

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIVIL

TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL

“COMPARACIÓN DE EDIFICIOS CON AISLADORES DE BASE CON NÚCLEO DE PLOMO CONSIDERANDO LAS NORMAS ASCE 7-10 Y ASCE 7-16, APLICADO A EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO DE HASTA 10 PISOS UBICADOS EN LA CIUDAD DE QUITO”.

AUTOR:

ANDRES ALEXANDER MIQUINGA MOLINEROS

DIRECTOR:

ING. MARCELO GUERRA MSC-MDI

QUITO, AÑO 2023

Contenido

1.	GENERALIDADES.....	11
1.1	Justificación.....	11
1.2	Planteamiento Del Problema.....	12
1.3	Objetivo General.....	13
1.4	Objetivo Específicos.....	13
1.5	Alcance.....	14
2.	MARCO TEÓRICO.....	15
2.1	Aisladores Sísmicos De Base.....	15
2.1.1	Generalidades.....	15
2.1.2	Aisladores Sísmicos Elastoméricos (NRB).....	15
2.1.3	Aislador De Caucho Natural Con Núcleo De Plomo (LRB).....	16
2.1.4	Aislador Sísmico De Péndulo De Fricción (FPS).....	17
2.2	Comportamiento De Los Sistemas De Aislación Sísmica.....	17
2.2.1	Efectos En La Estructura De Los Sistemas De Aislación.....	17
2.2.2	Sistemas De Aislación Sísmica Con Núcleos De Plomo.....	18
3.	ESTRUCTURA DE EDIFICIOS.....	21
3.1	Estructura de hormigón.....	21
3.1.1	Funcionalidad.....	22
3.1.2	Ventajas Y Desventajas De La Estructura De Hormigón Armado.....	23
3.1.3	Propiedades del hormigón.....	24
3.2	Configuración Estructural.....	25
3.3	Diseño De Losas.....	28
3.3.1	Predimensionamiento.....	28
3.4	Diseño De Vigas.....	30
3.4.1	Predimensionamiento.....	30
3.5	Diseño De Columnas.....	30

3.5.1	Predimensionamiento.....	31
4.	APLICACIÓN DE AISLADORES A EDIFICIOS.	32
4.1	American Society Of Civil Engineers (2010).....	32
4.1.1	Requisitos Generales De Diseño.....	32
4.1.1.1	Sistema de aislamiento.....	33
4.1.2	Movimiento De Tierra Para Sistemas Aislados.	33
4.1.2.2	Historial de respuesta del suelo.	33
4.1.3	Selección Del Procedimiento De Análisis.	34
4.1.3.1	Procedimiento de la fuerza lateral equivalente.	34
4.1.3.2	Procedimiento espectro de respuesta.	35
4.1.3.3	Procedimiento de historial de respuesta sísmica.....	35
4.1.4	Fuerza Lateral Equivalente.	35
4.1.5	Características del Procedimiento De Análisis Dinámico.	35
4.1.5.1	Sistema de aislamiento.....	35
4.1.5.2	Procedimiento de espectro de respuesta.	36
4.1.6	Límites de deriva.	37
4.2	American Society of Civil Engineers (2016).....	39
4.2.1	Requisitos Generales De Diseño.....	39
4.2.1.1	Sistema de aislamiento.....	40
4.2.2	Criterios De Movimiento Sísmico Para Sistemas Aislados.....	40
4.2.2.1	Peligro sísmico específico del sitio.	40
4.2.2.2	Espectro de respuesta para movimientos de tierra de terremotos máximos considerados de riesgo (MCER) y parámetros de aceleración de respuesta espectral SMS, SM1	41
4.2.2.3	Historial de respuesta para movimientos de tierra de terremotos máximos considerados de riesgo (MCER).	41
4.2.3	Selección Del Procedimiento De Análisis.	41

4.2.3.1	Procedimiento de la fuerza lateral equivalente.....	41
4.2.4	Fuerza Lateral Equivalente.....	43
4.2.5	Procedimiento De Análisis Dinámico.....	43
4.2.6	Límites de deriva.....	45
4.3	Comparativa.....	46
4.4	CONCLUSIONES.....	49
5.	INFLUENCIA SÍSMICA.....	51
5.1	Generalidades.....	51
5.2	Mapa de peligro sísmico.....	53
5.3	Factor de zona (Z).....	54
5.4	Niveles de amenaza sísmica.....	54
5.5	Desempeño Sísmico.....	54
5.5.1	Estructuras de ocupación especial.....	54
5.5.2	Resumen de desempeño sísmico.....	56
5.6	Aplicación De Los Efectos Sísmicos A Estructuras.....	56
5.6.1	Espectro de respuesta de diseño.....	56
6.	MODELACIÓN DE EDIFICIOS.....	64
6.1	Modelación de edificios con aisladores sísmicos de base en software ETABS.....	64
6.2	Definición de los elementos estructurales.....	64
6.2.1	Inercia efectiva columnas.....	65
6.2.2	Inercia efectiva vigas.....	66
6.2.3	Dibujar secciones ya definidas (Columnas y Vigas).....	67
6.2.4	Dibujar secciones tipo Shell (Losas).....	68
6.2.5	Definición de cargas.....	70
6.2.6	Asignación carga muerta.....	70
6.2.7	Asignación carga viva.....	71

6.3	Definición de los estados de carga para las fuerzas laterales estáticas equivalentes.	72
6.4	Definición del análisis modal espectral.	75
6.5	Resultados modos de vibración.	77
6.5.1	Conclusiones:	80
6.6	Ajuste del cortante basal.	80
6.6.1	Corrección valores de cortante basal y coeficiente K.	81
6.6.2	Corrección valores de cortante basal y coeficiente K.	82
6.7	Análisis del cortante basal dinámico y estático.	82
6.7.1	Conclusiones:	82
6.8	Derivas de piso.	83
6.9	Modelamiento De Los Aisladores De Base.	87
6.9.1	Propiedades de los aisladores.	88
6.9.2	Dibujar los aisladores previamente definidos.	91
6.9.3	Recomendación:	93
6.10	Aplicación normativa American Society of Civil Engineers (2010).	93
6.10.1	Fuerza lateral equivalente.	94
6.10.2	Espectro de respuesta.	94
6.11	Espectro de respuesta ASCE 7-10 American Society of Civil Engineers (2010).	95
6.11.1	Parámetros de aceleración de respuesta espectral.	95
6.11.2	Modelo Espectro de respuesta espectral ASCE 7-10 American Society of Civil Engineers (2010)	98
6.11.3	Resultados modos de vibración.	100
6.11.4	Período de vibración.	101
6.11.5	Derivas de piso.	101
6.11.6	Período de vibración.	105

6.11.7	Derivas de piso.....	105
6.12	Aplicación normativa American Society of Civil Engineers (2016). ..	107
6.12.1	Derivas de piso.....	110
6.13	CONCLUSIONES:	112
6.14	RECOMENDACIONES.	114
6.15	ANEXOS:.....	115

Tablas:

<i>Tabla 1: Edificaciones a construir, por materiales predominantes y regiones, año 2020.</i>	21
<i>Tabla 2: Ventajas y desventajas de la estructura de hormigón armado.</i>	24
<i>Tabla 3 Espesor mínimo de losas no pre esforzadas en dos direcciones sin vigas interiores.</i>	28
<i>Tabla 4: Espesor mínimo de losas de dos direcciones con vigas entre los apoyos en todos los lados.</i>	29
<i>Tabla 5: Comparativa de las normas American Society of Civil Engineers (2010) y American Society of Civil Engineers (2016).</i>	48
<i>Tabla 6: Glosario de términos Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015b).</i>	53
<i>Tabla 7: Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.</i>	54
<i>Tabla 8: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura.</i>	55
<i>Tabla 9: Clasificación de los perfiles de suelo.</i>	60
<i>Tabla 10: Tipo de suelo y Factores de sitio F_a</i>	61
<i>Tabla 11: Tipo de suelo y Factores de sitio F_d</i>	61
<i>Tabla 12: Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo F_s</i>	62
<i>Tabla 13: Dimensiones de vigas, columnas y losas.</i>	64
<i>Tabla 14: Dimensiones de vigas.</i>	66
<i>Tabla 15: Centro de masas y rigidez.</i>	74
<i>Tabla 16: Centro de masas y rigidez.</i>	74
<i>Tabla 17: Datos para la obtención del espectro de diseño.</i>	75
<i>Tabla 18: Datos para la obtención del espectro de diseño.</i>	76
<i>Tabla 19: Tipo de aislador para los edificios.</i>	87
<i>Tabla 20 Coeficiente de sitio para períodos cortos 0.2 segundos (F_a)</i>	96
<i>Tabla 21 Coeficiente de sitio para períodos de 1 segundos (F_v)</i>	97

Ilustraciones:

<i>Ilustración 1: Aisladores Sísmicos Elastoméricos (NRB).</i>	15
<i>Ilustración 2: Aislador de caucho natural con núcleo de plomo (LRB).</i>	16
<i>Ilustración 3: Aislador sísmico de péndulo de fricción (FPS).</i>	17
<i>Ilustración 4: Período de vibración y desplazamiento de una estructura fija vs aislada.</i>	19
<i>Ilustración 5: Diagrama de histéresis.</i>	20
<i>Ilustración 6: Modelo 1 en planta y Distribución de columnas.</i>	25
<i>Ilustración 7: Modelo 2 en planta y Distribución de columnas.</i>	26
<i>Ilustración 8: Modelo 1 en elevación.</i>	27
<i>Ilustración 9: Modelo 2 en elevación.</i>	27
<i>Ilustración 10: Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z.</i>	53
<i>Ilustración 11: Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.</i>	57
<i>Ilustración 12: Transformación del análisis lineal modal espectral a un análisis no lineal.</i>	63
<i>Ilustración 13: Valores sección (columna edificio regular e irregular).</i>	65
<i>Ilustración 14: Inercia efectiva para columnas edificio regular e irregular.</i>	65
<i>Ilustración 15: Vigas.</i>	66
<i>Ilustración 16: Inercia efectiva para vigas tipo T.</i>	67
<i>Ilustración 17: Edificio de 6 pisos regular con Columnas y vigas con vista en planta y 3D.</i>	67
<i>Ilustración 18: Edificio de 6 pisos irregular con Columnas y vigas con vista en planta y 3D.</i>	68
<i>Ilustración 19: Edificio de 6 pisos regular con losa alivianada con vista en planta y 3D.</i>	69
<i>Ilustración 20: Edificio de 6 pisos irregular con losa alivianada con vista en planta y 3D.</i>	69
<i>Ilustración 21: Definir load Patterns.</i>	70
<i>Ilustración 22: Carga muerta colocada en entre pisos y cubierta.</i>	71
<i>Ilustración 23: Carga viva entre pisos.</i>	71
<i>Ilustración 24: Carga viva primer piso.</i>	72
<i>Ilustración 25: Carga viva cubierta.</i>	72
<i>Ilustración 26: Coeficiente de cortante basal y coeficiente K.</i>	73
<i>Ilustración 27: Resultados Cortante basal y coeficiente K.</i>	73
<i>Ilustración 28: Coeficiente de cortante basal y coeficiente K.</i>	73
<i>Ilustración 29: Resultados Cortante basal y coeficiente K.</i>	74
<i>Ilustración 30: Espectro Elástico y Espectro inelástico de diseño.</i>	76
<i>Ilustración 31: Espectro Elástico y Espectro inelástico de diseño.</i>	77
<i>Ilustración 32: Primer modo de vibración (Traslación dirección Y).</i>	77
<i>Ilustración 33: Segundo modo de vibración (Traslación dirección X).</i>	78
<i>Ilustración 34: Tercer modo de vibración (Torsión).</i>	78
<i>Ilustración 35: Primer modo de vibración (Traslación dirección Y).</i>	79
<i>Ilustración 36: Segundo modo de vibración (Traslación dirección X).</i>	79

<i>Ilustración 37: Tercer modo de vibración (Torsión).</i>	80
<i>Ilustración 38: Máximas derivas de piso edificio 8 pisos regular.</i>	84
<i>Ilustración 39: Máximas derivas de piso edificio 8 pisos irregular.</i>	85
<i>Ilustración 40: Máximas derivas de piso edificio 10 pisos irregular.</i>	86
<i>Ilustración 41: Propiedades de los aisladores.</i>	88
<i>Ilustración 42: Propiedades Dirección vertical (U1).</i>	89
<i>Ilustración 43: Propiedades Dirección horizontales (U2 y U3).</i>	90
<i>Ilustración 44: Aislador modelado de arriba hacia abajo.</i>	91
<i>Ilustración 45: Edificio con aisladores sísmicos LRB (vista en elevación) edificio de 6 pisos regular.</i>	91
<i>Ilustración 46: Edificio con aisladores sísmicos LRB (vista en elevación) edificio de 6 pisos irregular.</i>	92
.....	
<i>Ilustración 47: Edificio con aisladores sísmicos LRB (vista en 3D) edificio de 6 pisos regular.</i>	92
<i>Ilustración 48: Edificio con aisladores sísmicos LRB (vista en 3D) edificio 6 pisos irregular.</i>	93
<i>Ilustración 49: Espectro de diseño ASCE 7-10.</i>	98
<i>Ilustración 50: Espectro Sismo Máximo Considerado ASCE 7-10.</i>	99
<i>Ilustración 51: Primer modo de vibración (Traslación dirección Y).</i>	100
<i>Ilustración 52: Primer modo de vibración (Traslación dirección X).</i>	100
<i>Ilustración 53: Tercer modo de vibración (Torsión).</i>	101
<i>Ilustración 54: Período de vibración estructura base aislada.</i>	101
<i>Ilustración 55: Máximas derivas de piso edificio 6 pisos regular Espectro de diseño.</i>	102
<i>Ilustración 56: Máximas derivas de piso edificio 6 pisos regular Espectro Sismo Máximo Considerado (MCER).</i>	103
<i>Ilustración 57: Primer modo de vibración (Traslación dirección Y).</i>	103
<i>Ilustración 58: Primer modo de vibración (Traslación dirección X).</i>	104
<i>Ilustración 59: Tercer modo de vibración (Torsión).</i>	104
<i>Ilustración 60: Período de vibración estructura base aislada.</i>	105
<i>Ilustración 61: Máximas derivas de piso edificio 6 pisos irregular Sismo de diseño.</i>	105
<i>Ilustración 62: Máximas derivas de piso edificio 6 pisos irregular Sismo Máximo Considerado.</i>	106
<i>Ilustración 63: Máximas derivas de piso edificio 6 pisos regular.</i>	110
<i>Ilustración 64: Máximas derivas de piso edificio 6 pisos irregular.</i>	111
<i>Ilustración 65: Catálogo Aisladores.</i>	134

Anexos:

<i>Anexo 1: Pre-dimensionamiento de losas.</i>	<i>115</i>
<i>Anexo 2: Pre-dimensionamiento de vigas.</i>	<i>120</i>
<i>Anexo 3: Pre-dimensionamiento de columnas.</i>	<i>122</i>
<i>Anexo 4: Ajuste cortante basal dinámico y estático.....</i>	<i>128</i>
<i>Anexo 5: ANÁLISIS DE LAS DERIVAS DE PISO (EDIFICIOS BASE FIJA).....</i>	<i>130</i>
<i>Anexo 6: RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTO (EDIFICIOS BASE FIJA).</i>	<i>132</i>
<i>Anexo 7: CATÁLOGO DE AISLADORES TENSA DIÁMETROS ESCOGIDOS.</i>	<i>134</i>
<i>Anexo 8: MÁXIMAS DERIVAS DE PISO EDIFICIOS AISLADOS ESPECTRO DE DISEÑO Y ESPECTRO MÁXIMO.</i>	<i>135</i>
<i>Anexo 9: MÁXIMAS DERIVAS DE PISO EDIFICIOS AISLADOS ANÁLISIS TIME - HISTORY.</i>	<i>137</i>
<i>Anexo 10: DESPLAZAMIENTO DE EDIFICIOS AISLADOS ESPECTRO DE DISEÑO Y ESPECTRO MÁXIMO.</i>	<i>138</i>
<i>Anexo 11: DESPLAZAMIENTO DE EDIFICIOS AISLADOS ANÁLISIS TIME - HISTORY.</i>	<i>141</i>

1. GENERALIDADES

1.1 *Justificación.*

Históricamente, la presencia de la zona de subducción más importante del planeta, El Cinturón de fuego del Pacífico, produce los sismos más fuertes registrados (Servicio Geológico de EE. UU., 2012).

El Cinturón de fuego del Pacífico atraviesa países de América del Sur como: Chile, Argentina, Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia, países que tienen una alta amenaza sísmica.

A pesar de que un terremoto no se puede predecir, si podemos prepararnos para reducir el impacto que puede generar; es decir reducir la vulnerabilidad. Esto aprendió Chile, pero en nuestro país, tanto las autoridades como la población no toman conciencia de estos hechos y se siguen realizando construcciones de manera informal sin la supervisión de un profesional experto en temas de estructuras que pueda garantizar la seguridad, habitabilidad y permanencia en el tiempo.

Para garantizar esto existe varios sistemas estructurales como: Pórtico especial, Muros estructurales, Muros estructurales acoplados (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015c).

Existen nuevas metodologías como el sistema de aislamiento de base que en el país no se ha difundido su uso, pero ofrece una mejor respuesta estructural ante la presencia de fuerzas sísmicas, debido al principio de esta metodología que es la de separar la estructura del suelo y así absorber estas fuerzas e impedir la deformación o destrucción de la estructura (Aguiar, R., Vergara, F., Guaygua, B., & Monge, J., 2014).

En el Ecuador esta metodología se está explorando recientemente, se conoce escasas construcciones en las que se ha usado como, por ejemplo:

- Puente los caras, Bahía de Caráquez (Manabí) (Jácome & Caicedo, 2012).
- Edificio Skybuilding (Guayaquil) (S. Reyes, 2016).
- Hospital de Pedernales (Revisión de diseño Ing. Marcelo Guerra A.)
- Puente sobre el río Guayllabamba (Implementación de aisladores de triple péndulo Ing. Marcelo Guerra A.)
- Hospital de Muisne.

Contrario a lo que se puede pensar que la implementación de este sistema representa apenas el 2% al 3% del presupuesto de la obra. Porcentaje sumamente bajo comparado con los cientos de pérdidas humanas que se pueden registrar ante el colapso de una construcción y la pérdida total de la misma.

Además, este estudio pretende contribuir a la difusión de esta metodología y fortalecer los conocimientos de los futuros profesionales sobre este tema.

1.2 Planteamiento Del Problema.

En Ecuador la ocurrencia de un sismo de alta magnitud es muy probable, debido a la exposición sísmica que presenta gracias a su ubicación geográfica (Servicio Geológico de EE. UU., 2012), sin embargo, existen países con la misma o mayor exposición sísmica y a pesar de eso su vulnerabilidad es baja (Silva & D. Amo-Oduro, A. Calderon, J. Dabbeek, V. Despotaki, L. Martins, A. Rao, M. Simionato, D. Viganò, C. Yepes-Estrada, A. Acevedo, H. Crowley, N. Horspool, K. Jaiswal, M. Journeay, 2018).

Ecuador tiene una alta amenaza sísmica y la mayoría de las obras civiles alta vulnerabilidad, este último es el parámetro al cual debemos atacar y emplear soluciones para reducirlo porque la amenaza no la podemos cambiar. Las ciudades ya están asentadas y desarrolladas sobre estos territorios (Silva et al, 2018)

Para reducir la vulnerabilidad hay que implementar una normativa mucho más rigurosa al momento de construir, aplicar mejores métodos constructivos y más eficientes a la hora de soportar sismos (Aldunate, 2009).

Muchos países han optado por nuevos métodos de construcción como: el aislamiento sísmico, con el cual han logrado reducir la vulnerabilidad sísmica en edificios (Chuman Bermeo & Valladares Ojeda, 2017).

Por esta razón se propone la aplicación de aisladores sísmicos de base con núcleos de plomo en edificios como una solución ante el peligro inminente de sismos que existe. Finalmente se comparará las derivas de piso en edificios con aisladores de base con núcleo de plomo mediante la aplicación de las Normas American Society of Civil Engineers (2010) y American Society of Civil Engineers (2016) para verificar la incidencia que se tiene al aplicar dichas normas.

1.3 *Objetivo General.*

- Comparar la incidencia de las normas American Society of Civil Engineers (2010) y American Society of Civil Engineers (2016) al aplicarlas en edificios de hormigón armado con aisladores sísmicos de base con núcleo de plomo y verificar su desempeño mediante: desplazamientos y derivas de piso respectivas de las estructuras.

1.4 *Objetivo Específicos.*

- Describir el capítulo 17 “Requisitos de diseño sísmico para estructuras sísmicamente aisladas” de las normas American Society of Civil Engineers (2010) y American Society of Civil Engineers (2016) mediante un análisis comparativo teórico para determinar sus semejanzas y diferencias.
- Aplicar los criterios de movimiento sísmico para sistemas aislados formulados en el capítulo 17 de las normas American Society of Civil Engineers (2010) y American Society of Civil Engineers (2016).
- Analizar 6 edificios de hasta 10 pisos en el software especializado Etabs incorporando los aisladores de base LRB, para verificar su comportamiento mediante el control de derivas de piso y desplazamientos.

1.5 Alcance.

El trabajo de titulación se enfocará en el análisis de edificios con aisladores sísmicos de base elastoméricos con núcleo de plomo (LRB), mediante la aplicación de los criterios de movimiento sísmico para sistemas aislados formulados en el capítulo 17 de las normas American Society of Civil Engineers (2010) y American Society of Civil Engineers (2016) para aplicarlos a 6 edificios de hormigón armado de hasta 10 pisos en 2 modelos propuestos.

Se analizará las estructuras de hormigón armado enfocado en la filosofía del diseño sismorresistente de acuerdo con lo estipulado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015). Se desarrollará la modelación de los edificios y aisladores correspondientes en el software especializado Etabs y se verificará su comportamiento y diferencias al momento de aplicar las normas propuestas anteriormente.

Se realizará el análisis sísmico de los edificios de base fija mediante el espectro de diseño basado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015c), a diferencia de los edificios con base aislada que se realizara el análisis basado en las normas americanas American Society of Civil Engineers (2010) y American Society of Civil Engineers (2016), debido a que estas normas indican los procedimientos para las estructuras aisladas.

El

Se realizará la comparación de 6 edificios de base fija de acuerdo a lo estipulado por la norma NEC, con 6 edificios de base aislada, de acuerdo a los requisitos de análisis sísmico para estructuras aisladas de la norma American Society of Civil Engineers (2010) y American Society of Civil Engineers (2016).

MARCO TEÓRICO

1.6 Aisladores Sísmicos De Base

1.6.1 Generalidades.

De acuerdo con Instituto Nacional de Normalización (2013) de Chile se define a un aislador como: Un elemento estructural horizontalmente flexible y verticalmente rígido, que permite grandes deformaciones laterales debido a la influencia sísmica.

Los aisladores son sistemas de protección sísmica pasivos, que mitigan los efectos de los sismos, mediante la separación de los movimientos del suelo y la estructura, dotando de un mayor período fundamental en relación con una estructura de base fija (Aguilar, et al., 2014).

El período de vibración es el tiempo que tarda un sistema vibratorio en volver a su posición original considerado luego de un ciclo de oscilación, a su vez el periodo fundamental es el mayor período (tiempo) de vibración de una estructura en dirección horizontal (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015c).

Se tiene varios tipos de aisladores sísmicos de base, los cuales son:

- Aisladores de Goma de alto amortiguamiento (HDR).
- Aisladores de caucho natural con núcleo de plomo (LRB).
- Aisladores de péndulo de fricción (FPS).

1.6.2 Aisladores Sísmicos Elastoméricos (NRB).

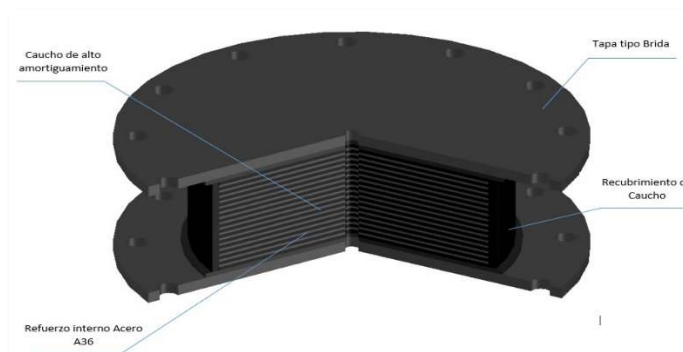


Ilustración 1: Aisladores Sísmicos Elastoméricos (NRB).

Fuente: Grupo Vikingo (2015).

Características.

Los aisladores elastoméricos son dispositivos formados por láminas planas de goma (Elastómero) intercaladas por placas planas de acero adheridas a la goma.

Las láminas de goma proporcionan al aislador la cualidad de deformarse en un plano horizontal, permitiendo el desplazamiento horizontal de la estructura relativo al suelo. Las placas de acero impiden la expansión lateral de la goma debido a la presión vertical (Auqui Parra, 2010).

Lo que se pretende es apoyar a la estructura no directamente sobre el terreno sino sobre aisladores cilíndricos de caucho laminado con intercalaciones metálicas.

1.6.3 *Aislador De Caucho Natural Con Núcleo De Plomo (LRB).*

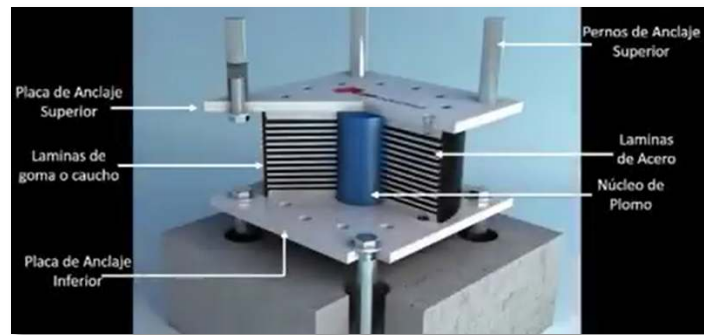


Ilustración 2: Aislador de caucho natural con núcleo de plomo (LRB).

Fuente: Aguiar, et al. (2014)

Características

La característica de estos aisladores se encuentra al incorporar un núcleo de plomo al dispositivo descrito anteriormente, lo cual permite que el aislador no presente deformaciones considerables ante cargas de servicio ya que el plomo incrementa la resistencia inicial al corte (G cercano a 130 Mpa) (Auqui Parra, 2010).

1.6.4 Aislador Sísmico De Péndulo De Fricción (FPS).

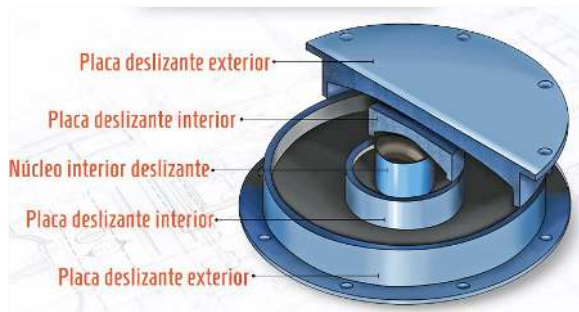


Ilustración 3: Aislador sísmico de péndulo de fricción (FPS).

Fuente: Quasar (2021).

Características

Son capaces de disipar una gran cantidad de energía debido a sus ciclos de histéresis que se define como la diferencia entre la energía total suministrada a un sistema para producir una deformación y la energía restituida (Aguiar, et al., 2014).

Estos aisladores trabajan a fricción por lo que las formas de las superficies en contacto son importantes, se utiliza superficies de forma esférica en que la respuesta se asemeja a la de un péndulo, por lo que se denominan sistemas de péndulo de fricción o FPS (friction pendulum system) (Auqui Parra, 2010).

1.7 Comportamiento De Los Sistemas De Aislación Sísmica.

1.7.1 Efectos En La Estructura De Los Sistemas De Aislación.

Los sistemas de aislación sísmica son muy utilizados en varios países (EEUU, Nueva Zelanda, Japón y así también en países de Sudamérica como Chile y Perú).

Este concepto de aislación sísmica no es algo nuevo debido a que se tiene conocimiento que en el año de 1870 en San Francisco fue donde se presentó el primer concepto de aislación sísmica (Touaillon, 1870).

Sin embargo, para el año de 1886 el profesor Jhon Milne de la universidad de Tokio fue quien presentó este concepto hecho realidad, con su prototipo aplicado en un edificio ante la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia y en 1909 el doctor J. A. Calantarients describió un método para la construcción de edificios en zonas sísmicas altas

el cual consistía en la incorporación de una articulación libre lubricada y una capa fina de arena, mica o talco, para la reducción de la energía sísmica transmitida a la estructura (Tapia & Veletanga, 2017).

Los aisladores sísmicos tienen la capacidad de mitigar la energía que producen los sismos y puedan afectar a la estructura, de esta manera la protegen y evitan el daño e incluso el colapso de esta.

La energía que llega a la estructura por parte de los sismos se transforma en energía elástica y energía disipada, debido a esto la energía que entra al sistema es igual a la suma de la energía elástica y la energía disipada.

$$E_{entrada} = E_{elástica} + E_{disipada}$$

Energía elástica está conformada por la energía potencial más la energía cinética.

$$E_{elástica} = E_{potencial} + E_{cinética}$$

Una vez que se produce la entrada de energía por un sismo la estructura reacciona de manera inmediata tratando de disipar esta energía, para ello lo puede hacer de 2 maneras, mediante el amortiguamiento propio de cada estructura y por medio de la energía histerética que la proporcionan los mecanismos de disipación de energía (J. C. Reyes & Rubiano, 2002).

$$E_{elástica} = E_{potencial} + E_{cinética} + E_{amortiguamiento} + E_{histerética}$$

En la actualidad para la mitigación de los efectos destructivos de los sismos se tiene un enfoque de reducción de la energía de entrada, mediante la colocación de aisladores sísmicos que son elementos de disipación de energía pasiva y no tratar de rigidizar más la estructura para incrementar su capacidad de disipación de energía (Aguilar, et al., 2014).

1.7.2 Sistemas De Aislación Sísmica Con Núcleos De Plomo.

La aislación sísmica consiste en, como su nombre mismo lo indica aislar, es decir, separar la estructura de la energía producida por los sismos, dicha energía se propaga mediante el suelo, por lo tanto, se debe separar la estructura del suelo.

La incorporación de este sistema provoca que la estructura tenga un incremento en el período de vibración y así también en el amortiguamiento, al compararlo con una estructura de base fija, para de esta manera reducir la respuesta sísmica y sus efectos en los elementos estructurales de la misma.

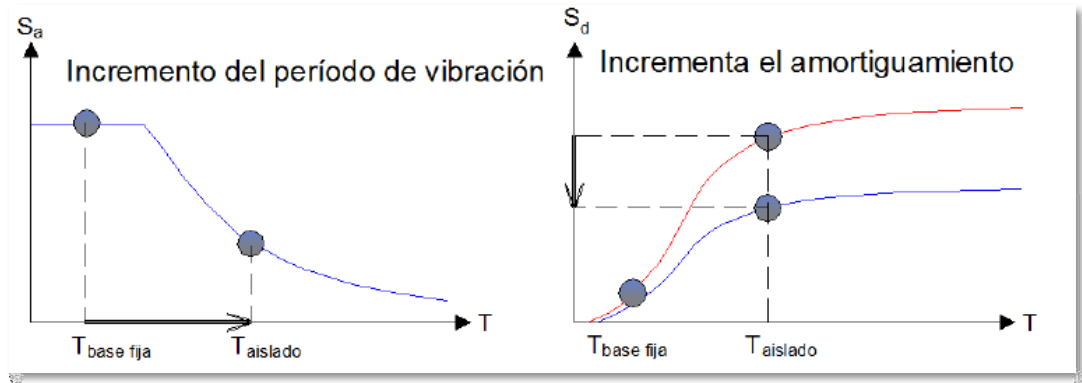


Ilustración 4: Período de vibración y desplazamiento de una estructura fija vs aislada.

Fuente: Villagomez (2015)

Mediante este sistema de aislación no solo se evitará daños estructurales severos, también se observará que los elementos no estructurales tendrán una mayor protección, al controlar que la energía de entrada sea pequeña y por lo tanto la estructura no presente movimientos muy bruscos que puede generar daño en tuberías, paredes o cielos rasos y así no se vean involucrados con fallas o grietas, protegiendo no solo la vida de las personas sino también la inversión y la operabilidad de la estructura (Tomohiro et al., 2018).

Los aisladores con núcleo de plomo son más efectivos para aceleraciones de sismos con picos menores, es decir, estos aisladores proporcionan una mayor atenuación de la energía con picos bajos, por el contrario, los aisladores sísmicos con péndulo de fricción tienen una mayor atenuación ante aceleraciones de picos más altos (Tomohiro et al., 2018).

La capacidad de carga de un aislador, así como su desplazamiento real está dado principalmente por el número de capas de goma y su módulo de corte, que en el mercado internacional están disponibles desde ($G = 0.38 \text{ N/mm}^2$ hasta 0.70 N/mm^2). Otra característica importante del aislador es su rigidez elástica (K_e) y su valor está dominado por el tamaño del núcleo de plomo, la rigidez secundaria (K_d o K_2) está en función del módulo de corte, la altura total y área de la goma. La rigidez efectiva (K_{eff}) se encuentra mediante la división entre la fuerza del aislador y el desplazamiento. Estos son los componentes principales para la obtención del diagrama de histéresis del aislador (Dynamic Isolation Systems, 2007).

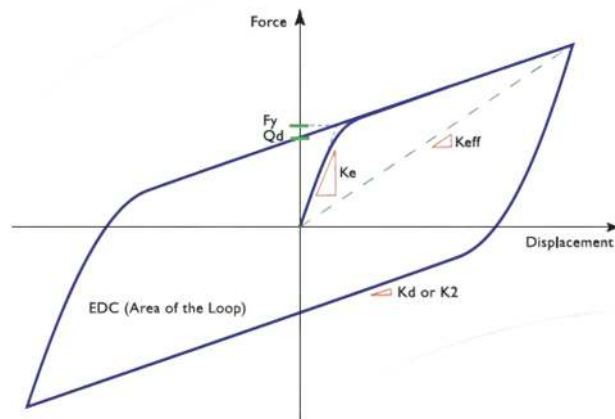


Ilustración 5: Diagrama de histéresis.

Fuente: Dynamic Isolation Systems (2007)

Donde:

- Ke: rigidez efectiva.
- Kd: rigidez secundaria.
- Keff: rigidez efectiva.
- Qd: fuerza histérica es la intersección de eje de fuerzas en la gráfica de histéresis.
- Fy: fuerza de fluencia cambio de rigidez efectiva a rigidez secundaria.
- EDC: energía disipada por ciclo es el área del diagrama de histéresis.

Una vez descritas todas las características y beneficios de la implementación de los aisladores de base a una estructura de base fija, se procederá a la determinación de los elementos estructurales que conforman los edificios, a los cuales se realizará la evaluación sísmica conforme lo estipulado en las normas a utilizar Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015c), American Society of Civil Engineers (2010) y American Society of Civil Engineers (2016).

2. ESTRUCTURA DE EDIFICIOS.

2.1 Estructura de hormigón.

El hormigón armado está compuesto por hormigón y la inclusión de barras de acero, sin embargo, se puede incorporar algunos elementos adicionales como son fibras plásticas u otro elemento para cumplir alguna función en específico de acuerdo con su diseño, el hormigón se lo obtiene de utilizar un aglomerante que en este caso es el cemento y al cual se le añade agua y porciones de agregados (arena fina y gruesa), las propiedades mecánicas del hormigón dependerá de las cantidades que se use de estos materiales determinados por un diseño al cual se lo llama dosificación (Calderón, 2017).

Los edificios para el estudio de esta disertación serán de hormigón armado, debido a que es el material más usado en el Ecuador para la construcción de todo tipo de estructuras sobre todo en edificaciones.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2020), indica que en el país las estructuras de hormigón armado están por encima de otro tipo de estructuras, como se puede observar en el siguiente gráfico con los datos oficiales del año 2020.

Estructura	Costa	Sierra	Amazonía	Galápagos
Hormigón armado	9,705	9,586	1,184	98
Metálica	881	2,166	289	6
Madera	9	40	9	
Muros portantes	304	37		
Otros	23	5		6
No aplica	244	144	27	1

Tabla 1: Edificaciones a construir, por materiales predominantes y regiones, año 2020.

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2020).

2.1.1 *Funcionalidad.*

El hormigón es un material que soporta netamente esfuerzos de compresión ($f'c$), es decir, presenta muy baja capacidad para la tracción, lo que representa en una falla frágil al momento de alcanzar su agotamiento, debido a esto al momento del diseño no se lo toma en cuenta. El acero soporta una alta capacidad de fluencia (f_y), es decir, tiene un comportamiento dúctil y sus propiedades son controladas con rigurosidad por la Sociedad Americana para Ensayos de Materiales (ASTM), por lo que es un producto industrializado con estándares mundiales para su fabricación, sin embargo, tiene muy poca capacidad en miembros esbeltos, por lo que la unión entre estos dos materiales son el complemento perfecto porque unen sus dos mayores capacidades tanto compresión (hormigón) como tracción (acero) y trabajan como un solo material denominado hormigón armado (Ottazzi Pasino, 2004).

La resistencia a la compresión del hormigón ($f'c$) es muy importante debido a que es principal aporte al hormigón armado, por lo que se deberá tener un riguroso control sobre la revisión de la resistencia final del hormigón (28 días), esto se lo puede realizar mediante ensayos determinados y estandarizados por la Sociedad Americana para Ensayos de Materiales (ASTM) (2002), el cual determina el proceso de confección de las probetas, tamaño, proceso de curado y el proceso de ensayo a compresión de las probetas para así determinar la resistencia final que obtiene el hormigón.

