

**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”**



FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Escuela profesional de Ingeniería Civil

**EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO
SISMORRESISTENTE DE UN EDIFICIO DE CINCO PISOS, CON
DISIPADORES FLUIDO VISCOSO EN CONFIGURACION
CHEVRON BRACE, DIAGONAL Y DOBLE DIAGONAL**

**TESIS
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL
DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
MINAYA FELIPE ABEL JHONATAN**

**ASESOR:
Mtro. Ing. RICHARD ALBERTO DEPAZ BLÁCIDO**

**Huaraz – Perú
2023**





**UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO"
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



REGISTRO	
LIBRO	FOLIO
01	316

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 312

En la ciudad de Huaraz, al (a los) día (s) del mes de

del , siendo las : horas, se reunieron el Jurado Evaluador integrado por:

PRESIDENTE :
 PRIMER MIEMBRO :
 SEGUNDO MIEMBRO :

Para proceder al Acto de Sustentación para optar el Título Profesional de INGENIERO(A) CIVIL, bajo la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional , del (de la) Bachiller

(de la Tesis) - (del Trabajo de suficiencia profesional) titulada:

"EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SISMORRESISTENTE DE UN EDIFICIO DE CINCO PISOS, CON DISIPADORES FLUIDO VISCOSO EN CONFIGURACIÓN CHEVRON BRACE, DIAGONAL Y DOBLE DIAGONAL".

desarrollada bajo el asesoramiento de:

ASESOR :
 CO - ASESOR :

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil; se procedió a recepcionar la exposición del aspirante; luego de las interrogantes, objeciones y aclaraciones y su absolución, el Jurado Evaluador determinó la calificación de:

Siendo las : horas del mismo día, se dio por concluido el Acto de Sustentación, firmando la presente por triplicado, en señal de conformidad.

PRESIDENTE
 Ing. FELISMERO SALINAS FERNÁNDEZ

PRIMER MIEMBRO
 Dr. JAIME WALTER BLAS CANO

SEGUNDO MIEMBRO
 Mag. FERNANDO JAVIER DEPAZ HIDALGO

ASESOR
 Mag. RICHARD ALBERTO DEPAZ BLÁCIDO

 CO - ASESOR

SUSTENTANTE
 ABEL JHONATAN MINAYA FELIPE



Anexo de la R.C.U N° 126 -2022- UNASAM
ANEXO 1
INFORME DE SIMILITUD.

El que suscribe (asesor) del trabajo de investigación titulado:

Evaluación del comportamiento sismorresistente de un edificio de cinco pisos, con disipadores fluido viscoso en configuración Chevron Brace, diagonal y doble diagonal

Presentado por: Minaya Felipe Abel Jhonatan

con DNI N°: 47615216

para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Informo que el documento del trabajo anteriormente indicado ha sido sometido a revisión, mediante la plataforma de evaluación de similitud, conforme al Artículo 11° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de : 24% de similitud.

Evaluación y acciones del reporte de similitud de los trabajos de los estudiantes/ tesis de pre grado (Art. 11, inc. 1).

Porcentaje		Evaluación y acciones	Seleccione donde corresponda <input type="radio"/>
Trabajos de estudiantes	Tesis de pregrado		
Del 1 al 30%	Del 1 al 25%	Esta dentro del rango aceptable de similitud y podrá pasar al siguiente paso según sea el caso.	<input checked="" type="radio"/>
Del 31 al 50%	Del 26 al 50%	Se debe devolver al estudiante o egresado para las correcciones con las sugerencias que amerita y que se presente nuevamente el trabajo.	<input type="radio"/>
Mayores a 51%	Mayores a 51%	El docente o asesor que es el responsable de la revisión del documento emite un informe y el autor recibe una observación en un primer momento y si persistiese el trabajo es invalidado.	<input type="radio"/>

Por tanto, en mi condición de Asesor/ Jefe de Grados y Títulos de la EPG UNASAM/ Director o Editor responsable, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software anti-plagio.

Huaraz, 22/09/2023


 FIRMA
 Apellidos y Nombres: Depaz Blacido Richard Alberto

DNI N°: 31671951

Se adjunta:

1. Reporte completo Generado por la plataforma de evaluación de similitud

DEDICATORIA

Con todo amor y admiración a mis padres, mi hermano y mi esposa:

Abel Minaya Santillán

Hilda Felipe Natividad

Yellson Minaya Felipe

Mary Carmen León Cerna

AGRADECIMIENTO

A Dios por iluminar mi camino y ser mi apoyo espiritual.

A mis padres y mi hermano por el apoyo brindando a lo largo de mi vida.

A mi esposa por los consejos brindados para la realización del presente Proyecto.

Al Ingeniero Richard Alberto Depaz Blácido por la orientación y el apoyo brindado durante todo el proceso de elaboración del Presente Proyecto.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN.....	xxv
ABSTRACT.....	xxvi
 CAPITULO I	
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	2
1.4. HIPOTESIS Y VARIABLES DE INVESTIGACIÓN	2
1.4.1. HIPÓTESIS	2
1.4.2. VARIABLES.....	2
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.5.1. OBJETIVOS GENERALES.....	2
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2

CAPITULO II

MARCO TEORICO	4
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	4
2.2. ENFOQUE SISMORRESISTENTE TRADICIONAL.....	4
2.3. ENFOQUE SISMORRESISTENTE CON DISIPADORES DE ENERGÍA.....	5
2.4. DISIPADORES DE ENERGÍA	6
2.5. DISIPADORES FLUIDO VISCOSO	6
2.5.1.ECUACIÓN GENERAL DEL DISIPADOR FLUIDO VISCOSO	7
2.5.2.COMPORTAMIENTO HISTERETICO DEL DISIPADOR.....	8
2.6. DERIVA OBJETIVA Y AMORTIGUAMIENTO	9
2.7. AMORTIGUAMIENTO DEL DISIPADOR NO LINEAL.....	10
2.8. CALCULO DEL AMORTIGUAMIENTO DE LA ESTRUCTURA.....	12
2.9. AUMENTO DEL AMORTIGUAMIENTO Y REDUCCIÓN DE LA DEMANDA SÍSMICA.....	13
2.10. CONFIGURACIONES DE LOS DISIPADORES DE ENERGÍA.....	14
2.10.1. CONFIGURACIÓN CHEVRON BRACE.....	14
2.10.2. CONFIGURACIÓN DIAGONAL.....	15
2.10.3. CONFIGURACIÓN DOBLE DIAGONAL	15

2.11. RECOMENDACIONES PARA EL USO DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA	16
2.12. DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE DE EDIFICACIONES	17
2.12.1. NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA.....	17
2.12.2. NIVELES DE DESEMPEÑO.....	18
2.12.3. NIVELES DE DESEMPEÑO RECOMENDADOS	19
2.13. RELACIÓN DAÑO Y DERIVA DE UNA EDIFICACIÓN.....	19
2.14. METODOLOGÍA DE DISEÑO DE LOS DISIPADORES.....	21
 CAPITULO III	
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	23
3.1. PERSPECTIVA METODOLOGÍA Y TIPO DE INVESTIGACIÓN	23
3.2. CONTEXTO Y UNIDAD DE ANÁLISIS: POBLACIÓN Y MUESTRA	23
3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	24
3.4. LIMITES DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
 CAPITULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO.....	25
4.2. EVALUACIÓN DE LA EDIFICACIÓN DEL MÓDULO N.º 01	26

4.2.1. ANÁLISIS DE LA EDIFICACIÓN SIN DISIPADORES DE ENERGÍA	26
4.2.2. ANÁLISIS DE LA EDIFICACIÓN CON DISIPADORES DE ENERGÍA....	48
4.3. EVALUACIÓN DE LA EDIFICACIÓN DEL MÓDULO 02	81
4.3.1. ANÁLISIS DE LA EDIFICACIÓN SIN DISIPADORES DE ENERGÍA	81
4.3.2. ANÁLISIS DE LA EDIFICACIÓN CON DISIPADORES DE ENERGÍA..	108
4.4. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	153
4.4.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL MÓDULO 01	153
4.4.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL MÓDULO 02	157
4.3.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS	163
CONCLUSIONES	164
RECOMENDACIONES	165
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	166
ANEXOS	168

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Parámetro λ en función del exponente de velocidad “ α ”	11
Tabla 2. Valor del coeficiente de reducción BV + 1.....	14
Tabla 3. Recomendaciones para el uso de Sistemas de Protección sísmica	16
Tabla 4. Niveles de amenaza sísmica.....	17
Tabla 5. Niveles de desempeño propuesto por el SEAOC.....	18
Tabla 6. Relación Daño – Deriva para estructura del tipo C1M.....	20
Tabla 7. Relación Daño – Deriva para estructura del tipo C2M.....	21
Tabla 8. Sistema estructural y coeficiente de reducción para el módulo 01	28
Tabla 9. Parámetros sísmicos del módulo 01	29
Tabla 10. Deriva de entrepiso en las direcciones de análisis “X” e “Y” de la edificación del módulo 01	30
Tabla 11. Periodos de la estructura del módulo 01, para los tres modos fundamentales 31	
Tabla 12. Factor de escalamiento de la cortante dinámica al 90% de la cortante estática	32
Tabla 13. Combinaciones de cargas para verificar la resistencia de los elementos, (E060).....	32
Tabla 14. Porcentaje de cortante absorbida por los pórticos del eje 2-2 y del eje 5-5 del módulo 01	33
Tabla 15. Características y carga axial en los muros de albañilería, modulo 01	37

Tabla 16. Verificación de los muros de albañilería ante el esfuerzo axial máximo, control de fisuración y agrietamiento diagonal, modulo 01	39
Tabla 17. Verificación de la resistencia global de la edificación, modulo 01	40
Tabla 18. Sistema de estructural y coeficiente de reducción para el módulo 01 reestructurado	41
Tabla 19. Parámetros sísmicos del módulo 01 reestructurado.....	41
Tabla 20. Periodo de la edificación en la dirección “X”, “Y” y “Z” del modelo 01 reestructurado	42
Tabla 21. Deriva de entrepiso en las direcciones de análisis “X” e “Y” de la edificación del modelo 01 reestructurado.....	42
Tabla 22. Geometría del muro, Fuerzas actuantes de Diseño muro del módulo 01	43
Tabla 23. Combinaciones de Carga según el E060, muro del módulo 01	43
Tabla 24. Datos del muro para el diseño por corte, modulo 01	45
Tabla 25. Geometría del muro, Fuerzas actuantes de Diseño muro del módulo 01 ..	46
Tabla 26. Combinaciones de Carga según el E060, muro del módulo 01	46
Tabla 27. Datos del muro para el diseño por corte, modulo 01	47
Tabla 28. Derivas de entrepiso ante un espectro de diseño con $R=1$, modulo 01 reestructurado	49
Tabla 29. Deriva de entrepiso del análisis TH Lineal del módulo 01 reestructurado	51
Tabla 30. Factor de relación, deriva TH Lineal/Deriva con un espectro de diseño con $R=1$ para el módulo 01 reestructurado	52
Tabla 31. Datos para el cálculo del amortiguamiento del coeficiente del disipador, configuración Chevron Brace, modelo 01	54

Tabla 32. Calculo del coeficiente de amortiguamiento del disipador, configuración Chevron Brace, modelo 01	54
Tabla 33. Derivas de entrepiso con la incorporación de los disipadores de energía en configuración Chevron Brace, modulo 01 reestructurado	56
Tabla 34. Periodo de la edificación con los disipadores de energía, configuración Chevron Brace del módulo 01 reestructurado	56
Tabla 35. cálculo del coeficiente de amortiguamiento, configuración Chevron Brace del módulo 01	60
Tabla 36. Fuerza axial de diseño en los disipadores de energía, configuración Chevron Brace módulo 01 reestructurado	63
Tabla 37. Datos para el cálculo del amortiguamiento del coeficiente del disipador, configuración Diagonal, modelo 01	64
Tabla 38. Cálculo del amortiguamiento del coeficiente del disipador, configuración diagonal, modelo 01	64
Tabla 39. Derivas de entrepiso con la incorporación de los disipadores de energía en configuración Diagonal, modulo 01 reestructurado	66
Tabla 40. Periodo de la edificación con los disipadores de energía en configuración Diagonal, modulo 01 reestructurado	67
Tabla 41. Datos para el cálculo del amortiguamiento del coeficiente del disipador, configuración Diagonal, modelo 01	69
Tabla 42. Fuerza axial de diseño en los disipadores de energía, configuración diagonal 01 reestructurado	70
Tabla 43. Datos de la edificación para el cálculo del disipador, configuración Doble Diagonal, modulo 01	71
Tabla 44. Cálculo del coeficiente del disipador, configuración Doble Diagonal, modelo 01	71

Tabla 45. Derivas de entrepiso con la incorporación de los disipadores de energía en configuración Doble Diagonal, modulo 01 reestructurado	73
Tabla 46. Periodo de la edificación con los disipadores de energía en configuración Doble Diagonal.....	73
Tabla 47. Datos para el cálculo del amortiguamiento del coeficiente del disipador, configuración Doble Diagonal, modelo 01.....	77
Tabla 48. Fuerza axial de diseño en los disipadores de energía, configuración Doble Diagonal 01 reestructurado.....	81
Tabla 49. Sistema estructural y coeficiente de reducción para el módulo 02.....	84
Tabla 50. Parámetros sísmicos del módulo 02.....	84
Tabla 51. Deriva de entrepiso en las direcciones de análisis “X” e “Y” de la edificación, modulo 02.....	86
Tabla 52. Periodos de la estructura del módulo 02, para los tres modos fundamentales	87
Tabla 53. Factor de escalamiento de la cortante dinámica al 90% de la cortante estática, modulo 02.....	87
Tabla 54. Combinaciones de cargas para verificar la resistencia de los elementos, (E060).....	88
Tabla 55. Características y carga axial en los muros de albañilería en la dirección “X”, modulo 02.....	92
Tabla 56. Características y carga axial en los muros de albañilería en la dirección “Y”, modulo 02.....	92
Tabla 57. Verificación de los muros de albañilería, esfuerzo axial máximo, control de fisuración y agrietamiento diagonal en la dirección “X”, modulo 02.....	93

Tabla 58. Verificación de la resistencia global de la edificación en la dirección “X”, módulo 02	94
Tabla 59. Verificación de los muros de albañilería ante el esfuerzo axial máximo, control de fisuración y agrietamiento diagonal en la dirección “Y”, módulo 02 .	95
Tabla 60. Verificación de la resistencia global de la edificación en la dirección “Y”, módulo 02	96
Tabla 61. Centro de masa, rigidez y excentricidad del modelo inicial y del módulo 02 reestructurado	97
Tabla: 62. Sistema estructural y coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas para el módulo 02 reestructurado	98
Tabla 63. Parámetros sísmicos del módulo 02 reestructurado.....	98
Tabla 64. Período de la edificación en la dirección “X”, “Y” y “Z” del módulo 02 reestructurado	99
Tabla 65. Deriva de entrepiso en las direcciones de análisis “X” e “Y” de la edificación, módulo 2 reestructurado	99
Tabla 66. Geometría y fuerzas actuantes de diseño, muro en “X” módulo 02	100
Tabla 67. Combinaciones de carga según el E060, muro en “X” módulo 02.....	100
Tabla 68. Datos del muro para el diseño por corte, muro en “X” módulo 02.....	102
Tabla 69. Geometría y Fuerzas actuantes de Diseño, muro en “Y” módulo 02	103

Tabla 70. Combinaciones de Carga según el E060, muro en “Y” módulo 02.....	103
Tabla 71. Datos del muro para el diseño por corte, muro en “Y” modulo 02.....	105
Tabla 72. Derivas de entrepiso ante un espectro de diseño con $R=1$, modulo 02 reestructurado	109
Tabla 73. Derivas de entrepiso del análisis tiempo historia en la dirección “X”, para los conjuntos de registros de aceleraciones ICA 2007, LIMA 1966, ANCASH 1970, modulo 02 reestructurado	110
Tabla 74. Derivas de entrepiso del análisis tiempo historia en la dirección “Y”, para los conjuntos de registros de aceleraciones ICA 2007, LIMA 1966, ANCASH 1970, modulo 02 reestructurado	110
Tabla 75. Factor de relación, deriva TH Lineal/Deriva espectro de diseño con $R=1$ en la dirección “X”, módulo 02 reestructurado	110
Tabla 76. Factor de relación, deriva TH Lineal/Deriva espectro de diseño con $R=1$ en la dirección “Y”, módulo 02 reestructurado	111
Tabla 77. Datos para el cálculo del amortiguamiento del coeficiente del disipador en la dirección “X”, configuración Chevron Brace, modelo 02.....	113
Tabla 78. Calculo del coeficiente de amortiguamiento del disipador en la dirección “X”, configuración Chevron Brace, modelo 02	113
Tabla 79. Datos para el cálculo del amortiguamiento del coeficiente del disipador en la dirección “Y”, configuración Chevron Brace, modelo 02.....	114
Tabla 80. Calculo del coeficiente de amortiguamiento del disipador en la dirección “Y”, configuración Chevron Brace, modelo 02	114
Tabla 81. Cálculo de la rigidez del brazo metálico, configuración Chevron Brace, modulo 02	115

Tabla 82. Derivas de entrepiso con la incorporación de los disipadores de energía en configuración Chevron Brace, modulo 02 reestructurado	117
Tabla 83. Periodo de la edificación con los disipadores de energía configuración Chevron Brace, modulo 02 reestructurado	117
Tabla 84. Datos para el cálculo del amortiguamiento en “X” configuración Chevron Brace, modelo 02.....	122
Tabla 85. Datos para el cálculo del amortiguamiento en “Y” configuración Chevron Brace, modelo 02.....	122
Tabla 86. Fuerza axial de diseño en los disipadores de energía, configuración Chevron Brace módulo 02 reestructurado.....	127
Tabla 87. Datos para el cálculo del amortiguamiento del coeficiente del disipador en la dirección “X”, configuración diagonal, modelo 02	128
Tabla 88. Calculo del coeficiente de amortiguamiento del disipador en la dirección “X”, configuración diagonal, modelo 02.....	128
Tabla 89. Datos para el cálculo del amortiguamiento del coeficiente del disipador en la dirección “Y”, configuración diagonal, modelo 02	129
Tabla 90. Calculo del coeficiente de amortiguamiento del disipador en la dirección “Y”, configuración diagonal, modelo 02.....	129
Tabla 91. Cálculo del brazo metálico para el disipador en configuración Diagonal, Modulo 02.....	130
Tabla 92. Derivas de entrepiso con la incorporación de los disipadores de energía en configuración diagonal, modulo 02 reestructurado	132
Tabla 93. Periodo de la edificación con los disipadores de energía, configuración diagonal módulo 02 reestructurado	132
Tabla 94. Datos para el cálculo del amortiguamiento en la dirección “X”, configuración Diagonal, modelo 02	135

Tabla 95. Datos para el cálculo del amortiguamiento en la dirección “Y”, configuración diagonal, modelo 02	136
Tabla 96. Fuerza axial de diseño en los disipadores de energía, configuración diagonal módulo 02 reestructurado.	139
Tabla 97. Datos para el cálculo del amortiguamiento del coeficiente del disipador en la dirección “X”, configuración Doble Diagonal, modelo 02	140
Tabla 98. Calculo del coeficiente de amortiguamiento del disipador en la dirección “X”, configuración Doble Diagonal, modelo 02	141
Tabla 99. Datos para el cálculo del amortiguamiento del coeficiente del disipador en la dirección “Y”, configuración Doble Diagonal, modelo 02	141
Tabla 100. Calculo del coeficiente de amortiguamiento del disipador en la dirección “Y”, configuración Doble Diagonal, modelo 02	141
Tabla 101. cálculo de la rigidez del brazo metálico, configuración Doble Diagonal, modulo 02	142
Tabla 102. Derivas de entrepiso con la incorporación de los disipadores de energía, Configuración Doble Diagonal Modulo 02 reestructurado	144
Tabla 103. Periodo de la edificación con los disipadores de energía, configuración Doble Diagonal Modulo 02 reestructurado	144
Tabla 104. Calculo del amortiguamiento en la dirección “X”, configuración Doble Diagonal, modelo 02.....	148
Tabla 105. Calculo del amortiguamiento en la dirección “Y”, configuración Doble Diagonal, modelo 02.....	149
Tabla 106. Fuerza axial de diseño en los disipadores de energía, configuración doble diagonal módulo 02 reestructurado	153
Tabla 107. Derivas de entrepiso de la edificación del módulo 01 sin disipador y con disipador de energía.....	154

Tabla 108. Comparación de la cantidad de disipadores de energía requeridos en la edificación del módulo 01 para las distintas configuraciones.	157
Tabla 109. Derivas de entrepiso de la edificación del módulo 02 sin disipador y con disipador de energía en la dirección “X”	158
Tabla 110. Derivas de entrepiso de la edificación del módulo 02 sin disipador y con disipador de energía en la dirección “Y”	159
Tabla 111. Comparación de la cantidad de disipadores de energía requeridos en la edificación del módulo 02 para las distintas configuraciones.	162
Tabla 112. Evaluación de la irregularidad por Rigidez en la dirección “X”, modulo 01	170
Tabla 113. Evaluación de la irregularidad por Rigidez en la dirección “Y”, modulo 01	170
Tabla 114. Evaluación de la irregularidad por masa o peso, modulo 01	171
Tabla 115. Evaluación de la irregularidad torsional en la dirección “X”, modulo 01 ...	171
Tabla 116. Evaluación de la irregularidad torsional en la dirección “Y”, modulo 01 ...	171
Tabla 117. Evaluación de la irregularidad por Rigidez en la dirección “X”, modulo 02	172
Tabla 118. Evaluación de la irregularidad por Rigidez en la dirección “Y”, modulo 02	173
Tabla 119. Evaluación de la irregularidad por masa o peso, modulo 02	173
Tabla 120. Evaluación de la irregularidad torsional en la dirección “X”, modulo 02 ...	173
Tabla 121. Evaluación de la irregularidad torsional en la dirección “Y”, modulo 02 ...	174

Tabla 122. Evaluación de la irregularidad torsional en la dirección “X”, modulo 02 reestructurado	175
Tabla 123. Evaluación de la irregularidad torsional en la dirección “Y”, modulo 02 reestructurado	175



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Clasificación de los sistemas de disipación de energía ASCE7/16.....	6
Figura 2. Disipador de energía fluido viscoso	7
Figura 3. Relación Fuerza – Velocidad del Disipador	8
Figura 4. Relación fuerza – desplazamiento del disipador fluido Viscoso	8
Figura 5. Relación Amortiguamiento – Demanda Sísmica, según el ASCE7/16 (2017)	10
Figura 6. Definición del Angulo y Desplazamiento Relativo del Disipador de Energía, según el FEMA 274 (1997)	10
Figura 7. Desplazamiento vs Tiempo, ante una carga pulso.....	12
Figura 8. Reducción de la demanda sísmica debido al amortiguamiento añadido, según el ASCE/SEI 7 (2017)	13
Figura 9. Configuración Chevron Brace para el disipador fluido viscoso.....	14
Figura 10. Configuración Diagonal para el disipador fluido viscoso	15
Figura 11. Configuración Doble Diagonal para el disipador fluido viscoso	15
Figura 12. Otras Configuraciones para la instalación del disipador fluido viscoso...	16
Figura 13. Curva de Capacidad Sectorizada, Según la Propuesta por el comité VISION 2000 del SEAOC (1995).....	19
Figura 14. Niveles de Desempeño recomendados de acuerdo al nivel del movimiento sísmico, Propuesta por el comité VISION 2000 del SEAOC (1995).....	19
Figura 15. Metodología para el diseño de disipadores de energía fluido viscoso.....	22

Figura 16. Imagen en planta del módulo 01 y módulo 02, del proyecto en estudio, según el Expediente Técnico del proyecto.....	25
Figura 17. Imagen 3D del módulo 01	26
Figura 18. Espectro Pseudo Aceleración en la dirección “X” del módulo 01	29
Figura 19. Espectro Pseudo Aceleración en la dirección “Y” del módulo 01	29
Figura 20. Vista en planta de la edificación módulo 01.....	32
Figura 21. Verificación de la demanda - capacidad de los elementos del pórtico 2-2 del módulo 01	34
Figura 22. Diagrama de interacción de la columna cuya relación demanda - capacidad del elemento es mayor a uno, del módulo 01.	34
Figura 23. Verificación de la demanda requerida/capacidad de los elementos del pórtico 5-5 del módulo 01	35
Figura 24. Vista en planta de la edificación módulo 01 reestructurada.....	40
Figura 25. Plano del muro del extremo.....	42
Figura 26. Diagrama de interacción del muro del extremo.....	43
Figura 27. Plano del muro del extremo.....	45
Figura 28. Diagrama de interacción del muro del extremo.....	46
Figura 29. Espectro de diseño con $R=1$, modulo 01 reestructurado	48
Figura 30. Componentes del Registro de aceleraciones, sismo Lima 1966, Ancash 1970 e Ica 2007.....	49
Figura 31. Componentes del Registro de la dirección “X” el componente del registro Norte – Sur y en la Dirección “Y” el componente del registro Este – Oeste ...	50
Figura 32. Vista en 3D y en elevación de la Instalación de los disipadores en configuración Chevron Brace, modulo 01 reestructurado.....	54

Figura 33. Curva histeretica fuerza - desplazamiento, configuración Chevron Brace módulo 01 reestructurado	56
Figura 34. Energía Disipada por los disipadores de energía en configuración Chevron Brace, modulo 01 reestructurado.....	58
Figura 35. Desplazamiento de la estructura ante una función pulso, configuración chevron Brace módulo 01 reestructurado	59
Figura 36. Relación Demanda – capacidad del pórtico 2-2 y del pórtico 5-5, configuración Chevron Brace módulo 01 reestructurado.....	60
Figura 37. Relación Viga débil – Columna Fuerte del pórtico 2-2 y del pórtico 5-5, configuración Chevron Brace módulo 01 reestructurado.....	61
Figura 38. Vista en 3D y en elevación de la Instalación de los disipadores en configuración Diagonal, modulo 01 reestructurado	64
Figura 39. Curva histeretica fuerza - desplazamiento, configuración Diagonal módulo 01 reestructurado	66
Figura 40. Energía Disipada por los disipadores de energía en configuración Diagonal del módulo 01 reestructurado	67
Figura 41. Desplazamiento de la estructura ante una función pulso, configuración Diagonal módulo 01 reestructurado	68
Figura 42. Vista en 3D y en elevación de la Instalación de los disipadores en configuración Doble Diagonal.....	71
Figura 43. Curva histeretica fuerza - desplazamiento, configuración Doble Diagonal módulo 01 reestructurado	73
Figura 44. Energía Disipada por los disipadores de energía en configuración Doble Diagonal del módulo 01 reestructurado.....	75
Figura 45. Desplazamiento de la estructura ante una función pulso, configuración Doble Diagonal módulo 01 reestructurado.....	76

Figura 46. Relación Demanda – capacidad del pórtico 2-2 y del pórtico 5-5, configuración Doble Diagonal módulo 01 reestructurado.	78
Figura 47. Relación Viga débil – Columna Fuerte del pórtico 2-2 y del pórtico 5-5, configuración Doble Diagonal módulo 01 reestructurado.	78
Figura 48. Imagen 3D y en planta del módulo 02.....	81
Figura 49. Espectro Pseudo Aceleración en la dirección “X” del módulo 02	84
Figura 50. Espectro Pseudo Aceleración en la dirección “Y” del módulo 02	84
Figura 51. Vista en planta de la edificación del módulo 02, del primer piso al cuarto piso.....	87
Figura 52. Elementos de albañilería, para ser evaluadas	89
Figura 53. Módulo 02 reestructurado con la colocación de muros de concreto	96
Figura 54. plano del muro en la dirección “X”, modulo 2.....	99
Figura 55. Diagrama de interacción del muro en la dirección “X”, modulo 2	100
Figura 56. plano del muro en la dirección “Y”	103
Figura 57. Diagrama de interacción del muro en la dirección “Y”	103
Figura 58. Vista en planta de la edificación módulo 02 reestructurado.....	108
Figura 59. Espectro de diseño con $R=1$, modulo 02 reestructurado	108
Figura 60. Vista en planta de la ubicación de los disipadores en la dirección “X”, “Y” y en la dirección Diagonal, modulo 02 reestructurado. (1er y 2do – 3er y 4to piso)	115
Figura 61. Vista en 3D de la ubicación de los disipadores en la dirección “X”, “Y” y en la dirección Diagonal, modulo 02 reestructurado	115
Figura 62. Curva histeretica fuerza - desplazamiento, Configuración Chevron Brace módulo 02 reestructurado	116

Figura 63. Energía Disipada por los disipadores de energía, Configuración Chevron Brace módulo 02 reestructurado	120
Figura 64. Desplazamiento de la estructura ante una función pulso en la dirección “X”, Configuración Chevron Brace módulo 02 reestructurado	120
Figura 65. Desplazamiento de la estructura ante una función pulso en la dirección “Y”, Configuración Chevron Brace módulo 02 reestructurado	121
Figura 66. Vista en planta de la edificación módulo 02 reestructurado, Configuración Chevron Brace	123
Figura 67. Vista en elevación de la edificación módulo 02 reestructurado, verificación viga débil – columna fuerte del pórtico E-E y del pórtico 1-1, Configuración Chevron Brace	125
Figura 68. Vista en planta de la ubicación de los disipadores en la dirección “X”, “Y” y en el pórtico diagonal, Configuración Diagonal Modulo 02 reestructurado (1er y 2do – 3er y 4to piso)	130
Figura 69. Vista en 3D de la ubicación de los disipadores en la edificación en configuración Diagonal	130
Figura 70. Curva histeretica fuerza - desplazamiento, Configuración Diagonal Modulo 02 reestructurado	132
Figura 71. Energía Disipada por los disipadores de energía, Configuración Diagonal Modulo 02 reestructurado	133
Figura 72. Desplazamiento de la estructura ante una función pulso en la dirección “X”, Configuración Diagonal Modulo 02 reestructurado	133
Figura 73. Desplazamiento de la estructura ante una función pulso en la dirección “Y”, Configuración Diagonal Modulo 02 reestructurado	134
Figura 74. Vista en planta de la edificación módulo 02 reestructurado, verificación demanda – capacidad, Configuración Diagonal	136

Figura 75. Vista en elevación de la edificación módulo 02 reestructurado, verificación viga débil – columna fuerte del pórtico E-E y del pórtico 1-1, Configuración Diagonal.....	138
Figura 76. Vista en planta de la ubicación de los disipadores en la dirección “X” e “Y” y en la dirección diagonal, Configuración Doble Diagonal Modulo 02 reestructurado (1er y 2do – 3er y 4to), Vista en 3D de la ubicación de los disipadores en la edificación.....	142
Figura 77. Curva histeretica fuerza - desplazamiento, Configuración Doble Diagonal Modulo 02 reestructurado.....	145
Figura 78. Energía Disipada por los disipadores de energía, Configuración Doble Diagonal Modulo 02 reestructurado	146
Figura 79. Desplazamiento de la estructura ante una función pulso en la dirección “X”, Configuración Doble Diagonal Modulo 02 reestructurado	147
Figura 80. Desplazamiento de la estructura ante una función pulso en la dirección Y, Configuración Doble Diagonal Modulo 02 reestructurado	147
Figura 81. Vista en planta de la edificación módulo 02 reestructurado, Verificación de la demanda – capacidad, Configuración Doble Diagonal	151
Figura 82. Vista en elevación de la edificación módulo 02 reestructurado, verificación viga débil – columna fuerte del pórtico E-E y del pórtico 1-1, Configuración Doble Diagonal.....	151
Figura 83. Comparación de derivas de entrepiso de la edificación del módulo 01 sin disipador y con disipador de energía	154
Figura 84. Comparación del porcentaje de Disipación de la Energía sísmica, para las distintas configuraciones del disipador de energía en la edificación del módulo 01	154
Figura 85. Comparación del amortiguamiento efectivo que alcanza la edificación del módulo 01 con la incorporación de los disipadores de energía s en las distintas configuraciones.....	155

Figura 86: Comparación de la reducción de la fuerza sísmica que alcanzo la edificación del módulo 01 con la incorporación de los disipadores de energía s en las distintas configuraciones	155
Figura 87. Comparación de derivas de entrepiso de la edificación del módulo 02 sin disipador y con disipador de energía en la dirección “X”	157
Figura 88. Comparación de derivas de entrepiso de la edificación del módulo 02 sin disipador y con disipador de energía en la dirección “Y”	158
Figura 89. Comparación del porcentaje de Disipación de la Energía sísmica, para las distintas configuraciones del disipador de energía en la edificación del módulo 02	158
Figura 90. Comparación del amortiguamiento efectivo que alcanzo la edificación del módulo 02 con la incorporación de los disipadores de energía s en las distintas configuraciones en la dirección “X”	159
Figura 91. Comparación del amortiguamiento efectivo que alcanzo la edificación del módulo 02 con la incorporación de los disipadores de energía s en las distintas configuraciones en la dirección “Y”.....	160
Figura 92. Comparación de la reducción de la fuerza sísmica que alcanzo la edificación del módulo 02 con la incorporación de los disipadores de energía s en las distintas configuraciones en la dirección “X”	160
Figura 93. Comparación de la reducción de la fuerza sísmica que alcanzo la edificación del módulo 02 con la incorporación de los disipadores de energía s en las distintas configuraciones en la dirección “Y”	161
Figura 94. Configuración más óptima del disipador de energía fluido viscoso, para el mejoramiento del comportamiento sismorresistente de los módulos 01 y 02..	162
Figura 95. Vista en planta del módulo 01	171
Figura 96. Vista en planta del módulo 02	173

RESUMEN

La presente investigación realiza la evaluación del comportamiento sismorresistente que presentara una infraestructura con disipadores de energía fluido viscoso, instaladas en las configuraciones Chevron Brace, Diagonal y doble Diagonal, con la finalidad de obtener que configuración del disipador de energía mejora de manera más óptima el comportamiento sismorresistente de dicha infraestructura.

La infraestructura en estudio está destinada para los servicios de aulas y de soporte académico de la oficina general de estudios de la UNASAM, la cual consta de dos módulos, el módulo 01 de 05 niveles y el módulo 02 de 04 niveles. Para la evaluación del comportamiento sismorresistente de la infraestructura se consideró la información establecida en el expediente técnico de dicho proyecto, como son los planos, estudios de mecánica de suelos. Así como también lo mencionado en el RNE, además las recomendaciones establecidas por el FEMA, multi-hazard loss estimation methodology HAZUS. Para la evaluación de la infraestructura se realizó un análisis dinámico espectral, para poder verificar el comportamiento sismorresistente de la edificación. Para poder mejorar el comportamiento sismorresistente de la infraestructura se colocó disipadores de energía no lineales en las configuraciones Chevron Brace, Diagonal y Doble Diagonal, para ello se realizó un análisis tiempo historia no lineal considerando tres conjuntos de registros sísmicos los cuales fueron Lima 1966, Ancash 1970 e Ica 2007.

Se determinó que la configuración Chevron Brace brindo mejores resultados al tratar de mejorar el comportamiento sismorresistente de la infraestructura, seguido por la configuración diagonal. Sin embargo, la instalación de los disipadores en la configuración diagonal es más sencilla y más económica que la instalación en las demás configuraciones. Siendo así que la configuración más óptima con respecto a su eficiencia y construcción es la configuración diagonal.

Palabras clave: Comportamiento sismorresistente, disipador de energía fluido viscoso, configuraciones del disipador.

ABSTRACT

The present investigation performs the evaluation of the seismic resistant behavior that an infrastructure with viscous fluid energy dissipators, installed in the Chevron Brace, Diagonal and Double Diagonal configurations, will present in order to obtain which configuration of the energy dissipator optimally improves the behavior earthquake resistant of said infrastructure.

The infrastructure under study is intended for the classroom and academic support services of the UNASAM General Studies Office, which consists of two modules, module 01 of 05 levels and module 02 of 04 levels. For the evaluation of the seismic resistant behavior of the infrastructure, the information established in the Technical File of said Project was considered, such as the plans, soil mechanics studies. As well as what is mentioned in the RNE, in addition to the recommendations established by FEMA, Multi-hazard Loss Estimation Methodology HAZUS. For the evaluation of the infrastructure, a dynamic spectral analysis was carried out, in order to verify the seismic-resistant behavior of the building. In order to improve the seismic resistant behavior of the infrastructure, non-linear energy dissipators were placed in the Chevron Brace, Diagonal and Double Diagonal configurations, for which a non-linear time-history analysis was carried out considering three sets of seismic records, which were Lima 1966, Ancash 1970 and Ica 2007.

The chevron brace configuration was found to give better results when trying to improve the seismic-resistant behavior of the infrastructure, followed by the Diagonal configuration. However, the installation of the heatsinks in the Diagonal configuration is simpler and cheaper than the installation in the other configurations. Thus, the most optimal configuration regarding its efficiency and construction is the Diagonal configuration.

Key words: Seismic Resistant Behavior, Viscous Fluid Energy Dissipator, Dissipator Configurations.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Perú está ubicado en una zona de alto potencial sísmico debido a que está localizado en el cinturón de fuego del océano pacifico. El cual concentra el 85% de la actividad sísmica mundial. Siendo así que en la última modificación de la norma técnica E030 del RNE, aprobada en el 2018, se incorpora la utilización de sistemas de protección sísmica (aislamiento sísmico y sistemas de disipación sísmica).

En la actualidad en el Perú se están utilizando sistemas de protección sísmica, como los disipadores de energía y aisladores sísmicos, los cuales ya están disponibles en el mercado comercial y se están utilizando en algunos proyectos de gran envergadura. El principal objetivo de estos sistemas de protección sísmica es evitar el colapso y asegurar la integridad y el servicio de la estructura justo después de un sismo.

En la presente tesis trataremos sobre los disipadores de energía, los cuales se clasifican en grupos de acuerdo a su mecanismo de funcionamiento (Villareal, 2008), siendo el más utilizado en el Perú los disipadores fluido viscoso.

Por otro lado, desde el punto de vista de su instalación, los disipadores fluido viscoso presentan una gran variedad en cuanto a la configuración. Entre ellos tenemos las configuraciones más usadas las cuales son Chevron Brace, Diagonal, Doble Diagonal, siendo así que surge la pregunta cuál de estas configuraciones mejora de manera más óptima el comportamiento sismorresistente de una estructura.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es la configuración de un disipador fluido viscoso que mejore de manera más óptima el comportamiento sismorresistente de una estructura de mediana altura?

1.3. JUSTIFICACIÓN

El Perú es un país sísmico, el cual se encuentra en vías de desarrollo por lo cual debe de proteger sus inversiones en infraestructura y edificaciones. Siendo así que en el Perú se viene utilizando los dispositivos de disipación de energía con la finalidad de proteger la integridad del edificio como de las personas. En la ciudad de Huaraz aún no existen edificación con disipadores de energía lo cual hace posible el tema de esta investigación.

1.4. HIPOTESIS Y VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. HIPÓTESIS

La configuración Chevron Brace brinda un mejor comportamiento sismorresistente al edificio.

1.4.2. VARIABLES

- ❖ Variable independiente: configuración de un disipador viscoso.
- ❖ Variable dependiente: comportamiento sismorresistente del edificio.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. OBJETIVOS GENERALES

Evaluar el comportamiento sismorresistente de dos edificaciones de mediana altura con las configuraciones Chevron Brace, Diagonal, Doble Diagonal del disipador fluido viscoso.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Realizar el análisis sísmico de dos edificaciones de mediana altura inicialmente planteadas sin disipador sísmico.

- ❖ Realizar el análisis sísmico de las edificaciones en estudio, incorporando disipadores fluido viscoso con las configuraciones chevron brace, diagonal, doble diagonal.
- ❖ Comparar los resultados obtenidos del análisis sísmico sin disipador y con disipador de energía para cada edificación.
- ❖ Comparar los resultados obtenidos al implementar disipadores viscosos con diferentes configuraciones y determinar que configuración mejora el comportamiento sismorresistente en cada edificación.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La utilización de disipadores de energía fluido viscoso en el Perú se viene dando desde varios años atrás, como son el reforzamiento de la torre del aeropuerto Jorge Chávez ubicado en Lima (2006), edificio centro comercial - El Quinde de Ica ubicado en Ica (2015), edificio Banco de la Nación ubicado en Lima – Av. Javier Prado (2014), edificio Nueva sede SUNAT ubicado en Lima- Av. Arenales Crd 3. (2016), etc. Estudios realizados han demostrado la efectividad de estos dispositivos, Logrando disminuir los daños ante un sismo. Tal es el caso que en el 2018 se aprobó la nueva norma técnica E030 donde se incorpora la utilización de disipadores de energía.

2.2. ENFOQUE SISMORRESISTENTE TRADICIONAL

El diseño sismorresistente tradicional, tiene como finalidad que el sistema resistente a fuerzas laterales sea capaz de absorber y disipar la energía entregada por el sismo. La disipación de energía se lleva a cabo mediante la formación de rotulas plásticas en las vigas y en las columnas, dichas rotulas plásticas por lo general son irreparables.

Según la norma técnica E030 Diseño Sismorresistente, la filosofía de diseño sismorresistente consiste en “evitar pérdidas de vidas humanas, Asegurar la continuidad de los servicios básicos y minimizar los daños a la propiedad”. Así mismo menciona “que dar protección completa frente a todos los sismos no es técnica ni económicamente factible para la mayoría de las estructuras”. Además, menciona que “la estructura no debería colapsar ni causar daños graves a las personas, aunque podría presentar daños importantes, debido movimientos sísmicos”. Sin embargo, menciona

además que para las edificaciones esenciales como son establecimientos de salud, aeropuertos, locales municipales, instituciones educativas, instituciones superiores tecnológicas, universidades, etc. se debería tener consideraciones especiales orientadas a lograr que permanezcan en condiciones operativas luego de un sismo severo.

Teniendo en consideración un diseño Sismorresistente alternativo a lo tradicional la Norma Técnica E030 Diseño Sismorresistente en su artículo 23 propone la utilización de sistemas de protección sísmica como son el sistema de aislamiento sísmico y el sistema de disipación de energía.

2.3. ENFOQUE SISMORRESISTENTE CON DISIPADORES DE ENERGÍA

Durante un evento sísmico una cantidad de energía ingresa a la estructura, las cuales deben ser absorbidas y disipadas por la estructura. El amortiguamiento inherente de la estructura absorbe parte de la energía de ingreso y reduce la amplitud de las vibraciones hasta que el movimiento termine. Sin embargo, el comportamiento estructural puede mejorarse si una porción de la energía de entrada sea absorbida por unos dispositivos adicionados a la estructura, logrando así que la estructura absorba y disipe menos energía que la que ingresa. (Villareal y Oviedo, 2008)

Balance energético de energía

La siguiente ecuación muestra la relación de la conservación de la energía en una estructura (Villareal y Oviedo, 2008)

$$E = E_K + E_S + E_h + E_d \quad (1)$$

E : energía de entrada, producida por un sismo

E_K : Energía cinética

E_S : Energía de deformación elástica recobable

E_h : Energía irrecuperable, disipada por la deformación inelástica

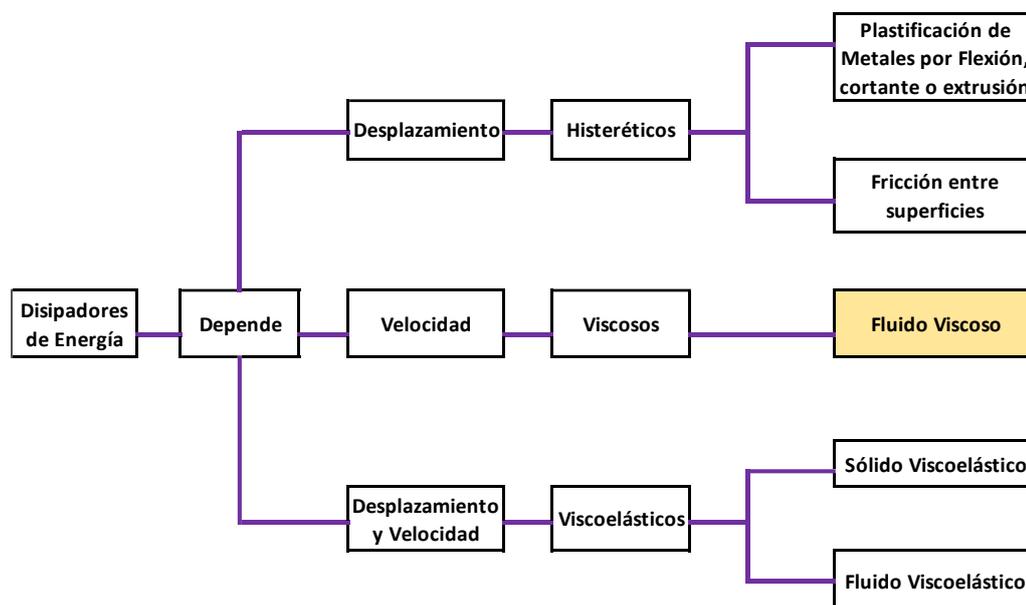
E_d : Energía disipada por los dispositivos de amortiguamiento suplementarios

2.4. DISIPADORES DE ENERGÍA

Son dispositivos mecánicos que se instalan en la estructura y disipan la energía sísmica que entra al sistema. Los dispositivos de disipación de energía se pueden clasificar en tres grupos, según el ASCE 7/16, Disipadores de Energía dependiente del desplazamiento, dependiente de la velocidad y dependiente de ambos.

Figura 1

Clasificación de los sistemas de disipación de energía según el ASCE7/16 (2017)

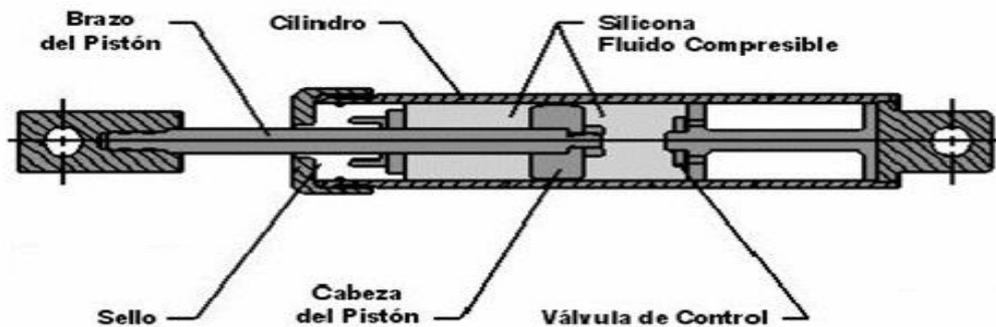


2.5. DISIPADORES FLUIDO VISCOSO

Los disipadores de fluido viscoso consisten en cilindros llenos de líquido (aceite o silicona) en el cual un pistón empuja el líquido a través de un orificio, produciendo una presión de amortiguamiento debido a la diferencia de presiones, así mismo el líquido que fluye a altas velocidades genera fricción entre sus partículas y el pistón, generando así la disipación de energía en forma de calor.

Figura 2

Disipador de energía fluido viscoso



2.5.1. ECUACIÓN GENERAL DEL DISIPADOR FLUIDO VISCOSO

Debido al Sismo la estructura presenta desplazamiento relativo de los pisos, lo que a su vez genera desplazamiento y velocidad, siendo así que la fuerza en los disipadores de energía queda expresada de la siguiente manera:

$$F = CV^{\alpha} \quad (2)$$

Donde:

F: fuerza en el disipador

C: constante de amortiguamiento

V: velocidad relativa en los extremos del disipador

α : exponente de la velocidad

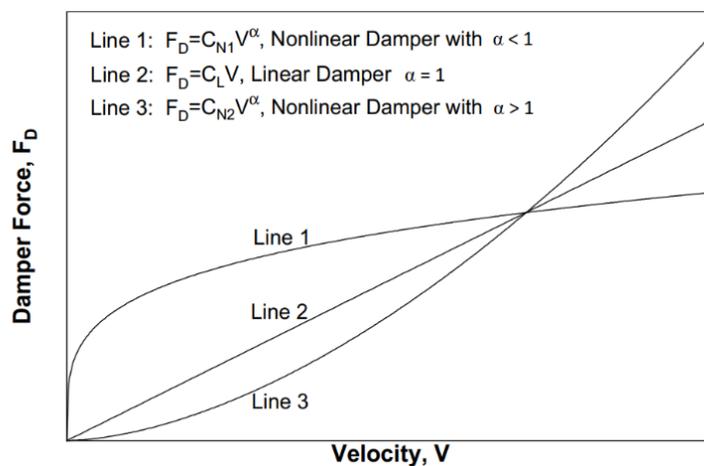
Exponente de la Velocidad “ α ”

El exponente de velocidad “ α ” define el comportamiento de los dispositivos de amortiguamiento, lo cual dependerá de la velocidad en los extremos que presenten estos dispositivos. Para valores de “ $\alpha = 1$ ” se tendrá un comportamiento lineal, para los valores de “ $\alpha < 1$ y $\alpha > 1$ ” se tendrá un comportamiento no lineal en estos dispositivos.

Para valores de $\alpha = 1$, la fuerza que se genera en el disipador será proporcional a la velocidad relativa, para valores de $\alpha > 1$, la fuerza que se genera en el disipador será mayor cuando la velocidad en el dispositivo sea bastante significativa lo cual no es recomendable. Para $\alpha < 1$, la fuerza que se genera en el disipador será mayor cuando la velocidad en el dispositivo sea pequeña lo cual es recomendable, con lo cual se obtendrá que los disipadores logren disipar la energía a la menor velocidad. En la siguiente figura se muestra el comportamiento de los dispositivos.

Figura 3

Relación Fuerza – Velocidad del disipador



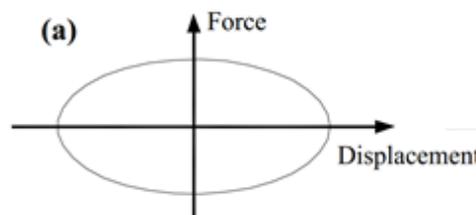
Nota: Hwang (2014)

2.5.2. COMPORTAMIENTO HISTERETICO DEL DISIPADOR

En la siguiente figura se observa el comportamiento histérico perfecto que tiene un disipador fluido viscoso el cual tiene una forma de elipse perfecta, en la cual para un desplazamiento pequeño presenta una gran fuerza axial y para un desplazamiento es el máximo presenta una fuerza axial igual a cero.

