

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DEL PERÚ**

**Escuela de Posgrado**



**COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN  
EXISTENTE REFORZADA EMPLEANDO DISIPADORES DE FLUIDO  
VISCOSO O ARRIOSTRES DE PANDEO RESTRINGIDO**

Tesis para obtener el grado académico de Maestro en Ingeniería Civil con mención  
en Estructuras Sismorresistentes que presenta:

***JUAN CARLOS DONAYRE SALAS***

Asesor:

***Mg. Antonio Zeballos Cabrera***

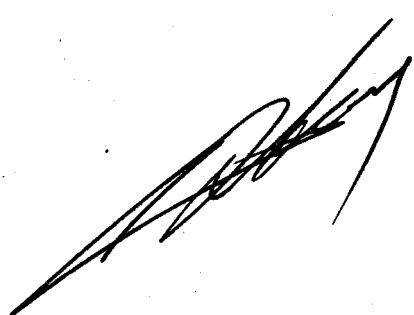
Lima, 2025

## Informe de Similitud

Yo, **Antonio Zeballos Cabrera**, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis titulada **COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN EXISTENTE REFORZADA EMPLEANDO DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO O ARRIOSTRES DE PANDEO RESTRINGIDO**, del autor **Juan Carlos Donayre Salas**, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 25%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 21/11/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis, y no hay indicios de plagio; a pesar de ello la puntuación de similitud es un poco alta. En el reporte de similitudes se vio que se resaltan términos y frases que se refieren a aspectos muy comunes en la ingeniería sísmica y que suelen ser utilizadas en varios textos con muy pocas variantes. Esto contribuye a una puntuación relativamente alta sin ser plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias se han agregado cumpliendo los estándares establecidos por la Universidad.

Lima, 21 de noviembre de 2025

Apellidos y nombres del asesor: <b>Antonio Zeballos Cabrera</b>	
DNI: <b>10223506</b>	Firma 
ORCID: <b>0000-0002-4053-9073</b>	

**A mi hijo, por todo el tiempo  
que he dejado de compartir  
contigo.**



## RESUMEN

La costa del Perú se ubica en el Cinturón del Fuego del Pacífico y por tanto está expuesta a un alto peligro sísmico.

Existen edificaciones peruanas altamente vulnerables que fueron diseñadas y construidas antes de la norma peruana de diseño sismorresistente de 1997, inclusive antes de la primera norma de diseño sismorresistente del año 1977.

En esta investigación se comparará el desempeño sísmico de un edificio de concreto armado construido en la década del 60, empleando para su protección sísmica dos alternativas de sistemas de disipación de energía: Disipadores de Fluido Viscoso y Arriostres de Pandeo Restringido.



# Contenido

<b>1. Capítulo 1: Introducción</b> .....	11
<b>1.1. Antecedentes y Justificación</b> .....	11
<b>1.2. Objetivos</b> .....	11
<b>1.2.1 Objetivo General</b> .....	11
<b>1.2.2 Objetivos específicos</b> .....	11
<b>1.3. Alcance</b> .....	11
<b>1.4. Hipótesis</b> .....	12
<b>1.4.1 Hipótesis general</b> .....	12
<b>1.4.2 Hipótesis específicas</b> .....	12
<b>2. Capítulo 2: Estrategias Generales para el Reforzamiento de Edificaciones Existentes</b> .....	13
<b>2.1 Procedimientos Generales para la Rehabilitación Estructural</b> .....	13
<b>2.2 Conceptos Básicos de Intervención Estructural</b> .....	14
<b>2.3 Alternativas de Reforzamiento de Edificaciones Existentes</b> .....	16
<b>2.3.1 Métodos Convencionales</b> .....	16
<b>2.3.2 Métodos Modernos de Reforzamiento y/o Protección Sísmica</b> .....	18
<b>2.3.2.1. Aislamiento Sísmico</b> .....	18
<b>2.3.2.1.1 Aisladores Elastómericos</b> .....	18
<b>2.3.2.1.2 Aisladores de Péndulo de Fricción (FPS)</b> .....	19
<b>2.3.2.1.3 Aisladores Deslizantes Planos (Deslizadores)</b> .....	20
<b>2.3.2.2. Disipación de Energía</b> .....	21
<b>2.3.2.2.1 Dispositivos dependientes del Desplazamiento (Disipadores Histeréticos)</b> .....	21
<b>2.3.2.2.2 Dispositivos dependientes de la Velocidad</b> .....	25
<b>3. Capítulo 3: Análisis y Evaluación de la Estructura Sin Reforzar</b> .....	28
<b>3.1 Selección del Edificio Representativo de la Década de los 60s ubicado en la ciudad de Lima, a ser empleado en el Estudio.</b> .....	28
<b>3.2 Análisis lineal de la estructura</b> .....	29
<b>3.2.1 Parámetros Sísmicos.</b> .....	29
<b>3.2.2 Análisis Espectral de la estructura sin reforzar</b> .....	30
<b>3.2.3 Análisis Tiempo Historia - Linear Modal</b> .....	31
<b>3.3 Evaluación del estado actual</b> .....	36
<b>4. Capítulo 4: Configuración y Propiedades de los Dispositivos Empleados en las Alternativas de Reforzamiento</b> .....	37
<b>4.1 Configuración de la distribución los Dispositivos Empleados en el Reforzamiento</b> .....	37

4.2	Propiedades de los Disipadores de Fluido Viscoso .....	40
4.3	Propiedades de los Arriostres de Pandeo Restringido.....	44
5.	Capítulo 5: Desempeño Sismorresistente de las Edificaciones.....	46
5.1	Objetivos del desempeño sísmico .....	46
5.2	Niveles de Desempeño Objetivo .....	47
5.2.1	Niveles de Desempeño Estructural.....	47
5.2.2	Niveles de Desempeño No estructural.....	47
5.2.3	Designación de los Niveles de Desempeño Objetivo de la Estructura.....	48
5.3	Métodos de Análisis de Desempeño de Estructuras.....	49
5.3.1	Procedimiento Estático Lineal (LSP) .....	49
5.3.2	Procedimiento Dinámico Lineal (LDP).....	49
5.3.3	Procedimiento Estático No lineal (NSP).....	50
5.3.3.1	Método de Espectros Inelásticos.....	51
5.3.3.2	Método de espectros de amortiguamiento variable.....	52
5.3.4	Procedimiento Dinámico No lineal (NDP) .....	53
6.	Capítulo 6: Evaluación del Desempeño de la Estructura Reforzada.....	55
6.1	Definición y Configuración de las Propiedades de los Materiales y Elementos a Emplear en los Análisis.....	55
6.1.1	Propiedades Esperadas de los Materiales .....	55
6.1.2	Definición de Propiedades No Lineales de los Materiales.....	56
6.1.3	Rigideces Efectivas de los Elementos de Concreto Armado .....	57
6.1.4	Definición de la No Linealidad de los Elementos .....	58
6.2	Análisis Estático No Lineal (PUSHOVER) del Edificio .....	60
6.2.1	Resultados del Análisis Pushover del Edificio Reforzado con Disipadores de Fluido Viscoso (Amortiguadores).....	61
6.2.2	Resultados del Análisis Pushover del Edificio Reforzado con Arriostres de Pandeo Restringido (BRBs) .....	69
6.3	Análisis Tiempo Historia del Edificio.....	77
6.3.1	Resultados del Análisis Tiempo Historia del Edificio Reforzado con Disipadores de Fluido Viscoso.....	81
6.3.2	Resultados del Análisis Tiempo Historia Edificio Reforzado con Arriostres de Pandeo Restringido .....	86
7.	Capítulo 7: Cuantificación de la Mejoras Obtenidas con cada Alternativa de Reforzamiento.....	91
7.1	Mejoras Obtenidas con Disipadores de Fluido Viscoso.....	91
7.2	Mejoras Obtenidas con Arriostres de Pandeo Restringido .....	91
8.	Capítulo 8: Conclusiones y Recomendaciones .....	92
8.1	Estado Original de la Estructura.....	92

8.2	Disipadores de Fluido Viscoso.....	92
8.3	Arriostres de Pandeo Restringido .....	92
8.4	Generales .....	93
9.	BIBLIOGRAFIA.....	94
10.	ANEXOS.....	97
10.1	Anexo 1: Planos de Estructuras del Edificio Empleado en el Estudio .....	97
10.2	Anexo 2: Análisis Pushover: Curvas de Capacidad .....	103
10.3	Anexo 3: Análisis Pushover: Espectro de Capacidad y Punto de Desempeño 106	
10.4	Anexo 4: Análisis Pushover: Deriva de Entrepiso .....	115
10.5	Anexo 5: Análisis Pushover: Performance de la Estructura .....	124
10.6	Anexo 6: Análisis Tiempo Historia: Performance de la Estructura .....	141



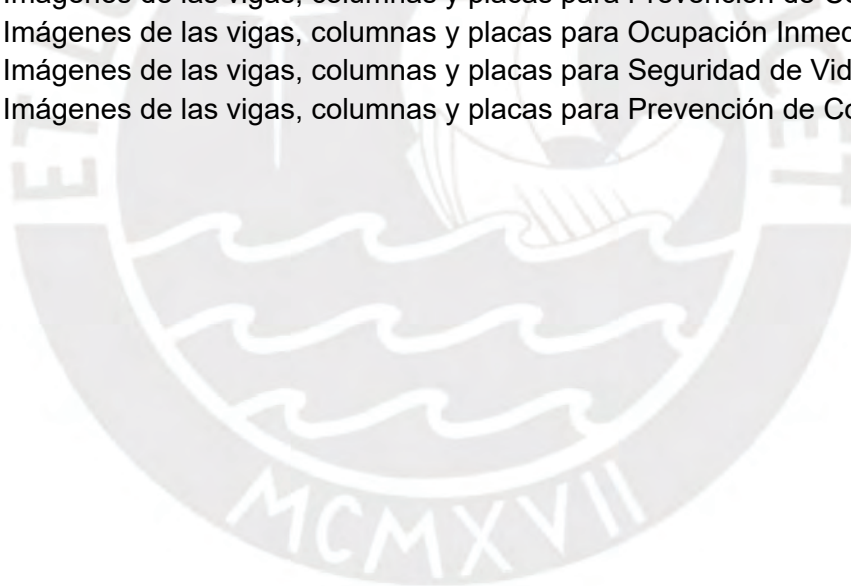
## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proceso de rehabilitación sísmica según FEMA 356. (Helene, 2007).....	14
Figura 2: Métodos de intervención sísmica. (Helene, 2007) .....	15
Figura 3: Niveles de desempeño esperados para las estructuras. (Helene, 2007).....	15
Figura 4: Efecto de Columna Corta. ( <a href="https://www.cuevadelcivil.com/2016/03/efecto-columna-corta-cautiva.html">https://www.cuevadelcivil.com/2016/03/efecto-columna-corta-cautiva.html</a> ).....	16
Figura 5: a) Inclusión de diagonales de Acero, b) Engrosamiento de elementos, (Sika, 2017) 17	
Figura 6: Encamisetado con materiales compuesto. (Sika, 2017) .....	17
Figura 7: Aislador Elastómericos de bajo amortiguamiento. (Cámara Chilena de la Construcción, 2011) .....	18
Figura 8: Aislador elastómerico de Alto Amortiguamiento (Bridgestone, 2013).....	19
Figura 9: Aislador elastómerico con núcleo de plomo. (Cámara Chilena de la Construcción, 2011) .....	19
Figura 10: Aislador de Péndulo Simple. (Constantinou, 2004) .....	19
Figura 11: Aislador de Péndulo Doble. (Constantinou, 2004) .....	20
Figura 12: Aislador de Péndulo Triple. (Constantinou, 2004) .....	20
Figura 13: Aislador deslizante plano (FIP Industriale, 2015).....	20
Figura 14: Disipador de fricción Pall (Pall and Marsh, 1982). .....	21
Figura 15: Disipadores tipo ADAS y TADAS. ( <a href="https://www.disipaing.com/adas_tadas/">https://www.disipaing.com/adas_tadas/</a> ).....	21
Figura 16: Secciones de arriostres de pandeo restringido. (Crisafulli, 2018).....	22
Figura 17: Arriostre de pandeo restringido fabricado por la empresa Star Seismic ( <a href="http://www.starseismic.net/">http://www.starseismic.net/</a> ). .....	22
Figura 18: Modelo bilineal típico de los BRBs. (Pan, 2020) .....	23
Figura 19: Comparación de los ciclos histeréticos de un arriostre convencional y un arriostre de pandeo restringido (BRB). (Crisafulli, 2018).....	23
Figura 20: Comportamiento típico fuerza-deformación de los arriostres de acero de pandeo restringido.....	23
Figura 21: Arriostre de pandeo restringido con configuración en V invertida. (Crisafulli, 2018) 24	
Figura 22: Disipador Viscoelástico tipo 3M .....	25
Figura 23: DFV con pistón pasante: 1) pistón, 2) cabeza del pistón, 3) sellos, 4), fluido, 5) cilindro, 6) tapa, 7) extensor, 8) horquillas, 9) cojinete esférico y 10) fuelle. (Taylor devices inc., 2019).....	25
Figura 24: Comparación de energía absorbida con exponentes de amortiguamiento variables. (Taylor devices inc., 2019).....	26
Figura 25: Tipos de configuración de los Amortiguadores. (Taylor devices inc., 2024).....	27
Figura 26: Planta Típica del Edificio empleado en el Estudio. ....	28
Figura 27: Características de la Señal del Sismo de 1966.....	31
Figura 28: Características de la Señal del Sismo de 1970.....	32
Figura 29: Características de la Señal del Sismo de 1974.....	33
Figura 30: Configuración de los dispositivos. ( <a href="https://www.cdvperu.com">https://www.cdvperu.com</a> ) .....	37
Figura 31: Ubicación de los dispositivos en Planta.....	37
Figura 32: Ubicación de los dispositivos en los Ejes B y E. ....	38
Figura 33: Ubicación de los dispositivos en el Eje F.....	38
Figura 34: Ubicación de los dispositivos en el Eje 2.....	39
Figura 35: Ubicación de los dispositivos en los Ejes 4 y 5. ....	39
Figura 36: Configuración en serie del amortiguador. (Taylor devices inc., 2019).....	40
Figura 37: Configuración de los BRBs.....	44

Figura 38: Curva de Capacidad de una Estructura.....	50
Figura 39: Determinación del espectro de capacidad para una estructura de varios grados de libertad. (Muñoz, 2021).....	51
Figura 40: Representación bilineal del espectro de capacidad. (ATC-40, 1996).....	51
Figura 41: Respuesta inelástica usando espectros de demanda y capacidad. (Muñoz, 2021).	52
Figura 42: Determinación de los puntos de la respuesta espectral. (Muñoz, 2021).....	52
Figura 43: Determinación de la respuesta espectral usando el espectro de capacidad y la curva de EDAV. (Muñoz, 2021). .....	52
Figura 44: Curva esfuerzo deformación del Concreto.....	56
Figura 45: Propiedades No lineales del Concreto.....	57
Figura 46: Curva esfuerzo deformación del Acero.....	57
Figura 47: Modelos de Plasticidad de Concentrada y Distribuida. (NEHRP, 2010) .....	58
Figura 48: Curvas Backbone del ASCE 41-17 .....	58
Figura 49: Configuración de Cargas de Gravedad No lineales.....	60
Figura 50: Configuración de la Carga Pushover. ....	60
Figura 51: Curvas de Capacidad del análisis con Amortiguadores.....	61
Figura 52: Puntos de desempeño para las cuatro intensidades de sismo en la dirección X (+). .....	62
Figura 53: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-1E.....	67
Figura 54: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-1N.....	67
Figura 55: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-2E.....	68
Figura 56: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-2N.....	68
Figura 57: Curvas de Capacidad del análisis con BRBs. ....	69
Figura 58: Puntos de desempeño para las cuatro intensidades de sismo en la dirección X (+). .....	70
Figura 59: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-1E.....	75
Figura 60: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-1N.....	75
Figura 61: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-2E.....	76
Figura 62: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-2N.....	76
Figura 63: Registro de la Señal del Sismo de Pisco del año 2007. ....	77
Figura 64: Imagen del Tratamiento de la Señal empleando el programa SeismoSignal.....	78
Figura 65: Imagen del Tratamiento de la Señal empleando el programa SeismoMatch. ....	78
Figura 66: Definición de las Señales Sísmicas en el Programa ETABS. ....	79
Figura 67: Configuración de Cargas de Gravedad No lineales.....	79
Figura 68: Definición del Caso de Análisis Tiempo Historia en el Programa ETABS .....	80
Figura 69: Comportamiento de la Estructura para Ocupación Inmediata .....	81
Figura 70: Comportamiento de la Estructura para Seguridad de Vida .....	82
Figura 71: Comportamiento de la Estructura para Prevención de Colapso.....	82
Figura 72: Comportamiento de la Estructura para Ocupación Inmediata .....	86
Figura 73: Comportamiento de la Estructura para Seguridad de Vida .....	87
Figura 74: Comportamiento de la Estructura para Prevención de Colapso.....	87
Figura 75: Planta de Cimentación del Edificio.....	98
Figura 76: Planta Techo Sótano .....	99
Figura 77: Planta Techo 1° Piso .....	100
Figura 78: Planta Techo Típico .....	101
Figura 79: Planta Techo 10° Piso .....	102
Figura 80: Curvas de Capacidad de las cuatro direcciones de análisis con Amortiguadores.	104
Figura 81: Curvas de Capacidad de las cuatro direcciones de análisis con BRBs. ....	105

Figura 82: Puntos de desempeño para las cuatro intensidades de sismo en la dirección X (+).	107
Figura 83: Puntos de desempeño para las cuatro intensidades de sismo en la dirección X (-).	108
Figura 84: Puntos de desempeño para las cuatro intensidades de sismo en la dirección Y (+).	109
Figura 85: Puntos de desempeño para las cuatro intensidades de sismo en la dirección Y (-).	110
Figura 86: Puntos de desempeño para las cuatro intensidades de sismo en la dirección X (+).	111
Figura 87: Puntos de desempeño para las cuatro intensidades de sismo en la dirección X (-).	112
Figura 88: Puntos de desempeño para las cuatro intensidades de sismo en la dirección Y (+).	113
Figura 89: Puntos de desempeño para las cuatro intensidades de sismo en la dirección Y (-).	114
Figura 90: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-1E.....	125
Figura 91: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-1N.....	125
Figura 92: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-2E.....	126
Figura 93: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-2N.....	126
Figura 94: Desempeño de la estructura en la dirección X (-) para el sismo BSE-1E.....	127
Figura 95: Desempeño de la estructura en la dirección X (-) para el sismo BSE-1N.....	127
Figura 96: Desempeño de la estructura en la dirección X (-) para el sismo BSE-2E.....	128
Figura 97: Desempeño de la estructura en la dirección X (-) para el sismo BSE-2N.....	128
Figura 98: Desempeño de la estructura en la dirección Y (+) para el sismo BSE-1E.....	129
Figura 99: Desempeño de la estructura en la dirección Y (+) para el sismo BSE-1N.....	129
Figura 100: Desempeño de la estructura en la dirección Y (+) para el sismo BSE-2E.....	130
Figura 101: Desempeño de la estructura en la dirección Y (+) para el sismo BSE-2N. ....	130
Figura 102: Desempeño de la estructura en la dirección Y (-) para el sismo BSE-1E.....	131
Figura 103: Desempeño de la estructura en la dirección Y (-) para el sismo BSE-1N. ....	131
Figura 104: Desempeño de la estructura en la dirección Y (-) para el sismo BSE-2E.....	132
Figura 105: Desempeño de la estructura en la dirección Y (-) para el sismo BSE-2N. ....	132
Figura 106: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-1E.....	133
Figura 107: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-1N. ....	133
Figura 108: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-2E.....	134
Figura 109: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-2N. ....	134
Figura 110: Desempeño de la estructura en la dirección X (-) para el sismo BSE-1E.....	135
Figura 111: Desempeño de la estructura en la dirección X (-) para el sismo BSE-1N. ....	135
Figura 112: Desempeño de la estructura en la dirección X (-) para el sismo BSE-2E.....	136
Figura 113: Desempeño de la estructura en la dirección X (-) para el sismo BSE-2N. ....	136
Figura 114: Desempeño de la estructura en la dirección Y (+) para el sismo BSE-1E.....	137
Figura 115: Desempeño de la estructura en la dirección Y (+) para el sismo BSE-1N. ....	137
Figura 116: Desempeño de la estructura en la dirección Y (+) para el sismo BSE-2E.....	138
Figura 117: Desempeño de la estructura en la dirección Y (+) para el sismo BSE-2N. ....	138
Figura 118: Desempeño de la estructura en la dirección Y (-) para el sismo BSE-1E.....	139
Figura 119: Desempeño de la estructura en la dirección Y (-) para el sismo BSE-1N. ....	139
Figura 120: Desempeño de la estructura en la dirección Y (-) para el sismo BSE-2E.....	140
Figura 121: Desempeño de la estructura en la dirección Y (-) para el sismo BSE-2N. ....	140

Figura 122: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Ocupación Inmediata .....	142
Figura 123: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Seguridad de Vida .....	142
Figura 124: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Prevención de Colapso .....	143
Figura 125: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Ocupación Inmediata .....	143
Figura 126: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Seguridad de Vida .....	144
Figura 127: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Prevención de Colapso .....	144
Figura 128: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Ocupación Inmediata .....	145
Figura 129: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Seguridad de Vida .....	145
Figura 130: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Prevención de Colapso .....	146
Figura 131: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Ocupación Inmediata .....	146
Figura 132: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Seguridad de Vida .....	147
Figura 133: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Prevención de Colapso .....	147
Figura 134: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Ocupación Inmediata .....	148
Figura 135: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Seguridad de Vida .....	148
Figura 136: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Prevención de Colapso .....	149
Figura 137: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Ocupación Inmediata .....	149
Figura 138: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Seguridad de Vida .....	150
Figura 139: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Prevención de Colapso .....	150
Figura 140: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Ocupación Inmediata .....	151
Figura 141: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Seguridad de Vida .....	151
Figura 142: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Prevención de Colapso .....	152
Figura 143: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Ocupación Inmediata .....	152
Figura 144: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Seguridad de Vida .....	153
Figura 145: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Prevención de Colapso .....	153



## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1:</i> Propiedades de los amortiguadores tipo Taylor .....	41
<i>Tabla 2:</i> Tabla de parámetros $\alpha$ y $\lambda$ .....	42
<i>Tabla 3:</i> Propiedades de los Amortiguadores tipo Taylor Empleados en el Reforzamiento .....	43
<i>Tabla 4:</i> Propiedades de los BRBs. ....	45
<i>Tabla 5:</i> Objetivos Básicos de Desempeño para Estructuras Existentes. ....	47
<i>Tabla 6:</i> Niveles de desempeño objetivo estructural. ....	47
<i>Tabla 7:</i> Niveles de desempeño objetivo No estructural .....	47
<i>Tabla 8:</i> Rango y nivel de desempeño del edificio objetivo. (American Society of Civil Engineers, 2017) .....	48
<i>Tabla 9:</i> Factores para Estimar las Propiedades Esperadas de los Materiales del ASCE 41-17 .....	55
<i>Tabla 10:</i> Factores para Estimar las Propiedades Esperadas de los Materiales del LATBSDC 2020 .....	55
<i>Tabla 11:</i> Propiedades Esperadas del Concreto Armado .....	56
<i>Tabla 12:</i> Propiedades Esperadas del Acero de Refuerzo .....	56
<i>Tabla 13:</i> Factores de Modificación de Rigidez.....	57
<i>Tabla 14:</i> Parámetros de curvas Backbone para vigas. ....	59
<i>Tabla 15:</i> Parámetros de curvas Backbone para columnas.....	59



## INDICE DE GRAFICOS

<b>Gráfico 1</b> : Espectro de Pseudo aceleraciones. ....	29
<b>Gráfico 2</b> : Drift del Análisis Espectral en la dirección horizontal. ....	30
<b>Gráfico 3</b> : Drift del Análisis Espectral en la dirección transversal. ....	30
<b>Gráfico 4</b> : Drifts del Edificio empleando la señal del Sismo de 1966. ....	34
<b>Gráfico 5</b> : Drifts del Edificio empleando la señal del Sismo de 1970. ....	35
<b>Gráfico 6</b> : Drifts del Edificio empleando la señal del Sismo de 1974. ....	36
<b>Gráfico 7</b> : Representación de una Curva IDA, (Tavárez, 2016). ....	53
<b>Gráfico 8</b> : Representación de la Envoltente IDA (Tavárez, 2016). ....	54
<b>Gráfico 9</b> : Representación de los Objetivos de Desempeño en una Curva IDA, (Tavárez, 2016). ....	54
<b>Gráfico 10</b> : Deriva de entrepiso para las cuatro intensidades de sismo con Pushover X (+)...	63
<b>Gráfico 11</b> : Curva de desempeño de la estructura reforzada con Amortiguadores en la dirección X (+).....	64
<b>Gráfico 12</b> : Curva de desempeño de la estructura reforzada con Amortiguadores en la dirección X(-).....	65
<b>Gráfico 13</b> : Curva de desempeño de la estructura reforzada con Amortiguadores en la dirección Y (+).....	65
<b>Gráfico 14</b> : Curva de desempeño de la estructura reforzada con Amortiguadores en la dirección Y(-).....	66
<b>Gráfico 15</b> : Deriva de entrepiso para las cuatro intensidades de sismo en la <i>dirección</i> X (+)...	71
<b>Gráfico 16</b> : Curva de desempeño de la estructura reforzada con BRBs en la dirección X (+)..	72
<b>Gráfico 17</b> : Curva de desempeño de la estructura reforzada con BRBs en la dirección X (-)..	73
<b>Gráfico 18</b> : Curva de desempeño de la estructura reforzada con BRBs en la dirección Y (+)..	73
<b>Gráfico 19</b> : Curva de desempeño de la estructura reforzada con BRBs en la dirección Y (-)..	74
<b>Gráfico 20</b> : Desplazamiento del centro de masa de la estructura reforzada con Amortiguadores. ....	83
<b>Gráfico 21</b> : Deriva del centro de masa de la estructura reforzada con Amortiguadores. ....	84
<b>Gráfico 22</b> : Fuerza cortante de la estructura reforzada con Amortiguadores.....	85
<b>Gráfico 23</b> : Desplazamiento del centro de masa de la estructura reforzada con BRBs.....	88
<b>Gráfico 24</b> : Deriva del centro de masa de la estructura reforzada con BRBs.....	89
<b>Gráfico 25</b> : Fuerza cortante de la estructura reforzada con BRBs. ....	90
<b>Gráfico 26</b> : Deriva de entrepiso para las cuatro intensidades de sismo con Pushover X (+)..	116
<b>Gráfico 27</b> : Deriva de entrepiso para las cuatro intensidades de sismo con Pushover X (-)..	117
<b>Gráfico 28</b> : Deriva de entrepiso para las cuatro intensidades de sismo con Pushover Y (+)..	118
<b>Gráfico 29</b> : Deriva de entrepiso para las cuatro intensidades de sismo con Pushover Y (-)..	119
<b>Gráfico 30</b> : Deriva de entrepiso para las cuatro intensidades de sismo en la <i>dirección</i> X (+). 120	
<b>Gráfico 31</b> : Deriva de entrepiso para las cuatro intensidades de sismo en la dirección X (-)..	121
<b>Gráfico 32</b> : Deriva de entrepiso para las cuatro intensidades de sismo en la dirección Y (+). 122	
<b>Gráfico 33</b> : Deriva de entrepiso para las cuatro intensidades de sismo en la dirección Y (-)..	123

## 1. Capítulo 1: Introducción

### 1.1. Antecedentes y Justificación

La costa peruana es considerada una zona de alta sismicidad porque forma parte del cinturón del fuego del Pacífico. En esta zona, la placa de Nazca se introduce por debajo de la placa Sudamericana generando una enorme acumulación de energía, que al ser liberada generan los sismos. (Kuroiwa,2002)

En el año 1977 se publicó oficialmente en el Perú la primera norma de diseño sismorresistente acorde con los conocimientos de la época (RNC,1977). En el año 1997, se actualizó la norma de diseño sismorresistente (RNC,1997) basándose en los avances de la ingeniería sísmica acumulada hasta ese entonces y las experiencias dejadas por los sismos de México (1985), Loma Prieta (1989), Northridge (1994), Kobe (1995) y Nazca (1996). A partir de ese momento se han tenido actualizaciones de esta norma en los años 2003, 2016 y la vigente que fue promulgada en el año 2018.

La norma actual del año 2018 tiene requerimientos más estrictos de rigidez y resistencia que versiones anteriores y reflejan la experiencia de la comunidad de ingeniería en diferentes zonas sísmicas en el mundo, Perú (2001, 2007), Japón (2011), Chile (2011) entre otros.

En la costa peruana existen cientos de edificaciones que han sido construidas en los años 60s que son usados actualmente como hospitales, edificios gubernamentales y edificaciones en general y que han sido diseñadas sin considerar solicitaciones sísmicas o usando criterios de diseño sismorresistente poco exigentes. Estas edificaciones son altamente vulnerables y se hace necesaria su intervención para reducir su vulnerabilidad ante la acción de los sismos. Es por ello que es necesario estudiar alternativas de reforzamiento para estas edificaciones, considerando las posibilidades técnicas disponibles en la actualidad y las restricciones propias de la configuración estructural y uso de las edificaciones existentes.

### 1.2. Objetivos

#### 1.2.1 Objetivo General

Implementar sistemas de protección sísmica que contribuyan a la seguridad sísmica de las edificaciones peruanas ubicadas en la costa peruana, construidas en la década de los 60s.

#### 1.2.2 Objetivos específicos

- Desarrollar alternativas de protección por disipación de energía para las edificaciones construidas en la costa del Perú en la década de los 60s.
- Evaluar el desempeño sísmico de una edificación existente sin sistemas de protección sísmica.
- Desarrollar sistemas de protección sísmica empleando Disipadores de Fluido Viscoso o Arriostres de Pandeo Restringido.
- Cuantificar las mejoras en el desempeño sísmico de la edificación al emplear ambas alternativas de reforzamiento.

### 1.3. Alcance

- Empleando un edificio de oficinas representativo construido en la década de los 60s, se desarrollará un modelo no lineal considerando la no linealidad en el concreto y el acero.
- Para la evaluación del desempeño se empleará análisis estático no lineal (pushover) y análisis tiempo historia no lineal.

- El desempeño de la edificación evaluará para diferentes niveles de sismicidad, estos se representarán a partir de registros de aceleración representativos de la sismicidad de la costa peruana.

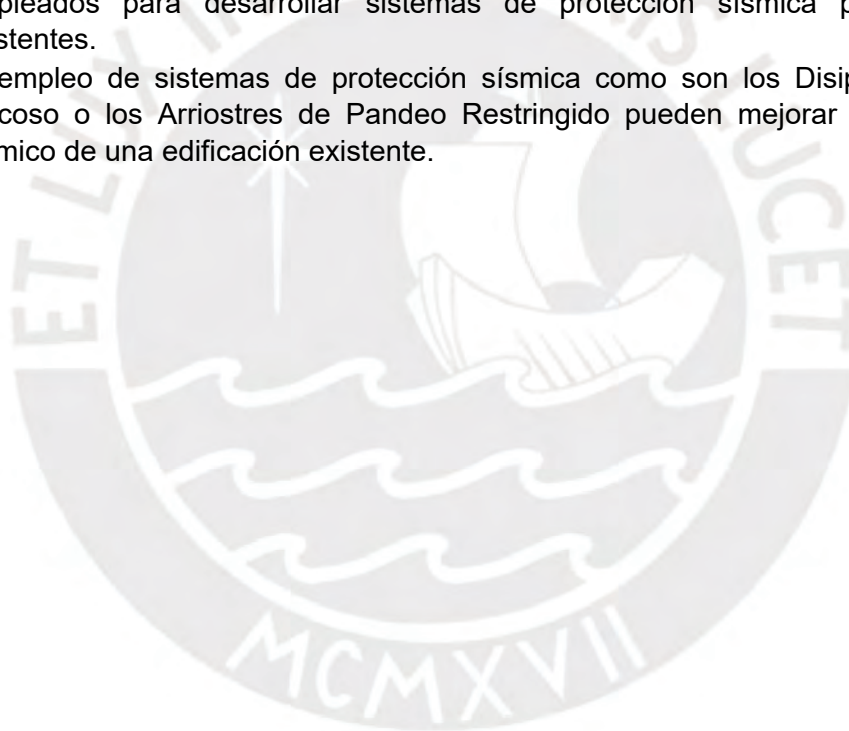
#### **1.4. Hipótesis**

##### **1.4.1 Hipótesis general**

Las estructuras construidas en la costa del Perú en la década de los 60s podrían sufrir daño severo y hasta colapsos en un sismo importante. El empleo de disipadores de fluido viscoso o arriostres de pandeo restringido puede reducir significativamente la vulnerabilidad de estas edificaciones.

##### **1.4.2 Hipótesis específicas**

- Los sistemas de disipación de energía pueden ser alternativas adecuadas para la protección de las edificaciones construidas en la costa del Perú en la década de los 60s.
- El desempeño sísmico de una edificación existente sin sistemas de protección puede no ser el adecuado frente a las sollicitaciones de sismos importantes.
- Los Disipadores de Fluido Viscoso y los Arriostres de Pandeo Restringido pueden ser empleados para desarrollar sistemas de protección sísmica para edificaciones existentes.
- El empleo de sistemas de protección sísmica como son los Disipadores de Fluido Viscoso o los Arriostres de Pandeo Restringido pueden mejorar en el desempeño sísmico de una edificación existente.



## **2. Capítulo 2: Estrategias Generales para el Reforzamiento de Edificaciones Existentes.**

El reforzamiento, intervención o rehabilitación de una estructura existente se puede dar por distintas razones como son el cambio de uso, daños por corrosión y/o ataque químico, incendios u otras razones. Pero la principal razón de los reforzamientos es mejorar el comportamiento ante la acción de los sismos, siendo esto un asunto muy urgente y de vital importancia. La no intervención de estas estructuras puede tener consecuencias catastróficas debido a las pérdidas económicas y de vidas.

Las edificaciones existentes pueden ser intervenidas en los siguientes momentos:

- Reparación y reforzamiento de la estructura de un edificio después de un sismo severo.
- Reparación y reforzamiento de la estructura de un edificio vulnerable antes de la acción de un sismo.

El reforzamiento de las estructuras antes de un evento sísmico es sin duda la única estrategia para mitigar los daños que se puedan producir en ellas durante la acción de un sismo.

### **2.1 Procedimientos Generales para la Rehabilitación Estructural**

Un procedimiento general para la rehabilitación sísmica de estructuras vulnerables a sismos es el siguiente:

- Evaluación sísmica de la estructura existente.
- Determinación de la capacidad sísmica requerida.
- Selección de las técnicas de rehabilitación.
- Diseño de los elementos empleados en la rehabilitación y sus conexiones.
- Reevaluación de la estructura intervenida.

El objetivo de la evaluación sísmica es identificar las deficiencias sísmicas de la estructura, esto se puede obtener mediante la determinación de la capacidad sísmica o empleando una metodología que combine el desempeño de la estructura y el peligro sísmico a la que puede estar sometida. Dos aspectos importantes para la determinar la capacidad de la estructura son la resistencia lateral y la ductilidad, que deben ser parte esencial de esta evaluación.

Es importante determinar la capacidad sísmica requerida o el nivel de desempeño objetivo para el nivel de peligro sísmico seleccionado, con el objetivo de poder compararla con la capacidad original y determinar adecuadamente los criterios y métodos de intervención para la rehabilitación que nos permitan alcanzar los objetivos requeridos.

Los elementos empleados para la rehabilitación deben ser distribuidos de tal manera que mejoren la rigidez lateral, resistencia y ductilidad de la estructura. El diseño de las conexiones que unirán estos nuevos elementos con los elementos existentes es de suma importancia, porque la falla de estas puede afectar significativamente el comportamiento de la estructura. No sirve de nada haber realizado los análisis más sofisticados para mejorar el desempeño de la estructura si las conexiones han sido diseñadas de manera inadecuada, estas fallarán en el caso de un sismo dejando sin efecto todo el reforzamiento implementado.

Finalmente, la estructura rehabilitada debe ser reanalizada para verificar que su capacidad sísmica satisface la capacidad requerida.

El estándar FEMA 356, que es un código previo al ASCE41, establece las siguientes etapas para el proceso de rehabilitación sísmica. Ver figura 1.

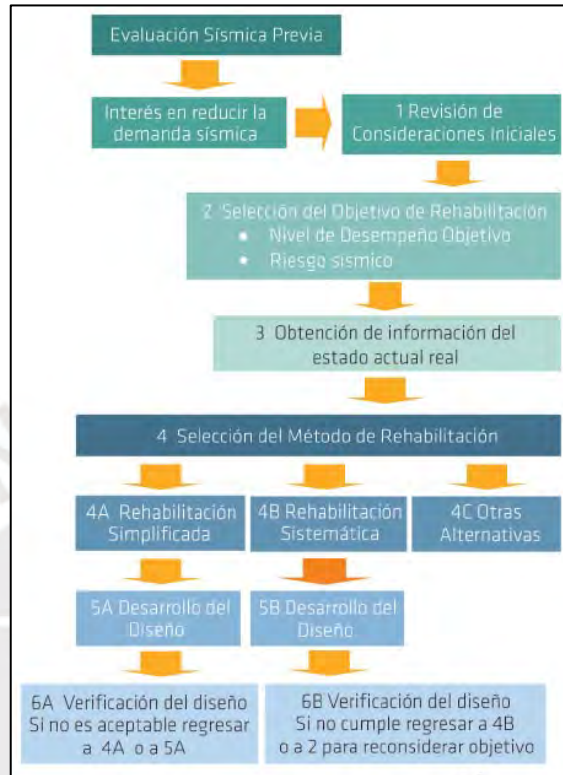


Figura 1: Proceso de rehabilitación sísmica según FEMA 356. (Helene, 2007)

## 2.2 Conceptos Básicos de Intervención Estructural

El objetivo de las intervenciones estructurales es el proveer de mayor resistencia y/o ductilidad a una estructura existente, empleando las siguientes estrategias. (ver figura 2).

- Incremento de la resistencia de la estructura sin aumento de la capacidad de deformación inelástica o ductilidad.
- Incremento de la ductilidad sin aumento de la resistencia última de la estructura.
- Combinación de las dos estrategias indicadas en los ítems anteriores.

En la práctica las técnicas de reforzamiento y/o rehabilitación involucran combinaciones de incremento de resistencia y ductilidad.

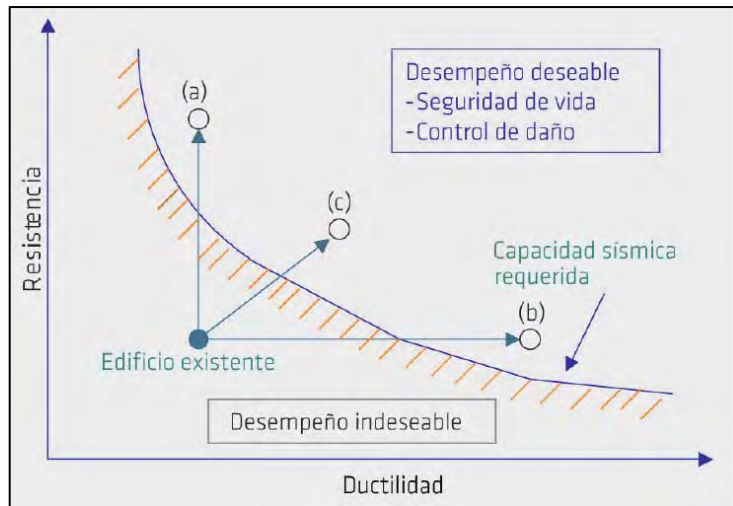


Figura 2: Métodos de intervención sísmica. (Helene, 2007)

Por lo general las intervenciones que se enfocan en buscar la prevención del colapso de la estructura y/o la preservación de la vida mediante el incremento de la ductilidad, se basan en estrategias del tipo c) pero orientadas al tipo b). Pero en los casos donde el daño en la estructura debe ser muy leve o casi nula, las intervenciones buscan el incremento de la rigidez y la resistencia a la vez, este tipo de intervenciones se basan en estrategias del tipo c) pero más orientadas al tipo a).

La determinación de cuál es el criterio que se debe emplear para la intervención, involucra una coordinación continua con el propietario y/o con el usuario final para definir el desempeño que se desea en la estructura en el caso de un sismo (ver figura 3). Y también se debe tomar en cuenta las alteraciones de la funcionalidad que en muchos casos resulta ser el aspecto más importante y por ello debe no se debe dejar de lado.



Figura 3: Niveles de desempeño esperados para las estructuras. (Helene, 2007)

## 2.3 Alternativas de Reforzamiento de Edificaciones Existentes

Para poder alcanzar en nivel de rehabilitación requerido por la estructura es necesario implementar estrategias de reforzamiento empleando técnicas y procedimientos que nos permitan corregir las deficiencias encontradas.

En la actualidad existen métodos convencionales y modernos que se pueden implementar en la intervención y/o rehabilitación de las estructuras existentes.

### 2.3.1 Métodos Convencionales

Los métodos convencionales se han orientado básicamente en la corrección de las deficiencias en las configuraciones en conjunto con el incremento de resistencia y rigidez de las estructuras. Las estructuras con configuraciones inadecuadas tienen un comportamiento deficiente y poco predecible durante la acción de los sismos, es necesario corregir estas configuraciones mediante una intervención estructural. Los casos más frecuentes y que producen un daño severo e incluso el colapso de las estructuras es el de piso blando, otro caso que es de mucha importancia y que está presente en muchas en las edificaciones es el de columna corta (ver figura 4).



Figura 4: Efecto de Columna Corta. (<https://www.cuevadelcivil.com/2016/03/efecto-columna-corta-cautiva.html>)

Las técnicas que nos permiten incrementar la resistencia última y/o rigidez de una estructura son las siguientes:

- Inclusión de placas (muros de corte) en los pórticos existentes.
- Inclusión de elementos metálicos en los pórticos existentes, (ver figura 5).
- Inclusión de aletas en las columnas existentes.
- Incremento de sección de los elementos existentes, (ver figura 5).
- Inclusión de elementos metálicos o de FRP adheridos externamente.
- Inclusión de cables postensados externos de acero o FRP.



a)



b)

Figura 5: a) Inclusión de diagonales de Acero, b) Engrosamiento de elementos, (Sika, 2017)

Las técnicas que nos permiten incrementar la capacidad de deformación y/o ductilidad de una estructura son las siguientes:

- Encamisetado con malla de acero y concreto.
- Encamisetado con láminas de acero.
- Encamisetado con ángulos y platinas de acero.
- Encamisetado con materiales compuestos (FRP), (ver figura 6).



Figura 6: Encamisetado con materiales compuesto. (Sika, 2017)

## 2.3.2 Métodos Modernos de Reforzamiento y/o Protección Sísmica

Los dos principales métodos de reforzamiento son los que buscan reducir la demanda sísmica mediante el Aislamiento de Base y la Disipación de Energía.

### 2.3.2.1. Aislamiento Sísmico

El aislamiento sísmico es uno de los métodos modernos de reforzamiento, que consiste en aislar la edificación del movimiento que se produce en el suelo durante la acción de un sismo, empleando para ello dispositivos conocidos como aisladores.

Los aisladores son elementos muy flexibles horizontalmente que permiten incrementar el periodo de la estructura y muy rígidos verticalmente que permite soportar las cargas verticales de la estructura, ambos aspectos permiten que actúen como dispositivos de disipación de energía.

#### 2.3.2.1.1 Aisladores Elastómericos

Los aisladores elastómericos son dispositivos que se conforman alternando capas de caucho y planchas de acero que se unen mediante un proceso de vulcanizado. De esta manera se puede lograr que se estos dispositivos puedan resistir adecuadamente deformaciones horizontales grandes por efecto de los sismos y que a la vez puedan soportar las cargas verticales que reciben de la estructura.

Los principales tipos de Aisladores elastómericos son los siguientes:

- Aisladores Elastómericos de Bajo Amortiguamiento (LDRB)



Figura 7: Aislador Elastómericos de bajo amortiguamiento. (Cámara Chilena de la Construcción, 2011)

- Aisladores Elastómericos de Alto Amortiguamiento (HDRB)

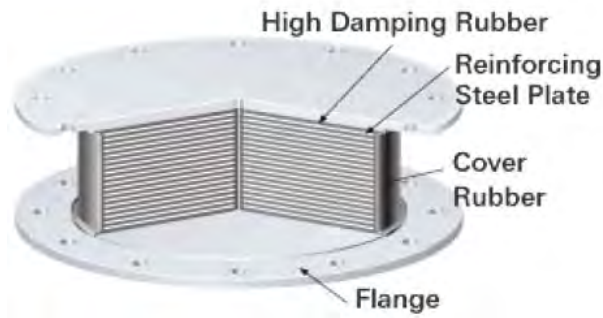


Figura 8: Aislador elastómero de Alto Amortiguamiento (Bridgestone, 2013)

- Aisladores Elastómericos con Núcleo de Plomo (LRB)

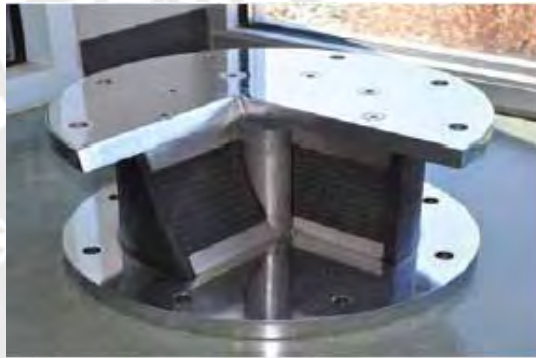


Figura 9: Aislador elastómero con núcleo de plomo. (Cámara Chilena de la Construcción, 2011)

### 2.3.2.1.2 Aisladores de Péndulo de Fricción (FPS)

Son dispositivos que poseen un deslizador que se desplaza sobre una superficie esférica cóncava fabricada de acero inoxidable de muy bajo coeficiente de fricción. Estos dispositivos tienen capacidad de restitución debido al efecto de péndulo que se genera por su geometría.

Los principales tipos de Aisladores de péndulo de fricción son los siguientes:

- Péndulo Simple

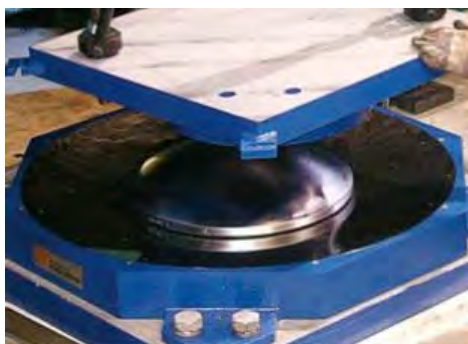


Figura 10: Aislador de Péndulo Simple. (Constantinou, 2004)

- Péndulo doble



Figura 11: Aislador de Péndulo Doble. (Constantinou, 2004)

- Péndulo Triple

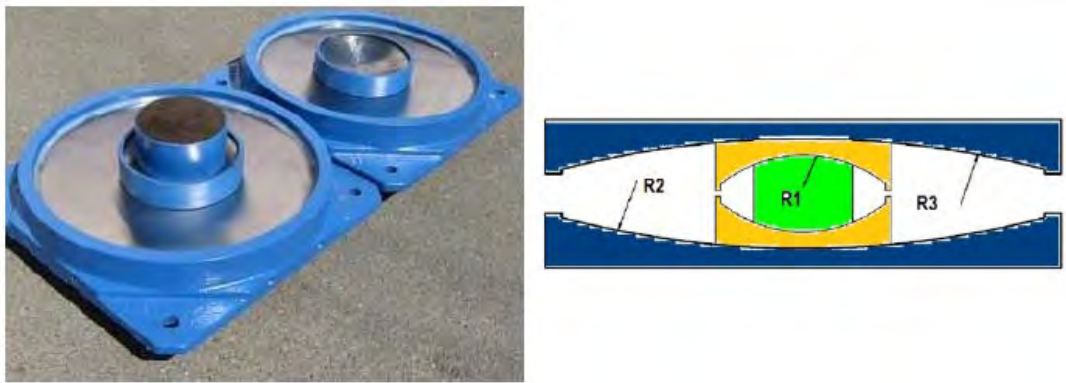


Figura 12: Aislador de Péndulo Triple. (Constantinou, 2004)

### 2.3.2.1.3 Aisladores Deslizantes Planos (Deslizadores)

Los deslizadores son dispositivos conformados por dos planchas de acero inoxidable que tienen bajo coeficiente de fricción lo que permite que puedan moverse horizontalmente y que a la vez puedan soportar las cargas verticales que reciben de la estructura. (ver figura 13).



Figura 13: Aislador deslizante plano (FIP Industriale, 2015)

### 2.3.2.2. Disipación de Energía

Los dispositivos de disipación de energía permiten reducir los esfuerzos que se producen en los elementos estructurales que conforman una estructura generados por los sismos. Estos dispositivos están divididos en dos grupos por sus propiedades mecánicas: dispositivos dependientes del desplazamiento y dispositivos dependientes de la velocidad.

#### 2.3.2.2.1 Dispositivos dependientes del Desplazamiento (Disipadores Histeréticos)

En este grupo tenemos los dispositivos de fluencia de metales y los dispositivos de fricción. La disipación de energía en estos dispositivos depende del desplazamiento relativo entre los extremos del dispositivo.

Los principales tipos de disipadores histeréticos son los siguientes:

##### a) Disipadores de Fricción

Son dispositivos que disipan la energía de los sismos por efecto de la fricción que se produce entre las superficies que los conforman. Una forma típica de instalación de estos dispositivos es empleando brazos diagonales como se puede apreciar en la figura 14.

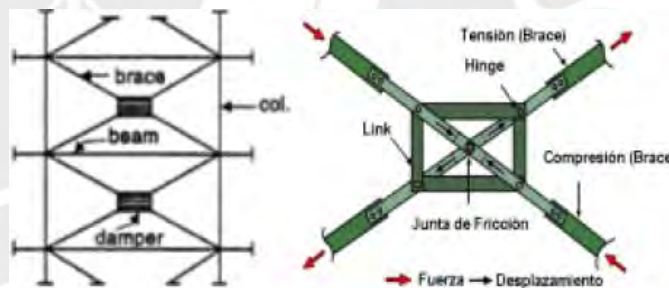


Figura 14: Disipador de fricción Pall (Pall and Marsh, 1982).

##### b) Disipadores de Fluencia

Son dispositivos que disipan la energía producida por los sismos plastificando las planchas de acero con las que han sido fabricados. Entre los más usados tenemos los ADAS (Added Damping and Stiffness) y los TADAS (Triangular-plate added damping and stiffness).

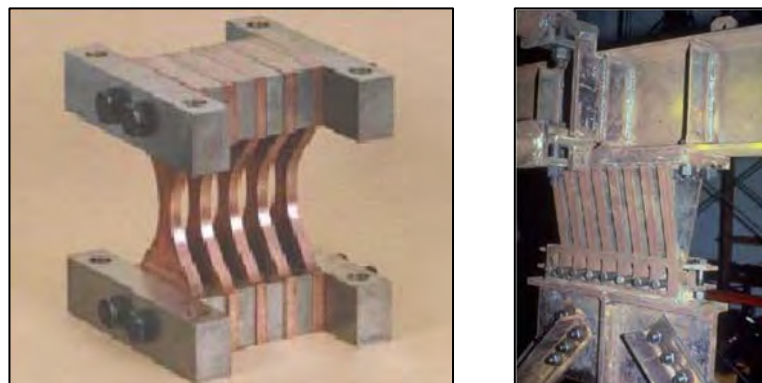


Figura 15: Disipadores tipo ADAS y TADAS. ([https://www.disipaing.com/adas\\_tadas/](https://www.disipaing.com/adas_tadas/))

### c) Arriostres de Pandeo Restringido (BRBs)

Los arriostres de pandeo restringido, son dispositivos de disipación de energía mediante la fluencia en tracción y compresión y proporcionan ciclos de histéresis amplios y estables, fueron desarrollados inicialmente por la Nippon Steel Corporation en 1977, con el objetivo de superar las deficiencias de los pórticos con arriostres convencionales que son diseñados para estar en fluencia en tracción y que pueden fallar por pandeo cuando están en compresión.

Los BRBs proporcionan a las estructuras una mayor ductilidad y una mayor capacidad de disipar energía. También permiten incrementar la rigidez de la estructura logrando satisfacer los límites de deriva de entrepiso de ser necesario.

Los BRBs están conformados por un núcleo de acero cuya sección puede ser circular, rectangular, cuadrada o cruciforme; este núcleo está recubierto por una capa antiadherente, un relleno de mortero y un tubo exterior de acero de sección circular o cuadrada. Ver figura 16.

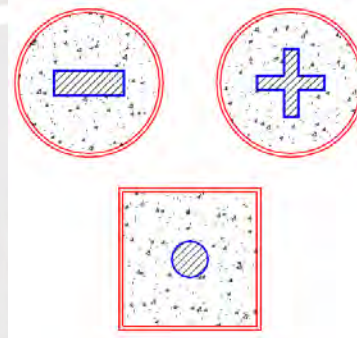


Figura 16: Secciones de arriostres de pandeo restringido. (Crisafulli, 2018)

La función de la capa antiadherente, es evitar que el núcleo de acero se adhiera con el relleno de mortero y así poder permitir que se deforme libremente del tubo exterior y del relleno de mortero.

La función del tubo de acero y la del relleno de mortero es la de evitar que el núcleo se pandee por compresión y así permitir que el arriostre fluya bajo cargas de tracción y compresión.



Figura 17: Arriostre de pandeo restringido fabricado por la empresa Star Seismic (<http://www.starseismic.net/>).

- **Propiedades y Comportamiento Estructural**

Los arriostres de pandeo restringido tienen un comportamiento similar en tracción y compresión porque no presentan pandeo local o global del dispositivo, (ver figura 18).

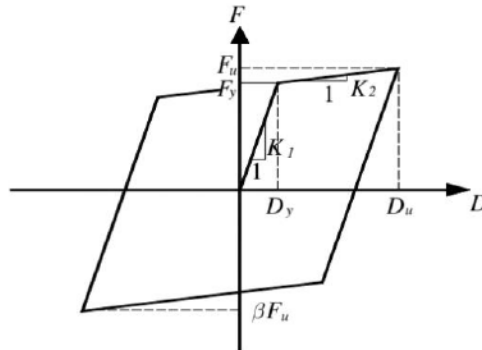


Figura 18: Modelo bilineal típico de los BRBs. (Pan, 2020)

En la figura 19, se puede apreciar la diferencia entre el comportamiento de los arriostres convencionales (línea roja) y los de pandeo restringido (línea azul). Se puede apreciar que la energía disipada durante un ciclo es mucho mayor para el arriostre de pandeo restringido que para el arriostre convencional. Siendo la principal diferencia el comportamiento de los arriostres en compresión.

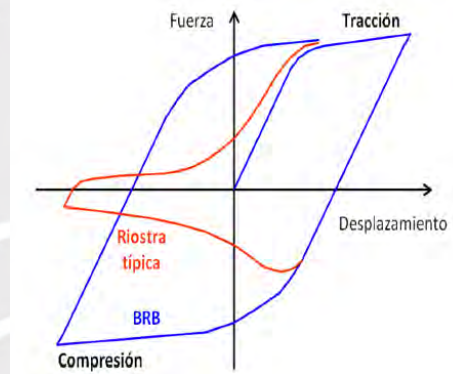


Figura 19: Comparación de los ciclos histeréticos de un arriostre convencional y un arriostre de pandeo restringido (BRB). (Crisafulli, 2018)

En la figura 20, se muestra el comportamiento observado en los ensayos cíclicos de los BRBs.

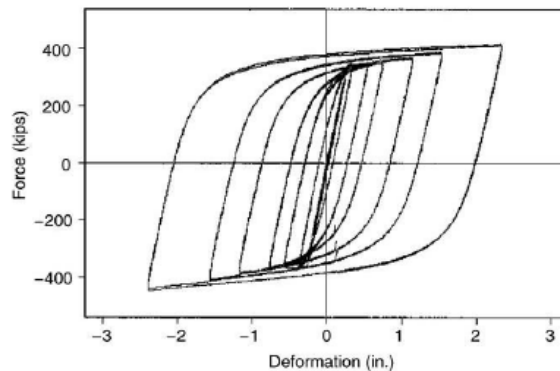


Figura 20: Comportamiento típico fuerza-deformación de los arriostres de acero de pandeo restringido.

Por lo general en este tipo de dispositivos la resistencia a compresión es mayor que su resistencia a tracción, esto se debe porque el núcleo de acero se expande lateralmente debido a las cargas de compresión y transfiera parte de la carga al mortero de relleno y al tubo exterior, permitiendo de esta manera el incremento de la resistencia a la compresión del arriostre.

- **Configuración para la instalación de los dispositivos**

La configuración típica de los BRBs es conformando una V invertida, formando así una conexión concéntrica. Ver la figura 21.



Figura 21: Arriostre de pandeo restringido con configuración en V invertida. (Crisafulli, 2018)



### 2.3.2.2.2 Dispositivos dependientes de la Velocidad

En este grupo tenemos los dispositivos viscoelásticos y los de fluido viscoso. La disipación de energía en estos dispositivos depende de las velocidades relativas entre los extremos del dispositivo.

#### a) Disipadores Viscoelásticos

Estos dispositivos son fabricado empleando una capa de material viscoelástico unida a dos capas metálicas, y disipan energía por deformación por corte. Se colocan generalmente en configuración diagonal. Ver figura 22.

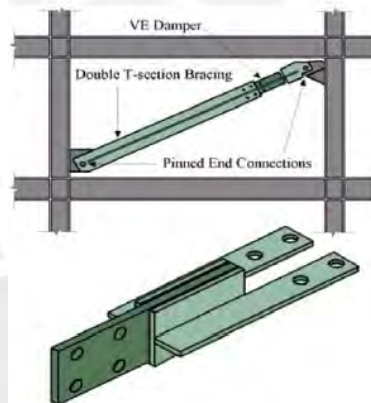


Figura 22: Disipador Viscoelástico tipo 3M

#### b) Disipadores de Fluido Viscoso (Amortiguadores)

Estos dispositivos no aportan rigidez a la estructura y tampoco pueden soportar cargas estáticas, proporcionan una fuerza de resistencia solo cuando se mueven, a mayor velocidad mayor fuerza de resistencia.

Estos dispositivos constan de un pistón que se mueve a través de un fluido viscoso (ver figura 23), generando una alta presión interna que varía con la velocidad, lo que genera la fuerza de resistencia mencionada anteriormente.

El comportamiento del dispositivo se caracteriza por la siguiente ecuación:

$$\text{Fuerza de amortiguamiento} = \text{Constante de amortiguamiento (C)} \times \text{Velocidad}^{\alpha}$$

donde  $\alpha$  se conoce como el exponente de amortiguamiento, los valores de  $\alpha$  empleados comúnmente en el diseño de edificios resistentes a cargas sísmicas están en el rango de 0.3 a 0.5.

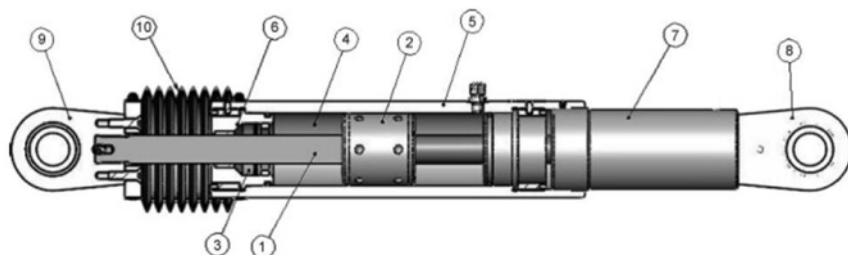


Figura 23: DFV con pistón pasante: 1) pistón, 2) cabeza del pistón, 3) sellos, 4) fluido, 5) cilindro, 6) tapa, 7) extensor, 8) horquillas, 9) cojinete esférico y 10) fuelle. (Taylor devices inc., 2019)

Estos dispositivos están desfasados con relación al comportamiento de la estructura, en el instante inicial cuando los esfuerzos en la estructura son cero, es también el momento que la estructura tiene su máxima velocidad y el amortiguador tiene su mayor fuerza. Cuando la estructura tiene su mayor deformación su velocidad es cero y el amortiguador tiene una fuerza igual a cero. Este efecto es el que permite reducir la cantidad de elementos que deben tener las estructuras para resistir las cargas sísmicas.

### - Propiedades y comportamiento estructural

Conceptualmente se asume que, con la inclusión de amortiguadores en una estructura, la energía que será generada por un sismo será absorbida no por la estructura en sí, sino por los amortiguadores. Es por ello, que la configuración de los amortiguadores debe ser tal que la fuerza producida por ellos sea de tal magnitud y ocurra en un momento tal que las fuerzas del amortiguador no aumenten los esfuerzos en los elementos de la estructura. Correctamente implementados, los amortiguadores deberían ser capaces de reducir simultáneamente tanto los esfuerzos como la deformación en la estructura.

Como ya se mencionó  $\alpha$  es el exponente de amortiguamiento, si se hace una comparación de la energía absorbida para amortiguadores con distintos valores de  $\alpha$ , se puede observar que un amortiguador de fluido con exponente de amortiguamiento más bajo absorbe más energía por ciclo que uno con un exponente más alto. Esto se muestra en la figura 24.

Además, dado que la fuerza de amortiguamiento está desfasada con los esfuerzos de deformación, es importante que este efecto no se vea comprometido por un exponente  $\alpha$  demasiado bajo. Un exponente de amortiguamiento de 0,3 proporciona una combinación óptima para tener una gran cantidad de energía absorbida por ciclo y, al mismo tiempo, minimizar los esfuerzos en los elementos estructurales.

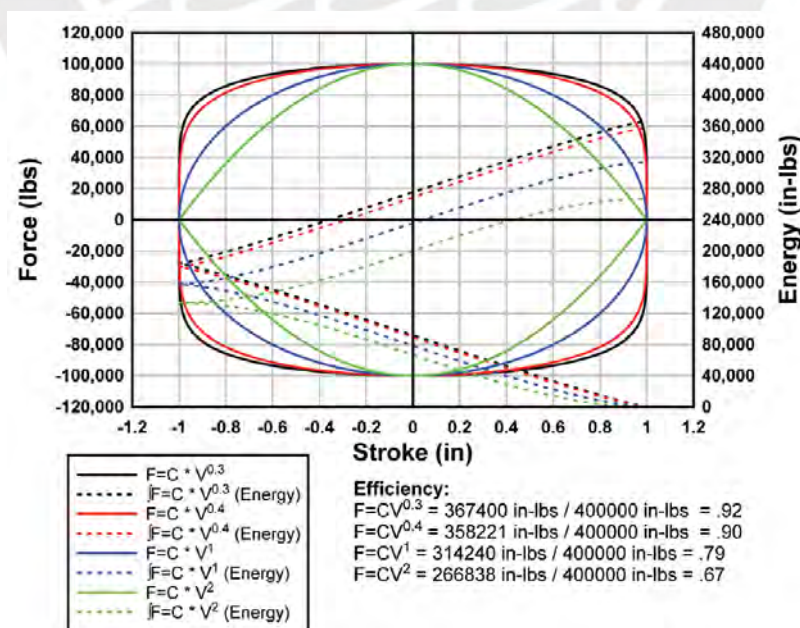


Figura 24: Comparación de energía absorbida con exponentes de amortiguamiento variables. (Taylor devices inc., 2019)

### - Configuración para la instalación de los dispositivos

El uso de amortiguadores distribuidos en varios niveles de la estructura, es un método directo de aplicar amortiguamiento. El principal beneficio de la amortiguación distribuida es que el sistema de amortiguación captura y absorbe la energía en su origen directamente, en lugar de aplicar la amortiguación en un sistema secundario, otro beneficio es que la amortiguación (directa) puede absorber la energía en todas y cada una de las frecuencias de vibración de entrada. Esto es muy beneficioso durante los sismos, que no mueven la estructura solo en su período fundamental de vibración.

Existen muchos métodos (ver figura 25) para implementar los amortiguadores en la estructura, lo principal a tomar en cuenta es que los dispositivos deben poder capturar el movimiento de la estructura y así poder generar las fuerzas de tracción y compresión opuestas al movimiento y necesarias para disipar energía. Este concepto funciona bien para edificios con pórticos resistentes a momento y muros de corte. Se pueden implementar en estructuras bajas, medianas y altas. Las principales configuraciones empleadas son tipo Chevron, Diagonal simple y Diagonal doble.

