RESPUESTA SÍSMICA DE UNA ESTRUCTURA DE ACERO IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C

DENNIS LOPEZ GUTIÉRREZ
DANIEL PINZÓN HERNÁNDEZ

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C. 2021

PROPUESTA PARA PROYECTO DE GRADO
RESPUESTA SÍSMICA DE UNA ESTRUCTURA DE ACERO IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C

PRESENTADO POR:
DENNIS LOPEZ GUTIÉRREZ-20181579005
DANIEL PINZÓN HERNANDEZ-20172579005

MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TITULO DE: INGENIERO CIVIL

TUTOR
ING. PAULO MARCELO LOPEZ PALOMINO IC - M. IC

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C. 2021

NOTA DE ACEPTACIÓN:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

PAULO MARCELO LÓPEZ PALOMINO

_____

Director

Ingeniero Paulo Marcelo López Palomino

_____

Jurado 1

_____

Jurado 2

RESUMEN

El sector de la construcción ha cambiado durante las últimas décadas, los métodos tradicionales de construcción se van actualizando de acuerdo a las investigaciones de los materiales que hacen que las construcciones sean más seguras, estos parámetros se ven reflejados en la actualización teniendo en cuenta Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente (NSR-10)

Para el caso de los sistemas estructurales en acero se debe tener pautas de diseño realizadas de forma efectiva para cumplir con cronogramas de construcción, lo cual requiere personal idóneo para este tipo de construcción y tener un presupuesto real y confiable para su desarrollo, el NSR-10, contiene los parámetros efectivos para el diseño y construcción de estructuras en acero según en título F, los cuales garantizan una construcción efectiva y confiable según el tipo de construcción.

Este proyecto de grado tiene en cuenta el sistema constructivo en acero para determinar el comportamiento de una edificación de 30 pisos simétrica ubicada en la ciudad de Bogotá D.C. en la localidad de Usaquén, teniendo en cuenta el material, perfil a utilizar y diseño, adicionalmente se hace una comparación de la edificación implementando disipadores de fluido viscoso para el control de respuesta sísmica teniendo en cuenta las variables que se involucran en su desarrollo como el tipo de suelo, nivel de amenaza sísmica, espectro de diseño, sistema estructural, irregularidades, entre otros, según los lineamientos de la normativa colombiana NSR-10 y el modelo desarrollado en el programa ETABS v18 (versión estudiantil), para determinar el diseño de los disipadores se tiene en cuenta la normativa ASCE 7-10, Fema 273 entre otras, y para sus características de funcionamiento se tiene en cuenta los registros sísmicos del PEER Ground Motion Database y sus criterios de consulta.

Finalmente se concluye que los disipadores disminuyen los desplazamientos de entrepiso dependiendo el arreglo que se utilice para tal fin y el objetivo de distorsión, para este estudio se implementó un arreglo diagonal en todos los pisos el cual genera costos adicionales en la construcción de la edificación significativos.

CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 16
1.1 PRESENTACIÓN DE LA PROPUESTA 17
1.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 17
1.1.2 INTERROGANTE 18
1.1.3 JUSTIFICACIÓN 18
1.1.4 ANTECEDENTES 19
2 OBJETIVOS 21
2.1 OBJETIVO GENERAL 21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 21
3 MARCO TEÓRICO 22
CONCEPTOS PRELIMINARES 22
3.1 DEFINICIONES GENERALES 22
3.2 SISTEMAS ESTRUCTURALES 23
3.2.1 Sistemas de muros de carga 23
3.2.2 Sistema combinado 23
3.2.3 Sistema pórtico 23
3.2.4 Sistema dual 24
3.3 CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL 24
3.3.1 Peso 24
3.3.2 Distribución en planta 25
3.3.3 Distribución en altura 25
3.4 ANÁLISIS SOBRE SISMOS 25
3.5 AMENAZA SÍSMICA 26
3.5.1 Espectro de diseño: 26
3.5.2 Espectro de aceleraciones Sa: 26
3.5.3 Espectro de respuesta: 26
3.5.3.1 Espectros de respuesta elástica: 26
3.5.3.2 Espectros de respuesta inelástica: 27

3.6 MICROZONIFICACIÓN EN COLOMBIA 27
3.7 MICROZONIFICACIÓN EN BOGOTÁ 27
3.8 ACELEROGRAMA: 28
3.8.1 Acelerograma real: 28
3.8.2 Acelerograma artificial: 28
3.9 MÉTODOS DE ANÁLISIS SÍSMICO 29
3.9.1 Métodos estáticos 29
3.9.1.1 Análisis de fuerza horizontal equivalente 29
3.9.2 MÉTODOS DINÁMICOS 29
3.9.2.1 Análisis dinámico cronológico 30
3.9.2.2 Análisis dinámico espectral: 30
3.10 SISMOS DE DISEÑO 31
3.11 SISTEMAS DE DISEÑO SISMORRESISTENTE 31
3.12 BALANCE ENERGÉTICO 31
3.12.1 Amortiguamiento 32
3.12.2 Excitación dinámica 32
3.13 DISPOSITIVOS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA 33
3.13.1 Dispositivos de protección activa 33
3.13.1.1 Aislador sísmico 34
3.13.2 Dispositivos de protección pasiva 34
3.13.2.1 Disipadores de energía sísmica histérico 36
3.13.2.2 Disipadores de energía sísmica viscoelásticos 36
3.13.2.3 Disipadores de energía con fluido viscoso. 37
3.13.2.4 Componentes del disipador de fluido viscoso. 38
3.13.2.5 Incidencia del aumento de amortiguación en las edificaciones 40
3.14 ESTRUCTURAS DISEÑADAS, CONSTRUIDAS O REFORZADAS CON DISIPADORES DE ENERGÍA 41
3.14.1 Uso de sistemas de control sísmico a nivel Mundial. 41
3.14.2 Uso de sistemas de control sísmico a nivel Latino América. 42
3.14.3 Uso de sistemas de control sísmico a nivel nacional 43

3.15 ESTUDIOS Y ENSAYOS REALIZADOS AL SISTEMA 43
3.16 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO 45
3.17 DISPOSICIÓN O ARREGLOS DE LOS DISIPADORES SÍSMICOS DE FLUIDO VISCOSO 46
3.17.1 Arreglo Diagonal 46
3.17.2 Arreglo Chevron Diagonal 46
3.17.3 Arreglo Chevron Horizontal 47
3.18 DISEÑO DE DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO. 48
3.18.1 Ecuación General de los Disipadores de Fluido Viscoso 48
3.18.2 Reducción de la Respuesta (B) 48
3.18.3 Amortiguamiento Efectivo (Beff) 50
3.18.4 Amortiguamiento Viscoso Objetivo (Bvcis) 50
3.18.5 Coeficiente de amortiguamiento (C) 50
3.18.6 Amplitud de desplazamiento del modo fundamental (A) 51
3.18.7 Exponente de amortiguación (a) 51
3.18.8 Parámetro Lambda 52
3.18.9 Rigidez del Brazo Metálico 52
3.18.10 Modelación del sistema de amortiguamiento 52
3.19 REGISTROS SÍSMICOS DE ACELERACIONES DEL TERRENO 53
3.20 REGISTROS SÍSMICOS COMPATIBLES DE ACELERACIONES DEL TERRENO. 53
3.20.1 Tipo de falla 54
3.20.2 Magnitud 56
3.20.3 R_rup (Km) (Distancia al plano de ruptura) 56
3.20.4 R_jb (Km) (Distancia de Jorner-Boore) 56
3.20.5 Vs30 (m/s) 56
3.20.6 D5-95(sec) 57
4 DISEÑO METODOLÓGICO 58
4.1 GENERALIDADES 58
4.2 DESCRIPCIÓN DE ESTRUCTURA A DISEÑAR 59

4.3 SECCIÓN DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y CONSIDERACIONES DE ANÁLISIS. 59
4.4 DISEÑO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN CON SISTEMA ESTRUCTURAL DUAL DE ACERO DE REFUERZO. 67
4.4.1 Evaluación de cargas 67
4.5 ANÁLISIS DINÁMICO 67
4.6 ESPECTRO DE DISEÑO 69
4.6.1 Espectro de aceleraciones (Sa) 69
4.7 MODOS DE VIBRACIÓN 70
4.8 COEFICIENTE DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA R 70
4.9 CORTANTE SÍSMICO BASAL (Vs) 76
4.10 MODOS DE VIBRACIÓN 76
4.11 CORTANTE DE PISO 78
4.12 APLICACIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS 81
4.13 COMBINACIONES DE CARGA 81
4.14 DISEÑO 84
4.15 DERIVAS 86
4.16 Modos de vibración 99
5 Diseño sísmico de una edificación con sistema estructural amortiguado 102
5.1 SELECCIÓN DE REGISTROS 103
5.2 ESCALAR SEÑALES SÍSMICAS 111
5.3 PROCESAMIENTO DE DATOS 112
5.4 PARÁMETROS DE DISEÑO DE DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO 114
5.4.1 Factor de reducción de respuesta 114
5.4.2 Amortiguamiento Efectivo 115
5.4.3 Amortiguamiento Viscoso Objetivo 115
5.4.4 Cálculo de rigidez del brazo metálico 115
5.4.5 Estimación del coeficiente (C) 116
5.4.6 Parámetro Lambda 116
5.4.7 Frecuencia angular (w) 116

5.4.8 Coeficiente de amortiguamiento Cj 117
5.4.9 Ubicación de los dispositivos de amortiguación 119
5.4.10 Redistribución energética edificación 125
5.4.11 Curva de histéresis 127
5.4.12 Desplazamiento de entrepiso 130
6 ANÁLISIS de los modelos 134
6.1 ANÁLISIS DE COSTOS 134
6.1.1 Presupuesto N. 1 Edificio con y sin amortiguadores 134
6.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS COSTOS 135
6.3 RESUMEN DE LA INVERSIÓN 136
7 conclusiones 138
8 Bibliografía 140
9 ANEXOS 143
Anexo A. Paso a paso ETABS para el modelo sin disipadores de energía sísmica. 143
ANEXO B. Paso a paso con modelo de disipadores 178
Anexo C. APU'S y cantidades de obra de las edificaciones 193
APU'S Diseño estructural sin disipadores 193

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 tipos de excitación dinámica Figura 1-10 Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico García 1998 33
Ilustración 2 Aisladores de energía sísmica Fuente: (INGECIVIL.NET, 2020) 34
Ilustración 3 Norma ASCE 7-10 35
Ilustración 4 Diagrama de fuerza- Desplazamiento de tres tipos de disipadores (a) viscoso (b) viscoelástico (c) fricción 36
Ilustración 5 Disipador de fricción. Fuente: http://www.nuyuntek.cl/ 36
Ilustración 6 Disipadores viscoelásticos (Kitamura 1991) 37
Ilustración 7 Disipador de energía de fluido viscoso. Fuente: https://www.efeprimace.co/ 37
Ilustración 8 Funcionamiento de disipadores viscosos. 38
Ilustración 9 Componentes del disipador de fluido viscoso. Fuente: (Sánchez, 2016) 38
Ilustración 10 Tipos de instanciación d disipador viscoso (Avilés, 2001) 40

Ilustración 11 Efecto en el espectro de desplazamiento al incorporar disipadores, Fuente: Cordoba Ingenieros SAC 40
Ilustración 12 Efectos en el espectro de celeracion al incrementa la rigidez y el amortiguamiento, Fuente: Cordova Ingenieros SAC 41
Ilustración 13 Modelo estructural de cinco pisos con sistema de amortiguación en simulador sísmico de la universidad de Búfalo Fuente: (CDV INGENIERÍA ANTISÍSMICA, 2020) 44
Ilustración 14 Energía recibida por la edificación. (CDV INGENIERÍA ANTISÍSMICA, 2020) 44
Ilustración 15 Disipación de energía en estructuras reforzadas. Fuente: (Oviedo, Protección Sísmica y Reforzamiento de Edificaciones a través de sistemas no Convencionales, 2015 45
Ilustración 16 Arreglo diagonal 46
Ilustración 17 3.10.2.3.2 Arreglo Chevron Diagonal 47
Ilustración 18 3.10.2.3.3 Arreglo Chevron Horizontal 47
Ilustración 19 Clasificación de la estructura según su altura 49
Ilustración 20 Tabla 9 Relación daño- Deriva según el tipo de estructura 49
Ilustración 21 Relación fuerza-velocidad de disipadores viscosos. 51
Ilustración 22 Tabla 10 Parámetro lambda que depende del valor del exponente (a) 52
Ilustración 23 Cinturón de fuego 53
Ilustración 24 falla normal. Fuente INPRES 54
Ilustración 25 Falla Inversa. Fuente INPRES 55
Ilustración 26 Falla de desplazamiento. Fuente INPRES. 55
Ilustración 27 Decreto 523 del 2010, tabla 2, Microzonificación Bogotá. 57
Ilustración 28 Ubicación de diseño Google Maps 58
Ilustración 29 Ubicación de diseño Google Earth 58
Ilustración 30 Ubicación de ejes 60
Ilustración 31 Ubicación de columnas HEA 400 61
Ilustración 32 Ubicación de vigas HEA 400 y, HEA 300 62
Ilustración 33 Ubicación escalera y ascensor para todos los pisos 63
Ilustración 34 Arriostramiento vertical en eje 1A al 7A y 1E y 7E respectivamente 64
Ilustración 35 Arriostramiento vertical en eje A1 al E1 y A7 al E7 respectivamente. 65
Ilustración 36 Corte B-B escaleras y ascensor 66
Ilustración 37 Coeficientes de diseño Tabla 3 Decreto 523 de 2010 68
Ilustración 38 Espectro de diseño 5% según NSR-10 69
Ilustración 39 Cortante de piso Ex 79
Ilustración 40 Cortante de piso Ey 80
Ilustración 41 Deformación para combinación 1.2D+1.6L 82

Ilustración 42 Solicitaciones para combinación de carga 1.2D+1.6L..... 83
Ilustración 43 Deformación para combinación 1.2D-0.3Ex-Ey+L 84
Ilustración 44 Modelo ETABS diseño estructura dual con arriostramiento concéntrico 85
Ilustración 45 Verificación deriva Ex punto 1 87
Ilustración 46 Verificación deriva Ex punto 23 88
Ilustración 47 Verificación deriva Ex punto 30 89
Ilustración 48 Verificación deriva Ex punto 36 90
Ilustración 49 Verificación deriva Ey punto 1 91
Ilustración 50 Verificación deriva Ey punto 23 92
Ilustración 51 Verificación deriva Ey punto 30 93
Ilustración 52 Verificación deriva Ey punto 36 94
Ilustración 53 Verificación de deriva Ex..... 95
Ilustración 54 Verificación de deriva Ey..... 96
Ilustración 55 Comparativa deriva Fx y Fy..... 97
Ilustración 56 Primer modo fundamental de vibración en dirección Y..... 100
Ilustración 57 Segundo modo fundamental de vibración en dirección X 100
Ilustración 58 Tercer modo fundamental de vibración roto-traslacional en dirección X 101
Ilustración 59 Parámetros sísmicos de búsqueda de base de datos del PEER..... 103
Ilustración 60 Ubicación de sismos base de datos del PEER 103
Ilustración 61 Características de los sismos de la base de datos PEER 104
Ilustración 62 Componente E-W sismo Coalinga 1983..... 104
Ilustración 63 Componente E-W sismo Loma 1989..... 105
Ilustración 64 Componente E-W sismo Niggata 2004 105
Ilustración 65 Componente E-W sismo Chuetsu-oki 2007 106
Ilustración 66 Componente E-W sismo Chuetsu-oki 2007 106
Ilustración 67 Componente E-W sismo Chuetsu-oki 2007 107
Ilustración 68 Componente E-W sismo Iwate 2008 107
Ilustración 69 Componente N-S, sismo Coalinga 1983..... 108
Ilustración 70 Componente N-S sismo Loma 1989..... 108
Ilustración 71 Componente N-S sismo Niggata 2004 109
Ilustración 72 Componente N-S sismo Chuetsu-oki 2007 109
Ilustración 73 Componente N-S sismo Chuetsu-oki 2007 110
Ilustración 74 Componente N-S sismo Chuetsu-oki 2007 110
Ilustración 75 Componente N-S sismo Iwate 2008..... 111
Ilustración 76 Escala de registro sísmico. Fuente propia. 111
Ilustración 77 Grafica de tiempo - historia escalado. Fuente propia. 112
Ilustración 78 Comparativo espectro de diseño y aceleración Tiempo - Historia Y..... 113

Ilustración 79 Comparativa espectro de diseño y aceleración Tiempo - Historia Y-Y ... 114
Ilustración 80 Tabla C 9-4 FEMA 274 ... 116
Ilustración 81 Arreglo N. 1 disipadores sentido Y-Y y X-X respectivamente ... 120
Ilustración 82 Comparación arreglo 1 y Modal ... 121
Ilustración 83 Arreglo N. 2 disipadores sentido Y-Y y X-X respectivamente ... 122
Ilustración 84 Comparación Arreglo 2 y Modal ... 123
Ilustración 85. Balance energético de los sismos Coalinga de 1983 y Loma de 1989. Fuente propia. ... 125
Ilustración 86 Balance energético de los sismos Niigata de 2004 y Chuetsu_1 de 2007. Fuente propia. ... 126
Ilustración 87 Balance energético de los sismos Chuetsu_2 de 2004 y Chuetsu_1 de 2007. Fuente propia. ... 126
Ilustración 88 Balance energético de los sismos Iwate de 2008. Fuente propia. ... 126
Ilustración 89. Análisis de curvas histeréticas para el disipador K71. Fuente propia. ... 127
Ilustración 90 Curva de histéresis para el sismo Coalinga de 1983. Fuente propia. ... 128
Ilustración 91 Curva de histéresis para el sismo Loma de 1989. Fuente propia. ... 128
Ilustración 92 Curva de histéresis para el sismo Niigata de 2004. Fuente propia. ... 128
Ilustración 93 Curva de histéresis para el sismo Chuetsu_1 de 2007. Fuente propia... 129
Ilustración 94 Curva de histéresis para el sismo Chuetsu_2 de 2007. Fuente propia... 129
Ilustración 95 Curva de histéresis para el sismo Chuetsu_3 de 2007. Fuente propia... 129
Ilustración 96 Curva de histéresis para el sismo Iwate de 2008. Fuente propia. ... 130
Ilustración 97 Comparación desplazamientos con y sin disipadores X-X ... 131
Ilustración 98 Comparación desplazamientos con y sin disipadores X-X ... 132
Ilustración 99 Reducción de desplazamiento con disipadores ... 133
Ilustración 100 Unidades para el modelo, Fuente: ETABS versión estudiante ... 143
Ilustración 101 Configuración de grilla Fuente: ETABS versión estudiante ... 143
Ilustración 102 Vista de grilla según especificaciones Fuente: ETABS versión estudiante ... 144
Ilustración 103 Material de diseño, acero ... 144
Ilustración 104 Propiedades de acero Fuente: ETABS versión estudiante ... 145
Ilustración 105 Material de diseño, concreto ... 145
Ilustración 106 Propiedades de Concreto, Fuente: ETABS versión estudiante ... 146
Ilustración 107 Cuadro de propiedades ... 147
Ilustración 108 Forma y propiedades de material ... 147
Ilustración 109 Propiedades de sección ... 148
Ilustración 110 Propiedades de sección ... 148
Ilustración 111 Propiedades de sección ... 149
Ilustración 112 Propiedades de sección ... 149

Ilustración 113 Propiedades de sección 150
Ilustración 114 Propiedades de losa 151
Ilustración 115 Propiedades de losa escaleras 151
Ilustración 116 Propiedades de muros 152
Ilustración 117 Propiedades de objeto 152
Ilustración 118 Esquema de diseño de vigas, ETABS versión estudiantil 153
Ilustración 119 Propiedades de objeto 153
Ilustración 120 Esquema de diseño vigas y columnas, ETABS versión estudiante 154
Ilustración 121 propiedades de objeto 154
Ilustración 122 Esquema de diseño placa, ETABS versión estudiante 155
Ilustración 123 líneas de referencia 156
Ilustración 124 líneas de referencia 156
Ilustración 125 Ubicación de muros ascensor 157
Ilustración 126 propiedades de objeto 157
Ilustración 127 Esquema de diseño placa escalera, ETABS versión estudiante 158
Ilustración 128 Ubicación correas, ETABS versión estudiante 159
Ilustración 129 vista frontal diseño 160
Ilustración 130 Esquema arriostramiento de la edificación 161
Ilustración 131 Definición de cargas 162
Ilustración 132 Conjunto de cargas 162
Ilustración 133 Asignación de cargas 163
Ilustración 134 Asignación de cargas 163
Ilustración 135 Asignación de cargas 163
Ilustración 136 Asignación de restricciones 164
Ilustración 137 Definición de diafragmas por piso 164
Ilustración 138 Asignación de diafragmas por piso 165
Ilustración 139 Definición de espectro de diseño 166
Ilustración 140 Definición de espectro de diseño 2 167
Ilustración 141 Asignación de modos de vibración 168
Ilustración 142 Revisión de datos de cortante basal 168
Ilustración 143 Casos de carga 169
Ilustración 144 Casos de carga 170
Ilustración 145 Casos de carga 171
Ilustración 146 Tabla de datos periodo y frecuencia 172
Ilustración 147 Cortante de piso Ex 173
Ilustración 148 Cortante de piso Ey 173
Ilustración 149 Verificación de derivas Ex 174
Ilustración 150 Verificación de deriva Ey 175

Ilustración 151 Tabla de derivas 176
Ilustración 152 Determinación de combinaciones de carga 177
Ilustración 153 Asignación de combinaciones de carga 177
Ilustración 154 Deformación de modos de vibración 178
Ilustración 155 Selección de función Tiempo – historia 179
Ilustración 156 Definición función tiempo-historia 179
Ilustración 157 Cargue de información a ETABS versión estudiante 180
Ilustración 158 Verificación de registro sísmico 180
Ilustración 159 verificación de información cargada 181
Ilustración 160 Selección de función tipo rampa 182
Ilustración 161 Valores de rampa 182
Ilustración 162 Definición de funciones tiempo historia 183
Ilustración 163 Load cases 184
Ilustración 164 Add New Case 184
Ilustración 165 Carga gravitacional 185
Ilustración 166 Definición Tiempo-Historia 185
Ilustración 167 Escala de registro sísmico 186
Ilustración 168 Grafica de tiempo - historia escalado 186
Ilustración 169 Adición de valores de carga tipo pulso 187
Ilustración 170 Definición de carga gravitacional 188
Ilustración 171 Datos de registro escalado 189
Ilustración 172 Datos de registro 189
Ilustración 173 Modificación casos modales 191
Ilustración 174 Selección de parámetros para los modos 191
Ilustración 175 Desplazamientos generados por los sismos cargados 192

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 elementos de diseño 59
Tabla 2 Coeficientes de diseño según decreto 523 de 2010 y NSR – 10 69
Tabla 3 Sistema estructural dual pórticos con diagonales concéntricas Tabla A.3-4 NSR-10 70
Tabla 4 Irregularidades de la edificación ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 5 Irregular torsional nodo 1 y 23 eje Y ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 6 Irregular torsional nodo 30 y 36 eje Y ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 7 Irregular torsional nodo 1 y 23 eje X ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 8 Irregular torsional nodo 30 y 36 eje X ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 9 Periodos modales de la edificación. 76
Tabla 10 Datos de corte de piso Ex y Ey 79

Tabla 11 Combinaciones de carga según lo estipulado B.2.4.2. de la NSR-10 81
Tabla 12 Dimensiones de elementos estructurales..... 85
Tabla 13 Verificación deriva Ex punto 1..... 87
Tabla 14 Verificación deriva Ex punto 23 88
Tabla 15 Verificación deriva Ex punto 30 89
Tabla 16 Verificación deriva Ex punto 36 90
Tabla 17 Verificación deriva Ey punto 1 91
Tabla 18 Verificación deriva Ey punto 23 92
Tabla 19 Verificación deriva Ey punto 30 93
Tabla 20 Verificación deriva Ey punto 36 94
Tabla 21 Verificación de deriva Ex 95
Tabla 22 Verificación de deriva Ey 96
Tabla 23 Derivas Fx y Fy 97
Tabla 24 Promedio de registros sísmicos X-X 112
Tabla 25 Promedio de registros sísmicos X-X 113
Tabla 26 Factor de reducción de repuesta 115
Tabla 27 Amortiguamiento Efectivo 115
Tabla 28 Calculo de la rigidez del brazo metálico..... 116
Tabla 29 Frecuencia angular 117
Tabla 30 Coeficiente de amortiguamiento por piso en X – X 117
Tabla 31 Sumatoria coeficiente de amortiguamiento en X - X..... 118
Tabla 32 Coeficiente de amortiguamiento por piso en Y - Y 118
Tabla 33 Sumatoria coeficiente de amortiguamiento en Y -Y 119
Tabla 34 Comparativa espectro de diseño y arreglo N. 1..... 121
Tabla 35 Comparativa espectro modal arreglo N. 2 123
Tabla 36 % Reducción de desplazamiento X-X 130
Tabla 37 Reducción de desplazamiento Y-Y 131
Tabla 38 % Reducción de desplazamientos totales. 132
Tabla 39 Presupuesto N. 1 edificio sin disipadores 134
Tabla 40 Presupuesto N. 2 edificio con amortiguadores de fluido viscoso..... 135
Tabla 41 Relación de costos para disipadores. 135
Tabla 42 Resumen de cantidades para proyecto con y sin disipadores. Fuente propia. 137

1 INTRODUCCIÓN

Las estructuras constituyen uno de los más notables símbolos de nuestra civilización, teniendo en cuenta la ingeniería estructural para el diseño y construcción de una estructura económica, segura y que cumpla con los requisitos funcionales y estéticos. [1]

Desde 1940 las empresas pioneras en Colombia de comercio de acero, se ocuparon principalmente de cubiertas y edificios industriales, con el paso del tiempo se generó nuevo desarrollo al implementar soldadura, perfiles tubulares y construcciones con mayor luz, pequeñas pendientes y mantenimientos menores estandarizando los elementos del conjunto con ciertas limitaciones, ya que la producción de concreto reforzado tenían mejor capacidad de producción. Hasta los años noventa con la evolución de remaches, soldaduras, pernos y perfiles simples y compuestos, reemplazando así fachadas, cubiertas, entrepisos, vigas y columnas y la ampliación ágil sobre construcciones existentes (Andes Plaza, Alpina, Alianza Colombo Francesa), acodalamientos temporales o permanentes, adelantando edificios metálicos para parqueaderos, en Bogotá, Cali, Medellín y hoteles (Lugano, Holiday Inn, Santa Teresa), con la implementación de arriostramientos concéntricos y excéntricos, oficinas (Johnson & Johnson) y apartamentos (Terranova, San Sebastián), entre otros.[2]

Con el crecimiento poblacional y requerimientos de desarrollo urbano la implementación de acero en los edificios es cada vez más común lo que genera desplazamientos laterales tensiones internas y corte basal que ocasiona un desafío para los ingenieros estructurales que conlleva a implementar el uso de disipadores y aisladores que mitiguen posibles daños en la estructura debido a la energía localizada.

El objetivo de este proyecto es analizar el comportamiento en una estructura en acero con sistema estructural dual con dos diseños diferentes, uno de ellos con estructura en acero y disipadores de energía de tipo fluido viscoso y otro con sistema estructural en acero únicamente, analizado por el método dinámico elástico, con lo cual se determinan las propiedades dinámicas de cada estructura y los costos respectivos de cada una.

Estos diseños se ponen a prueba frente a esfuerzos generados por la naturaleza, para ello la edificación cuenta con una estructura irregular en planta y simétrica en acero para 30 pisos en la ciudad de Bogotá, se realiza un diseño y una simulación de un espectro sísmico, cortantes y modos que genera la estructura según la NSR-10 implementado en el

[1] Diseño Básico de Estructuras en Acero de acuerdo con NSR-10, Gabriel Valencia Clement, pág. 3

[2] Construcción Metálica en Colombia, Marco Ozuna, https://issuu.com/marcoo/docs/construccion_metalica_colombia2

programa ETABS v18 (versión estudiante) y para la obtención de registros sísmicos se realiza consulta en la base de datos PEER Ground Motion Database y los criterios que la rigen, para realizar esta comparación entre los dos modelos.

Una vez obtenidos los resultados del comportamiento estructural y desplazamientos ocasionados con y sin disipadores, se realiza el análisis de resultados identificando las ventajas y desventajas de los métodos y los posibles beneficios que tendrían las edificaciones en cuanto a desplazamientos, mantenimientos y costos.

De manera general se puede concluir los disipadores disminuyen los desplazamientos de entrepiso dependiendo el arreglo que se utilice para tal fin y el objetivo de disminución de distorsión, para este estudio se implementó un arreglo diagonal en todos los pisos el cual genera costos adicionales en la construcción de la edificación significativos.

1.1 PRESENTACIÓN DE LA PROPUESTA

1.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En Colombia las ciudades de las regiones Pacífica y Andina del país presentan zona de amenaza sísmica alta, por tal motivo el trabajo como ingenieros civiles es entregar a la ciudad construcciones que sean capaces de soportar sismos y cargas dinámicas que se generen, reducir los daños materiales y salvaguardar la vida de las personas Esto ha generado cambios en el diseño estructural a lo largo del tiempo para mitigar desplazamientos y posibles daños a las estructuras.

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) reglamenta las condiciones técnicas que debe cumplir cualquier estructura, sin embargo, crea incertidumbre ante el impacto que genera un sismo o vientos de gran magnitud hacia las estructuras fundando cierta preocupación en cuanto a posibles colapsos o daños considerables.

Por tal motivo se deben implementar nuevas metodologías que mejoren el comportamiento ante estos efectos, los cuales crean una deformación en las estructuras que deben ser controladas para mitigar los daños posteriores y optimizar costos, este proyecto estudia el comportamiento de los dispositivos de protección pasiva “Disipadores de fluido Viscoso” y realiza una comparativa en cuanto a una estructura sin amortiguamiento para mejorar el comportamiento frente a un sismo y evitar el máximo daño e incluso un colapso.

1.1.2 INTERROGANTE

¿Es viable el uso de disipadores de energía viscoso en la construcción de edificaciones nuevas?

Se espera mitigar las derivas, fuerzas y momentos que se presenten en la estructura como el bajo costo de implementación de estos tanto en construcción como en mantenimiento en comparación con estructuras que no sean amortiguadas.

1.1.3 JUSTIFICACIÓN

El control estructural en temas como aislamiento de vibración, absorción de vibración y amortiguamiento empezaron a desarrollarse y aplicarse después de la segunda guerra mundial, pero su desarrollo se empezó a presentar en los años ochenta, en la actualidad se llevan a cabo estudios referentes a la afectación que podría tener una estructura frente a un sismo, países como Japón, China, Italia, Estados Unidos y Taiwán llevan a cabo esfuerzos para reglamentar y estandarizar el uso y la aplicación de control de respuesta sísmica así como su aplicación a las estructuras existentes y nuevas teniendo en cuenta la zona sísmica, altura de la edificación y velocidad de respuesta ante un sismo, por lo que no hay un estándar aplicable de estos sistemas en las edificaciones. Sin embargo, se tiene en cuenta el control de calidad, diseño del sistema y mantenimiento del mismo, debido a su economía desarrollada y una cultura enfocada en la investigación que se manejan en estos paises.

En nuestro país, aunque han transcurrido más de tres décadas desde que las técnicas de control de respuesta sísmica se empezaron a implementar como alternativa para aliviar los efectos de sismo y vientos de las edificaciones y donde el 80% de la población vive en zonas de amenaza sísmica alta, no se tiene acogida puesto que el diseño sísmico ha estado fundamentado en resistencia y ductilidad.

No obstante se presenta este problema en otros países como México, Chile y Argentina debido a la falta de confianza de las técnicas de control de respuesta, incertidumbre en el funcionamiento de los dispositivos de control por mantenimiento o vida útil, sobrecostos, desconocimiento de diseño y falta de normatividad aplicable a los dispositivos de control de respuesta sísmica, de igual forma se han adelantado investigaciones de aplicación de métodos de control de respuesta sísmica y sus aspectos favorables a demás de su implementación en edificaciones aumentando la rigidez y reduciendo derivas y costos de implementación ejemplo de ello en Colombia es el Hospital El tunal en Bogotá en 2009, aunque su implementación es mínima.

El presente estudio permite poner en práctica la implementación de disipadores de energía de fluido viscoso para su análisis de forma teórica implementando el software ETABS (versión estudiantil) en la edificación para reducir desplazamientos debido a la acción de posibles sismos que se lleguen a presentar mejorando las condiciones de seguridad, calidad de vida y posibles daños de llevarse a cabo la construcción de la edificación.

1.1.4 ANTECEDENTES

Los sistemas más utilizados en la actualidad para controlar la respuesta sísmica de las estructuras se basan en mecanismos de aislamiento sísmico y disipación de energía. En general, estos sistemas tienen como objetivos principales, los de mantener la funcionalidad de la estructura, mejorar el confort de los ocupantes del edificio en caso de sismos, y proporcionar protección sísmica adicional en la ocurrencia de eventos severos. (Genatios & Lafuente, 2016, pág. 35).

Partiendo de esta premisa se puede modelar una edificación nueva, donde su estructura está constituida principalmente por acero en combinación con disipadores de energía de fluido viscoso, con lo cual se pretende mediante modelación, reducir considerablemente las deformaciones laterales y los esfuerzos sobre los elementos estructurales los cuales serán objeto de estudio para este proyecto.

Se debe considerar que “El uso de estos sistemas de protección no sólo garantiza la seguridad de las estructuras en el caso de que ocurra un sismo, también permite plantear estructuras más esbeltas y significativamente más económicas” (Laverde, 2017, pág. 21).

En nuestro país más del 85% de la población se localiza en zona de convergencia de placas tectónicas expuesta a una amenaza sísmica entre intermedia y alta. (Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2006)

(Carlos Fernando Álvarez Vargas (2017)), en su trabajo de grado “ Análisis y diseño de disipadores sísmicos de fluido viscoso para control de la respuesta sísmica de edificaciones en Huancayo 2017” se realza una investigación de edificaciones con estudios similares al requerido, sin embargo este estudio contempla estructura en concreto que requieren reforzamiento para su desarrollo, en las conclusiones se identifica un control de distorsiones evidente en las edificaciones a estudiar según la normativa peruana y que dependen de su amortiguamiento, no linealidad y la rigidez del brazo metálico.

Perú es uno de los países que más implementa este tipo de arreglo para la disminución considerable de derivas y desplazamientos en edificaciones nuevas y existentes que requieren refuerzo.

(Daniela Ornella Romero Urrunaga (2013)) en su trabajo de grado "Diseño de edificaciones con disipadores de energía sísmica de tipo fluido viscoso" se realiza una investigación en una edificación aporticada con una deriva que supera el límite permitido, por lo cual se realizó el estudio para mantener una deriva menor aumentando el amortiguamiento de la edificación para la Universidad Nacional de Cajamarca teniendo en cuenta el sistema de amortiguamiento lineal y no lineal"

(Otiniano Vasquez Jeyson Bryan (2019)) en su trabajo de grado "Desempeño sísmico de un edificio de concreto armado con disipadores de energía viscosos, Trujillo 2019) se realiza una investigación en una edificación de concreto de 9 niveles para reducir los daños que se lleguen a presentar frente a un sismo severo incrementando el amortiguamiento en un 30% a 40% reduciendo la deriva teniendo en cuenta un estudio sin disipadores de fluido viscoso y el análisis tiempo – historia de sismos de diseño.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el comportamiento de una estructura en acero según su diseño estructural con la implementación de disipadores de energía de fluido viscoso y hacer una comparativa con estructuras de acero no amortiguadas en cuanto respuesta y costos que se generan.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el diseño estructural de una edificación en acero implementado dispositivos de control pasivo como los disipadores de fluido viscoso.
- Determinar las propiedades dinámicas de amortiguamiento que se desea obtener al implementar disipadores de fluido viscoso y su ubicación según los datos obtenidos con el modelo anterior de acuerdo con el ASCE 7-10.
- Hacer una comparativa entre los modelos estructurales implementando disipadores de fluido viscoso y sin ellos en cuanto a costo y beneficio.

3 MARCO TEÓRICO

CONCEPTOS PRELIMINARES

Para el desarrollo de este documento se debe tener claro algunos conceptos técnicos y métodos de disipación de energía, los cuales se explican de forma general para el desarrollo del documento.

3.1 DEFINICIONES GENERALES

Estructura: Es el armazón que da forma a un edificio, lo sostiene, fija al suelo y hace que las cargas se transmitan a este. La estructura hace resistente a una edificación ante movimientos sísmicos. (Villarreal 2013)

Elementos estructurales: Son aquellos elementos que soportan los esfuerzos y deformaciones que tiene una determinada estructura, siendo parte de ella. (Villarreal 2013)

Elementos no estructurales: Los elementos no estructurales son aquellos que no forman parte integrante de la estructura y no contribuyen a su resistencia y rigidez, así como aquellos elementos desligados adecuadamente de ella. Están incluidos en esta definición elementos frágiles como el vidrio y el yeso, y las particiones cuyo espesor no es suficiente para contribuir significativamente a la rigidez y resistencia del sistema estructural; de igual forma los plafones, las instalaciones y equipos. (Villarreal 2013)

Grados de libertad: Los movimientos que puede realizar son desplazamientos laterales en X y Y, rotación alrededor del eje vertical Z. (Villarreal 2013)

Modos de vibración: Es la forma de vibrar de la estructura, dependiente de la interacción entre la rigidez de la estructura y la distribución de masas en la edificación. (Villarreal 2013)

Período de vibración, T: Es el tiempo que transcurre dentro de un movimiento armónico ondulatorio, o vibratorio, para que éste se repita. (Asociación colombiana de ingeniería, 2010, pág. Capítulo A.13)

Rigidez: La rigidez en una estructura se puede expresar como la resistencia a las deformaciones elásticas, siendo la capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin presentar grandes deformaciones.

La rigidez de las estructuras está en función del módulo de elasticidad del material, el momento de inercia y la longitud del elemento. De esta manera para poder incrementar la rigidez de una estructura se puede aumentar la sección del elemento, añadir materiales cuyo módulo de elasticidad sea mayor o disminuyendo la longitud del elemento.

Cargas: Son fuerzas u otras solicitaciones que actúan sobre el sistema estructural y provienen del peso de todos los elementos permanentes en la construcción, los ocupantes

y sus pertenencias, efectos ambientales, asentamientos diferenciales y restricción de cambios dimensionales. (NSR-10 Titulo B2.1.1)

Carga Muerta: Todas las cargas de los elementos permanentes de construcción incluyendo su estructura y todas aquellas cargas que no son causadas por la ocupación y uso de la edificación. (NSR-10 Titulo B.3.1)

Carga viva: Todas las cargas producidas por el uso u ocupación de la edificación sin incluir cargas ambientales como viento y sismo. (NSR-10 Titulo B.4.1)

Sismo: Los terremotos son generados por movimientos de reacomodo de las placas de la corteza terrestre; el terremoto ocurre cuando se acumula un nivel de esfuerzos y deformaciones de tal magnitud, que se genera una ruptura brusca en la falla, al ocurrir un terremoto, se libera energía de deformación acumulada.

Este fenómeno es consecuencia de fracturas en la corteza terrestre, originadas por rupturas de fallas geológicas, por fricción en las placas tectónicas o por procesos volcánicos.

Cuando se produce la ruptura de la corteza y se libera la energía acumulada se genera un terremoto; movimiento vibratorio del terreno, que incluye varios tipos de ondas, con distintas amplitudes, frecuencias y tiempos de ocurrencia.

3.2 SISTEMAS ESTRUCTURALES

3.2.1 Sistemas de muros de carga

Es un sistema estructural que no dispone de un pórtico esencialmente completo y en el cual las cargas verticales son resistidas por los muros de carga y las fuerzas horizontales son resistidas por los muros estructurales o pórticos con diagonales.

3.2.2 Sistema combinado

Sistema en el cual las cargas verticales son resistidas por un pórtico no resistente a momentos, esencialmente completo, y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales o las cargas verticales y horizontales son resistidas por un pórtico resistente a momentos, esencialmente completo, con muros estructurales o pórticos con diagonales y que no cumple los requisitos de un sistema dual.

3.2.3 Sistema pórtico

Es un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial, resistente a momentos, esencialmente completo, sin diagonales, que resiste todas las cargas verticales y fuerzas horizontales.

3.2.4 Sistema dual

Es un sistema estructural que tiene un pórtico espacial resistente a momentos y sin diagonales, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales el cual debe cumplir los siguientes requisitos:

- El pórtico espacial resistente a momentos, sin diagonales, esencialmente completo, debe ser capaz de soportar las cargas verticales.
- Las fuerzas horizontales son resistidas por la combinación de muros estructurales o pórticos con diagonales, con el pórtico resistente a momentos, el cual puede ser un pórtico de capacidad especial de disipación de energía (DES), cuando se trata de concreto reforzado o acero estructural, un pórtico con capacidad moderada de disipación de energía (DMO) de concreto reforzado, o un pórtico con capacidad mínima de disipación de energía (DMI) de acero estructural. El pórtico resistente a momentos, actuando independientemente, debe diseñarse para que sea capaz de resistir como mínimo el 25% del cortante sísmico en la base.
- Los dos sistemas deben diseñarse de tal manera que en conjunto sean capaces de resistir la totalidad del cortante sísmico en la base, en proporción a sus rigideces relativas, considerando la interacción del sistema dual en todos los niveles de la edificación, pero en ningún caso la responsabilidad de los muros estructurales, o de los pórticos con diagonales, puede ser menor del 75 por ciento del cortante sísmico en la base.

3.3 CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL

Definida como la disposición de los elementos y del sistema estructural de la edificación en forma horizontal y vertical. La respuesta de una estructura ante un sismo se vuelve más impredecible con la presencia de factores que se mezclan en el comportamiento de las edificaciones; éstos están dados por el tamaño, la forma del edificio en planta, la elevación y proporción, uniformidad y distribución del sistema estructural, tipos y localización de elementos resistentes y no estructurales. (Bazán y Meli, 2004)

Estos factores determinan la ubicación de los centros de masa, cortantes y rigidez de la estructura los cuales intervienen en la respuesta de diseño de una estructura sismo resistente, los cuales hacen parte del análisis estructural de la edificación.

3.3.1 Peso

El tamaño del edificio y material de construcción influyen en la respuesta estructural ya que la inercia de estos elementos es proporcional a la masa del elemento que conforma, ya sea estructural, no estructural, acabados, revestimientos, etc. Lo que implica un cambio en

los resultados de diseño y estudio si estos elementos cambian de dimensiones, así como su comportamiento en terreno y por efectos externos al mismo.

3.3.2 Distribución en planta

La ubicación de elementos estructurales y no estructurales dentro de la planta infieren en la respuesta sísmica por tal motivo es importante identificar la simetría del diseño, abertura en sus diafragmas horizontales, espacios al interior del edificio y desplazamientos en las esquinas de la edificación, que puede ocasionar variaciones en la vibración a lo largo de la estructura y que corresponden a irregularidades contempladas en la NSR-10 Titulo A.3.3.6 Y A.3.3.7 según el tipo de estructura y la zona de amenaza sísmica donde está ubicada.

3.3.3 Distribución en altura

La distribución en altura de la edificación debe ser verificada ya que reducciones de altura bruscas entre niveles, cambio de rigidez entre pisos, desplazamientos de elementos estructurales y discontinuidad en la resistencia generan irregularidades que afectan el desempeño de la estructura.

3.4 ANÁLISIS SOBRE SISMOS

Durante los años de investigación en el área estructural, en distintos lugares del mundo, se han implementado y optimizado con el paso del tiempo, distintos softwares los cuales permiten la modelación de la estructura a construir e ir ampliando el espectro de variables que pueden tenerse en cuenta para tener mayor precisión sobre los efectos que tendrán las cargas a las cuales será sometida.

La aplicación de disipadores de energía con fluidos viscosos hace parte de estas aproximaciones, las cuales permiten identificar cómo podría comportarse una estructura durante un sismo y las diferencias presentes. Pero para llegar al punto de la modelación, se deben desglosar algunos conceptos y procedimientos con antelación, los cuales están descritos en el actual Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

La magnitud de la fuerza aplicada por el sismo a la estructura dependerá de variables físicas, mecánicas y de materiales. Cuando se presenta un sismo, la estructura entra en vibración, lo cual aumenta el amortiguamiento y disminuye la rigidez; se encontrarán diferentes comportamientos con distintos sistemas estructurales y materiales.

“El acero, por ejemplo, mantiene su comportamiento lineal hasta niveles muy altos de esfuerzos. El concreto tiene una reducción significativa en su rigidez cuando los esfuerzos de compresión exceden a 50% por ciento de la resistencia, pero sobre todo la rigidez de estructuras de este material se ve disminuida por el agrietamiento y fisuras que ocurren en

su masa debido a los diferentes estados de esfuerzo. El diseño de las estructuras para resistir sismos difiere del que se realiza para el efecto de otras acciones, el problema sísmico se deriva de lo poco predecible de que 28 este fenómeno y de las intensidades que puede alcanzar sus efectos, asociado a la probabilidad de que se presenten dichas intensidades en la vida útil esperada de la estructura es muy pequeña". (Bazán, 1998)

Para nuestro caso, se usan espectros de respuesta para evidenciar los desplazamientos que sufrió una estructura con el paso de un sismo. El espectro de respuesta muestra la magnitud de un desplazamiento en determinado periodo de tiempo, a medida que observamos espectros con mayor periodo, encontraremos que la estructura tiene un mayor desplazamiento durante el sismo.

3.5 AMENAZA SÍSMICA

Fenómeno sísmico asociado a un sismo, tal como el movimiento fuerte del terreno o falla del mismo, que tiene potencial de producir una perdida (Garzón, 2011)

3.5.1 Espectro de diseño:

Representa los movimientos símicos de diseño y está definido en función de la aceleración pico efectiva y de la velocidad pico efectiva, representadas por A_ay A_v como valores representativos de los movimientos del terreno:

A_a (g): coeficiente que representa la aceleración pico efectiva para el diseño dado.

A_v (g): coeficiente que representa a la velocidad pico efectiva para el diseño dado.

3.5.2 Espectro de aceleraciones S_a:

Máxima aceleración horizontal de diseño, expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad, para un sistema de un grado de libertad con un periodo de vibración T.

3.5.3 Espectro de respuesta:

Representación gráfica de la respuesta máxima que produce una acción dinámica determinada, en una estructura u oscilador de un grado de libertad (Crisafulli y Villafañe 2002)

3.5.3.1 Espectros de respuesta elástica:

Son los utilizados para conocer las características del sismo; con este mismo se puede determinar los efectos sobre la estructura apoyado en estudios de microzonificación.

3.5.3.2 Espectros de respuesta inelástica:

"Según los estudios de Nathan M. Newmark y Hall en las estructuras de periodo corto, una reducción de la fuerza elástica requerida involucraba un requerimiento de ductilidad excesivo. Para estructuras de periodo intermedio, la energía obtenida por el sistema elástico su desplazamiento máximo es aproximadamente igual a la obtenida por un sistema elástico resultante al aplicar un factor de modificación en este caso 30 se supone que el oscilador de un grado de libertad exhibe comportamiento no lineal, es decir que la estructura puede experimentar deformaciones en rango plástico por acción del terremoto, por sus razones prácticas y económicas estos espectros son tenidos en cuenta en el diseño sismorresistente. Los espectros describen la máxima respuesta expresada en términos de aceleración absoluta, desplazamiento y velocidad relativos."

- Máximo desplazamiento relativo: se obtiene al multiplicar la constante del resorte k, conduce a la máxima fuerza que ejerce sobre el resorte durante todo el momento velocidad relativa: máxima velocidad relativa

Esta es multiplicada por la constante del amortiguador define la fuerza en este.

- Máxima aceleración absoluta: multiplicada por la masa, da como resultado la máxima fuerza inercial.

3.6 MICROZONIFICACIÓN EN COLOMBIA

El territorio colombiano cuenta con subdivisiones según su calificación de amenaza sísmica; esta división se encuentra en NSR-10 Cap.A.2.3, y es la combinación entre los valores de A_a y A_v.

Zona de amenaza sísmica baja: Es la zona donde los sismos de diseño no exceden una aceleración pico (A_a) de 0.10g. El 55% del territorio colombiano está ubicado en esta zona.

Zona de amenaza sísmica intermedia: Zonas donde los valores de A_a o A_v es mayor a 0.10 y menor a 0.20.

Zona de amenaza sísmica alta: Zonas donde A_a o A_v es mayor a 0.20.

3.7 MICROZONIFICACIÓN EN BOGOTÁ

Según la norma NSR-10, en su Cap.2.9.2 indica que las ciudades con más de 100.000 habitantes localizadas en zonas de riesgo alta o intermedia, con el fin de tener en cuenta el efecto de sismos sobre las edificaciones y la propagación de la onda sísmica a través de los estratos del subsuelo, cumpliendo con estudios de microzonificación sísmica deben cumplir la sección A.2.9.3. Adicionalmente la sección A.2.1.2.1 indica que cuando haya estudios de microzonificación sísmica aprobados por autoridades municipales, que contengan

recomendaciones para el sitio donde se construirá, se deben utilizar los resultados obtenidos por esta microzonificación. Para el caso de Bogotá se amplía la información de la microzonificación de esta ciudad.

Para el desarrollo del diseño y los parámetros que serán usados en la modelación de la estructura se debe tener en cuenta el Decreto 523 del 2010, en el Art.4 indica el mapa de zonas de respuesta sísmica y el mapa de zonas geotécnicas, como se puede evidenciar.

3.8 ACELEROGRAMA:

Representación temporal de la aceleración que experimenta el suelo en un determinado punto durante un terremoto.

Cuando se empleen procedimientos de análisis dinámico consistentes en evaluaciones contra el tiempo se deben cumplir los siguientes requisitos:

- Debe utilizarse para efectos de diseño, la respuesta ante la componente horizontal de un mínimo de tres (3) acelerogramas diferentes todos ellos representativos de los movimientos esperados del terreno teniendo en cuenta que deben provenir de registros tomados en eventos con magnitudes, distancias hipocentrales o a la falla causante y mecanismos de ruptura similares a los de los movimientos sísmicos de diseño prescritos para el lugar pero que cumplan la mayor gama de frecuencias y ampliaciones posible. Si se utilizan siete o más acelerogramas, en vez del mínimo de tres prescritos anteriormente, se puede utilizar el valor promedio de los valores obtenidos de todos los acelerogramas empleados.
- Los espectros de respuesta de los acelerogramas empleados, apropiadamente escalados en consistencia con la amenaza, no pueden tener individualmente ordenadas espectrales, para cualquier periodo de vibración, no debe ser menor que las ordenadas espectrales en el mismo rango de periodos para el movimiento esperado del terreno definido.

3.8.1 Acelerograma real:

Descripción del movimiento del terreno en función del tiempo y mediante valores de aceleración, contienen las características originales del evento, como son la duración, el contenido de frecuencias y la forma.

3.8.2 Acelerograma artificial:

Representación de la respuesta que se genera a partir de un contenido frecuencial esperado, como el espectro de diseño. Estas señales pueden cubrir un rango amplio de frecuencias y se ajustan a las amplitudes espectrales en las diferentes normativas (Bommer 2003).

3.9 MÉTODOS DE ANÁLISIS SÍSMICO

Se reconocen los siguientes métodos de análisis del sistema de resistencia sísmica para efectos de su diseño según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10 se apoya en gran medida en el documento Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI 7-05 (ASCE/SEI, 2006) donde se determinan fuerzas laterales de diseño teniendo en cuenta la zona de amenaza sísmica, grupo de uso e irregularidad asi como las propiedades dinámicas haciendo uso de acelerogramas.

3.9.1 Métodos estáticos

Los cuales se basan en la determinación de la fuerza total, cortante basal a partir de la zona de inercia que se induce en un grado de libertad, para distribuir estos cortantes en fuerzas concentradas a diferentes alturas.

3.9.1.1 Análisis de fuerza horizontal equivalente

Permite determinar fuerzas sísmicas horizontales de diseño sin que haya necesidad de realizar un análisis dinámico de la estructura, suponiendo que el comportamiento estructural está controlado por un primer modo de vibración correspondiente a la traslación de la masa en la aplicación del cortante basal, sin embargo tiene limitantes para ciertas edificaciones, se obtiene como mínimo los desplazamientos horizontales de la estructura, distribución de cortante en el piso, efectos de las fuerzas sísmicas en la cimentación de la edificación, fuerzas internas correspondientes a cada elemento que haga parte del sistema de resistencia sísmica, este método puede utilizarse para estructuras regulares e irregulares en zonas de amenaza sísmica baja o intermedia y con grupo de uso I menores a 60 metros de altura desde la base para estructuras regulares y 18 metros para estructuras irregulares

3.9.2 MÉTODOS DINÁMICOS

Los cuales se basan en la solución de un problema dinámico que requiere la descripción del sistema en todos los instantes dentro del periodo de estudio, lo cual conlleva a grandes esfuerzos analíticos y numéricos que pueden, a su vez implicar el uso de herramientas computacionales que tiene en cuenta los métodos de dinámica estructural y están representados por la ecuación:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g$$

Donde:

m: masa del sistema
c: amortiguamiento del sistema
k: rigidez del sistema
ü: aceleración de la masa
ú: velocidad de la masa
u: desplazamiento de la masa
ü◦: aceleración de la señal arbitraria

La base conceptual de análisis dinámico parte de concertar las masas a nivel de cada piso el cual se considera infinitamente rígido en su plano con tres grados de libertad por piso siendo estos traslacionales, ortogonales y de rotación en torno al eje vertical, al excitar la estructura con movimientos en la base esta responde con fuerzas de tipo inercial, elásticas y de amortiguamiento según la aceleración que se presenta.

Este método se usa cuando no se pueden analizar las estructuras por medio de la fuerza horizontal equivalente, en estructuras flexibles, con altura mayor a 20 metros en zonas de amenaza sísmica alta que pueden ser regulares e irregulares.

3.9.2.1 Análisis dinámico cronológico

En el sistema de varios grados de libertad en una estructura sometida a fuerzas que varían en el tiempo y que describe adecuadamente las propiedades dinámicas de la estructura y conduce a resultados representativos de los movimientos sísmicos de diseño el cual puede ser elástico o inelástico teniendo en cuenta los modos y frecuencias de la estructura determinando las respuestas máximas de deflexiones, derivas, fuerzas en los pisos, cortantes de piso, cortantes en la base y fuerzas de los elementos para el conjunto de registros de la familia de por lo menos tres acelerogramas utilizado en análisis no lineal debido a que las condiciones pueden variar de un paso a otro como la rigidez de la estructura, sin embargo se deben realizar ajustes al cortante basal para las direcciones de análisis y no debe ser menor que el cortante sísmico en la base

3.9.2.2 Análisis dinámico espectral:

Estima la respuesta máxima de un sistema estructural usando un espectro de diseño para movimientos sísmicos futuros o ante sismos registrados y el periodo modal las cuales son aplicadas en el rango elástico. El método determina los modos y frecuencias naturales del sistema de múltiples grados de libertad para reducir el problema de resolver un sistema acoplado de *n* ecuaciones diferenciales al de *n* ecuaciones diferenciales desacopladas, sin

embargo, se deben realizar ajustes al cortante basal para las direcciones de análisis y no debe ser menor al 80% del cortante sísmico en estructuras regulares y 90 % en estructuras irregulares.

3.10 SISMOS DE DISEÑO

Los movimientos sísmicos de diseño se definen basándose en la aceleración y la velocidad pico efectiva, representadas en A_a y A_v. el valor de A_a identifica los movimientos sísmicos ocasionados por temblores próximos en el rango de periodos de vibración de las edificaciones y el A_v determina los sismos fuertes que se presentan a distancias no tan cercanas, para una probabilidad del 10% de ser excedidos en un lapso de cincuenta años, estos coeficientes son determinados por el número de la región donde se va a construir la edificación.

3.11 SISTEMAS DE DISEÑO SISMORRESISTENTE

Las estructuras no vibran indefinidamente al ser excitadas por un movimiento ya que son controladas por fuerzas de amortiguamiento proporcionales a la velocidad y opuestas a la dirección del movimiento transformando la energía cinética o potencial en otra energía como el calor. Para controlar el adecuado comportamiento de las estructuras frente a los sismos se deben diseñar estructuras rígidas y a la vez dúctiles mediante los sistemas estructurales convencionales teniendo en cuenta el suelo de fundación y una continuidad en toda la estructura tanto vertical como horizontal, otra forma de diseñar las estructuras es mediante el uso de dispositivos de disipación de energía ya que aumenta el amortiguamiento, reduciendo desplazamientos laterales, velocidades y aceleración.

3.12 BALANCE ENERGÉTICO

La excitación sísmica que se introduce en un sistema estructural se transforma conservando la energía por medio de disipadores, para que un sistema sea capaz de soportar los sismos debe ser absorbida o disipada lo cual se logra al aumentar la rigidez y ductilidad en la estructura mediante dispositivos que maximicen el amortiguamiento evitando fallas en los elementos estructurales.[3]

$$E_s = E_K + E_A + E_H + E_D$$

Donde:

E_H- Energía de deformación elástica.

[3] Carlos Genatios, 2016, págs. 37-38

E_K - Energía cinética.
E_S – Energía introducida par cargas dinámicas externas.
E_A - Energía disipada por amortiguamiento.
E_D - Energía irrecuperable disipada por el sistema estructural a través de la inelasticidad.

El objetivo de introducir disipadores de energía a la edificación es reducir la energía E_K, o transformar parte de esa energía en calor, aumentando la energía de amortiguamiento a través de los disipadores sísmicos de energía.[4]

3.12.1 Amortiguamiento

Es una característica de los materiales de construcción o de los sistemas de protección sísmica de absorber energía ya sea por fuerzas de amortiguamiento o de fricción, lo cual se puede observar cuando se realiza un balance energético (Villareal 2013)

Amortiguamiento de Coulomb: Corresponde al fenómeno físico de fricción entre superficies secas independiente de la velocidad del movimiento una vez se inicia. (García 1998)

Amortiguamiento Histerètico: fenómeno por el cual dos o más propiedades físicas se relacionan de una manera que depende de la historia de su comportamiento previo, este se presenta cuando un elemento estructural es sometido a inversiones en el sentido de la carga aplicada cuando el material del elemento se encuentra en el rango inelástico o no lineal. (García 1998)

Amortiguamiento viscoso: Un cuerpo que se encuentra en movimiento dentro de un fluido tiende a perder energía cinética debido a que la viscosidad del fluido se opone al movimiento la cual está directamente asociada con la velocidad del movimiento. (García 1998)

3.12.2 Excitación dinámica

Afectación de toda estructura durante su vida por efectos dinámicos que van desde magnitudes despreciables, hasta efectos que pueden poner en peligro su estabilidad la cual puede ser causada por:

Equipos mecánicos: maquinarias y equipos que tengan componentes que roten o se desplacen periódicamente.

Impacto: masa que sufre una colisión con otra la cual induce vibraciones.

Explosiones: producen ondas de presión en el aire, o movimientos de terreno.

[4] Burgos N. m., 2010

Viento: la intensidad de la presión que ejerce el viento sobre las estructuras induce efectos vibratorios sobre ella

Olas: las estructuras hidráulicas las olas inducen efectos dinámicos correspondientes a las variaciones del empuje hidráulico sobre ellas.

Sismos: El efecto sobre las estructuras de los movimientos del terreno producidos por la ocurrencia de un sismo conduce a vibraciones importantes de la estructura. (García 1998)

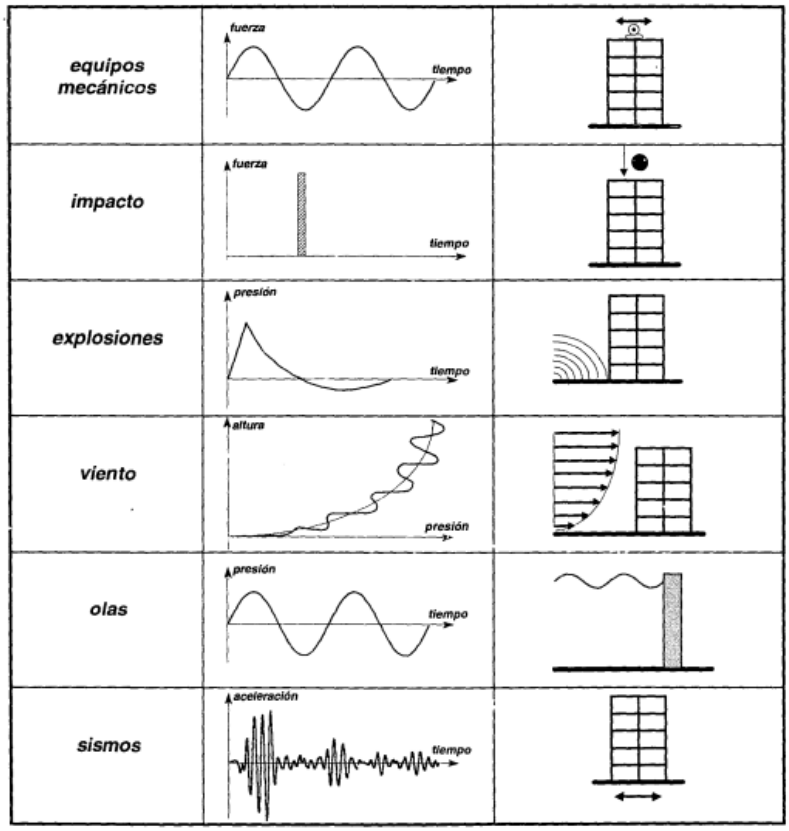


Ilustración 1 tipos de excitación dinámica Figura 1-10 Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico García 1998

3.13 DISPOSITIVOS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA

3.13.1 Dispositivos de protección activa

Los dispositivos de protección activa son elementos mecánicos cuyas características cambian de acuerdo con mediciones de los movimientos de la estructura, estos dispositivos son complejos puesto que requieren de la instalación de sensores para poder procesar y medir las variables de control, a fin de regular la respuesta del dispositivo en caso de ocurrencia del sismo.

Los sistemas activos incluyen un algoritmo de control y un procesador de información, por esta razón requieren de uno o más computadores que deben estar en funcionamiento

permanente y que deben tener una protección adecuada en caso de un sismo; sumado a esto el suministro de energía debe ser constante, puesto que la estructura se monitorea constantemente permitiendo modificar la respuesta de los dispositivos en tiempo real. Este es el principio de estos sistemas activos.

3.13.1.1 Aislador sísmico

Un aislador sísmico es un dispositivo muy flexible el cual se coloca entre la estructura y la fundación, con lo que se pretende transmitir la menor cantidad de movimiento y vibraciones a la estructura en el momento en que ocurra un movimiento telúrico.

La principal función de un aislador sísmico es que los movimientos horizontales de la fundación generados por el sismo no sean transmitidos a la estructura, estos dispositivos son diseñados básicamente para movimientos horizontales, puesto que los movimientos verticales son mínimos, además de esto las estructuras se diseñan para resistir grandes cargas gravitacionales por lo cual se diseñan con gran rigidez y resistencia a cargas verticales por estas razones no es de gran necesidad diseñar dispositivos que soporten cargas verticales además de la estructura ya diseñada.



Ilustración 2 Aisladores de energía sísmica Fuente: (INGECIVIL.NET, 2020)

3.13.2 Dispositivos de protección pasiva

Los sistemas pasivos son los más utilizados en la actualidad por su practicidad, empleando dispositivos mecánicos para disipar parte de la energía inducida en las estructuras por las fuerzas dinámicas externas debidas al sismo y el viento, permitiendo aumentar el nivel de amortiguamiento de la estructura, los cuales se clasifican en tres grupos:

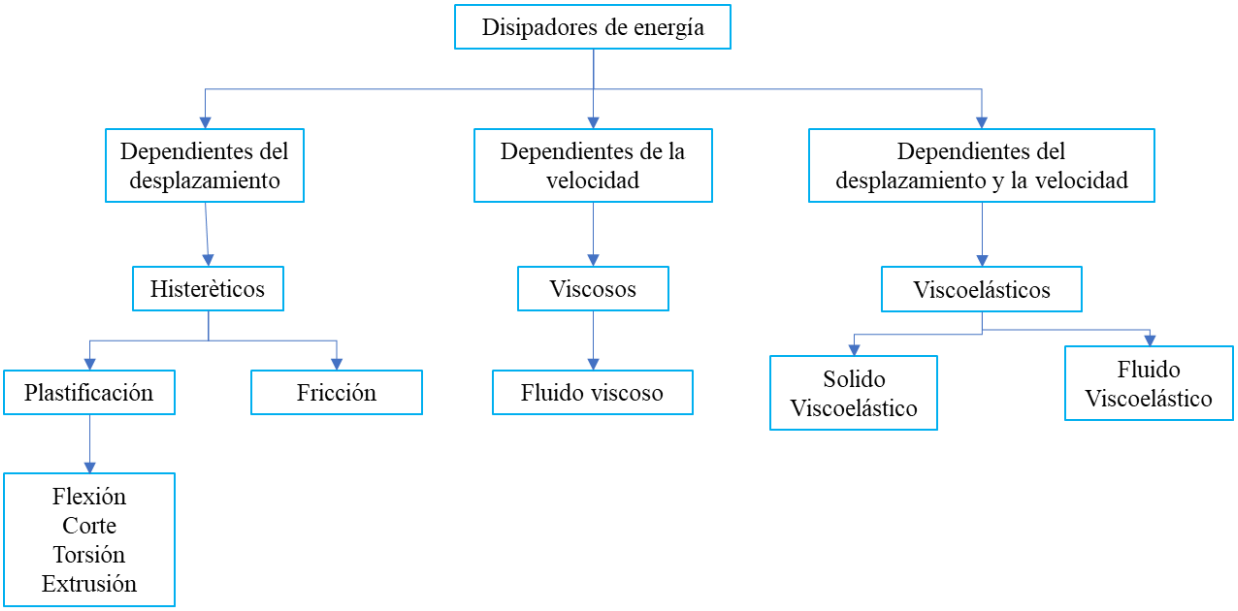


Ilustración 3 Norma ASCE 7-10

La principal diferencia de los dispositivos de tipo viscoso (figura a) y viscoelástico (figura (b) cuando ocurre un terremoto es que la fuerza máxima que desarrolla se determina por las velocidades y desplazamientos a lo largo del dispositivo, mientras que en los dispositivos de fricción (figura c) las máximas fuerzas serán iguales a las fuerzas de fricción o cedencia de diseño del dispositivo generando un comportamiento diferente en cada caso al tener una excitación sinusoidal donde los disipadores de fluido viscoso reducen las deformaciones laterales y generan esfuerzos en los elementos estructurales conectados a los disipadores.



