
13.2.14. Dispositivos Histéreticos	66
13.2.14.1. Modelamiento del comportamiento Histórico del Disipador	67
13.2.14.2. Definición de las Variables del Modelo Bilineal	68
13.2.14.3. Métodos basados en amortiguamiento equivalente	70
13.2.15. Definición de Términos Básicos	76
13.3. Aspectos de responsabilidad social y medio ambiental	83

CAPÍTULO XIV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

14.1. Diseño o esquema de la investigación	86
14.1.1. Tipo de investigación	86
14.1.2. Enfoque de la investigación	86
14.1.3. Nivel de la investigación	86
14.1.4. Diseño de la investigación	86
14.2. Población y muestra	87
14.2.1. Población	87
14.2.2. Muestra	87
14.2.2.1. Descripción y propiedades geométricas de la muestra	87
14.2.2.1.1. Edificación convencional	87
14.2.2.1.2. Estructuración	89
14.2.2.1.3. Características mecánicas de la edificación	89
14.2.2.1.4. Edificación disipada	89
14.3. Operacionalización de variables	90
14.3.1. Variable independiente	90
14.3.2. Variables dependientes	90
14.3.3. Variables controladas	92

14.4. Técnica e instrumento de recolección de datos	92
14.5. Procedimientos	94
14.5.1. Procedimiento para el análisis sísmico	94
14.5.2. Procedimiento para la determinación del sismo de diseño	95
14.5.3. Determinación del sismo de diseño (análisis dinámico espectral)	96
14.5.4. Dimensionamiento del Disipador Sísmico de Bajo Costo	100
14.5.5. Componentes del dispositivo de disipación sísmica de bajo costo	106
14.5.6. Disipadores sísmicos metálicos de bajo costo en edificaciones	111
14.5.7. Comportamiento estructural	113
14.5.8. Bases teóricas especializadas sobre el DSBC	113
14.5.8.1 Características del disipador sísmico de bajo costo (DSBC)	113
14.5.8.2 Comportamiento histerético de la sección I del disipador	116
14.5.8.3 Generalidades de la fabricación e instalación del disipador sísmico de bajo costo (DSBC).	119
14.5.8.4 Caracterización del segmento de perfil I	120
14.5.9. Métodos basados en amortiguamiento equivalente	124
14.5.9.1 Coeficiente de amortiguamiento equivalente y rigidez	124
14.5.9.2 Comportamiento histerético y capacidad de disipación de energía del disipador sísmico de bajo costo.	125
14.5.9.3 Relación carga desplazamiento	
14.5.10. Diseño del disipador sísmico de bajo costo	128
14.5.10. Amortiguamiento viscoso del disipador	132
14.5.11 Amortiguamiento Viscoso del disipador de energía de Bajo Costo	132
14.5.12. Montaje y desmontaje del difusor de fluencia	135
14.5.13. Modelamiento paramétrico del DSBC	136
14.5.14. Análisis de sensibilidad del DSBC	168
14.5.15. Modelamiento paramétrico de los nudos del disipador	171
14.5.16. Análisis del edificio con dispositivo de disipación sísmica	175
14.5.17. Modelo utilizado para la edificación con inclusión de DSBC	180
14.5.18. Dimensiones y características finales de los DSBC	183
14.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	183
 CAPÍTULO XV: RESULTADOS	
15.1 Resultados del Diseño y Dimensionamiento del Disipador Sísmico de Bajo Costo (DSBC):	190
15.1.1 Descripción y Componentes del DSBC	190
15.1.2 Verificación de la Capacidad de la Sección del Perfil I	191
15.1.3 Caracterización Mecánica y Propiedades del Material	192
15.1.4 Determinación de Parámetros Clave de Rigidez y Resistencia	192
15.1.5 Selección de la Configuración Final del DSBC	193
15.2 Resultados del Objetivo Específico 2:	194

15.2.1 Fuerzas Internas del Análisis Sísmico Estático	195
15.2.2 Fuerzas Internas del Análisis Dinámico Espectral	200
15.3 Resultados correspondientes al Objetivo Específico N° 03,	205
15.3.1 Resultados del Análisis Sísmico Estático	206
15.3.2 Resultados del análisis espectral	211
15.4 Resultados del Objetivo Específico 4: Análisis de Viabilidad Económica del Disipador Sísmico de Bajo Costo	222
15.5 Contrastación de Hipótesis	226
15.5.1 Contrastación de la Hipótesis Específica 1	226
15.5.2 Contrastación de la Hipótesis Específica 2	227
15.5.3 Contrastación de la Hipótesis Específica 3	227
15.5.4 Contrastación de la Hipótesis Específica 4	232
15.6 Discusión de Resultados	234
15.6.1 Discusión sobre el Diseño y Caracterización del DSBC (Objetivo Específico 1)	234
15.6.2 Discusión sobre la Reducción de Fuerzas Internas (Objetivo Específico 2)	235
15.6.3 Discusión sobre la Reducción de Derivas y el Incremento de la Resiliencia Sísmica (Objetivo Específico 3)	236
15.6.4. Discusión sobre la Viabilidad Económica del DSBC (Objetivo Específico 4)	237
 CAPÍTULO XVI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
16.1. Conclusiones	240
16.2. Recomendaciones	243
16.3. Futuras líneas de investigación	244
 CAPÍTULO XVII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
CONTENIDO	PÁGINA
17.1 Referencias Bibliográficas	248
 CAPÍTULO XVIII: ANEXOS	
Anexos	251
Anexo 1: Operacionalización de las variables (Tabla 63)	252
Anexo 2: Matriz de consistencia (Tabla 64)	254
Registro fotográfico (Figuras 159-171)	257-263
Anexo 3: Planos	264

LISTA DE TABLAS

N°	TÍTULO	PÁGINA
Tabla 1	Tipo de disipadores de energía pasivos	62
Tabla 2	Tipo de disipadores metálicos, instalación, ventajas y desventajas	63
Tabla 3	Disipadores hysteréticos (fluencia)	70
Tabla 4	Propiedades mecánicas de materiales de fabricación del DSBC	71
Tabla 5	Parámetros obtenidos aplicando las ecuaciones	73
Tabla 6	Parámetros Sísmicos	97
Tabla 7	Espectro de Pseudoaceleraciones	99
Tabla 8	Disipadores hysteréticos (fluencia).	124
Tabla 9	Propiedades mecánicas de materiales de Fabricación del DSBC	125
Tabla 10	Parámetros a Obtener la Ecuaciones	127
Tabla 11	Propiedades mecánicas del Acero A36	136
Tabla 12	Resumen Fuerza-Esfuerzo-Deformación	142
Tabla 13	Desplazamiento-Fuerza	142
Tabla 14	Esfuerzo Máximo-Desplazamiento	143
Tabla 15	Fuerza-Esfuerzo Máximo	144
Tabla 16	Resumen de Resultados del Modelo Paramétrico del DSBC para 09 Perfiles I	150
Tabla 17	Desplazamiento-Fuerza	150
Tabla 18	Desplazamiento-Fuerza	151
Tabla 19	Fuerza-Esfuerzo Máximo	152
Tabla 20	Tabla Resumen	158
Tabla 21	Desplazamiento-Fuerza	158
Tabla 22	Esfuerzo Máximo-Desplazamiento	159
Tabla 23	Fuerza-Esfuerzo Máximo	160
Tabla 24	Resumen fuerzas, esfuerzos y desplazamientos	166
Tabla 25	Resumen desplazamientos y Fuerzas	166
Tabla 26	Esfuerzo-Desplazamientos	167
Tabla 27	Fuerza-Disipadores Sísmicos de 6,9,12 y 15 perfiles I y desplazamientos	168
Tabla 28	Características principales de los Disipadores Sísmicos de Bajo Costo (DSBC)	183
Tabla 29	Cuadro Comparativo de Costos del Sistema de Disipación Sísmica y Referencias	185

Tabla 30	Cuadro del Análisis de Costos Unitarios Para La Fabricación del DSBC.	186
Tabla 31	Propiedades Mecánicas de Acero A36	192
Tabla 32	Resumen del Análisis Paramétrico del DSBC (Fuerzas vs Desplazamiento)	192
Tabla 33	Rigidez Equivalente (K_{ef}) del DSBC Para Diferentes Configuraciones	193
Tabla 34	Procesos Para el Análisis de los Resultados de las Fuerzas Internas	194
Tabla 35	Fuerza Axial Máxima (t) en la Dirección X-X, Sismo Actuando en la Dirección XX	195
Tabla 36	Fuerza Axial Máxima (t) en la Dirección Y-Y, Sismo Actuando en la Dirección YY	196
Tabla 37	Fuerza Cortante Máxima (t) en la Dirección X-X, Sismo Actuando en la Dirección XX	196
Tabla 38	Fuerza Cortante Máxima (t) en la Dirección Y-Y, Sismo Actuando en la Dirección YY	197
Tabla 39	Momento Flector Máximo (t-m) en la Dirección X-X, Sismo Actuando en la Dirección XX	198
Tabla 40	Momento Flector Máximo (t) en la Dirección Y-Y, Sismo Actuando en la Dirección YY	199
Tabla 41	Fuerza Axial Máxima (t) en la Dirección X-X, Sismo Actuando en la Dirección XX	200
Tabla 42	Fuerza Axial Máxima (t) en la Dirección Y-Y, Sismo Actuando en la Dirección YY	201
Tabla 43	Fuerza Cortante Máxima (t) en la Dirección X-X, Sismo Actuando en la Dirección XX	202
Tabla 44	Fuerza Cortante Máxima (t) en la Dirección Y-Y, Sismo Actuando en la Dirección YY	202
Tabla 45	Momento Flector Máximo (t-m) en la Dirección X-X, Sismo Actuando en la Dirección XX	203
Tabla 46	Momento Flector Máximo (t) en la Dirección Y-Y, Sismo Actuando en la Dirección YY	204
Tabla 47	Proceso para el análisis de los resultados del desplazamiento	205
Tabla 48	Proceso para el análisis de los resultados de las derivas	205
Tabla 49	Desplazamiento del Sistema Disipado	206
Tabla 50	Desplazamiento de Entrepiso (m) Sismo Actuando en la Dirección XX	207
Tabla 51	Desplazamiento de Entrepiso (m) Sismo Actuando en la Dirección YY	208
Tabla 52	Deriva de Entrepiso en la Dirección XX, Debido al Sismo en la Dirección XX	209
Tabla 53	Deriva de Entrepiso en la Dirección YY, Debido al Sismo en la Dirección YY	210
Tabla 54	Desplazamiento del Sistema Disipado	211
Tabla 55	Desplazamiento de Entrepiso (m) Sismo Actuando en Dirección X-X	213
Tabla 56	Desplazamiento de Entrepiso (m) Sismo Actuando en Dirección Y-Y	214

Tabla 57	Deriva de entrepiso en dirección X-X, Sismo Espectral Actuando en la Dirección XX	215
Tabla 58	Deriva de entrepiso en dirección Y-Y, Sismo Espectral Actuando en la Dirección YY	216
Tabla 59	Periodos de Vibración	217
Tabla 60	Costo de Fabricación del Disipador Sísmico de Bajo Costo (DSBC)	222
Tabla 61	Comparativa de Costos Por Metro Cuadrado entre DSBC y Sistemas Convencionales	223
Tabla 62	Resumen de la Contrastación de la Hipótesis Especifica N°02	229
Tabla 63	Operacionalización de las Variables	252
Tabla 64	Matriz de Consistencia	254

LISTA DE FIGURAS

N°	TÍTULO	PÁGINA
Figura 1	Clasificación de los sistemas de control estructural	59
Figura 2	Clasificación de los disipadores de energía sísmica	60
Figura 3	Configuración de una estructura con sistemas de control pasivo	61
Figura 4	Modelo Bilineal del Comportamiento Histeretico de un Disipador Sísmico	67
Figura 5	Curvas fuerza-desplazamiento	73
Figura 6	Comportamiento Bilineal del DSBC	74
Figura 7	Incorporación de Disipadores sísmicos en edificaciones	81
Figura 8	Registros sísmicos en dos componentes (E-W y N-S), para analizar la estructura	95
Figura 9	Mapa de peligro sísmico del Perú, fuente norma técnica peruana E.030.	98
Figura 10	Espectro sísmico	100
Figura 11	Perfil I (Fusible)	101
Figura 12	Perfil Correspondiente al Brazo Metálico	105
Figura 13	Elementos disipadores de energía DSBC	106
Figura 14	Detalle del Disipador sísmico de bajo costo DSBC	107
Figura 15	Elementos disipadores de energía DSBC.	107
Figura 16	Elementos del Disipador sísmico de bajo costo DSBC.	107
Figura 17	Disipador sísmico de bajo de Bajo Costo DSBC	108
Figura 18	Montaje del disipador metálico de fluencia en la estructura auxiliar	110
Figura 19	Disipador de energía metálico de fluencia, en el pórtico de análisis	111
Figura 20	Desplazamientos en el disipador metálico de fluencia (DMF)	112
Figura 21	Detalles del desplazamiento lateral del pórtico con disipador y del pórtico sin disipador de energía	112
Figura 22	Disipador sísmico de bajo costo	114
Figura 23	El perfil I Difusor sísmico	115
Figura 24	Detalles del elemento disipador de sección I	115
Figura 25	Detalles de la unión entre las secciones I	116
Figura 26	Deformación a flexión de la sección I del disipador DSBC	116
Figura 27	Modelo bilineal del comportamiento sísmico del perfil I del disipador DSBC	118
Figura 28	Curva carga-desplazamiento	118
Figura 29	Instalación de disipadores DSBC en una estructura	119

Figura 30	Detalle del disipador sísmico de bajo costo DSBC en una estructura.	119
Figura 31	Dimensiones nominales del segmento de perfil de acero de sección I (mm).	121
Figura 32	Diagrama de esfuerzo deformación del acero	122
Figura 33	Respuesta esfuerzo deformación del acero estructural monotónico y cíclico	123
Figura 34	Curvas fuerza-desplazamiento	127
Figura 35	Vistas frontal y lateral del dispositivo disipador de energía metálico de fluencia	128
Figura 36	Configuración de la conexión entre los brazos metálicos y el disipador sísmico de bajo costo (DSBC)	129
Figura 37	Comportamiento bilineal del disipador sísmico de bajo costo.	133
Figura 38	Montaje y desmontaje del difusor de fluencia	135
Figura 39	Modelo Paramétrico del Disipador Sisimico de Bajo Costo para 06 Perfiles I, Vista lateral, vista frontal y Vista en Planta	137
Figura 40	Modelo Paramétrico del Disipador Sisimico de Bajo Costo para 06 Perfiles I, Vista Isométrica	137
Figura 41	Esfuerzo máximo para una carga de 20KN	138
Figura 42	Esfuerzo máximo para una carga de 40KN.	138
Figura 43	Esfuerzo máximo para una carga de 60KN	139
Figura 44	Esfuerzo máximo para una carga de 80KN	139
Figura 45	Esfuerzo máximo para una carga de 100KN	139
Figura 46	Esfuerzo máximo para una carga de 120KN	140
Figura 47	Desplazamiento para una carga de 20KN.	140
Figura 48	Desplazamiento para una carga de 40KN	140
Figura 49	Desplazamiento para una carga de 60KN	141
Figura 50	Desplazamiento para una carga de 80KN	141
Figura 51	Desplazamiento para una carga de 100KN	141
Figura 52	Desplazamiento para una carga de 120KN	142
Figura 53	Esfuerzo Máximo-Desplazamiento	143
Figura 54	Esfuerzo Máximo-Desplazamiento.	144
Figura 55	Fuerza - Esfuerzo Máximo	144
Figura 56	Modelo Paramétrico del Disipador Sisimico de Bajo Costo para 09 Perfiles I, Vista lateral, vista frontal y Vista en Planta.	145
Figura 57	Modelo Paramétrico del Disipador Sisimico de Bajo Costo para 09 Perfiles I, Vista Isométrica	145

Figura 58	Esfuerzo máximo para una carga de 20KN	146
Figura 59	Desplazamiento para una carga de 40KN	146
Figura 60	Desplazamiento para una carga de 60KN	146
Figura 61	Desplazamiento para una carga de 80KN	147
Figura 62	Desplazamiento para una carga de 100KN	147
Figura 63	Desplazamiento para una carga de 120KN	147
Figura 64	Desplazamiento para una carga de 20KN	148
Figura 65	Desplazamiento para una carga de 40KN	148
Figura 66	Desplazamiento para una carga de 60KN	148
Figura 67	Desplazamiento para una carga de 80KN	149
Figura 68	Desplazamiento para una carga de 100KN	149
Figura 69	Desplazamiento para una carga de 120KN	149
Figura 70	Desplazamiento-Fuerza.	150
Figura 71	Esfuerzo Máximo – Desplazamiento.	151
Figura 72	Fuerza – Esfuerzo Máximo	152
Figura 73	Modelo Paramétrico del Disipador Sisimico de Bajo Costo para 12 Perfiles I, Vista lateral, vista frontal y Vista en Planta	153
Figura 74	Modelo Paramétrico del Disipador Sisimico de Bajo Costo para 12 Perfiles I, Vista Isométrica	153
Figura 75	Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 20 KN.	154
Figura 76	Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 40 KN.	154
Figura 77	Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 60 KN	155
Figura 78	Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 80 KN.	155
Figura 79	Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 100 KN	155
Figura 80	Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 120 KN	156
Figura 81	Desplazamiento para la simulación con carga de 20 KN.	156
Figura 82	Desplazamiento para la simulación con carga de 40 KN	156
Figura 83	Desplazamiento para la simulación con carga de 60 KN.	157
Figura 84	Desplazamiento para la simulación con carga de 80 KN.	157
Figura 85	Desplazamiento para la simulación con carga de 100 KN.	157
Figura 86	Desplazamiento para la simulación con carga de 120 KN	158
Figura 87	Desplazamiento-Fuerza.	159
Figura 88	Esfuerzo Máximo-Desplazamiento	160

Figura 89	Fuerza - Esfuerzo Máximo	160
Figura 90	Modelo Paramétrico del Disipador Sisimico de Bajo Costo para 15 Perfiles I, Vista lateral, vista frontal y Vista en Planta	161
Figura 91	Modelo Paramétrico del Disipador Sisimico de Bajo Costo para 15 Perfiles I, Vista Isométrica.	161
Figura 92	Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 20 KN	162
Figura 93	Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 40 KN	162
Figura 94	Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 60 KN	162
Figura 95	Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 80 KN.	163
Figura 96	Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 100 KN	163
Figura 97	Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 120 KN	163
Figura 98	Desplazamiento para la simulación con carga de 20 KN.	164
Figura 99	Desplazamiento para la simulación con carga de 40 KN	164
Figura 100	Desplazamiento para la simulación con carga de 60 KN	164
Figura 101	Desplazamiento para la simulación con carga de 80 KN	165
Figura 102	Desplazamiento para la simulación con carga de 100 KN	165
Figura 103	Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 120 KN	165
Figura 104	Gráfico desplazamientos y Fuerzas	166
Figura 105	Esfuerzo Desplazamientos	167
Figura 106	Fuerza- Esfuerzo Máximos	168
Figura 107	Vista en perspectiva del nudo de soporte del disipador sísmico	171
Figura 108	Vista lateral, en planta y elevación del disipador sísmico de bajo costo	171
Figura 109	Perspectiva del disipador sísmico de bajo costo	172
Figura 110	Perspectiva del disipador sísmico de bajo costo sometido a carga sísmica en tracción lateral sísmico sometido a tracción del nudo	173
Figura 111	Perspectiva del disipador sísmico de bajo costo sometido a carga sísmica en tracción lateral sísmico sometido a tracción del nudo	174
Figura 112	Edificación convencional vista en planta	177
Figura 113	Edificación convencional vista en 3D	179
Figura 114	Edificación convencional (Vista en planta) de albañilería sistema estructural mixto (Albañilería confinada y pórticos de concreto armado	179
Figura 115	Edificación con dispositivos de disipación sísmica de bajo costo	180
Figura 116	Edificación con dispositivos de disipación sísmica de bajo costo, vista en planta	181

Figura 117	Edificación disipada vista en elevación donde se ubican los disipadores sísmicos.	181
Figura 118	Edificación disipada vista en elevación 3D	182
Figura 119	Muestra los detalles constructivos del DSBC, incluyendo sus componentes y dimensiones principales	191
Figura 120	Fuerza axial máxima (t) en la dirección X-X, sismo actuando en la dirección XX	195
Figura 121	Fuerza axial máxima en la dirección Y con el sismo actuando	196
Figura 122	Fuerza cortante máxima (t) en la dirección X-X, sismo actuando en la dirección X-X.	197
Figura 123	Fuerza cortante máxima (t) en la dirección Y-Y, sismo actuando en la dirección Y-Y.	198
Figura 124	Momento flector máximo (t-m) en la dirección X-X.	199
Figura 125	Momento flector máximo (t-m) en la dirección Y-Y sismo actuando	199
Figura 126	Fuerza axial máxima (t) en la dirección X-X, sismo actuando en la dirección X-X	201
Figura 127	Fuerza axial máxima en la dirección Y-Y con el sismo actuando.	201
Figura 128	Fuerza cortante máxima (t) dirección XX, análisis espectral.	202
Figura 129	Fuerza cortante máxima (t) en la dirección Y-Y, sismo actuando	203
Figura 130	El momento flector máximo (t-m) en la dirección X-X, sismo actuando en la dirección X-X	203
Figura 131	El momento flector máximo (t-m) en la dirección Y-Y, sismo actuando en la dirección Y-Y.	204
Figura 132	Desplazamiento máximo de la edificación social con la implementación del sistema de disipación sísmica en la dirección del sismo en X e Y del sistema con disipadores	206
Figura 133	Deriva del entrepiso (m), sismo actuando en la dirección X-X	207
Figura 134	Desplazamiento de entrepiso debido al sismo en la dirección Y-Y	209
Figura 135	Deriva de entrepiso en la dirección X-X, debido al sismo en la dirección X-X.	210
Figura 136	Deriva de entrepiso en la dirección Y-Y para el sismo actuando	211
Figura 137	Desplazamiento máximo del sistema de disipación en la dirección del sismo en X e Y, determinadas mediante análisis espectral	212
Figura 138	Desplazamiento de entrepiso (m) sismo actuando en la dirección X-X.	213
Figura 139	Desplazamiento de entrepiso con el sismo actuando en la dirección Y-Y.	214
Figura 140	Deriva de entrepiso la dirección X-X, sismo espectral actuando en la dirección X-X	215
Figura 141	Deriva de entrepiso la dirección YY, sismo espectral en la dirección YY.	216
Figura 142	Periodos de vibración	218

Figura 143	Modo de vibración fundamental N°01 de la edificación convencional empotrada	218
Figura 144	Modo de vibración fundamental N°02 de la edificación convencional empotrada.	219
Figura 145	Modo de vibración fundamental N°03 de la edificación convencional empotrada	219
Figura 146	Modo de vibración fundamental N°01 de la edificación disipada	220
Figura 147	Modo de vibración fundamental N°02 de la edificación disipada	220
Figura 148	Modo de vibración fundamental N°03 de la edificación disipada	221
Figura 149	En la fotografía se muestra, la fabricación del Dispositivo de disipación sísmica de bajo costo (DSBC)	257
Figura 150	Las fotografías muestran, el proceso de construcción e instalación del Dispositivo de disipación sísmica de bajo costo (DSBC), en estructura de concreto armado	258
Figura 151	Las fotografías muestran, el proceso de construcción e instalación de los soportes de unión entre dispositivo de disipación sísmica de bajo costo (DSBC), con la estructura de concreto	259
Figura 152	Las fotografías muestran, el montaje del dispositivo de disipación sísmica de bajo costo (DSBC),	260
Figura 153	Las fotografías muestran el dispositivo de disipación sísmica de bajo costo (DSBC), instalada en la estructura de concreto armado	261
Figura 154	Las fotografías muestran el dispositivo de disipación sísmica de bajo costo (DSBC), instalada en la estructura de concreto armado	262
Figura 155	Las fotografías muestran el dispositivo de disipación sísmica de bajo costo (DSBC), instalada en la estructura de concreto armado	263

CAPITULO XI
RESUMEN Y ABSTRACT

RESUMEN

La alta vulnerabilidad sísmica de las viviendas sociales en el Perú, particularmente en zonas de alto peligro como Huaraz, demanda soluciones técnicas innovadoras, accesibles y económicamente viables. Esta investigación tuvo como objetivo general evaluar, mediante simulación computacional, el incremento de la resiliencia sísmica de una vivienda social de tipología estructural mixta de 5 pisos en el distrito de Independencia, Huaraz, con la implementación de un Disipador Sísmico de Bajo Costo (DSBC), y analizar su viabilidad económica. El estudio, de tipo aplicado, enfoque cuantitativo y nivel explicativo, empleó un diseño experimental simulado. Se modeló la vivienda en software ETABS en dos escenarios (sin disipador y con disipador) para comparar fuerzas internas (axiales, cortantes y momentos) y derivas de entrepiso mediante análisis estático y dinámico modal espectral según la Norma Técnica Peruana E.030. El DSBC, un dispositivo histerético fabricado con perfiles I de acero A36, se dimensionó mediante un análisis paramétrico en Autodesk Inventor, seleccionándose una configuración de 9 perfiles I por su rigidez (121.21 kN/mm) y resistencia. Los resultados demostraron que la implementación del DSBC reduce significativamente las fuerzas internas en la dirección crítica (fuerza axial en 46.42%, cortante en 52.33%) y las derivas máximas de entrepiso hasta en un 42.86%, asegurando el cumplimiento de los límites normativos (≤ 0.007). El análisis de costos arrojó un valor de S/ 84.00 por m², siendo entre 3.9 y 7.8 veces más económico que sistemas convencionales como ADAS, Pall o Taylor. Se concluye que el DSBC constituye una solución técnica y económicamente viable para incrementar la resiliencia sísmica de viviendas sociales, democratizando el acceso a tecnologías de protección sísmica.

Palabras clave: resiliencia sísmica, disipador sísmico de bajo costo, vivienda social, análisis estructural, viabilidad económica.

ABSTRACT

The high seismic vulnerability of social housing in Peru, particularly in high-hazard zones such as Huaraz, demands innovative, accessible, and economically viable technical solutions. The general objective of this research was to evaluate, through computer simulation, the increase in seismic resilience of a 5-story social housing unit with a mixed structural typology in the district of Independencia, Huaraz, through the implementation of a Low-Cost Seismic Dissipator (LCSD), and to analyze its economic feasibility. This applied study, with a quantitative approach and explanatory level, employed a simulated experimental design. The housing unit was modeled in ETABS software under two scenarios (without and with the dissipator) to compare internal forces (axial, shear, and moments) and story drifts using linear static and modal spectral analysis according to the Peruvian Technical Standard E.030. The LCSD, a hysteretic device made of A36 steel I-profiles, was dimensioned through parametric analysis in Autodesk Inventor, selecting a configuration of 9 I-profiles for its stiffness (121.21 kN/mm) and strength. The results demonstrated that the implementation of the LCSD significantly reduces internal forces in the critical direction (axial force by 46.42%, shear by 52.33%) and maximum story drifts by up to 42.86%, ensuring compliance with regulatory limits (≤ 0.007). The cost analysis yielded a value of S/ 84.00 per m², being between 3.9 and 7.8 times more economical than conventional systems such as ADAS, Pall, or Taylor. It is concluded that the LCSD constitutes a technically and economically viable solution to increase the seismic resilience of social housing, democratizing access to seismic protection technologies.

Keywords: seismic resilience, low-cost seismic dissipator, social housing, structural analysis, economic feasibility.

CAPITULO XII
INTRODUCCION

12.1. Objeto de la investigación

12.1.1. Realidad genérica del problema

El problema central es la alta vulnerabilidad sísmica de las viviendas sociales, que pone en riesgo la vida de sus ocupantes y genera una amenaza de pérdidas materiales catastróficas ante terremotos severos. Investigar soluciones para este problema es crucial porque busca transformar estructuras vulnerables en resilientes, priorizando la seguridad humana y la protección del patrimonio de la población más vulnerable económicamente.

Alcance del problema:

- Internacional: La búsqueda de tecnologías sísmicas asequibles es un desafío global, especialmente en regiones sísmicas de países en desarrollo con alta densidad poblacional y limitados recursos (ej.: Chile, México, Turquía, Nepal). La resiliencia sísmica es un tema prioritario en la ingeniería estructural mundial.
- Nacional: El Perú se ubica en el Cinturón de Fuego del Pacífico, con un historial de sismos destructivos. A nivel nacional, gran parte de las edificaciones existentes, en especial las viviendas sociales y autoconstruidas, presentan deficiencias en su diseño y construcción sismorresistente, lo que incrementa el riesgo sísmico a escala nacional.
- Local: Huaraz en la Región Áncash, es una Zona propensa a movimientos telúricos y rápido crecimiento urbano. Muchas de sus edificaciones, incluidas las viviendas sociales, no cumplen plenamente con la normativa técnica actual (Norma E.030) o carecen de sistemas que mejoren su desempeño, haciéndolas particularmente vulnerables a un evento severo.

Causas:

Las principales causas que originan este problema son:

- Factores naturales: La ubicación geográfica del Perú en una zona de alta actividad tectónica.
- Factores técnico-económicos: El limitado presupuesto destinado a las viviendas sociales restringe el uso de tecnologías sísmicas avanzadas, consideradas tradicionalmente de alto costo.
- Factores normativos y de práctica constructiva: Carencia de criterios de diseño sismorresiliente (que busquen funcionalidad post-sismo) en la reglamentación vigente e incumplimiento de las normas técnicas sismorresistentes durante el proceso constructivo.

Consecuencias:

De materializarse un sismo severo en este contexto, las consecuencias serían:

- Pérdida de vidas humanas debido al colapso o daño severo de las estructuras.
- Pérdidas económicas y materiales cuantiosas por destrucción de viviendas.
- Desplazamiento y crisis social prolongada por la inhabilitación prolongada de las viviendas dañadas, generando un problema humanitario y de reconstrucción costosa.

Aporte de esta investigación:

Este estudio aporta específicamente el desarrollo y validación de un sistema de disipación sísmica de bajo costo, diseñado para ser implementado en viviendas sociales. Su contribución concreta es:

- Demostrar técnicamente (mediante modelamiento en ETABS) que es posible lograr una mejora drástica en el desempeño estructural (reducción de fuerzas, control de derivas) con una solución económica.

- Proporcionar una alternativa técnica viable que puede ser incorporada en normativas futuras o proyectos de vivienda social, acercando el concepto de resiliencia sísmica a un sector donde antes era considerado inviable por costo.
- Sentar las bases para el desarrollo físico del dispositivo y su futura validación experimental, orientado a proteger vidas y reducir pérdidas en zonas sísmicas críticas como Huaraz.

12.2. Formulación del problema

12.2.1. Problema general

¿En qué medida la implementación de un disipador sísmico de bajo costo, evaluada mediante simulación computacional, incrementa la resiliencia sísmica de una vivienda social de tipología estructural mixta de 5 pisos en el distrito de Independencia, Huaraz, y resulta económicamente viable su fabricación en comparación con sistemas convencionales?

12.2.2. Problemas específicos

PE₁: ¿Qué configuración geométrica (tipo y número de perfiles I) de un dispositivo de disipación de energía de bajo costo, seleccionada y dimensionada a partir de criterios de rigidez y resistencia, es la más adecuada para su implementación en el modelo estructural de la vivienda social?

PE₂: ¿Cuál es la reducción de las fuerzas internas (momentos flectores y cargas axiales) en los elementos críticos de la vivienda social, al implementar el disipador sísmico de bajo costo, cuantificada mediante análisis estático lineal y dinámico modal espectral según la normativa peruana E.030?

PE₃: ¿En qué porcentaje se reducen las derivas máximas de entrepiso de la vivienda social con la incorporación del disipador sísmico de bajo costo, evaluada mediante análisis estático lineal y dinámico modal espectral, como indicador cuantitativo del incremento en resiliencia sísmica?

PE₄: ¿Cuál es el costo de fabricación del disipador sísmico propuesto y en qué medida resulta económicamente factible como solución de bajo costo para viviendas sociales en el distrito de Independencia, Huaraz, en comparación con sistemas convencionales de disipación?

12.3. Objetivo de la investigación

12.3.1. Objetivo general

Evaluar, mediante simulación computacional, la resiliencia sísmica de una vivienda social de tipología estructural mixta de 5 pisos en el distrito de Independencia, Huaraz, con la implementación de un disipador sísmico de bajo costo, y analizar la viabilidad económica de su fabricación.

12.3.1. Objetivos específicos

OE₁: Seleccionar y dimensionar un dispositivo de disipación de energía de bajo costo, definiendo su configuración geométrica (número de perfiles I) a partir de criterios de rigidez y resistencia, para su implementación en el modelo estructural.

OE₂: Cuantificar, mediante análisis estático lineal y dinámico modal espectral según la normativa peruana E.030, la reducción de fuerzas internas (momentos flectores y cargas axiales) en los elementos críticos de la vivienda, comparando los escenarios con y sin disipador.

OE₃: Evaluar la reducción de las derivas máximas de entrepiso mediante análisis estático lineal y dinámico modal espectral, contrastando los resultados de los modelos con y sin disipador, como indicador cuantitativo del incremento en resiliencia sísmica.

OE₄: Determinar el costo de fabricación del disipador propuesto y compararlo con sistemas convencionales de disipación, analizando su factibilidad económica como solución de bajo costo para viviendas sociales en el distrito de Independencia, Huaraz.

12.4. Hipótesis de la investigación

12.4.1. Hipótesis general

La implementación de un disipador sísmico de bajo costo en una vivienda social de tipología estructural mixta de 5 pisos en el distrito de Independencia, Huaraz, incrementará significativamente su resiliencia sísmica respecto al sistema convencional sin disipador. Dicho incremento se demostrará mediante simulación computacional a través de la reducción de derivas máximas de entrepiso y fuerzas internas en elementos críticos. Además, el dispositivo presentará viabilidad económica para su fabricación en comparación con soluciones estructurales tradicionales.

12.4.2. Hipótesis específica

HE₁: Será posible definir una configuración geométrica (basada en el número y tipo de perfiles I) para un dispositivo de disipación sísmica de bajo costo que cumplirá con los criterios de rigidez y resistencia necesarios para ser implementado en el modelo estructural de la vivienda social.

HE₂: La implementación del disipador sísmico de bajo costo, con la configuración geométrica definida, reducirá significativamente las fuerzas internas (momentos

flectores y cargas axiales) en los elementos críticos de la vivienda, en comparación con el escenario sin disipador, según los resultados del análisis estructural.

HE3: La incorporación del disipador sísmico de bajo costo reducirá las derivas máximas de entrepiso por debajo de los límites establecidos en la Norma Técnica Peruana E.030, lo que representará un incremento cuantitativo en la resiliencia sísmica de la vivienda en comparación con el escenario sin disipador.

HE4: El costo de fabricación del disipador sísmico propuesto será significativamente inferior al de los sistemas convencionales de disipación sísmica, lo que lo convertirá en una alternativa económicamente factible para su implementación en viviendas sociales en el distrito de Independencia, Huaraz.

12.5. Justificación e importancia de la investigación

La presente investigación se justifica por la convergencia de un contexto de alta amenaza sísmica, una vulnerabilidad estructural crítica y una necesidad social urgente de soluciones accesibles. Su importancia radica en la propuesta de una alternativa técnica y económicamente viable para mejorar la resiliencia sísmica del parque edificatorio de viviendas sociales.

12.5.1. Contexto sísmico y vulnerabilidad estructural

El Perú se ubica en una región de alta actividad sísmica. La ciudad de Huaraz, en particular, presenta un riesgo elevado debido a la vulnerabilidad de sus edificaciones. Estudios específicos, como el de Sánchez (2017), concluyen que el nivel de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones aporricadas de concreto armado en Huaraz es "severo", estimando que, de ocurrir un sismo similar al de 1970, los daños serían

igualmente severos (p. 100-101). El diagnóstico estructural en el distrito de Independencia revela que muchas viviendas de concreto armado con sistemas aporticados presentan una rigidez insuficiente, incumpliendo los límites de deriva de entrepiso establecidos por la Norma Peruana E.030 y, por lo tanto, no garantizan el desempeño de resguardo de vida ante un sismo severo, con una alta probabilidad de colapso.

12.5.2. Impacto social y urbano

La alta vulnerabilidad sísmica identificada amenaza directamente la seguridad de la población y su patrimonio. Las consecuencias de un sismo severo no se limitarían a cuantiosas pérdidas materiales, sino que comprometerían numerosas vidas humanas. Esta problemática afecta con mayor severidad a la población de menores recursos, la cual no tiene acceso a tecnologías sísmicas avanzadas de alto costo. La investigación se orienta a este segmento social, con el objetivo último de proteger vidas y preservar el patrimonio inmobiliario de las comunidades más vulnerables, promoviendo indirectamente la inclusión de criterios de diseño sismorresiliente en las reglamentaciones de construcción de viviendas sociales.

12.5.3. Viabilidad económica

Se justifica la búsqueda de dispositivos de bajo costo como una medida preventiva que permita optimizar recursos. La implementación de estas soluciones busca que, en caso de daño por un sismo de elevada magnitud, los efectos sean reparables con una inversión mínima o moderada. El objetivo es lograr que la funcionalidad de la vivienda se

restablezca en el menor tiempo posible, evitando la reubicación prolongada de los ocupantes y las consiguientes pérdidas económicas y sociales asociadas.

12.5.4 Innovación técnica

La investigación propone el desarrollo y análisis de un dissipador sísmico de bajo costo con una geometría en forma de "X", fabricado con tubos cuadrados o circulares de acero estructural A36. El principio de disipación de energía se basa en la flexión inelástica de segmentos cortos de perfiles metálicos. Esta innovación busca dotar a las estructuras existentes de un comportamiento resiliente, mediante el control efectivo de los daños en sus componentes estructurales y no estructurales. La implementación de este dispositivo tiene como propósito específico controlar las distorsiones de entrepiso, asegurar el cumplimiento del desempeño de resguardo de vida y, en última instancia, mitigar el riesgo sísmico de manera eficiente y accesible.

12.6. Limitaciones de la investigación

Nuestro proyecto de investigación cuenta con una limitación que viene hacer la falta de laboratorios especializados para las pruebas correspondientes de los dispositivos de disipación de bajo costo, que nos permitan determinar las propiedades bilineales del dispositivo de disipación sísmica de bajo costos razón por la cual recurriremos al modelamiento mediante Softwares de modelación paramétrica y de análisis estructural, que nos permite realizar dichos análisis. Con respecto a la información referente al tema no se encuentra fácilmente. Para abordar esta limitación, se empleará el software de diseño paramétrico Autodesk Inventor para realizar una simulación por elementos finitos del dissipador de bajo costo. Este análisis permitirá: Identificar las zonas de máxima

concentración de tensiones, verificar que se mantengan dentro del límite elástico del material, determinar la distribución del factor de seguridad en toda la geometría y Cuantificar los desplazamientos y deformaciones bajo condiciones de carga operativa"

Yanes (2020) en su investigación sobre el diseño de un puente grúa establece que “los cálculos de análisis estructural serán llevados a cabo mediante el software de diseño Autodesk Inventor, que, en base al método de elementos finitos, obtendremos como resultado los valores máximos de deformación y esfuerzo para los tres casos de carga anteriormente mencionados, posteriormente se compararán los resultados obtenidos con el fin de determinar el caso más desfavorable para la estructura” (p. 21).

CAPÍTULO XIII
MARCO TEORICO

13.1 Antecedentes.

En la provincia de Huaraz, ubicada en el departamento de Ancash, no se han llevado a cabo estudios específicos sobre la “**Resiliencia sísmica de Viviendas sociales mediante la Implementación de un dispositivo de Disipación sísmica de bajo costo**”, No obstante, para este estudio, se han considerado como base investigaciones anteriores realizadas tanto en Perú como en otros países.

13.1.1 Antecedentes internacionales

Gutiérrez y Ayala (2022) presentaron una metodología probabilista basada en el método recursivo PERT para estimar variables fundamentales de la resiliencia sísmica: costos de reparación, tiempo de reparación, tiempo de recuperación y número de trabajadores necesarios para la rehabilitación. El esquema propuesto, consistente con las metodologías del PEER y el MCEER, introduce condiciones realistas como el uso de cuadrillas de trabajo con número limitado de trabajadores, superando las simplificaciones de los esquemas de reparación en serie o paralelo del FEMA P-58. La metodología fue ilustrada mediante la evaluación de un edificio de concreto reforzado de siete niveles, demostrando su utilidad para incrementar la resiliencia sísmica de edificaciones (Gutiérrez & Ayala, 2022).

González Calva, Niño Lázaro y Ayala Milián (2024) desarrollaron un procedimiento probabilista para estimar la pérdida de funcionalidad y los tiempos de recuperación en edificaciones, aplicándolo a escuelas públicas de México. La metodología consideró explícitamente los tiempos de demora (inspección, ingeniería, movilización, financiamiento) y la influencia de los elementos no estructurales, demostrando que su omisión puede llevar a una sobreestimación de la resiliencia. A través de un análisis costo-

beneficio, los autores propusieron una clasificación de resiliencia (Alta: $R \geq 99\%$; Media: $99\% > R > 92\%$; Baja: $R \leq 92\%$) basada en valores objetivo. La aplicación a escuelas en Puebla reveló que, ante un sismo severo (M7.66), solo el 49% de las estructuras presentarían resiliencia alta, evidenciando la necesidad de intervenciones de mejora (González Calva et al., 2024).

Motobe y Takahashi (2026) estudiaron el cálculo del tiempo de inactividad (*downtime*) considerando secuencias sísmicas en la evaluación del desempeño resiliente de edificios de concreto armado. A diferencia de los marcos convencionales que se centran en un único sismo principal, su propuesta incorpora explícitamente el deterioro acumulado causado por sismos moderados durante la vida útil de la estructura. Mediante el análisis de modelos de 5, 7 y 10 pisos con diferentes niveles de ductilidad, los resultados mostraron que el deterioro acumulado incrementa sistemáticamente los índices de daño y el tiempo de inactividad. Los modelos dúctiles limitaron efectivamente este incremento, concluyendo que modelar el deterioro acumulado y optimizar las fases de reparación es esencial para una evaluación fiable de la resiliencia (Motobe & Takahashi, 2026).

Banda, Guevara, Navarro y Zárte (2021) analizaron el funcionamiento, desempeño y empleo de disipadores histeréticos metálicos (ADAS, TADAS, BRB) como método de reducción de la respuesta sísmica en estructuras. La investigación describió los sistemas de control pasivo, la metodología de análisis para estructuras con disipadores, y evaluó el comportamiento sísmico mediante estudios de caso (Edificio Izazaga en México, Centro Médico Santa Clara en California). Los resultados demostraron que los disipadores metálicos absorben cerca del 30% de la energía de entrada del sismo y que su implementación mejora significativamente el comportamiento estructural. El estudio concluyó que los disipadores por fluencia presentan el mejor comportamiento, y que su

costo de implementación (1-10% del costo directo) se justifica por la reducción de daños post-sismo (Banda et al., 2021).

Villalba, Guaygua, López y Verduga (2020) evaluaron la vulnerabilidad sísmica de viviendas informales autoconstruidas en Alóag, Ecuador, utilizando metodologías simplificadas (FEMA 154, GNDT), análisis lineal y no lineal (*pushover*), y análisis de resiliencia mediante la metodología FEMA P-58 con el software PACT. Los resultados mostraron que las viviendas de 2 y 3 pisos presentaban derivas inelásticas que superaban los límites normativos (hasta 2.90% y 3.85%). Posterior al reforzamiento de dos viviendas representativas mediante encamisado con placas de acero (inversión <5% del costo total), los costos de reparación se redujeron y se alcanzó la clasificación "CERTIFIED" según el sistema de valoración USRC. El estudio concluyó que inversiones menores al 5% permiten alcanzar desempeños sismorresistentes adecuados (Villalba et al., 2020).

Cabañes (2012) analizó los problemas de interacción suelo-estructura en cimentaciones y muros de contención, centrándose en la influencia de los fenómenos de despegue y deslizamiento. Mediante análisis teóricos y de elementos finitos, demostró que la rotación y traslación de las cimentaciones influyen directamente en las deformaciones de la losa de cimentación, dependiendo de la esbeltez de la estructura. Los hallazgos destacaron la importancia de considerar los desplazamientos permanentes sísmicos en el diseño de muros para garantizar la estabilidad contra el vuelco y deslizamiento, sugiriendo la inclusión de estos parámetros en el proceso de diseño sísmico para mejorar la resiliencia estructural (Cabañes, 2012).

Mostafaei, Ashoori Barmchi y Bahmani (2025) realizaron un análisis comparativo de la resiliencia sísmica y sostenibilidad entre estructuras de acero y concreto armado, considerando edificios de 10, 20 y 30 pisos. Mediante análisis de ciclo de vida (LCA),

análisis de costo de ciclo de vida (LCC) y análisis dinámico incremental (IDA), los resultados mostraron que las estructuras de concreto presentan mayores impactos ambientales (carcinógenos, ecotoxicidad, acidificación), mientras que las estructuras de acero demostraron un desempeño sísmico superior (mayor ductilidad, capacidad de colapso hasta un 15% más de aceleración espectral). El estudio concluyó que la selección entre ambos sistemas debe guiarse por prioridades del proyecto, destacando la importancia de un enfoque multicriterio (Mostafaei et al., 2025).

Al-Janabi, Al-Jeznawi, Yang, Bernardo y Andrade (2025) realizaron una revisión exhaustiva de los sistemas de aislamiento y disipación de energía para infraestructura sostenible, analizando códigos de diseño internacionales (ASCE 7, Eurocode 8, GB 50011, NBCC, NZS 1170.5) y prácticas basadas en desempeño. La revisión identificó brechas críticas en los estándares globales y protocolos de prueba, destacando la necesidad de enfoques armonizados. Los sistemas de disipación (dampers viscosos, de fricción, metálicos) y de aislamiento (LRB, HDRB, FPS) demostraron ser tecnologías esenciales para reducir daños estructurales, proteger componentes no estructurales y asegurar la funcionalidad post-sismo, contribuyendo a la sostenibilidad y resiliencia de las infraestructuras (Al-Janabi et al., 2025).

Bertero, Bertero y Filippou (2021, 2022) presentan un aporte fundamental al campo de la evaluación probabilística de la performance sísmica. Su tesis doctoral y el artículo derivado proponen un método innovador denominado Evaluación de la Performance Orientada a la Demanda (DOA, por sus siglas en inglés), que aborda una limitación crítica de los enfoques tradicionales basados en la intensidad (IBA). Demuestran que la selección de registros sísmicos para la evaluación debe considerar las características específicas de la estructura, utilizando un modelo "predictor" simplificado. Este método, validado en un

edificio de 8 pisos en California, permite una evaluación cualitativa y cuantitativa precisa de objetivos de desempeño con un costo computacional manejable, estableciendo un marco robusto para el diseño basado en el desempeño y la resiliencia.

En la misma línea de perfeccionamiento metodológico, **Meyers Angulo (2023)** explora la caracterización de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones residenciales mediante técnicas de aprendizaje automático. Su tesis doctoral aplica análisis de conglomerados y redes neuronales para identificar patrones tipológicos en las ciudades de Murcia (España) y Valdivia (Chile). Este enfoque permite una clasificación más eficiente y precisa de las tipologías edificatorias, incorporando modificadores urbanos que afectan el comportamiento sísmico, sentando las bases para una evaluación de vulnerabilidad más ágil y detallada a escala urbana, un aspecto crucial para la planificación de la resiliencia a nivel comunitario.

Centrándose en la evaluación de la resiliencia, **Ramos Cruz (2020)** desarrolla una metodología basada en la distorsión permanente de entrepiso (RIDR) para estructuras de acero. Su trabajo propone ecuaciones predictivas para relacionar la distorsión máxima con la permanente, un paso esencial para evaluar la reparabilidad de una estructura después de un sismo. Al introducir funciones de recuperación basadas en técnicas de reparación y costos asociados, su investigación ofrece una herramienta práctica para estimar la pérdida de funcionalidad y los tiempos de recuperación, dimensiones centrales del concepto de resiliencia sísmica.

Desde una perspectiva centrada en edificaciones esenciales, **Ruiz García et al. (2020)** evalúan la resiliencia sísmica de edificios escolares típicos en México. Mediante modelado analítico en OpenSees, que reproduce el comportamiento histerético de columnas "cortas" propensas a falla por corte, los autores comparan la respuesta de

edificios de uno y tres niveles. Sus resultados demuestran que los edificios de mayor altura concentran la demanda de distorsión en la planta baja, presentando un mayor riesgo de daño severo y, por lo tanto, una menor resiliencia debido al mayor tiempo requerido para su rehabilitación. Este estudio subraya la importancia de considerar fallas locales específicas en la evaluación de la resiliencia.

La investigación de Flores Leonard (2021), titulada "Modelado numérico de disipadores de energía sísmica de bajo costo", constituye un estudio experimental y numérico que tuvo como objetivo evaluar el desempeño de disipadores sísmicos del tipo Contraventeos Restringidos al Pandeo (CRP) fabricados como dispositivos de bajo costo, mediante la comparación entre resultados experimentales de laboratorio y modelos numéricos desarrollados en SAP2000. El diseño de investigación combinó la fabricación y ensayo de quince especímenes con el modelado de una estructura simple sometida a excitaciones sísmicas reales del terremoto de 2017. Los resultados demostraron que las demandas de ductilidad obtenidas numéricamente eran compatibles con las capacidades observadas experimentalmente en los disipadores, concluyendo que estos dispositivos resultan adecuados para proteger estructuras de baja altura ante sismos de gran intensidad, cumpliendo con su función de ser elementos fácilmente reemplazables que concentran el daño sísmico.

El estudio de Rodríguez Nevárez (2021), titulado "Estimación de la respuesta sísmica de un marco 2D de 15 niveles con disipadores viscosos o histeréticos, utilizando tres métodos de análisis distintos", constituye una investigación cuantitativa de diseño comparativo que tuvo como objetivo evaluar el desempeño sísmico de un marco de 15 niveles en la zona geotécnica III de la Ciudad de México bajo tres configuraciones: sin sistemas de protección, con Contraventeos Restringidos al Pandeo (CRP) y con

amortiguadores viscosos, analizadas mediante métodos estático, modal espectral y dinámico no lineal. Los resultados demostraron que la estructura sin dispositivos excedió los límites normativos de distorsión, mientras que los CRP redujeron desplazamientos pero incrementaron las fuerzas cortantes. Los amortiguadores viscosos, en cambio, redujeron todas las demandas estructurales, concluyendo que son una alternativa eficaz para el mejoramiento sísmico al concentrar el daño en elementos reemplazables sin aumentar significativamente la rigidez de la estructura.

El estudio de Salbitano Fernández (2021), titulado "Diseño sísmico basado en desplazamiento de un edificio de 9 niveles con disipadores de energía del tipo histerético", constituye una investigación de desarrollo metodológico que tuvo como objetivo implementar y ejemplificar un método de diseño sísmico orientado al control de desplazamientos para edificios de baja altura, particularmente enfocado en el uso de disipadores de energía histeréticos, con especial atención en los Contraventeos Restringidos al Pandeo (CRP). La investigación se fundamentó en el método propuesto por Priestley et al. (2007) y consideró contribuciones relevantes de Terán y Vinte (2009), Segovia (2010), Guerrero et al. (2016), Segovia y Ruiz (2017) y Orellana et al. (2021), particularmente en la selección de parámetros de diseño, determinación de estados límite y comportamiento inelástico. El trabajo desarrolló un ejemplo numérico completo donde se dimensionaron los elementos estructurales, demostrando la aplicabilidad de la metodología de diseño basado en desempeño para crear estructuras sismo-resistentes, costo-eficientes y ambientalmente viables en el contexto específico de la Ciudad de México.

13.1.2 Antecedentes Nacionales

Arriola (2024) evaluó la resiliencia sísmica de viviendas autoconstruidas en la zona X de Huaycán (Lima) mediante pruebas de resistencia a la compresión del concreto, análisis no lineal y análisis dinámico incremental (IDA). Los resultados revelaron que la resistencia del concreto era un 30% inferior al estándar normativo E030, y que las estructuras de 2 y 4 pisos presentaban una tasa de colapso estimada del 20.5% bajo condiciones sísmicas extremas. Además, se determinó que las construcciones más antiguas o sin supervisión técnica tienen un 45% más de probabilidad de experimentar fallas estructurales. El estudio introdujo un índice de resiliencia sísmica como herramienta cuantitativa para priorizar intervenciones, proporcionando un marco aplicable para evaluar y mejorar la seguridad de viviendas en zonas vulnerables (Arriola, 2024).

Villarreal, Huamán y Sopla (2024) desarrollaron una investigación que aplicó la metodología FEMA P-58 para estimar la resiliencia sísmica de una vivienda multifamiliar de 6 niveles en el distrito de Santiago de Surco, Lima. Mediante análisis estático y dinámico no lineal, y utilizando el software PACT, evaluaron los indicadores de resiliencia: costo de reparación (7% del costo total), tiempo de reparación (5.3 meses) y número de heridos (3 personas). El estudio concluyó que el diseño estructural basado en la metodología FEMA P-58 optimiza la capacidad de resiliencia sísmica, logrando reducciones del 9% en costos de reparación y 2.2 meses en tiempo de recuperación en comparación con el diseño convencional (Villarreal et al., 2024).

Vargas Díaz (2025) analizó la influencia de la interacción suelo-estructura (ISE) en la resiliencia sísmica de una edificación dual de concreto armado en Moquegua. Utilizando modelos dinámicos de ISE (Barkan, Ilichev, Sargsian y Norma Rusa) y

análisis en ETABS, los resultados mostraron que considerar la flexibilidad del suelo incrementa los periodos de vibración y las derivas de entrepiso entre un 50% y 100%, mientras que reduce las fuerzas internas y momentos actuantes hasta un 20%. El estudio concluyó que la inclusión de la ISE permite un análisis sísmico más realista, optimizando el diseño estructural y evitando sobredimensionamientos, especialmente en suelos blandos (Vargas Díaz, 2025).

El estudio de **Godiño Poma (2024)** constituye un antecedente nacional directo y de gran relevancia. Su trabajo aplica un TMDI en edificios de la provincia de Huancayo, logrando reducciones significativas en las respuestas estructurales y destacando la efectividad del dispositivo. Al enfocarse en la viabilidad de una tecnología de disipación, sienta un precedente para la investigación de soluciones de bajo costo en el contexto peruano.

En el ámbito de la normativa y el diseño, **Bertero (2021)** realiza un análisis exhaustivo de la amenaza sísmica en Buenos Aires, Argentina, una región históricamente considerada de baja sismicidad. Sin embargo, sus conclusiones son de gran relevancia para Perú. Al demostrar la insuficiencia de las prescripciones reglamentarias existentes debido a la contribución de sismos lejanos y los efectos de sitio, este trabajo subraya la necesidad crítica de actualizar y adaptar los códigos de construcción a las condiciones locales. Su metodología para desarrollar ecuaciones de predicción del movimiento del suelo específicas para un sitio es una herramienta valiosa para contextos de alta complejidad sísmica como el peruano.

Meyers Angulo (2023) incluye en su estudio comparativo a la ciudad de Valdivia (Chile). Su análisis de vulnerabilidad revela que, a pesar de una peligrosidad sísmica muy superior, la vulnerabilidad de las edificaciones en Valdivia es significativamente

menor que en Murcia. Esta diferencia se atribuye a la sucesión de eventos sísmicos importantes en Chile, que ha forzado la destrucción de estructuras antiguas y la predominancia de un diseño sismorresistente moderno, en contraste con la gran cantidad de edificios antiguos sin consideración sísmica en Murcia. Este hallazgo tiene una implicación directa para el contexto peruano, destacando la urgencia de implementar y hacer cumplir normativas sismorresistentes rigurosas y actualizadas.

Ramos Cruz (2020) y **Ruiz García et al. (2020)**, aunque desarrollados en el contexto de Estados Unidos y México respectivamente, ofrecen antecedentes metodológicos fundamentales. El primero proporciona las bases para evaluar la recuperación post-sismo a partir de distorsiones permanentes, un indicador clave de la resiliencia. El segundo demuestra cómo la evaluación detallada del comportamiento histerético de fallas específicas (como la columna corta) puede revelar diferencias significativas en la resiliencia de estructuras aparentemente similares. Ambas metodologías son aplicables y de gran utilidad para el estudio de viviendas sociales en Perú, donde se pueden presentar configuraciones estructurales y fallas típicas.

Finalmente, **Prado Mata (2022)**, con su estudio sobre los modelos de plasticidad en concreto reforzado, establece la importancia de utilizar modelos inelásticos avanzados para una estimación precisa de la resiliencia. Su conclusión de que la fidelidad del modelo afecta directamente la estimación del tiempo de recuperación es un llamado de atención crucial para cualquier investigación que busque evaluar el desempeño post-sismo de estructuras, incluyendo las viviendas sociales peruanas, donde la representación precisa del comportamiento inelástico es vital.

Cano Castaño, H. A. (2020). Evaluación del coeficiente de disipación de energía R , en edificaciones de concreto reforzado con disipadores histeréticos metálicos triangulares

tipo TADAS, ubicados en zona de amenaza sísmica alta [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UN. <https://repositorio.unal.edu.co/>

Esta investigación evaluó el coeficiente de disipación de energía (R) en cuatro edificaciones de concreto reforzado de 4, 8, 12 y 16 pisos, equipadas con disipadores histeréticos metálicos tipo TADAS y ubicadas en una zona de amenaza sísmica alta en Colombia. El estudio se centró en la modelación numérica de los dispositivos y su validación con datos experimentales. Los resultados demostraron que la incorporación de los TADAS incrementó significativamente la capacidad estructural, con un aumento promedio del 50% en la cortante basal en el punto de desempeño y una reducción de los desplazamientos de techo superior al 40% para sismos de diseño. Asimismo, se observó una disminución sustancial de la plastificación en los elementos de la estructura principal, concentrando el daño en los disipadores. El análisis económico, aunque no fue el eje principal, mostró que el costo del sistema de disipación representó un porcentaje del costo total de la estructura, sugiriendo que el uso de estos dispositivos puede ser una alternativa viable para reducir los costos de reparación post-sismo. Este antecedente es de suma relevancia, ya que demuestra que los disipadores metálicos pueden mejorar la resiliencia sísmica y, además, proporciona una base metodológica para el dimensionamiento y modelación de dispositivos de bajo costo, como los propuestos en la presente tesis a base de perfiles I.

La investigación de **Ancasi Huayra (2019)**, titulada "Propuesta de un método para el diseño de edificios con disipadores pasivos de energía utilizando registros sísmicos peruanos", constituye un estudio de desarrollo metodológico que tuvo como objetivo formular un procedimiento de diseño específico para estructuras con disipadores

pasivos utilizando registros sísmicos peruanos. El estudio empleó un diseño de investigación aplicada que combinó análisis dinámicos no lineales con la caracterización de movimientos sísmicos locales. Los resultados permitieron establecer parámetros de diseño optimizados para las condiciones sísmicas particulares del Perú, concluyendo que la metodología propuesta mejora la eficiencia del diseño sísmico al considerar explícitamente las características de los registros peruanos y el comportamiento no lineal de los disipadores, ofreciendo una herramienta práctica para el diseño de edificios sismorresistentes con tecnología de disipación de energía en el contexto peruano.

La investigación de **Martínez Najarro (2025)**, titulada "Influencia del uso de disipadores SLB en la respuesta sísmica del sistema estructural del Colegio Privado San Basilio en el distrito de Ate, Lima", constituye un estudio cuantitativo de tipo correlacional-causal con diseño cuasi-experimental que tuvo como objetivo determinar la influencia de diferentes distribuciones de disipadores SLB en la respuesta sísmica del colegio, utilizando el software ETABS y métodos de análisis estático, dinámico, pushover y tiempo-historia. Los resultados demostraron que la estructura original presentaba irregularidad torsional y derivas excesivas (hasta 0.011892), incumpliendo la normativa E.030. Tras la implementación de disipadores SLB, se logró una reducción del 50.07% en el análisis dinámico lineal (deriva de 0.00458) y del 50.70% en el análisis no lineal tiempo-historia (deriva de 0.005863), manteniéndose el nivel de desempeño de seguridad de vida pero mejorando significativamente otros parámetros de respuesta sísmica. Se concluyó que los disipadores SLB representan una solución efectiva para mejorar el comportamiento sísmico de estructuras de albañilería confinada.

La investigación de **Pure Aguinaga (2025)**, titulada "Análisis comparativo del comportamiento sísmico de disipadores de fluencia Shear Link Bozzo y de fricción Quaketek en una edificación multifamiliar, Arequipa 2024", constituye un estudio cuantitativo de tipo comparativo que tuvo como objetivo determinar la efectividad de dos tecnologías disipadoras -los históricos SLB y los de fricción Quaketek- en la reducción de daños estructurales y mejora de la seguridad sísmica mediante simulaciones numéricas. Los resultados demostraron que los disipadores SLB alcanzaron mayor efectividad en reducción de desplazamientos laterales (43% vs 39%) y disipación de energía sísmica (52% vs 47%), mientras que los Quaketek mostraron mejor desempeño en reducción de aceleraciones y confort ocupacional. Se concluyó que los SLB son más adecuados para zonas de alta sismicidad donde prioriza el control de desplazamientos, mientras los Quaketek son recomendables cuando el confort y reducción de aceleraciones son determinantes, estableciendo así criterios de selección tecnológica para el diseño sísmico en el contexto arequipeño.

13.2 Marco conceptual

13.2.1 Edificaciones social

En la ciudad de Huaraz, es común encontrar edificaciones de 3 a 5 pisos construidas con sistema estructural mixto (Albañilería confinada y pórticos de concreto armado), un sistema estructural típico en zonas de recursos limitados. Este método utiliza muros de ladrillo, reforzados con vigas y columnas de concreto, Estas viviendas surgen como una alternativa económica y práctica para familias de bajos ingresos.

Esta tipología constructiva es característica de la vivienda autoconstruida o de promoción privada de bajo costo en regiones como Áncash. El contexto peruano está marcado por una alta tasa de autoconstrucción sin supervisión técnica: "En el Perú, el 60 % de las edificaciones son producto de la autoconstrucción, y en Lima, 7 de cada 10 viviendas se levantan al margen de la normativa técnica" (Gestión, 2024, párr. 5). Aunque este dato es nacional, refleja una realidad que se replica en ciudades como Huaraz, donde el crecimiento urbano no siempre ha ido acompañado de la debida formalidad y asesoría profesional. Esto convierte a las viviendas de sistema mixto en un objeto de estudio prioritario para la investigación en resiliencia sísmica, dado que representan una porción significativa del stock habitacional con vulnerabilidad potencial.

13.2.2 Definición de Peligro Sísmico

El peligro sísmico se define como cualquier fenómeno físico asociado con un sismo que puede producir efectos adversos en las actividades humanas, incluyendo el sacudimiento del terreno, fallamiento geológico, licuefacción, deslizamientos y otros fenómenos asociados (Ocola, 2005, p. 85). Este término puede ser descriptivo o evaluado cuantitativamente, dependiendo de la situación y los fines del estudio.

13.2.3 Contexto Sísmico del Perú

El Perú se encuentra ubicado en una de las regiones con mayor potencial sísmico de Sudamérica, formando parte del Cinturón de Fuego del Pacífico. Según Cardenas Rengifo (2025), "el territorio peruano se encuentra ubicado en una de las regiones con mayor potencial sísmico de Sudamérica, cuya actividad sísmica ha sido estudiada ampliamente por varios investigadores" (p. 91). Esta actividad está relacionada con el proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, "el mismo que se ejecuta con una velocidad relativa promedio de 8 cm/año y está presente a lo largo de todo el borde occidental de la región sudamericana" (Cardenas Rengifo, 2025, p. 91).

13.2.4 Mapa de amenazas por sismos en el Perú

El mapa de peligro sísmico probabilístico del Perú, elaborado en el marco del Proyecto Piloto financiado por la Comunidad Europea a los países de la Comunidad Andina de Naciones, muestra los valores de aceleración máxima para una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años. Según Ocola (2005), este mapa "muestra los más altos valores de peligrosidad a lo largo de la costa central y sur del país: 0.5-0.7 g; en la costa norte 0.4-0.5 g de aceleración. En la sierra, las aceleraciones máximas probables están entre 0.2-0.4 g, en el Llano Amazónico y Selva Alta, las aceleraciones máximas varían entre 0.05 y 0.2 g" (p. 83).

Este mapa sirvió de base para la zonificación sísmica de la Norma Técnica Peruana E.030 "Diseño Sismorresistente", que divide el territorio en cuatro zonas con factores Z de 0.45, 0.35, 0.25 y 0.10, correspondientes a las zonas 4, 3, 2 y 1 respectivamente. El factor Z "se interpreta como la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años" (Ocola, 2005, p. 104).

13.2.4.1 El Sismo del 31 de Mayo de 1970: Impacto en Huaraz

El sismo más significativo que ha afectado a Huaraz en la historia reciente es el del 31 de mayo de 1970. Cardenas Rengifo (2025) describe este evento: "El 31 de mayo de 1970, ocurrió un sismo frente a las costas del departamento de Ancash, cuya magnitud fue 7.8 Mw; este sismo provocó el desprendimiento de un bloque hielo de la cornisa norte del nevado Huascarán, produciendo una avalancha que literalmente sepultó el poblado de Yungay; se estimaron hasta 70,000 fallecidos y 50,000 desaparecidos" (p. 94).