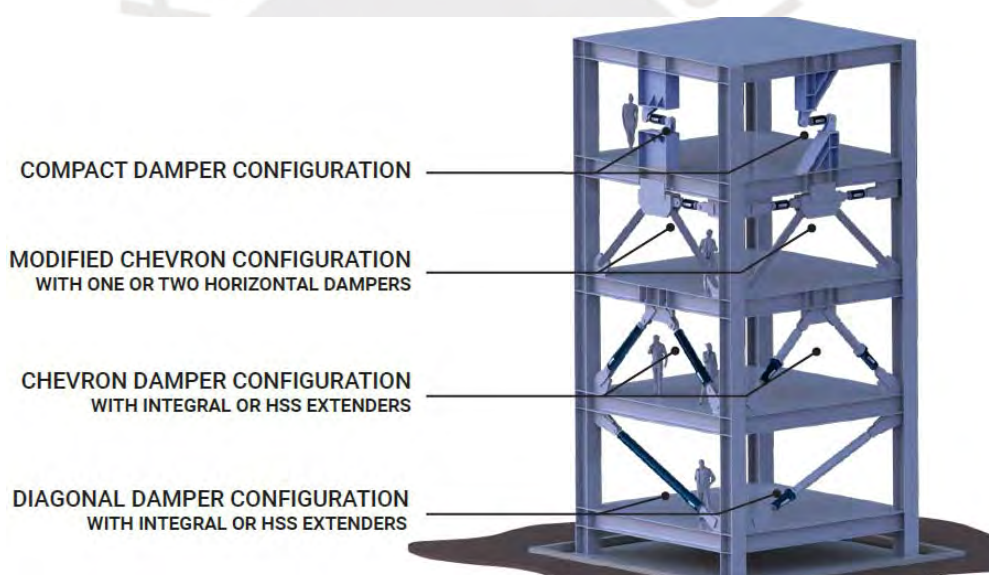


Figura 25: Tipos de configuración de los Amortiguadores. (Taylor devices inc., 2024)

### 3. Capítulo 3: Análisis y Evaluación de la Estructura Sin Reforzar

#### 3.1 Selección del Edificio Representativo de la Década de los 60s ubicado en la ciudad de Lima, a ser empleado en el Estudio.

Para realizar los estudios se ha seleccionado un edificio construido en el año 1965 que se encuentra ubicado en el distrito de San Isidro, provincia y departamento de Lima. El edificio en la actualidad está destinado para uso de oficinas, consta de diez pisos y un sótano, ha sido estructurado con pórticos de concreto armado y un muro de concreto para la caja de escaleras y ascensores, estructuración típica de la época en la cual fue diseñado. Las particularidades del edificio son que todas vigas perimetrales son peraltadas parcialmente invertidas y son utilizadas como alfeizares de las ventanas, todas vigas internas son chatas con un peralte de 40 cm., para los entrepisos se han empleado losas aligeradas de 40 cm. de espesor con una separación de viguetas de 50 cm. diseñados para una sobrecarga de 200 kg/cm<sup>2</sup>.

En la figura 26, se muestra la planta típica del edificio y el detalle típico del aligerado.

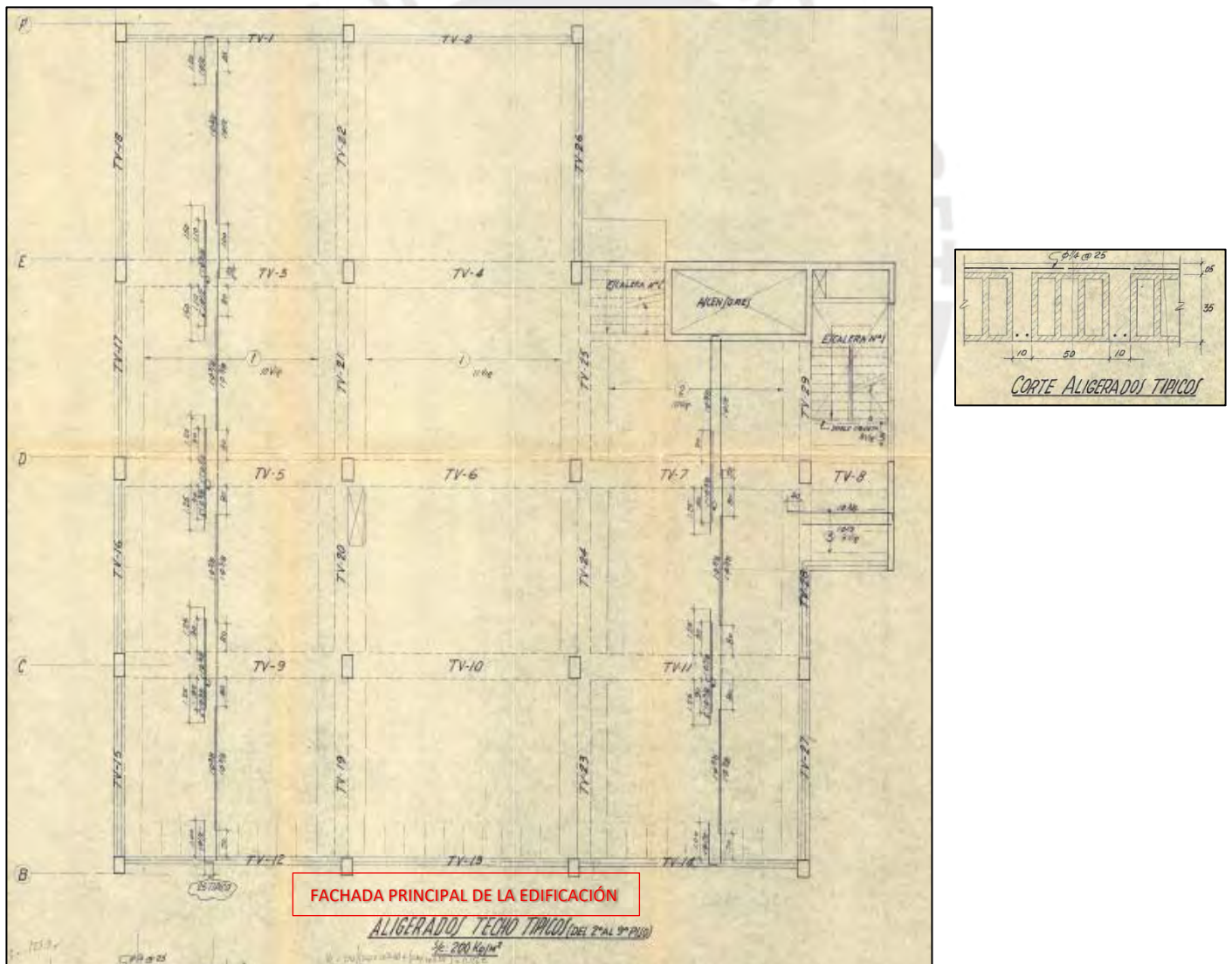


Figura 26: Planta Típica del Edificio empleado en el Estudio.

### 3.2 Análisis lineal de la estructura

Con el objetivo de poder estimar el comportamiento de la estructura con relación a los requisitos de la norma sísmica vigente se ha realizado un análisis espectral. Adicionalmente se ha estimado del comportamiento de la estructura ante la acción de los sismos más importantes registrados en la ciudad de Lima.

#### 3.2.1 Parámetros Sísmicos.

Para el análisis de la estructura en su estado actual se ha empleado el espectro de la Norma E.030 - 2018 con los siguientes parámetros:

- $Z = 0.45$  (Factor de Zona)
- $U = 1.00$  (Edificación común – Edificio de Oficinas)
- $S = 1.00$  (Suelo Tipo 1)
- $T_P = 0.40$  s
- $T_L = 2.50$  s.
- $C_x, C_y =$  Se obtiene empleando las siguientes expresiones.

$$T < T_P \quad C = 2,5$$

$$T_P < T < T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right)$$

$$T > T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2}\right)$$

- $R_{0X}, R_{0Y} = 7.00$  (Sistema Dual)
- $I_a = 1.00$  (No tiene irregularidades)
- $I_p = 0.75$  (Irregularidad Torsional)
- $R_X, R_Y = 5.25$  (Sistema Dual Irregular)

Para la estimación del peso sísmico de la estructura, se utilizó el 100% de las cargas permanentes y el 25% de la carga viva, de acuerdo con lo estipulado en la Norma E.030 – 2018 para las Edificaciones Comunes.

En base a los parámetros indicados anteriormente, se ha empleado para el análisis el siguiente espectro de Pseudo aceleraciones.

$$S_a = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g$$

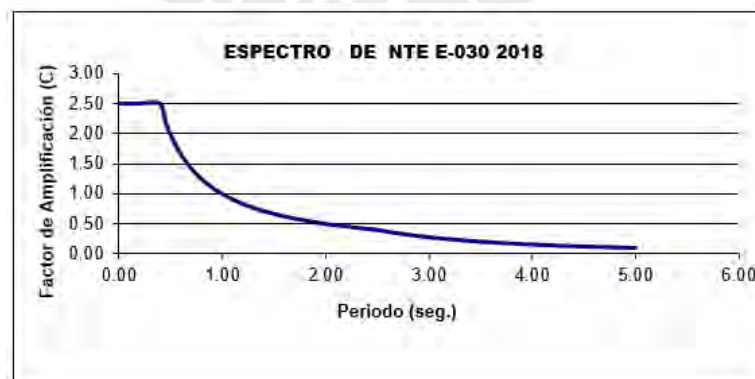


Gráfico 1 : Espectro de Pseudo aceleraciones.

### 3.2.2 Análisis Espectral de la estructura sin reforzar

Luego de realizar el análisis espectral empleando la norma técnica E-030 sismorresistente vigente. Se han determinado las derivas de entrepiso (drifts) y se ha realizado la verificación con el límite de 0.007 de la norma.

En las siguientes imágenes se puede apreciar que las derivas de entrepiso del edificio exceden los límites en ambas direcciones de análisis.

En la dirección horizontal paralela a la fachada, la deriva de entrepiso máxima es de 0.0089, superior al límite permitido. Ver gráfico 2.

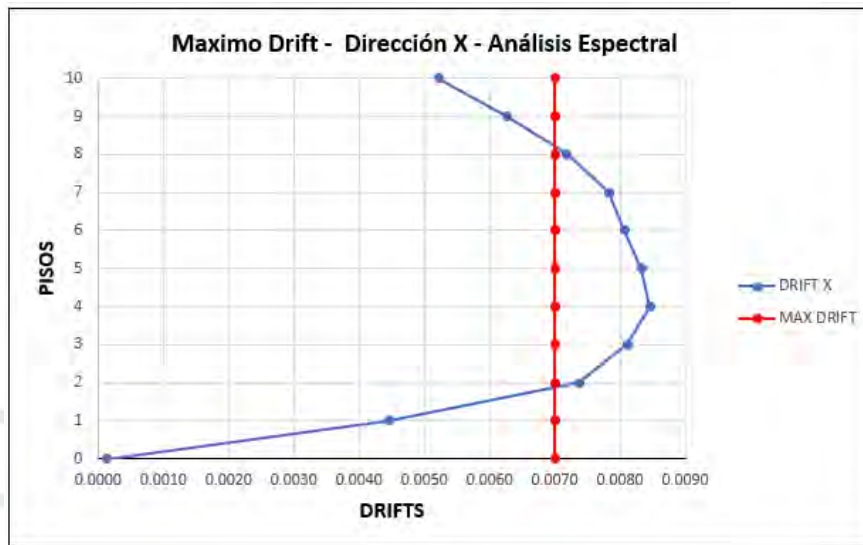


Gráfico 2 : Drift del Análisis Espectral en la dirección horizontal.

En la dirección transversal la deriva de entrepiso máxima es de 0.0149 (ver gráfico 3), muy superior al límite permitido, esto se debe principalmente a la concentración de placas en uno de los extremos del edificio que generan una irregularidad torsional en la estructura.

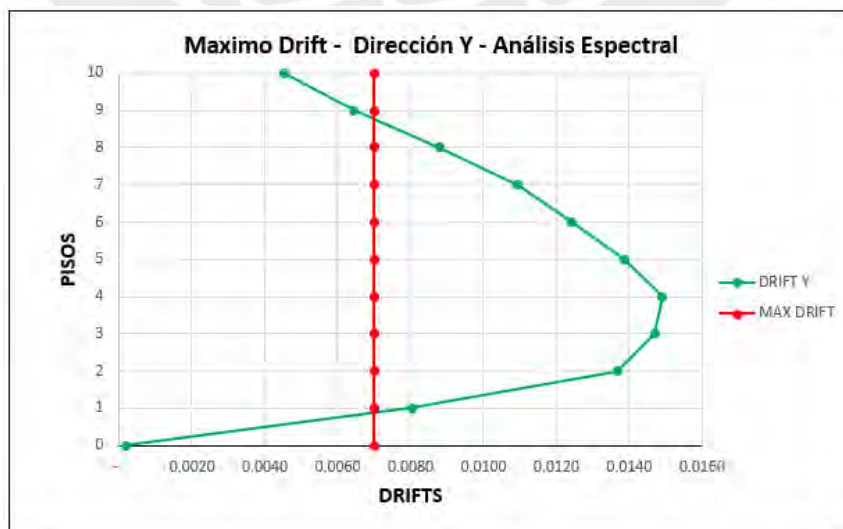


Gráfico 3 : Drift del Análisis Espectral en la dirección transversal.

### 3.2.3 Análisis Tiempo Historia - Linear Modal

El principal objetivo de realizar el análisis tiempo historia – linear modal es estimar el comportamiento de la estructura ante la acción de los sismos ocurridos cerca de la ciudad de Lima en los años 1966, 1970 y 1974.

Para este análisis se han empleado las señales tal cual fueron percibidas sin ningún tipo de escalamiento, con el fin de estimar los efectos reales que se han generado en la estructura.

A continuación, se muestran las señales empleadas en el análisis.

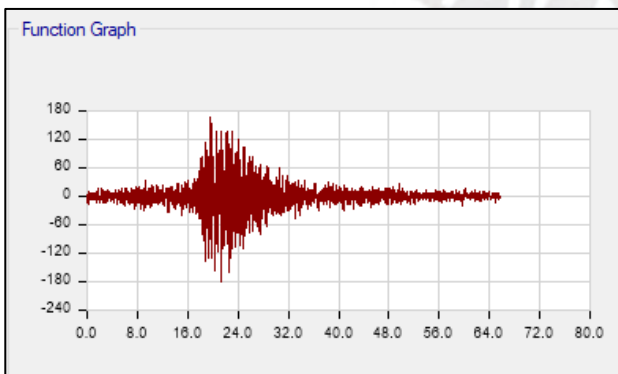
#### ➤ Sismo del año 1966

```
NATIONAL UNIVERSITY OF ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
JAPAN-PERU CENTER FOR EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH AND DISASTER MITIGATION (CISMID)
TUPAC AMARU AVENUE 1150 - LIMA 25 - PERU Postal Code 31-250 Lima 31
Telephone Numbers (51-1) 482-0777, 482-0790 FAX 481-0170
e-mail: f_lazares@uni.edu.pe http://www.cismid-uni.org

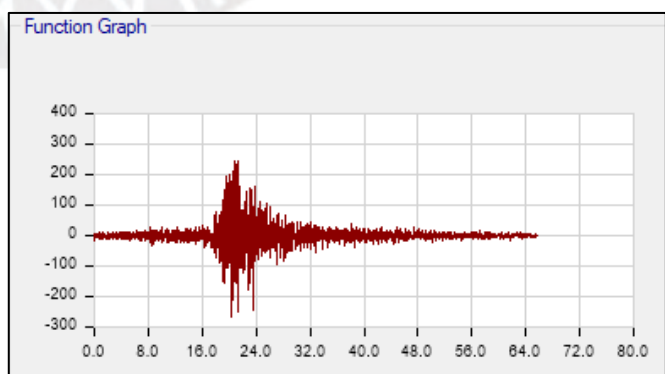
1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION
STATION NAME       : Parque de la Reserva
STATION CODE       : PRQ
STATION LOCATION   : Parque de la Reserva, Cercado de Lima, Lima
LATITUDE           : -12.07
LONGITUDE          : -77.04
ALTITUDE (m)       : 130
ACCELEROMETER MODEL : Acelerógrafo Analógico
SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 50

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE
DATE               : October 17, 1966
ORIGIN TIME (Local) : 16:41:00
LATITUDE           : -10.70
LONGITUDE          : -78.70
DEPTH (km)         : 24.00
MAGNITUDE          : 8.1 Mw
INFORMATION SOURCE : IGP

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD
RECORD TIME (Local) : 16:41:00
NUMBER OF SAMPLES   : 3283
MAXIMUM ACCELERATION : -180.56 -268.24 94.29
DATA UNITS          : cm/s2
```



66N82W



66N08E

Figura 27: Características de la Señal del Sismo de 1966

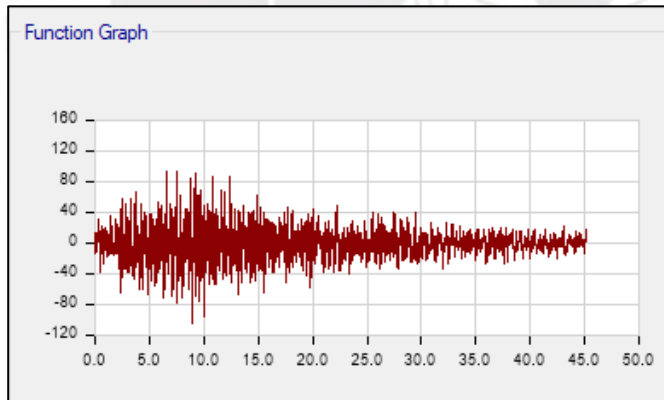
➤ **Sismo del año 1970**

NATIONAL UNIVERSITY OF ENGINEERING  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
JAPAN-PERU CENTER FOR EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH AND DISASTER MITIGATION (CISMID)  
TUPAC AMARU AVENUE 1150 - LIMA 25 - PERU Postal Code 31-250 Lima 31  
Telephone Numbers (51-1) 482-0777, 482-0790 FAX 481-0170  
e-mail: f\_lazares@uni.edu.pe http://www.cismid-uni.org

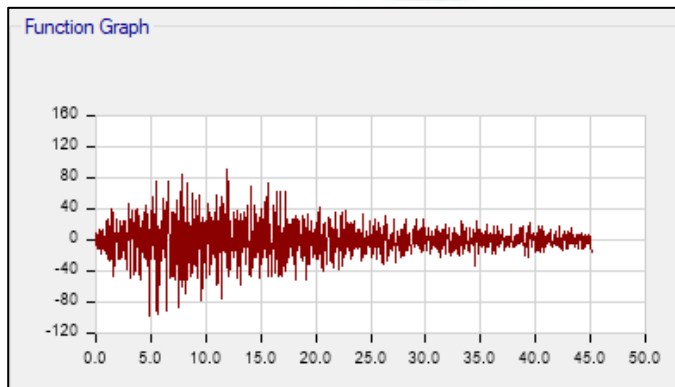
1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION  
STATION NAME : Parque de la Reserva  
STATION CODE : PRQ  
STATION LOCATION : Parque de la Reserva, Cercado de Lima, Lima  
LATITUDE : -12.07  
LONGITUDE : -77.04  
ALTITUDE (m) : 130  
ACCELEROMETER MODEL : Acelerógrafo Analógico  
SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 50

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE  
DATE : May 31, 1970  
ORIGIN TIME (Local) : 15:23:00  
LATITUDE : -9.36  
LONGITUDE : -78.87  
DEPTH (km) : 64.00  
MAGNITUDE : 6.6 Mb  
INFORMATION SOURCE : IGP

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD  
RECORD TIME (Local) : 15:23:00  
NUMBER OF SAMPLES : 2255  
MAXIMUM ACCELERATION : -105.05 -97.81 74.03  
DATA UNITS : cm/s<sup>2</sup>



70N82W



70N08E

Figura 28: Características de la Señal del Sismo de 1970

➤ **Sismo del año 1974**

NATIONAL UNIVERSITY OF ENGINEERING  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
JAPAN-PERU CENTER FOR EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH AND DISASTER MITIGATION (CISMID)  
TUPAC AMARU AVENUE 1150 - LIMA 25 - PERU Postal Code 31-250 Lima 31  
Telephone Numbers (51-1) 482-0777, 482-0790 FAX 481-0170  
e-mail: f\_lazares@uni.edu.pe http://www.cismid-uni.org

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION

STATION NAME : Parque de la Reserva  
STATION CODE : PRQ  
STATION LOCATION : Parque de la Reserva, Cercado de Lima, Lima  
LATITUDE : -12.07  
LONGITUDE : -77.04  
ALTITUDE (m) : 130  
ACCELEROMETER MODEL : Acelerógrafo Analógico  
SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 50

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE

DATE : October 03, 1974  
ORIGIN TIME (Local) : 09:21:00  
LATITUDE : -12.50  
LONGITUDE : -77.98  
DEPTH (km) : 13.00  
MAGNITUDE : 6.6 mb  
INFORMATION SOURCE : IGP

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD

RECORD TIME (Local) : 09:21:00  
NUMBER OF SAMPLES : 4899  
MAXIMUM ACCELERATION : -194.21 180.09 100.30  
DATA UNITS : cm/s<sup>2</sup>

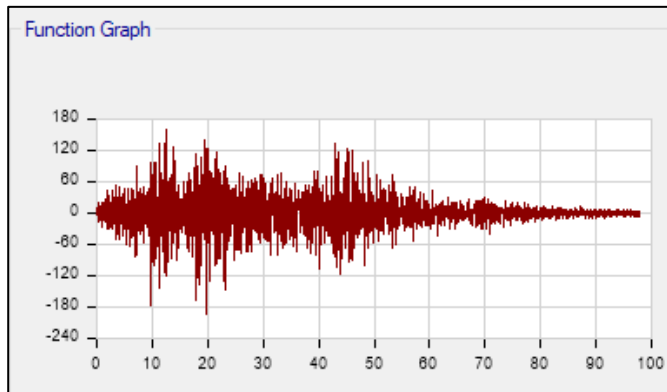
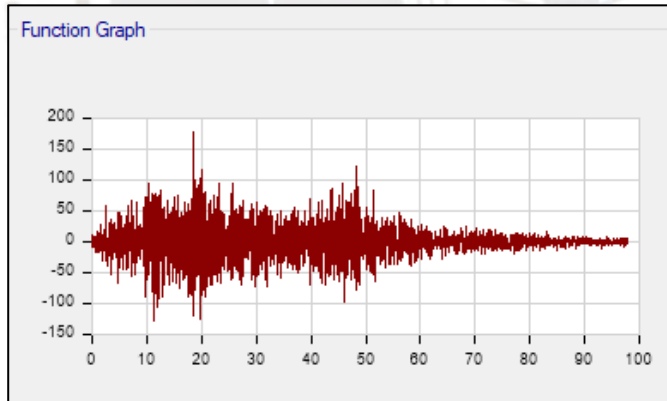
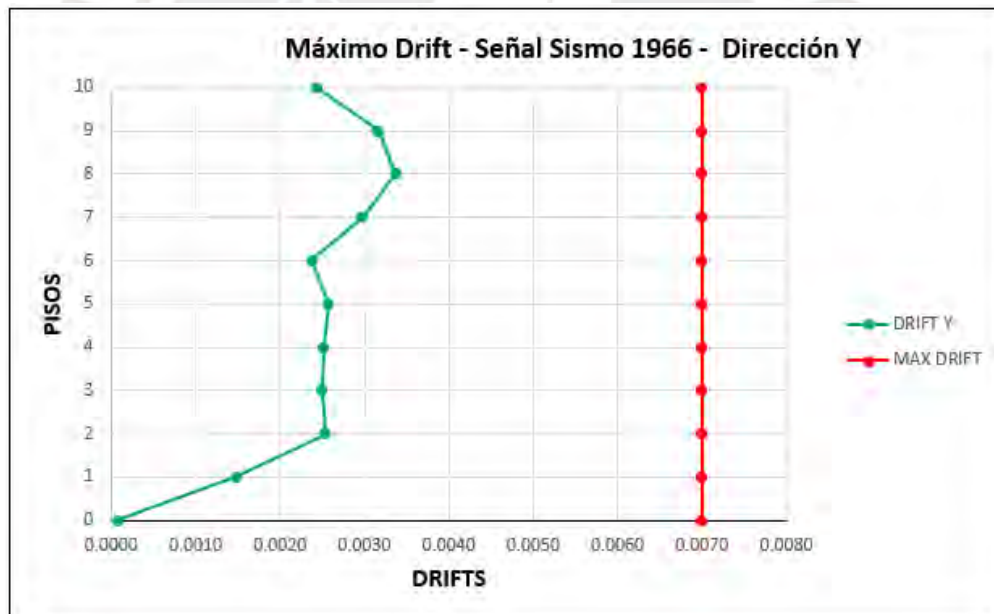
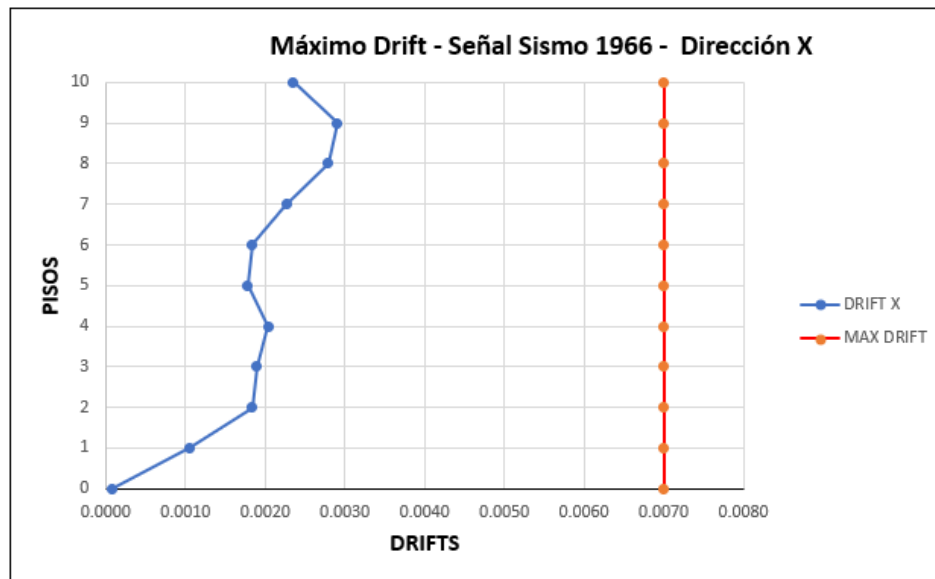


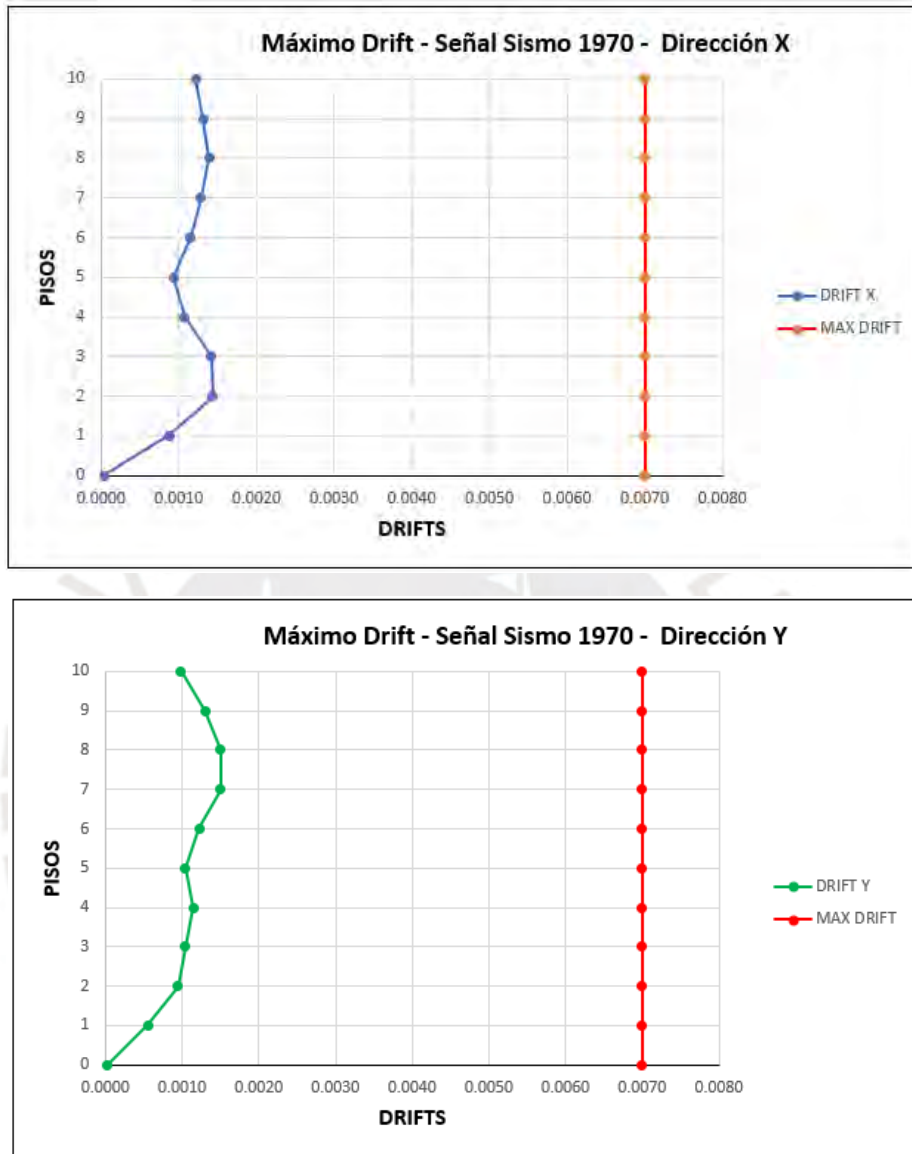
Figura 29: Características de la Señal del Sismo de 1974

Del análisis realizado con la señal del sismo del año 1966 sin escalar, se obtuvo que la deriva de entrepiso máxima en la dirección horizontal paralela a la fachada es de 0.0029 y en la dirección transversal es de 0.0034, como se puede apreciar en el gráfico 4.



**Gráfico 4** : Drifts del Edificio empleando la señal del Sismo de 1966.

Al emplear la señal del sismo del año 1970 sin escalar se obtuvo que la deriva de entrepiso máxima en la dirección horizontal paralela a la fachada es de 0.0014 y en la dirección transversal es de 0.0015, como se puede apreciar en el gráfico 5.



**Gráfico 5 :** Drifts del Edificio empleando la señal del Sismo de 1970.

Finalmente, al emplear la señal del sismo del año 1974 sin escalar se obtuvo que la deriva de entrepiso máxima en la dirección horizontal paralela a la fachada es de 0.0037 y en la dirección transversal es de 0.0034, como se puede apreciar en el gráfico 6.

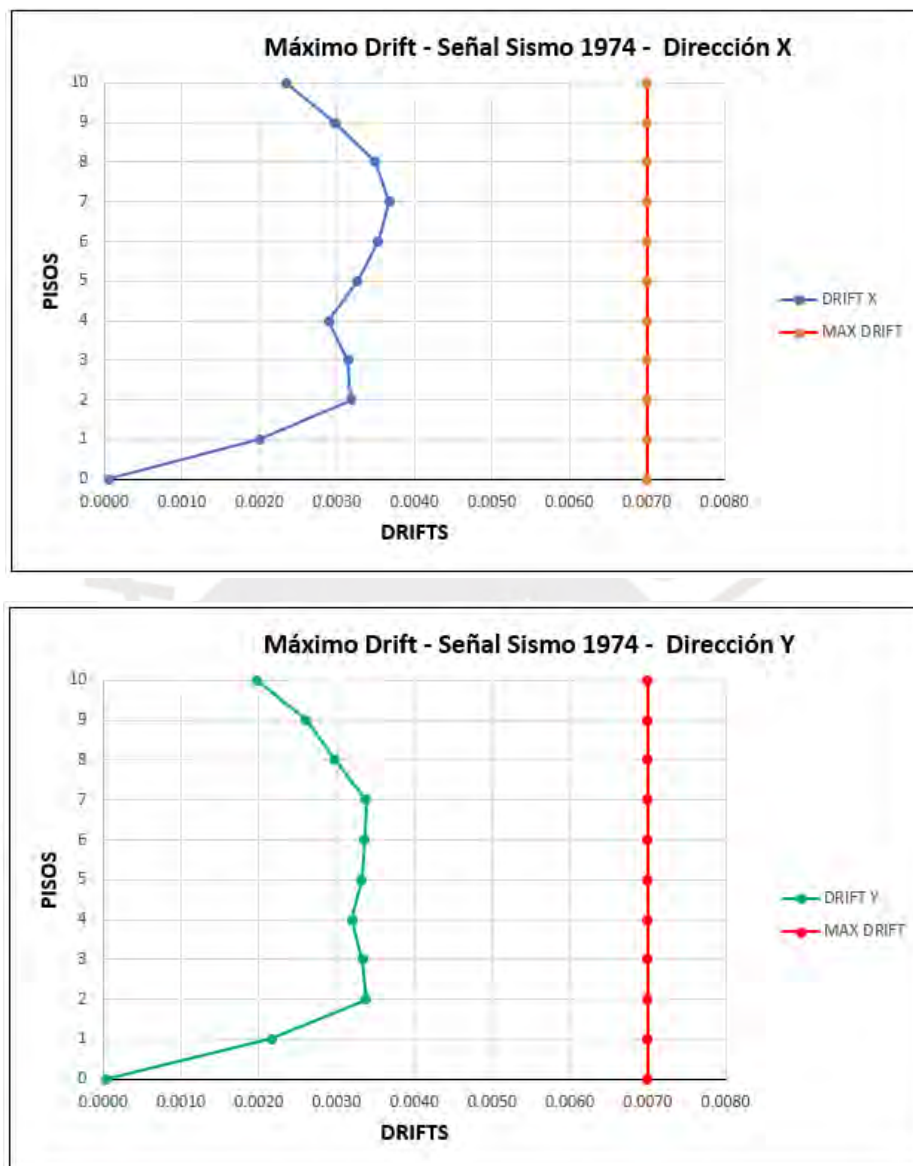


Gráfico 6 : Drifts del Edificio empleando la señal del Sismo de 1974.

### 3.3 Evaluación del estado actual

Del análisis espectral realizado se puede concluir que el edificio no cumple con los requisitos de la norma vigente y que podrían generarse desplazamientos que afecten su integridad.

Adicionalmente de los análisis tiempo historia lineal - modal realizados, se puede apreciar que las aceleraciones a los que ha estado sometido el edificio bajo las acciones de los sismos de los años 1966, 1970 y 1974 han producido derivas de entrepiso menores a los permitidos en la norma vigente y es por esa razón que el edificio no ha tenido daños importantes ante la acción de estos sismos.

## 4. Capítulo 4: Configuración y Propiedades de los Dispositivos Empleados en las Alternativas de Reforzamiento

### 4.1 Configuración de la distribución los Dispositivos Empleados en el Reforzamiento

Para el análisis y con el objetivo de obtener una comparación equivalente para ambas alternativas de reforzamiento, se ha decidido emplear para ambos casos una configuración de V invertida (Diagonal Doble), para la disposición de los dispositivos.

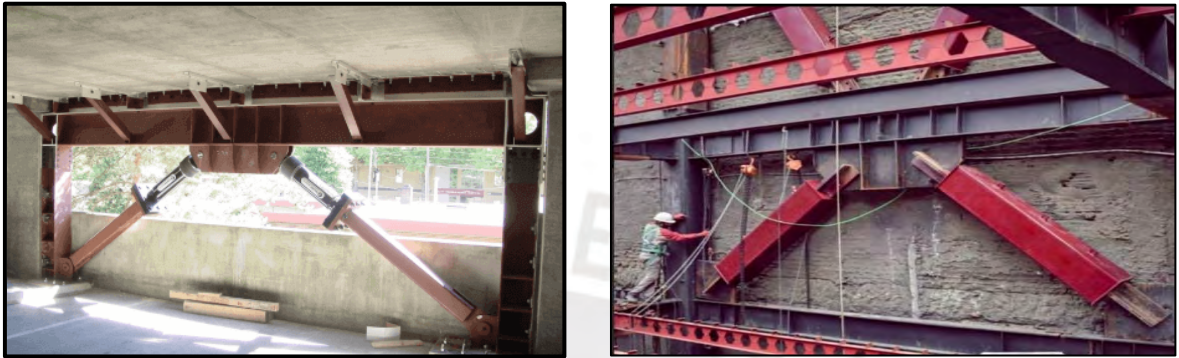


Figura 30: Configuración de los dispositivos. (<https://www.cdvperu.com>)

El uso de la edificación en todos sus niveles es para oficinas, lo que no permite instalar los dispositivos en las áreas internas de la edificación. Es por esta razón que se ha optado por colocar los dispositivos preferentemente en el perímetro del edificio, como se muestra en las siguientes imágenes.

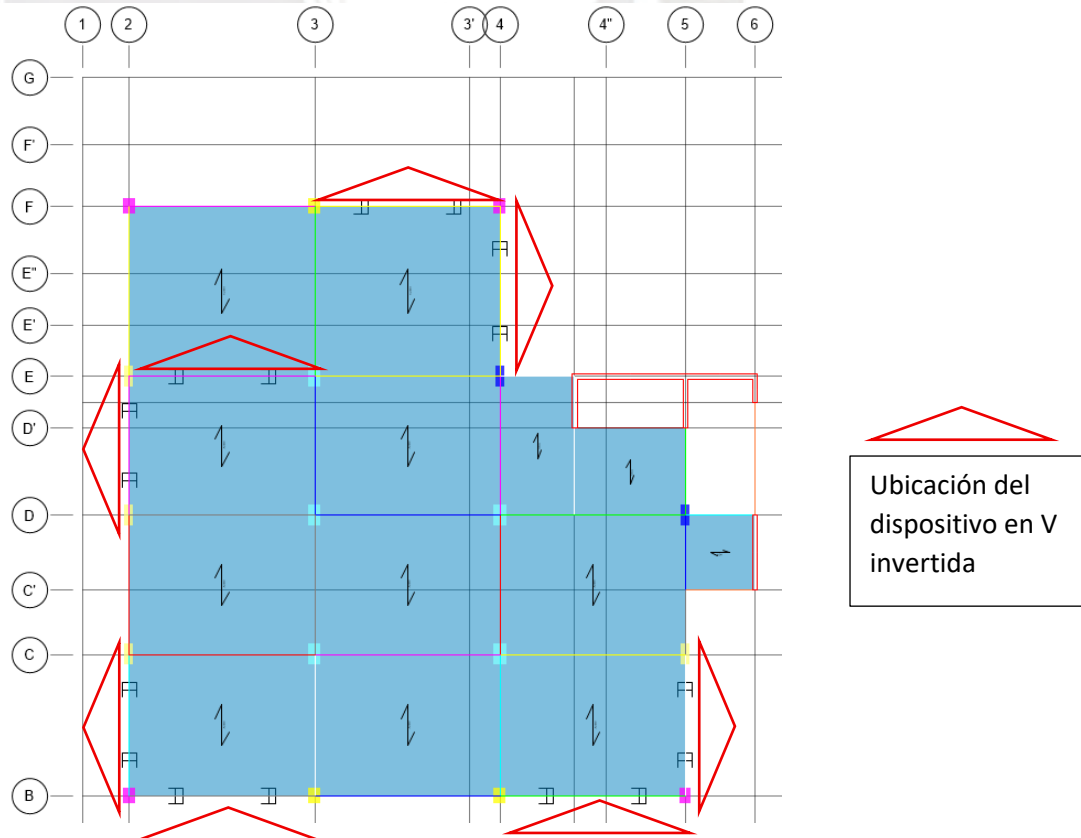


Figura 31: Ubicación de los dispositivos en Planta

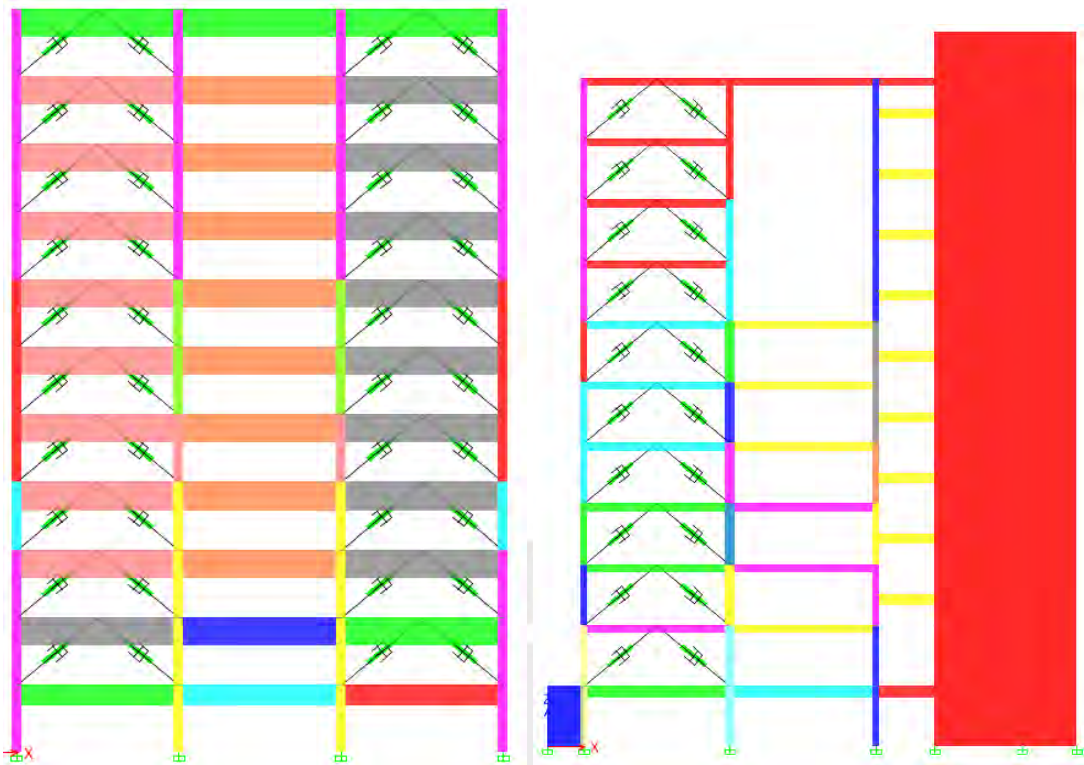


Figura 32: Ubicación de los dispositivos en los Ejes B y E.

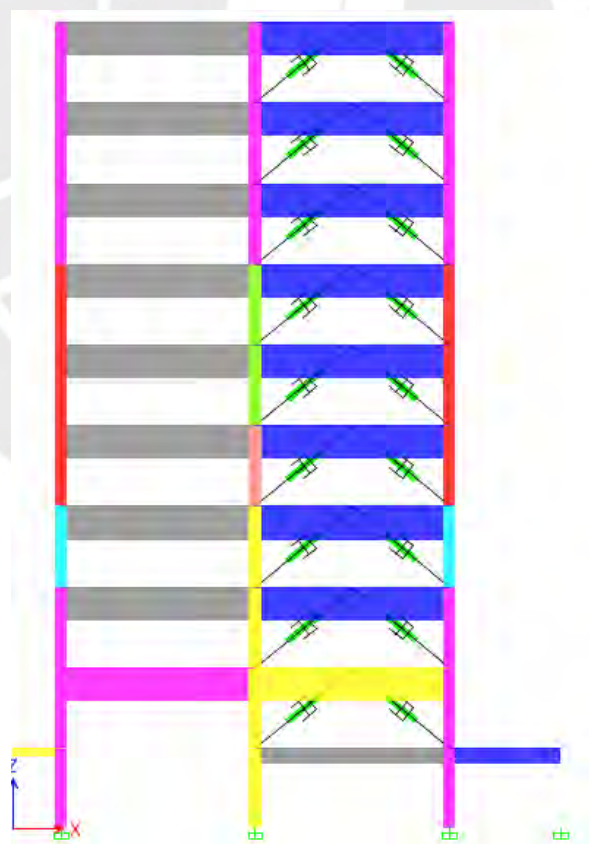


Figura 33: Ubicación de los dispositivos en el Eje F

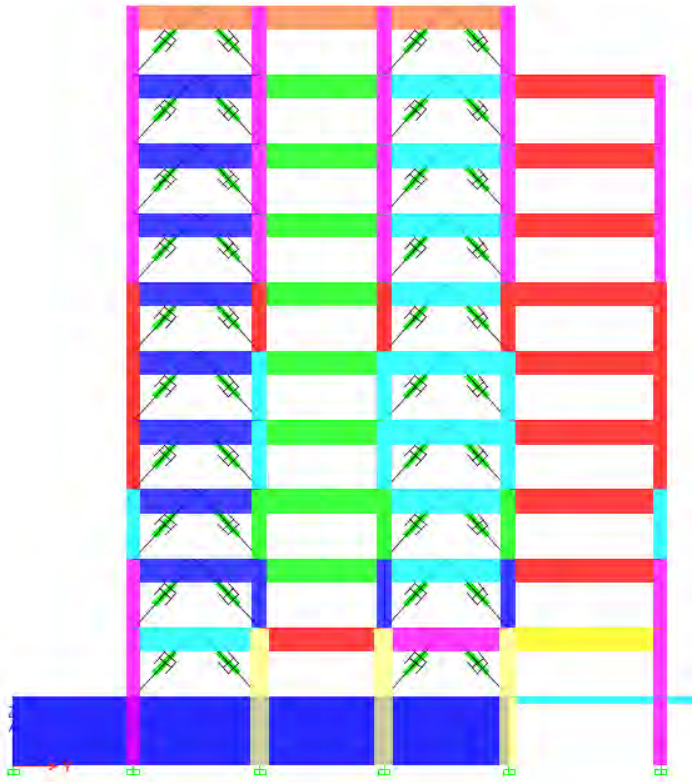


Figura 34: Ubicación de los dispositivos en el Eje 2.

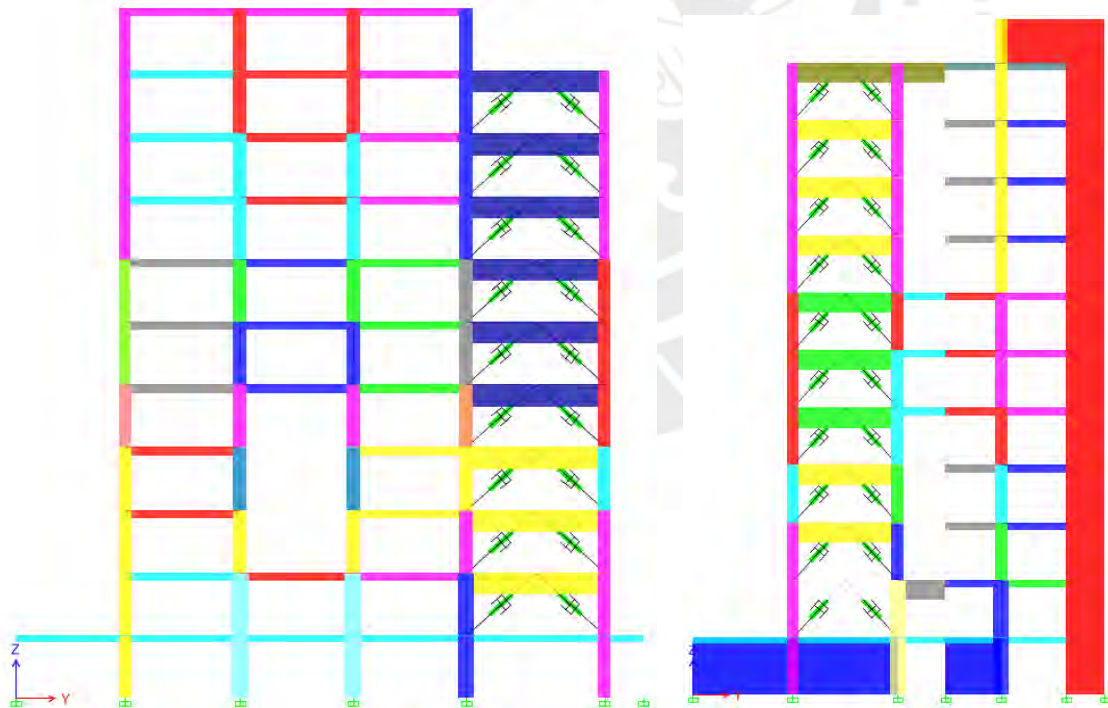


Figura 35: Ubicación de los dispositivos en los Ejes 4 y 5.

En el análisis se han empleado en dirección horizontal paralela a la fachada un total de 78 y en la dirección transversal un total de 78, empleándose en ambas direcciones un total de 156 dispositivos.

## 4.2 Propiedades de los Disipadores de Fluido Viscoso

La descripción de las principales características de los amortiguadores de Fluido Viscoso se ha detallado en el ítem 2.3.2.2.2. En este capítulo nos enfocaremos en detallar las propiedades mecánicas de los dispositivos tales como amortiguamiento requerido, amortiguamiento efectivo, exponente de velocidad, rigidez del brazo metálico.

Para determinar las propiedades de los amortiguadores de fluido viscoso se requiere determinar primero la relación entre la distorsión actual de la estructura y la distorsión objetivo o distorsión máxima deseada.

$$B = \frac{D_{m\acute{a}x}}{D_{objetivo}}$$

$D_{m\acute{a}x}$  Distorsión máxima actual  
 $D_{objetivo}$  Distorsión máxima deseada

Luego se debe determinar el amortiguamiento efectivo que se desea obtener, para ello se emplea la siguiente ecuación.

$$B = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_0)}{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}$$

Despejando el amortiguamiento efectivo se obtiene la siguiente ecuación.

$$\beta_{eff} = e^{\left( \frac{2.31}{0.41} - \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_0)}{0.41 B} \right)}$$

Con la siguiente ecuación se determina el amortiguamiento requerido ( $B_H$ ), donde  $\beta_0$  es el amortiguamiento inherente de la estructura, según lo indicado por el ASCE 7 o en el ASCE 41 este valor debe ser 3% máximo a diferencia del 5% indicado en la norma E-030

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

El amortiguador al estar en serie con el brazo metálico extensor se representa de la siguiente manera (Ver figura 36):



Figura 36: Configuración en serie del amortiguador. (Taylor devices inc., 2019)

Donde:  $K_b$  es la rigidez del brazo metálico extensor  
 $K_d$  es la rigidez del amortiguador  
 $C$  es el coeficiente de amortiguamiento  
 $\alpha$  es el coeficiente de velocidad

Al estar en serie la rigidez equivalente del amortiguador y el brazo metálico extensor se puede determinar con la siguiente ecuación.

$$\frac{1}{K_d^*} = \frac{1}{K_d} + \frac{1}{K_b}$$

La rigidez del brazo extensor se determina con la siguiente ecuación:

$$K_b = \frac{AE}{L}$$

Donde: A es la sección transversal del brazo extensor

E es el módulo de elasticidad del material del brazo extensor

L es la longitud del brazo extensor, longitud total de la diagonal de instalación menos la longitud del amortiguador.

La rigidez del brazo metálico extensor no puede ser menor que la rigidez del amortiguador para garantizar que la deformación se de en el amortiguador y no en el brazo extensor, de manera inicial se puede considerar que la rigidez del brazo metálico extensor es igual a la rigidez del amortiguador y así poder estimar las dimensiones iniciales del brazo extensor que después deben ser corroboradas.

Las propiedades iniciales del amortiguador se pueden obtener de la tabla 1.

RIGIDEZ DE AMORTIGUADORES TIPO TAYLOR								
Fuerza (kip)	Stroke (±in)	Rigidez (kip/in)	Fuerza (ton)	Stroke (±m)	Rigidez (ton/m)	Fuerza (KN)	Stroke (±mm)	Rigidez (KN/mm)
55	3	625	25	0.076	11161	245	76	109
110	4	940	50	0.102	16786	489	102	165
165	4	1400	75	0.102	25001	734	102	245
220	4	1875	100	0.102	33484	979	102	328
330	4	2800	150	0.102	50002	1468	102	490
440	5	3000	200	0.127	53574	1957	127	525
715	5	4800	324	0.127	85718	3180	127	841
900	5	6000	408	0.127	107148	4003	127	1051
1450	5	9750	658	0.127	174115	6450	127	1707
1800	5	12000	816	0.127	214295	8007	127	2102

Tabla 1: Propiedades de los amortiguadores tipo Taylor

A continuación, se debe determinar el exponente de velocidad ( $\alpha$ ), para edificaciones el valor recomendado es 0.30.

Finalmente determinamos el coeficiente de amortiguamiento de los amortiguadores empleando la siguiente ecuación.

$$\beta_H = \frac{\sum_j \lambda C_j \phi_{ij}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j}{2\pi A^{1-\alpha} \omega^{2-\alpha} \sum_i m_i \phi_i^2}$$

Despejando el valor de C en la ecuación anterior se obtiene la siguiente ecuación.

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

Donde:

Dónde:

$\beta_H$  es el amortiguamiento viscoso de la estructura

$\lambda$  es el parámetro lambda que se obtiene de la tabla 2

Exponente $\alpha$	Parámetro $\lambda$
0.25	3.70
0.30	3.66
0.50	3.50
0.75	3.30
1.00	3.10
1.25	3.00

Tabla 2: Tabla de parámetros  $\alpha$  y  $\lambda$

$C_j$ : Coeficiente de amortiguamiento del amortiguador j

$\phi_{ij}$ : Desplazamiento relativo entre ambos extremos del amortiguador j en la dirección horizontal (determinado con el sismo máximo)

$\theta_j$ : Ángulo de inclinación del disipador j

A: Amplitud del desplazamiento del último nivel

$\omega$ : Frecuencia angular

$m_i$ : Masa del nivel i

$\phi_i$ : Desplazamiento del nivel i (determinado con el sismo máximo)

En la tabla 3 se pueden apreciar los principales valores de los amortiguadores empleados en el reforzamiento. El tipo 1 son los empleados en el primer nivel de la dirección horizontal (X), el tipo 2 son los empleados en los pisos típicos de la dirección horizontal (X), el tipo 3 son los empleados en el primer nivel de la dirección transversal (Y), finalmente el tipo 4 son los empleados en los pisos típicos en la dirección transversal (Y).

Tabla Estandarizada de Especificaciones de Amortiguadores Viscosos					Unidades	Comentarios	
Especificación de Diseño del Amortiguador		TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3	TIPO 4		Designación de los tipos para diferentes tamaños de modelo de amortiguador y constantes de amortiguamiento
Comportamiento del Amortiguador Viscoso	Exponente de Velocidad, $\alpha$	0.3	0.3	0.3	0.3		Características de desempeño del amortiguador. La mejor práctica es usar el mismo $\alpha$ para todo el proyecto y agrupar el diseño con al menos 8 o más amortiguadores por tipo
	Constante Nominal de Amortiguamiento, C	94	94	118	118	ton-(sec/m) <sup>2</sup>	
	Factor de Modificación de Propiedades, $\lambda$	±15%	±15%	±15%	±15%		Factor de Modificación de Propiedades en el Límite Superior e Inferior
Demandas de los Análisis	BSE-2X Carga Axial Nominal, $F_N$	50	60	50	65	ton	Demanda nominal del amortiguador viscoso proveniente del análisis, ignorando el factor $\lambda$ de modificación
	BSE-2X Velocidad Nominal, V	0.08	0.12	0.03	0.08	m/sec	$V_{BSE-2X} = (F_N/C)^{1/\alpha}$
	BSE-2X Desplazamiento del Análisis en el Límite Inferior, $d_{BSE-2E}$	1.22	1.22	0.35	0.97	± cm	Desplazamiento máximo del amortiguador considerando $\lambda_{min}$
Demandas Amplificadas según ASCE 41-17	ASCE 41-17 Amplificación	130%	130%	130%	130%		Amplificación basado en la redundancia del sistema y en los objetivos de desempeño(130% o 200%)
	Maxima Carga de Diseño,	55	62	51	69	ton	Por ASCE 41-17 §15.2.2.4
	Mínimo Factor de Seguridad, FS	1.10	1.03	1.02	1.06		$FS = F_{max}/F_N$
	Maximos desplazamiento de Diseño, $d_{MAX}$	1.59	1.59	0.46	1.26	± cm	Por ASCE 41-17 §15.2.2.4
Información sobre el Tipo de Diseño del Amortiguador Viscoso	Pin-Pin longitud(in)	228			168		Longitud de pin a pin del sistema de amortiguadores
	Rigidez mínima del extensor	25529	25529	24706	24706	ton/m	Consulta con el proveedor (Taylor Devices)
	Exposición	Exterior	Exterior	Exterior	Exterior		
	Condiciones de extremo del amortiguador	Pin-Base	Pin-Base	Pin-Base	Pin-Base		Anotar la condición de extremo del amortiguador
	Tipo de Extensor	HSS	HSS	HSS	HSS		Anotar el tipo de extensor utilizado: HSS, integral o telescópico. Véase la Guía de Extensores de Taylor
	Cantidad de Amortiguadores	45	33	8	70		Cantidad de Amortiguadores por Tipo

Tabla 3: Propiedades de los Amortiguadores tipo Taylor Empleados en el Reforzamiento

### 4.3 Propiedades de los Arriostres de Pandeo Restringido

La descripción de las principales características de los arriostres de pandeo restringido se han detallado en el ítem 2.3.2.1.1.3. En este capítulo nos enfocaremos en desarrollar y/o cuantificar las propiedades mecánicas de los dispositivos tales como la rigidez, capacidad de carga a tensión, capacidad de carga a compresión y las propiedades no lineales a emplear a ser empleados en los análisis no lineales.

Los arriostres de pandeo restringido están conformados por una zona central en el cual se ubica la región del núcleo de acero de fluencia, seguido de 2 zonas que se denominan región de transición y finalmente los extremos que se denominan regiones elásticas. En figura 37 se puede apreciar las regiones mencionadas.

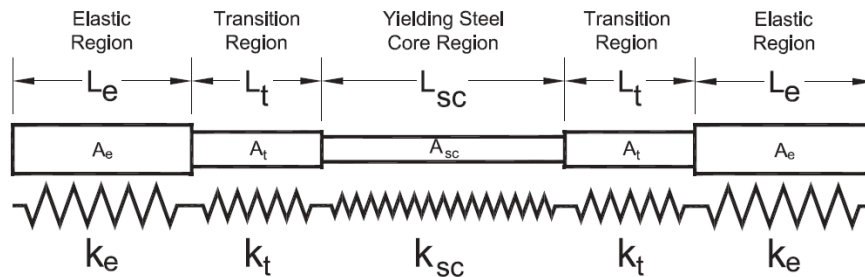


Figura 37: Configuración de los BRBs.

Cada una de estas regiones tiene su propia rigidez axial las cuales están unidas en serie, para determinar la rigidez global del BRBs se emplea la siguiente ecuación:

$$K_{BRB} = \frac{1}{\frac{1}{K_e} + \frac{1}{K_t} + \frac{1}{K_{sc}} + \frac{1}{K_t} + \frac{1}{K_e}}$$

La capacidad de carga axial última en tracción y compresión de los BRBs se determina empleando las siguientes ecuaciones:

- Capacidad de carga en tracción

$$P_t = \omega F_y A_{sc}$$

- Capacidad de carga en compresión

$$P_c = \beta \omega F_y A_{sc}$$

Donde:

$A_{sc}$ : Área de la sección transversal del núcleo de acero del BRB.

$F_y$ : esfuerzo de fluencia de material del núcleo del BRB.

$\beta$  y  $\omega$ : Factores de corrección propios de cada fabricante y del tipo de conexión a emplear en el BRB para unirlos con la estructura.

$\beta$ : Factor de ajuste de resistencia a compresión.

$\omega$ : Factor de ajuste por endurecimiento de deformación

Adicionalmente, según lo estipulado en el AISC estas dos expresiones deben ser multiplicadas por el factor de sobre resistencia del material ( $R_y$ )

También se debe determinar la fuerza de fluencia del BRB, este valor se determina con la siguiente ecuación

$$P_{ry} = F_y A_{sc}$$

Finalmente, la rigidez post-fluencia del BRB es aproximadamente el 1.5% de la rigidez elástica.

En el edificio analizado se han empleado dispositivos con las características indicadas en la tabla 4.

- En la dirección X

Tipo	Pu	Pry	Pt	Pc	Ky	Kd
	Ton	Ton	Ton	Ton	Ton/m	Ton/m
BRBx1	60.0	62.05	115.83	129.36	14994.8	224.9
BRBx2	45.00	46.54	86.88	97.02	11246.1	168.7

- En la dirección Y

Tipo	Pu	Pry	Pt	Pc	Ky	Kd
	Ton	Ton	Ton	Ton	Ton/m	Ton/m
BRBy1	90.0	93.08	174.31	194.83	25899.1	388.5
BRBy2	75.0	77.56	145.26	162.36	21582.6	323.7
BRBy3	60.0	62.05	116.15	129.80	15755.8	236.3
BRBy4	45.0	46.54	87.11	97.35	11816.8	177.3

Tabla 4: Propiedades de los BRBs.

## 5. Capítulo 5: Desempeño Sismorresistente de las Edificaciones

### 5.1 Objetivos del desempeño sísmico

El objetivo principal de la norma E030 de diseño sismorresistente, es prevenir el colapso de las estructuras y daños graves a las personas que las ocupan durante la acción de sismos. Sin embargo, no determina el nivel de daño que se puedan producir en las estructuras. Es por esta razón que no se puede prever ni cuantificar las pérdidas humanas y económicas asociadas con el nivel de daño producido. Es importante también señalar que la filosofía en la que está basada la norma no implica tener siempre un comportamiento aceptable de las estructuras durante la acción de sismos frecuentes o moderados.

En las últimas décadas se han desarrollado métodos para implementar la ingeniería sísmica basada en desempeño, que difieren en notación y terminología, pero que comparten los mismos conceptos generales. Todas estas tienen varios niveles y objetivos de desempeño e intentan predecir el comportamiento de las estructuras frente a la acción de diferentes niveles de intensidad sísmica. Estos métodos fueron revisados y estandarizados dando como resultado dos documentos que son empleados en la actualidad, que son el ASCE 7 y el ASCE 41, estos documentos dan criterios para el diseño de las edificaciones nuevas y para la evaluación y retro-capacitación de las estructuras existentes respectivamente. El ASCE 41-17 es la base para el presente estudio.

El ASCE 41 define los siguientes los sismos que se deben emplear en el análisis de desempeño de las estructuras.

- **BSE-1E:** Sismo de diseño para estructuras existentes, con 20% de probabilidad de excedencia en 50 años, pero no requiere ser mayor que el BSE-1N.
- **BSE-1N:** Sismo de diseño para estructuras nuevas, tomado como dos tercios del BSE-2N, con 10% de probabilidad de excedencia en 50 años.
- **BSE-2E:** Sismo máximo para estructuras existentes, con 5% de probabilidad de excedencia en 50 años, pero no requiere ser mayor que el BSE-2N.
- **BSE-2N:** Sismo Máximo Considerado ( $MCE_R$ ) para estructuras nuevas, con 2% de probabilidad de excedencia en 50 años.

El ASCE 41 establece que el desempeño de una estructura existente se debe establecer en base al desempeño de los elementos estructurales, el desempeño de los elementos no estructurales y a los niveles de peligro sísmico a los que estará expuesta.

Los Objetivos básicos de desempeño para edificaciones existentes (BPOE), son un equivalente a los objetivos de desempeño para estructuras nuevas que están establecidas en el ASCE 7. Pero aceptan un nivel de seguridad menor y un riesgo de colapso mayor que los proporcionados para estructuras nuevas. Se espera que las estructuras existentes sufran pocos daños para sismos moderados y frecuentes, pero mayores daños para sismos severos.

Los BPOE están en función de sus categorías de riesgo como se puede apreciar en la tabla 2.1 del ASCE 41, ver tabla 5.

Risk Category	BSE-1E	BSE-2E
I and II	Life Safety Structural Performance	Collapse Prevention Structural Performance
	Life Safety Nonstructural Performance (3-C)	Hazards Reduced Nonstructural Performance <sup>a</sup> (5-D)
III	Damage Control Structural Performance	Limited Safety Structural Performance
	Position Retention Nonstructural Performance (2-B)	Hazards Reduced Nonstructural Performance <sup>a</sup> (4-D)
IV	Immediate Occupancy Structural Performance	Life Safety Structural Performance
	Position Retention Nonstructural Performance (1-B)	Hazards Reduced Nonstructural Performance <sup>a</sup> (3-D)

<sup>a</sup> Compliance with ASCE 7 provisions for new construction is deemed to comply.

Tabla 5: Objetivos Básicos de Desempeño para Estructuras Existentes.