(a) (b) (c)

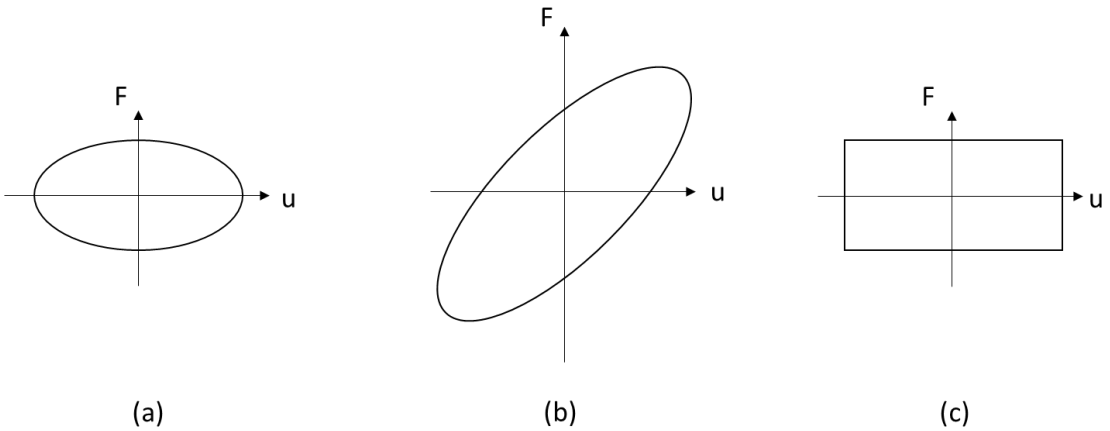


Ilustración 4 Diagrama de fuerza- Desplazamiento de tres tipos de disipadores (a) viscoso (b) viscoelástico (c) fricción

3.13.2.1 Disipadores de energía sísmica histérico

Estos dispositivos dependen del desplazamiento de la estructura. Los dispositivos histéricos pueden ser por fluencia de metales, corte, extrusión de metales o por flexión. Los dispositivos friccionante consisten en la deformación relativa entre dos puntos para disipar energía por medio de la fricción. Ambos dispositivos tienen comportamiento estable y de fácil fabricación, instalación y mantenimiento.



Ilustración 5 Disipador de fricción. Fuente: http://www.nuyuntek.cl/

3.13.2.2 Disipadores de energía sísmica viscoelásticos

Estos disipadores trabajan al ejercer presión sobre un elemento que pasa a través de un medio viscoso, lo cual genera esfuerzos en sentido contrario al movimiento que, a su vez lo hace elástico puesto que vuelve a su estado original. El objetivo es que la estructura primaria permanezca en lo posible en el rango elástico, para minimizar los daños en caso de sismos.

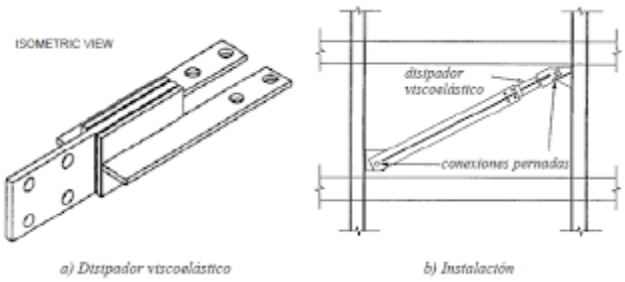


Ilustración 6 Disipadores viscoelásticos (Kitamura 1991)

3.13.2.3 Disipadores de energía con fluido viscoso.

Para este estudio se implementará el uso de este tipo de disipadores en una estructura metálica por lo que se estudiará más a fondo este tipo de disipador.



Ilustración 7 Disipador de energía de fluido viscoso. Fuente: https://www.efeprimace.co/

Este sistema se basa principalmente en el comportamiento de fluidos altamente viscosos conformados por cilindros los cuales llevan en su interior un pistón empapado en el fluido.

Fabricados en acero inoxidable y el líquido de amortiguamiento es aceite de silicona, al generarse el amortiguamiento el fluido pasa a través del pistón por los agujeros de manera controlada logrando disipar la energía. La filosofía de diseño de estos dispositivos es la de mantener en lo posible la respuesta del sistema estructural primario en el rango elástico durante terremotos severos. Entonces el sistema de amortiguamiento añadido actúa en paralelo con el sistema estructural original para proveer el comportamiento deseado a la hora de un sismo. Se debe prestar especial atención a los procedimientos de análisis que se utilicen, a fin de tomar en cuenta las contribuciones de los dispositivos añadidos a las propiedades del sistema original (en términos de rigidez, principalmente).

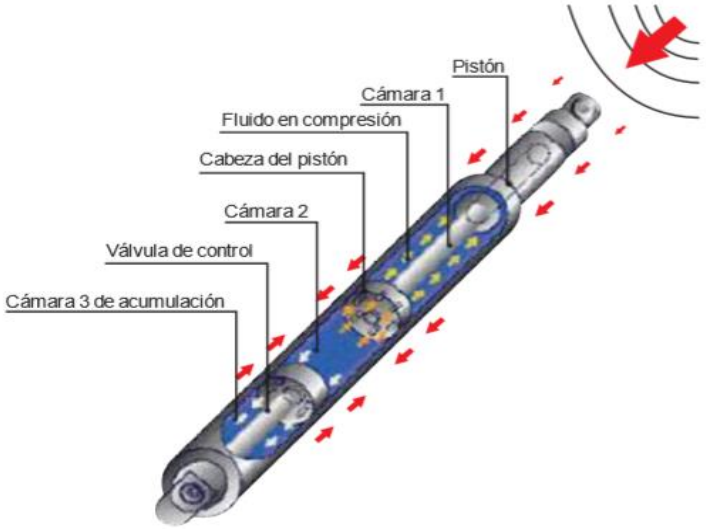


Ilustración 8 Funcionamiento de disipadores viscosos.

Los grandes fabricantes existentes son: Kajima Corporación de Japón y Taylor Devices Incorporación de Estados Unidos con más de 50 años en funcionamiento.

3.13.2.4 Componentes del disipador de fluido viscoso.

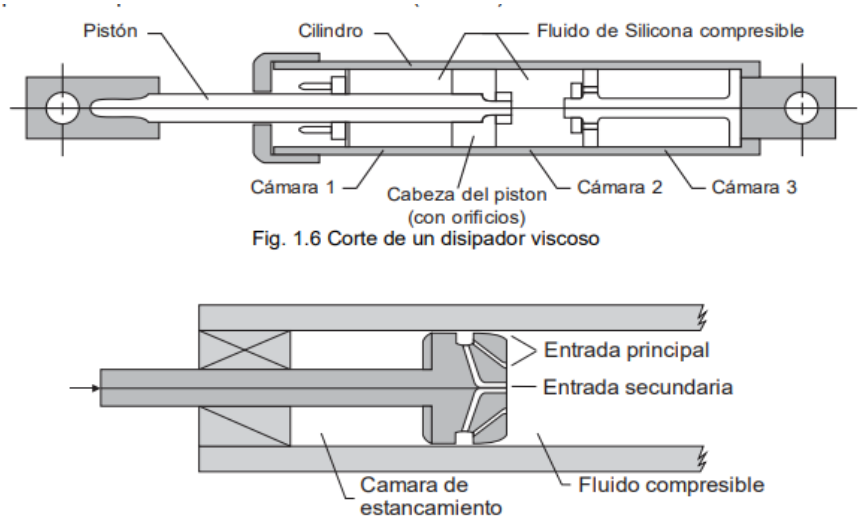


Ilustración 9 Componentes del disipador de fluido viscoso. Fuente: (Sánchez, 2016)

En un disipador de fluido viscoso, la fuerza generada al experimentar desplazamientos relativos entre pisos en la estructura genera movimientos y aceleraciones en el dispositivo viscoso el cual se caracteriza por la ecuación:

$$F = CV^{\alpha}$$

Donde:

F: Fuerza del disipador

V: Velocidad relativa entre el amortiguador

C: Constante de amortiguamiento, Determinada por el diámetro de la compuerta y el área del orificio.

α: Exponente de velocidad (0,4 - 0,6)

Estos amortiguadores fueron desarrollados en países como Estados Unidos en los años 60 y 70 del siglo XX donde fueron implementados en primer lugar en obras militares. En la década de los 90se iniciaron extensas investigaciones sobre el amortiguamiento viscoso equivalente con miras a representar adecuadamente la respuesta inelástica de las estructuras por parte de la Universidad del estado de New York en Búfalo. Se asumía en estos estudios un comportamiento inicial de la estructura lineal elástico y sin disipación de energía. Luego, una fase de comportamiento inelástico con disipación de energía. Esto es compatible con el comportamiento dúctil y las suposiciones de los métodos de diseño de los 90. A partir de esos estudios, se estableció que los amortiguamientos viscosos equivalentes para los edificios podían variar entre 10% a 50% del crítico, dependiendo del período de vibración efectivo de cada estructura.

En Colombia se está implementando este método de disipación por la empresa Efe-Prima-ce desde hace 14 años.

En la industria de la construcción, los Amortiguadores de Fluido Viscoso se utilizan para reducir las cargas debido a una excitación sísmica, estos dispositivos se ubican en la estructura en forma estratégica, tal que se activen durante el desplazamiento relativo entre dos pisos contiguos del edificio excitado. La instalación puede hacerse de varias maneras:

a) Colocando los amortiguadores horizontalmente, para ligar de manera flexible el vértice de unión de las diagonales en forma de “V” invertida, fijada en un piso inferior, con el nivel inmediato superior.
b) Colocando los amortiguadores como una diagonal inclinada, conectando las dos uniones viga columna contrarias de dos pisos continuos.
c) Colocando los amortiguadores en forma horizontal, en la base del edificio trabajando en conjunto con el sistema de aislamiento basal.

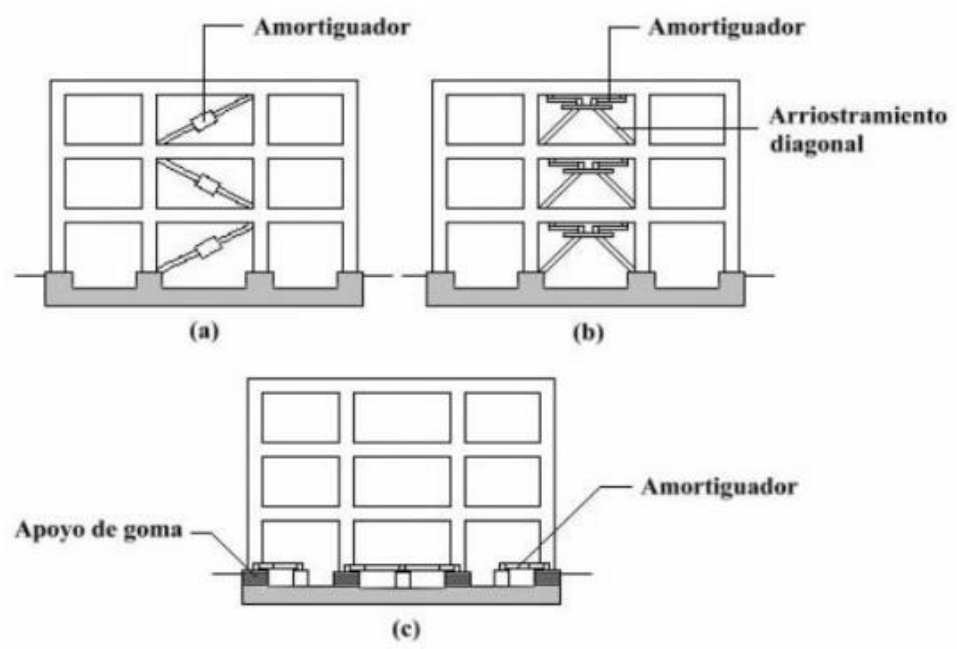


Ilustración 10 Tipos de instanciación d disipador viscoso (Avilés, 2001)

3.13.2.5 Incidencia del aumento de amortiguación en las edificaciones

El disipador de energía tiene como objetivo principal el de disipar o absorber la energía excesiva a causa de los movimientos símicos en la edificación para de esta manera no sobre esforzar a los elementos estructurales de la edificación, pues estos disipadores ofrecen un incremento de la amortiguación de la edificación con la subsiguiente disminución del daño sobre esta al añadir amortiguamiento a la edificación.

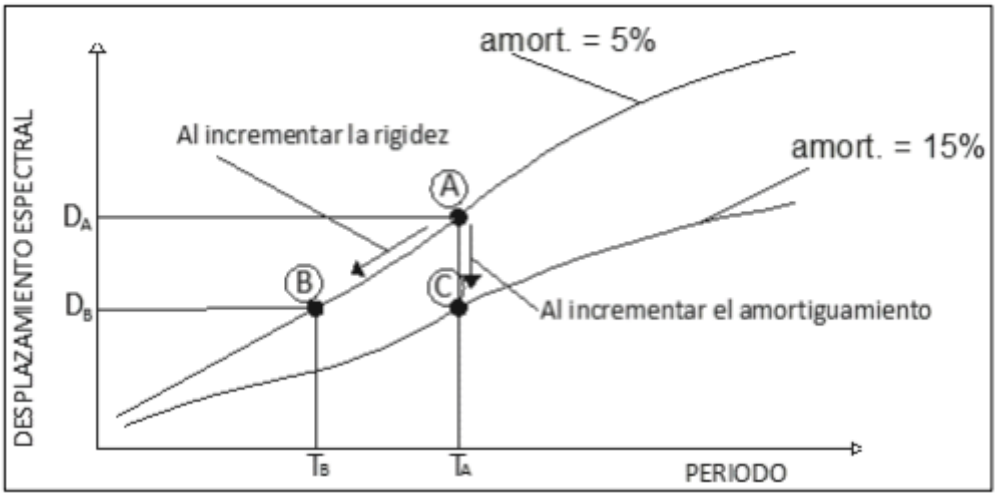


Ilustración 11 Efecto en el espectro de desplazamiento al incorporar disipadores, Fuente: Cordoba Ingenieros SAC

Al incrementar el amortiguamiento se obtiene un desplazamiento menor manteniendo un periodo (T) de vibración constante, este desplazamiento menor se puede obtener a través del incremento de rigidez (cambiando las secciones volviéndolas más robustas y/o incorporación de muros de corte) o por incorporación de disipadores de energía sísmica.

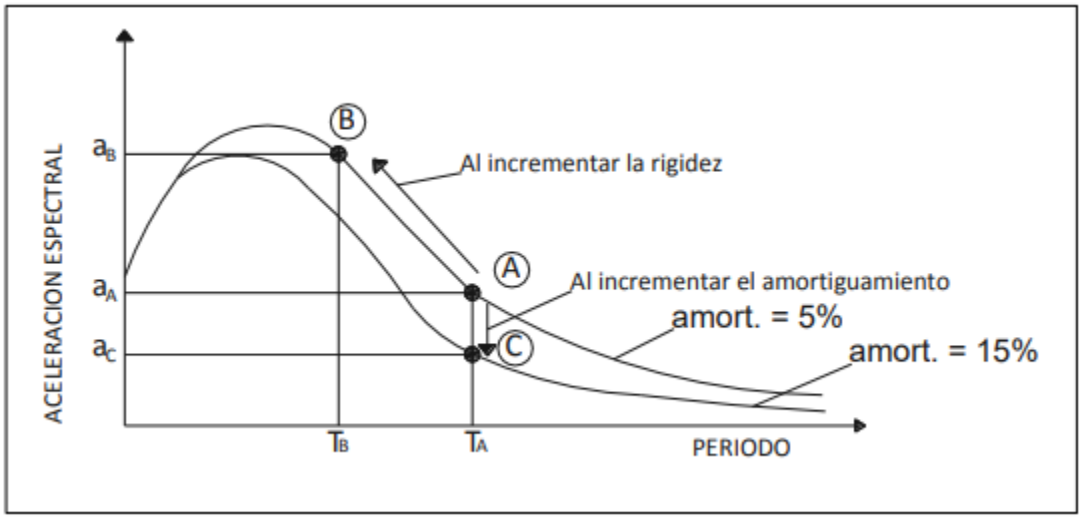


Ilustración 12 Efectos en el espectro de celeracion al incrementa la rigidez y el amortiguamiento, Fuente: Cordova Ingenieros SAC

El cual se evidencia con la disminución de desplazamientos en la estructura, sobre la aceleración que experimenta la edificación.

3.14 ESTRUCTURAS DISEÑADAS, CONSTRUIDAS O REFORZADAS CON DISIPADORES DE ENERGÍA

3.14.1 Uso de sistemas de control sísmico a nivel Mundial.

En Estados Unidos, el edificio Los Ángeles City Hall, cuenta con un sistema combinado entre 416 aisladores basales y52 disipadores viscosos, los cuales se instalaron en paralelo para disipar la energía sísmica y reducir los desplazamientos. Lo impresionante de este caso, es que es una estructura construida desde los años 1920, y en su momento su sistema de protección sísmica con sitio en pórticos de acero con enormes muros de corte de concreto armado, luego de los sismos que la estructura había soportado en su vida (1971,1987 y 1994) se tomó la decisión de reforzarlo con aisladores y disipadores de fluido viscoso. El edifico fue reabierto en 2001 luego de su completa adecuación. Otra edificación en Estados Unidos corresponde a The Pacific Northwest Baseball Stadium, en Seattle, Washington, es un estadio de baseball. Para este se consideraron 8 disipadores de fluido viscoso, los cuales se encargarían de la reducción de esfuerzos y deflexiones en la cubierta del estadio, cada uno los disipadores tienen una capacidad de 500tn (1102.31kips). La cubierta de este

estadio es retráctil, tiene unas dimensiones de 192m x 200m (extendido), una altura de 64m y un peso de 10.000ton; la reducción económica por la implementación de los disipadores fue de 4.2 millones de dólares respecto al presupuesto inicial, debido a que permitió la reducción de cargas en los elementos iniciales. (Rojas, 2019)

En China, para el 2010 ya se contaba con más de 450 edificaciones con aislamiento en la base y más de 50 con disipadores pasivos. Los principales usos se relacionaban a rehabilitación o reforzamiento estructural, donde la mayor cantidad se usó disipadores de fluido viscoso, seguido de disipadores metálicos tipo X (X-Shaped) o placas triangulares

3.14.2 Uso de sistemas de control sísmico a nivel Latino América.

En Chile en 1992, el Edificio de Andalucía implemento un sistema de aislamiento de base, con un sistema de alto amortiguamiento y de neopreno; este mismo método se replicó 4 años después en 1996 en el viaducto Marga-Marga, reduciendo el número de pilotes de fundación, impactando de manera positiva el presupuesto del proyecto, debido su complejidad la universidad de Chile e ingenieros del departamento de puentes MOP instalaron una red de 21 acelerógrafos para obtener información detallada de su comportamiento frente a sismos. Otra obra importante es el Puente Amolanas, el cual empleo en sus estribos amortiguadores de tipo visco elástico y una red de acelerógrafos para monitorear su comportamiento sísmico. (Daniela Maldonado,2009). En Chile hasta el 2005 se contaba por lo menos con cuadro diferentes edificaciones aisladas en su base, dentro de los que se destaca el Hospital Militar de Santiago en la comuna de La Reina, es su momento catalogado como uno de los diez mayores edificios del mundo con aisladores eslastomericos (Casesres,2005)

En Argentina el primer edificio con aisladores fue una edificación de tres pisos de concreto reforzado y mampostería estructural en la residencia estructural de la Universidad Tecnológica Nacional en Mendoza, este contaba con un sistema de aislamiento sísmico de base, el sistema estaba compuesto por cajas de resortes helicoidales y amortiguadores viscosos. (Stuardi,2004).

En México se ha implementado el uso de disipadores pasivos basados en deformación plásticas, para eso se han usado los dispositivos tipo ADAS (added damping and Stiffness) (Whittaker, Bertero y Alonso (1989). Estos dispositivos tipo ADAS, están compuestos por laminas delgadas de acero común, y otros tipos de aceros, son llamativos por una geometría sencilla de manejar. También se presenta el caso del edificio Torre Mayor con 55 pisos, construido en Ciudad de México en el año 2003. Este edificio se pudo proyectar a 55 pisos,

en una zona donde el tipo de suelo y los esfuerzos de las estructuras limitaban el número de pisos a 40. Para este se emplearon 98 disipadores de fluido viscoso, reduciendo las derivas significativamente. (Rojas, 2019)

Cabe resaltar que estos países han demostrado a la comunidad dedicada a la ingeniería civil y afines, una implementación de dispositivos tanto pasivos como activos como medios de disipación de energía. Cada país, se ajustó a sus condiciones locales de economía y avance tecnológico, permitiéndoles dar un avance importante en Latinoamérica sobre la aplicación de estas metodologías.

3.14.3 Uso de sistemas de control sísmico a nivel nacional

El Puente Helicoidal de Dos Quebradas-Risaralda, con una longitud aproximada de 400, cuenta con 7 luces de 50m cada uno, 2 voladizos de 28m apoyados sobre aisladores sísmicos de péndulo por fricción, este mecanismo le permite un desplazamiento máximo de 35cm acá lado, permitiéndole un desplazamiento máximo de 70cm, colocando 2 aisladores en cada pila, permitiendo movimientos por efectos de temperatura, y así, aislando la superestructura de la infraestructura permitiéndole funcionar como un disipador de energía. El Hospital El Tunal en Bogotá, fue reforzado con disipadores de engría pasivos, para el caso se usan disipadores de fricción de acero; este fue el primer centro hospitalario del país en utilizar un sistema de amortiguamiento. Con este reforzamiento se logró reducir derivas, asegurar un nivel operativo en caso de sismos como solicita la norma NSR-10 para este tipo de edificaciones, este procedimiento se adelantó en 1999. (Oviedo, 2009)

Según la investigación realizada no se logran enumerar muchos casos de implementación de disipadores en Colombia, y el número de casos con disipadores de fluido viscoso fue nulo. Desde este punto se marca un antecede sobre lo poco que en Colombia se ha explorado sobre el tema, y también demuestra el poco interés y las dificultades para desarrollarlo.

3.15 ESTUDIOS Y ENSAYOS REALIZADOS AL SISTEMA

Algunas investigaciones fueron desarrolladas en el laboratorio con modelos a escala real.



Ilustración 13 Modelo estructural de cinco pisos con sistema de amortiguación en simulador sísmico de la universidad de Búfalo Fuente: (CDV INGENIERÍA ANTISÍSMICA, 2020)

Las pruebas que se han hecho a los disipadores de fluido viscoso han demostrado que su funcionamiento no presenta grandes diferencias en un rango de temperatura de -40ºC Y 70ºC.

Incrementan el amortiguamiento entre un 20% y 40 % reduciendo el desplazamiento considerablemente.

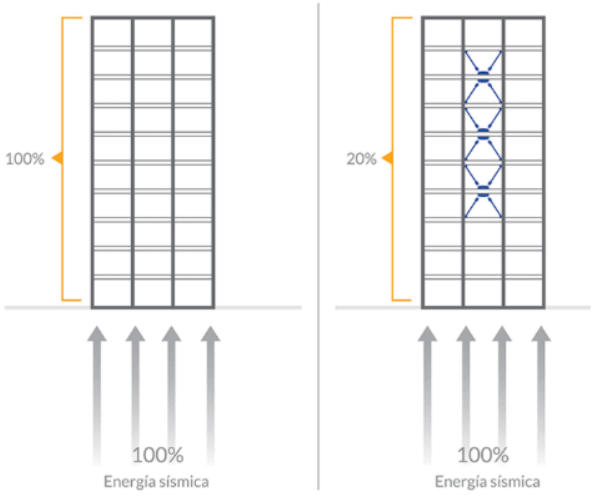


Ilustración 14 Energía recibida por la edificación. (CDV INGENIERÍA ANTISÍSMICA, 2020)

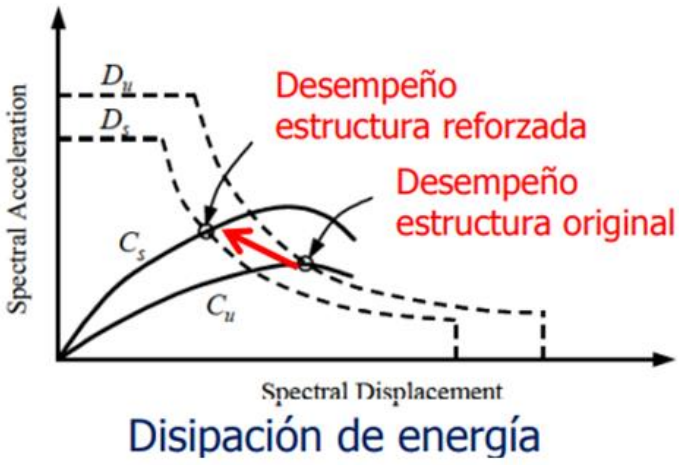


Ilustración 15 Disipación de energía en estructuras reforzadas. Fuente: (Oviedo, Protección Sísmica y Reforzamiento de Edificaciones a través de sistemas no Convencionales, 2015

Donde:

Du: Curva de demanda para estructura no reforzada

Ds: Curva de demanda para estructura reforzada

Cs: Curva de capacidad para estructura reforzada

Cu: Curva de capacidad para estructura no reforzada

3.16 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO

Las ventajas al implementar los disipadores de energía viscosos en las edificaciones son:

- Permiten la reducción de la demanda sísmica en la estructura principal y la concentración del daño en puntos o elementos identificados previamente.
- Contribuyen a disminuir los esfuerzos y deformaciones de las estructuras inducidas por el sismo, en gran medida comparados con estructuras similares sin estos dispositivos.
- Mínimo mantenimiento y reemplazo al presentarse un sismo.
- Estables y funcionales en un gran rango de temperatura.
- Retornan su posición inicial luego de un sismo severo.
- Ideales para edificaciones nuevas y reforzamiento.

Las desventajas al implementar los disipadores de energía viscosos en las edificaciones son:

- Revisiones periódicas para detectar posibles fugas

3.17 DISPOSICIÓN O ARREGLOS DE LOS DISIPADORES SÍSMICOS DE FLUIDO VISCOSO

Para los disipadores de Fluidos Viscosos, se sugiere ubicarlos en zonas de velocidades máximas y en entrepisos que experimentan mayor desplazamiento relativo, sin embargo, este proceso se realiza de manera iterativa, de manera que los resultados obtenidos en durante el diseño, reflejen los valores que minimicen los desplazamientos de mejor manera. Durante este proceso pueden existir modificaciones a elementos no estructurales y de estética entre otros.

3.17.1 Arreglo Diagonal

Es el arreglo más sencillo para la disposición de los Disipadores en la estructura, consta de un brazo metálico que une el disipador con el nudo de la estructura. Este es el arreglo menos eficaz ya que solo resiste el movimiento lateral de la edificación.

Su principal ventaja radica en que no requiere ningún tipo de refuerzo adicional, debido a que, durante la fase de diseño, los nudos pueden diseñarse para resistir

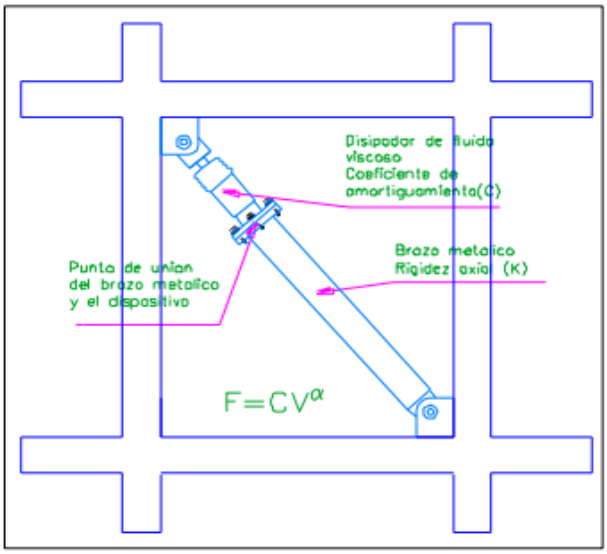


Ilustración 16 Arreglo diagonal

3.17.2 Arreglo Chevron Diagonal

Este arreglo consiste en la unión de dos arreglos diagonales, por lo tanto, se requieren de dos brazos metálicos, los brazos se unen en medio de la luz del pórtico. Una ventaja que presenta este tipo de arreglo es el aumento de cortante en la viga donde coinciden ambos disipadores, este es el tipo de arreglo más eficiente, ya que controla el movimiento lateral de la edificación; por esto se examina el reforzamiento de la viga base, como se ha mencionado, según los resultados obtenidos durante el análisis.

Una de las desventajas de este sistema es el sobre esfuerzo en la parte intermedia de la viga, cercana al disipador, para esto se construyen anclajes o refuerzos adicionales en la viga, las cuales aumentan el valor total de la edificación.

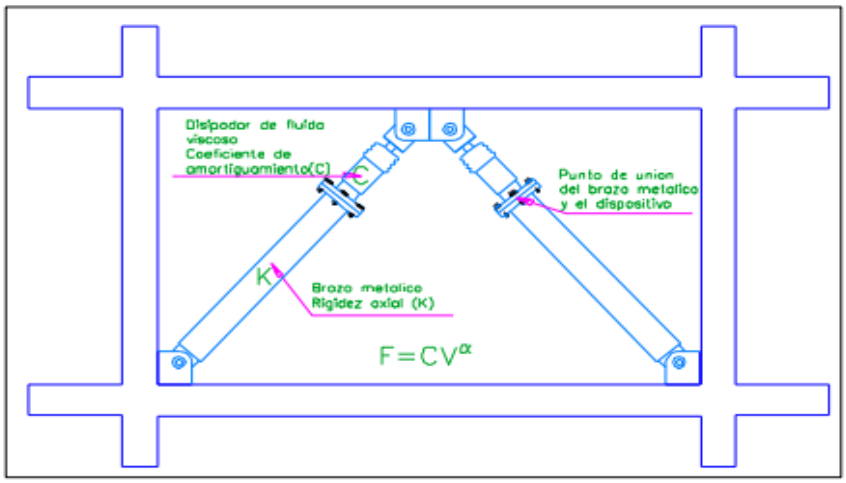


Ilustración 17 3.10.2.3.2 Arreglo Chevron Diagonal

3.17.3 Arreglo Chevron Horizontal

(Villareal C. G (2008)) En la disposición Chevron, el dispositivo se coloca en posición horizontal (en forma paralela al plano del techo), logrando una eficiencia del 100%, debido a que, en esta posición, los disipadores absorben las fuerzas horizontales directamente, es decir, que se emplea toda la capacidad de estos para controlar los movimientos laterales producidos por la excitación sísmica.

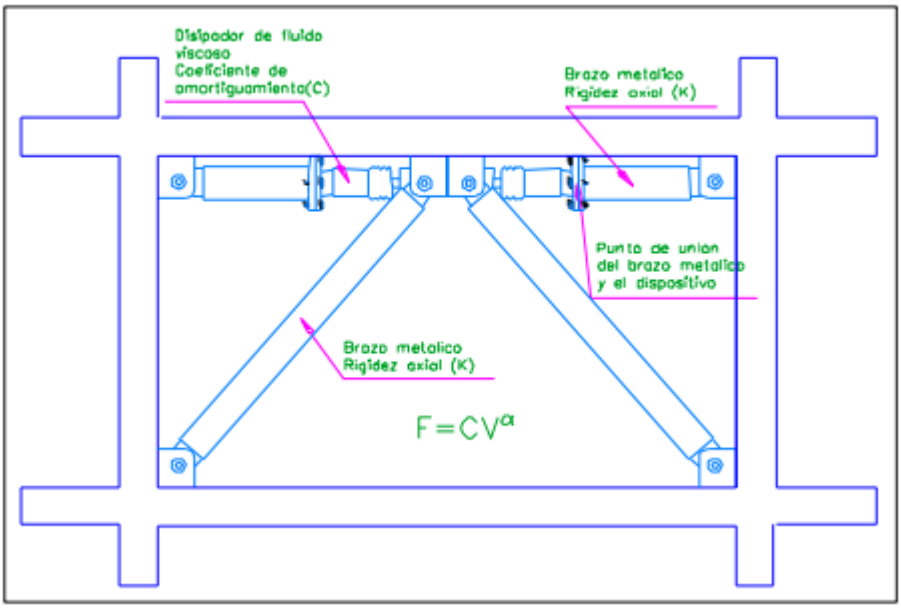


Ilustración 18 3.10.2.3.3 Arreglo Chevron Horizontal

3.18 DISEÑO DE DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO.

Para el diseño de estos disipadores se sigue la metodología propuesta por la ASCE-7-10, en el capítulo "Requisitos de Diseños Sísmico para Estructuras con Sistemas de Amortiguación"

3.18.1 Ecuación General de los Disipadores de Fluido Viscoso

Para obtener la fuerza generada por cada disipador se calcula con la siguiente ecuación (Villareal & La Rosa Sánchez, 2016)

$$F = CV^a$$

Donde:

F=Fuerza del disipador
C= Constante de Amortiguamiento
V= Velocidad Relativa del amortiguador
a=Coeficiente que varias entre 0.4 y 0.6 para edificaciones

3.18.2 Reducción de la Respuesta (B)

El factor de reducción (B) resulta de la fracción de la deriva máxima obtenida del análisis sísmico sin disipadores (Dmax) y dividirlo por la deriva de diseño (Objetivo). Esto se expresa en la siguiente ecuación:

$$B = \frac{D_{max}}{D_{objetivo}}$$

Deriva máxima (Dmax): El desplazamiento máximo se obtiene con el análisis tiempo historia de la estructura sin disipadores.

Deriva Objetivo (Objetivo)= El FEMA, (*Federal Emergency Management Agency*) en su documento "Multihazard Loss Estimation Methodology" HAZUS, ha estudiado la relación entre la distorsión y daño estructural. En este documento muestra los tipos de daño y sus correspondientes derivas según el sistema estructural.

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

Fuente: "Multihazard Loss Estimation Methodology"- HAZUS.

Ilustración 19 Clasificación de la estructura según su altura

En el documento de HAZUS, se encuentran las tablas que relacionan según el tipo de edificación, el estado de daño y su deriva respectiva. En la tabla 20 se puede seleccionar el tipo de estructura según sus características, por ejemplo, la estructura SIH corresponde a edificios de acero que tenga más de 8 pisos.

Building Properties			Interstory Drift at Threshold of Damage State			
Type	Height (inches)					
	Roof	Modal	Slight	Moderate	Extensive	Complete
W1	168	126	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750
W2	288	216	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750
S1L	288	216	0.0060	0.0104	0.0235	0.0600
S1M	720	540	0.0040	0.0069	0.0157	0.0400
S1H	1872	1123	0.0030	0.0052	0.0118	0.0300
S2L	288	216	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600
S2M	720	540	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400
S2H	1872	1123	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300
S3	180	135	0.0040	0.0070	0.0187	0.0525
S4L	288	216	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525
S4M	720	540	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350
S4H	1872	1123	0.0020	0.0035	0.0093	0.0262
S5L S5M S5H						
C1L	240	180	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600
C1M	600	450	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400
C1H	1440	864	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300

Ilustración 20 Tabla 9 Relación daño- Deriva según el tipo de estructura. Fuente: "Multihazard Loss Estimation Methodology" – HAZUS.

La tabla 9 relaciona el tipo de estructura con las derivas objetivo según el daño que sufra el edificio.

3.18.3 Amortiguamiento Efectivo (Beff)

El valor del amortiguamiento se calcula por medio de la ecuación:

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

El amortiguamiento inherente (Bo) para estructuras metálicas tiene un valor de 3%. Dejando este parámetro claro, y con el cálculo de B, se obtiene el amortiguamiento efectivo (Beff)

3.18.4 Amortiguamiento Viscoso Objetivo (Bvcis)

El valor del amortiguamiento viscoso objetivo (Bvis) se obtiene de la siguiente manera:

$$\beta_{visc} = \beta_{eff} - \beta_o$$

Como se observa resulta ser la diferencia entre el amortiguamiento efectivo (Beff) y el amortiguamiento inherente (Bo); que como se mencionó, para estructuras metálicas se toma un valor de 3%.

3.18.5 Coeficiente de amortiguamiento (C)

Para el cálculo del coeficiente de amortiguamiento del disipador, se emplea la siguiente ecuación del FEMA 274.

$$\beta_H = \frac{\sum_j \lambda C_j \phi_{rj}^{1+\alpha} cos^{1+\alpha}\Theta_j}{2\pi A^{1-\alpha}\omega^{2-\alpha}\sum_i m_i\phi_i^2} \quad \Longrightarrow \quad \sum C_j = \frac{\beta_H 2\pi A^{1-\alpha}\omega^{2-\alpha}(\sum_i m_i\phi_i^2)}{\lambda(\sum \phi_{rj}^{1+\alpha} cos^{1+\alpha}\Theta_j)}$$

Donde:

β_H = Amortiguamiento viscoso de la estructura

λ = Parámetro Lambda

C_j = Coeficiente de amortiguamiento del disipador

Φ = Desplazamiento relativo entre ambos extremos del disipador (j) en la dirección horizontal

Θ = Ángulo de inclinación del disipador

A = Amplitud de desplazamiento del modo fundamental (desplazamiento modal de la losa del último nivel)

w = Frecuencia Angular

m_i = Masa del nivel i

ϕ_i^2 = Desplazamiento del nivel (i) (con el sismo de diseño)

α = Exponente de amortiguación

3.18.6 Amplitud de desplazamiento del modo fundamental (A)

Para calcular el valor de la amplitud que aplica el sismo más desfavorable se emplea la siguiente fórmula:

$$A = \frac{10 g r_1 S_{d1} T_1}{4 B_{1D} \pi^2}$$

Donde:

g = aceleración de la gravedad.

r_1 = Factor de participación modal.

S_{d1} = Aceleración espectral máxima del sismo de diseño.

T_1 = Periodo del primer modo de vibración.

B_{1D} = Coeficiente de amortiguamiento.

3.18.7 Exponente de amortiguación (a)

La relación de fuerza-velocidad se muestra en la ilustración 20, la cual muestra el comportamiento del amortiguador al variar el valor de (a)

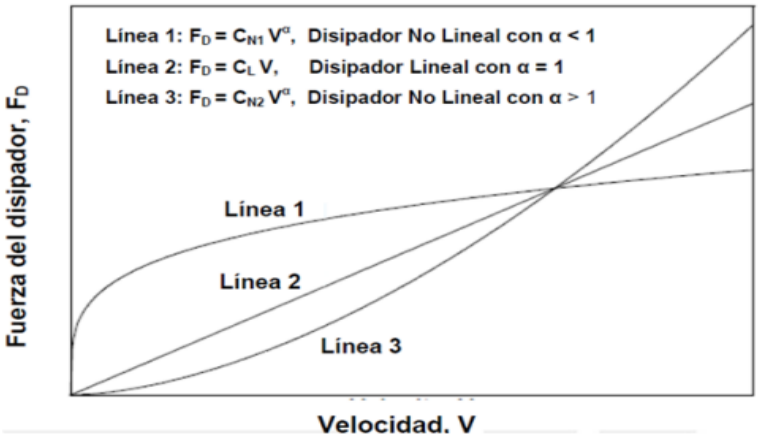


Ilustración 21 Relación fuerza-velocidad de disipadores viscosos.
Fuente: Shin. Hwang. Seismic Design of Structures whit Viscous Dampers

Este exponente muestra el comportamiento de los disipadores según el caso, para el caso de edificaciones se recomienda tomar un valor de a<1 entre 0.4 y 0.5; teniendo en cuenta los resultados encontrados por experimentación evidencian un buen comportamiento para el diseño de edificaciones. No es usual usar valores iguales o superiores a 1 ya que requiere altas velocidades para incrementar la energía del disipador.

3.18.8 Parámetro Lambda

El FEMA 274 contiene una tabla que relaciona el parámetro lambda con el valor del exponente de velocidad ***α***

Table C9-4 Values of Parameter λ

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

Ilustración 22 Tabla 10 Parámetro lambda que depende del valor del exponente (a)
Fuente: FEMA 274

3.18.9 Rigidez del Brazo Metálico

Se debe contemplar que la rigidez axial del dispositivo es menor que la del mismo brazo, para calcular esta rigidez se cuenta con la siguiente expresión, la cual permite calcular la rigidez del brazo metálico que se conecta a la estructura principal.

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

3.18.10 Modelación del sistema de amortiguamiento

Con el cálculo de realizado, se ingresará el programa la rigidez, el coeficiente de amortiguamiento y el exponente de amortiguación.

Ingresando las propiedades del disipador, se procede a dibujar los elementos tipo “link” en la ubicación y disposición según el análisis de las derivas obtenidas mediante el análisis cronológico.

3.19 REGISTROS SÍSMICOS DE ACELERACIONES DEL TERRENO

Colombia se encuentra ubicada en la zona denominada cinturón de fuego del pacifico la cual registra una alta actividad sísmica y volcánica con más de 40.000 km desde Nueva Zelanda hasta la costa oeste de Sudamérica, a través de las costas del este de Asia y Alaska y las del noreste de Norteamérica y Centroamérica. En términos geológicos, marca los bordes de la placa de Pacifico y de otras pequeñas placas tectónicas que forman la corteza terrestre.

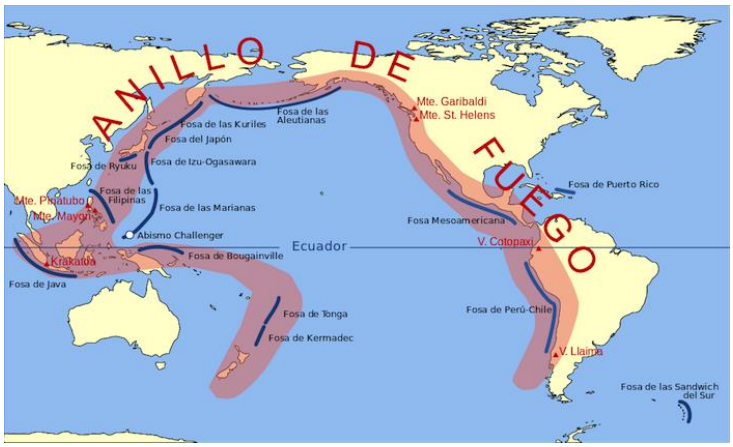


Ilustración 23 Cinturón de fuego

Mientras estas losas se mueven encima del manto tienden a chocar y separarse entre sí, y a veces hundirse una debajo de otras. Entrando, en los bordes de las placas se produce intensa actividad geológica y se generan zonas particularmente activas.[5]

3.20 REGISTROS SÍSMICOS COMPATIBLES DE ACELERACIONES DEL TERRENO.

Ya que la región de estudio se encuentra ubicado en el cinturón de fuego, es necesario recopilar información de las aceleraciones de eventos sísmicos con características similares a la región de estudio y realizar un análisis de Tiempo – Historia, sin embargo, estos registros son escasos para la ciudad de Bogotá por lo tanto se tiene en cuenta la base de datos del PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) que es el Centro de Investigaciones

[5] https://www.geoenciclopedia.com/cinturon-de-fuego-del-pacifico/

de Ingeniería de Sismos del Pacifico ubicado en California la cual cuenta con una vasta base de datos de sismos ocurridos a través de la historia.

La web (PEER) NGA-West2. proporciona herramientas para la búsqueda, selección y la descarga de los datos de movimientos sísmicos, cuenta con un conjunto de metadatos los cuales facilitan la búsqueda de sismos que se asemejen a las características a las cuales está expuesta la estructura de estudio. Dentro de los datos solicitados para la búsqueda se encuentra el tipo de falla, la magnitud en escala de Richter, velocidad de onda entre otros.

3.20.1 Tipo de falla

Se diferencian según su tipo de fallamiento:

Falla normal: Este tipo de fallas se generan por tensión horizontal. Las fuerzas inducidas en la roca son perpendiculares al acimut de la falla (línea de ruptura superficial), y el movimiento es predominantemente vertical respecto al plano de falla, el cual típicamente tiene un ángulo de 60 grados respecto a la horizontal. El bloque que se encuentra por encima del plano de la falla se denomina techo, y se desliza hacia abajo; mientras que el bloque que se encuentra por debajo del plano de la falla se denomina piso, y asciende. (Instituto Nacional de Prevención Sísmica INPRES).

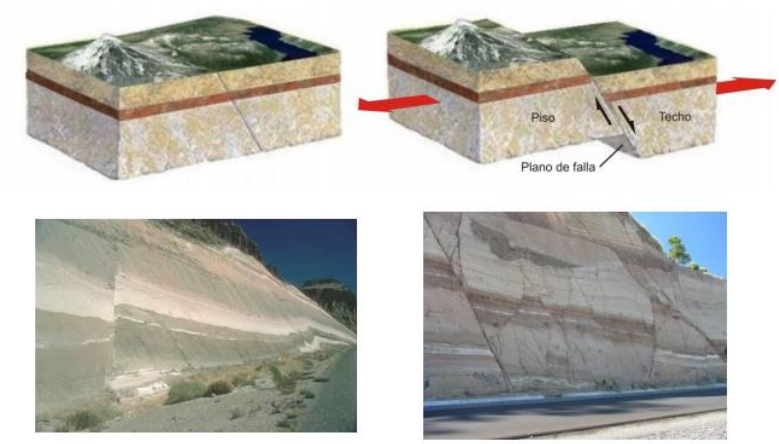


Ilustración 24 falla normal. Fuente INPRES

Falla inversa: Este tipo de fallas se genera por compresión horizontal. El movimiento es preferentemente horizontal y el plano de falla tiene típicamente un ángulo de 30 grados respecto a la horizontal. El bloque de techo se encuentra sobre el bloque de piso. Cuando las fallas inversas presentan un buzamiento (inclinación) inferior a 45º, éstas también toman el nombre de cabalgamiento. (Instituto Nacional de Prevención Sísmica INPRES).

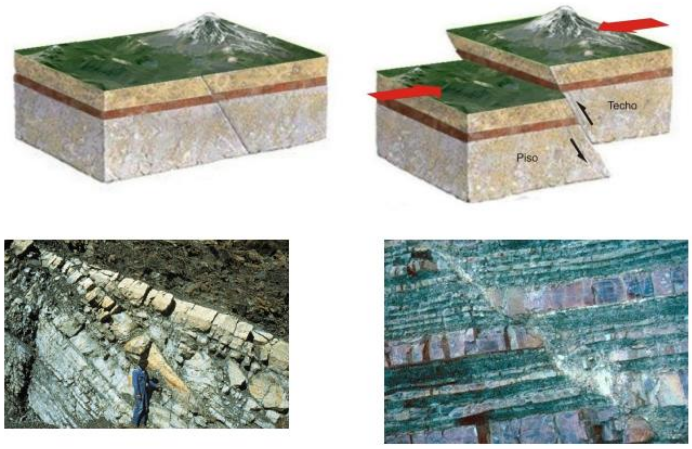


Ilustración 25 Falla Inversa. Fuente INPRES

Falla de desgarre o de desplazamiento de rumbo: Estas fallas se desarrollan a lo largo de planos verticales y el movimiento de los bloques es horizontal, son típicas de límites transformantes de placas tectónicas. Se distinguen dos tipos de fallas de desgarre: laterales derechas y laterales izquierdas. Laterales derechas o dextrales, son aquellas en donde el movimiento relativo de los bloques es hacia la derecha; mientras que en las laterales izquierdas o sinestrales, el movimiento es opuesto a las anteriores. También se las conoce como fallas transversales. (Instituto Nacional de Prevención Sísmica INPRES).

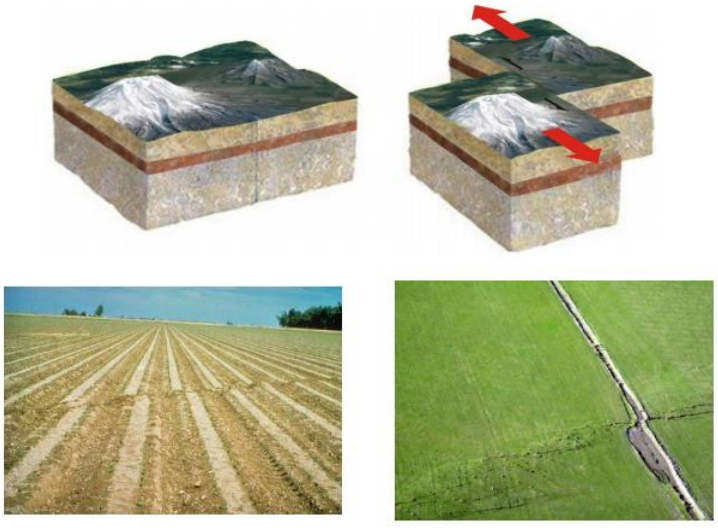


Ilustración 26 Falla de desplazamiento. Fuente INPRES.

El tipo de falla que es probable que ocurra en la ciudad de Bogotá es de tipo Inversa (Subducción).

3.20.2 Magnitud

Según los registros del FOPAE (fondo de prevención y atención de emergencias) la magnitud de los mismos en la escala de Richter que es probable que ocurran en la ciudad de Bogotá corresponden a valores entre 6 .0 y 7.0.

3.20.3 R_rup (Km) (Distancia al plano de ruptura)

Se debe incluir la distancia perpendicular entre la edificación y el plano donde ocurre el sismo, la página PEER pide un intervalo de distancia.

Los sismos que se producen por subducción varían ampliamente en profundidad, sin embargo, un dato estimado para aplicar esta entre 0-45Km. Este margen funciona para el análisis pues los sismos superficiales pueden ocasionar un mayor efecto sobre la estructura

3.20.4 R_jb (Km) (Distancia de Jorner-Boore)

Definida como la distancia más cercana a la superficie de proyección de la falla.

3.20.5 Vs30 (m/s)

Es uno de los datos más importantes pues refleja la interacción del suelo con la superficie, se define como la velocidad de onda de corte, se toma desde la superficie a 30metros de profundidad. Se tiene en cuenta que el tipo de suelo sobre el cual se realiza el estudio es un Lacustre 200; la velocidad de onda para este tipo de suelo es menor a 175, esta información es tomada del decreto 523 del 2010, Microzonificación Bogotá.

Zona	Espesor del depósito (m)	Periodo fundamental del suelo (s)	Descripción Geotécnica General	Velocidad onda promedio 50 m Vs (m/s)	Humedad Promedio 50 m Hn (%)	Efectos de sitio relacionados
Cerro	-	< 0.3	Rocas sedimentarias y depósitos de ladera con espesores inferiores a 6 m	> 750	< 10	Topográfico
Piedemonte A	< 50	0.3-0.6	Suelo coluvial y aluvial con intercalaciones de arcillas blandas: Bloques, cantos y gravas con matriz arcillo arenosas o areno arcillosa, capas de arcillas blandas.	200 - 750	10 - 80	Topográfico, amplificación
Piedemonte B	< 50	0.3-0.6	Suelo coluvial y aluvial con espesor superior a 12 m: Bloques, cantos y gravas con matriz arcillo arenosas o areno arcillosa	300 - 750	10 - 30	Topográfico, amplificación
Piedemonte C	< 50	0.3-0.6				
Lacustre-50	< 50	1.0-1.5	Suelo lacustre blando: Arcillas limosas o limos arcillosos, en algunos sectores con intercalaciones de lentes de turba	< 175	> 80	Amplificación
Lacustre-100	50-100	1.5-2.5				Amplificación
Lacustre-200	100-200	2.5-3.5				Amplificación
Lacustre-300	200-300	3.5-4.5				Amplificación
Lacustre-500	300-500	4.5-6.5				Amplificación
Lacustre Aluvial-200	100-200	2.0-3.0	Suelo lacustre con intercalaciones de aluvial: Arcillas limosas o limos arcillosos con lentes de turba y capas de arenas compactas	< 200	> 60	Amplificación
Lacustre Aluvial-300	200-300	3.0-4.0				Amplificación
Aluvial-50	< 50	0.4-0.8	Suelo aluvial duro: Arcillas limosas o arenas arcillosos o limos arenosos, en algunos	175 - 300	25 - 50	Amplificación, licuación
Aluvial-100	50-100	0.8-1.2				Amplificación, licuación

Ilustración 27 Decreto 523 del 2010, tabla 2, Microzonificación Bogotá.

3.20.6 D5-95(sec)

Duración del evento sísmico en segundos, el intervalo está definido entre 5 y 95 segundos.

4 DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 GENERALIDADES

Para dar un alcance óptimo al proyecto de grado se tiene en cuenta la microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá ubicando el proyecto en la localidad de Usaquén, cuya dirección es Transversal 14ª con calle 168.

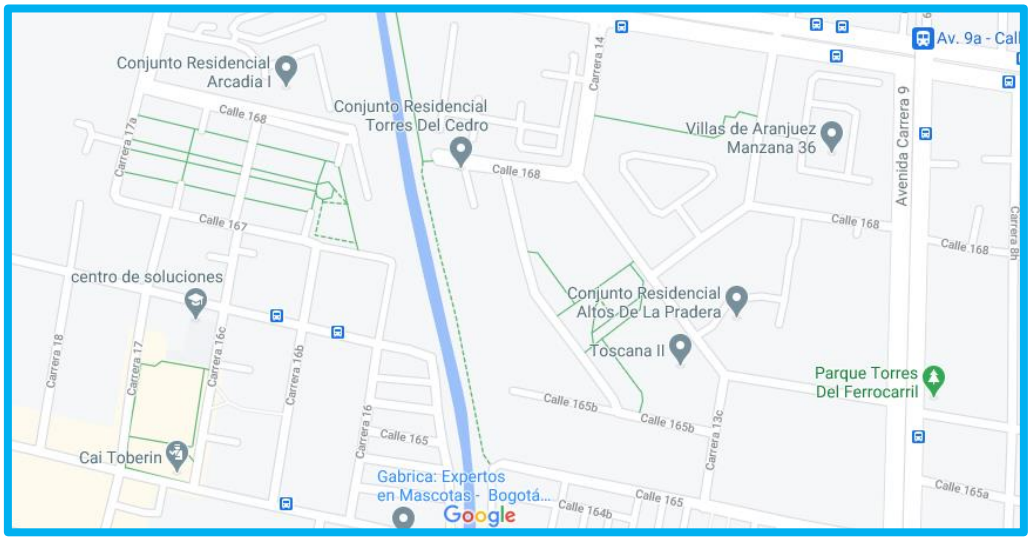


Ilustración 28 Ubicación de diseño Google Maps



Ilustración 29 Ubicación de diseño Google Earth

4.2 DESCRIPCIÓN DE ESTRUCTURA A DISEÑAR

El estudio se realiza mediante diseño elástico estático, con una edificación en estructura metálica de 30 niveles con un sistema estructural dual y simétrico de 4 vanos en sentido X y 6 vanos en sentido Y con longitud de 5 metros entre ellos con una altura entre pisos de 3.0 m, para lo cual se debe cumplir con lo estipulado en la norma NSR-10, siguiendo los lineamientos estipulados en el titulo A, con cargas conformadas según el titulo B y para el caso de estructura en acero se debe dar cumplimiento al título F..

Debido a que la edificación se realiza en la ciudad de Bogotá, se tiene en cuenta el titulo A para un diseño a flexión y el decreto 523 de 2010 para conocer los coeficientes y curva de diseño.

4.3 SECCIÓN DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y CONSIDERACIONES DE ANÁLISIS.

Sección de los elementos para el modelo sin disipadores:

ELEMENTO	PERFIL TIPO H	h mm	b mm	tw mm	tf mm
COLUMNA	600	590	300	11	19
VIGA EJE Y INTERIOR	300	290	300	8.5	14
VIGA EJE X INTERIOR	400	390	300	11	19
VIGA PERIMETRAL	400	390	300	11	19
ARRIOSTRAMIENTO ANGULO ¾” X 6”					

Tabla 1 elementos de diseño

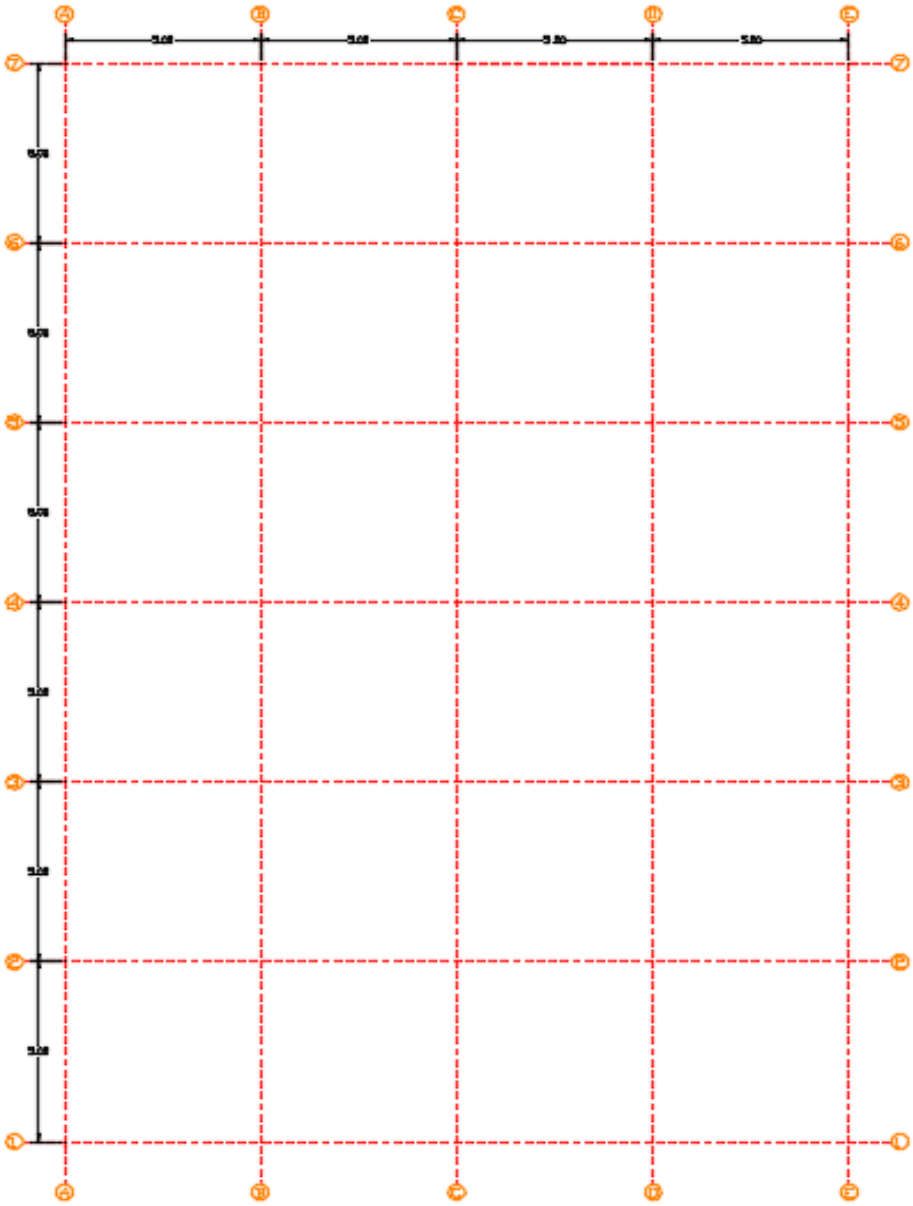


Ilustración 30 Ubicación de ejes

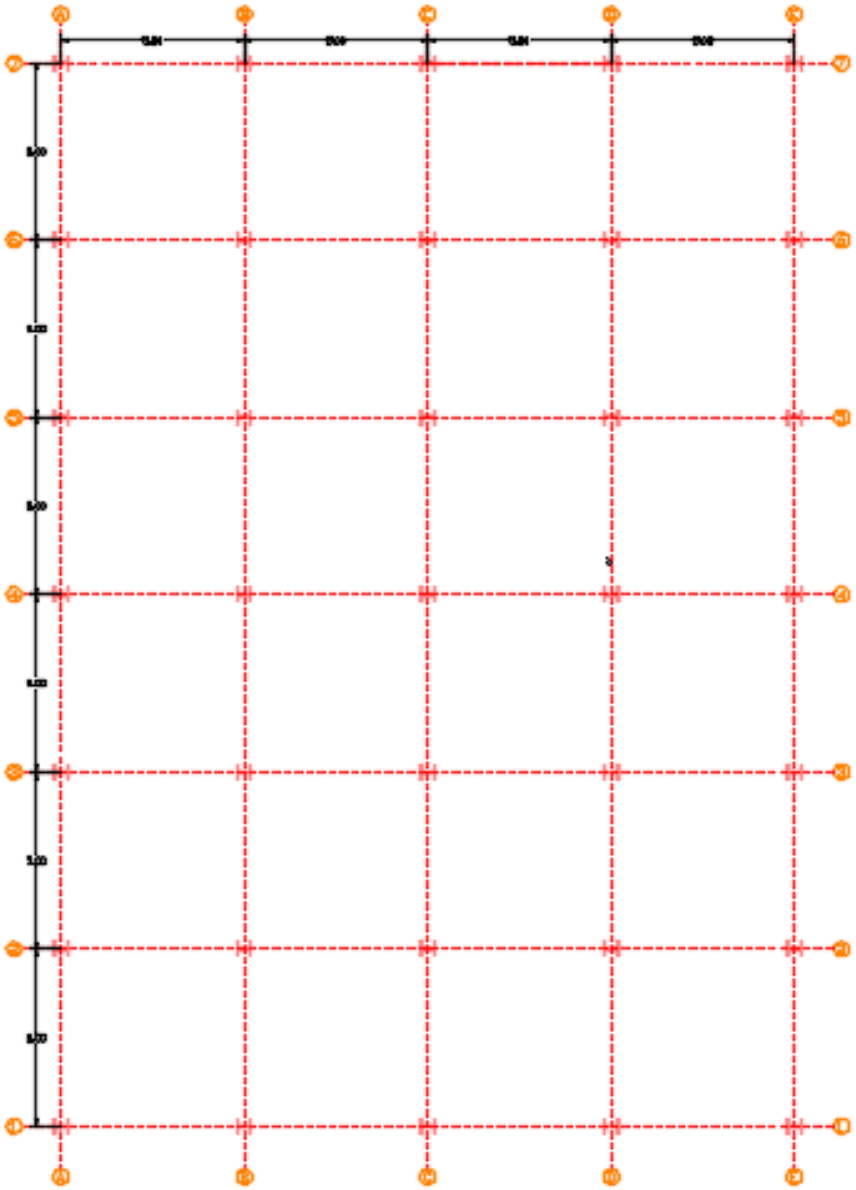


Ilustración 31 Ubicación de columnas HEA 400

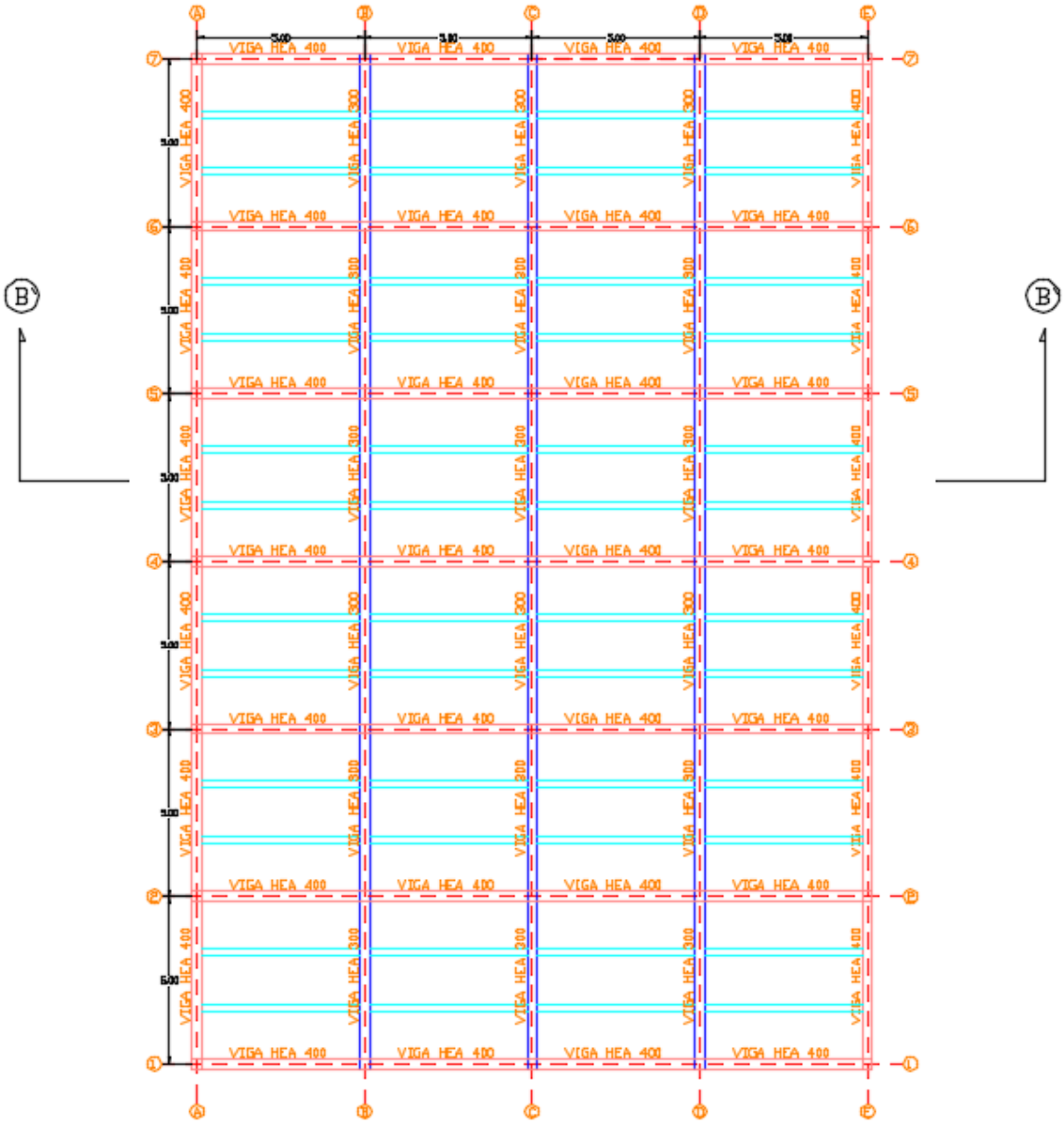


Ilustración 32 Ubicación de vigas HEA 400 y, HEA 300

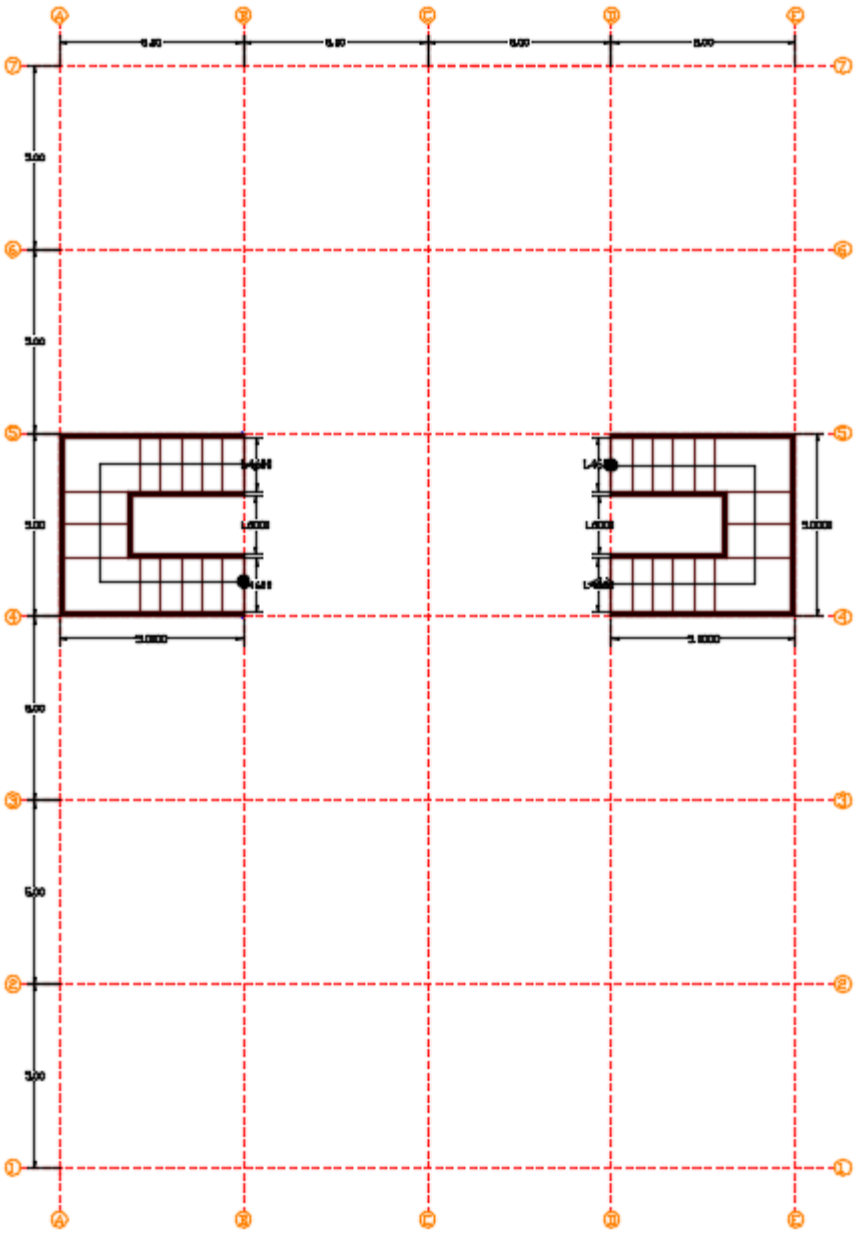


Ilustración 33 Ubicación escalera y ascensor para todos los pisos

El modelo estructural se realiza en el programa ETABS v18 (versión estudiante) con las siguientes características:

- Vigas y columnas en acero A992 GR50
- Losas: elementos Shell tipo membrana (soporta fuerzas en el plano de la losa y no tiene rigidez por flexión o cortante).
- Apoyos empotrados en la base.

