



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**“DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE HORMIGÓN ARMADO
CON AMORTIGUADORES VISCOSOS”**

Autor: Christopher Diego Martínez Montoya

Tutor: Ing. Mg. Wladimir José Ramírez Cabrera

AMBATO - ECUADOR

Julio - 2022

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: “**DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE HORMIGÓN ARMADO CON AMORTIGUADORES VISCOSOS**”, elaborado por el Sr. Christopher Diego Martínez Montoya, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1600745317, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, Julio 2022

Ing. Mg. Wladimir José Ramírez Cabrera

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Christopher Diego Martínez Montoya**, con C.I. 1600745317 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente proyecto técnico con el tema **“DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE HORMIGÓN ARMADO CON AMORTIGUADORES VISCOSOS”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Julio 2022



Christopher Diego Martínez Montoya

C.I: 1600745317

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto Técnico, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Julio 2022



Christopher Diego Martínez Montoya

C.I: 1600745317

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por el estudiante Christopher Diego Martínez Montoya, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: “**DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE HORMIGÓN ARMADO CON AMORTIGUADORES VISCOSOS**”.

Ambato, Julio 2022

Para constancia firman:

Ing. M. Sc. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla

Miembro calificador

Ing. Mg. Byron Genaro Cañizares Proaño

Miembro calificador

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo y esfuerzo primeramente a Dios quien me ha bendecido en todo tiempo, me ha dado la sabiduría necesaria para tomar buenas decisiones y poder concluir con una etapa más de mi vida. A mis padres quienes han permitido que pueda tener educación si ningún límite, quienes siempre han querido lo mejor para mi vida y siempre me han apoyado en todo momento, y en toda circunstancia.

Christopher Martínez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios quien me ha dado la salud, la sabiduría e inteligencia para poder culminar con una etapa más de mi vida.

A mis padres quienes han sido el motivo de todo mi esfuerzo y dedicación y quienes siempre me han brindado apoyo y amor en todo momento.

Al Ing. Mg. Wladimir Ramírez, quien me ha brindado mucho apoyo, asesoría y tiempo para poder culminar con mi trabajo de titulación.

Christopher Martínez

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xx
CAPITULO I	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	1
1.1.1. ANTECEDENTES	1
1.1.2. JUSTIFICACIÓN	5
1.1.3. FUNDAMENTACION TEÓRICA	7
1.1.3.1 Amortiguamiento	7
1.1.3.2. Funcionamiento de amortiguación viscoso.....	7
1.1.3.3. Factor de amortiguamiento estructural.....	8
1.1.3.4. Balance de energía	9
1.1.3.5. Sistemas de protección sísmica.....	11
1.1.3.6. Configuración de dispositivos de energía de disipación pasiva.....	16
1.1.3.7. Modelado del sistema de amortiguamiento.....	18
1.1.3.8. Representación física del sistema con disipadores.....	18

1.1.3.9. Modelo de un amortiguador individual.....	19
1.1.3.10. Ecuación General	20
1.1.3.10.1. Exponente de velocidad α	25
1.1.3.11. Rigidez del brazo metálico “K”	26
1.1.3.12. Comportamiento del disipador viscoso de acuerdo al desplazamiento vs velocidad vs fuerza	27
1.1.3.13. Ubicación de disipadores	30
1.1.3.14. Recomendaciones de diseño	30
1.1.3.14.1. Recomendaciones de acuerdo al ASCE 7-10 capítulo 18.....	30
1.1.3.14.2. Reducción de respuesta mediante coeficiente B	31
1.1.3.14.3. Recomendación para uso del análisis paso a paso o también análisis dinámico no lineal	31
1.1.3.14.4. Recomendación para el diseño de conexiones del disipador viscoso.....	32
1.1.3.15. Fabricantes	33
1.1.3.16. Análisis estructural.....	33
1.1.3.16.1. Análisis estático equivalente	33
1.1.3.16.2. Análisis modal espectral	34
1.1.3.16.3. Análisis estático no lineal	34
1.1.3.16.4. Desempeño sísmico.....	36
1.1.3.16.5. Análisis dinámico no lineal o tiempo historia.....	37
1.1.3.16.6. Procedimientos y recomendaciones para análisis sísmico	38
1.1.4. HIPOTESIS	40
1.1.4.1. HIPOTESIS DE TRABAJO	40
1.2. OBJETIVOS.....	40
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	40
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	40

CAPITULO II	41
METODOLOGÍA	41
2.1. MATERIALES Y EQUIPOS	41
2.1.1. MATERIALES	41
2.1.2. EQUIPOS	41
2.2. MÉTODOS	41
2.2.1. Datos Generales	42
2.2.2. Análisis de información	43
2.2.3. Cuantificación de cargas	46
2.2.4. Predimensionamiento de vigas	50
2.2.4. Predimensionamiento de columnas	51
2.2.5. Predimensionamiento de placas	52
2.2.6. Cargas sísmicas	53
2.2.7. Análisis estructural de la edificación	61
2.2.7.1. Análisis convencional de la estructura	61
2.2.7.2. Diseño estructural de la edificación con amortiguadores viscosos ...	85
2.2.7.2.1. Análisis del edificio sin la incorporación de amortiguadores viscosos	85
2.2.7.2.2. Escalamiento de acelerogramas	96
2.2.7.2.3. Análisis Lineal Tiempo-Historia	102
2.2.7.2.4. Análisis del edificio con la incorporación de disipadores viscosos	109
2.2.7.2.5. Cálculo de las propiedades del disipador	110
2.2.7.2.6. Modelación de amortiguadores viscosos	120
2.2.7.2.7. Análisis no lineal Tiempo-Historia	123
2.2.7.2.8. Respuesta de la estructura con amortiguadores	124
CAPITULO III	136

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	136
3.1 Análisis y discusión de los resultados	136
3.1.1 Derivas de piso	136
3.1.2 Cortantes de piso	137
3.1.3 Aceleraciones en el centro de masas	138
3.1.4 Diseño de los dispositivos de amortiguamiento viscoso.....	139
3.1.5 Diseño de los elementos estructurales.....	143
3.1.5.1 Diseño de los elementos estructurales de la estructura convencional	143
❖ Vigas.....	143
❖ Columnas.....	150
❖ Muro de corte	151
3.1.5.2. Diseño de los elementos estructurales de la estructura con amortiguadores viscosos	152
3.1.6. Análisis costo beneficio de la incorporación de disipadores viscosos en la estructura	155
3.2. Verificación de hipótesis	158
CAPITULO IV	159
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	159
4.1. Conclusiones	159
4.2. Recomendaciones.....	160
BIBLIOGRAFÍA	161

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores recomendados de ξ en porcentaje	8
Tabla 2. Exponente de velocidad y parámetro lambda	22
Tabla 3. Clasificación del tipo de estructura según la altura.....	23
Tabla 4. Estados de daños de acuerdo a las derivas de entrepiso.....	23
Tabla 5. Predimensión de losa alivianada	46
Tabla 6. Carga muerta de losa.....	46
Tabla 7. Carga muerta de paredes	47
Tabla 8. Cargas vivas de diseño	49
Tabla 9. Estimación de cargas por piso.....	52
Tabla 10. Cálculo de irregularidad en planta	67
Tabla 11. Cálculo de irregularidad en elevación.....	69
Tabla 12. Datos para espectro sísmico	69
Tabla 13. Cortante basal estático y dinámico.....	74
Tabla 14. Modos de vibración.....	75
Tabla 15. Deformaciones en los extremos de losa por SD_x	79
Tabla 16. Efectos de segundo orden en dirección X.....	80
Tabla 17. Efectos de segundo orden en dirección Y	81
Tabla 18. Factores dependientes del tiempo	83
Tabla 19. Derivas máximo por nivel de desempeño	89
Tabla 20. Derivas de entrepiso en dirección X con espectro de diseño sin reducir ..	89
Tabla 21. Derivas de entrepiso en dirección Y con espectro de diseño sin reducir ..	90
Tabla 22. Derivas de acuerdo a la reducción de espectro elástico según la norma complementaria de México	94
Tabla 23. Derivas de acuerdo a la reducción de espectro elástico según la norma española.....	95
Tabla 24. Características de los registros sísmicos utilizados para el análisis estructural.....	96
Tabla 25. Derivas de acuerdo al acelerograma escalado de México (CASO 1).....	105
Tabla 26. Derivas de acuerdo al acelerograma escalado de México (CASO2).....	105
Tabla 27. Derivas de acuerdo al acelerograma escalado de Turquía (CASO 1) ...	105
Tabla 28. Derivas de acuerdo al acelerograma escalado de Turquía (CASO2)	106

Tabla 29. Derivas de acuerdo al acelerograma escalado de Japón (CASO 1).....	106
Tabla 30. Derivas de acuerdo al acelerograma escalado de Japón (CASO2).....	106
Tabla 31. Derivas en dirección X-X	107
Tabla 32. Derivas en dirección Y-Y	107
Tabla 33. Diferencia entre derivas obtenidas en dirección X-X	108
Tabla 34. Diferencia entre derivas obtenidas en dirección Y-Y	108
Tabla 35. Propiedades de perfil metálico HSS 7.50x0.50.....	110
Tabla 36. masa por piso	112
Tabla 37. Forma modal relativa	113
Tabla 38. Coeficiente de amortiguación del dispositivo	115
Tabla 39. Desplazamiento máximo del disipador viscoso	117
Tabla 40. Fuerza máxima en el dispositivo de amortiguamiento.....	118
Tabla 41. Dibujo de elemento link como disipadores viscosos	121
Tabla 42. Derivas de entrepiso con amortiguadores viscosos (Eje X).....	125
Tabla 43. Derivas de entrepiso con amortiguadores viscosos (Eje Y).....	125
Tabla 44. Derivas en el eje X con la nueva disposición de los disipadores	126
Tabla 45. Desplazamiento máximo de los dispositivos de amortiguamiento (EJE X)	127
Tabla 46. Desplazamiento máximo de los dispositivos de amortiguamiento (EJE Y)	127
Tabla 47. Fuerza máxima de los dispositivos de amortiguamiento (EJE X)	128
Tabla 48. Fuerza máxima de los dispositivos de amortiguamiento (EJE Y)	129
Tabla 49. Energía total de la estructura.....	134
Tabla 50. Porcentaje de disipación sísmica.....	135
Tabla 51. Comparación de derivas con y sin amortiguadores viscosos (EJE X)....	136
Tabla 52. Comparación de derivas con y sin amortiguadores viscosos (EJE Y)....	137
Tabla 53. Comparación de cortantes de piso con y sin amortiguadores viscosos en (EJE X).....	137
Tabla 54. Comparación de cortantes de piso con y sin amortiguadores viscosos en (EJE Y).....	138
Tabla 55. Comparación de aceleraciones en el CM, con y sin amortiguadores viscosos. (EJE X)	138

Tabla 56. Comparación de aceleraciones en el CM, con y sin amortiguadores viscosos (EJE Y)	139
Tabla 57. Esfuerzos de corte y momento de las vigas	144
Tabla 58. Diseño de acero de vigas tipo por bloque. (Eje Y)	145
Tabla 59. Acero requerido a flexión para muro de corte	151
Tabla 60. Acero requerido para muro de corte, estructura con amortiguadores	154
Tabla 61. Precio de los elementos estructurales y amortiguadores viscosos (Armado de la estructura convencional).....	155
Tabla 62. Reforzamiento estructural e inclusión de amortiguadores viscosos (Armado de la estructura convencional)	156
Tabla 63. Precio de los elementos estructurales y amortiguadores viscosos (Armado de la estructura con disipadores)	157
Tabla 64. Precio de la estructura con la incorporación de amortiguadores viscosos	157

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Balance de energía en un edificio sin disipadores	10
Figura 2. Balance de energía en un edificio con disipadores	10
Figura 3. Clasificación de sistemas de protección sísmica modernos	11
Figura 4. Amortiguadores Viscoelásticos	14
Figura 5. Componentes de un disipador de fluido viscoso	15
Figura 6. Amortiguadores Viscosos	15
Figura 7. Disipación diagonal	16
Figura 8. Disipación Chevron	17
Figura 9. Representación física Chevron y diagonal de un modelo de un grado de libertad.....	19
Figura 10. Modelo de un amortiguador individual tipo Maxwell.....	20
Figura 11. Ángulo de inclinación y desplazamiento relativo del disipador.....	22
Figura 12. Relación velocidad vs fuerza del disipador	25
Figura 13. Comportamiento de un pórtico antes una acción sísmica.....	27
Figura 14. Desplazamientos de los dispositivos viscosos.....	28
Figura 15. Idealización tipo péndulo invertido	28
Figura 16. Curva histerética (desplazamiento vs fuerza) del disipador viscoso	29
Figura 17. Conexiones de disipadores viscosos.....	32
Figura 18. Curva de capacidad Pushover	36
Figura 19. Ubicación del proyecto	42
Figura 20. Distribución arquitectónica de la edificación	43
Figura 21. Configuración estructural en planta, elevación y 3D	45
Figura 22. Área cooperante de columnas	51
Figura 23. Tipo de perfil de suelo D	53
Figura 24. Mapa de diseño sísmico.....	54
Figura 25. Curvas de peligro sísmico Ambato.....	54
Figura 26. Zona sísmica y factor Z	55
Figura 27. Coeficiente de amplificación de suelo en zonas con periodo corto (Fa)	56
Figura 28. Amplificación de espectro elástico de desplazamientos en roca. (Fd) ...	56
Figura 29. Comportamiento no lineal del suelo. (Fs)	56
Figura 30. Valores de amplificación espectral.....	57

Figura 31. Niveles de amenaza sísmica	57
Figura 32. Aceleración máxima espectral para sismo extremo	58
Figura 33. Importancia de la estructura	60
Figura 34. Valor de reducción sísmica (R)	60
Figura 35. Coeficientes de acuerdo al tipo de estructura	60
Figura 36. Definición de columnas en el software de diseño	62
Figura 37. Definición de vigas de acuerdo a software de diseño.....	63
Figura 38. Definición de losa en software de diseño	64
Figura 39. Definición de placas o muros estructurales	65
Figura 40. Irregularidad en planta según NEC15	65
Figura 41. Vista en planta de un piso tipo de la edificación	66
Figura 42. Irregularidad en elevación según NEC15.....	68
Figura 43. Vista en elevación de un piso tipo de la edificación.....	68
Figura 44. Espectro elástico e inelástico.....	69
Figura 45. Definición del espectro inelástico en el software de diseño.....	70
Figura 46. Definición de patrones de carga	71
Figura 47. Definición del sismo estático en X e Y	71
Figura 48. Definición de fuente de masa en el software.....	72
Figura 49. Definición de casos modales en el software.....	72
Figura 50. Definición de combinación de carga en el software.....	73
Figura 51. Deriva elástica (SDx).....	77
Figura 52. Deriva elástica (SDy).....	78
Figura 53. Deflexión por carga viva de acuerdo al software Etabs	82
Figura 54. Deflexión inmediata por CV+CM+DEAD de acuerdo al software Etabs	84
Figura 55. Esquema en planta y tridimensional sin disipadores viscosos	85
Figura 56. Espectro de diseño sísmico sin reducir.....	86
Figura 57. Espectro de diseño sin reducir en software especializado.....	87
Figura 58. Asignación de caso de carga en el software	88
Figura 59. Espectro elástico con aumento de amortiguamiento	94
Figura 60. Ingreso del acelerograma.....	97
Figura 61. Escalamiento del acelerograma con el espectro elástico en el programa de diseño especializado.	97

Figura 62. Comparación de acelerograma de México escalado con espectro de diseño sin reducir	98
Figura 63. Escalado espectral Turquía 1999 (N-S).....	99
Figura 64. Escalado espectral Turquía 1999 (E-O).....	100
Figura 65. Escalado espectral aeropuerto Mexicali 1979 (N-S)	100
Figura 66. Escalado espectral aeropuerto Mexicali 1979 (E-O).....	101
Figura 67. Escalado espectral Japón 1995 (N-S)	101
Figura 68. Escalado espectral Japón 1995 (E-O).....	102
Figura 69. Definición de carga del caso 1, para análisis lineal tiempo-historia	103
Figura 70. Definición de carga del caso 2, para análisis lineal tiempo-historia	104
Figura 71. Longitud del brazo metálico (Eje X e Y)	111
Figura 72. Detalle de unión del brazo metálico a placa base.....	111
Figura 73. Ángulo de inclinación del disipador	113
Figura 74. Forma modal del modo 1	113
Figura 75. Amplitud de desplazamiento	114
Figura 76. Cortante de entrepiso en el Eje X	115
Figura 77. Periodo fundamental de la estructura	117
Figura 78. Modelado en Etabs2016 del disipador viscoso	120
Figura 79. Caso de carga gravitacional	123
Figura 80. Caso de carga no lineal tiempo-historia (Integración directa).....	123
Figura 81. Nueva disposición de amortiguadores viscosos en el eje X.....	126
Figura 82. Curva de histéresis del disipador #15	130
Figura 83. Curva de histéresis del disipador #3	131
Figura 84. Ingreso de funciones para la gráfica balance de energía en el software Etabs2016.....	132
Figura 85. Balance de energía en el eje X.....	133
Figura 86. Balance de energía en el eje Y.....	133
Figura 87. Catálogo de disipadores viscosos por Tylor Devices Inc	140
Figura 88. Diseño de disipador para el eje X, Fuerza 169.31 tonf.....	141
Figura 89. Diseño de disipador para el eje Y, Fuerza 74.22 tonf.....	142
Figura 90. Bloques de diseño para vigas.....	143
Figura 91. Momentos flectores de las vigas (Eje Y).....	144
Figura 92. Detalle de armado vigas (Eje Y).....	146

Figura 93. Momentos flectores de las vigas (Eje X).....	149
Figura 94. Armado de viga (Eje X).....	149
Figura 95. Franja de columna crítica y porcentajes de acero o cuantía	150
Figura 96. Detalle de acero de refuerzo de columnas	150
Figura 97. Esfuerzo de corte y momento, muro de corte.....	151
Figura 98. Detalle de armado para muro de corte.....	152
Figura 99. Cuantía de acero vigas estructura con amortiguadores viscosos.....	153
Figura 100. Armado en columnas de estructura con amortiguadores viscosos	154
Figura 101. Detalle de armado muro de corte, estructura con amortiguadores	154

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se realizó el análisis y diseño estructural de un edificio de hormigón armado. Mediante este modelo se realizó un análisis estructural convencional usando un espectro de diseño con un $R=8$ tomando en cuenta los fundamentos especificados por las normas NEC-SE-DS y ACI318.

Posteriormente se realizó el análisis de la misma edificación con la incorporación de amortiguadores viscosos utilizando los fundamentos especificados por la norma ASCE 7-16, obteniendo coeficientes de amortiguación para los disipadores utilizados en la estructura y derivas menores al 0.5 por ciento.

Se realizó un análisis económico comparando el costo de reforzamiento para la estructura convencional, esperando un daño considerable a largo plazo en caso de un sismo severo, y el diseño de la estructura con la incorporación de amortiguadores viscosos, esperando derivas de hasta máximo 0.5 por ciento y un desempeño de ocupación inmediata en caso de un sismo de raro.

Al final del trabajo se concluye que la incorporación de amortiguadores viscosos brinda gran aporte en la disipación de energía sísmica disminuyendo la disipación no lineal por parte de la estructura y por ende reduciendo el daño estructural en la edificación.

Palabras clave: Amortiguamiento viscoso, Deriva de piso, Hormigón armado, Disipación sísmica, Diseño estructural.

ABSTRACT

In this degree work, the structural analysis and design of a reinforced concrete building was carried out. By means of this model, a conventional structural analysis was performed using a design spectrum with an $R=8$ taking into account the fundamentals specified by the NEC-SE-DS and ACI318 standards.

Subsequently, the analysis of the same building was carried out with the incorporation of viscous dampers using the fundamentals specified by ASCE 7-16, obtaining damping coefficients for the dissipaters used in the structure and drifts of less than 0.5 percent.

An economic analysis was carried out comparing the cost of reinforcement for the conventional structure, expecting considerable long-term damage in the event of a severe earthquake, and the design of the structure with the incorporation of viscous dampers, expecting drifts of up to 0.5 percent and immediate occupancy performance in the event of a rare earthquake.

At the end of the work it is concluded that the incorporation of viscous dampers provides a great contribution in the dissipation of seismic energy by decreasing the nonlinear dissipation by the structure and therefore reducing the structural damage in the building.

Keywords: Viscous damping, Floor drift, Reinforced concrete, Seismic dissipation, Structural design.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

1.1.1. ANTECEDENTES

En la investigación realizada por Otiano (2019) [1], realiza el modelado en Etabs 2016 de una edificación de hormigón armado de 9 pisos, con el propósito de determinar el desempeño de la estructura al incluir disipadores viscosos. La edificación tiene un factor de importancia según la norma peruana E.030 de 1.00, ya que es exclusivamente para oficinas, está situada en una zona sísmica de 0.45g en la ciudad de Trujillo.

Para su análisis modal-pseudoespectral según su norma peruana para edificaciones porticadas con una importancia de 1, debería reducir su espectro elástico para 8, sin embargo, Otiano en su análisis no reduce su espectro ya que pretende que su edificación después de un sismo tenga una ocupación inmediata.

Otiano, realiza un análisis dinámico no lineal, también denominado como tiempo-historia, en el cual ocupa 3 sismos de su país y los escala con una aceleración máxima de 0.45g, posteriormente determina las derivas con este nuevo análisis y compara con las anteriores ya obtenidas determinando las variaciones existentes entre las distorsiones con el análisis pseudoespectral y los 3 acelerogramas, de esa manera obtiene el espectro de diseño, con los cuales posteriormente calcula las propiedades de los amortiguadores viscosos.

De acuerdo al análisis realizado por Otiano, determina que el uso de amortiguadores viscosos es muy efectivo para obtener niveles de desempeño inmediatamente ocupacional con secciones estructurales no muy grandes, proveyendo a la estructura de una buena amortiguación y ductilidad determinando el porcentaje de disipación sísmica de los dispositivos de fluido viscoso.

Maruri C (2015) [2], realizó el modelo a escala de una estructura de dos pisos mediante el uso de láminas de acero para crear las columnas y de madera tríplice para formar las losas, todo fue unido mediante tornillos de acero y fue ubicado en una mesa potenciada por un motor eléctrico el cual produce vibraciones simulando un evento sísmico. Maruri utilizó jeringas de 60ml para simular a los amortiguadores viscosos, todos los materiales elegidos fueron de tal manera para que posteriormente puedan ser definidos en el programa SAP2000 y de esa forma comparar los resultados entre el modelo a escala y en el programa.

El objetivo en la investigación de Maruri era comparar los resultados de los acelerogramas obtenidos del modelo a escala real con los del programa SAP2000, una vez realizada la comparación, determinó que los disipadores viscosos brindaban mayor amortiguación en el primer piso que en el segundo, y también recalca que el periodo de vibración de cada piso no variaba, sino que se mantenían los mismos.

De acuerdo al análisis realizado por Maruri, concluye que los fabricantes de los amortiguadores viscosos deben asegurar con precisión las características del disipador, para poder ingresar en los programas de diseño especializados y obtener respuestas exactas del comportamiento de la estructura.

De acuerdo a la investigación realizada por Candanedo et al (2015) [3], examinan un edificio de 6 pisos de hormigón armado este es diseñado para un cortante determinado el cual posteriormente es reducido a un 25% de acuerdo como lo permite ASCE 7-05. Los modelos son realizados en el programa SAP2000 el primero

sin la incorporación de amortiguadores viscosos y el segundo con la respectiva adición de este tipo de disipadores.

Para el diseño del segundo modelo se tomó en cuenta que el ASCE permite la reducción del cortante en un 25% para sistemas de amortiguamiento, también por ese motivo la rigidez del segundo modelo era el 80% del modelo de referencia, además las derivas y rotación plástica del segundo modelo son mayores que los del primer modelo.

En la investigación de Candanedo, para el análisis de estructuras con amortiguadores, realiza el respectivo análisis en tres estados límites, máximo desplazamiento, velocidad y aceleración. De acuerdo a cada estado evalúa diferentes respuestas, para un sismo de diseño y para un máximo sismo creíble, este último con el propósito de definir los elementos del sistema de amortiguación.

Candaneo et al [3], concluye que el modelo con amortiguadores viscosos tiene menos secciones plastificantes que el modelo sin la incorporación de estos dispositivos, y aunque el costo del modelo con amortiguadores sea un 3% más caro que el modelo tradicional, a largo plazo el modelo con disipadores viscosos será más conveniente que uno tradicional frente a los costos de reparación que serían aplicables a la estructura tradicional en caso de estar sometido a un sismo de diseño.

En la investigación desarrollada por Supe H (2021) [4], realizó el análisis de varias edificaciones en diferentes ciudades de la provincia de la Sierra, de acuerdo a estas estructuras escogió una tipología en común de la cual modeló en el programa ETABS. En el programa modeló dos edificaciones con y sin amortiguadores viscoelásticos, en las cuales modeló rótulas plásticas de acuerdo a ASCE 41-13.

Supe H, analiza el comportamiento de las estructuras mediante un análisis dinámico no lineal, para esto ocupó 3 acelerogramas según como indica la normativa NEC15, estos acelerogramas se los escalo a los espectros elásticos de 475 años y 2500 años y se realizó el respectivo análisis en el programa Etabs para cada estructura modelada.

De acuerdo al análisis Pushover realizado por Supe, determina que la estructura al someterle a un espectro raro de 475 años de periodo de retorno, su punto de desempeño estará en el rango de seguridad de vida, mientras que al someterle a un espectro extremo de 2500 años de periodo de retorno su desempeño estará en el rango de prevención a colapso, estas respuestas en la edificación sin ningún dispositivo viscoelástico. Al realizar las mismas comparaciones con la adición de amortiguadores viscoelásticos, determina que la estructura al someterle a un espectro raro, responde en el rango de ocupación inmediata y al someterle a un espectro extremo, responde en un rango de seguridad de vida, enseñando la efectividad de los amortiguadores viscoelásticos en las estructuras.

Supe H, concluye que una estructura con la adición de amortiguadores viscoelásticos, aunque en un inicio de su construcción sea costoso, en un futuro al estar sometido ante un sismo, resultará más beneficioso que la reparación de esta, ya que de acuerdo al análisis costo beneficio realizado en su investigación, determina que al tener que reparar la estructura habrá un incremento del 12.75% del costo total que en un inicio habrá tenido el proyecto con la adición de amortiguadores viscoelásticos.

1.1.2. JUSTIFICACIÓN

Ecuador es uno de los países de Sudamérica más susceptible a sufrir sismos de tipo corticales y subductivos. A lo largo de la historia se ha podido sentir y visualizar los efectos y peligros que causan estos movimientos sísmicos en nuestro país, tanto en las estructuras como también en las vidas humanas.

Con el avance de la tecnología y el enfoque de prevenir daños en las estructuras y salvaguardar vidas, se ha hecho uso de nuevas estrategias de disipación de energía, y por consiguiente de protección sísmica. El uso de amortiguadores es una técnica o estrategia la cual se usa para que, al momento de un sismo, la energía se concentre en estos dispositivos reduciendo los daños en la estructura como un mecanismo de disipación. La utilización de estas nuevas tecnologías ayuda a tener un mejor desempeño de la estructura ante movimientos sísmicos. [3]

En el presente trabajo, se hará uso de esta nueva tecnología de disipación sísmica, la cual se denomina como disipador telescópico hidráulico o también llamado amortiguador de fluido viscoso. [5]

La manera en cómo los amortiguadores ayudan a disipar energía en las estructuras es aumentando el factor de amortiguamiento en las mismas, ya que este factor en las estructuras es la suma del factor de amortiguamiento propia de la edificación más el amortiguamiento de los disipadores[4]. El amortiguamiento propio de una estructura se da mediante articulaciones plásticas las cuales generan una fricción inelástica, estas articulaciones se dan en lugares preestablecidos en los elementos estructurales, esta es la manera convencional en la cual trabajan las estructuras sin ningún uso de disipadores de amortiguamiento sísmico. [3]

Según Otiano (2019) [1], menciona que la disipación de energía sísmica en estructuras convencionales se realiza en base a la ductilidad, rigidez y resistencia de la misma. Cuando las estructuras están sometidas a sismos moderados o raros,

ingresan en un rango no lineal, en este punto disipan energía mediante deformaciones irreversibles en elementos estructurales brindando de esa manera ductilidad a la estructura, pero dejando un porcentaje de daño estructural que posterior al sismo se deberá reforzar.

No todas las edificaciones van a tener el mismo desempeño sísmico, por ejemplo, en estructuras esenciales como los centros de educación, su ocupación después de un sismo debe ser inmediata, por lo que no deben tener daños estructurales graves. Es por eso que en este tipo de estructuras es conveniente que entren de manera leve en el rango no lineal, pero para realizar esto se necesita aumentar la rigidez de la edificación, lo cual causa una gran desventaja en el aspecto económico.

En estructuras con disipadores de energía sísmica tienen como finalidad disminuir los desplazamientos de entrepiso de la edificación, y por lo tanto reducir daños estructurales. Al usar amortiguadores viscosos se evita que los elementos estructurales disipen energía en gran cantidad mediante deformaciones elásticas e inelásticas, además el incremento de amortiguamiento permite reducir el espectro de pseudoaceleraciones y por lo tanto menorar la demanda de resistencia de la estructura [1].

Por otro lado, gracias al avance tecnológico que se ha dado a nivel computacional y el uso de software para un diseño y cálculo más rápido en estructuras de gran tamaño. Se pretende hacer uso de un software para el diseño de un edificio de hormigón armado mediante el uso del disipador telescópico hidráulico o amortiguador viscoso, con el propósito de demostrar la utilidad y efectividad del uso de estos dispositivos de disipación sísmica en edificios de hormigón armado.

1.1.3. FUNDAMENTACION TEÓRICA

1.1.3.1 Amortiguamiento

El amortiguamiento de una estructura es limitado ya que depende de la capacidad del material con el que se haya diseñado la edificación.

El amortiguamiento de una estructura convencional puede darse de manera aerodinámica, pero depende de varios factores, como la velocidad, forma y dirección del viento, también por la interacción entre suelo y estructura, sin embargo, no aporta mucho en la capacidad de amortiguamiento, es por eso que se necesita de dispositivos los cuales ayuden a ofrecer un mejor mecanismo de amortiguación y por ende de disipación sísmica. [4]

En ingeniería estructural, se puede definir al amortiguamiento como el dispositivo a utilizarse para atenuar la respuesta dinámica de una estructura, con la finalidad de disminuir la amplitud de los desplazamientos y menorar el número de veces que oscilará la edificación. [2]

1.1.3.2. Funcionamiento de amortiguación viscoso

Los amortiguadores son bombas de aceite, la cual su funcionamiento es mediante pistones y aceite en el interior del tubo de presión. Los amortiguadores viscosos dependen de la velocidad con el que se mueve el conjunto, entre más velocidad haya va a tener mayor resistencia en el amortiguador.

Los amortiguadores constan de un pistón sujeto en el extremo de una barra, este pistón funciona en contra del fluido y cuando se desplaza de arriba hacia abajo en el interior del tubo, el fluido es desplazado por espacios muy pequeños o reducidos en

el interior del pistón. Todo este proceso convierte la energía cinética en energía térmica y de esa manera reduce el movimiento del pistón y permite la disipación de energía. [5]

1.1.3.3. Factor de amortiguamiento estructural

El amortiguamiento depende de un factor ξ el cual varía de acuerdo a lo siguiente:

- Material y sistema estructural.
- Nivel de esfuerzos.

En estructuras de HA, si el nivel de daño es grande, entonces ξ es superior a 10. [6]

Tabla 1. Valores recomendados de ξ en porcentaje

Material y/o sistema estructural	Nivel de esfuerzos o deformaciones	ξ (%)
Columnas aisladoras de porcelana	Deformaciones elásticas	0.5 a 1
Sistemas de tuberías que pueden vibrar libremente	Esfuerzos admisibles; $0.5\sigma_y$	1 a 2
	Cercanos a σ_y , sin excederlo	2 a 3
Sistemas estructurales de acero soldado	Esfuerzos admisibles; $0.5\sigma_y$	1 a 2
	Cercanos a σ_y , sin excederlo	5 a 6
Concreto pretensado	Esfuerzos admisibles; $0.5\sigma_y$	2 a 3
	Cercanos a estados últimos, Sin pérdida de pretensión	5 a 7
	Sin pretensión residual	7 a 10
Sistemas estructurales de Hormigón Armado	Esfuerzos admisibles sin agrietamiento visible	2 a 3
	Agrietamiento visible generalizado	3 a 5
	Cercanos a estados últimos	7 a 10
Estructuras de acero apernadas	Esfuerzos admisibles; $0.5\sigma_y$	5 a 6
	Esfuerzos a nivel de cadencia	8 a 12
Sistemas estructurales de madera, con elementos clavados o apernados.	Esfuerzos admisibles	5 a 7
	Cercano a estados últimos, con juntas apernadas	10 a 15
	Estado de agotamiento con juntas clavadas	15 a 20

Fuente. Dinámica de estructura con Cienci-lab.[6]

La mayoría de los espectros de diseño indicados en normativas, son realizados con un ξ de 5%. [6]

1.1.3.4. Balance de energía

Desde el punto de vista del balance de energía, la energía sísmica al ingresar a la estructura se convierte en energía cinética y potencial. La energía cinética se evidencia en el movimiento de la estructura, mientras que la energía potencial se almacena en la deformación de los elementos estructurales. La energía potencial se da de dos maneras, la primera es mediante energía elástica, la cual consiste en que al detenerse el sismo la estructura vuelve a su estado inicial. La segunda se da mediante energía histeréticos, esta aparece cuando las deformaciones de los elementos estructurales superan el rango elástico, entonces la energía a un inicio se almacena en la deformación y parte del restante energético se disipa en la degradación de la estructura. Otra manera en que disipa energía sísmica es mediante el amortiguamiento. [7]

Ecuación de balance de energía, o energía absoluta

$$E_I(t) = E_k(t) + E_D(t) + E_S(t) + E_H(t) \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

$E_I(t)$ = Energía de entrada (sísmica)

$E_k(t)$ = Energía cinética

$E_D(t)$ = Energía de amortiguamiento

$E_S(t)$ = Energía elástica no disipada

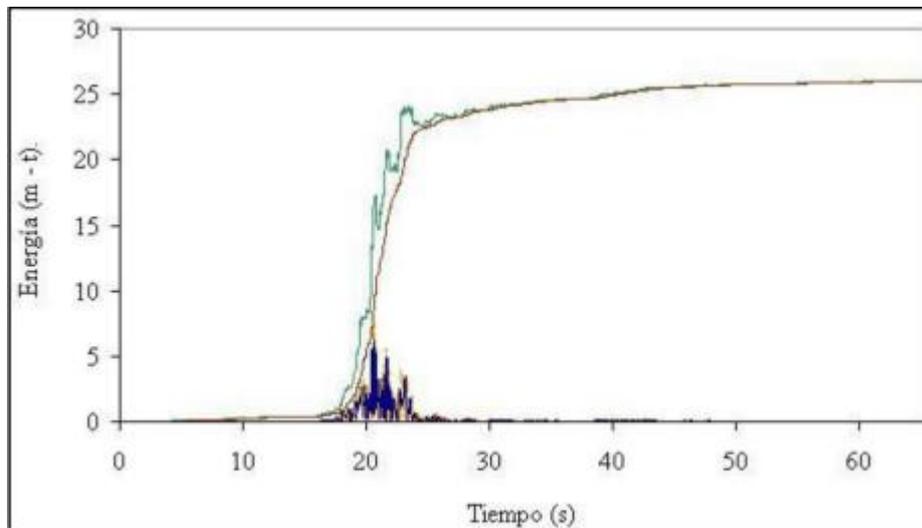
$E_H(t)$ = Energía histeréticos

En el diseño sísmico convencional la mayor capacidad de la estructura se da en las deformaciones inelásticas de la misma, transformando la mayor parte de energía de entrada en energía histerética, es por eso que, para evitar mayores deformaciones

plásticas en la estructura, se debe incrementar el amortiguamiento como disipador de energía. [8]

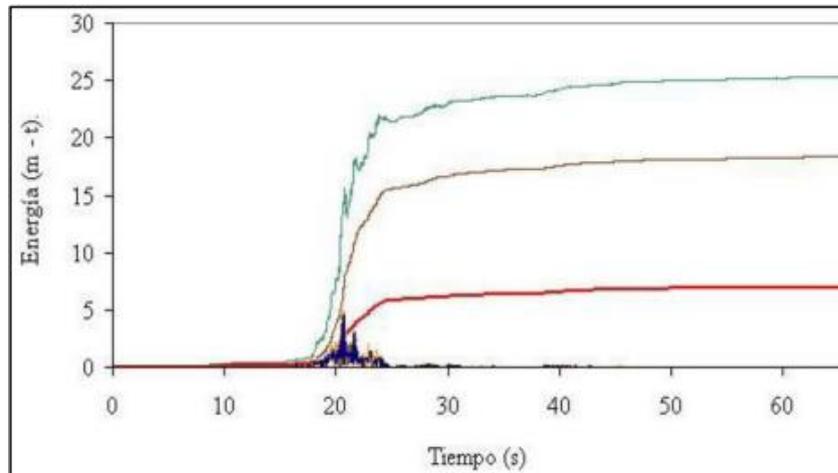
A continuación, dos graficas donde se muestra en la primera el comportamiento energético de una estructura sin disipadores, y la segunda su comportamiento con la adición de disipadores. Donde la línea de color verde representa la energía de ingreso, la energía que absorbe los elementos estructurales de color mostaza, de color rojo la absorbida por el disipador, la potencial de color azul y de color amarillo la energía cinética.

Figura 1. Balance de energía en un edificio sin disipadores



Fuente: Edificaciones con disipadores viscosos.[9]

Figura 2. Balance de energía en un edificio con disipadores



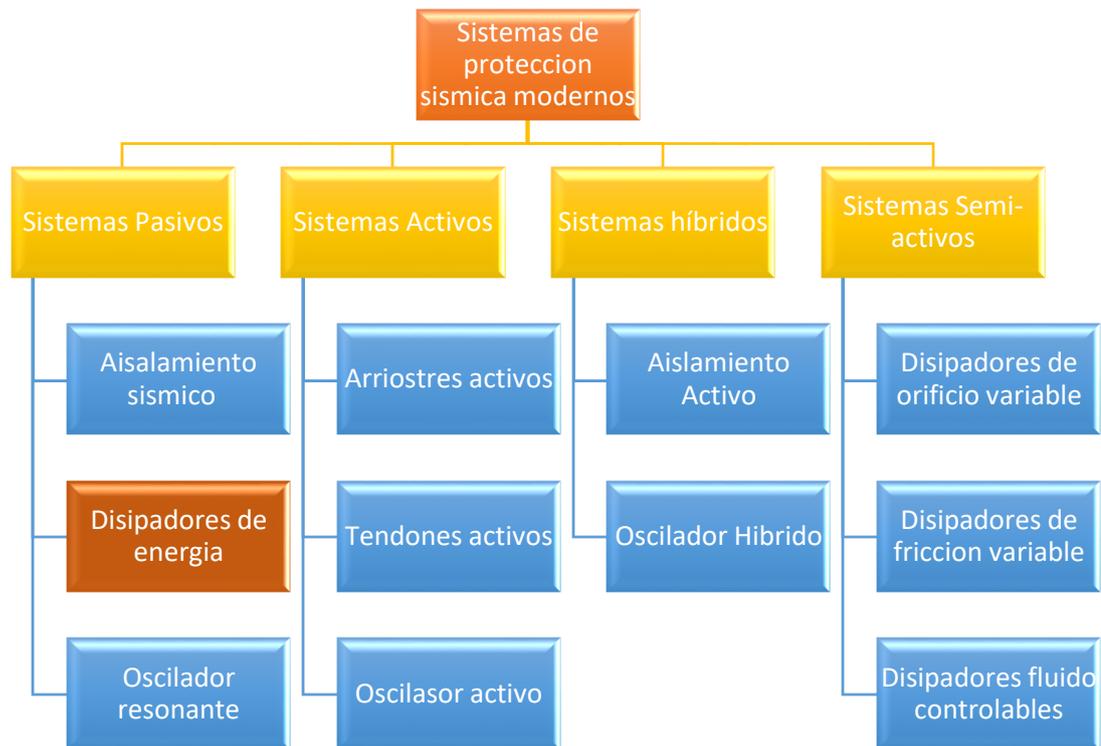
Fuente: Edificaciones con disipadores viscosos.[9]

En la figura1, se identifica que la energía de entrada es completamente absorbida por la estructura. En la figura2 en cambio, se identifica que el amortiguador aumenta y disminuye la energía disipada por ductilidad o absorbida por la estructura. [9]

1.1.3.5. Sistemas de protección sísmica

Los sistemas de protección sísmica, ayudan a tener una mejor respuesta de la estructura ante las cargas o energía sísmica, garantizando un mejor comportamiento en resistencia, rigidez y ductilidad.[1]

Figura 3. Clasificación de sistemas de protección sísmica modernos



Fuente. Disipadores de energía viscosos.[1]

Sistemas activos: El funcionamiento de este tipo de sistemas, consiste en el uso de actuadores, los cuales producen una fuerza opuesta a las fuerzas sísmicas. Estos actuadores pueden ser tendones, tirantes o amortiguadores activos. [10]

Sistemas Semiactivos: Este tipo de sistema es más favorable que un sistema activo ya que para su funcionamiento puede efectuarse solo usando una batería, además no imparten una fuerza contraria al sismo como lo hace el sistema activo, por lo que no es posible que desestabilizar a la misma. Este sistema también es conocido como un sistema pasivo controlado. [11]

Sistemas híbridos: Estos sistemas están basados en la ocupación de dos o más sistemas de tipo activo, pasivo o semiactivo. Es por eso que este sistema se considera mejor ya que logra restringir limitaciones que se da al utilizar solo un tipo de sistema mencionados.[10]

Sistemas pasivos: Este sistema no requiere de una fuente externa, ya que su accionar depende del movimiento de la estructura, disipando la energía de vibraciones del sistema.[10]

En este sistema se hace uso de dispositivos los cuales por su capacidad de deformarse en el rango inelástico logran disipar energía dinámica, evitando que los elementos estructurales absorban gran cantidad de energía sísmica.[11]

Dentro de este grupo, se clasifican en dos: Histeréticos, los cuales funcionan de acuerdo a los desplazamientos. Viscosos, dependen de la velocidad.