Ocola (2005) complementa esta información señalando que "el terremoto fue de magnitud MS 7.7 en la escala de Richter, se produjo a las 20h 23m 28.7s GMT (3.23 pm hora local) frente a la costa norte del Perú; cuyos parámetros epicentrales según el U.S.G.S. fueron: Latitud: 9.176° S, Longitud: 78.823° W, Profundidad: 43 km" (p. 100).

13.2.4.2 Intensidades y Daños en Huaraz

La distribución de intensidades del sismo de 1970 fue particularmente relevante para entender el comportamiento sísmico de Huaraz. Ocola (2005) indica que "debido a su distancia epicentral, a Huaraz le correspondía una intensidad de VII, pero el centro urbano de la misma, alcanzó una intensidad de VIII debido a la amplificación sísmica causada por las condiciones locales del suelo que puede atribuirse a la presencia de agua subterránea muy superficial" (p. 101).

Los daños en Huaraz fueron catastróficos. Cardenas Rengifo (2025) señala que el sismo "devastó ciudades enteras como la ciudad capital del departamento de Ancash, Huaraz, cuyos daños irreparables fueron del 80% de las edificaciones existentes" (p. 34).

13.2.4.3 Condiciones Locales del Suelo y su Influencia en el Peligro Sísmico de Huaraz

Un aspecto fundamental para comprender el peligro sísmico en Huaraz son las condiciones geotécnicas locales. El estudio de microzonificación sísmica realizado por el CISMID (1992) revela características importantes:

"La ciudad de Huaraz se desarrolla sobre depósitos aluviales y fluvio-glaciares, con una napa freática poco profunda, determinando condiciones desfavorables del suelo ante los sismos severos, como fue comprobado con el Sismo del 31 de Mayo de 1970" (CISMID, 1992, p. 16).

Los estudios gravimétricos realizados después del sismo de 1970 determinaron que "las profundidades del basamento rocoso son variables desde 0 a 120 m. Las más superficiales corresponden a los sectores de Pedregal, San Francisco y Nicrupampa; en cambio las más profundas corresponden al casco urbano (zona de mayor porcentaje de daños en edificaciones por efectos del sismo)" (CISMID, 1992, p. 16).

Las condiciones desfavorables del subsuelo de Huaraz se resumen en:

"Estratos de suelos de gran potencia que amplificaron las ondas sísmicas de la roca base"

"La composición del subsuelo de Huaraz es muy variada, como resultado de diversos procesos geodinámicos que participaron en su formación"

"Presencia muy superficial de la napa freática"

"Debido a su reciente formación el subsuelo de Huaraz se encuentra en estado poco compacto" (CISMID, 1992, p. 16)

13.2.4.4 Tipo de Suelo según la Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" para el Distrito de Independencia, Huaraz

La Norma Técnica Peruana E.030 "Diseño Sismorresistente" clasifica los suelos en cuatro

tipos principales:

S1: Roca o suelos muy rígidos

S2: Suelos intermedios

S3: Suelos flexibles o con estratos de gran espesor

S4: Condiciones excepcionales (requiere estudio especial)

Cada tipo de suelo tiene asociados factores de suelo (S) y períodos que definen la plataforma del espectro (Tp y TL).

Determinación del Tipo de Suelo para el Distrito de Independencia

Analizando las características descritas para Huaraz:

Potencia de los estratos: El estudio indica profundidades del basamento de hasta 120 m en la zona central (casco urbano), lo que indica suelos de gran espesor.

Períodos predominantes: Los valores medidos entre 0.30 y 0.40 segundos para la zona central corresponden a suelos con cierta flexibilidad.

Composición: Suelos heterogéneos compuestos por materiales fluvio-glaciares (mezcla de cantos, gravas angulares, arena y arcilla).

Condiciones de compactación: Estado poco compacto, según el estudio.

Presencia de napa freática: Nivel freático superficial (entre 1.5 y 3 m).

Conclusión sobre el Tipo de Suelo: Considerando las características descritas, el suelo

del distrito de Independencia en Huaraz corresponde a un perfil de suelo tipo S2 (Suelos intermedios) según la clasificación de la Norma E.030, con las siguientes precisiones:

En la zona central del casco urbano (Independencia), con profundidades de basamento de hasta 120 m y períodos entre 0.30-0.40 seg, corresponde claramente a S2.

13.2.5 Resiliencia:

Gauto (2007) “En este trabajo, se define a la resiliencia como la capacidad de las personas, familias y comunidades para hacer frente a las amenazas presentes (en cualquier ámbito), superarlas y salir fortalecidas de la experiencia” (p.241).

"Resiliencia es la capacidad del ser humano de sobreponerse a sus dificultades y al mismo tiempo aprender de sus errores" (Ocola, 2005, p. 84).

13.2.6 Resiliencia Sísmica:

Alcaráz (2017) “La resiliencia sísmica representa la capacidad del sistema para soportar un evento extremo y posteriormente recuperarse a un nivel de funcionalidad satisfactorio” (p.59).

"Tecnologías confiables de control de daños, como el aislamiento de base y los sistemas de disipación de energía, se han establecido firmemente en los últimos 15 años. También se han desarrollado métodos mejorados para el detallado de componentes no estructurales. Al mismo tiempo, los avances en la simulación por computadora, basados en un mejor conocimiento del comportamiento estructural, permiten ahora a los ingenieros predecir de manera realista el comportamiento de los edificios en grandes terremotos. Incorporar un diseño mejorado para minimizar las demandas sísmicas y aumentar la capacidad de los componentes no estructurales puede proteger los activos de

los propietarios además de proporcionar seguridad de vida" (Almufiti & Willford, 2013, p. 5).

13.2.7 Definición de un mecanismo resiliente:

Según Hernández y Tena (2018), los códigos de diseño sismorresistentes a nivel mundial, establecen como objetivo correcto que después de un terremoto que la estructura quede severamente afectada y prácticamente en desuso o no se pueda utilizar durante largos periodos de tiempo mientras dure su reforzamiento; un mecanismo resiliente es la que establecerse como objetivo lograr la ductilidad máxima en los dispositivos de disipación de energía, mientras que los demás elementos estructurales se mantienen en el rango de linealidad elástica constituyéndose como una segunda barrera de inelasticidad si se supere la acción de los dispositivos (p.50).

13.2.8 Diseño sísmico basado en resiliencia:

Tena (2020) Los ingenieros dedicados al diseño sismorresistente, a la investigación e involucrados en los comités de los reglamentos de diseño tenemos que cambiar de mentalidad y movernos hacia la meta de un diseño resiliente ante el sismo máximo probable o creíble, donde se garantice que las estructuras no sólo preserven las vidas de los que las ocupan, sino que el daño máximo que se tolere sea fácilmente reparable, permitiendo su ocupación inmediata o casi inmediata.

13.2.9 Indicadores Cuantitativos de la Resiliencia Estructural

Derivas de entrepiso: Las derivas de entrepiso constituyen uno de los indicadores más importantes del daño estructural y no estructural. Representan los desplazamientos

laterales relativos entre pisos consecutivos, expresados como porcentaje de la altura de entrepiso.

El documento REDI establece límites específicos para las derivas como parte de los criterios de diseño resiliente:

"McCormick et al. (2008) sugieren un límite superior de 0.5%. Además, ATC-58 sugiere que para una deriva residual del 0.5%, hay una probabilidad insignificante de que la estructura necesite ser demolida. Se espera que la realineación para derivas residuales menores al 0.5% sea difícil e innecesaria" (Almufiti & Willford, 2013, p. 22).

Nivel de Fuerzas Internas

De acuerdo con Almufiti y Willford (2013), el nivel de fuerzas internas en los elementos estructurales es un indicador fundamental de la respuesta sísmica. En el documento REDi™ (Iniciativa de Diseño Sísmico basado en Resiliencia para la Próxima Generación de Edificios), los autores proponen que los elementos estructurales deben ser diseñados para permanecer esencialmente elásticos, lo cual "puede lograrse utilizando propiedades de resistencia esperadas y sin factores de reducción de resistencia para elementos dúctiles" (p. 22).

13.2.10 Tipología de los dispositivos de protección frente a sismos

Pure (2024) explica que los sistemas de protección sísmica están diseñados para mitigar los efectos de los terremotos sobre las estructuras, reduciendo el daño y mejorando la seguridad. Estos sistemas pueden ser clasificados en dos categorías principales: sistemas de aislamiento sísmico y sistemas de disipación de energía, donde cada tipo tiene enfoques y tecnologías específicas para enfrentar las fuerzas sísmicas (Palma Romero,

2020, como se citó en Pure, 2024, p. 26).

Villarreal Castro y Díaz La Rosa Sánchez (2016) explican que:

Los disipadores de energía son dispositivos, como su nombre lo indica, que disipan grandes cantidades de energía, asegurándose, de esta manera, que otros elementos estructurales no sean sobre exigidos, lo que podría ocasionar importantes daños en la estructura. Estos dispositivos captan la fuerza sísmica a través del comportamiento plástico de metales dúctiles, la fricción entre superficies en contacto bajo presión, las deformaciones de corte de polímeros, la pérdida de energía en fluidos viscosos circulando a través de orificios y así evitan que el edificio reciba todo el impacto, generando una reducción en las deformaciones de la estructura. (p.8).

En la imagen 1a se muestran los distintos métodos para proteger los edificios de los terremotos, y en la imagen 1b aparecen los diferentes dispositivos que absorben la fuerza de los sismos.

Figura 1

Clasificación de los sistemas de control estructural.

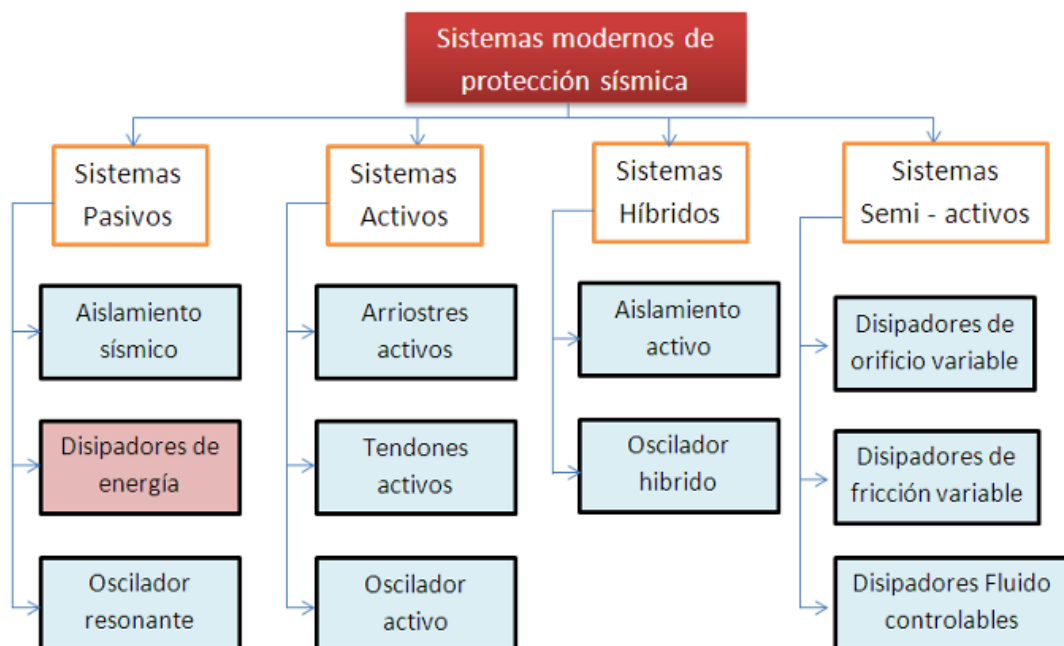
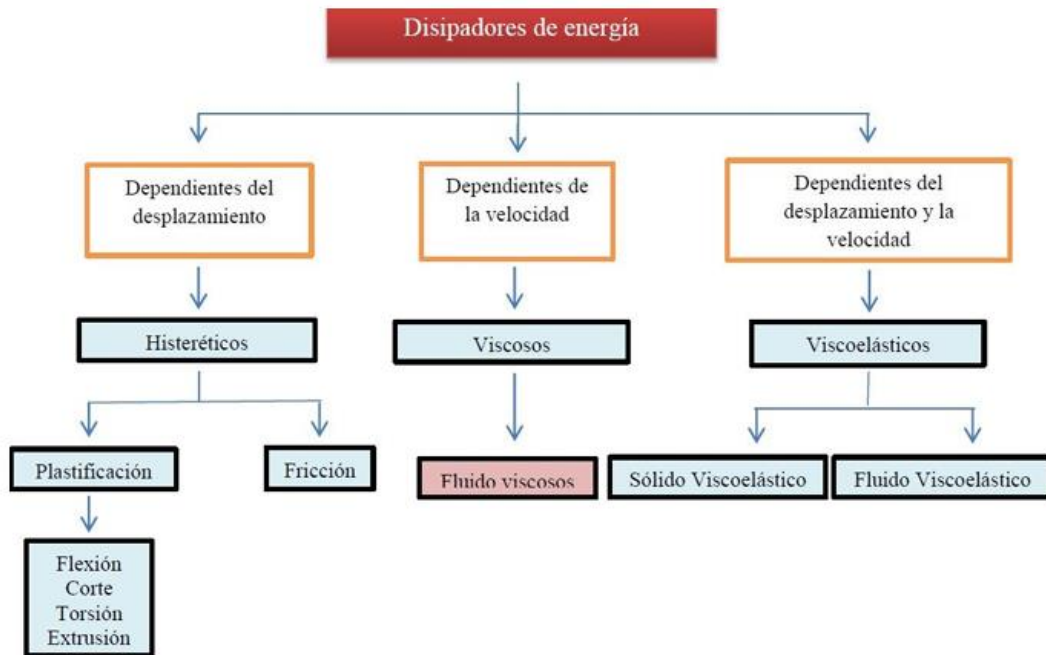


Figura 2

Clasificación de los disipadores de energía sísmica.



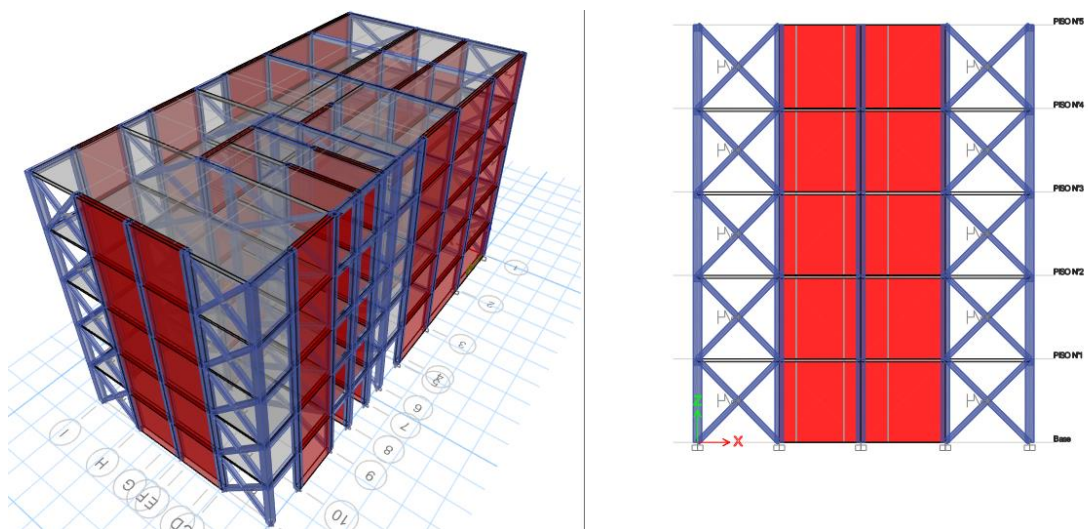
Los sistemas de control pasivo se basan en elementos que responden de forma inercial a la acción sísmica y a diferencia del resto de sistemas no precisan de aporte energético para funcionar. Los sistemas activos, semiactivos e híbridos están formados por actuadores de fuerza y/o elementos pasivos, controlador a tiempo real y dispositivos sensores instalados en la estructura. Los sistemas pasivos se clasifican en sistemas de aislamiento de base, de disipación de energía y en osciladores resonantes. Los aisladores de base, situados sobre la cimentación y soportando al edificio, desacoplan parcialmente al edificio del suelo, disminuyendo la energía de entrada y por consiguiente su respuesta estructural. Los disipadores de energía no alteran la energía de entrada, que depende básicamente del período fundamental y de la masa del edificio, manifestando su eficiencia maximizando la energía disipada y disminuyendo la respuesta estructural. Los sistemas inerciales acoplados tales como el Tuned Mass Dampers (TMD) introducen masas adicionales, normalmente situadas en la parte alta de los edificios, cuya excitación

absorbe parte de la energía cinética introducida por el sismo. Las propiedades más valiosas de los sistemas pasivos son su robustez, no dependen de fuentes de energía, son mecánicamente simples y su costo es competitivo. Existen actualmente cientos de edificios construidos en el mundo con estos sistemas. (p.24)

Pure (2024) explica que los sistemas de control pasivo se basan en dispositivos mecánicamente simples que responden de forma inercial a la acción sísmica y, a diferencia del resto de sistemas, son más económicos y no dependen de fuentes de energía para funcionar. Asimismo, el autor indica que estos sistemas se clasifican en sistemas de aislamiento sísmico, en disipadores de energía y en osciladores resonantes. Finalmente, señala que el aislamiento sísmico se basa en el hecho de que es posible separar la estructura de los movimientos del suelo mediante la incorporación de elementos flexibles entre la estructura y su cimentación, disminuyendo notablemente la energía de entrada y por consiguiente su respuesta estructural (Boza Farfán & Galán Tirapo, 2013, como se citó en Pure, 2024, p. 29).

Figura 3

Configuración de una estructura con sistemas de control pasivo.



13.2.11 Disipadores metálicos

Esta investigación se enfoca específicamente en este tipo de amortiguadores sísmicos, por lo que el análisis pondrá especial atención en estas características particulares.

Orellana (2024) describe que los disipadores histeréticos aumentan la rigidez y resistencia de la estructura, modificando sus propiedades dinámicas, y que "es conveniente que los disipadores presenten un comportamiento no lineal ante eventos sísmicos intensos para garantizar la disipación de energía" (p. 21).

Tabla 1

Tipo de disipadores de energía pasivos.

Tipo de Disipador	Ventajas	Desventajas
Fluido Viscoso	<ul style="list-style-type: none"> - Se activa con bajos desplazamientos. - Mínima fuerza de restauración. - Modelación simplificada cuando el amortiguamiento es lineal. - Se activa con bajos desplazamientos. 	<p>Posibilidad de fugas de líquido en las juntas.</p>
Sólido Viscoelástico	<ul style="list-style-type: none"> - Proporciona fuerza restauradora. - Comportamiento lineal, lo que simplifica su modelamiento. - Estabilidad en el lazo de histéresis. - Fiabilidad a largo plazo. 	<p>Escasa ductilidad del material o como propiedades del material son función de la frecuencia y la temperatura.</p> <p>Posible separación del material viscoelástico.</p> <p>Deben ser cambiados después de un sismo intenso.</p> <p>Comportamiento no lineal, lo que requiere análisis complejos.</p>
Metálico (Histerético)	<ul style="list-style-type: none"> - Insensible a la temperatura ambiente. - Emplea materiales y comportamientos familiares para el ingeniero estructural. 	

Fricción	<ul style="list-style-type: none"> - Alta disipación de energía por ciclo. - Insensible a la temperatura ambiente. 	<p>Las condiciones de la interfaz de deslizamiento pueden cambiar con el tiempo.</p> <p>Comportamiento altamente no lineal.</p> <p>Puede generar desplazamientos permanentes si el mecanismo no incluye fuerza restauradora.</p>
----------	--	--

13.2.1.2 Disipadores metálicos de plastificación

Segovia (2016) señalo:

Utilizan el mecanismo de fricción sólida que se desarrolla por el deslizamiento relativo entre si entre dos cuerpos sólidos sometidos a presión, la fuerza de fricción es igual a la fuerza normal por el coeficiente de rozamiento. Generalmente la curva histórica es de forma rectangular similar a las características de fricción tipo Coulomb. Un sistema típico es el mostrado por (Pall and Marsh, 1982) donde el dispositivo es colocado en un sistema de brazos diagonales (Fig. 2.9), pero también pueden ser colocados entre la parte superior de un muro y a viga. Cuando se produce un desplazamiento lateral en el sistema, la tensión y compresión que se produce en las diagonales generan esfuerzo de deslizamiento en el dispositivo. (p. 16)

Tabla 2

Tipo de disipadores metálicos, instalación, ventajas y desventajas.

Tipo de Disipador	Instalación	Ventajas	Desventajas
BRB ((Barra de Pandeo Restringido)	Se instala como elemento diagonal en pórticos. Conexiones en extremos con placas de unión.	<ul style="list-style-type: none"> - Excelente capacidad de deformación - Estable bajo carga cíclica - Alto amortiguamiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo relativamente alto - Requiere control de calidad especializado - Peso significativo

ADAS (Added Damping and Stiffness)	Se monta en diagonales o entre vigas. Conexiones atornilladas o soldadas.	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia comprobada - Geometría optimizada para deformación uniforme - Buen comportamiento histerético 	<ul style="list-style-type: none"> - Espacio requerido considerable - Concentración de esfuerzos en vértices
HDS (Honeycomb Damper System)	Se instala en diagonales o entre elementos estructurales. Conexiones con placas.	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil fabricación - Alta eficiencia energética - Comportamiento estable - Múltiples superficies de yield - Fabricación simple 	<ul style="list-style-type: none"> - Limitada capacidad de deformación - Fabricación compleja - Costo elevado - Difícil reparación - Capacidad de deformación limitada
SSD (Steel Slit Damper)	Se coloca entre vigas y columnas o en diagonales. Conexiones atornilladas.	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo - Fácil reemplazo - Comportamiento predecible 	<ul style="list-style-type: none"> - Baja ductilidad en algunos diseños - Vida cíclica reducida
TADAS (Triangular Shaped ADAS)	Se monta en marcos o entre elementos estructurales. Conexiones en base y vértice.	<ul style="list-style-type: none"> - Deformación uniforme distribuida - Excelente comportamiento cíclico - Alta disipación energética 	

13.2.13 Clasificación de los Disipadores de Energía por su Comportamiento

Disipadores Dependientes del Desplazamiento

Estos dispositivos se activan gracias a los desplazamientos relativos entre los extremos del dispositivo, inducidos por la deformación de la estructura durante un sismo. Disipan energía a través de la deformación plástica de sus componentes metálicos (histeréticos) o mediante la fricción entre superficies de contacto (Corporación de Desarrollo Tecnológico - Cámara Chilena de la Construcción, 2012).

Disipadores Histeréticos (o de Fluencia Metálica): Funcionan mediante la plastificación o fluencia de metales, generalmente acero, debido a su alta ductilidad, bajo costo y propiedades predecibles (Villarreal Castro & Oviedo Sarmiento, 2009). Un ejemplo es el disipador Shear Link Bozzo (SLB), que utiliza la fluencia por cortante para absorber energía. Su comportamiento es histérico, estable y permite una reducción significativa de las fuerzas inducidas por un sismo, concentrando la ductilidad en puntos estratégicos de la estructura (Bozzo et al., 2019; Orocollo Cauna, 2024; Ramírez Machado, 2020).

Disipadores de Fricción: Estos dispositivos convierten la energía cinética del movimiento sísmico en calor mediante el deslizamiento y la fricción controlada entre superficies de contacto. Son altamente eficientes en la absorción de energía por ciclo y su comportamiento es insensible a la temperatura ambiente. Un ejemplo es el disipador Quaketek, que utiliza la fricción para reducir las aceleraciones y desplazamientos en la estructura, protegiendo los elementos principales (Puma Gonzales, 2021; Quiroz Gordillo, 2020).

Disipadores Dependientes de la Velocidad

La fuerza que desarrollan estos dispositivos es principalmente una función de la velocidad relativa entre sus extremos (ASCE/SEI 7-16, citado en Villarreal Castro & Díaz la Rosa Sánchez, 2016).

Disipadores de Fluido Viscoso: Reducen simultáneamente los esfuerzos y las deflexiones de la estructura, ya que su fuerza varía con la velocidad y actúa fuera de fase con los esfuerzos estructurales (López Ortiz, 2018). Son muy efectivos en una amplia gama de aplicaciones (Marra et al., 2023).

Disipadores Viscoelásticos: Exhiben tanto rigidez como amortiguamiento. Están compuestos por materiales viscoelásticos (como copolímeros) que disipan energía cuando se les somete a deformación por corte. Su comportamiento puede depender de la frecuencia y la temperatura (Villarreal Castro & Oviedo Sarmiento, 2009; Montgomery, 2021).

13.2.14 Dispositivos Histéreticos

Sistemas de control pasivo: Los sistemas de control pasivo son de carácter reactivo y su comportamiento depende únicamente de las propiedades con las que sean fabricados e instalados. La acción de estos dispositivos se genera como respuesta al movimiento de la edificación, por lo que no requiere de una fuente externa de potencia (Gómez et al., 2008; Villarreal Castro & Oviedo Sarmiento, 2009, como se citó en Cano Castaño, 2020, p. 27).

Disipadores histeréticos (metálicos): Son un tipo de sistema de control pasivo cuyo funcionamiento consiste en la disipación de energía a través de la fluencia del disipador,

la cual se puede presentar por cortante, torsión o flexión. Son uno de los tipos más importantes por su economía, funcionalidad y la facilidad de caracterizar mecánicamente el acero que los compone (Buckle, 2000; Gómez et al., 2008; Oviedo Amézquita & Duque Uribe, 2006, como se citó en Cano Castaño, 2020, p. 33).

13.2.14.1 Modelamiento del comportamiento Histórico del Disipador

Modelo Elastoplástico

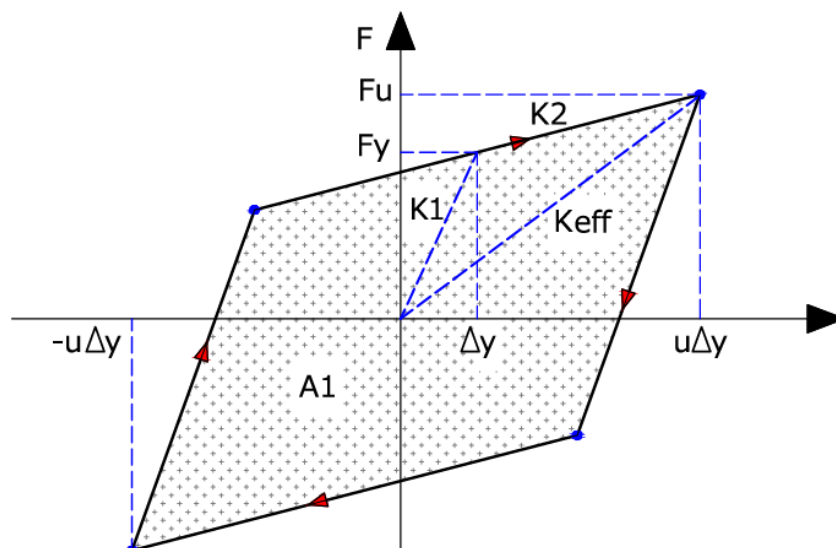
El modelo elastoplástico representa la forma más simple de modelar el comportamiento histerético, donde el material se vuelve completamente plástico tras alcanzar la fluencia, presentando rigidez nula en el rango plástico (Sobarriba Gómez, 2012, como se citó en Cano Castaño, 2020, p. 39).

Modelo Bilineal

El modelo bilineal es una modificación del modelo elastoplástico en el que, tras alcanzar el punto de fluencia, el material experimenta una reducción en su rigidez, lo que conlleva a un aumento de resistencia durante su trabajo en el rango plástico, permitiendo considerar el efecto del endurecimiento por deformación del material (Sobarriba Gómez, 2012, como se citó en Cano Castaño, 2020, p. 40).

Figura 4

Modelo bilineal del comportamiento histerético de un disipador sísmico.



Este modelo considera una rigidez inicial k_1 , rigidez postfluencia k_2 , la deformación de fluencia y , la deformación máxima u_y , fuerza de fluencia F_y y cortante ultimo F_u . Se puede observar que el amortiguamiento equivalente es representado por el área A_1 y la rigidez efectiva del ciclo es representada por la tangente de la recta K_e las características de la respuesta del sistema no lineal pueden entonces ser deducidas analizando la respuesta del sistema lineal. Esto genéricamente se refiere al método de linealización equivalente.

13.2.14.2 Definición de las Variables del Modelo Bilineal

Los parámetros que definen el comportamiento bilineal de los disipadores ADAS y TADAS se calculan con las siguientes variables:

n : Número de placas. Cantidad de placas metálicas que componen el disipador. Este factor es multiplicativo, ya que la fuerza total y la rigidez del disipador completo son la suma de la contribución de cada placa individual. Los desplazamientos (Δ_y), en cambio, son independientes..

f_y : Limite Elastico del material. Es la tensión a la que el acero del disipador comienza a deformarse plásticamente, es decir, de manera irreversible. Sus unidades típicas son kg/cm^2 , MPa o T/m^2 .

E : Módulo de elasticidad del material. Es una constante que refleja la rigidez del material en su rango elástico, relacionando la tensión con la deformación unitaria. Para el acero, es un valor conocido y constante (aproximadamente $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ o $2.1 \times 10^7 \text{ T/m}^2$).

h : Altura de la placa. Es la dimensión vertical de una placa del disipador. En las figuras del documento original, se representa como la distancia entre los puntos de conexión superior e inferior del disipador.

t : Espesor de la placa. Es el grosor de una placa individual. Esta dimensión es crítica, ya

que la rigidez y la resistencia son proporcionales a t^2 y t^3 , lo que significa que pequeños cambios en el espesor tienen un gran impacto en el comportamiento del disipador.

b_1 : Ancho máximo de la placa. Es el ancho de la placa del disipador ADAS en sus extremos (la parte más ancha de la forma de "X" o reloj de arena).

b : Ancho de la placa. Es el ancho en la base del triángulo que forma la placa del disipador.

F_y : Fuerza de fluencia. Es la carga lateral máxima que el disipador puede soportar en su rango elástico. Al alcanzar este punto, el disipador empieza a fluir y a disipar energía de manera significativa.

Δ_y : Desplazamiento de fluencia. Es el desplazamiento lateral relativo que experimenta el disipador en el momento que alcanza su fuerza de fluencia (F_y). Marca el final del rango elástico.

k_1 : Rigidez elástica. Es la pendiente de la primera rama del modelo bilineal (desde el origen hasta el punto de fluencia). Representa la resistencia que ofrece el disipador a ser deformado antes de fluir.

F_u : Fuerza última. Es la fuerza máxima que puede alcanzar el disipador bajo un modelo de comportamiento elasto-plástico perfecto o con una ligera rigidez post-fluencia. Para fines de diseño simplificado, se considera el límite superior de su capacidad.

Fuerza de Fluencia ADAS	Desplazamiento de Fluencia ADAS	Rigidez Elastica ADAS	Fuerza Ultima ADAS
$F_y := \frac{n \cdot f_y \cdot b_1 \cdot t^2}{3 \cdot h}$	$\Delta_y := \frac{f_y \cdot h^2}{2 \cdot E \cdot t}$	$K_{DDE} := \frac{2 \cdot n \cdot E \cdot b_1 \cdot t^3}{3 \cdot h^3}$	$F_u := \frac{n \cdot f_y \cdot b_1 \cdot t^2}{2 \cdot h}$
Fuerza de Fluencia TADAS	Desplazamiento de Fluencia TADAS	Rigidez Elastica TADAS	Fuerza Ultima TADAS
$F_y := \frac{n \cdot f_y \cdot b_1 \cdot t^2}{6 \cdot h}$	$\Delta_y := \frac{f_y \cdot h^2}{E \cdot t}$	$K_{DDE} := \frac{n \cdot E \cdot b_1 \cdot t^3}{6 \cdot h^3}$	$F_u := \frac{n \cdot f_y \cdot b_1 \cdot t^2}{4 \cdot h}$

Villareal (2008) establece:

Los sistemas histeréticos, por definición, disipan energía a través de un mecanismo que es independiente del rango de aplicación de la carga. En este grupo están incluidos los disipadores metálicos que utilizan la plastificación de metales como el mecanismo disipativo y los disipadores friccionantes que generan calor a través de la fricción de deslizamiento. (p.58)

13.2.14.3. Métodos basados en amortiguamiento equivalente

Coefficiente de amortiguamiento equivalente y rigidez

Villareal (2008) establece:

las fórmulas de rigidez y amortiguamiento viscoso equivalente, para disipadores histeréticos de fluencia se muestran en la tabla 3. (p.72)

Tabla 3

Disipadores histeréticos (fluencia).

Formulación constitutiva elastoplástica

- Amortiguamiento efectivo
o nominal $C_d = 0$, $d_0 < d_y$

- Rigidez linealizada del
sistema. $k_d = k_e$, $d_0 < d_y$

Modelo : Bilineal

-Amortiguamiento
equivalente $C_d = \frac{4(k_e - k_h)d_y(d_0 - d_y)T}{(2\pi^2 \cdot d_0^2)}$, $d_0 \geq d_y$

Modelo: Polinomial

-Amortiguamiento
equivalente

$$C_d = \frac{4d_y p_y T \left[\frac{r-1}{r+1} \right] \left(\frac{p_0}{p_y} \right)^{r+1}}{(2\pi^2 \cdot d_0^2)}$$

-Rigidez equivalente.

$$k_d = \frac{p_0}{d_0}, \quad \frac{d_0}{d_y} = \frac{p_0}{p_y} + \alpha \left(\frac{p_0}{p_y} \right)^r$$

Comportamiento y Capacidad de absorber y disipar energía del disipador Histeretico.

Las fichas técnicas de fabricantes de planchas de acero A36, fabricadas de acuerdo a las normas ASTM A36 establecen las siguientes propiedades mecánicas:

Tabla 4

Propiedades mecánicas de materiales de fabricación del DSBC.

Limite de fluencia σ_y	250 Mpa.
Esfuerzo ultimo σ_B	400 Mpa.
Módulo de Young E	2,1414x10 ⁶ kgf/cm ²
Alargamiento en rotura	20 %

Fuente: Fichas técnicas Aceros Arequipa.

A partir de la geometría del elemento y de las propiedades del material indicadas en la tabla 4, es posible obtener los valores de la carga y el desplazamiento al inicio de la fluencia (Q_y y δ_y). Para ello se asume que las alas del perfil ensayado se encuentran perfectamente fijas en sus extremos (como si estuvieran empotradas). Con esa condición, la rigidez lateral en rango elástico, llamada K_e , se calcula mediante la ecuación que se presenta más abajo. Esta rigidez depende de la altura del alma del perfil (medida hasta los radios de curvatura) y de la inercia a flexión de su sección transversal tipo I. Y esta inercia, a su vez, se determina a partir del

ancho (l) y del canto (altura total) de la sección..

$$I := \frac{l_1 \cdot t_w^3}{12} \quad K_e := \frac{12 \cdot E \cdot I}{h_1^3} \quad K_e := \frac{E \cdot l_1 \cdot t_w^3}{h_1^3}$$

El valor de la rigidez del dissipador sísmico se determinará como:

$$K_{e\ tot} = K_{e1} + K_{e2} + K_{e3} + K_{e4} + K_{e5} + K_{e6} + K_{e7} + K_{e8} + K_{e9} = 9K_{e1},$$

$$K_{e\ tot} = (108EI/h^3)$$

El momento plástico de inicio de fluencia (M_y) para una sección de acero caracterizada por las dimensiones l y t_w Viene dado por:

$$M_y := \frac{f_y \cdot t_w^2 \cdot l_1}{4}$$

Por equilibrio se obtiene la carga de fluencia Q_y

$$Q_y := \frac{f_y \cdot t_w^2 \cdot l_1}{2 \cdot h_1}$$

Utilizando la rigidez elástica K_e de la ecuación de K_e y la carga de fluencia Q_y de su ecuación, se obtiene el desplazamiento de fluencia:

$$\delta_y := \frac{Q_y}{K_e} \quad \delta_y := \frac{f_y \cdot h_1^2}{2 \cdot t_w \cdot E}$$

- De manera similar, la fuerza máxima aparente Q_B , asociada a la tensión última del acero σ_B , se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_B := \frac{\sigma_B \cdot t_w^2 \cdot l_1}{2 \cdot h_1}$$

En el caso planteado se obtiene, los valores mostrados en la tabla. 5

Tabla 5

Parámetros a obtener aplicando las ecuaciones.

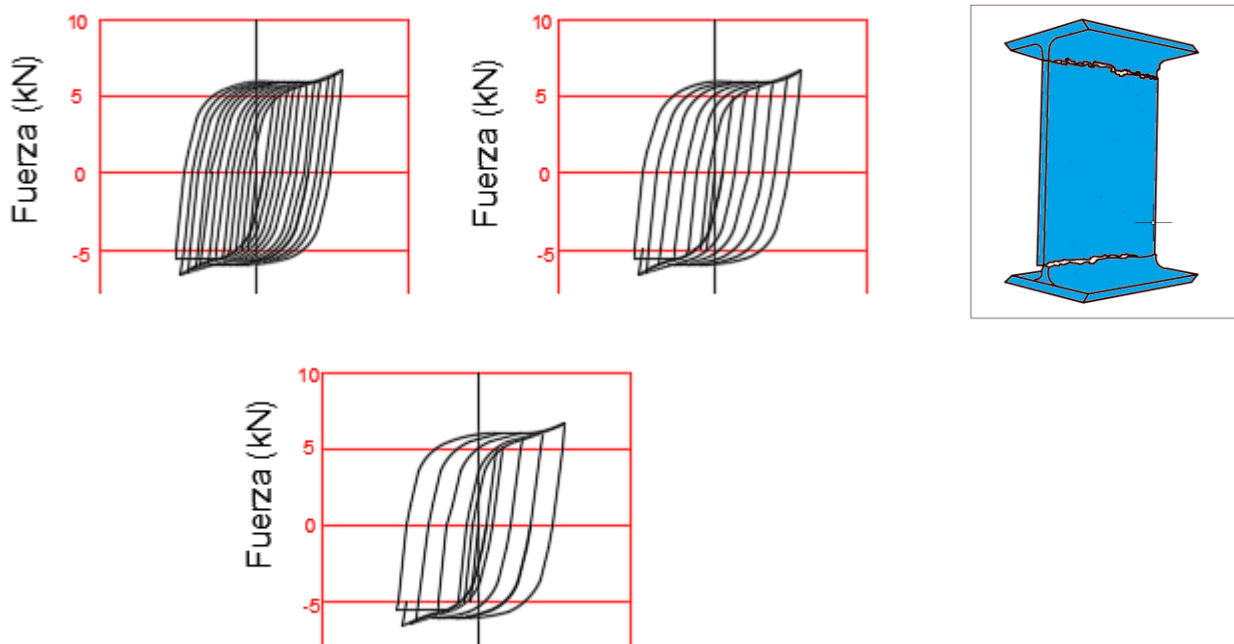
Q_y	Carga que inicia la deformación permanente
Q_B	Fuerza pico aparente
δ_y	Deformación en el punto de cedencia
K_e	Rigidez elástica

Curva fuerza versus deformación

La figura (24) presenta las curvas fuerza-desplazamiento obtenidas experimentalmente. Los resultados sugieren que el disipador sísmico exhibe un comportamiento histerético estable y prácticamente simétrico tanto en carga positiva como negativa, con una transición suave entre los regímenes elástico y plástico. Por su parte, la figura (25) muestra el patrón de rotura y la deformación característica del disipador DSBC..

Figura 5

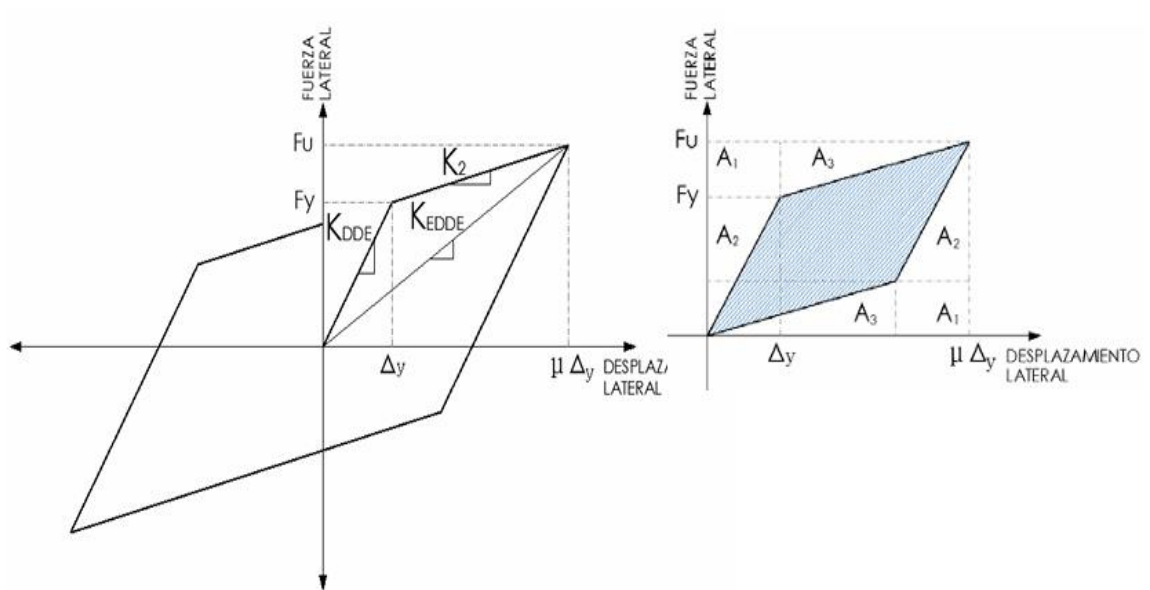
Curvas fuerza-desplazamiento



Se presenta el modelo numérico bilineal empleado para representar el comportamiento histerético de un disipador de energía. Este modelo idealiza la relación fuerza-desplazamiento del dispositivo mediante una curva lineal por tramos que captura las fases de elasticidad, fluencia y endurecimiento (o plastificación perfecta) del elemento. Dicha representación es fundamental en el análisis no lineal de estructuras equipadas con sistemas de control pasivo, ya que permite simular de manera eficiente la disipación de energía aportada por el dispositivo durante eventos sísmicos.

Figura 6

Comportamiento bilineal del disipador sísmico de bajo costo.



Para calcular cuánta energía pueden absorber los disipadores metálicos que trabajan por fluencia, se partió de un enfoque sencillo: se asumió que su comportamiento frente a la disipación es similar al de un amortiguador viscoso. Con esta hipótesis, se determinó un valor representativo o "equivalente" del coeficiente de amortiguamiento, tratando el dispositivo como si fuese puramente viscoso.

$$C_{d1} = \left[\frac{2\Delta y (K_{DDE_1} - K_2) (\mu \Delta y - \Delta y) T}{\pi^2 (\mu \Delta y)^2} \right]_1 \dots$$

Donde:

$\mu \Delta y$: Distorsión lateral

Δy : Desplazamiento umbral de fluencia

μ : Capacidad de deformación plástica del disipador

T : Modo fundamental de vibración

K_{DDE_1} : Rigidez en el rango elástico (K_e)

$$\Delta y = \frac{f_y h^2}{2E_t} \cong \frac{\sigma_y h^2}{2Et_w} \dots$$

de igual manera,

$$K_{1,2} = \frac{F_u - F_y}{\Delta_u - \Delta_y}$$

μ = Capacidad de deformación plástica del disipador

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$$

Donde, Δ_u : Deformación ultima y Δ_y : Deformación de fluencia

$$\Delta_u = 10 \Delta_y$$

T : Modo fundamental de vibración = 0,319s

Sustituyendo los valores correspondientes en la expresión del coeficiente de amortiguamiento equivalente, se obtiene::

$$C_{D1} := \frac{2 \cdot \Delta_y \cdot (K_{Te} - k_1) \cdot (\mu \cdot \Delta_y - \Delta_y) \cdot T}{\pi \cdot (\mu \cdot \Delta_y)^2} = 780.2793 \text{ tonnef } \frac{\text{s}}{\text{m}}$$

13.2.15 Definición de Términos:

En el ámbito de la construcción antisísmica en Perú, los métodos convencionales se fundamentan en tres conceptos esenciales para minimizar los efectos de los movimientos telúricos: rigidez, resistencia y disipación de energía, alcanzados a través de la plasticidad estructural durante su fase de deformación irreversible. Estos procedimientos persiguen armonizar la aptitud para contrarrestar fuerzas horizontales con la flexibilidad requerida para asimilar distorsiones sin llegar al fallo estructural.

Riesgo sísmico

El riesgo sísmico ocurre cuando los impactos sociales o económicos de un sismo tienen una elevada probabilidad de igualar o exceder un nivel preestablecido en una ubicación concreta durante un período de tiempo definido.

Este riesgo se calcula a partir de la combinación entre la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico y la susceptibilidad al daño, como se indica a continuación:

Riesgo Sísmico = (Peligrosidad sísmica) *(Vulnerabilidad), $RS = PS * V$

Histéresis

La histéresis en un disipador sísmico de metal significa que este, puede absorber y liberar energía cuando se deforma una y otra vez durante un terremoto. Al moverse, sigue un patrón de ida y vuelta que dibuja una curva con forma de anillo (llamada lazo histerético), donde la fuerza aplicada y el desplazamiento no coinciden al cargar y descargar.

Disipador de Energía Sísmica

Dispositivo de control pasivo que se incorpora a una estructura con la finalidad de absorber y disipar una parte significativa de la energía transmitida por un sismo, reduciendo así la demanda de energía que deben soportar los elementos estructurales

principales. Su funcionamiento se basa en convertir la energía mecánica del movimiento sísmico en otros tipos de energía (generalmente calor o deformación plástica), protegiendo la integridad de la edificación (Villarreal Castro & Oviedo Sarmiento, 2009, p. 24).

Ecuación de balance de energía

Principio fundamental que describe la distribución de la energía sísmica de entrada en una estructura, expresado como $EI = EK + ES + EH + ED$, donde EI es la energía de entrada, EK la energía cinética, ES la energía de deformación elástica, EH la energía disipada por inelasticidad y ED la energía disipada por los dispositivos de amortiguamiento. La incorporación de disipadores aumenta significativamente el término ED , reduciendo la energía que debe ser disipada mediante deformaciones inelásticas de la estructura principal (Villarreal Castro & La Rosa Sánchez, 2016, p. 6).

Sismo:

Goytia y Villanueva (2001), la define como movimiento de la superficie terrestre producido por recorrido de las ondas del terremotos, procedentes de una zona donde han ocurrido movimientos súbitos de la superficie terrestre (liberación de energía (p.1).

Sismología:

Goytia y Villanueva (2001), la definen como la disciplina que estudia los terremotos, sus causas, sus factores, consecuencias y eventos asociados (p.1).

Sismicidad:

Goytia y Villanueva (2001), la define como La periodicidad de sucesos de sismos en una

terminada región dada. En forma más general se puede definir como “la presencia de sismos en un ámbito territorial”, ambas definiciones se refiere a la porción de energía que se liberada en un ámbito determinado (p.1).

Amenaza Sísmica:

Goytia y Villanueva (2001), la definen de la siguiente manera: Es la magnitud que se espera de sismos venideros en la zona de estudio y se mide en función de aceleraciones del suelo, que tiene la posibilidad de ser superado en un determinado periodo de tiempo (p.1).

Ondas sísmicas:

Goytia y Villanueva (2001) “Son oscilaciones que se desplazan a través de superficie terrestre debido a la súbita liberación de energía” (p.1).

Acelerograma:

Goytia y Villanueva (2001) “Es la representación gráfica en el tiempo de las aceleraciones a que estuvo expuesta el suelo en el lapso de la ocurrencia de un sismo” (p.1).

Sismograma:

Goytia y Villanueva (2001) “Es un registro de la oscilación del sismo y mide su magnitud” (p.1).

Aceleración pico del suelo:

Goytia y Villanueva (2001) “Es la máxima aceleración de un punto en la corteza terrestre,

que llega durante una perturbación sísmica, se puede expresar como una razón de la gravedad (g)” (p.1).

Intensidad sísmica:

La intensidad sísmica se define como "la fuerza que experimenta un punto de la superficie terrestre debido a terremotos, parámetro de relevancia en la ingeniería estructural, la cual se determina estimando cualitativamente los efectos dañinos de los terremotos; su utilización se inició teniendo como referencia las investigaciones de Rossi y Forel en Italia y Suiza, respectivamente, a finales del s. XIX, época que marcó el inicio del desarrollo de nuevas escalas que califican los efectos del terremoto con un enfoque netamente cualitativo" (Herráiz, 1997, p. 54).

Magnitud Sísmica:

Según Herráiz (1997), "parámetro que pondera la dimensión de un terremoto, la cual se cuantifica instrumentalmente a partir de la energía que se genera como consecuencia de la ruptura de una falla y de la correlación que se origina al ser transmitida por las ondas sísmicas. La magnitud no depende del emplazamiento de la observación. Como mide la energía transmitida por las ondas sísmicas, este parámetro se relaciona directa o indirectamente con las amplitudes de las fases registradas" (p. 58).

Peligro Sísmico:

Santana (2013), se define como peligrosidad sísmica, la posibilidad que ocurra un terremoto en un determinado tiempo y un lugar específico, cuyos parámetros sean iguales o superiores a valores característicos” (p.26).

Sistema para regular el comportamiento dinámico de una estructura:

"Una de las maneras de reducir la respuesta dinámica de una estructura son los sistemas de control pasivo, los cuales reducen la energía del terremoto mediante mecanismos mecánicos, cuyos resultados son totalmente favorables" (Villareal y Oviedo, 2009, p. 23).

Sistemas de control pasivo:

Según Villareal y Oviedo (2009), son sistemas que activan ante perturbaciones sísmicas, su acción no es controlable dependen de la disposición y las condiciones en las que se encuentran; su acción reactiva reduce la transferencia de energía del terremoto a la estructura mediante mecanismos mecánicos, su actuación genera ventajas favorables a la estructura, tanto en su respuesta como en su economía (p.29).

Disipador Sísmico de Bajo Costo (DSBC): Dispositivo pasivo de disipación de energía por histéresis, diseñado para implementarse en viviendas sociales, cuya configuración geométrica corresponde a un arriostre en forma de "Cruz" compuesto por dos tubos metálicos cuadrados (150 mm x 150 mm x ¼") dispuestos en diagonal entre vigas y columnas. En la intersección de dichos tubos se aloja el mecanismo disipador, fabricado con perfiles metálicos en forma de I (100 mm x 100 mm x ¼") de acero A36, los cuales presentan una geometría optimizada donde el espesor de las alas es mayor que el del alma, Su principio de funcionamiento se basa en que, ante un sismo, los tubos diagonales intentan desplazarse axialmente, generando momentos flectores en los perfiles I que provocan la plastificación controlada del alma del perfil (fuente de disipación de energía), mientras que las alas, al ser más robustas, permanecen en el rango elástico garantizando estabilidad y evitando fallas prematuras. Se considera de bajo costo porque puede

fabricarse utilizando restos de perfiles estructurales sin tratamiento previo, es de fácil instalación en construcciones nuevas o existentes, y tras un sismo los elementos disipadores pueden inspeccionarse y reemplazarse fácilmente sin intervenir la estructura principal, permitiendo además controlar la energía disipada mediante el ajuste del número, geometría y disposición de los perfiles I

Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes: Procedimiento de análisis sísmico que representa las sollicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas horizontales aplicadas en el centro de masas de cada nivel de la edificación, calculadas en función de la fuerza cortante total en la base de la estructura. Según la Norma Técnica Peruana E.030 Diseño Sismorresistente, este método es aplicable a "todas las estructuras regulares o irregulares ubicadas en la zona sísmica 1, las estructuras clasificadas como regulares de no más de 30 m. de altura y las estructuras de muros portantes de concreto armado y albañilería armada o confinada de no más de 15 m de altura, aun cuando sean irregulares" (p. 23)

Análisis Dinámico Modal Espectral:

Procedimiento de análisis sísmico que permite determinar la respuesta máxima elástica esperada de una estructura considerando sus características dinámicas, específicamente sus modos de vibración y períodos naturales. Según la Norma Técnica Peruana E.030 Diseño Sismorresistente (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento), este método consiste en calcular, para cada dirección de análisis, "los modos de vibración mediante un procedimiento de análisis que considere apropiadamente las características de rigidez y la distribución de las masas", debiendo considerarse "aquellos modos de

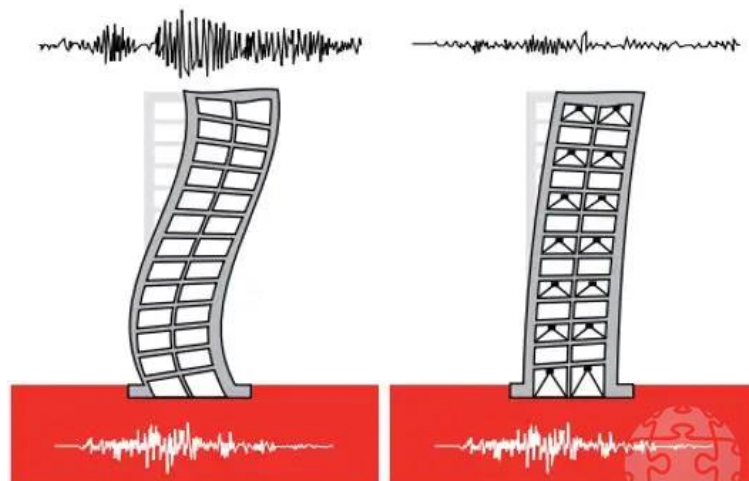
vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90 % de la masa total, pero deberá tomarse en cuenta por lo menos los tres primeros modos predominantes en la dirección de análisis" (p. 26).

Deriva de Entrepiso:

Indicador que mide el desplazamiento lateral relativo entre dos niveles consecutivos, expresado como fracción de la altura de entrepiso. Según la Norma Técnica Peruana E.030 Diseño Sismorresistente (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018), este valor "no excede la fracción de la altura de entrepiso (distorsión) que se indica en la Tabla N° 11" (Artículo 32), estableciéndose como límite máximo 0,007 para edificaciones de concreto armado y para edificaciones de albañilería confinada 0.005. La verificación de este límite constituye un requisito fundamental para validar el comportamiento sísmico adecuado de la estructura.

Figura 7

Incorporación de Disipadores sísmicos en edificaciones



Fuerzas I Edificio sin Disipadores de Energía Edificio con Disipadores de Energía

Solicitaciones mecánicas que se generan en los elementos estructurales (vigas, columnas, muros) como respuesta a las cargas aplicadas, particularmente a las solicitaciones sísmicas. Según la Norma Técnica Peruana E.030 Diseño Sismorresistente (Ministerio de

Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018), estas fuerzas se determinan mediante procedimientos de análisis estructural (estático o dinámico modal espectral) y corresponden a "la respuesta máxima elástica esperada para las fuerzas internas en los elementos componentes de la estructura" (Artículo 29.3)

Viabilidad Económica:

Análisis que permite determinar la factibilidad financiera de la fabricación del disipador sísmico de bajo costo. En el presente estudio, dicha viabilidad se evalúa mediante la comparación entre el costo de fabricación e instalación del disipador sísmico propuesto (considerando materiales y mano de obra) y el costo correspondiente a sistemas de disipación sísmica convencionales. Se considera que la propuesta es económicamente viable cuando representa una alternativa significativamente más económica y accesible, acorde con la realidad de las viviendas sociales en el distrito de Independencia, Huaraz.

13.3 Aspectos de responsabilidad social y medio ambiental

Cabe indicar que la presente investigación aborda, desde su planteamiento inicial, una dimensión social fundamental: promover la implementación de disipadores sísmicos de bajo costo (DSBC) en edificaciones sociales. Estos incluyen edificios familiares, tanto a escala local como nacional. La relevancia de estos dispositivos radica en su triple ventaja: bajo costo, facilidad de instalación y capacidad para prevenir el colapso estructural.

Desde la perspectiva ambiental, los disipadores sísmicos representan una solución sostenible al minimizar impactos ecológicos asociados a eventos sísmicos. Su implementación genera cuatro beneficios ambientales clave:

1. Reducción de desechos constructivos: Al prevenir el colapso estructural, se evita la generación masiva de escombros (que representan hasta el 40% de los residuos sólidos urbanos según estudios de la OMS, 2021).
2. Protección de infraestructura crítica: Conserva redes de servicios básicos (tuberías de agua, alcantarillado y cableado), evitando contaminación por derrames y reduciendo costos de rehabilitación posdesastre.
3. Sostenibilidad habitacional: Extiende la vida útil de las edificaciones, disminuyendo la necesidad de nuevas construcciones y su huella de carbono asociada.
4. Prevención de impactos secundarios: Mitiga daños colaterales como contaminación por polvo en suspensión o lixiviados de materiales derrumbados.

CAPÍTULO XIV
MÉTODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

14.1. Diseño o esquema de la investigación

14.1.1. Tipo de Investigación

El tipo de la investigación es aplicada, porque se utiliza conocimiento existente sobre disipadores sísmicos y comportamiento estructural para resolver un problema práctico: mejorar la resiliencia sísmica de viviendas sociales mediante una solución de bajo costo.

14.1.2. Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es cuantitativo, debido a que las variables son medibles numéricamente (fuerzas, derivas, costos) y los resultados se analizan mediante métodos estadísticos y comparativos.

14.1.3. Nivel de investigación

El nivel de la investigación es explicativo, ya que no solo se describe el comportamiento estructural, sino que se busca establecer la relación causal entre la implementación del disipador (variable independiente) y la mejora en la resiliencia sísmica (variables dependientes), así como su viabilidad económica.

14.1.4. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es experimental simulado o cuasi-experimental, específicamente investigación por simulación. Se modela computacionalmente la vivienda en dos escenarios (sin disipador y con disipador) para comparar los resultados, controlando todas las demás variables.

14.2. Población y muestra

14.2.1 Población

Viviendas sociales ubicadas en el distrito de Independencia, provincia de Huaraz, departamento de Áncash. Se considera vivienda social a aquellas edificaciones de hasta 5 pisos destinadas a sectores socioeconómicos medios y bajos, construidas con sistemas estructurales convencionales en la zona.

14.2.2 Muestra

Una vivienda social de 5 pisos con sistema estructural mixto (pórticos de concreto armado y muros de albañilería confinada), seleccionada de forma intencional o no probabilística por ser representativa de las tipologías constructivas predominantes en el distrito de Independencia.

Criterios de selección de la muestra:

- Número de pisos: 5 (típico en viviendas sociales de la zona)
- Sistema estructural: mixto (combinación de pórticos y muros)
- Disponibilidad de planos estructurales y arquitectónicos
- Ubicación: distrito de Independencia, Huaraz

14.2.2.1 Descripción y propiedades geométricas de la muestra

14.2.2.1.1. Edificación convencional

Distribución funcional:

Pisos 1 al 5: Viviendas multifamiliar (Uso común)

Terraza accesible en último nivel

Dimensiones generales:

Altura total: 14 m (desde nivel de suelo)

Área construida: 200 m²

Planta típica: 10.00 x 20.00 m

Altura de entrepiso: 2.80 m

Sistema estructural:

Tipo: Sistema estructural mixto (Albañilería confinada y pórticos de concreto armado) con columnas y vigas de concreto armado.

Configuración de ejes:

Dirección X: 5 ejes

Dirección Y: 10 ejes

Elementos resistentes:

Muros de albañilería confinada

Columnas y vigas de confinamiento (0.25 x 0.25 m) en concreto armado

Columnas de 0.25x0.40 m y Vigas de 0.25x0.50 m.

Componentes horizontales:

Losas macizas de 20 cm de espesor (pisos 1-5)

Comportamiento como diafragmas rígidos

Cimentación:

Tipo: Corrida

Profundidad: 0.90 m desde superficie natural

14.2.2.1.2 Estructuración

El sistema estructural consiste en sistema estructural mixto (Albañilería confinada y pórticos de concreto armado), conformada por muros de ladrillo (industrial) complementados con elementos de confinamiento en concreto armado - vigas corona y columnas de amarre de 25×25 cm. que trabajan de forma integral para resistir cargas verticales y laterales. De acuerdo con la Norma E.070, este sistema presenta un factor de reducción sísmica $R=3$, valor que refleja su capacidad para disipar energía mediante comportamiento inelástico durante eventos sísmicos,

14.2.2.1.3 Características mecánicas de la edificación:

Resistencia característica a compresión axial de las unidades de albañilería ($f'b$)= 180 kg/cm².

Resistencia característica a compresión axial de pilas de albañilería $f_m=65$ kg/cm².

Resistencia a la compresión del concreto: $f'c = 2100$ T/m²

Módulo de Elasticidad del Concreto: $E_c = 2173706$ T/m²

Coefficiente de Poisson del concreto: $\mu = 0,20$

Módulo de Corte: 905710,83 T/m²

Coefficiente de Expansión térmica del concreto: $9,9 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

14.2.2.1.4 Edificación disipada:

La estructura disipada presenta las mismas características que las mencionadas para la estructura convencional, la única diferencia es la incorporación del sistema de disipación sísmica de bajo costo (SDBC), estas son incluidos en los ejes “1-1” y “11-11” de la edificación.

El sistema de disipación sísmica de bajo costo, consta de 6 disipadores por piso; los cuales se disponen de tal manera que se sitúen en los elementos que transmiten la carga, y serán fijadas entre viga y columna a través de pernos de anclaje y soldadura.

14.3. Operacionalización de variables

14.3.1. Variable independiente

Definición conceptual: La variable independiente es aquella que el investigador manipula o introduce para observar su efecto sobre las variables dependientes. En este estudio, corresponde al dispositivo de disipación sísmica de bajo costo implementado en la vivienda.

Definición operacional: Disipador sísmico metálico fabricado con perfiles I de acero, dimensionado según criterios de rigidez y resistencia, que se incorpora en puntos estratégicos de la estructura modelada en ETABS para modificar su respuesta frente a solicitaciones sísmicas.

Indicadores:

- Configuración geométrica (número de perfiles I, dimensiones, disposición)
- Propiedades mecánicas del material (acero: límite de fluencia, módulo de elasticidad)
- Capacidad de disipación de energía (histéresis esperada)
- Ubicación en la estructura (pórticos seleccionados)

14.3.2. Variables dependientes

Definición conceptual: Las variables dependientes son aquellas que se miden para evaluar el efecto de la variable independiente. En esta investigación, corresponden a la respuesta estructural de la vivienda ante solicitaciones sísmicas y al costo del dispositivo.

Variable dependiente 1: Fuerzas internas en elementos críticos

Definición operacional: Solicitaciones mecánicas que experimentan los elementos estructurales (vigas, columnas) bajo la acción de cargas sísmicas, obtenidas del análisis estático lineal y dinámico modal espectral en ETABS.

Indicadores:

- Fuerzas cortantes t.
- Momentos flectores máximos (t·m).
- Fuerzas axiales (t)

Variable dependiente 2: Derivas máximas de entrepiso

Definición operacional: Desplazamientos laterales relativos entre pisos consecutivos, expresados como porcentaje de la altura de entrepiso, calculados a partir de los resultados de los análisis estructurales en ETABS.

Indicadores:

- Deriva máxima por entrepiso (adimensional o porcentaje)
- Cumplimiento del límite normativo (según NTP E.030)

Variable dependiente 3: Costo de fabricación del dissipador

Definición operacional: Valor económico estimado para la fabricación del dissipador propuesto, considerando materiales y mano de obra, expresado en moneda nacional (soles).

Indicadores:

- Costo de materiales (acero, soldadura, acabados)
- Costo de mano de obra (corte, soldadura, montaje)
- Costo total unitario (soles/dissipador)
- Comparación con sistemas convencionales (porcentaje de ahorro)

14.3.3. Variables controladas

Definición conceptual: Variables que se mantienen constantes para aislar el efecto de la variable independiente y garantizar la validez interna del estudio.

Variables controladas:

- Geometría de la vivienda: 5 pisos, sistema estructural mixto, dimensiones fijas
- Propiedades de los materiales: Concreto armado (f_c), acero de refuerzo (f_y), albañilería (f_m) según valores típicos de la zona
- Cargas actuantes: Cargas permanentes y sobrecargas de uso según norma E.020
- Solicitación sísmica: Espectro de diseño según NTP E.030 para la zona (Zona sísmica 3, factor de suelo según características del distrito de Independencia)
- Modelo computacional: Mismo software (ETABS), misma versión, mismas condiciones de borde

14.4. Técnica e instrumento de recolección de datos

Las técnicas e instrumentos que se utilizaron para la recopilación y obtención de datos importantes, fueron las siguientes:

Revisión bibliográfica:

Para el desarrollo de la investigación se implementó una estrategia metodológica basada en dos componentes principales: el análisis documental y la sistematización de información. Se llevó a cabo una revisión exhaustiva de diversas fuentes bibliográficas especializadas, incluyendo libros académicos, artículos científicos indexados, publicaciones técnicas y material impreso relevante, que permitieron establecer un sólido marco teórico de referencia. Paralelamente, se empleó un sistema de fichas de análisis como herramienta

fundamental para organizar, filtrar y procesar la información recopilada. Este método permitió identificar y extraer los conceptos clave, validar la precisión técnica de los datos mediante contraste de fuentes, y estructurar los fundamentos teóricos del diseño. La combinación de estas técnicas garantizó el rigor académico del proceso investigativo, asegurando la pertinencia y confiabilidad de los datos utilizados para el análisis del objeto de estudio.