- Diafragmas rigidez en cada nivel de entrepiso, teniendo tres grados de libertad por cada nivel correspondientes a dos componentes horizontales de desplazamiento y una rotación respecto al eje vertical.

Al realizar el diseño de la estructura con pórticos en acero y verificar que no exceda el valor máximo de la deriva, se debe realizar arriostramiento horizontal y vertical para poder cumplir con este parámetro utilizando ángulo doble de ¾" x 6.

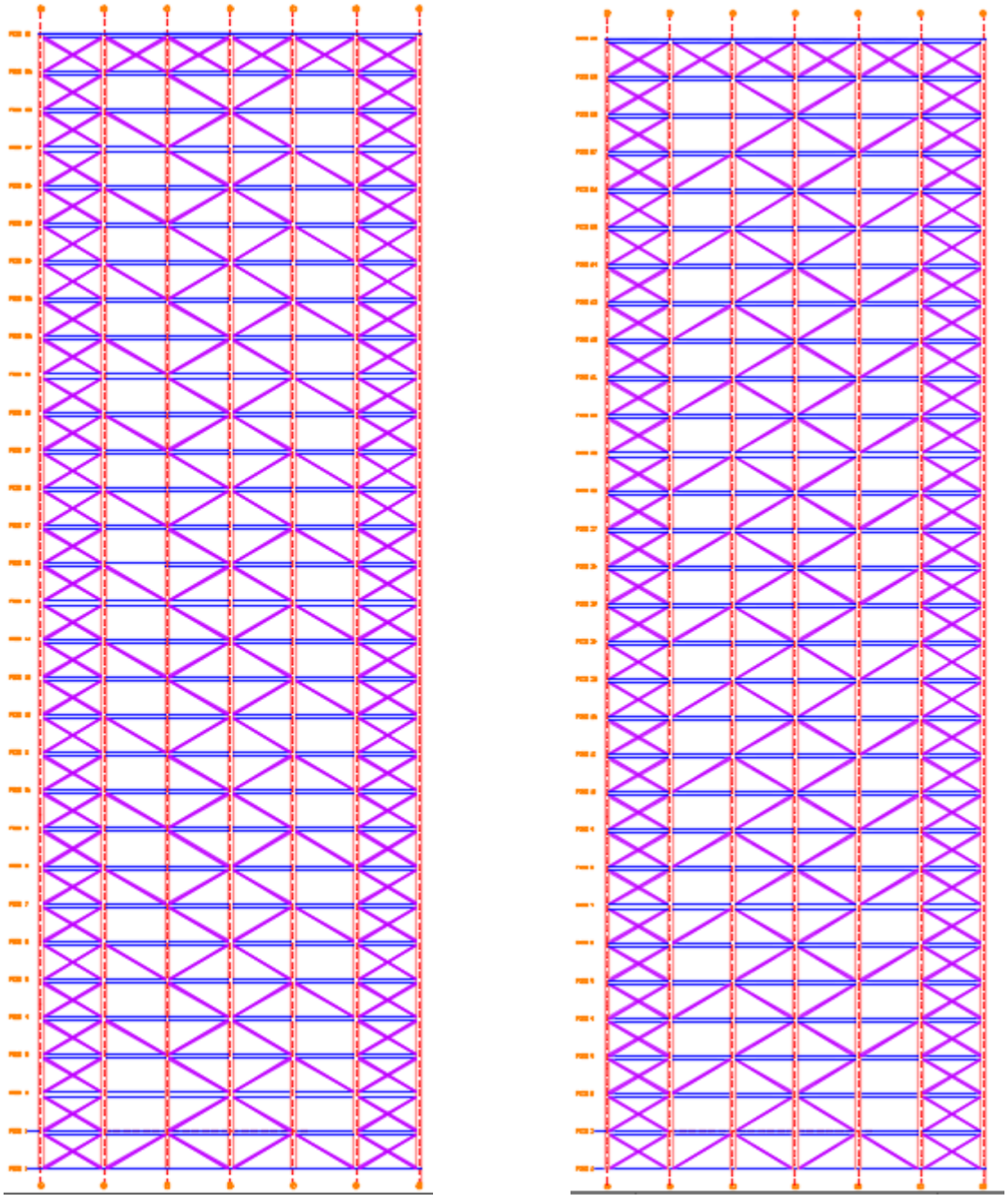


Ilustración 34 Arriostramiento vertical en eje 1A al 7A y 1E y 7E respectivamente

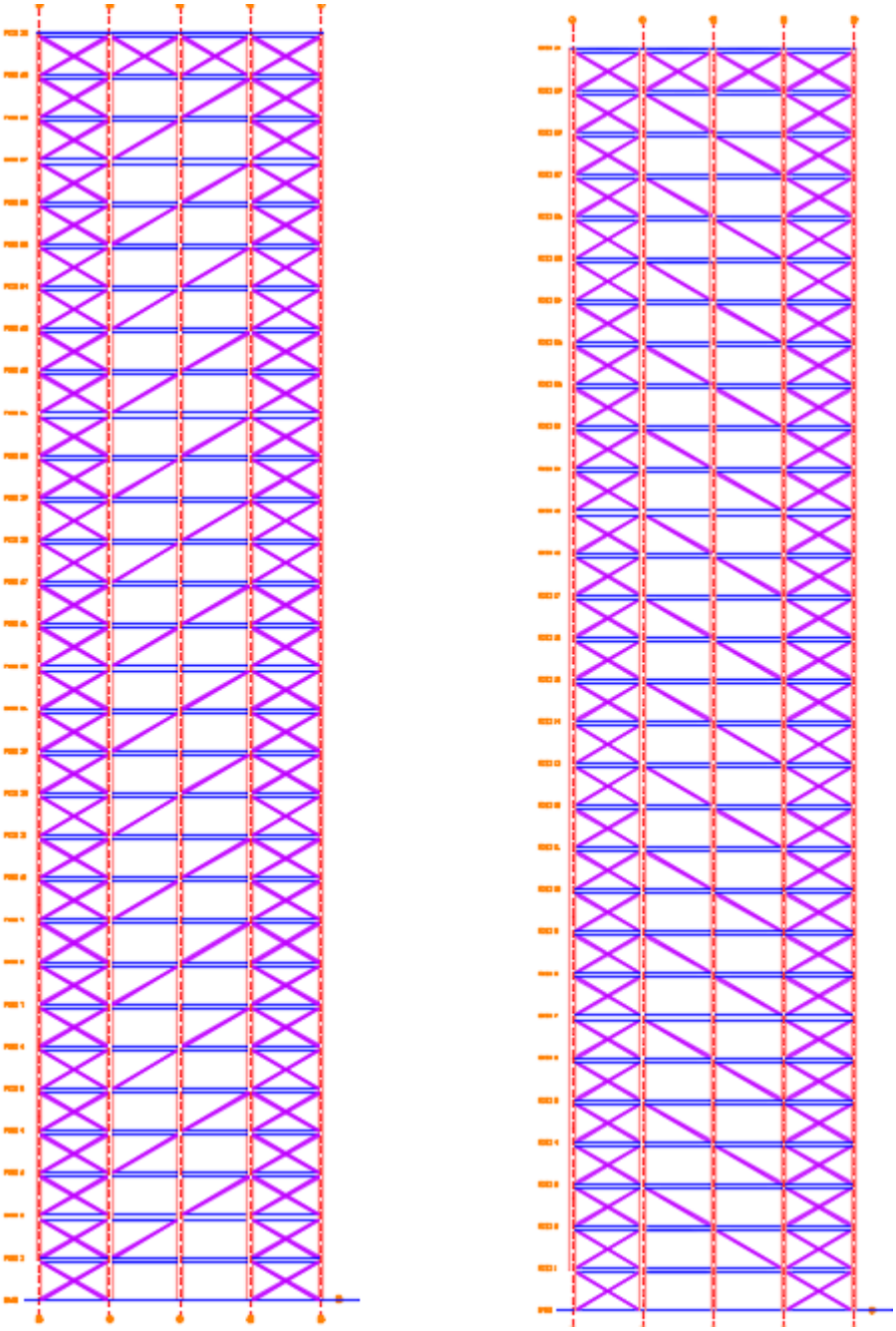


Ilustración 35 Arriostramiento vertical en eje A1 al E1 y A7 al E7 respectivamente.

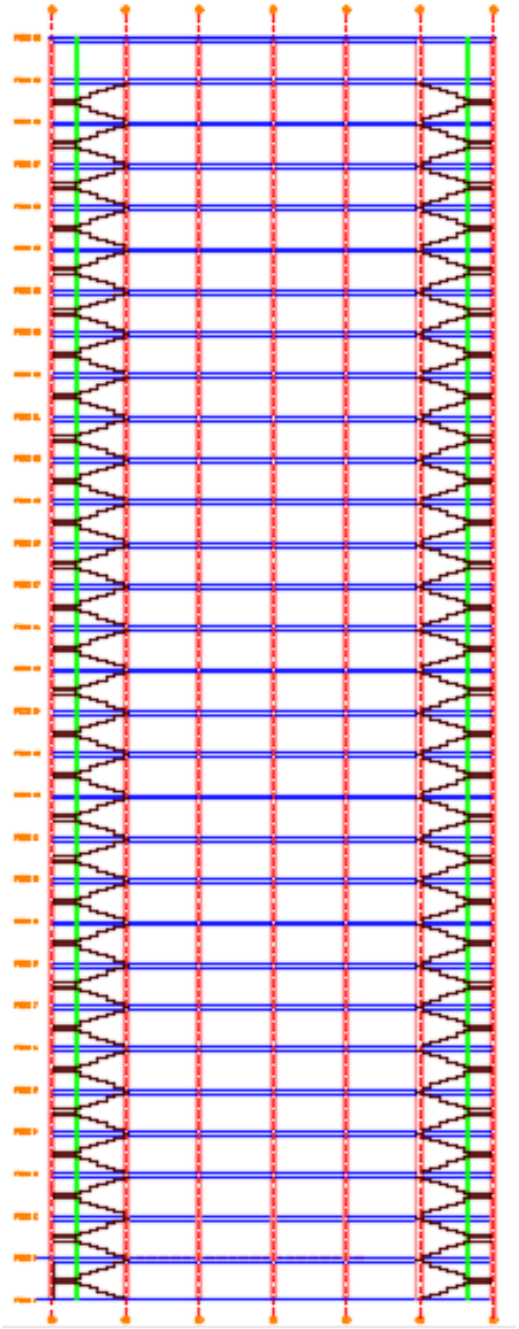


Ilustración 36 Corte B-B escaleras y ascensor

4.4 DISEÑO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN CON SISTEMA ESTRUCTURAL DUAL DE ACERO DE REFUERZO.

4.4.1 Evaluación de cargas

Según el título B del Reglamento Sismorresistente, se establece el uso de la estructura, para este caso es una estructura para uso de oficinas, por lo cual siguiendo la tabla B.3.4.3-1 y tabla B.4.2.1-1 se determina las cargas permanentes y vivas propias del uso.

Cargas muertas

CARGA	PESO (KN/m^2)
Losa reforzada en concreto B.3.2-1	3.6
Particiones móviles (altura parcial) B.3.4.2-2	0.5
Afinado de piso B 3.4.1-3	1.5
Baldosa cerámica sobre 12 mm de mortero B 3.4.1-3	0.8
Cielo raso B 3.4.1-1	0.5
Ventanas B 3.4.2-5	0.5
TOTAL	**7.4**

Cargas vivas

CARGA	PESO (KN/m^2)
Ascensor	0.45
Oficinas	2
Corredor y Escaleras	3
TOTAL	**5.45**

Carga para ascensor adicional

CARGA MUERTA KN/ m^2	
ASCENSOR	10.0

4.5 ANÁLISIS DINÁMICO

La edificación de estudio está emplazada en una zona de amenaza sísmica intermedia y dicha zona cuenta con estudio de microzonificación por lo cual se contemplan los parámetros pertenecientes a la zona de Lacustre 200, para la cual se genera un espectro de

diseño de acuerdo con el título A.2.3 de la NSR-10, tabla A.2.3-2, la aceleración horizontal pico efectiva A_a y la velocidad horizontal pico efectiva A_v.

Y según el decreto 523 del 16 de diciembre de 2010 se identifica el coeficiente de amplificación en periodos cortos y el coeficiente de amplificación que afecta la aceleración de la zona de períodos intermedios.

Zona	F_a (475)	F_v (475)	T_C (s)	T_L (s)	A_0 (475) (g)
CERROS	1.35	1.30	0.62	3.0	0.18
PIEDEMONTE A	1.65	2.00	0.78	3.0	0.22
PIEDEMONTE B	1.95	1.70	0.56	3.0	0.26
PIEDEMONTE C	1.80	1.70	0.60	3.0	0.24
LACUSTRE-50	1.40	2.90	1.33	4.0	0.21
LACUSTRE-100	1.30	3.20	1.58	4.0	0.20
LACUSTRE-200	1.20	3.50	1.87	4.0	0.18
LACUSTRE-300	1.05	2.90	1.77	5.0	0.16
LACUSTRE-500	0.95	2.70	1.82	5.0	0.14
LACUSTRE ALUVIAL-200	1.10	2.80	1.63	4.0	0.17
LACUSTRE ALUVIAL-300	1.00	2.50	1.60	5.0	0.15
ALUVIAL-50	1.35	1.80	0.85	3.5	0.20
ALUVIAL-100	1.20	2.10	1.12	3.5	0.18
ALUVIAL-200	1.05	2.10	1.28	3.5	0.16
ALUVIAL-300	0.95	2.10	1.41	3.5	0.14
DEPÓSITO LADERA	1.65	1.70	0.66	3.0	0.22

Ilustración 37 Coeficientes de diseño Tabla 3 Decreto 523 de 2010

Ya que la edificación tendrá un uso de oficinas este se clasifica según el Título A.2.5.2 en grupo de uso I “Estructuras de ocupación normal”.

Con los datos obtenidos se debe realizar un análisis dinámico espectral, para ello se debe seguir los parámetros de la NSR-10 Título A.5 con el cual se representa una amenaza sísmica con un espectro de aceleraciones con un amortiguamiento del 5% utilizando el programa ETABS v18 (versión estudiante).

Altura de la estructura	90 m
No. Pisos	30
Grupo de uso	I (oficina)
Coeficiente de importancia	1
Sistema Estructural	Acero
Localización	Bogotá
A_a	0.15
F_a	1.2
A_v	0.2
F_v	3.5
T_c	1.87
T_L	4

Tabla 2 Coeficientes de diseño según decreto 523 de 2010 y NSR – 10

4.6 ESPECTRO DE DISEÑO

4.6.1 Espectro de aceleraciones (S_a)

Ya que se utiliza un análisis dinámico para la estructura para periodos de vibración diferentes del fundamental, el espectro de velocidades de diseño, en m/s se obtiene mediante las ecuaciones expresadas según el literal A.2.6.1.2 de la NSR-10 para los parámetros sísmicos descritos en el numeral anterior del presente documento.

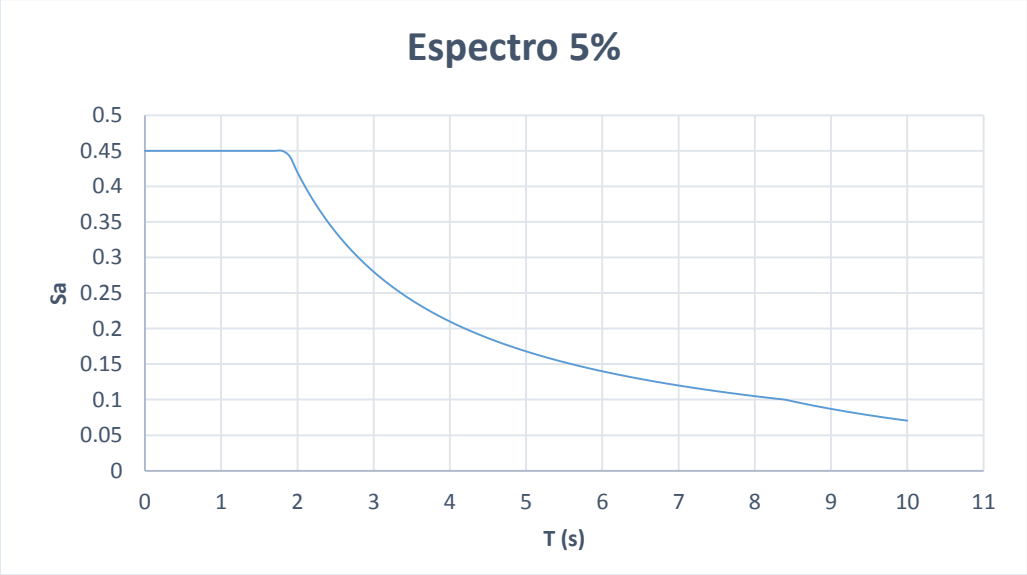


Ilustración 38 Espectro de diseño 5% según NSR-10

Con el espectro definido se obtiene el cortante de la base según el análisis dinámico realizado a cada estructura, teniendo en cuenta las correcciones necesarias en los cálculos según el Titulo A.5.4.5 dependiendo de la condición regular al 80% e irregular al 90% del cortante basal obtenido.

4.7 MODOS DE VIBRACIÓN

Teniendo en cuenta el análisis dinámico se deben incluir los modos de vibración para la respuesta dinámica de la estructura, teniendo en cuenta cada una de las direcciones horizontales de análisis por piso.

$$Modos = No.pisos * 3$$
$$Modos = 30 * 3 = 90$$

4.8 COEFICIENTE DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA R

Representa la capacidad que tiene la estructura para disipar la energía que ingresa al sistema estructural por efecto del sismo teniendo en cuenta las tablas A.3-1 a la A.3-4 según la NSR-10 según los factores de irregularidad, teniendo en cuenta el sistema estructural combinado A.3-2 y la capacidad de disipación de energía especial DME y teniendo en cuenta una estructura regular se obtiene el valor del coeficiente R0 el cual debe ser multiplicado por los coeficientes de irregularidad en planta, en altura y por el coeficiente de redundancia

$$R = \varphi_a \varphi_p \varphi_r \varphi_0$$

D. SISTEMA DUAL		Valor R_0 (Nota 2)	Valor Ω_0 (Nota 3)	zonas de amenaza sísmica					
				Alta		intermedia		baja	
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.
c. Pórticos de acero con diagonales excéntricas si las conexiones con las columnas por fuera del vínculo son resistentes a momento	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (*DMO*)	6.0	2.5	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
d. Pórticos de acero con diagonales excéntricas si las conexiones con las columnas por fuera del vínculo no son resistentes a momento	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (*DMO*)	5.0	2.5	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
3. Pórticos con diagonales concéntricas									
a. De acero con capacidad especial de disipación de energía (*DES*)	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (*DES*)	6.0	2.5	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
b. De acero con capacidad mínima de disipación de energía (*DMI*)	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (*DMO*)	3.0	2.5	no se permite		si	60 m	si	sin límite

Tabla 3 Sistema estructural dual pórticos con diagonales concéntricas Tabla A.3-4 NSR- 10

4.8.1 IRREGULARIDAD EN PLANTA (φ_p)

Para determinar las irregularidades en zona de amenaza sísmica intermedia de grupo de uso **I** la evaluación para determinar si la edificación es irregular o no, puede limitarse a irregularidades en planta del tipo 1aP, 1bP, 3P y 4P según la tabla A.3-6.

4.8.1.1 Tipo 1aP irregularidad torsional y 1bP irregularidad torsional extrema

$$Tipo\ 1aP = 1.4(\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2}) \geq \Delta_1 \geq 1.2(\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2}) \qquad Tipo\ 1bP = \Delta_1 > 1.4(\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2})$$

PISO	Ey 1 Δ_1	Ey 23 Δ_2	$1.4(\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2})$	$1.2(\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2})$	Irregularidad torsional extrema
PISO 30	0.00896	0.00895	0.01254	0.01075	0.8
PISO 29	0.01015	0.01014	0.01420	0.01217	0.8
PISO 28	0.01028	0.01027	0.01438	0.01233	0.8
PISO 27	0.01058	0.01057	0.01480	0.01269	0.8
PISO 26	0.01096	0.01095	0.01534	0.01315	0.8
PISO 25	0.01124	0.01123	0.01572	0.01348	0.8
PISO 24	0.01155	0.01154	0.01616	0.01385	0.8
PISO 23	0.01177	0.01175	0.01646	0.01411	0.8
PISO 22	0.01200	0.01198	0.01678	0.01439	0.8
PISO 21	0.01215	0.01214	0.01700	0.01457	0.8
PISO 20	0.01228	0.01227	0.01718	0.01473	0.8
PISO 19	0.01238	0.01238	0.01733	0.01485	0.8
PISO 18	0.01245	0.01245	0.01743	0.01494	0.8
PISO 17	0.01250	0.01250	0.01750	0.01500	0.8
PISO 16	0.01249	0.01250	0.01749	0.01499	0.8
PISO 15	0.01249	0.01249	0.01748	0.01499	0.8
PISO 14	0.01241	0.01241	0.01737	0.01489	0.8
PISO 13	0.01235	0.01235	0.01729	0.01482	0.8
PISO 12	0.01227	0.01228	0.01719	0.01473	0.8
PISO 11	0.01210	0.01210	0.01694	0.01452	0.8
PISO 10	0.01188	0.01188	0.01663	0.01425	0.8
PISO 9	0.01170	0.01170	0.01638	0.01404	0.8
PISO 8	0.01137	0.01138	0.01592	0.01365	0.8
PISO 7	0.01110	0.01111	0.01555	0.01333	0.8
PISO 6	0.01064	0.01064	0.01490	0.01277	0.8
PISO 5	0.01024	0.01025	0.01434	0.01229	0.8
PISO 4	0.00954	0.00955	0.01336	0.01145	0.8
PISO 3	0.00894	0.00895	0.01252	0.01073	0.8
PISO 2	0.00910	0.00911	0.01275	0.01093	0.8
PISO 1	0.00526	0.00526	0.00737	0.00631	0.8
BASE	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.8

Tabla 4 Irregular torsional extrema Ey1 y Ey2

PISO	Ey 30 Δ_1	Ey 36 Δ_2	$1.4(\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2})$	$1.2(\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2})$	Irregularidad torsional extrema
PISO 30	0.00896	0.0090	0.01254	0.01075	0.8
PISO 29	0.01016	0.0102	0.01421	0.01218	0.8
PISO 28	0.01028	0.0103	0.01438	0.01233	0.8
PISO 27	0.01059	0.0106	0.01482	0.01271	0.8
PISO 26	0.01097	0.0110	0.01535	0.01316	0.8
PISO 25	0.01126	0.0113	0.01576	0.01351	0.8
PISO 24	0.01156	0.0115	0.01618	0.01387	0.8
PISO 23	0.01180	0.0118	0.01651	0.01415	0.8
PISO 22	0.01201	0.0120	0.01681	0.01440	0.8
PISO 21	0.01219	0.0122	0.01705	0.01462	0.8
PISO 20	0.01233	0.0123	0.01726	0.01480	0.8
PISO 19	0.01245	0.0124	0.01743	0.01494	0.8
PISO 18	0.01251	0.0125	0.01752	0.01502	0.8
PISO 17	0.01258	0.0126	0.01761	0.01509	0.8
PISO 16	0.01257	0.0126	0.01760	0.01508	0.8
PISO 15	0.01258	0.0126	0.01761	0.01509	0.8
PISO 14	0.01249	0.0125	0.01749	0.01499	0.8
PISO 13	0.01244	0.0124	0.01742	0.01493	0.8
PISO 12	0.01222	0.0122	0.01711	0.01467	0.8
PISO 11	0.01219	0.0122	0.01707	0.01463	0.8
PISO 10	0.01196	0.0120	0.01674	0.01435	0.8
PISO 9	0.01180	0.0118	0.01652	0.01416	0.8
PISO 8	0.01145	0.0115	0.01604	0.01374	0.8
PISO 7	0.01120	0.0112	0.01568	0.01344	0.8
PISO 6	0.01072	0.0107	0.01501	0.01286	0.8
PISO 5	0.01033	0.0103	0.01446	0.01240	0.8
PISO 4	0.00961	0.0096	0.01346	0.01154	0.8
PISO 3	0.00902	0.0090	0.01263	0.01082	0.8
PISO 2	0.00915	0.0092	0.01282	0.01099	0.8
PISO 1	0.00528	0.0053	0.00740	0.00634	0.8
BASE	0.00000	0.0000	0.00000	0.00000	0.8

Tabla 5 Irregular torsional extrema Ey30 y Ey36

PISO	Ex 1 Δ_1	Ex 23 Δ_2	$1.4(\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2})$	$1.2(\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2})$	Irregularidad torsional extrema
PISO 30	0.01576	0.01579	0.02209	0.01893	0.8
PISO 29	0.01666	0.01679	0.02341	0.02007	0.8
PISO 28	0.01729	0.01746	0.02432	0.02085	0.8
PISO 27	0.01782	0.01803	0.02509	0.02151	0.8
PISO 26	0.01830	0.01854	0.02578	0.02210	0.8
PISO 25	0.01872	0.01899	0.02640	0.02263	0.8
PISO 24	0.01909	0.01939	0.02693	0.02309	0.8
PISO 23	0.01938	0.01972	0.02737	0.02346	0.8
PISO 22	0.01963	0.02000	0.02774	0.02378	0.8
PISO 21	0.01978	0.02017	0.02797	0.02397	0.8
PISO 20	0.01990	0.02013	0.02802	0.02402	0.8
PISO 19	0.01994	0.02015	0.02806	0.02405	0.8
PISO 18	0.01999	0.02025	0.02816	0.02414	0.8
PISO 17	0.01996	0.02018	0.02810	0.02408	0.8
PISO 16	0.01991	0.02016	0.02805	0.02404	0.8
PISO 15	0.01980	0.02001	0.02786	0.02388	0.8
PISO 14	0.01966	0.01988	0.02767	0.02372	0.8
PISO 13	0.01948	0.01962	0.02737	0.02346	0.8
PISO 12	0.01927	0.01953	0.02716	0.02328	0.8
PISO 11	0.01902	0.01951	0.02697	0.02312	0.8
PISO 10	0.01871	0.01919	0.02653	0.02274	0.8
PISO 9	0.01829	0.01878	0.02595	0.02224	0.8
PISO 8	0.01780	0.01827	0.02525	0.02164	0.8
PISO 7	0.01719	0.01766	0.02439	0.02091	0.8
PISO 6	0.01644	0.01690	0.02334	0.02000	0.8
PISO 5	0.01551	0.01595	0.02202	0.01887	0.8
PISO 4	0.01433	0.01475	0.02036	0.01745	0.8
PISO 3	0.01282	0.01320	0.01822	0.01561	0.8
PISO 2	0.01101	0.01137	0.01567	0.01343	0.8
PISO 1	0.00761	0.00777	0.01076	0.00923	0.8
BASE	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.8

Tabla 6 Irregular torsional extrema Ex1 y Ex23

PISO	Ex 30 Δ_1	Ex 36 Δ_2	$1.4(\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2})$	$1.2(\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2})$	Irregularidad torsional extrema
PISO 30	0.01576	0.01579	0.02209	0.01893	0.8
PISO 29	0.01666	0.01679	0.02342	0.02007	0.8
PISO 28	0.01729	0.01746	0.02433	0.02085	0.8
PISO 27	0.01783	0.01804	0.02511	0.02152	0.8
PISO 26	0.01830	0.01854	0.02579	0.02211	0.8
PISO 25	0.01873	0.01901	0.02642	0.02265	0.8
PISO 24	0.01909	0.01940	0.02694	0.02309	0.8
PISO 23	0.01940	0.01974	0.02740	0.02349	0.8
PISO 22	0.01963	0.02001	0.02775	0.02378	0.8
PISO 21	0.01981	0.02020	0.02801	0.02401	0.8
PISO 20	0.01990	0.02014	0.02803	0.02402	0.8
PISO 19	0.01997	0.02019	0.02811	0.02409	0.8
PISO 18	0.01999	0.02025	0.02817	0.02414	0.8
PISO 17	0.01998	0.02020	0.02812	0.02410	0.8
PISO 16	0.01991	0.02017	0.02805	0.02404	0.8
PISO 15	0.01980	0.02000	0.02786	0.02388	0.8
PISO 14	0.01966	0.01988	0.02767	0.02372	0.8
PISO 13	0.01947	0.01961	0.02736	0.02345	0.8
PISO 12	0.01927	0.01952	0.02715	0.02328	0.8
PISO 11	0.01902	0.01951	0.02697	0.02311	0.8
PISO 10	0.01870	0.01919	0.02652	0.02273	0.8
PISO 9	0.01829	0.01878	0.02594	0.02224	0.8
PISO 8	0.01778	0.01826	0.02523	0.02163	0.8
PISO 7	0.01719	0.01766	0.02439	0.02091	0.8
PISO 6	0.01642	0.01688	0.02331	0.01998	0.8
PISO 5	0.01551	0.01595	0.02202	0.01887	0.8
PISO 4	0.01431	0.01473	0.02033	0.01742	0.8
PISO 3	0.01282	0.01320	0.01821	0.01561	0.8
PISO 2	0.01101	0.01137	0.01567	0.01343	0.8
PISO 1	0.00761	0.00777	0.01076	0.00923	0.8
BASE	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.8

Tabla 7 Irregular torsional extrema Ex30 y Ex36

4.8.1.2 Tipo 3P Discontinuidades en el diafragma

1) $C * D > 0.5A * B$ 2) $(C * D + C * E) > 0.5A * B$

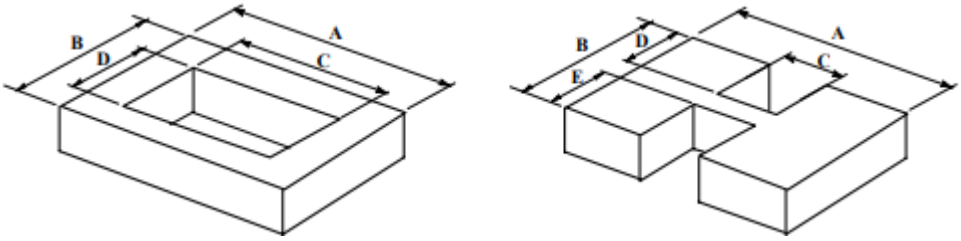


Ilustración 39 Discontinuidades en el diafragma Figura A.3-1 de la NSR 10.

Donde:

A: Distancia eje Y = 30 m

B: Distancia eje X = 20 m

C: Distancia eje Y del vacío = 5 m

D, E: Distancia eje X del vacío = 5 m

$$1)\ 5 * 5 > 0.5(30) * 20 = 25 > 300$$

$$2)\ (5 * 5 + 5 * 5) > 0.5(30) * 20 = 50 > 300$$

Como no se cumplen las desigualdades no se ve afectada la edificación por discontinuidades en el diafragma.

4.8.1.3 Tipo 4P Discontinuidades por desplazamiento en los planos de acción.

Según el diseño planteado la edificación no presenta desplazamientos en los planos de acción según la Figura A.3.1 del Título A de la NSR 10.

Por lo tanto, se obtienen las irregularidades en planta de la Tabla 8 donde se toma el valor menor para esta irregularidad como 0.8.

tipo	Irregularidad en planta	ϕ_p irregular
1aP	Irregularidad torsional	1
1bP	Irregularidad torsional extrema	0.8
3P	Discontinuidad en el diafragma	1
4P	Desplazamiento del plano de acción de elementos verticales	1

Tabla 8 Irregularidades

4.8.2 IRREGULARIDAD EN ALTURA (φ_a)

Para determinar las irregularidades en zona de amenaza sísmica intermedia de grupo de uso **I** la evaluación para determinar si la edificación es irregular o no, puede limitarse a irregularidades en altura del tipo 4A, 5aA, 5bA según la tabla A.3-7.

4.8.2.1 Tipo 4A Desplazamiento dentro del plano de acción

Debido a que la edificación no presenta desplazamientos de columnas entre los pisos no existe irregularidad en altura por este tipo.

4.8.2.2 Tipo 5aA Discontinuidad en la resistencia

Debido a que la edificación es completamente simétrica entre los pisos no existe irregularidad en altura por este tipo.

4.8.2.3 Tipo 5bA Discontinuidad extrema en la resistencia

Debido a que la edificación es completamente simétrica entre los pisos no existe irregularidad en altura por este tipo.

Por lo tanto, se obtienen las irregularidades en altura de la Tabla 9 donde se toma el valor para esta irregularidad como 1.

tipo	Irregularidad en altura	ϕa
4A	desplazamientos dentro del plano de acción	1
5aA	discontinuidad en la resistencia	1
5bA	discontinuidad extrema en la resistencia	1

Tabla 9 Irregularidad en altura

4.8.3 IRREGULARIDAD AUSENCIA DE REDUNDANCIA (φ_r)

Para edificaciones con sistema estructural (DME) se debe tener en cuenta un factor de reducción de resistencia por ausencia de redundancia en el sistema estructural de resistencia sísmica según el ítem A.3.3.8.2 de la NSR-10 donde en **sistemas compuestos por pórticos con arriostramientos concéntricos** la falta de cualquiera de las diagonales o sus conexiones al pórtico no resulta en una reducción de mas del 33 % de la resistencia ante las fuerzas horizontales del piso ni produce una irregularidad torsional en planta extrema.

Verificando los cortantes eje X:

$$\sum = 30V \longrightarrow \sum = \frac{28V}{30V} = 0.93 < 0.67$$

Se pierde el 7% únicamente de la resistencia total de la estructura

Verificando los cortantes ejes Y:

$$\sum = 26V \qquad \sum = \frac{24V}{26V} = 0.93 < 0.67$$

Por lo cual, se considera que la estructura es redundante, teniendo en cuenta que si se llegase a perder alguna una columna o viga durante el sismo no se va a ver afectado el funcionamiento de la edificación y por ende no se ve afectada la estructura por ausencia de redundancia.

tipo	Irregularidad por ausencia de redundancia	ϕr
1R	Irregularidad por ausencia de redundancia	1

Con las irregularidades definidas se puede identificar entonces el coeficiente de disipación de energía.

$$R = \varphi_a \varphi_p \varphi_r \varphi_0$$
$$R = 0.8 * 1 * 1 * 6 = 4.8$$

4.9 CORTANTE SÍSMICO BASAL (V_s)

Se calcula el cortante basal en la base teniendo en cuenta el periodo modal máximo que genera la edificación y el peso de la estructura según la ecuación:

$$V_{mj} S_{am} g M_{mj}$$

Donde:

S_{am}: es el valor leído del espectro elástico de aceleraciones S_a, para el periodo de vibración M_m: correspondiente al modo de vibración m.

4.10 MODOS DE VIBRACIÓN

TABLE: Modal Periods And Frequencies					
Case	**Mode**	**Period**	**Frequency**	**CircFreq**	**Eigenvalue**
		sec	cyc/sec	rad/sec	rad²/sec²
Modal	1	5.256	0.19	1.1955	1.4293
Modal	2	4.041	0.247	1.5549	2.4176
Modal	3	1.909	0.524	3.2921	10.8376
Modal	4	1.482	0.675	4.24	17.9774
Modal	5	1.199	0.834	5.2413	27.4717
Modal	6	0.797	1.254	7.882	62.1255
Modal	7	0.778	1.285	8.0766	65.2311
Modal	8	0.776	1.289	8.0994	65.5998
Modal	9	0.736	1.358	8.5346	72.8398
Modal	10	0.708	1.412	8.8729	78.7277
Modal	11	0.689	1.451	9.1158	83.0976
Modal	12	0.687	1.456	9.1486	83.697
Modal	13	0.647	1.546	9.7143	94.3678
Modal	14	0.627	1.596	10.0276	100.552
Modal	15	0.609	1.642	10.3159	106.4173
Modal	16	0.586	1.708	10.7287	115.1051
Modal	17	0.55	1.817	11.4138	130.2756
Modal	18	0.547	1.828	11.4842	131.8858
Modal	19	0.493	2.028	12.7419	162.3553
Modal	20	0.436	2.294	14.411	207.6782
Modal	21	0.423	2.367	14.8694	221.0995
Modal	22	0.414	2.418	15.1935	230.8426
Modal	23	0.402	2.485	15.6125	243.7514
Modal	24	0.377	2.656	16.687	278.4569
Modal	25	0.376	2.658	16.699	278.8551
Modal	26	0.366	2.73	17.1502	294.1282
Modal	27	0.36	2.776	17.4438	304.2873
Modal	28	0.359	2.783	17.4873	305.8066
Modal	29	0.348	2.873	18.0508	325.8321
Modal	30	0.347	2.882	18.1073	327.8726
Modal	31	0.347	2.884	18.1201	328.3365
Modal	32	0.345	2.901	18.2258	332.1783
Modal	33	0.34	2.942	18.4834	341.6366
Modal	34	0.338	2.96	18.5978	345.8797
Modal	35	0.334	2.998	18.8392	354.916
Modal	36	0.331	3.025	19.0048	361.1825

Modal	37	0.33	3.033	19.0569	363.1662
Modal	38	0.324	3.087	19.3932	376.0966
Modal	39	0.317	3.15	19.7906	391.6683
Modal	40	0.313	3.193	20.0598	402.3956
Modal	41	0.312	3.204	20.1333	405.3507
Modal	42	0.308	3.245	20.3905	415.773
Modal	43	0.307	3.256	20.4605	418.6327
Modal	44	0.302	3.313	20.8172	433.354
Modal	45	0.299	3.343	21.0017	441.0695
Modal	46	0.296	3.38	21.2381	451.0551
Modal	47	0.292	3.429	21.542	464.0581
Modal	48	0.289	3.456	21.712	471.4114
Modal	49	0.286	3.495	21.959	482.1958
Modal	50	0.28	3.567	22.4099	502.2015
Modal	51	0.274	3.647	22.9153	525.1115
Modal	52	0.272	3.67	23.058	531.6732
Modal	53	0.259	3.866	24.2883	589.9233
Modal	54	0.256	3.904	24.5282	601.6336
Modal	55	0.249	4.02	25.2569	637.9115
Modal	56	0.248	4.033	25.3431	642.2715
Modal	57	0.239	4.189	26.3229	692.8927
Modal	58	0.234	4.276	26.8646	721.7088
Modal	59	0.229	4.374	27.4824	755.2823
Modal	60	0.222	4.508	28.3235	802.2191
Modal	61	0.211	4.732	29.7329	884.0481
Modal	62	0.205	4.887	30.7045	942.7686
Modal	63	0.199	5.034	31.6269	1000.2633
Modal	64	0.19	5.25	32.9893	1088.2954
Modal	65	0.186	5.373	33.7576	1139.574
Modal	66	0.182	5.509	34.6138	1198.1149
Modal	67	0.174	5.744	36.0879	1302.3378
Modal	68	0.17	5.883	36.9628	1366.2487
Modal	69	0.165	6.061	38.0839	1450.3815
Modal	70	0.159	6.283	39.4759	1558.3442
Modal	71	0.151	6.626	41.6321	1733.2329
Modal	72	0.144	6.948	43.6534	1905.6213
Modal	73	0.142	7.023	44.1299	1947.4516
Modal	74	0.13	7.666	48.1657	2319.939
Modal	75	0.126	7.936	49.866	2486.6174
Modal	76	0.12	8.336	52.3735	2742.9836
Modal	77	0.118	8.469	53.212	2831.5141
Modal	78	0.1	9.984	62.7305	3935.1198
Modal	79	0.099	10.096	63.4335	4023.8129
Modal	80	0.095	10.525	66.1336	4373.6597
Modal	81	0.084	11.936	74.9979	5624.6834
Modal	82	0.077	12.996	81.6578	6668.001
Modal	83	0.075	13.255	83.2824	6935.9624
Modal	84	0.074	13.456	84.5442	7147.7187
Modal	85	0.059	16.973	106.6417	11372.4538
Modal	86	0.056	17.729	111.3923	12408.2545
Modal	87	0.054	18.428	115.7869	13406.6109
Modal	88	0.048	20.677	129.9188	16878.8877
Modal	89	0.013	79.201	497.6325	247638.092
Modal	90	0.01	98.969	621.8435	386689.3394

Tabla 10 Periodos modales de la edificación.

Con el valor máximo de periodo se calcula el valor del espectro de aceleración para un periodo de T = 5.654 s.

$$S_a = \frac{1.2 * A_v F_v I}{T} = \frac{1.2 * 0.20 * 3.5 * 1}{5.256} = 0.162$$

Teniendo en cuenta el peso de la estructura que genera el programa se realiza el cálculo del cortante:

$$W = 435371.9711\ KN$$

Obteniendo:

$$V_{mj} = 435371.9711 * 0.162 = 70329.32\ KN$$

Ya que la edificación es irregular se calcula el cortante dinámico mínimo teniendo en cuenta un factor de modificación del 0.90 del cortante basal estático.

$$V_{mj\ din} = 70329.32 * 0.90 = \ 63296.39\ KN$$

Con este valor se realiza la calibración las fuerzas horizontales que se aplican en el modelo matemático teniendo en cuenta el factor de ajuste de la gravedad.

$$F\ ajuste\ x = 9.681 \qquad F\ ajuste\ y = \ 8.072$$

Obteniendo:

$$V_x\ ajustado = \ 61040.39\ KN \qquad V_y\ ajustado = \ 61153.25\ KN$$

4.11 CORTANTE DE PISO

Para la edificación de estudio se verifica el cortante de piso según los datos del programa ETABS versión estudiante:

TABLE: Story Response				
Story	Elevation	location	Ex (KN)	Ey (KN)
PISO 30	90	Top	5838.93	5221.82
PISO 29	87	Top	11167.52	10113.27
PISO 28	84	Top	15818.48	14457.32
PISO 27	81	Top	19837.09	18341.90
PISO 26	78	Top	23283.60	21815.74
PISO 25	75	Top	26220.47	24913.35
PISO 24	72	Top	28700.67	27670.00
PISO 23	69	Top	30787.37	30119.56
PISO 22	66	Top	32543.56	32305.59
PISO 21	63	Top	34032.59	34271.32
PISO 20	60	Top	35316.88	36058.44
PISO 19	57	Top	36470.39	37707.86
PISO 18	54	Top	37559.66	39262.01
PISO 17	51	Top	38647.96	40758.99
PISO 16	48	Top	39786.74	42227.90

PISO 15	45	Top	41016.78	43692.92
PISO 14	42	Top	42366.01	45173.34
PISO 13	39	Top	43845.31	46677.97
PISO 12	36	Top	45453.89	48208.95
PISO 11	33	Top	47177.25	49762.49
PISO 10	30	Top	48978.63	51324.42
PISO 09	27	Top	50821.35	52876.62
PISO 08	24	Top	52660.28	54393.71
PISO 07	21	Top	54445.87	55845.99
PISO 06	18	Top	56124.88	57199.79
PISO 05	15	Top	57645.55	58420.03
PISO 04	12	Top	58946.62	59467.41
PISO 03	9	Top	59982.14	60309.39
PISO 02	6	Top	60707.82	60907.29
PISO 01	3	Top	61077.15	61178.70
Base	0	Top	0.00	0.00

Tabla 11 Datos de corte de piso Ex y Ey

Para Ex:

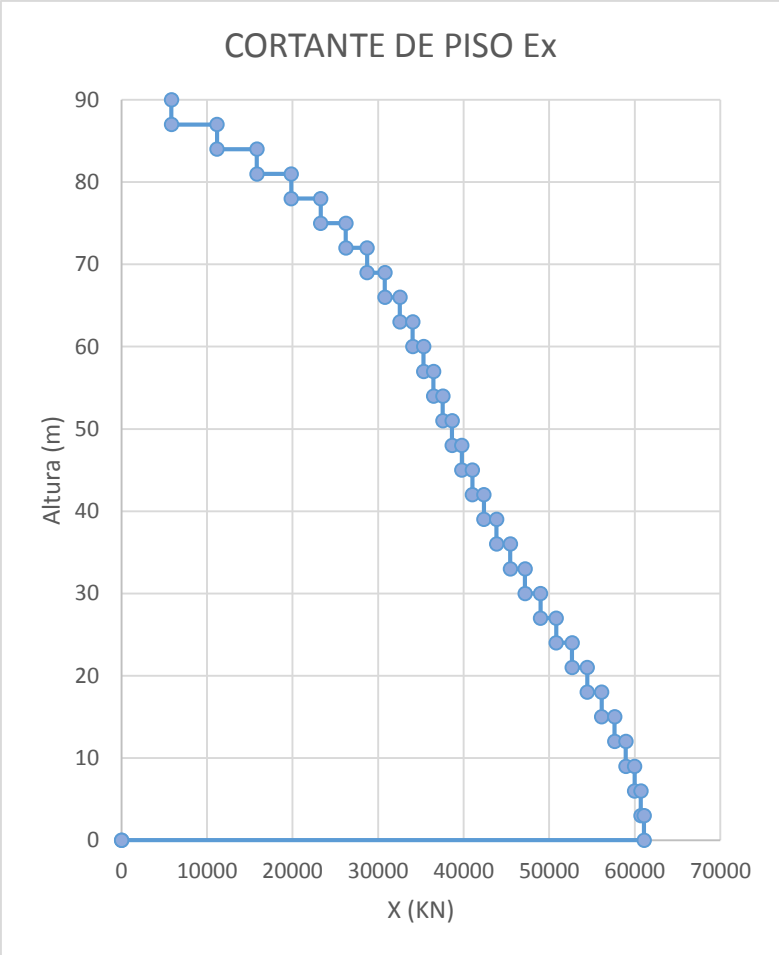


Ilustración 40 Cortante de piso Ex

Para Ey:

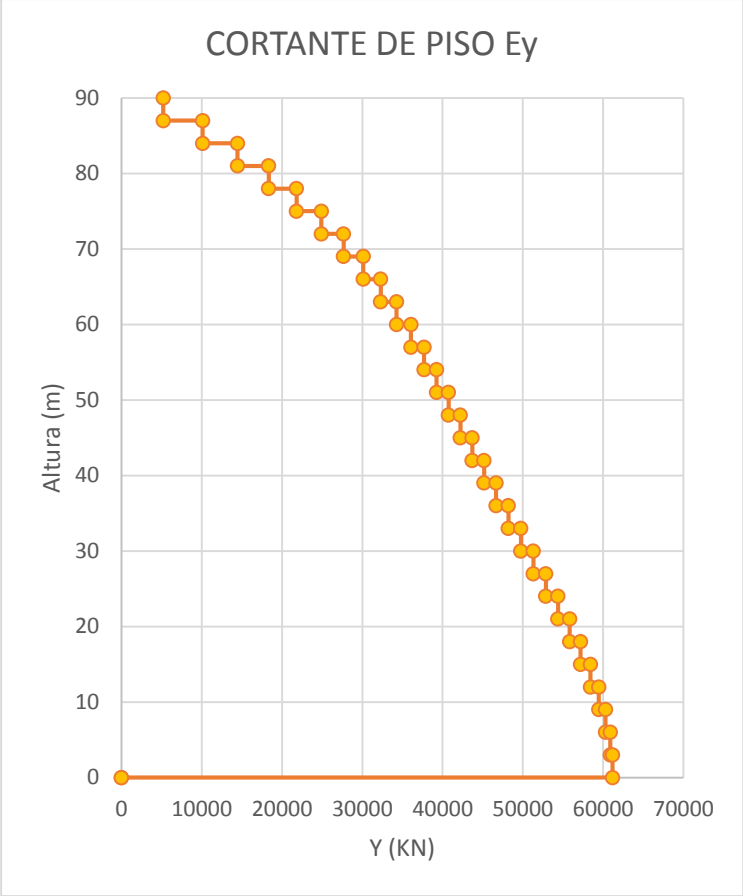


Ilustración 41 Cortante de piso Ey

Con la verificación de cortantes de la edificación se verifica el sistema constructivo diseñado para resistir mínimo el 25% del cortante sísmico en la base:

Story	% RESISTENCIA
PISO 30	11.64
PISO 29	22.37
PISO 28	31.79
PISO 27	40.04
PISO 26	47.25
PISO 25	53.5
PISO 24	58.91
PISO 23	63.58
PISO 22	67.62
PISO 21	71.14
PISO 20	74.26
PISO 19	77.11
PISO 18	79.79
PISO 17	82.42
PISO 16	85.08

Story	% RESISTENCIA
PISO 15	87.85
PISO 14	90.77
PISO 13	93.86
PISO 12	97.13
PISO 11	100.56
PISO 10	104.09
PISO 09	107.67
PISO 08	111.21
PISO 07	114.64
PISO 06	117.86
PISO 05	120.77
PISO 04	123.27
PISO 03	125.27
PISO 02	126.68
PISO 01	127.37
Base	0

Tabla 12 Verificación de estructura Dual

4.12 APLICACIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS

Ya que la edificación se encuentra en una zona de amenaza sísmica intermedia se deben considerar los efectos ortogonales según el Título A.3.6.3 teniendo en cuenta una concurrencia simultanea del 100% de las fuerzas sísmicas en una dirección y el 30% de las fuerzas sísmicas en la dirección perpendicular, utilizando la combinación que requiera la mayor resistencia del elemento.

4.13 COMBINACIONES DE CARGA

Para la combinación de cargas se tiene en cuenta la fuerza sísmica de piso F_s la cual debe ser reducida según el coeficiente de capacidad de disipación de energía **R,** correspondiente al sistema estructural de resistencia sísmica, según las combinaciones de cargas del título B del reglamento.

$$E = \frac{F_s}{R}$$

Las combinaciones de cargas se efectúan bajo las condiciones de diseño descritas en el titulo B.2.4.2 de la NSR-10:

Combinación de carga
1.2D+1.6L
1.2D+EX+0.3EY+L
1.2D-EX-0.3EY+L
1.2D+EX-0.3EY+L
1.2D-EX+0.3EY+L
1.2D+0.3EX+EY+L
1.2D+0.3EX-EY+L
1.2D-0.3EX+EY+L
1.2D-0.3EX-EY+L
0.9D+EX+0.3EY
0.9D+EX-0.3EY
0.9D-EX+0.3EY
0.9D-EX-0.3EY
0.9D+0.3EX+EY
0.9D+0.3EX-EY
0.9D-0.3EX+EY
0.9D-0.3EX-EY

Tabla 13 Combinaciones de carga según lo estipulado B.2.4.2. de la NSR-10

Para el caso de E se debe tener en cuenta la dirección del sismo, reducción y efectos ortogonales, para la verificación de los datos se utiliza el programa ETABS.

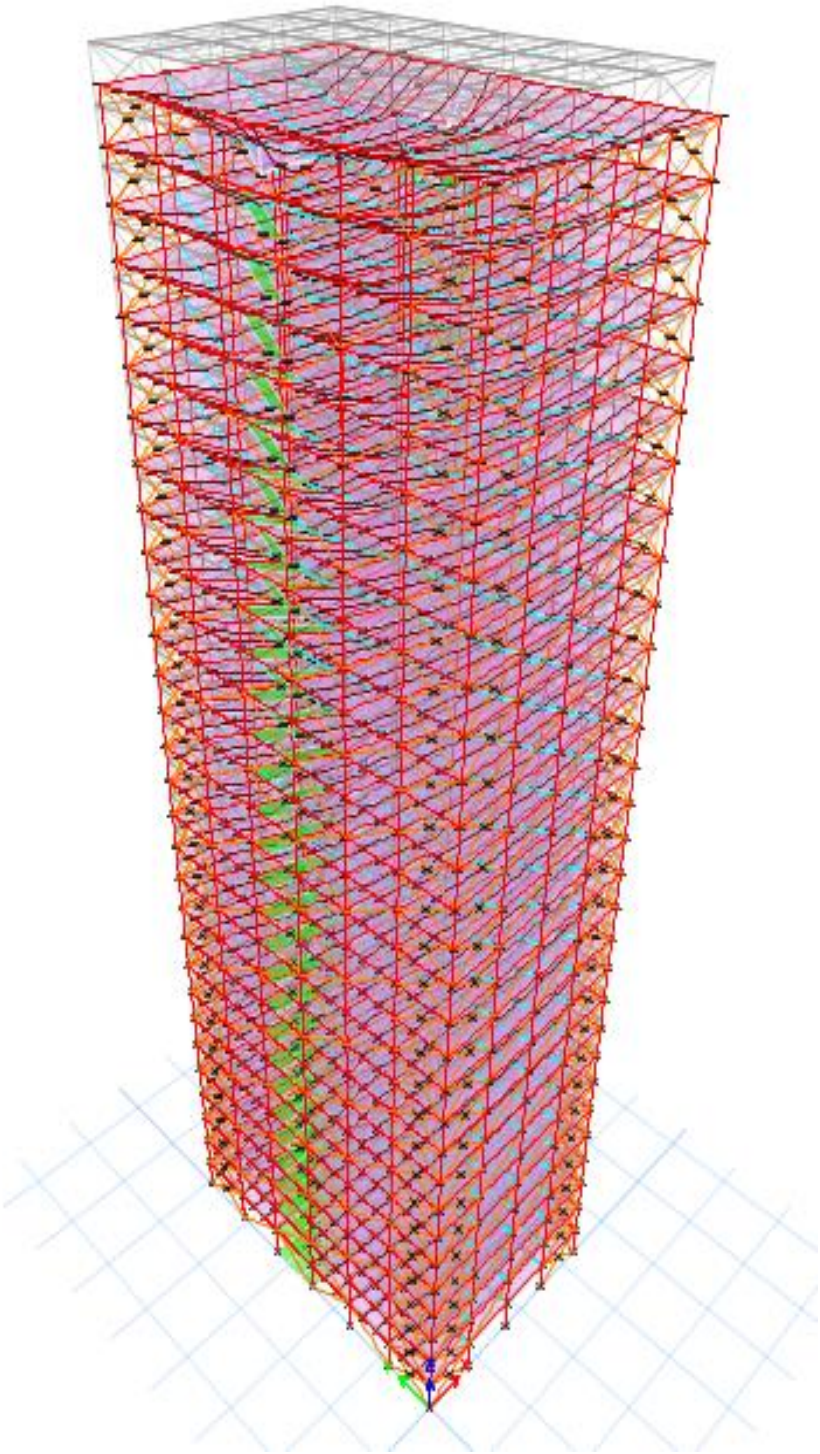


Ilustración 42 Deformación para combinación 1.2D+1.6L

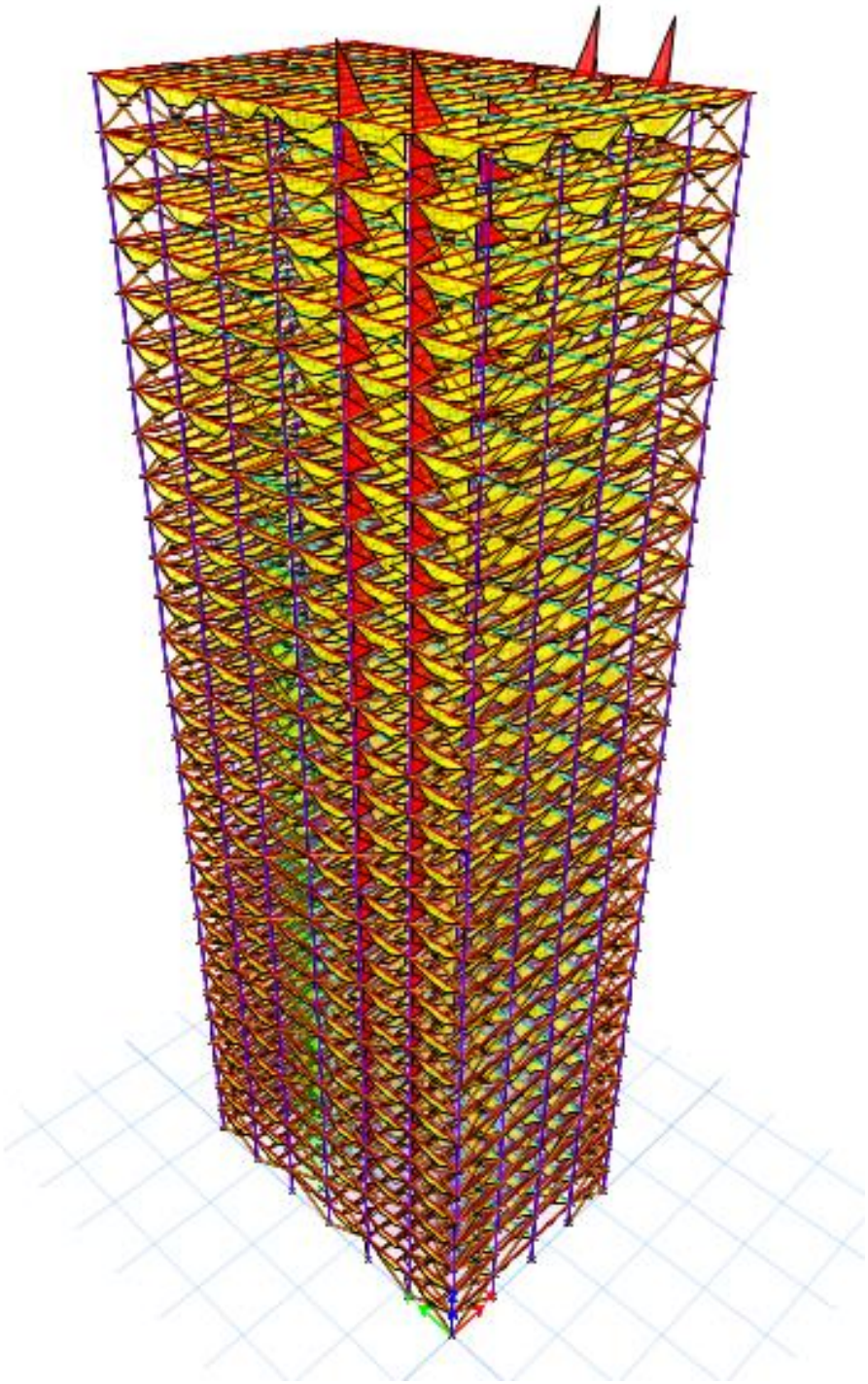


Ilustración 43 Solicitaciones para combinación de carga 1.2D+1.6L

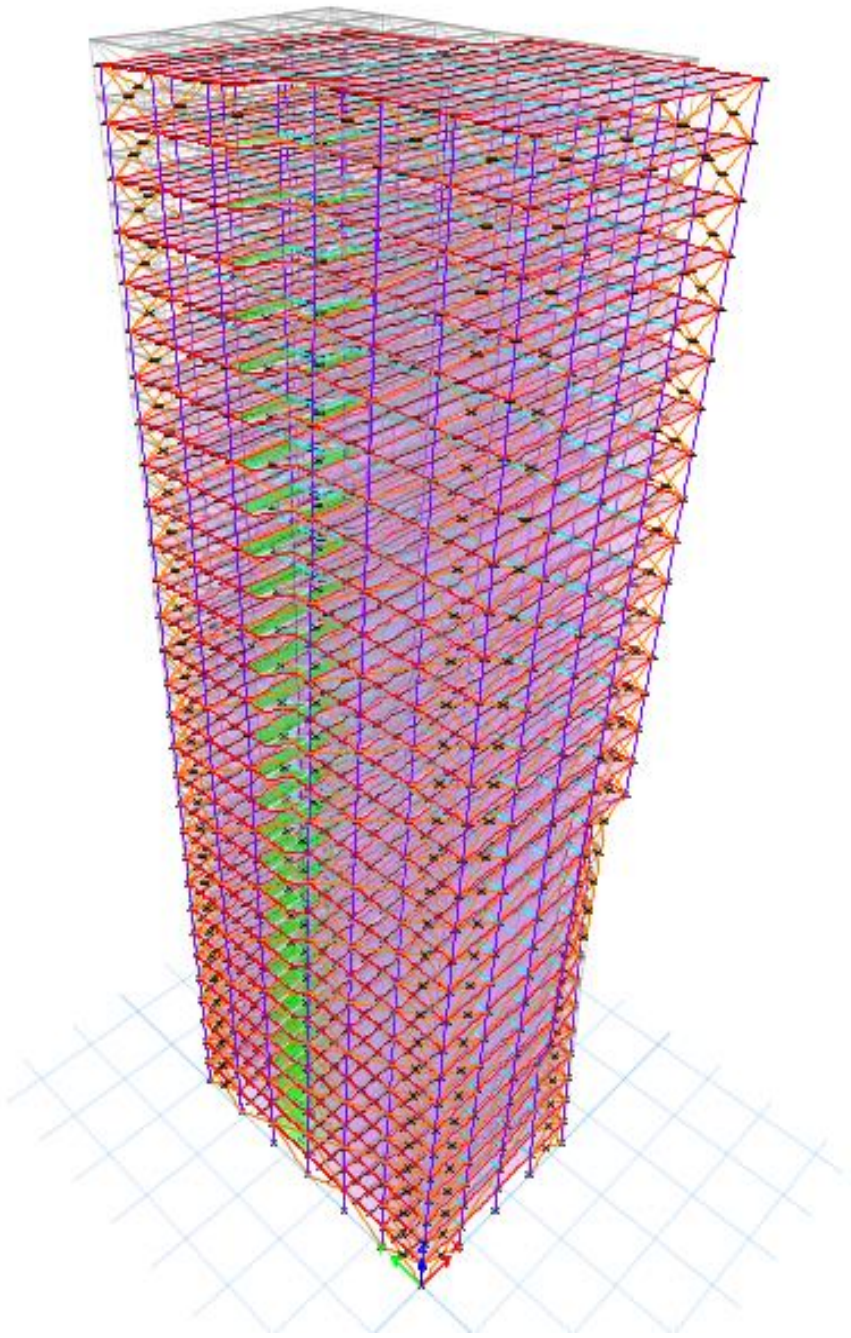


Ilustración 44 Deformación para combinación 1.2D-0.3Ex-Ey+L

4.14 DISEÑO

Una vez se determinan las solicitaciones, se especifican dimensiones, materiales y cantidad de armados necesarios para las solicitaciones requeridas que cumplan con las

derivas requeridas según el Título A.6.4 el cual no debe sobrepasar el 1% de la altura de entrepiso.

ELEMENTO	PERFIL TIPO H	h mm	b mm	tw mm	tf mm
COLUMNA	600	590	300	13	25
VIGA EJE Y	400	390	300	11	19
VIGA EJE X	300	290	300	8.5	14
VIGA PERIMETRAL	400	390	300	11	19
VIGA DE PLACA	200	200	100	5.6	8.5

Tabla 14 Dimensiones de elementos estructurales

De acuerdo con el diseño planteado y teniendo en cuenta que la edificación se encuentra en una zona de amenaza sísmica intermedia debe cumplir con los requisitos de estructura dual con arriostramiento concéntrico con capacidad de disipación de energía especial (DME).

