

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Posgrados**

**Comparación entre soluciones basadas en muros estructurales y  
aislamiento sísmico en edificios esenciales**

**Proyecto de Investigación y Desarrollo**

**César Andrés Silva Hidalgo**

**Fabricio Yépez, PhD**

**Director de Trabajo de Titulación**

Trabajo de titulación de posgrado presentado como  
requisito para la obtención del título de Magíster en Ingeniería Civil, Mención en Diseño y  
Construcción de Estructuras Sismo Resistentes

Quito, 21 de julio de 2023

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**  
**COLEGIO DE POSGRADOS**

**HOJA DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Comparación entre soluciones basadas en muros estructurales y  
aislamiento sísmico en edificios esenciales**

**César Andrés Silva Hidalgo**

Nombre del Director del Programa:	Fabricio Yépez
Título académico:	PhD en Ingeniería Civil
Director del programa de:	Maestría en Ingeniería Civil

Nombre del Decano del colegio Académico:	Eduardo Alba
Título académico:	Doctor en Ciencias
Decano del Colegio:	Colegio de Ciencias e Ingenierías

Nombre del Decano del Colegio de Posgrados:	Hugo Burgos
Título académico:	Doctor of Philosophy

**Quito, julio de 2023**

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombre del estudiante: César Andrés Silva Hidalgo

Código de estudiante: 00325217

C.I.: 1720912680

Lugar y fecha: Quito, 21 de julio de 2023.

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

**Note:** The following graduation project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.



## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación va dedicado a mi familia, sin su consejo y respaldo no hubiera podido cumplir las metas y propósitos que me he propuesto.

A mis padres Victoria Hidalgo y César Silva, por no dejarme decaer en los momentos difíciles.

A mi hermana Gabriela Silva por todo el cariño brindado, y sus deseos de superación constante.

A mis sobrinas Camila Yáñez y Emilia Yáñez por ser mi mayor inspiración, y motivarme a superarme día a día.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres, hermanas, sobrinas y amigos por su apoyo incondicional durante esta etapa de aprendizaje.

A los docentes de la Universidad San Francisco de Quito por compartir sus conocimientos, reflexiones y criterios durante toda la maestría.

A mis compañeros de la Maestría de Ingeniería Civil por sus experiencias y enseñanzas compartidas.

A mi tutor del Trabajo de titulación, el Doctor Fabricio Yépez (Coordinador de la Carrera de Ingeniería Civil y Director del Programa de Maestría en Ingeniería Civil) por guiarme en el proceso de ejecución del presente trabajo, mediante sus conocimientos y sugerencias.

## RESUMEN

Debido a que el Ecuador es un país que se encuentra ubicado geográficamente en el borde occidental de Sudamérica, se lo considera como un lugar de gran peligro sísmico, principalmente por la subducción de la Placa de Nazca debajo de la Placa Sudamericana. Siendo necesario el diseño de edificios sismorresistentes con un funcionamiento óptimo, estos diseños se los puede realizar principalmente de dos maneras: diseñando estructuras con sistemas duales o mediante la implementación de dispositivos de disipación de energía.

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo principal la comparación entre soluciones estructurales basadas en muros estructurales y aislamiento sísmico en edificios esenciales. El edificio en estudio es un hospital de hormigón armado de 8 pisos sin sótanos, asentado en un suelo tipo C, ubicado en la ciudad de Quito.

Para el diseño de ambos sistemas se emplea el software informático ETABS, además de considerar los parámetros establecidos en las Normas NEC-15, ASCE/SEI 7-16, entre otros. Para el diseño del sistema dual de la estructura se utilizan muros estructurales ubicados en la periferia de la estructura y en el interior de la misma de manera simétrica, evitando que se produzcan problemas de torsión; mientras que en el segundo diseño se emplearon dos tipos de aisladores elastoméricos (LRB) con y sin núcleos de plomo.

Finalmente se realiza la comparación de ambos sistemas y se concluye que al incorporar aisladores elastoméricos en el sistema aporticado, se obtienen resultados más satisfactorios en relación al sistema dual, ya que tiene un mejor comportamiento ante el origen de un evento sísmico y resulta más económico que un sistema con muros estructurales, especialmente para edificios masivos y esenciales

**Palabras clave:** Muros estructurales, Aisladores sísmicos, Sistema aporticado, Aisladores elastoméricos (LRB), Espectro Sísmico.

## ABSTRACT

Considering that Ecuador is a country geographically located on the western edge of South America, it is considered a place of great seismic danger, mainly due to the subduction of the Nazca Plate beneath the South American Plate. In this regard, the design of seismic-resistant buildings with optimal operation is necessary, these designs can be carried out in two main ways: designing structures with dual systems or by implementing energy dissipation devices.

The main objective of this final graduation work is the comparison between structural solutions based on structural walls and seismic isolation in essential buildings. The building under study is a hospital of 8 floors without basements of concrete, set on a type C land, located in the Quito city.

For the design of both systems, the ETABS computer software is used, in addition the parameters established in the NEC-15, ASCE/SEI 7-16 Standards, among others are considered. For the design of the dual system of the structure, structural walls located on the periphery of the structure and inside it, in a symmetrical manner are used, avoiding torsion problems; while in the second design two types of elastomeric insulators (LRB) with and without lead cores were used.

Finally, the comparison of both systems is made and in conclusion is noted that by the incorporation elastomeric insulators in the framed system, more satisfactory results are obtained in relation to the dual system, because it has a better behavior in the seismic event and is more economic than a system with structural walls, especially for massive and essential buildings

**Keywords:** Structural walls, Seismic isolators, Frame system, Elastomeric isolators (LRB), Seismic Spectrum.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	7
ABSTRACT .....	8
TABLA DE CONTENIDO .....	9
ÍNDICE DE TABLAS.....	13
ÍNDICE DE FIGURAS .....	14
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	18
CAPÍTULO 1 – GENERALIDADES .....	20
1.1 INTRODUCCIÓN.....	20
1.2 OBJETIVOS .....	21
1.2.1 Objetivo General .....	21
1.2.2 Objetivos Específicos .....	21
1.3 ALCANCE.....	21
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	22
CAPÍTULO 2 – PRINCIPIOS DEL AISLADOR SÍSMICO .....	23
2.1 SISTEMAS DE AISLAMIENTO DE BASE.....	23
2.2 AISLADORES ELASTOMÉRICOS .....	23
2.2.1 Ventajas y Desventajas de un aislador elastomérico .....	24
2.3 PARÁMETROS DE DISEÑO DE AISLADOR.....	25
2.3.1 Prediseño de aisladores LRB/RB .....	26
2.4 EXPERIENCIA DE AISLADORES EN ECUADOR.....	31
CAPÍTULO 3 – MUROS ESTRUCTURALES (SISTEMA DUAL).....	32
3.1 SISTEMA DUAL.....	32
3.2 REQUISITOS DE MUROS ESTRUCTURALES.....	33
3.2.1 Ubicación y altura de muros estructurales.....	33
3.2.2 Espesores y refuerzo de Muros Estructurales.....	34
3.2.3 Diseño a flexocompresión y a corte .....	36
3.2.3 Diseño por capacidad y amplificación dinámica.....	38
3.2.4 Confinamiento y sección crítica .....	40
CAPÍTULO 4 – DISEÑO DE EDIFICIO CON AISLADORES SÍSMICOS .....	43
4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE ESTRUCTURA.....	43

	10
4.1.1 Carga viva.....	43
4.1.2 Carga muerta .....	43
4.2 ZONIFICACIÓN SISMICA Y TIPO DE SUELO .....	44
4.2.1 Nivel de amortiguamiento objetivo .....	47
4.3 MODELO MATEMÁTICO.....	48
4.3.1 Combinaciones de carga.....	48
4.4 HOSPITAL SIN AISLACIÓN SÍSMICA (MODELO BASE).....	49
4.4.1 Definición de materiales .....	49
4.4.2 Definición de patrones de carga y sismo máximo de diseño.....	50
4.4.3 Definición de elementos estructurales .....	51
4.4.4 Estructuración.....	52
4.4.5 Definición de combinaciones de carga, masa modal y diafragmas .....	56
4.5 HOSPITAL CON AISLACIÓN SÍSMICA.....	57
4.6 ANÁLISIS DE ESTRUCTURA SIN AISLACIÓN SÍSMICA .....	59
4.6.1 Períodos de vibración y formas modales de la estructura .....	59
4.7 CÁLCULO DE PRIMERAS PROPIEDADES EFECTIVAS PARA ANÁLISIS ITERATIVO.....	61
4.8 DESPLAZAMIENTOS DEL CENTRO DE MASA Y DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS.....	63
4.9 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE AISLADORES SÍSMICOS .....	64
4.10 IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE AISLACIÓN SÍSMICA EN HOSPITAL .....	68
4.11 VERIFICACIONES EN LÍMITES SUPERIORES E INFERIORES.....	71
4.12 PERFIL DE DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS .....	76
4.13 PERFIL DE DERIVAS DE ENTREPISO MÁXIMAS .....	78
4.14 PERFIL DE ACELERACIONES MÁXIMAS .....	80
CAPÍTULO 5 - DISEÑO DE EDIFICIO CON MUROS ESTRUCTURALES (SISTEMA DUAL).....	82
5.1 DENSIDAD DE MUROS Y RELACIÓN H/T.....	82
5.2 COMPORTAMIENTO GLOBAL DEL EDIFICIO .....	87
5.2.1 Corte de diseño según norma NEC-SE-DS .....	87
5.2.2 Derivas de entrepiso y desplazamiento máximo .....	92
5.2.3 Diseño a corte de sección crítica de muro .....	95
5.2.4 Diseño a flexocompresión de muro .....	98

5.2.5 Verificación de elementos de borde y confinamiento .....	101
5.2.6 Verificación de corte de la sección crítica con amplificación dinámica y sobrerresistencia a flexión.....	104
5.3 ESQUEMA DE CORTE TRANSVERSAL DE MUROS DISEÑADOS .....	106
5.4 MODELO NO LINEAL DEL EDIFICIO .....	110
5.4.1 Definición de materiales .....	110
5.4.2 Definición de muros tipo layered .....	112
5.4.3 Asignación de muros en estructura.....	113
5.4.4 Asignación de casos push .....	115
5.4.5 Curvas de capacidad .....	116
5.4.6 FLUENCIA EN FLEXIÓN DE MUROS .....	119
5.4.7 ALARGAMIENTO MÁXIMO DEL ACERO .....	121
5.4.8 ACORTAMIENTO MÁXIMO DEL HORMIGÓN .....	122
CAPÍTULO 6 - COMPARACIÓN DE RESULTADOS .....	123
6.1 COMPARACIÓN DE CORTANTES.....	123
6.2 COMPARACIÓN DE PERÍODOS.....	125
6.3 COMPARACIÓN DE DERIVAS .....	125
6.4 COMPARACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS .....	127
6.5 COMPARACIÓN DE COSTOS .....	129
CAPÍTULO 7 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	131
BIBLIOGRAFÍA.....	134
ÍNDICE DE ANEXOS .....	135
ANEXO 1: Cálculo de cumplimiento de tracciones en aisladores para primera iteración .....	135
ANEXO 2: Cálculo de distribución de cargas en base a combinación máxima para primera iteración .....	136
ANEXO 3: Rotaciones en aisladores para verificaciones de estabilidad .....	137
ANEXO 4: Cálculo de cumplimiento de tracciones en aisladores para propiedades efectivas en upper bound .....	138
ANEXO 5: Cálculo de distribución de cargas real en base a combinación máxima para upper bound .....	139
ANEXO 6: Cálculo de cumplimiento tracciones en aisladores para propiedades efectivas en Lower bound .....	140

ANEXO 7: Cálculo de distribución de cargas real en base a combinación máxima para Lower bound.....	141
ANEXO 8: Puntos de carga.....	142
ANEXO 9: Hormigón confinado en elemento de borde especial y alma en muro 1 .....	143
ANEXO 10: Hormigón confinado en elemento de borde especial y alma en muro 2 ...	143
ANEXO 11: Hormigón confinado en elemento de borde especial y alma en muro 3 ...	144
ANEXO 12: Hormigón confinado en elemento de borde especial y alma en muro 4 ...	144



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores de factor Z en función de la zonificación del sitio de implantación .....	44
Tabla 2 Clasificación de los perfiles de suelo .....	45
Tabla 3 Datos para obtención de espectro de aceleraciones.....	45
Tabla 4 Valores iniciales del proceso iterativo para propiedades efectivas .....	61
Tabla 5 Propiedades efectivas iniciales .....	61
Tabla 6 Número de aisladores, carga individual y diámetros para primera iteración .....	62
Tabla 7 Desplazamiento del centro de masa a nivel del sistema de aislación.....	63
Tabla 8 Desplazamiento máximo del aislador más alejado del centro de masa.....	63
Tabla 9 Propiedades no lineales de aisladores .....	67
Tabla 10 Dimensiones y características finales de aisladores .....	67
Tabla 11 Verificación de condiciones de estabilidad de aisladores tipo .....	67
Tabla 12 Rotación máxima.....	68
Tabla 13 Propiedades efectivas con límite superior e inferior .....	72
Tabla 14 Propiedades efectivas verticales y horizontales con límite superior e inferior .....	72
Tabla 15 Propiedades no lineales .....	73
Tabla 16 Cargas máximas con límite superior e inferior.....	73
Tabla 17 Desplazamiento de masa con límite superior e inferior .....	73
Tabla 18 DTM con límite superior e inferior .....	73
Tabla 19 Propiedades efectivas con límite superior .....	74
Tabla 20 Propiedades efectivas con límite inferior .....	75
Tabla 21 Dimensiones finales de aisladores.....	76
Tabla 22 Datos para obtención de espectro de aceleraciones.....	87
Tabla 23 Relación cortante dinámico / cortante basal en sentido X e Y .....	91
Tabla 24 Derivas de entrepiso con Espectro en X.....	92
Tabla 25 Derivas de entrepiso con Espectro en Y.....	93
Tabla 26 Valores de deriva máximas, expresadas como fracción de la altura de piso.....	93
Tabla 27 $V_u < \phi V_n$ de alma .....	97
Tabla 28 Chequeo de elementos de borde y confinamiento de muro 1.....	103
Tabla 29 Diseño de elementos de borde especiales.....	104
Tabla 30 Diseño a corte de muro 1 .....	105
Tabla 31 Resumen de materiales .....	109
Tabla 32 Cortante de edificio con aisladores y muros en sentido x .....	123
Tabla 33 Cortante de edificio con aisladores y muros en sentido y .....	124
Tabla 34 Períodos de edificio con aisladores y muros estructurales .....	125
Tabla 35 Derivas de edificio con aisladores y muros en sentido x .....	125
Tabla 36 Derivas de edificio con aisladores y muros en sentido y .....	126
Tabla 37 Desplazamientos de edificio con aisladores y muros en sentido x.....	127
Tabla 38 Desplazamientos de edificio con aisladores y muros en sentido y.....	128
Tabla 39 Costo estructural de edificio con muros estructurales.....	130
Tabla 40 Costo estructural de edificio con aisladores sísmicos .....	130

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Funcionamiento de aisladores sísmicos .....	23
Figura 2 Aislador elastomérico.....	24
Figura 3 Impacto de las variaciones en $K_d$ y $Q_d$ en $F_{max}$ y $d_{max}$ .....	25
Figura 4 Multiplicadores de propiedades de límite superior e inferior .....	26
Figura 5 Histéresis de aislador elastomérico .....	27
Figura 6 Desplazamiento total máximo.....	29
Figura 7 Prototipo de aislador sísmico .....	32
Figura 8 Ajuste de corte basal .....	33
Figura 9 Configuración estructural recomendada .....	33
Figura 10 Clasificación de muros estructurales.....	34
Figura 11 Espesor mínimo de muro .....	35
Figura 12 Combinaciones de carga .....	36
Figura 13 Corte de diseño para muros estructurales.....	38
Figura 14 Factores de amplificación .....	38
Figura 15 Diseño por capacidad y amplificación dinámica .....	39
Figura 16 Factores de amplificación .....	40
Figura 17 Necesidad de elementos de borde .....	40
Figura 18 Largo de confinamiento .....	41
Figura 19 Estribos de confinamiento.....	41
Figura 20 Espaciamiento vertical máximo del refuerzo transversal en el borde del muro ..	42
Figura 21 Sección crítica de muros estructurales .....	42
Figura 22 Distribución de plantas de edificación del hospital de análisis.....	43
Figura 23 Mapa de zonificación sísmica .....	44
Figura 24 Espectro de diseño de aceleraciones para sismo de diseño con $T_r = 475$ años....	46
Figura 25 Espectro de aceleraciones para $MCE_R$ .....	46
Figura 26 Espectro de desplazamiento para diseño.....	47
Figura 27 Relación de amortiguamiento efectivo y factor $B_m$ .....	47
Figura 28 Espectro de desplazamientos reducido por factor $B_m$ en base a amortiguamiento objetivo $\xi=20\%$ .....	47
Figura 29 Espectro de aceleraciones para $MCE_R$ reducido por factor $B_m$ a partir de $T=2.8s$ .....	48
Figura 30 Hormigón de 35 MPA .....	49
Figura 31 Acero de refuerzo de 420 MPa .....	49
Figura 32 Definición de patrones de carga en ETABS .....	50
Figura 33 Definición de sismo máximo para diseño .....	50
Figura 34 Definición de viga .....	51
Figura 35 Definición de columna .....	51
Figura 36 Definición de losa de entrepiso .....	52
Figura 37 Definición de entramado de vigas y sistema de entrepiso Tipo 1 .....	52
Figura 38 Definición de entramado de vigas y sistema de entrepiso Tipo 2.....	53
Figura 39 Definición de entramado de vigas y sistema de entrepiso Tipo 3.....	53

Figura 40 Definición de columnas de estructura para pórticos de hormigón armado .....	54
Figura 41 Vista en planta 3D .....	54
Figura 42 Vista en elevación frontal 3D .....	55
Figura 43 Vista en 3D .....	55
Figura 44 Combinaciones de carga definidas en programa de cálculo .....	56
Figura 45 Definición de mass source en programa de cálculo .....	56
Figura 46 Diafragmas en programa de cálculo .....	56
Figura 47 Colocación de diafragmas de piso tipo .....	57
Figura 48 Definición de elemento tipo link para simulación de aisladores elastoméricos...	57
Figura 49 Definición de rigidez vertical .....	58
Figura 50 Definición de elemento tipo link con rigidez horizontal .....	58
Figura 51 Asignación de elemento tipo link a nivel de cimentación .....	58
Figura 52 Períodos estructurales resultado del análisis modal espectral .....	59
Figura 53 Primer modo de vibración, 1.128s .....	59
Figura 54 Segundo modo de vibración, 1.12s .....	60
Figura 55 Tercer modo de vibración, 1.05s .....	60
Figura 56 Distribución de aisladores en base a carga máxima .....	62
Figura 57 Distribución en planta de aisladores elastoméricos .....	64
Figura 58 Comprobación de la relación diámetro externo y altura del aislador .....	65
Figura 59 Propiedades efectivas calculadas para los diferentes aisladores .....	65
Figura 60 Propiedades efectivas calculadas para diferentes aisladores $K_{eff} = K_d$ .....	66
Figura 61 Cálculo de $f_y$ de curva de histéresis .....	66
Figura 62 Verificación de amortiguamiento total .....	66
Figura 63 Propiedades de primer aislador con núcleo de plomo .....	68
Figura 64 Primer modo de vibración de estructura con aisladores .....	69
Figura 65 Segundo modo de vibración de estructura con aisladores .....	69
Figura 66 Tercer modo de vibración de la estructura con aisladores .....	70
Figura 67 Modos de vibración de estructura aislada con propiedades efectivas .....	70
Figura 68 Desplazamiento DM en sentido X e Y .....	71
Figura 69 Factores de modificación límite superior e inferior .....	72
Figura 70 Desplazamiento máximo en sentido X para sismo SX .....	76
Figura 71 Desplazamiento máximo en sentido Y sismo SX .....	76
Figura 72 Desplazamiento máximo en X para sismo Sy .....	77
Figura 73 Desplazamiento máximo en Y para sismo Sy .....	77
Figura 74 Deriva máxima en X con sismo Sx .....	78
Figura 75 Deriva máxima en Y con sismo Sx .....	78
Figura 76 Deriva máxima en X con sismo Sy .....	79
Figura 77 Deriva máxima en Y con sismo Sy .....	79
Figura 78 Aceleraciones absolutas máximas en sentido X con sismo Sx .....	80
Figura 79 Aceleraciones absolutas máximas en sentido Y con sismo Sx .....	80
Figura 80 Aceleraciones absolutas máximas en sentido Y con sismo Sy .....	81
Figura 81 Área horizontal de muros de hormigón .....	82
Figura 82 Área vertical de muros de hormigón .....	83

Figura 83 Inercias agrietadas .....	84
Figura 84 Inercia para muros (Pisos: 1-3) (Pisos 4-8).....	84
Figura 85 Inercia para muros	
Figura 86 Primer modo de vibración, 0.336s .....	85
Figura 87 Segundo modo de vibración, 0.334s .....	85
Figura 88 Relación H/T .....	86
Figura 89 Espectro de aceleraciones .....	88
Figura 90 Coeficientes para patrones de carga en X e Y.....	88
Figura 91 Modificación de factor de escala Sx e Sy .....	89
Figura 92 Cortante dinámico Sx.....	89
Figura 93 Cortante basal Sx NEC .....	90
Figura 94 Cortante dinámico Sy.....	90
Figura 95 Cortante basal Sy NEC .....	91
Figura 96 Límites de deriva.....	92
Figura 97 Derivas de entrepiso Espectro en X .....	92
Figura 98 Derivas de entrepiso Espectro en Y .....	93
Figura 99 Desplazamiento máximo en X, 0.07m .....	94
Figura 100 Desplazamiento máximo en Y, 0.068m .....	94
Figura 101 Muro inferior izquierdo.....	95
Figura 102 Cortante último .....	95
Figura 103 Cortante último en muro .....	96
Figura 104 Resistencia nominal en cortante.....	96
Figura 105 Armadura de Muro 1 .....	98
Figura 106 Diseño a flexión de muro estructural .....	99
Figura 107 Diagrama de interacción de muro 1 con ángulo 0° .....	100
Figura 108 Diagrama de interacción de muro 1 P-M3 .....	100
Figura 109 Diagrama de interacción de muro 1 P-M2 .....	101
Figura 110 Muro 1 en SAP2000.....	102
Figura 111 Análisis seccional para compresión de muro a 0° .....	102
Figura 112 Factor de amplificación por capacidad .....	105
Figura 113 Vista en planta de muro 1 .....	106
Figura 114 Vista en planta de muro 2 .....	107
Figura 115 Vista en planta de muro 3 .....	108
Figura 116 Vista en planta de muro 4 .....	109
Figura 117 Hormigón confinado de elemento de borde especial muro 1.....	110
Figura 118 Hormigón confinado de alma en muro 1 .....	111
Figura 119 Propiedades no lineales de acero de refuerzo 420 MPa.....	111
Figura 120 Definición de muros tipo layered.....	112
Figura 121 Elemento de borde muro 1 .....	112
Figura 122 Alma muro 1 .....	113
Figura 123 Encuentro de muro 1 .....	113
Figura 124 Asignación de layers en muro izquierdo inferior.....	114
Figura 125 Muros con respectivos layers.....	114

Figura 126 Caso de gravedad 100% CM.....	115
Figura 127 Caso Push en dirección X .....	115
Figura 128 Caso Push en dirección Y .....	116
Figura 129 Curva de capacidad PUSH X.....	117
Figura 130 Curva de capacidad PUSH -X.....	117
Figura 131 Curva de capacidad PUSH Y.....	118
Figura 132 Curva de capacidad PUSH -Y.....	118
Figura 133 Shell forces.....	119
Figura 134 Fluencia del acero .....	120
Figura 135 Diagrama de momentos .....	120
Figura 136 Alargamiento máximo del acero a 1.5% (49cm) .....	121
Figura 137 Acortamiento máximo del concreto a 1.5% (49cm) .....	122
Figura 138 Cortante de edificio con aisladores y muros en sentido x.....	123
Figura 139 Cortante de edificio con aisladores y muros en sentido y.....	124
Figura 140 Derivas de edificio con aisladores y muros en sentido x .....	126
Figura 141 Derivas de edificio con aisladores y muros en sentido y .....	127
Figura 142 Desplazamientos de edificio con aisladores y muros en sentido x .....	128
Figura 143 Desplazamientos de edificio con aisladores y muros en sentido y .....	129

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Rigidez efectiva .....	26
Ecuación 2 Rigidez post-fluencia .....	26
Ecuación 3 Resistencia característica .....	26
Ecuación 4 Área reducida .....	27
Ecuación 5 Módulo de rotura .....	27
Ecuación 6 Rigidez inicial .....	27
Ecuación 7 Amortiguamiento efectivo .....	27
Ecuación 8 Energía disipada en un ciclo .....	27
Ecuación 9 Desplazamiento de fluencia .....	27
Ecuación 10 Relación Diámetro externo e interno .....	28
Ecuación 11 Relación Diámetro externo y altura de aislador .....	29
Ecuación 12 Carga de servicio .....	29
Ecuación 13 Carga máxima .....	29
Ecuación 14 Carga mínima .....	29
Ecuación 15 Capacidad de carga .....	30
Ecuación 16 Factor de forma .....	30
Ecuación 17 Deformación del elastómero sin giro .....	30
Ecuación 18 Deformación del elastómero con giro .....	30
Ecuación 19 Diseño a flexocompresión .....	36
Ecuación 20 Diseño a corte .....	37
Ecuación 21 Resistencia a corte .....	37
Ecuación 22 Cuantía horizontal .....	37
Ecuación 23 Capacidad a cortante .....	37
Ecuación 24 Cortante último .....	38
Ecuación 25 Amplificación total .....	39
Ecuación 26 Combinación para cargas de servicio .....	49
Ecuación 27 Combinación para cargas máximas sobre aisladores .....	49
Ecuación 28 Combinación para cargas mínimas sobre aisladores .....	49
Ecuación 29 Módulo de elasticidad .....	50
Ecuación 30 Rigidez efectiva horizontal en base al peso sísmico de la estructura .....	61
Ecuación 31 Rigidez efectiva vertical en base al peso sísmico de la estructura .....	61
Ecuación 32 Combinaciones para Desplazamiento Total Máximo (DTM) .....	63
Ecuación 33 Relación Diámetro externo e interno .....	65
Ecuación 34 Relación Diámetro externo con altura de aislador .....	65
Ecuación 35 Relación de períodos .....	67
Ecuación 36 Índice de densidad .....	83
Ecuación 37 Relación H/T en sentido X e Y .....	86
Ecuación 38 Acero transversal .....	97
Ecuación 39 Eje neutro de sección .....	103
Ecuación 40 C límite de sección .....	103
Ecuación 41 Longitud de confinamiento .....	103

Ecuación 42 Factor de sobrerresistencia.....	105
Ecuación 43 Amplificación total .....	105

## **CAPÍTULO 1 – GENERALIDADES**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

El Ecuador, al encontrarse en el cinturón de fuego del Pacífico, se lo caracteriza como un país con una alta amenaza sísmica, especialmente por la subducción de la placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana, lo que puede dar origen a sismos por subducción y además se pueden generar sismos superficiales por la presencia de fallas corticales en la cordillera de los Andes.

Debido a este alto peligro sísmico ecuatoriano es necesario realizar un diseño sismo-resistente en los sistemas estructurales, con la finalidad de evitar el colapso de las mismas. Este enfoque se debe realizar principalmente en edificaciones esenciales (hospitales, centros de salud, entre otros) en donde se podría considerar la implementación de sistemas duales o aisladores sísmicos para mantener operativa a la estructura después de un evento sísmico relevante.

A pesar de lo planteado, en el Ecuador aún se siguen realizando construcciones informales sin ningún criterio técnico, esto se debe en gran medida al desconocimiento de la población en cuanto a los riesgos que existen al originarse un evento sísmico. Ante este problema la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) busca reducir el riesgo sísmico a niveles que se consideren aceptables.

En el presente trabajo de titulación se realizará una comparación entre soluciones estructurales basadas en muros estructurales y aislamiento sísmico en una estructura esencial masiva (hospital), de 8 pisos de hormigón ubicado en la ciudad de Quito y asentado en un suelo tipo C.



## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo General**

- Comparar el comportamiento estructural de una edificación esencial con aisladores sísmicos en su base y con muros estructurales.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Comparar las respuestas en cuanto comportamiento sísmico de una estructura con muros estructurales.
- Diseñar la estructura con muros estructurales y aisladores sísmicos por medio del software informático ETABS.
- Identificar cuál de las dos propuestas responde de manera más efectiva y segura ante un evento sísmico.

## **1.3 ALCANCE**

En el presente trabajo de titulación se busca determinar que opción de diseño (aisladores sísmicos o muros estructurales) proporciona mejores resultados en un edificio esencial, ante la ocurrencia de un evento sísmico en la ciudad de Quito.

Realizar un análisis sísmico dinámico en ambos sistemas empleando un espectro de respuesta de aceleraciones para un suelo tipo C.

Proporcionar información con respecto a los dos tipos de diseño, enfocándose en los beneficios y problemas que se presentan al emplear cada sistema en la evaluación de un sistema estructural.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN

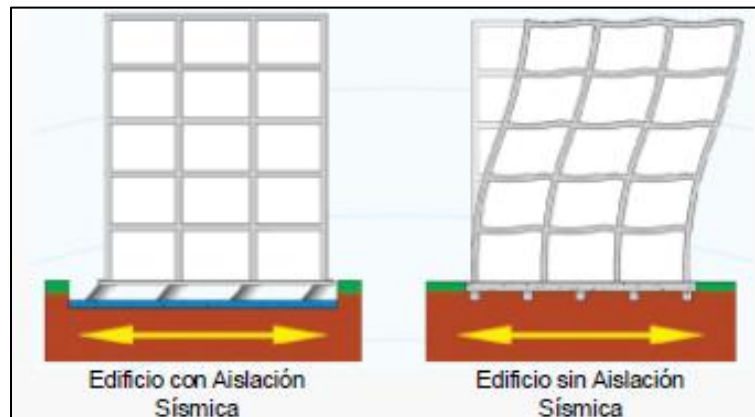
La motivación de este trabajo de titulación se debe a que, durante los últimos años, la incorporación de estructuras con aislación sísmica en la base del sistema, o la implementación de muros estructurales en el sistema aporticado se ha convertido en una necesidad en países con alta demanda sísmica, entre ellos se encuentra el Ecuador, en donde la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15, si bien acepta la implementación de muros estructurales en relación con lo establecido en la norma ACI 318-14 y ACI 318-19, carece de parámetros mínimos para el diseño de estructuras que se encuentren aisladas sísmicamente; siendo necesario el empleo los requisitos establecidos en la ASCE/SEI 7-16 y las Normas Chilenas para el diseño de estructuras con aislación sísmica, ya sean dispositivos elastoméricos o friccionantes.

Considerando la problemática que en cualquier momento se genere un evento sísmico en el país (por subducción o superficial), es necesario que los ingenieros estructurales implementen alguna de las dos propuestas, especialmente en edificaciones esenciales (Hospitales, centros de salud, instalaciones militares, entre otras) con la finalidad de que las mismas cumplan su objetivo de diseño (Operacional – Funcional) ante la ocurrencia de un sismo raro o muy raro, sin colapso bajo ninguna circunstancia.

## CAPÍTULO 2 – PRINCIPIOS DEL AISLADOR SÍSMICO

### 2.1 SISTEMAS DE AISLAMIENTO DE BASE

Este sistema consiste en emplear aisladores sísmicos, elementos flexibles que permiten aislar la estructura del suelo e incrementan el período del sistema estructural y el amortiguamiento de la estructura, por lo que es más factible emplear estos elementos en estructuras de baja altura con períodos más cortos, y así reducir el efecto generado en un evento sísmico. Para la construcción de edificios esenciales como hospitales y centros de salud, se tiene preferencia a emplear aisladores elastoméricos (LRB) en lugar de aisladores friccionantes.



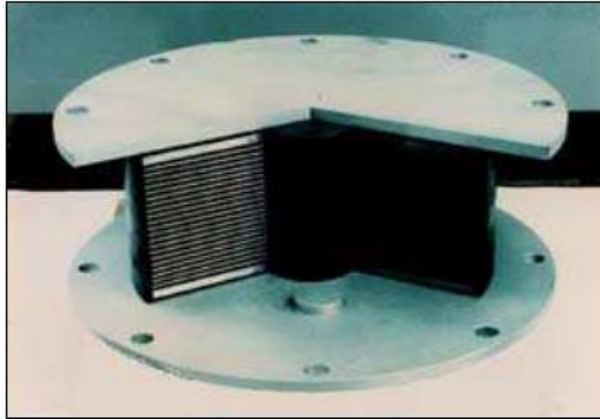
*Figura 1 Funcionamiento de aisladores sísmicos*

*Elaborado por: Saavedra Rodrigo, 2023*

### 2.2 AISLADORES ELASTOMÉRICOS

Los aisladores elastoméricos son apoyos que están compuestos por un conjunto de capas de acero (2-3mm) y gomas vulcanizadas (7-8mm), las mismas pueden contar o no de núcleos de plomo, los cuales proveen de rigidez y amortiguamiento al sistema. Estos elementos se encuentran provistos de un recubrimiento de 3/4" para la protección del ozono

y rayos UV; finalmente el aislador se encuentra unido a las placas de montaje por medio de pernos de anclaje.



*Figura 2 Aislador elastomérico*

*Elaborado por: Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, 2016*

Al incorporar los aisladores con núcleos de plomo se pueden alcanzar valores de amortiguamiento significativos (20% a 40%), mientras que al emplearse aisladores sin núcleo su amortiguamiento varía de 12 a 18%. (Chiriboga, 2013)

### **2.2.1 Ventajas y Desventajas de un aislador elastomérico**

Ventajas:

- Económicos y fáciles de fabricar.
- Muy usados en todo el mundo.
- Su comportamiento es sencillo de modelar en programas informáticos de diseño.
- La fuerza de activación es controlada por el diseñador.

Desventajas:

- Al calentarse durante el sismo se empiezan a degradar, es decir, su capacidad de disipar energía se reduce.
- El plomo se puede extruir entre las placas de goma y acero cuando se somete a muchos ciclos.
- Son sensibles al fuego

### 2.3 PARÁMETROS DE DISEÑO DE AISLADOR

Un aislador se encuentra caracterizado por dos propiedades nominales, una resistencia característica nominal ( $Q_d$ ) y una rigidez post-fluencia nominal ( $K_d$ ); la Norma ASSHTO (2010) establece los valores máximos y mínimos de resistencia nominal y rigidez post-fluencia, por lo que al diseñar un aislador sus propiedades deben estar dentro de estos límites, es decir, deben estar dentro de la envolvente. Para la determinación de estos límites se consideran los efectos de envejecimiento, temperatura, scragging, velocidad, contaminación y recorrido, respectivamente.

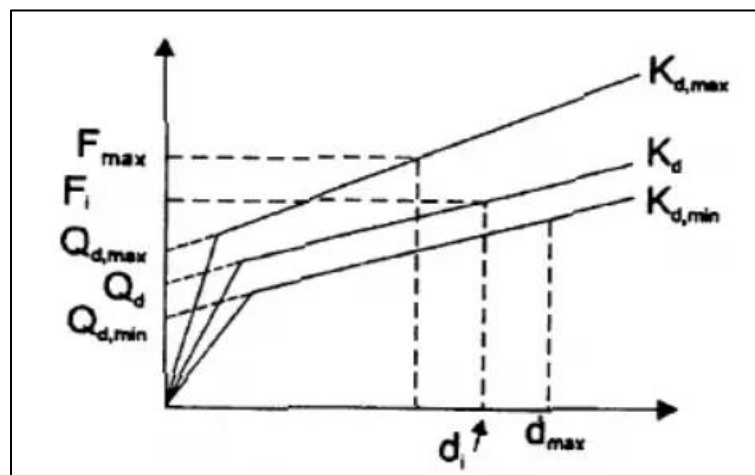


Figura 3 Impacto de las variaciones en  $K_d$  y  $Q_d$  en  $F_{max}$  y  $d_{max}$

Elaborado por: AASHTO, 2010

Para la obtención de estos límites, se pueden emplear multiplicadores de propiedades de diseño de límite superior e inferior en las tablas de fabricantes calificados.

Variable	Unlubricated PTFE, $\mu$	Lubricated PTFE, $\mu$	Rolling/ Sliding, K2	Plain Elastomers, K	Lead rubber bearing (LRB), K2	Lead rubber bearing (LRB), $Q_d$	High- Damping Rubber (HDR), $Q_d$	High- Damping Rubber (HDR), $K_d$
<b>Example: Aging and Environmental Factors</b>								
Aging, $\lambda_a$	1.10	1.50	1.00	1.10	1.10	1.00	1.20	1.20
Contamination, $\lambda_c$	1.10	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Example Upper Bound, $\lambda_{(ae, max)}$	1.21	1.65	1.00	1.10	1.10	1.00	1.20	1.20
Example Lower Bound, $\lambda_{(ae, min)}$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>Example: Testing Factors</b>								
All cyclic effects, Upper	1.20	1.30	1.00	1.03	1.03	1.30	1.50	1.30
All cyclic effects, Lower	0.95	0.95	1.00	0.98	0.98	0.95	0.95	0.95
Example Upper Bound, $\lambda_{(test, max)}$	1.20	1.30	1.00	1.03	1.03	1.30	1.50	1.30
Example Lower Bound, $\lambda_{(test, min)}$	0.95	0.95	1.00	0.98	0.98	0.95	0.95	0.95
$\lambda_{(PM, max)} = (1 + (0.75 * (\lambda_{(ae, max)} - 1))) * \lambda_{(test, max)}$	1.39	1.93	1.00	1.11	1.11	1.30	1.73	1.50
$\lambda_{(PM, min)} = (1 - (0.75 * (1 - \lambda_{(ae, min)}))) * \lambda_{(test, min)}$	0.95	0.95	1.00	0.98	0.98	0.95	0.95	0.95
Lambda factor for Spec. Tolerance, $\lambda_{(spec, max)}$	1.15	1.15	1.00	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Lambda factor for Spec. Tolerance, $\lambda_{(spec, min)}$	0.85	0.85	1.00	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Upper Bound Design Property Multiplier	1.60	2.22	1.00	1.27	1.27	1.50	1.98	1.72
Lower Bound Design Property Multiplier	0.81	0.81	1.00	0.83	0.83	0.81	0.81	0.81
Default Upper Bound Design Property Multiplier	1.6	2.25	1	1.3	1.3	1.5	2	1.7
Default Lower Bound Design Property Multiplier	0.8	0.8	1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

Note:  $\lambda_{PM}$  is the lambda value for testing and environmental effects.

Figura 4 Multiplicadores de propiedades de límite superior e inferior

Elaborado por: ASCE/SEI 7-16

### 2.3.1 Prediseño de aisladores LRB/RB

Un sistema de aislación sísmica con aisladores elastoméricos con o sin núcleo de plomo (LRB/RB) está caracterizado por dos parámetros: Resistencia característica ( $Q_d$ ) y la rigidez post-fluencia ( $K_d$ ). Por medio de un espectro y un análisis modal espectral se puede determinar un desplazamiento en el centro de masas del edificio ( $DM$ ). Una vez establecido el desplazamiento del sistema se obtienen las siguientes propiedades por medio de cálculo:

*Ecuación 1 Rigidez efectiva*

$$K_{effM} = K_d + Q_d/DM$$

*Ecuación 2 Rigidez post-fluencia*

$$K_d = Gr * Ar/hr$$

*Ecuación 3 Resistencia característica*

$$Q_d = A1 * 8MPa \text{ (En caso de que no exista núcleo de plomo } Q_d = 0)$$

$$\sigma_{\max} = 17 - 18 \text{MPa}$$

*Ecuación 4 Área reducida*

$$A_{red} > 0.5 * A_r$$

*Ecuación Relación Desplazamiento máximo y altura de aislador*

$$\frac{DM}{hr} = 1 - 1.5$$

*Ecuación 5 Módulo de rotura*

$$Gr = 0.4 - 0.7 \text{MPa}$$

*Ecuación 6 Rigidez inicial*

$$K_u = 10K_d$$

*Ecuación 7 Amortiguamiento efectivo*

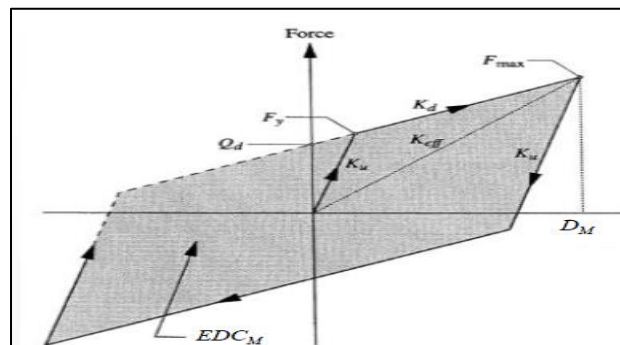
$$\beta M = EDC_m / (2\pi * K_{eff} * DM^2)$$

*Ecuación 8 Energía disipada en un ciclo*

$$EDC_m = 4Q_d * (DM - \Delta y)$$

*Ecuación 9 Desplazamiento de fluencia*

$$\Delta y = F_y / K_u$$



*Figura 5 Histéresis de aislador elastomérico*

*Elaborado por: Saavedra Rodrigo, 2023*

Se trata de un proceso iterativo que se debe realizar hasta que los elementos de aislación proporcionen resultados óptimos para su empleo en la base de la estructura.

**Donde:**

Qd: Resistencia característica.

Kd: Rigidez post-fluencia.

Ku: Rigidez inicial.

DM: Desplazamiento máximo.

Keffm: Rigidez efectiva.

Gr: módulo de corte del aislador.

Ar: Área externa de aislador.

hr: Altura de aislador.

Al: Área interna del núcleo de plomo.

$\sigma_{max}$ : Presión máxima de contacto en aisladores sísmicos.

Ared: Área reducida.

$\beta_m$ : Amortiguamiento efectivo.

EDCm: Energía disipada en un ciclo.

$\Delta y$ : Deformación de fluencia.

Fy: Fluencia de acero.

**Restricciones Geométricas:**

*Ecuación 10 Relación Diámetro externo e interno*

$$3.3 < \frac{De}{Di} < 6$$



*Ecuación 11 Relación Diámetro externo y altura de aislador*

$$\frac{De}{hr} > 3$$

**Donde:**

De: Diámetro externo.

Di: Diámetro interno.

**Combinaciones de carga ASCE 7-16:**

*Ecuación 12 Carga de servicio*

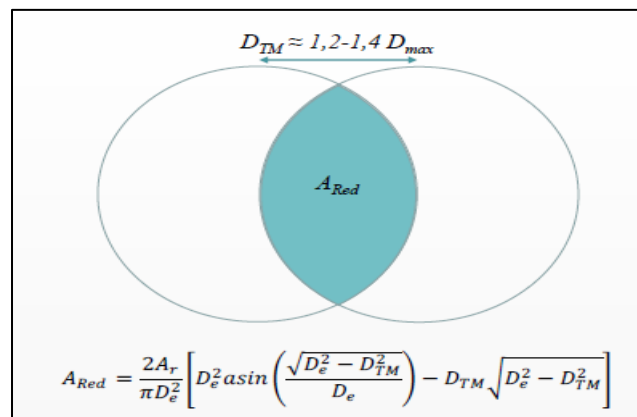
$$Po = D + 0.5 * L$$

*Ecuación 13 Carga máxima*

$$Pmax = (1.2 + 0.2 * SMS) * D + L + EM$$

*Ecuación 14 Carga mínima*

$$Pmin = (0.9 - 0.2 * SMS) * D - EM$$



*Figura 6 Desplazamiento total máximo*

*Elaborado por: Saavedra Rodrigo, 2023*

Una vez predimensionado el aislador elastomérico se requiere verificar la estabilidad del mismo. Para esto se realiza el chequeo de la capacidad de carga mediante la siguiente fórmula:

*Ecuación 15 Capacidad de carga*

$$P_{cr} = \frac{\pi * S * Gr * De * A_{red}}{\sqrt{8} * hr}$$

*Ecuación 16 Factor de forma*

$$S = \frac{De}{4 * tr}$$

**Donde:**

S: Primer factor de forma.

tr: espesor de lámina de caucho.

Los factores de seguridad para cargas estáticas y sísmicas no deben ser menores a 3 para la carga de servicio y 1 para la carga máxima respectivamente. Además de verificar la estabilidad se debe chequear la deformación del elastómero:

*Ecuación 17 Deformación del elastómero sin giro*

$$\frac{DTM}{hr} + \frac{Pr}{Gr * Ar * S} \leq \frac{0.85 * \epsilon u}{1.5}$$

*Ecuación 18 Deformación del elastómero con giro*

$$\frac{DTM}{hr} + \frac{Pr}{Gr * Ar * S} + \frac{0.375 * B^2 * \theta}{tr * hr} \leq \frac{0.85 * \epsilon u}{1.3}$$

**Donde:**

B: Diámetro externo sin recubrimiento.

$\theta$ : Rotación del aislador.

$\epsilon u$ : Elongación de rotura mínimo de diseño de la goma 600%.

Pr: Carga máxima.

## **2.4 EXPERIENCIA DE AISLADORES EN ECUADOR**

La aislación sísmica es un tema que ha ido ganando relevancia en el diseño de estructuras sismorresistentes en diferentes países de Latinoamérica, especialmente en Chile y México. Los resultados de estas edificaciones ante el origen de un evento sísmico han sido favorables en cuanto a niveles de seguridad para las personas y una óptima operabilidad de la estructura.

Actualmente en las universidades del Ecuador, los sistemas de aislación sísmica son un tema que casi no se brinda la debida atención, debido a la poca información y experiencia que se tiene de estructuras con aisladores sísmicos en el país.

En Ecuador no se cuenta con una línea de producción de sistemas de aislación, por lo que el diseño de estructuras con aisladores elastoméricos (LRB) puede verse afectado al desconocerse las características de estos elementos; para la construcción de edificaciones con sistemas de aislación es necesario realizar el pedido de estos elementos y sus propiedades a otros países como Chile, Estados Unidos, Japón, entre otros.

Sin embargo, los aisladores sísmicos han empezado a llamar la atención de los ingenieros civiles ecuatorianos, ya que en la Unidad de las Fuerzas Armadas-ESPE se han realizado estudios de diferentes prototipos para determinar su amortiguamiento, rigidez y módulos de corte de las gomas de caucho, con el fin de determinar el comportamiento que tendrían estos elementos en las edificaciones ante el origen de un evento sísmico. (Auchi, 2010)

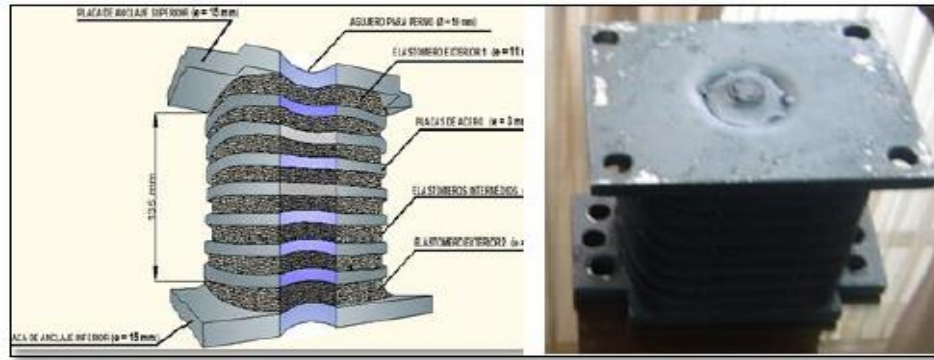


Figura 7 Prototipo de aislador sísmico

Elaborado por: Auqui Marco, 2010

## CAPÍTULO 3 – MUROS ESTRUCTURALES (SISTEMA DUAL)

### 3.1 SISTEMA DUAL

Un sistema dual se define como una estructura compuesta por muros estructurales y pórticos resistentes a momento, los cuales son diseñados para resistir las fuerzas laterales de un evento sísmico.

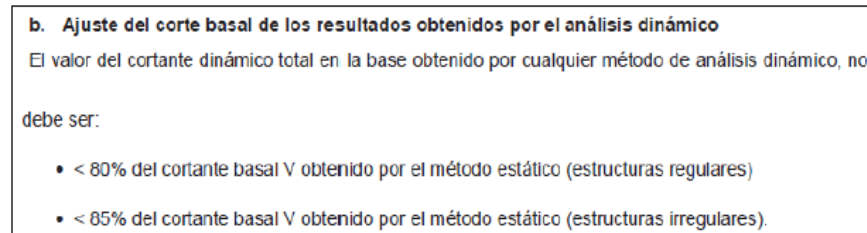
Los muros de corte son elementos que soportan cargas verticales como la de su peso propio, y absorben esfuerzos cortantes originados por cargas horizontales. (Ronald, 2013)

Estos elementos proporcionan rigidez a la estructura, además permite reducir las derivas de piso y la torsión del edificio, esto último lográndose al colocar los muros en sitios estratégicos dentro del sistema. El objetivo de un sistema dual es que los muros de corte sean capaces absorber el 75% del cortante basal y el 25% restante por los elementos estructurales (vigas y columnas). Para que un sistema dual trabaje óptimamente se deben cumplir las siguientes especificaciones:

- Muros estructurales deben estar adecuadamente dispuestos espacialmente (preferiblemente en la periferia del edificio).
- Lo más simétricamente ubicados en las dos direcciones principales.

- Mantener la longitud en todo lo alto de la estructura, siendo recomendable no disminuir el espesor del muro.

Según lo establecido en la NEC-SE-DS el valor de corte dinámico total en la base no debe ser menor al 80% del cortante basal obtenido por el método de cálculo elástico para estructuras regulares, y no menor al 85% para estructuras irregulares.



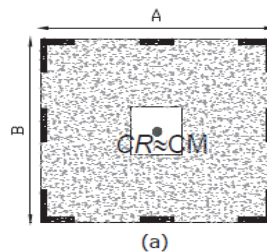
*Figura 8 Ajuste de corte basal*

*Elaborado por: NEC-SE-DS, 2015*

## 3.2 REQUISITOS DE MUROS ESTRUCTURALES

### 3.2.1 Ubicación y altura de muros estructurales

La ubicación de los muros estructurales depende de la geometría de la estructura, siendo lo recomendable que el centro de masas del edificio coincida con el centro de rigidez para evitar problemas de torsión, por lo que la ubicación de estos elementos debe ser lo más simétrico posible. Además, lo más favorable es colocar los muros en la periferia del sistema estructural.



*Figura 9 Configuración estructural recomendada*

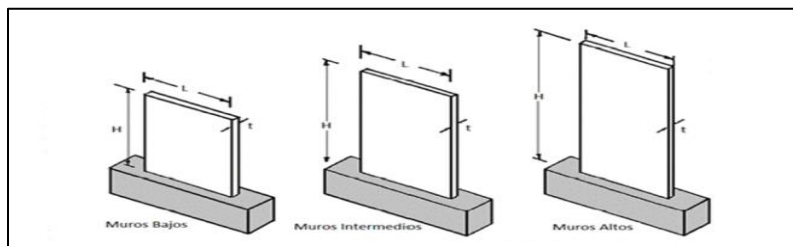
*Elaborado por: NEC-SE-DS, 2015*

Considerando que el Ecuador es un país con una alta demanda sísmica, es necesario que tanto arquitectos e ingenieros puedan llegar a un acuerdo con respecto a la localización más deseable de los muros estructurales, con el fin de optimizar la respuesta de la estructura ante un evento sísmico.

Debido a la concentración de fuerza lateral que se da en los muros estructurales, es necesario la construcción de una buena cimentación, además debe tener una buena rigidez y no rotar.

Los muros se clasifican de acuerdo a la relación entre la altura total ( $h$ ) con respecto a la longitud ( $l$ ), su clasificación es:

- Muros Altos  $H/L > 5$
- Muros Intermedios  $2 < H/L < 5$
- Muros Bajos  $H/L < 2$



*Figura 10 Clasificación de muros estructurales*

*Elaborado por: Cueva Ronal, 2013*

### 3.2.2 Espesores y refuerzo de Muros Estructurales

Según lo establecido en la Norma Ecuatoria de la Construcción (NEC) el espesor mínimo debe ser el menor de las siguientes opciones:

- $hw/20$
- 150mm

Mientras que el ACI-318-19 establece que el espesor mínimo debe cumplir con los especificado en la Tabla 11.3.1.1.

Tipo de muro	Espesor mínimo del muro, $h$		
De carga <sup>[1]</sup>	El mayor de:	100 mm	(a)
		1/25 de la menor entre la longitud y la altura no soportadas	(b)
		100 mm	(c)
No portante	El mayor de:	100 mm	(c)
		1/30 de la menor entre la longitud y la altura no soportadas	(d)
Exteriores de sótanos y cimentaciones <sup>[1]</sup>	190 mm		(e)

*Figura 11 Espesor mínimo de muro*

*Elaborado por: ACI-318-19*

La cuantía mínima que se debe colocar en los muros estructurales según la NEC tanto en eje longitudinal ( $\rho_v$ ) como transversal ( $\rho_t$ ) debe ser mayor o igual a 0.0025, sin embargo, el refuerzo final se obtiene mediante un cálculo minucioso. El refuerzo a colocarse en los muros debe ser adecuado para evitar la fisuración del concreto. Para muros con espesores mayores a 25cm es necesario colocar dos capas de acero.

El espaciamiento que debe existir entre el refuerzo no debe ser mayor al mínimo de las siguientes opciones:

- $l_w/5$
- $3h$  (espesor de muro)
- 45cm

Independientemente de lo anterior, en la práctica usualmente no se utilizan espaciamientos mayores a 25cm ni menores a 10cm.

Si no existe un adecuado espesor es posible que las varillas tiendan a pandearse ante el origen de un evento sísmico. Las diferentes fallas que se pueden generar en los muros pueden ser por:

- Flexión
- Tensión horizontal
- Falla en juntas de construcción
- Pandeo y deslizamiento

### 3.2.3 Diseño a flexocompresión y a corte

La norma NEC-SE-HM establece que para el diseño a flexocompresión de muros se debe cumplir:

*Ecuación 19 Diseño a flexocompresión*

$$Mu < \phi Mn \text{ (Diseño LRFD)}$$

Obteniéndose el valor  $Mu$  de las combinaciones de carga establecidas en la norma NEC-SE-CG. Mientras que  $\phi Mn$  se obtiene de NEC-SE-HM.