Internet:

Internet, concebido como un sistema global de redes interconectadas que emplean protocolos estandarizados para la transmisión de datos, constituye en la actualidad el mayor repositorio de conocimiento accesible públicamente. Para los fines de esta investigación, se realizó una búsqueda sistemática en portales académicos especializados, bases de datos científicas y repositorios institucionales, permitiendo la identificación y selección de artículos arbitrados, papers de investigación y documentos técnicos relevantes para nuestro objeto de estudio.

Como metodología de análisis, se implementó la técnica de síntesis documental, mediante la cual:

- Se examinó críticamente el contenido de cada fuente seleccionada
- Se identificaron y extrajeron los conceptos fundamentales
- Se contrastaron las diferentes perspectivas teóricas encontradas
- Se integraron las nociones más pertinentes al marco conceptual de la investigación

Observación:

El estudio empleó la observación sistemática como estrategia metodológica fundamental. Esta técnica se basa en el registro controlado y organizado de fenómenos mediante la percepción directa, permitiendo dar respuesta a la problemática planteada

Instrumentos para la observación

Croquis:

Se pudo registrar rápidamente algunos aspectos importantes tales como: Orientación, dimensiones, ubicación de calicatas, datos de colindantes y aspectos importantes que pueda influir en nuestra investigación.

Instrumentos de medición:

Se midió las dimensiones del terreno, las dimensiones de los elementos estructurales de la edificación se utilizaron 01 wincha laser, 01 cinta metrica 50 m, 01 Estación Total y 04 prismas, los datos registrados son:

- Se llevó a cabo el levantamiento de las medidas del área correspondiente a la ubicación del inmueble.
- Extensión superficial del terreno ocupado por la edificación.
- Croquis de ubicación.
- Dimensión de vigas y columnas.
- Dimensiones de muros de albañilería confinada.
- Altura total de la edificación.

Instrumentos de registro:

- Para el levantamiento gráfico de las condiciones físicas y estado actual de la edificación, se empleó el siguiente equipo de registro visual:
- 01 Dispositivo de captura de imágenes digitales

14.5 Procedimientos

14.5.1. Procedimiento para el análisis sísmico

El análisis sísmico tiene como objetivo determinar las fuerzas internas en los elementos

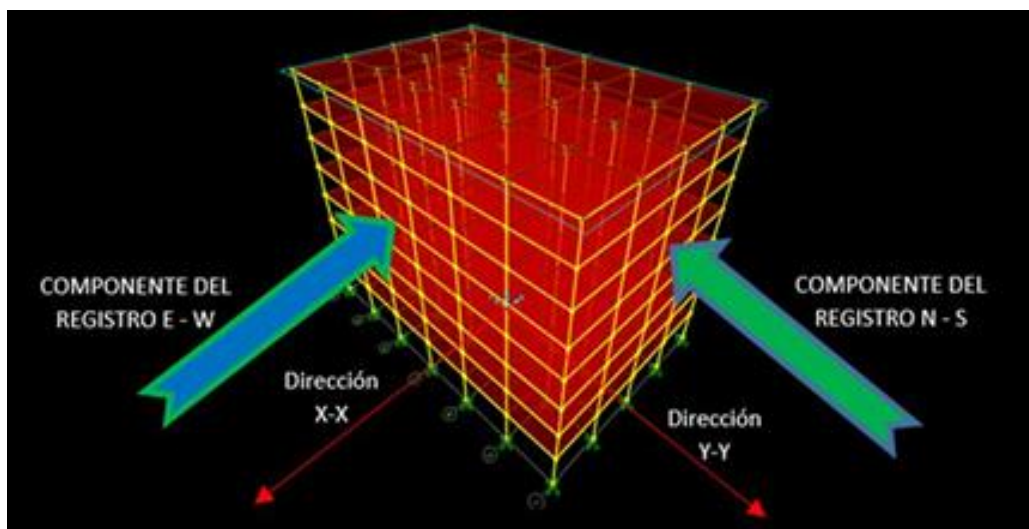
estructurales con el propósito de diseñarlos. Así también, permite estimar los desplazamientos laterales de una edificación, lo cual será objeto de este capítulo, para su posterior verificación con los valores permisibles de la norma. La Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E.030 especifica que, para edificios de concreto armado, el límite permisible de desplazamiento lateral es de 0.7% de la altura de entrepiso, concepto conocido como deriva. Para la elaboración del modelo estructural, se utilizó el programa ETABS en su versión 22.0.

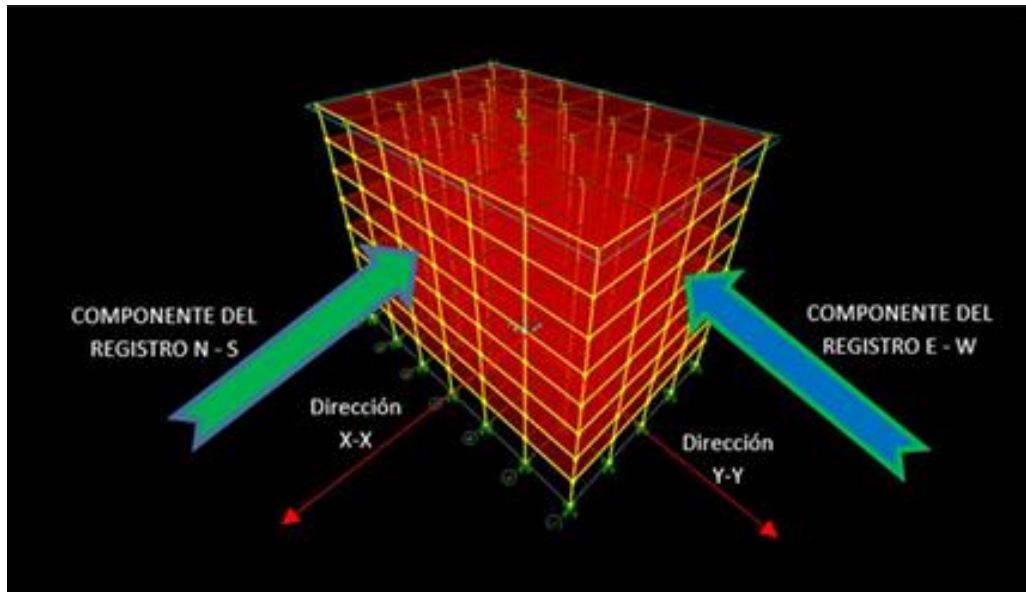
14.5.2. Procedimiento para la determinación el sismo de diseño

Realizamos el análisis dinámico espectral del edificio y calculamos las derivas de entrepiso considerando $R=3$ en el eje YY y $R=8$, esta reducción de R se hace para que la edificación entre en el rango inelástico ante un sismo severo. Para la obtención de las distorsiones, los desplazamientos laterales calculados ya no se multiplican por $0,75 \cdot R$ sino solo por 1.

Figura 8

Registros sísmicos en dos componentes (E-W y N-S), para analizar la estructura.





14.5.3. Determinación del sismo de diseño (análisis dinámico espectral)

Análisis estructural de la edificación

Hasta ahora ya disponemos del modelo geométrico de la estructura, para realizar el análisis dinámico espectral procedemos de la siguiente, manera.

1.-Determinación de los parámetros sísmicos

Factor de zona (Z). - HUARAZ se encuentra ubicada en la zona sísmica 3, según tabla N° 1 de la Norma E030-2018 le corresponde un valor de $Z=0,35$.

Parámetros del suelo (S) y (T_p), la estructura estará ubicada sobre un suelo tipo S2 (suelo de Independencia es un suelo intermedio), al que le corresponde un factor de amplificación del suelo $S=1,15$ y un periodo $T_p=0,4$ s, de acuerdo a la tabla N° 2 de la Norma E030-2006

Categoría de la edificación. - (U) Según la tabla N° 3 de la Norma E030-2006, a una edificación común le corresponde un factor de uso $U=1$.

Tabla 6

Parámetros sísmicos

Parámetros	Direcciones X e Y
Z	0,35
U	1
S	1,15
T	2.0 s.
Tp	0,6 s.
Tl	2.0 s.
C	2.5
Rxx	3
Ryy	3

Factor de Reducción (R). - Tal como se indicó previamente, la asignación del valor se fundamenta en criterios particulares, adoptándose un coeficiente de R igual a 1, según lo establecido en el capítulo 16 de la norma ASCE 7-10. Por otro lado, se desarrolló una herramienta práctica para evaluar el factor de amplificación, la cual se implementó a través de una planilla de cálculo en Excel

$$C = 2,5 \left[\frac{T_r}{T} \right] \leq 2,5 \dots\dots\dots (26)$$

Donde Tp = 0,6 s,

El efecto de la gravedad se tendrá en cuenta al momento de introducir el espectro de diseño en el programa ETABS. Por otro lado, en la tabla 7 se presentan los parámetros sísmicos considerados, mientras que en la tabla 8 se muestra el espectro de diseño propiamente dicho.

Figura 9

Mapa de peligro sísmico del Perú, fuente norma técnica peruana E.30.

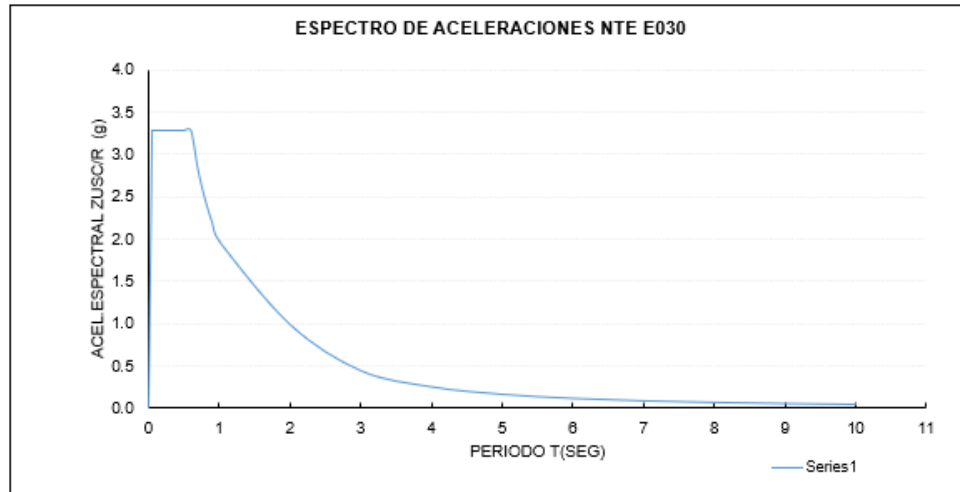


Tabla 7*Espectro de pseudo aceleraciones- espectro objetivo*

T	C	ZUSC	ZUSC/R	Sa
0	0.000	0.000	0.0000	0.000
0.05	2.500	1.006	0.3354	3.290
0.06	2.500	1.006	0.3354	3.290
0.07	2.500	1.006	0.3354	3.290
0.08	2.500	1.006	0.3354	3.290
0.09	2.500	1.006	0.3354	3.290
0.1	2.500	1.006	0.3354	3.290
0.2	2.500	1.006	0.3354	3.290
0.3	2.500	1.006	0.3354	3.290
0.4	2.500	1.006	0.3354	3.290
0.5	2.500	1.006	0.3354	3.290
0.6	2.500	1.006	0.3354	3.290
0.7	2.143	0.863	0.2875	2.820
0.8	1.875	0.755	0.2516	2.468
0.9	1.667	0.671	0.2236	2.194
1	1.500	0.604	0.2013	1.974
2	0.750	0.302	0.1006	0.987
3	0.333	0.134	0.0447	0.439
4	0.188	0.075	0.0252	0.247
5	0.120	0.048	0.0161	0.158
6	0.083	0.034	0.0112	0.110
7	0.061	0.025	0.0082	0.081
8	0.047	0.019	0.0063	0.062
9	0.037	0.015	0.0050	0.049
10	0.030	0.012	0.0040	0.039

Figura 10

Espectro sísmico.



14.5.4 Dimensionamiento del Disipador Sísmico de Bajo Costo (DSBC)

Verificación del Perfil “I”

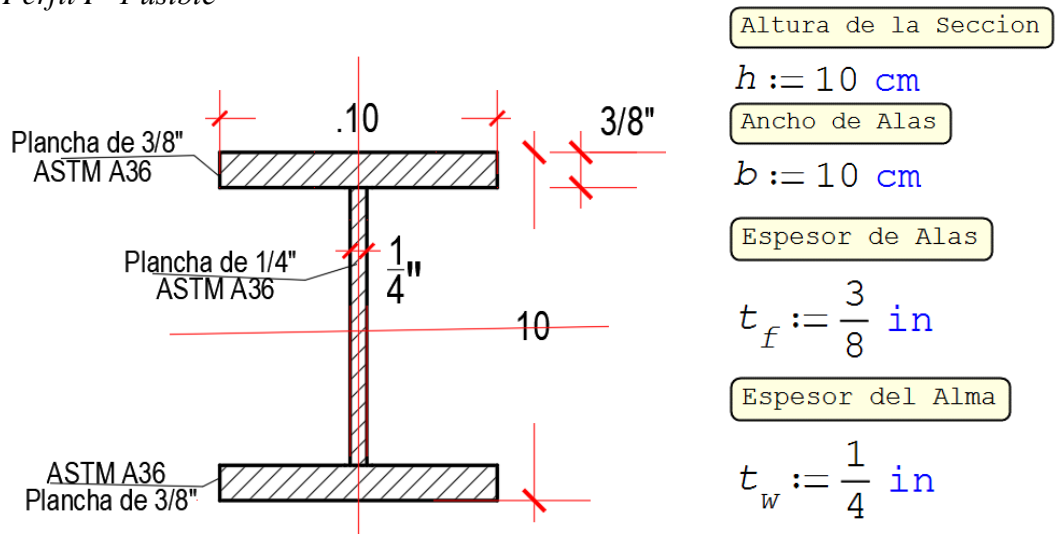
El factor de forma, shape factor, es la relación entre el módulo de sección plástico y el módulo de sección elástico de una sección. Mide la capacidad de una sección para desarrollar su resistencia total más allá del límite elástico. Una sección con un factor de forma más alto es más eficiente en el diseño plástico. Para una sección rectangular sólida, el factor de forma es de 1.5. Esto significa que puede resistir un 50% más de momento en el rango plástico que en el elástico. En contraste, una sección tipo 'I' (de ala ancha) puede alcanzar un factor de forma de hasta 1.10, lo que representa una reserva de resistencia hasta 5 veces superior a la de una sección sólida con la misma cantidad de material. (Ziemian, 2010, p. 186)

Evitar el pandeo local es prioritario: Para que el disipador propuesto funcione como un "fusible" y disipe energía mediante plastificación cíclica, debe fallar por fluencia y no por

pandeo local. La norma AISC 360-22, a través de su Tabla B4.1, proporciona los límites de la relación ancho-espesor que garantizan que las alas y el alma del perfil sean "compactas" y, por lo tanto, capaces de desarrollar su capacidad plástica sin pandearse prematuramente. Este criterio será fundamental en la fase de dimensionamiento del disipador (OE1), para asegurar que el dispositivo tenga el comportamiento dúctil esperado.

Figura 11

Perfil I "Fusible"



Momento de Inercia Total del Perfil

$$I_{total} := 2 \cdot \left(\frac{b \cdot t_f^3}{12} + b \cdot t_f \cdot \left(\frac{h - t_f}{2} \right)^2 \right) + \frac{t_w \cdot (h - 2 \cdot t_f)^3}{12}$$

Momento de Inercia Total

$$I_{total} = 419.355 \text{ cm}^4$$

DETERMINACIÓN DEL MÓDULO ELÁSTICO.

Modulo Elastico

$$S_x := \frac{I_{total}}{c}$$

Distancia a la Fibra mas Alejdas

$$c := \frac{h}{2}$$

Modulo Elastico "Sx"

$$S_x := \frac{4}{h} \cdot \left(\frac{b \cdot t_f^3}{12} + b \cdot t_f \cdot \left(\frac{h - t_f}{2} \right)^2 \right) + \frac{t_w \cdot (h - 2 \cdot t_f)^3}{6 \cdot h}$$

$$S_x = 83.87 \text{ cm}^3$$

Determinación del Módulo Plástico

Area Total de la Seccion Transversal

$$A_t := 2 \cdot b \cdot t_f + t_w \cdot (h - 2 \cdot t_f)$$

Momento Estatico del Ala

$$Q_{ala} := (b \cdot t_f) \cdot \left(\frac{h - t_f}{2} \right)$$

Area de la Porcion del Alma

$$A_{ws} := t_w \cdot h_{ws}$$

Distancia de su
Centroide al Eje
Neutro Plastico

$$y_{ws} := \frac{h_{ws}}{2}$$

Momento Estatico del Alma

$$Q_{alma} := t_w \cdot \left(\frac{h}{2} - t_f \right) \cdot \left(\frac{h - 2 \cdot t_f}{4} \right)$$

Momento Estatico de Media Seccion

$$Q := (b \cdot t_f) \cdot \left(\frac{h - t_f}{2} \right) + t_w \cdot \left(\frac{h}{2} - t_f \right) \cdot \left(\frac{h - 2 \cdot t_f}{4} \right)$$

Modulo Plastico de la Seccion

$$Z_x := 2 \cdot \left((b \cdot t_f) \cdot \left(\frac{h - t_f}{2} \right) + t_w \cdot \left(\frac{h}{2} - t_f \right) \cdot \left(\frac{h - 2 \cdot t_f}{4} \right) \right)$$

Modulo Plastico de la Seccion

$$Z_x = 96.58 \text{ cm}^3$$

$$\frac{Z_x}{S_x} = 1.1515$$

Este valor de 1.15 es el típico para perfiles I compactos, indicando la reserva de resistencia plástica más allá del límite elástico.

verificar si el perfil metálico "I" que hemos calculado es compacto según la especificación AISC 360-22

Para el Alma:

La relación de esbeltez para el alma de un perfil I bajo flexión es $\lambda_w = h/t_w$, donde h es la altura libre del alma. En perfiles laminados, h se mide como la distancia entre los puntos donde el alma se encuentra con las alas, excluyendo los filetes de unión.

Relación de esbeltez del alma:

$$h_w := h - 2 \cdot t_f = 8.1 \text{ cm}$$

Relacion de Esbeltez del Alma

$$\lambda_w := \frac{h_w}{t_w} = 12.748$$

Para las Alas en flexión:

La relación de esbeltez para el ala de un perfil I es $\lambda_f = b/2t_f$, donde b es la mitad del ancho del ala

Relacion de Esbeltez de Ala

$$\lambda_f := \frac{b}{2 \cdot t_f} = 5.25$$

Obtención de los límites λ_p del AISC 360-22

Para el ALMA (Caso 15, Tabla B4.1b): El límite para que el alma sea compacta (λ_p) es:

Relacion de Esbeltez de Ala

$$\lambda_{p_alma} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 108.33$$

Para las ALAS (Caso 10, Tabla B4.1b): El límite para que el ala sea compacta (λ_p) es:

Relacion de Esbeltez de Ala

$$\lambda_{p_ala} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 10.95$$

Verificar la condición de "Compacto"

Para ser compacta, la sección debe cumplir ambas condiciones:

1. Ala: $\lambda_f \leq \lambda_p$
2. Alma: $\lambda_w \leq \lambda_p$

Aplicamos nuestros valores:

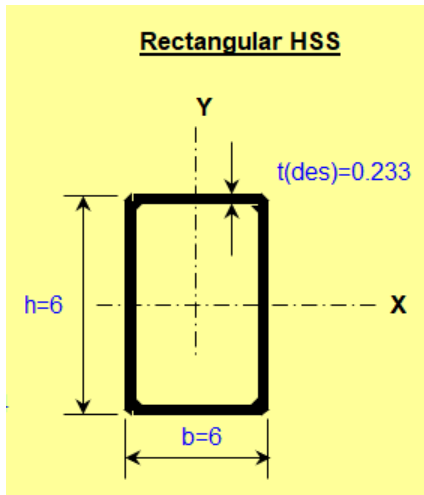
1. Ala: ¿Es $5.25 \leq 10.9$ Sí, Cumple.
2. Alma: ¿Es $12.78 \leq 108.33$ Sí, Cumple.

Para un acero con $F_y=36$ ksi, la sección es COMPACTA según el AISC 360-22, ya que tanto sus alas como su alma tienen relaciones ancho-espesor muy por debajo de los límites λ_p .

verificar si el perfil metálico cuadrado 4"x4"x1/4" si es compacto según la especificación AISC 360-22

Figura 12

Perfil correspondiente al brazo metálico



Ancho	Alto	Area de la Seccion
$b := 6 \text{ in}$	$h := 6 \text{ in}$	$A := 5.24 \text{ in}^2$
$f_y := 36 \text{ ksi}$	$E := 2.1 \cdot 10^6 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	
$t := \frac{1}{4} \text{ in}$		

Relación Ancho - Espesor (λ)

Relacion Ancho Espesor

$$\lambda := \frac{b}{t}$$

$$\lambda = 24$$

Clasificación de la sección

Según la Tabla B4.1b del AISC 360-16, Caso 6 (Paredes de secciones HSS rectangulares sujetas a flexión).

Para determinar si es **Compacta**, la relación λ debe ser menor o igual a λ_p (límite de compacidad).

La fórmula para el límite de compacidad (λ_p) para este caso es:

$$\lambda_p := 1.12 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 32.261$$

De donde se desprende:

La Seccion es Compacta

$$\lambda < \lambda_p$$

...

14.5.5 Componentes del dispositivo de disipación sísmica de bajo Costo (DSBC)

El dispositivo usado de tipo histerético consta de 2 partes que son:

1.- Los elementos disipadores de energía: Disipador metálico de fluencia, de piezas de acero A36, perfiles de sección I formadas con planchas de acero de espesor $\frac{1}{4}$ " , las cuales se fijan en su parte inferior y superior en planchas de $\frac{1}{2}$ " mediante pernos de $\frac{3}{8}$ " , sobre dichas planchas se fijan los tubos cuadrados cuadrado de 150mm de espesor $\frac{1}{4}$ " , como se muestra en la figura 4, 5 y 6.

Figura 13

Elementos disipadores de energía DSBC.

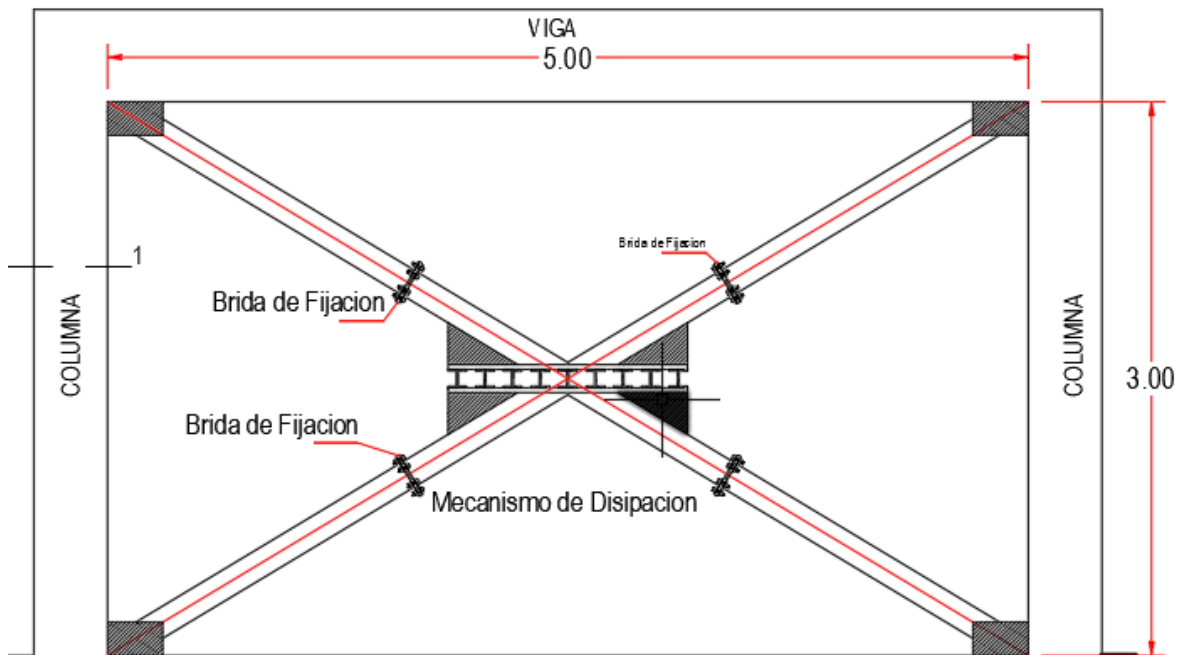


Figura 14

Detalle del Disipador sísmico de bajo costo DSBC.

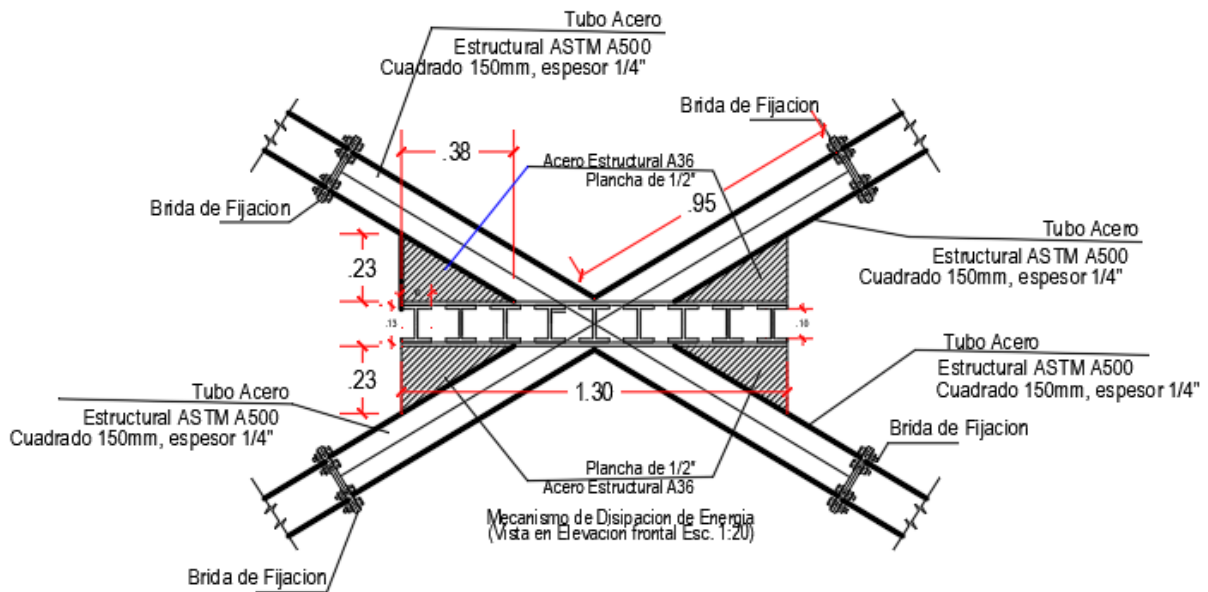


Figura 15

Elementos disipadores de energía DSBC.

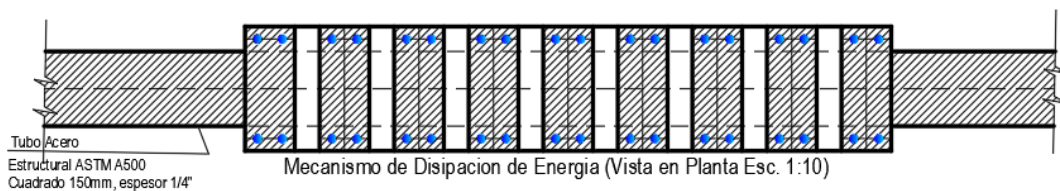
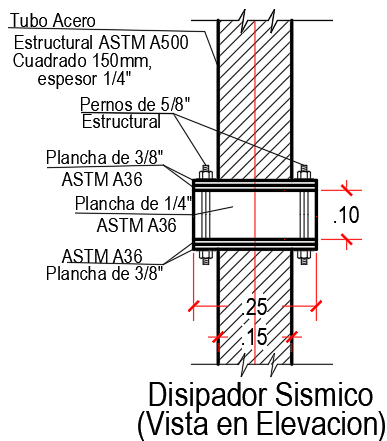
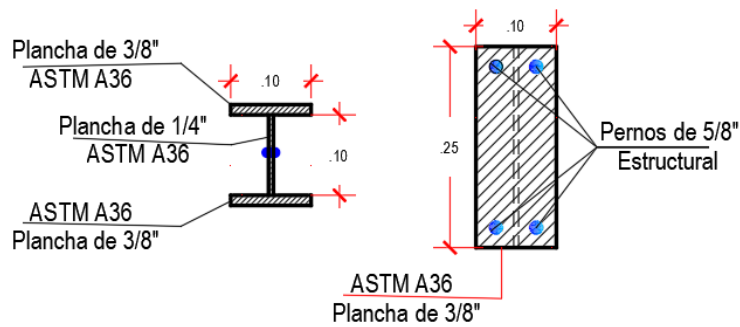


Figura 16

Elementos del Disipador sísmico de bajo costo DSBC.

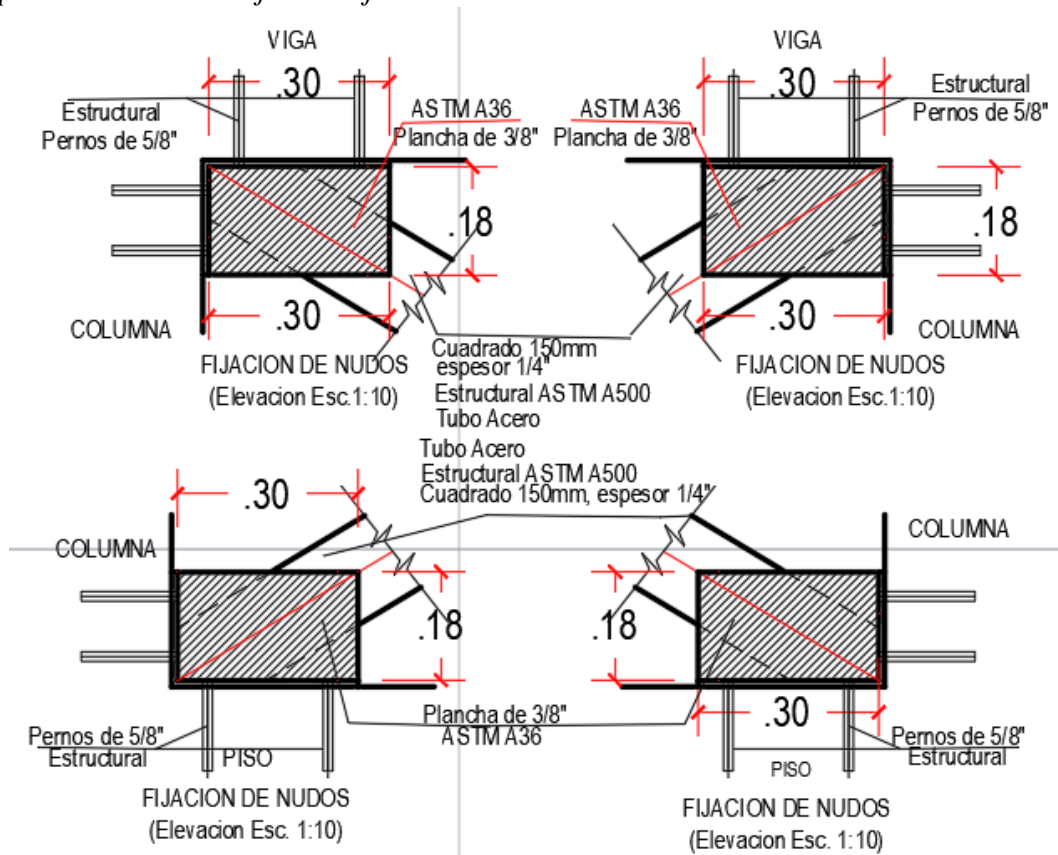




2.-Estructura complementaria: La que conecta al Disipador sísmico de bajo costo con la estructura de concreto armado fijados mediante soportes metálicos, como se muestra en la figura 4.

Figura 17

Disipador sísmico de bajo de Bajo Costo DSBC.



El Disipador Sísmico de Bajo Costo (DSBC) es un dispositivo diseñado para su implementación en viviendas sociales. Su estructura exterior es ligera y está compuesta

por dos tubos metálicos cuadrados de 150 mm x 150 mm x 1/4", dispuestos en forma de cruz diagonal. En la intersección de estos tubos se aloja el núcleo del sistema: un mecanismo disipador de energía fabricado a partir de perfiles metálicos laminados en I y planchas de acero.

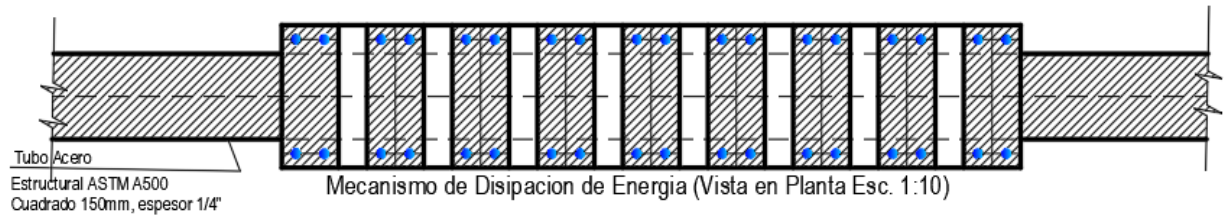
El mecanismo de disipación del DSBC se compone de perfiles metálico en I (con dimensiones de 100 mm x 100 mm), elaborado con restos de perfiles estructurales que no requieren tratamiento previo. La geometría del perfil se define por un ala de espesor significativamente superior al del alma. Esta geometría busca que, bajo carga, el alma (más delgada) actúe como un "fusible" estructural, plastificando y disipando energía, mientras que las alas (más robustas) permanecen en el rango elástico, garantizando la integridad del conjunto. Además,

El principio de funcionamiento es el siguiente: cuando un sismo induce desplazamientos diferenciales en los tubos cuadrados exteriores, el alma del perfil I (ubicado en su intersección) se deforma por flexión. Esta deformación controlada permite que el acero supere su límite elástico y plastifique, disipando así una gran cantidad de energía sísmica (Fig. 14,15 y 16).

De este modo, el DSBC actúa como un elemento fusible: una parte significativa de la energía del terremoto es absorbida por los disipadores, protegiendo a la estructura principal de albañilería de daños mayores. Entre sus ventajas clave destacan su bajo costo, su facilidad de inspección y su reemplazo sencillo después de un evento sísmico. La capacidad de disipación del sistema se puede ajustar modificando el número de los perfiles I en su interior. Finalmente, el DSBC incluye elementos de conexión metálicos especialmente diseñados para anclarlo de forma firme y segura a la estructura de la vivienda.

Figura 18

Montaje del disipador metálico de fluencia en la estructura auxiliar.



El Disipador Sísmico de Bajo Costo (DSBC) es un dispositivo diseñado para ser instalado fácilmente en construcciones, ya sea como arriostre diagonal en estructuras existentes (reacondicionamiento) o en obra nueva. Su principio de funcionamiento se basa en la plastificación controlada del alma de los perfiles metálicos que lo componen. Cuando la estructura es sometida a cargas axiales, los extremos del disipador, fijados entre viga y columna, transmiten fuerzas que inducen momentos flectores en los perfiles internos.

Estos momentos actúan en un plano perpendicular a la sección transversal del perfil, lo que genera una deformación por flexión en su alma. La geometría del disipador, donde la longitud en la dirección del eje de la barra es considerablemente mayor que las dimensiones de su sección transversal, garantiza que esta flexión ocurra de manera estable y sin pandeo. Como resultado, la energía sísmica se disipa de forma estable y eficiente a través de la plastificación del alma, mientras que las alas del perfil, al ser más robustas, permanecen en el rango elástico, asegurando la integridad del conjunto. Esta característica convierte al alma en la principal y única fuente de disipación de energía del sistema.

14.5.6 Disipadores sísmicos metálicos de bajo costo DSBC en edificaciones

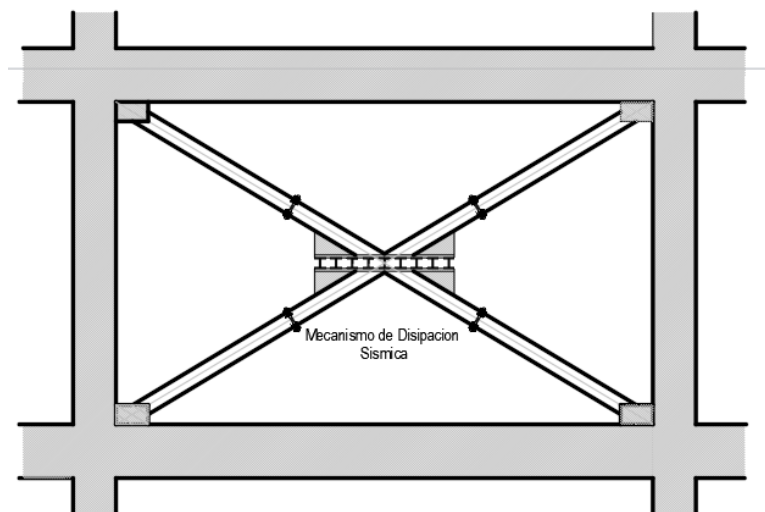
La incorporación de dispositivos especiales en una edificación permite alcanzar la

disipación de energía, con el propósito de disminuir las deformaciones y los niveles de esfuerzo que actúan sobre ella. Dichos dispositivos reducen la exigencia de deformación y los esfuerzos inducidos por un sismo, al aumentar el amortiguamiento propio de la estructura.

Cuando se integran mecanismos pasivos de disipación de energía en un edificio, su función principal consiste en absorber una porción de la energía proveniente del movimiento sísmico. De esta manera, se reduce la cantidad de energía que deben disipar los elementos estructurales y, en consecuencia, se minimiza el daño potencial que estos puedan sufrir (ver figura 16).

Figura 19

Disipador de energía metálico de fluencia, en el pórtico de análisis.



A continuación, se presentan los diagramas correspondientes a la instalación de estos dispositivos de seguridad en un pórtico. En dichos esquemas puede observarse, por un lado, los desplazamientos generados por la acción de la onda sísmica y, por otro lado, los

corrimientos laterales de la estructura cuando se incorporan disipadores sísmicos de bajo costo. figura 14,15,16,17 y 18).

Figura 20

Desplazamientos en el disipador metálico de fluencia (DMF).

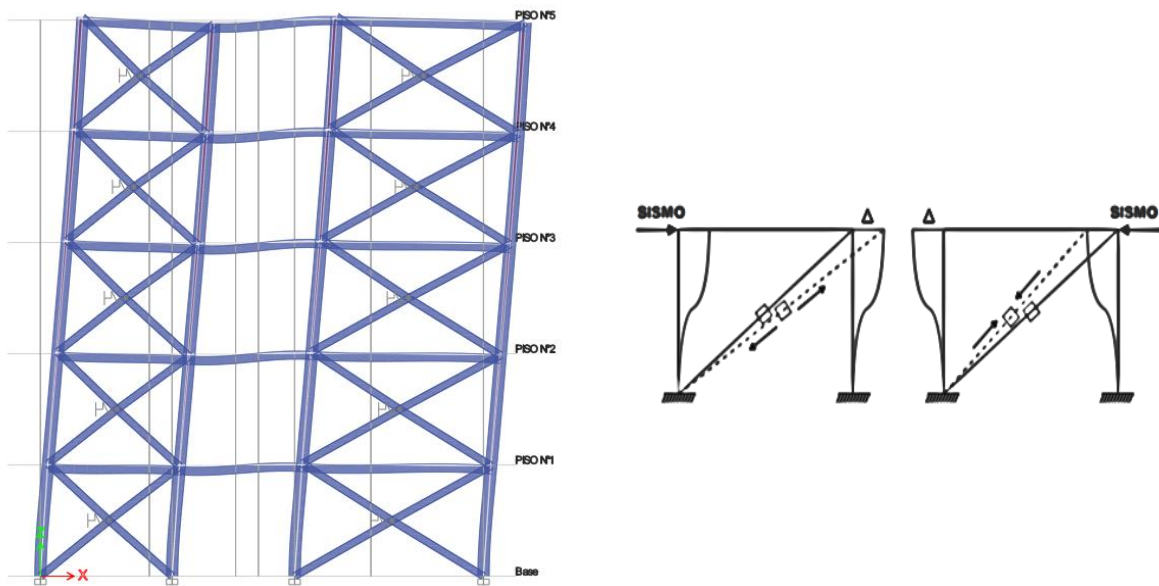
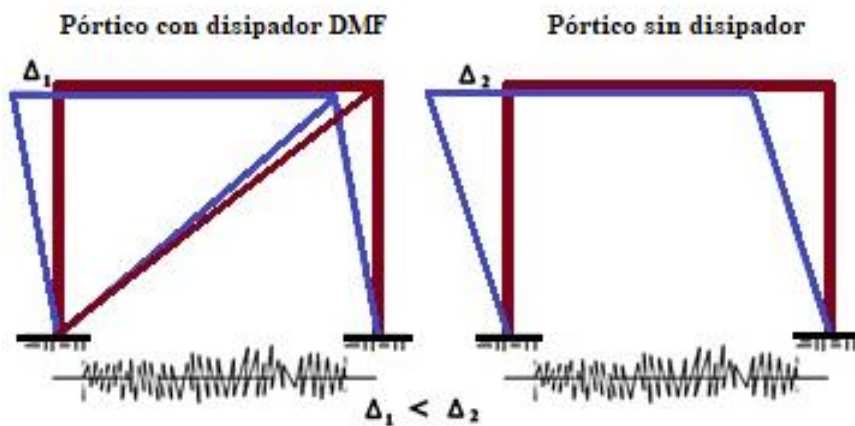


Figura 21

Detalles del desplazamiento lateral del pórtico con disipador y del pórtico sin disipador de energía.



14.5.7 Comportamiento estructural

Durante un terremoto, los edificios reciben una fuerte sacudida que genera energía. Esta energía es absorbida por los elementos estructurales, lo que puede causar daños en la construcción. Parte de esta energía se convierte en calor debido a la fricción y otros mecanismos de amortiguamiento, ayudando a reducir su impacto.

En el diseño tradicional antisísmico, se busca que la estructura pueda soportar y disipar esta energía de manera estable durante múltiples movimientos. Sin embargo, esta disipación suele concentrarse en zonas específicas (como las rótulas plásticas), lo que puede provocar daños difíciles de reparar. Aunque este enfoque es económicamente viable y evita el colapso total, no siempre es suficiente para edificios que deben seguir funcionando después de un sismo, como hospitales o comisarías.

Para mejorar el rendimiento sísmico, se pueden instalar dispositivos especiales que absorben parte de la energía, evitando que la estructura principal sufra daños. Estos sistemas aumentan la rigidez y resistencia del edificio, reduciendo deformaciones y mejorando su capacidad para soportar fuerzas laterales. En este estudio, la energía se disipa mediante la deformación controlada de perfiles metálicos en forma de I, lo que contribuye a una mayor estabilidad y menor deterioro en la estructura.

14.5.8 Bases teóricas especializadas sobre el Disipador Sísmico de Bajo Costo (DSBC)

14.5.8.1 Características del disipador sísmico de bajo costo (DSBC)

Este sistema funciona como un amortiguador pasivo que aprovecha la capacidad del acero de deformarse de manera permanente (plasticidad) y de absorber energía mediante su ciclo de histéresis. El núcleo del dispositivo, encargado de disipar la energía, está formado por una serie de secciones cortas de vigas de acero con perfil

en I. Estos segmentos se montan utilizando dos barras de acero, que suelen tener forma de I, las cuales actúan únicamente como soportes o elementos de fijación para mantener el conjunto en su lugar, tal como se puede apreciar en la figura 14.

El disipador sísmico de bajo costo (DSBC) está del tipo pasivo. Su diseño es ligero y consiste en dos tubos metálicos cuadrados de 150 mm x 150 mm x 1/4", dispuestos en diagonal en forma de cruz, con un mecanismo disipador de energía en su intersección, fabricado con perfiles metálicos en forma de I y planchas de acero.

Los materiales utilizados para su fabricación son restos de perfiles estructurales con sección transversal en I (100 mm x 100 mm x 1/4"), que no requieren tratamiento previo.

Los disipadores de energía se instalan en la intersección de los tubos cuadrados. Cuando estos tubos intentan desplazarse axialmente entre sí, el alma de los disipadores se deforma en flexión en un plano perpendicular, lo que permite que, al recibir cargas sísmicas, los elementos plastifiquen y disipen energía de manera eficiente (Fig. 20 y 21).

Figura 22

Disipador sísmico de bajo costo.

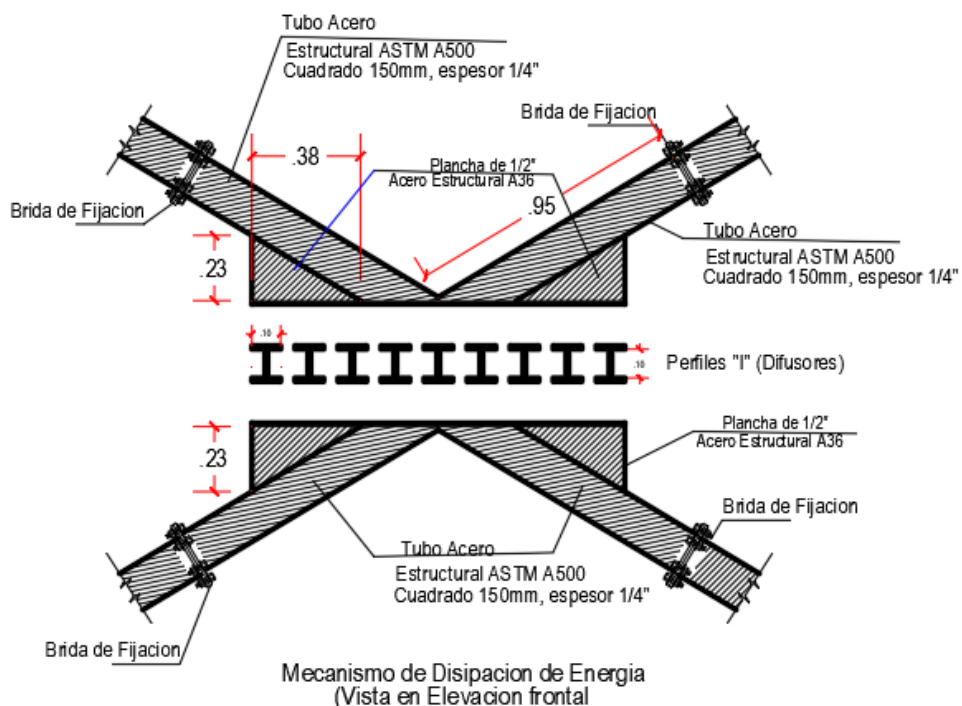
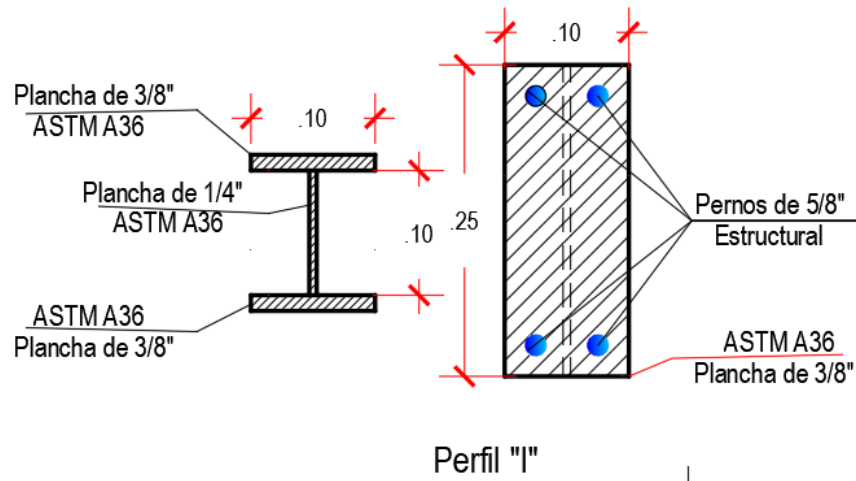


Figura 23

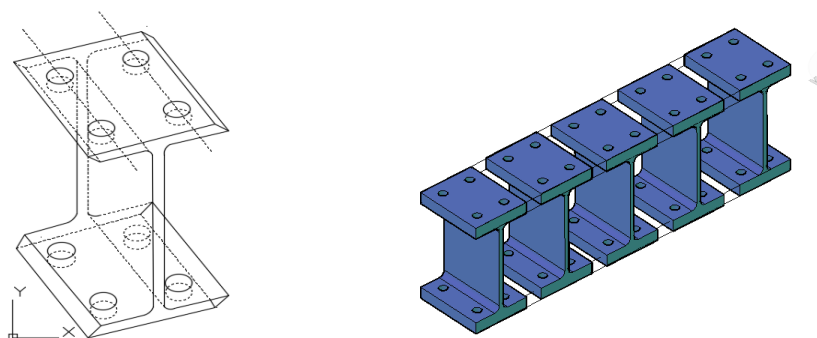
El perfil I Difusor sísmico.



Los segmentos de acero de secciones I tienen longitud 250mm y se obtienen fabricando con planchas de 3/8" y planchas de 1/4", cuya sección transversal está formada por dos alas y un alma figura 14, la figura 15 muestra en detalle las vistas lateral, frontal y superior de un segmento I y la figura 23 una visión general del mismo.

Figura 24

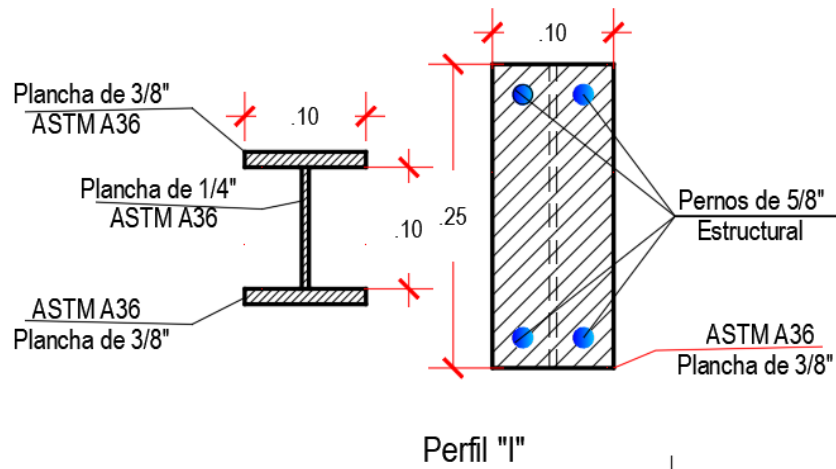
Detalles del elemento disipador de sección I.



Estos perfiles se fijan a planchas metálicas mediante pernos de alta resistencia que se fijan con un par de apriete fijo con torquímetro.

Figura 25

Detalles de la unión entre las secciones I.

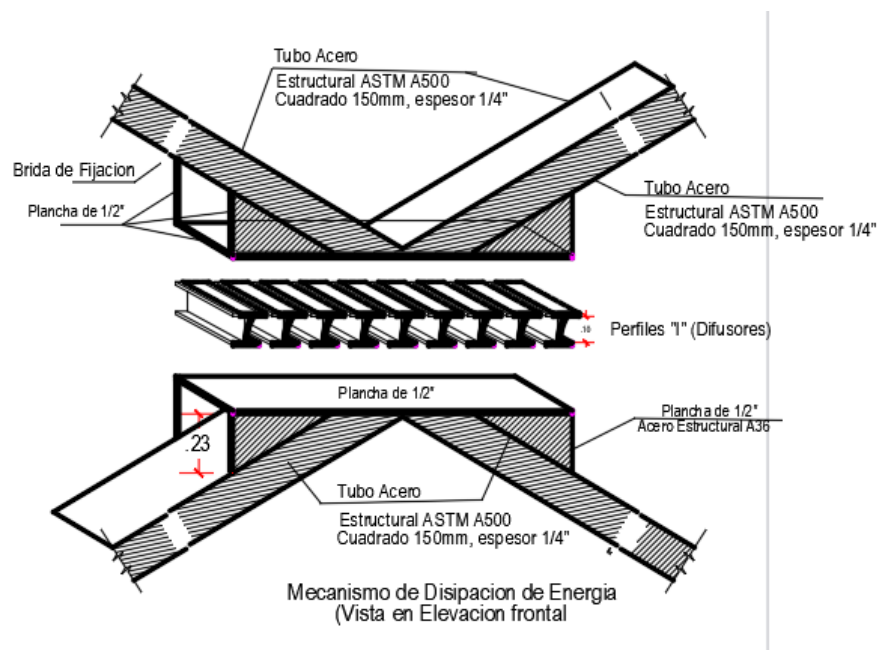


14.5.8.2. Comportamiento histerético de la sección I del dissipador

Benavent, C. Romo, L. y (2012), cuando el dissipador DSBC, se somete a deformaciones impuestas en su dirección axial, el alma de los segmentos de acero con sección I deforma a flexión tal como se observa en la fig. 23,24 y 25, cuando estas deformaciones llegan a hacer plastificar el metal, en ese momento se disipa energía.

Figura 26

Deformación a flexión de la sección I del dissipador DSBC.



El dissipador DSBC aprovecha la deformación que se produce en el alma en los perfiles tipo I, lo cual permite una distribución uniforme de los esfuerzos. Esta característica impide que se generen puntos de alta tensión que podrían provocar roturas anticipadas, garantizando que el material alcance su máxima capacidad de deformación plástica antes de fallar.

Según Villareal (2009):

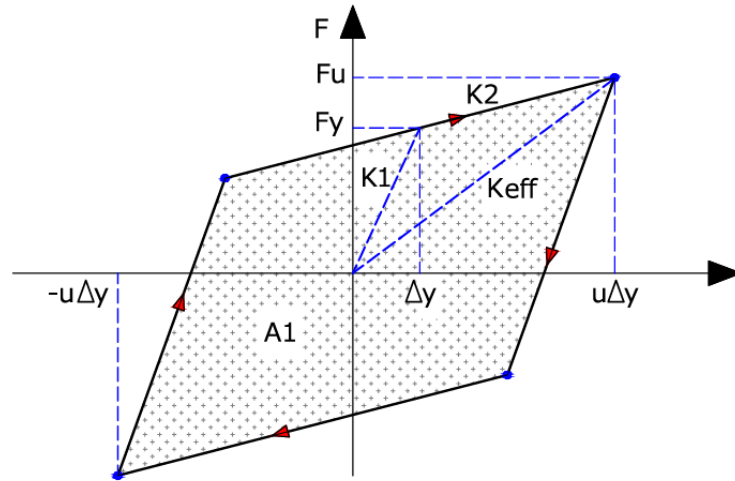
Uno de los mecanismos más efectivos disponibles para la disipación de energía, dentro de una estructura durante un sismo, es a través de la deformación inelástica de sustancias metálicas. En tradicionales estructuras de acero, el diseño sismorresistente recae en la ductilidad post-fluencia de los miembros estructurales para proveer la requerida disipación. Por otra parte, la idea de utilizar dissipadores histéricos metálicos en la superestructura para absorber una gran porción de la energía sísmica comenzó con el trabajo conceptual y experimental de Kelly et al., (1992) y Skinner et al., (1975). Durante años, considerable progreso ha sido hecho en el desarrollo de dissipadores metálicos y han sido propuestos nuevos diseños. (p.59)

Según Cisneros (2016):

Una de las técnicas aproximadas más directas del análisis implica sustituir el sistema no lineal real por un sistema lineal equivalente. El amortiguamiento tiene directa relación con el área encerrada por la curva de histéresis que corresponde a la energía disipada en un ciclo. Y la rigidez secante corresponde a la pendiente de la recta relacionada con la deformación máxima alcanzada por el ciclo. (p. 44)

Figura 27

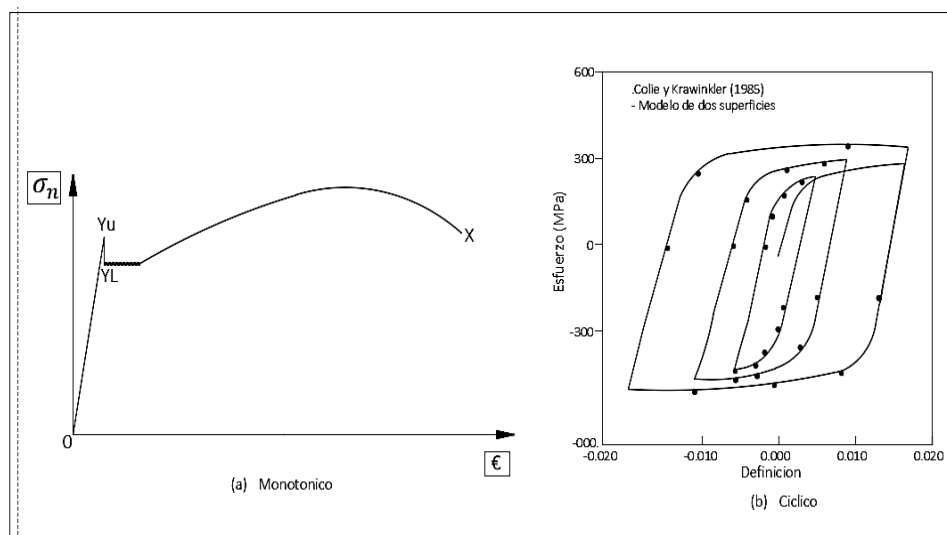
Modelo bilineal del comportamiento sísmico del perfil I del dissipador DSBC.



Este modelo considera una rigidez inicial k_1 , rigidez postfluencia k_2 , la deformación de fluencia y , la deformación máxima u_y , fuerza de fluencia F_y y cortante último F_u . Se puede observar que el amortiguamiento equivalente es representado por el área A_1 y la rigidez efectiva del ciclo es representada por la tangente de la recta K_e las características de la respuesta del sistema no lineal pueden entonces ser deducidas analizando la respuesta del sistema lineal. Esto genéricamente se refiere al método de linealización equivalente.

Figura 28

Curva carga-desplazamiento.



14.5.8.3 Generalidades de la fabricación e instalación del disipador sísmico de bajo costo (DSBC).

La fijación de los disipadores DSBC a una estructura no presenta complejidad técnica. para lo cual se coloca dos barras metálicas diagonales, en la intersección de estas se coloca el difusor sísmico. Está conformada por perfiles I formados por planchas metálicas, estas se empernan a planchas metálicas soldadas en los tubos metálicos, Dichas piezas se fijan, a su vez, en la unión entre la viga y la columna, como se muestra en la figura 29 y 30.

Figura 29

Instalación de disipadores DSBC en una estructura.

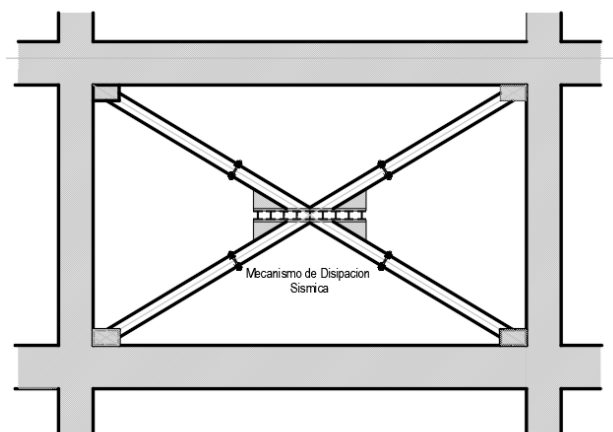
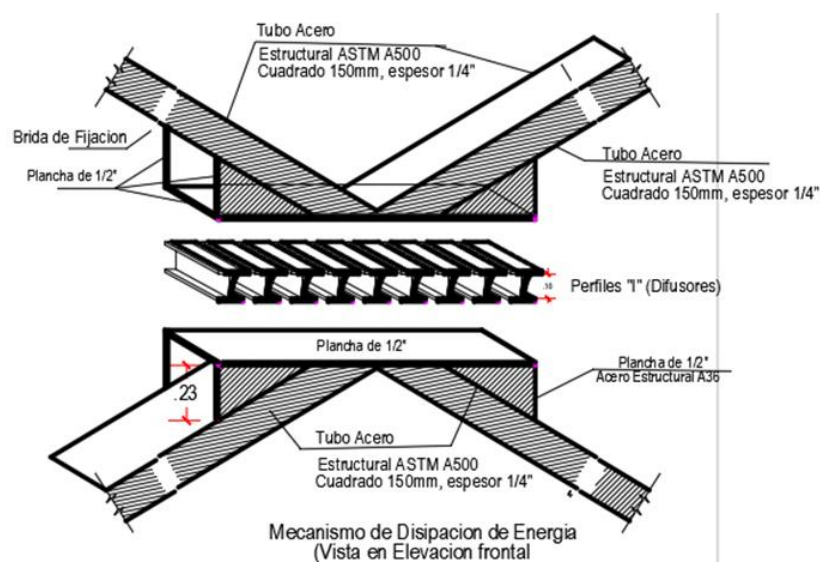


Figura 30

Detalle del disipador sísmico de bajo costo DSBC en una estructura.



Esta solución resulta particularmente económica y práctica, ya que en caso de sismos intensos donde las secciones I resulten dañadas, pueden reemplazarse fácilmente por nuevas unidades. Esto lo convierte en una alternativa viable para su implementación masiva en países en desarrollo.

A diferencia de otros sistemas de disipación energética, el DSBC no requiere materiales especiales ni acabados de alta precisión, utilizando únicamente perfiles I y tubos cuadrados convencionales de construcción, lo que simplifica aún más su fabricación y abarata costos.

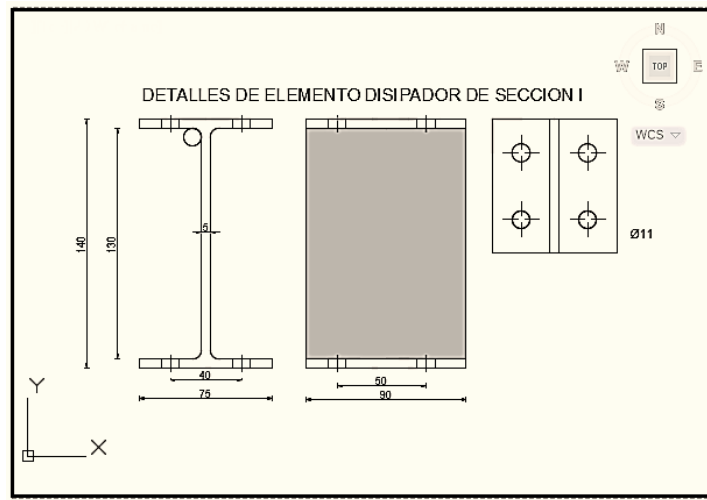
El mecanismo de funcionamiento del DSBC está diseñado para concentrar los daños sísmicos en sus propias secciones I, protegiendo así los elementos estructurales principales (vigas y columnas) que soportan las cargas gravitatorias. Esta característica permite evaluar claramente el daño sufrido después de un terremoto y determinar si es necesario reemplazar los disipadores afectados.

14.5.8.4 Caracterización del segmento de perfil I

El sistema DSBC emplea fragmentos de perfiles estructurales de acero en forma de I. común como elementos principales de disipación energética. Estos componentes absorben la energía sísmica mediante deformación plástica del material. El sistema se ensambla fijando múltiples segmentos del perfil I sobre barras tubulares cuadradas, las cuales se diseñan específicamente para permanecer en rango elástico mientras los segmentos del perfil desarrollan deformaciones plásticas por flexión. La figura 31 presenta el detalle constructivo completo del disipador, incluyendo todas las dimensiones de diseño requeridas para su fabricación.

Figura 31

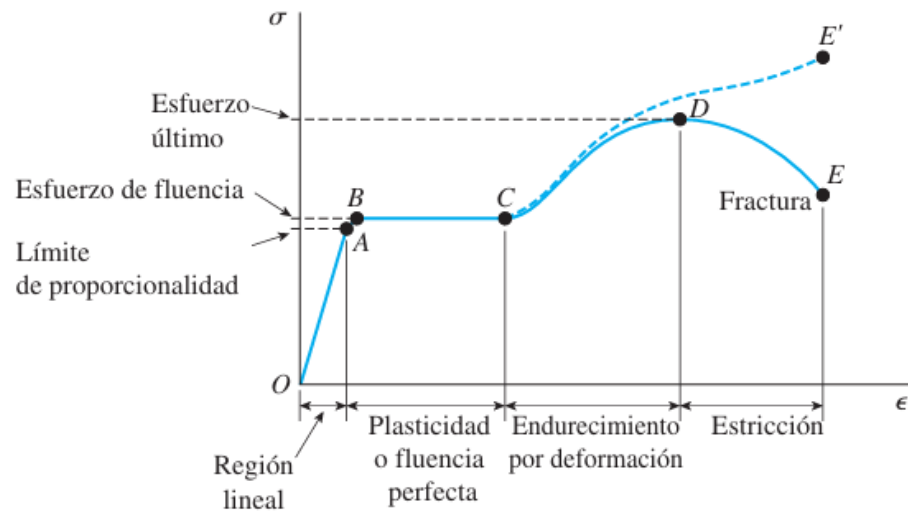
Dimensiones nominales del segmento de perfil de acero de sección I (mm).