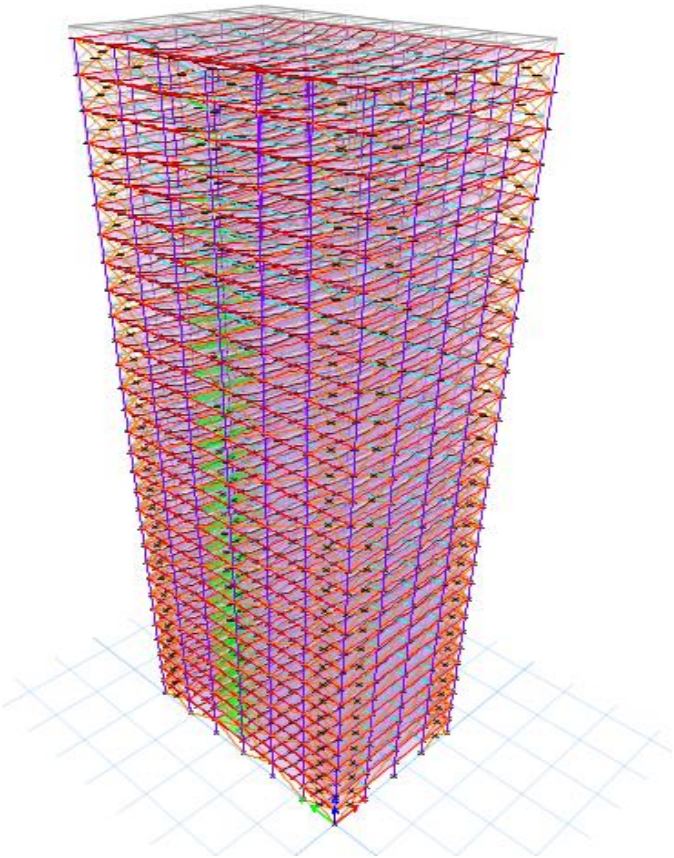


Ilustración 45 Modelo ETABS diseño estructura dual con arriostramiento concéntrico

4.14.1 DISEÑO DE LA CONEXIÓN

En este proyecto de grado no se tiene en cuenta el diseño de las conexiones (nudos), puesto que para realizar este diseño se requiere un estudio detallado del tema. Teniendo en cuenta que el desarrollo de la carga académica de las clases de la línea de estructuras de la Universidad no explico este tema, se asume según la literatura consultada para las columnas requiere estar soldada completamente y para conexión de vigas a columnas una unión pernada con el objeto de reducir momentos. Igualmente se aclara que el programa ETABS v18 (versión estudiantil) no profundiza en el diseño de esta conexión, en caso de requerir un cálculo preciso sobre la implementación de distintos tipos de conexión se podrá realizar con otras herramientas de software distintas a la usada para el desarrollo de este proyecto.

4.15 DERIVAS

De acuerdo con la norma NSR-10 se evalúa la deriva obteniendo la diferencia entre los desplazamientos horizontales que tengan irregularidades en planta por medio de la siguiente ecuación A.6.3-1 de la NSR-10:

$$\Delta^i_{max} = \sqrt{\sum_{j=1}^{2} (\delta^i_{tot,j} - \delta^{i-1}_{tot,j})^2}$$

Se verifican los límites de la deriva:

- Que la deriva no exceda el valor máximo según la tabla A.6.4-1 para estructura metálica verificado en ETABS v18 (versión estudiante).

Estructuras de:	Deriva máxima
concreto reforzado, metálicas, de madera, y de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.2	$1.0\% \left(\Delta^i_{max} \leq 0.010 \ h_{pi}\right)$
de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.3	$0.5\% \left(\Delta^i_{max} \leq 0.005 \ h_{pi}\right)$

Obteniendo:

$$\Delta < 0.010 * 3.0\, m = 0.030\, m$$

De acuerdo con los puntos más críticos ubicados en las esquinas del edificio se verifica la deriva:

EJE X1											
PISO	UBICACIÓN	ELEVACION	X (m)	Y (m)	X (mm)	Y (mm)	h entrepiso (mm)	Δx	Δy	Δmax	Δmax/Deriva max (%)
PISO 30	1	90	1.5860	0.0313	1586.031	31.257	3000	0.015723	1.06E-03	0.0158	0.5253
PISO 29	1	87	1.5389	0.0281	1538.861	28.091	3000	0.016627	9.89E-04	0.0167	0.5552
PISO 28	1	84	1.4890	0.0251	1488.981	25.123	3000	0.017272	7.70E-04	0.0173	0.5763
PISO 27	1	81	1.4372	0.0228	1437.165	22.813	3000	0.017777	1.19E-03	0.0178	0.5939
PISO 26	1	78	1.3838	0.0192	1383.835	19.229	3000	0.018285	6.87E-04	0.0183	0.6099
PISO 25	1	75	1.3290	0.0172	1328.98	17.167	3000	0.018681	1.14E-03	0.0187	0.6239
PISO 24	1	72	1.2729	0.0137	1272.936	13.736	3000	0.019078	5.54E-04	0.0191	0.6362
PISO 23	1	69	1.2157	0.0121	1215.701	12.073	3000	0.019352	1.02E-03	0.0194	0.6460
PISO 22	1	66	1.1576	0.0090	1157.646	9.004	3000	0.019625	3.80E-04	0.0196	0.6543
PISO 21	1	63	1.0988	0.0079	1098.771	7.865	3000	0.019766	7.41E-04	0.0198	0.6593
PISO 20	1	60	1.0395	0.0056	1039.472	5.641	3000	0.019898	1.83E-04	0.0199	0.6633
PISO 19	1	57	0.9798	0.0051	979.777	5.092	3000	0.019937	2.77E-05	0.0199	0.6646
PISO 18	1	54	0.9200	0.0050	919.966	5.009	3000	0.019987	3.40E-05	0.0200	0.6662
PISO 17	1	51	0.8600	0.0051	860.004	5.111	3000	0.019949	6.21E-04	0.0200	0.6653
PISO 16	1	48	0.8002	0.0070	800.156	6.973	3000	0.019906	7.67E-06	0.0199	0.6635
PISO 15	1	45	0.7404	0.0070	740.438	6.95	3000	0.019787	7.55E-04	0.0198	0.6600
PISO 14	1	42	0.6811	0.0092	681.077	9.215	3000	0.019657	1.50E-04	0.0197	0.6553
PISO 13	1	39	0.6221	0.0088	622.105	8.766	3000	0.019466	6.99E-04	0.0195	0.6493
PISO 12	1	36	0.5637	0.0109	563.707	10.864	3000	0.019269	3.58E-04	0.0193	0.6424
PISO 11	1	33	0.5059	0.0098	505.9	9.79	3000	0.019017	4.37E-04	0.0190	0.6341
PISO 10	1	30	0.4488	0.0111	448.849	11.102	3000	0.018696	6.17E-04	0.0187	0.6235
PISO 9	1	27	0.3928	0.0093	392.761	9.252	3000	0.018288	2.49E-04	0.0183	0.6096
PISO 8	1	24	0.3379	0.0100	337.898	10	3000	0.017782	7.70E-04	0.0178	0.5933
PISO 7	1	21	0.2846	0.0077	284.553	7.689	3000	0.017185	4.50E-05	0.0172	0.5728
PISO 6	1	18	0.2330	0.0078	232.997	7.824	3000	0.016417	8.63E-04	0.0164	0.5480
PISO 5	1	15	0.1837	0.0052	183.745	5.234	3000	0.015505	1.60E-04	0.0155	0.5169
PISO 4	1	12	0.1372	0.0048	137.23	4.755	3000	0.014308	8.14E-04	0.0143	0.4777
PISO 3	1	9	0.0943	0.0023	94.307	2.314	3000	0.012817	2.79E-04	0.0128	0.4273
PISO 2	1	6	0.0559	0.0015	55.855	1.477	3000	0.011009	3.17E-04	0.0110	0.3671
PISO 1	1	3	0.0228	0.0005	22.828	0.525	3000	0.007609	1.75E-04	0.0076	0.2537
BASE	1	0	0.0000	0.0000	0	0	3000	0.000000	0.00E+00	0.0000	0.0000

Tabla 15 Verificación deriva Ex punto 1

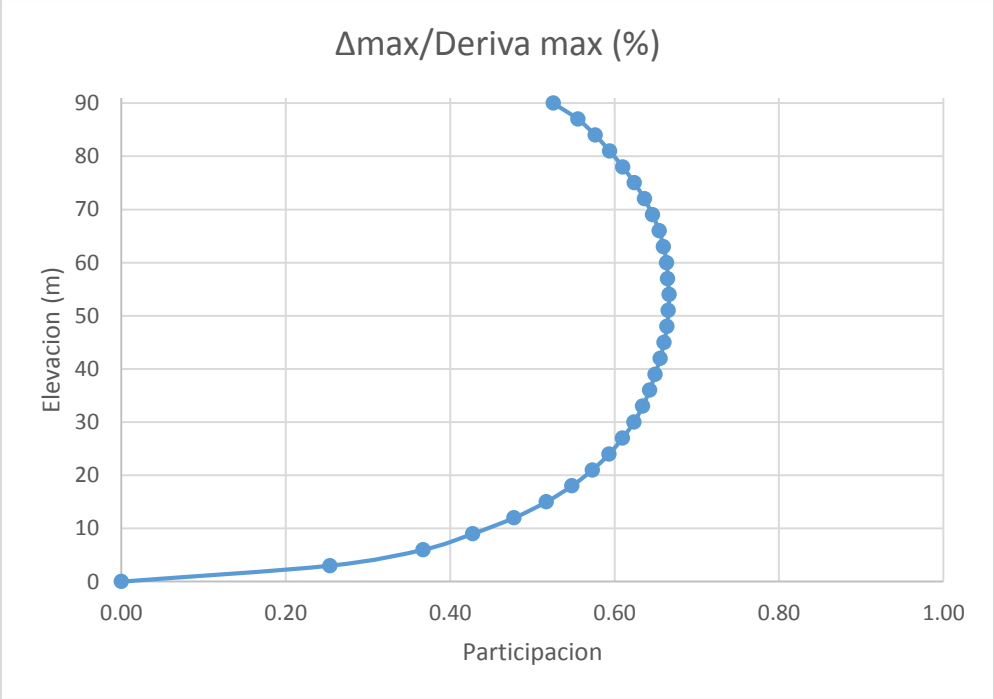


Ilustración 46 Verificación deriva Ex punto 1

EJE X23											
PISO	UBICACIÓN	ELEVACION	X (m)	Y (m)	X (mm)	Y (mm)	h entrepiso (mm)	Δx	Δy	Δmax	Δmax/Deriva max (%)
PISO 30	23	90	1.6134	0.0313	1613.35	31.257	3000	0.0158	0.0011	0.0158	0.5264
PISO 29	23	87	1.5661	0.0281	1566.078	28.091	3000	0.0168	0.0010	0.0168	0.5596
PISO 28	23	84	1.5158	0.0251	1515.805	25.123	3000	0.0174	0.0008	0.0175	0.5819
PISO 27	23	81	1.4635	0.0228	1463.486	22.813	3000	0.0180	0.0012	0.0180	0.6008
PISO 26	23	78	1.4095	0.0192	1409.529	19.229	3000	0.0185	0.0007	0.0185	0.6179
PISO 25	23	75	1.3540	0.0172	1353.96	17.167	3000	0.0190	0.0011	0.0190	0.6331
PISO 24	23	72	1.2971	0.0137	1297.085	13.736	3000	0.0194	0.0006	0.0194	0.6463
PISO 23	23	69	1.2389	0.0121	1238.939	12.073	3000	0.0197	0.0010	0.0197	0.6573
PISO 22	23	66	1.1799	0.0090	1179.863	9.004	3000	0.0200	0.0004	0.0200	0.6667
PISO 21	23	63	1.1199	0.0079	1119.871	7.865	3000	0.0202	0.0007	0.0202	0.6724
PISO 20	23	60	1.0594	0.0056	1059.397	5.641	3000	0.0201	0.0002	0.0201	0.6711
PISO 19	23	57	0.9990	0.0051	998.999	5.092	3000	0.0202	0.0000	0.0202	0.6717
PISO 18	23	54	0.9385	0.0050	938.547	5.009	3000	0.0202	0.0000	0.0202	0.6748
PISO 17	23	51	0.8778	0.0051	877.811	5.111	3000	0.0202	0.0006	0.0202	0.6727
PISO 16	23	48	0.8173	0.0070	817.294	6.973	3000	0.0202	0.0000	0.0202	0.6722
PISO 15	23	45	0.7568	0.0070	756.8	6.95	3000	0.0200	0.0008	0.0200	0.6669
PISO 14	23	42	0.6968	0.0092	696.826	9.215	3000	0.0199	0.0001	0.0199	0.6625
PISO 13	23	39	0.6372	0.0088	637.199	8.766	3000	0.0196	0.0007	0.0196	0.6541
PISO 12	23	36	0.5784	0.0109	578.365	10.864	3000	0.0195	0.0004	0.0195	0.6509
PISO 11	23	33	0.5198	0.0098	519.795	9.79	3000	0.0195	0.0004	0.0195	0.6503
PISO 10	23	30	0.4613	0.0111	461.279	11.102	3000	0.0192	0.0006	0.0192	0.6398
PISO 9	23	27	0.4037	0.0093	403.725	9.252	3000	0.0188	0.0002	0.0188	0.6259
PISO 8	23	24	0.3474	0.0100	347.402	10	3000	0.0183	0.0008	0.0183	0.6091
PISO 7	23	21	0.2926	0.0077	292.63	7.689	3000	0.0177	0.0000	0.0177	0.5886
PISO 6	23	18	0.2397	0.0078	239.654	7.824	3000	0.0169	0.0009	0.0169	0.5633
PISO 5	23	15	0.1890	0.0052	189.025	5.234	3000	0.0160	0.0002	0.0160	0.5317
PISO 4	23	12	0.1412	0.0048	141.17	4.755	3000	0.0147	0.0008	0.0147	0.4916
PISO 3	23	9	0.0970	0.0023	96.992	2.314	3000	0.0132	0.0003	0.0132	0.4401
PISO 2	23	6	0.0574	0.0015	57.393	1.477	3000	0.0114	0.0003	0.0114	0.3791
PISO 1	23	3	0.0233	0.0005	23.29	0.525	3000	0.0078	0.0002	0.0078	0.2588
BASE	23	0	0.0000	0.0000	0	0	3000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 16 Verificación deriva Ex punto 23

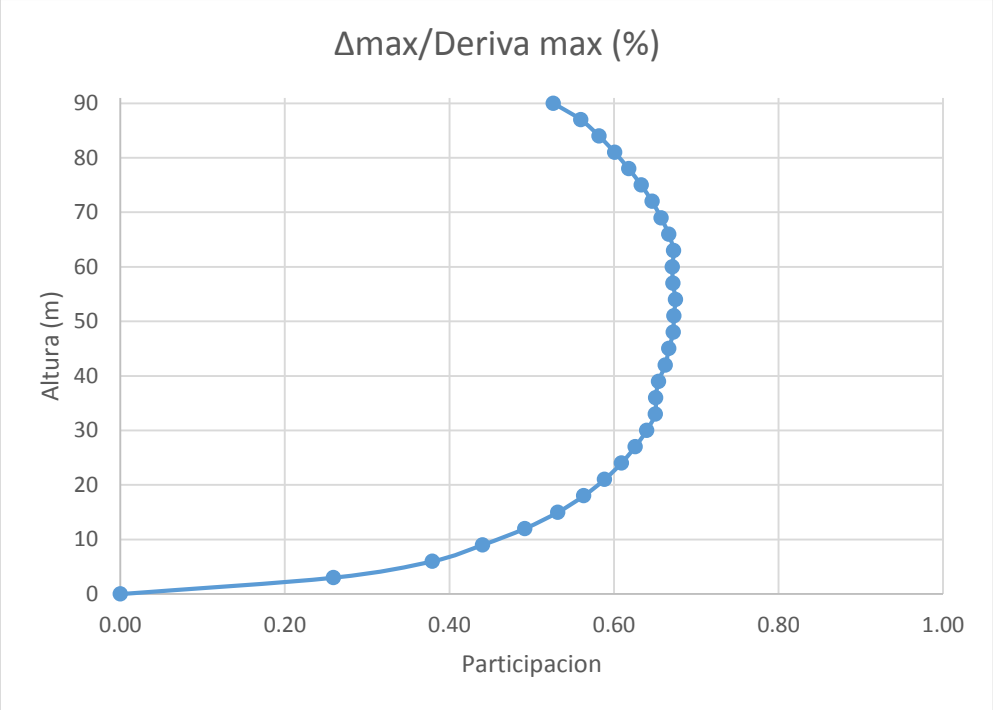


Ilustración 47 Verificación deriva Ex punto 23

EJE X30											
PISO	UBICACIÓN	ELEVACION	X (m)	Y (m)	X (mm)	Y (mm)	h entrepiso (m)	Δx	Δy	Deriva max (mm)	Δmax/Deriva max (%)
PISO 30	30	90	1.5860	0.0492	1586.031	49.207	3000	0.0157	0.0011	0.0158	0.5254
PISO 29	30	87	1.5389	0.0459	1538.861	45.941	3000	0.0166	0.0011	0.0167	0.5554
PISO 28	30	84	1.4890	0.0427	1488.981	42.696	3000	0.0173	0.0009	0.0173	0.5764
PISO 27	30	81	1.4372	0.0401	1437.165	40.11	3000	0.0178	0.0014	0.0178	0.5943
PISO 26	30	78	1.3838	0.0360	1383.835	35.977	3000	0.0183	0.0008	0.0183	0.6101
PISO 25	30	75	1.3290	0.0335	1328.98	33.512	3000	0.0187	0.0014	0.0187	0.6245
PISO 24	30	72	1.2729	0.0293	1272.936	29.309	3000	0.0191	0.0007	0.0191	0.6364
PISO 23	30	69	1.2157	0.0271	1215.701	27.114	3000	0.0194	0.0014	0.0194	0.6467
PISO 22	30	66	1.1576	0.0229	1157.646	22.949	3000	0.0196	0.0006	0.0196	0.6545
PISO 21	30	63	1.0988	0.0211	1098.771	21.094	3000	0.0198	0.0013	0.0198	0.6604
PISO 20	30	60	1.0395	0.0171	1039.472	17.067	3000	0.0199	0.0004	0.0199	0.6634
PISO 19	30	57	0.9798	0.0158	979.777	15.793	3000	0.0199	0.0012	0.0200	0.6657
PISO 18	30	54	0.9200	0.0122	919.966	12.232	3000	0.0200	0.0003	0.0200	0.6663
PISO 17	30	51	0.8600	0.0114	860.004	11.398	3000	0.0199	0.0010	0.0200	0.6658
PISO 16	30	48	0.8002	0.0083	800.156	8.34	3000	0.0199	0.0001	0.0199	0.6635
PISO 15	30	45	0.7404	0.0080	740.438	7.985	3000	0.0198	0.0007	0.0198	0.6600
PISO 14	30	42	0.6811	0.0058	681.077	5.845	3000	0.0197	0.0000	0.0197	0.6552
PISO 13	30	39	0.6221	0.0058	622.105	5.838	3000	0.0195	0.0003	0.0195	0.6489
PISO 12	30	36	0.5637	0.0049	563.707	4.936	3000	0.0193	0.0000	0.0193	0.6423
PISO 11	30	33	0.5059	0.0048	505.9	4.799	3000	0.0190	0.0000	0.0190	0.6339
PISO 10	30	30	0.4488	0.0049	448.849	4.856	3000	0.0187	0.0002	0.0187	0.6232
PISO 9	30	27	0.3928	0.0043	392.761	4.311	3000	0.0183	0.0002	0.0183	0.6096
PISO 8	30	24	0.3379	0.0048	337.898	4.82	3000	0.0178	0.0003	0.0178	0.5928
PISO 7	30	21	0.2846	0.0038	284.553	3.789	3000	0.0172	0.0001	0.0172	0.5729
PISO 6	30	18	0.2330	0.0041	232.997	4.14	3000	0.0164	0.0004	0.0164	0.5474
PISO 5	30	15	0.1837	0.0028	183.745	2.844	3000	0.0155	0.0000	0.0155	0.5168
PISO 4	30	12	0.1372	0.0028	137.23	2.753	3000	0.0143	0.0003	0.0143	0.4770
PISO 3	30	9	0.0943	0.0018	94.307	1.772	3000	0.0128	0.0001	0.0128	0.4273
PISO 2	30	6	0.0559	0.0014	55.855	1.353	3000	0.0110	0.0003	0.0110	0.3671
PISO 1	30	3	0.0228	0.0006	22.828	0.587	3000	0.0076	0.0002	0.0076	0.2537
BASE	30	0	0.0000	0.0000	0	0	3000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 17 Verificación deriva Ex punto 30

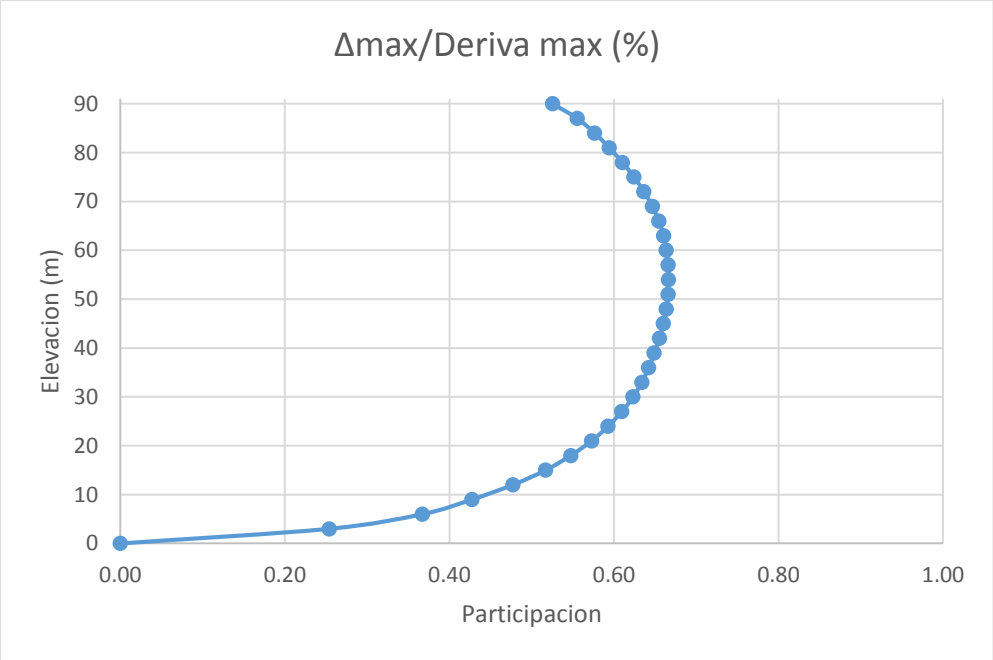


Ilustración 48 Verificación deriva Ex punto 30

EJE X36											
PISO	UBICACIÓN	ELEVACION	X (m)	Y (m)	X (mm)	Y (mm)	h entrepiso (m)	Δx	Δy	Δmax	Deriva max (mm)
PISO 30	36	90	1.6134	0.0492	1613.35	49.207	3000	0.0158	0.0011	0.0158	0.5265
PISO 29	36	87	1.5661	0.0459	1566.078	45.941	3000	0.0168	0.0011	0.0168	0.5598
PISO 28	36	84	1.5158	0.0427	1515.805	42.696	3000	0.0174	0.0009	0.0175	0.5820
PISO 27	36	81	1.4635	0.0401	1463.486	40.11	3000	0.0180	0.0014	0.0180	0.6013
PISO 26	36	78	1.4095	0.0360	1409.529	35.977	3000	0.0185	0.0008	0.0185	0.6180
PISO 25	36	75	1.3540	0.0335	1353.96	33.512	3000	0.0190	0.0014	0.0190	0.6337
PISO 24	36	72	1.2971	0.0293	1297.085	29.309	3000	0.0194	0.0007	0.0194	0.6465
PISO 23	36	69	1.2389	0.0271	1238.939	27.114	3000	0.0197	0.0014	0.0197	0.6580
PISO 22	36	66	1.1799	0.0229	1179.863	22.949	3000	0.0200	0.0006	0.0200	0.6669
PISO 21	36	63	1.1199	0.0211	1119.871	21.094	3000	0.0202	0.0013	0.0202	0.6734
PISO 20	36	60	1.0594	0.0171	1059.397	17.067	3000	0.0201	0.0004	0.0201	0.6712
PISO 19	36	57	0.9990	0.0158	998.999	15.793	3000	0.0202	0.0012	0.0202	0.6729
PISO 18	36	54	0.9385	0.0122	938.547	12.232	3000	0.0202	0.0003	0.0202	0.6749
PISO 17	36	51	0.8778	0.0114	877.811	11.398	3000	0.0202	0.0010	0.0202	0.6733
PISO 16	36	48	0.8173	0.0083	817.294	8.34	3000	0.0202	0.0001	0.0202	0.6722
PISO 15	36	45	0.7568	0.0080	756.8	7.985	3000	0.0200	0.0007	0.0200	0.6668
PISO 14	36	42	0.6968	0.0058	696.826	5.845	3000	0.0199	0.0000	0.0199	0.6625
PISO 13	36	39	0.6372	0.0058	637.199	5.838	3000	0.0196	0.0003	0.0196	0.6538
PISO 12	36	36	0.5784	0.0049	578.365	4.936	3000	0.0195	0.0000	0.0195	0.6508
PISO 11	36	33	0.5198	0.0048	519.795	4.799	3000	0.0195	0.0000	0.0195	0.6502
PISO 10	36	30	0.4613	0.0049	461.279	4.856	3000	0.0192	0.0002	0.0192	0.6395
PISO 9	36	27	0.4037	0.0043	403.725	4.311	3000	0.0188	0.0002	0.0188	0.6258
PISO 8	36	24	0.3474	0.0048	347.402	4.82	3000	0.0183	0.0003	0.0183	0.6087
PISO 7	36	21	0.2926	0.0038	292.63	3.789	3000	0.0177	0.0001	0.0177	0.5886
PISO 6	36	18	0.2397	0.0041	239.654	4.14	3000	0.0169	0.0004	0.0169	0.5627
PISO 5	36	15	0.1890	0.0028	189.025	2.844	3000	0.0160	0.0000	0.0160	0.5317
PISO 4	36	12	0.1412	0.0028	141.17	2.753	3000	0.0147	0.0003	0.0147	0.4910
PISO 3	36	9	0.0970	0.0018	96.992	1.772	3000	0.0132	0.0001	0.0132	0.4400
PISO 2	36	6	0.0574	0.0014	57.393	1.353	3000	0.0114	0.0003	0.0114	0.3790
PISO 1	36	3	0.0233	0.0006	23.29	0.587	3000	0.0078	0.0002	0.0078	0.2589
BASE	36	0	0	0	0	0	3000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 18 Verificación deriva Ex punto 36

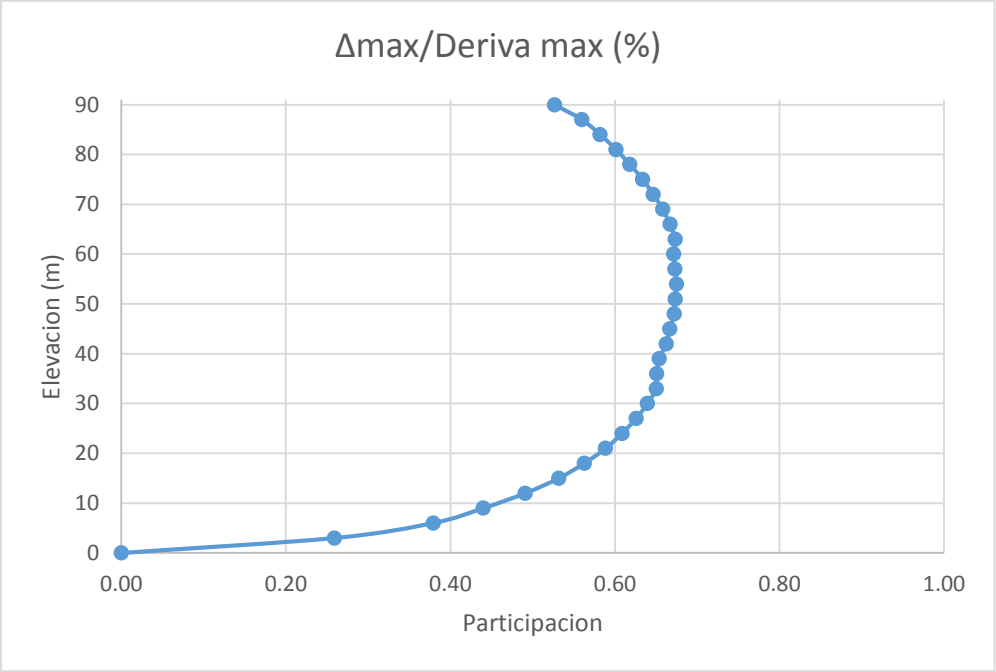


Ilustración 49 Verificación deriva Ex punto 36

Para Ey

EJE Y1											
PISO	UBICACIÓN	ELEVACION	X (m)	Y (m)	X (mm)	Y (mm)	h entrepiso (m)	Δx	Δy	Δmax	Δmax/Deriva max (%)
PISO 30	1	90	0.0407	0.9976	40.689	997.565	3000	0.0011	0.0089	0.0090	0.2986
PISO 29	1	87	0.0373	0.9709	37.31	970.905	3000	0.0011	0.0101	0.0101	0.3382
PISO 28	1	84	0.0339	0.9407	33.944	940.655	3000	0.0012	0.0102	0.0103	0.3425
PISO 27	1	81	0.0304	0.9100	30.438	910.029	3000	0.0011	0.0105	0.0106	0.3525
PISO 26	1	78	0.0272	0.8785	27.153	878.474	3000	0.0011	0.0109	0.0110	0.3655
PISO 25	1	75	0.0238	0.8458	23.769	845.756	3000	0.0010	0.0112	0.0112	0.3746
PISO 24	1	72	0.0208	0.8122	20.765	812.178	3000	0.0010	0.0115	0.0116	0.3851
PISO 23	1	69	0.0177	0.7777	17.715	777.657	3000	0.0008	0.0117	0.0118	0.3922
PISO 22	1	66	0.0152	0.7424	15.209	742.448	3000	0.0008	0.0120	0.0120	0.3999
PISO 21	1	63	0.0128	0.7065	12.801	706.535	3000	0.0006	0.0121	0.0121	0.4049
PISO 20	1	60	0.0111	0.6701	11.117	670.131	3000	0.0004	0.0123	0.0123	0.4092
PISO 19	1	57	0.0098	0.6333	9.823	633.323	3000	0.0002	0.0124	0.0124	0.4126
PISO 18	1	54	0.0093	0.5962	9.26	596.196	3000	0.0000	0.0124	0.0124	0.4149
PISO 17	1	51	0.0093	0.5589	9.275	558.858	3000	0.0001	0.0125	0.0125	0.4165
PISO 16	1	48	0.0096	0.5214	9.55	521.37	3000	0.0002	0.0125	0.0125	0.4165
PISO 15	1	45	0.0103	0.4839	10.285	483.894	3000	0.0001	0.0125	0.0125	0.4163
PISO 14	1	42	0.0107	0.4464	10.696	446.429	3000	0.0003	0.0124	0.0124	0.4137
PISO 13	1	39	0.0115	0.4092	11.455	409.208	3000	0.0000	0.0124	0.0124	0.4117
PISO 12	1	36	0.0116	0.3722	11.578	372.151	3000	0.0002	0.0123	0.0123	0.4092
PISO 11	1	33	0.0121	0.3353	12.071	335.33	3000	0.0001	0.0121	0.0121	0.4034
PISO 10	1	30	0.0117	0.2990	11.692	299.025	3000	0.0000	0.0119	0.0119	0.3959
PISO 9	1	27	0.0116	0.2634	11.635	263.39	3000	0.0003	0.0117	0.0117	0.3899
PISO 8	1	24	0.0106	0.2283	10.636	228.312	3000	0.0002	0.0114	0.0114	0.3791
PISO 7	1	21	0.0100	0.1942	10.02	194.199	3000	0.0005	0.0111	0.0111	0.3701
PISO 6	1	18	0.0085	0.1609	8.465	160.927	3000	0.0004	0.0106	0.0106	0.3546
PISO 5	1	15	0.0073	0.1290	7.319	129.032	3000	0.0006	0.0102	0.0102	0.3412
PISO 4	1	12	0.0054	0.0984	5.371	98.386	3000	0.0005	0.0095	0.0095	0.3181
PISO 3	1	9	0.0039	0.0698	3.861	69.801	3000	0.0006	0.0089	0.0089	0.2980
PISO 2	1	6	0.0019	0.0430	1.943	43.047	3000	0.0004	0.0091	0.0091	0.3034
PISO 1	1	3	0.0007	0.0158	0.65	15.771	3000	0.0002	0.0053	0.0053	0.1754
BASE	1	0	0.0000	0.0000	0	0	3000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 19 Verificación deriva Ey punto 1

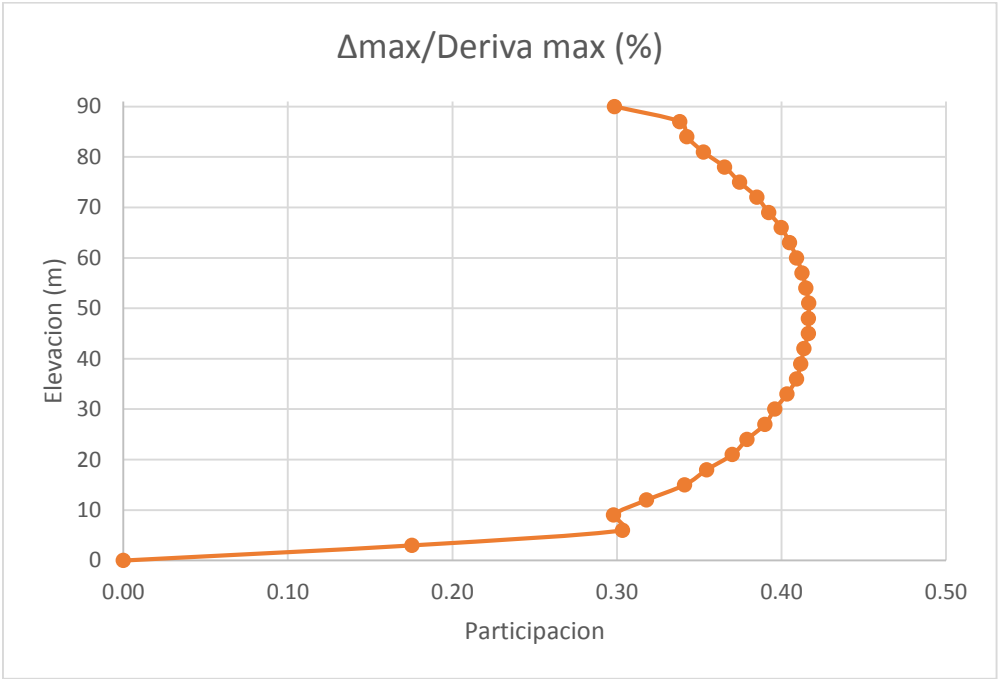


Ilustración 50 Verificación deriva Ey punto 1

EJE Y23											
PISO	UBICACIÓN	ELEVACION	X (m)	Y (m)	X (mm)	Y (mm)	h entrepiso (m)	Δx	Δy	Δmax	Δmax/Deriva max (%)
PISO 30	23	90	0.0345	0.9976	34.473	997.565	3000	0.001	0.009	0.0090	0.2985
PISO 29	23	87	0.0312	0.9709	31.167	970.905	3000	0.001	0.010	0.0101	0.3380
PISO 28	23	84	0.0279	0.9407	27.937	940.655	3000	0.001	0.010	0.0103	0.3423
PISO 27	23	81	0.0246	0.9100	24.567	910.029	3000	0.001	0.011	0.0106	0.3522
PISO 26	23	78	0.0215	0.8785	21.515	878.474	3000	0.001	0.011	0.0110	0.3652
PISO 25	23	75	0.0184	0.8458	18.412	845.756	3000	0.001	0.011	0.0112	0.3742
PISO 24	23	72	0.0158	0.8122	15.826	812.178	3000	0.001	0.012	0.0115	0.3845
PISO 23	23	69	0.0134	0.7777	13.377	777.657	3000	0.001	0.012	0.0118	0.3917
PISO 22	23	66	0.0117	0.7424	11.672	742.448	3000	0.000	0.012	0.0120	0.3992
PISO 21	23	63	0.0105	0.7065	10.491	706.535	3000	0.000	0.012	0.0121	0.4045
PISO 20	23	60	0.0101	0.6701	10.104	670.131	3000	0.000	0.012	0.0123	0.4090
PISO 19	23	57	0.0104	0.6333	10.413	633.323	3000	0.000	0.012	0.0124	0.4126
PISO 18	23	54	0.0109	0.5962	10.918	596.196	3000	0.000	0.012	0.0125	0.4150
PISO 17	23	51	0.0119	0.5589	11.947	558.858	3000	0.000	0.012	0.0125	0.4166
PISO 16	23	48	0.0126	0.5214	12.604	521.37	3000	0.000	0.012	0.0125	0.4166
PISO 15	23	45	0.0137	0.4839	13.658	483.894	3000	0.000	0.012	0.0125	0.4163
PISO 14	23	42	0.0140	0.4464	14.01	446.429	3000	0.000	0.012	0.0124	0.4136
PISO 13	23	39	0.0147	0.4092	14.723	409.208	3000	0.000	0.012	0.0124	0.4117
PISO 12	23	36	0.0146	0.3722	14.619	372.151	3000	0.000	0.012	0.0123	0.4092
PISO 11	23	33	0.0155	0.3353	15.46	335.33	3000	0.000	0.012	0.0121	0.4035
PISO 10	23	30	0.0148	0.2990	14.753	299.025	3000	0.000	0.012	0.0119	0.3960
PISO 9	23	27	0.0144	0.2634	14.44	263.39	3000	0.000	0.012	0.0117	0.3901
PISO 8	23	24	0.0130	0.2283	13.042	228.312	3000	0.000	0.011	0.0114	0.3792
PISO 7	23	21	0.0121	0.1942	12.123	194.199	3000	0.001	0.011	0.0111	0.3703
PISO 6	23	18	0.0102	0.1609	10.154	160.927	3000	0.000	0.011	0.0106	0.3548
PISO 5	23	15	0.0087	0.1290	8.681	129.032	3000	0.001	0.010	0.0102	0.3415
PISO 4	23	12	0.0063	0.0984	6.331	98.386	3000	0.001	0.010	0.0095	0.3183
PISO 3	23	9	0.0045	0.0698	4.504	69.801	3000	0.001	0.009	0.0089	0.2983
PISO 2	23	6	0.0022	0.0430	2.24	43.047	3000	0.001	0.009	0.0091	0.3035
PISO 1	23	3	0.0007	0.0158	0.713	15.771	3000	0.000	0.005	0.0053	0.1754
BASE	23	0	0.0000	0.0000	0	0	3000	0.000	0.000	0.0000	0.0000

Tabla 20 Verificación deriva Ey punto 23

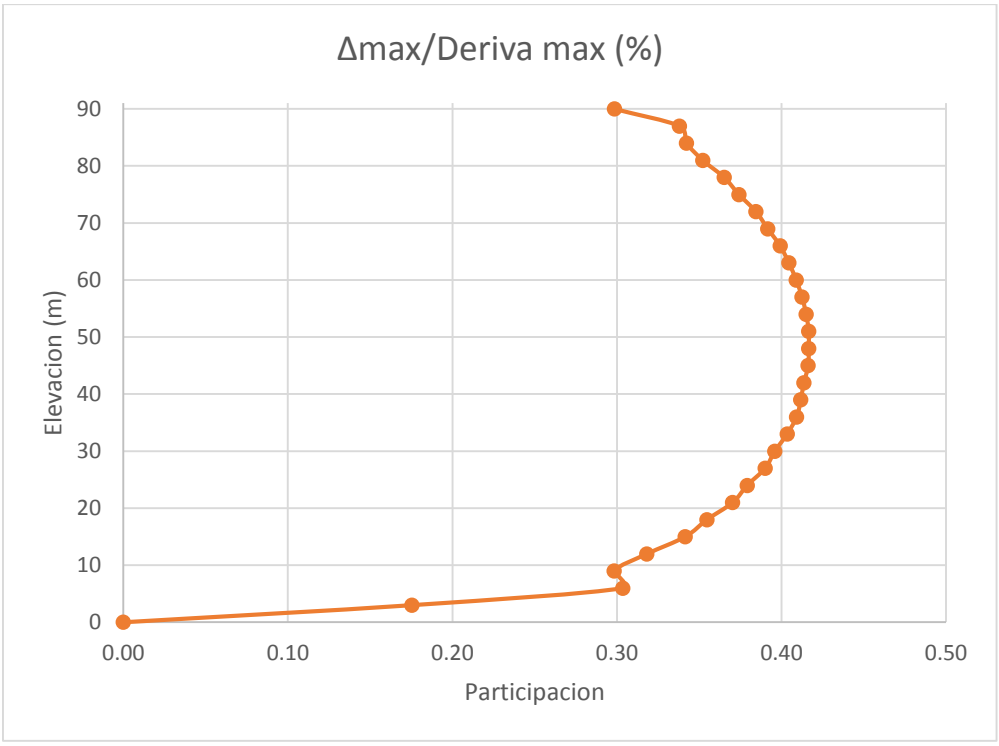


Ilustración 51 Verificación deriva Ey punto 23

EJE Y30											
PISO	UBICACIÓN	ELEVACION	X (m)	Y (m)	X (mm)	Y (mm)	h entrepiso (m)	Δx	Δy	Δmax	Δmax/Deriva max (%)
PISO 30	30	90	0.0407	1.0022	40.689	1002.208	3000	0.00113	0.0089	0.0090	0.2985
PISO 29	30	87	0.0373	0.9756	37.31	975.552	3000	0.00112	0.0101	0.0102	0.3385
PISO 28	30	84	0.0339	0.9453	33.944	945.272	3000	0.00117	0.0102	0.0103	0.3425
PISO 27	30	81	0.0304	0.9146	30.438	914.643	3000	0.00110	0.0105	0.0106	0.3531
PISO 26	30	78	0.0272	0.8830	27.153	883.035	3000	0.00113	0.0109	0.0110	0.3656
PISO 25	30	75	0.0238	0.8503	23.769	850.301	3000	0.00100	0.0112	0.0113	0.3754
PISO 24	30	72	0.0208	0.8166	20.765	816.649	3000	0.00102	0.0115	0.0116	0.3854
PISO 23	30	69	0.0177	0.7821	17.715	782.094	3000	0.00084	0.0118	0.0118	0.3933
PISO 22	30	66	0.0152	0.7468	15.209	746.788	3000	0.00080	0.0120	0.0120	0.4005
PISO 21	30	63	0.0128	0.7108	12.801	710.826	3000	0.00056	0.0122	0.0122	0.4063
PISO 20	30	60	0.0111	0.6743	11.117	674.3	3000	0.00043	0.0123	0.0123	0.4112
PISO 19	30	57	0.0098	0.6373	9.823	637.319	3000	0.00019	0.0124	0.0124	0.4150
PISO 18	30	54	0.0093	0.6000	9.26	599.974	3000	0.00001	0.0125	0.0125	0.4170
PISO 17	30	51	0.0093	0.5624	9.275	562.442	3000	0.00009	0.0126	0.0126	0.4192
PISO 16	30	48	0.0096	0.5247	9.55	524.716	3000	0.00025	0.0126	0.0126	0.4189
PISO 15	30	45	0.0103	0.4870	10.285	487.021	3000	0.00014	0.0126	0.0126	0.4192
PISO 14	30	42	0.0107	0.4493	10.696	449.293	3000	0.00025	0.0125	0.0125	0.4164
PISO 13	30	39	0.0115	0.4118	11.455	411.827	3000	0.00004	0.0124	0.0124	0.4147
PISO 12	30	36	0.0116	0.3745	11.578	374.504	3000	0.00016	0.0122	0.0122	0.4074
PISO 11	30	33	0.0121	0.3378	12.071	337.838	3000	0.00013	0.0122	0.0122	0.4064
PISO 10	30	30	0.0117	0.3013	11.692	301.26	3000	0.00002	0.0120	0.0120	0.3986
PISO 9	30	27	0.0116	0.2654	11.635	265.39	3000	0.00033	0.0118	0.0118	0.3932
PISO 8	30	24	0.0106	0.2300	10.636	230.017	3000	0.00021	0.0115	0.0115	0.3818
PISO 7	30	21	0.0100	0.1957	10.02	195.665	3000	0.00052	0.0112	0.0112	0.3733
PISO 6	30	18	0.0085	0.1621	8.465	162.102	3000	0.00038	0.0107	0.0107	0.3573
PISO 5	30	15	0.0073	0.1300	7.319	129.969	3000	0.00065	0.0103	0.0103	0.3442
PISO 4	30	12	0.0054	0.0991	5.371	99.051	3000	0.00050	0.0096	0.0096	0.3205
PISO 3	30	9	0.0039	0.0702	3.861	70.247	3000	0.00064	0.0090	0.0090	0.3005
PISO 2	30	6	0.0019	0.0433	1.943	43.268	3000	0.00043	0.0091	0.0092	0.3051
PISO 1	30	3	0.0007	0.0158	0.65	15.836	3000	0.00022	0.0053	0.0053	0.1761
BASE	30	0	0.0000	0.0000	0	0	3000	0.00000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 21 Verificación deriva Ey punto 30

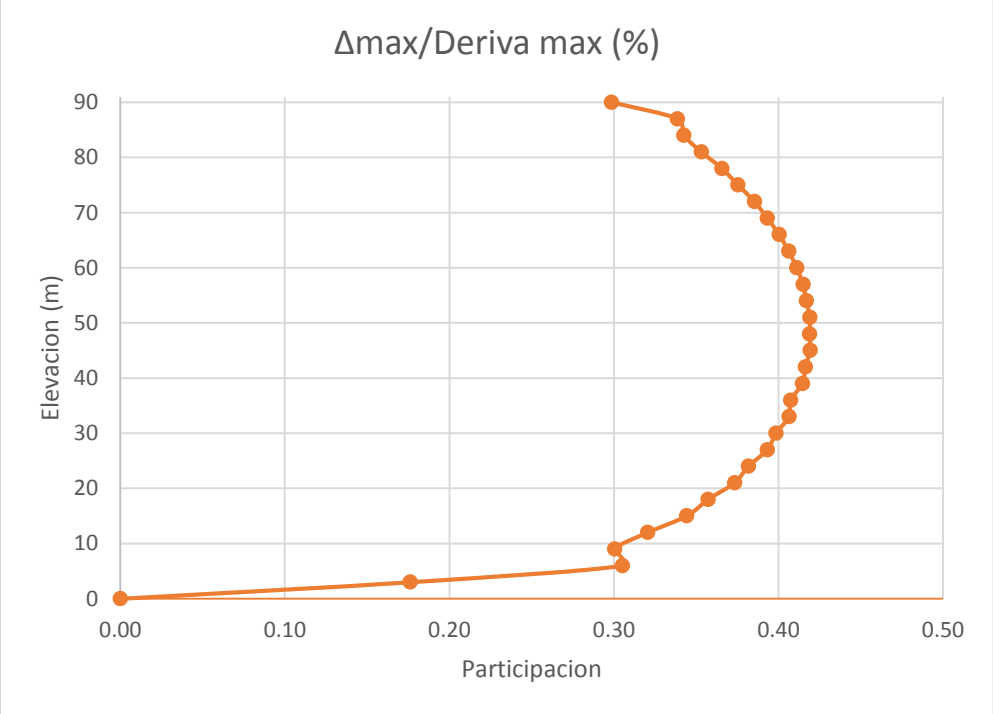


Ilustración 52 Verificación deriva Ey punto 30

EJE Y36											
PISO	UBICACIÓN	ELEVACION	X (m)	Y (m)	X (mm)	Y (mm)	h entrepiso (m)	Δx	Δy	Δmax	Δmax/Deriva max (%)
PISO 30	36	90	0.0345	1.0022	34.473	1002.208	3000	0.00110	0.0089	0.0090	0.2984
PISO 29	36	87	0.0312	0.9756	31.167	975.552	3000	0.00108	0.0101	0.0102	0.3384
PISO 28	36	84	0.0279	0.9453	27.937	945.272	3000	0.00112	0.0102	0.0103	0.3424
PISO 27	36	81	0.0246	0.9146	24.567	914.643	3000	0.00102	0.0105	0.0106	0.3528
PISO 26	36	78	0.0215	0.8830	21.515	883.035	3000	0.00103	0.0109	0.0110	0.3653
PISO 25	36	75	0.0184	0.8503	18.412	850.301	3000	0.00086	0.0112	0.0113	0.3750
PISO 24	36	72	0.0158	0.8166	15.826	816.649	3000	0.00082	0.0115	0.0115	0.3849
PISO 23	36	69	0.0134	0.7821	13.377	782.094	3000	0.00057	0.0118	0.0118	0.3927
PISO 22	36	66	0.0117	0.7468	11.672	746.788	3000	0.00039	0.0120	0.0120	0.3998
PISO 21	36	63	0.0105	0.7108	10.491	710.826	3000	0.00013	0.0122	0.0122	0.4059
PISO 20	36	60	0.0101	0.6743	10.104	674.3	3000	0.00010	0.0123	0.0123	0.4109
PISO 19	36	57	0.0104	0.6373	10.413	637.319	3000	0.00017	0.0124	0.0124	0.4150
PISO 18	36	54	0.0109	0.6000	10.918	599.974	3000	0.00034	0.0125	0.0125	0.4172
PISO 17	36	51	0.0119	0.5624	11.947	562.442	3000	0.00022	0.0126	0.0126	0.4192
PISO 16	36	48	0.0126	0.5247	12.604	524.716	3000	0.00035	0.0126	0.0126	0.4190
PISO 15	36	45	0.0137	0.4870	13.658	487.021	3000	0.00012	0.0126	0.0126	0.4192
PISO 14	36	42	0.0140	0.4493	14.01	449.293	3000	0.00024	0.0125	0.0125	0.4164
PISO 13	36	39	0.0147	0.4118	14.723	411.827	3000	0.00003	0.0124	0.0124	0.4147
PISO 12	36	36	0.0146	0.3745	14.619	374.504	3000	0.00028	0.0122	0.0122	0.4075
PISO 11	36	33	0.0155	0.3378	15.46	337.838	3000	0.00024	0.0122	0.0122	0.4065
PISO 10	36	30	0.0148	0.3013	14.753	301.26	3000	0.00010	0.0120	0.0120	0.3986
PISO 9	36	27	0.0144	0.2654	14.44	265.39	3000	0.00047	0.0118	0.0118	0.3933
PISO 8	36	24	0.0130	0.2300	13.042	230.017	3000	0.00031	0.0115	0.0115	0.3818
PISO 7	36	21	0.0121	0.1957	12.123	195.665	3000	0.00066	0.0112	0.0112	0.3736
PISO 6	36	18	0.0102	0.1621	10.154	162.102	3000	0.00049	0.0107	0.0107	0.3574
PISO 5	36	15	0.0087	0.1300	8.681	129.969	3000	0.00078	0.0103	0.0103	0.3445
PISO 4	36	12	0.0063	0.0991	6.331	99.051	3000	0.00061	0.0096	0.0096	0.3207
PISO 3	36	9	0.0045	0.0702	4.504	70.247	3000	0.00075	0.0090	0.0090	0.3008
PISO 2	36	6	0.0022	0.0433	2.24	43.268	3000	0.00051	0.0091	0.0092	0.3053
PISO 1	36	3	0.0007	0.0158	0.713	15.836	3000	0.00024	0.0053	0.0053	0.1761
BASE	36	0	0.0000	0.0000	0	0	3000	0.00000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 22 Verificación deriva Ey punto 36

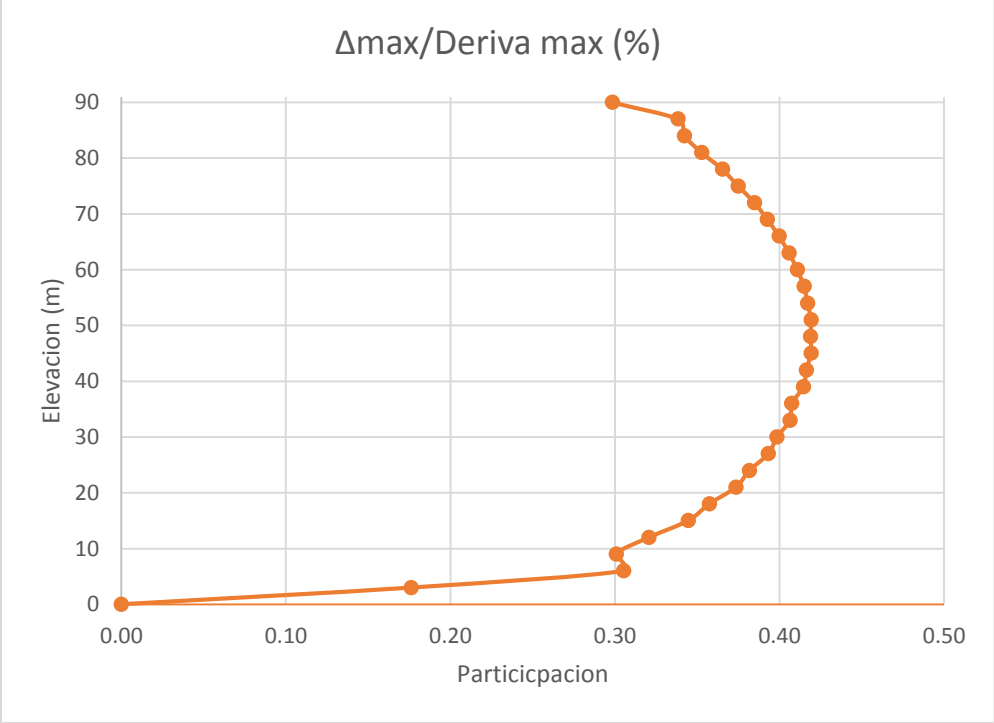


Ilustración 53 Verificación deriva Ey punto 36

De acuerdo con el punto central del diafragma de piso se obtiene:

Para Ex

DERIVA DIAFRAGMA Ex											
PISO	UBICACIÓN	ELEVACION	X (m)	Y (m)	X (mm)	Y (mm)	h entrepiso (mm)	Δx	Δy	Δmax	Δmax/Deriva max (%)
PISO 30	Ex	90	1.5996	0.0401	1599.636	4.01E+01	3000	0.0158	0.00108	0.0158	0.5262
PISO 29	Ex	87	1.5524	0.0368	1552.385	36.819	3000	0.0167	0.00104	0.0167	0.5575
PISO 28	Ex	84	1.5023	0.0337	1502.31	33.697	3000	0.0174	0.00082	0.0174	0.5792
PISO 27	Ex	81	1.4502	0.0312	1450.244	31.247	3000	0.0179	0.00130	0.0179	0.5976
PISO 26	Ex	78	1.3966	0.0273	1396.602	27.349	3000	0.0184	0.00075	0.0184	0.6140
PISO 25	Ex	75	1.3414	0.0251	1341.392	25.09	3000	0.0188	0.00129	0.0189	0.6288
PISO 24	Ex	72	1.2849	0.0212	1284.935	21.207	3000	0.0192	0.00064	0.0192	0.6413
PISO 23	Ex	69	1.2272	0.0193	1227.248	19.286	3000	0.0195	0.00125	0.0196	0.6520
PISO 22	Ex	66	1.1687	0.0155	1168.685	15.537	3000	0.0198	0.00050	0.0198	0.6605
PISO 21	Ex	63	1.1093	0.0140	1109.256	14.044	3000	0.0200	0.00116	0.0200	0.6665
PISO 20	Ex	60	1.0494	0.0106	1049.375	10.564	3000	0.0200	0.00034	0.0200	0.6672
PISO 19	Ex	57	0.9893	0.0095	989.332	9.545	3000	0.0200	0.00098	0.0201	0.6689
PISO 18	Ex	54	0.9292	0.0066	929.202	6.617	3000	0.0201	0.00015	0.0201	0.6705
PISO 17	Ex	51	0.8689	0.0062	868.855	6.162	3000	0.0201	0.00049	0.0201	0.6689
PISO 16	Ex	48	0.8087	0.0047	808.674	4.689	3000	0.0200	0.00001	0.0200	0.6678
PISO 15	Ex	45	0.7486	0.0047	748.57	4.712	3000	0.0199	0.00020	0.0199	0.6630
PISO 14	Ex	42	0.6889	0.0053	688.904	5.314	3000	0.0198	0.00005	0.0198	0.6589
PISO 13	Ex	39	0.6296	0.0052	629.607	5.171	3000	0.0195	0.00049	0.0195	0.6515
PISO 12	Ex	36	0.5710	0.0066	570.991	6.649	3000	0.0194	0.00023	0.0194	0.6466
PISO 11	Ex	33	0.5128	0.0059	512.804	5.947	3000	0.0193	0.00047	0.0193	0.6422
PISO 10	Ex	30	0.4550	0.0074	455.024	7.353	3000	0.0189	0.00043	0.0189	0.6314
PISO 9	Ex	27	0.3982	0.0061	398.208	6.076	3000	0.0185	0.00033	0.0185	0.6178
PISO 8	Ex	24	0.3426	0.0071	342.619	7.079	3000	0.0180	0.00059	0.0180	0.6009
PISO 7	Ex	21	0.2886	0.0053	288.565	5.323	3000	0.0174	0.00015	0.0174	0.5807
PISO 6	Ex	18	0.2363	0.0058	236.303	5.778	3000	0.0166	0.00068	0.0167	0.5553
PISO 5	Ex	15	0.1864	0.0037	186.367	3.745	3000	0.0157	0.00005	0.0157	0.5242
PISO 4	Ex	12	0.1392	0.0036	139.186	3.601	3000	0.0145	0.00060	0.0145	0.4843
PISO 3	Ex	9	0.0956	0.0018	95.639	1.792	3000	0.0130	0.00017	0.0130	0.4336
PISO 2	Ex	6	0.0566	0.0013	56.618	1.28	3000	0.0112	0.00026	0.0112	0.3730
PISO 1	Ex	3	0.0231	0.0005	23.056	0.514	3000	0.0077	0.00017	0.0077	0.2562
BASE	Ex	0	0.0000	0.0000	0	0	3000	0.0000	0.00000	0.0000	0.0000

Tabla 23 Verificación de deriva Ex

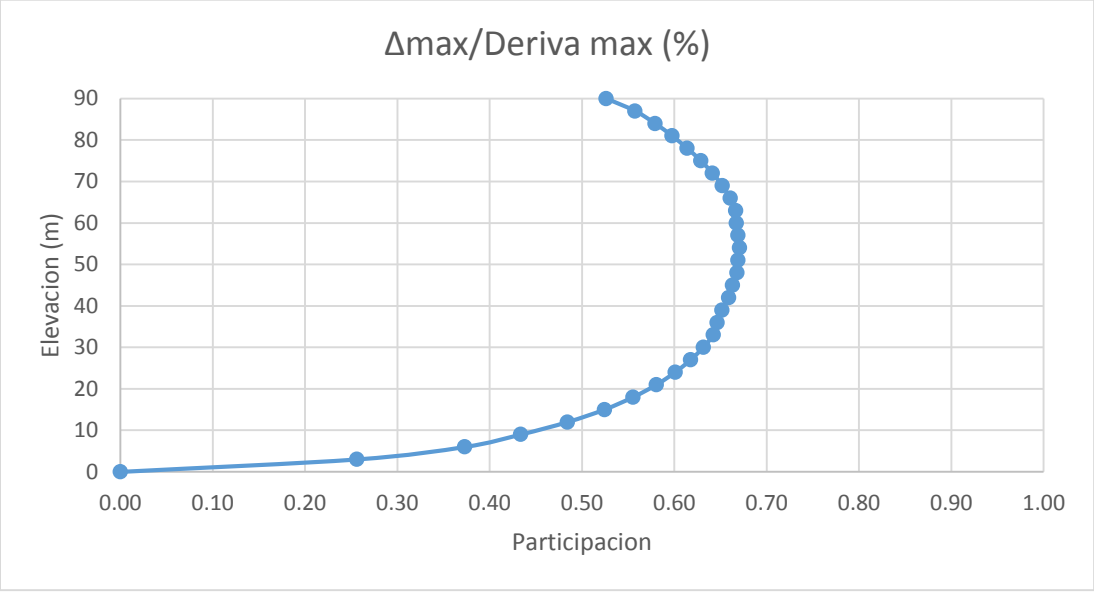


Ilustración 54 Verificación de deriva Ex

Para Ey

DERIVA DIAFRAGMA Ey											
PISO	UBICACIÓN	ELEVACION	X (m)	Y (m)	X (mm)	Y (mm)	h entrepiso (m)	Δx	Δy	Δmax	Δmax/Deriva max (%)
PISO 30	Ey	90	0.0375	0.9999	37.482	999.885	3000	0.0011	0.0089	0.0090	0.2985
PISO 29	Ey	87	0.0341	0.9732	34.133	973.227	3000	0.0011	0.0101	0.0101	0.3383
PISO 28	Ey	84	0.0308	0.9430	30.818	942.962	3000	0.0012	0.0102	0.0103	0.3425
PISO 27	Ey	81	0.0274	0.9123	27.358	912.335	3000	0.0011	0.0105	0.0106	0.3527
PISO 26	Ey	78	0.0242	0.8808	24.163	880.753	3000	0.0011	0.0109	0.0110	0.3655
PISO 25	Ey	75	0.0209	0.8480	20.877	848.027	3000	0.0009	0.0112	0.0112	0.3748
PISO 24	Ey	72	0.0180	0.8144	18.031	814.412	3000	0.0009	0.0115	0.0116	0.3850
PISO 23	Ey	69	0.0152	0.7799	15.197	779.874	3000	0.0007	0.0118	0.0118	0.3925
PISO 22	Ey	66	0.0130	0.7446	12.997	744.616	3000	0.0006	0.0120	0.0120	0.3999
PISO 21	Ey	63	0.0111	0.7087	11.067	708.679	3000	0.0004	0.0122	0.0122	0.4054
PISO 20	Ey	60	0.0100	0.6722	9.955	672.214	3000	0.0002	0.0123	0.0123	0.4100
PISO 19	Ey	57	0.0095	0.6353	9.47	635.319	3000	0.0000	0.0124	0.0124	0.4137
PISO 18	Ey	54	0.0095	0.5981	9.533	598.083	3000	0.0002	0.0125	0.0125	0.4160
PISO 17	Ey	51	0.0102	0.5606	10.188	560.649	3000	0.0002	0.0125	0.0125	0.4179
PISO 16	Ey	48	0.0108	0.5230	10.753	523.041	3000	0.0003	0.0125	0.0125	0.4178
PISO 15	Ey	45	0.0117	0.4855	11.739	485.456	3000	0.0001	0.0125	0.0125	0.4178
PISO 14	Ey	42	0.0122	0.4479	12.171	447.86	3000	0.0003	0.0124	0.0125	0.4150
PISO 13	Ey	39	0.0130	0.4105	12.953	410.516	3000	0.0000	0.0124	0.0124	0.4132
PISO 12	Ey	36	0.0130	0.3733	12.987	373.326	3000	0.0002	0.0122	0.0122	0.4083
PISO 11	Ey	33	0.0137	0.3366	13.67	336.583	3000	0.0002	0.0121	0.0121	0.4049
PISO 10	Ey	30	0.0131	0.3001	13.141	300.142	3000	0.0001	0.0119	0.0119	0.3973
PISO 9	Ey	27	0.0130	0.2644	12.973	264.389	3000	0.0004	0.0117	0.0117	0.3916
PISO 8	Ey	24	0.0118	0.2292	11.784	229.164	3000	0.0003	0.0114	0.0114	0.3805
PISO 7	Ey	21	0.0110	0.1949	11.028	194.931	3000	0.0006	0.0111	0.0112	0.3718
PISO 6	Ey	18	0.0093	0.1615	9.273	161.514	3000	0.0004	0.0107	0.0107	0.3560
PISO 5	Ey	15	0.0080	0.1295	7.972	129.5	3000	0.0007	0.0103	0.0103	0.3429
PISO 4	Ey	12	0.0058	0.0987	5.828	98.718	3000	0.0006	0.0096	0.0096	0.3194
PISO 3	Ey	9	0.0042	0.0700	4.166	70.024	3000	0.0007	0.0090	0.0090	0.2994
PISO 2	Ey	6	0.0021	0.0432	2.078	43.157	3000	0.0005	0.0091	0.0091	0.3043
PISO 1	Ey	3	0.0007	0.0158	0.673	15.803	3000	0.0002	0.0053	0.0053	0.1757
BASE	Ey	0	0.0000	0.0000	0	0	3000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 24 Verificación de deriva Ey

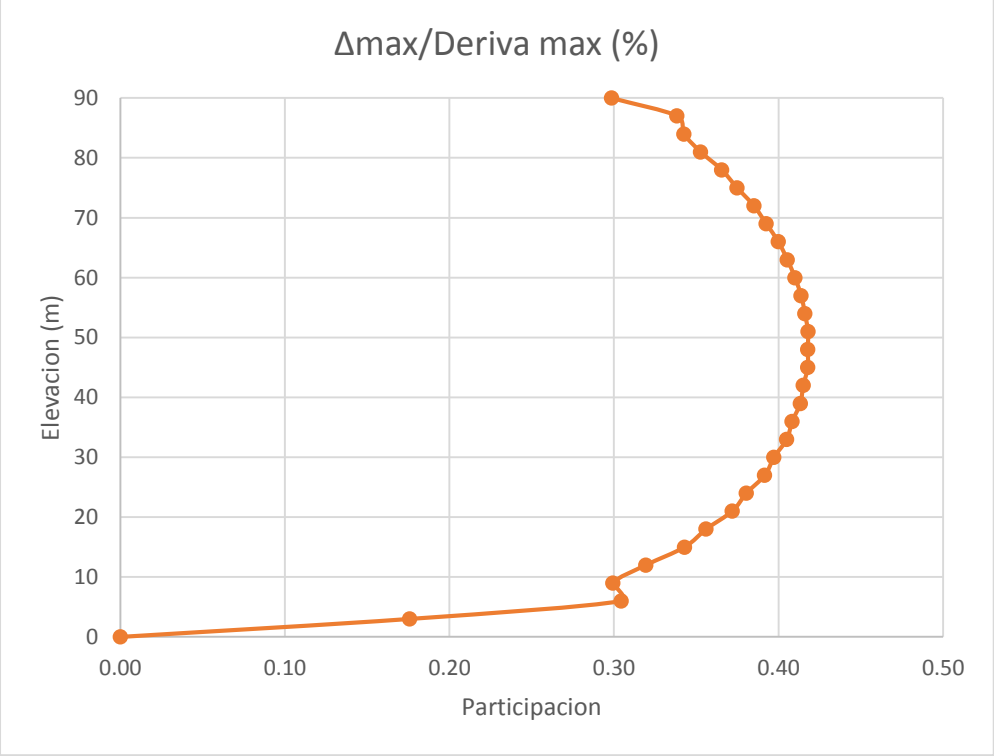


Ilustración 55 Verificación de deriva Ey

Se puede concluir de las gráficas anteriores que la deriva máxima en Fsx se presenta en el piso 18 con un valor de 0.7050% y la deriva máxima en Fsy se presenta en el piso 17 por un valor de 0.4358%.