Disipadores histeréticos se clasifican en: Amortiguadores metálicos y de rozamiento.

Disipadores Viscosos se clasifica en: Viscosos de Taylor y Viscoelásticos. [7]

Amortiguadores metálicos. – El uso de metales para disipación de energía sísmica es uno de los mejores mecanismos utilizados por su deformación inelástica. [10]

El uso de estos amortiguadores se ha empleado para rehabilitación de edificaciones dañados por terremotos y también para su uso en nuevos diseños sismorresistentes. [12]

Disipadores de rozamiento. - El rozamiento es un gran disipador de energía que se a usado por muchos años en los automotores, generando disipación de la energía producida por el movimiento del vehículo. En las estructuras se han utilizado este tipo de disipadores mediante el uso de dispositivos como los denominado Pall o también Sumitomo.[10]

Amortiguadores Viscoelásticos. – A diferencia de los amortiguadores por rozamiento y metálicos que son exclusivamente para disipación sísmica, los disipadores viscoelásticos son utilizados para aplicaciones sísmicas como también eólicas. [10]

Estos amortiguadores constan básicamente de una almohadilla solida unida a placas de acero y a su vez estas unidas a la estructura, de manera diagonal o chevrón. [7]

Figura 4. Amortiguadores Viscoelásticos



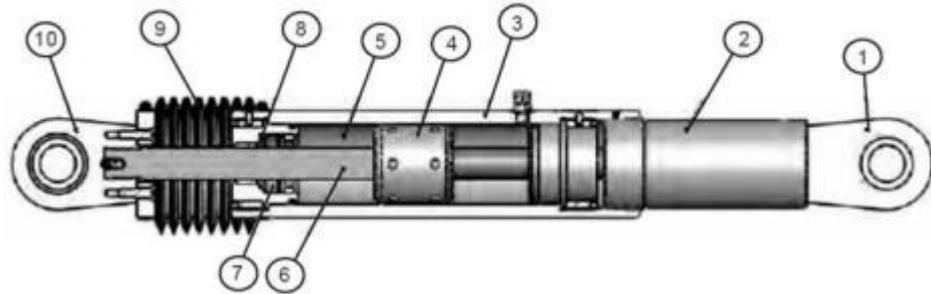
Fuente: Sistemas de control para la protección de estructuras civiles sometidas a cargas dinámicas. [10]

Amortiguadores Viscosos. – Estos dispositivos funcionan mediante un fluido basado en silicona, el cual está dentro de un cilindro hueco. Su funcionamiento de disipación se da mediante la conversión de energía cinética a térmica, dado que al moverse la estructura el pistón que está dentro del cilindro se mueve provocando una presión en el fluido, el cual se desplaza por pequeños orificio alrededor y dentro de la punta del pistón y al realizar este proceso las partículas del fluido friccionan con la cabeza del pistón disipando la energía en forma de calor, y mediante el cambio de presiones producen fuerzas contrarias al movimiento. [7]

Ventajas de amortiguadores viscosos

- No altera la energía sísmica de entrada, sino absorbe dicha energía en gran cantidad.
- Evita que la energía sísmica sea disipada por los elementos estructurales mediante las deformaciones inelásticas en las mismas.
- No necesitan ser reemplazados.
- Su mantenimiento es sencillo. [1]

Figura 5. Componentes de un disipador de fluido viscoso



Fuente: Desempeño sísmico de un edificio de concreto armado con disipadores de energía viscosos. [1]

1. Placa de conexión con protección corrosiva.
2. Acero al carbono forjado en aluminio.
3. Cilindro de aleaciones de acero.
4. Cabeza del pistón
5. Fluido viscoso.
6. Vástago de acero.
7. Rodamiento de sello.
8. Tapa con tratamiento térmico.
9. Nylon reforzado de neopreno.
10. Cojinete esférico. [1]

Figura 6. Amortiguadores Viscosos



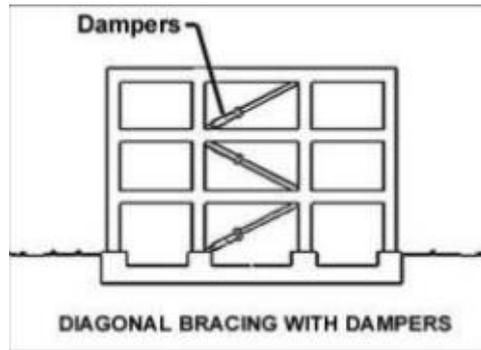
Fuente: Prueba de simulador de terremoto en estructura de cinco pisos con sistema de amortiguamiento viscoso. [13]

1.1.3.6. Configuración de dispositivos de energía de disipación pasiva

Configuración Diagonal

Este tipo de configuración es la más económica, ya que solamente se usa tubos metálicos que se ponen en diagonal en los pórticos de la estructura. Es la menos eficiente ya que solamente actúa la componente horizontal desarrollada por el disipador para disipar energía. [7]

Figura 7. Disipación diagonal

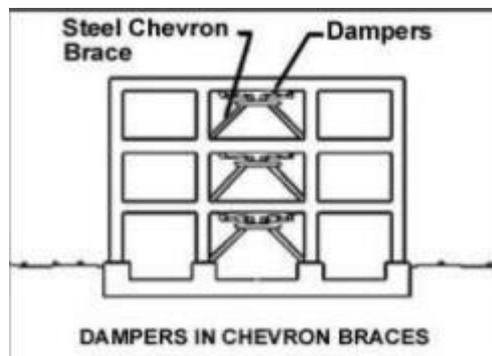


Fuente: Análisis de una edificación de 4 pisos con disipadores de fluido viscoso. [7]

Configuración Chevron

Esta configuración tiene una efectividad del 100%, ya que, al instalarse de manera paralela al entrepiso, logra participar toda la capacidad del disipador ayudando a la restricción de desplazamientos. [7]

Figura 8. Disipación Chevron



Fuente: Análisis de una edificación de 4 pisos con disipadores de fluido viscoso. [7]

Características en común de la configuración chevron y diagonal

- Dado a que no poseen gran rigidez en comparación con el sistema estructural, no varían la frecuencia natural de la misma.
- La disipación de energía se da en cualquier dirección, reduciendo esfuerzos y deformaciones de la estructura. [8]

Diferencias ente la configuración chevron y diagonal

- El dispositivo Chevron para su instalación, es necesario calcular el sobreesfuerzo intermedio que se presenta en la viga. Esto no es necesario en caso de una configuración tipo diagonal.
- Los dispositivos diagonales solo poseen un amortiguador, mientras que los chevron cuentan de dos amortiguadores, por lo que presentan un mejor comportamiento en el control de derivas.
- En la parte arquitectónica los dispositivos Chevron son mejores ya que permiten un libre tránsito por los lugares reforzados, a diferencia que los diagonales. [8]
- Los dispositivos diagonales no requieren agregar refuerzos adicionales en los pórticos, ya que se puede diseñar los nudos para las fuerzas ejercidas por los amortiguadores.[14]

1.1.3.7. Modelado del sistema de amortiguamiento

Al ingresar disipadores de energía en una estructura, este se divide en dos partes interdependientes; el sistema de amortiguamiento, es aquel compuesto por el amortiguador y un elemento conectado directamente con el mismo, pudiendo ser de acero u hormigón. El sistema estructural, el cual es aquel que está formado por elementos estructurales de acero u hormigón. [15]

1.1.3.8. Representación física del sistema con disipadores

La rigidez del sistema es gobernada por el brazo metálico que hay en el disipador, es por eso que a este brazo se lo puede asumir como infinitamente rígido, y de acuerdo a ello y las condiciones de equilibrio se puede asumir la ecuación del movimiento de un grado de libertad con amortiguadores. [15]

$$m\ddot{x} + C\dot{x} + P \cos \varphi = -m\ddot{x}_g \quad (\text{Ec. 2})$$

m = Masa de la estructura

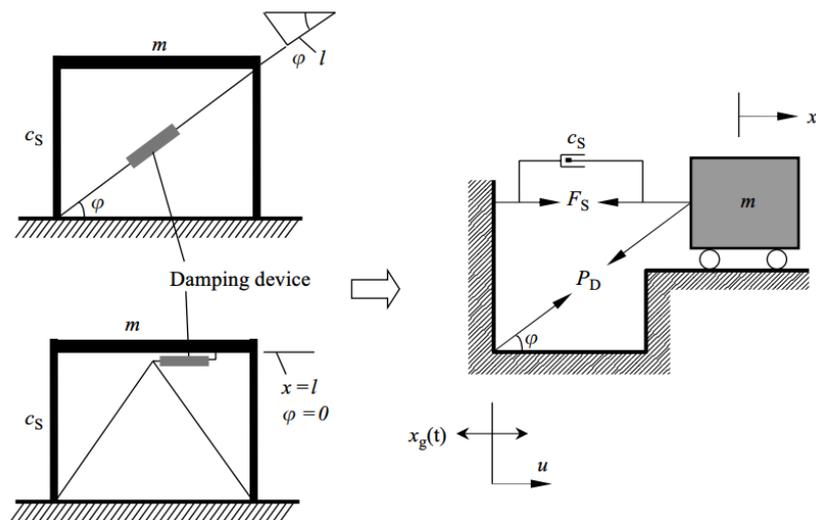
C = coeficiente de amortiguamiento

P = Fuerza definida a lo largo del sistema disipador

φ = Angulo que depende de la configuración del sistema disipador

$\ddot{x}, \dot{x}, \ddot{x}_g$ = Aceleración, velocidad estructural. Aceleración del suelo

Figura 9. Representación física Chevron y diagonal de un modelo de un grado de libertad



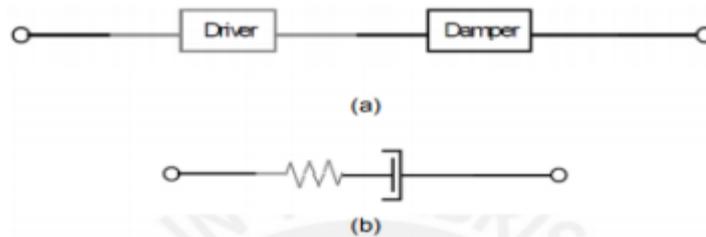
Fuente: SMART STRUCTURES "Innovative Systems for Seismic Response Control". [15]

1.1.3.9. Modelo de un amortiguador individual

Para el modelamiento de un amortiguador individual, el más sencillo es el modelo Maxwell, este considera un resorte lineal (Driver) juntamente con un amortiguador viscoso (Damper).

En el programa Etabs se considera este tipo de modelo Maxwell, por lo que se puede modelar al amortiguador como tipo Link y después asignarle propiedades Damper, de manera lineal o no lineal.[14]

Figura 10. Modelo de un amortiguador individual tipo Maxwell



Fuente: Diseño de un edificio aporticado con amortiguadores de fluido viscoso en disposición individual. [14]

1.1.3.10. Ecuación General

La fuerza que genera cada amortiguador se representa de la siguiente manera:

$$F = CV^\alpha \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

F = fuerza en el disipador.

C = constante de amortiguamiento.

V = velocidad relativa en el amortiguador.

α = exponente de velocidad, varía entre 0.4 y 0.5 para edificaciones.

La fuerza del disipador solamente varía de acuerdo a la velocidad, es por eso que en la fórmula anterior no hay ninguna fuerza de resorte.[9]

En FEMA 274 nos enseña una fórmula la cual nos ayuda a estimar el coeficiente de amortiguamiento, para dispositivos no lineales.

$$\beta_H = \frac{\sum_j \lambda C_j \phi_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j}{2\pi A^{1-\alpha} \omega^{2-\alpha} \sum_i m_i \phi_i^2} \quad (\text{Ec. 4})$$

Para la estimación del coeficiente de amortiguamiento para dispositivos lineales se obtiene de la siguiente ecuación: [14]

$$\beta_H = \frac{T \sum_j C_j \phi_{rj}^2 \cos^2 \theta_j}{4\pi \sum_i m_i \phi_i^2} \quad (\text{Ec.5})$$

Hay que recalcar que el coeficiente de amortiguamiento se considera constante en todos los dispositivos. Este coeficiente se puede estimar una vez conocido las demás variables, entonces despejando de la ecuación 4 tenemos: [9]

$$\sum C_j = \frac{\beta_H \cdot 2\pi A^{1-\alpha} \omega^{2-\alpha} (\sum_i m_i \phi_i^2)}{\lambda (\sum \phi_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j)} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

β_H = amortiguamiento viscoso de la estructura.

λ = parámetro lambda

C_j = coeficiente de amortiguamiento j

ϕ_{rj} = desplazamiento relativo en los extremos del disipador en dirección horizontal.

De acuerdo a nuestro sismo de diseño.

θ_j = ángulo de inclinación del disipador j

A = amplitud de desplazamiento del modo fundamental. (desplazamiento modal de la losa del último piso)

ω = frecuencia angular

m_i = masa del nivel i

ϕ_i = desplazamiento del nivel i (con el sismo de diseño).

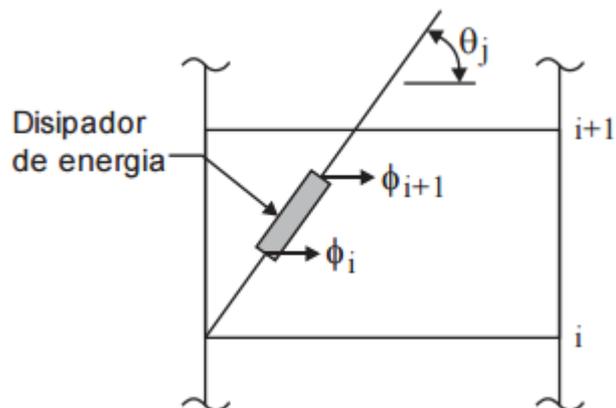
T = periodo de vibración

Tabla 2. Exponente de velocidad y parámetro lambda

Exponente α	Parámetro λ
0.25	3.70
0.50	3.50
0.75	3.30
1.00	3.10
1.25	3.0

Fuente: FEMA 274. [16]

Figura 11. Ángulo de inclinación y desplazamiento relativo del disipador



Fuente: Edificaciones con disipadores viscosos. [9]

β_H , es el amortiguamiento viscoso que se desea que tenga la estructura, para llegar a obtener este valor, primero se debe determinar otros factores, como el factor de reducción de respuesta, el cual se determina de la siguiente manera:

1. Factor de reducción de respuesta B

$$B = \frac{D_{m\acute{a}x}}{D_{objetivo}} \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde, $D_{m\acute{a}x}$ es la distorsión máxima de la estructura mediante el análisis tiempo-historia para el sismo de diseño escogido. $D_{objetivo}$ es la distorsión indicada en la norma sismo-resistente E030 o la tabla indicada por HAZUS de acuerdo a la relación daño-distorsión.[9]

Tabla 3. Clasificación del tipo de estructura según la altura

No.	Label	Description	Height			
			Range		Typical	
			Name	Stories	Stories	Feet
1	W1	Wood, Light Frame (\leq 5,000 sq. ft.)		1 - 2	1	14
2	W2			All	2	24
3	S1L	Steel Moment Frame	Low-Rise	1 - 3	2	24
4	S1M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
5	S1H		High-Rise	8+	13	156
6	S2L	Steel Braced Frame	Low-Rise	1 - 3	2	24
7	S2M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
8	S2H		High-Rise	8+	13	156
9	S3	Steel Light Frame		All	1	15
10	S4L	Steel Frame with Cast-in-Place Concrete Shear Walls	Low-Rise	1 - 3	2	24
11	S4M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
12	S4H		High-Rise	8+	13	156
13	S5L	Steel Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	Low-Rise	1 - 3	2	24
14	S5M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
15	S5H		High-Rise	8+	13	156
16	C1L	Concrete Moment Frame	Low-Rise	1 - 3	2	20
17	C1M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
18	C1H		High-Rise	8+	12	120
19	C2L	Concrete Shear Walls	Low-Rise	1 - 3	2	20
20	C2M		Mid-Rise	4 - 7	5	50

Fuente: Multihazard Loss Estimation Methodology. [17]

Tabla 4. Estados de daños de acuerdo a las derivas de entrespiso

Building Properties			Interstory Drift at Threshold of Damage State				Spectral Displacement (inches)							
Type	Height (inches)						Slight		Moderate		Extensive		Complete	
	Roof	Modal	Slight	Moderate	Extensive	Complete	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta
W1	168	126	0.0050	0.0150	0.0500	0.1250	0.63	0.66	1.89	0.72	6.30	0.72	15.75	0.91
W2	288	216	0.0050	0.0150	0.0500	0.1250	1.08	0.69	3.24	0.77	10.80	0.89	27.00	0.85
S1L	288	216	0.0075	0.0150	0.0375	0.1000	1.62	0.67	3.24	0.70	8.10	0.71	21.60	0.68
S1M	720	540	0.0050	0.0100	0.0250	0.0667	2.70	0.62	5.40	0.62	13.50	0.63	36.00	0.71
S1H	1872	1123	0.0037	0.0075	0.0188	0.0500	4.21	0.63	8.42	0.62	21.06	0.62	56.16	0.63
S2L	288	216	0.0063	0.0125	0.0375	0.1000	1.35	0.69	2.70	0.80	8.10	0.89	21.60	0.84
S2M	720	540	0.0042	0.0083	0.0250	0.0667	2.25	0.62	4.50	0.66	13.50	0.66	36.00	0.71
S2H	1872	1123	0.0031	0.0063	0.0188	0.0500	3.51	0.62	7.02	0.63	21.06	0.63	56.16	0.66
S3	180	135	0.0050	0.0100	0.0300	0.0875	0.68	0.66	1.35	0.71	4.05	0.80	11.81	0.90
S4L	288	216	0.0050	0.0100	0.0300	0.0875	1.08	0.77	2.16	0.82	6.48	0.92	18.90	0.91
S4M	720	540	0.0033	0.0067	0.0200	0.0583	1.80	0.69	3.60	0.67	10.80	0.68	31.50	0.82
S4H	1872	1123	0.0025	0.0050	0.0150	0.0438	2.81	0.62	5.62	0.63	16.85	0.65	49.14	0.73
S5L														
S5M														
S5H														
C1L	240	180	0.0063	0.0125	0.0375	0.1000	1.13	0.69	2.25	0.74	6.75	0.82	18.00	0.81
C1M	600	450	0.0042	0.0083	0.0250	0.0667	1.87	0.63	3.75	0.65	11.25	0.66	30.00	0.71
C1H	1440	864	0.0031	0.0063	0.0188	0.0500	2.70	0.63	5.40	0.63	16.20	0.63	43.20	0.69
C2L	240	180	0.0050	0.0125	0.0375	0.1000	0.90	0.69	2.25	0.72	6.75	0.82	18.00	0.95
C2M	600	450	0.0033	0.0083	0.0250	0.0667	1.50	0.65	3.75	0.69	11.25	0.66	30.00	0.70
C2H	1440	864	0.0025	0.0063	0.0188	0.0500	2.16	0.62	5.40	0.63	16.20	0.64	43.20	0.69
C3L														
C3M														
C3H														
PC1	180	135	0.0050	0.0100	0.0300	0.0875	0.68	0.63	1.35	0.74	4.05	0.79	11.81	0.96
PC2L	240	180	0.0050	0.0100	0.0300	0.0875	0.90	0.76	1.80	0.80	5.40	0.87	15.75	0.97
PC2M	600	450	0.0033	0.0067	0.0200	0.0583	1.50	0.66	3.00	0.73	9.00	0.72	26.25	0.73
PC2H	1440	864	0.0025	0.0050	0.0150	0.0438	2.16	0.62	4.32	0.64	12.96	0.65	37.80	0.74
RM1L	240	180	0.0050	0.0100	0.0300	0.0875	0.90	0.70	1.80	0.74	5.40	0.76	15.75	0.98
RM1M	600	450	0.0033	0.0067	0.0200	0.0583	1.50	0.63	3.00	0.68	9.00	0.70	26.25	0.70
RM2L	240	180	0.0050	0.0100	0.0300	0.0875	0.90	0.66	1.80	0.70	5.40	0.76	15.75	0.97
RM2M	600	450	0.0033	0.0067	0.0200	0.0583	1.50	0.63	3.00	0.70	9.00	0.69	26.25	0.68
RM2H	1440	864	0.0025	0.0050	0.0150	0.0438	2.16	0.63	4.32	0.63	12.96	0.63	37.80	0.65
URML														
URMM														
MH	120	120	0.0050	0.0100	0.0300	0.0875	0.60	0.81	1.20	0.89	3.60	0.97	10.50	0.86

Fuente: Multihazard Loss Estimation Methodology. [17]

2. Cálculo de amortiguamiento β_{eff}

$$B = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_o)}{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})} \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde, β_o es el amortiguamiento propio de la edificación, que para estructuras de hormigón armado generalmente se encuentra en un 5%. Dado a que los espectros de respuesta elásticos se usan en el cálculo un amortiguamiento del 5%. [6]

β_{eff} , es el amortiguamiento del dispositivo más el inherente propio de la estructura, este valor se obtiene al despejándola de la ecuación 8.

Para determinar solamente el amortiguamiento del dispositivo se realiza la siguiente ecuación.

3. Obtención del amortiguamiento propio del dispositivo sismorresistente.

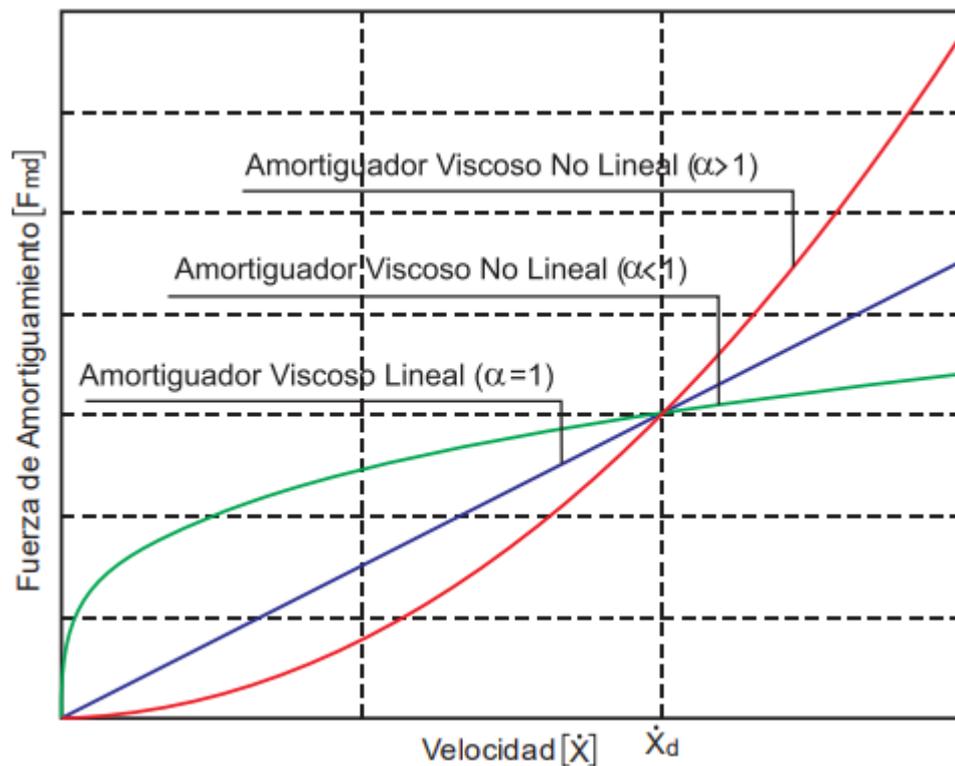
$$\beta_H = \beta_{eff} - 5\% \quad (\text{Ec. 9})$$

1.1.3.10.1. Exponente de velocidad α

El exponente α , establece el comportamiento del dispositivo ante los impactos de velocidad, y permite saber el comportamiento histeréticos de los disipadores utilizados. [9]

Los disipadores viscosos pueden ser lineales o no lineales, esto depende del valor de α utilizado, cuando $\alpha=1$, entonces se considera al disipador como lineal, y son no lineales aquellos dispositivos cuyo valor de α sea menor o mayor a 1. [9]

Figura 12. Relación velocidad vs fuerza del disipador



Fuente: Edificaciones con disipadores viscosos. [9]

En la figura 12 se puede evidenciar que los dispositivos viscosos con el exponente de velocidad (α) menor a 1, tienen una mejor participación de fuerza de amortiguamiento para velocidad bajas, en comparación con los otros dos disipadores con exponentes mayores e iguales a 1.

Para diseño de edificaciones sismorresistentes se ha demostrado ser más utilizado valores de α entre 0.4 a 0.5. En la mayoría de diseño de edificaciones no se utiliza valores mayores a 1, ya que necesitan de grandes velocidades para obtener la reacción de la fuerza de amortiguamiento del disipador. [9]

1.1.3.11. Rigidez del brazo metálico “K”

Debido a que los disipadores viscosos se activan de acuerdo a la velocidad, es recomendable brindar una rigidez considerable al brazo metálico el cual va unido al dispositivo. Es óptimo que el brazo metálico tenga un área considerable para evitar deflexiones elásticas y lograr que estas deflexiones se den en el dispositivo asegurando una activación completa solo del dispositivo, además es recomendable que el brazo tenga suficiente momento de inercia para que sea resistente al pandeo en dirección de compresión. [9]

$$K = \frac{EA}{L} \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

E = modulo elástico del acero

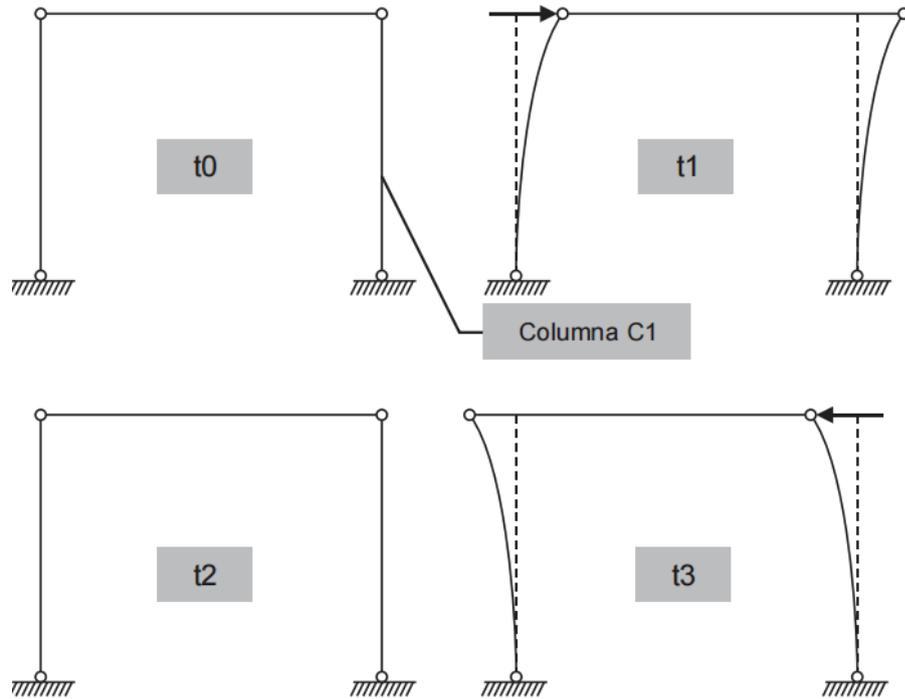
A= Área de la sección del brazo

L= longitud del brazo metálico

Es recomendable usar perfiles tipo HSS o PIPE por estética y facilidad de instalación. [9]

1.1.3.12. Comportamiento del disipador viscoso de acuerdo al desplazamiento vs velocidad vs fuerza

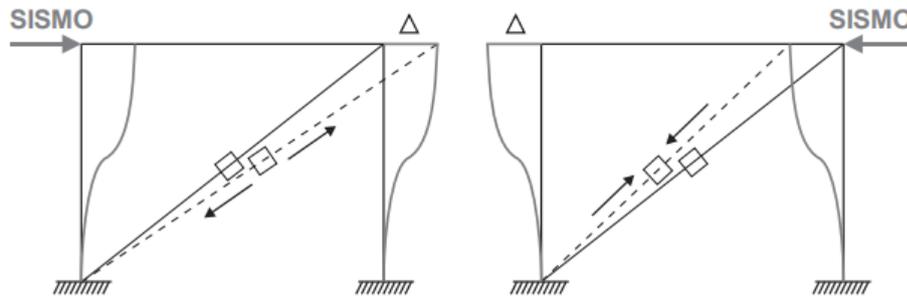
Figura 13. Comportamiento de un pórtico antes una acción sísmica



Fuente: Edificaciones con disipadores viscosos. [9]

En la figura 13 se puede identificar que un pórtico al estar sometido ante una carga sísmica el máximo desplazamiento se obtiene en los tiempos 1 y 3. Si nos imaginamos estos mismos pórticos con disipadores viscosos, vamos a darnos cuenta que cuando el pórtico este en los tiempos 1 y 3 las elongaciones del disipador serán las máximas, y a su vez cuando este el pórtico en los tiempos 1 y 2, el disipador estará en su estado original ósea no tendrá ninguna deformación.

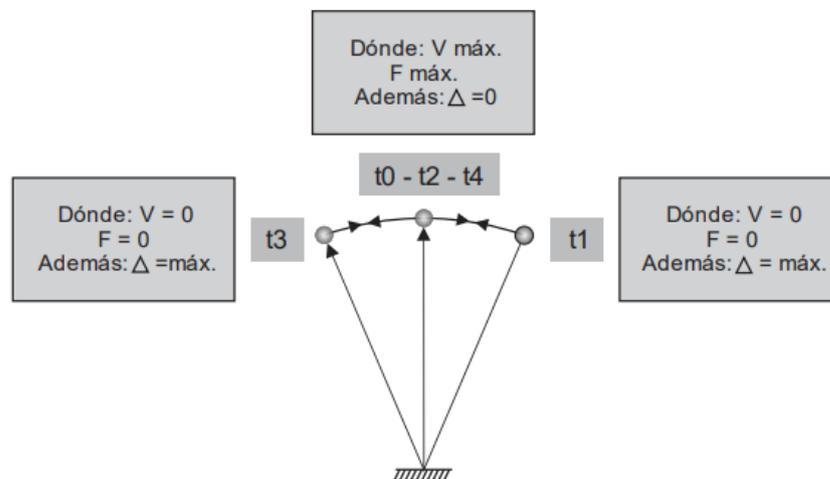
Figura 14. Desplazamientos de los dispositivos viscosos



Fuente: Edificaciones con disipadores viscosos. [9]

El comportamiento de un pórtico se lo puede modelar también como un péndulo invertido.

Figura 15. Idealización tipo péndulo invertido



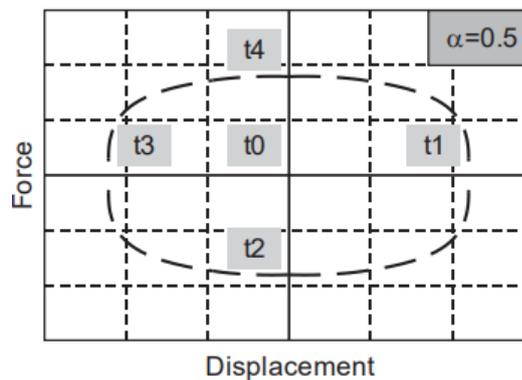
Fuente: Edificaciones con disipadores viscosos. [9]

De acuerdo a la figura 15 se puede identificar que la velocidad de la estructura es cero cuando se da el máximo desplazamiento en la misma, en los tiempos 1 y 3,

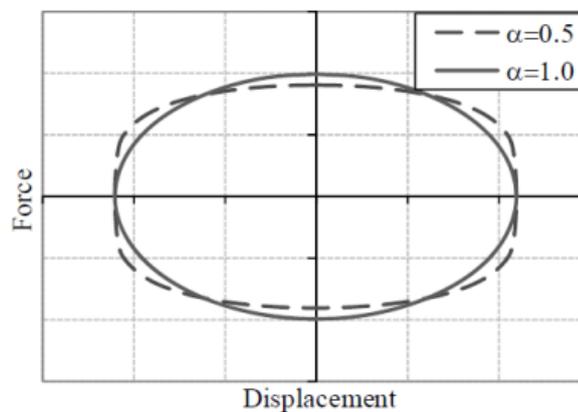
además que cuando la estructura pasa por su estado de reposo la velocidad es la máxima y el desplazamiento es cero.

Como se a mencionado anteriormente la fuerza del amortiguador depende de la velocidad de la estructura, entonces, la fuerza máxima del amortiguamiento se da cuando la velocidad de la estructura es la máxima y por ende cuando el desplazamiento de la misma es cero, como se puede evidenciar en la figura 15. De acuerdo a esto se puede entender de mejor manera la curva histerética del disipador viscoso.

Figura 16. Curva histerética (desplazamiento vs fuerza) del disipador viscoso



Fuente: Edificaciones con disipadores viscosos. [9]



Fuente: Diseño de un edificio aporricado con amortiguadores de fluido-viscoso en disposición diagonal.[14]

1.1.3.13. Ubicación de disipadores

La ubicación de los disipadores viscosos se puede estimar de acuerdo a un proceso de iteración, ya que la persona quien está diseñando debe ir colocando en distintos lugares hasta lograr un buen comportamiento para la estructura.

La norma ASCE 7-10 recomienda en el capítulo 18 algunos criterios para la ubicación de estos dispositivos como:

- La estructura debe ser regular.
- En cada dirección debe haber al menos dos dispositivos.
- Se los debe poner en todos los pisos.
- Se debe ubicar de manera simétrica para evitar torsión. [9]

1.1.3.14. Recomendaciones de diseño

1.1.3.14.1. Recomendaciones de acuerdo al ASCE 7-10 capítulo 18

La norma menciona que se puede seleccionar cuatro procedimientos para un análisis de una estructura con disipadores de energía. En el rango elástico conformado por un análisis de fuerza equivalente o un análisis espectral, en el rango inelástico conformado por un análisis no lineal estático o un paso a paso en el tiempo (tiempo-historia).

De acuerdo a la norma NEC 15, menciona explícitamente que para estructuras con disipadores de energía es obligatorio el uso de un análisis paso a paso en el tiempo o también denominado como tiempo-historia. [18]

1.1.3.14.2. Reducción de respuesta mediante coeficiente B

De acuerdo al ASCE 7-10, se puede hacer una reducción de la solicitud sísmica debido al amortiguamiento que la estructura recibirá por medio de los disipadores. La reducción de cortante basal se puede determinar por la fórmula:[19]

$$V_{min} = \frac{V}{B_{v+I}}$$

El cortante mínimo reducido no puede ser superior a:

$$V_{min} = 0.75V$$

Donde:

V = Cortante Basal determinado para el diseño del sistema de protección sísmica.

B_{v+I} = Factor de reducción de respuesta B.

Los elementos de sistemas de amortiguamiento deben ser diseñados de tal manera que permanezcan elásticos ante cargas de diseño y sísmicos sin reducir, a excepción de que se demuestre en caso de respuestas inelásticas en los elementos, que no genere dificultades en el funcionamiento del sistema de amortiguamiento además de que estas respuestas inelásticas deben ser limitadas de acuerdo a lo que indica la norma. [19]

1.1.3.14.3. Recomendación para uso del análisis paso a paso o también análisis dinámico no lineal

Según la NEC se puede hacer uso mínimo de 3 acelerogramas utilizando sus dos componentes horizontales perteneciente a cada acelerograma, escalados apropiadamente.

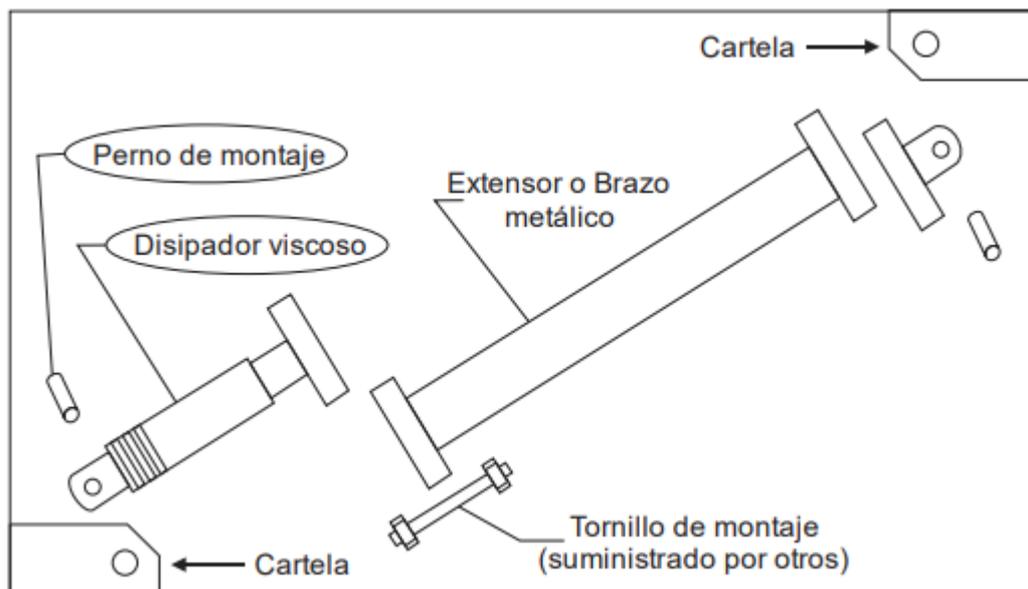
Según la norma el escalado de los acelerogramas debe ser de tal manera en que el espectro de diseño en los periodos $0.2T$ y $1.5T$ debe ser menor que los promedios de las componentes de los espectros de los registros sísmicos.[18]

1.13.14.4. Recomendación para el diseño de conexiones del disipador viscoso

Para el diseño de conexiones se debe evaluar de acuerdo al sismo de diseño máximo esperado, usando el criterio de LRFD resistiendo las velocidades, desplazamientos y fuerzas de dicho sismo.

Hay algunos elementos que entregan al comprar el disipador viscoso para el diseño de la conexión, eso se debe tener en cuenta. Todo lo demás debe ser diseñado. [20]

Figura 17. Conexiones de disipadores viscosos



Fuente: Taylor-SAP2000 Etbas modeling.[14]

1.1.3.15. Fabricantes

Los fabricantes de disipadores viscosos de mayor nombramiento son, Kajima Corporation y Taylor devices incorporation de Japón y Estados Unidos respectivamente. Taylor devices es el principal fabricante a nivel mundial y que se la puede encontrar en el mercado nacional.[9]

Los disipadores de Taylor tienen una principal ventaja la cual es que no necesitan de mantenimientos antes, durante o después de ser sometido a cargas. Estos amortiguadores están en más de 400 estructuras a nivel mundial tanto en nuevas como en reforzadas.

El precio unitario de estos dispositivos es variable, pero varía entre los 8000 dólares, dependiendo de la fuerza de diseño, además que también se debe considerar el costo de los elementos involucrados en la conexión.[14]

1.1.3.16. Análisis estructural

1.1.3.16.1. Análisis estático equivalente

Este análisis consiste en reemplazar la energía del sismo por fuerzas equivalentes en cada piso, aplicada en el centro de masas con una excentricidad con respecto al centro de rigidez, de esa manera se generan momentos torsores los cuales se tomarán en cuenta para el diseño de los elementos estructurales. Generalmente en este análisis los cortantes por nivel son mayores al análisis modal espectral.[21]

1.1.3.16.2. Análisis modal espectral

Este es el análisis más utilizado a nivel mundial ya que es el más sencillo de generar el espectro sísmico, además que los espectros indicados en las normas son los envolventes de los espectros de respuesta del lugar en donde se va a realizar la edificación, por ese motivo no presenta demasiada dificultad en comparación con el uso de acelerogramas.[22]

Este análisis podemos determinar desplazamientos y fuerzas que actúan en la estructura, con la particularidad que determina valores máximos por cada modo de vibración de acuerdo al número de pisos que tenga la estructura. Para determinar los valores de fuerzas y desplazamientos más reales de la estructura se realiza la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de cada valor máximo determinado por cada modo de vibración. [22]

El periodo determinado por medio de este análisis es el más real en comparación al periodo determinado por el método de análisis estático equivalente mediante las fórmulas establecida en las normas, ya que solamente como variable se utiliza la altura de la edificación, sin tomar en cuenta más factores como la irregularidad en planta en altura y el material empleado.