Existen factores que afectan a la Resistencia a la compresión ($F'c$) los cuales son:

- La resistencia de los áridos (arena fina y gruesa) y del cemento son de gran importancia ya que actúan de manera directa a la resistencia final del hormigón.
- La relación agua cemento (w/c) es la relación más importante debido a que una relación baja reduce la porosidad de la pasta de cemento y mejora la unión entre los sólidos aumentando la resistencia. Por el contrario, una relación alta aumenta la porosidad de la pasta de cemento y los áridos reduciendo la resistencia (Ottazzi Pasino, 2004).
- El aire incorporado en la mezcla a través de aditivos tiende a reducir la resistencia a compresión al igual que el aire atrapado por una consolidación no adecuada y a un incorrecto o nulo vibrado al momento de verter la mezcla en los encofrados.
- Las condiciones de humedad y temperatura durante el curado por el proceso de hidratación del cemento, el hormigón aumenta su resistencia en el tiempo

dependiendo de las condiciones de intercambio de humedad en el ambiente. Periodos prolongados de buen curado aumentan significativamente la resistencia

Para un correcto funcionamiento del acero, se deberá tener una alta adherencia entre el hormigón y el acero para evitar que el acero se deslice de su posición correcta. Esta adherencia la obtenemos de 3 principales fuentes: del tipo químico que existe en la interfase entre el acero y el hormigón, la rugosidad natural que tiene la superficie del refuerzo laminado en caliente y las corrugaciones con las que se fabrica las barras de refuerzo corrugadas.

Las barras de acero o varillas que se distribuye normalmente son de sección circular, con resaltes o corrugaciones fundamentales para la adhesión con el hormigón, existe una gran variedad de diámetros y características de barras, sin embargo, se ajustan a las disposiciones recomendadas por la Sociedad Americana para Ensayos de Materiales (ASTM, 1898).

2.1.2 *Ventajas Y Desventajas De La Estructura De Hormigón Armado.*

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Amplia disponibilidad de los materiales que lo componen (arena fina y gruesa, agua, cemento).	Alto peso de los elementos por sus dimensiones.
Adaptabilidad para conseguir diversas formas.	Deficiente comportamiento sísmico al adoptar diversas formas y grandes tamaños para aumentar rigidez.
Alto grado de durabilidad en las construcciones	Elementos no estructurales provocan influencia en la acción de fuerzas sísmicas.
Alta resistencia al fuego (1 -3 horas).	Se requiere de ensayos para certificar la calidad.
Capacidad para resistir esfuerzos de compresión, flexión, corte y tracción.	Mayor tiempo para la construcción.
Requiere de muy poco mantenimiento una vez construida.	Costos mayores en mano de obra con relación al tiempo.
Se lo puede fabricar en obra.	

Mano de obra no calificada.	
-----------------------------	--

Tabla 2: Ventajas y desventajas de la estructura de hormigón armado.

Fuente: ROJAS LOPEZ & ARENAS GIRALDO (2008).

2.1.3 *Propiedades del hormigón.*

Consistencia: Facilidad que tiene el hormigón para deformarse y adoptar la forma del molde o encofrado que sea necesario, los factores que influyen son: cantidad de agua, tamaño máximo del árido (granulometría).

Homogeneidad: Se define como homogeneidad a la distribución regular que tienen los diferentes componentes del hormigón en la mezcla, tienen la misma proporción en diferentes lugares de la misma mezcla, los factores que influyen son: buen amasado, transporte cuidadoso y colocación adecuada, los principales problemas que se puede tener es la segregación y la decantación (Calderón, 2017).

Peso específico: Es un valor de gran importancia ya que indica el índice de uniformidad del hormigón en el transcurso de una obra y la variación de este valor indica una alteración de la granulometría de los áridos o en la relación agua/cemento (Lara, 2017).

Docilidad: Es la capacidad del hormigón para ser puesto en obra, influyendo en la trabajabilidad, deformabilidad y la facilidad del hormigón para eliminar el aire incluido para alcanzar una compacidad máxima, los factores que influyen son: cantidad de agua para el amasado, de la granulometría de los áridos y su forma (redondeados o triturados) (Calderón, 2017).

Exudación: Es la lámina de agua que aparece en la superficie del hormigón recién colocado, causado por la sedimentación de las partículas sólidas y en simultaneo la subida del agua hacia la superficie, es normal y no debería disminuir la calidad del hormigón mediante un adecuado colocado, acabado y curado (Lara, 2017).

2.2 Configuración Estructural.

A continuación, se presenta la forma de los edificios en planta que se va a realizar para el diseño y análisis de esta disertación, para lo cual se estipula dos modelos de edificios y se verificará sus comportamientos bajo la acción de cargas sísmicas.

Se tomará en cuenta una distancia entre columnas variadas, para todos los edificios a analizar, las estructuras se diseñarán con los requerimientos necesarios conforme a lo estipulado por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015a).

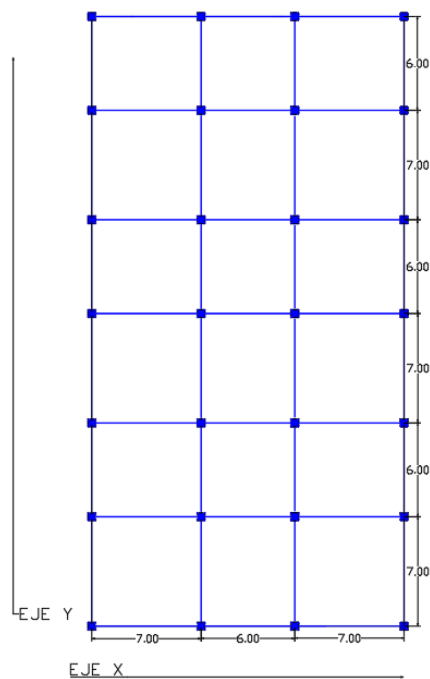


Ilustración 6: Modelo 1 en planta y Distribución de columnas.

Fuente: Elaboración propia.

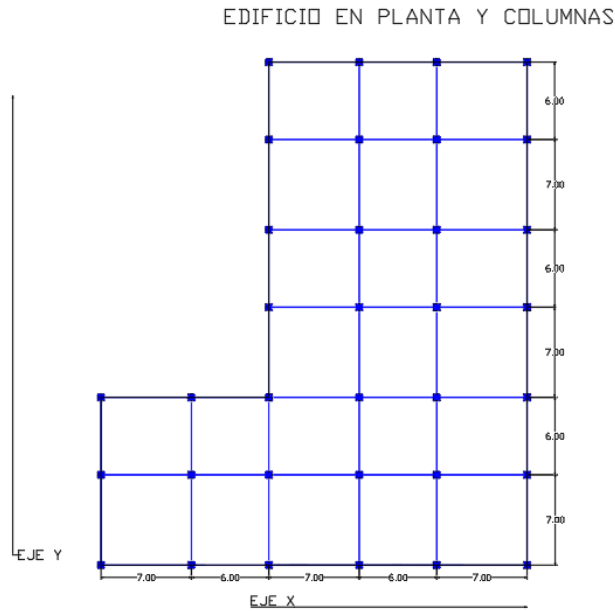


Ilustración 7: Modelo 2 en planta y Distribución de columnas.

Fuente: Elaboración propia.

El primer requerimiento por solventar será que la masa de cada nivel debe considerarse como concentrada en el centro de masas del piso, pero desplazada una distancia igual al 5% de la máxima dimensión del edificio en ese piso, perpendicular a la dirección de aplicación de las fuerzas laterales bajo consideración, con el fin de tomar en cuenta los posibles efectos de torsión accidental, tanto para estructuras regulares como para estructuras irregulares. El efecto de este desplazamiento debe incluirse en la distribución del cortante de piso y en los momentos torsionales (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015b).

La distribución de los edificios a analizar en la vista lateral (elevación), será la misma para todos los edificios (6, 8 y 10), cada uno con una altura de entre piso igual a 3.24 m de manera uniforme en todos los pisos como se muestra en el siguiente gráfico.

EDIFICIO EN ELEVACIÓN

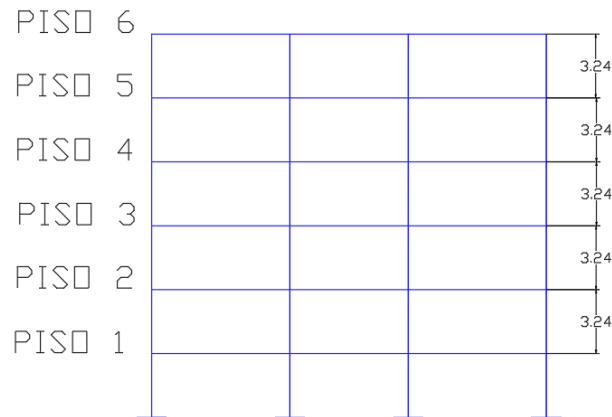


Ilustración 8: Modelo 1 en elevación.

Fuente: Elaboración propia.

EDIFICIO EN ELEVACIÓN

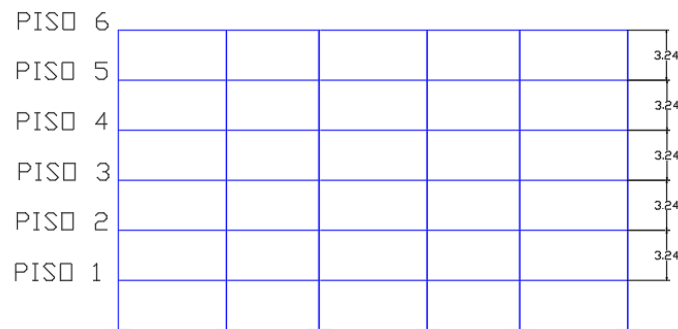


Ilustración 9: Modelo 2 en elevación.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez definida la forma de los edificios tanto en planta como en elevación se procederá a la definición de los elementos estructurales que conforman el edificio (losa, vigas y columnas), dichos elementos como se mencionó anteriormente se los realizará en hormigón armado, al considerar la misma separación entre columnas para el modelo 1 y 2, los valores obtenidos del prediseño se usarán para los dos modelos expuestos anteriormente.

El sistema estructural por utilizar para soportar las solicitaciones que el edificio presenta por su arquitectura y la incidencia sísmica que se tendrá debido a la ubicación de

los edificios (Quito), son pórticos especiales a momento, la disposición de las columnas será colocada de manera estratégica orientando su lado mayor hacia el lado de menor rigidez, para equilibrar los esfuerzos y que los edificios obtengan un mejor comportamiento estructural.

2.3 Diseño De Losas.

A continuación, se procederá al diseño de losas como lo define la American Concrete Institute 318 (2019), en su capítulo número 8 “Losas en dos direcciones”.

2.3.1 Predimensionamiento.

Para el pre-dimensionamiento de las losas se tomará en cuenta los límites de diseño que presenta la American Concrete Institute 318 (2019) la cual indica tanto los valores mínimos que debe tener una losa en altura (Anexo 1).

Límites de diseño.

La American Concrete Institute 318 (2019), presenta para la determinación del espesor mínimo de la losa 2 formas de desarrollarlo.

- Espesor mínimo de losas no preesforzadas en dos direcciones sin vigas interiores.

fy (Mpa)	SIN ÁBACOS			CON ÁBACOS		PANELES INTERIORES
	PANELES EXTERIORES		PANELES INTERIORES	PANELES EXTERIORES		
	SIN VIGAS DE BORDE	CON VIGAS DE BORDE		SIN VIGAS DE BORDE	CON VIGAS DE BORDE	
280	$\frac{ln}{33}$	$\frac{ln}{36}$	$\frac{ln}{36}$	$\frac{ln}{36}$	$\frac{ln}{40}$	$\frac{ln}{40}$
420	$\frac{ln}{30}$	$\frac{ln}{33}$	$\frac{ln}{33}$	$\frac{ln}{33}$	$\frac{ln}{36}$	$\frac{ln}{36}$
520	$\frac{ln}{28}$	$\frac{ln}{31}$	$\frac{ln}{31}$	$\frac{ln}{31}$	$\frac{ln}{34}$	$\frac{ln}{34}$

Tabla 3 *Espesor mínimo de losas no pre esforzadas en dos direcciones sin vigas interiores.*

Fuente: American Concrete Institute 318 (2019).

Donde:

ln = Distancia libre en la dirección larga de la losa, medido de cara a cara de las vigas en losas soportadas por vigas.

- Espesor mínimo de losas de dos direcciones con vigas entre los apoyos en todos los lados.

α_{fm}	ESPESOR MÍNIMO, h, mm	
$\alpha_{fm} \leq 0.2$	Se aplica tabla descrita anteriormente.	
$0.2 < \alpha_{fm} \leq 2$	MAYOR DE:	$h = \frac{\ln(0.8 + \frac{fy}{1400})}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0.2)}$
		125
$\alpha_{fm} > 2.0$	MAYOR DE:	$h = \frac{\ln(0.8 + \frac{fy}{1400})}{36 + 9\beta}$
		90

Tabla 4: Espesor mínimo de losas de dos direcciones con vigas entre los apoyos en todos los lados.

Fuente: American Concrete Institute 318 (2019).

Donde:

h = Peralte de la losa.

l_n = Distancia libre en la dirección larga de la losa, medido de cara a cara de las vigas en losas soportadas por vigas

fy = Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo (Mpa).

β = Relación de forma de la losa.

α_{fm} = Promedio de los valores de α_f , para las cuatro vigas en los bordes de la losa.

Losa alivianada

Una vez determinada la altura de la losa maciza, se deberá trasladarla a una losa nervada, debido a que esta losa es la que se empleará en el diseño final, para ella se determina una altura de losa alivianada y se verifica con la inercia equivalente de la losa maciza para determinar si es satisfactoria o no, para ello:

- Los nervios deberán tener al menos 10 cm de ancho.
- La distancia libre entre nervios no será mayor que 75 cm.

- No se recomienda emplear refuerzo a compresión en los nervios, debido a su poco peralte, la efectividad de ellos es baja.

2.4 Diseño De Vigas.

A continuación, se presentará las disposiciones que se debe contemplar en el diseño de las vigas tanto a flexión como a cortante, que conforman los pórticos especiales resistentes a momento, se diseñará de acuerdo a lo que establece la American Concrete Institute 318 (2019) en su capítulo número 18.6 “Vigas de pórticos especiales resistentes a momento”.

2.4.1 Predimensionamiento.

El predimensionamiento se lo realizará tomando en cuenta los valores mínimos y máximos que deben tener las vigas en dimensiones para transferir de manera eficiente las fuerzas al nudo viga-columna y a su vez con las disposiciones descritas por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015a) (Anexo 2).

- El peralte de la viga esta definida en función a la luz libre que se tiene en la estructura y debe ser mayor que (Blanco, 1996).

$$h_{min} = \frac{ln}{10} \quad \text{ó} \quad h_{min} = \frac{ln}{12}$$

- El ancho mínimo de la viga debe ser mayor o igual a 25 cm (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015b).
- El ancho mínimo de la viga debe ser $bw > 0.3h$ (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015b).

2.5 Diseño De Columnas.

A continuación, se presentará las disposiciones que se debe contemplar en el diseño de columnas tanto a flexión, cortante y fuerzas axiales, se diseñará de acuerdo a lo que establece la American Concrete Institute 318 (2019) en su capítulo número 18.7 “Columnas de pórticos especiales resistentes a momento”.

Para un primer análisis de la estructura no vamos a tomar en cuenta las fórmulas de pre-dimensionamiento propuesto tanto por la u otros autores, que principalmente toman en cuenta la carga axial que soporta la columna para su pre-dimensionamiento, no obstante, se sabe que son los desplazamientos máximos admisibles y las derivas de piso tolerables, los parámetros que determinarán finalmente las secciones que deberán emplearse. (Guerra & Chacón, 2010).

2.5.1 *Predimensionamiento.*

El pre-dimensionamiento se lo realizara de acuerdo con los lineamientos que establece la American Concrete Institute 318 (2019) detallados a continuación.

- La dimensión menor de la seccion transversal debe ser al menos 30 cm. (American Concrete Institute 318, 2019).
- La relación entre la dimensión menor de la sección transversal y la dimensión perpendicular debe ser al menos 0.4.

Para la realización del prediseño de columnas, ademas de los lineamientos expuestos anteriormente se tomara en cuenta la filosofía del diseño sismorresistente, mediante la conexión viga-columna.

Esto se puede aplicar debido a que ya se obtuvieron los valores de las vigas en el prediseño realizado anteriormente.

Para la determinación de las dimensiones de la columna en la estructura a analizar se deberá garantizar que en la conexión viga-columna exista la formación de rotulas plásticas.

Las rotulas plásticas deben formarse en los extremos de las vigas, en la base de columnas del primer piso y en la base de muros estructurales (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016).

Para poder garantizar la formación de las rotulas plásticas en la unión viga-columna, se sabe que la dimensión de la viga debe ser menor que la columna en su eje transversal, porque la falla en columnas es más crítica que la falla en vigas y de aquí nace el principio de diseñar las columnas más fuertes que las vigas.

Las dimensiones de la viga se puede adoptar como un 75% de la dimensión de la columna, para así cumplir con el criterio de viga débil – columna fuerte (American Concrete Institute 318, 2019) (Anexo 3).

$$h_{col} = \frac{h_{viga}}{0.75}$$

Se tomará en cuenta este tipo de prediseño debido a que en el primer análisis solo se tomará en cuenta deformaciones por flexión y por lo tanto al momento de calcular las deformaciones tanto la inercia como el módulo de elasticidad se simplifican, así que es irrelevante la forma que tengan las columnas, posteriormente se ajustará el diseño tanto de vigas como de columnas.

3. APLICACIÓN DE AISLADORES A EDIFICIOS.

En el Ecuador no existe una normativa vigente con respecto al análisis de edificios con sistemas aislados, es por eso que para esta disertación se aplicará la normativa americana ASCE 7-10 (American Society of Civil Engineers, 2010) y la ASCE 7-16 (American Society of Civil Engineers, 2016).

En la normativa a utilizar se encuentra información tanto para la etapa de diseño como para la etapa de análisis de edificaciones con aisladores sísmicos, detallando de manera minuciosa y con estándares rigurosos de cumplimiento, para garantizar que los sistemas de aislamiento funcionen de la mejor manera en las edificaciones.

3.1 American Society Of Civil Engineers (2010).

Los requisitos de diseño sísmico para estructuras sísmicamente aisladas se encuentran en el capítulo 17 de la normativa ASCE 7-10 (American Society of Civil Engineers, 2010). Contiene los siguientes subcapítulos:

- Introducción.
- Requisitos generales de diseño.
- Movimiento del terreno para sistemas aislados.
- Selección del procedimiento de análisis.
- Procedimiento de fuerza lateral equivalente.
- Procedimiento de análisis dinámico.

En esta disertación se dará a conocer aquellos capítulos importantes y que se van a utilizar para el análisis de los edificios con aisladores sísmicos elastoméricos y su posterior validación de resultados.

3.1.1 Requisitos Generales De Diseño.

La normativa detalla que se deberá diseñar y construir toda estructura sísmicamente aislada de acuerdo con las disposiciones y requisitos del capítulo 17 de ASCE 7-10 (American Society of Civil Engineers, 2010).

Factor de importancia.

Para una estructura con aislamiento sísmico el factor de importancia tendrá un valor de 1. Sin importar la categoría de riesgo sísmico que se asigne.

4.1.1.1 Sistema de aislamiento.

Condiciones ambientales.

El sistema de aislamiento deberá prever los efectos de envejecimiento, fluencia, fatiga, temperatura y exposición a la humedad.

Resistencia al fuego.

Los requerimientos de resistencia al fuego para el sistema de aislamiento deben cumplir con los requisitos para columnas, muros descritos en sus normas correspondientes.

Fuerza de recuperación lateral.

La configuración del sistema de aislamiento deberá producir una fuerza de restitución tal que la fuerza lateral en el desplazamiento total de diseño sea 0.025 el peso sísmico de la estructura (w) mayor que la fuerza lateral al 50% del desplazamiento total de diseño.

3.1.2 Movimiento De Tierra Para Sistemas Aislados.

4.1.2.1 Espectro de diseño

- Se permite utilizar los procedimientos para el análisis de respuesta específicos del sitio establecidos en el capítulo 21 del ASCE 7-10, para cualquier estructura.
- Para estructuras en tipos de suelo F, el análisis de respuesta del sitio se debe realizar de acuerdo con sección 21.1 de ASCE 7-10.
- Para estructuras sísmicamente aisladas en sitios con $S_1 \geq 0.6$ se deberá realizar un análisis de peligro del suelo de acuerdo con sección 21.2 de ASCE 7-10.
- Las estructuras que utilicen procedimientos de movimiento del suelo específicos del sitio deben analizarse utilizando el espectro de diseño para el sismo de diseño de acuerdo con sección 11.4.5 de ASCE 7-10.
- Se construirá un espectro para el movimiento del suelo con el sismo máximo posible y no se tomará como menos de 1.5 veces el espectro de diseño.

4.1.2.2 Historial de respuesta del suelo.

- Para la utilización del historial de respuesta, los movimientos del suelo consisten en pares de componentes de aceleración del movimiento horizontal del suelo. De

acuerdo con la sección 16.1.3.2 de ASCE 7-10, y remplazamos los valores de 0.2 T y 1.5 T por $0.5 T_D$ y $1.25 T_M$ respectivamente.

3.1.3 Selección Del Procedimiento De Análisis.

Para estructuras sísmicamente aisladas se puede seleccionar los siguientes procedimientos de análisis, los cuales son:

- Procedimiento de la fuerza lateral equivalente.
- Procedimientos dinámicos.

4.1.3.1 Procedimiento de la fuerza lateral equivalente.

Se puede aplicar este método de análisis sísmico, siempre y cuando cumpla las siguientes condiciones:

1. La estructura se encuentra ubicada en un sitio con S_1 menor que $0.60 g$.
2. La ubicación de la estructura está en un tipo de suelo A, B, C o D.
3. La estructura por encima de la interfaz de aislamiento es menor o igual a 4 pisos (19.8 m aprox.) de altura h_n .
4. El período efectivo de la estructura aislada en el desplazamiento máximo T_M , debe ser menor o igual a 3.0 s.
5. El período efectivo de la estructura aislada en el desplazamiento de diseño, T_D , es mayor que 3 veces el periodo elástico de la estructura con base fija.
6. La estructura sobre el sistema de aislamiento es de configuración regular.
7. El sistema de aislamiento cumple con los siguientes requerimientos:
 - La rigidez efectiva del sistema de aislamiento en el desplazamiento de diseño debe ser mayor a 1/3 de la rigidez efectiva al 20% del desplazamiento de diseño.
 - El sistema de aislamiento es capaz de producir una fuerza de restauración.
 - El sistema de aislamiento no limita el desplazamiento máximo esperado, a diferencia del desplazamiento máximo total que si está limitado.

4.1.3.2 Procedimiento espectro de respuesta.

Se utilizará el procedimiento de espectro de respuesta, siempre y cuando la estructura sísmicamente aislada cumpla con los siguientes requerimientos:

1. La estructura está ubicada en un tipo de suelo A, B, C o D.
2. El sistema de aislamiento cumple con los requerimientos del ítem 7 del procedimiento de fuerza lateral equivalente.

4.1.3.3 Procedimiento de historial de respuesta sísmica.

1. El procedimiento del historial de respuesta sísmica es aplicable para el diseño de cualquier estructura que no cumpla con los requerimientos del procedimiento de espectro de respuesta.

3.1.4 Fuerza Lateral Equivalente.

Cuando la estructura sísmicamente aislada cumple con los requisitos para ser diseñada mediante la fuerza lateral equivalente, se deberá aplicar los siguientes requisitos:

3.1.5 Características del Procedimiento De Análisis Dinámico.

4.1.5.1 Sistema de aislamiento.

La modelación del sistema de aislamiento se deberá realizar de tal manera que se tenga en cuenta los siguientes aspectos:

- La distribución espacial de las unidades aisladoras.
- Calcular la traslación en las dos direcciones y la torsión de la estructura sobre el aislamiento, tomando en cuenta la ubicación menos favorable de la masa excéntrica.
- Evaluar las fuerzas de volteo en las unidades aisladoras.
- Tener en cuenta los efectos de la carga vertical.

El desplazamiento total y el desplazamiento máximo total para el sistema de aislamiento se deberá calcular usando un modelo de la estructura aislada que incorpore las características de fuerza-deformación de los elementos del sistema de aislamiento y el sistema resistente a fuerzas sísmicas.

Para un modelo elástico lineal de la estructura aislada se deberá cumplir con las siguientes consideraciones:

- Las propiedades de rigidez asumidas para los componentes no lineales del sistema de aislamiento se basan en la rigidez efectiva máxima del sistema de aislamiento.
- Todos los elementos del sistema resistente a fuerzas sísmicas de la estructura sobre el sistema de aislamiento deberán permanecer en el rango elástico para el sismo de diseño.

La estructura sobre el sistema de aislamiento puede tener 2 tipos de configuraciones, regulares e irregulares para las cuales se tiene diferentes consideraciones.

Para los sistemas estructurales irregulares la fuerza lateral de diseño no deberá ser menor al 100 por ciento de V_s .

Para los sistemas estructurales regulares la fuerza lateral de diseño no deberá ser menor al 80 por ciento de V_s .

4.1.5.2 Procedimiento de espectro de respuesta.

El procedimiento para el espectro de respuesta indica que se deberá utilizar un valor de amortiguamiento modal en la dirección de interés, se utilizará el menor valor entre el amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento y un porcentaje del 30% del crítico.

Para el cálculo tanto del desplazamiento de diseño total como el desplazamiento máximo total, se deberá incluir al espectro de respuesta una excitación simultánea del modelo por el 100% del movimiento del suelo en la dirección crítica y el 30% del movimiento del suelo en la dirección horizontal perpendicular, además se obtendrá el desplazamiento máximo del sistema de aislamiento mediante la suma vectorial de los dos desplazamientos ortogonales.

El cortante de diseño en cualquier piso no debe ser menor al cortante de piso resultante de la aplicación de las fuerzas de piso calculadas anteriormente mediante la siguiente ecuación:

$$F_x = \frac{V_s * w_x * h_x}{\sum_{i=1}^n w_i * h_i}$$

Donde:

F_x = Parte de V_s que se asigna a cada nivel x .

V_s = fuerza de diseño cortante en elementos sobre el sistema de aislamiento.

w_x = Parte de w , asignado a cada nivel x .

h_x = altura sobre la base de nivel x .

Así también el valor de V_s debe ser igual al cortante de base obtenido del análisis del espectro de respuesta en la dirección de interés.

4.1.5.3 Procedimiento de historial de respuestas.

Para un correcto análisis sísmico mediante el uso del historial de respuestas, se necesitará no menos de 3 pares de movimientos terrestres apropiados y debidamente escalados.

Cada par de componentes de movimientos del suelo se aplicará simultáneamente al modelo considerando la ubicación más desfavorable de la masa excéntrica, así también el desplazamiento máximo del sistema de aislamiento se calculará mediante la suma vectorial de los dos desplazamientos ortogonales en cada paso de tiempo.

Si se obtiene 7 o más pares de movimientos del terreno los parámetros de interés se permiten calcular mediante el valor promedio para el diseño obtenido de todos los pares de movimientos. Si se obtiene menos de 7 pares de movimientos se deberá tomar el máximo valor para el diseño del parámetro de interés.

3.1.6 Límites de deriva.

La deriva máxima de piso correspondiente tanto a la fuerza lateral de diseño como al desplazamiento debido a la deformación vertical del sistema de aislamiento no debe exceder los siguientes límites:

- La deriva máxima de piso de la estructura sobre el sistema de aislamiento calculada con el espectro de respuesta no debe exceder a $0.015h_{sx}$.
- La deriva máxima de piso de la estructura sobre el sistema de aislamiento calculada con el historial de respuesta no debe exceder a $0.020h_{sx}$.

Para el cálculo de la deriva de piso se lo realiza mediante la siguiente ecuación, con el valor de C_d de la estructura aislada reemplazada por el valor de R_I .

$$\delta_x = \frac{R_I * \delta_{xe}}{I_e}$$

Donde:

R_I = Coeficiente numérico relacionado con el tipo de sistema resistente a la fuerza sísmica sobre el sistema de aislamiento.

δ_{xe} = la deflexión en la ubicación requerida por esta sección determinada por un análisis elástico.

I_e = Factor de importancia.

3.2 American Society of Civil Engineers (2016).

Se presentará los requisitos de diseño sísmico para estructuras sísmicamente aisladas, estas se encuentran en el capítulo 17 de la normativa ASCE 7-16 (American Society of Civil Engineers, 2016). Contiene los siguientes subcapítulos que son:

- Introducción.
- Requisitos generales de diseño.
- Criterios de movimiento sísmico del suelo.
- Selección del procedimiento de análisis.
- Procedimiento de fuerza lateral equivalente.
- Procedimiento de análisis dinámico.

A continuación de la presentación de la norma ASCE 7-10 (American Society of Civil Engineers, 2010) realizada en el anterior literal, se incorpora el análisis y detallado de la norma ASCE 7-16 (American Society of Civil Engineers, 2016) en este literal, para su posterior análisis y comparación entre las dos normativas utilizadas y también la elaboración de conclusiones de acuerdo al comportamiento estructural de los edificios al aplicar ambas normas mediante la verificación de: desplazamientos y derivas de piso respectivas en cada una de las estructuras propuestas.

3.2.1 Requisitos Generales De Diseño.

Para un correcto diseño y análisis de una estructura sísmicamente aislada se deberá cumplir con las disposiciones y requisitos del capítulo 17 de ASCE 7-16 (American Society of Civil Engineers, 2016).

Factor de importancia.

Para una estructura sísmicamente aislada el factor de importancia tendrá un valor de 1 independientemente la categoría de riesgo sísmico asignada.

Configuración estructural.

La configuración estructural sobre el sistema de aislamiento será quien defina la irregularidad tanto horizontal como vertical de la estructura aislada.

Redundancia.

Se asignará un factor de redundancia (ρ) a la estructura sísmicamente aislada, de acuerdo con su configuración estructural. Se permite que $\rho = 1$ para estructuras que no tengan irregularidad estructural

4.2.1.1 Sistema de aislamiento

Condiciones ambientales.

El sistema de aislamiento deberá contemplar los efectos de: envejecimiento, fluencia, fatiga, temperatura de funcionamiento y exposición a la humedad o a sustancias dañinas.

Resistencia al fuego.

Los requerimientos de resistencia al fuego para el sistema de aislamiento deben cumplir con los requisitos para columnas y muros que se encuentren en el mismo lugar en la estructura.

Fuerza de recuperación lateral.

La configuración del sistema de aislamiento deberá producir una fuerza de restitución tal que la fuerza lateral en el desplazamiento máximo sea $0.025 w$ (peso sísmico efectivo) mayor que la fuerza lateral al 50% del desplazamiento máximo.

3.2.2 Criterios De Movimiento Sísmico Para Sistemas Aislados.

4.2.2.1 Peligro sísmico específico del sitio.

Se permite el uso de los requisitos de espectro de respuesta para movimientos de tierra de terremotos máximos considerados de riesgo (MCER), definidos en las secciones 11.4.5 y 11.4.6 de la norma ASCE 7-16 (American Society of Civil Engineers, 2016) para determinar el espectro de respuesta MCER para el sitio de interés.

Para estructuras aisladas situados en sitios de clase tipo F, el análisis de respuesta del sitio se deberá realizar con la sección 21.1 de la norma ASCE 7-16 (American Society of Civil Engineers, 2016)

4.2.2.2 Espectro de respuesta para movimientos de tierra de terremotos máximos considerados de riesgo (MCER) y parámetros de aceleración de respuesta espectral S_{MS} , S_{M1} .

El espectro de respuesta MCER será el espectro de respuesta MCER de las secciones 11.4.6 y 11.4.7 de la norma ASCE 7-16 (American Society of Civil Engineers, 2016).

Los parámetros S_{MS} y S_{M1} de la aceleración espectral de a respuesta MCER se determina de acuerdo con las secciones 11.4.4 y 11.4.8 de la norma ASCE 7-16 (American Society of Civil Engineers, 2016).

4.2.2.3 Historial de respuesta para movimientos de tierra de terremotos máximos considerados de riesgo (MCER).

- Para la utilización del historial de respuesta, los movimientos del suelo MCER consisten en no menos de 7 pares de componentes de aceleración horizontal del suelo seleccionados y escalados a partir de eventos individuales, que incluyan: magnitud y distancias de falla.

3.2.3 Selección Del Procedimiento De Análisis.

Para estructuras sísmicamente aisladas se puede seleccionar los siguientes procedimientos de análisis, los cuales son:

- Procedimiento de la fuerza lateral equivalente.
- Procedimientos dinámicos.

4.2.3.1 Procedimiento de la fuerza lateral equivalente.

La aplicación del método de fuerza lateral equivalente está permitida para el diseño de estructuras sísmicamente aisladas, siempre y cuando cumpla las siguientes condiciones:

1. La estructura se ubica en un sitio tipo A, B, C o D.
2. El período efectivo de la estructura aislada en el desplazamiento máximo D_M , debe ser menor o igual a 5.0 s.
3. El período efectivo de la estructura aislada T_M , es mayor que 3 veces el periodo elástico de la estructura con base fija.

4. La estructura sobre el sistema de aislamiento es menor o igual a 4 pisos (19.8 m aprox.) de altura h_n .
5. El amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento en el desplazamiento máximo B_M , es menor o igual al 30%.
6. La estructura sobre el sistema de aislamiento es de configuración regular.
7. El sistema de aislamiento cumple con los siguientes requerimientos:
 - La rigidez efectiva del sistema de aislamiento en el desplazamiento máximo debe ser mayor a 1/3 de la rigidez efectiva al 20% del desplazamiento máximo.
 - El sistema de aislamiento es capaz de producir una fuerza de restauración.
 - El sistema de aislamiento no limita el desplazamiento máximo esperado, a diferencia del desplazamiento máximo total D_{TM} que si está limitado.

4.2.3.2 Procedimientos dinámicos.

4.2.3.3 Procedimiento espectro de respuesta.

Se utilizará el procedimiento de espectro de respuesta, siempre y cuando la estructura, el sistema de aislamiento y el sitio cumplan con los siguientes requerimientos:

1. La estructura está ubicada en un tipo de suelo A, B, C o D.
2. El período efectivo de la estructura aislada en el desplazamiento máximo D_M , debe ser menor o igual a 5.0 s.
3. La estructura sobre el sistema de aislamiento es menor o igual a 4 pisos (19.8 m aprox.) de altura h_n .
4. El amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento en el desplazamiento máximo B_M , es menor o igual al 30%.
5. La estructura sobre el sistema de aislamiento es de configuración regular.

4.2.3.4 Procedimiento del historial de respuesta sísmica.

1. El procedimiento del historial de respuesta sísmica es aplicable para el diseño de cualquier estructura y además para aquellas estructuras que no cumplan con los requerimientos del procedimiento de espectro de respuesta.

3.2.4 Fuerza Lateral Equivalente.

Cuando la estructura sísmicamente aislada cumple con los requisitos para ser diseñada mediante el procedimiento de fuerza lateral equivalente, se deberá aplicar los siguientes requisitos:

4.2.4.1 Características de deformación del sistema de aislamiento.

Los desplazamientos laterales mínimos de diseño sísmico se basan en las características de deformación del sistema de aislamiento. Las características de deformación del aislamiento deben incluir explícitamente los efectos del sistema de restricción de viento para cumplir con los requisitos de diseño.

4.2.4.2 Límites de deriva.

La deriva máxima de piso de la estructura sobre el aislamiento no debe exceder $0.015h_{sx}$. Y se calculará de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$\delta_x = \frac{R_I * \delta_{xe}}{I_e}$$

Donde:

R_I = Coeficiente numérico relacionado con el tipo de sistema resistente a la fuerza sísmica sobre el sistema de aislamiento.

δ_{xe} = la deflexión en la ubicación requerida por esta sección determinada por un análisis elástico.

I_e = Factor de importancia.

3.2.5 Procedimiento De Análisis Dinámico.

4.2.5.1 Sistema de aislamiento.

La modelación del sistema de aislamiento deberá incluir las características de deformación desarrolladas de acuerdo con la sección 17.2.8 de la norma ASCE 7-16 (American Society of Civil Engineers, 2016), se deberá calcular los desplazamientos laterales y las fuerzas por separado para las propiedades del sistema de aislamiento de límite superior e inferior.

Se deberá tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La distribución espacial de las unidades aisladoras.
- Calcular la traslación en las dos direcciones y la torsión de la estructura sobre el aislamiento, tomando en cuenta la ubicación menos favorable de la masa excéntrica.
- Evaluar las fuerzas de volteo en las unidades aisladoras.
- Tener en cuenta los efectos de la carga vertical, carga bilateral y la tasa de carga si las propiedades de fuerza-deflexión del sistema de aislamiento dependen de uno o más de estos atributos.

El desplazamiento máximo total, D_{TM} para el sistema de aislamiento se deberá calcular usando un modelo de la estructura aislada que incorpore las características de fuerza-deformación de los elementos del sistema de aislamiento y el sistema resistente a fuerzas sísmicas.

4.2.5.2 Procedimiento de espectro de respuesta.

El procedimiento para el espectro de respuesta indica que se deberá utilizar un valor de amortiguamiento modal para el modo fundamental en la dirección de interés, se utilizará el menor valor entre el amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento y un porcentaje del 30% del crítico.