<u>Combinación 1</u>
1.4 D
<u>Combinación 2</u>
1.2 D + 1.6 L + 0.5 max[L <sub>r</sub> ; S ; R]
<u>Combinación 3*</u>
1.2 D + 1.6 max[L <sub>r</sub> ; S ; R] + max[L ; 0.5W]
<u>Combinación 4*</u>
1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 max[L <sub>r</sub> ; S ; R]
<u>Combinación 5*</u>
1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S
<u>Combinación 6</u>
0.9 D + 1.0 W
<u>Combinación 7</u>
0.9 D + 1.0 E

*Figura 12 Combinaciones de carga*

*Elaborado por: NEC-SE-CG*



El diseño a corte correspondiente a la Norma Ecuatoriana es similar al ACI318-19, en donde se debe cumplir con:

*Ecuación 20 Diseño a corte*

$$V_u < \phi V_n$$

Además de obtener  $V_u$  de la combinación de cargas establecido en la NEC-SE-CG, es necesario considerar el factor de reducción de resistencia, siendo  $\phi=0.75$  el factor a corte o  $\phi=0.6$  cuando no se diseña por capacidad, sin embargo, en edificios de gran altura es necesario diseñar por capacidad.

La resistencia a corte  $V_n$  se compone tanto de la resistencia del hormigón, como de la resistencia del acero.

*Ecuación 21 Resistencia a corte*

$$V_n = A_{cv} * (\alpha_c * \sqrt{f'_c} + \rho_n * F_y)$$

$\alpha_c = 0.17$  para muros esbeltos ( $h_w/l_w > 2$ );  $0.25$  para muros chatos; interpolación lineal para valores intermedios.

La cuantía horizontal requerida se obtiene con:

*Ecuación 22 Cuantía horizontal*

$$\rho_t = \frac{\frac{V_u}{\phi} - A_{cv} * \alpha_c * \sqrt{f'_c}}{f_y}$$

La capacidad en cortante de muros estructurales no puede exceder:

*Ecuación 23 Capacidad a cortante*

$$\frac{2 * A_{cv} * \sqrt{f'_c}}{3}$$

$$\frac{5 * A_{cv} * \sqrt{f'_c}}{6}$$

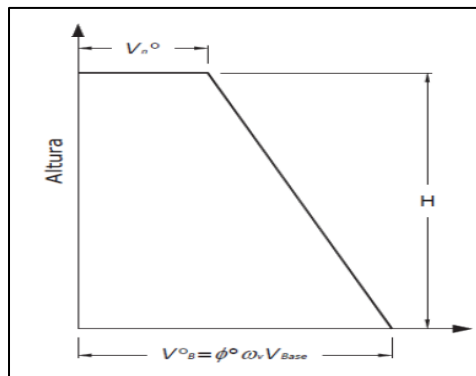
El corte del conjunto está limitado a:

*Ecuación 24 Cortante último*

$$Vu = \phi * 0.66 * Acw * \sqrt{f'c}$$

### 3.2.3 Diseño por capacidad y amplificación dinámica

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC exige el diseño por capacidad y amplificación dinámica.



*Figura 13 Corte de diseño para muros estructurales*

*Elaborado por: NEC-SE-HM, 2015*

Es necesario considerar la posibilidad de fluencia en componentes de muros estructurales, en casos donde el cortante real actuante pueda llegar a ser mayor al cortante indicado por el análisis estructural basado en las cargas últimas de diseño.

La norma tiene dos factores de amplificación: El factor de amplificación dinámica de corte ( $\omega_v$ ) y el factor de sobrerresistencia ( $\phi^\circ$ ).

$$\omega_v = 1 + \frac{\mu}{\rho^\circ} C_{2,T}$$

Dónde:

- $\omega_v$  Factor de amplificación dinámica de corte
- $T_1$  Período fundamental de la estructura
- $C_{2,T} = 0.067 + 0.4(T_1 - 0.5) \leq 1.15$

*Figura 14 Factores de amplificación*

*Elaborado por: NEC-SE-HM, 2015*

## Diseño por capacidad y amplificación dinámica

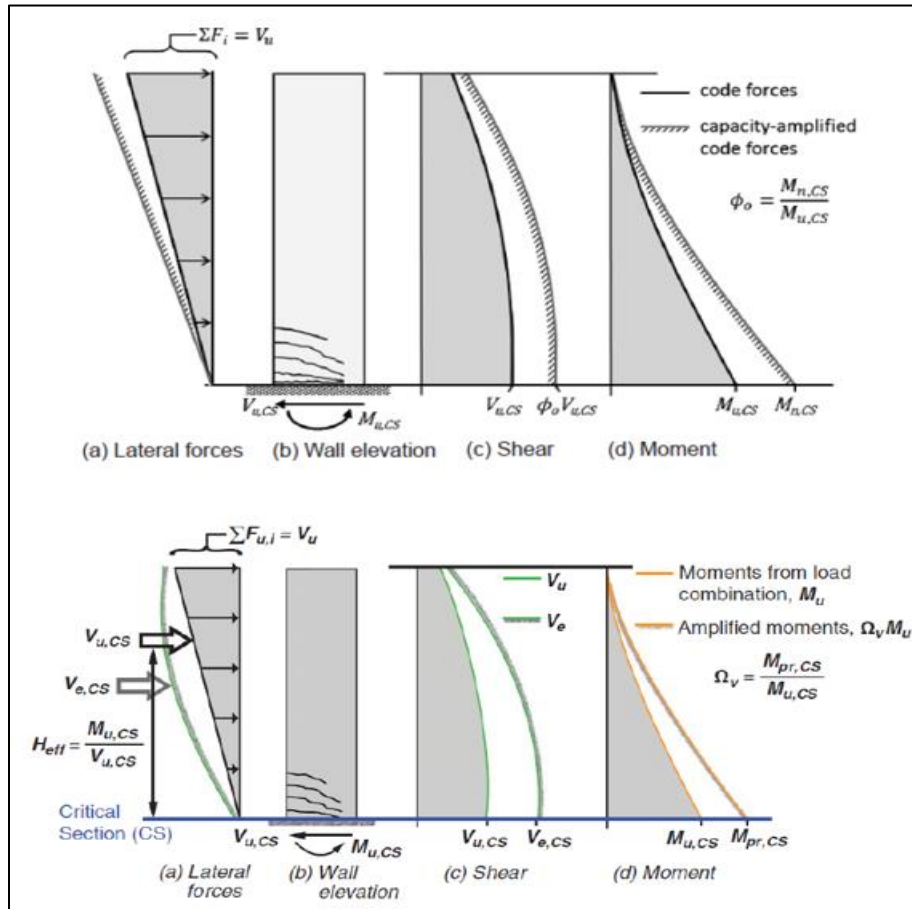


Figura 15 Diseño por capacidad y amplificación dinámica

Elaborado por: ACI 318-19

El ACI318-19 incorpora tanto el diseño por capacidad como amplificación dinámica, además de exigir que la amplificación máxima sea de 3 y dependa del número de pisos.

Ecuación 25 Amplificación total

$$V_e = \Omega_v * \omega_v * V_n \leq 3 * V_u$$

**Tabla 18.10.3.1.2 — Factor de sobrerresistencia  $\Omega_v$  en la sección crítica**

Condición	$\Omega_v$	
$h_{wcs}/\ell_w > 1.5$	El mayor entre	$M_{pr}/M_u$ <sup>[1]</sup>
		1.5 <sup>[2]</sup>
$h_{wcs}/\ell_w \leq 1.5$	1.0	

<sup>[1]</sup> Para las combinaciones de carga que produzcan el mayor valor de  $\Omega_v$ .

<sup>[2]</sup> A menos que un análisis más detallado demuestre un valor menor, pero no menor que 1.0.

**18.10.3.1.3** Para muros con  $h_{wcs}/\ell_w < 2.0$ ,  $\omega_v$  debe tomarse como 1.0. En los otros casos debe calcularse como:

$$\omega_v = 0.9 + \frac{n_s}{10} \quad n_s \leq 6$$

$$\omega_v = 1.3 + \frac{n_s}{30} \leq 1.8 \quad n_s > 6$$

(18.10.3.1.3)

Donde  $n_s$  no debe tomarse menor que la cantidad  $0.007h_{wcs}$ .

Figura 16 Factores de amplificación

Elaborado por: ACI 318-19

### 3.2.4 Confinamiento y sección crítica

Se debe obtener el eje neutro “c” para verificar la resistencia nominal a flexión ( $\epsilon_c=0.003$ ); cuando c límite es mayor a c es necesario confinar el muro estructural.

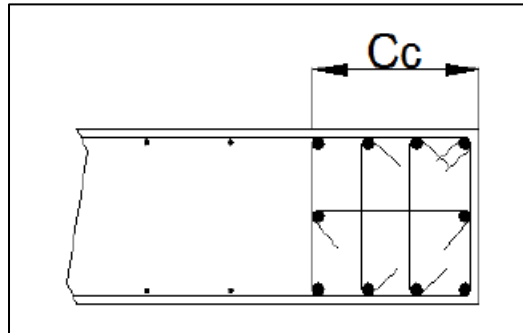
$c \geq \frac{l_w}{600(\delta_u/h_w)}$	
Dónde:	
c	Distancia de la fibra extrema en compresión al eje neutro, calculada para la carga axial factorizada y el momento nominal, consistentes con el desplazamiento de diseño $\delta_u$ resultando en la mayor profundidad del eje neutro.
$l_w$	Longitud del muro o del segmento de muro considerado en la dirección de la fuerza cortante.
$\delta_u$	Desplazamiento de diseño.
$h_w$	Altura del muro o del segmento de muro considerado.
<i>Se deberá tener:</i>	
$\delta_u/h_w \geq 0.007$	

Figura 17 Necesidad de elementos de borde

Elaborado por: NEC-SE-HM

En caso de requerirse elementos de borde se debe cumplir los siguientes requisitos:

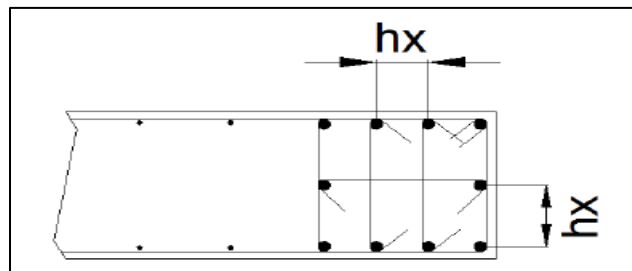
El elemento de borde se debe extender desde la fibra extrema en compresión a una distancia mayor que  $c-0.1*L$  y que  $c/2$ .



*Figura 18 Largo de confinamiento*

*Elaborado por: Rojas José, 2012*

El espaciamiento de ganchos con estribos de confinamiento rectilíneos,  $h_x$ , dentro de una sección del elemento no debe exceder de 350mm de centro a centro. Otro criterio acepta que la distancia no debe exceder entre 200mm y la mitad del espesor del elemento de borde.



*Figura 19 Estribos de confinamiento*

*Elaborado por: Rojas José, 2012*

Para la separación máxima de refuerzo transversal se considera la establecido en la tabla 18.10.6.5(b).

Grado de resistencia de las barras de refuerzo principal a flexión (MPa)	Refuerzo transversal requerido	Espaciamiento vertical del refuerzo transversal <sup>[1]</sup>	
420	Dentro del mayor de $\ell_w$ y $M_u/4V_u$ por encima y por debajo de las secciones críticas <sup>[2]</sup>	Menor de	$6d_b$
	150 mm		
550	Otras localizaciones	Menor de	$8d_b$
	200 mm		
690	Dentro del mayor de $\ell_w$ y $M_u/4V_u$ por encima y por debajo de las secciones críticas <sup>[2]</sup>	Menor de	$5d_b$
	150 mm		
690	Otras localizaciones	Menor de	$6d_b$
	150 mm		
690	Dentro del mayor de $\ell_w$ y $M_u/4V_u$ por encima y por debajo de las secciones críticas <sup>[2]</sup>	Menor de	$4d_b$
	150 mm		
690	Otras localizaciones	Menor de	$6d_b$
	150 mm		

Figura 20 Espaciamiento vertical máximo del refuerzo transversal en el borde del muro

Elaborado por: ACI 318-19

#### Sección Crítica

La sección crítica depende del diseñador, el muro fluirá donde su sobrerresistencia a flexión ( $M_n/M_u$ ) sea menor. Por medio de softwares informáticos se puede identificar la zona en donde puede formarse una rótula, generalmente es más probable que la rótula se forme en la base del muro estructural.

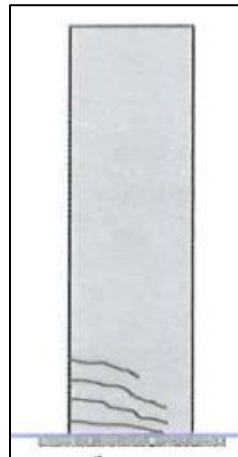


Figura 21 Sección crítica de muros estructurales

Elaborado por: ACI 318-19

## CAPÍTULO 4 – DISEÑO DE EDIFICIO CON AISLADORES SÍSMICOS

### 4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE ESTRUCTURA

La estructura a diseñarse es un hospital masivo de hormigón armado con 8 pisos sin sótanos, contando con una altura de 4.5m en el primer piso y 4m los pisos restantes. Todos los vanos tienen una longitud de 8.5m entre ejes, siendo en el sentido X un total de 10 pórticos resistentes a momentos, mientras que en el sentido Y tiene 8.

La edificación se encuentra constituida de columnas de 90x90cm, vigas de 70x90cm y losas macizas de 18cm de espesor. La resistencia a la compresión del hormigón es de  $f'c=35\text{MPa}$ , mientras que el límite de fluencia del acero de refuerzo es de  $f_y=420\text{MPa}$ . La geometría inicial de las plantas del hospital se muestra en la siguiente ilustración:

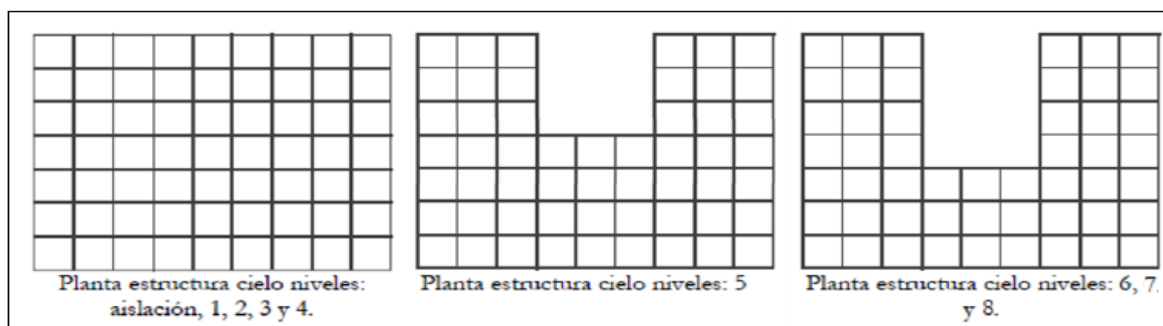


Figura 22 Distribución de plantas de edificación del hospital de análisis

Elaborado por: César Silva, 2023

#### 4.1.1 Carga viva

Para la carga viva se ha especificado un  $Wl = 500 \text{ kgf/m}^2$  en todos los pisos.

#### 4.1.2 Carga muerta

Se considera en todos los pisos de la estructura una carga muerta de  $Wd = 250 \text{ kgf/m}^2$ , junto con el peso propio de los elementos estructurales, el peso específico del hormigón es  $\rho_c = 2400 \text{ kgf/m}^3$ .

## 4.2 ZONIFICACIÓN SISMICA Y TIPO DE SUELO

El hospital se encuentra ubicado en la ciudad de Quito, es decir que tiene un factor de aceleración en roca de  $Z = 0.4$ , considerándolo como una zona de alto peligro sísmico (V) según la Norma NEC-15.

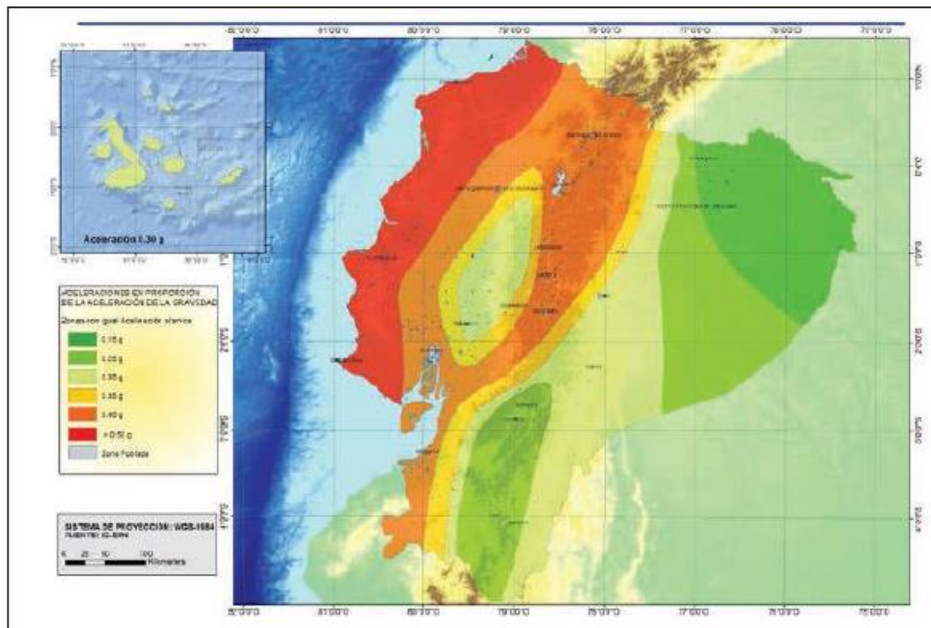


Figura 23 Mapa de zonificación sísmica

Elaborado por: Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015

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

Tabla 1 Valores de factor Z en función de la zonificación del sitio de implantación

Elaborado por: Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015

Para el diseño de la estructura se considera que la misma se encuentra asentada en un suelo tipo C, es decir, en suelos muy densos o de roca blanda.



Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500$ m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760$ m/s $> V_s > 360$ m/s

Tabla 2 Clasificación de los perfiles de suelo

Elaborado por: Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015

La demanda sísmica se obtendrá al definir el sismo de diseño con un  $T_r=475$  años en base a los parámetros establecidos en la NEC, los cuales fueron:

Datos NEC-15	
<a href="#">NEC-SE-DS-Peligro-Sísmico-parte-1-fusionado.pdf</a>	
Zona Sísmica	V
Factor Z	0.4
Peligro Sísmico	Alta
Tipo de Suelo	C
Región	Sierra
r	1
n	2.48
fa	1.2
fd	1.11
fs	1.11
Tipo de Edificio	Edificaciones esenciales
I	1.5
$\emptyset_p$ (Factor de penalización en planta)	1
$\emptyset_e$ (Factor de penalización en elevación)	1
R (Factor de reducción)	1

Tabla 3 Datos para obtención de espectro de aceleraciones

Elaborado por: César Silva, 2023

Para el diseño del sistema de aislación es necesario la obtención del sismo máximo esperado  $MCE_R$ . Ya que la norma NEC-15 no define esta demanda sísmica, se procede a

multiplicar por un factor de 1.5 correspondiente a la relación aproximada entre ambos espectros (ASCE 7-16) previo a aplicar un amortiguamiento.

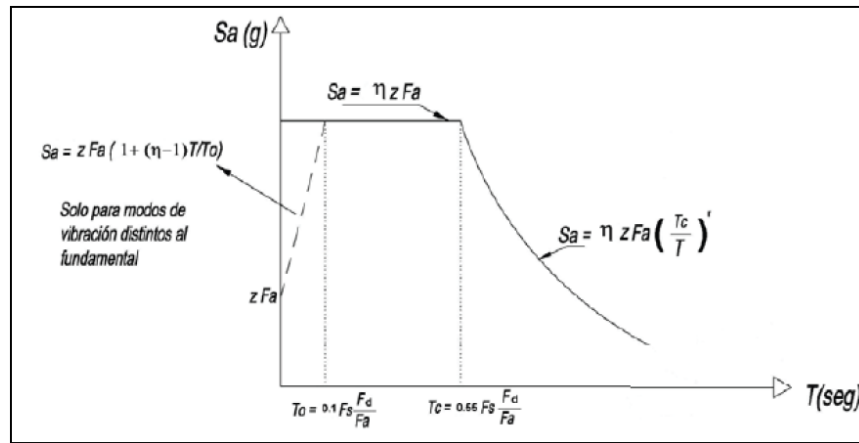


Figura 24 Espectro de diseño de aceleraciones para sismo de diseño con  $T_r = 475$  años

Elaborado por: Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015

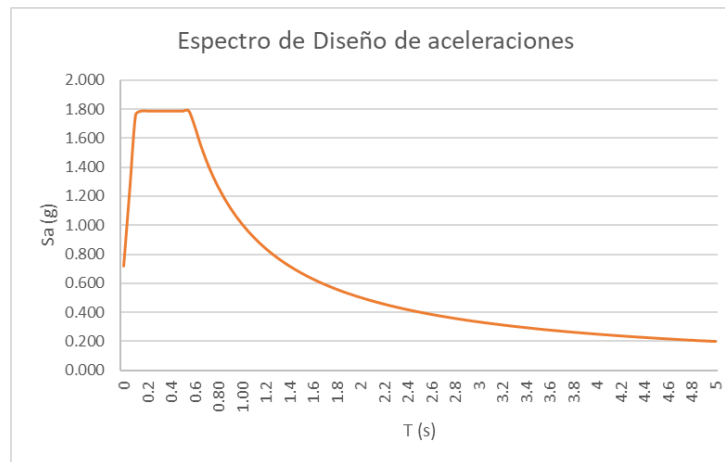


Figura 25 Espectro de aceleraciones para  $MCE_R$

Elaborado por: César Silva, 2023

Para definir el espectro amortiguado es necesario obtener un espectro de desplazamiento, el cual se encuentra establecido en la norma NEC-15.

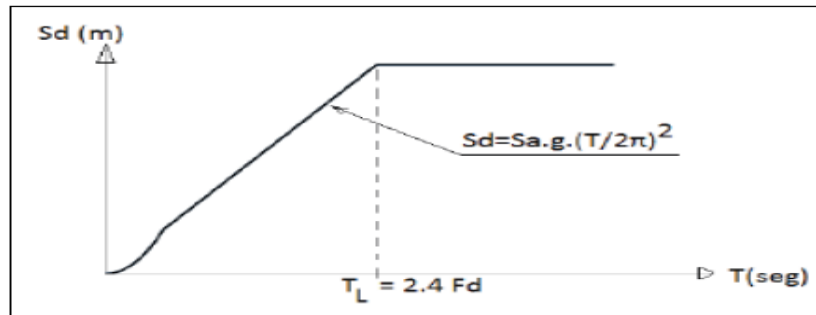


Figura 26 Espectro de desplazamiento para diseño

Elaborado por: NEC-SE-DS, 2015

#### 4.2.1 Nivel de amortiguamiento objetivo

Para el sistema de aislación se establece un nivel de amortiguamiento del 20%, por ende, el factor de reducción  $B_M$  es 1.5, valor que será empleado para reducir el espectro de desplazamientos a partir de los períodos largos, partiendo desde los 2.8s.

Effective Damping, $\beta_{eff}$ (percentage of critical) <sup>A-D</sup>	$B_M$ Factor
≤2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
≥50	2.0

Figura 27 Relación de amortiguamiento efectivo y factor  $B_M$

Elaborado por: Norma Syed, 2011

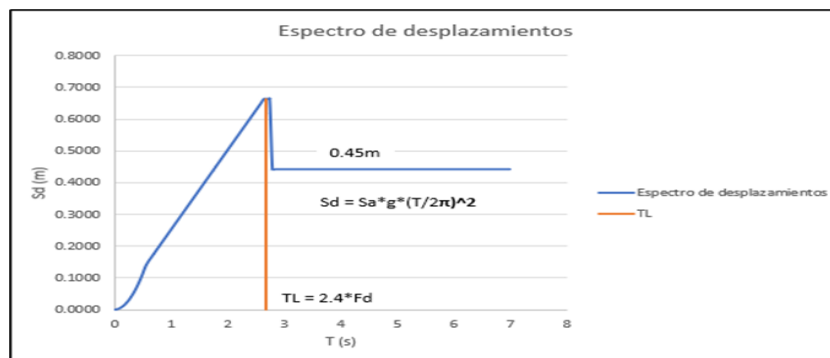


Figura 28 Espectro de desplazamientos reducido por factor  $B_M$  en base a amortiguamiento objetivo  $\zeta=20\%$

Elaborado por: César Silva, 2023

Para el sistema de aislación se estima un período objetivo de  $T_{obj}=4s$  como input en el espectro de desplazamientos, para el cual se espera que la estructura tenga un desplazamiento de 45cm. Obtenido el espectro de desplazamientos reducido se obtiene el espectro de aceleraciones a emplearse en el diseño del sistema de aislación.

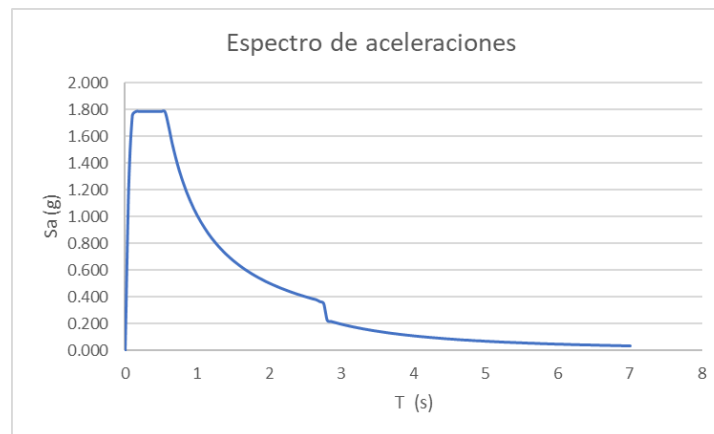


Figura 29 Espectro de aceleraciones para  $MCE_R$  reducido por factor  $B_m$  a partir de  $T=2.8s$

Elaborado por: César Silva, 2023

### 4.3 MODELO MATEMÁTICO

Anticipando los comportamientos estructurales no deseados como la presencia de tensiones en los aisladores, se ha propuesto emplear un peso adicional en la losa del primer piso, usualmente se suele emplear arena o un tipo de escoria para evitar la tracción del sistema de aislación, en este trabajo se considera emplear barita o baritina que es un sulfato con una densidad de  $4.5g/cm^3$ , para respetar la estética arquitectónica del hospital se opta por emplear baritina hasta una altura de 1.10m, lo que aporta una masa equivalente a  $5\text{ Ton}/m^2$ , generado que los aisladores se encuentren en compresión incluso ante el origen de un evento sísmico.

#### 4.3.1 Combinaciones de carga

Debido a que la norma NEC no dispone de lineamientos referentes al diseño de sistemas de aislación, las combinaciones de carga empleados en el análisis modal espectral

son obtenidos de la Norma de Chile Nch2745 (C.10.2.4), donde se especifican las combinaciones de carga máxima para el prediseño y cargas mínimas para la verificación de tracciones de los aisladores.

*Ecuación 26 Combinación para cargas de servicio*

$$P_o = D + 0.5L$$

*Ecuación 27 Combinación para cargas máximas sobre aisladores*

$$P_{Max} = (1.2 + 0.2S_{ms})D + L + EM$$

*Ecuación 28 Combinación para cargas mínimas sobre aisladores*

$$P_{min} = 0.8D - EM$$

## 4.4 HOSPITAL SIN AISLACIÓN SÍSMICA (MODELO BASE)

### 4.4.1 Definición de materiales

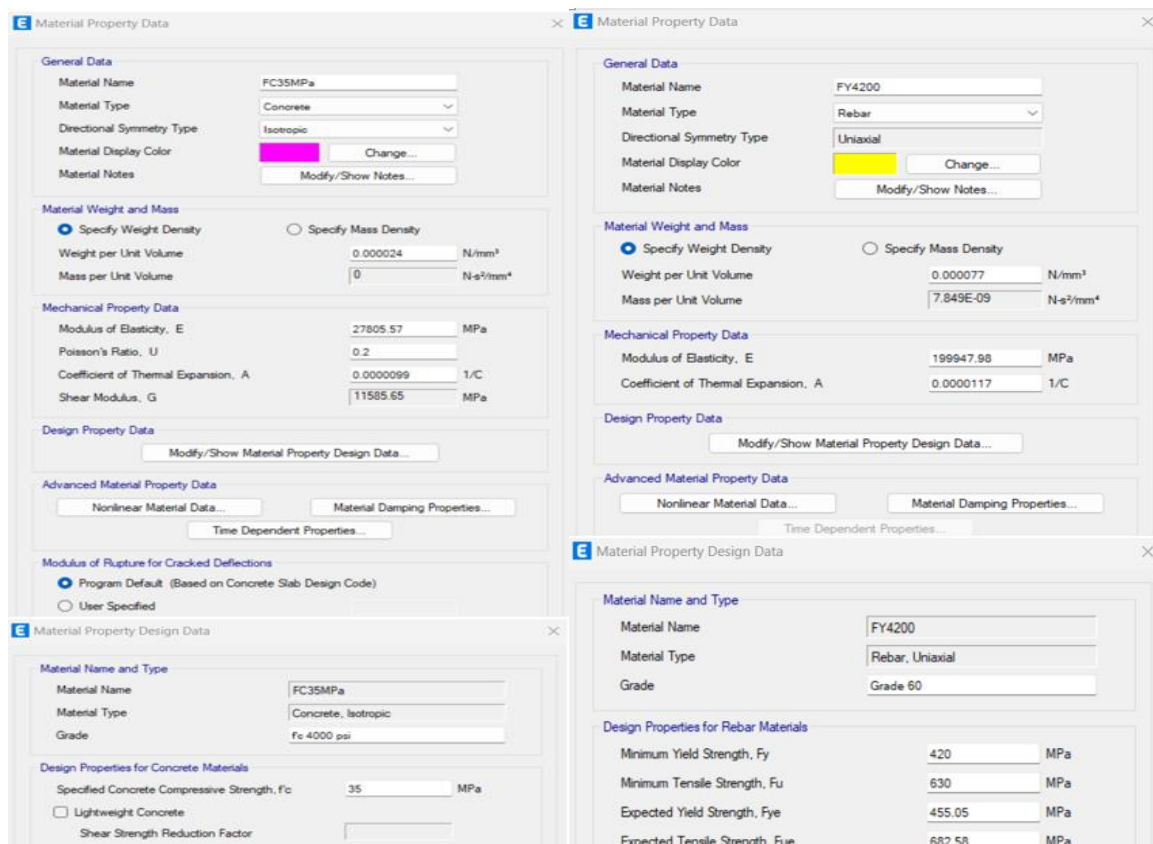


Figura 30 Hormigón de 35 MPA

Figura 31 Acero de refuerzo de 420 MPA

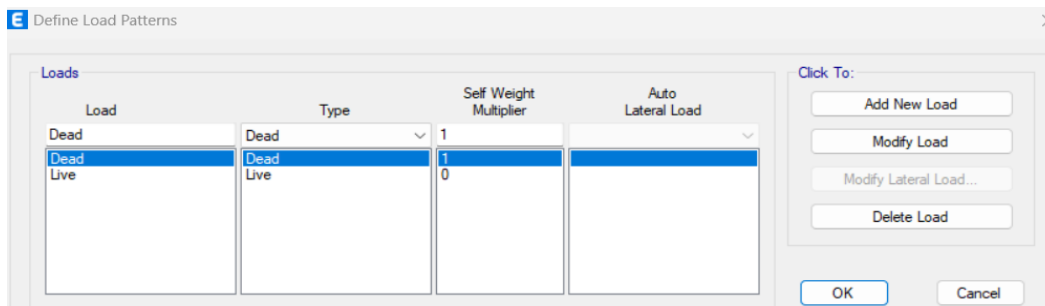
El módulo de elasticidad de hormigón es dado por la ecuación de la NEC-SE-HS.

*Ecuación 29 Módulo de elasticidad*

$$E_c = 4700\sqrt{f'c}$$

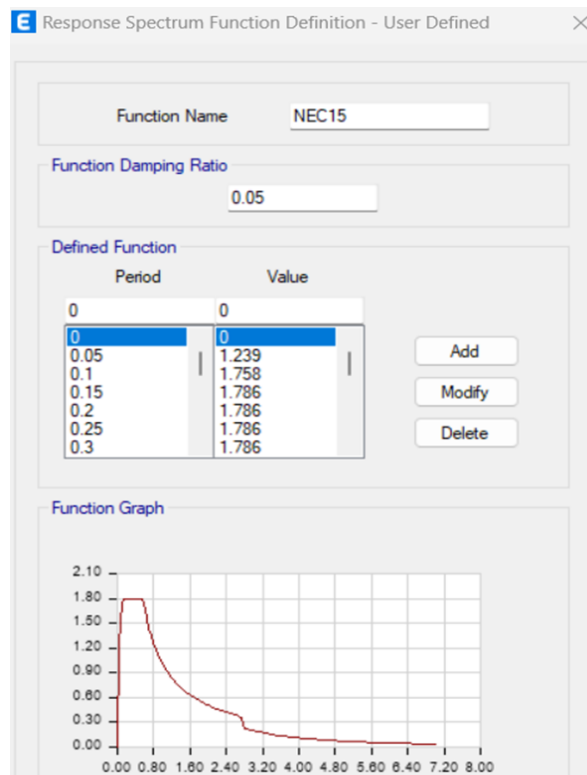
$$E_c = 4700\sqrt{35MPa} = 27805.58 MPa$$

#### 4.4.2 Definición de patrones de carga y sismo máximo de diseño



*Figura 32 Definición de patrones de carga en ETABS*

*Elaborado por: César Silva, 2023*



*Figura 33 Definición de sismo máximo para diseño*

*Elaborado por: César Silva, 2023*

### 4.4.3 Definición de elementos estructurales

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: VIGA70X90

Material: FC35MPa

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: █ Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 0.9 m

Width: 0.7 m

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...  
Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK

Cancel

Show Section Properties...

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: COL90X90

Material: FC35MPa

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: █ Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 0.9 m

Width: 0.9 m

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...  
Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK

Cancel

Show Section Properties...

Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.5
Moment of Inertia about 3 axis	0.5
Mass	1
Weight	1

Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.8
Moment of Inertia about 3 axis	0.8
Mass	1
Weight	1

Figura 34 Definición de viga

Figura 35 Definición de columna

Elaborado por: César Silva, 2023

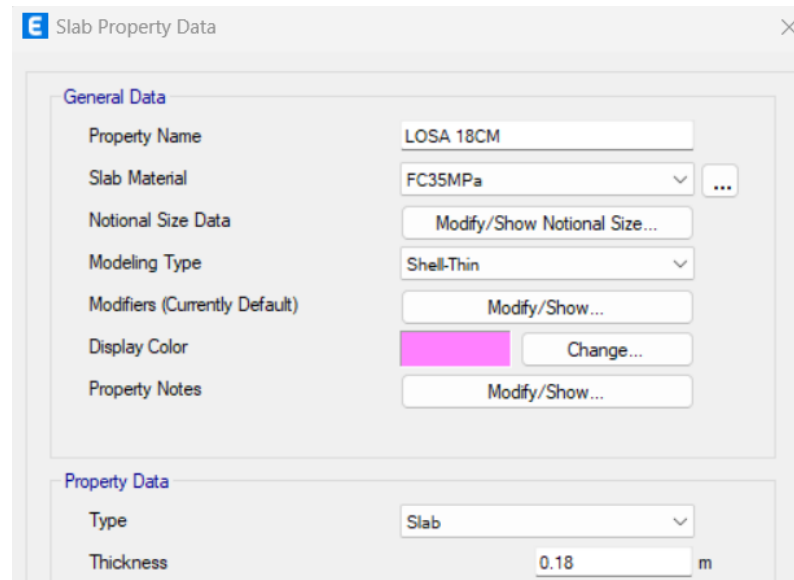


Figura 36 Definición de losa de entrepiso

Elaborado por: César Silva, 2023

#### 4.4.4 Estructuración

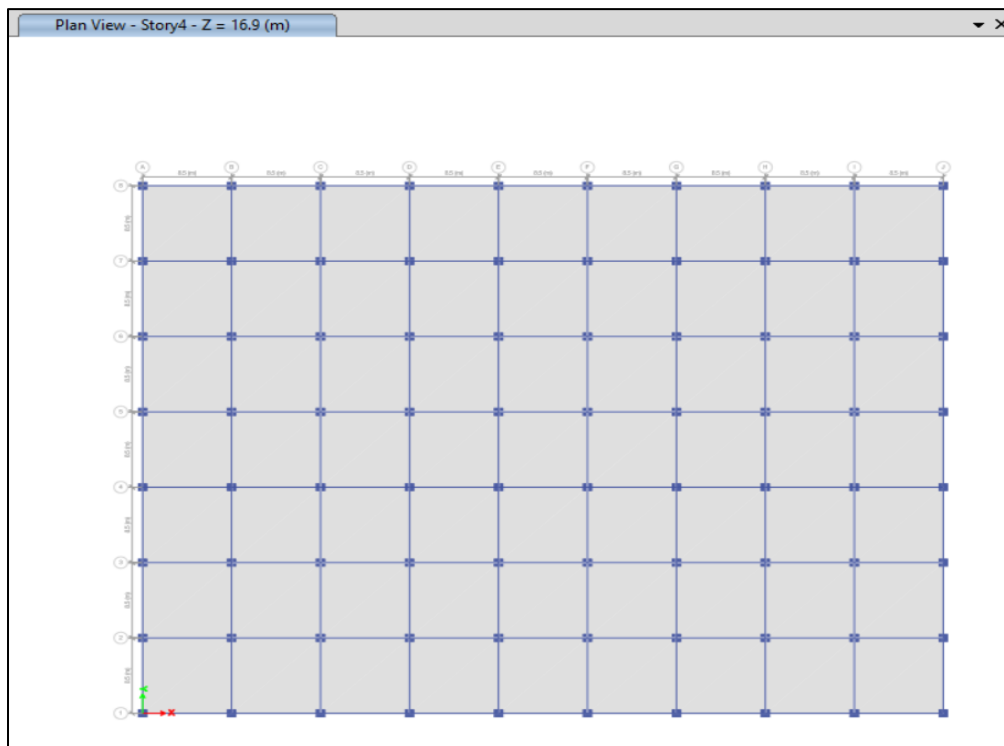


Figura 37 Definición de entramado de vigas y sistema de entrepiso Tipo 1

Elaborado por: César Silva, 2023



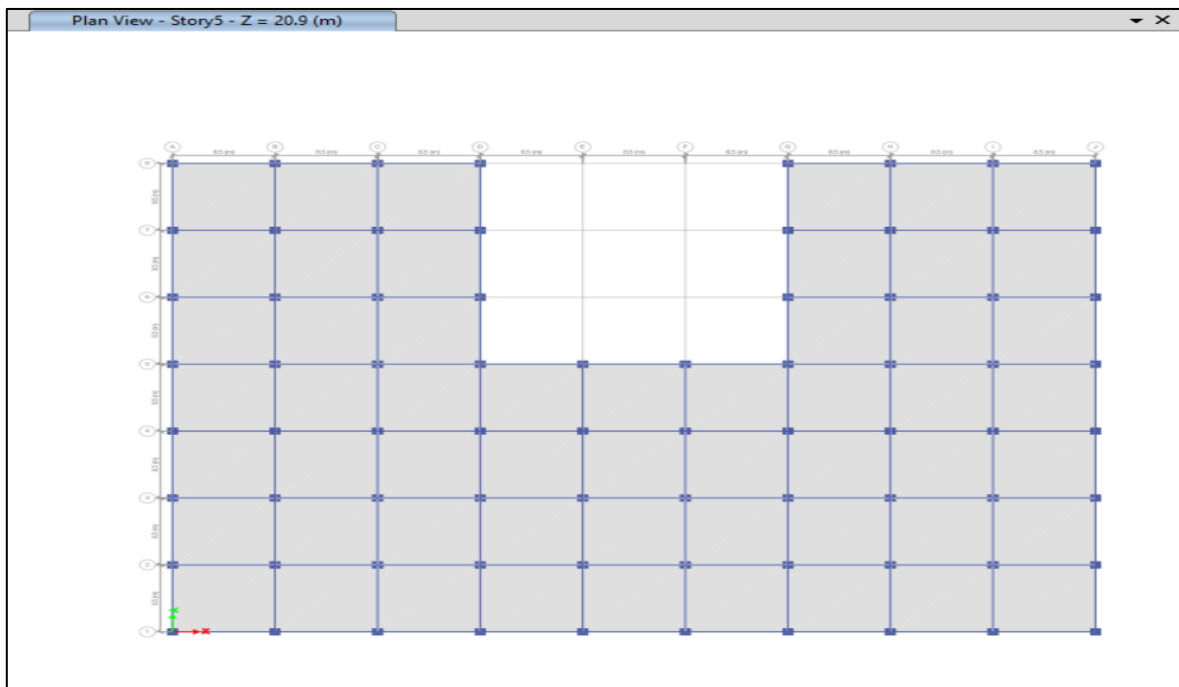


Figura 38 Definición de entramado de vigas y sistema de entrepiso Tipo 2

Elaborado por: César Silva, 2023

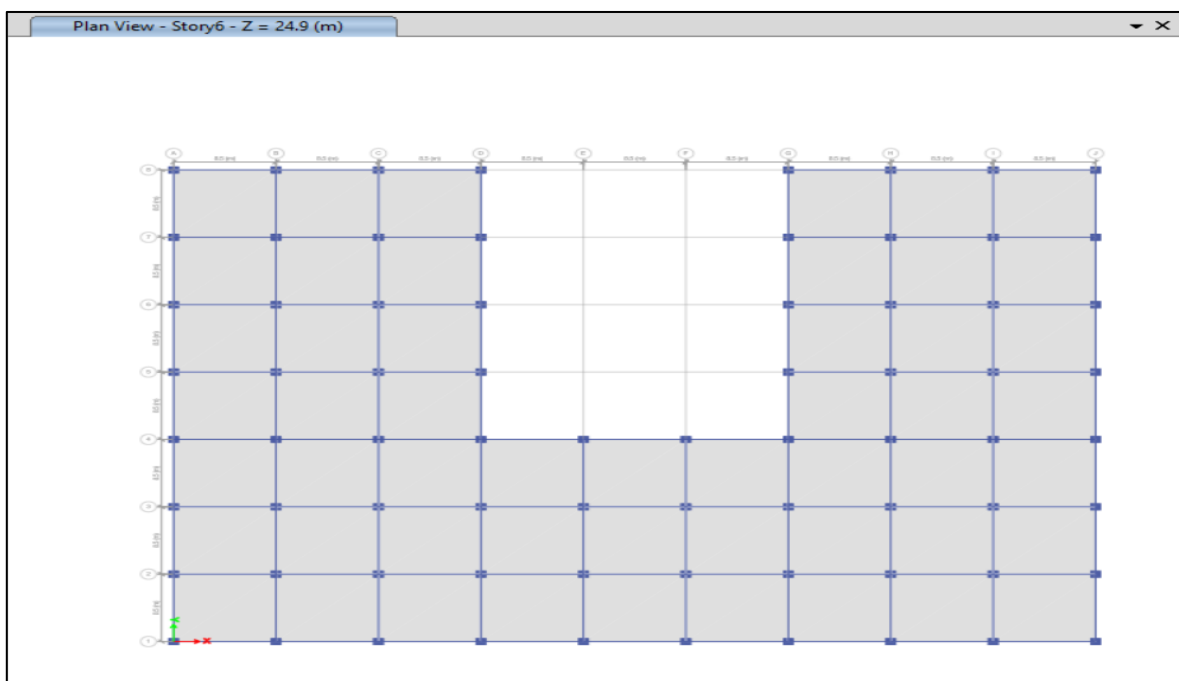
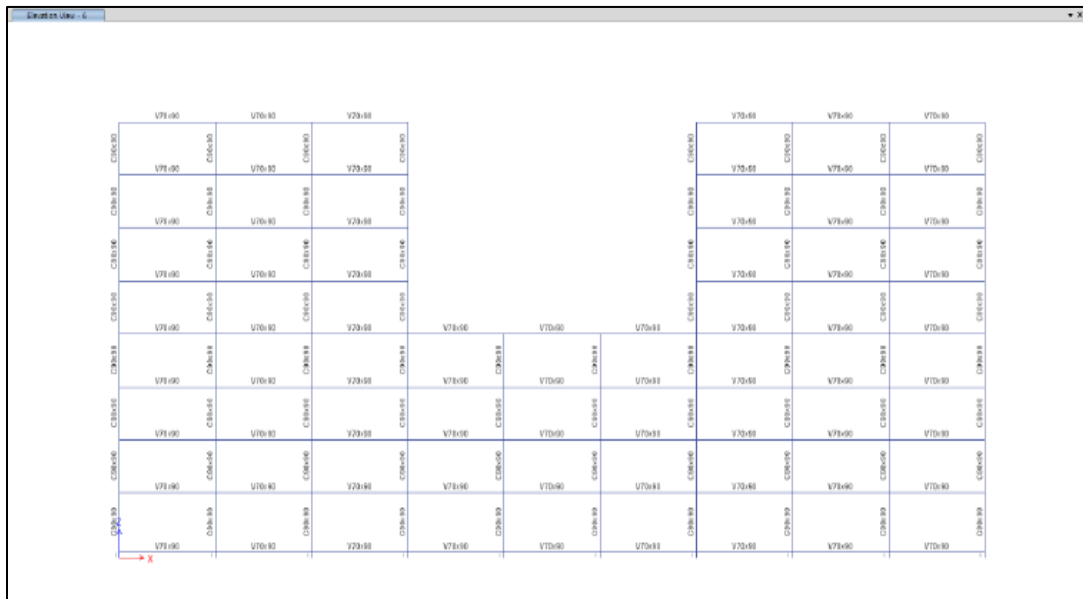


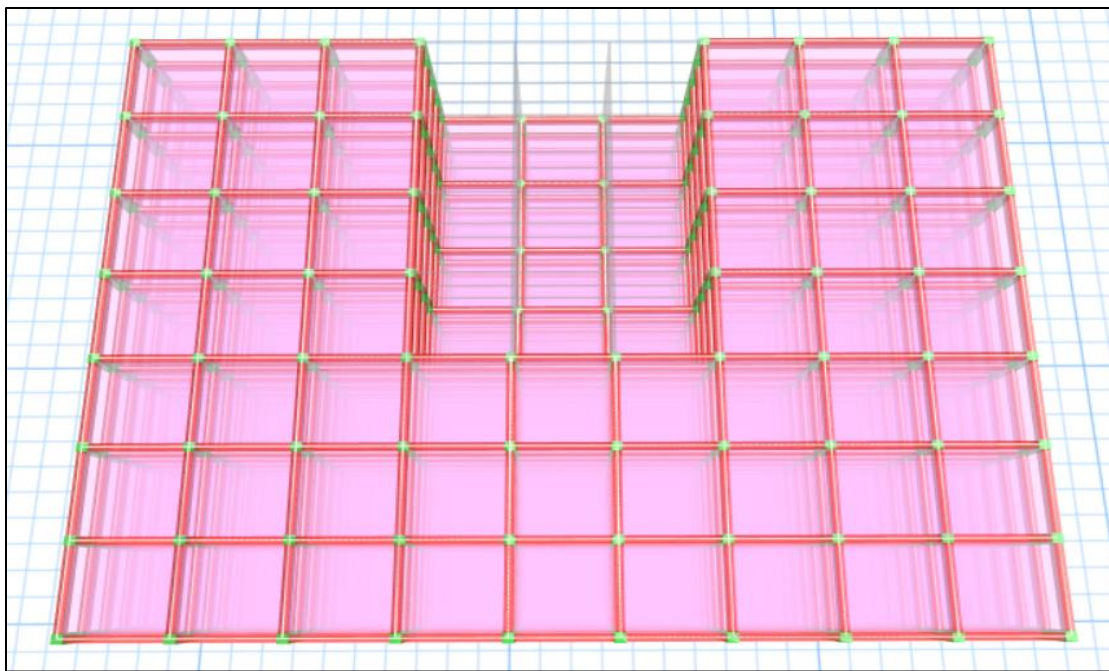
Figura 39 Definición de entramado de vigas y sistema de entrepiso Tipo 3

Elaborado por: César Silva, 2023



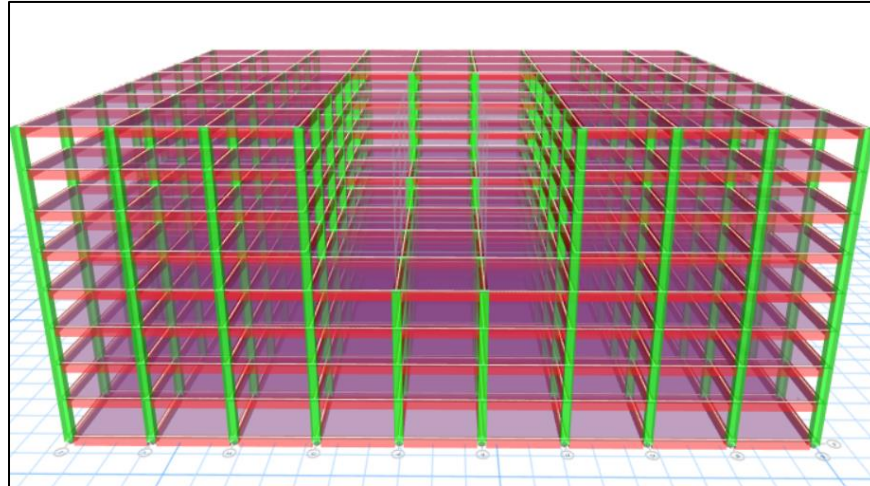
*Figura 40 Definición de columnas de estructura para pórticos de hormigón armado*

*Elaborado por: César Silva, 2023*



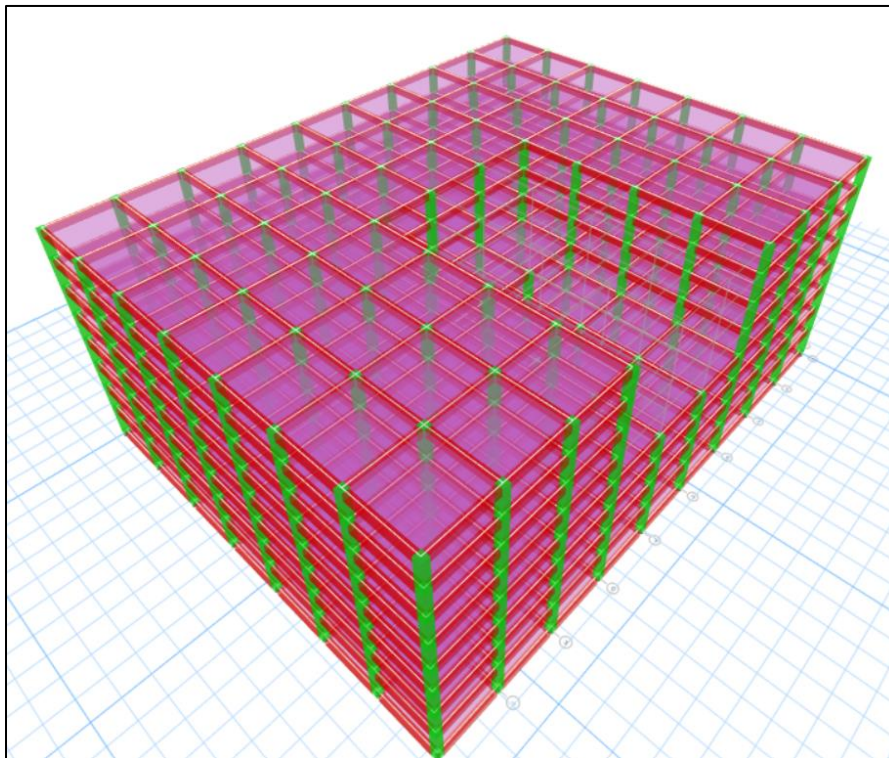
*Figura 41 Vista en planta 3D*

*Elaborado por: César Silva, 2023*



*Figura 42 Vista en elevación frontal 3D*

*Elaborado por: César Silva, 2023*



*Figura 43 Vista en 3D*

*Elaborado por: César Silva, 2023*

#### 4.4.5 Definición de combinaciones de carga, masa modal y diafragmas

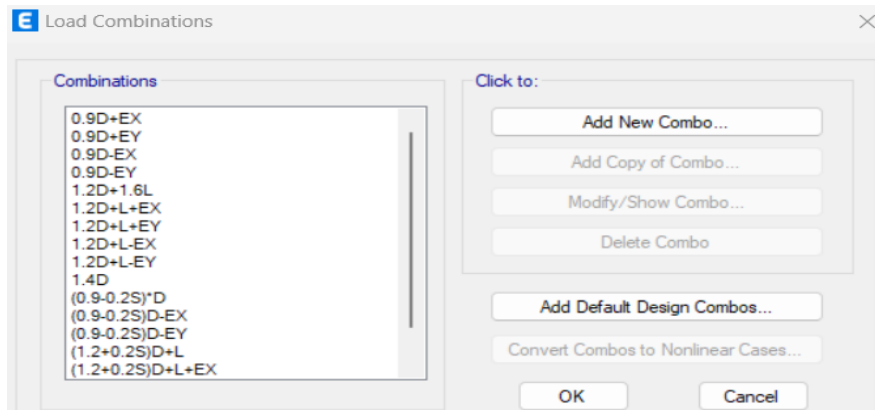


Figura 44 Combinaciones de carga definidas en programa de cálculo

Elaborado por: César Silva, 2023

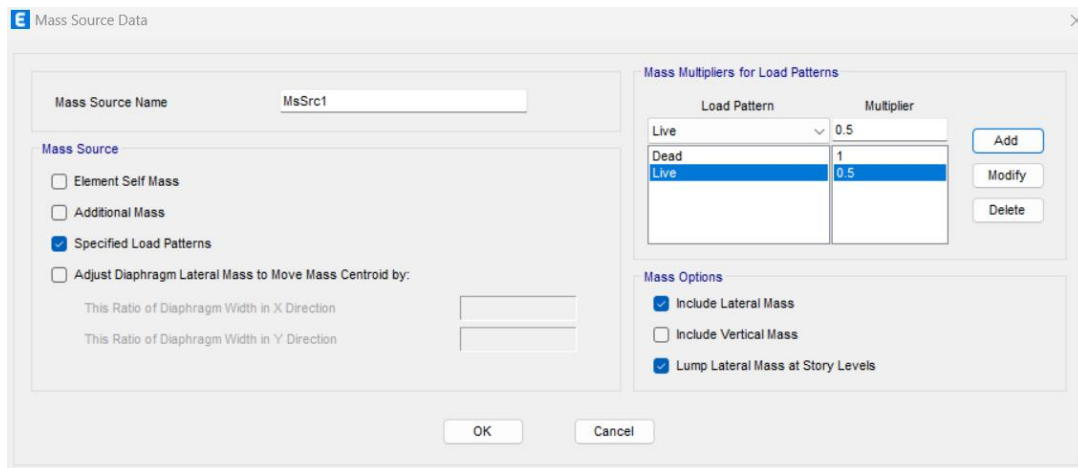


Figura 45 Definición de mass source en programa de cálculo

Elaborado por: César Silva, 2023

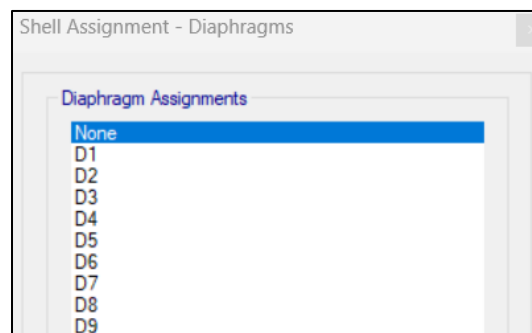


Figura 46 Diafragmas en programa de cálculo

Elaborado por: César Silva, 2023

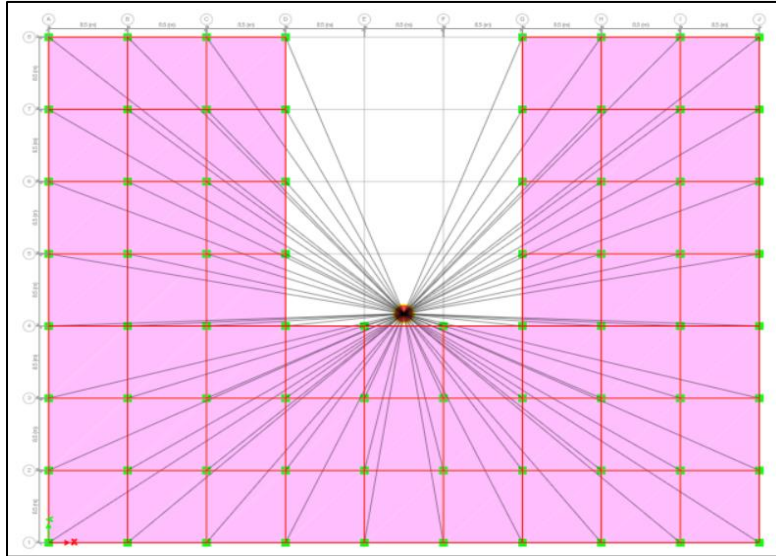


Figura 47 Colocación de diafragmas de piso tipo

Elaborado por: César Silva, 2023

## 4.5 HOSPITAL CON AISLACIÓN SÍSMICA

Para definir los aisladores sísmicos se emplean elementos tipo link, los cuales se colocan debajo de la losa con sus respectivas rigideces calculadas previo al análisis iterativo, el cual será explicado más adelante.