Mecánicamente, los fragmentos de perfiles I se comportan como elementos que trabajan en paralelo, experimentando igual desplazamientos relativos entre sus alas. Fabricados en acero, estos elementos presentan la ventaja de ser fácilmente soldables, aunque su principal desventaja radica en su susceptibilidad a la corrosión debido al contenido de hierro, requiriendo necesariamente tratamientos superficiales protectores. Estos perfiles aprovechan La aptitud del acero para deformarse en el rango plástico, aprovechando dicho comportamiento como mecanismo de disipación energética, propiedad que depende fundamentalmente de sus características mecánicas: límite elástico, tensión de fluencia, resistencia última y alargamiento unitario máximo. El límite elástico, en particular, define la máxima tensión que el material puede soportar sin sufrir deformaciones permanentes, como se ilustra en la curva esfuerzo-deformación de la figura 32. Complementariamente, la figura 31, tomada de García (1998), muestra el comportamiento comparativo del acero estructural bajo cargas monotónicas y cíclicas, proporcionando información valiosa sobre la respuesta del perfil disipador tanto en estado natural como bajo condiciones vibratorias.

Figura 32

Diagrama de esfuerzo deformación del acero.



Bisi (2015) establece que:

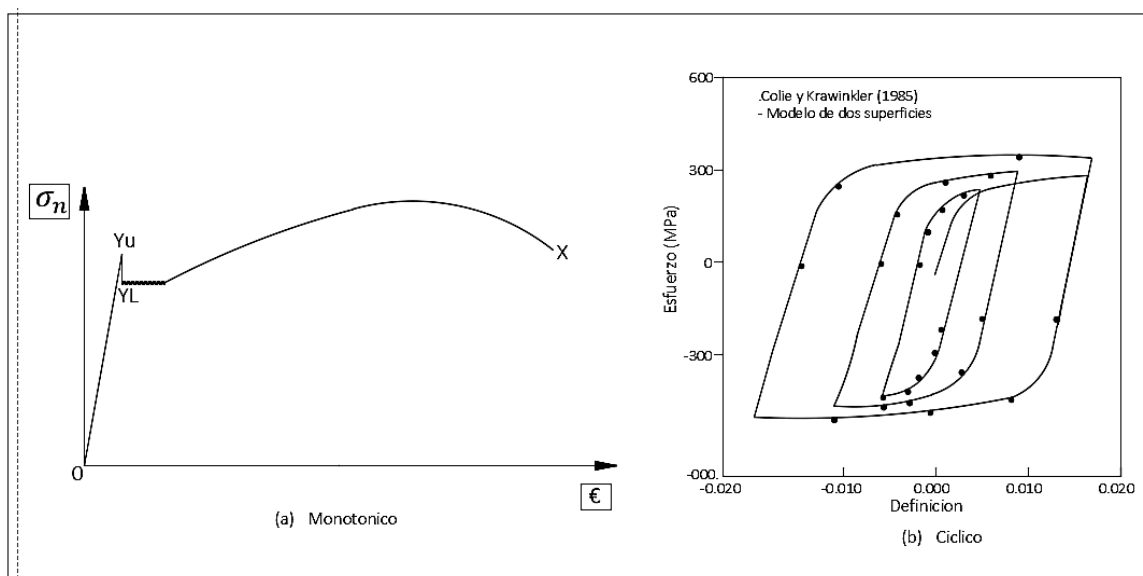
Al incrementar gradualmente la carga desde cero hasta el punto de fractura y calcular el esfuerzo y la deformación unitaria en cada etapa, se puede trazar una curva esfuerzo-deformación unitaria (Figura 32), típica de un acero dúctil. Inicialmente, la relación entre esfuerzo y deformación es lineal (obedece la Ley de Hooke) hasta el límite proporcional. Luego, se alcanza un punto de fluencia superior, seguido de una meseta (fluencia inferior), donde el esfuerzo se mantiene constante mientras la deformación aumenta (rango plástico).

Posteriormente, alrededor de 12 veces la deformación de fluencia, comienza el endurecimiento por deformación, requiriéndose mayor carga para continuar el alargamiento. Tras alcanzar el esfuerzo máximo, ocurre la estricción (reducción de la sección transversal), disminuyendo el esfuerzo hasta la fractura. Aunque el área real cambia, los cálculos usan el área original (esfuerzo de ingeniería), al igual que la longitud inicial para la deformación unitaria de ingeniería.

El límite elástico (entre el límite proporcional y la fluencia superior) marca el punto hasta donde el material puede descargarse sin deformación permanente (rango elástico). Más allá de este límite, la descarga sigue una línea paralela a la zona elástica, dejando una deformación permanente. (p.4)

Figura 33

Respuesta esfuerzo deformación del acero estructural monotónico y cíclico.



Villareal (2008) establece:

Los sistemas histeréticos, por definición, disipan energía a través de un mecanismo que es independiente del rango de aplicación de la carga. En este grupo están incluidos los disipadores metálicos que utilizan la plastificación de metales como el mecanismo disipativo y los disipadores friccionantes que generan calor a través de la fricción de deslizamiento. (p.58)

14.5.09 Métodos basados en amortiguamiento equivalente

14.5.09.1 Coeficiente de amortiguamiento equivalente y rigidez

Villareal (2008) establece:

La aptitud del acero para deformarse en el rango plástico, aprovechando dicho comportamiento como mecanismo de disipación energética en la tabla 3. (p.72)

Tabla 8

Disipadores histeréticos (fluencia).

Modelo: Elastoplástico

-Amortiguamiento equivalente $C_d = 0$, $d_0 < d_y$

-Rigidez equivalente. $k_d = k_e$, $d_0 < d_y$

Modelo : Bilineal

-Amortiguamiento equivalente $C_d = \frac{4(k_e - k_h)d_y(d_0 - d_y)T}{(2\pi^2 \cdot d_0^2)}$, $d_0 \geq d_y$

-Rigidez equivalente. $k_d = \frac{[(k_e d_y + k_h(d_0 - d_y))]}{d_0}$, $d_0 \geq d_y$

Modelo: Polinomial

-Amortiguamiento equivalente $C_d = \frac{4d_y p_y T \left[\frac{r-1}{r+1} \right] \left(\frac{p_0}{p_y} \right)^{r+1}}{(2\pi^2 \cdot d_0^2)}$

-Rigidez equivalente. $k_d = \frac{p_0}{d_0}$, $\frac{d_0}{d_y} = \frac{p_0}{p_y} + \alpha \left(\frac{p_0}{p_y} \right)^r$

14.5.09.2 Comportamiento histerético y capacidad de disipación de energía del disipador sísmico de bajo costo.

Las fichas técnicas de fabricantes de planchas de acero A36, fabricadas de acuerdo a las normas ASTM A36 establecen las siguientes propiedades mecánicas:

Tabla 9

Propiedades mecánicas de materiales de fabricación del DSBC.

Limite de fluencia σ_y	250 Mpa.
Esfuerzo ultimo σ_B	400 Mpa.
Módulo de elasticidad E	2,1414x10 ⁶ kgf/cm ²
Alargamiento en rotura	20 %

Fuente: Fichas técnicas Aceros Arequipa.

La carga y desplazamiento de fluencia Q_y y δ_y pueden deducirse de la geometría y propiedades del material según la tabla 4, suponiendo que las alas del perfil de prueba están perfectamente empotradas, la rigidez lateral elástica, K_e viene dado por la ecuación siguiente, a partir de la altura h del alma del perfil hasta los radios de curvatura y la inercia a flexión de la sección I. A su vez la inercia de la sección viene dada por su ancho l y su canto.

$$I := \frac{l_1 \cdot t_w^3}{12} \quad K_e := \frac{12 \cdot E \cdot I}{h_1^3} \quad K_e := \frac{E \cdot l_1 \cdot t_w^3}{h_1^3}$$

$$E=210000 \text{ N/mm}^2$$

l1= ancho del disipador del alma del perfil =0,25m., en caso los perfiles en I estén conectados en paralelo la constante de rigidez del DSBC Será:

$$K_{e\text{ tot}} = K_{e1} + K_{e2} + K_{e3} + K_{e4} + K_{e5} + K_{e6} + K_{e7} + K_{e8} + K_{e9} = 9K_{e1},$$

$$K_{e\text{ tot}} = (108EI/h^3)$$

El momento flector de fluencia M_y de una sección de acero de dimensiones $l \cdot t_w$

Viene dado por:

$$M_y := \frac{f_y \cdot t_w^2 \cdot l_1}{4}$$

Por equilibrio se obtiene la carga de fluencia Q_y

$$Q_y := \frac{f_y \cdot t_w^2 \cdot l_1}{2 \cdot h_1}$$

A partir de la rigidez elástica K_e de la ecuación de K_e y la carga de fluencia Q_y de su ecuación, tenemos el desplazamiento de fluencia:

$$\delta_y := \frac{Q_y}{K_e} \quad \delta_y := \frac{f_y \cdot h_1^2}{2 \cdot t_w \cdot E}$$

Análogamente la máxima fuerza aparente Q_B , correspondiente a la tensión del acero σ_B viene dada por la siguiente expresión.

$$Q_B := \frac{\sigma_B \cdot t_w^2 \cdot l_1}{2 \cdot h_1}$$

En el caso planteado se obtiene, los valores mostrados en la tabla. 5

Tabla 10

Parámetros a obtener aplicando las ecuaciones.

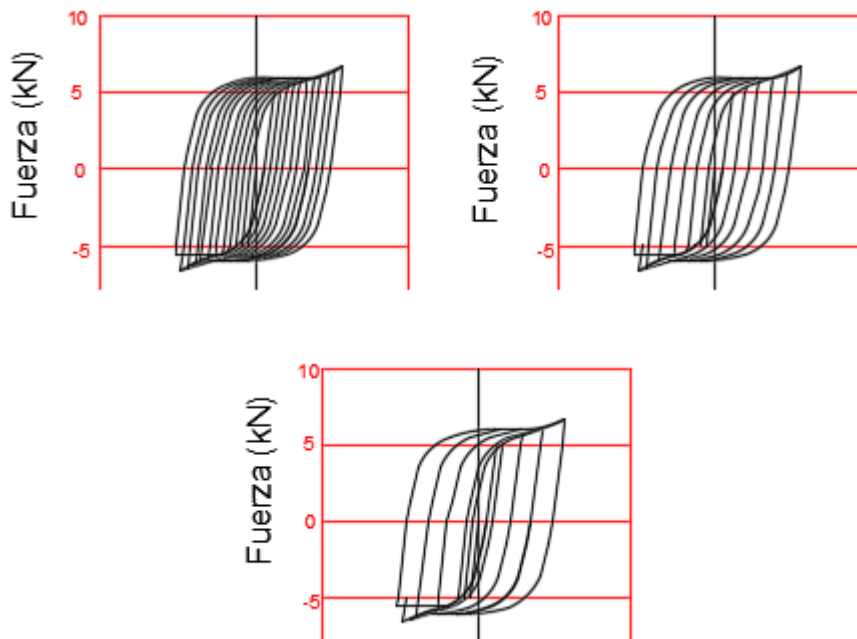
Q_y	Carga de fluencia
Q_B	Fuerza aparente máxima
δ_y	Desplazamiento de fluencia
K_e	Rigidez elástica

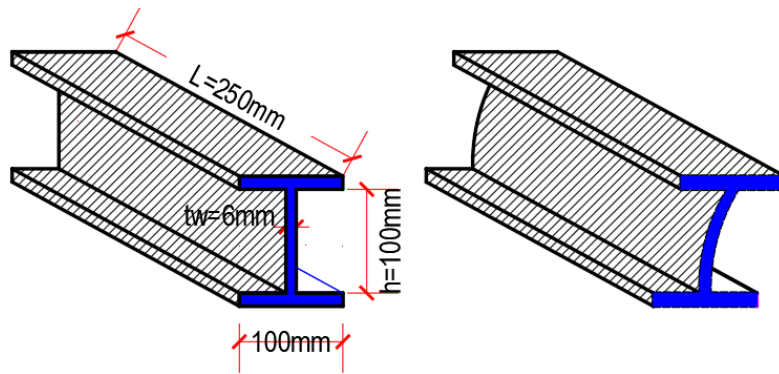
14.5.09.3 Relación carga desplazamiento

En las figura (34), se muestran las curvas fuerza-desplazamiento, los resultados experimentales sugieren que el disipador sísmico de bajo costo DSBC, presenta un comportamiento histerético estable y prácticamente idéntico en los dominios de carga positivo y negativo, con una transición suave entre la parte elástica y plástica así mismo en las figuras (25), tenemos representadas el patrón de rotura y el patrón de deformación típico del disipador DSBC.

Figura 34

Curvas fuerza-desplazamiento



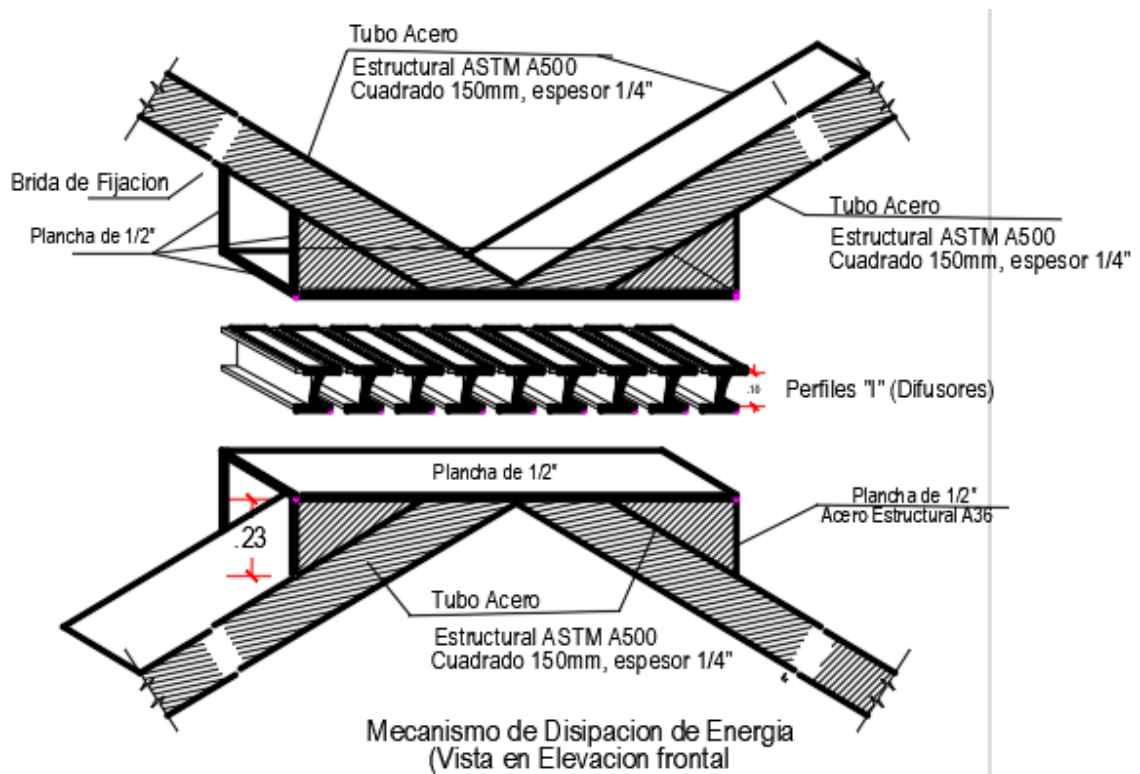


14.5.10 Diseño del disipador sísmico de bajo costo (DSBC).

En la edificación propuesta, se utilizaron disipadores metálicos de fluencia, en la cara principal y en la cara posterior de la edificación. En total hemos considerado 4 disipadores por piso, 2 en la cara principal y dos en la cara posterior siendo en total 20 disipadores en toda la edificación. Las características del disipador MDF se muestran en la fig.35

Figura 35

Vistas frontal y lateral del dispositivo disipador de energía metálico de fluencia



En la cara principal tenemos 10 disipadores con las siguientes características:

En la parte frontal de la edificación tenemos 10 disipadores DSBC y en la parte posterior de la edificación tenemos 10 disipadores DSBC de

las siguientes características:

Paño de 2,65 m x 2,15 m., $L1=3,41$ m. $\theta_2=51^\circ$

Paño de 2,65 m x 2,23 m., $L2=2,5$ m. $\theta_2=50^\circ$

Paño de 2,65 m x 3,65 m., $L3=2,25$ m. $\theta_2=45^\circ$

Paño de 2,65 m x 3,90 m., $L4=4,71$ m. $\theta_2=42^\circ$

Determinación de los coeficientes K_d y C_d para los disipadores metálicos de fluencia DMDF donde:

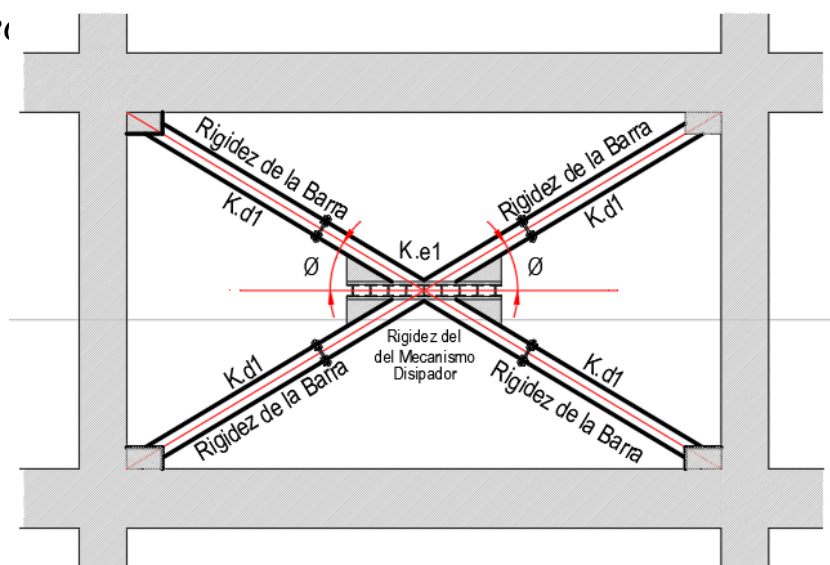
K_d : Coeficiente de rigidez equivalente

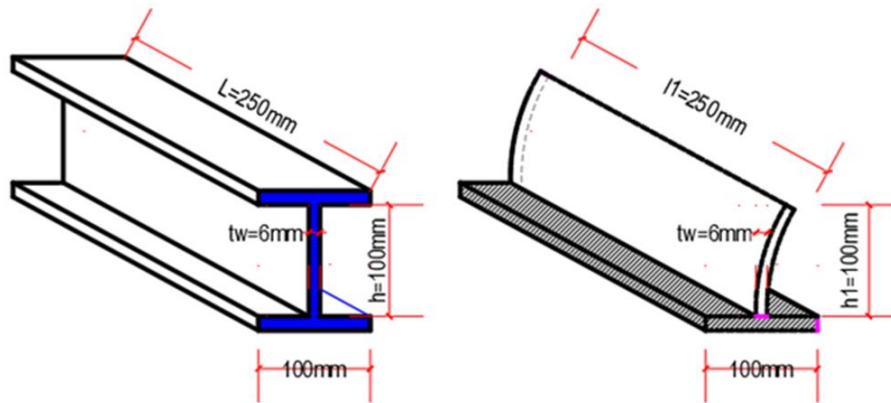
C_d : Coeficiente de amortiguamiento

Ahora vamos a calcular la rigidez del disipador por plastificación, utilizando las siguientes expresiones y considerando los coeficientes de rigidez bajo el siguiente esquema ver fig.36.

Figura 36

Configuración de la conexión entre los brazos metálicos y el disipador sísmico de bajo costo (DSBC)





Rigidez Elastica del Dispositivo de Disipacion Sismica

$$K_{Te} := n \cdot \frac{E \cdot l_1 \cdot t_w^3}{h_1^3} = 12.0983 \frac{\text{tonnef}}{\text{mm}}$$

Momento de Inercia

$$I := \frac{d \cdot t_w^3}{12}$$

Rigidez Elastica del Perfil "I"

$$K_e := \frac{12 \cdot E \cdot I}{h_1^3}$$

Momento de Fluencia

$$M_y := \frac{f_y \cdot t_w^2 \cdot l_1}{4} = 0.0638 \text{ m tonnef}$$

Carga de Fluencia

$$Q_y := \frac{f_y \cdot t_w^2 \cdot l_1}{2 \cdot h_1} = 1.2752 \text{ tonnef}$$

Desplazamiento de fluencia Para un perfil I

$$\delta_y := \frac{Q_y}{K_{Te}} = 0.1054 \text{ mm}$$

Determinacion de la rigidez equivalente

Rigidez Equivalente (Barra Diagonal paralelo a Disipador)

$$\frac{1}{K_{eq}} = \frac{1}{K_{diag}} + \frac{1}{K_{Te}}$$

$$K_{eq} := \frac{1}{\frac{1}{K_{diag}} + \frac{1}{K_{Te}}}$$

Rigidez de la Barra Diagonal

$$K_{diag} := \frac{E \cdot A_{diag} \cdot (\cos(\theta_1))^2}{L_{diag}}$$

Determinación de la rigidez de la Barras de Soporte

$L_1 := 3.41 \text{ m}$ $\theta_1 := 51^\circ$ Muros detras Eje 11

$$K_{d1} := \frac{E \cdot A_{dia} \cdot (\cos(\theta_1))^2}{0.25 \cdot L_1} = 3147.0667 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

$L_2 := 2.50 \text{ m}$ $\theta_2 := 50^\circ$ Muros detras eje 11

$$K_{d2} := \frac{E \cdot A_{dia} \cdot (\cos(\theta_2))^2}{0.25 \cdot L_2} = 4170.2010 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

$L_3 := 2.25 \text{ m}$ $\theta_3 := 45^\circ$ Muro frontal eje 1

$$K_{d3} := \frac{E \cdot A_{dia} \cdot (\cos(\theta_3))^2}{0.25 \cdot L_3} = 6021.4933 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

$L_4 := 4.71 \text{ m}$ $\theta_4 := 42^\circ$ Muro frontal eje 1

$$K_{d4} := \frac{E \cdot A_{dia} \cdot (\cos(\theta_4))^2}{0.25 \cdot L_4} = 3177.1867 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

Rigidez Equivalente Disipador Posterior 01

$$K_{e1} := \frac{1}{\left(\frac{1}{K_{d1}} + \frac{1}{K_{Te}}\right)} = 2497.4232 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

Rigidez Equivalente Disipador Posterio 2

$$K_{e2} := \frac{1}{\left(\frac{1}{K_{d2}} + \frac{1}{K_{Te}}\right)} = 3268.4409 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

Rigidez Equivalente Disipador Fronta 1

$$K_{e3} := \frac{1}{\left(\frac{1}{K_{d3}} + \frac{1}{K_{Te}}\right)} = 4020.4519 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

Rigidez Equivalente Dsipador Frontal 2

$$K_{e4} := \frac{1}{\left(\frac{1}{K_{d4}} + \frac{1}{K_{Te}}\right)} = 2516.354 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

Donde:

K_{eq} : Rigidez equivalente

K_e : Rigidez del disipador sísmico

K_{diag} : Rigidez axial de la barra diagonal (Tubo cuadrada de 150mm, espesor 6.5mm)

A_{diag} : Área de sección transversal de la barra diagonal.

L_{diag} : Longitud de la barra diagonal

Θ : Angulo que forma la barra diagonal

E : Modulo de elasticidad del acero

I : Momento de inercia del perfil "I"

d : Longitud del perfil "I"

t_w : Espesor del alma del perfil "I"

h_1 : Altura del perfil "I"

n : Numero de perfiles "I"

f_y : Esfuerzo a la fluencia del acero.

M_y : Momento de fluencia

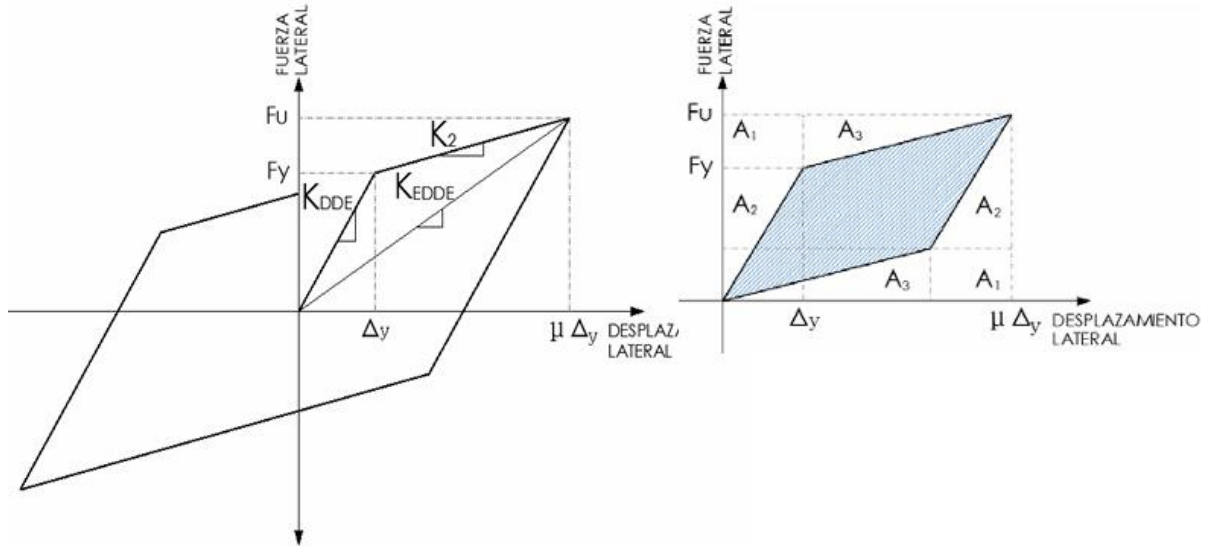
Δy : Desplazamiento de fluencia

14.5.11 Amortiguamiento Viscoso del disipador de energía de Bajo Costo

De la se presenta el modelo numérico bilineal que representa el comportamiento de un disipador. Para calcular el factor de amortiguamiento equivalente se debe evaluar la energía disipada en un ciclo de histéresis y la energía elástica.

Figura 37

Comportamiento bilineal del disipador sísmico de bajo costo.



Determinación del coeficiente de amortiguamiento de los disipadores metálicos de fluencia DSBC, para nuestro análisis hemos considerado que el amortiguamiento es del tipo viscoso y hallamos el coeficiente de amortiguamiento equivalente del disipador modelado como viscoso.

$$C_{d1} = \left[\frac{2\Delta y(K_{DDE1} - K_2)(\mu\Delta y - \Delta y)T}{\pi^2(\mu\Delta y)^2} \right]_1 \dots$$

Donde:

$\mu\Delta y$: Desplazamiento lateral

Δy : Desplazamiento de fluencia

μ : Ductilidad del disipador

T : Primer periodo de vibración

K_{DDE1} : Rigidez elástica inicial (K_e)

$$\Delta y = \frac{f_y h^2}{2E_t} \cong \frac{\sigma_y h^2}{2Et_w} \dots$$

Donde:

f_y : Esfuerzo de fluencia = 2500 Kg-f/cm², $h=10$ cm, $E=2,1 \times 10^6$ Kg-f/cm², $t_w=6.9$ mm, $\theta_1=30,77^\circ$, $\theta_2=38,34^\circ$, $l_1=9$ cm, $\Delta y_1=3,26$ mm.

$$K_{DDE} := n \cdot \left(12 \cdot \frac{E \cdot l_1 \cdot t_w^3}{h_1^3} \right) = 1.3827 \cdot 10^5 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

Se denomina α a la relación entre la rigidez postfluencia K_I , con respecto a la rigidez elástica del disipador. $\alpha = 0,03$ (valor asumido).

Relacion en la rigidez elastica y poselastica k1

$$\alpha := 0.03$$

$$k_1 := \alpha \cdot K_{Te} = 4147.9756 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

$$K_{1,2} = \frac{F_u - F_y}{\Delta_u - \Delta_y}$$

μ =Ductilidad del disipador

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$$

Donde, Δ_u : Deformación ultima y Δ_y : Deformación de fluencia

$$\Delta_u = 10 \Delta_y$$

T: Periodo del primer modo de vibración = 0,319s

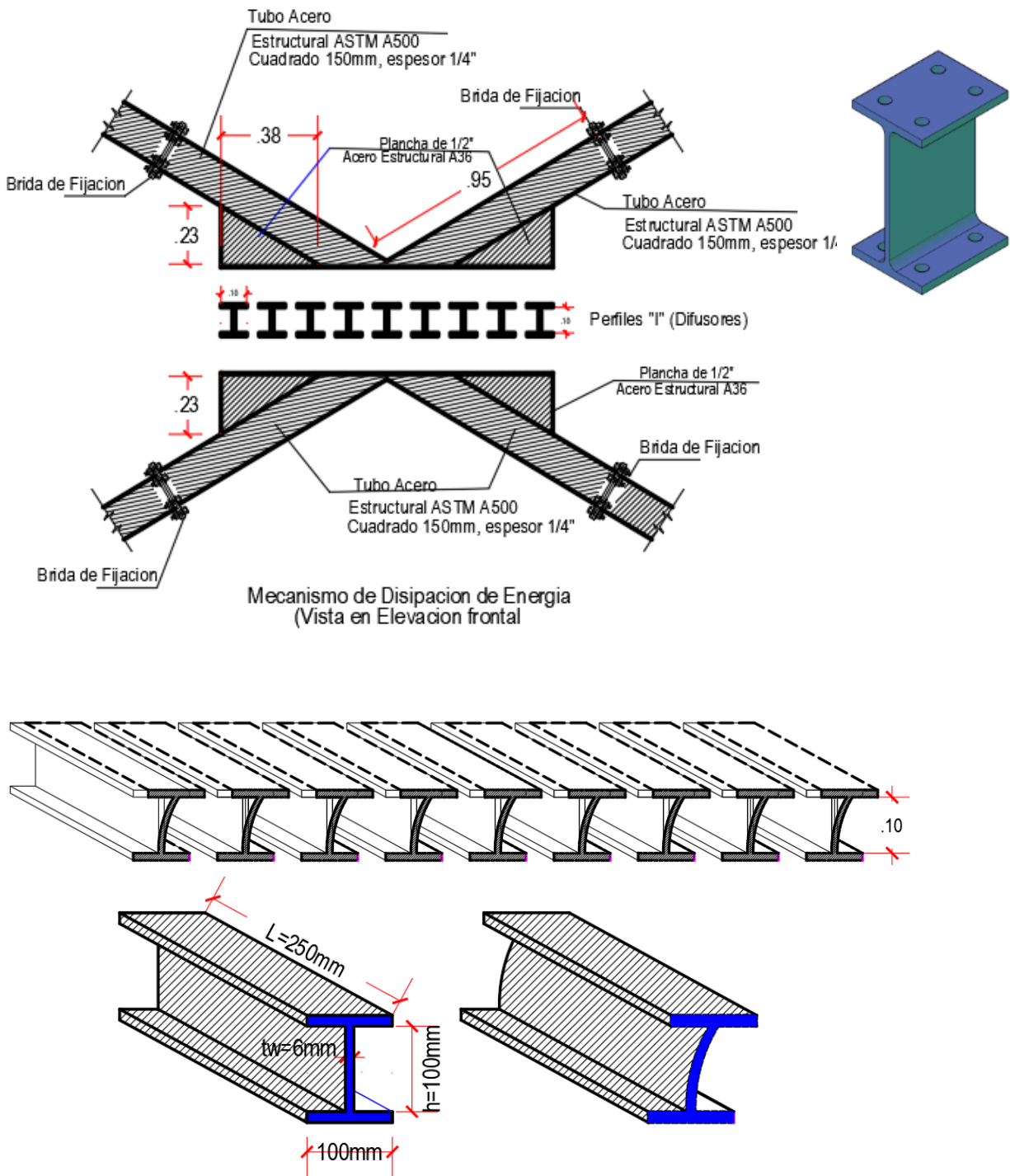
Reemplazando valores en la ecuación del coeficiente de amortiguamiento equivalente tenemos:

$$C_{D1} := \frac{2 \cdot \Delta_y \cdot (K_{Te} - k_1) \cdot (\mu \cdot \Delta_y - \Delta_y) \cdot T}{\pi^2 \cdot (\mu \cdot \Delta_y)^2} = 780.2793 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}} \frac{\text{s}}{\text{m}}$$

14.5.12 Montaje y desmontaje del difusor de fluencia

Figura 38

Montaje y desmontaje del difusor de fluencia.



14.5.13 Modelamiento Paramétrico del Disipador Sísmico de Bajo Costo:

Con el objetivo de verificar el desempeño estructural del disipador sísmico de bajo costo propuesto, se realizó un modelamiento paramétrico mediante el software Autodesk Inventor, considerando cuatro configuraciones distintas del dispositivo. Estas configuraciones se diferenciaron por el número de perfiles de acero tipo I (Difusores) incorporados, específicamente: 6, 9, 12 y 15 perfiles.

A cada una de estas variantes se le aplicaron análisis de cargas estáticas para determinar su respuesta estructural. El estudio se centró en la obtención de los desplazamientos máximos y los esfuerzos máximos, parámetros fundamentales para evaluar la eficacia del dispositivo.

Tabla 11

Propiedades mecánicas del Acero A36.

Nombre	Acero estructural A36	
	Densidad de masa	7.85 g/cm ³
General	Límite de elasticidad	207 MPa
	Resistencia máxima a tracción	450 Mpa
	Módulo de Young	220 GPa
Tensión	Coefficiente de Poisson	0.275
	Módulo Cortante	86.2745 GPa

1.- Modelo Paramétrico del Disipador Sisimico de Bajo Costo

Figura 39

Modelo Paramétrico del Disipador Sisimico de Bajo Costo para 06 Perfiles I, Vista lateral, vista frontal y Vista en Planta.

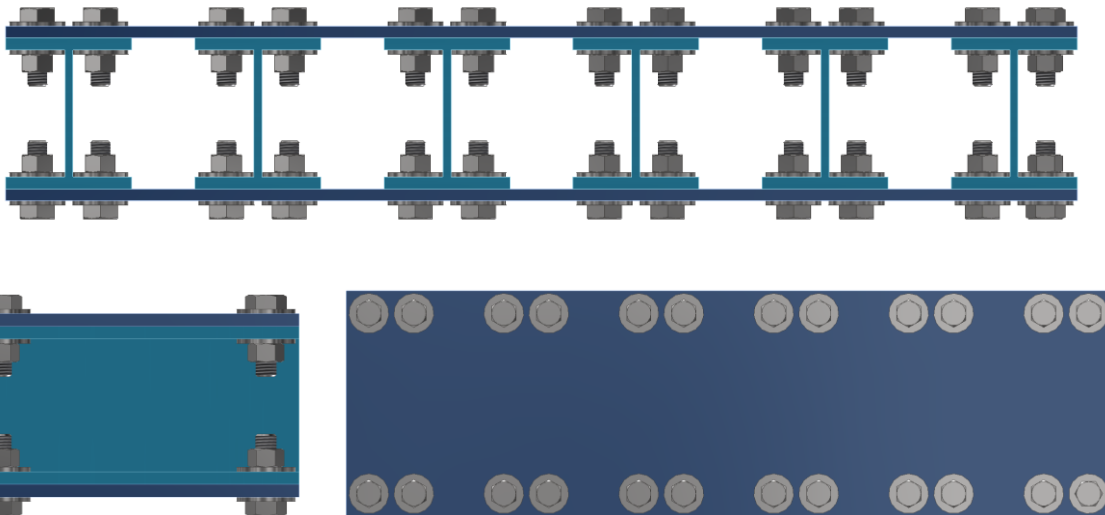
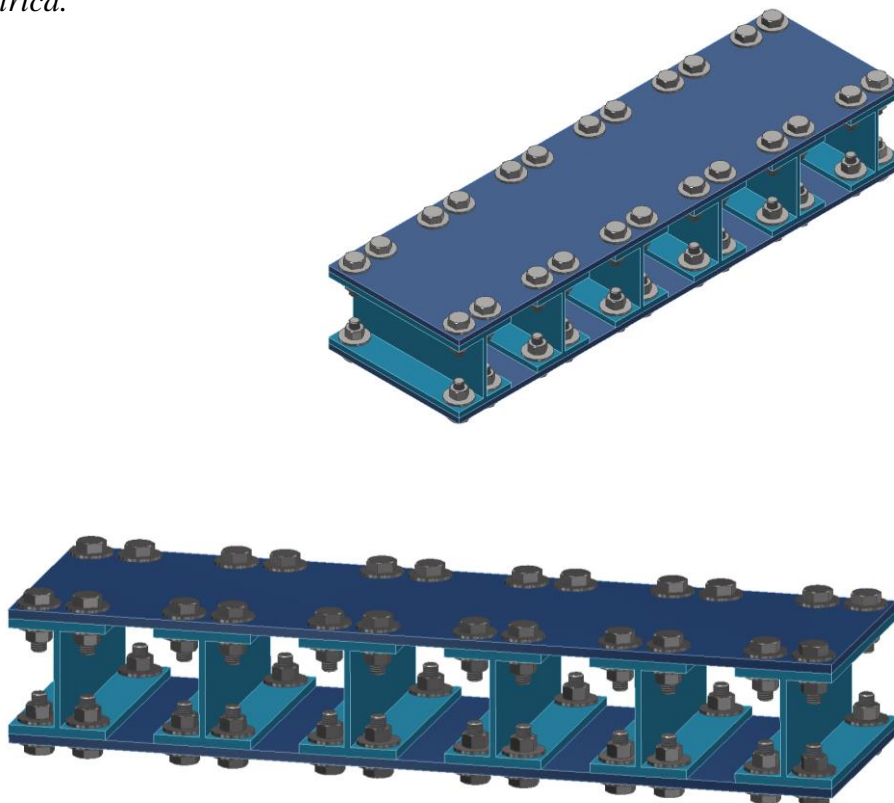


Figura 40

Modelo Paramétrico del Disipador Sisimico de Bajo Costo para 06 Perfiles I, Vista Isométrica.



2.- Esfuerzos del Modelo Paramétrico del Disipador Sísmico de Bajo Costo para 06 Perfiles I

Figura 41

Esfuerzo máximo para una carga de 20KN.

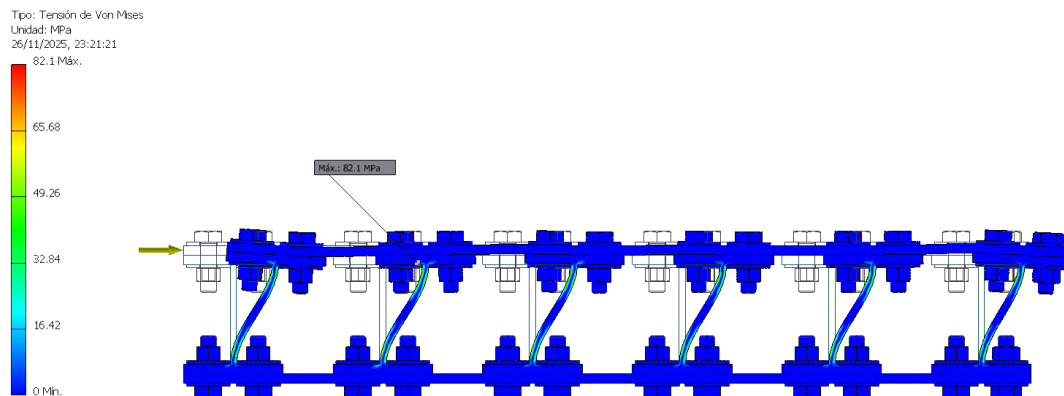


Figura 42

Esfuerzo máximo para una carga de 40KN.

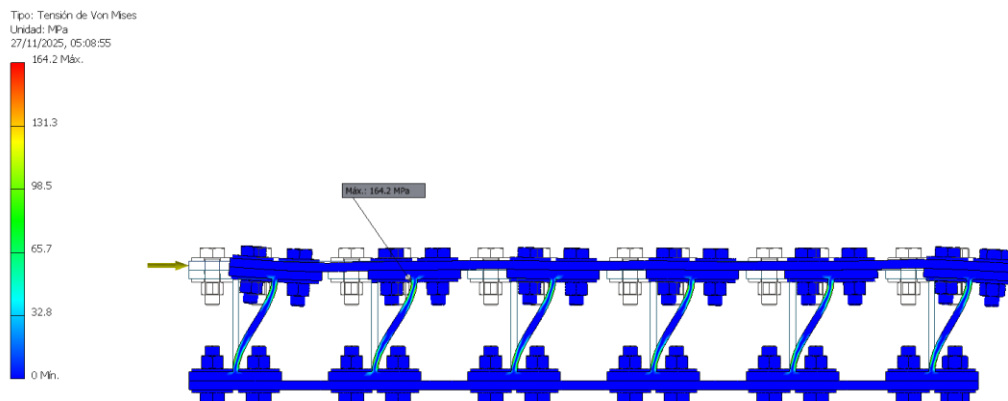


Figura 43

Esfuerzo máximo para una carga de 60KN.

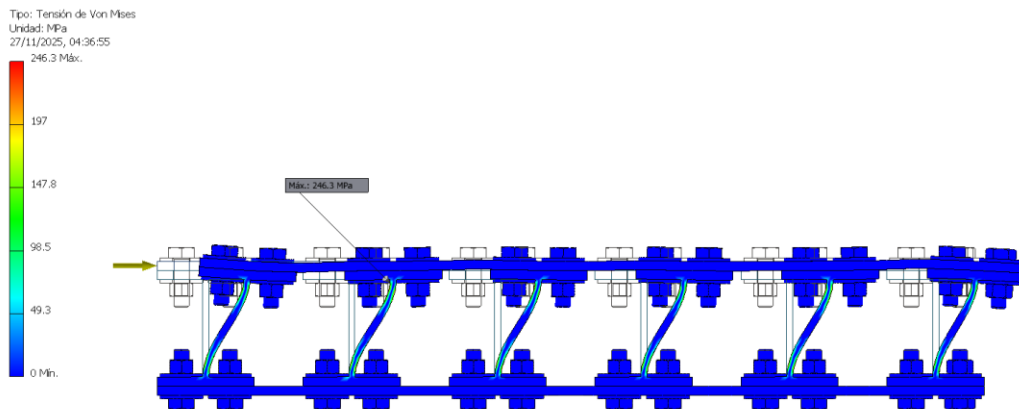


Figura 44

Esfuerzo máximo para una carga de 80KN.

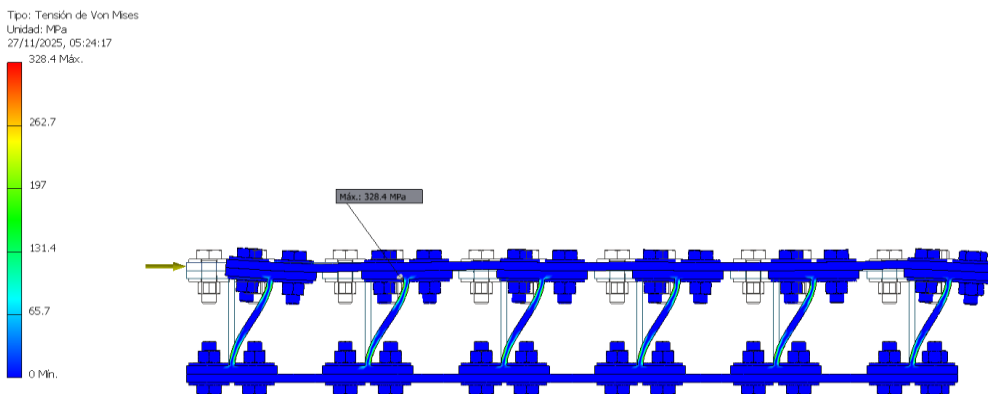


Figura 45

Esfuerzo máximo para una carga de 100KN.

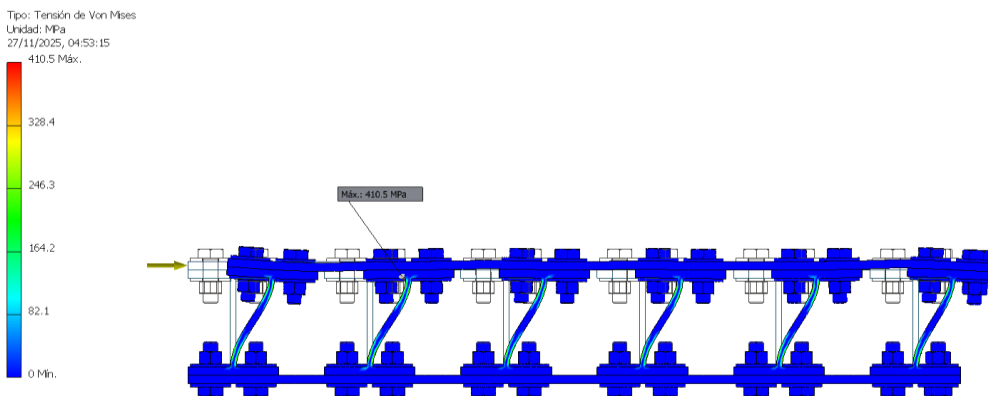
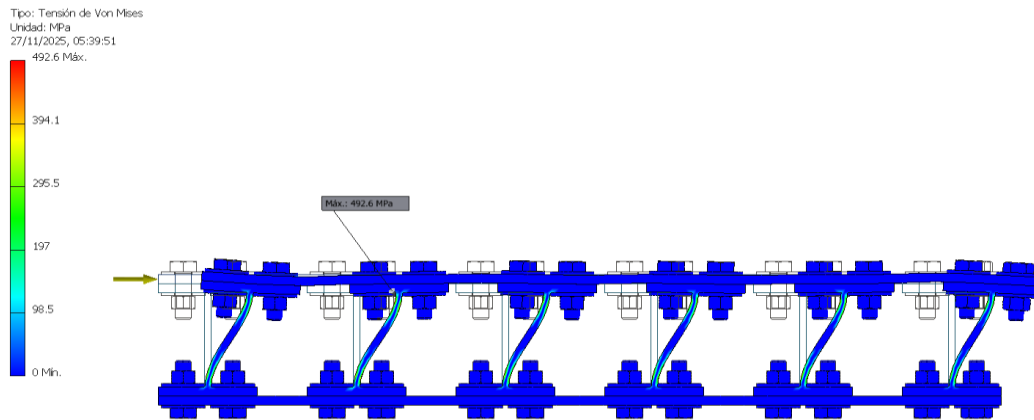


Figura 46

Esfuerzo máximo para una carga de 120KN.



Desplazamientos del Modelo Paramétrico del Disipador Sismico de Bajo Costo para 06

Perfiles I

Figura 47

Desplazamiento para una carga de 20KN.

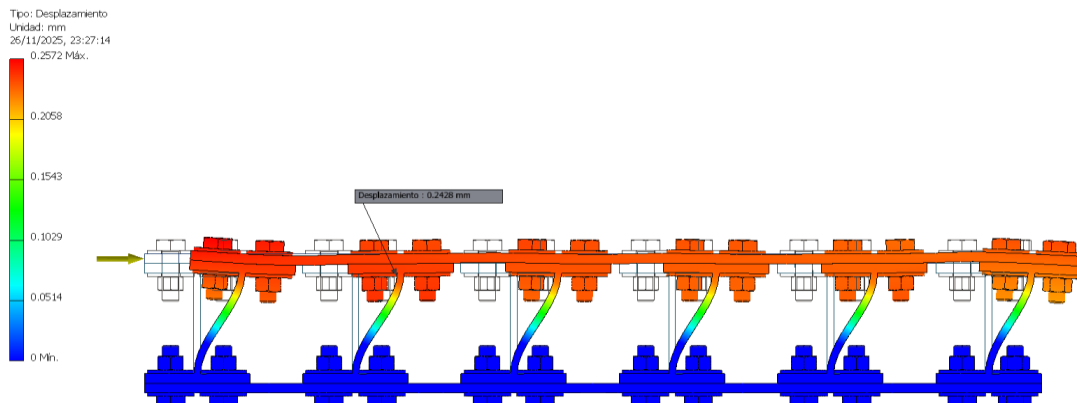


Figura 48

Desplazamiento para una carga de 40KN.

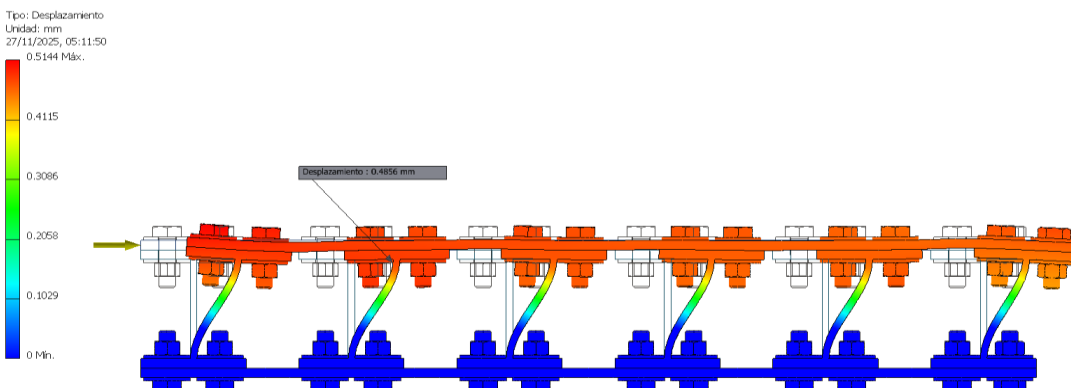


Figura 49

Desplazamiento para una carga de 60KN.

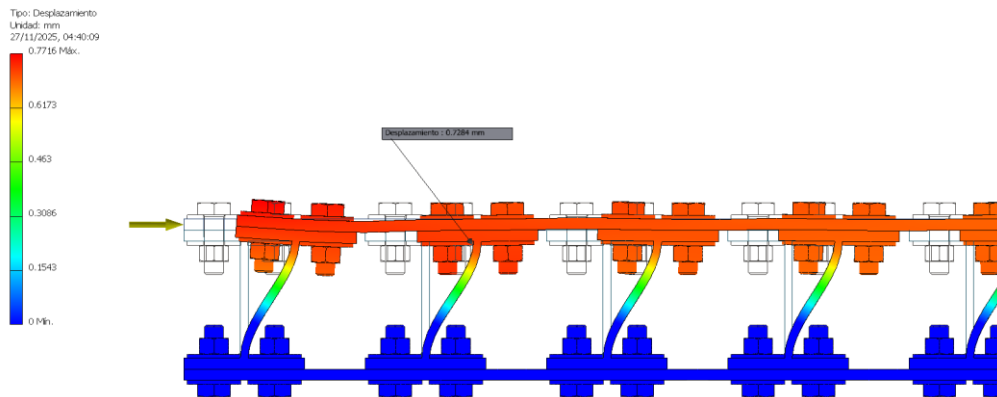


Figura 50

Desplazamiento para una carga de 80KN

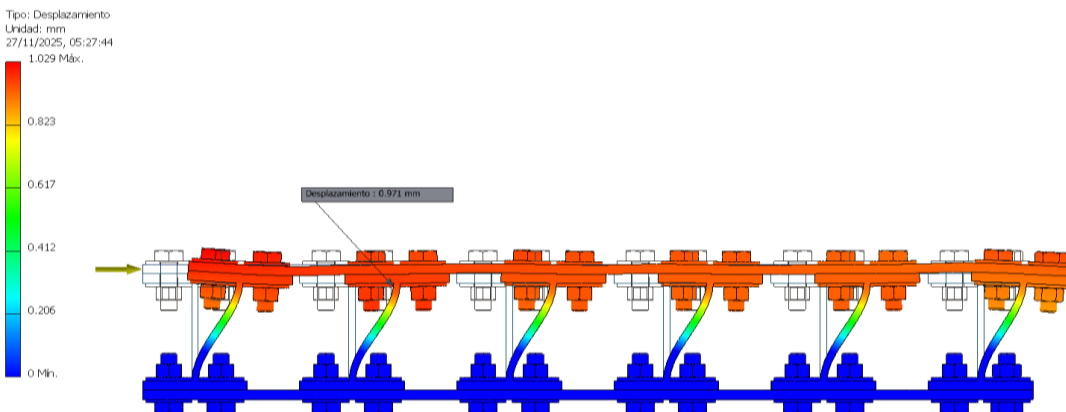


Figura 51

Desplazamiento para una carga de 100KN.

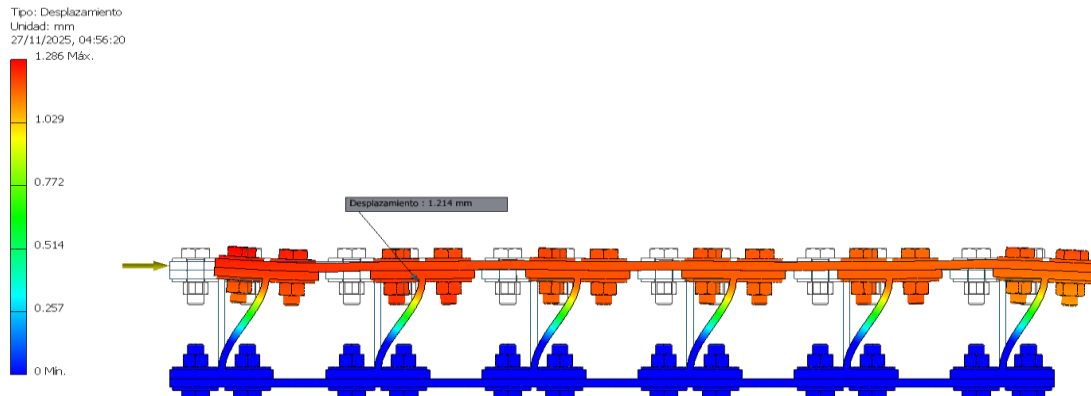


Figura 52

Desplazamiento para una carga de 120KN.

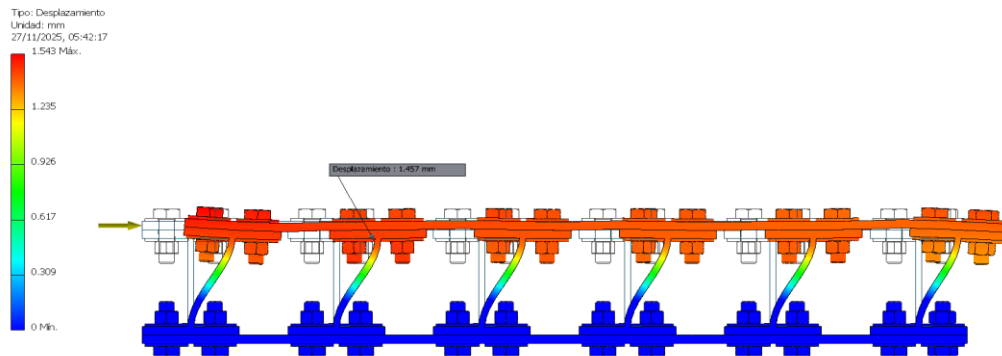


Tabla 12

Resumen Fuerza- Esfuerzo-Deformación.

6 perfiles – Tabla Resumen

No	Fuerza (Tn)	Fuerza (Kn)	Esfuerzo (Mpa)	Desplazamiento (mm)
1	2	20	82.1	0.2428
2	4	40	164.2	0.4856
3	6	60	246.3	0.7284
4	8	80	328.4	0.971
5	10	100	410.5	1.214
6	12	120	492.6	1.457

Tabla 13

Desplazamiento – Fuerzas.

Desplazamiento - Fuerza	
Desplazamiento (mm)	Fuerza (KN)
0.2428	20
0.4856	40
0.7284	60
0.971	80
1.214	100
1.457	120

Del grafico se determina la rigidez del Disipador Sismico de Bajo Costo para 06 Perfiles I

$$k_{DDS} := \frac{120 \text{ kN}}{1.457 \text{ mm}} = 8.3985 \frac{\text{tonnef}}{\text{mm}}$$

Riidez del Disipador Sismico
con 6 perfiles I

$$k_{DDS} = 8.3985 \frac{\text{tonnef}}{\text{mm}}$$

Tabla 14

Esfuerzo Máximo-Desplazamiento.

Esfuerzo Máximo - Desplazamiento	
Esf. Max (MPa)	Desplazamiento (mm)
82.1	0.2428
164.2	0.4856
246.3	0.7284
328.4	0.971
410.5	1.214
492.6	1.457

Figura 53

Esfuerzo Máximo-Desplazamiento.

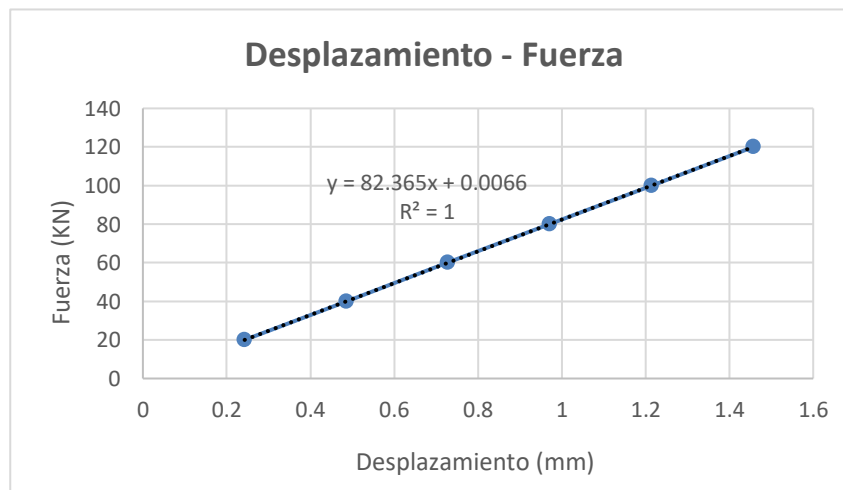


Figura 54

Esfuerzo Máximo-Desplazamiento.

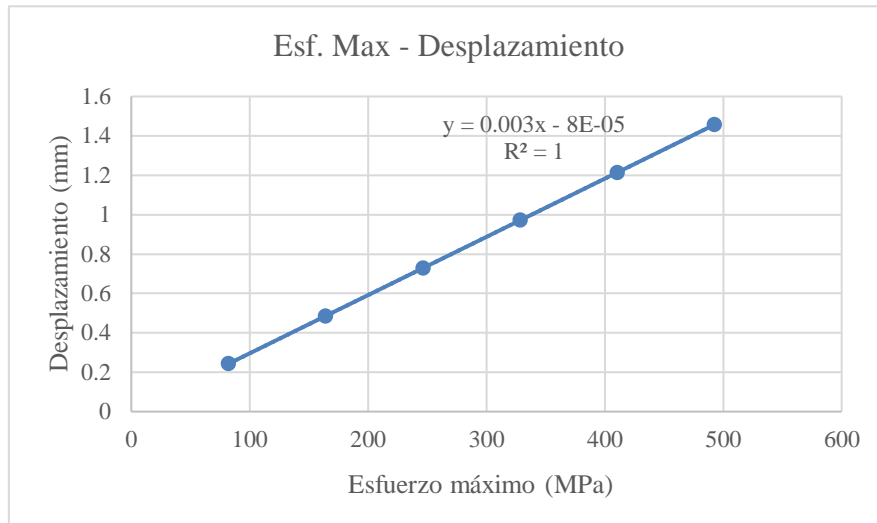


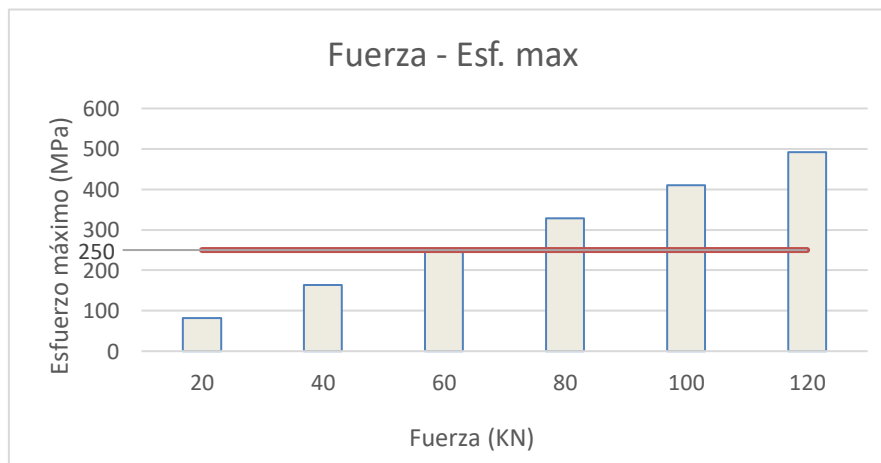
Tabla 15

Fuerza - Esfuerzo Máximo.

Fuerza – Esfuerzo máximo		
Fuerza (KN)	Esf. max(Mpa)	Esf. Adm(MPa)
20	82.1	250
40	164.2	250
60	246.3	250
80	328.4	250
100	410.5	250
120	492.6	250

Figura 55

Fuerza - Esfuerzo Máximo.



3.- Modelo Paramétrico del Disipador Sisimico de Bajo Costo para 09 Perfiles I

Figura 56

Modelo Paramétrico del Disipador Sisimico de Bajo Costo para 09 Perfiles I, Vista lateral, vista frontal y Vista en Planta.

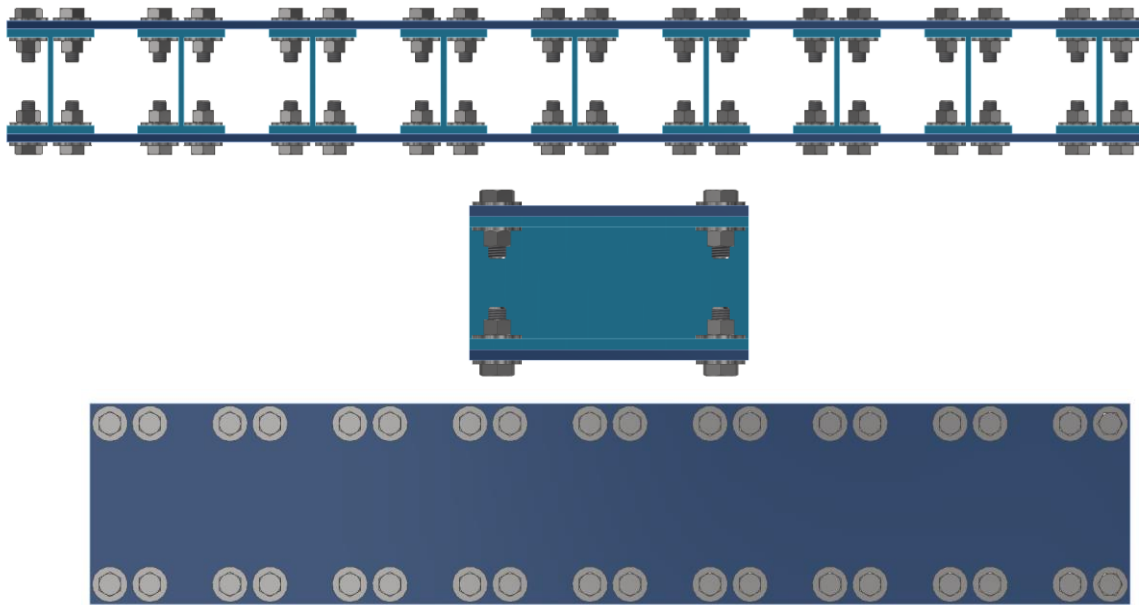
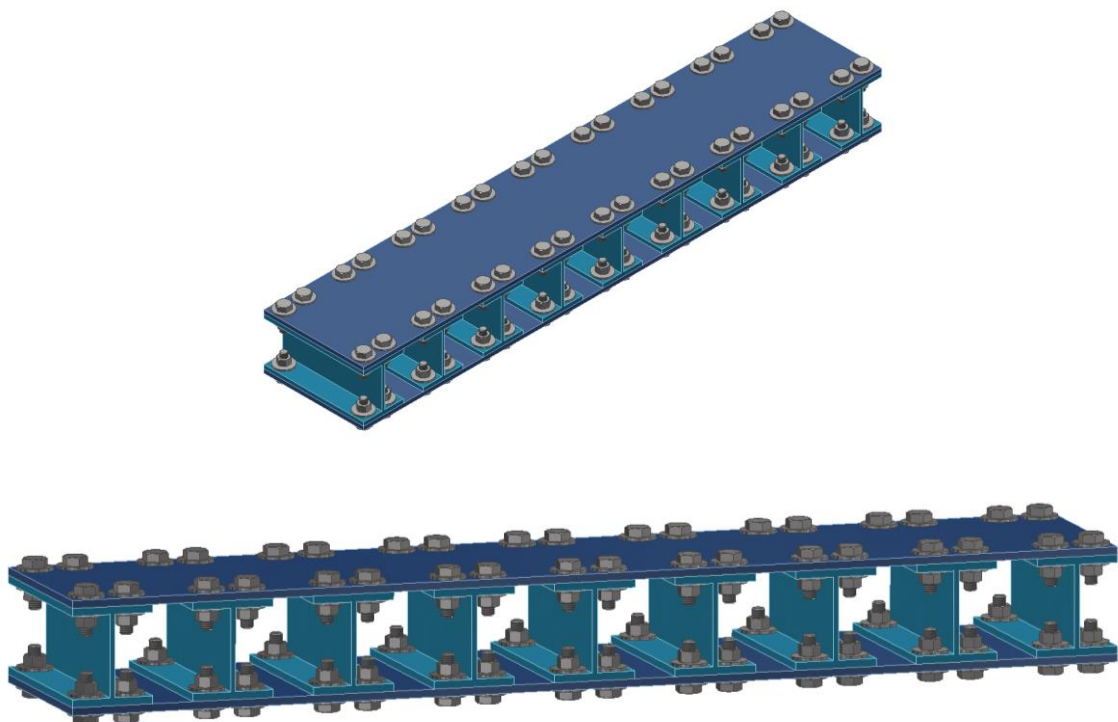


Figura 57

Modelo Paramétrico del Disipador Sisimico de Bajo Costo para 09 Perfiles I, Vista Isométrica.