1.1.3.16.3. Análisis estático no lineal

Es una técnica la cual estudia la capacidad resistencia vs deformación que tendrá una estructura bajo solicitaciones de fuerzas inerciales equivalentes, esto se logra mediante la conversión de un modelo de múltiples grados de libertad a un modelo de un solo grado de libertad. Las agitaciones sísmicas se representan mediante espectros de respuesta.[23]

El análisis estático no lineal también se denomina como Pushover que traducido quiere decir hacer caer o empujar hasta q se caiga, lo que quiere decir que se induce a la aplicación de cargas a la estructura de manera monótona hasta que esta colapse, considerando que los elementos estructurales irán perdiendo rigidez conforme se vaya incrementando la carga lateral y por ende los elementos se vayan plastificando. [22]

En este análisis se emplean métodos los cuales se encargan de determinar los máximos desplazamientos por cada modo de vibración y una combinación CQC o SRSS. Uno de los métodos que se encarga de realizar lo mencionado es el análisis no lineal modal de Chopra, el cual consiste en incorporar otros modos de vibración además del fundamental y combinar las fuerzas internas de cada modo con la combinación SRSS. Posteriormente se obtiene la curva de capacidad que depende de la excitación sísmica y después el punto de desempeño mediante la intersección con el espectro de demanda para la misma ductilidad. [23]

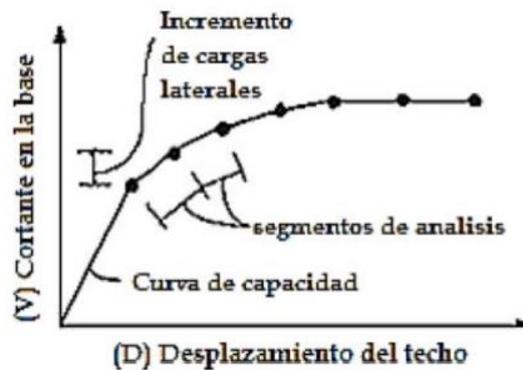
La curva de capacidad relaciona los desplazamientos con el cortante basal, esto permite determinar el comportamiento que tendrá la estructura mediante desplazamiento que son monitoreados por medio de un control que se ubica en el centro de masas del último piso permitiendo identificar el momento que colapse la estructura, es por eso que este análisis sirve para determinar el desempeño sísmico que tendrá la estructura. [22]

A partir de la curva de capacidad se puede determinar un punto de desempeño el cual se obtiene mediante los métodos propuestos en FEMA 440 y ATC-40, estos métodos se realizan de manera iterativa hasta definir un punto intersecando con la curva de capacidad. El método para determinar el punto de desempeño se denomina como espectro de capacidad de linealización equivalente. [22][24]

Este análisis presenta limitaciones por ejemplo, es recomendable no aplicar este método en edificación mayores a 10 pisos, ya que en mayor cantidad de pisos, los modos de vibración toman más importancia y es necesario realizar un análisis multimodal.[22]

La aplicación en estructuras con problemas de torsión es cuestionable por la variación de resistencia y rigidez se puede presentar la estructura, y según ASCE 7, FEMA 356 y ATC 40 en edificaciones con periodo de vibración alto mayor a 2s el uso de este análisis es cuestionable.[23]

Figura 18. Curva de capacidad Pushover



Fuente: ATC-40. [25]

1.1.3.16.4. Desempeño sísmico

Los niveles de desempeño están en función de los daños de los elementos estructurales y no estructurales, la seguridad de las personas y la funcionalidad de la edificación posterior a un sismo. Estos niveles de desempeño describen el nivel de daño que puede ser local o global.[22]

a) Nivel operacional (OP)

La edificación conserva su rigidez y resistencia, prácticamente no hay ningún daño en los elementos estructurales. No requiere reparaciones, es completamente segura su ocupación. [26]

b) Nivel de ocupación inmediata (IO)

Después de un sismo la estructura conserva su rigidez y resistencia original, no presenta daños considerables, solamente tiene pequeños daños en elementos no estructurales y daños muy leves en elementos estructurales, por lo que la ocupación de la estructura es de manera inmediata. Solamente requiere pequeñas reparaciones.

c) Nivel de seguridad de vida (LS)

En este nivel después de un sismo los elementos estructurales sufren daños moderados, y los elementos no estructurales graves daños, la resistencia y rigidez de la estructura se disminuye indicando que la misma puede ser o no reparable, sin embargo se garantiza la vida de los ocupantes.[26]

d) Nivel de prevención de colapso

La estructura está muy cerca al colapso, los elementos estructurales y no estructurales pierden rigidez y resistencia. Los daños no son reparables. [26]

1.1.3.16.5. Análisis dinámico no lineal o tiempo historia

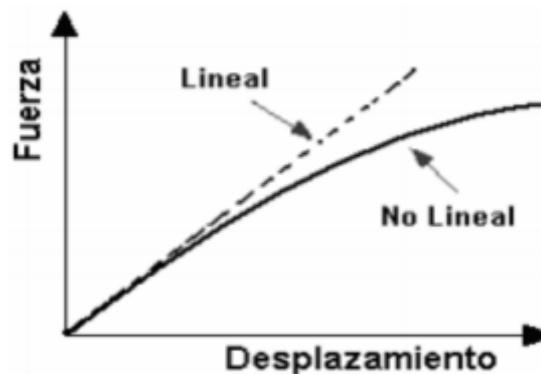
Este es el análisis más completo ya que conduce a efectos (fuerzas y desplazamientos) de acciones que varían en el tiempo, el cálculo de esto puede ser muy exigente.[23]

Es el análisis que entrega resultados con mayor exactitud [22], mediante un proceso el cual consiste en producir deformación en cada grado de libertad produciendo que haya una mayor demanda de resistencia en la estructura. [4]

Toda estructura esta probable a incurrir en el rango no lineal mediante fuerzas que le obliguen sobrepasar su rango elástico, es por eso que en algunos casos es muy

adecuado el uso de un análisis dinámico no lineal para saber el comportamiento real que tendrá la estructura ante solicitaciones sísmicas. [4]

Figura 19. Respuesta de análisis lineal y no lineal



Fuente: Análisis del desempeño estructural de la tipología edificios públicos con el uso de amortiguadores viscoelásticos. [4]

1.1.3.16.6. Procedimientos y recomendaciones para análisis sísmico

a) Recomendaciones

- ❖ De acuerdo a la NEC15 para el análisis dinámico no lineal se debe emplear como mínimo 3 registros sísmicos en sus dos componentes horizontales.
- ❖ Al reducir la demanda sísmica se permite que los elementos estructurales disipen energía mediante deformaciones, esto puede traer consecuencias en los elementos de amortiguaciones los cuales están ligados a los elementos estructurales. De acuerdo al ASCE 7-10 los elementos de sistema de amortiguamiento deben ser diseñados mediante el uso de demanda sísmica sin reducir, con el propósito de mantenerse en el rango elástico.

b) Procedimiento

El procedimiento que se va a plantear esta basado de acuerdo a lo mencionado en el libro “edificaciones con disipadores viscosos” del Ph.D. Genner Villarreal Castro.

1. Realizar el análisis dinámico de la estructura usando un sismo severo con un factor de reducción sísmica $R=1$, con los cuales se debe identificar las derivas de entre piso. Se debe tener en cuenta que para el análisis de derivas inelástica ya no es necesario multiplicar $0.75 \cdot R$ ya que el análisis realizado es con un $R=1$.
2. Escalar los acelerogramas al espectro de diseño (Paso1).
3. Realizar un análisis tiempo-historia con los acelerogramas escalados, en dos componentes (N-S y E-W), cada registro debe analizarse en dos casos, caso1; cuando la componente N-S actúa en la dirección Y-Y y cuando la componente E-W actúa en la dirección X-X. El caso 2; cuando la componente N-S actúa en la dirección X-X y cuando la componente E-W actúa en la dirección Y-Y. [9]

1.1.4. HIPOTESIS

1.1.4.1.HIPOTESIS DE TRABAJO

El uso de amortiguadores viscosos menora las derivas de la edificación brindando un mejor desempeño a la estructura y disipando mayor cantidad energía sísmica, menorando daño en la edificación.

1.2.OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

- ❖ Analizar el comportamiento sismorresistente de un edificio de hormigón armado de 5 pisos con amortiguadores viscosos, mediante un software de diseño especializado y según las normativas correspondientes.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Realizar el modelado de un edificio de 5 pisos de hormigón armado mediante el uso del software de diseño ETABS.
- ❖ Efectuar el análisis y diseño de la edificación incorporando amortiguadores viscosos mediante el software de diseño ETABS, en base a la norma ASCE/SEI 7-16.

- ❖ Comparar la respuesta estructural del modelo sin amortiguadores y con la incorporación de amortiguadores viscosos.
- ❖ Realizar una comparación económica entre el modelo estructural convencional y con la integración de disipadores sísmicos viscosos.

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1. MATERIALES Y EQUIPOS

2.1.1. MATERIALES

Se utilizaron materiales de oficina

2.1.2. EQUIPOS

- ❖ Computador
- ❖ Software de diseño especializado. (Etabs V 16.2.1).

Este software desarrollo por la compañía Computers and Structures Inc., tiene 40 años de investigación permitiendo realizar diseños y análisis estructurales de todo tipo, obteniendo respuestas lo más cercano posible a la realidad. Se realizó uso de este software para el análisis del edificio Burj Khalifa, considerado como el más alto del mundo. [21]

2.2. MÉTODOS

2.2.1. Datos Generales

El presente proyecto consiste en el modelamiento y análisis de un edificio de hormigón armado de mediana altura de 5 pisos sin y con la incorporación de amortiguadores viscosos, mediante el uso de un software de diseño especializado Etabs 2016.

La edificación se modelará como un sistema sismorresistente aporticado tipo especial, lo que conlleva al uso de columnas y vigas descolgadas para garantizar un nudo fuerte y que sean capaces de resistir cargas verticales y horizontales (sísmicas).

Figura 19. Ubicación del proyecto

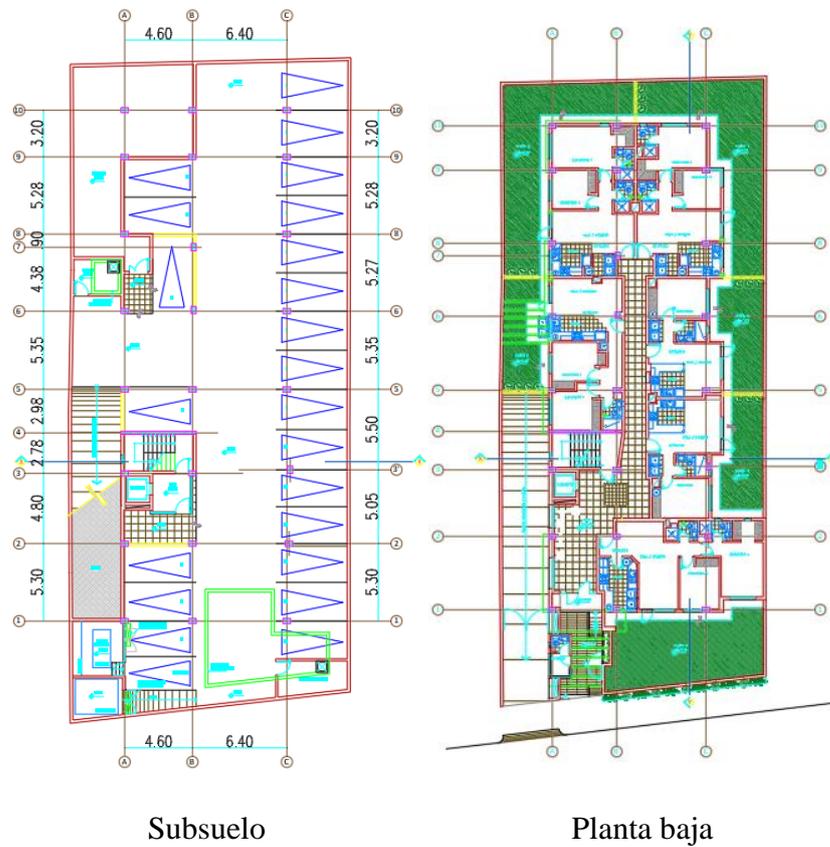


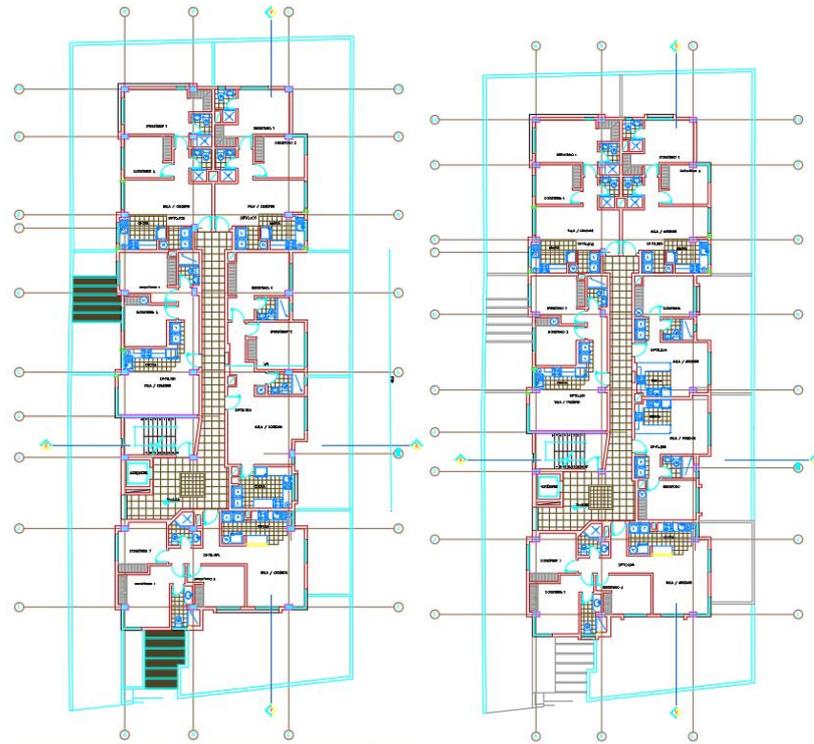
Fuente: Google Earth

2.2.2. Análisis de información

La edificación cuenta con un subsuelo para estacionamiento vehicular y 4 pisos los cuales contienen 5 departamentos cada uno de tipo familiar y el último piso una terraza. Además, cuenta con una sala de máquinas y la cubierta de grada.

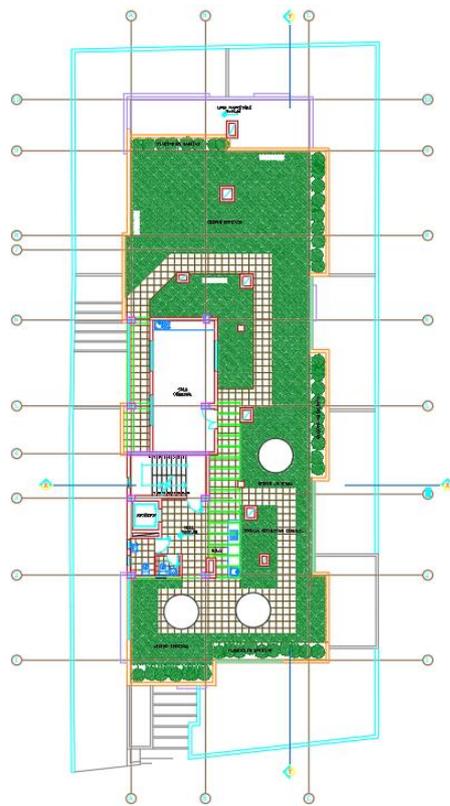
Figura 20. Distribución arquitectónica de la edificación



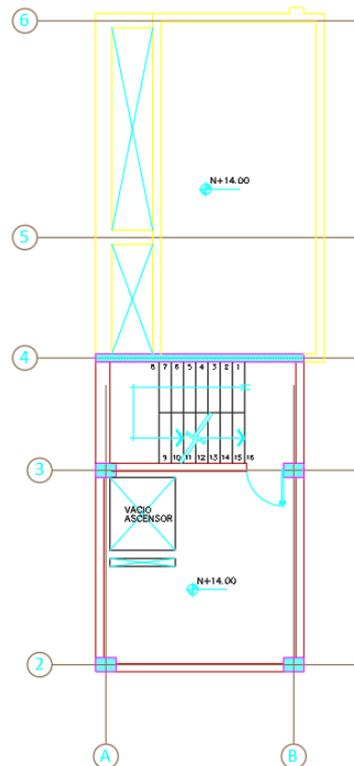


Primer piso

Piso 2 y 3



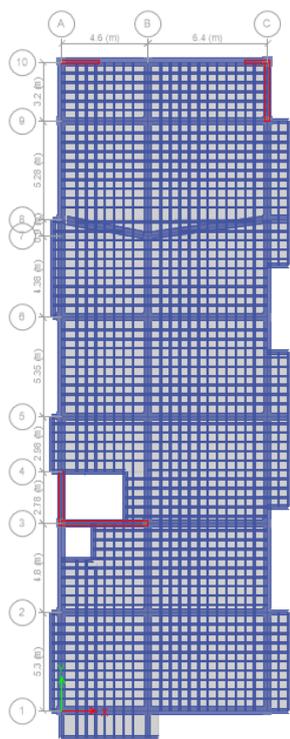
Terraza



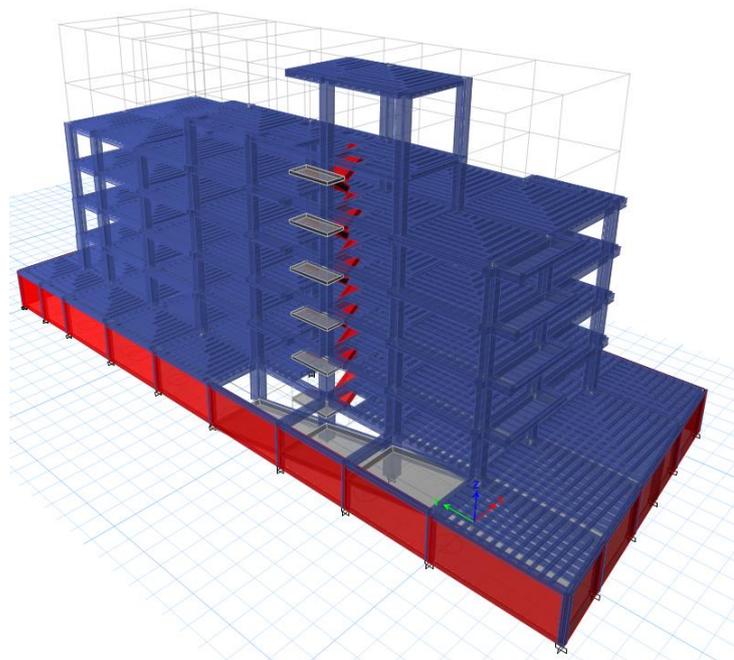
Sala de máquinas

Fuente: Elaboración Propia

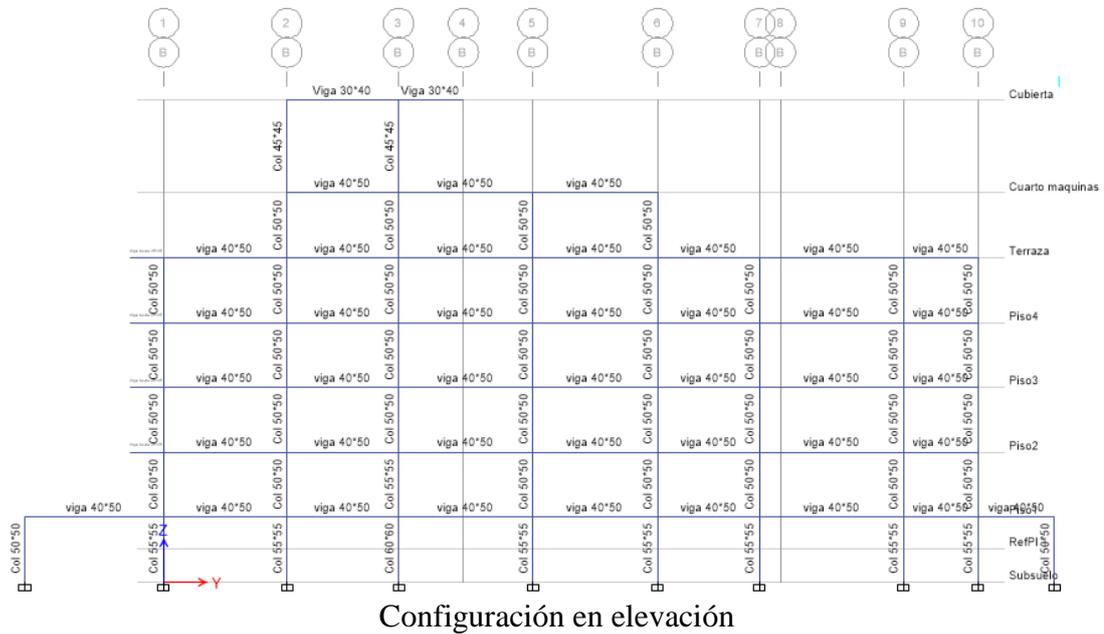
Figura 21. Configuración estructural en planta, elevación y 3D



Configuración en planta



Configuración en 3D



Fuente: ETABS2016

2.2.3. Cuantificación de cargas

❖ Carga muerta de losa

Para escoger la altura de losa alivianada se optó por un predimensionamiento de acuerdo a la relación de control de deflexiones entre una losa maciza y alivianada. Para lo cual de acuerdo a cálculos realizados se menciona que:

Tabla 5. Predimensión de losa alivianada

Longitud	Altura de losa
< 3.60	15 cm
3.60 a 4.80	20 cm
>4.80	25 cm

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6. Carga muerta de losa

	Unidad	h	e (m)	Long	γ (kg/m³)	Peso

		(m)		(m)		(kg)
<i>Peso Propio de loseta</i>		1	0.05	1	2400	120
<i>Peso de nervios</i>		0.20	0.1	3.6	2400	172.8
<i>Alivianamiento</i>	8 bloques				12kg c/bloque	96
<i>Entucido y masillado</i>		1	0.015	1	2000	30
<i>Baldosa</i>		1	0.02	1	2000	40
Total (kg/m²)						
458.80						

Fuente: Elaboración Propia

❖ Carga muerta de pared

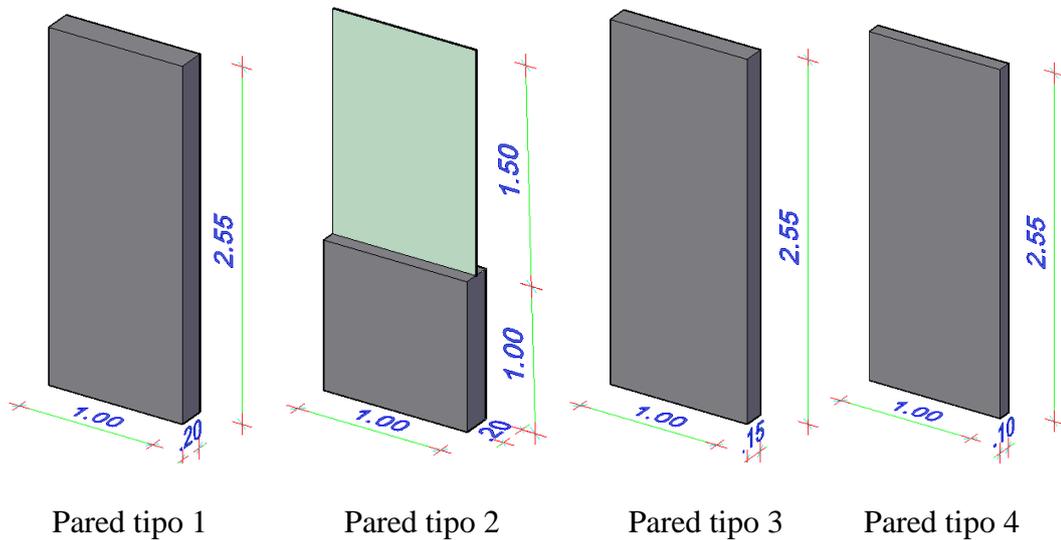


Tabla 7. Carga muerta de paredes

PARED TIPO 1	Unidad	b (m)	h (m)	e (m)	Long (m)	γ (kg/m ³)	Peso (kg/m ²)
---------------------	--------	-------	-------	-------	----------	-------------------------------	---------------------------

<i>Peso enlucido</i>		1	1	0.015		2000	30
<i>Peso de pega de bloques</i>		0.2		0.03	9	2000	108
<i>Bloques</i>	12.5					12kg c/bloque	150
<i>Peso de pega de cerámica</i>		1	1	0.01		2000	20
<i>Peso de cerámica</i>		1	1	0.01		2000	20
<i>Peso de pared en (Kg/m²)</i>							328
<i>Peso de pared de acuerdo a la altura de pared tipo 1 (kg/m)</i>							836.40
<i>Peso de pared de acuerdo a la altura y espesor de pared tipo 3 (kg/m)</i>							703.80
<i>Peso de pared de acuerdo a la altura y espesor de pared tipo 4 (kg/m)</i>							571.20

PARED TIPO 2	Unidad	b (m)	h (m)	e (m)	Long (m)	γ (kg/m ³)	Peso (kg/m ²)
<i>Peso enlucido</i>		1	1	0.015		2000	30
<i>Peso de pega de bloques</i>		0.2		0.03	9	2000	108
<i>Bloques</i>	12.5					12kg c/bloque	150
<i>Peso de pega de cerámica</i>		1	1	0.01		2000	20
<i>Peso de cerámica</i>		1	1	0.01		2000	20
<i>Peso de pared en (Kg/m²)</i>							328
<i>Peso de ventana (kg/m)</i>		1	1.5	0.006		2600	23.40

PESO TOTAL (kg/m)	351.40
--------------------------	--------

❖ Peso total de las paredes de acuerdo a la longitud total en el plano arquitectónico

PLANTA BAJA			
	Peso en Kg/m	Longitud total de piso	Peso (Kg)
Pared tipo 1	836.40	149.95	125418.18
Pared tipo 2	351.40	42	14758.8
Pared tipo 3	703.80	117.33	82576.85
Área de losa (m ²)			521.89
Peso de pared distribuido en losa (kg/m ²)			426.82
PISO 1,2,3 y 4			
	Peso en Kg/m	Longitud total de piso	Peso (Kg)
Pared tipo 1	836.40	122.45	102417.18
Pared tipo 2	351.40	47.83	16807.462
Pared tipo 3	703.80	111.60	78544.08
Pared tipo 4	571.20	12.10	6911.52
Área de losa (m ²)			444.73
Peso de pared distribuido en losa (kg/m ²)			460.23

❖ Cargas Vivas

Ya que la edificación es una residencia, para las cargas vivas se a tomado lo que muestra la NEC15 de acuerdo a esta categoría.

Tabla 8. Cargas vivas de diseño

Residencias		
Viviendas (unifamiliares y bifamiliares)	2.00	
Hoteles y residencias multifamiliares	2.00	
Habitaciones	4.80	
Salones de uso público y sus corredores		

Patios y terrazas peatonales	4.80	
-------------------------------------	------	--

Fuente: NEC-15.[27]

Para las cargas establecidas en el software Etabs2016 se optó por 480 kg/m² para los corredores de las habitaciones, y 200 kg/m² para toda el área restante de cada piso de la edificación.

2.2.4. Predimensionamiento de vigas

Para el predimensionamiento se ha optado por un método empírico el cual consiste en dividir la longitud más larga entre ejes para doce. Posteriormente con el uso del software se identificará las dimensiones reales de las vigas para que resista las determinadas cargas a las que estará sometida sin sobredimensionar estos elementos estructurales.

$$h = \frac{L_{max}}{12}$$

$$h = \frac{6.40 \text{ m}}{12}$$

$$h = 0.53 \approx 0.50\text{m}$$

De acuerdo a investigaciones realizadas mencionan que la mejor relación entre altura y base de vigas es de 1.3, esta relación está basada entre la resistencia y el costo que tendrá este elemento estructural. Sin embargo, se puede tener un rango de entre 1.1 a 1.6, indicando que las vigas que estén entre este rango serán eficientes.

$$\frac{h}{b} = 1.3$$

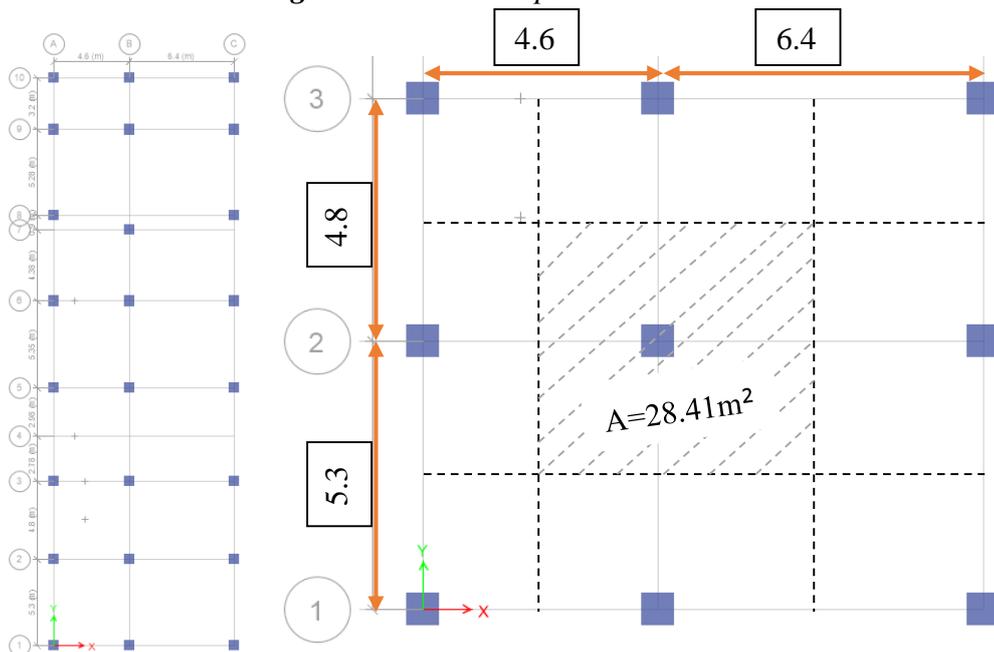
$$\frac{0.5}{b} = 1.3$$

$$b = 0.38 \approx 0.40m$$

De acuerdo a este predimensionamiento se ha optado por uso de vigas de 0.4*0.5 m, con la probabilidad de ser modificado de acuerdo al análisis realizado en el software de diseño.

2.2.4. Predimensionamiento de columnas

Figura 22. Área cooperante de columnas



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9. Estimación de cargas por piso

Nivel	Columna	Área cooperante	Carga Viva (kg/m ²)	Carga muerta (kg/m ²)	Pu (kg) (1.2CM+1.6CV)
20.80	B2	28.41	0	458.80	15641.4096
16.80	B2	28.41	200	458.80	24732.6096
14.00	B2	28.41	480	458.80	37460.2896
11.20	B2	28.41	200	928.80	40755.8496
8.4	B2	28.41	200	928.80	40755.8496
5.6	B2	28.41	200	928.80	40755.8496
2.8	B2	28.41	480	888.80	52119.8496
Carga ultima total					252221.7072

Fuente: Elaboración Propia

$$A = \frac{3Pu}{0.85 * f'c * fy * p}$$

$$A = \frac{3 * 252221.7072}{0.85 * 240 + 4200 * 0.015}$$

$$A = 2833,95cm^2$$

Columnas de 55*55cm

Hay que recalcar que estos predimensionamiento se usara para el modelamiento inicial de los elementos estructurales y posteriormente pueden variar de acuerdo al análisis que se realice en el software Etabs2016.

2.2.5. Predimensionamiento de placas

Debido a que es recomendable un análisis sísmico para obtener el espesor de placas, se ha estimado un espesor de 25cm que posteriormente se analizará para determinar el espesor final real.

2.2.6. Cargas sísmicas

La edificación será implantada en la ciudad de Quito, por lo cual todas las características sísmicas se tomarán de acuerdo a la ciudad de implantación del proyecto y la provincia de Tungurahua. El tipo de perfil de suelo de acuerdo a las características que indica la NEC-SE-DS con relación al tipo de suelo existente en donde se implantará el proyecto, será un suelo tipo D. Hay que recalcar que se ha escogido este tipo de suelo, ya que de acuerdo al estudio de suelo existente para este sector menciona que tiene un suelo tipo S3 el cual de acuerdo a la INEN pertenece a un suelo tipo D [28].

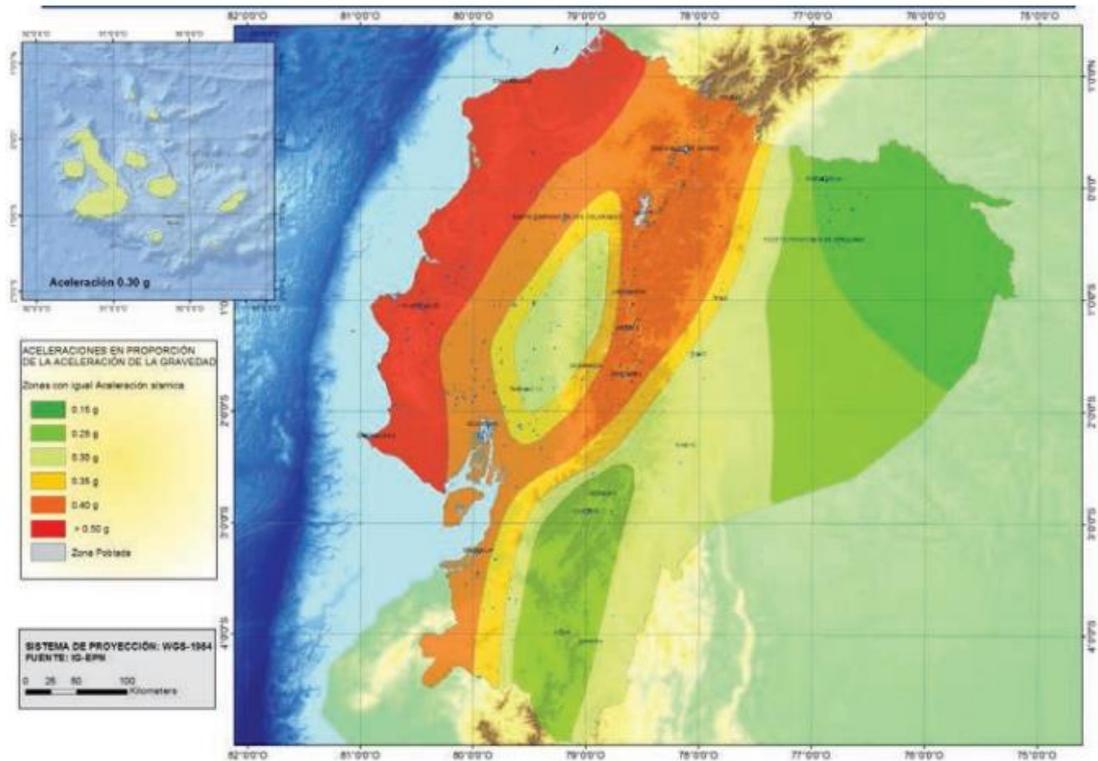
Figura 23. Tipo de perfil de suelo D

D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$

Fuente: NEC-SE-DS. [18]

De acuerdo a la figura de zonas sísmicas indicada en la norma NEC-SE-DS, se visualiza que la ciudad de Quito está en una zona sísmica tipo V, de acuerdo a esto se elegirá el factor Z y la característica de peligro sísmico del sector.

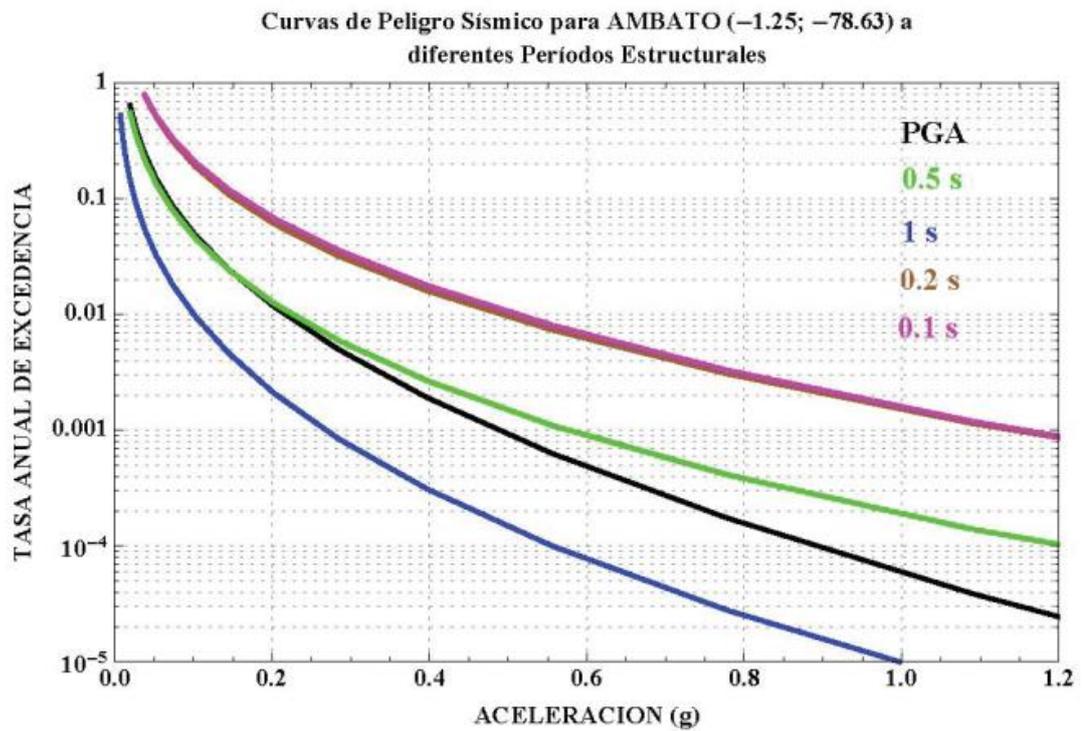
Figura 24. Mapa de diseño sísmico



Fuente: NEC-SE-DS. [18]

De acuerdo a la NEC-SE-DS[18] menciona que, para la determinación de diseños de edificaciones con disipadores de energía sísmica, estos deben mitigar daños ante sismos severos, además de acuerdo al ASCE 7-10 [19] menciona que, para el análisis de los dispositivos de amortiguación, se debe basar de acuerdo al sismo de mayor consideración. Por lo cual, para analizar y diseñar los dispositivos de amortiguación se hará uso de un espectro de diseño severo con un $R=1$ con el propósito de dotar a la estructura de toda la energía sísmica sin reducir. En caso de querer incorporar un espectro sísmico extremo se hará uso de las curvas de peligro sísmico indicado en la NEC15, para transformar el espectro de diseño indicado en la norma (severo), a un espectro extremo o muy raro.

Figura 25. Curvas de peligro sísmico Ambato



Fuente: NEC-SE-DS. [18]

Figura 26. Zona sísmica y factor Z

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Fuente: NEC-SE-DS. [18]

Dado a que Quito según el mapa de diseño sísmico se encuentra en una zona sísmica V, entonces su valor de factor Z es de 0.4 con una peligrosidad sísmica alta.

❖ **Coefficientes de perfil de suelo**

De acuerdo a la zona sísmica de Quito y factor Z, se identifica coeficientes de perfil de suelo. Según la NEC-SE-DS nos indican tres coeficientes de acuerdo a sus tablas 3,4 y 5, los cuales consisten en una amplificación en las ordenadas del espectro de respuesta elástico.

Figura 27. Coeficiente de amplificación de suelo en zonas con periodo corto (F_a)

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4					

Fuente: NEC-SE-DS. [18]

Figura 28. Amplificación de espectro elástico de desplazamientos en roca. (F_d)

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Fuente: NEC-SE-DS. [18]

Figura 29. Comportamiento no lineal del suelo. (F_s)

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Fuente: NEC-SE-DS. [18]

Los valores de amplificación espectral η varían de acuerdo a la región de Ecuador en donde se vaya a implantar la edificación. Según la NEC15, los valores η son:

Figura 30. Valores de amplificación espectral

- $\eta = 1.80$: Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas),
- $\eta = 2.48$: Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos
- $\eta = 2.60$: Provincias del Oriente

Fuente: NEC-SE-DS. [18]

❖ Nivel de amenaza sísmica

Los niveles de amenaza sísmica se usarán para poder obtener la aceleración en roca para un sismo muy raro o extremo y de esa manera obtener los demás coeficientes de perfil de suelo de acuerdo al factor de valor Z para un sismo extremo.

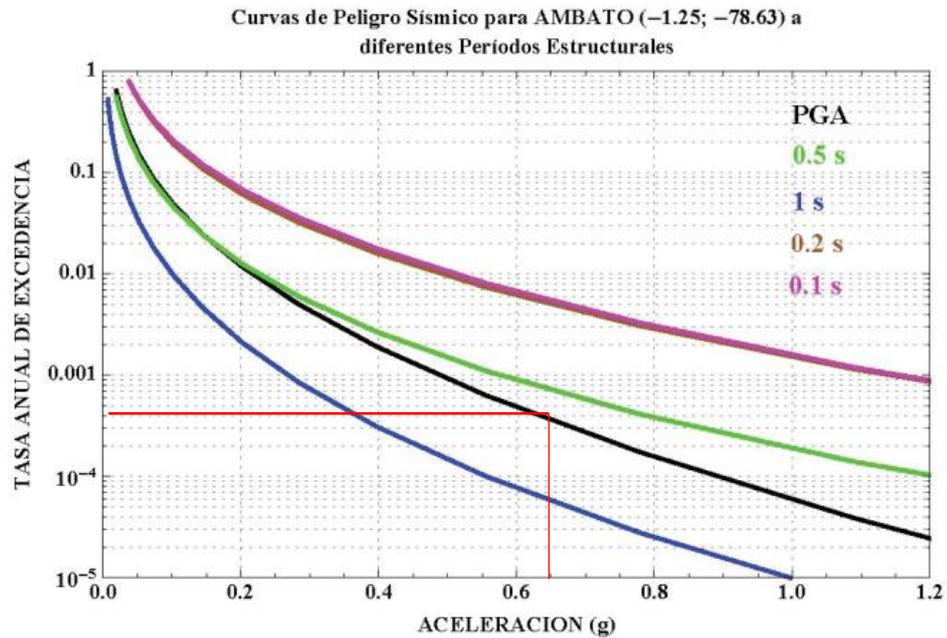
Figura 31. Niveles de amenaza sísmica

Nivel de sismo	Sismo	Probabilidad de excedencia en 50 años	Período de retorno T_r (años)	Tasa anual de excedencia ($1/T_r$)
1	Frecuente (menor)	50%	72	0.01389
2	Ocasional (moderado)	20%	225	0.00444
3	Raro (severo)	10%	475	0.00211
4	Muy raro* (extremo)	2%	2 500	0.00040

Fuente: NEC-SE-DS. [18]

La tasa anual de excedencia que tiene un sismo extremo según la fig33, se asignara en la curva de peligro sísmico, con el propósito de obtener la aceleración en roca para un sismo extremo.