Figura 4

Relación fuerza – desplazamiento del disipador fluido Viscoso



Nota: Hwang (2014)

2.6. DERIVA OBJETIVA Y AMORTIGUAMIENTO

La incorporación de disipadores de energía en una estructura está asociada a la disminución de la deriva del edificio y así mantener dicha edificación en el nivel de desempeño establecido. Así mismo con la incorporación de los disipadores fluido viscoso se espera obtener un aumento en el amortiguamiento el cual es llamado amortiguamiento efectivo “ β_{eff} ”, dicho amortiguamiento se puede hallar usando la ecuación planteada por el Programa Nacional para la Reducción de Peligro Sísmico (NERHP)

$$B = \frac{2.31 - 0.41 \ln(5)}{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})} \quad (3)$$

Donde “B” es el factor de reducción de la respuesta sísmica y puede ser estimada teniendo como valor la deriva máxima de la estructura analizada sin disipadores de energía y la deriva objetiva el cual dependerá del nivel de desempeño que se espera para la edificación.

$$B = \frac{\text{Deriva Máxima}}{\text{Deriva Objetiva}} \quad (4)$$

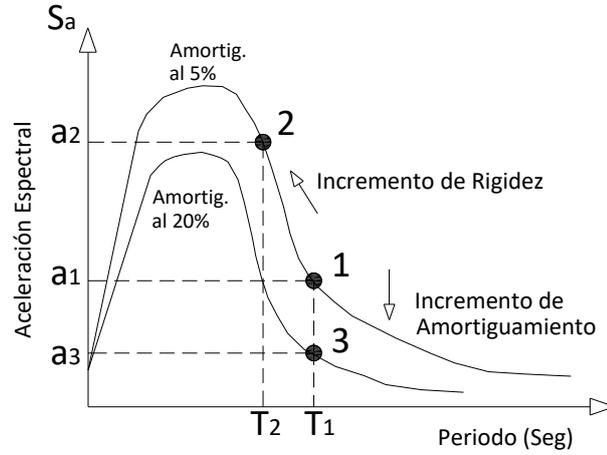
El amortiguamiento efectivo de la estructura “ β_{eff} ”, será la suma del amortiguamiento inherente de la estructura “ β_0 ”, que usualmente es 5% y el amortiguamiento añadido mediante la incorporación de los disipadores de energía fluido viscoso “ β_{vis} ”,

$$\beta_{eff} = \beta_0 + \beta_{vis} \quad (5)$$

El aumento de amortiguamiento en la estructura reduce el valor del espectro de pseudoaceleración, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 5

Relación Amortiguamiento – Demanda Sísmica, según el ASCE7/16 (2017)

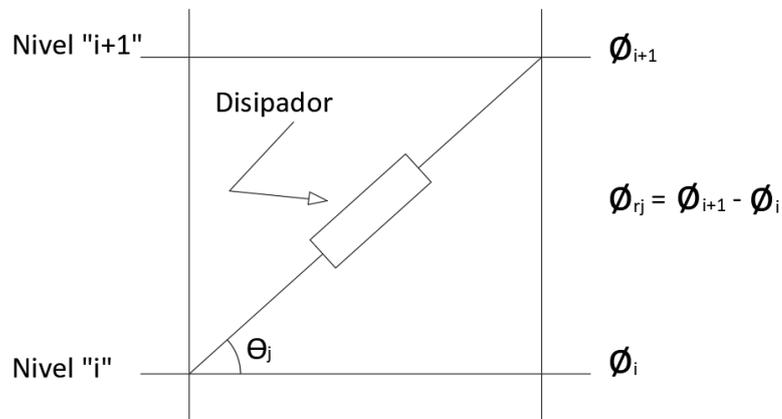


2.7. AMORTIGUAMIENTO DEL DISIPADOR NO LINEAL

La instalación del disipador de energía en la edificación es por lo general de la siguiente manera:

Figura 6

Definición del Angulo y Desplazamiento Relativo del Disipador de Energía, según el FEMA 274 (1997)



El amortiguamiento que añadirá la incorporación de los disipadores fluido viscoso a la edificación se puede estimar usando la siguiente expresión, (FEMA 273)

$$\beta_{visc.} = \frac{\sum_j \lambda C_j \phi_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j}{2\pi A^{1-\alpha} W^{2-\alpha} \sum_i m_i \phi_i^2} \quad (6)$$

Así mismo dicha expresión servirá para determinar el valor del coeficiente de amortiguamiento “ C_j ”,

Donde:

β_{vis} : Amortiguamiento proporcionado por los disipadores de energía

λ : valor de la tabla descrito en el FEMA 273, Tabla 01

C_j : coeficiente de Amortiguamiento del disipador de energía

ϕ_{rj} : desplazamiento relativo del disipador de energía

α : exponente de velocidad del disipador

θ_j : Angulo de inclinación del disipador

Γ : función gama

A: amplitud del desplazamiento del modo fundamental

W: frecuencia angular fundamental de la estructura

m: masa del nivel i de la edificación

ϕ_i : desplazamiento modal en el nivel i

El FEMA 274, en el capítulo 9 nos facilita una tabla en la cual nos proporciona valor de “ λ ”

Tabla 1

Parámetro λ en función del exponente de velocidad “ α ”

Exponente α	Parametro λ
0.25	3.7
0.50	3.5
0.75	3.3
1.00	3.1
1.25	3.0
1.50	2.9
1.75	2.8
2.00	2.7

Nota: FEMA 274 (1997)

Γ : factor de participación modal, según el ASCE/SEI 7:

$$\Gamma = \frac{\sum_i m_i \phi_i}{\sum_i m_i \phi_i^2} \quad (7)$$

A: Amplitud, según el ASCE/SEI 7

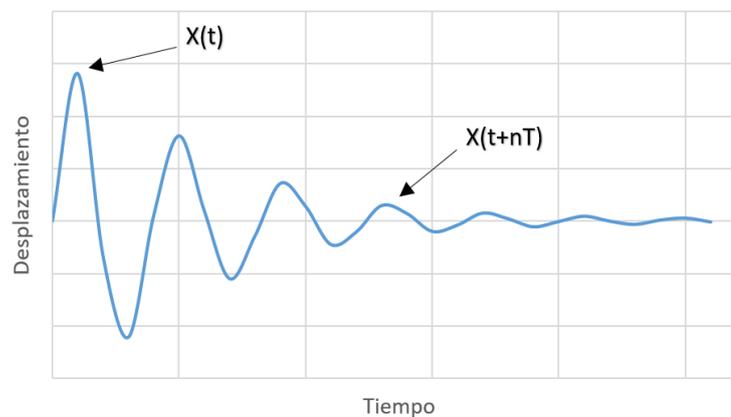
$$A = \frac{g \cdot \Gamma \cdot Z \cdot T_1}{4 \cdot B_{mD} \cdot \pi^2} \quad (8)$$

2.8. CALCULO DEL AMORTIGUAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

Para poder estimar el valor del amortiguamiento de la estructura usaremos la fórmula del decremento logarítmico para lo cual se usará una función pulso.

Figura 7

Desplazamiento vs Tiempo, ante una carga pulso. Decremento logarítmico



$$\ln\left(\frac{x_t}{x_{t+nT}}\right) \cong \frac{2n\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \quad (9)$$

Donde:

x_t : desplazamiento en el tiempo “t”

x_{t+nT} : desplazamiento en el tiempo “t+nT”

N: número de ciclos

ξ : amortiguamiento de la estructura

2.9. AUMENTO DEL AMORTIGUAMIENTO Y REDUCCIÓN DE LA DEMANDA SÍSMICA

El aumento de amortiguamiento en la edificación, reducirá la demanda sísmica en esta. El ASCE/SEI 7 nos menciona que la fuerza cortante sísmica reducida para el diseño de las edificaciones con disipadores de energía será el mayor de las siguientes expresiones:

$$V_{\min} = \frac{V}{B_{V+1}} \quad (10)$$

$$V_{\min} = 0.75V \quad (11)$$

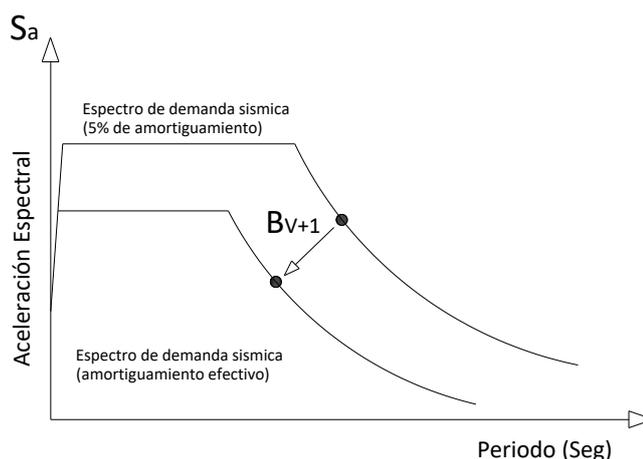
Donde:

V = Fuerza cortante en la base de la edificación sin disipadores de energía

B_{V+1} = Coeficiente de reducción dependiente del amortiguamiento efectivo

Figura 8

Reducción de la demanda sísmica debido al amortiguamiento añadido, según el ASCE/SEI 7 (2017)



Así mismo el ASCE/SEI 7 nos brinda la siguiente tabla para poder determinar el valor del coeficiente de reducción B_{V+1} el cual depende el amortiguamiento efectivo de la estructura “ β_{eff} ”.

Tabla 2

Valor del coeficiente de reducción B_{V+1}

Amortiguación Efectiva β (porcentaje)	$B_{V+1}, B_{1D}, B_{1E}, B_R, B_{1M}, B_{mD}, B_{mM}$ (Periodo de la Estructura $\geq T_0$)
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.8
40	2.1
50	2.4
60	2.7
70	3.0
80	3.3
90	3.6
≥ 100	4.0

Nota: ASCE/SEI 7 (2017)

2.10. CONFIGURACIONES DE LOS DISIPADORES DE ENERGÍA

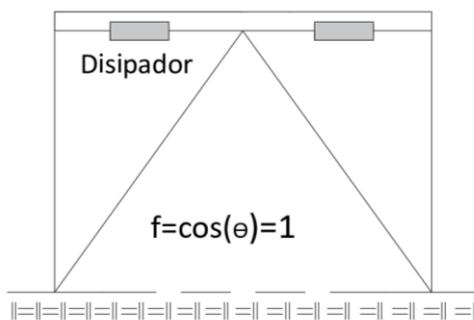
Para la instalación de los disipadores de energía existen diversos tipos de configuraciones siendo las más conocidas la configuración Chevron Brace, Diagonal y Doble diagonal.

2.10.1. CONFIGURACIÓN CHEVRON BRACE

Esta configuración mantiene los disipadores en forma horizontal paralelo al piso, en la cual uno de los disipadores está en compresión y la otra en tracción. Para esta configuración se estima que su eficiencia con respecto a la disipación de energía pueda llegar hasta el 100%

Figura 9

Configuración Chevron Brace para el disipador fluido viscoso



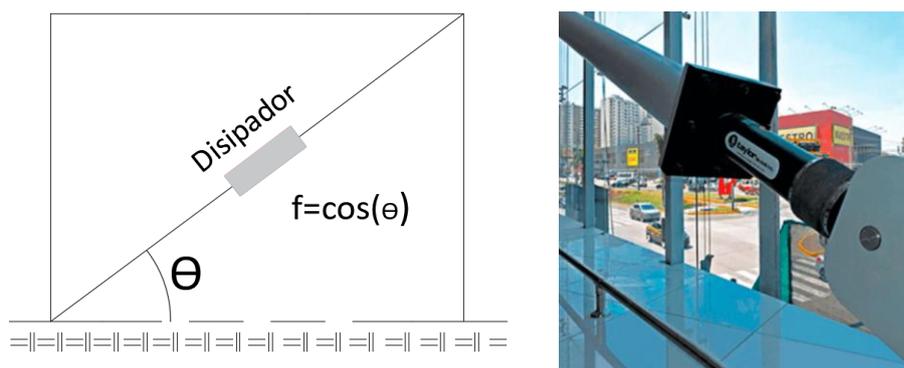
Nota: CDV Ingeniería Antisísmica (2007)

2.10.2. CONFIGURACIÓN DIAGONAL

Es la configuración más sencilla en cuanto a su instalación, sin embargo, debido a su ubicación diagonal solo la componente horizontal trabajara al momento de la disipación de energía.

Figura 10

Configuración Diagonal para el disipador fluido viscoso



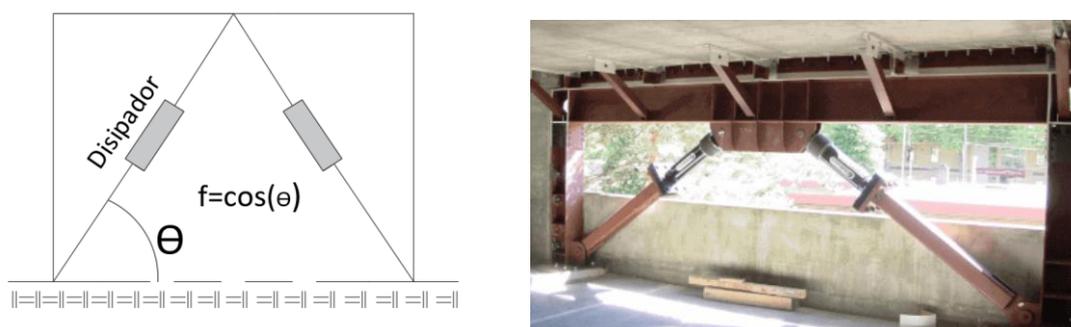
Nota: CDV Ingeniería Antisísmica (2007)

2.10.3. CONFIGURACIÓN DOBLE DIAGONAL

Esta instalación es una modificación de la configuración diagonal, su instalación está apoyada en la viga. En esta configuración el componente horizontal del disipador trabajara al momento de realizar la disipación de energía.

Figura 11

Configuración Doble Diagonal para el disipador fluido viscoso

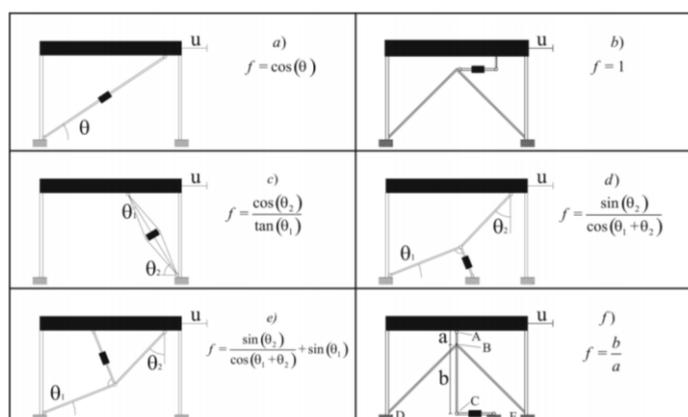


Nota: CDV Ingeniería Antisísmica (2007)

Así mismo existen otras configuraciones para los disipadores de energía, sin embargo, son pocas usadas debido a la dificultad en su instalación.

Figura 12

Otras Configuraciones para la instalación del disipador fluido viscoso



Nota: Di Paola & Navarra (2014)

2.11. RECOMENDACIONES PARA EL USO DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA

El FEMA 274, realiza la siguiente recomendación para el uso de sistemas de protección sísmica, lo cual se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 3

Recomendaciones para el uso de Sistemas de Protección Sísmica

DESEMPEÑO		AISLAMIENTO	AMORTIGUAMIENTO
NIVEL	RANGO	EN LA BASE	
Operativo	Control de daño	Muy recomendado	limitado
Inmediatamente ocupable	Control de daño	recomendado	recomendado
Resguardo de vida	Seguridad del limite	limitado	recomendado
Cerca al colapso	Seguridad al limite	No recomendado	limitado

Nota: FEMA 274 (1997)

El fema recomienda que la incorporación de los disipadores de energía, logre mantener la edificación en un Nivel inmediatamente ocupable o un nivel de resguardo de vida ante un sismo.

2.12. DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE DE EDIFICACIONES

Con la finalidad de realizar una correcta evaluación de las edificaciones se plantearon diversos niveles de desempeño que puede tener una edificación. Siendo así que surgieron diversas propuestas, siendo las más relevantes planteadas por ATC-40 publicada en el año 1996, HAZUS 99, FEMA 273 Y 274, Sociedad de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC). Dichas propuestas tienen bastante similitud, sin embargo, la más conocida y la que continúa actualizando fue la propuesta por el SEAOC a través del comité Visión 2000, la cual será utilizada para poder determinar el nivel de desempeño de la estructura.

2.12.1. NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA

El comité Visión 2000 (SEAOC) dentro de su propuesta contempla cuatro niveles de amenaza sísmica:

Tabla 4

Niveles de Amenaza Sísmica

SISMO	Probabilidad de Excedencia de intensidad	Periodo de Retorno
Frecuente	50% en 30 años	43 años
Ocasional	50% en 30 años	72 años
Raro	10% en 50 años	475 años
Muy Raro	10% en 100 años	970 años

Nota: Propuesta por el comité VISION 2000 del SEAOC (1995)

2.12.2. NIVELES DE DESEMPEÑO

El SEAOC en su propuesta contempla cinco niveles de desempeño, que continuación se presenta:

Tabla 5

Niveles de desempeño propuesto por el SEAOC

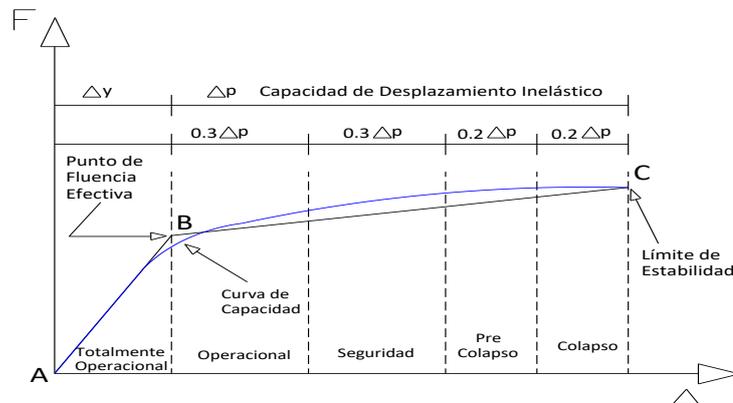
NIVEL DE DESEMPEÑO	ESTADO DE DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
Totalmente Operacional	Despreciable	Daño estructural y no estructural despreciable.
Operacional	Leve	Todas las instalaciones continúan funcionando y prestando su servicio después del sismo. Daño leve en elementos estructurales y no estructurales, Los sistemas de evacuación y seguridad siguen funcionando con normalidad
Seguridad	Moderado	Daño moderado a los elementos estructurales, algunos elementos no estructurales pueden dañarse sin embargo la estructura mantiene un margen de seguridad ante el colapso.
Pre-Colapso	Severo	Daño severo a los elementos estructurales y los elementos no estructurales fallan, la seguridad de los ocupantes se encuentra en peligro.
Colapso	Completo	Colapso de la edificación

Nota: Propuesta por el comité VISION 2000 del SEAOC (1995)

Para poder calificar el nivel de desempeño de una edificación el comité VISION 2000 del SEAOC propuso una sectorización de la curva de capacidad, la cual es simplificada mediante una línea bilineal y así poder determinar el punto de fluencia efectiva “ Δy ”, punto de la cual inicia el desplazamiento inelástico, el cual se divide en cuatro sectores.

Figura 13

Curva de Capacidad Sectorizada, según la Propuesta por el comité VISION 2000 del SEAOC (1995)



2.12.3. NIVELES DE DESEMPEÑO RECOMENDADOS

El comité VISION 2000 del SEAOC nos muestra los niveles de desempeño recomendados para las diferentes edificaciones, las cuales se clasifican de acuerdo al uso y ocupación en edificaciones comunes, esenciales y seguridad crítica.

Figura 14

Niveles de Desempeño recomendados de acuerdo al nivel del movimiento sísmico, Propuesta por el comité VISION 2000 del SEAOC (1995)

		NIVEL DE DESEMPEÑO DE LA EDIFICACIÓN			
		TOTALMENTE OPERACIONAL	OPERACIONAL	SEGURIDAD	PRE COLAPSO
NIVEL DE MOVIMIENTO SÍSMICO	FRECUENTE (T=43 AÑOS)				
	OCASIONAL (T=72 AÑOS)				
	RARO (T=475 AÑOS)				
	MUY RARO (T=970 AÑOS)				
EDIFICACIONES COMUNES					
EDIFICACIONES ESENCIALES					
EDIFICACIONES DE SEGURIDAD CRÍTICA					

2.13. RELACIÓN DAÑO Y DERIVA DE UNA EDIFICACIÓN

El Multihazard Loss Estimation Methodology HAZUS en su manual enumera 36 tipos de construcción con la finalidad de realizar la evaluación sísmica de las edificaciones, siendo así que para las estructuras de concreto armado de mediana

altura (4 a 7 pisos) del tipo aporticado lo clasifica como C1M y del tipo muro estructural como C2M.

El Multihazard Loss Estimation Methodology HAZUS en su manual, menciona las derivas que deben tener dichas construcción para los diferentes tipos de daños. Lo cual se observa en la siguiente tabla 7.

Tabla 6

Relación Daño – Deriva para estructura del tipo C1M

DAÑO	DERIVA	DESCRIPCION
ESTRUCTURAL	OBJETIVA	
LEVE	0.0033	Formación de Grietas finas cerca de la unión de vigas y columnas.
MODERADO	0.0058	La mayoría de las vigas y columnas exhiben grietas finas. Algunos de los elementos del marco han alcanzado la capacidad llegando a fluir. Los marcos no dúctiles pueden exhibir mayor cizalladura y grietas.
EXTENSO	0.0156	Algunos de los elementos dúctiles del marco han alcanzado su máximo capacidad debido a grandes grietas de flexión. los elementos del marco no dúctil pueden haber sufrido fallas de corte o fallas de unión en empalmes de refuerzo lo cual puede provocar un colapso parcial.
COMPLETO	0.0400	La estructura está colapsada o en peligro inminente de colapso, debido a la falla frágil de los elementos del marco o la pérdida de estabilidad del marco.

Nota: HAZUS (2003)

Tabla 7

Relación Daño – Deriva para estructura del tipo C2M

DAÑO ESTRUCTURAL	DERIVA OBJETIVA	DESCRIPCION
LEVE	0.0027	Grietas diagonales superficiales en la mayoría de los muros de concreto, desprendimiento del recubrimiento de concreto en algunos lugares.
MODERADO	0.0056	La mayoría de los muros de concreto exhiben grietas diagonales; algunos muros han excedido la capacidad de rendimiento debido a grietas diagonales más grandes, desprendimiento de concreto en los extremos del muro.
EXTENSO	0.0154	La mayoría de los muros de concreto han excedido su capacidad; algunos muros han excedido sus capacidades finales debido a grandes grietas diagonales a través del muro. El colapso parcial puede ocurrir debido a la falla de columnas no dúctiles no diseñadas para resistir cargas laterales.
COMPLETO	0.0400	La estructura se ha derrumbado o está en peligro inminente de colapso debido a la falla de la mayoría de los muros de concreto y la falla de algunas vigas y columnas

Nota: HAZUS (2003)

2.14. METODOLOGÍA DE DISEÑO DE LOS DISIPADORES

La norma técnica 030 en su última modificación permite la utilización de sistemas de protección sísmica (aislamiento en la base y disipadores de energía) siempre y cuando cumplan las disposiciones de esta norma, incluyendo también las medidas aplicables de los requisitos del documento: “Minimum Design Loads for

Building and Other Structures”, ASCE/SEI 7 vigente, Structural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, USA.

El ASCE/SEI 7 propone cuatro procedimientos para el análisis de edificios con sistemas de protección sísmica, siendo estos:

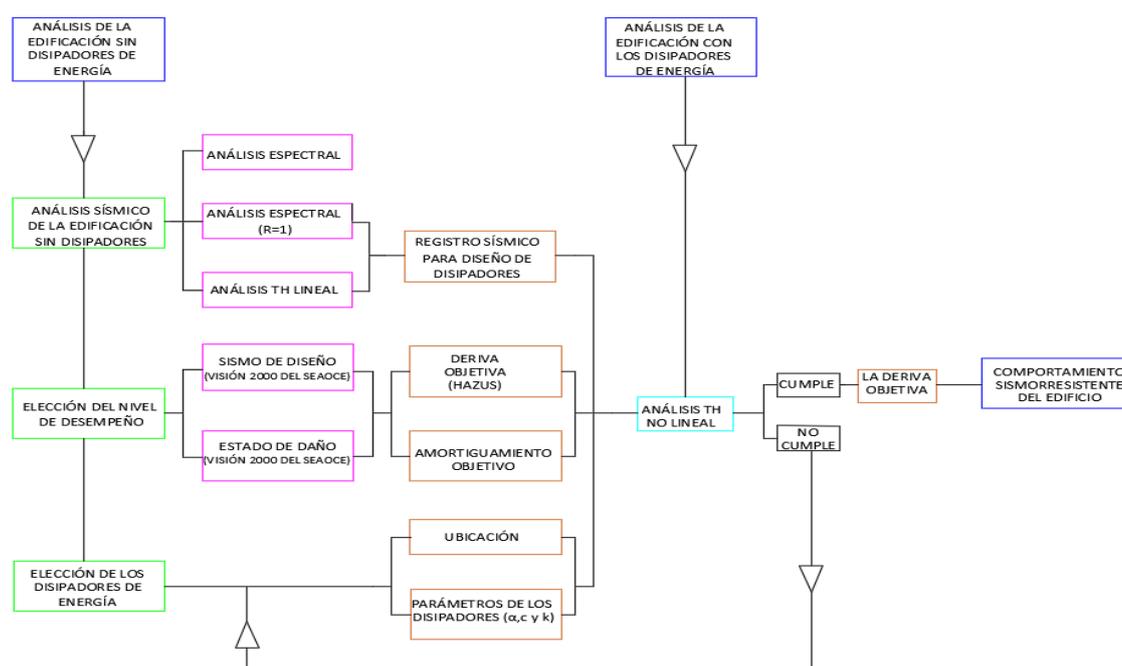
- Análisis de Respuesta Espectral.
- Análisis de Fuerza Lateral-Equivalente.
- Análisis No-lineal estático o Análisis Pushover.
- Análisis de Respuesta No-lineal Tiempo-Historia.

El tipo de análisis recomendado para estructuras con sistemas de protección sísmica son del tipo no lineal. Por ende, en esta investigación se utilizó el análisis de Respuesta No-lineal Tiempo-Historia.

Siendo así que para la presente investigación se utilizó la siguiente metodología para el análisis de las edificaciones y lograr así cumplir con los establecido en el reglamento nacional de edificaciones, así mismo teniendo en cuenta las recomendaciones de las demás normas.

Figura 15

Metodología para el diseño de disipadores de energía fluido viscoso



CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. PERSPECTIVA METODOLOGÍA Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, se empleó el método correlacional – descriptiva, así mismo presenta las condiciones suficientes para ser calificado como una investigación aplicada.

3.2. CONTEXTO Y UNIDAD DE ANÁLISIS: POBLACIÓN Y MUESTRA

La población y muestra en estudio está constituida por la infraestructura del proyecto denominado: “Ampliación y mejoramiento de los servicios de aulas y de los servicios de soporte académico de la oficina general de estudios de la Unasam, distrito de Independencia, provincia de Huaraz, departamento de Áncash”, es de propiedad de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), con Código SNIP N.º 209621, la cual presenta un área total de 1,146.08 m², emplazada dentro del Campus Universitario de Shancayán, que comprende la construcción de dos módulos con infraestructura nueva y adecuada con ambientes funcionales distribuidos en 05 niveles, de los cuales los cuatro primeros niveles corresponden para aulas que totalizan 24 aulas y el quinto nivel (azotea) ambientes como soporte académico para la Oficina General de Estudios de la UNASAM que totalizan 13 oficinas.



3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

PROCEDIMIENTO DE RECOLECCION, PROCESAMIENTO, ANALISIS E INTERPRETACION DE LA INFORMACION

- ❖ Para la recolección de información se utilizó los datos establecidos en el Expediente Técnico “Ampliación y mejoramiento de los servicios de aulas y de los servicios de soporte académico de la oficina general de estudios de la Unasam, distrito de Independencia, provincia de Huaraz, departamento de Áncash”, es de propiedad de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Entre ellos serán el tipo de estructura, capacidad portante del suelo, ubicación del proyecto, planos estructurales.
- ❖ Con los planos se procedió a modelar la estructura como está planteada inicialmente en el software Etabs.
- ❖ Después de modelar la estructura se colocaron las cargas estáticas y dinámicas según lo indica el Reglamento Nacional de Edificaciones.
- ❖ Luego se realizó el análisis e interpretación de los resultados obtenidos del procesamiento de datos. Para ello se utilizó el reglamento nacional de edificaciones. Entre los resultados se analizó las derivas de entrepiso, irregularidades de la edificación, fuerzas cortantes en cada nivel.
- ❖ Se incorporó los disipadores de energía con sus distintas configuraciones al modelo estructural existente y se procedió a verificar los resultados obtenidos del análisis.
- ❖ Se realizó la comparación de resultados de los distintos análisis realizados.

3.4. LIMITES DE LA INVESTIGACIÓN

Los límites de la investigación se tomó las condiciones sismorresistentes de la ciudad de Huaraz.

CAPITULO IV

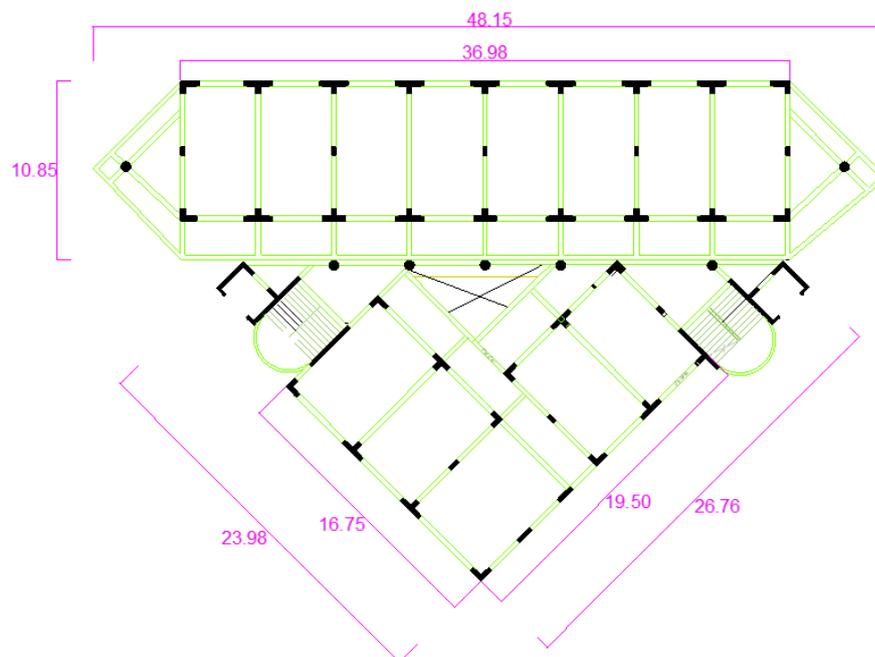
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

El edificio en estudio corresponde al proyecto de ampliación y mejoramiento de los servicios de aulas y de los servicios de soporte académico de la oficina general de estudios pertenecientes a la UNASAM, el cual consta de dos módulos distribuidos, de los cuales los cuatro primeros niveles corresponden para aulas y el quinto nivel (azotea) ambientes como soporte académico para la Oficina General de Estudios de la UNASAM, como se muestra en la siguiente imagen:

Figura 16

Imagen en planta del módulo 01 y módulo 02, del proyecto en estudio, según el expediente técnico del proyecto



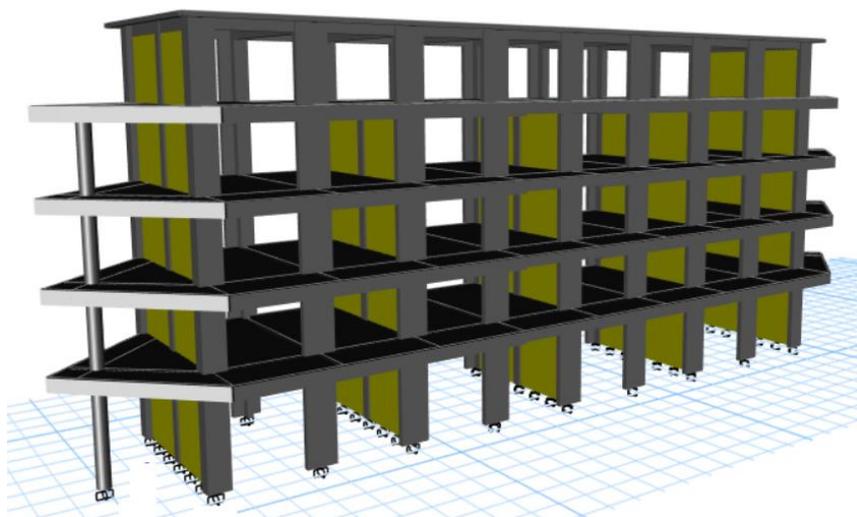
4.2. EVALUACIÓN DE LA EDIFICACIÓN DEL MÓDULO N.º 01

4.2.1. ANÁLISIS DE LA EDIFICACIÓN SIN DISIPADORES DE ENERGÍA

Es una edificación de 5 niveles, aporricado en la dirección longitudinal y albañilería confinada en la dirección transversal, los cuatro primeros pisos será destinada a la utilización de aulas y el quinto piso a la utilización de oficinas, la altura típica de todos los pisos es de 3.5 m, la profundidad del piso a la cara superior de la zapata es de 1.5 m, el concreto empleado es de 210 kg/cm² y la. La carga asignada a la estructura será según lo mencionado en la norma E020 del RNE, siendo así, carga viva en los salones 250 kg/cm², piso terminado 100 kg/cm².

Figura 17

Imagen 3D del módulo 01



Las propiedades del concreto, albañilería y del acero fueron las siguientes:

- Resistencia a la compresión del concreto (f'_c) 210 kg/cm²
- Módulo de elasticidad del concreto (E_c) 217370.65 kg/cm²
- Peso específico del concreto (γ_c) 2400 kg/m³
- Resistencia de la albañilería a la compresión f'_m 65 kg/cm²
- Resistencia de la albañilería al corte v'_m 8.1 kg/cm²

- Esfuerzo de fluencia del acero	Fy	4200 kg/cm ²
- Módulo de elasticidad del acero	Es	2000000 kg/cm ²

Las cargas asignadas a la edificación fueron según lo mencionado en la E020 del RNE

- Peso de la losa aligerada (e=20 cm)		300 kg/m ²
- Peso de piso terminado		100 kg/m ²
- Peso de carga viva en el aula		250 kg/m ²
- Peso de la carga viva en la azotea		100 kg/m ²
- Peso de los muros de tabiquería posterior		381 kg/m
- Peso de los muros de tabiquería frontal		175 kg/m

4.2.1.1. ANÁLISIS DINÁMICO ESPECTRAL

El análisis Espectral nos servirá para poder determinar los desplazamientos relativos de entrepisos (derivadas), así como también las fuerzas internas en los elementos de la edificación. Según la E030 del RNE para realizar el análisis espectral a la edificación se tienen que establecer ciertos parámetros con la finalidad de elaborar el espectro del sismo.

Zonificación Sísmica (Z)

La edificación analizada se encuentra en la ciudad de Huaraz, departamento de Áncash y le corresponde un factor de $Z=0.35g$.

Condiciones Geotécnicas

Para las condiciones Geotécnicas se tomó como referencia el estudio de mecánica de suelos del expediente técnico del proyecto, con la finalidad de realizar el modelamiento lo más similar posible, siendo así que para la zona de estudio el suelo presenta un perfil tipo 2 suelo intermedio cuyo factor de amplificación del suelo $S=1.15$, $T_p=0.6$ y $T_L=2$.

Factor de Amplificación Sísmica (C)

El factor de amplificación sísmica se define de acuerdo a las características del suelo.

$$T < T_p, C = 2.5$$

$$T_p < T < T_L, C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right) \quad \text{Donde T es el periodo de la estructura} \quad (12)$$

$$T_L < T, C = 2.5 \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2} \right)$$

Categoría de la Edificación (U)

La edificación en estudio presente una categoría de Edificación Esencial cuyo factor de uso es de $U=1.5$.

Sistema Estructural y Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas

La edificación en estudio presenta dos sistemas estructurales, en la dirección larga es del tipo pórtico de concreto y en la dirección corta es del tipo albañilería confinada, La edificación presenta irregularidad en planta, Discontinuidad del Diafragma por lo que le corresponde un factor de irregularidad en planta $I_p=0.85$, siendo así que el Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas.

Tabla 8

Sistema estructural y coeficiente de reducción para el módulo 01

Dirección	Sistema Estructural	Coef. de Reduc. Básico (R_0)	Irregularidad en planta (I_p)	Irregularidad en Altura (I_a)	Coef. de Reduc. ($R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$)
X	Aporticado	8	0.85	1	6.8
Y	Albañilería Confinada	3	0.85	1	2.55

Nota: La justificación de los factores de Irregularidad de la Edificación se encuentran en el Anexo

Tabla 9

Parámetros sísmicos del módulo 01

Zonificación	Z	0.35
Condiciones geotécnicas	S	1.15
Categoría de la edificación	U	1.5
Sistema estructural	R	$R_X = 6.8$ y $R_Y = 2.55$

Espectro de análisis de la edificación

Con los parámetros obtenidos, se procede a formar el Espectro Inelástico Pseudo Aceleración en ambas direcciones para poder realizar el análisis sísmico según lo indicado en la norma E030 del RNE.

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g \quad (13)$$

Figura 18

Espectro pseudo aceleración en la dirección “X” del módulo 01.

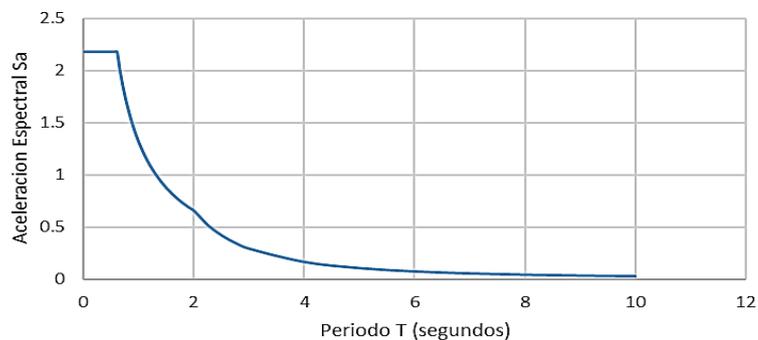
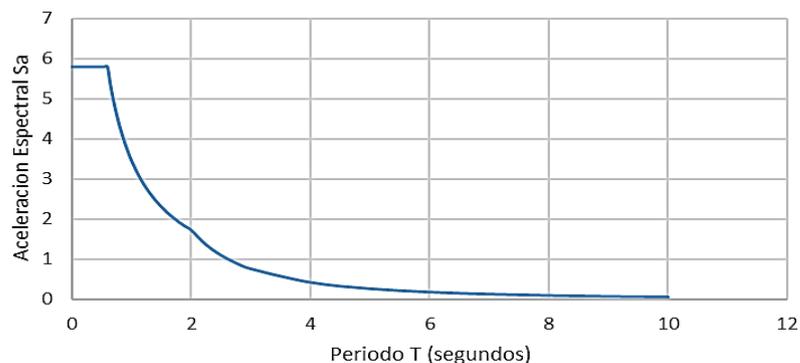


Figura 19

Espectro pseudo aceleración en la dirección “Y” del módulo 01



4.2.1.1.1. Resultado del Análisis Dinámico Espectral

Desplazamientos laterales (Derivas de entrepiso)

Los desplazamientos laterales se obtienen multiplicando por 0.85R (Estructuras irregulares) los resultados del análisis lineal utilizando un espectro sísmico reducido, logrando así estimar los desplazamientos inelásticos que puede tener la edificación ante el sismo de diseño.

Tabla 10

Deriva de entrepiso en las direcciones de análisis “X” e “Y” de la edificación del módulo 01

PISO	DIRECCION “X”	DIRECCION “Y”
5	0.0022	0.0023
4	0.0037	0.0024
3	0.0052	0.0028
2	0.0062	0.0030
1	0.0049	0.0025

Se observa que las derivas cumplen con lo establecido en el Norma E030 del RNE, siendo estas para un sistema estructuras del tipo aperticado una deriva máxima de 0.007 y para un sistema estructural del tipo albañilería confinada de 0.005.

4.2.1.1.2. Verificación de los Elementos Estructurales

Para el diseño de los elementos de la edificación, la fuerza cortante en el primer entrepiso obtenida del análisis dinámico espectral no debe ser menor al 90% (estructuras irregulares) de la fuerza cortante obtenida del análisis estático.

Fuerza Cortante del Análisis Estático Lineal

Para estimar la fuerza cortante estático de la edificación se utilizó la siguiente expresión.

$$V = \frac{ZUCS}{R} \cdot P \quad (4)$$

Donde:

Z, U, S y R son los parámetros obtenidos para en análisis Dinámico espectral.

C: Factor de Amplificación Sísmica.

P: peso de la edificación.

Calculo del Factor de Amplificación Sísmica

Del análisis modal se obtuvieron los periodos de la estructura, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 11

Periodos de la estructura del módulo 01, para los tres modos fundamentales

MODO	PERIODO	DIRECCION MAYOR PARTICIPACION
1	0.447	Dirección X
2	0.287	Dirección Y
3	0.281	Dirección Z

Además para un suelo que presenta los valores de $T_P = 0.6$ y $T_L = 2$, se observa que el periodo de la edificación es menor al periodo que define la plataforma del factor C ($T < T_P$) por lo cual el valor de C=2.5 en las direcciones de “X” e “Y”.

Calculo del peso de la edificación

Para la estimación del peso de la edificación se utilizó lo mencionado en la Norma Técnica E030, el cual nos indica que para las edificaciones esenciales se debe adicionar a la carga muerta el 50% de la carga viva y el 25% de carga viva de azotea, siendo así que el peso de la estructura es de 2356.28 Ton

Con los parámetros obtenidos se procedió a calcular el factor de escala de la cortante como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 12

Factor de escalamiento de la cortante dinámica al 90% de la cortante estática

Dirección de Análisis	Cortante Estático	Cortante Dinámico	Factor de Escala al 90%
Dirección X	523.00 t	452.74 t	1.039
Dirección Y	1395.00 t	1180.96 t	1.063

Combinaciones de carga

Para poder verificar que los elementos estructurales cumplan con la resistencia requerida, Se realizó las combinaciones de las cargas mencionadas en la norma E060.

Tabla 13

Combinaciones de cargas para verificar la resistencia de los elementos, (E060)

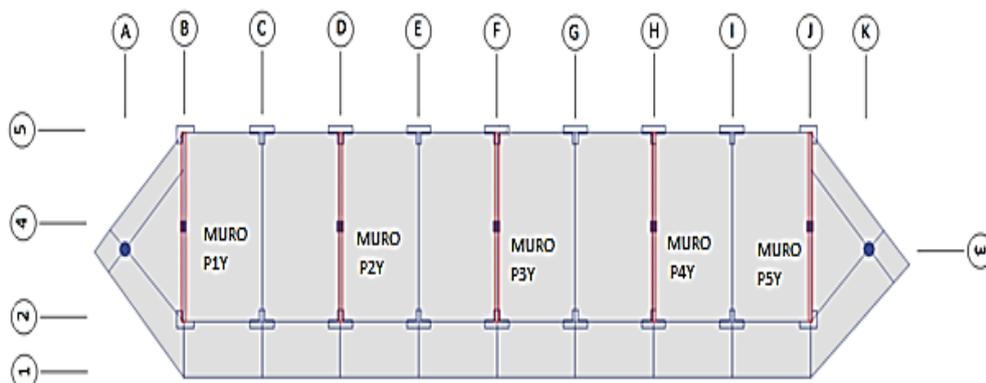
COMBO	CARGAS ACTUANTES	COMBO	CARGAS ACTUANTES
Combo 1	1.4CM+1.7CV	Combo 6	0.9CM+CSx
Combo 2	1.25CM+1.25CV+CSx	Combo 7	0.9CM-CSx
Combo 3	1.25CM+1.25CV-CSx	Combo 8	0.9CM+CSy
Combo 4	1.25CM+1.25CV+CSy	Combo 9	0.9CM-CSy
Combo 5	1.25CM+1.25CV-CSy		

Verificación de los elementos de concreto

Con las combinaciones de cargas, Se procedió a verificar los elementos de concreto de la edificación (vigas y columnas)

Figura 20

Vista en planta de la edificación módulo 01



Analizando el pórtico del eje 1-1 y del eje 5-5 se observa que la cortante absorbida por ellos supera el 30% del cortante total en dicho nivel.

Tabla 14

Porcentaje de cortante absorbida por los pórticos del eje 2-2 y del eje 5-5 del módulo 01

Nivel de Piso	Cortante por Piso (t)	Cortante Absor. pórtico 2-2 (t)	Porcent. Cortante Absor. pórtico 2-2 (t)	Cortante Absor. pórtico 5-5 (t)	Porcent. Cortante Absor. pórtico 5-5
5	94.31	48.76	51.70%	44.51	47.20%
4	230.30	109.59	47.59%	103.25	44.83%
3	341.81	163.48	47.83%	155.2	45.41%
2	422.69	202.54	47.92%	193.49	45.78%
1	470.40	225.58	47.95%	218.49	46.45%

Por lo que se tendrá que diseñar el pórtico del eje 2-2 y del eje 5-5 para resistir el 125 % de la cortante. Como lo menciona la norma E030.

Verificación de la demanda – capacidad

La verificación de la demanda - capacidad, será utilizada para determinar el comportamiento de la columna para resistir esfuerzos de compresión, flexión y flexocompresión generadas por cargas externas. La capacidad de la columna será obtenida a través del diagrama de interacción la cual será construida conociendo la sección y el refuerzo longitudinal que presenta la columna. La demanda será obtenida de las combinaciones de carga descritas en la tabla 13. La verificación de la demanda – capacidad consiste en verificar si las cargas actuantes (Fuerza Axial – Momento flector) se encuentran dentro de la región del diagrama de interacción de la columna. De encontrarse dentro de la región del diagrama de interacción, la columna cumple con la demanda requerida.

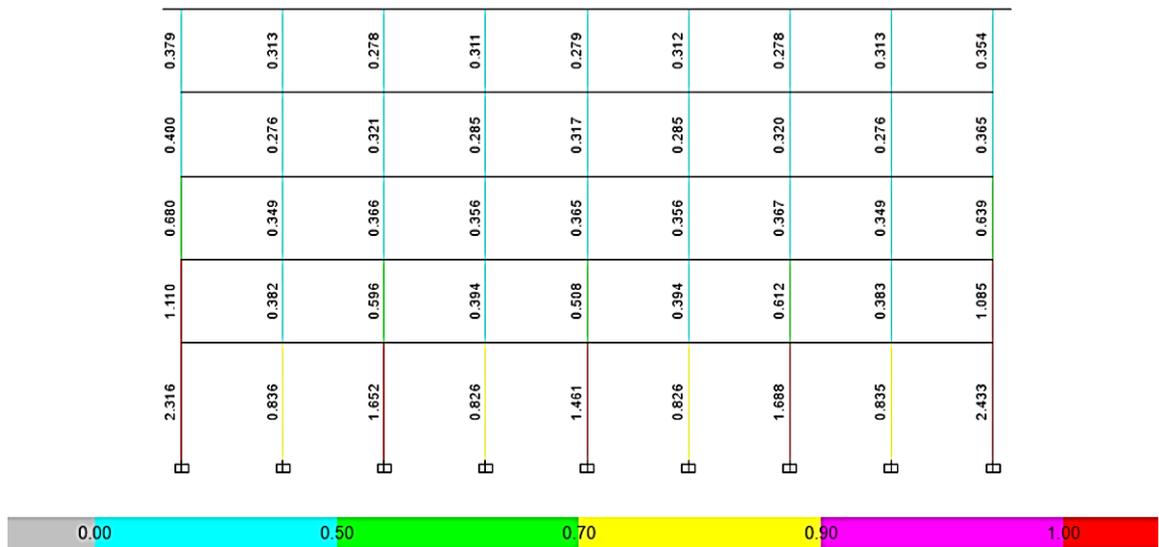
El programa Etabs realiza la verificación de la demanda – capacidad de las columnas, mostrándonos una evaluación basada en colores, siendo el color rojo para un diseño no aceptable, ya que la demanda requerida supera a la capacidad que presenta dicha columna.

Verificación del pórtico del eje 2-2

Se observa que las columnas del pórtico 2-2 no cumplen con la demanda requerida, lo cual se muestra en la siguiente figura.