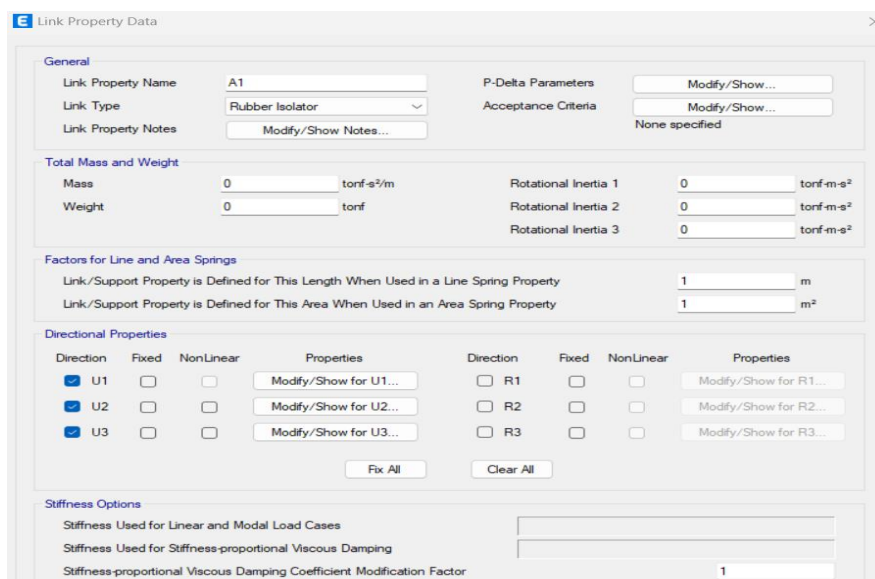


Figura 48 Definición de elemento tipo link para simulación de aisladores elastoméricos

Elaborado por: César Silva, 2023

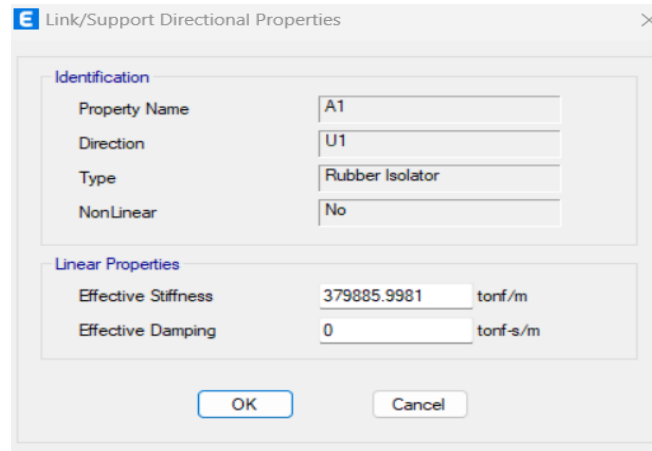


Figura 49 Definición de rigidez vertical

Elaborado por: César Silva, 2023

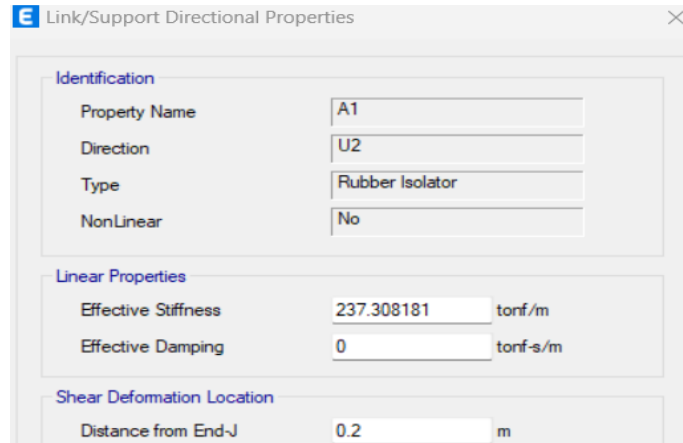


Figura 50 Definición de elemento tipo link con rigidez horizontal

Elaborado por: César Silva, 2023

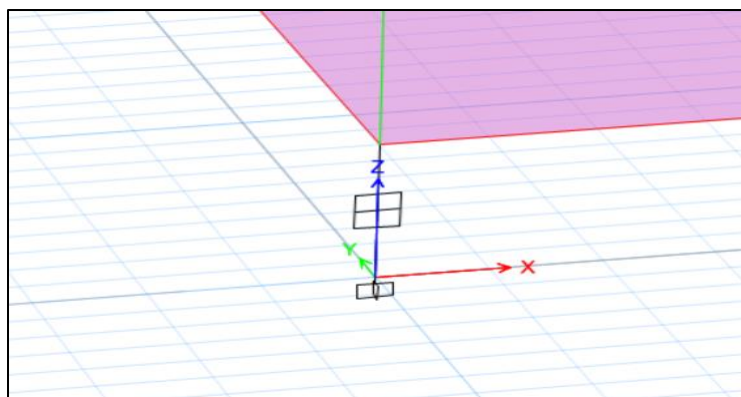


Figura 51 Asignación de elemento tipo link a nivel de cimentación

Elaborado por: César Silva, 2023



## 4.6 ANÁLISIS DE ESTRUCTURA SIN AISLACIÓN SÍSMICA

### 4.6.1 Períodos de vibración y formas modales de la estructura

	Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX
▶	Modal	1	1.128	0.5996	0	0	0.5996	0	0	0
	Modal	2	1.123	0	0.7199	0	0.5996	0.7199	0	0.2752
	Modal	3	1.056	0.1181	0	0	0.7177	0.7199	0	0
	Modal	4	0.384	0.0945	0	0	0.8122	0.7199	0	0
	Modal	5	0.381	0	0.0946	0	0.8122	0.8145	0	0.3405
	Modal	6	0.351	0.0018	0	0	0.814	0.8145	0	0
	Modal	7	0.207	0.0354	0	0	0.8494	0.8145	0	0
	Modal	8	0.207	0	0.0352	0	0.8494	0.8497	0	0.0406
	Modal	9	0.193	0.0001	0	0	0.8495	0.8497	0	0
	Modal	10	0.136	0.0176	0	0	0.8671	0.8497	0	0
	Modal	11	0.136	0	0.0175	0	0.8671	0.8672	0	0.0438
	Modal	12	0.126	0.0001	0	0	0.8671	0.8672	0	0

Figura 52 Períodos estructurales resultado del análisis modal espectral

Elaborado por: César Silva, 2023

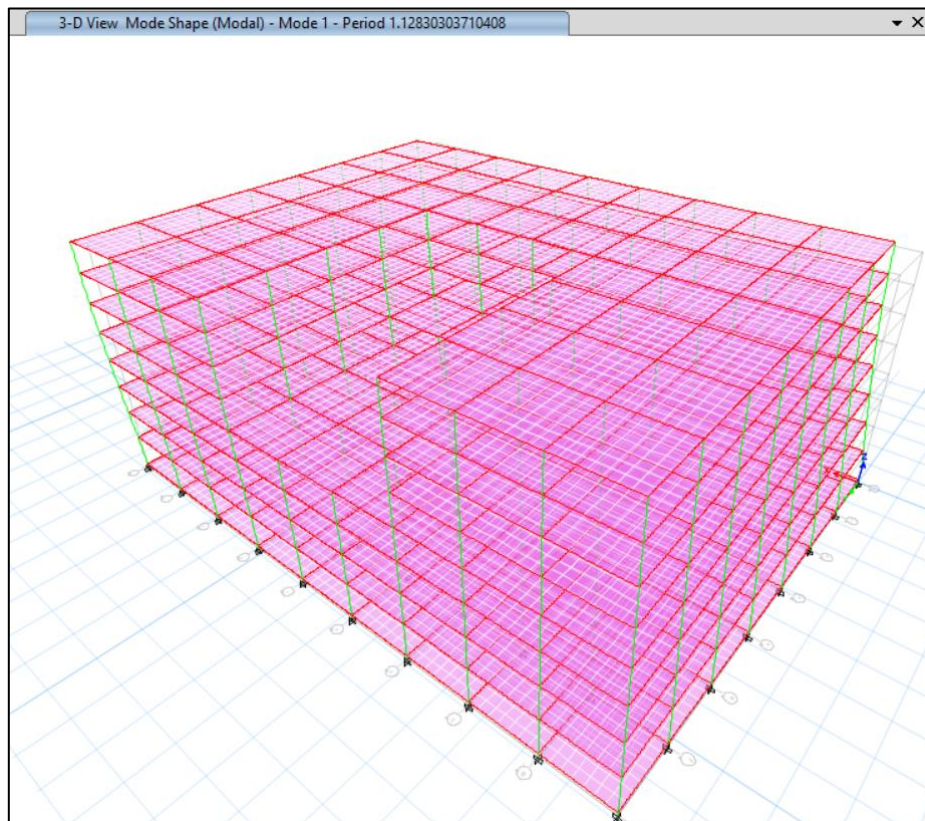


Figura 53 Primer modo de vibración, 1.128s

Elaborado por: César Silva, 2023

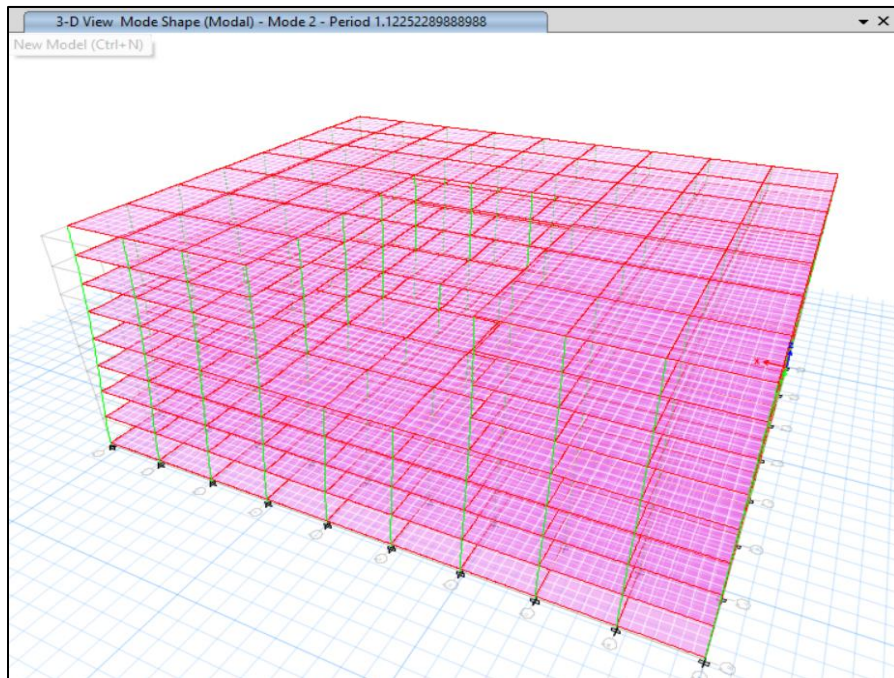


Figura 54 Segundo modo de vibración, 1.12s

Elaborado por: César Silva, 2023

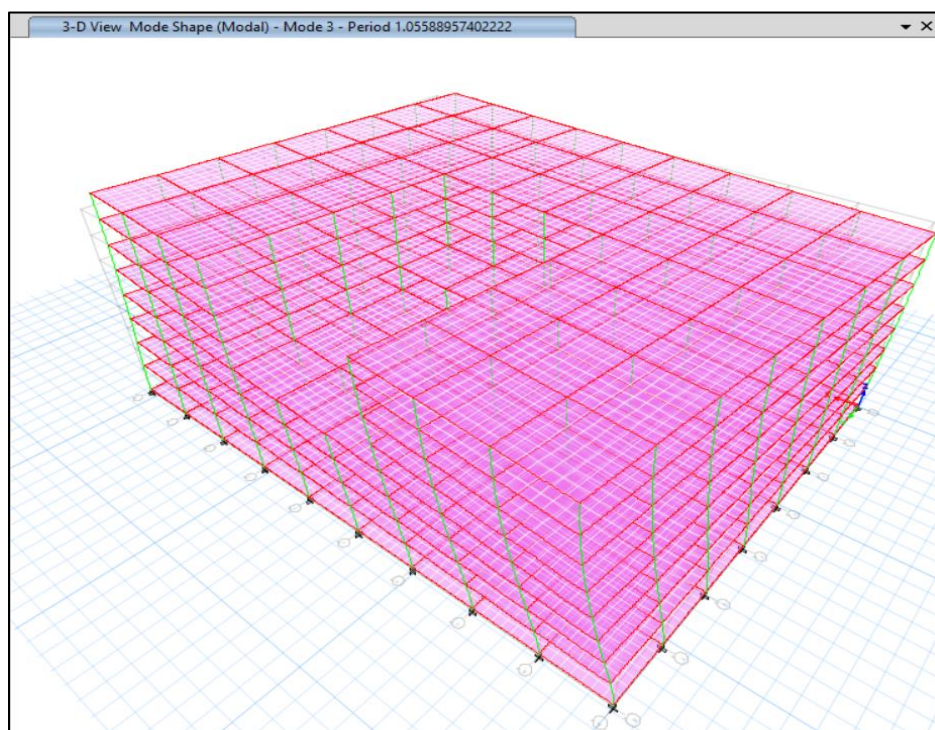


Figura 55 Tercer modo de vibración, 1.05s

Elaborado por: César Silva, 2023



## 4.7 CÁLCULO DE PRIMERAS PROPIEDADES EFECTIVAS PARA ANÁLISIS ITERATIVO

Una vez asignado el peso extra en la losa para evitar la tracción de los aisladores, se calcula las propiedades efectivas de rigidez, considerando inicialmente una distribución uniforme sobre todos los aisladores. Se ha propuesto los siguientes valores para la primera iteración.

DATOS		
$\beta$ objetivo	20	%
BM	1.5	
Objetivo		
Tobj	4.00	s
$\Delta$ Máx	0.45	m
Materiales		
G (Mód corte)	0.4	Mpa

Tabla 4 Valores iniciales del proceso iterativo para propiedades efectivas

Elaborado por: César Silva, 2023

Ecuación 30 Rigidez efectiva horizontal en base al peso sísmico de la estructura

$$K_{eff}^i = \frac{4\pi^2 W}{T_{obj}^2 g}$$

Ecuación 31 Rigidez efectiva vertical en base al peso sísmico de la estructura

$$K_{eff}^i = \frac{4\pi^2 W}{\left(\frac{1}{10}\right) g}$$

Propiedades Efectivas Iniciales		
Sumatoria	75518.36	T
Keff*H	18984.65	T/m
Keff*V	30390879.85	T/m
Keffi*H	237.31	T/m
Keffi*V	379886.00	T/m

Tabla 5 Propiedades efectivas iniciales

Elaborado por: César Silva, 2023

Tal y como se aprecia en la sección 4.5 se emplean estas propiedades efectivas en el programa con el fin de comprobar que no existan tracciones (Anexo 1) en los aisladores con la carga mínima. Se aprecia que existe un margen para comprobar las tracciones con los límites superior e inferior. Posterior al cumplimiento de este análisis se emplea la carga máxima (Anexo 2).

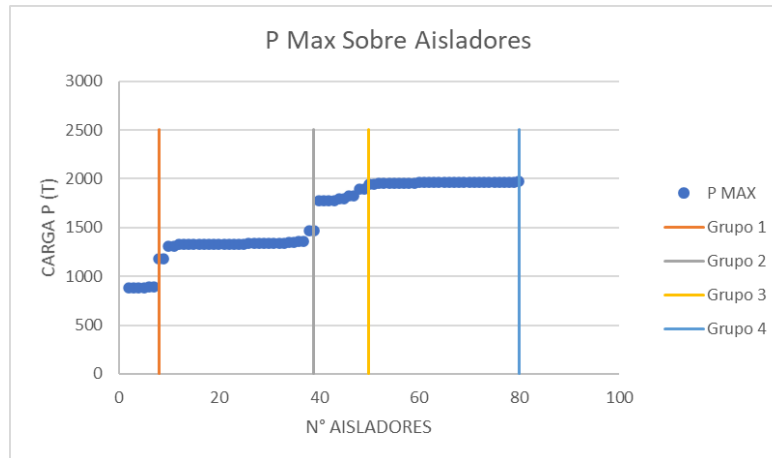


Figura 56 Distribución de aisladores en base a carga máxima

Elaborado por: César Silva, 2023

Se consideran cuatro tipos de aisladores a emplearse en la base de la estructura (dos subgrupos con mismas dimensiones), de los cuales dos tipos contarán con núcleo de plomo y los otros dos sin la presencia de los mismos. Dependiendo las ubicaciones para controlar las torsiones y para alcanzar el amortiguamiento objetivo (20%), se decidirá la inclusión o no de núcleos.

AISLADORES						
Número	TIPOS	Carga	Área (m2)	D (m)	D (m)	Área (m2)
38	1	1467.8502	0.84704	1.038	1.15	1.039
42	2	1970.9341	1.13734	1.203	1.25	1.227

Tabla 6 Número de aisladores, carga individual y diámetros para primera iteración

Elaborado por: César Silva, 2023

## 4.8 DESPLAZAMIENTOS DEL CENTRO DE MASA Y DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS

Además de las cargas a las que se encuentra sometido el sistema de aislación, se calcula el desplazamiento del centro de masa (DM) tanto en sentido X e Y. También se obtiene el Desplazamiento Total Máximo (DTM) encontrado en base a las siguientes combinaciones:

*Ecuación 32 Combinaciones para Desplazamiento Total Máximo (DTM)*

$$E_x + 0.3 \cdot E_y$$

$$E_y + 0.3 \cdot E_x$$

La determinación del DTM se obtiene verificando el desplazamiento en X e Y del aislador más lejano al centro de masas. Finalmente, se obtiene la resultante con teorema de Pitágoras. En este caso se consideraron los aisladores ubicados en las esquinas.

Desplazamiento máximo (DM)	
Sx (m)	Sy (m)
0.416	0.418
0.418	

*Tabla 7 Desplazamiento del centro de masa a nivel del sistema de aislación*

*Elaborado por: César Silva, 2023*

El desplazamiento obtenido es muy cercano al desplazamiento objetivo que era 45cm.

Punto	EX			EY			DTM
	Desplx	Desply	Despl	Desplx	Desply	Despl	
1	0.471866	0.177622	0.504	0.173922	0.472874	0.504	0.504
9	0.471866	0.164382	0.500	0.159776	0.472874	0.499	
17	0.471866	0.152037	0.496	0.145688	0.472874	0.495	
25	0.471866	0.140651	0.492	0.131662	0.472874	0.491	
<b>DTM (m)</b>							

*Tabla 8 Desplazamiento máximo del aislador más alejado del centro de masa*

*Elaborado por: César Silva, 2023*

Con estos datos es posible el cálculo de la altura inicial del aislador y otras verificaciones de estabilidad.

#### 4.9 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE AISLADORES SÍSMICOS

Se diseñaron dos tipos de aisladores con diámetros de 1.15m y 1.25m; sin embargo, en cada tipo de aislador se tienen elementos con núcleos de plomo y sin ellos, siendo los aisladores A1 y A2 los que presentan núcleos de plomo, y los aisladores A3 y A4 aquellos sin núcleo. Los aisladores con núcleo se encuentran distribuidos en el perímetro de la estructura, junto con 12 aisladores cercanos a las esquinas de la estructura.

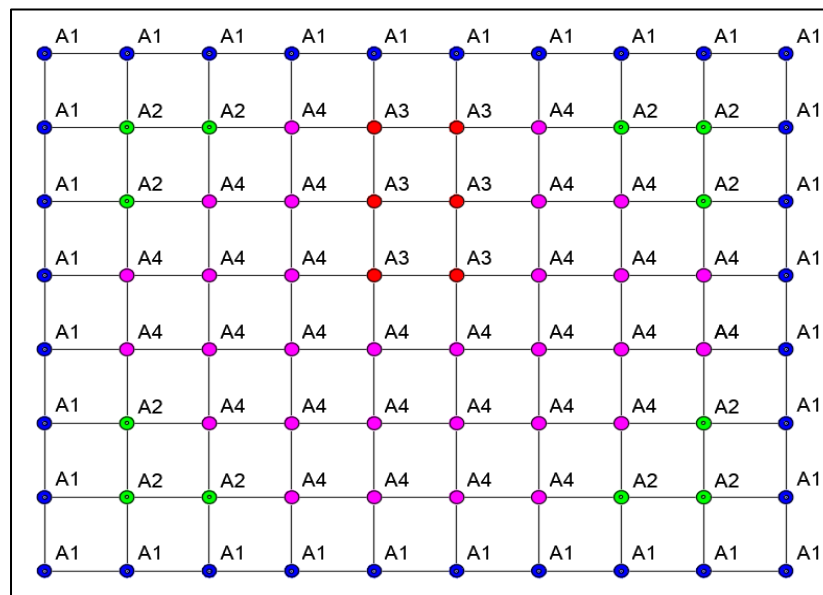


Figura 57 Distribución en planta de aisladores elastoméricos

Elaborado por: César Silva, 2023

Para la distribución de los aisladores en la base de la estructura, se considera la carga que debe soportar cada elemento, siendo los aisladores perimetrales aquellos que deben soportar una carga menor en relación a los aisladores internos, razón por la que los aisladores A2 y A4 tienen un diámetro de 1.25m y los aisladores A1 y A3 de 1.15m

Establecidos los diámetros externos se definen los diámetros internos de núcleo de plomo y se verifica si el elemento cumple con las propiedades necesarias de diseño de aisladores elastoméricos (LRB).

Además, se verifica si los aisladores cumplen con las siguientes restricciones geométricas:

*Ecuación 33 Relación Diámetro externo e interno*

$$3.3 < D_e/D_i < 6$$

*Ecuación 34 Relación Diámetro externo con altura de aislador*

$$D_e/hr > 3$$

Cálculos		
DM	0.418	m
DTM	0.504	m
hr	0.28	m
Aisladores		
TIPO	Ø Externo (m)	Øe / hr
A1	1.15	4.11
A2	1.25	4.46
A3	1.15	4.11
A4	1.25	4.46

Figura 58 Comprobación de la relación diámetro externo y altura del aislador

Elaborado por: César Silva, 2023

Aislador A1			Aislador A2			Aislador A3			Aislador A4		
Núcleo	Sí		Núcleo	Sí		Núcleo	NO		Núcleo	NO	
Número	32	Unidades	Número	12	Unidades	Número	6	Unidades	Número	30	Unidades
Ø Interno	0.34	m	Ø Interno	0.305	m	Ø Interno	0	m	Ø Interno	0	m
Área	1.039	m <sup>2</sup>	Área	1.227	m <sup>2</sup>	Área	1.039	m <sup>2</sup>	Área	1.227	m <sup>2</sup>
Øe / hr	4.11	OK	Øe / hr	4.46	OK	Øe / hr	4.11	OK	Øe / hr	4.46	OK
Øe / Øi	3.382	OK	Øe / Øi	4.098	OK	Øe / Øi	#DIV/0!	#DIV/0!	Øe / Øi	#DIV/0!	#DIV/0!
Gr (Mod corte)	0.4	Mpa	Gr (Mod corte)	0.4	Mpa	Gr (Mod corte)	0.4	Mpa	Gr (Mod corte)	0.4	Mpa
hr	0.28	m	hr	0.28	m	hr	0.28	m	hr	0.28	m
kd (Rig pos fluencia)	1483.84	kN/m	kd (Rig pos fluencia)	1753.12	kN/m	kd (Rig pos fluencia)	1483.84	kN/m	kd (Rig pos fluencia)	1753.12	kN/m
	151.31	ton/m		178.77	ton/m		151.31	ton/m		178.77	ton/m
Qdi (Resis característica)	726.34	kN	Qdi (Resis característica)	584.49	kN	Qdi (Resis característica)	0.00	kN	Qdi (Resis característica)	0.00	kN
	74.07	ton		59.60	ton		0.00	ton		0.00	ton
KeffM	328.411	ton	KeffM	321.285	ton	KeffM	151.310	ton	KeffM	178.769	ton
Dm/hr	1.49	OK	Dm/hr	1.49	OK	Dm/hr	1.49	OK	Dm/hr	1.49	OK
ku (Rig inicial)	1513.10	ton/m	ku (Rig inicial)	1787.69	ton/m	ku (Rig inicial)	1513.10	ton/m	ku (Rig inicial)	1787.69	ton/m
	14838.4153	Kn/m		17531.209	Kn/m		14838.4153	Kn/m		17531.209	Kn/m
Fy (Fluencia)	82.30	Ton	Fy (Fluencia)	66.23	Ton	Fy (Fluencia)	0.00	Ton	Fy (Fluencia)	0.00	Ton
	807.3465788	kN		649.683525	kN		0	kN		0	kN
Δy	54.391	mm	Δy	37.046	mm	Δy	0.000	mm	Δy	0.000	mm
	0.054	m		0.037	m		0.000	m		0.000	m
EDCm (Energ disipada)	107.79	Ton	EDCm (Energ disipada)	90.87	Ton	EDCm (Energ disipada)	0.00	Ton	EDCm (Energ disipada)	0.00	Ton
βMi (amort efectivo)	30%	%	βMi (amort efectivo)	26%	%	βMi (amort efectivo)	0%	%	βMi (amort efectivo)	0%	%
Ared	0.478	m <sup>2</sup>	Ared	0.614	m <sup>2</sup>	Ared	0.478	m <sup>2</sup>	Ared	0.614	m <sup>2</sup>
0.5*Ar	0.519	m <sup>2</sup>	0.5*Ar	0.614	m <sup>2</sup>	0.5*Ar	0.519	m <sup>2</sup>	0.5*Ar	0.614	m <sup>2</sup>
NO CUMPLE, SIN EMBARGO NO AFECTA			OK			NO CUMPLE, SIN EMBARGO NO AFECTA			OK		

Figura 59 Propiedades efectivas calculadas para los diferentes aisladores

Elaborado por: César Silva, 2023

Rigidez Pos fluencia Kdi		
Tipo	kdi	Unidades
A1	151.31	Ton/m
A2	178.77	Ton/m
A3	151.31	Ton/m
A4	178.77	Ton/m

Figura 60 Propiedades efectivas calculadas para diferentes aisladores  $K_{eff} = K_d$

Elaborado por: César Silva, 2023

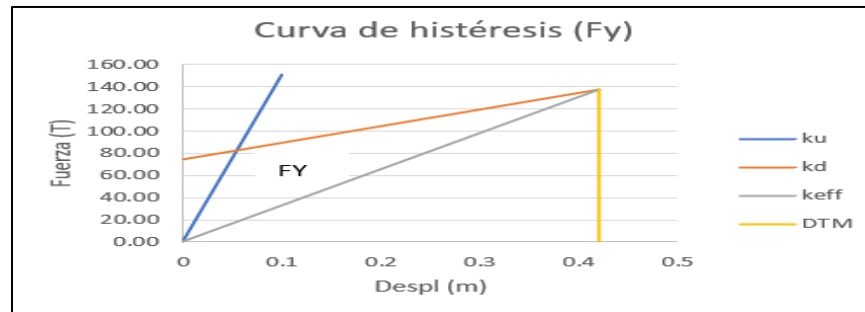


Figura 61 Cálculo de  $f_y$  de curva de histéresis

Elaborado por: César Silva, 2023

Al cumplir las propiedades de diseño se verifica si el amortiguamiento total de los elementos es semejante al objetivo (20%) y se itera hasta alcanzar el objetivo.

Aisladores								
Tipo	Número	Keffi (Kn/m)	Bmi (%)	Qd (kN)	Keff*bmi	bmt	W (Ton)	Qd/W
A1 Con núcleo	32	103094.77	30%	23242.76	30790.18	20.02%	75518.359	0.040
A2 Con núcleo	12	37821.61	26%	7013.92	9734.45			
A3 Sin núcleo	6	8906.09	0%	0.00	0.00			
A4 Sin núcleo	30	52611.59	0%	0.00	0.00			
<b>Total</b>	80	202434.06		3084.27	40524.63	20.00%	102808.9665	0.03

Figura 62 Verificación de amortiguamiento total

Elaborado por: César Silva, 2023

Tras el análisis se observa que el amortiguamiento del sistema es igual al amortiguamiento objetivo. También se observa que se ha sobrepasado el peso sísmico ( $Q_d/W = 4\%$ ) en relación al parámetro recomendado ( $2\% < Q_d/W < 3\%$ ), sin embargo, el sistema de aislación tendrá un buen comportamiento al activarse.

PROPIEDADES NO LINEALES			
TIPOS	NÚCLEO DE PLOMO	Fy (ton)	Ku (ton)
A1	SÍ	82.30	1513.10
A2	SÍ	66.23	1787.69
A3	NO	0.00	1513.10
A4	NO	0.00	1787.69

Tabla 9 Propiedades no lineales de aisladores

Elaborado por: César Silva, 2023

DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS FINALES						
TIPOS	NÚCLEO DE PLOMO	D EXTERNO (m)	D INTERNO (m)	Keff H (ton/m)	Keff V (ton/m)	Qd (ton)
A1	SÍ	1.15	0.34	328.4109557	540509.0762	74.07
A2	SÍ	1.25	0.305	321.2845134	782318.1669	59.60
A3	NO	1.15	0	151.3097266	590707.4738	0.00
A4	NO	1.25	0	178.7685806	793163.7051	0.00

Tabla 10 Dimensiones y características finales de aisladores

Elaborado por: César Silva, 2023

Finalmente, con estas dimensiones se pueden realizar las verificaciones de estabilidad para el área reducida durante un desplazamiento lateral, carga máxima sobre aislador, factores de seguridad, rotaciones (Anexo 3) y cargas aplicadas.

Ecuación 35 Relación de períodos

$$T_{\text{calc}} > 3 \cdot T_i$$

$$3.95 > 3.85 \text{ OK}$$

Verificación de estabilidad A1			Verificación de estabilidad A2			Verificación de estabilidad A3			Verificación de estabilidad A4		
Pmax	13175.93	kN	Pmax	19070.48	kN	Pmax	14399.61	kN	Pmax	19334.86	kN
tr (espesor lámina caucho)	8	mm	tr (espesor lámina caucho)	8	mm	tr (espesor lámina caucho)	8	mm	tr (espesor lámina caucho)	8	mm
S	35.94		S	39.06		S	35.94		S	39.06	
Pcr (Cap de carga)	31347.35	kN	Pcr (Cap de carga)	47608.53	kN	Pcr (Cap de carga)	31347.350	kN	Pcr (Cap de carga)	47608.533	kN
OK			OK			OK			OK		
Po	6897.68	kN	Po	8819.77	kN	Po	11772.19	kN	Po	11951.73	kN
Pcr (Cap de carga)	22704.76	kN	Pcr (Cap de carga)	31693.16	kN	Pcr (Cap de carga)	22704.757	kN	Pcr (Cap de carga)	31693.160	kN
OK			OK			OK			OK		
Num láminas de goma	35	unidades	Num láminas de goma	35	unidades	Num láminas de goma	35	unidades	Num láminas de goma	35	unidades
eu (elongación de rotura)	6		eu (elongación de rotura)	6		eu (elongación de rotura)	6		eu (elongación de rotura)	6	
θ	0.002942		θ	0.002942		θ	0.002942		θ	0.002942	
Recubrimiento	19	mm	Recubrimiento	19	mm	Recubrimiento	19	mm	Recubrimiento	19	mm
B	1.112	m	B	1.212	m	B	1.112	m	B	1.212	m
$\frac{D_{TM}}{h_r} + \frac{P_r}{GA_r S} \leq \frac{0.85 \epsilon_u}{1.5}$			$\frac{D_{TM}}{h_r} + \frac{P_r}{GA_r S} \leq \frac{0.85 \epsilon_u}{1.5}$			$\frac{D_{TM}}{h_r} + \frac{P_r}{GA_r S} \leq \frac{0.85 \epsilon_u}{1.5}$			$\frac{D_{TM}}{h_r} + \frac{P_r}{GA_r S} \leq \frac{0.85 \epsilon_u}{1.5}$		
2.68	3.4	OK	2.80	3.4	OK	2.765	3.4	OK	2.809	3.4	OK
$\frac{D_{TM}}{h_r} + \frac{P_r}{GA_r S} + \frac{0.375 B^2 \theta}{t_r h_r} \leq \frac{0.85 \epsilon_u}{1.5}$			$\frac{D_{TM}}{h_r} + \frac{P_r}{GA_r S} + \frac{0.375 B^2 \theta}{t_r h_r} \leq \frac{0.85 \epsilon_u}{1.5}$			$\frac{D_{TM}}{h_r} + \frac{P_r}{GA_r S} + \frac{0.375 B^2 \theta}{t_r h_r} \leq \frac{0.85 \epsilon_u}{1.5}$			$\frac{D_{TM}}{h_r} + \frac{P_r}{GA_r S} + \frac{0.375 B^2 \theta}{t_r h_r} \leq \frac{0.85 \epsilon_u}{1.5}$		
3.29	3.92	OK	3.52	3.92	OK	3.374	3.923	OK	3.533	3.923	OK

Tabla 11 Verificación de condiciones de estabilidad de aisladores tipo

Elaborado por: César Silva, 2023

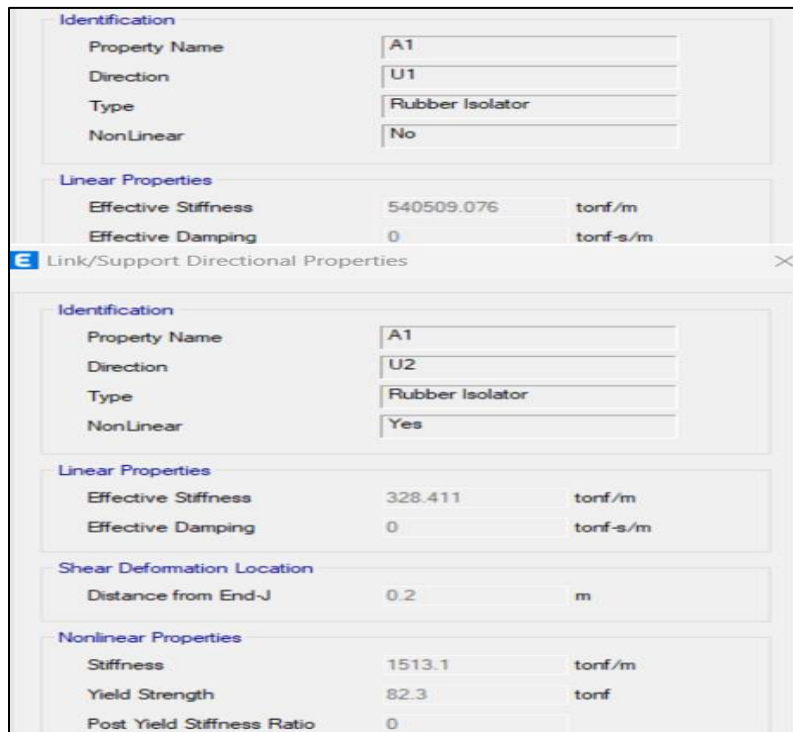
Rot máx
0.002942
rad

Tabla 12 Rotación máxima

Elaborado por: César Silva, 2023

#### 4.10 IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE AISLACIÓN SÍSMICA EN HOSPITAL

Con las nuevas propiedades obtenidas, se ingresan las propiedades necesarias en el software informático mediante la inclusión de links tipo Rubber Isolator.



The image shows two overlapping software windows for defining link properties. The top window is titled 'Link/Support Directional Properties' and shows the following data:

Identification		
Property Name	A1	
Direction	U1	
Type	Rubber Isolator	
NonLinear	No	

The bottom window is also titled 'Link/Support Directional Properties' and shows the following data:

Identification		
Property Name	A1	
Direction	U2	
Type	Rubber Isolator	
NonLinear	Yes	

Linear Properties:

Effective Stiffness	540509.076	tonf/m
Effective Damping	0	tonf-s/m

Shear Deformation Location:

Distance from End-J	0.2	m
---------------------	-----	---

Nonlinear Properties:

Stiffness	1513.1	tonf/m
Yield Strength	82.3	tonf
Post Yield Stiffness Ratio	0	

Figura 63 Propiedades de primer aislador con núcleo de plomo

Elaborado por: César Silva, 2023

Previamente al diseño de los aisladores, se estimó que la estructura tendría un período objetivo de 4s. Al colocar los diferentes aisladores se obtiene un período de 3.97s tanto para el primer modo como para el segundo. Además, el desplazamiento del sistema es de 42cm, cercano al desplazamiento objetivo (45cm).



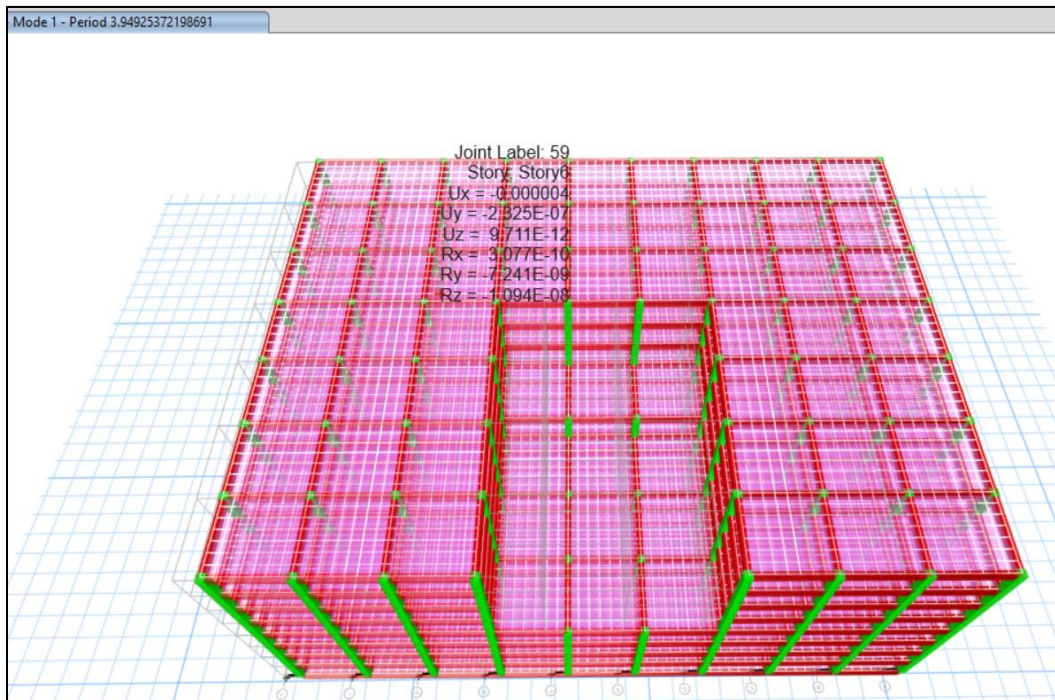


Figura 64 Primer modo de vibración de estructura con aisladores

Elaborado por: César Silva, 2023

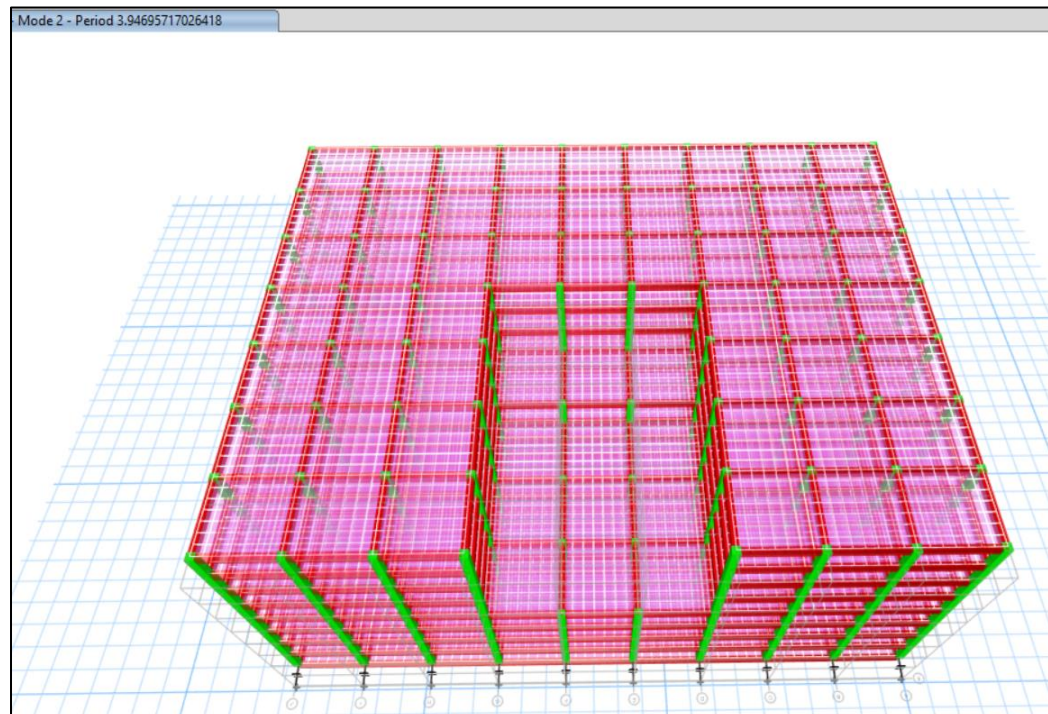


Figura 65 Segundo modo de vibración de estructura con aisladores

Elaborado por: César Silva, 2023

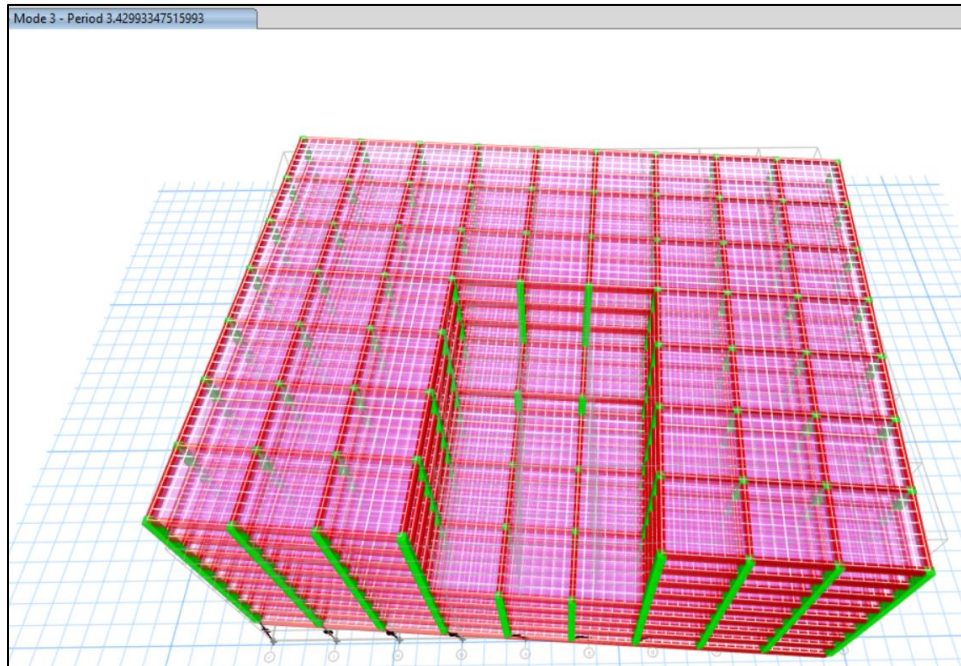


Figura 66 Tercer modo de vibración de la estructura con aisladores

Elaborado por: César Silva, 2023

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX
Modal	1	3.949	0.991	0	0	0.991	0	0	0
Modal	2	3.947	0	0.9978	0	0.991	0.9978	0	0.0021
Modal	3	3.43	0.0069	0	0	0.9979	0.9978	0	0
Modal	4	0.8	0	0.0022	0	0.9979	1	0	0.9914
Modal	5	0.796	0.0021	0	0	0.9999	1	0	0
Modal	6	0.738	1.464E-05	0	0	1	1	0	0
Modal	7	0.37	3.937E-05	0	0	1	1	0	0
Modal	8	0.369	0	3.861E-05	0	1	1	0	0.0029
Modal	9	0.339	0	0	0	1	1	0	0
Modal	10	0.211	0	1.797E-06	0	1	1	0	0.003
Modal	11	0.211	1.806E-06	0	0	1	1	0	0
Modal	12	0.196	0	0	0	1	1	0	0

Figura 67 Modos de vibración de estructura aislada con propiedades efectivas

Elaborado por: César Silva, 2023

Story	Diaphragm	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	UX m	UY m	RZ rad	Point
LRB	D1	SX	LinRespSpec	Max		0.416166	1.467E-11	0.002441	409
LRB	D1	SY	LinRespSpec	Max		0.000145	0.418211	0.001422	409

Figura 68 Desplazamiento DM en sentido X e Y

Elaborado por: César Silva, 2023

#### 4.11 VERIFICACIONES EN LÍMITES SUPERIORES E INFERIORES

Establecidos los aisladores del sistema estructural, es necesario verificar si los elementos son capaces de seguir trabajando óptimamente al modificar sus propiedades efectivas ante los límites establecidos por el ASCE/SEI 7-16: límite superior (UB) e inferior (LB). Estos límites son parámetros que denotan los distintos efectos perjudiciales en el aislador, siendo los más frecuentes:

- Envejecimiento
- Scragging
- Temperatura
- Velocidad
- Contaminación
- Recorrido

Estas propiedades se afectan por medio de factores de modificación de fabricantes calificados, los factores de multiplicación para el límite superior se emplean los factores de 1.3 para el Kd y 1.5 para Qd, mientras que para límite inferior se afectan ambas propiedades para 0.8. La rigidez de diseño de cada aislador debe encontrarse dentro de estos dos límites.

Variable	Unlubricated PTFE, $\mu$	Lubricated PTFE, $\mu$	Rolling/ Sliding, K2	Plain Elastomers, K	Lead rubber bearing (LRB), K2	Lead rubber bearing (LRB), $Q_d$	High- Damping Rubber (HDR), $Q_d$	High- Damping Rubber (HDR), K $_d$
<b>Example: Aging and Environmental Factors</b>								
Aging, $\lambda_a$	1.10	1.50	1.00	1.10	1.10	1.00	1.20	1.20
Contamination, $\lambda_c$	1.10	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Example Upper Bound, $\lambda_{(ae, max)}$	1.21	1.65	1.00	1.10	1.10	1.00	1.20	1.20
Example Lower Bound, $\lambda_{(ae, min)}$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>Example: Testing Factors</b>								
All cyclic effects, Upper	1.20	1.30	1.00	1.03	1.03	1.30	1.50	1.30
All cyclic effects, Lower	0.95	0.95	1.00	0.98	0.98	0.95	0.95	0.95
Example Upper Bound, $\lambda_{(test, max)}$	1.20	1.30	1.00	1.03	1.03	1.30	1.50	1.30
Example Lower Bound, $\lambda_{(test, min)}$	0.95	0.95	1.00	0.98	0.98	0.95	0.95	0.95
$\lambda_{(PM, max)} = (1 + (0.75 * (\lambda_{(ae, max)} - 1))) * \lambda_{(test, max)}$	1.39	1.93	1.00	1.11	1.11	1.30	1.73	1.50
$\lambda_{(PM, min)} = (1 - (0.75 * (1 - \lambda_{(ae, min)}))) * \lambda_{(test, min)}$	0.95	0.95	1.00	0.98	0.98	0.95	0.95	0.95
Lambda factor for Spec. Tolerance, $\lambda_{(spec, max)}$	1.15	1.15	1.00	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Lambda factor for Spec. Tolerance, $\lambda_{(spec, min)}$	0.85	0.85	1.00	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Upper Bound Design Property Multiplier	1.60	2.22	1.00	1.27	1.27	1.50	1.98	1.72
Lower Bound Design Property Multiplier	0.81	0.81	1.00	0.83	0.83	0.81	0.81	0.81
Default Upper Bound Design Property Multiplier	1.6	2.25	1	1.3	1.3	1.5	2	1.7
Default Lower Bound Design Property Multiplier	0.8	0.8	1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

Note:  $\lambda_{PM}$  is the lambda value for testing and environmental effects.

Figura 69 Factores de modificación límite superior e inferior.

Elaborado por: ASCE/SEI 7-16

Propiedades efectivas límite superior			
TIPOS	Keff (ton/m)	kd (ton/m)	Qd (ton)
A1	462.35	196.70	111.10
A2	446.17	232.40	89.40
A3	196.70	196.70	0.00
A4	232.40	232.40	0.00
Propiedades efectivas límite inferior			
TIPOS	Keff (ton/m)	kd (ton/m)	Qd (ton)
A1	262.73	121.05	59.25
A2	257.03	143.01	47.68
A3	121.05	121.05	0.00
A4	143.01	143.01	0.00

Tabla 13 Propiedades efectivas con límite superior e inferior

Elaborado por: César Silva, 2023

DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS FINALES						
TIPOS	NÚCLEO DE PLOMO	D EXTERNO (m)	D INTERNO (m)	Keff H (ton/m)	Keff V (ton/m)	Qd (ton)
A1	SÍ	1.15	0.34	462.3544882	540509.0762	111.10
A2	SÍ	1.25	0.305	446.173054	782318.1669	89.40
A3	NO	1.15	0	196.7026446	590707.4738	0.00
A4	NO	1.25	0	232.3991547	793163.7051	0.00
DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS FINALES						
TIPOS	NÚCLEO DE PLOMO	D EXTERNO (m)	D INTERNO (m)	Keff H (ton/m)	Keff V (ton/m)	Qd (ton)
A1	SÍ	1.15	0.34	262.7287645	540509.0762	59.25
A2	SÍ	1.25	0.305	257.0276107	782318.1669	47.68
A3	NO	1.15	0	121.0477813	590707.4738	0.00
A4	NO	1.25	0	143.0148644	793163.7051	0.00

Tabla 14 Propiedades efectivas verticales y horizontales con límite superior e inferior

Elaborado por: César Silva, 2023



PROPIEDADES NO LINEALES			
TIPOS	NÚCLEO DE PLOMO	Fy (ton)	Ku (ton)
A1	SÍ	123.45	1967.03
A2	SÍ	99.34	2323.99
A3	NO	0.00	1967.03
A4	NO	0.00	2323.99

PROPIEDADES NO LINEALES			
TIPOS	NÚCLEO DE PLOMO	Fy (ton)	Ku (ton)
A1	SÍ	65.84	1210.48
A2	SÍ	52.98	1430.15
A3	NO	0.00	1210.48
A4	NO	0.00	1430.15

Tabla 15 Propiedades no lineales

Elaborado por: César Silva, 2023

Establecidas las propiedades efectivas de los aisladores, se comprueba si los mismos son capaces de soportar las nuevas cargas a tensión (Anexo 4 y 6). Además, se verifica si trabajan óptimamente ante las nuevas demandas (Anexo 5 y 7).