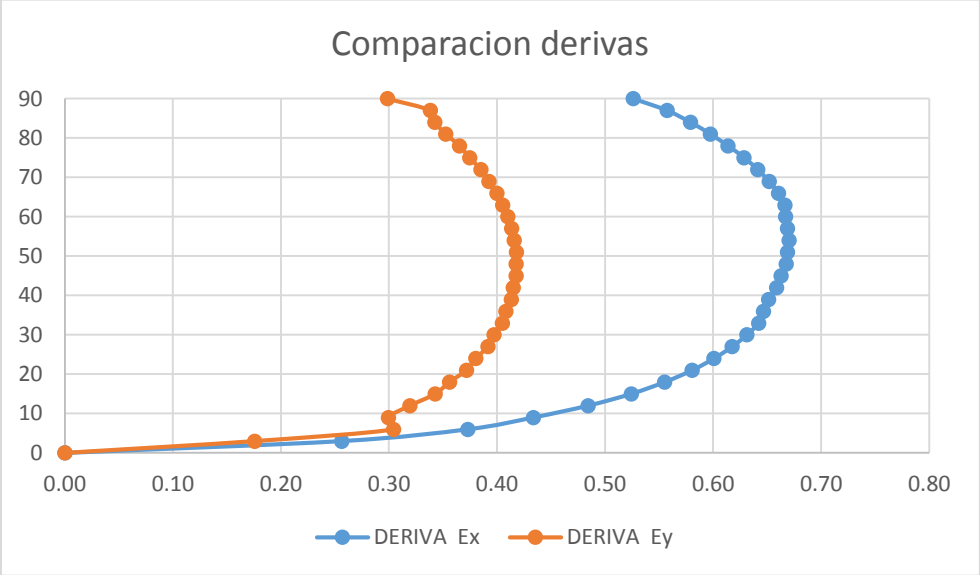


Ilustración 56 Comparativa deriva Fx y Fy

PISO	ELEVACION	DERIVA Ex	%	DERIVA Ey	%
PISO 30	90	0.01579	0.53	0.0090	0.30
PISO 29	87	0.01672	0.56	0.0101	0.34
PISO 28	84	0.01737	0.58	0.0103	0.34
PISO 27	81	0.01793	0.60	0.0106	0.35
PISO 26	78	0.01842	0.61	0.0110	0.37
PISO 25	75	0.01886	0.63	0.0112	0.37
PISO 24	72	0.01924	0.64	0.0116	0.39
PISO 23	69	0.01956	0.65	0.0118	0.39
PISO 22	66	0.01982	0.66	0.0120	0.40
PISO 21	63	0.01999	0.67	0.0122	0.41
PISO 20	60	0.02002	0.67	0.0123	0.41
PISO 19	57	0.02007	0.67	0.0124	0.41
PISO 18	54	0.02012	0.67	0.0125	0.42
PISO 17	51	0.02007	0.67	0.0125	0.42
PISO 16	48	0.02003	0.67	0.0125	0.42
PISO 15	45	0.01989	0.66	0.0125	0.42
PISO 14	42	0.01977	0.66	0.0125	0.42
PISO 13	39	0.01954	0.65	0.0124	0.41
PISO 12	36	0.01940	0.65	0.0122	0.41
PISO 11	33	0.01927	0.64	0.0121	0.40
PISO 10	30	0.01894	0.63	0.0119	0.40
PISO 9	27	0.01853	0.62	0.0117	0.39
PISO 8	24	0.01803	0.60	0.0114	0.38
PISO 7	21	0.01742	0.58	0.0112	0.37
PISO 6	18	0.01666	0.56	0.0107	0.36
PISO 5	15	0.01573	0.52	0.0103	0.34
PISO 4	12	0.01453	0.48	0.0096	0.32
PISO 3	9	0.01301	0.43	0.0090	0.30
PISO 2	6	0.01119	0.37	0.0091	0.30
PISO 1	3	0.00769	0.26	0.0053	0.18
BASE	0	0.00000	0.00	0.0000	0.00

Tabla 25 Derivas Fx y Fy

4.16 DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES CAUSADOS POR EFECTOS P DELTA

Según el Titulo A.6.2.3 Corresponden a los efectos adicionales, en las dos direcciones principales en planta, causados por los efectos de segundo orden (P - Delta) de la estructura. Los efectos P-Delta producen un aumento en las deflexiones horizontales y en las fuerzas internas de la estructura. Estos efectos deben tenerse en cuenta cuando el índice de estabilidad Q_i es mayor de de 0.1 y menor de 0.30. el índice de estabilidad, para el piso **i** y en la dirección bajo estudio según la ecuación:

$$Q_i = \frac{P_i \Delta_{cm}}{V_i h_{pi}}$$

Donde:

P_i: Suma de la carga vertical total, incluyendo muerta y viva que existe en el piso **i, y** todos los pisos localizados por encima.

Δ_{cm}: Deriva de piso **i,** en la dirección bajo estudio.

V_i: Fuerza cortante de piso **i,** en la dirección bajo estudio.

h_{pi}: altura de piso **i.**

Para eje X:

PISO	UBICACIÓN	ELEVACION	Δmax	PΔ
PISO 30	Ex	90	0.01579	0.0442
PISO 29	Ex	87	0.01672	0.0468
PISO 28	Ex	84	0.01737	0.0487
PISO 27	Ex	81	0.01793	0.0502
PISO 26	Ex	78	0.01842	0.0516
PISO 25	Ex	75	0.01886	0.0528
PISO 24	Ex	72	0.01924	0.0539
PISO 23	Ex	69	0.01956	0.0548
PISO 22	Ex	66	0.01982	0.0555
PISO 21	Ex	63	0.01999	0.0560
PISO 20	Ex	60	0.02002	0.0561
PISO 19	Ex	57	0.02007	0.0562
PISO 18	Ex	54	0.02012	0.0563
PISO 17	Ex	51	0.02007	0.0562
PISO 16	Ex	48	0.02003	0.0561
PISO 15	Ex	45	0.01989	0.0557
PISO 14	Ex	42	0.01977	0.0554
PISO 13	Ex	39	0.01954	0.0547
PISO 12	Ex	36	0.01940	0.0543
PISO 11	Ex	33	0.01927	0.0540
PISO 10	Ex	30	0.01894	0.0531
PISO 9	Ex	27	0.01853	0.0519
PISO 8	Ex	24	0.01803	0.0505
PISO 7	Ex	21	0.01742	0.0488
PISO 6	Ex	18	0.01666	0.0467
PISO 5	Ex	15	0.01573	0.0440
PISO 4	Ex	12	0.01453	0.0407
PISO 3	Ex	9	0.01301	0.0364
PISO 2	Ex	6	0.01119	0.0313
PISO 1	Ex	3	0.00769	0.0215
BASE	Ex	0	0.00000	0.0000

Tabla 26 P Delta eje X

Para eje Y:

PISO	UBICACIÓN	ELEVACION	Δmax	PΔ
PISO 30	Ey	90	0.00896	0.0251
PISO 29	Ey	87	0.01015	0.0284
PISO 28	Ey	84	0.01027	0.0288
PISO 27	Ey	81	0.01058	0.0296
PISO 26	Ey	78	0.01096	0.0307
PISO 25	Ey	75	0.01125	0.0315
PISO 24	Ey	72	0.01155	0.0324
PISO 23	Ey	69	0.01178	0.0330
PISO 22	Ey	66	0.01200	0.0336
PISO 21	Ey	63	0.01216	0.0341
PISO 20	Ey	60	0.01230	0.0344
PISO 19	Ey	57	0.01241	0.0348
PISO 18	Ey	54	0.01248	0.0350
PISO 17	Ey	51	0.01254	0.0351
PISO 16	Ey	48	0.01253	0.0351
PISO 15	Ey	45	0.01253	0.0351
PISO 14	Ey	42	0.01245	0.0349
PISO 13	Ey	39	0.01240	0.0347
PISO 12	Ey	36	0.01225	0.0343
PISO 11	Ey	33	0.01215	0.0340
PISO 10	Ey	30	0.01192	0.0334
PISO 9	Ey	27	0.01175	0.0329
PISO 8	Ey	24	0.01141	0.0320
PISO 7	Ey	21	0.01115	0.0312
PISO 6	Ey	18	0.01068	0.0299
PISO 5	Ey	15	0.01029	0.0288
PISO 4	Ey	12	0.00958	0.0268
PISO 3	Ey	9	0.00898	0.0252
PISO 2	Ey	6	0.00913	0.0256
PISO 1	Ey	3	0.00527	0.0148
BASE	Ey	0	0.00000	0.0000

Tabla 27 P Delta eje Y

Ya que los valores de P-Delta son menores de 0.1 la estructura es estable, por lo cual no debe rigidizarse, por tal motivo los efectos P-Delta no se deben tener en cuenta en el aumento de deflexiones horizontales.

4.17 Modos de vibración

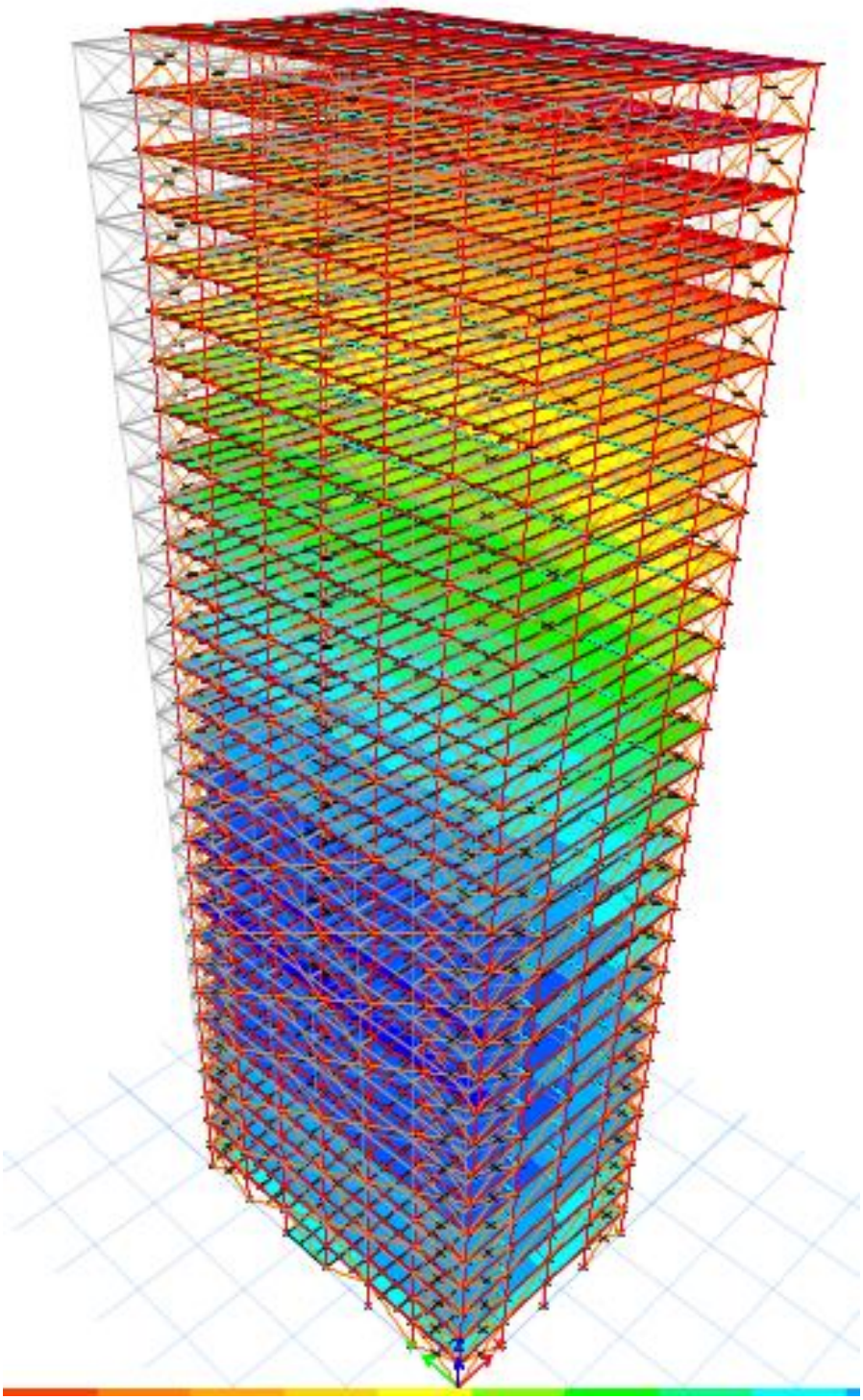


Ilustración 57 Primer modo fundamental de vibración en dirección Y

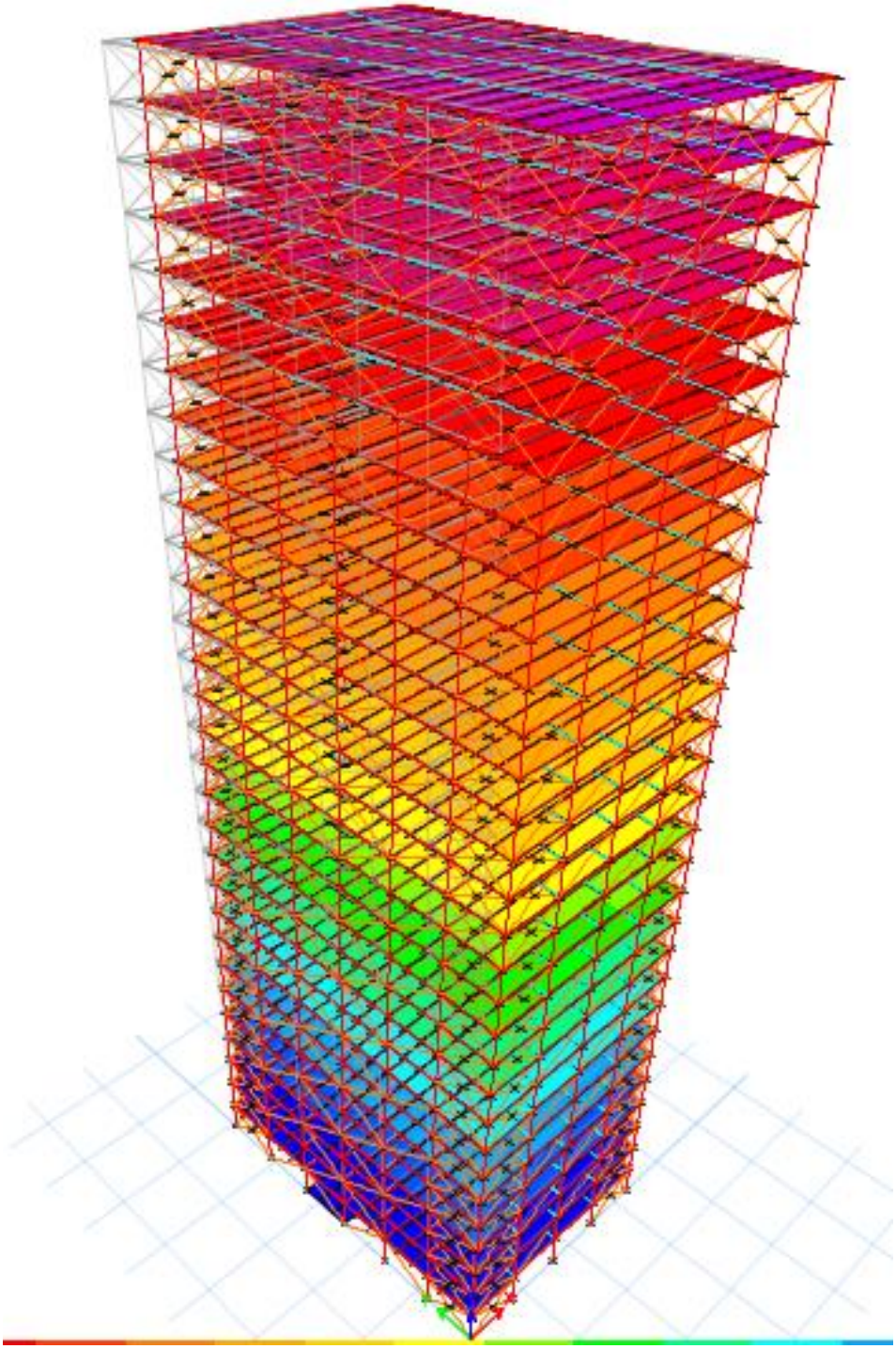


Ilustración 58 Segundo modo fundamental de vibración en dirección X

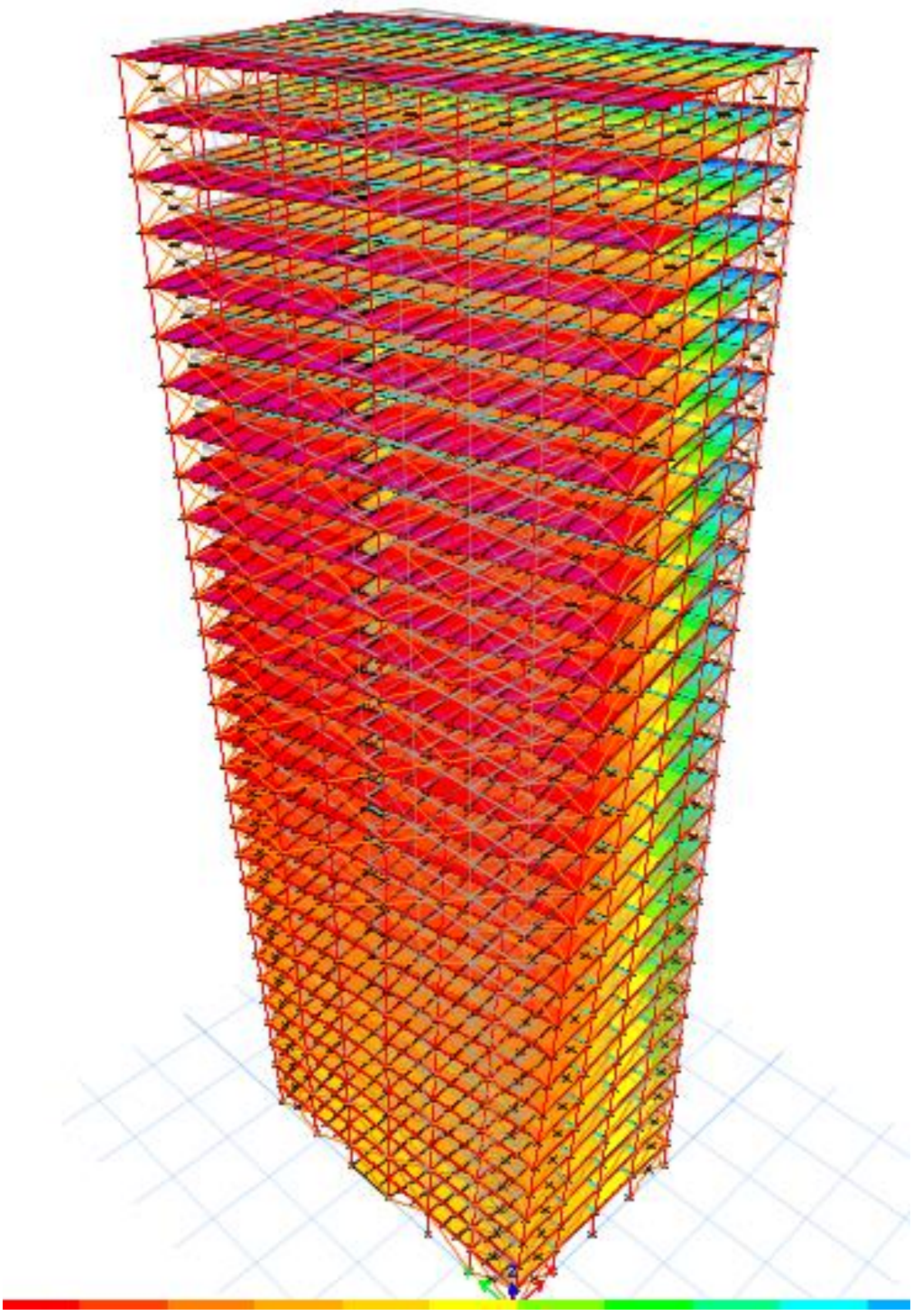


Ilustración 59 Tercer modo fundamental de vibración roto-traslacional en dirección X

5 DISEÑO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN CON SISTEMA ESTRUCTURAL AMORTIGUADO

Para reducir la demanda sísmica, se ha propuesto incorporar dispositivos de disipación de energía pasiva dentro del sistema estructural de la edificación, para este caso se tiene en cuenta la aplicación de disipadores de fluido viscoso los cuales dependen de la velocidad y debe cumplir con los requisitos de "Minimum Design Loads for Building and Other Structures" ASCE 7-10.

El objetivo del diseño sísmico con implementación de disipadores de fluido viscoso es minimizar la energía sísmica de entrada lo que genera menores desplazamientos y daños en la estructura, sin embargo, la implementación de estos dispositivos es escasa en Colombia por lo que la implementación de estos dispositivos esta aun en investigación.

Para el cálculo de la estructura en la cual se implementa este tipo de disipación de fluido viscoso se implementa el FEMA 274, con el cual el procedimiento utilizado está debidamente reglamentado.

Siguiendo el FEMA 274 (American Society of civil engineers, 1997) los dispositivos de disipación de energía de fluido viscoso dependen de la velocidad, por lo cual es conveniente aclarar que la metodología que se sigue es la del procedimiento no lineal por lo cual se debe realizar la siguiente metodología siendo consecuente con el estudio realizado en la edificación sin amortiguamiento:

- Definir los registros tiempo – historia y escalarlos al espectro inicial
- Determinación del amortiguamiento efectivo de disipador, rigidez del brazo metálico y el exponente de amortiguamiento (C, K, α)
- Ubicación y disposición de los distintos arreglos de los disipadores en la edificación, la ubicación de los disipadores se debe a ingenieros especialistas en el tema, sin embargo, para este caso de estudio la disposición se hizo por criterio propio.
- Finalmente se debe verificar el cumplimiento de derivas debido al cambio de amortiguamiento adquirido con respecto al inicial.

5.1 SELECCIÓN DE REGISTROS

Para realizar el análisis tiempo historia se seleccionan registros sísmicos, que se asemejen al diseñado según NSR-10. Para esto, se lleva a cabo un sondeo en la base de datos de la página web PEER y se siguen los lineamientos explicados en 3.20. En síntesis, se muestran los datos diligenciados en la página.

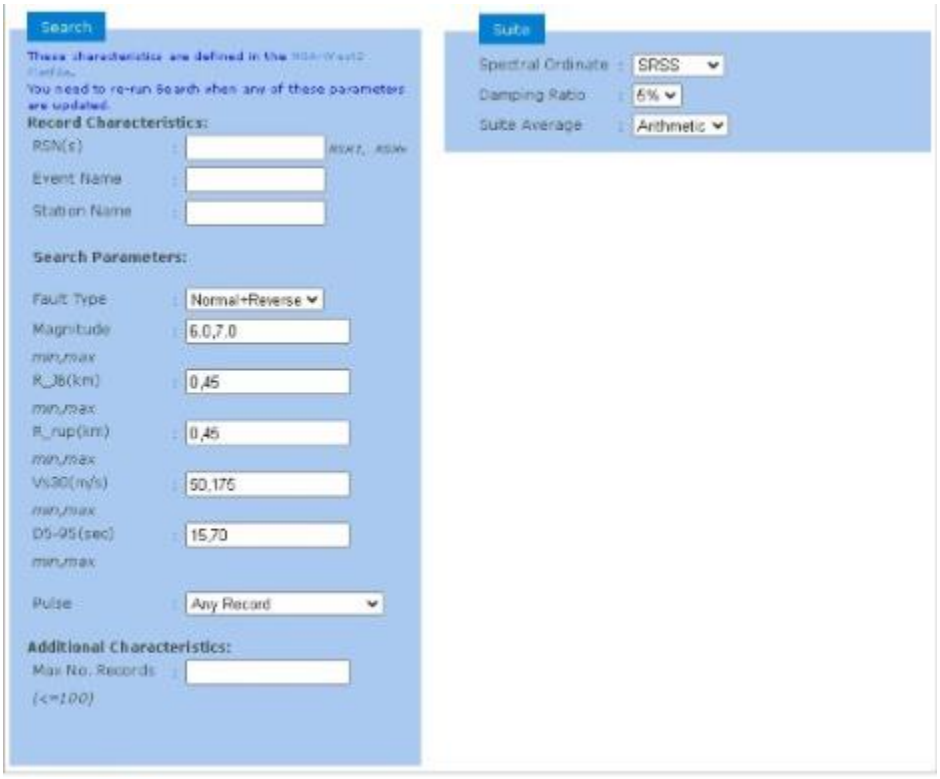


Ilustración 60 Parámetros sísmicos de búsqueda de base de datos del PEER

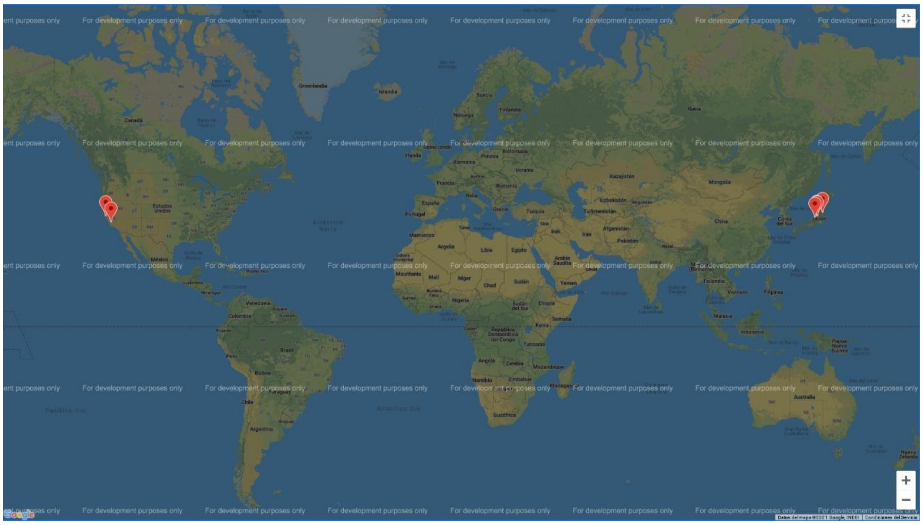


Ilustración 61 Ubicación de sismos base de datos del PEER

Según la normativa NSR-10 Titulo A.2.7, se pueden tomar tres (3) registros y tomar el valor máximo de estos, sin embargo, se ha comprobado que esta metodología arroja valores comparativos con una diferencia mayor a 1.6 de los valores de deriva obtenido mediante el espectro de diseño. Por tal razón, se toma la segunda opción que da la normativa y es seleccionar siete (7) registros, escalarlos y tomar el promedio de los desplazamientos máximos. Los registros seleccionados se muestran a continuación.

Spectral Ordinate	Record Seq. #	MSE	Scale Factor	Tp(s)	D5-75(s)	D5-95(s)	Arias Intensity (m/s)	Event	Year	Station	Mag	Mechanism
SRSS	326	-	1.0	-	9.5	17.8	0.2	Coalinga-01	1983	Parkfield - Cholame 2WA	6.36	Reverse
SRSS	759	-	1.0	-	8.8	23.1	1.8	Loma Prieta	1989	Foster City - APEEL 1	6.93	Reverse Oblique
SRSS	4204	-	1.0	-	21.2	54.7	0.6	Niigata, Japan	2004	NIG014	6.63	Reverse
SRSS	5259	-	1.0	-	12.9	70.0	0.5	Chuetsu-oki, Japan	2007	NIG013	6.8	Reverse
SRSS	5260	-	1.0	-	20.1	55.8	0.6	Chuetsu-oki, Japan	2007	NIG014	6.8	Reverse
SRSS	5271	-	1.0	-	8.0	25.2	0.7	Chuetsu-oki, Japan	2007	NIG025	6.8	Reverse
SRSS	5665	-	1.0	-	15.6	45.8	1.9	Iwate, Japan	2008	MYG006	6.9	Reverse

Ilustración 62 Características de los sismos de la base de datos PEER

A continuación, se muestra a manera de ejemplo las gráficas aceleración (g) del terreno Vs Tiempo de duración del evento (s), para las componentes Este – Oeste de los sismos para la edificación de estudio con el fin de determinar las derivas máximas.

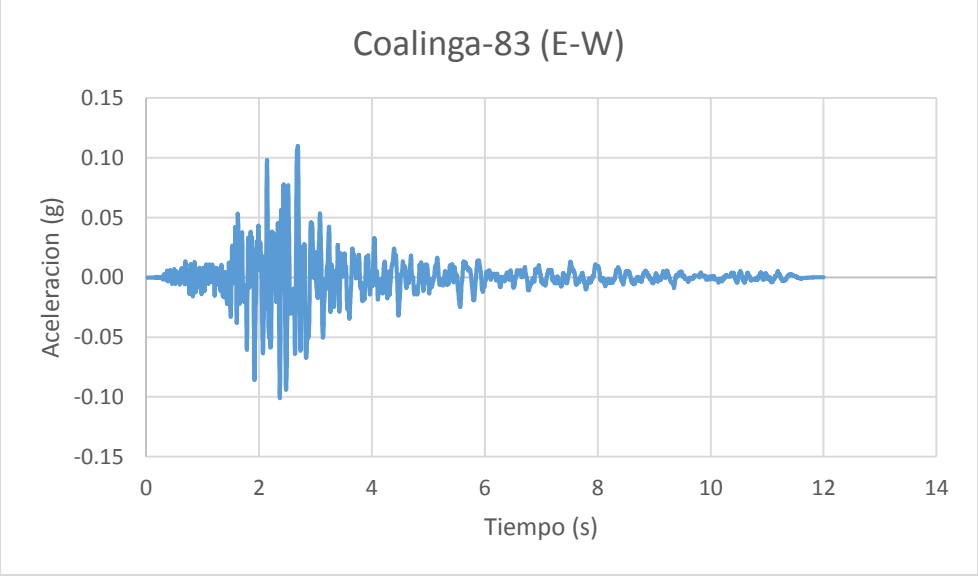


Ilustración 63 Componente E-W sismo Coalinga 1983

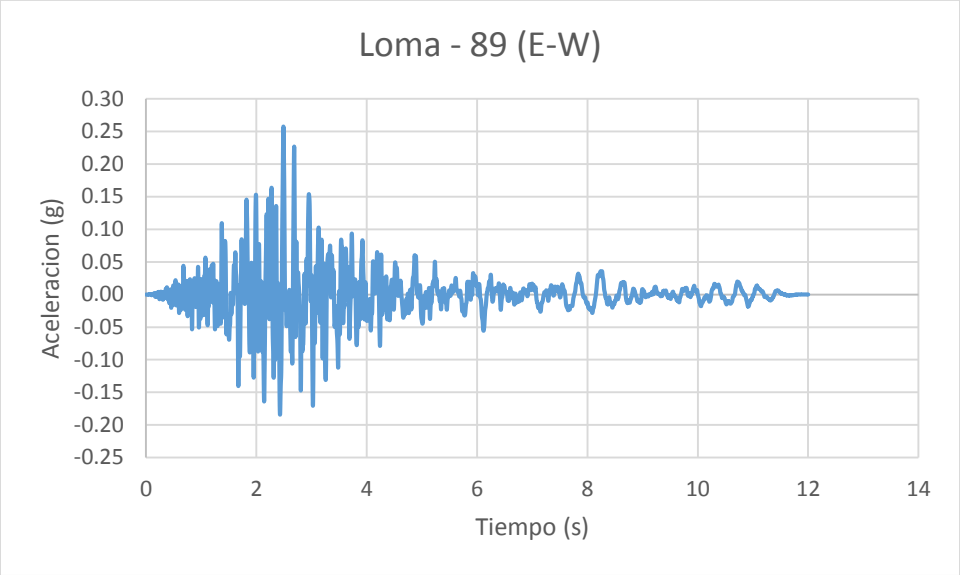


Ilustración 64 Componente E-W sismo Loma 1989

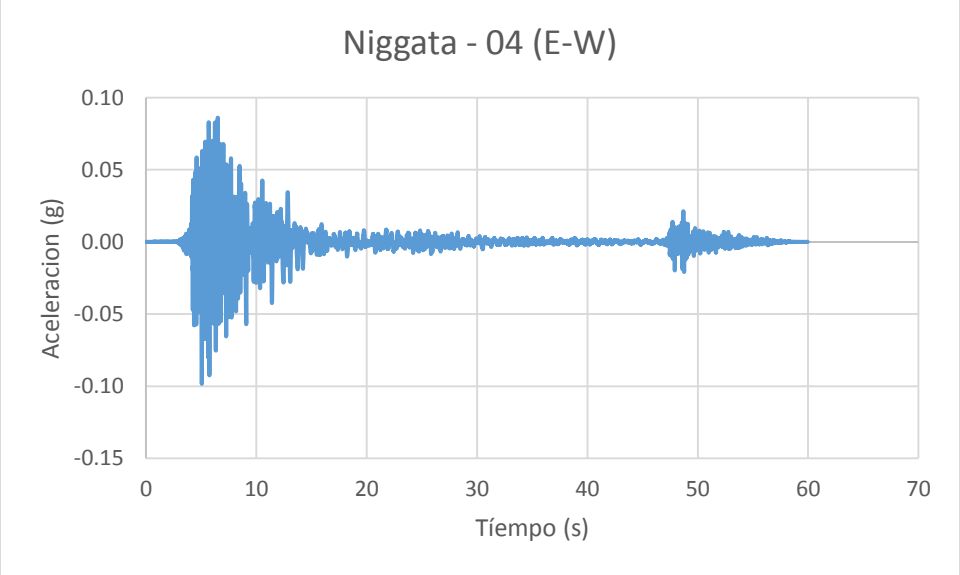


Ilustración 65 Componente E-W sismo Niggata 2004

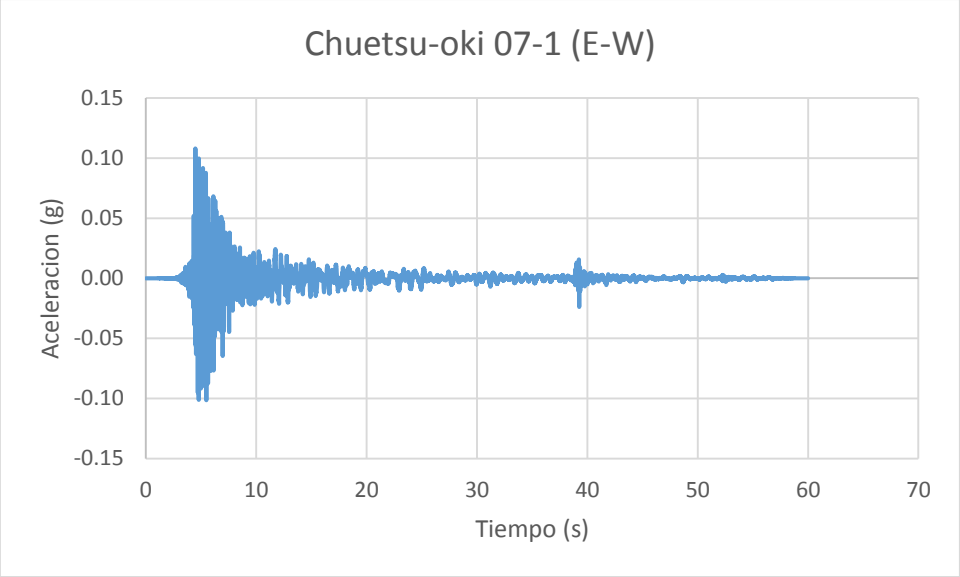


Ilustración 66 Componente E-W sismo Chuetsu-oki 2007

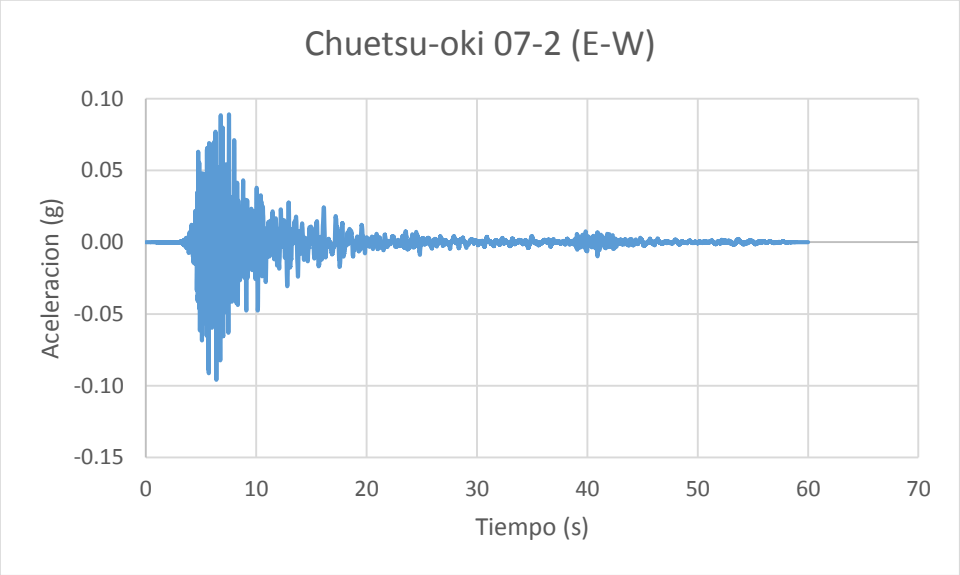


Ilustración 67 Componente E-W sismo Chuetsu-oki 2007

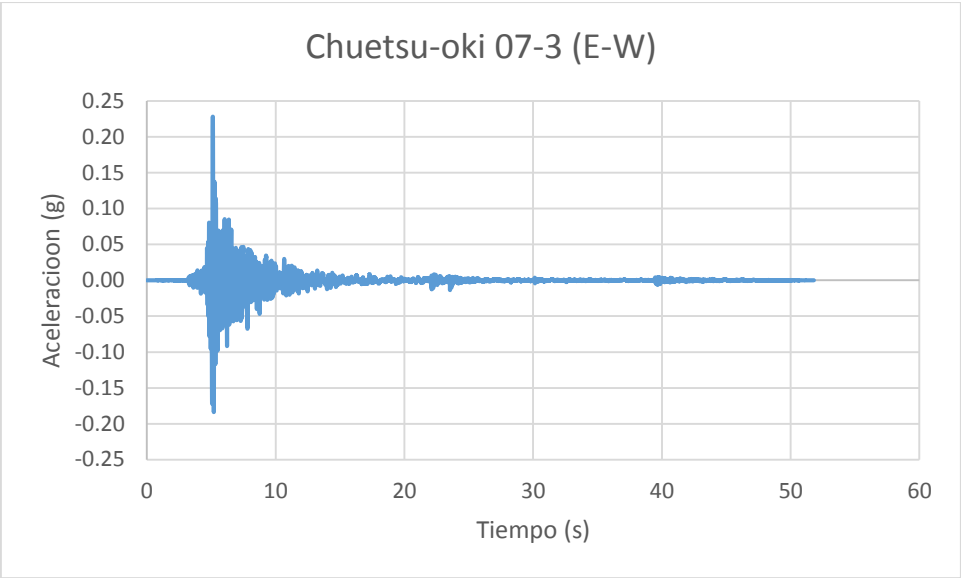


Ilustración 68 Componente E-W sismo Chuetsu-oki 2007

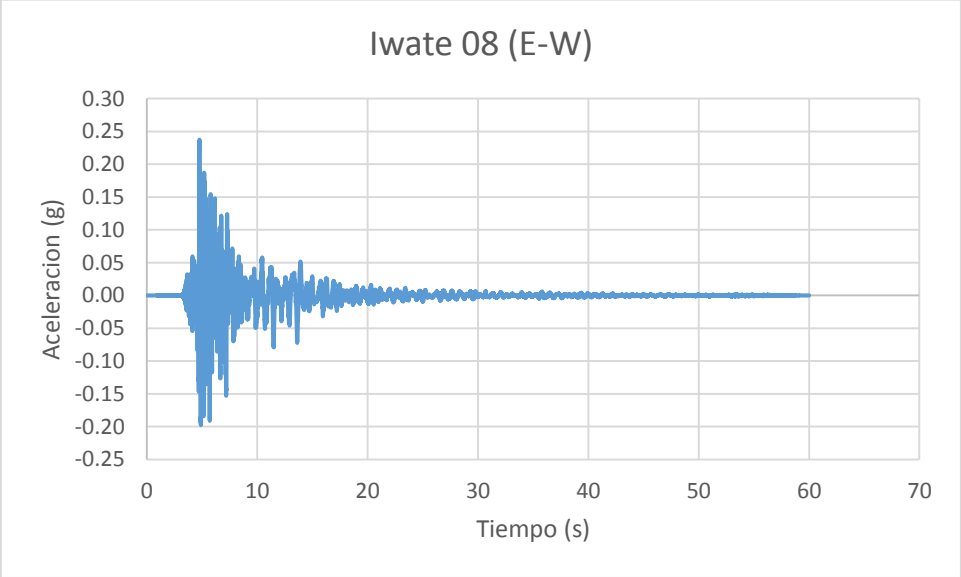


Ilustración 69 Componente E-W sismo Iwate 2008

A continuación, se muestra a manera de ejemplo las gráficas aceleración (g) del terreno Vs Tiempo de duración del evento (s), para las componentes Norte – Sur de los sismos para la edificación de estudio con el fin de determinar las derivas máximas.

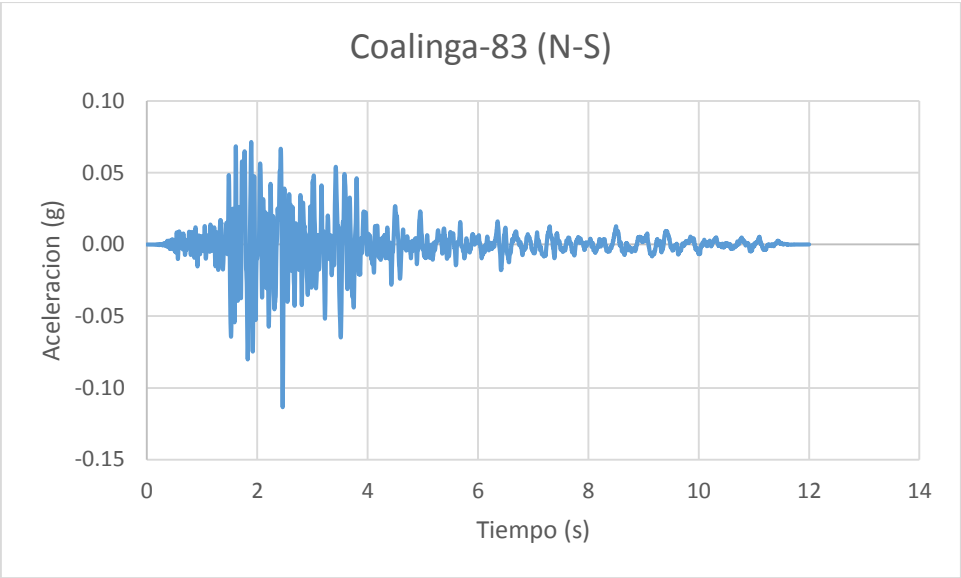


Ilustración 70 Componente N-S, sismo Coalinga 1983

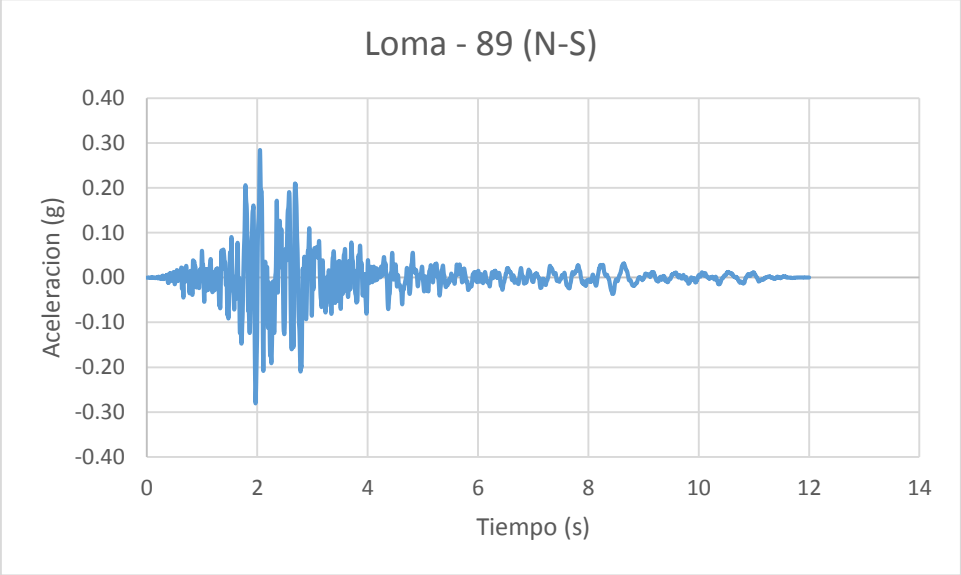


Ilustración 71 Componente N-S sismo Loma 1989

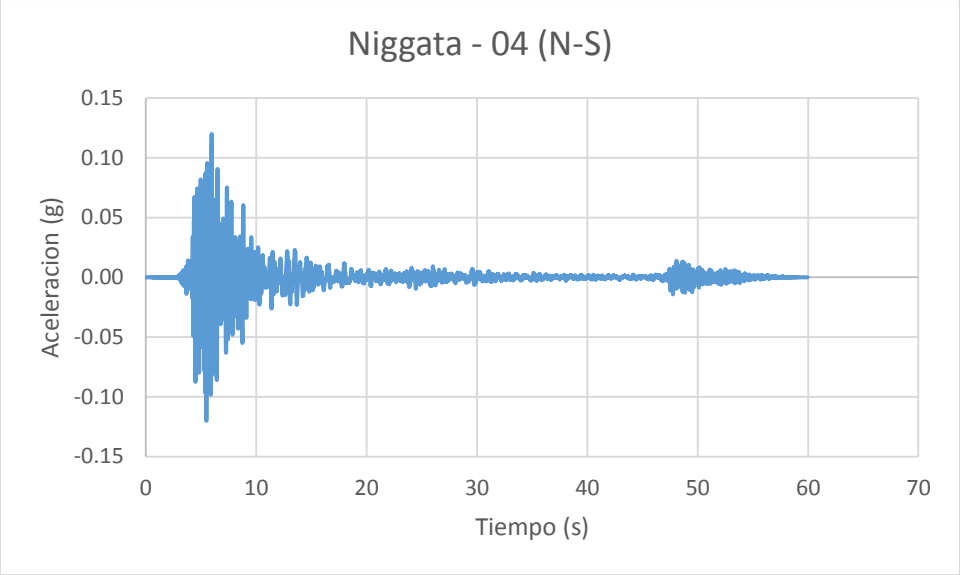


Ilustración 72 Componente N-S sismo Niggata 2004

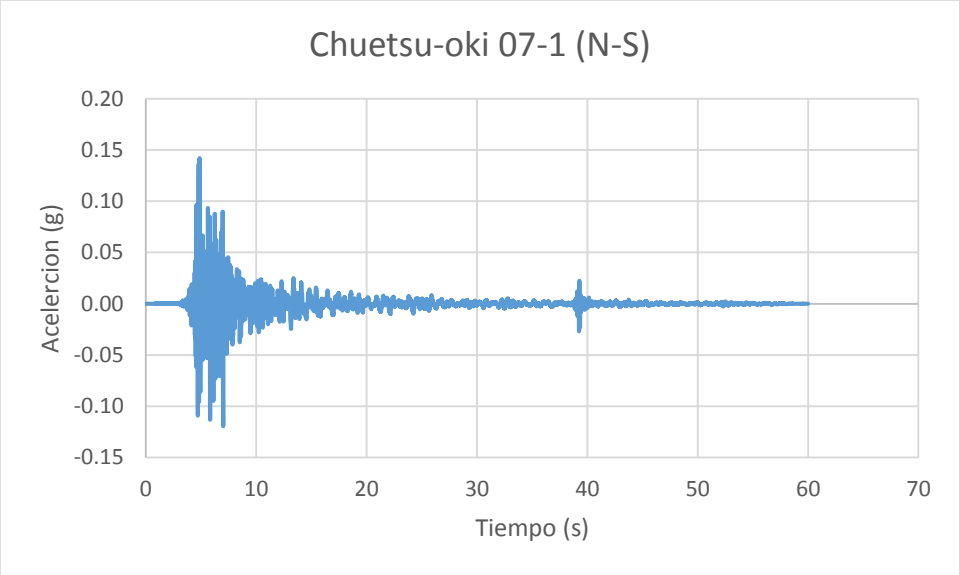


Ilustración 73 Componente N-S sismo Chuetsu-oki 2007

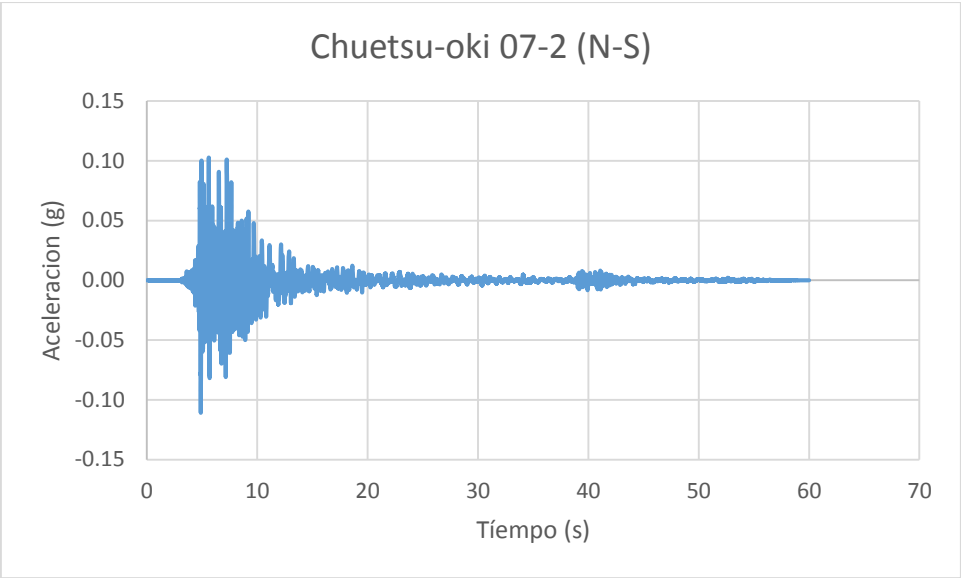


Ilustración 74 Componente N-S sismo Chuetsu-oki 2007

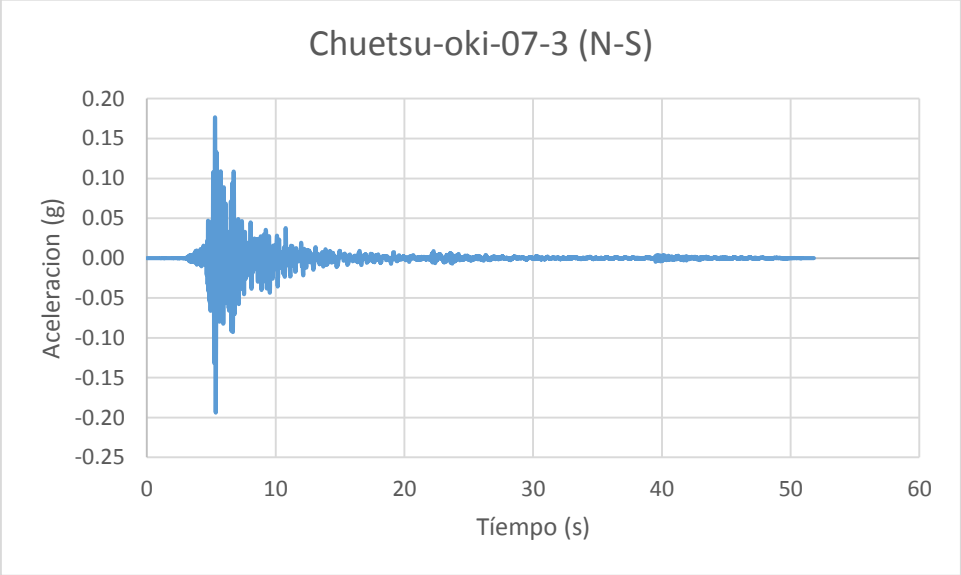


Ilustración 75 Componente N-S sismo Chuetsu-oki 2007

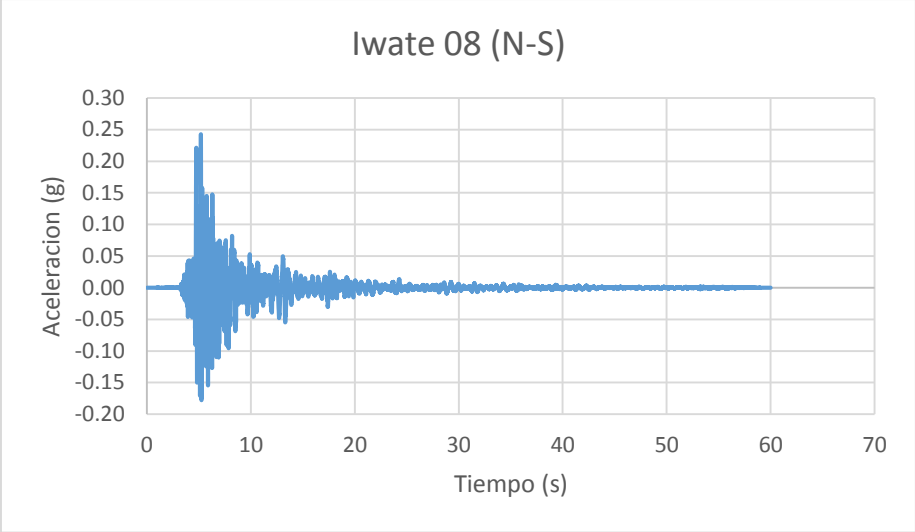


Ilustración 76 Componente N-S sismo Iwate 2008

5.2 ESCALAR SEÑALES SÍSMICAS

Este procedimiento se realiza para los registros sísmicos arrojados por la página, el objetivo de esto es poder aproximar teóricamente el comportamiento de la estructura a la demanda sísmica.

Esto se realiza mediante el programa ETABS v18 (versión estudiantil), seleccionando cada uno de los registros en su respectivo sentido, N-S o E-W, y se selecciona el espectro de diseño para escalar, el programa realizará este proceso, y el resultado será el registro que utiliza para el análisis tiempo- historia.

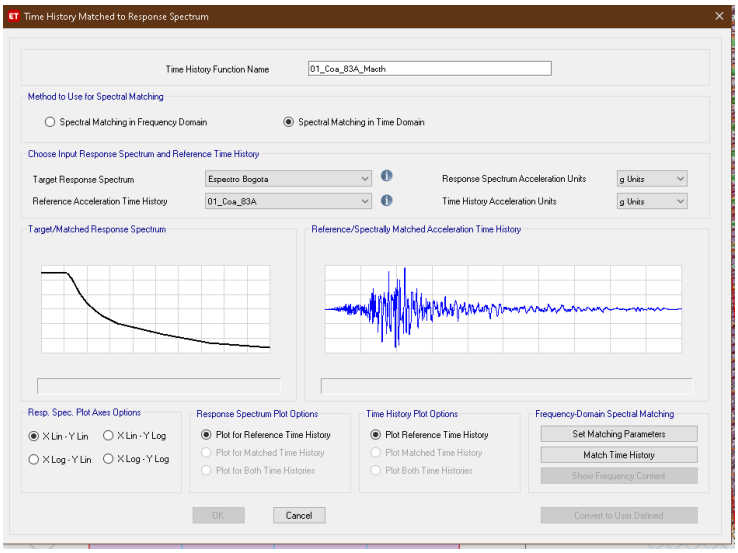


Ilustración 77 Escala de registro sísmico. Fuente propia.

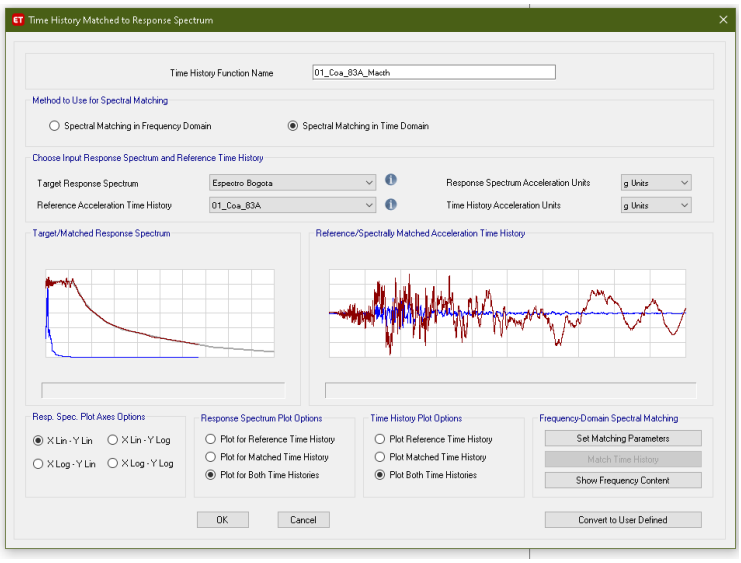


Ilustración 78 Grafica de tiempo - historia escalado. Fuente propia.

5.3 PROCESAMIENTO DE DATOS

Posterior al escalamiento de los registros obtenidos por la página PEER, se toman los máximos desplazamientos en las direcciones X-X y Y-Y, para cada registro y se promedia. Se muestran las tablas de los valores obtenidos y las gráficas de la comparativa entre los valores obtenidos por el espectro de diseño y el análisis tiempo-historia.