Figura 32. Aceleración máxima espectral para sismo extremo



Fuente: NEC-SE-DS. [18]

La aceleración máxima espectral para un sismo muy raro según la fig. 34 será de 0.65, de acuerdo a esto se obtuvo valores de coeficientes de perfil de suelo $F_a=1.18$, $F_d=1.06$ y $F_s=1.23$.

❖ Configuración estructural

La edificación consiste en un sistema dual con pórticos sismorresistente de hormigón armado con vigas descolgadas, y el uso de muros de corte con el propósito de menorar derivas y evitar que la estructura tenga torsión en planta. La misma configuración estructural será utilizada para la incorporación de amortiguadores viscosos y su respectivo análisis.

Figura 33. Importancia de la estructura

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coefficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Fuente: NEC-SE-DS. [18]

Figura 34. Valor de reducción sísmica (R)

Sistemas Estructurales Dúctiles	R
Sistemas Duales	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras (sistemas duales).	8

Fuente: NEC-SE-DS. [18]

Figura 35. Coeficientes de acuerdo al tipo de estructura

Tipo de estructura	C_t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

2.2.7. Análisis estructural de la edificación

La edificación está compuesta por un subsuelo, 5 pisos, un cuarto de máquinas y un tapagrada. Todas las alturas de entrepiso tienen 2.80m, con excepción del cuarto de máquinas hasta la cubierta de tapagrada que tienen una altura de entrepiso de 4m, dando en total una altura de 20.80m.

❖ Definición de materiales

La resistencia última a compresión del hormigón a utilizar para el diseño de los elementos estructurales será de 240 kg/cm², además el módulo de elasticidad utilizado será de $13100^2 \sqrt{f'c}$ ya que de acuerdo a estudios en laboratorios se ha demostrado que es el más real en la ciudad de Ambato [4]. La resistencia a fluencia del acero a utilizar será $f_y = 4200$ kg/cm².

2.2.7.1. Análisis convencional de la estructura

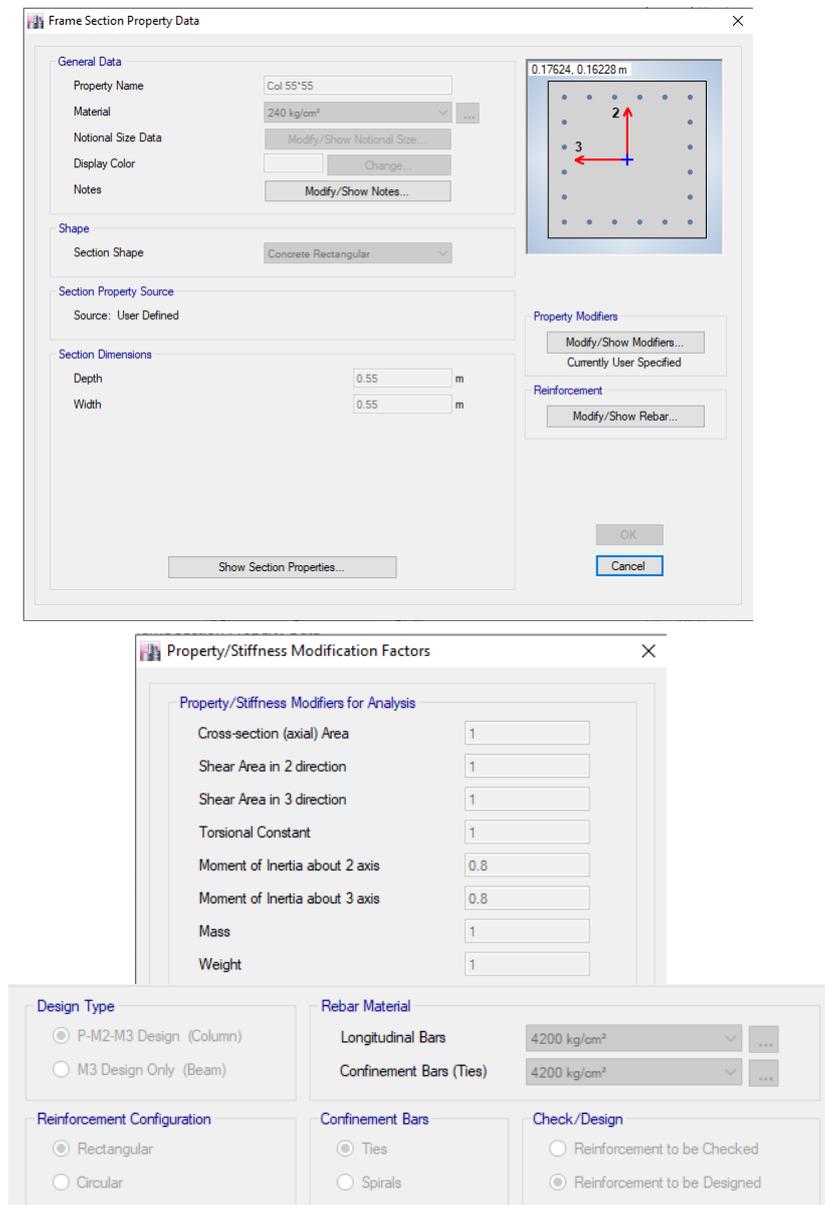
❖ Definición de los elementos estructurales

Columnas

Las dimensiones de las columnas mediante predimensionamiento salieron de 55*55, sin embargo, de acuerdo a las iteraciones de análisis realizadas en el software de diseño se determinó las dimensiones finales de las columnas de 60*60, 50*50, 55*55 y 45*45.

Para el análisis estructural de la edificación de acuerdo a la NEC15, se usó inercias agrietadas de 0.8 para las columnas.

Figura 36. Definición de columnas en el software de diseño



Fuente: ETABS2016

Vigas

De acuerdo al predimensionamiento de las vigas se optó por inicialmente usar dimensiones de 40*50. Según el análisis realizado en el software de diseño las vigas finales utilizadas son de 40*50 y 25*25 para las vigas de borde.

Se uso inercias agrietadas para el análisis estructural de la edificación, y de acuerdo a la NEC15 se definió inercias de 0.5 para las vigas.

Figura 37. Definición de vigas de acuerdo a software de diseño

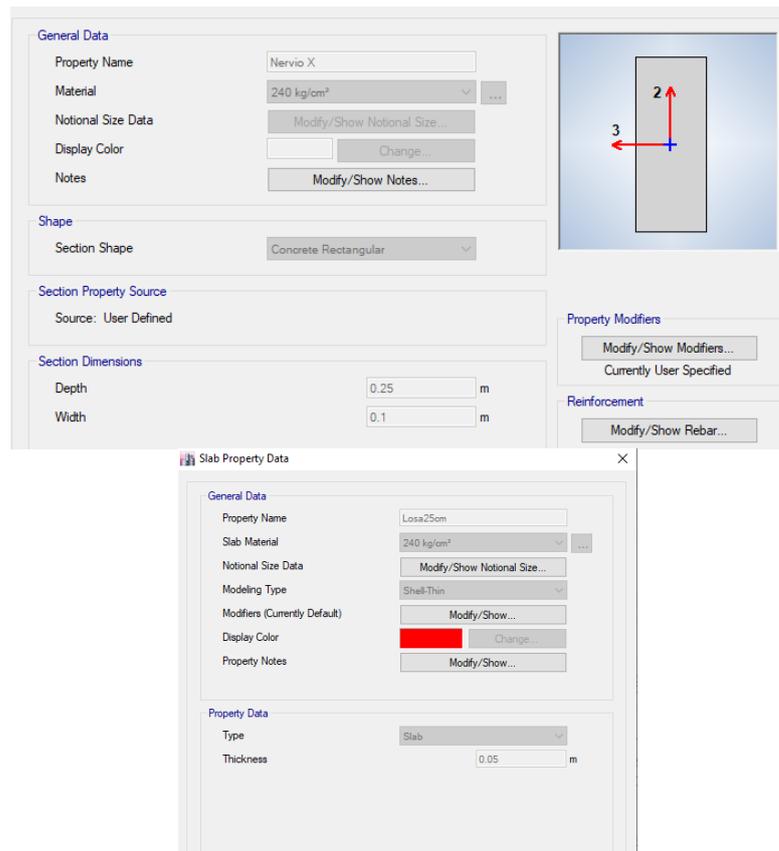


Fuente: ETABS2016

Losa

Para la losa se ha definido dos tipos de elementos estructurales en el software de diseño, frame de nervios de 10*25 cm y un slab tipo Shell thin de 5 cm. De acuerdo a varios análisis se ha optado ocupar Shell thin para que se transmitan los esfuerzos a las vigas.

Figura 38. Definición de losa en software de diseño

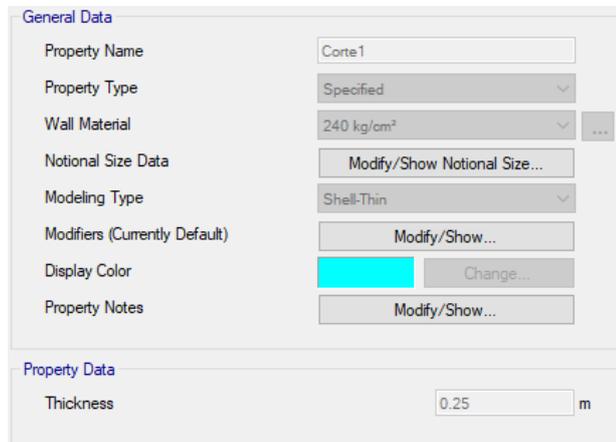


Fuente: ETABS2016

Placas

Para la definición de las placas en el software de diseño, se optó por un modelo tipo Shell thin, ya que de acuerdo al curso de especialización sismorresistente en concreto de acuerdo a IBM structure, este tipo de modelo se utiliza para losas o placas delgadas la cual su deformación es controlada solo por flexión. Una vez que se proceda con el análisis de diseño estructural, se mantendrán los mismos espesores para las placas, caso contrario serán modificados.

Figura 39. Definición de placas o muros estructurales



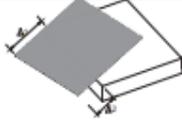
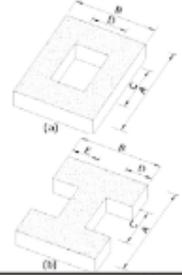
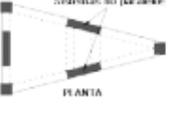
General Data	
Property Name	Corte1
Property Type	Specified
Wall Material	240 kg/cm ²
Notional Size Data	Modify/Show Notional Size...
Modeling Type	Shell-Thin
Modifiers (Currently Default)	Modify/Show...
Display Color	Change...
Property Notes	Modify/Show...

Property Data	
Thickness	0.25 m

Fuente: ETABS2016

❖ Irregularidades en planta y elevación

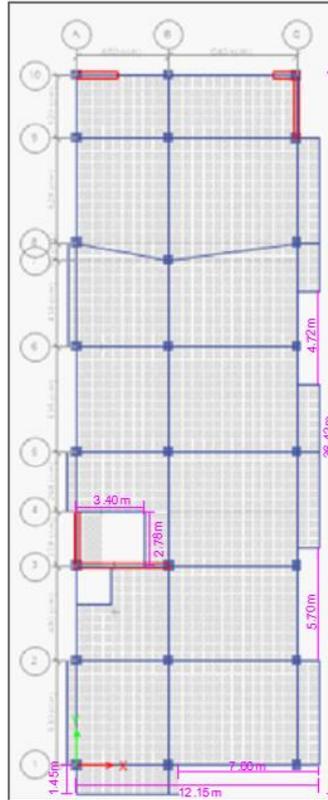
Figura 40. Irregularidad en planta según NEC15

<p>Tipo 1 - Irregularidad torsional $\phi_t=0.9$ $\Delta > 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$</p> <p>Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en el numeral 6.4.2 del presente código.</p>	
<p>Tipo 2 - Retrocesos excesivos en las esquinas $\phi_t=0.9$ $A > 0.15B$ y $C > 0.15D$</p> <p>La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.</p>	
<p>Tipo 3 - Discontinuidades en el sistema de piso $\phi_t=0.9$ a) $CxD > 0.5AxB$ b) $[CxD + CxE] > 0.5AxB$</p> <p>La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.</p>	
<p>Tipo 4 - Ejes estructurales no paralelos $\phi_t=0.9$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</p>	

Fuente: ETABS2016

De acuerdo a las irregularidades en planta presentes en la NEC15, se realizó los análisis correspondientes en la estructura.

Figura 41. Vista en planta de un piso tipo de la edificación



Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Cálculo de irregularidad en planta

Tipo 2				
	A	B	C	D
	7m	12.15m	1.45m	36.42m
0.15*B	1.82 m			
0.15*D	5.46 m			
$A > 0.15*B$ y $C < 0.15*D$				
Tipo 3				
	A	B	C	D
	36.42m	12.15m	2.78m	3.40m
C*D	9.45m			
0.5A*B	221.25m			
$C*D < 0.5A*B$				

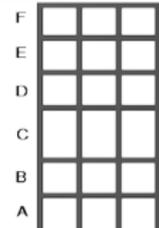
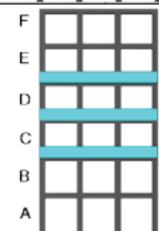
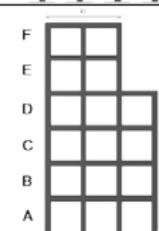
Fuente: Elaboración propia

Tipo4

De acuerdo a lo que menciona la NEC con respecto a este tipo de irregularidad, se puede evidenciar en la estructura de análisis en el eje 8, que los ejes no son paralelos.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede definir un coeficiente de irregularidad en planta de 0.9 a causa de la irregularidad en planta tipo4.

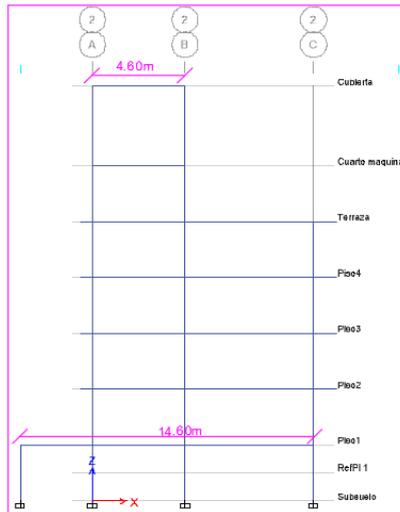
Figura 42. Irregularidad en elevación según NEC15

<p>Tipo 1 - Piso flexible $\phi_{EI}=0.9$ Rigidez $K_c < 0.70$ Rigidez K_D $Rigidez < 0.80 \frac{(K_D + K_E + K_F)}{3}$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.</p>	
<p>Tipo 2 - Distribución de masa $\phi_{EI}=0.9$ $m_D > 1.50 m_E$ ó $m_D > 1.50 m_C$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.</p>	
<p>Tipo 3 - Irregularidad geométrica $\phi_{EI}=0.9$ $a > 1.3 b$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.</p>	
<p><small>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</small></p>	

Fuente: ETABS2016

Ya que la estructura tiene una misma elevación en todos los entrepisos y cuenta con una misma distribución de departamentos en todos los pisos, pues se ha realizado el análisis de la irregularidad en elevación con respecto a la geometría de la edificación.

Figura 43. Vista en elevación de un piso tipo de la edificación



Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Cálculo de irregularidad en elevación

Tipo 3		
	a	b
	14.60m	4.60m
1.3*b	5.98m	
$a > 1.3b$		

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al análisis realizado, se puede determinar un factor de irregularidad de 0.9 en elevación a causa de la irregularidad tipo3 mencionado en la NEC15.

❖ Definición del espectro de respuesta

El espectro de respuesta que se ha ingresado en el software Etabs es el definido por la norma NEC15. Este espectro es aquel cuyo periodo de retorno es de 475 años perteneciente a un sismo de carácter raro. Este espectro se ha reducido de acuerdo al factor R y se modifica en base a la importancia e irregularidades que presente la edificación.

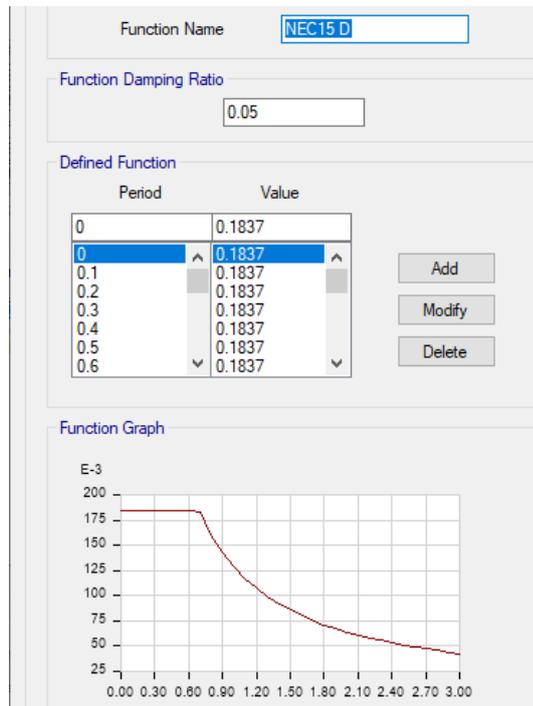
Tabla 12. Datos para espectro sísmico **Figura 44.** Espectro elástico e inelástico



Datos	
I	1.00
fi p	0.90
fi e	0.90
R	8.00
n	2.48
Z	0.40
Suelo	D
Fa	1.20
Fd	1.19
Fs	1.28
r	1.00
Tc	0.70

Fuente: Elaboración propia

Figura 45. Definición del espectro inelástico en el software de diseño

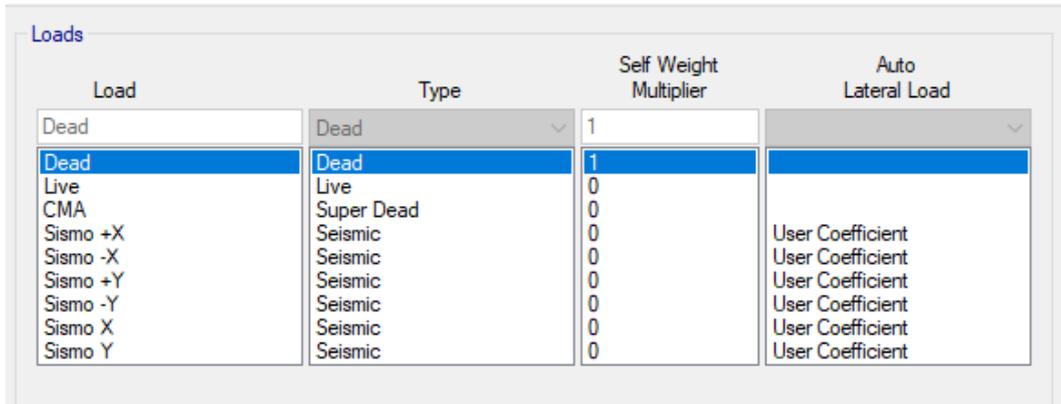


Fuente: ETABS2016

❖ **Definición de patrones de carga**

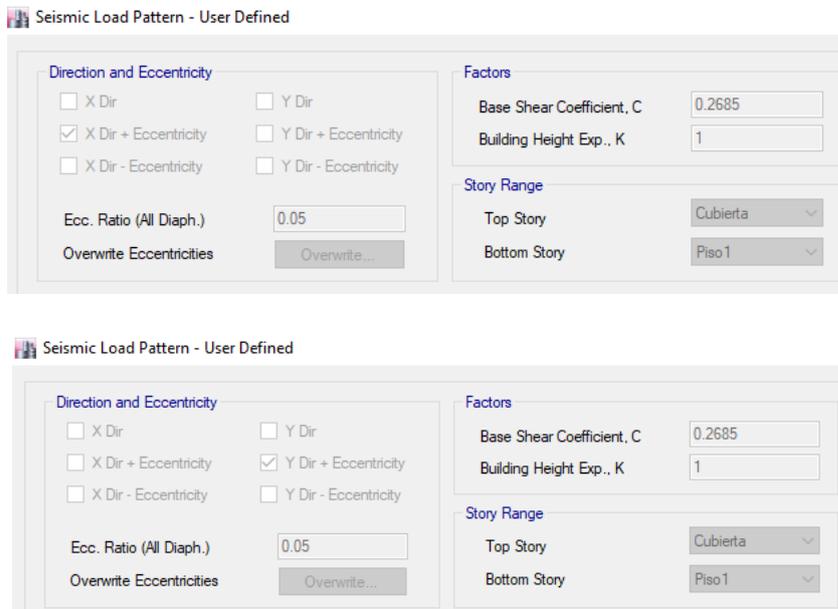
En este apartado se ingresa en el programa los patrones de carga que se va hacer uso, como la carga viva, carga muerta adicional, peso propio (Dead) y los sismos estáticos en dirección X e Y.

Figura 46. Definición de patrones de carga



Fuente: ETABS2016

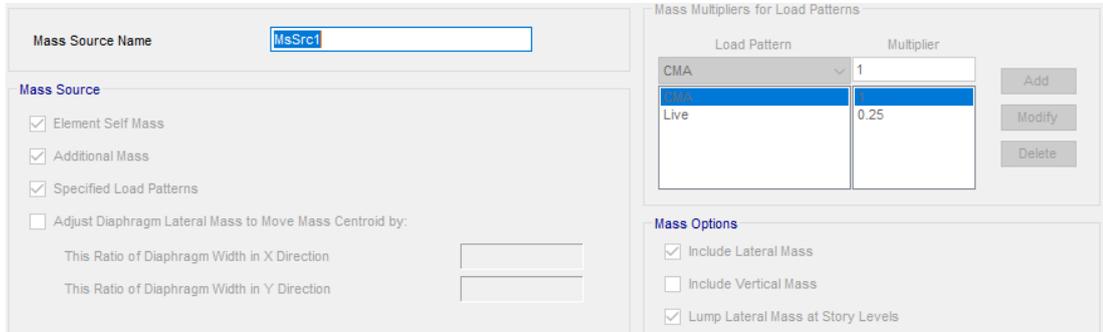
Figura 47. Definición del sismo estático en X e Y



Fuente: ETABS2016

❖ **Definición de la fuente de masa**

Figura 48. Definición de fuente de masa en el software

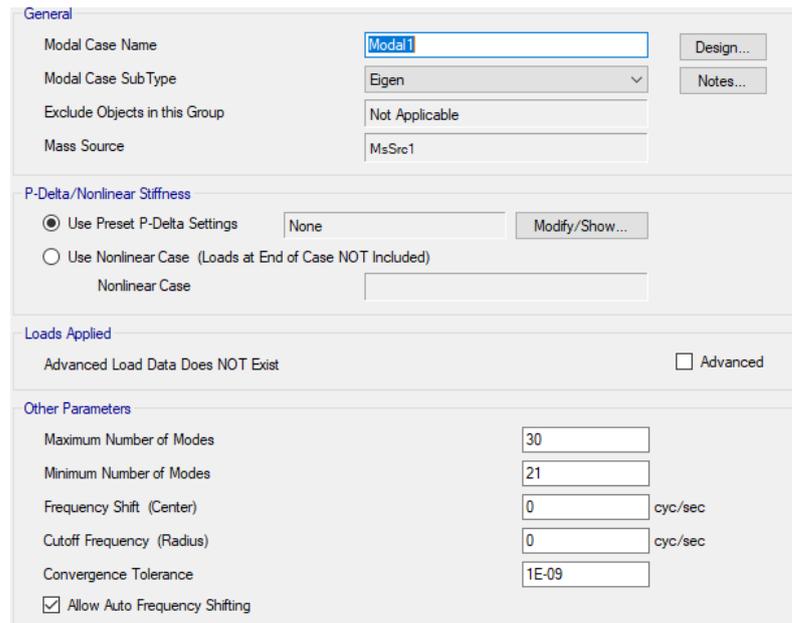


Fuente: ETABS2016

❖ **Definición de casos modales**

Para el proceso modal se ha escogido el subtipo Eigen, y de acuerdo al número de pisos existentes multiplicado por 3 modos de vibración por piso, se estima el número de casos modales existentes para la edificación.

Figura 49. Definición de casos modales en el software



Fuente: ETABS2016

❖ Combinaciones de carga de diseño

Las combinaciones planteadas están basadas de acuerdo a lo indicado en la normativa NEC15.

- $1.4D$
- $1.2D + 1.6L$
- $1.2D + L \pm Sx$
- $1.2D + L \pm Sy$
- $0.9D \pm Sx$
- $0.9D \pm Sy$
- $1.2D + L \pm SDx$
- $1.2D + L \pm SDy$
- $0.9D \pm SDx$
- $0.9D \pm SDy$

Figura 50. Definición de combinación de carga en el software

Load Name	Scale Factor
Dead	1.2
Live	1
CMA	1.2
Sismo +X	1

Fuente: ETABS2016

❖ **Ajuste de corte basal de acuerdo al análisis dinámico del software Etabs2016**

De acuerdo a la normativa NEC15 menciona que para estructuras irregulares el cortante dinámico debe ser al menos el 85% del cortante estático.

Tabla 13. Cortante basal estático y dinámico

Load Case/Combo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
	tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
Dead	0.00	0.00	2074.50	34744.55	-10776.59	0.00
Live	0.00	0.00	740.20	12102.05	-4434.72	0.00
CMA	0.00	0.00	1288.88	21700.02	-7409.70	0.00
Sismo +X	-617.09	0.00	0.00	0.00	-7303.61	11131.54
Sismo -X	-617.09	0.00	0.00	0.00	-7303.61	9133.16
Sismo +Y	0.00	-617.09	0.00	7303.61	0.00	-3515.95
Sismo -Y	0.00	-617.09	0.00	7303.61	0.00	-2817.51
Sismo X	-617.09	0.00	0.00	0.00	-7303.61	10132.35
Sismo Y	0.00	-617.09	0.00	7303.61	0.00	-3166.73
SDx Max	525.38	352.38	0.00	4010.02	5542.11	10701.27
SDy Max	358.96	525.44	0.00	5782.78	3965.32	8199.77

Fuente: Elaboración propia

$$Direccion X = \frac{525.38}{617.09}$$

$$Direccion X = 85\%$$

$$Direccion Y = \frac{525.44}{617.09}$$

$$Direccion Y = 85\%$$

❖ **Análisis de modos de vibración**

Tabla 14. Modos de vibración

Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
		sec												
Modal1	1	0.495	0.214	0.354	0.000	0.214	0.354	0.000	0.322	0.163	0.022	0.322	0.163	0.022
Modal1	2	0.420	0.303	0.229	0.000	0.517	0.583	0.000	0.184	0.210	0.066	0.506	0.372	0.088
Modal1	3	0.388	0.091	0.004	0.000	0.607	0.587	0.000	0.007	0.123	0.419	0.513	0.495	0.507
Modal1	4	0.202	0.003	0.021	0.000	0.611	0.608	0.000	0.017	0.002	0.001	0.530	0.497	0.508
Modal1	5	0.137	0.047	0.071	0.000	0.658	0.679	0.000	0.081	0.054	0.011	0.610	0.551	0.519
Modal1	6	0.114	0.151	0.031	0.000	0.809	0.710	0.000	0.038	0.184	0.005	0.648	0.735	0.525
Modal1	7	0.102	0.000	0.014	0.000	0.810	0.724	0.000	0.014	0.000	0.090	0.662	0.735	0.614
Modal1	8	0.092	0.012	0.003	0.000	0.821	0.727	0.000	0.003	0.013	0.049	0.664	0.748	0.663
Modal1	9	0.081	0.013	0.056	0.000	0.834	0.783	0.000	0.060	0.017	0.002	0.724	0.765	0.666
Modal1	10	0.070	0.091	0.001	0.000	0.925	0.784	0.000	0.001	0.138	0.002	0.725	0.903	0.667
Modal1	11	0.058	0.011	0.011	0.000	0.936	0.795	0.000	0.015	0.013	0.071	0.740	0.917	0.738
Modal1	12	0.053	0.000	0.110	0.000	0.936	0.905	0.000	0.142	0.001	0.004	0.882	0.917	0.741
Modal1	13	0.050	0.012	0.003	0.000	0.949	0.908	0.000	0.003	0.020	0.065	0.885	0.937	0.807
Modal1	14	0.047	0.006	0.008	0.000	0.955	0.916	0.000	0.013	0.006	0.011	0.898	0.943	0.818
Modal1	15	0.044	0.005	0.014	0.000	0.960	0.930	0.000	0.020	0.005	0.003	0.918	0.948	0.821
Modal1	16	0.040	0.002	0.003	0.000	0.962	0.933	0.000	0.004	0.003	0.001	0.921	0.951	0.821
Modal1	17	0.038	0.000	0.001	0.000	0.962	0.934	0.000	0.001	0.000	0.001	0.923	0.951	0.822
Modal1	18	0.038	0.000	0.000	0.000	0.962	0.934	0.000	0.000	0.000	0.000	0.923	0.952	0.822
Modal1	19	0.035	0.000	0.000	0.000	0.962	0.934	0.000	0.000	0.000	0.000	0.923	0.952	0.822
Modal1	20	0.033	0.000	0.000	0.000	0.962	0.934	0.000	0.000	0.000	0.000	0.923	0.952	0.822
Modal1	21	0.032	0.001	0.000	0.000	0.963	0.934	0.000	0.000	0.001	0.004	0.923	0.953	0.826
Modal1	22	0.030	0.001	0.000	0.000	0.963	0.934	0.000	0.000	0.002	0.024	0.923	0.955	0.850
Modal1	23	0.028	0.005	0.001	0.000	0.968	0.935	0.000	0.001	0.005	0.003	0.924	0.960	0.853
Modal1	24	0.028	0.000	0.000	0.000	0.968	0.935	0.000	0.000	0.000	0.009	0.924	0.960	0.862
Modal1	25	0.027	0.001	0.001	0.000	0.969	0.936	0.000	0.001	0.001	0.004	0.925	0.961	0.866
Modal1	26	0.026	0.000	0.000	0.000	0.969	0.936	0.000	0.000	0.000	0.003	0.925	0.961	0.869
Modal1	27	0.025	0.000	0.000	0.000	0.969	0.936	0.000	0.000	0.000	0.001	0.925	0.961	0.869
Modal1	28	0.024	0.000	0.000	0.000	0.969	0.936	0.000	0.000	0.000	0.001	0.925	0.961	0.870
Modal1	29	0.023	0.000	0.000	0.000	0.969	0.936	0.000	0.000	0.000	0.004	0.925	0.961	0.874
Modal1	30	0.023	0.000	0.000	0.000	0.969	0.936	0.000	0.000	0.000	0.003	0.926	0.962	0.877

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a estudios realizados mencionan que, los dos primeros modos de vibraciones deben ser traslacionales con el propósito de identificar que la estructura no sufra torsión, y de esa manera constatar que la distribución de elementos estructurales y sus dimensiones están correctas. De acuerdo a criterios de ingenieros, constatan que para suponer un modo de vibración como traslacional, el cálculo realizado debe ser menor al 20%.

Modo 1

$$T = SumRx + SumRy + SumRz$$

$$T = 0.322 + 0.163 + 0.022$$

$$T = 0.507$$

$$\%torsion = \frac{Rz}{T}$$

$$\%torsion = \frac{0.022}{0.507}$$

$$\%torsion = 0.0434 = 4.34\% < 20\%(Traslacional)$$

Modo 2

$$T = SumRx + SumRy + SumRz$$

$$T = 0.184 + 0.210 + 0.066$$

$$T = 0.46$$

$$\%torsion = \frac{Rz}{T}$$

$$\%torsion = \frac{0.066}{0.46}$$

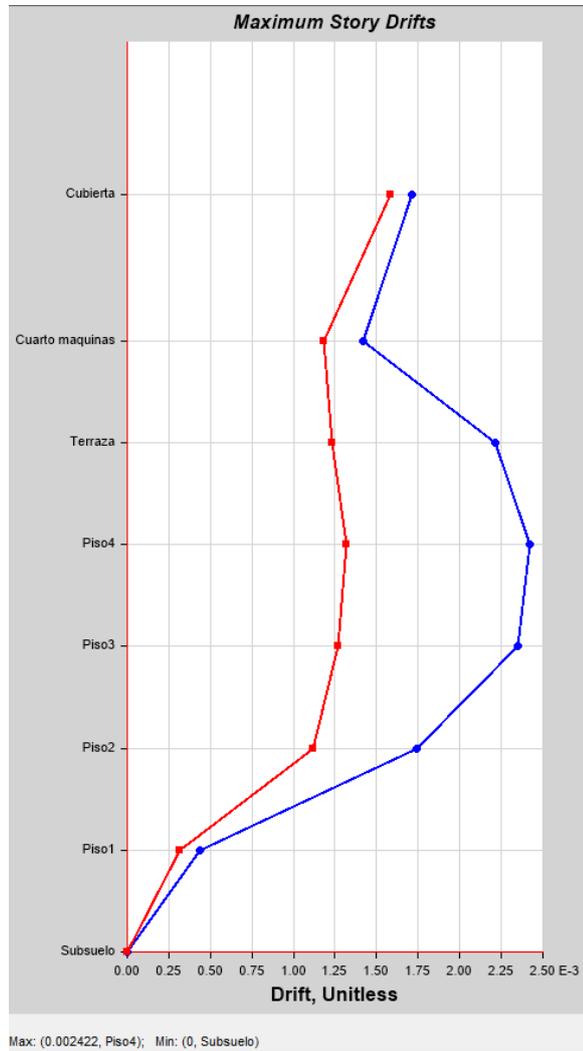
$$\%torsion = 0.143 = 14.3\% < 20\%(Traslacional)$$

❖ Derivas de entrepiso

La normativa NEC15 menciona que se debe trabajar con derivas inelásticas, y dado que el programa Etabs otorga derivas elásticas, estas últimas serán multiplicadas por un factor de 0.75 y el factor R correspondiente al factor de reducción sísmico de acuerdo a lo mencionado en la normativa, con el propósito de transformar las derivas elásticas a inelásticas. La deriva máxima permisible según la NEC15 para estructura de hormigón armado es del 2%.

Deriva del Sismo dinámico en dirección X

Figura 51. Deriva elástica (SDx)



Fuente: ETABS2016

Deriva elástica = 0.002422

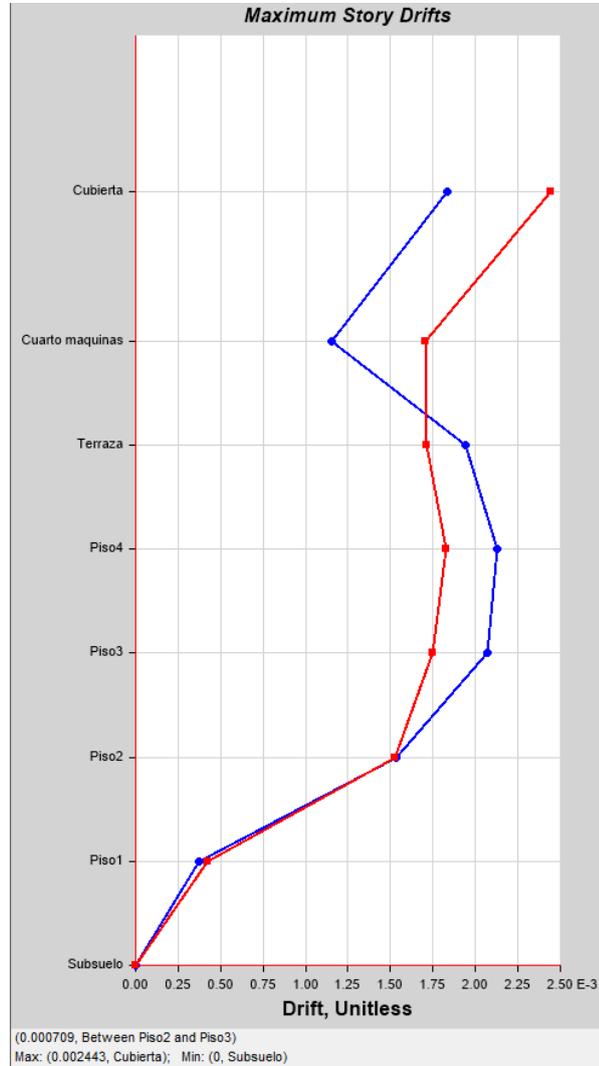
Deriva inelástica = $0.75 * R * D. \text{elastica}$

Deriva inelástica = $0.75 * 8 * 0.002422$

Deriva inelástica = 1.44% < 2%

Deriva del Sismo dinámico en dirección Y

Figura 52. Deriva elástica (SDy)



Fuente: ETABS2016

Deriva elástica = 0.002443

Deriva inelástica = 0.75 * R * *D. elastica*

Deriva inelástica = 0.75 * 8 * 0.002443

Deriva inelástica = 1.46% < 2%

❖ **Irregularidad torsional**

La irregularidad torsional se verificará en ambas direcciones de acuerdo al sismo dinámico en X e Y, de acuerdo a lo que indicado en la NEC15. Según la norma menciona que existe irregularidad torsional cuando la deriva promedio multiplicada por 1.2 es menor a las derivas de entrepiso obtenidas en los extremos de la estructura.

Tabla 15. Deformaciones en los extremos de losa por SDx

H entrepiso (m)	Deformación	
2.8	dsup	0.025
	d inf	0.019
	d sup	0.015
	dinf	0.011

- Deriva en extremo superior de la losa

$$\Delta = \frac{0.025 - 0.019}{2.8} = 0.002$$

- Deriva en extremo inferior de la losa

$$\Delta = \frac{0.015 - 0.011}{2.8} = 0.0014$$

- Deriva promedio por 1.2

$$\Delta_{prom} = 1.2 * \frac{0.002 + 0.0014}{2}$$

$$\Delta_{prom} = 0.002$$

Ya que la deriva promedio multiplicada por 1.2 es mayor a las dos derivas obtenidas en el extremo de la losa, se puede deducir que no hay irregularidad por torsión en la edificación.

El mismo procedimiento se realizó para el SDy, sin embargo, dado a que los resultados más críticos se dan en la dirección X, entonces no se procede a describir el proceso para dicha dirección.

❖ **Efactor P-Delta e índice de estabilidad Qi**

Son efectos adicionales causados a la estructura por efectos de segundo orden, los cuales afectan incrementando las fuerzas internas, derivas y momentos. Según la norma NEC15 estos efectos no se toman en cuenta cuando el índice de estabilidad Qi es menor a 0.1.

Análisis en dirección X

Tabla 16. Efectos de segundo orden en dirección X

Piso	P (Dead+Cma+Cv)	Deriva CM	Cortante	Altura	Qi
7	50.25	0.00171	23.84	18.4	0.00020
6	154.47	0.00142	62.18	16.80	0.00021
5	793.14	0.00222	213.16	14.00	0.00059
4	1444.04	0.00242	335.44	11.20	0.00093
3	2094.95	0.00235	423.81	8.40	0.00138
2	2746.80	0.00174	481.66	5.60	0.00178

Fuente: Elaboración propia

Análisis en dirección Y

Tabla 17. Efectos de segundo orden en dirección Y

Piso	P(Dead+Cma+Cv)	Deriva CM	Cortante	Altura	Qi
7	50.25	0.00244	25.49	18.40	0.00026
6	154.47	0.00170	65.18	16.80	0.00024
5	793.14	0.00170	220.79	14.00	0.00044
4	1444.04	0.00183	352.03	11.20	0.00067
3	2094.95	0.00175	442.39	8.40	0.00099
2	2746.80	0.00153	492.48	5.60	0.00152

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los análisis de índice de estabilidad Qi, se determinó que no hay efectos de segundo orden ya que ningún valor Qi es menor a 0.1.

❖ Análisis de deflexiones

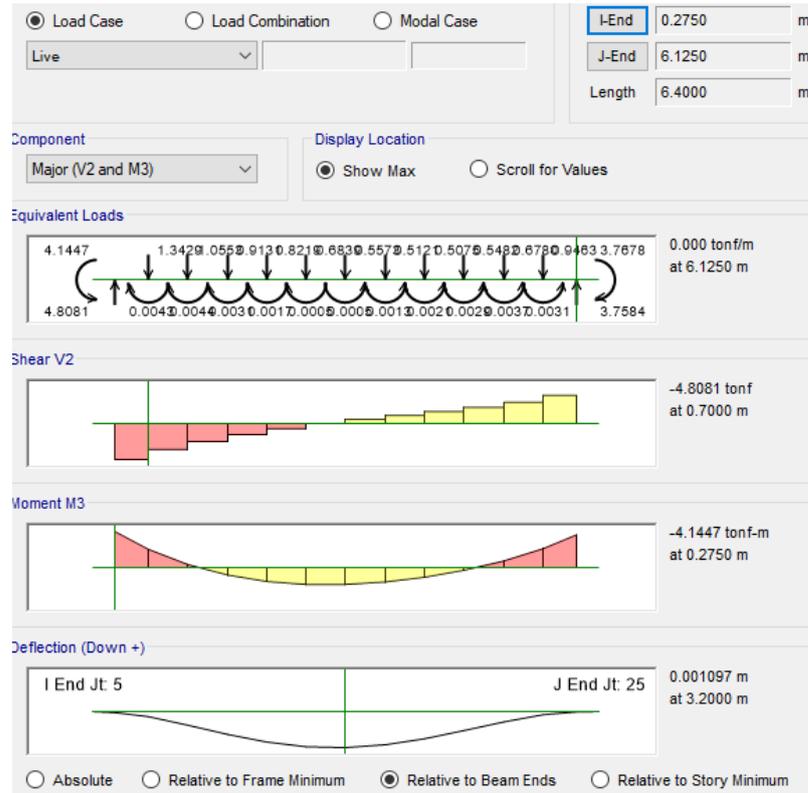
- Deflexión inmediata

Se analizará deflexiones inmediatas y diferidas en el tiempo, de acuerdo a lo que indica la norma ACI-318-14.