4.- Resultados de Esfuerzos del Modelo Paramétrico del Disipador Sísmico de Bajo Costo para 09 Perfiles I, Vista Isométrica.

Figura 58

Esfuerzo máximo para una carga de 20KN.

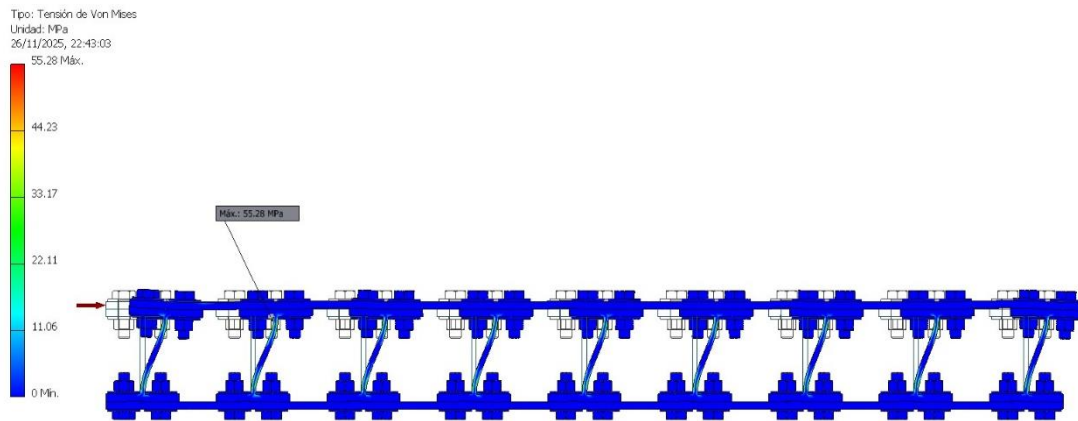


Figura 59

Esfuerzo máximo para una carga de 40KN.

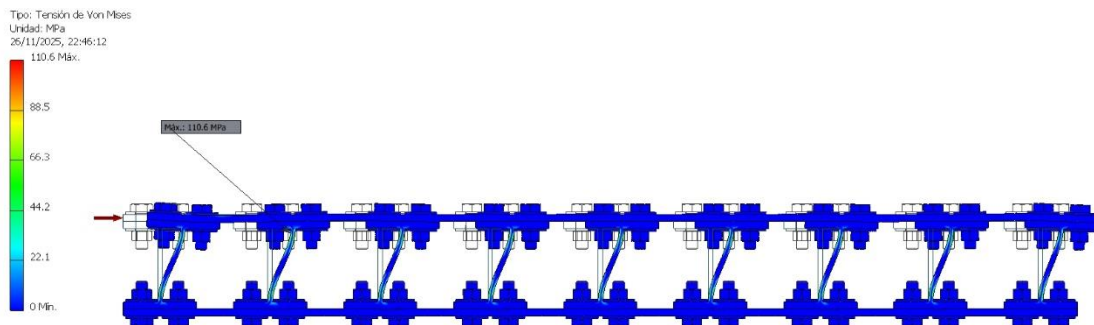


Figura 60

Esfuerzo máximo para una carga de 60KN.

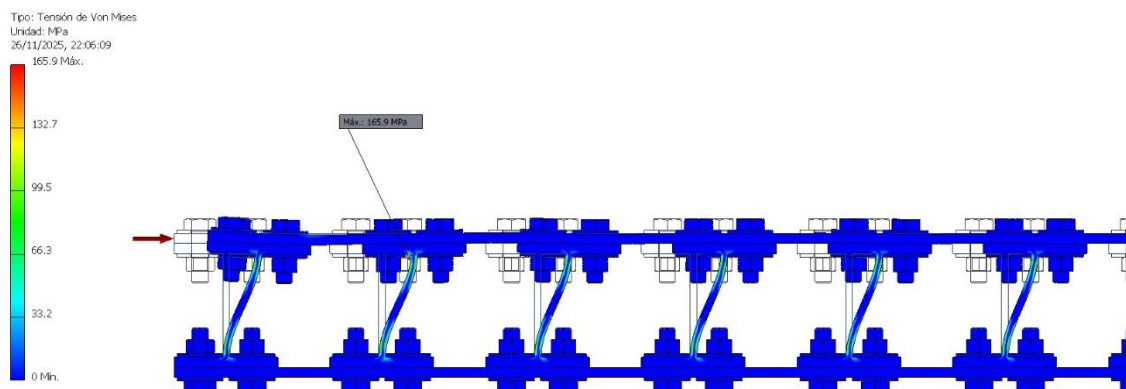


Figura 61

Esfuerzo máximo para una carga de 80KN.

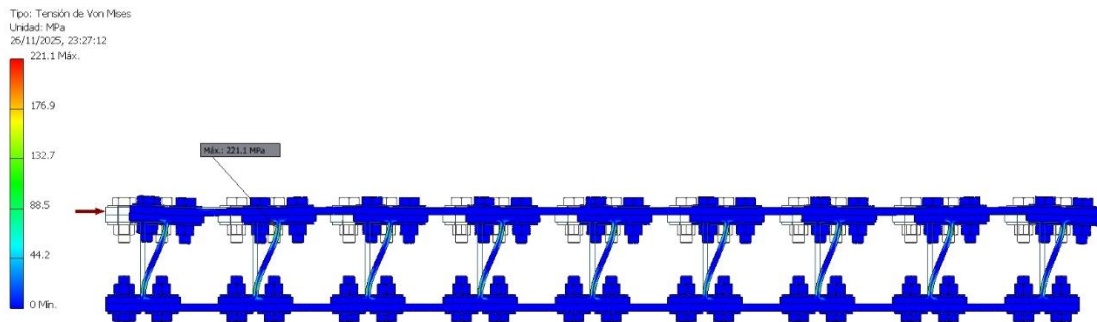


Figura 62

Esfuerzo máximo para una carga de 100KN.

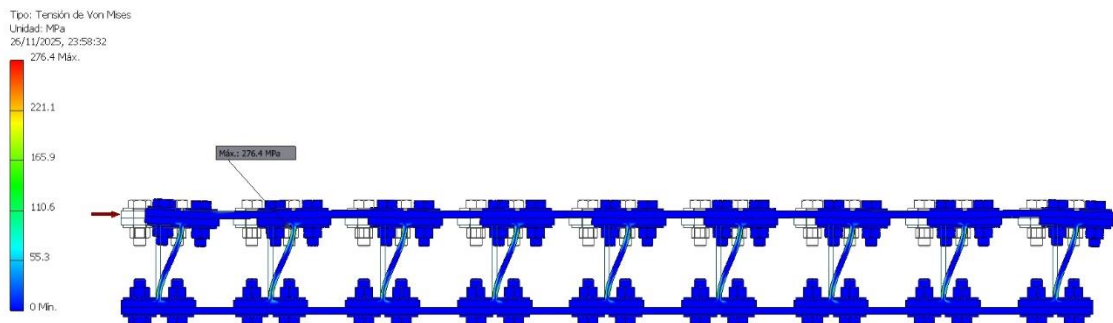
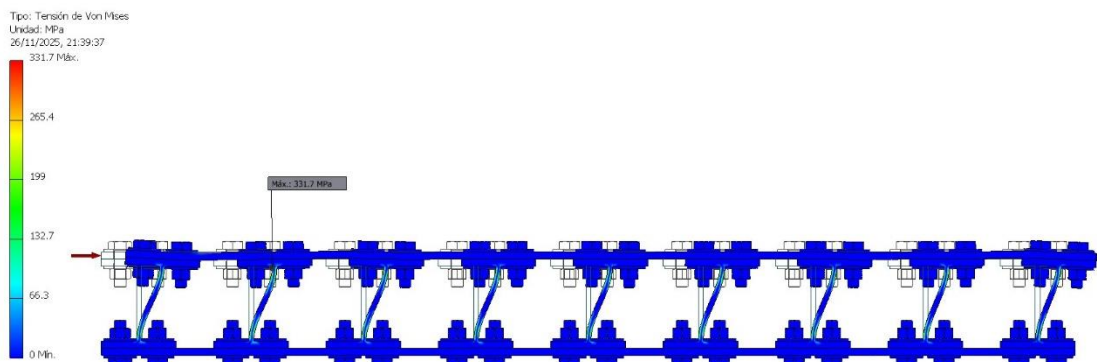


Figura 63

Esfuerzo máximo para una carga de 120KN.



Resultados de Desplazamientos del Modelo Paramétrico del Disipador Sísmico de Bajo Costo para 09 Perfiles I

Figura 64

Desplazamiento para una carga de 20KN.

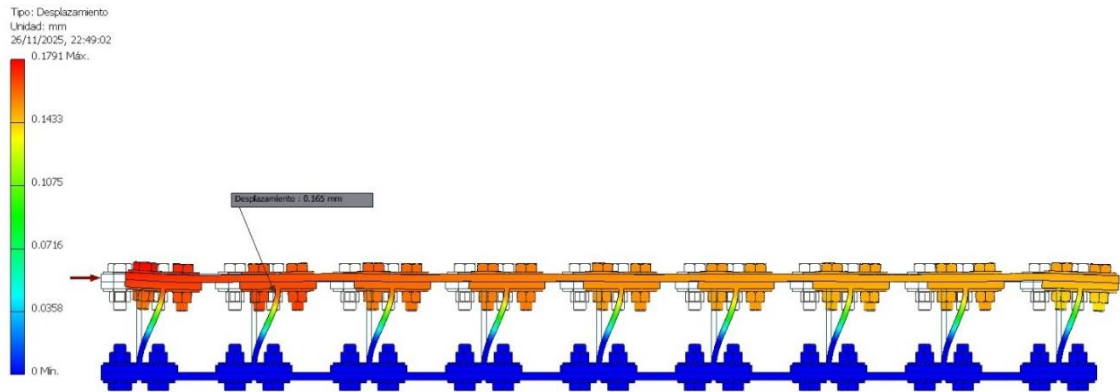


Figura 65

Desplazamiento para una carga de 40KN.

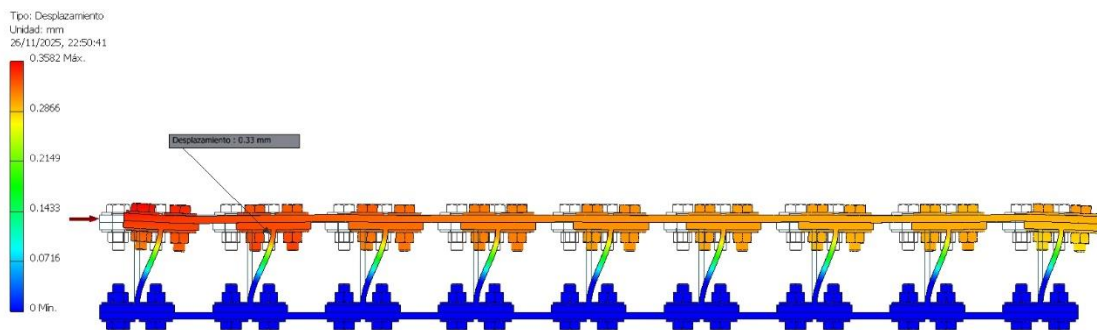


Figura 66

Desplazamiento para una carga de 60KN.

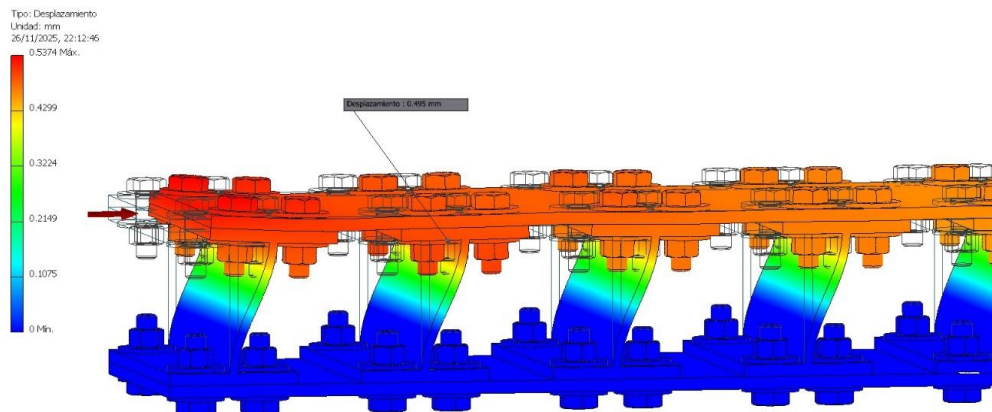


Figura 67

Desplazamiento para una carga de 80KN.

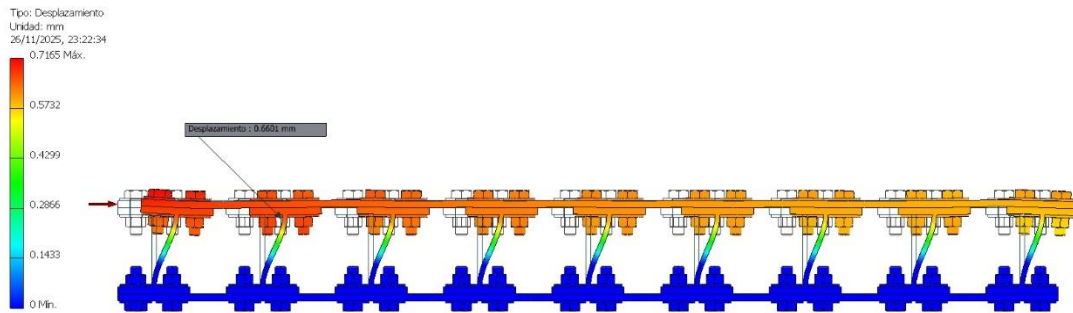


Figura 68

Desplazamiento para una carga de 100KN.

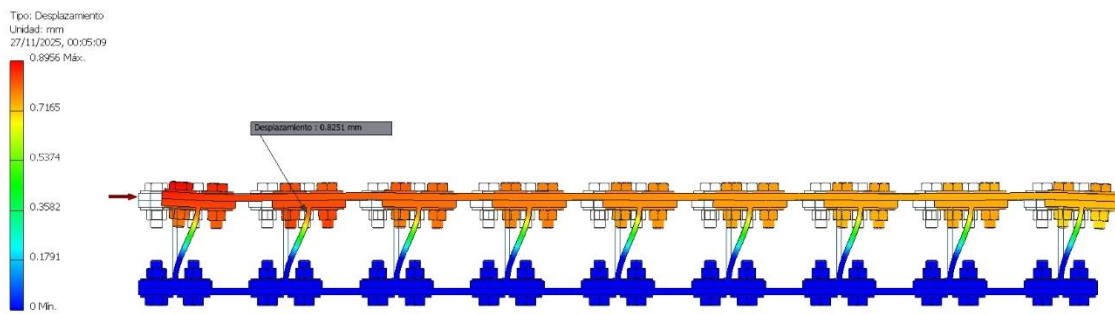


Figura 69

Desplazamiento para una carga de 120KN.

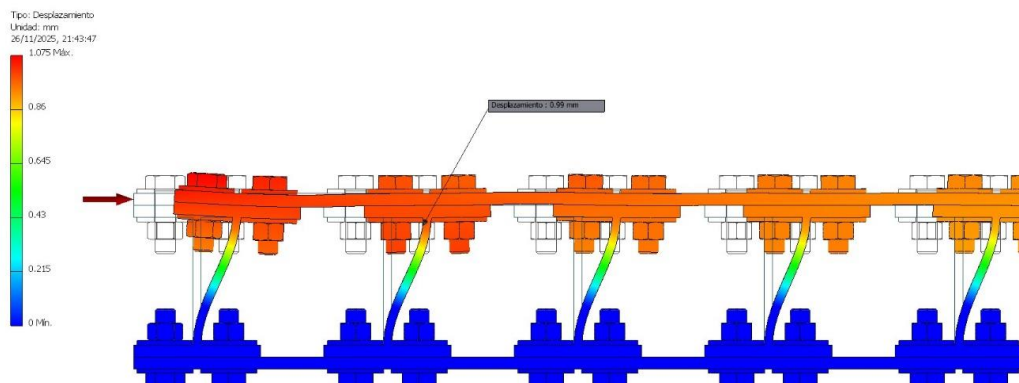


Tabla 16

Resumen de Resultados del Modelo Paramétrico del Disipador Sisimico de Bajo Costo para 09 Perfiles I, Vista.

N°	Fuerza (Tn)	Fuerza (Kn)	Esfuerzo (Mpa)	Desplazamiento (mm)
1	2	20	55.28	0.165
2	4	40	110.6	0.33
3	6	60	165.9	0.495
4	8	80	221.1	0.6601
5	10	100	276.4	0.8251
6	12	120	331.7	0.99

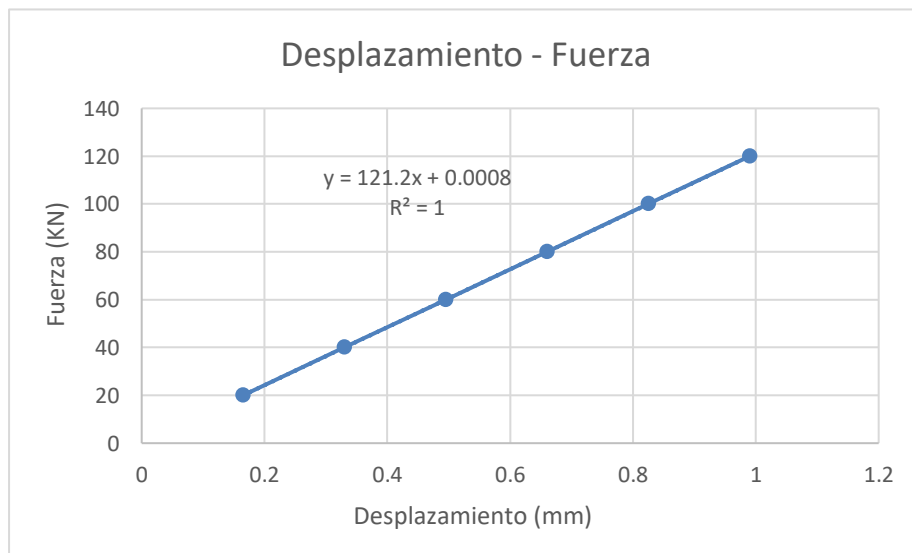
Tabla 17

Desplazamiento-Fuerza.

Desplazamiento (mm)	Fuerza (KN)
0.165	20
0.33	40
0.495	60
0.6601	80
0.8251	100
0.99	120

Figura 70

Desplazamiento-Fuerza.



Del grafico se determina la rigidez del *Disipador Sismico de Bajo Costo para 09 Perfiles*

$$k_{DDS} := 121.2 \frac{\text{kN}}{\text{mm}} = 12.359 \frac{\text{tonnef}}{\text{mm}}$$

Rigidez del Disipador Sismico
de 9 perfiles I

$$k_{DDS} = 12.359 \frac{\text{tonnef}}{\text{mm}}$$

Tabla 18

Desplazamiento-Fuerza.

Esfuerzo Máximo - Desplazamiento	
Esfuerzo Máximo (MPa)	Desplazamiento (mm)
55.28	0.165
110.6	0.33
165.9	0.495
221.1	0.6601
276.4	0.8251
331.7	0.99

Figura 71

Esfuerzo Máximo – Desplazamiento.

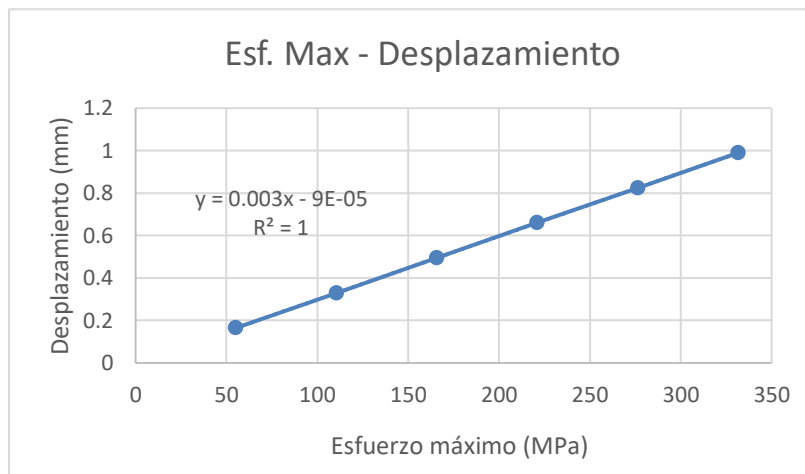


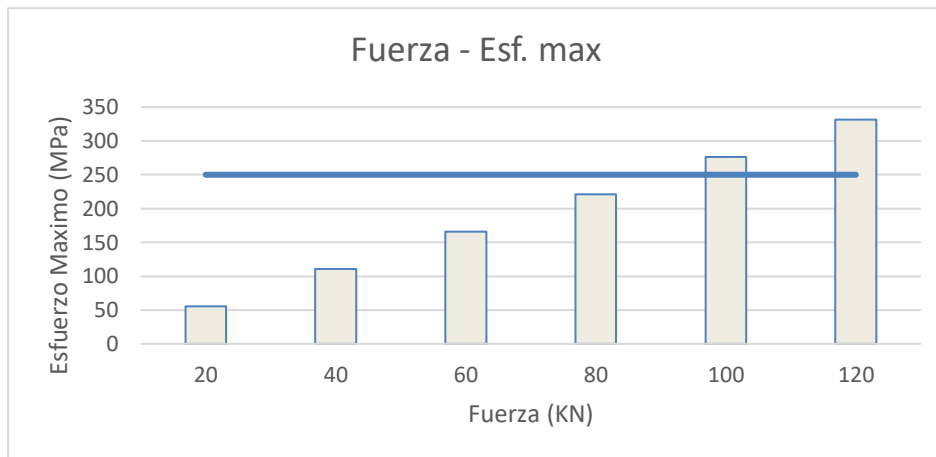
Tabla 19

Fuerza – Esfuerzo Máximo.

Fuerza – Esfuerzo máximo		
Fuerza (KN)	Esf. max(Mpa)	Esf. Adm(MPa)
20	55.28	250
40	110.6	250
60	165.9	250
80	221.1	250
100	276.4	250
120	331.7	250

Figura 72

Fuerza – Esfuerzo Máximo.



5.- Modelo Paramétrico del Disipador Sisimico de Bajo Costo para 12 Perfiles I

Figura 73

Modelo Paramétrico del Disipador Sisimico de Bajo Costo para 12 Perfiles I, Vista lateral, vista frontal y Vista en Planta.

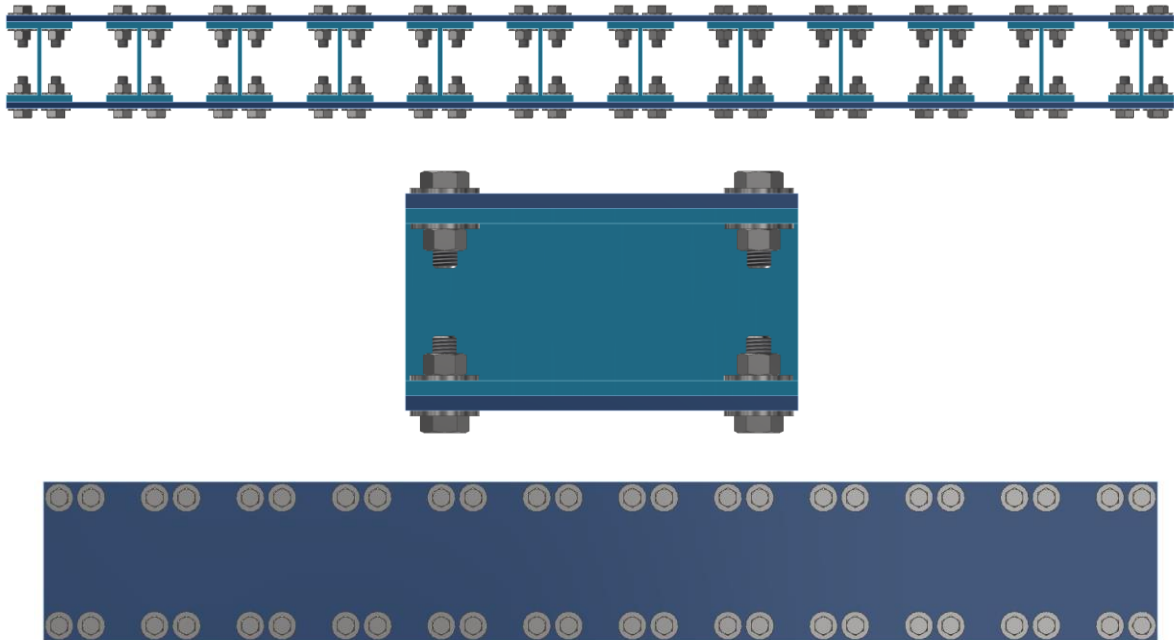
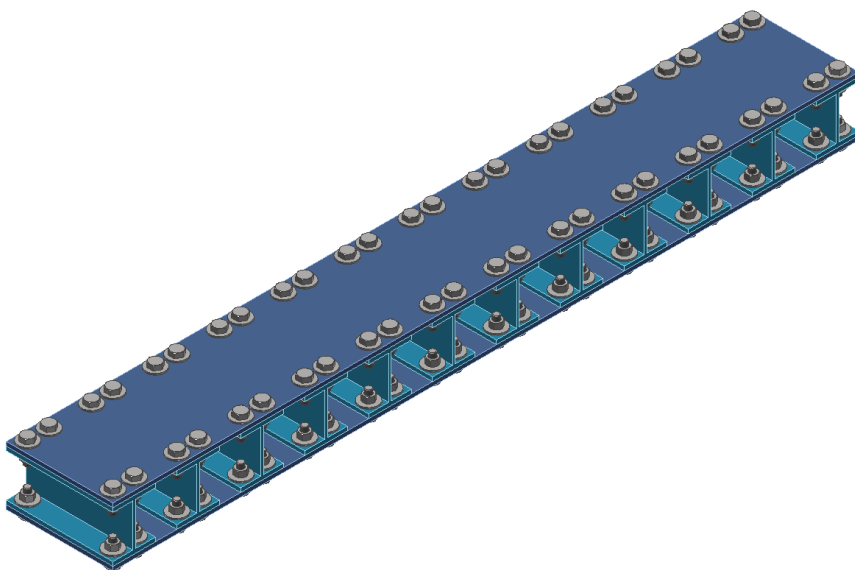
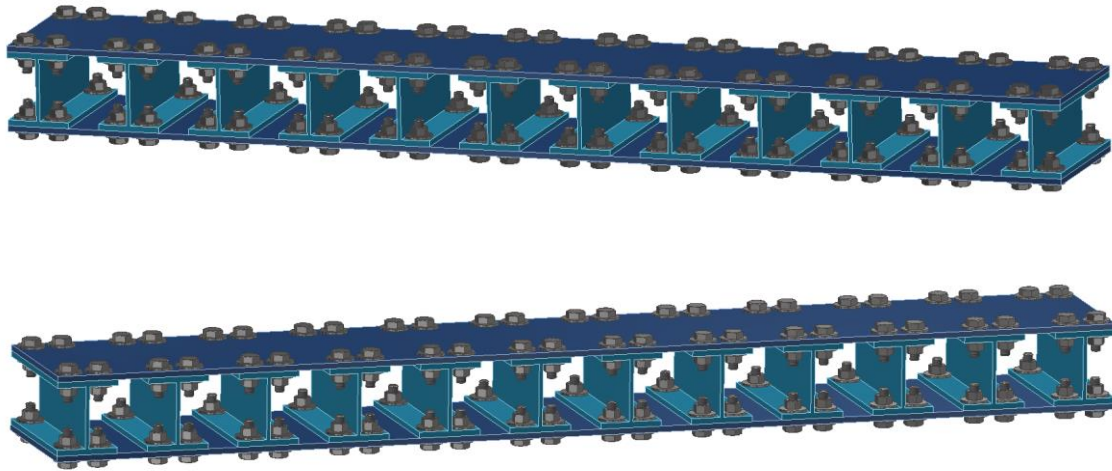


Figura 74

Modelo Paramétrico del Disipador Sisimico de Bajo Costo para 12 Perfiles I, Vista Isométrica.





6.- Esfuerzo del Modelo Paramétrico del Disipador Sisimico de Bajo Costo para 12 Perfiles I

I

Figura 75

Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 20 KN.

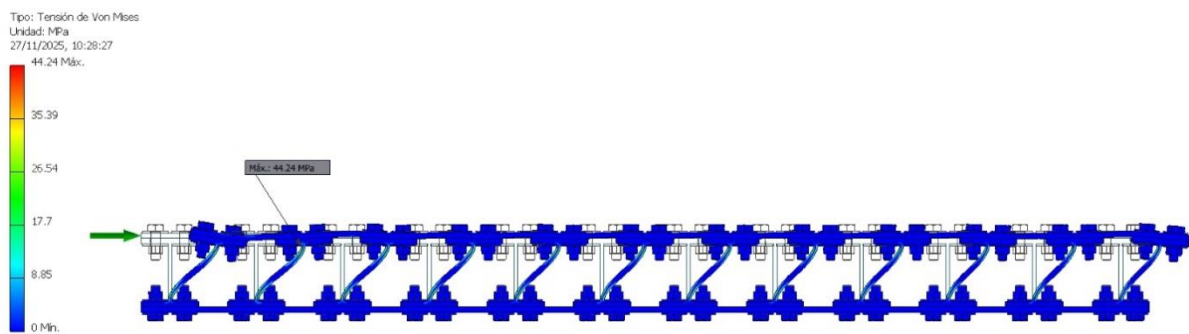


Figura 76

Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 40 KN.

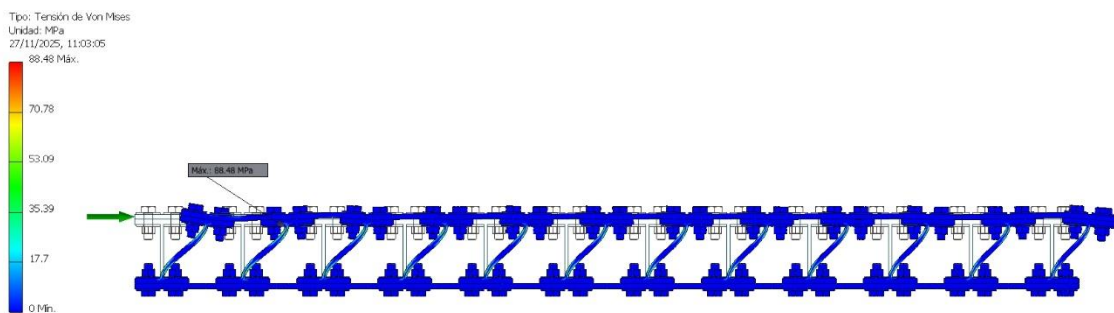


Figura 77

Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 60 KN.

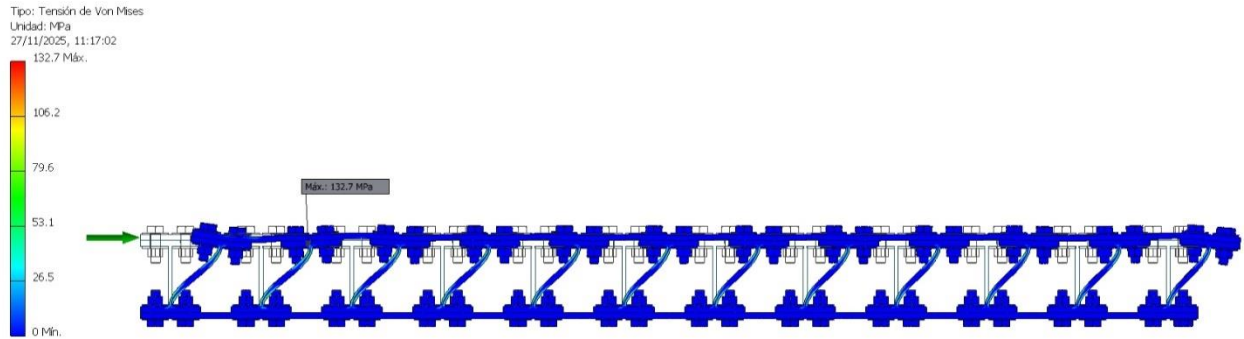


Figura 78

Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 80 KN.

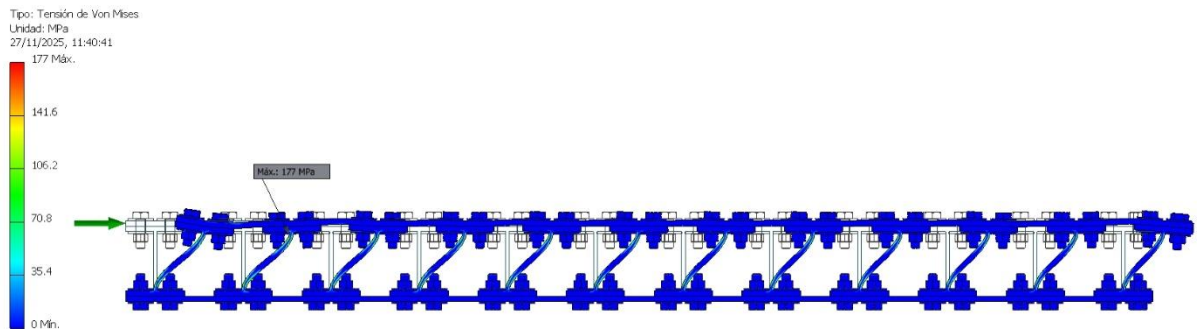


Figura 79

Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 100 KN.

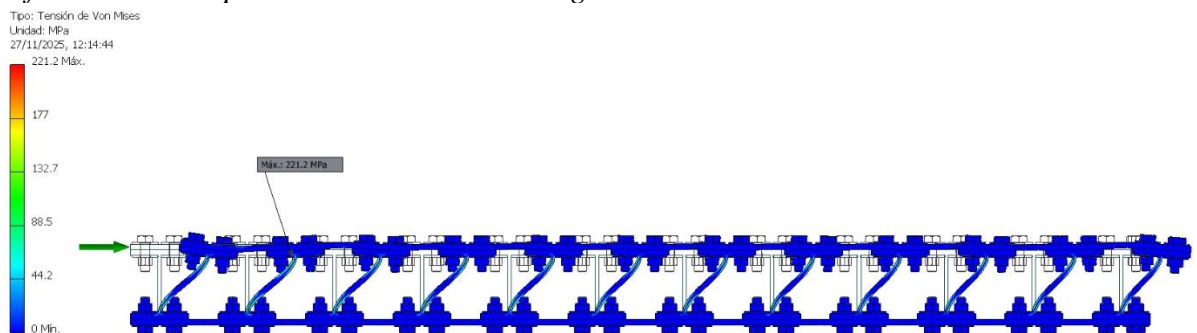


Figura 80

Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 120 KN.

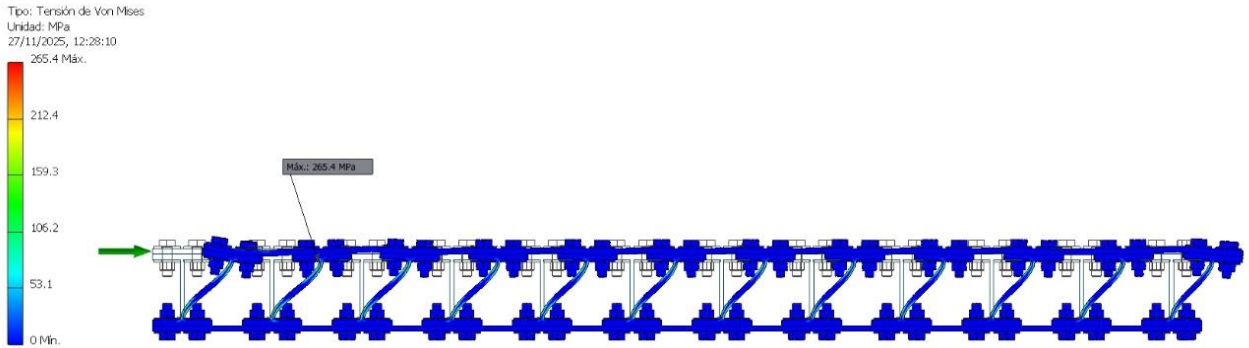


Figura 81

Desplazamiento para la simulación con carga de 20 KN.

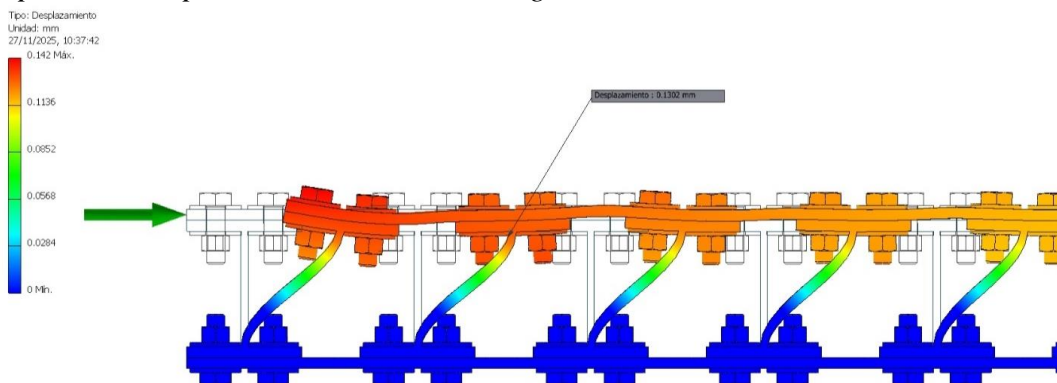


Figura 82

Desplazamiento para la simulación con carga de 40 KN.

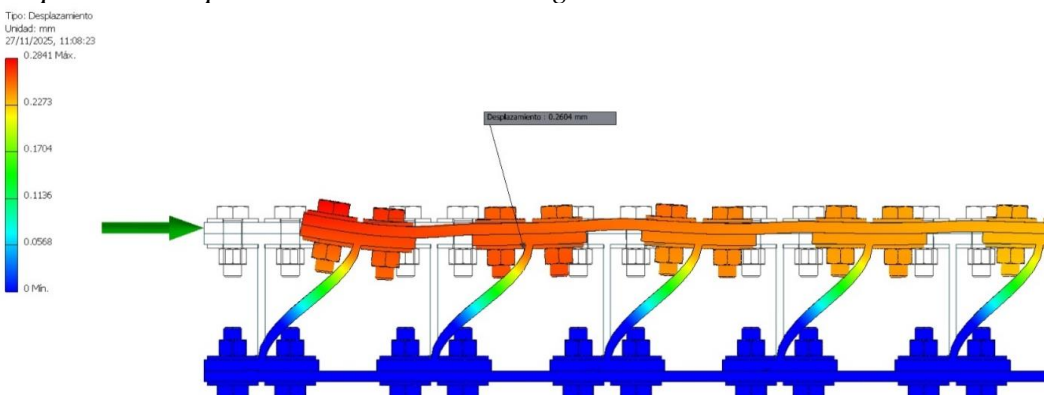


Figura 83

Desplazamiento para la simulación con carga de 60 KN.

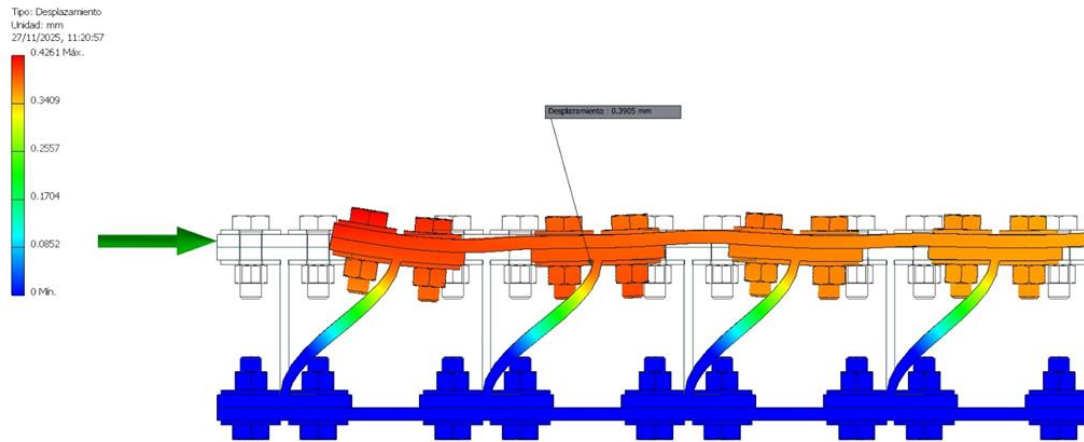


Figura 84

Desplazamiento para la simulación con carga de 80 KN.

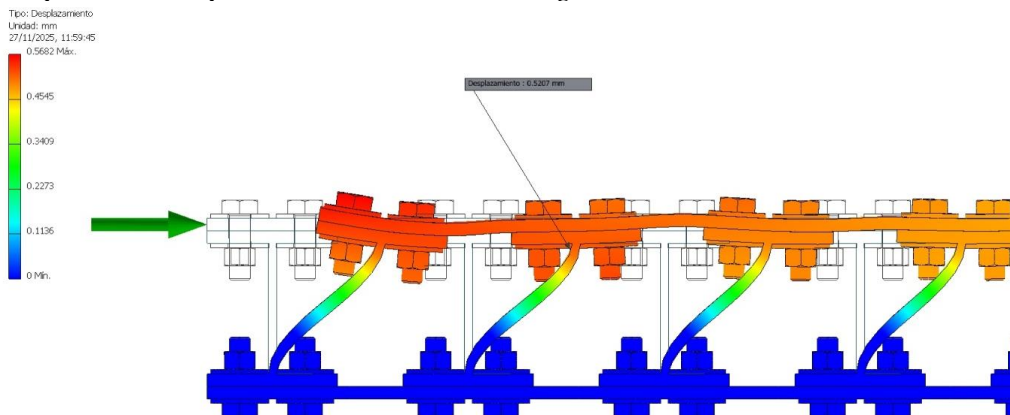


Figura 85

Desplazamiento para la simulación con carga de 100 KN.

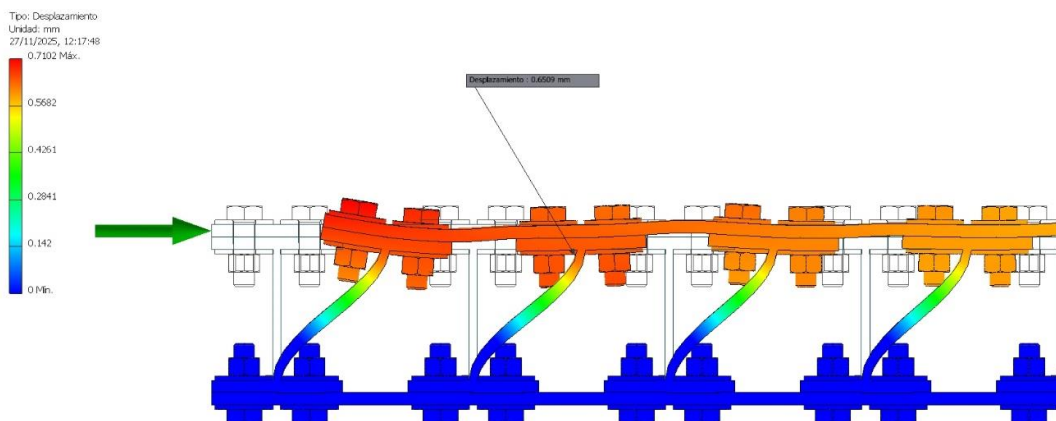


Figura 86

Desplazamiento para la simulación con carga de 120 KN.

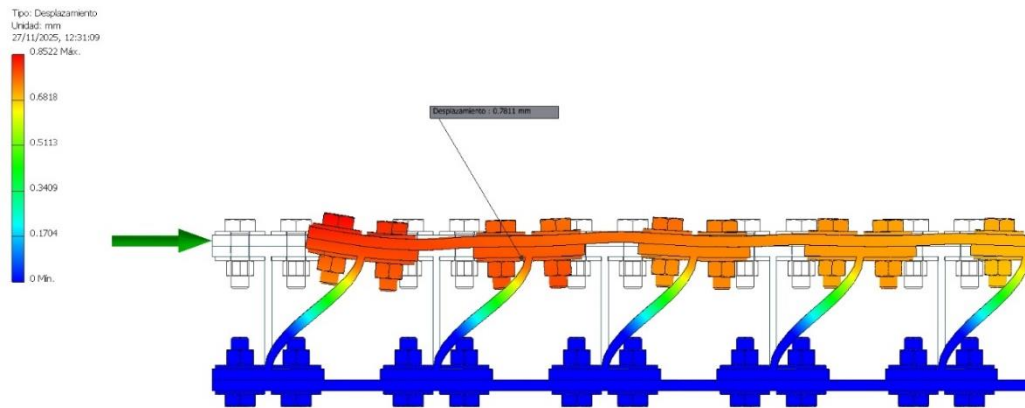


Tabla 20

Tabla Resumen.

12 perfiles – Tabla Resumen

N°	Fuerza (Tn)	Fuerza (Kn)	Esfuerzo (Mpa)	Desplazamiento (mm)
1	2	20	44.24	0.1302
2	4	40	88.48	0.2604
3	6	60	132.7	0.3905
4	8	80	177	0.5207
5	10	100	221.2	0.6509
6	12	120	265.4	0.78111

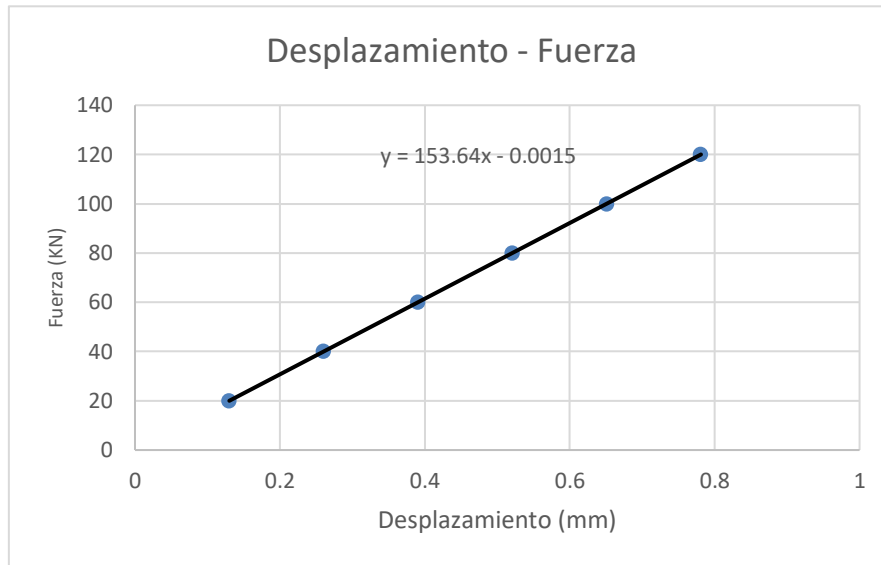
Tabla 21

Desplazamiento-Fuerza.

Desplazamiento - Fuerza	
Desplazamiento (mm)	Fuerza (KN)
0.1302	20
0.2604	40
0.3905	60
0.5207	80
0.6509	100
0.78111	120

Figura 87

Desplazamiento-Fuerza.



$$k_{DDS} := 153.54 \frac{\text{kN}}{\text{mm}} = 15.6567 \frac{\text{tonnef}}{\text{mm}}$$

Rigidez del Disipador Sismico de 12 perfiles I

$$k_{DDS} = 15.6567 \frac{\text{tonnef}}{\text{mm}}$$

Tabla 22

Esfuerzo Máximo – Desplazamiento.

Esfuerzo máximo - Desplazamiento	
Esfuerzo máximo (Mpa)	Desplazamiento (mm)
44.24	0.1302
88.48	0.2604
132.7	0.3905
177	0.5207
221.2	0.6509
265.4	0.78111

Figura 88

Esfuerzo Máximo-Desplazamiento.

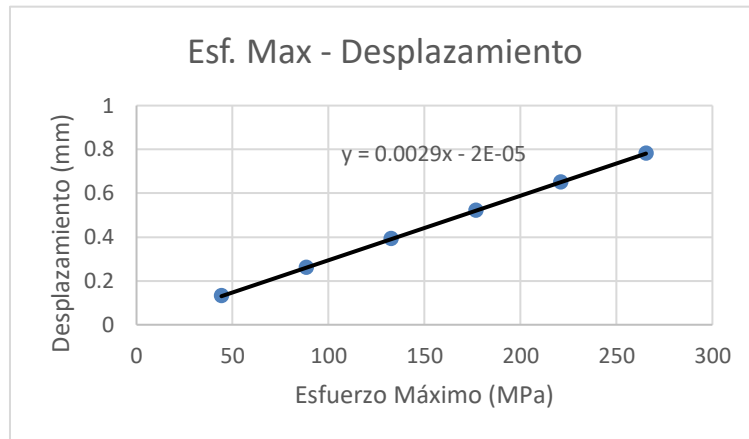


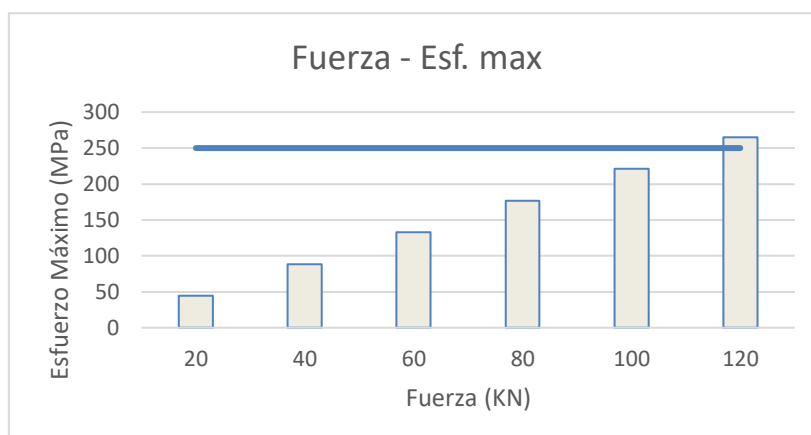
Tabla 23

Fuerza - Esfuerzo Máximo.

Fuerza – Esfuerzo máximo		
Fuerza (KN)	Esf. max(Mpa)	Esf. Adm(MPa)
20	44.24	250
40	88.48	250
60	132.7	250
80	177	250
100	221.2	250
120	265.4	250

Figura 89

Fuerza - Esfuerzo Máximo.



7.- Modelo Paramétrico del Disipador Sisimico de Bajo Costo para 15 Perfiles I

Figura 90

Modelo Paramétrico del Disipador Sisimico de Bajo Costo para 15 Perfiles I, Vista lateral, vista frontal y Vista en Planta.

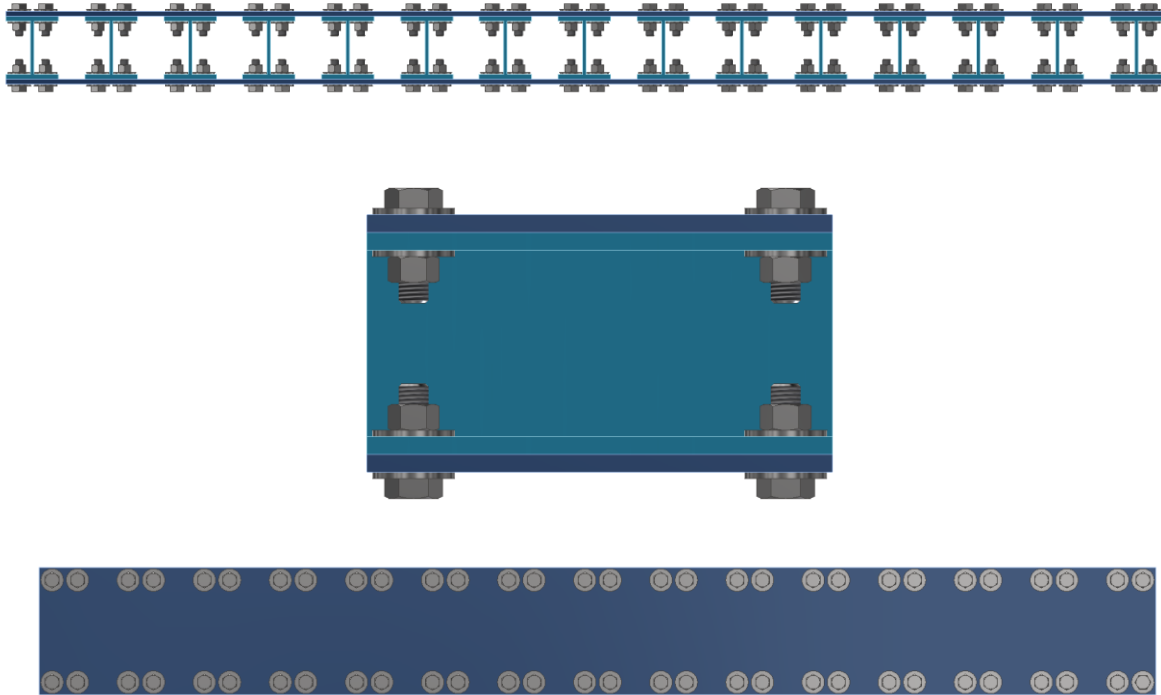
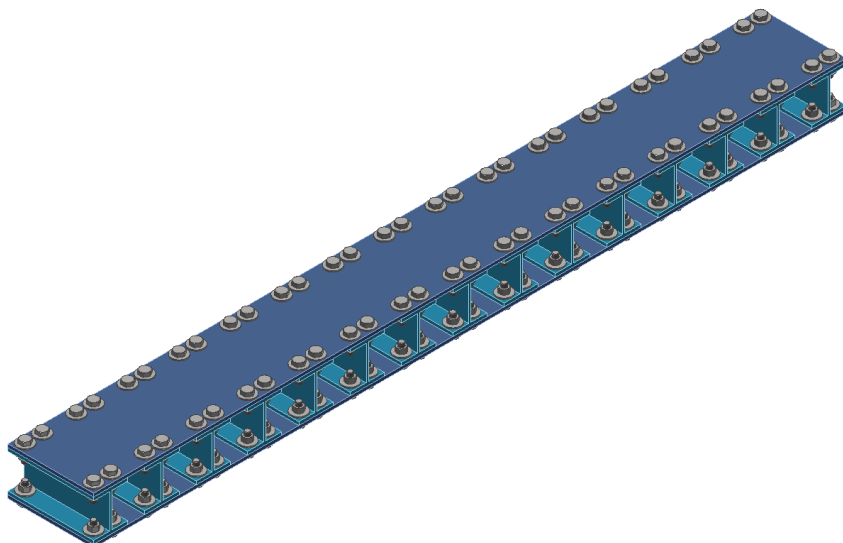


Figura 91

Modelo Paramétrico del Disipador Sisimico de Bajo Costo para 15 Perfiles I, Vista Isométrica.



8.- Esfuerzo del Modelo Paramétrico del Disipador Sisimico de Bajo Costo para 15 Perfiles I

Figura 92

Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 20 KN.

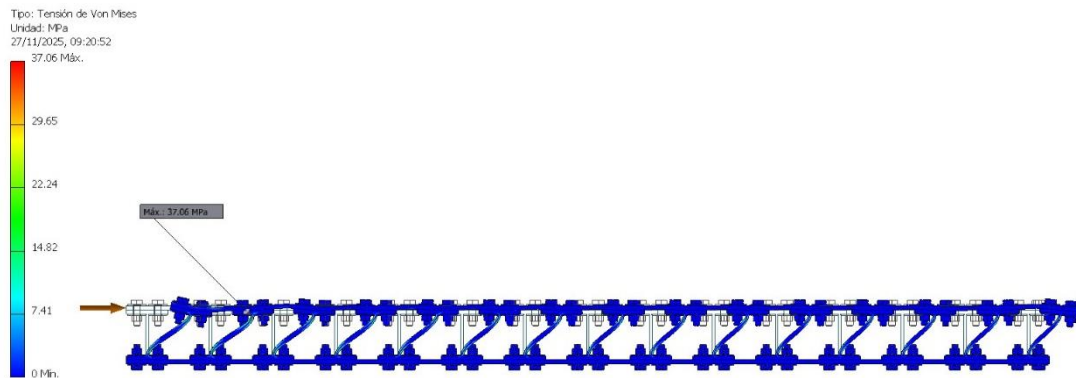


Figura 93

Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 40 KN.

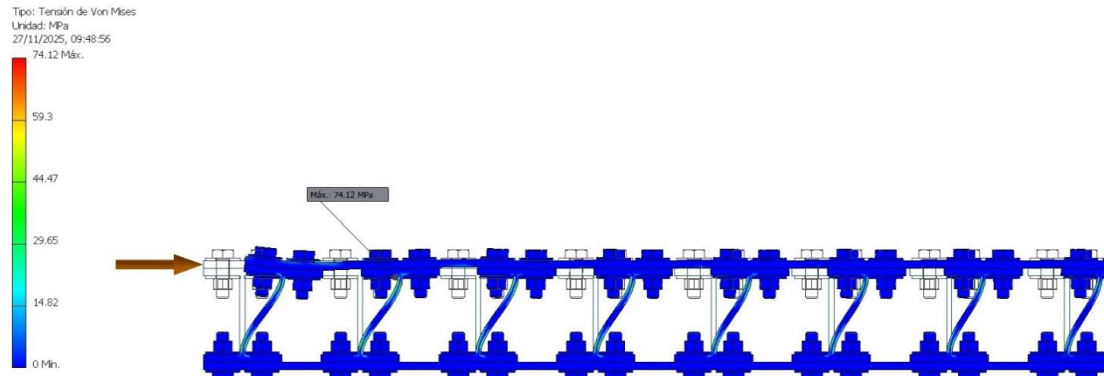


Figura 94

Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 60 KN.

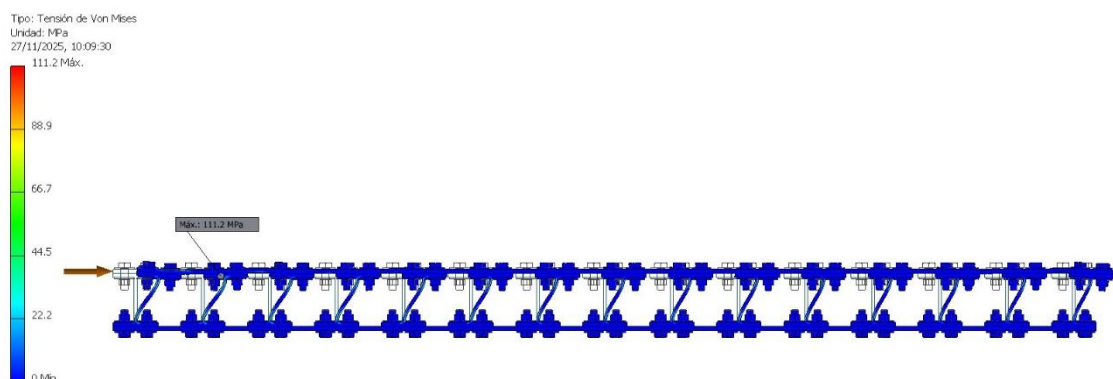


Figura 95

Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 80 KN.

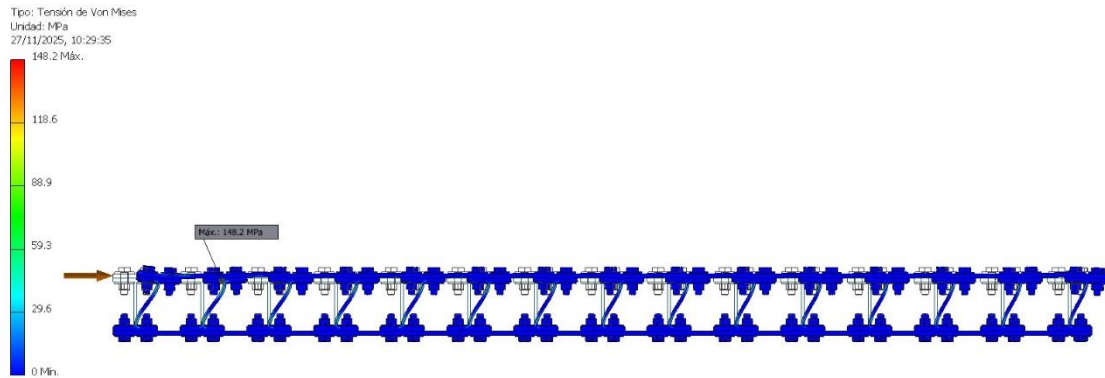


Figura 96

Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 100 KN.

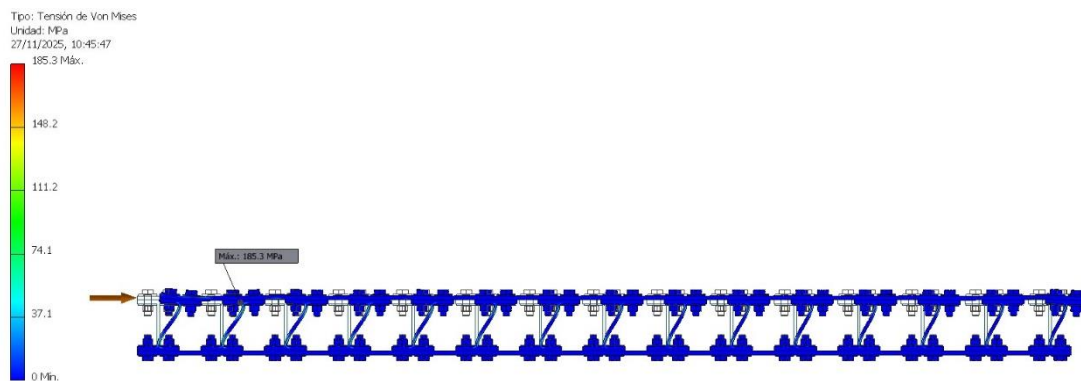
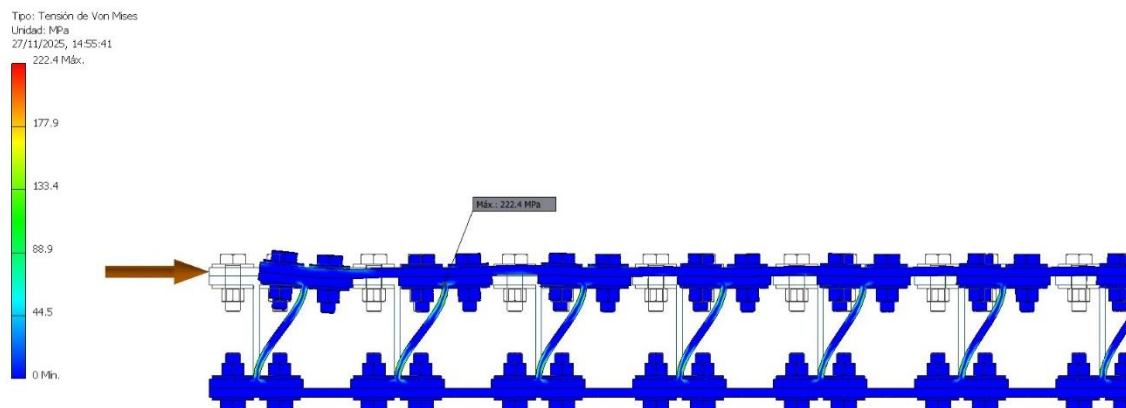


Figura 97

Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 120 KN.



Desplazamiento del Modelo Paramétrico del Disipador Sisimico de Bajo Costo para 15 Perfiles I

Figura 98

Desplazamiento para la simulación con carga de 20 KN.

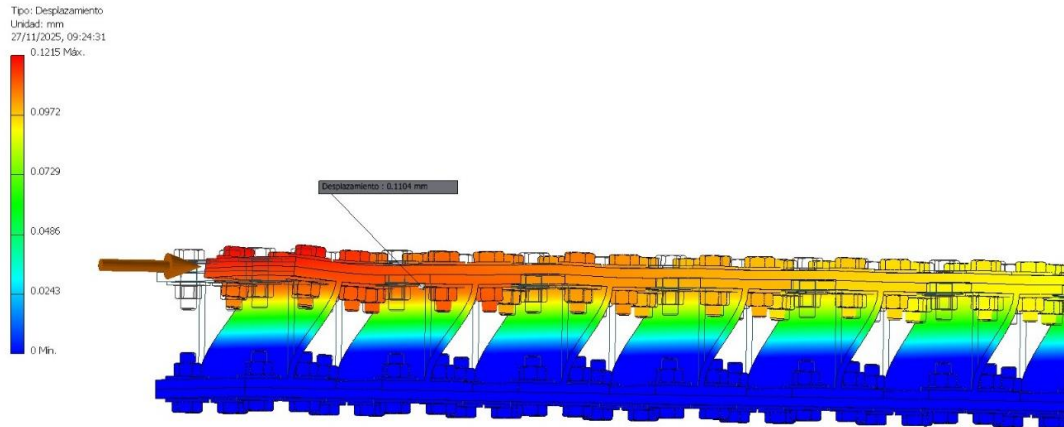


Figura 99

Desplazamiento para la simulación con carga de 40 KN.