Figura 21

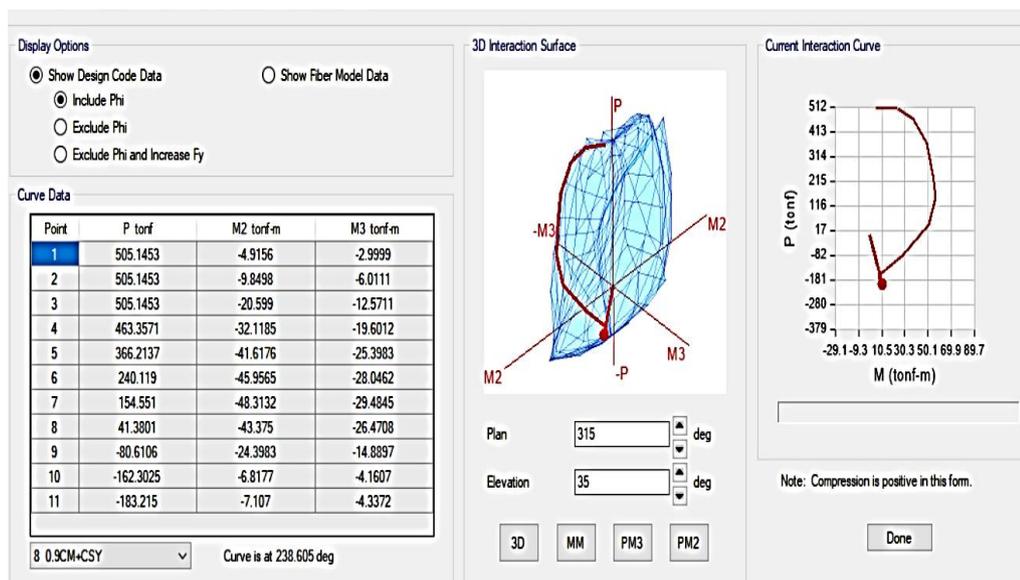
Verificación de la demanda - capacidad de los elementos del pórtico 2-2 del módulo 01



Verificando una de las columnas cuya relación demanda - capacidad del elemento es mayor a uno, se observó que las fuerzas de diseño no están dentro del diagrama de interacción de la columna.

Figura 22

Diagrama de interacción de la columna cuya relación demanda - capacidad del elemento es mayor a uno, del módulo 01

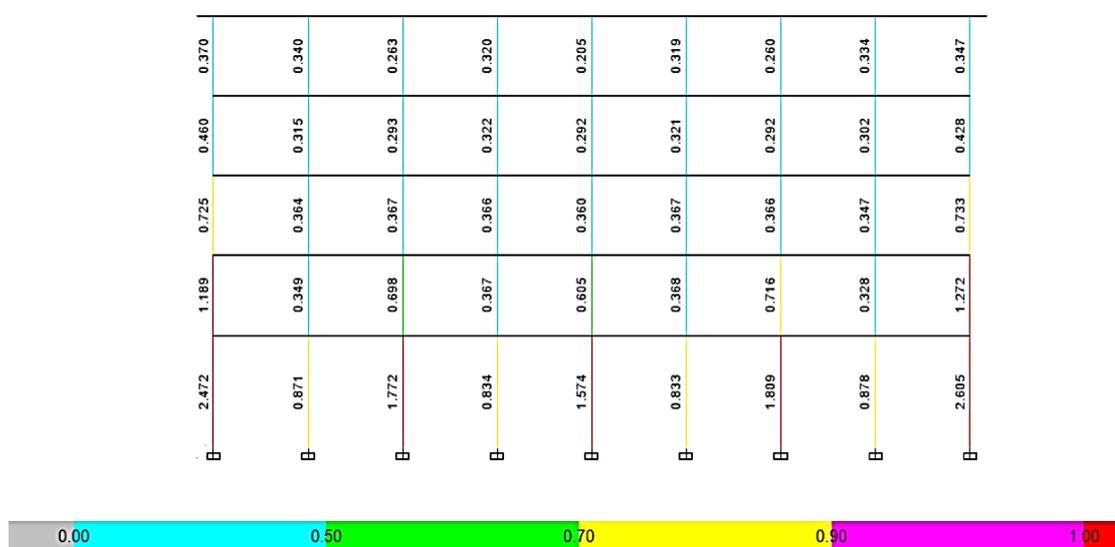


Verificación del pórtico del eje 5-5

Se observa que las columnas del pórtico 5-5 no cumplen con la demanda requerida.

Figura 23

Verificación de la demanda requerida/capacidad de los elementos del pórtico 5-5 del módulo 01



En ambos pórticos se observa que las columnas no resisten la demanda requerida.

Verificación de los elementos de albañilería

La verificación de los elementos de albañilería se realizó mediante lo establecido en norma E070.

Esfuerzo axial máximo

El esfuerzo axial máximo (σ_m) producido por la carga de gravedad debe de cumplir la siguiente expresión:

$$\sigma_m = \frac{P_m}{L.t} \leq 0.2 f'_m \left[1 - \left(\frac{h}{35t} \right)^2 \right] \leq 0.15 f'_m \quad (15)$$

Donde:

P_m : carga gravitacional máxima de servicio en un muro, con el 100% de sobrecarga

L=Longitud total del muro de mampostería incluyendo las columnas.

t=Espesor del muro de mampostería

f'_m = resistencia característica a compresión axial de la albañilería.

h: es la altura libre entre los elementos de arriostre horizontales o la altura efectiva de pandeo.

Control de fisuración

Consiste en evitar que los muros se fisuren ante los sismos moderados. Para ello debe verificarse que en cada entrepiso se cumpla la siguiente expresión con lo cual se controla la ocurrencia de fisuras por corte:

$$V_e \leq 0.55V_m \text{ (Fuerza Cortante Admisible)} \quad (16)$$

Donde:

$$V_m = 0.5V'_m * \alpha * t * L + 0.23P_g$$

$$\frac{1}{3} \leq \alpha = \frac{V_e * L}{M_e} \leq 1$$

- V_e Fuerza Cortante producida por el sismo moderado en el muro de análisis.
- V_m Fuerza Cortante asociada al agrietamiento diagonal de la albañilería.
- V'_m = resistencia característica a corte de la albañilería.
- P_g =carga gravitacional de servicio, con sobrecarga reducida.
- T=espesor del muro.
- L=longitud total del muro.
- α = factor de reducción de resistencia al corte por efectos de esbeltez.
- V_e =fuerza cortante en un muro, obtenida del análisis elástico ante el sismo moderado.
- M_e momento flector en un muro obtenido del análisis elástico ante el sismo moderado.

Verificación de la resistencia al corte del edificio

Con la finalidad de proporcionar una adecuada resistencia y rigidez al edificio, en cada entrepiso “i” y en cada dirección principal del edificio deberá cumplir lo siguiente:

$$\sum V_{mi} \geq V_{Ei} \quad (17)$$

Donde:

$\sum V_{mi}$ = sumatoria de resistencia al corte de los muros reforzados (confinados o armados) del entrepiso “i”

V_{Ei} = fuera cortante en el entrepiso “i” del edificio producida por el sismo severo

Si $\sum V_{mi} \geq 3V_{Ei}$ El edificio se comportara elásticamente y se empleara refuerzo mínimo capaz de funcionar como arriostres y de soportar acciones perpendiculares al plano de la albañilería.

Después de realizar la verificación de los elementos de albañilería se detalla lo siguiente:

Tabla 15

Características y carga axial en los muros de albañilería, modulo 01

Piso	Muro	h (m)	t (m)	l (m)	Pm (t)	Pg (t)
5	P1Y	2.9	0.23	8.20	8.14	7.93
5	P5Y	2.9	0.23	8.20	8.42	8.13
4	P1Y	2.9	0.23	8.20	18.96	17.23
4	P2Y	2.9	0.23	8.20	14.91	13.17
4	P3Y	2.9	0.23	8.80	15.00	13.22
4	P4Y	2.9	0.23	8.20	14.91	13.18
4	P5Y	2.9	0.23	8.20	19.20	17.39
3	P1Y	2.9	0.23	8.20	29.91	26.67
3	P2Y	2.9	0.23	8.20	26.16	22.94
3	P3Y	2.9	0.23	8.80	26.22	22.94
3	P4Y	2.9	0.23	8.20	26.16	22.94
3	P5Y	2.9	0.23	8.20	30.27	26.91
2	P1Y	2.9	0.23	8.20	40.59	35.87
2	P2Y	2.9	0.23	8.20	36.59	31.96
2	P3Y	2.9	0.23	8.80	36.63	31.94
2	P4Y	2.9	0.23	8.20	36.59	31.96
2	P5Y	2.9	0.23	8.20	41.06	36.19
1	P1Y	4.4	0.23	8.20	56.04	49.52
1	P2Y	4.4	0.23	8.20	51.08	44.85
1	P3Y	4.4	0.23	8.80	51.13	44.85
1	P4Y	4.4	0.23	8.20	51.08	44.85

1	P5Y	4.4	0.23	8.20	56.30	49.68
---	-----	-----	------	------	-------	-------



Tabla 16

Verificación de los muros de albañilería ante el esfuerzo axial máximo, control de fisuración y agrietamiento diagonal, modulo 01

PISO	MURO	SISMO MODERADO		ESFUERZO AXIAL	RESIST. AL CORTE	SISMO SEVERO			ESFUERZO AXIAL MAXIMO		CONTROL DE FISURACION	AGRIETAM. DIAGONAL
		Ve(Ton)	Me(Ton-m)	$O = Pm/(t*L)$	Vm	Vu	Mu	$0.2*fm*(1-(H/35*t)^2)$	$0.15*fm$	$Ve \leq 0.55*Vm$	$Vmi > Vui$	
5	P1Y	49.09	46.39	4.32	78.21	98.17	92.77	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
5	P5Y	49.71	47.14	4.47	78.25	99.43	94.28	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
4	P1Y	51.11	73.18	10.05	80.35	102.22	146.37	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
4	P2Y	67.59	65.75	7.91	79.41	135.18	131.50	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
4	P3Y	61.73	60.01	7.41	85.01	123.46	120.02	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
4	P4Y	68.70	66.84	7.90	79.41	137.41	133.68	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
4	P5Y	52.86	75.20	10.18	80.38	105.72	150.39	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
3	P1Y	77.36	118.14	15.86	82.52	154.72	236.29	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
3	P2Y	87.28	105.01	13.87	81.66	174.56	210.02	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
3	P3Y	79.43	95.67	12.95	87.25	158.86	191.34	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
3	P4Y	88.86	106.84	13.87	81.66	177.72	213.68	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
3	P5Y	80.10	121.73	16.05	82.57	160.20	243.46	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
2	P1Y	99.30	167.51	21.52	84.63	198.60	335.01	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
2	P2Y	102.97	143.72	19.40	83.73	205.95	287.44	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
2	P3Y	93.71	130.79	18.10	89.32	187.41	261.58	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
2	P4Y	104.89	146.30	19.40	83.73	209.79	292.60	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
2	P5Y	102.82	172.79	21.77	84.71	205.64	345.58	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
1	P1Y	85.63	173.78	29.71	87.77	171.26	347.57	91.16	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
1	P2Y	81.76	130.96	27.08	86.70	163.52	261.92	91.16	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
1	P3Y	74.39	119.14	25.26	92.29	148.78	238.28	91.16	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
1	P4Y	83.31	133.31	27.08	86.70	166.63	266.63	91.16	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
1	P5Y	88.68	179.32	29.85	87.81	177.35	358.63	91.16	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA



Tabla 17

Verificación de la resistencia global de la edificación, modulo 01

PISO	VEi (t)	ΣV_{mi} (t)	$\Sigma V_{mi} \geq VE_i$	$\frac{\Sigma V_{mi}}{VE_i}$	$\Sigma V_{mi} \geq 3VE_i$
4	639.068	404.57	No resiste al corte del edificio	0.63	Edificio no elasticamente
3	922.3883	415.66	No resiste al corte del edificio	0.45	Edificio no elasticamente
2	1126.9269	426.13	No resiste al corte del edificio	0.38	Edificio no elasticamente
1	1255.3635	441.27	No resiste al corte del edificio	0.35	Edificio no elasticamente

Después de realizar la verificación de la edificación planteada inicialmente, se observó que en la dirección longitud con un sistema resistente del tipo aporticado la estructura no cumple con la demanda de diseño, así mismo en la dirección corta con un sistema resistente del tipo de albañilería confinada los muros no cumplen con lo solicitado en la norma E070, siendo así que se propuso reestructurar la edificación.

4.2.1.2. Reestructuración del diseño inicial del módulo 01

Debido a que la estructura no cumple con el diseño de los elementos se propuso la siguiente reestructuración.

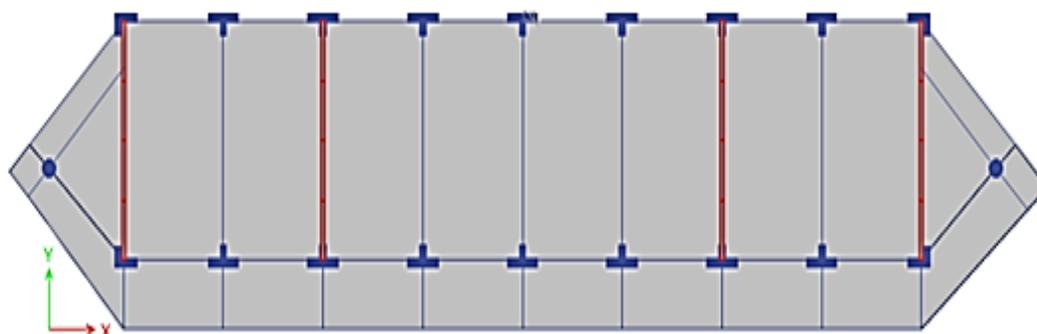
En la dirección X (Dirección Larga) se colocará disipadores de energía para poder mejorar el comportamiento sismorresistente de la edificación y así lograr que los elementos estructurales cumplan con lo establecido según el RNE.

En la dirección “Y” (Dirección Corta), debido a la poca cantidad de elementos estructurales en esa dirección, se deben colocar elementos de grandes secciones que logren rigidizar a la estructura en esa dirección, la incorporación de disipadores de energía no presentan esa propiedad de rigidizar, así mismo para lograr reducir las derivas de entrepiso sería necesario una gran cantidad de estos dispositivos, lo cual ocasionaría un gasto excesivo y además afectaría la arquitectura de la edificación. Por

lo cual se decidió cambiar los muros de albañilería por muros de concreto armado con un $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y de 25 cm de espesor.

Figura 24

Vista en planta de la edificación módulo 01 reestructurada



Con la reestructuración de la edificación del módulo 01, los sistemas estructurales serán del tipo aporticado en la dirección “X” y del tipo muro estructural en la dirección “Y”. por ende, los parámetros sísmicos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 18

Sistema de estructural y coeficiente de reducción para el módulo 01 reestructurado

Dirección	Sistema Estructural	Coef. de Reduc. Básico de las Fuer. Sísm. (R_0)	Irregularidad en planta (I_p)	Irregularidad en Altura (I_a)	Coef. de Reduc. de las Fuer. Sísm. ($R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$)
X	Aporticado	8	0.85	1	6.8
Y	Muro estructural	6	0.85	1	5.1

Nota: La justificación de los factores de Irregularidad de la Edificación se encuentran en el Anexo

Tabla 19

Parámetros sísmicos del módulo 01 reestructurado

Zonificación	Z	0.35
Condiciones geotécnicas	S	1.15

Categoría de la edificación	U	1.5
Sistema estructural	R	$R_X = 6.8$ y $R_Y = 5.1$

Se procedió a analizar la edificación mediante un análisis dinámico espectral, para ello se construyó el Espectro inelástico Pseudo Aceleración formado a partir de los parámetros sísmicos calculados para el modelo 01 reestructurado.

4.2.1.2.1. Resultados

Tabla 20

Periodo de la edificación en la dirección “X”, “Y” y “Z” del modelo 01 reestructurado

DIRECCIÓN	PERIODO DE LA EDIFICACIÓN
DIRECCIÓN X	0.440
DIRECCIÓN Y	0.192
DIRECCIÓN Z	0.172

Tabla 21

Deriva de entrepiso en las direcciones de análisis “X” e “Y” de la edificación del modelo 01 reestructurado

PISO	DIRECCIÓN X	DIRECCIÓN Y
5	0.0022	0.0014
4	0.0036	0.0014
3	0.0050	0.0014
2	0.0059	0.0012
1	0.0047	0.0008

Se observa que la deriva en la dirección “X” sufrió una pequeña disminución debido a la colocación de los muros de concreto, las derivas en la dirección “Y” cumple con lo establecido en el E030. Una vez cumplida las derivas de entrepiso se procedió a diseñar los muros de concreto de la dirección “Y”.

Diseño de los muros de concreto

Para el diseño de muro se procedió a escalar la fuerza cortante obtenida del análisis espectral al 90% de la fuerza obtenida del análisis estático, así mismo se procedió a diseñar según lo indicado en la norma E060.

Debido a la simetría de la edificación se realizar dos diseños, uno para los muros de los extremos y el otro para los muros internos.

Diseño del muro del extremo

Tabla 22

Geometría del muro, Fuerzas actuantes de Diseño muro del módulo 01

H(m)	19.00	Fy(kg/cm ²)	4200	Mua(t-m)	981.65
L(m)	8.10	t (m)	0.25	Vua (t)	169.99
Ø	0.85	Ag (m ²)	2.025		
F'c(kg/c m ²)	210	Pua (t)	299.95		

Tabla 23

Combinaciones de Carga según el E060, muro del módulo 01

Combinación	Fuerza Axial (t)	Momento (t-m)	Combinación	Fuerza Axial (t)	Momento (t-m)
1.4cm+1.7cv	289.80	163.72	0.9cm+csx	91.84	16.69
1.25cm+1.25cv+csx	196.58	56.87	0.9cm-csx	91.84	16.69
1.25cm+1.25cv-csx	196.58	56.87	0.9cm+csy	141.34	784.04
1.25cm+1.25cv+csy	246.08	710.47	0.9cm-csy	141.34	784.04
1.25cm+1.25cv-csy	246.08	710.47			

Figura 25

Plano del muro del extremo

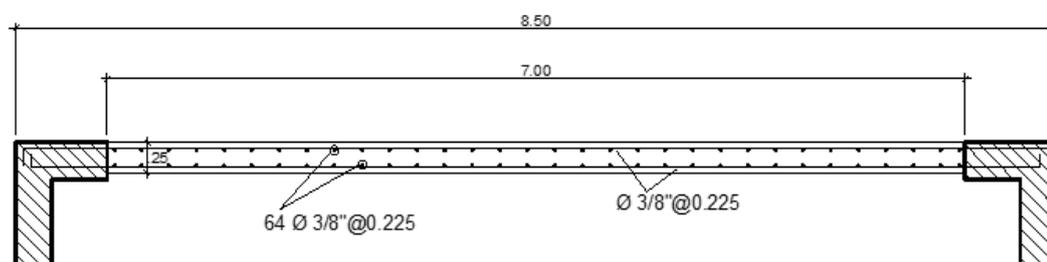
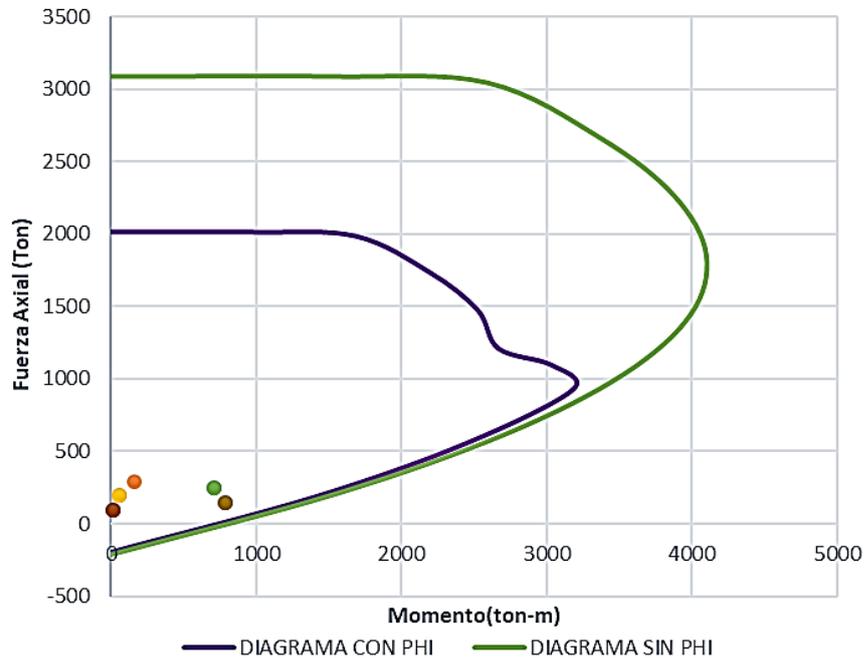


Figura 26

Diagrama de interacción del muro del extremo



Nota: Se observa que todas las combinaciones de resistencia, están dentro del diagrama de interacción, cumpliendo así con el diseño.

Diseño por cortante

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_u \geq V_{ua} \frac{M_n}{M_{ua}} \quad (18)$$

$$\frac{M_n}{M_{ua}} \leq R(\text{coef. Red. Simic})$$

$$V_c = 0.17 \sqrt{f'_c} \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) b_w d = 0.53 \sqrt{f'_c} \left(1 + \frac{0.0071 N_u}{A_g}\right) b_w d \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (19)$$

$$\phi V_s = \phi b_w d \rho_t f_y$$

Tabla 24

Datos del muro para el diseño por corte, modulo 01

Nu(t)	299.95	Vu(t)	314.25
bw*d(m ²)	2.025	Vs(t)	182.05
Vc(t)	155.53	ρt	0.0025
∅Vc(t)	132.19	As (cm ² /m)	6.30
Mn (t-m)	1814.69		

Doble malla As=3.15 cm²/mAcero de 3/8", As=0.71 cm²

$$S = \frac{0.71}{3.15} * 100m = 22.55cm$$

$$S=22.5 \text{ cm}$$

Se colocarán varillas de 3/8" a cada 22.5 cm de distancia.

Verificación de la cuantía mínima del acero vertical y horizontal**Alma del muro**Acero vertical colocada:

$$N.^{\circ} \text{ de varillas de } 3/8'' = 64$$

$$\text{Área de varilla de } 3/8'' = 0.71 \text{ cm}^2$$

$$\text{Cuantía colocada} = As = 64 * 0.71 / (700 * 25) = 0.00259 > 0.0025 \text{ (cumple)}$$

Acero horizontal colocada:

$$N^{\circ} \text{ de varillas de } 3/8'' \text{ en } 1 \text{ m de longitud @ } 0.225 = 10$$

$$\text{Área de varilla de } 3/8'' = 0.71 \text{ cm}^2$$

$$\text{Cuantía colocada} = As = 10 * 0.71 / (100 * 25) = 0.00284 > 0.0025 \text{ (cumple)}$$

Diseño del muro interior

Tabla 25

Geometría del muro, Fuerzas actuantes de Diseño muro del módulo 01

H(m)	15.50	Fy(kg/cm ²)	4200	Mua(t-m)	860.72
L(m)	8.10	t (m)	0.25	Vua (t)	172.54
Ø	0.85	Ag (m ²)	2.025		
F'c(kg/cm ²)	210	Pua (t)	296.37		

Tabla 26

Combinaciones de Carga según el E060, muro del módulo 01

Combinación	Fuerza	Momento	Combinación	Fuerza	Momento
	Axial (t)	(t-m)		Axial (t)	
1.4cm+1.7cv	296.38	159.07	0.9cm+csx	145.49	24.01
1.25cm+1.25cv+csx	252.40	95.95	0.9cm-csx	145.49	24.01
1.25cm+1.25cv-csx	252.40	95.95	0.9cm+csy	145.95	669.50
1.25cm+1.25cv+csy	252.85	597.56	0.9cm-csy	145.95	669.50
1.25cm+1.25cv-csy	252.85	597.56			

Figura 27

Plano del muro del extremo

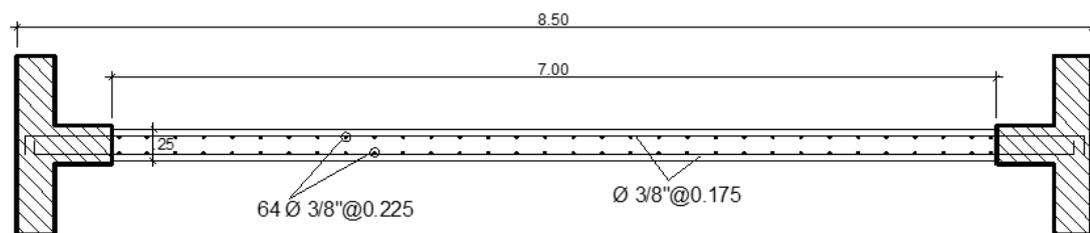
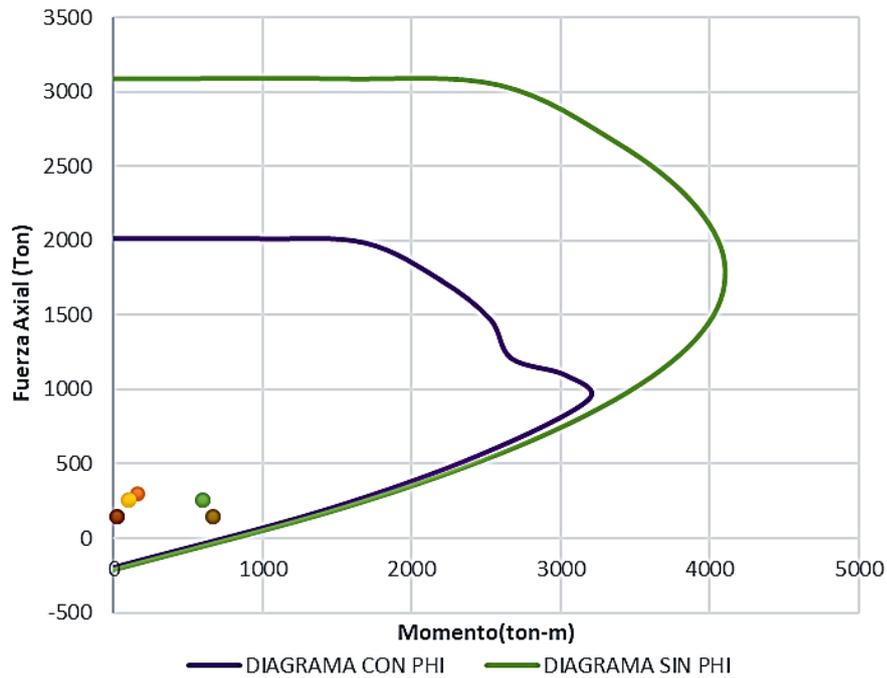


Figura 28

Diagrama de interacción del muro del extremo



Nota: Se observa que todas las combinaciones de resistencia, estando dentro del diagrama de interacción, cumpliendo así con el diseño.

Diseño por cortante

Tabla 27

Datos del muro para el diseño por corte, modulo 01

Nu(t)	296.37	Vu(t)	361.75
bw*d(m ²)	2.025	Vs(t)	229.55
Vc(t)	155.53	ρt	0.0032
∅Vc(t)	132.19	As (cm ² /m)	7.94
Mn (t-m)	1804.59		

Doble malla $A_s=3.97 \text{ cm}^2/\text{m}$

Acero de 3/8", $A_s=0.71 \text{ cm}^2$

$$S = \frac{0.71}{3.97} * 100m = 17.89cm$$

S=17.5 cm

Se colocarán varillas de 3/8" a cada 17.5 cm de distancia.

Verificación de la cuantía mínima del acero vertical y horizontal

Alma del Muro

Acero vertical colocada:

Nº de varillas de 3/8" = 64

Área de varilla de 3/8" = 0.71 cm²

Cuantía colocada = $A_s = 64 * 0.71 / (700 * 25) = 0.00259 > 0.0025$ (cumple)

Acero horizontal colocada:

Nº de varillas de 3/8" en 1 m de longitud @ 0.175 = 12

Área de varilla de 3/8" = 0.71 cm²

Cuantía colocada = $A_s = 12 * 0.71 / (100 * 25) = 0.0034 > 0.0025$ (cumple)

4.2.2. ANÁLISIS DE LA EDIFICACIÓN CON DISIPADORES DE ENERGÍA

Después de realizar la reestructuración del modelo 01, se procedió a incorporar disipadores de energía en la dirección X, para ello se necesitó elegir un registro de aceleración del terreno óptimo para realizar dicho diseño.

4.2.2.1. ELECCIÓN DEL REGISTRO SÍSMICO, DERIVA Y AMORTIGUAMIENTO PARA EL DISEÑO DE LOS DISIPADORES

El análisis de la edificación con disipadores de energía es mediante un análisis tiempo historia No lineal, siendo así que usaremos tres conjuntos de registros de aceleraciones del terreno como mínimo. Cada conjunto de registros de aceleraciones presenta un par de componentes de aceleraciones horizontales. Los cuales deben ser normalizadas de tal manera sean consistente con el máximo sismo considerado en lugar del proyecto.

Cada componente del conjunto de registro de aceleraciones, debe ser escalado de tal manera que al construir su espectro de pseudo aceleraciones con un amortiguamiento de 5%, la ordenada de esta no sea menor a la ordenada del espectro

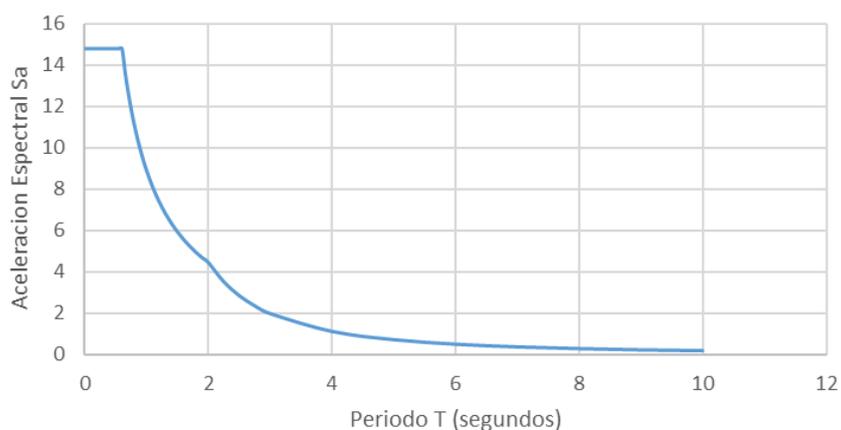
de diseño con $R=1$ en el intervalo de $0.2T$ y $0.15T$ (T es el periodo Fundamental de la estructura).

4.2.2.1.1. Análisis dinámico espectral ($R=1$)

Con los parámetros obtenidos se procedió a construir el espectro de diseño con un factor de reducción sísmica igual a 1 ($R=1$).

Figura 29

Espectro de diseño con $R=1$, modulo 01 reestructurado



Analizando la estructura con el espectro de diseño con $R=1$, se obtuvo las siguientes derivas:

Tabla 28

Derivas de entrepiso ante un espectro de diseño con $R=1$, modulo 01 reestructurado

PISO	DIRECCIÓN X
5	0.0025
4	0.0042
3	0.0058
2	0.0069
1	0.0055

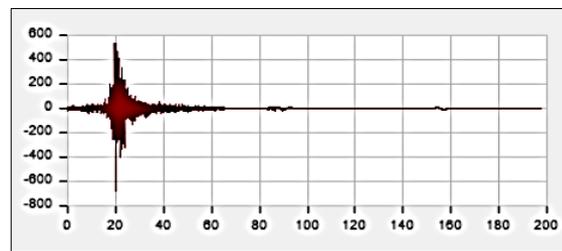
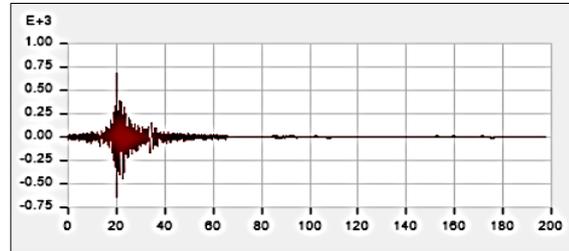
4.2.2.1.2. Análisis tiempo historia lineal

Para el análisis TH lineal se utilizó tres conjuntos de registros de aceleraciones del terreno, los cuales fueron LIMA 1966, ANCASH 1970, ICA 2007, las cuales

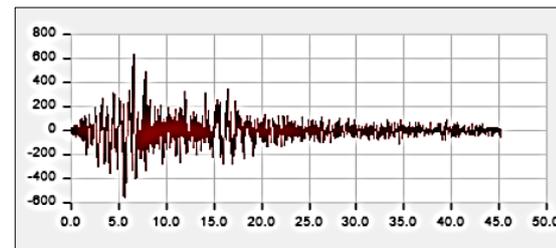
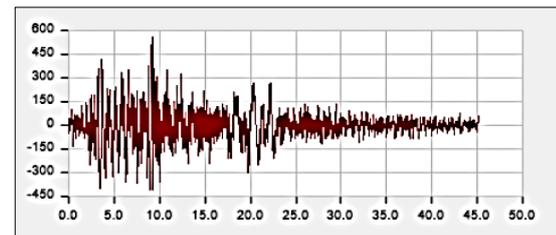
fueron normalizaron al valor máximo del lugar de estudio (0.35g) y escaladas ante un espectro de diseño con un $R=1$.

Figura 30

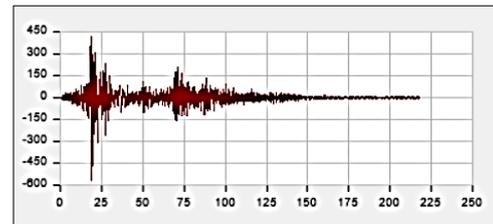
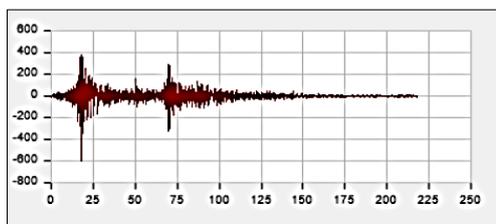
Componentes del Registro de aceleraciones, sismo Lima 1966, Ancash 1970 e Ica 2007



Lima 1966 (Este – Oeste y Norte – Sur)



Ancash 1970 (Este – Oeste y Norte – Sur)

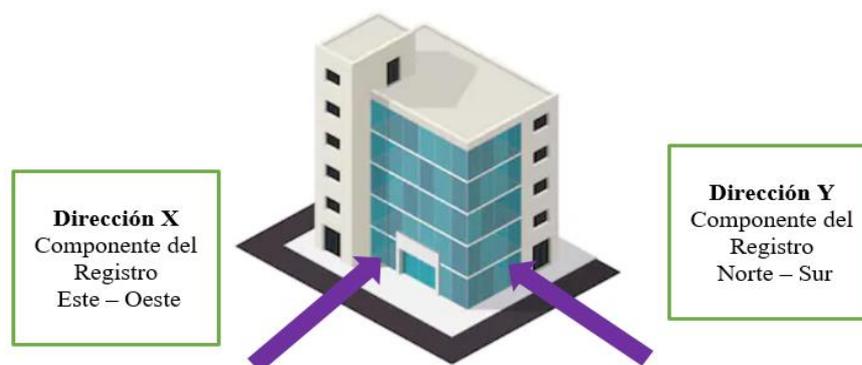


Ica 2007 (Este – Oeste y Norte – Sur)

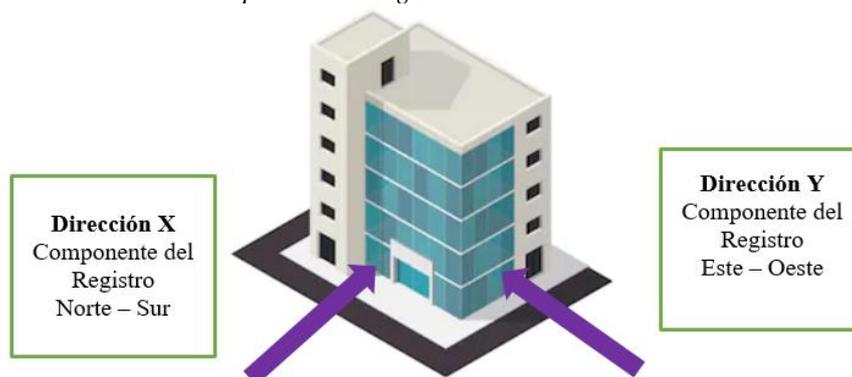
El análisis Tiempo Historia de la edificación se realizó teniendo los siguientes casos para cada Registro sísmico (Lima 1966, Ancash 1970, Ica 2007)

Figura 31

Componentes del Registro de la dirección “X” el componente del registro Norte – Sur y en la Dirección “Y” el componente del registro Este – Oeste



Caso 1: En la dirección “X” el componente del registro Este – Oeste y en la Dirección “Y” el componente del registro Norte- Sur.



Caso 2: En la dirección “X” el componente del registro Norte – Sur y en la Dirección “Y” el componente del registro Este – Oeste

Después de realizar el análisis tiempo historia para los conjuntos de registros de aceleraciones Ica 2007, Lima 1966, Ancash 1970, se obtuvo las siguientes derivas.

Tabla 29

Deriva de entrepiso del análisis TH Lineal del módulo 01 reestructurado

NIVEL	ICA		LIMA		ANCASH	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
5	0.0025	0.0025	0.0025	0.0022	0.0026	0.0022
4	0.0042	0.0042	0.0042	0.0037	0.0044	0.0037
3	0.0058	0.0059	0.0061	0.0051	0.0061	0.0052
2	0.0067	0.0071	0.0074	0.0060	0.0072	0.0062
1	0.0053	0.0057	0.0060	0.0048	0.0058	0.0050

Con la finalidad de Obtener el componente de aceleraciones del terreno más óptimo con el cual realizar el diseño de los disipadores de energía se procedió a calcular el factor de relación, siendo esta calculada dividiendo las derivas del análisis TH Lineal sobre las derivas de análisis espectral con R=1.

Tabla 30

Factor de relación, deriva TH Lineal/Deriva con un espectro de diseño con R=1 para el módulo 01 reestructurado

NIVEL	ICA		LIMA		ANCASH	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
5	0.9976	0.9874	0.9796	0.8703	1.0389	0.8554
4	0.9974	1.0007	1.0100	0.8783	1.0463	0.8728
3	0.9914	1.0106	1.0407	0.8802	1.0479	0.8862
2	0.9794	1.0254	1.0672	0.8740	1.0505	0.8962
1	0.9660	1.0384	1.0905	0.8624	1.0525	0.9120

Se observa que el registro de aceleraciones más óptimo es el de Áncash Caso 1.

4.2.2.1.3. Deriva objetiva y amortiguamiento

Del análisis TH lineal se obtuvo que la deriva máxima de entrepiso es de 0.0072 para el registro sísmico Ancash Caso 1.

Deriva objetiva

La deriva objetiva se determinó teniendo en cuenta las recomendaciones del FEMA 274 para un nivel de resguardo de vida, para lo cual según el comité VISION 2000 del SEAOC se espera un daño moderado, siendo así que según Hazus para una edificación del tipo C1M (Aporticado) la deriva máxima para un daño moderado es de 0.0058 la cual será nuestra deriva objetiva.

Determinación del amortiguamiento efectivo

Para la determinación del amortiguamiento efectivo usaremos la siguiente expresión para obtener el factor B.

$$B = \frac{\text{Deriva Máxima}}{\text{Deriva Objetiva}} \quad (20)$$

$$B = \frac{0.0072}{0.0058} = 1.24$$

Con el valor de del factor B se estimó el amortiguamiento efectivo

$$B = \frac{2.31 - 0.41 \ln(5)}{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})} \quad (21)$$

$$1.24 = \frac{2.31 - 0.41 \ln(5)}{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}$$

$$\beta_{eff} = 10.94\% \approx 11\%$$

$$\beta_{eff} = \beta_0 + \beta_{vis}$$

Teniendo en cuenta que el amortiguamiento inherente de la estructura (β_0) se estima un 5% entonces el amortiguamiento viscoso que añaden los disipadores (β_{vis}) será de 6%.

4.2.2.2. INCORPORACIÓN DE LOS DISIPADORES DE ENERGÍA EN LA EDIFICACIÓN

4.2.2.2.1. Configuración Chevron Brace

4.2.2.2.1.1. Propiedades del Disipador

Las propiedades del disipador serán el coeficiente de amortiguamiento (C), la rigidez del brazo metálico (K) y el coeficiente de velocidad del disipador (α) el cual será iguala 0.5 para disipadores no lineales.

Coefficiente de Amortiguamiento

El coeficiente de amortiguamiento se calcula se la siguiente manera:

$$\beta_{visc.} = \frac{\sum_j \lambda C_j \phi_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j}{2\pi A^{1-\alpha} W^{2-\alpha} \sum_i m_i \phi_i^2}$$

Tabla 31

Datos para el cálculo del amortiguamiento del coeficiente del disipador, configuración Chevron Brace, modelo 01

$\beta_{eff}(\%)$	11%	A (m)	0.0491
$\beta_{visc}(\%)$	6%	$A^{1-\alpha}$ (m)	0.2216
$\beta_0(\%)$	5%	ω (rad/s)	14.28
T (s)	0.44	$\omega^{2-\alpha}$ (rad/s)	53.96
A	0.5		
Λ	3.5		

Tabla 32

Calculo del coeficiente de amortiguamiento del disipador, configuración Chevron Brace, modelo 01

NIVEL	ϕ_i	ϕ_i^2	ϕ_{rj}	Masa $\frac{t \cdot s^2}{m}$	Cos (Θ)	$\sum m_i \cdot \phi_i^2$	$\sum (\phi_{rj})^{1+\alpha} \cdot \cos(\theta_j)^{1+\alpha}$
1	0.300	0.090	0.300	53.816	1	4.843	0.164
2	0.533	0.284	0.233	50.503	1	14.365	0.113
3	0.733	0.538	0.200	50.525	1	27.171	0.089
4	0.900	0.810	0.167	48.376	1	39.185	0.068
5	1.000	1.000	0.100	28.160	1	28.160	0.032
						113.73	0.466

$$\sum C = 311.51 \left(t - \frac{s}{m} \right)$$

N=8 (Numero de Disipadores)

$$C_{Amort} = 39 \left(t - \frac{s}{m} \right)$$

Rigidez del brazo metálico

La rigidez del brazo metálico se calculó usando la siguiente expresión.

$$K = \frac{E \cdot A}{L} \quad (22)$$

El perfil metálico estimado fue el HSS 7.5x0.500 siendo sus propiedades:

$$E = 29000Ksi = 20.4 * 10^6 \frac{t}{m}$$

$$A = 10.3in = 66.45 * 10^{-4} m^2$$

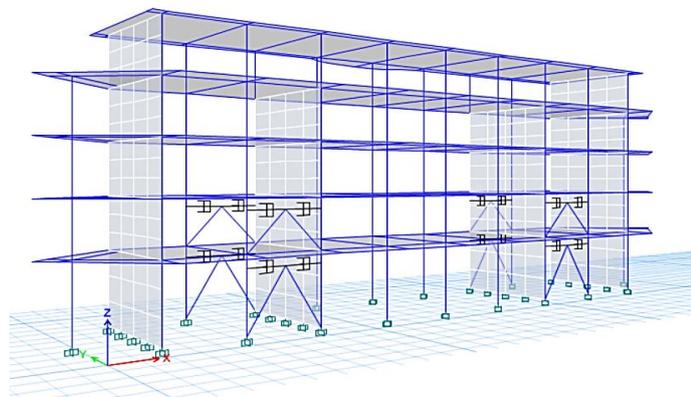
En la configuración Chevron Brace la longitud del brazo metálico es de 3.20 m, por lo que la rigidez del brazo metálico es de 42,361.875 t/m

4.2.2.1.2.Ubicación del Disipador

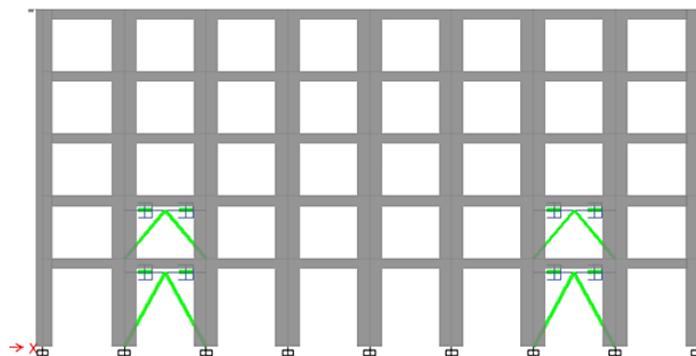
La instalación del disipador en configuración Chevron Brace fue en los dos primeros pisos, en los pórticos de los ejes 2-2 y 5-5 como se muestra en la siguiente figura.

Figura 32

Vista en 3D y en elevación de la Instalación de los disipadores en configuración Chevron Brace, modulo 01 reestructurado



Vista en 3D de la Edificación



Vista en elevación del pórtico con disipadores de energía

4.2.2.2.1.3. Análisis tiempo historia no lineal

Con la incorporación de los disipadores de energía con “ $\alpha = 0.5$ ” (Disipadores No Lineales), se realizó el análisis tiempo historia no lineal, obteniendo así que las derivas de entrepiso son menores a la deriva objetiva de 0.058, así mismo se observa que los disipadores no rigidizaron la estructura manteniendo así constante el periodo de la estructura.

Tabla 33

Derivas de entrepiso con la incorporación de los disipadores de energía en configuración Chevron Brace, modulo 01 reestructurado

PISO	DERIVA INELÁSTICA
5	0.0019
4	0.0032
3	0.0043
2	0.0049
1	0.0038

Tabla 34

Periodo de la edificación con los disipadores de energía, configuración Chevron Brace del módulo 01 reestructurado

DIRECCIÓN	PERIODO DE LA EDIFICACIÓN
Dirección “X”	0.440

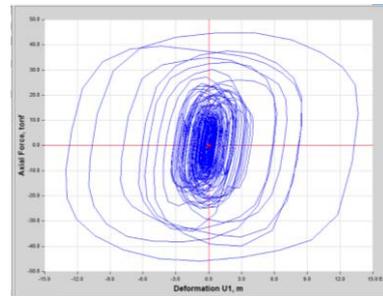
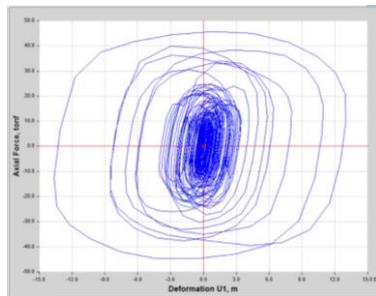
4.2.2.2.1.4. Comportamiento histeretico y energía disipada

Comportamiento histeretico

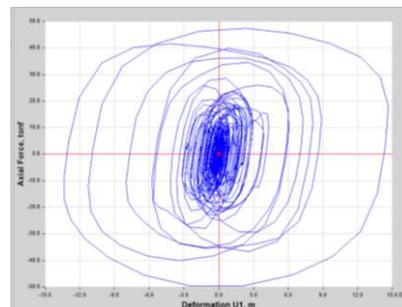
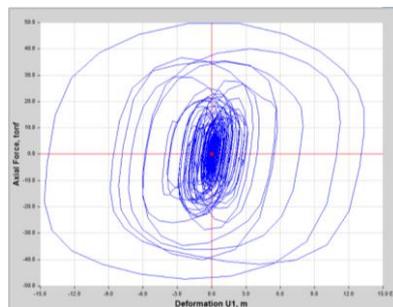
En las siguientes Figura “fuerza vs desplazamiento”, se puede observar el comportamiento histórico de los disipadores con $\alpha=0.5$, observándose así que los disipadores están trabajando de manera óptima, cuyo grafico histeretico presenta una forma casi elíptica, además se observa que para pequeños desplazamientos se generan grandes fuerzas axiales en los disipadores.