El límite de deflexión permisible debido a carga viva de acuerdo al ACI 318-14 se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{L}{360} = \frac{6.40}{360} = 0.0177 = 17.7mm$$

Figura 53. Deflexión por carga viva de acuerdo al software Etabs



Fuente: ETABS2016

Deflexion max permisible > Deflexión de demanda

$$17.7 > 1.01 \text{ mm}$$

- Deflexión diferida en el tiempo

De acuerdo al ACI318-14, la deflexión dependiente del tiempo se calcula multiplicando un factor $\lambda\Delta$ por la deflexión inmediata obtenida por Carga muerta y viva, este resultado debe ser menor a la deflexión permisible según lo indica el ACI.

$$\lambda\Delta = \frac{\xi}{1 + 50p'}$$

Para determinar el factor ξ se hará uso de la tabla de factores dependientes del tiempo presentada por el ACI318-14.

Tabla 18. Factores dependientes del tiempo

Duración de la carga sostenida, meses	Factor dependiente del tiempo, ξ
3	1.0
6	1.2
12	1.4
60 ó más	2.0

Fuente: ACI 318-14.[29]

El valor de p' se determinará de acuerdo a lo que indique el software de diseño Etabs.

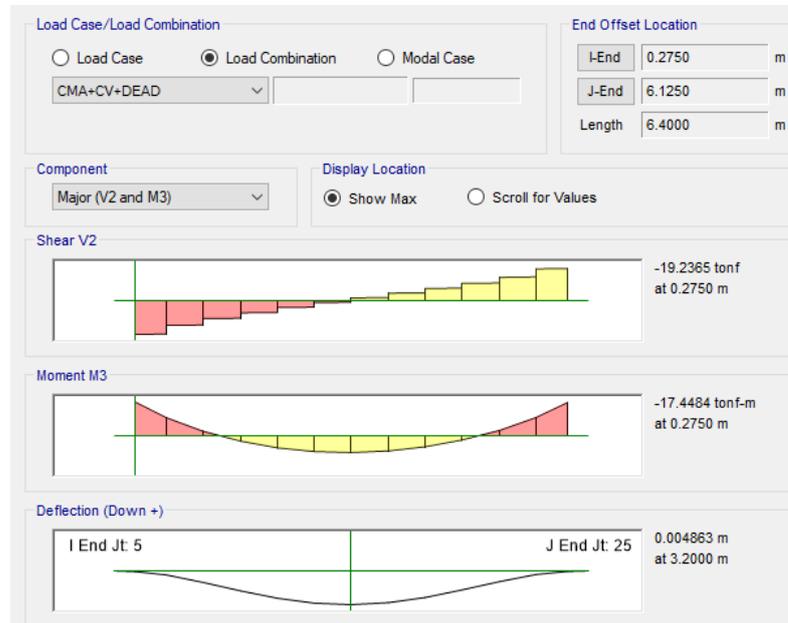


$$p'_{min} = 0.003$$

$$\lambda\Delta = \frac{2}{1 + 50(0.003)}$$

$$\lambda\Delta = 1.739 \approx 2$$

Figura 54. Deflexión inmediata por CV+CM+DEAD de acuerdo al software Etabs



Fuente: ETABS2016

$$0.00486 * \lambda \Delta$$

$$0.00486 * 2$$

$$0.0097$$

Deflexión permisible diferida en el tiempo

$$\frac{L}{480} = \frac{6.40}{480} = 0.0133 = 13.3mm$$

Deflexion max permisible > Deflexión de demanda

$$13.3 > 9.7 \text{ mm}$$

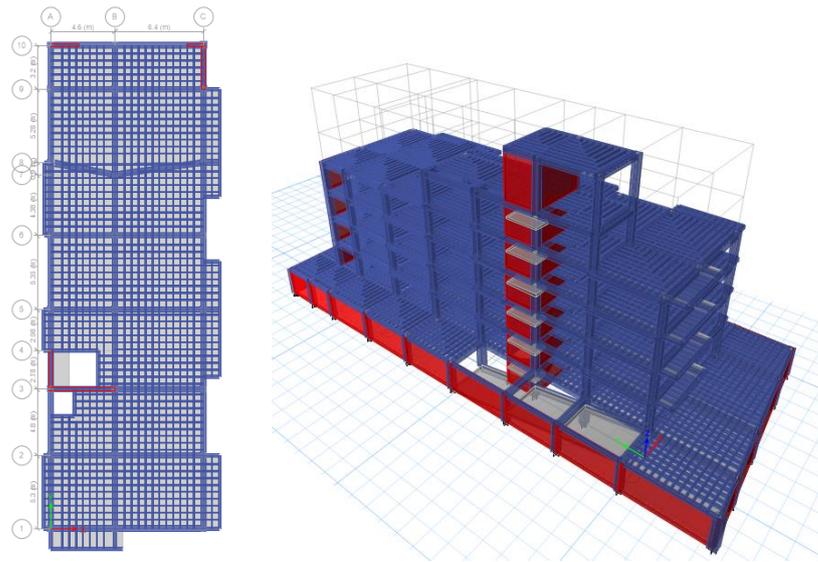
De acuerdo a los resultados de deflexiones, se puede definir que la estructura no sufre deflexiones de ningún tipo.

2.2.7.2. Diseño estructural de la edificación con amortiguadores viscosos

Para el diseño estructural de la edificación con los dispositivos de disipación de energía, se realiza dos análisis, el primero consiste en la edificación sin amortiguadores, en este estudio se le someterá a la estructura a un análisis modal con un espectro de diseño de carácter severo sin ninguna reducción de R, con el propósito de que la edificación pueda ser habitable una vez haya terminado el sismo. Posterior al análisis modal, se obtendrá derivas de entrepiso las cuales serán comparadas con las derivas registradas mediante la utilización de acelerogramas por medio de un análisis tiempo-historia lineal y de esa manera se escogerá el acelerograma con las derivas más similares a las obtenidas mediante el análisis modal. El segundo análisis consiste en la incorporación de amortiguadores viscosos y el uso del acelerograma de diseño escogido en el primer análisis. Se obtendrá derivas menores al 0.5% para alcanzar un desempeño estructural de ocupación inmediata y se analizará el porcentaje de disipación sísmica y la cantidad de amortiguamiento que brinda a la estructura.

2.2.7.2.1. Análisis del edificio sin la incorporación de amortiguadores viscosos

Figura 55. Esquema en planta y tridimensional sin disipadores viscosos

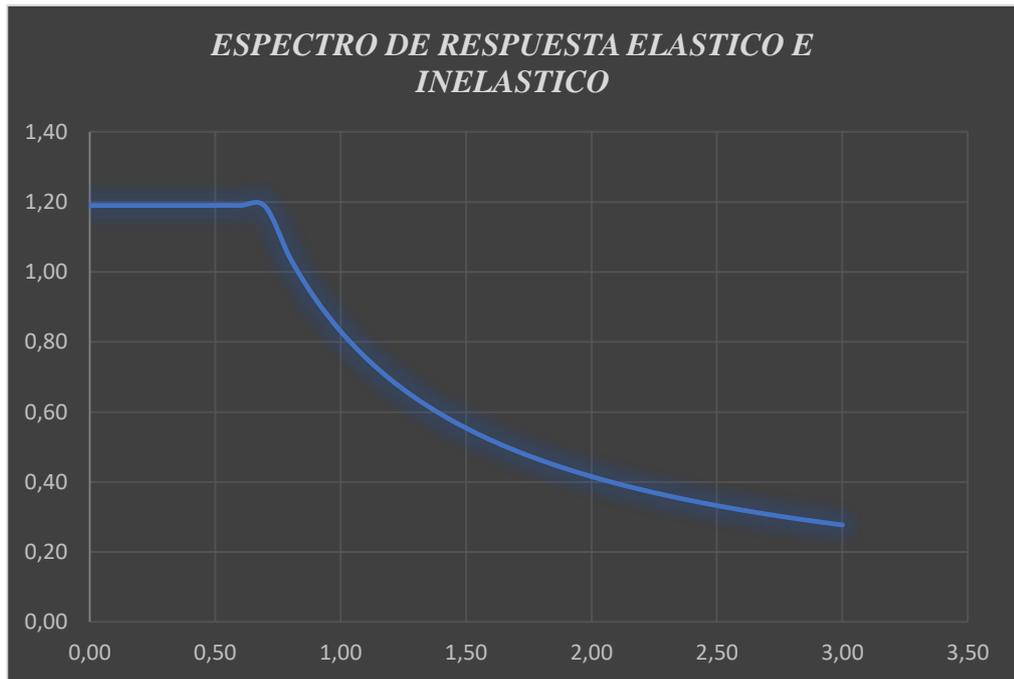


Fuente: Elaboración propia

Se mantendrá la misma edificación con la que se realizó el análisis convencional con el propósito de comparar costos entre la estructura sin disipadores viscosos y agregándole amortiguadores, en relación al desempeño estructural que estas tendrán después de un sismo.

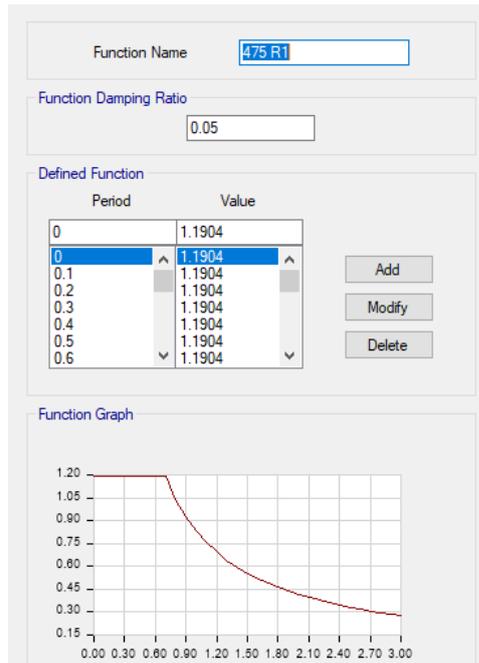
En el programa Etabs se introducirá el espectro de diseño severo sin ninguna reducción de R, para posteriormente analizar las derivas de la edificación con este espectro.

Figura 56. Espectro de diseño sísmico sin reducir



Fuente: Elaboración propia

Figura 57. Espectro de diseño sin reducir en software especializado



Fuente: ETABS2016

Figura 58. Asignación de caso de carga en el software

General

Load Case Name: SDx

Load Case Type: Response Spectrum

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Previous (MsSrc1)

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	475 R1	9.81

Other Parameters

Modal Load Case: Modal1

Modal Combination Method: CQC

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping: Constant at 0.05

Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms

Fuente: ETABS2016

El mismo procedimiento se realiza para el caso sísmico en dirección Y, con la diferencia de escoger la opción U2 en la casilla load name.

De acuerdo a la investigación realizada por Medina et al[30], menciona que de acuerdo a la normativa de Vision2000 la deriva permisible máxima para un desempeño de ocupación inmediata u operacional para estructuras de hormigón armado con muros de corte es $\leq 0.5\%$.

Tabla 19. Derivas máximo por nivel de desempeño

Nivel de desempeño	Desplazamiento objetivo Dt/H , %
Totalmente Operacional	≤ 0.2
Operacional	≤ 0.5
Seguridad de Vida	≤ 1.5
Pre Colapso	≤ 2.5
Colapso	> 2.5

Fuente: Determinación del nivel de desempeño de un edificio habitacional estructurado en base a muros de hormigón armado y diseñado según normativa chilena.[30]

Tabla 20. Derivas de entrepiso en dirección X con espectro de diseño sin reducir

# Piso	Caso de carga	Dirección de análisis	Máxima Deriva según software	Deriva objetivo	Control de norma NEC15
Cubierta	SDx Max	Diaph D1 X	0.006	0.005	NO
Cuarto maquinas	SDx Max	Diaph D1 X	0.005	0.005	SI
Terraza	SDx Max	Diaph D1 X	0.008	0.005	NO
Piso4	SDx Max	Diaph D1 X	0.009	0.005	NO
Piso3	SDx Max	Diaph D1 X	0.009	0.005	NO
Piso2	SDx Max	Diaph D1 X	0.007	0.005	NO

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Derivas de entrepiso en dirección Y con espectro de diseño sin reducir

# Piso	Caso de carga	Dirección de análisis	Máxima Deriva según software	Deriva objetivo	Control de norma NEC15
Cubierta	SDy Max	Diaph D1 Y	0.009	0.005	NO
Cuarto maquinas	SDy Max	Diaph D1 Y	0.006	0.005	NO
Terraza	SDy Max	Diaph D1 Y	0.006	0.005	NO
Piso4	SDy Max	Diaph D1 Y	0.007	0.005	NO
Piso3	SDy Max	Diaph D1 Y	0.006	0.005	NO
Piso2	SDy Max	Diaph D1 Y	0.006	0.005	NO

Fuente: Elaboración propia

Las derivas obtenidas en el programa ya no serán multiplicadas por $0.75R$ según lo indicado en la NEC15, ya que las derivas dadas en el software están con un espectro sin reducir, ósea con un $R=1$.

Primeramente se obtendrá el amortiguamiento que debería llegar a tener los disipadores viscosos para obtener la deriva objetivo de máximo 0.5%, posteriormente se deberá identificar que el amortiguamiento de los dispositivos este dentro del rango aceptable según lo indicado por los fabricantes quienes mencionan que debe estar en un porcentaje de entre el 20 al 40% de amortiguamiento[9]. Una vez se verifique dicho porcentaje se continuará con el proceso, caso contrario se modificará el diseño de los elementos estructurales que tenga la estructura. Este proceso se realizará con el espectro de diseño por ser una comprobación de que las dimensiones de los elementos estructurales son óptimas. Posteriormente se hará el mismo proceso, pero con el acelerograma de diseño seleccionado, este proceso será el definitivo y valido para continuar con el diseño de la edificación con disipadores viscosos.

❖ **Determinación preliminar de amortiguamiento viscoso**

Dirección X

1. Se hará uso de la ecuación 7 del presente proyecto, obteniendo el factor de reducción de respuesta B

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

$$B = \frac{0.009}{0.005}$$

$$Bx = 1.8$$

La deriva objetivo se ha estimado de 0.5% con el propósito de que la estructura permanezca habitable después de que el sismo termine.

2. Determinar el amortiguamiento efectivo β_{eff}

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

β_o es el amortiguamiento inherente de la estructura, que por lo general de acuerdo al libro de dinámica de estructuras menciona que es del 5% [6].

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

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

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

$$\beta_{eff} = e^{\frac{\left(2.31 - \frac{2.31 - 0.41 \ln(5)}{1.8}\right)}{0.41}}$$

$$\beta_{eff} = 29.91\%$$

Dado a que el amortiguamiento efectivo β_{eff} equivale a la suma del amortiguamiento inherente más el de los disipadores, entonces se procede a restar el amortiguamiento inherente y de esa manera obtener el amortiguamiento solamente de los disipadores viscosos.

3. Determinar el amortiguamiento que brinda los disipadores a la estructura

$$\beta_H = \beta_{eff} - 5\%$$

$$\beta_H = 29.91\% - 5\%$$

$$\beta_H = 24.91\% \approx 25\%$$

Ya que el amortiguamiento viscoso se encuentra dentro del rango considerable según los fabricantes, entonces se mantendrá las dimensiones de los elementos estructurales establecidos anteriormente, y se procederá con el análisis con acelerogramas.

Dado a que en la dirección Y la deriva máxima obtenida con el espectro de diseño es igual a la de la dirección X, entonces el resultado obtenido en la dirección X será igual para la dirección Y.

De acuerdo a los datos obtenidos se puede evidenciar que el amortiguamiento que debe tener los disipadores viscosos en el eje X e Y es de 25%, el cual se encuentra dentro del rango aceptable dado por los fabricantes.

Para determinar que la estructura va a cumplir con derivas menores al 0.5% en el eje X con el amortiguamiento estimado que debería tener los disipadores viscosos de 25%. Antes de proceder con los acelerogramas y el análisis lineal tiempo historia se ingresará al software Etabs2016 el espectro elástico con un amortiguamiento del 30% ya que este es el amortiguamiento efectivo que tendrá la estructura una vez se haya ingresado los disipadores viscosos.

Según la norma española menciona que para espectros con amortiguamiento mayor al 5%, se puede hacer uso de una fórmula, la cual es [31]:

$$v = \left(\frac{5}{\Omega}\right)^{0.4}$$

Donde:

Ω = Es el amortiguamiento crítico que se pretende tenga la estructura

El valor v se deberá multiplicar para todos los valores de pseudoaceleraciones obtenidos del espectro elástico según la norma NEC15. Los resultados de la multiplicación serán los nuevos valores para generar el nuevo espectro con el amortiguamiento β_{eff} .

De acuerdo a la normativa técnica complementaria de México en la sección 3.1.2 indica diferentes fórmulas de acuerdo al periodo que tenga la estructura para obtener el factor de reducción por amortiguamiento del espectro elástico. De acuerdo al periodo fundamental de 0.42 obtenido mediante el programa Etabs2016, en vista de que se encuentra en la meseta del espectro elástico y de acuerdo a lo que indica la norma mexicana, se optó por la siguiente fórmula:

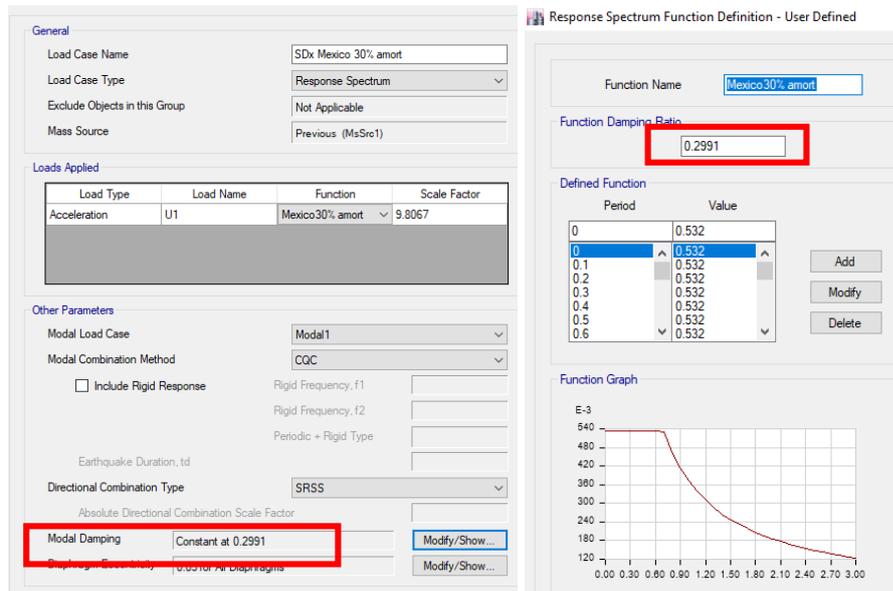
$$\beta = \left(\frac{0.05}{\zeta}\right)^{\lambda}$$

ζ = Es el amortiguamiento crítico que se pretende tenga la estructura

λ = Valor que se obtiene de acuerdo a la tabla 3.1.1 de la norma complementaria de México. [32]

Una vez obtenido el valor β , este se multiplicará para todos los valores de pseudoaceleraciones obtenidos por el espectro elástico de la NEC15, obteniendo la respuesta para el nuevo espectro de diseño con el amortiguamiento requerido β_{eff} .

Figura 59. Espectro elástico con aumento de amortiguamiento



Fuente: ETABS2016

Tabla 22. Derivas de acuerdo a la reducción de espectro elástico según la norma complementaria de México

# Piso	Caso de carga	Dirección de análisis	Máxima Deriva según software	Deriva objetivo	Control de deriva
Cubierta	SDx Max	Diaph D1 X	0.0032	0.005	SI
Cuarto maquinas	SDx Max	Diaph D1 X	0.0030	0.005	SI
Terraza	SDx Max	Diaph D1 X	0.0041	0.005	SI
Piso4	SDx Max	Diaph D1 X	0.0045	0.005	SI
Piso3	SDx Max	Diaph D1 X	0.0044	0.005	SI
Piso2	SDx Max	Diaph D1 X	0.0033	0.005	SI
# Piso	Caso de carga	Dirección de análisis	Máxima Deriva según software	Deriva objetivo	Control de deriva
Cubierta	SDy Max	Diaph D1 Y	0.0040	0.005	SI
Cuarto maquinas	SDy Max	Diaph D1 Y	0.0031	0.005	SI
Terraza	SDy Max	Diaph D1 Y	0.0032	0.005	SI
Piso4	SDy Max	Diaph D1 Y	0.0034	0.005	SI
Piso3	SDy Max	Diaph D1 Y	0.0033	0.005	SI
Piso2	SDy Max	Diaph D1 Y	0.0030	0.005	SI

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Derivas de acuerdo a la reducción de espectro elástico según la norma española

# Piso	Caso de carga	Dirección de análisis	Máxima Deriva según software	Deriva objetivo	Control de deriva
Cubierta	SDx Max	Diaph D1 X	0.0035	0.005	SI
Cuarto maquinas	SDx Max	Diaph D1 X	0.0033	0.005	SI
Terraza	SDx Max	Diaph D1 X	0.0045	0.005	SI
Piso4	SDx Max	Diaph D1 X	0.0050	0.005	SI
Piso3	SDx Max	Diaph D1 X	0.0049	0.005	SI
Piso2	SDx Max	Diaph D1 X	0.0037	0.005	SI

# Piso	Caso de carga	Dirección de análisis	Máxima Deriva según software	Deriva objetivo	Control de deriva
Cubierta	SDy Max	Diaph D1 Y	0.0044	0.005	SI
Cuarto maquinas	SDy Max	Diaph D1 Y	0.0034	0.005	SI
Terraza	SDy Max	Diaph D1 Y	0.0035	0.005	SI
Piso4	SDy Max	Diaph D1 Y	0.0037	0.005	SI
Piso3	SDy Max	Diaph D1 Y	0.0036	0.005	SI
Piso2	SDy Max	Diaph D1 Y	0.0033	0.005	SI

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos se verifica que el amortiguamiento calculado mediante uso de análisis modal espectral es el óptimo ya que si se cumple con la deriva objetivo menor o igual a 0.5%. Verificado este resultado se continua con el escalamiento de acelerogramas y posteriormente el análisis lineal tiempo historia.

2.2.7.2.2. Escalamiento de acelerogramas

❖ Escalamiento de acelerogramas a espectro de diseño

Se ha escogido tres acelerogramas según lo permitido como mínimo en la NEC15, estos serán escalados al espectro de diseño y se escogerá un acelerograma el cual sus derivas sean las más parecidas a las obtenidas con el espectro de diseño con $R=1$.

Los acelerogramas fueron obtenidos de la página “PEER GROUND MOTION DATABASE”, la cual es una base de datos de movimientos de suelo la cual tiene contribuciones de muchos profesionales, investigadores, becarios, estudiantes, ingenieros y científicos sobre terremotos.

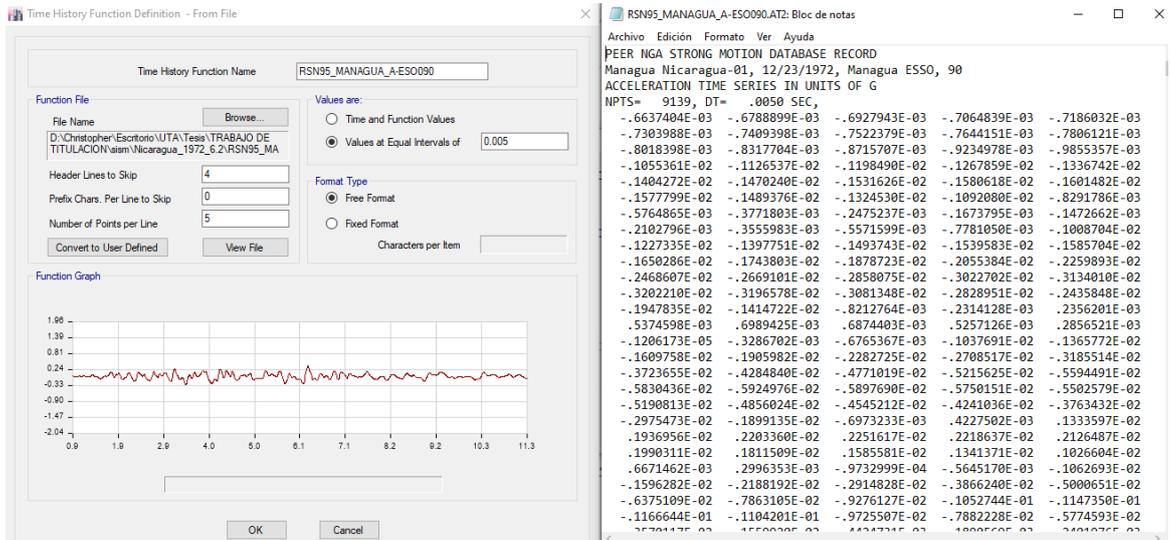
Para escalar los acelerogramas se hará uso del software especializado Etabs utilizado en distintos trabajos por su eficiencia y exactitud. El procedimiento para escalar se indicará a continuación, el mismo proceso se realizó con los dos acelerogramas restantes.

Tabla 24. Características de los registros sísmicos utilizados para el análisis estructural.

SISMO	UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN	NOMBRE DEL ARCHIVO
Turquia (08/17/1999)	"Duzce"	KOCAELI_DZC180.AT2
México (10/15/1979)	"Aeropuerto Mexicali"	RSN158_IMPVALL.H_H-AEP045
Japón (1/16/1995)	"Takatori"	RSN1119_KOBE_TAZ000

Fuente: Elaboración propia

Figura 60. Ingreso del acelerograma

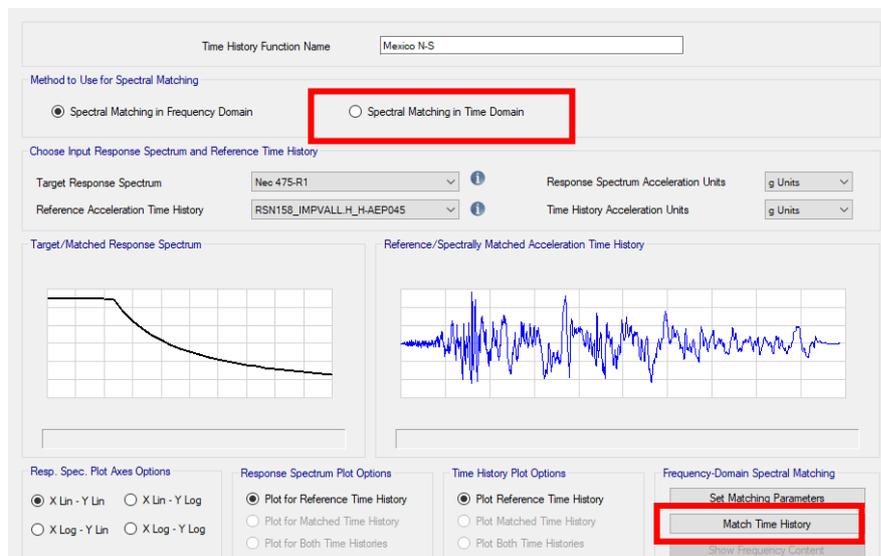


Fuente: ETABS2016

Se ingresa el acelerograma en el programa Etabs tomando en cuenta las características indicadas en el archivo .text dado por la página de descarga.

Figura 61. Escalamiento del acelerograma con el espectro elástico en el programa de diseño especializado.

México escalado N-S



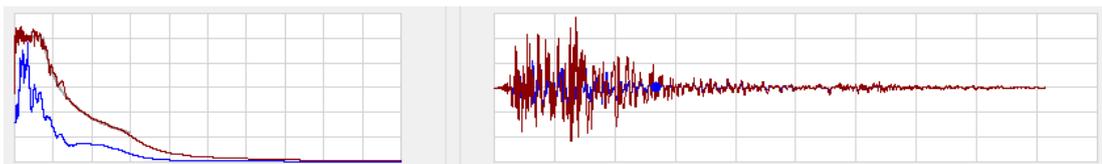
México escalado E-O

The screenshot displays the 'Time History Function Name' as 'Mexico E-O'. Under 'Method to Use for Spectral Matching', the 'Spectral Matching in Time Domain' option is selected and highlighted with a red box. The 'Target Response Spectrum' is set to 'Nec 475-R1' and the 'Reference Acceleration Time History' is 'RSN158_IMPVAL.H_H-AEP315'. Both are in 'g Units'. The interface shows two plots: 'Target/Matched Response Spectrum' and 'Reference/Spectrally Matched Acceleration Time History'. At the bottom, the 'Match Time History' button is highlighted with a red box.

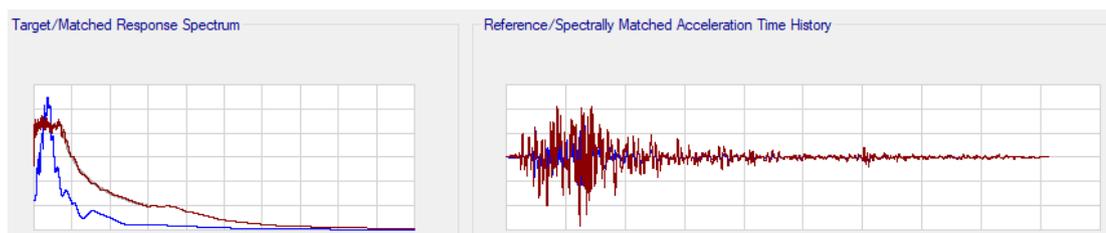
Fuente: ETABS2016

Figura 62. Comparación de acelerograma de México escalado con espectro de diseño sin reducir

México escalado N-S



México escalado E-O



Fuente: ETABS2016

El color azul representa al espectro del acelerograma original, el color gris es el espectro de diseño sísmico sin reducir y el color rojo es el espectro del acelerograma escalado.

Según la norma ecuatoriana NEC15 menciona que para aceptar el escalado de un acelerograma, las respuestas de aceleración del acelerograma escalado debe estar por encima de las respuestas del espectro de diseño en el rango entre $0.2T$ y $1.5T$, siendo T el periodo fundamental de la estructura, en nuestro caso se utilizará el indicado por el software Etabs2016.

El periodo fundamental de la estructura según Etabs es de 0.42, por lo cual el rango aceptable para el escalamiento del acelerograma es:

$$T1 = 0.2(0.42) = 0.084$$

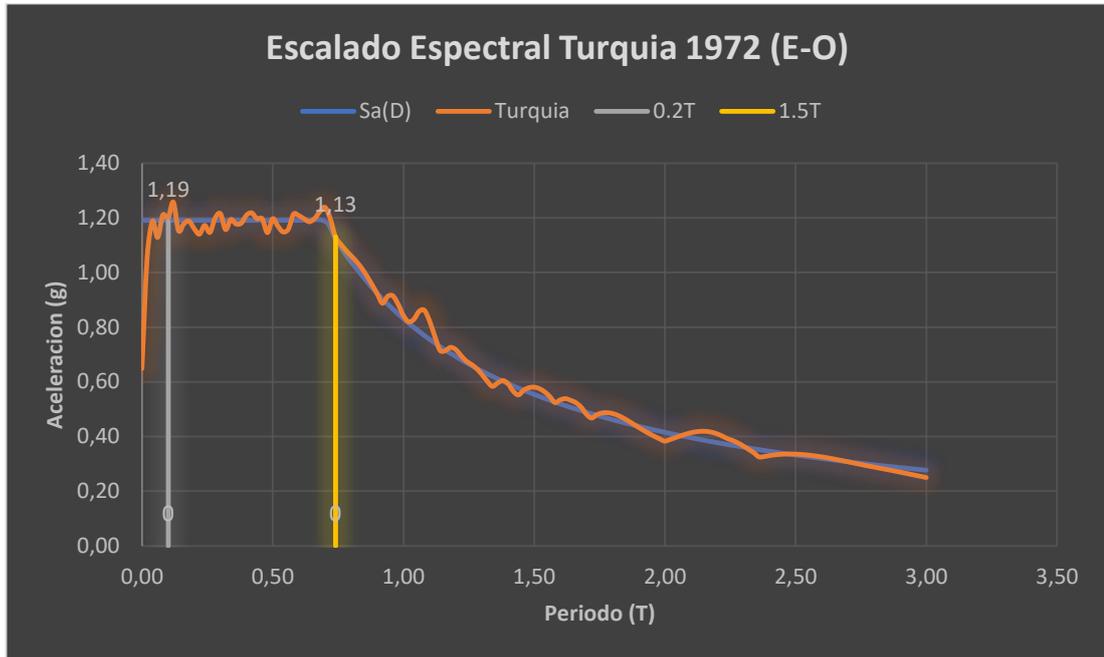
$$T2 = 1.5(0.42) = 0.63$$

Figura 63. Escalado espectral Turquía 1999 (N-S)



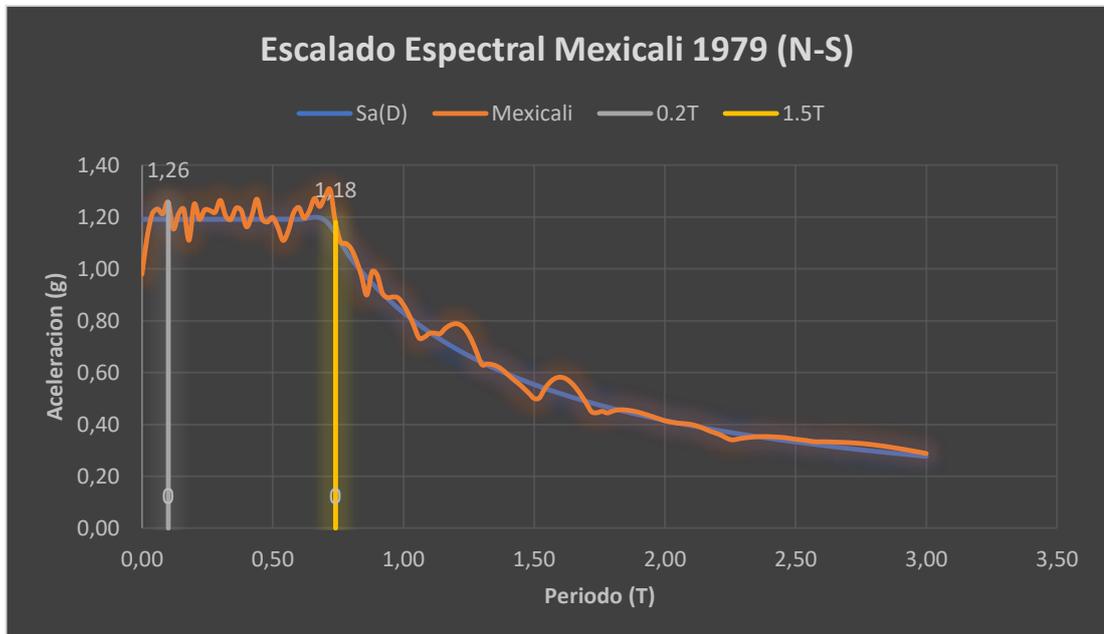
Fuente: Elaboración propia

Figura 64. Escalado espectral Turquía 1999 (E-O)



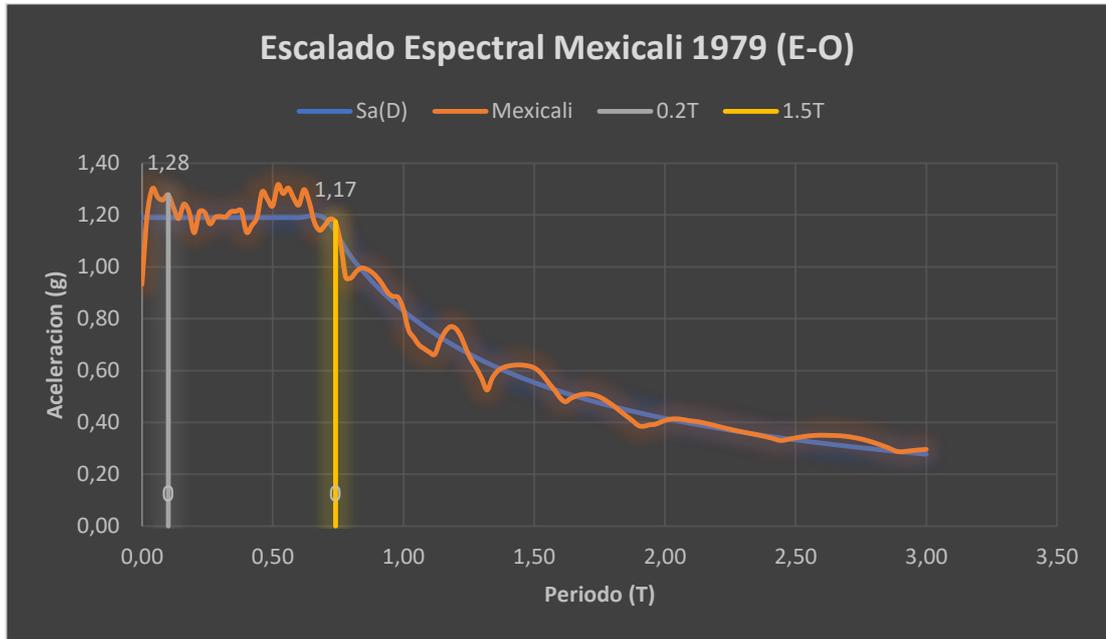
Fuente: Elaboración propia

Figura 65. Escalado espectral aeropuerto Mexicali 1979 (N-S)



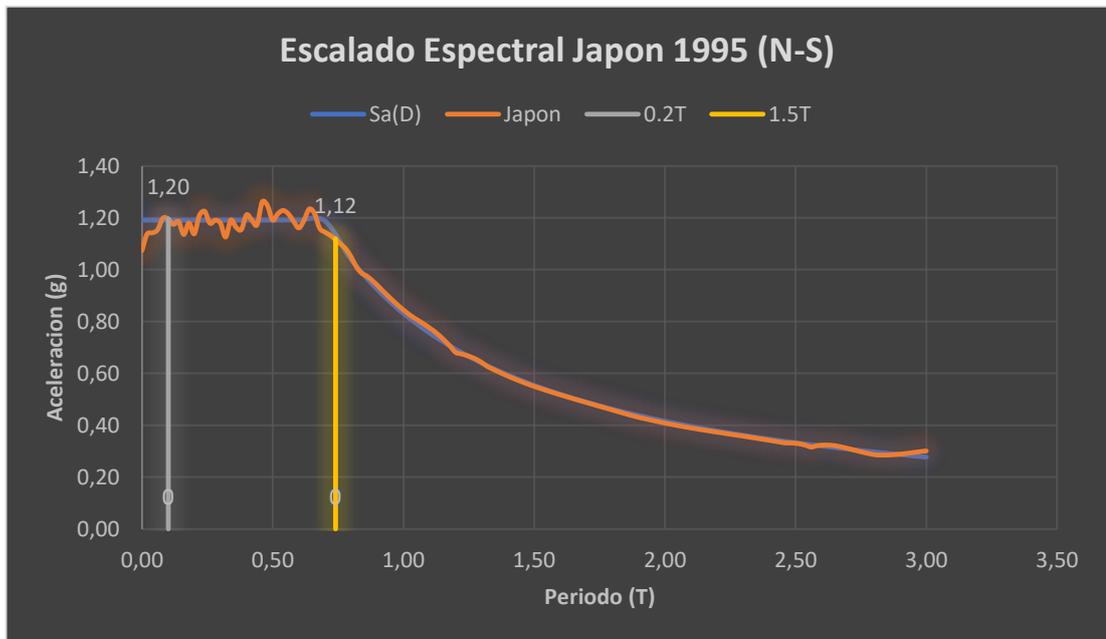
Fuente: Elaboración propia

Figura 66. Escalado espectral aeropuerto Mexicali 1979 (E-O)



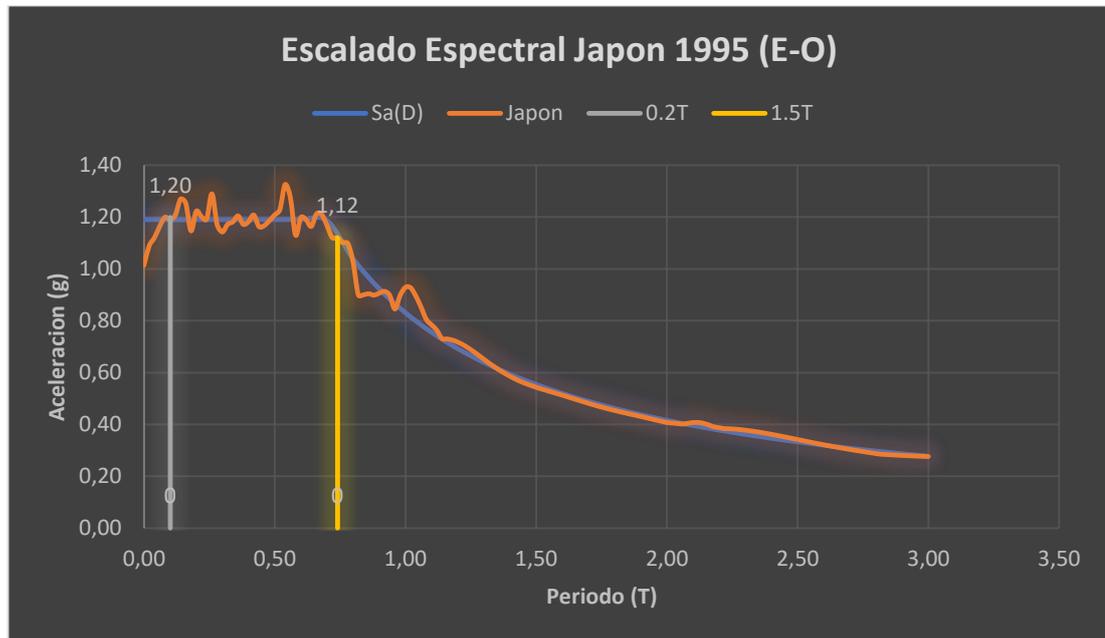
Fuente: Elaboración propia

Figura 67. Escalado espectral Japón 1995 (N-S)



Fuente: Elaboración propia

Figura 68. Escalado espectral Japón 1995 (E-O)



Fuente: Elaboración propia

2.2.7.2.3. Análisis Lineal Tiempo-Historia

Para cada registro sísmico empleado para el análisis Tiempo Historia, se realizará dos casos, el **caso 1** se refiere cuando la componente N-S actúa en la dirección X-X y la componente E-O actúa en la dirección Y-Y.