AISLADORES CON LÍMITE SUPERIOR						
Número	TIPOS	Carga	Área (m2)	D (m)	D (m)	Área (m2)
38	1	1475.7492	0.85159	1.041	1.15	1.039
42	2	1970.9294	1.13734	1.203	1.25	1.227

AISLADORES CON LÍMITE INFERIOR						
Número	TIPOS	Carga	Área (m2)	D (m)	D (m)	Área (m2)
38	1	1463.5869	0.84458	1.037	1.15	1.039
42	2	1970.8572	1.13730	1.203	1.25	1.227

Tabla 16 Cargas máximas con límite superior e inferior

Elaborado por: César Silva, 2023

Desplazamiento máximo (DM)		Desplazamiento máximo (DM)	
Sx (m)	Sy (m)	Sx (m)	Sy (m)
0.407801	0.409733	0.421	0.423
0.410		0.423	

Tabla 17 Desplazamiento de masa con límite superior e inferior

Elaborado por: César Silva, 2023

DTM LIM SUPERIOR						
Punto	EX			EY		
	Desplx	Desply	Despl	Desplx	Desply	Despl
1	0.46229	0.173732	0.494	0.169934	0.462518	0.493
9	0.46229	0.160778	0.489	0.156214	0.462518	0.488
17	0.46229	0.148724	0.486	0.142553	0.462518	0.484
25	0.46229	0.137638	0.482	0.128953	0.462518	0.480
DTM (m)	0.494					

DTM LIM INFERIOR						
Punto	EX			EY		
	Desplx	Desply	Despl	Desplx	Desply	Despl
1	0.48	0.18	0.51	0.18	0.48	0.51
9	0.48	0.17	0.51	0.16	0.48	0.51
17	0.48	0.15	0.50	0.15	0.48	0.50
25	0.48	0.14	0.50	0.13	0.48	0.50
DTM (m)	0.510					

Tabla 18 DTM con límite superior e inferior

Elaborado por: César Silva, 2023

Aislador A1			Aislador A2			Aislador A3			Aislador A4		
Núcleo	SÍ		Núcleo	SÍ		Núcleo	NO		Núcleo	NO	
Número	32	Unidades	Número	12	Unidades	Número	6	Unidades	Número	30	Unidades
Ø Interno	0.34	m	Ø Interno	0.305	m	Ø Interno	0	m	Ø Interno	0	m
Área	1.039	m <sup>2</sup>	Área	1.227	m <sup>2</sup>	Área	1.039	m <sup>2</sup>	Área	1.227	m <sup>2</sup>
Øe / hr	4.11	OK	Øe / hr	4.46	OK	Øe / hr	4.11	OK	Øe / hr	4.46	OK
Øe / Øi	3.382	OK	Øe / Øi	4.098	OK	Øe / Øi	#DIV/0!	#DIV/0!	Øe / Øi	#DIV/0!	#DIV/0!
Gr (Mod corte)	0.4	Mpa	Gr (Mod corte)	0.4	Mpa	Gr (Mod corte)	0.4	Mpa	Gr (Mod corte)	0.4	Mpa
hr	0.28	m	hr	0.28	m	hr	0.28	m	hr	0.28	m
kd (Rig pos fluencia)	1928.99	kN/m	kd (Rig pos fluencia)	2279.06	kN/m	kd (Rig pos fluencia)	1928.99	kN/m	kd (Rig pos fluencia)	2279.06	kN/m
	196.70	ton/m		232.40	ton/m		196.70	ton/m		232.40	ton/m
Qdi (Resis característica)	1089.50	kN	Qdi (Resis característica)	876.74	kN	Qdi (Resis característica)	0.00	kN	Qdi (Resis característica)	0.00	kN
	111.10	ton		89.40	ton		0.00	ton		0.00	ton
KeffM	467.851	ton	KeffM	450.596	ton	KeffM	196.703	ton	KeffM	232.399	ton
Dm/hr	1.46	OK	Dm/hr	1.46	OK	Dm/hr	1.46	OK	Dm/hr	1.46	OK
ku (Rig inicial)	1967.03	ton/m	ku (Rig inicial)	2323.99	ton/m	ku (Rig inicial)	1967.03	ton/m	ku (Rig inicial)	2323.99	ton/m
	19289.93989	Kn/m		22790.57171	Kn/m		19289.93989	Kn/m		22790.57171	Kn/m
Fy (Fluencia)	123.45	Ton	Fy (Fluencia)	99.34	Ton	Fy (Fluencia)	0.00	Ton	Fy (Fluencia)	0.00	Ton
	1211.019868	kN		974.5252875	kN		0	kN		0	kN
Δy	62.758	mm	Δy	42.745	mm	Δy	0.000	mm	Δy	0.000	mm
	0.063	m		0.043	m		0.000	m		0.000	m
EDCm (Energ disipada)	154.19	Ton	EDCm (Energ disipada)	131.24	Ton	EDCm (Energ disipada)	0.00	Ton	EDCm (Energ disipada)	0.00	Ton
βMI (amort efectivo)	31%	%	βMI (amort efectivo)	28%	%	βMI (amort efectivo)	0%	%	βMI (amort efectivo)	0%	%
Ared	0.489	m <sup>2</sup>	Ared	0.626	m <sup>2</sup>	Ared	0.489	m <sup>2</sup>	Ared	0.626	m <sup>2</sup>
0.5*Ar	0.519	m <sup>2</sup>	0.5*Ar	0.614	m <sup>2</sup>	0.5*Ar	0.519	m <sup>2</sup>	0.5*Ar	0.614	m <sup>2</sup>
<b>NO CUMPLE, SIN EMBARGO NO AFECTA</b>			<b>OK</b>			<b>NO CUMPLE, SIN EMBARGO NO AFECTA</b>			<b>OK</b>		
<b>Verificación de estabilidad A1</b>			<b>Verificación de estabilidad A2</b>			<b>Verificación de estabilidad A3</b>			<b>Verificación de estabilidad A4</b>		
Pmax	13844.42	kN	Pmax	19086.74	kN	Pmax	14477.10	kN	Pmax	19334.82	kN
tr (espesor lámina caucho)	8	mm	tr (espesor lámina caucho)	8	mm	tr (espesor lámina caucho)	8	mm	tr (espesor lámina caucho)	8	mm
S	35.94		S	39.06		S	35.94		S	39.06	
Pcr (Cap de carga)	32049.37	kN	Pcr (Cap de carga)	48526.00	kN	Pcr (Cap de carga)	32049.369	kN	Pcr (Cap de carga)	48525.996	kN
<b>OK</b>			<b>OK</b>			<b>OK</b>			<b>OK</b>		
Po	6897.68	kN	Po	8819.77	kN	Po	11772.19	kN	Po	11951.73	kN
Pcr (Cap de carga)	22704.76	kN	Pcr (Cap de carga)	31693.16	kN	Pcr (Cap de carga)	22704.757	kN	Pcr (Cap de carga)	31693.160	kN
<b>OK</b>			<b>OK</b>			<b>OK</b>			<b>OK</b>		
Num láminas de goma	35	unidades	Num láminas de goma	35	unidades	Num láminas de goma	35	unidades	Num láminas de goma	35	unidades
eu (elongación de rotura)	6		eu (elongación de rotura)	6		eu (elongación de rotura)	6		eu (elongación de rotura)	6	
θ	0.00399		θ	0.00399		θ	0.00399		θ	0.00399	
Recubrimiento	19	mm	Recubrimiento	19	mm	Recubrimiento	19	mm	Recubrimiento	19	mm
B	1.112	m	B	1.212	m	B	1.112	m	B	1.212	m
$\frac{D_{TM}}{h_r} + \frac{P_r}{GA_r S} \leq \frac{0.85\epsilon_u}{1.5}$			$\frac{D_{TM}}{h_r} + \frac{P_r}{GA_r S} \leq \frac{0.85\epsilon_u}{1.5}$			$\frac{D_{TM}}{h_r} + \frac{P_r}{GA_r S} \leq \frac{0.85\epsilon_u}{1.5}$			$\frac{D_{TM}}{h_r} + \frac{P_r}{GA_r S} \leq \frac{0.85\epsilon_u}{1.5}$		
2.69	3.4	OK	2.76	3.4	OK	2.733	3.4	OK	2.772	3.4	OK
$\frac{D_{TM}}{h_r} + \frac{P_r}{GA_r S} + \frac{0.375B^2\theta}{t_r h_r} \leq \frac{0.85\epsilon_u}{1.5}$			$\frac{D_{TM}}{h_r} + \frac{P_r}{GA_r S} + \frac{0.375B^2\theta}{t_r h_r} \leq \frac{0.85\epsilon_u}{1.5}$			$\frac{D_{TM}}{h_r} + \frac{P_r}{GA_r S} + \frac{0.375B^2\theta}{t_r h_r} \leq \frac{0.85\epsilon_u}{1.5}$			$\frac{D_{TM}}{h_r} + \frac{P_r}{GA_r S} + \frac{0.375B^2\theta}{t_r h_r} \leq \frac{0.85\epsilon_u}{1.5}$		
3.52	3.92	OK	3.74	3.92	OK	3.559	3.923	OK	3.753	3.923	OK

Tabla 19 Propiedades efectivas con límite superior

Elaborado por: César Silva, 2023

Aislador A1			Aislador A2			Aislador A3			Aislador A4		
Núcleo	SÍ		Núcleo	SÍ		Núcleo	NO		Núcleo	NO	
Número	32	Unidades	Número	12	Unidades	Número	6	Unidades	Número	30	Unidades
Ø interno	0.34	m	Ø interno	0.305	m	Ø interno	0	m	Ø interno	0	m
Área	1.039	m <sup>2</sup>	Área	1.227	m <sup>2</sup>	Área	1.039	m <sup>2</sup>	Área	1.227	m <sup>2</sup>
Øe / hr	4.11	OK	Øe / hr	4.46	OK	Øe / hr	4.11	OK	Øe / hr	4.46	OK
Øe / Øi	3.382	OK	Øe / Øi	4.098	OK	Øe / Øi	#DIV/0!	#DIV/0!	Øe / Øi	#DIV/0!	#DIV/0!
Gr (Mod corte)	0.4	Mpa	Gr (Mod corte)	0.4	Mpa	Gr (Mod corte)	0.4	Mpa	Gr (Mod corte)	0.4	Mpa
hr	0.28	m	hr	0.28	m	hr	0.28	m	hr	0.28	m
kd (Rig pos fluencia)	1187.07	kN/m	kd (Rig pos fluencia)	1402.50	kN/m	kd (Rig pos fluencia)	1187.07	kN/m	kd (Rig pos fluencia)	1402.50	kN/m
	121.05	ton/m		143.01	ton/m		121.05	ton/m		143.01	ton/m
Qdi (Resis característica)	581.07	kN	Qdi (Resis característica)	467.59	kN	Qdi (Resis característica)	0.00	kN	Qdi (Resis característica)	0.00	kN
	59.25	ton		47.68	ton		0.00	ton		0.00	ton
KeffM	260.975	ton	KeffM	255.616	ton	KeffM	121.048	ton	KeffM	143.015	ton
Dm/hr	1.51	OK	Dm/hr	1.51	OK	Dm/hr	1.51	OK	Dm/hr	1.51	OK
ku (Rig inicial)	1210.48	ton/m	ku (Rig inicial)	1430.15	ton/m	ku (Rig inicial)	1210.48	ton/m	ku (Rig inicial)	1430.15	ton/m
	11870.73224	Kn/m		14024.9672	Kn/m		11870.73224	Kn/m		14024.9672	Kn/m
Fy (Fluencia)	65.84	Ton	Fy (Fluencia)	52.98	Ton	Fy (Fluencia)	0.00	Ton	Fy (Fluencia)	0.00	Ton
	645.877263	kN		519.74682	kN		0	kN		0	kN
Δy	54.391	mm	Δy	37.046	mm	Δy	0.000	mm	Δy	0.000	mm
	0.054	m		0.037	m		0.000	m		0.000	m
EDCm (Energ disipada)	87.47	Ton	EDCm (Energ disipada)	73.70	Ton	EDCm (Energ disipada)	0.00	Ton	EDCm (Energ disipada)	0.00	Ton
βMI (amort efectivo)	30%	%	βMI (amort efectivo)	26%	%	βMI (amort efectivo)	0%	%	βMI (amort efectivo)	0%	%
Ared	0.472	m <sup>2</sup>	Ared	0.608	m <sup>2</sup>	Ared	0.472	m <sup>2</sup>	Ared	0.608	m <sup>2</sup>
0.5*Ar	0.519	m <sup>2</sup>	0.5*Ar	0.614	m <sup>2</sup>	0.5*Ar	0.519	m <sup>2</sup>	0.5*Ar	0.614	m <sup>2</sup>
NO CUMPLE, SIN EMBARGO NO AFECTA			NO CUMPLE, SIN EMBARGO NO AFECTA			NO CUMPLE, SIN EMBARGO NO AFECTA			NO CUMPLE, SIN EMBARGO NO AFECTA		
Verificación de estabilidad A1			Verificación de estabilidad A2			Verificación de estabilidad A3			Verificación de estabilidad A4		
Pmax	12772.87	kN	Pmax	19062.56	kN	Pmax	14357.79	kN	Pmax	19334.11	kN
tr (espesor lámina caucho)	8	mm	tr (espesor lámina caucho)	8	mm	tr (espesor lámina caucho)	8	mm	tr (espesor lámina caucho)	8	mm
S	35.94		S	39.06		S	35.94		S	39.06	
Pcr (Cap de carga)	30946.60	kN	Pcr (Cap de carga)	47084.43	kN	Pcr (Cap de carga)	30946.598	kN	Pcr (Cap de carga)	47084.426	kN
OK			OK			OK			OK		
Po	6897.68	kN	Po	8819.77	kN	Po	11772.19	kN	Po	11951.73	kN
Pcr (Cap de carga)	22704.76	kN	Pcr (Cap de carga)	31693.16	kN	Pcr (Cap de carga)	22704.757	kN	Pcr (Cap de carga)	31693.160	kN
OK			OK			OK			OK		
Num láminas de goma	35	unidades	Num láminas de goma	35	unidades	Num láminas de goma	35	unidades	Num láminas de goma	35	unidades
eu (elongación de rotura)	6		eu (elongación de rotura)	6		eu (elongación de rotura)	6		eu (elongación de rotura)	6	
θ	0.00237		θ	0.00237		θ	0.00237		θ	0.00237	
Recubrimiento	19	mm	Recubrimiento	19	mm	Recubrimiento	19	mm	Recubrimiento	19	mm
B	1.112	m	B	1.212	m	B	1.112	m	B	1.212	m
$\frac{D_{TM}}{h_r} + \frac{P_r}{GA_r S} \leq \frac{0.85\epsilon_u}{1.5}$			$\frac{D_{TM}}{h_r} + \frac{P_r}{GA_r S} \leq \frac{0.85\epsilon_u}{1.5}$			$\frac{D_{TM}}{h_r} + \frac{P_r}{GA_r S} \leq \frac{0.85\epsilon_u}{1.5}$			$\frac{D_{TM}}{h_r} + \frac{P_r}{GA_r S} \leq \frac{0.85\epsilon_u}{1.5}$		
2.68	3.4	OK	2.82	3.4	OK	2.783	3.4	OK	2.830	3.4	OK
$\frac{D_{TM}}{h_r} + \frac{P_r}{GA_r S} + \frac{0.375B^2\theta}{t_r h_r} \leq \frac{0.85\epsilon_u}{1.5}$			$\frac{D_{TM}}{h_r} + \frac{P_r}{GA_r S} + \frac{0.375B^2\theta}{t_r h_r} \leq \frac{0.85\epsilon_u}{1.5}$			$\frac{D_{TM}}{h_r} + \frac{P_r}{GA_r S} + \frac{0.375B^2\theta}{t_r h_r} \leq \frac{0.85\epsilon_u}{1.5}$			$\frac{D_{TM}}{h_r} + \frac{P_r}{GA_r S} + \frac{0.375B^2\theta}{t_r h_r} \leq \frac{0.85\epsilon_u}{1.5}$		
3.17	3.92	OK	3.40	3.92	OK	3.274	3.923	OK	3.413	3.923	OK

Tabla 20 Propiedades efectivas con límite inferior

Elaborado por: César Silva, 2023

DIMENSIONES FINALES DE AISLADORES									
TIPOS	De (m)	hr (m)	Núm de láminas	tl (mm)	Num aisladores	Núcleo de plomo	Di (m)	Recubrimiento (mm)	Placas
A1	1.15	0.28	35	8	32	SÍ	0.34	19	135x135x25
A2	1.25	0.28	35	8	12	SÍ	0.305	19	145x145x25
A3	1.15	0.28	35	8	6	NO	0	19	135x135x25
A4	1.25	0.28	35	8	30	NO	0	19	145x145x25

Tabla 21 Dimensiones finales de aisladores

Elaborado por: César Silva, 2023

#### 4.12 PERFIL DE DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS

Se establece el perfil de desplazamientos máximos de la estructura ante el sismo de diseño en ambas direcciones, esta comparación se realiza en el edificio con y sin aisladores.

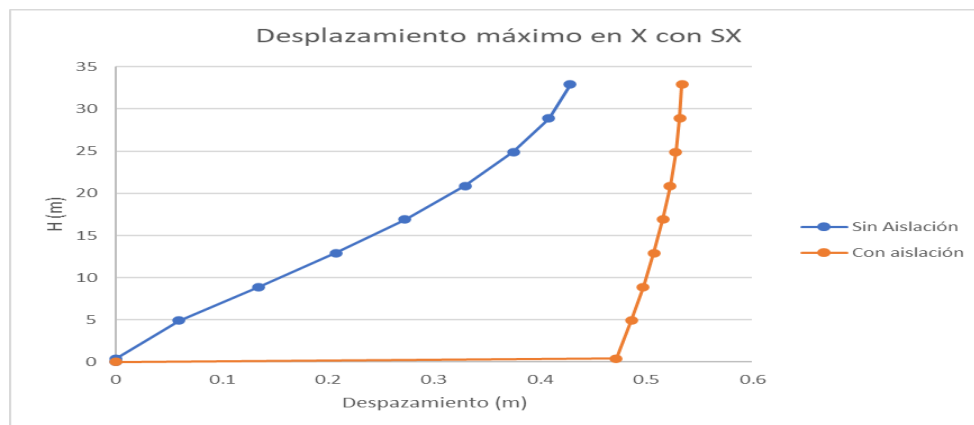


Figura 70 Desplazamiento máximo en sentido X para sismo SX

Elaborado por: César Silva, 2023

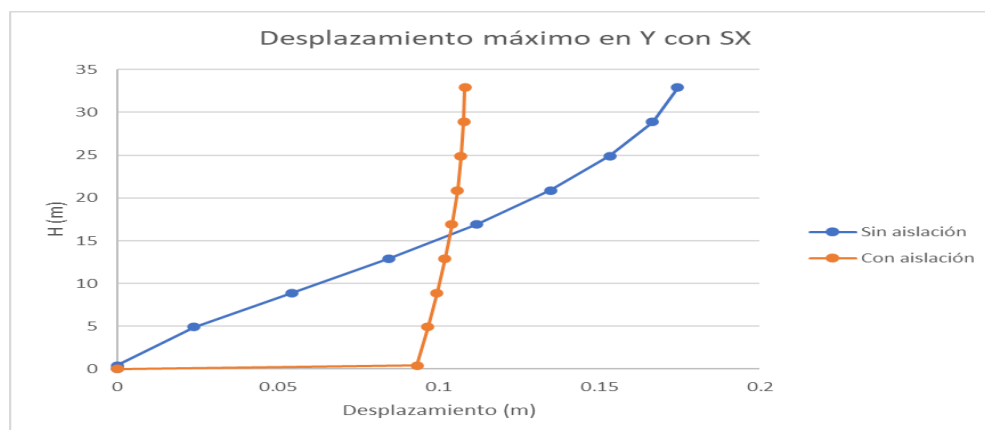


Figura 71 Desplazamiento máximo en sentido Y sismo SX

Elaborado por: César Silva, 2023



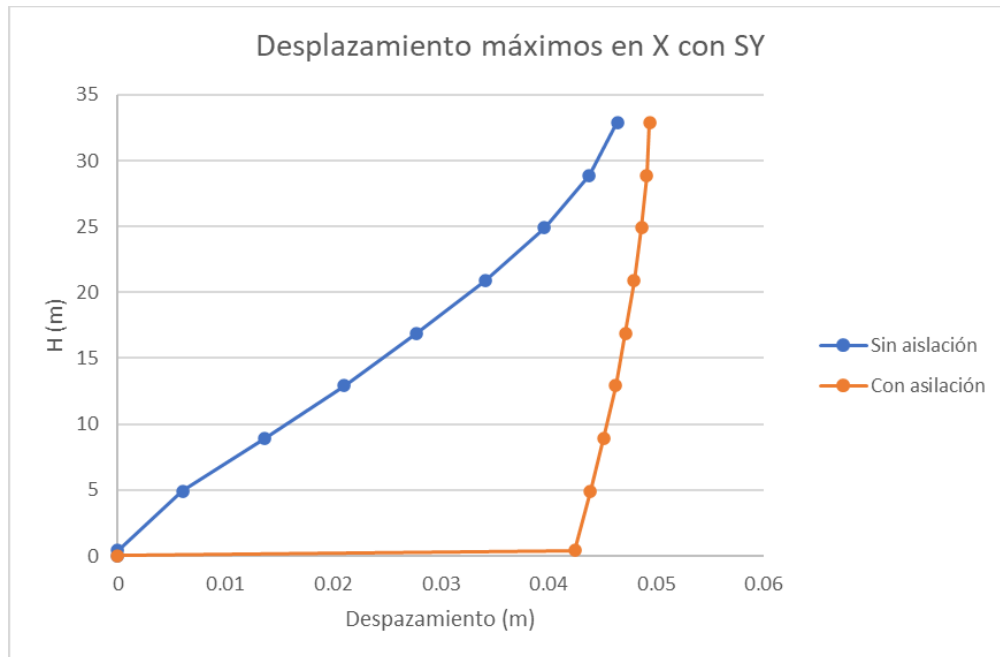


Figura 72 Desplazamiento máximo en X para sismo Sy

Elaborado por: César Silva, 2023

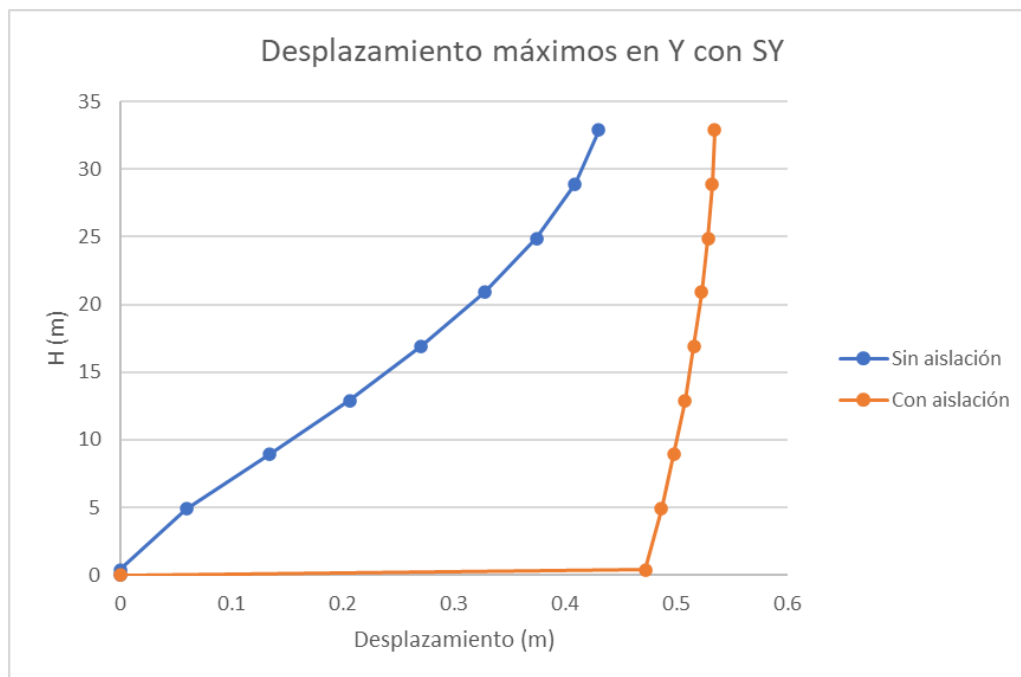


Figura 73 Desplazamiento máximo en Y para sismo Sy

Elaborado por: César Silva, 2023

#### 4.13 PERFIL DE DERIVAS DE ENTREPISO MÁXIMAS

Al igual que en el caso de los desplazamientos máximos se obtienen las derivas máximas para el sismo de diseño, tanto en la estructura con aisladores como sin ellos.

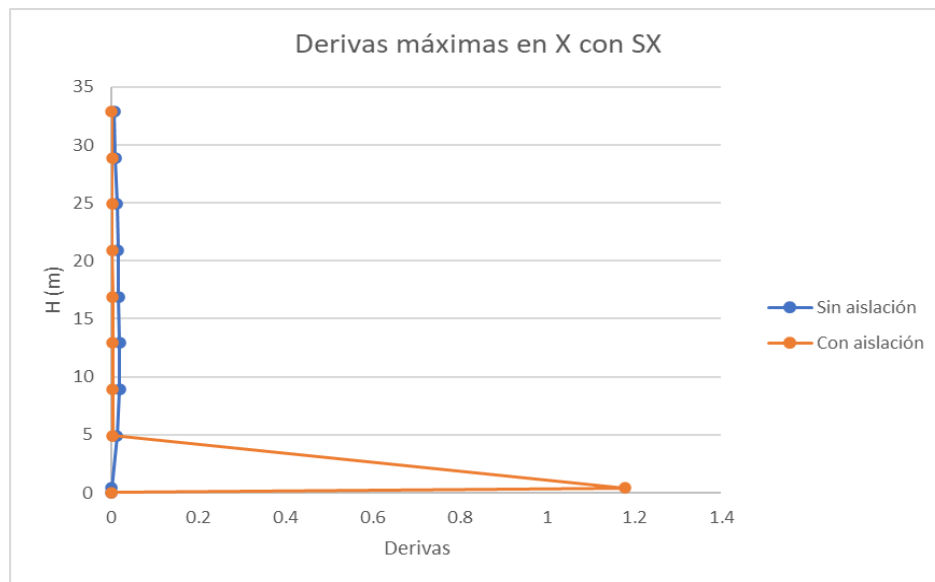


Figura 74 Deriva máxima en X con sismo Sx

Elaborado por: César Silva, 2023

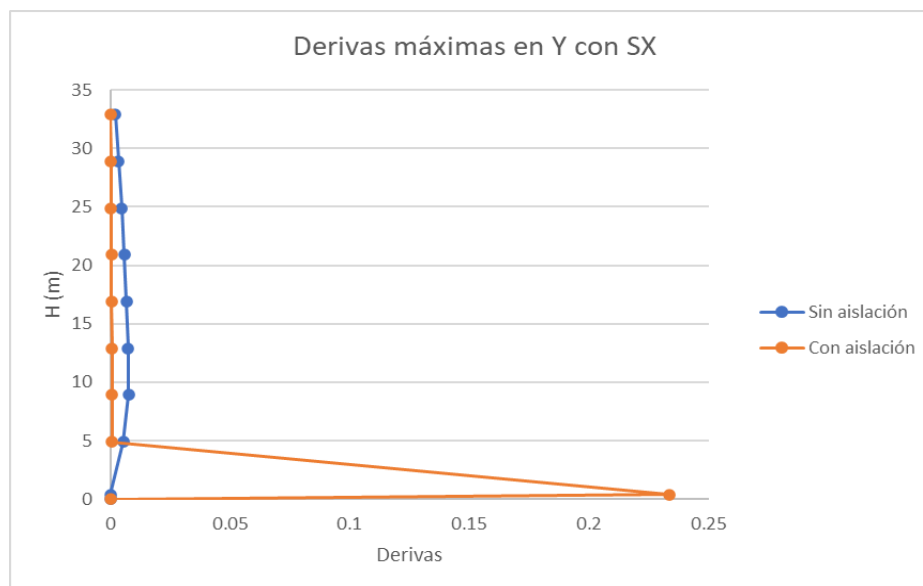


Figura 75 Deriva máxima en Y con sismo Sx

Elaborado por: César Silva, 2023

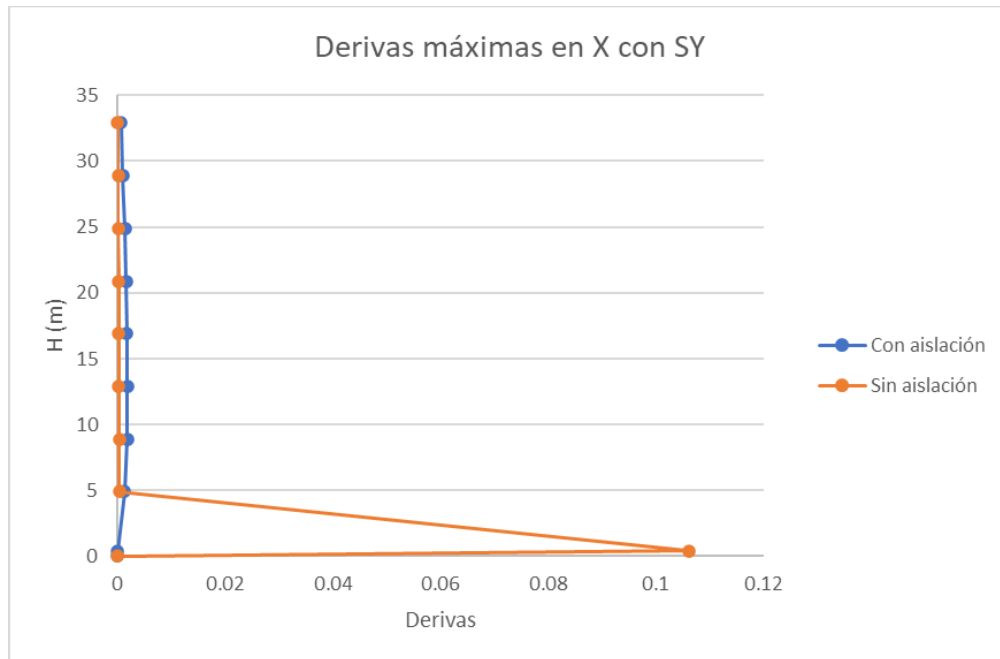


Figura 76 Deriva máxima en X con sismo Sy

Elaborado por: César Silva, 2023

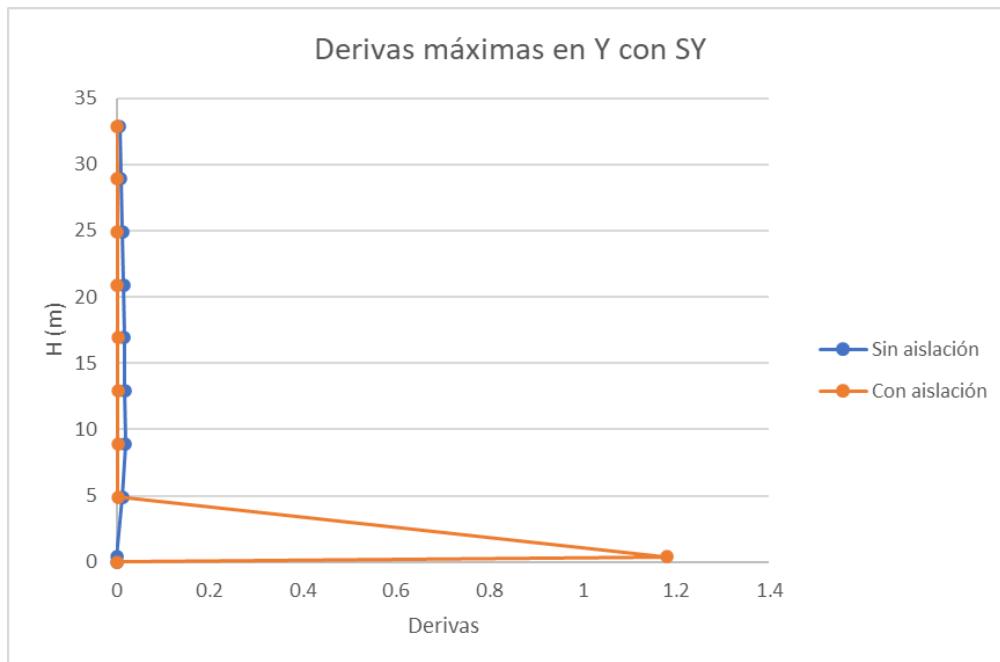


Figura 77 Deriva máxima en Y con sismo Sy

Elaborado por: César Silva, 2023

#### 4.14 PERFIL DE ACELERACIONES MÁXIMAS

Finalmente se obtienen los perfiles de aceleraciones absolutas máximas de piso en altura de la estructura, Se obtienen las aceleraciones en ambos sentidos (X e Y) con los sismos  $S_x$  e  $S_y$ .

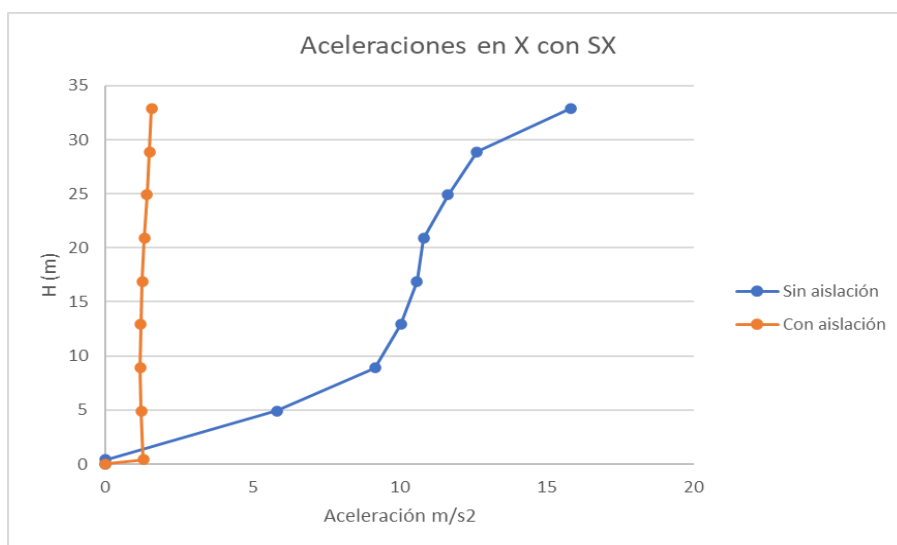


Figura 78 Aceleraciones absolutas máximas en sentido X con sismo  $S_x$

Elaborado por: César Silva, 2023

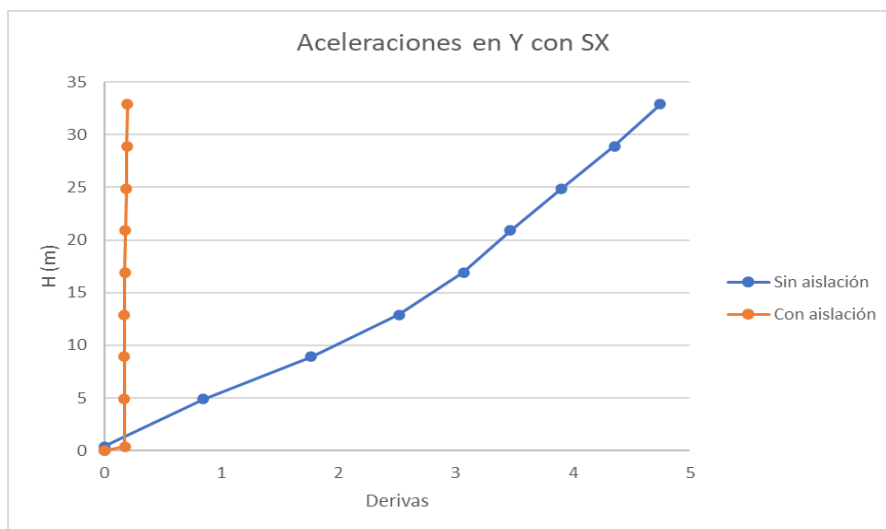


Figura 79 Aceleraciones absolutas máximas en sentido Y con sismo  $S_x$

Elaborado por: César Silva, 2023

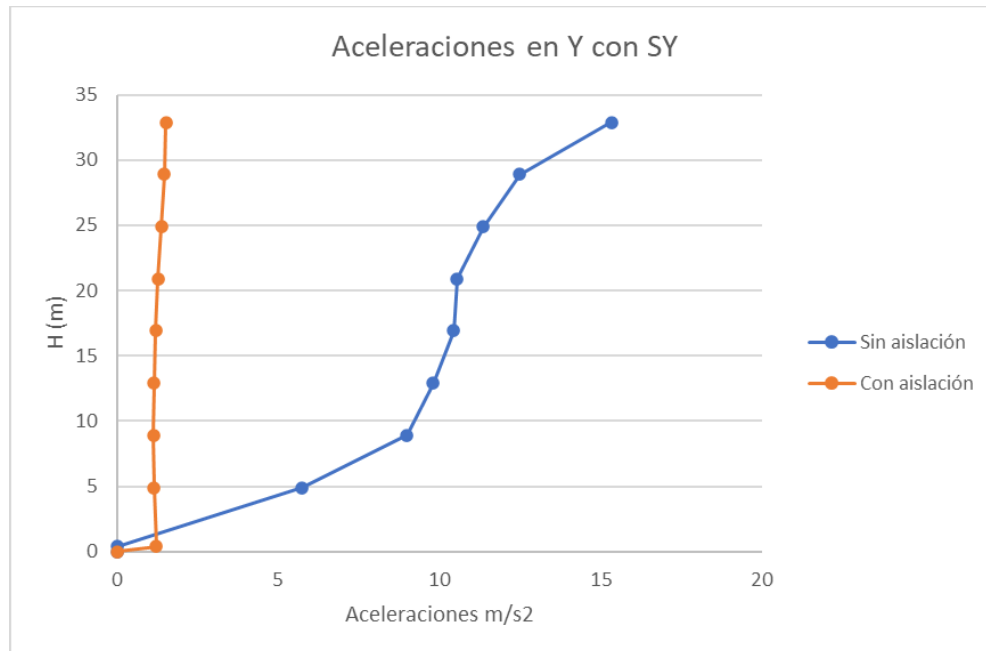


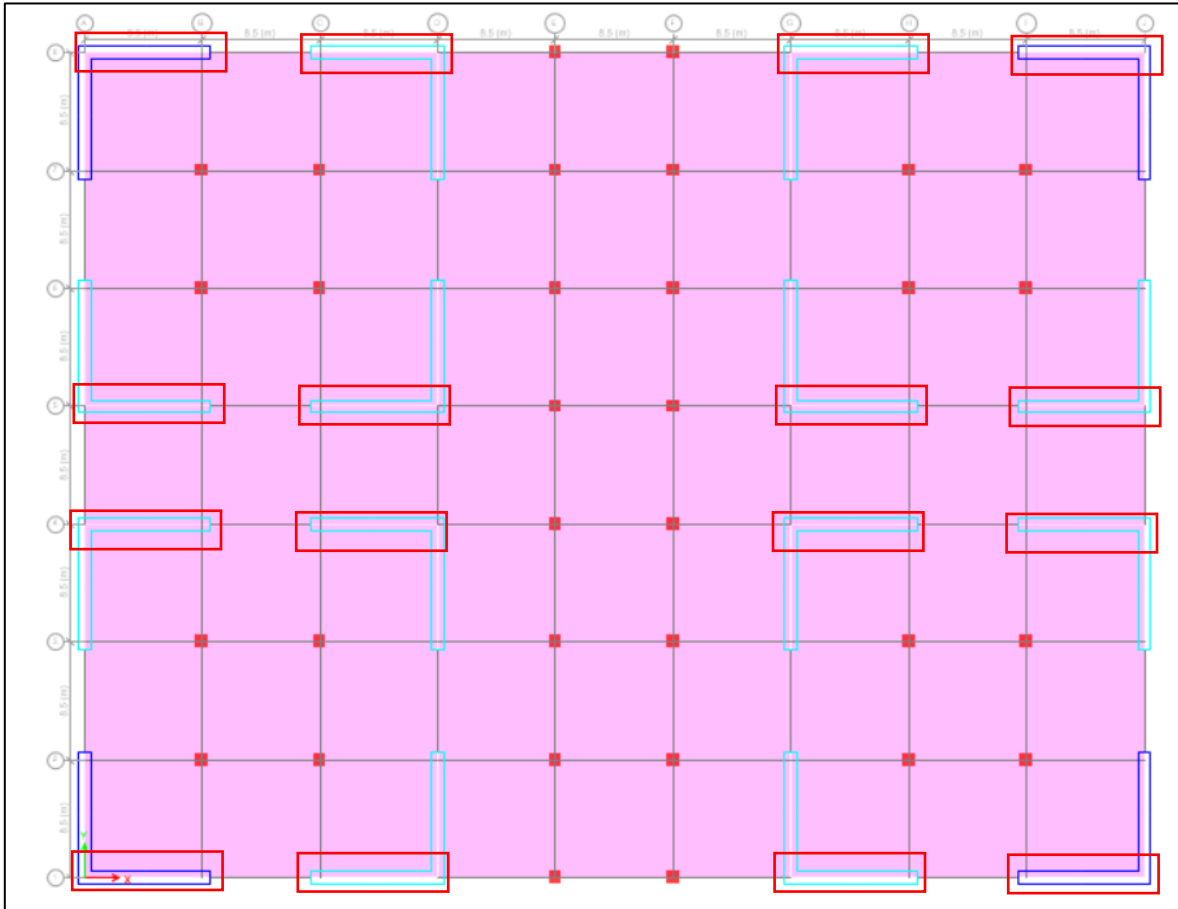
Figura 80 Aceleraciones absolutas máximas en sentido Y con sismo Sy

Elaborado por: César Silva, 2023

## CAPÍTULO 5 - DISEÑO DE EDIFICIO CON MUROS ESTRUCTURALES (SISTEMA DUAL)

### 5.1 DENSIDAD DE MUROS Y RELACIÓN H/T

Para determinar el índice de densidad de muros es necesario determinar el área total de losa de piso, en este caso se tiene un área total de 4551.75m<sup>2</sup>.



*Figura 81 Área horizontal de muros de hormigón*

*Elaborado por: César Silva, 2023*

Se obtiene las áreas de las secciones transversales de los muros en sentido X e Y y se determina el índice de densidad de muros en el sentido horizontal.

Ecuación 36 Índice de densidad

$$Dm = \frac{\text{Área de muros}}{\text{Área total de losa}}$$

$$Dm1x = \frac{\text{Área de muros en sentido X}}{\text{Área total de losa}}$$

$$Dm1x = \frac{162.88m^2}{455175m^2} = 0.035 = 3.57\%$$

$$Dm1y = \frac{\text{Área de muros en sentido Y}}{\text{Área total de losa}}$$

$$Dm1y = \frac{162.88m^2}{4551.75m^2} = 0.035 = 3.57\%$$

La densidad de muros tanto en el sentido X e Y son mayores al 0.1% del área total de losa de piso, límite basado en el estándar de la norma chilena.

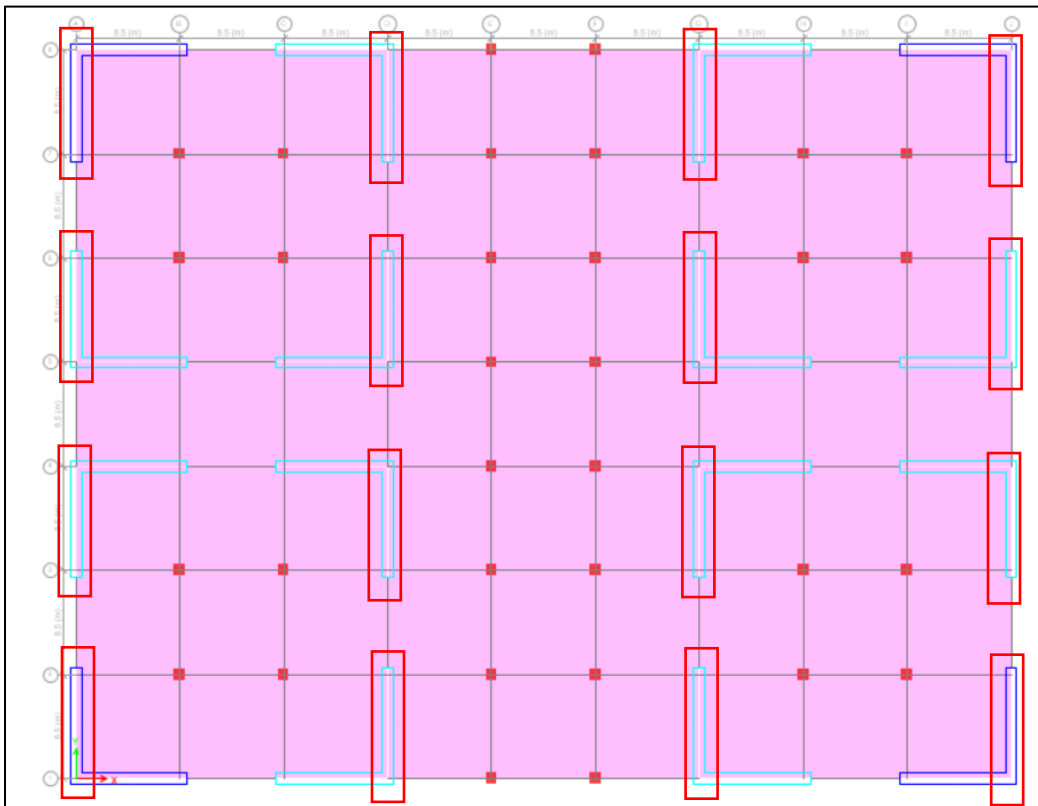


Figura 82 Área vertical de muros de hormigón

Elaborado por: César Silva, 2023

La relación H/T es un indicador de rigidez de la estructura, la cual es dependiente del sistema estructural de cargas laterales, Para determinar este indicador se consideran las propiedades agrietadas establecidas en la NEC-SE-DS.

**Estructuras de hormigón armado**

En este caso, en el cálculo de la rigidez y de las derivas máximas se deberán utilizar los valores de las inercias agrietadas de los elementos estructurales, de la siguiente manera:

- 0.5  $I_g$  para vigas (considerando la contribución de las losas, cuando fuera aplicable)
- 0.8  $I_g$  para columnas
- 0.6  $I_g$  para muros estructurales:
  - Para estructuras sin subsuelos, se aplicarán únicamente en los dos primeros pisos de la edificación
  - Para estructuras con subsuelos, se aplicarán en los dos primeros pisos y en el primer subsuelo
  - En ningún caso se aplicarán en una altura menor que la longitud en planta del muro
  - Para el resto de pisos la inercia agrietada del muro estructural puede considerarse igual a la inercia no agrietada.

Figura 83 Inercias agrietadas

Elaborado por: NEC-SE-DS, 2015

Para el diseño de los muros estructurales se emplearon inercias de  $0.6I_g$  para los tres primeros pisos y  $1I_g$  para los siguientes niveles.

Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Membrane f11 Direction	0.6
Membrane f22 Direction	0.6
Membrane f12 Direction	0.6
Bending m11 Direction	1
Bending m22 Direction	1
Bending m12 Direction	1
Shear v13 Direction	1
Shear v23 Direction	1
Mass	1
Weight	1

Figura 84 Inercia para muros (Pisos: 1-3)

Property/Stiffness Modification Factors

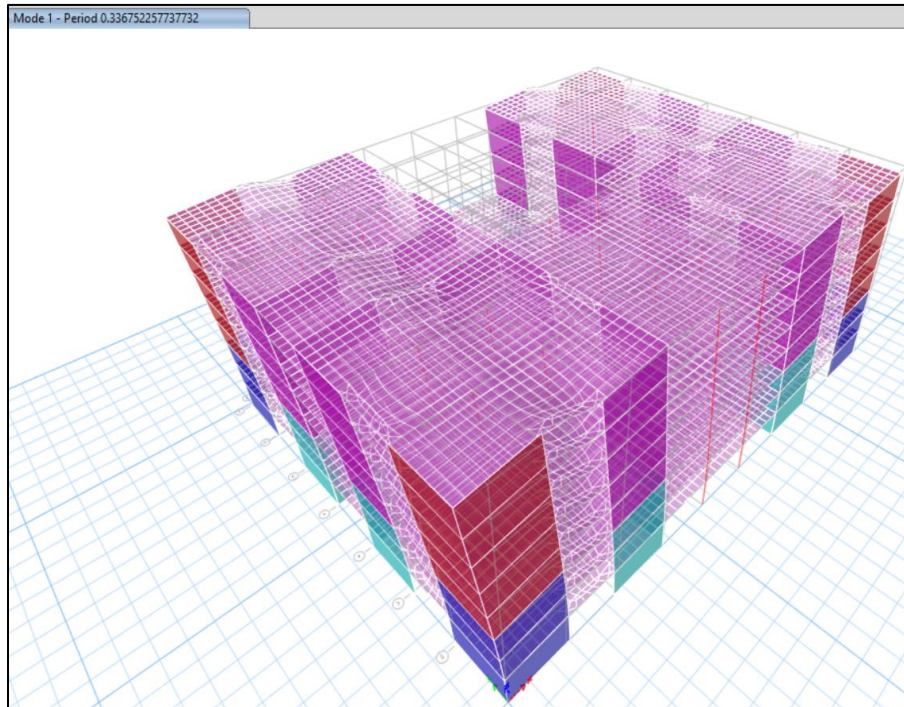
Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Membrane f11 Direction	1
Membrane f22 Direction	1
Membrane f12 Direction	1
Bending m11 Direction	1
Bending m22 Direction	1
Bending m12 Direction	1
Shear v13 Direction	1
Shear v23 Direction	1
Mass	1
Weight	1

Figura 85 Inercia para muros (Pisos 4-8)

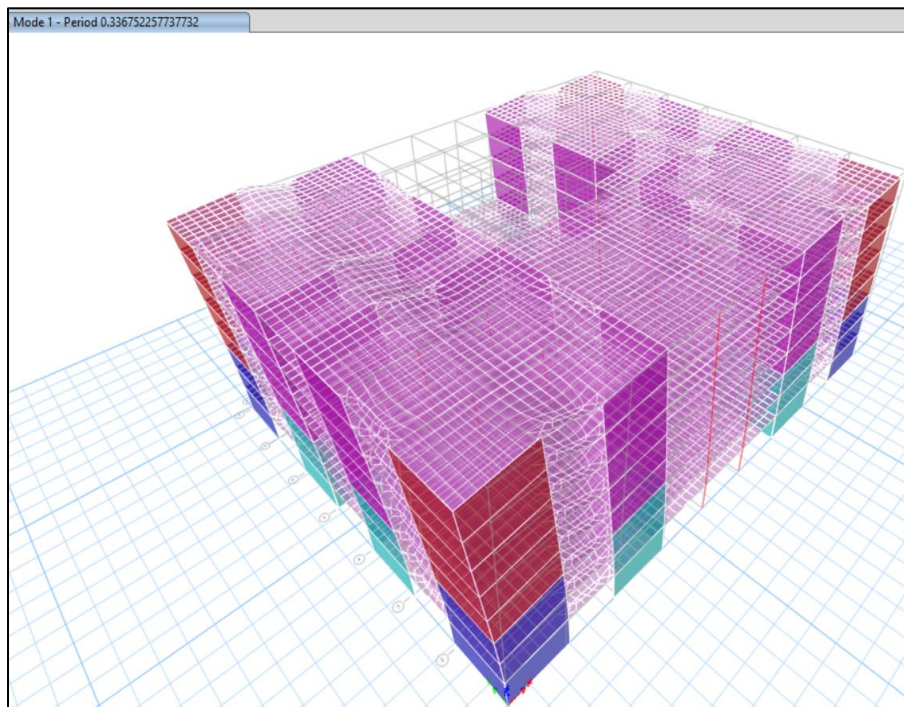
Elaborado por: NEC-SE-DS, 2015





*Figura 86 Primer modo de vibración, 0.336s*

*Elaborado por: César Silva, 2023*



*Figura 87 Segundo modo de vibración, 0.334s*

*Elaborado por: César Silva, 2023*

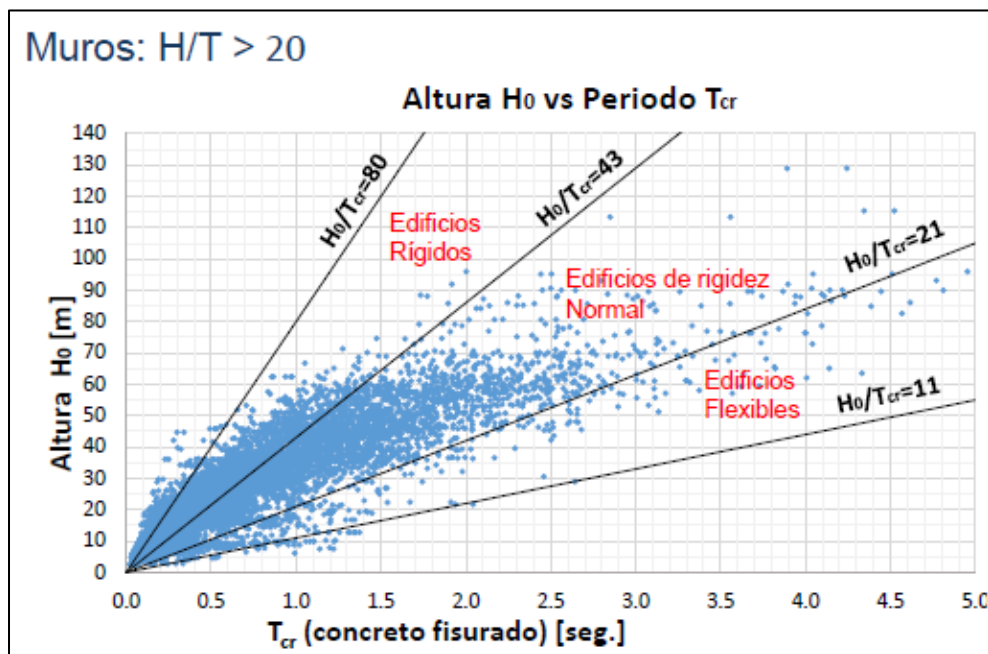
Establecidos los períodos con los modos de vibración traslacionales se realiza la relación H/T considerando la altura total del edificio (32.5m).

*Ecuación 37 Relación H/T en sentido X e Y*

$$\frac{H}{T}x = \frac{32.5}{0.336} = 96.72$$

$$\frac{H}{T}x = \frac{32.5}{0.334} = 97.3$$

Analizando la relación H/T en ambos sentidos se verifica que ningún resultado se encuentra dentro del criterio de Edificio Rígido ( $H_0/T_{cr} = 43-80$ ); sino que su rigidez es más alta a la establecida en la siguiente figura.



*Figura 88 Relación H/T*

*Elaborado por: Mario Lafontaine, 2023*

## 5.2 COMPORTAMIENTO GLOBAL DEL EDIFICIO

### 5.2.1 Corte de diseño según norma NEC-SE-DS

Establecida la estructura, se ingresa el espectro de aceleraciones. Para este segundo caso de método de diseño, se considera a la estructura como un edificio de tipo esencial, por lo que tiene un factor de importancia (I) igual a 1.5, además de considerar si la misma tiene penalización en planta o elevación.

Datos NEC-15	
<a href="#">NEC-SE-DS-Peligro-Sísmico-parte-1-fusionado.pdf</a>	
Zona Sísmica	V
Factor Z	0.4
Peligro Sísmico	Alta
Tipo de Suelo	C
Región	Sierra
r	1
n	2.48
fa	1.2
fd	1.11
fs	1.11
Tipo de Edificio	Edificaciones esenciales
I	1.5
$\emptyset_p$ (Factor de penalización en planta)	1
$\emptyset_e$ (Factor de penalización en elevación)	0.9
R (Factor de reducción)	1
To	0.103
Ct - $\alpha$	Hormigón con muros
Ct	0.055
$\alpha$	0.75

Tabla 22 Datos para obtención de espectro de aceleraciones

Elaborado por: César Silva, 2023

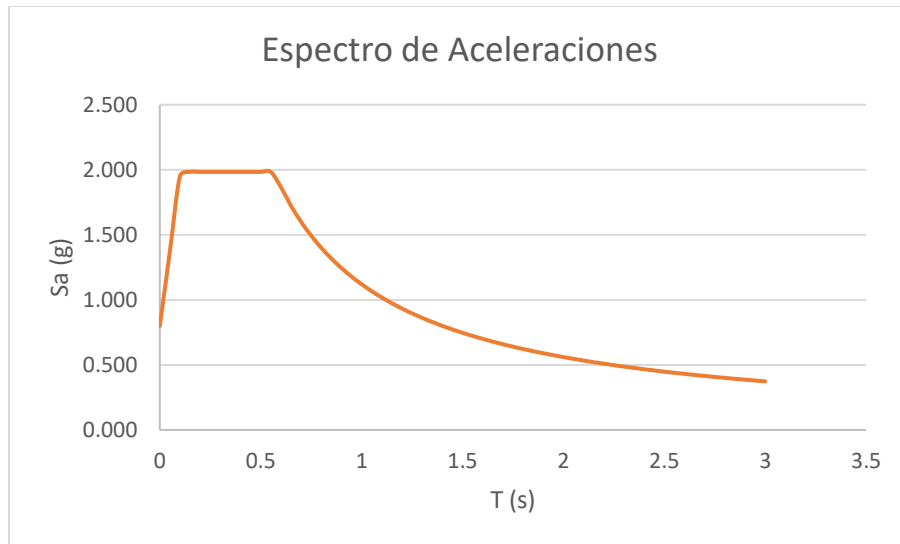


Figura 89 Espectro de aceleraciones

Elaborado por: César Silva, 2023

Para que la estructura cumpla con el parámetro de corte de diseño establecido en la norma NEC-SE-DS, se verifica que el cortante dinámico sea mayor al 85% del cortante basal. Se ingresan los patrones de carga en sentido X e Y con su respectivo coeficiente de corte basal (C) y coeficiente K, valores relacionados a los períodos de vibración obtenidos en el espectro de aceleraciones.