Para el cálculo del desplazamiento máximo total, se deberá incluir al espectro de respuesta una excitación simultánea del modelo por el 100% del movimiento del suelo en la dirección crítica y el 30% del movimiento del suelo en la dirección horizontal perpendicular, además se obtendrá el desplazamiento máximo del sistema de aislamiento mediante la suma vectorial de los dos desplazamientos ortogonales.

4.2.5.3 Procedimiento de historial de respuestas.

Para un correcto análisis sísmico mediante el uso del historial de respuestas, se necesitará de pares de movimientos sísmicos apropiados y debidamente escalados como lo indica el literal **4.1.3.2**.

Cada par de componentes de movimientos del suelo se aplicará simultáneamente al modelo considerando la ubicación más desfavorable de la masa excéntrica, así también el

desplazamiento máximo del sistema de aislamiento se calculará mediante la suma vectorial de los dos desplazamientos ortogonales en cada paso de tiempo.

Los parámetros de interés se calcularán para cada movimiento del terreno utilizado para el análisis del historial de respuesta y el valor promedio del parámetro de respuesta de interés se utilizará para el diseño.

3.2.6 Límites de deriva.

La deriva máxima de piso correspondiente tanto a la fuerza lateral de diseño como al desplazamiento debido a la deformación vertical del sistema de aislamiento no debe exceder los siguientes límites:

- La deriva máxima de piso de la estructura sobre el sistema de aislamiento calculada con el espectro de respuesta no debe exceder a $0.015h_{sx}$.
- La deriva máxima de piso de la estructura sobre el sistema de aislamiento calculada con el historial de respuesta no debe exceder a $0.020h_{sx}$.

Para el cálculo de la deriva de piso se lo realiza mediante la siguiente ecuación, con el valor de C_d de la estructura aislada reemplazada por el valor de R_I .

$$\delta_x = \frac{R_I * \delta_{xe}}{I_e}$$

Donde:

R_I = Coeficiente numérico relacionado con el tipo de sistema resistente a la fuerza sísmica sobre el sistema de aislamiento.

δ_{xe} = la deflexión en la ubicación requerida por esta sección determinada por un análisis elástico.

I_e = Factor de importancia.

3.3 Comparativa

PRINCIPALES CAMBIOS Y ACTUALIZACIONES DE LAS NORMATIVAS DESCRITAS ANTERIORMENTE EN CAPITULO 4.1 Y 4.2 DE ESTA DISERTACIÓN.			
ASCE 7-10 (American Society of Civil Engineers, 2010)		ASCE 7-16 (American Society of Civil Engineers, 2016)	
SUBCAPÍTULOS	CAMBIOS	SUBCAPÍTULOS	ACTUALIZACIÓN
Introducción	<ul style="list-style-type: none"> • Presenta un glosario de términos de manera muy rápida, es decir, no se llega a profundizar en el concepto de palabras que posteriormente se integran en la norma y no se ha tomado en cuenta su concepto en este capítulo. 	Introducción	<ul style="list-style-type: none"> • Presenta un glosario de términos mucho más completa, es decir, se llega a profundizar conceptos de palabras necesarias para la correcta comprensión de esta al momento de aplicarla.
Requisitos generales de diseño	<p>Los términos a tener en cuenta en esta sección son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Factor de importancia. • MCER (Máximo sismo considerado). • En el sistema de aislamiento para la restricción de desplazamiento no se vuelve efectiva a un desplazamiento menor a 0,75 veces el desplazamiento total de diseño. • La carga vertical de diseño máxima se calculará mediante la combinación de carga 5 de la sección 2.3.2 de la norma ASCE 7-10. $5. 1.2D + 1.0E + L + 0.2S$ • A su vez la carga vertical de diseño mínima se calculará mediante la combinación de carga 7 de la sección 12.4.2.3 de la norma ASCE 7-10. $7. 0.9 - 0.2S_{DS}D + \rho Q$ 	Requisitos generales de diseño	<p>Incorpora términos en su primera parte como son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Configuración estructural. • Redundancia. • En el sistema de aislamiento para la restricción del desplazamiento, no se vuelve efectiva a un desplazamiento menor a 0,6 veces el desplazamiento máximo total. • La carga vertical de diseño máxima se calculará mediante la combinación de carga 2 de la sección 17.2.7.1 de la norma ASCE 7-16. $6. 1.2D + E_v + E_h + L + 0.2S$ • A su vez la carga vertical de diseño mínima se calculará mediante la combinación de carga 3 de la sección 17.2.7.1 de la norma ASCE 7-16. $7. 0.9D - E_v + E_h$

<p>Movimiento de tierra para sistemas aislados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se permite utilizar los procedimientos para el análisis de respuesta específicos del sitio establecidos en el capítulo 21 del ASCE 7-10, para cualquier estructura. • Las estructuras que utilicen procedimientos de movimiento del suelo específicos del sitio deben analizarse utilizando el espectro de diseño para el sismo de diseño de acuerdo con sección 11.4.5 de ASCE 7-10. • Se construirá un espectro para el movimiento del suelo con el sismo máximo posible y no se tomará como menos de 1.5 veces el espectro de diseño. 	<p>Criterios de movimiento sísmico para sistemas aislados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • • Para el análisis del peligro sísmico específico del sitio se permite el uso de los requisitos de espectro de respuesta para movimientos de tierra de terremotos máximos considerados de riesgo (MCER), definidos en las secciones 11.4.5 y 11.4.6 de la norma ASCE 7-16. El espectro de respuesta MCER será el espectro de respuesta MCER de las secciones 11.4.6 y 11.4.7 de la norma ASCE 7-16.
--	--	---	--

<p>Selección del procedimiento de análisis</p>	<p>Requisitos para el uso de la fuerza lateral equivalente:</p> <ul style="list-style-type: none"> El período efectivo de la estructura aislada en el desplazamiento máximo debe ser menor o igual a 3.0. <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> Desplazamiento de diseño. Desplazamiento total. <p>Requisitos para el uso del espectro de respuesta:</p> <ul style="list-style-type: none"> El sistema de aislamiento cumple con los requerimientos del ítem 7 del procedimiento de fuerza lateral equivalente. <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> Desplazamiento de diseño total. Desplazamiento máximo total. 	<p>Selección del procedimiento de análisis</p>	<p>Requisitos para el uso de la fuerza lateral equivalente:</p> <ul style="list-style-type: none"> El período efectivo de la estructura aislada en el desplazamiento máximo debe ser menor o igual a 5.0 s. La estructura sobre el sistema de aislamiento es menor o igual a 4 pisos (19.8 m aprox.) de altura. El amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento en el desplazamiento máximo es menor o igual al 30%. <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> Desplazamiento máximo. Desplazamiento máximo total. <p>Requisitos para el uso del espectro de respuesta:</p> <ul style="list-style-type: none"> El período efectivo de la estructura aislada en el desplazamiento máximo debe ser menor o igual a 5.0 s. La estructura sobre el sistema de aislamiento es menor o igual a 4 pisos (19.8 m aprox.) de altura, se permite exceder estos límites si no hay tensión o levantamiento en aisladores. La estructura sobre el sistema de aislamiento es de configuración regular. El amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento en el desplazamiento máximo es menor o igual al 30%. <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> Desplazamiento máximo total.
---	---	---	--

Tabla 5: Comparativa de las normas American Society of Civil Engineers (2010) y American Society of Civil Engineers (2016).

Fuente: Elaboración Propia.

3.4 CONCLUSIONES.

Posteriormente a la tabla de cambios y actualizaciones de la normativa a estudiar en esta disertación, se enlista los cambios más importantes en cuanto a lo teórico, dichos cambios se deberán tener en cuenta al momento de revisar su comportamiento en la práctica, es decir, mediante la aplicación de cada una de las normas a los edificios a analizar.

- Presentación de un glosario de términos mucho más completo, facilitando el estudio de la norma, debido a que se puede revisar los conceptos que se van a ir dando conforme avanza el estudio de esta.
- Aparte del factor de importancia y el MCER en la norma ASCE 7-16 se integran otros conceptos como son: Configuración estructural y la redundancia términos muy importantes a la hora de analizar las estructuras.
- La restricción de desplazamiento del sistema de aislamiento se vuelve mucho más exigente debido a que pasa de ser 0.75 veces menor que el desplazamiento total de diseño a ser 0.6 veces menor que el desplazamiento máximo total.
- Para el cálculo de la carga vertical se incorporan nuevos términos en la normativa como son: se descompone la fuerza sísmica tanto horizontal como vertical.
- Para la revisión de criterios sísmicos la norma se vuelve más rigurosa debido a que previamente se permitía el uso del sismo de diseño para el cálculo del espectro de respuesta, en la actualización se elimina el sismo de diseño y se incorpora para el cálculo del espectro de respuesta al sismo máximo considerado.
- Se permitía la utilización de la fuerza lateral equivalente si se cumplía que, el período efectivo de la estructura aislada en el desplazamiento máximo debe ser menor o igual a 3.0 s, actualizando este valor a 5.0 s.
- La utilización del espectro de respuesta como método de análisis sísmico se vuelve mucho más riguroso, incrementando condiciones para su uso, la más importante es que la estructura debe tener una altura menor o igual a 4 pisos.

- Tomando en cuenta todos los cambios presentados en la tabla 8 y analizados en este capítulo, se concluye que los resultados a obtener serán mucho más rigurosos debido al reemplazo del sismo de diseño por el sismo máximo considerado afectando de manera directamente a la demanda en fuerza sísmica que los edificios deberán soportar para garantizar la seguridad de las personas.

4. INFLUENCIA SÍSMICA

4.1 Generalidades.

En el mapa de peligro sísmico del modelo global de terremotos, se puede observar que el Ecuador se encuentra en una de las zonas con mayor sismicidad del planeta.

Históricamente, la presencia de la zona de subducción más importante del planeta, El Cinturón de fuego del Pacífico, produce los sismos más fuertes registrados en la historia (Servicio Geológico de EE. UU., 2012).

Debido a todo esto en el país obligatoriamente se deberá incluir el efecto de las cargas sísmica para el diseño de cualquier estructura, de acuerdo con lo que especifica la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015b).

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015b) nos detalla todos los requerimientos y metodologías a aplicar para realizar un diseño sismorresistente de edificios, la cual servirá como guía para la elaboración de esta disertación.

Se presenta un glosario de términos esenciales para la aplicación del diseño sismorresistente con sus conceptos respectivos que deberán ser revisados previamente al estudio de este tema.

Término	Definición
Altura de piso	Distancia vertical medida entre el terminado de la losa de piso o de nivel de terreno y el terminado de la losa del nivel inmediatamente superior.
Coefficiente de importancia	Coefficiente relativo a las consecuencias de un daño estructural y al tipo de ocupación.
Cortante basal de diseño	Es la fuerza total de diseño por cargas laterales, aplicada en la base de la estructura, resultado de la acción del sismo de diseño.

Cortante de piso	Sumatoria de las fuerzas laterales de todos los pisos superiores al nivel considerado.
Deriva de piso	Es el desplazamiento lateral relativo de un piso en particular por la acción de una fuerza horizontal con respecto al piso consecutivo, medido en dos puntos ubicado en la misma línea vertical de la estructura.
Efectos secundarios $P - \Delta$	Son los efectos de segundo orden en los desplazamientos horizontales y fuerza internas de la estructura, causados por la acción de las cargas verticales de la edificación al verse desplazadas horizontalmente.
Espectro de respuesta para diseño	También conocido como espectro de diseño y está basado en las condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y del tipo de suelo donde se ubicará la estructura.
Factor de redundancia	Mide la capacidad de la estructura para incursionar en el rango no lineal.
Fuerzas sísmicas de diseño	Son las fuerzas laterales que resultan de la distribución del cortante basal de diseño en toda la estructura.
Sismo de diseño	Se deberá proteger la vida de los ocupantes de una estructura ante un terremoto de 475 años de período de retorno con probabilidad de excedencia igual a 0.002 en las curvas de peligro sísmico.
Sismo extremo	Se impedirá el colapso de la estructura ante un terremoto de 2500 años de período de retorno con una probabilidad de excedencia igual a 0.0004 en las curvas de peligro sísmico.
Período de vibración.	Es el tiempo que transcurre dentro de un movimiento vibratorio para que el sistema vuelva a su posición original considerada luego de un ciclo de oscilación.
PGA	Aceleración sísmica máxima en el terreno.

Factor Z	Representa la aceleración máxima en roca esperada, propia de cada zona para el sismo de diseño expresada en términos de la aceleración de la gravedad.
----------	--

Tabla 6: Glosario de términos Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015b).

FUENTE: Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015 b).

4.2 Mapa de peligro sísmico

El mapa de peligro sísmico del Ecuador representa las diferentes zonas sísmicas que se tienen en el país, para un período de retorno de 475 años (Sismo de diseño) y para un tipo de edificación de uso normal, el Ecuador está dividido en 6 zonas sísmicas dependiendo del grado de exposición sísmica a la que se encuentra sometida.

El territorio ecuatoriano en su mayoría se caracteriza por tener una alta amenaza sísmica definida gráficamente en la figura 1, a diferencia del Nororiente donde la amenaza sísmica es intermedia.

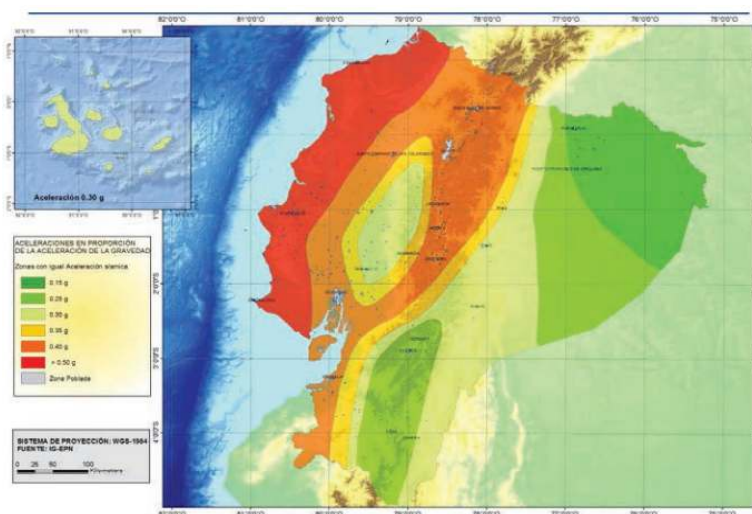


Ilustración 10: Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z.

FUENTE: Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015 b).

4.3 Factor de zona (Z)

El factor de zona (Z) es un valor que esta expresada en función de la aceleración de la gravedad y representa la aceleración máxima en roca para el sismo de diseño (período de retorno de 475 años) (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015c).

A continuación, se presenta los distintos valores que puede llegar a tener (Z) dependiendo la zona en la que se encuentre el proyecto en estudio.

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

Tabla 7: Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015c)

4.4 Niveles de amenaza sísmica

Existen varios niveles de amenaza sísmica a la que las estructuras estarán sometidas durante toda su vida operativa, dependiendo la categoría de uso y la importancia de las estructuras deberán tener distintos niveles de desempeño ante los sismos esperados (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015c).

4.5 Desempeño Sísmico

4.5.1 Estructuras de ocupación especial.

Las diferentes estructuras por construirse se clasificarán de acuerdo a las categorías que se establecen en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015 b) con su respectivo factor de importancia para determinar el nivel de desempeño que deberá tener dicha estructura una vez construida.

El factor de importancia sirve para incrementar la demanda sísmica de diseño en la estructura, ya que debido a su uso deberá mantenerse operativa o sufrir daños menores ante la ocurrencia del sismo de diseño.

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

Tabla 8: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura.

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015c).

Las estructuras clasificadas como ocupación especial y esencial deberán cumplir con requisitos de diseño mucho más exigentes que las estructuras con factor de importancia 1.0, debido a que se deberá buscar extender el nivel de protección no solo a las personas sino también a la estructura, por lo que deberán mantenerse operativas después del sismo de diseño, debido a que serán usados como refugios y asistencia de salud para las personas afectadas ante el sismo.

4.5.2 *Resumen de desempeño sísmico.*

El desempeño sísmico es de mucha importancia debido a que define el comportamiento que una estructura tendrá ante un evento sísmico, producto de la aplicación de cualquiera de los distintos niveles de sismos mencionados anteriormente y dependiendo fundamentalmente del tipo de estructura que se analizará.

Dicho análisis tendrá como objetivo el verificar el correcto desempeño sísmico en el rango inelástico, debiendo obtener los siguientes resultados:

- Estructuras de ocupación especial: **No colapso** ante la incidencia de un terremoto con un período de retorno de 2500 años (muy raro).
- Estructuras esenciales: **Limitación de daño** ante la incidencia de un terremoto con un período de retorno de 475 años (severo) y **No colapso** ante un terremoto con período de retorno de 2500 años (muy raro).

4.6 *Aplicación De Los Efectos Sísmicos A Estructuras.*

4.6.1 *Espectro de respuesta de diseño.*

El método de espectro de respuesta modal para el análisis sísmico es aplicable para todo tipo de estructuras, para la definición del espectro de respuesta elástico de aceleraciones se tomará en cuenta las siguientes consideraciones como son: factor de zona sísmica (z), el tipo de suelo del sitio donde se construirá la edificación y los coeficientes de amplificación del suelo (F_a , F_d , F_s).

En este análisis se determinarán los modos de vibración de la estructura, se tomará en cuenta aquellos modos de vibración que involucren una participación de masa de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales consideradas.

Las fuerzas dinámicas consideradas en este análisis deberán tener un incremento en la demanda sísmica, para lo cual se toma en cuenta los siguientes factores vistos anteriormente.

- Factor de importancia (I).
- Factores de irregularidad en planta y elevación (ϕ_E, ϕ_P).

Para la determinación del espectro de respuesta de diseño se utilizará el siguiente procedimiento descrito en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015b).

Es un espectro elástico para una fracción de amortiguamiento respecto al crítico del 5% utilizado para el diseño de estructuras, el cual representa los efectos dinámicos del sismo de diseño y su procedimiento de cálculo es el siguiente:

El espectro de diseño tiene la siguiente forma (figura 3), está expresada en función de la aceleración (gravedad) y el período en segundos, que es el tiempo que se tarda la estructura en dar una oscilación.

En el gráfico se determina dos distintos rangos, el mismo que se encuentra en función del período. Identificando como el punto de inflexión que se tiene al T_c el cual representa el período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de diseño.

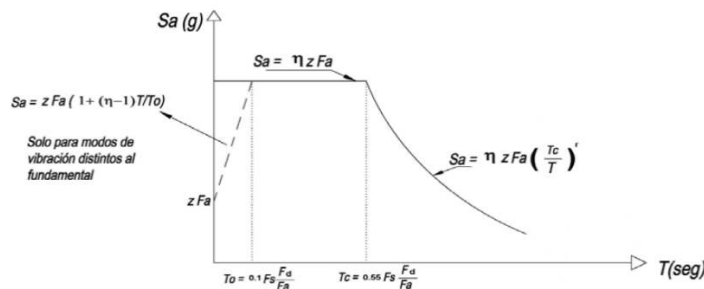


Ilustración 11: Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015c)

Aceleración espectral (S_a).

Para el cálculo del espectro de respuesta elástica de aceleraciones se utiliza dos ecuaciones, la primera ecuación para la parte de la meseta dependen del período de la estructura que va desde $T=0$ hasta un periodo igual a $T=T_c$ y otra ecuación para períodos mayores a $T > T_c$.

Si se requiere evaluar períodos de vibración diferentes al fundamental, el valor de S_a se lo calcula mediante la siguiente ecuación.

Una vez definidas las ecuaciones a utilizar, se detallará a continuación todos los términos para la correcta aplicación y cálculo correspondiente.

Relación de amplificación espectral (S_a/Z , en roca).

La relación de amplificación espectral depende de la región en donde se encuentra la estructura y los valores adoptados para el espectro de diseño son los siguientes:

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

Límites de período de vibración.

El periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico (T_C) ubicado en la figura del espectro de respuesta (figura 3), se lo calcula de la siguiente formula:

$$T_C = 0.55F_s \frac{F_d}{F_a}$$

Donde:

F_a Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.

F_d Coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.

F_s Coeficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos.

Tipos de suelos para el diseño sísmico

Se definen 6 tipos de perfil de suelo como base del estudio de geología local, para determinar los valores correspondientes al cálculo del espectro de diseño, dicha clasificación está basada en la velocidad de onda que son capaces de transmitir los distintos tipos de suelo.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ KPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan	$50 > N \geq 15.0$

	cualquiera de las dos condiciones	$100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)	
	F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)	
	F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
	F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.	

Tabla 9: Clasificación de los perfiles de suelo.

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015c)

Coefficientes de amplificación del suelo (F_a, F_d, F_s).

Los coeficientes de amplificación del suelo se encuentran ordenadas por tablas, están en función del tipo de suelo y la zona sísmica en la que el proyecto está ubicado:

Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto (F_a).

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

Tabla 10: Tipo de suelo y Factores de sitio F_a

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015c).

Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamiento para diseño en roca (F_d).

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

Tabla 11: Tipo de suelo y Factores de sitio F_d

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015c)

Comportamiento no lineal de los suelos (F_s).

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

Tabla 12: Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo F_s

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015c)

Factores de reducción de resistencia sísmica (R).

El espectro de respuesta de diseño es un análisis lineal de estructuras, es decir, es muy básico, y no representa el comportamiento real de una estructura al ser sometido a una carga sísmica, sin embargo, la norma presenta una posibilidad de transformar este análisis lineal a un análisis no lineal el cual es más representativo y eficaz a la hora de analizar una estructura bajo la acción sísmica, el método consiste en aplicar un factor de reducción de resistencia sísmica (R), como se evidencia en el siguiente gráfico.

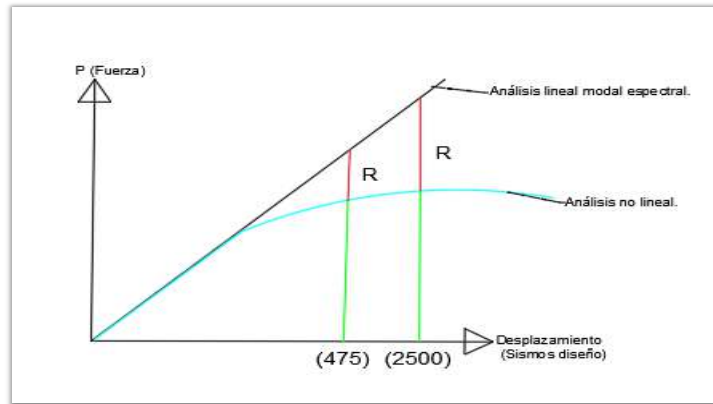


Ilustración 12: Transformación del análisis lineal modal espectral a un análisis no lineal.

Fuente: Elaboración Propia.

Para la aplicación del factor R es indispensable que las estructuras y sus conexiones generen un mecanismo de falla previsible, es decir, que las estructuras cuenten con una adecuada ductilidad para la generación de rótulas plásticas (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015c).

Cortante basal de diseño

$$V = \frac{I * S_a(T_a)}{R * \phi_P * \phi_E}$$

Dónde:

$S_a(T_a)$ Espectro de diseño en aceleración, véase en la sección (3.3.2)

ϕ_P y ϕ_E Coeficientes de configuración en planta y elevación, véase en la sección (5.3)

I Coeficiente de Importancia; se determina en la sección (4.1)

R Factor de reducción de resistencia sísmica; véase en la sección (6.3.4)

V Cortante basal total de diseño.

W Carga sísmica reactiva; véase en la sección (6.1.7).

T_a Período de vibración; véase en la sección (6.3.3).

5. MODELACIÓN DE EDIFICIOS.

5.1 Modelación de edificios con aisladores sísmicos de base en software ETABS.

La modelación de los Edificios y aisladores sísmicos de base se realizará en el software especializado de diseño ETABS, con su respectivo análisis e interpretación de los resultados obtenidos.

El software Etabs sirve como una calculadora, para conocer las demandas que los edificios tendrán que soportan en cuanto a cargas tanto sísmicas como no sísmicas establecidas en los capítulos anteriores.

La configuración estructural fue ya definida y se toma los resultados obtenidos en los capítulos anteriores en cuanto a las dimensiones de los elementos estructurales (columnas, vigas y losas), los mismos que conformarán los edificios, para posteriormente incorporar los aisladores sísmicos y verificar su comportamiento.

Se realizara el análisis de todos los edificios establecidos en esta disertación, sin embargo, se presentará a modo de explicación las características de dos de los edificios (6 pisos) tanto del modelo 1 como del modelo 2.

5.2 Definición de los elementos estructurales.

Se define el tamaño de las columnas que previamente fueron calculadas en el prediseño y las dimensiones son las siguientes:

EDIFICIO DE 6 PISOS			
# PISOS	VIGAS	COLUMNAS	LOSA
(1-3)	35*65	80*60	Alivianada de 30 cm
(4-5)	35*65	80*60	Alivianada de 30 cm
6	35*65	80*60	Alivianada de 30 cm

Tabla 13: Dimensiones de vigas, columnas y losas.

Fuente: Elaboración Propia

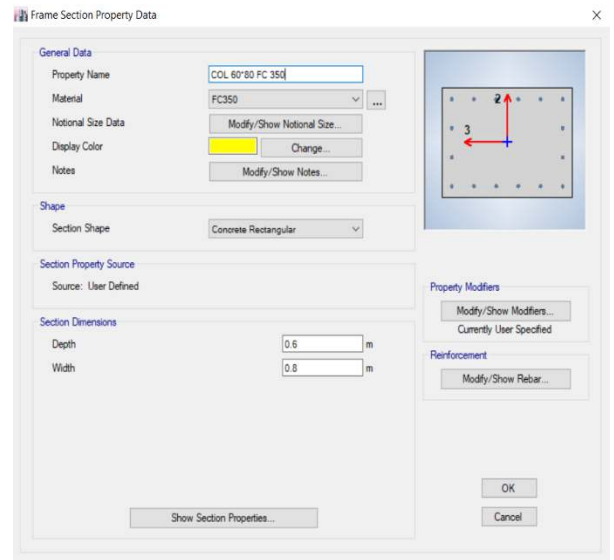


Ilustración 13: Valores sección (columna edificio regular e irregular).

Fuente: Elaboración Propia

5.2.1 Inercia efectiva columnas.

La inercia efectiva representa cuanto realmente queda del elemento una vez que el mismo se está agrietando debido a la flexión.

Los valores que se debe considerar para columnas son del 80%.

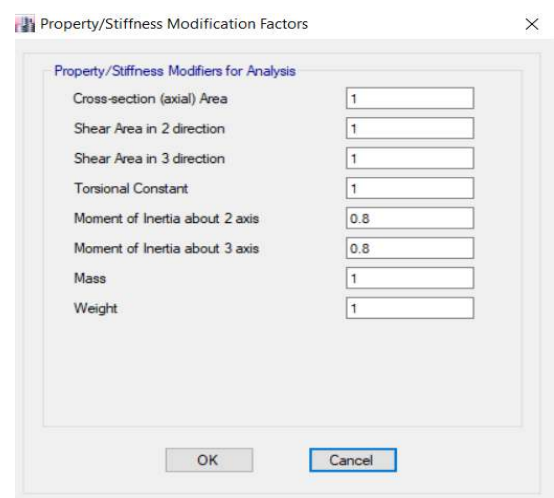
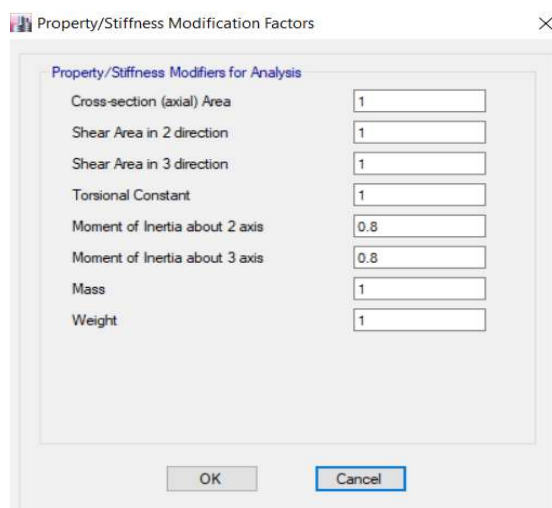


Ilustración 14: Inercia efectiva para columnas edificio regular e irregular.

Fuente: Elaboración Propia

Se define el tamaño de las vigas que previamente fueron calculadas en el prediseño obteniendo los mismos valores para todos los edificios regulares.

Las dimensiones son las siguientes:

EDIFICIO DE 6 PISOS			
# PISOS	VIGAS	COLUMNAS	LOSA
(1-3)	35*65	80*60	Alivianada de 30 cm
(4-5)	35*65	80*60	Alivianada de 30 cm
6	35*65	80*60	Alivianada de 30 cm

Tabla 14: Dimensiones de vigas.

Fuente: Elaboración Propia

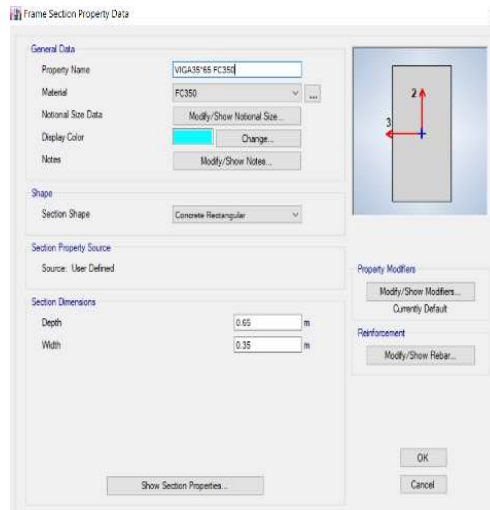


Ilustración 15: Vigas.

Fuente: Elaboración Propia

5.2.2 Inercia efectiva vigas.

Para las vigas cuando se considera el aporte de la losa, la viga se transforma de una viga rectangular a una viga tipo T que es el caso de esta disertación, para lo cual los modificadores de inercia toman el valor de 1 (Guerra Avendaño & Guerra Valladares, 2020).

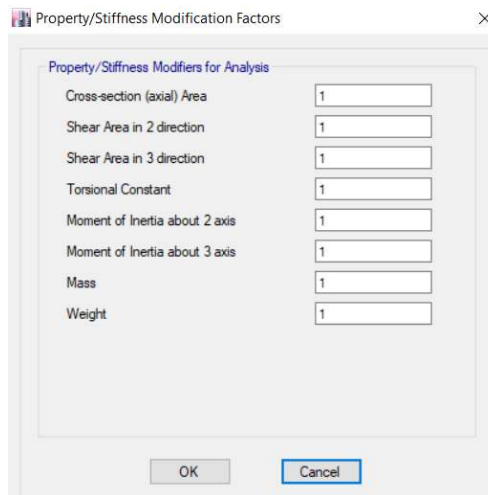


Ilustración 16: Inercia efectiva para vigas tipo T.

Fuente: Elaboración Propia

5.2.3 Dibujar secciones ya definidas (Columnas y Vigas).

Se dibuja los elementos estructurales tanto columnas como vigas en el GRID creado para estos análisis, ya que sirven como guía para dibujar y dar el modelo respectivo a los edificios, se colocará las propiedades creadas anteriormente para los edificios en análisis, obteniendo los siguientes modelos en Etabs.

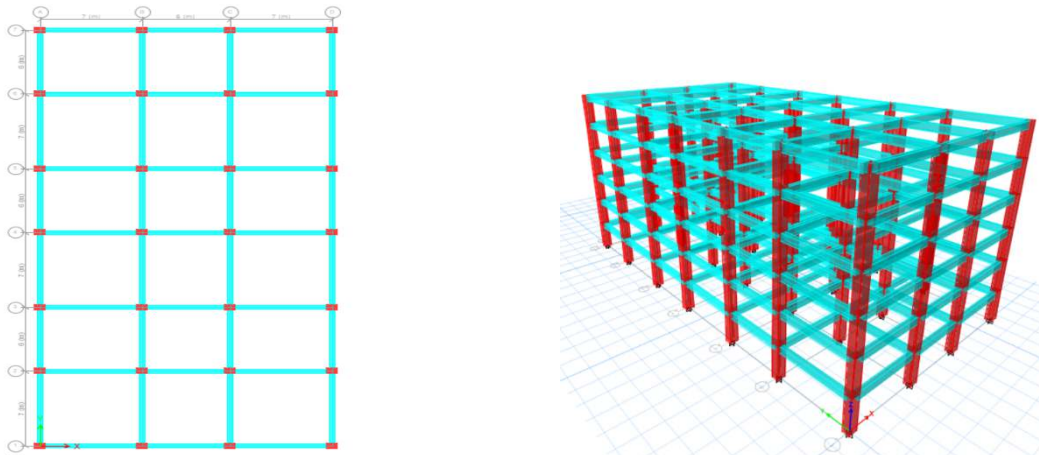


Ilustración 17: Edificio de 6 pisos regular con Columnas y vigas con vista en planta y 3D.

Fuente: Elaboración Propia

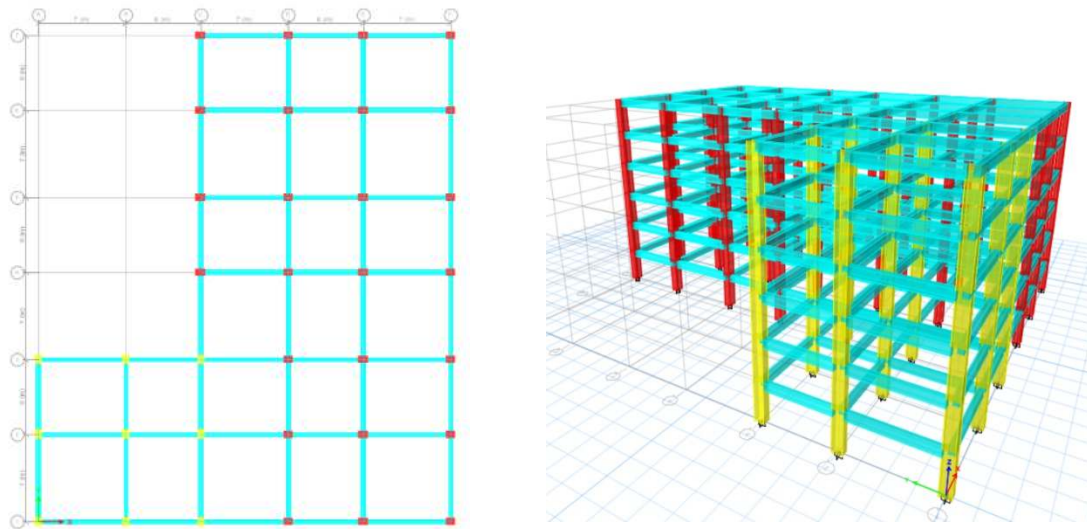


Ilustración 18: Edificio de 6 pisos irregular con Columnas y vigas con vista en planta y 3D.

Fuente: Elaboración Propia

5.2.4 Dibujar secciones tipo Shell (Losas).

Para la determinación de las losas, se deberá elegir elementos tipo Shell que son elementos de área, sin embargo, los requerimientos para tener en cuenta es que sean elementos que no soporten flexión, debido a que esto provocará que las solicitaciones en cuanto a momento se reduzcan, provocando que se coloque menos acero del necesario y por ende un diseño erróneo, por lo que se usará el elemento de tipo Membrana, obteniendo los siguientes modelos en Etabs.

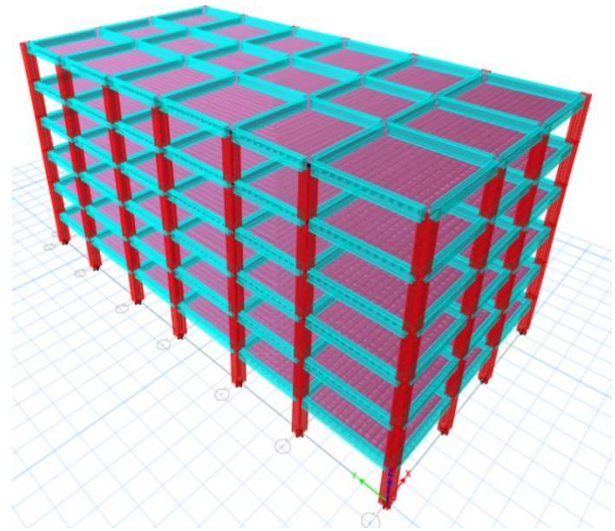
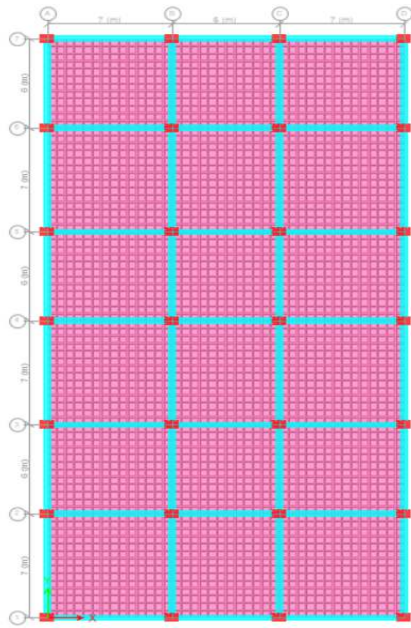


Ilustración 19: Edificio de 6 pisos regular con losa alivianada con vista en planta y 3D.

Fuente: Elaboración Propia.