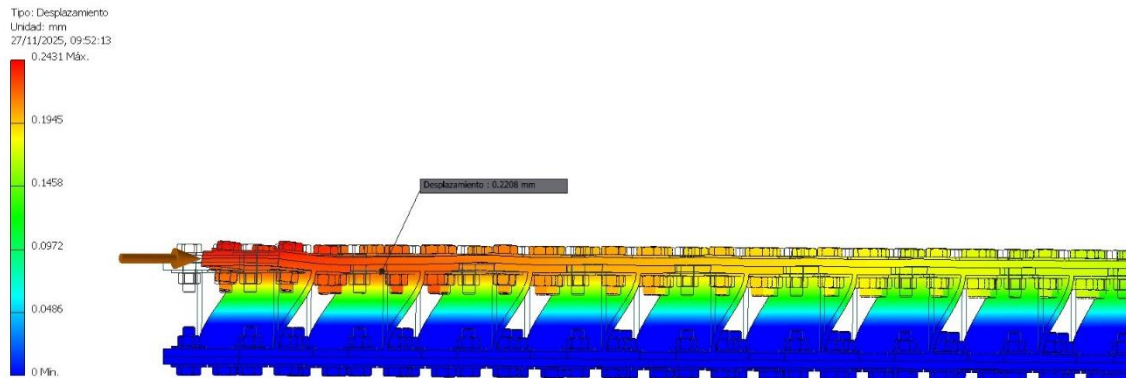


Figura 100

Desplazamiento para la simulación con carga de 60 KN.

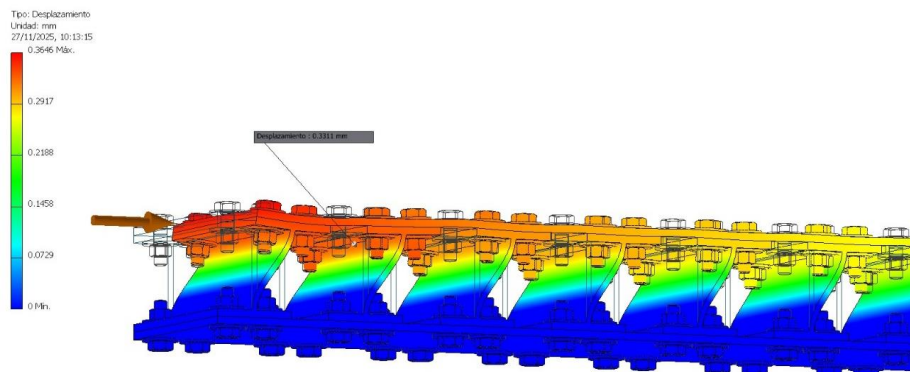


Figura 101

Desplazamiento para la simulación con carga de 80 KN.

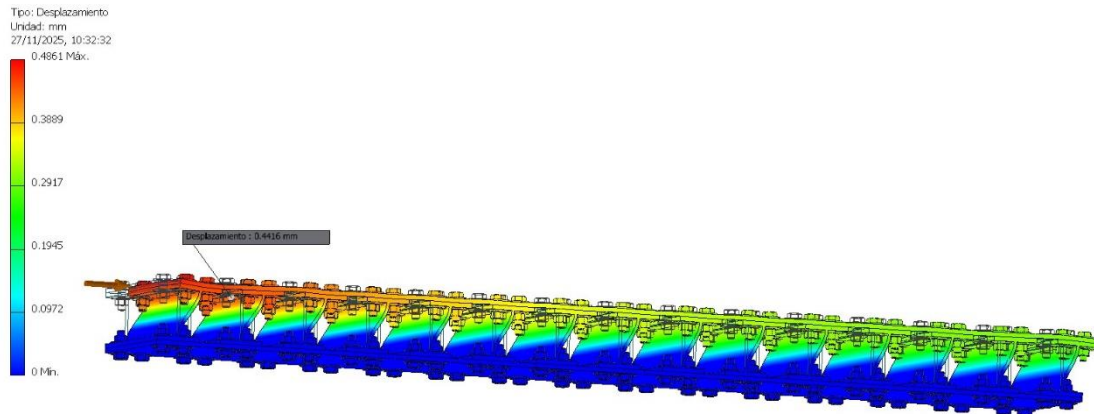


Figura 102

Desplazamiento para la simulación con carga de 100 KN.

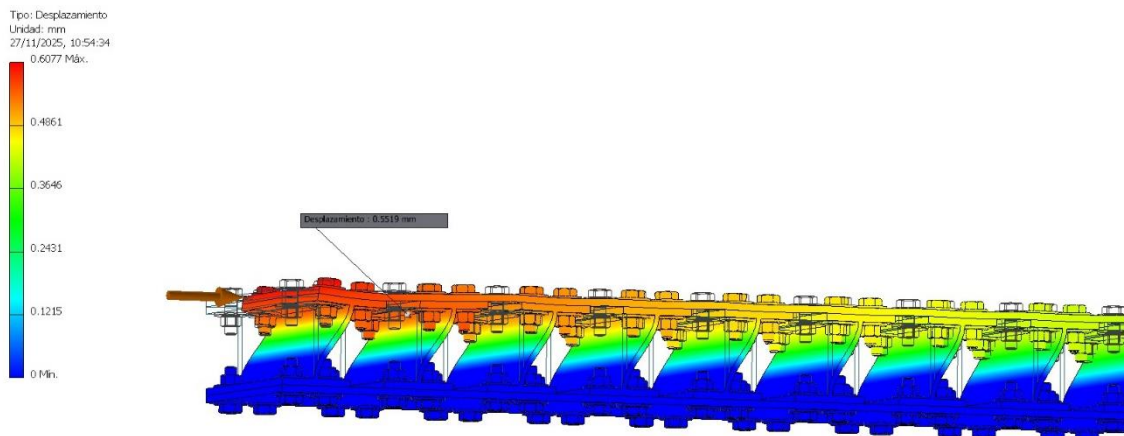


Figura 103

Esfuerzo máximo para la simulación con carga de 120 KN.

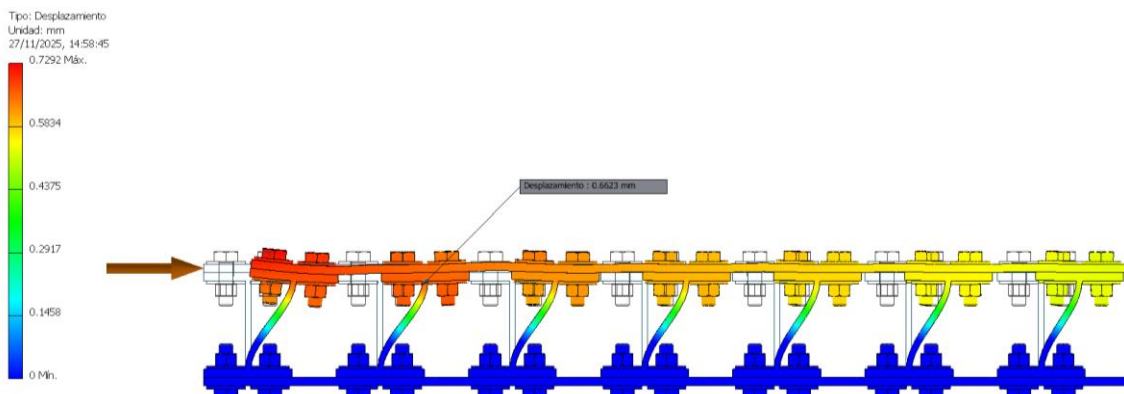


Tabla 24

Resumen fuerzas, esfuerzos y desplazamientos.

15 perfiles – Tabla Resumen

N°	Fuerza (Tn)	Fuerza (Kn)	Esfuerzo (Mpa)	Desplazamiento (mm)
1	2	20	37.06	0.1104
2	4	40	74.12	0.2208
3	6	60	111.2	0.3311
4	8	80	148.2	0.4416
5	10	100	185.3	0.5519
6	12	120	222.4	0.6623

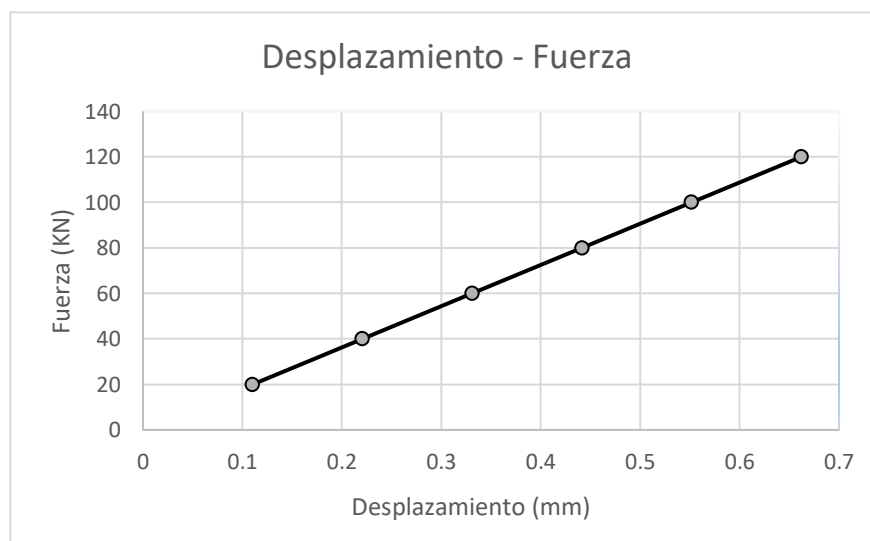
Tabla 25

Resumen desplazamientos y Fuerzas.

Desplazamiento - Fuerza	
Desplazamiento (mm)	Fuerza (KN)
0.1104	20
0.2208	40
0.3311	60
0.4416	80
0.5519	100
0.6623	120

Figura 104

Gráfico desplazamientos y Fuerzas.



Del grafico se determina la rigidez del *Disipador Sismico de Bajo Costo para 15 Perfiles*

$$k_{DDS} := \frac{120 \text{ kN}}{0.6625 \text{ mm}} = 18.4703 \frac{\text{tonnef}}{\text{mm}}$$

Riidez del Disipador Sismico con 6 perfiles I

$$k_{DDS} = 18.4703 \frac{\text{tonnef}}{\text{mm}}$$

Tabla 26

Esfuerzo-Desplazamientos

Esfuerzo máximo - Desplazamiento	
Esfuerzo máximo (Mpa)	Desplazamiento (mm)
37.06	0.1104
74.12	0.2208
111.2	0.3311
148.2	0.4416
185.3	0.5519
222.4	0.6623

Figura 105

Esfuerzo Desplazamientos

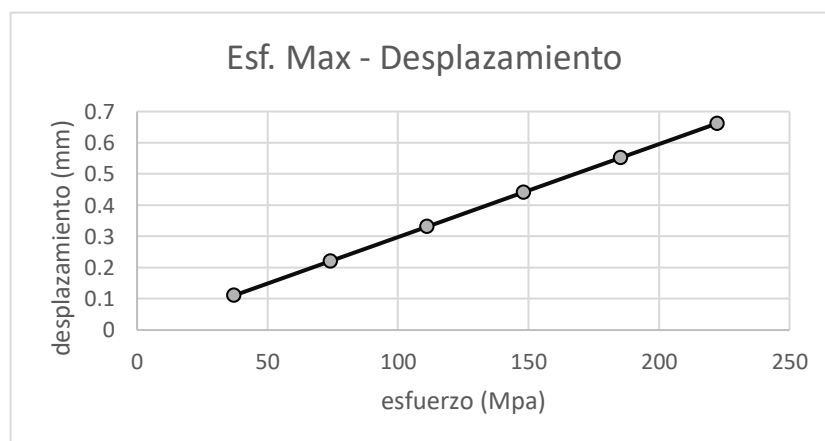
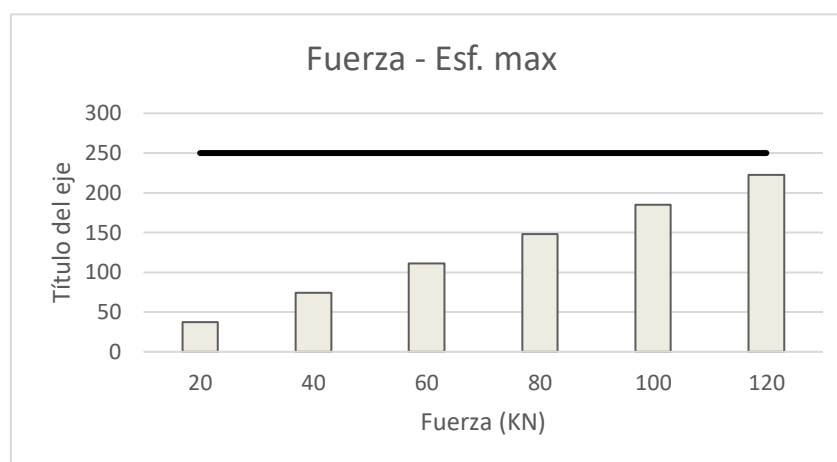


Figura 106

Fuerza- Esfuerzo Máximos



14.5.14 Análisis de Sensibilidad del Disipador Sísmico de Bajo Costo:

Análisis de Sensibilidad del disipador sísmico para diferentes fuerzas aplicadas y número de perfiles I (6,9,12 y 15 perfiles) y sus desplazamientos

El análisis de sensibilidad implica analizar cómo cambia la respuesta (desplazamiento) cuando varían el número de perfiles I y la fuerza aplicada.

Tabla 27

Fuerza- Disipadores Sísmicos de 6,9,12 y 15 perfiles I y desplazamientos.

Fuerza (kN)	6 perfiles (mm)	9 perfiles (mm)	12 perfiles (mm)	15 perfiles (mm)
20	0.2428	0.1650	0.1302	0.1104
40	0.4856	0.3300	0.2604	0.2208
60	0.7284	0.4950	0.3905	0.3311
80	0.9710	0.6601	0.5207	0.4416
100	1.2140	0.8251	0.6509	0.5519
120	1.4570	0.9900	0.7811	0.6623

a.- Sensibilidad de la rigidez de los disipadores sísmicos de bajo costo:

Para 6 perfiles:

$$F := 20 \text{ kN} \quad \delta_6 := 0.2428 \text{ mm}$$

$$K_{D6} := \frac{F}{\delta_6} = 82.3723 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

Para 9 perfiles:

$$F := 20 \text{ kN} \quad \delta_9 := 0.1650 \text{ mm}$$

$$K_{D9} := \frac{F}{\delta_9} = 121.2121 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

Para 12 perfiles:

$$F := 20 \text{ kN} \quad \delta_{12} := 0.1302 \text{ mm}$$

$$K_{D12} := \frac{F}{\delta_{12}} = 153.6098 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

$$F := 20 \text{ kN} \quad \delta_{15} := 0.1104 \text{ mm}$$

$$K_{D15} := \frac{F}{\delta_{15}} = 181.1594 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

A mayor número de perfiles I, la rigidez va creciendo, tomando el disipador con 6 perfiles como base (100%), para el disipador sísmico con 9 perfiles I aumenta en un 47.15%, para el disipador sísmico con 12 perfiles I aumenta en un 86.48% y para el disipador sísmico con 15 perfiles I aumenta en un 119.92%

b.- Sensibilidad del Desplazamiento a la Fuerza

Numero de perfiles I	$\Delta\delta_6 := \frac{0.2428 \text{ mm} - 1.2124 \text{ mm}}{20 \text{ kN} - 100 \text{ kN}} = 0.01212 \frac{\text{mm}}{\text{kN}}$
$n := 6$	

Numero de perfiles I	$\Delta\delta_9 := \frac{0.1650 \text{ mm} - 0.8251 \text{ mm}}{20 \text{ kN} - 100 \text{ kN}} = 0.00825 \frac{\text{mm}}{\text{kN}}$
$n := 9$	

Numero de perfiles I	$\Delta\delta_{12} := \frac{0.1302 \text{ mm} - 0.6509 \text{ mm}}{20 \text{ kN} - 100 \text{ kN}} = 0.0065 \frac{\text{mm}}{\text{kN}}$
$n := 12$	

Numero de perfiles I	$\Delta\delta_{15} := \frac{0.1104 \text{ mm} - 0.5519 \text{ mm}}{20 \text{ kN} - 100 \text{ kN}} = 0.00552 \frac{\text{mm}}{\text{kN}}$ les
$n := 15$	

I su rigidez es mayor y el desplazamiento es menor 31.92%, el disipador sísmico con 12 perfiles I es más rígido y el desplazamiento disminuye en un 46.29% y el disipador sísmico con 15 perfiles I es más rígido y su desplazamiento disminuye en un 54.50%

c.- Sensibilidad del Desplazamiento al Numero de perfiles I

Entre 6 y 9 perfiles

$$\Delta_N := 3 \quad \text{Por cada Perfil} \quad \frac{\Delta\delta_9 - \Delta\delta_6}{\Delta_N} = -0.00129 \frac{\text{mm}}{\text{kN}}$$

Entre 9 y 12 perfiles

$$\Delta_N := 3 \quad \text{Por cada Perfil} \quad \frac{\Delta\delta_{12} - \Delta\delta_9}{\Delta_N} = -0.00058 \frac{\text{mm}}{\text{kN}}$$

Entre 12 y 15 perfiles

$$\Delta_N := 3 \quad \text{Por cada Perfil} \quad \frac{\Delta\delta_{15} - \Delta\delta_{12}}{\Delta_N} = -0.00033 \frac{\text{mm}}{\text{kN}}$$

Al tomando el disipador con 6 perfiles como base, su desplazamiento (100%), para el disipador sísmico con 9 perfiles I disminuye en un -32.0%, para el disipador sísmico con 12 perfiles I disminuye en un -46.40% y para el disipador sísmico con 15 perfiles I disminuye en un -54.50%

14.5.15 Modelamiento Paramétrico de los Nudos del Disipador Sísmico

A partir de las cargas sísmicas obtenidas del modelo de la edificación con el disipador

incorporado, se procedió a modelar los nudos de fijación del dispositivo, mediante el software Autodesk Inventor.

Figura 107

Vista en perspectiva del nudo de soporte del disipador sísmico.

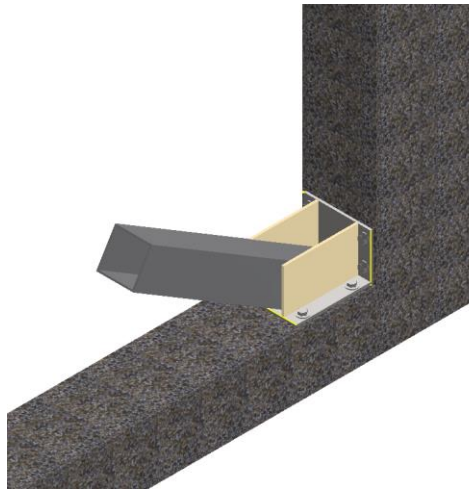


Figura 108

Vista lateral, en planta y elevación del disipador sísmico de bajo costo.

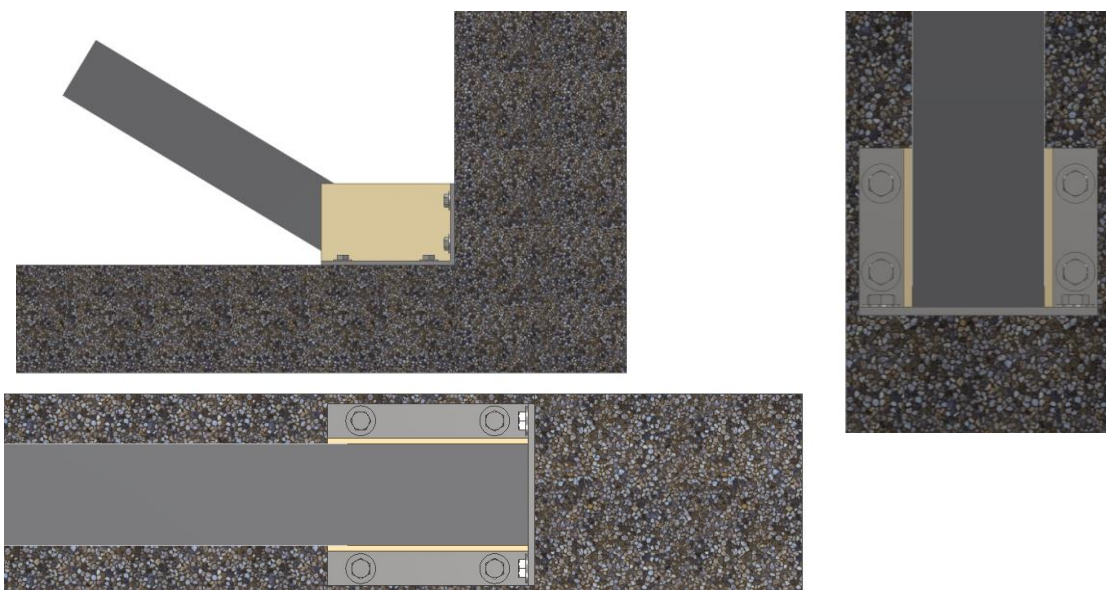
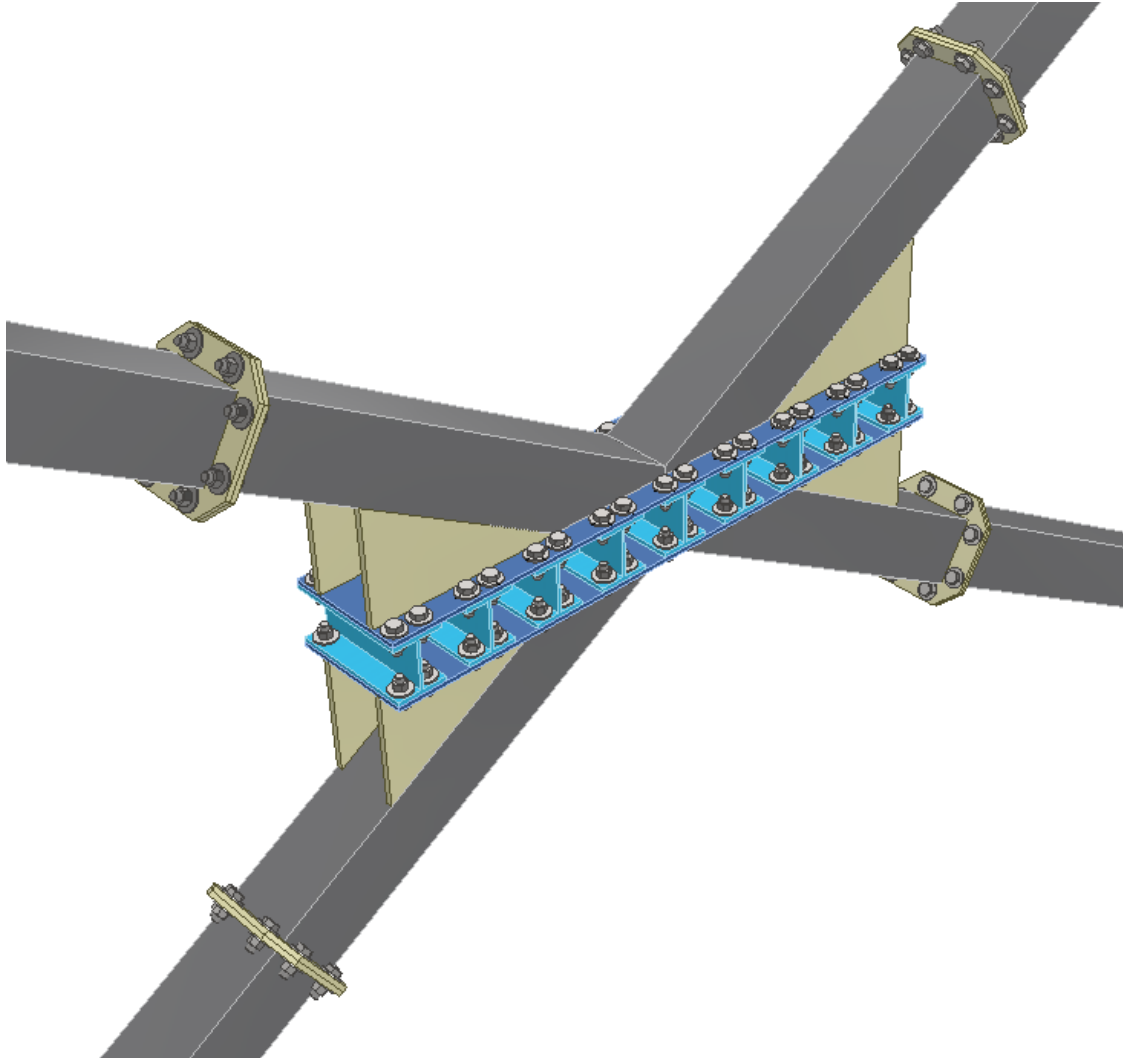


Figura 109

Perspectiva del disipador sísmico de bajo costo.

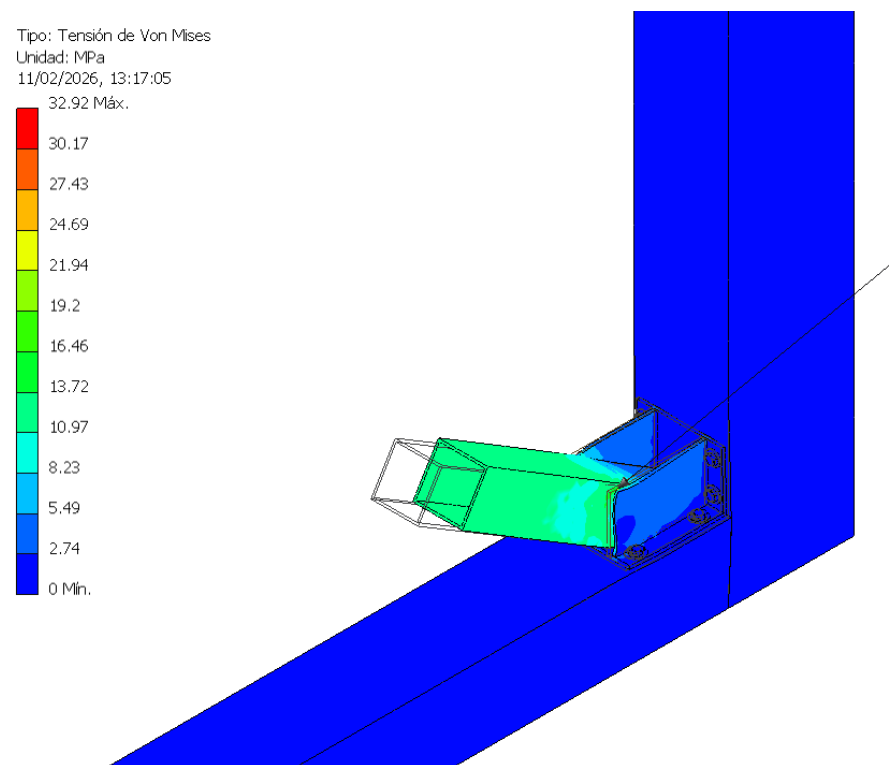
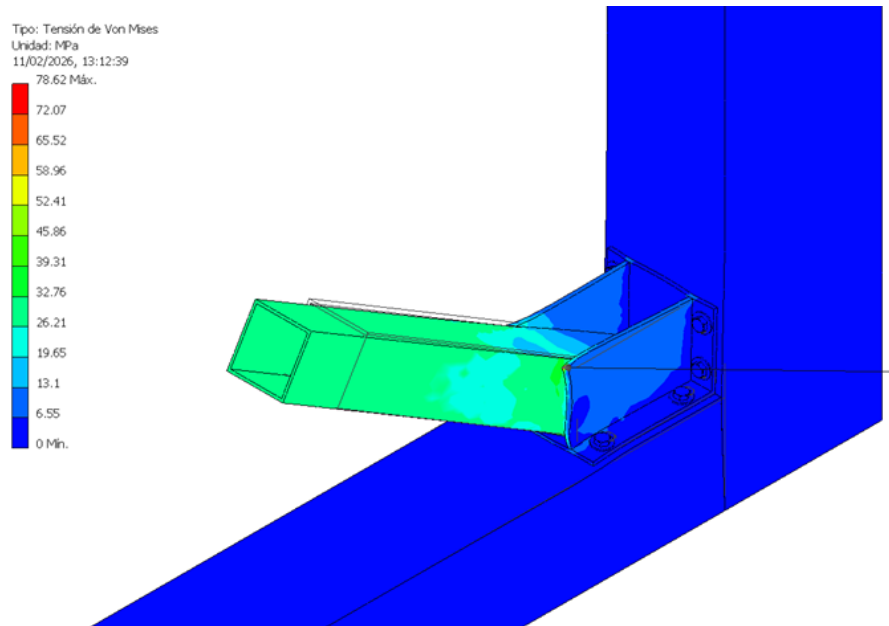


La carga de tracción obtenida del análisis sísmico estático (método de fuerzas horizontales equivalentes) asciende a 9.80 toneladas. Dicha sollicitación es aplicada axialmente sobre la barra diagonal del disipador sísmico. A través del modelado paramétrico realizado en el software Autodesk Inventor, se obtiene un esfuerzo máximo de 28.62 MPa, valor que se encuentra considerablemente por debajo del esfuerzo admisible del acero estructural, fijado en 250 MPa. En consecuencia, se confirma que el elemento trabaja íntegramente en régimen elástico, presentando un factor de seguridad

holgado frente a la fluencia del material.

Figura 110

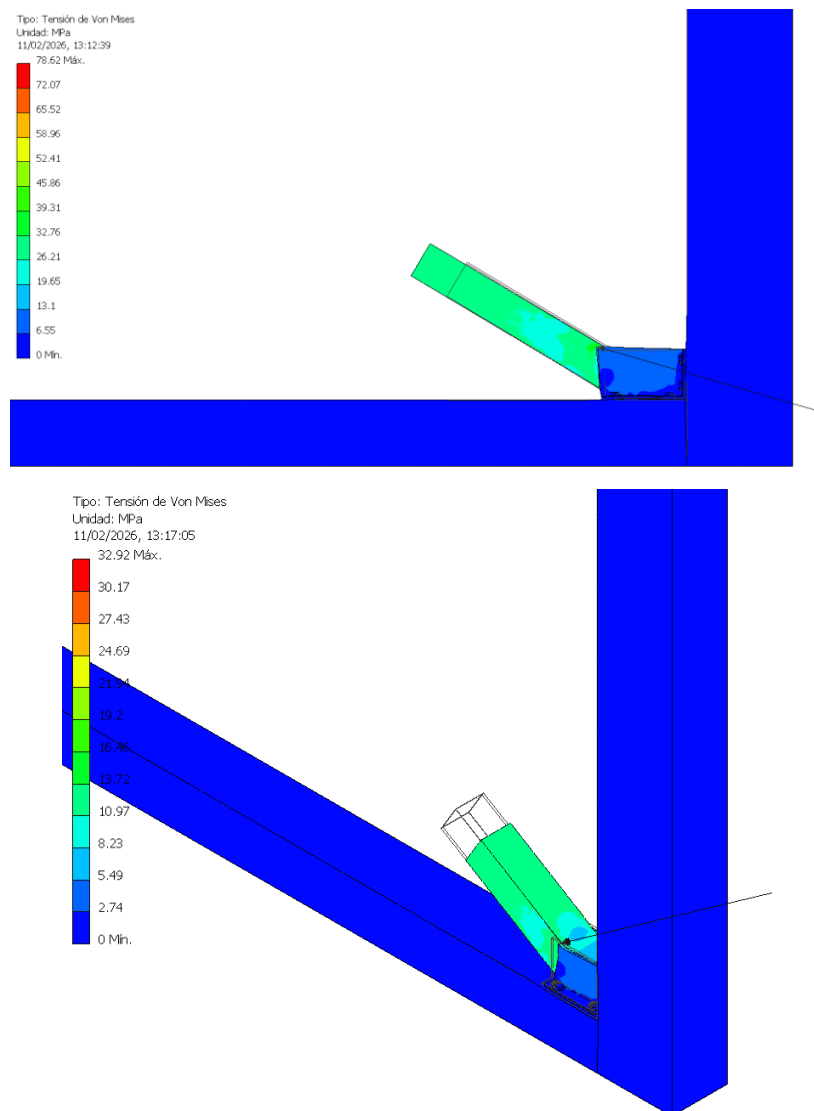
Perspectiva del dissipador sísmico de bajo costo sometido a carga sísmica en tracción lateral sísmico sometido a tracción del nudo.



La carga de compresión obtenida del análisis sísmico de la edificación es de 4.10 toneladas (aproximadamente 40.21 kN), la cual se aplica axialmente sobre la barra diagonal del dissipador sísmico. Mediante el modelado realizado en el software Autodesk Inventor, se determinó un esfuerzo máximo de 32.92 MPa, valor significativamente inferior al esfuerzo permisible del acero estructural, establecido en 250 MPa. Se verifica así que el elemento se encuentra dentro del rango elástico del material, con un amplio margen de seguridad.

Figura 111

Perspectiva del dissipador sísmico de bajo costo sometido a carga sísmica en tracción lateral sísmico sometido a tracción del nudo.



14.5.16 Análisis del edificio con dispositivo de disipación sísmica de bajo coso (DSBC)

En este trabajo de investigación se adoptó un valor de distorsión objetivo de 0.005, el cual representa el límite máximo de distorsión permitido para edificaciones de albañilería confinada y para pórticos de concreto armado 0.007, según lo establecido en la normativa sísmica peruana E030. Los análisis estructurales se llevaron a cabo específicamente para la dirección X-X, donde se observó que la distorsión máxima superaba el valor admisible; en cambio, para la dirección Y-Y, al presentar una distorsión significativamente menor, No se encontró justificación técnica para añadir disipadores de energía a la estructura. Para los disipadores por plastificación de metales, calculamos la rigidez mediante la siguiente expresión:

$$K_{di} = \frac{NEbt^3}{6h^3 \cos\theta} \dots$$
$$K_e = \frac{12EI}{h^3} = \frac{Elt_w^3}{h^3} \dots$$

Donde:

K_{di} : rigidez del disipador por plastificación

N: número de disipadores (asumido)

E: módulo de elasticidad

b: base del disipador por fluencia

t : espesor asumido del disipador por fluencia

h: altura del disipador por fluencia

θ: ángulo de inclinación de los disipadores.

Luego determinamos la fuerza de fluencia de los difusores o disipadores

$$V_{di} = \frac{N.f_y.10.bt^2}{4h \cos\theta} \dots$$

$$Q_y = \frac{\sigma_y t_w^2 l}{2h} \dots$$

Donde:

V_{di} - Fuerza de fluencia de los disipadores

f_y - esfuerzo de fluencia asumido del disipador

Ahora, determinamos el desplazamiento de fluencia de los disipadores

$$\Delta_{yi} = \frac{1.5 \cdot f_y \cdot 10 \cdot h^2}{E t \cos \theta} \dots$$

$$\delta_y = \frac{Q_y}{K_e} = \frac{\sigma_y h^2}{2 E t_w} \dots$$

Donde:

Δ_{yi} - desplazamiento de fluencia de los disipadores :

En consecuencia, la rigidez elástica inicial será:

$$K_e = \frac{V_{di}}{\Delta_{yi}} \dots$$

Donde

K_e - rigidez elástica inicial

Oviedo, R. (2008), aplica la siguiente ecuación para determinar el coeficiente de amortiguamiento utilizando la siguiente expresión

$$C_d = \frac{4(K_e - K_h) \Delta_{yi} (d_0 - \Delta_{yi}) T_1}{2\pi^2 d_0^2} \dots$$

Donde:

C_d - coeficiente de amortiguamiento

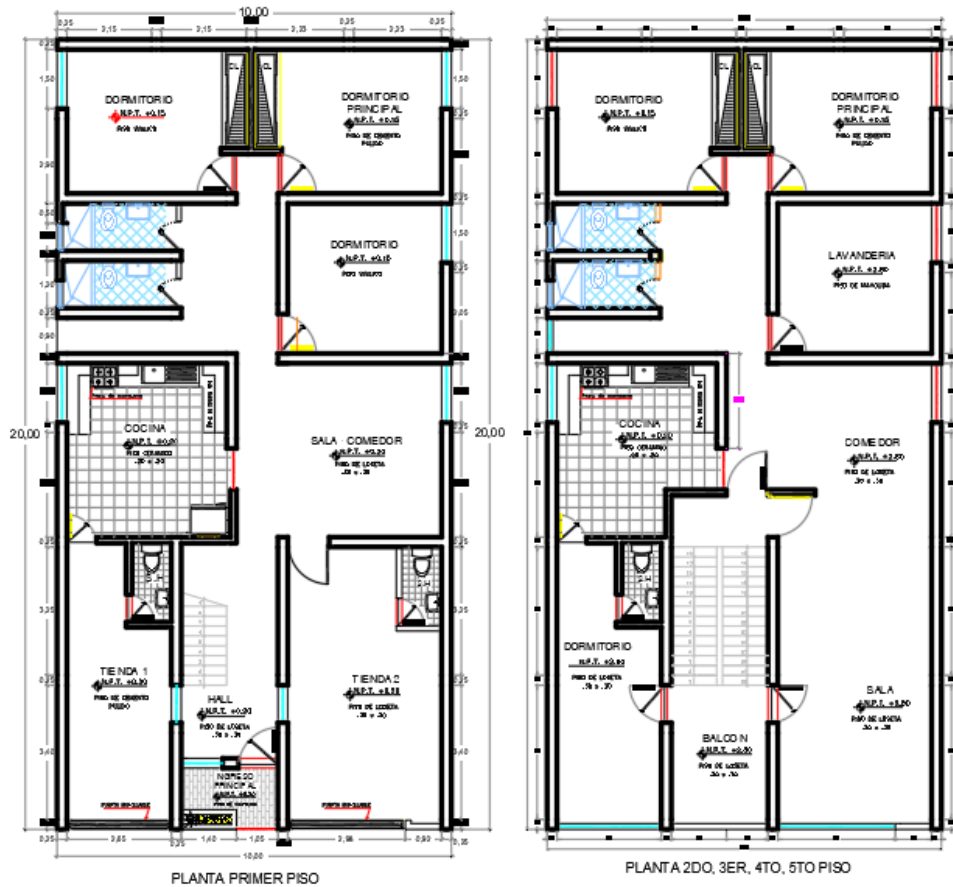
K_h - rigidez de deformación-endurecimiento

d_0 - máximo desplazamiento de diseño del disipador

T_1 - periodo del primer modo de vibración.

Figura 112

Edificación convencional vista en planta.



Descripción del Modelo Estructural

El modelo estructural se desarrolló considerando una base completamente empotrada, lo que implica la restricción de todos los grados de libertad en los apoyos. Esta condición simula una conexión rígida entre la estructura y la cimentación.

El modelo estructural representa un sistema de sistema estructural mixto (Albañilería confinada y pórticos de concreto armado) conforme a los requisitos de la Norma Técnica E.070 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Elementos y Mallado:

Los elementos estructurales principales (vigas y columnas) se modelaron utilizando elementos tipo frame, capaces de capturar los efectos de flexión, cortante y axial.

Los sistemas de piso se modelaron utilizando la restricción (constraint) de diafragma rígido. Esto asegura que todos los nodos en un nivel de piso se muevan solidariamente en su plano, permitiendo una distribución realista de las fuerzas sísmicas inerciales entre los elementos verticales resistentes (pórticos y muros).

Condiciones de Borde:

La base de la estructura se consideró totalmente empotrada, restringiendo todas las traslaciones (UX, UY, UZ) y rotaciones (RX, RY, RZ) en los nudos de apoyo.

Definición de Masas:

El cómputo de las masas empleadas en el análisis modal incorporó la totalidad de la carga muerta más un porcentaje específico de la carga viva, conforme a las exigencias reglamentarias. Esta masa se asignó de forma distribuida a lo largo de los elementos estructurales utilizando la opción "MASS SOURCE" del software, en lugar de concentrarla en nudos específicos. Esta metodología proporciona una representación más realista de la distribución inercial de la estructura.

Análisis Sísmico:

Para la estructura convencional (sin disipadores), el análisis sísmico se realizó mediante dos métodos:

Análisis Estático: Aplicando las fuerzas sísmicas equivalentes prescritas por la norma.

Análisis Modal Espectral: Utilizando el espectro de respuesta definido por la norma, el cual se calibró con las características sísmicas específicas del sitio y la estructura (tipo de suelo, zona sísmica, uso de la edificación, etc.).

El análisis se llevó a cabo considerando la acción sísmica actuando de forma independiente en dos direcciones ortogonales principales del edificio.

Figura 113

Edificación convencional vista en 3D.

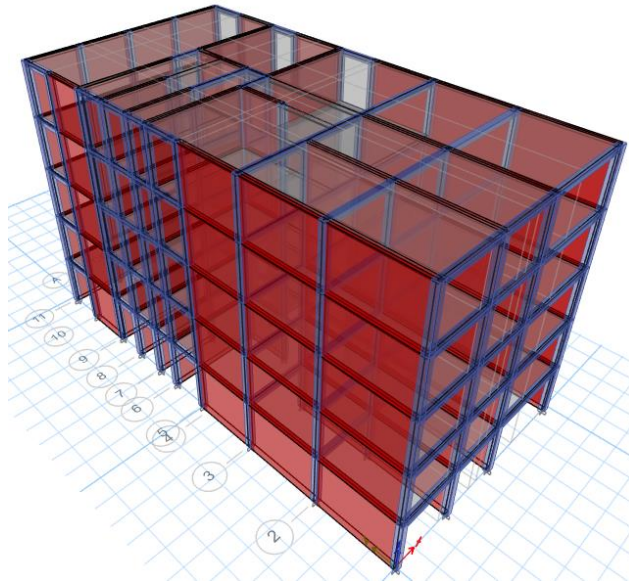
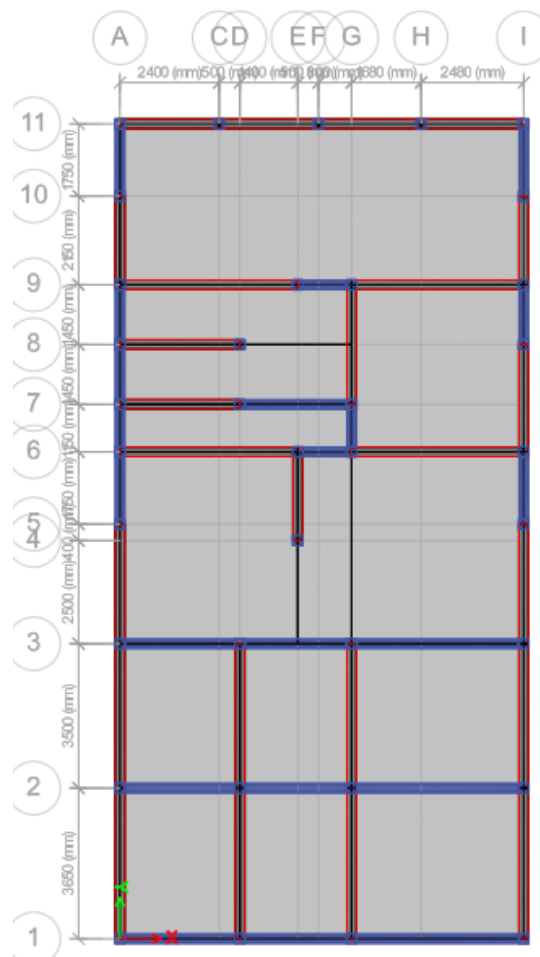


Figura 114

Edificación convencional (Vista en planta) de albañilería sistema estructural mixto (Albañilería confinada y pórticos de concreto armado).



14.5.17 Modelo Utilizado para la edificación con inclusión de disipadores sísmicos de bajo costo (DSBC)

En las figs. 36 al 37, se muestra el modelo del edificio con todas sus características incluyendo los disipadores y elaboradas en el ETABS-2016.

Figura 115

Edificación con dispositivos de disipación sísmica de bajo costo.

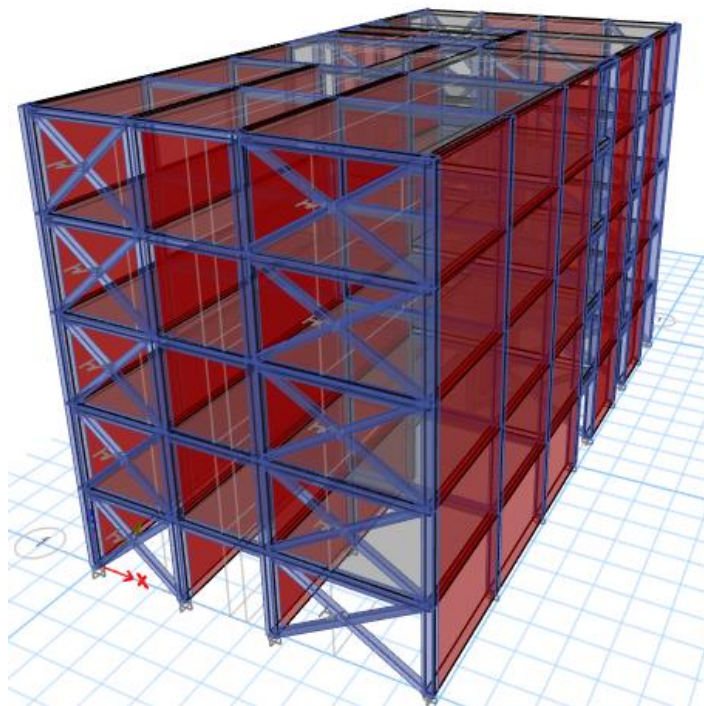


Figura 116

Edificación con dispositivos de disipación sísmica de bajo costo, vista en planta.

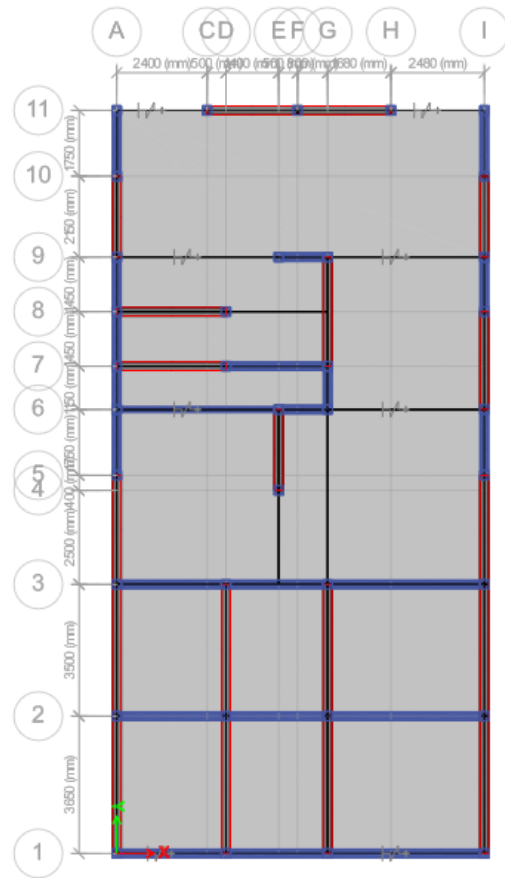


Figura 117

Edificación disipada vista en elevación donde se ubican los disipadores sísmicos.

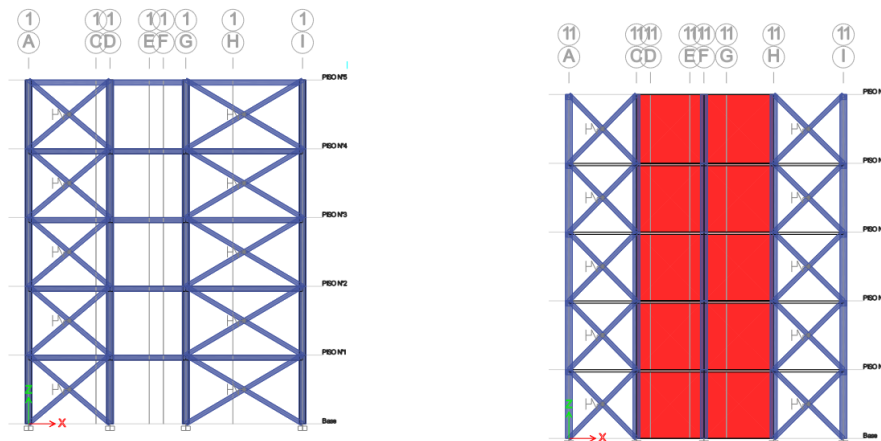
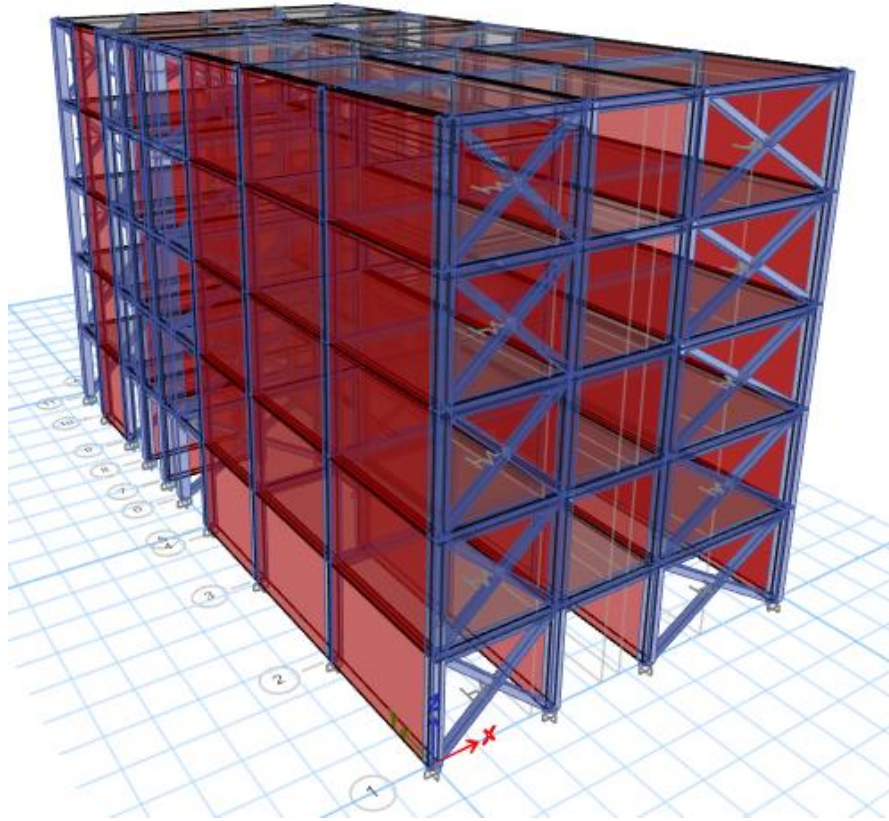


Figura 118

Edificación disipada vista en elevación 3D.



Para representar la estructura disipada, se toman en cuenta las mismas propiedades de la estructura tradicional, incorporando además los componentes específicos de la disipación de energía, sus conexiones y soportes. La incertidumbre respecto al comportamiento de la superestructura disminuye al emplear esta técnica, ya que se mantendrá dentro del límite elástico.

El desarrollo del modelo para el sistema disipador incorporó los siguientes aspectos: la localización espacial de cada disipador, los corrimientos horizontales y angulares, los efectos de vuelco, y otras variables complementarias como la carga proveniente del peso propio y la tasa de aplicación de las solicitaciones. Estos requisitos son una de las razones por las que se eligió el programa ETABS para el modelado computacional, ya que, además de estar avalado por las normativas, permite analizar situaciones más complejas.

Los disipadores utilizados en esta investigación pueden representarse mediante un modelo histérico bilineal. Las propiedades necesarias para configurar este modelo en ETABS incluyen: la rigidez efectiva, el amortiguamiento efectivo en la fase lineal, la rigidez post-fluencia y la fuerza de fluencia que activa el funcionamiento del disipador.

14.5.18 Dimensiones y características finales de los Disipadores Sísmico de Bajo Costo

En el presente caso, ya se han definido los siguientes parámetros: el número de disipadores requeridos, la fuerza axial de origen sísmico que la estructura transfiere al sistema de disipación, el período estructural deseado, así como los valores extremos (máximos y mínimos) de carga que incidirán sobre cada disipador. Por otra parte, la Tabla 28 resume las propiedades fundamentales de los disipadores tipo DMF

Tabla 28

Características principales de los disipadores sísmicos de bajo costo (DSBC).

Descripción	Característica
Número de disipadores DSBC	: 4 por piso
Longitud Total DSBC1	: 5180 mm.
Longitud Total DSBC2	: 4271 mm.
Número de disipadores perfil en I	: 9 por cada disipador MDF
Número de pernos	: 40 por cada DMF

14.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para datos estructurales

- Los resultados obtenidos de ETABS se exportarán a hojas de cálculo (Excel).
- Se calcularán los máximos de fuerzas (momentos y axiales) y derivas para ambos escenarios (con y sin disipador).

- Se determinarán porcentajes de reducción: **%Reducción = [(Valor sin disipador - Valor con disipador) / Valor sin disipador] × 100**
- Se elaborarán gráficos de barras comparativos y diagramas de envolvente para visualizar el efecto del disipador.
- Se verificará el cumplimiento de los límites de deriva establecidos en la NTP E.030 para estructuras mixtas.

Para el diseño del disipador

- Se documentará el proceso de iteración y selección de la configuración geométrica (tipo y número de perfiles).
- Se verificará, mediante revisión teórica y de literatura, que la configuración seleccionada cumple con los criterios de rigidez y resistencia planteados para un disipador por fluencia.

Para datos económicos

- Se elaborará un presupuesto detallado que incluye materiales, mano de obra y procesos de manufactura.
- Se calculará el costo total del disipador y el costo por vivienda.
- Se comparará con sistemas convencionales mediante indicadores:
 - Diferencia porcentual de costo.
 - Relación costo-efectividad (costo por unidad de reducción de deriva, si aplica).

Se determinará la viabilidad económica según el umbral definido en los criterios de aceptación.

14.7. Análisis de Costos Para la Fabricación del Disipador Sísmico de Bajo Costo:

Tabla 29

Cuadro Comparativo de Costos de Sistemas de Disipación Sísmica y referencias bibliográficas de costos

Concepto	Aislador de Núcleo de Plomo (LRB)	Disipador de Fluido Viscoso (DFV)	Disipador Histerético Metálico (ADAS/TADAS/SLB/BRB)	Disipador por Fricción	Referencia Bibliográfica
Costo Unitario (por dispositivo)	\$5,000 - \$15,000 USD por unidad. En Perú: S/ 18,500 por aislador.	\$2,500 - \$8,000 USD por unidad. \$6,500 USD por disipador de 200 kN. Catálogo Taylor: \$5,000 USD para 500 kN.	\$1,500 - \$4,500 USD por unidad. SLB: S/ 660 - S/ 891 BRB: Costo de material en Perú: S/ 3,000 por unidad.	\$22,000 USD por disipador (incluye instalación en Colombia). Costo de importación: \$3,300 USD por unidad.	DFV: Salazar (2022); Paucar (2023); Narváez (2020) Histerético/Metálico: Narváez (2020); Cervantes & Robles (2024); Flores Hidalgo (2021) Fricción: Martínez & Parra (2019)
Costo por m ² de construcción	S/ 450 - S/ 700 por m ² (\$120 - \$187 USD/m ²). Incidencia en el costo total de reemplazo del 5% .	S/ 306 - S/ 612 por m ² (\$82 - \$164 USD/m ²). Estudio UCV 2023: \$155.56 USD/m ² . \$125 USD/m ² (México).	S/ 150 - S/ 300 por m ² (\$40 - \$80 USD/m ²). ADAS: \$98.88 USD/m ² (Perú). SLB: \$2 7.85 USD/m ² . BRB: Costo de sistema S/ 126,000 para 40 uds.	\$237.5 USD/m ² (aprox.) considerando importación. Costo de instalación local mucho mayor.	Aislador: Aguirre (2020); Chilón (2019) DFV: Salazar (2022); Paucar (2023); Narváez (2020); Aguirre (2020) Histerético/Metálico: Narváez (2020); Miranda & Ontiveros (2020); Cervantes & Robles (2024) Fricción: Martínez & Parra (2019)
Incidencia en el Costo Total del Proyecto	5% - 15% adicional sobre estructura convencional.	7% - 19% adicional. Estudio PUCP (2020): 19% . Estudio UCV (2023): 7.98% .	3% - 16% adicional. ADAS: 1 6% (Perú, Narváez). BRB: Requiere menor inversión que DFV.	>39% si se importa a través de distribuidor local. Costo de importación directa es mucho menor.	Aislador: Aguirre (2020); Chilón (2019) DFV: Narváez (2020); Paucar (2023) Histerético/Metálico: Narváez (2020) Fricción: Martínez & Parra (2019)
Mano de Obra / Instalación	Alta. Requiere ingeniería de precisión,	Media-Alta. Requiere conexiones robustas y personal calificado.	Baja. Soldadura simple y pernos de anclaje	Media. Requiere diseño de conexiones	DFV: Flores (2021); Aguirre (2020)

nivelación y grúas especializadas. Conexiones: \$1,500 - \$1,750 USD c/u. convencionales. SLB: conexiones de S/ 150. especiales y personal capacitado. Histerético/Metálico: Miranda & Ontiveros (2020); Cervantes & Robles (2024)

Fricción: Martínez & Parra (2019)

Análisis de costos para la fabricación del dispositivo de disipación sísmica de bajo costo (DSBC)

Tabla 30

Cuadro del análisis de costos unitarios para la fabricación del disipador sísmico de bajo costo (DSBC)

FABRICACION DE DISIPADOR SISMICO DE BAJO COSTO (DSBC)

Rendimiento	0.33	Und/dia		Costo Unitario		S/. 4,420.95
Descripcion	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unitario	Parcial	
Mano de Obra					S/. 540.15	
Operario Soldador	HH	1.5	36.36	14.85	540.15	
Materiales					S/. 2,555.50	
Plancha de 3/8"	Pl.		0.55	1050	577.50	
Plancha de 1/4"	Pl.		0.08	850	68.00	
Tubo de 6"x6"*1/4"	Und.		1	1200	1200.00	
Soldadura Supercito	Kg.		10	20	200.00	
Pernos 5/8"	Und.		52	5	260.00	
Disco de corte	Und.		100	0.5	50.00	
Pintura anticorrosiva	Gl.		2	80	160.00	
Tuiner	Gl.		2	20	40.00	
Equipos					S/. 1,325.30	
Herramientas	%				16.20	
Equipo de Soldadura	hm	0.50	12.12	60	727.27	
Equipo Oxicorte	hm	0.25	6.06	60	363.64	
Equipo de Pintura	hm	0.15	3.64	60	218.18	

Del análisis de costos realizados para la fabricación del dispositivo de disipación sísmica de bajo costo (DSBC), se desprende que el costo unitaria es de s/. 4420.95, para la fabricación de un dispositivo de disipación sísmica

Numero de Pisos	Costo Unitario de Un Disipador en Soles	Area por Planta en m ²	Area Total en m ²
$n := 5$	$cu := 4200$	$A := 200$	$A_t := 200 \cdot 5 = 1000$

$$cu_{dolar} := \frac{4200}{3.4} = 1235.2941$$

Costo Unitario en Soles Por Metro Cuadrado de Area Construida
$\left(\frac{cu}{A_t} \right) \cdot 20 = 84$

Del análisis de la información mostrada el posicionamiento del disipador sísmico de bajo costo (DSBC) frente a las tecnologías que dominan el mercado de la protección sísmica.

1. El DSBC es una Disrupción en el Mercado de la Disipación Sísmica:

Al enfrentar al DSBC con los sistemas tradicionales (ADAS, Taylor, Fricción), queda claro que no compite en el mismo segmento de precios. Mientras los sistemas conocidos se mueven en un rango de S/ 326 a S/ 652 por m², el DSBC irrumpe con un costo de S/ 84 por m².

- o Se desprende que el DSBC no es una alternativa más; es una tecnología que abre un nuevo nicho de mercado. Permite que proyectos con presupuestos medios o bajos accedan a protección sísmica, algo que antes estaba reservado para edificios de gran envergadura o presupuestos elevados.

2. Ventaja Económica Frente a Disipadores de Fluido Viscoso (Taylor):

La diferencia es notablemente amplia. El DSBC es entre 4.7 y 7.8 veces más económico que los disipadores de fluido viscoso.

- De lo que se desprende que para un proyecto donde el control de derivas es crítico pero el presupuesto es una limitante, el DSBC se presenta como una alternativa técnico-económica inviable de ignorar, forzando a los proyectistas a justificar por qué el sobrecosto de un Taylor es necesario si el DSBC puede cumplir con los requerimientos de desempeño.

3. Ventaja Frente a Disipadores Histeréticos Metálicos (ADAS):

Incluso frente a una tecnología más simple como los ADAS (que son de fabricación más sencilla que los viscosos), el DSBC es significativamente más económico, siendo casi 4 veces más barato.

- De lo que se desprende que el DSBC replantea la economía de los disipadores por fluencia de metales. Su bajo costo sugiere una optimización en el diseño, materiales o proceso de fabricación que los ADAS convencionales no han logrado.

4. Ventaja con respecto Disipador de Friccion Pall:

La comparación con el disipador de fricción Pall, refuerza la ventaja del DSBC. El DSBC es 5.7 veces más barato.

- De lo que se desprende que el DSBC no solo es competitivo localmente, sino que tiene un potencial enorme para competir en el mercado latinoamericano, donde la importación de dispositivos de protección sísmica significativa.

CAPÍTULO XV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

15.0 Resultados y Discusión

15.1 Resultados del Objetivo Específico 2: Diseño y Dimensionamiento del Disipador Sísmico de Bajo Costo (DSBC):

A continuación, se presentan los resultados correspondientes al OE1, que contempla la selección, dimensionamiento y caracterización del Disipador Sísmico de Bajo Costo (DSBC) para su implementación en la vivienda social en estudio.

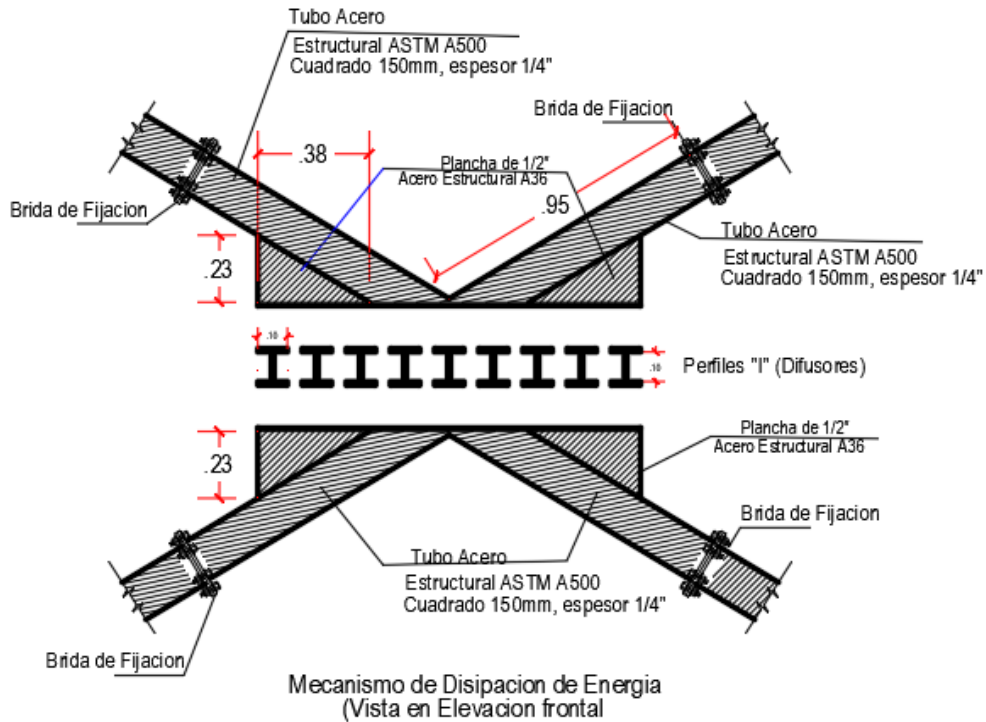
15.1.1 Descripción y Componentes del DSBC

Se desarrolló un elemento disipador de energía de comportamiento histerético, basado en la fluencia del metal, al cual se le nombró Disipador Sísmico de Bajo Costo (DSBC). Este dispositivo se compone fundamentalmente de dos partes:

1. Estructura Complementaria (Soporte): Conformada por dos tubos metálicos cuadrados de 150 mm x 150 mm x 6.5 mm ($e=1/4"$), dispuestos en forma de cruz diagonal. Su función es conectar el núcleo disipador a la estructura de concreto armado y permanecer en rango elástico durante la acción sísmica.
2. Elementos Disipadores de Energía (Núcleo): Ubicados en la intersección de los tubos cuadrados. Son segmentos de acero A36 con sección transversal en "I" (con ala de 100 mm con espesor $3/8"$, con alma de 100 mm con espesor de $1/4"$), fabricados a partir de planchas de acero. El principio de funcionamiento se basa en la plastificación por flexión del alma de estos perfiles, la cual actúa como un "fusible" estructural.