El **caso 2** es cuando la componente N-S actúa en la dirección Y-Y y la componente E-O en la dirección X-X. Se definirá los dos tipos de casos en el software Etabs2016.

Figura 69. Definición de carga del caso 1, para análisis lineal tiempo-historia

Load Case Data

General

Load Case Name: Caso 1 (NS-XX) Mexico [Design...]

Load Case Type/Subtype: Time History / Linear Modal [Notes...]

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Previous (MsSrc1)

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	Mexico N-S	9.81

[Add] [Delete] Advanced

Other Parameters

Modal Load Case: Modal1

Time History Motion Type: Transient

Number of Output Time Steps: 1477

Output Time Step Size: 0.01 sec

Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]

Load Case Data

General

Load Case Name: Caso 1 (EO-YY) Mexico [Design...]

Load Case Type/Subtype: Time History / Linear Modal [Notes...]

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Previous (MsSrc1)

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	Mexico E-O	9.81

[Add] [Delete] Advanced

Other Parameters

Modal Load Case: Modal1

Time History Motion Type: Transient

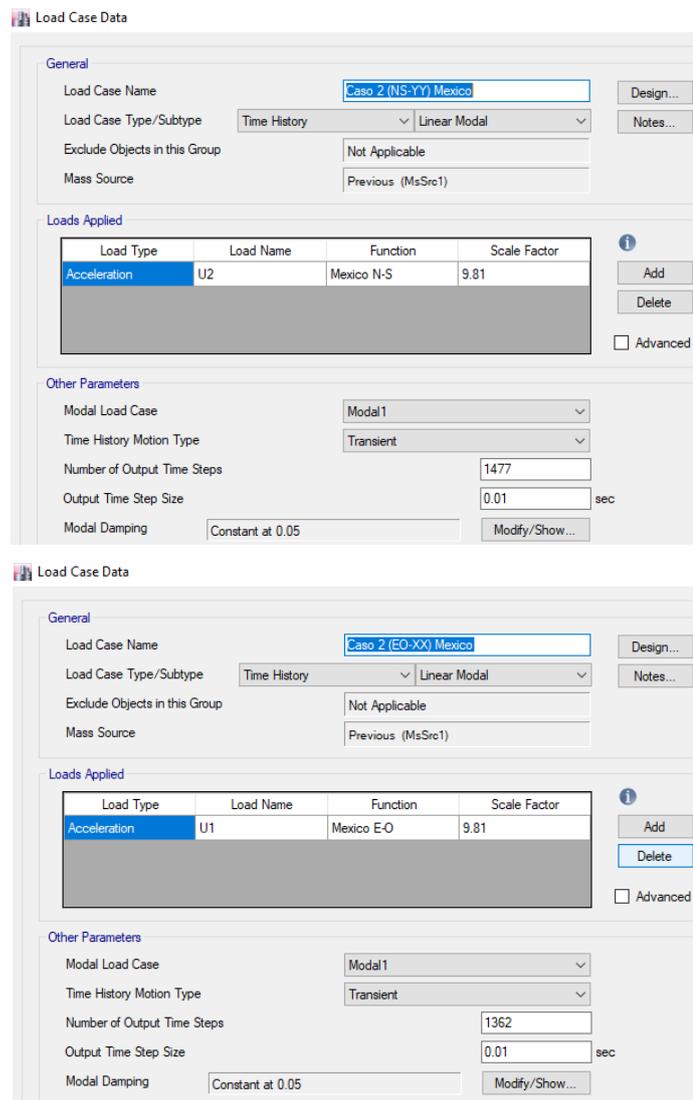
Number of Output Time Steps: 1362

Output Time Step Size: 0.01 sec

Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]

Fuente: ETABS2016

Figura 70. Definición de carga del caso 2, para análisis lineal tiempo-historia



Fuente: ETABS2016

En el presente trabajo solo se muestra las definiciones de carga por cada caso del acelerograma de México, sin embargo, en el software se definió los demás casos de carga restantes del acelerograma de Turquía y de Japón.

A continuación, se mostrará las derivas para cada caso de análisis de acuerdo a cada acelerograma escogido. Posteriormente se comparará con las derivas obtenidas de acuerdo al espectro elástico y se elegirá el acelerograma de diseño con el cual se calculará las propiedades del disipador viscoso.

Sismo de México (10/15/1979)

Tabla 25. Derivas de acuerdo al acelerograma escalado de México (CASO 1)

Piso	Componente y dirección	Deriva de piso	Load Case/Combo	Deriva de piso
Cubierta	Norte -Sur (XX)	0.0066	Este-Oeste (YY)	0.009
Cuarto maquinas	Norte -Sur (XX)	0.0051	Este-Oeste (YY)	0.0068
Terraza	Norte -Sur (XX)	0.0064	Este-Oeste (YY)	0.0065
Piso4	Norte -Sur (XX)	0.0068	Este-Oeste (YY)	0.0068
Piso3	Norte -Sur (XX)	0.0065	Este-Oeste (YY)	0.0064
Piso2	Norte -Sur (XX)	0.0050	Este-Oeste (YY)	0.0058

Tabla 26. Derivas de acuerdo al acelerograma escalado de México (CASO2)

Piso	Componente y dirección	Deriva de piso	Load Case/Combo	Deriva de piso
Cubierta	Norte -Sur (YY)	0.0086	Este-Oeste (XX)	0.0063
Cuarto maquinas	Norte -Sur (YY)	0.0062	Este-Oeste (XX)	0.0054
Terraza	Norte -Sur (YY)	0.006	Este-Oeste (XX)	0.0075
Piso4	Norte -Sur (YY)	0.0062	Este-Oeste (XX)	0.0082
Piso3	Norte -Sur (YY)	0.0058	Este-Oeste (XX)	0.0078
Piso2	Norte -Sur (YY)	0.005	Este-Oeste (XX)	0.0061

Fuente: Elaboración propia

Turquía (08/17/1999)

Tabla 27. Derivas de acuerdo al acelerograma escalado de Turquía (CASO 1)

Piso	Componente y dirección	Deriva de piso	Load Case/Combo	Deriva de piso
Cubierta	Norte -Sur (XX)	0.0068	Este-Oeste (YY)	0.0082
Cuarto maquinas	Norte -Sur (XX)	0.0048	Este-Oeste (YY)	0.0067
Terraza	Norte -Sur (XX)	0.0078	Este-Oeste (YY)	0.0065
Piso4	Norte -Sur (XX)	0.0086	Este-Oeste (YY)	0.0068
Piso3	Norte -Sur (XX)	0.0083	Este-Oeste (YY)	0.0066
Piso2	Norte -Sur (XX)	0.0062	Este-Oeste (YY)	0.0060

Tabla 28. Derivas de acuerdo al acelerograma escalado de Turquía (CASO2)

Piso	Componente y dirección	Deriva de piso	Load Case/Combo	Deriva de piso
Cubierta	Norte -Sur (YY)	0.0078	Este-Oeste (XX)	0.0069
Cuarto maquinas	Norte -Sur (YY)	0.0056	Este-Oeste (XX)	0.0055
Terraza	Norte -Sur (YY)	0.0058	Este-Oeste (XX)	0.0085
Piso4	Norte -Sur (YY)	0.0062	Este-Oeste (XX)	0.0091
Piso3	Norte -Sur (YY)	0.0058	Este-Oeste (XX)	0.0085
Piso2	Norte -Sur (YY)	0.0050	Este-Oeste (XX)	0.0064

Fuente: Elaboración propia

Japón (1/16/1995)

Tabla 29. Derivas de acuerdo al acelerograma escalado de Japón (CASO 1)

Piso	Componente y dirección	Deriva de piso	Load Case/Combo	Deriva de piso
Cubierta	Norte -Sur (XX)	0.0061	Este-Oeste (YY)	0.010
Cuarto maquinas	Norte -Sur (XX)	0.0062	Este-Oeste (YY)	0.007
Terraza	Norte -Sur (XX)	0.0082	Este-Oeste (YY)	0.007
Piso4	Norte -Sur (XX)	0.0088	Este-Oeste (YY)	0.008
Piso3	Norte -Sur (XX)	0.0083	Este-Oeste (YY)	0.007
Piso2	Norte -Sur (XX)	0.0062	Este-Oeste (YY)	0.006

Tabla 30. Derivas de acuerdo al acelerograma escalado de Japón (CASO2)

Piso	Componente y dirección	Deriva de piso	Load Case/Combo	Deriva de piso
Cubierta	Norte -Sur (YY)	0.0096	Este-Oeste (XX)	0.0062
Cuarto maquinas	Norte -Sur (YY)	0.0075	Este-Oeste (XX)	0.0058
Terraza	Norte -Sur (YY)	0.0072	Este-Oeste (XX)	0.0083
Piso4	Norte -Sur (YY)	0.0076	Este-Oeste (XX)	0.0091
Piso3	Norte -Sur (YY)	0.0071	Este-Oeste (XX)	0.0087
Piso2	Norte -Sur (YY)	0.0064	Este-Oeste (XX)	0.0063

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se mostrará un resumen de las derivas de cada acelerograma de acuerdo a cada tipo de caso en relación a la dirección de análisis X e Y, y se comparará con las derivas del espectro elástico ya obtenidas anteriormente.

Tabla 31. Derivas en dirección X-X

Piso	A.D. Espectral	ANALISIS DINAMICO TIEMPO-HISTORIA					
		México 1972		Turquía 1999		Japón 1995	
		CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
Cubierta	0.0065	0.0066	0.0063	0.0068	0.0069	0.0061	0.0062
Cuarto maquinas	0.0054	0.0051	0.0054	0.0048	0.0055	0.0062	0.0058
Terraza	0.0084	0.0064	0.0075	0.0078	0.0085	0.0082	0.0083
Piso4	0.0092	0.0068	0.0082	0.0086	0.0091	0.0088	0.0091
Piso3	0.0089	0.0065	0.0078	0.0083	0.0085	0.0083	0.0087
Piso2	0.0066	0.0050	0.0061	0.0062	0.0064	0.0062	0.0063

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32. Derivas en dirección Y-Y

Piso	A.D. Espectral	ANALISIS DINAMICO TIEMPO-HISTORIA					
		México 1972		Turquía 1999		Japón 1995	
		CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
Cubierta	0.0091	0.009	0.0086	0.0082	0.0078	0.010	0.0096
Cuarto maquinas	0.0063	0.0068	0.0062	0.0067	0.0056	0.007	0.0075
Terraza	0.0063	0.0065	0.006	0.0065	0.0058	0.007	0.0072
Piso4	0.0068	0.0068	0.0062	0.0068	0.0062	0.008	0.0076
Piso3	0.0065	0.0064	0.0058	0.0066	0.0058	0.007	0.0071
Piso2	0.0057	0.0058	0.005	0.0060	0.0050	0.006	0.0064

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se mostrará las diferencias entre derivas del análisis dinámico espectral y el análisis lineal tiempo historia por cada dirección, de acuerdo los resultados obtenidos se elegirá el sismo de diseño para el análisis con disipadores viscosos.

Análisis dinámico modal vs lineal tiempo-historia

Tabla 33. Diferencia entre derivas obtenidas en dirección X-X

Piso	ANALISIS DINAMICO TIEMPO-HISTORIA					
	México 1972		Turquía 1999		Japón 1995	
	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
Cubierta	0.0001	-0.0002	0.0003	0.0004	-0.0004	-0.0003
Cuarto maquinas	-0.0003	0	-0.0006	1E-04	0.0008	0.0004
Terraza	-0.002	-0.0009	-0.0006	0.0001	-0.0002	-1E-04
Piso4	-0.0024	-0.001	-0.0006	-1E-04	-0.0004	-1E-04
Piso3	-0.0024	-0.0011	-0.0006	-0.0004	-0.0006	-0.0002
Piso2	-0.0016	-0.0005	-0.0004	-0.0002	-0.0004	-0.0003

Tabla 34. Diferencia entre derivas obtenidas en dirección Y-Y

Piso	ANALISIS DINAMICO TIEMPO-HISTORIA					
	México 1972		Turquía 1999		Japón 1995	
	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
Cubierta	-0.0001	-0.0005	-0.0009	-0.0013	0.0009	0.0005
Cuarto maquinas	0.0005	-0.0001	0.0004	-0.0007	0.0007	0.0012
Terraza	0.0002	-0.0003	0.0002	-0.0005	0.0007	0.0009
Piso4	0	-0.0006	0	-0.0006	0.0012	0.0008
Piso3	-1E-04	-0.0007	0.0001	-0.0007	0.0005	0.0006
Piso2	1E-04	-0.0007	0.0003	-0.0007	0.0003	0.0007

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al análisis realizado se escogió el sismo de Turquía, ya que es el que presenta menores variaciones en relación a las derivas obtenidas con el espectro de diseño.

Sismo de diseño: Turquía (08/17/1999) - Caso de análisis 1

Deriva máxima en X: $0.0086 = 0.86\%$

Deriva máxima en Y: $0.0082 = 0.82\%$

2.2.7.2.4. Análisis del edificio con la incorporación de disipadores viscosos

Con el acelerograma de diseño, se procede a obtener el amortiguamiento aproximado que debería tener la estructura con la incorporación de amortiguadores viscosos, posteriormente se calculará las propiedades de los disipadores para después incorporarlos en la estructura y verificar el amortiguamiento real que tendrá la misma.

EJE X

Primeramente, se obtendrá el factor de reducción de respuesta de acuerdo a la ecuación #7 del presente proyecto, teniendo en cuenta una deriva objetivo menor o igual al 5%.

$$B = \frac{0.0086}{0.005}$$

$$B = 1.72$$

Posteriormente, se obtendrá el amortiguamiento de la estructura

$$\beta_{eff} = 26.96 \approx 30\%$$

Finalmente, el amortiguamiento de los disipadores sin contar el amortiguamiento propio inherente de la estructura será:

$$\beta_H = 21.96\% \approx 25\%$$

EJE Y

$$B = 1.64$$

$$\beta_{eff} = 24.05 \approx 25\%$$

$$\beta_H = 19.05\% \approx 20\%$$

2.2.7.2.5. Cálculo de las propiedades del disipador

Se realizará el análisis para disipadores viscosos tipo no lineal ya que, de acuerdo con la figura #12 del presente proyecto, se puede evidenciar que este tipo de disipador tiene una mejor participación de fuerza de amortiguamiento para velocidad bajas, esto no es una condición, sin embargo, se dejara una apertura para que posteriormente puedan realizar una comparación entre los resultados de los disipadores tipo lineal vs no lineal.

- **Cálculo de la rigidez**

De acuerdo al Ing. Villareal et al [9], se optara por un perfil metálico estandar tipo HSS 7.50*0.50, estas dimensiones son escogidas porque tanto el área como la inercia son suficientes para satisfacer las exigencias de diseño.

Tabla 35. Propiedades de perfil metálico HSS 7.50x0.50

PERFIL HSS 7.5x0.5				
D ext. (cm)	D int. (cm)	Espesor (cm)	Área (cm ²)	Inercia (cm ⁴)
19.05	17.87	1.18	66.45	428.72

Fuente: Edificaciones con disipadores viscosos.[9]

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

Donde:

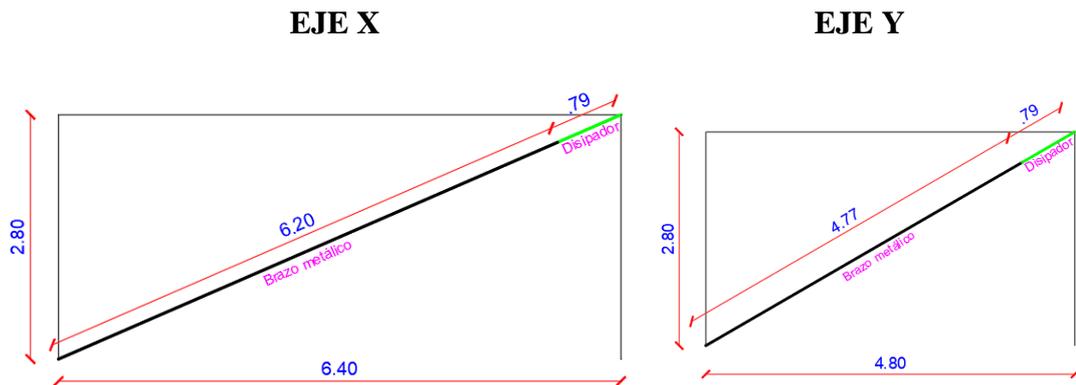
$$E = 29000 \text{ ksi} = 20.4 \times 10^6 \text{ T/m}^2$$

$$A = 66.45 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F_y = 35 \text{ ksi}$$

L = Longitud del brazo metálico sin tener en cuenta la longitud del disipador el cual se considerará la mínima de 79cm.

Figura 71. Longitud del brazo metálico (Eje X e Y)



Fuente: Elaboración propia

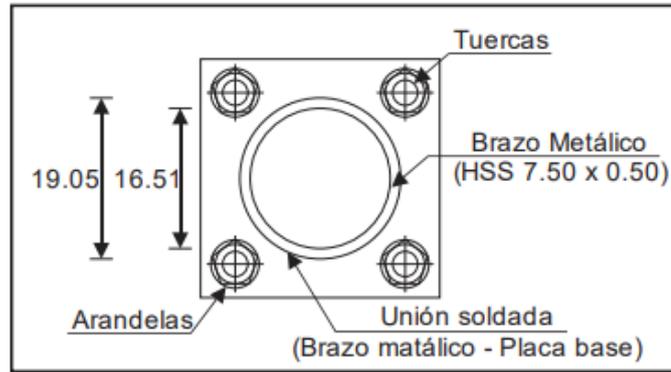
Entonces:

$$K (\text{eje X}) = 21864.19 \text{ T/m}$$

$$K (\text{eje Y}) = 28418.87 \text{ T/m}$$

Según el estudio realizado por Villareal et al[9], menciona que el perfil metálico con las dimensiones registradas anteriormente, sirven para soportar una fuerza entre 110kip y 165 kip, aquellos perfiles que tengan mayores dimensiones se debe entrecruzar los pernos de la unión entre el brazo metálico y el disipador.

Figura 72. Detalle de unión del brazo metálico a placa base



Fuente: Edificaciones con disipadores viscosos.[9]

- **Cálculo de coeficiente de amortiguamiento**

Dado a que los disipadores serán tipo lineal, el análisis para cálculo de las propiedades se realizara de acuerdo a la ecuación #4 del presente proyecto.

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

$m_i = \text{masa por nivel}$

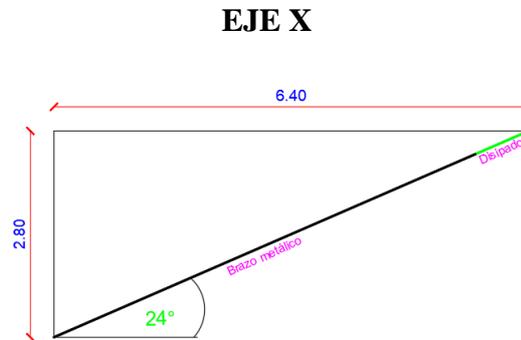
Tabla 36. masa por piso

PISO	m
	(Wi/g) kg
Cubierta	10110.00
Cuarto maquinas	21360.00
Terraza	376458.00
Piso4	376458.00
Piso3	376458.00
Piso2	376550.00

Fuente: Elaboración propia

$\theta_j = \text{Angulo de inclinación por piso}$

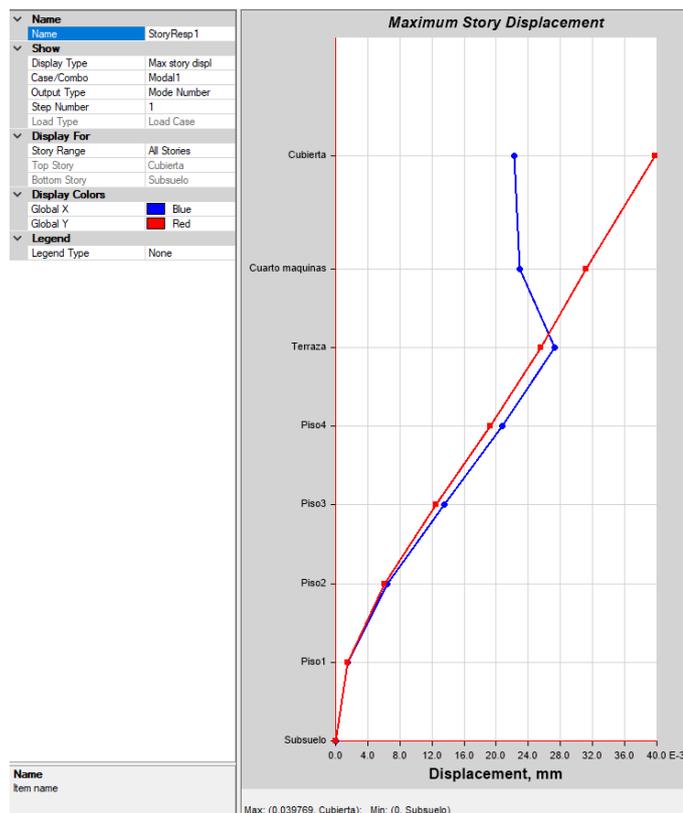
Figura 73. Ángulo de inclinación del dissipador



Fuente: Elaboración propia

Forma modal del modo 1

Figura 74. Forma modal del modo 1



Fuente: ETABS2016

Tabla 37. Forma modal relativa

Forma modal del modo 1	forma modal normalizada. (ϕ_i)	forma modal relativa (ϕ_{rj})
0.02227	1.0000	-0.0292
0.02292	1.0292	-0.1958
0.02728	1.2250	0.2922
0.02077	0.9329	0.3252
0.01353	0.6077	0.3198
0.00641	0.2879	0.2879

Fuente: Elaboración propia

A = amplitud de desplazamiento del modo fundamental. (desplazamiento modal de la losa del último piso)

EJE X

Figura 75. Amplitud de desplazamiento

Story	Label	Unique Name	Load Case/Combo	UX m	UY m	UZ m	RX rad	RY rad	RZ rad
Cubierta	2	13	Caso 1 (NS-XX) ...	0.090638	0.073222	0.001886	0.004776	0.005744	0.002728
Cubierta	3	22	Caso 1 (NS-XX) ...	0.078349	0.073222	0.013174	0.005316	0.004353	0.002728
Cubierta	12	103	Caso 1 (NS-XX) ...	0.090638	0.069622	0.002287	0.003184	0.005799	0.002728

Fuente: ETABS2016

α = Exponente de velocidad

λ = Parámetro Lambda

Exponente α	Parámetro λ
0.25	3.70
0.50	3.50
0.75	3.30
1.00	3.10
1.25	3.0

Fuente: FEMA 274. [16]

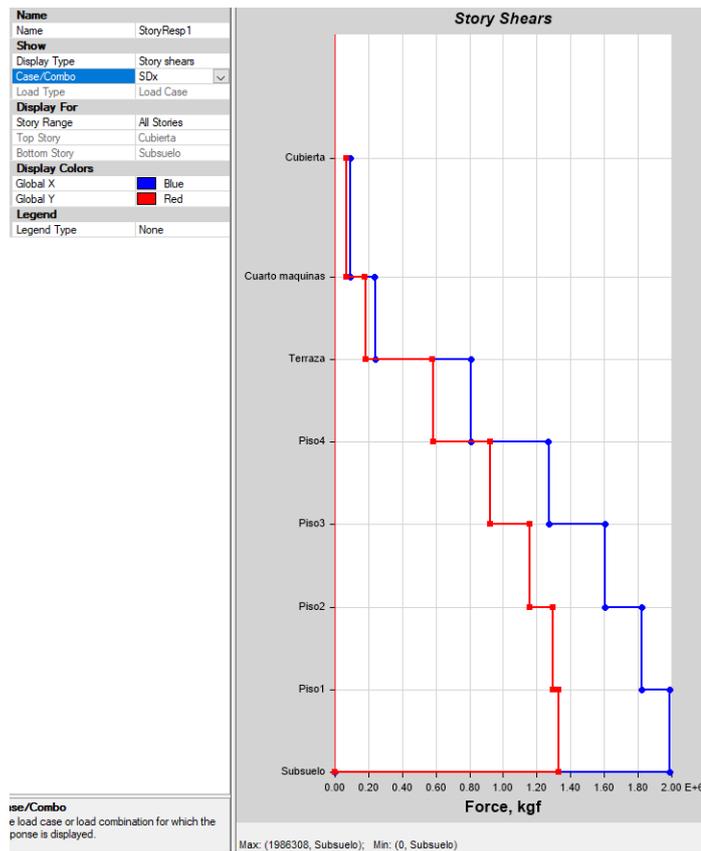
ω = Frecuencia angular

$$\omega = 2\pi \frac{1}{T}$$

$$\omega = 2\pi \frac{1}{0.42}$$

$$\omega = 14.96$$

Figura 76. Cortante de entrepiso en el Eje X



Fuente: ETABS2016

Tabla 38. Coeficiente de amortiguación del dispositivo

Alfa (coeficiente que sigue la forma del cortante) (asumido)	Ci= (viscosidad total por nivel) Ns/m	Ci (Ts/m)	numerador	denominador
1.0000	23500586.304	2396.35	7082.47	127046.01
1.0000	23500586.304	2396.35	317538.55	284343.52
1.0000	23500586.304	2396.35	707159.40	7099218.03
1.0000	23500586.304	2396.35	875991.41	4116745.21
1.0000	23500586.304	2396.35	847193.67	1746934.37
1.0000	23500586.304	2396.35	686655.30	392196.01

Fuente: Elaboración propia

Coefficiente de amortiguamiento

Ya que todas las variables de la ecuación #4 se han obtenido, para determinar el coeficiente de amortiguación se ha realizado una iteración tomando en cuenta que en el eje X el valor de $\beta_{eff} \approx 30\%$ y el amortiguamiento propio de la estructura del 5%.

El valor alfa mencionado en la tabla #36, se puede estimar en base a la forma del cortante que tiene la estructura en este caso en el eje X, se ha estimado valor de 1 para mantener en todos los pisos el mismo tipo de amortiguador para la dirección de análisis mencionado. Las denominaciones numerador y denominador se hace referencia al cálculo de la ecuación #4 del presente trabajo.

Desplazamiento máximo del dispositivo

$$\Delta_{maxd} = \Delta_{objetivo} * h * \cos\theta_j$$

Donde:

Δ_{maxd} = Desplazamiento máximo del disipador

h = altura de entrepiso

Tabla 39. Desplazamiento máximo del disipador viscoso

PISO	Desplazamiento Max en el dispositivo (m)
Cubierta	0.018
Cuarto maquinas	0.013
Terraza	0.013
Piso4	0.013
Piso3	0.013
Piso2	0.013

Fuente: Elaboración propia

Fuerza máxima en el disipador viscoso

$$F = V * C \quad (\text{Ec.3})$$

$$V = w * \Delta maxd$$

$$w = \frac{2\pi}{T}$$

Donde:

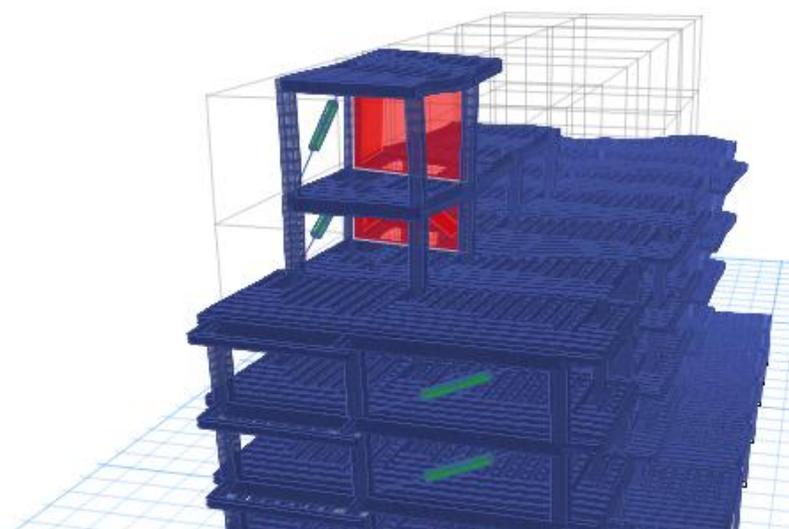
W= frecuencia de la estructura

$\Delta maxd$ = Desplazamiento máximo del dispositivo de amortiguamiento

T= Periodo fundamental de la estructura

Figura 77. Periodo fundamental de la estructura





Fuente: ETABS2016

Tabla 40. Fuerza máxima en el dispositivo de amortiguamiento

Fmax en el dispositivo (N)	Numero de amortiguadores por piso. (asumido)	Cj=viscosidad por amortiguador Ns/m	Cj (Ts/m)	F esperada (Cada dispositivo) (KN)
6615193.14	2	6317528.57	644.20	3307.59657
5534667.668	2	6317528.57	644.20	2767.33383
5534667.668	2	6317528.57	644.20	2767.33383
5534667.668	2	6317528.57	644.20	2767.33383
5534667.668	2	6317528.57	644.20	2767.33383
5534667.668	2	6317528.57	644.20	2767.33383

Fuente: Elaboración propia

Finalmente:

EJE X

Segundo al séptimo piso

$$C_j = 644.20 \frac{\text{Ton.s}}{\text{m}}$$

$$F = 282.19 \text{ Tonf}$$

Segundo piso al séptimo piso

$$K = 21864.19 \text{ T/m}$$

Amortiguamiento viscoso = 25%

No se detalló el proceso para determinar las propiedades de los disipadores viscosos en el eje Y, sin embargo, es lo mismo que se realizó en el eje X, con la diferencia que se calculó con distancias entre vano de 4.8 m, y un periodo de 0.5 y valores de forma modal del modo1 para el eje Y. Amplitud: 0.056, frecuencia angular: 12.57.

EJE Y

Segundo al séptimo piso

$$C_j = 190.39 \frac{\text{Ton.s}}{\text{m}}$$

$$F = 74.22 \text{ Tonf}$$

Segundo piso al séptimo piso

$$K = 28418.87 \text{ T/m}$$

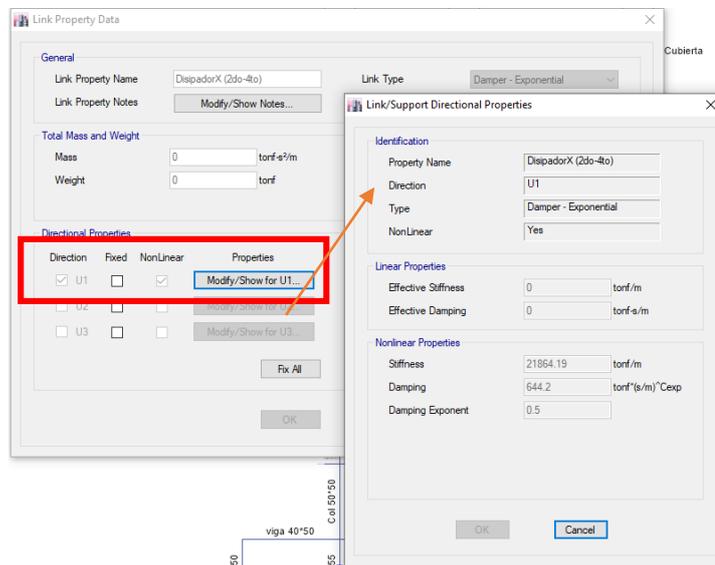
Amortiguamiento viscoso = 20%

2.2.7.2.6. Modelación de amortiguadores viscosos

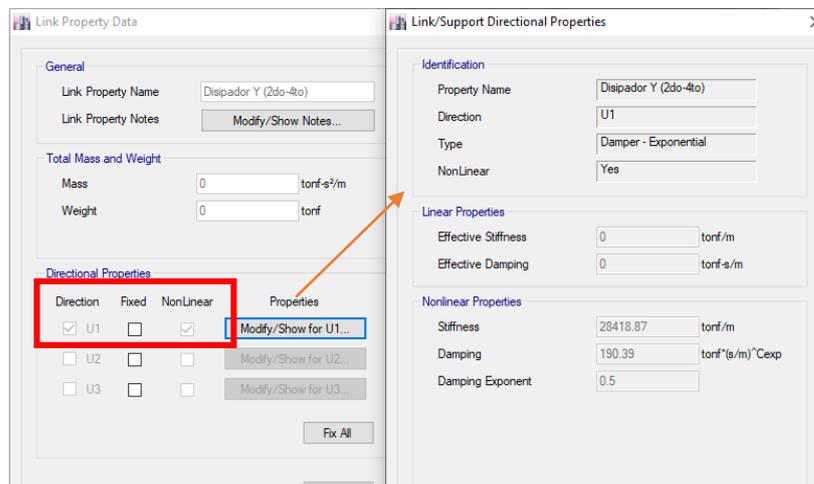
1. Definimos el sismo de diseño (Turquía (08/17/1999))
2. Los disipadores se los define como Link en el programa Etabs2016

Figura 78. Modelado en Etabs2016 del disipador viscoso

EJE X



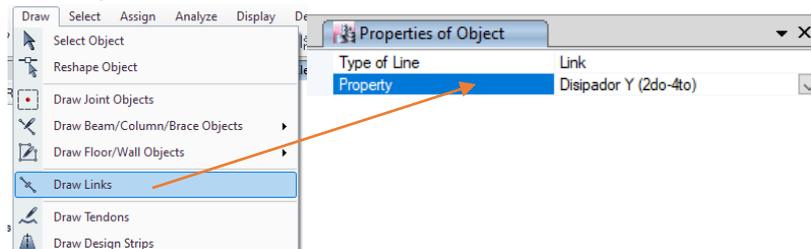
EJE Y



Fuente: ETABS2016

Hay que recalcar que para el eje X e Y la dirección de análisis se elige “U1” siempre, ya que el disipador trabaja axialmente y además porque se debe tomar en cuenta los ejes locales del mismo del elemento en este caso tipo link.

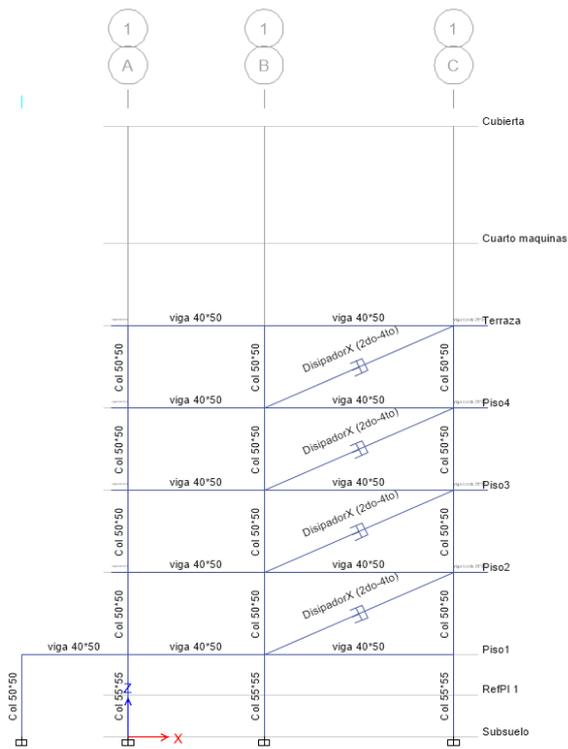
3. Ingresar los elementos link en la estructura



Fuente: ETABS2016

Tabla 41. Dibujo de elemento link como disipadores viscosos

EJE X



EJE Y



Fuente: ETABS2016

Este proceso se realizó en los extremos de la estructura ya que de acuerdo a la investigación por Villarreal et al [9], son los lugares donde llegan las mayores velocidades.

Antes de mandar a correr, se realizará el análisis no lineal tiempo-historia con el propósito de analizar la estructura con los disipadores de manera más real, cabe recalcar que al realizar este análisis hay la posibilidad de tener que aumentar poco el amortiguamiento para cumplir con todos los controles correspondientes.

2.2.7.2.7. Análisis no lineal Tiempo-Historia

Ingreso de caso de carga gravitacional

Figura 79. Caso de carga gravitacional

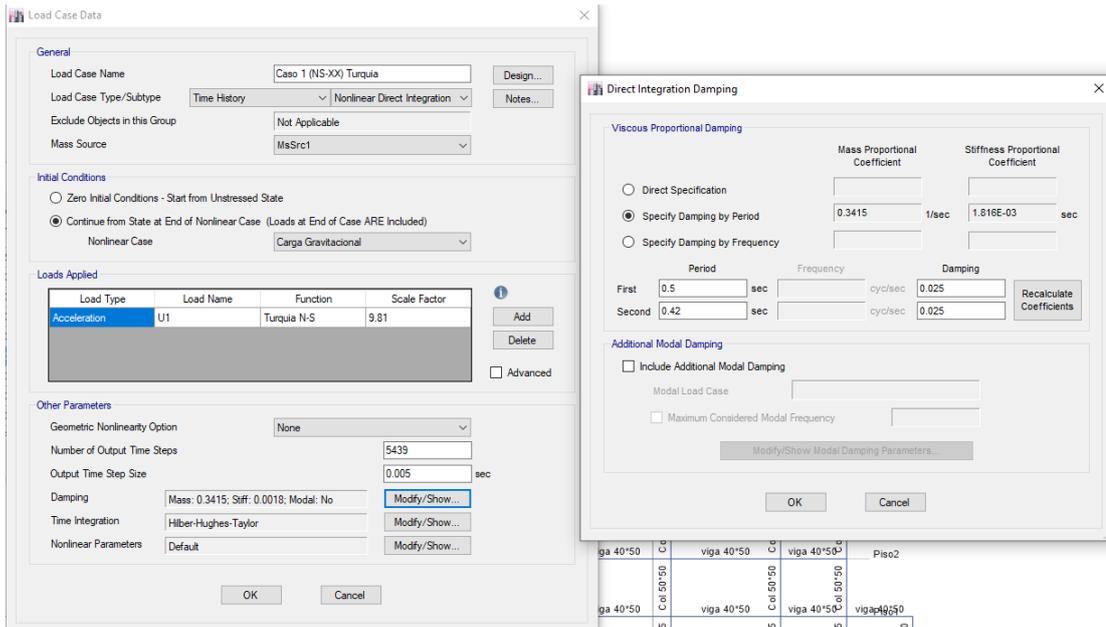
Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Dead	1
Load Pattern	CMA	1
Load Pattern	Live	0.25

Fuente: ETABS2016

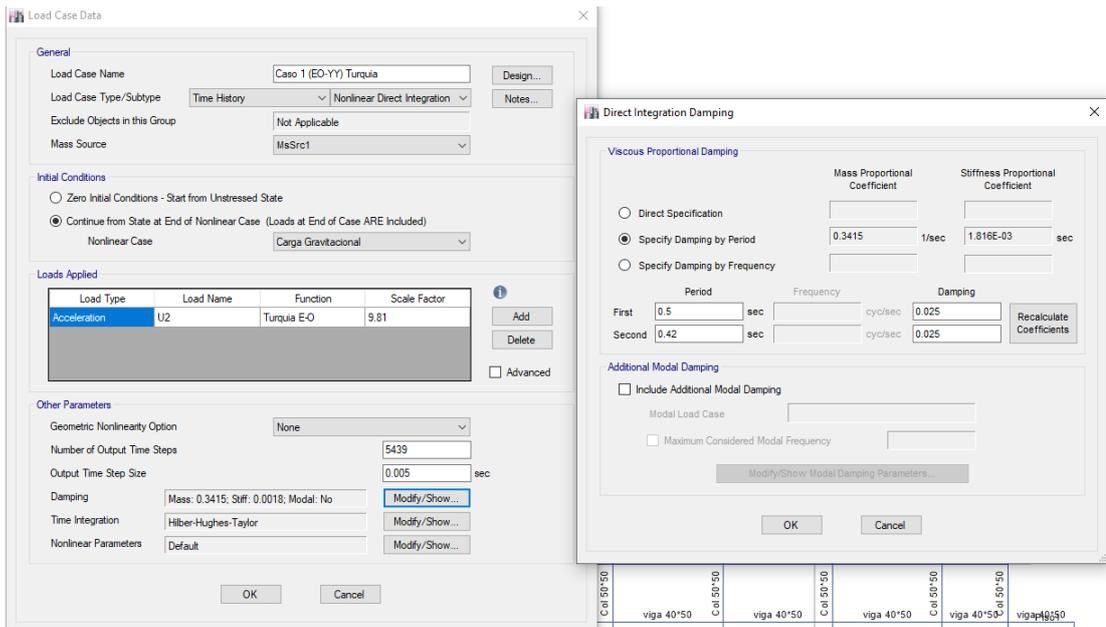
Caso de carga tiempo-historia no lineal

Figura 80. Caso de carga no lineal tiempo-historia (Integración directa)

EJE X



EJE Y



Fuente: ETABS2016

El valor de damping ingresado para análisis no lineal fue de 0.025, estimado de acuerdo a la recomendación de algunas normas y en base al uso de este valor en trabajos de tesis publicados.