Dirección X-X

				DIRECCION X													
PISO	Coa_83A	Coa_83B	Lom_89A	Lom_89B	Nigg_04A	Nigg_04B	hue_1_07	hue_1_07	hue_2_07	hue_2_07	hue_3_07	hue_3_07	Iwa_07A	Iwa_07A	Promedio	NSR-10
	X-Dir	X-Dir	X-Dir	X-Dir	X-Dir	X-Dir	X-Dir	X-Dir	X-Dir	X-Dir	X-Dir	X-Dir	X-Dir	X-Dir	X-Dir	X-Dir
30	0,012088	0,012088	0,007728	0,007728	0,018365	0,018365	0,024955	0,024955	0,029268	0,029268	0,019432	0,019432	0,028149	0,028149	0,019998	0,015998
29	0,013533	0,013533	0,008724	0,008724	0,019605	0,019605	0,026562	0,026562	0,030994	0,030994	0,02059	0,02059	0,030483	0,030483	0,021499	0,017199
28	0,014483	0,014483	0,009459	0,009459	0,020486	0,020486	0,027719	0,027719	0,032249	0,032249	0,021449	0,021449	0,032031	0,032031	0,022554	0,018043
27	0,015233	0,015233	0,00986	0,00986	0,021221	0,021221	0,028684	0,028684	0,033305	0,033305	0,022218	0,022218	0,033236	0,033236	0,023394	0,018715
26	0,015906	0,015906	0,010224	0,010224	0,022028	0,022028	0,029685	0,029685	0,034432	0,034432	0,022991	0,022991	0,034349	0,034349	0,024231	0,019385
25	0,016422	0,016422	0,010522	0,010522	0,022756	0,022756	0,03053	0,03053	0,035414	0,035414	0,023687	0,023687	0,035234	0,035234	0,024938	0,01995
24	0,016826	0,016826	0,010636	0,010636	0,023497	0,023497	0,031385	0,031385	0,036459	0,036459	0,024379	0,024379	0,03608	0,03608	0,025609	0,020487
23	0,017065	0,017065	0,010889	0,010889	0,024067	0,024067	0,032052	0,032052	0,037318	0,037318	0,024968	0,024968	0,036777	0,036777	0,026162	0,02093
22	0,017151	0,017151	0,010967	0,010967	0,024593	0,024593	0,032708	0,032708	0,038211	0,038211	0,025547	0,025547	0,037441	0,037441	0,02666	0,021328
21	0,017052	0,017052	0,01102	0,01102	0,024881	0,024881	0,033118	0,033118	0,038833	0,038833	0,025956	0,025956	0,037797	0,037797	0,026951	0,021561
20	0,01666	0,01666	0,010867	0,010867	0,024986	0,024986	0,03328	0,03328	0,039192	0,039192	0,026053	0,026053	0,037601	0,037601	0,026948	0,021559
19	0,016294	0,016294	0,010712	0,010712	0,025062	0,025062	0,033532	0,033532	0,039616	0,039616	0,02631	0,02631	0,037469	0,037469	0,026999	0,021599
18	0,015603	0,015603	0,010352	0,010352	0,024975	0,024975	0,033694	0,033694	0,039935	0,039935	0,026499	0,026499	0,037253	0,037253	0,026902	0,021521
17	0,014855	0,014855	0,010007	0,010007	0,024813	0,024813	0,033784	0,033784	0,040108	0,040108	0,026622	0,026622	0,036801	0,036801	0,026713	0,02137
16	0,01376	0,01376	0,009472	0,009472	0,024969	0,024969	0,033775	0,033775	0,040113	0,040113	0,026614	0,026614	0,036206	0,036206	0,026416	0,021132
15	0,012672	0,012672	0,009025	0,009025	0,02493	0,02493	0,033707	0,033707	0,03998	0,03998	0,026539	0,026539	0,035497	0,035497	0,02605	0,02084
14	0,011316	0,011316	0,008525	0,008525	0,024935	0,024935	0,03357	0,03357	0,039653	0,039653	0,02631	0,02631	0,034484	0,034484	0,025542	0,020433
13	0,010278	0,010278	0,00853	0,00853	0,024731	0,024731	0,033391	0,033391	0,039219	0,039219	0,026024	0,026024	0,033375	0,033375	0,025078	0,020063
12	0,010775	0,010775	0,008782	0,008782	0,024961	0,024961	0,03316	0,03316	0,038594	0,038594	0,025585	0,025585	0,031928	0,031928	0,024826	0,019861
11	0,011152	0,011152	0,008906	0,008906	0,025502	0,025502	0,032864	0,032864	0,037929	0,037929	0,025211	0,025211	0,030509	0,030509	0,024582	0,019665
10	0,011477	0,011477	0,009584	0,009584	0,025512	0,025512	0,032412	0,032412	0,036867	0,036867	0,024519	0,024519	0,029176	0,029176	0,024221	0,019377
9	0,011888	0,011888	0,010136	0,010136	0,025277	0,025277	0,031836	0,031836	0,035636	0,035636	0,023706	0,023706	0,028356	0,028356	0,023834	0,019067
8	0,012448	0,012448	0,010554	0,010554	0,024961	0,024961	0,031013	0,031013	0,034433	0,034433	0,022685	0,022685	0,027289	0,027289	0,02334	0,018672
7	0,012808	0,012808	0,010708	0,010708	0,024499	0,024499	0,030038	0,030038	0,033252	0,033252	0,021572	0,021572	0,02612	0,02612	0,022714	0,018171
6	0,012952	0,012952	0,010626	0,010626	0,023763	0,023763	0,028708	0,028708	0,031673	0,031673	0,02019	0,02019	0,024622	0,024622	0,021791	0,017432
5	0,012835	0,012835	0,010265	0,010265	0,022748	0,022748	0,02713	0,02713	0,029817	0,029817	0,018676	0,018676	0,02296	0,02296	0,020633	0,016506
4	0,012443	0,012443	0,00961	0,00961	0,021299	0,021299	0,025028	0,025028	0,027355	0,027355	0,016786	0,016786	0,020838	0,020838	0,019051	0,015241
3	0,011656	0,011656	0,008579	0,008579	0,019352	0,019352	0,022446	0,022446	0,024354	0,024354	0,01463	0,01463	0,01836	0,01836	0,017054	0,013643
2	0,010468	0,010468	0,007251	0,007251	0,016862	0,016862	0,019294	0,019294	0,020671	0,020671	0,012019	0,012019	0,015339	0,015339	0,014558	0,011646
1	0,007426	0,007426	0,005313	0,005313	0,011555	0,011555	0,013331	0,013331	0,013816	0,013816	0,007951	0,007951	0,010378	0,010378	0,009967	0,007974
0															0,0270	0,0216

Tabla 28 Promedio de registros sísmicos X-X

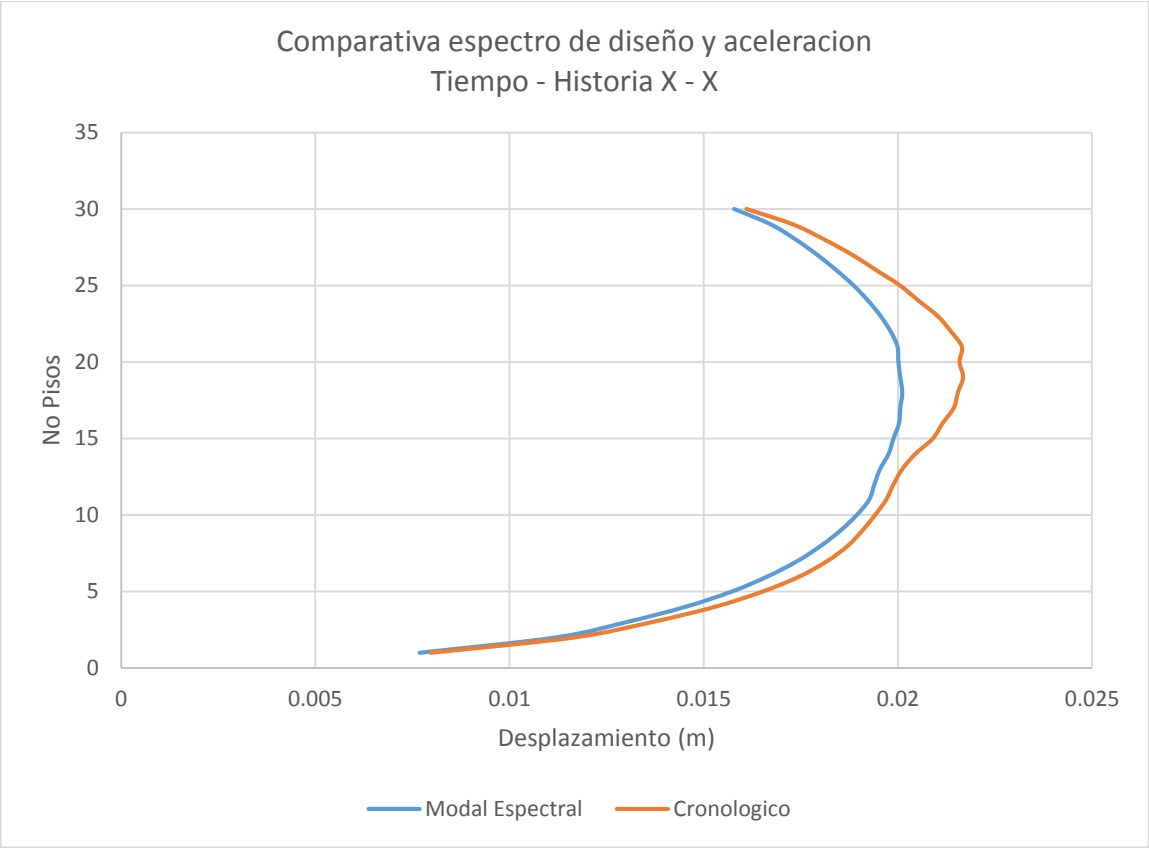


Ilustración 79 Comparativo espectro de diseño y aceleración Tiempo - Historia Y

Dirección Y-Y

				DIRECCION Y													
PISO	Coa_83A	Coa_83B	Lom_89A	Lom_89B	Nigg_04A	Nigg_04B	hue_1_07	hue_1_07	hue_2_07	hue_2_07	hue_3_07	hue_3_07	Iwa_07A	Iwa_07A	Promedio	NSR-10
	Y-Dir	Y-Dir	Y-Dir	Y-Dir	Y-Dir	Y-Dir	Y-Dir	Y-Dir	Y-Dir	Y-Dir	Y-Dir	Y-Dir	Y-Dir	Y-Dir	Y-Dir	Y-Dir
30	0,001613	0,001613	0,001464	0,001464	0,002102	0,002102	0,002618	0,002618	0,002953	0,002953	0,002296	0,002296	0,002831	0,002831	0,002268	0,001815
29	0,00159	0,00159	0,001475	0,001475	0,002037	0,002037	0,002529	0,002529	0,002863	0,002863	0,002226	0,002226	0,002817	0,002817	0,00222	0,001776
28	0,001394	0,001394	0,001361	0,001361	0,001801	0,001801	0,002201	0,002201	0,00246	0,00246	0,001953	0,001953	0,002395	0,002395	0,001938	0,00155
27	0,001829	0,001829	0,001631	0,001631	0,002323	0,002323	0,002917	0,002917	0,003334	0,003334	0,002525	0,002525	0,003346	0,003346	0,002558	0,002046
26	0,001349	0,001349	0,00136	0,00136	0,001773	0,001773	0,002097	0,002097	0,002342	0,002342	0,001865	0,001865	0,002308	0,002308	0,001871	0,001496
25	0,001815	0,001815	0,001638	0,001638	0,002302	0,002302	0,002917	0,002917	0,003345	0,003345	0,002522	0,002522	0,003366	0,003366	0,002558	0,002046
24	0,001296	0,001296	0,001312	0,001312	0,001685	0,001685	0,001917	0,001917	0,00213	0,00213	0,00171	0,00171	0,002111	0,002111	0,001737	0,00139
23	0,001734	0,001734	0,001598	0,001598	0,002233	0,002233	0,002863	0,002863	0,003297	0,003297	0,002473	0,002473	0,0033	0,0033	0,0025	0,002
22	0,001243	0,001243	0,001231	0,001231	0,001556	0,001556	0,001696	0,001696	0,001867	0,001867	0,001518	0,001518	0,001853	0,001853	0,001566	0,001253
21	0,001603	0,001603	0,001522	0,001522	0,002155	0,002155	0,002773	0,002773	0,003201	0,003201	0,00239	0,00239	0,003156	0,003156	0,0024	0,00192
20	0,001161	0,001161	0,001136	0,001136	0,001432	0,001432	0,001495	0,001495	0,001514	0,001514	0,001354	0,001354	0,001438	0,001438	0,001361	0,001089
19	0,00153	0,00153	0,00144	0,00144	0,002134	0,002134	0,002704	0,002704	0,003065	0,003065	0,002368	0,002368	0,002844	0,002844	0,002298	0,001838
18	0,001111	0,001111	0,00108	0,00108	0,001241	0,001241	0,00126	0,00126	0,001331	0,001331	0,001154	0,001154	0,001281	0,001281	0,001208	0,000967
17	0,001362	0,001362	0,001322	0,001322	0,002027	0,002027	0,002556	0,002556	0,00287	0,00287	0,002224	0,002224	0,002575	0,002575	0,002134	0,001707
16	0,001071	0,001071	0,00105	0,00105	0,001133	0,001133	0,001073	0,001073	0,001135	0,001135	0,00108	0,00108	0,001089	0,001089	0,00109	0,000872
15	0,001321	0,001321	0,001248	0,001248	0,001893	0,001893	0,002363	0,002363	0,00262	0,00262	0,002042	0,002042	0,002255	0,002255	0,001963	0,001571
14	0,001003	0,001003	0,001004	0,001004	0,001158	0,001158	0,001102	0,001102	0,001109	0,001109	0,001059	0,001059	0,001098	0,001098	0,001076	0,000861
13	0,001284	0,001284	0,001163	0,001163	0,001738	0,001738	0,002111	0,002111	0,002304	0,002304	0,001813	0,001813	0,001968	0,001968	0,001769	0,001415
12	0,000951	0,000951	0,000949	0,000949	0,001282	0,001282	0,001334	0,001334	0,001411	0,001411	0,001258	0,001258	0,001342	0,001342	0,001218	0,000975
11	0,001153	0,001153	0,000985	0,000985	0,001439	0,001439	0,00159	0,00159	0,00173	0,00173	0,001393	0,001393	0,001532	0,001532	0,001403	0,001123
10	0,000905	0,000905	0,001044	0,001044	0,001551	0,001551	0,001684	0,001684	0,001841	0,001841	0,001518	0,001518	0,001654	0,001654	0,001457	0,001165
9	0,001018	0,001018	0,000883	0,000883	0,001197	0,001197	0,0012	0,0012	0,001248	0,001248	0,001082	0,001082	0,001247	0,001247	0,001125	0,0009
8	0,00083	0,00083	0,001126	0,001126	0,001755	0,001755	0,001823	0,001823	0,002053	0,002053	0,001607	0,001607	0,001771	0,001771	0,001566	0,001253
7	0,000894	0,000894	0,000818	0,000818	0,000917	0,000917	0,000852	0,000852	0,000814	0,000814	0,000819	0,000819	0,000922	0,000922	0,000862	0,00069
6	0,000757	0,000757	0,00115	0,00115	0,001866	0,001866	0,001858	0,001858	0,002141	0,002141	0,00161	0,00161	0,001791	0,001791	0,001596	0,001277
5	0,000707	0,000707	0,000723	0,000723	0,000861	0,000861	0,000782	0,000782	0,000771	0,000771	0,000724	0,000724	0,000795	0,000795	0,000766	0,000613
4	0,000674	0,000674	0,001044	0,001044	0,001776	0,001776	0,001696	0,001696	0,00193	0,00193	0,00145	0,00145	0,001628	0,001628	0,001465	0,001172
3	0,000524	0,000524	0,000636	0,000636	0,000883	0,000883	0,000837	0,000837	0,000813	0,000813	0,000703	0,000703	0,000826	0,000826	0,000746	0,000597
2	0,000509	0,000509	0,000596	0,000596	0,000753	0,000753	0,000643	0,000643	0,000661	0,000661	0,000564	0,000564	0,000697	0,000697	0,000632	0,000505
1	0,000226	0,000226	0,000263	0,000263	0,000302	0,000302	0,000281	0,000281	0,000281	0,000281	0,000234	0,000234	0,000304	0,000304	0,00027	0,000216
															0,0026	**0,00205**

Tabla 29 Promedio de registros sísmicos Y-Y

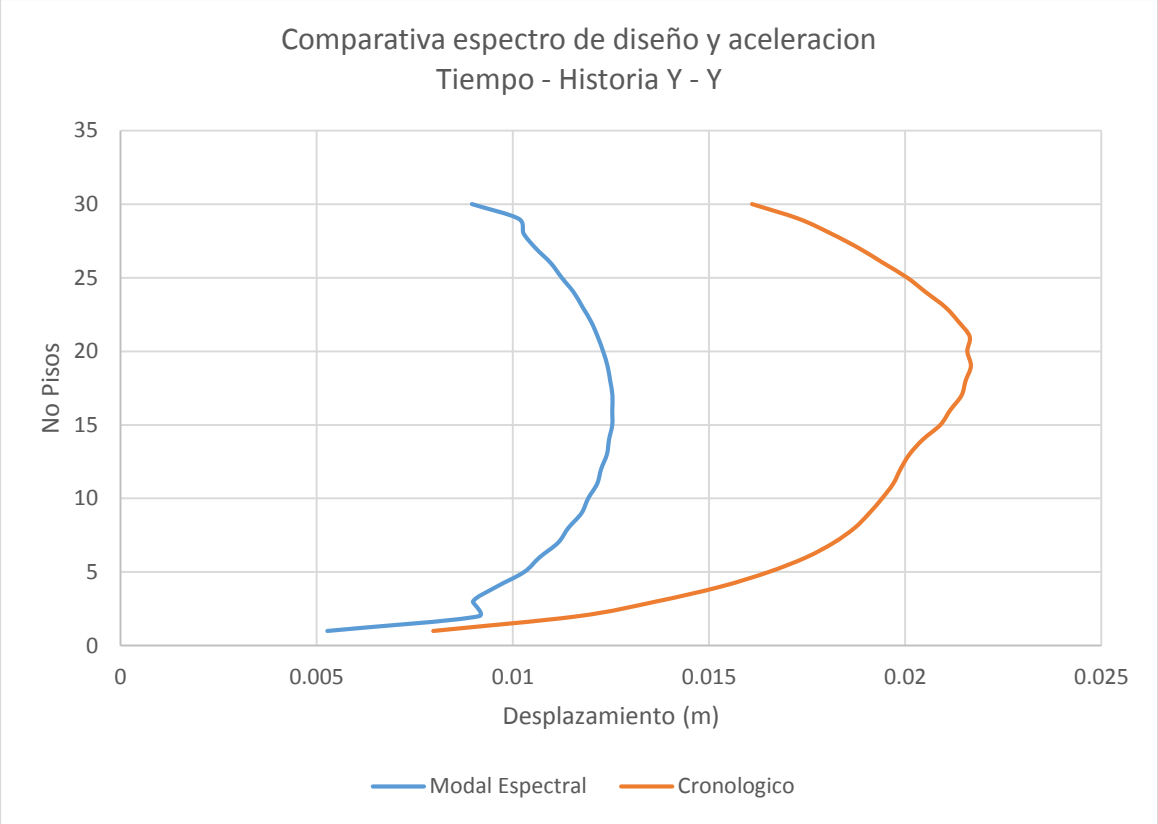


Ilustración 80 Comparativa espectro de diseño y aceleración Tiempo - Historia Y-Y

5.4 PARÁMETROS DE DISEÑO DE DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO

Los parámetros que definen el comportamiento de los disipadores de fluido viscoso son:

- Rigidez axial del brazo metálico “K” que une el disipador con el nudo de la estructura
- Coeficiente de no linealidad “α”
- Coeficiente de amortiguamiento “C”

Siguiendo los lineamientos para el cálculo del amortiguador se calcula:

5.4.1 Factor de reducción de respuesta

Según los datos obtenidos de deriva con el análisis tiempo y la deriva objetivo por la metodología HAZUS se realiza el cálculo según lo descrito en 3.11.2 de lo cual se obtiene:

	X-X	Y-Y	
Dobjetivo=	0.0125	0.0125	Relación daño-deriva según metodología de Hazus SM4
Dmax=	0.0234	0.0021	Deriva máxima del análisis dinámico TH con el sismo de diseño
	2.1599	0.2046	Factor Reducción

Tabla 30 Factor de reducción de repuesta

5.4.2 Amortiguamiento Efectivo

Teniendo en cuenta que el amortiguamiento inherente para estructuras metálicas es del 3% se realiza el cálculo según 3.11.3, obteniendo:

	X-X	Y-Y	
Binh =	3%		Inherente
Beff =	34.2712	0.0000	Efectivo

Tabla 31 Amortiguamiento Efectivo

5.4.3 Amortiguamiento Viscoso Objetivo

Como se describió anteriormente, esta es la diferencia del amortiguamiento efectivo y del amortiguamiento Inherente, para estructuras metálicas se fija un valor del 3%.

	X-X	Y-Y	
Bh =	31.2712	-3.0000	Objetivo
	35%	20%	Uso para disipadores

Para manejar un margen de seguridad y lograr asegurar el amortiguamiento de los valores de 31.27% y -3.00%, se redondean los valores a 35% en X-X y a 20% en Y-Y. Esto se hace con el objetivo de cumplir lo mencionado por fabricantes y la literatura, donde los valores de amortiguamiento viscoso para disipadores deben oscilar entre 20% y 40%.

5.4.4 Cálculo de rigidez del brazo metálico

Para determinar la rigidez se usará en 3.11.9 para lo cual es necesario determinar el tipo de perfil metálico que será usado, para este edificio será tomado un perfil HSS 7.5 x 0.5, el cual presenta las siguientes características.

Cálculo de la rigidez del brazo metálico			
L disipador =	0.79	m	Longitud mínima de los disipadores de energía (31in)
Vano =	5	m	
Altura del piso =	3	m	
E =	24400000	T/m2	Módulo de elasticidad del acero
A =	0.00665	m2	HSS 7.5 X 0.5
L =	5.041	m	Longitud del brazo metálico
K =	32164.880	T/m	Rigidez del brazo metálico

Tabla 32 Calculo de la rigidez del brazo metálico

5.4.5 Estimación del coeficiente (C)

Para calcular el valor de coeficiente, primero se debe tomar el parámetro a, para este caso se asume un valor de **0.5** por tratarse de dispositivos no lineales. Para los edificios diseñados con este valor, se ha demostrado un buen comportamiento.

5.4.6 Parámetro Lambda

FEMA 274 facilita una tabla que relaciona el exponente "α" con el valor de Lambda, como se aprecia para el caso este valor será de 3.5.

Table C9-4 Values of Parameter λ

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

Ilustración 81 Tabla C 9-4 FEMA 274

5.4.7 Frecuencia angular (w)

La frecuencia angular se calcula con los periodos arrojados luego de correr la modelación en el ETABS v18 (versión estudiantil) este cálculo se realiza con la formula mencionada}.

$$\omega = \frac{2\pi}{Tn}$$

	X-X	Y-Y	
T =	5.2560	4.0410	**Periodo**
ώ=	1.195	1.555	**Frecuencia Angular**

Tabla 33 Frecuencia angular

5.4.8 Coeficiente de amortiguamiento Cj

Habiendo calculado y hallado todos los parámetros para calcular el coeficiente de amortiguamiento (Cj). Se realiza el cálculo, en las siguientes tablas se determina el valor del coeficiente de amortiguamiento para los disipadores en la dirección X-X y para la dirección Y-Y.

NIVEL	MASAS (T.S^2/M)	θ	RAD	COS(θ)	λ	$\varphi_{rj}^{1+\alpha}.Cos\theta^{1+\alpha}$	$m * \psi_i^2$
30	160,29723	30,96	0,540353936	0,857526656		0,001575187	45,64057859
29	158,89505	30,96	0,540353936	0,857526656		0,001838548	42,6038742
28	158,78534	30,96	0,540353936	0,857526656		0,001949771	39,86874792
27	158,83603	30,96	0,540353936	0,857526656		0,002046475	37,16373491
26	158,83603	30,96	0,540353936	0,857526656		0,002133615	34,45997669
25	158,83603	30,96	0,540353936	0,857526656		0,002213298	31,78851528
24	158,83603	30,96	0,540353936	0,857526656		0,002281361	29,16425532
23	158,83603	30,96	0,540353936	0,857526656		0,002339769	26,60410011
22	158,83603	30,96	0,540353936	0,857526656		0,002386457	24,12174355
21	158,83603	30,96	0,540353936	0,857526656		0,00241934	21,73096985
20	158,86137	30,96	0,540353936	0,857526656		0,002423242	19,44823852
19	158,88671	30,96	0,540353936	0,857526656		0,002432847	17,2893787
18	158,88671	30,96	0,540353936	0,857526656		0,002442603	15,24983531
17	158,88671	30,96	0,540353936	0,857526656		0,002434462	13,33372991
16	158,88671	30,96	0,540353936	0,857526656	0,5	0,00242994	11,5504904
15	158,88671	30,96	0,540353936	0,857526656		0,002404618	9,897716842
14	158,88731	30,96	0,540353936	0,857526656		0,002385413	8,383105066
13	158,88602	30,96	0,540353936	0,857526656		0,002347335	7,002377227
12	158,88671	30,96	0,540353936	0,857526656		0,002324946	5,759244347
11	158,86137	30,96	0,540353936	0,857526656		0,002306553	4,64475769
10	158,83603	30,96	0,540353936	0,857526656		0,00225349	3,65647879
9	158,83603	30,96	0,540353936	0,857526656		0,002185569	2,800426633
8	158,83603	30,96	0,540353936	0,857526656		0,002101994	2,073253898
7	158,83603	30,96	0,540353936	0,857526656		0,002002136	1,470590049
6	158,83603	30,96	0,540353936	0,857526656		0,001877121	0,986282566
5	158,83603	30,96	0,540353936	0,857526656		0,001726644	0,613343351
4	158,83603	30,96	0,540353936	0,857526656		0,001536853	0,342170991
3	158,83603	30,96	0,540353936	0,857526656		0,001305197	0,161487334
2	158,78534	30,96	0,540353936	0,857526656		0,001045137	0,056584683
1	158,78534	30,96	0,540353936	0,857526656		0,000586164	0,009383214
					Sumatorias	**0,06174**	**457,87537**

Tabla 34 Coeficiente de amortiguamiento por piso en X – X

$$\sum C_j = \frac{\beta_H 2\pi A^{1-\alpha}\omega^{2-\alpha}(\sum_i m_i\phi_i^2)}{\lambda(\sum \phi_{rj}^{1+\alpha}\, cos^{1+\alpha}\theta_j)} = 997.9871\ T*s/m$$

En X:		
∑Cj	977.99	T*s/m
Disipadores por piso	2.00	
Cj=	488.99	T*s/m
K=	32164.88	T/m
α=	0.50	

Tabla 35 Sumatoria coeficiente de amortiguamiento en X – X

NIVEL	MASAS (T.S^2/M)	θ	RAD	COS(θ)	λ	$\varphi_{rj}^{1-\alpha}.Cos\theta^{1-\alpha}$	$m * \psi_i^2$
30	160,29723	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00067303	17,86684956
29	158,89505	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00081187	16,7731214
28	158,78534	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00082695	15,73076286
27	158,83603	30,96	0,540353936	0,85752666		0,0008643	14,72527769
26	158,83603	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00091158	13,71961299
25	158,83603	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00094693	12,71511629
24	158,83603	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00098587	11,7244892
23	158,83603	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00101471	10,74870768
22	158,83603	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00104337	9,797620293
21	158,83603	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00106489	8,873999884
20	158,86137	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00108317	7,985656943
19	158,88671	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00109808	7,134677021
18	158,88671	30,96	0,540353936	0,85752666		0,0011071	6,323352967
17	158,88671	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00111477	5,556949069
16	158,88671	30,96	0,540353936	0,85752666	0,5	0,00111413	4,836848979
15	158,88671	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00111415	4,166944181
14	158,88731	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00110322	3,546955828
13	158,88602	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00109605	2,980413021
12	158,88671	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00107662	2,465310218
11	158,86137	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00106327	2,003948554
10	158,83603	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00103316	1,593631085
9	158,83603	30,96	0,540353936	0,85752666		0,0010112	1,236968395
8	158,83603	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00096831	0,929539156
7	158,83603	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00093549	0,672856033
6	158,83603	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00087647	0,461991478
5	158,83603	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00082834	0,297131337
4	158,83603	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00074468	0,172614409
3	158,83603	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00067605	0,086861772
2	158,78534	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00069275	0,032936983
1	158,78534	30,96	0,540353936	0,85752666		0,00030401	0,004414016
					Sumatorias	0,02818	185,16556

Tabla 36 Coeficiente de amortiguamiento por piso en Y – Y

$$\sum C_j = \frac{\beta_H 2\pi A^{1-\alpha}\omega^{2-\alpha}(\sum_i m_i \phi_i^2)}{\lambda(\sum \phi_{rj}^{1+\alpha} cos^{1+\alpha}\theta_j)} = 725.5965\ T*s/m$$

En Y:		
∑Cj	642.87	T*s/m
Disipadores por piso	2.00	
Cj	321.44	T*s/m
K=	32164.88	T/m
α=	0.50	

Tabla 37 Sumatoria coeficiente de amortiguamiento en Y -Y

Los datos que se cargaran en el programa para la dirección X-X y Y-Y corresponden al coeficiente de amortiguamiento, la rigidez del brazo metálico y el exponente de amortiguamiento.

5.4.9 Ubicación de los dispositivos de amortiguación

Para este punto, se tomó de la ASCE 7-10 el lineamiento que pide como mínimo 2 dispositivos por dirección de análisis y que los mismos no generen torsión.

Se observa que existe una diferencia para la dirección X-X desde el piso 15 hasta el piso 30, la cual indica mayores desplazamientos para el método cronológico. También se observa en la dirección Y-Y un aumento considerable en los desplazamientos con el método cronológico contra su semejante con el sismo de diseño. Las siguientes graficas ayudan a discernir la cantidad de disipadores por piso y por eje se deben instalar, este ejercicio dependerá del diseño en cuanto a presupuesto, optimización y del análisis realizado por el ETABS (Versión Estudiantil). Para este caso se tiene en cuenta dos modelos; uno con los disipadores en todos los pisos y otro con disipadores en los pisos efectivos que permitan identificar el mejor comportamiento para disipar la energía.

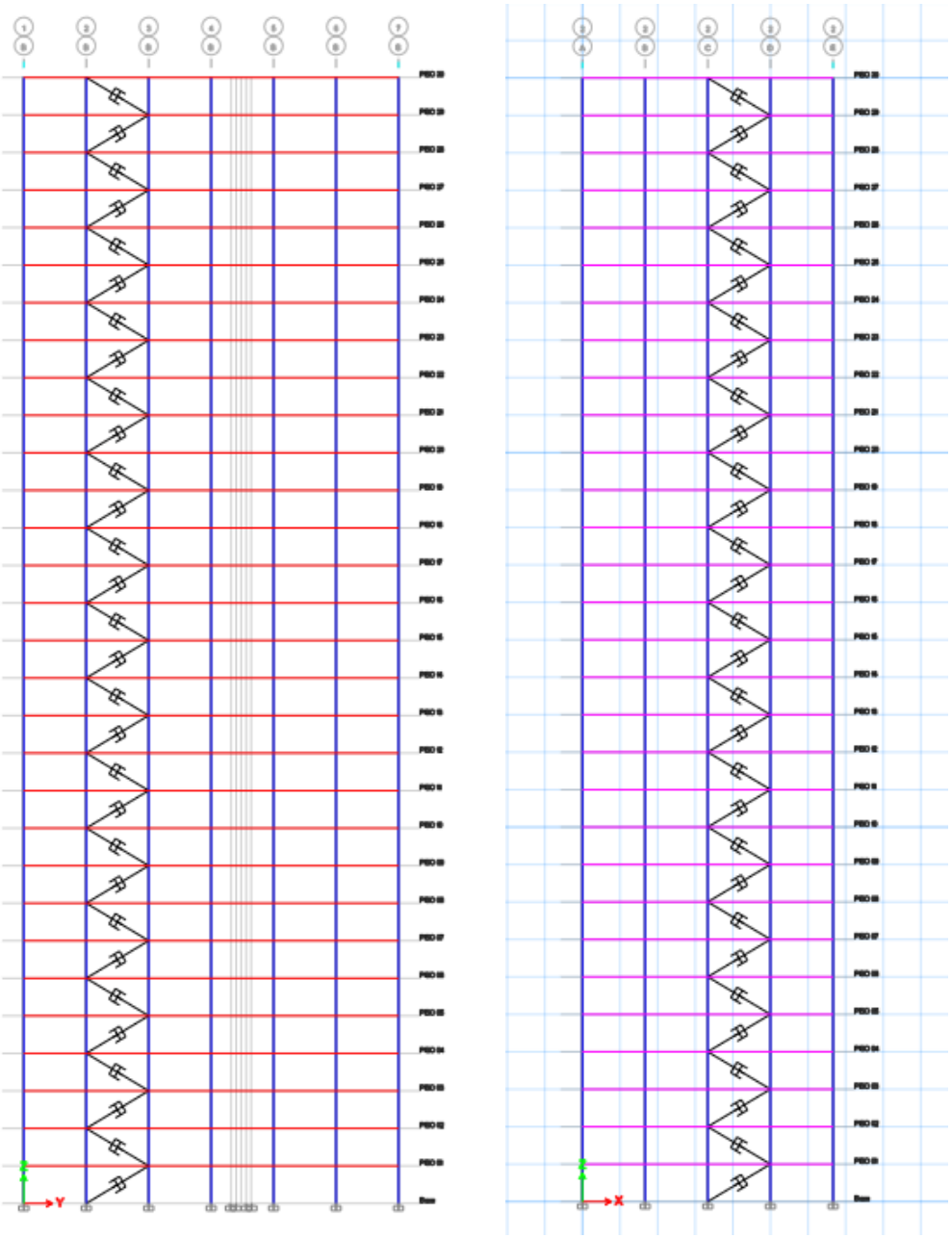


Ilustración 82 Arreglo N. 1 disipadores sentido Y-Y y X-X respectivamente

PISO	X	Y	CRONOLÓGICO	CON DISIPADOR (30 PISOS)
30	0.01385	0.0079	0.01593	0.01305
29	0.01471	0.0089	0.01720	0.01370
28	0.01529	0.0090	0.01775	0.01416
27	0.01579	0.0093	0.01832	0.01463
26	0.01623	0.0096	0.01886	0.01497
25	0.01662	0.0099	0.01933	0.01551
24	0.01696	0.0101	0.01975	0.01594
23	0.01724	0.0103	0.02010	0.01642
22	0.01747	0.0105	0.02039	0.01681
21	0.01763	0.0107	0.02060	0.01722
20	0.01765	0.0108	0.02068	0.01749
19	0.01770	0.0109	0.02077	0.01782
18	0.01775	0.0109	0.02084	0.01811
17	0.01771	0.0110	0.02083	0.01838
16	0.01769	0.0110	0.02080	0.01858
15	0.01756	0.0110	0.02070	0.01875
14	0.01746	0.0109	0.02058	0.01885
13	0.01727	0.0108	0.02039	0.01891
12	0.01716	0.0107	0.02023	0.01897
11	0.01706	0.0106	0.02010	0.01901
10	0.01679	0.0104	0.01976	0.01889
9	0.01645	0.0103	0.01939	0.01864
8	0.01601	0.0100	0.01887	0.01832
7	0.01549	0.0098	0.01831	0.01783
6	0.01483	0.0093	0.01753	0.01721
5	0.01402	0.0090	0.01666	0.01635
4	0.01296	0.0084	0.01544	0.01523
3	0.01162	0.0079	0.01403	0.01373
2	0.00999	0.0080	0.01281	0.01192
1	0.00687	0.0046	0.00828	0.00844

Tabla 38 Comparativa espectro de diseño y arreglo N. 1

Ilustración 83 Comparación arreglo 1 y Modal

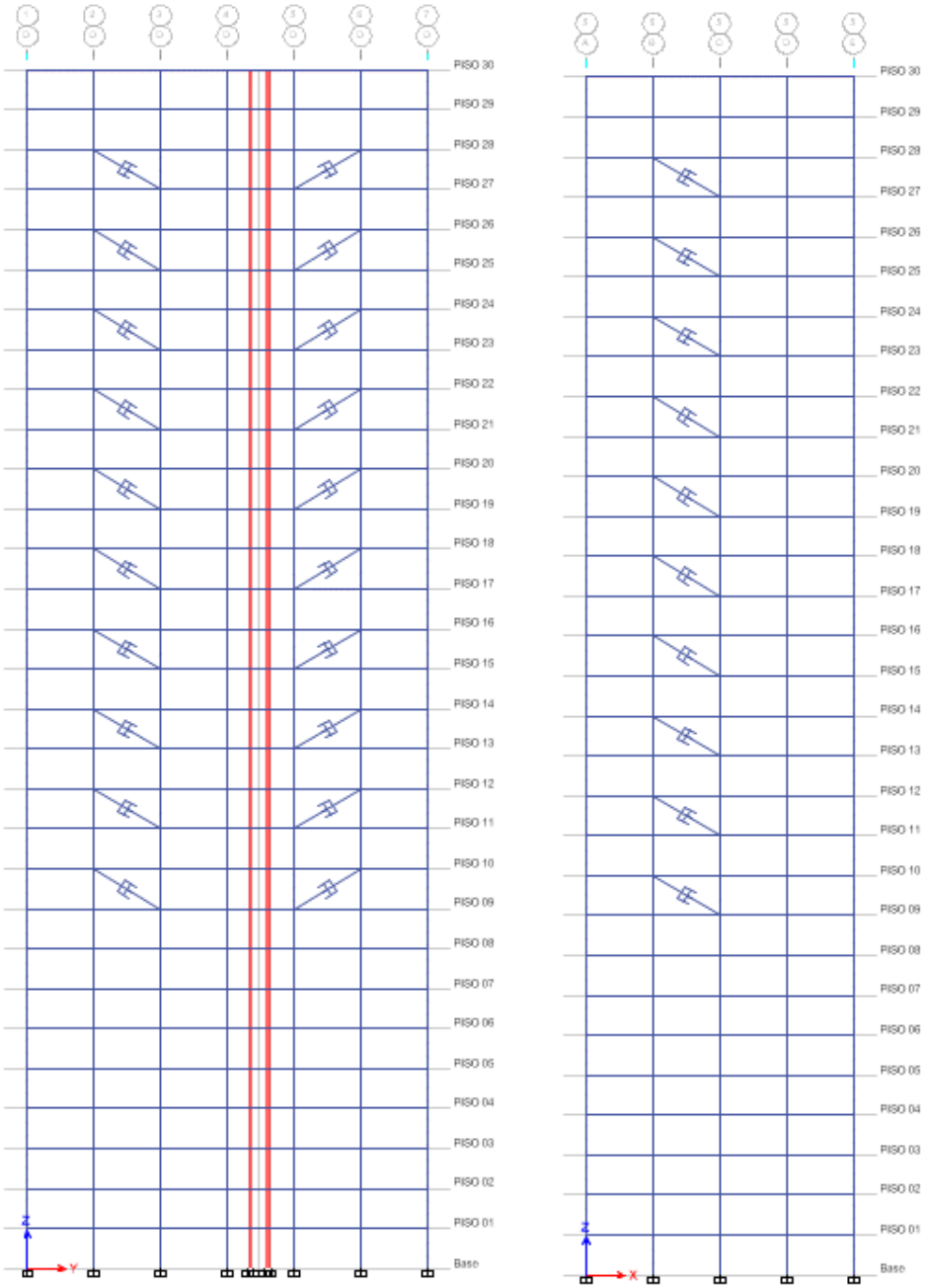


Ilustración 84 Arreglo N. 2 disipadores sentido Y-Y y X-X respectivamente

PISO	X	Y	CRONOLÓGICO	CON DISIPADOR (15 A 25 PISOS)
30	0.01385	0.0079	0.01593	0.015832

29	0.01471	0.0089	0.01720	0.017160
28	0.01529	0.0090	0.01775	0.018313
27	0.01579	0.0093	0.01832	0.018704
26	0.01623	0.0096	0.01886	0.019305
25	0.01662	0.0099	0.01933	0.019836
24	0.01696	0.0101	0.01975	0.020230
23	0.01724	0.0103	0.02010	0.020737
22	0.01747	0.0105	0.02039	0.020918
21	0.01763	0.0107	0.02060	0.021288
20	0.01765	0.0108	0.02068	0.021054
19	0.01770	0.0109	0.02077	0.021192
18	0.01775	0.0109	0.02084	0.020979
17	0.01771	0.0110	0.02083	0.020963
16	0.01769	0.0110	0.02080	0.020514
15	0.01756	0.0110	0.02070	0.020357
14	0.01746	0.0109	0.02058	0.019726
13	0.01727	0.0108	0.02039	0.019385
12	0.01716	0.0107	0.02023	0.018632
11	0.01706	0.0106	0.02010	0.018557
10	0.01679	0.0104	0.01976	0.017562
9	0.01645	0.0103	0.01939	0.018164
8	0.01601	0.0100	0.01887	0.018260
7	0.01549	0.0098	0.01831	0.017933
6	0.01483	0.0093	0.01753	0.017566
5	0.01402	0.0090	0.01666	0.016851
4	0.01296	0.0084	0.01544	0.016064
3	0.01162	0.0079	0.01403	0.014774
2	0.00999	0.0080	0.01281	0.013220
1	0.00687	0.0046	0.00828	0.009409

Tabla 39 Comparativa espectro modal arreglo N. 2

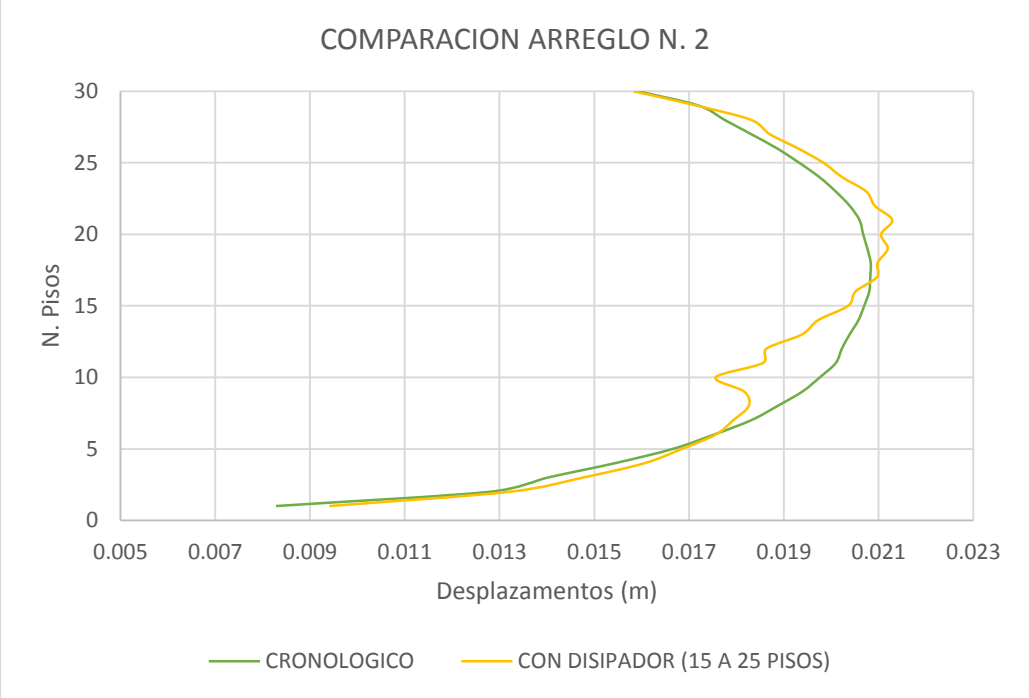


Ilustración 85 Comparación Arreglo 2 y Modal

Se evidencia un mejor trabajo de los disipadores en el modelo N.1 y con el que se realiza el estudio, se instalarán 4 amortiguadores por piso, distribuidos 2 en el eje X-X y 2 en el eje Y-Y. Se toman más disipadores en el eje Y-Y teniendo en cuenta, que las diferencias de derivas más altas, se encuentran en esta dirección.

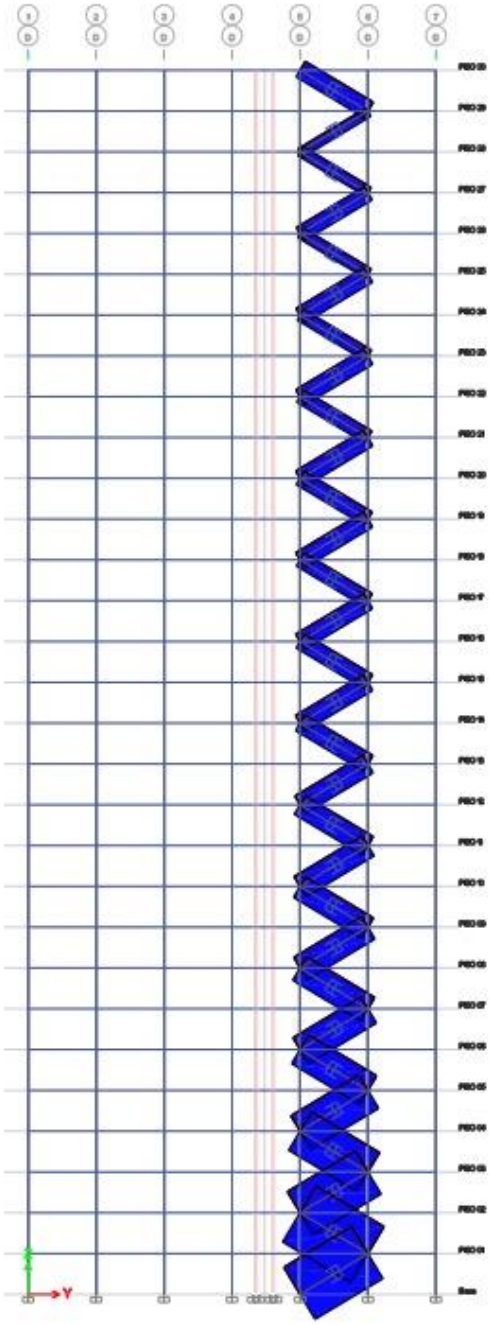


Ilustración 86 Esquema o diagrama de fuerzas axiales generadas por los disipadores en la vista de elevación

5.4.10 Redistribución energética edificación

Un balance energético grafico permite apreciar la participación de amortiguadores y la estructura en la disipación de energía total, en las siguientes ilustraciones se puede ver la variación en la distribución de la energía sísmica, en la edificación con disipadores sísmicos comparado con la misma edificación sin disipadores sísmicos, donde se evidencia la cantidad de energía absorbida por los disipadores y su efectividad de la ubicación y disposición.

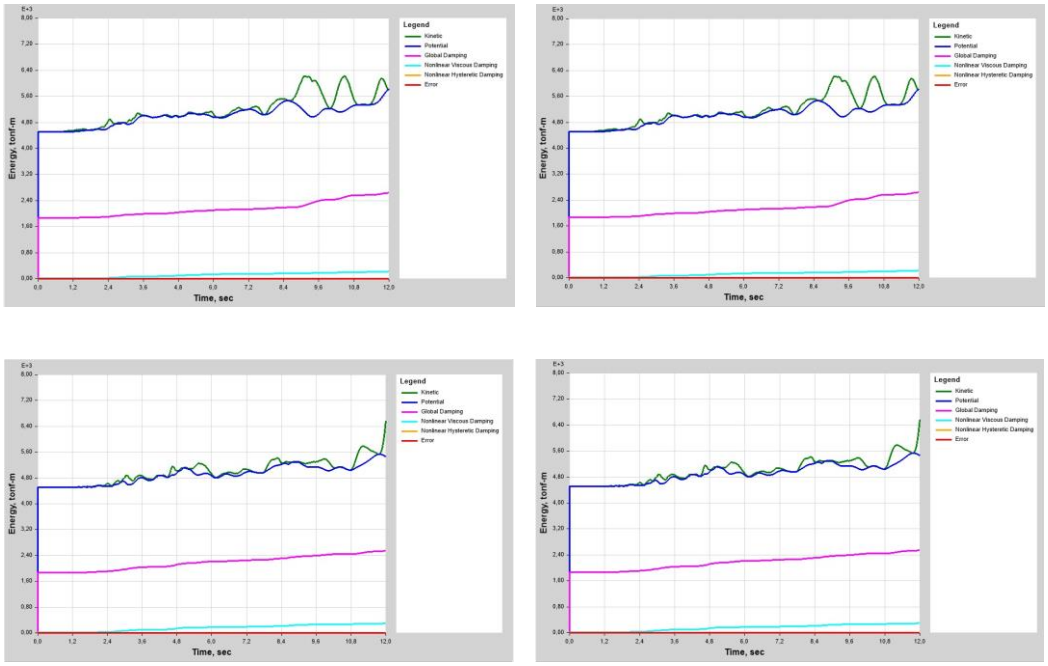
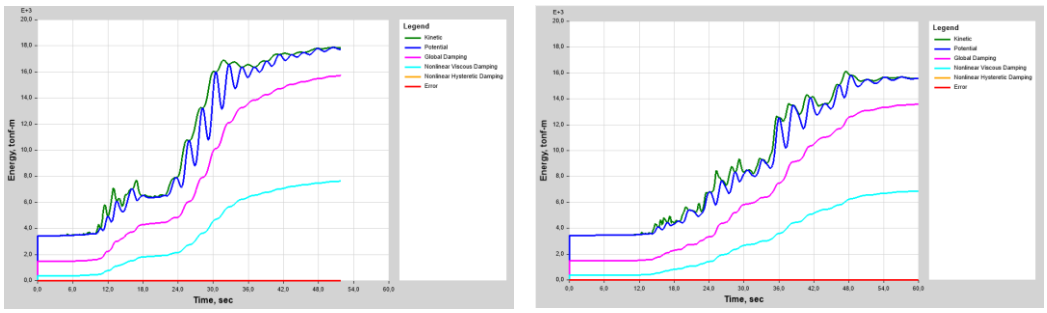


Ilustración 87. Balance energético de los sismos Coalinga de 1983 y Loma de 1989. Fuente propia.

Para determinar el porcentaje de disipación, se divide la energía disipada por los disipadores (línea celeste) entre la energía potencial (línea azul). De tal manera se encuentra que los valores corresponden para el sismo de Coalinga de 3.45% y para el de Loma de 4.45%



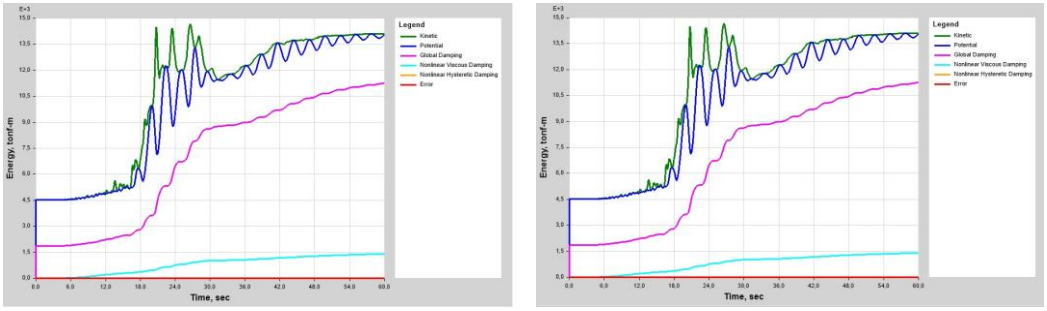


Ilustración 88 Balance energético de los sismos Niigata de 2004 y Chuetsu_1 de 2007. Fuente propia.

Así mismo, al calcular los valores para el sismo de Niigata se obtiene de 11.85% y para el de Chuetsu_1 de 11.20%

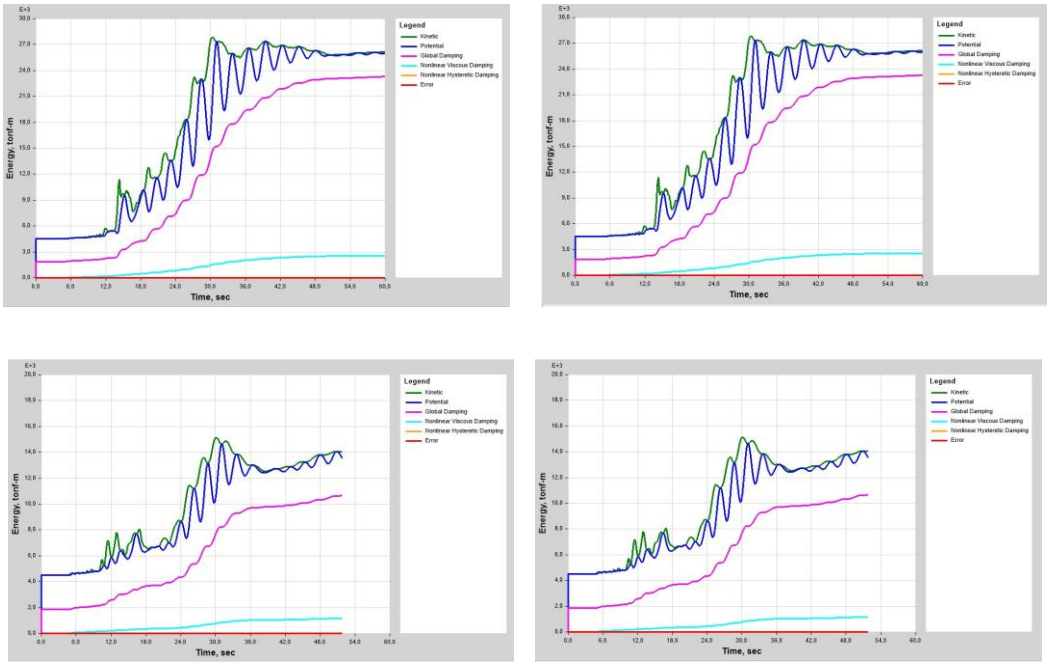


Ilustración 89 Balance energético de los sismos Chuetsu_2 de 2004 y Chuetsu_1 de 2007. Fuente propia.

Continuando con el procedimiento se calcula que los valores para el sismo de Chuetsu_2 es de 11.40% y para el de Chuetsu_3 de 10.20%

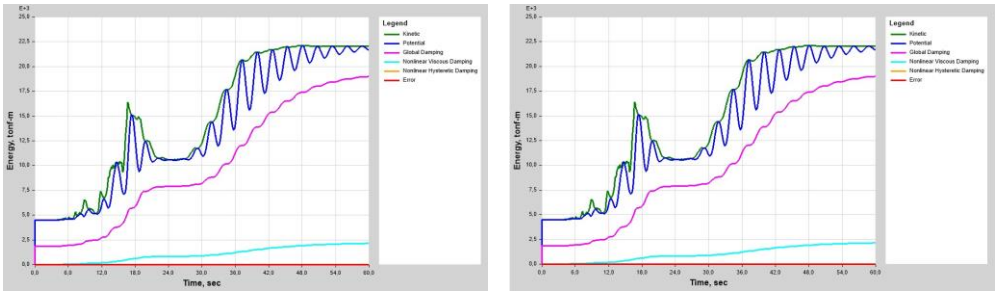


Ilustración 90 Balance energético de los sismos Iwate de 2008. Fuente propia.

Finalmente, para el sismo de Iwate se obtiene un valor de 11.7%

Con todos los valores obtenidos se puede calcular un porcentaje promedio de disipación el cual es: 9.17%

5.4.11 Curva de histéresis

La curva histérica debe tener una tendencia elíptica identificando el comportamiento desplazamiento – fuerza, esta grafica representa el incremento de amortiguamiento y reducción de desplazamientos. Se toma un disipador para mostrar el comportamiento de dicho elemento, y se grafica para los 14 registros. El elemento tomando es el “link” o disipador K71, que se encuentra en el piso 11.

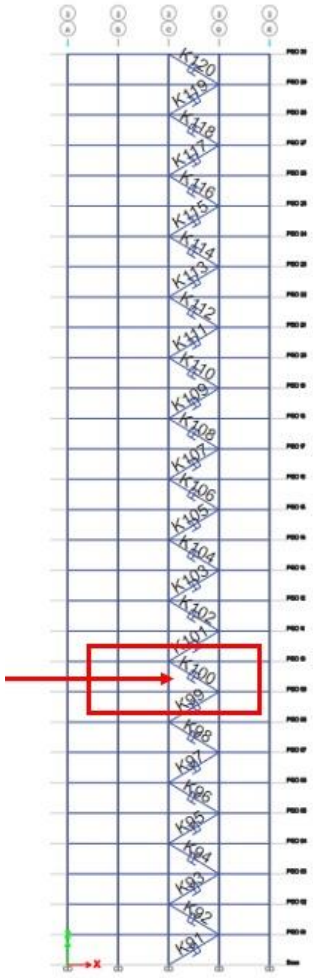


Ilustración 91. Análisis de curvas histeréticas para el disipador K71. Fuente propia.

De tal manera, se muestran los resultados obtenidos de las curvas histerètico de fuerza-desplazamiento.

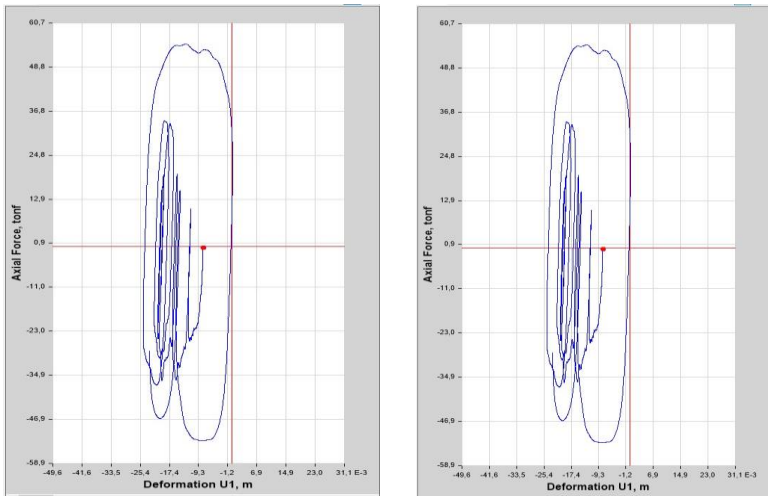


Ilustración 92 Curva de histéresis para el sismo Coalinga de 1983. Fuente propia.

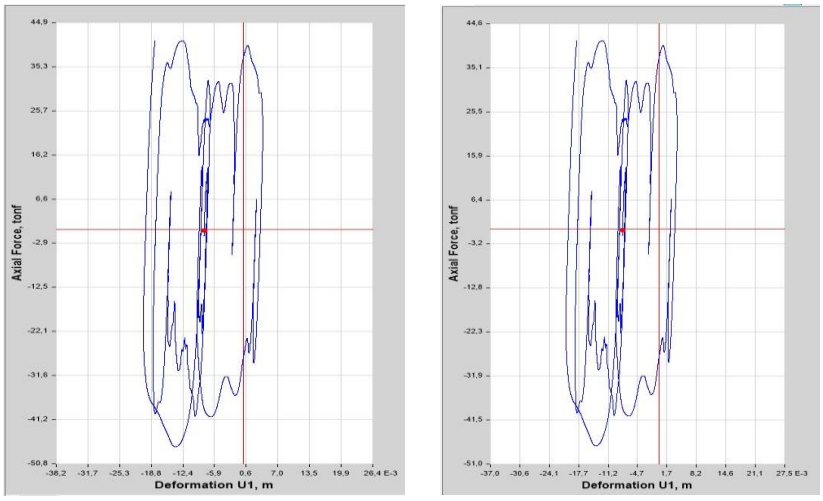


Ilustración 93 Curva de histéresis para el sismo Loma de 1989. Fuente propia.

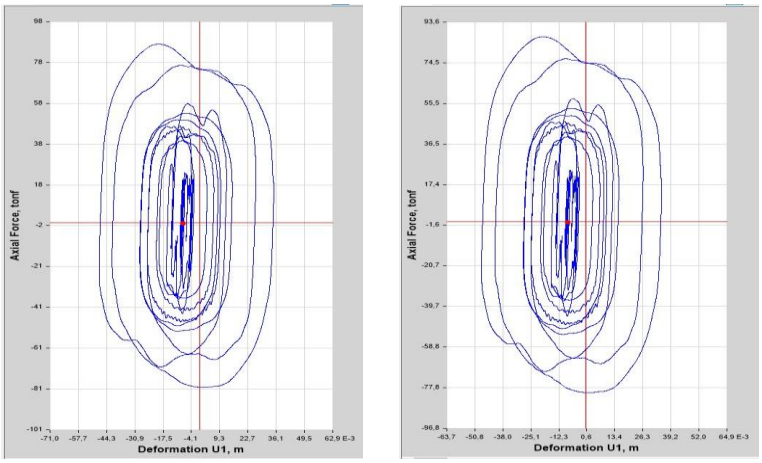


Ilustración 94 Curva de histéresis para el sismo Niigata de 2004. Fuente propia.

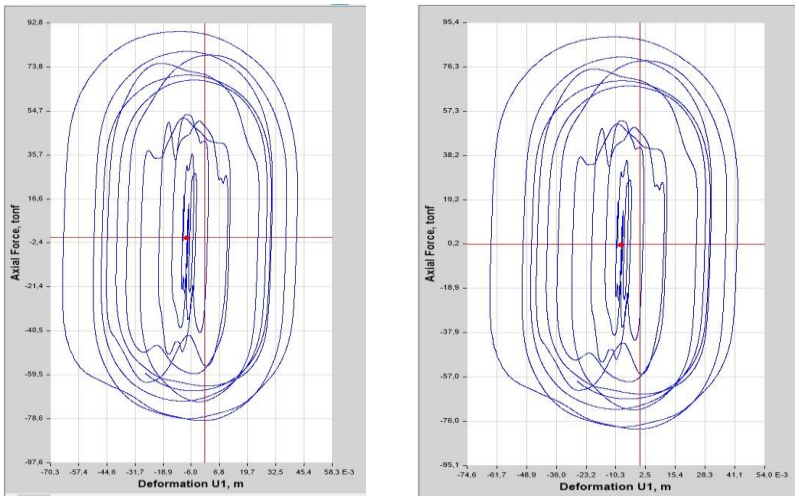


Ilustración 95 Curva de histéresis para el sismo Chuetsu_1 de 2007. Fuente propia.

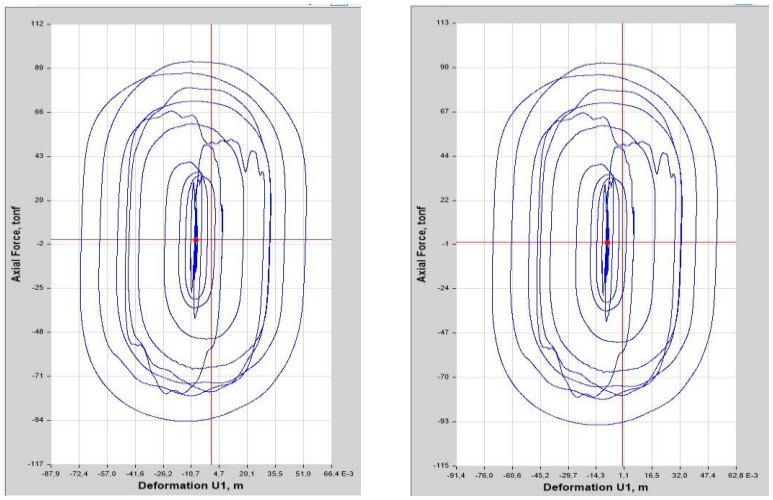


Ilustración 96 Curva de histéresis para el sismo Chuetsu_2 de 2007. Fuente propia.

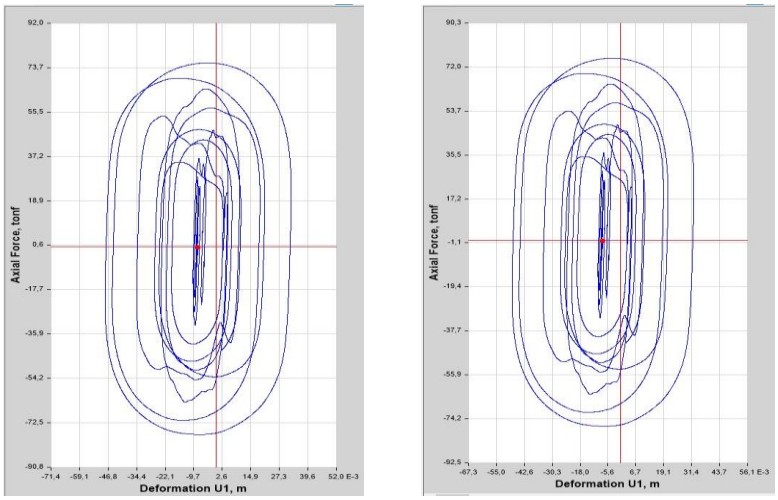


Ilustración 97 Curva de histéresis para el sismo Chuetsu_3 de 2007. Fuente propia.

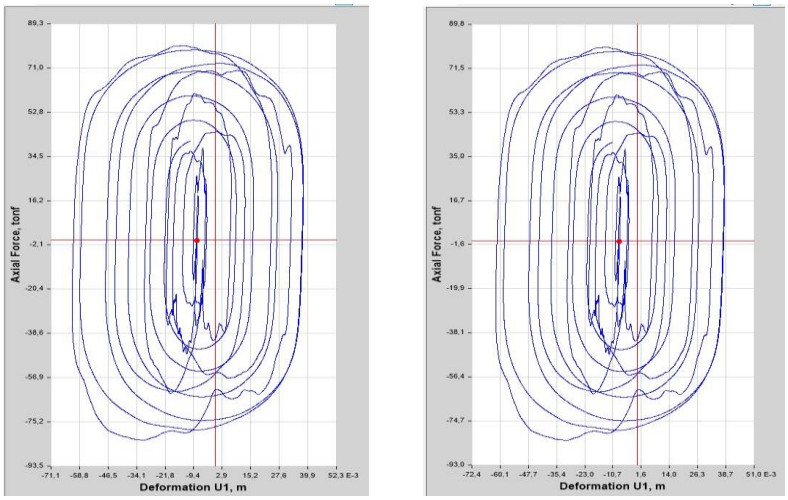


Ilustración 98 Curva de histéresis para el sismo Iwate de 2008. Fuente propia.

En las figuras anteriores se observa un comportamiento elíptico demostrando la efectividad de los disipadores incrementado el amortiguamiento.

5.4.12 Desplazamiento de entrepiso

Los porcentajes de reducción de los desplazamientos laterales se presentan en las siguientes tablas 37 y 38

DIRECCION X-X		
CON DISIPADOR (30 PISOS)		% REDUCCION
30	0.01295	9.04%
29	0.01361	11.00%
28	0.01410	11.96%
27	0.01453	12.61%
26	0.01491	13.13%
25	0.01540	12.18%
24	0.01590	10.61%
23	0.01632	9.22%
22	0.01678	6.96%
21	0.01714	4.94%
20	0.01746	1.95%
19	0.01774	0.44%
18	0.01809	3.39%
17	0.01830	5.96%
16	0.01856	8.78%
15	0.01869	11.25%
14	0.01884	13.76%
13	0.01886	15.85%
12	0.01895	17.90%
11	0.01897	19.10%
10	0.01886	20.72%
9	0.01862	21.71%
8	0.01829	22.73%
7	0.01781	23.19%
6	0.01718	23.48%
5	0.01634	23.23%
4	0.01520	22.42%
3	0.01372	21.03%
2	0.01190	19.15%
1	0.00841	15.32%

Tabla 40 % Reducción de desplazamiento X-X

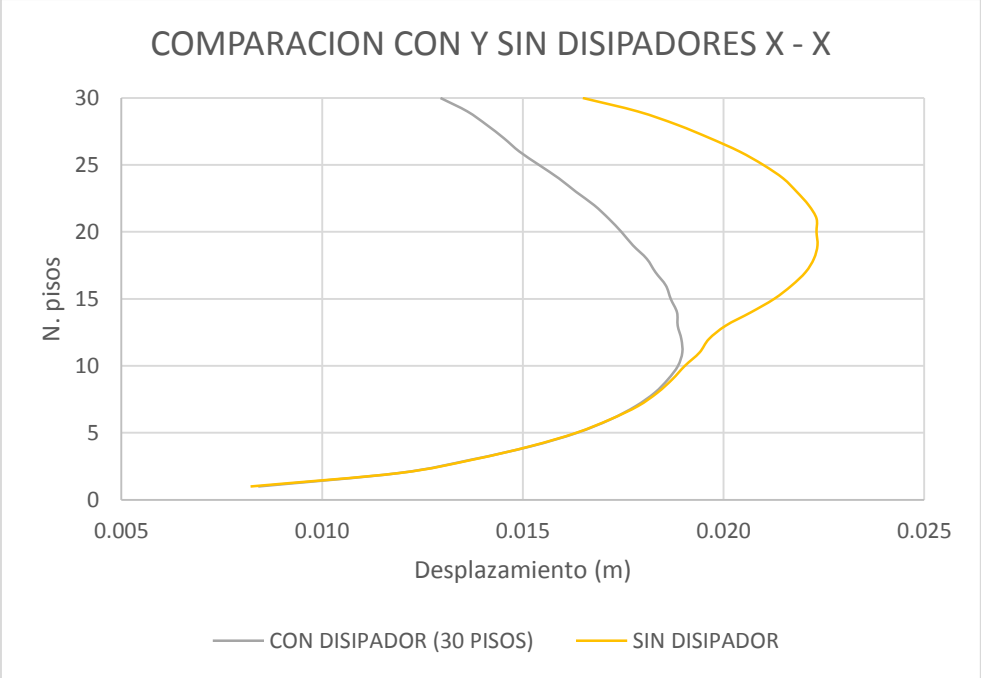


Ilustración 99 Comparación desplazamientos con y sin disipadores X-X

DIRECCION Y-Y		
CON DISIPADOR (30 PISOS)		% REDUCCION
30	0.00160	62.74%
29	0.00153	73.81%
28	0.00134	76.80%
27	0.00178	75.06%
26	0.00132	83.00%
25	0.00180	80.64%
24	0.00121	89.22%
23	0.00177	85.55%
22	0.00109	94.23%
21	0.00172	89.31%
20	0.00100	97.67%
19	0.00171	91.49%
18	0.00087	100.51%
17	0.00163	93.31%
16	0.00074	102.21%
15	0.00153	94.28%
14	0.00071	101.75%
13	0.00139	94.45%
12	0.00081	98.95%
11	0.00113	94.88%
10	0.00099	94.26%
9	0.00094	93.39%
8	0.00106	89.21%
7	0.00072	90.46%
6	0.00107	82.76%
5	0.00056	84.54%
4	0.00098	74.18%
3	0.00049	73.83%
2	0.00068	73.38%
1	0.00074	38.87%

Tabla 41 Reducción de desplazamiento Y-Y

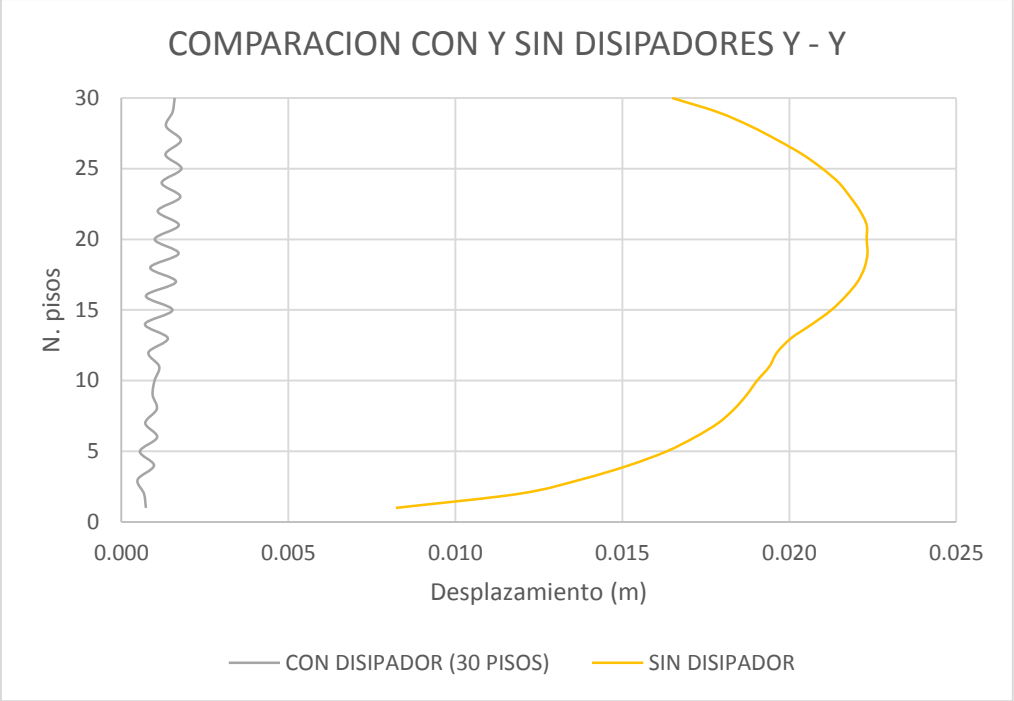


Ilustración 100 Comparación desplazamientos con y sin disipadores X-X

PISO	SIN DISIPADOR	CON DISIPADOR (30 PISOS)	% REDUCCION
30	0.01659	0.01305	78.63
29	0.01794	0.01370	76.35
28	0.01890	0.01416	74.90
27	0.01977	0.01463	74.03
26	0.02045	0.01497	73.21
25	0.02109	0.01551	73.53
24	0.02152	0.01594	74.07
23	0.02191	0.01642	74.92
22	0.02215	0.01681	75.90
21	0.02240	0.01722	76.90
20	0.02234	0.01749	78.27
19	0.02242	0.01782	79.52
18	0.02227	0.01811	81.31
17	0.02211	0.01838	83.11
16	0.02171	0.01858	85.57
15	0.02132	0.01875	87.95
14	0.02069	0.01885	91.11
13	0.02010	0.01891	94.07
12	0.01965	0.01897	96.51
11	0.01944	0.01901	97.80
10	0.01906	0.01889	99.09
9	0.01875	0.01864	99.43
8	0.01839	0.01832	99.61
7	0.01788	0.01783	99.69
6	0.01721	0.01721	100.01
5	0.01633	0.01635	100.10
4	0.01522	0.01523	100.09
3	0.01376	0.01373	99.77
2	0.01192	0.01192	100.03
1	0.00822	0.00844	102.63

Tabla 42 % Reducción de desplazamientos totales.