## 5.2 Niveles de Desempeño Objetivo

El ASCE 41-17 establece que el nivel de desempeño objetivo es la combinación de un nivel de desempeño estructural y un nivel de desempeño no estructural.

### 5.2.1 Niveles de Desempeño Estructural.

Nivel de Desempeño Objetivo Estructural	
Nomenclatura	Nivel de Desempeño
S-1	Ocupación Inmediata
S-2	Daño Controlado
S-3	Preservación de Vida
S-4	Seguridad Limitada
S-5	Prevención de Colapso
S-6	No Considerado

Tabla 6: Niveles de desempeño objetivo estructural.

### 5.2.2 Niveles de Desempeño No estructural.

Nivel de Desempeño Objetivo No Estructural	
Nomenclatura	Nivel de Desempeño
N-A	Operacional
N-B	Mantienen Posición
N-C	Preservación de Vida
N-D	No Considerado

Tabla 7: Niveles de desempeño objetivo No estructural

### 5.2.3 Designación de los Niveles de Desempeño Objetivo de la Estructura

El nivel de desempeño objetivo de la estructura se designa por una combinación alfanumérica que asigna al nivel de Desempeño Estructural un número y al nivel de Desempeño No Estructural una letra. Ver tabla 8.

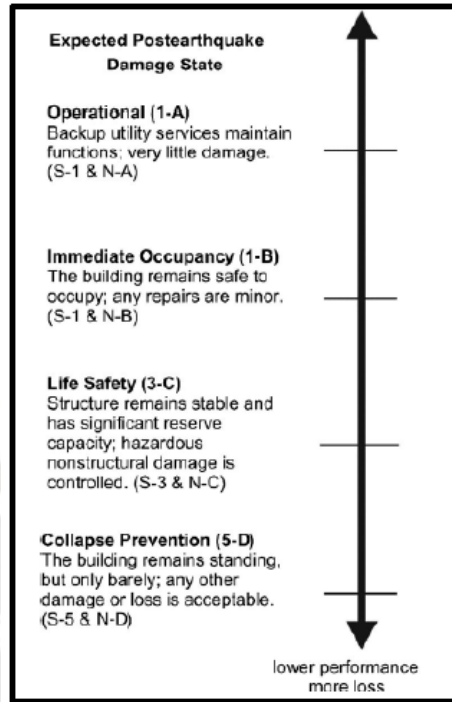


Tabla 8: Rango y nivel de desempeño del edificio objetivo. (American Society of Civil Engineers, 2017)

### 5.3 Métodos de Análisis de Desempeño de Estructuras

En el ASCE 41-17 se establece que para determinar la respuesta de una estructura ante la acción de un evento sísmico se pueden realizar 4 tipos de procedimientos de análisis, que son los siguientes:

- Procedimiento Estático Lineal (Linear Static Procedure – LSP)
- Procedimiento Dinámico Lineal (Linear Dynamic Procedure – LDP)
- Procedimiento Estático No lineal (Nonlinear Static Procedure – NSP)
- Procedimiento Dinámico No lineal (Nonlinear Dynamic Procedure – NDP)

#### 5.3.1 Procedimiento Estático Lineal (LSP)

Con este procedimiento la determinación de la fuerza sísmica en la base, la distribución de la fuerza en la altura del edificio, las fuerzas internas de los elementos y los desplazamientos, se determinan mediante un análisis estático lineal elástico.

Para determinar la fuerza sísmica en la base de la estructura se emplean los parámetros: factor de zona, uso de la estructura, periodo de la estructura, tipo suelo, sistema estructural y peso de la estructura. Esta fuerza se distribuye en todos los niveles de la estructura para poder determinar las fuerzas internas y desplazamientos de la estructura.

Este procedimiento solo se puede emplear en estructuras sin irregularidades o con limitaciones de altura para estructuras con irregularidades.

#### 5.3.2 Procedimiento Dinámico Lineal (LDP)

Con este procedimiento la determinación de la fuerza sísmica en la base, la distribución de la fuerza en la altura del edificio, las fuerzas internas de los elementos y los desplazamientos, se determinan mediante un análisis dinámico lineal elástico, este análisis pueden ser:

- Un análisis modal espectral, que emplea un espectro de pseudoaceleración con el cual se puede determinar la fuerza cortante en la base de la estructura que es distribuida en toda la altura de la estructura y en el resto de los elementos. Para ello se emplean los modos de vibración de la estructura y los criterios de combinación modal y los criterios de combinación direccional.
- Un análisis tiempo historia lineal modal, que emplea señales sísmicas, las que nos permiten obtener fuerzas cortantes en la base de la estructura a lo largo de todo el tiempo que dura la señal sísmica, también se pueden determinar desplazamientos de la estructura y fuerzas internas de los elementos a lo largo del tiempo. Para emplean los valores máximos o el promedio de los valores obtenidos.

Este procedimiento se puede emplear en estructuras sin irregularidades o con irregularidades, pero no con irregularidades extremas.

### 5.3.3 Procedimiento Estático No lineal (NSP)

En este procedimiento también conocido como Pushover se debe emplear un modelo que incorpore las características no lineales de los materiales y de los elementos individuales de la estructura.

Este procedimiento consiste en aplicar a la estructura a incrementos de desplazamientos laterales, estos incrementos se realizan hasta que la falla o colapso de la estructura sea inminente. Para cada incremento de desplazamiento se registra la variación del cortante en la base y el desplazamiento del techo.

La variación de la fuerza cortante y el desplazamiento del techo se registran para generar la curva de capacidad, con esta curva se pueden estimar la resistencia, rigidez, ductilidad y sobrerresistencia de la estructura en el rango inelástico.

Las estructuras inicialmente tienen un comportamiento elástico, pero a medida que se incrementan los desplazamientos se incursiona en el rango inelástico. La incursión en el rango inelástico genera reducción en la rigidez y resistencia de la estructura. Ver figura 38.



Figura 38: Curva de Capacidad de una Estructura.

Una vez obtenida en la curva de capacidad, se puede obtener el espectro de capacidad de la estructura, este espectro relaciona el desplazamiento espectral ( $S_d$ ) y la aceleración espectral ( $S_a$ ). Ver figura 39.

$$S_d = \frac{x}{(L^*/M^*)}$$

Donde:

$x$ : desplazamiento del último nivel (azotea)

$L^*/M^*$ : factor de participación del primer modo de vibración

$$S_a = \frac{V}{(L^{*2}/M^*)}$$

Donde:

$V$ : cortante basal

$L^{*2}/M^*$ : Masa efectiva

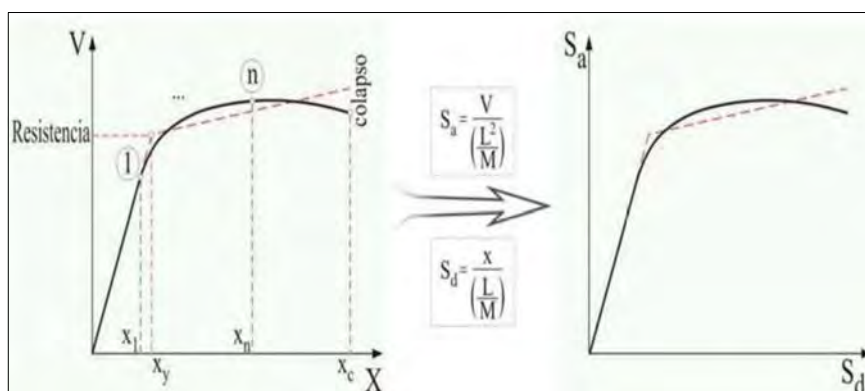


Figura 39: Determinación del espectro de capacidad para una estructura de varios grados de libertad. (Muñoz, 2021).

Para poder obtener con mayor facilidad los parámetros que nos permitan cuantificar el comportamiento de la estructura, se modifica el espectro capacidad hasta obtener un espectro bilineal. Pero se debe garantizar que ambos espectros disipen la misma cantidad de energía, para ellos se debe verificar que las áreas A1 y A2 sean iguales. Ver figura 40.

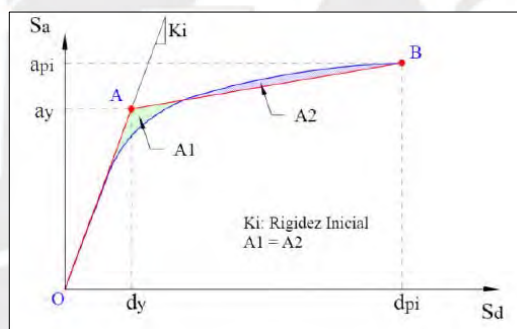


Figura 40: Representación bilineal del espectro de capacidad. (ATC-40, 1996).

Para poder determinar la respuesta inelástica de la estructura ante la acción de una demanda sísmica se debe obtener el punto de desempeño el cual está representado por el desplazamiento del último nivel y la fuerza cortante en la base.

Los métodos más conocidos para obtener el punto de desempeño de una estructura son el método de espectros inelásticos y método de espectros de amortiguamiento variable.

### 5.3.3.1 Método de Espectros Inelásticos

En este método las demandas sísmicas se representan por medio de un juego de espectros inelásticos de ductilidad constante. La respuesta espectral se obtiene de la intersección del espectro de capacidad (línea verde) con el espectro inelástico (líneas azules) y es donde valor de ductilidad coincide para ambas curvas. Ver figura 41.

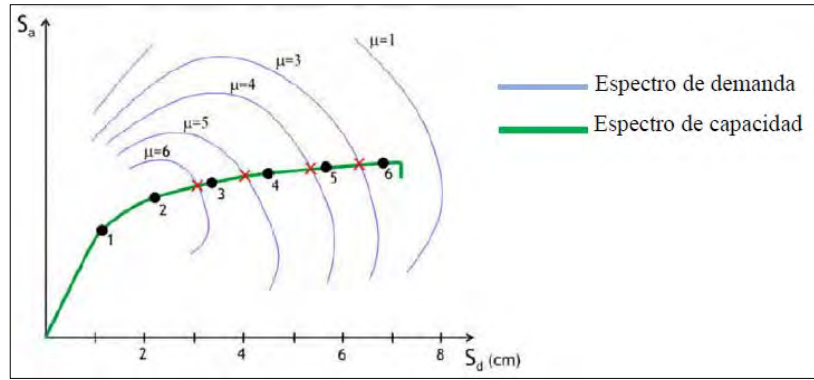


Figura 41: Respuesta inelástica usando espectros de demanda y capacidad. (Muñoz, 2021).

### 5.3.3.2 Método de espectros de amortiguamiento variable

Para obtener con este método la respuesta espectral, la demanda sísmica se representa por un espectro elástico de amortiguamiento inherente característico de la estructura, 5% para estructuras de concreto armado, el cual permite obtener espectros reducidos a partir de la variación del amortiguamiento.

En la Figura 42 se muestra el espectro elástico de amortiguamiento inherente de 5% mediante líneas rojas discontinuas y el espectro reducido con líneas verdes.

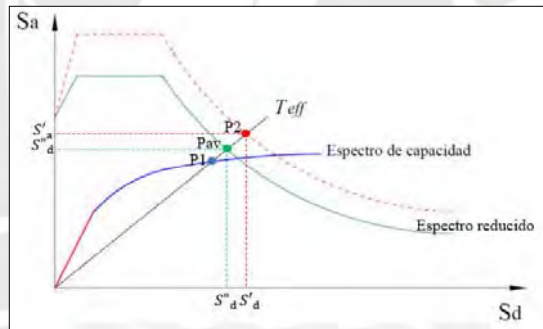


Figura 42: Determinación de los puntos de la respuesta espectral. (Muñoz, 2021)

Se deben determinar los puntos que conforman el espectro de amortiguamiento variable (EDAV) en base a los puntos que conforman la curva de capacidad. La respuesta espectral ( $S_d$ ,  $S_a$ ) corresponde a la intersección del espectro de capacidad con la curva EDAV, ver figura 43.

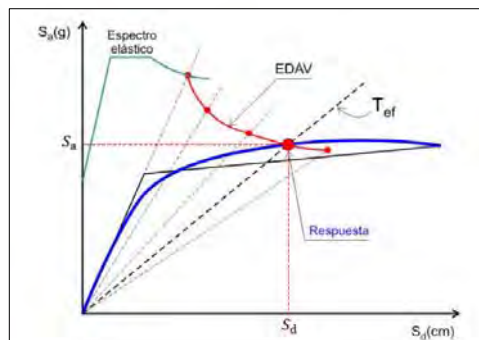


Figura 43: Determinación de la respuesta espectral usando el espectro de capacidad y la curva de EDAV. (Muñoz, 2021).

### 5.3.4 Procedimiento Dinámico No lineal (NDP)

Este procedimiento se debe emplear para el análisis sísmico de la estructura, un modelo que incorpore las características no lineales de los materiales y de los elementos individuales de la estructura.

Este procedimiento también es conocido como Análisis Dinámico Incremental (IDA, "Incremental dynamic analysis") y consiste en analizar la estructura realizando análisis tiempo historia no lineales, para ello se emplean acelerogramas de la zona en estudio, a los que se les va incrementando la intensidad hasta alcanzar el estado límite definido.

Para el desarrollo del Análisis Dinámico Incremental (IDA) es necesario que se definan algunos parámetros de análisis para una adecuada comprensión de los resultados obtenidos.

- **El factor de escala (SF)**, es el valor que nos permite escalar el acelerograma desde un valor bajo menor que 1 con el cual se espera una respuesta elástica de la estructura, hasta un valor elevado mayor que 1 con el fin de obtener un comportamiento no lineal de la estructura. Este factor no puede ser negativo.
- **Intensidad del movimiento del terreno (IM)**, es la intensidad del movimiento terreno y es el valor al cual se le aplican los factores de escala
- **La medida de daño (DM)**, es la respuesta de la estructura debido a la carga sísmica aplicada.
- **Análisis IDA de un solo registro (Pushover Dinámico)**, consiste en realizar análisis no lineales variando el factor de escala en un solo acelerograma, definiendo intensidades que cubran todo el rango del comportamiento de la estructura.
- **Curvas IDA**  
El análisis dinámico incremental (IDA) nos permiten obtener resultados que son difíciles de cuantificar empleando otros tipos de análisis. Estos resultados se pueden ilustrar de manera que se muestren las exigencias que se le imponen a la estructura en función de las diferentes intensidades del terreno empleadas en los análisis. Ver gráfico 7.

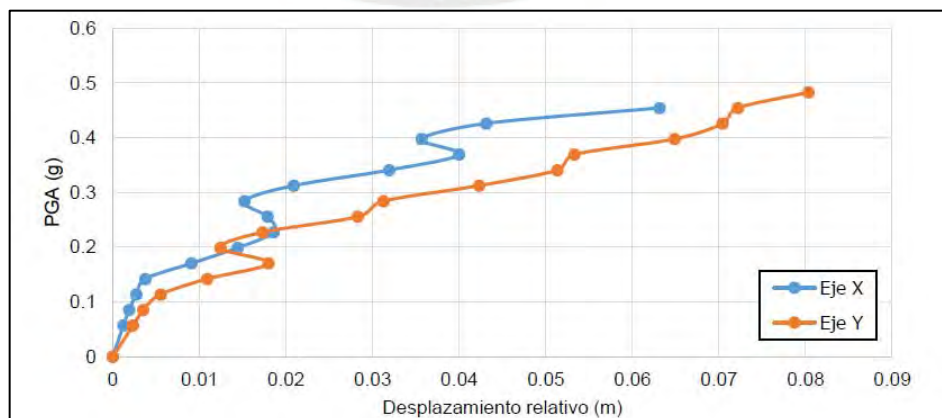
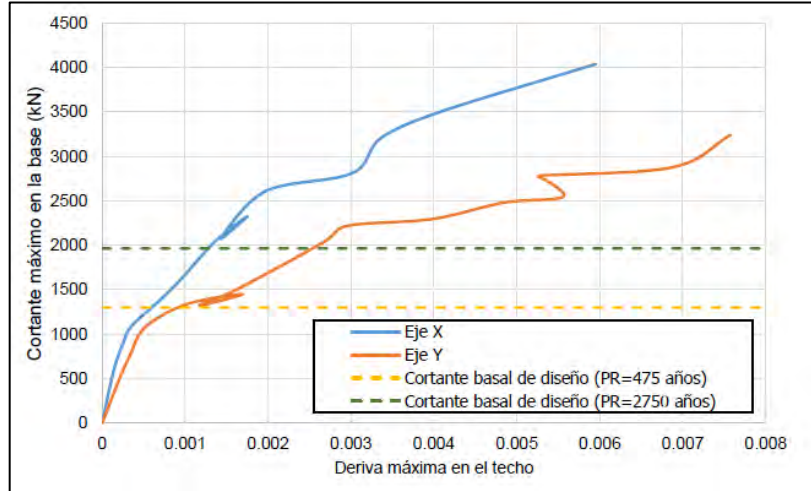


Gráfico 7 : Representación de una Curva IDA, (Tavárez, 2016).

➤ **Envolvente IDA**

Es la curva conformada por uno de los resultados obtenidos por cada análisis dinámico incremental (IDA). Estas curvas son similares a las curvas de capacidad obtenidas con el análisis Pushover y se pueden emplear para realizar una comparación con los resultados obtenidos del análisis Pushover. ver gráfico 8.



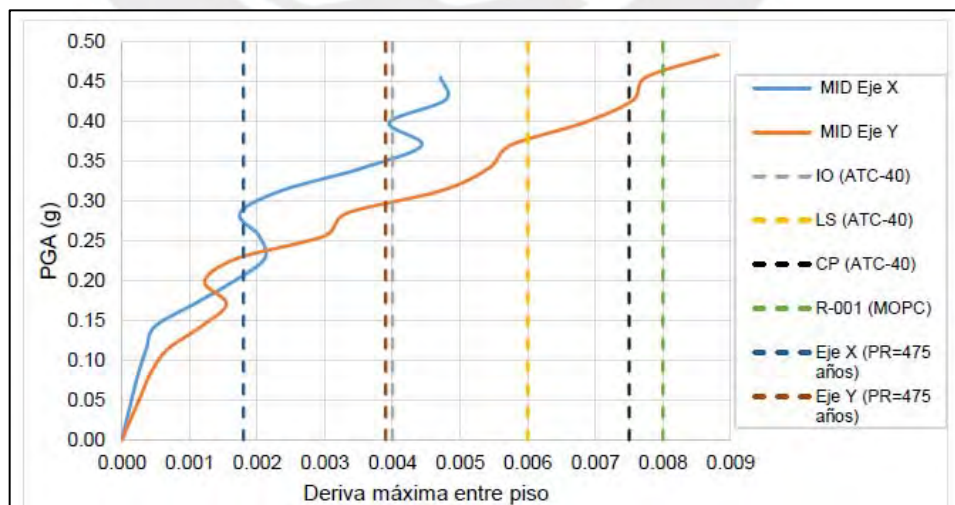
**Gráfico 8 :** Representación de la Envolvente IDA (Tavárez, 2016).

➤ **Objetivos de Desempeño**

Los objetivos de desempeño establecen los rangos de valores deseados para el comportamiento de la estructura ante la acción de los sismos empleados en el análisis. Los principales niveles de desempeño son los siguientes:

- Ocupación Inmediata (IO)
- Seguridad de Vida (LS)
- Prevención del Colapso (CP)

En el gráfico 9, se muestra un ejemplo de la representación de las curvas IDA con relación a los límites de desempeño.



**Gráfico 9 :** Representación de los Objetivos de Desempeño en una Curva IDA, (Tavárez, 2016).

## 6. Capítulo 6: Evaluación del Desempeño de la Estructura Reforzada

En este capítulo se estimará el desempeño sísmico del Edificio en su estado actual y del Edificio con las dos técnicas de reforzamiento desarrolladas en los capítulos anteriores. Con este fin se realizarán análisis estáticos no lineal (PUSHOVER) para cada una de las condiciones del edificio mencionadas.

También se realizará un análisis tiempo historia no lineal para distintos tipos de intensidades, con el objetivo de estimar deformaciones, desplazamientos de entrepiso y otros resultados que nos permitan cuantificar y comparar el comportamiento del edificio en las condiciones analizadas.

### 6.1 Definición y Configuración de las Propiedades de los Materiales y Elementos a Emplear en los Análisis.

A continuación, se detalla el procedimiento para determinar las propiedades no lineales de los materiales y de los elementos.

#### 6.1.1 Propiedades Esperadas de los Materiales

El ASCE 41-17 en la tabla 10.1 establece los factores que se debe aplicar al concreto y al acero para obtener los valores de las propiedades esperadas de estos materiales, ver tabla 9.

Material Property	Factor
Concrete compressive strength	1.50
Reinforcing steel tensile and yield strength	1.25
Connector steel yield strength	1.50

Tabla 9: Factores para Estimar las Propiedades Esperadas de los Materiales del ASCE 41-17

La guía de los Ángeles para el diseño de edificios altos (LATBSDC 2020), también establece factores para estimar las propiedades esperadas de los materiales, ver tabla 10.

Material	Expected strength	
	Expected Yield Strength, $f_y$ , ksi	Expected Ultimate Strength, $f_u$ , ksi
<b>Reinforcing Steel</b>		
A615 Grade 60	70	106
A615 Grade 75	82	114
A706 Grade 60	69	95
A706 Grade 80	85	112
A706 Grade 100	105	To be determined based on tests and documented substantiations
<b>Structural Steel***</b>		
Hot-rolled structural shapes and bars		
ASTM A36/A36M	$1.5 f_y^*$	$1.2 f_u^{**}$
ASTM A572/A572M Grade 50	$1.1 f_y$	$1.1 f_u$
ASTM A913/A913M Grade 50, 60, 65 or 70	$1.1 f_y$	$1.1 f_u$
ASTM A992/A992M	$1.1 f_y$	$1.1 f_u$
Plates		
ASTM A36/A36M	$1.3 f_y$	$1.2 f_u$
ASTM A572/A572M Grade 50, 55	$1.1 f_y$	$1.2 f_u$
<b>Concrete</b>	$f_{ce} = 1.3 f_c$	

Tabla 10: Factores para Estimar las Propiedades Esperadas de los Materiales del LATBSDC 2020

Conservadoramente se han empleado en el análisis los factores más pequeños que son los proporcionados por el LATBSDC. A continuación, se muestran los valores empleados en el análisis y que fueron ingresados en el programa para ser empleados en el análisis, ver tablas 11 y 12.

➤ **Concreto Armado**

$f'c$ original (kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )	$f'c$ esperado (kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )
210	217371	273	247841
245	234787	319	267699
350	280624	455	319961

Tabla 11: Propiedades Esperadas del Concreto Armado

➤ **Acero de Refuerzo**

$f_y$ original (kg/cm <sup>2</sup> )	$f_{ye}$ esperado (kg/cm <sup>2</sup> )	$f_u$ original (kg/cm <sup>2</sup> )	$f_{ue}$ esperado (kg/cm <sup>2</sup> )
4200	4900	6300	7420

Tabla 12: Propiedades Esperadas del Acero de Refuerzo

### 6.1.2 Definición de Propiedades No Lineales de los Materiales

Para el análisis no lineal se necesitan las leyes constitutivas de los materiales.

➤ **Concreto Armado**

Para el concreto existen varias curvas que permiten estimar su comportamiento no lineal, entre las principales tenemos la de Kent y Park, Mander y Razvi. Para el análisis se ha empleado la de Mander, ver figura 44.

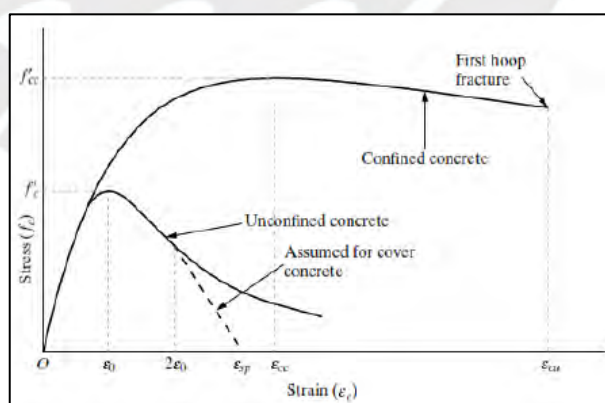


Figura 44: Curva esfuerzo deformación del Concreto

La curva anterior nos permite ver el comportamiento monotónico del concreto, pero también es necesario conocer su comportamiento histerético. Para estimar el comportamiento histerético también existen varios modelos como los de Pivot o Takeda. Para el análisis se ha empleado el modelo de Takeda, ver figura 45.

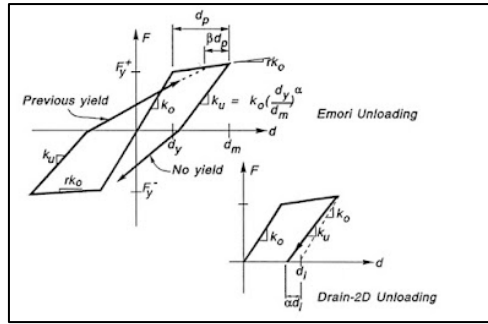


Figura 45: Propiedades No lineales del Concreto

### ➤ Acero de Refuerzo

Para el acero de refuerzo la curva más usada que permiten estimar su comportamiento no lineal es la de Park, ver figura 46.

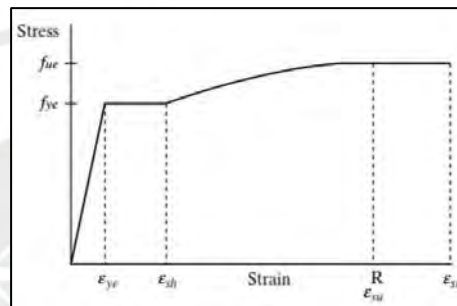


Figura 46: Curva esfuerzo deformación del Acero

La curva anterior nos permite ver el comportamiento monotónico del acero, pero también es necesario conocer su comportamiento histerético. Para estimar el comportamiento histerético emplearemos el modelo tipo Kinematic.

### 6.1.3 Rigideces Efectivas de los Elementos de Concreto Armado

En el análisis se deben emplear las rigideces efectivas a flexión y corte de los elementos de concreto armado para tomar en cuenta los efectos de agrietamiento, para ello se debe emplear la tabla 10.5 del ASCE 41-17, (Ver tabla 13).

Component	Flexural Rigidity	Shear Rigidity	Axial Rigidity
Beams—nonprestressed <sup>a</sup>	$0.3E_cE I_g$	$0.4E_cE A_w$	—
Beams—prestressed <sup>a</sup>	$E_cE I_g$	$0.4E_cE A_w$	—
Columns with compression caused by design gravity loads $\geq 0.5A_g f'_{cE}$ <sup>b</sup>	$0.7E_cE I_g$	$0.4E_cE A_w$	$E_cE A_g$
Columns with compression caused by design gravity loads $\leq 0.1A_g f'_{cE}$ or with tension <sup>b</sup>	$0.3E_cE I_g$	$0.4E_cE A_w$	$E_cE A_g$ (compression) $E_sE A_s$ (tension)
Beam-column joints	Refer to Section 10.4.2.1	—	$E_cE A_g$
Flat slabs—nonprestressed	Refer to Section 10.4.4.2	$0.4E_cE A_g$	—
Flat slabs—prestressed	Refer to Section 10.4.4.2	$0.4E_cE A_g$	—
Walls—cracked <sup>c</sup>	$0.35E_cE A_g$	$0.4E_cE A_w$	$E_cE A_g$ (compression) $E_sE A_s$ (tension)

<sup>a</sup> For T-beams,  $I_g$  can be taken as twice the value of  $I_g$  of the web alone. Otherwise,  $I_g$  should be based on the effective width as defined in Section 10.3.1.3.

<sup>b</sup> For columns with axial compression falling between the limits provided, flexural rigidity shall be determined by linear interpolation. If interpolation is not performed, the more conservative effective stiffnesses shall be used. An imposed axial load  $N_{UG}$  is permitted to be used for stiffness evaluations.

<sup>c</sup> See Section 10.7.2.2.

Tabla 13: Factores de Modificación de Rigidez

### 6.1.4 Definición de la No Linealidad de los Elementos

Para representar la no linealidad de los elementos se tienen distintos modelos entre los principales tenemos modelos de plasticidad concentrada y modelos de plasticidad distribuida (ver figura 47), entre los más comunes tenemos los siguientes:

- Modelo de rótula plástica.
- Modelo de articulación con resorte inelástico.
- Modelo de articulación de longitud finita.
- Modelo de fibras
- Modelo de elementos finitos.

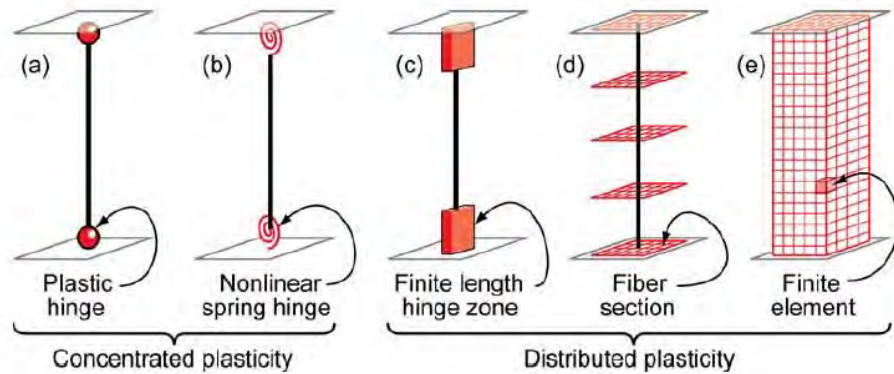


Figura 47: Modelos de Plasticidad de Concentrada y Distribuida. (NEHRP, 2010)

Para la representación de la no linealidad de vigas y columnas se usan los modelos de rótulas plásticas, también se pueden usar para las columnas los modelos de fibras, para los muros de corte o placas se emplean los modelos de fibras.

El modelamiento de las rótulas concentradas se debe realizar empleando las curvas Backbone con los parámetros que nos proporciona el ASCE 41-17, ver figura 48.

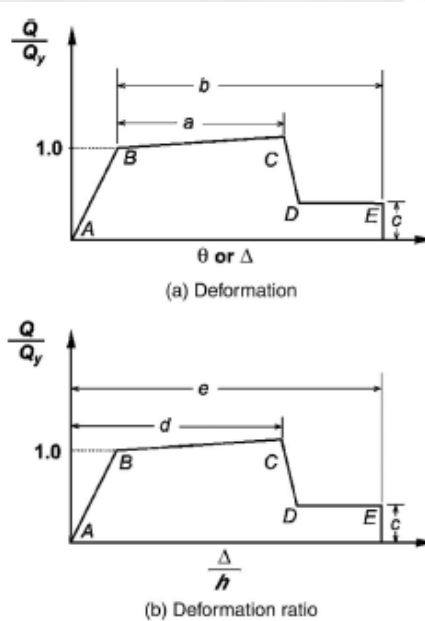


Figura 48: Curvas Backbone del ASCE 41-17

- Las curvas Backbone para las vigas se pueden determinar empleando la siguiente tabla que nos proporciona el ASCE 41-17, ver tabla 14.

Conditions	Modeling Parameters <sup>a</sup>			Acceptance Criteria <sup>a</sup>				
	Plastic Rotation Angle (radians)		Residual Strength Ratio	Plastic Rotation Angle (radians)				
	a	b		Performance Level				
				IO	LS	CP		
<b>Condition I. Beams controlled by flexure<sup>b</sup></b>								
$\frac{V_{FE}}{V_{CE}} \leq 0.0$	C	$\geq 3$ (0.25)	0.025	0.05	0.2	0.010	0.025	0.05
$\leq 0.0$	C	$\geq 9$ (0.5)	0.05	0.04	0.2	0.005	0.02	0.04
$\geq 0.5$	C	$\geq 3$ (0.25)	0.05	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
$\geq 0.5$	C	$\geq 4$ (0.5)	0.075	0.02	0.2	0.005	0.015	0.02
$< 0.0$	INC	$\leq 3$ (0.25)	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
$\leq 0.0$	INC	$\geq 9$ (0.5)	0.01	0.015	0.2	0.0015	0.01	0.015
$\geq 0.5$	INC	$\leq 3$ (0.25)	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.015
$\geq 0.5$	INC	$\geq 9$ (0.5)	0.005	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01
<b>Condition II. Beams controlled by shear<sup>b</sup></b>								
Stirrup spacing $\leq d/2$			0.0050	0.02	0.2	0.0015	0.01	0.02
Stirrup spacing $> d/2$			0.0050	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01
<b>Condition III. Beams controlled by inadequate development or splicing along the span<sup>b</sup></b>								
Stirrup spacing $\leq d/2$			0.0050	0.02	0.2	0.0015	0.01	0.02
Stirrup spacing $> d/2$			0.0050	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01
<b>Condition IV. Beams controlled by inadequate embedment into beam-column joint<sup>b</sup></b>								
			0.015	0.03	0.2	0.01	0.02	0.03

*Note:*  $f_{yt}$  in MPa (ksi) units.  
<sup>a</sup> Values between those listed in the table should be determined by linear interpolation.  
<sup>b</sup> Where more than one of conditions I, II, III, and IV occur for a given component, use the minimum appropriate numerical values from the table.  
<sup>c</sup> "C" and "INC" are abbreviations for conforming and nonconforming transverse reinforcement, respectively. Transverse reinforcement is conforming if, within the flexural plastic hinge region, hoops are spaced at  $\leq d/3$ , and if, for components of moderate and high ductility demand, the strength provided by the hoops ( $V_h$ ) is at least 3/4 of the design shear. Otherwise, the transverse reinforcement is considered nonconforming.  
<sup>d</sup>  $V$  is the design shear force from NSP or NDP.

Tabla 14: Parámetros de curvas Backbone para vigas.

- Las curvas Backbone para las columnas se pueden determinar empleando la siguiente tabla que nos proporciona el ASCE 41-17, ver tabla 15.

Modeling Parameters	Acceptance Criteria		
	Plastic Rotation Angle (radians)		
	Performance Level		
Plastic Rotation Angles, a and b (radians) Residual Strength Ratio, c	IO	LS	CP
Columns not controlled by inadequate development or splicing along the clear height <sup>a</sup>			
$a = \left( 0.042 - 0.043 \frac{N_{UD}}{A_g f_{cE}} + 0.63 p_t - 0.023 \frac{V_{yE}}{V_{coidE}} \right) \geq 0.0$	0.15 a	0.5 b <sup>b</sup>	0.7 b <sup>b</sup>
$\leq 0.005$			
For $\frac{N_{UD}}{A_g f_{cE}} \leq 0.5$ $\left\{ \begin{array}{l} b = \frac{0.5}{5} - \frac{N_{UD}}{0.8 A_g f_{cE}} \frac{1}{p_t} \frac{f_{cE}}{f_{yE}} - 0.01 \geq a^c \\ b = \frac{0.5}{5} - \frac{N_{UD}}{0.8 A_g f_{cE}} \frac{1}{p_t} \frac{f_{cE}}{f_{yE}} - 0.01 \geq a^c \end{array} \right.$			
$c = 0.24 - 0.4 \frac{N_{UD}}{A_g f_{cE}} \geq 0.0$			
Columns controlled by inadequate development or splicing along the clear height <sup>c</sup>			
$a = \left( \frac{1}{8} p_t \frac{f_{yE}}{f_{cE}} \right) \geq 0.0$	0.0	0.5 b	0.7 b
$\leq 0.025^d$			
$b = \left( 0.012 - 0.085 \frac{N_{UD}}{A_g f_{cE}} + 12 p_t^e \right) \geq 0.0$			
$\leq 0.06$			
$c = 0.15 + 36 p_t \leq 0.4$			

*Notes:*  $p_t$  shall not be taken as greater than 0.0175 in any case nor greater than 0.0075 when ties are not adequately anchored in the core. Equations in the table are not valid for columns with  $p_t$  smaller than 0.0005.  
 $V_{yE} = V_{coidE}$  shall not be taken as less than 0.2.  
 $N_{UD}$  shall be the maximum compressive axial load accounting for the effects of lateral forces as described in Eq. (7-34). Alternatively, it shall be permitted to evaluate  $N_{UD}$  based on a limit-state analysis.  
<sup>a</sup> b shall be reduced linearly for  $N_{UD}/(A_g f_{cE}) > 0.5$  from its value at  $N_{UD}/(A_g f_{cE}) = 0.5$  to zero at  $N_{UD}/(A_g f_{cE}) = 0.7$  but shall not be smaller than a.  
<sup>b</sup>  $N_{UD}/(A_g f_{cE})$  shall not be taken as smaller than 0.1.  
<sup>c</sup> Columns are considered to be controlled by inadequate development or splices where the calculated steel stress at the splice exceeds the steel stress specified by Eq. (10-1a) or (10-1b). Modeling parameter for columns controlled by inadequate development or splicing shall never exceed those of columns not controlled by inadequate development or splicing.  
<sup>d</sup> a for columns controlled by inadequate development or splicing shall be taken as zero if the splice region is not crossed by at least two tie groups over its length.  
<sup>e</sup>  $p_t$  shall not be taken as greater than 0.0075.

Tabla 15: Parámetros de curvas Backbone para columnas.

- Para las placas y muros no es recomendable que se empleen rótulas concentradas, para este tipo de elementos se deben emplear modelos de plasticidad tipo fibra.

## 6.2 Análisis Estático No Lineal (PUSHOVER) del Edificio

A continuación, se desarrolla la estimación del desempeño sísmico empleando el Análisis Estático No Lineal (pushover) de la edificación con los dos métodos de reforzamiento empleados.

Para realizar el Análisis Pushover se va a emplear el programa ETABS, este programa requiere que previo al análisis la estructura sea precargada con las cargas permanentes y cargas vivas, para ello se debe configurar una carga no lineal estática, ver figura 49.

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	DEAD	1
Load Pattern	PTYTAB	1
Load Pattern	LIVE	0.25

Figura 49: Configuración de Cargas de Gravedad No lineales

Luego se deben configurar los parámetros a emplear en el análisis Pushover, entre los principales parámetros está el definir el patrón de carga, el patrón recomendado es el asociado al modo fundamental de vibración, ver figura 50.

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	2	1

Figura 50: Configuración de la Carga Pushover.

### 6.2.1 Resultados del Análisis Pushover del Edificio Reforzado con Disipadores de Fluido Viscoso (Amortiguadores)

Debido a que la estructura no es simétrica en ninguna de las direcciones principales es necesario hacer cuatro análisis, dos análisis en la dirección X y dos en la dirección Y.

#### a) Curvas de Capacidad

Los primeros resultados que podemos obtener con el análisis Pushover son las curvas de capacidad de la estructura para cada una de las cuatro direcciones de análisis. A continuación, se muestra la curva de capacidad de la dirección X(+), el resto de resultados se muestran en el anexo 2 de este documento. Ver figura 51.



Figura 51: Curvas de Capacidad del análisis con Amortiguadores.

#### b) Espectro de Capacidad y Punto de Desempeño

Teniendo la curva de capacidad se puede obtener el espectro de capacidad dividiendo el cortante entre la masa efectiva y el desplazamiento entre el factor de participación. Teniendo el espectro de capacidad se puede determinar el punto de desempeño de la estructura para cada uno de los cuatro niveles de demanda definidos en el ítem 5.1 y para cada una de las cuatro direcciones de análisis.

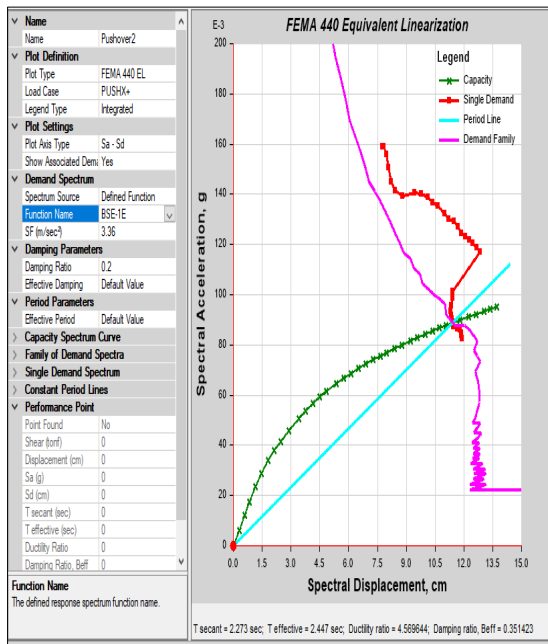
Los sismos a evaluar son los siguientes:

- BSE-1E – Sismo de Diseño para estructuras existentes.
- BSE-2E – Sismo Máximo para estructuras existentes.
- BSE-1N – Sismo de Diseño para estructuras nuevas.
- BSE-2N – Sismo de Máximo para estructuras nuevas.

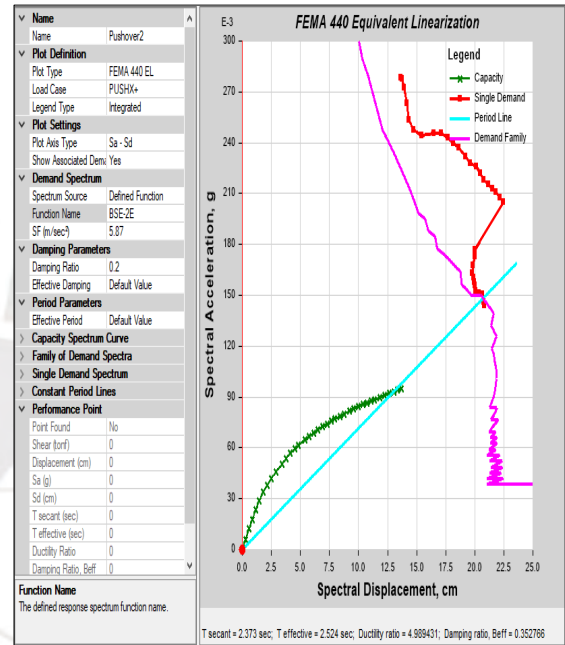
A continuación, se muestran las curvas de capacidad y puntos de desempeño para el análisis en la dirección X (+) empleando los cuatro sismos descritos anteriormente. El resto de resultados se muestran en el anexo 3 de este documento. Ver figura 52.

- Puntos de Desempeño con Análisis Pushover en la Dirección X (+)

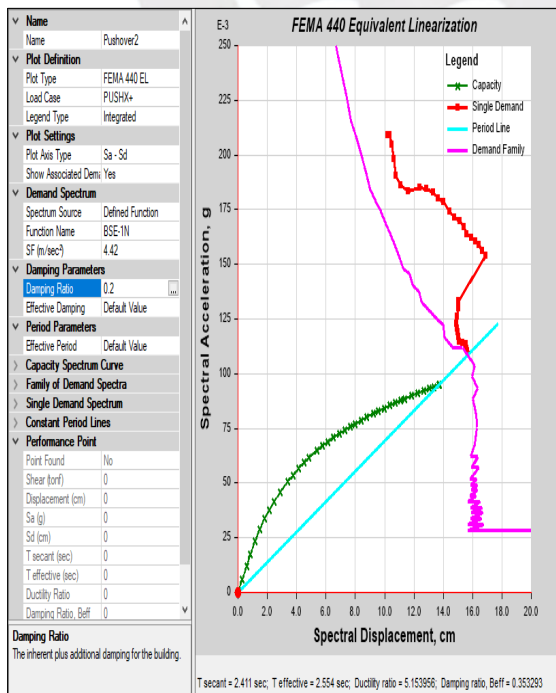
BSE-1E



BSE-2E



BSE-1N



BSE-2N

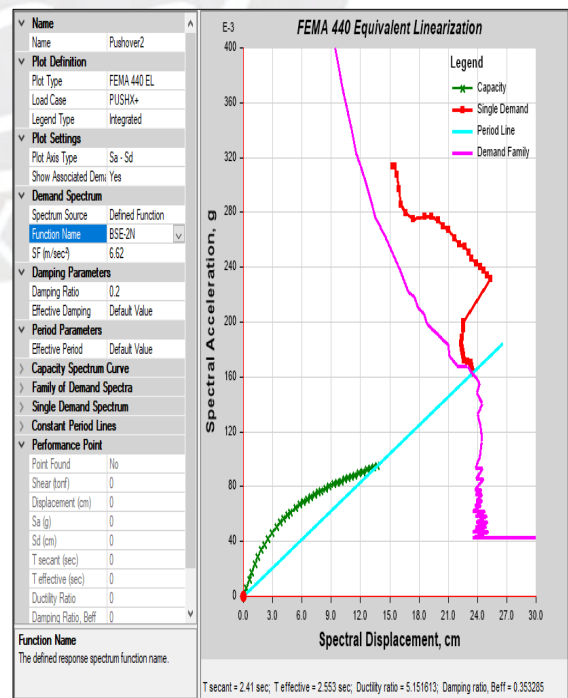


Figura 52: Puntos de desempeño para las cuatro intensidades de sismo en la dirección X (+).

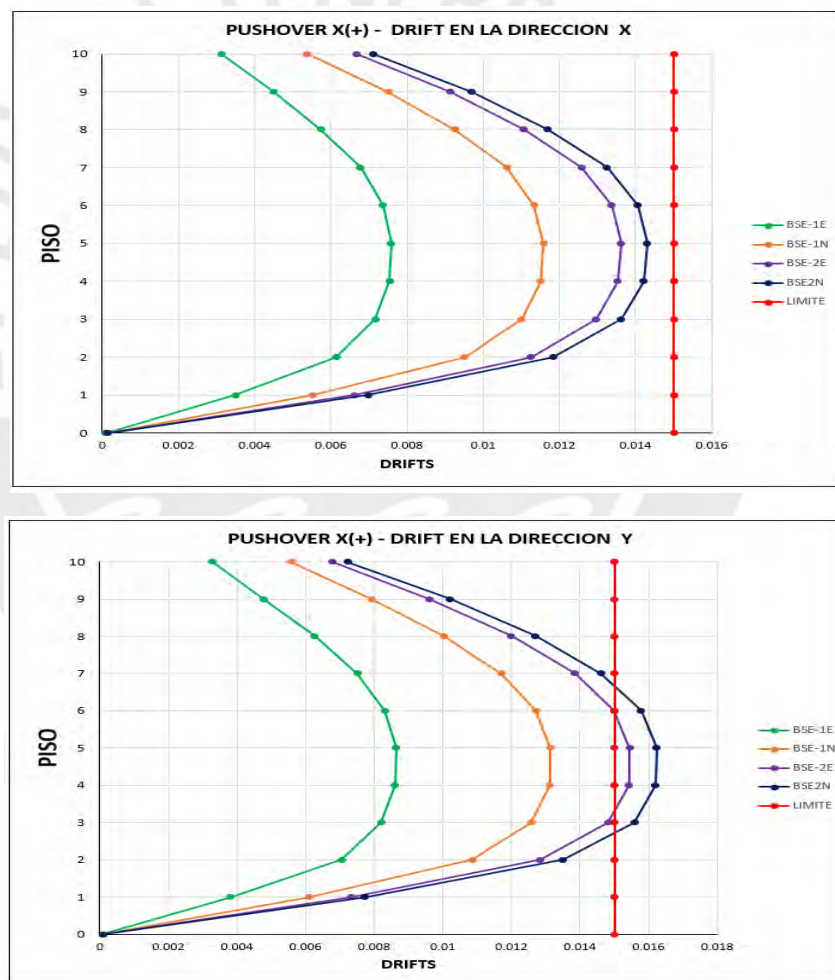
### c) Determinación de la Distorsión de Entrepiso (Deriva de Entrepiso)

Luego de haber determinado el punto de desempeño para cada uno de los cuatro niveles de demanda definidos en el ítem 5.1 y para cada una de las cuatro direcciones de análisis. Procedemos a determinar las derivas de entrepiso para compararla con el límite de 0.015, se ha tomado este valor como límite de verificación debido a que las estructuras han sido analizadas empleando con secciones agrietadas.

Los sismos para evaluar son los siguientes:

- BSE-1E – Sismo de Diseño para estructuras existentes.
- BSE-2E – Sismo Máximo para estructuras existentes.
- BSE-1N – Sismo de Diseño para estructuras nuevas.
- BSE-2N – Sismo de Máximo para estructuras nuevas.

A continuación, se muestran los gráficos de las derivas de entre piso para el análisis en la dirección X (+) empleando los cuatro sismos descritos anteriormente. El resto de resultados se muestran en el anexo 4 de este documento.



**Gráfico 10 :** Deriva de entrepiso para las cuatro intensidades de sismo con Pushover X (+).

En el gráfico 10, se ha obtenido que para la dirección X con las cuatro intensidades de sismo las deformaciones de entrepiso se encuentran por debajo del límite, en la dirección Y en las dos intensidades mayores se excede del límite permitido. Lo que indica que los amortiguadores nos brindan un buen aporte para la reducción de las derivas de entrepiso, pero no ayudan a controlar la irregularidad torsional que tiene la estructura originalmente.

#### d) Determinación del Desempeño Sísmico con el Método del SEAOC

Empleando las curvas de capacidad obtenidas en el ítem a) y los puntos de desempeño determinados en el ítem b) para cada uno de los cuatro niveles de demanda definidos en el ítem 5.1 y para cada una de las cuatro direcciones de análisis. Se puede determinar el nivel de desempeño que tendrá la estructura para cada uno de estos eventos sísmicos.

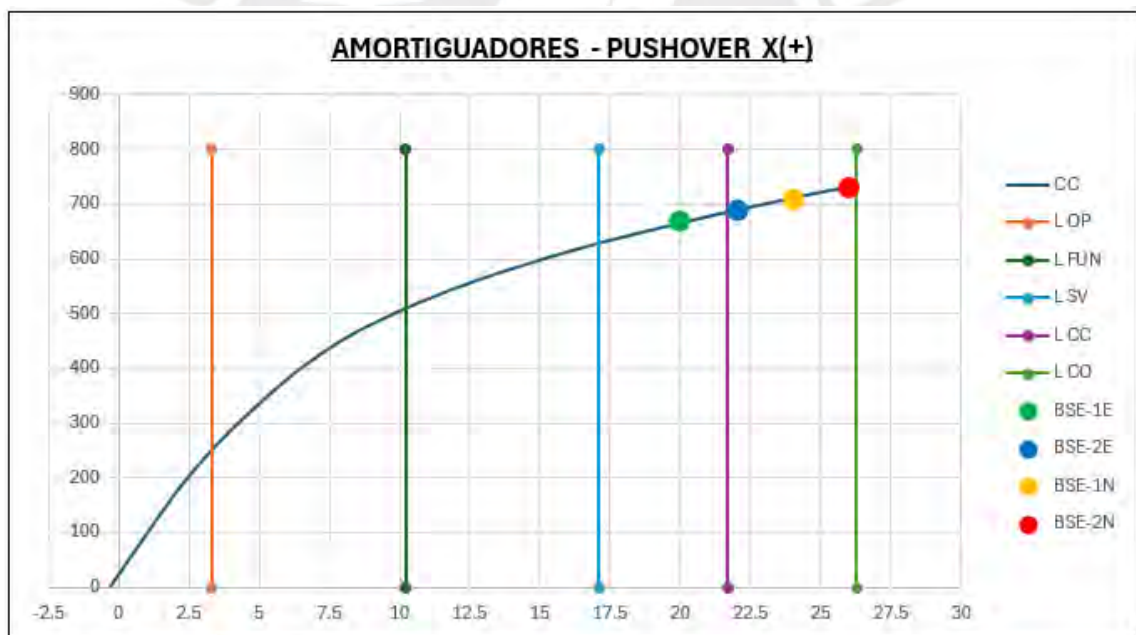
Los sismos empleados para evaluar el desempeño de la estructura son los siguientes:

- BSE-1E – Sismo de Diseño para estructuras existentes (punto verde)
- BSE-2E – Sismo Máximo para estructuras existentes (punto celeste)
- BSE-1N – Sismo de Diseño para estructuras nuevas (punto amarillo)
- BSE-2N – Sismo de Máximo para estructuras nuevas (punto rojo)

Y los niveles de desempeño a emplear en la evaluación son los siguientes:

- Límite Operacional (línea naranja)
- Límite de Funcional (línea ploma)
- Límite de Seguridad de Vida (línea amarilla)
- Límite Cerca al Colapso (línea celeste)
- Límite de Colapso (línea verde)

#### - Resultados del Análisis Pushover en la Dirección X (+)



**Gráfico 11** : Curva de desempeño de la estructura reforzada con Amortiguadores en la dirección X (+)

En el gráfico 11, se puede observar que la estructura en esta dirección de análisis tiene un desempeño cercano al colapso para los sismos de diseño y de colapso para los sismos máximos esperados.

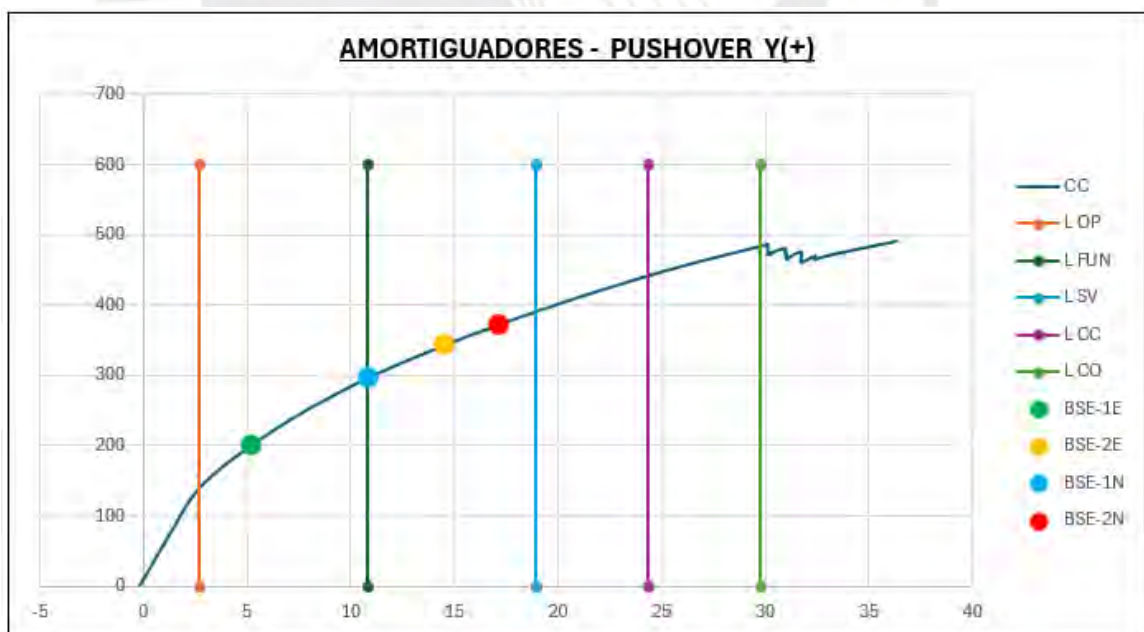
- Resultados del Análisis Pushover en la Dirección X (-)



**Gráfico 12 :** Curva de desempeño de la estructura reforzada con Amortiguadores en la dirección X(-)

En el gráfico 12, se puede observar que la estructura en esta dirección de análisis tiene un desempeño cercano a seguridad de vida para el sismo BSE-1E y cercano al colapso para los sismos BSE-1N y BSE-2E y de colapso para el sismo máximo BSE-2N.

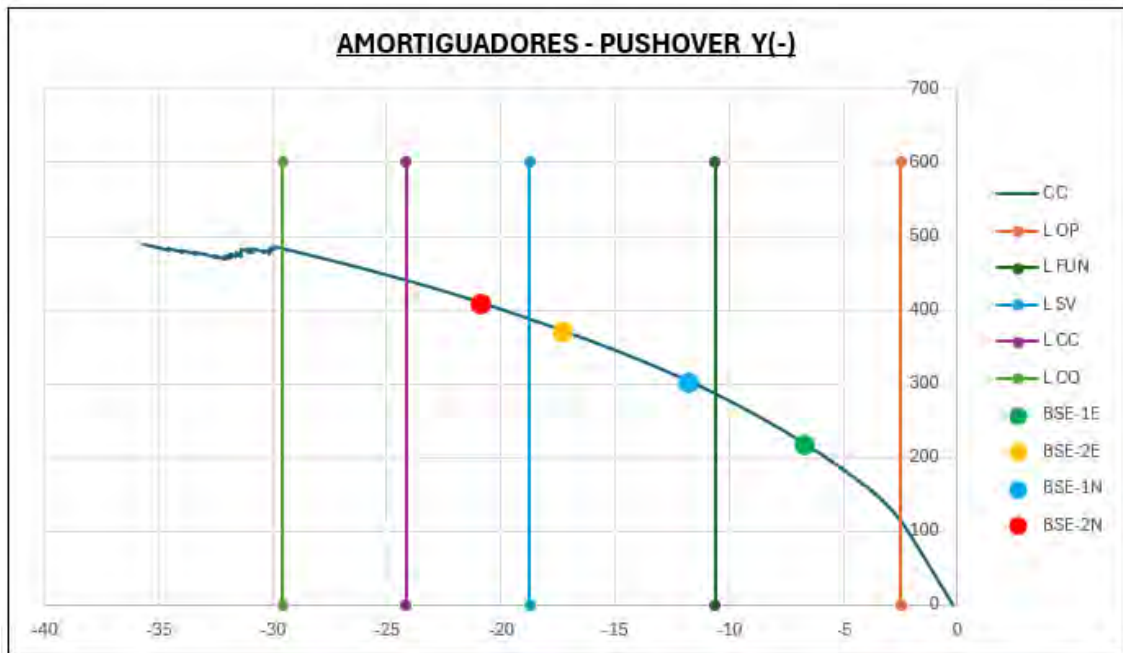
- Resultados del Análisis Pushover en la Dirección Y (+)



**Gráfico 13 :** Curva de desempeño de la estructura reforzada con Amortiguadores en la dirección Y (+)

En el gráfico 13, se puede observar que la estructura en esta dirección de análisis tiene un desempeño entre operacional y seguridad de vida para los sismos de diseño y de seguridad de vida los sismos máximos esperados.

- **Resultados del Análisis Pushover en la Dirección Y (-)**



**Gráfico 14 :** Curva de desempeño de la estructura reforzada con Amortiguadores en la dirección Y(-)

En el gráfico14, se puede observar que la estructura en esta dirección de análisis tiene un desempeño entre operacional y seguridad de vida para los sismos de diseño y entre seguridad de vida y cercano al colapso para los sismos máximos esperados.

**e) PERFORMANCE DE LA ESTRUCTURA**

En las siguientes imágenes se puede apreciar el comportamiento de la estructura y la formación de rótulas para el punto de desempeño obtenido en el ítem b) para el nivel de demanda indicado para la dirección de análisis indicado.

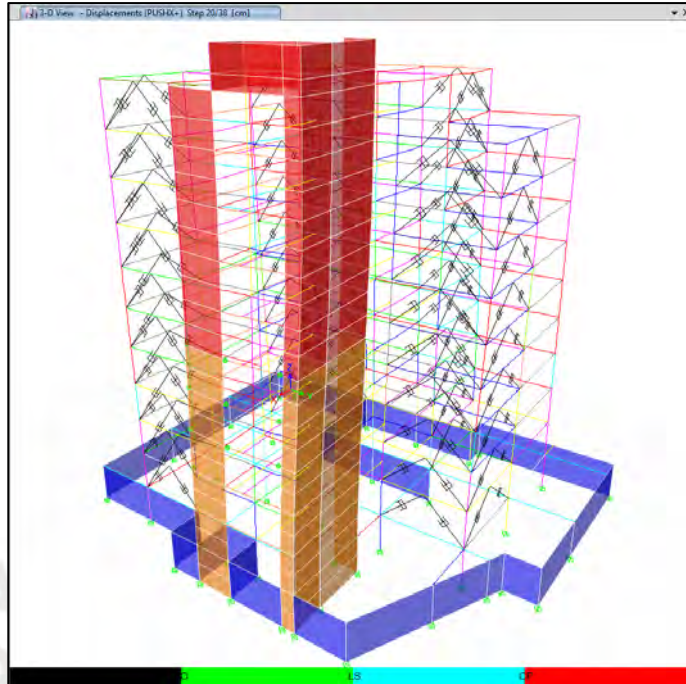
Los sismos empleados para evaluar el performance de la estructura son los siguientes:

- BSE-1E – Sismo de Diseño para estructuras existentes.
- BSE-2E – Sismo Máximo para estructuras existentes.
- BSE-1N – Sismo de Diseño para estructuras nuevas.
- BSE-2N – Sismo de Máximo para estructuras nuevas.

A continuación, se muestran los gráficos del Performance de la estructura para el análisis en la dirección X (+) empleando los cuatro sismos descritos anteriormente. El resto de resultados se muestran en el anexo 5 de este documento.

- **Desempeño de la Estructura con Análisis Pushover en la Dirección X (+)**

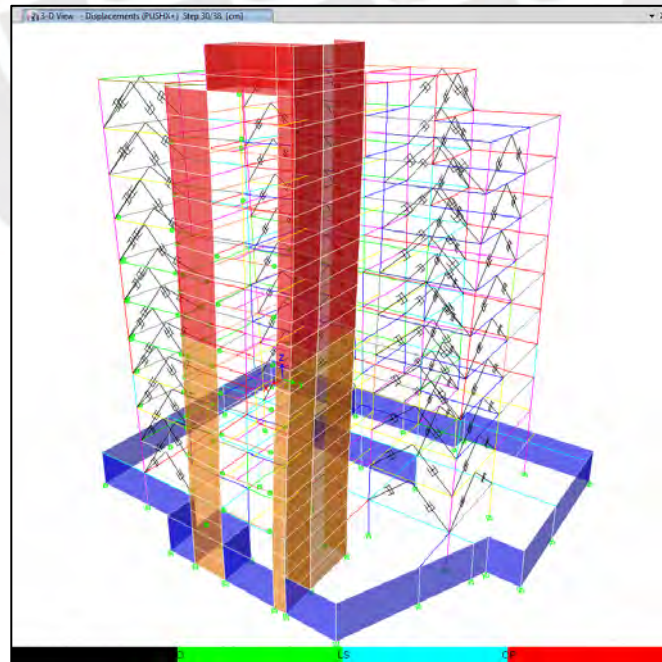
**BSE-1E**



*Figura 53:* Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-1E.

En la figura 53, se puede apreciar que para este nivel de sismo ya se forman las primeras rótulas en la estructura.

**BSE-1N**



*Figura 54:* Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-1N.

En la figura 54, para este nivel de sismo se incrementa la formación de rótulas en las vigas de la estructura.

## **BSE-2E**

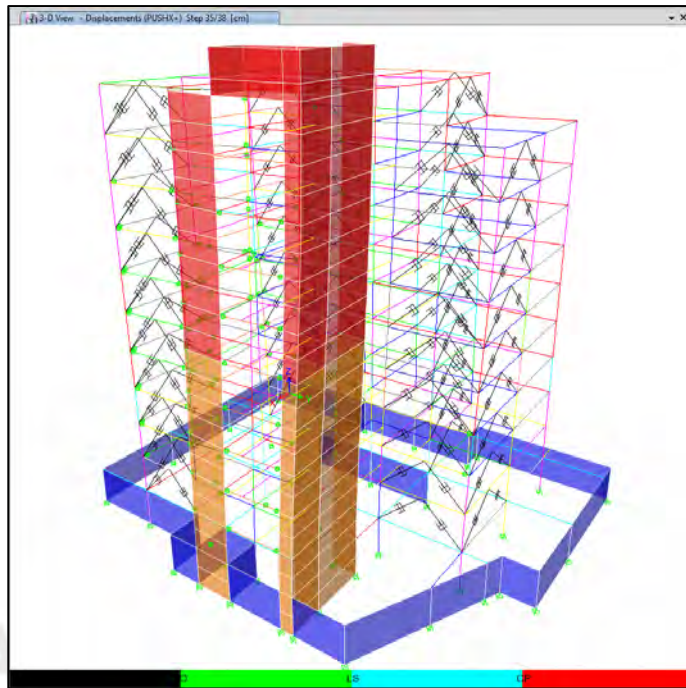


Figura 55: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-2E.

En la figura 55, para este nivel de sismo se forman las primeras rótulas en las placas de la estructura.