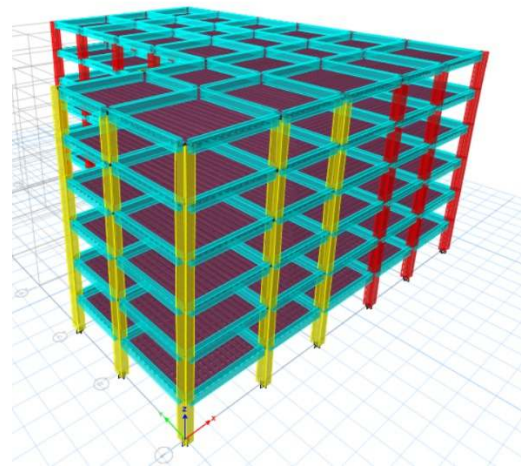
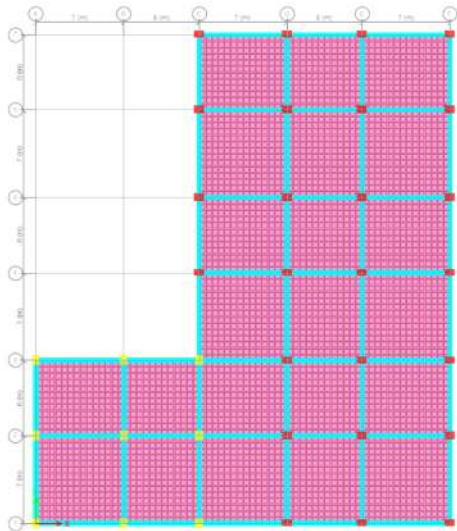


Ilustración 20: Edificio de 6 pisos irregular con losa alivianada con vista en planta y 3D.

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.5 Definición de cargas.

Una vez definida la estructura con sus elementos estructurales, se procederá a la determinación de las cargas a las que el edificio estará sometido en toda su vida útil y para las cuales deberá ser diseñado.

El programa realiza el cálculo del peso propio de manera automática como se lo mencionó anteriormente mediante el volumen de la sección transversal y la densidad del material, para esto se creará la carpeta de carga PP con el número 1 que en el lenguaje computacional significa que esta activa y el programa procede al cálculo del peso propio.

Para el caso tanto de la carga muerta como la carga viva el multiplicador de esta carpeta debe estar en 0 debido a que se ingresará los valores de manera manual.

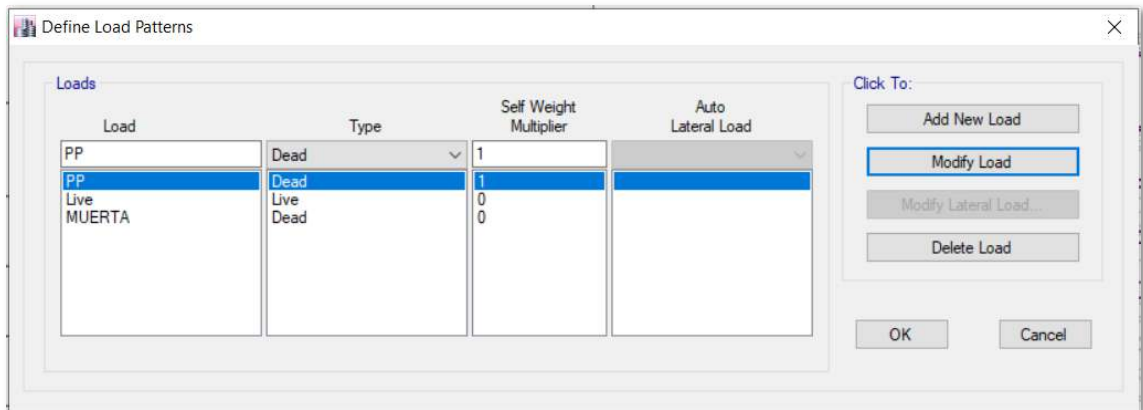


Ilustración 21: Definir load Patterns.

Fuente: Elaboración Propia

5.2.6 Asignación carga muerta.

Las cargas serán definidas en unidades de área, mediante una carga distribuida en toda la sección de la losa que son los elementos que transmiten y distribuyen las cargas a las columnas mediante el método de áreas cooperantes. Este cálculo el programa lo realiza de manera automática.

La carga muerta se determinará de la suma de todos los elementos que van a estar permanentes en la estructura, los valores fueron definidos en el prediseño de vigas.

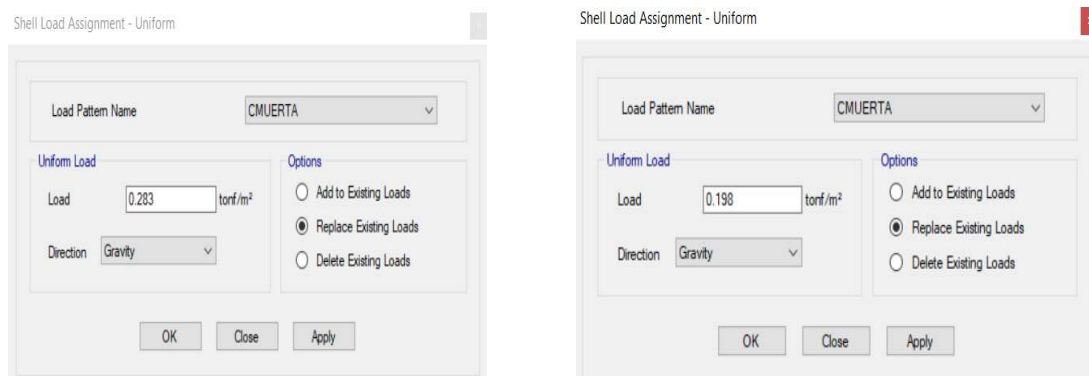


Ilustración 22: Carga muerta colocada en entre pisos y cubierta.

Fuente: Elaboración Propia

5.2.7 Asignación carga viva.

El valor de la carga viva para el edificio depende de la ocupación que tendrá la estructura, debido a que el edificio será en su mayoría para departamentos el valor sugerido es de 0.20 Ton/m², para el primer piso al ser un piso de mayor tránsito por personas se tomará un valor de 0.48 ton/m² (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015a).

Así también se hará la diferenciación para la cubierta, colocando un valor de 0.15 Ton/m², un valor mayor al establecido por la NEC para fines de seguridad.

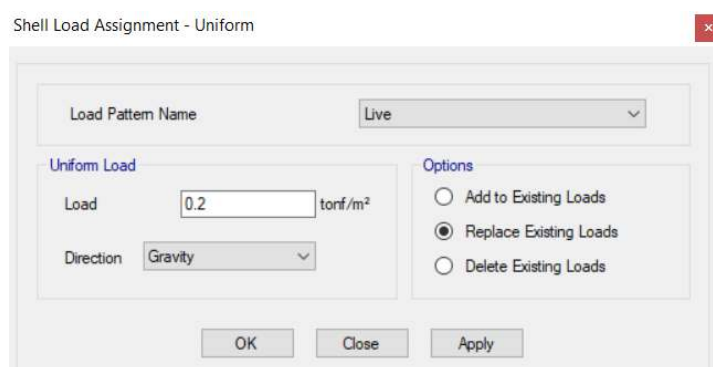


Ilustración 23: Carga viva entre pisos.

Fuente: Elaboración Propia

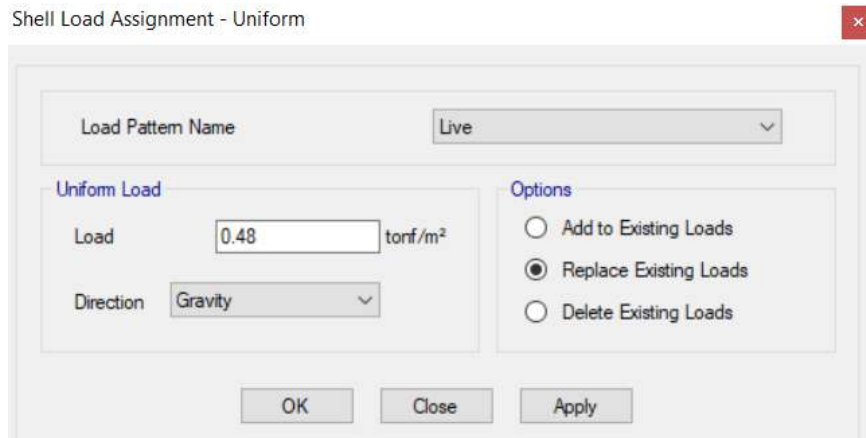


Ilustración 24: Carga viva primer piso.

Fuente: Elaboración Propia

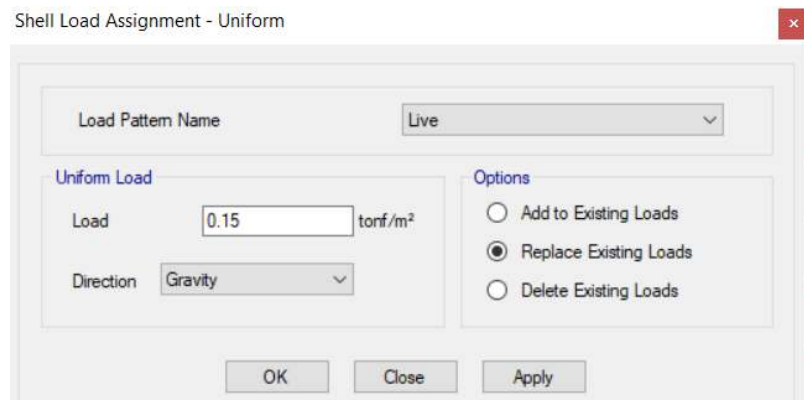


Ilustración 25: Carga viva cubierta.

Fuente: Elaboración Propia.

5.3 Definición de los estados de carga para las fuerzas laterales estáticas equivalentes.

Para definir los coeficientes que intervienen en este método como son el coeficiente del cortante basal de diseño “C” y el coeficiente “K” definidos en la sección 5.7.1 Cargas laterales estáticas.

Edificio 6 pisos regular.

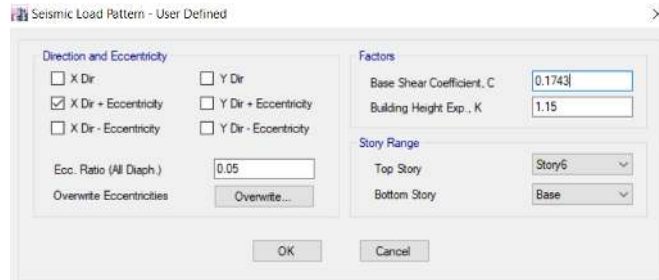


Ilustración 26: Coeficiente de cortante basal y coeficiente K.

Fuente: Elaboración Propia

Para el cálculo de estos parámetros se hace uso de una hoja de cálculo, basado en las ecuaciones presentadas en el capítulo 5 de esta disertación, cuyos resultados se presentan a continuación:

Cotante Basal mediante Fueras laterales y Periodo NEC	
T	0.7947
Sa (T)	1.0458
V	0.1743
k	1.147

Ilustración 27: Resultados Cortante basal y coeficiente K.

Fuente: Elaboración Propia

Edificio 6 pisos irregular

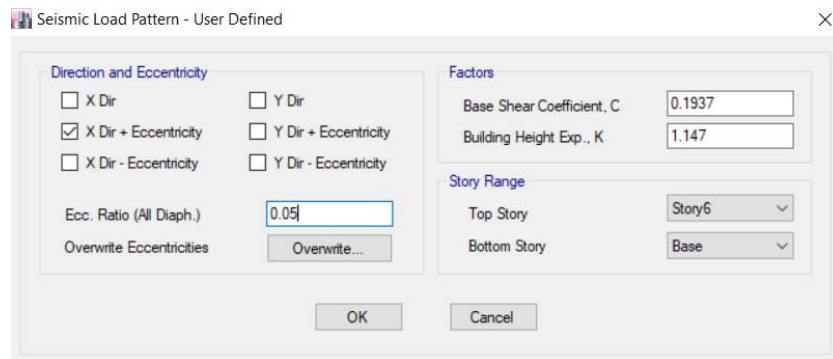


Ilustración 28: Coeficiente de cortante basal y coeficiente K

Fuente: Elaboración Propia

Cotante Basal mediante Fueras laterales y Período NEC	
T	0.7947
Sa (T)	1.0458
V	0.1937
k	1.147

Ilustración 29: Resultados Cortante basal y coeficiente K.

Fuente: Elaboración Propia

Otro valor importante es el valor de torsión accidental, para lo cual se desplaza al centro de masas un 5% de la dimensión máxima y perpendicular a la aplicación de fuerzas laterales (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015c).

Se verificará el centro de masas y centro de rigidez para así comprobar que el valor del 5% es correcto.

EDIFICIO REGULAR 6 PISOS % EXCENTRICIDAD DEL CENTRO DE MASA Y RIGIDEZ									
Story	XCCM	YCCM	XCR	YCR	DIFERENCIA X	DIFERENCIA Y	DIMEN (Y)	% Excentricidad	% Excentricidad
	m	m	m	m	m	m	m	% X	% Y
Story6	10	19.5378	10	19.7143	0	0.1765	39	0.000	0.453
Story5	10	19.5426	10	19.7143	0	0.1717	39	0.000	0.440
Story4	10	19.544	10	19.7143	0	0.1703	39	0.000	0.437
Story3	10	19.5447	10	19.7143	0	0.1696	39	0.000	0.435
Story2	10	19.5451	10	19.7143	0	0.1692	39	0.000	0.434
Story1	10	19.5452	10	19.7143	0	0.1691	39	0.000	0.434

Tabla 15: Centro de masas y rigidez.

Fuente: Elaboración Propia

EDIFICIO IRREGULAR 6 PISOS % EXCENTRICIDAD DEL CENTRO DE MASA Y RIGIDEZ									
Story	XCCM	YCCM	XCR	YCR	DIFERENCIA X	DIFERENCIA Y	DIMEN (Y)	% Excentricidad	% Excentricidad
	m	m	m	m	m	m	m	% X	% Y
Story6	19.9637	17.2183	19.6127	17.2928	0.351	0.0745	39	0.900	0.191
Story5	19.9533	17.224	19.4953	17.3832	0.458	0.1592	39	1.174	0.408
Story4	19.9503	17.2256	19.3847	17.4697	0.5656	0.2441	39	1.450	0.626
Story3	19.9488	17.2264	19.2213	17.596	0.7275	0.3696	39	1.865	0.948
Story2	19.9479	17.2269	18.9349	17.8098	1.013	0.5829	39	2.597	1.495
Story1	19.9478	17.227	18.3745	18.1983	1.5733	0.9713	39	4.034	2.491

Tabla 16: Centro de masas y rigidez.

Fuente: Elaboración Propia

5.4 Definición del análisis modal espectral.

Se construirá el espectro de respuesta de diseño para los edificios de acuerdo, con las sollicitaciones de cada uno, tal y como se definió en el capítulo 5 Influencia sísmica, para lo cual usaremos una hoja electrónica para obtener los valores que ingresaremos al programa Etabs.

Edificio de 6 pisos regular.

Factor de importancia	I=	1.000
Categoría Sísmica	Zona Sísmica=	V
Valor de factor Z	Z=	0.400
Perfil del Suelo	Suelo Tipo=	D
Coef. Amplificación del suelo en la zona de periodo corto	Fa=	1.200
Coef. Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca	Fd=	1.190
Comportamiento no lineal de los suelos	Fs=	1.280
Factor usado en el espectro de diseño elástico	r=	1.000
relación de amplificación espectral	η =	2.480
Altura de la edificación en metros	hn=	19.440
Tipo Estructura	Porticos Espaciales de H.A. sin muros estructurales	
Coeficiente que depende del tipo de edificio	Ct=	0.055
	α =	0.900
Periodo de Vibración Método 1	NEC Ta CODIGO=	0.795
Periodo de Vibración Método 2	1.3 * Ta Codigo	1.033
Periodo Límite de Vibración	To=	0.127
Periodo de Vibración	Ta=	0.795
Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño	Tc=	0.698
Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T	k=	1.15
Aceleración Espectral	Sa(Ta)=	1.046
Coeficiente de Reducción de Respuesta Estructural	R=	6
Irregularidad en planta	ΦP =	1.000
Irregularidad en elevación	ΦE =	1.000

Tabla 17: Datos para la obtención del espectro de diseño.

Fuente: Elaboración Propia

Una vez definidos todos los valores de los parámetros a utilizar para la aplicación de las ecuaciones descritas anteriormente, obtenemos el espectro de diseño.

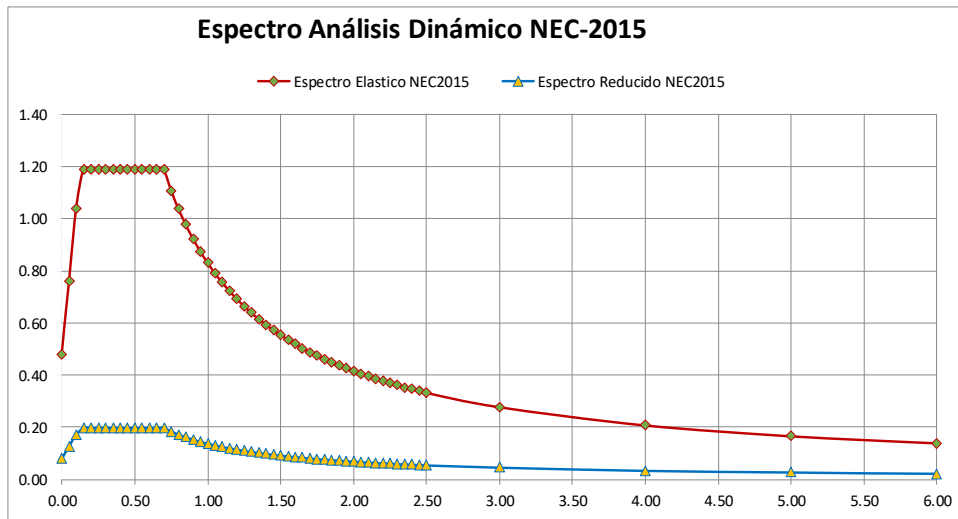


Ilustración 30: Espectro Elástico y Espectro inelástico de diseño.

Fuente: Elaboración Propia

Edificio de 6 pisos irregular.

Factor de importancia	I=	1.000
Categoría Sísmica	Zona Sísmica=	V
Valor de factor Z	Z=	0.400
Perfil del Suelo	Suelo Tipo=	D
Coef. Amplificación del suelo en la zona de periodo corto	Fa=	1.200
Coef. Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca	Fd=	1.190
Comportamiento no lineal de los suelos	Fs=	1.280
Factor usado en el espectro de diseño elástico	r=	1.000
relación de amplificación espectral	η =	2.480
Altura de la edificación en metros	hn=	19.440
Tipo Estructura	Porticos Espaciales de H.A. sin muros estructur	
Coeficiente que depende del tipo de edificio	Ct=	0.055
	α =	0.900
Periodo de Vibración Método 1	NEC Ta CODIGO=	0.795
Periodo de Vibración Método 2	1.3 * Ta Codigo	1.033
Periodo Límite de Vibración	To=	0.127
Periodo de Vibración	Ta=	0.795
Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño	Tc=	0.698
Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T	k=	1.15
Aceleración Espectral	Sa(Ta)=	1.046
Coeficiente de Reducción de Respuesta Estructural	R=	6
Irregularidad en planta	ΦP =	0.900
Irregularidad en elevación	ΦE =	1.000

Tabla 18: Datos para la obtención del espectro de diseño.

Fuente: Elaboración Propia

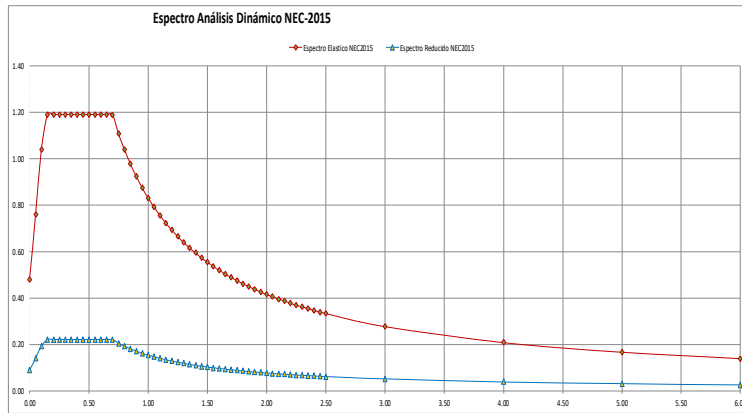


Ilustración 31: Espectro Elástico y Espectro inelástico de diseño.

Fuente: Elaboración Propia

5.5 Resultados modos de vibración.

A continuación, se presenta los modos de vibración de los edificios de 6 pisos tanto regular como irregular.

Edificio de 6 pisos regular.

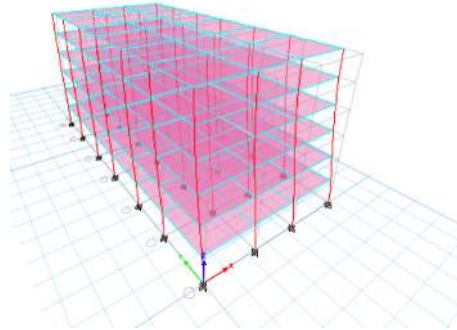


Ilustración 32: Primer modo de vibración (Traslación dirección Y).

Fuente: Elaboración Propia

El primer modo de vibración obtenido como resultado del análisis modal, es traslación en el eje Y, se orienta al lado de menor rigidez, en este caso se obtuvo en dirección Y, debido a la orientación de las columnas y a la colocación del eje de mayor dimensión para la dirección X, que a inicio era la dirección con menor rigidez debido a los pocos vanos que se tienen.

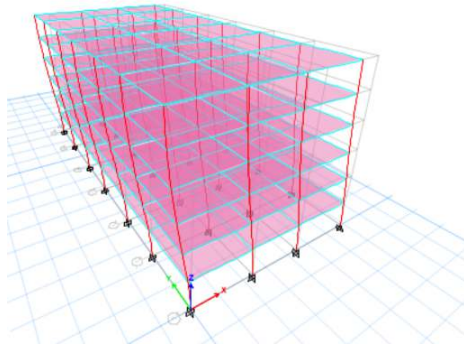


Ilustración 33: Segundo modo de vibración (Traslación dirección X).

Fuente: Elaboración Propia.

El segundo modo de vibración es traslación en la dirección ortogonal al modo 1 que en este caso es la dirección X, y se ha cumplido con la expectativa de que los dos primeros modos de vibración sean Traslación en los dos ejes principales.

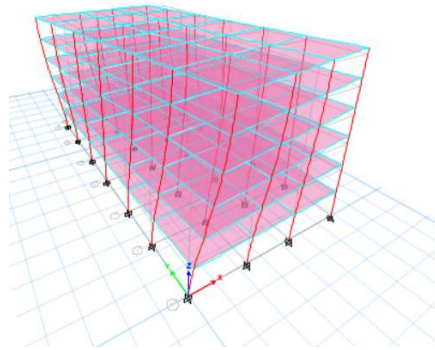


Ilustración 34: Tercer modo de vibración (Torsión).

Fuente: Elaboración Propia

Se verifica el tercer modo de vibración, el cual es torsión alrededor del eje Z, el cual por los resultados se concluye que el comportamiento en cuanto a modos de vibración (Traslación Y – Traslación X – Torsión) de la estructura analizada se trata de una estructura ideal.

Edificio de 6 pisos irregular.

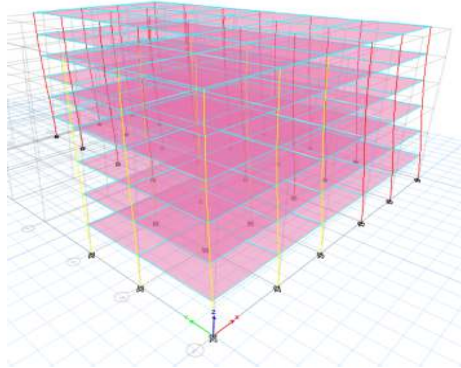


Ilustración 35: Primer modo de vibración (Traslación dirección Y).

Fuente: Elaboración Propia

El primer modo de vibración obtenido como resultado del análisis modal, es traslación en el eje Y, se orienta al lado de menor rigidez, en este caso se obtuvo en dirección Y, debido a que el lado de mayor dimensión está en el eje X.

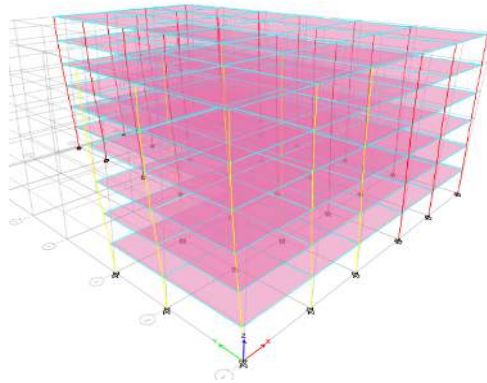


Ilustración 36: Segundo modo de vibración (Traslación dirección X).

Fuente: Elaboración Propia

El segundo modo de vibración es traslación en la dirección perpendicular al modo 1, en este caso es la dirección X, cumpliendo con los dos primeros modos de vibración sean Traslación en los dos ejes principales.

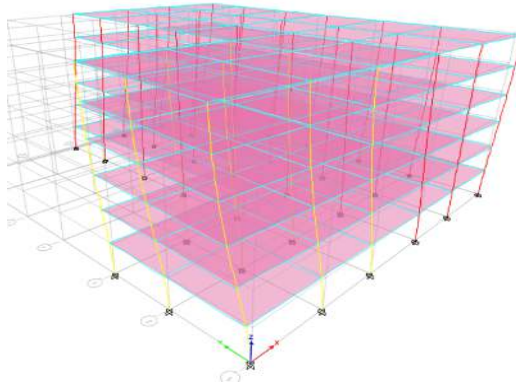


Ilustración 37: Tercer modo de vibración (Torsión).

Fuente: Elaboración Propia

Se verifica el tercer modo de vibración, el cual es torsión alrededor del eje Z, el cual por los resultados se concluye que el comportamiento en cuanto a modos de vibración (Traslación Y – Traslación X – Torsión) de la estructura analizada se trata de una estructura ideal.

5.5.1 Conclusiones:

En ambas estructuras se obtiene los modos de vibración de una estructura “ideal”, debido a que los dos primeros modos de vibración corresponden a traslación y el tercero a torsión, sin embargo, si esto no se cumple, no es un factor para determinar si el análisis está mal realizado, debido que el factor predominante para determinar si una estructura es segura, son las derivas de piso.

5.6 Ajuste del cortante basal.

Una vez obtenidos los modos de vibración con su respectivo análisis, se procede a la revisión del período obtenido por el software, y se obtiene un nuevo cortante basal que será sustituido por el cálculo en la sección “Definición de los estados de carga para las fuerzas laterales estáticas equivalentes”, este procedimiento se realizó a todos los edificios, sin embargo, se presenta a modo de ejemplo dos de los edificios a analizar.

Edificio de 6 pisos regular.

Cotante Basal mediante Fueras laterales y Período NEC		Cotante Basal Período Software	
T	0.7947	Tmodal (s)	0.725
Sa (T)	1.0458	Sa (Tmodal)	1.1463
V	0.1743	V (Tmodal)	0.191
k	1.147	k(modal)	1.113

Tabla 25: Comparación de período calculado con las ecuaciones y obtenido en ETABS.

Fuente: Elaboración propia

5.6.1 Corrección valores de cortante basal y coeficiente K.

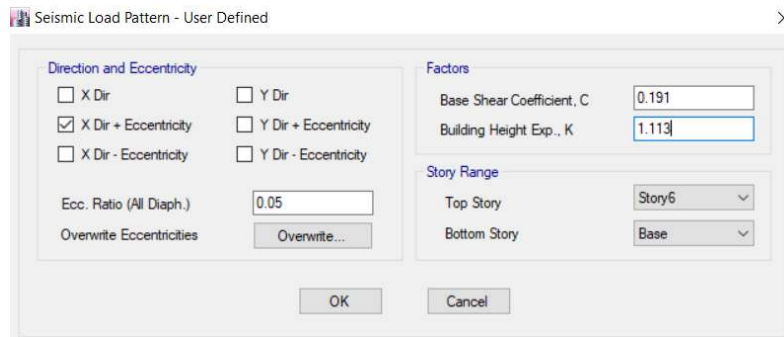


Ilustración 84: Corrección valores cortante basal y coeficiente K.

Fuente: Elaboración propia

Edificio de 6 pisos irregular.

Cotante Basal mediante Fueras laterales y Período NEC		Cotante Basal Período Software	
T	0.7947	Tmodal (s)	0.721
Sa (T)	1.0458	Sa (Tmodal)	1.1526
V	0.1937	V (Tmodal)	0.213
k	1.147	k(modal)	1.111

Tabla 26: Comparación de período calculado con las ecuaciones y obtenido en ETABS.

Fuente: Elaboración propia

5.6.2 Corrección valores de cortante basal y coeficiente K.

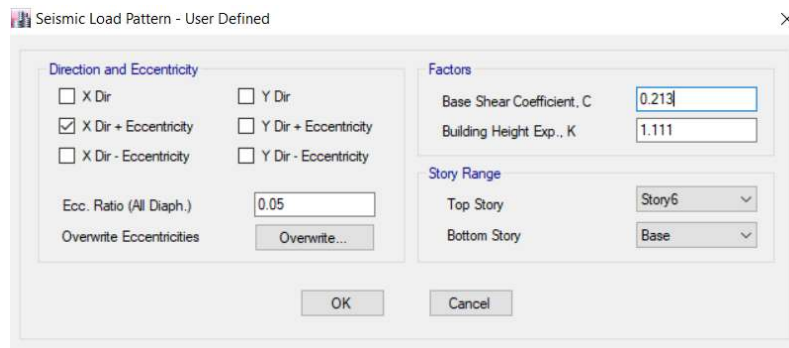


Ilustración 86: Corrección valores cortante basal y coeficiente K.

Fuente: Elaboración propia

Una vez definido el cortante basal en función del período de la estructura obtenido por el software ETABS, se procede a realizar el chequeo del cortante basal dinámico.

5.7 Análisis del cortante basal dinámico y estático.

b. Ajuste del corte basal de los resultados obtenidos por el análisis dinámico

El valor del cortante dinámico total en la base obtenido por cualquier método de análisis dinámico, no debe ser:

- < 80% del cortante basal V obtenido por el método estático (estructuras regulares)
- < 85% del cortante basal V obtenido por el método estático (estructuras irregulares).

Los resultados obtenidos son los presentados en el Anexo # 11.

5.7.1 Conclusiones:

El edificio de 6 pisos regular el cortante dinámico es mayor al 80% del cortante estático, por lo tanto, no requiere ajuste en ninguna dirección de análisis.

El edificio de 8 pisos regular si requiere ajuste del cortante dinámico en la dirección X, por lo tanto, se procede al ajuste de este.

El ajuste se lo debe realizar en el estado de carga para el espectro de diseño, multiplicando el valor del factor de escala que es de 9.81 por los coeficientes obtenidos en el análisis para la dirección que se requiera el ajuste.

El edificio regular de 10 pisos requiere ajuste en ambas direcciones de análisis, para ello se procede a ajustarlo mediante el procedimiento descrito anteriormente.

5.8 Derivas de piso.

Para el análisis de las derivas de piso el software Etabs, grafica de manera directa las máximas derivas de piso, como se observa:

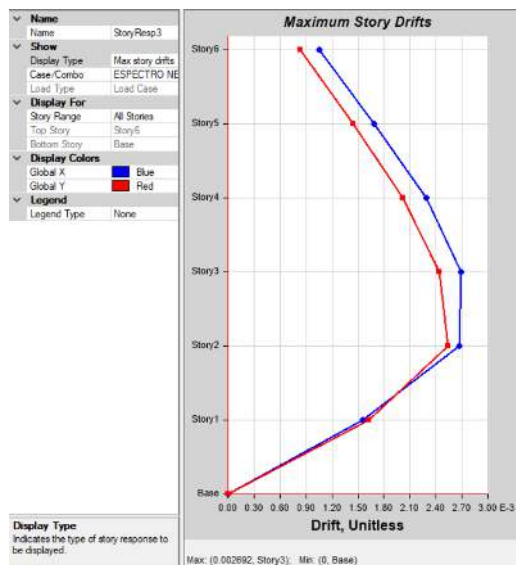


Ilustración 87: Máximas derivas de piso edificio 6 pisos regular base fija.

Fuente: Elaboración Propia

Para el análisis y la verificación si el edificio es seguro y puede soportar las cargas de sismo anteriormente aplicadas, deberá cumplir la condición de la deriva máxima de piso que es del 2%, debido a que los edificios son estructuras de hormigón armado (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015c).

El gráfico muestra que la máxima deriva de piso se obtiene en el piso 3 y en la dirección X, que es la dirección que tenía menor rigidez, debido a la menor cantidad de vanos, y por eso

la orientación de las columnas hacia la misma para contrarrestar los efectos y poder tener un buen desempeño.

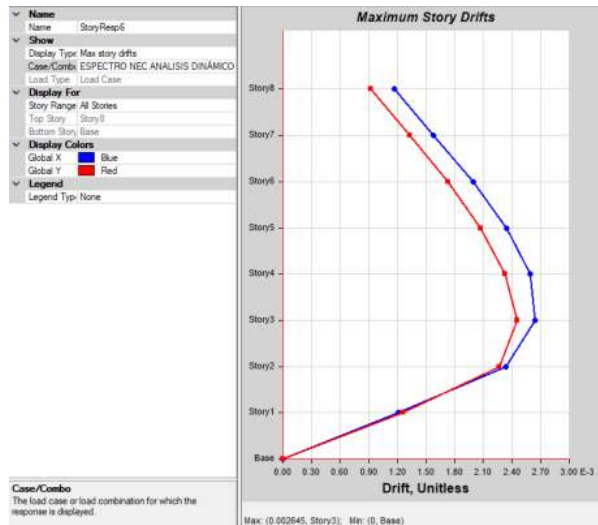


Ilustración 38: Máximas derivas de piso edificio 8 pisos regular base fija.

Fuente: Elaboración Propia

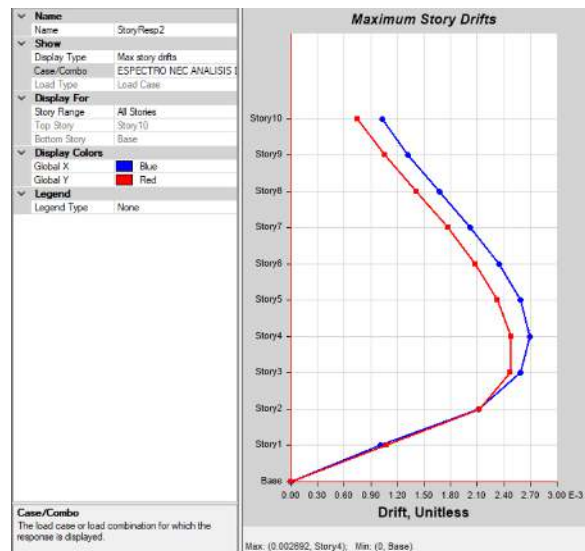


Ilustración 89: Máximas derivas de piso edificio 10 pisos regular base fija.

Fuente: Elaboración Propia

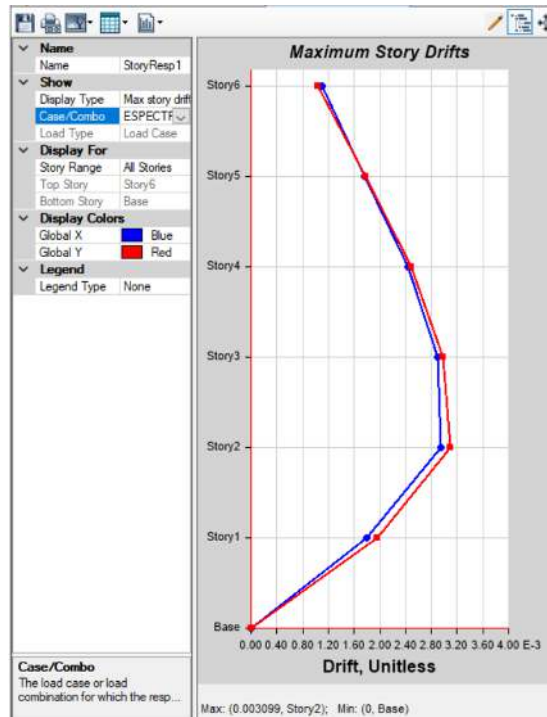


Ilustración 90: Máximas derivas de piso edificio 6 pisos irregular base fija.

Fuente: Elaboración Propia

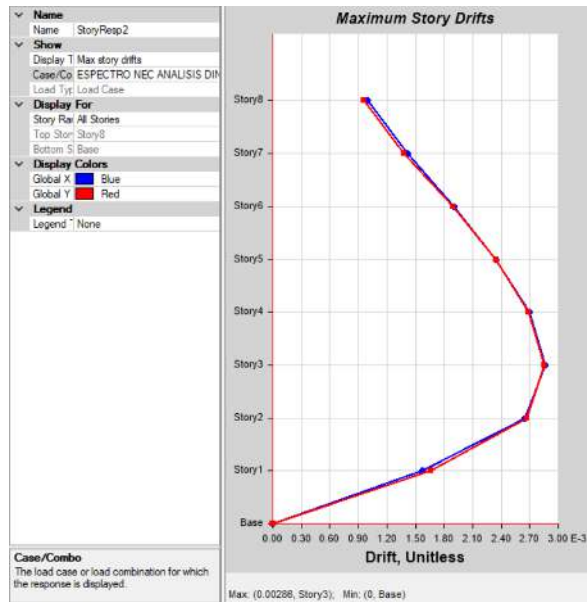


Ilustración 39: Máximas derivas de piso edificio 8 pisos irregular base fija.