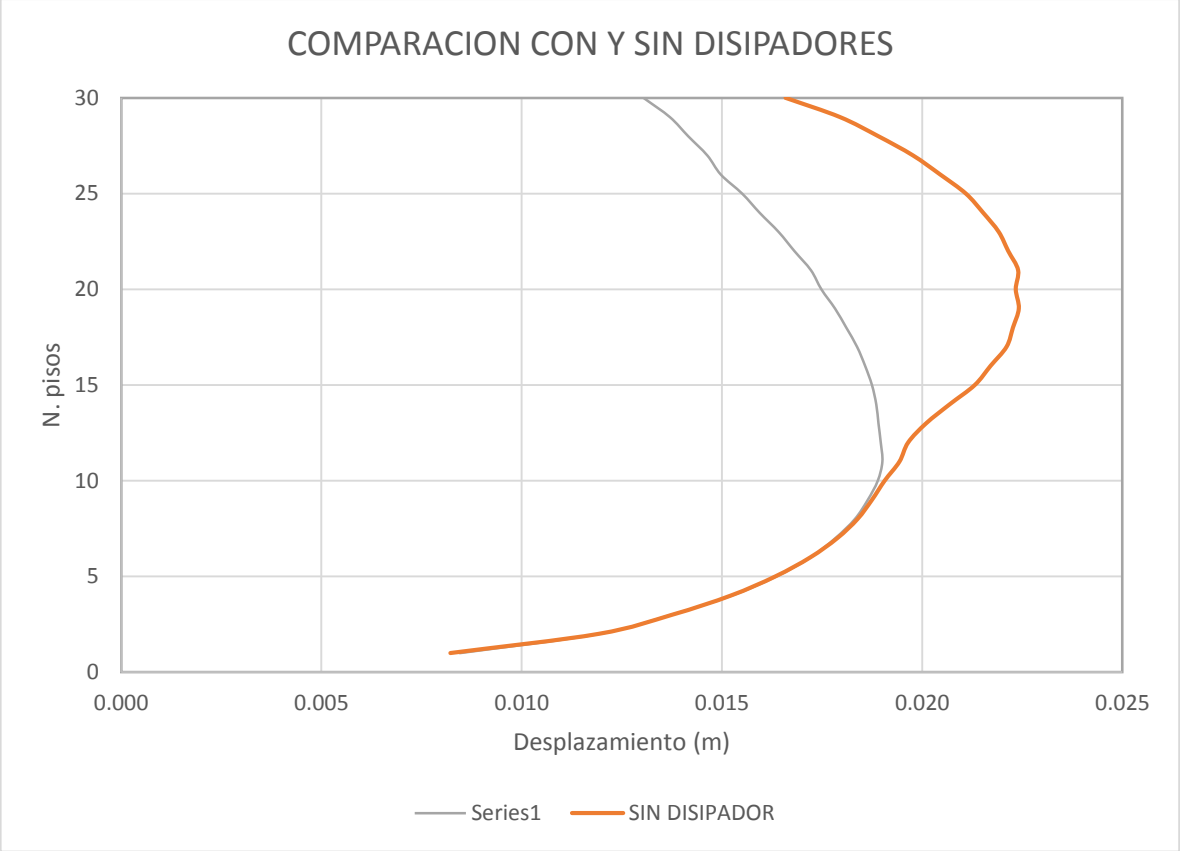


Ilustración 101 Reducción de desplazamiento con disipadores

Según las tablas se puede apreciar que el porcentaje de reducción de desplazamiento lateral para los disipadores está en un rango de 10% a 20% para la dirección x-x y para la dirección y-y en un rango de 80% a 90% y en general de reduce en 80% A 90%

6 ANÁLISIS DE LOS MODELOS

6.1 ANÁLISIS DE COSTOS

Una vez obtenidos los diseños de la edificación con y sin disipadores, se realiza el presupuesto de la estructura metálica:

6.1.1 Presupuesto N. 1 Edificio con y sin amortiguadores

	UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS				
	FACULTAD TECNOLOGICA - INGENIERIA CIVIL				
	OBJETO: TRABAJO DE GRADO SIN DISIPADORES DE FLUIDO VICOSO				
	PROYECTO: RESPUESTA SÍSMICA DE UNA ESTRUCTURA DE ACERO IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C				
DIRECCION LOTE DE ESTUDIO: Transversal 14ª con calle 168.					
CIUDAD: BOGOTA					
FECHA: MAYO DE 2021					
ITEM	**DESCRIPCION**	**UND**	**CANT**	**VR UNIT.**	**VR TOTAL**
1	**ESTRUCTURA**				
1,1	Suministro e instalacion de HEA 600 en acero A992 grado 50 para columnas	KG	626850	$22.366,57	$14.020.481.686,98
1,2	Suministro e instalacion de HEA 400 en acero A992 grado 50 para vigas de entrepiso	KG	750000	$20.674,79	$15.506.089.923,60
1,3	Suministro e instalacion de HEA 300 en acero A992 grado 50 para vigas de entrepiso	KG	238410	$18.137,12	$4.324.070.282,07
1,4	Suministro e instalacion de angulo doble de 3/4" x 6" A992 grado 50 para arriostramientos	KG	441965,50	$14.808,07	$6.544.657.356,89
1,5	Suministro e instalacion de IPE 240 en acero A992 grado 50 para correas	KG	202620	$17.291,23	$3.503.548.691,28
2	**CONCRETOS**				
2,1	Escalera en concreto 3000PSI, incluye acero de refuerzo	M3	9,8112	$184.319,88	$1.808.399,21
2,2	Descanso escalera hasta 1.80 m x 1.50 m concreto de 3000 PSI	UND	120	$247.611,76	$29.713.411,44
2,3	Muro de refuerzo ascensor espesor 12 cm en concreto de 4000 PSI	M2	3564	$262.241,86	$934.629.976,31
2,4	Suministro e instalacion de placa de entrepiso en Metaldeck, concreto de 4000PSI incluye malla electrosoldada	M2	16500	$214.439,46	$3.538.251.026,26
				SUBTOTAL ACTIVIDAD	$48.403.250.754,03

Tabla 43 Presupuesto N. 1 edificio sin disipadores

	UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS				
	FACULTAD TECNOLOGICA - INGENIERIA CIVIL				
	OBJETO: TRABAJO DE GRADO SIN DISIPADORES DE FLUIDO VICOSO				
	PROYECTO: RESPUESTA SÍSMICA DE UNA ESTRUCTURA DE ACERO IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C				
DIRECCION LOTE DE ESTUDIO: Transversal 14ª con calle 168.					
CIUDAD: BOGOTA					
FECHA: MAYO DE 2021					
ITEM	**DESCRIPCION**	**UND**	**CANT**	**VR UNIT.**	**VR TOTAL**
1	**ESTRUCTURA**				
1.1	Suministro e instalacion de HEA 600 en acero A992 grado 50 para columnas	KG	626850	$22,366.57	$14,020,481,686.98
1.2	Suministro e instalacion de HEA 400 en acero A992 grado 50 para vigas de entrepiso	KG	750000	$20,674.79	$15,506,089,923.60
1.3	Suministro e instalacion de HEA 300 en acero A992 grado 50 para vigas de entrepiso	KG	238410	$18,137.12	$4,324,070,282.07
1.5	Suministro e instalacion de angulo doble de 3/4" x 6" A992 grado 50 para arriostramientos	KG	441965.50	$14,808.07	$6,544,657,356.89
1.6	Suministro e instalacion de IPE 240 en acero A992 grado 50 para correas	KG	202620	$17,291.23	$3,503,548,691.28
2	**CONCRETOS**				
2.1	Escalera en concreto 3000PSI	M3	9.8112	$184,319.88	$1,808,399.21
2.2	Descanso escalera hasta 1.80 m x 1.50 m concreto de 3000 PSI	UND	120	$247,611.76	$29,713,411.44
2,3	Muro de refuerzo ascensor espesor 12 cm en concreto de 3000 PSI	M2	3564	$262,241.86	$934,629,976.31
2.4	Suministro e instalacion de placa de entrepiso en Metaldeck, concreto de 4000PSI	M2	16500	$214,439.46	$3,538,251,026.26
3	**DISIPADOR**				
3.1	Suministro e Instalacion de disipados de fluido viscoso tipo TAYLOR 17190 900KIP	UND	40	$44,169,840.00	$1,766,793,600.00
3.1	Suministro e Instalacion de disipados de fluido viscoso tipo TAYLOR 17180 675KIP	UND	40	$22,084,920.00	$883,396,800.00
3.1	Suministro e Instalacion de disipados de fluido viscoso tipo TAYLOR 17150 220KIP	UND	40	$9,202,050.00	$368,082,000.00
3.2	Suministro e instalacion de conexiones en acero para disipador	UND	120	$3,680,820.00	$441,698,400.00
				SUBTOTAL ACTIVIDAD	$51,863,221,554.03

Tabla 44 Presupuesto N. 2 edificio con amortiguadores de fluido viscoso

6.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS COSTOS

Como se observa en la siguiente tabla, la inversión total con disipadores aumentaría un 7.15% del valor inicial del proyecto.

RELACION DE COSTOS		
PRESUPUESTO INICIAL	$	48,403,250,754.03
PRESUPUESTO CON DISIPADORES	$	51,863,221,554.03
DIFERENCIA	$	3,459,970,800.00
%AGREGADO DEL VALOR INICIAL	**7.15%**	

Tabla 45 Relación de costos para disipadores.

Se considera un buen margen para aprobar la implementación de disipadores, representado una buen relación costo/beneficio según la ocupación y uso de la edificación.

6.3 RESUMEN DE LA INVERSIÓN

Este tipo de inversión se evaluará desde 2 componentes:

Componente económico

Los proyectos tipo oficina que no son de carácter esencial preliminarmente no necesitan de un diseño tan riguroso es decir que se pueden permitir derivas y deformaciones importantes, sin embargo, se está diseñando una edificación de 18.000m2; por tal razón el valor humano y material que albergara es altísimo, se estima un valor promedio de $2.689.069,49 por metro cuadrado sin disipadores, y de $2.881.290,09 con disipadores.

La implementación de los disipadores en la estructura demostró una reducción en desplazamientos y de derivas en promedio entre 10% y 20%, esto representa una reducción en los esfuerzos de los elementos estructurales y también en los no estructurales. De tal manera, que por un valor adicional del 7.15% de la inversión inicial, se pueden salvar elementos estructurales al momento de un sismo y evitar reparaciones en el sistema estructural

Componente de seguridad

Por el tipo de uso de la estructura, luego de un sismo esta no está obligada a seguir en funcionamiento, sin embargo, el personal que trabajen este sitio puede verse muy expuesto, teniendo en cuenta la altitud de la estructura, por tal motivo, aumentar el amortiguamiento de la misma y resguardar vidas humanas al momento de un sismo es una opción ideal. Con el aumento de este amortiguamiento también se asegura que equipos en las instalaciones puedan recuperarse sin representar altos costos para los usuarios.

RESUMEN CANTIDADES			
PROYECTO: SIN DISIPADORES			
ITEM	**DESCRIPCION**	**UND**	**CANT**
1	**ESTRUCTURA**		
1.1	Suministro e instalacion de HEA 600 en acero A992	KG	626850
1.2	Suministro e instalacion de HEA 400 en acero A992	KG	750000
1.3	Suministro e instalacion de HEA 300 en acero A992	KG	238410
1.4	Suministro e instalacion de angulo doble de 3/4" x	KG	441965.50
1.5	Suministro e instalacion de IPE 240 en acero A992	KG	202620
2	**CONCRETOS**		
2.1	Escalera en concreto 3000PSI, incluye acero de	M3	9.8112
2.2	Descanso escalera hasta 1.80 m x 1.50 m concreto	UND	120
2,3	Muro de refuerzo ascensor espesor 12 cm en	M2	3564
2.4	Suministro e instalacion de placa de entrepiso en	M2	16500

Tabla 46 Resumen de cantidades para proyecto sin disipadores. Fuente propia

RESUMEN CANTIDADES			
PROYECTO: CON DISIPADORES			
ITEM	**DESCRIPCION**	**UND**	**CANT**
1	**ESTRUCTURA**		
1.1	Suministro e instalacion de HEA 600 en acero A992	KG	626850
1.2	Suministro e instalacion de HEA 400 en acero A992	KG	750000
1.3	Suministro e instalacion de HEA 300 en acero A992	KG	238410
1.4	Suministro e instalacion de angulo doble de 3/4" x	KG	441965.50
1.5	Suministro e instalacion de IPE 240 en acero A992	KG	202620
2	**CONCRETOS**		
2.1	Escalera en concreto 3000PSI, incluye acero de	M3	9.8112
2.2	Descanso escalera hasta 1.80 m x 1.50 m concreto	UND	120
2,3	Muro de refuerzo ascensor espesor 12 cm en	M2	3564
2.4	Suministro e instalacion de placa de entrepiso en	M2	16500
3	**DISIPADOR**		
3.1	Suministro e Instalacion de disipados de fluido viscoso tipo TAYLOR 17190 900KIP	UND	40
3.1	Suministro e Instalacion de disipados de fluido viscoso tipo TAYLOR 17180 675KIP	UND	40
3.1	Suministro e Instalacion de disipados de fluido viscoso tipo TAYLOR 17150 220KIP	UND	40
3.2	Suministro e instalacion de conexiones en acero	UND	120

Tabla 47 Resumen de cantidades para proyecto con disipadores. Fuente propia.

7 CONCLUSIONES

Se comprobó que la implementación de disipadores de fluido viscoso cambia periodo inicial 5.256s a 5.209s de la estructura, lo que verifica que estos dispositivos no alteran de manera representativa el periodo fundamental.

Para el caso de edificación propuesta de 30 pisos, se realiza la implementación de disipadores de fluido viscoso en todas sus plantas distribuyendo 4 disipadores, 2 en la dirección X-X y 2 en la dirección Y-Y, esto teniendo en cuenta la directriz establecida por la ASCE 6-10. Sin embargo, al realizar esta distribución y lectura de resultados arrojados por la modelación, se observa que no se cumple a cablidad la deriva objetivo planteada por ma metodología HAZUS, la cual indica una deriva de 0.0125m y uno de los objetivos de la implementación de los disipadores, teniendo en cuenta que la deriva objetivo planteada por la metodología HAZUS es de 0.0125m y los valores obtenidos muestran una deriva promedio de 0.0163m

La disipación de energía con los disipadores de fluido viscoso es en promedio de un 9.20% llegando a utilizar un total de 120 disipadores. Realizando un análisis tiempo historia, demostrándose que el uso de estos dispositivos incrementa la capacidad de disipación de energía al momento de ocurrir un sismo.

Como se observa en al Tabla 39, existe una reducción en los desplazamientos que estos valores pueden ser cubiertos como tolerancias, debido a que la diferencia máxima entre las derivas obtenidas con la instalación de disipadores y sin ellos es de aproximadamente 0.04m. Concluyendo que el diseño, calculo e implementación de los disipadores, se encuentra de acuerdo con los parámetros y normativas usadas durante el desarrollo de este documento NSR-10, FEMA 274, ASCE 7-10.

Este documento genera un aporte importante a la comunidad dedicada a la ingeniería Civil en Colombia , el cual amplia de manera clara y organizada la implementación de disipadores de fluido viscoso según las normativa vigente; teniendo en cuenta la poca información que se encuentra a nivel nacional sobre el desarrollo de metodologías poco convencionales para la optimización de la respuesta sísmica de la estructura, mejorando las derivas en la edificación y reduciendo los esfuerzos en los elementos de la estructura.

Como se mencionó anteriormente, para la implementación de disipadores en esta estructura metálica, es necesario instalar 4 disipadores por piso, se puede concluir que la relación costo/beneficio favorece la implementación de los disipadores para la estructura,

pues es un 7.15% más de la inversión inicial, pero se obtienen beneficios como son la reducción de derivas, lo cual refleja menos desplazamientos y menores esfuerzos en la estructura, salvaguardando el valor de la inversión inicial en caso de un sismo.

Adicionalmente, no es pertinente contemplar la idea de reducir la cantidad de disipadores, con el objetivo de reducir costos; porque no se cumpliría con la deriva objetivo, esto se comprobó mediante la modelación de 6 disipadores por piso en 10 pisos. Se aclara, que una menor cantidad de disipadores en la estructura puede funcionar y de igual forma, reducir las derivas para la estructura, sin embargo, puede representar en gastos de mantenimiento en periodos de tiempo más cortos.

Finalmente, para este modelo y condiciones se recomienda implementar por lo menos dos (2) dispaodres mas en el eje X, teniendo en cuenta que en este eje es donde se presetan las maores derivas, por tanto, requiere una mayor disipación de energía para controlar las derivas, este proceso se realiza incluyendo mas disipaodres.

8 BIBLIOGRAFÍA

- AGUIAR, R. Análisis de una estructura con disipadores sometidos a espectros de diseño y de control. (2016). Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, 171-178.
- ALVARES VARGAS, C, F. Análisis y diseño de disipadores sísmicos de fluido viscoso para control de la respuesta sísmica de edificaciones en Huancayo 2017. Huancayo. (2017) Universidad Nacional del Centro del Perú.
- ASCE. Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras. (2017). ASCE 7-16, 822.
- ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) (2010). Ley 400 de 1997 (Modificada Ley 1229 de 2008), Decreto 926 del 19 de marzo de 2010. Bogotá D.C.
- BENEDETTI, A, LANDI, L, & GIUSEPPE MERENDA, D.. Displacement-Based Design of an Energy Dissipating System for Seismic Upgrading of Existing Masonry Structures. (2014) Journal of Earthquake Engineering, 477-501.
- CALDERON TERRONES, Y, S. Evaluación del diseño con disipadores de energía del edificio principal de la Universidad Nacional de Cajamarca – sede Jaen. (2014) Universidad Nacional de Cajamarca.
- CARDONA MERINO, N, M. Estudio del comportamiento estructural al usar los diferentes métodos de análisis sísmico del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (2017). Universidad EAFIT.
- CARLOS GENATIOS, M. L. Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras. Caracas: Banco de Desarrollo de América Latina.
- CCR TV. Reforzamiento de edificación con disipadores de energía FVD. (abril 2018). (archivo de video) YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=5gS0bvVg8z4&ab_channel=CCRTV
- CDV INGENIERIA ANTISIMICA. CDV Ingeniería Antisísmica (mayo de 2020). Obtenido de https://www.cdvperu.com/disipadores-sismicos-taylor/
- DUARTE MINISTRA, M &DUENAS, S. Guía práctica para el diseño de estructuras de acero, quito septiembre 2016. Quito-Ecuador.
- ESCUELA DE INGENIERIA DE ANTIOQIA. Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones. (2006). EIA, 16.
- GARCIA REYES, L, E. Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico. (1998). Editorial Universidad de los Andes.
- GARZÓN, P. A. Evaluación de la Amenaza Sísmica de Colombia mediante análisis de valores extremos históricos. (2011). Universidad Nacional de Colombia.

- GENATIOS. C., & LAFUENTE, M. Introducción al uso de aisladores y disipadores de energía. (2016). Caracas: CAF-Banco de Desarrollo de América Latina.
- GOMEZ ALFONZO, T., & RIVEVA MONTERO, D. Comparación del Costo y la Respuesta Sísmica de una Edificación Diseñada con Sistema Estructural Pórtico y Diseñada Mediante Disipadores de Energía Sísmica Tipo Pall Dinamics, Ubicada en la Ciudad de Bogotá D.C. Bogotá (2019). Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- INGECIVIL.NET. Ingecivil.net. (mayo de 2020). Obtenido de https://www.ingecivil.net/2018/08/13/funcionan-los-aisladores-sismicos/
- LAVERDE, L. L. Sistemas Modernos de protección Sísmica en Edificaciones. (Monografía especialista en estructuras). (2017). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- LEON JOYA, L, T. Disipadores y aisladores sísmicos, modelo de puente vehicular con disipador y sin disipador de energía, comparación de la respuesta sísmica. Bogotá (2016) Universidad Católica de Colombia.
- MARIANELA LAFUENTE, C, G. Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras. (2016). Banco de desarrollo de América Latina.
- OTINIANANO VASQUEZ J, B, Desempeño sísmico de un edificio de concreto armado con disipadores de energía viscosos, Trujillo 2019. Trujillo (2019) Universidad Privada del norte.
- OVIEDO, J. A. Protección Sísmica y Reforzamiento de Edificaciones a través de sistemas no Convencionales. 3er Simposio de Ingeniería de Materiales y Estructuras, (2015). (pág. 79). Bogotá.
- OVIEDO, J. A., & DUQUE, M. Disipadores Histeréticos Metálicos Como Técnica de Control de Respuesta Sísmica en Edificaciones Colombianas. EIA, (2009). 51-63.
- OVIEDO, J. A., & DUQUE, M Situación de las técnicas de control de respuesta sísmica en Colombia, (2009). Revista EIA.
- PIMIENTO, J., SALAS, A., & RUIZ, D. Desempeño Sísmico de un Pórtico con Disipadores de Energía Pasivos de Placas Ranuradas de Acero. (2014). Revista Ingeniería de Construcción, 283-298.
- ROJAS RODRIGEZ, R. Comportamiento estructural de un edificio de 5 pisos por cambio de uso con aplicación de disipadores de fluido viscoso, Los Olivos, 2019. Lima 2019. Universidad Cesar Vallejo.
- SANCHEZ, M. D. Edificaciones con disipadores viscosos. (2016). Perú: Editora & Imprenta Grafica S.R.L.
- TAYLOR DEVICES INC. Fluid viscous Dampers, (2020). General Guidelines for Engineers Including a Brief History.
- TISALEMA, M, Aula 18: Diseño de disipador de energía de fluido viscoso (mayo 2019). (archivo de video). YouTube.

https://www.youtube.com/watch?v=vNCsEaqfaUg&ab_channel=Ing.MiguelTisalemaIng.MiguelTisalema

- TISALEMA, M, Aula 20: Interpretación de resultados del análisis sísmico con disipador de energía (mayo 2019). (archivo de video). YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=FrF-cgfUSq0&t=627s&ab_channel=Ing.MiguelTisalema
- VILLANUEVA, G. Diseño sísmico por desempeño aplicado a un edificio de hormigón armado. Valdivia. (2009). Universidad Austral de Chile.
- VILLAREAL CASTO, G. & OVIEDO SARMIENTO, R. Edificaciones con disipadores de energía (2013) Lima-Perú.
- VILLAREAL CASTO, G, Video 11: Disipador de fluido viscoso. (febrero 217) (archivo de video). YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=63odOeW7U38&t=682s&ab_channel=GennerVillarrealCastro

9 ANEXOS

Anexo A. Paso a paso ETABS para el modelo sin disipadores de energía sísmica.

Inicialmente se crea un modelo en el programa ETABS con los siguientes pasos:

1 New Model

1.1 Model Initialization, con los siguientes datos:

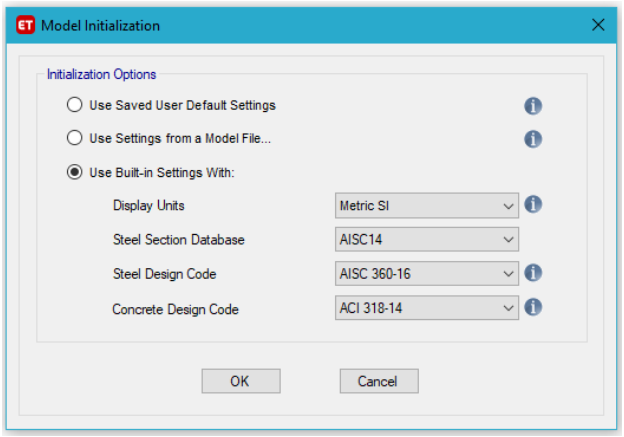


Ilustración 102 Unidades para el modelo, Fuente: ETABS versión estudiante

1.2 New Model Quick Templates: Configurando las siguientes opciones:

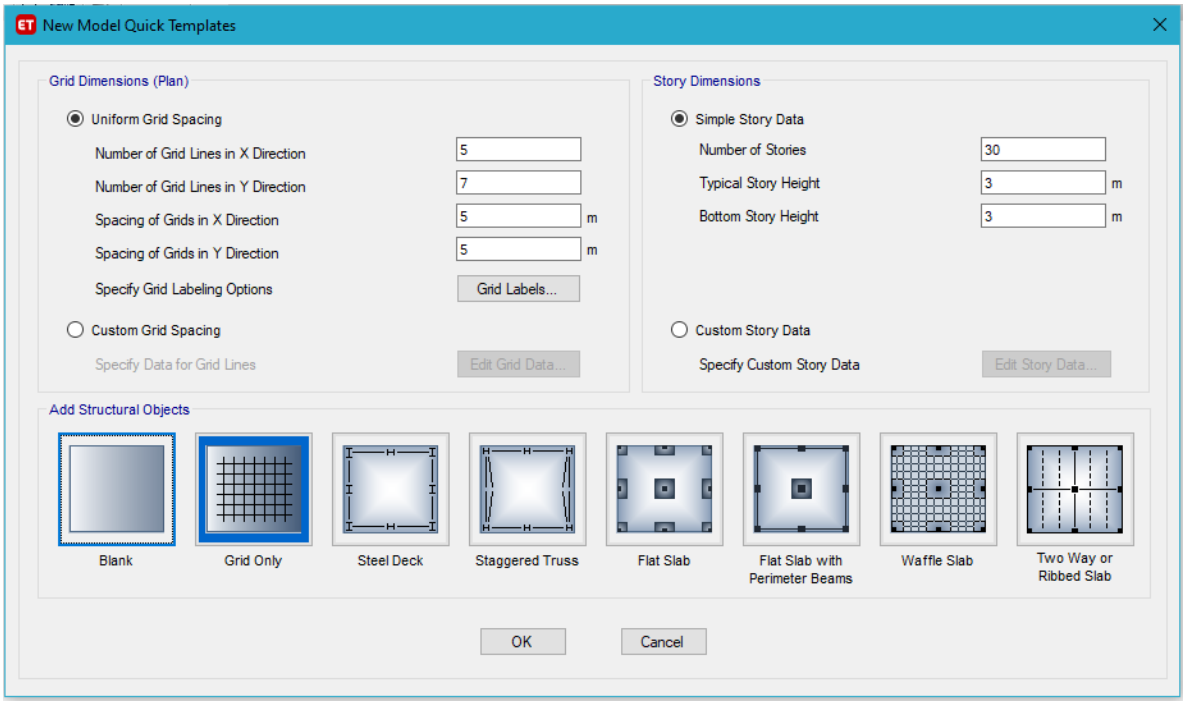


Ilustración 103 Configuración de grilla Fuente: ETABS versión estudiante

Con el modelo:

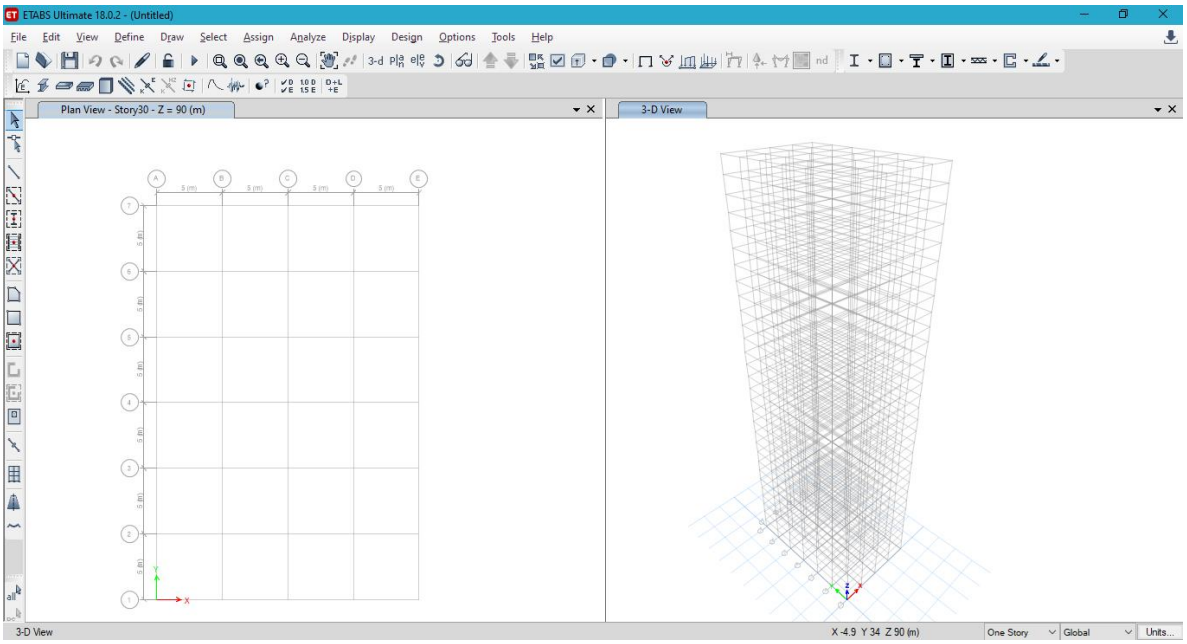


Ilustración 104 Vista de grilla según especificaciones Fuente: ETABS versión estudiante

3 Se definen los materiales de la estructura a diseñar:

3.1 Define, Material properties, Add New Material y se configura el acero y concreto a implementar:

3.1.1 Para estructura en acero

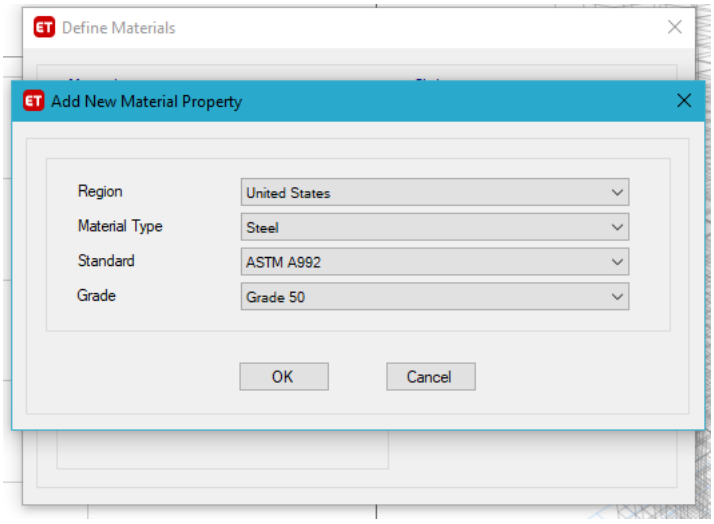


Ilustración 105 Material de diseño, acero

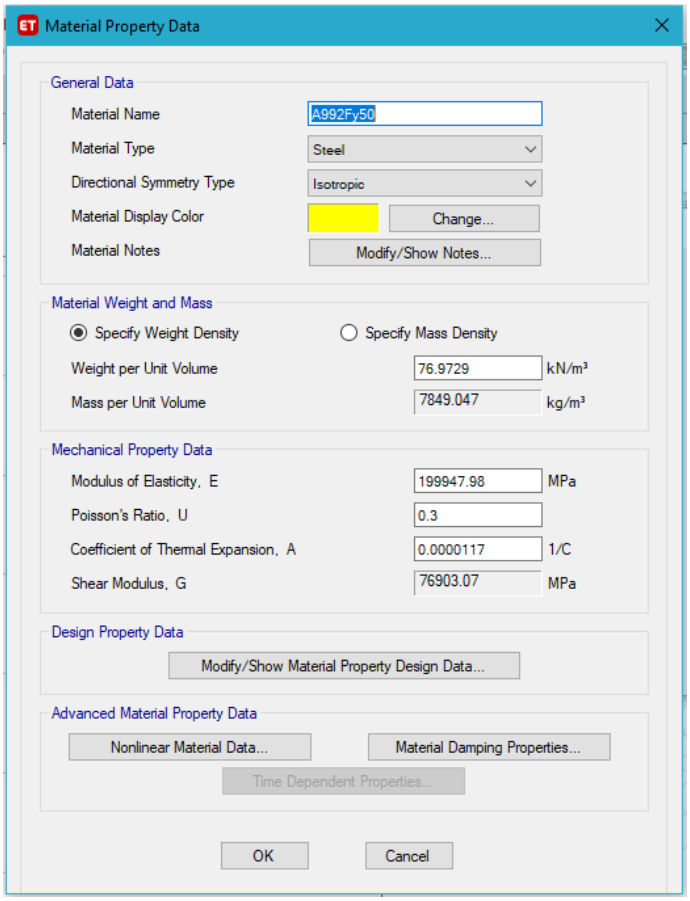


Ilustración 106 Propiedades de acero Fuente: ETABS versión estudiante

2.1.2 Para estructura en concreto de 21 Mpa.

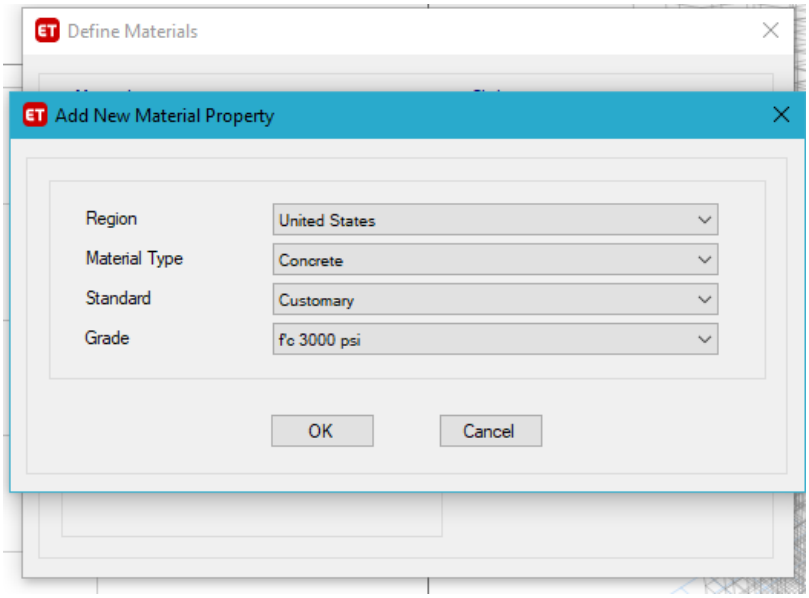


Ilustración 107 Material de diseño, concreto

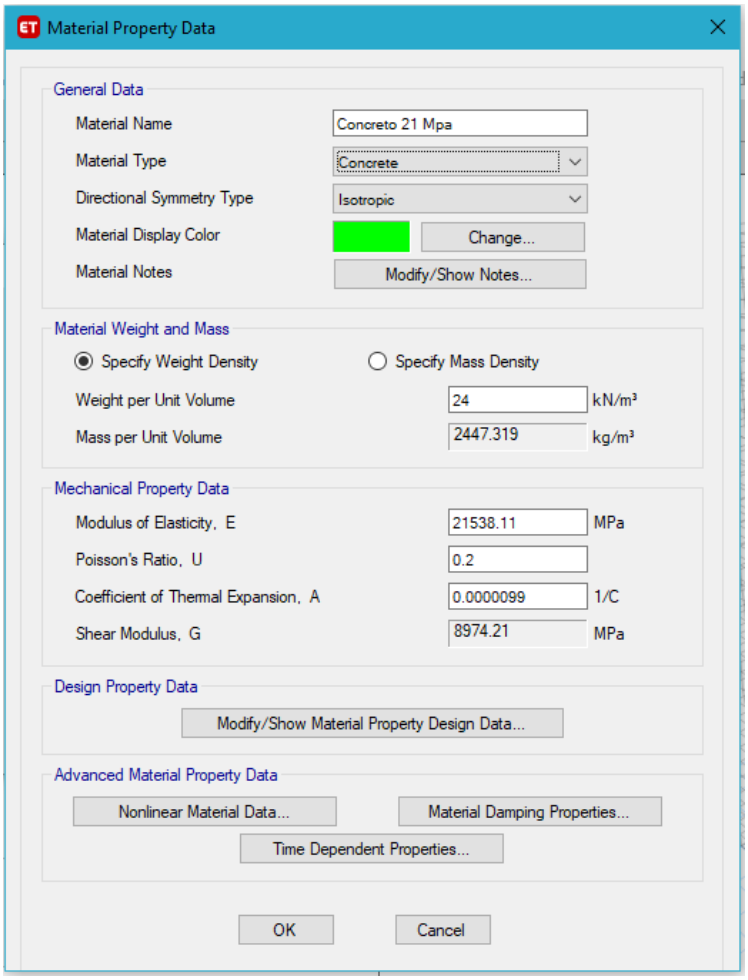


Ilustración 108 Propiedades de Concreto, Fuente: ETABS versión estudiante

Cambiando el módulo de elasticidad según la fórmula para un concreto de 21Mpa:

$$E = 4700\sqrt{f'c} \qquad E = 4700\sqrt{21}$$

4 Con el material definido se definen las secciones de columnas, vigas y placa a implementar en el modelo:

4.1 Section Properties

4.2 Frame Sections

4.3 Add New Property

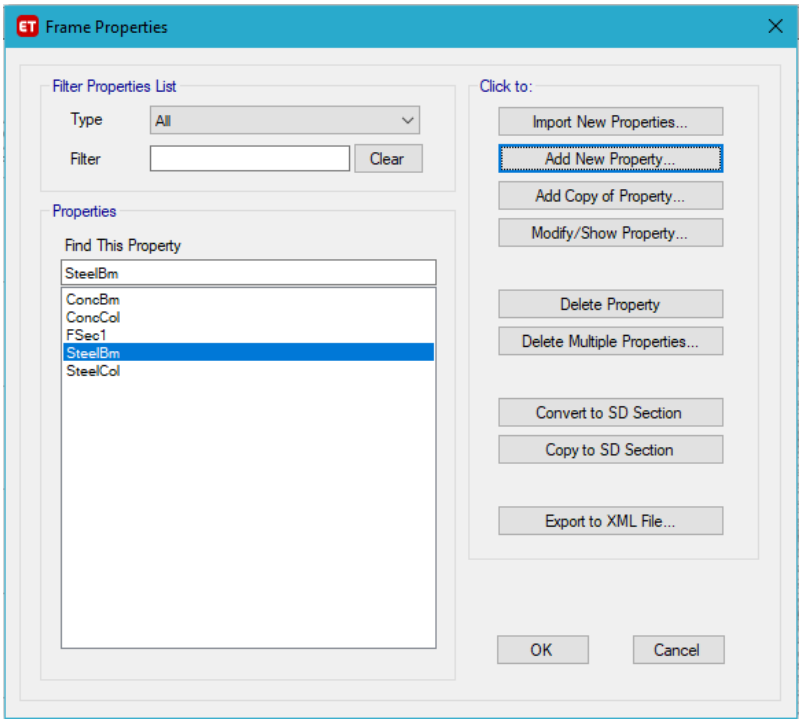


Ilustración 109 Cuadro de propiedades

3 Se escoge la sección de acero en I/Wide Flange Section para las secciones:

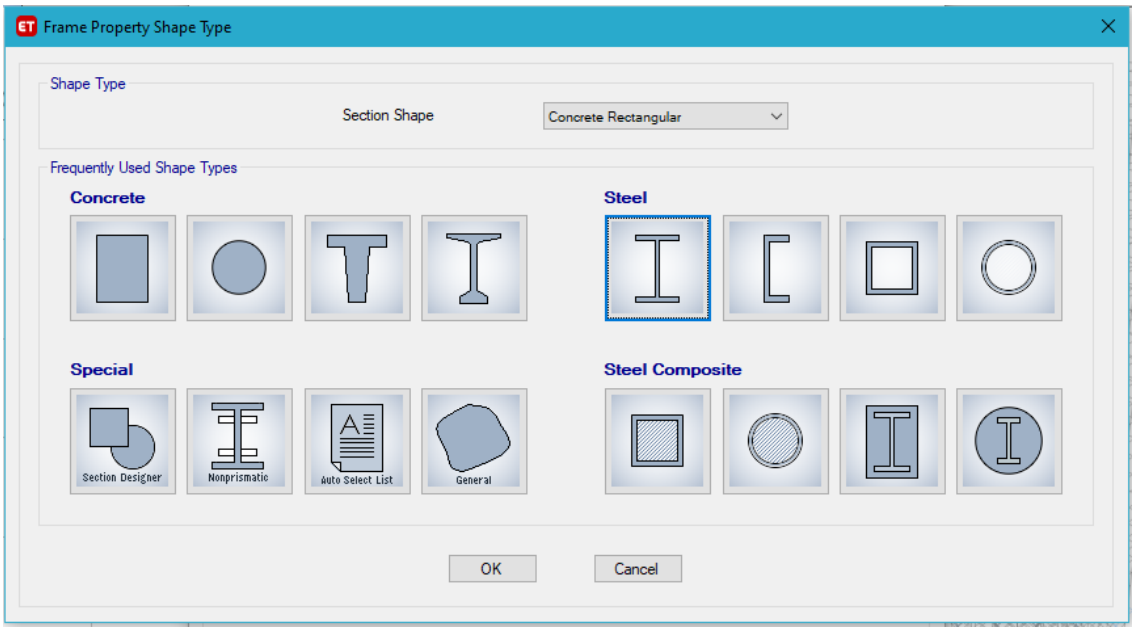


Ilustración 110 Forma y propiedades de material

4 Se crean los elementos a utilizar con las dimensiones correspondientes, con un tipo de columna, dos tipos de vigas, un tipo de correa y un tipo de ángulo.

4.2 HEA 600 para columnas

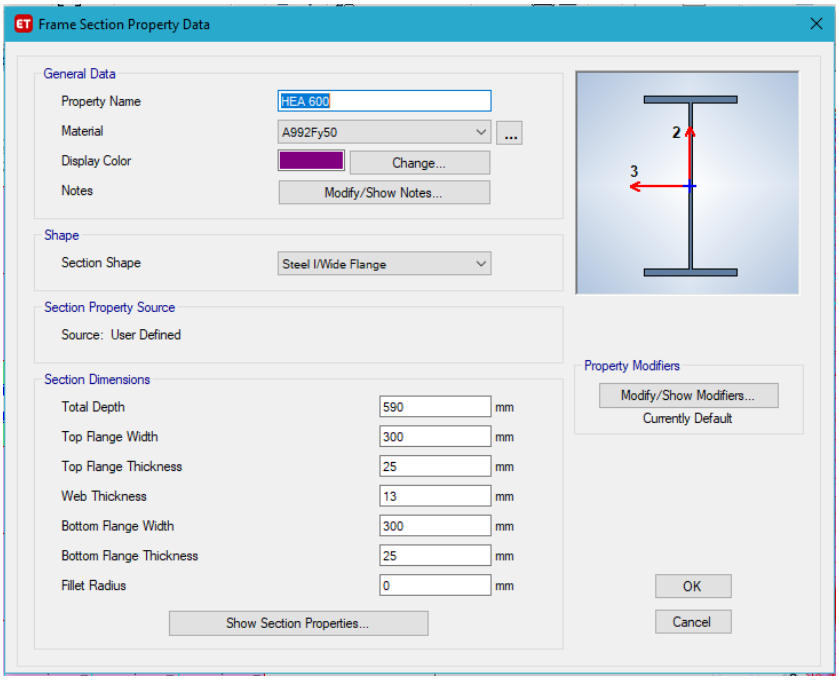


Ilustración 111 Propiedades de sección

4.3 HEA 400 para vigas perimetrales y vigas en eje Y

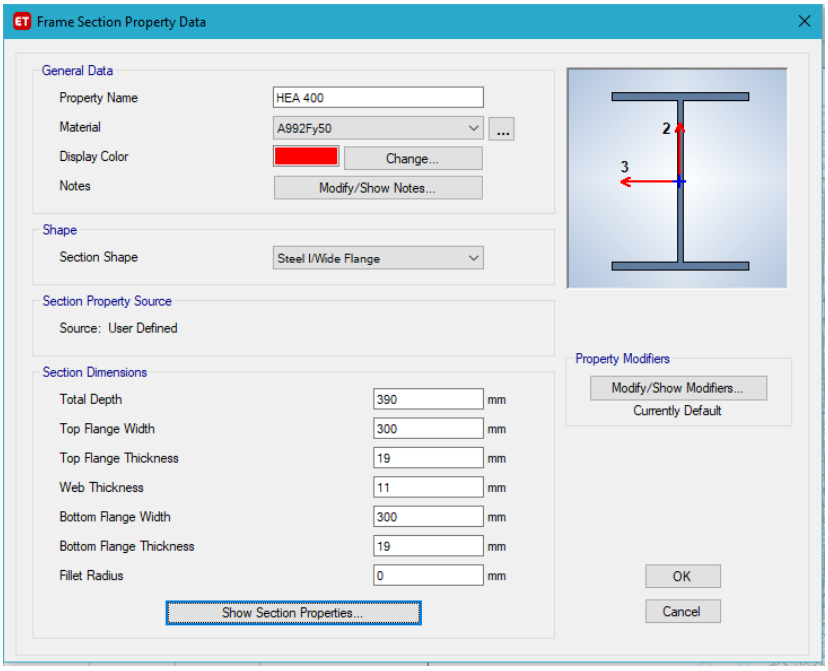


Ilustración 112 Propiedades de sección

4.4 HEA 300 para vigas

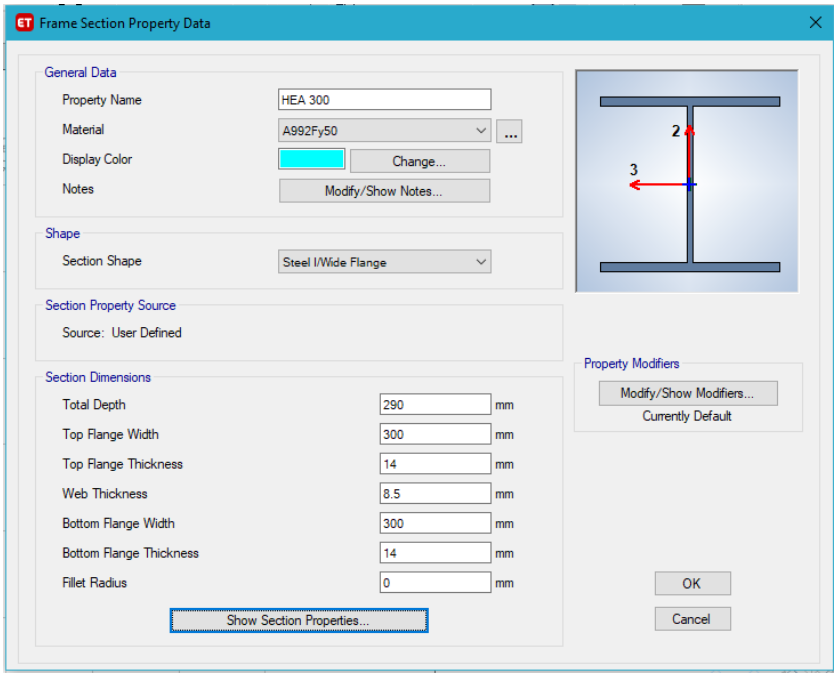


Ilustración 113 Propiedades de sección

4.5 IPE 240 para correas

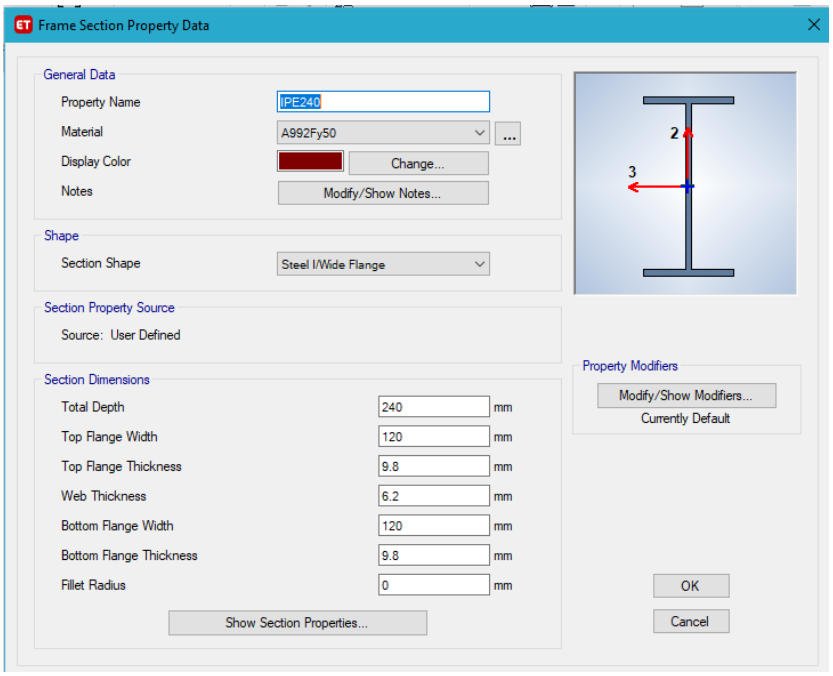


Ilustración 114 Propiedades de sección

4.6 Angulo ¾” x 6” para arriostramiento

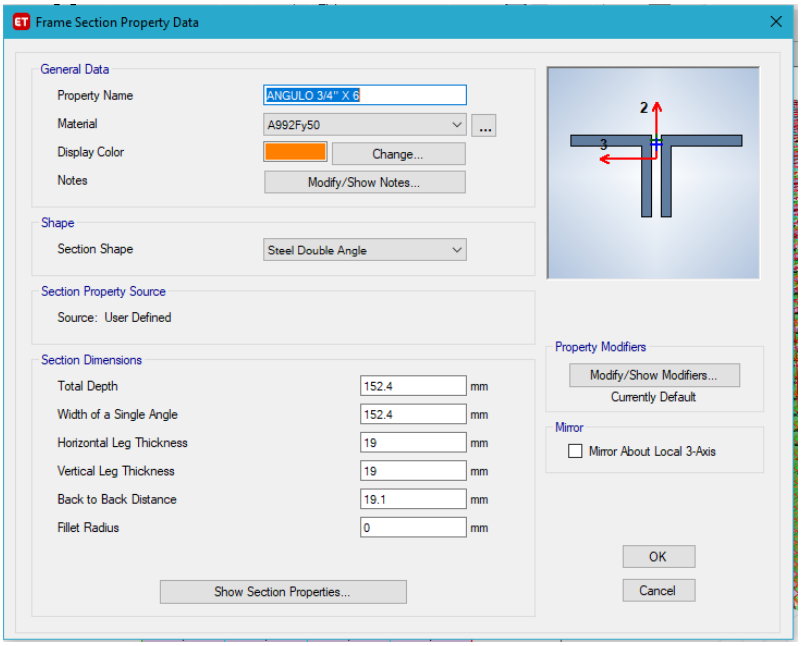


Ilustración 115 Propiedades de sección

5 Se definen propiedades de losa:

6.1 Define

6.2 Deck sections

6.3 Add New Property:

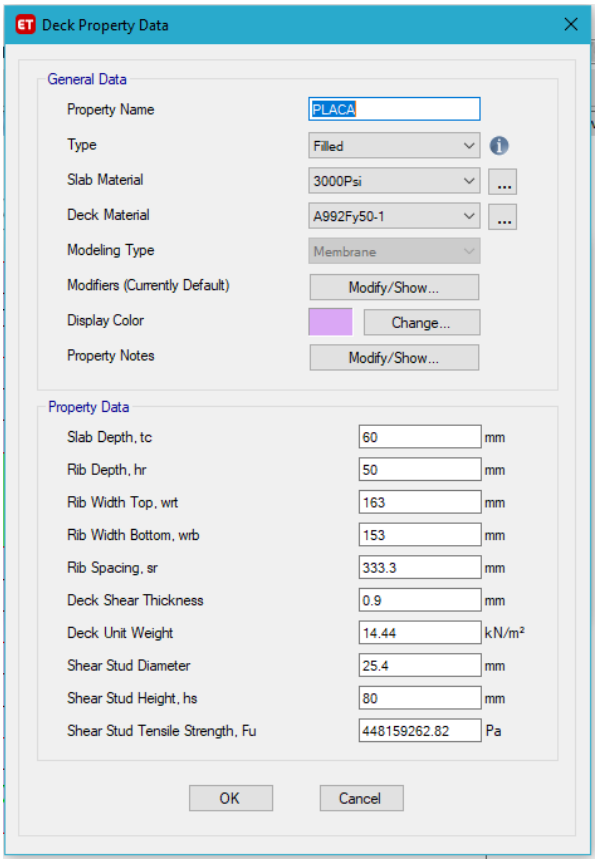


Ilustración 116 Propiedades de losa

Se utiliza losa con Stell Deck ajustando las medidas a la comercialmente encontrada.

6 Se definen propiedades de losa de escalera:

7.1 Define

7.2 Section Properties

7.3 Slab sections

7.4 Add New Property:

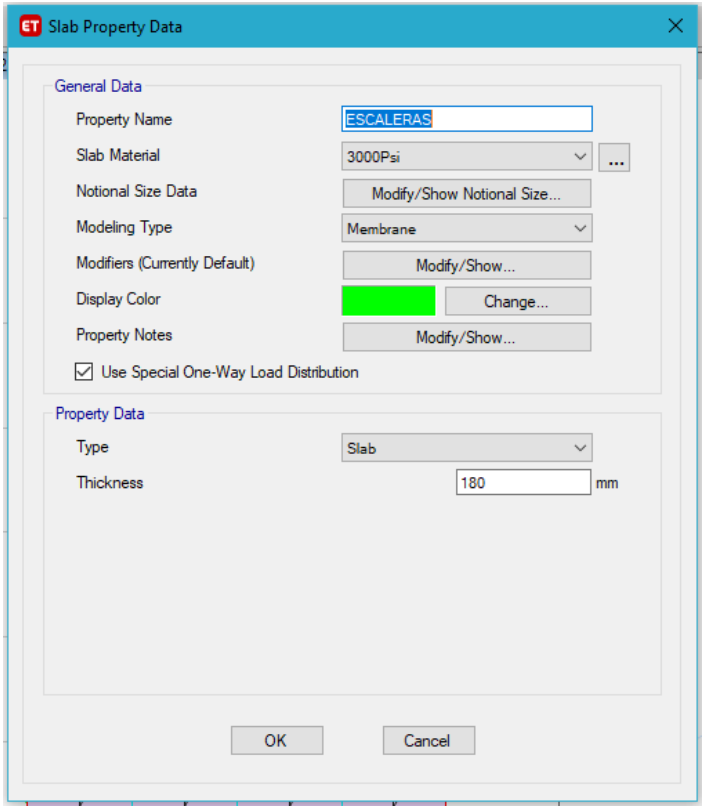


Ilustración 117 Propiedades de losa escaleras

7 Se definen propiedades de muros de ascensor:

8.1 Define

8.2 Section Properties

8.3 Wall sections

8.4 Add New Property:

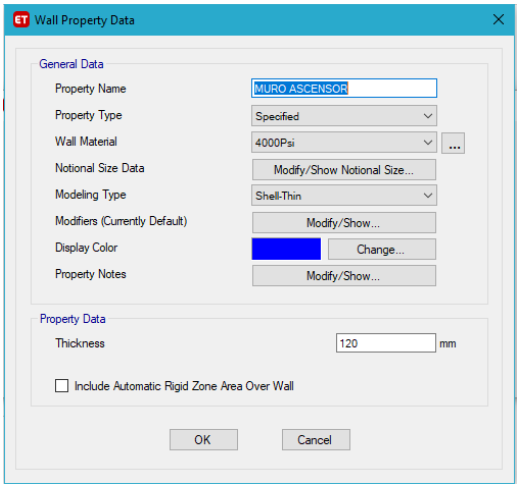


Ilustración 118 Propiedades de muros

8 Definidos los elementos se procede a dibujar los elementos, primero las vigas internas en sentido Y en HEA 300, luego las vigas en sentido X y perimetrales se dibujan las vigas HEA 400.

9.1 Draw

9.2 Draw Beam / Column / Brace Objects

9.3 Quick Draw Beams / Columns

9.4 Se despliega una ventana **Properties of Object** en la que se cambian:

9.4.1 Property

9.4.2 Moment Releases

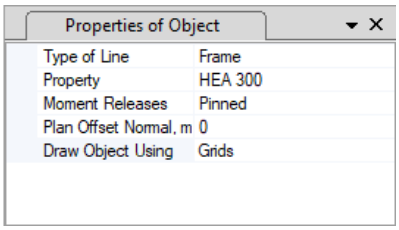
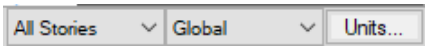


Ilustración 119 Propiedades de objeto

En la parte inferior izquierda de la ventana se elige All Story para que se repita la información en todos los pisos.



En la vista de planta se comienza a dibujar picado desde el primer nodo hasta el nodo que tenga la misma sección, finalizando con Enter.

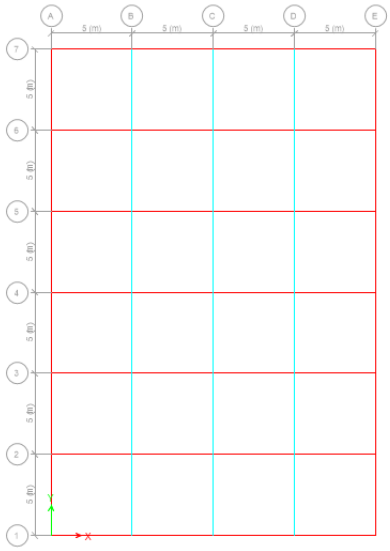


Ilustración 120 Esquema de diseño de vigas, ETABS versión estudiantil

9 Se procede a dibujar las columnas en HEA 600.

10.1 Draw

10.2 Draw Beam / Column / Brace Objects

10.3 Quick Draw Columns

10.4 Se despliega una ventana **Properties of Object** en la que se cambian:

10.4.1 Property

10.4.2 Moment Releases

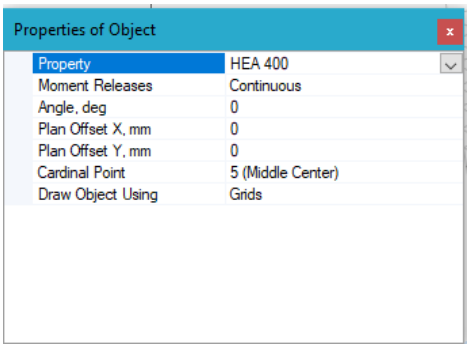
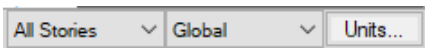


Ilustración 121 Propiedades de objeto

En la parte inferior izquierda de la ventana se elige All Story para que se repita la información en todos los pisos.



En la vista de planta se comienza a dibujar picado desde el primer nodo hasta el nodo que tenga la misma sección, finalizando con Enter.

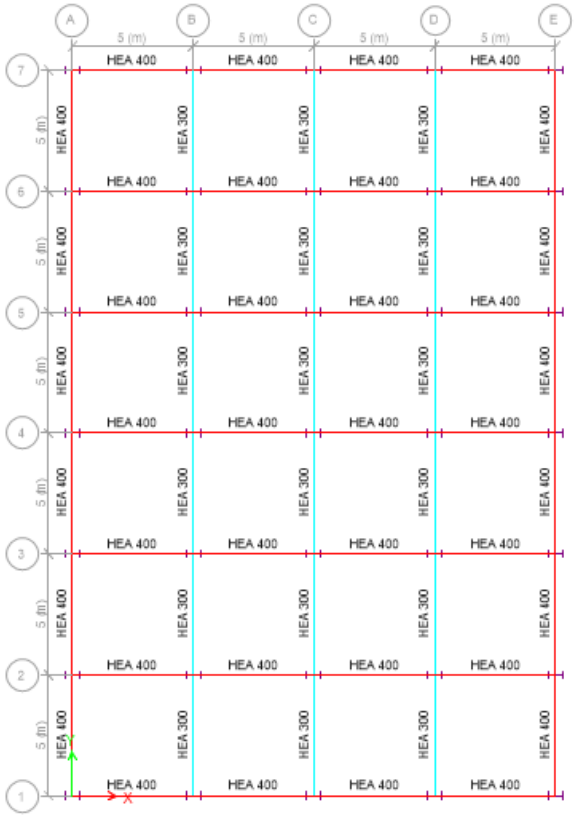


Ilustración 122 Esquema de diseño vigas y columnas, ETABS versión estudiante

10 Se dibuja la losa en Metal Deck

11.1 Draw

11.2 Draw Floor / Wall Objects

11.3 Quick Draw Floor / Wall

11.4 Se despliega una ventana **Properties of Object** en la que se cambia:

10.4.1 Property

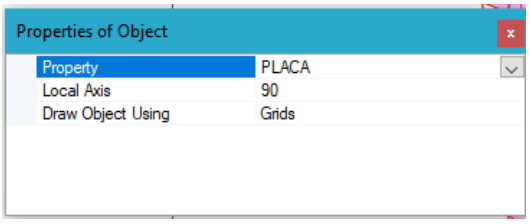
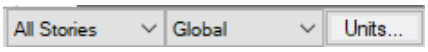


Ilustración 123 propiedades de objeto

En la parte inferior izquierda de la ventana se elige All Story para que se repita la información en todos los pisos.



En la vista de planta se comienza a dibujar picado desde la primera área hasta la última sin picar en el espacio de las escaleras, finalizando con Enter.

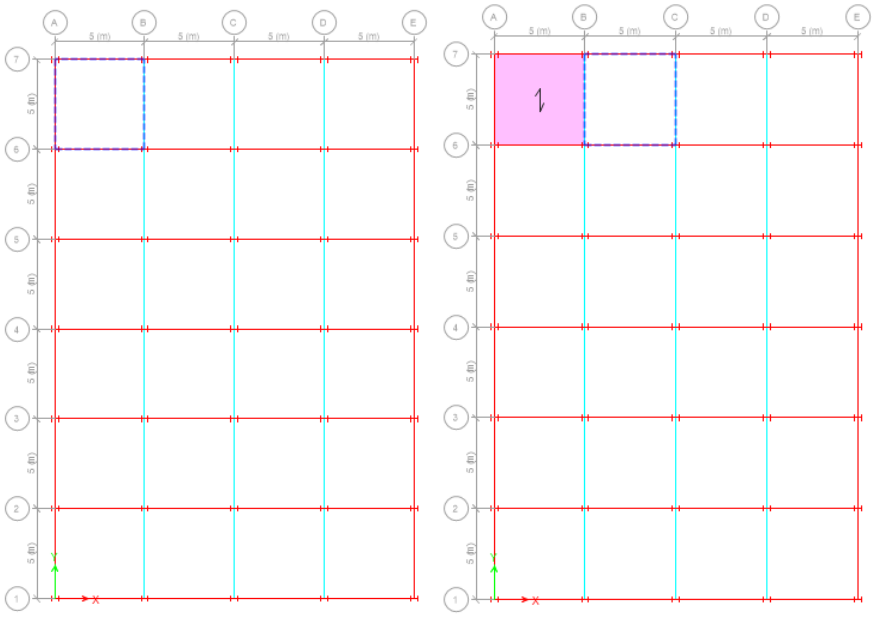


Ilustración 124 Esquema de diseño placa, ETABS versión estudiante

11 Se realizan líneas de referencia para dibujar el espacio del ascensor:

12.1 Edit

12.2 Replicate

12.3 Se especifican los valores de la referencia para poder dibujar y se elige el elemento del mismo eje de referencia en X y.

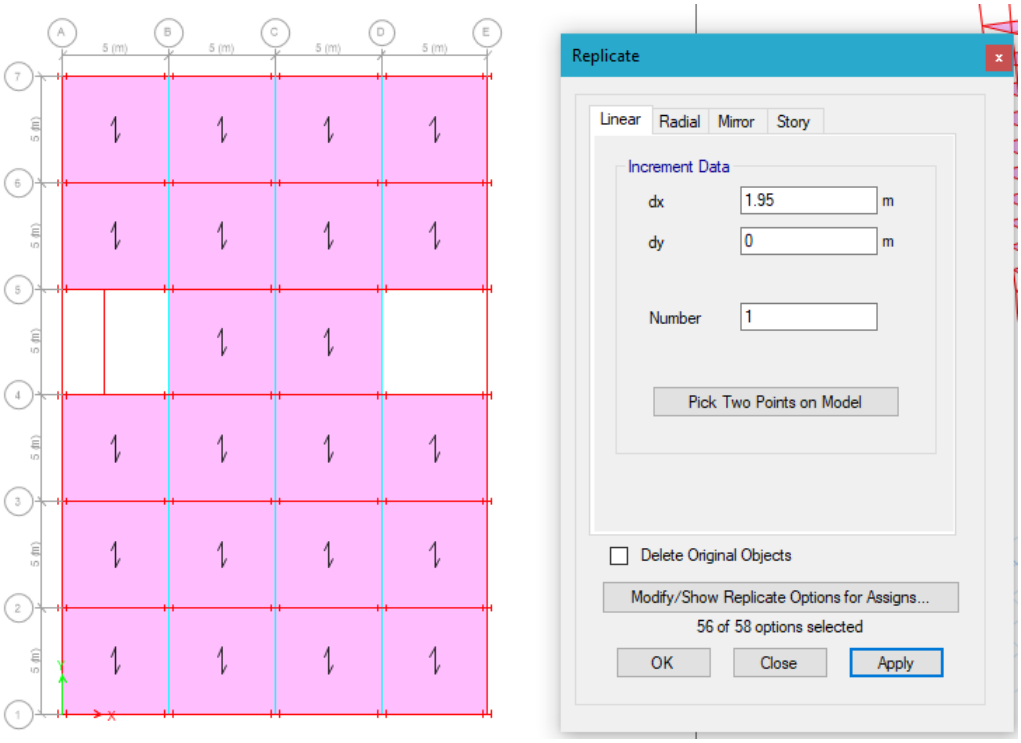


Ilustración 125 líneas de referencia

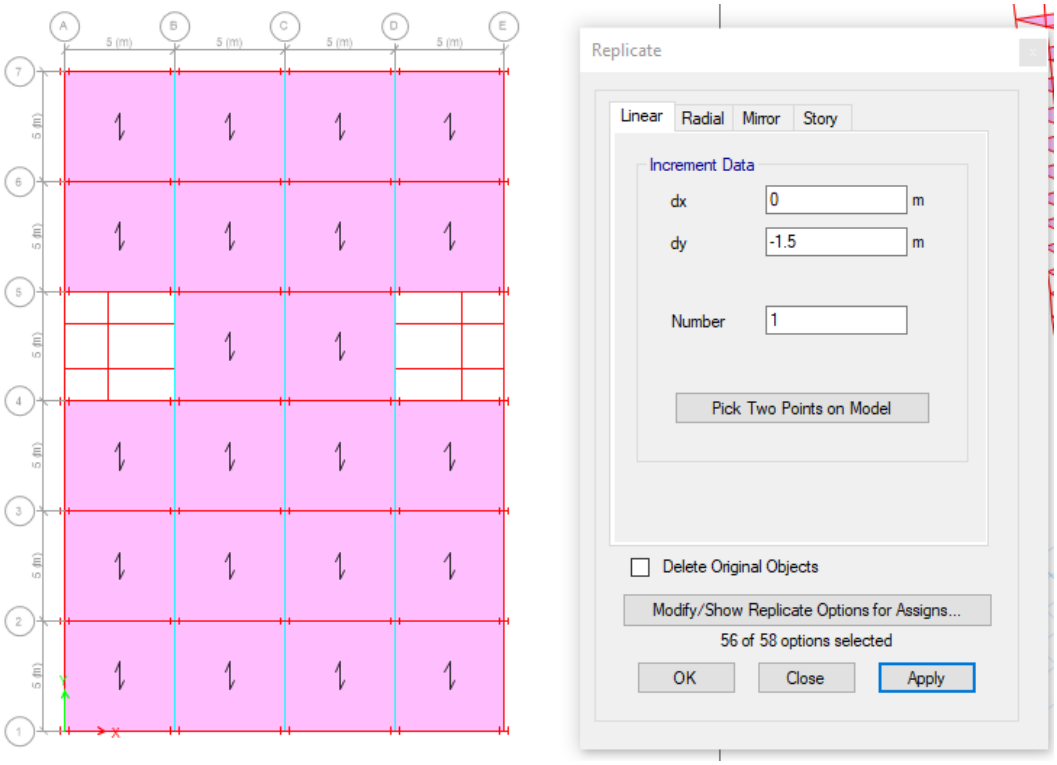


Ilustración 126 líneas de referencia

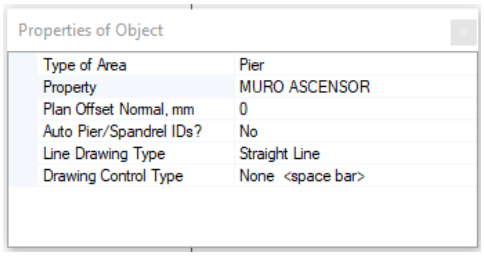
12 Se realiza entonces el dibujo de muros de ascensor:

13.1 Draw

13.2 Draw Floor / Wall Objects

13.3 Draw Walls

Y se realiza el mismo procedimiento para el espacio de las escaleras donde se cambia en la ventana **Properties of Object**, Property:



Se pica en las líneas de referencia teniendo en cuenta el espacio de ingreso al ascensor y hasta donde llegan los muros, posteriormente se borran las líneas de referencia:

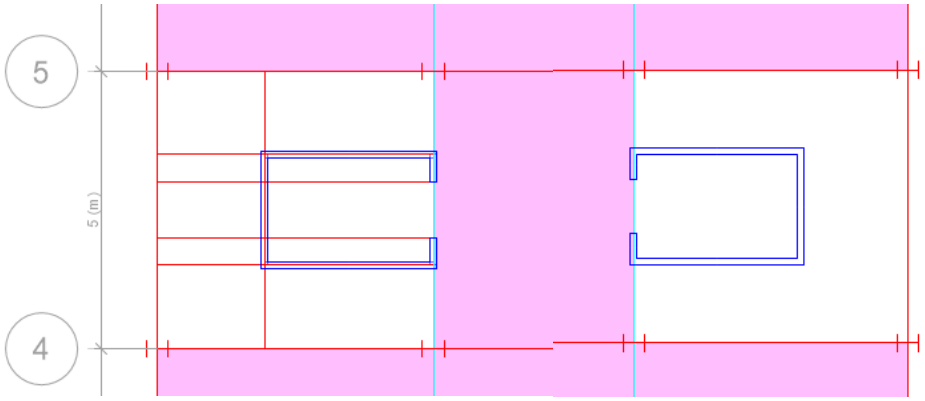


Ilustración 127 Ubicación de muros ascensor

13 Se dibuja la losa de escaleras:

11.1 Draw

11.2 Draw Floor / Wall Objects

11.3 Draw Floor / Wall

11.4 Se despliega una ventana **Properties of Object** en la que se cambia:

10.4.1 Property

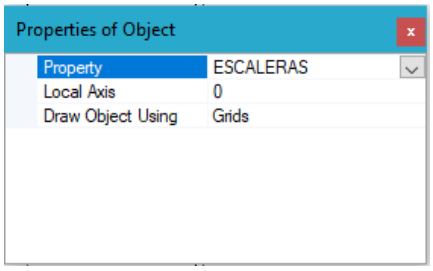
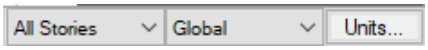


Ilustración 128 propiedades de objeto

En la parte inferior izquierda de la ventana se elige All Story para que se repita la información en todos los pisos.