## **BSE-2N**

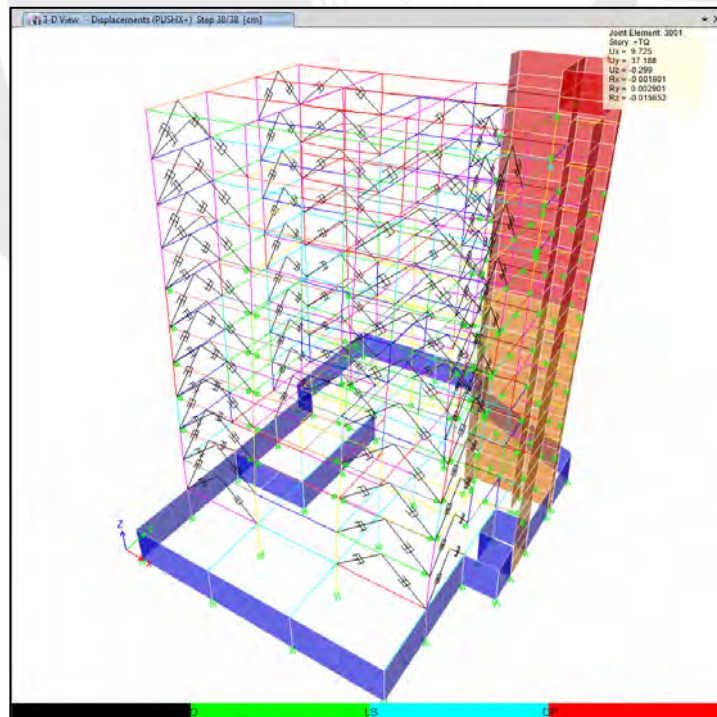


Figura 56: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-2N.

En la figura 56, para este nivel de sismo se incrementan las rótulas en las los elementos de la estructura.

## 6.2.2 Resultados del Análisis Pushover del Edificio Reforzado con Arriostres de Pandeo Restringido (BRBs)

Debido a que la estructura no es simétrica en ninguna de las direcciones principales es necesario hacer cuatro análisis, dos análisis para dirección X y dos en la dirección Y.

### a) Curvas de Capacidad

Los primeros resultados que podemos obtener con el análisis Pushover son las curvas de capacidad de la estructura para cada una de las cuatro direcciones de análisis. A continuación, se muestra la curva de capacidad de la dirección X(+), el resto de resultados se muestran en el anexo 2 de este documento. Ver figura 57.

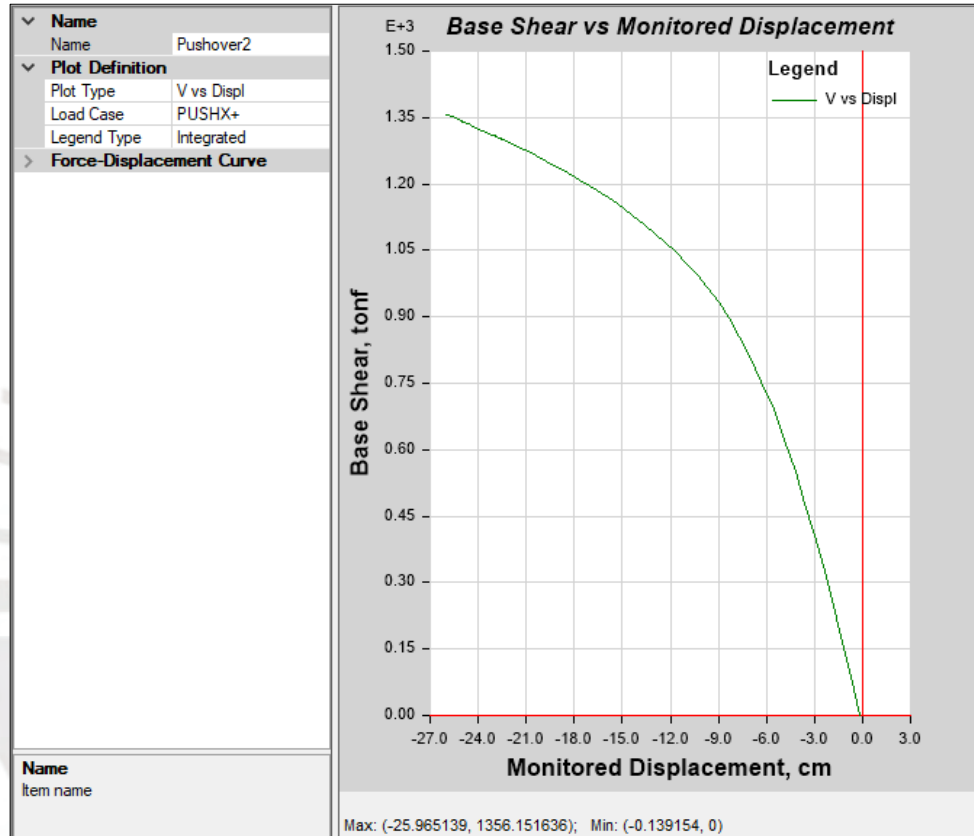


Figura 57: Curvas de Capacidad del análisis con BRBs.

### b) Espectro de Capacidad y Punto de Desempeño

Teniendo la curva de capacidad se puede obtener el espectro de capacidad dividiendo el cortante entre la masa efectiva y el desplazamiento entre el factor de participación. Teniendo el espectro de capacidad se puede determinar el punto de desempeño de la estructura para cada uno de los cuatro niveles de demanda definidos en el ítem 5.1 y para cada una de las cuatro direcciones de análisis.

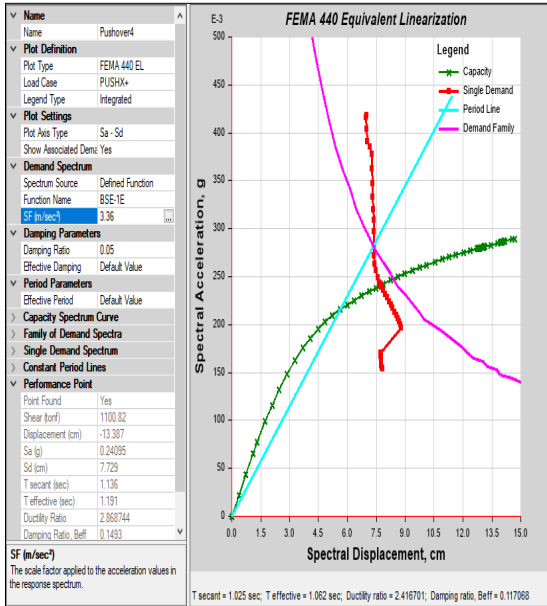
Los sismos a evaluar son los siguientes:

- BSE-1E – Sismo de Diseño para estructuras existentes.
- BSE-2E – Sismo Máximo para estructuras existentes.
- BSE-1N – Sismo de Diseño para estructuras nuevas.
- BSE-2N – Sismo de Máximo para estructuras nuevas.

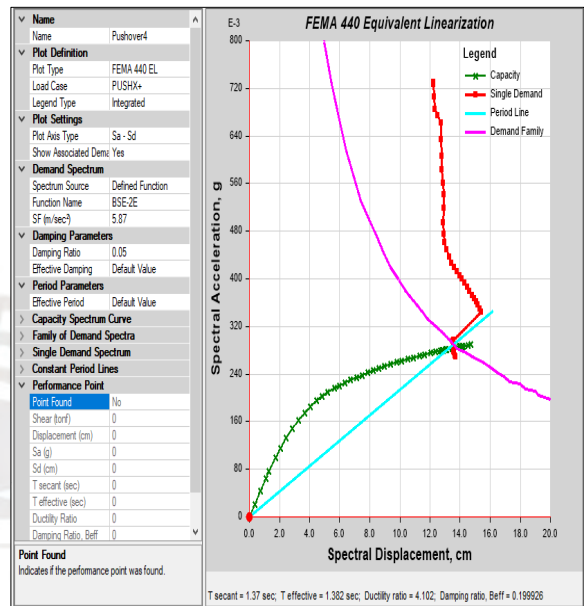
A continuación, se muestran las curvas de capacidad y puntos de desempeño para el análisis en la dirección X (+) empleando los cuatro sismos descritos anteriormente. El resto de resultados se muestran en el anexo 3 de este documento. Ver figura 58.

- Puntos de Desempeño con Análisis Pushover en la Dirección X (+)

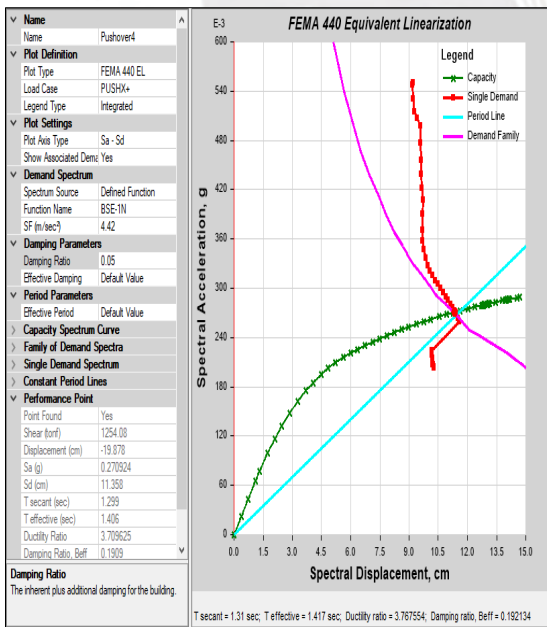
**BSE-1E**



**BSE-2E**



**BSE-1N**



**BSE-2N**

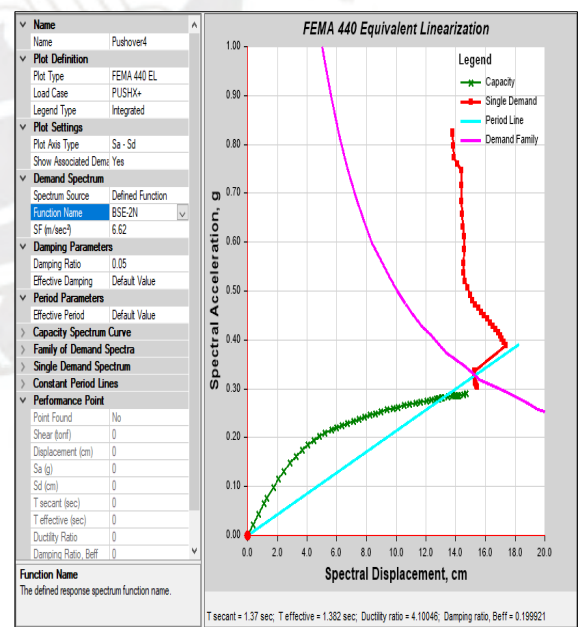


Figura 58: Puntos de desempeño para las cuatro intensidades de sismo en la dirección X (+).

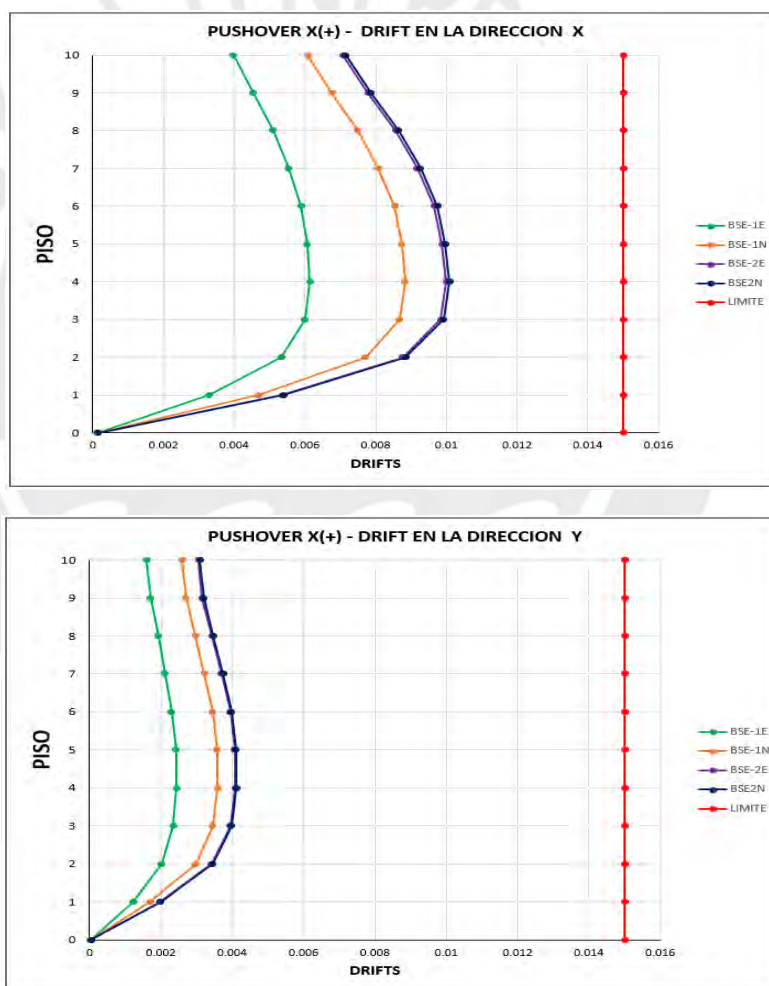
### c) Determinación de la Distorsión de Entrepiso (Deriva de Entrepiso)

Luego de haber determinado el punto de desempeño para cada uno de los cuatro niveles de demanda definidos en el ítem 5.1 y para cada una de las cuatro direcciones de análisis. Procedemos a determinar las derivas de entrepiso para compararla con el límite de 0.015, se ha tomado este valor como límite de verificación debido a que las estructuras han sido analizadas empleando con secciones agrietadas.

Los sismos para evaluar son los siguientes:

- BSE-1E – Sismo de Diseño para estructuras existentes.
- BSE-2E – Sismo Máximo para estructuras existentes.
- BSE-1N – Sismo de Diseño para estructuras nuevas.
- BSE-2N – Sismo de Máximo para estructuras nuevas.

A continuación, se muestran los gráficos de las derivas de entre piso para el análisis en la dirección X (+) empleando los cuatro sismos descritos anteriormente. El resto de resultados se muestran en el anexo 4 de este documento.



**Gráfico 15 :** Deriva de entrepiso para las cuatro intensidades de sismo en la *dirección X (+)*.

En el gráfico 15, en ambas direcciones se ha obtenido que para las cuatro intensidades de sismo las deformaciones de entrepiso se encuentran por debajo del límite, Lo que indica que para esta dirección de análisis los BRBs nos brindan un buen aporte para la reducción de las derivas de entrepiso y también nos permiten controlar la irregularidad torsional que tiene la estructura originalmente.

#### d) Determinación del Desempeño Sísmico con el Método del SEAOC

Empleando las curvas de capacidad obtenidas en el ítem a) y los puntos de desempeño determinados en el ítem b) para cada uno de los cuatro niveles de demanda definidos en el ítem 5.1 y para cada una de las cuatro direcciones de análisis. Se puede determinar el nivel de desempeño que tendrá la estructura para cada uno de estos eventos sísmicos.

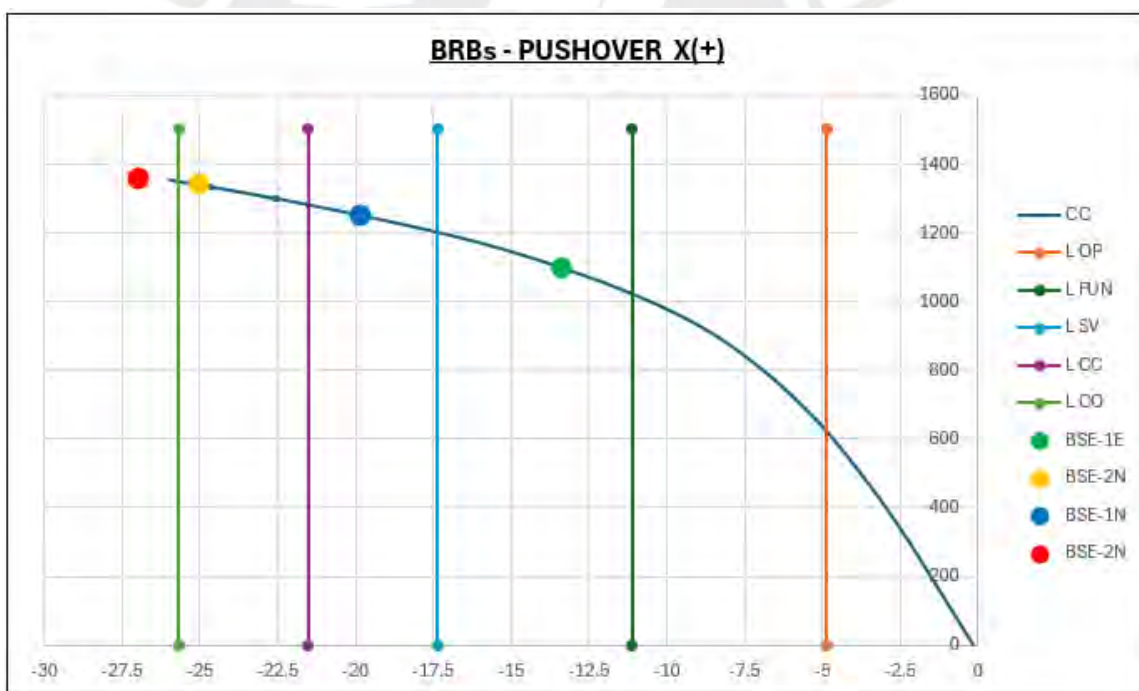
Los sismos empleados para evaluar el desempeño de la estructura son los siguientes:

- BSE-1E – Sismo de Diseño para estructuras existentes (punto verde)
- BSE-2E – Sismo Máximo para estructuras existentes (punto celeste)
- BSE-1N – Sismo de Diseño para estructuras nuevas (punto amarillo)
- BSE-2N – Sismo de Máximo para estructuras nuevas (punto rojo)

Y los niveles de desempeño a emplear en la evaluación son los siguientes:

- Límite Operacional (línea naranja)
- Límite de Funcional (línea ploma)
- Límite de Seguridad de Vida (línea amarilla)
- Límite Cerca al Colapso (línea celeste)
- Límite de Colapso (línea verde)

#### - Resultados del Análisis Pushover en la Dirección X (+)



**Gráfico 16 :** Curva de desempeño de la estructura reforzada con BRBs en la dirección X (+)

En el gráfico 16, se puede observar que la estructura en esta dirección de análisis tiene un desempeño entre funcional y de seguridad de vida para el sismo BSE-1E, entre seguridad de vida y cercano al colapso para el sismo BSE-1N y de colapso para los sismos BSE-2E y BSE-2N.

- Resultados del Análisis Pushover en la Dirección X (-)



**Gráfico 17 :** Curva de desempeño de la estructura reforzada con BRBs en la dirección X (-)

En el gráfico 17, se puede observar que la estructura en esta dirección de análisis tiene un desempeño funcional y de seguridad de vida para los sismos BSE-1E y BSE-1N, cercano al colapso para el sismo BSE-2E y de colapso para el sismo BSE-2N.

- Resultados del Análisis Pushover en la Dirección Y (+)



**Gráfico 18 :** Curva de desempeño de la estructura reforzada con BRBs en la dirección Y (+)

En el gráfico 18, se puede observar que la estructura en esta dirección de análisis tiene un desempeño funcional para los sismos de diseño y de seguridad de vida para los sismos máximos esperados.

- **Resultados del Análisis Pushover en la Dirección Y (-)**



**Gráfico 19** : Curva de desempeño de la estructura reforzada con BRBs en la dirección Y (-)

En el gráfico 19, se puede observar que la estructura en esta dirección de análisis tiene un desempeño cercano entre funcional y de seguridad de vida para el sismo BSE-1E, entre seguridad de vida y cercano al colapso para el sismo BSE-1N y de colapso para los sismos BSE-2E y BSE-2N.

**e) PERFORMANCE DE LA ESTRUCTURA**

En las siguientes imágenes se puede apreciar el comportamiento de la estructura y la formación de rótulas para el punto de desempeño obtenido en el ítem b) para el nivel de demanda indicado para la dirección de análisis indicado.

Los sismos empleados para evaluar el performance de la estructura son los siguientes:

- BSE-1E – Sismo de Diseño para estructuras existentes.
- BSE-2E – Sismo Máximo para estructuras existentes.
- BSE-1N – Sismo de Diseño para estructuras nuevas.
- BSE-2N – Sismo de Máximo para estructuras nuevas.

A continuación, se muestran los gráficos del Performance de la estructura para el análisis en la dirección X (+) empleando los cuatro sismos descritos anteriormente. El resto de resultados se muestran en el anexo 5 de este documento.

- Desempeño de la Estructura con Análisis Pushover en la Dirección X (+)

**BSE-1E**

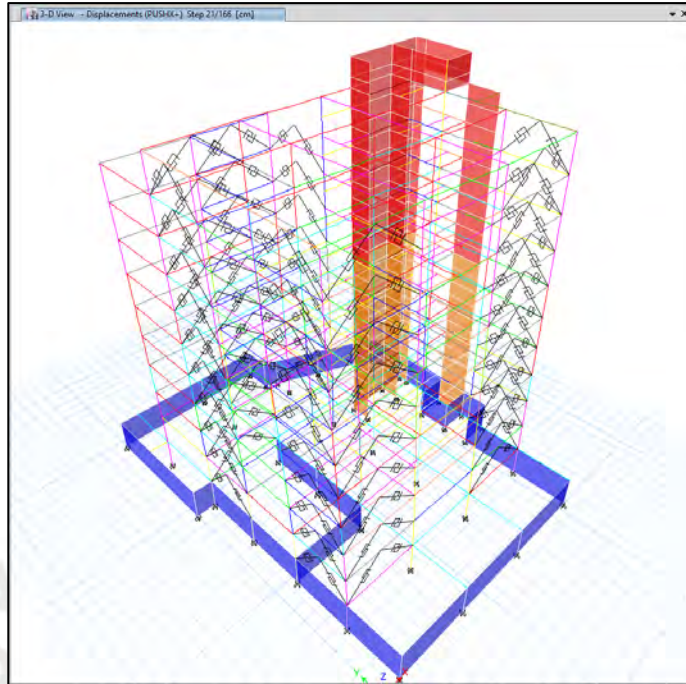


Figura 59: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-1E.

En la figura 59, para este nivel de sismo no se forman rótulas en la estructura.

**BSE-1N**

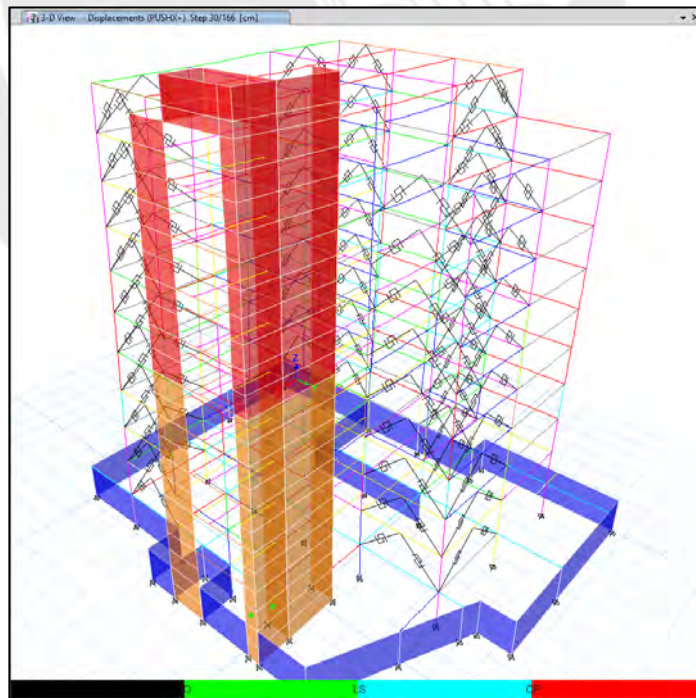
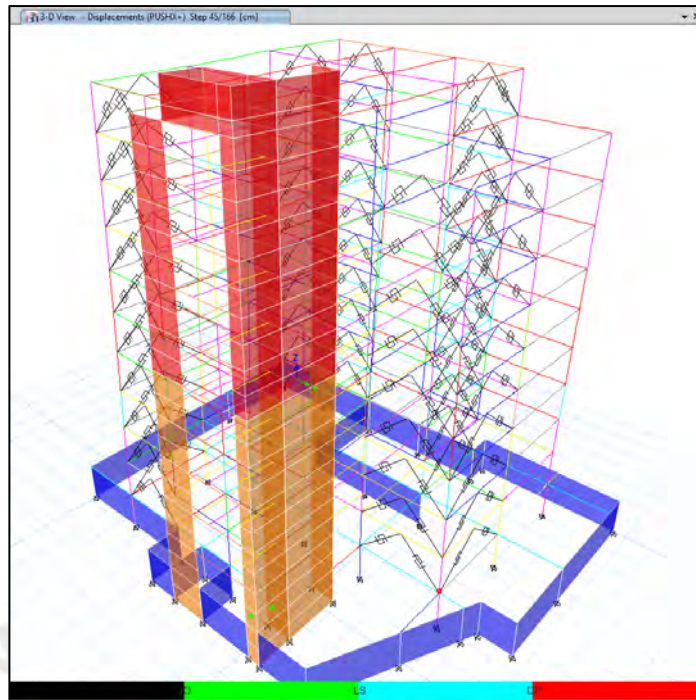


Figura 60: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-1N.

En la figura 60, para este nivel de sismo se empiezan a formar rótulas en las placas de la estructura.

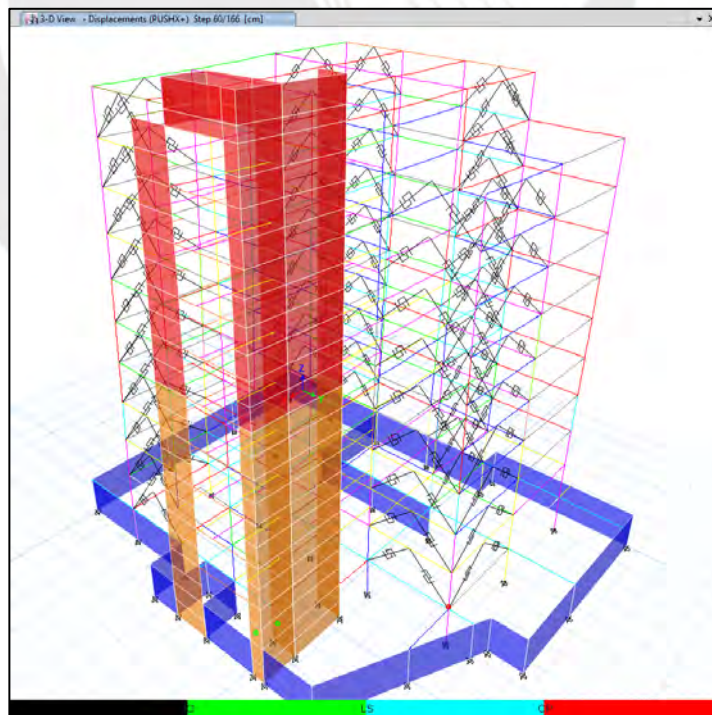
## **BSE-2E**



*Figura 61:* Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-2E.

En la figura 61, para este nivel de sismo se forma una rótula en una columna que genera el colapso de la estructura.

## **BSE-2N**



*Figura 62:* Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-2N.

En la figura 62, para este nivel de sismo ya se ha formado una rótula en una columna que genera el colapso de la estructura.

### 6.3 Análisis Tiempo Historia del Edificio

A continuación, se desarrolla la estimación del desempeño sísmico empleando el Análisis Tiempo Historia No Lineal de la edificación con los dos métodos de reforzamiento empleados.

Para realizar el Análisis Tiempo Historia No Lineal, es necesario tener como mínimo siete de registros de aceleraciones del terreno, donde cada uno de ellos debe incluir dos componentes en direcciones ortogonales. En el estudio realizado se han empleado las siguientes señales:

- Sismo de Perú (Huacho) del año 1966
- Sismo de Perú (Áncash) del año 1970
- Sismo de Perú (Lima) del año 1974
- Sismo de Perú (Moquegua) del año 2001
- Sismo de Perú (Pisco) del año 2007
- Sismo de Chile (Tocopilla) del año 2007
- Sismo de Chile (Talca) del año 2010

A continuación, se muestra la señal original del sismo registrado en la ciudad de Lima del Sismo del año 2007 en Pisco, Perú.

```
NATIONAL UNIVERSITY OF ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
JAPAN-PERU CENTER FOR EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH AND DISASTER MITIGATION (CISMID)
TUPAC AMARU AVENUE 1150 - LIMA 25 - PERU Postal Code 31-250 Lima 31
Telephone Numbers (51-1) 482-0777, 482-0790 FAX 481-0170
e-mail: f_lazares@uni.edu.pe http://www.cismid-uni.org

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION
STATION NAME      : Jorge Alva Hurtado
STATION CODE     : LIM001
STATION LOCATION  : CISMID-FIC-UNI, Rimac, Lima City
LATITUDE        : -12.013
LONGITUDE       : -77.050
ALTITUDE (m)    : 115
ACCELEROMETER MODEL : Etna Kinematics
SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 200

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE
DATE            : August 15, 2007
ORIGIN TIME (Local) : 18:40:58
LATITUDE       : -13.67
LONGITUDE     : -76.76
DEPTH (km)    : 40.00
MAGNITUDE     : 7.0 ML
INFORMATION SOURCE : IGP

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD
RECORD TIME (Local) : 18:40:58
NUMBER OF SAMPLES  : 65400
MAXIMUM ACCELERATION : -73.89      46.89      32.91
DATA UNITS        : cm/s2

4. COMMENTS
BASELINE CORRECTED

5. ACCELERATION DATA
      T           EW           NS           UD
0.0000  0.2276    -0.2346    -0.0277
0.0050  -0.2421    -0.0414    -0.0820
0.0100  -0.2496    0.2463     0.0458
0.0150  0.2692    -0.0119    0.0729
0.0200  0.2155    -0.2706    -0.0493
0.0250  -0.3146    -0.0152    -0.0591
0.0300  0.2594     0.2992     0.0025
```

Figura 63: Registro de la Señal del Sismo de Pisco del año 2007.

Previamente antes de emplear las señales en el proceso de análisis, se debe eliminar de estas señales cualquier distorsión que pueda originar problemas en el análisis, para ello se puede emplear el programa SeismoSignal, este programa permite eliminar los denominados ruidos que distorsionan las señales, ver figura 64.

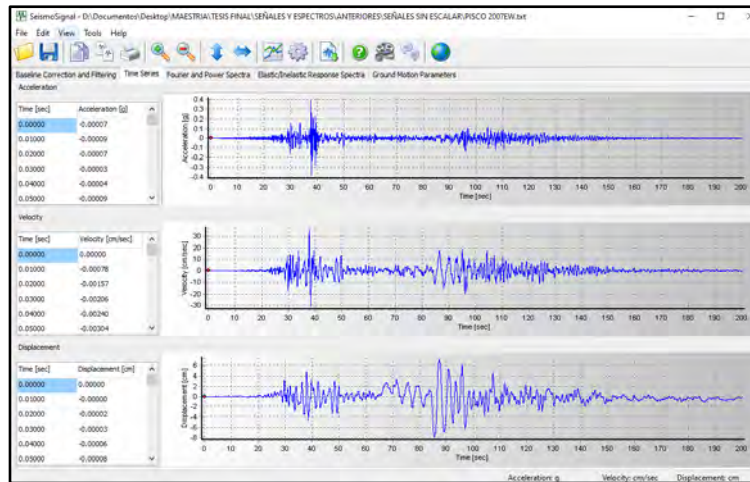


Figura 64: Imagen del Tratamiento de la Señal empleando el programa SeismoSignal.

Los registros a emplear en los análisis deben ser compatibles con las intensidades de los espectros sísmicos que se van a emplear en el estudio, para ello se deben emplear procedimientos que nos permitan obtener señales espectro compatibles con los sismos de referencia. Cuando sea necesario realizar un escalamiento de las amplitudes de las señales, se debe usar el mismo factor de escalamiento para ambas componentes. Todo este proceso se puede realizar empleando el programa SeismoMatch y una hoja de cálculo, ver figura 65.

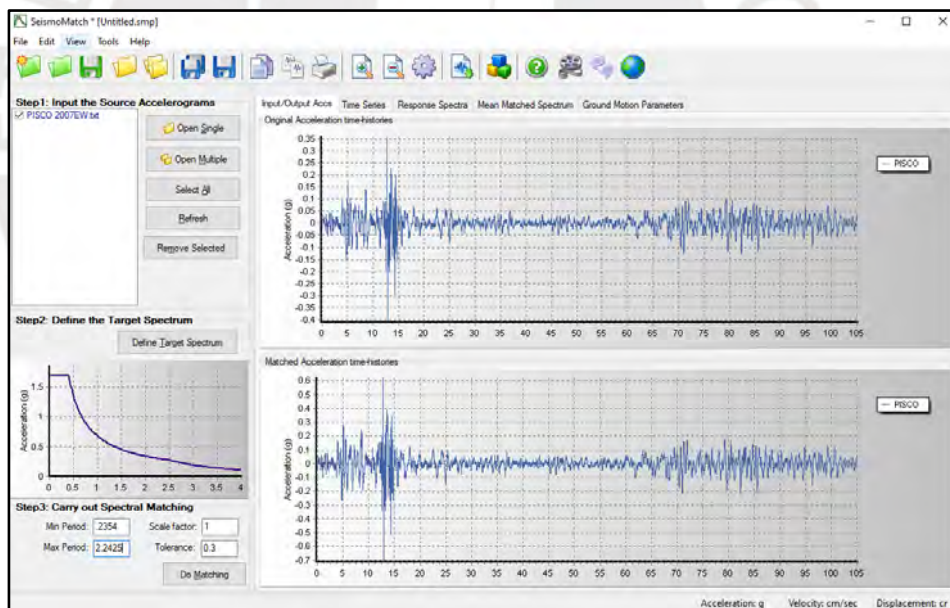


Figura 65: Imagen del Tratamiento de la Señal empleando el programa SeismoMatch.

Luego de haber preparado debidamente las señales, ambas componentes de cada señal sísmica deben ser ingresados al programa para poder ser empleadas en el análisis, ver figura 66.

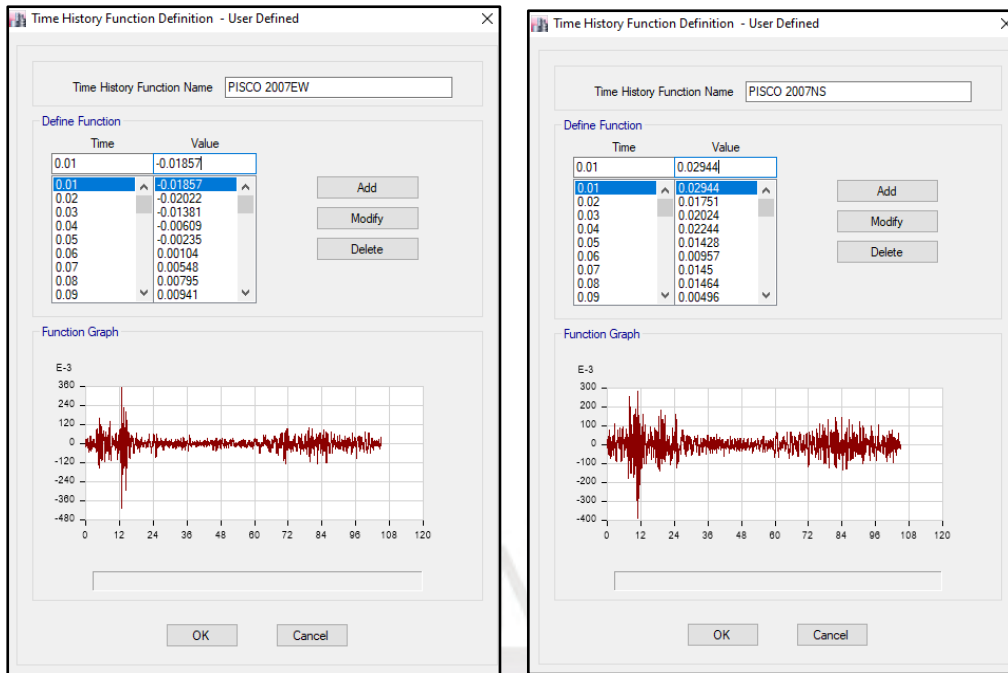


Figura 66: Definición de las Señales Sísmicas en el Programa ETABS.

Para realizar el Análisis Tiempo Historia No Lineal se va a emplear el programa ETABS, este programa requiere que la estructura este precargada con las cargas permanentes y cargas vivas, para ello se debe configurar una carga no lineal estática, ver figura 67.

The figure shows the 'General' dialog box for defining a Nonlinear Static load case. The 'Load Case Name' is 'CGNL' and the 'Load Case Type' is 'Nonlinear Static'. The 'Initial Conditions' section has 'Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State' selected. The 'Loads Applied' table is as follows:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	DEAD	1
Load Pattern	PTYTAB	1
Load Pattern	LIVE	0.25

Other parameters include 'Modal Load Case' (Modal), 'Geometric Nonlinearity Option' (None), 'Load Application' (Full Load), 'Results Saved' (Final State Only), and 'Nonlinear Parameters' (Default).

Figura 67: Configuración de Cargas de Gravedad No lineales

Luego se debe crear un caso de análisis que combine ambas componentes de cada señal sísmica, en este también se debe definir el amortiguamiento que se va considerar para la estructura, este amortiguamiento de acuerdo con las recomendaciones de las guías de diseño debe ser 2.5% (valor menor al 5% empleado en los análisis espectrales), y debe ser aplicado principalmente a los dos primeros modos de vibración de cada dirección, ver figura 68.

Load Case Data

**General**

Load Case Name: SISMO 2007-1 [Design...]

Load Case Type/Subtype: Time History [Nonlinear Direct Integration] [Notes...]

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: MsSrc1

**Initial Conditions**

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: CGNL

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	PISCO 2007EW	8.83
Acceleration	U2	PISCO 2007NS	4.32

[Add] [Delete] [Advanced]

**Other Parameters**

Geometric Nonlinearity Option: None

Number of Output Time Steps: 10500

Output Time Step Size: 0.01 sec

Damping: Mass: 0.1634; Stiff: 0.0036; Modal: No [Modify/Show...]

Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Figura 68: Definición del Caso de Análisis Tiempo Historia en el Programa ETABS

### 6.3.1 Resultados del Análisis Tiempo Historia del Edificio Reforzado con Disipadores de Fluido Viscoso

#### a) Desempeño (Performance) de la Estructura.

En las siguientes imágenes se muestra el comportamiento de las estructuras reforzadas con Disipadores de Fluido Viscoso ante la acción de las señales sísmicas empleadas en el análisis, estas señales han sido escaladas para a las cuatro intensidades empleadas en el estudio.

Las intensidades son las siguientes:

- BSE-1E – Sismo de Diseño para estructuras existentes.
- BSE-2E – Sismo Máximo para estructuras existentes.
- BSE-1N – Sismo de Diseño para estructuras nuevas.
- BSE-2N – Sismo de Máximo para estructuras nuevas.

El comportamiento se verifica para los siguientes niveles de desempeño

- Inmediata Ocupación.
- Seguridad de Vida.
- Prevención del Colapso.

A continuación, se muestran los gráficos del Performance de la estructura para los tres niveles de desempeño empleando el Sismo Máximo para Estructuras Existentes (BSE-2E). El resto de resultados se muestran en el anexo 6 de este documento.

#### - Inmediata Ocupación

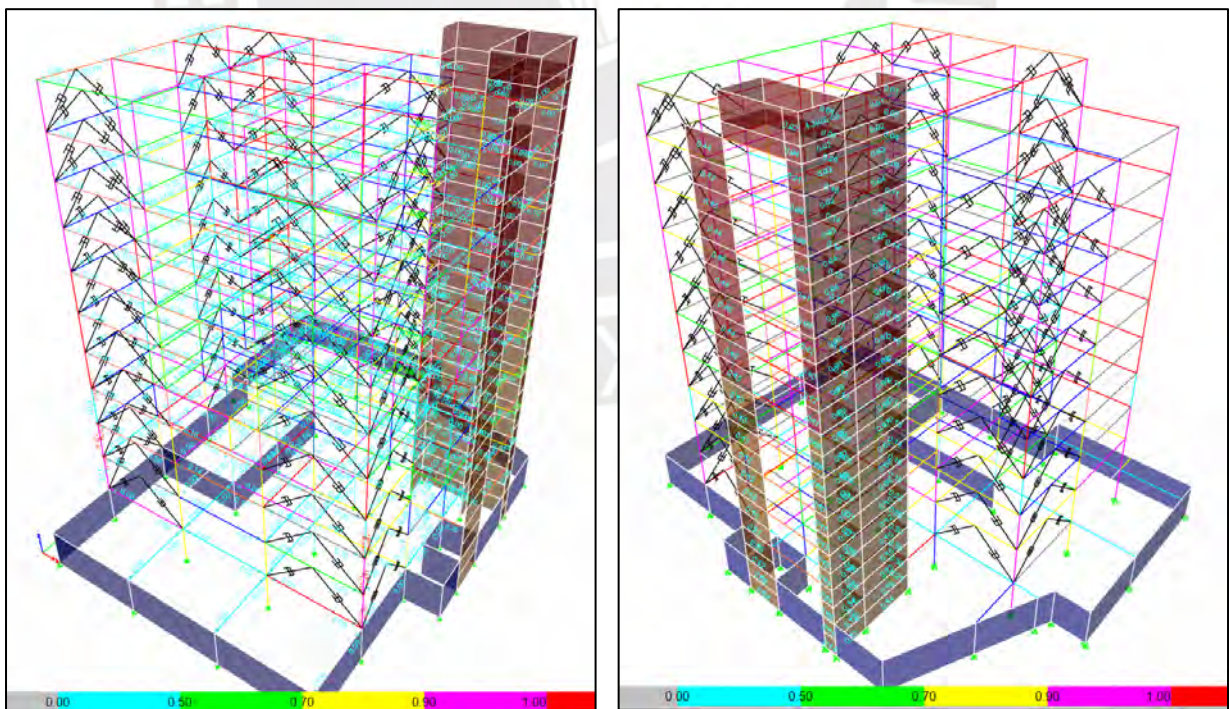


Figura 69: Comportamiento de la Estructura para Ocupación Inmediata

## - Seguridad de Vida

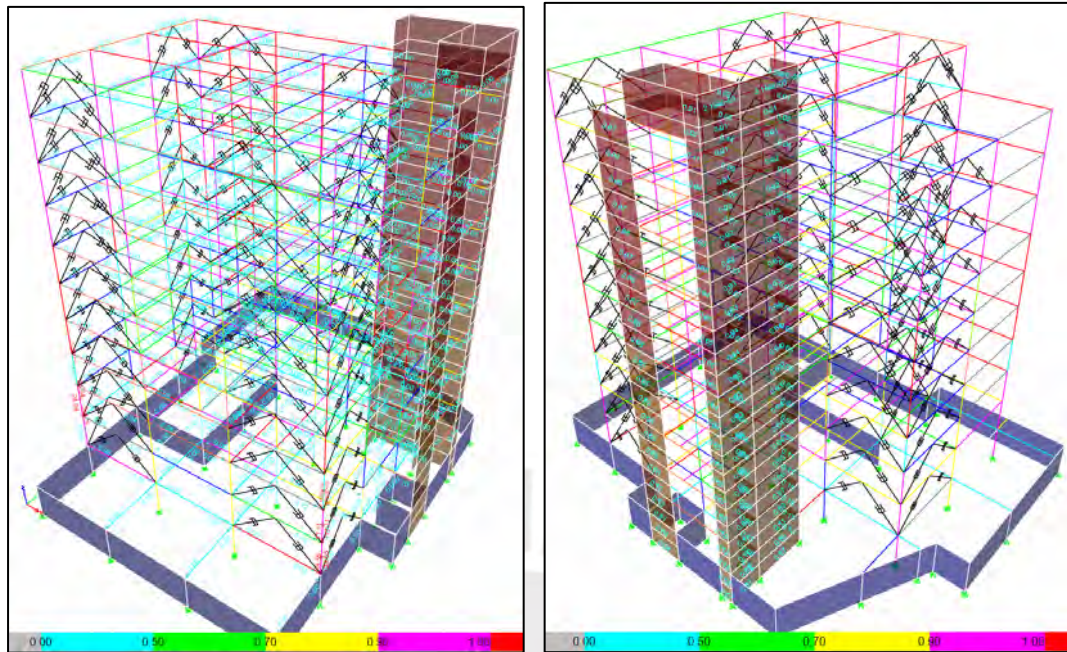


Figura 70: Comportamiento de la Estructura para Seguridad de Vida

## - Prevención del Colapso

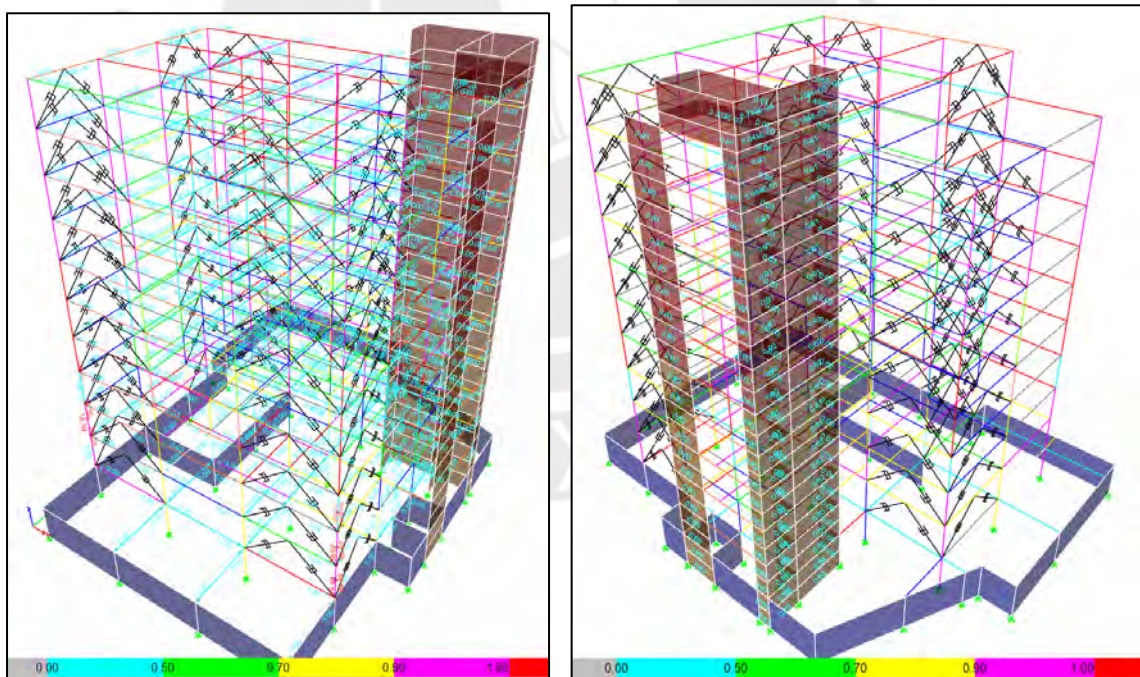


Figura 71: Comportamiento de la Estructura para Prevención de Colapso

De la verificación realizada con los tres estados límites y con la intensidad de este sismo, se ha verificado que en general placas y columnas tienen un adecuado comportamiento, salvo dos columnas que requieren ser reforzada para tener un adecuado comportamiento en los tres estados límites. Además, algunas vigas tienen un ratio elevado para ocupación inmediata, pero que mejora para prevención del colapso, lo que amerita una revisión para tener un mejor desempeño en todos los estados límites.

### b) Desplazamiento Máximo del Centro de Masa

En el gráfico 20, se muestran los desplazamientos del centro de masa para el promedio de las señales empleadas en el análisis, las señales han sido escaladas a cada una de las cuatro intensidades de sismo empleadas en el análisis

Las intensidades son las siguientes:

- BSE-1E – Sismo de Diseño para estructuras existentes.
- BSE-2E – Sismo Máximo para estructuras existentes.
- BSE-1N – Sismo de Diseño para estructuras nuevas.
- BSE-2N – Sismo de Máximo para estructuras nuevas.

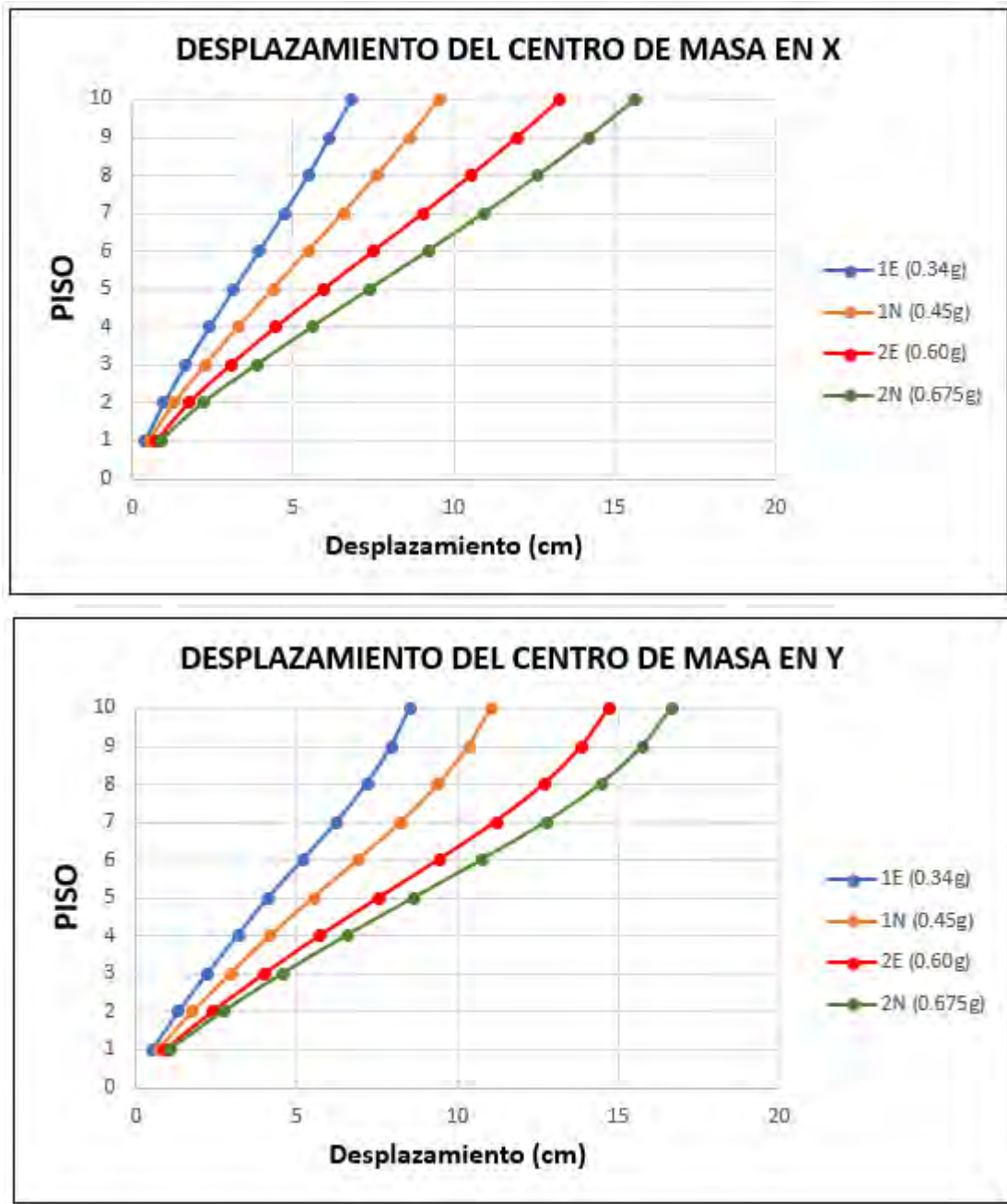
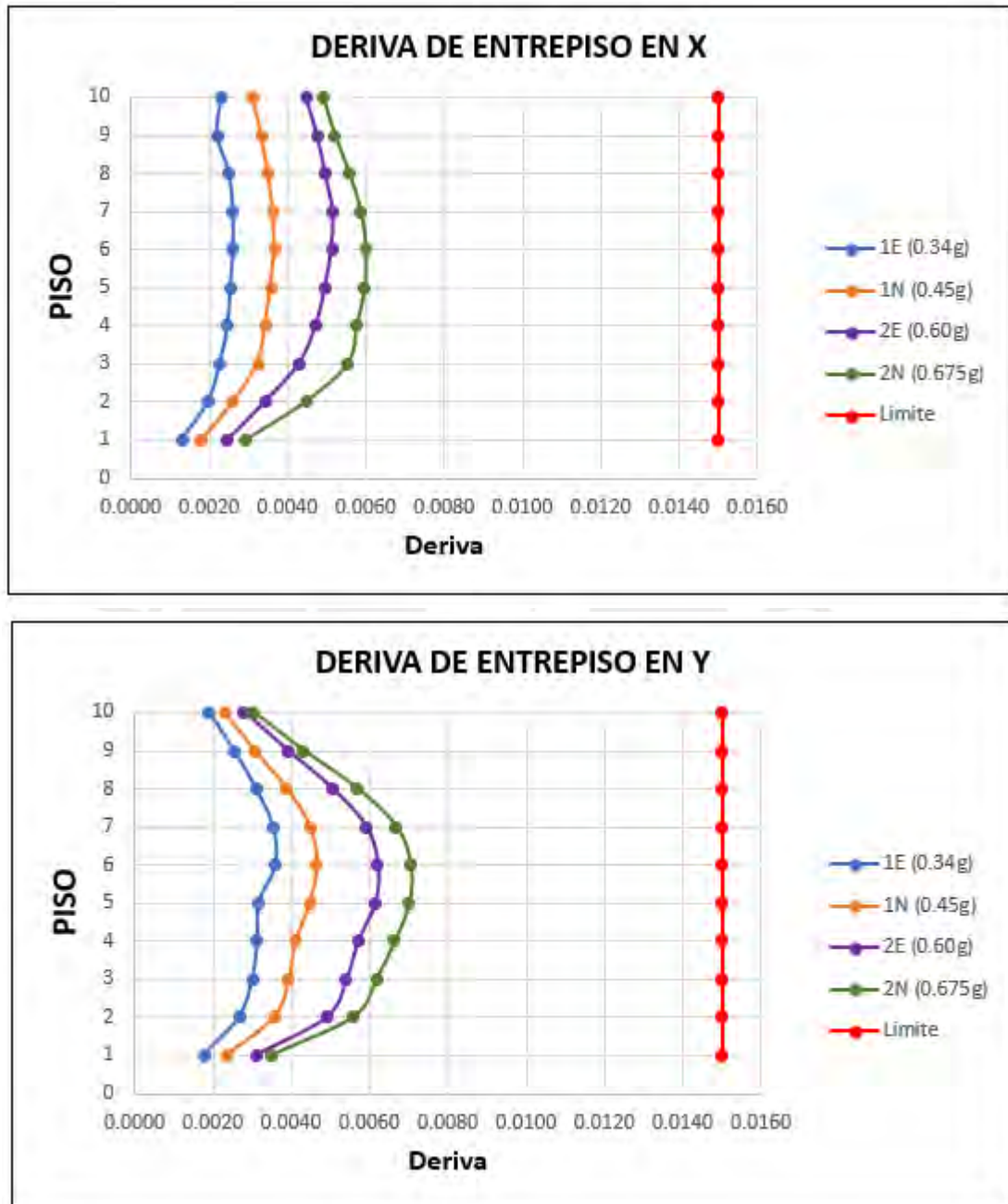


Gráfico 20 : Desplazamiento del centro de masa de la estructura reforzada con Amortiguadores.

c) **Distorsión de entrepiso del Centro de Masa (Deriva de Entrepiso)**

En los siguientes gráficos, se muestran las derivas de entrepiso para el promedio de las señales empleadas en el análisis, las señales han sido escaladas a cada una de las cuatro intensidades de sismo empleadas en el análisis.



**Gráfico 21** : Deriva del centro de masa de la estructura reforzada con Amortiguadores.

En el gráfico 21, se puede apreciar que con el reforzamiento empleado se ha mejorado el comportamiento de la estructura llegando a estar dentro de los límites normativos.

**d) Fuerza Cortante de la estructura.**

En el gráfico 22, se muestran los cortantes actuantes en cada uno de los niveles de la estructura, los cortantes se han obtenido para el promedio de las señales empleadas en el análisis. Las señales han sido escaladas a cada una de las cuatro intensidades de sismo empleadas en el análisis.



**Gráfico 22 :** Fuerza cortante de la estructura reforzada con Amortiguadores.

### 6.3.2 Resultados del Análisis Tiempo Historia Edificio Reforzado con Arriostres de Pandeo Restringido

#### a) Desempeño (Performance) de la Estructura.

En las siguientes imágenes se muestra en el comportamiento de las estructuras reforzadas con BRBs ante la acción de las señales sísmicas empleadas en el análisis, estas señales han sido escaladas para a las cuatro intensidades empleadas en el estudio.

Las intensidades son las siguientes:

- BSE-1E – Sismo de Diseño para estructuras existentes.
- BSE-2E – Sismo Máximo para estructuras existentes.
- BSE-1N – Sismo de Diseño para estructuras nuevas.
- BSE-2N – Sismo de Máximo para estructuras nuevas.

El comportamiento se verifica para los siguientes niveles de desempeño

- Inmediata Ocupación.
- Seguridad de Vida.
- Prevención del Colapso.

A continuación, se muestran los gráficos del Performance de la estructura para los tres niveles de desempeño empleando el Sismo Máximo para Estructuras Existentes (BSE-2E). El resto de resultados se muestran en el anexo 6 de este documento.

#### - Inmediata Ocupación

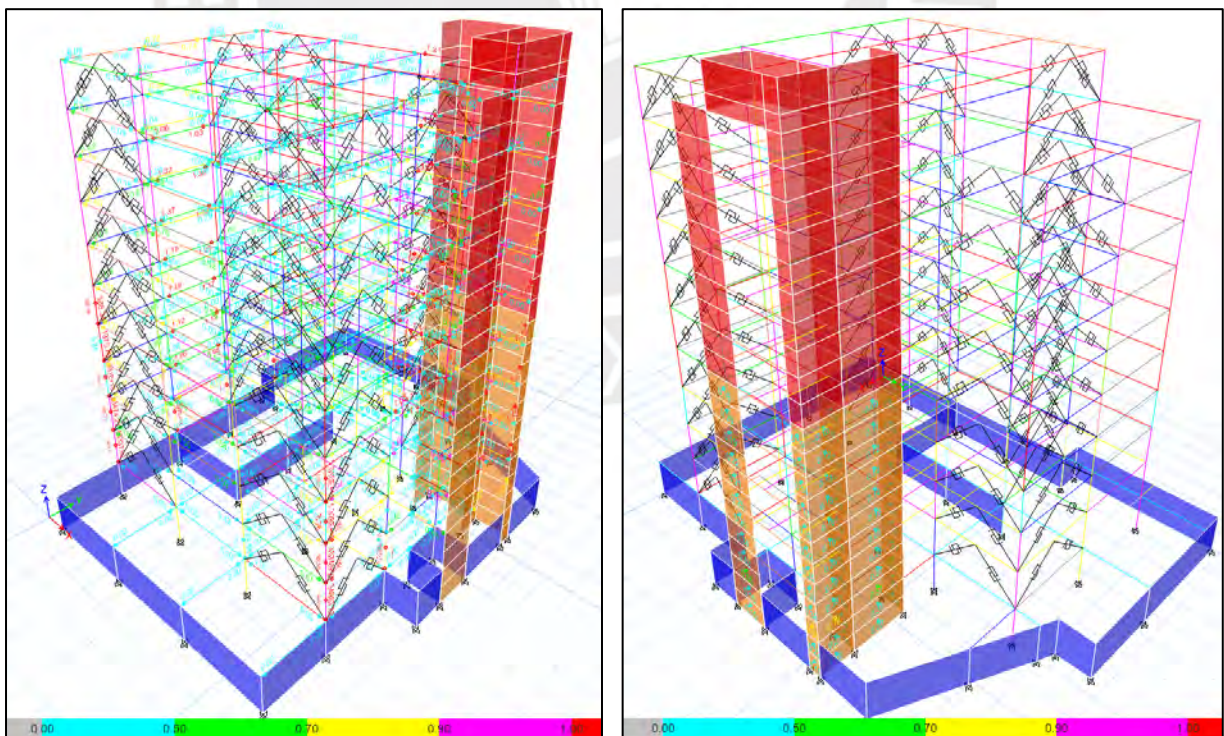


Figura 72: Comportamiento de la Estructura para Ocupación Inmediata

- Seguridad de Vida

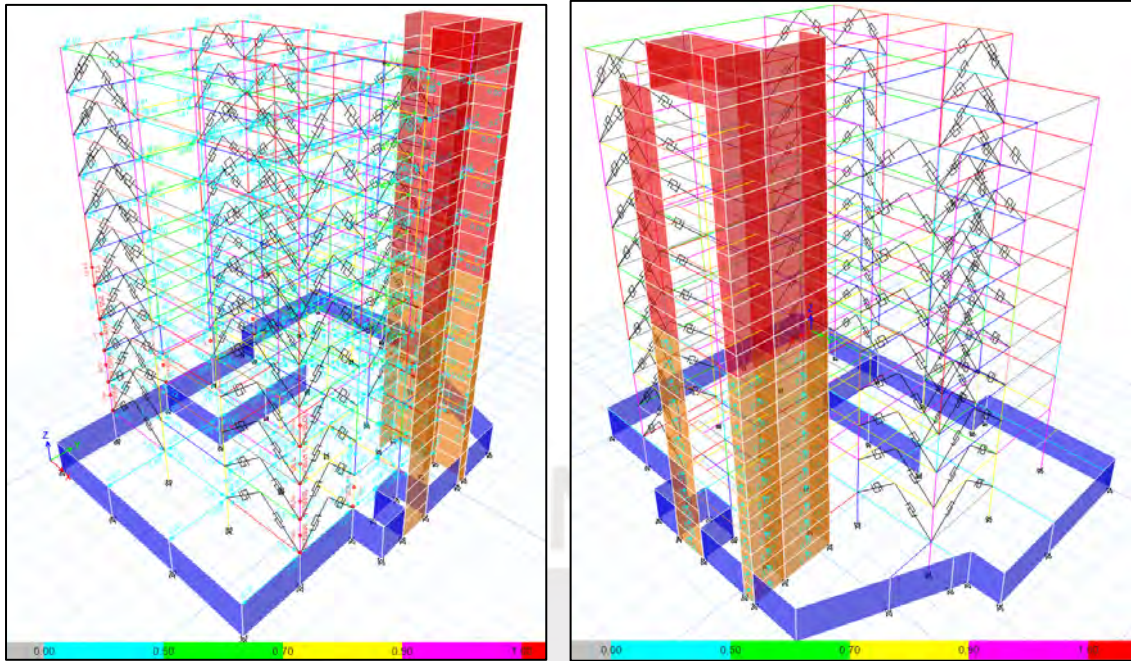


Figura 73: Comportamiento de la Estructura para Seguridad de Vida

- Prevención del Colapso

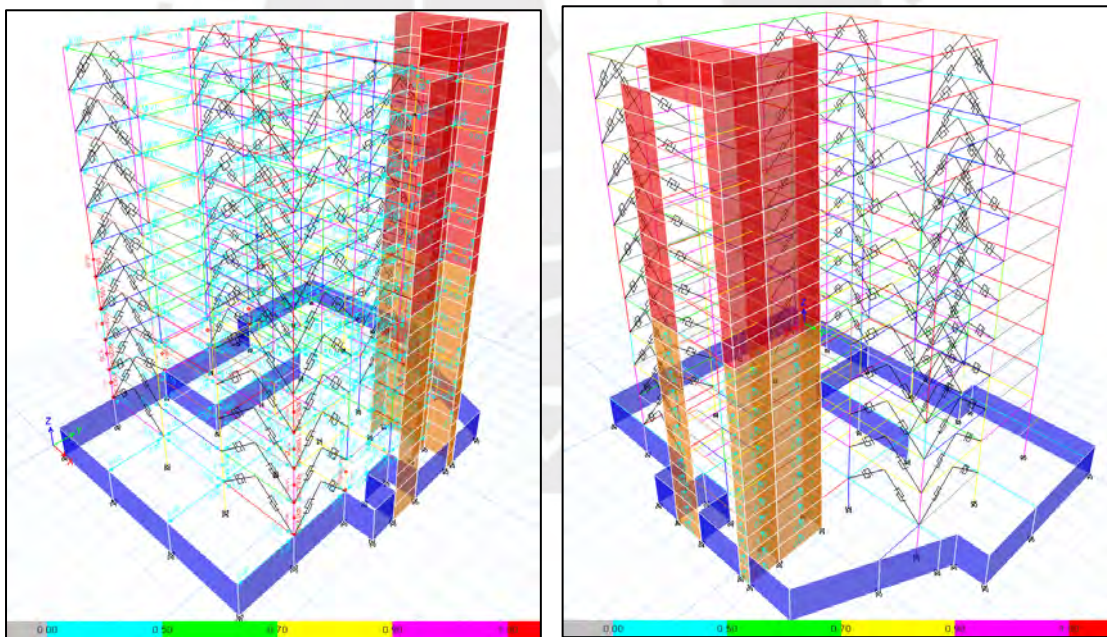


Figura 74: Comportamiento de la Estructura para Prevención de Colapso

De la verificación realizada con los tres estados límites y con la intensidad de este sismo, se ha verificado que en general placas y columnas tienen un adecuado comportamiento, salvo cuatro columnas que requieren ser reforzada para tener un adecuado comportamiento en los tres estados límites. Además, algunas vigas tienen un ratio superior a la unidad para ocupación inmediata, pero que mejora para prevención del colapso, lo que amerita una revisión y poder verificar si es necesario un reforzamiento para tener un mejor desempeño en todos los estados límites.