Fuente: Elaboración Propia.

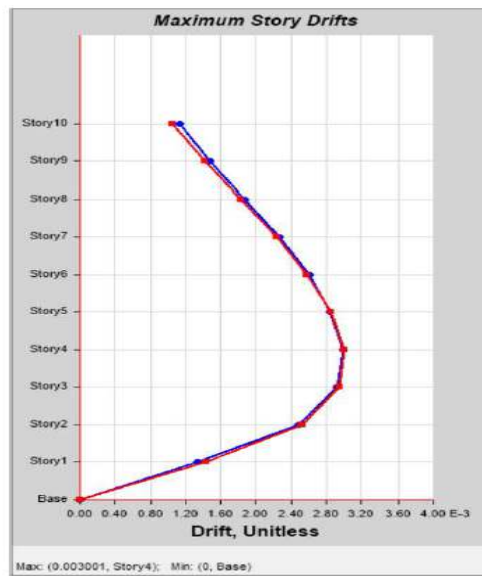


Ilustración 40: Máximas derivas de piso edificio 10 pisos irregular base fija.

Fuente: Elaboración Propia.

5.9 Modelamiento De Los Aisladores De Base.

La modelación de los aisladores de base con núcleos de plomo, se realizará a los edificios previamente analizados regulares (6, 8 y 10 pisos) e irregulares (6, 8 y 10 pisos), y con el cumplimiento de las derivas de piso respectivas conforme lo estipula la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015c).

Los principales lineamientos para tomar en cuenta en esta disertación, en cuanto al modelamiento de los aisladores son:

No se realizará el diseño de los aisladores, debido a que en el alcance de esta disertación no lo estipula, únicamente se realizará el análisis de los aisladores incorporados a los edificios.

Se tomará tanto las medidas de los aisladores y sus propiedades del catálogo de productos Tensa Gruppo De Eccher (2009) que se encuentran en el mercado y sus estudios son confiables.

De acuerdo con la experiencia por parte del director de esta disertación se tomará como punto de partida los diámetros que se detallan a continuación.

EDIFICIO	TIPO	DIÁMETRO AISLADOR	Tipo de aislador
6 PISOS	REGULAR E IRREGULAR	450 mm	TLRI-450-SM-126/85
8 PISOS	REGULAR E IRREGULAR	500 mm	TLRI-500-SM-126/95
10 PISOS	REGULAR E IRREGULAR	600 mm	TLRI-600-SM-125/115

Tabla 19: Tipo de aislador para los edificios.

Fuente: Elaboración propia.

5.9.1 Propiedades de los aisladores.

d _{Ed} 250mm	AISLADOR	DIÁMETRO DEL CAUCHO	ALTURA TOTAL (INCLUYENDO CHAPAS EXTERNAS)	TAMAÑO DE CHAPA GENERAL	ESPESOR TOTAL DEL CAUCHO	FACTOR DE FORMA	RIGIDEZ VERTICAL	RIGIDEZ HORIZONTAL EFECTIVA AL d _{bd}	AMORTIGUACIÓN EFECTIVA EN d _{bd}	DESPLAZAMIENTO DE DEFORMACIÓN	CARGA DE DEFORMACIÓN HORIZONTAL	DESPLAZAMIENTO DE DISEÑO HORIZONTAL [EN 1998]	CARGA DE DISEÑO HORIZONTAL	CARGA ESTÁTICA VERTICAL MÁXIMA ELU	CARGA SÍSMICA VERTICAL MÁXIMA
		D (mm)	H _{tot} (mm)	LxL (mmxmm)	T _q (mm)	S (-)	K _v (kN/mm)	K _{eff} (kN/mm)	X _{eff} (%)	d _y (mm)	F _y (kN)	d _{bd} (mm)	H _{0bd} (mm)	N _{SLU} (kN)	N _{SEISM} (kN)
CAUCHO SOFT G _{din} = 0.4 MPa* ε _{eff} = 10%-15%*	TLRI-400-SM-125/75	400	242	450X450	125	18.8	408	0.6	24	16	56	208	125	1700	600
	TLRI-450-SM-126/85	450	231	500X500	126	17.6	469	0.8	24	16	72	208	158	2150	900
	TLRI-500-SM-126/95	500	237	550X550	126	16.8	541	0.9	24	16	90	208	196	2700	1300
	TLRI-550-SM-125/105	550	257	600X600	125	26.0	1208	1.1	24	16	110	208	239	5500	2950
	TLRI-600-SM-125/115	600	257	650X650	125	28.4	1596	1.4	24	16	131	208	285	6550	3750

Ilustración 41: Propiedades de los aisladores.

Fuente: Tensa Gruppo De Eccher (2009).

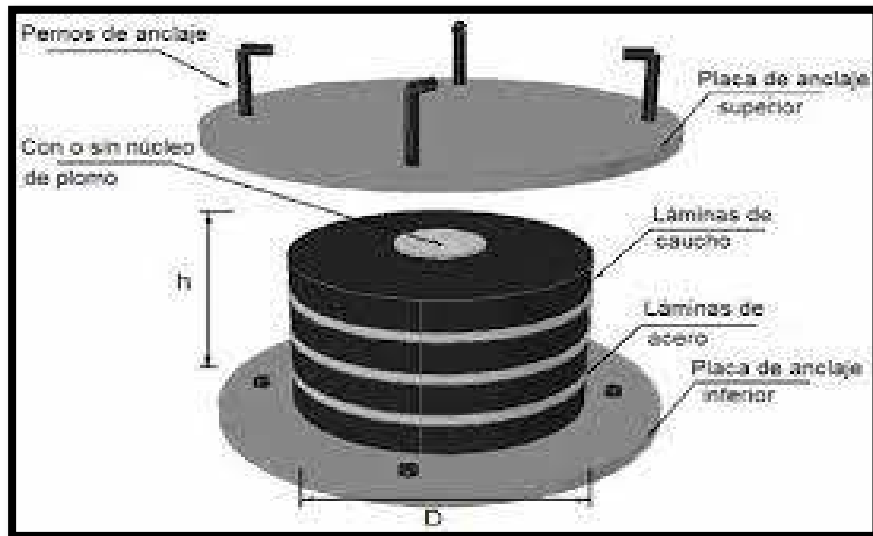


Ilustración 42: Partes de aislador.

Fuente: Tensa Gruppo De Eccher (2009).

El análisis de los aisladores en los edificios se realizará de tal manera que queden debajo de los elementos que transmiten cargas de los edificios que en este caso son las columnas, por lo tanto, para los edificios regulares se colocará un total de 28 aisladores, mientras que para los edificios irregulares se colocará un total de 34 aisladores. los aisladores que se analizarán son de tipo elastoméricos con núcleos de plomo (LRB).

Para empezar el análisis de los edificios con aisladores de base se deberá elegir de qué manera se modelará los aisladores con núcleo de plomo, en este caso se hará uso de los elementos tipo link con la característica de “Rubber Isolator” que el programa Etabs brinda esa opción de realizarlo de una manera rápida y amigable para el usuario (Saing Consulting, 2022).

Se procede al ingreso de las propiedades en todas las direcciones que se tiene los cuales son: U1, U2, U3, las propiedades U2 y U3 serán las mismas debido a que la forma de los aisladores es cilíndrica.

Se procede a ingresar los valores del aislador en la dirección U1, que para este caso las propiedades que se debe ingresar son:

- Rigidez vertical a compresión (K_v).
- Amortiguación efectiva (No se tomará en cuenta el amortiguamiento efectivo en esta sección, debido a que los efectos de amortiguamiento serán considerados en el espectro de respuesta).

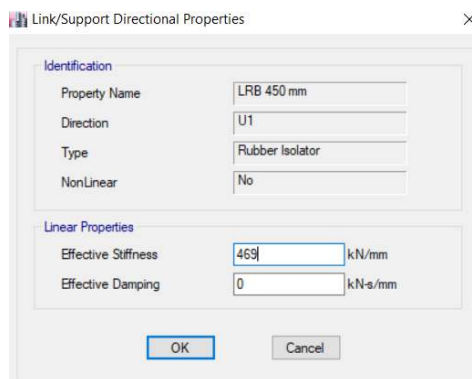


Ilustración 43: Propiedades Dirección vertical (U1).

Fuente: Elaboración Propia.

Se procede al ingreso de las demás propiedades U2 y U3 que son en el plano horizontal.

Las propiedades por ingresar son:

- Rigidez efectiva.
- Coeficiente de amortiguamiento
- Distancia para la deformación por corte.

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: LRB 450 mm

Direction: U2

Type: Rubber Isolator

NonLinear: No

Linear Properties

Effective Stiffness: 0.8 kN/mm

Effective Damping: 0.16 kN-s/mm

Shear Deformation Location

Distance from End-J: 115.5 mm

OK Cancel

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: LRB 450 mm

Direction: U2

Type: Rubber Isolator

NonLinear: No

Linear Properties

Effective Stiffness: 0.8 kN/mm

Effective Damping: 0.16 kN-s/mm

Shear Deformation Location

Distance from End-J: 115.5 mm

OK Cancel

Ilustración 44: Propiedades Dirección horizontales (U2 y U3).

Fuente: Elaboración Propia.

5.9.2 Dibujar los aisladores previamente definidos.

Para la realización del análisis del edificio con aisladores sísmicos, es necesario dibujar los aisladores debajo de las columnas como se estipulo al inicio de este capítulo.

El procedimiento para la colocación de los aisladores en la base de los edificios se deberá realizar dando click en los dos puntos, es importante mencionar que, si el dibujo de los aisladores se realiza seleccionando los puntos de arriba hacia abajo, este mismo procedimiento se deberá realizar en todos los aisladores que se colocarán.

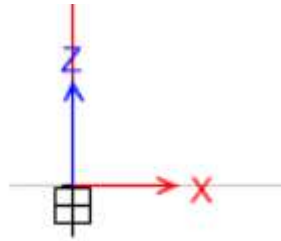


Ilustración 45: Aislador modelado de arriba hacia abajo.

Fuente: Elaboración Propia.

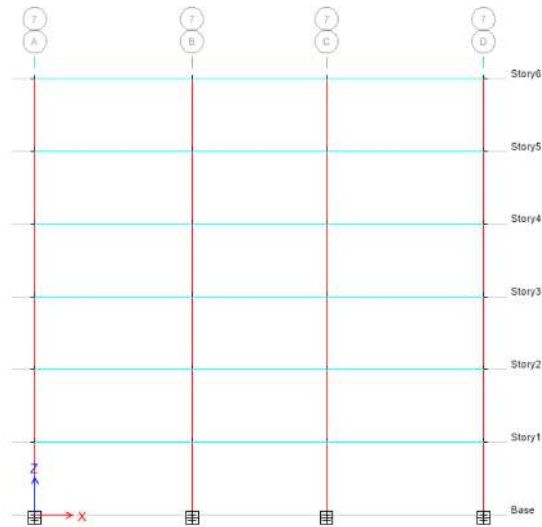


Ilustración 46: Edificio con aisladores sísmicos LRB (vista en elevación) edificio de 6 pisos regular.

Fuente: Elaboración Propia.

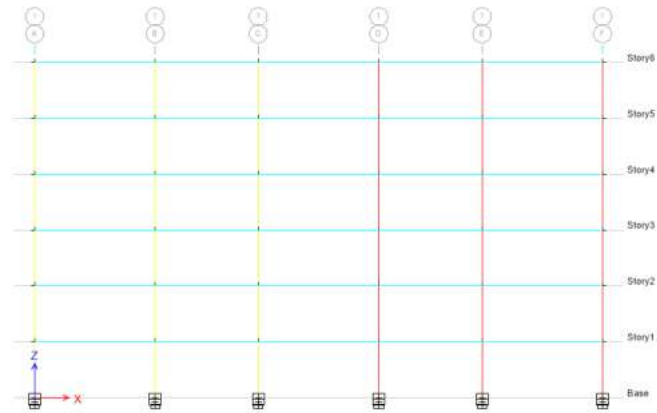


Ilustración 47: Edificio con aisladores sísmicos LRB (vista en elevación) edificio de 6 pisos irregular.

Fuente: Elaboración Propia.

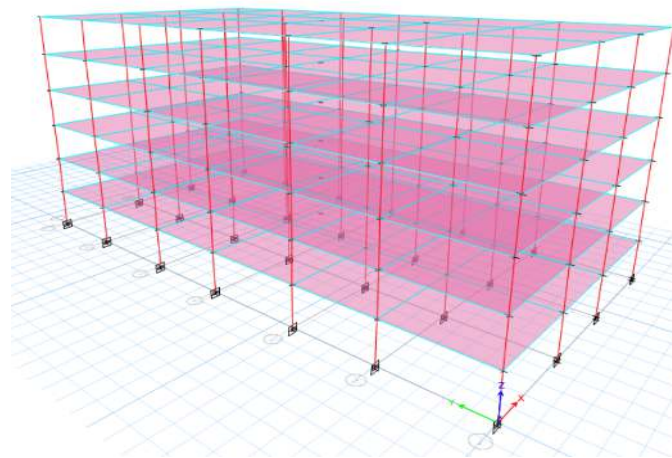


Ilustración 48: Edificio con aisladores sísmicos LRB (vista en 3D) edificio de 6 pisos regular.

Fuente: Elaboración Propia.

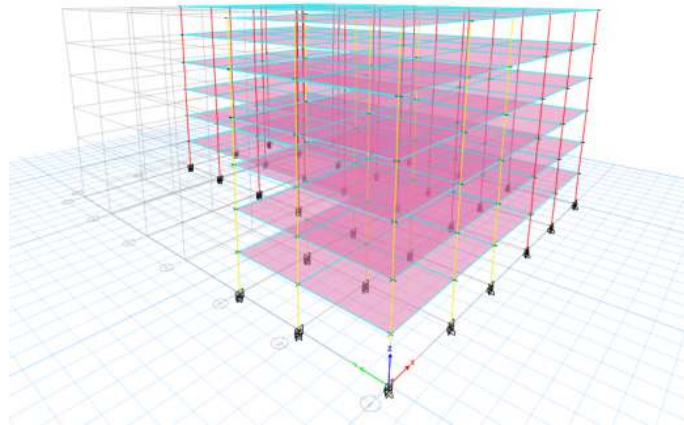


Ilustración 49: Edificio con aisladores sísmicos LRB (vista en 3D) edificio 6 pisos irregular.

Fuente: Elaboración Propia.

5.9.3 Recomendación:

Una vez colocados todos los aisladores y dibujados en una misma dirección (de arriba hacia abajo), se procede en el punto más bajo a empotrar los aisladores, caso contrario no realizará los efectos deseados.

5.10 Aplicación normativa American Society of Civil Engineers (2010).

La American Society of Civil Engineers (2010), da instrucciones para el análisis de edificios con sistemas aislados los mismos que se aplicarán a los edificios estudiados y analizados previamente, los procedimientos de análisis que se pueden utilizar son los siguientes:

- Procedimiento de la fuerza lateral equivalente
- Procedimientos dinámicos.

La determinación del procedimiento para analizar los edificios aislados, se verificará el cumplimiento de los requisitos propuestos por la norma American Society of Civil Engineers (2010), los cuales fueron descritos en el capítulo 4.1.4.1 de esta disertación.

5.10.1 Fuerza lateral equivalente.

Los edificios no cumplen con los requisitos estipulados por la norma American Society of Civil Engineers (2010) para la utilización del procedimiento de la fuerza lateral equivalente:

- La estructura por encima de la interfaz de aislamiento es menor o igual a 4 pisos (19.8 m aprox.) de altura h_n .

Los edificios por analizar superan la altura máxima permitida por la norma, debido a que las alturas son: 6 pisos (19.44 m)– 8 pisos (25.92 m) – 10 pisos (32.40 m).

Por este incumplimiento se tomará en cuenta, el análisis dinámico espectro de respuesta.

5.10.2 Espectro de respuesta.

El sistema de aislamiento cumple con los siguientes requerimientos:

- La rigidez efectiva del sistema de aislamiento en el desplazamiento de diseño debe ser mayor a 1/3 de la rigidez efectiva al 20% del desplazamiento de diseño.
- El sistema de aislamiento es capaz de producir una fuerza de restauración.
- El sistema de aislamiento no limita el desplazamiento máximo esperado, a diferencia del desplazamiento máximo total que si está limitado.
- La estructura está ubicada en un tipo de suelo A, B, C o D.

Se cumple con las condiciones que nos presenta la normativa estudiada, por lo tanto, se procederá al análisis de las estructuras aisladas mediante este procedimiento, se construirá el espectro de diseño como lo estipula la norma American Society of Civil Engineers (2010).

Una vez construido el espectro de respuesta de diseño para los edificios previamente analizados y referente a lo que dicta la norma American Society of Civil Engineers (2010), se multiplicará el espectro de diseño por 1.5 veces para la obtención del espectro de respuesta para el Sismo Máximo Considerado.

5.11 *Espectro de respuesta ASCE 7-10 American Society of Civil Engineers (2010).*

5.11.1 *Parámetros de aceleración de respuesta espectral.*

La determinación de la aceleración máxima posible en períodos cortos de 0.2 segundos (S_{MS}) y para períodos de 1 segundos (S_{M1}) se lo realizará de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$S_{MS} = F_a * S_s$$

$$S_{M1} = F_v * S_1$$

Donde:

- S_{MS} = Aceleración de la respuesta espectral máxima para un período de 0.2 segundos.
- S_{M1} = Aceleración de la respuesta espectral máxima para un período de 1 segundos.
- F_a = Coeficiente de sitio para períodos cortos 0.2 segundos.
- F_v = Coeficiente de sitio para períodos de 1 segundo.
- S_s = Valor obtenido de las curvas de peligro sísmico de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015) para un período de 0.2 segundos.
- S_1 = Valor obtenido de las curvas de peligro sísmico de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015) para un período de 1 segundos.

Como dicta la norma American Society of Civil Engineers (2010), para la determinación de la aceleración de la respuesta espectral máxima posible para períodos cortos de 0.2 segundos (S_{MS}) y para períodos de 1 segundos (S_{M1}), se deberá tomar los valores de S_s y S_1 en los gráficos de riesgo sísmico ajustados al terremoto máximo considerado, sin embargo, esta información es aplicada a Estados Unidos. Para este análisis se tomará las curvas de peligro sísmico de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015) que representa la aceleración máxima esperada en roca para un sismo severo como nos exige la norma American Society of Civil Engineers (2010) (Sismo Máximo Considerado), el cual representa un 2% de excedencia en 50 años (período de retorno de 2500 años) con una probabilidad anual de excedencia de 0.0004 valor que ingresa en las curvas de peligro sísmico..

F_a y F_v se determina de acuerdo con las siguientes tablas, bajo los criterios de tipo de suelo y el valor de aceleración máxima S_s y S_1 respectivamente, que para el caso de esta disertación los valores representativos de S_s y S_1 que se escogerán son de la ciudad de Quito, de acuerdo a las curvas de peligro sísmico de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015).

Tipo de suelo	Valor obtenido de las curvas de peligro sísmico de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015) para un período de 0.2 segundos.				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s \leq 0.5$	$S_s \leq 0.75$	$S_s \leq 1.0$	$S_s \leq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	Consultar Capitulo 11 sección 11.4.7 ASCE 7-10.				

Tabla 20 Coeficiente de sitio para períodos cortos 0.2 segundos (F_a)

FUENTE: American Society of Civil Engineers (2010).

Tipo de suelo	Valor obtenido de las curvas de peligro sísmico de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015) para un período de 1 segundos.				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 \leq 0.2$	$S_1 \leq 0.3$	$S_1 \leq 0.4$	$S_1 \leq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	Consultar Capitulo 11 sección 11.4.7 ASCE 7-10.				

Tabla 21 Coeficiente de sitio para períodos de 1 segundos (F_v)

FUENTE: American Society of Civil Engineers (2010).

Para determinar los parámetros de aceleración de la respuesta espectral del sismo de diseño en un período de 0.2 segundos y 1 segundos respectivamente se realiza mediante las siguientes ecuaciones.

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS}$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{M1}$$

Donde:

- S_{DS} = Aceleración de la respuesta espectral del sismo de diseño para un período de 0.2 segundos.
- S_{D1} = Aceleración de la respuesta espectral del sismo de diseño en un período de 1 segundos.

5.11.2 Modelo Espectro de respuesta espectral ASCE 7-10 American Society of Civil Engineers (2010)

SUELO D	
S1	0.400
SS	1.200
Fa	1.020
Fv	1.600
SMS	1.224
SM1	0.640
SDS	0.816
SD1	0.427
T0	0.10457516
TS	0.52287582
TL	2.0000

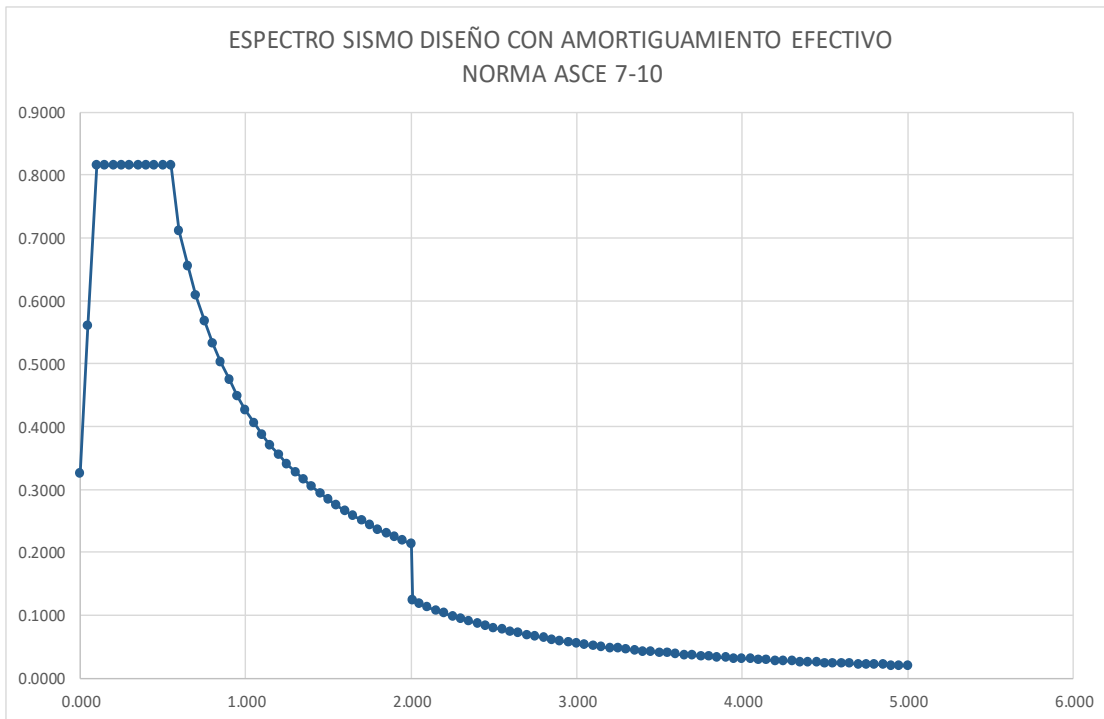


Ilustración 50: Espectro de diseño ASCE 7-10.

FUENTE: Elaboración propia.

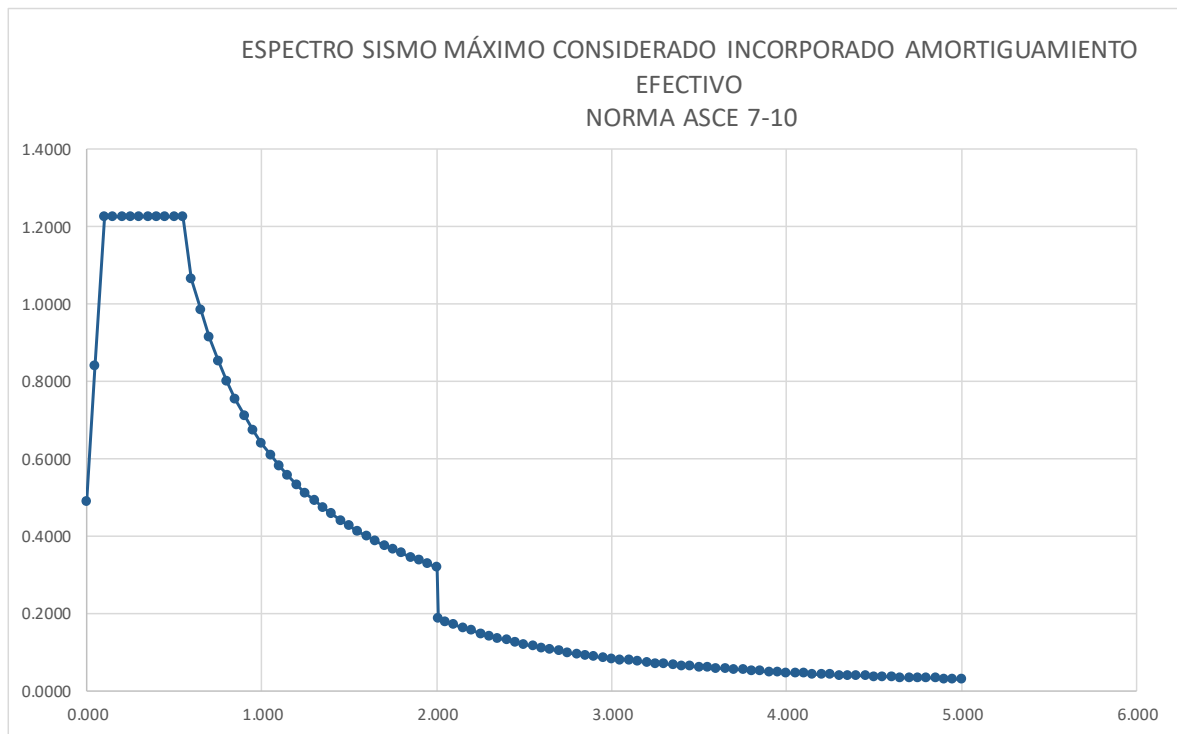


Ilustración 51: Espectro Sismo Máximo Considerado ASCE 7-10.

FUENTE: Elaboración propia.

5.11.3 Resultados modos de vibración.

A continuación, se presenta los modos de vibración de los edificios de 6 pisos tanto regular como irregular.

Edificio de 6 pisos regular.

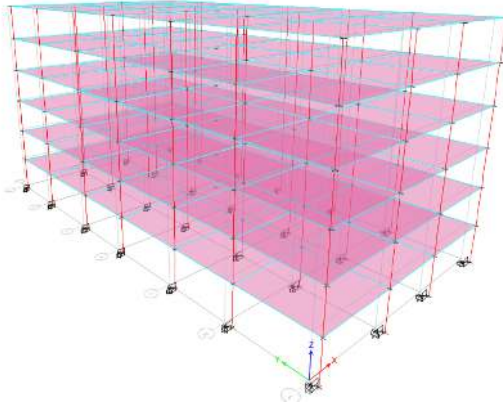


Ilustración 52: Primer modo de vibración (Traslación dirección Y).

Fuente: Elaboración Propia.

El primer modo de vibración obtenido como resultado del análisis modal, es traslación en el eje Y, al igual del que se obtuvo con una estructura de base fija.

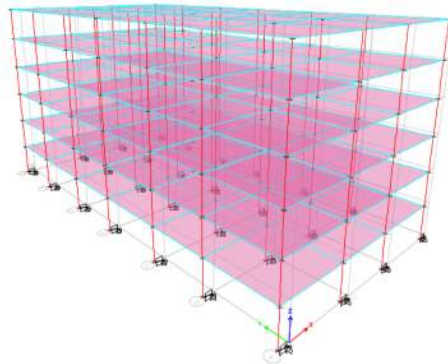


Ilustración 53: Primer modo de vibración (Traslación dirección X).

Fuente: Elaboración Propia.

El segundo modo de vibración es traslación en el eje X, el cual es el resultado que se proponía o se esperaba.

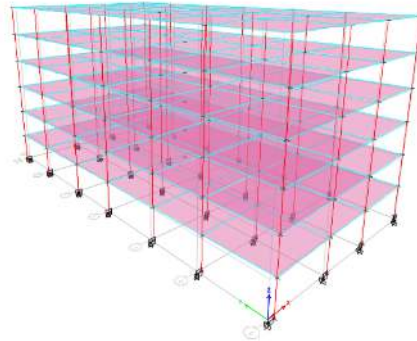


Ilustración 54: Tercer modo de vibración (Torsión).

Fuente: Elaboración Propia.

Se verifica el tercer modo de vibración, el cual es torsión alrededor del eje Z, el cual por los resultados se concluye que el comportamiento en cuanto a modos de vibración (Traslación Y – Traslación X – Torsión) de la estructura analizada se trata de una estructura ideal.

5.11.4 Período de vibración.

Tmodal (s)	0.725	- Mode 1 - Period 2.943
-------------------	--------------	--------------------------------

Ilustración 55: Período de vibración estructura base fija vs estructura de base aislada.

Fuente: Elaboración Propia.

Se obtiene un período de vibración igual a 2.943 segundos, dando como resultado un mayor período al calculado en la estructura de base fija que fue de 0.725, lo que implica que a nivel de base la estructura aislada tiene una mayor capacidad de deformación horizontal.

5.11.5 Derivas de piso.

Para el análisis de las derivas de piso el software Etabs, grafica de manera directa las máximas derivas de piso, como se observa:

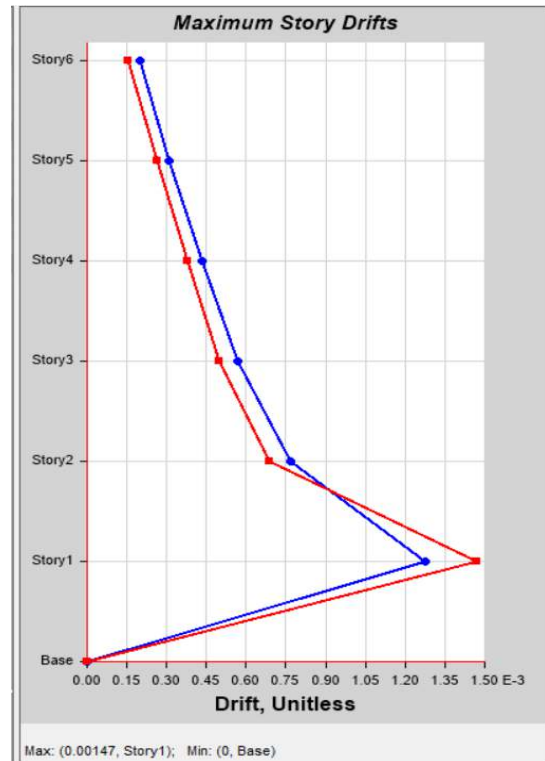
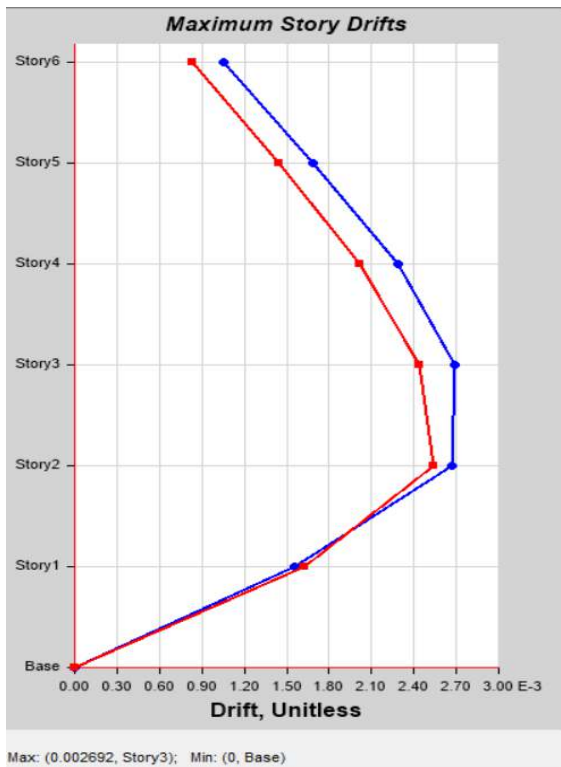


Ilustración 56: Máximas derivas de piso edificio 6 pisos regular Espectro de diseño base fija vs base aislada.

Fuente: Elaboración Propia.

En la gráfica de la deriva de piso se observa que el valor de la estructura aislada es menor a la estructura de base fija con un total de 54% menos de derivas de piso, lo que implica un menor daño y la estructura se comportará de mejor manera alargando así su vida útil y maximizando su seguridad.

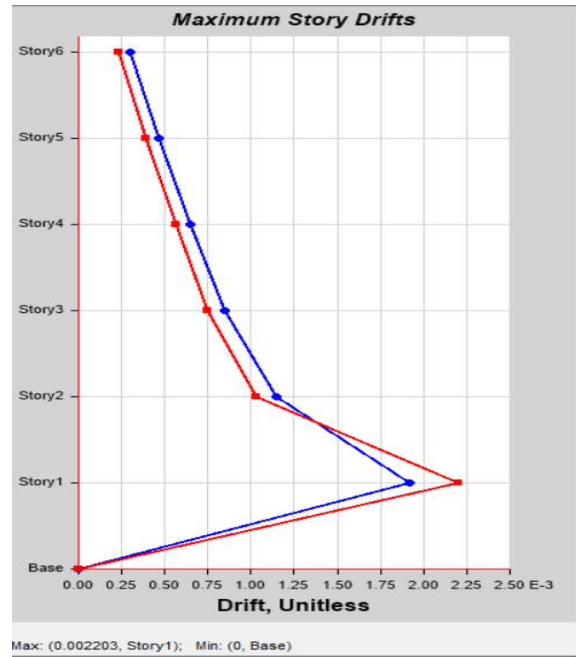
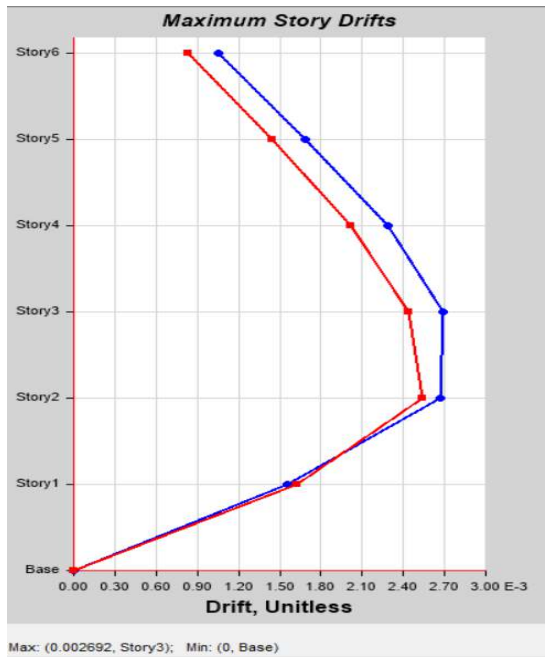


Ilustración 57: Máximas derivas de piso edificio 6 pisos regular Espectro Sismo de diseño base fija vs sismo Máximo Considerado (MCER) base aislada.

Fuente: Elaboración Propia.

La deriva máxima en la estructura de base fija se encuentra en el tercer piso, a diferencia de la estructura de base aislada que se encuentra en el primer piso en la interfaz de aislamiento.

Edificio de 6 pisos irregular.

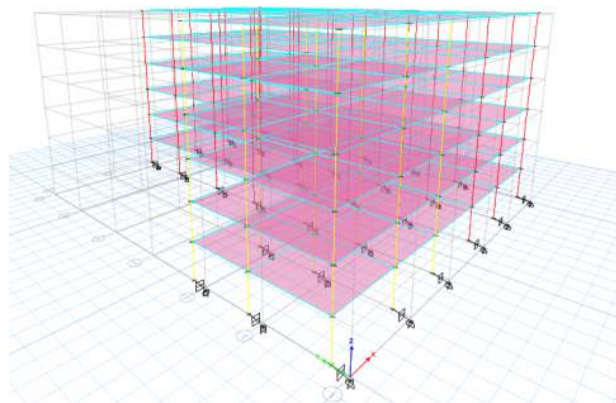


Ilustración 58: Primer modo de vibración (Traslación dirección Y).

Fuente: Elaboración Propia.

El primer modo de vibración obtenido como resultado del análisis modal, es traslación en el eje Y, al igual del que se obtuve con una estructura de base fija y en la estructura de base aislada regular.

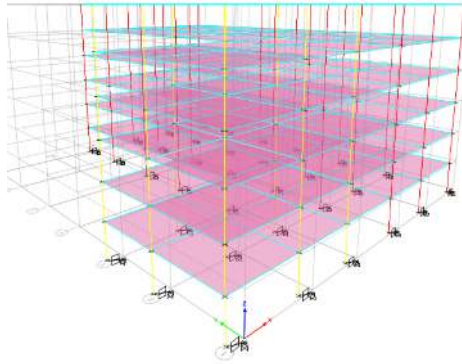


Ilustración 59: Primer modo de vibración (Traslación dirección X).

Fuente: Elaboración Propia.

El segundo modo de vibración es traslación en el eje X, el cual es el resultado que se esperaba, debido a que los dos modos principales de vibración deben ser traslación en los dos ejes.