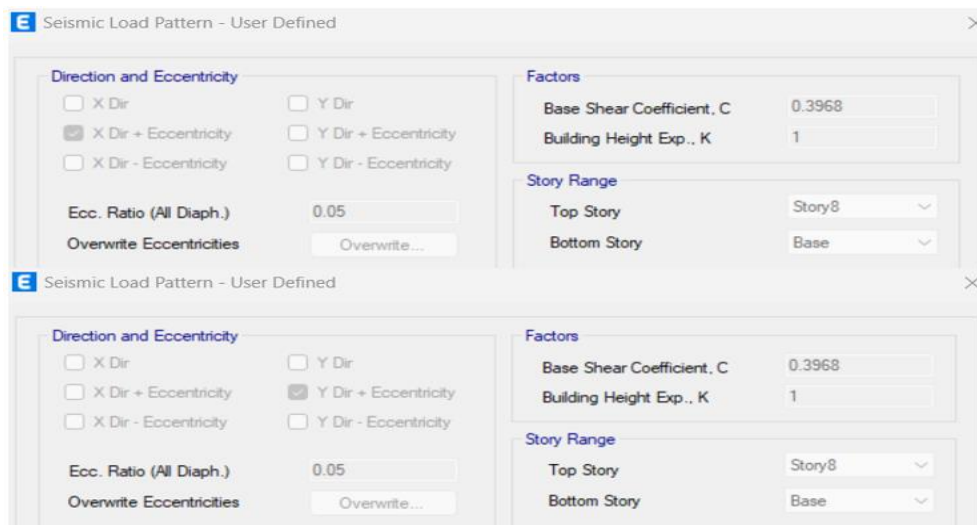


Figura 90 Coeficientes para patrones de carga en X e Y

Elaborado por: César Silva, 2023

Para cumplir con la relación de cortante dinámico y cortante basal se modifican los factores de escala en la combinación de carga  $S_x$  e  $S_y$ .

**General Data**

Load Combination Name:

Combination Type:

Notes:

Auto Combination:

---

**Define Combination of Load Case/Combo Results**

Load Name	Scale Factor
SXE	0.232

**General Data**

Load Combination Name:

Combination Type:

Notes:

Auto Combination:

---

**Define Combination of Load Case/Combo Results**

Load Name	Scale Factor
SYE	0.232

Figura 91 Modificación de factor de escala  $S_x$  e  $S_y$

Elaborado por: César Silva, 2023

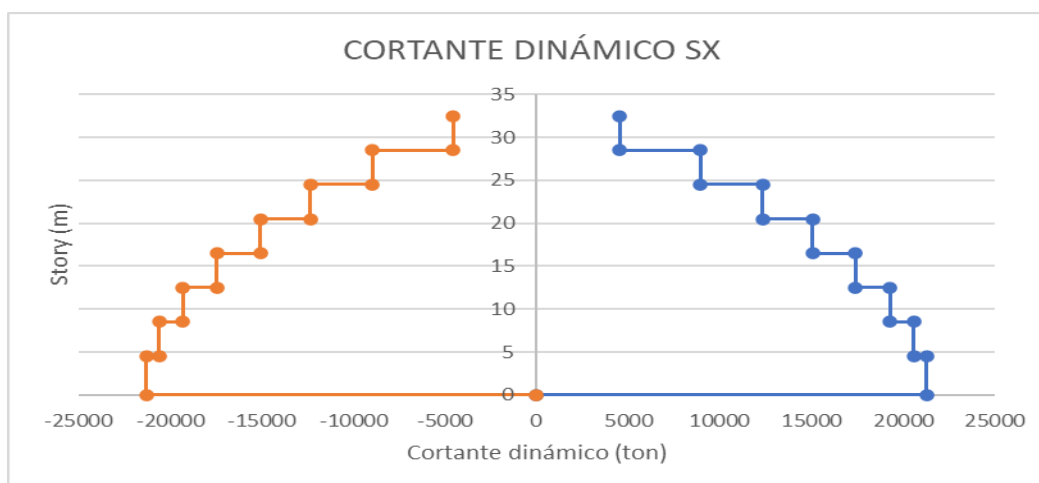


Figura 92 Cortante dinámico  $S_x$

Elaborado por: César Silva, 2023

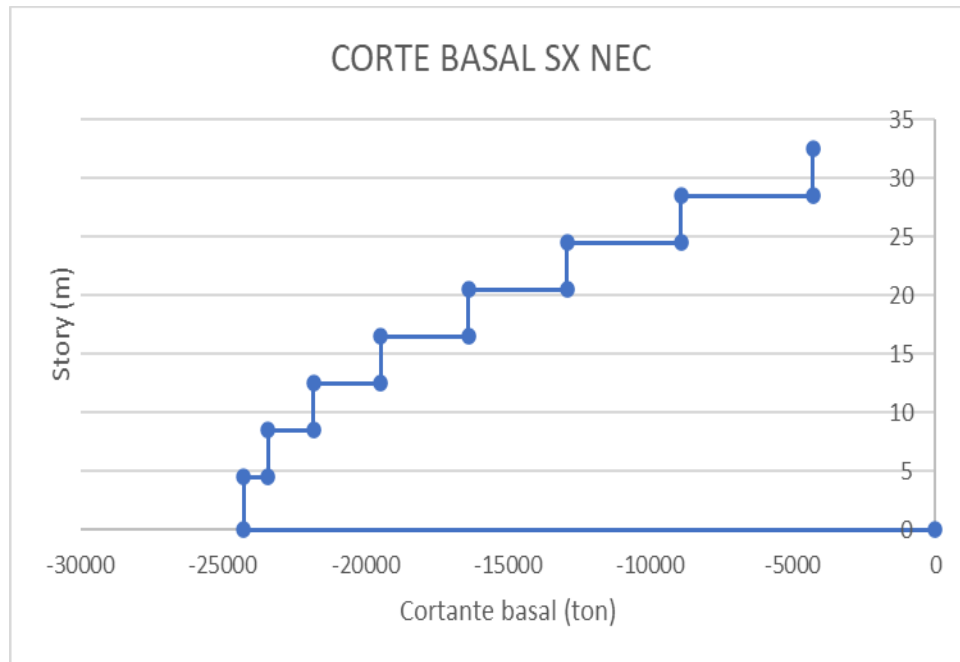


Figura 93 Cortante basal Sx NEC

Elaborado por: César Silva, 2023

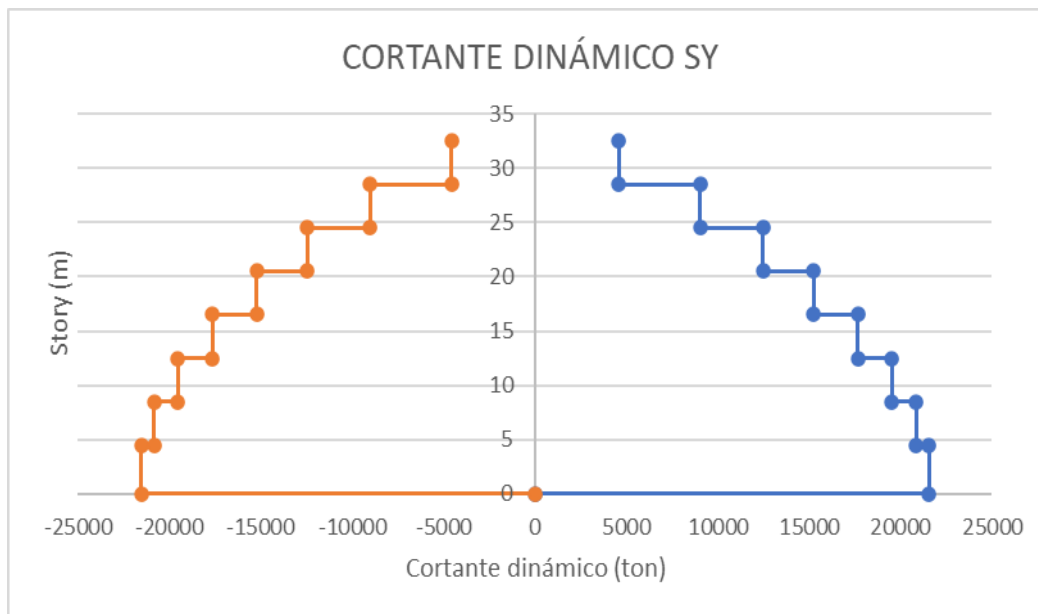


Figura 94 Cortante dinámico Sy

Elaborado por: César Silva, 2023

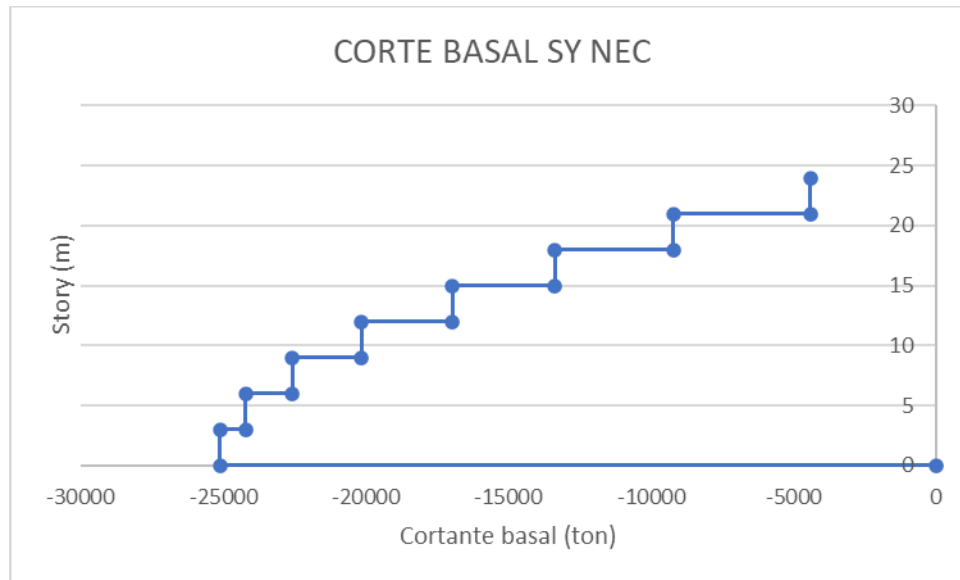


Figura 95 Cortante basal Sy NEC

Elaborado por: César Silva, 2023

Relación Corte dinámico - Corte basal X			Relación Corte dinámico - Corte basal Y		
Cortante dinámico	21281.72	ton	Cortante dinámico	21541.82	ton
Corte basal	25106.11	ton	Corte basal	25106.11	ton
Coeficiente	0.85	%	Coeficiente	0.86	%

Tabla 23 Relación cortante dinámico / cortante basal en sentido X e Y

Elaborado por: César Silva, 2023

Se comprueba que la relación de cortante dinámico vs cortante basal es mayor al 85% en ambas direcciones. Los cortes de diseño en ambas direcciones son semejantes, esto se debe a que la densidad de muros en ambos sentidos es similar.

### 5.2.2 Derivas de entrepiso y desplazamiento máximo

Para el análisis de las derivas de entrepiso se emplean combinaciones de carga DX Y DY, los cuales son reducidos por 0.75\*R según lo especificado en la norma NEC-SE-DS.

$\Delta_{Mf} = 0.75R\Delta_E$

Dónde:

$\Delta_{Mf}$  Deriva máxima inelástica

$\Delta_E$  Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas

R Factor de reducción de resistencia (véase la sección [6.3.4](#))

Figura 96 Límites de deriva

Elaborado por: NEC-SE-DS, 2015

Derivas entrepiso Espectro Sentido X					
Piso	Altura (m)	Deriva X	Deriva X (%)	Deriva Y	Deriva Y (%)
8	32.5	0.0025	0.2533	0.0005	0.0524
7	28.5	0.0026	0.2599	0.0005	0.0540
6	24.5	0.0026	0.2616	0.0005	0.0545
5	20.5	0.0026	0.2564	0.0005	0.0535
4	16.5	0.0024	0.2437	0.0005	0.0510
3	12.5	0.0023	0.2252	0.0005	0.0474
2	8.5	0.0017	0.1746	0.0004	0.0368
1	4.5	0.0009	0.0913	0.0002	0.0196
0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 24 Derivas de entrepiso con Espectro en X

Elaborado por: César Silva, 2023

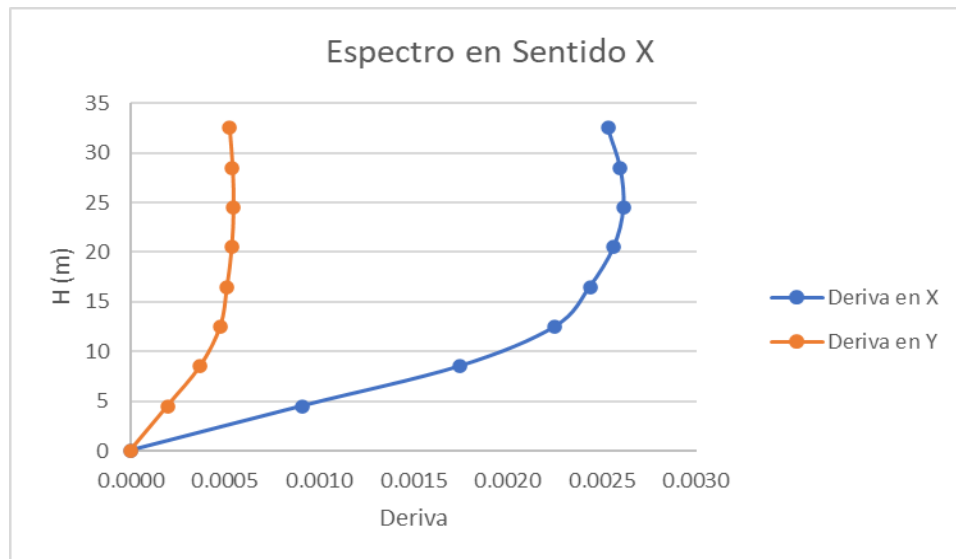


Figura 97 Derivas de entrepiso Espectro en X

Elaborado por: César Silva, 2023



Derivas entrepiso Espectro Sentido Y					
Piso	Altura (m)	Deriva X	Deriva X (%)	Deriva Y	Deriva Y (%)
8	32.5	0.0002	0.0184	0.0024	0.2428
7	28.5	0.0002	0.0189	0.0025	0.2492
6	24.5	0.0002	0.0190	0.0025	0.2508
5	20.5	0.0002	0.0186	0.0025	0.2459
4	16.5	0.0002	0.0176	0.0023	0.2338
3	12.5	0.0002	0.0164	0.0022	0.2165
2	8.5	0.0001	0.0128	0.0017	0.1681
1	4.5	0.0001	0.0069	0.0009	0.0880
0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 25 Derivas de entrepiso con Espectro en Y

Elaborado por: César Silva, 2023

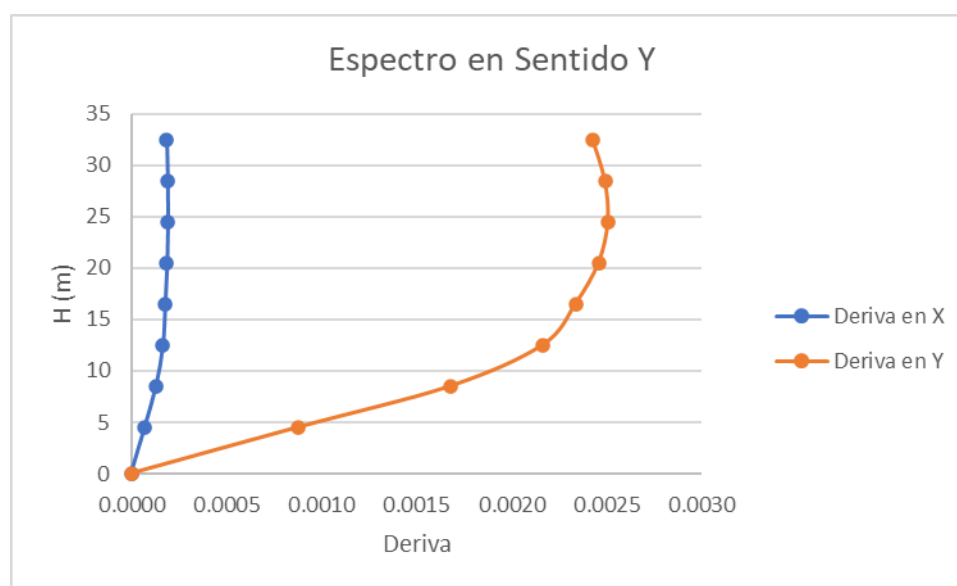


Figura 98 Derivas de entrepiso Espectro en Y

Elaborado por: César Silva, 2023

El sistema presenta mayores derivas en el sentido X, con un porcentaje máximo de 0.0026 siendo menor al límite de deriva inelástica establecida en la norma NEC-SE-DS (0.02).

Estructuras de:	$\Delta_M$ máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

Tabla 26 Valores de deriva máximas, expresadas como fracción de la altura de piso

Elaborado por: NEC-SE-DS, 2015

Al igual que con las derivas, los desplazamientos máximos se obtienen mediante las cargas DX y DY.

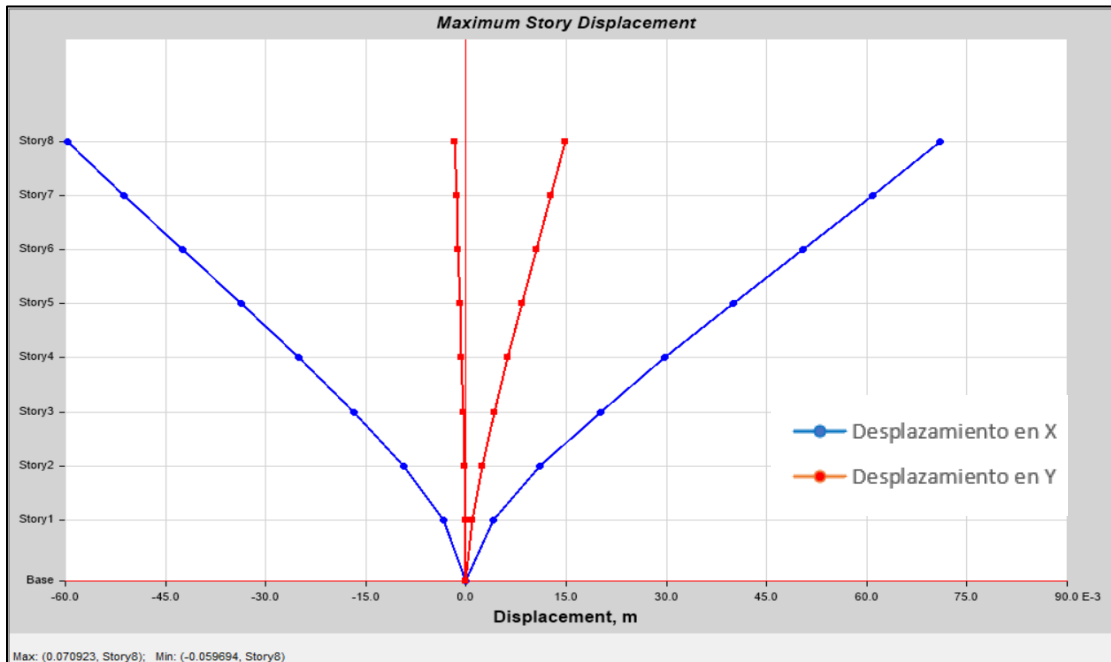


Figura 99 Desplazamiento máximo en X, 0.07m

Elaborado por: César Silva, 2023

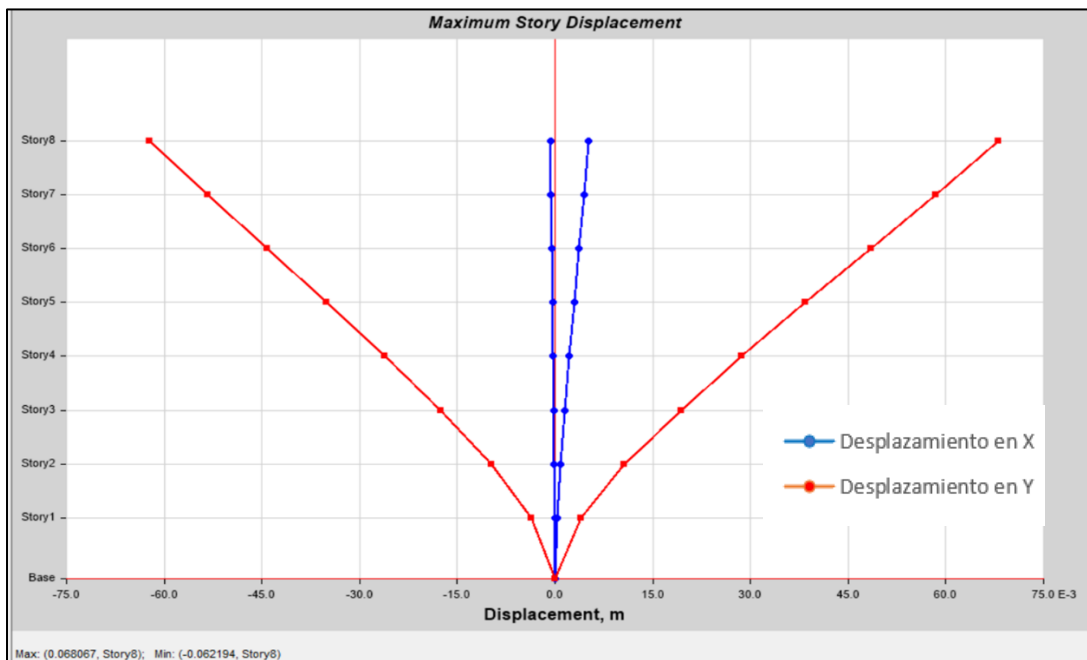


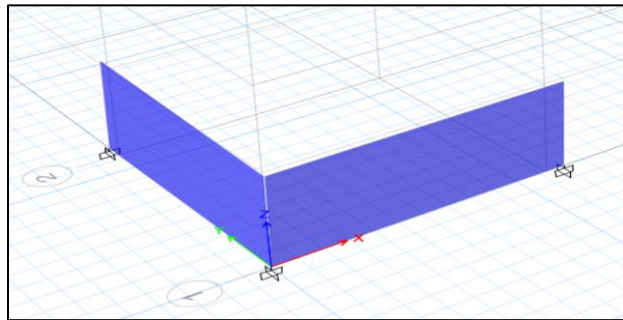
Figura 100 Desplazamiento máximo en Y, 0.068m

Elaborado por: César Silva, 2023

### 5.2.3 Diseño a corte de sección crítica de muro

Para el diseño a corte de los muros se consideran las diferentes combinaciones de carga establecidas en la NEC-SE-DS, con la finalidad de obtener el cortante último del muro sin amplificación.

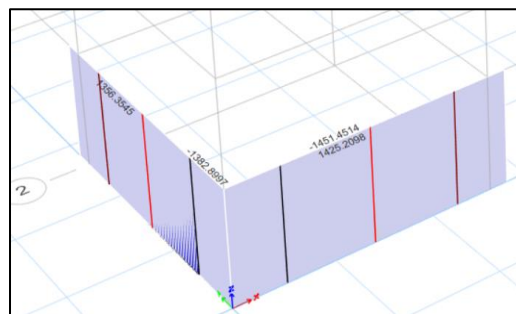
Para la estructura se han realizado 4 tipos de muros, sin embargo, para el diseño a corte se ha elegido el elemento ubicado en el extremo inferior izquierdo de la estructura, ya que tiene las mayores demandas de corte y carga axial por estar más alejado del centro de gravedad.



*Figura 101 Muro inferior izquierdo*

*Elaborado por: César Silva, 2023*

Para el diseño a corte de la sección crítica se obtiene el cortante último de las diferentes combinaciones, siendo el cortante resultante equivalente a  $V_u = 1451.45$  ton.



*Figura 102 Cortante último*

*Elaborado por: César Silva, 2023*

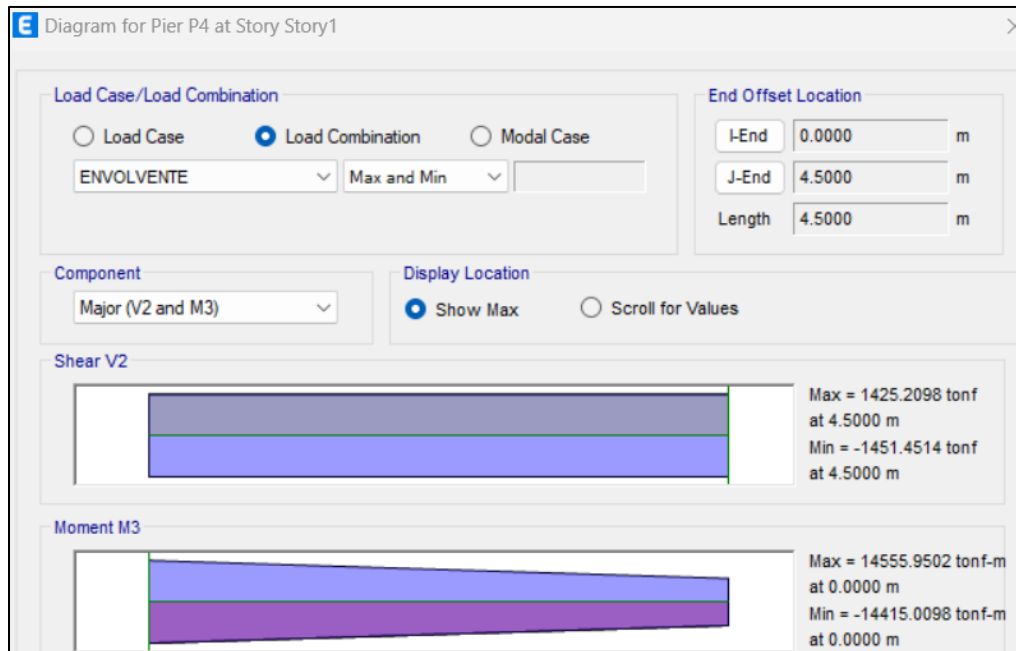


Figura 103 Cortante último en muro

Elaborado por: César Silva, 2023

Obtenido el cortante se determina que factor de reducción de resistencia se emplea en el diseño, el factor  $\phi$  para corte es de 0.6 debido a que no se considera sobre resistencia. Para determinar la resistencia nominal máxima del muro se emplean las siguientes ecuaciones, comprobando que las demandas sean mayores y no sea necesario un redimensionamiento:

$$V_n \leq 2 A_{cv} (f'_c)^{0.5} / 3$$

Asimismo, la resistencia nominal en cortante individual de los segmentos verticales debe estar tal como:

$$V_n \leq 5 A_{ep} (f'_c)^{0.5} / 6$$

Dónde:

$A_{ep}$  Sección transversal del segmento considerado.

Figura 104 Resistencia nominal en cortante

Elaborado por: NEC-SE-DS, 2015

Vu < φVn		
Área	10.18	m2
Corte		
φVn, max	4219.89	ton
	5274.86	ton
Vu	1537	ton
OK		

Tabla 27 Vu < φVn de alma

Elaborado por: César Silva, 2023

Realizando la comparación entre la resistencia nominal afectada por el factor de corte y la resistencia última, se cumple con el parámetro  $V_u < \phi V_n$  (LRFD). Inicialmente se diseña el acero transversal del sistema considerando una cuantía mínima  $\rho_{tmin}=0.0025$ .

Ecuación 38 Acero transversal

$$A_t = \frac{\rho_{tmin} * \text{espesor de muro}}{\# \text{ mallas}}$$

$$A_t = \frac{0.0025 * 100 * 100}{2} = 12.5 \text{ cm}^2 / m$$

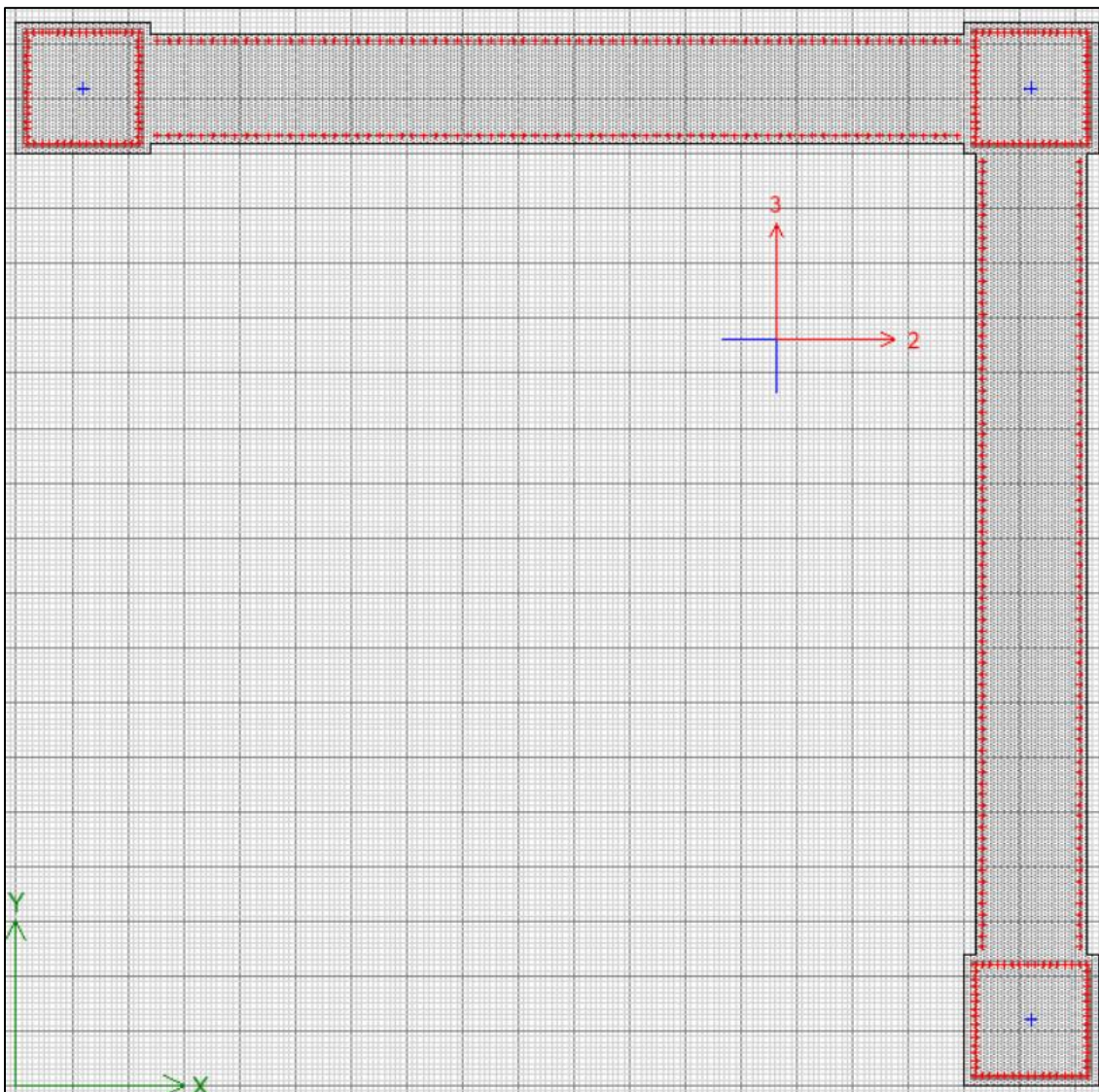
Con la cuantía mínima se requeriría emplear una malla  $\phi 18@20\text{cm}$ , sin embargo, el acero transversal final se comprueba mediante la verificación a corte de la sección crítica, tomando en cuenta la amplificación dinámica y la sobrerresistencia a flexión. Además, es necesario tomar en cuenta la separación máxima y mínima que debe tener una malla, la separación máxima debe ser el valor mínimo de las siguientes expresiones:

- $L_w/5 = 9.7\text{m}/5 = 1.94\text{m}$
- $3*h = 3*90\text{cm} = 270\text{cm} = 2.7\text{m}$
- 45cm

La separación de la malla es menor a los 45cm, por lo que cumpliría con la separación máxima de las mismas, además se encuentra dentro del rango de separación empleado frecuentemente en la práctica ingenieril 10-25cm.

#### 5.2.4 Diseño a flexocompresión de muro

Para realizar el diseño a flexocompresión del muro estructural se asigna a todo el elemento un único pier.



*Figura 105 Armadura de Muro 1*

*Elaborado por: César Silva, 2023*

Establecida la armadura del muro estructural mediante la opción Section Designer del software informático Etabs, se procede a diseñar el muro para verificar su relación Demanda/Capacidad (D/C). Para cumplir la relación D/C se requirieron diferentes iteraciones de espesor de muro y armadura transversal, siendo el elemento mostrado en la figura 105 aquel que proporcionó una relación menor a 1, por lo que tiene un buen comportamiento a flexocompresión.

El elemento empleado tiene un espesor de 1m con elementos de borde especiales de 1.2m, los cuales tienen 16 varillas en cada lado con un  $\varnothing 32\text{mm}$ , además de contar con 7 vinchas por lado con un  $\varnothing 20\text{mm}$ . Además, que en el alma de la figura se ocupan mallas de  $\varnothing 28\text{mm}@10\text{cm}$ , armadura transversal que se obtiene al realizar la verificación a corte con amplificación dinámica y sobrerresistencia a flexión, cálculo que se mostrará más adelante. Para el diseño de los cuatro tipos de muros se realizaron las mismas comprobaciones, por lo que cada una tiene una armadura transversal diferente, los cuales se mostrarán en los esquemas de corte transversal.

<b>Flexural Design for P, M<sub>3</sub> and M<sub>2</sub></b>					
<b>Station</b>	<b>D/C</b>	<b>Flexural</b>	<b>P<sub>u</sub> tonf</b>	<b>M<sub>u2</sub> tonf-m</b>	<b>M<sub>u3</sub> tonf-m</b>
Top	0.783	C5	1500.2293	-17197.5697	-25909.1452
Bottom	0.965	C5	1677.3374	-19606.0024	-32800.2524

*Figura 106 Diseño a flexión de muro estructural*

*Elaborado por: César Silva, 2023*



Además de la relación D/C se respalda el diseño mediante diagramas de interacción P-M2 y P-M3 del muro estructural. Para obtener estos diagramas se emplea la opción Section Designer y se excluye el factor Phi y se incrementa el Fy.

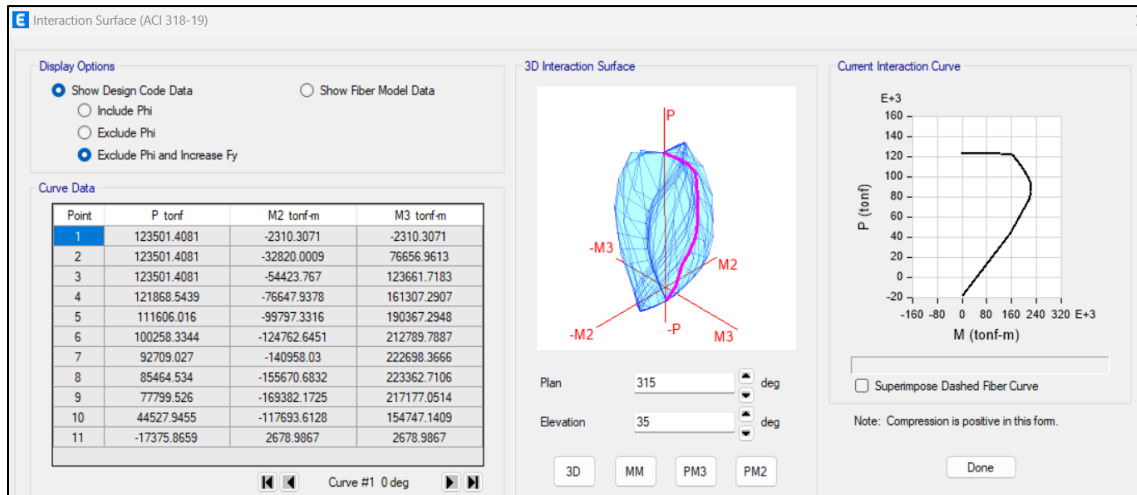


Figura 107 Diagrama de interacción de muro 1 con ángulo 0°

Elaborado por: César Silva, 2023

Para realizar los diagramas de interacción P-M2 y P-M3 se consideran los diagramas con 0°, 90°, 180° y 279°.

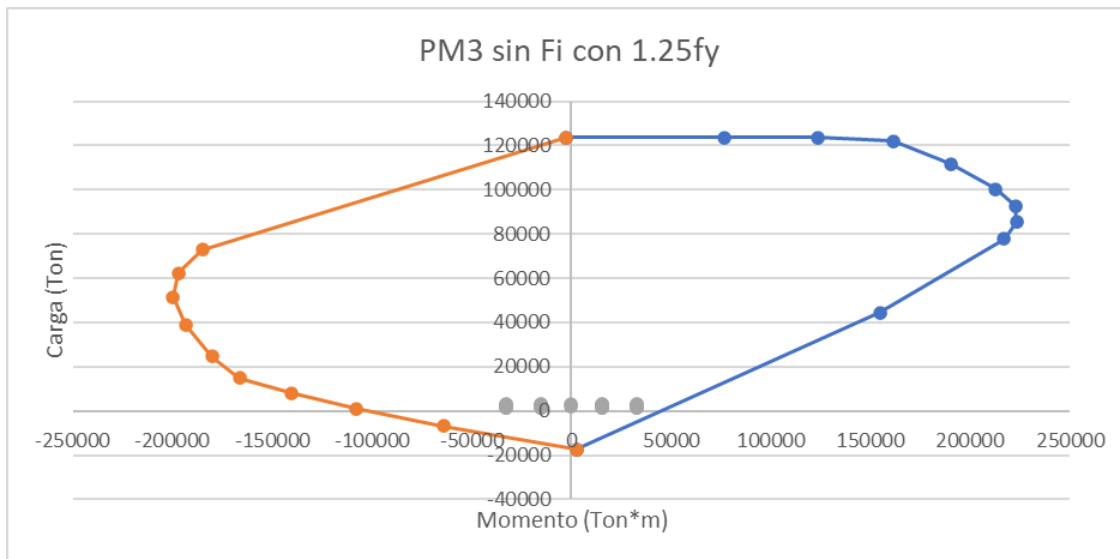


Figura 108 Diagrama de interacción de muro 1 P-M3

Elaborado por: César Silva, 2023



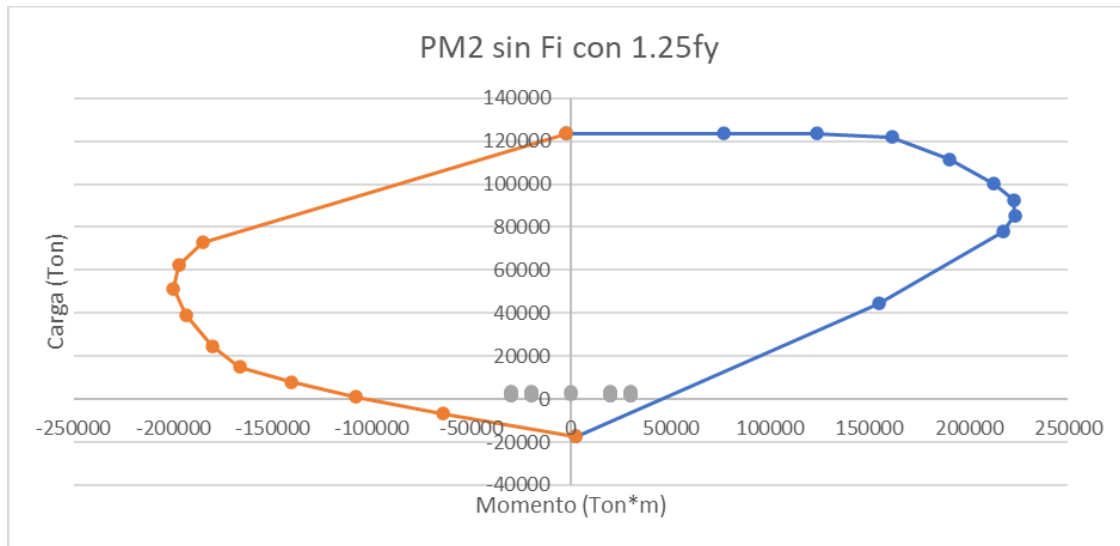


Figura 109 Diagrama de interacción de muro 1 P-M2

Elaborado por: César Silva, 2023

Además, se verifica si los puntos de carga se encuentran dentro del diagrama de interacción P-M2 y P-M3. Para la obtención de los puntos de carga se emplea la opción Display Forces: Pier Design Forces (Anexo 8). Al agregar estos puntos de carga en los diagramas de interacción se comprueba que los mismos estén dentro de la misma, dándose a entender que el muro estructural tiene un comportamiento óptimo ante la flexocompresión.

### 5.2.5 Verificación de elementos de borde y confinamiento

Para la verificación del empleo de elementos de borde se obtiene la carga axial última del muro estructural, para esto se empleó la carga envolvente y se tiene una carga  $P=5528\text{ton}$ .

Con el fin de realizar el chequeo del confinamiento y de elementos de borde se modela el elemento estructural con el programa SAP2000, ya que en la misma se puede apreciar de mejor manera el diagrama momento curvatura.

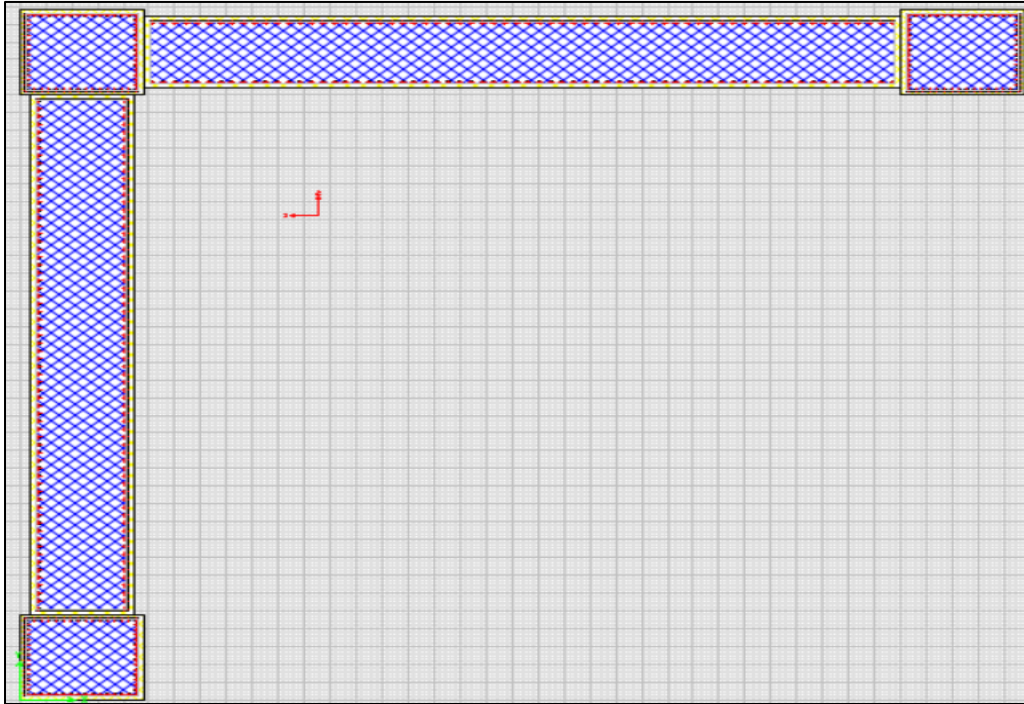


Figura 110 Muro 1 en SAP2000

Elaborado por: César Silva, 2023

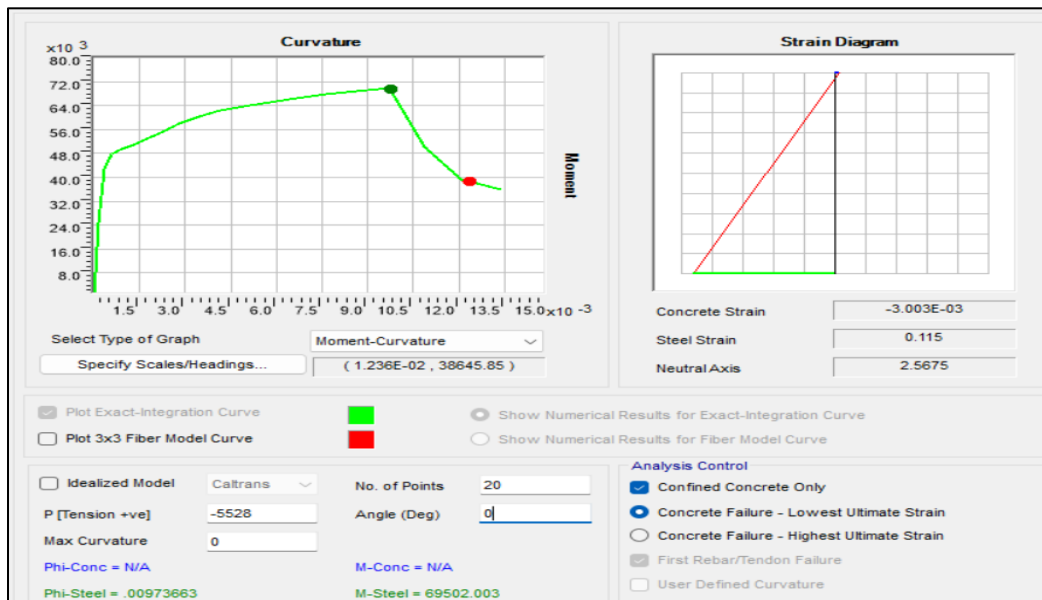


Figura 111 Análisis seccional para compresión de muro a  $0^\circ$

Elaborado por: César Silva, 2023

Por medio de este análisis es posible obtener el eje neutro de la sección con relación de triángulos de las deformaciones unitarias obtenidas.

Ecuación 39 Eje neutro de sección

$$\frac{0.003}{c} = \frac{\varepsilon_s}{l_w - c}$$

El valor del eje neutro (c) debe ser menor al límite (c lim) establecido en la NEC-15, caso contrario es necesario realizar un confinamiento en las zonas críticas.

Ecuación 40 C límite de sección

$$c_{lim} = \frac{l_w}{600 \left( \frac{\delta_{ux}}{H_w} \right)}$$

Para el análisis se emplea el desplazamiento máximo de techo con el sismo de diseño reducido por el factor R. Además, en caso de ser necesario un confinamiento se obtienen las longitudes de confinamiento con la siguiente ecuación:

Ecuación 41 Longitud de confinamiento

$$L_c = \text{Max}(c - 0.1l_w; c/2)$$

Confinamiento 0°			Confinamiento 90°			Confinamiento 180°			Confinamiento 270°		
Fuerza axial	5528.09	tonf	Fuerza axial	5279.93	tonf	Fuerza axial	5528.09	tonf	Fuerza axial	5279.93	tonf
Strain Diagram			Strain Diagram			Strain Diagram			Strain Diagram		
Concrete Strain	-3.009E-03		Concrete Strain	-2.993E-03		Concrete Strain	-2.999E-03		Concrete Strain	-3.005E-03	
Steel Strain	0.1154		Steel Strain	0.1173		Steel Strain	9.854E-03		Steel Strain	0.0101	
Neutral Axis	2.5679		Neutral Axis	2.5728		Neutral Axis	4.5037		Neutral Axis	4.5412	
Concrete strain	0.003		Concrete strain	0.003		Concrete strain	0.003		Concrete strain	0.003	
Steel strain	0.1154		Steel strain	0.1173		Steel strain	0.009854		Steel strain	0.0101	
lw	9.7	m	lw	9.7	m	lw	9.7	m	lw	9.7	m
C Eje neutro	0.246	m	C Eje neutro	0.242	m	C Eje neutro	2.264	m	C Eje neutro	2.221	m
δuy	0.07	m	δuy	0.07	m	δuy	0.07	m	δux	0.07	m
h	32.5	m	h	32.5	m	h	32.5	m	h	32.5	m
C lim NEC	7.506	m	C lim NEC	7.506	m	C lim NEC	7.506	m	C lim NEC	7.506	m
NO CONFINAR			NO CONFINAR			NO CONFINAR			NO CONFINAR		
Cc NEC/ACI 318	-0.724	m	Cc NEC/ACI 318	-0.728	m	Cc NEC/ACI 318	1.294	m	Cc NEC/ACI 318	1.251	m
	0.123			0.121			1.132			1.111	
Cc DS60	-7.260	m	Cc DS60	-7.264	m	Cc DS60	-5.242	m	Cc DS60	-5.285	m
Cc Definitivo	0.123	m	Cc Definitivo	0.121	m	Cc Definitivo	1.132	m	Cc Definitivo	1.111	m
Cc existente (m)	1.200	Matener	Cc existente (m)	1.200	Matener	Cc existente (m)	1.200	Matener	Cc existente (m)	1.200	Matener

Tabla 28 Chequeo de elementos de borde y confinamiento de muro 1

Elaborado por: César Silva, 2023

Como se aprecia en la tabla 28 se especifica que se requieren elementos de borde en los extremos del elemento, y que las mismas no requieren de confinamiento, sin embargo, al colocarse elementos de borde especiales de 1.2m en los extremos, se confinaron con la teoría de diseño de columnas de hormigón.

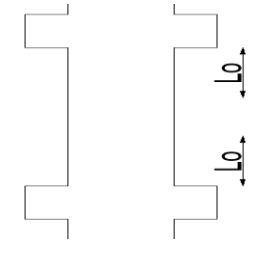
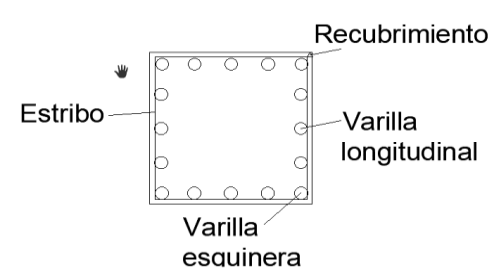
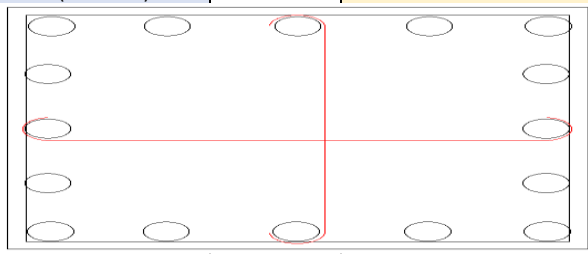
Cálculos (2)			Cálculos (3)					
AT (Área tributaria)	72.25	m2	<p>El menor</p> <p>SLo = 6db; 10cm</p> <p>Sint = 6db; 15cm</p> <p>SLo = 6db; 10cm</p> 					
Pu (Carga última)	1122.52	ton						
Pu = (1,2*Cm+1,6*Cv*At*)								
Ag (Área de columna)	4357.05	cm2						
Datos de columna								
Ancho	120	cm	Lo	120	cm			
Profundidad	120	cm	S (Lo) (cm)	10	10			
Ag (Área de columna)	14400	cm2	S (int) (cm)	15.0	15			
Varillas a (ancho)	16	u	# Varillas	60	u			
Varillas p (prof)	16	u	As	482.55	cm2			
Recubrimiento	4	cm	Cuantía	3.35%	OK			
Fi longitudinal	32	mm	Separación a (cm)	3.79	OK			
Fi esquinero	32	mm	Separación p (cm)	3.79	OK			
Fi estribos	20	mm	Ash	20.0	cm2			
			Núm de vinchas (unidades)	6.38	7.0			
			bc (ancho confinado)	110	cm			
			pc (profundidad confinada)	110	cm			
			Ac (Área confinada)	12100	cm2			
Dem/Capacidad	11.61%							

Tabla 29 Diseño de elementos de borde especiales

Elaborado por: César Silva, 2023

### 5.2.6 Verificación de corte de la sección crítica con amplificación dinámica y sobrerresistencia a flexión

Al verificarse que los puntos de carga se encuentran dentro de los diagramas P-M2 y P-M3, se realiza la verificación de corte de la sección mediante la amplificación dinámica a través de la relación del momento último y momento máximo.

Ecuación 42 Factor de sobrerresistencia

$$\Omega = \frac{Mpr}{Mu}$$

El factor de amplificación por capacidad se obtiene considerando el número de pisos de la edificación según lo establecido en el ACI318 en la sección 18.10.3.1.3.

$$\omega_v = 0.9 + \frac{n_s}{10} \quad n_s \leq 6$$

$$\omega_v = 1.3 + \frac{n_s}{30} \leq 1.8 \quad n_s > 6$$

Figura 112 Factor de amplificación por capacidad

Elaborado por: ACI318-19

En la norma también se especifica que la amplificación dinámica no puede ser mayor a 3, con el fin de evitar diseños poco factibles.

Ecuación 43 Amplificación total

$$V_o = \Omega_v \omega_v V_u \leq 3V_u$$

Sobrerresistencia $\Omega_v$		
-32800.25	-118257.43	3.605
Amplificación dinámica		
Num pisos	8	
Wv	1.567	
	1.57	
Amplificación total		
Wv* $\Omega_v$	5.65	3
Corte amplificado	4611	ton
$\phi V_n$ , max	4645.820647	ton
OK		
Vn requerido	6148.0	tonf
pt requerido	0.011	
pt requerido	53.238	cm2
Armadura	fi 28@ 10cm	

Tabla 30 Diseño a corte de muro 1

Elaborado por: César Silva, 2023

Debido al cortante obtenido por el empleo de los factores de amplificación y sobrerresistencia se requiere aumentar la resistencia a la compresión de los muros, para los tres primeros pisos (sección crítica) se emplea un  $f'c=85\text{MPa}$  mientras que desde el cuarto piso se usa un  $f'c=70\text{MPa}$ . Finalmente, al realizarse el análisis de cortante nominal requerido se obtiene la cuantía de las almas del muro, empleándose mallas  $\text{Ø}28\text{mm}@10\text{cm}$  para el muro 1.