### b) Desplazamiento Máximo del Centro de Masa

En el gráfico 23, se muestran los desplazamientos del centro de masa para el promedio de las señales empleadas en el análisis, las señales han sido escaladas a cada una de las cuatro intensidades de sismo empleadas en el análisis.

Las intensidades son las siguientes:

- BSE-1E – Sismo de Diseño para estructuras existentes.
- BSE-2E – Sismo Máximo para estructuras existentes.
- BSE-1N – Sismo de Diseño para estructuras nuevas.
- BSE-2N – Sismo de Máximo para estructuras nuevas.

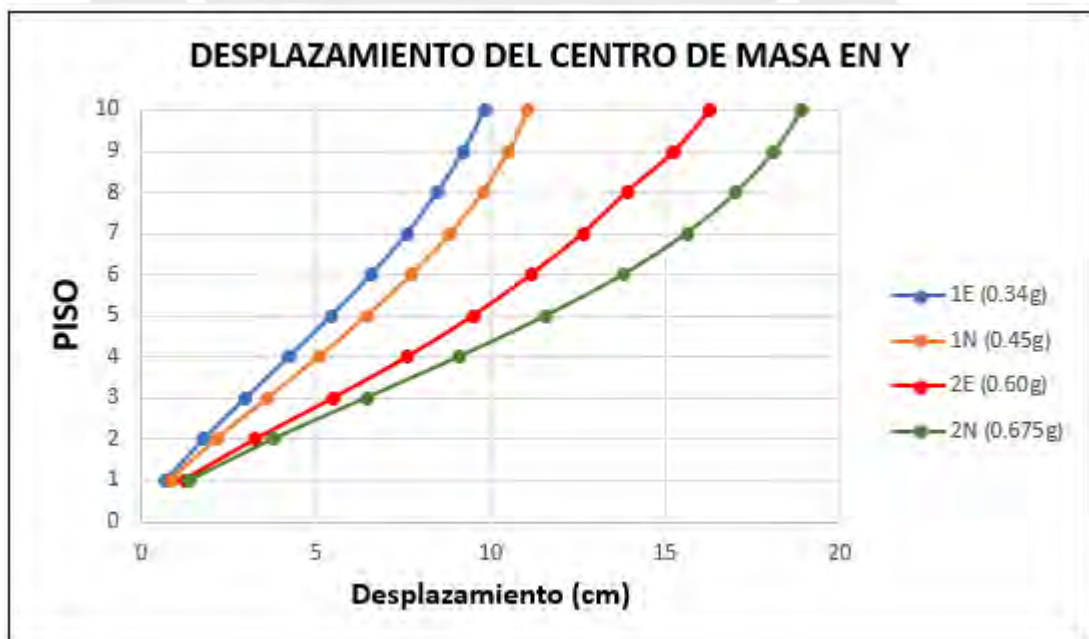
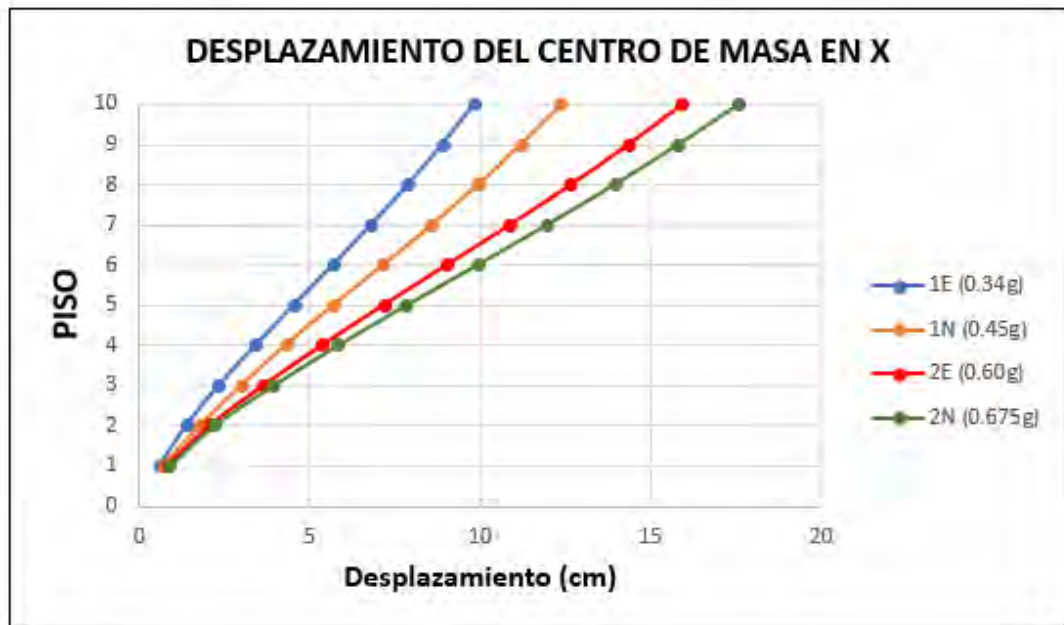
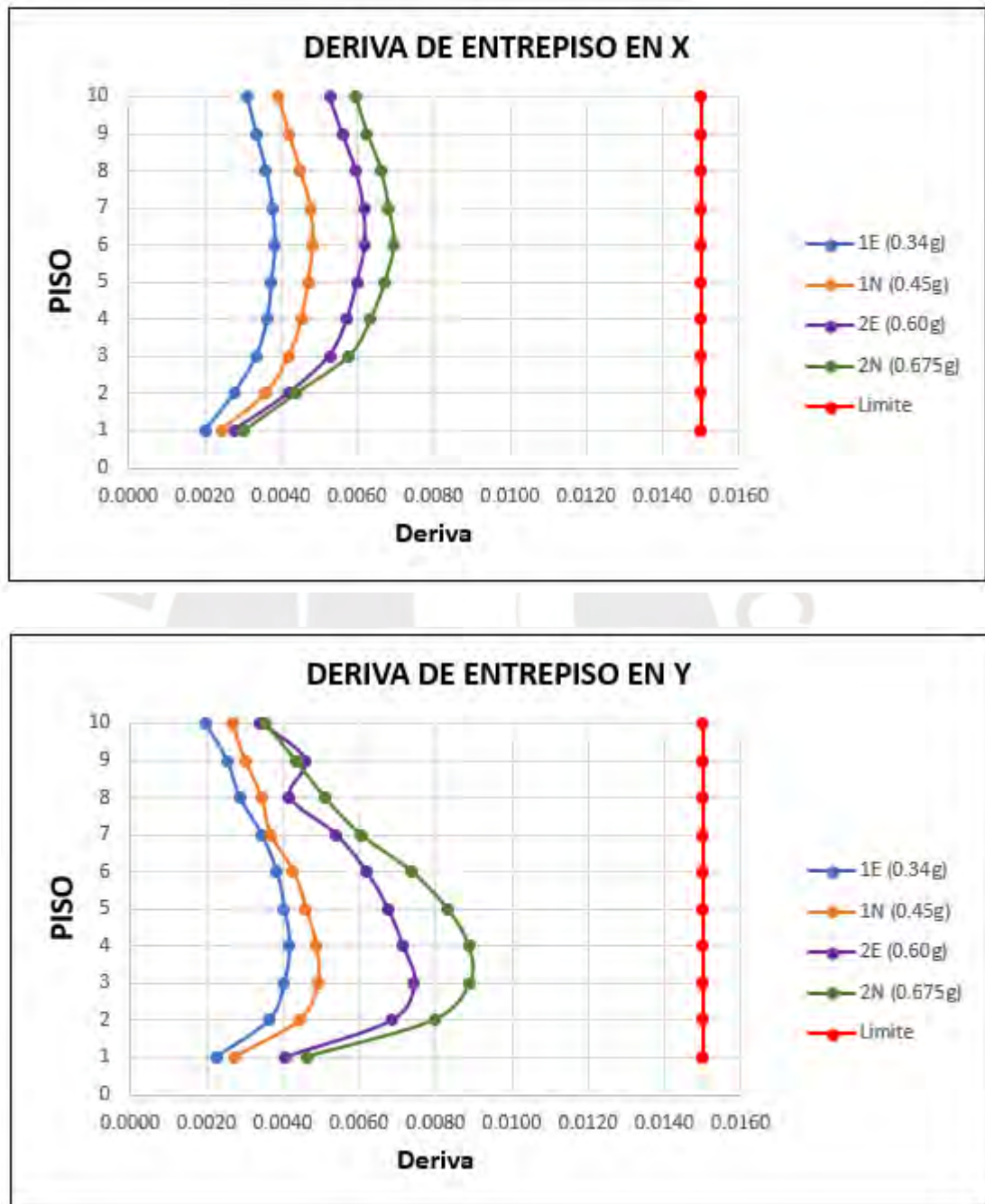


Gráfico 23 : Desplazamiento del centro de masa de la estructura reforzada con BRBs.

c) **Distorsión de entrepiso del Centro de Masa (Deriva de Entrepiso)**

En el gráfico 24, se muestran las derivas de entrepiso para el promedio de las señales empleadas en el análisis, las señales han sido escaladas a cada una de las cuatro intensidades de sismo empleadas en el análisis.

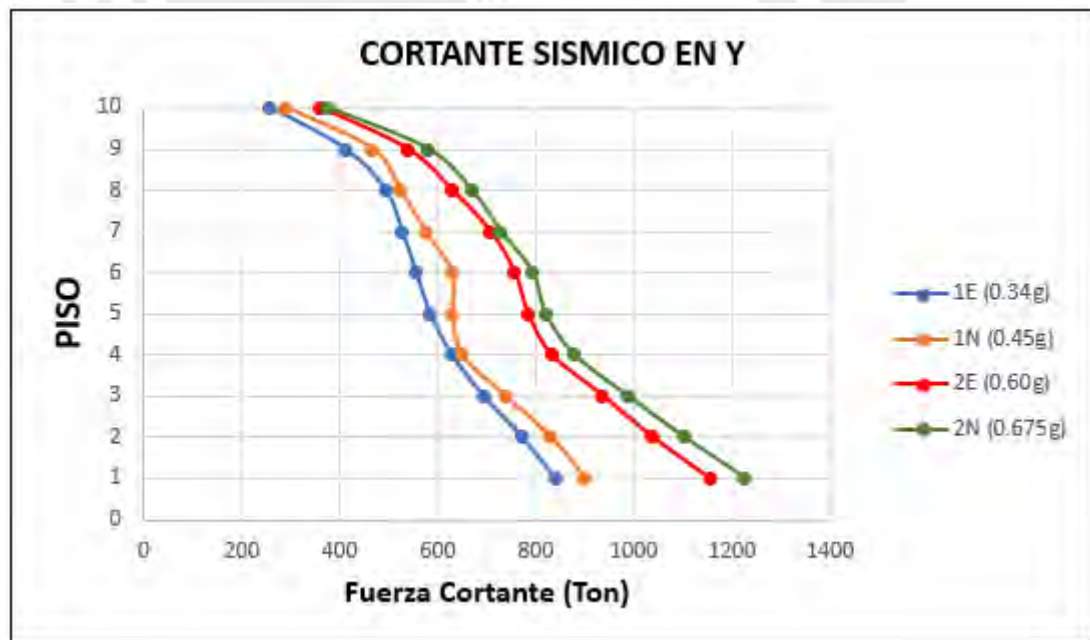
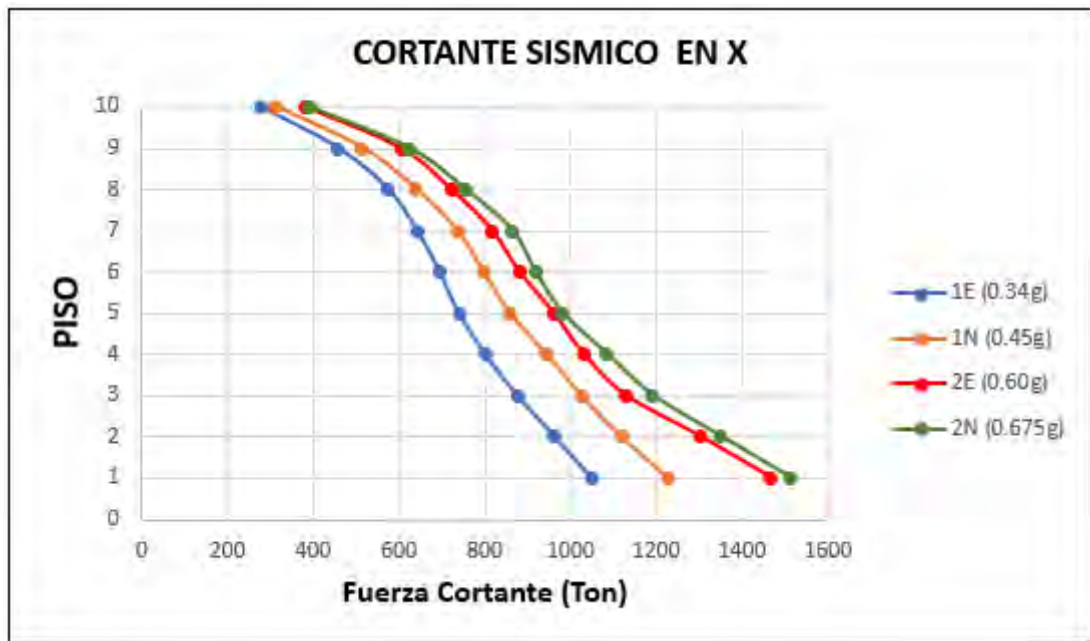


**Gráfico 24** : Deriva del centro de masa de la estructura reforzada con BRBs.

En el gráfico 29, se puede apreciar que con el reforzamiento empleado se ha mejorado el comportamiento de la estructura llegando a estar dentro de los límites normativos.

d) **Cortante de la estructura.**

En el gráfico 25, se muestran los cortantes actuantes en cada uno de los niveles de la estructura, los cortantes se han obtenido para el promedio de las señales empleadas en el análisis. Las señales han sido escaladas a cada una de las cuatro intensidades de sismo empleadas en el análisis.



**Gráfico 25 :** Fuerza cortante de la estructura reforzada con BRBs.

## **7. Capítulo 7: Cuantificación de la Mejoras Obtenidas con cada Alternativa de Reforzamiento.**

### **7.1 Mejoras Obtenidas con Disipadores de Fluido Viscoso**

- Los disipadores de fluido viscoso le aportan amortiguamiento a la estructura lo que permite reducir los esfuerzos que se producen en los elementos estructurales.
- El incremento de amortiguamiento en la estructura permite reducir la fuerza sísmica que se genera en la estructura sismorresistente y con ello también logra reducir los desplazamientos de entrepiso.
- La incorporación de los dispositivos ha permitido que las deformaciones laterales de entrepiso (derivadas), queden dentro los límites normativos incluso bajo la acción de los sismos de mayor intensidad.
- Los amortiguadores absorben las demandas sísmicas, lo que genera que el resto de elementos estén sometidos a menores esfuerzos que los de la estructura original.

### **7.2 Mejoras Obtenidas con Arriostres de Pandeo Restringido**

- Los BRBs incrementan la rigidez de la estructura, lo que genera que se puedan reducir las deformaciones laterales de la estructura.
- La incorporación de los dispositivos ha permitido que las deformaciones laterales de entrepiso (derivadas), queden dentro los límites normativos incluso bajo la acción de los sismos de mayor intensidad.
- Estos dispositivos también ayudan a reducir y/o eliminar las irregularidades torsionales de una estructura.
- Los BRBs debido a su configuración concentran en ellos las demandas sísmicas, lo que genera que el resto de elementos estén sometidos a menores esfuerzos que los de la estructura original.

## **8. Capítulo 8: Conclusiones y Recomendaciones**

### **8.1 Estado Original de la Estructura**

- Al realizar el análisis modal espectral a la estructura existente se ha encontrado que la deriva de entrepiso en la dirección horizontal es de 0.0089 y en la dirección transversal es de 0.149 que son valores mayores a los permitidos en la norma E030 de diseño sismorresistente vigente.
- Se ha realizado un análisis tiempo historia lineal empleando las señales sísmicas de los años 1966, 1970 y 1974 originales sin amplificar, sismos a los que ha estado sometida la estructura. Se ha encontrado que la deriva máxima en la dirección horizontal ha sido de 0.0029 y en la dirección transversal de 0.0034 valores menores a los permitidos en la norma E030 de diseño sismorresistente vigente, lo que indica que estructura no ha estado sometida a desplazamientos excesivos y por ello su estado de conservación actual.

### **8.2 Disipadores de Fluido Viscoso**

- Los disipadores de fluido viscoso incrementan el amortiguamiento de la estructura lo que permite reducir los esfuerzos en los elementos estructurales.
- Con la incorporación de disipadores de fluido viscoso se puede reducir los desplazamientos de entrepiso de la estructura.
- Los disipadores al ser dispositivos que no aportan rigidez a la estructura no contribuyen a mejorar la irregularidad torsional de la estructura.
- Los disipadores de fluido viscoso al ser dispositivos que no incrementan la rigidez de la estructura no modifican el periodo de la misma y por lo tanto no incrementan la fuerza sísmica de diseño.
- La incorporación de amortiguadores ha permitido reducir los esfuerzos en el resto de elementos, lo que genera que los reforzamientos requeridos en los elementos estructurales sean menores a los que se requieren con la estructura original.

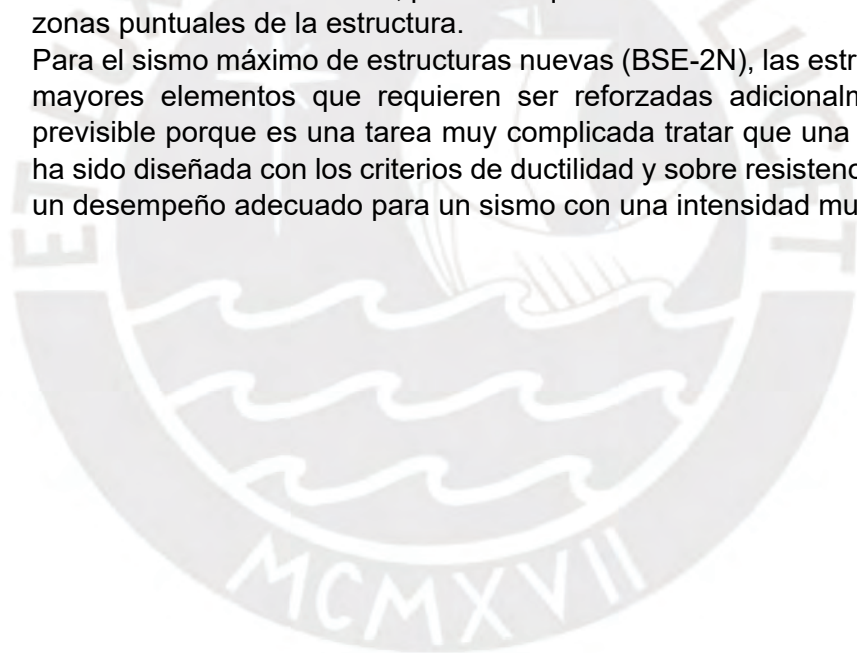
### **8.3 Arriostres de Pandeo Restringido**

- Los BRBs son dispositivos que incrementan la rigidez de la estructura lo que permite reducir las deformaciones laterales de la estructura.
- Los BRBs al ser dispositivos que aportan rigidez a la estructura, si se posicionan adecuadamente ayudan a eliminar la irregularidad torsional de una estructura. Pero si se colocan en lugares inadecuados podrían incrementar la irregularidad torsional.
- Los BRBs incrementan la rigidez de la estructura y por lo tanto también reducen el periodo de la estructura y genera que se incrementen las fuerzas de diseño.
- Los BRBs al ser elementos con mayor rigidez que el resto de elementos de la estructura (vigas y columnas), absorben mayor fuerza cortante lo que genera que se reduzcan los esfuerzos en el resto de elementos.
- Los BRBs al concentrar los esfuerzos sísmicos requieren que se tengan que reforzar los elementos a los que están conectados.

- La incorporación de BRBs ha permitido reducir los esfuerzos en el resto de elementos, lo que genera que los reforzamientos requeridos en el resto de elementos estructurales sean menores a los que se requieren con la estructura original.

#### **8.4 Generales**

- Partiendo de la premisa de que ambos sistemas de reforzamiento son económicamente comparables no solo considerando el costo de los dispositivos sino también los reforzamientos adicionales que se requieren en la estructura. Se puede concluir que los BRBs proporcionan un mejor desempeño de la estructura porque corrigen el problema de irregularidad torsional que tenía la estructura originalmente.
- Para obtener un mejor desempeño de la estructura es necesario reforzarla con el objetivo de eliminar los defectos de ductilidad propios de las construcciones de la época.
- El comportamiento de las estructuras reforzadas es adecuado para los sismos de diseño de estructuras existentes y nuevas (BSE-1E y BSE-1N).
- Para el sismo máximo de estructuras existentes (BSE-2E), el comportamiento de las estructuras es adecuado, pero se requiere hacer un reforzamiento adicional en zonas puntuales de la estructura.
- Para el sismo máximo de estructuras nuevas (BSE-2N), las estructuras presentan mayores elementos que requieren ser reforzadas adicionalmente, lo cual es previsible porque es una tarea muy complicada tratar que una estructura que no ha sido diseñada con los criterios de ductilidad y sobre resistencia actuales, tenga un desempeño adecuado para un sismo con una intensidad muy elevada.

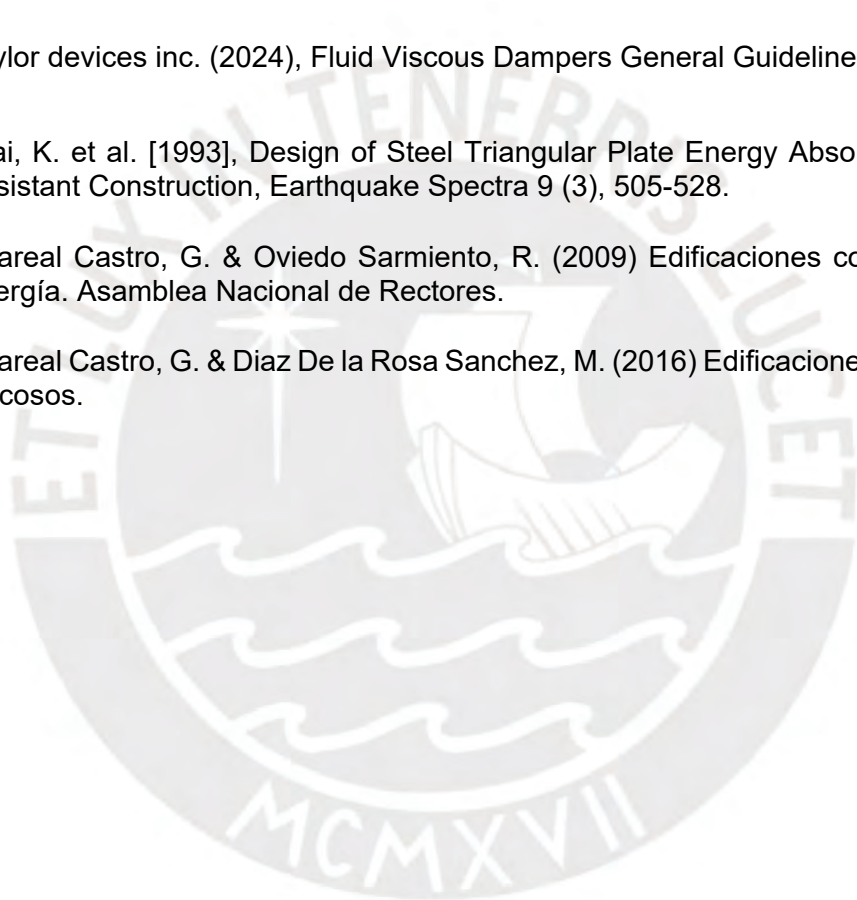


## 9. BIBLIOGRAFIA

- ACI Committee 318 (2019), "Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural". American Concrete Institute.
- ACI Committee 369 (2018), "American Concrete Institute 369.1M-17, Standard Requirements for Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Concrete Building". American Concrete Institute.
- ACI Committee 374 (2016), "Guide to Nonlinear Modeling Parameters for Earthquake-Resistant Structures (ACI 374.3R-16)". American Concrete Institute.
- Aguiar Falconi, Roberto (2016), Reforzamiento de Estructuras con Disipadores de Energía. Escuela Politécnica del Ejército.
- American Society of Civil Engineers. (2017, December). Seismic evaluation and retrofit of existing buildings. American Society of Civil Engineers.
- American Society of Civil Engineers. (2022, January). Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures. American Society of Civil Engineers.
- Aquino Chumbile, K & Patiño Padilla, R. (2022). Protección Sísmica de Edificios Educativos Peruanos Vulnerables con Disipadores Histeréticos, Tesis, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Barriga Cáceres, D. & Verano Diaz, D. (2022). Reforzamiento con Disipadores Metálicos del Pabellón A de Ingeniería de la PUCP, Tesis, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Bazán Zurita, E., & Meli Piralla, R. (2022). Diseño sísmico de Estructuras. Limusa-Wiley. México.
- Bozzo, L (2022). Análisis y Diseño utilizando Disipadores Sísmicos Tipo SLB. Luis Bozzo Estructuras y Proyectos S.L.
- Cameron Black, N. M. (2002). Component Testing, Stability Analysis and Characterization of Buckling-Restrained Unbonded Braces. Tokyo: Pacific Earthquake Engineering Research.
- Crisafulli, Francisco (2018). Diseño Sismorresistente de Construcciones de Acero. Asociación Latinoamericana del Acero (Alacero).
- CSI ETABS Manual (2016). Computers and Structures, Inc., Berkeley, CA.
- CSI ETABS Manual (2019). Computers and Structures, Inc., Berkeley, CA.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico - Cámara Chilena de la Construcción (2011). Documentos Técnicos – Protección Sísmica de Estructuras N°29, Santiago – Chile.
- Constantinou, Michael (2004). Friction pendulum double concave bearing. New York: University at Buffalo.

- FEMA 440 (2005). Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures. Redwood City, California.
- Fuentes Sadowski, J.C. (2019). Procedimientos para el análisis y diseño de estructuras con sistemas de disipación de energía en el Perú, Tesis, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Kuroiwa, J. (2002). Reducción de desastres: Viviendo en armonía con la naturaleza. OPS.
- LATBSDC (2020). An Alternative Procedure for Seismic Analysis and Design of Tall Buildings Located in the Los Angeles Region, Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council.
- LATBSDC (2023). An Alternative Procedure for Seismic Analysis and Design of Tall Buildings Located in the Los Angeles Region, Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council.
- Loa Canales, F.G. J. (2017). Evaluación del desempeño sísmico de tres opciones de reforzamiento incremental en edificaciones educativas típicas construidas antes de 1997, Tesis, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Muñoz Pelaez, A. (2010). Ingeniería Antisísmica, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- MHIA Ingenieros (2023), Diseño de Edificios con Disipadores de Energía.
- NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 4 (2010). Nonlinear Structural Analysis for Seismic Design A Guide for Practicing Engineers.
- Orellana Ayre, A. K. (2020). Análisis de Factibilidad de la aplicación de arriostres de pandeo restringido como sistema de control de respuesta, Tesis, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Pan, W. H., Tong, J. Z., Guo, Y. L., & Wang, C. M. (2020). Optimal design of steel buckling-restrained braces considering stiffness and strength requirements. Engineering Structures, <https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2020.110437>
- Paulo Helene & Fernanda Pereira (2007). Rehabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Concreto.
- Reglamento Nacional de Construcciones (1977), Normas de Diseño Sismo-resistente. Ministerio de Vivienda y Construcción.
- Reglamento Nacional de Construcciones (1997), Normas Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente. Ministerio de Vivienda y Construcción.
- Reglamento Nacional de Construcciones (2003), Normas Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (2018), Normas Técnica E.030 Diseño Sismorresistente. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

- Saing Consulting Ingeniería Sismorresistente (2023), Amortiguadores Sísmicos.
- Saing Consulting Ingeniería Sismorresistente (2024), Aislamiento Sísmico de Edificaciones.
- Sika (2017), Reforzamiento de Estructuras de Concreto – Técnicas y Materiales, Sika Colombia
- Tavárez Fadul, Jean (2016), Análisis Estático y Dinámico Incremental de una Estructura de muros de Hormigón Armado en la Republica Dominicana. Escola de Camins- UPC Barcelonatech
- Taylor devices inc. (2019), Amortiguadores de Fluido Viscoso – Pautas Generales para Ingenieros.
- Taylor devices inc. (2024), Fluid Viscous Dampers General Guidelines for Engineers.
- Tsai, K. et al. [1993], Design of Steel Triangular Plate Energy Absorbers for Seismic-Resistant Construction, Earthquake Spectra 9 (3), 505-528.
- Villareal Castro, G. & Oviedo Sarmiento, R. (2009) Edificaciones con Disipadores de Energía. Asamblea Nacional de Rectores.
- Villareal Castro, G. & Diaz De la Rosa Sanchez, M. (2016) Edificaciones con Disipadores Viscosos.



## 10. ANEXOS

### 10.1 Anexo 1: Planos de Estructuras del Edificio Empleado en el Estudio



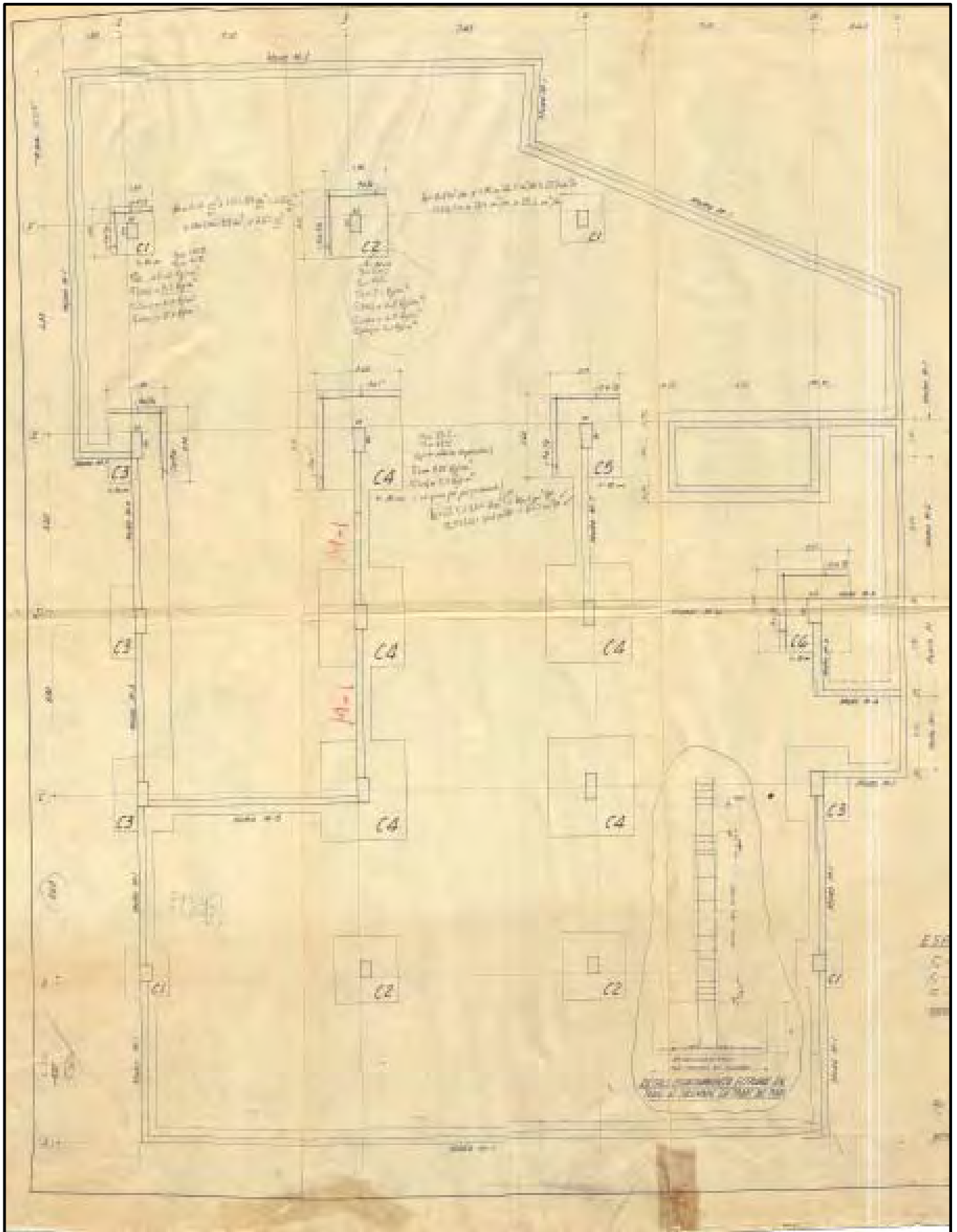


Figura 75: Planta de Cimentación del Edificio

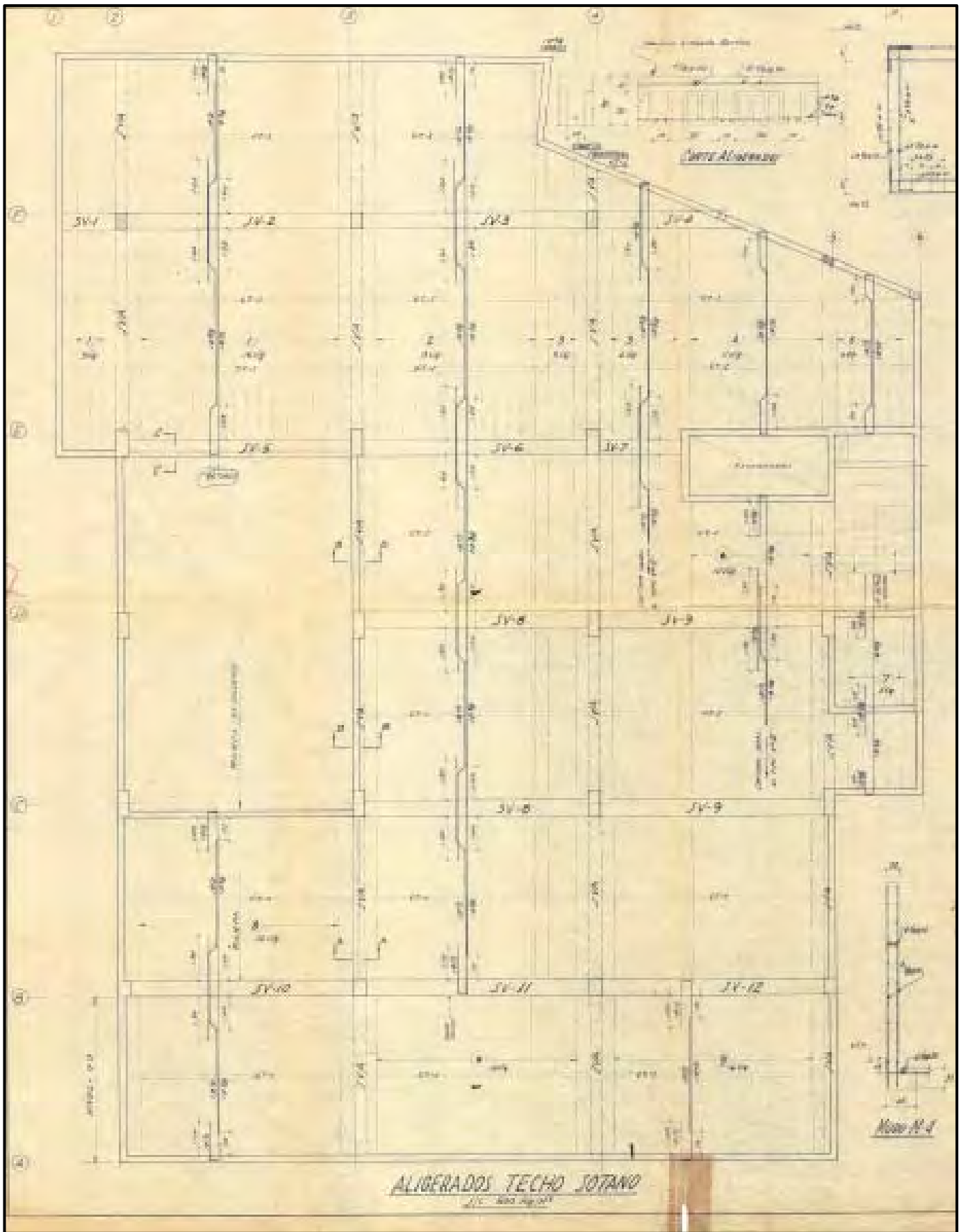


Figura 76: Planta Techo Sótano

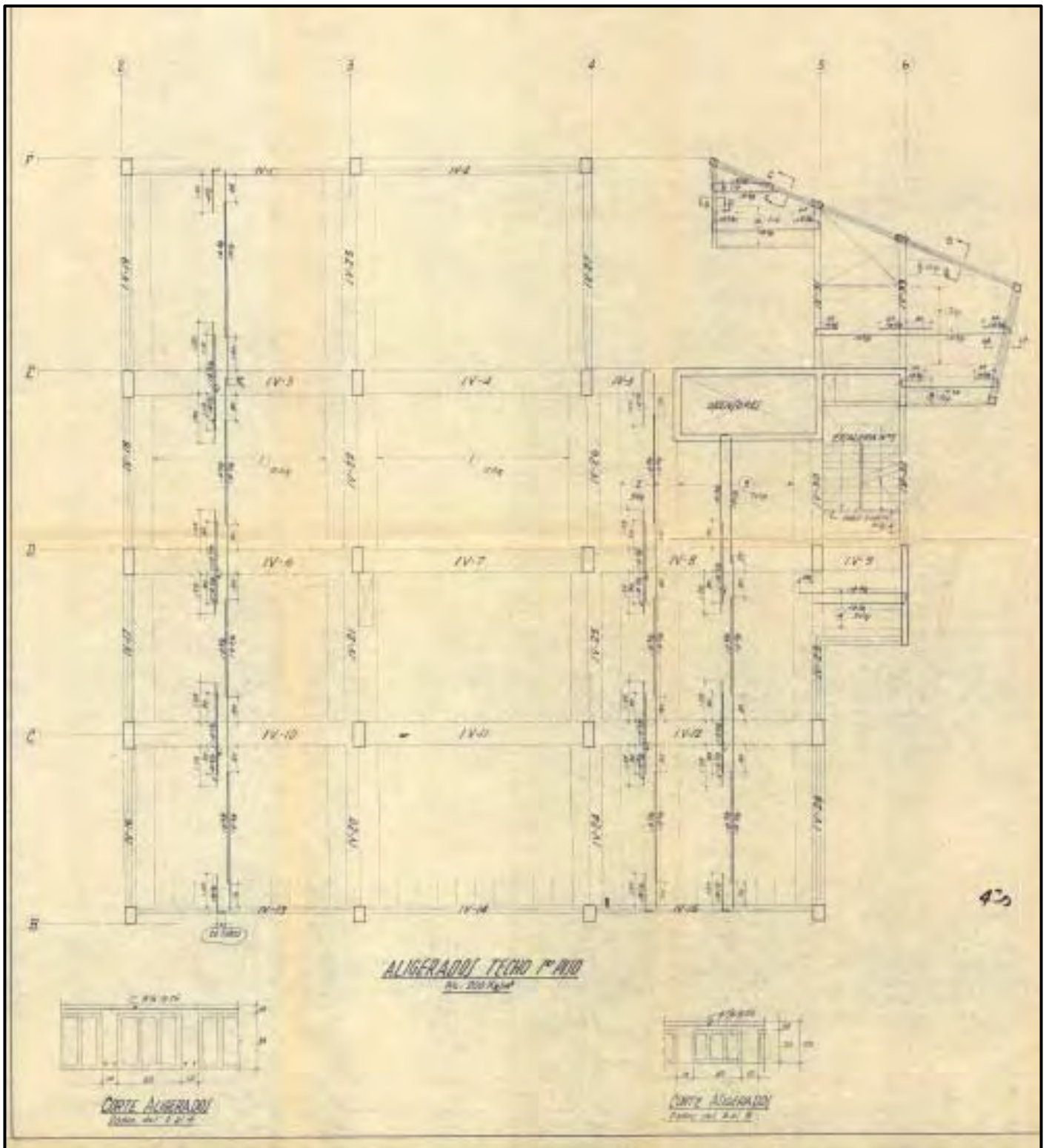


Figura 77: Planta Techo 1° Piso

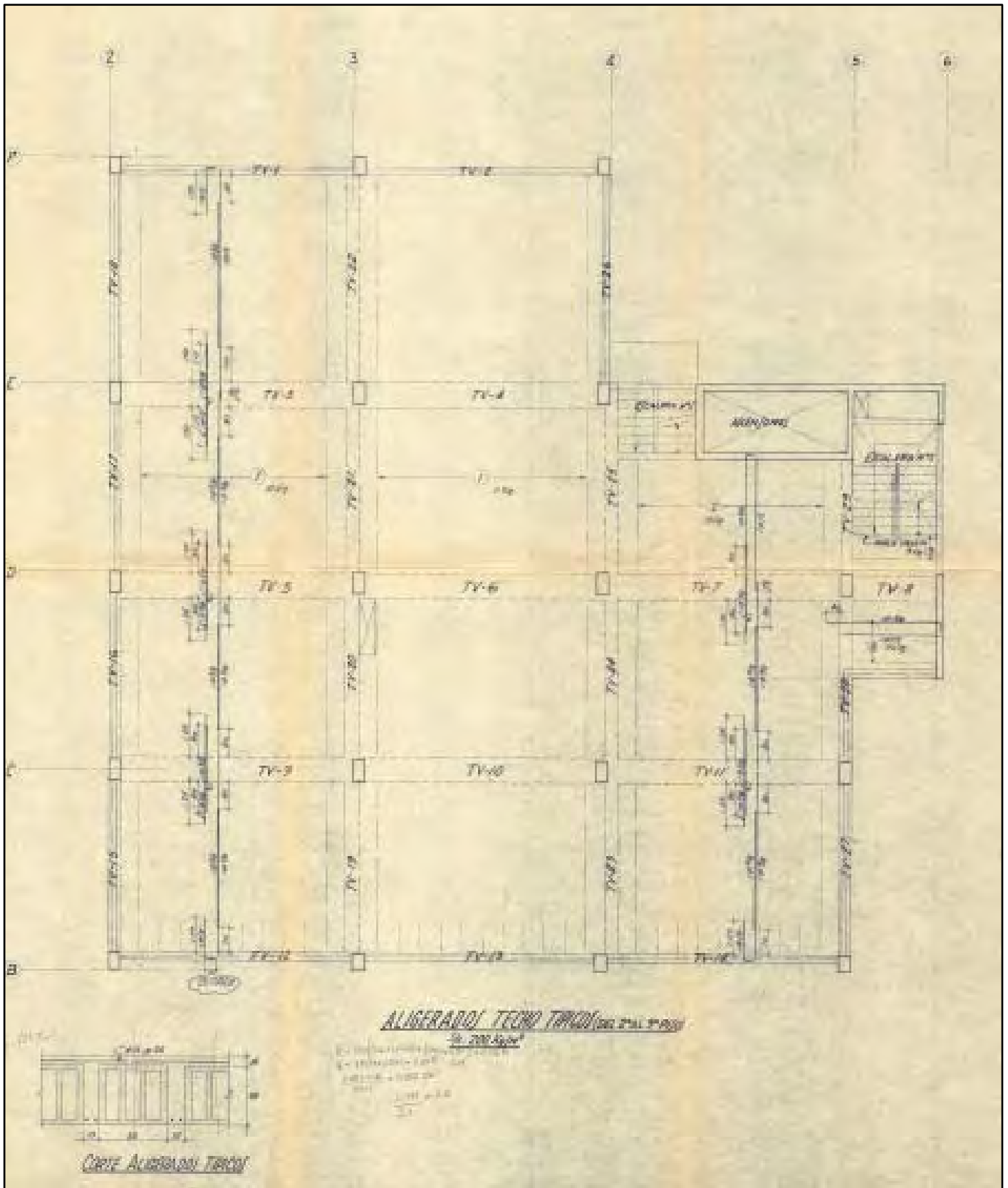


Figura 78: Planta Techo Típico

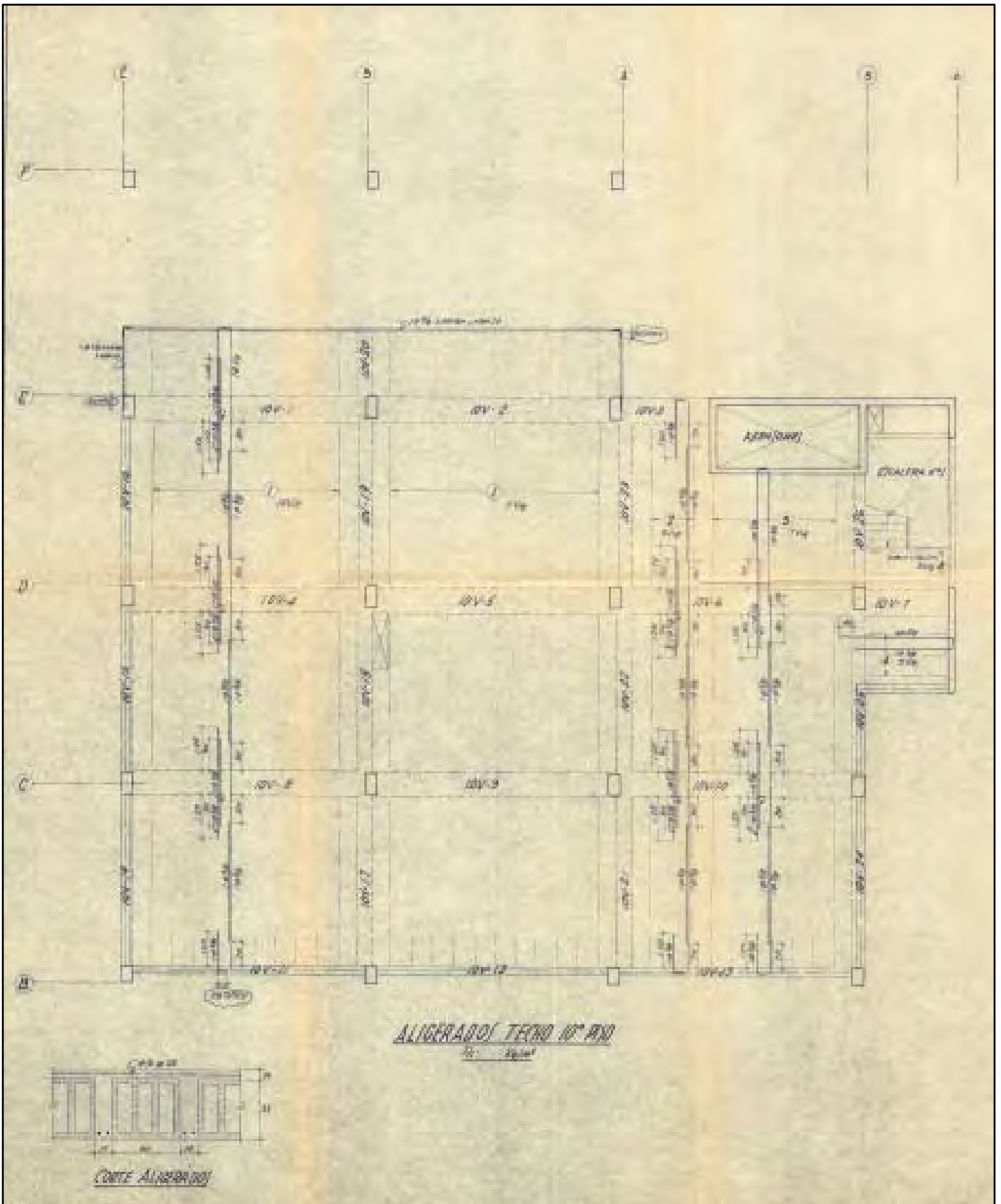
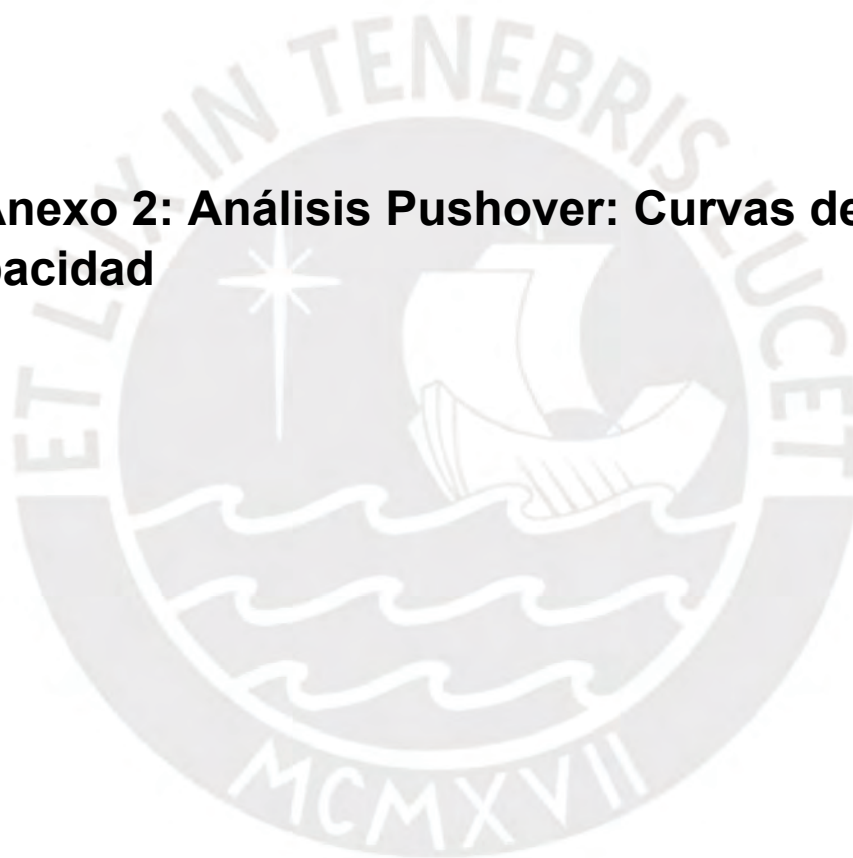


Figura 79: Planta Techo 10° Piso

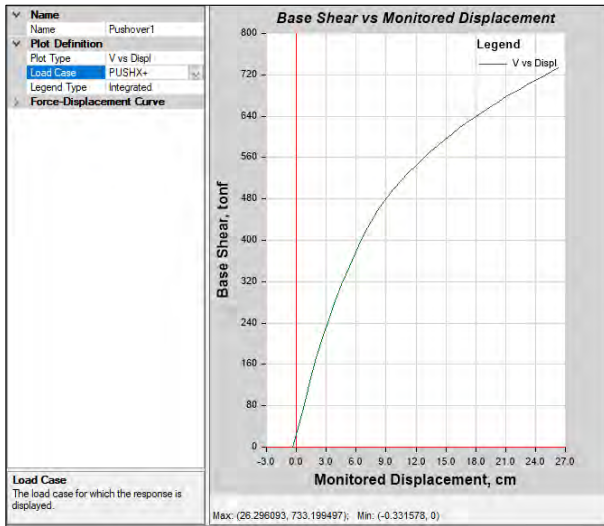
## **10.2 Anexo 2: Análisis Pushover: Curvas de Capacidad**



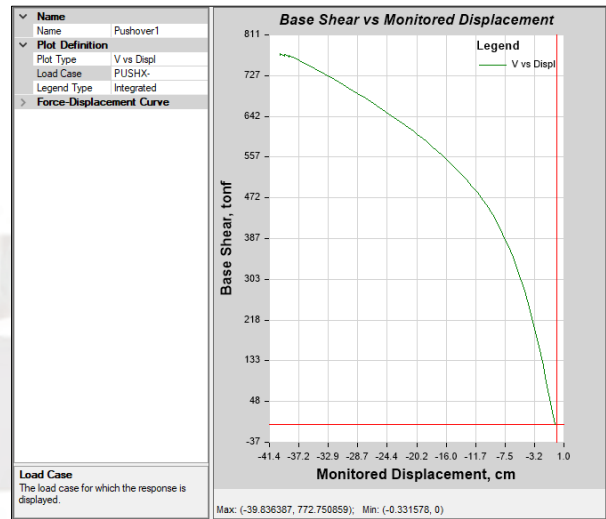
### 10.2.1 Curvas de Capacidad empleando Disipadores de Fluido Viscoso (Amortiguadores)

A continuación, se muestran las curvas de capacidad de la estructura para cada una de las cuatro direcciones de análisis.

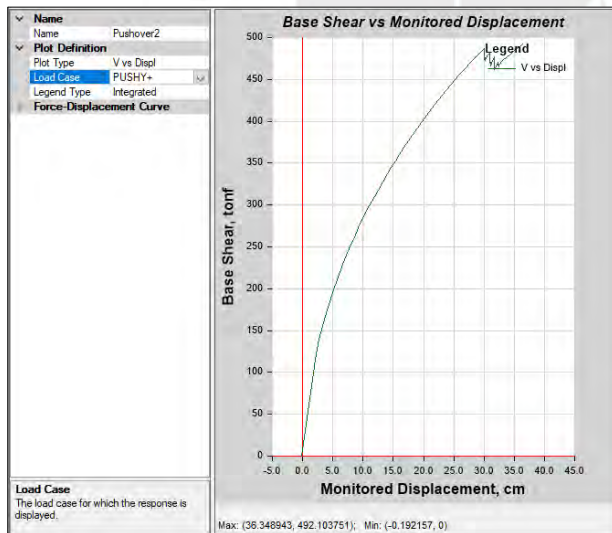
En X (+)



En X (-)



En Y (+)



En Y (-)

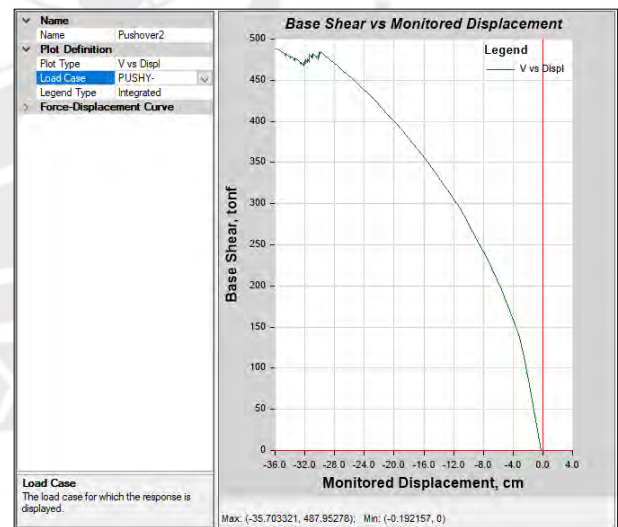
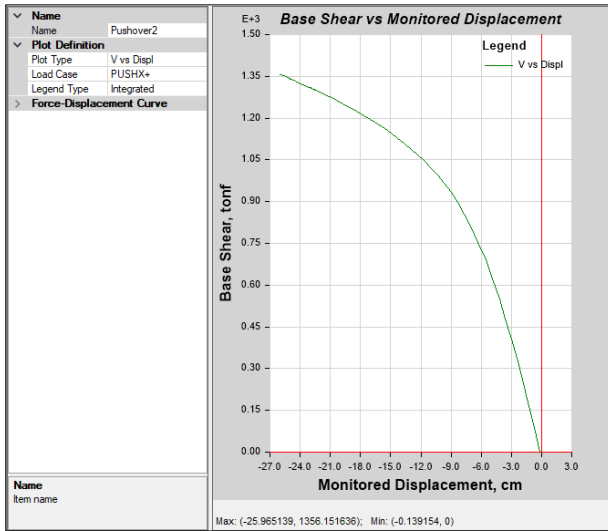


Figura 80: Curvas de Capacidad de las cuatro direcciones de análisis con Amortiguadores.

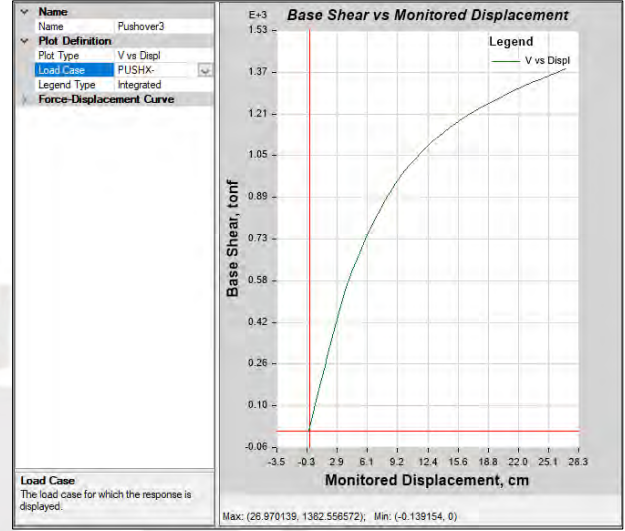
### 10.2.2 Curvas de Capacidad empleando BRBs

A continuación, se muestran las curvas de capacidad de la estructura para cada una de las cuatro direcciones de análisis.

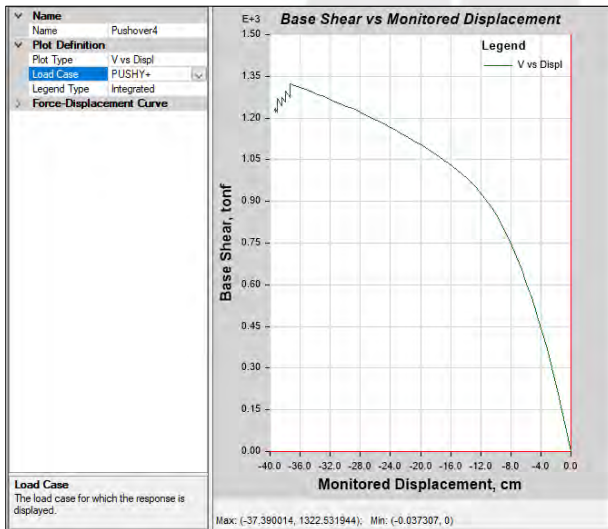
En X (+)



En X (-)



En Y (+)



En Y (-)

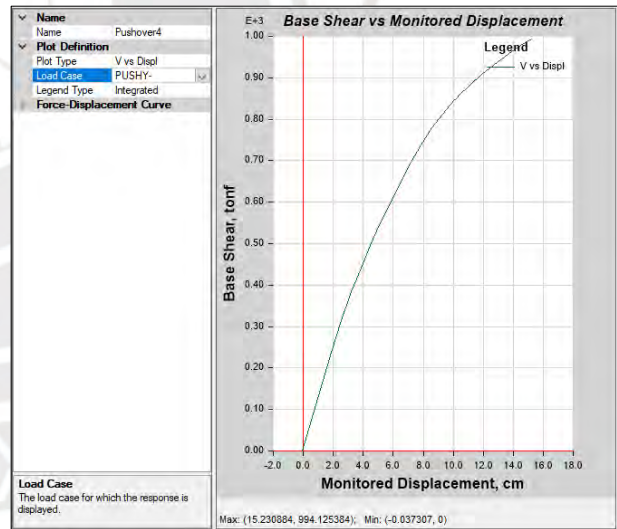
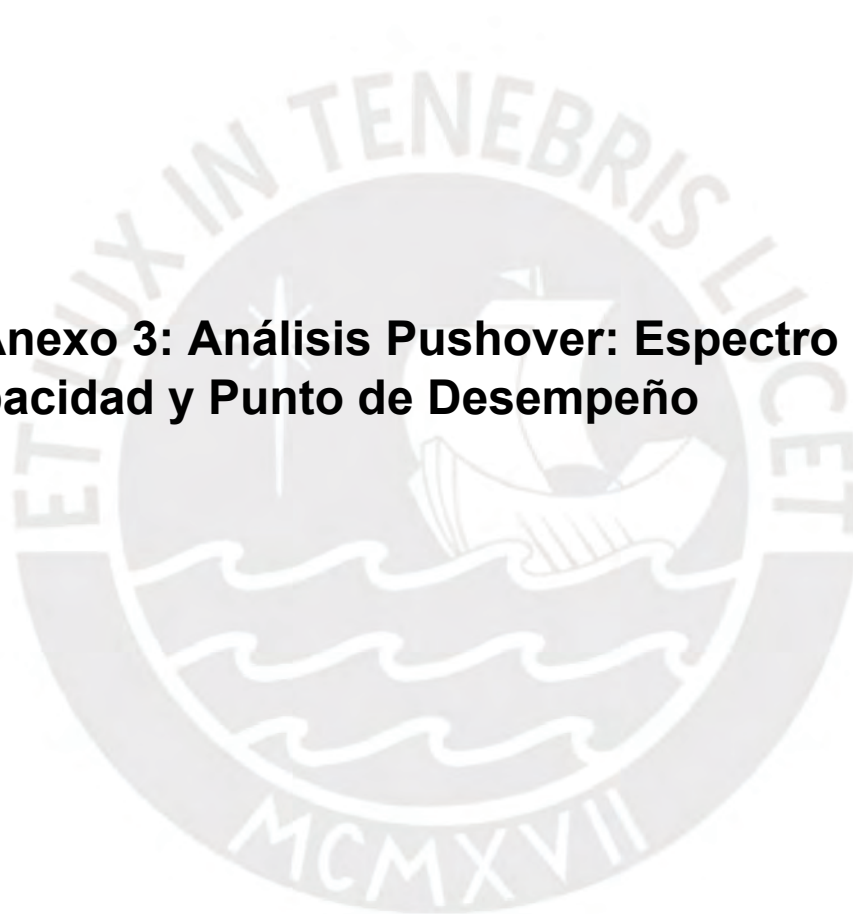


Figura 81: Curvas de Capacidad de las cuatro direcciones de análisis con BRBs.

### **10.3 Anexo 3: Análisis Pushover: Espectro de Capacidad y Punto de Desempeño**

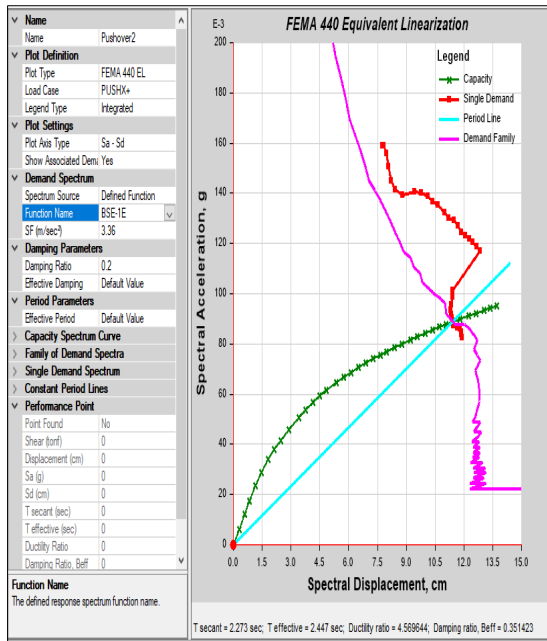


### 10.3.1 Espectro de Capacidad y Punto de Desempeño empleando Disipadores de Fluido Viscoso (Amortiguadores)

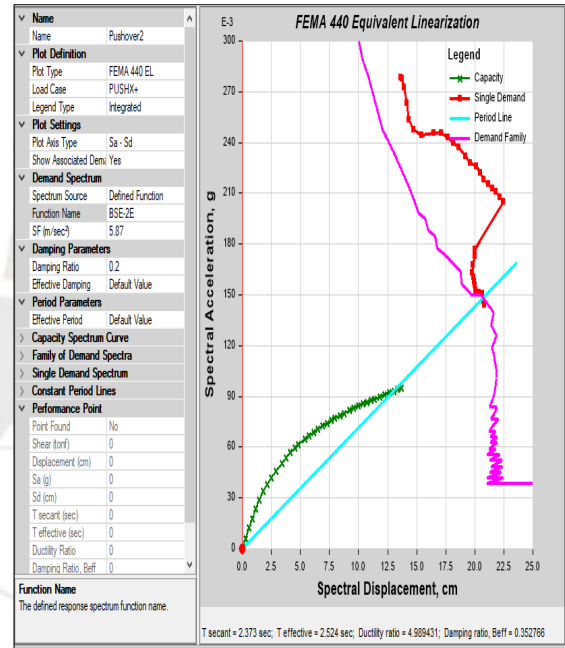
A continuación, se muestran los espectros de capacidad y Punto de Desempeño de la estructura para cada una de las cuatro direcciones de análisis.