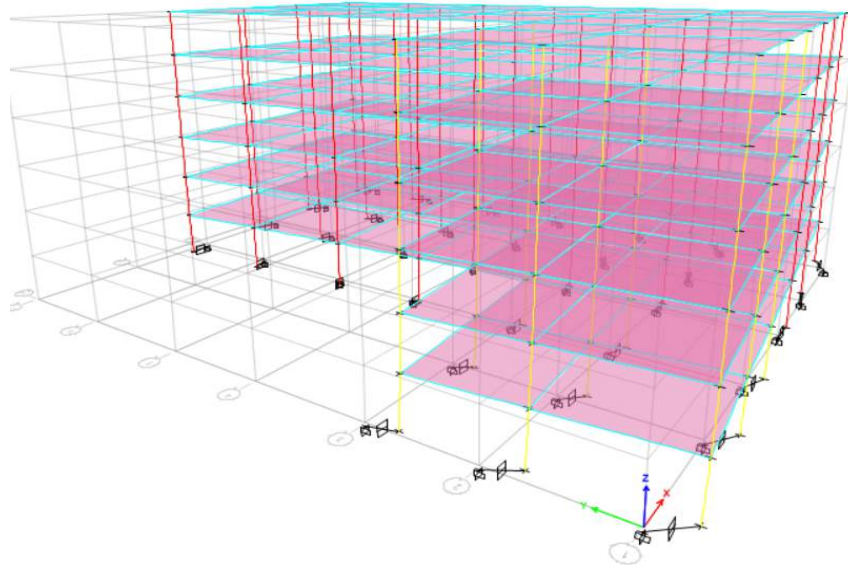


Ilustración 60: Tercer modo de vibración (Torsión).

Fuente: Elaboración Propia.

Se verifica el tercer modo de vibración, el cual es torsión alrededor del eje Z, el cual por los resultados se concluye que el comportamiento en cuanto a modos de vibración (Traslación Y – Traslación X – Torsión) de la estructura analizada se trata de una estructura ideal

5.11.6 Período de vibración.

Tmodal (s)	0.721
------------	-------

Mode 1 - Period 2.95

Ilustración 61: Período de vibración estructura base fija vs estructura de base aislada.

Fuente: Elaboración Propia.

Se obtiene un período de vibración igual a 2.95 segundos, dando como resultado un mayor período al calculado en la estructura de base fija que fue de 0.721 segundos, lo que implica que a nivel de base la estructura aislada tiene una mayor deformación horizontal.

5.11.7 Derivas de piso.

Para el análisis de las derivas de piso el software Etabs grafica de manera directa las máximas derivas de piso, como se observa:

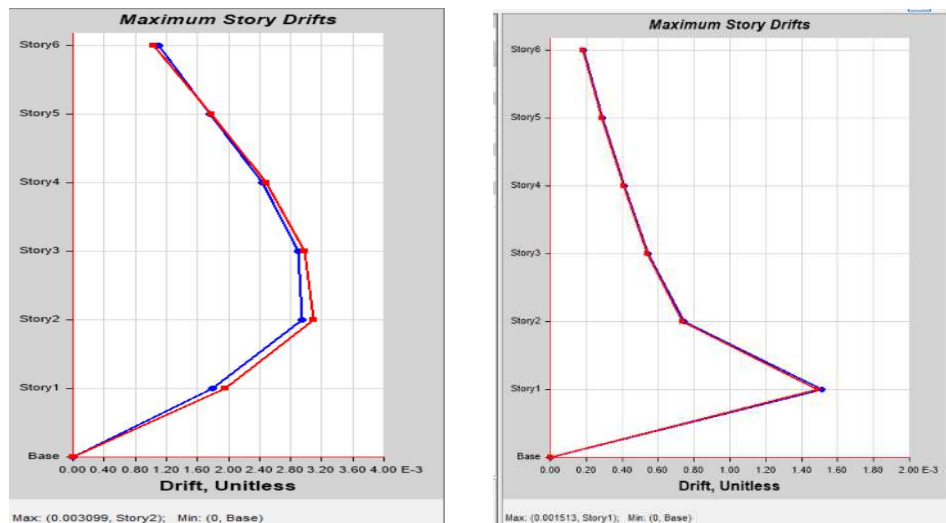


Ilustración 62: Máximas derivas de piso edificio 6 pisos irregular Sismo de diseño base fija vs base aislada.

Fuente: Elaboración Propia.

En la gráfica de la deriva de piso se observa que el valor que indica es muchísimo menor. un total de 48% menos a la estructura con base fija, lo que implica un menor daño y la estructura se comportara de mejor manera alargando así su vida útil y maximizando su seguridad.

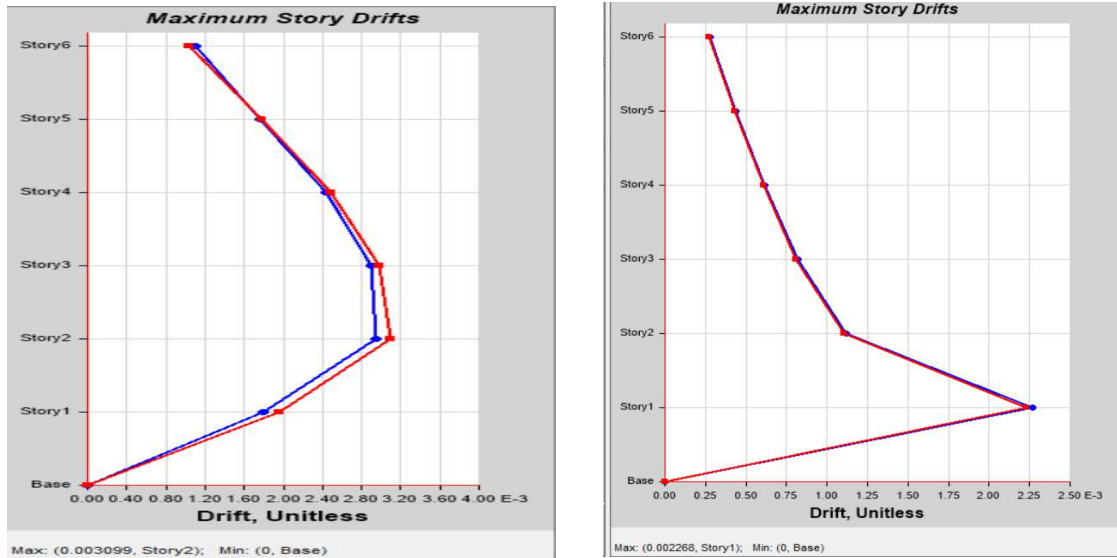


Ilustración 63: Máximas derivas de piso edificio 6 pisos irregular Sismo de diseño base fija vs Sismo Máximo Considerado base aislada.

Fuente: Elaboración Propia.

La deriva máxima en la estructura de base fija se encuentra en el segundo piso, a diferencia de la estructura de base aislada que se encuentra en el primer piso en la interfaz de aislamiento.

5.12 *Aplicación normativa American Society of Civil Engineers (2016).*

Para el análisis del espectro de respuesta en la norma ASCE 7-16, indica que el sismo a considerar ya no es el sismo de diseño, sino es el Sismo Máximo Considerado (MCER).

Lo que genera mayores sollicitaciones a la estructura debido a que aumenta la demanda que se deberá satisfacer.

Los requisitos de la norma ASCE 7-16 en cuanto a la utilización del espectro de respuesta es mucho más exigente, por lo tanto, no se podrá realizar el análisis sísmico con este procedimiento.

Los puntos más sobresalientes de estas restricciones son:

- La estructura deberá ser de configuración regular y no exceder de 4 pisos de altura.
- Debido a esto el análisis sísmico de la norma ASCE 7-16 se realizará con el procedimiento de análisis tiempo historia.

Procedimiento historial de respuesta.

Para el análisis sísmico mediante el procedimiento tiempo – historia, se necesita de pares de movimiento debidamente escalados para poder realizar el análisis y obtener los resultados.

Para esta disertación se utilizarán registros sísmicos proporcionados por el Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional (2015), registros a los cuales se les realizará su correspondiente escalado y corrección por línea base, para el análisis de dichos registros, se obtendrán las derivas de piso para la comparación entre ambas normas descritas anteriormente.

Los registros sísmicos tienen las siguientes características que se presentan a continuación:

NÚMERO DE REGISTRO	FECHA	LATITUD	LONGITUD	PROFUNDIDAD	MAGNITUD
REGISTRO 1	17/2/2011	-0.2536	-78.488	15 (Km)	4.1
REGISTRO 2	12/8/2014	-0.05	-78.42	5 (Km)	5.0
REGISTRO 3	16/8/2014	-0.05	-78.41	4 (km)	4.8

6.12.1 Análisis tiempo historia.

La normativa vigente estudiada indica que para el análisis tiempo – historia se deberá obtener pares de registros sísmicos debidamente escalados y acorde a las características del sitio en donde estará el proyecto.

Así también indica que se deberá tener 7 registros sísmicos, sin embargo, para esta disertación y como el fin de este estudio no es un diseño definitivo, sino más bien se trata de un estudio académico se tomará en cuenta tres pares de registros sísmicos en las direcciones principales, con el fin de realizar un correcto análisis y que los resultados sean comparables con el método propuesto por la norma American Society of Civil Engineers (2010).

6.12.2 Aplicación del análisis tiempo – historia.

Los registros sísmicos obtenidos se encuentran con unidades de (cm/s²) para la aceleración y con un intervalo de tiempo de 0.01 segundos.

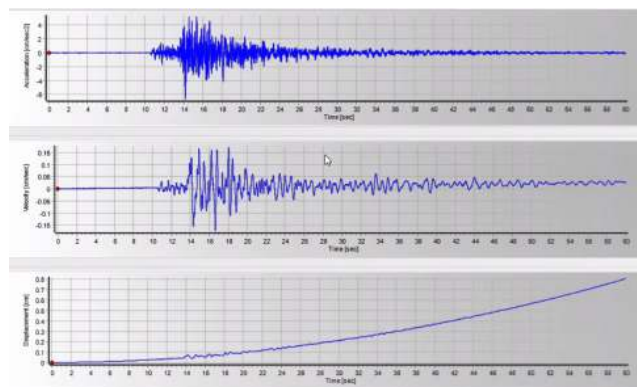


Ilustración 64: Registros sísmicos antes de escalar y corregir por línea base.

Fuente: Elaboración Propia.

Dichos registros no se encuentran escalados ni corregidos por línea base, para este procedimiento se usará el programa seismosignal, el cual servirá para realizar la corrección por línea base de los pares de registros obtenidos y así lograr realizar un correcto análisis e interpretación de los resultados.

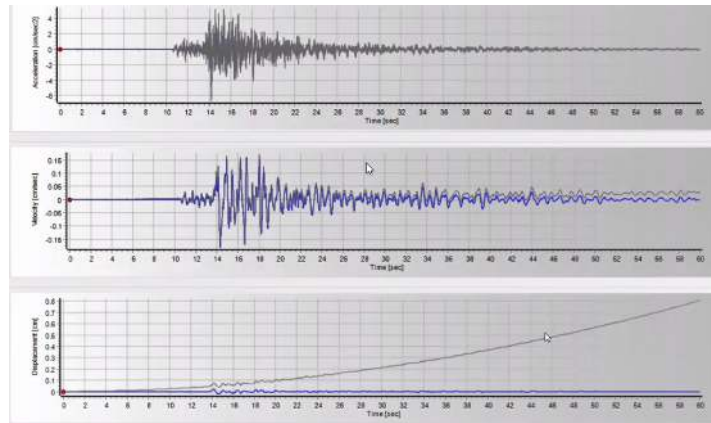


Ilustración 65: Registros sísmicos corregidos por línea base con seismosignal.

Fuente: Elaboración Propia.

Para escalar los pares de registros sísmicos se utilizará el espectro de diseño de la Norma American Society of Civil Engineers (2010), el mismo que fue determinado para las estructuras aisladas y con las condiciones de sitio propios de este estudio, con lo cual los registros sísmicos estarán escalados y listos para la realización del análisis tiempo – historia.

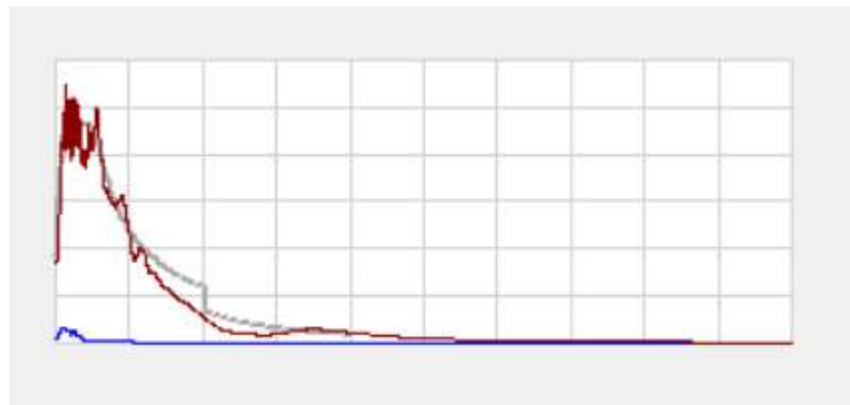


Ilustración 66: Escalado de registros sísmicos Time – History.

Fuente: Elaboración Propia.

Los registros sísmicos escalados y corregidos están en un formato de texto, fuera del software ETABS, en primer lugar, se deberá ingresar estos registros al software para proceder a su correspondiente análisis, en los edificios de estudio.

5.12.1 Derivas de piso.

Para el análisis de las derivas de piso el software Etabs, grafica de manera directa las máximas derivas de piso, como se observa:

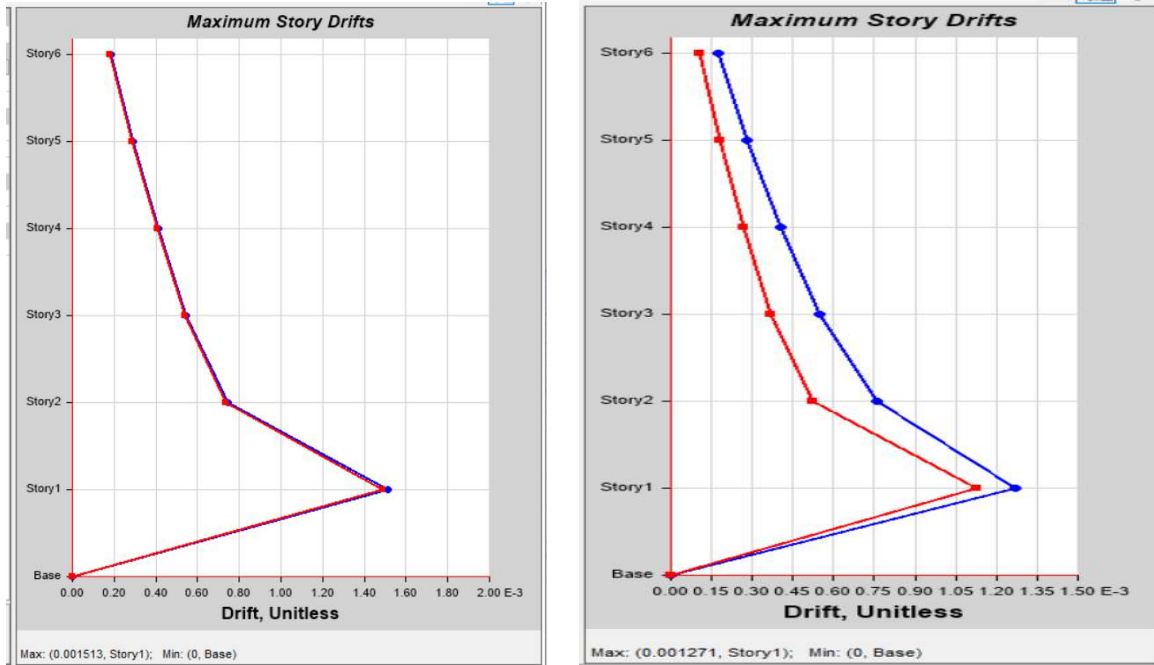


Ilustración 67: Máximas derivas de piso edificio 6 pisos regular ASCE 7-10 vs ASCE 7-16.

Fuente: Elaboración Propia.

En la gráfica de la deriva de piso se observa que el valor de la estructura aislada mediante el análisis con el espectro de diseño es mayor en valor al analizado con los registros sísmicos.

El tercer registro sísmico presenta el mayor efecto en la estructura analizada, debido a que por sus características tanto de profundidad como de magnitud provoca una mayor aceleración en los edificios.

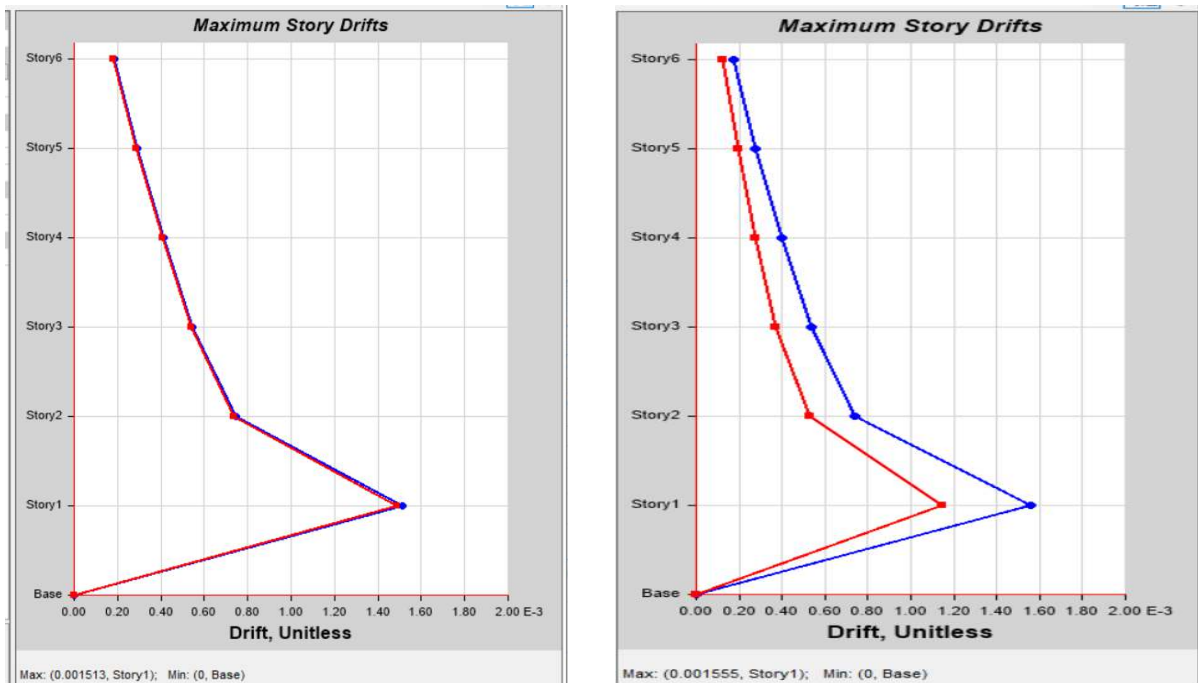


Ilustración 68: Máximas derivas de piso edificio 6 pisos irregular ASCE 7-10 vs ASCE 7-16.

Fuente: Elaboración Propia.

En la gráfica de la deriva de piso se observa que el valor de la estructura aislada mediante el análisis con el espectro de diseño es similar en valor al analizado con los registros sísmicos.

El tercer registro sísmico presenta el mayor efecto en la estructura analizada, debido a que por sus características tanto de profundidad como de magnitud provoca una mayor aceleración en los edificios.

5.13 *CONCLUSIONES:*

- El periodo de diseño de las estructuras de base aislada es 4 veces mayor al periodo de diseño de las estructuras de base fija.
- El periodo de diseño de una estructura de base aislada oscila entre los 2 y 3 segundos por lo que los resultados obtenidos son correctos.
- Las estructuras analizadas de acuerdo con los resultados obtenidos en relación con los modos de vibración son consideradas como “estructuras ideales” debido a que sus tres modos de vibración principales corresponden a traslación en los dos modos iniciales y torsión en el tercer modo.
- Los edificios con base fija cumplen con la máxima deriva de piso, es decir, todos los edificios tienen derivas de piso menores al 2% como indica la norma.
- Los edificios de base aislada con el sismo de diseño tienen las derivas de piso menores que los edificios de base fija, con un total en promedio de todos los edificios de un 59% menor, dando como resultado un mejor comportamiento y menores daños a la estructura cuando se presente un evento sísmico igual al período de diseño.
- Los aisladores de base funcionan bajo la premisa de ubicar elementos entre los cimientos y la base del edificio de tal manera que ayuden a disminuir la acción sísmica mediante la reducción de las fuerzas horizontales que actúan sobre la estructura durante la actividad sísmica, como se evidencia en las derivas de piso calculadas que a mayor altura la deriva de piso disminuye desde el primer piso, a diferencia de la estructura de base fija que la deriva de piso va en aumento hasta el piso 3 o 4, que en ese instante la estructura disipa la energía del sismo y sus derivas empiezan a disminuir.
- La norma ASCE 7-10 indica que se puede verificar el comportamiento de las estructuras de base aislada incorporado el sismo máximo considerado (MCER), ya que es 1.5 veces el sismo de diseño, el cual obteniendo los resultados en derivas de piso añade un 67% el valor de las derivas de piso en relación al sismo de diseño, sin embargo, cabe recalcar que los edificios tanto para el sismo máximo considerado y el sismo de diseño cumplen con las derivas de piso exigidas por la norma.

- Los resultados de desplazamientos en las estructuras sísmicamente aisladas, indica que estos edificios ante la ocurrencia de un sismo de diseño permanecen casi inmóviles durante la ocurrencia del sismo, debido a que el edificio se mueve en conjunto con el sistema de aislamiento y la diferencia de desplazamientos en entre pisos es muy baja.
- Los resultados obtenidos en esta disertación confirman la reducción de la respuesta sísmica en los edificios aislados, expresado en la reducción de las derivas de entre piso calculadas y los desplazamientos que se obtienen en cada nivel.
- La norma ASCE 7-10 indica que se puede verificar el comportamiento de las estructuras de base aislada incorporado el sismo máximo considerado (MCER), ya que es 1.5 veces el sismo de diseño, el cual obteniendo los resultados en derivas de piso añade un 67% el valor de las derivas de piso en relación con el sismo de diseño, sin embargo, cabe recalcar que los edificios tanto para el sismo máximo considerado y el sismo de diseño cumplen con las derivas de piso exigidas por la norma.
- Los registros sísmicos utilizados para el análisis Time – History como lo dicta la norma ASCE 7-16, fueron escalados al sismo de diseño, produciendo efectos similares en valores en los edificios analizados.
- El tercer registro sísmico produce los mayores efectos en la estructura debido es el mas cercano a la superficie en comparación con los otros dos, y en magnitud ocupa el segundo lugar.

5.14 *RECOMENDACIONES.*

- Los edificios que deberían tener un sistema de aislamiento son fundamentalmente los considerados esenciales según la normativa vigente Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015c); es decir, hospitales, centros educativos, y en general, edificaciones donde las actividades no deberían ser interrumpidas después de un desastre o donde las personas se puedan refugiar.
- Se recomienda el uso de los aisladores sísmicos en el Ecuador, debido a los beneficios presentados en los resultados en cuanto a comportamiento estructural se refiere, se recomienda elaborar una normativa propia en cuanto a este tema se refiere, bajo la premisa de ser un requisito fundamental al menos en estructuras de gran importancia.
- Para el análisis dinámico tiempo – historia, se deberá usar registros sísmicos correspondientes a eventos sísmicos que posean las mismas o características similares de magnitud, geotécnicas, y así el comportamiento de las estructuras sea más real.
- Se recomienda revisar de manera obligatoria si se presenta tracción en los aisladores, sobre todo en estructuras muy irregulares o en edificios con muros estructurales

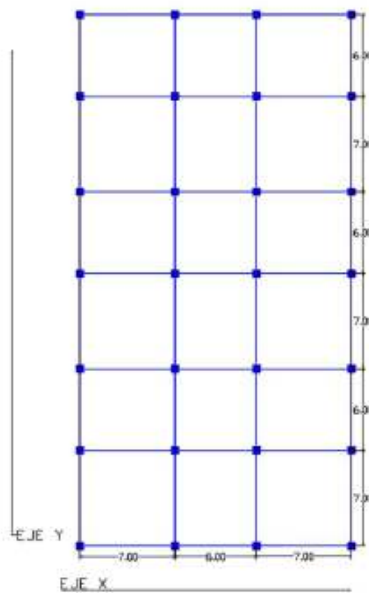
5.15 ANEXOS:

Anexo 1: Pre-dimensionamiento de losas.

PREDIMENSIONAMIENTO DE LOSAS

Para la determinación del predimensionamiento se empleara la tabla #1 "Espesor mínimo de losas no preesforzadas en dos direcciones sin vigas interiores", debido a que esta es la forma que se tiene en el grafico de planta, una losa soportada por vigas en el borde de la losa a dimensionar.

Forma edificios en planta, Distribución de columnas y losa soportada por vigas.



Espesor mínimo de losas no preesforzadas en dos direcciones sin vigas interiores.

fy (Mpa)	SIN ÁBACOS			CON ÁBACOS		
	PANELES EXTERIORES		PANELES INTERIORES	PANELES EXTERIORES		PANELES INTERIORES
	SIN VIGAS DE BORDE	CON VIGAS DE BORDE		SIN VIGAS DE BORDE	CON VIGAS DE BORDE	
280	$\frac{ln}{33}$	$\frac{ln}{36}$	$\frac{ln}{36}$	$\frac{ln}{36}$	$\frac{ln}{40}$	$\frac{ln}{40}$
420	$\frac{ln}{30}$	$\frac{ln}{33}$	$\frac{ln}{33}$	$\frac{ln}{33}$	$\frac{ln}{36}$	$\frac{ln}{36}$
520	$\frac{ln}{28}$	$\frac{ln}{31}$	$\frac{ln}{31}$	$\frac{ln}{31}$	$\frac{ln}{34}$	$\frac{ln}{34}$

$$f_y := 4200 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$l_n := 7 \text{ m}$$

Se tomara la distancia más larga.

Se define el acero a utilizar, por lo tanto utilizaremos el f_y : 420 MPa. y seleccionamos la formula a utilizar, se lo diseñara sin ábacos, y con vigas de borde tanto para paneles interiores y exteriores

PANELES EXTERIORES - CON VIGAS DE BORDE.

$$h_{min} := \frac{ln}{33} = 21.212 \text{ cm}$$

PANELES INTERIORES - CON VIGAS DE BORDE.

$$h_{min} := \frac{ln}{33} = 21.212 \text{ cm}$$

Se obtienen la misma dimensión, escogemos una losa de 22 cm de losa maciza.

$$h_{min} := 22 \text{ cm}$$

LOSA NERVADA

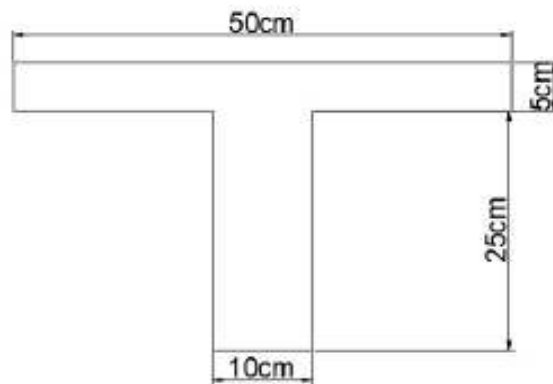
El valor de h_{min} obtenido corresponde a una altura de una losa maciza, debido a lo cual se transformará a una losa nervada, mediante el siguiente procedimiento.

Espesor de la loseta de compresión.

$$L_1 := 50 \text{ cm} \quad \text{Separación nervio a nervio de la losa.}$$

$$e := \frac{L_1}{12} = 4.167 \text{ cm} \quad \therefore \quad e := 5 \text{ cm} \quad \text{Tomamos una altura exacta.}$$

Esquema de losa nervada para el calculo del centro de gravedad.



Se puede evidenciar que se propone una losa alivianada de 30 cm de alto, con una loseta de compresión de 5 cm.

Centro de gravedad de la losa alivianada.

Se calcula el centro de gravedad de la sección transversal de la losa alivianada presentada anteriormente.

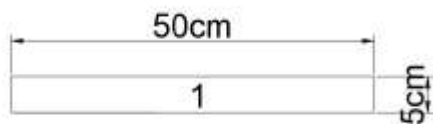
Se divide la sección en 2 áreas.

$$b1 := 50 \text{ cm}$$

$$h1 := 5 \text{ cm}$$

$$b2 := 10 \text{ cm}$$

$$h2 := 25 \text{ cm}$$



$$Area1 := b1 \cdot h1 = 250 \text{ cm}^2$$

$$y1 := 27.5 \text{ cm}$$

Centro de gravedad de la figura 1 con respecto a la base de la losa.



$$Area2 := b2 \cdot h2 = 250 \text{ cm}^2$$

$$y2 := 12.5 \text{ cm}$$

Centro de gravedad de la figura 1 con respecto a la base de la losa.

$$Ay1 := Area1 \cdot y1 = (6.875 \cdot 10^3) \text{ cm}^3$$

$$Ay2 := Area2 \cdot y2 = (3.125 \cdot 10^3) \text{ cm}^3$$

Centro de gravedad de la losa alivianada.

$$y_{losa} := \frac{Ay1 + Ay2}{Area1 + Area2} = 20 \text{ cm}$$

Momento de inercia de losa alivianada.

Para el cálculo del momento de inercia con respecto a su centro de gravedad, se utilizará el teorema de los ejes paralelos.

$$Area1 = 250 \text{ cm}^2$$

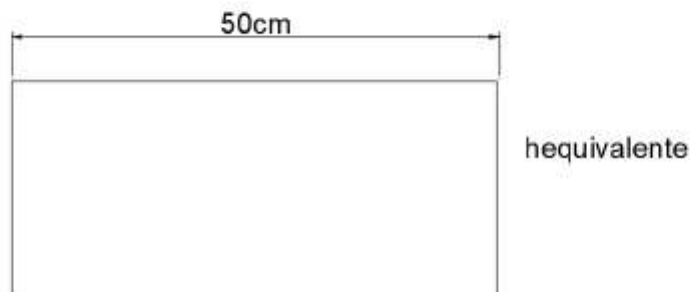
$$I1 := \frac{b1 \cdot (h1)^3}{12} + Area1 \cdot (y1 - y_{losa})^2 = (1.458 \cdot 10^4) \text{ cm}^4$$

$$I2 := \frac{b2 \cdot (h2)^3}{12} + Area2 \cdot (y2 - y_{losa})^2 = (2.708 \cdot 10^4) \text{ cm}^4$$

$$I_{losa} := I1 + I2 = (4.167 \cdot 10^4) \text{ cm}^4$$

Losa maciza equivalente.

Un vez obtenida la inercia de la losa alivianada, se calcula la altura de una losa maciza equivalente a los resultados obtenidos mediante la inercia de la losa alivianada.



$$b_{maciza} := 50 \text{ cm} \qquad I_{maciza} := \frac{b_{maciza} \cdot (h_{maciza})^3}{12}$$

$$h_{equivalente} := \sqrt[3]{\frac{I_{losa} \cdot 12}{b_{maciza}}} = 21.544 \text{ cm} \quad \text{Losa maciza equivalente.}$$

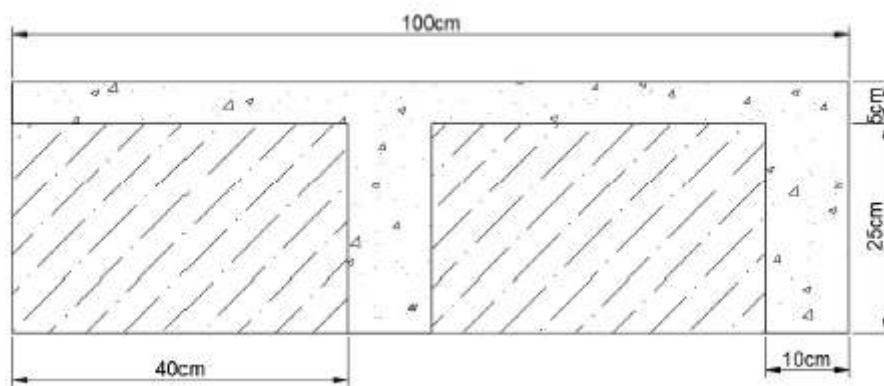
$$h_{min} := 21.212 \text{ cm}$$

$Evaluación := \begin{cases} \text{if } h_{min} < h_{equivalente} \\ \quad \text{"SATISFACTORIO"} \\ \text{if } h_{min} > h_{equivalente} \\ \quad \text{"REVISAR"} \end{cases} = \text{"SATISFACTORIO"}$

Una vez verificado el resultado y que sea satisfactorio se procede a determinar el valor de la losa alivianada en altura que será de:

$$h_{losa_nervada} := 30 \text{ cm}$$

Esquema de losa alivianada final en 1 metro de análisis.



Anexo 2: Pre-dimensionamiento de vigas.

PREDISEÑO DE ELEMENTOS

PREDISEÑO DE VIGAS

CARGAS PERMANENTES MUERTAS ENTRE PISOS

$$P_{\text{paredes}} := 210 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \qquad P_{\text{losa}} := 0.456 \frac{\text{tonne}}{\text{m}^2}$$

$$P_{\text{entucidos}} := 36 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$P_{\text{recubrimiento}} := 22 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$P_{\text{instalaciones}} := 15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$CM_{\text{entrepiso}} := P_{\text{paredes}} + P_{\text{entucidos}} + P_{\text{recubrimiento}} + P_{\text{instalaciones}} = 0.283 \frac{\text{tonne}}{\text{m}^2}$$

CARGAS PERMANENTES MUERTAS CUBIERTAS

$$P_{\text{paredes}} := 120 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$P_{\text{entucidos}} := 48 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \qquad \text{Incluye impermeabilización}$$

$$P_{\text{recubrimiento}} := 20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$P_{\text{instalaciones}} := 10 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$CM_{\text{cubierta}} := P_{\text{paredes}} + P_{\text{entucidos}} + P_{\text{recubrimiento}} + P_{\text{instalaciones}} = 0.198 \frac{\text{tonne}}{\text{m}^2}$$

Cargas vivas Edificaciones NEC 2015

$$CV_{\text{entrepiso}} := 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 0.2 \frac{\text{tonne}}{\text{m}^2} \qquad l_{\text{corto}} := 6 \text{ m}$$

$$CV_{\text{cubierta}} := 150 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 0.15 \frac{\text{tonne}}{\text{m}^2} \qquad l_{\text{largo}} := 7 \text{ m}$$

$$qu := 1.2 CM_{\text{entrepiso}} + 1.6 CV_{\text{entrepiso}}$$

$$qu := 1.2 \cdot (CM_{\text{entrepiso}} + P_{\text{losa}}) + 1.6 CV_{\text{entrepiso}} = 1.2068 \frac{\text{tonne}}{\text{m}^2}$$

$$q_{\text{largo}} := \frac{q_u \cdot l_{\text{corto}}}{3} \cdot \left(3 - \frac{l_{\text{corto}}}{l_{\text{largo}}} \right)^2$$

$$q_{\text{largo}} = 2.73377 \frac{\text{tonne}}{\text{m}}$$

$$q_{\text{ppviga}} := 0.6 \frac{\text{tonne}}{\text{m}}$$

$$w_u := q_{\text{largo}} \cdot 2 + q_{\text{ppviga}} = 6.06754 \frac{\text{tonne}}{\text{m}}$$

$$M_{\text{uneg}} := \frac{w_u \cdot l_{\text{largo}}^2}{10} = 29.73096 \text{ tonne} \cdot \text{m}$$

INCLUYENDO SISMO

Se introducirá el efecto del sismo en el prediseño de una manera sencilla, el cual podemos multiplicar el momento negativo por un factor descrito a continuación:

- Pisos bajos (Factor = 2.00)
- Pisos medios (Factor = 1.6)
- Pisos altos (Factor = 1.2)

$$M_{u_{\text{prediseño}}} := M_{\text{uneg}} \cdot 2 = 59.46192 \text{ tonne} \cdot \text{m}$$

Altura efectiva de la viga

$$R_u := 66.19 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\Phi := 0.9$$

$$b := 35 \text{ cm}$$

Pórticos especiales mayor a 25cm

$$M_u := \Phi \cdot R_u \cdot b \cdot d^2$$

$$d := \sqrt[2]{\frac{M_{u_{\text{prediseño}}}}{\Phi \cdot R_u \cdot b}} = 53.40329 \text{ cm}$$

$$h := d + 1 \text{ cm} + 1 \text{ cm} + 4 \text{ cm} = 59.40329 \text{ cm}$$

$$h_{\text{def}} := 65 \text{ cm}$$

Anexo 3: Pre-dimensionamiento de columnas.

PREDISEÑO COLUMNAS

Para el prediseño de las columnas, se tomará en cuenta el diagrama de interacción de las columnas, el cual esta definido por los siguientes elementos:

P carga axial.
M momento flector

$$P_o := 0.85 \cdot f'_c \cdot A_g + A_{st} \cdot f_y \quad \text{Punto de partida diagrama}$$

$$P_{bal} := \frac{1}{3} P_o$$

Para la incorporación del factor de sismo se multiplica por un factor de 1.2 a la carga P_o

$$f_y := 4200 \frac{kg}{cm^2} \quad f'_c := 350 \frac{kg}{cm^2} \quad \rho := 0.01 \quad \text{Cuantía de acero en columnas}$$

$$A_{g1} := \frac{3 \cdot 1.2}{0.85 \cdot f'_c + \rho \cdot f_y} = 10.60383 \frac{cm^2}{tonne}$$

$$A_g := A_{g1} \cdot P \quad \text{área de la columna en función de la carga P (ton)}$$

$$qu = 1.2068 \frac{tonne}{m^2}$$

$$A_{coop} := \left(\frac{7 \text{ m} + 6 \text{ m}}{2} \right) \cdot \left(\frac{7 \text{ m} + 6 \text{ m}}{2} \right) = 42.25 \text{ m}^2$$

La columna más cargada no es la que más complicación tendrá al momento de un sismo, sino más bien la columna con menos carga axial y mayor momento tendrá complicaciones, debido a que podría estar fuera del diagrama de interacción.