Figura 119

Muestra los detalles constructivos del DSBC, incluyendo sus componentes y dimensiones principales.



15.1.2 Verificación de la Capacidad de la Sección del Perfil I

Para garantizar que el perfil I pueda desarrollar su capacidad plástica y disipar energía sin fallar prematuramente por pandeo local, se verificó su condición de "sección compacta" según los criterios de la norma AISC 360-22. El perfil analizado, con un alma de espesor 6.35 mm (1/4") y alas de 9.5 mm (3/8"), presentó el siguiente resultado:

La sección transversal del perfil I propuesto para el DSBC es **COMPACTA**. Esto valida que el dispositivo podrá incursionar en el rango plástico y disipar energía mediante histéresis sin riesgo de pandeo local, asegurando el comportamiento dúctil esperado.

15.1.3 Caracterización Mecánica y Propiedades del Material

Se seleccionó acero estructural A36 para la fabricación del DSBC, cuyas propiedades mecánicas, obtenidas de fichas técnicas estandarizadas, se presentan en la **Tabla 32**.

Tabla 31

Propiedades mecánicas del Acero A36

Propiedad	Símbolo	Valor	Unidades
Limite de Fluencia	σ_y	250	MPa
Esfuerzo de Ultimo	σ_B	400	MPa
Módulo de Young	E	2.1×10^6	kgf/cm ²
Deformación en Rotura	-	20	%

15.1.4 Determinación de Parámetros Clave de Rigidez y Resistencia

Mediante un análisis paramétrico y de sensibilidad, se evaluaron cuatro configuraciones del DSBC, diferenciadas por el número de perfiles I en su núcleo (6, 9, 12 y 15). Utilizando un modelo en Autodesk Inventor y aplicando cargas incrementales, se obtuvieron los desplazamientos y esfuerzos para cada configuración, permitiendo calcular su rigidez equivalente.

Tabla 32

Resumen del Análisis Paramétrico del DSBC (Fuerza vs. Desplazamiento)

Fuerza Aplicada (kN)	Desplazamiento (mm) – 6 perfiles	Desplazamiento (mm) - 9 perfiles	Desplazamiento (mm) - 12 perfiles	Desplazamiento (mm) - 15 perfiles
20	0.2428	0.1650	0.1302	0.1104

Fuerza Aplicada (kN)	Desplazamiento (mm) – 6 perfiles	Desplazamiento (mm) - 9 perfiles	Desplazamiento (mm) - 12 perfiles	Desplazamiento (mm) - 15 perfiles
40	0.4856	0.3300	0.2604	0.2208
60	0.7284	0.4950	0.3905	0.3311
80	0.9710	0.6601	0.5207	0.4416
100	1.2140	0.8251	0.6509	0.5519
120	1.4570	0.9900	0.7811	

Tabla 33

Rigidez Equivalente (K_{eq}) del DSBC para Diferentes Configuraciones

Configuración	Rigidez Equivalente (kN/mm)	Incremento de Rigidez vs. Base
6 perfiles (Base)	82.37	-
9 perfiles	121.21	+47.15%
12 perfiles	153.63	+86.48%
15 perfiles	181.19	+119.92%

15.1.5 Selección de la Configuración Final del DSBC

Para la implementación en el modelo estructural de la vivienda de 5 pisos, se seleccionó la configuración de 09 perfiles I. Esta decisión se basa en el análisis de sensibilidad y los siguientes criterios:

Rigidez adecuada: Presenta un incremento de rigidez del 47% respecto a la base, ofreciendo un balance óptimo entre control de desplazamientos y demanda de fuerza sobre la estructura.

Esfuerzo de trabajo: Para las cargas esperadas, los esfuerzos en los perfiles se mantienen dentro del rango elástico (165.9 MPa a 60 kN) y superan la fluencia (276.4 MPa a 100 kN) antes de alcanzar la rotura, garantizando la activación del "fusible".

Factibilidad constructiva: La disposición de 9 perfiles permite una distribución geométrica equilibrada y compacta dentro de la estructura de soporte (tubos cuadrados).

15.2 Resultados del Objetivo Específico 2:

En esta sección se presentan los resultados correspondientes al Objetivo Específico N° 02, el cual busca cuantificar la reducción de fuerzas internas (momentos flectores y cargas axiales) en los elementos críticos de la vivienda social, mediante la comparación entre el modelo sin disipador (escenario base) y el modelo con disipador sísmico de bajo costo (escenario con intervención), empleando análisis estático lineal y dinámico modal espectral conforme a la Norma Técnica Peruana E.030.

Evaluación de la Reducción de Fuerzas Internas

Procedamos a evaluar los resultados de la Evaluación sísmica mediante métodos estático y dinámico por espectro de respuesta, bajo los criterios establecidos en las tablas N°26, N°27 y N°28

Tabla 34

Proceso para el análisis de los resultados de las fuerzas internas

EDIFICACIÓN CONVENCIONAL		EDIFICACIÓN DISIPADA	
Análisis Estático	Análisis Espectral	Análisis Estático	Análisis Espectral
Fuerzas internas			

Fuerza axial máxima XX	Fuerza axial máxima XX	Fuerza axial máxima XX	Fuerza axial máxima XX
Fuerza axial máxima YY	Fuerza axial máxima YY	Fuerza axial máxima YY	Fuerza axial máxima YY
Fuerza cortante XX	Fuerza cortante XX	Fuerza cortante XX	Fuerza cortante XX
Fuerza cortante YY	Fuerza cortante YY	Fuerza cortante YY	Fuerza cortante YY
MOMENTOS			
Momento flector máximo XX	Momento flector máximo XX	Momento flector máximo XX	Momento flector máximo XX
Momento flector máximo YY	Momento flector máximo YY	Momento flector máximo YY	Momento flector máximo YY

15.2.1 Fuerzas Internas del Análisis Sísmico Estático

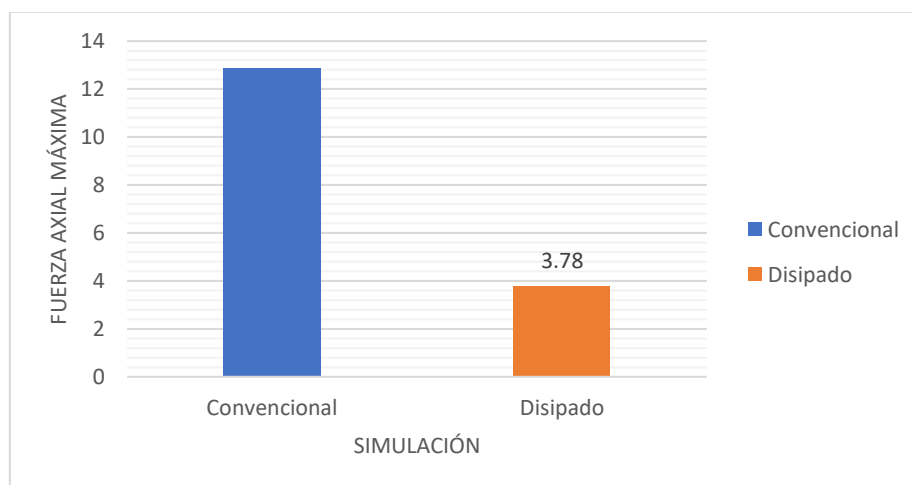
Tabla 35

Fuerza axial máxima (t) en la dirección X-X, sismo actuando en la dirección XX.

Fuerza axial máxima (t) dirección XX			
Piso	Convencio	Disipad	% Variación
1	12.880	3.780	70.65%

Figura 120

Fuerza axial máxima (t) en la dirección X-X, sismo actuando en la dirección XX.



Datos de la Fuerza axial máxima en la dirección X.

Interpretación: De acuerdo con la Tabla 35 y la Figura 120, la sollicitación axial de mayor magnitud que induce el sismo en la dirección X-X se localiza en el nivel N°1 del edificio social convencional, mientras que el edificio equipado con disipadores presenta valores menores

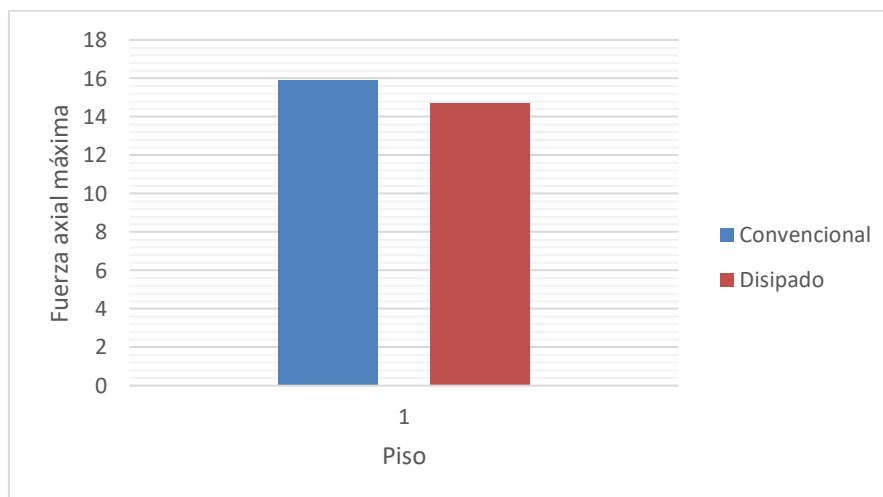
Tabla 36

Fuerza axial máxima (t) en la dirección Y-Y, sismo actuando en la dirección Y-Y

Fuerza axial (t) dirección YY		
Piso	Convenci	Disipado
1	15.918	14.693

Figura 121

Fuerza axial máxima en la dirección Y con el sismo actuando



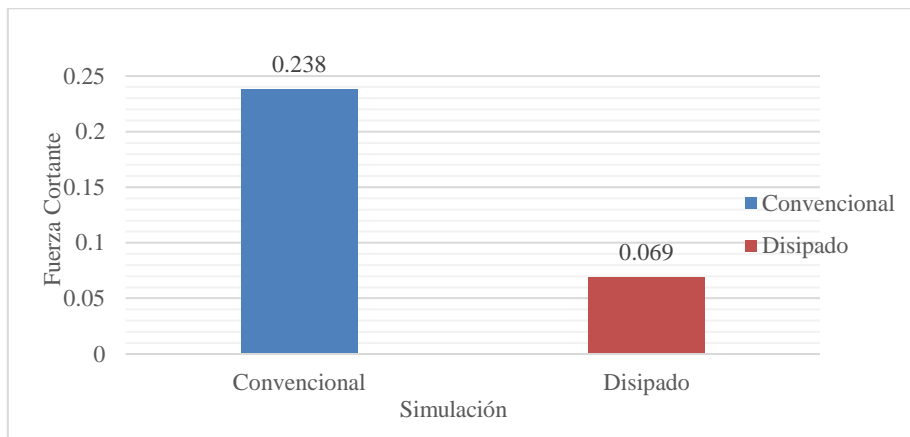
Interpretación: La tabla 36 y figura 121, muestra que la fuerza axial máxima generados en el edificio convencional y disipado por el sismo en la dirección del eje Y-Y se presenta en el edificio convencional Convencional en el nivel N°1.

Tabla 37

Fuerza cortante máxima (t) en la dirección X-X, sismo actuando en la dirección X-X.

Fuerza cortante (t) dirección XX		
Piso	Convenciona	Disipado
1	0.238	0.069

Figura 122



Datos de la fuerza cortante en la dirección x, en un análisis estático

Interpretación: De acuerdo con la Tabla 37 y la Figura 122, el valor pico de la fuerza cortante inducida por el sismo en la dirección del eje X-X se localiza en el nivel N°1 de la edificación convencional con base empotrada, mientras que la edificación provista con disipadores registra magnitudes inferiores.

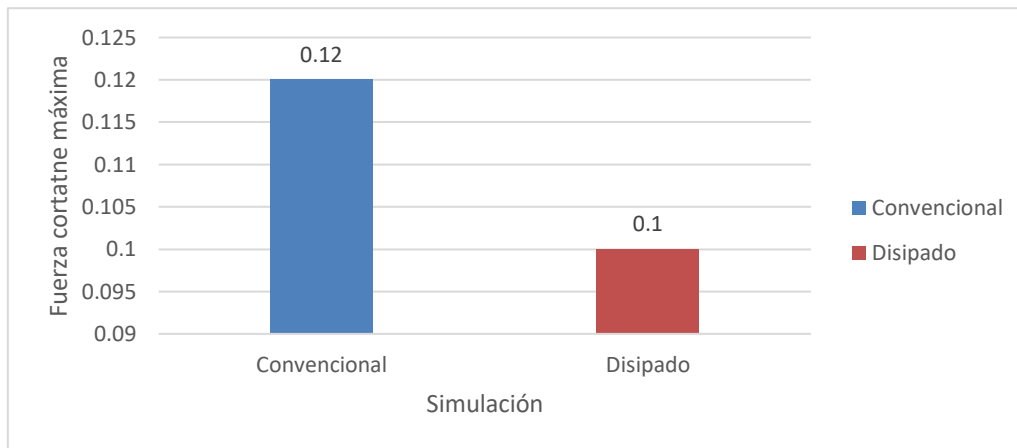
Tabla 38

Fuerza cortante máxima (t) en la dirección Y-Y, sismo actuando en la dirección Y-Y

Piso	Fuerza cortante (t) dirección YY	
	Convencional	Disipado
1	0.120	0.100

Figura 123

Fuerza cortante máxima (t) en la dirección Y-Y, sismo actuando en la dirección Y-Y.



Datos de la fuerza cortante máximo (t) en la dirección Y, debido al sismo actuando en la dirección Y.

Interpretación: Según lo reportado en la Tabla 38 y la Figura 123, el valor máximo de la fuerza cortante inducida por el movimiento sísmico en la dirección del eje Y-Y se localiza en el primer nivel del edificio convencional, mientras que el edificio provisto con disipadores alcanza magnitudes inferiores

Tabla 39

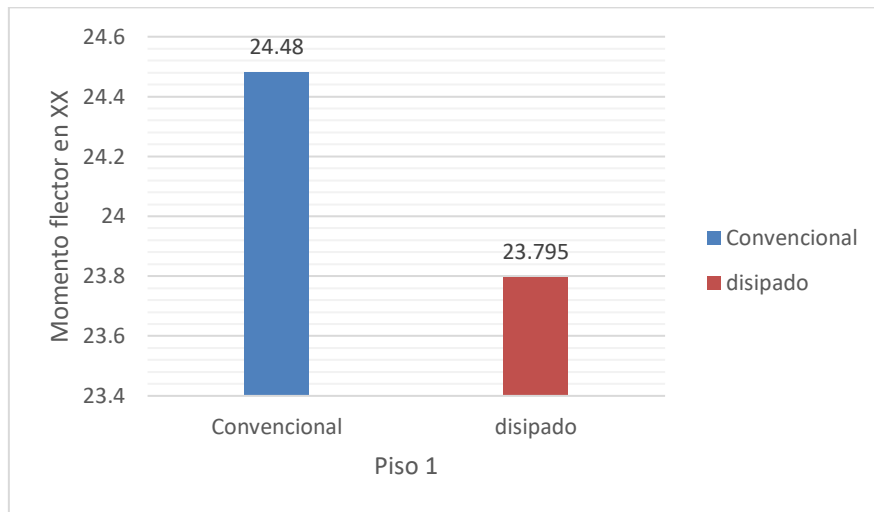
Momento flector máximo (t-m) en la dirección X-X., sismo actuando en la dirección X-

X

Piso	Momento flector (t-m) dirección XX	
	Convenciona	Disipado
1	0.259	0.298

Figura 124

Momento flector máximo (t-m) en la dirección X-X.



Datos del Momento flector máximo (t-m) en la dirección X-X., durante la simulación del sismo.

Interpretación: De acuerdo con la Tabla 39 y la Figura 124, el valor máximo del momento flector inducido por el sismo en la dirección del eje X-X se localiza en el nivel N°1 del edificio convencional con base empotrada, mientras que el edificio provisto con disipadores registra magnitudes menores.

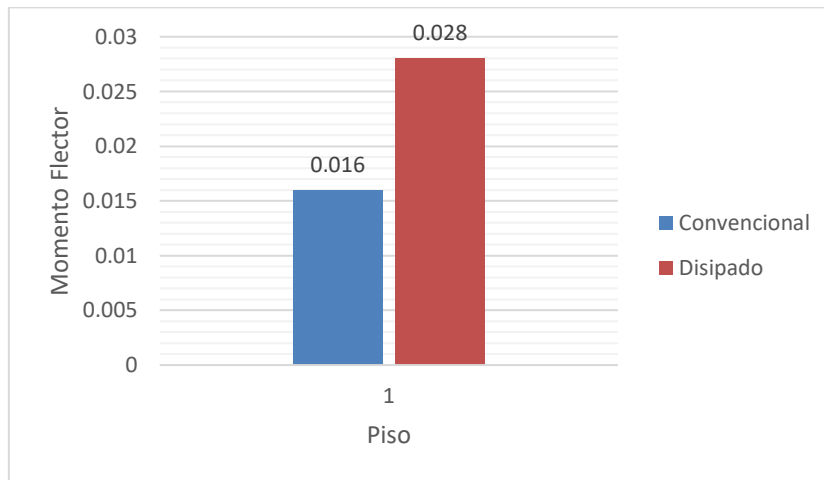
Tabla 40

Momento flector máximo (t-m) en la dirección Y-Y sismo actuando en la dirección YY.

Momento flector (t-m) dirección YY		
Piso	Convencional	Disipado
1	0.016	0.028

Figura 125

Momento flector máximo (t-m) en la dirección Y-Y sismo actuando



Interpretación: La tabla 40 y figura 125, muestra que el momento flector máximo, generados en el edificio convencional y disipado por el sismo en la dirección de eje Y-Y se presenta en la edificación convencional en el nivel N°1.

15.2.2 Fuerzas Internas del Análisis Dinámico Espectral

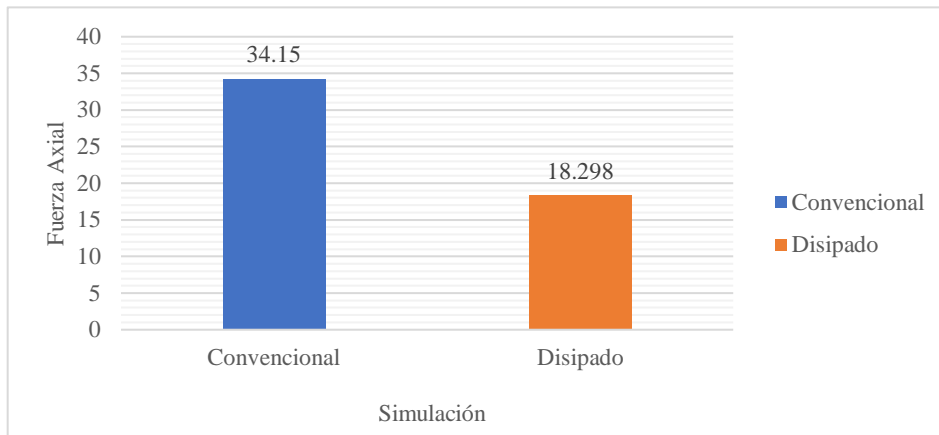
Tabla 41

Fuerza axial máxima (t) en la dirección X-X, sismo actuando en la dirección X-X.

Fuerza axial (t) dirección XX		
Piso	Convenciona	Disipado
1	34.150	18.298

Figura 126

Fuerza axial máxima (t) en la dirección X-X, sismo actuando en la dirección X-X



Datos de la fuerza axial máxima en la dirección X, se genera en el edificio convencional

Interpretación: Según lo reportado en la Tabla 41 y la Figura 126, la máxima sollicitación axial se presenta en el nivel N°1 de la edificación convencional.

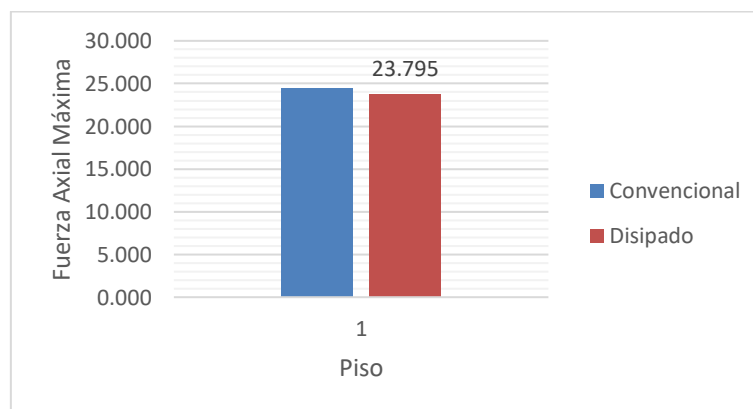
Tabla 42

Fuerza axial máxima (t) en la dirección Y-Y., sismo actuando en la dirección Y-Y

Piso	Fuerza axial (t) dirección YY	
	Convencional	Disipado
1	24.480	23.795

Figura 127

Fuerza axial máxima en la dirección Y-Y con el sismo actuando.



Interpretación: La tabla 42 y figura 127, se muestra que la fuerza axial máxima se

genera en el edificio disipado en el nivel 1.

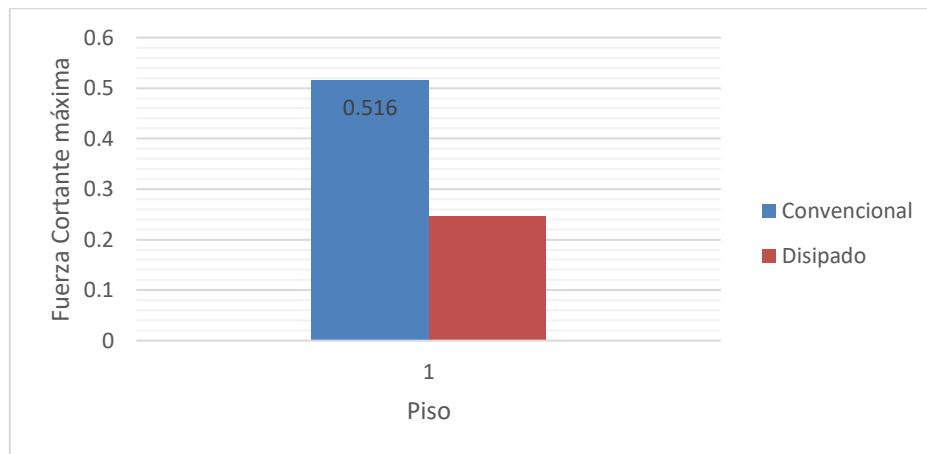
Tabla 43

Fuerza cortante máxima (t) en la dirección XX debido al sismo en la dirección XX

Fuerza cortante máxima (t) dirección XX		
Piso	Convencional	Disipado
1	0.516	0.246

Figura 128

Fuerza cortante máxima (t) dirección XX, análisis espectral.



Datos de la fuerza cortante máxima en la dirección x que se encuentra en un edificio convencional

Interpretación: Según lo reportado en la Tabla 43 y la Figura 128, la máxima sollicitación por corte se presenta en el nivel N°1 de la edificación convencional

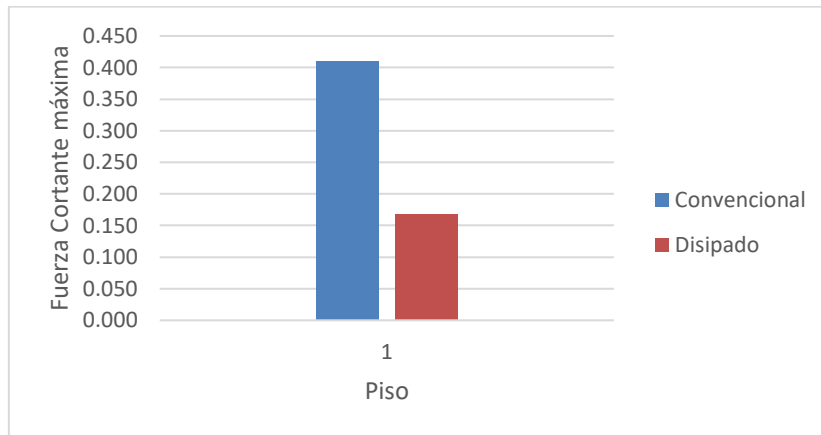
Tabla 44

Fuerza cortante máxima (t) en la dirección Y-Y, sismo actuando en la dirección Y-Y

Fuerza cortante (t) dirección YY		
P	Convencio	Disipado
1	0.410	0.167

Figura 129

Fuerza cortante máxima (t) en la dirección Y-Y, sismo actuando



Datos de la fuerza cortante máximo (t) en la dirección Y, debido al sismo actuando en la dirección Y.

Interpretación: Según lo reportado en la Tabla 44 y la Figura 129, la máxima sollicitación por corte se presenta en el nivel N°1 de la edificación convencional.

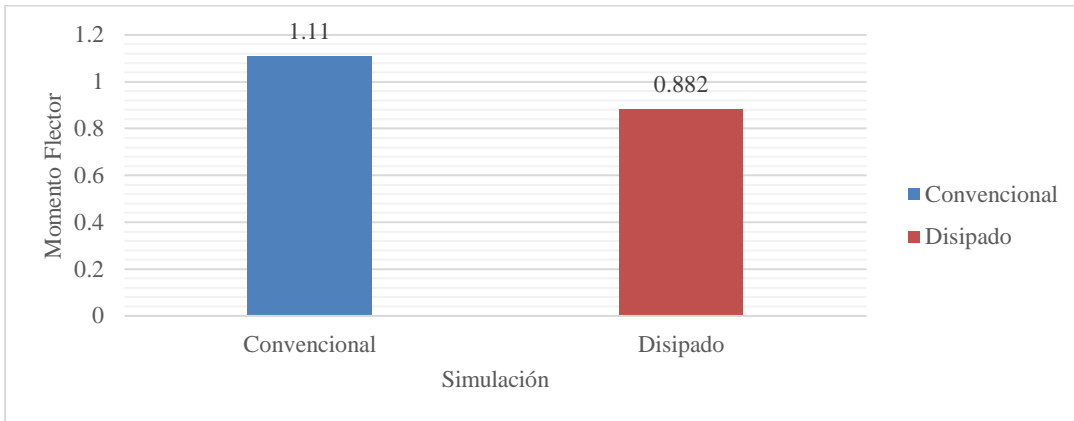
Tabla 45

El momento flector máximo (t-m) en la dirección X-X, sismo actuando en la dirección X-X

Piso	Momento flector (t-m) dirección XX	
	Convencional	Disipado
1	1.110	0.882

Figura 130

El momento flector máximo (t-m) en la dirección X-X, sismo actuando en la dirección X-X.



Interpretación: La tabla 45 y figura 130, se muestra que el momento flector máximo se genera en el edificio convencional

Tabla 46

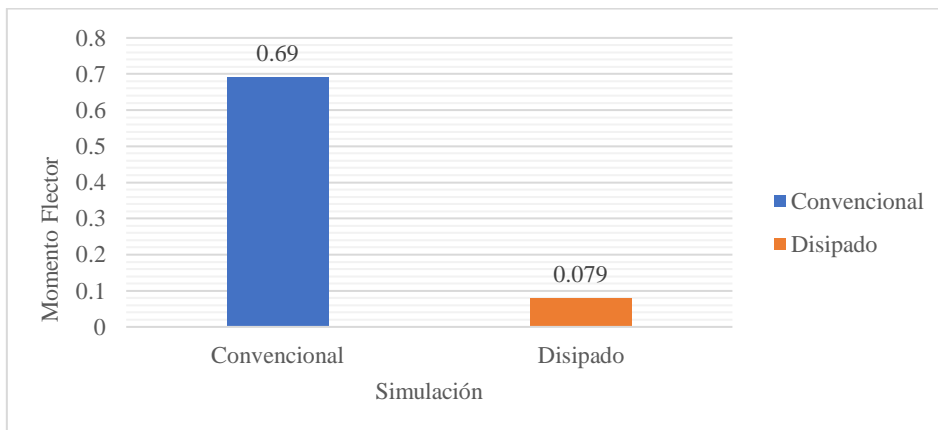
El momento flector máximo (t-m) en la dirección Y-Y, sismo actuando en la dirección Y-Y.

Momento flector (t) dirección YY		
Piso	Convencional	Disipado
1	0.690	0.079

Fuente: Realizado en base a resultados Etabs.

Figura 131

El momento flector máximo (t-m) en la dirección Y-Y, sismo actuando en la dirección Y-Y.



Datos del momento flector máximo (t-m) en la dirección Y con sismo actuando en la dirección Y-Y

Interpretación: La tabla 46 y figura 131, se muestra que el momento flector máximo, y se genera en el edificio convencional.

15.3 Resultados correspondientes al Objetivo Específico N° 03,

En esta sección se presentan los resultados correspondientes al Objetivo Específico N° 03, el cual busca evaluar la reducción de las derivas máximas de entrepiso a través de dos métodos de análisis sísmico: estático lineal y dinámico modal espectral, según lo estipulado en la Norma Técnica Peruana E.030. Los resultados se obtienen de la comparación entre el modelo de la vivienda social sin disipador (escenario base) y el modelo con la incorporación del disipador sísmico de bajo costo (escenario con intervención).

Tabla 47

Proceso para el análisis de los resultados del desplazamiento

EDIFICACIÓN CONVENCIONAL		EDIFICACIÓN DISIPADA	
Análisis Estático	Análisis Espectral	Análisis Estático	Análisis Espectral
Desplazamientos			
Sismo X	Sismo X	Sismo X	Sismo X
Sismo Y	Sismo Y	Sismo Y	Sismo Y
Desplazamiento Entrepiso XX	Desplazamiento Entrepiso XX	Desplazamiento Entrepiso XX	Desplazamiento Entrepiso XX
Desplazamiento Entrepiso YY	Desplazamiento Entrepiso YY	Desplazamiento Entrepiso YY	Desplazamiento Entrepiso YY

Tabla 48

Proceso para el análisis de los resultados de las derivas

EDIFICACIÓN CONVENCIONAL		EDIFICACIÓN DISIPADA	
Análisis Estático	Análisis Espectral	Análisis Estático	Análisis Espectral
Derivas			
Deriva de entrepiso XX	Deriva de entrepiso XX	Deriva de entrepiso XX	Deriva de Entrepiso XX
Deriva de entrepiso YY	Deriva de entrepiso YY	Deriva de entrepiso YY	Deriva de entrepiso YY

15.3.1 Resultados del Análisis Sísmico Estático

1.- Desplazamientos

Tabla 49

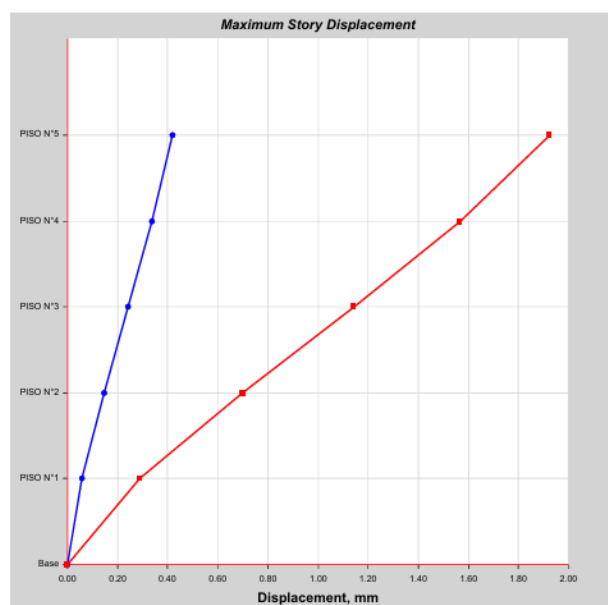
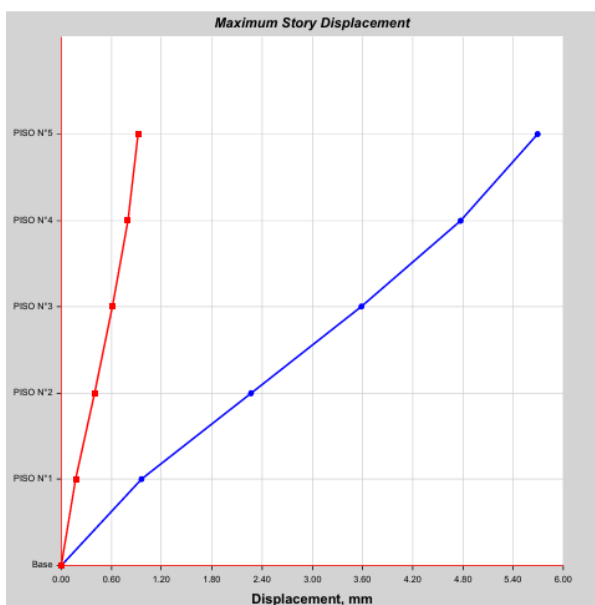
Desplazamiento del sistema disipado.

Desplazamiento de la Edificación social
Disipada

Sismo X	0.3833 mm.
---------	------------

Figura 132

Desplazamiento máximo de la edificación social con la implementación del sistema de disipación sísmica en la dirección del sismo en X e Y del sistema con disipadores.



Interpretación: De acuerdo con la Tabla 49 y la Figura 132, se presenta el desplazamiento máximo del sistema equipado con Disipadores Metálicos de Bajo Costo (DSBC) en las direcciones X e Y del sismo, valor obtenido a partir del análisis estático. Dicha magnitud resulta fundamental para verificar que el desplazamiento se mantenga dentro de los límites establecidos en el diseño.

2.- Desplazamientos

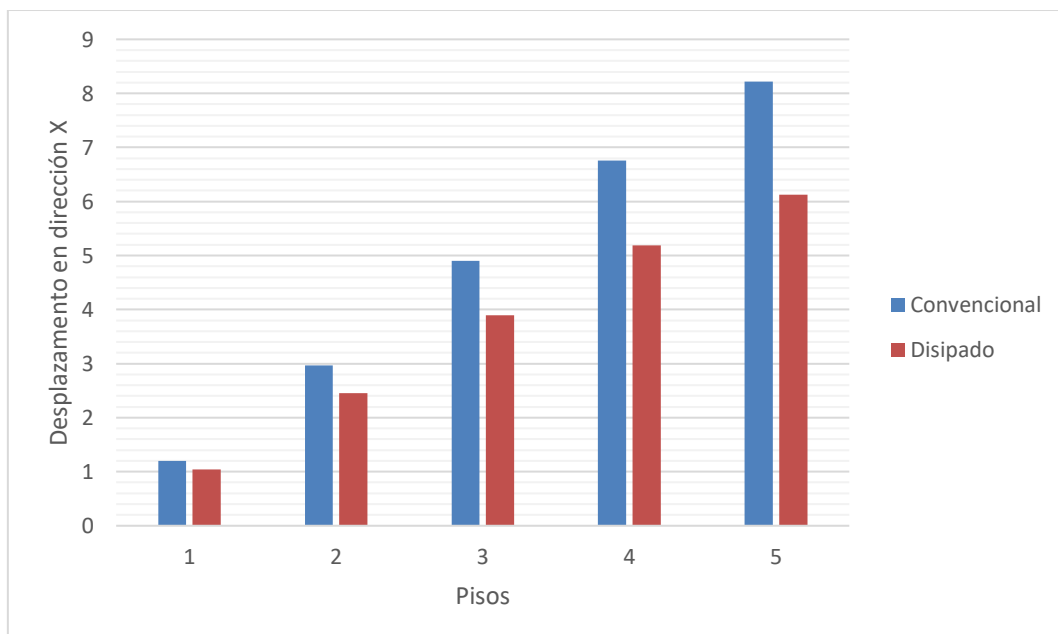
Tabla 50

Desplazamiento de Entrepiso (m) sismo actuando en la dirección X-X.

Desplazamiento de Entrepiso-(mm) Dirección XX		
Piso	Convencional	Disipado
1	1.196 mm	1.040 mm
2	2.971 mm	2.450 mm
3	4.903 mm	3.892 mm
4	6.756 mm	5.189 mm
5	8.219 mm	6.122 mm

Figura 133

Deriva del entrepiso (m), sismo actuando en la dirección X-X.



Interpretación: Tal como lo reporta la Tabla 50, la vivienda social sin disipadores experimenta desplazamientos sísmicos en la dirección del eje XX mayores que aquellos observados en la edificación social provista con DSBC, siendo el nivel N°5 donde se alcanzan las magnitudes más elevadas.

Tabla 51

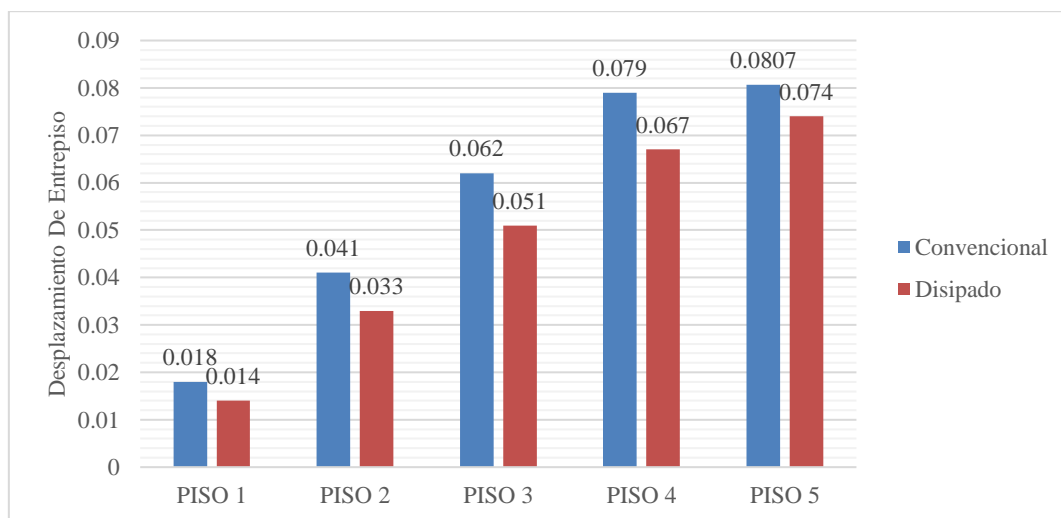
Desplazamiento de entrepiso debido al sismo en la dirección Y-Y

Desplazamiento de Entrepiso-(mm) Dirección YY		
Piso	Convenci	Disipado
1	0.0180	0.014
2	0.0410	0.033
3	0.0620	0.051
4	0.0790	0.067
5	0.0807	0.074

Interpretación: De acuerdo con la Tabla 51, los desplazamientos inducidos por el sismo en la dirección del eje YY son superiores en la edificación social convencional en comparación con aquella que incorpora disipadores sísmicos de bajo costo (DSBC), registrándose las magnitudes máximas en el quinto nivel (N°5).

Figura 134

Desplazamiento de entrepiso debido al sismo en la dirección Y-Y



Comparación de desplazamientos de entrepisos en dirección Y.

3.- Derivas de Entrepiso

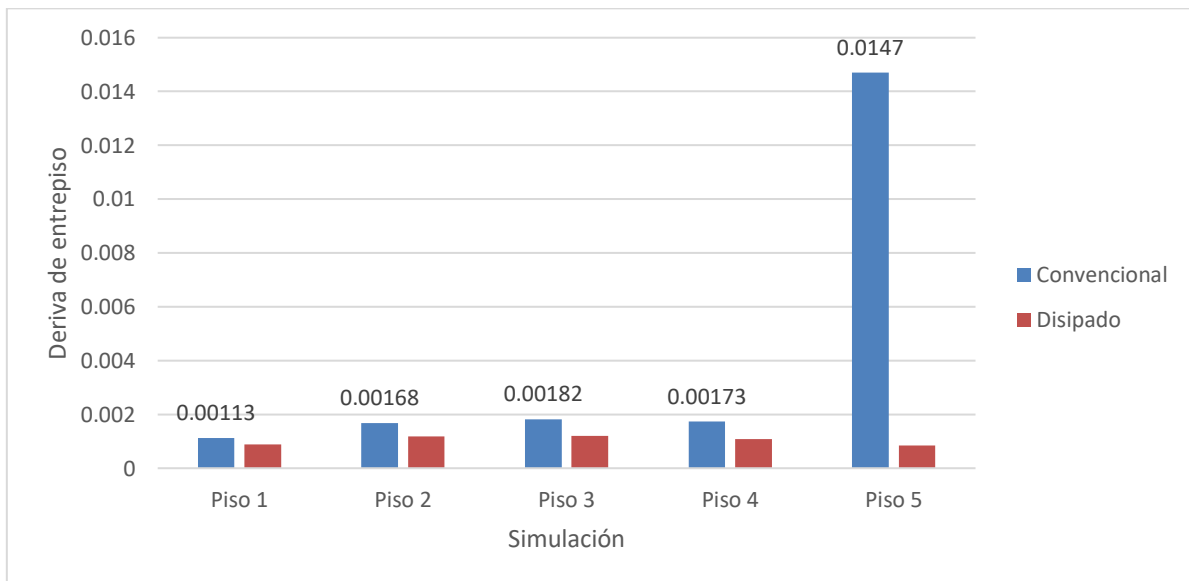
Tabla 52

Deriva de entrepiso en la dirección X-X, debido al sismo en la dirección X-X

Piso	Deriva de entrepiso dirección XX	
	Convencional	disipado
1	0.00113	0.00088
2	0.00168	0.00119
3	0.00182	0.00121
4	0.00173	0.00108
5	0.0147	0.00085

Figura 135

Deriva de entrepiso en la dirección X-X, debido al sismo en la dirección X-X.



Datos de deriva de entrepiso en dirección X, debido al sismo actuando en la dirección X.

Interpretación: Tal como lo reporta la Tabla 52, en la dirección del eje XX, las deformaciones relativas entre pisos generadas por el sismo resultan superiores en la edificación social convencional respecto a la edificio con disipadores, registrándose los picos más elevados en el nivel N°5.

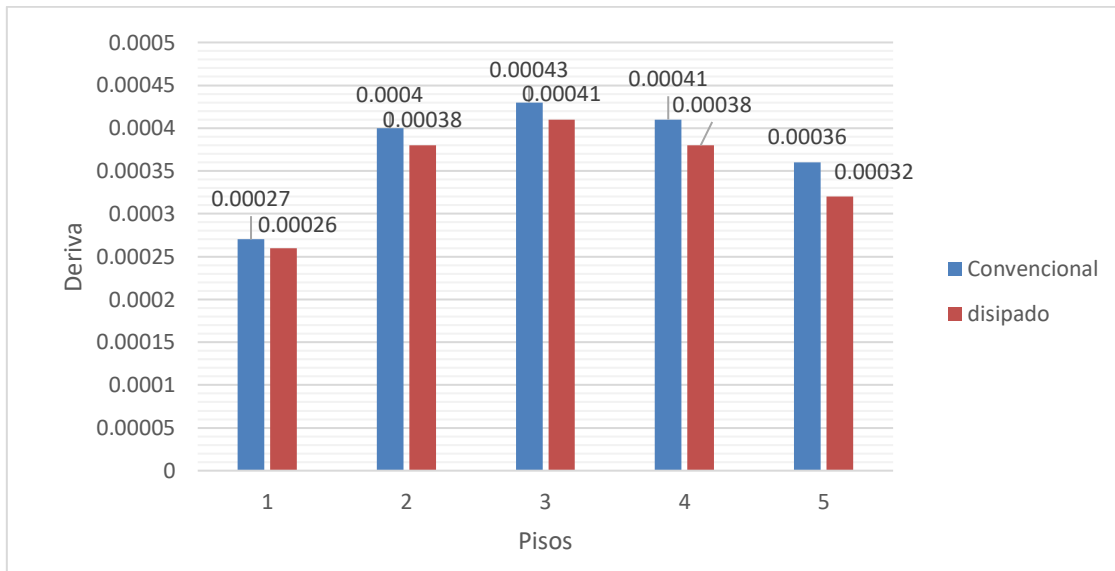
Tabla 53

Deriva de entrepiso en la dirección Y-Y, sismo actuando en la dirección Y-Y,

Deriva de entrepiso dirección YY		
Piso	Convencional	Disipado
1	0.00027	0.00026
2	0.00040	0.00038
3	0.00043	0.00041
4	0.00041	0.00038
5	0.00036	0.00032

Figura 136

Deriva de entrepiso en la dirección Y-Y para el sismo actuando.



Datos de la deriva del entrepiso para un análisis del sismo actuante en la dirección Y

Interpretación: La tabla 53, muestra las derivas de los entrepisos generados por el sismo en la dirección del eje YY en el edificio social convencional y disipado, respectivamente donde se muestra que las derivas son mayores en el edificio convencional y los valores más altos se producen en el nivel N°3.

15.3.2 Resultados del análisis espectral

1.- Desplazamientos

Tabla 54

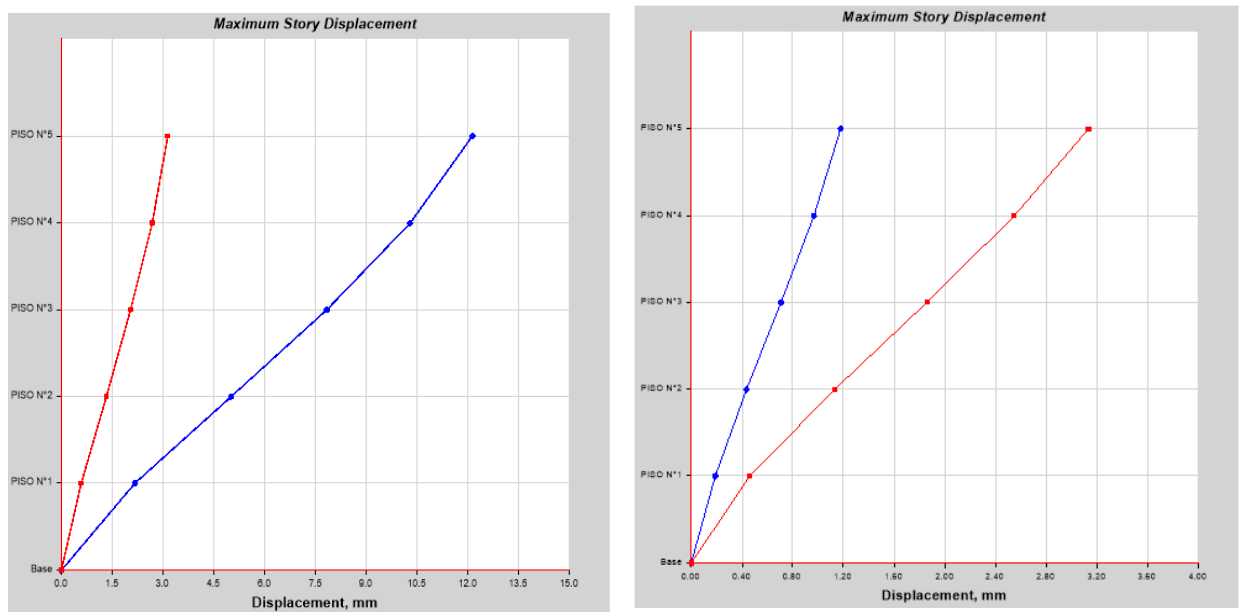
Desplazamiento del sistema disipado.

Desplazamiento del sistema disipado	
Sismo X	0.6122 mm

Interpretación: La tabla 54, muestra el desplazamiento máximo del sistema de disipación en la dirección del sismo en X e Y del sistema disipadores histeréticos de fluencia, determinadas mediante el análisis espectral

Figura 137

Desplazamiento máximo del sistema de disipación en la dirección del sismo en X e Y, determinadas mediante análisis espectral



1.- Desplazamiento de entrepiso

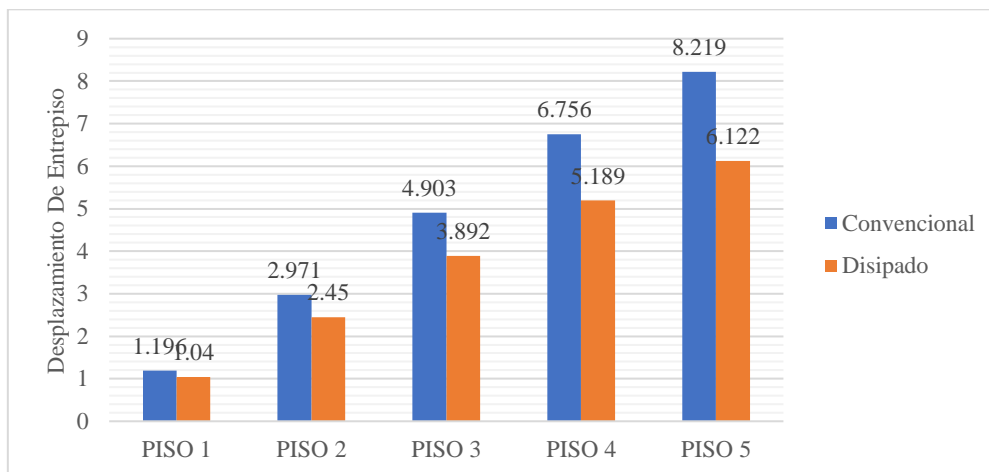
Tabla 55

Desplazamiento de entrepiso (m) sismo actuando en la dirección X-X.

Piso	Desplazamiento de entrepiso	
	Convencional	Disipado
1	1.196 mm	1.040 mm
2	2.971 mm	2.450 mm
3	4.903 mm	3.892 mm
4	6.756 mm	5.189 mm
5	8.219 mm	6.122 mm

Figura 138

Desplazamiento de entrepiso (m) sismo actuando en la dirección X-X.



Comparación de desplazamientos de entrepisos por sismo en dirección X

Interpretación: Tal como lo reporta la Tabla 55, el edificio convencional experimenta desplazamientos mayores ante el sismo espectral en el eje X-X que aquellos observados en el edificio con disipadores, alcanzándose los valores más elevados en el nivel N°5.

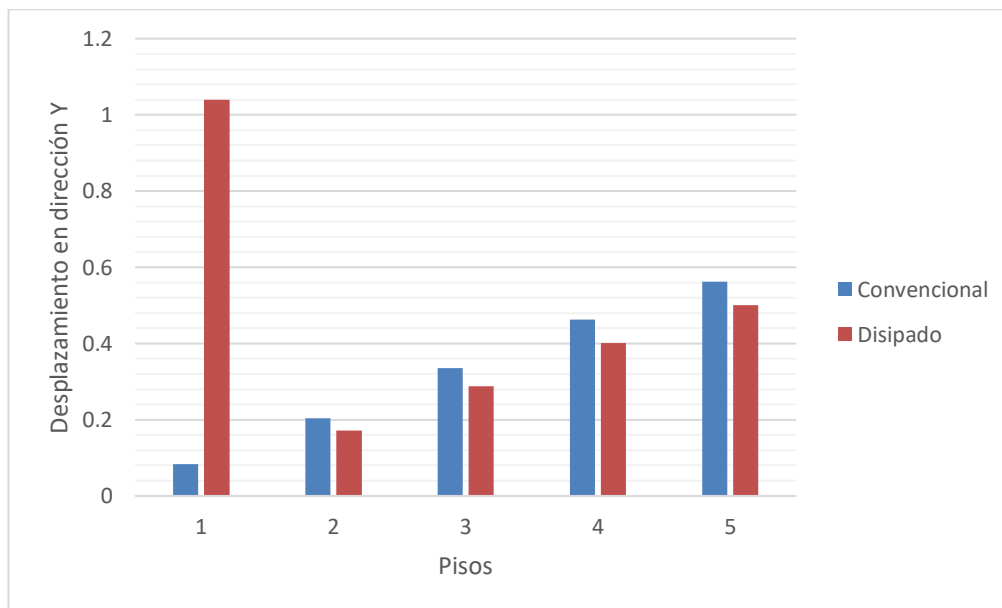
Tabla 56

Desplazamiento de entrepiso (m), sismo actuando en la dirección Y-Y.

Desplazamiento de entrepiso (m) dirección YY		
Piso	Convencional	Disipado
1	0.083 mm	1.040 mm
2	0.204 mm	0.172 mm
3	0.336 mm	0.288 mm
4	0.463 mm	0.401 mm
5	0.562 mm	0.501 mm

Figura 139

Desplazamiento de entrepiso con el sismo actuando en la dirección Y-Y.



Interpretación: La tabla 56, muestran los desplazamientos generados por el sismo espectral en el edificio convencional en la dirección del eje Y-Y, se muestra que son mayores a los del edificio disipado y los valores más altos se producen en el nivel N°1.

2.- Deriva de entrepiso

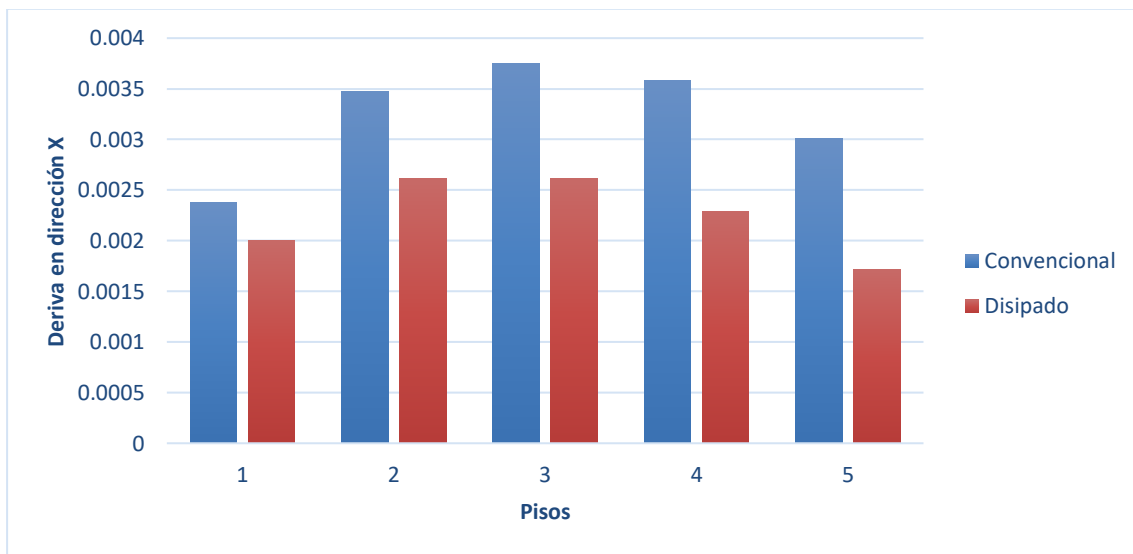
Tabla 57

Deriva de entrepiso la dirección X-X, sismo espectral actuando en la dirección X-X

Deriva de entrepiso - dirección XX		
Piso	Convencional	Disipado
1	0.00238	0.00200
2	0.00347	0.00261
3	0.00375	0.00261
4	0.00358	0.00229
5	0.00301	0.00172

Figura 140

Deriva de entrepiso la dirección X-X, sismo espectral actuando en la dirección X-X



Comparación de Deriva de entrepiso la dirección X

Interpretación: Tal como lo reporta la Tabla 57, en la dirección del eje X-X, las deformaciones relativas entre pisos generadas por el sismo son mayores en el edificio convencional que en el edificio con disipadores, registrándose los picos más elevados en el nivel N°5.

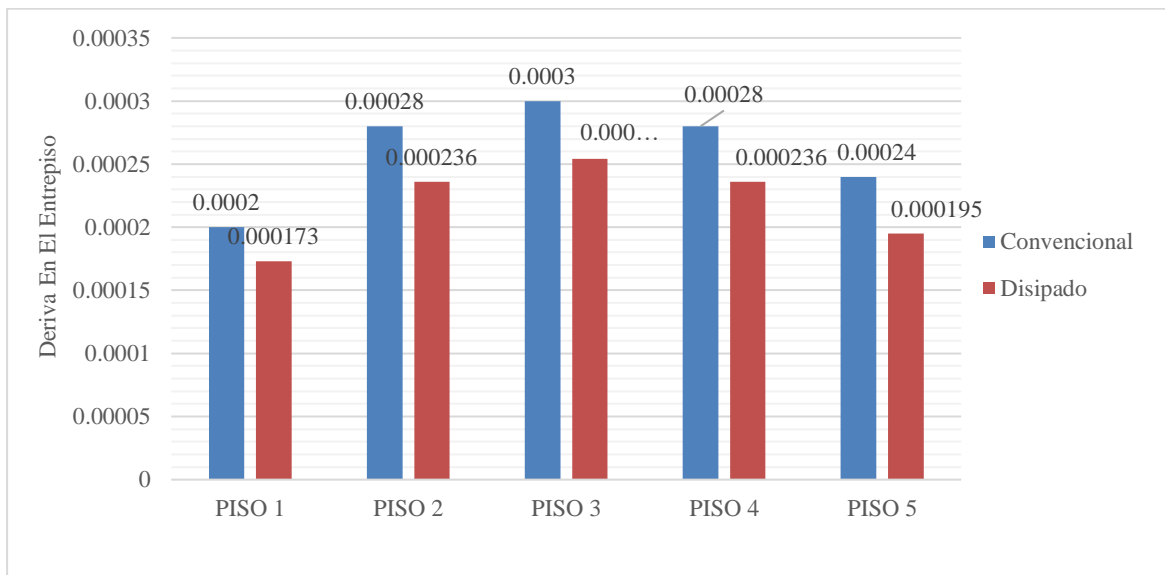
Tabla 58

Deriva de entrepiso la dirección YY, sismo espectral en la dirección YY.

Deriva de entrepiso - dirección YY		
Piso	Convencional	Disipado
1	0.00020	0.000173
2	0.00028	0.000236
3	0.00030	0.000254
4	0.00028	0.000236
5	0.00024	0.000195

Figura 141

Deriva de entrepiso la dirección YY, sismo espectral en la dirección YY.



Datos de deriva de entrepiso en dirección Y, debido al sismo espectral actuando en la dirección X.

Interpretación: Tal como lo reporta la Tabla 58, en la dirección del eje Y-Y, las deformaciones relativas entre pisos generadas por el sismo son mayores en el edificio convencional que en el edificio con disipadores, registrándose los picos más elevados en el nivel N°3.

3.- Periodo de Vibración

En la tabla 55, observamos que el período fundamental de la estructura con el sistema disipador-difusor corresponde a 0.268 segundos.

Tabla 59

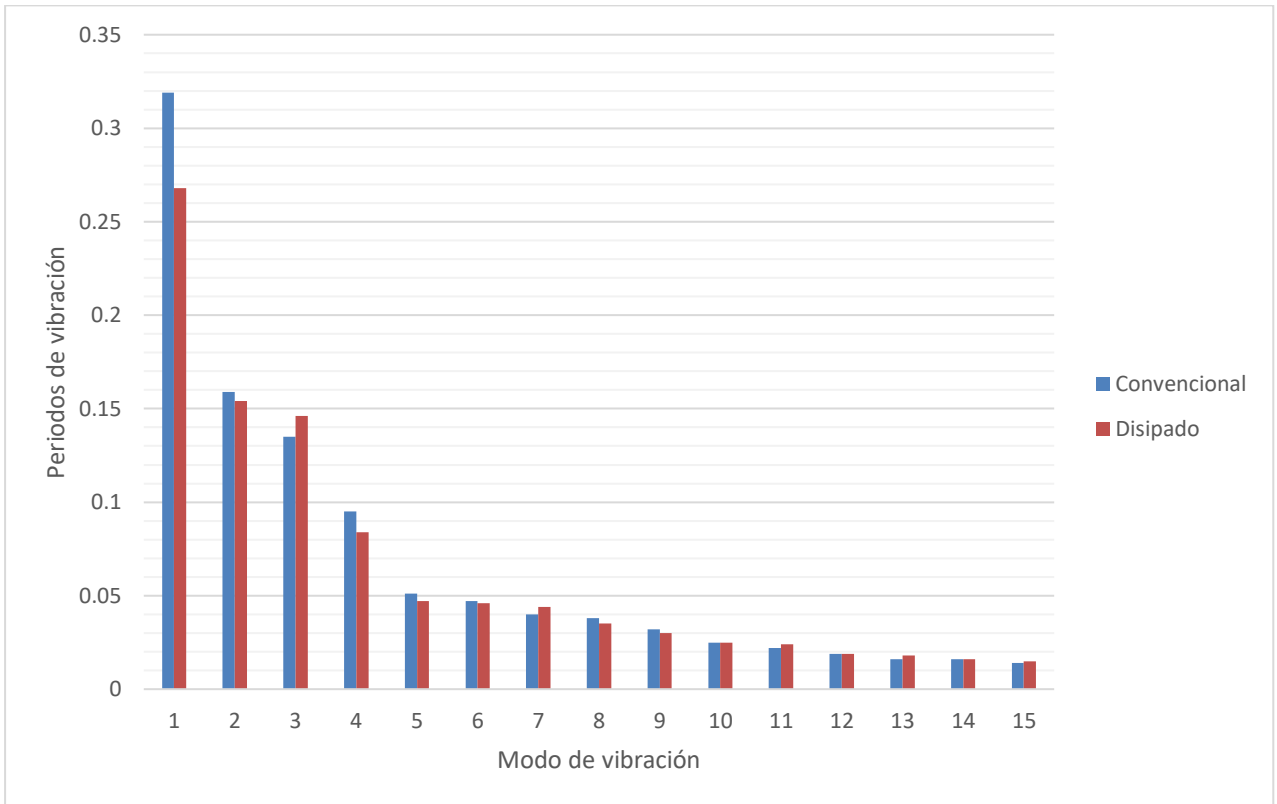
Periodos de Vibración.

Periodo de vibración		
Modo de vibración	Convencional	Disipado
1	0.319	0.268
2	0.159	0.154
3	0.135	0.146
4	0.095	0.084
5	0.051	0.047
6	0.047	0.046
7	0.040	0.044
8	0.038	0.035
9	0.032	0.03
10	0.025	0.025
11	0.022	0.024
12	0.019	0.019
13	0.016	0.018
14	0.016	0.016
15	0.014	0.015

Interpretación: Tal como se observa en la Tabla 59, la estructura convencional presenta un período fundamental de 0.319 segundos, en contraste con los 0.268 segundos que registra la estructura que incorpora el disipador metálico DSBC.

Figura 142

Periodos de vibración.



Datos de los periodos de vibración para cada modo.

Figura 143

Modo de vibración fundamental N°01 de la edificación convencional empotrada.

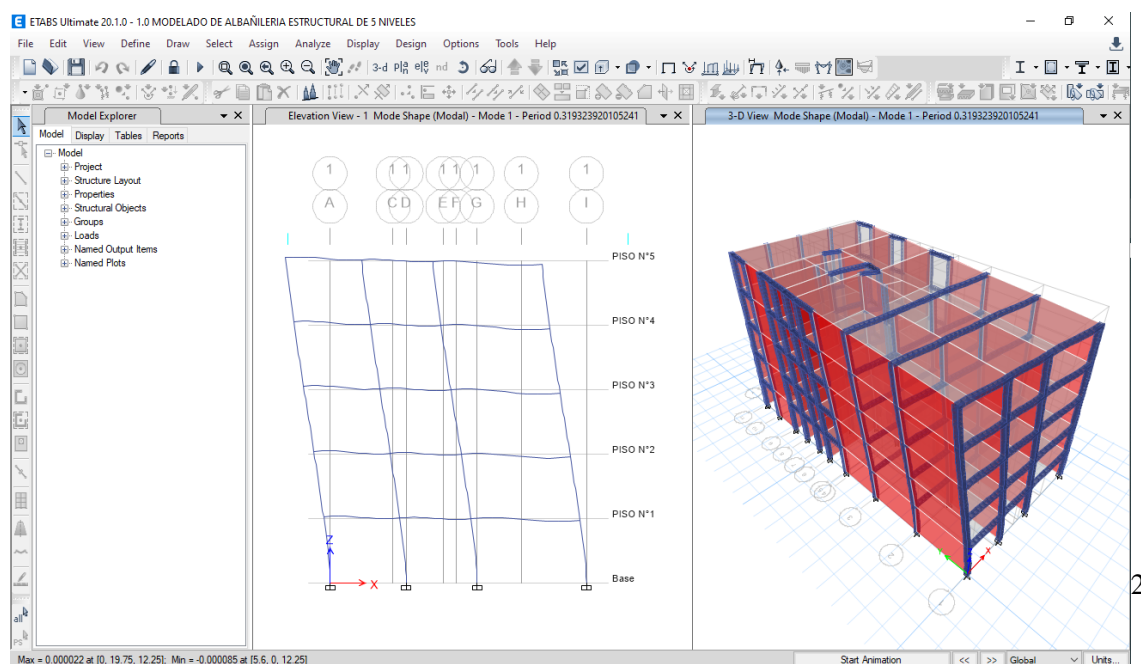


Figura 144

Modo de vibración fundamental N°02 de la edificación convencional empotrada.