#### - Puntos de Desempeño con Análisis Pushover en la Dirección X (+)

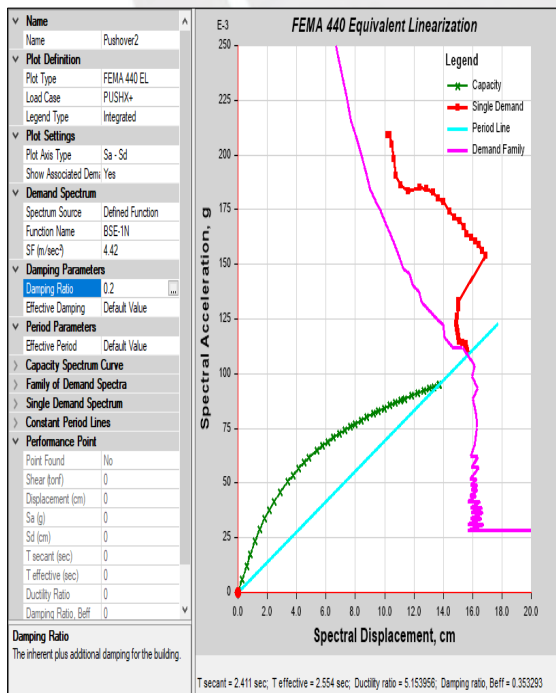
##### BSE-1E



##### BSE-2E



##### BSE-1N



##### BSE-2N

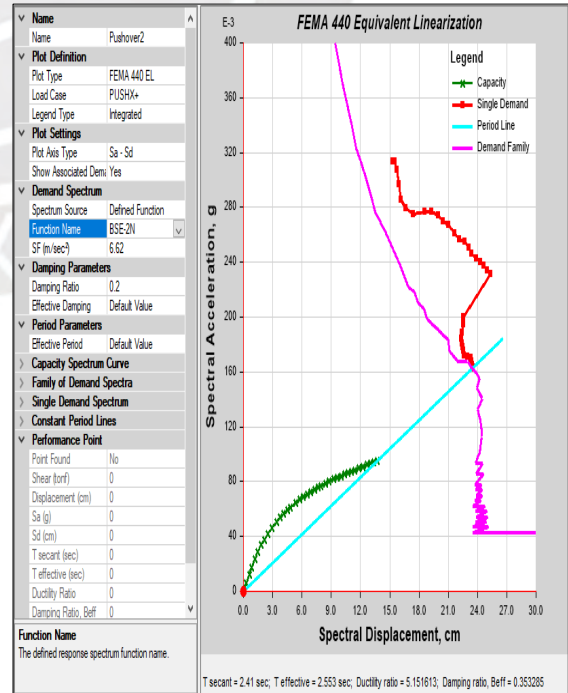
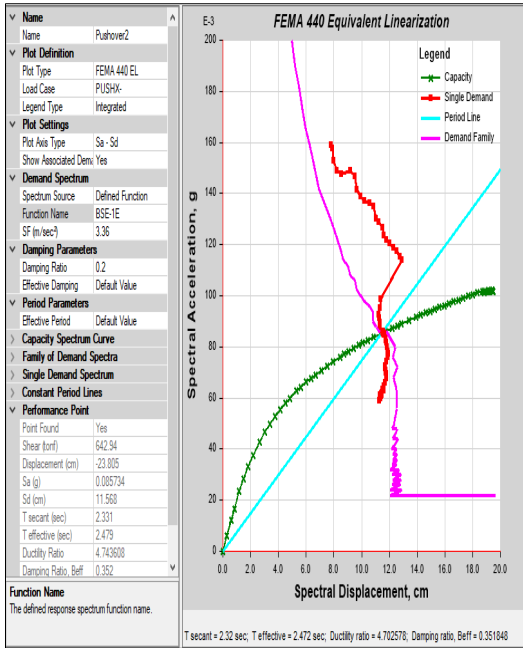


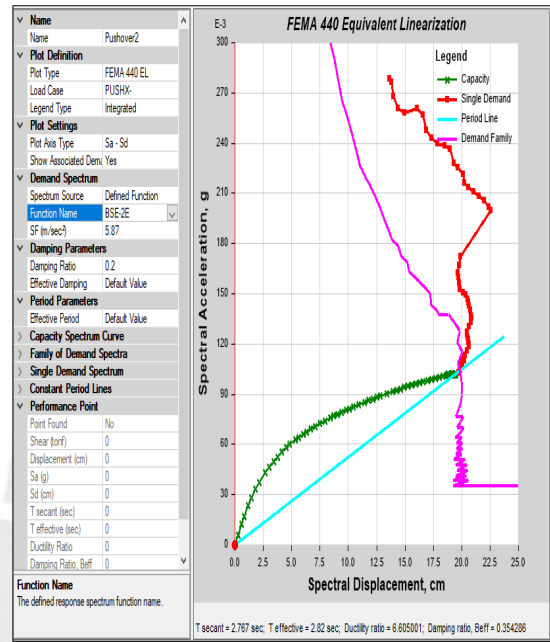
Figura 82: Puntos de desempeño para las cuatro intensidades de sismo en la dirección X (+).

- Puntos de Desempeño con Análisis Pushover en la Dirección X (-)

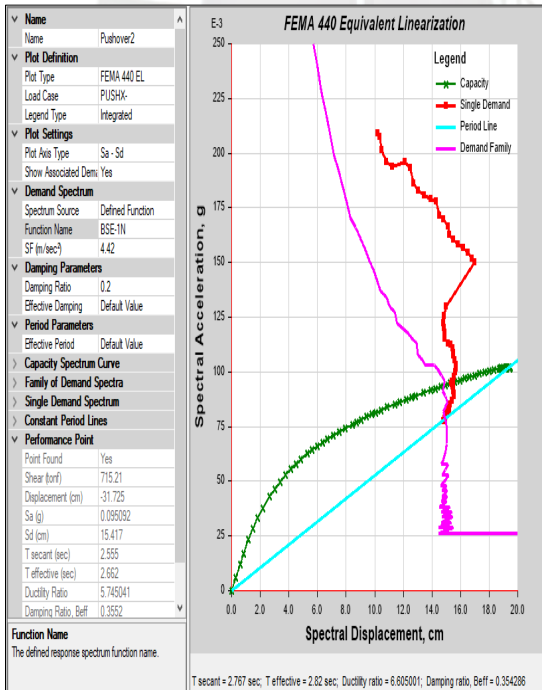
BSE-1E



BSE-2E



BSE-1N



BSE-2N

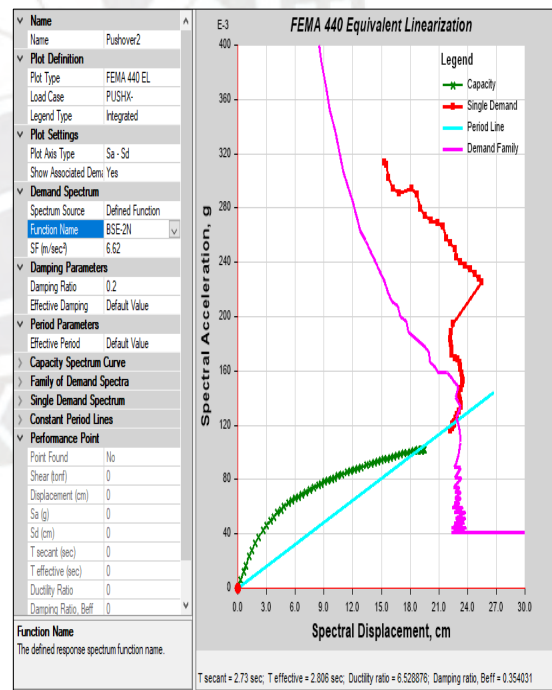
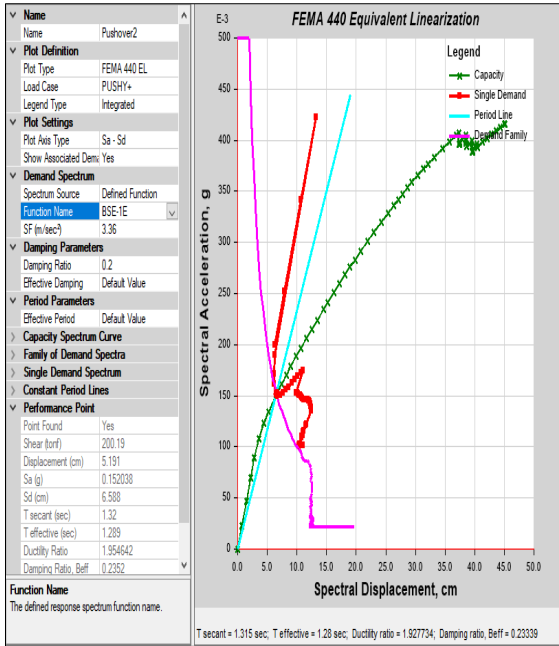


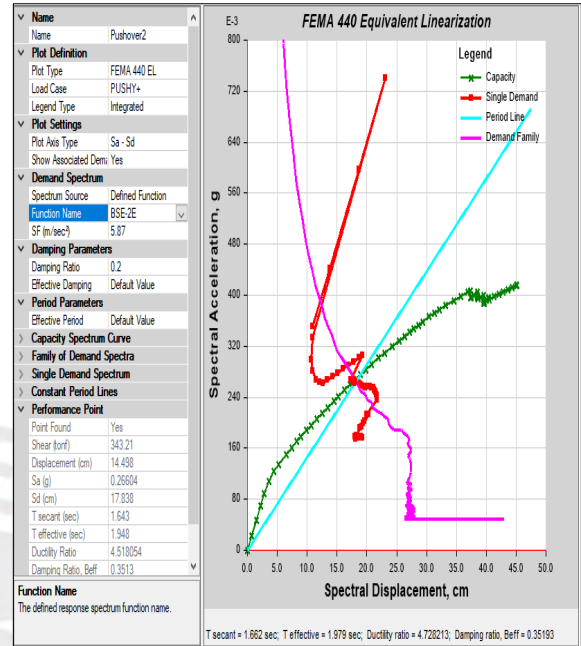
Figura 83: Puntos de desempeño para las cuatro intensidades de sismo en la dirección X (-).

- Puntos de Desempeño con Análisis Pushover en la Dirección Y (+)

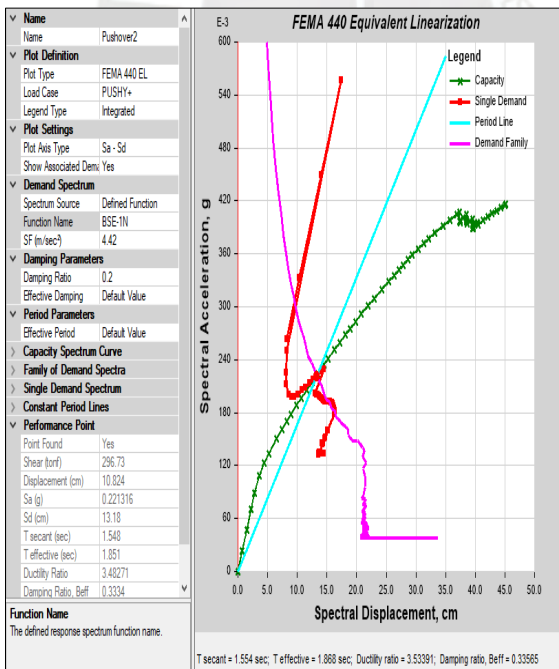
**BSE-1E**



**BSE-2E**



**BSE-1N**



**BSE-2N**

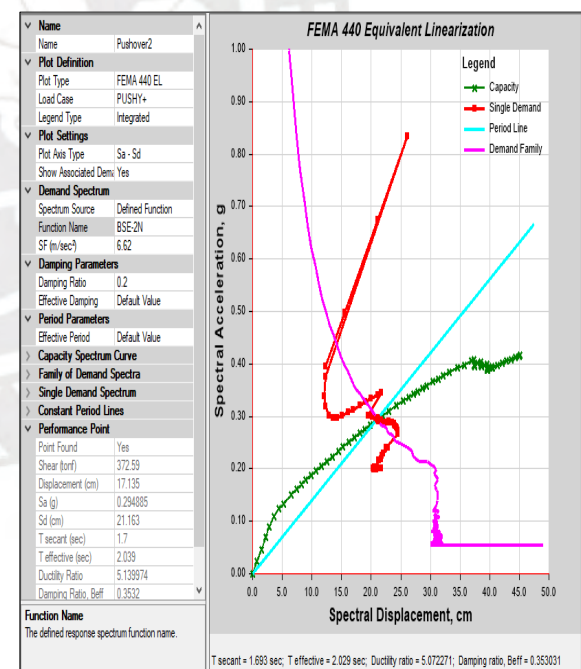
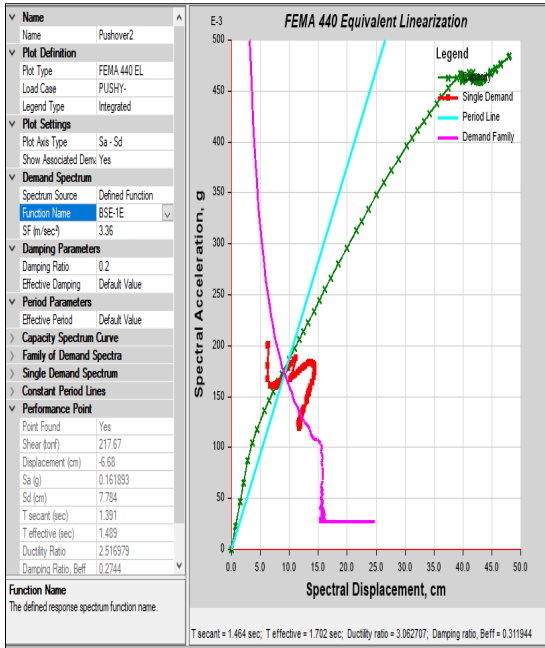


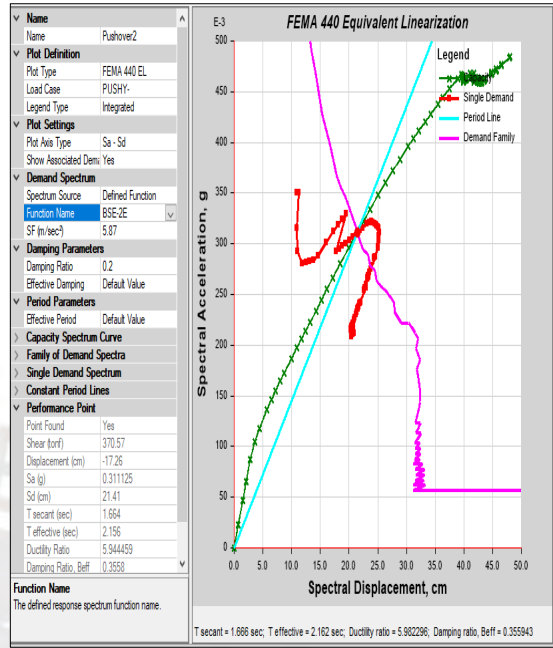
Figura 84: Puntos de desempeño para las cuatro intensidades de sismo en la dirección Y (+).

- Puntos de Desempeño con Análisis Pushover en la Dirección Y (-)

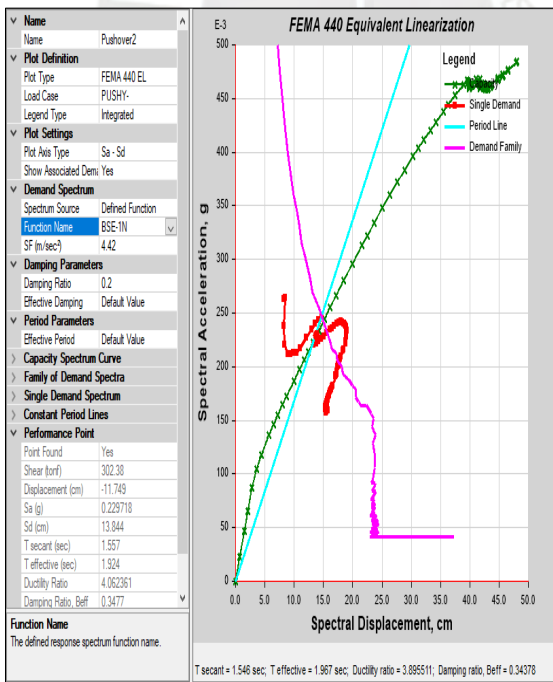
**BSE-1E**



**BSE-2E**



**BSE-1N**



**BSE-2N**

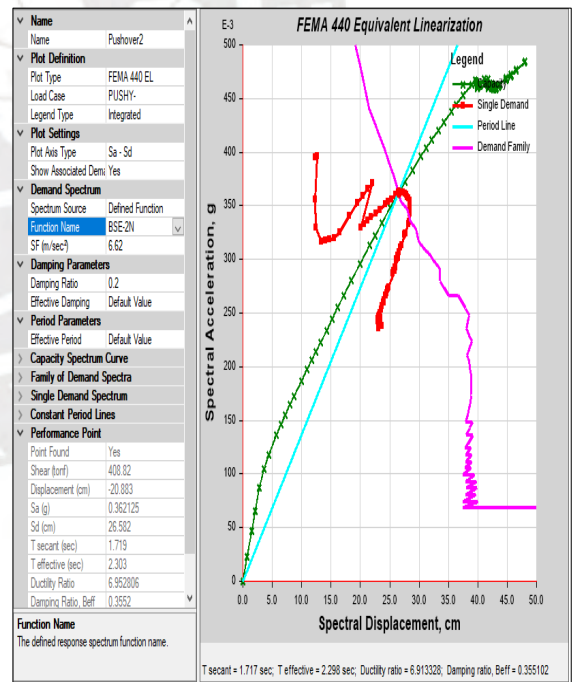


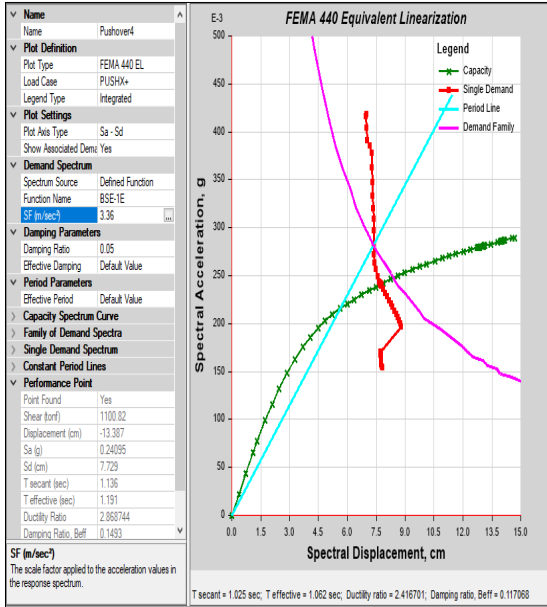
Figura 85: Puntos de desempeño para las cuatro intensidades de sismo en la dirección Y (-).

### 10.3.2 Espectro de Capacidad y Punto de Desempeño empleando BRBs

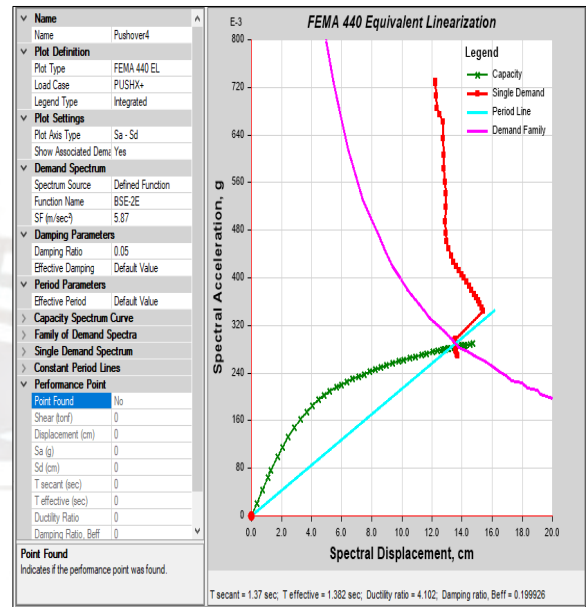
A continuación, se muestran los espectros de capacidad y Punto de Desempeño de la estructura para cada una de las cuatro direcciones de análisis.

#### - Puntos de Desempeño con Análisis Pushover en la Dirección X (+)

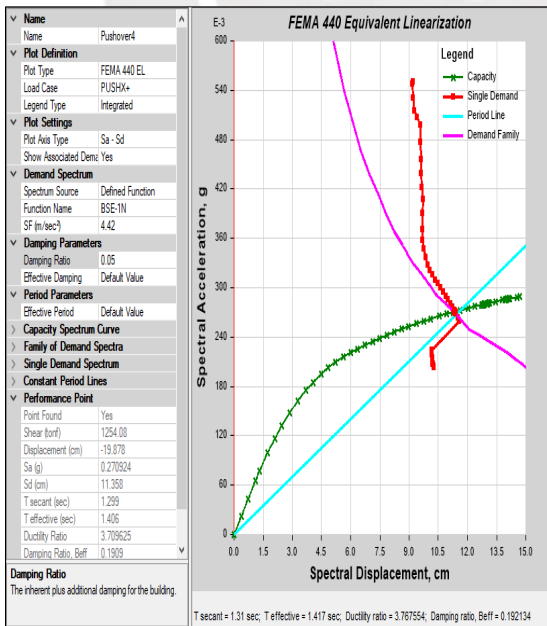
##### BSE-1E



##### BSE-2E



##### BSE-1N



##### BSE-2N

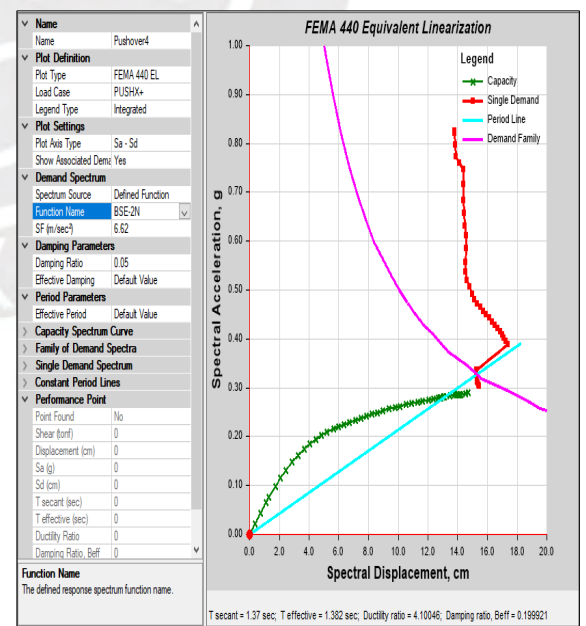
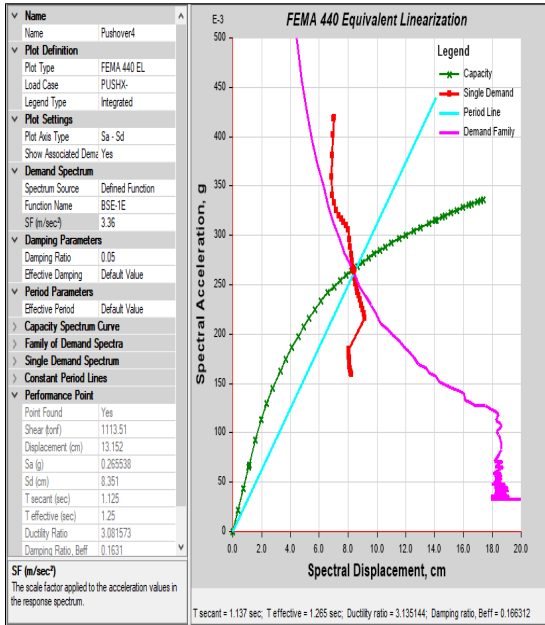


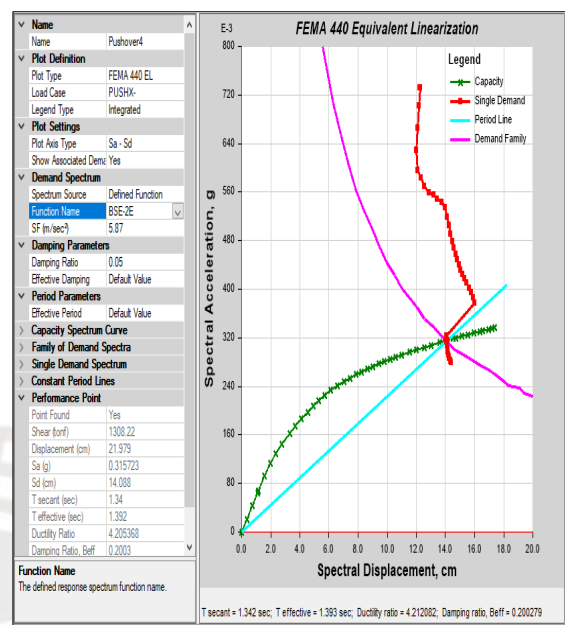
Figura 86: Puntos de desempeño para las cuatro intensidades de sismo en la dirección X (+).

- Puntos de Desempeño con Análisis Pushover en la Dirección X (-)

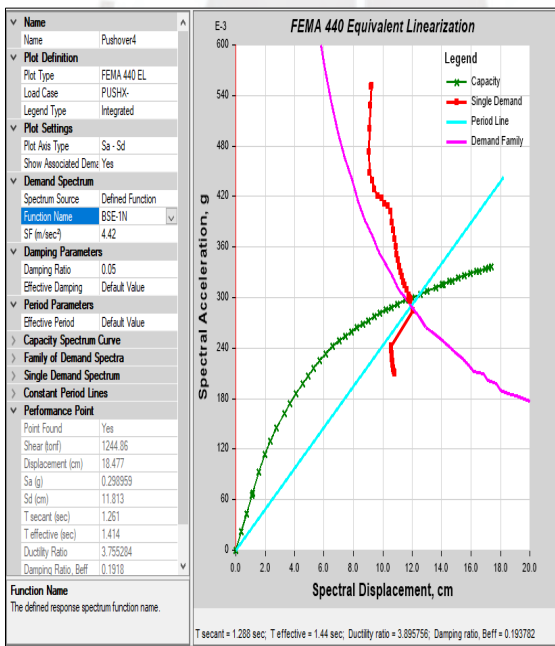
**BSE-1E**



**BSE-2E**



**BSE-1N**



**BSE-2N**

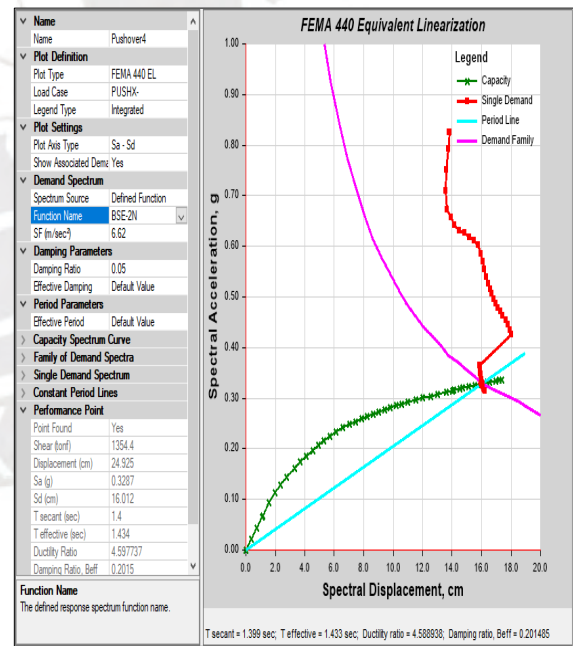
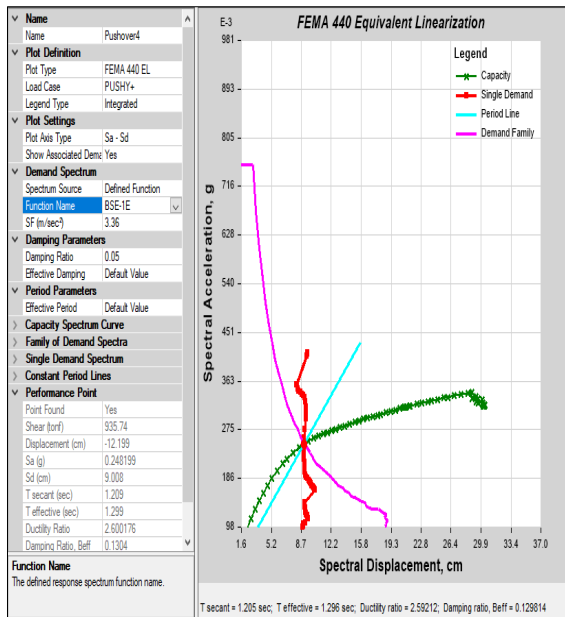


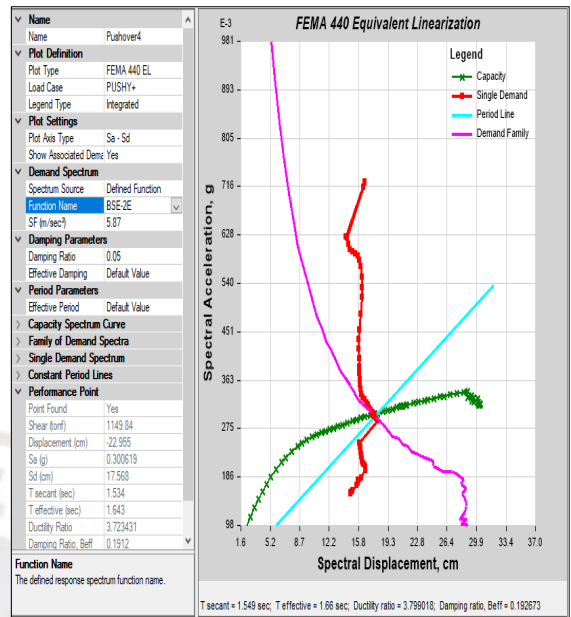
Figura 87: Puntos de desempeño para las cuatro intensidades de sismo en la dirección X (-).

- Puntos de Desempeño con Análisis Pushover en la Dirección Y (+)

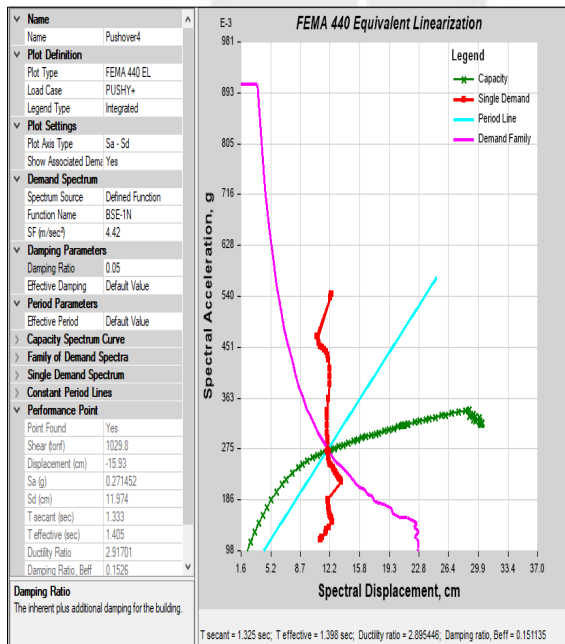
**BSE-1E**



**BSE-2E**



**BSE-1N**



**BSE-2N**

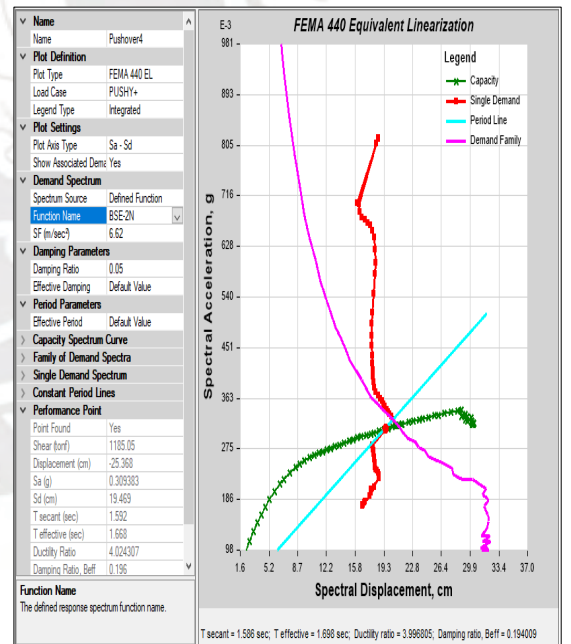
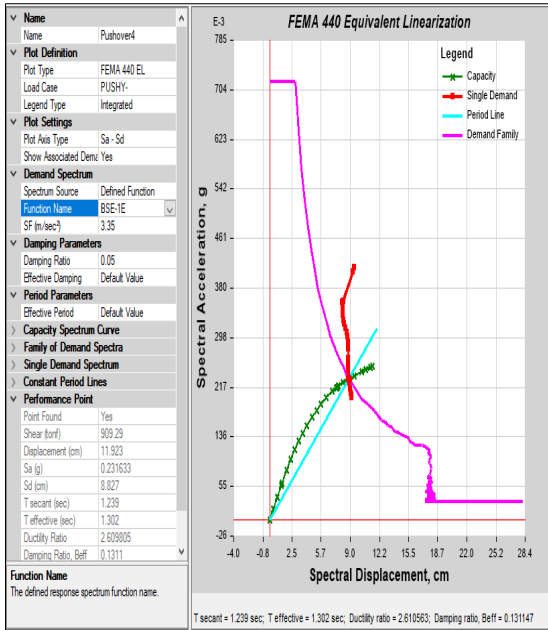


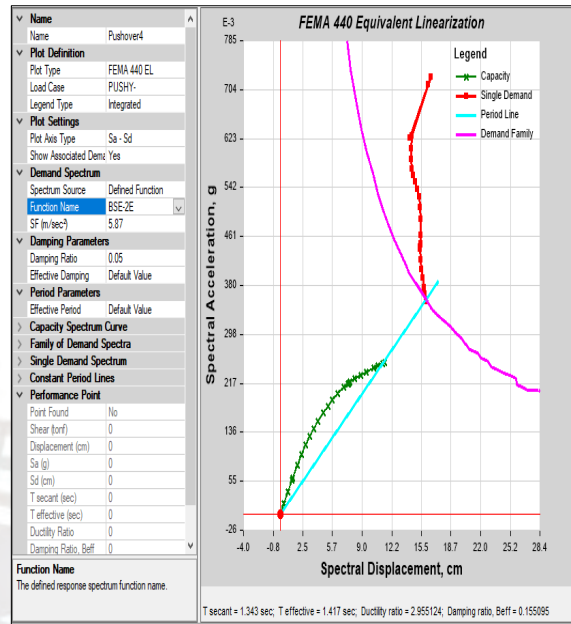
Figura 88: Puntos de desempeño para las cuatro intensidades de sismo en la dirección Y (+).

- Puntos de Desempeño con Análisis Pushover en la Dirección Y (-)

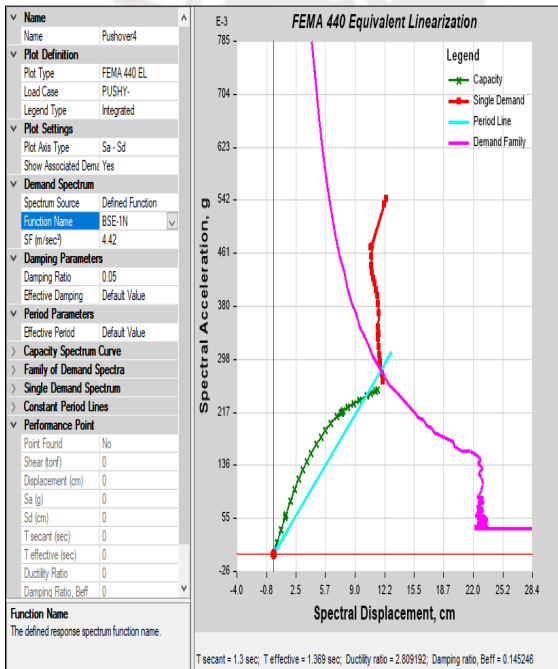
BSE-1E



BSE-2E



BSE-1N



BSE-2N

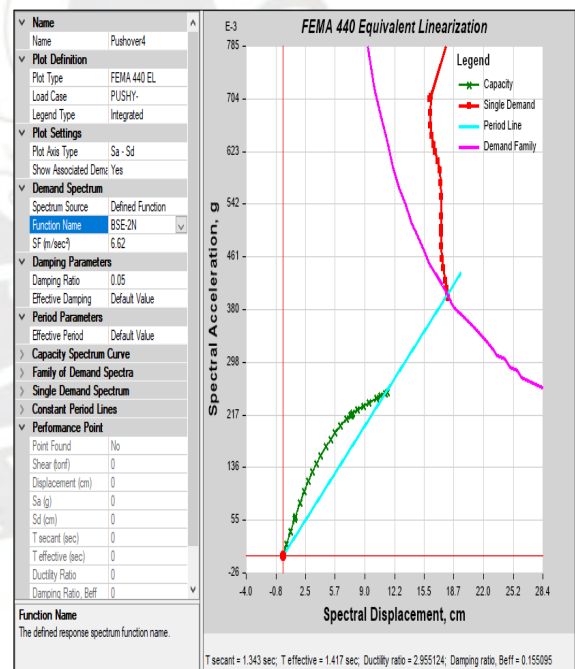


Figura 89: Puntos de desempeño para las cuatro intensidades de sismo en la dirección Y (-).

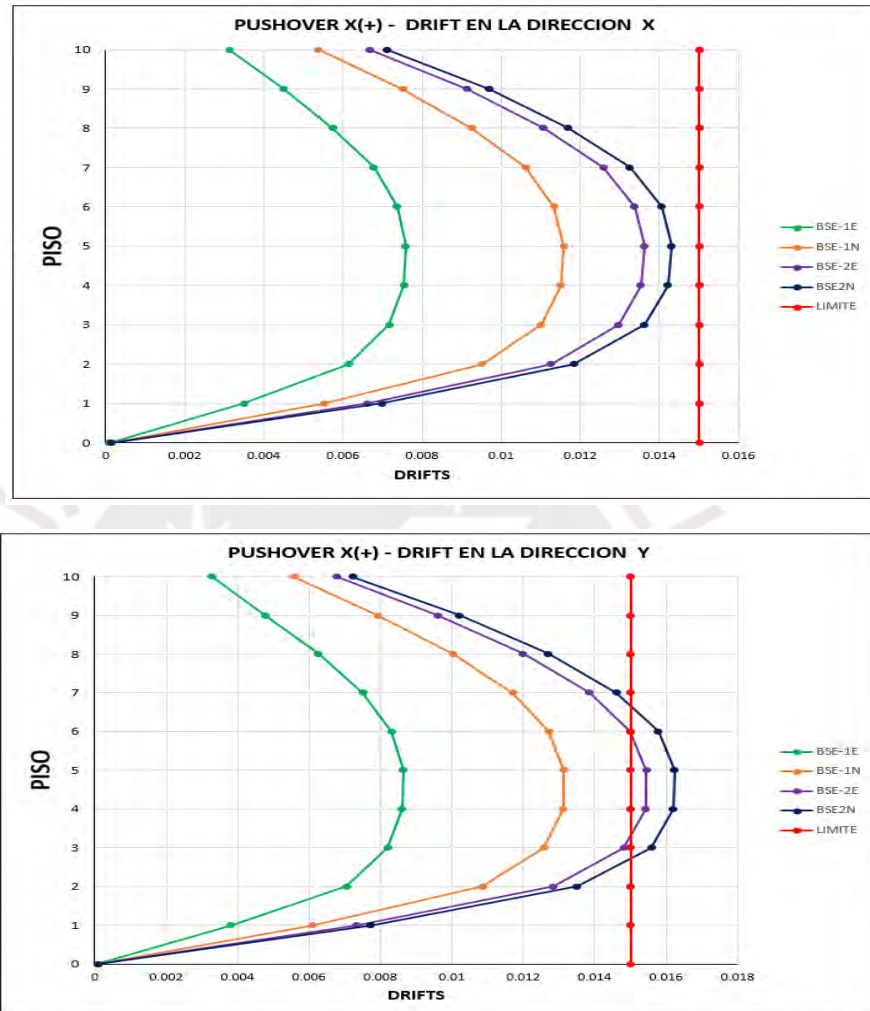
## 10.4 Anexo 4: Análisis Pushover: Deriva de Entrepiso



### 10.4.1 Derivas de entrepiso empleando Disipadores de Fluido Viscoso (Disipadores)

A continuación, se muestran las derivas de entrepiso obtenidas en la estructura para cada una de las cuatro direcciones de análisis.

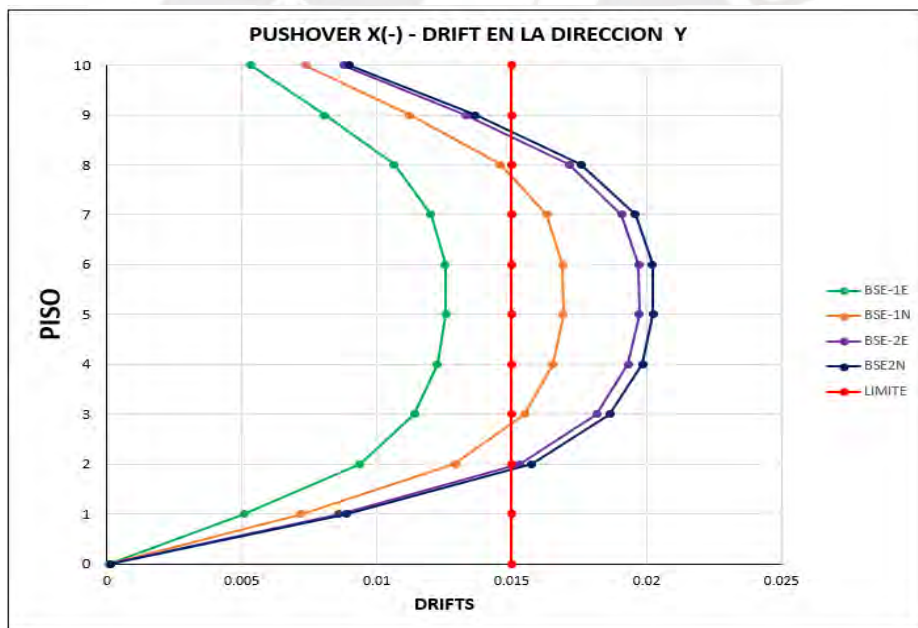
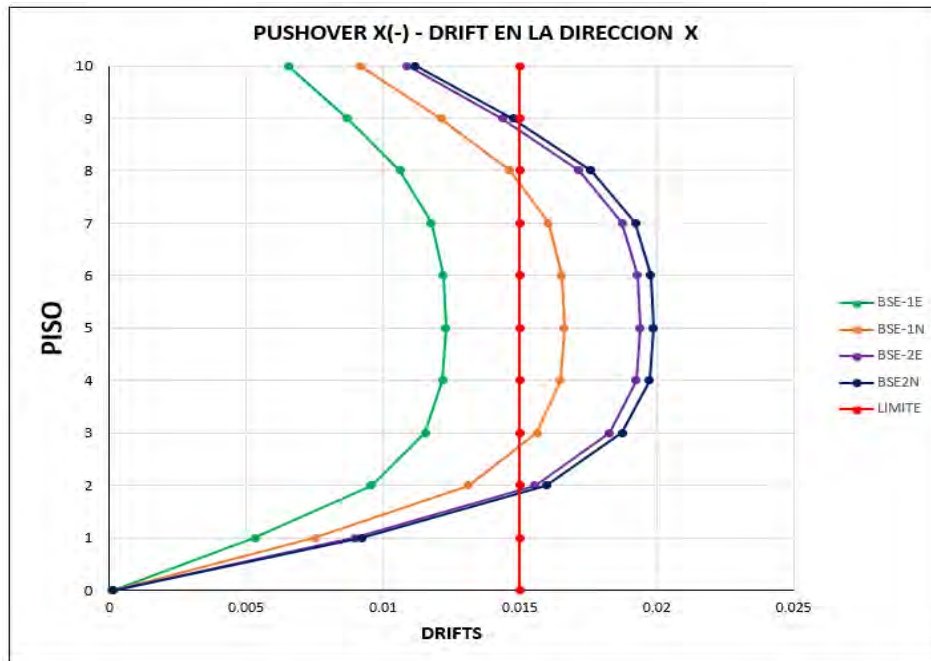
#### - Análisis Pushover en la Dirección X (+)



**Gráfico 26 :** Deriva de entrepiso para las cuatro intensidades de sismo con Pushover X (+).

En el gráfico 26, se ha obtenido que para la dirección X con las cuatro intensidades de sismo las deformaciones de entrepiso se encuentran por debajo del límite, en la dirección Y en las dos intensidades mayores se excede del límite permitido. Lo que indica que los amortiguadores nos brindan un buen aporte para la reducción de las derivas de entrepiso y tampoco ayudan a controlar la irregularidad torsional que tiene la estructura originalmente.

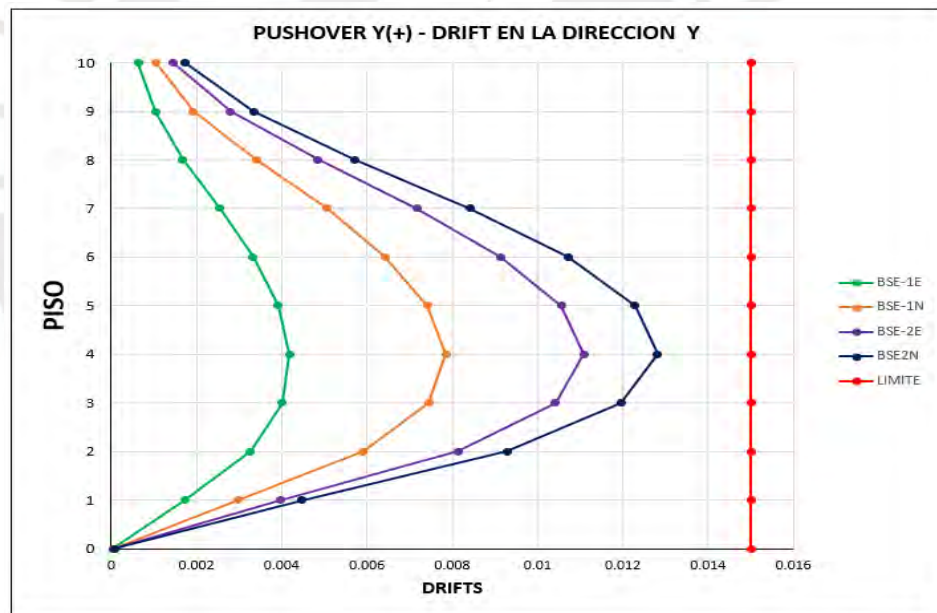
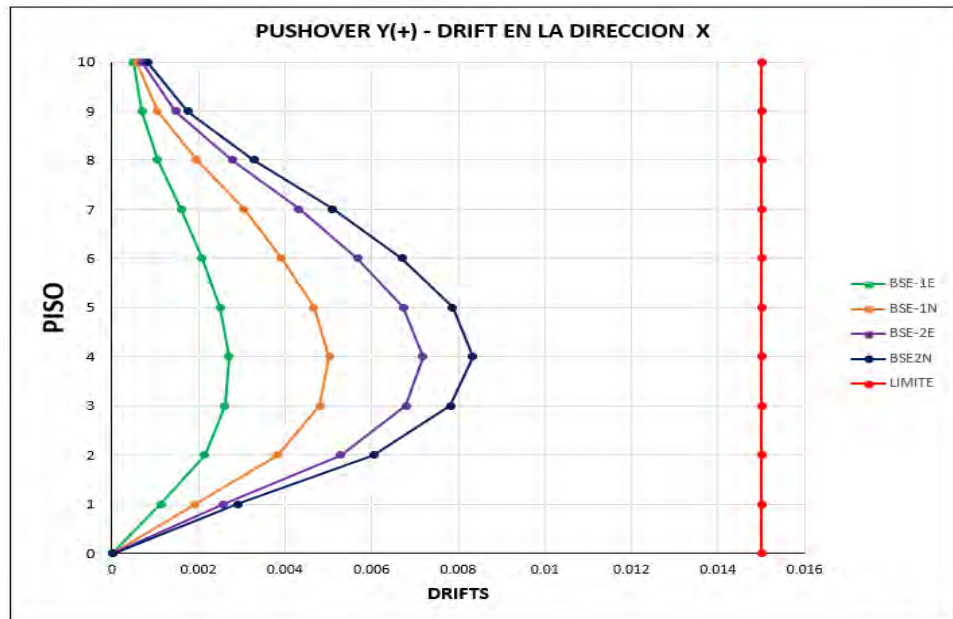
- Análisis Pushover en la Dirección X (-)



**Gráfico 27** : Deriva de entrepiso para las cuatro intensidades de sismo con Pushover X (-).

En el gráfico 27, en ambas direcciones de análisis se ha obtenido que para tres de las cuatro intensidades de sismo las deformaciones de entrepiso se encuentran por encima del límite. Lo que indica que para esta dirección de análisis los amortiguadores no nos brindan un buen aporte para la reducción de las derivas de entrepiso y tampoco nos ayudan a controlar la irregularidad torsional que tiene la estructura originalmente.

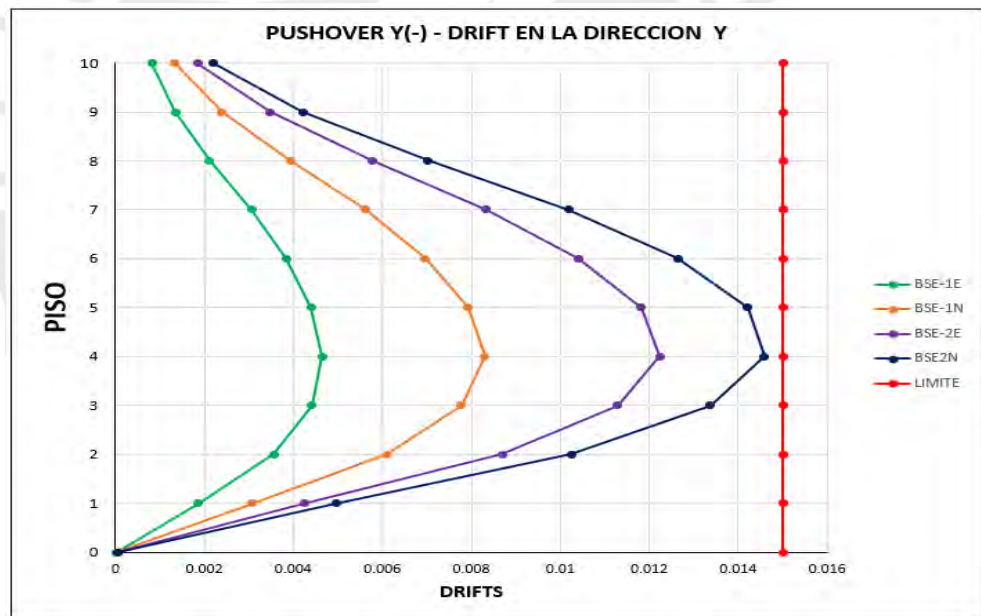
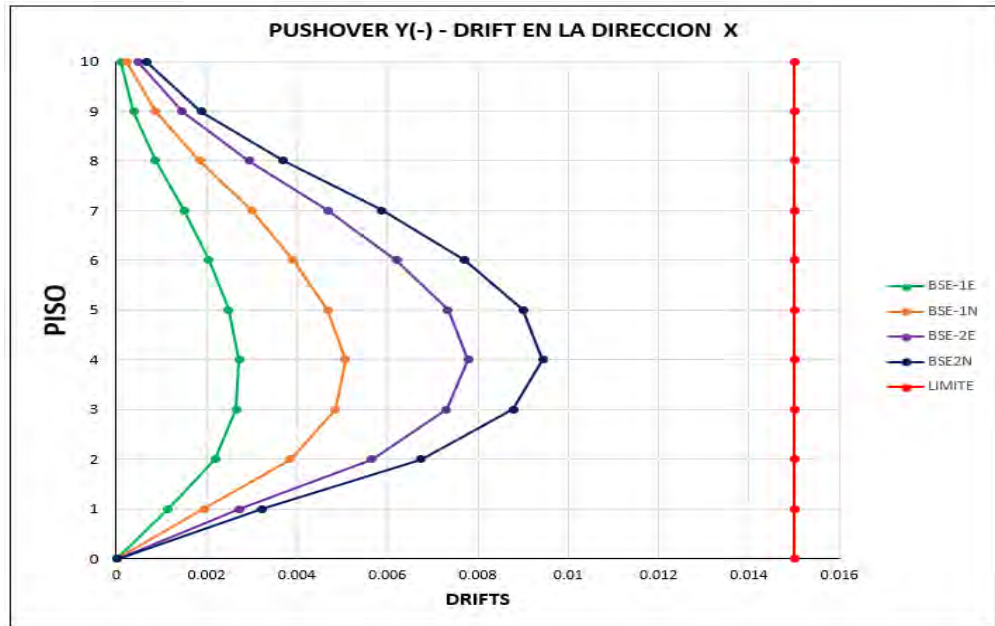
- Análisis Pushover en la Dirección Y (+)



**Gráfico 28** : Deriva de entrepiso para las cuatro intensidades de sismo con Pushover Y (+).

En el gráfico 28, en ambas direcciones se ha obtenido que para las cuatro intensidades de sismo las deformaciones de entrepiso se encuentran por debajo del límite, Lo que indica que para esta dirección de análisis los amortiguadores nos brindan un buen aporte para la reducción de las derivas de entrepiso, pero como se puede apreciar estos dispositivos no ayudan a controlar la irregularidad torsional que tiene la estructura originalmente.

- Análisis Pushover en la Dirección Y (-)



**Gráfico 29 :** Deriva de entrepiso para las cuatro intensidades de sismo con Pushover Y (-).

En el gráfico 29, en ambas direcciones se ha obtenido que para las cuatro intensidades de sismo las deformaciones de entrepiso se encuentran por debajo del límite, lo que indica que para esta dirección de análisis los amortiguadores nos brindan un buen aporte para la reducción de las derivas de entrepiso, pero como se puede apreciar estos dispositivos no ayudan a controlar la irregularidad torsional que tiene la estructura originalmente.

### 10.4.2 Derivas de entrepiso empleando BRBs

A continuación, se muestran las derivas de entrepiso obtenidas en la estructura para cada una de las cuatro direcciones de análisis, ver figura 58.

- Análisis Pushover en la Dirección X (+)

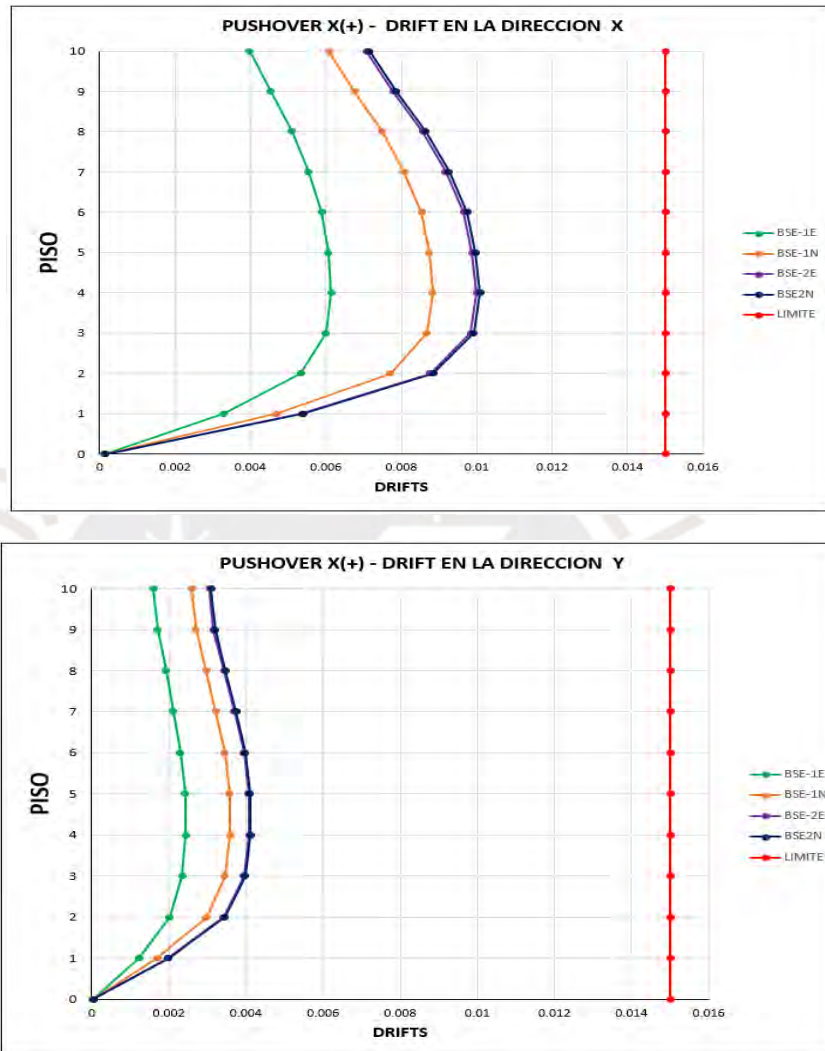
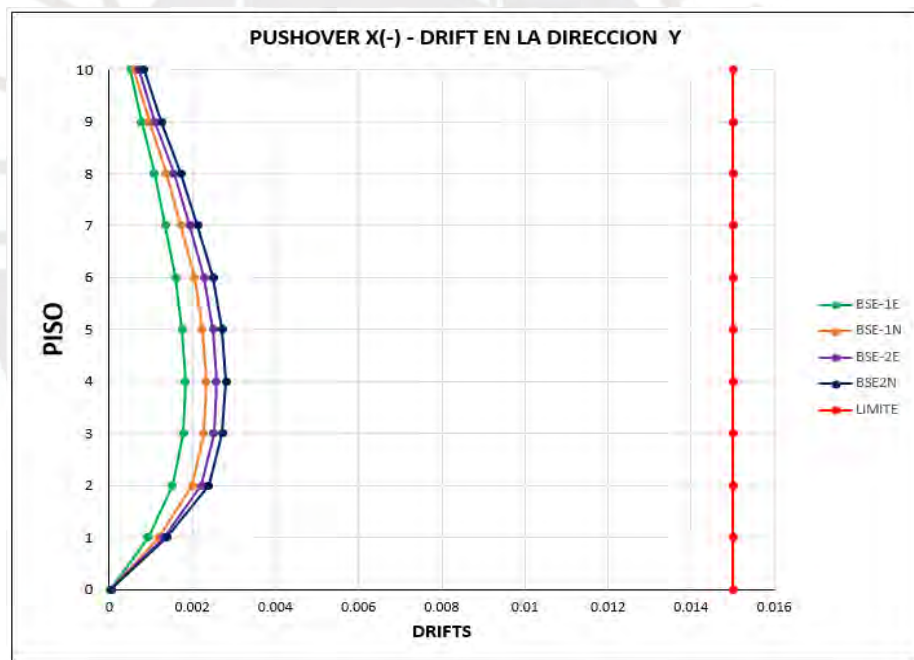
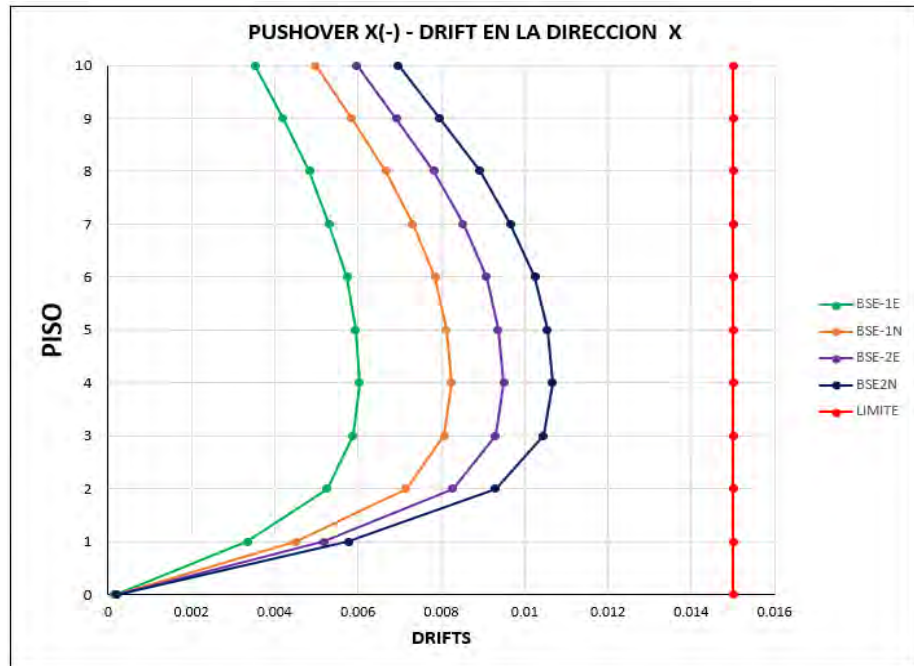


Gráfico 30 : Deriva de entrepiso para las cuatro intensidades de sismo en la *dirección X (+)*.

En el gráfico 30, en ambas direcciones se ha obtenido que para las cuatro intensidades de sismo las deformaciones de entrepiso se encuentran por debajo del límite, Lo que indica que para esta dirección de análisis los BRBs nos brindan un buen aporte para la reducción de las derivas de entrepiso y también nos permiten controlar la irregularidad torsional que tiene la estructura originalmente.

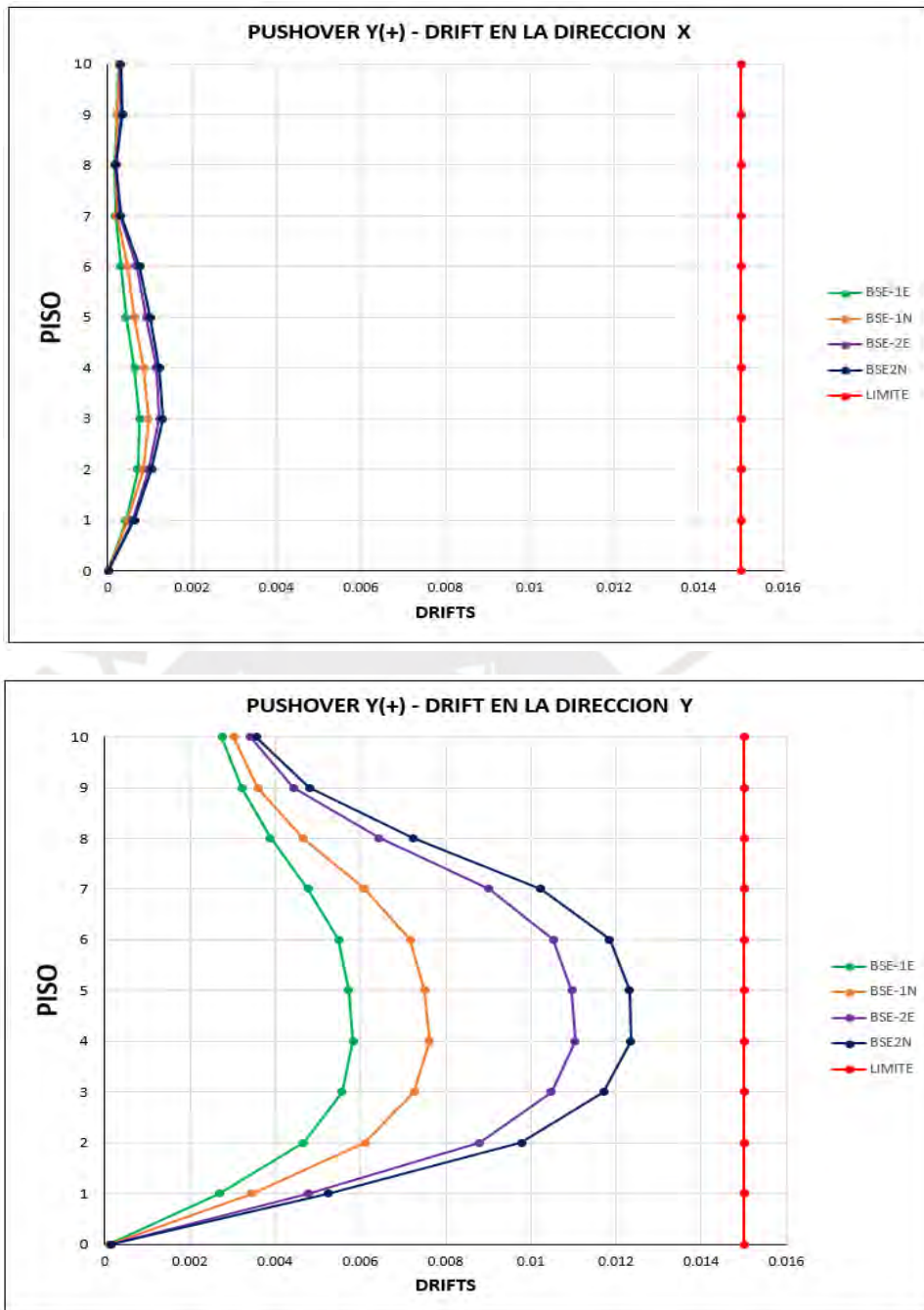
- Análisis Pushover en la Dirección X (-)



**Gráfico 31 :** Deriva de entrepiso para las cuatro intensidades de sismo en la dirección X (-).

En el gráfico 31, en ambas direcciones se ha obtenido que para las cuatro intensidades de sismo las deformaciones de entrepiso se encuentran por debajo del límite, Lo que indica que para esta dirección de análisis los BRBs nos brindan un buen aporte para la reducción de las derivas de entrepiso y también nos permiten controlar la irregularidad torsional que tiene la estructura originalmente.