Figura 33

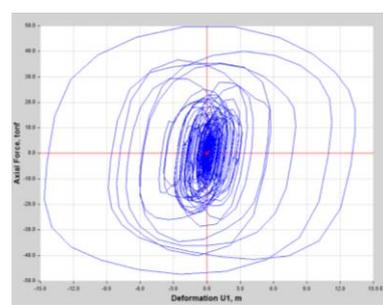
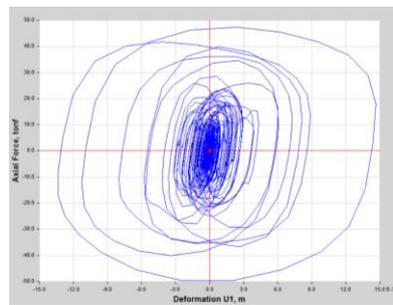
Curva histeretica, fuerza – desplazamiento para la configuración Chevron Brace del módulo 01 reestructurado



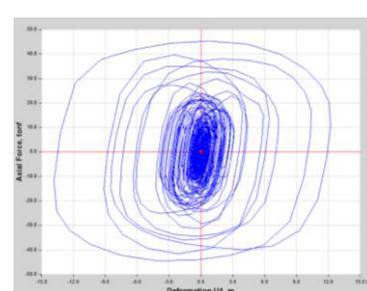
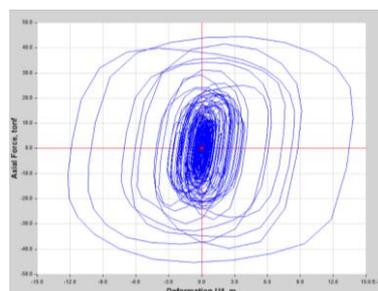
1er piso del pórtico 2-2 del lado izquierdo



2do piso del pórtico 2-2 del lado izquierdo



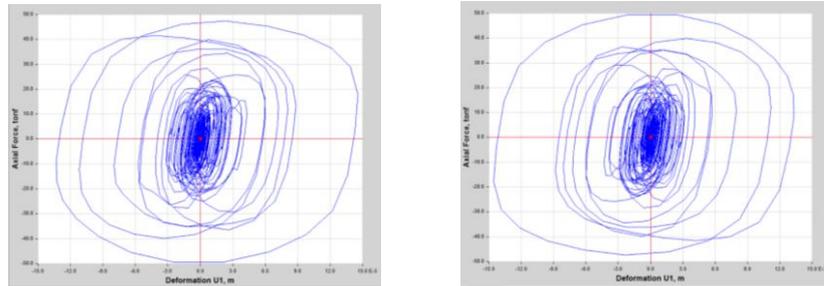
1er piso del pórtico 2-2 del lado derecho



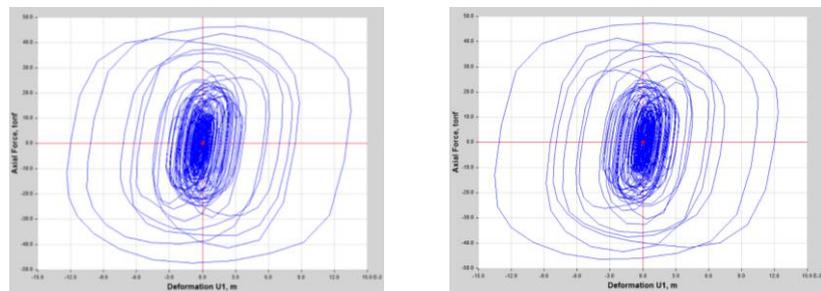
2do piso del pórtico 2-2 del lado derecho

Figura 33

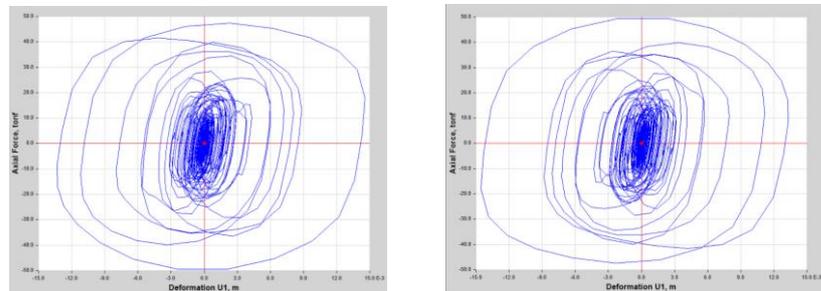
Curva histeretica, fuerza – desplazamiento para la configuración Chevron Brace del módulo 01 reestructurado



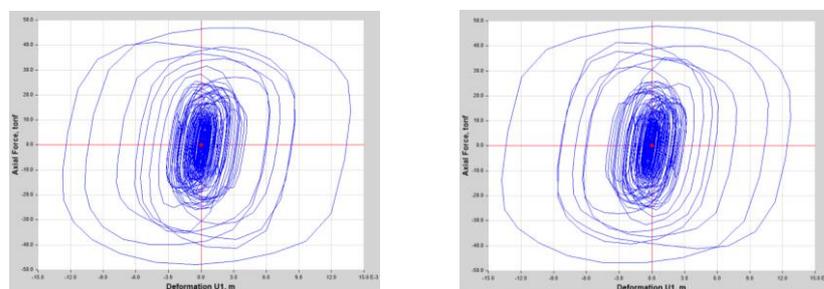
1er piso del pórtico 5-5 del lado derecho



2do piso del pórtico 5-5 del lado derecho



1er piso del pórtico 5-5 del lado izquierdo



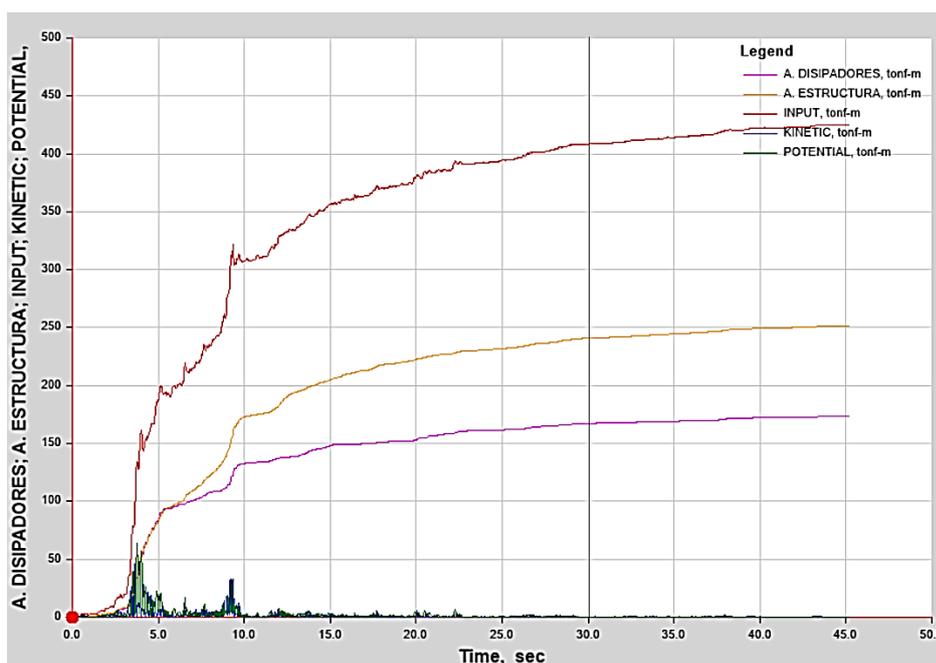
2do piso del pórtico 5-5 del lado izquierdo

Energía disipada por los disipadores

En la siguiente figura se observa la energía ingresada a la estructura, producto de la fuerza sísmica, así mismo se observa la disipación de energía producida por la estructura misma y por los disipadores de energía.

Figura 34

Energía Disipada por los disipadores de energía en configuración Chevron Brace, modulo 01 reestructurado



Nota: El porcentaje de disipación de energía por los disipadores es de 40.95% (167.31/408.54)

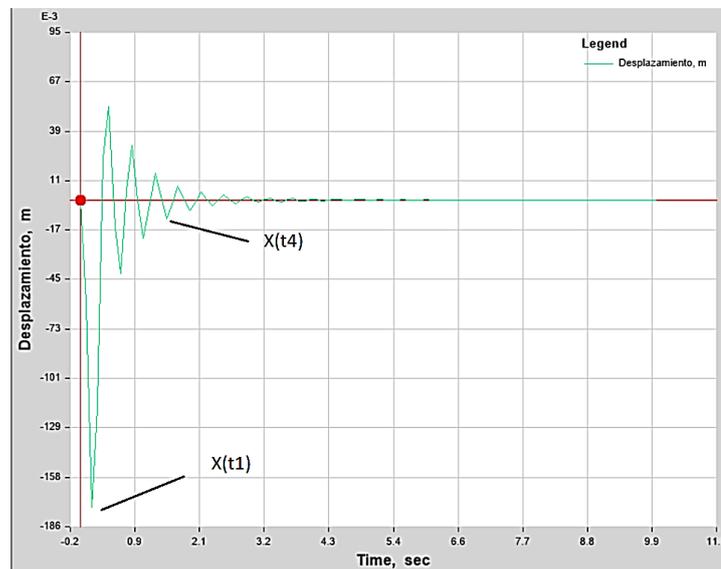
4.2.2.2.1.5. Amortiguamiento efectivo y reducción de la demanda sísmica

Amortiguamiento efectivo

El amortiguamiento efectivo de la estructura se calculó utilizando una función pulso y el método del decremento logarítmico.

Figura 35

Desplazamiento de la estructura ante una función pulso, configuración chevron Brace módulo 01 reestructurado



Utilizando el método del decremento logarítmico el amortiguamiento efectivo de la estructura es de 14.66%

Tabla 35

cálculo del coeficiente de amortiguamiento, configuración Chevron Brace del módulo 01

DATOS	VALOR
X(t=1)	0.1747
X(t=4)	0.0107
n (número de ciclos)	3
Amortiguamiento Efectivo (ξ_{eff})	14.66 %

Reducción de la demanda sísmica

La incorporación de los Disipadores de energía aumento el amortiguamiento en la edificación teniendo así un amortiguamiento efectivo de 14.66%, para lo cual le corresponde un valor de B_{V+1} igual a 1.34.

$$V_{\min} = \frac{V}{B_{V+1}} = \frac{V}{1.34} = 0.746V$$

$$V_{\min} = 0.75V$$

Se observa que con el amortiguamiento efectivo se logró reducir la fuerza cortante al valor de 0.746 V, sin embargo, en valor mínimo para la cortante reducida es 0.75V lo cual será utilizado para realizar la verificación del diseño de la edificación.

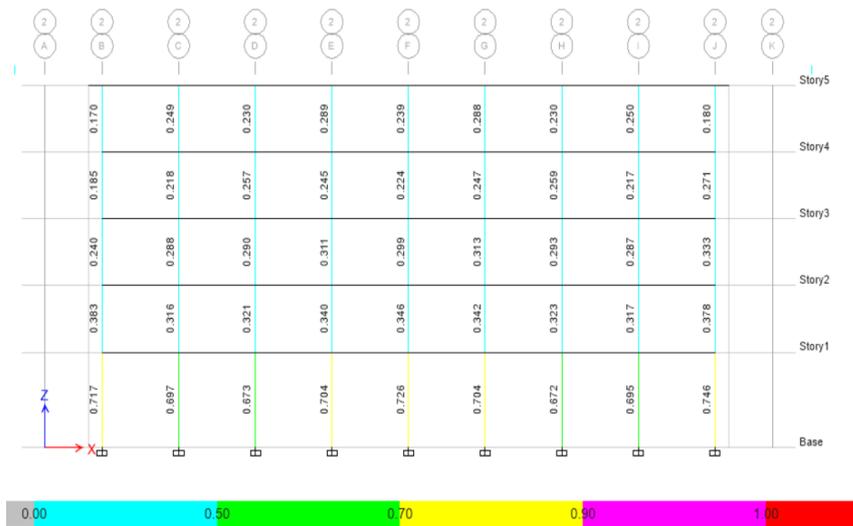
4.2.2.2.1.6. Verificación de los elementos estructurales

Verificación de la demanda – capacidad

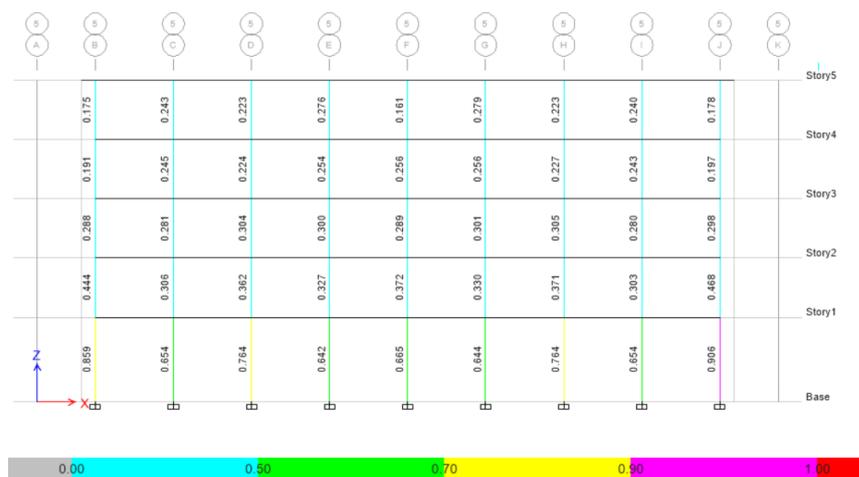
Se observa que las columnas del eje 2-2 y del eje 5-5 cumplen con la demanda requerida.

Figura 36

Relación Demanda – capacidad del pórtico 2-2 y del pórtico 5-5, configuración Chevron Brace módulo 01 reestructurado



Relación Demanda – capacidad del pórtico 2-2



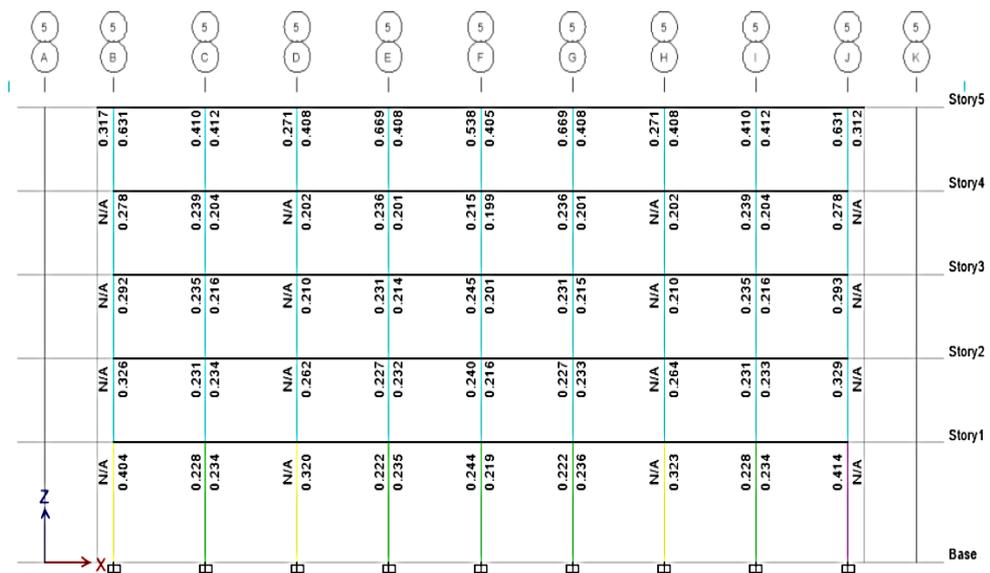
Relación Demanda – capacidad del pórtico 5-5

Verificación de viga débil – columna fuerte

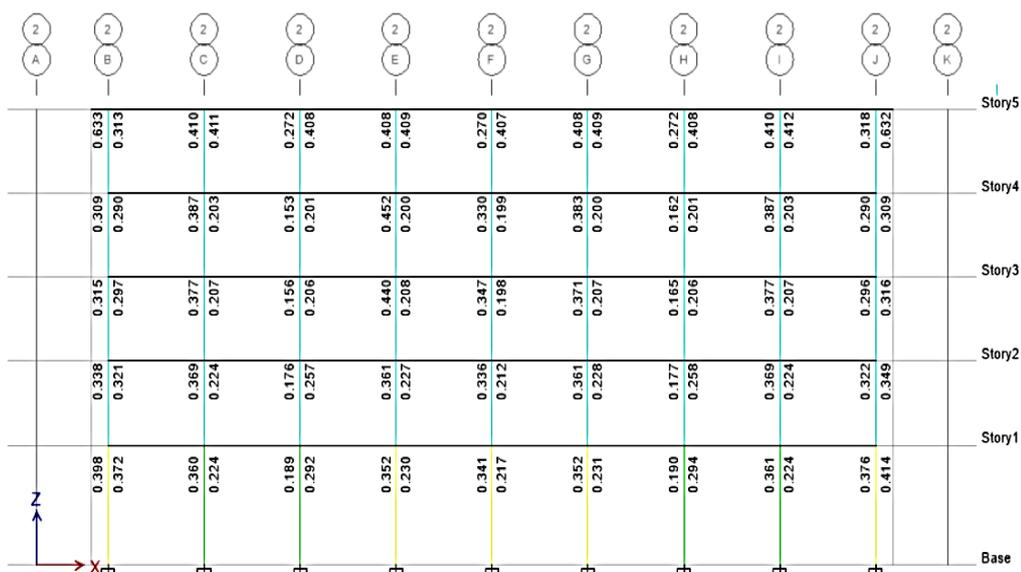
La verificación Viga Débil – Columna Fuerte tiene como objetivo, que la rotulas plásticas se formen primero en las vigas y luego en las columnas. El programa Etabs realiza dicha verificación, mostrando como resultado un valor que de ser menor a 1, cumple con la verificación Viga Débil – Columna Fuerte.

Figura 37

Relación Viga débil – Columna Fuerte del pórtico 2-2 y del pórtico 5-5, configuración Chevron Brace módulo 01 reestructurado



Relación Viga débil – Columna Fuerte del pórtico 2-2



Relación Viga débil – Columna Fuerte del pórtico 5-5

4.2.2.2.1.7. Detalle de los Disipadores

Los disipadores utilizados en la configuración Chevron Brace fueron los siguientes:

Tabla 36

Fuerza axial de diseño en los disipadores de energía, configuración Chevron Brace módulo 01 reestructurado

NIVEL	PORTICO	DISIPADOR	FUERZA AXIAL (KIP)	FUERZA AXIAL DE DISEÑO (KIP)
2	Eje 5-5	K22	102.27	110.00
		K23	104.54	110.00
		K28	103.32	110.00
		K29	105.56	110.00
	Eje 2-2	K2	98.85	110.00
		K1	100.91	110.00
		K7	97.72	110.00
		K8	99.94	110.00
1	Eje 5-5	K20	104.24	110.00
		K21	109.18	110.00
		K26	104.25	110.00
		K27	109.17	110.00
	Eje 2-2	K4	104.53	110.00
		K3	109.44	110.00
		K5	104.53	110.00
		K6	109.43	110.00

4.2.2.2. Configuración diagonal

4.2.2.2.1. Propiedades del disipador

Las propiedades del disipador serán el coeficiente de amortiguamiento (C), la rigidez del brazo metálico (K) y el coeficiente de velocidad del disipador (α) el cual será iguala 0.5 para disipadores no lineales.

Coefficiente de amortiguamiento

El coeficiente de amortiguamiento se calcula se la siguiente manera:

$$\beta_{visc.} = \frac{\sum_j \lambda C_j \phi_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j}{2\pi A^{1-\alpha} W^{2-\alpha} \sum_i m_i \phi_i^2}$$

Tabla 37

Datos para el cálculo del amortiguamiento del coeficiente del disipador, configuración Diagonal, modelo 01

$\beta_{eff}(\%)$	11%	A (m)	0.0491
$\beta_{Visc}(\%)$	6%	$A^{1-\alpha}$ (m)	0.2216
$\beta_0(\%)$	5%	ω (rad/s)	14.28
T (s)	0.44	$\omega^{2-\alpha}$ (rad/s)	53.96
α	0.5		
λ	3.5		

Tabla 38

Cálculo del amortiguamiento del coeficiente del disipador, configuración diagonal, modelo 01

NIVEL	ϕ_i	ϕ_i^2	ϕ_{rj}	Masa $(\frac{t \cdot s^2}{m})$	Cos(Θ)	$\sum m_i \cdot \phi_i^2$	$\sum (\phi_{rj})^{1+\alpha} \cdot \cos(\theta_j)^{1+\alpha}$
1	0.300	0.090	0.300	53.816	0.8214	4.843	0.122
2	0.533	0.284	0.233	50.503	0.6744	14.365	0.062
3	0.733	0.538	0.200	50.525	0.6744	27.171	0.050
4	0.900	0.810	0.167	48.376	0.6744	39.185	0.038
5	1.000	1.000	0.100	28.160	0.6744	28.160	0.018
						113.725	0.289

$$\sum C = 501.58 \left(t - \frac{s}{m} \right)$$

N=4 (Numero de Disipadores)

$$C_{Amort} = 125 \left(t - \frac{s}{m} \right)$$

Rigidez del brazo metálico

La rigidez del brazo metálico se calculó usando la siguiente expresión:

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

El perfil metálico estimado fue el HSS 7.5x0.500 siendo sus propiedades:

$$E = 29000Ksi = 20.4 * 10^6 \frac{t}{m}$$

$$A = 10.3in = 66.45 * 10^{-4} m^2$$

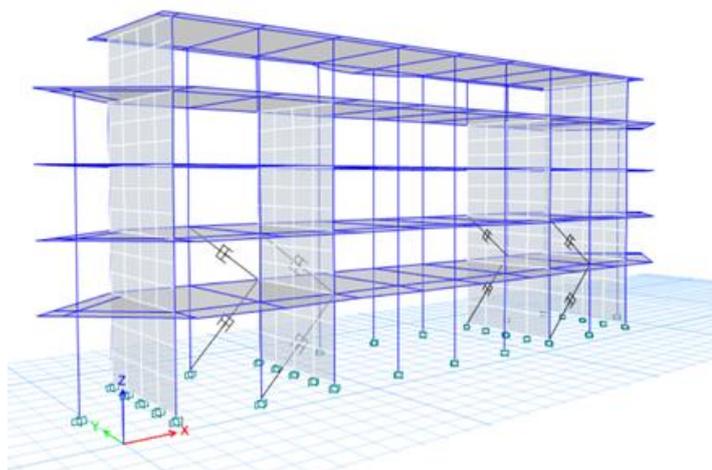
En la configuración Chevron Brace la longitud del brazo metálico es de 4.30 m, por lo que la rigidez del brazo metálico es de 31,525.11 t/m.

4.2.2.2.2.Ubicación del disipador

La instalación del disipador en configuración Diagonal fue en los dos primeros pisos, en los pórticos de los ejes 2-2 y 5-5.

Figura 38

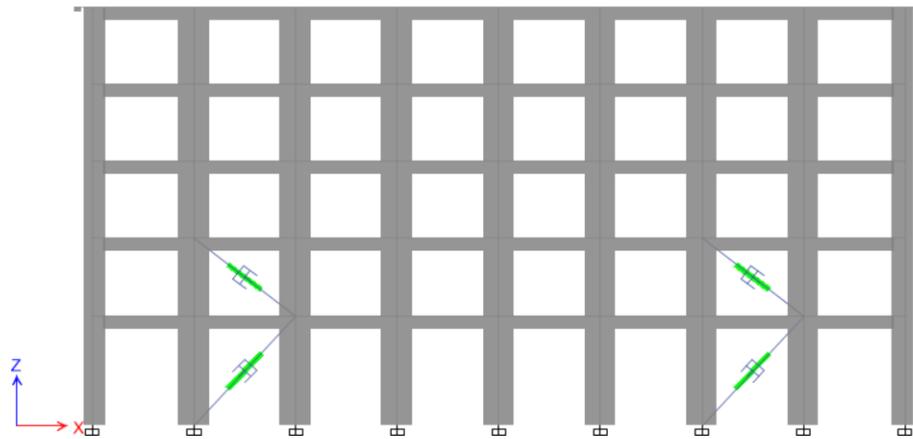
Vista en 3D y en elevación de la Instalación de los disipadores en configuración diagonal, modulo 01 reestructurado



Vista en 3D de la Instalación de los disipadores en configuración Diagonal

Figura 38

Vista en 3D y en elevación de la Instalación de los disipadores en configuración diagonal, modulo 01 reestructurado



Vista en elevación de la Instalación de los disipadores en configuración Diagonal

4.2.2.2.3. Análisis tiempo historia no lineal

Con la incorporación de los disipadores de energía con “ $\alpha = 0.5$ ” (Disipadores No Lineales), se realizó el análisis tiempo historia no lineal, obteniendo así que las derivas de entrepiso son menores a la deriva objetiva de 0.058, así mismo se observa que los disipadores no rigidizaron la estructura manteniendo así constante el periodo de la estructura.

Tabla 39

Derivas de entrepiso con la incorporación de los disipadores de energía en configuración Diagonal, modulo 01 reestructurado

PISO	DERIVA INELÁSTICA
5	0.0020
4	0.0032
3	0.0043
2	0.0049
1	0.0039

Tabla 40

Periodo de la edificación con los disipadores de energía en configuración Diagonal, modulo 01 reestructurado

DIRECCIÓN	PERIODO DE LA EDIFICACIÓN
Dirección “X”	0.440

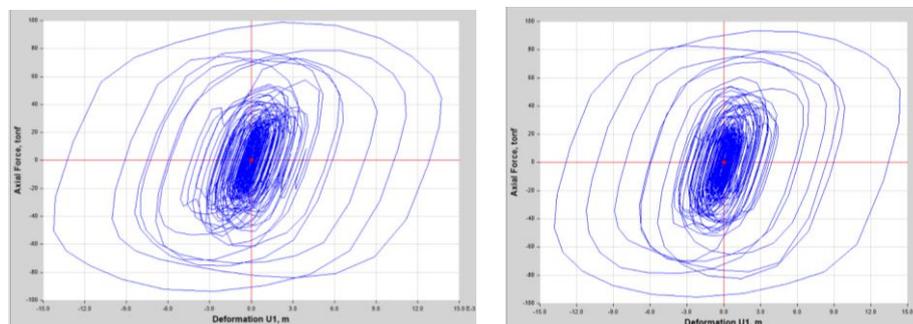
4.2.2.2.4. Comportamiento histereico y energía disipada

Comportamiento histórico de los disipadores

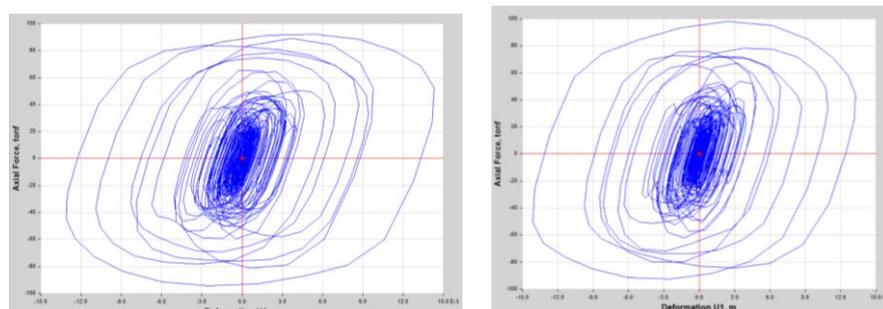
En las siguientes graficas “fuerza vs desplazamiento”, se puede observar el comportamiento histórico de los disipadores con $\alpha=0.5$, cuya forma es casi elíptica, observándose así que los disipadores están trabajando de manera óptima, además se observa que para pequeños desplazamientos se generan grandes fuerzas axiales en los disipadores.

Figura 39

Curva histereica fuerza - desplazamiento, configuración diagonal módulo 01 reestructurado



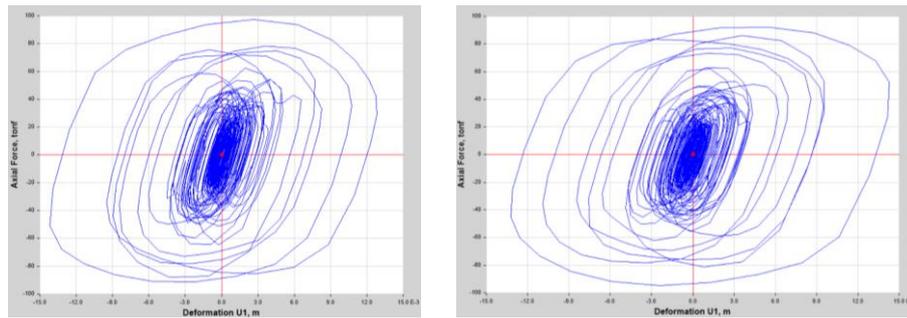
1er piso del pórtico 2-2 del lado derecho e izquierdo



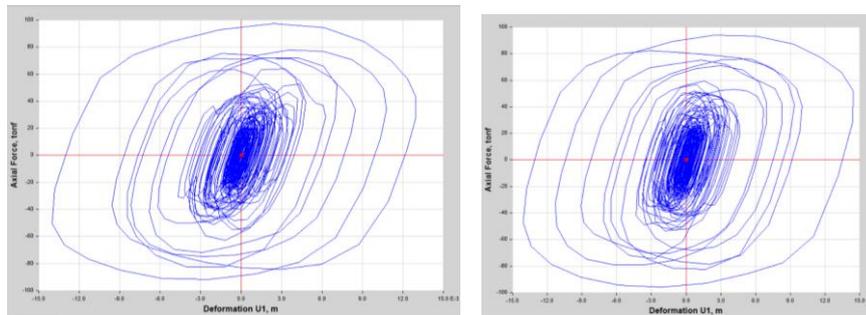
2do piso del pórtico 2-2 del lado derecho e izquierdo

Figura 39

Curva histeretica fuerza - desplazamiento, configuración diagonal módulo 01 reestructurado



1er piso del pórtico 5-5 del lado derecho e izquierdo



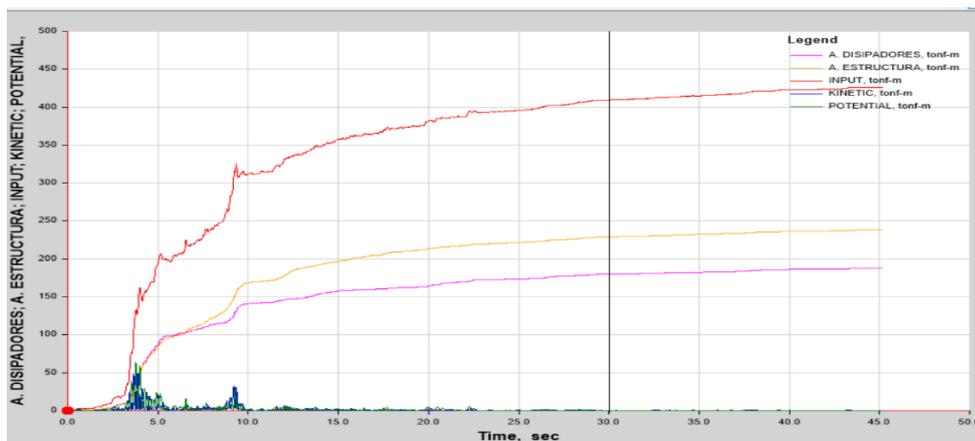
2do piso del pórtico 5-5 del lado derecho e izquierdo

Energía disipada por los disipadores

En la siguiente figura se observa la energía ingresada a la estructura, producto de la fuerza sísmica, así mismo se observa la disipación de energía producida por la estructura misma y por los disipadores de energía.

Figura 40

Energía disipada por los disipadores de energía en configuración diagonal del módulo 01 reestructurado



Nota: El porcentaje de disipación de energía por los disipadores en configuración diagonal es de 43.95% (179.97/409.41)

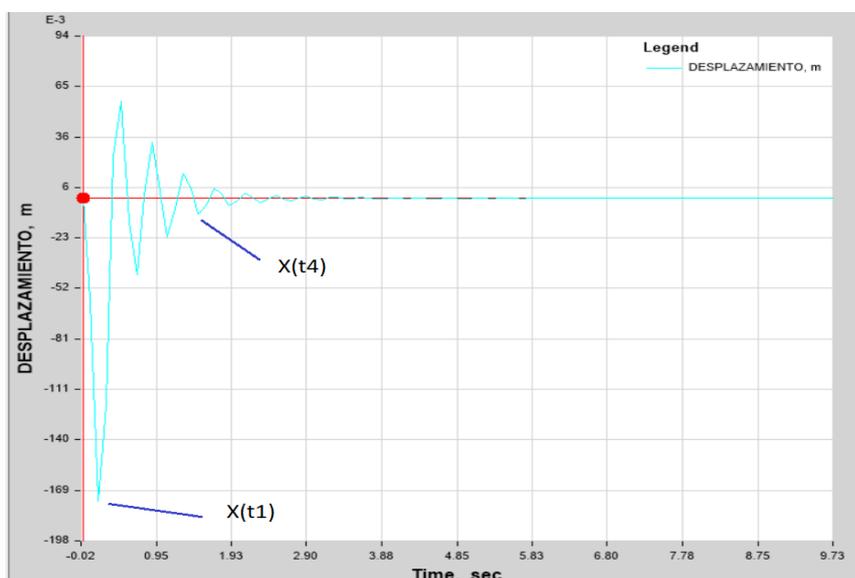
4.2.2.2.5. Amortiguamiento efectivo y reducción de la demanda sísmica

Amortiguamiento Efectivo

El amortiguamiento efectivo de la estructura se calculó utilizando una función pulso y el método del decremento logarítmico.

Figura 41

Desplazamiento de la estructura ante una función pulso, configuración diagonal módulo 01 reestructurado



Utilizando el método del decremento logarítmico el amortiguamiento efectivo de la estructura es de 15.56 %.

Tabla 41

Datos para el cálculo del amortiguamiento del coeficiente del disipador, configuración Diagonal, modelo 01

DATOS	
X(t=1)	0.1754
X(t=4)	0.0090
n (número de ciclos)	3
Amortiguamiento Efectivo (ξ_{eff})	15.56 %

Reducción del espectro sísmico debido al amortiguamiento añadido

La incorporación de los Disipadores de energía aumento el amortiguamiento en la edificación teniendo así un amortiguamiento efectivo de 15.56%, para lo cual le corresponde un valor de B_{v+1} igual a 1.37.

$$V_{\min} = \frac{V}{B_{v+1}} = \frac{V}{1.37} = 0.731V$$

$$V_{\min} = 0.75V$$

Se observa que con el amortiguamiento efectivo se logró reducir la fuerza cortante al valor de 0.731 V, sin embargo, en valor mínimo para la cortante reducida es 0.75V lo cual será utilizado para realizar la verificación del diseño de la edificación.

4.2.2.2.6.Verificación de los elementos estructurales

Verificación de la estructura

Presenta el mismo factor de reducción que los disipadores en configuración Chevron Brace, el cual ya se verifico y cumple con el diseño.

4.2.2.2.7.Detalle de los disipadores

Los disipadores utilizados en la configuración diagonal fueron los siguientes:

Tabla 42

Fuerza axial de diseño en los disipadores de energía, configuración diagonal 01 reestructurado

NIVEL	PORTICO	DISIPADOR	FUERZA AXIAL (KIP)	FUERZA AXIAL DE DISEÑO (KIP)
2	Eje 5-5	K13	203.45	220.00
		K16	206.84	220.00
	Eje 2-2	K2	205.34	220.00
		K8	203.29	220.00
1	Eje 5-5	K12	214.70	220.00
		K15	214.80	220.00
	Eje 2-2	K1	217.84	220.00
		K7	216.04	220.00

4.2.2.2.3. Configuración doble diagonal

4.2.2.2.3.1. Propiedades del disipador

Las propiedades del disipador serán el coeficiente de amortiguamiento (C), la rigidez del brazo metálico (K) y el coeficiente de velocidad del disipador (α) el cual será iguala 0.5 para disipadores no lineales.

Coefficiente de amortiguamiento

El coeficiente de amortiguamiento se calcula se la siguiente manera:

$$\beta_{visc.} = \frac{\sum_j \lambda C_j \phi_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j}{2\pi A^{1-\alpha} W^{2-\alpha} \sum_i m_i \phi_i^2}$$

Tabla 43

Datos de la edificación para el cálculo del disipador, configuración Doble Diagonal, modulo 01

$\beta_{eff}(\%)$	11%	A (m)	0.0491
$\beta_{visc}(\%)$	6%	$A^{1-\alpha}$ (m)	0.2216
$\beta_0(\%)$	5%	ω (rad/s)	14.28
T (s)	0.44	$\omega^{2-\alpha}$ (rad/s)	53.96
α	0.5		
λ	3.5		

Tabla 44

Cálculo del coeficiente del disipador, configuración Doble Diagonal, modelo 01

NIVEL	ϕ_i	ϕ_i^2	ϕ_{rj}	Masa($\frac{t.s^2}{m}$)	Cos(Θ)	$\sum m_i \cdot \phi_i^2$	$\sum (\phi_{rj})^{1+\alpha} \cdot \cos(\theta_j)^{1+\alpha}$
1	0.300	0.090	0.300	53.816	0.948	4.843	0.152
2	0.533	0.284	0.233	50.503	0.878	14.365	0.093
3	0.733	0.538	0.200	50.525	0.878	27.171	0.074
4	0.900	0.810	0.167	48.376	0.878	39.185	0.056
5	1.000	1.000	0.100	28.160	0.878	28.160	0.026
						113.725	0.400

$$\sum C = 362.63 \left(t - \frac{s}{m} \right)$$

N=8 (Numero de Disipadores)

$$C_{Amort} = 45 \left(t - \frac{s}{m} \right)$$

Rigidez del brazo metálico

La rigidez del brazo metálico se calculó usando la siguiente expresión:

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

El perfil metálico estimado fue el HSS 7.5x0.500 siendo sus propiedades:

$$E = 29000Ksi = 20.4 * 10^6 \frac{t}{m}$$

$$A = 10.3in = 66.45 * 10^{-4} m^2$$

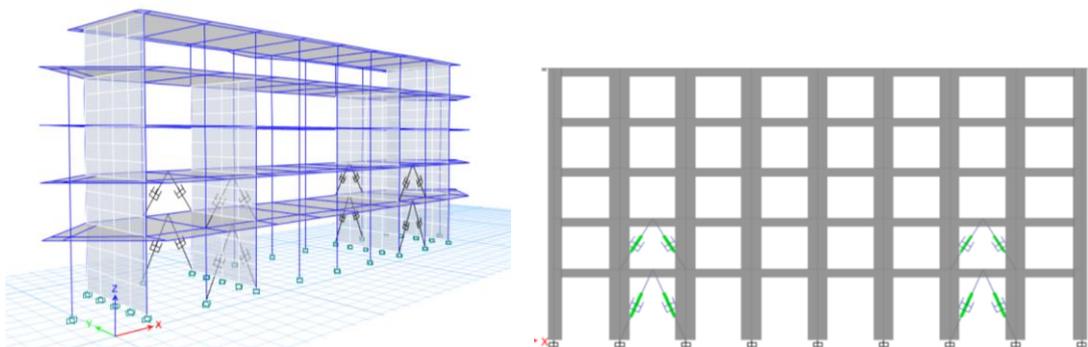
En la configuración Chevron Brace la longitud del brazo metálico es de 3.30 m, por lo que la rigidez del brazo metálico es de 41,078.18 t/m.

4.2.2.2.3.2.Ubicación del disipador

La instalación del disipador en configuración Chevron Brace fue en los dos primeros pisos, en los pórticos de los ejes 2-2 y 5-5.

Figura 42

Vista en 3D y en elevación de la instalación de los disipadores en configuración Doble Diagonal



4.2.2.2.3.3. Análisis tiempo historia no lineal

Con la incorporación de los disipadores de energía con “ $\alpha = 0.5$ ” (Disipadores No Lineales), se realizó el análisis tiempo historia no lineal, obteniendo así que las derivas de entrepiso son menores a la deriva objetiva de 0.058, así mismo se observa que los disipadores no rigidizaron la estructura manteniendo así constante el periodo de la estructura.

Tabla 45

Derivas de entrepiso con la incorporación de los disipadores de energía en configuración Doble Diagonal, modulo 01 reestructurado

PISO	DERIVA INELÁSTICA
5	0.0022
4	0.0036
3	0.0049
2	0.0056
1	0.0046

Tabla 46

Periodo de la edificación con los disipadores de energía en configuración Doble Diagonal

DIRECCIÓN	PERIODO DE LA EDIFICACIÓN
Dirección “X”	0.440

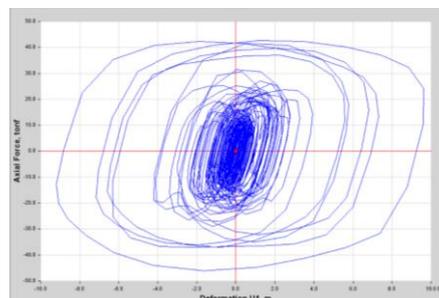
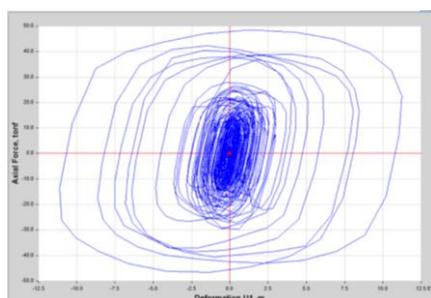
4.2.2.2.3.4. Comportamiento histeretico y energía disipada

Comportamiento histeretico

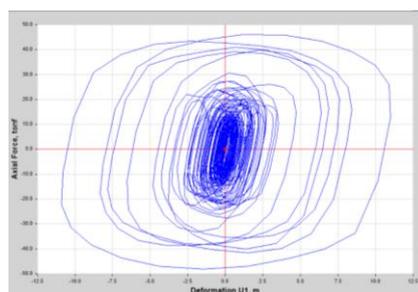
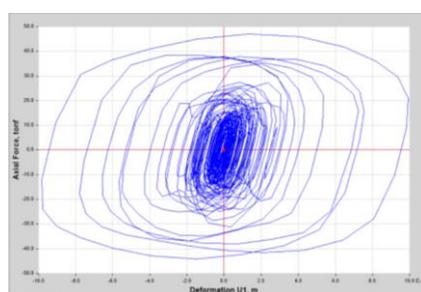
En las siguientes graficas “fuerza vs desplazamiento”, se puede observar el comportamiento histórico de los disipadores con $\alpha=0.5$, observándose así que los disipadores están trabajando de manera óptima, además se observa que para pequeños desplazamientos se generan grandes fuerzas axiales en los disipadores.

Figura 43

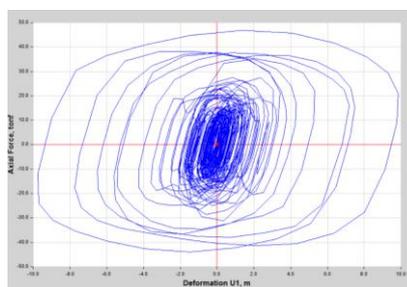
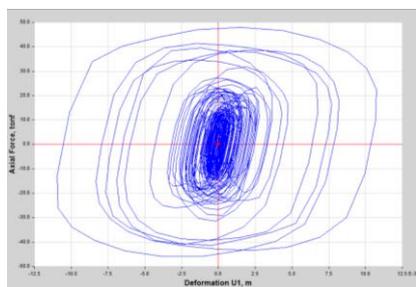
Curva histeretica fuerza - desplazamiento, configuración Doble Diagonal módulo 01 reestructurado



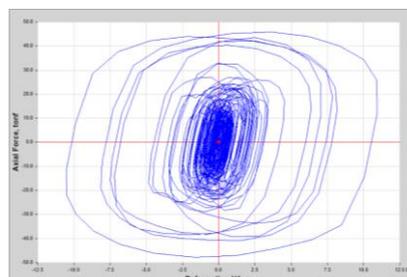
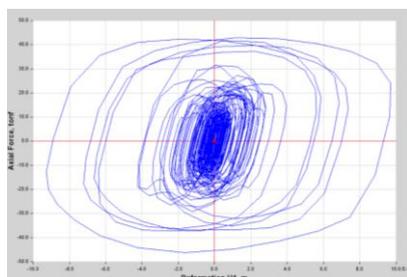
1er piso del pórtico 2-2 del lado izquierdo



2do piso del pórtico 2-2 del lado izquierdo



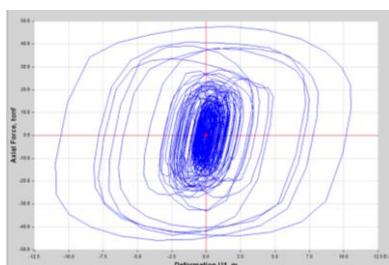
1er piso del pórtico 2-2 del lado derecho



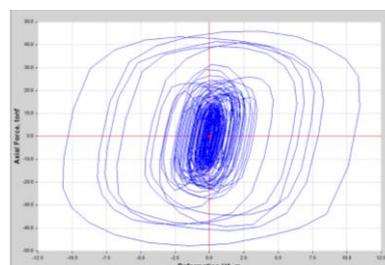
2do piso del pórtico 2-2 del lado derecho

Figura 43

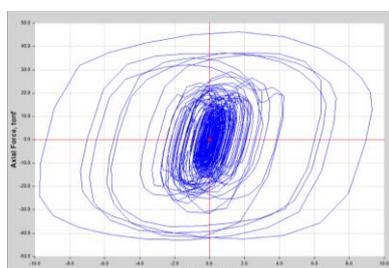
Curva histeretica fuerza - desplazamiento, configuración Doble Diagonal módulo 01 reestructurado



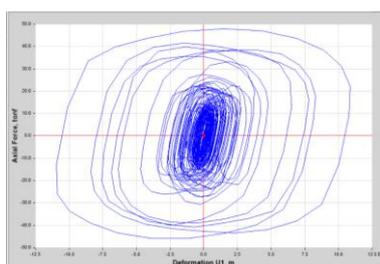
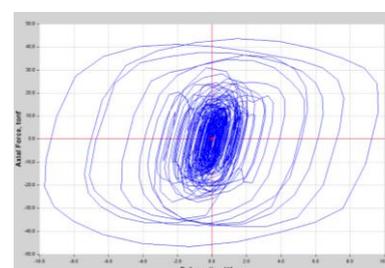
1do piso del pórtico 5-5 del lado derecho



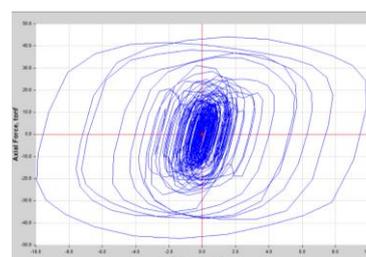
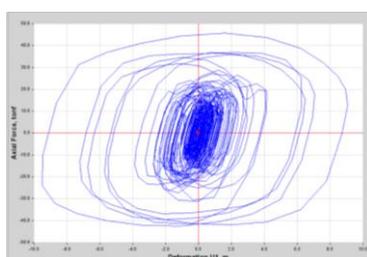
2do piso del pórtico 5-5 del lado derecho



1er piso del pórtico 5-5 del lado izquierdo



2do piso del pórtico 5-5 del lado izquierdo

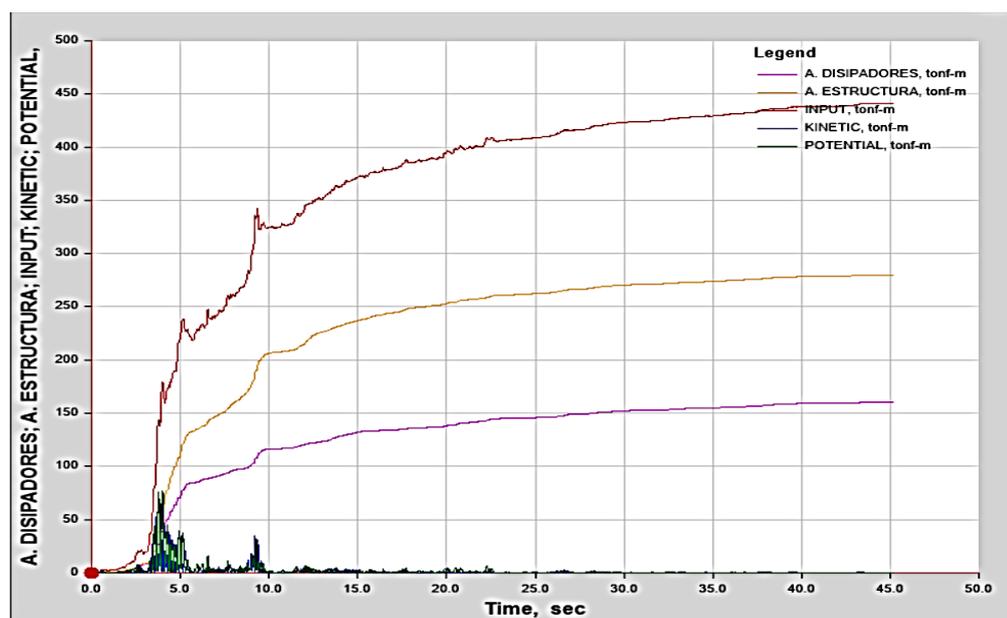


Energía disipada por los disipadores

En la siguiente figura se observa la energía ingresada a la estructura, producto de la fuerza sísmica, así mismo se observa la disipación de energía producida por la estructura misma y por los disipadores de energía.

Figura 44

Energía Disipada por los disipadores de energía en configuración Doble Diagonal del módulo 01 reestructurado



El porcentaje de disipación de energía por los disipadores es de 36% (152.30/423.65).

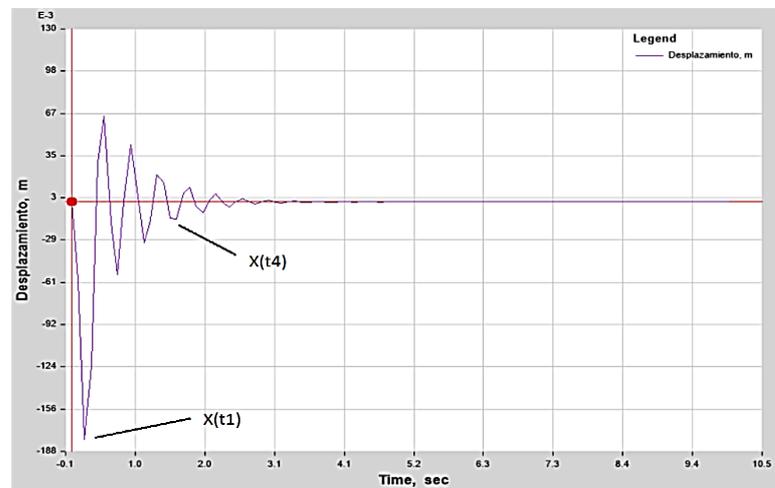
4.2.2.2.3.5. Amortiguamiento efectivo y reducción de la demanda sísmica

Amortiguamiento efectivo

El amortiguamiento efectivo de la estructura se calculó utilizando una función pulso y el método del decremento logarítmico.

Figura 45

Desplazamiento de la estructura ante una función pulso, configuración Doble Diagonal módulo 01 reestructurado



Utilizando el método del decremento logarítmico el amortiguamiento efectivo de la estructura es de 14.02%

Tabla 47

Datos para el cálculo del amortiguamiento del coeficiente del disipador, configuración Doble Diagonal, modelo 01

DATOS	
X(t=1)	0.1790
X(t=4)	0.0124
n (número de ciclos)	3
Amortiguamiento Efectivo (ξ_{eff})	14.02 %

Reducción del espectro sísmico debido al amortiguamiento añadido

La incorporación de los Disipadores de energía aumento el amortiguamiento en la edificación teniendo así un amortiguamiento efectivo de 14.02%, para lo cual le corresponde un valor de B_{V+1} igual a 1.32.

$$V_{\min} = \frac{V}{B_{V+1}} = \frac{V}{1.32} = 0.757V \cong 0.76V$$

$$V_{\min} = 0.75V$$

Se observa que con el amortiguamiento efectivo se logró reducir la fuerza cortante al valor de 0.76 V, lo cual será utilizado para realizar la verificación del diseño de la edificación.

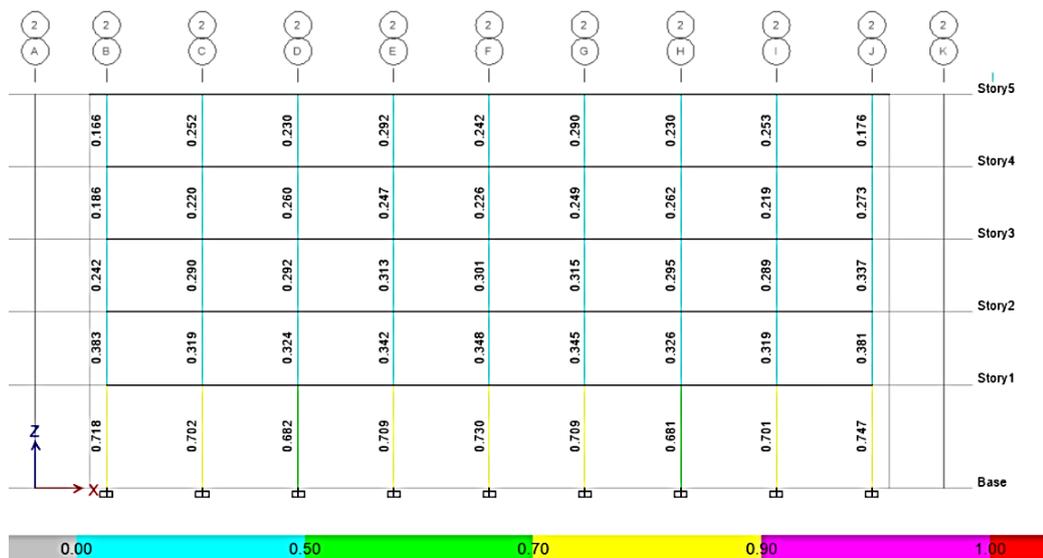
4.2.2.2.3.6.Verificación de los elementos estructurales

Verificación de la demanda – capacidad

Se observa que las columnas del eje 2-2 y del eje 5-5 cumplen con la demanda requerida.