2.2.7.2.8. Respuesta de la estructura con amortiguadores

1. *Control de derivas de entrepiso de la estructura*

Tabla 42. Derivas de entrepiso con amortiguadores viscosos (Eje X)

Nivel	Sismo de diseño	Dirección de análisis	Deriva máxima	Deriva objetivo $\leq 5\%$	Control de deriva
Cubierta	Caso 1 Turquía	Diaph D1 X	0.005	0.005	SI
Cuarto maquinas	Caso 1 Turquía	Diaph D1 X	0.004	0.005	SI
Terraza	Caso 1 Turquía	Diaph D1 X	0.005	0.005	SI
Piso4	Caso 1 Turquía	Diaph D1 X	0.006	0.005	NO
Piso3	Caso 1 Turquía	Diaph D1 X	0.006	0.005	NO
Piso2	Caso 1 Turquía	Diaph D1 X	0.004	0.005	SI

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43. Derivas de entrepiso con amortiguadores viscosos (Eje Y)

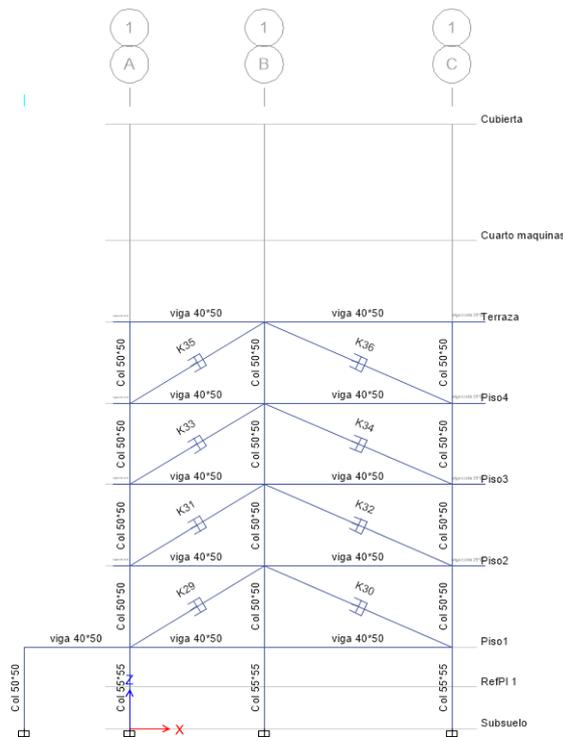
Nivel	Sismo de diseño	Dirección de análisis	Deriva máxima	Deriva objetivo $\leq 5\%$	Control de deriva
Cubierta	Caso 1 Turquía	Diaph D1 Y	0.0035	0.005	SI
Cuarto maquinas	Caso 1 Turquía	Diaph D1 Y	0.0037	0.005	SI
Terraza	Caso 1 Turquía	Diaph D1 Y	0.0044	0.005	SI
Piso4	Caso 1 Turquía	Diaph D1 Y	0.0048	0.005	SI
Piso3	Caso 1 Turquía	Diaph D1 Y	0.0047	0.005	SI
Piso2	Caso 1 Turquía	Diaph D1 Y	0.0043	0.005	SI

Fuente: Elaboración propia

Como se puede evidenciar los disipadores viscosos en el eje X no cumple con la deriva objetivo del 0.5%, sin embargo, al final del diseño de los mismo siempre se da un factor de mayoración por lo que ahí se estimara que las derivas cumplirán tranquilamente con lo deseado. Sin embargo, para el presente trabajo se aumentará un 5% más de amortiguamiento viscoso para el eje X, por lo q se hará nuevamente el cálculo con un $\beta_H = 30\%$

Los resultados que se mostraran correspondientes al eje X, se obtuvieron con amortiguadores viscosos con un coeficiente de amortiguamiento por cada disipador de $386.52 \frac{\text{ton}\cdot\text{s}}{\text{m}}$, cabe recalcar que se realizó una nueva disposición de amortiguadores para dicho eje con el propósito de que trabajen de manera más eficiente en relación a su disipación sísmica, esto último se explicara en la parte correspondiente al comportamiento hysterético de los disipadores viscosos.

Figura 81. Nueva disposición de amortiguadores viscosos en el eje X



Fuente: ETABS2016

Tabla 44. Derivas en el eje X con la nueva disposición de los disipadores

Nivel	Sismo de diseño	Dirección de análisis	Deriva máxima	Deriva objetivo $\leq 5\%$	Control de deriva
Cubierta	Caso 1 Turquía	Diaph D1 X	0.005	0.005	SI
Cuarto maquinas	Caso 1 Turquía	Diaph D1 X	0.004	0.005	SI
Terraza	Caso 1 Turquía	Diaph D1 X	0.004	0.005	SI
Piso4	Caso 1 Turquía	Diaph D1 X	0.004	0.005	SI
Piso3	Caso 1 Turquía	Diaph D1 X	0.004	0.005	SI

Piso2	Caso 1 Turquía	Diaph D1 X	0.003	0.005	SI
-------	----------------	------------	-------	-------	----

Fuente: Elaboración propia

2. Control de desplazamiento máximo del disipador

Tabla 45. Desplazamiento máximo de los dispositivos de amortiguamiento (EJE X)

Nivel	#disipador	Sismo de diseño (NS-XX)	U1	U max del dispositivo	Control de desplazamiento
			m		
Terraza	K19	Caso 1 Turquía	0.006	0.013	CUMPLE
Terraza	K20	Caso 1 Turquía	0.009	0.013	CUMPLE
Terraza	K27	Caso 1 Turquía	0.005	0.013	CUMPLE
Terraza	K28	Caso 1 Turquía	0.006	0.013	CUMPLE
Piso4	K17	Caso 1 Turquía	0.007	0.013	CUMPLE
Piso4	K18	Caso 1 Turquía	0.010	0.013	CUMPLE
Piso4	K25	Caso 1 Turquía	0.004	0.013	CUMPLE
Piso4	K26	Caso 1 Turquía	0.006	0.013	CUMPLE
Piso3	K15	Caso 1 Turquía	0.008	0.013	CUMPLE
Piso3	K16	Caso 1 Turquía	0.011	0.013	CUMPLE
Piso3	K23	Caso 1 Turquía	0.004	0.013	CUMPLE
Piso3	K24	Caso 1 Turquía	0.006	0.013	CUMPLE
Piso2	K13	Caso 1 Turquía	0.006	0.013	CUMPLE
Piso2	K14	Caso 1 Turquía	0.009	0.013	CUMPLE
Piso2	K21	Caso 1 Turquía	0.005	0.013	CUMPLE
Piso2	K22	Caso 1 Turquía	0.007	0.013	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46. Desplazamiento máximo de los dispositivos de amortiguamiento (EJE Y)

Nivel	#disipador	Sismo de diseño (EO-YY)	U1	U max del dispositivo	Control de desplazamiento
			m		
Cubierta	K6	Caso 1 Turquía	0.011	0.011	CUMPLE
Cubierta	K11	Caso 1 Turquía	0.006	0.011	CUMPLE
Cuarto maquinas	K5	Caso 1 Turquía	0.009	0.012	CUMPLE
Cuarto maquinas	K12	Caso 1 Turquía	0.008	0.012	CUMPLE
Terraza	K4	Caso 1 Turquía	0.011	0.012	CUMPLE
Terraza	K10	Caso 1 Turquía	0.009	0.012	CUMPLE
Piso4	K3	Caso 1 Turquía	0.012	0.012	CUMPLE
Piso4	K9	Caso 1 Turquía	0.010	0.012	CUMPLE
Piso3	K2	Caso 1 Turquía	0.012	0.012	CUMPLE
Piso3	K8	Caso 1 Turquía	0.010	0.012	CUMPLE
Piso2	K1	Caso 1 Turquía	0.011	0.012	CUMPLE
Piso2	K7	Caso 1 Turquía	0.009	0.012	CUMPLE
Cubierta	K6	Caso 1 Turquía	0.011	0.012	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

3. Control de fuerza axial máximo del disipador

Tabla 47. Fuerza máxima de los dispositivos de amortiguamiento (EJE X)

Nivel	#disipador	Sismo de diseño (NS-XX)	P	Pmax del dispositivo	Control de Fuerza axial
			tonf	tonf	
Terraza	K19	Caso 1 Turquía	115.06	169.31	CUMPLE
Terraza	K20	Caso 1 Turquía	107.38	169.31	CUMPLE

Terraza	K27	Caso 1 Turquía	83.13	169.31	CUMPLE
Terraza	K28	Caso 1 Turquía	95.31	169.31	CUMPLE
Piso4	K17	Caso 1 Turquía	124.14	169.31	CUMPLE
Piso4	K18	Caso 1 Turquía	118.38	169.31	CUMPLE
Piso4	K25	Caso 1 Turquía	89.18	169.31	CUMPLE
Piso4	K26	Caso 1 Turquía	96.88	169.31	CUMPLE
Piso3	K15	Caso 1 Turquía	137.88	169.31	CUMPLE
Piso3	K16	Caso 1 Turquía	121.86	169.31	CUMPLE
Piso3	K23	Caso 1 Turquía	95.93	169.31	CUMPLE
Piso3	K24	Caso 1 Turquía	91.93	169.31	CUMPLE
Piso2	K13	Caso 1 Turquía	125.16	169.31	CUMPLE
Piso2	K14	Caso 1 Turquía	101.96	169.31	CUMPLE
Piso2	K21	Caso 1 Turquía	113.48	169.31	CUMPLE
Piso2	K22	Caso 1 Turquía	91.83	169.31	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48. Fuerza máxima de los dispositivos de amortiguamiento (EJE Y)

Nivel	#disipador	Sismo de diseño (EO-YY)	P	Pmax del dispositivo	Control de desplazamiento
			tonf	tonf	
Cubierta	K6	Caso 1 Turquía	71.80	74.22	CUMPLE
Cubierta	K11	Caso 1 Turquía	49.10	74.22	CUMPLE

Cuarto maquinas	K5	Caso 1 Turquía	64.68	74.22	CUMPLE
Cuarto maquinas	K12	Caso 1 Turquía	59.94	74.22	CUMPLE
Terraza	K4	Caso 1 Turquía	68.63	74.22	CUMPLE
Terraza	K10	Caso 1 Turquía	67.57	74.22	CUMPLE
Piso4	K3	Caso 1 Turquía	73.63	74.22	CUMPLE
Piso4	K9	Caso 1 Turquía	70.98	74.22	CUMPLE
Piso3	K2	Caso 1 Turquía	73.85	74.22	CUMPLE
Piso3	K8	Caso 1 Turquía	69.65	74.22	CUMPLE
Piso2	K1	Caso 1 Turquía	68.85	74.22	CUMPLE
Piso2	K7	Caso 1 Turquía	65.01	74.22	CUMPLE
Cubierta	K6	Caso 1 Turquía	71.80	74.22	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

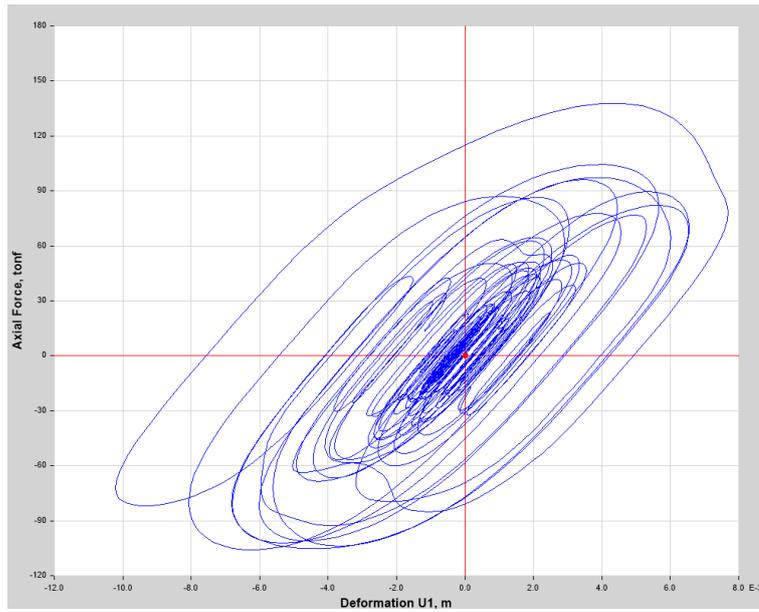
4. Comportamiento histerética de los amortiguadores viscosos.

Para determinar el lazo histerético de los dispositivos de amortiguamiento viscoso se revisará en el software Etabs2016 en el apartado de Display, Plot function, la gráfica de histéresis de un amortiguador seleccionado por eje de análisis X e Y. La selección del disipador se optó de acuerdo a la que mayor sollicitación sufre por eje.

EJE X = #disipador 15

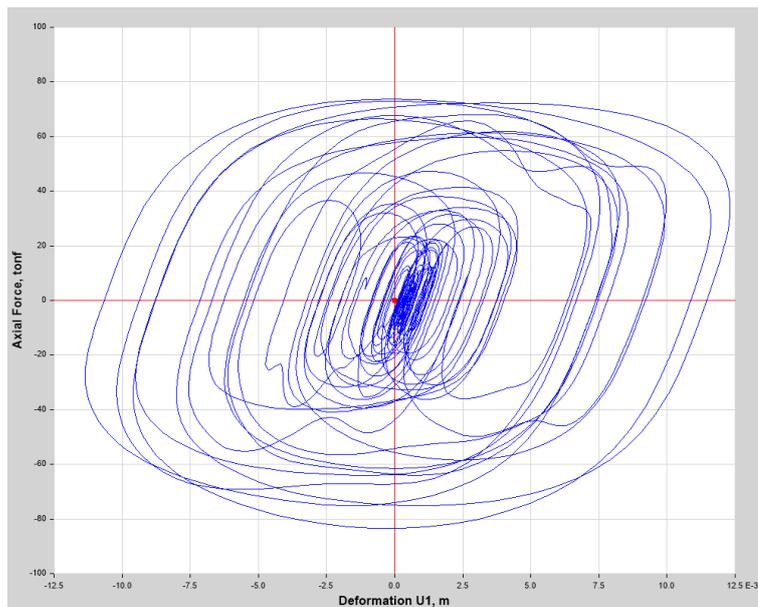
EJE Y = #disipador 3

Figura 82. Curva de histéresis del disipador #15



Fuente: ETABS2016

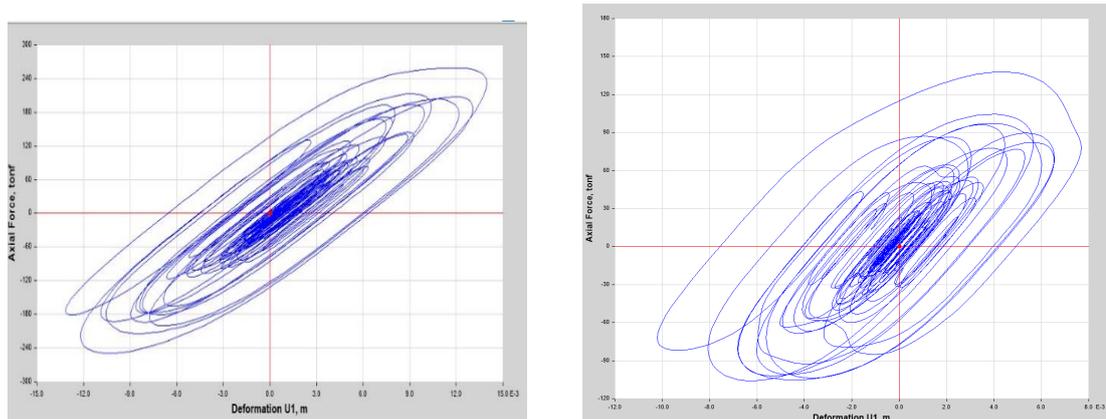
Figura 83. Curva de histéresis del disipador #3



Fuente: ETABS2016

En base a la curva histerética se puede determinar si el dispositivo está trabajando de manera adecuada, y aportando de manera eficiente su amortiguamiento reduciendo las deformaciones de la estructura.

Observación: A continuación, se mostrará la curva histerética que se presentó con la primera disposición de disipadores en el eje X dos por piso, obteniendo una curva muy inclinada y sin capacidad de disposición sísmica, y con la disposición diferente que se realizó posteriormente se obtuvo una forma elíptica propia de un amortiguador viscoso, brindando mayor disipación sísmica.



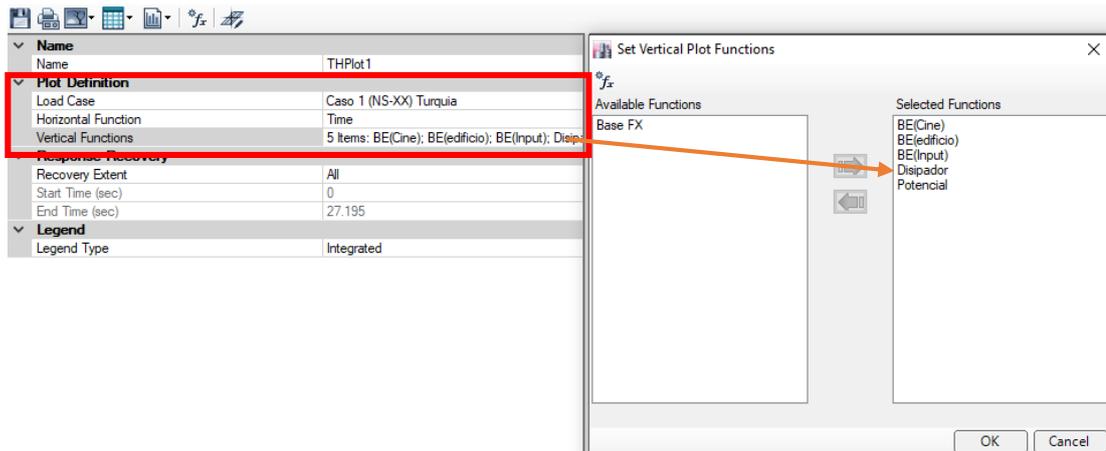
Fuente: ETABS2016

5. Balance de energía

En el software Etabs2016 se visualizará la cantidad de energía sísmica que es disipada por varios trabajos de energía, como la cinética, potencial, amortiguamiento propio de la estructura y la del amortiguamiento de los disipadores viscosos.

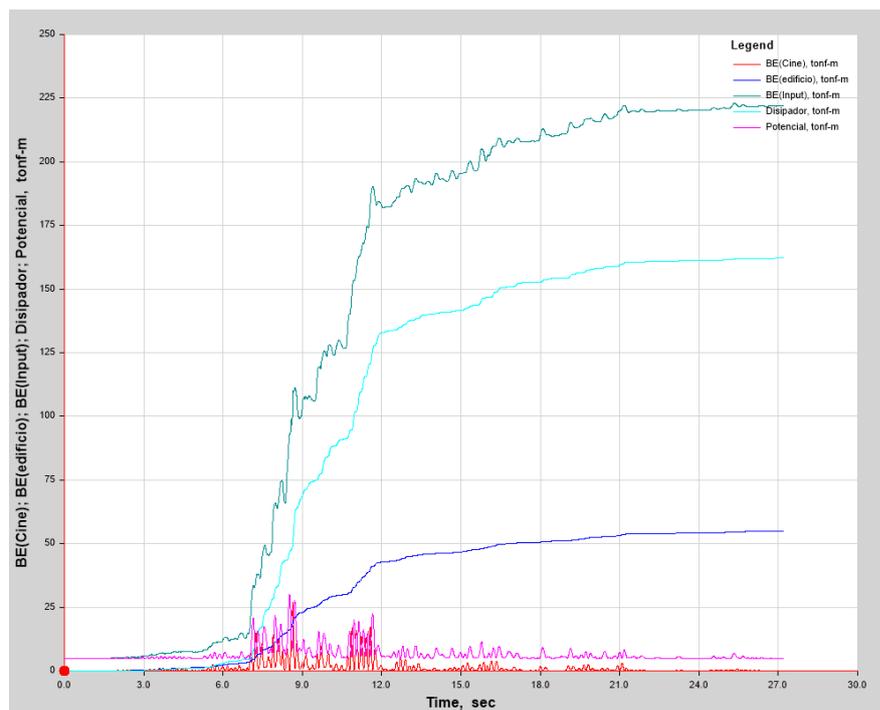
Para poder visualizar el balance de energía en el software, se ingresará a la pestaña de display, plot functions, se elegirá el caso de análisis, en el apartado de función horizontal se elegirá "Time", y en la función vertical se elegirá los casos de energía que se quiera visualizar en la gráfica en nuestro caso será; la energía cinética, potencial, la del amortiguamiento inherente de la estructura, amortiguamiento por disipadores y la energía sísmica.

Figura 84. Ingreso de funciones para la gráfica balance de energía en el software Etabs2016



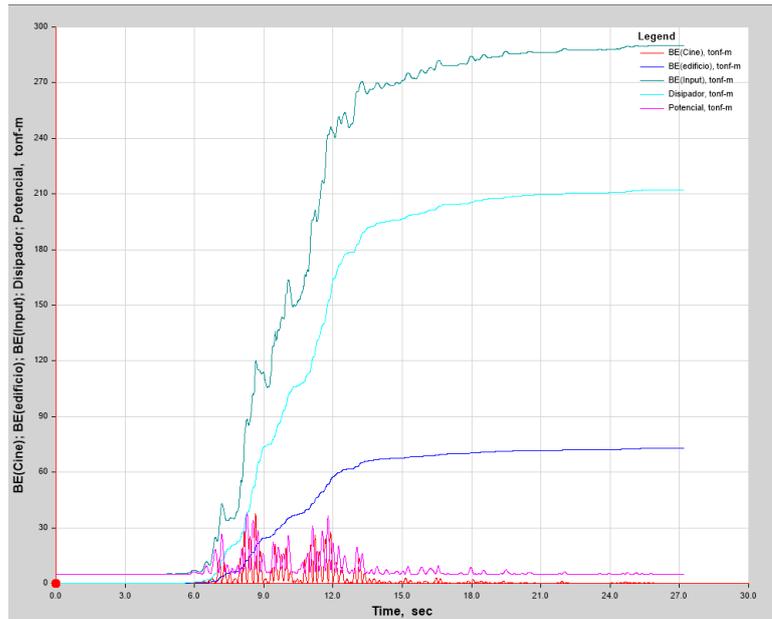
Fuente: ETABS2016

Figura 85. Balance de energía en el eje X



Fuente: ETABS2016

Figura 86. Balance de energía en el eje Y



Fuente: ETABS2016

El color verde es la energía sísmica de ingreso, celeste: energía por amortiguamiento viscoso, azul: amortiguamiento inherente de la estructura, fuxia: energía potencial y rojo: energía cinética.

Si deseamos ver los valores numéricos de energía sísmica y por amortiguamiento del sistema, nos dirigimos a display, show tables, results, structure results y total energy components.

Tabla 49. Energía total de la estructura

Caso de carga	Energía sísmica	Amort.Inhrente	Amortiguadores viscosos
	tonf-m	tonf-m	tonf-m
Caso 1 (NS-XX) Turquía	223.18	54.92	162.13
Caso 1 (EO-YY) Turquía	290.21	72.93	212.31

Fuente: Elaboración propia

En base a la tabla #49, se puede identificar el porcentaje de disipación sísmica por parte de los disipadores viscosos y la inherente propia de la estructura.

$$\% \text{dispacion sismica} = \frac{\text{Energia de amortiguamiento}}{\text{Energia sismica de ingreso}}$$

Tabla 50. Porcentaje de disipación sísmica

ENERGIA (T*m)			
Eje	Entrada	Estructura	Amortiguadores
X	100%	25%	73%
Y	100%	25%	73%

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al porcentaje de disipación sísmica de la tabla #50 se puede identificar la participación de los disipadores no lineales con un 73% de energía sísmico disipada del total de energía sísmica ingresada a la estructura. Esto se debe principalmente al número de amortiguadores incorporados en la estructura 28 en total. Con este porcentaje podemos esperar una reducción de desplazamiento y daño la estructura.

CAPITULO III

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se mostrarán los resultados comparativos del edificio, sin y con disipadores viscosos. Además, se indicará el diseño de los elementos estructurales de la edificación y se hará un análisis costo beneficio de ambas edificaciones y se mostrarán conclusiones.

3.1 Análisis y discusión de los resultados

3.1.1 Derivas de piso

Tabla 51. Comparación de derivas con y sin amortiguadores viscosos (EJE X)

Nivel	Derivas sin amortiguadores	Derivas con amortiguadores	% de reducción	Control de deriva
Cubierta	0,0103	0.0050	51.46	CUMPLE
Cuarto de máquinas	0,0085	0.0035	58.82	CUMPLE
Terraza	0,0133	0.0037	72.18	CUMPLE
Piso 4	0,0145	0.0042	71.03	CUMPLE
Piso 3	0,0141	0.0042	70.21	CUMPLE
Piso 2	0,0105	0.0034	67.62	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52. Comparación de derivas con y sin amortiguadores viscosos (EJE Y)

Nivel	Derivas sin amortiguadores	Derivas con amortiguadores	% de reducción	Control de deriva
Cubierta	0,0147	0.0035	76.19	CUMPLE
Cuarto de máquinas	0,0102	0.0037	63.73	CUMPLE
Terraza	0,0102	0.0044	56.86	CUMPLE
Piso 4	0,0110	0.0048	56.36	CUMPLE
Piso 3	0,0105	0.0047	55.24	CUMPLE
Piso 2	0,0092	0.0043	53.26	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar la deriva máxima de la edificación convencional es de 1.47%, la cual se redujo con la incorporación de los disipadores sísmicos a un 0.5%, cumpliendo con la deriva máxima permisible según la tabla 17, la cual menciona que para un desempeño estructural operacional u ocupación inmediata la deriva máxima permisible debe ser $\leq 0.5\%$.

3.1.2 Cortantes de piso

Tabla 53. Comparación de cortantes de piso con y sin amortiguadores viscosos en (EJE X)

Nivel	Cortante sin amortiguadores (Estruc. Convencional)	Cortante con amortiguadores
Cubierta	23.84	68.69
Cuarto de máquinas	63.38	191.06
Terraza	213.96	647.59
Piso 4	336.00	1037.18
Piso 3	424.23	1499.57
Piso 2	481.91	1932.60

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54. Comparación de cortantes de piso con y sin amortiguadores viscosos en (EJE Y)

Nivel	Cortante sin amortiguadores (Estruc. Convencional)	Cortante con amortiguadores
Cubierta	25.49	66.32
Cuarto de máquinas	66.41	185.72
Terraza	221.75	648.87
Piso 4	352.69	1082.72
Piso 3	442.82	1464.97
Piso 2	492.69	1785.14

Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Aceleraciones en el centro de masas

Tabla 55. Comparación de aceleraciones en el CM, con y sin amortiguadores viscosos. (EJE X)

Nivel	Aceleración sin amortiguadores (Estruc. Convencional)	Aceleración con amortiguadores
Cubierta	8.26	20.55
Cuarto de máquinas	5.95	18.92
Terraza	4.58	13.09
Piso 4	3.31	9.97
Piso 3	2.62	9.47
Piso 2	2.12	7.79

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56. Comparación de aceleraciones en el CM, con y sin amortiguadores viscosos (EJE Y)

Nivel	Aceleración sin amortiguadores. (Estruc. Convencional)	Aceleración con amortiguadores
Cubierta	8.52	20.65
Cuarto de máquinas	4.63	13.59
Terraza	3.51	10.42
Piso 4	2.63	8.25
Piso 3	2.14	7.54
Piso 2	1.71	6.81

Fuente: Elaboración propia

3.1.4 Diseño de los dispositivos de amortiguamiento viscoso

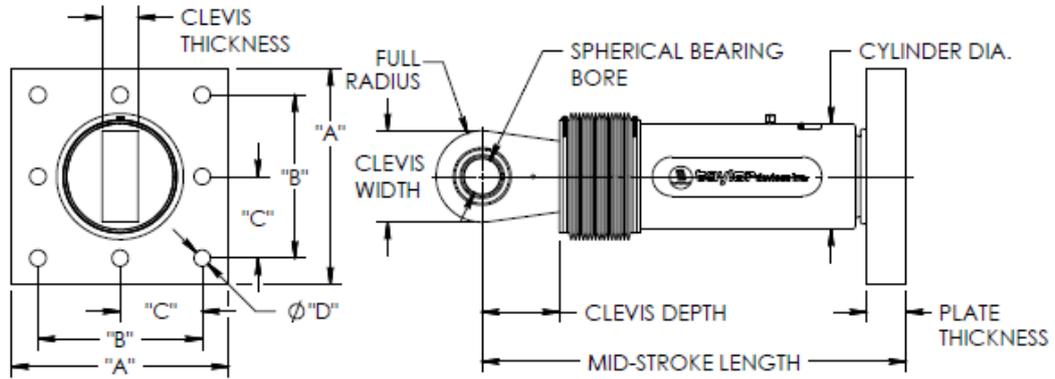
Se realizará el diseño de un dispositivo de disipación viscoso tipo, de acuerdo a la mayor fuerza generada por el disipador establecidas en las tablas 45 y 46 de acuerdo al eje X e Y respectivamente. Se hará uso de los disipadores manufacturados por la corporación TYLOR DEVICES INC, en donde se muestra las dimensiones de estos dispositivos de acuerdo a los diferentes niveles de fuerza.

La fuerza máxima que puede llegar a generar el disipador en el eje X es: 169.31 tonf = 1660.40 KN.

La fuerza máxima que puede llegar a generar el disipador en el eje Y es: 74.22 tonf = 727.86 KN.

Figura 87. Catálogo de disipadores viscosos por Tylor Devices Inc

FLUID VISCOUS DAMPERS & LOCK-UP DEVICES



FORCE	SPHERICAL BEARING DIA. (mm)	MID-STROKE LENGTH (mm)	STROKE (mm)	CLEVIS THICKNESS (mm)	CLEVIS WIDTH (mm)	CLEVIS DEPTH (mm)	CYLINDER DIA. (mm)	WEIGHT (Kg)
250 kN	38.10	787	±75	41	100 MAX.	83	114 MAX.	44
500 kN	50.80	997	±100	54	127 MAX.	102	150 MAX.	98
750 kN	57.15	1016	±100	57	155 MAX.	129	184 MAX.	181
1000 kN	69.85	1048	±100	70	191 MAX.	150	210 MAX.	254
1500 kN	76.20	1105	±100	76	205 MAX.	162	241 MAX.	306
2000 kN	88.90	1346	±125	89	230 MAX.	191	292 MAX.	450
3000 kN	101.60	1441	±125	114	290 MAX.	203	350 MAX.	800
4000 kN	127.00	1626	±125	140	325 MAX.	273	425 MAX.	1088
6500 kN	†	†	†	†	†	†	†	†
8000 kN	†	†	†	†	†	†	†	†

FORCE	"A" (mm)	"B" (mm)	"C" (mm)	"D" (mm)	PLATE THICKNESS (mm)
250 kN	178±3	127±.25	*	20.6±.25	38±.76
500 kN	262±3	203±.25	*	31.8±.25	38±.76
750 kN	343±3	254±.25	127±.25	28.7±.25	61±.76
1000 kN	419±3	318±.25	159±.25	31.8±.25	76±1.5
1500 kN	432±3	330±.25	165±.25	34.9±.25	76±1.5
2000 kN	457±3	343±.25	171.5±.25	38.1±.25	102±1.5
3000 kN	508±3	406±.25	203±.25	41.4±.25	102±1.5
4000 kN	†	†	†	†	†
6500 kN	†	†	†	†	†
8000 kN	†	†	†	†	†

NOTE: VARIOUS STROKES ARE AVAILABLE, FROM ±50 TO ±900 mm. FORCE CAPACITY MAY BE REDUCED FOR STROKE LONGER THAN STROKE LISTED IN TABLE. ANY STROKE CHANGE FROM THE STANDARD STROKE VERSION DEPICTED CHANGES MID-STROKE LENGTH BY FIVE MILLIMETERS PER ±1 MILLIMETER OF STROKE.

EXAMPLE: 1000 kN ±100 mm STROKE, MID-STROKE LENGTH IS 1048 mm
 1000 kN ±150 mm STROKE,
 150-100 = 50 TIMES FIVE = 250
 1048+250 = 1298 mm MID-STROKE LENGTH

BELLOWS MAY BE REPLACED WITH A STEEL SLEEVE AS DESIRED STROKE LENGTHS INCREASE. CONSULT TAYLOR DEVICES FOR STROKE OVER ± 300 mm AND/OR FOR FORCE CAPACITIES FOR STROKE LONGER THAN LISTED IN TABLE.
 * DENOTES 4-BOLT MOUNTING PATTERN
 † DENOTES CUSTOM PATTERN. CONSULT FACTORY.

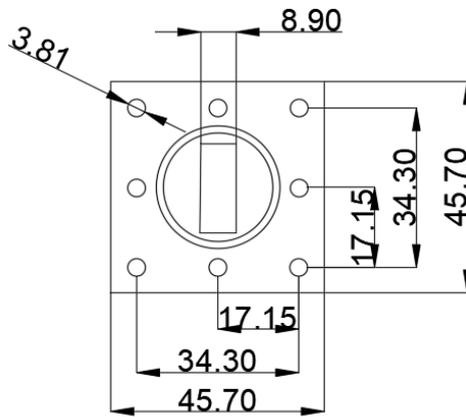
TAYLOR DEVICES INC.
 90 TAYLOR DRIVE
 N. TONAWANDA, NEW YORK, 14120
 WWW.TAYLORDEVICES.COM,
 PHONE 716-694-0800 OR FAX 716-695-6015

TAYLOR DEVICES INC.[20]

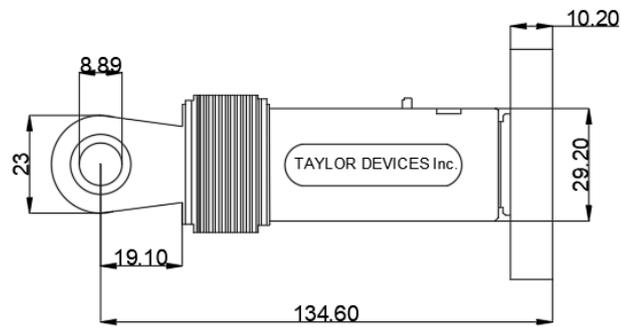
Hay que recalcar que los dispositivos de Tylor ya cuentan con un porcentaje de seguridad, por lo que no se hará ningún aumento a las fuerzas obtenidas por el análisis tiempo-historia.

Figura 88. Diseño de disipador para el eje X, Fuerza 169.31 tonf.

Dimensión de placa Base (cm)



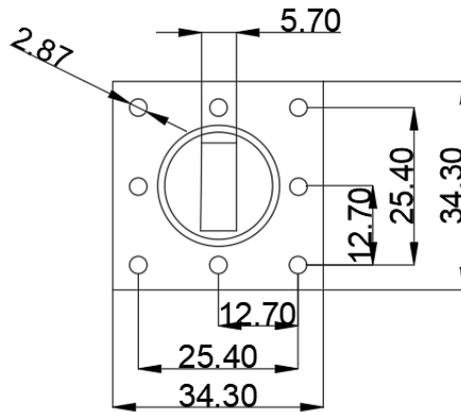
Dimensión de disipador de energía (cm)



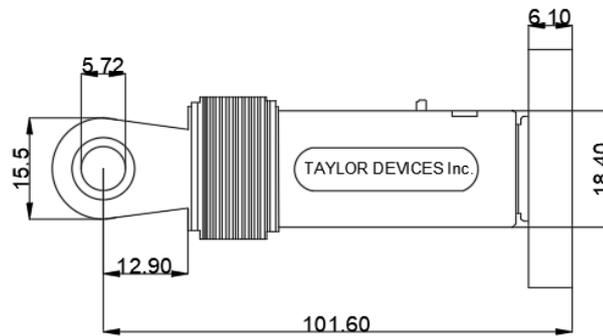
Fuente: Elaboración propia

Figura 89. Diseño de disipador para el eje Y, Fuerza 74.22 tonf.

Dimensión de placa Base (cm)



Dimensión de disipador de energía (cm)



Fuente: Elaboración propia

3.1.5 Diseño de los elementos estructurales

3.1.5.1 Diseño de los elementos estructurales de la estructura convencional

❖ Vigas

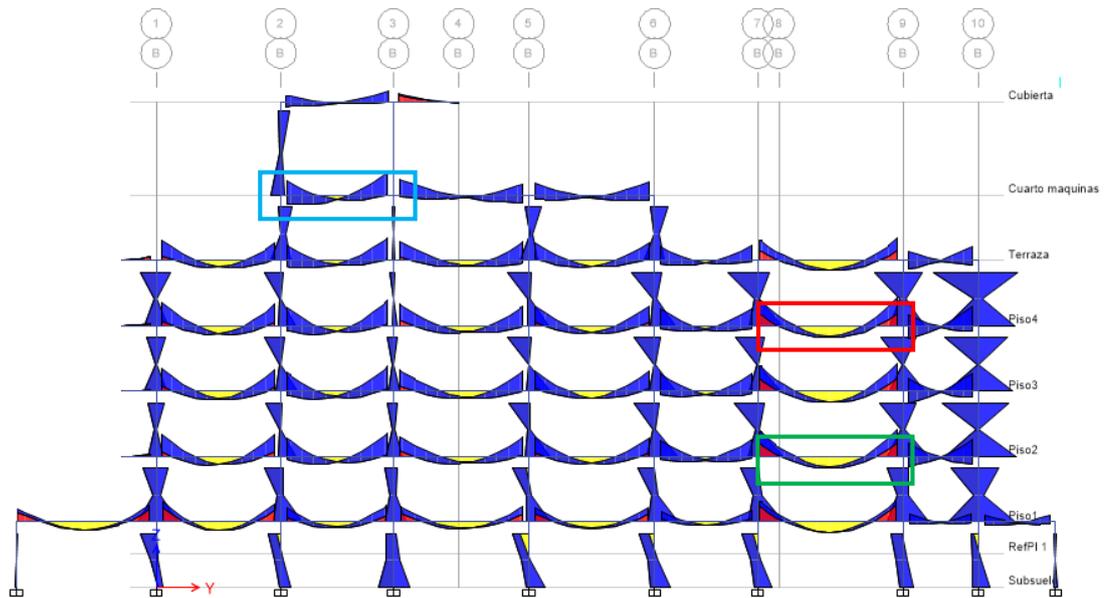
Para el diseño de las vigas en el eje Y, se a dividido en 3 partes, con el propósito de aminorar costos. El primer bloque se a estimado desde el piso 1 al piso 3, el segundo bloque desde el piso 4 a la terraza y el tercer bloque desde cuarto de máquinas hasta la cubierta

Figura 90. Bloques de diseño para vigas



Fuente: ETABS2016

Figura 91. Momentos flectores de las vigas (Eje Y)



Fuente: ETABS2016

Los esfuerzos de momento y corte que se han escogido del programa Etabs corresponden a la combinación la cual a dado mayores esfuerzos, correspondiente a:

$$1.2CM + 1CV + 1SDy$$

La viga tipo se a elegido por ser aquella que esta más solicitada. De acuerdo a todo lo mencionado se obtuvo los esfuerzos de momento y corte indicado en la tabla 55.