Columnas para edificio de 6 pisos

$$\#pisos := 6$$

$$A_{g6} := A_{g1} \cdot A_{coop} \cdot qu \cdot \#pisos = 0.3244 \text{ m}^2$$

Columnas para edificio de 8 pisos

$$\#pisos := 8$$

$$A_{g8} := A_{g1} \cdot A_{coop} \cdot qu \cdot \#pisos = 0.43253 \text{ m}^2$$

Columnas para edificio de 10 pisos

$$\#pisos := 10$$

$$A_{g10} := A_{g1} \cdot A_{coop} \cdot qu \cdot \#pisos = 0.54066 \text{ m}^2$$

Dimensiones de columnas a adoptar.

Columnas para edificio de 6 pisos.

$$x_6 := 70 \text{ cm}$$

$$y_6 := 70 \text{ cm}$$

$$A_{g6def} := x_6 \cdot y_6 = 0.49 \text{ m}^2$$

$$\text{Evaluación} := \begin{cases} \text{if } A_{g6} > A_{g6def} \\ \quad \text{|| "No satisfactorio"} \\ \text{if } A_{g6} < A_{g6def} \\ \quad \text{|| "SATISFACTORIO"} \end{cases} = \text{"SATISFACTORIO"}$$

Columnas para edificio de 8 pisos

$$x_8 := 70 \text{ cm}$$

$$y_8 := 70 \text{ cm}$$

$$A_{g8def} := x_8 \cdot y_8 = 0.49 \text{ m}^2$$

$$\text{Evaluación} := \begin{cases} \text{if } A_{g8} > A_{g8def} \\ \quad \text{|| "No satisfactorio"} \\ \text{if } A_{g8} < A_{g8def} \\ \quad \text{|| "SATISFACTORIO"} \end{cases} = \text{"SATISFACTORIO"}$$

$$A_{g6} := A_{g1} \cdot (A_{coop} \cdot qu + P_{col6}) \cdot \#pisos = 0.46985 \text{ m}^2$$

Columnas para edificio de 8 pisos

$$\#pisos := 8$$

$$A_{g8} := A_{g1} \cdot (A_{coop} \cdot qu + P_{col8}) \cdot \#pisos = 0.69111 \text{ m}^2$$

Columnas para edificio de 10 pisos

$$\#pisos := 10$$

$$A_{g10} := A_{g1} \cdot (A_{coop} \cdot qu + P_{col10}) \cdot \#pisos = 1.00241 \text{ m}^2$$

Dimensiones de columnas a adoptar.

Columnas para edificio de 6 pisos.

$$x_6 := 80 \text{ cm}$$

$$y_6 := 60 \text{ cm}$$

$$A_{g6def} := x_6 \cdot y_6 = 0.48 \text{ m}^2$$

$\text{Evaluación} := \begin{cases} \text{if } A_{g6} > A_{g6def} \\ \quad \text{"No satisfactorio"} \\ \text{if } A_{g6} < A_{g6def} \\ \quad \text{"SATISFACTORIO"} \end{cases}$	= "SATISFACTORIO"
--	-------------------

$\text{Evaluación} := \begin{cases} \text{if } \frac{x_6}{y_6} > 0.4 \\ \quad \text{"SATISFACTORIO"} \\ \text{if } \frac{x_6}{y_6} < 0.4 \\ \quad \text{"REVISAR"} \end{cases}$	= "SATISFACTORIO"
---	-------------------

Columnas para edificio de 8 pisos

$$x_8 := 95 \text{ cm}$$

$$y_8 := 75 \text{ cm}$$

$$A_{g8def} := x_8 \cdot y_8 = 0.7125 \text{ m}^2$$

$$\text{Evaluación} := \begin{cases} \text{if } A_{g8} > A_{g8def} \\ \quad \text{“No satisfactorio”} \\ \text{if } A_{g8} < A_{g8def} \\ \quad \text{“SATISFACTORIO”} \end{cases} = \text{“SATISFACTORIO”}$$

$$\text{Evaluación} := \begin{cases} \text{if } \frac{x_8}{y_8} > 0.4 \\ \quad \text{“SATISFACTORIO”} \\ \text{if } \frac{x_6}{y_6} < 0.4 \\ \quad \text{“REVISAR”} \end{cases} = \text{“SATISFACTORIO”}$$

Columnas para edificio de 10 pisos

$$x_{10} := 115 \text{ cm}$$

$$y_{10} := 90 \text{ cm}$$

$$A_{g10def} := x_{10} \cdot y_{10} = 1.035 \text{ m}^2$$

$$\text{Evaluación} := \begin{cases} \text{if } A_{g10} > A_{g10def} \\ \quad \text{“No satisfactorio”} \\ \text{if } A_{g10} < A_{g10def} \\ \quad \text{“SATISFACTORIO”} \end{cases} = \text{“SATISFACTORIO”}$$

$$\text{Evaluación} := \begin{cases} \text{if } \frac{x_{10}}{y_{10}} > 0.4 \\ \quad \text{“SATISFACTORIO”} \\ \text{if } \frac{x_6}{y_6} < 0.4 \\ \quad \text{“REVISAR”} \end{cases} = \text{“SATISFACTORIO”}$$

CUADRO DE RESÚMEN DE DIMENSIONES ESCOGIDAS.

EDIFICIO DE 6 PISOS			
# PISOS	VIGAS	COLUMNAS	LOSA
(1-3)	35*65	80*60	Alivianada de 30 cm
(4-5)	35*65	80*60	Alivianada de 30 cm
6	35*65	80*60	Alivianada de 30 cm

EDIFICIO DE 8 PISOS			
# PISOS	VIGAS	COLUMNAS	LOSA
(1-3)	35*65	95*75	Alivianada de 30 cm
(4-6)	35*65	95*75	Alivianada de 30 cm
(7-8)	35*65	95*75	Alivianada de 30 cm

EDIFICIO DE 10 PISOS			
# PISOS	VIGAS	COLUMNAS	LOSA
(1-4)	35*65	115*90	Alivianada de 30 cm
(5-8)	35*65	115*90	Alivianada de 30 cm
(9-10)	35*65	115*90	Alivianada de 30 cm

Anexo 4: Ajuste cortante basal dinámico y estático.

AJUSTE DEL CORTANTE BASAL DINÁMICO.

EDIFICIO REGULAR 6 PISOS.

Cotante Basal mediante Fueras laterales y Periodo NEC		Cotante Basal Periodo Máximo		Cotante Basal Periodo Software	
T	0.7947	Tmax (1.3T)	1.033	Tmodal (s)	0.725
Se (T)	1.0458	Se (Tmax)	0.8044	Se (Tmodal)	1.1463
V	0.1743	V (Tmax)	0.1341	V (Tmodal)	0.191
k	1.147	k(max)	1.267	k(modal)	1.113

Análisis cortante basal dinámico y estático.

b. Ajuste del corte basal de los resultados obtenidos por el análisis dinámico

El valor del cortante dinámico total en la base obtenido por cualquier método de análisis dinámico, no debe ser:

- < 80% del cortante basal V obtenido por el método estático (estructuras regulares)
- < 85% del cortante basal V obtenido por el método estático (estructuras irregulares).

Load Case/Combo	FX tonf	FY tonf
SISMO	-836.2375	0
ESPECTRO NEC...	698.5592	692.7993
SISMO Y	0	-836.2375

$$V_{\text{basal}} := 836.2375 \text{ tonne}$$

$$V_{\text{basal}} := V_{\text{basal}} \cdot 0.80 = 668.99 \text{ tonne}$$

$$V_{x_{\text{dinamico}}} := 698.5592 \text{ tonne}$$

$$V_{y_{\text{dinamico}}} := 692.7993 \text{ tonne}$$

$$\text{Evaluación} := \left\{ \begin{array}{l} \text{if } V_{x_{\text{dinamico}}} > V_{\text{basal}} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"No requiere ajuste"} \\ \text{if } V_{x_{\text{dinamico}}} < V_{\text{basal}} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Requiere ajuste"} \end{array} \right. \end{array} \right. \end{array} \right\} = \text{"No requiere ajuste"}$$

$$\text{Evaluación} := \left\{ \begin{array}{l} \text{if } V_{y_{\text{dinamico}}} > V_{\text{basal}} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"No requiere ajuste"} \\ \text{if } V_{y_{\text{dinamico}}} < V_{\text{basal}} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Requiere ajuste"} \end{array} \right. \end{array} \right. \end{array} \right\} = \text{"No requiere ajuste"}$$

EDIFICIO REGULAR 8 PISOS.

Cotante Basal mediante Fueras laterales y Periodo NEC		Cotante Basal Periodo Máximo		Cotante Basal Periodo Software	
T	1.0295	Tmax (1.3T)	1.338	Tmodal (s)	0.964
Sa (T)	0.8072	Sa (Tmax)	0.6209	Sa (Tmodal)	0.8621
V	0.1345	V (Tmax)	0.1035	V (Tmodal)	0.144
k	1.265	k(max)	1.419	k(modal)	1.232

Análisis cortante basal dinámico y estático.

b. Ajuste del corte basal de los resultados obtenidos por el análisis dinámico

El valor del cortante dinámico total en la base obtenido por cualquier método de análisis dinámico, no debe ser:

- < 80% del cortante basal V obtenido por el método estático (estructuras regulares)
- < 85% del cortante basal V obtenido por el método estático (estructuras irregulares).

Load Case/Combo	FX tonf	FY tonf
SISMO	-957.8057	-7.397E-07
ESPECTRO NEC...	764.9753	781.7963

$$V_{\text{basal}} := 957.8057 \text{ tonne}$$

$$V_{\text{basal}} := V_{\text{basal}} \cdot 0.80 = 766.245 \text{ tonne}$$

$$V_{x_{\text{dinamico}}} := 764.9753 \text{ tonne} \quad V_{y_{\text{dinamico}}} := 781.7963 \text{ tonne}$$

$$\text{Evaluación} := \begin{cases} \text{if } V_{x_{\text{dinamico}}} > V_{\text{basal}} & \text{= "Requiere ajuste"} \\ \text{"No requiere ajuste"} \\ \text{if } V_{x_{\text{dinamico}}} < V_{\text{basal}} & \text{"Requiere ajuste"} \end{cases}$$

$$\text{Evaluación} := \begin{cases} \text{if } V_{y_{\text{dinamico}}} > V_{\text{basal}} & \text{= "No requiere ajuste"} \\ \text{"No requiere ajuste"} \\ \text{if } V_{y_{\text{dinamico}}} < V_{\text{basal}} & \text{"Requiere ajuste"} \end{cases}$$

AJUSTE DEL CORTANTE DINÁMICO.

A continuación se determina el valor de los factores de corrección para la dirección x, debido que después del análisis se determino que ese valor es el menor.

$$fcx := \frac{V_{\text{basal}}}{V_{x_{\text{dinamico}}}} = 1.002$$

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	QUITO Z0.4 I1	9.81*1.002
Acceleration	U2	QUITO Z0.4 I1	9.81

VALORES DE CORTANTE BASAL DINÁMICO AJUSTADO

Load Case/Combo	FX tonf	FY tonf
SISMO	-957.8057	-7.397E-07
ESPECTRO NEC...	766.5053	781.7963

$$V_{\text{basal}} := 957.8057 \text{ tonne}$$

$$V_{\text{basal}} := V_{\text{basal}} \cdot 0.80 = 766.245 \text{ tonne}$$

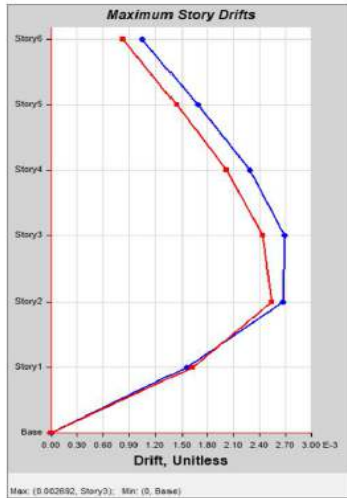
$$V_{x_{\text{dinamico}}} := 766.5053 \text{ tonne} \quad V_{y_{\text{dinamico}}} := 781.7963 \text{ tonne}$$

$$\text{Evaluación} := \begin{cases} \text{if } V_{x_{\text{dinamico}}} > V_{\text{basal}} & \text{= "No requiere ajuste"} \\ \text{"No requiere ajuste"} \\ \text{if } V_{x_{\text{dinamico}}} < V_{\text{basal}} & \text{"Requiere ajuste"} \end{cases}$$

$$\text{Evaluación} := \begin{cases} \text{if } V_{y_{\text{dinamico}}} > V_{\text{basal}} & \text{= "No requiere ajuste"} \\ \text{"No requiere ajuste"} \\ \text{if } V_{y_{\text{dinamico}}} < V_{\text{basal}} & \text{"Requiere ajuste"} \end{cases}$$

Anexo 5: ANÁLISIS DE LAS DERIVAS DE PISO (EDIFICIOS BASE FIJA).

Análisis de derivas de piso edificio.
Edificio de 6 pisos regular.



$$\Delta_M := 0.02 \quad R := 6$$

Límites de la deriva: la deriva máxima inelástica Δ_M de cada piso debe calcularse mediante:

$$\Delta_M = 0.75R\Delta_e$$

Dónde:

Δ_M Deriva máxima inelástica

Δ_e Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas

R Factor de reducción de resistencia (véase la sección 6.3.4)

Regla: Δ_M no puede superar los valores establecidos en la [Tabla 7](#) los cuales deben satisfacerse en todas las columnas del edificio.

$$\Delta_e := \frac{\Delta_M}{0.75 \cdot R} = 0.00444$$

los valores de cada piso deberán ser menores que 0.004 para aprobar el diseño.

$$\Delta_{e_{\text{máximo}}} := 0.002692 \quad \text{Deriva máxima programa Etabs}$$

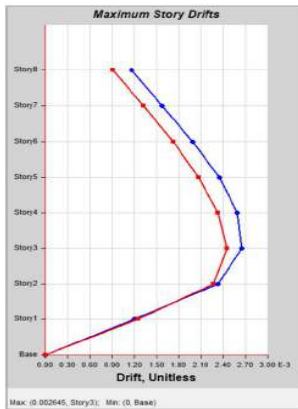
Evaluación := $\left\{ \begin{array}{l} \text{if } \Delta_{e_{\text{máximo}}} > \Delta_e \\ \quad \text{"No Cumple deriva"} \\ \text{if } \Delta_{e_{\text{máximo}}} < \Delta_e \\ \quad \text{"Cumple deriva"} \end{array} \right\} = \text{"Cumple deriva"}$

Límites de derivas máxima.

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

Tabla 7 : Valores de Δ_M máximos, expresados como fracción de la altura de piso

Análisis de derivas de piso edificio.
Edificio de 8 pisos regular.



$$\Delta_M := 0.02 \quad R := 6$$

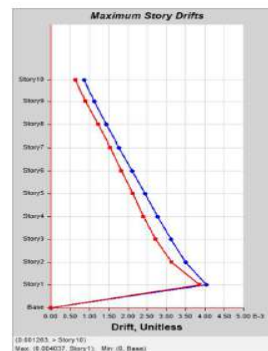
$$\Delta_e := \frac{\Delta_M}{0.75 \cdot R} = 0.00444$$

los valores de cada piso deberán ser menores que 0.004 para aprobar el diseño.

$$\Delta_{e_{\text{máximo}}} := 0.002645 \quad \text{Deriva máxima programa Etabs}$$

Evaluación := $\left\{ \begin{array}{l} \text{if } \Delta_{e_{\text{máximo}}} > \Delta_e \\ \quad \text{"No Cumple deriva"} \\ \text{if } \Delta_{e_{\text{máximo}}} < \Delta_e \\ \quad \text{"Cumple deriva"} \end{array} \right\} = \text{"Cumple deriva"}$

Análisis de derivas de piso edificio.
Edificio de 10 pisos regular.



$$\Delta_M := 0.02 \quad R := 6$$

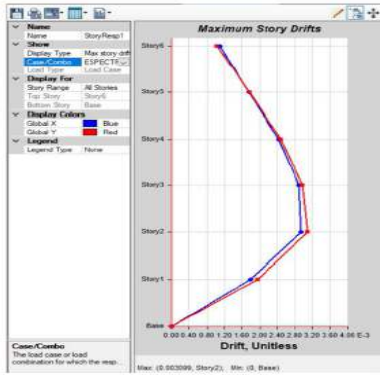
$$\Delta_e := \frac{\Delta_M}{0.75 \cdot R} = 0.00444$$

Los valores de cada piso deberán ser menores que 0.004 para aprobar el diseño.

$$\Delta_{e_{\text{máximo}}} := 0.004037 \quad \text{Deriva máxima programa Etabs}$$

Evaluación := $\left\{ \begin{array}{l} \text{if } \Delta_{e_{\text{máximo}}} > \Delta_e \\ \quad \text{"No Cumple deriva"} \\ \text{if } \Delta_{e_{\text{máximo}}} < \Delta_e \\ \quad \text{"Cumple deriva"} \end{array} \right\} = \text{"Cumple deriva"}$

Análisis de derivas de piso edificio.
Edificio de 6 pisos irregular.



Límites de derivas máxima.

$$\Delta_M := 0.02 \quad R := 6$$

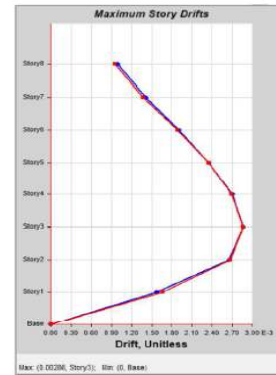
$$\Delta e := \frac{\Delta_M}{0.75 \cdot R} = 0.00444$$

los valores de cada piso deberán ser menores que 0.004 para aprobar el diseño.

$\Delta e_{\text{máximo}} := 0.003099$ Deriva máxima programa Etabs

Evaluación := $\left\{ \begin{array}{l} \text{if } \Delta e_{\text{máximo}} > \Delta e \\ \quad \text{"No Cumple deriva"} \\ \text{if } \Delta e_{\text{máximo}} < \Delta e \\ \quad \text{"Cumple deriva"} \end{array} \right\} = \text{"Cumple deriva"}$

Edificio de 8 pisos irregular.



Límites de derivas máxima.

$$\Delta_M := 0.02 \quad R := 6$$

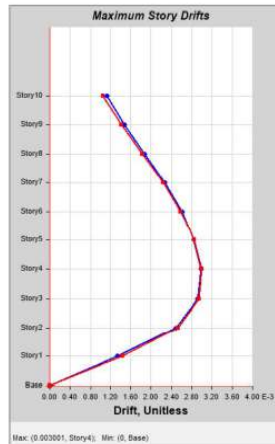
$$\Delta e := \frac{\Delta_M}{0.75 \cdot R} = 0.00444$$

los valores de cada piso deberán ser menores que 0.004 para aprobar el diseño.

$\Delta e_{\text{máximo}} := 0.00286$ Deriva máxima programa Etabs

Evaluación := $\left\{ \begin{array}{l} \text{if } \Delta e_{\text{máximo}} > \Delta e \\ \quad \text{"No Cumple deriva"} \\ \text{if } \Delta e_{\text{máximo}} < \Delta e \\ \quad \text{"Cumple deriva"} \end{array} \right\} = \text{"Cumple deriva"}$

Edificio de 10 pisos irregular.



Límites de derivas máxima.

$$\Delta_M := 0.02 \quad R := 6$$

$$\Delta e := \frac{\Delta_M}{0.75 \cdot R} = 0.00444$$

los valores de cada piso deberán ser menores que 0.004 para aprobar el diseño.

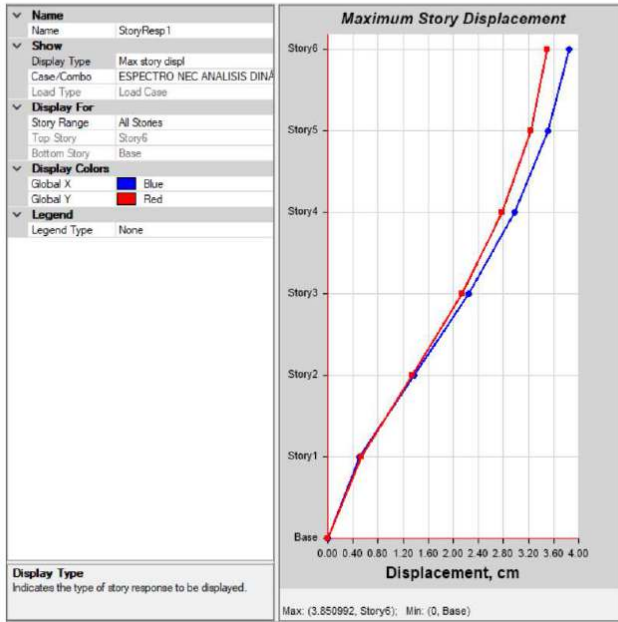
$\Delta e_{\text{máximo}} := 0.003001$ Deriva máxima programa Etabs

Evaluación := $\left\{ \begin{array}{l} \text{if } \Delta e_{\text{máximo}} > \Delta e \\ \quad \text{"No Cumple deriva"} \\ \text{if } \Delta e_{\text{máximo}} < \Delta e \\ \quad \text{"Cumple deriva"} \end{array} \right\} = \text{"Cumple deriva"}$

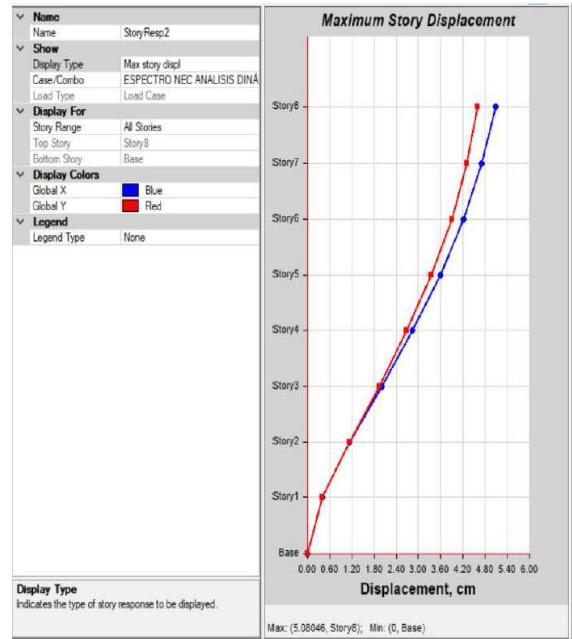
Anexo 6: RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTO (EDIFICIOS BASE FIJA).

RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTOS EDIFICIOS DE BASE FIJA.

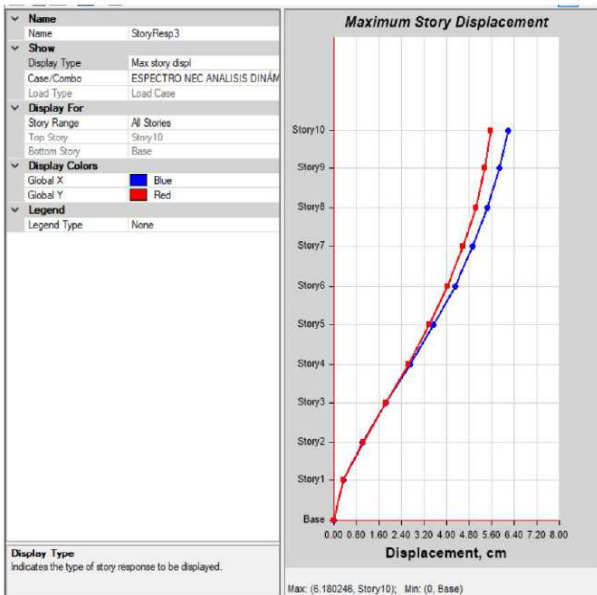
EDIFICIO REGULAR 6 PISOS.



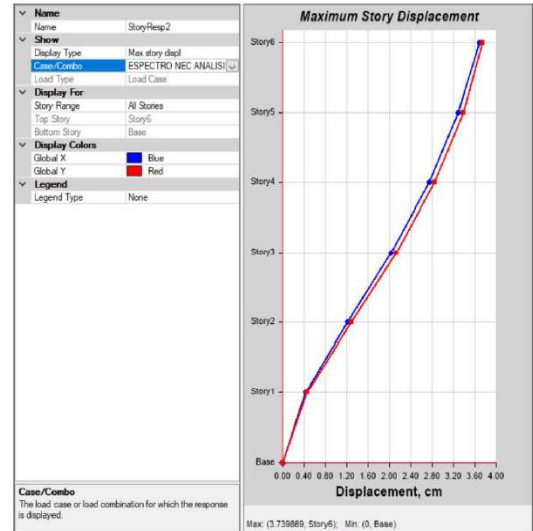
EDIFICIO REGULAR 8 PISOS.



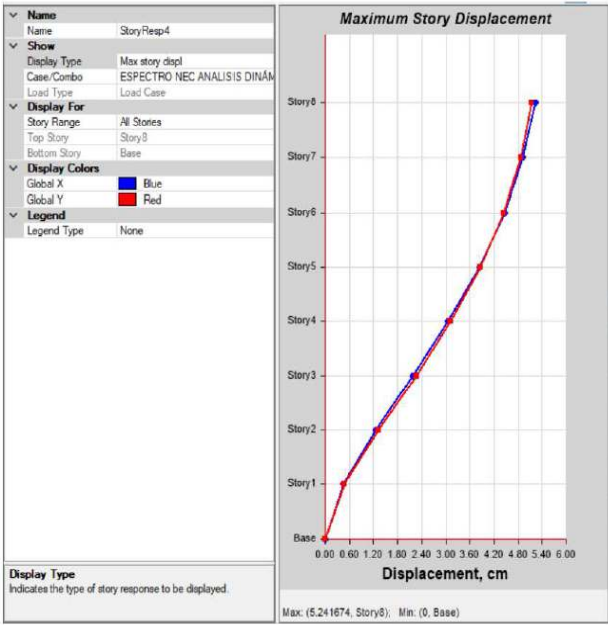
EDIFICIO REGULAR 10 PISOS.



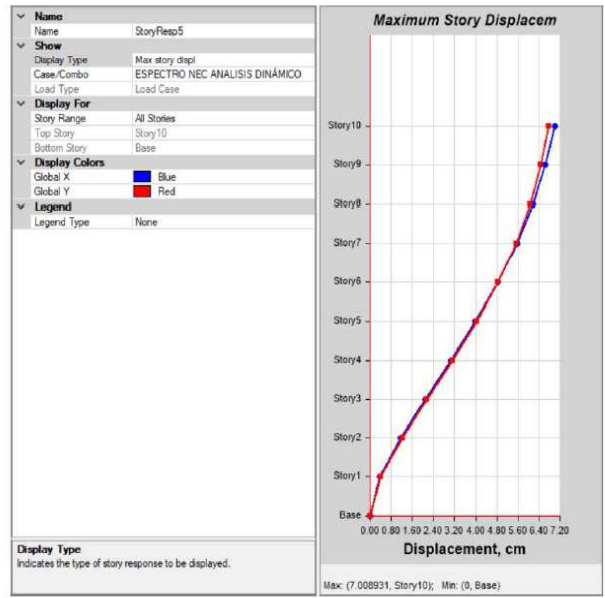
EDIFICIO IRREGULAR 6 PISOS.



EDIFICIO IRREGULAR 8 PISOS.



EDIFICIO IRREGULAR 10 PISOS.



Anexo 7: CATÁLOGO DE AISLADORES TENSA DIÁMETROS ESCOGIDOS.

TLRI EDIFICACIÓN CON AISLADOR TLRI

APOYO ELASTOMERICO CON NUCLEO DE PLOMO

EN 15129:2009 (E) - cap. 8.2

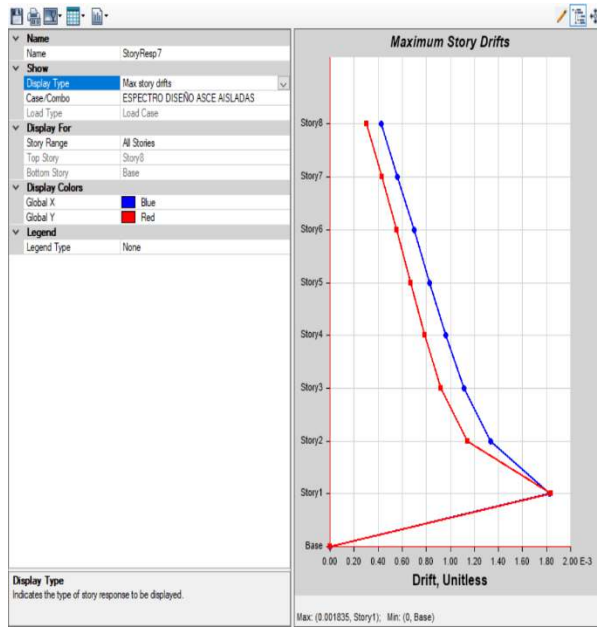
d_{Ed} 250mm	AISLADOR	DIÁMETRO DEL CAUCHO	ALTURA TOTAL (INCLUYENDO CHAPAS EXTERNAS)	TAMAÑO DE CHAPA GENERAL	ESPESOR TOTAL DEL CAUCHO	FACTOR DE FORMA	RIGIDEZ VERTICAL	RIGIDEZ HORIZONTAL EFECTIVA AL d_{Ed}	AMORTIGUACIÓN EFECTIVA EN d_{Ed}	DESPLAZAMIENTO DE DEFORMACIÓN	CARGA DE DEFORMACIÓN HORIZONTAL	DESPLAZAMIENTO DE DISEÑO HORIZONTAL (EN 1998)	CARGA DE DISEÑO HORIZONTAL	CARGA ESTÁTICA VERTICAL MÁXIMA ELU	CARGA SISMICA VERTICAL MÁXIMA
		D (mm)	H_{tot} (mm)	L x L (mm x mm)	T_c (mm)	S (-)	K_v (kN/mm)	K_{eff} (kN/mm)	X_{eff} (%)	d_y (mm)	F_y (kN)	d_{bd} (mm)	H_{ood} (mm)	N_{slu} (kN)	N_{segm} (kN)
CAUCHO SOFT $G_{din} = 0.4 \text{ MPa}^*$ $\zeta_{eff} = 10\% - 15\%^*$	TLRI-400-SM-125/75	400	242	450X450	125	18.8	408	0.6	24	16	56	208	125	1700	600
	TLRI-450-SM-126/85	450	231	500X500	126	17.6	469	0.8	24	16	72	208	158	2150	900
	TLRI-500-SM-126/95	500	237	550X550	126	16.8	541	0.9	24	16	90	208	196	2700	1300
	TLRI-550-SM-125/105	550	257	600X600	125	26.0	1208	1.1	24	16	110	208	239	5500	2950
	TLRI-600-SM-125/115	600	257	650X650	125	28.4	1596	1.4	24	16	131	208	285	6550	3750
	TLRI-650-SM-126/125	650	246	700X700	126	25.6	1657	1.6	24	17	155	208	334	7700	4700
	TLRI-700-SM-126/135	700	261	750X750	126	27.6	2102	1.9	25	17	180	208	388	8950	5700
	TLRI-750-SM-126/145	750	252	800X800	126	25.4	2190	2.1	25	17	208	208	446	10300	6800
	TLRI-800-SM-126/155	800	252	850X850	126	27.1	2696	2.4	25	17	238	208	509	11750	8050
	TLRI-850-SM-128/165	850	248	900X900	128	25.2	2753	2.7	25	17	269	208	569	13300	9350
	TLRI-900-SM-128/175	900	263	950X950	128	26.7	3311	3.1	25	17	302	208	639	14950	10750
	TLRI-950-SM-128/185	950	263	1000X1000	128	28.2	3930	3.4	25	17	337	208	713	16650	12200
	TLRI-1000-SM-126/195	1000	255	1050X1050	126	26.4	4106	3.8	25	17	375	208	798	18450	13800
	TLRI-1100-SM-130/210	1100	271	1150X1150	130	26.2	4791	4.5	25	17	436	208	933	22450	17300
	TLRI-1200-SM-130/230	1200	271	1250X1250	130	28.6	6309	5.3	25	17	523	208	1114	26750	21100

Ilustración 69: Catálogo Aisladores.

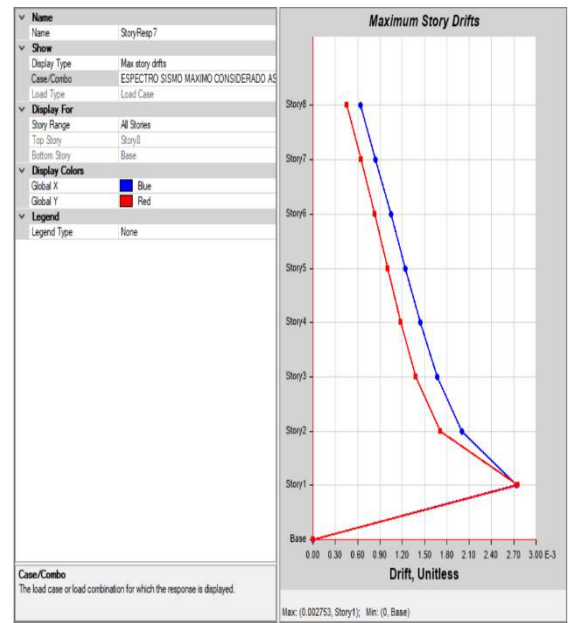
Fuente: Tensa Gruppo De Eccher (2009).

Anexo 8: MÁXIMAS DERIVAS DE PISO EDIFICIOS AISLADOS ESPECTRO DE DISEÑO Y ESPECTRO MÁXIMO.

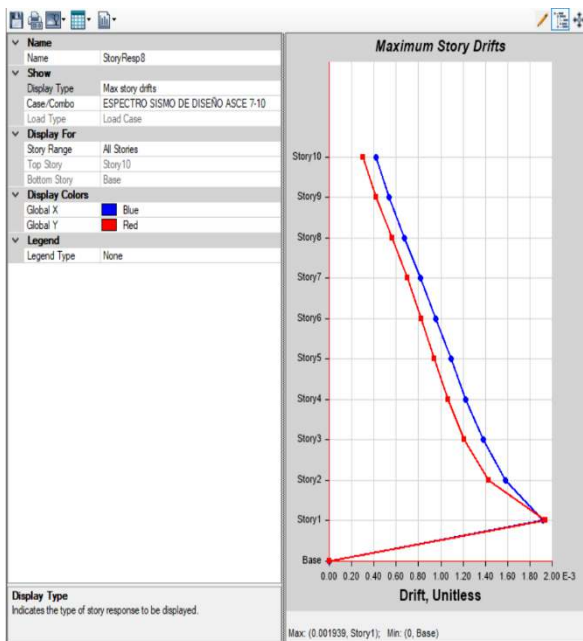
EDIFICIO DE 8 PISOS REGULAR SISMO DE DISEÑO.



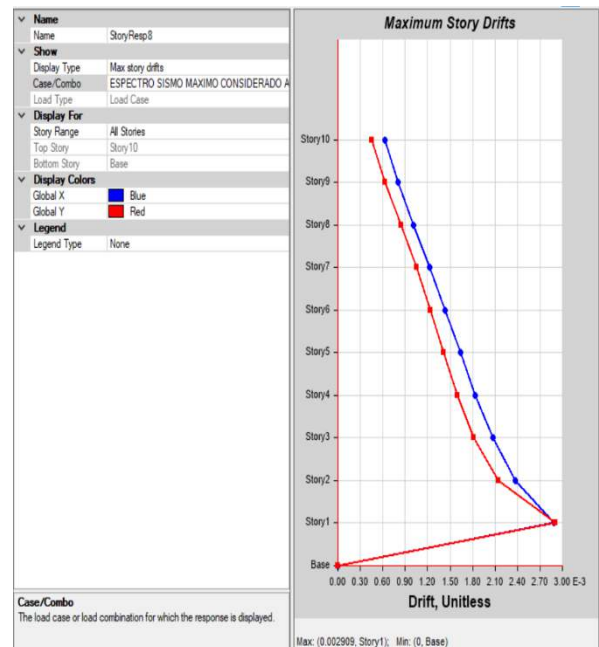
EDIFICIO DE 8 PISOS REGULAR (MCER).



EDIFICIO DE 10 PISOS REGULAR SISMO DE DISEÑO.