Figura 46

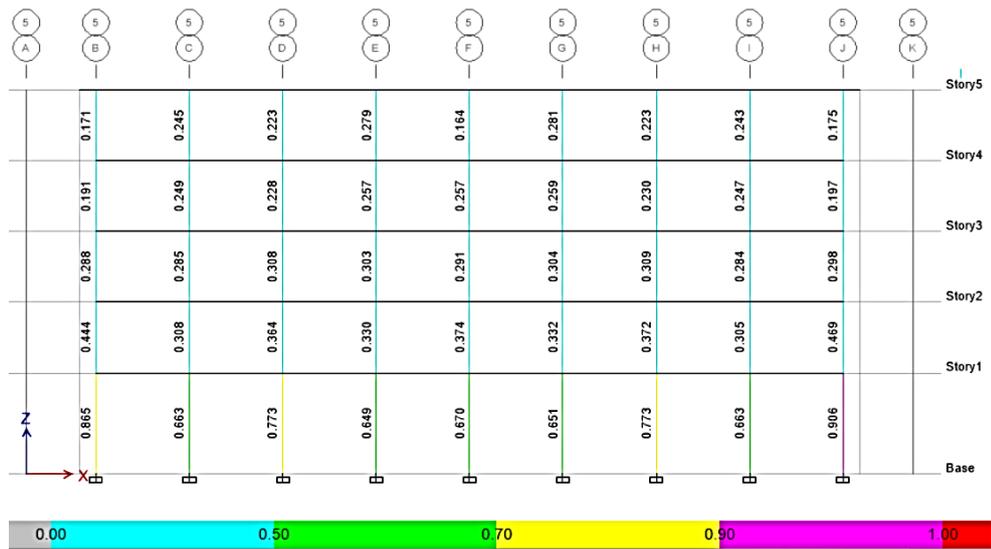
Relación demanda – capacidad del pórtico 2-2 y del pórtico 5-5, configuración Doble Diagonal módulo 01 reestructurado



Relación Demanda – capacidad del pórtico 2-2

Figura 46

Relación demanda – capacidad del pórtico 2-2 y del pórtico 5-5, configuración Doble Diagonal módulo 01 reestructurado



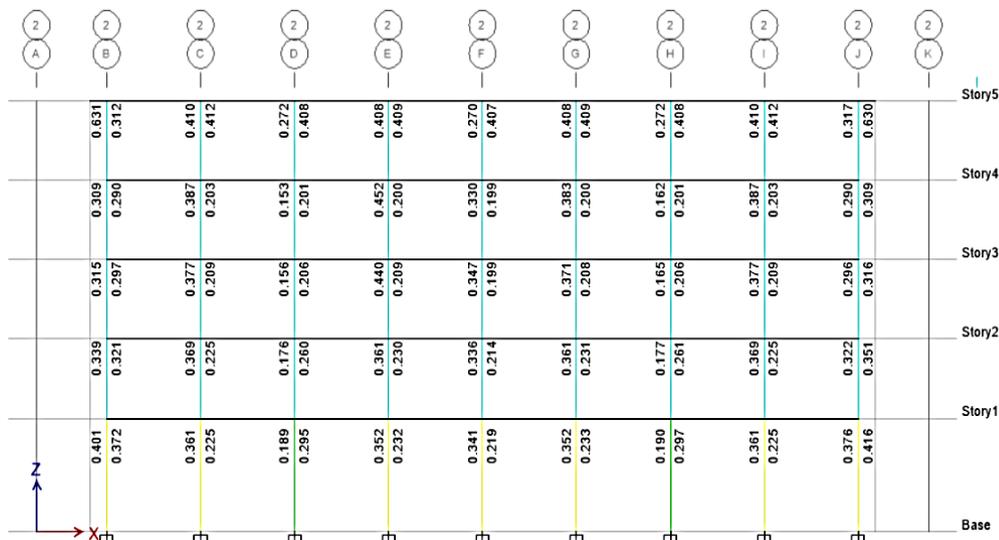
Relación Demanda – capacidad del pórtico 5-5

Verificación de viga débil – columna fuerte

Se verifica que los pórticos 2-2 y 5-5 cumplen con la verificación viga débil - columna fuerte.

Figura 47

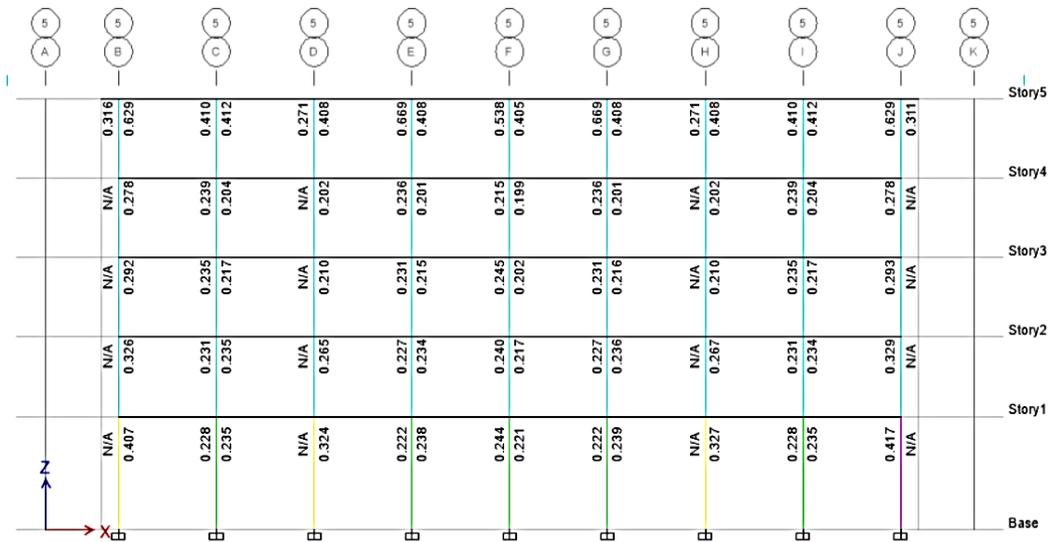
Relación Viga débil – Columna Fuerte del pórtico 2-2 y del pórtico 5-5, configuración Doble Diagonal módulo 01 reestructurado



Relación Viga débil – Columna Fuerte del pórtico 2-2

Figura 47

Relación Viga débil – Columna Fuerte del pórtico 2-2 y del pórtico 5-5, configuración Doble Diagonal módulo 01 reestructurado



Relación Viga débil – Columna Fuerte del pórtico 5-5

4.2.2.2.3.7. Detalle de los Disipadores

Los disipadores utilizados en la configuración Doble Diagonal fueron los siguientes:

Tabla 48

Fuerza axial de diseño en los disipadores de energía, configuración Doble Diagonal 01 reestructurado

NIVEL	PORTICO	DISIPADOR	FUERZA AXIAL (KIP)	FUERZA AXIAL DE DISEÑO (KIP)
2	Eje 5-5	K7	105.14	110.00
		K22	101.06	110.00
		K11	105.84	110.00
		K28	102.76	110.00
	Eje 2-2	K1	106.83	110.00
		K4	101.34	110.00
		K5	105.57	110.00
		K10	101.00	110.00
1	Eje 5-5	K9	101.89	110.00
		K20	96.24	110.00
		K12	100.85	110.00
	Eje 2-2	K26	97.37	110.00
		K3	103.6	110.00
		K2	94.16	110.00
		K6	103.25	110.00
		K8	94.52	110.00

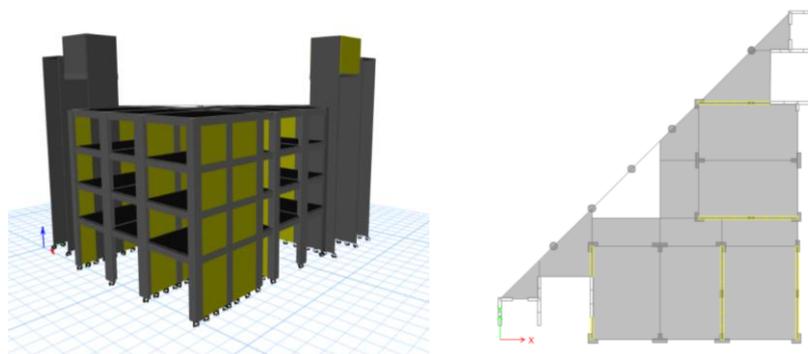
4.3. EVALUACIÓN DE LA EDIFICACIÓN DEL MÓDULO 02

4.3.1. ANÁLISIS DE LA EDIFICACIÓN SIN DISIPADORES DE ENERGÍA

Es una edificación de 4 niveles, aporticado y rigidizado con muros de albañilería confinada, los cuatro pisos serán destinada a la utilización de aulas, presenta dos asesores uno en cada extremo y un tanque elevado de 7 m³, la altura típica de todos los pisos es de 3.5 m, la profundidad del piso a la cara superior de la zapata es de 1.5 m, el concreto empleado es de 210 kg/cm² y la. La carga asignada a la estructura será según lo mencionado en la norma E020 del RNE, siendo así, carga viva en los salones 250 kg/cm², piso terminado 100 kg/cm².

Figura 48

Imagen 3D y en planta del módulo 02



Las propiedades del concreto, albañilería y del acero fueron las siguientes:

- Resistencia a la compresión del concreto (f'_c)		210 kg/cm ²
- Módulo de elasticidad del concreto (E_c)		217370.65 kg/cm ²
- Peso específico del concreto (γ_c)		2400 kg/m ³
- Resistencia a la compresión f'_m		65 kg/cm ²
- Resistencia de la albañilería al corte v'_m		8.1 kg/cm ²
- Esfuerzo de fluencia del acero F_y		4200 kg/cm ²
- Módulo de elasticidad del acero E_s		2000000 kg/cm ²

Las cargas asignadas a la edificación fueron según lo mencionado en la E020 del RNE

- Peso de la losa aligerada (E=20 cm)	300 kg/m ²
- Peso de piso terminado	100 kg/m ²
- Peso de carga viva en el aula	250 kg/m ²
- Peso de la carga viva en la azotea	100 kg/m ²
- Peso de los muros de tabiquería posterior	381 kg/m
- Peso de los muros de tabiquería frontal	175 kg/m
- Peso del tanque elevado (17m ³)	17000 ton

4.3.1.1. ANÁLISIS DINÁMICO ESPECTRAL

El análisis espectral nos servirá para poder determinar los desplazamientos relativos de entrepisos (derivadas), así como también las fuerzas internas en los elementos de la edificación. Según la E030 del RNE para realizar el análisis espectral a la edificación se tienen que establecer ciertos parámetros con la finalidad de elaborar el espectro del sismo.

Zonificación sísmica (Z)

La edificación analizada se encuentra en la ciudad de Huaraz, departamento de Áncash y le corresponde un factor de $Z=0.35g$

Condiciones geotécnicas

Para las condiciones Geotécnicas se tomó como referencia el estudio de mecánica de suelos del expediente técnico del proyecto, con la finalidad de realizar el modelamiento lo más similar posible, siendo así que para la zona de estudio el suelo presenta un perfil tipo 2 suelo intermedio cuyo factor de amplificación del suelo $S=1.15$, $T_p=0.6$ y $T_L=2$

Factor de amplificación sísmica (C)

El factor de amplificación sísmica se define de acuerdo a las características del suelo.

$$T < T_p, C = 2.5$$

$$T_p < T < T_L, C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right) \quad \text{Donde T es el periodo de la estructura}$$

$$T_L < T, C = 2.5 \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2} \right)$$

Categoría de la Edificación (U)

La edificación en estudio presente una categoría de Edificación Esencial cuyo factor de uso es de $U=1.5$

Sistema estructural y coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas

La edificación en estudio presenta dos sistemas estructurales, del tipo aporticado y del tipo albañilería confinada, debido a que la estructura es de pórticos de concreto rigidizados con muros de albañilería en ambas direcciones, siendo así que la norma E030 menciona que se debe tomar el menor valor del coeficiente básico de reducción (R_0), por ende le corresponde un valor de (R_0) igual a 3 debido a la albañilería.

Además, la edificación presenta irregularidad en planta, siendo estas irregularidades por diafragma y torsión extrema por ende les corresponde un valor de irregularidad en planta (I_p) de 0.85 y 0.60 respectivamente. Siendo así que la norma menciona que se debe tomar el menor valor de las irregularidades, por lo que a la edificación le corresponde un factor de irregularidad en planta $I_p=0.60$ debido a la torsión extrema.

Tabla 49

Sistema estructural y coeficiente de reducción para el módulo 02

Dirección	Albañilería Confinada	Coef. de Reduc. Básico. (R_0)	Irregularidad en planta (I_p)	Irregularidad en Altura (I_a)	Coef. de Reduc. ($R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$)
X	Albañilería Confinada	3	0.60	1	1.8
Y	Albañilería Confinada	3	0.60	1	1.8

Nota: La justificación de las Irregularidades se encuentra en el Anexo.

Tabla 50

Parámetros sísmicos del módulo 02

Zonificación	Z	0.35
Condiciones geotécnicas	S	1.15
Categoría de la edificación	U	1.5
Sistema estructural	R	$R_X = 1.8$ y $R_Y = 1.8$

Espectro de análisis de la edificación

Con los parámetros obtenidos, se procede a formar el Espectro Inelástico Pseudo Aceleración en ambas direcciones para poder realizar el análisis sísmico según lo indicado en la norma E030 del RNE.

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g$$

Figura 49

Espectro Pseudo Aceleración en la dirección “X” del módulo 02

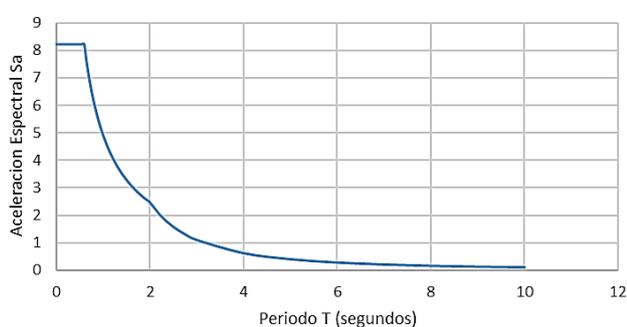
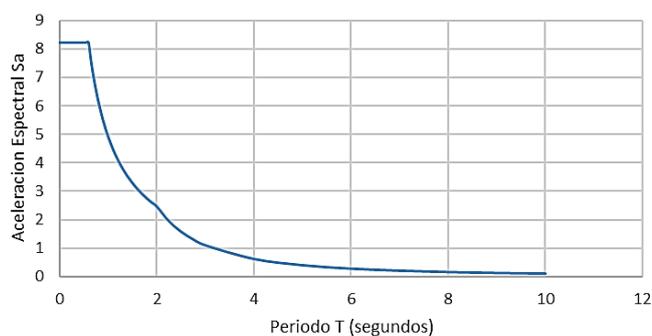


Figura 50

Espectro Pseudo Aceleración en la dirección “Y” del módulo 02



4.3.1.1.1. Resultado del análisis dinámico espectral

Desplazamientos laterales (derivadas de entrepiso)

Los desplazamientos laterales se obtienen multiplicando por 0.85R (Estructuras irregulares) los resultados del análisis lineal utilizando un espectro sísmico reducido,

logrando así estimar los desplazamientos inelásticos que puede tener la edificación ante el sismo de diseño.

Tabla 51

Deriva de entrepiso en las direcciones de análisis “X” e “Y” de la edificación, modulo 02

PISO	DERIVA EN “X”	DERIVA EN “Y”
4	0.0039	0.0033
3	0.0044	0.0033
2	0.0045	0.0031
1	0.0033	0.0019

Se observa que las derivas cumplen con lo establecido en el Norma E030 del RNE, siendo estas para un sistema estructuras del tipo albañilería confinada de 0.005.

4.3.1.1.2. Verificación de los elementos estructurales

Revisión de los elementos de estructurales de la edificación

Para el diseño de los elementos de la edificación, la fuerza cortante en el primer entrepiso obtenida del análisis dinámico espectral no debe ser menor al 90% (estructuras irregulares) de la fuerza cortante obtenida del análisis estático

Fuerza cortante del análisis estático lineal

Para estimar la fuerza cortante estático de la edificación se utilizó la siguiente expresión:

$$V = \frac{ZUCS}{R} \cdot P$$

Donde:

Z, U, S y R son los parámetros obtenidos para en análisis Dinámico espectral

C: Factor de Amplificación Sísmica.

P: peso de la edificación

Calculo del factor de amplificación sísmica

Del análisis modal se obtuvieron los periodos de la estructura.

Tabla 52

Periodos de la estructura del módulo 02, para los tres modos fundamentales

MODO	PERIODO	DIRECCIÓN MAYOR PARTICIPACIÓN
1	0.381	Dirección X
2	0.341	Dirección Z
3	0.278	Dirección Y

Además para un suelo que presenta los valores de $T_p = 0.6$ y $T_L = 2$, se observa que el periodo de la edificación es menor al periodo que define la plataforma del factor C ($T < T_p$) por lo cual el valor de $C=2.5$ en las direcciones de X e Y.

Calculo del peso de la edificación

Para la estimación del peso de la edificación se utilizó lo mencionado en la norma E030 el cual nos indica que para las edificaciones esenciales se debe adicionar a la carga muerta el 50% de la carga viva, el 25% de carga viva de azotea y 100% la carga del tanque de agua, siendo así que el peso de la estructura es de 1,931.16 t.

Con los parámetros obtenidos se procedió a calcular el factor de escala de la cortante.

Tabla 53

Factor de escalamiento de la cortante dinámica al 90% de la cortante estática, modulo 02

Dirección de Análisis	Cortante Estático	Cortante Dinámico	Factor de Escala al 90%
Dirección X	1619.28 t	965.46 t	1.509
Dirección Y	1619.28 t	1246.83 t	1.168

Combinaciones de carga

Para poder verificar que los elementos estructurales cumplan con la resistencia requerida, Se realizó las combinaciones de las cargas mencionadas en la norma E060.

Tabla 54

Combinaciones de cargas para verificar la resistencia de los elementos, (E060)

Combo	Cargas Actuantes	Combo	Cargas Actuantes
Combo 1	$1.4CM+1.7CV$	Combo 6	$0.9CM+CSx$
Combo 2	$1.25CM+1.25CV+CSx$	Combo 7	$0.9CM-CSx$
Combo 3	$1.25CM+1.25CV-CSx$	Combo 8	$0.9CM+CSy$
Combo 4	$1.25CM+1.25CV+CSy$	Combo 9	$0.9CM-CSy$
Combo 5	$1.25CM+1.25CV-CSy$		

Verificación de los elementos de concreto

Con las combinaciones de cargas, Se procedió a verificar los elementos de concreto de la edificación (vigas y columnas).

Verificación de la demanda – capacidad

Se realizó la verificación de la demanda capacidad del módulo 02.

Figura 51

Vista en planta de la edificación del módulo 02, del primer piso al cuarto piso

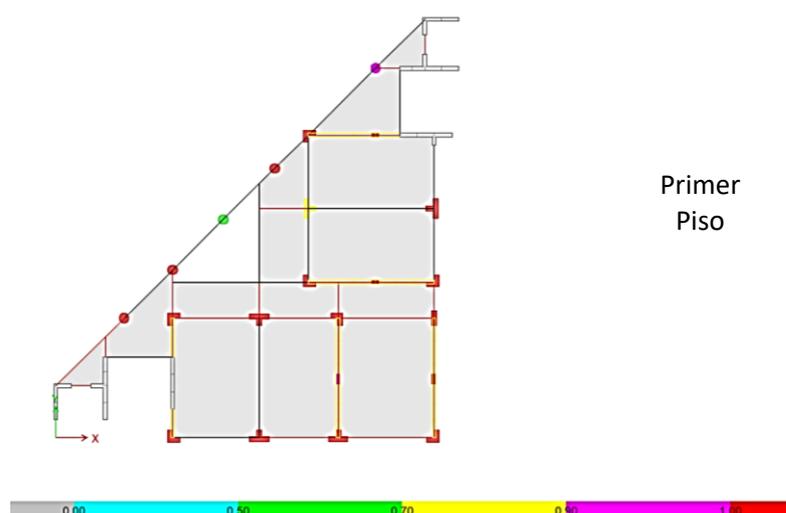
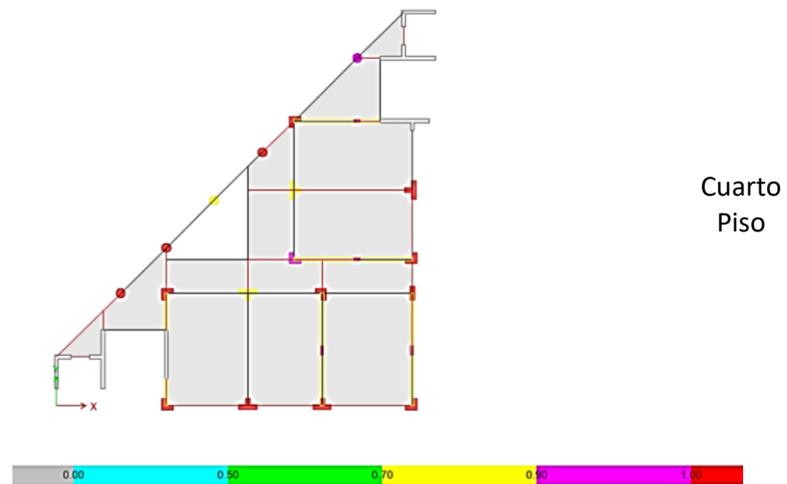
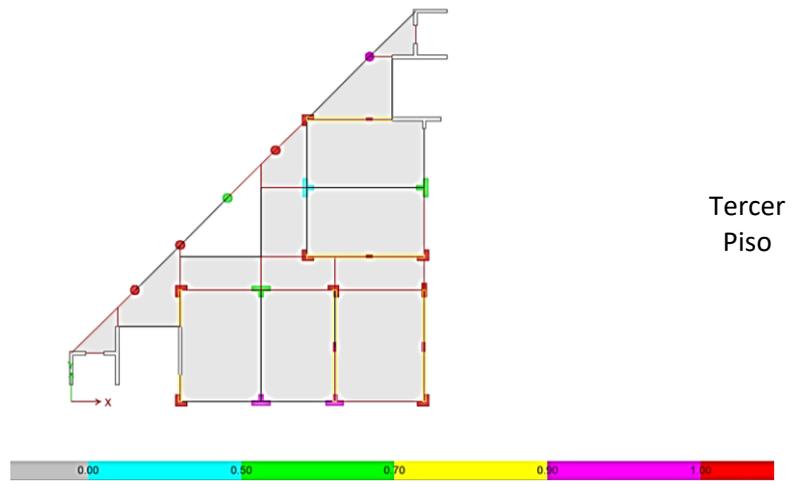
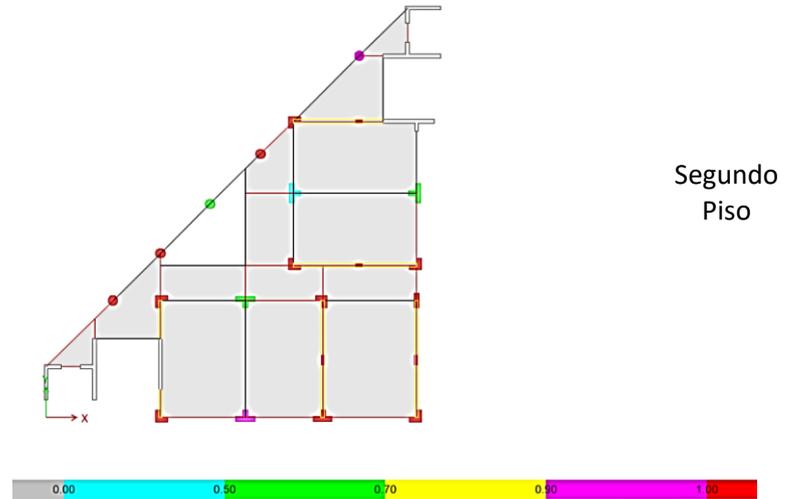


Figura 51

Vista en planta de la edificación del módulo 02, del primer piso al cuarto piso



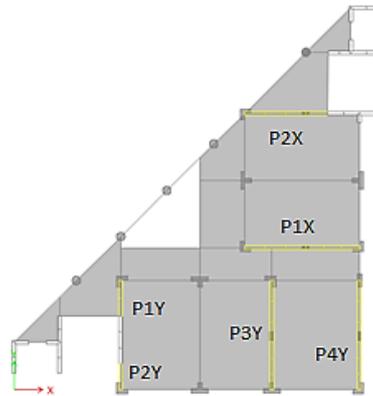
Se observa que gran porcentaje de las columnas no cumplen con la demanda requerida, así mismo las vigas no cumplen con la fuerza cortante que actúa sobre ellas.

Verificación de los elementos de albañilería

La verificación de los elementos de albañilería se realizó mediante lo establecido en norma E070.

Figura 52

Elementos de albañilería, para ser evaluadas



Esfuerzo axial máximo

El esfuerzo axial máximo (σ_m) producido por la carga de gravedad debe de cumplir la siguiente expresión.

$$\sigma_m = \frac{P_m}{L.t} \leq 0.2f'_m \left[1 - \left(\frac{h}{35t} \right)^2 \right] \leq 0.15f'_m$$

Donde:

P_m : carga gravitacional máxima de servicio en un muro, con el 100% de sobrecarga

L=Longitud total del muro de mampostería incluyendo las columnas

t=Espesor del muro de mampostería

f'_m = resistencia característica a compresión axial de la albañilería.

h: es la altura libre entre los elementos de arriostre horizontales o la altura efectiva de pandeo.

Control de fisuración

Consiste en evitar que los muros se fisuren ante los sismos moderados. Para ello debe verificarse que en cada entrepiso se cumpla la siguiente expresión con lo cual se controla la ocurrencia de fisuras por corte:

$$V_e \leq 0.55V_m \text{ (Fuerza Cortante Admisible)}$$

Donde:

$$V_m = 0.5V_m' * \alpha * t * L + 0.23P_g$$

$$\frac{1}{3} \leq \alpha = \frac{V_e * L}{M_e} \leq 1$$

- V_e Fuerza Cortante producida por el sismo moderado en el muro de análisis
- V_m Fuerza Cortante asociada al agrietamiento diagonal de la albañilería
- V_m' = resistencia característica a corte de la albañilería
- P_g = carga gravitacional de servicio, con sobrecarga reducida
- T = espesor del muro
- L = longitud total del muro
- α = factor de reducción de resistencia al corte por efectos de esbeltez
- V_e = fuerza cortante en un muro, obtenida del análisis elástico ante el sismo moderado
- M_e momento flector en un muro obtenido del análisis elástico ante el sismo moderado.

Verificación de la resistencia al corte del edificio

Con la finalidad de proporcionar una adecuada resistencia y rigidez al edificio, en cada entrepiso “i” y en cada dirección principal del edificio deberá cumplir lo siguiente:

$$\sum V_{mi} \geq V_{Ei}$$

Donde:

$\sum V_{mi}$ = sumatoria de resistencia al corte de los muros reforzados (confinados o armados) del entrepiso “i”.

V_{Ei} = fuera cortante en el entrepiso “i” del edificio producida por el sismo severo.
 Si $\sum V_{mi} \geq 3V_{Ei}$ El edificio se comportara elásticamente y se empleara refuerzo mínimo capaz de funcionar como arriostres y de soportar acciones perpendiculares al plano de la albañilería.

Después de realizar la verificación de los elementos de albañilería se detalla lo siguiente:

Tabla 55

Características y carga axial en los muros de albañilería en la dirección “X”, modulo 02

PISO	MURO	h	t	L	Pm (t)	Pg (t)
4	P1X	2.90	0.23	8.55	17.81	16.20
4	P2X	2.90	0.23	6.07	8.05	7.58
3	P1X	2.90	0.23	8.55	33.14	30.02
3	P2X	2.90	0.23	6.07	17.91	16.58
2	P1X	2.90	0.23	8.55	49.36	44.61
2	P2X	2.90	0.23	6.07	27.68	25.44
1	P1X	4.40	0.23	8.55	71.83	65.18
1	P2X	4.40	0.23	6.07	43.39	39.80

Tabla 56

Características y carga axial en los muros de albañilería en la dirección “Y”, modulo 02

PISO	MURO	h	t	L	Pm (t)	Pg (t)
4	P1Y	2.9	0.23	1.80	3.32	3.22
4	P2Y	2.9	0.23	2.50	4.92	4.73
4	P3Y	2.9	0.23	8.20	11.78	10.42
4	P4Y	2.9	0.23	8.40	9.47	8.75
3	P1Y	2.9	0.23	1.80	4.80	4.60
3	P2Y	2.9	0.23	2.50	8.65	8.07
3	P3Y	2.9	0.23	8.20	26.84	24.11
3	P4Y	2.9	0.23	8.40	20.46	18.99
2	P1Y	2.9	0.23	1.80	6.17	5.89
2	P2Y	2.9	0.23	2.50	12.39	11.40
2	P3Y	2.9	0.23	8.20	41.94	37.74
2	P4Y	2.9	0.23	8.40	31.44	29.17
1	P1Y	4.4	0.23	1.80	8.50	8.07
1	P2Y	4.4	0.23	2.50	18.35	16.76
1	P3Y	4.4	0.23	8.20	64.17	57.99
1	P4Y	4.4	0.23	8.40	48.23	44.87

Tabla 57

Verificación de los muros de albañilería, esfuerzo axial máximo, control de fisuración y agrietamiento diagonal en la dirección “X”, modulo 02

PISO	MURO	SISMO MODERADO		ESFUERZO AXIAL $O' = P_m / (t * L)$	RESISTENCIA AL CORTE V_m	SISMO SEVERO			ESFUERZO AXIAL MAXIMO		CONTROL DE FISURACION $V_e \leq 0.55 * V_m$	AGRIETAM. DIAGONAL $V_{mi} > V_{ui}$
		V_e (Ton)	M_e (Ton-m)			V_u	M_u	$0.2 * f_m * (1 - (H/35 * t)^2)$	$0.15 * f_m$			
4	P1X	122.58	115.92	9.06	83.37	245.15	231.83	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
4	P2X	91.41	47.15	5.76	58.29	182.81	94.30	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
3	P1X	174.86	219.58	16.85	86.55	349.71	439.15	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
3	P2X	102.50	69.62	12.83	60.36	204.99	139.24	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
2	P1X	212.00	323.52	25.10	89.90	424.00	647.03	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
2	P2X	113.07	80.76	19.83	62.39	226.13	161.52	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
1	P1X	169.50	388.04	36.53	94.63	339.01	776.07	91.16	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
1	P2X	74.40	54.13	31.08	65.70	148.80	108.26	91.16	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA



Tabla 58

Verificación de la resistencia global de la edificación en la dirección “X”, modulo 02

PISO	VE_i (t)	$\sum VM_i$ (t)	$\sum VM_i \geq VE_i$	$\sum VM_i / VE_i$	$\sum VM_i \geq 3VE_i$
4	677.9463	141.66	No resiste al corte del edificio	0.21	Edificio no elasticamente
3	1046.4493	146.90	No resiste al corte del edificio	0.14	Edificio no elasticamente
2	1305.9402	152.30	No resiste al corte del edificio	0.12	Edificio no elasticamente
1	1458.2474	160.33	No resiste al corte del edificio	0.11	Edificio no elasticamente

Tabla 59

Verificación de los muros de albañilería ante el esfuerzo axial máximo, control de fisuración y agrietamiento diagonal en la dirección “Y”, modulo 02

PISO	MURO	SISMO MODERADO		ESFUERZO AXIAL	RESISTENCIA AL CORTE	SISMO SEVERO		ESFUERZO AXIAL MAXIMO		CONTROL DE FISURACION	AGRIETAM. DIAGONAL	
		Ve(Ton)	Me(Ton-m)	$\sigma' = Pm/(t*L)$	Vm	Vu	Mu	$0.2*fm*(1-(H/35*t)^2)$	0.15*fm	Ve<=0.55*Vm	Vmi > Vui	
4	P1Y	21.15	8.24	8.02	17.51	42.30	16.47	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
4	P2Y	37.61	16.73	8.55	24.37	75.22	33.47	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
4	P3Y	80.53	63.54	6.24	78.78	161.06	127.09	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
4	P4Y	73.40	54.77	4.90	80.26	146.81	109.55	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
3	P1Y	27.26	10.91	11.59	17.82	54.52	21.82	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
3	P2Y	42.81	20.59	15.05	25.14	85.61	41.17	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
3	P3Y	106.27	114.42	14.23	81.93	212.55	228.84	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
3	P4Y	111.97	112.54	10.59	82.61	223.93	225.08	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
2	P1Y	32.47	13.29	14.91	18.12	64.95	26.59	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
2	P2Y	46.87	23.14	21.55	25.91	93.73	46.28	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
2	P3Y	127.52	170.05	22.24	85.06	255.05	340.10	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
2	P4Y	144.21	181.41	16.27	84.95	288.42	362.83	113.13	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
1	P1Y	17.38	6.62	20.54	18.62	34.76	13.25	91.16	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
1	P2Y	25.57	9.45	31.92	27.14	51.14	18.90	91.16	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
1	P3Y	103.37	217.68	34.02	89.72	206.75	435.36	91.16	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA
1	P4Y	124.68	254.95	24.96	88.57	249.35	509.89	91.16	97.500	CUMPLE	SE FISURA	SI SE AGRIETA



Tabla 60

Verificación de la resistencia global de la edificación en la dirección “Y”, modulo 02

PISO	VE_i (t)	$\sum V_{mi}$ (t)	$\frac{\sum V_{mi} \geq}{VE_i}$	$\frac{\sum V_{mi}}{VE_i}$	$\sum V_{mi} \geq 3VE_i$
4	689.938	200.92	No resiste al corte del edificio	0.29	Edificio no elásticamente
3	1058.6141	207.51	No resiste al corte del edificio	0.20	Edificio no elásticamente
2	1313.3902	214.05	No resiste al corte del edificio	0.16	Edificio no elásticamente
1	1457.1706	224.05	No resiste al corte del edificio	0.15	Edificio no elásticamente

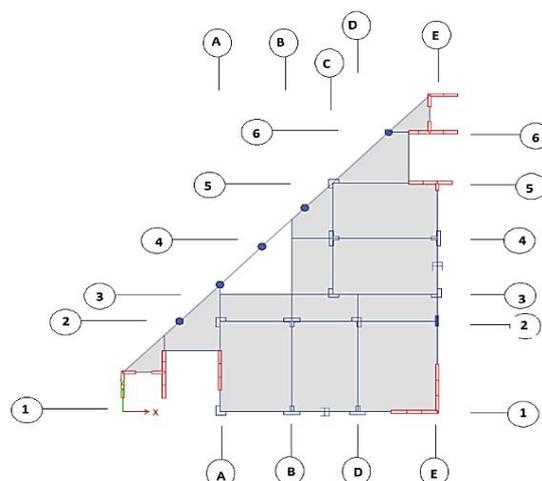
Después de realizar la verificación de la edificación planteada inicialmente, se observó que los elementos de concreto no cumplen con la demanda de diseño, así mismo los muros de albañilería confinada no cumplen con lo solicitado en la norma E070, siendo así que se propuso reestructurar la edificación.

4.3.1.1.3. Reestructuración del diseño inicial

Se decidió quitar los muros de albañilería debido a la poca densidad de muros que presenta la edificación, además de aumentar la ductilidad de la estructura. La estructura presenta Irregularidad Torsional Extrema, por ende, se corrigió dicha irregularidad. Para ello se verificó el centro de masa y el centro de rigidez y se corrigió tratando de minimizar la excentricidad. Dicha corrección se realizó colocando muros de concreto. En la siguiente figura se muestra la reestructuración del módulo 02.

Figura 53

Módulo 02 reestructurado con la colocación de muros de concreto



Así mismo se verifico el centro de masa y de rigidez del modelo reestructurado y se observa que se redujo la excentricidad en ambas direcciones.

Tabla 61

Centro de masa, rigidez y excentricidad del modelo inicial y del módulo 02 reestructurado

Nivel	dirección	Modelo inicial			Modelo reestructurado		
		CM	C. Rig.	Excentr.	CM	C.Rig.	Excentr.
4	X	15.9	15.0	0.8	15.9	15.9	0.1
	Y	9.7	14.8	5.1	9.7	9.3	0.4
3	X	15.9	14.4	1.6	16.0	15.8	0.2
	Y	9.6	15.3	5.7	9.4	9.7	0.3
2	X	15.9	13.6	2.4	16.0	15.5	0.5
	Y	9.6	15.8	6.3	9.4	10.3	0.8
1	X	16.0	12.4	3.6	16.0	14.7	1.3
	Y	9.5	16.5	6.9	9.3	11.3	2.0

Con la reestructuración de la edificación del módulo 02, se logró que la edificación no presente irregularidad torsional extrema, sin embargo, aún presenta irregularidad por diafragma debido a la arquitectura de esta. Debido a la colocación de

muros de concreto en ambas direcciones, el sistema estructural será del tipo muro estructural en ambas direcciones.

Tabla 62

Sistema estructural y coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas para el módulo 02 reestructurado

Dirección	Sistema Estructural	Coef. de Reduc. Básico. (R_0)	Irregularidad en planta (I_p)	Irregularidad en Altura (I_a)	Coef. de Reduc. ($R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$)
X	Muro Estructural	6	0.85	1	5.1
Y	Muro Estructural	6	0.85	1	5.1

Tabla 63

Parámetros sísmicos del módulo 02 reestructurado

Zonificación	Z	0.35
Condiciones geotécnicas	S	1.15
Categoría de la edificación	U	1.5
Sistema estructural	R	$R_X = 5.1$ y $R_Y = 5.1$

Se procedió a analizar la edificación mediante un análisis dinámico espectral, para ello se construyó el espectro pseudo aceleración formado a partir de los parámetros sísmicos calculados para el modelo 02 reestructurado, con lo cual se obtuvo los siguientes resultados.

4.3.1.1.4. Resultados

Tabla 64

Periodo de la edificación en la dirección “X”, “Y” y “Z” del módulo 02 reestructurado

DIRECCIÓN	PERIODO DE LA EDIFICACIÓN
DIRECCIÓN X	0.443
DIRECCIÓN Y	0.381
DIRECCIÓN Z	0.331

Tabla 65

Deriva de entrepiso en las direcciones de análisis “X” e “Y” de la edificación, modulo 2 reestructurado

PISO	DERIVA EN “X”	DERIVA EN “Y”
4	0.0052	0.0046
3	0.0052	0.0045
2	0.0045	0.0039
1	0.0025	0.0021

Se observa que las deriva en la dirección “X” e “Y” cumple con lo establecido en el E030

Diseño de los muros de concreto

Se realizó el diseño de los muros de concreto colocados para la reestructuración, Para el diseño de muro se procedió a escalar la fuerza cortante obtenida del análisis espectral al 90% de la fuerza obtenida del análisis estático, así mismo se procedió a diseñar según lo indicado en la norma E060.

Diseño del muro en la dirección "X"

Tabla 66

Geometría y fuerzas actuantes de diseño, muro en "X" módulo 02

H(m)	15.00	Fy(kg/cm ²)	4200	Mua(t-m)	697.31
L(m)	3.50	t (m)	0.25	Vua (t)	145.53
∅	0.85	Ag (m ²)	0.875		
F'c(kg/cm ²)	210	Pua (t)	439.93		

Tabla 67

Combinaciones de carga según el E060, muro en "X" módulo 02

Combinación	Fuerza	Momento	Combinación	Fuerza	Momento
	Axial (t)	(t-m)		Axial (t)	(t-m)
1.4cm+1.7cv	289.80	26.77	0.9cm+csx	218.70	662.67
1.25cm+1.25cv+csx	196.58	652.06	0.9cm-csx	218.70	662.67
1.25cm+1.25cv-csx	196.58	652.06	0.9cm+csy	325.51	519.65
1.25cm+1.25cv+csy	246.08	509.04	0.9cm-csy	325.51	519.65
1.25cm+1.25cv-csy	246.08	509.04			

Figura 54

Plano del muro en la dirección "X", modulo 2

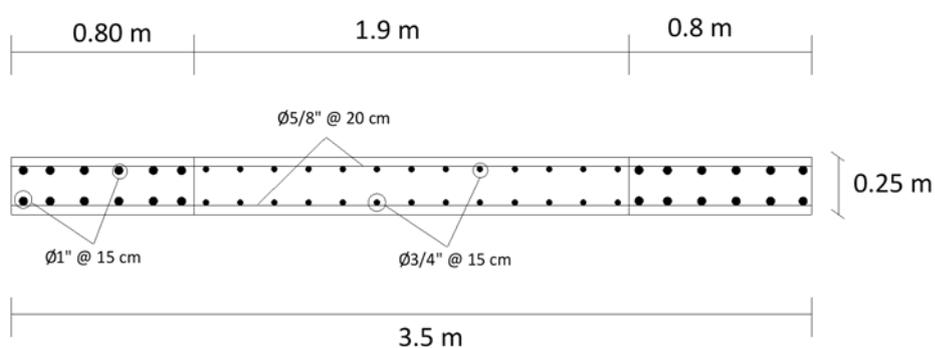
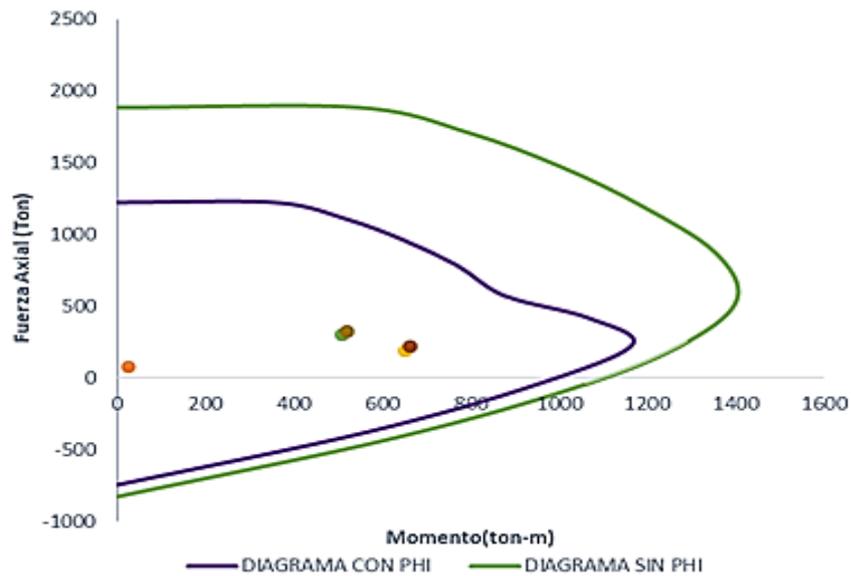


Figura 55

Diagrama de interacción del muro en la dirección “X”, modulo 2



Se observa que todas las combinaciones de resistencia, están dentro del diagrama de interacción, cumpliendo así con el diseño.

Diseño por cortante

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_u \geq V_{ua} \frac{M_n}{M_{ua}}$$

$$\frac{M_n}{M_{ua}} \leq R(\text{coef. Red. Simic})$$

$$V_c = 0.17 \sqrt{f'_c} \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) b_w d = 0.53 \sqrt{f'_c} \left(1 + \frac{0.0071 N_u}{A_g}\right) b_w d \quad (\text{kg/cm}^2)$$

$$\phi V_s = \phi b_w d \rho_t f_y$$

Tabla 68

Datos del muro para el diseño por corte, muro en “X” modulo 02

Nu(t)	439.93	Vu(t)	284.27
bw*d(m ²)	0.875	Vs(t)	227.15
Vc(t)	67.12	ρt	0.0073
ØVc(t)	57.12	As (cm ² /m)	18.18
Mn (t-m)	1,362.08		

Doble malla $A_s=9.09 \text{ cm}^2/\text{m}$

Acero de 5/8”, $A_s=1.99 \text{ cm}^2$

$$S = \frac{1.99}{9.09} * 100m = 21.89cm$$

S=20 cm

Se colocarán varillas de 5/8” a cada 20 cm de distancia.

Verificación de la cuantía mínima del acero vertical y horizontal

Elementos de borde

Acero vertical colocada:

N.º de varillas de 1” = 12

Área de varilla de 1” = 5.10 cm²

Cuantía colocada = $A_s=12*5.10/ (80*25) = 0.0306 > 0.0025$ (cumple)

Acero horizontal colocada:

N.º de varillas de 5/8” en 1 m de longitud @ 0.175 = 5

Área de varilla de 5/8” = 1.99 cm²

Cuantía colocada = $A_s=10*1.99/ (100*25) = 0.0079 > 0.0025$ (cumple)

Alma del muro

Acero vertical colocada:

N.º de varillas de 3/4" = 26

Área de varilla de 3/4" = 2.84 cm²

Cuantía colocada = $A_s = 26 * 2.84 / (240 * 25) = 0.012 > 0.0025$ (cumple)

Acero horizontal colocada:

Nº de varillas de 5/8" en 1 m de longitud @ 0.175 = 5

Área de varilla de 5/8" = 1.99 cm²

Cuantía colocada = $A_s = 10 * 1.99 / (100 * 25) = 0.0079 > 0.0025$ (cumple)

Diseño del Muro en la dirección "Y"

Tabla 69

Geometría y Fuerzas actuantes de Diseño, muro en "Y" módulo 02

H(m)	15.00	Fy(kg/cm ²)	4200	Mua(t-m)	783.72
L(m)	4.00	t (m)	0.25	Vua (t)	166.63
∅	0.85	Ag (m ²)	0.875		
F'c (kg/cm ²)	210	Pua (t)	483.31		

Tabla 70

Combinaciones de Carga según el E060, muro en "Y" módulo 02

Combinación	Fuerza Axial (t)	Momento (t-m)	Combinación	Fuerza Axial (t)	Momento
1.4cm+1.7cv	110.45	47.70	0.9cm+csx	265.36	676.21
1.25cm+1.25cv+csx	228.17	695.27	0.9cm-csx	265.36	676.21
1.25cm+1.25cv-csx	228.17	695.27	0.9cm+csy	329.50	764.66
1.25cm+1.25cv+csy	292.30	783.72	0.9cm-csy	329.50	764.66
1.25cm+1.25cv-csy	292.30	783.72			

Figura 56

Plano del muro en la dirección “Y”

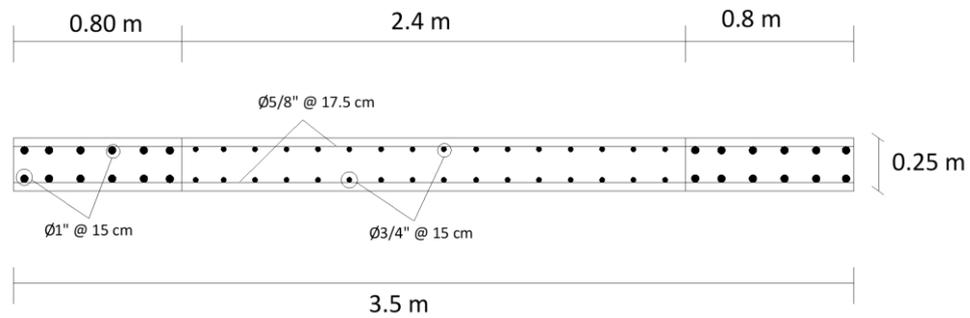
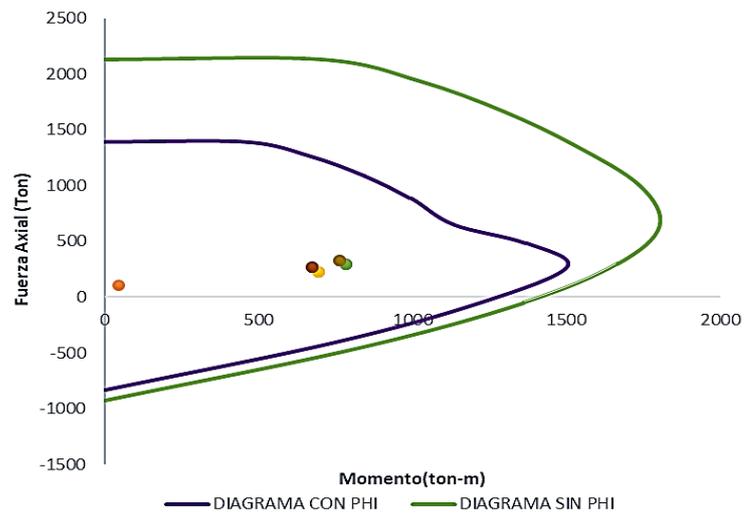


Figura 57

Diagrama de interacción del muro en la dirección “Y”



Nota: Se observa que todas las combinaciones de resistencia, están dentro del diagrama de interacción, cumpliendo así con el diseño

Diseño por cortante

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_u \geq V_{ua} \frac{M_n}{M_{ua}}$$

$$\frac{M_n}{M_{ua}} \leq R(\text{coef. Red. Simic})$$

$$V_c = 0.17\sqrt{f'_c}\left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right)b_w d = 0.53\sqrt{f'_c}\left(1 + \frac{0.0071N_u}{A_g}\right)b_w d \quad (\text{kg/cm}^2)$$

$$\phi V_s = \phi b_w d \rho_t f_y$$

Tabla 71

Datos del muro para el diseño por corte, muro en “Y” modulo 02

Nu(t)	483.31	Vu(t)	370.06
bw*d(m ²)	1.00	Vs(t)	304.77
Vc(t)	76.80	ρt	0.0085
ϕVc(t)	65.28	As (cm ² /m)	21.34
Mn (t-m)	1,740.50		

Doble malla As=10.67 cm²/m

Acero de 5/8”, As=1.99 cm²

$$S = \frac{1.99}{10.67} * 100m = 18.65cm$$

S=17.5 cm

Se colocarán varillas de 5/8” a cada 17.5 cm de distancia.