### 5.3 ESQUEMA DE CORTE TRANSVERSAL DE MUROS DISEÑADOS

A continuación, se presentan los esquemas correspondientes al refuerzo empleado en cada uno de los muros estructurales.

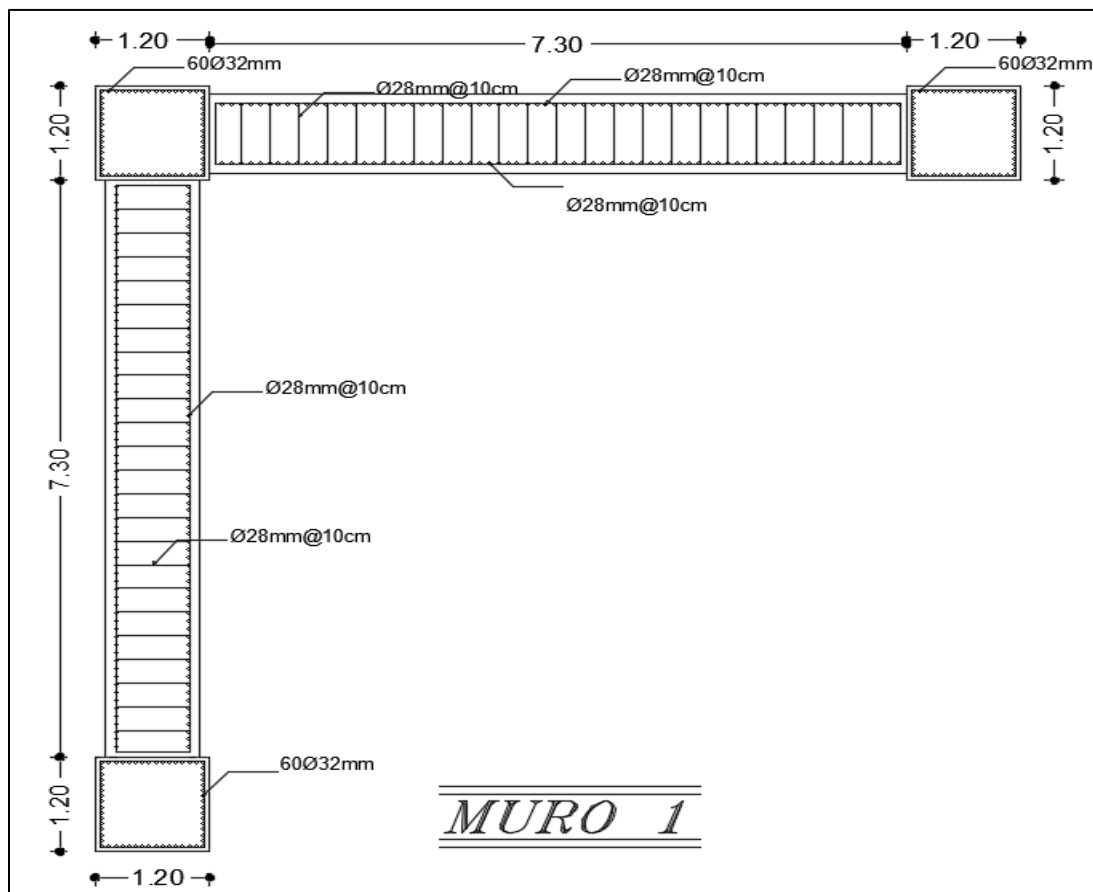


Figura 113 Vista en planta de muro 1

Elaborado por: César Silva, 2023

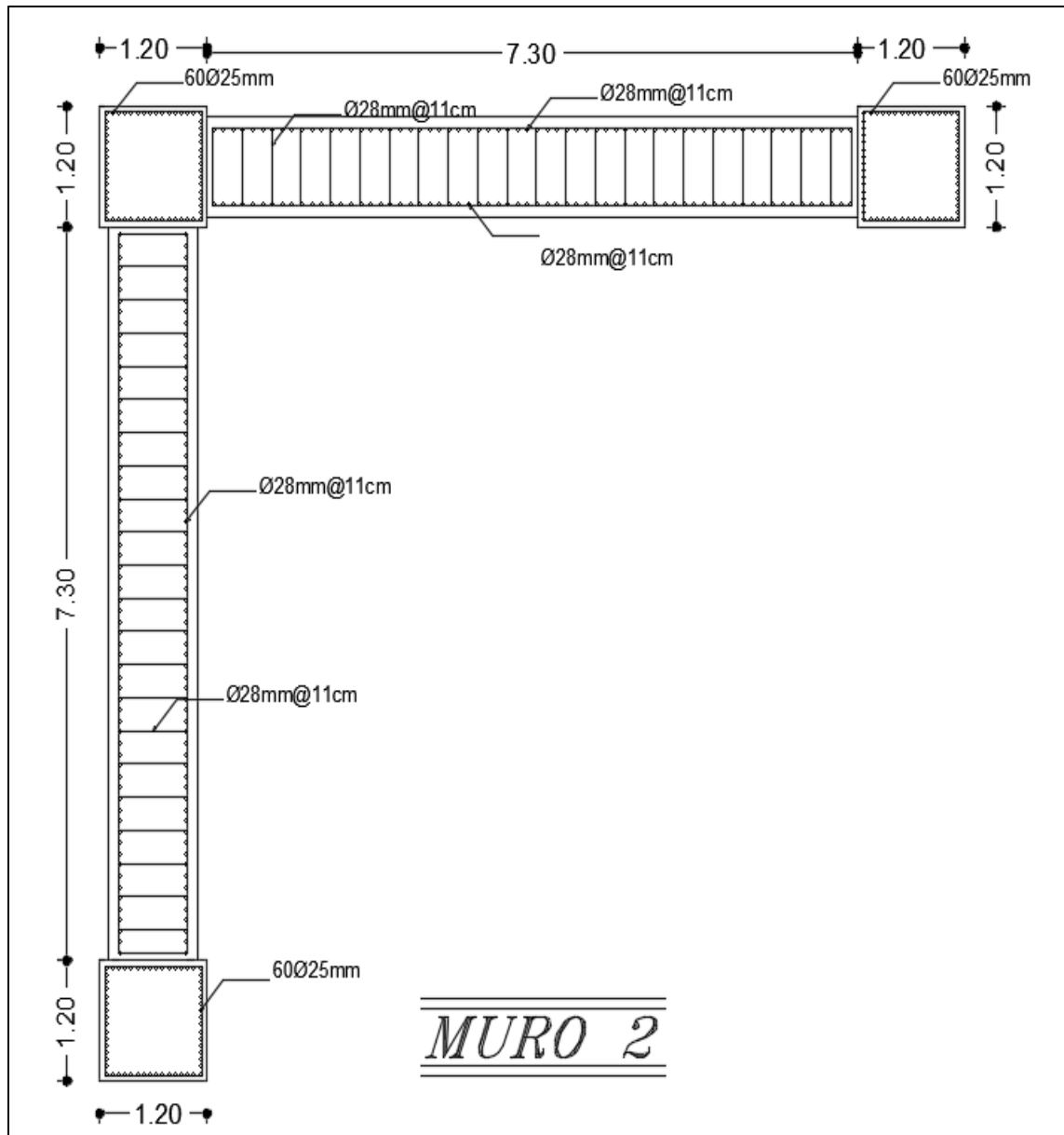


Figura 114 Vista en planta de muro 2

Elaborado por: César Silva, 2023

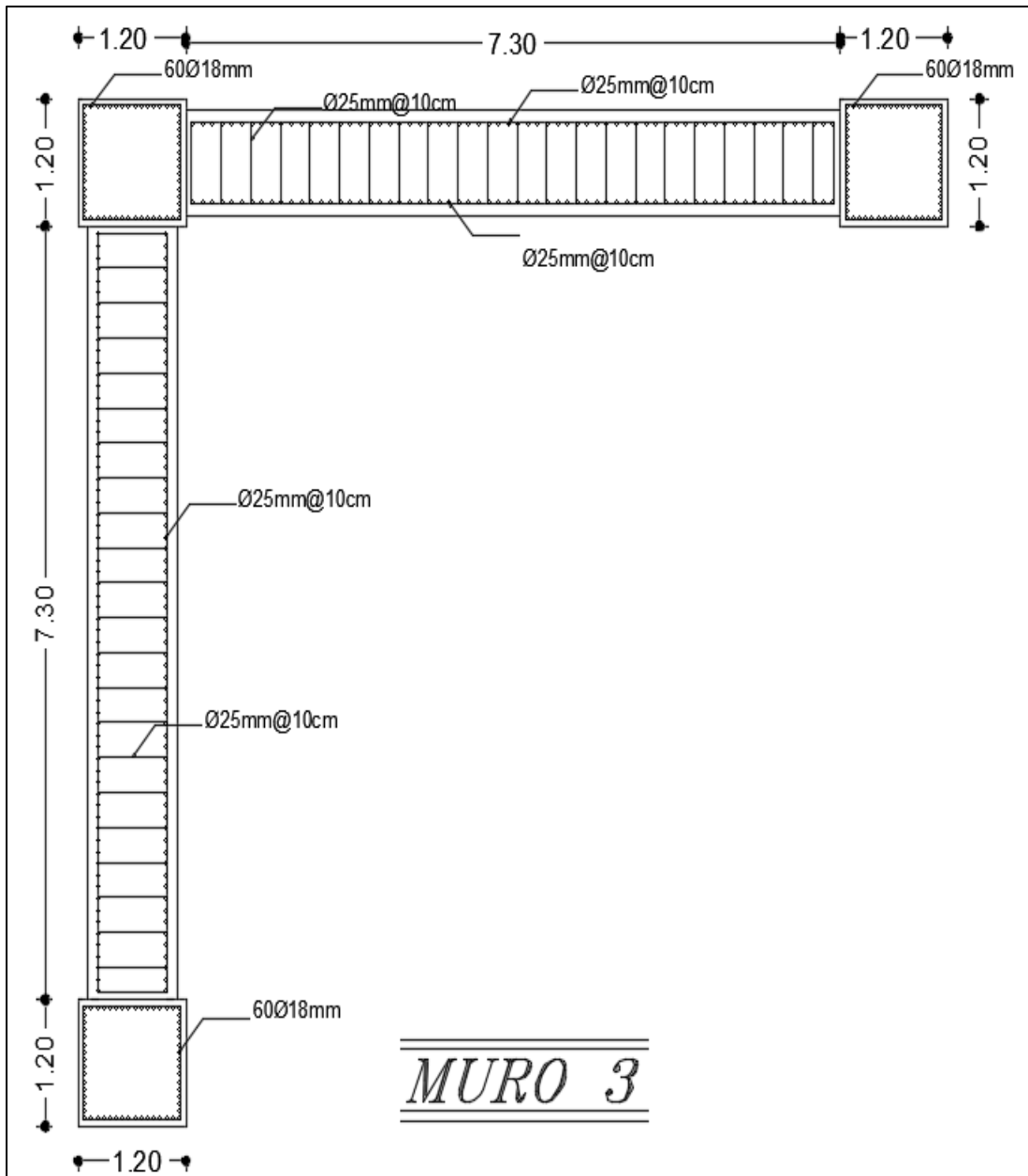


Figura 115 Vista en planta de muro 3

Elaborado por: César Silva, 2023



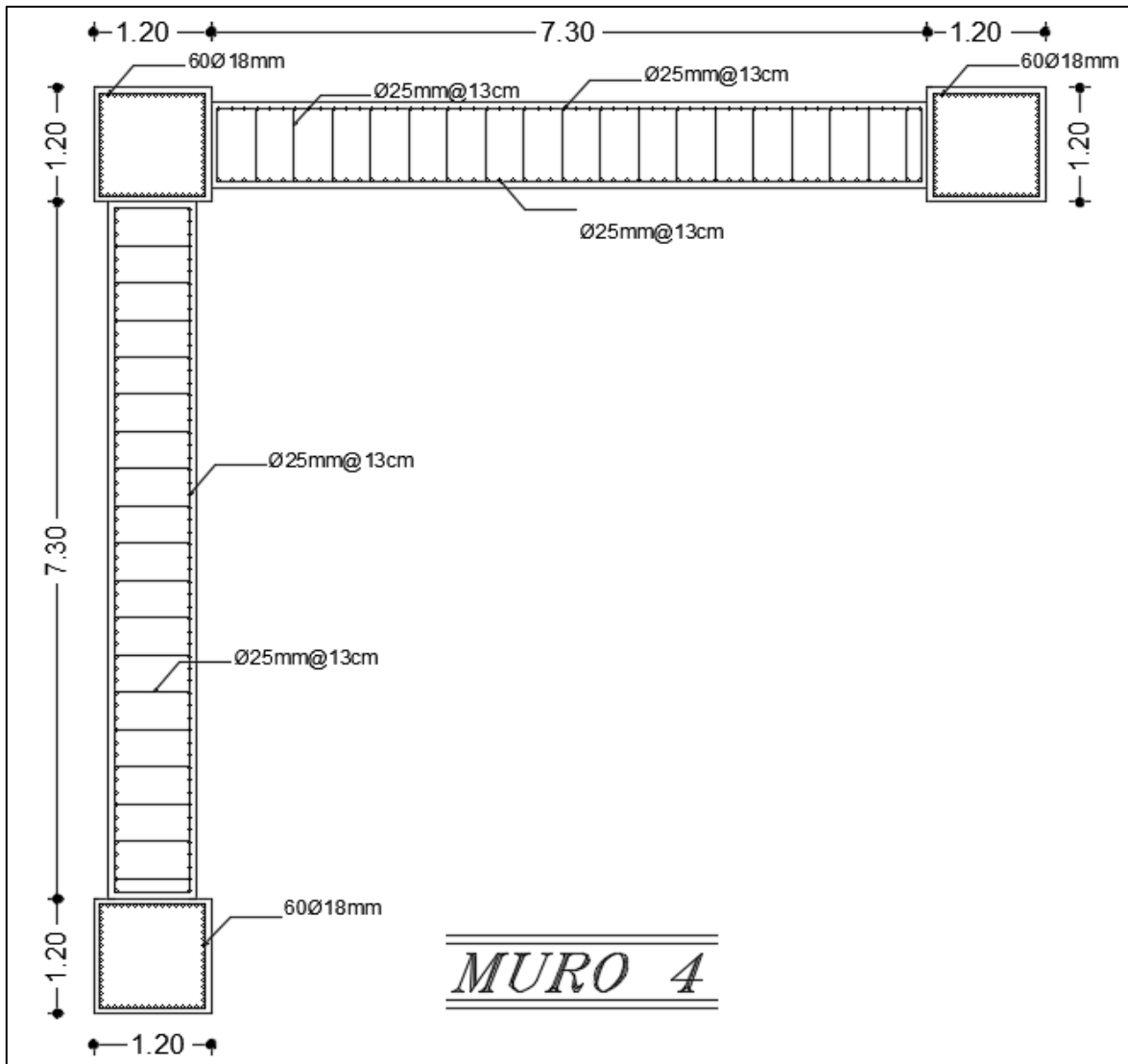


Figura 116 Vista en planta de muro 4

Elaborado por: César Silva, 2023

RESUMEN DE MATERIALES							
MURO	SECCIÓN	Cantidad	f'c (Mpa)	Ø Longitudinal	Ø transversal	Ramas X	Ramas Y
1	Elemento de borde especial	3	85	60Ø32mm	Ø20mm@10cm	7	7
	Alma	2	85	Malla Ø28mm@10cm	Ø28mm@10cm	25	2
2	Elemento de borde especial	3	85	60Ø25mm	Ø20mm@10cm	7	7
	Alma	2	85	Malla Ø28mm@11cm	Ø28mm@11cm	23	2
3	Elemento de borde especial	3	70	60Ø18mm	Ø18mm@10cm	7	7
	Alma	2	70	Malla Ø25mm@10cm	Ø25mm@10cm	25	2
4	Elemento de borde especial	3	70	60Ø18mm	Ø18mm@10cm	7	7
	Alma	2	70	Malla Ø25mm@13cm	Ø25mm@13cm	20	2

Tabla 31 Resumen de materiales

Elaborado por: César Silva, 2023

## 5.4 MODELO NO LINEAL DEL EDIFICIO

Para el modelo no lineal se considera el mismo armado mostrado en la tabla 31 tanto en las almas como en los elementos de borde especiales de los muros estructurales.

### 5.4.1 Definición de materiales

Se ha definido las propiedades no lineales del hormigón considerando, el confinamiento de los elementos de borde especiales y el alma de los diferentes muros estructurales.

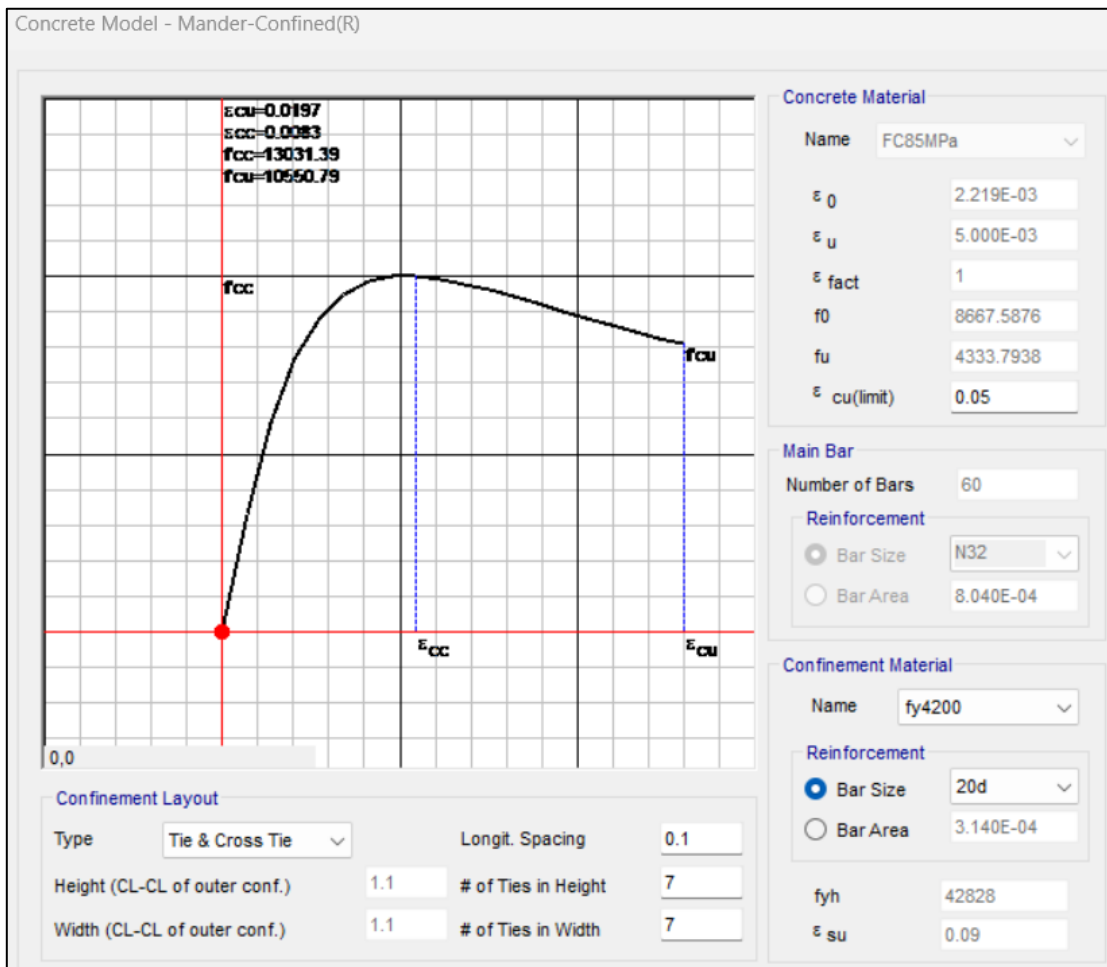


Figura 117 Hormigón confinado de elemento de borde especial muro 1

Elaborado por: César Silva, 2023

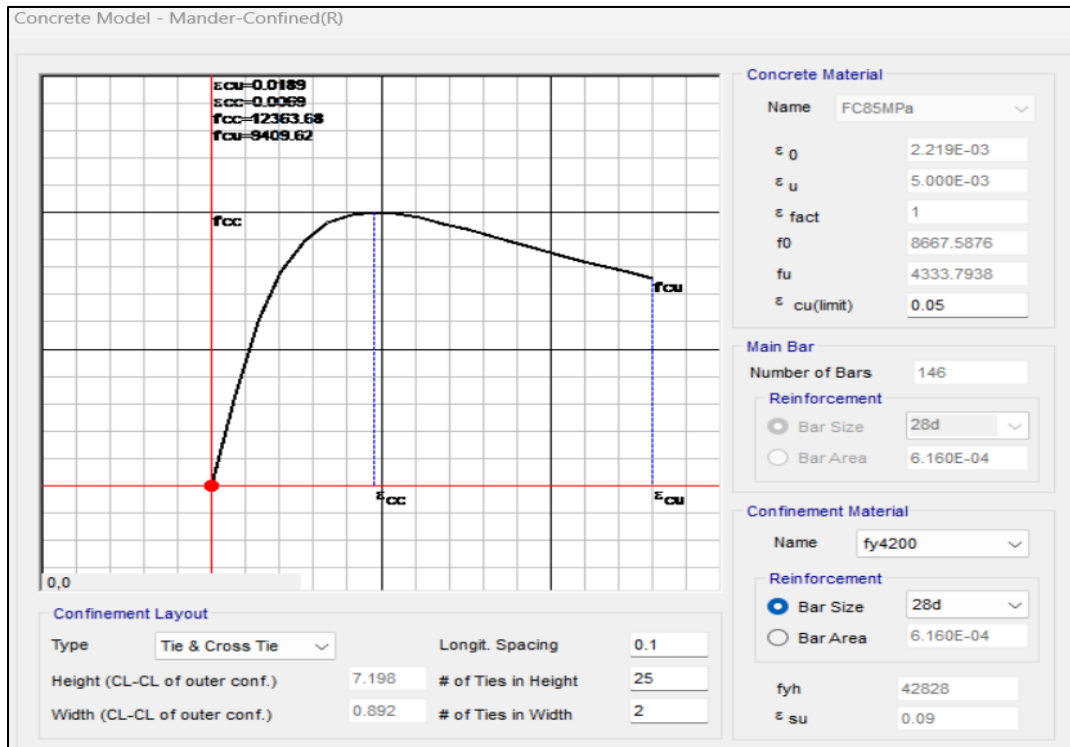


Figura 118 Hormigón confinado de alma en muro 1

Elaborado por: César Silva, 2023

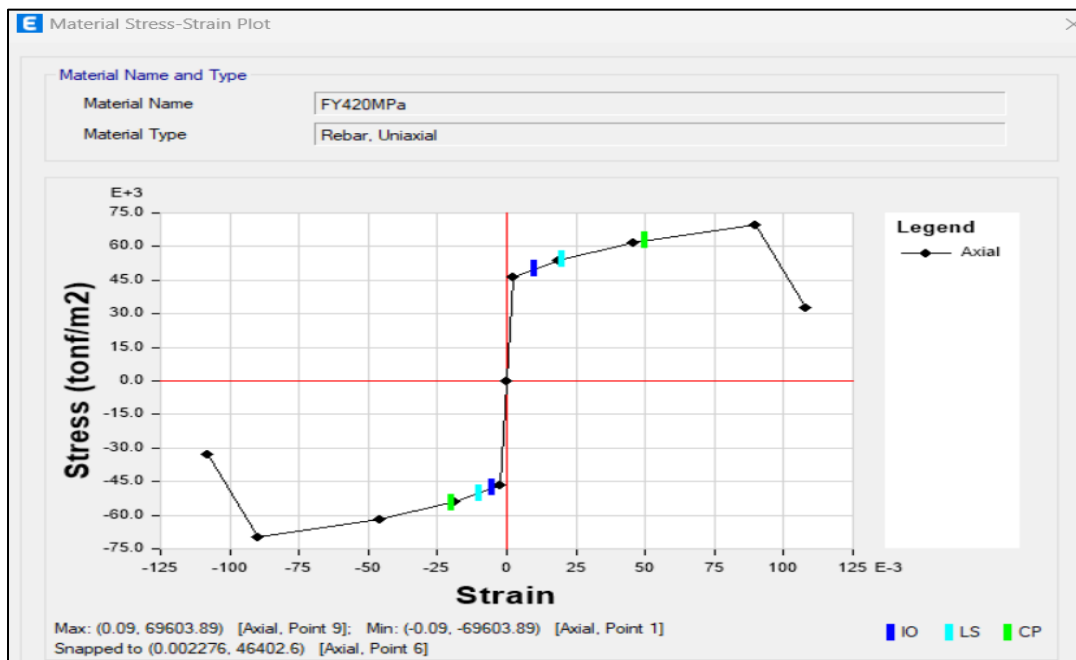


Figura 119 Propiedades no lineales de acero de refuerzo 420 MPa

Elaborado por: César Silva, 2023

## 5.4.2 Definición de muros tipo layered

Para definir las secciones del muro para el análisis no lineal, se procede a ingresar las diferentes capas de hormigón y acero en el programa.

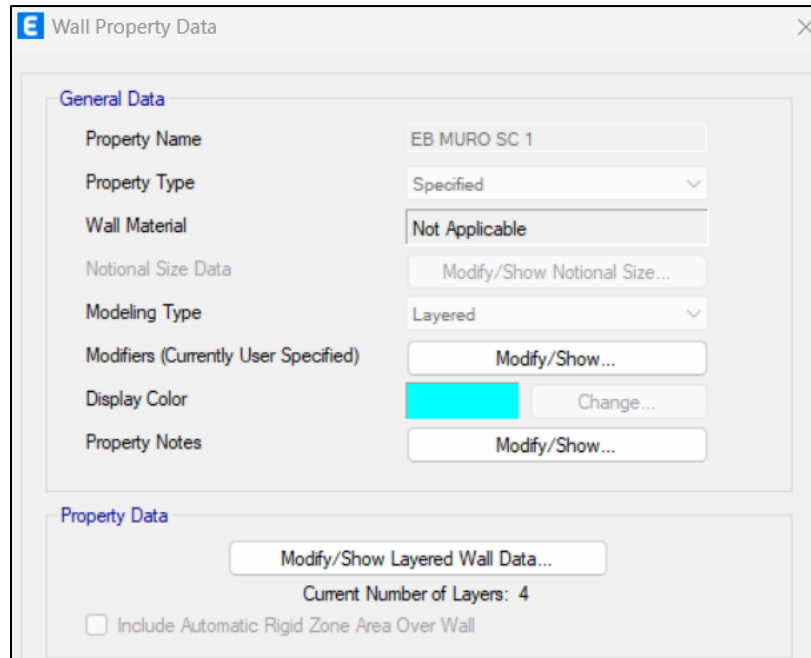


Figura 120 Definición de muros tipo layered

Elaborado por: César Silva, 2023

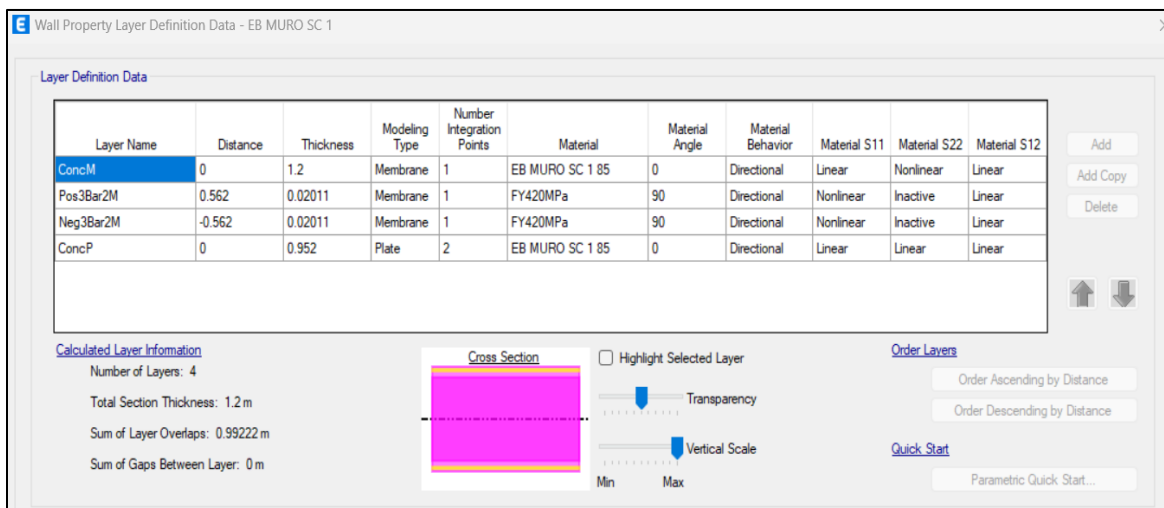


Figura 121 Elemento de borde muro 1

Elaborado por: César Silva, 2023

Wall Property Layer Definition Data - ALMA MURO SC 1

Layer Definition Data

Layer Name	Distance	Thickness	Modeling Type	Number Integration Points	Material	Material Angle	Material Behavior	Material S11	Material S22	Material S12
ConcM	0	1	Membrane	1	ALMA MURO SC 1 85	0	Directional	Linear	Nonlinear	Linear
Pos3Bar2M	0.462	0.00616	Membrane	1	FY420MPa	90	Directional	Nonlinear	Inactive	Linear
Neg3Bar2M	-0.462	0.00616	Membrane	1	FY420MPa	90	Directional	Nonlinear	Inactive	Linear
ConcP	0	0.7937	Plate	2	ALMA MURO SC 1 85	0	Directional	Linear	Linear	Linear

Calculated Layer Information

Number of Layers: 4  
 Total Section Thickness: 1 m  
 Sum of Layer Overlaps: 0.80602 m  
 Sum of Gaps Between Layer: 0 m

Cross Section

Transparency

Vertical Scale

Order Layers

Order Ascending by Distance

Order Descending by Distance

Quick Start

Parametric Quick Start...

Figura 122 Alma muro 1

Elaborado por: César Silva, 2023

Wall Property Layer Definition Data - ENCUENTRO MURO SC 1

Layer Definition Data

Layer Name	Distance	Thickness	Modeling Type	Number Integration Points	Material	Material Angle	Material Behavior	Material S11	Material S22	Material S12
ConcM	0	1.2	Membrane	1	EB MURO SC 1 85	0	Directional	Linear	Nonlinear	Linear
Pos3Bar2M	0.562	0.01006	Membrane	1	FY420MPa	90	Directional	Nonlinear	Inactive	Linear
Neg3Bar2M	-0.562	0.01006	Membrane	1	FY420MPa	90	Directional	Nonlinear	Inactive	Linear
ConcP	0	0.952	Plate	2	EB MURO SC 1 85	0	Directional	Linear	Linear	Linear

Calculated Layer Information

Number of Layers: 4  
 Total Section Thickness: 1.2 m  
 Sum of Layer Overlaps: 0.97212 m  
 Sum of Gaps Between Layer: 0 m

Cross Section

Transparency

Vertical Scale

Order Layers

Order Ascending by Distance

Order Descending by Distance

Quick Start

Parametric Quick Start...

Figura 123 Encuentro de muro 1

Elaborado por: César Silva, 2023

### 5.4.3 Asignación de muros en estructura

Para la verificación del análisis no lineal se han asignado las distintas secciones en todos los muros de la estructura.

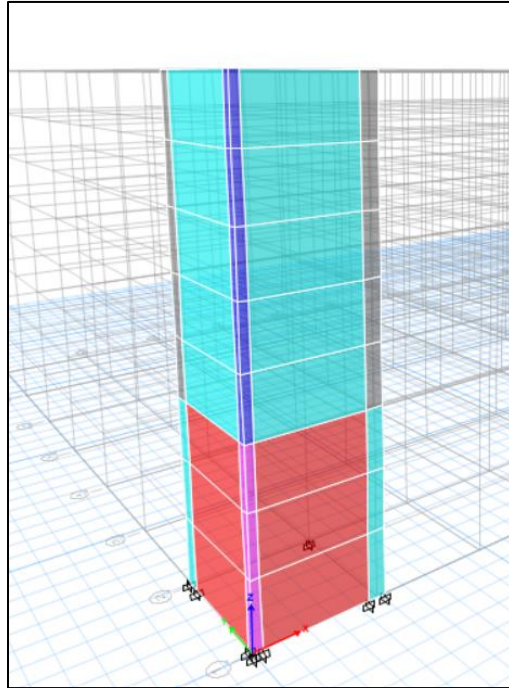


Figura 124 Asignación de layers en muro izquierdo inferior

Elaborado por: César Silva, 2023

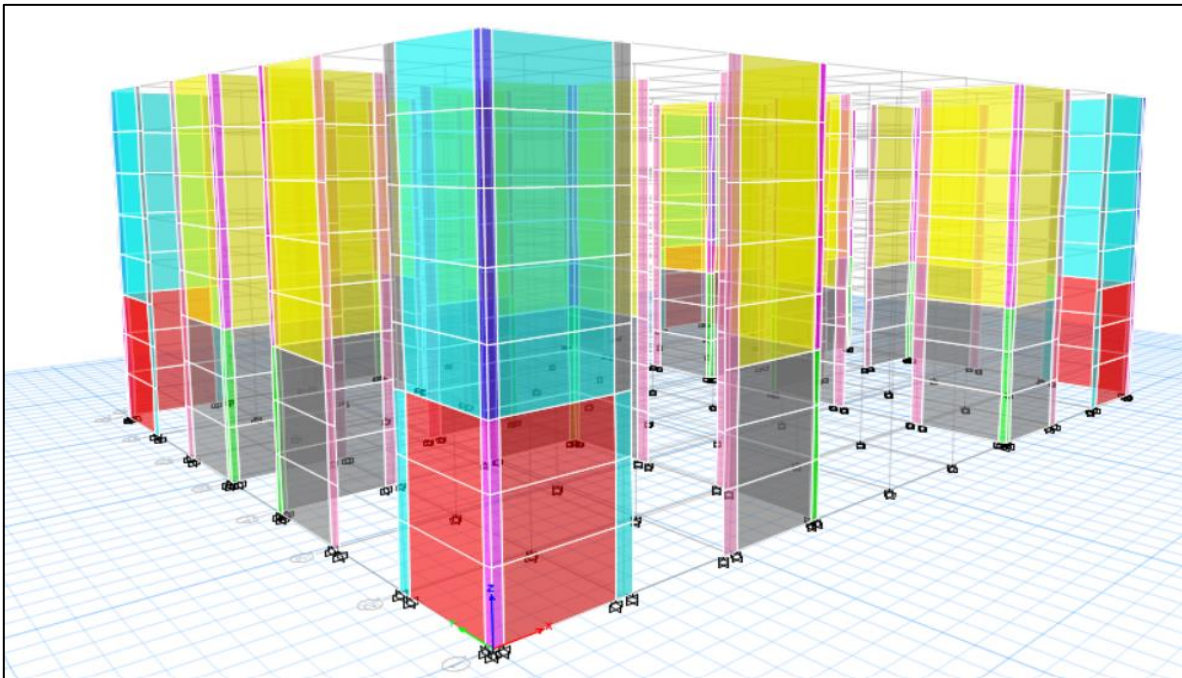


Figura 125 Muros con respectivos layers

Elaborado por: César Silva, 2023

### 5.4.4 Asignación de casos push

The screenshot shows the 'Load Case Data' dialog box with the following settings:

- General:** Load Case Name: GRAVEDAD; Load Case Type: Nonlinear Static; Mass Source: MsSrc1; Analysis Model: Default.
- Initial Conditions:**  Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State;  Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included).
- Loads Applied:** A table with one row: Load Type: Load Pattern, Load Name: Dead, Scale Factor: 1.
- Other Parameters:** Modal Load Case: Modal; Geometric Nonlinearity Option: None; Load Application: Full Load; Results Saved: Final State Only; Floor Cracking Analysis: No Cracked Analysis; Nonlinear Parameters: Default - Iterative Event-to-Event.

Figura 126 Caso de gravedad 100% CM

Elaborado por: César Silva, 2023

The screenshot shows two dialog boxes side-by-side:

- Load Case Data (Left):**
  - General:** Load Case Name: PUSH X; Load Case Type: Nonlinear Static; Mass Source: Previous; Analysis Model: Default.
  - Initial Conditions:**  Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included); Nonlinear Case: GRAVEDAD.
  - Loads Applied:** A table with one row: Load Type: Mode, Load Name: 1, Scale Factor: 1.
  - Other Parameters:** Modal Load Case: Modal; Geometric Nonlinearity Option: None; Load Application: Displacement Control; Results Saved: Multiple States; Floor Cracking Analysis: No Cracked Analysis; Nonlinear Parameters: Default - Iterative Event-to-Event.
- Load Application Control for Nonlinear Static Analysis (Right):**
  - Load Application Control:**  Displacement Control;  Quasi-Static (run as time history).
  - Control Displacement:**  Use Conjugate Displacement;  Use Monitored Displacement; Load to a Monitored Displacement Magnitude of: 0.49 m.
  - Monitored Displacement:**  DOF/Joint: U1, Story: 6, 12;  Generalized Displacement.
  - Additional Controlled Displacements:** None.
  - Quasi-static Parameters:** Time History Type: Nonlinear Direct Integration History; Output Time Step Size: 1 sec; Mass Proportional Damping: 0 1/sec; Hilber-Hughes-Taylor Time Integration Parameter, Alpha: 0.

Figura 127 Caso Push en dirección X

Elaborado por: César Silva, 2023

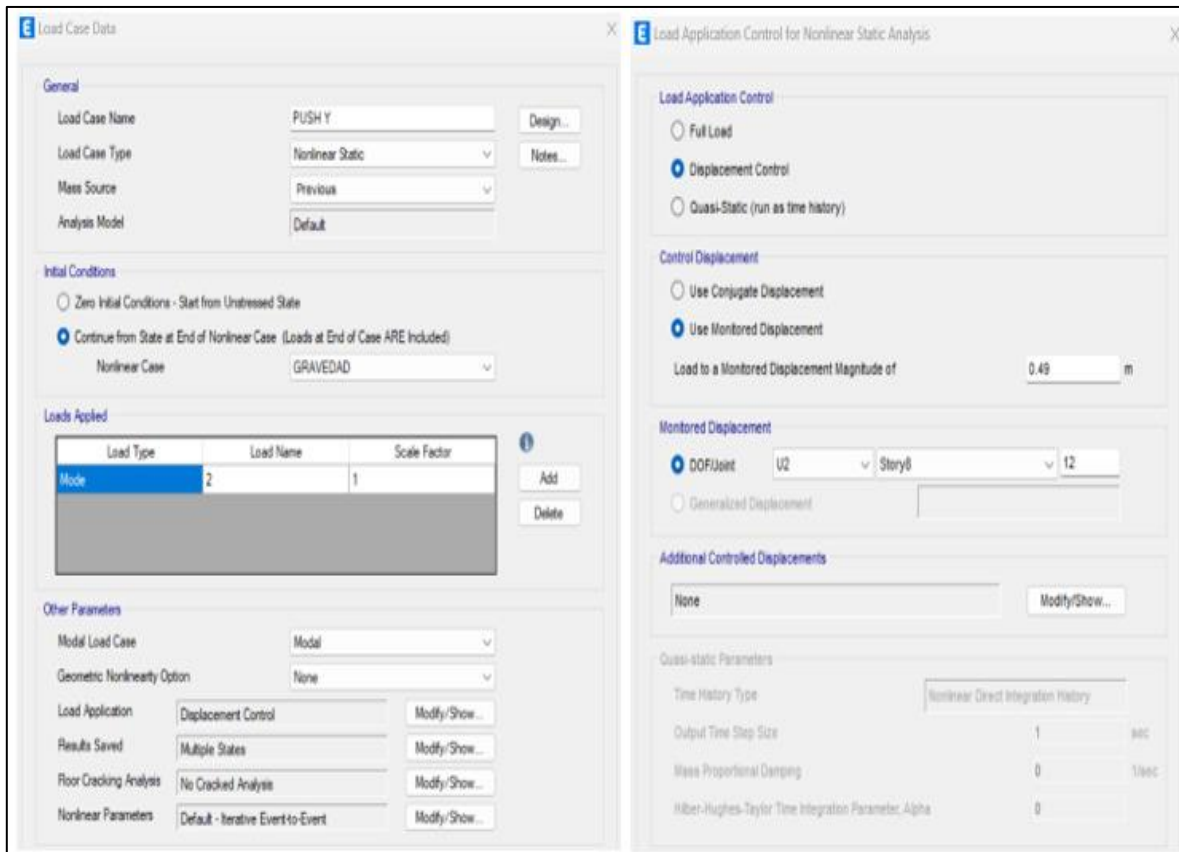


Figura 128 Caso Push en dirección Y

Elaborado por: César Silva, 2023

### 5.4.5 Curvas de capacidad

Finalizado el modelo se realiza el análisis estructural del edificio, en primer lugar, se comprueba la curva de capacidad que tendrá el edificio. Para un mejor entendimiento se obtienen cuatro curvas de capacidad, dos para cada caso de carga creado (PUSH X, PUSH -X, PUSH Y, PUSH -Y).





Figura 129 Curva de capacidad PUSH X

Elaborado por: César Silva, 2023



Figura 130 Curva de capacidad PUSH -X

Elaborado por: César Silva, 2023



Figura 131 Curva de capacidad PUSH Y

Elaborado por: César Silva, 2023

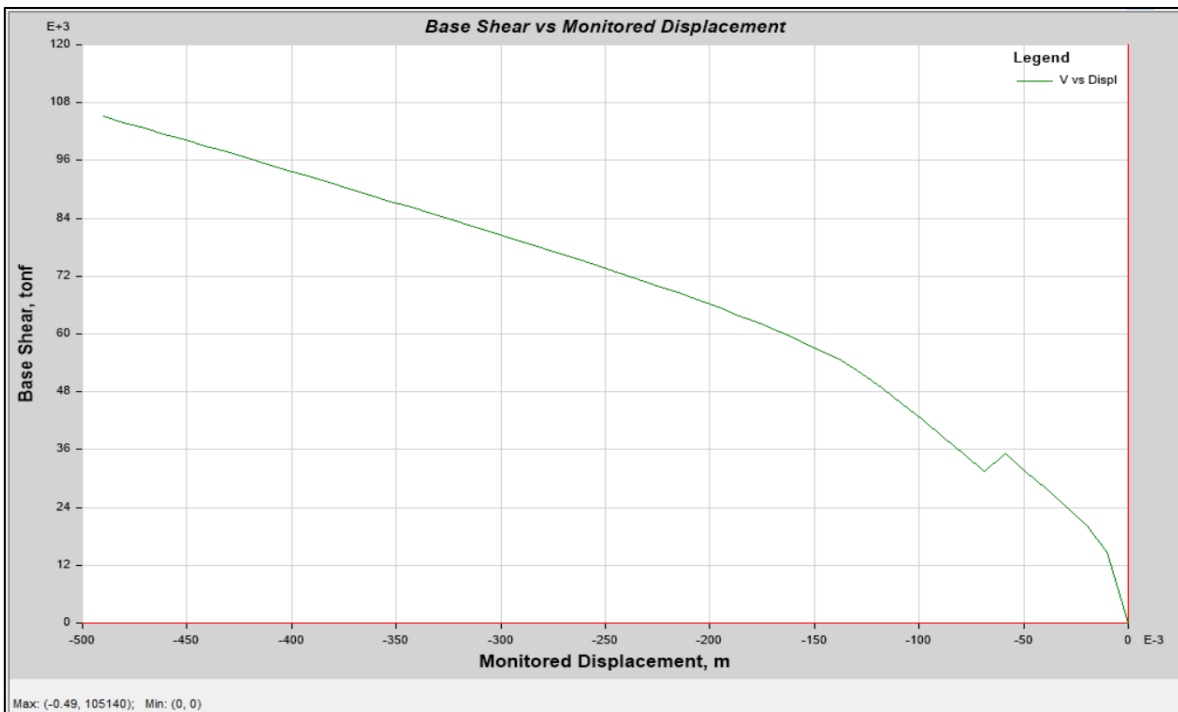


Figura 132 Curva de capacidad PUSH -Y

Elaborado por: César Silva, 2023

Al observar las curvas de capacidad se aprecia que tanto en el PUSH en X como en Y existen problemas de convergencia, existiendo una disminución de cortante a los 11.7cm en el sentido X, y a los 5.8cm en Y, sin embargo, sus capacidades llegan hasta la deformación asignada de 0.49m.

#### 5.4.6 FLUENCIA EN FLEXIÓN DE MUROS

Para verificar la fluencia en flexión del muro es necesario emplear la opción Shell Forces para cualquier caso de carga en el componente E22, la fluencia del acero se determina al aumentar los pasos de estado de carga PUSH para el monitoreo de deformaciones  $\epsilon_s$ , junto con la deformación del hormigón  $\epsilon_c$ .

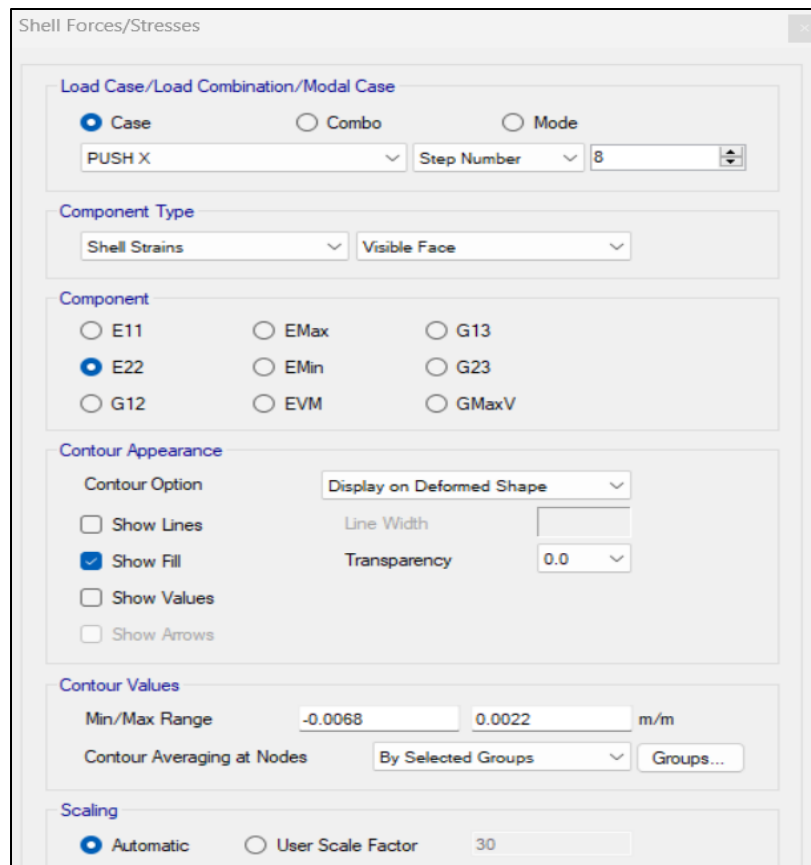


Figura 133 Shell forces

Elaborado por: César Silva, 2023

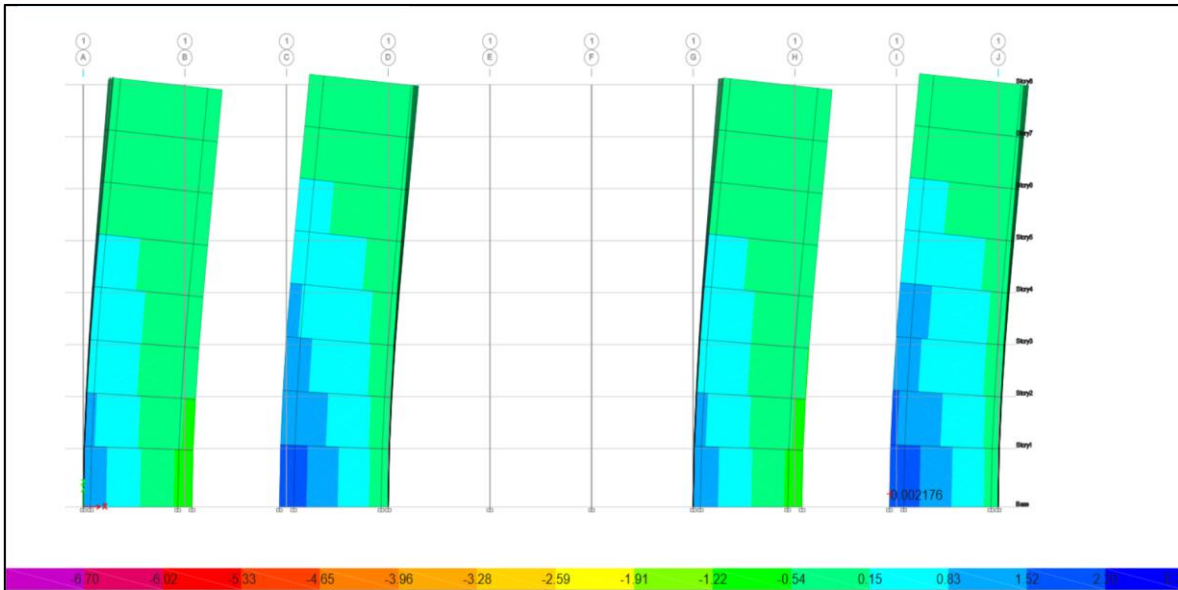


Figura 134 Fluencia del acero

Elaborado por: César Silva, 2023

Se comprueba que la fluencia del acero se da a los 7.8cm, valor que excede al desplazamiento máximo (7cm) que tendrá la estructura ante un evento sísmico, además, la fluencia se produce al generarse un momento de 13872ton\*m.

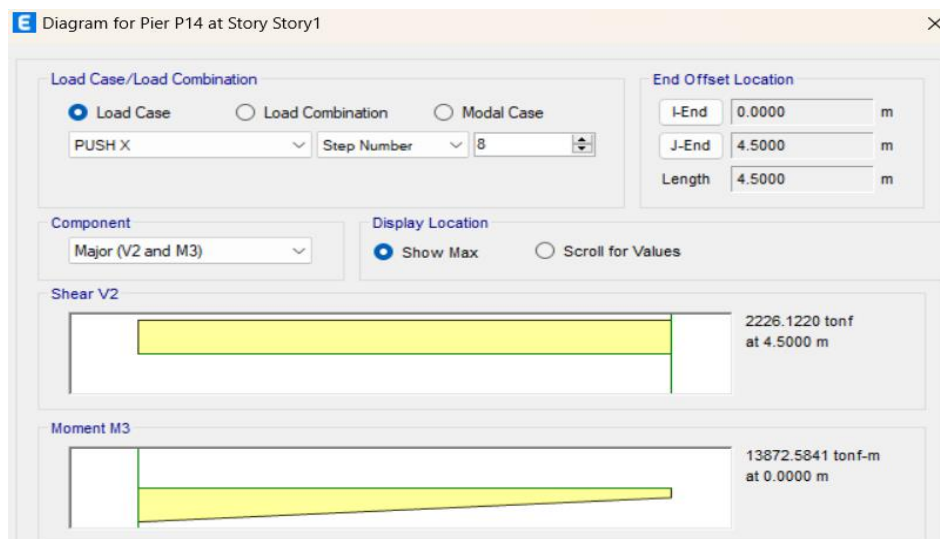


Figura 135 Diagrama de momentos

Elaborado por: César Silva, 2023

### 5.4.7 ALARGAMIENTO MÁXIMO DEL ACERO

El alargamiento máximo del acero se considera empleando un desplazamiento equivalente al 1.5% de la altura total del edificio, en este caso la deformación máxima será a los 49cm.

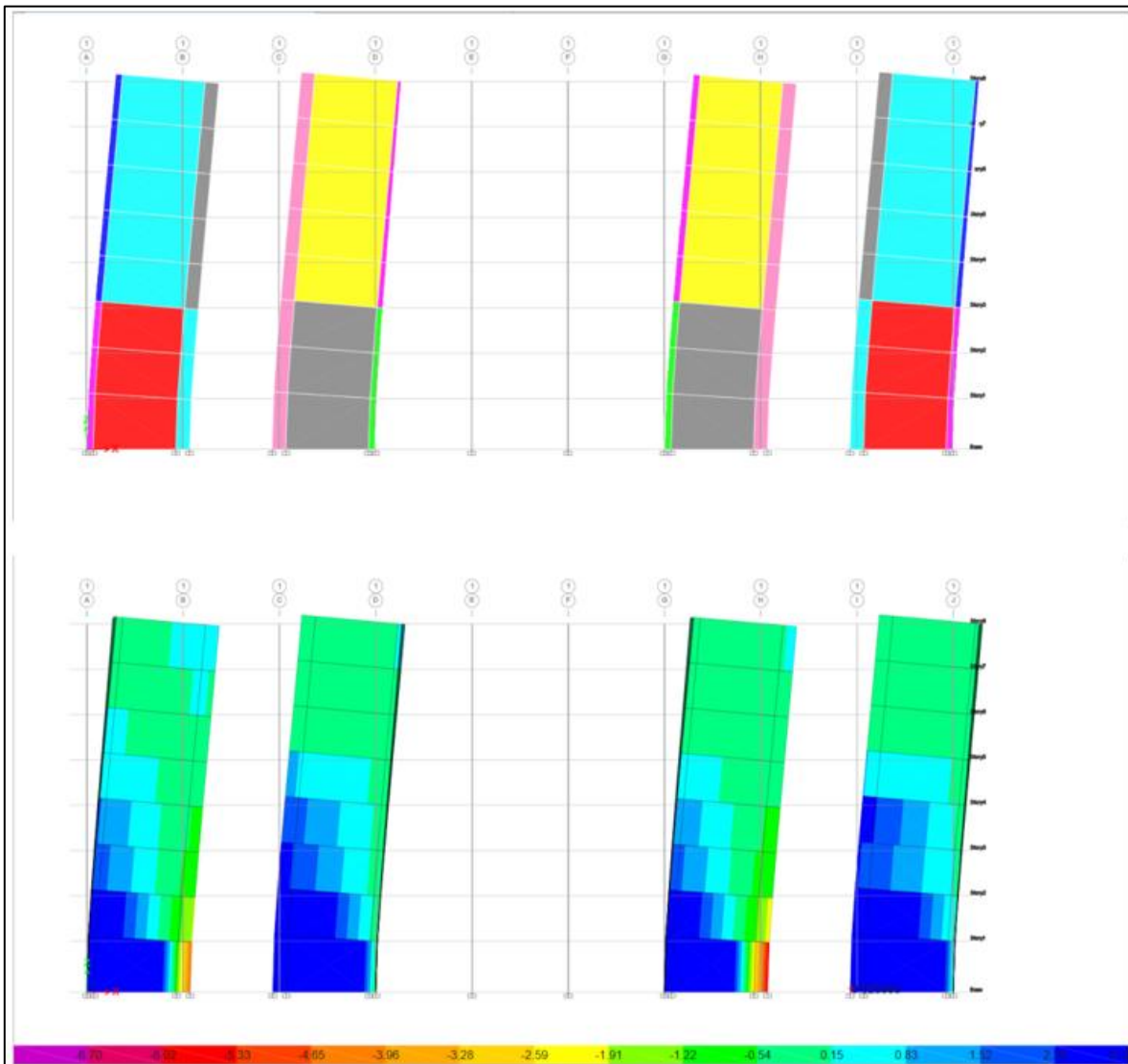


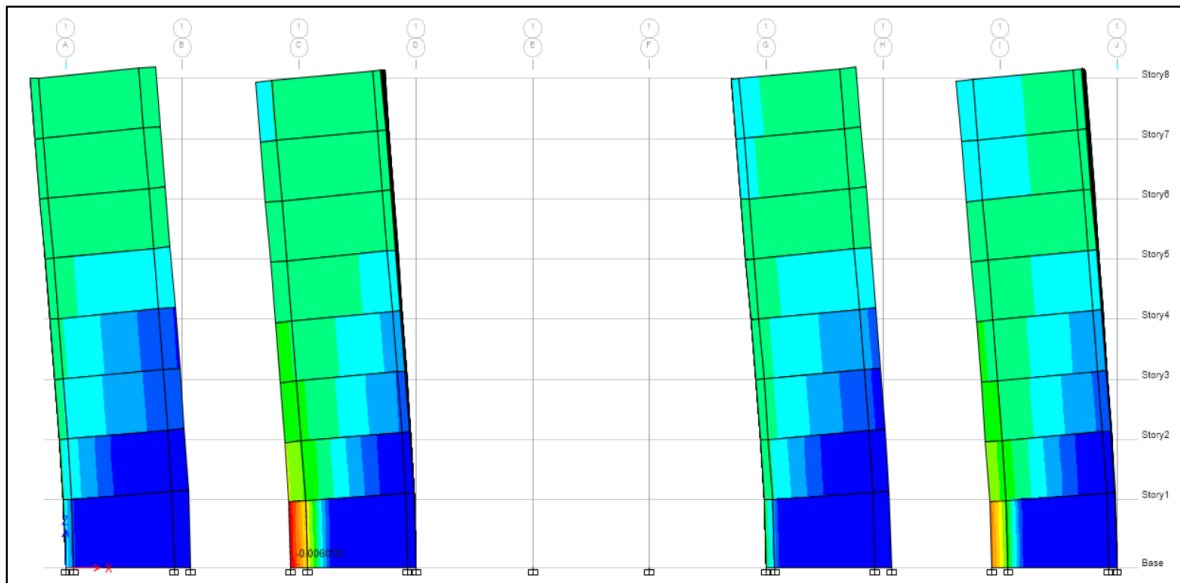
Figura 136 Alargamiento máximo del acero a 1.5% (49cm)

Elaborado por: César Silva, 2023

El acero a un desplazamiento de 49cm sobrepasa el punto de fluencia 0.0022 que se genera en el step 8, obteniéndose una fluencia de 0.258 en el step final.