Tabla 57. Esfuerzos de corte y momento de las vigas

	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3
<i>Corte (Ton)</i>	15.45	16.02	12.72
<i>Momento - (Tonf.m)</i>	18.90	20.07	16.69
<i>Momento + (Tonf.m)</i>	7.16	7.29	7.76

Fuente: Elaboración propia

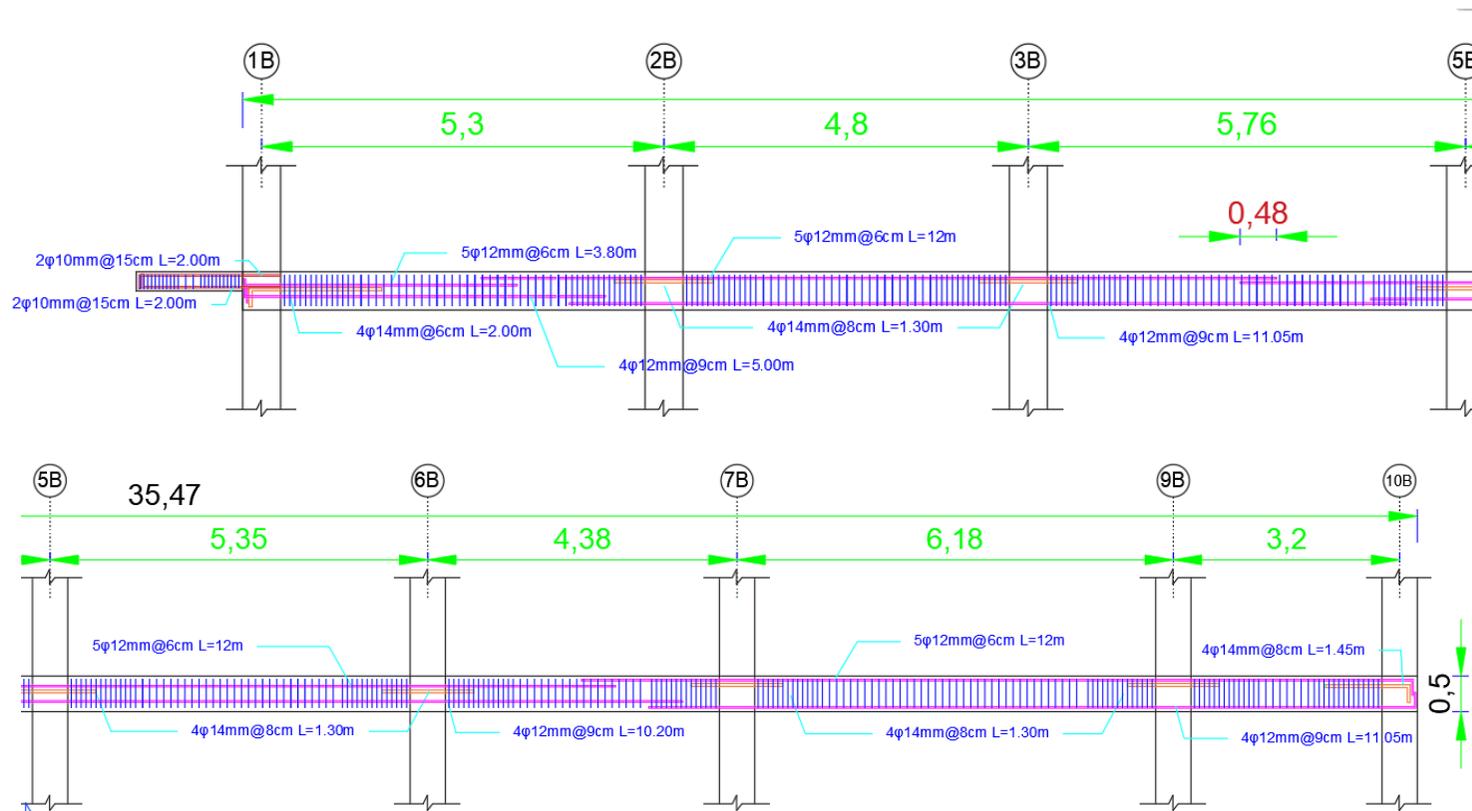
Tabla 58. Diseño de acero de vigas tipo por bloque. (Eje Y)

Tabla de resumen de la viga tipo para bloque 1			Tabla de resumen de la viga tipo para bloque 2			Tabla de resumen de la viga tipo para bloque 3		
DATOS DE INGRESO DE LA VIGA			DATOS DE INGRESO DE LA VIGA			DATOS DE INGRESO DE LA VIGA		
Ancho	40	cm	Ancho	40	cm	Ancho	40	cm
Altura	50	cm	Altura	50	cm	Altura	50	cm
f'c	240	kg/cm ²	f'c	240	kg/cm ²	f'c	240	kg/cm ²
f _y	4200	kg/cm ²	f _y	4200	kg/cm ²	f _y	4200	kg/cm ²
E _{ty}	0,002		E _{ty}	0,002		E _{ty}	0,002	
recubrimiento	4	cm	recubrimiento	4	cm	recubrimiento	4	cm
Esf Momento	18,9	ton*m	Esf Momento	20,07	ton*m	Esf Momento	16,69	ton*m
destribo	10	mm	destribo	10	mm	destribo	10	mm
CALCULO DE ACERO CON CUANTIA MINIMA			CALCULO DE ACERO CON CUANTIA MINIMA			CALCULO DE ACERO CON CUANTIA MINIMA		
p	0,007	Cuántia calculada	p	0,007	Cuántia calculada	p	0,007	Cuántia calculada
pb	0,024	Cuántia balanceada	pb	0,024	Cuántia balanceada	pb	0,024	Cuántia balanceada
p _{max}	0,012	Cuántia máxima	p _{max}	0,012	Cuántia máxima	p _{max}	0,012	Cuántia máxima
p _{min}	0,003	Cuántia mínima	p _{min}	0,003	Cuántia mínima	p _{min}	0,003	Cuántia mínima
p elegido	0,003	Elección de cuántia	p elegido	0,003	Elección de cuántia	p elegido	0,003	Elección de cuántia
As requerido	6,072	cm ²	As requerido	6,072	cm ²	As requerido	6,072	cm ²
phi	12	mm	phi	12	mm	phi	12	mm
Área de acero	1,13	cm ²	Área de acero	1,13	cm ²	Área de acero	1,13	cm ²
# varillas necesarias	5,37	u	# varillas necesarias	5,37	u	# varillas necesarias	5,37	u
# varillas escogido	5	u	# varillas escogido	5	u	# varillas escogido	5	u
Espaciamiento	6	cm	Espaciamiento	6	cm	Espaciamiento	6	cm
As real ultimo	5,6549	cm ²	As real ultimo	5,65	cm ²	As real ultimo	5,65	cm ²
Mresistente con p _{min}	3,36	ton*m	Mresistente con p _{min}	3,36	ton*m	Mresistente con p _{min}	3,36	ton*m
CALCULO DE ACERO RESTANTE			CALCULO DE ACERO RESTANTE			CALCULO DE ACERO RESTANTE		
Esf Momento	3,54	ton*m	Esf Momento	10,71	ton*m	Esf Momento	7,33	ton*m
p	0,003	Cuántia de acero	p	0,004	Cuántia de acero	p	0,003	Cuántia de acero
As	6,072	cm ²	As	7,36	cm ²	As	5,52	cm ²
phi	14	mm	phi	14	mm	phi	12	mm
Área de acero	1,54	cm ²	Área de acero	1,54	cm ²	Área de acero	1,13	cm ²
# varillas necesarias	3,94	u	# varillas necesarias	4,78	u	# varillas necesarias	4,88	u
# varillas escogido	4	u	# varillas escogido	5	u	# varillas escogido	4	u
Espaciamiento	8,13	cm ²	Espaciamiento	6,00	cm ²	Espaciamiento	8,00	cm ²
As real ultimo	6,16	mm	As real ultimo	7,70	mm	As real ultimo	4,52	mm
Mresistente restante	10,138	cm ²	Mresistente restante	12,56	cm ²	Mresistente restante	7,54	cm ²
Momento resistente	19,46	ton*m	Momento resistente ultimo	21,92	ton*m	Momento resistente ultimo	16,90	ton*m
DISEÑO A CORTE			DISEÑO A CORTE			DISEÑO A CORTE		
<i>Y_u</i>	18,45	<i>t</i>	<i>Y_u</i>	16,02	<i>t</i>	<i>Y_u</i>	12,72	<i>t</i>
<i>phi min</i>	12	mm	<i>phi min</i>	12	mm	<i>phi min</i>	12	mm
<i>f_{i est}</i>	10	mm	<i>f_{i est}</i>	10	mm	<i>f_{i est}</i>	10	mm
<i>Y_s</i>	6,05	<i>t</i>	<i>Y_s</i>	6,05	<i>t</i>	<i>Y_s</i>	2,38	<i>t</i>
<i>s</i>	48	cm	<i>s</i>	48	cm	<i>s</i>	123	cm
<i>Z prot</i>	100	cm	<i>Z prot</i>	100	cm	<i>Z prot</i>	100	cm
<i>s</i>	7	cm	<i>s</i>	7	cm	<i>s</i>	7	cm
<i>L_v</i>	5,30	cm	<i>L_v</i>	5,30	cm	<i>L_v</i>	5,30	cm
<i>b_{col}</i>	0,50	cm	<i>b_{col}</i>	0,50	cm	<i>b_{col}</i>	0,50	cm
<i>Z cent</i>	280	cm	<i>Z cent</i>	280	cm	<i>Z cent</i>	280	cm
<i>s</i>	10	cm	<i>s</i>	10	cm	<i>s</i>	10	cm

Fuente: Elaboración propia

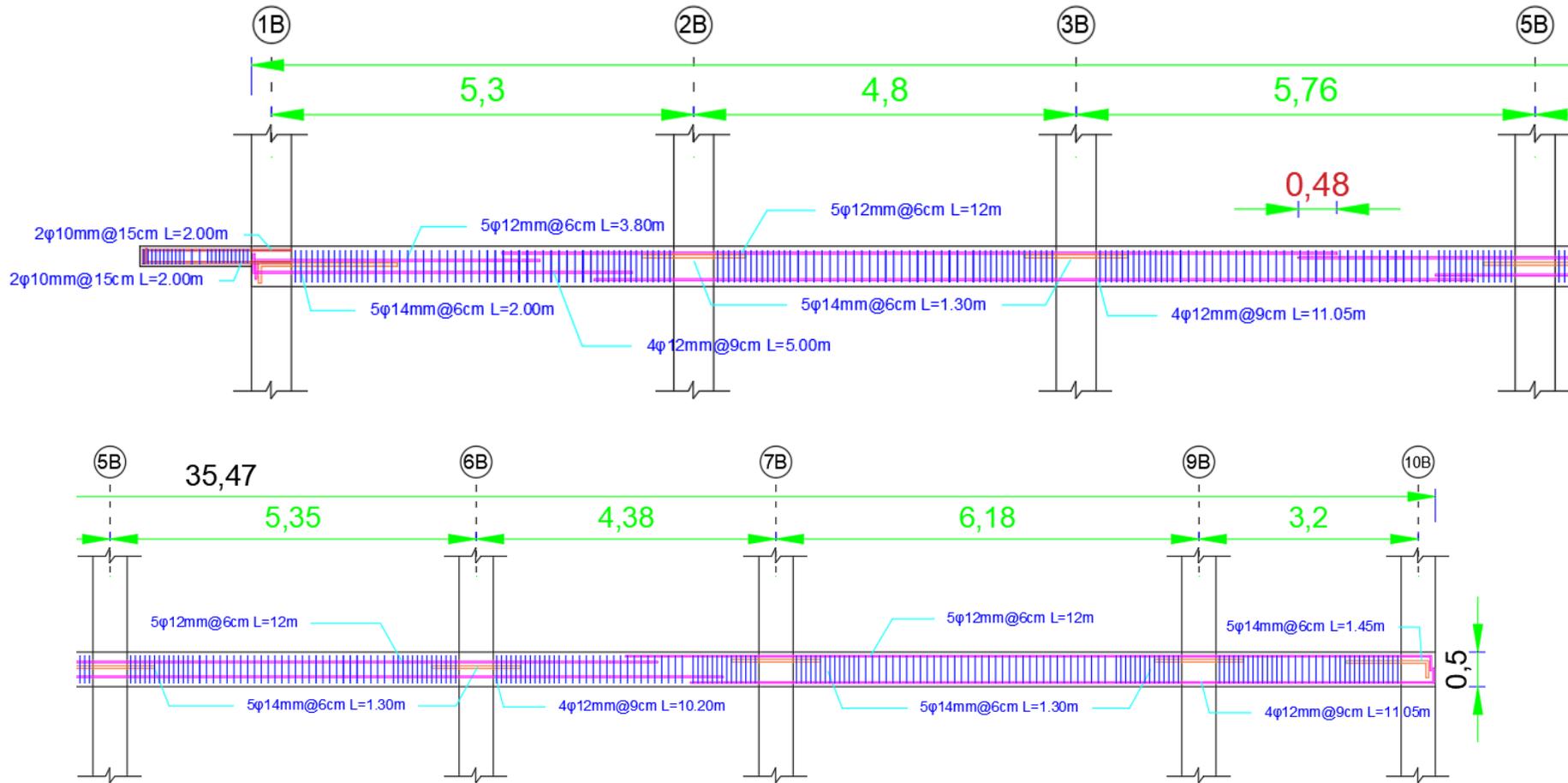
Figura 92. Detalle de armado vigas (Eje Y)

❖ Bloque 1



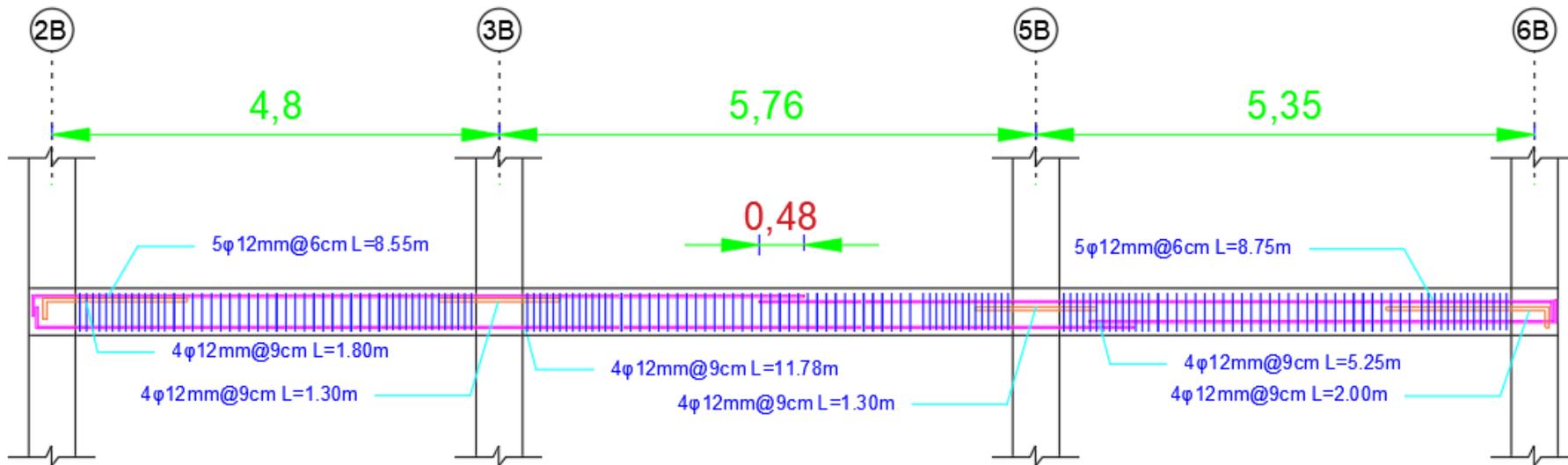
Fuente: Elaboración propia

❖ Bloque 2



Fuente: Elaboración propia

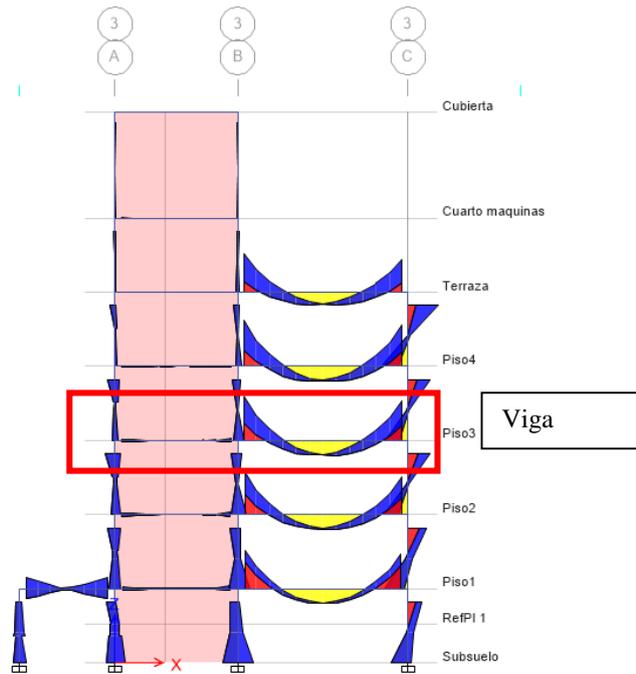
❖ Bloque 3



Fuente: Elaboración propia

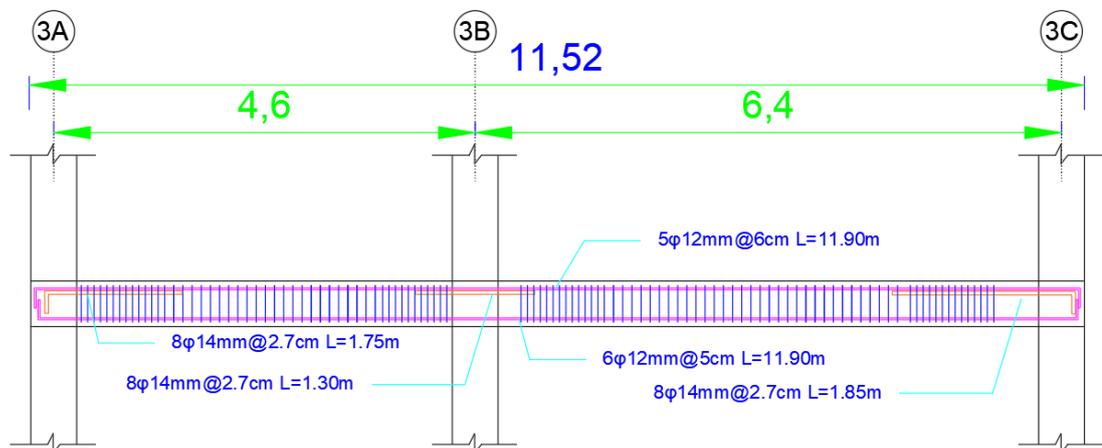
Para el diseño de las vigas en el eje X, se ha escogido una viga tipo la más crítica, y en base al esfuerzo de la misma, todas las demás vigas serán diseñadas con la misma área de acero.

Figura 93. Momentos flectores de las vigas (Eje X)



Fuente: ETABS2016

Figura 94. Armado de viga (Eje X)

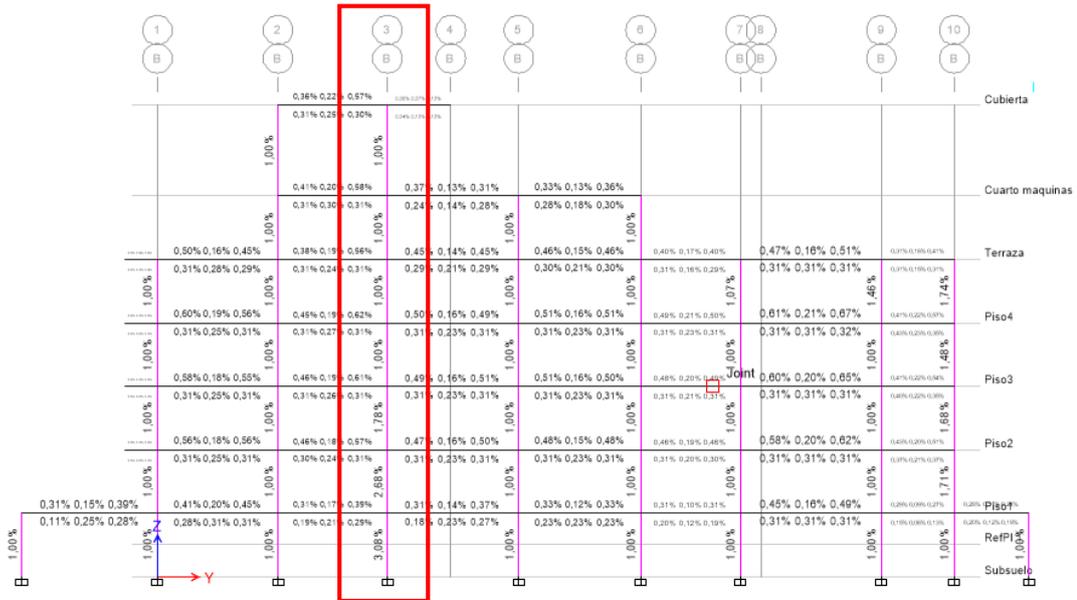


Fuente: Elaboración propia

❖ *Columnas*

Se ha escogido la franja de columna más crítica para el diseño. Todas las columnas a excepción de la C1, C2, serán diseñadas de acuerdo a la columna C3, y la C4 corresponde al armado para las columnas de 45*45.

Figura 95. Franja de columna crítica y porcentajes de acero o cuantía



Fuente: ETABS2016

Figura 96. Detalle de acero de refuerzo de columnas

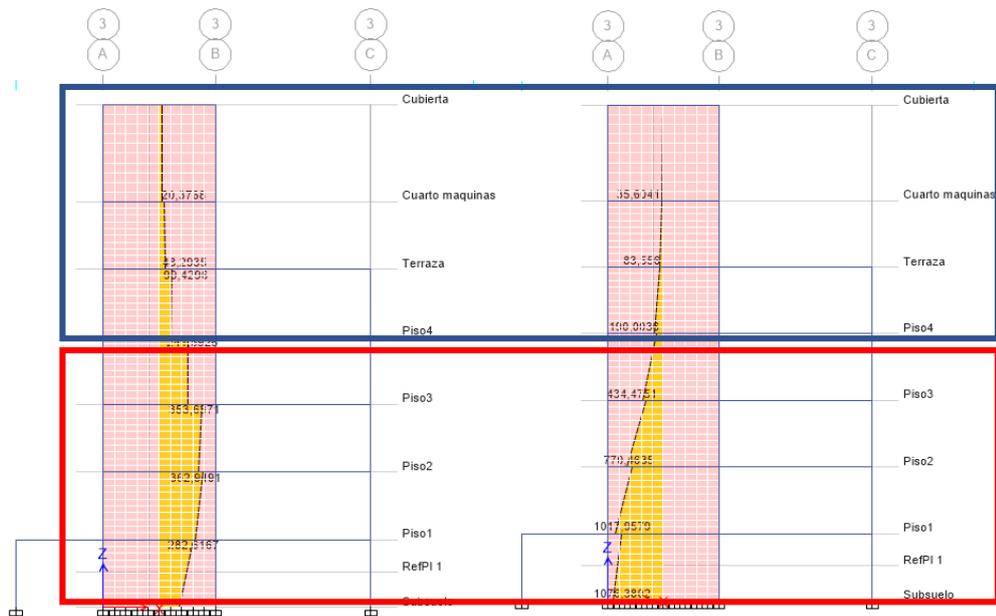
CUADRO DE COLUMNAS				
Sección	C-1	C-2	C-3	C-4
Tipo	60 cm x 60 cm	55 cm x 55 cm	50 cm x 50 cm	45 cm x 45 cm
Acero	24φ25mm	20φ25mm	20φ18mm	20φ12mm

Fuente: Elaboración propia

❖ *Muro de corte*

Se ha escogido el muro de corte más solicitado del cual se a partido en dos partes de acuerdo a los esfuerzos de corte y momento que van disminuyendo mientras más altura va teniendo el muro.

Figura 97. Esfuerzo de corte y momento, muro de corte



Fuente: ETABS2016

Tabla 59. Acero requerido a flexión para muro de corte

Flexural Design for P_u , M_{u2} and M_{u3}								
Station Location	Required Rebar Area (cm ²)	Required Reinf Ratio	Current Reinf Ratio	Flexural Combo	P_u tonf	M_{u2} tonf-m	M_{u3} tonf-m	Pier A_d cm ²
Top	88,249557	0,0077	0,0027	UDCon6	62,8405	-1,8225	-705,9281	11500
Bottom	125,61794	0,0109	0,0027	UDCon6	35,4454	-1,1867	-884,7725	11500

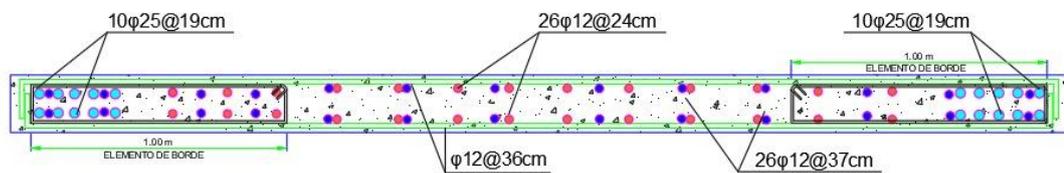
Flexural Design for P_u , M_{u2} and M_{u3}								
Station Location	Required Rebar Area (cm ²)	Required Reinf Ratio	Current Reinf Ratio	Flexural Combo	P_u tonf	M_{u2} tonf-m	M_{u3} tonf-m	Pier A_d cm ²
Top	28,75	0,0025	0,0027	UDCon10	159,7601	1,4858	53,8243	11500
Bottom	28,75	0,0025	0,0027	UDCon10	237,7816	-5,0024	60,1772	11500

Fuente: ETABS2016

De acuerdo a los datos obtenido en el programa Etabs, se a realizado el armado del muro en dos partes, la primera parte (color rojo), desde el subsuelo al tercer piso, se realizó tomando en cuenta una cuantía mínima de 0,0025 con la cual se armo las esquinas del muro, y el área de acero restante se usó para armar el alma del mismo.

La segunda parte (color azul), se armó con la cuantía mínima en toda la longitud del alma del muro.

Figura 98. Detalle de armado para muro de corte



Fuente: Elaboración propia

3.1.5.2. Diseño de los elementos estructurales de la estructura con amortiguadores viscosos

Para el diseño de los elementos estructurales con amortiguadores viscosos, se introdujo un espectro elástico con un amortiguamiento del 35% para el eje X y un amortiguamiento del 25% para el eje Y, esto de acuerdo al amortiguamiento determinado anteriormente en el modelamiento de la estructura con disipadores viscosos. Cabe recalcar que este proceso se realiza en sustitución a un análisis estático no lineal, por lo cual el refuerzo de acero en los elementos puede aumentar o mantenerse al de la estructura convencional.

Posteriormente se mandó a correr al software con las mismas dimensiones de los elementos estructurales obtenidas desde un principio, con el propósito de obtener la cantidad de acero que se requerirá para este modelo. Las combinaciones utilizadas para el diseño fueron: $1.2 CM + 1CV + (SDx; SDy)$ y $0.9 CM + (SDx; SDy)$.

Una vez realizado lo mencionado, se determinó lo siguiente:

❖ Vigas

El diseño de las vigas para el modelo de la estructura con amortiguadores viscosos se mantuvo, ya que la cuantía estuvo por debajo del 1% utilizando el mismo armado con el que se realizó la estructura convencional.

Figura 99. Cuantía de acero vigas estructura con amortiguadores viscosos

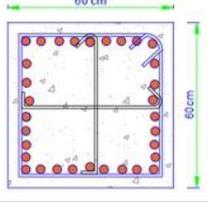
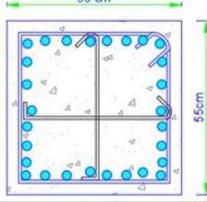
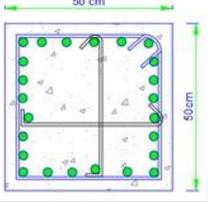
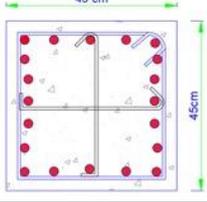


Fuente: ETABS2016

❖ Columnas

El acero transversal de todas las columnas tiene un Φ de 12mm, y la disposición en el modelo con amortiguadores, se mantiene de acuerdo a como se explicó en el modelo de la estructura convencional.

Figura 100. Armado en columnas de estructura con amortiguadores viscosos

CUADRO DE COLUMNAS				
Sección	C-1	C-2	C-3	C-4
Tipo				
Acero	28φ32mm	24φ32mm	16φ25mm	20φ14mm

Fuente: Elaboración propia

❖ Muros de corte

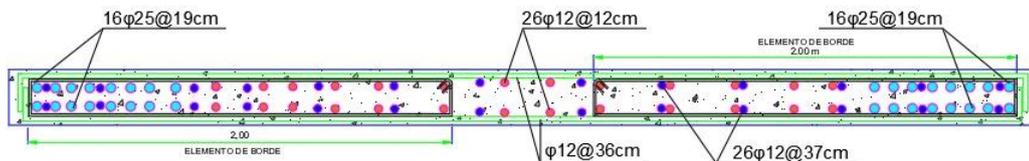
Tabla 60. Acero requerido para muro de corte, estructura con amortiguadores

Flexural Design for P_u , M_{u2} and M_{u3}								
Station Location	Required Rebar Area (cm ²)	Required Reinf Ratio	Current Reinf Ratio	Flexural Combo	P_u tonf	M_{u2} tonf-cm	M_{u3} tonf-cm	Pier A_g cm ²
Top	266,69	0,0232	0,0027	DWal35	-207,9859	233,472	134565,382	11500
Bottom	346,32	0,0301	0,0027	DWal29	781,6878	-236,812	173411,747	11500

Fuente: ETABS2016

La disposición de acero en el muro de corte es igual a lo explicado en el muro de la estructura convencional.

Figura 101. Detalle de armado muro de corte, estructura con amortiguadores



Fuente: Elaboración propia

3.1.6. Análisis costo beneficio de la incorporación de disipadores viscosos en la estructura

Se realizó el análisis de costos de los elementos estructurales con la incorporación de amortiguadores viscosos en comparación al reforzamiento de la estructura convencional. Dicho análisis se realizó para dos casos, el primero es manteniendo el acero obtenido en el modelo convencional de la estructura e incorporando los disipadores y el segundo es con el armado definido en el modelo de la estructura con los amortiguadores viscosos.

Para el análisis de precios de la estructura se tomó como referencia la revista de cámara de la industria de la construcción y, para definir el costo de los amortiguadores se tomó como referencia lo que menciona la compañía CDV ingeniería sísmica de Perú, la cual menciona que el costo de los disipadores viscosos esta entre los 15 a 30 dólares por metro cuadrado de construcción, este valor se comprobó en la investigación realizada por Guevara et al. [14].

Tabla 61. Precio de los elementos estructurales y amortiguadores viscosos (Armado de la estructura convencional)

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio U	Precio Total
Hormigón $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$	m ³	858.80	\$ 195.93	\$ 168265.58
Acero $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	kg	66013.41	\$ 1.82	\$ 120144.41
Precio de la estructura				\$ 288409.99
Disipadores viscosos	m ²	1746.04	\$ 30	\$ 52381.20
Precio de la estructura con disipadores viscosos				\$ 340791.19

Fuente: Elaboración propia

Dado a que nuestra edificación contiene departamentos se lo puede considerar como una hostería u hotel, tomando en cuenta aquello, de acuerdo a la investigación realizada por Taghavi et al.[33][34], menciona que del precio total de un hotel la parte estructural solo representa el 13% del costo total de la edificación.

De acuerdo a la investigación realizada por Supe (2021) [4], y Guevara et al (2012) [14], mencionan que el reforzamiento de la estructura varía entre los 15 y 20% del costo total de la edificación. Esto depende del tipo de refuerzo que se le vaya a realizar a la estructura.

Tabla 62. Reforzamiento estructural e inclusión de amortiguadores viscosos (Armado de la estructura convencional)

Precio estructura	\$ 288409.9866		
	87%		
Precio total Edif.	\$ 539326.675		
Reforzamiento de la estructura	Porcentaje	Parcial	Total
	20%	\$ 107865.33	\$ 647192.01
Incluidos disipadores viscosos	Parcial	total	
	\$ 52381.2	\$ 591707.875	

Reforzamiento	Incluidos amortiguadores	Diferencia	Porcentaje
\$ 647192.01	\$ 591707.875	\$ 55484.13	8.57%

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al análisis de costos, se puede apreciar que el costo de la estructura con la incorporación de amortiguadores viscosos manteniendo el armado de la estructura convencional, es menor a realizar un reforzamiento en la estructura con un ahorro del casi 9%. A continuación, se realizará el mismo análisis, pero con el armado determinado reduciendo el espectro elástico para el amortiguamiento calculado en el apartado 2.2.7.2 del presente proyecto.

Tabla 63. Precio de los elementos estructurales y amortiguadores viscosos (Armado de la estructura con disipadores)

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio U	Precio Total
Hormigón $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$	m^3	858.80456	\$ 195.93	\$ 168265.58
Acero $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	kg	85185.7804	\$ 1.82	\$ 155038.12
Precio de la estructura				\$ 323303.70
Disipadores viscosos	m^2	1746.04	\$ 30	\$ 52381.20
Precio de la estructura con disipadores viscosos				\$ 375684.90

Fuente: Elaboración propia

Tabla 64. Precio de la estructura con la incorporación de amortiguadores viscosos

Precio estructura	\$ 323303.70	
	87%	
Precio total	604577.91	
Incluidos disipadores viscosos	Parcial	total
	\$ 52381.20	\$ 656959.11

Reforzamiento	Incluidos amortiguadores	Diferencia	Porcentaje
647192.01	\$ 656959.11	\$ 9767.10	1.49%

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar al realizar el análisis de costos con el armado para la estructura con disipadores viscosos y comparar con el costo del reforzamiento de la estructura convencional, se puede apreciar que el costo de la estructura con amortiguadores viscosos es mayor al costo de reforzar la estructura convencional. Sin embargo, hay que recalcar que este análisis solamente toma en cuenta los costos de materia prima mas no se toma en cuenta la pérdida económica de todas las personas quienes trabajan en el edificio, ni tampoco el tiempo en que las personas se quedaran sin alojamiento durante todo el tiempo en que tardará la reparación de la estructura.

3.2. Verificación de hipótesis

De acuerdo a los datos obtenidos en el presente proyecto, se puede dar por verificado la hipótesis ya que la incorporación de amortiguadores viscosos, ayudado a la estructura menorando sus derivas y por ende de acuerdo a las normativas como VISION2000 y FEMA, estando dentro de un desempeño de ocupación inmediata con derivas menora o guals al 0.5%. Además, se comprobó que la mayor cantidad de energía sísmica es disipada con los disipadores, menorando el daño en los elementos estructurales.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Se determinó dos tipos de disipadores sísmicos viscosos con un coeficiente de amortiguación de $386.52 \frac{\text{ton*s}}{\text{m}}$ y $190.39 \frac{\text{ton*s}}{\text{m}}$, un amortiguamiento efectivo del 35% y 25% y una fuerza axial de 169.31 tonf y 74.22 tonf tanto para el eje X como para el eje Y respectivamente.

Se definió una disposición de 4 amortiguadores por piso en el eje X y 2 amortiguadores por piso en el eje Y, indicando un comportamiento histerético óptimo y confiable por parte de los disipadores, y por ende se puede prever que los mismos aportan de modo relevante al amortiguamiento y reducción de derivas de la edificación.

Se concluye que los amortiguadores viscosos absorben hasta un 73% todas las sollicitaciones sísmicas, reduciendo la cantidad de energía inelástica en la estructura y por ende ocasionando menor daño en la edificación.

Se concluye que la incorporación de amortiguadores viscosos reduce las deformaciones por piso de una estructura, reduciendo derivas de 2% al 0.5%, asegurando un desempeño estructural de acuerdo a VISION2000 de ocupación inmediata.

Se realizó un análisis costo-beneficio entre el reforzamiento de una estructura convencional y la incorporación de amortiguadores viscosos, de lo cual se determinó que a largo plazo la incorporación de amortiguadores brinda mayores beneficios,

llegando a la posibilidad de tener un ahorro de hasta un 9% manteniendo el armado de la estructura convencional, como también superando el costo de reforzamiento de la estructura en un 1% manteniendo el armado obtenido.

4.2. Recomendaciones

Para el análisis y diseño de un edificio con disipadores sísmicos, se debe tomar en cuenta la metodología mencionada por la normativa ASCE 7-16.

Se recomienda poner los amortiguadores viscosos en los extremos de la edificación ya que en estos lugares es la zona donde la estructura tiene mayores velocidades y por ende se logra una mayor efectividad en los amortiguadores viscosos.

Se recomienda realizar un análisis estático no lineal manteniendo el armado con el que se realiza la estructura convencional e incorporando los amortiguadores viscosos, con el propósito de verificar el desempeño estructural deseado por parte del calculista.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. B. Otiano, “DESEMPEÑO SÍSMICO DE UN EDIFICIO DE CONCRETO ARMADO CON DISIPADORES DE ENERGÍA VISCOSOS, TRUJILLO 2019,” 2019, [Online]. Available: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22194>.
- [2] C. A. Maruri, “Modelo estructural a escala utilizando amortiguadores viscosos como sistemas de disipación pasiva de energía,” 2015, [Online]. Available: <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/4784>.
- [3] F. M. Candanedo, C. E. Miranda, and R. Lozada, “Diseño de estructuras con sistema de amortiguamiento viscoso lineal,” vol. 11, pp. 26–34, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/307466161_Disenio_de_estructuras_con_sistema_de_amortiguamiento_viscoso_lineal.
- [4] H. F. Supe, “ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DE LA TIPOLOGÍA EDIFICIOS PÚBLICOS CON EL USO DE AMORTIGUADORES VISCOELÁSTICOS,” 2021, [Online]. Available: [https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32022/1/Tesis I. C. 1429 - Supe Guillen Héctor Fernando.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32022/1/Tesis%20I.%20C.%201429%20-%20Supe%20Guillen%20H%C3%A9ctor%20Fernando.pdf).
- [5] D. Salazar, “Análisis y simulación del comportamiento mecánico de un amortiguador telescópico hidráulico como elemento de un pórtico sometido a cargas sísmicas,” pp. 1–134, 2008, [Online]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/333/T-ESPE-023644.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [6] R. Aguiar, *Dinámica de estructuras con CEINCI-LAB*, no. April 2012. 2012.
- [7] J. E. Ramírez, “Análisis De Una Edificación De 4 Pisos Con Disipadores De Fluido Viscoso,” p. 63, 2014.
- [8] Z. E. Boza Farfán and D. J. Galán Tirapo, “Diseño De Un Edificio Aporticado

- Con Disipadores En Arreglo Chevron,” *Pontif. Univ. Católica del Perú*, p. 76, 2013, [Online]. Available: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/4518>.
- [9] G. Villarreal Castro and M. Díaz La Rosa Sánchez, *Edificaciones con disipadores viscosos*. 2016.
- [10] D. Gómez, J. Marulanda, and P. Thomson, “Control systems for dynamic loading protection of civil structures,” *Dyna*, vol. 75, no. 155, pp. 77–89, 2008, [Online]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v75n155/a08v75n155.pdf>.
- [11] J. L. Ahumada, “Sistema de control en Estructuras,” *Inge Cuc*, vol. 6, no. 1, pp. 79–84, 2010, [Online]. Available: <http://revistascientificas.cuc.edu.co/index.php/ingecuc/article/view/294>.
- [12] C. Tovar, “UTILIZACIÓN DE AMORTIGUADORES METÁLICOS EN ESTRUCTURAS DE BAJA ALTURA,” 2014, [Online]. Available: <http://trienal.fau.ucv.ve/2014/cd/PDF/tc/TC-03.pdf>.
- [13] P. C. Roussis, “Prueba de simulador de terremoto en estructura de cinco pisos con sistema de amortiguamiento viscoso,” 2004, [Online]. Available: <https://www.cdvperu.com/wp-content/uploads/2018/11/taylor-prueba-de-simulacion-de-terremoto-en-estructura-con-sistema-de-proteccion-sismica.pdf>.
- [14] D. N. Guevara Huatuco and P. O. Arias Torres, “Diseño de un Edificio Aporticado con Amortiguadores de Fluido-Viscoso en Disposición Diagonal,” p. 89, 2012, [Online]. Available: <http://tesis.pucp.edu.pe:8080/repositorio/handle/123456789/1477>.
- [15] F. Y. Cheng, H. Jiang, and K. Lou, “Smart Structures Innovative Systems for Seismic Response Control (2008).pdf.” p. 672, 208AD, [Online]. Available: [http://196.223.158.148/bitstream/handle/123456789/5030/Smart Structures Innovative Systems for Seismic Response Control %282008%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://196.223.158.148/bitstream/handle/123456789/5030/Smart%20Structures%20Innovative%20Systems%20for%20Seismic%20Response%20Control%282008%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [16] Fema 274, “NEHRP Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings,” *Fed. Emerg. Manag. Agency, Washington, DC*,

Dev. by Appl. Technol. Counc., no. October, 1997.

- [17] Federal Emergency Management Agency (FEMA), “HAZUS-MH MR4 Multi-Hazard Loss Estimation Methodology – Earthquake Model: Technical Manual. Department of Homeland Security,” *Fed. Emerg. Manag. Agency, Washington*, ..., 2003, [Online]. Available: www.fema.gov/plan/prevent/hazus.
- [18] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda and Cámara de la Industria de la Construcción, *NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción*. 2015.
- [19] A. S. of C. E. ASCE, *ASCE STANDARD ASCE/SEI 7-16 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*, no. 7 98. 2016.
- [20] I. Taylor devices, “SAP 2000 / ETABS Modeling,” 2000.
- [21] J. Zamora, “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO SÍSMICO EN EDIFICIOS DE HORMIGÓN DE MEDIANA ALTURA APLICANDO RIOSTRAS DE PANDEO RESTRINGIDO EN LA CIUDAD DE AMBATO,” 2021, [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/33590>.
- [22] C. Ruiz and A. Torres, “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DINÁMICO DE ESTRUCTURAS ESENCIALES CON AISLADORES DE BASE DEL TIPO ELASTOMÉRICO CON NÚCLEO DE PLOMO LRB Y DISIPADORES TIPO CONTRAVENTEOS RESTRINGIDOS AL PANDEO BRB, Y SU INCIDENCIA EN LA RELACIÓN COSTO/BENEF,” 2018, [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/29198>.
- [23] P. Tamay, “ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DEL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE DISEÑO, ARQUITECTURA Y ARTES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO MEDIANTE LA MEDICIÓN DE VIBRACIONES,” 2021, [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/33582>.
- [24] C. Rodríguez and X. Federico, “Análisis y Diseño de estructuras de acero con

- disipadores viscoelásticos para la ciudad de Guayaquil,” 2013, [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/33582>.
- [25] Applied Technology Council, “ATC 40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Redwood City California,” *Seism. Saf. commissionsion*, vol. 1, no. November 1996, p. 334, 1996.
- [26] D. A. Galarza Altamirano, “Evaluación Del Desempeño Sísmico Del Edificio De La Ocus Mediante Comparación Del Análisis Estático No Lineal (Pushover), Análisis Estático Modal (Pushover Multimodal) Y Dinámico No-Lineal (Historia De Respuesta),” p. 140, 2019.
- [27] MIDUVI, *NEC SE Cargas (No Sísmicas)*. 2015.
- [28] NTE-INEN-1855-1, “Instituto Ecuatoriano de Normalizacion,” *Inst. Ecuatoriano Norm.*, p. 21, 2001, [Online]. Available: http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/149/3/03_AGP_63_NTE_INEN_1340.pdf.
- [29] A. I. Concrete, *Requisitos de reglamentos para concreto estructural*. 2015.
- [30] R. Medina and J. Music, “Determinación del nivel de desempeño de un edificio habitacional estructurado en base a muros de hormigón armado y diseñado según normativa chilena,” *Obras y Proy.*, no. 23, pp. 63–77, 2018, doi: 10.4067/s0718-28132018000100063.
- [31] NCSE02, “Norma de construccion sismorresistente de España,” 2009.
- [32] CDMX, “Norma Tecnica Complementaria,” no. 188, 2017.
- [33] H. Najafi and M. Tehranizadeh, “Distribution of Building Nonstructural Components in Height Subjected to Cost of Damage for Low-Rise Office Buildings,” *Civ. Eng. Infrastructures J.*, vol. 49, no. 2, pp. 173–196, 2016, doi: 10.7508/cej.2016.02.001.
- [34] B. G. Ortiz, “Diseño Basado en Desempeño Perfomance Based Desing,” no. July 2016, 2017, doi: 10.13140/RG.2.2.12257.10080.