Verificación de la cuantía mínima del acero vertical y horizontal

Elementos de borde

Acero vertical colocada:

N.º de varillas de 1” = 12

Área de varilla de 1” = 5.10 cm²

Cuantía colocada = As=12*5.10/ (80*25) = 0.0306 > 0.0025 (cumple)

Acero horizontal colocada:

N.º de varillas de 5/8” en 1 m de longitud @ 0.175 = 6

Área de varilla de 5/8” = 1.99 cm²

Cuantía colocada = $A_s = 12 * 1.99 / (100 * 25) = 0.0095 > 0.0025$ (cumple)

Alma del Muro

Acero vertical colocada:

N.º de varillas de 3/4" = 32

Área de varilla de 3/4" = 2.84 cm²

Cuantía colocada = $A_s = 32 * 2.84 / (240 * 25) = 0.0151 > 0.0025$ (cumple)

Acero horizontal colocada:

N.º de varillas de 5/8" en 1 m de longitud @ 0.175 = 6

Área de varilla de 5/8" = 1.99 cm²

Cuantía colocada = $A_s = 12 * 1.99 / (100 * 25) = 0.0095 > 0.0025$ (cumple)

4.3.1.1.5. Verificación de los elementos estructurales

Verificación de la demanda – capacidad

Se verifico los elementos de la edificación del módulo 02 reestructurado, observándose que el comportamiento sismorresistente de la edificación mejoro, logrando así que algunos elementos estructurales cumplan con el diseño, sin embargo, algunos elementos no cumplen, por lo que se colocara disipadores de energía para así lograr cumplir con los requerimientos del RNE.

Figura 58

Vista en planta de la edificación módulo 02 reestructurado

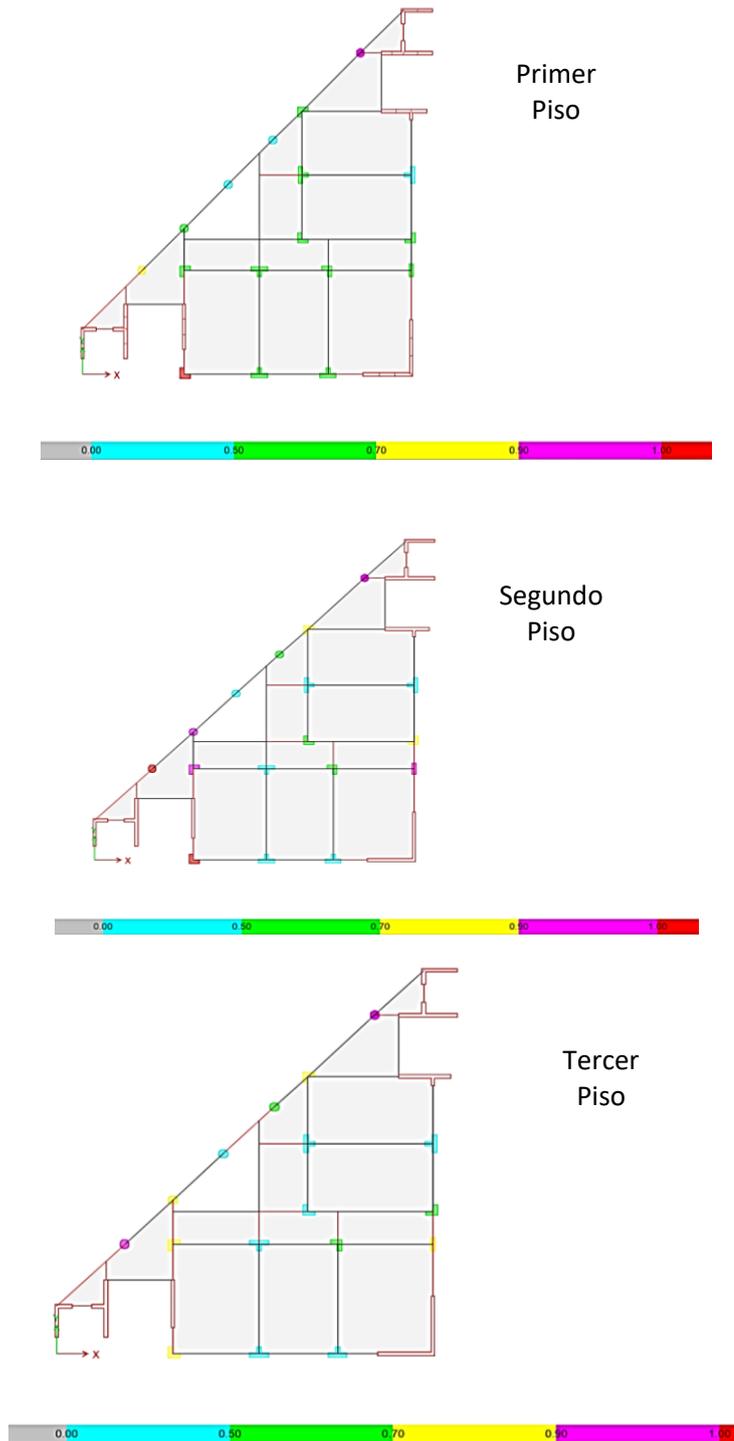
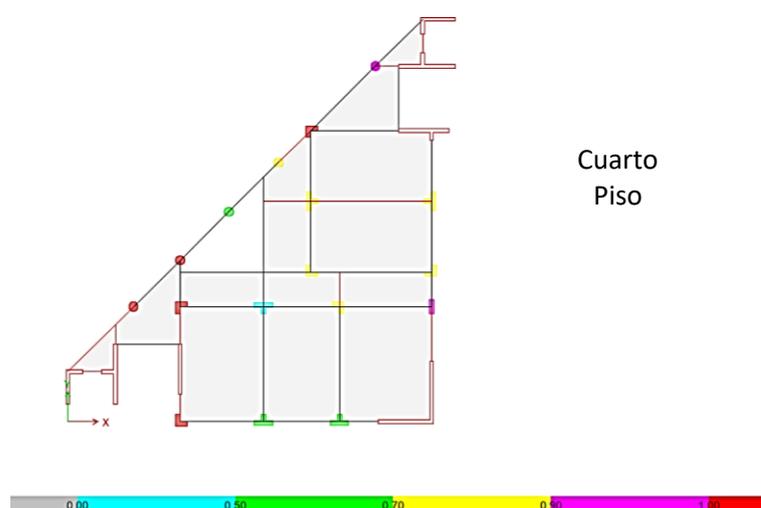


Figura 58

Vista en planta de la edificación módulo 02 reestructurado



4.3.2. ANÁLISIS DE LA EDIFICACIÓN CON DISIPADORES DE ENERGÍA

Después de realizar la reestructuración del modelo 02, se procedió a incorporar disipadores de energía en ambas direcciones, para ello se necesitó elegir un registro de aceleración del terreno óptimo para realizar dicho diseño.

4.3.2.1. ELECCIÓN DEL REGISTRO SÍSMICO PARA EL DISEÑO DE LOS DISIPADORES

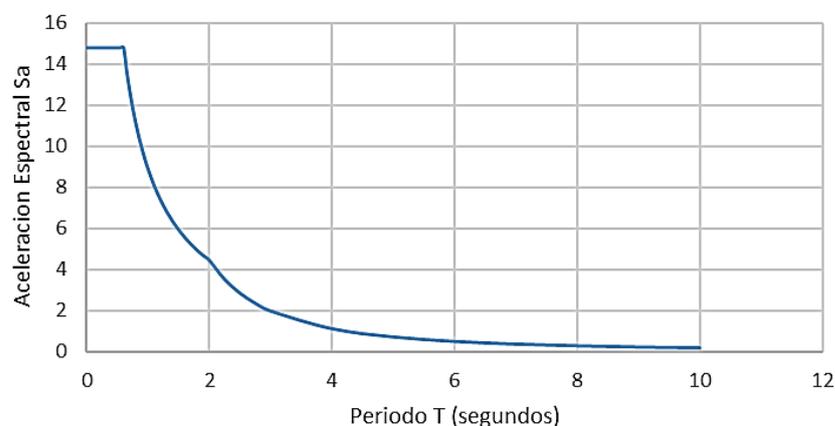
La elección del registro sísmico para el diseño de los disipadores de realizo de la misma manera que se realizó en el análisis del módulo 01.

4.3.2.1.1. Análisis dinámico espectral ($R=1$)

Con los parámetros obtenidos se procedió a construir el espectro de diseño con un factor de reducción sísmica igual a 1 ($R=1$).

Figura 59

Espectro de diseño con R=1, modulo 02 reestructurado



Analizando la Estructura con el espectro de diseño con R=1, se Obtuvo las siguientes derivas:

Tabla 72

Derivas de entrepiso ante un espectro de diseño con R=1, modulo 02 reestructurado

PISO	DERIVA EN "X"	DERIVA EN "Y"
4	0.0062	0.0054
3	0.0061	0.0052
2	0.0053	0.0045
1	0.0029	0.0025

4.3.2.1.2. *Análisis tiempo historia lineal*

Para el análisis TH lineal se utilizó los mismos registros sísmicos utilizados en el análisis del módulo 01(LIMA 1966, ANCASH 1970, ICA 2007), los cuales fueron normalizaron al valor máximo del lugar de estudio (0.35g) y escaladas ante un espectro de diseño con un R=1, así mismo se establecidos dos casos para cada registro (CASO 1 y CASO 2).

Tabla 73

Derivas de entrepiso del análisis tiempo historia en la dirección “X”, para los conjuntos de registros de aceleraciones ICA 2007, LIMA 1966, ANCASH 1970, modulo 02 reestructurado

NIVEL	ICA		LIMA		ANCASH	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
4	0.0069	0.0045	0.0062	0.0051	0.0068	0.0071
3	0.0067	0.0046	0.0061	0.0048	0.0065	0.0070
2	0.0058	0.0043	0.0055	0.0041	0.0057	0.0061
1	0.0030	0.0025	0.0031	0.0023	0.0031	0.0033

Tabla 74

Derivas de entrepiso del análisis tiempo historia en la dirección “Y”, para los conjuntos de registros de aceleraciones ICA 2007, LIMA 1966, ANCASH 1970, modulo 02 reestructurado

NIVEL	ICA		LIMA		ANCASH	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
4	0.0044	0.0061	0.0045	0.0051	0.0061	0.0049
3	0.0041	0.0061	0.0042	0.0050	0.0060	0.0047
2	0.0035	0.0055	0.0036	0.0045	0.0053	0.0041
1	0.0019	0.0031	0.0019	0.0026	0.0030	0.0024

Con la finalidad de Obtener el componente de aceleraciones del terreno más óptimo con el cual realizar el diseño de los disipadores de energía se procedió a calcular el factor de relación, siendo esta calculada dividiendo las derivas del análisis TH Lineal sobre las derivas de análisis espectral con R=1.

Tabla 75

Factor de relación, deriva TH Lineal/Deriva espectro de diseño con R=1 en la dirección “X”, módulo 02 reestructurado

NIVEL	ICA		LIMA		ANCASH	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
4	1.1254	0.7285	1.0084	0.8366	1.0983	1.1599
3	1.1000	0.7666	1.0144	0.7989	1.0790	1.1481
2	1.0824	0.8074	1.0408	0.7649	1.0679	1.1427
1	1.0543	0.8668	1.0734	0.8045	1.0626	1.1370

Tabla 76

Factor de relación, deriva TH Lineal/Deriva espectro de diseño con R=1 en la dirección “Y”, módulo 02 reestructurado.

NIVEL	ICA		LIMA		ANCASH	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
4	0.8156	1.1211	0.8259	0.9409	1.1196	0.8999
3	0.7888	1.1649	0.8054	0.9619	1.1399	0.8935
2	0.7738	1.2066	0.7883	0.9888	1.1637	0.9098
1	0.7724	1.2648	0.7680	1.0348	1.1964	0.9636

De ambas tablas, se observa que el registro de aceleraciones más óptimo en ambas direcciones es el de Áncash Caso 1.

4.3.2.1.3. Deriva objetiva y amortiguamiento

Del análisis TH lineal se obtuvo que la deriva máxima de entrepiso es de 0.0068 en la dirección “X” y de 0.0061 en la dirección “Y”, para el registro sísmico Ancash Caso 1.

Deriva objetiva

La deriva objetiva se determinó teniendo en cuenta las recomendaciones del FEMA 274 para un nivel de resguardo de vida, para lo cual según el comité VISION 2000 del SEAOC se espera un daño moderado, siendo así que según Hazus para una edificación del tipo C2M (Muro Estructural) la deriva máxima para un daño moderado es de 0.0056 la cual será nuestra deriva objetiva en ambas direcciones.

Determinación del amortiguamiento efectivo

Para la determinación del amortiguamiento efectivo usaremos la siguiente expresión para obtener el factor B.

$$B = \frac{\text{Deriva Máxima}}{\text{Deriva Objetiva}}$$

$$B_x = \frac{0.0068}{0.0056} = 1.21$$

$$B_y = \frac{0.0061}{0.0056} = 1.09$$

Con el valor del factor B se estimó el amortiguamiento efectivo.

$$B = \frac{2.31 - 0.41 \ln(5)}{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}$$

Para la dirección “X”

$$B_x = 1.21 = \frac{2.31 - 0.41 \ln(5)}{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}$$

$$\beta_{eff} = 10.15\% \approx 11\%$$

$$\beta_{eff} = \beta_0 + \beta_{vis}$$

Para la dirección “Y”

$$B_y = 1.09 = \frac{2.31 - 0.41 \ln(5)}{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}$$

$$\beta_{eff} = 7.2\% \approx 8\%$$

$$\beta_{eff} = \beta_0 + \beta_{vis}$$

Teniendo en cuenta que el amortiguamiento inherente de la estructura (β_0) se estima un 5% entonces el amortiguamiento viscoso que añaden los disipadores (β_{vis}) será de 6% en la dirección “X” y de 3% en la Dirección “Y”, para lo cual se usara un amortiguamiento de 6% en ambas direcciones.

4.3.2.2. INCORPORACIÓN DE LOS DISIPADORES DE ENERGÍA EN LA EDIFICACIÓN

4.3.2.2.1. Configuración Chevron Brace

4.3.2.2.1.1. Propiedades del disipador

Las propiedades del disipador serán el coeficiente de amortiguamiento (C), la rigidez del brazo metálico (K) y el coeficiente de velocidad del disipador (α) el cual será iguala 0.5 para disipadores no lineales.

Coefficiente de amortiguamiento

El coeficiente de amortiguamiento se calcula para cada dirección donde se colocará el disipador de energía, en el modelo 02 se colocó el disipador en la dirección “X”, “Y” y en el pórtico diagonal, siendo así que el coeficiente de amortiguamiento a usarse para los disipadores del pórtico diagonal será el mayor que resulte de los valores calculados para las direcciones “X” e “Y”, las cuales se calcularon utilizando la siguiente formula:

$$\beta_{visc.} = \frac{\sum_j \lambda C_j \phi_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j}{2\pi A^{1-\alpha} W^{2-\alpha} \sum_i m_i \phi_i^2}$$

Tabla 77

Datos para el cálculo del amortiguamiento del coeficiente del disipador en la dirección “X”, configuración Chevron Brace, modelo 02

$\beta_{eff}(\%)$	11%	A (m)	0.0517
$\beta_{visc}(\%)$	6%	$A^{1-\alpha}$ (m)	0.2275
$\beta_0(\%)$	5%	ω (rad/s)	14.18
T (s)	0.443	$\omega^{2-\alpha}$ (rad/s)	53.41
α	0.5		
λ	3.5		

Tabla 78

Calculo del coeficiente de amortiguamiento del disipador en la dirección “X”, configuración Chevron Brace, modelo 02

NIVEL	ϕ_i	ϕ_i^2	ϕ_{rj}	Masa $(\frac{t \cdot s^2}{m})$	Cos(Θ)	$\sum m_i \cdot \phi_i^2$	$\sum (\phi_{rj})^{1+\alpha} \cdot \cos(\theta_j)^{1+\alpha}$
1	0.192	0.037	0.192	37.647	1.000	1.392	0.084
2	0.462	0.213	0.269	36.212	1.000	7.714	0.140
3	0.731	0.534	0.269	36.212	1.000	19.338	0.140
4	1.000	1.000	0.269	26.904	1.000	26.904	0.140
						55.348	0.503

$$\sum C = 144.06 \left(t - \frac{S}{m} \right)$$

N=2 (Numero de Disipadores)

$$C_{Amort} = 72 \left(t - \frac{S}{m} \right)$$

Tabla 79

Datos para el cálculo del amortiguamiento del coeficiente del disipador en la dirección “Y”, configuración Chevron Brace, modelo 02

$\beta_{eff}(\%)$	11%	A (m)	0.0444
$\beta_{Visc}(\%)$	6%	$A^{1-\alpha}$ (m)	0.2108
$\beta_0(\%)$	5%	ω (rad/s)	16.49
T (s)	0.381	$\omega^{2-\alpha}$ (rad/s)	66.97
α	0.5		
λ	3.5		

Tabla 80

Calculo del coeficiente de amortiguamiento del disipador en la dirección “Y”, configuración Chevron Brace, modelo 02

NIVEL	ϕ_i	ϕ_i^2	ϕ_{rj}	Masa $\left(\frac{t \cdot s^2}{m}\right)$	Cos(Θ)	$\sum m_i \cdot \phi_i^2$	$\sum (\phi_{rj})^{1+\alpha} \cdot \cos(\theta_j)^{1+\alpha}$
1	0.211	0.044	0.211	37.647	1.000	1.669	0.097
2	0.474	0.224	0.263	36.212	1.000	8.125	0.135
3	0.737	0.543	0.263	36.212	1.000	19.661	0.135
4	1.000	1.000	0.263	26.904	1.000	26.904	0.135
						56.358	0.502

$$\sum C = 171.11 \left(t - \frac{S}{m} \right)$$

N=2 (Numero de Disipadores)

$$C_{Amort} = 86 \left(t - \frac{S}{m} \right)$$

Rigidez del brazo metálico

El cálculo de rigidez del brazo metálico se calculó de la siguiente manera:

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

Para la estimación del brazo metálico se utilizó un perfil HSS 7.5x0.500 siendo sus propiedades:

$$E = 29000Ksi = 20.4 * 10^6 \frac{t}{m}$$

$$A = 10.3in = 66.45 * 10^{-4} m^2$$

El valor de la rigidez del brazo metálico para todos los disipadores en la estructura, fue la misma. Cuyo valor se calculó como el promedio de la rigidez en cada dirección donde se colocó el disipador.

Tabla 81

Cálculo de la rigidez del brazo metálico, configuración Chevron Brace, modulo 02

Dirección	Longitud (m)	Rigidez en el brazo metálico (t/m)
Dirección X	3.6	37655.00
Dirección Y	3.3	41078.18
Dirección Diag.	3.1	43728.39
Rigidez del brazo		40820.52

Se utilizó el valor de 40,820.52 t/m como valor de la rigidez.

4.3.2.2.1.2. Ubicación del disipador

Se colocó los disipadores de energía en la configuración Chevron Brace, los cuales fueron colocados de la siguiente manera:

Figura 60

Vista en planta de la ubicación de los disipadores en la dirección “X”, “Y” y en la dirección diagonal, modulo 02 reestructurado. (1er y 2do – 3er y 4to piso)

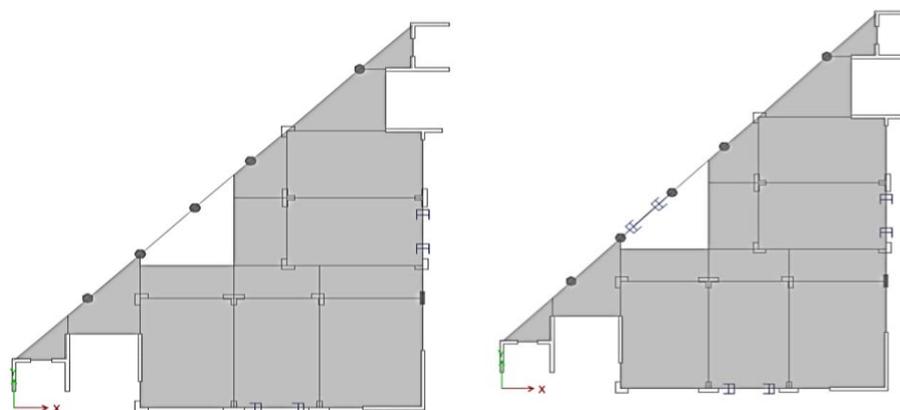
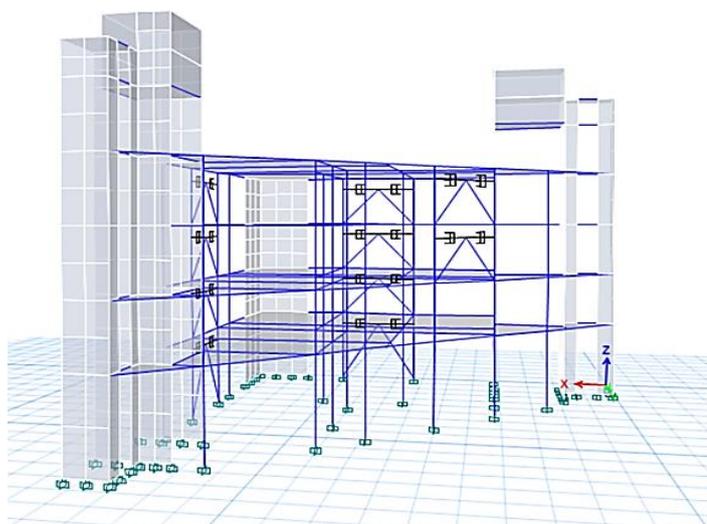


Figura 61

Vista en 3D de la ubicación de los disipadores en la dirección “X”, “Y” y en la dirección diagonal, modulo 02 reestructurado



4.3.2.2.1.3. Análisis tiempo historia no lineal

Con la incorporación de los disipadores de energía con “ $\alpha = 0.5$ ” (Disipadores No Lineales), se realizó el análisis tiempo historia no lineal, obteniendo así que las derivas de entrepiso son menores a la deriva objetiva de 0.056, así mismo se observa que los disipadores no rigidizaron la estructura manteniendo así constante el periodo de la estructura.

Tabla 82

Derivas de entrepiso con la incorporación de los disipadores de energía en configuración Chevron Brace, modulo 02 reestructurado

PISO	DERIVA EN "X"	DERIVA EN "Y"
4	0.0046	0.0050
3	0.0045	0.0049
2	0.0039	0.0043
1	0.0021	0.0024

Tabla 83

Periodo de la edificación con los disipadores de energía configuración Chevron Brace, modulo 02 reestructurado

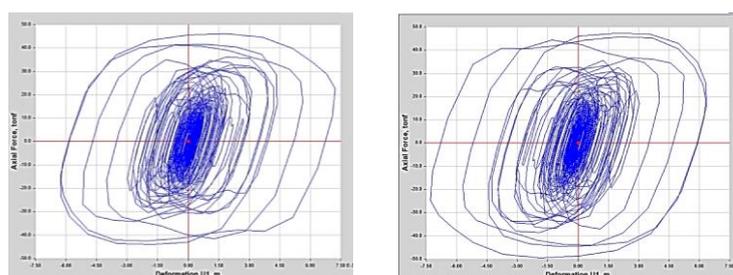
DIRECCIÓN	PERIODO DE LA EDIFICACIÓN
Dirección X	0.443
Dirección Y	0.381

4.3.2.2.1.4. Comportamiento histeretico y energía disipada

En las siguientes graficas "fuerza vs desplazamiento", se puede observar el comportamiento histórico de los disipadores con $\alpha=0.5$, observándose así que los disipadores están trabajando de manera óptima, además la curva histeretica es casi elíptica. se observa que para pequeños desplazamientos se generan grandes fuerzas axiales en los disipadores.

Figura 62

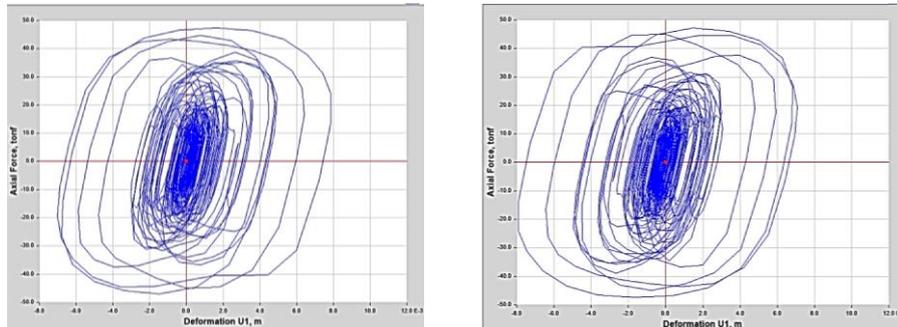
Curva histeretica fuerza - desplazamiento, configuración Chevron Brace módulo 02 reestructurado



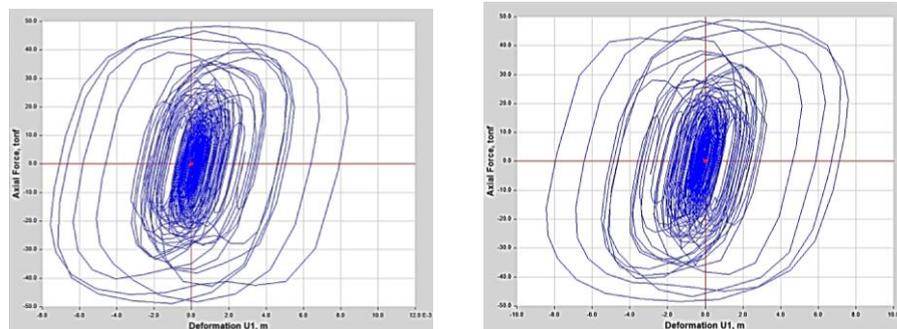
1er piso en la dirección "X"

Figura 62

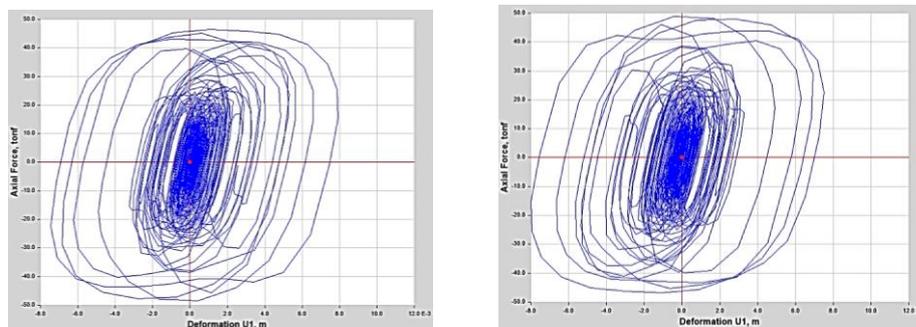
Curva histeretica fuerza - desplazamiento, configuración Chevron Brace módulo 02 reestructurado



2do piso en la dirección "X"



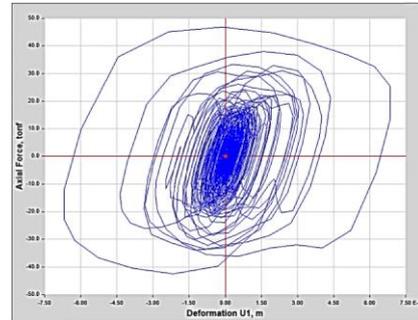
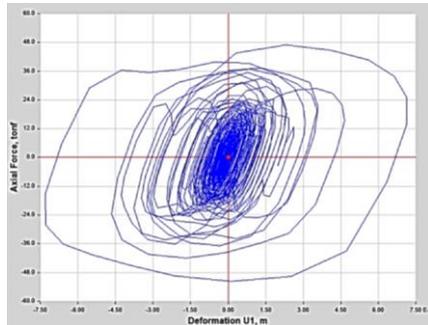
3er piso en la dirección "X"



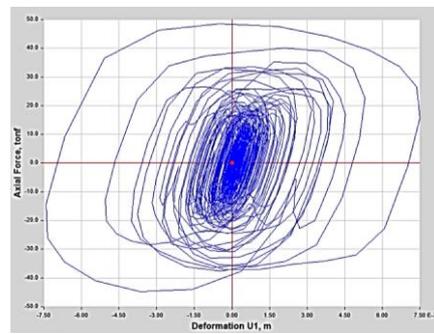
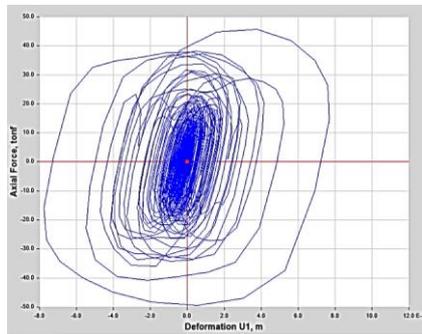
4to piso en la dirección "X"

Figura 62

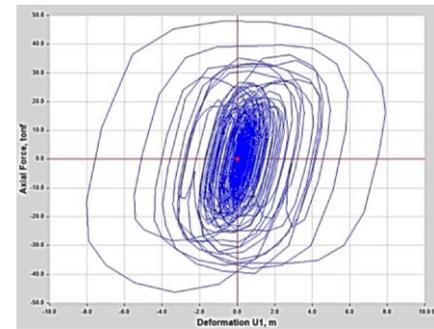
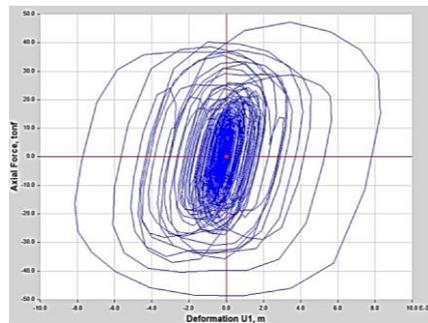
Curva histeretica fuerza - desplazamiento, configuración Chevron Brace módulo 02 reestructurado



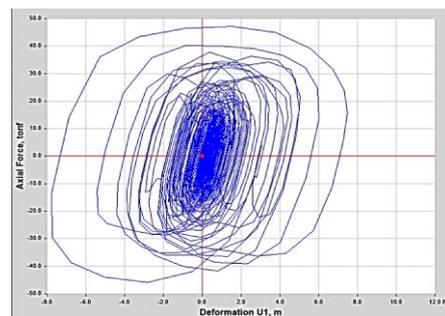
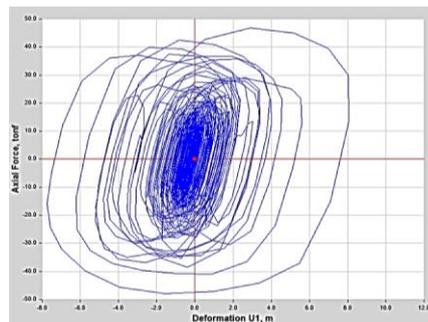
1er piso en la dirección "Y"



2do piso en la dirección "Y"



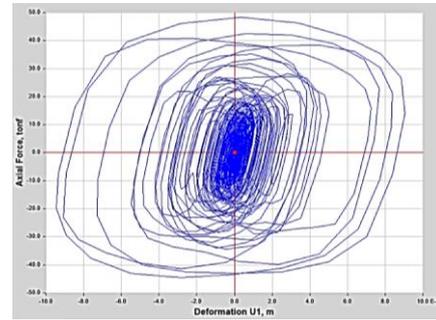
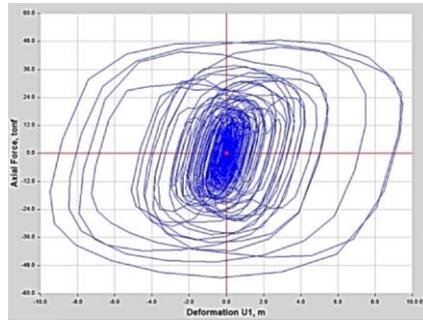
3er piso en la dirección "Y"



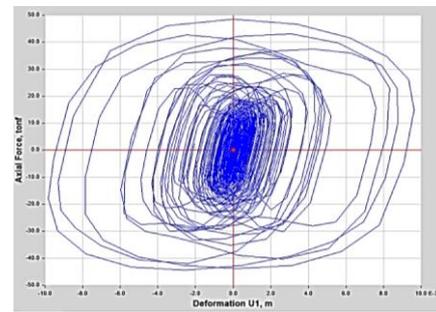
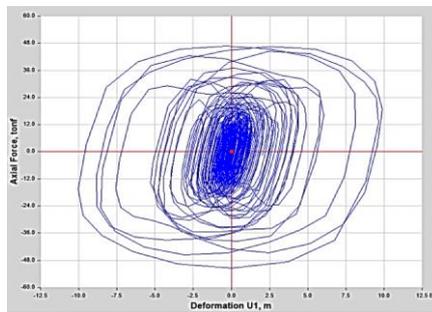
4to piso en la dirección "Y"

Figura 62

Curva histeretica fuerza - desplazamiento, configuración Chevron Brace módulo 02 reestructurado



3er piso en la dirección diagonal,



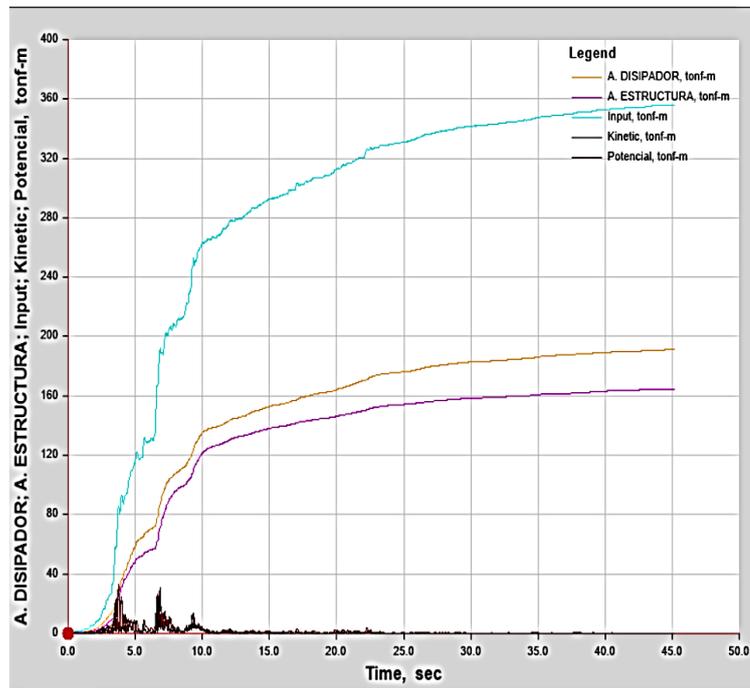
4to piso en la dirección diagonal

Energía disipada por los disipadores

En la siguiente figura se observa la energía ingresada a la estructura, producto de la fuerza sísmica, así mismo se observa la disipación de energía producida por la estructura misma y por los disipadores de energía.

Figura 63

Energía Disipada por los disipadores de energía, Configuración Chevron Brace módulo 02 reestructurado



El porcentaje de disipación de energía por los disipadores es de 53.5% (182.86/341.69)

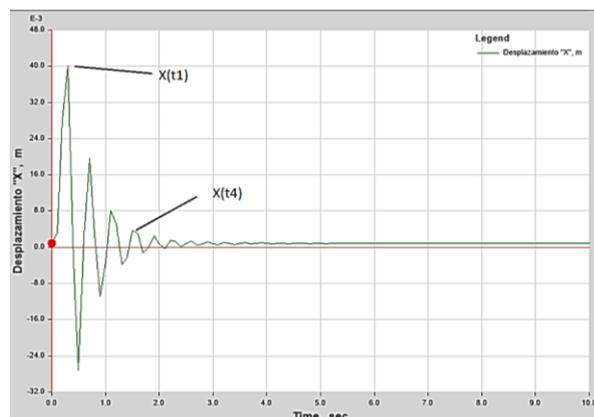
4.3.2.2.1.5. Amortiguamiento efectivo y reducción de la demanda sísmica

Amortiguamiento efectivo

El amortiguamiento efectivo de la estructura se calculó utilizando una función pulso y el método del decremento logarítmico.

Figura 64

Desplazamiento de la estructura ante una función pulso en la dirección “X”, Configuración Chevron Brace módulo 02 reestructurado



Utilizando el método del decremento logarítmico el amortiguamiento efectivo de la estructura es de 12.44% en la dirección “X”.

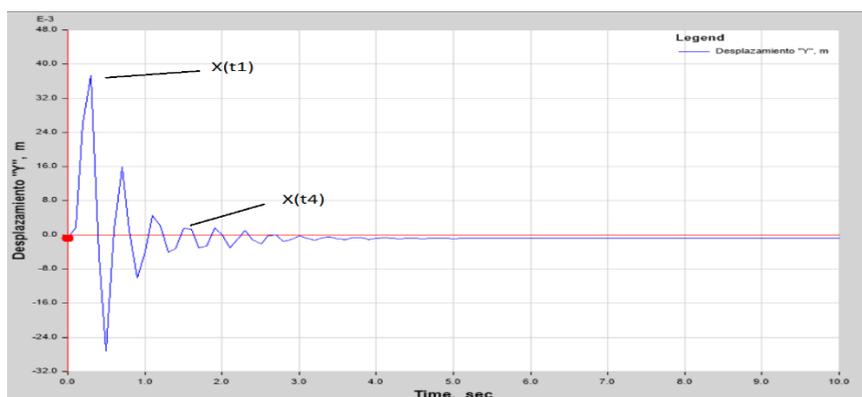
Tabla 84

Datos para el cálculo del amortiguamiento en “X” configuración Chevron Brace, modelo 02

DATOS	
X(t=1)	0.04000
X(t=4)	0.00376
n (número de ciclos)	3
Amortiguamiento Efectivo (ξ_{eff})	12.44 %

Figura 65

Desplazamiento de la estructura ante una función pulso en la dirección “Y”, Configuración Chevron Brace módulo 02 reestructurado



Utilizando el método del decremento logarítmico el amortiguamiento efectivo de la estructura es de 16.77% en la dirección “Y”.

Tabla 85

Datos para el cálculo del amortiguamiento en “Y” configuración Chevron Brace, modelo 02

DATOS	
X(t=1)	0.03729
X(t=4)	0.00150
n (número de ciclos)	3
Amortiguamiento Efectivo (ξ_{eff})	16.77 %

Reducción de la demanda sísmica

La incorporación de los Disipadores de energía aumento el amortiguamiento en la edificación teniendo así un amortiguamiento efectivo de 12.44% en la dirección X y 16.77% en la dirección Y, para lo cual le corresponde un valor de B_{v+1} igual a 1.27 en la dirección X y de 1.40 en la dirección Y

En la dirección “X”

$$V_{\min} = \frac{V}{B_{V+1}} = \frac{V}{1.27} = 0.785V$$

En la dirección “Y”

$$V_{\min} = \frac{V}{B_{V+1}} = \frac{V}{1.40} = 0.713V$$
$$V_{\min} = 0.75V$$

El valor de la fuerza cortante para la dirección “X” es de 0.785V y para la dirección “Y” es de 0.75V, lo cual será utilizado para realizar la verificación del diseño de la edificación.

4.3.2.2.1.6. Verificación de los elementos estructurales

Verificación de la demanda – capacidad

Se observa que los elementos de concreto (Viga y Columnas) cumplen con la demanda requerida.

Figura 66

Vista en planta de la edificación módulo 02 reestructurado, Configuración Chevron Brace

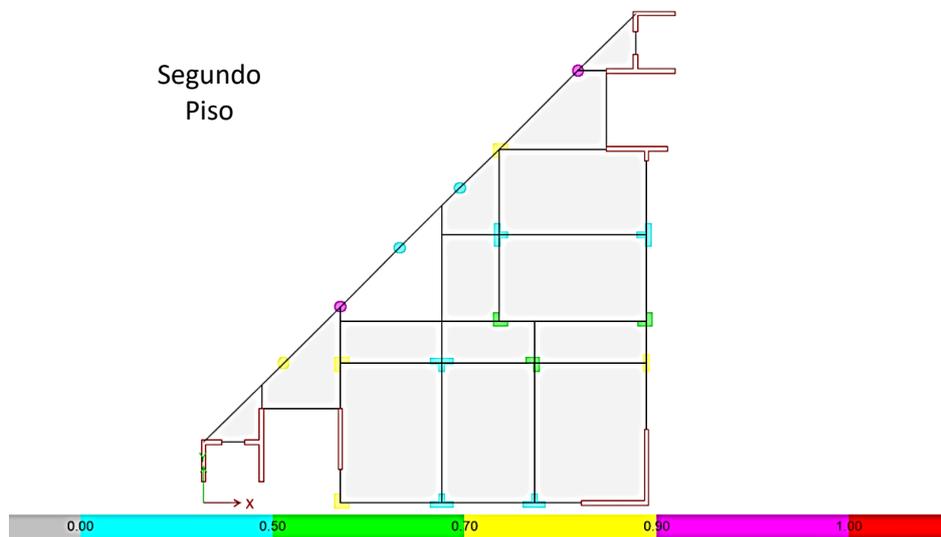
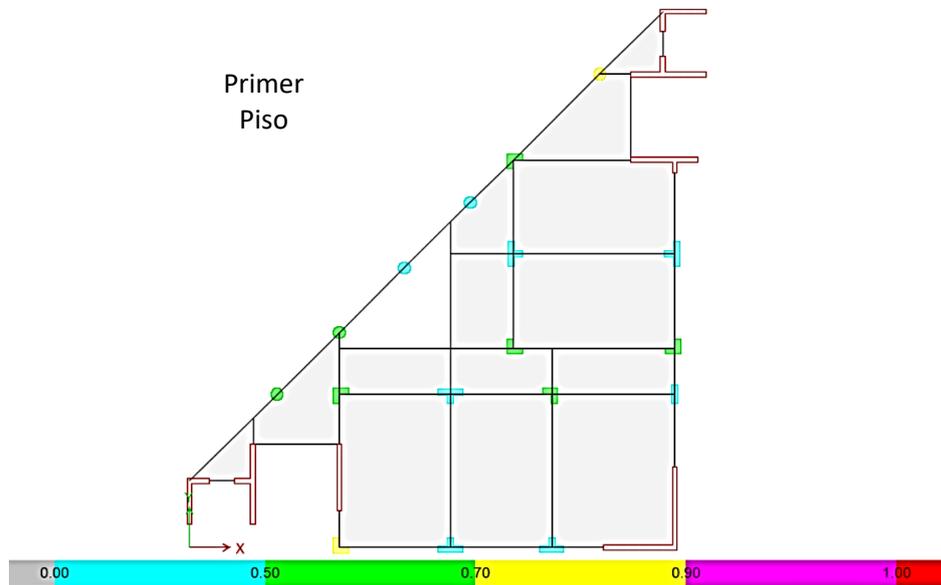
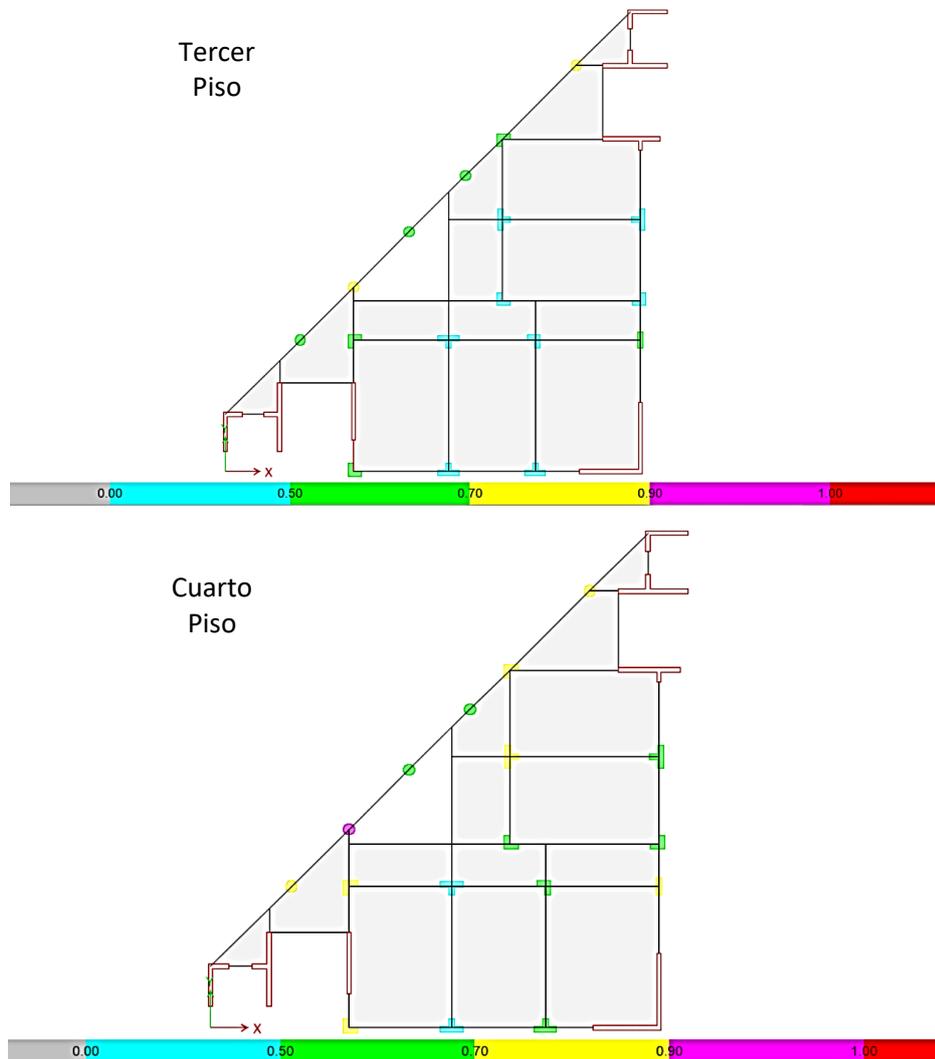


Figura 66

Vista en planta de la edificación módulo 02 reestructurado, Configuración Chevron Brace

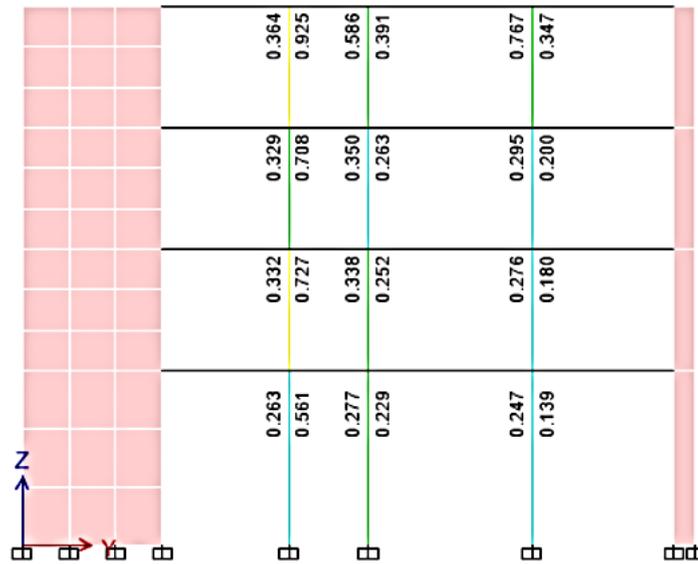


Verificación de viga débil – columna fuerte

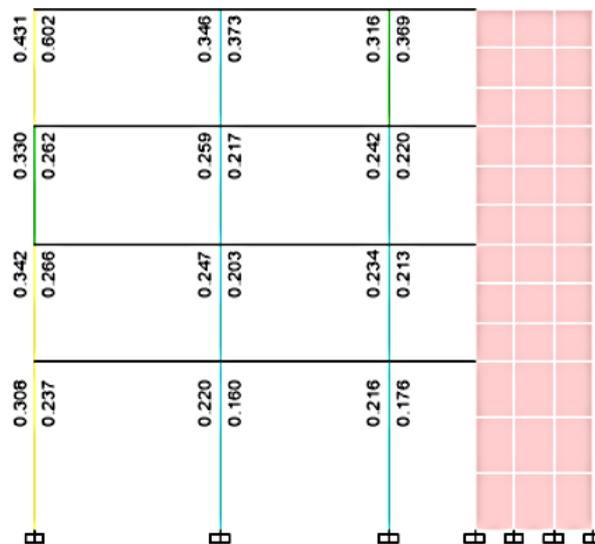
Se observa que la edificación cumple con la verificación viga débil – columna fuerte.

Figura 67

Vista en elevación de la edificación módulo 02 reestructurado, verificación viga débil – columna fuerte del pórtico E-E y del pórtico 1-1, Configuración Chevron Brace



Verificación viga débil – columna fuerte, pórtico E-E



Verificación viga débil – columna fuerte, pórtico 1-1

4.3.2.2.1.7. Detalle de los disipadores

Los disipadores utilizados en la configuración Chevron Brace fueron los siguientes:

Tabla 86

Fuerza axial de diseño en los disipadores de energía, configuración Chevron Brace módulo 02 reestructurado

NIVEL	PORTICO	DISIPADOR	FUERZA AXIAL (KIP)	FUERZA AXIAL DE DISEÑO (KIP)
4	DIREC.	K12	107.06	110.00
	DIAG.	K11	102.94	110.00
	DIREC. Y	K20	103.91	110.00
		K19	103.07	110.00
	DIREC. X	K4	107.6	110.00
		K3	102.54	110.00
3	DIREC.	K8	106.38	110.00
	DIAG.	K7	107.12	110.00
	DIREC. Y	K22	105.69	110.00
		K21	103.85	110.00
	DIREC. X	K14	107.94	110.00
		K13	106.59	110.00
2	DIREC. Y	K24	107.10	110.00
		K23	100.67	110.00
	DIREC. X	K16	103.89	110.00
		K15	104.25	110.00
1	DIREC. Y	K18	103.26	110.00
		K17	103.39	110.00
	DIREC. X	K2	103.96	110.00
		K1	101.37	110.00

4.3.2.2.2. Configuración Diagonal

4.3.2.2.2.1. Propiedades del Disipador

Las propiedades del disipador serán el coeficiente de amortiguamiento (C), la rigidez del brazo metálico (K) y el coeficiente de velocidad del disipador (α) el cual será iguala 0.5 para disipadores no lineales.