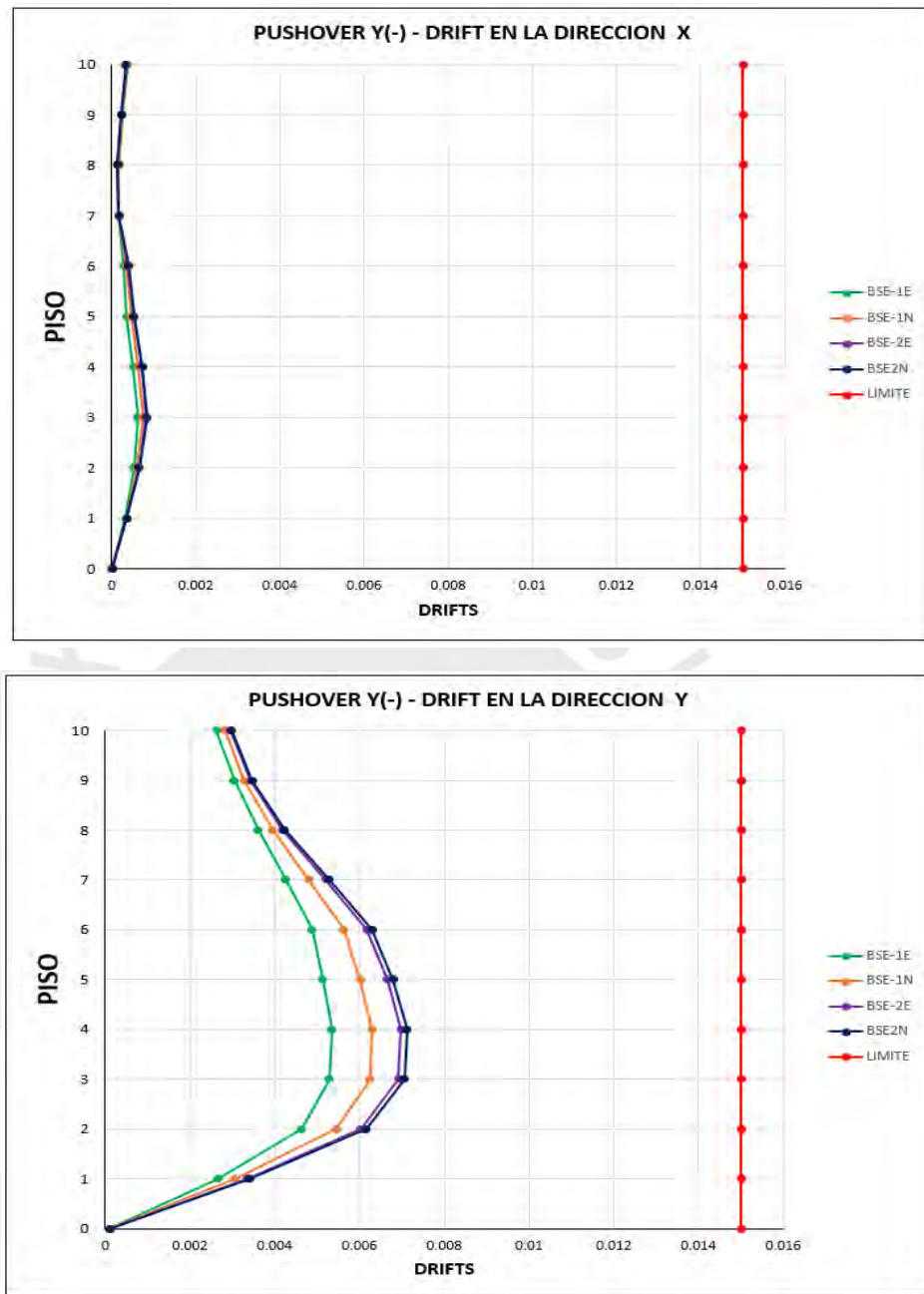
- Análisis Pushover en la Dirección Y (+)



**Gráfico 32 :** Deriva de entrepiso para las cuatro intensidades de sismo en la dirección Y (+).

En el gráfico 32, en ambas direcciones se ha obtenido que para las cuatro intensidades de sismo las deformaciones de entrepiso se encuentran por debajo del límite, Lo que indica que para esta dirección de análisis los BRBs nos brindan un buen aporte para la reducción de las derivas de entrepiso y también nos permiten controlar la irregularidad torsional que tiene la estructura originalmente.

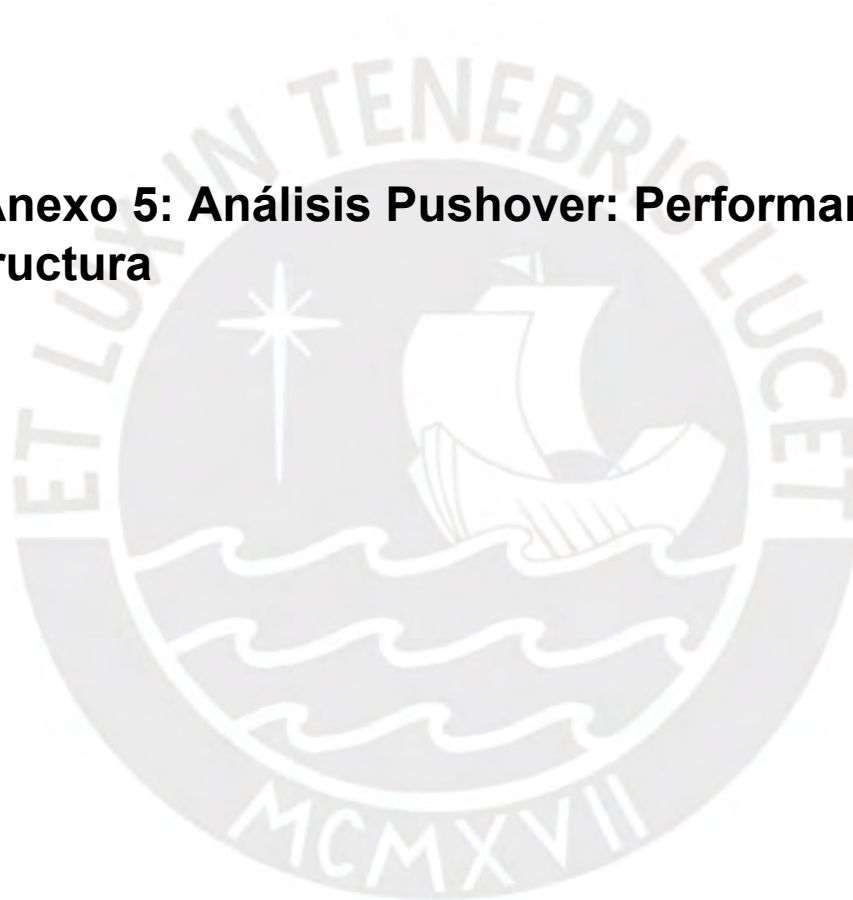
- Análisis Pushover en la Dirección Y (-)



**Gráfico 33 :** Deriva de entrepiso para las cuatro intensidades de sismo en la dirección Y (-).

En el gráfico 33, en ambas direcciones se ha obtenido que para las cuatro intensidades de sismo las deformaciones de entrepiso se encuentran por debajo del límite, Lo que indica que para esta dirección de análisis los BRBs nos brindan un buen aporte para la reducción de las derivas de entrepiso y también nos permiten controlar la irregularidad torsional que tiene la estructura originalmente.

## **10.5 Anexo 5: Análisis Pushover: Performance de la Estructura**



### 10.5.1 Performance de la Estructura empleando Disipadores de Fluido Viscoso (Amortiguadores)

A continuación, se muestra el performance obtenido en la estructura para cada una de las cuatro direcciones de análisis.

#### - Desempeño de la Estructura con Análisis Pushover en la Dirección X (+)

##### BSE-1E

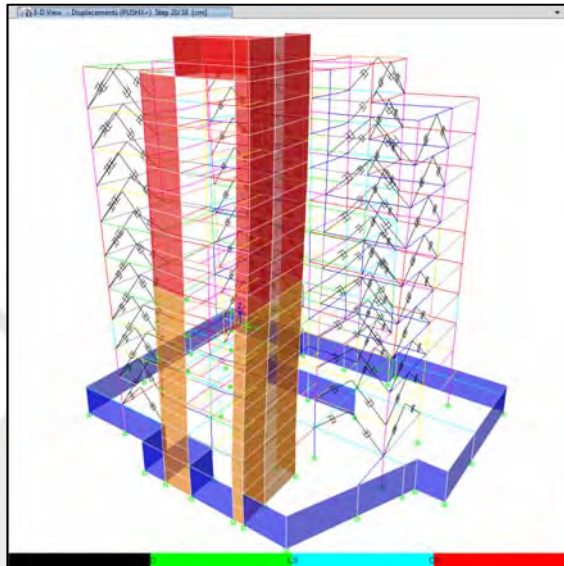


Figura 90: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-1E.

En la figura 90, se puede apreciar que para este nivel de sismo ya se forman las primeras rótulas en la estructura.

##### BSE-1N

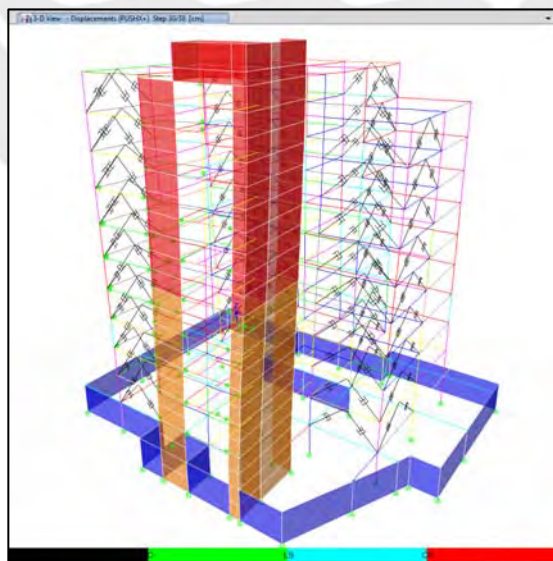


Figura 91: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-1N.

En la figura 91, para este nivel de sismo se incrementa la formación de rótulas en las vigas de la estructura.

## **BSE-2E**

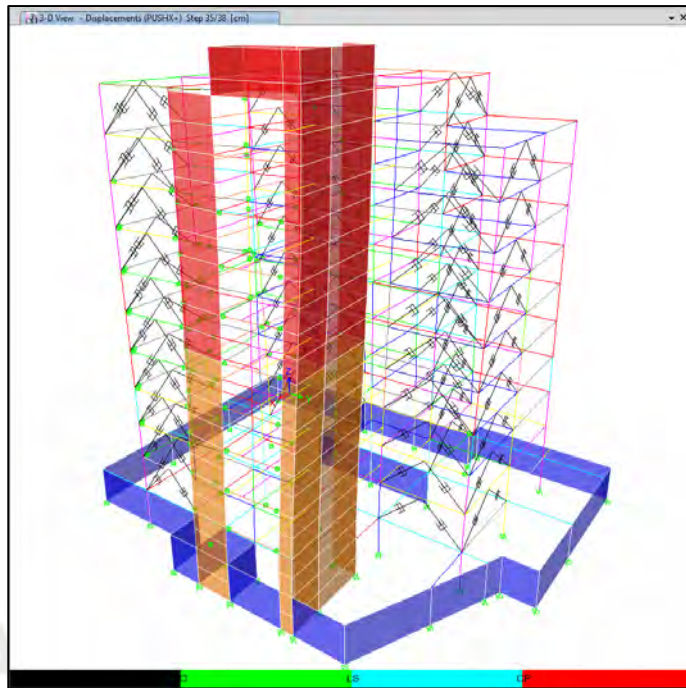


Figura 92: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-2E.

En la figura 92, para este nivel de sismo se forman las primeras rótulas en las placas de la estructura.

## **BSE-2N**

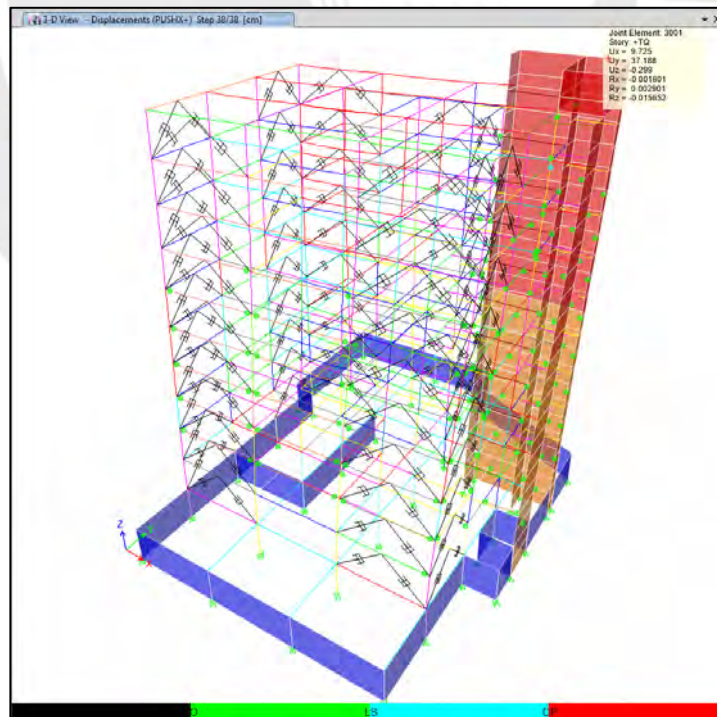


Figura 93: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-2N.

En la figura 93, para este nivel de sismo se incrementan las rótulas en las los elementos de la estructura.

- Desempeño de la Estructura con Análisis Pushover en la Dirección X (-)

**BSE-1E**

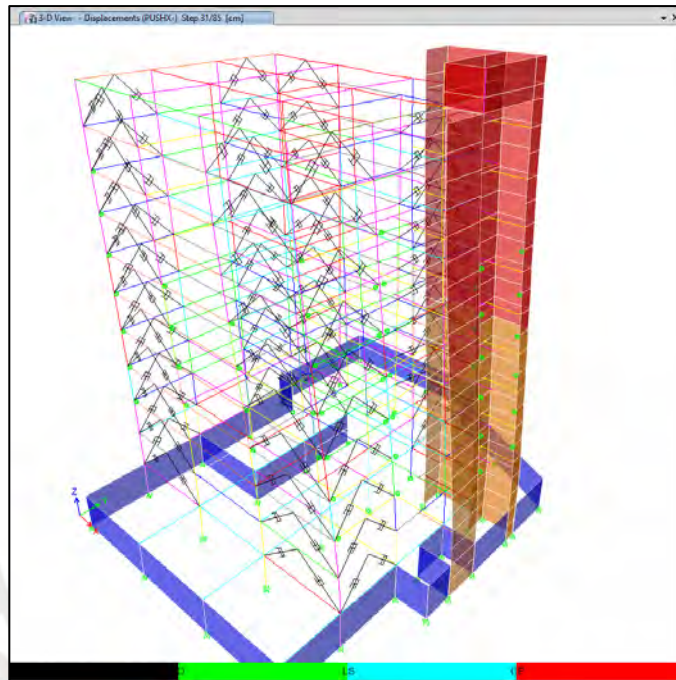


Figura 94: Desempeño de la estructura en la dirección X (-) para el sismo BSE-1E.

En la figura 94, se puede apreciar que para este nivel de sismo ya se forman las primeras rótulas en las vigas de la estructura.

**BSE-1N**

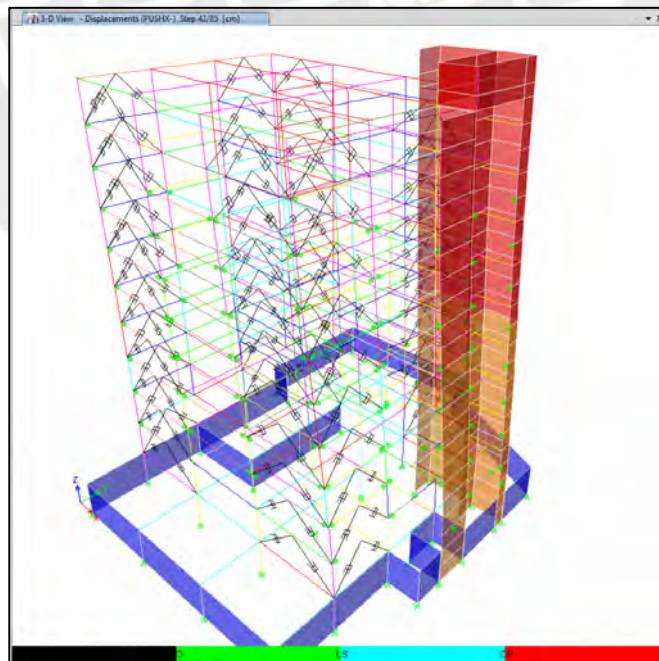
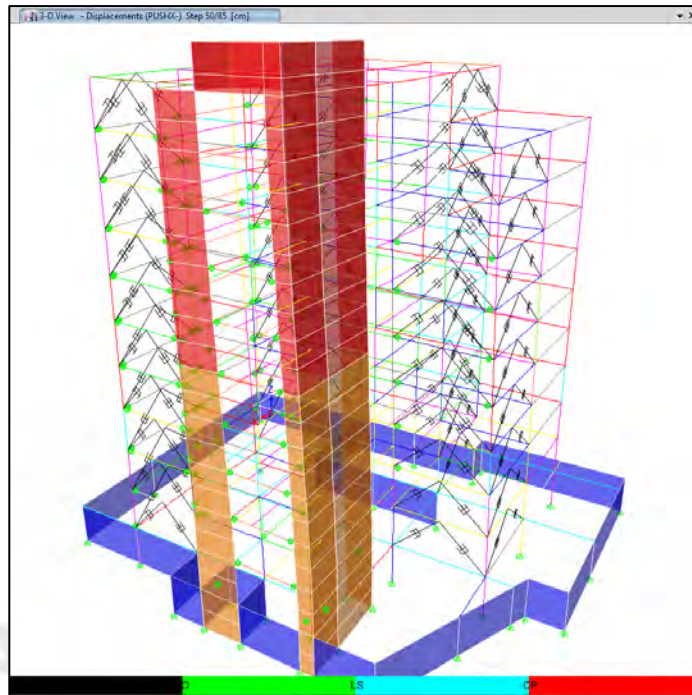


Figura 95: Desempeño de la estructura en la dirección X (-) para el sismo BSE-1N.

En la figura 95, para este nivel de sismo se incrementa la formación de rótulas en las vigas de la estructura.

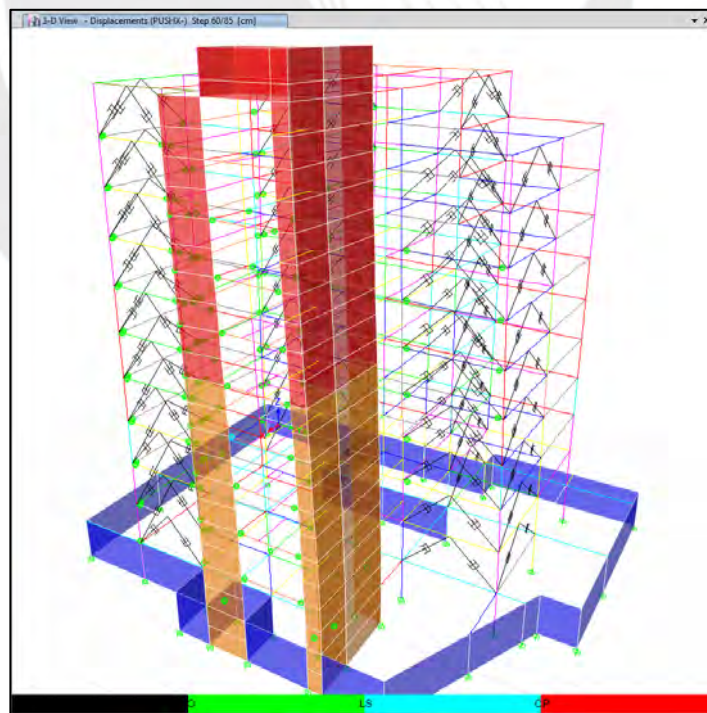
## **BSE-2E**



*Figura 96:* Desempeño de la estructura en la dirección X (-) para el sismo BSE-2E.

En la figura 96, para este nivel de sismo se forman las primeras rótulas en las placas de la estructura.

## **BSE-2N**



*Figura 97:* Desempeño de la estructura en la dirección X (-) para el sismo BSE-2N.

En la figura 97, para este nivel de sismo se incrementan las rótulas en los elementos de la estructura.

- Desempeño de la Estructura con Análisis Pushover en la Dirección Y (+)

**BSE-1E**

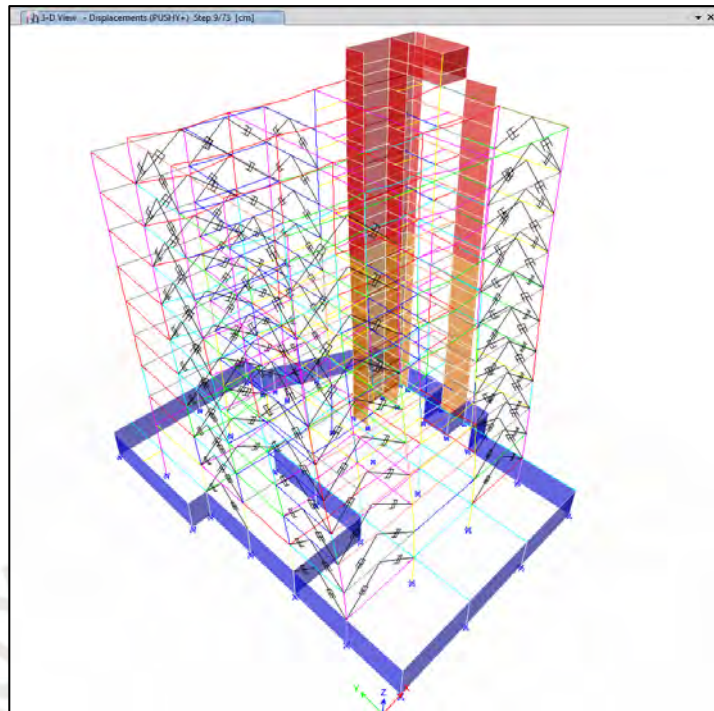


Figura 98: Desempeño de la estructura en la dirección Y (+) para el sismo BSE-1E.

En la figura 98, para este nivel de sismo no se forman rótulas en la estructura.

**BSE-1N**

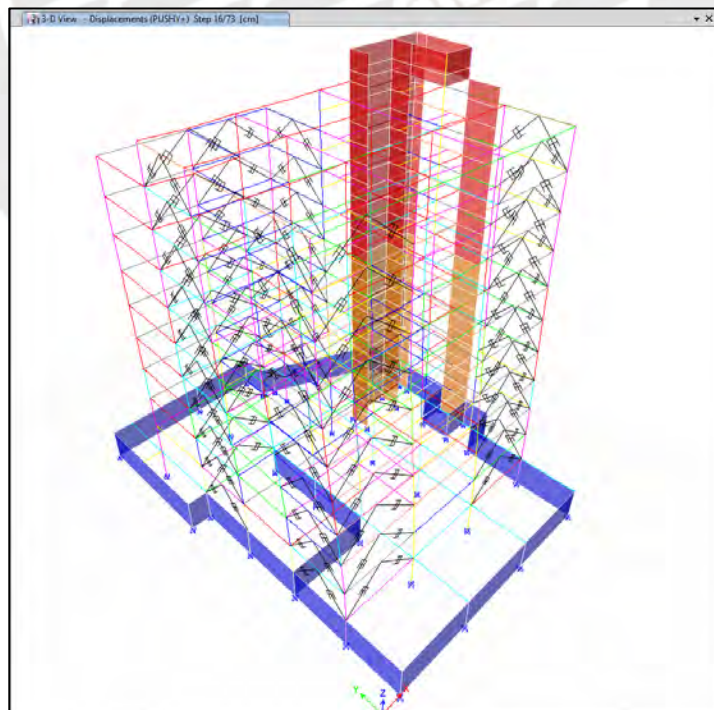
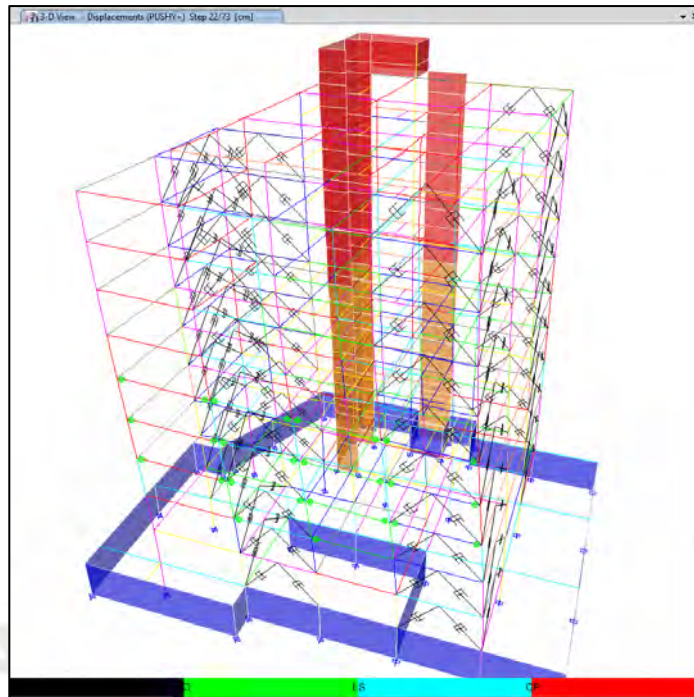


Figura 99: Desempeño de la estructura en la dirección Y (+) para el sismo BSE-1N.

En la figura 99, para este nivel de sismo no se forman rótulas en la estructura.

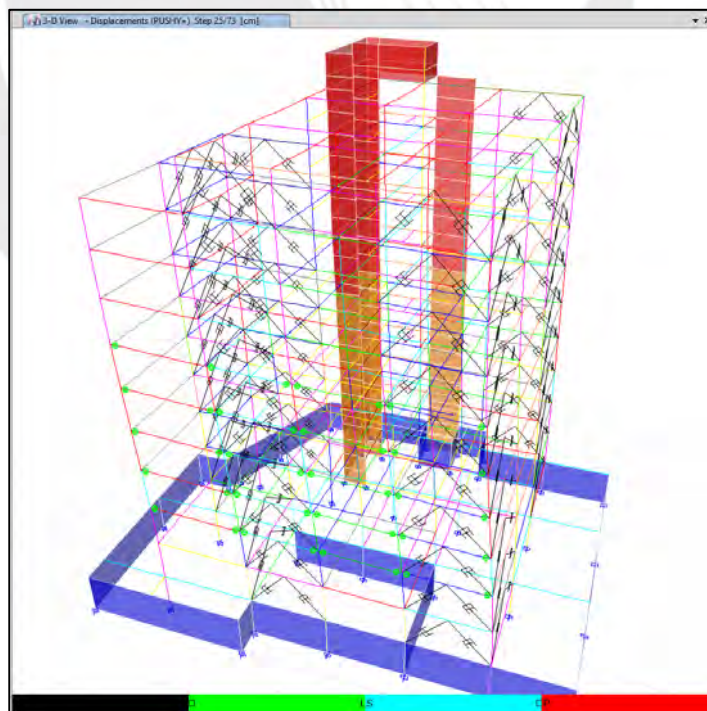
## **BSE-2E**



*Figura 100:* Desempeño de la estructura en la dirección Y (+) para el sismo BSE-2E.

En la figura 100, para este nivel de sismo se empiezan a formar las rótulas en las vigas de la estructura.

## **BSE-2N**



*Figura 101:* Desempeño de la estructura en la dirección Y (+) para el sismo BSE-2N.

En la figura 101, para este nivel de sismo se incrementa la formación de rótulas en las vigas de la estructura.

- Desempeño de la Estructura con Análisis Pushover en la Dirección Y (-)

**BSE-1E**

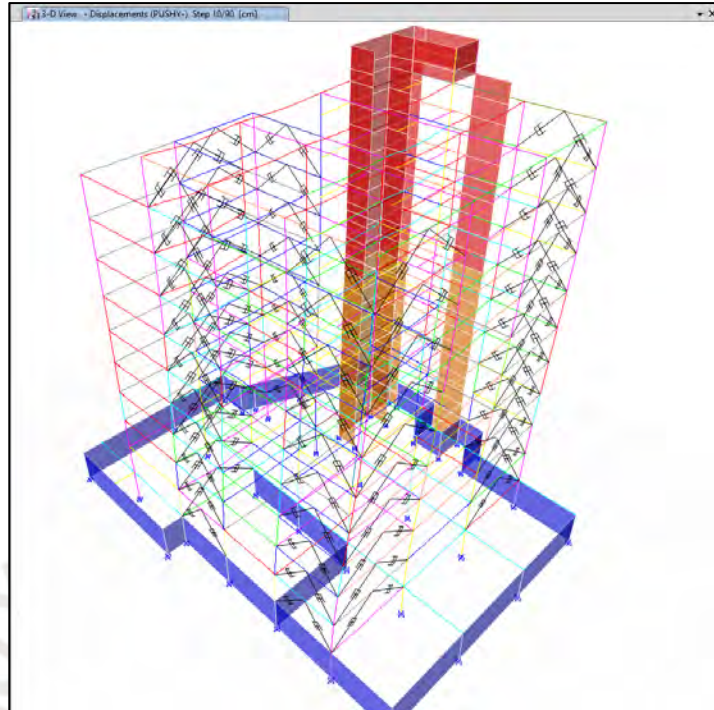


Figura 102: Desempeño de la estructura en la dirección Y (-) para el sismo BSE-1E.

En la figura 102, para este nivel de sismo no se forman rótulas en la estructura.

**BSE-1N**

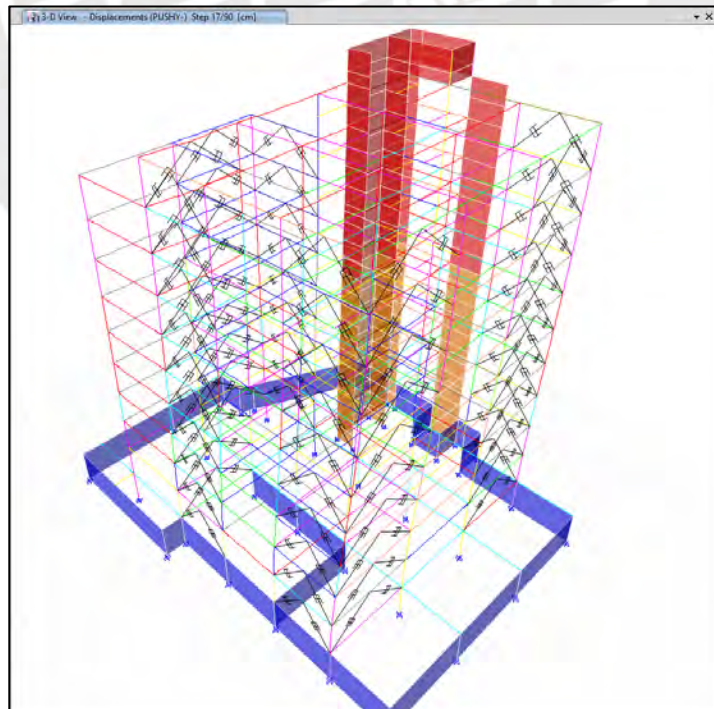
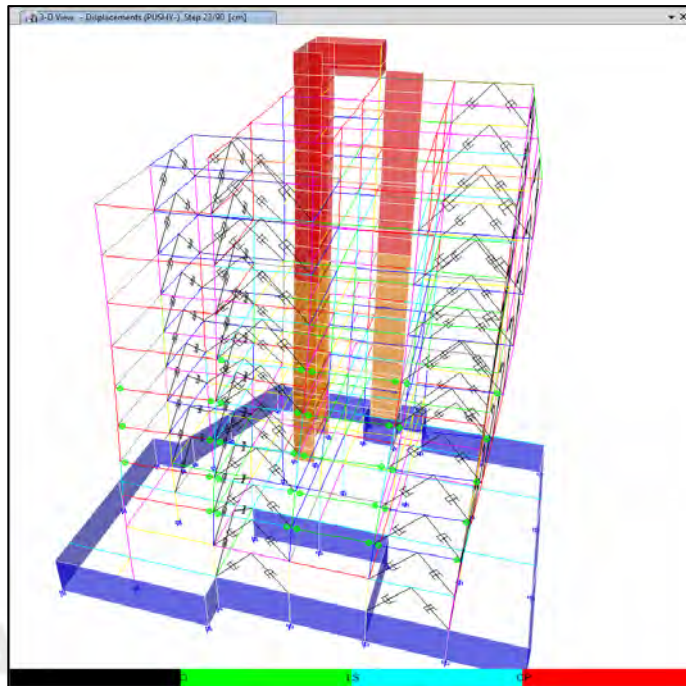


Figura 103: Desempeño de la estructura en la dirección Y (-) para el sismo BSE-1N.

En la figura 103, para este nivel de sismo no se forman rótulas en la estructura.

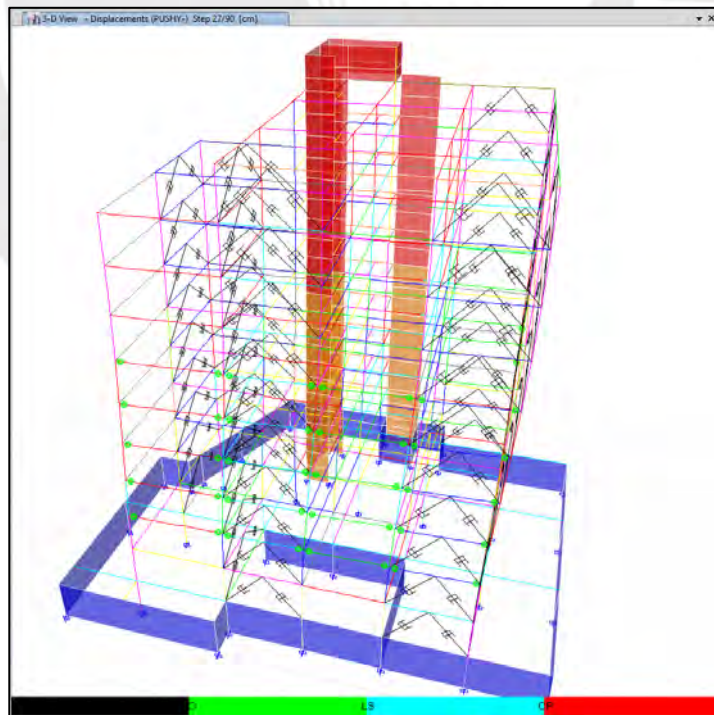
## **BSE-2E**



*Figura 104:* Desempeño de la estructura en la dirección Y (-) para el sismo BSE-2E.

En la figura 104, para este nivel de sismo se forman las primeras rótulas en las vigas de la estructura.

## **BSE-2N**



*Figura 105:* Desempeño de la estructura en la dirección Y (-) para el sismo BSE-2N.

En la figura 105, para este nivel de sismo se incrementa la formación de rótulas en las vigas de la estructura.

## 10.5.2 Performance de la Estructura empleando BRBs

A continuación, se muestra el performance obtenido en la estructura para cada una de las cuatro direcciones de análisis.

### - Desempeño de la Estructura con Análisis Pushover en la Dirección X (+)

#### BSE-1E

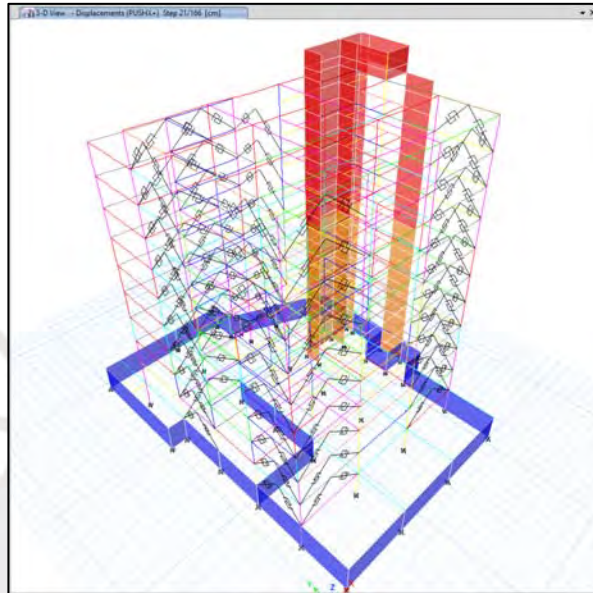


Figura 106: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-1E.

En la figura 106, para este nivel de sismo no se forman rótulas en la estructura.

#### BSE-1N

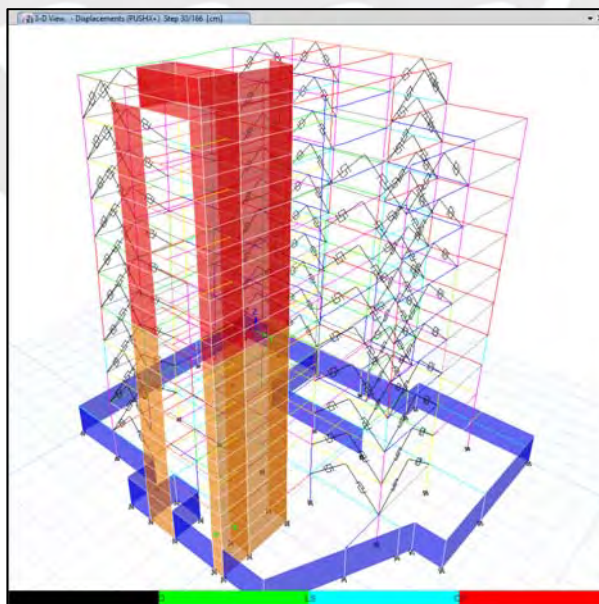
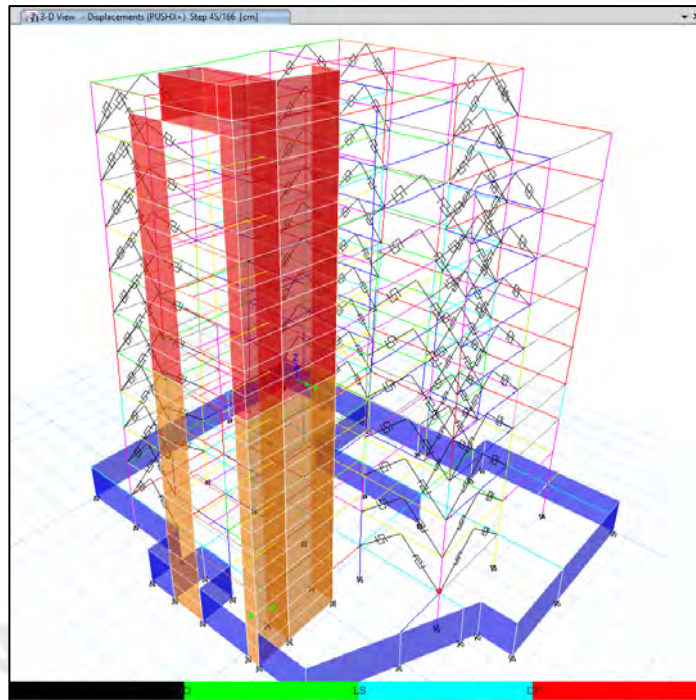


Figura 107: Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-1N.

En la figura 107, para este nivel de sismo se empiezan a formar rótulas en las placas de la estructura.

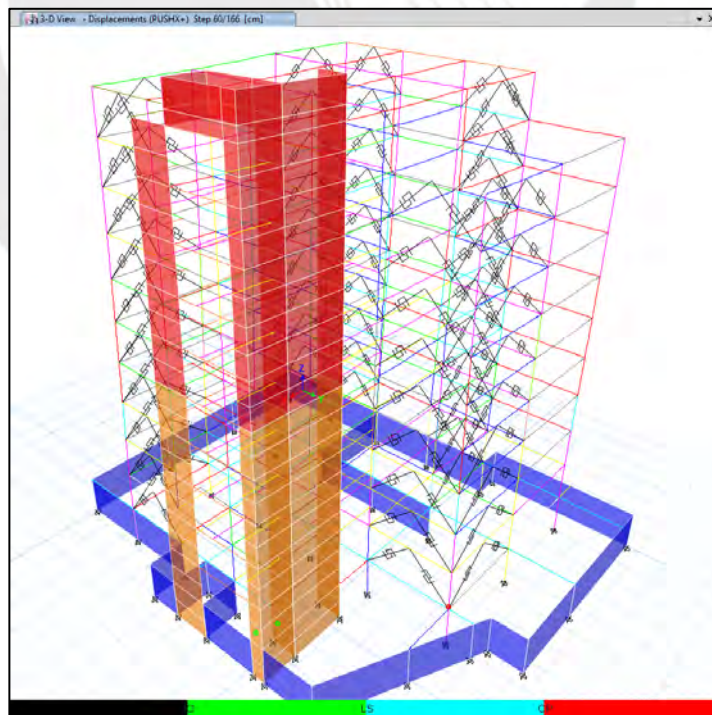
## **BSE-2E**



*Figura 108:* Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-2E.

En la figura 108, para este nivel de sismo se forma una rótula en una columna que genera el colapso de la estructura.

## **BSE-2N**



*Figura 109:* Desempeño de la estructura en la dirección X (+) para el sismo BSE-2N.

En la figura 109, para este nivel de sismo ya se ha formado una rótula en una columna que genera el colapso de la estructura.

- Desempeño de la Estructura con Análisis Pushover en la Dirección X (-)

**BSE-1E**

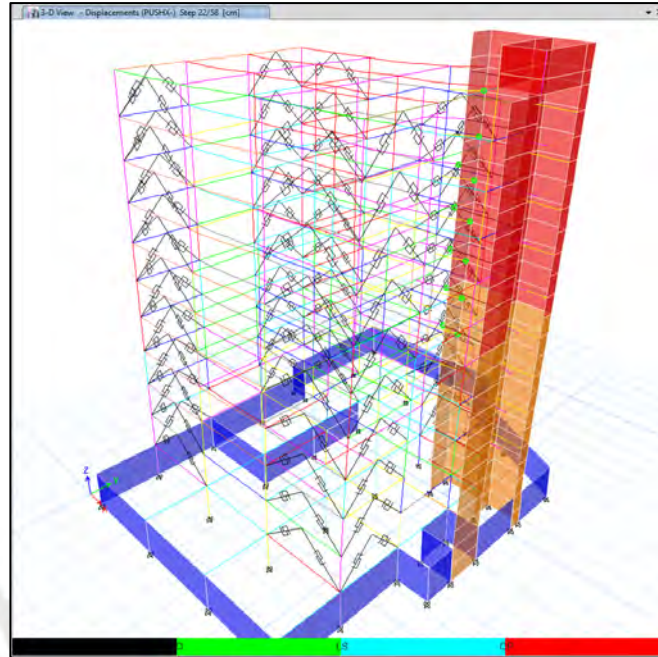


Figura 110: Desempeño de la estructura en la dirección X (-) para el sismo BSE-1E.

En la figura 110, para este nivel de sismo se empiezan a formar las primeras rótulas en las vigas de la estructura.

**BSE-1N**

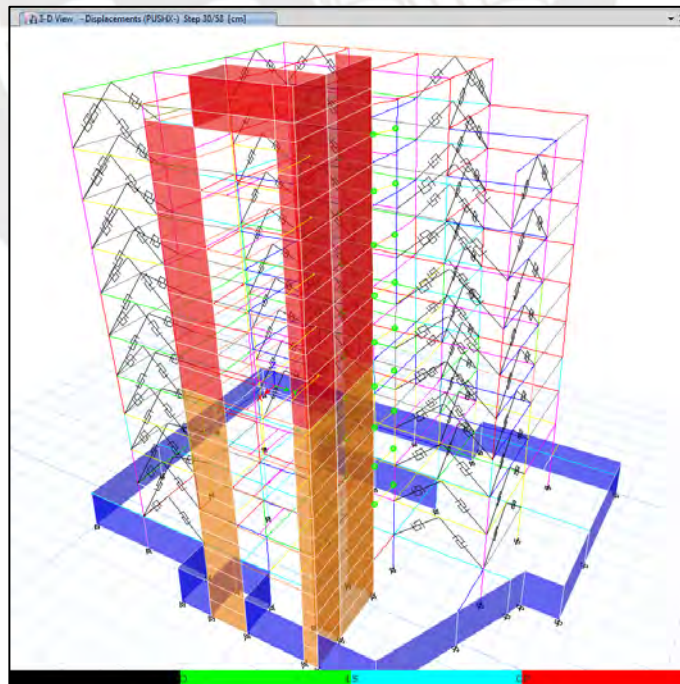
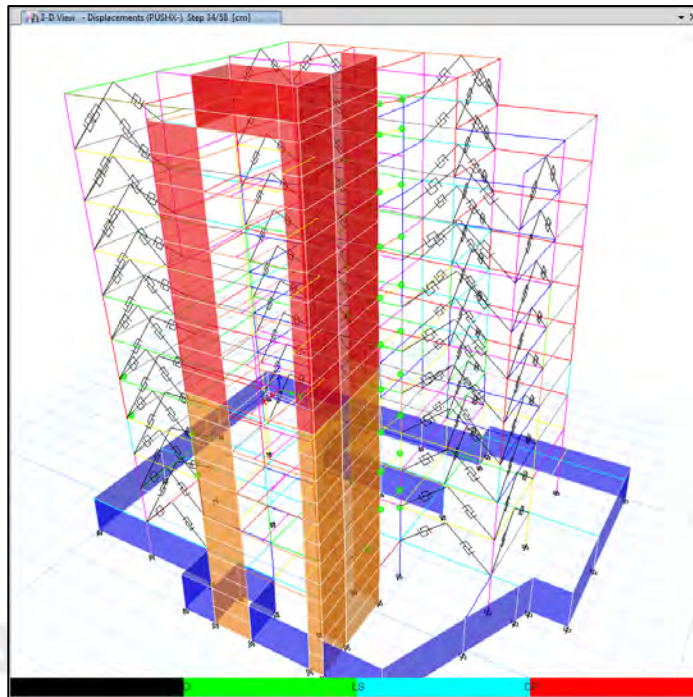


Figura 111: Desempeño de la estructura en la dirección X (-) para el sismo BSE-1N.

En la figura 111, para este nivel de sismo se incrementa la formación de rótulas en las vigas de la estructura.

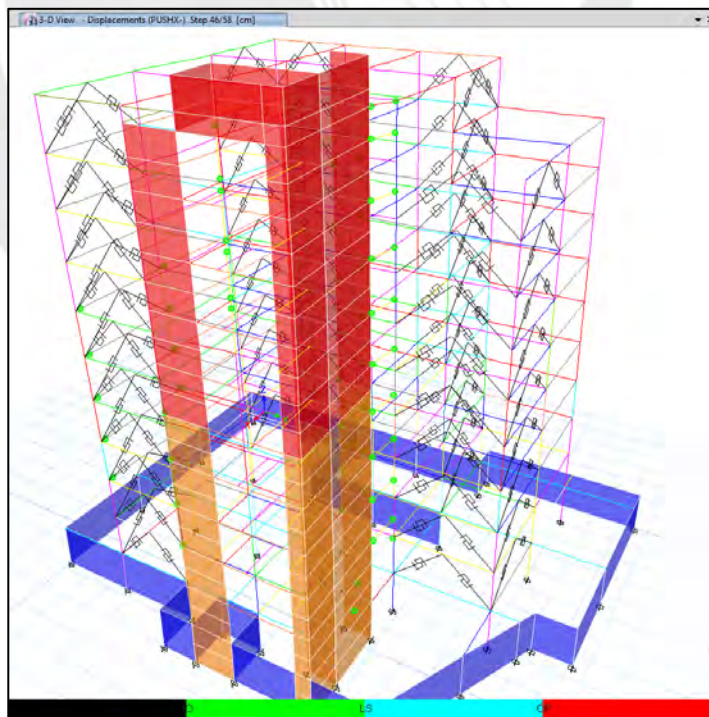
## **BSE-2E**



*Figura 112:* Desempeño de la estructura en la dirección X (-) para el sismo BSE-2E.

En la figura 112, para este nivel de sismo se incrementa la formación de rótulas en las vigas de la estructura.

## **BSE-2N**



*Figura 113:* Desempeño de la estructura en la dirección X (-) para el sismo BSE-2N.

En la figura 113, para este nivel de sismo empieza la formación de rótulas en las placas de la estructura.

- Desempeño de la Estructura con Análisis Pushover en la Dirección Y (+)

**BSE-1E**

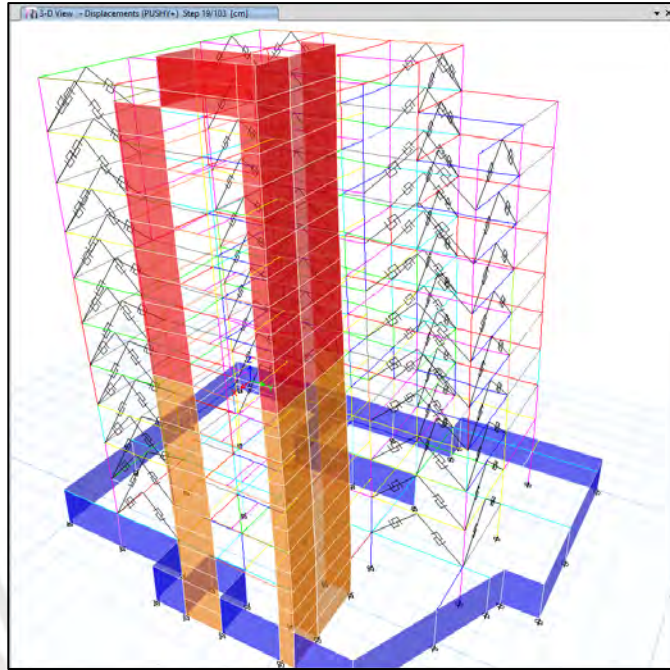


Figura 114: Desempeño de la estructura en la dirección Y (+) para el sismo BSE-1E.

En la figura 114, para este nivel de sismo no se forman rótulas en la estructura.

**BSE-1N**

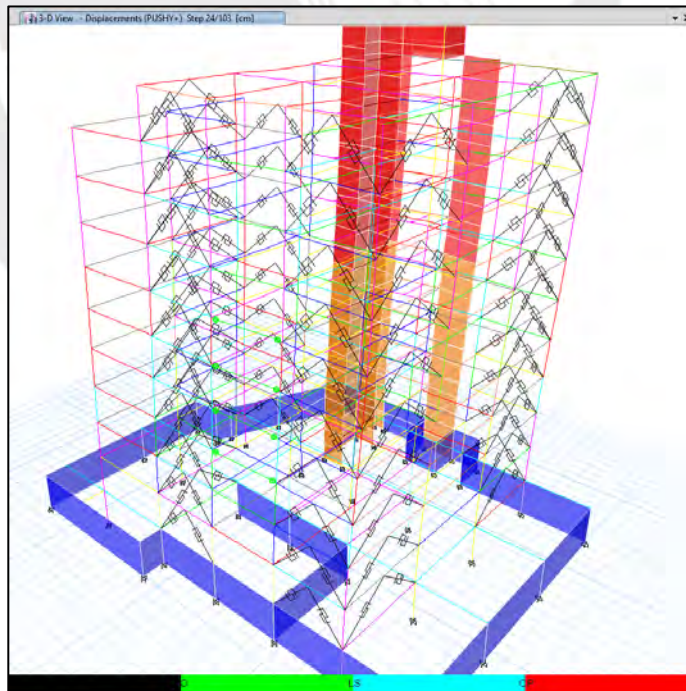
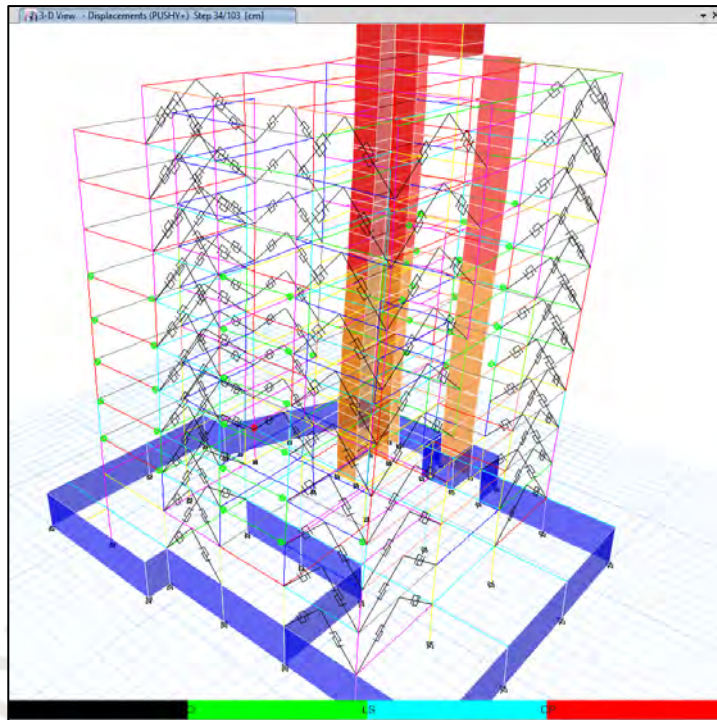


Figura 115: Desempeño de la estructura en la dirección Y (+) para el sismo BSE-1N.

En la figura 115, para este nivel de sismo se empiezan a formar las primeras rótulas en las vigas de la estructura.

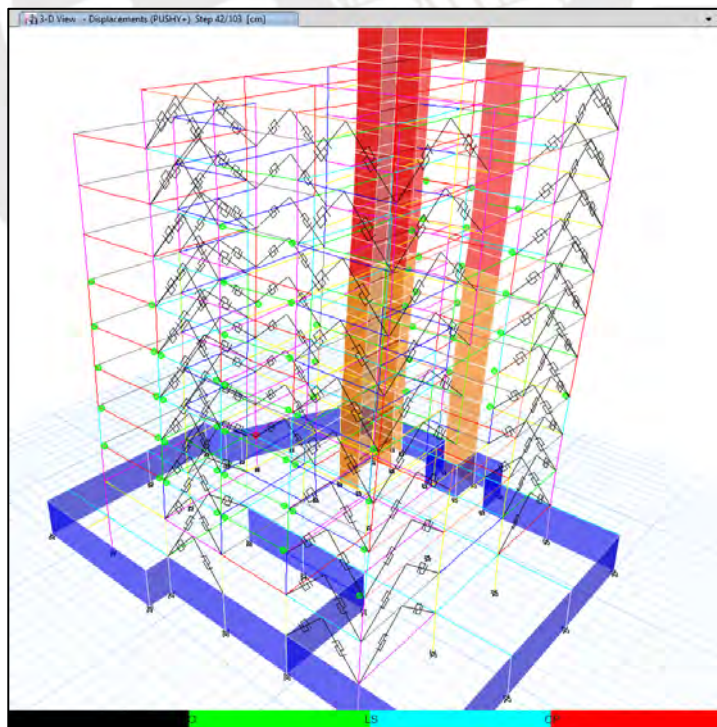
## **BSE-2E**



*Figura 116:* Desempeño de la estructura en la dirección Y (+) para el sismo BSE-2E.

En la figura 116, para este nivel de sismo se incrementa la formación de rótulas en la estructura y se forma una rótula en una columna.

## **BSE-2N**

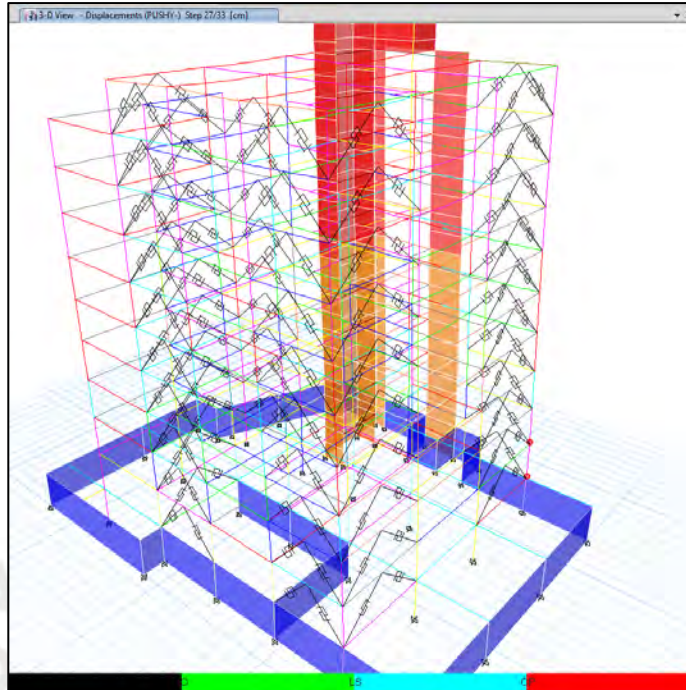


*Figura 117:* Desempeño de la estructura en la dirección Y (+) para el sismo BSE-2N.

En la figura 117, para este nivel de sismo se incrementan los esfuerzos en la rótula la columna.

- **Desempeño de la Estructura con Análisis Pushover en la Dirección Y (-)**

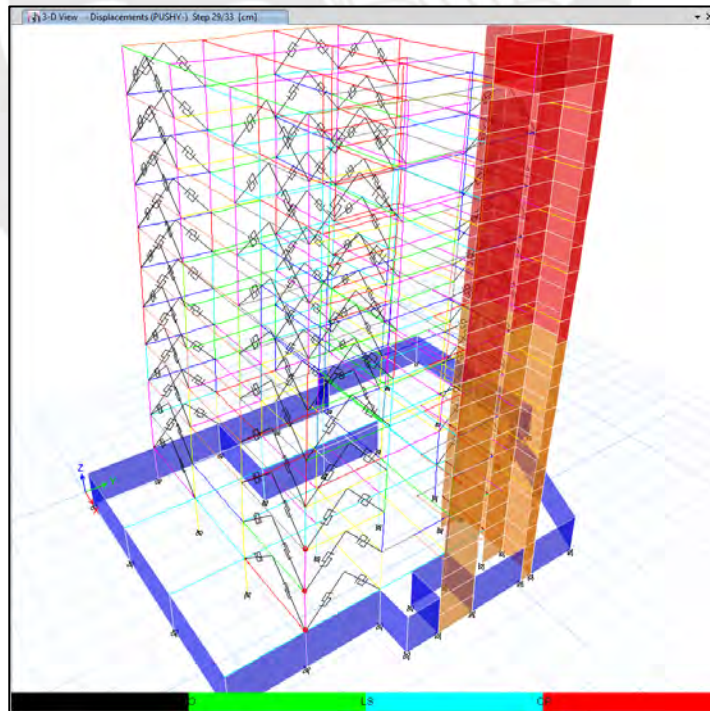
**BSE-1E**



*Figura 118:* Desempeño de la estructura en la dirección Y (-) para el sismo BSE-1E.

En la figura 118, para este nivel de sismo se forman rótulas en la columna.

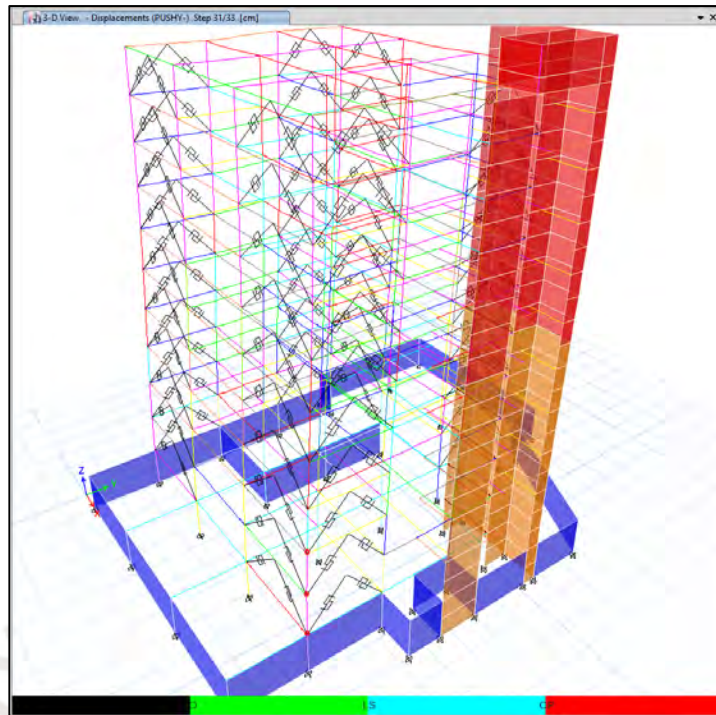
**BSE-1N**



*Figura 119:* Desempeño de la estructura en la dirección Y (-) para el sismo BSE-1N.

En la figura 119, para este nivel de sismo se incrementa la formación de rótulas en la columna.

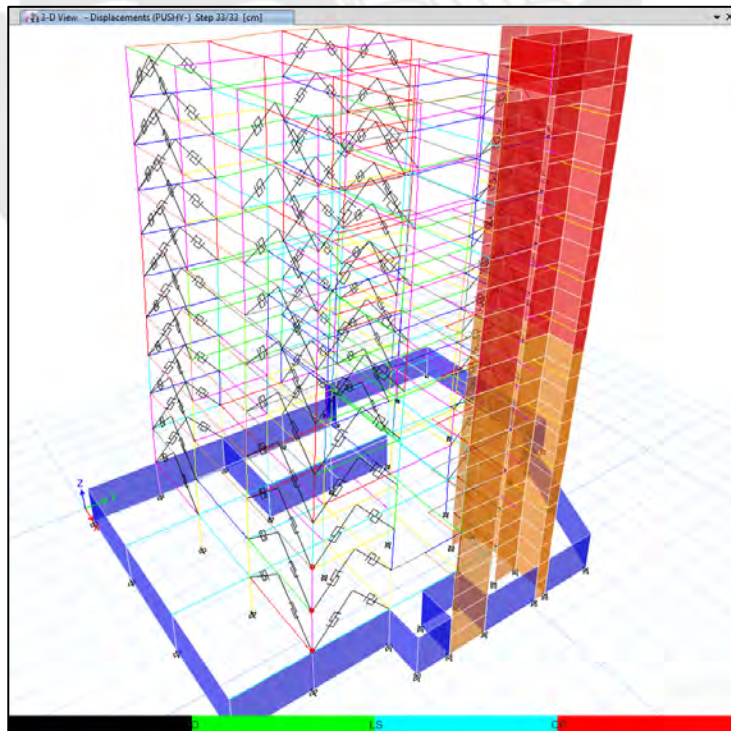
## **BSE-2E**



*Figura 120:* Desempeño de la estructura en la dirección Y (-) para el sismo BSE-2E.