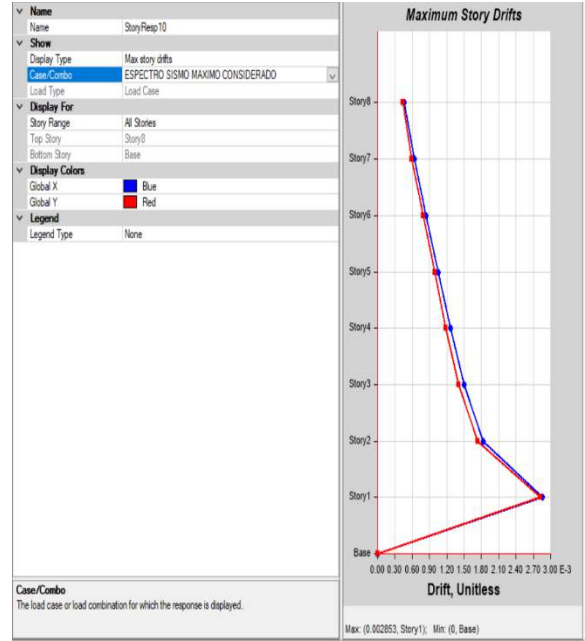
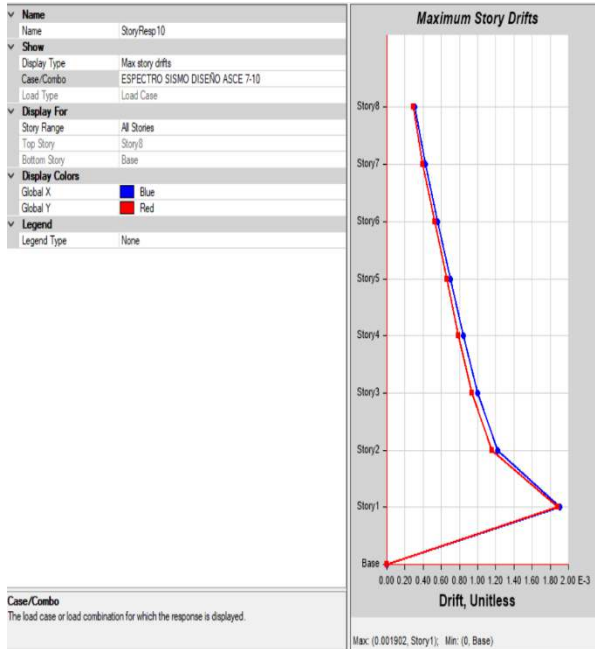


EDIFICIO DE 10 PISOS REGULAR (MCER).



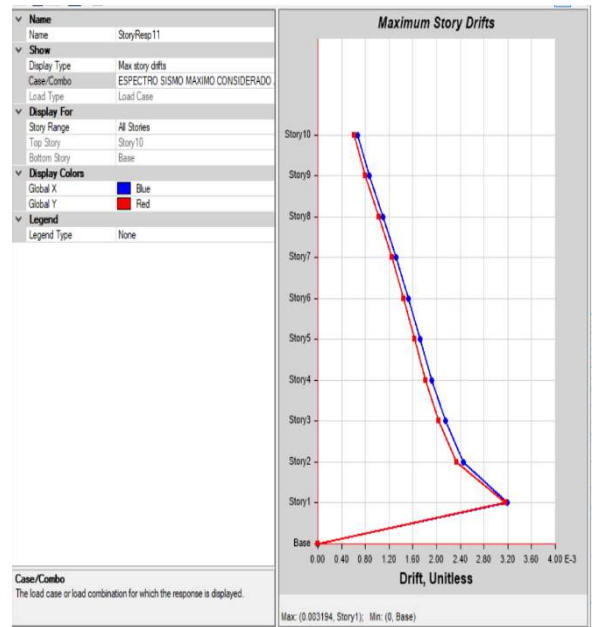
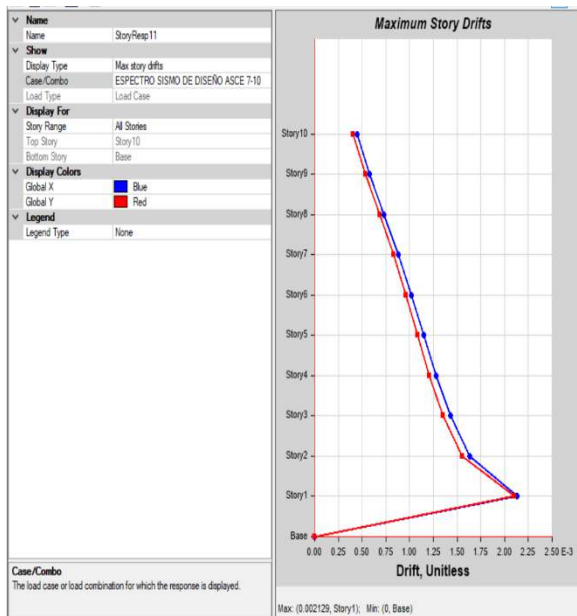
EDIFICIO DE 8 PISOS IRREGULAR SISMO DE DISEÑO.

EDIFICIO DE 8 PISOS IRREGULAR (MCER)



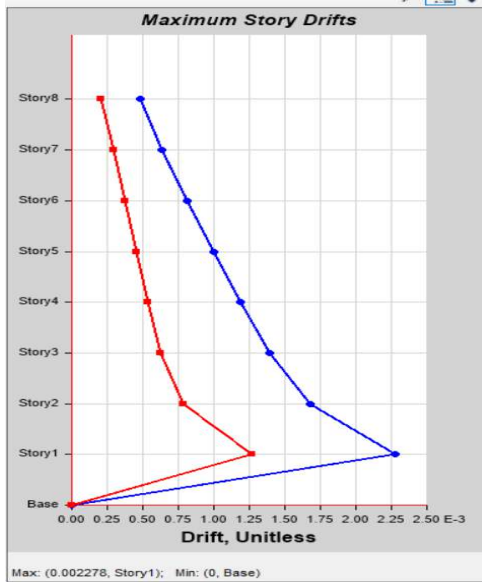
EDIFICIO DE 10 PISOS IRREGULAR SISMO DE DISEÑO.

EDIFICIO DE 10 PISOS IRREGULAR (MCER)

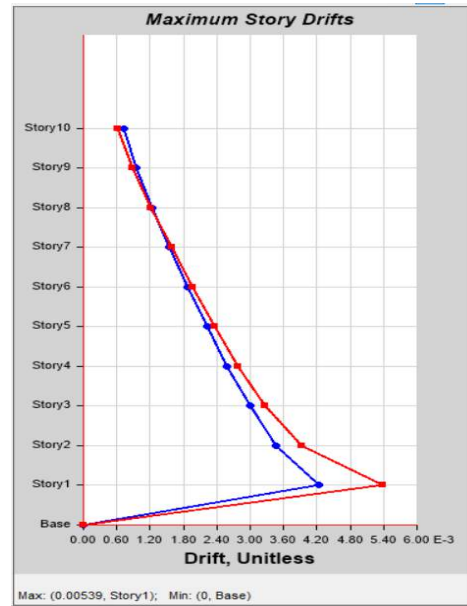


Anexo 9: MÁXIMAS DERIVAS DE PISO EDIFICIOS AISLADOS ANÁLISIS TIME - HISTORY.

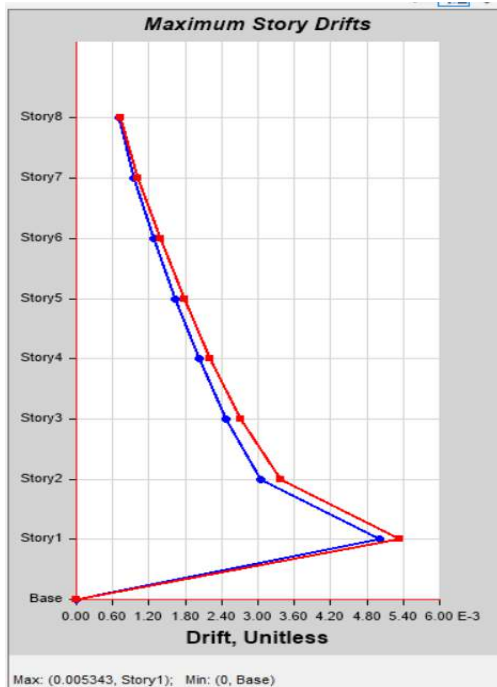
EDIFICIO DE 8 PISOS REGULAR.



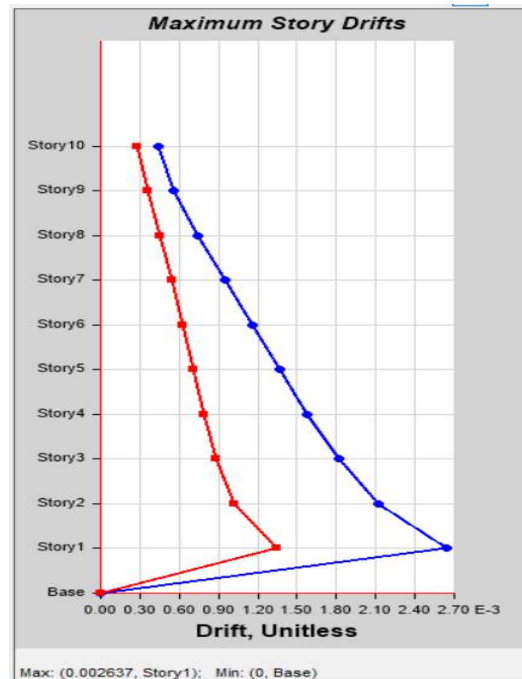
EDIFICIO DE 10 PISOS REGULAR



EDIFICIO DE 8 PISOS IRREGULAR.

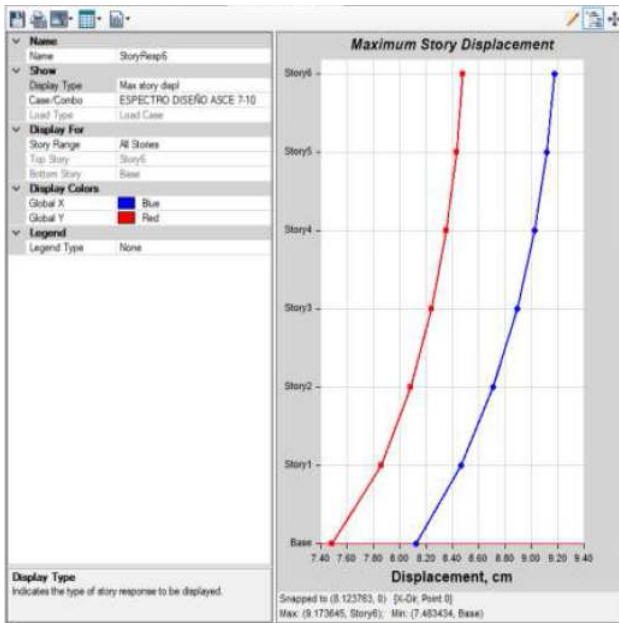


EDIFICIO DE 10 PISOS IRREGULAR.

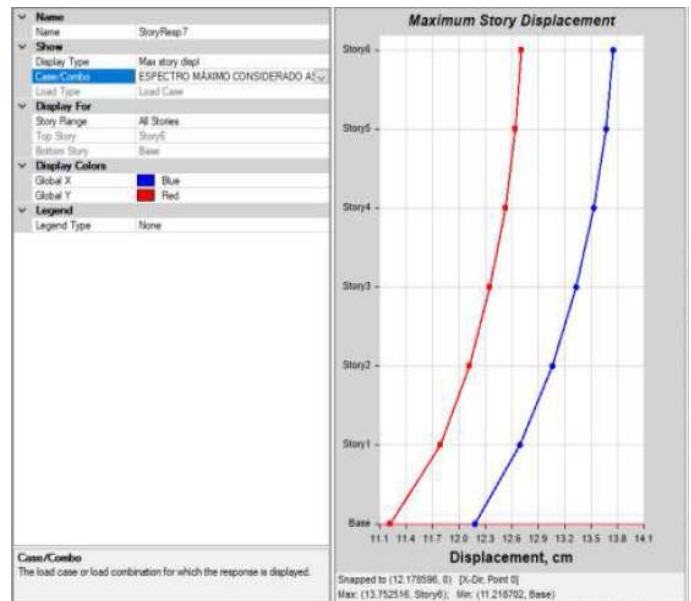


Anexo 10: DESPLAZAMIENTO DE EDIFICIOS AISLADOS ESPECTRO DE DISEÑO Y ESPECTRO MÁXIMO.

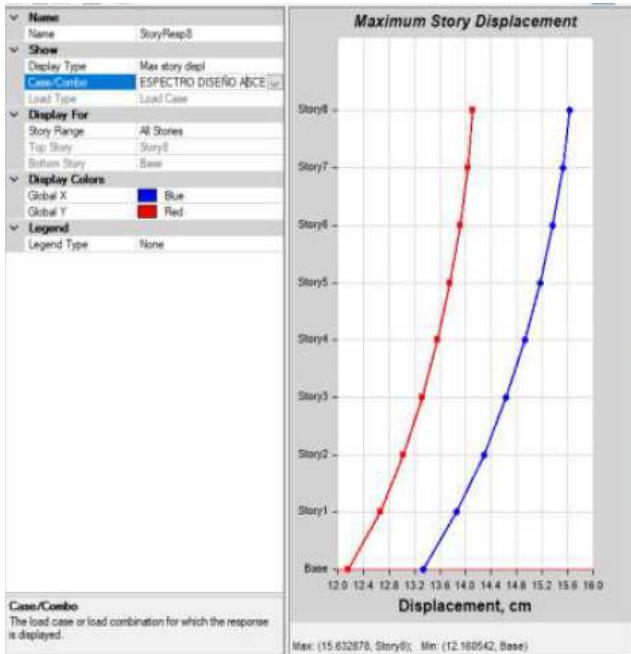
EDIFICIO REGULAR 6 PISOS ESPECTRO DE DISEÑO.



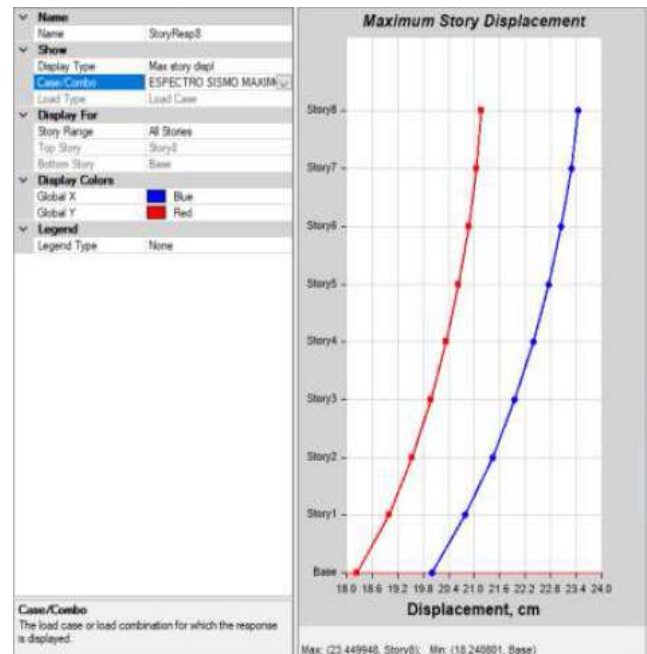
EDIFICIO REGULAR 6 PISOS ESPECTRO (MCER).



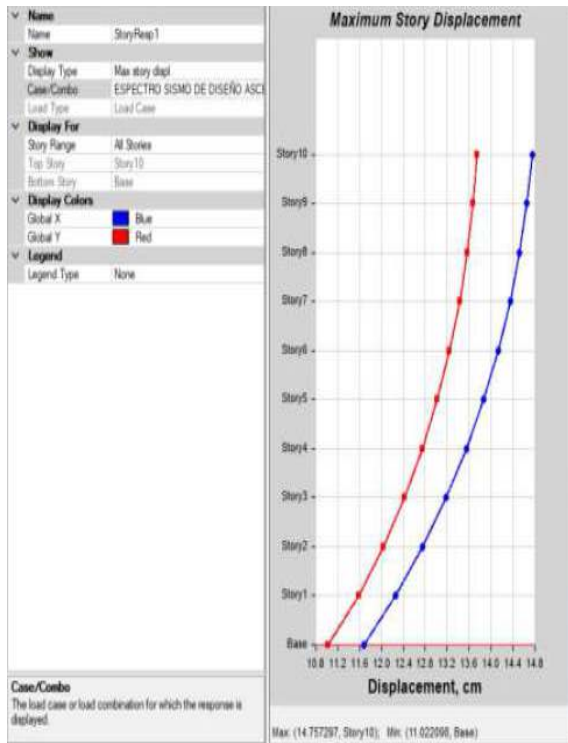
EDIFICIO REGULAR 8 PISOS ESPECTRO DE DISEÑO.



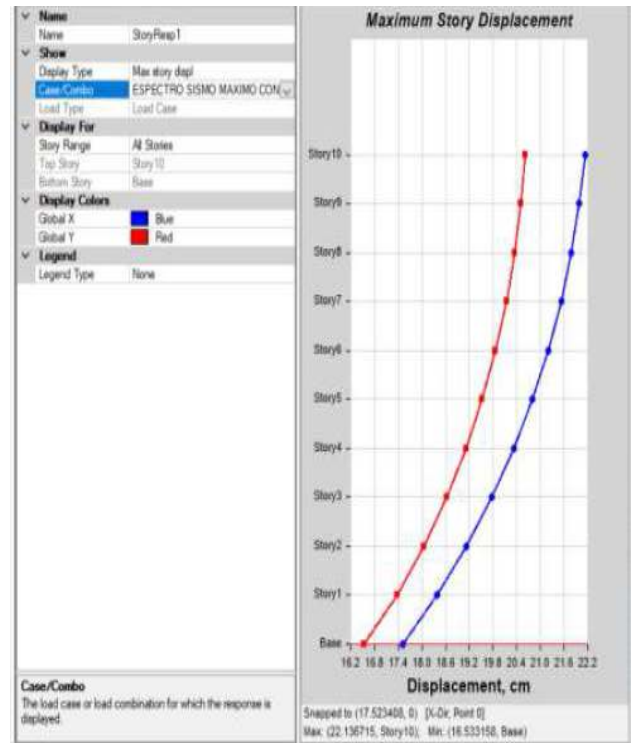
EDIFICIO REGULAR 8 PISOS ESPECTRO (MCER).



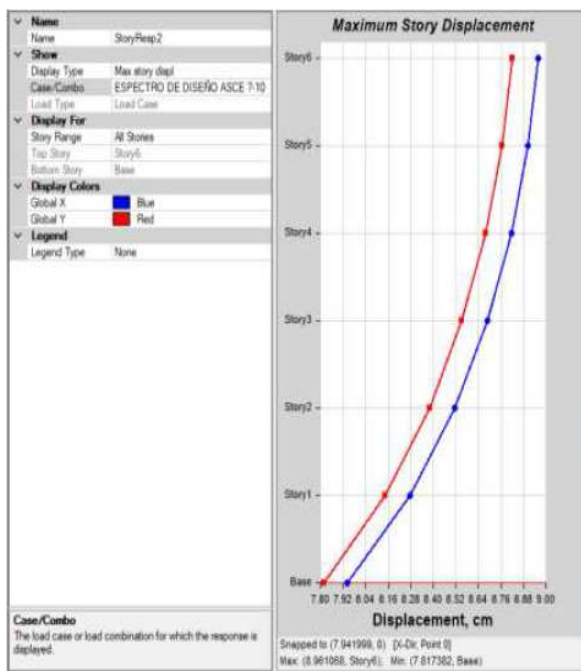
EDIFICIO REGULAR 10 PISOS ESPECTRO DE DISEÑO.



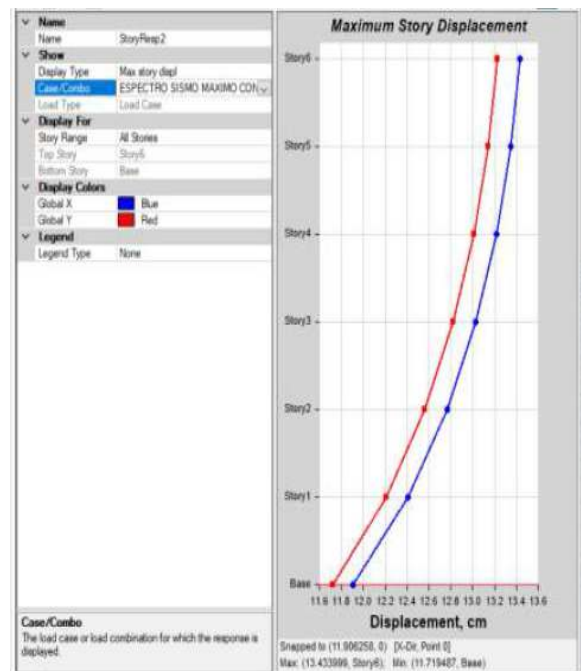
EDIFICIO REGULAR 10 PISOS ESPECTRO (MCER).



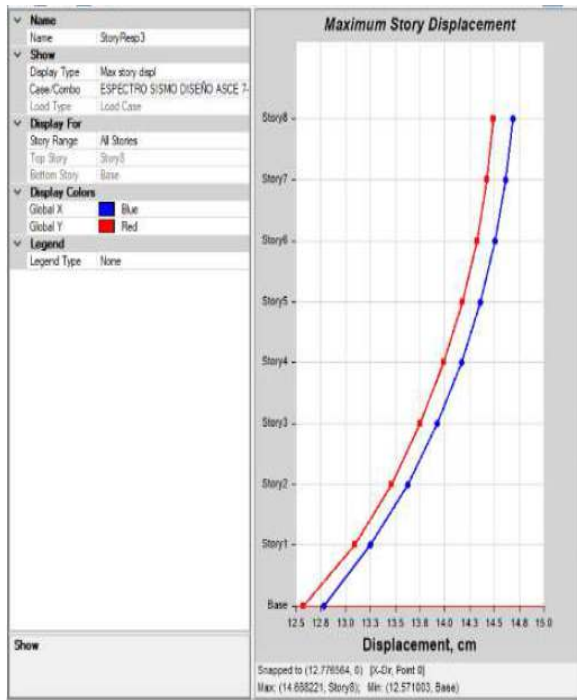
EDIFICIO IRREGULAR 6 PISOS ESPECTRO DE DISEÑO.



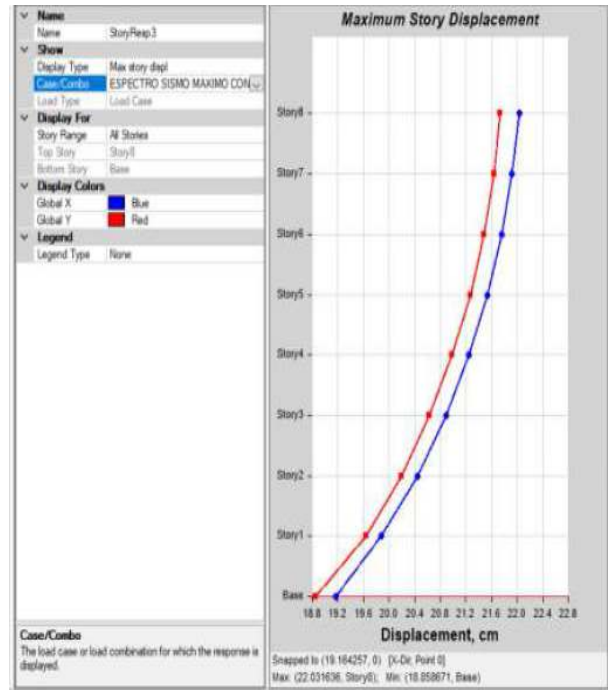
EDIFICIO IRREGULAR 6 PISOS ESPECTRO (MCER).



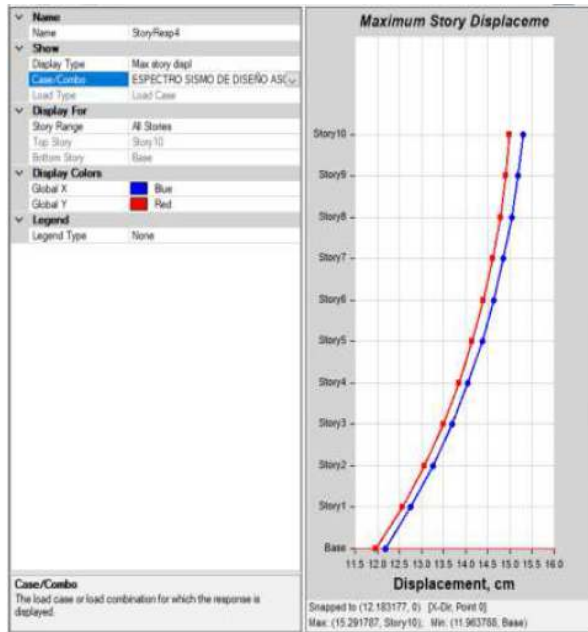
EDIFICIO IRREGULAR 8 PISOS ESPECTRO DE DISEÑO.



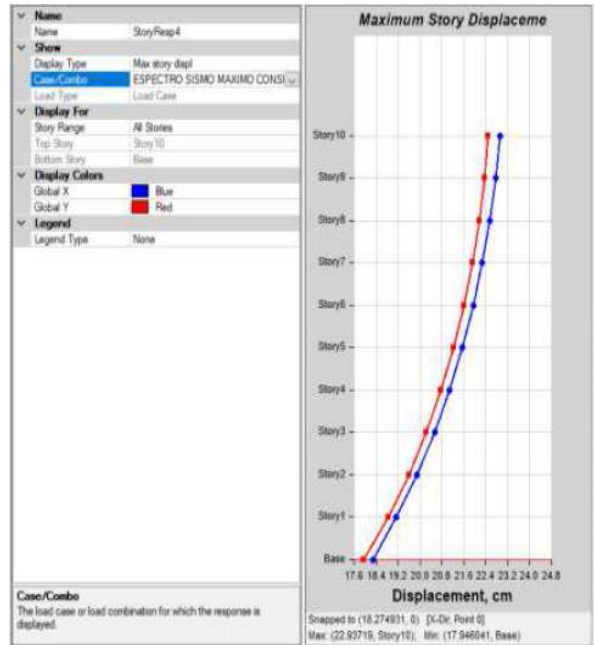
EDIFICIO IRREGULAR 8 PISOS ESPECTRO (MCER).



EDIFICIO IRREGULAR 10 PISOS ESPECTRO DE DISEÑO.



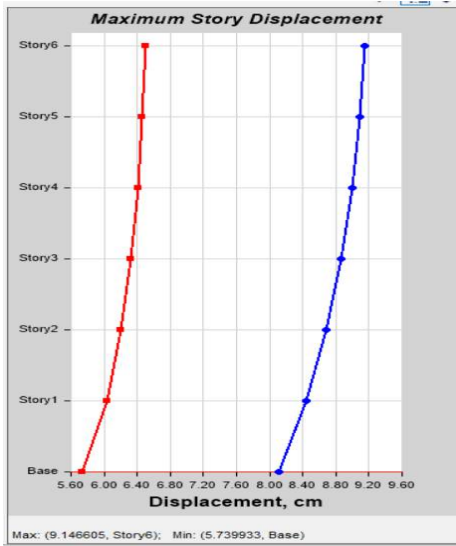
EDIFICIO IRREGULAR 10 PISOS ESPECTRO (MCER)



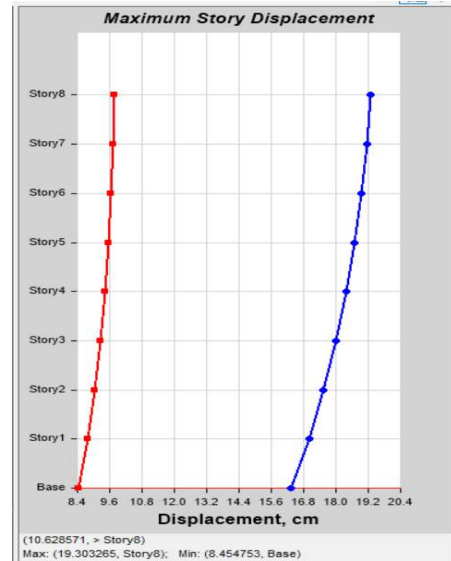
Anexo 11: DESPLAZAMIENTO DE EDIFICIOS AISLADOS

ANÁLISIS TIME - HISTORY.

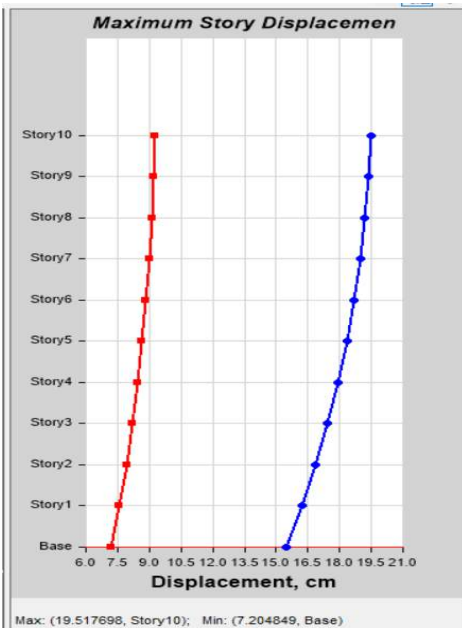
EDIFICIO REGULAR 6 PISOS.



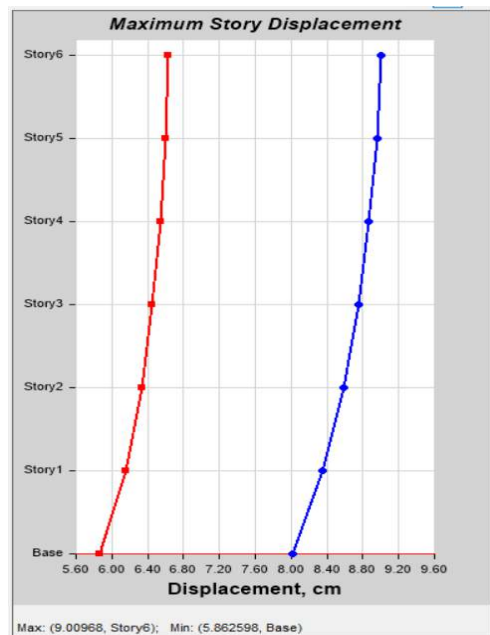
EDIFICIO REGULAR 8 PISOS



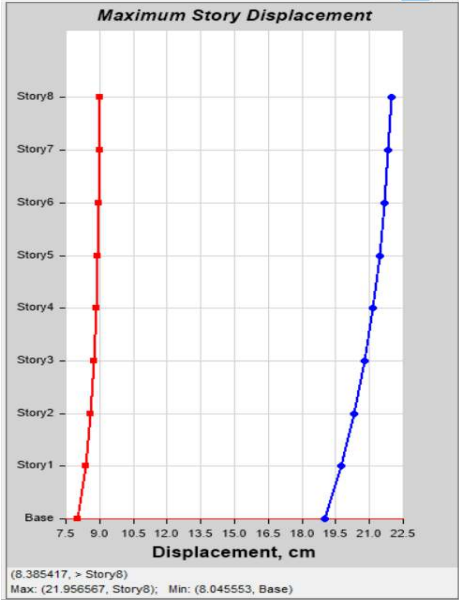
EDIFICIO REGULAR 10 PISOS



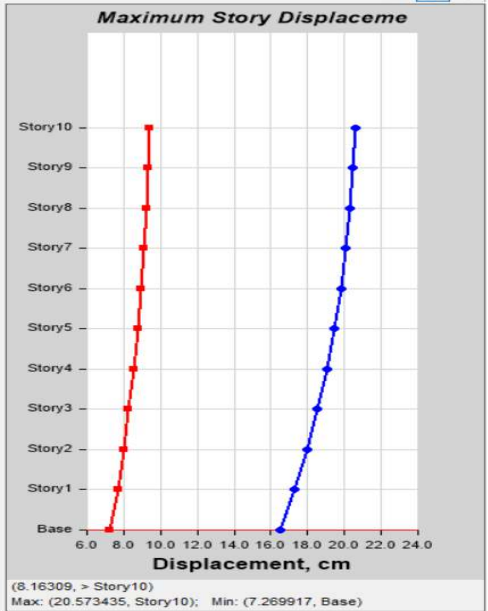
EDIFICIO IRREGULAR 6 PISOS



EDIFICIO IRREGULAR 8 PISOS.



EDIFICIO IRREGULAR 10 PISOS.



Bibliografía:

- Aguiar, R., Vergara, F., Guaygua, B., & Monge, J. (2014). Análisis Sísmico De Una Estructura Con Aisladores Fps De Primera Y Segunda Generación Y Elastoméricos Con Núcleo De Plomo. *Revista Internacional de Ingenieria de Estructuras*, 19,1, 35–89.
- Aldunate, J. (2009). *VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICIOS CHILENOS DE HORMIGÓN ARMADO*. Universidad de Chile.
- American Concrete Institute 318. (2019). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural. In *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics* (Vol. 10).
[https://doi.org/10.1016/0360-3016\(84\)90476-0](https://doi.org/10.1016/0360-3016(84)90476-0)
- American Society of Civil Engineers. (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-10)*. American Society of Civil Engineers.
<http://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784408094.sup>
- American Society of Civil Engineers. (2016). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*.
- Auqui Parra, M. V. (2010). *Análisis de aisladores sísmicos elastoméricos construidos en el Ecuador*. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2614>
- Blanco, A. (1996). Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto armado. In *Colegio de Ingenieros del Perú* (Vol. 2).
- Calderón, C. (2017). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. *Materiales de Construcción - Ingeniería Civil*.
- Chuman Bermeo, A., & Valladares Ojeda, C. (2017). *ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL COMPARATIVO DE UNA EDIFICACIÓN DE QUINCE NIVELES, CON Y SIN AISLADORES SÍSMICOS ELASTOMÉRICOS CON NÚCLEO DE PLOMO, UBICADA EN EL DISTRITO DE PIMENTEL*.
- Dynamic Isolation Systems. (2007). *Seismic Isolation For Buildings and Bridges* (McCarran (ed.)).

- Grupo Vikingo. (2015). *Aisladores Sísmicos*. <https://cauchosvikingo.com/aisladores-sismicos/>
- Guerra Avendaño, M., & Guerra Valladares, M. D. (2020). *Diseño Sismo Resistente de Edificios de Hormigón Armado Utilizando ETABS*. (Primera Ed).
- Guerra, M., & Chacón, D. (2010). *MANUAL PARA EL DISEÑO SISMORRESISTENTE DE EDIFICIOS UTILIZANDO EL PROGRAMA ETABS* (primera ed).
- Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional. (2015). *Señales de aceleraciones de sismos*.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2020). *Encuesta Nacional de Edificaciones*.
- Instituto Nacional de Normalización. (2013). *Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica*.
- Jácome, M. E., & Caicedo, N. (2012). Proceso constructivo del Puente Bahía-San Vicente. *Revista Alternativas*, 48.
- Lara, L. (2017). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. *Laboratorio de Hormigones - Ingeniería Civil*.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2016). Guía Práctica Para El Diseño De Estructuras De Madera. In *Normativa Ecuatoriana De La Construcción*.
http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-69962013000200001&lng=en&nrm=iso&tlng=en
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015a). *NEC: Cargas (no sísmicas)*.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015b). *NEC: Estructuras de Hormigón Armado*.
Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015c). *NEC: Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente*.
Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- Ottazzi Pasino, G. A. (2004). Material de apoyo para la enseñanza de los cursos de diseño y comportamiento del concreto armado. In *Pontificia Universidad Católica del Perú*.
- Quasar. (2021). *Control sísmico*. <https://www.quasarmex.com/>
- Reyes, J. C., & Rubiano, N. R. (2002). Modelación inelástica de edificios de concreto con

- disipadores de energía histeréticos. *Revista de Ingeniería*, 15, 30–39.
<https://doi.org/10.16924/revinge.15.5>
- Reyes, S. (2016). El Sky Building fue construido pensando en los terremotos. *El Comercio*.
- ROJAS LOPEZ, M. D., & ARENAS GIRALDO, J. J. (2008). COMPARACION TECNICO-FINANCIERA DEL ACERO ESTRUCTURAL Y EL HORMIGON ARMADO. *Portal de Revistas UNAL*.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/1739/11577>
- Saing Consulting. (2022). *Introducción al modelamiento de sistemas de protección sísmica*.
- Servicio Geológico de EE. UU. (2012). *Mapa y lista de terremotos*.
- Silva, V., & D. Amo-Oduro, A. Calderon, J. Dabbeek, V. Despotaki, L. Martins, A. Rao, M. Simionato, D. Viganò, C. Yepes-Estrada, A. Acevedo, H. Crowley, N. Horspool, K. Jaiswal, M. Journeay, M. P. (2018). *GEM-GLOBAL-SISMIC-RISK-MAP-2018.1*.
<https://doi.org/10.13117 / GEM-GLOBAL-SISMIC-RISK-MAP-2018.1>
- Sociedad Americana para Ensayos de Materiales. (1898). *No Title*.
- Sociedad Americana para Ensayos de Materiales (ASTM). (2002). *Método de Ensayo Estándar para determinar el Esfuerzo de Compresión en Especímenes Cilíndricos de Concreto (ASTM C-39)*.
- Tapia, C., & Veletanga, L. (2017). *Diseño de aisladores sísmicos LRB y análisis por desempeño de edificios*. Universidad de Cuenca.
- Tensa Gruppo De Eccher. (2009). Catálogo de productos: Aisladores sísmicos. *TENSA*.
<https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>
- Tomohiro, S., Sato, E., Ryan, K., Okazaki, T., Mahin, S., & Kajiwara, K. (2018). Pruebas de aislamiento de bases NEES / E-Defense : Efectividad del péndulo de fricción y sistemas de núcleo de plomo y caucho. *NEES / E-Defense*, 1–10.
- Touaillon, J. (1870). *“Improvement in Buildings.”*
- Villagomez, D. (2015). *Lineamientos para el análisis y diseño de edificaciones sísmicamente aisladas en el Perú*. Pontificia Universidad Católica del Perú.