Coefficiente de amortiguamiento

El coeficiente de amortiguamiento se calcula para cada dirección donde se colocará el disipador de energía, en el modelo 02 se colocó el disipador en la dirección “X”, “Y” y en el pórtico diagonal, siendo así que el coeficiente de amortiguamiento a usarse para los disipadores del pórtico diagonal será el mayor que resulte de los valores calculados para las direcciones “X” e “Y”, las cuales se calcularon utilizando la siguiente formula:

$$\beta_{visc.} = \frac{\sum_j \lambda C_j \phi_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j}{2\pi A^{1-\alpha} W^{2-\alpha} \sum_i m_i \phi_i^2}$$

Tabla 87

Datos para el cálculo del amortiguamiento del coeficiente del disipador en la dirección “X”, configuración diagonal, modelo 02

$\beta_{eff}(\%)$	11%	A (m)	0.0517
$\beta_{Visc}(\%)$	6%	$A^{1-\alpha}$ (m)	0.2275
$\beta_0(\%)$	5%	ω (rad/s)	14.18
T (s)	0.443	$\omega^{2-\alpha}$ (rad/s)	53.41
α	0.5		
λ	3.5		

Tabla 88

Calculo del coeficiente de amortiguamiento del disipador en la dirección “X”, configuración diagonal, modelo 02

NIVEL	ϕ_i	ϕ_i^2	ϕ_{rj}	Masa ($\frac{t.s^2}{m}$)	Cos(Θ)	$\sum m_i \cdot \phi_i^2$	$\sum (\phi_{rj})^{1+\alpha} \cdot \cos(\theta_j)^{1+\alpha}$
1	0.192	0.037	0.192	37.647	0.615	1.392	0.041
2	0.462	0.213	0.269	36.212	0.783	7.714	0.097
3	0.731	0.534	0.269	36.212	0.783	19.338	0.097
4	1.000	1.000	0.269	26.904	0.783	26.904	0.097
						55.348	0.331

$$\sum C = 219.19 \left(t - \frac{s}{m} \right)$$

N=1 (Numero de Disipadores)

$$C_{Amort} = 219 \left(t - \frac{s}{m} \right)$$

Tabla 89

Datos para el cálculo del amortiguamiento del coeficiente del disipador en la dirección “Y”, configuración diagonal, modelo 02

$\beta_{eff}(\%)$	11%	A (m)	0.0444
$\beta_{visc}(\%)$	6%	$A^{1-\alpha}$ (m)	0.2108
$\beta_0(\%)$	5%	ω (rad/s)	16.49
T (s)	0.381	$\omega^{2-\alpha}$ (rad/s)	66.97
α	0.5		
λ	3.5		

Tabla 90

Calculo del coeficiente de amortiguamiento del disipador en la dirección “Y”, configuración diagonal, modelo 02

NIVEL	ϕ_i	ϕ_i^2	ϕ_{rj}	Masa $\left(\frac{t \cdot s^2}{m}\right)$	Cos(Θ)	$\sum m_i \cdot \phi_i^2$	$\sum (\phi_{rj})^{1+\alpha} \cdot \cos(\theta_j)^{1+\alpha}$
1	0.211	0.044	0.211	37.647	1.000	1.669	0.097
2	0.474	0.224	0.263	36.212	1.000	8.125	0.135
3	0.737	0.543	0.263	36.212	1.000	19.661	0.135
4	1.000	1.000	0.263	26.904	1.000	26.904	0.135
						56.358	0.502

$$\sum C = 262.45 \left(t - \frac{s}{m} \right)$$

N=1 (Numero de Disipadores)

$$C_{Amort} = 262.45 \left(t - \frac{s}{m} \right)$$

Rigidez del brazo metálico

El cálculo de rigidez del brazo metálico se calculó de la siguiente manera:

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

Para la estimación del brazo metálico se utilizó un perfil HSS 7.5x0.500 siendo sus propiedades:

$$E = 29000Ksi = 20.4 * 10^6 \frac{t}{m}$$

$$A = 10.3in = 66.45 * 10^{-4} m^2$$

El valor de la rigidez del brazo metálico para todos los disipadores en la estructura, fue la misma. Cuyo valor se calculó como el promedio de la rigidez en cada dirección donde se colocó el disipador.

Tabla 91

Cálculo del brazo metálico para el disipador en configuración Diagonal, Modulo 02

Dirección	Longitud (m)	Rigidez en el brazo metálico (t/m)
Dirección X	4.6	29,469.13
Dirección Y	4.4	30,808.64
Dirección Diag.	4.25	31,896.00
Rigidez del brazo		30,728.59

4.3.2.2.2. Ubicación del disipador

Se colocó los disipadores de energía en la configuración Diagonal, los cuales fueron colocados de la siguiente manera:

Figura 68

Vista en planta de la ubicación de los disipadores en la dirección “X”, “Y” y en el pórtico diagonal, configuración diagonal módulo 02 reestructurado (1er y 2do – 3er y 4to piso)

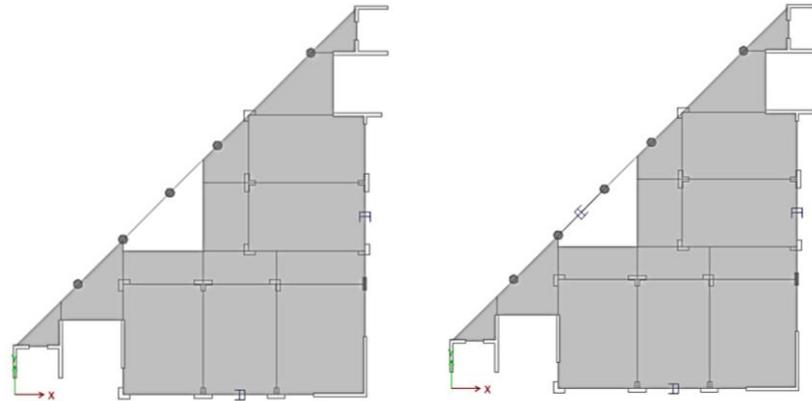
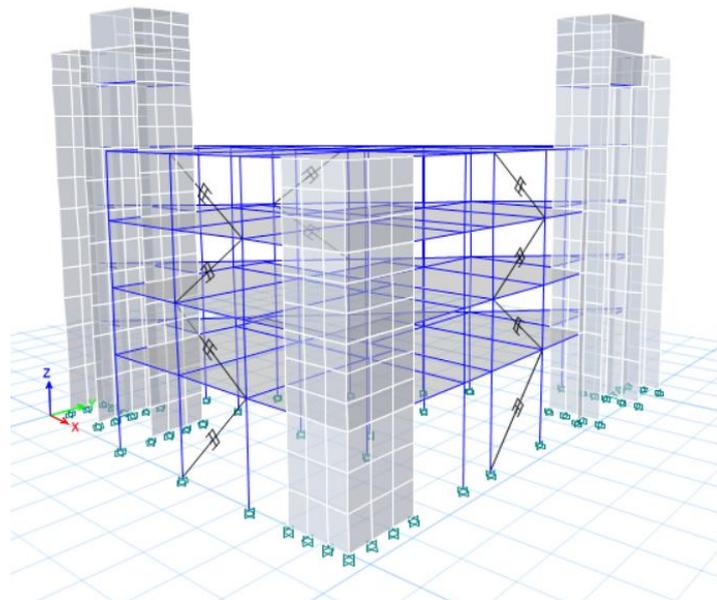


Figura 69

Vista en 3D de la ubicación de los disipadores en la edificación en configuración Diagonal



4.3.2.2.3. Análisis tiempo historia no lineal

Con la incorporación de los disipadores de energía con “ $\alpha = 0.5$ ” (Disipadores No Lineales), se realizó el análisis tiempo historia no lineal, obteniendo así que las derivas de entrepiso son menores a la deriva objetiva de 0.056, así mismo se observa

que los disipadores no rigidizaron la estructura manteniendo así constante el periodo de la estructura.

Tabla 92

Derivas de entrepiso con la incorporación de los disipadores de energía en configuración diagonal, modulo 02 reestructurado

PISO	DERIVA EN "X"	DERIVA EN "Y"
4	0.0049	0.0052
3	0.0048	0.0051
2	0.0042	0.0045
1	0.0023	0.0026

Tabla 93

Periodo de la edificación con los disipadores de energía, configuración diagonal módulo 02 reestructurado

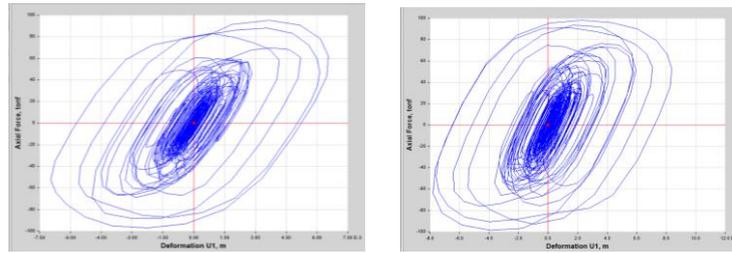
DIRECCIÓN	PERIODO DE LA EDIFICACIÓN
Dirección X	0.443
Dirección Y	0.381

4.3.2.2.2.4. Comportamiento histeretico y energía disipada

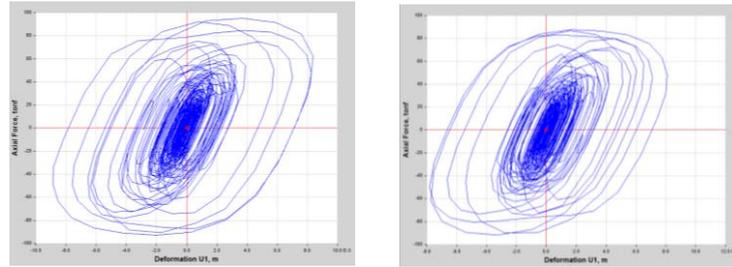
En las siguientes graficas "fuerza vs desplazamiento", se puede observar el comportamiento histórico de los disipadores con $\alpha=0.5$, observándose así que los disipadores están trabajando de manera óptima, además se observa que para pequeños desplazamientos se generan grandes fuerzas axiales en los disipadores.

Figura 70

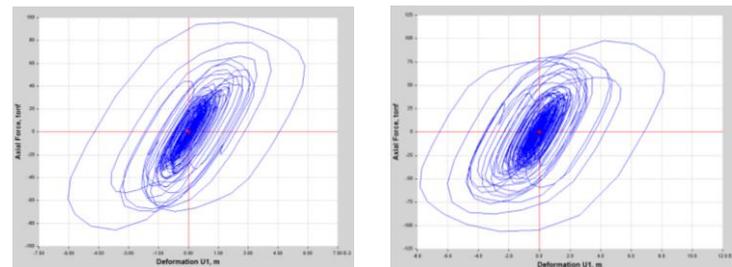
Curva histeretica fuerza - desplazamiento, configuración diagonal módulo 02 reestructurado



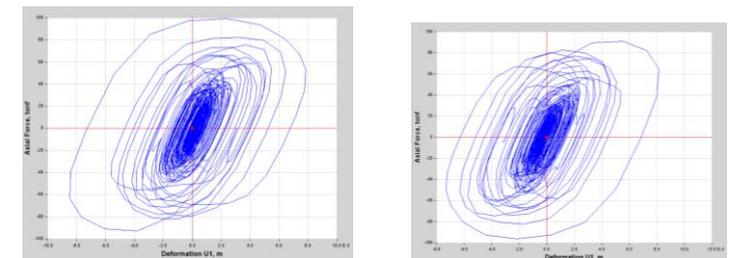
1er y 2do piso en la dirección "X"



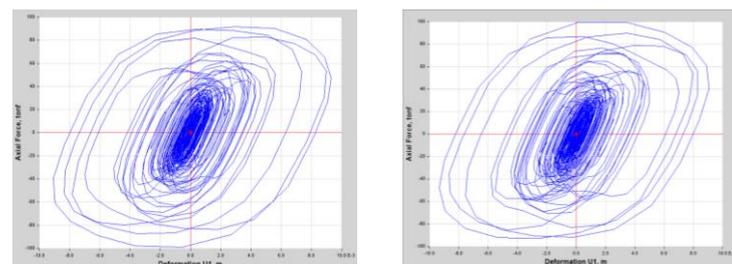
3er y 4to piso en la dirección "X"



1er y 2do piso en la dirección "Y"



3er y 4to piso en la dirección "Y"



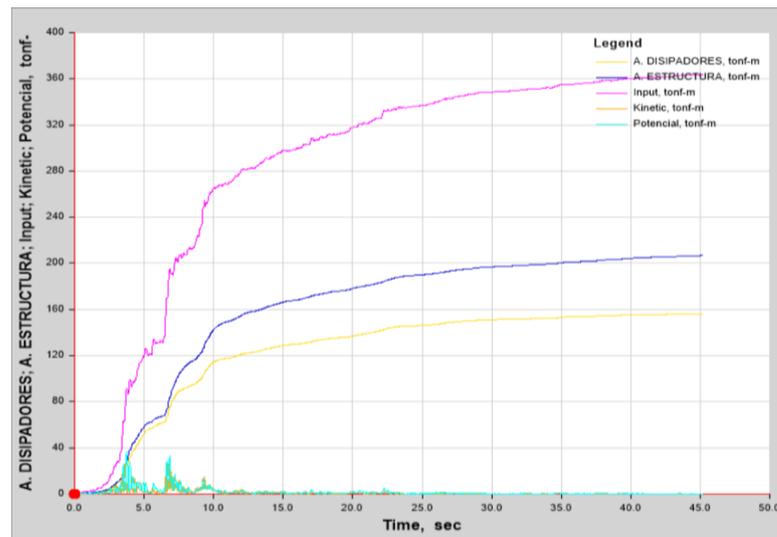
3er y 4to piso en la dirección diagonal

Energía disipada por los disipadores

En la siguiente figura se observa la energía ingresada a la estructura, producto de la fuerza sísmica, así mismo se observa la disipación de energía producida por la estructura misma y por los disipadores de energía.

Figura 71

Energía Disipada por los disipadores de energía, Configuración Diagonal Modulo 02 reestructurado



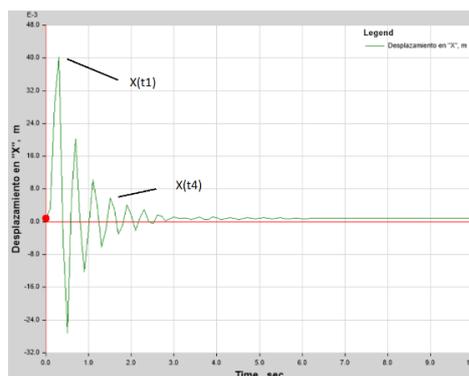
El porcentaje de disipación de energía por los disipadores es de 43.4% (151.09/348.41)

4.3.2.2.5. Amortiguamiento efectivo y reducción de la demanda sísmica

El amortiguamiento efectivo de la estructura se calculó utilizando una función pulso y el método del decremento logarítmico.

Figura 72

Desplazamiento de la estructura ante una función pulso en la dirección "X", configuración diagonal módulo 02 reestructurado



Utilizando el método del decremento logarítmico el amortiguamiento efectivo de la estructura es de 10.18% en la dirección “X”.

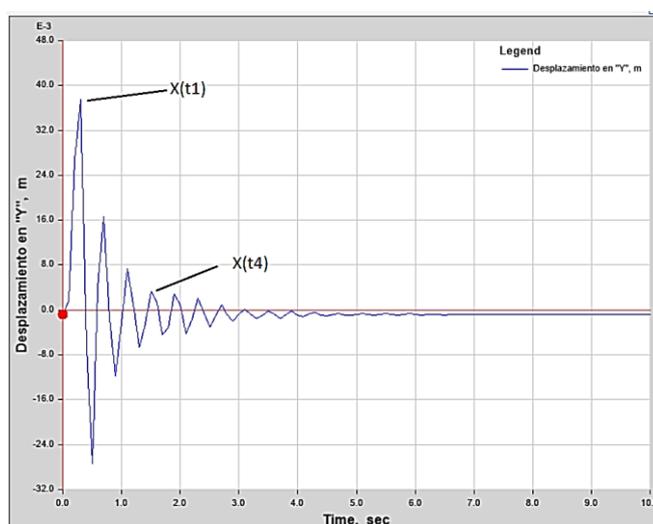
Tabla 94

Datos para el cálculo del amortiguamiento en la dirección “X”, configuración Diagonal, modelo 02

DATOS	
X(t=1)	0.0402
X(t=4)	0.0058
n (número de ciclos)	3
Amortiguamiento Efectivo (ξ_{eff})	10.18 %

Figura 73

Desplazamiento de la estructura ante una función pulso en la dirección “Y”, configuración diagonal módulo 02 reestructurado



Utilizando el método del decremento logarítmico el amortiguamiento efectivo de la estructura es de 12.73% en la dirección “Y”.

Tabla 95

Datos para el cálculo del amortiguamiento en la dirección “Y”, configuración diagonal, modelo 02

DATOS	
X(t=1)	0.0375
X(t=4)	0.0033
n (número de ciclos)	3
Amortiguamiento Efectivo (ξ_{eff})	12.73 %

Reducción del espectro sísmico debido al amortiguamiento añadido

La incorporación de los Disipadores de energía aumento el amortiguamiento en la edificación teniendo así un amortiguamiento efectivo de 10.18% en la dirección X y 12.73% en la dirección “Y”, para lo cual le corresponde un valor de B_{V+1} igual a 1.21 en la dirección “X” y de 1.28 en la dirección “Y”.

En la dirección X

$$V_{\min} = \frac{V}{B_{V+1}} = \frac{V}{1.21} = 0.829V$$

En la dirección Y

$$V_{\min} = \frac{V}{B_{V+1}} = \frac{V}{1.28} = 0.78V$$

$$V_{\min} = 0.75V$$

El valor de la fuerza cortante para la dirección X es de 0.829V y para la dirección Y es de 0.78V, lo cual será utilizado para la verificación del diseño de la edificación.

4.3.2.2.6. Verificación de los elementos estructurales

Verificación de la demanda – capacidad

Se observa que los elementos de concreto (Viga y Columnas) cumplen con la demanda requerida.

Figura 74

Vista en planta de la edificación módulo 02 reestructurado, verificación demanda – capacidad, configuración diagonal

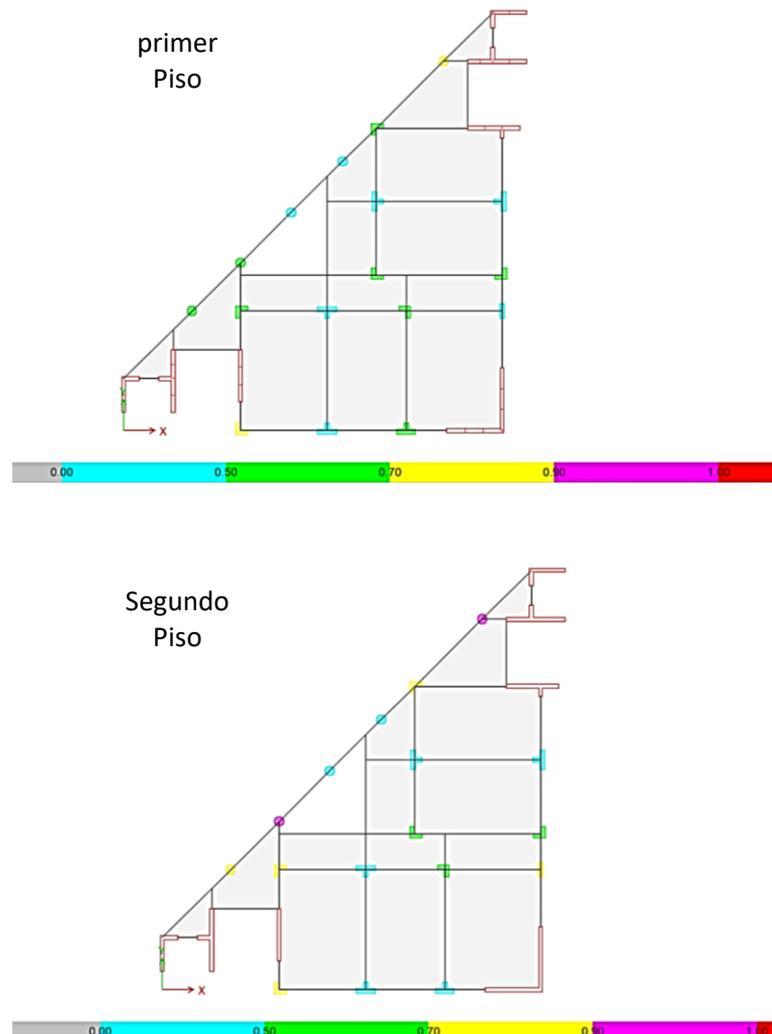
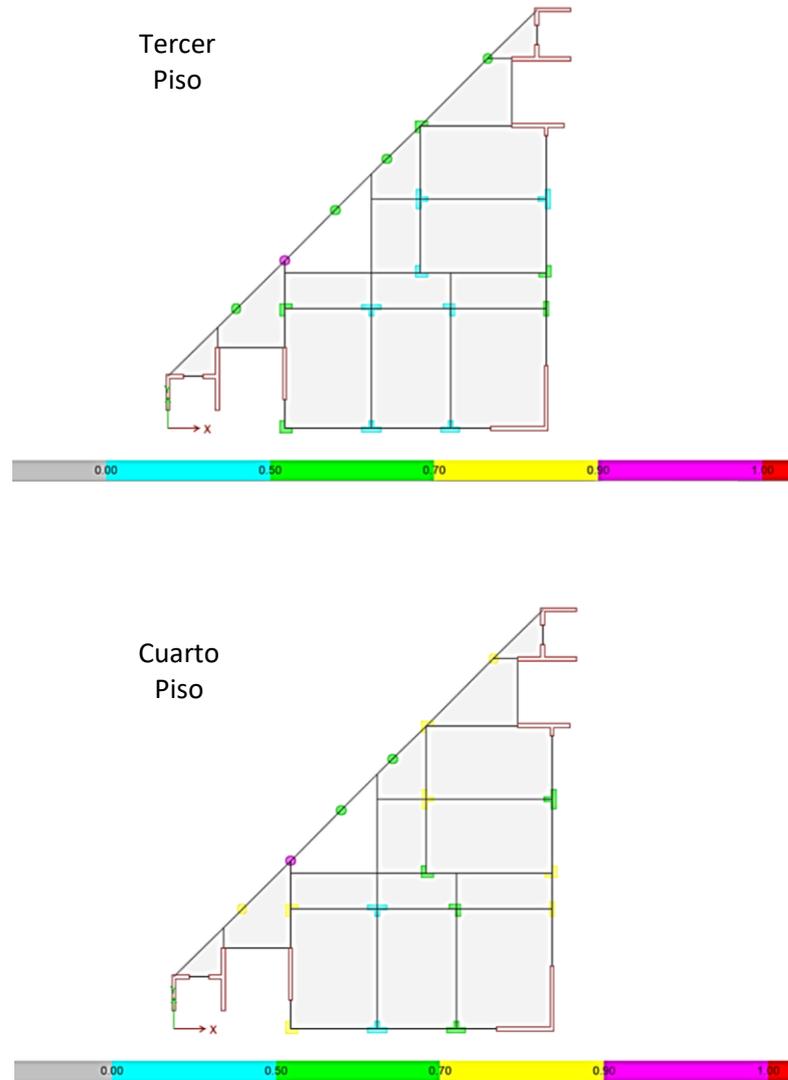


Figura 74

Vista en planta de la edificación módulo 02 reestructurado, verificación demanda – capacidad, configuración diagonal

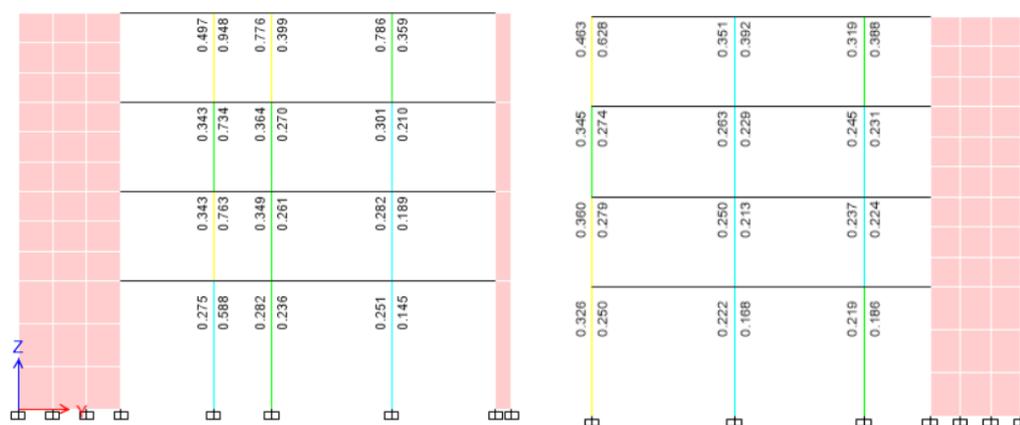


Verificación de viga débil – columna Fuerte

Se realizó la verificación de viga débil – columna fuerte, se observa que la edificación cumple con dicha verificación.

Figura 75

Vista en elevación de la edificación módulo 02 reestructurado, verificación viga débil – columna fuerte del pórtico E-E y del pórtico 1-1, configuración diagonal



4.3.2.2.2.7. Detalle de los disipadores

Los disipadores utilizados en la configuración diagonal fueron los siguientes:

Tabla 96

Fuerza axial de diseño en los disipadores de energía, configuración diagonal módulo 02 reestructurado

NIVEL	PORTICO	DISIPADOR	FUERZA AXIAL (KIP)	FUERZA AXIAL DE DISEÑO (KIP)
4	DIREC. DIAG.	K10	219.82	220.00
	DIREC. Y	K8	200.95	220.00
	DIREC. X	K4	193.32	220.00
3	DIREC. DIAG.	K9	202.4	220.00
	DIREC. Y	K7	218.71	220.00
	DIREC. X	K3	209.78	220.00
2	DIREC. Y	K6	215.95	220.00
	DIREC. X	K2	216.43	220.00
1	DIREC. Y	K5	211.12	220.00
	DIREC. X	K1	210.02	220.00

4.3.2.2.3. Configuración doble diagonal

4.3.2.2.3.1. Propiedades del disipador

Las propiedades del disipador serán el coeficiente de amortiguamiento (C), la rigidez del brazo metálico (K) y el coeficiente de velocidad del disipador (α) el cual será iguala 0.5 para disipadores no lineales.

Coefficiente de amortiguamiento

El coeficiente de amortiguamiento se calcula para cada dirección donde se colocará el disipador de energía, en el modelo 02 se colocó el disipador en la dirección “X”, “Y” y en el pórtico diagonal, siendo así que el coeficiente de amortiguamiento a usarse para los disipadores del pórtico diagonal será el mayor que resulte de los valores calculados para las direcciones “X” e “Y”, las cuales se calcularon utilizando la siguiente formula:

$$\beta_{visc.} = \frac{\sum_j \lambda C_j \phi_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j}{2\pi A^{1-\alpha} W^{2-\alpha} \sum_i m_i \phi_i^2}$$

Tabla 97

Datos para el cálculo del amortiguamiento del coeficiente del disipador en la dirección “X”, configuración Doble Diagonal, modelo 02

$\beta_{eff}(\%)$	11%	A (m)	0.0517
$\beta_{Visc}(\%)$	6%	$A^{1-\alpha}$ (m)	0.2275
$\beta_0(\%)$	5%	ω (rad/s)	14.18
T (s)	0.443	$\omega^{2-\alpha}$ (rad/s)	53.41
α	0.5		
λ	3.5		

Tabla 98

Calculo del coeficiente de amortiguamiento del disipador en la dirección "X", configuración Doble Diagonal, modelo 02

NIVEL	ϕ_i	ϕ_i^2	ϕ_{rj}	Masa $(\frac{t.s^2}{m})$	$\text{Cos}(\Theta)$	$\sum m_i \cdot \phi_i^2$	$\sum (\phi_{rj})^{1+\alpha} \cdot \text{cos}(\theta_j)^{1+\alpha}$
1	0.192	0.037	0.192	37.647	0.364	1.392	0.018
2	0.462	0.213	0.269	36.212	0.529	7.714	0.054
3	0.731	0.534	0.269	36.212	0.529	19.338	0.054
4	1.000	1.000	0.269	26.904	0.529	26.904	0.054
						55.348	0.180

$$\sum C = 403.07 \left(t - \frac{s}{m} \right)$$

N=2 (Numero de Disipadores)

$$C_{Amort} = 202 \left(t - \frac{s}{m} \right)$$

Tabla 99

Datos para el cálculo del amortiguamiento del coeficiente del disipador en la dirección "Y", configuración Doble Diagonal, modelo 02

$\beta_{eff}(\%)$	11%	A (m)	0.0444
$\beta_{Visc}(\%)$	6%	$A^{1-\alpha}$ (m)	0.2108
$\beta_0(\%)$	5%	ω (rad/s)	16.49
T (s)	0.381	$\omega^{2-\alpha}$ (rad/s)	66.97
α	0.5		
λ	3.5		

Tabla 100

Calculo del coeficiente de amortiguamiento del disipador en la dirección "Y", configuración Doble Diagonal, modelo 02

NIVEL	ϕ_i	ϕ_i^2	ϕ_{rj}	Masa $(\frac{t.s^2}{m})$	$\text{Cos}(\Theta)$	$\sum m_i \cdot \phi_i^2$	$\sum (\phi_{rj})^{1+\alpha} \cdot \text{cos}(\theta_j)^{1+\alpha}$
1	0.211	0.044	0.211	37.647	0.364	1.669	0.021
2	0.474	0.224	0.263	36.212	0.529	8.125	0.052
3	0.737	0.543	0.263	36.212	0.529	19.661	0.052
4	1.000	1.000	0.263	26.904	0.529	26.904	0.052
						56.358	0.177

$$\sum C = 484.40 \left(t - \frac{s}{m} \right)$$

N=2 (Numero de Disipadores)

$$C_{Amort} = 242 \left(t - \frac{s}{m} \right)$$

Rigidez del brazo metálico

El cálculo de rigidez del brazo metálico se calculó de la siguiente manera:

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

Para la estimación del brazo metálico se utilizó un perfil HSS 7.5x0.500 siendo sus propiedades:

$$E = 29000Ksi = 20.4 * 10^6 \frac{t}{m}$$

$$A = 10.3in = 66.45 * 10^{-4} m^2$$

El valor de la rigidez del brazo metálico para todos los disipadores en la estructura, fue la misma. Cuyo valor se calculó como el promedio de la rigidez en cada dirección donde se colocó el disipador.

Tabla 101

cálculo de la rigidez del brazo metálico, configuración Doble Diagonal, modulo 02

Dirección	Longitud (m)	Rigidez en el brazo metálico (t/m)
Dirección X	3.4	39,870.00
Dirección Y	3.3	41078.18
Dirección Diag.	3.3	41078.18
Rigidez del brazo		40,675.45

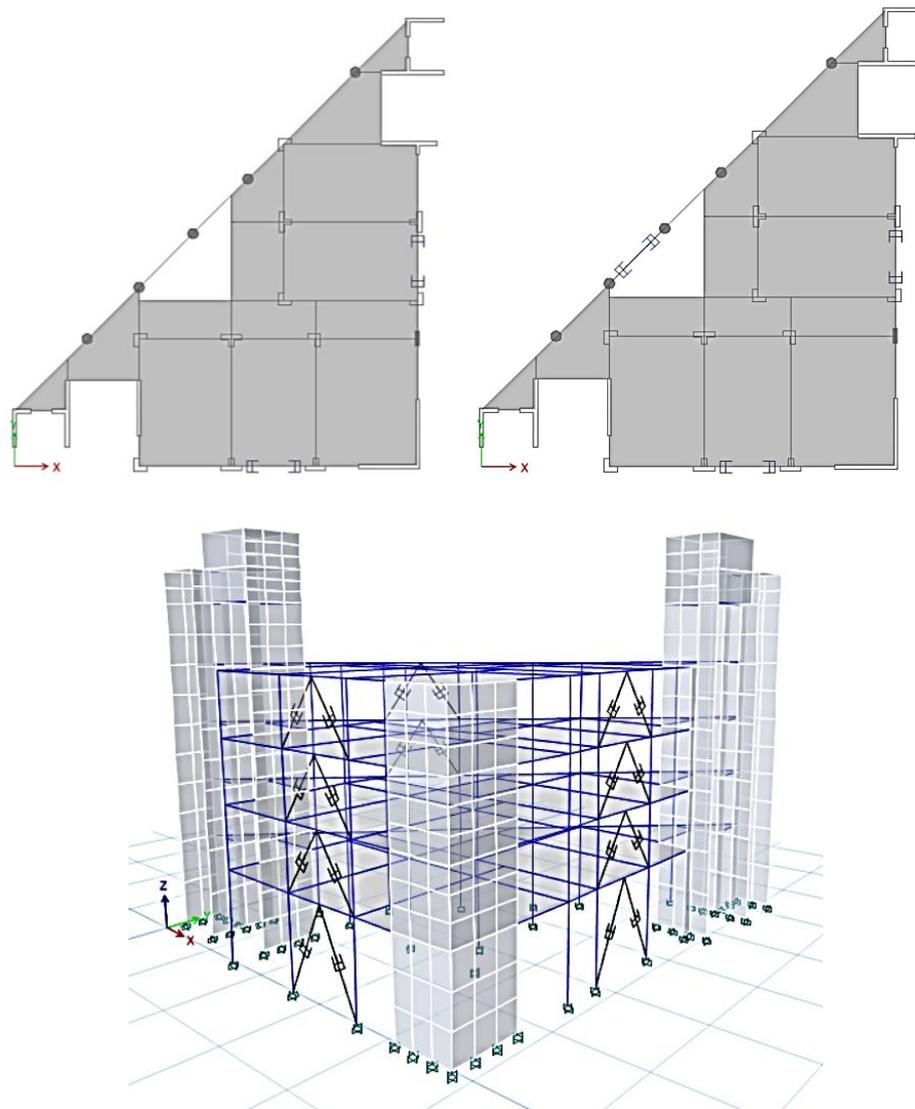
Se utilizó el valor de 40,675.45 t/m como valor de la rigidez

4.3.2.2.3.2. Ubicación del disipador

Se colocó los disipadores de energía en la configuración Doble Diagonal, los cuales fueron colocados de la siguiente manera:

Figura 76

Vista en planta de la ubicación de los disipadores en la dirección “X” e “Y” y en la dirección diagonal, configuración Doble Diagonal Modulo 02 reestructurado (1er y 2do – 3er y 4to), Vista en 3D de la ubicación de los disipadores en la edificación



4.3.2.2.3.3. Análisis tiempo historia no lineal

Con la incorporación de los disipadores de energía con “ $\alpha = 0.5$ ” (Disipadores No Lineales), se realizó el análisis tiempo historia no lineal, obteniendo así que las derivas de entrepiso son menores a la deriva objetiva de 0.056, así mismo se observa que los disipadores no rigidizaron la estructura manteniendo así constante el periodo de la estructura.

Tabla 102

Derivas de entrepiso con la incorporación de los disipadores de energía, Configuración Doble Diagonal Modulo 02 reestructurado

PISO	DERIVA EN “X”	DERIVA EN “Y”
4	0.0054	0.0055
3	0.0052	0.0054
2	0.0045	0.0047
1	0.0025	0.0027

Tabla 103

Periodo de la edificación con los disipadores de energía, configuración Doble Diagonal Modulo 02 reestructurado

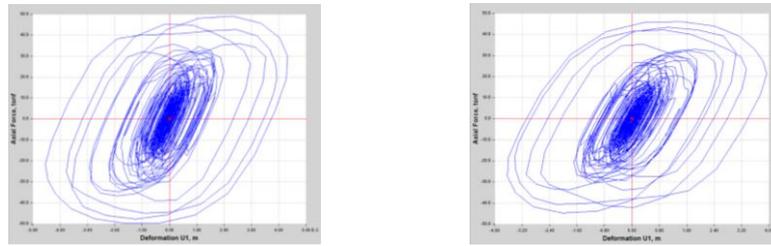
DIRECCIÓN	PERIODO DE LA EDIFICACIÓN
Dirección X	0.443
Dirección Y	0.381

4.3.2.2.3.4. Comportamiento histeretico y energía disipada

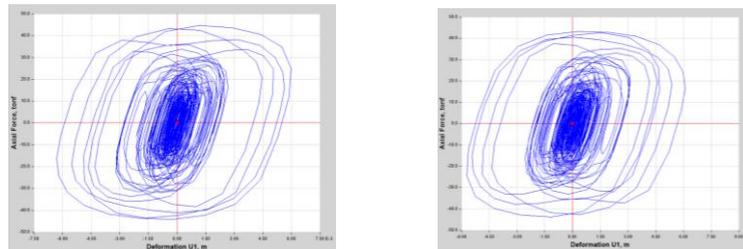
En las siguientes graficas “fuerza vs desplazamiento”, se puede observar el comportamiento histórico de los disipadores con $\alpha=0.5$, observándose así que los disipadores están trabajando de manera óptima, además se observa que para pequeños desplazamientos se generan grandes fuerzas axiales en los disipadores.

Figura 77

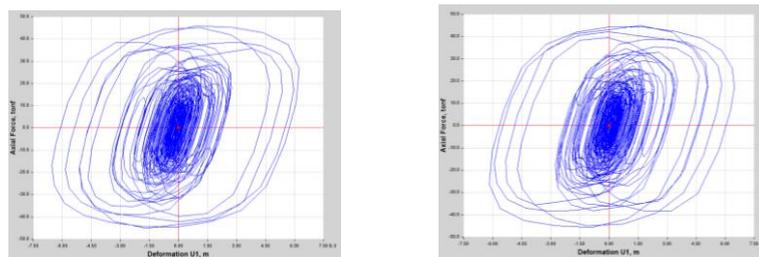
Curva histeretica fuerza - desplazamiento, configuración Doble Diagonal módulo 02 reestructurado



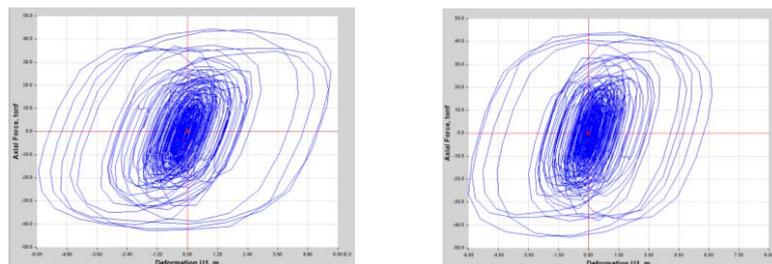
1er piso en la dirección "X"



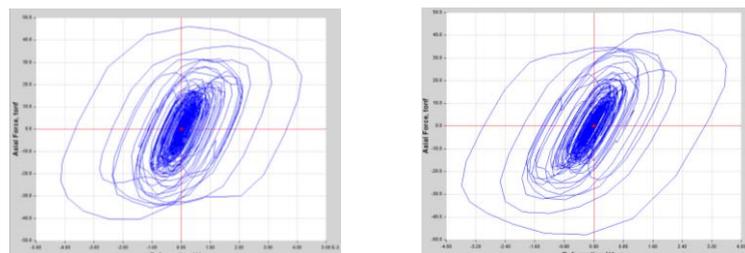
2do piso en la dirección "X",



3er piso en la dirección "X"



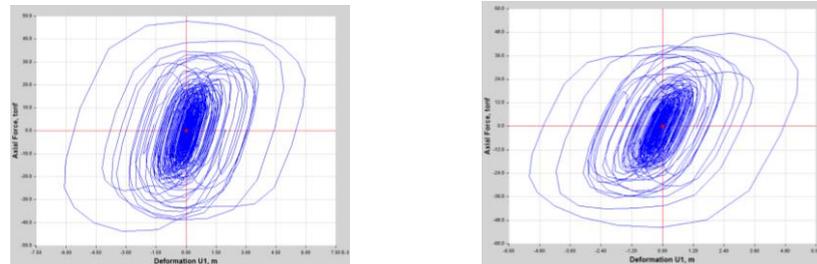
4to piso en la dirección "X"



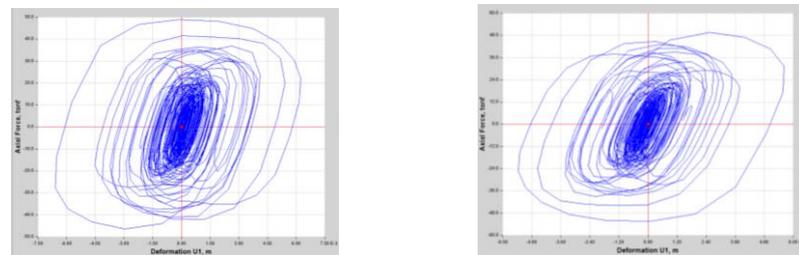
1er piso en la dirección "Y"

Figura 77

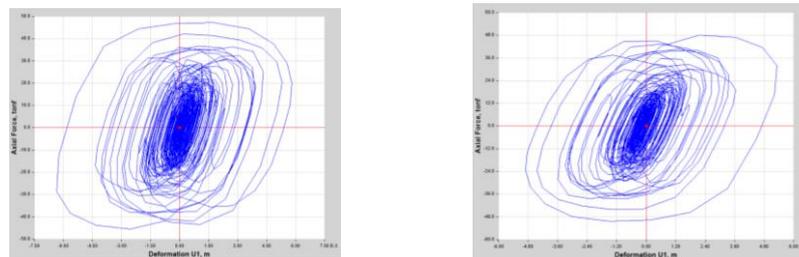
Curva histeretica fuerza - desplazamiento, Configuración Doble Diagonal Modulo 02 reestructurado



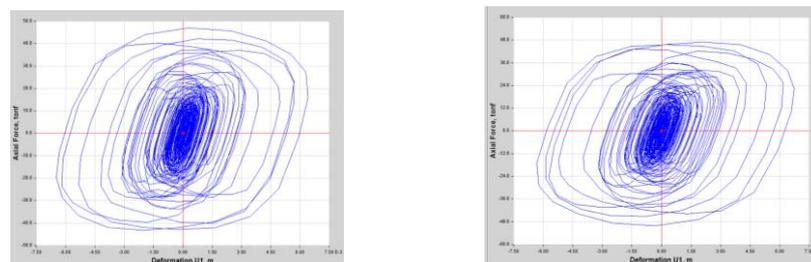
2do piso en la dirección "Y"



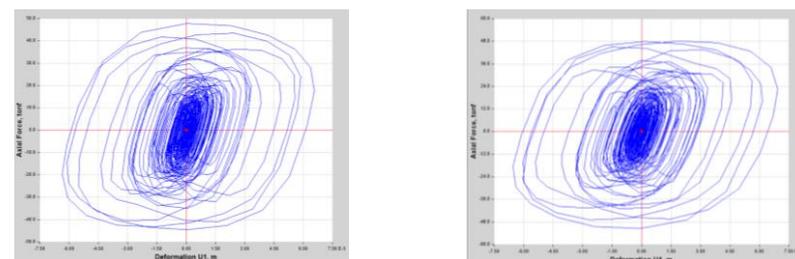
3er piso en la dirección "Y"



4to piso en la dirección "Y"



3er piso en la dirección diagonal



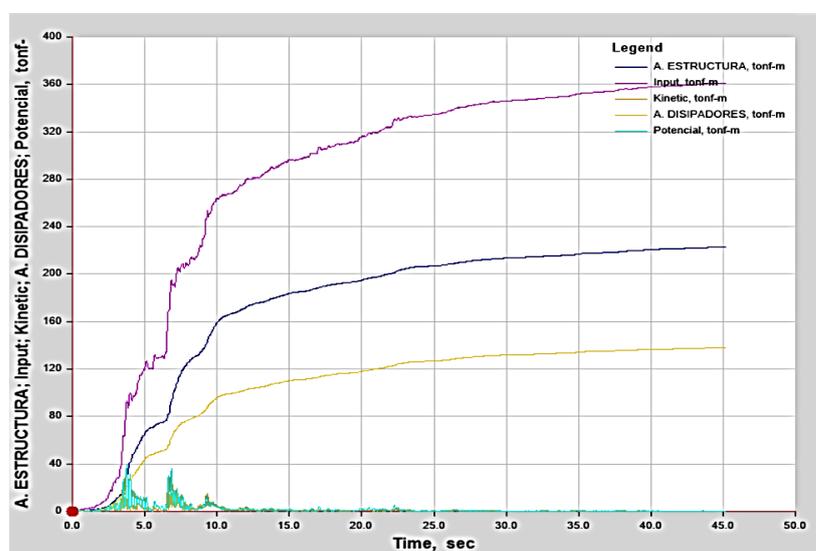
4to piso en la dirección diagonal

Energía disipada por los disipadores

En la siguiente figura se observa la energía ingresada a la estructura, producto de la fuerza sísmica, así mismo se observa la disipación de energía producida por la estructura misma y por los disipadores de energía.

Figura 78

Energía Disipada por los disipadores de energía, Configuración Doble Diagonal Modulo 02 reestructurado



El porcentaje de disipación de energía por los disipadores es de 38.2% (131.95/345.74)

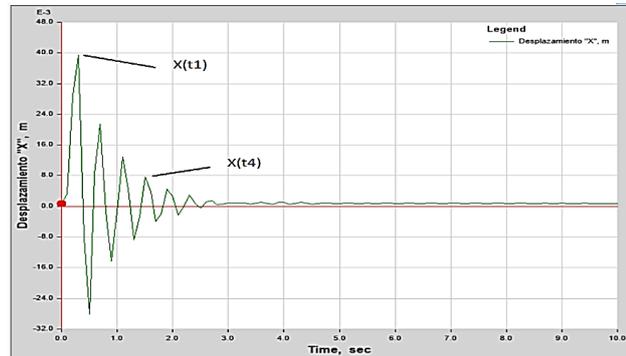
4.3.2.2.3.5. Amortiguamiento efectivo y reducción de la demanda sísmica

Amortiguamiento Efectivo

El amortiguamiento efectivo de la estructura se calculó utilizando una función pulso y el método del decremento logarítmico.

Figura 79

Desplazamiento de la estructura ante una función pulso en la dirección “X”, configuración doble diagonal módulo 02 reestructurado



Utilizando el método del decremento logarítmico el amortiguamiento efectivo de la estructura es de 8.71% en la dirección” X”.

Tabla 104

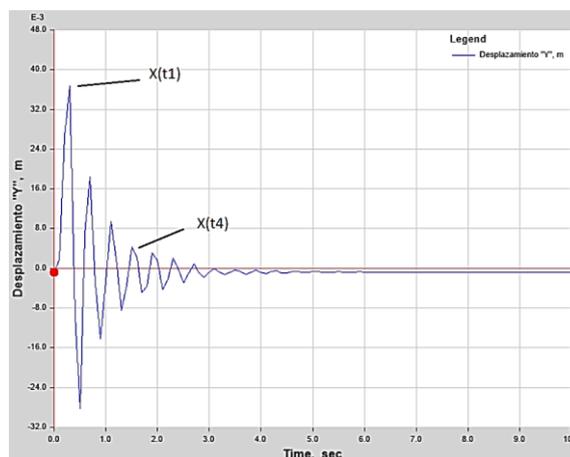
Calculo del amortiguamiento en la dirección “X”, configuración Doble Diagonal, modelo 02

DATOS

X(t=1)	0.0394
X(t=4)	0.0076
n (número de ciclos)	3
Amortiguamiento Efectivo (ξ_{eff})	8.71 %

Figura 80

Desplazamiento de la estructura ante una función pulso en la dirección Y, configuración doble diagonal módulo 02 reestructurado



Utilizando el método del decremento logarítmico el amortiguamiento efectivo de la estructura es de 11.19% en la dirección Y.

Tabla 105

Calculo del amortiguamiento en la dirección “Y”, configuración Doble Diagonal, modelo 02

DATOS	
X(t=1)	0.0367
X(t=4)	0.0043
n (número de ciclos)	3
Amortiguamiento Efectivo (ξ_{eff})	11.19 %

Reducción de la demanda sísmica

La incorporación de los Disipadores de energía aumento el amortiguamiento en la edificación teniendo así un amortiguamiento efectivo de 8.71% en la dirección X y 11.19% en la dirección Y, para lo cual le corresponde un valor de B_{V+1} igual a 1.15 en la dirección “X” y de 1.24 en la dirección “Y”.

En la dirección “X”

$$V_{\min} = \frac{V}{B_{V+1}} = \frac{V}{1.15} = 0.87V$$

En la dirección “Y”

$$V_{\min} = \frac{V}{B_{V+1}} = \frac{V}{1.24} = 0.80V$$

$$V_{\min} = 0.75V$$

El valor de la fuerza cortante para la dirección X es de 0.87V y para la dirección Y es de 0.80V, lo cual será utilizado para realizar el diseño de la edificación.

4.3.2.2.3.6. Verificación de los Elementos Estructurales

Verificación de la demanda – capacidad

Se observa que los elementos de concreto (Viga y Columnas) cumplen con la demanda requerida.