En la figura 120, para este nivel de sismo se incrementan los esfuerzos en las de rótulas en la columna y empieza el colapso de la estructura.

## **BSE-2N**



*Figura 121:* Desempeño de la estructura en la dirección Y (-) para el sismo BSE-2N.

En la figura 121, para este nivel de sismo se genera el colapso de la estructura.

## **10.6 Anexo 6: Análisis Tiempo Historia: Performance de la Estructura**



### 10.6.1 Performance de la Estructura empleando Disipadores de Fluido Viscoso (Amortiguadores)

A continuación, se muestra el performance obtenido en la estructura para cada una de las cuatro intensidades de sismo empleadas en el análisis.

#### - **BSE-1E**

#### - **Inmediata Ocupación**

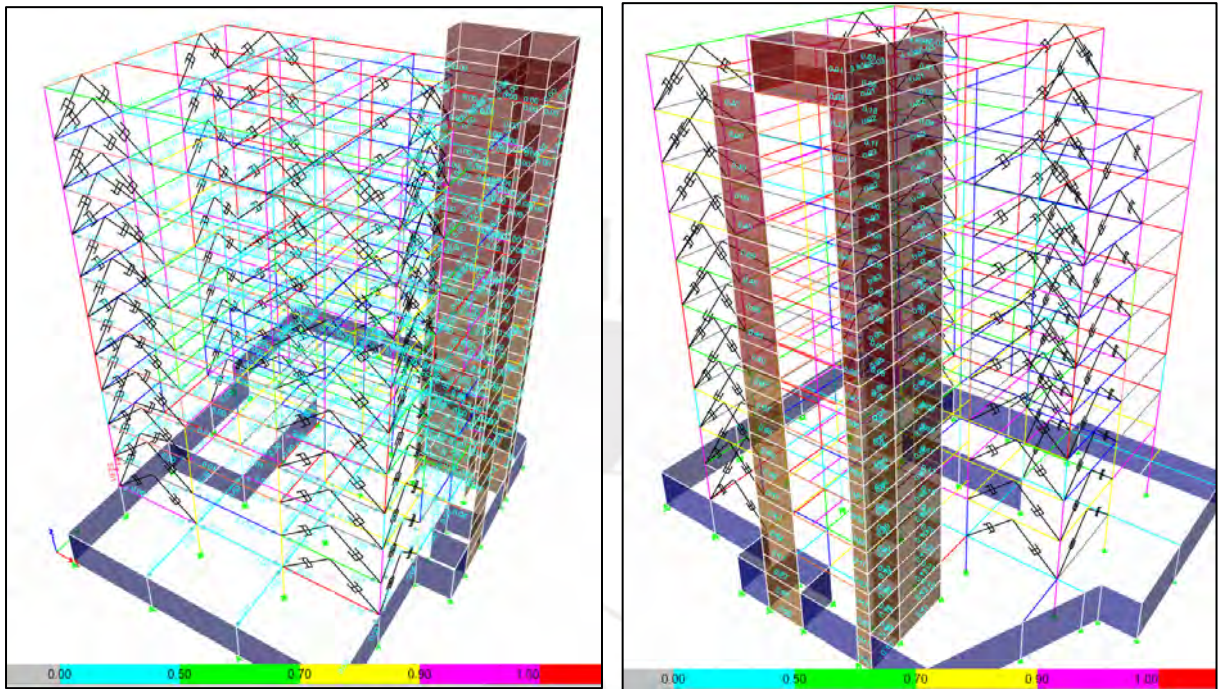


Figura 122: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Ocupación Inmediata

#### - **Seguridad de Vida**

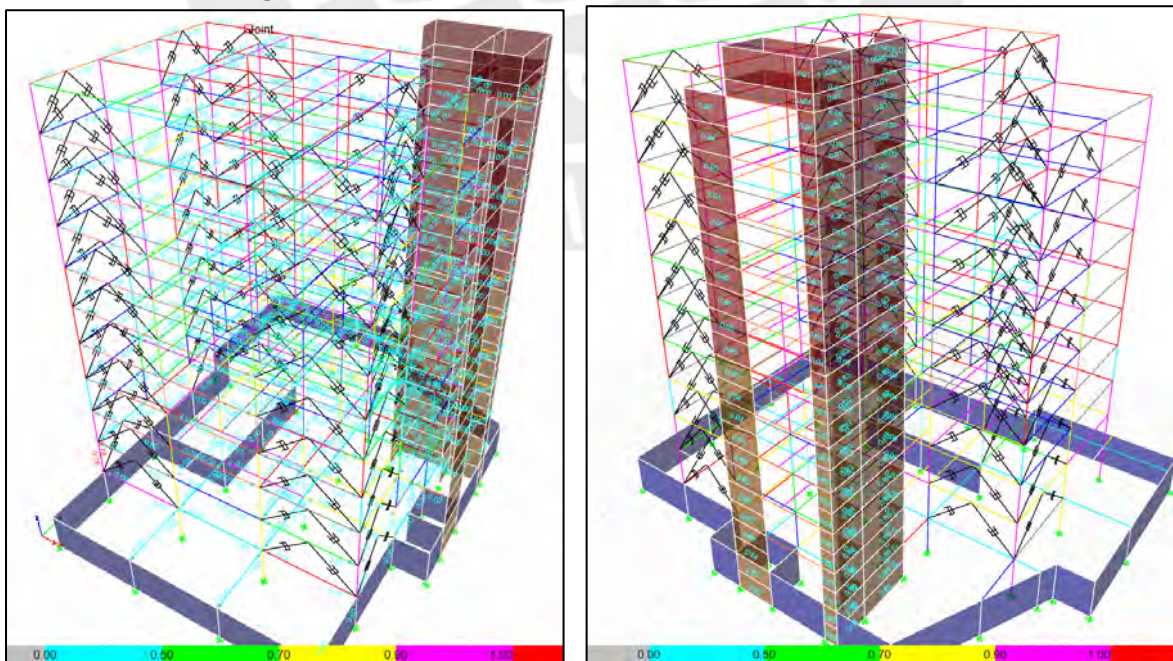


Figura 123: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Seguridad de Vida

- **Prevención del Colapso**

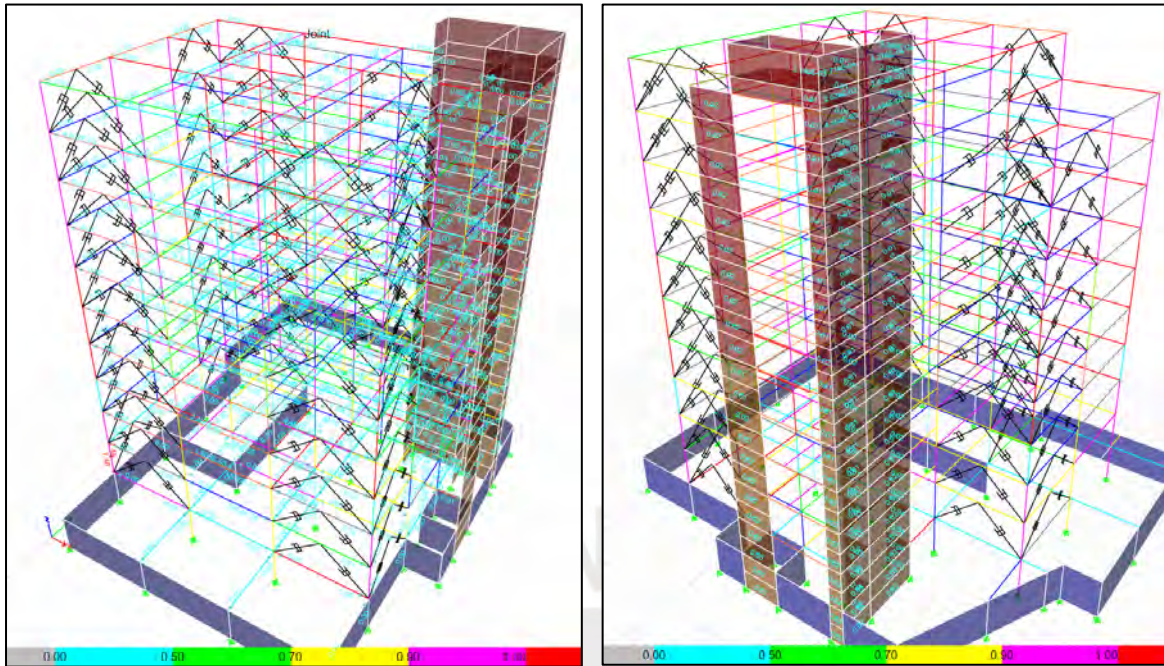


Figura 124: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Prevención de Colapso

De la verificación realizada con los tres estados límites y con la intensidad de este sismo, se ha verificado que en general placas y columnas tienen un adecuado comportamiento, salvo una columna que requiere ser reforzada para tener un adecuado comportamiento en los tres estados límites.

- **BSE-1N**

- **Inmediata Ocupación**

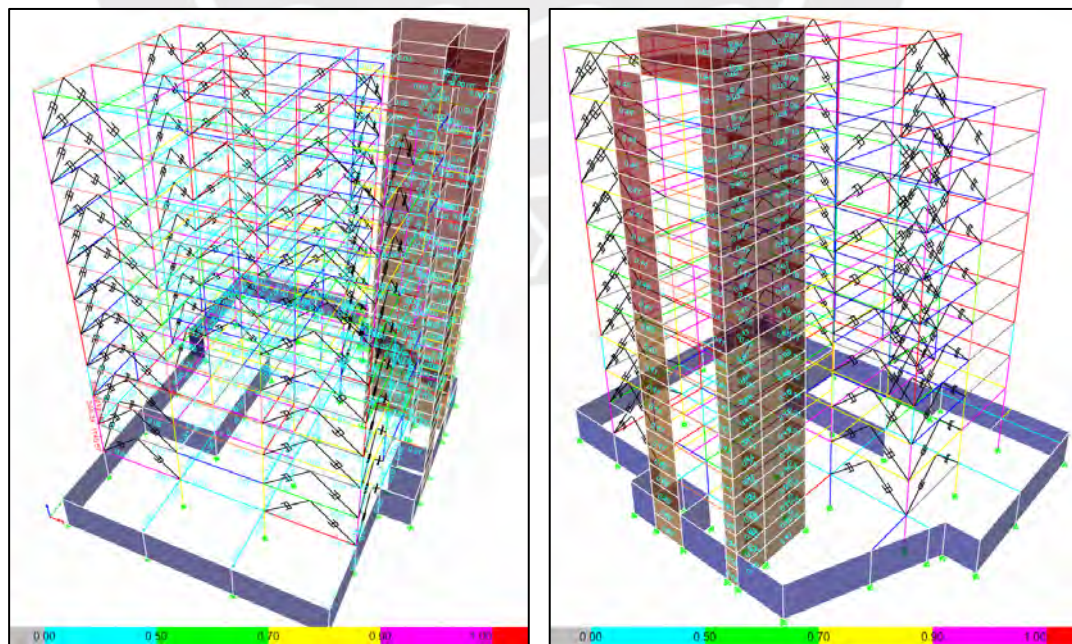


Figura 125: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Ocupación Inmediata

- Seguridad de Vida

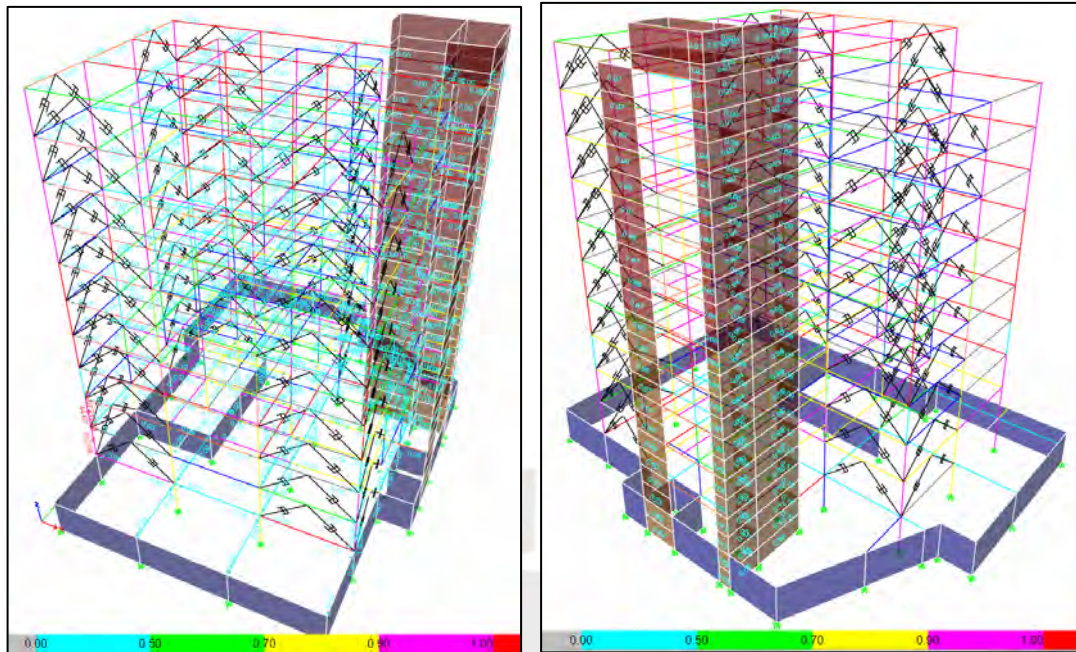


Figura 126: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Seguridad de Vida

- Prevención del Colapso

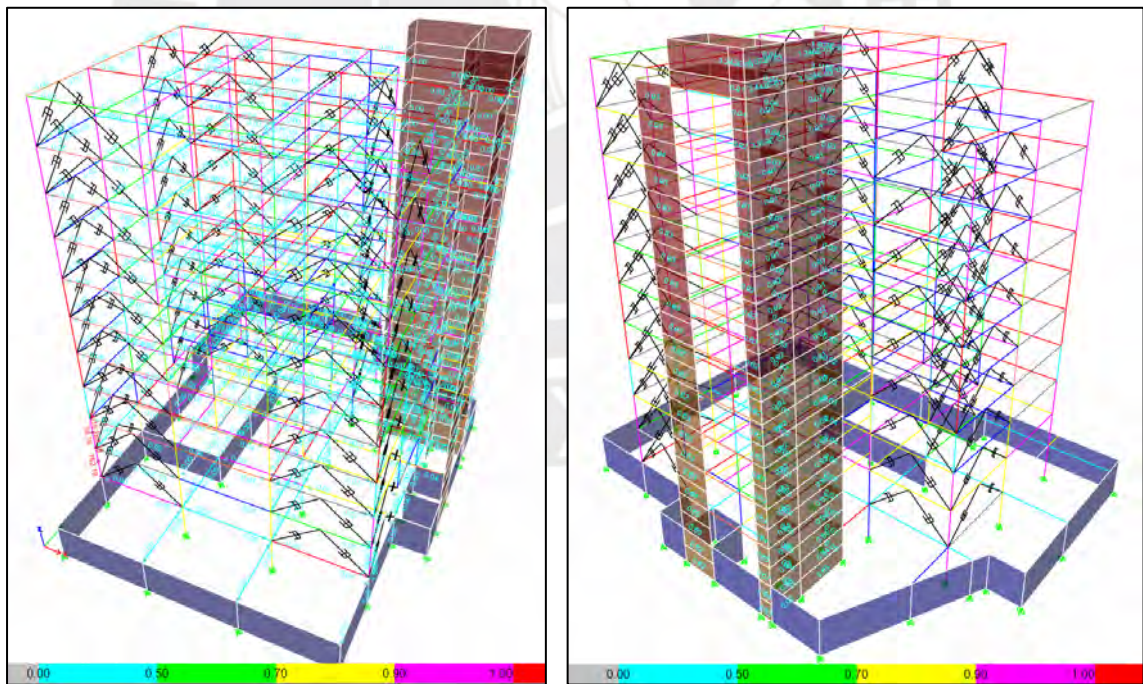


Figura 127: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Prevención de Colapso

De la verificación realizada con los tres estados límites y con la intensidad de este sismo, se ha verificado que en general placas y columnas tienen un adecuado comportamiento, salvo una columna que requiere ser reforzada para tener un adecuado comportamiento en los tres estados límites.

- **BSE-2E**

- **Inmediata Ocupación**

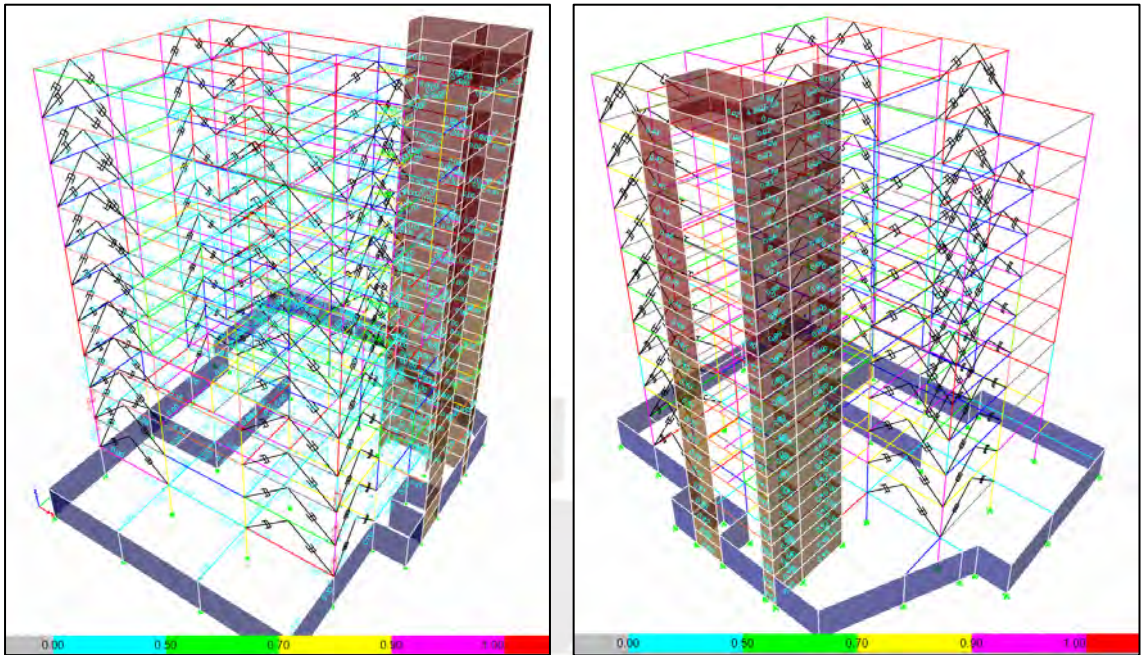


Figura 128: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Ocupación Inmediata

- **Seguridad de Vida**

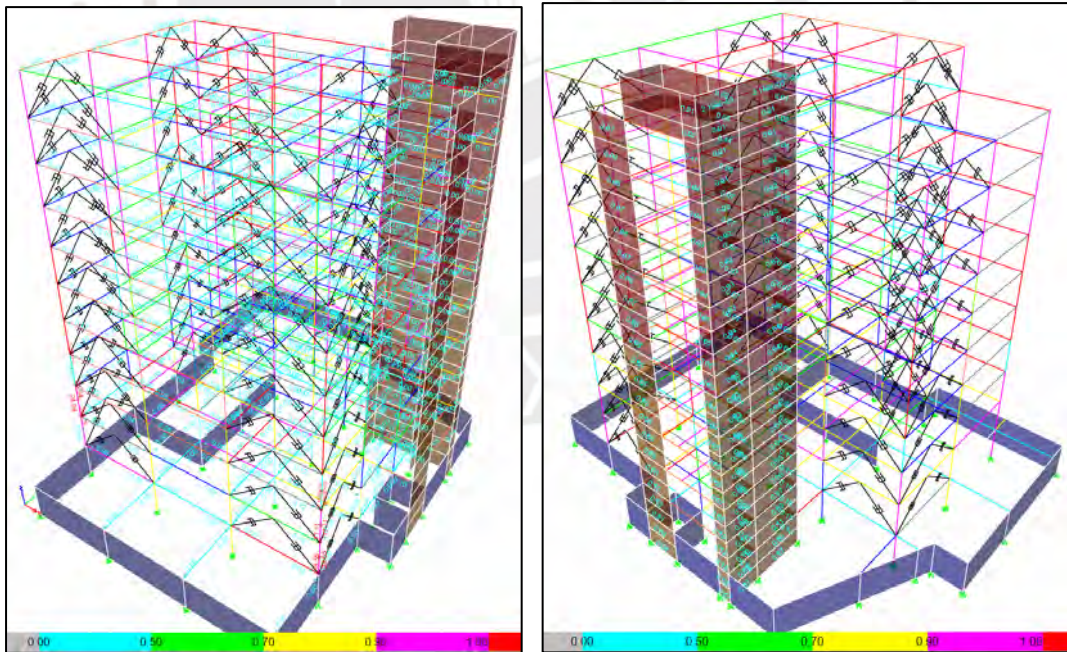


Figura 129: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Seguridad de Vida

- **Prevención del Colapso**

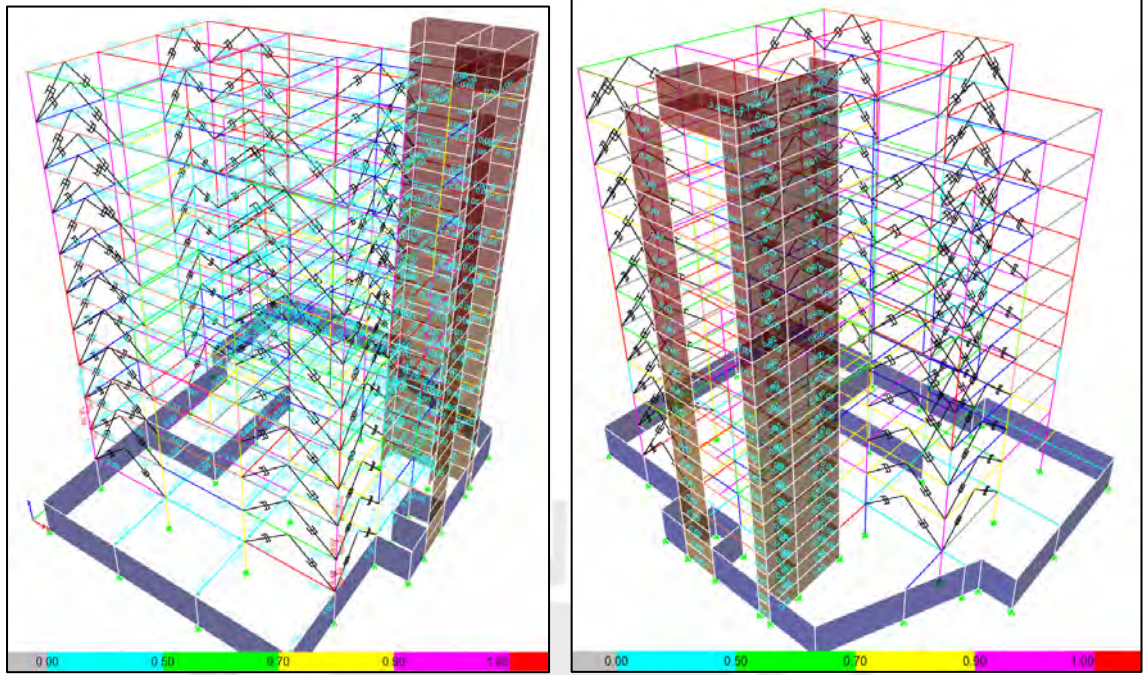


Figura 130: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Prevención de Colapso

De la verificación realizada con los tres estados límites y con la intensidad de este sismo, se ha verificado que en general placas y columnas tienen un adecuado comportamiento, salvo dos columnas que requieren ser reforzada para tener un adecuado comportamiento en los tres estados límites. Además, algunas vigas tienen un ratio elevado para ocupación inmediata, pero que mejora para prevención del colapso, lo que amerita una revisión para tener un mejor desempeño en todos los estados límites.

- **BSE-2N**  
- **Inmediata Ocupación**

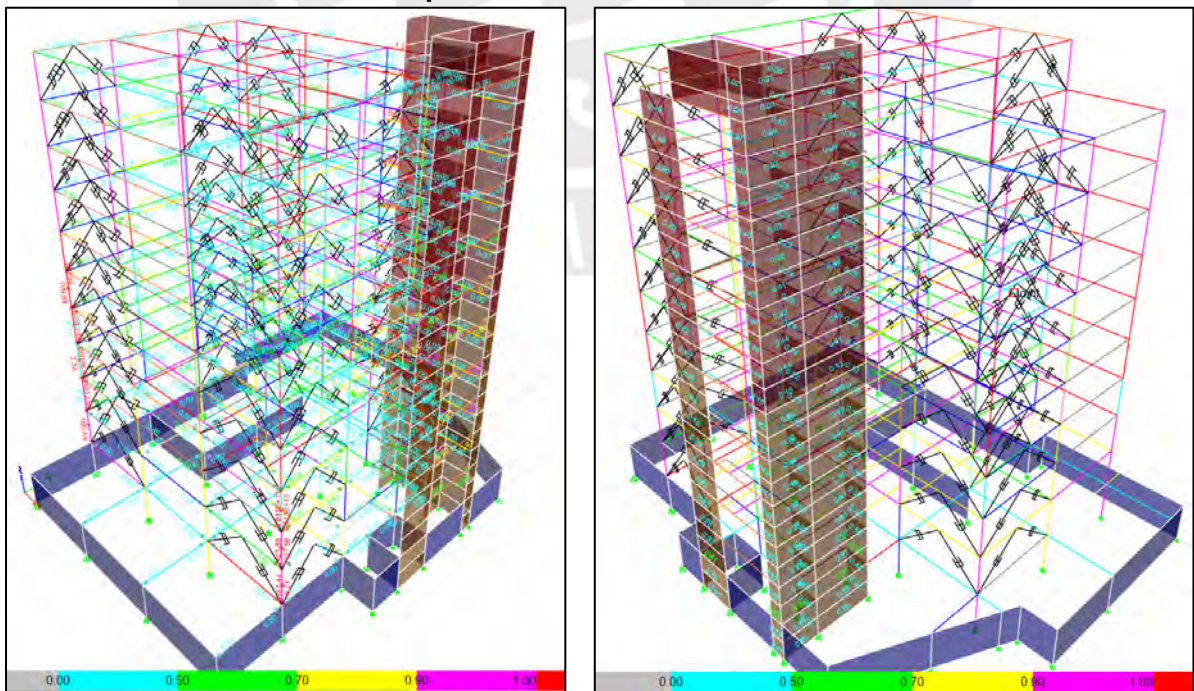


Figura 131: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Ocupación Inmediata

### - Seguridad de Vida

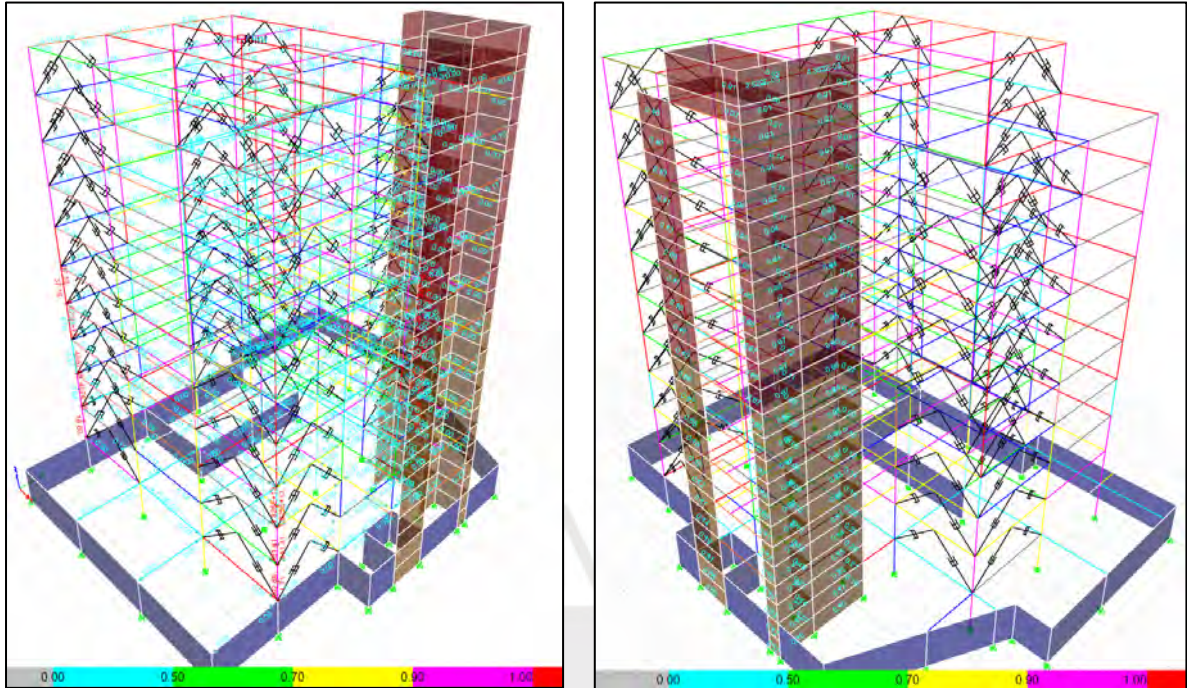


Figura 132: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Seguridad de Vida

### - Prevención del Colapso

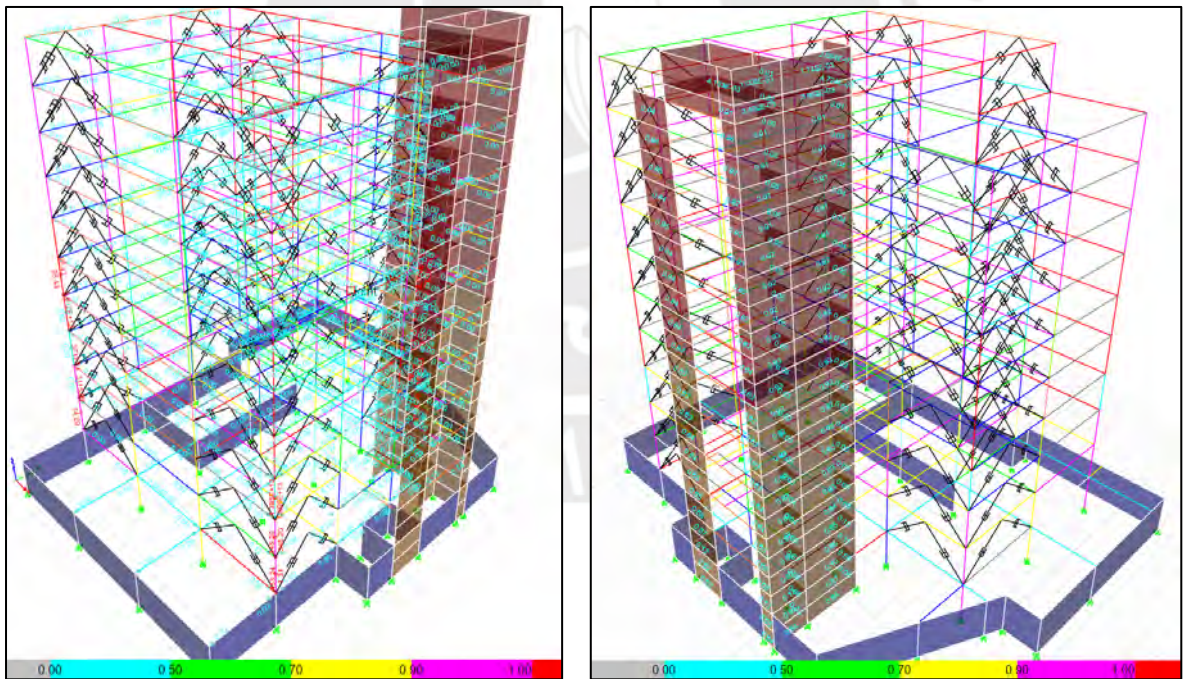


Figura 133: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Prevención de Colapso

De la verificación realizada con los tres estados límites y con la intensidad de este sismo, se ha verificado que en general placas y columnas tienen un adecuado comportamiento, salvo dos columnas que requieren ser reforzadas para tener un adecuado comportamiento en los tres estados límites. Además, algunas vigas tienen un ratio elevado para ocupación inmediata, pero que mejora para prevención del colapso, este comportamiento es de esperar para la intensidad del sismo empleado en el análisis.

### 10.6.2 Performance de la Estructura empleando BRBs

A continuación, se muestra el performance obtenido en la estructura para cada una de las cuatro intensidades de sismo empleadas en el análisis.

- **BSE-1E**
- **Inmediata Ocupación**

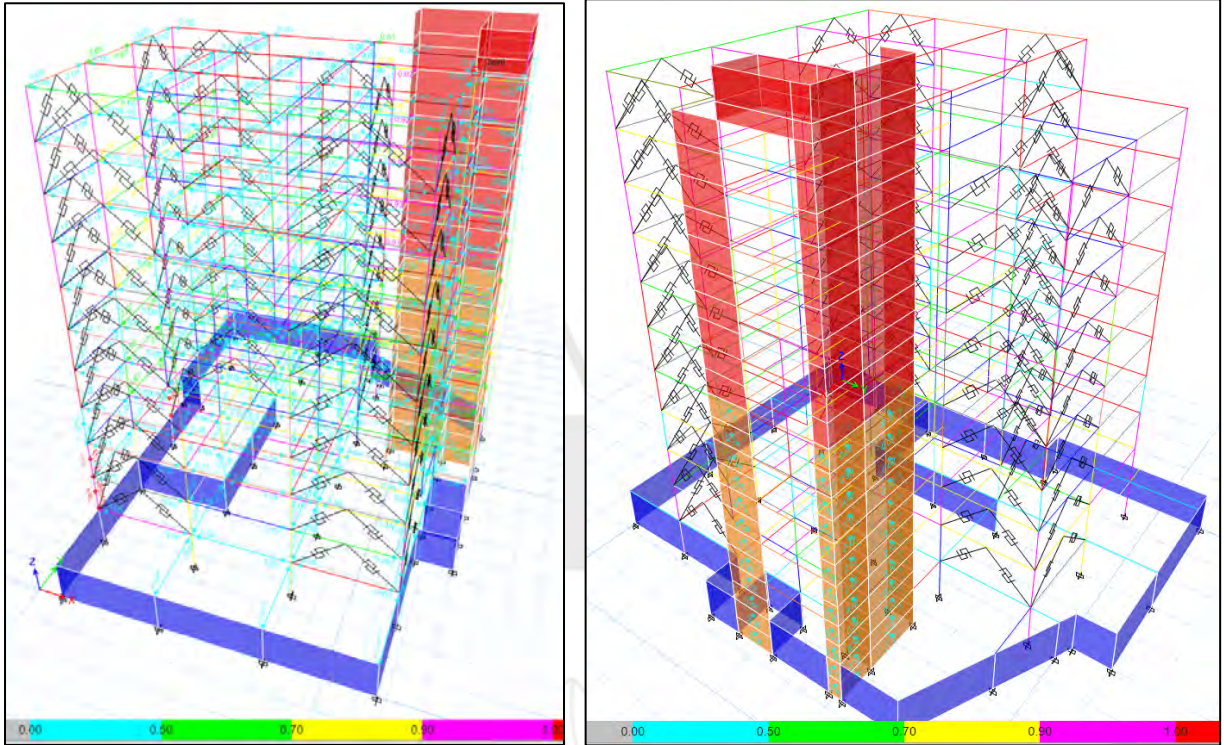


Figura 134: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Ocupación Inmediata

- **Seguridad de Vida**

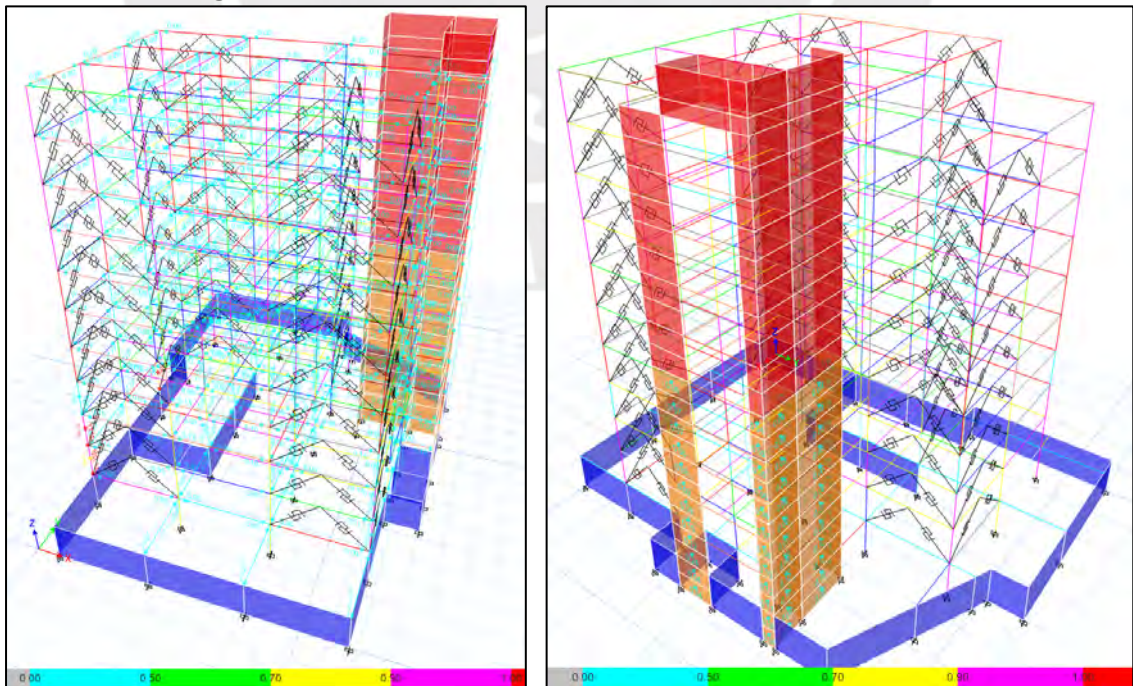


Figura 135: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Seguridad de Vida

- **Prevención del Colapso**

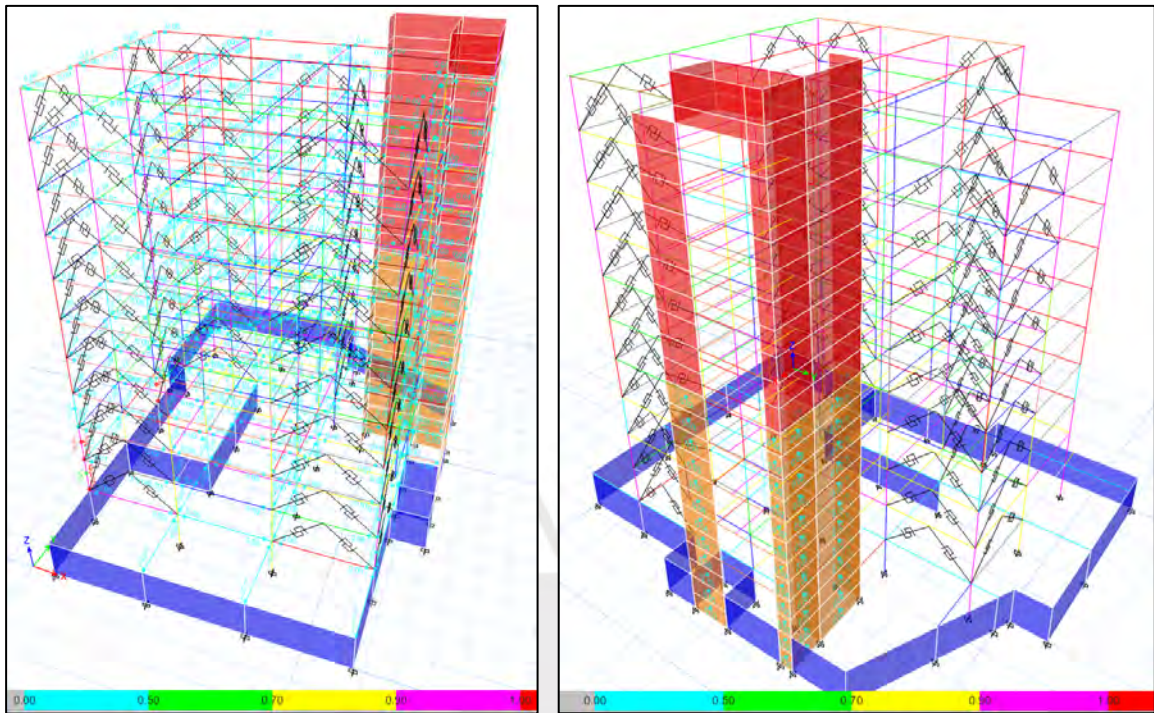


Figura 136: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Prevención de Colapso

De la verificación realizada con los tres estados límites y con la intensidad de este sismo, se ha verificado que en general placas y columnas tienen un adecuado comportamiento, salvo una columna que requiere ser reforzada para tener un adecuado comportamiento en los tres estados límites.

- **BSE-1N**  
- **Inmediata Ocupación**

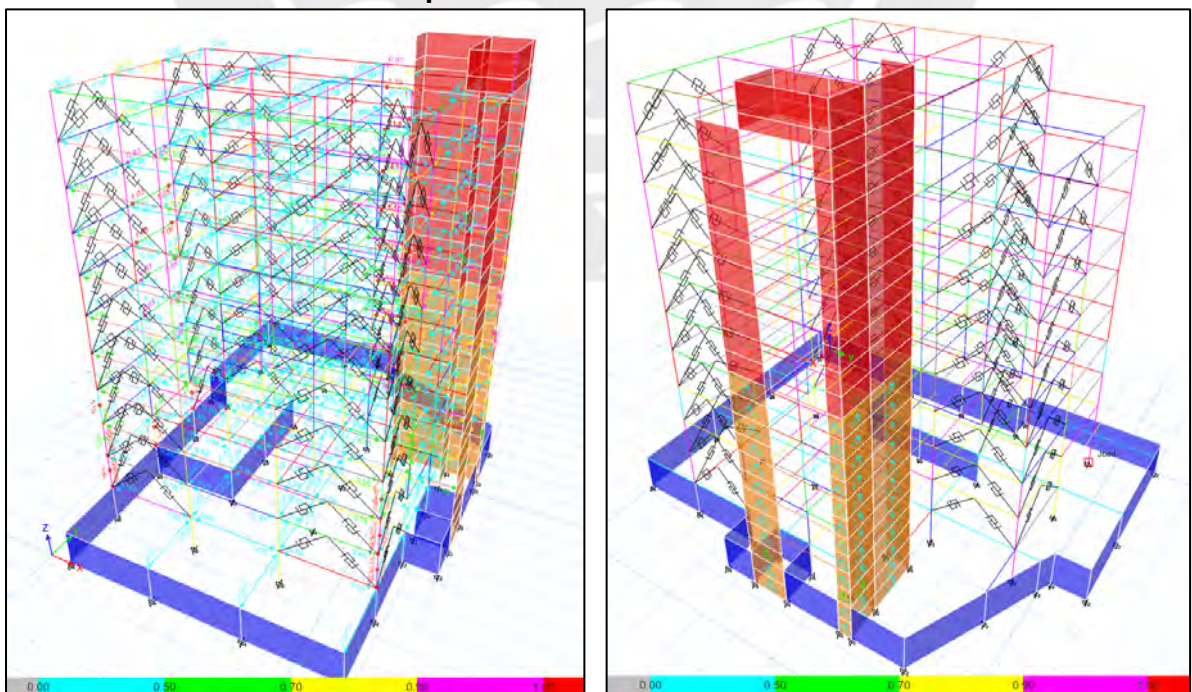


Figura 137: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Ocupación Inmediata

### - Seguridad de Vida

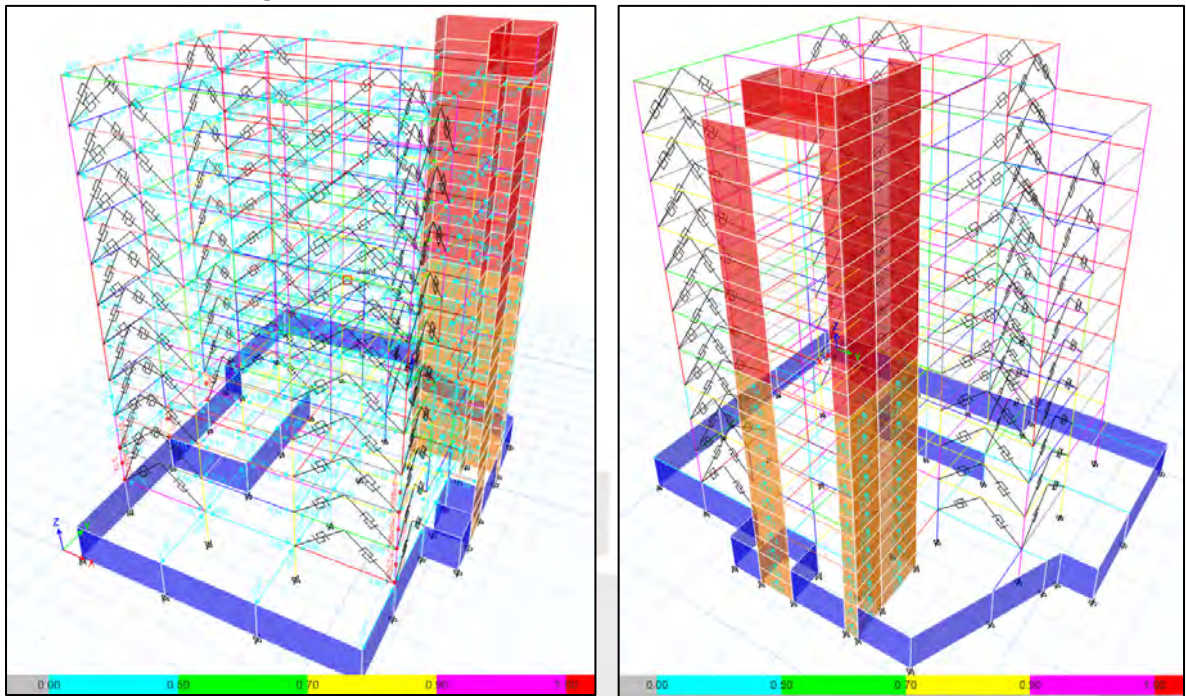


Figura 138: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Seguridad de Vida

### - Prevención del Colapso

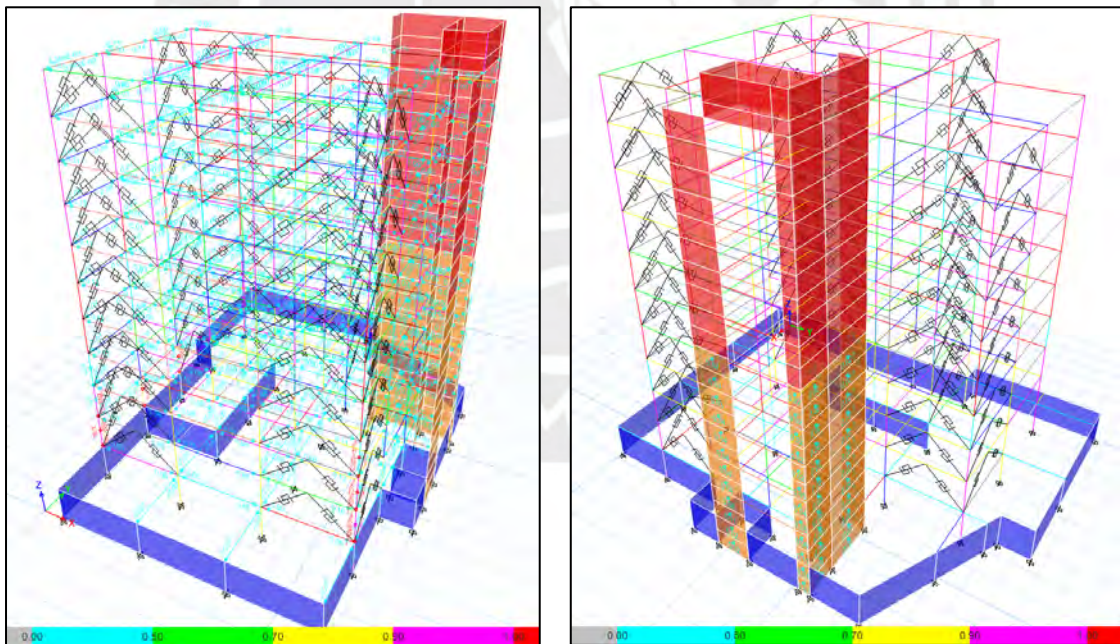


Figura 139: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Prevención de Colapso

De la verificación realizada con los tres estados límites y con la intensidad de este sismo, se ha verificado que en general placas y columnas tienen un adecuado comportamiento, salvo dos columnas que requieren ser reforzadas para tener un adecuado comportamiento en los tres estados límites. Además, algunas vigas tienen unos ratios muy cercanos a la unidad lo que amerita verificar si requieren ser reforzadas.

- **BSE-2E**
- **Inmediata Ocupación**

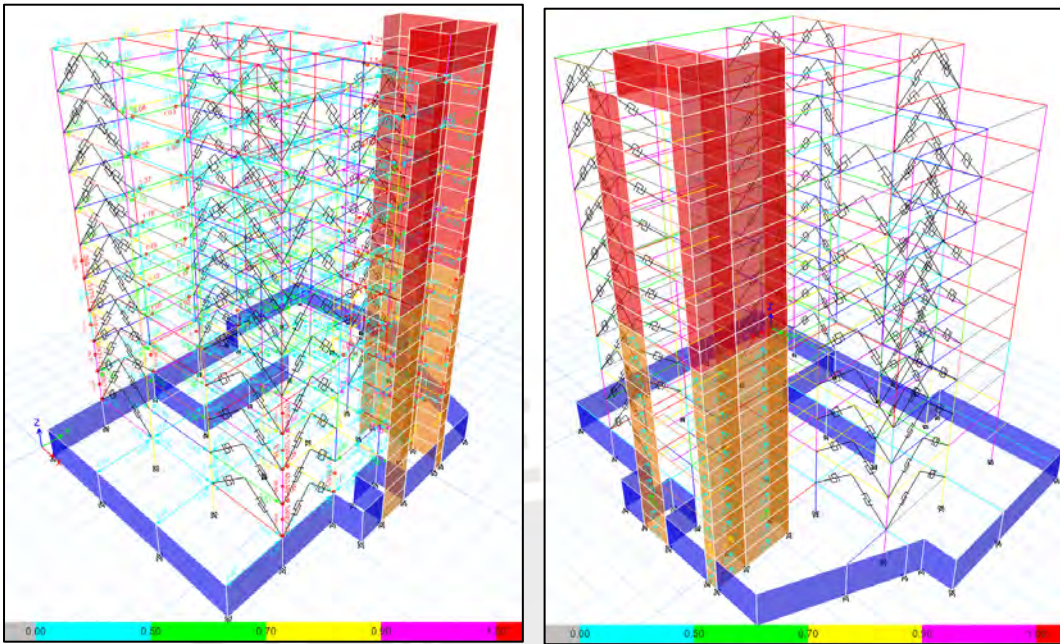


Figura 140: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Ocupación Inmediata

- **Seguridad de Vida**

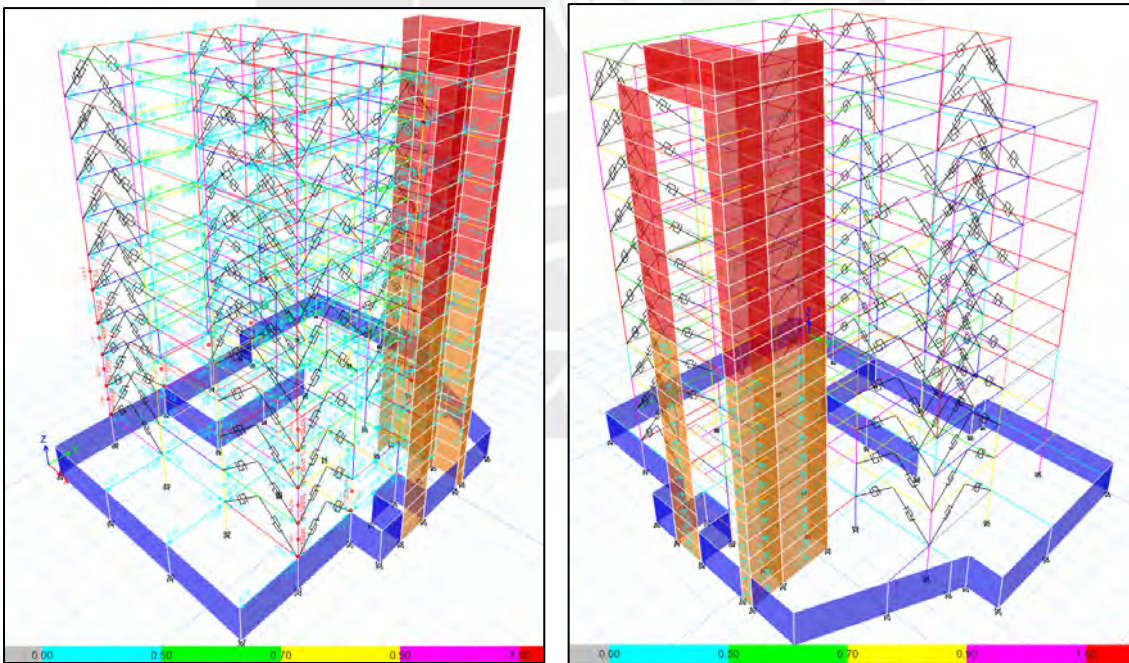


Figura 141: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Seguridad de Vida

- **Prevención del Colapso**

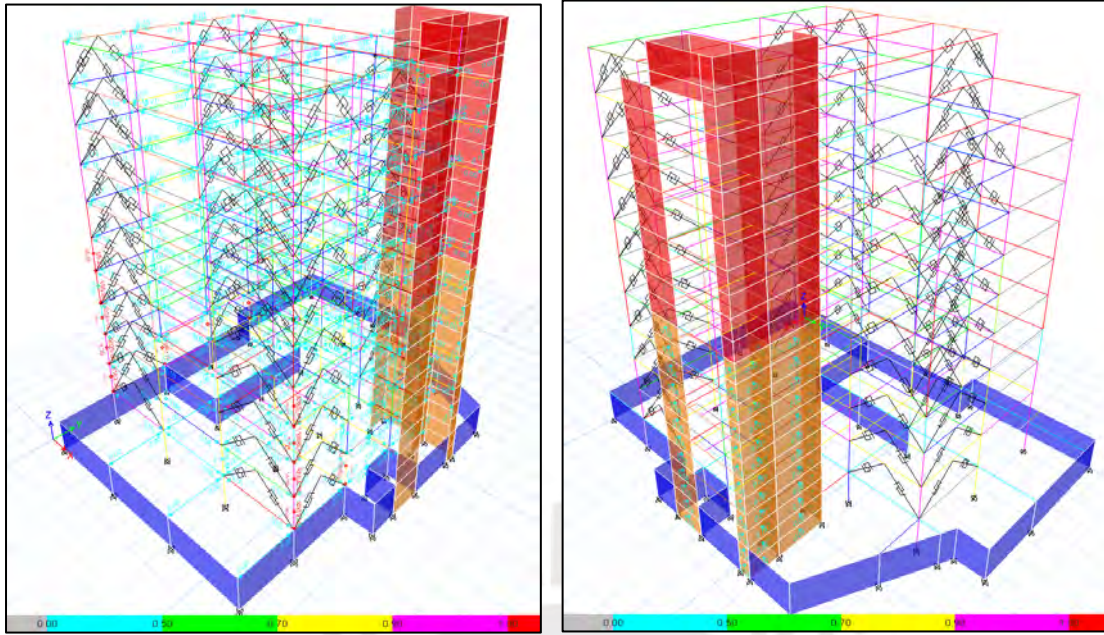


Figura 142: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Prevención de Colapso

De la verificación realizada con los tres estados límites y con la intensidad de este sismo, se ha verificado que en general placas y columnas tienen un adecuado comportamiento, salvo cuatro columnas que requieren ser reforzada para tener un adecuado comportamiento en los tres estados límites. Además, algunas vigas tienen un ratio superior a la unidad para ocupación inmediata, pero que mejora para prevención del colapso, lo que amerita una revisión y poder verificar si es necesario un reforzamiento para tener un mejor desempeño en todos los estados límites.

- **BSE-2N**  
- **Inmediata Ocupación**

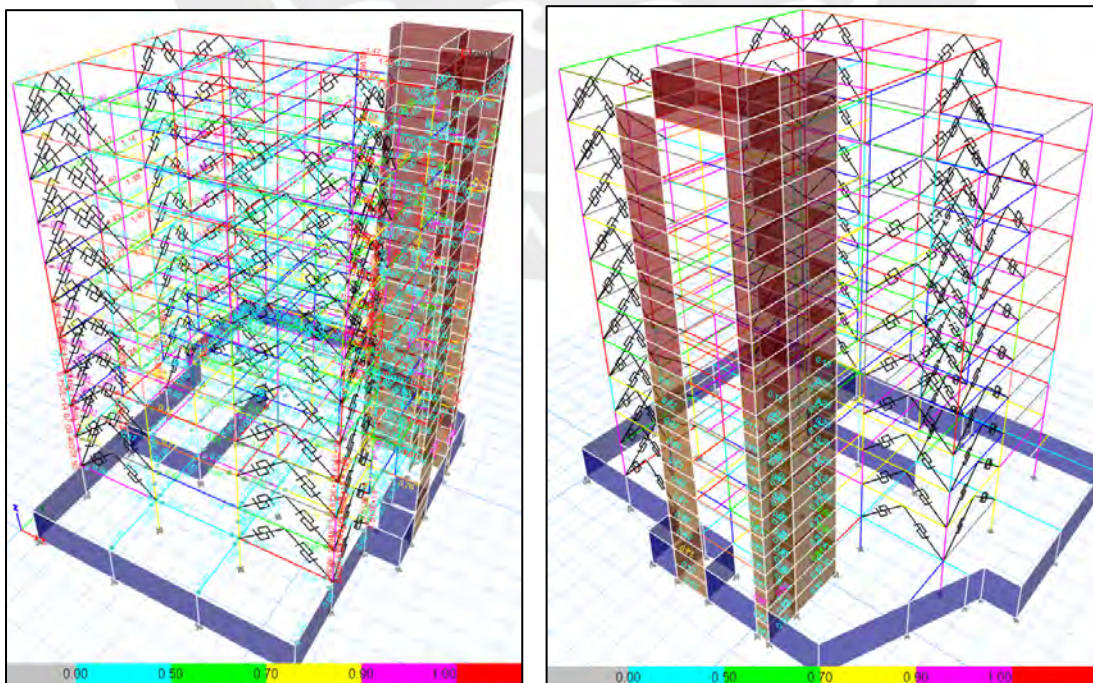


Figura 143: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Ocupación Inmediata

### - Seguridad de Vida

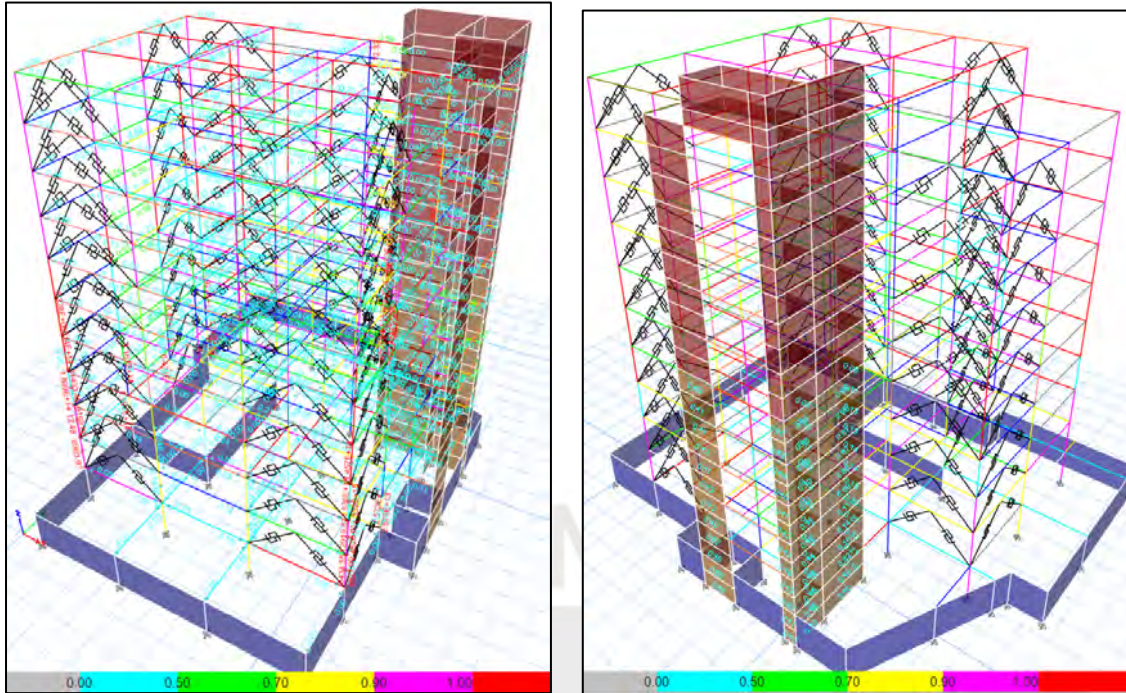


Figura 144: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Seguridad de Vida

### - Prevención del Colapso

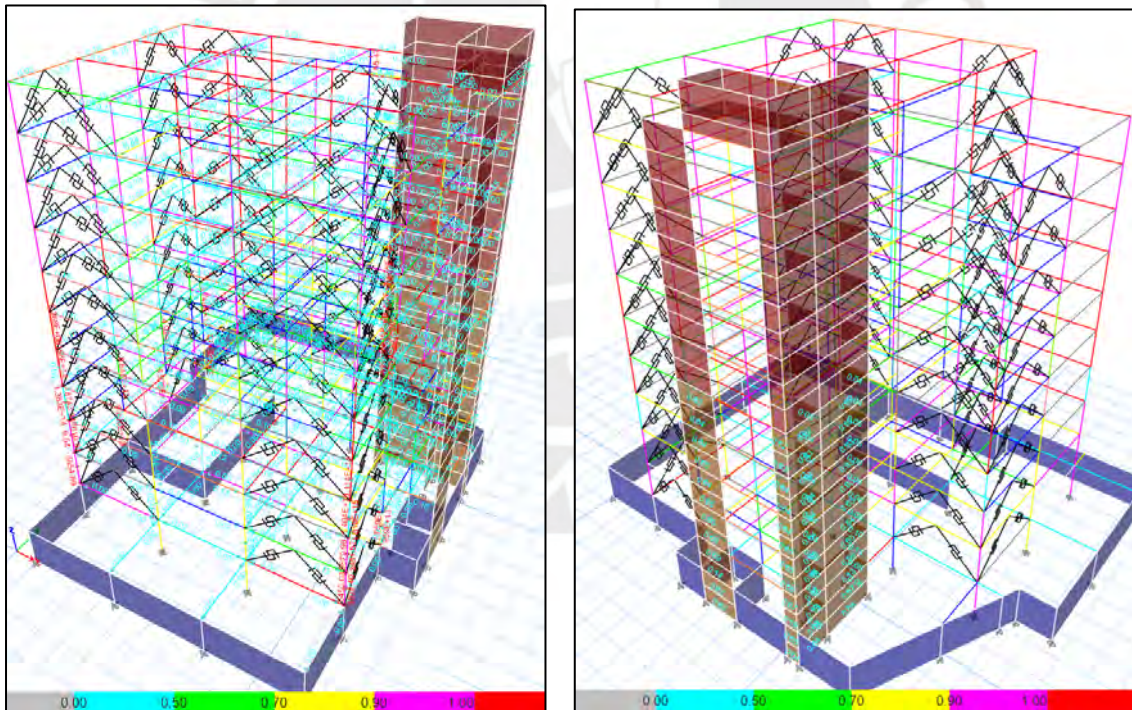


Figura 145: Imágenes de las vigas, columnas y placas para Prevención de Colapso

De la verificación realizada con los tres estados límites y con la intensidad de este sismo, se ha verificado que en general placas y columnas tienen un adecuado comportamiento, salvo dos columnas que requieren ser reforzada para tener un adecuado comportamiento en los tres estados límites. Además, algunas vigas tienen un ratio elevado para ocupación inmediata, pero que mejora para prevención del colapso, este comportamiento es de esperar para la intensidad del sismo empleado en el análisis.