### 5.4.8 ACORTAMIENTO MÁXIMO DEL HORMIGÓN

Ya que se consideró que tanto los elementos de borde como las almas del muro estructural tendrán su respectivo confinamiento, el límite de degradación del hormigón será cuando el muro alcance una compresión de 0.0067.



*Figura 137 Acortamiento máximo del concreto a 1.5% (49cm)*

*Elaborado por: César Silva, 2023*

A pesar de llegar al desplazamiento máximo de 49cm se verifica que el hormigón no llega a degradarse, esto debido a las altas resistencias de compresión empleadas en los muros estructurales y por el confinamiento empleado en los elementos de borde especiales y almas de la misma.

## CAPÍTULO 6 - COMPARACIÓN DE RESULTADOS

### 6.1 COMPARACIÓN DE CORTANTES

Cortante basal en X				
Story	Altura	Edificio con aisladores	Edificio con muros	Diferencia
	m	tonf	tonf	%
Story8	32.9	796.0022	4545.1461	82.49
	28.9	796.0022	4545.1461	82.49
Story7	28.9	1599.2014	8946.7363	82.13
	24.9	1599.2014	8946.7363	82.13
Story6	24.9	2348.8028	12331.1554	80.95
	20.9	2348.8028	12331.1554	80.95
Story5	20.9	3069.1643	15064.2185	79.63
	16.9	3069.1643	15064.2185	79.63
Story4	16.9	3817.2357	17430.0003	78.10
	12.9	3817.2357	17430.0003	78.10
Story3	12.9	4507.1922	19289.207	76.63
	8.9	4507.1922	19289.207	76.63
Story2	8.9	5148.6908	20587.2159	74.99
	4.9	5148.6908	20587.2159	74.99
Story1	4.9	5762.7072	21281.722	72.92
	0.4	5762.7072	21281.722	72.92
LRB	0.4	8579.1963	21281.722	59.69
	0	8579.1963	21281.722	59.69
Base	0	0	0	-

Tabla 32 Cortante de edificio con aisladores y muros en sentido x

Elaborado por: César Silva, 2023

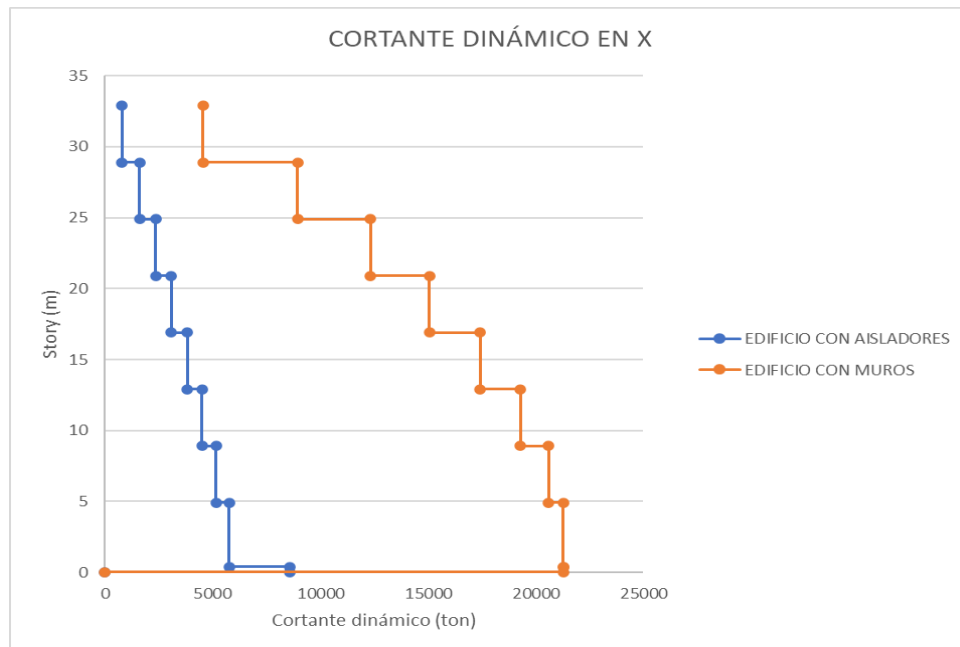


Figura 138 Cortante de edificio con aisladores y muros en sentido x

Elaborado por: César Silva, 2023

Cortante basal en Y				
Story	Altura m	Edificio con aisladores	Edificio con muros	Diferencia %
		tonf	tonf	
Story8	32.9	797.9045	4581.2844	82.58
	28.9	797.9045	4581.2844	82.58
Story7	28.9	1604.5204	9031.9407	82.24
	24.9	1604.5204	9031.9407	82.24
Story6	24.9	2358.9371	12461.2812	81.07
	20.9	2358.9371	12461.2812	81.07
Story5	20.9	3085.3151	15233.9225	79.75
	16.9	3085.3151	15233.9225	79.75
Story4	16.9	3841.7262	17644.0022	78.23
	12.9	3841.7262	17644.0022	78.23
Story3	12.9	4537.1091	19531.6766	76.77
	8.9	4537.1091	19531.6766	76.77
Story2	8.9	5181.3221	20843.2565	75.14
	4.9	5181.3221	20843.2565	75.14
Story1	4.9	5796.2378	21541.8242	73.09
	0.4	5796.2378	21541.8242	73.09
LRB	0.4	8621.8509	21541.8242	59.98
Base	0	8621.8509	21541.8242	59.98
Base	0	0	0	-

Tabla 33 Cortante de edificio con aisladores y muros en sentido y

Elaborado por: César Silva, 2023

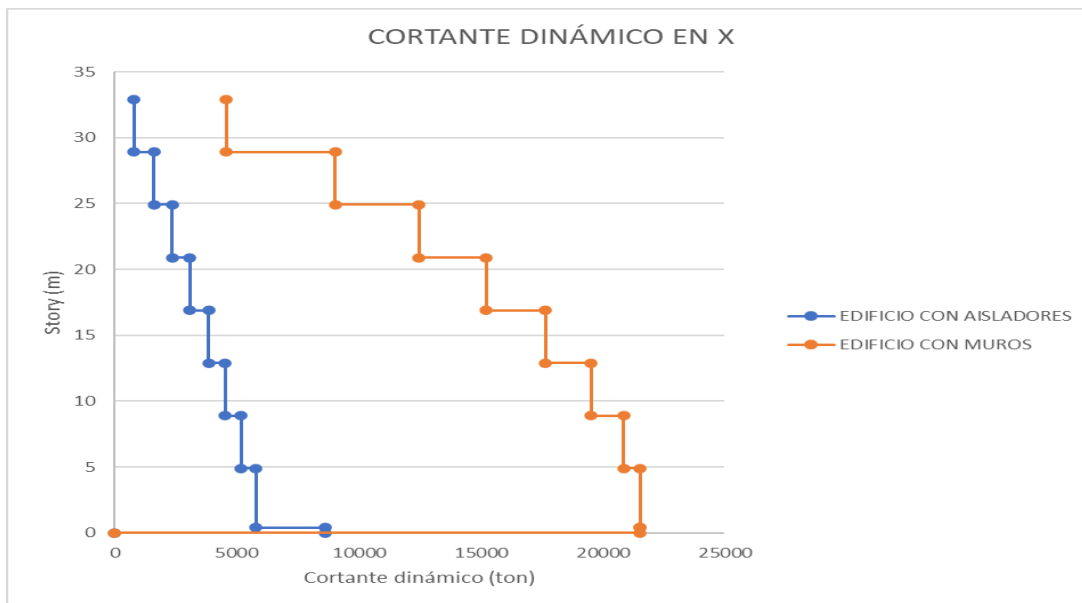


Figura 139 Cortante de edificio con aisladores y muros en sentido y

Elaborado por: César Silva, 2023

Por medio de las figuras se interpreta que la edificación con muros tiene mayor cortante basal en comparación a la estructura con aisladores, existiendo una diferencia entre 55% a 85% en distintos pisos; el mayor cortante en el edificio con aislador se da en el sistema de aislación y se disminuye en gran cantidad para los pisos superiores en ambos sentidos.



## 6.2 COMPARACIÓN DE PERÍODOS

Períodos			
Modos de vibración	Con aisladores	Con Muros	Diferencia
	(s)	(s)	%
1	3.949	0.337	91.466194
2	3.946	0.335	91.5103903
3	3.429	0.278	91.8926801

Tabla 34 Períodos de edificio con aisladores y muros estructurales

Elaborado por: César Silva, 2023

Al emplearse un sistema de aislación en la estructura se tenía como objetivo llegar a un período cercano a 4s, es decir, se aumentaba el período de la estructura sin aisladores; si se comparan estos períodos con los obtenidos en la estructura con muros estructurales se tiene una diferencia grande de aproximadamente 92%, ya que, al emplearse muros estructurales, estos rigidizan a la estructura y se tienen períodos menores a los de un edificio sin muros.

## 6.3 COMPARACIÓN DE DERIVAS

Derivas en sentido X						
Piso	Altura m	Con aisladores		Con muros		Diferencia
		Deriva	Deriva (%)	Deriva	Deriva (%)	%
8	32.9	0.000671	0.0671	0.0025	0.2533	73.5096723
7	28.9	0.001091	0.1091	0.0026	0.2599	58.0223163
6	24.9	0.001535	0.1535	0.0026	0.2616	41.32263
5	20.9	0.001936	0.1936	0.0026	0.2564	24.4929797
4	16.9	0.002312	0.2312	0.0024	0.2437	5.12925728
3	12.9	0.00269	0.269	0.0023	0.2252	16.2825279
2	8.9	0.003033	0.3033	0.0017	0.1746	42.4332344
1	4.9	0.003229	0.3229	0.0009	0.0913	71.7249923
0.4	0.4	1.179658	117.9658	0.0000	0	100
0	0	0	0	0	0	-

Tabla 35 Derivas de edificio con aisladores y muros en sentido x

Elaborado por: César Silva, 2023

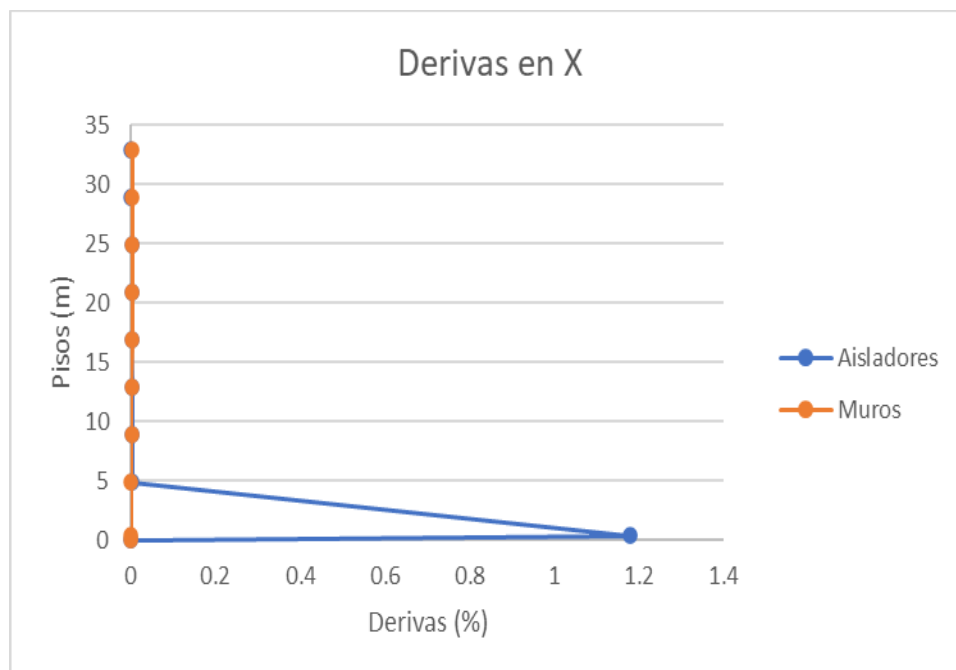


Figura 140 Derivas de edificio con aisladores y muros en sentido x

Elaborado por: César Silva, 2023

Derivas en sentido Y						
Piso	Altura	Con aisladores		Con muros		Diferencia
	m	Deriva	Deriva (%)	Deriva	Deriva (%)	%
8	32.9	0.000671	0.0671	0.0024	0.2428	72.3640857
7	28.9	0.001118	0.1118	0.0025	0.2492	55.1364366
6	24.9	0.001576	0.1576	0.0025	0.2508	37.1610845
5	20.9	0.001969	0.1969	0.0025	0.2459	19.9267995
4	16.9	0.002304	0.2304	0.0023	0.2338	1.45423439
3	12.9	0.002687	0.2687	0.0022	0.2165	19.4268701
2	8.9	0.003041	0.3041	0.0017	0.1681	44.7221309
1	4.9	0.003243	0.3243	0.0009	0.088	72.8646315
0.4	0.4	1.18147	118.147	0.0000	0	100
0	0	0	0	0	0	-

Tabla 36 Derivas de edificio con aisladores y muros en sentido y

Elaborado por: César Silva, 2023

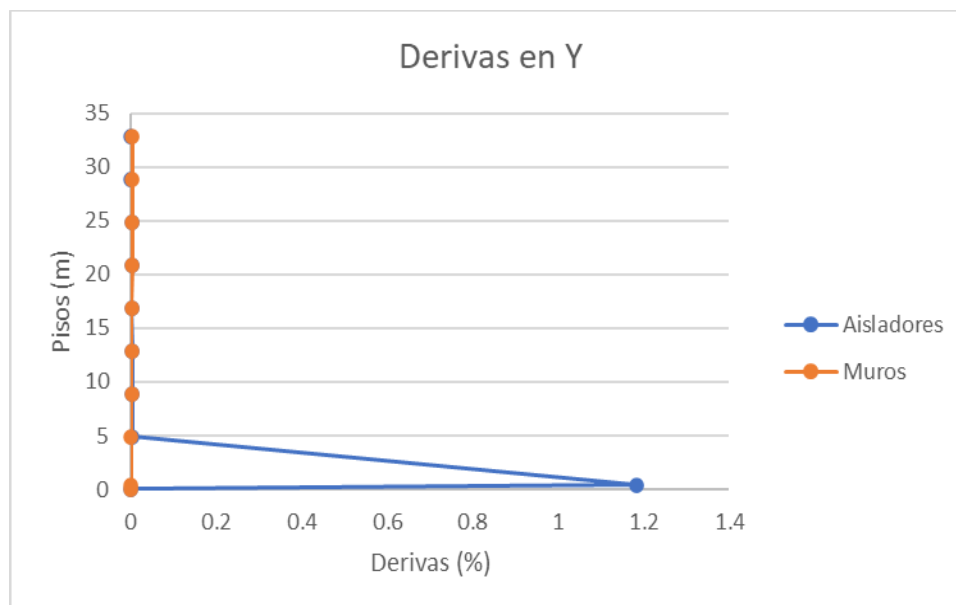


Figura 141 Derivas de edificio con aisladores y muros en sentido y

Elaborado por: César Silva, 2023

Por medio de las tablas se aprecia que las derivas en ambos sistemas son menores a 0.02 según lo establecido en la norma NEC-15, sin embargo, se observa una deriva muy grande en la estructura con aisladores, esto se debe al desplazamiento que se produce en la base del sistema de aislación, pero no llega a afectar el desempeño de la estructura.

#### 6.4 COMPARACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS

Desplazamiento en sentido X						
Piso	Altura m	Con aisladores		Con muros		Diferencia %
		m	cm	m	cm	
8	32.9	0.534	53.350	0.071	7.092	86.7061417
7	28.9	0.531	53.133	0.061	6.081	88.5549039
6	24.9	0.528	52.765	0.050	5.045	90.4397398
5	20.9	0.522	52.236	0.040	4.002	92.3394415
4	16.9	0.516	51.555	0.030	2.979	94.2214886
3	12.9	0.507	50.721	0.020	2.007	96.0422471
2	8.9	0.497	49.727	0.011	1.108	97.771213
1	4.9	0.486	48.581	0.004	0.411	99.1548119
0.4	0.4	0.472	47.186	0.000	0.000	100
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	-

Tabla 37 Desplazamientos de edificio con aisladores y muros en sentido x

Elaborado por: César Silva, 2023

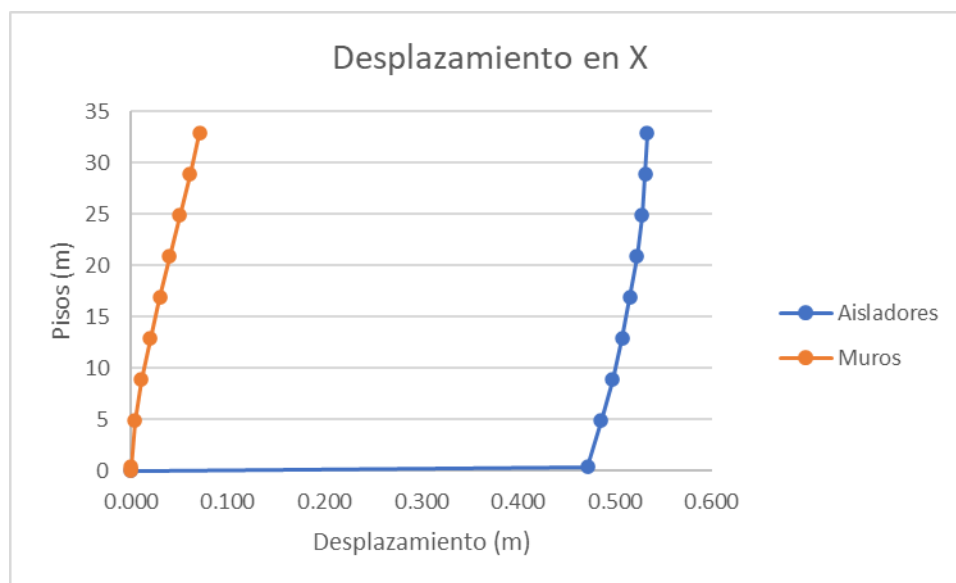


Figura 142 Desplazamientos de edificio con aisladores y muros en sentido x

Elaborado por: César Silva, 2023

Desplazamiento en sentido Y						
Piso	Altura	Con aisladores		Con muros		Diferencia
	m	m	cm	m	cm	%
8	32.9	0.535	53.471	0.068	6.807	87.2702008
7	28.9	0.532	53.245	0.058	5.837	89.0366347
6	24.9	0.529	52.866	0.048	4.844	90.8376919
5	20.9	0.523	52.323	0.038	3.844	92.6531353
4	16.9	0.516	51.631	0.029	2.864	94.453483
3	12.9	0.508	50.800	0.019	1.931	96.1980315
2	8.9	0.498	49.808	0.011	1.068	97.8565477
1	4.9	0.487	48.659	0.004	0.396	99.1863837
0.4	0.4	0.473	47.259	0.000	0.000	100
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	-

Tabla 38 Desplazamientos de edificio con aisladores y muros en sentido y

Elaborado por: César Silva, 2023

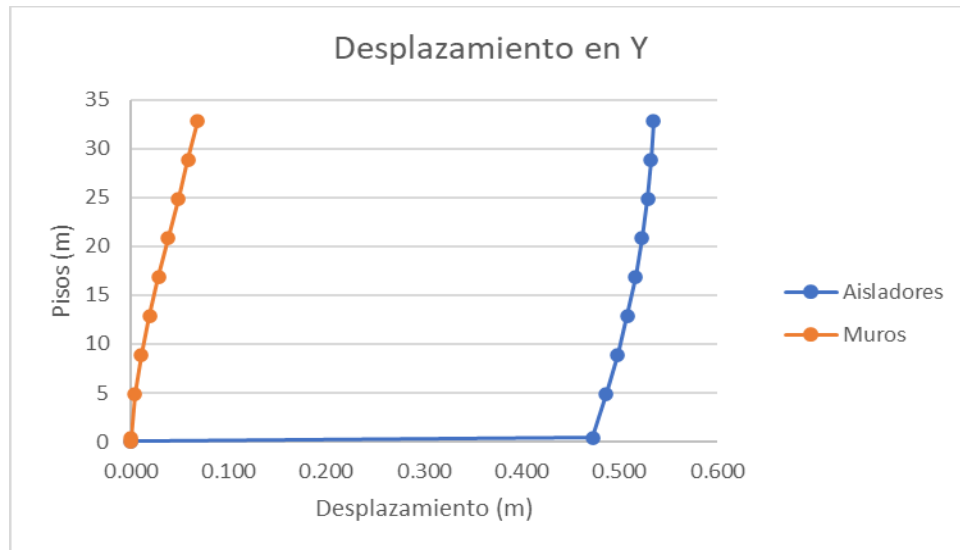


Figura 143 Desplazamientos de edificio con aisladores y muros en sentido y

Elaborado por: César Silva, 2023

Por medio de las gráficas se aprecia el desplazamiento de la estructura, existiendo una gran diferencia entre el sistema con aisladores y con muros estructurales, esto se debe al desplazamiento que se produce en la base del sistema de aislación, sin embargo, es un desplazamiento cercano al desplazamiento objetivo requerido en el diseño (45cm), por lo que no afecta al desempeño de la estructura; al emplear aisladores se tiene un desplazamiento de 6cm a partir del sistema de aislación, mientras que en muros estructurales se genera un desplazamiento de 8cm, siendo más favorable el primer sistema.

## 6.5 COMPARACIÓN DE COSTOS

Como se aprecia en las tablas 39 y 40, se verifica que al implementarse un sistema de aislación en la estructura se tiene un ahorro estructural de 3.24 millones de dólares, lo que representa un 28.17% del costo total de la estructura con muros estructurales. Por lo tanto, se establece que la implementación de un sistema de aislación en estructuras esenciales es más eficiente que el empleo de muros estructurales, ya que se tiene un comportamiento más óptimo en el edificio y un costo significativamente más bajo.

Costos de edificio con muros estructurales					
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
Excavación	Excavación a máquina	m3	9786.26	14.86	145423.824
	Excavación a mano	m3	3318.42	4.52	14999.2584
Encofrados	Encofrado cimentación	m2	5827.74	24	139865.76
	Encofrado de columnas	m2	3478.14	30	104344.2
	Encofrado de vigas	m2	19577.6	30	587328
	Encofrado de losas	m2	66325.5	30	1989765
	Encofrado de muros	m2	15808	30	474240
	Encofrado de elementos de borde	m2	7488	30	224640
Hormigón	Hormigón de cimentaciones	m3	3114	146	454644
	Hormigón de columnas	m3	800.94	146	116937.24
	Hormigón de vigas	m3	3854.34	146	562733.64
	Hormigón de losas	m3	5969.29	146	871516.34
	Hormigón de muros	m3	7584.19	146	1107291.74
	Hormigón elementos de borde	m3	2395.01	146	349671.46
Acero	Acero de cimentaciones	kg	199842.61	1.65	329740.306
	Acero de columnas	kg	167476.617	1.65	276336.419
	Acero de vigas	kg	290581.18	1.65	479458.947
	Acero de muros	kg	1098552.79	1.65	1812612.1
	Acero de elementos de borde	kg	901358.043	1.65	1487240.77
<b>Total</b>	-	-	-	-	11528789

Tabla 39 Costo estructural de edificio con muros estructurales

Elaborado por: César Silva, 2023

Costos de edificio con aisladores sísmicos					
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
Excavación	Excavación a máquina	m3	9786.26	14.86	145423.824
	Excavación a mano	m3	3237.48	4.52	14633.4096
Encofrados	Encofrado cimentación	m2	5685.6	24	136454.4
	Encofrado de columnas	m2	9547.2	30	286416
	Encofrado de vigas	m2	29256.9	30	877707
	Encofrado de losas	m2	66325.5	30	1989765
Hormigón	Hormigón de cimentaciones	m3	3237.48	146	472672.08
	Hormigón de columnas	m3	2148.13	146	313626.98
	Hormigón de vigas	m3	5759.96	146	840954.16
	Hormigón de losas	m3	5969.29	146	871516.34
Acero	Acero de cimentaciones	kg	199842.61	1.65	329740.306
	Acero de columnas	kg	448983.76	1.65	740823.204
	Acero de vigas	kg	388268.266	1.65	640642.639
Aisladores	Aislador 1 con núcleo de plomo	U	32	10000	320000
	Aislador 2 con núcleo de plomo	U	12	10000	120000
	Aislador 3 sin núcleo de plomo	U	6	5000	30000
	Aislador 4 sin núcleo de plomo	U	30	5000	150000
<b>Total</b>	-	-	-	-	8280375.34

Tabla 40 Costo estructural de edificio con aisladores sísmicos

Elaborado por: César Silva, 2023

## CAPÍTULO 7 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se pudo realizar la comparación estructural de la edificación empleando un diseño con sistema de aislación y otro con la inclusión de muros estructurales, verificando que se tiene una mejor respuesta al emplear aisladores sísmicos en la base de la estructura.
- Al emplearse un sistema de aislación en la base de la estructura se puede evitar la consideración de los factores de penalización en planta y elevación; sin embargo, al implementar muros estructurales en un sistema dual es necesario la consideración de las mismas, razón por la que al generar un espectro de aceleraciones en el sistema dual tiende a ser mayor en relación al espectro de un sistema de aislación, además que al tratarse de un edificio masivo de tipo esencial tiene que diseñarse para un sismo con un período de retorno 2500 años, por lo que la estructura estará sometida a esfuerzos cortantes muy grandes.
- Si bien en el sistema dual se obtuvieron resultados que académicamente son aceptables, la misma deja de ser funcional una vez que alcanza su desplazamiento máximo, ya que a partir de los 8cm de desplazamiento se produce la fluencia del acero en los elementos de borde especiales.
- Al comparar ambos sistemas se verifica que los cortantes por piso en la estructura con sistema de aislación son menores en relación a los obtenidos en el diseño con muros estructurales, el mayor cortante en el primer diseño se da en el sistema de aislación y la misma va disminuyendo para los pisos superiores en ambos sentidos. En cuanto los períodos de la estructura con aisladores sísmicos en ambos sentidos se tienen valores cercanos a los 4s, al compararse con los períodos obtenidos en la

estructura con muros estructurales se tiene una diferencia de casi 92%, ya que sus períodos en ambos sentidos son cercanos a 0.34s, estos períodos se obtienen al emplearse muros con espesores muy grandes, rigidizando a la estructura hasta tener períodos muy cortos.

- Realizado el diseño de la estructura con ambos sistemas en el software informático Etabs se verifica que en ambos edificios se tienen derivas menores al 0.02, valor establecido en la norma NEC-15, sin embargo, existe una deriva grande en el sistema de aislación, esto se debe al desplazamiento que se genera en los aisladores ante un evento sísmico, desplazamiento que se consideró en el diseño del sistema, el cual es cercano al desplazamiento objetivo (45cm), por lo que no afecta al desempeño de la estructura. Al emplearse aisladores se tiene un desplazamiento máximo de 6cm a partir del sistema de aislación, mientras que en el sistema con muros se da un desplazamiento de 7cm, siendo más favorable la primera opción.
- Al comparar el costo estructural entre ambos sistemas se establece que el sistema con aisladores sísmicos resulta más favorable, ya que se tiene un ahorro cerca de 3.24 millones de dólares, lo que representa un 28% del costo total de la estructura con muros estructurales, la principal razón de que exista esta diferencia presupuestaria es debido a la cantidad de hormigón y de acero necesario para la construcción de los muros estructurales, ya que se requieren espesores y elementos de borde muy grandes, además que cada elemento requiere de un buen confinamiento para que la estructura trabaje óptimamente.
- Al diseñarse un sistema de muros estructurales con los factores de amplificación dinámica, el cortante resultante se vuelve extremadamente relevante, razón por lo que



es necesario aumentar el espesor de los muros y su resistencia a la compresión para solventar este problema. Esto demuestra la no idoneidad de los edificios esenciales con el diseño tradicional de muros estructurales, por lo que se recomienda que en este tipo de edificios se usen directamente sistemas de aislación.

- Si bien académicamente el sistema de muros en edificios esenciales funciona, en la práctica no se emplearía este método de construcción, ya que a pesar de ser una estructura masiva, al implementarse los muros estructurales no se tenían problemas de torsión, pero existían cortantes muy grandes en los diferentes pisos, este comportamiento podría mejorarse implementando juntas de construcción, sin embargo, para este trabajo no se consideró esta alternativa con el fin de realizar la comparación con el diseño previo.

## BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO. (2010). *Guide Specifications for seismic Isolation Design*. Estados Unidos: AASHTO.
- ACI 318-19. (2019). *Requisitos de reglamento para concreto estructural*. Estados Unidos: American Concrete Institute.
- Aguiar, R. (2017). Peligrosidad sísmica de la costa norte de Ecuador y el terremoto de pedernales de 2016. *Revista Geofísica* 67.
- Alonso, A. (2015). *Análisis comparativo entre un edificio con pórticos resistentes a momentos con la inclusión de amortiguadores de masa sintonizada y un edificio con sistema dual de muros de corte*. Guayaquil: Escuela Politécnica del Litoral.
- ASCE. (2016). *ASCE/SEI 7 - 16 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. Virginia: ASCE.
- Auqui, M. (2010). *Análisis de aisladores sísmicos Elastoméricos construidos en el Ecuador*. Quito: ESPE.
- Carmona Ramírez. (2015). *Análisis comparativo del comportamiento sísmico dinámico del diseño normativo sismo.resistente de un sistema dual frente al modelo con aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento de un sistema aporticado*. Lima: UPC.
- Chiriboga, E. (2013).  *AISLACIÓN SÍSMICA DEL EDIFICIO BLOQUE DE HOSPITALIZACIÓN*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Nch 2745. (2003). *Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica*. Chile : Norma Chilena.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *NEC-SE-CG*. Quito: NEC.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *NEC-SE-DS*. Quito: NEC.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *NEC-SE-HM*. Quito: NEC.
- Rafael Enrique. (2018). *Análisis comparativo del comportamiento sísmico de un sistema dual frente al modelo con aisladores sísmicos HDR, de un sistema aporticado, del edificio country, ubicado en nuevo chimbote - 2018*. Chimbote: Universidad César Vallejo.
- Ronald, C. (2013). *Diseño por desempeño de edificaciones en hormigón armado con muros de corte mediante los códigos Fema, utilizando el programa Etabs*. Quito: Escuela Politécnica del Ejército.
- Saavedra, R. (2023). *Aislación Sísmica de estructuras*. Chile.
- Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. (2016). *Aisladores de base elastoméricos y FPS*. Quito: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

# ÍNDICE DE ANEXOS

## ANEXO 1: Cálculo de cumplimiento de tracciones en aisladores para primera iteración

TABLE: Element Forces - Links													CONDICIÓN
Story	Unique Name	Link Element	Output Case	Case Type	Location	FZ tonf	FZ tonf	P EX tonf	P EY tonf	C1 tonf	C2 tonf	MAX tonf	
LRB	K1	K1	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-304.2824	304.2824	190.685	198.0306	113.5974	106.2518	106.2518	OK
LRB	K2	K2	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-490.5116	490.5116	78.1798	215.2676	412.3318	275.244	275.244	OK
LRB	K3	K3	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.1611	495.1611	72.3899	209.5553	422.7712	285.6058	285.6058	OK
LRB	K4	K4	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.6755	495.6755	66.1677	202.9732	429.5078	292.7023	292.7023	OK
LRB	K5	K5	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.629	495.629	60.5594	196.5571	435.0696	299.0719	299.0719	OK
LRB	K6	K6	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.629	495.629	60.5594	196.5571	435.0696	299.0719	299.0719	OK
LRB	K7	K7	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.6755	495.6755	66.1677	202.9732	429.5078	292.7023	292.7023	OK
LRB	K8	K8	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.1611	495.1611	72.3899	209.5553	422.7712	285.6058	285.6058	OK
LRB	K9	K9	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-490.5116	490.5116	78.1798	215.2676	412.3318	275.244	275.244	OK
LRB	K10	K10	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-304.2824	304.2824	190.685	198.0306	113.5974	106.2518	106.2518	OK
LRB	K11	K11	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-490.2391	490.2391	210.526	74.6104	279.7131	415.6287	279.7131	OK
LRB	K12	K12	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-841.1373	841.1373	4.2221	4.2678	836.9152	836.8695	836.8695	OK
LRB	K13	K13	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-843.4171	843.4171	1.3736	4.0526	842.0435	839.3645	839.3645	OK
LRB	K14	K14	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-845.0463	845.0463	1.3297	3.9482	843.7166	841.0981	841.0981	OK
LRB	K15	K15	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-844.7445	844.7445	1.1653	3.7938	843.5792	840.9507	840.9507	OK
LRB	K16	K16	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-844.7445	844.7445	1.1653	3.7938	843.5792	840.9507	840.9507	OK
LRB	K17	K17	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-845.0463	845.0463	1.3297	3.9482	843.7166	841.0981	841.0981	OK
LRB	K18	K18	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-843.4171	843.4171	1.3736	4.0526	842.0435	839.3645	839.3645	OK
LRB	K19	K19	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-841.1373	841.1373	4.2221	4.2678	836.9152	836.8695	836.8695	OK
LRB	K20	K20	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-490.2391	490.2391	210.526	74.6104	279.7131	415.6287	279.7131	OK
LRB	K21	K21	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-494.8828	494.8828	202.5826	67.5958	292.3002	427.287	292.3002	OK
LRB	K22	K22	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-843.4117	843.4117	3.9213	1.276	839.4904	842.1357	839.4904	OK
LRB	K23	K23	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-845.954	845.954	0.1365	0.1463	845.8175	845.8077	845.8077	OK
LRB	K24	K24	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-844.4206	844.4206	0.2407	0.1501	844.1799	844.2705	844.1799	OK
LRB	K25	K25	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-841.4858	841.4858	0.3569	1.1662	841.1289	840.3196	840.3196	OK
LRB	K26	K26	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-841.4858	841.4858	0.3569	1.1662	841.1289	840.3196	840.3196	OK
LRB	K27	K27	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-844.4206	844.4206	0.2407	0.1501	844.1799	844.2705	844.1799	OK
LRB	K28	K28	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-845.954	845.954	0.1365	0.1463	845.8175	845.8077	845.8077	OK
LRB	K29	K29	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-843.4117	843.4117	3.9213	1.276	839.4904	842.1357	839.4904	OK
LRB	K30	K30	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-494.8828	494.8828	202.5826	67.5958	292.3002	427.287	292.3002	OK
LRB	K31	K31	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.3934	495.3934	193.7282	60.0723	301.6652	435.3211	301.6652	OK
LRB	K32	K32	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-845.0307	845.0307	3.8389	1.2205	841.1918	843.8102	841.1918	OK
LRB	K33	K33	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-844.3379	844.3379	0.1465	0.2447	844.1914	844.0932	844.0932	OK
LRB	K34	K34	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-815.9165	815.9165	4.3362	4.2136	811.5803	811.7029	811.5803	OK
LRB	K35	K35	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-780.1449	780.1449	8.5188	27.7669	771.6261	752.378	752.378	OK
LRB	K36	K36	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-780.1449	780.1449	8.5188	27.7669	771.6261	752.378	752.378	OK
LRB	K37	K37	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-815.9165	815.9165	4.3362	4.2136	811.5803	811.7029	811.5803	OK
LRB	K38	K38	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-844.3379	844.3379	0.1465	0.2447	844.1914	844.0932	844.0932	OK
LRB	K39	K39	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-845.0307	845.0307	3.8389	1.2205	841.1918	843.8102	841.1918	OK
LRB	K40	K40	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.3934	495.3934	193.7282	60.0723	301.6652	435.3211	301.6652	OK
LRB	K41	K41	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.3911	495.3911	191.0718	60.2716	304.3193	435.1195	304.3193	OK
LRB	K42	K42	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-844.912	844.912	3.8261	1.2759	841.0859	843.6361	841.0859	OK
LRB	K43	K43	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-840.7773	840.7773	1.5111	0.5109	839.2662	840.2664	839.2662	OK
LRB	K44	K44	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-770.7087	770.7087	31.4585	10.512	739.2502	760.1967	739.2502	OK
LRB	K45	K45	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-638.7843	638.7843	6.9887	21.5434	631.7956	617.2409	617.2409	OK
LRB	K46	K46	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-638.7843	638.7843	6.9887	21.5434	631.7956	617.2409	617.2409	OK
LRB	K47	K47	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-770.7087	770.7087	31.4585	10.512	739.2502	760.1967	739.2502	OK
LRB	K48	K48	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-840.7773	840.7773	1.5111	0.5109	839.2662	840.2664	839.2662	OK
LRB	K49	K49	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-844.912	844.912	3.8261	1.2759	841.0859	843.6361	841.0859	OK
LRB	K50	K50	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.3911	495.3911	191.0718	60.2716	304.3193	435.1195	304.3193	OK
LRB	K51	K51	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-494.8769	494.8769	192.6666	65.6173	302.2103	429.2596	302.2103	OK
LRB	K52	K52	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-843.1596	843.1596	3.8664	1.3196	839.2932	841.84	839.2932	OK
LRB	K53	K53	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-838.7662	838.7662	2.7727	0.9833	835.9935	837.7829	835.9935	OK
LRB	K54	K54	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-754.6342	754.6342	51.089	17.5892	703.5452	737.045	703.5452	OK
LRB	K55	K55	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-597.3623	597.3623	3.1096	2.173	594.2527	595.1893	594.2527	OK
LRB	K56	K56	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-597.3623	597.3623	3.1096	2.173	594.2527	595.1893	594.2527	OK
LRB	K57	K57	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-754.6342	754.6342	51.089	17.5892	703.5452	737.045	703.5452	OK
LRB	K58	K58	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-838.7662	838.7662	2.7727	0.9833	835.9935	837.7829	835.9935	OK
LRB	K59	K59	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-843.1596	843.1596	3.8664	1.3196	839.2932	841.84	839.2932	OK
LRB	K60	K60	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-494.8769	494.8769	192.6666	65.6173	302.2103	429.2596	302.2103	OK
LRB	K61	K61	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-490.2209	490.2209	193.6476	70.5514	296.5733	419.6695	296.5733	OK
LRB	K62	K62	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-840.8595	840.8595	4.1706	4.1911	836.6889	836.6684	836.6684	OK
LRB	K63	K63	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-836.069	836.069	3.4071	4.3647	832.6619	831.7043	831.7043	OK
LRB	K64	K64	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-754.2553	754.2553	54.1169	20.1743	700.1384	734.081	700.1384	OK
LRB	K65	K65	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-600.2409	600.2409	3.4397	4.4339	596.8012	595.807	595.807	OK
LRB	K66	K66	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-600.2409	600.2409	3.4397	4.4339	596.8012	595.807	595.807	OK
LRB	K67	K67	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-754.2553	754.2553	54.1169	20.1743	700.1384	734.081	700.1384	OK
LRB	K68	K68	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-836.069	836.069	3.4071	4.3647	832.6619	831.7043	831.7043	OK
LRB	K69	K69	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-840.8595	840.8595	4.1706	4.1911	836.6889	836.6684	836.6684	OK
LRB	K70	K70	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-490.2209	490.2209	193.6476	70.5514	296.5733	419.6695	296.5733	OK
LRB	K71	K71	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-303.7458	303.7458	196.3648	197.3812	107.381	106.3646	106.3646	OK
LRB	K72	K72	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-489.7421	489.7421	79.537	215.2355	410.2051	274.5066	274.5066	OK
LRB	K73	K73	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-489.5723	489.5723	72.3865	209.6842	417.1858	279.8881	279.8881	OK
LRB	K74	K74	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-435.1685	435.1685	83.2415	205.2151	351.927	229.9534	229.9534	OK
LRB	K75	K75	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-332.2957	332.2957	46.8809	151.4828	285.4148	180.8129	180.8129	OK
LRB	K76	K76	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-332.2957	332.2957	46.8809	151.4828	285.4148	180.8129	180.8129	OK
LRB	K77	K77	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-435.1685	435.1685	83.2415	205.2151	351.927	229.9534	229.9534	OK
LRB	K78	K78	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-489.5723	489.5723	72.3865	209.6842	417.1858	279.8881	279.8881	OK
LRB	K79	K79	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-489.7421	489.7421	79.537	215.2355	410.2051	274.5066	274.5066	OK
LRB	K80	K80	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-303.7458	303.7458	196.3648	197.3812	107.381	106.3646	106.3646	OK

## ANEXO 2: Cálculo de distribución de cargas en base a combinación máxima para primera iteración

TABLE: Element Forces - Links												
Story	Único Nal	Link Elemé	Output Case	Case Type	Location	P tonf	P ABS tonf	P EX tonf	P EY tonf	C1 tonf	C2 tonf	MAX 0
LRB	K71	K71	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-681.8888	681.8888	196.3648	197.3812	878.2536	879.27	879.27
LRB	K80	K80	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-681.8888	681.8888	196.3648	197.3812	878.2536	879.27	879.27
LRB	K1	K1	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-683.1642	683.1642	190.685	198.0306	873.8492	881.1948	881.1948
LRB	K10	K10	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-683.1642	683.1642	190.685	198.0306	873.8492	881.1948	881.1948
LRB	K75	K75	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-738.9923	738.9923	46.8809	151.4828	785.8732	890.4751	890.4751
LRB	K76	K76	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-738.9923	738.9923	46.8809	151.4828	785.8732	890.4751	890.4751
LRB	K74	K74	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-979.4564	979.4564	83.2415	205.2151	1062.6979	1184.6715	1184.6715
LRB	K77	K77	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-979.4564	979.4564	83.2415	205.2151	1062.6979	1184.6715	1184.6715
LRB	K61	K61	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1119.3854	1119.3854	193.6476	70.5514	1313.033	1189.9368	1313.033
LRB	K70	K70	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1119.3854	1119.3854	193.6476	70.5514	1313.033	1189.9368	1313.033
LRB	K41	K41	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1134.0591	1134.0591	191.0718	60.2716	1325.1309	1194.3307	1325.1309
LRB	K50	K50	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1134.0591	1134.0591	191.0718	60.2716	1325.1309	1194.3307	1325.1309
LRB	K51	K51	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1132.8802	1132.8802	192.6666	65.6173	1325.5468	1198.4975	1325.5468
LRB	K60	K60	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1132.8802	1132.8802	192.6666	65.6173	1325.5468	1198.4975	1325.5468
LRB	K31	K31	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1134.0652	1134.0652	193.7282	60.0723	1327.7934	1194.1375	1327.7934
LRB	K40	K40	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1134.0652	1134.0652	193.7282	60.0723	1327.7934	1194.1375	1327.7934
LRB	K73	K73	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1119.2134	1119.2134	72.3865	209.6842	1191.5999	1328.8976	1328.8976
LRB	K78	K78	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1119.2134	1119.2134	72.3865	209.6842	1191.5999	1328.8976	1328.8976
LRB	K11	K11	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1119.4285	1119.4285	210.526	74.6104	1329.9545	1194.0389	1329.9545
LRB	K20	K20	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1119.4285	1119.4285	210.526	74.6104	1329.9545	1194.0389	1329.9545
LRB	K5	K5	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1134.6385	1134.6385	60.5594	196.5571	1195.1979	1331.1956	1331.1956
LRB	K6	K6	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1134.6385	1134.6385	60.5594	196.5571	1195.1979	1331.1956	1331.1956
LRB	K72	K72	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1118.2029	1118.2029	79.537	215.2355	1197.7399	1333.4384	1333.4384
LRB	K79	K79	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1118.2029	1118.2029	79.537	215.2355	1197.7399	1333.4384	1333.4384
LRB	K2	K2	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1120.0764	1120.0764	78.1798	215.2676	1198.2562	1335.344	1335.344
LRB	K9	K9	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1120.0764	1120.0764	78.1798	215.2676	1198.2562	1335.344	1335.344
LRB	K21	K21	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1132.8956	1132.8956	202.5826	67.5958	1335.4782	1200.4914	1335.4782
LRB	K30	K30	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1132.8956	1132.8956	202.5826	67.5958	1335.4782	1200.4914	1335.4782
LRB	K4	K4	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1134.734	1134.734	66.1677	202.9732	1200.9017	1337.7072	1337.7072
LRB	K7	K7	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1134.734	1134.734	66.1677	202.9732	1200.9017	1337.7072	1337.7072
LRB	K3	K3	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1133.5568	1133.5568	72.3899	209.5553	1205.9467	1343.1121	1343.1121
LRB	K8	K8	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1133.5568	1133.5568	72.3899	209.5553	1205.9467	1343.1121	1343.1121
LRB	K55	K55	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1346.4983	1346.4983	3.1096	2.173	1349.6079	1348.6713	1349.6079
LRB	K56	K56	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1346.4983	1346.4983	3.1096	2.173	1349.6079	1348.6713	1349.6079
LRB	K65	K65	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1350.681	1350.681	3.4397	4.4339	1354.1207	1355.1149	1355.1149
LRB	K66	K66	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1350.681	1350.681	3.4397	4.4339	1354.1207	1355.1149	1355.1149
LRB	K45	K45	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1446.3068	1446.3068	6.9887	21.5434	1453.2955	1467.8502	1467.8502
LRB	K46	K46	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1446.3068	1446.3068	6.9887	21.5434	1453.2955	1467.8502	1467.8502
LRB	K64	K64	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1720.2124	1720.2124	54.1169	20.1743	1774.3293	1740.3867	1774.3293
LRB	K67	K67	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1720.2124	1720.2124	54.1169	20.1743	1774.3293	1740.3867	1774.3293
LRB	K54	K54	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1725.6521	1725.6521	51.089	17.5892	1776.7411	1743.2413	1776.7411
LRB	K57	K57	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1725.6521	1725.6521	51.089	17.5892	1776.7411	1743.2413	1776.7411
LRB	K44	K44	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1766.6929	1766.6929	31.4585	10.512	1798.1514	1777.2049	1798.1514
LRB	K47	K47	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1766.6929	1766.6929	31.4585	10.512	1798.1514	1777.2049	1798.1514
LRB	K35	K35	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1793.3412	1793.3412	8.5188	27.7669	1801.86	1821.1081	1821.1081
LRB	K36	K36	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1793.3412	1793.3412	8.5188	27.7669	1801.86	1821.1081	1821.1081
LRB	K34	K34	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1885.8305	1885.8305	4.3362	4.2136	1890.1667	1890.0441	1890.1667
LRB	K37	K37	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1885.8305	1885.8305	4.3362	4.2136	1890.1667	1890.0441	1890.1667
LRB	K63	K63	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1939.6193	1939.6193	3.4071	4.3647	1943.0264	1943.984	1943.984
LRB	K68	K68	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1939.6193	1939.6193	3.4071	4.3647	1943.0264	1943.984	1943.984
LRB	K62	K62	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1947.8357	1947.8357	4.1706	4.1911	1952.0063	1952.0268	1952.0268
LRB	K69	K69	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1947.8357	1947.8357	4.1706	4.1911	1952.0063	1952.0268	1952.0268
LRB	K12	K12	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1948.5717	1948.5717	4.2221	4.2678	1952.7938	1952.8395	1952.8395
LRB	K19	K19	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1948.5717	1948.5717	4.2221	4.2678	1952.7938	1952.8395	1952.8395
LRB	K53	K53	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1951.5251	1951.5251	2.7727	0.9833	1954.2978	1952.5084	1954.2978
LRB	K58	K58	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1951.5251	1951.5251	2.7727	0.9833	1954.2978	1952.5084	1954.2978
LRB	K43	K43	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1956.4642	1956.4642	1.5111	0.5109	1957.9753	1956.9751	1957.9753
LRB	K48	K48	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1956.4642	1956.4642	1.5111	0.5109	1957.9753	1956.9751	1957.9753
LRB	K25	K25	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1958.5058	1958.5058	0.3569	1.1662	1958.8627	1959.672	1959.672
LRB	K26	K26	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1958.5058	1958.5058	0.3569	1.1662	1958.8627	1959.672	1959.672
LRB	K52	K52	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1958.5757	1958.5757	3.8664	1.3196	1962.4421	1959.8953	1962.4421
LRB	K59	K59	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1958.5757	1958.5757	3.8664	1.3196	1962.4421	1959.8953	1962.4421
LRB	K22	K22	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1959.2511	1959.2511	3.9213	1.276	1963.1724	1960.5271	1963.1724
LRB	K29	K29	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1959.2511	1959.2511	3.9213	1.276	1963.1724	1960.5271	1963.1724
LRB	K13	K13	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1959.2634	1959.2634	1.3736	4.0526	1960.637	1963.316	1963.316
LRB	K18	K18	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1959.2634	1959.2634	1.3736	4.0526	1960.637	1963.316	1963.316
LRB	K15	K15	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1962.249	1962.249	1.1653	3.7938	1963.4143	1966.0428	1966.0428
LRB	K16	K16	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1962.249	1962.249	1.1653	3.7938	1963.4143	1966.0428	1966.0428
LRB	K33	K33	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1965.8529	1965.8529	0.1465	0.2447	1965.9994	1966.0976	1966.0976
LRB	K38	K38	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1965.8529	1965.8529	0.1465	0.2447	1965.9994	1966.0976	1966.0976
LRB	K24	K24	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1966.0801	1966.0801	0.2407	0.1501	1966.3208	1966.2302	1966.3208
LRB	K27	K27	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1966.0801	1966.0801	0.2407	0.1501	1966.3208	1966.2302	1966.3208
LRB	K42	K42	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1962.605	1962.605	3.8261	1.2759	1966.4311	1963.8809	1966.4311
LRB	K49	K49	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1962.605	1962.605	3.8261	1.2759	1966.4311	1963.8809	1966.4311
LRB	K32	K32	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1962.9195	1962.9195	3.8389	1.2205	1966.7584	1964.14	1966.7584
LRB	K39	K39	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1962.9195	1962.9195	3.8389	1.2205	1966.7584	1964.14	1966.7584
LRB	K14	K14	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1962.9556	1962.9556	1.3297	3.9482	1964.2853	1966.9038	1966.9038
LRB	K17	K17	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1962.9556	1962.9556	1.3297	3.9482	1964.2853	1966.9038	1966.9038
LRB	K23	K23	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1970.7878	1970.7878	0.1365	0.1463	1970.9243	1970.9341	1970.9341
LRB	K28	K28	(1.2+0.25)D+L	Combination	I-End	-1970.7878	1970.7878	0.1365	0.1463	1970.9243	1970.9341	1970.9341