Figura 81

Vista en planta de la edificación módulo 02 reestructurado, verificación de la demanda – capacidad, configuración doble diagonal

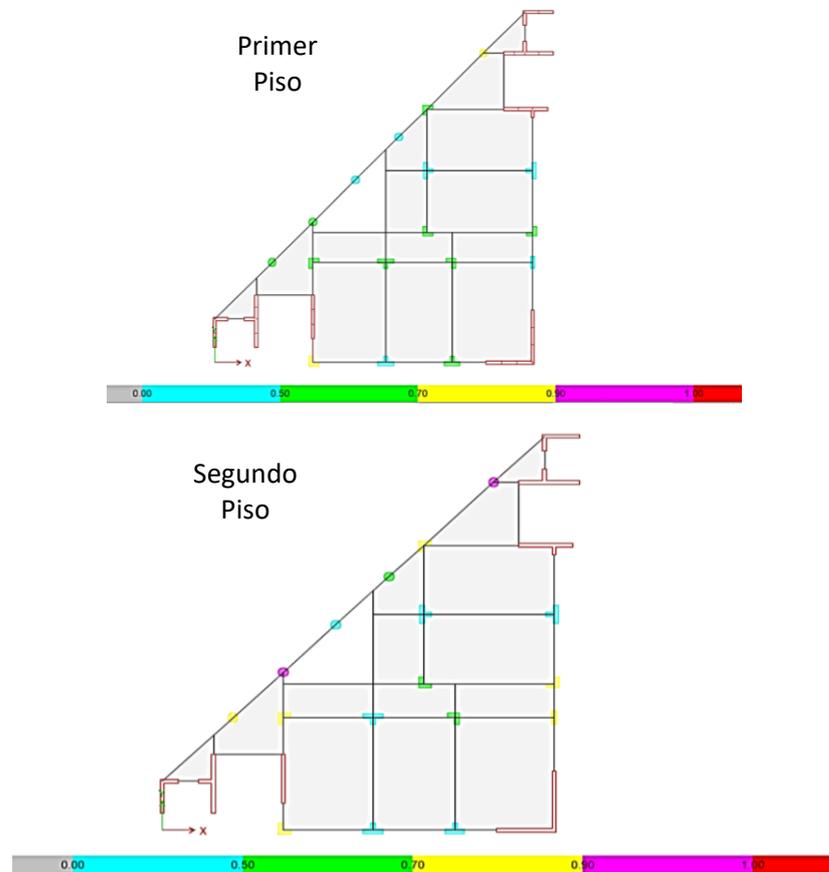
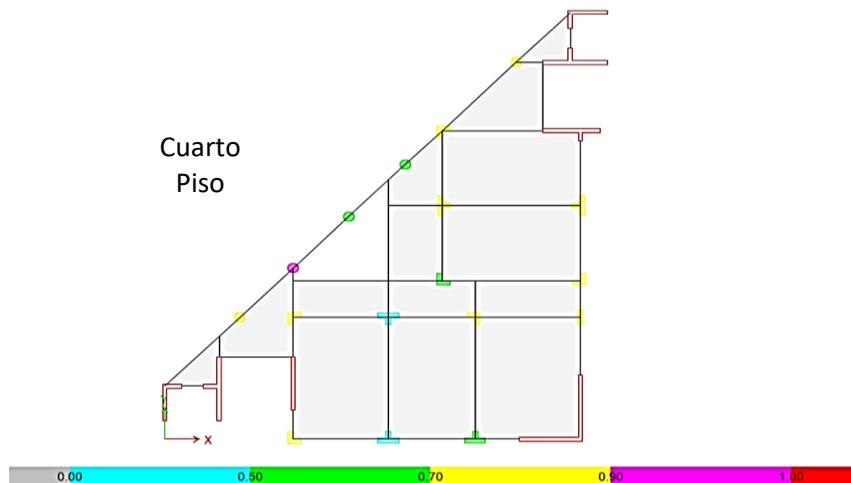
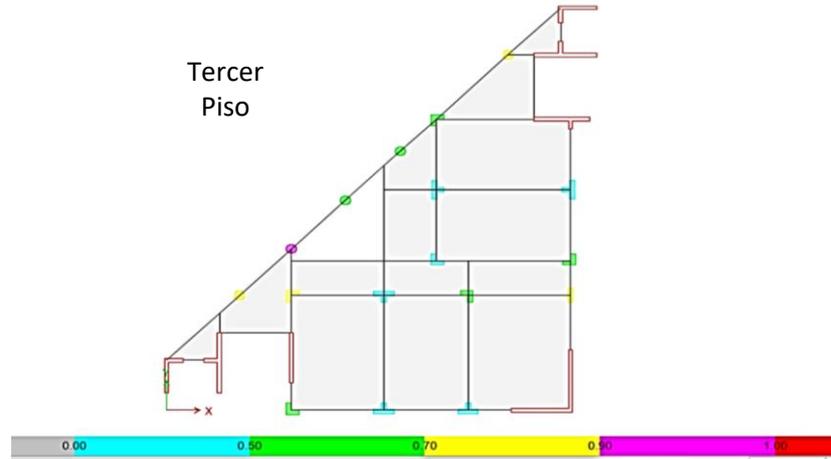


Figura 81

Vista en planta de la edificación módulo 02 reestructurado, verificación de la demanda – capacidad, configuración doble diagonal

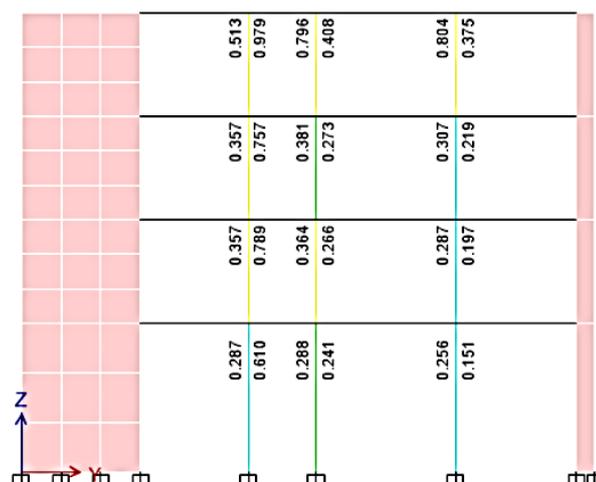


Verificación de viga débil – columna fuerte

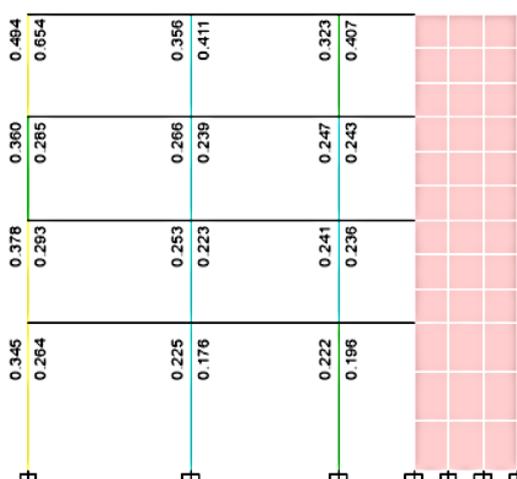
Se realizó la verificación de viga débil – columna fuerte, se observa que la edificación cumple con dicha verificación.

Figura 82

Vista en elevación de la edificación módulo 02 reestructurado, verificación viga débil – columna fuerte del pórtico E-E y del pórtico 1-1, configuración doble diagonal



Verificación de Viga débil – columna Fuerte *del pórtico E-E*



Verificación de Viga débil – columna Fuerte *del pórtico 1-1*

4.3.2.2.3.7. Detalle de los disipadores

Los disipadores utilizados en la configuración Doble Diagonal fueron los siguientes:

Tabla 106

Fuerza axial de diseño en los disipadores de energía, configuración doble diagonal módulo 02 reestructurado

NIVEL	PORTICO	DISIPADOR	FUERZA AXIAL (KIP)	FUERZA AXIAL DE DISEÑO (KIP)
4	DIREC.	K30	106.03	110.00
	DIAG.	K29	105.26	110.00
	DIREC. Y	K22	105.75	110.00
		K21	103.84	110.00
	DIREC. X	K14	96.79	110.00
		K13	97.74	110.00
3	DIREC.	K32	103.52	110.00
	DIAG.	K31	103.41	110.00
	DIREC. Y	K24	109.61	110.00
		K23	107.57	110.00
	DIREC. X	K16	98.87	110.00
		K15	101.07	110.00
2	DIREC. Y	K26	104.74	110.00
		K25	105.36	110.00
	DIREC. X	K18	95.38	110.00
		K17	98.51	110.00
1	DIREC. Y	K20	93.75	110.00
		K19	101.71	110.00
	DIREC. X	K4	101.60	110.00
		K3	107.96	110.00

4.4. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

4.4.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL MÓDULO 01

La edificación del módulo 01 inicialmente planteada con sistemas resistentes del tipo aporticado en la dirección “X” y muro de albañilería en la dirección “Y”, no cumple con los requerimientos descritos en el RNE, por lo que se reestructuro la edificación cambiando los muros de albañilería por muros de concreto.

En la edificación reestructurada del módulo 01 se colocó disipadores de energía solo en la dirección “X” con sistema resistente del tipo aporticado, en la dirección “Y” no se colocó disipadores debido a la carencia de elementos resistente en esa dirección, por lo cual era necesario rigidizar dicha dirección, lo cual se logró con los muros de concreto.

Para la edificación del módulo 1 se tuvo como deriva objetiva 0.58% debido al sistema resistente aporticado que presenta, siendo esta deriva estimadas para que la estructura sufra un daño moderado, según la metodología empleando de daño – deriva.

La incorporación de los disipadores de energía en las configuraciones Chevron Brace, Diagonal, Doble diagonal no modifico el periodo de la estructura.

La deriva máxima en la dirección “X” de la edificación del módulo 01 con los disipadores de energía fue de 0.49% para las configuraciones Chevron Brace y Diagonal y de 0.56% para la configuración Doble Diagonal.

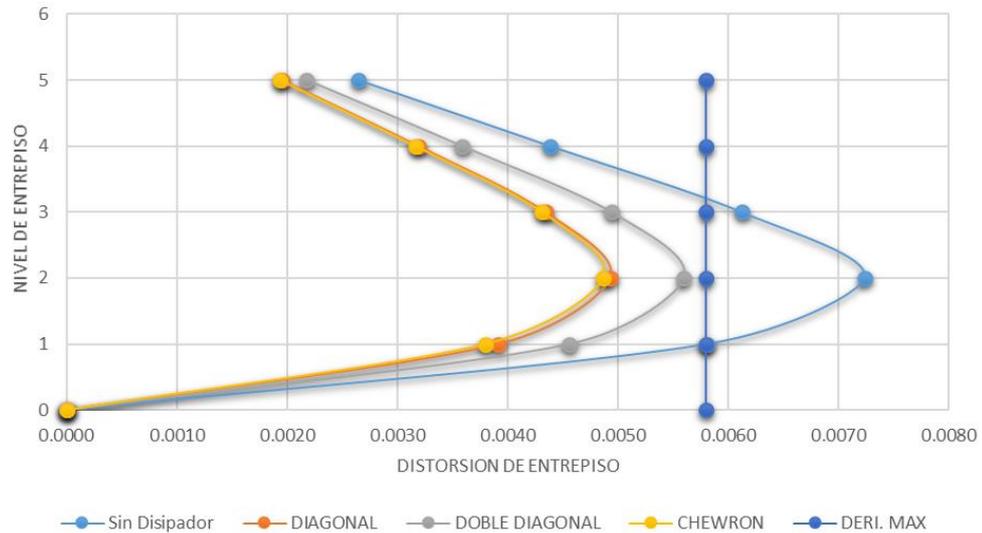
Tabla 107

Derivas de entrepiso de la edificación del módulo 01 sin disipador y con disipador de energía

PISO	SIN DISIPADOR	CONF. CHEVRON BRACE	CONF. DIAGONAL	CONF. DOBLE DIAGONAL
5	0.0026	0.0019	0.0020	0.0022
4	0.0044	0.0032	0.0032	0.0036
3	0.0061	0.0043	0.0043	0.0049
2	0.0072	0.0049	0.0049	0.0056
1	0.0058	0.0038	0.0039	0.0046

Figura 83

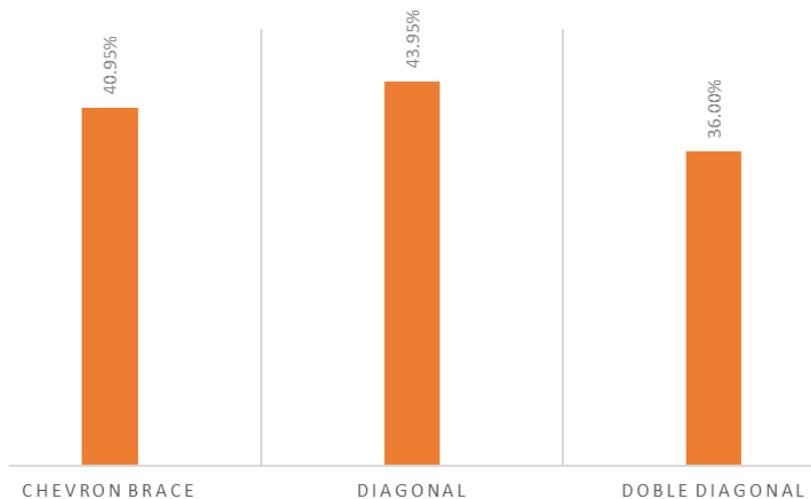
Comparación de derivas de entrepiso de la edificación del módulo 01 sin disipador y con disipador de energía



El porcentaje de disipación de la energía sísmica absorbida por los disipadores de energía fue de 40.95%, 43.95% y 36% para las configuraciones Chevron Brace, Diagonal y Doble Diagonal respectivamente.

Figura 84

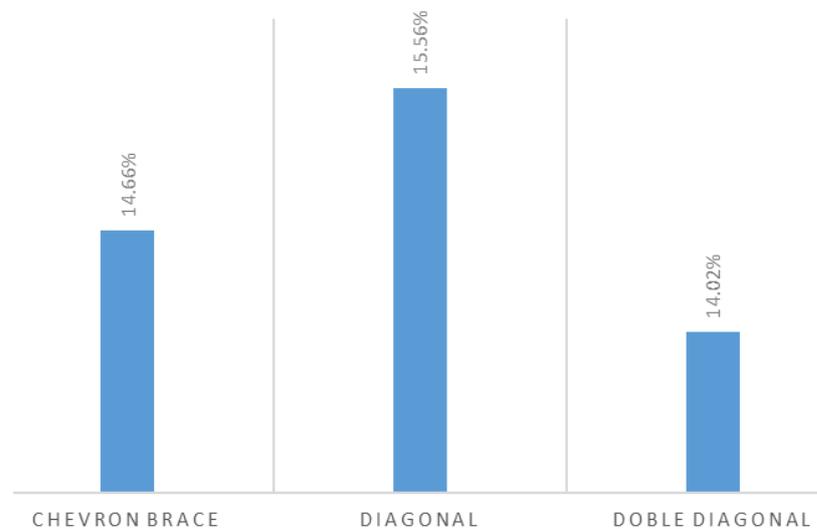
Comparación del porcentaje de disipación de la energía sísmica, para las distintas configuraciones del disipador de energía en la edificación del módulo 01.



El porcentaje de amortiguamiento efectivo en la dirección “X” que logro alcanzar la edificación del módulo 01 fue de 14.66%, 15.56% y 14.02% para las configuraciones Chevron Brace, Diagonal y Doble Diagonal. la configuración Diagonal obtuvo un mayor incremento de amortiguamiento y la configuración Doble Diagonal el menor incremento de amortiguamiento.

Figura 85

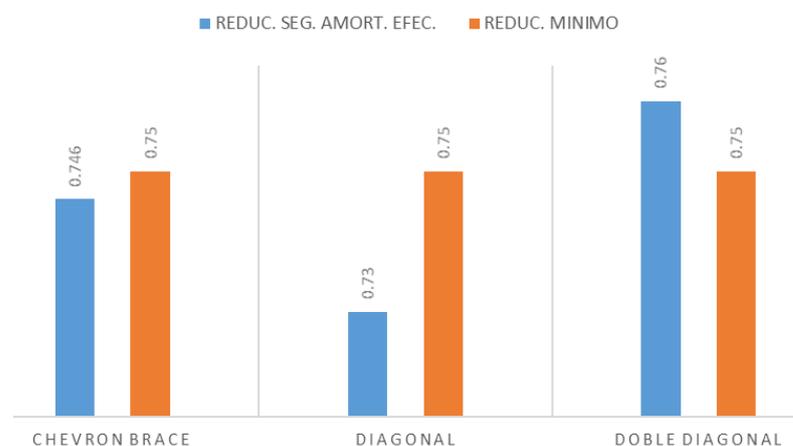
Comparación del amortiguamiento efectivo que alcanzo la edificación del módulo 01 con la incorporación de los disipadores de energía s en las distintas configuraciones



La demanda sísmica en la dirección “X” en la edificación del módulo 01 quedo reducida en 0.75V para las configuraciones Chevron Brace y Diagonal y en 0.76V para la configuración Doble Diagonal.

Figura 86

Comparación de la reducción de la fuerza sísmica que alcanzo la edificación del módulo 01 con la incorporación de los disipadores de energía s en las distintas configuraciones



La fuerza axial en los disipadores en configuración Chevron Brace y Doble Diagonal fueron de 110 kip y en la configuración Diagonal 220 kip, esto es debido a que en la configuración diagonal se usa un solo disipadores a diferencia de las otras dos configuraciones en la cual se usan 02 disipadores.

Tabla 108

Comparación de la cantidad de disipadores de energía requeridos en la edificación del módulo 01 para las distintas configuraciones

CONFIGURACIÓN	NUMERO DE DISIPADORES	FUERZA AXIAL EN LOS DISIPADORES (KIP)
Chevron Brace	16	110
Diagonal	8	220
Doble Diagonal	16	110

4.4.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL MÓDULO 02

La edificación del módulo 02 inicialmente planteada con sistemas resistentes del tipo aporticado y rigidizado con muros de albañilería, no cumple con los requerimientos descritos en el RNE y presentaba irregularidad Torsional Extrema, por lo que se reestructuro la edificación, quitando los muros de albañilería y colocando muros de concreto con lo cual se logró que la estructura ya no presente irregularidad torsional.

Para la edificación del módulo 2 se tuvo como deriva objetiva 0.56% debido al sistema resistente muro estructural que presenta, siendo esta deriva estimadas para que la estructura sufra un daño moderado, según la metodología empleando de daño – deriva.

La incorporación de los disipadores de energía en las configuraciones Chevron Brace, Diagonal, Doble diagonal no modifico el periodo de la estructura en ninguna dirección.

La deriva máxima en la dirección “X” de la edificación del módulo 02 con los disipadores de energía fue de 0.46% para la configuración Chevron Brace, de 0.49% para la configuración Diagonal y de 0.54% para la configuración Doble Diagonal

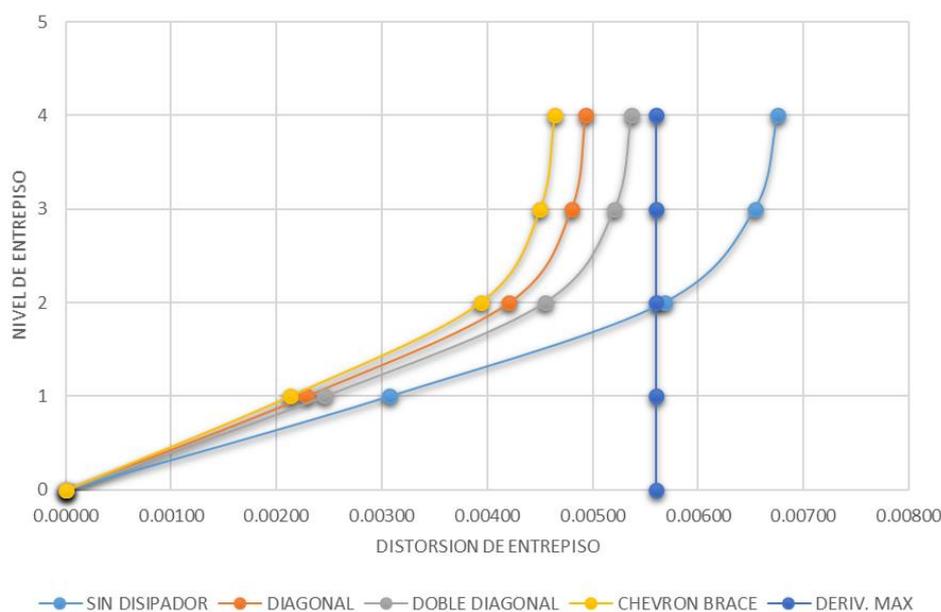
Tabla 109

Derivas de entrepiso de la edificación del módulo 02 sin disipador y con disipador de energía en la dirección “X”

PISO	SIN DISIPADOR	CONF. CHEVRON BRACE	CONF. DIAGONAL	CONF. DOBLE DIAGONAL
4	0.0068	0.0046	0.0049	0.0054
3	0.0065	0.0045	0.0048	0.0052
2	0.0057	0.0039	0.0042	0.0045
1	0.0031	0.0021	0.0023	0.0025

Figura 87

Comparación de derivas de entrepiso de la edificación del módulo 02 sin disipador y con disipador de energía en la dirección “X”



La deriva máxima en la dirección “Y” de la edificación del módulo 02 con los disipadores de energía fue de 0.50% para la configuración Chevron Brace, de 0.52% para la configuración Diagonal y de 0.55% para la configuración Doble Diagonal.

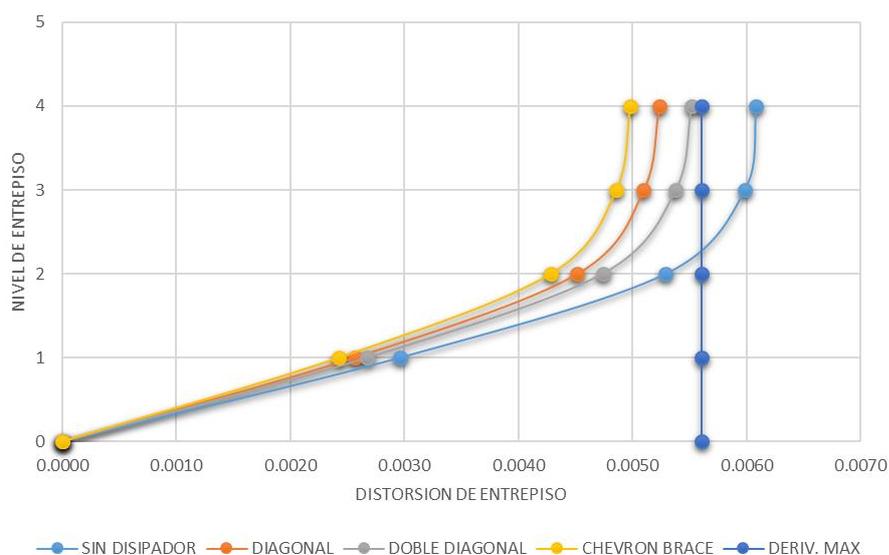
Tabla 110

Derivas de entrepiso de la edificación del módulo 02 sin disipador y con disipador de energía en la dirección “Y”

PISO	SIN DISIPADOR	CONF. CHEVRON BRACE	CONF. DIAGONAL	CONF. DOBLE DIAGONAL
4	0.0061	0.0050	0.0052	0.0055
3	0.0060	0.0049	0.0051	0.0054
2	0.0053	0.0043	0.0045	0.0047
1	0.0030	0.0024	0.0026	0.0027

Figura 88

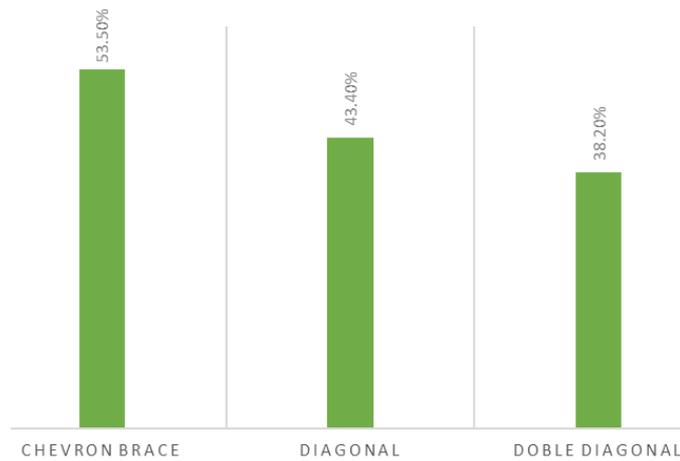
Comparación de derivas de entrepiso de la edificación del módulo 02 sin disipador y con disipador de energía en la dirección “Y”



El porcentaje de disipación de la energía sísmica absorbida por los disipadores de energía fue de 53.50%, 43.40% y 38.20% para las configuraciones Chevron Brace, Diagonal y Doble Diagonal respectivamente.

Figura 89

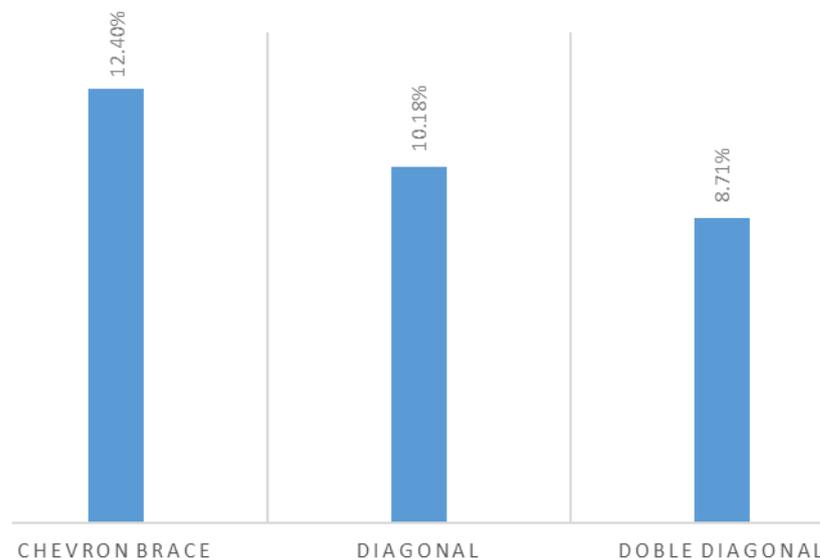
Comparación del porcentaje de Disipación de la Energía sísmica, para las distintas configuraciones del disipador de energía en la edificación del módulo 02.



El porcentaje de amortiguamiento efectivo en la dirección “X” que logro alcanzar la edificación del módulo 02 fue de 12.40%, 10.18% y 8.71% para las configuraciones Chevron Brace, Diagonal y Doble Diagonal respectivamente. la configuración Chewron obtuvo un mayor incremento de amortiguamiento y la configuración Doble Diagonal el menor incremento de amortiguamiento.

Figura 90

Comparación del amortiguamiento efectivo que alcanzo la edificación del módulo 02 con la incorporación de los disipadores de energía en las distintas configuraciones en la dirección “X”.

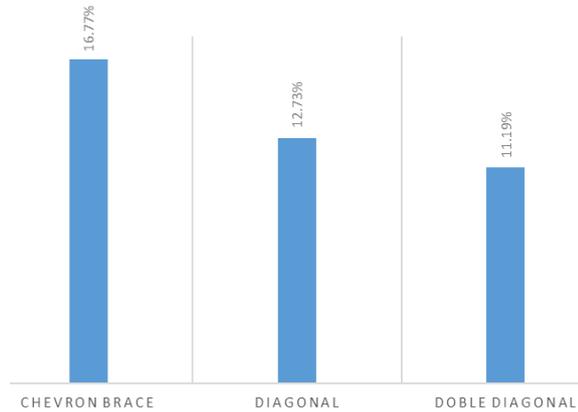


El porcentaje de amortiguamiento efectivo en la dirección “Y” que logro alcanzar la edificación del módulo 02 fue de 16.77%, 12.73% y 11.19% para las configuraciones Chevron Brace, Diagonal y Doble Diagonal respectivamente. la

configuración Chevron obtuvo un mayor incremento de amortiguamiento y la configuración Doble Diagonal el menor incremento de amortiguamiento.

Figura 91

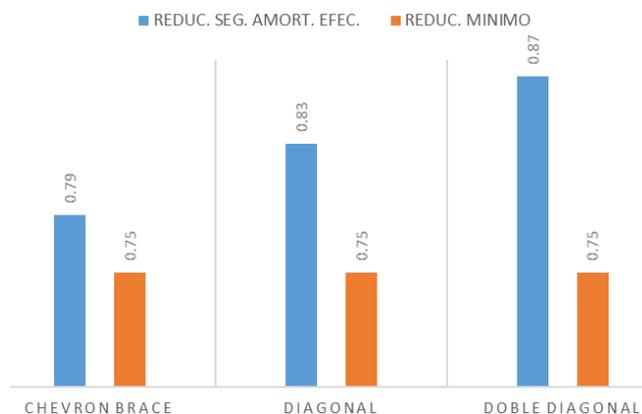
Comparación del amortiguamiento efectivo que alcanzo la edificación del módulo 02 con la incorporación de los disipadores de energía en las distintas configuraciones en la dirección “Y”.



La demanda sísmica de la edificación del módulo 02 se redujo. En la dirección “X” a 0.79V, 0.83V y 0.87V para las configuraciones Chevron Brace, Diagonal y Doble Diagonal.

Figura 92

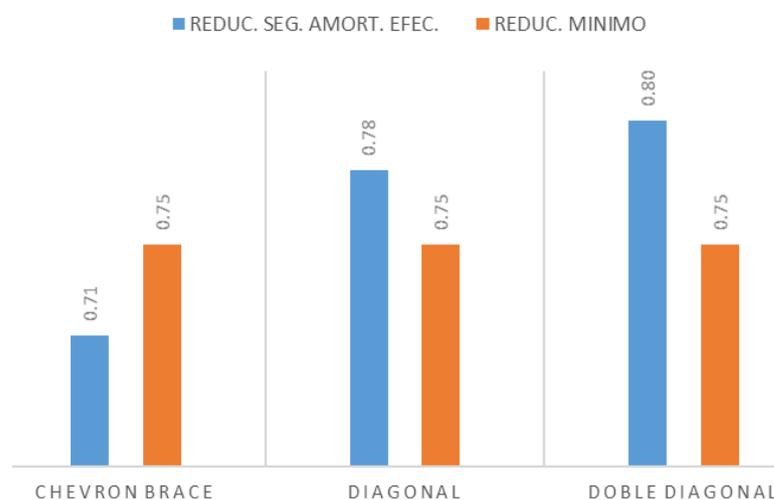
Comparación de la reducción de la fuerza sísmica que alcanzo la edificación del módulo 02 con la incorporación de los disipadores de energía en las distintas configuraciones en la dirección “X”



En la dirección “Y” se redujo a 0.75V, 0.78V y 0.80V para las configuraciones Chevron Brace, Diagonal y Doble Diagonal.

Figura 93

Comparación de la reducción de la fuerza sísmica que alcanzo la edificación del módulo 02 con la incorporación de los disipadores de energía en las distintas configuraciones en la dirección “Y”



La fuerza axial en los disipadores en configuración Chevron Brace y Doble Diagonal fueron de 110 kip y en la configuración Diagonal 220 kip, esto es debido a que en la configuración diagonal se usa un solo disipador a diferencia de las otras dos configuraciones en la cual se usan 02 disipadores.

Tabla 111

Comparación de la cantidad de disipadores de energía requeridos en la edificación del módulo 02 para las distintas configuraciones

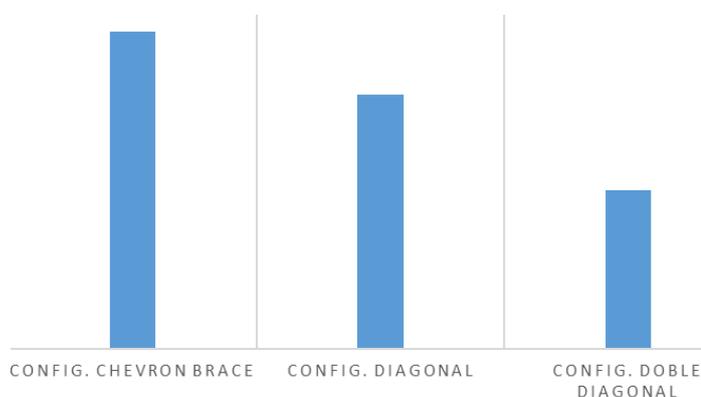
CONFIGURACIÓN	NUMERO DE DISIPADORES	FUERZA AXIAL EN LOS DISIPADORES (KIP)
Chevron Brace	20	110
Diagonal	10	220
Doble Diagonal	20	110

4.3.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

- La incorporación de los disipadores de energía logro mejorar el comportamiento sismorresistente de las edificaciones, cumpliendo así con lo establecido en el RNE.
- La configuración Chevron Brace presenta un mejor comportamiento a nivel de derivas, seguida por la configuración Diagonal.
- La configuración Diagonal mejoro de manera más óptima el comportamiento sismorresistente en la edificación del módulo 01, a comparación de la configuración Chevron Brace y Doble Diagonal, sin embargo, dichos resultados difieren levemente a los obtenidos por la configuración Chevron Brace.
- La configuración Chevron Brace mejoro de manera más óptima el comportamiento sismorresistente en la edificación del módulo 02, a comparación de la configuración Diagonal y Doble Diagonal.
- Después de analizar los resultados de las edificaciones de los módulos 01 y 02, se observa que los disipadores en configuración Chevron Brace mejoraron de mas manera más óptima el comportamiento sismorresistente de los módulos 01 y 02, seguido por la configuración Diagonal y finalmente por la configuración Doble Diagonal.

Figura 94

Configuración más óptima del disipador de energía fluido viscoso, para el mejoramiento del comportamiento sismorresistente de los módulos 01 y 02.



CONCLUSIONES

- 1) La configuración Chevron Brace reflejo un mejor comportamiento con respecto al control de las derivas, seguidos por la configuración Diagonal. La configuración doble diagonal es más deficiente al tratar de controlar las derivas de entrepiso.
- 2) La configuración Chevron Brace y la configuración Diagonal lograron un porcentaje mayor de disipación de energía y de amortiguamiento efectivo, a comparación que la configuración Doble diagonal.
- 3) Los disipadores en configuración Chevron Brace lograron mejorar el comportamiento sismorresistente de una edificación de manera más óptima que las configuraciones Diagonal y Doble Diagonal.

RECOMENDACIONES

- 1) En el presente estudio se analizó los disipadores de energía del tipo fluido viscoso, sin embargo, actualmente existen distintos tipos de disipadores por lo cual se recomienda realizar un estudio comparativo de los distintos disipadores de energía, con la finalidad de poder determinar y/o estimar que tipo de disipador de energía presenta un mejor comportamiento ante una edificación con un sistema estructural determinado.
- 2) La elaboración de una norma con respecto al diseño y construcción de edificaciones con disipadores de energía, de forma similar a la norma existente E031 cuya norma contempla el diseño de edificaciones con aislamiento sísmico.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society of Civil Engineers (2017). *ACE/SEI 16 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*.
- Boza, Z. & Galán, D. (2013). *Diseño de un edificio aporticado con disipadores en arreglo chevron*. [Tesis de Titulación, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/4518>
- CDV Ingeniería Antisísmica. Disipadores Sísmicos. <https://www.cdvperu.com/disipadores-sismicos-taylor/>
- Chacón, R. & Ramírez, J. (2014). *Análisis de una edificación de 4 pisos con disipadores de fluido viscoso*. [Tesis de Titulación, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5971>
- Di Paola, M. & Navarra G. (2013). *Passive control of linear structures equipped with nonlinear viscous dampers and amplification mechanisms*. <https://pdfs.semanticscholar.org/6f6d/10b52b338025a98e90a510f40ba42a1852a0.pdf>
- Díaz, M. (2014). *Evaluación del proyecto estructural y optimización del diseño con disipadores de energía viscosos taylor para una edificación esencial de 6 pisos*. [Tesis de Titulación, Universidad Privada Antenor Orrego, Perú]. <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/upaorep/637>
- Federal Emergency Management Agency (1997). *NEHRP Commentary on The Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings FEMA 274*. <https://www.conservationtech.com/FEMA-publications/FEMA274-1997.pdf>
- Federal Emergency Management Agency (1997). *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings FEMA 273*. <https://www.scinc.co.jp/nanken/pdf/fema273.pdf>
- Federal Emergency Management Agency (2003). *Multi-hazard Loss Estimation Methodology HAZUS MH MR4*. http://www.civil.ist.utl.pt/~mlopes/conteudos/DamageStates/hazus_mr4_earthquake_tech_manual.pdf

- Fuentes, J. (2015). *Análisis sísmico de una edificación con disipadores de fluido viscoso*. [Tesis de Titulación, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6091>
- Guevara, D. & Torres, P. (2012). *Diseño de un edificio aporticado con amortiguadores de fluido-viscoso en disposición diagonal*. [Tesis de Titulación, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/1477>
- Hwang, J. (2002). *Seismic Design of Structures with Viscous Dampers*. https://www.researchgate.net/publication/242272444_Seismic_Design_of_Structures_with_Viscous_Dampers
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006). *Norma Técnica de Edificación E.070 Albañilería*. Capacitación e Investigación para la Industria de la Construcción.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006). *Norma Técnica de Edificación E.020 Cargas*. Capacitación e Investigación para la Industria de la Construcción.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2009). *Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado*. Capacitación e Investigación para la Industria de la Construcción.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018). *Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente*. Capacitación e Investigación para la Industria de la Construcción.
- Morales, L. & Contreras, J. (2012). *Protección de una edificación existente con disipadores de energía*. [Tesis de Titulación, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/1708>
- UNASAM (2015). *Ampliación y mejoramiento de los servicios de aulas y de los servicios de soporte académico de la oficina general de estudios de la UNASAM, distrito de Independencia, Provincia de Huaraz, Departamento de Ancash (Expediente Técnico)*. UNASAM.
- Villarreal, G. y Oviedo, R. (2009). *Edificaciones con Disipadores de Energía*.

ANEXOS

ANEXO A. CALCULO DE IRREGULARIDADES DEL PROYECTO

ANEXO B. PLANO EN PLANTA DEL PROYECTO



ANEXO A. CALCULO DE IRREGULARIDADES DEL PROYECTO

- **CALCULO DE IRREGULARIDADES DEL MÓDULO 01**
 - IRREGULARIDAD EN ALTURA DEL MÓDULO 01
 - IRREGULARIDAD EN PLANTA DEL MÓDULO 01
- **CALCULO DE IRREGULARIDADES DEL MÓDULO 01 REESTRUCTURADO**
- **CALCULO DE IRREGULARIDADES DEL MÓDULO 02**
 - IRREGULARIDAD EN ALTURA DEL MÓDULO 02
 - IRREGULARIDAD EN PLANTA DEL MÓDULO 02
- **CALCULO DE IRREGULARIDADES DEL MÓDULO 02 REESTRUCTURADO**

CALCULO DE IRREGULARIDADES DEL MÓDULO 01

Las Irregularidades fueron calculadas de acuerdo a lo mencionado en la norma técnica E030.

IRREGULARIDAD EN ALTURA DEL MÓDULO 01

Irregularidad por Rigidez

Como se observa el módulo 01 no presenta irregularidad por Rigidez

Tabla 112

Evaluación de la irregularidad por Rigidez en la dirección “X”, modulo 01

PISO	FUERZA CORTANTE (t)	DESPLAZ. CENTR MASA (m)	DESPLAZ RELAT CENTR MASA (m)	RIGIDEZ LATERAL (t/m)	IRREG < 70%	IRREG < 80%
5	77.1532	0.0123	0.001	72648.964		
4	188.4056	0.0113	0.002	100644.017	138.53%	
3	279.6287	0.0094	0.003	105679.781	105.00%	
2	345.8008	0.0067	0.003	110057.543	104.14%	118.35%
1	384.8346	0.0036	0.004	107196.267	97.40%	101.65%

Tabla 113

Evaluación de la irregularidad por Rigidez en la dirección “Y”, modulo 01

PISO	FUERZA CORTANTE (t)	DESPLAZ. CENTR MASA (m)	DESPLAZ RELAT CENTR MASA (m)	RIGIDEZ LATERAL (t/m)	IRREG < 70%	IRREG < 80%
5	226.6369	0.0149	0.003	86535.662		
4	511.0001	0.0123	0.003	202216.106	233.68%	
3	737.5436	0.0098	0.003	255470.592	126.34%	
2	901.0932	0.0069	0.003	292467.770	114.48%	161.22%
1	1003.7913	0.0038	0.004	264155.605	90.32%	105.64%

Irregularidad de masa o peso

Como se observa el módulo 01 no presenta irregularidad por masa o peso

Tabla 114

Evaluación de la irregularidad por masa o peso, modulo 01

PISO	MASA (t - s2/m)	PESO (t)	IRREG DE PISO > 1.5	IRREG DE PISO > 1.5
5	27.56	270.39		
4	45.82	449.51		
3	46.59	457.05	1.02	0.98
2	46.59	457.05	1.00	1.00
1	48.66	477.31	1.04	0.96

IRREGULARIDAD EN PLANTA DEL MÓDULO 01**Irregularidad Torsional**

Como se observa el módulo 01 no presenta irregularidad torsional

Tabla 115

Evaluación de la irregularidad torsional en la dirección “X”, modulo 01

PISO	DESP EXTREMO	DESP RELAT EXTREMO	DESPL PROMEDIO EXTREMOS	DESPL RELAT PROMEDIO EXTREMOS	TORSION > 1.3	TORSION EXTREMA > 1.5
5	0.011801	0.001610	0.011702	0.001594	1.010	1.010
4	0.010191	0.002433	0.010108	0.002413	1.008	1.008
3	0.007758	0.003049	0.007695	0.003025	1.008	1.008
2	0.004709	0.004017	0.004670	0.003992	1.006	1.006
1	0.000692	0.000692	0.000678	0.000678	1.021	1.021

Tabla 116

Evaluación de la irregularidad torsional en la dirección “Y”, modulo 01

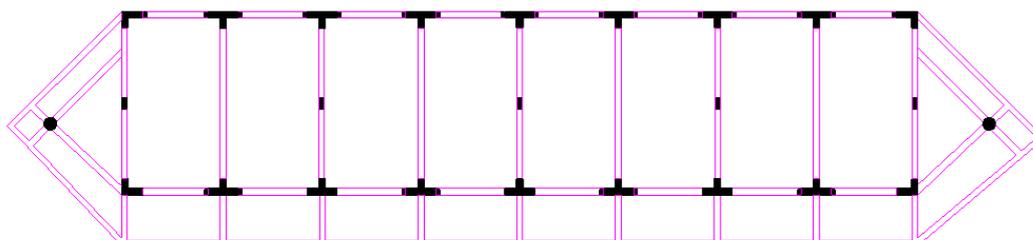
PISO	DESP EXTREMO	DESP RELAT EXTREMO	DESPL PROMEDIO EXTREMOS	DESPL RELAT PROMEDIO EXTREMOS	TOSION > 1.3	TORSION EXTREMA > 1.5
5	0.016240	0.003084	0.015987	0.003044	1.013	1.013
4	0.013156	0.003416	0.012944	0.003364	1.016	1.016
3	0.009740	0.003771	0.009580	0.003710	1.017	1.017
2	0.005969	0.004774	0.005870	0.004696	1.017	1.017
1	0.001195	0.001195	0.001174	0.001174	1.018	1.018

Irregularidad por Diafragma

El módulo 01 presenta irregularidad por diafragma, debido a su arquitectura. La cual en la dirección “Y”, el ancho va disminuyendo a medida que se acerca al extremo, reduciendo así su sección transversal.

Figura 95

Vista en planta del módulo 01.



Después de analizar el módulo 01, se obtiene que el coeficiente de irregularidad en altura es 1 y el coeficiente de irregularidad en planta es de 0.85 correspondiente a irregularidad por diafragma.

CALCULO DE IRREGULARIDADES DEL MÓDULO 02

IRREGULARIDAD EN ALTURA DEL MÓDULO 02

Irregularidad por Rigidez

Como se observa el módulo 02 no presenta irregularidad por Rigidez

Tabla 117

Evaluación de la irregularidad por Rigidez en la dirección “X”, modulo 02

PISO	FUERZA CORTANTE (t)	DESPLAZ. CENTR MASA (m)	DESPLAZ RELAT CENTR MASA (m)	RIGIDEZ LATERAL (t/m)	IRREG < 70%	IRREG < 80%
4	316.5155	0.0171	0.004	89842.606		
3	488.3126	0.0136	0.004	113958.600	126.84%	
2	609.3012	0.0093	0.004	136461.635	119.75%	
1	680.3255	0.0048	0.005	140883.309	103.24%	124.21%

Tabla 118

Evaluación de la irregularidad por Rigidez en la dirección “Y”, modulo 02

PISO	FUERZA CORTANTE (t)	DESPLAZ. CENTR MASA (m)	DESPLAZ RELAT CENTR MASA (m)	RIGIDEZ LATERAL (t/m)	IRREG < 70%	IRREG < 80%
4	416.2906	0.0130	0.003	144796.730		
3	638.3527	0.0101	0.003	200298.933	138.33%	
2	791.8153	0.0069	0.003	242888.129	121.26%	
1	878.3989	0.0036	0.004	242049.848	99.65%	123.50%

Irregularidad de Masa o Peso**Tabla 119**

Evaluación de la irregularidad por masa o peso, modulo 02

PISO	MASA (t - s2/m)	PESO (t)	IRREG DE PISO > 1.5	IRREG DE PISO > 1.5
4	35.2270	345.5771		
3	44.9783	441.2373	1.277	0.783
2	44.9783	441.2373	1.000	1.000
1	50.3874	494.3006	1.120	0.893

IRREGULARIDAD EN PLANTA DEL MÓDULO 02**Irregularidad Torsional**

Como se observa el módulo 02 presenta irregularidad torsional Extrema

Tabla 120

Evaluación de la irregularidad torsional en la dirección “X”, modulo 02

PISO	DESP EXTREMO	DESP RELAT EXTREMO	DESPL PROMEDIO EXTREMOS	DESPL RELAT PROMEDI O EXTREMOS	TORSION > 1.3	TORSION EXTREM A > 1.5
4	0.025371	0.006388	0.018586	0.004660	1.371	1.371
3	0.018983	0.006067	0.013926	0.004990	1.216	1.216
2	0.012916	0.006271	0.008936	0.005375	1.167	1.167
1	0.006645	0.006645	0.003561	0.003561	1.866	1.866

Tabla 121

Evaluación de la irregularidad torsional en la dirección “Y”, modulo 02

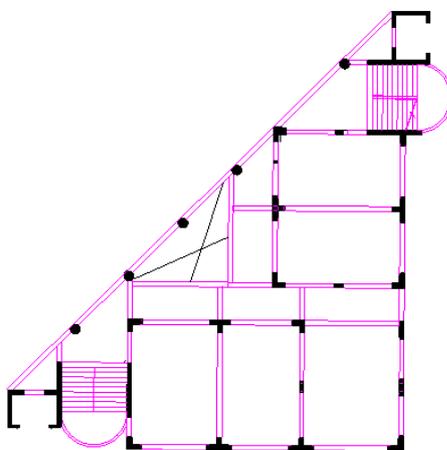
PISO	DESP EXTREMO	DESP RELAT EXTREMO	DESPL PROMEDIO EXTREMOS	DESPL RELAT PROMEDI O EXTREMO S	TOSION > 1.3	TORSION EXTREM A > 1.5
4	0.014508	0.002808	0.013150	0.003147	0.892	0.892
3	0.011700	0.003403	0.010003	0.003409	0.998	0.998
2	0.008297	0.003761	0.006594	0.003575	1.052	1.052
1	0.004536	0.004536	0.003020	0.003020	1.502	1.502

Irregularidad por Diafragma

El módulo 02 presenta irregularidad por diafragma, debido a su arquitectura. La cual en la dirección “X” e “Y”, el ancho va disminuyendo a medida que se acerca al extremo, reduciendo así su sección transversal.

Figura 96

Vista en planta del módulo 02



Después de analizar la estructura se observa que no presenta irregularidad en altura, sin embargo, presenta dos irregularidades en planta, irregularidad por diafragma y torsión extrema, siendo el predominante la irregularidad torsional. Obteniéndose así que el coeficiente de irregularidad en altura es 1 y el coeficiente de irregularidad en planta es de 0.6 correspondiente a irregularidad por torsión Extrema

IRREGULARIDAD EN PLANTA DEL MÓDULO 02 REESTRUCTURADO

La reestructuración del módulo 2 consistió en evitar que la estructura presente irregularidad torsional, con la colocación de muros de concreto, siendo así que se procedió a evaluar dicha irregularidad.

Irregularidad Torsional

Como se observa el módulo 02 reestructurado no presenta irregularidad torsional

Tabla 122

Evaluación de la irregularidad torsional en la dirección “X”, modulo 02 reestructurado

PISO	DESP EXTREMO	DESP RELAT EXTREMO	DESPL PROMEDIO EXTREMOS	DESPL RELAT PROMEDI O EXTREMO S	TORSION > 1.3	TORSION EXTREM A > 1.5
4	0.020011	0.005449	0.018239	0.004811	1.133	1.133
3	0.014562	0.005524	0.013427	0.004983	1.109	1.109
2	0.009038	0.004993	0.008444	0.004584	1.089	1.089
1	0.004045	0.004045	0.003861	0.003861	1.048	1.048

Tabla 123

Evaluación de la irregularidad torsional en la dirección “Y”, modulo 02 reestructurado

PISO	DESP EXTREMO	DESP RELAT EXTREMO	DESPL PROMEDIO EXTREMOS	DESPL RELAT PROMEDI O EXTREMO S	TOSION > 1.3	TORSION EXTREM A > 1.5
4	0.016247	0.004408	0.015718	0.004147	1.063	1.063
3	0.011839	0.004461	0.011572	0.004280	1.042	1.042
2	0.007378	0.003992	0.007292	0.003927	1.017	1.017
1	0.003386	0.003386	0.003365	0.003365	1.006	1.006

Después de analizar el módulo 02 reestructurado, se obtiene que el coeficiente de irregularidad en altura es 1 y el coeficiente de irregularidad en planta es de 0.85 correspondiente a irregularidad por diafragma, debido a que la arquitectura se mantiene intacta.

ANEXO B. PLANO EN PLANTA DEL PROYECTO