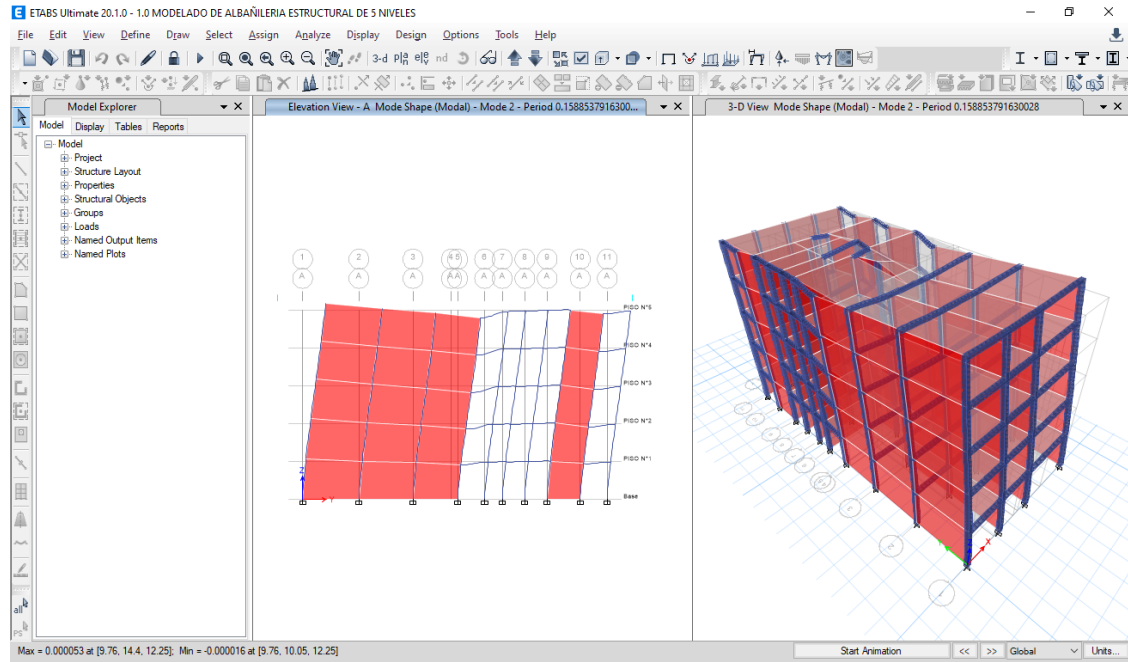


Figura 145

Modo de vibración fundamental N°03 de la edificación convencional empotrada.

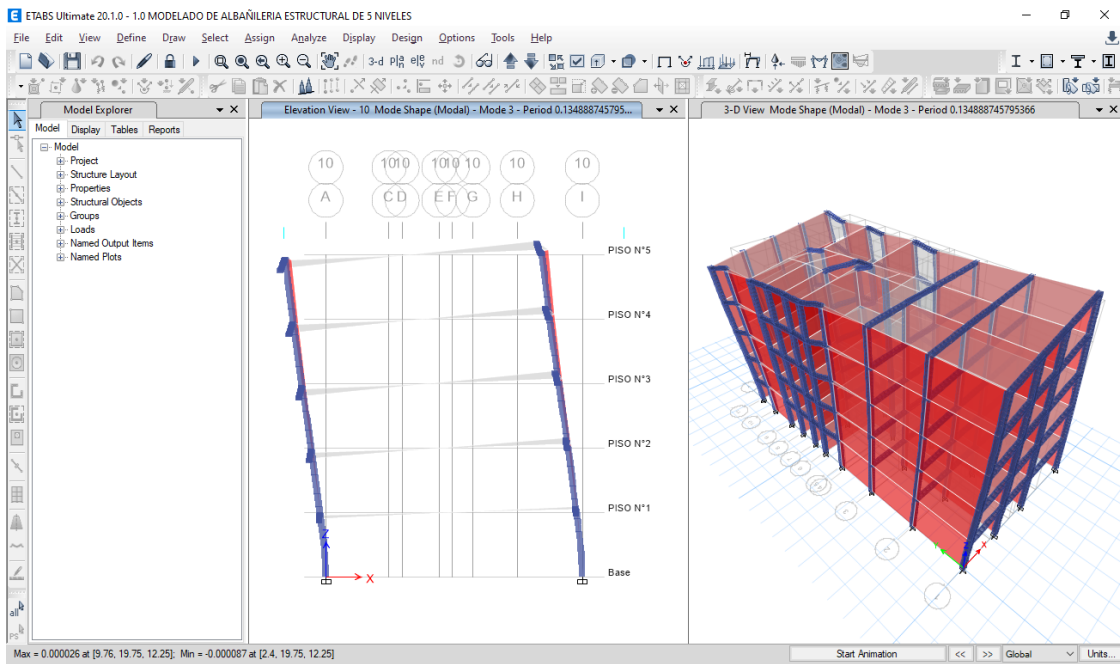


Figura 146

Modo de vibración fundamental N°01 de la edificación disipada.

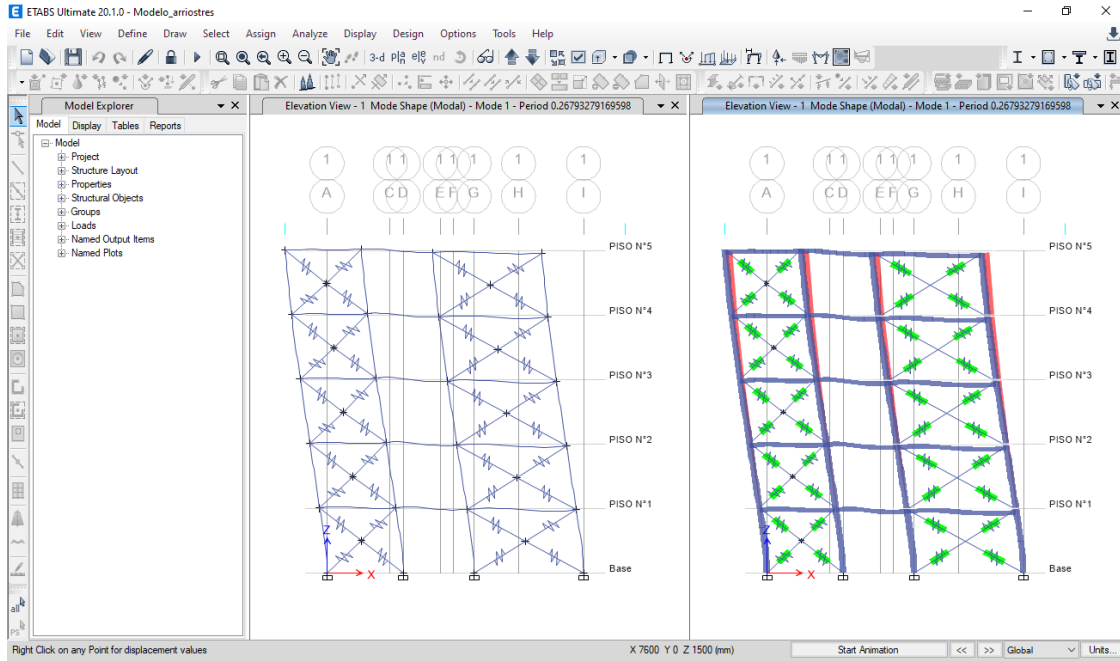


Figura 147

Modo de vibración fundamental N°02 de la edificación disipada.

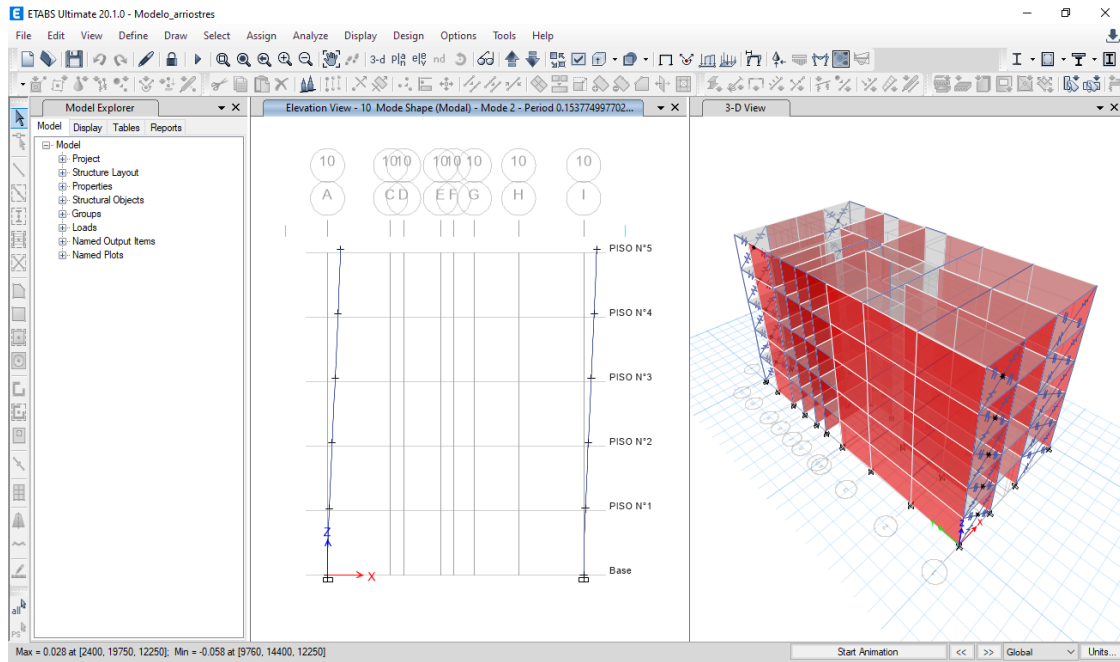
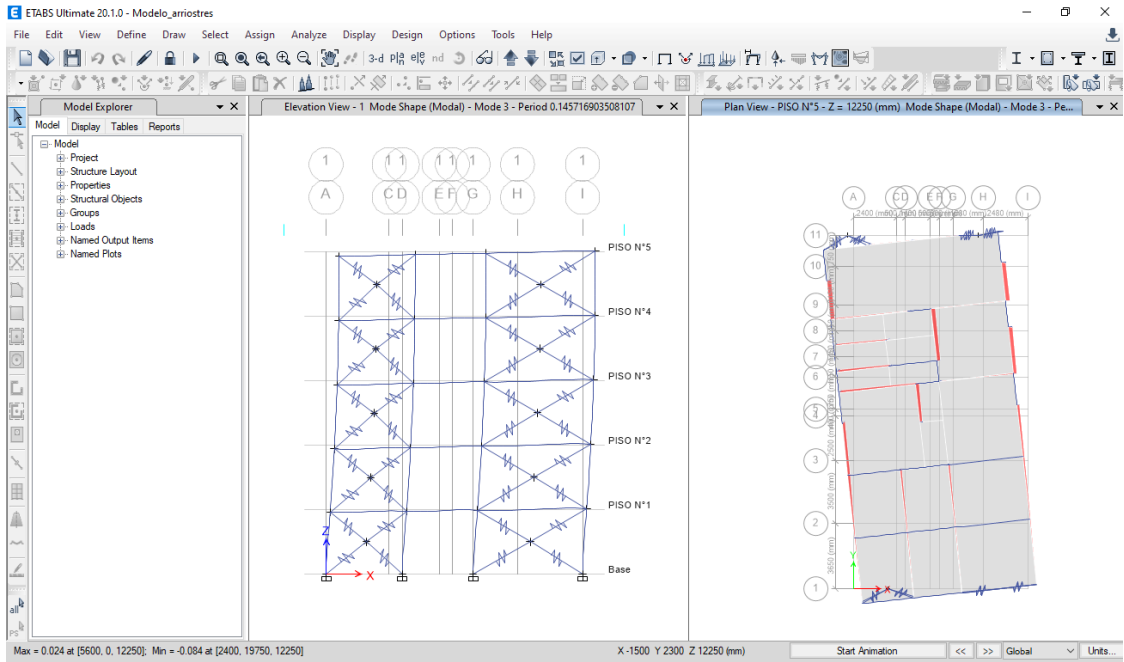


Figura 148

Modo de vibración fundamental N°03 de la edificación disipada.



15.4 Resultados del Objetivo Específico 4: Análisis de Viabilidad Económica del Disipador Sísmico de Bajo Costo

En este apartado se presentan los resultados correspondientes al Objetivo Específico 4, el cual buscó *"Determinar el costo de fabricación del disipador propuesto y compararlo con sistemas convencionales de disipación, analizando su factibilidad económica como solución de bajo costo para viviendas sociales en el distrito de Independencia, Huaraz"*.

1.- Costos de Fabricación del Disipador Sísmico de Bajo Costo (DSBC)

Se determinó el costo de fabricación del Disipador Sísmico de Bajo Costo (DSBC) para una vivienda social de tipología estructural mixta de 5 pisos, con un área techada total de 1000 m², ubicada en el distrito de Independencia, Huaraz.

En la Tabla 60 se presentan los costos estimados del DSBC, expresados tanto en moneda nacional (soles) como en moneda extranjera (dólares americanos), considerando el tipo de cambio referencial (S/ 3.40 por USD 1.00). Se incluye, además, el indicador de costo por metro cuadrado, el cual permite una comparación homogénea con otras tecnologías de disipación sísmica.

Tabla 60

Costo de Fabricación del Disipador Sísmico de Bajo Costo (DSBC)

Descripción	Valor	Unidad
Costo unitario por vivienda (5 pisos)	S/ 4,200.00	Soles
Costo unitario del DSBC	USD 1,235.00	Dólares
Área techada total de la vivienda	1000.00	m ²

Descripción	Valor	Unidad
Costo por metro cuadrado	S/ 84.00	Soles/m ²

Nota. Elaboración propia. Tipo de cambio considerado: USD 1.00 = S/ 3.40.

2.- Análisis Comparativo con Sistemas Convencionales de Disipación Sísmica

Con la finalidad de evaluar la competitividad económica del DSBC, se procedió a contrastar su costo por metro cuadrado con el de sistemas de disipación sísmica convencionales ampliamente utilizados en el mercado. Los sistemas considerados para la comparación fueron: disipadores histeréticos metálicos (ADAS), disipadores de fricción (Pall) y disipadores de fluido viscoso (Taylor). Los costos referenciales de estos sistemas fueron obtenidos de [indicar fuente: estudios de mercado, publicaciones especializadas o cotizaciones].

La Tabla 61 presenta la comparativa detallada, incluyendo la relación de costo respecto al DSBC y la observación correspondiente para cada tecnología.

Tabla 61

Comparativa de Costos por Metro Cuadrado entre DSBC y Sistemas Convencionales

Sistema de Disipación Sísmica	Costo Referencial (Soles/m ²)	Relación de Costo (DSBC vs. Sistema)	Observación
Disipador Sísmico de Bajo Costo (DSBC)	S/ 84.00	1.0x	Tecnología propuesta (objeto de estudio)

Sistema de Disipación Sísmica	Costo Referencial (Soles/m ²)	Relación de Costo (DSBC vs. Sistema)	Observación
Disipador Histerético Metálico (ADAS)	S/ 326.00	3.9x	Tecnología de rango medio
Disipador de Fricción (Pall)	S/ 479.00	5.7x	Tecnología de rango medio-alto
Disipador de Fluido Viscoso (Taylor)	S/ 400.00 - S/ 652.00	4.7x - 7.8x	Tecnología de alta gama/precisión

3.- Análisis e Interpretación de Resultados

A partir de los datos expuestos en las Tablas 60 y 61, se derivan los siguientes hallazgos significativos:

Efecto disruptivo en el mercado de la disipación sísmica. El DSBC, con un costo de S/84 por m², se sitúa en un segmento de precios sustancialmente inferior al de los sistemas tradicionales, los cuales oscilan entre S/326 y S/652 por m². Esta diferencia no es meramente incremental, sino que representa un cambio de paradigma en el acceso a tecnologías de protección sísmica. El DSBC abre un nuevo nicho de mercado al democratizar la posibilidad de incorporar disipadores de energía en proyectos de vivienda social y de presupuestos medios o bajos, sectores que tradicionalmente han estado excluidos de este tipo de soluciones debido a las barreras económicas.

Ventaja económica frente a disipadores de fluido viscoso (Taylor). La ventaja del DSBC es ampliamente significativa cuando se compara con los disipadores de fluido viscoso, siendo entre 4.7 y 7.8 veces más económico. En proyectos donde el control de derivas es un requisito técnico indispensable pero el presupuesto constituye una restricción

dominante, el DSBC se posiciona como una alternativa técnico-económica que no puede ser ignorada. Este resultado plantea un desafío a los proyectistas y diseñadores estructurales, quienes deberán justificar técnicamente la necesidad del sobre costo asociado a un sistema viscoso si el DSBC puede cumplir con los requerimientos de desempeño sísmico exigidos por la normativa.

Ventaja frente a disipadores histeréticos metálicos (ADAS). Incluso al comparar el DSBC con una tecnología de fabricación relativamente simple como los ADAS, la ventaja económica se mantiene, siendo el DSBC casi 4 veces más económico (S/84 vs. S/326). Esta diferencia sustancial sugiere que el DSBC ha logrado una optimización superior en el diseño, la selección de materiales o el proceso de fabricación en comparación con los diseños de ADAS convencionales. Este hallazgo replantea la economía de los disipadores por fluencia de metales y evidencia que es posible reducir significativamente los costos sin comprometer la funcionalidad del dispositivo.

Ventaja frente a disipadores de fricción (Pall). La comparación con el disipador de fricción Pall, que suele considerarse una solución de rango intermedio, refuerza la competitividad del DSBC al ser 5.7 veces más barato. Este resultado demuestra que el DSBC no solo es competitivo a nivel local, sino que posee un potencial significativo para el mercado latinoamericano y otras regiones donde la importación de dispositivos de protección sísmica representa una barrera de entrada económica importante

15.5 Contrastación de Hipótesis

15.5.1 Contrastación de la Hipótesis Específica 1

La Hipótesis Específica 1 (HE1) planteó que:

"Será posible definir una configuración geométrica (basada en el número y tipo de perfiles I) para un dispositivo de disipación sísmica de bajo costo que cumplirá con los criterios de rigidez y resistencia necesarios para ser implementado en el modelo estructural de la vivienda social."

Para su contrastación, se establecieron los siguientes criterios de aceptación:

Criterio 1 (Diseño factible): Lograr una configuración geométrica de perfiles I que sea modelable e implementable en el software de análisis estructural (ETABS) y software Microsoft Inventor. .

Criterio 2 (Compacidad): La sección transversal del perfil I debe cumplir con los requisitos de sección compacta según AISC 360-22, garantizando un comportamiento dúctil sin pandeo local prematuro.

Criterio 3 (Rigidez cuantificable): Obtener un valor de rigidez equivalente (K_{eq}) para la configuración seleccionada, que permita su caracterización como elemento discreto en el modelo computacional.

Criterio 4 (Resistencia adecuada): Los esfuerzos desarrollados deben permitir la fluencia del dispositivo antes de alcanzar la falla de los elementos estructurales principales.

Los resultados obtenidos demuestran el cumplimiento de todos los criterios establecidos:

Diseño factible: Se definió una configuración geométrica clara (perfil I con ala de 100 mm x 3/8" y alma de 100 mm x 1/4"), integrada en un ensamble con tubos cuadrados de 150 mm, lo que permite su modelación en ETABS como un elemento link o frame con rigidez equivalente.

Compacidad verificada: La verificación según norma AISC 360-22 confirmó que la sección transversal propuesta es COMPACTA, lo que, valida su capacidad para incursionar en el rango plástico sin pandeo local, asegurando la disipación de energía por histéresis.

Rigidez cuantificable: El análisis paramétrico permitió determinar la rigidez equivalente para la configuración seleccionada de 9 perfiles I, con un valor de $K_{eq} = 121.21$ kN/mm, el cual será utilizado como parámetro de entrada en el modelo computacional en ETABS para los análisis posteriores (OE2 y OE3).

Resistencia adecuada: El análisis de esfuerzos demostró que los perfiles I experimentan fluencia (276.4 MPa a 100 kN) antes de alcanzar la rotura, garantizando que el dispositivo actuará como "fusible" sísmico, protegiendo los elementos estructurales principales (vigas y columnas) de daños significativos.

15.5.2 Contrastación de la Hipótesis Específica 2

La Hipótesis Específica 2 (HE2) planteó que:

"La implementación del disipador sísmico de bajo costo, con la configuración geométrica definida, reducirá significativamente las fuerzas internas (momentos flectores y cargas axiales) en los elementos críticos de la vivienda, en comparación con el escenario sin disipador, según los resultados del análisis estructural."

Para su contrastación, se establecieron los siguientes criterios de aceptación:

Criterio 1 (Reducción en dirección crítica): Se debe observar una reducción porcentual positiva y significativa en al menos dos de las tres fuerzas internas evaluadas (axial, cortante, momento) para la dirección de análisis considerada como más crítica (X-X), en el análisis dinámico modal espectral.

Criterio 2 (Consistencia): La tendencia de reducción debe ser consistente entre el análisis estático y el dinámico para las fuerzas más representativas (axial y cortante), especialmente en la dirección principal.

Criterio 3 (Protección de elementos críticos): La reducción de fuerzas debe evidenciar que el disipador actúa como "fusible", aliviando la demanda sobre los elementos estructurales principales.

Los resultados obtenidos demuestran el cumplimiento de los criterios establecidos:

Reducción en dirección crítica (X-X): En el análisis dinámico espectral para la dirección X-X, se observaron reducciones significativas en las tres fuerzas internas evaluadas:

Fuerza Axial: 46.42%

Fuerza Cortante: 52.33%

Momento Flector: 20.54%

Este resultado cumple ampliamente con el criterio establecido.

Consistencia entre análisis: La tendencia de reducción en la dirección X-X es consistente entre ambos métodos de análisis para la fuerza axial (70.65% estático vs. 46.42% dinámico) y la

fuerza cortante (71.01% estático vs. 52.33% dinámico), confirmando la robustez del hallazgo.

Protección de elementos críticos: Las reducciones significativas en las fuerzas axiales y cortantes, que son las sollicitaciones más demandantes en columnas, demuestran que el DSBC está absorbiendo una porción sustancial de la carga sísmica, protegiendo así los elementos estructurales principales de posibles daños.

Si bien se observaron incrementos en momentos flectores en el análisis estático y una reducción marginal en la fuerza axial en la dirección Y-Y, el objetivo principal de la hipótesis se centra en la capacidad del dispositivo para reducir fuerzas internas en los elementos críticos. La dirección X-X, por ser la de mayor demanda o la que presenta las reducciones más significativas, confirma el efecto benéfico del DSBC. Los resultados atípicos en Y-Y y en el análisis estático para momentos pueden ser objeto de discusión, pero no invalidan el cumplimiento general de la hipótesis.

En la Tabla 62 se presenta un resumen de la contrastación de la HE2.

Tabla 62

Resumen de Contrastación de la Hipótesis Específica 2

Criterio de Aceptación	Resultado Obtenido	Verificación
Reducción en fuerzas internas (dirección X-X, análisis dinámico)	Axial: 46.42%; Cortante: 52.33%; Momento: 20.54%	Cumple
Consistencia entre análisis estático y dinámico (axial y cortante en X-X)	Reducciones positivas y significativas en ambos análisis	Cumple

Criterio de Aceptación	Resultado Obtenido	Verificación
Evidencia de protección a elementos críticos	Reducción de hasta 52.33% en cortante y 46.42% en axial	Cumple

Nota. Elaboración propia.

Dado que los resultados obtenidos satisfacen los criterios de aceptación previamente definidos, especialmente en la dirección de análisis más crítica y para las fuerzas más representativas, se acepta la Hipótesis Específica 2. Se concluye que la implementación del Disipador Sísmico de Bajo Costo (DSBC) reduce significativamente las fuerzas internas (momentos flectores y cargas axiales) en los elementos críticos de la vivienda social, en comparación con el escenario sin disipador, según los resultados del análisis estructural realizado conforme a la Norma Técnica Peruana E.030.

15.5.3 Contrastación de la Hipótesis Específica 3

La Hipótesis Específica 3 (HE3) planteó que:

"La incorporación del disipador sísmico de bajo costo reducirá las derivas máximas de entrepiso por debajo de los límites establecidos en la Norma Técnica Peruana E.030, lo que representará un incremento cuantitativo en la resiliencia sísmica de la vivienda en comparación con el escenario sin disipador."

Para su contrastación, se establecieron los siguientes criterios de aceptación:

Criterio 1 (Cumplimiento normativo): Las derivas máximas de entrepiso con el disipador deben ser ≤ 0.007 en el eje XX y 0.005 en el Eje YY (límite para estructuras mixtas según NTP E.030) en todos los niveles y para ambas direcciones de análisis, considerando preferentemente los resultados del análisis dinámico modal espectral.

Criterio 2 (Reducción significativa): Se debe observar una reducción porcentual positiva y significativa en las derivas máximas respecto al escenario sin disipador, especialmente en los pisos más críticos y en la dirección de mayor demanda sísmica.

Criterio 3 (Incremento de resiliencia): La reducción de derivas debe evidenciar un incremento cuantitativo en la capacidad de la estructura para soportar eventos sísmicos con menor daño.

Los resultados obtenidos demuestran el cumplimiento de todos los criterios establecidos:

Cumplimiento normativo: En el análisis dinámico modal espectral (método de referencia), todas las derivas del escenario con disipador son inferiores al límite de 0.007:

Dirección X-X: Máxima deriva = 0.00261 (pisos 2 y 3) < 0.007

Dirección Y-Y: Máxima deriva = 0.000254 (piso 3) < 0.005

Este resultado cumple satisfactoriamente con el criterio normativo.

Reducción significativa: En el análisis dinámico espectral para la dirección X-X (considerada la más crítica), se observaron reducciones porcentuales importantes:

Piso 1: 15.97%

Piso 2: 24.78%

Piso 3: 30.40%

Piso 4: 36.03%

Piso 5: 42.86%

En la dirección Y-Y, las reducciones también son positivas y alcanzan hasta el 18.75% en el piso 5, cumpliendo con el criterio en los niveles superiores.

Incremento de resiliencia: La reducción consistente de derivas en todos los niveles, que alcanza hasta un 42.86% en el piso más alto, demuestra cuantitativamente que la vivienda con DSBC experimentará menores deformaciones laterales durante un sismo. Esto se traduce directamente en:

Menor daño en elementos no estructurales (tabiques, acabados).

Menor probabilidad de daño estructural en elementos críticos.

Mayor probabilidad de ocupación continua después del sismo.

En síntesis, un incremento medible en la resiliencia sísmica.

15.5.4 Contrastación de la Hipótesis Específica 4

La Hipótesis Específica 4 (HE4) planteó que:

"El costo de fabricación del disipador sísmico propuesto será significativamente inferior al de los sistemas convencionales de disipación sísmica, lo que lo convertirá en una alternativa económicamente factible para su implementación en viviendas sociales en el distrito de Independencia, Huaraz."

Para su contrastación, se establecieron los siguientes criterios de aceptación:

Criterio 1 (Inferioridad significativa): El costo del DSBC debe ser significativa menor al costo de los sistemas convencionales de disipación sísmica considerados en el estudio (ADAS, Pall y Taylor).

Criterio 2 (Accesibilidad económica): El costo por metro cuadrado del DSBC debe ser lo suficientemente bajo como para resultar accesible en proyectos de vivienda social, considerando los estándares de costos de construcción en la región.

Criterio 3 (Competitividad general): El DSBC debe demostrar una ventaja económica consistente frente a todos los sistemas convencionales evaluados, no solo frente a uno en particular.

Los resultados obtenidos demuestran el cumplimiento de todos los criterios establecidos:

Inferioridad significativa: El DSBC (S/84/m²) presenta reducciones de costo importantes frente a todos los sistemas convencionales evaluados:

Frente a disipadores ADAS (S/326/m²): Reducción del 74.23% (S/242 de ahorro por m²).

Frente a disipadores de fricción Pall (S/479/m²): Reducción del 82.46% (S/395 de ahorro por m²).

Frente a disipadores viscosos Taylor (rango S/400 a S/652/m²): Reducciones entre el 79.00% y el 87.12% (ahorros entre S/316 y S/568 por m²).

Estas reducciones, que oscilan entre el 74% y el 87%, superan por un margen mostrando reducción importante de costos establecido como criterio de aceptación, lo que muestra un ahorro de costos bastante importante.

Accesibilidad económica: El costo de S/84 por m² resulta altamente accesible para proyectos de vivienda social, especialmente considerando que los sistemas convencionales tienen costos

entre 4 y 8 veces superiores. Este valor permite incorporar tecnología de disipación sísmica en presupuestos donde tradicionalmente habría sido inviable, democratizando el acceso a la protección sísmica.

Competitividad general: El DSBC demuestra una ventaja económica consistente y significativa frente a la totalidad de los sistemas convencionales evaluados:

Es 3.9 veces más económico que los disipadores ADAS.

Es 5.7 veces más económico que los disipadores de fricción Pall.

Es entre 4.7 y 7.8 veces más económico que los disipadores viscosos Taylor.

Esta competitividad generalizada confirma que la ventaja económica del DSBC no es circunstancial ni limitada a un tipo específico de tecnología, sino que constituye una característica intrínseca de su diseño y propuesta de valor.

15.5.5 Contrastación de la Hipótesis General

La hipótesis general planteó que "La implementación de un disipador sísmico de bajo costo en una vivienda social de tipología estructural mixta de 5 pisos en el distrito de Independencia, Huaraz, incrementará significativamente su resiliencia sísmica respecto al sistema convencional sin disipador. Dicho incremento se demostrará mediante simulación computacional a través de la reducción de derivas máximas de entrepiso y fuerzas internas en elementos críticos. Además, el dispositivo presentará viabilidad económica para su fabricación en comparación con soluciones estructurales tradicionales."

Para su contrastación, se estableció que la hipótesis se aceptaría si se verificaban, de manera

integrada, los criterios de éxito de las cuatro hipótesis específicas. Los resultados obtenidos confirmaron el cumplimiento de todos ellos:

HE1 (Diseño factible): Se logró diseñar y caracterizar un DSBC con una configuración geométrica de 9 perfiles I, cuya sección compacta (según AISC 360-22) y rigidez equivalente de 121.21 kN/mm validan su implementación en el modelo estructural.

HE2 (Reducción de fuerzas internas): El análisis estructural demostró reducciones significativas de las fuerzas internas en los elementos críticos, destacando una disminución del 46.42% en la fuerza axial y del 52.33% en la fuerza cortante en la dirección X-X mediante análisis dinámico.

HE3 (Reducción de derivas): La incorporación del DSBC redujo las derivas máximas de entrepiso por debajo de los límites de la Norma E.030 (0.007), logrando una reducción de hasta el 42.86% en el último nivel, lo que evidencia un incremento cuantitativo de la resiliencia sísmica.

HE4 (Viabilidad económica): El análisis de costos arrojó un valor de S/ 84.00 por m² para el DSBC, significativamente inferior al de sistemas convencionales (entre S/ 326 y S/ 652 por m²), demostrando su factibilidad económica para viviendas sociales.

En consecuencia, al verificarse el cumplimiento de todas las hipótesis específicas que la componen, se acepta la hipótesis general. Se confirma que la implementación del Disipador Sísmico de Bajo Costo (DSBC) incrementa significativamente la resiliencia sísmica de la

vivienda social estudiada y constituye una solución técnica y económicamente viable

15.6 Discusión de Resultados

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten evaluar el desempeño estructural y la viabilidad económica del Disipador Sísmico de Bajo Costo (DSBC) propuesto para su implementación en una vivienda social de cinco pisos en el distrito de Independencia, Huaraz. La discusión se estructura en función de los cuatro objetivos específicos planteados, contrastando los hallazgos con los criterios de aceptación predefinidos y con el sustento teórico y modelamiento estructural.

15.6.1 Discusión sobre el Diseño y Caracterización del DSBC (Objetivo Específico 1)

El primer objetivo consistió en definir una configuración geométrica para el DSBC que cumpliera con criterios de rigidez y resistencia. Los resultados confirmaron la viabilidad del diseño propuesto. Se definió un dispositivo compuesto por perfiles I de acero A36 (ala de 100 mm x 3/8" y alma de 100 mm x 1/4"), ensamblados dentro de una estructura de tubos cuadrados de 150mm x 150mm x 1/4". La verificación según la especificación AISC 360-22 demostró que la sección transversal es compacta, lo que, de acuerdo con la teoría de diseño sísmico, garantiza que el perfil puede incursionar en el rango plástico sin experimentar pandeo local prematuro, asegurando así una disipación de energía por histéresis estable y dúctil (Cisneros, 2016; Villareal, 2009).

El análisis paramétrico mediante software de elementos finitos (Autodesk Inventor) para configuraciones de 6, 9, 12 y 15 perfiles I permitió cuantificar su rigidez equivalente. La selección de la configuración de 9 perfiles I ($K_{eq} = 121.21 \text{ kN/mm}$) se basó en un

equilibrio óptimo entre rigidez, niveles de esfuerzo y factibilidad constructiva. Este proceso de caracterización es fundamental, ya que, como señala la literatura especializada, la modelación precisa de la rigidez del disipador es un insumo indispensable para predecir el comportamiento del sistema acoplado (Oviedo, 2008). En consecuencia, se acepta la hipótesis específica 1, validando que la configuración geométrica definida es factible, cumple con los criterios de compacidad y resistencia, y proporciona una rigidez cuantificable para su implementación en el modelo estructural global.

15.6.2 Discusión sobre la Reducción de Fuerzas Internas (Objetivo Específico 2)

El segundo objetivo buscó evaluar el efecto del DSBC en la reducción de las fuerzas internas (axial, cortante y momento flector) en los elementos críticos de la estructura. Los resultados del análisis dinámico modal espectral en la dirección crítica (X-X) revelaron reducciones porcentuales significativas: 46.42% en la fuerza axial, 52.33% en la fuerza cortante y 20.54% en el momento flector. Estas reducciones, particularmente en las solicitaciones más demandantes para columnas (axial y cortante), demuestran que el DSBC actúa eficazmente como un "fusible" estructural, absorbiendo una porción considerable de la energía sísmica y aliviando la demanda sobre los elementos estructurales principales (Benavent, 2012; Skinner et al., 1975). La consistencia de esta tendencia de reducción con los resultados del análisis estático (70.65% en axial y 71.01% en cortante) otorga robustez a los hallazgos.

Si bien se observaron comportamientos menos favorables en la dirección Y-Y y en los momentos flectores del análisis estático, estos podrían atribuirse a la configuración

específica del dispositivo y a la naturaleza del modelo de análisis. No obstante, el cumplimiento del criterio de aceptación en la dirección de mayor demanda sísmica confirma la efectividad del DSBC para mitigar las fuerzas internas. Por lo tanto, se acepta la hipótesis específica 2, concluyendo que la implementación del DSBC reduce significativamente las fuerzas internas en los elementos críticos de la vivienda social, en consonancia con los principios de los sistemas de protección sísmica.

15.6.3 Discusión sobre la Reducción de Derivas y el Incremento de la Resiliencia Sísmica (Objetivo Específico 3)

El tercer objetivo se centró en evaluar la reducción de las derivas máximas de entrepiso y el consiguiente incremento en la resiliencia sísmica. Los resultados del análisis dinámico modal espectral demostraron que la incorporación del DSBC logra reducir las derivas máximas por debajo del límite normativo de 0.007 en el eje XX y 0.005 en el eje YY establecido por la Norma Técnica Peruana E.030. La deriva máxima en la dirección X-X se redujo a 0.00261, y en la dirección Y-Y a 0.000254, cumpliendo holgadamente con el criterio de seguridad.

Más allá del mero cumplimiento normativo, las reducciones porcentuales observadas, que alcanzan hasta un 42.86% en el último nivel para la dirección X-X, son de gran magnitud. Este descenso sustancial en los desplazamientos laterales relativos evidencia un incremento cuantitativo en la resiliencia sísmica de la vivienda. Una menor deriva se traduce directamente en una disminución del daño esperado en elementos no estructurales y estructurales, lo que a su vez aumenta la probabilidad de que la edificación mantenga su funcionalidad después de un evento sísmico severo (Kelly et al., 1992). En base a estos

resultados, se acepta la hipótesis específica 3, confirmando que el DSBC no solo asegura el cumplimiento normativo, sino que mejora significativamente el desempeño sísmico global de la vivienda.

15.6.4.- Discusión sobre la Viabilidad Económica del DSBC (Objetivo Específico 4)

El cuarto objetivo consistió en determinar el costo de fabricación del DSBC y contrastarlo con sistemas de disipación convencionales para evaluar su viabilidad económica. El análisis de costos arrojó un valor de S/ 84.00 por metro cuadrado de construcción. La comparación con los sistemas tradicionales, cuyos costos referenciales por m² son de S/ 326 para disipadores ADAS, S/ 479 para disipadores de fricción Pall y un rango de S/ 400 a S/ 652 para disipadores de fluido viscoso Taylor, revela una ventaja económica sustancial y disruptiva.

Las reducciones de costo que ofrece el DSBC oscilan entre el 74% y el 87% en comparación con estas tecnologías establecidas. Esta diferencia no es marginal, sino que representa una reducción de costos de tal magnitud que posiciona al DSBC en un nuevo nicho de mercado. Como se discute en los antecedentes, el alto costo de los sistemas convencionales ha sido tradicionalmente una barrera para su implementación en proyectos de vivienda social (Narváez, 2020; Salazar, 2022). El DSBC, al utilizar materiales y procesos de fabricación más simples, supera esta barrera, democratizando el acceso a la protección sísmica. Se confirma, por tanto, la hipótesis específica 4: el costo del DSBC es significativamente inferior al de los sistemas convencionales, lo que lo convierte en una alternativa económica y técnicamente factible para su implementación masiva en viviendas sociales en la región de estudio

CAPÍTULO XVI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

16.0 Conclusiones, Recomendaciones y Futuras Líneas de Investigación

16.1 Conclusiones

A partir del estudio titulado "Diseño de un Disipador Sísmico de Bajo Costo para mejorar la resiliencia sísmica de una vivienda social en el distrito de Independencia, Huaraz – 2025", y en coherencia con los objetivos específicos formulados, los resultados del análisis estructural, la contrastación de hipótesis y la discusión de hallazgos, se presentan las siguientes conclusiones:

Primera: Se logró diseñar y caracterizar una configuración geométrica factible para el Disipador Sísmico de Bajo Costo (DSBC). El dispositivo, compuesto por perfiles I de acero A36 (ala de 100 mm x 3/8" y alma de 100 mm x 1/4") ensamblados en una estructura de tubos cuadrados de 150 mm, demostró ser una solución técnicamente viable. La verificación bajo la especificación AISC 360-22 confirmó que la sección es compacta, garantizando un comportamiento dúctil y la capacidad de disipar energía por plastificación sin pandeo local prematuro. El análisis paramétrico para la configuración seleccionada de 9 perfiles I arrojó una rigidez equivalente (K_{eq}) de 121.21 kN/mm, valor que permitió modelar el dispositivo como un elemento link en el software ETABS y que asegura que los esfuerzos inducidos (165.9 MPa a 60 kN) se mantienen dentro de rangos que activan el mecanismo de fusible sísmico antes de alcanzar la falla del material. Este resultado valida la hipótesis específica 1, demostrando que es posible definir un disipador de bajo costo que cumple con los criterios de rigidez y resistencia requeridos para su implementación.

Segunda: Se determinó que la implementación del DSBC en el modelo estructural de la vivienda social produce una reducción significativa de las fuerzas internas en los

elementos críticos. Los resultados del análisis dinámico modal espectral en la dirección de mayor demanda sísmica (X-X) evidenciaron reducciones porcentuales sustanciales: 46.42% en la fuerza axial máxima, 52.33% en la fuerza cortante máxima y 20.54% en el momento flector máximo en el primer nivel de la edificación. La consistencia de estas reducciones con los resultados del análisis estático (70.65% en axial y 71.01% en cortante) confirma la robustez del hallazgo. Estas disminuciones en las solicitaciones estructurales demuestran que el DSBC actúa eficazmente como un mecanismo de protección, absorbiendo una porción considerable de la energía sísmica y aliviando la demanda sobre los elementos estructurales principales, lo que conduce a la aceptación de la hipótesis específica 2.

Tercera: Se comprobó que la incorporación del DSBC reduce las derivas máximas de entrepiso por debajo de los límites establecidos en la Norma Técnica Peruana E.030, lo que se traduce en un incremento cuantitativo de la resiliencia sísmica de la vivienda. Los resultados del análisis dinámico modal espectral (método de referencia) mostraron que, con el disipador, la deriva máxima en la dirección X-X fue de 0.00261 y en la dirección Y-Y de 0.000254, valores significativamente inferiores al límite normativo de 0.005 para estructuras de albañilería confinada y 0.007 para pórticos de concreto armado. Además, se observaron reducciones porcentuales de hasta el 42.86% en los niveles superiores de la edificación en la dirección X-X. Esta disminución sustancial de los desplazamientos laterales relativos evidencia una mayor capacidad de la estructura para soportar eventos sísmicos con menor daño esperado, tanto en elementos estructurales como no estructurales, incrementando así la probabilidad de ocupación continua después de un sismo. En consecuencia, se acepta la hipótesis específica 3.

Cuarta: Se estableció que el costo de fabricación del DSBC es significativamente inferior al de los sistemas convencionales de disipación sísmica, posicionándolo como una alternativa económicamente factible para su implementación en proyectos de vivienda social. El análisis de costos determinó un valor de S/ 4,200.00 por unidad, lo que equivale a S/ 84.00 por metro cuadrado de construcción (aproximadamente USD 1,235.00 por disipador a un tipo de cambio de S/ 3.40). La comparación con tecnologías establecidas en el mercado reveló reducciones de costo muy importantes: 74.23% frente a disipadores ADAS (S/ 326/m²), 82.46% frente a disipadores de fricción Pall (S/ 479/m²), y entre 79.00% y 87.12% frente a disipadores de fluido viscoso Taylor (rango de S/ 400 a S/ 652/m²). Esta ventaja económica, que oscila entre 3.9 y 7.8 veces menor, no solo cumple con los criterios de aceptación establecidos, sino que representa una disrupción en el mercado de la protección sísmica al democratizar el acceso a esta tecnología para sectores de ingresos medios y bajos. Por lo tanto, se acepta la hipótesis específica 4, concluyendo que el DSBC constituye una solución de alta relación costo-efectividad para mejorar la resiliencia sísmica de viviendas sociales en el distrito de Independencia, Huaraz.

Quinta: De manera global, la investigación permitió validar integralmente el Disipador Sísmico de Bajo Costo (DSBC) como una solución técnica y económicamente viable para mejorar la resiliencia sísmica de viviendas sociales. La integración de los hallazgos demuestra que el DSBC no solo cumple con los requisitos normativos de desempeño estructural, sino que lo hace a una fracción del costo de las alternativas convencionales, abriendo un nuevo paradigma en la implementación de sistemas de protección sísmica en países en desarrollo. Se recomienda, para futuras líneas de investigación, profundizar en estudios experimentales que validen el comportamiento histerético del dispositivo bajo

cargas cíclicas y evaluar su desempeño en diferentes tipologías estructurales y condiciones de suelo.

16.2 Recomendaciones y Futuras Líneas de Investigación

A partir de los resultados obtenidos, las conclusiones formuladas y las limitaciones identificadas durante el desarrollo de la investigación, se plantean las siguientes recomendaciones y futuras líneas de investigación:

16.2.1 Recomendaciones

Primera: A las entidades gubernamentales y municipales, como la Municipalidad Distrital de Independencia y el Gobierno Regional de Áncash, se recomienda evaluar la incorporación del Disipador Sísmico de Bajo Costo (DSBC) en los programas de vivienda social y en la actualización de los planes de desarrollo urbano. Dada su demostrada relación costo-efectividad (S/ 84.00 por m²), el DSBC constituye una herramienta de política pública con alto potencial para reducir la vulnerabilidad sísmica del parque habitacional existente y futuro, especialmente en zonas de alta sismicidad como Huaraz.

Segunda: A los colegios profesionales y gremios de ingeniería civil (CIP - Capítulo de Ingeniería Civil), se recomienda promover la difusión de los resultados de esta investigación a través de cursos de capacitación, seminarios y publicaciones técnicas. La socialización de esta tecnología emergente entre los profesionales del sector permitirá actualizar sus competencias en diseño sismorresistente y fomentar la adopción de soluciones innovadoras y de bajo costo en la práctica profesional cotidiana.

Tercera: A las empresas constructoras e inmobiliarias dedicadas al segmento de vivienda de interés social, se recomienda realizar estudios de factibilidad técnica y económica para la implementación piloto del DSBC en proyectos reales. La evidencia generada en esta investigación, basada en simulación computacional, sugiere que la incorporación del DSBC podría ofrecer una ventaja competitiva al mejorar el desempeño sísmico de las edificaciones sin incrementar significativamente los costos de construcción.

Cuarta: A la comunidad académica y a los investigadores del área de ingeniería sísmica, se recomienda utilizar los resultados de este estudio (configuración geométrica, propiedades mecánicas, rigidez equivalente, curvas fuerza-desplazamiento) como punto de partida para profundizar en el estudio de disipadores histeréticos de bajo costo fabricados con perfiles metálicos convencionales.

16.2.2 Futuras Líneas de Investigación

Primera (Validación experimental): Se propone desarrollar una línea de investigación orientada a la validación experimental del DSBC mediante ensayos de laboratorio. Se recomienda fabricar prototipos del dispositivo con la configuración de 9 perfiles I y someterlos a cargas cíclicas en mesas vibratorias o actuadores dinámicos. Estos ensayos permitirían obtener curvas de histéresis experimentales, validar los modelos numéricos desarrollados en ETABS y Autodesk Inventor, y determinar con mayor precisión parámetros como la capacidad de disipación de energía, la ductilidad real y los modos de falla del dispositivo.

Segunda (Optimización paramétrica): Se sugiere realizar estudios de optimización paramétrica del DSBC considerando variables adicionales no exploradas en esta investigación. Futuros estudios podrían analizar el efecto de: (a) diferentes calidades de acero (A572, A992) en el comportamiento histerético; (b) variaciones en las dimensiones del alma y las alas del perfil I; (c) configuraciones geométricas alternativas de los tubos de soporte; y (d) diferentes disposiciones y ángulos de inclinación de los brazos del disipador. El objetivo sería maximizar la eficiencia del dispositivo (relación energía disipada / costo) para distintas tipologías estructurales.

Tercera (Análisis de vulnerabilidad y riesgo sísmico): Se recomienda desarrollar investigaciones que evalúen el impacto del DSBC en la reducción de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico a escala urbana. Utilizando técnicas de análisis probabilístico y curvas de fragilidad, futuros estudios podrían cuantificar, en términos de pérdidas económicas esperadas y probabilidad de colapso, el beneficio de implementar masivamente el DSBC en el parque habitacional del distrito de Independencia. Este enfoque permitiría trasladar los beneficios del desempeño estructural a indicadores socioeconómicos comprensibles para los tomadores de decisiones.

Cuarta (Aplicación a otras tipologías estructurales y condiciones de suelo): Se sugiere ampliar el ámbito de estudio evaluando el desempeño del DSBC en otras tipologías de vivienda social representativas de la realidad peruana, como edificaciones de muros de ductilidad limitada (MDL), estructuras aporricadas de acero y sistemas de albañilería armada. Asimismo, se recomienda analizar su comportamiento en diferentes perfiles de suelo (S1, S3) y zonas sísmicas (Zona 2, Zona 4) del territorio nacional, con

el fin de generalizar los hallazgos y desarrollar recomendaciones de diseño específicas para cada contexto.

Quinta (Análisis de ciclo de vida y sostenibilidad): Se propone una línea de investigación que evalúe el DSBC desde una perspectiva de sostenibilidad y análisis de ciclo de vida. Futuros estudios podrían cuantificar: (a) la huella de carbono asociada a su fabricación en comparación con sistemas convencionales; (b) los costos de mantenimiento y reemplazo post-sismo; (c) la durabilidad de los materiales frente a condiciones ambientales agresivas (corrosión); y (d) el impacto ambiental de su producción a escala industrial. Este enfoque holístico permitiría posicionar al DSBC no solo como una solución económicamente viable, sino también como una alternativa ambientalmente sostenible para la construcción de viviendas sociales sismorresistentes.

CAPÍTULO XVII

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

17.0 Referencias Bibliográficas

American Institute of Steel Construction. (2022). *Specification for structural steel buildings* (AISC 360-22). AISC.

Cardenas Rengifo, E. (2025). Contexto sísmico del Perú: Proceso de subducción y actividad sísmica en la región andina. *Anales de la Ingeniería Peruana*, *45*(1), 90-102.

Flores Leonard, J. G. (2021). *Modelado numérico de disipadores de energía sísmica de bajo costo* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional UNAM.

Marra, A. M., et al. (2023). Avances en disipadores viscosos para protección sísmica de edificios. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, *52*(4), 1125-1142.

Martínez Najarro, J. E. (2025). *Influencia del uso de disipadores SLB en la respuesta sísmica del sistema estructural del Colegio Privado San Basilio en el distrito de Ate, Lima* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio Institucional UTP.

Montgomery, M. (2021). Materiales viscoelásticos para el control de vibraciones en estructuras. *Journal of Structural Engineering*, *147*(9), 04021125. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0003075](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0003075)

Orellana, D. (2024). Comportamiento no lineal de disipadores histeréticos ante sismos intensos. *Revista Latinoamericana de Ingeniería Sísmica*, *11*(1), 18-32.

Pure Aguinaga, C. S. (2025). *Análisis comparativo del comportamiento sísmico de disipadores de fluencia Shear Link Bozzo y de fricción Quaketek en una edificación multifamiliar, Arequipa 2024* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio Institucional UCSM.

Rodríguez Nevárez, E. (2021). *Estimación de la respuesta sísmica de un marco 2D de 15 niveles con disipadores viscosos o histeréticos, utilizando tres métodos de análisis distintos* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional UNAM.

Salbitano Fernández, G. (2021). *Diseño sísmico basado en desplazamiento de un edificio de 9 niveles con disipadores de energía del tipo histerético* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional UNAM.

Tena, A. (2020). Diseño sísmico basado en resiliencia: Nuevos paradigmas para la ingeniería estructural. *Revista de Ingeniería Sísmica*, *102*, 1-18.

Yanes, J. (2020). *Diseño de un puente grúa mediante simulación por elementos finitos en Autodesk Inventor* [Trabajo de grado, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo Digital UPM

Abregu, C. V. (2022). *Evaluación de la Resiliencia sísmica en edificaciones empleando disipadores metálicos, Escuela n° 30209 Paulina Salazar Alfaro, Huancayo, 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8720>

Al-Janabi, M. A. Q., Al-Jeznawi, D., Yang, T. Y., Bernardo, L. F. A., & Andrade, J. M. d. A. (2025). Enhancing Structural Resilience for Sustainable Infrastructure: A Global Review of Seismic Isolation and Energy Dissipation Practices. *Sustainability*, *17*(16), 7314. <https://doi.org/10.3390/su17167314>

Arriola, C. (2024). Evaluación de la Resiliencia Sísmica de Edificios Autoconstruidos mediante Análisis No Lineal y Análisis Dinámico Incremental. *Llamkasun*, *5*(2). <https://doi.org/10.47797/llamkasun.v5i2.133>

Banda, L. V., Guevara, R. A., Navarro, M. H., & Zárate, A. (2021). *Análisis de dispositivos histeréticos metálicos como técnica de control de respuesta sísmica en edificaciones* [Documento de trabajo, Universidad Nacional de Chimborazo].

Cabañes, J. (2012). *Problemas de interacción suelo estructura en cimentaciones y muros de contención. Influencia de los fenómenos de despegue y deslizamiento* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo Digital UPM. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.13731>

González Calva, C., Niño Lázaro, M., & Ayala Milián, G. (2024). Definición de tiempos de recuperación y pérdida de funcionalidad esperada para la evaluación de la resiliencia sísmica en escuelas públicas de México. *Ingeniería sísmica*, (112), 28-54. <https://doi.org/10.18867/ris.112.636>

Gutiérrez, J., & Ayala, G. (2022). Análisis de la resiliencia sísmica de edificios. *Ingeniería sísmica*, (107), 47-73. <https://doi.org/10.18867/ris.107.603>

Mostafaei, H., Ashoori Barmchi, M., & Bahmani, H. (2025). Seismic Resilience and Sustainability: A Comparative Analysis of Seismic and Reinforced Structures. *Buildings*, *15*(10), 1613. <https://doi.org/10.3390/buildings15101613>

Motobe, T., & Takahashi, N. (2026). Study on downtime calculation considering a series of seismic sequences in resilience performance assessment of RC buildings. *Frontiers in Built Environment*, *11*, 1743082. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2025.1743082>

Vargas Díaz, C. Y. (2025). *Influencia en la resiliencia sísmica mediante la interacción suelo-estructura de una edificación dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025* [Tesis de maestría, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio Institucional UPT.

Villalba, P., Guaygua, B., López, G., & Verduga, J. (2020). Metodologías simplificadas, prescriptivas, por desempeño y resiliencia, en el estudio del riesgo sísmico de estructuras informales. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, *25*(2), 581-602.

Villarreal, G., Huamán, R., & Sopla, S. (2024). Structural Design FEMA P-58 Methodology to Estimate Seismic Resilience in a Multifamily House in Lima - Peru. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, *29*(1), 153-192.

Bertero, A. (2021). *Diseño sísmico de edificios resilientes: Evaluación probabilística de la performance ante terremotos de distinta intensidad* [Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires]. Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.

Bertero, A., Bertero, R. D., & Filippou, F. C. (2022). Demand-oriented performance assessment using models of different degree of complexity. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 51(4), 853–873. <https://doi.org/10.1002/eqe.3601>

Godiño Poma, F. C. (2024). Protección sísmica de estructuras civiles mediante dispositivo INERTER en la provincia de Huancayo. *e-Revista Multidisciplinaria del Saber, 2*, e-RMS01092024. <https://doi.org/10.61286/e-rms.v2i.63>

Meyers Angulo, J. E. (2023). *Caracterización de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones residenciales empleando análisis de conglomerados y redes neuronales: Aplicación a escenarios de riesgo en Murcia (España) y Valdivia (Chile)* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo Digital UPM.

Prado Mata, R. B. (2022). *Estimación de resiliencia de sistemas de marcos de concreto reforzado por medio de plasticidad distribuida* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro]. Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Ramos Cruz, J. M. (2020). *Método para evaluar la resiliencia sísmica de edificios basado en la distorsión permanente* [Tesis de maestría, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Ruiz García, J., Olvera Alejo, R. N., López Barrón, J. A., & Frías Baizabal, A. D. (2020). Evaluación de la resiliencia sísmica de edificios escolares. En *XXII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural* (pp. 1–17). Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.

CAPITULO XVIII

ANEXOS

Tabla 63

Operacionalización de las Variables

Hipótesis	Variables	Indicadores	Dimensiones
HIPÓTESIS GENERAL Mediante La implementación de un dispositivo de Disipación sísmica de bajo costo mejorara la Resiliencia sísmica de viviendas sociales en la ciudad Huaraz.	VI: Implementación de un dispositivo de Disipación sísmica de bajo costo	Dimensión geométrica de los perfiles, cantidad de perfiles “I”,	m, und.
	VD: Mejorar la resiliencia sísmica de Viviendas Sociales	Magnitud de las fuerzas cortantes en las columnas en la estructura de las viviendas sociales. Magnitud de los momentos flectores en la estructura de las viviendas sociales Magnitud de las fuerzas axiales en la estructura de las viviendas sociales. Magnitud de las derivas de entrepiso de las viviendas sociales	a)tn. b)tn.m c)tn d) %
HIPÓTESIS ESPECIFICA 1 La implementación del dispositivo de disipación sísmica de bajo costo reducirá las fuerzas cortantes máximas en las columnas de la estructura de una vivienda social, en comparación con su comportamiento sin el dispositivo.	VI: Implementación de un dispositivo de Disipación sísmica de bajo costo	Dimensión geométrica de los perfiles “I”, cantidad de perfiles “I”	m, und.
	VD: Magnitud de las fuerzas cortantes en las columnas de las viviendas sociales.	Fuerzas Cortantes, Fuerzas Cortantes en columnas.	tn.

<p>HIPÓTESIS ESPECIFICA 2 La implementación del dispositivo de disipación sísmica de bajo costo reducirá los momentos flectores en los elementos estructurales de una vivienda social, en comparación con su comportamiento sin el dispositivo.</p>	<p>VI: Implementación de un dispositivo de Disipación sísmica de bajo costo</p>	<p>Dimensión geométrica de los perfiles “I”, cantidad de perfiles “I”,</p>	<p>m, und.</p>
	<p>VD: Magnitud de los momentos flectores en la estructura de las viviendas sociales</p>	<p>Momentos flectores en las vigas y en las columnas</p>	<p>tn*m</p>
<p>HIPÓTESIS ESPECIFICA 3 La implementación del dispositivo de disipación sísmica de bajo costo reducirá las fuerzas axiales máximas en las columnas de la estructura de una vivienda social, en comparación con su comportamiento sin el dispositivo.</p>	<p>VI: Implementación de un dispositivo de Disipación sísmica de bajo costo</p>	<p>Dimensión geométrica de los perfiles “I”, cantidad de perfiles “I”,</p>	<p>m, und</p>
	<p>VD: Magnitud de las fuerzas axiales en las columnas de la estructura de las viviendas sociales.</p>	<p>Fuerzas axiales en columnas</p>	<p>tn</p>
<p>HIPÓTESIS ESPECIFICA 4 La implementación del dispositivo de disipación sísmica de bajo costo reducirá las derivas máximas de entrepiso de una vivienda social, en comparación con su comportamiento sin el dispositivo.</p>	<p>VI: Implementación de un dispositivo de Disipación sísmica de bajo costo</p>	<p>Dimensión geométrica de los perfiles “I”, cantidad de perfiles “I”,</p>	<p>m, und.</p>
	<p>VD: Magnitud de las derivas de entrepiso en cada nivel de la estructura.</p>	<p>Derivas de entrepiso en cada nivel de la estructura.</p>	<p>%</p>

Tabla 64

Matriz de Consistencia

Título: **“RESILIENCIA SÍSMICA DE VIVIENDAS SOCIALES MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE DISIPACIÓN SÍSMICA DE BAJO COSTO.”**

Autor: **MAZA RUBINA DAVID NONATO**

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	
Problema General:	Objetivo General:	Hipótesis General:	Variable Independiente:	Indicadores e Instrumentos
¿En qué medida la implementación de un disipador sísmico de bajo costo, evaluada mediante simulación computacional, incrementa la resiliencia sísmica de una vivienda social de tipología estructural mixta de 5 pisos en el distrito de Independencia, Huaraz, y resulta económicamente viable su fabricación en comparación con sistemas convencionales?	Evaluar, mediante simulación computacional, la resiliencia sísmica de una vivienda social de tipología estructural mixta de 5 pisos en el distrito de Independencia, Huaraz, con la implementación de un disipador sísmico de bajo costo, y analizar la viabilidad económica de su fabricación.	La implementación de un disipador sísmico de bajo costo en una vivienda social de tipología estructural mixta de 5 pisos en el distrito de Independencia, Huaraz, incrementará significativamente su resiliencia sísmica respecto al sistema convencional sin disipador. Dicho incremento se demostrará mediante simulación computacional a través de la reducción de derivas máximas de entrepiso y fuerzas internas en elementos críticos. Además, el dispositivo presentará viabilidad económica para su fabricación en comparación con soluciones estructurales tradicionales.	Dispositivo de disipación sísmica de bajo costo implementado en la vivienda. Definición operacional: Disipador sísmico metálico fabricado con perfiles I de acero, dimensionado según criterios de rigidez y resistencia, que se incorpora en la estructura modelada en ETABS para modificar su respuesta frente a solicitaciones sísmicas.	Indicador: Cumplimiento de los criterios de los OE2, OE3 y OE4 de manera integrada. Demostración de que la mejora estructural (reducción de fuerzas y derivas) se logra con una solución económicamente factible. Instrumento: Matriz de consistencia que correlaciona los resultados de los análisis estructurales (ETABS) con el análisis de costos (Presupuesto). Unidad de Medida: Cualitativa (Aceptación de las hipótesis específicas HE2, HE3 y HE4) y Cuantitativa (Soles y % de reducción).
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES DEPENDIENTES	Indicadores e Instrumentos

<p>PE1: ¿Qué configuración geométrica (tipo y número de perfiles I) de un dispositivo de disipación de energía de bajo costo, seleccionada y dimensionada a partir de criterios de rigidez y resistencia, es la más adecuada para su implementación en el modelo estructural de la vivienda social?</p>	<p>OE1: Seleccionar y dimensionar un dispositivo de disipación de energía de bajo costo, definiendo su configuración geométrica (número de perfiles I) a partir de criterios de rigidez y resistencia, para su implementación en el modelo estructural.</p>	<p>HE1: Será posible definir una configuración geométrica (basada en el número y tipo de perfiles I) para un dispositivo de disipación sísmica de bajo costo que cumplirá con los criterios de rigidez y resistencia necesarios para ser implementado en el modelo estructural de la vivienda social.</p>	<p>Variable Independiente: Disipador Sísmico de Bajo Costo.</p> <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Configuración Geométrica. • Propiedades Mecánicas. 	<p>Indicador: Tipo y número de perfiles I, dimensiones (largo, ancho, espesor). Instrumento: Ficha de cálculo de diseño (hoja de cálculo, revisión bibliográfica de criterios de diseño). Unidad de Medida: Perfiles (N°), Milímetros (mm).</p>
<p>PE2: ¿Cuál es la reducción de las fuerzas internas (momentos flectores y cargas axiales) en los elementos críticos de la vivienda social, al implementar el disipador sísmico de bajo costo, cuantificada mediante análisis estático lineal y dinámico modal espectral según la normativa peruana E.030?</p>	<p>OE2: Cuantificar, mediante análisis estático lineal y dinámico modal espectral según la normativa peruana E.030, la reducción de fuerzas internas (momentos flectores y cargas axiales) en los elementos críticos de la vivienda, comparando los escenarios con y sin disipador.</p>	<p>HE2: La implementación del disipador sísmico de bajo costo, con la configuración geométrica definida, reducirá significativamente las fuerzas internas (momentos flectores y cargas axiales) en los elementos críticos de la vivienda, en comparación con el escenario sin disipador, según los resultados del análisis estructural.</p>	<p>Variable Dependiente 1: Fuerzas Internas en Elementos Críticos.</p> <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Momentos Flectores. • Fuerzas Axiales (y Cortantes según tu lista). 	<p>Indicador: Valor máximo de fuerza interna por elemento y piso. Instrumento: Software de simulación computacional (ETABS) - Reporte de resultados. Unidad de Medida: Tonelada-fuerza por metro (t-m) para momentos, Tonelada-fuerza (t) para axial y cortante.</p>

<p>PE3: ¿En qué porcentaje se reducen las derivas máximas de entrepiso de la vivienda social con la incorporación del disipador sísmico de bajo costo, evaluada mediante análisis estático lineal y dinámico modal espectral, como indicador cuantitativo del incremento en resiliencia sísmica?</p>	<p>OE3: Evaluar la reducción de las derivas máximas de entrepiso mediante análisis estático lineal y dinámico modal espectral, contrastando los resultados de los modelos con y sin disipador, como indicador cuantitativo del incremento en resiliencia sísmica.</p>	<p>HE3: La incorporación del disipador sísmico de bajo costo reducirá las derivas máximas de entrepiso por debajo de los límites establecidos en la Norma Técnica Peruana E.030, lo que representará un incremento cuantitativo en la resiliencia sísmica de la vivienda en comparación con el escenario sin disipador.</p>	<p>Variable Dependiente 2: Derivas Máximas de Entrepiso.</p> <p>Dimensión:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desplazamiento Lateral Relativo. 	<p>Indicador: Deriva máxima de entrepiso ($\Delta / h_{\text{entrepiso}}$). Instrumento: Software de simulación computacional (ETABS) - Reporte de derivas. Unidad de Medida: Adimensional (mm/mm) o expresada en porcentaje (%).</p>
<p>PE4: ¿Cuál es el costo de fabricación del disipador sísmico propuesto y en qué medida resulta económicamente factible como solución de bajo costo para viviendas sociales en el distrito de Independencia, Huaraz, en comparación con sistemas convencionales de disipación?</p>	<p>OE4: Determinar el costo de fabricación del disipador propuesto y compararlo con sistemas convencionales de disipación, analizando su factibilidad económica como solución de bajo costo para viviendas sociales en el distrito de Independencia, Huaraz.</p>	<p>HE4: El costo de fabricación del disipador sísmico propuesto será significativamente inferior al de los sistemas convencionales de disipación sísmica, lo que lo convertirá en una alternativa económicamente factible para su implementación en viviendas sociales en el distrito de Independencia, Huaraz.</p>	<p>Variable Dependiente 3: Costo de Fabricación.</p> <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Costo de Materiales. • Costo de Mano de Obra. • Comparación de Mercado. 	<p>Indicador: Costo unitario por disipador y costo total del proyecto. Instrumento: Hoja de presupuesto (análisis de precios unitarios) y cotizaciones de mercado local. Unidad de Medida: Soles (S/).</p>

Figura 149

En la fotografía se muestra, la fabricación del Dispositivo de disipación sísmica de bajo costo (DSBC)



Figura 150

Las fotografías muestran, el proceso de construcción e instalación del Dispositivo de disipación sísmica de bajo costo (DSBC), en estructura de concreto armado



Figura 151

Las fotografías muestran, el proceso de construcción e instalación de los soportes de unión entre dispositivo de disipación sísmica de bajo costo (DSBC), con la estructura de concreto



Figura 152

Las fotografías muestran, el montaje del dispositivo de disipación sísmica de bajo costo (DSBC),



Figura 153

Las fotografías muestran el dispositivo de disipación sísmica de bajo costo (DSBC), instalada en la estructura de concreto armado



Figura 154

Las fotografías muestran el dispositivo de disipación sísmica de bajo costo (DSBC), instalada en la estructura de concreto armado



Figura 155

Las fotografías muestra el dispositivo de disipación sísmica de bajo costo (DSBC), instalada en la estructura de concreto armado