### ANEXO 3: Rotaciones en aisladores para verificaciones de estabilidad

TABLE: Joint Displacements											
Story	Label	Unique Name	Output Case	Rx rad	Ry rad	Rz rad	Output Case	Case Type	Rx rad	Ry rad	Rz rad
Story1	1	161	EX	0.001162	0.002928	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002942	0.001107	0.001889
Story1	2	162	EX	0.001076	0.002788	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002727	0.000999	0.001889
Story1	3	163	EX	0.001072	0.002661	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002716	0.000896	0.001889
Story1	4	164	EX	0.001073	0.002533	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002719	0.000775	0.001889
Story1	5	165	EX	0.001073	0.002475	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002719	0.000775	0.001889
Story1	6	166	EX	0.001072	0.002487	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002716	0.000844	0.001889
Story1	7	167	EX	0.001076	0.002498	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002727	0.000912	0.001889
Story1	8	168	EX	0.001161	0.00252	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002942	0.000985	0.001889
Story1	9	169	EX	0.001055	0.002713	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002845	0.001025	0.001889
Story1	10	170	EX	0.000972	0.002571	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002623	0.000921	0.001889
Story1	11	171	EX	0.000968	0.002453	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002612	0.000826	0.001889
Story1	12	172	EX	0.000974	0.002352	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002629	0.000736	0.001889
Story1	13	173	EX	0.000974	0.002298	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002629	0.00072	0.001889
Story1	14	174	EX	0.000968	0.002292	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002612	0.000778	0.001889
Story1	15	175	EX	0.000972	0.002304	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002623	0.000841	0.001889
Story1	16	176	EX	0.001055	0.002338	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002845	0.000913	0.001889
Story1	17	177	EX	0.00096	0.002703	0.002529	EY	LinRespSpec	0.00276	0.001021	0.001889
Story1	18	178	EX	0.000884	0.00256	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002543	0.000917	0.001889
Story1	19	179	EX	0.000886	0.002458	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002548	0.000827	0.001889
Story1	20	180	EX	0.000886	0.002341	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002548	0.000732	0.001889
Story1	21	181	EX	0.000886	0.002288	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002548	0.000717	0.001889
Story1	22	182	EX	0.000886	0.002299	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002548	0.00078	0.001889
Story1	23	183	EX	0.000884	0.002295	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002543	0.000838	0.001889
Story1	24	184	EX	0.00096	0.00233	0.002529	EY	LinRespSpec	0.00276	0.00091	0.001889
Story1	25	185	EX	0.000873	0.002705	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002672	0.001022	0.001889
Story1	26	186	EX	0.00081	0.002576	0.002529	EY	LinRespSpec	0.00248	0.000923	0.001889
Story1	27	187	EX	0.000807	0.002458	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002468	0.000827	0.001889
Story1	28	188	EX	0.000807	0.002342	0.002529	EY	LinRespSpec	0.00247	0.000733	0.001889
Story1	29	189	EX	0.000807	0.002288	0.002529	EY	LinRespSpec	0.00247	0.000717	0.001889
Story1	30	190	EX	0.000807	0.002297	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002469	0.000779	0.001889
Story1	31	191	EX	0.00081	0.002309	0.002529	EY	LinRespSpec	0.00248	0.000843	0.001889
Story1	32	192	EX	0.000873	0.002331	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002672	0.00091	0.001889
Story1	33	193	EX	0.000797	0.002705	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002587	0.001022	0.001889
Story1	34	194	EX	0.00074	0.002574	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002402	0.000922	0.001889
Story1	35	195	EX	0.000737	0.002458	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002391	0.000827	0.001889
Story1	36	196	EX	0.000737	0.002342	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002392	0.000733	0.001889
Story1	37	197	EX	0.000738	0.00229	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002393	0.000717	0.001889
Story1	38	198	EX	0.000738	0.0023	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002393	0.00078	0.001889
Story1	39	199	EX	0.000741	0.00231	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002405	0.000843	0.001889
Story1	40	200	EX	0.000797	0.002331	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002586	0.00091	0.001889
Story1	41	201	EX	0.000797	0.002705	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002587	0.001022	0.001889
Story1	42	202	EX	0.00074	0.002574	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002402	0.000922	0.001889
Story1	43	203	EX	0.000737	0.002458	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002391	0.000827	0.001889
Story1	44	204	EX	0.000737	0.002342	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002392	0.000733	0.001889
Story1	45	205	EX	0.000738	0.00229	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002393	0.000717	0.001889
Story1	46	206	EX	0.000738	0.0023	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002393	0.00078	0.001889
Story1	47	207	EX	0.000741	0.00231	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002405	0.000843	0.001889
Story1	48	208	EX	0.000797	0.002331	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002586	0.00091	0.001889
Story1	49	209	EX	0.000873	0.002705	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002672	0.001022	0.001889
Story1	50	210	EX	0.00081	0.002576	0.002529	EY	LinRespSpec	0.00248	0.000923	0.001889
Story1	51	211	EX	0.000807	0.002458	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002468	0.000827	0.001889
Story1	52	212	EX	0.000807	0.002342	0.002529	EY	LinRespSpec	0.00247	0.000733	0.001889
Story1	53	213	EX	0.000807	0.002288	0.002529	EY	LinRespSpec	0.00247	0.000717	0.001889
Story1	54	214	EX	0.000807	0.002297	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002469	0.000779	0.001889
Story1	55	215	EX	0.00081	0.002309	0.002529	EY	LinRespSpec	0.00248	0.000843	0.001889
Story1	56	216	EX	0.000873	0.002331	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002672	0.00091	0.001889
Story1	57	217	EX	0.00096	0.002703	0.002529	EY	LinRespSpec	0.00276	0.001021	0.001889
Story1	58	218	EX	0.000884	0.00256	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002543	0.000917	0.001889
Story1	59	219	EX	0.000886	0.002458	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002548	0.000827	0.001889
Story1	60	220	EX	0.000886	0.002341	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002548	0.000732	0.001889
Story1	61	221	EX	0.000886	0.002288	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002548	0.000717	0.001889
Story1	62	222	EX	0.000886	0.002299	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002548	0.00078	0.001889
Story1	63	223	EX	0.000884	0.002295	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002543	0.000838	0.001889
Story1	64	224	EX	0.00096	0.00233	0.002529	EY	LinRespSpec	0.00276	0.00091	0.001889
Story1	65	225	EX	0.001055	0.002713	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002845	0.001025	0.001889
Story1	66	226	EX	0.000972	0.002571	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002623	0.000921	0.001889
Story1	67	227	EX	0.000968	0.002453	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002612	0.000826	0.001889
Story1	68	228	EX	0.000974	0.002352	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002629	0.000736	0.001889
Story1	69	229	EX	0.000974	0.002298	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002629	0.00072	0.001889
Story1	70	230	EX	0.000968	0.002292	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002612	0.000778	0.001889
Story1	71	231	EX	0.000972	0.002304	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002623	0.000841	0.001889
Story1	72	232	EX	0.001055	0.002338	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002845	0.000913	0.001889
Story1	73	233	EX	0.001162	0.002928	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002942	0.001107	0.001889
Story1	74	234	EX	0.001076	0.002788	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002727	0.000999	0.001889
Story1	75	235	EX	0.001072	0.002661	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002716	0.000896	0.001889
Story1	76	236	EX	0.001073	0.002533	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002719	0.000775	0.001889
Story1	77	237	EX	0.001073	0.002475	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002719	0.000775	0.001889
Story1	78	238	EX	0.001072	0.002487	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002716	0.000844	0.001889
Story1	79	239	EX	0.001076	0.002498	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002727	0.000912	0.001889
Story1	80	240	EX	0.001161	0.00252	0.002529	EY	LinRespSpec	0.002942	0.000985	0.001889
Story1	88	408	EX	0	0	0.002529	EY	LinRespSpec	0	0	0.001889

## ANEXO 4: Cálculo de cumplimiento de tracciones en aisladores para propiedades efectivas en upper bound

TABLE: Element Forces - Links													
Story	Unique Name	Link Element	Output Case	Case Type	Location	FZ tonf	FZ tonf	P EX tonf	P EY tonf	C1 tonf	C2 tonf	MAX tonf	CONDICIÓN
LRB	K1	K1	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-304.2818	304.2818	259.6737	269.66	44.6081	34.6218	34.6218	OK
LRB	K2	K2	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-490.5043	490.5043	106.6771	293.1138	383.8272	197.3905	197.3905	OK
LRB	K3	K3	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.1546	495.1546	98.6944	285.3372	396.4602	209.8174	209.8174	OK
LRB	K4	K4	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.6784	495.6784	90.136	276.3502	405.5424	219.3282	219.3282	OK
LRB	K5	K5	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.6331	495.6331	82.4571	267.6115	413.176	228.0216	228.0216	OK
LRB	K6	K6	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.6331	495.6331	82.4571	267.6115	413.176	228.0216	228.0216	OK
LRB	K7	K7	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.6784	495.6784	90.136	276.3502	405.5424	219.3282	219.3282	OK
LRB	K8	K8	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.1546	495.1546	98.6944	285.3372	396.4602	209.8174	209.8174	OK
LRB	K9	K9	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-490.5043	490.5043	106.6771	293.1138	383.8272	197.3905	197.3905	OK
LRB	K10	K10	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-304.2818	304.2818	259.6737	269.66	44.6081	34.6218	34.6218	OK
LRB	K11	K11	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-490.2318	490.2318	286.8701	101.649	203.3617	388.5828	203.3617	OK
LRB	K12	K12	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-841.1537	841.1537	5.7806	5.8407	835.3731	835.313	835.313	OK
LRB	K13	K13	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-843.4456	843.4456	1.8768	5.5283	841.5688	837.9173	837.9173	OK
LRB	K14	K14	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-845.0325	845.0325	1.8227	5.3838	843.2098	839.6487	839.6487	OK
LRB	K15	K15	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-844.7401	844.7401	1.5884	5.1715	843.1517	839.5686	839.5686	OK
LRB	K16	K16	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-844.7401	844.7401	1.5884	5.1715	843.1517	839.5686	839.5686	OK
LRB	K17	K17	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-845.0325	845.0325	1.8227	5.3838	843.2098	839.6487	839.6487	OK
LRB	K18	K18	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-843.4456	843.4456	1.8768	5.5283	841.5688	837.9173	837.9173	OK
LRB	K19	K19	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-841.1537	841.1537	5.7806	5.8407	835.3731	835.313	835.313	OK
LRB	K20	K20	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-490.2318	490.2318	286.8701	101.649	203.3617	388.5828	203.3617	OK
LRB	K21	K21	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-494.8763	494.8763	275.9912	92.0813	218.8851	402.795	218.8851	OK
LRB	K22	K22	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-843.4402	843.4402	5.3505	1.7411	838.0897	841.6991	838.0897	OK
LRB	K23	K23	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-845.9339	845.9339	0.1768	0.1884	845.7571	845.7455	845.7455	OK
LRB	K24	K24	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-844.419	844.419	0.3294	0.2049	844.0896	844.2141	844.0896	OK
LRB	K25	K25	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-841.4854	841.4854	0.489	1.598	840.9964	839.8874	839.8874	OK
LRB	K26	K26	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-841.4854	841.4854	0.489	1.598	840.9964	839.8874	839.8874	OK
LRB	K27	K27	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-844.419	844.419	0.3294	0.2049	844.0896	844.2141	844.0896	OK
LRB	K28	K28	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-845.9339	845.9339	0.1768	0.1884	845.7571	845.7455	845.7455	OK
LRB	K29	K29	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-843.4402	843.4402	5.3505	1.7411	838.0897	841.6991	838.0897	OK
LRB	K30	K30	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-494.8763	494.8763	275.9912	92.0813	218.8851	402.795	218.8851	OK
LRB	K31	K31	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.3962	495.3962	263.8502	81.8119	231.546	413.5843	231.546	OK
LRB	K32	K32	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-845.0167	845.0167	5.2373	1.6734	839.7794	843.3433	839.7794	OK
LRB	K33	K33	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-844.3362	844.3362	0.2011	0.335	844.1351	844.0012	844.0012	OK
LRB	K34	K34	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-815.9163	815.9163	5.9374	5.7676	809.9789	810.1487	809.9789	OK
LRB	K35	K35	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-780.1456	780.1456	11.6603	38.0053	768.4853	742.1403	742.1403	OK
LRB	K36	K36	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-780.1456	780.1456	11.6603	38.0053	768.4853	742.1403	742.1403	OK
LRB	K37	K37	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-815.9163	815.9163	5.9374	5.7676	809.9789	810.1487	809.9789	OK
LRB	K38	K38	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-844.3362	844.3362	0.2011	0.335	844.1351	844.0012	844.0012	OK
LRB	K39	K39	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-845.0167	845.0167	5.2373	1.6734	839.7794	843.3433	839.7794	OK
LRB	K40	K40	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.3962	495.3962	263.8502	81.8119	231.546	413.5843	231.546	OK
LRB	K41	K41	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.3939	495.3939	260.1888	82.0764	235.2051	413.3175	235.2051	OK
LRB	K42	K42	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-844.898	844.898	5.2193	1.749	839.6787	843.149	839.6787	OK
LRB	K43	K43	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-840.7755	840.7755	2.0718	0.7004	838.7037	840.0751	838.7037	OK
LRB	K44	K44	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-770.7092	770.7092	43.0693	14.3901	727.6399	756.3191	727.6399	OK
LRB	K45	K45	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-638.7838	638.7838	9.5528	29.4434	629.231	609.3404	609.3404	OK
LRB	K46	K46	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-638.7838	638.7838	9.5528	29.4434	629.231	609.3404	609.3404	OK
LRB	K47	K47	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-770.7092	770.7092	43.0693	14.3901	727.6399	756.3191	727.6399	OK
LRB	K48	K48	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-840.7755	840.7755	2.0718	0.7004	838.7037	840.0751	838.7037	OK
LRB	K49	K49	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-844.898	844.898	5.2193	1.749	839.6787	843.149	839.6787	OK
LRB	K50	K50	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.3939	495.3939	260.1888	82.0764	235.2051	413.3175	235.2051	OK
LRB	K51	K51	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-494.8704	494.8704	262.3431	89.3498	232.5273	405.5206	232.5273	OK
LRB	K52	K52	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-843.188	843.188	5.2772	1.8011	837.9108	841.3869	837.9108	OK
LRB	K53	K53	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-838.7458	838.7458	3.8179	1.3492	834.9279	837.3966	834.9279	OK
LRB	K54	K54	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-754.6334	754.6334	69.9187	24.0705	684.7147	730.5629	684.7147	OK
LRB	K55	K55	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-597.3625	597.3625	4.2522	2.974	593.1103	594.3885	593.1103	OK
LRB	K56	K56	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-597.3625	597.3625	4.2522	2.974	593.1103	594.3885	593.1103	OK
LRB	K57	K57	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-754.6334	754.6334	69.9187	24.0705	684.7147	730.5629	684.7147	OK
LRB	K58	K58	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-838.7458	838.7458	3.8179	1.3492	834.9279	837.3966	834.9279	OK
LRB	K59	K59	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-843.188	843.188	5.2772	1.8011	837.9108	841.3869	837.9108	OK
LRB	K60	K60	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-494.8704	494.8704	262.3431	89.3498	232.5273	405.5206	232.5273	OK
LRB	K61	K61	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-490.2137	490.2137	263.6474	96.0566	226.5663	394.1571	226.5663	OK
LRB	K62	K62	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-840.8759	840.8759	5.7086	5.7357	835.1673	835.1402	835.1402	OK
LRB	K63	K63	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-836.0968	836.0968	4.6848	5.9576	831.412	830.1392	830.1392	OK
LRB	K64	K64	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-754.2423	754.2423	74.086	27.6118	680.1563	726.6305	680.1563	OK
LRB	K65	K65	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-600.2382	600.2382	4.7029	6.0615	595.5353	594.1767	594.1767	OK
LRB	K66	K66	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-600.2382	600.2382	4.7029	6.0615	595.5353	594.1767	594.1767	OK
LRB	K67	K67	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-754.2423	754.2423	74.086	27.6118	680.1563	726.6305	680.1563	OK
LRB	K68	K68	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-836.0968	836.0968	4.6848	5.9576	831.412	830.1392	830.1392	OK
LRB	K69	K69	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-840.8759	840.8759	5.7086	5.7357	835.1673	835.1402	835.1402	OK
LRB	K70	K70	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-490.2137	490.2137	263.6474	96.0566	226.5663	394.1571	226.5663	OK
LRB	K71	K71	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-303.7453	303.7453	267.4945	268.7762	36.2508	34.9691	34.9691	OK
LRB	K72	K72	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-489.7349	489.7349	108.5364	293.0701	381.1985	196.6648	196.6648	OK
LRB	K73	K73	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-489.5659	489.5659	98.6926	285.5136	390.8733	204.0523	204.0523	OK
LRB	K74	K74	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-435.1709	435.1709	113.6175	279.4197	321.5534	155.7512	155.7512	OK
LRB	K75	K75	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-332.2982	332.2982	63.739	205.9296	268.5592	126.3686	126.3686	OK
LRB	K76	K76	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-332.2982	332.2982	63.739	205.9296	268.5592	126.3686	126.3686	OK
LRB	K77	K77	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-435.1709	435.1709	113.6175	279.4197	321.5534	155.7512	155.7512	OK
LRB	K78	K78	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-489.5659	489.5659	98.6926	285.5136	390.8733	204.0523	204.0523	OK
LRB	K79	K79	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-489.7349	489.7349	108.5364	293.0701	381.1985	196.6648	196.6648	OK
LRB	K80	K80	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-303.7453	303.7453	267.4945	268.7762	36.2508	34.9691	34.9691	OK



## ANEXO 5: Cálculo de distribución de cargas real en base a combinación máxima para upper bound

TABLE: Element Forces - Links													
Story	Único Nal	Link Elemé	Output Case	Case Type	Location	P tonf	P ABS tonf	P EX tonf	P EY tonf	C1 tonf	C2 tonf	MAX 0	
LRB	K75	K75	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-738.998	738.998	63.739	205.9296	802.737	944.9276	944.9276	
LRB	K76	K76	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-738.998	738.998	63.739	205.9296	802.737	944.9276	944.9276	
LRB	K71	K71	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-681.8875	681.8875	267.4945	268.7762	949.382	950.6637	950.6637	
LRB	K80	K80	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-681.8875	681.8875	267.4945	268.7762	949.382	950.6637	950.6637	
LRB	K1	K1	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-683.1628	683.1628	259.6737	269.66	942.8365	952.8228	952.8228	
LRB	K10	K10	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-683.1628	683.1628	259.6737	269.66	942.8365	952.8228	952.8228	
LRB	K74	K74	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-979.4619	979.4619	113.6175	279.4197	1093.0794	1258.8816	1258.8816	
LRB	K77	K77	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-979.4619	979.4619	113.6175	279.4197	1093.0794	1258.8816	1258.8816	
LRB	K55	K55	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1346.4988	1346.4988	4.2522	2.974	1350.751	1349.4728	1350.751	
LRB	K56	K56	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1346.4988	1346.4988	4.2522	2.974	1350.751	1349.4728	1350.751	
LRB	K65	K65	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1350.6751	1350.6751	4.7029	6.0615	1355.378	1356.7366	1356.7366	
LRB	K66	K66	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1350.6751	1350.6751	4.7029	6.0615	1355.378	1356.7366	1356.7366	
LRB	K61	K61	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1119.3686	1119.3686	263.6474	96.0566	1383.016	1215.4252	1383.016	
LRB	K70	K70	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1119.3686	1119.3686	263.6474	96.0566	1383.016	1215.4252	1383.016	
LRB	K41	K41	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1134.0657	1134.0657	260.1888	82.0764	1394.2545	1216.1421	1394.2545	
LRB	K50	K50	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1134.0657	1134.0657	260.1888	82.0764	1394.2545	1216.1421	1394.2545	
LRB	K51	K51	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1132.8651	1132.8651	262.3431	89.3498	1395.2082	1222.2149	1395.2082	
LRB	K60	K60	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1132.8651	1132.8651	262.3431	89.3498	1395.2082	1222.2149	1395.2082	
LRB	K31	K31	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1134.0718	1134.0718	263.8502	81.8119	1397.922	1215.8837	1397.922	
LRB	K40	K40	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1134.0718	1134.0718	263.8502	81.8119	1397.922	1215.8837	1397.922	
LRB	K5	K5	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1134.648	1134.648	82.4571	267.6115	1217.1051	1402.2595	1402.2595	
LRB	K6	K6	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1134.648	1134.648	82.4571	267.6115	1217.1051	1402.2595	1402.2595	
LRB	K73	K73	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1119.1984	1119.1984	98.6926	285.5136	1217.891	1404.712	1404.712	
LRB	K78	K78	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1119.1984	1119.1984	98.6926	285.5136	1217.891	1404.712	1404.712	
LRB	K11	K11	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1119.4117	1119.4117	286.8701	101.649	1406.2818	1221.0607	1406.2818	
LRB	K20	K20	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1119.4117	1119.4117	286.8701	101.649	1406.2818	1221.0607	1406.2818	
LRB	K21	K21	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1132.8805	1132.8805	275.9912	92.0813	1408.8717	1224.9618	1408.8717	
LRB	K30	K30	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1132.8805	1132.8805	275.9912	92.0813	1408.8717	1224.9618	1408.8717	
LRB	K4	K4	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1134.7407	1134.7407	90.136	276.3502	1224.8767	1411.0909	1411.0909	
LRB	K7	K7	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1134.7407	1134.7407	90.136	276.3502	1224.8767	1411.0909	1411.0909	
LRB	K72	K72	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1118.1862	1118.1862	108.5364	293.0701	1226.7226	1411.2563	1411.2563	
LRB	K79	K79	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1118.1862	1118.1862	108.5364	293.0701	1226.7226	1411.2563	1411.2563	
LRB	K2	K2	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1120.0595	1120.0595	106.6771	293.1138	1226.7366	1413.1733	1413.1733	
LRB	K9	K9	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1120.0595	1120.0595	106.6771	293.1138	1226.7366	1413.1733	1413.1733	
LRB	K3	K3	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1133.5416	1133.5416	98.6944	285.3372	1232.236	1418.8788	1418.8788	
LRB	K8	K8	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1133.5416	1133.5416	98.6944	285.3372	1232.236	1418.8788	1418.8788	
LRB	K45	K45	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1446.3058	1446.3058	9.5528	29.4434	1455.8586	1475.7492	1475.7492	
LRB	K46	K46	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1446.3058	1446.3058	9.5528	29.4434	1455.8586	1475.7492	1475.7492	
LRB	K64	K64	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1720.1826	1720.1826	74.086	27.6118	1794.2686	1747.7944	1794.2686	
LRB	K67	K67	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1720.1826	1720.1826	74.086	27.6118	1794.2686	1747.7944	1794.2686	
LRB	K54	K54	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1725.6502	1725.6502	69.9187	24.0705	1795.5689	1749.7207	1795.5689	
LRB	K57	K57	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1725.6502	1725.6502	69.9187	24.0705	1795.5689	1749.7207	1795.5689	
LRB	K44	K44	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1766.6942	1766.6942	43.0693	14.3901	1809.7635	1781.0843	1809.7635	
LRB	K47	K47	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1766.6942	1766.6942	43.0693	14.3901	1809.7635	1781.0843	1809.7635	
LRB	K35	K35	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1793.3427	1793.3427	11.6603	38.0053	1805.003	1831.348	1831.348	
LRB	K36	K36	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1793.3427	1793.3427	11.6603	38.0053	1805.003	1831.348	1831.348	
LRB	K34	K34	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1885.8301	1885.8301	5.9374	5.7676	1891.7675	1891.5977	1891.7675	
LRB	K37	K37	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1885.8301	1885.8301	5.9374	5.7676	1891.7675	1891.5977	1891.7675	
LRB	K63	K63	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1939.6839	1939.6839	4.6848	5.9576	1944.3687	1945.6415	1945.6415	
LRB	K68	K68	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1939.6839	1939.6839	4.6848	5.9576	1944.3687	1945.6415	1945.6415	
LRB	K62	K62	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1947.8737	1947.8737	5.7086	5.7357	1953.5823	1953.6094	1953.6094	
LRB	K69	K69	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1947.8737	1947.8737	5.7086	5.7357	1953.5823	1953.6094	1953.6094	
LRB	K12	K12	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1948.6096	1948.6096	5.7806	5.8407	1954.3902	1954.4503	1954.4503	
LRB	K19	K19	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1948.6096	1948.6096	5.7806	5.8407	1954.3902	1954.4503	1954.4503	
LRB	K53	K53	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1951.4777	1951.4777	3.8179	1.3492	1955.2956	1952.8269	1955.2956	
LRB	K58	K58	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1951.4777	1951.4777	3.8179	1.3492	1955.2956	1952.8269	1955.2956	
LRB	K43	K43	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1956.4599	1956.4599	2.0718	0.7004	1958.5317	1957.1603	1958.5317	
LRB	K48	K48	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1956.4599	1956.4599	2.0718	0.7004	1958.5317	1957.1603	1958.5317	
LRB	K25	K25	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1958.5048	1958.5048	0.489	1.598	1958.9938	1960.1028	1960.1028	
LRB	K26	K26	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1958.5048	1958.5048	0.489	1.598	1958.9938	1960.1028	1960.1028	
LRB	K52	K52	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1958.6419	1958.6419	5.2772	1.8011	1963.9191	1960.443	1963.9191	
LRB	K59	K59	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1958.6419	1958.6419	5.2772	1.8011	1963.9191	1960.443	1963.9191	
LRB	K22	K22	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1959.3174	1959.3174	5.3505	1.7411	1964.6679	1961.0585	1964.6679	
LRB	K29	K29	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1959.3174	1959.3174	5.3505	1.7411	1964.6679	1961.0585	1964.6679	
LRB	K13	K13	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1959.3298	1959.3298	1.8768	5.5283	1961.2066	1964.8581	1964.8581	
LRB	K18	K18	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1959.3298	1959.3298	1.8768	5.5283	1961.2066	1964.8581	1964.8581	
LRB	K33	K33	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1965.849	1965.849	0.2011	0.335	1966.0501	1966.184	1966.184	
LRB	K38	K38	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1965.849	1965.849	0.2011	0.335	1966.0501	1966.184	1966.184	
LRB	K24	K24	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1966.0764	1966.0764	0.3294	0.2049	1966.4058	1966.2813	1966.4058	
LRB	K27	K27	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1966.0764	1966.0764	0.3294	0.2049	1966.4058	1966.2813	1966.4058	
LRB	K15	K15	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1962.239	1962.239	1.5884	5.1715	1963.8274	1967.4105	1967.4105	
LRB	K16	K16	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1962.239	1962.239	1.5884	5.1715	1963.8274	1967.4105	1967.4105	
LRB	K42	K42	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1962.5726	1962.5726	5.2193	1.749	1967.7919	1964.3216	1967.7919	
LRB	K49	K49	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1962.5726	1962.5726	5.2193	1.749	1967.7919	1964.3216	1967.7919	
LRB	K32	K32	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1962.8872	1962.8872	5.2373	1.6734	1968.1245	1964.5606	1968.1245	
LRB	K39	K39	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1962.8872	1962.8872	5.2373	1.6734	1968.1245	1964.5606	1968.1245	
LRB	K14	K14	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1962.9236	1962.9236	1.8227	5.3838	1964.7463	1968.3074	1968.3074	
LRB	K17	K17	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1962.9236	1962.9236	1.8227	5.3838	1964.7463	1968.3074	1968.3074	
LRB	K23	K23	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1970.741	1970.741	0.1768	0.1884	1970.9178	1970.9294	1970.9294	

### ANEXO 6: Cálculo de cumplimiento tracciones en aisladores para propiedades efectivas en Lower bound

TABLE: Element Forces - Links													CONDICIÓN
Story	Unique Name	Link Element	Output Case	Case Type	Location	FZ tonf	FZ tonf	P EX tonf	P EY tonf	C1 tonf	C2 tonf	MAX tonf	
LRB	K1	K1	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-304.2814	304.2814	153.3282	159.2199	150.9532	145.0615	145.0615	OK
LRB	K2	K2	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-490.5042	490.5042	62.7304	173.0777	427.7738	317.4265	317.4265	OK
LRB	K3	K3	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.1542	495.1542	58.1329	168.4849	437.0213	326.6693	326.6693	OK
LRB	K4	K4	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.678	495.678	53.1739	163.1927	442.5041	332.4853	332.4853	OK
LRB	K5	K5	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.6328	495.6328	48.6878	158.0348	446.945	337.598	337.598	OK
LRB	K6	K6	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.6328	495.6328	48.6878	158.0348	446.945	337.598	337.598	OK
LRB	K7	K7	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.678	495.678	53.1739	163.1927	442.5041	332.4853	332.4853	OK
LRB	K8	K8	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.1542	495.1542	58.1329	168.4849	437.0213	326.6693	326.6693	OK
LRB	K9	K9	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-490.5042	490.5042	62.7304	173.0777	427.7738	317.4265	317.4265	OK
LRB	K10	K10	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-304.2814	304.2814	153.3282	159.2199	150.9532	145.0615	145.0615	OK
LRB	K11	K11	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-490.2317	490.2317	169.2243	59.9765	321.0074	430.2552	321.0074	OK
LRB	K12	K12	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-841.1544	841.1544	3.3786	3.416	837.7758	837.7384	837.7384	OK
LRB	K13	K13	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-843.4459	843.4459	1.0979	3.2415	842.348	840.2044	840.2044	OK
LRB	K14	K14	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-845.0329	845.0329	1.0638	3.1578	843.9691	841.8751	841.8751	OK
LRB	K15	K15	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-844.7405	844.7405	0.9319	3.0341	843.8086	841.7064	841.7064	OK
LRB	K16	K16	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-844.7405	844.7405	0.9319	3.0341	843.8086	841.7064	841.7064	OK
LRB	K17	K17	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-845.0329	845.0329	1.0638	3.1578	843.9691	841.8751	841.8751	OK
LRB	K18	K18	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-843.4459	843.4459	1.0979	3.2415	842.348	840.2044	840.2044	OK
LRB	K19	K19	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-841.1544	841.1544	3.3786	3.416	837.7758	837.7384	837.7384	OK
LRB	K20	K20	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-490.2317	490.2317	169.2243	59.9765	321.0074	430.2552	321.0074	OK
LRB	K21	K21	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-494.8759	494.8759	162.8602	54.343	332.0157	440.5329	332.0157	OK
LRB	K22	K22	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-843.4405	843.4405	3.136	1.0204	840.3045	842.4201	840.3045	OK
LRB	K23	K23	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-845.9337	845.9337	0.1087	0.1165	845.825	845.8172	845.8172	OK
LRB	K24	K24	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-844.4189	844.4189	0.193	0.1212	844.2259	844.2977	844.2259	OK
LRB	K25	K25	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-841.4854	841.4854	0.2855	0.9331	841.1999	840.5523	840.5523	OK
LRB	K26	K26	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-841.4854	841.4854	0.2855	0.9331	841.1999	840.5523	840.5523	OK
LRB	K27	K27	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-844.4189	844.4189	0.193	0.1212	844.2259	844.2977	844.2259	OK
LRB	K28	K28	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-845.9337	845.9337	0.1087	0.1165	845.825	845.8172	845.8172	OK
LRB	K29	K29	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-843.4405	843.4405	3.136	1.0204	840.3045	842.4201	840.3045	OK
LRB	K30	K30	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-494.8759	494.8759	162.8602	54.343	332.0157	440.5329	332.0157	OK
LRB	K31	K31	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.3959	495.3959	155.7599	48.2999	339.636	447.096	339.636	OK
LRB	K32	K32	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-845.0171	845.0171	3.0698	0.9768	841.9473	844.0403	841.9473	OK
LRB	K33	K33	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-844.3362	844.3362	0.1177	0.1963	844.2185	844.1399	844.1399	OK
LRB	K34	K34	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-815.9163	815.9163	3.4749	3.3772	812.4414	812.5391	812.4414	OK
LRB	K35	K35	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-780.1456	780.1456	6.8274	22.2548	773.3182	757.8908	757.8908	OK
LRB	K36	K36	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-780.1456	780.1456	6.8274	22.2548	773.3182	757.8908	757.8908	OK
LRB	K37	K37	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-815.9163	815.9163	3.4749	3.3772	812.4414	812.5391	812.4414	OK
LRB	K38	K38	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-844.3362	844.3362	0.1177	0.1963	844.2185	844.1399	844.1399	OK
LRB	K39	K39	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-845.0171	845.0171	3.0698	0.9768	841.9473	844.0403	841.9473	OK
LRB	K40	K40	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.3959	495.3959	155.7599	48.2999	339.636	447.096	339.636	OK
LRB	K41	K41	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.3936	495.3936	153.6359	48.4614	341.7577	446.9322	341.7577	OK
LRB	K42	K42	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-844.8984	844.8984	3.0592	1.0211	841.8392	843.8773	841.8392	OK
LRB	K43	K43	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-840.7755	840.7755	1.2095	0.409	839.566	840.3665	839.566	OK
LRB	K44	K44	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-770.7092	770.7092	25.2104	8.4247	745.4988	762.2845	745.4988	OK
LRB	K45	K45	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-638.7838	638.7838	5.6052	17.2811	633.1786	621.5027	621.5027	OK
LRB	K46	K46	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-638.7838	638.7838	5.6052	17.2811	633.1786	621.5027	621.5027	OK
LRB	K47	K47	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-770.7092	770.7092	25.2104	8.4247	745.4988	762.2845	745.4988	OK
LRB	K48	K48	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-840.7755	840.7755	1.2095	0.409	839.566	840.3665	839.566	OK
LRB	K49	K49	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-844.8984	844.8984	3.0592	1.0211	841.8392	843.8773	841.8392	OK
LRB	K50	K50	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-495.3936	495.3936	153.6359	48.4614	341.7577	446.9322	341.7577	OK
LRB	K51	K51	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-494.87	494.87	154.9271	52.7619	339.9429	442.1081	339.9429	OK
LRB	K52	K52	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-843.1884	843.1884	3.0914	1.0551	840.097	842.1333	840.097	OK
LRB	K53	K53	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-838.7457	838.7457	2.2236	0.7883	836.5221	837.9574	836.5221	OK
LRB	K54	K54	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-754.6333	754.6333	40.9514	14.0995	713.6819	740.5338	713.6819	OK
LRB	K55	K55	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-597.3625	597.3625	2.4929	1.7429	594.8696	595.6196	594.8696	OK
LRB	K56	K56	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-597.3625	597.3625	2.4929	1.7429	594.8696	595.6196	594.8696	OK
LRB	K57	K57	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-754.6333	754.6333	40.9514	14.0995	713.6819	740.5338	713.6819	OK
LRB	K58	K58	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-838.7457	838.7457	2.2236	0.7883	836.5221	837.9574	836.5221	OK
LRB	K59	K59	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-843.1884	843.1884	3.0914	1.0551	840.097	842.1333	840.097	OK
LRB	K60	K60	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-494.87	494.87	154.9271	52.7619	339.9429	442.1081	339.9429	OK
LRB	K61	K61	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-490.2136	490.2136	155.7184	56.73	334.4952	433.4836	334.4952	OK
LRB	K62	K62	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-840.8767	840.8767	3.3378	3.3546	837.5389	837.5221	837.5221	OK
LRB	K63	K63	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-836.0972	836.0972	2.73	3.4918	833.3672	832.6054	832.6054	OK
LRB	K64	K64	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-754.2427	754.2427	43.377	16.1697	710.8657	738.073	710.8657	OK
LRB	K65	K65	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-600.2386	600.2386	2.7592	3.5727	597.4794	596.6659	596.6659	OK
LRB	K66	K66	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-600.2386	600.2386	2.7592	3.5727	597.4794	596.6659	596.6659	OK
LRB	K67	K67	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-754.2427	754.2427	43.377	16.1697	710.8657	738.073	710.8657	OK
LRB	K68	K68	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-836.0972	836.0972	2.73	3.4918	833.3672	832.6054	832.6054	OK
LRB	K69	K69	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-840.8767	840.8767	3.3378	3.3546	837.5389	837.5221	837.5221	OK
LRB	K70	K70	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-490.2136	490.2136	155.7184	56.73	334.4952	433.4836	334.4952	OK
LRB	K71	K71	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-303.7449	303.7449	157.8715	158.6983	145.8734	145.0466	145.0466	OK
LRB	K72	K72	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-489.7348	489.7348	63.8189	173.0519	425.9159	316.6829	316.6829	OK
LRB	K73	K73	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-489.5655	489.5655	58.1277	168.5883	431.4378	320.9772	320.9772	OK
LRB	K74	K74	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-435.1706	435.1706	66.8095	164.9888	368.3611	270.1818	270.1818	OK
LRB	K75	K75	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-332.2978	332.2978	37.723	121.9035	294.5748	210.3943	210.3943	OK
LRB	K76	K76	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-332.2978	332.2978	37.723	121.9035	294.5748	210.3943	210.3943	OK
LRB	K77	K77	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-435.1706	435.1706	66.8095	164.9888	368.3611	270.1818	270.1818	OK
LRB	K78	K78	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-489.5655	489.5655	58.1277	168.5883	431.4378	320.9772	320.9772	OK
LRB	K79	K79	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-489.7348	489.7348	63.8189	173.0519	425.9159	316.6829	316.6829	OK
LRB	K80	K80	(0.9-0.25)D	Combination	I-End	-303.7449	303.7449	157.8715	158.6983	145.8734	145.0466	145.0466	OK



## ANEXO 7: Cálculo de distribución de cargas real en base a combinación máxima para

### Lower bound

TABLE: Element Forces - Links													
Story	Unique Nai	Link Elemé	Output Case	Case Type	Location	P	P ABS	P EX	P EY	C1	C2	MAX	0
						tonf	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf	
LRB	K71	K71	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-681.8868	681.8868	157.8715	158.6983	839.7583	840.5851	840.5851	
LRB	K80	K80	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-681.8868	681.8868	157.8715	158.6983	839.7583	840.5851	840.5851	
LRB	K1	K1	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-683.162	683.162	153.3282	159.2199	836.4902	842.3819	842.3819	
LRB	K10	K10	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-683.162	683.162	153.3282	159.2199	836.4902	842.3819	842.3819	
LRB	K75	K75	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-738.9972	738.9972	37.723	121.9035	776.7202	860.9007	860.9007	
LRB	K76	K76	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-738.9972	738.9972	37.723	121.9035	776.7202	860.9007	860.9007	
LRB	K74	K74	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-979.4611	979.4611	66.8095	164.9888	1046.2706	1144.4499	1144.4499	
LRB	K77	K77	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-979.4611	979.4611	66.8095	164.9888	1046.2706	1144.4499	1144.4499	
LRB	K61	K61	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1119.3684	1119.3684	155.7184	56.73	1275.0868	1176.0984	1275.0868	
LRB	K70	K70	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1119.3684	1119.3684	155.7184	56.73	1275.0868	1176.0984	1275.0868	
LRB	K41	K41	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1134.065	1134.065	153.6359	48.4614	1287.7009	1182.5264	1287.7009	
LRB	K50	K50	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1134.065	1134.065	153.6359	48.4614	1287.7009	1182.5264	1287.7009	
LRB	K73	K73	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1119.1976	1119.1976	58.1277	168.5883	1177.3253	1287.7859	1287.7859	
LRB	K78	K78	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1119.1976	1119.1976	58.1277	168.5883	1177.3253	1287.7859	1287.7859	
LRB	K51	K51	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1132.8643	1132.8643	154.9271	52.7619	1287.7914	1185.6262	1287.7914	
LRB	K60	K60	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1132.8643	1132.8643	154.9271	52.7619	1287.7914	1185.6262	1287.7914	
LRB	K11	K11	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1119.4114	1119.4114	169.2243	59.9765	1288.6357	1179.3879	1288.6357	
LRB	K20	K20	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1119.4114	1119.4114	169.2243	59.9765	1288.6357	1179.3879	1288.6357	
LRB	K31	K31	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1134.0711	1134.0711	155.7599	48.2999	1289.831	1182.371	1289.831	
LRB	K40	K40	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1134.0711	1134.0711	155.7599	48.2999	1289.831	1182.371	1289.831	
LRB	K72	K72	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1118.186	1118.186	63.8189	173.0519	1182.0049	1291.2379	1291.2379	
LRB	K79	K79	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1118.186	1118.186	63.8189	173.0519	1182.0049	1291.2379	1291.2379	
LRB	K5	K5	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1134.6473	1134.6473	48.6878	158.0348	1183.3351	1292.6821	1292.6821	
LRB	K6	K6	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1134.6473	1134.6473	48.6878	158.0348	1183.3351	1292.6821	1292.6821	
LRB	K2	K2	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1120.0593	1120.0593	62.7304	173.0777	1182.7897	1293.137	1293.137	
LRB	K9	K9	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1120.0593	1120.0593	62.7304	173.0777	1182.7897	1293.137	1293.137	
LRB	K21	K21	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1132.8798	1132.8798	162.8602	54.343	1295.74	1187.2228	1295.74	
LRB	K30	K30	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1132.8798	1132.8798	162.8602	54.343	1295.74	1187.2228	1295.74	
LRB	K4	K4	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1134.7399	1134.7399	53.1739	163.1927	1187.9138	1297.9326	1297.9326	
LRB	K7	K7	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1134.7399	1134.7399	53.1739	163.1927	1187.9138	1297.9326	1297.9326	
LRB	K3	K3	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1133.5408	1133.5408	58.1329	168.4849	1191.6737	1302.0257	1302.0257	
LRB	K8	K8	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1133.5408	1133.5408	58.1329	168.4849	1191.6737	1302.0257	1302.0257	
LRB	K55	K55	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1346.4987	1346.4987	2.4929	1.7429	1348.9916	1348.2416	1348.9916	
LRB	K56	K56	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1346.4987	1346.4987	2.4929	1.7429	1348.9916	1348.2416	1348.9916	
LRB	K65	K65	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1350.676	1350.676	2.7592	3.5727	1353.4352	1354.2487	1354.2487	
LRB	K66	K66	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1350.676	1350.676	2.7592	3.5727	1353.4352	1354.2487	1354.2487	
LRB	K45	K45	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1446.3058	1446.3058	5.6052	17.2811	1451.911	1463.5869	1463.5869	
LRB	K46	K46	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1446.3058	1446.3058	5.6052	17.2811	1451.911	1463.5869	1463.5869	
LRB	K64	K64	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1720.1835	1720.1835	43.377	16.1697	1763.5605	1736.3532	1763.5605	
LRB	K67	K67	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1720.1835	1720.1835	43.377	16.1697	1763.5605	1736.3532	1763.5605	
LRB	K54	K54	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1725.6015	1725.6015	40.9514	14.0995	1766.6015	1739.7496	1766.6015	
LRB	K57	K57	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1725.6015	1725.6015	40.9514	14.0995	1766.6015	1739.7496	1766.6015	
LRB	K44	K44	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1766.6943	1766.6943	25.2104	8.4247	1791.9047	1775.119	1791.9047	
LRB	K47	K47	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1766.6943	1766.6943	25.2104	8.4247	1791.9047	1775.119	1791.9047	
LRB	K35	K35	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1793.3427	1793.3427	6.8274	22.2548	1800.1701	1815.5975	1815.5975	
LRB	K36	K36	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1793.3427	1793.3427	6.8274	22.2548	1800.1701	1815.5975	1815.5975	
LRB	K34	K34	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1885.8302	1885.8302	3.4749	3.3772	1889.3051	1889.2074	1889.3051	
LRB	K37	K37	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1885.8302	1885.8302	3.4749	3.3772	1889.3051	1889.2074	1889.3051	
LRB	K63	K63	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1939.6845	1939.6845	2.73	3.4918	1942.4145	1943.1763	1943.1763	
LRB	K68	K68	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1939.6845	1939.6845	2.73	3.4918	1942.4145	1943.1763	1943.1763	
LRB	K62	K62	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1947.8753	1947.8753	3.3378	3.3546	1951.2131	1951.2299	1951.2299	
LRB	K69	K69	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1947.8753	1947.8753	3.3378	3.3546	1951.2131	1951.2299	1951.2299	
LRB	K12	K12	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1948.6112	1948.6112	3.3786	3.416	1951.9898	1952.0272	1952.0272	
LRB	K19	K19	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1948.6112	1948.6112	3.3786	3.416	1951.9898	1952.0272	1952.0272	
LRB	K53	K53	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1951.4774	1951.4774	2.2236	0.7883	1953.701	1952.2657	1953.701	
LRB	K58	K58	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1951.4774	1951.4774	2.2236	0.7883	1953.701	1952.2657	1953.701	
LRB	K43	K43	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1956.4598	1956.4598	1.2095	0.409	1957.6693	1956.8688	1957.6693	
LRB	K48	K48	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1956.4598	1956.4598	1.2095	0.409	1957.6693	1956.8688	1957.6693	
LRB	K25	K25	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1958.5047	1958.5047	0.2855	0.9331	1958.7902	1959.4378	1959.4378	
LRB	K26	K26	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1958.5047	1958.5047	0.2855	0.9331	1958.7902	1959.4378	1959.4378	
LRB	K52	K52	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1958.6426	1958.6426	3.0914	1.0551	1961.734	1959.6977	1961.734	
LRB	K59	K59	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1958.6426	1958.6426	3.0914	1.0551	1961.734	1959.6977	1961.734	
LRB	K22	K22	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1959.3181	1959.3181	3.136	1.0204	1962.4541	1960.3385	1962.4541	
LRB	K29	K29	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1959.3181	1959.3181	3.136	1.0204	1962.4541	1960.3385	1962.4541	
LRB	K13	K13	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1959.3305	1959.3305	1.0979	3.2415	1960.4284	1962.572	1962.572	
LRB	K18	K18	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1959.3305	1959.3305	1.0979	3.2415	1960.4284	1962.572	1962.572	
LRB	K15	K15	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1962.2398	1962.2398	0.9319	3.0341	1963.1717	1965.2739	1965.2739	
LRB	K16	K16	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1962.2398	1962.2398	0.9319	3.0341	1963.1717	1965.2739	1965.2739	
LRB	K42	K42	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1962.5735	1962.5735	3.0592	1.0211	1965.6327	1963.5946	1965.6327	
LRB	K49	K49	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1962.5735	1962.5735	3.0592	1.0211	1965.6327	1963.5946	1965.6327	
LRB	K32	K32	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1962.888	1962.888	3.0698	0.9768	1965.9578	1963.8648	1965.9578	
LRB	K39	K39	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1962.888	1962.888	3.0698	0.9768	1965.9578	1963.8648	1965.9578	
LRB	K33	K33	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1965.8489	1965.8489	0.1177	0.1963	1965.9666	1966.0452	1966.0452	
LRB	K38	K38	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1965.8489	1965.8489	0.1177	0.1963	1965.9666	1966.0452	1966.0452	
LRB	K14	K14	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1962.9245	1962.9245	1.0638	3.1578	1963.9883	1966.0823	1966.0823	
LRB	K17	K17	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1962.9245	1962.9245	1.0638	3.1578	1963.9883	1966.0823	1966.0823	
LRB	K24	K24	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1966.0763	1966.0763	0.193	0.1212	1966.2693	1966.1975	1966.2693	
LRB	K27	K27	(1.2+0.2S)D+L	Combination	I-End	-1966.0763	1966.0763	0.193	0.1212	1966.2693	1966.1975	1966.2693	
LRB	K23	K23	(1.2+0.2S)D+L	Combination									

## ANEXO 8: Puntos de carga

TABLE: Design Forces - Piers									
Story	Pier	Combo	Location	P	V2	V3	T	M2	M3
				tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
Story1	P3	C1-1	Bottom	-2158.2584	-19.1045	-19.2313	0.2809	36.6205	46.1769
Story1	P3	C2-1	Bottom	-3208.717	-37.9256	-38.154	0.4996	68.3799	82.5464
Story1	P3	C3-1	Bottom	-2711.5693	1531.2117	498.6571	4173.1397	19698.1775	32914.1826
Story1	P3	C3-2	Bottom	-2711.5693	-1595.8127	498.6571	4173.1397	-19579.7442	32914.1826
Story1	P3	C3-3	Bottom	-2711.5693	1531.2117	-563.6578	4173.1397	19698.1775	-32769.4405
Story1	P3	C3-4	Bottom	-2711.5693	-1595.8127	-563.6578	4173.1397	-19579.7442	-32769.4405
Story1	P3	C3-5	Bottom	-3241.7596	1531.2117	498.6571	-4172.2624	19698.1775	32914.1826
Story1	P3	C3-6	Bottom	-3241.7596	-1595.8127	498.6571	-4172.2624	-19579.7442	32914.1826
Story1	P3	C3-7	Bottom	-3241.7596	1531.2117	-563.6578	-4172.2624	19698.1775	-32769.4405
Story1	P3	C3-8	Bottom	-3241.7596	-1595.8127	-563.6578	-4172.2624	-19579.7442	-32769.4405
Story1	P3	C4-1	Bottom	-2701.6807	303.5647	1458.8548	3654.3529	30208.0574	15639.141
Story1	P3	C4-2	Bottom	-2701.6807	-368.1657	1458.8548	3654.3529	-30089.6241	15639.141
Story1	P3	C4-3	Bottom	-2701.6807	303.5647	-1523.8555	3654.3529	30208.0574	-15494.3988
Story1	P3	C4-4	Bottom	-2701.6807	-368.1657	-1523.8555	3654.3529	-30089.6241	-15494.3988
Story1	P3	C4-5	Bottom	-3251.6481	303.5647	1458.8548	-3653.4756	30208.0574	15639.141
Story1	P3	C4-6	Bottom	-3251.6481	-368.1657	1458.8548	-3653.4756	-30089.6241	15639.141
Story1	P3	C4-7	Bottom	-3251.6481	303.5647	-1523.8555	-3653.4756	30208.0574	-15494.3988
Story1	P3	C4-8	Bottom	-3251.6481	-368.1657	-1523.8555	-3653.4756	-30089.6241	-15494.3988
Story1	P3	C5-1	Bottom	-1677.3374	1546.3182	513.8493	4172.9538	19671.9193	32883.3707
Story1	P3	C5-2	Bottom	-1677.3374	-1580.7063	513.8493	4172.9538	-19606.0024	32883.3707
Story1	P3	C5-3	Bottom	-1677.3374	1546.3182	-548.4657	4172.9538	19671.9193	-32800.2524
Story1	P3	C5-4	Bottom	-1677.3374	-1580.7063	-548.4657	4172.9538	-19606.0024	-32800.2524
Story1	P3	C5-5	Bottom	-2207.5277	1546.3182	513.8493	-4172.4483	19671.9193	32883.3707
Story1	P3	C5-6	Bottom	-2207.5277	-1580.7063	513.8493	-4172.4483	-19606.0024	32883.3707
Story1	P3	C5-7	Bottom	-2207.5277	1546.3182	-548.4657	-4172.4483	19671.9193	-32800.2524
Story1	P3	C5-8	Bottom	-2207.5277	-1580.7063	-548.4657	-4172.4483	-19606.0024	-32800.2524
Story1	P3	C6-1	Bottom	-1667.4489	318.6712	1474.0469	3654.167	30181.7992	15608.3291
Story1	P3	C6-2	Bottom	-1667.4489	-353.0592	1474.0469	3654.167	-30115.8823	15608.3291
Story1	P3	C6-3	Bottom	-1667.4489	318.6712	-1508.6633	3654.167	30181.7992	-15525.2107
Story1	P3	C6-4	Bottom	-1667.4489	-353.0592	-1508.6633	3654.167	-30115.8823	-15525.2107
Story1	P3	C6-5	Bottom	-2217.4163	318.6712	1474.0469	-3653.6615	30181.7992	15608.3291
Story1	P3	C6-6	Bottom	-2217.4163	-353.0592	1474.0469	-3653.6615	-30115.8823	15608.3291
Story1	P3	C6-7	Bottom	-2217.4163	318.6712	-1508.6633	-3653.6615	30181.7992	-15525.2107
Story1	P3	C6-8	Bottom	-2217.4163	-353.0592	-1508.6633	-3653.6615	-30115.8823	-15525.2107

### ANEXO 9: Hormigón confinado en elemento de borde especial y alma en muro 1

Point	Strain	Stress	Point	Strain	Stress
1	0	0	1	0	0
2	1.037E-03	4327.9028	2	9.921E-04	4170.1638
3	2.073E-03	7691.2812	3	1.984E-03	7444.5137
4	3.110E-03	10016	4	2.976E-03	9698.9085
5	4.147E-03	11500	5	3.969E-03	11104
6	5.183E-03	12375	6	4.961E-03	11893
7	6.220E-03	12836	7	5.953E-03	12264
8	7.257E-03	13022	8	6.945E-03	12364
9	8.293E-03	13031	9	7.937E-03	12293
10	9.330E-03	12927	10	8.929E-03	12117
11	0.0104	12751	11	9.921E-03	11879
12	0.0114	12533	12	0.0109	11607
13	0.0124	12291	13	0.0119	11318
14	0.0135	12036	14	0.0129	11025
15	0.0145	11777	15	0.0139	10733
16	0.0156	11520	16	0.0149	10448
17	0.0166	11267	17	0.0159	10172
18	0.0176	11020	18	0.0169	9906.8546
19	0.0187	10781	19	0.0179	9652.5525
20	0.0197	10551	20	0.0189	9409.6167

### ANEXO 10: Hormigón confinado en elemento de borde especial y alma en muro 2

Point	Strain	Stress	Point	Strain	Stress
1	0	0	1	0	0
2	1.047E-03	4366.8319	2	9.619E-04	4057.0073
3	2.093E-03	7744.373	3	1.924E-03	7276.9446
4	3.140E-03	10058	4	2.886E-03	9520.1808
5	4.187E-03	11515	5	3.847E-03	10934
6	5.234E-03	12358	6	4.809E-03	11736
7	6.280E-03	12786	7	5.771E-03	12119
8	7.327E-03	12943	8	6.733E-03	12228
9	8.374E-03	12926	9	7.695E-03	12162
10	9.421E-03	12800	10	8.657E-03	11988
11	0.0105	12606	11	9.619E-03	11751
12	0.0115	12373	12	0.0106	11478
13	0.0126	12118	13	0.0115	11188
14	0.0136	11853	14	0.0125	10892
15	0.0147	11586	15	0.0135	10598
16	0.0157	11322	16	0.0144	10311
17	0.0167	11064	17	0.0154	10033
18	0.0178	10813	18	0.0164	9765.0379
19	0.0188	10571	19	0.0173	9508.6172
20	0.0199	10338	20	0.0183	9263.7193

### ANEXO 11: Hormigón confinado en elemento de borde especial y alma en muro 3

Point	Strain	Stress	Point	Strain	Stress
1	0	0	1	0	0
2	1.053E-03	3892.2774	2	9.869E-04	3684.825
3	2.106E-03	6711.5427	3	1.974E-03	6407.4021
4	3.159E-03	8522.1851	4	2.961E-03	8170.8115
5	4.212E-03	9600.0375	5	3.948E-03	9213.7904
6	5.265E-03	10193	6	4.934E-03	9771.8959
7	6.318E-03	10476	7	5.921E-03	10020
8	7.371E-03	10565	8	6.908E-03	10074
9	8.424E-03	10533	9	7.895E-03	10009
10	9.477E-03	10427	10	8.882E-03	9872.9274
11	0.0105	10278	11	9.869E-03	9695.6825
12	0.0116	10102	12	0.0109	9496.0632
13	0.0126	9913.2931	13	0.0118	9286.0144
14	0.0137	9718.7822	14	0.0128	9073.0597
15	0.0147	9523.573	15	0.0138	8861.897
16	0.0158	9330.8215	16	0.0148	8655.4054
17	0.0168	9142.4924	17	0.0158	8455.2866
18	0.0179	8959.7638	18	0.0168	8262.4786
19	0.019	8783.2923	19	0.0178	8077.423
20	0.02	8613.3895	20	0.0188	7900.2415

### ANEXO 12: Hormigón confinado en elemento de borde especial y alma en muro 4

Point	Strain	Stress	Point	Strain	Stress
1	0	0	1	0	0
2	1.053E-03	3892.2774	2	9.466E-04	3563.7398
3	2.106E-03	6711.5427	3	1.893E-03	6227.1099
4	3.159E-03	8522.1851	4	2.840E-03	7939.3744
5	4.212E-03	9600.0375	5	3.786E-03	8919.6932
6	5.265E-03	10193	6	4.733E-03	9406.1887
7	6.318E-03	10476	7	5.680E-03	9580.5877
8	7.371E-03	10565	8	6.626E-03	9565.0941
9	8.424E-03	10533	9	7.573E-03	9437.589
10	9.477E-03	10427	10	8.519E-03	9246.5733
11	0.0105	10278	11	9.466E-03	9021.952
12	0.0116	10102	12	0.0104	8782.0573
13	0.0126	9913.2931	13	0.0114	8538.0468
14	0.0137	9718.7822	14	0.0123	8296.6218
15	0.0147	9523.573	15	0.0133	8061.7045
16	0.0158	9330.8215	16	0.0142	7835.4797
17	0.0168	9142.4924	17	0.0151	7619.0446
18	0.0179	8959.7638	18	0.0161	7412.8195
19	0.019	8783.2923	19	0.017	7216.8066
20	0.02	8613.3895	20	0.018	7030.7564