En la vista de planta se comienza a dibujar picado desde la primera área hasta la última sin picar en el espacio de las escaleras, finalizando con Enter.

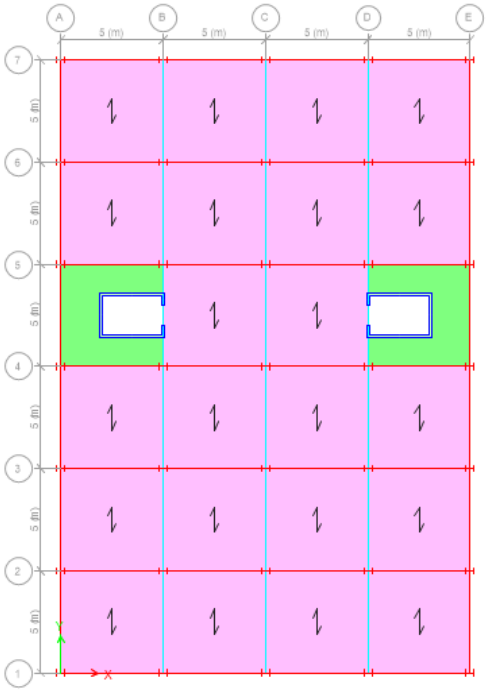


Ilustración 129 Esquema de diseño placa escalera, ETABS versión estudiante

14 Definición de correas

15.1 Draw

15.2 Draw Beam / Column / Brace Objects

15.3 Quick Draw Secondary Beams

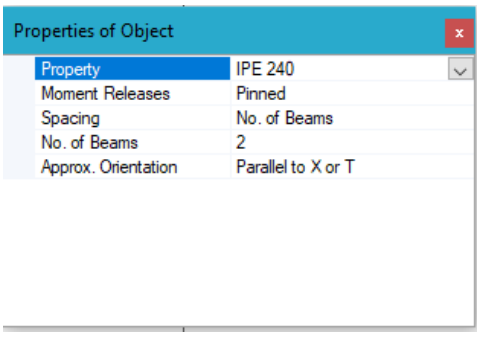
15.4 Se despliega una ventana **Properties of Object** en la que se cambian:

15.4.1 Property

15.4.2 Moment Releases

15.4.3 No. Of Beams

15.4.4 Approx. Orientation y se pica en las áreas de placa donde se requieren correas.



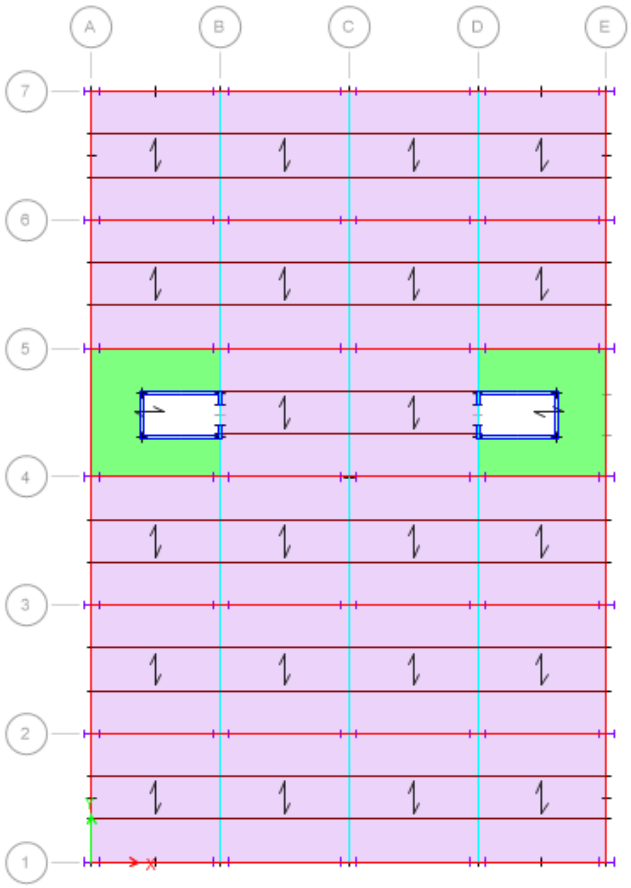


Ilustración 130 Ubicación correas, ETABS versión estudiante

15 Definición de arriostramiento

15.2 View

15.3 Set Elevation View, se escoge el perfil que se le hace arriostramiento, Close

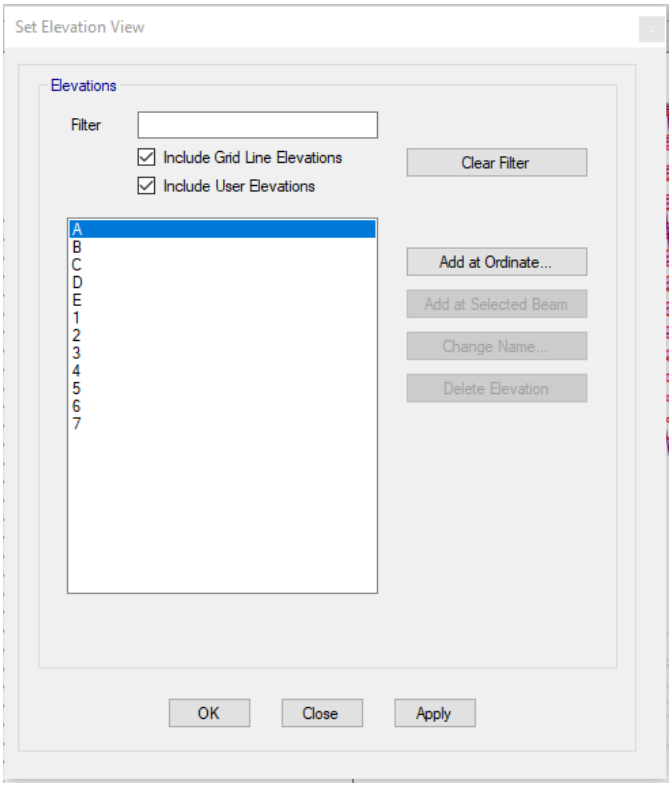
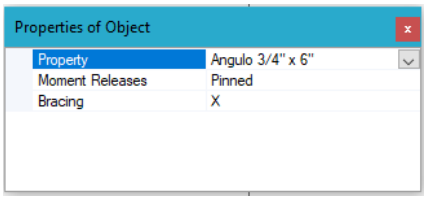


Ilustración 131 vista frontal diseño

15.4 Draw

15.5 Draw Beam / Column / Brace Objects

15.6 Quick Draw Braces y se pica en las áreas de arriostramiento ya sea en X o en diagonal.



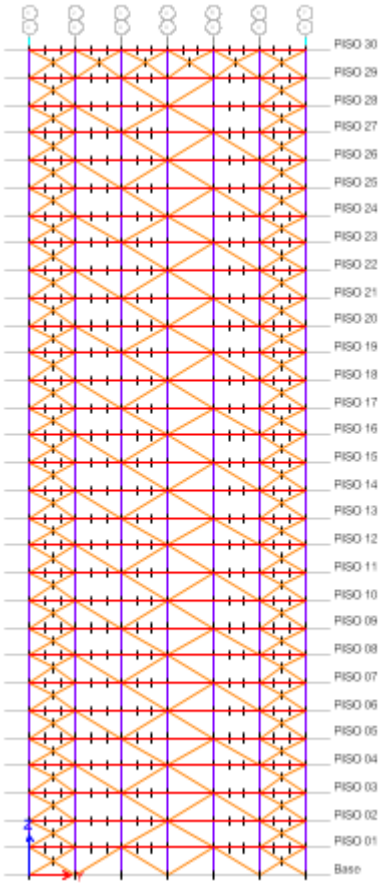
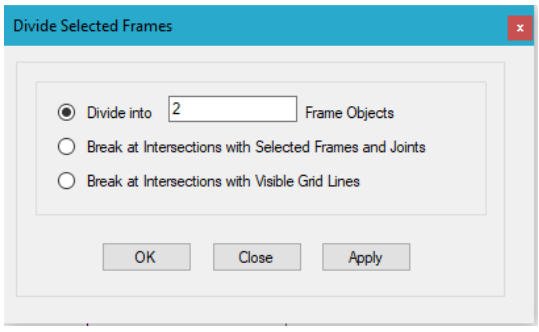


Ilustración 132 Esquema arriostramiento de la edificación

15.7 Se eligen los elementos de arriostramiento, Edit, Edit Frames, Divide Frames:



16 Definición de cargas:

17.1 Define

17.2 Load Patterns: verificar que el factor multiplicador de Dead sea igual a 1, Live con factor multiplicador en 0.

17.3 Crear una carga sísmica en Ex y Ey con factor multiplicador 0 y posteriormente dar clic en Add New Load:

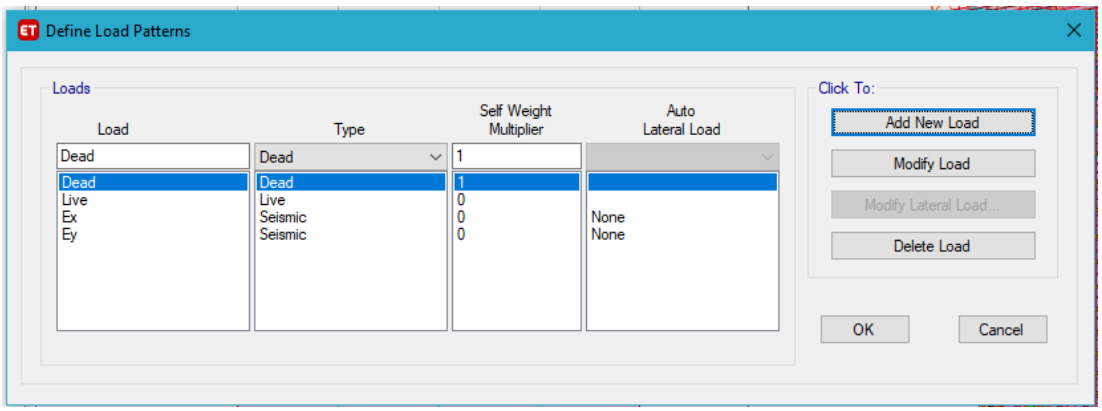


Ilustración 133 Definición de cargas

17 Definir la masa:

18.1 Define

18.2 Mass Source:

18.3 Modify / Show Mass Source: verificar el patrón carga muerta para un factor multiplicador de 1 considerando el peso propio de los elementos y para carga viva de 0.25.

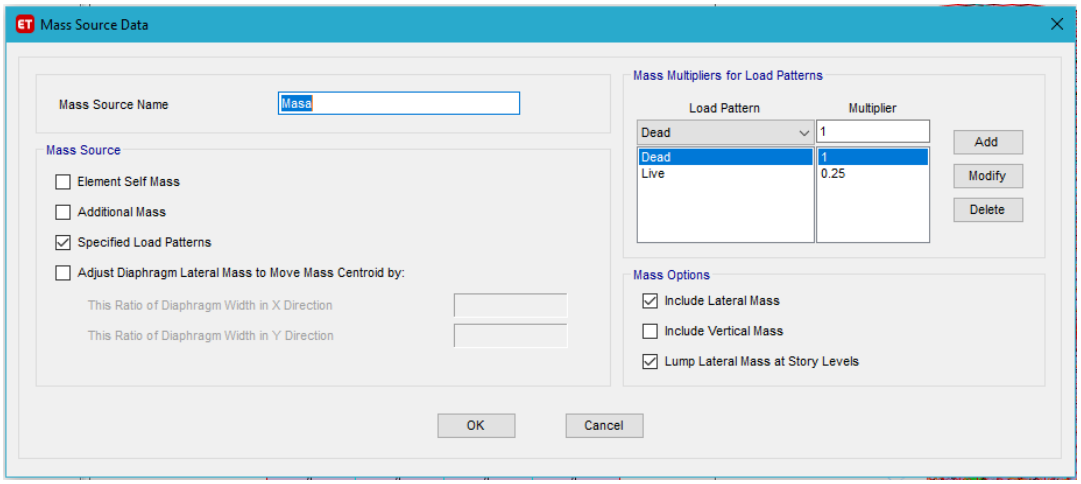


Ilustración 134 Conjunto de cargas

18 Crear conjunto de cargas

19.1 Assign

19.2 Shell Loads

19.3 Uniform, se escoge la carga que se va a implementar en el diseño y se asigna valor.

19.3.1 Carga muerta para losa en Metal Deck

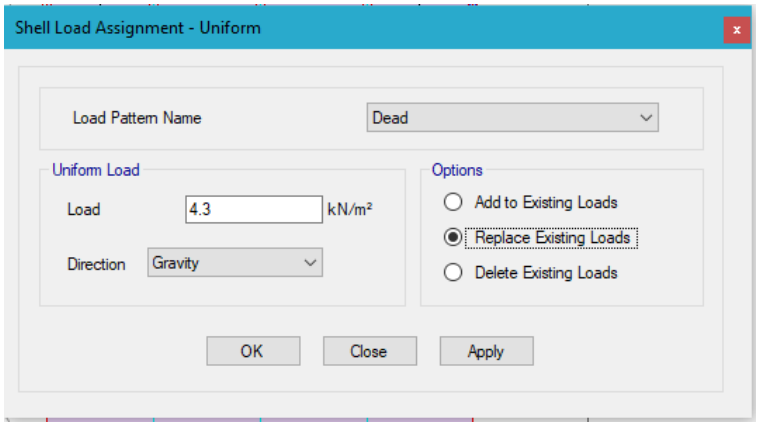


Ilustración 135 Asignación de cargas

19.3.2 Carga muerta para ascensor y escaleras

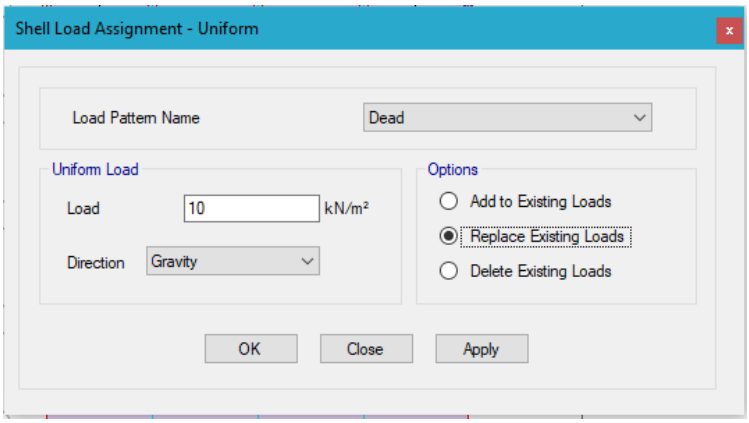


Ilustración 136 Asignación de cargas

19.3.2 Carga Viva

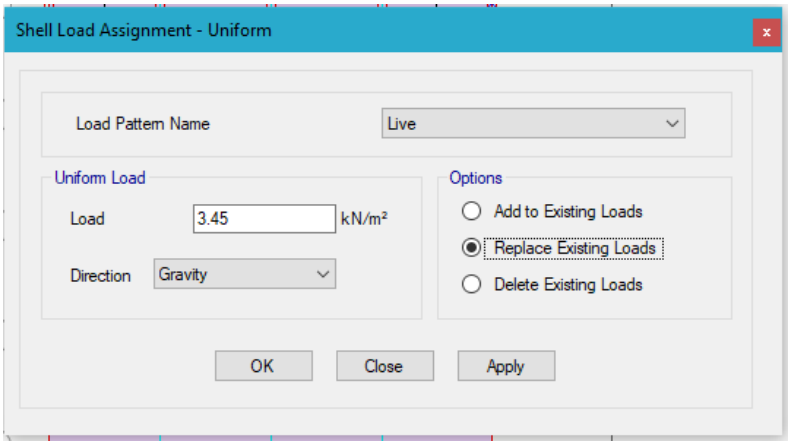


Ilustración 137 Asignación de cargas

19.4 Se asignan las cargas picando en el centro de los elementos y se da clic en Apply, para losa en Metal Deck y escaleras.

19.5 Se repite el procedimiento con las cargas y su ubicación

19 Empotramiento de nodos en la base:

20.1 View

20.2 Set Plan View

20.3 Se elige la planta de la base y Apply

20.4 Se seleccionan los nudos en la ventana

20.5 Assign

20.6 Joint

20.7 Restrains y seleccionar empotramiento, Apply

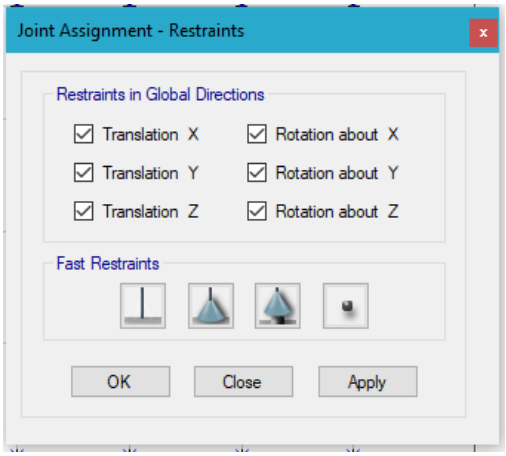


Ilustración 138 Asignación de restricciones

20 Definir Diafragmas

20.2 Define

20.3 Diaphragms

20.4 Add New Diaphragms, se asigna un nombre para cada diafragma por piso y se elige rigido, OK.

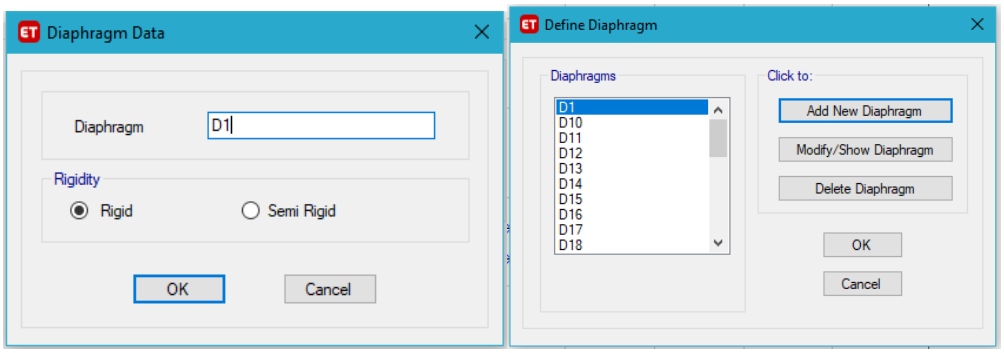


Ilustración 139 Definición de diafragmas por piso

20.5 Assign

20.6 Shell

20.7 Diaphragms, se eligen todos los elementos en planta por piso y se asigna según el nombre empleado.

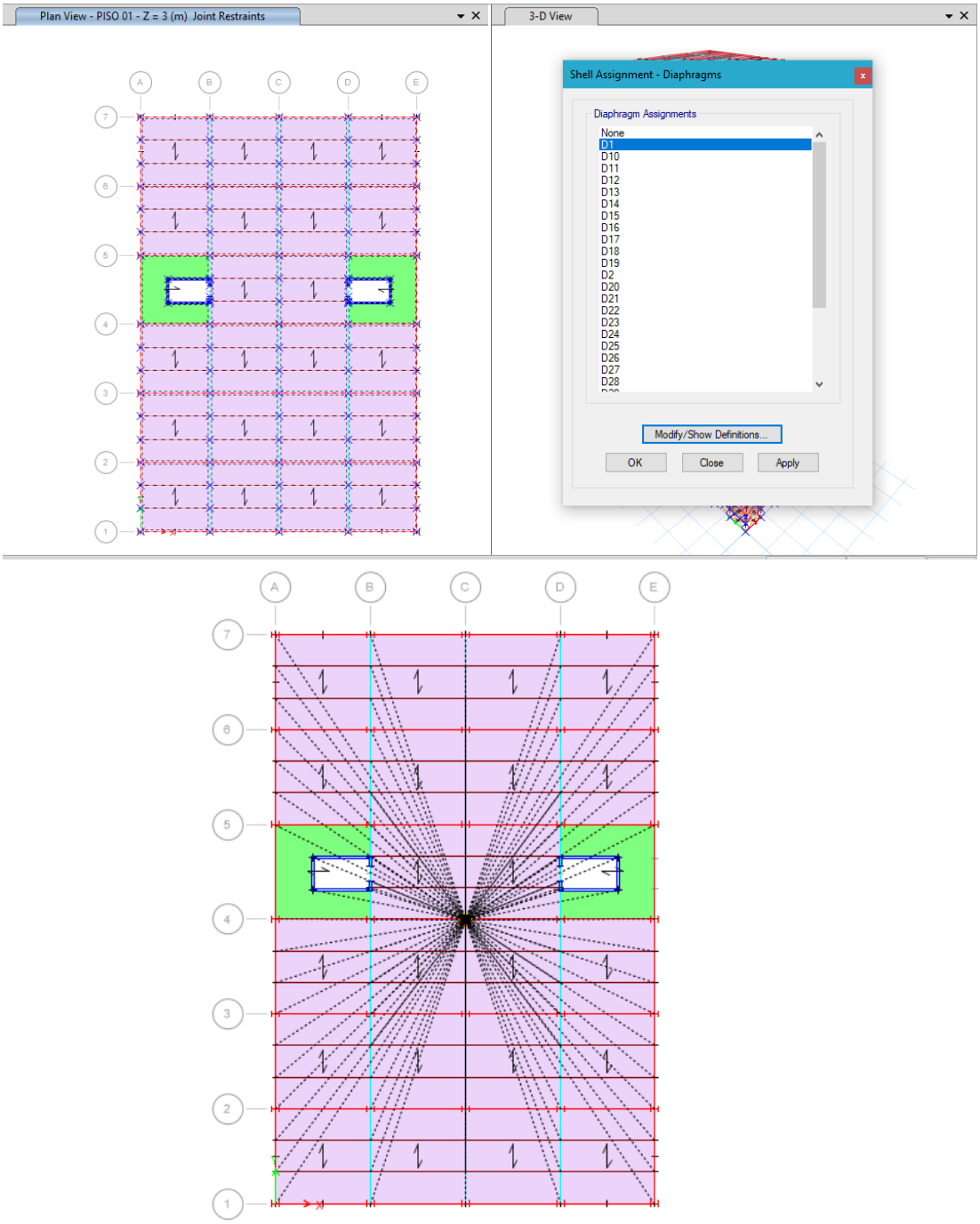


Ilustración 140 Asignación de diafragmas por piso

20.8 Posteriormente se cambia la vista en planta al nivel siguiente: View, Set Plan View, PISO 2, OK, hasta completar los diafragmas en todos los pisos.

21 Función de espectro

21.2 Define

21.3 Functions

21.4 Response Spectrum, en esta ventana se debe elegir la normativa utilizada en Choose Funtion Type to Add “ASCE7 – 10” y se define un espectro de diseño para el modelo el cual es calculado previamente “Espectro Bogota”

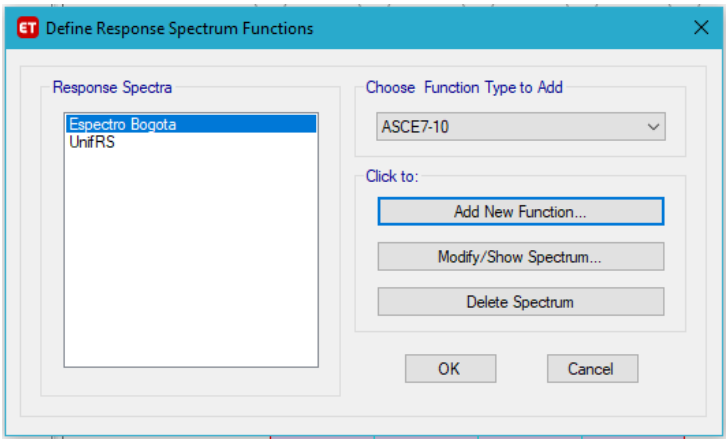


Ilustración 141 Definición de espectro de diseño

21.5 Modify / Show Spectrum, el cual corrobora los datos calculados para el espectro.

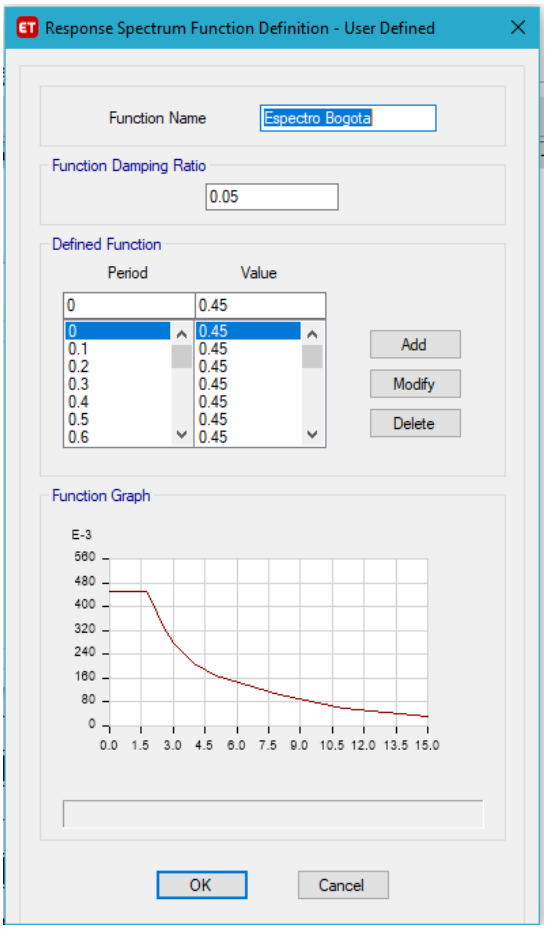


Ilustración 142 Definición de espectro de diseño 2

22 Se verifican los casos modales:

22.2 Define

22.3 Modal Cases

22.4 Modify / Show Case y se cambia el Maximum Number of Modes

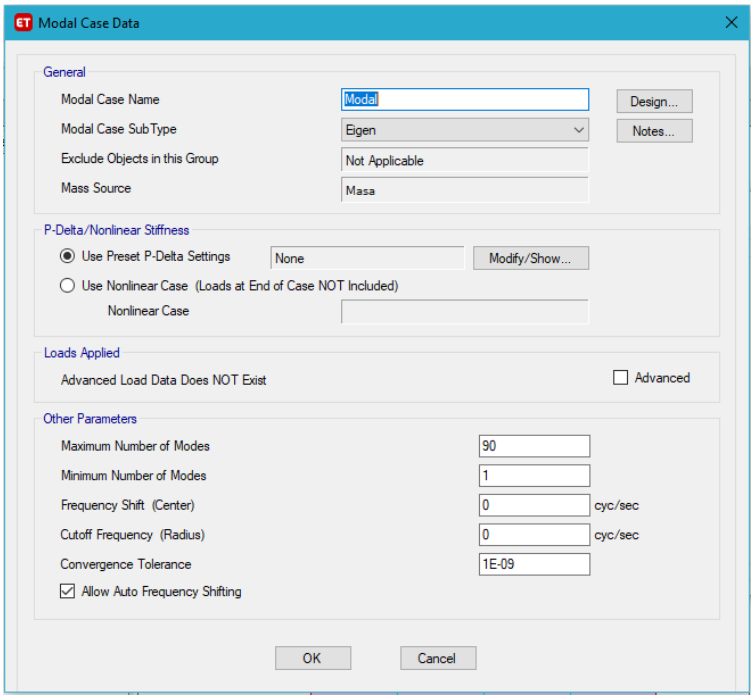


Ilustración 143 Asignación de modos de vibración

23 Se realiza revisión de cortante basal espectral

23.2 Display

23.3 Show Tables y se eligen las siguientes opciones

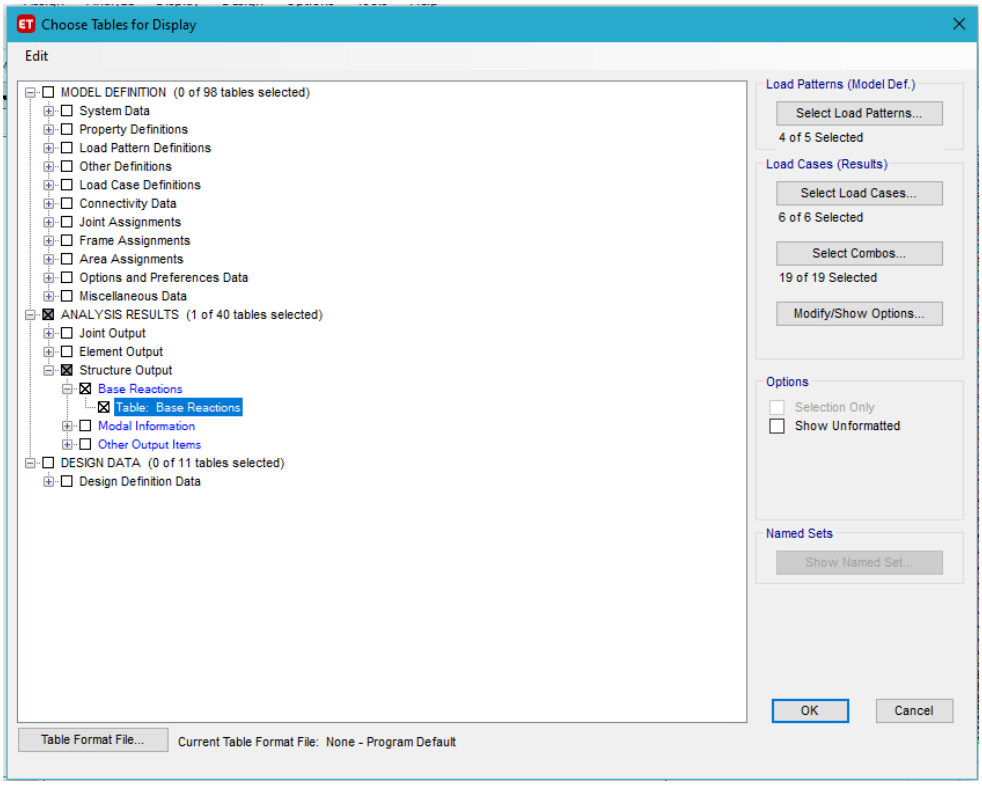


Ilustración 144 Revisión de datos de cortante basal

De “Base reactions” se eligen los valores de peso para realizar los ajustes de cortante de la estructura posteriormente y se verifican los cortantes en el eje X y Y que se corrigen con el periodo obtenido según el primer análisis realizado.

24 Se verifican los casos de carga según el análisis dinámico del programa:

24.2 Define

24.3 Load Cases, se eligen los casos de carga creados anteriormente Ex, Ey.

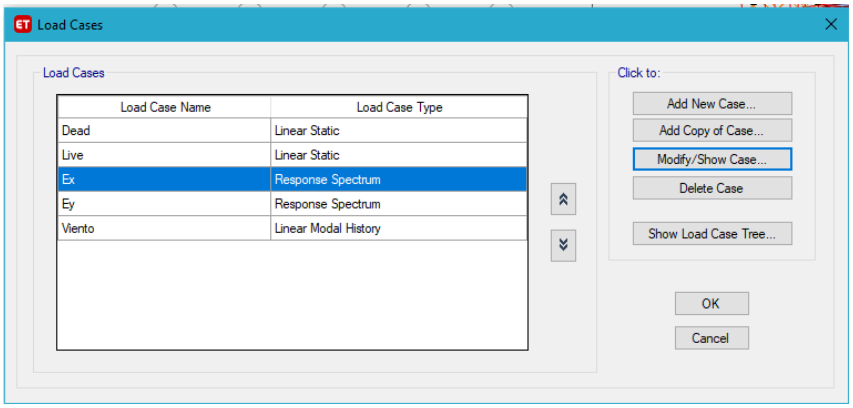


Ilustración 145 Casos de carga

24.4 Modify / Show Case, se le asigna el “Espectro Bogotá” con un factor de escala de 9.81 para el valor de la gravedad y se asigna un nombre:

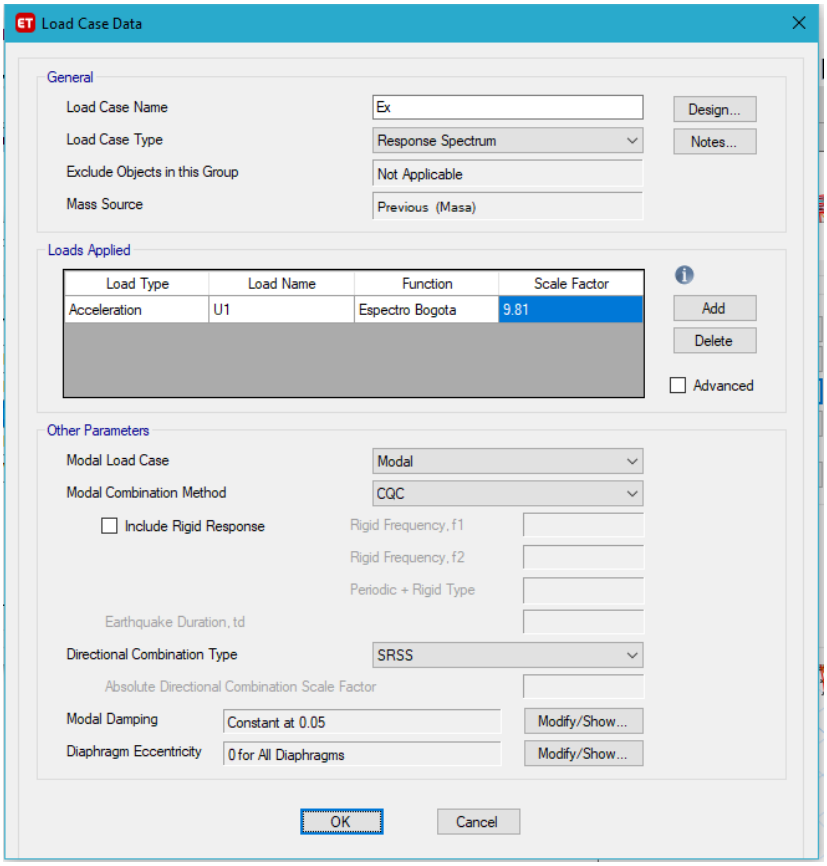


Ilustración 146 Casos de carga

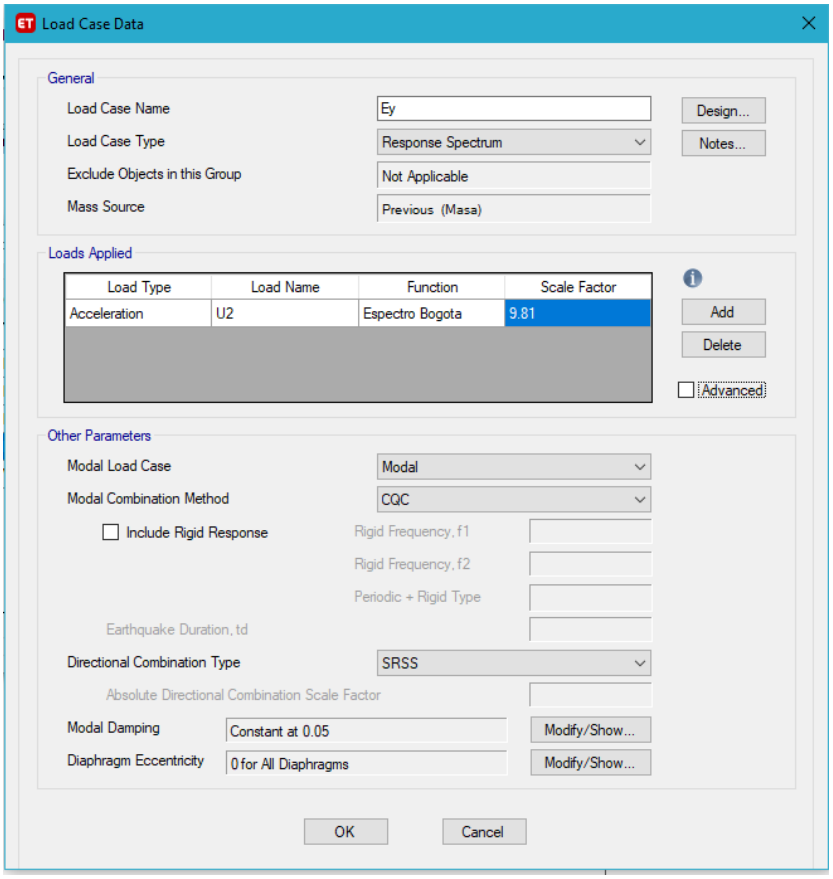


Ilustración 147 Casos de carga

Con los datos iniciales se ejecuta el programa para que genere el análisis al diseño implementado inicialmente, donde se identifica el periodo de la edificación con el que se realiza la corrección del cortante basal y se modifican los casos de carga según el factor de corrección calculado previamente.

25 Periodo y frecuencia

25.2 Display

25.3 Show Tables y se eligen las siguientes opciones:

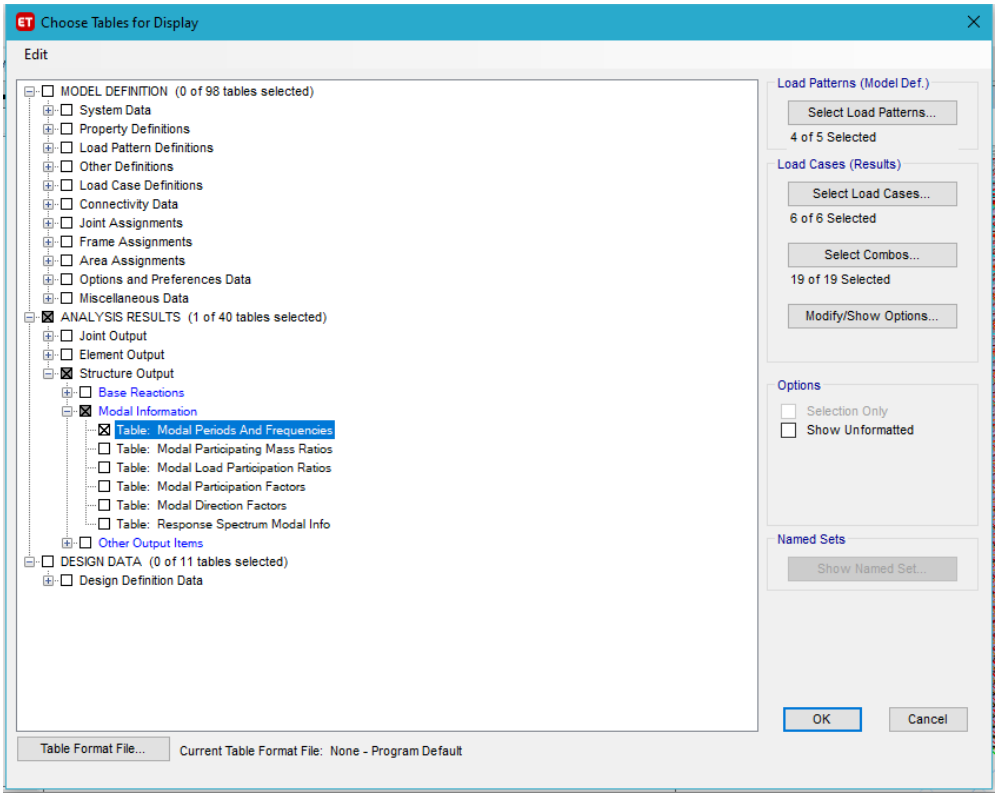


Ilustración 148 Tabla de datos periodo y frecuencia

25.4 Con el valor del periodo se calculan las correcciones, se ejecuta nuevamente el programa y se verifica cortante de piso y derivas.

26 Cortante de piso

26.2 Display

26.3 Story Response Plots

Y se cambia “Show” para verificar los cortantes de piso según el requerimiento

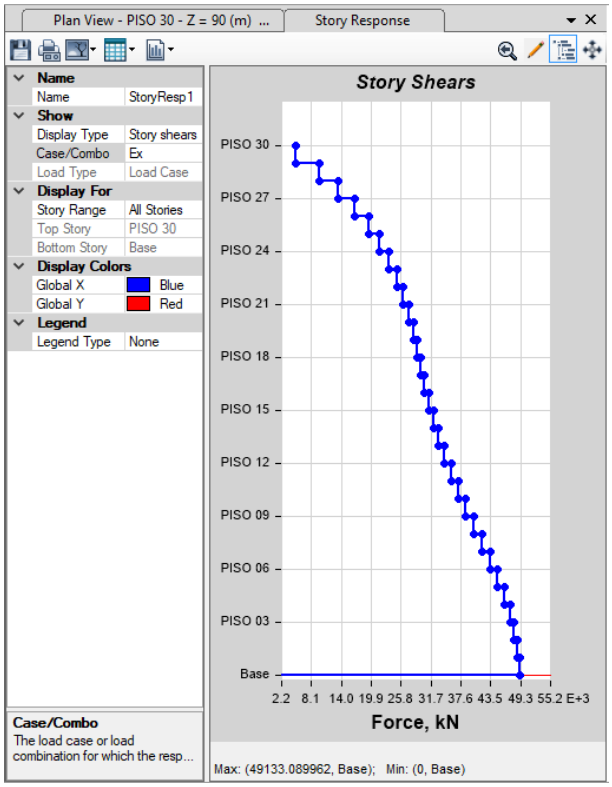


Ilustración 149 Cortante de piso Ex

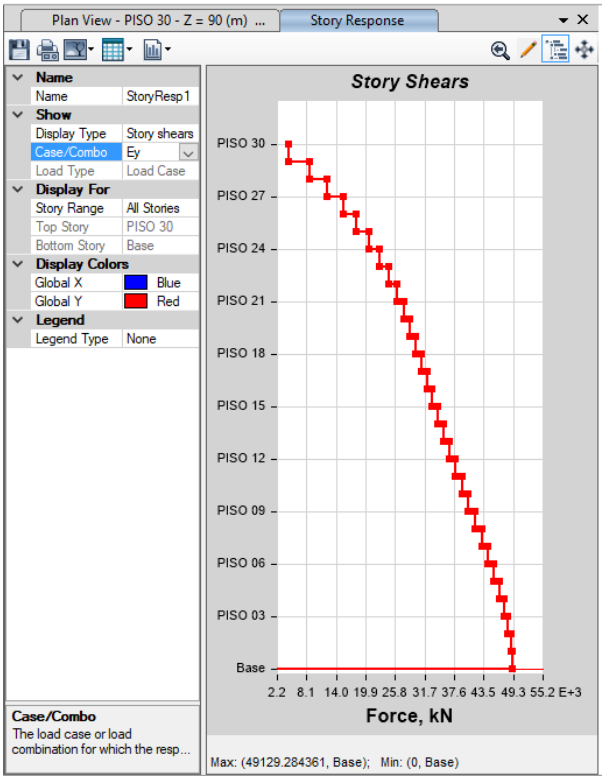


Ilustración 150 Cortante de piso Ey

27 Verificación de derivas

Una de las actividades más importantes por verificar en el diseño por lo cual se debe corroborar la información.

26.1Display

26.2Story Response Plots

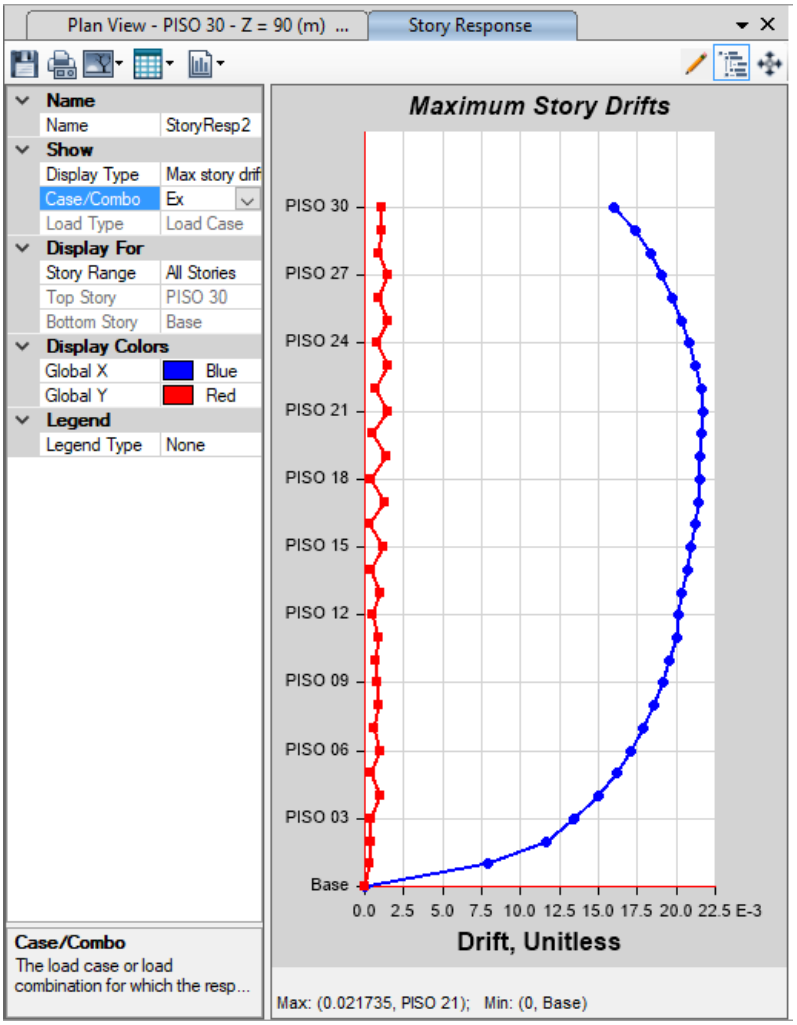


Ilustración 151 Verificación de derivas Ex

Para este caso se toma el combo en la dirección x Ex de acuerdo como se observa en la ilustración 106 la deriva máxima se encuentra en el piso 21 con una deriva máx. de 0.02874, es decir que se cumple al no pasar del 1% de la altura de piso.

Se realiza el mismo procedimiento para la dirección Y:

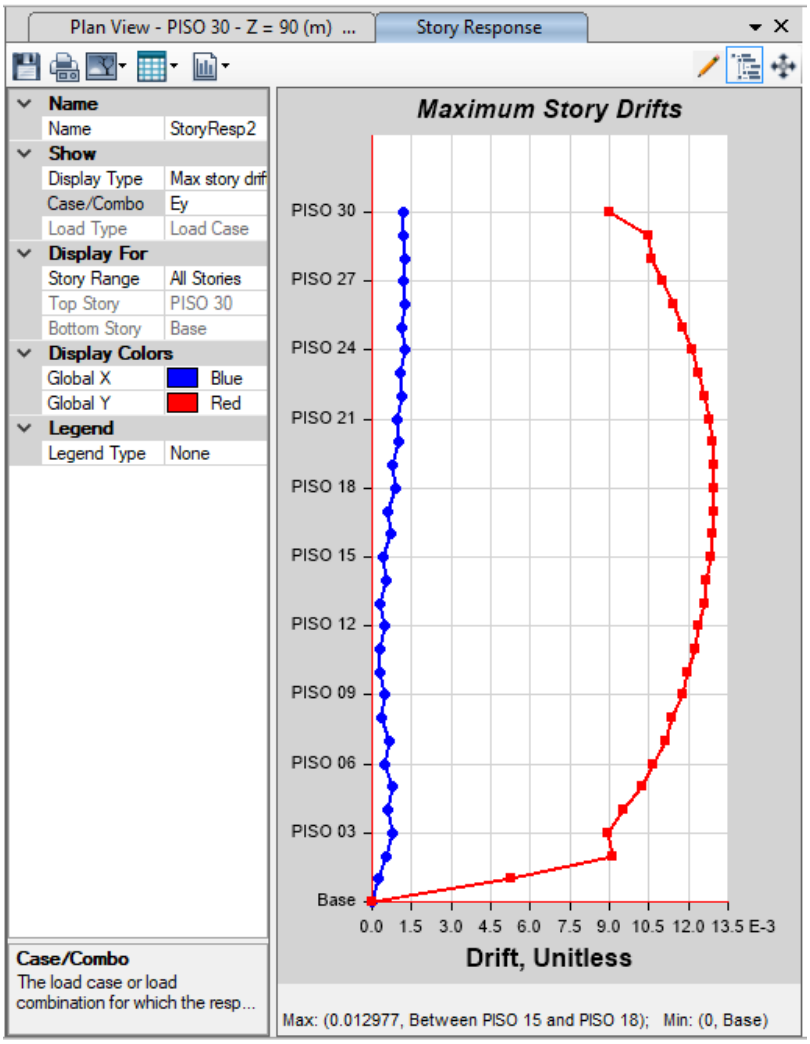


Ilustración 152 Verificación de deriva Ey

En este caso la deriva máxima se encuentra en el piso 15 con un valor de 0.1376 inferior al 1% de la altura de piso permitida.

Se deben verificar las derivas en las esquinas de la edificación y en el diafragma.

26.3 Display

26.4 Show Tables y se eligen las siguientes opciones:

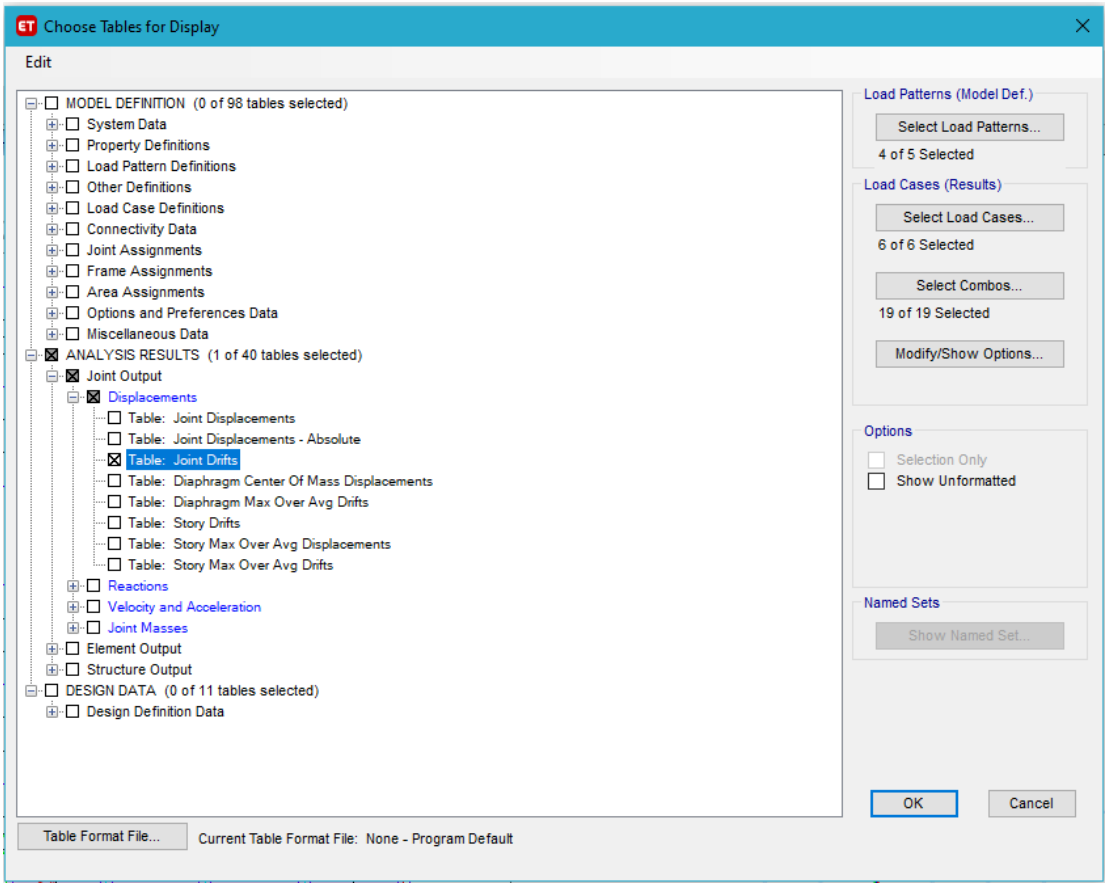


Ilustración 153 Tabla de derivas

De esta tabla se filtra la información requerida para verificación de derivas en X y Y.

27 Combinaciones de carga

27.1 Define

27.2 Load Combinations

27.3 Add New Combo

27.4 Se empiezan a cargar los combos según la NSR-10, del título B.2.4.2 con carga muerta viva y sismo:

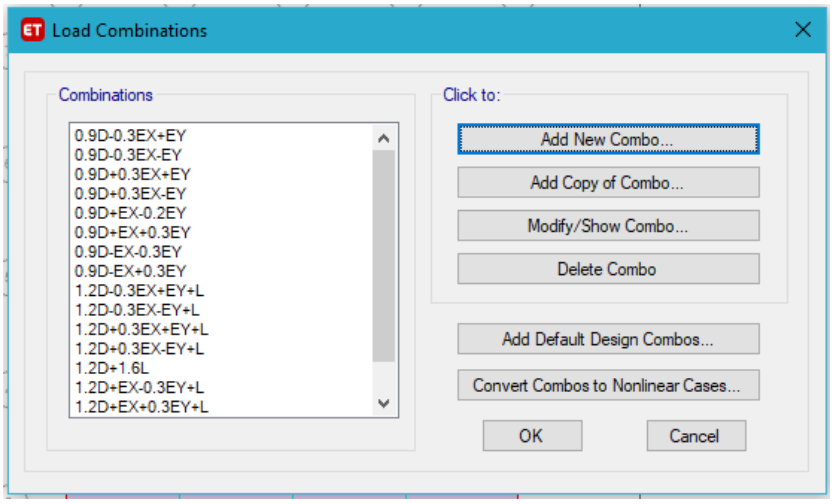


Ilustración 154 Determinación de combinaciones de carga

27.5 Select design combinations

27.6 Se elige List of combination las combinaciones de carga para el Desing Combinations.

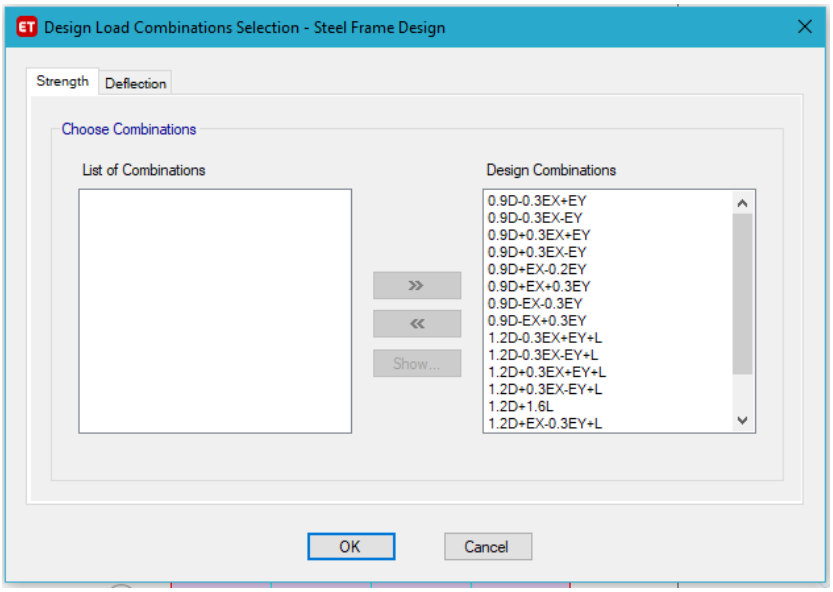


Ilustración 155 Asignación de combinaciones de carga

28. Análisis modal de resultados

Con las correcciones realizadas en el diseño y la verificación de derivas se identifican los modos de vibración:

28.1 Se pica en Show Deformed Shape, para ver el primer modo de vibración se activa la opción Draw Contours on Objects y se elige Displacement Resultant, OK

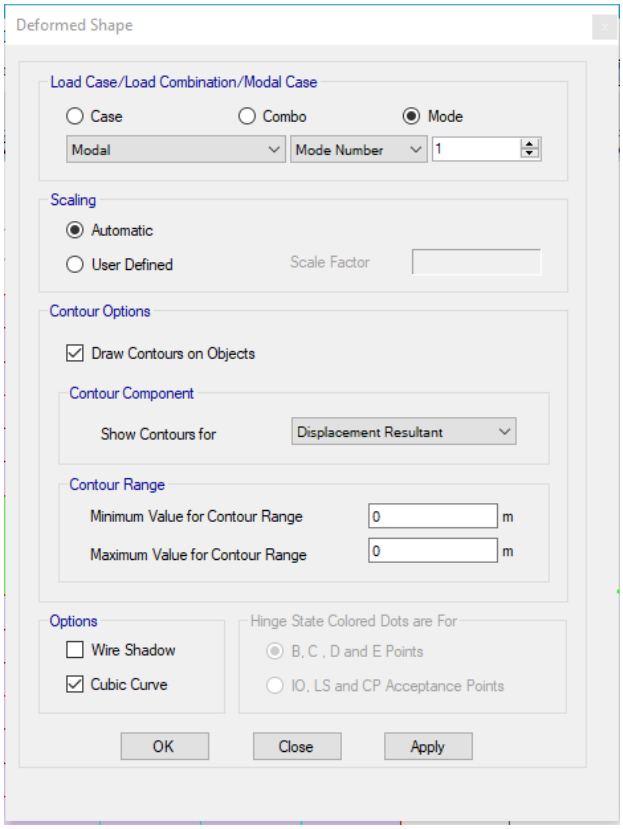


Ilustración 156 Deformación de modos de vibración

ANEXO B. Paso a paso con modelo de disipadores

Una vez se tiene el modelo sin disipadores con verificación de derivas, se deben implementar los 7 registros sísmicos compatibles de aceleraciones del terreno los cuales se obtuvieron de la página PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center). e implementarlos en el ETABS versión estudiante:

1. Define

1.1 Functions

1.2 Time History

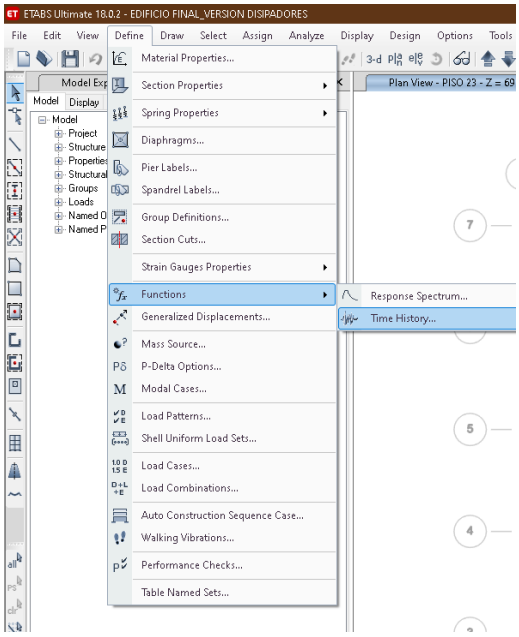


Ilustración 157 Selección de función Tiempo – historia

Se desplegará una ventana

1.3 Chosee Function Type to Add

1.4 From file

1.5 Add New Function

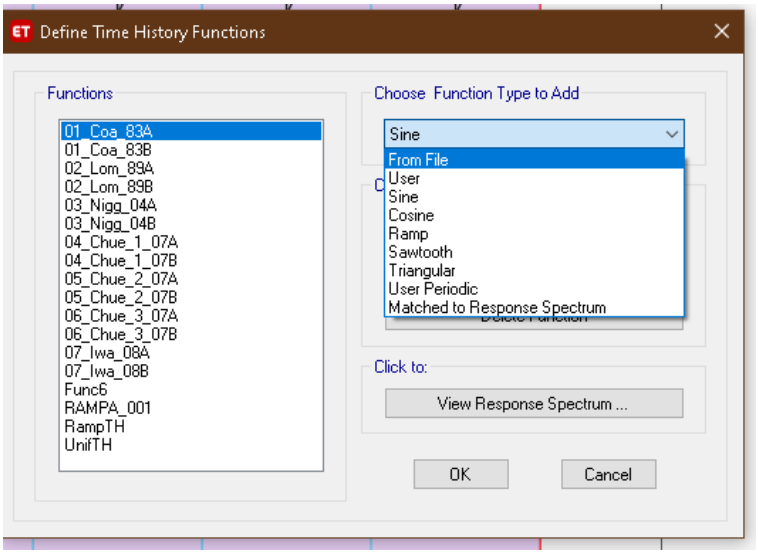


Ilustración 158 Definición función tiempo-historia

En la ventana desplegada se selecciona

1.6 “Time and Funtion Values”. Para este caso los documentos .txt de los blocks de notas no tiene encabezado por tal razón, en la opción,

1.7 Hearder lines to Skip se deja el valor de 0, y cada línea en el archivo cuanta con un (1) dato, por lo cual en l opción

1.8 Number of Points per line, se da el valor de 1.

1.9 Luego de esto se selecciona Browse, se despliega una ventana nueva donde se busca el archivo .txt para abrirlo

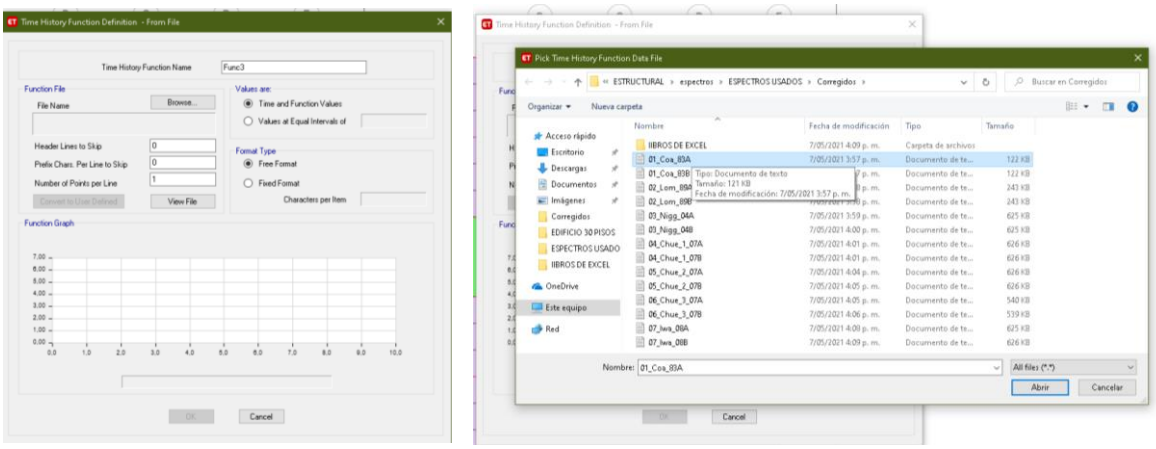


Ilustración 159 Cargue de información a ETABS versión estudiante

1.10 Se verifican las gráficas de los registros sísmicos cargados:

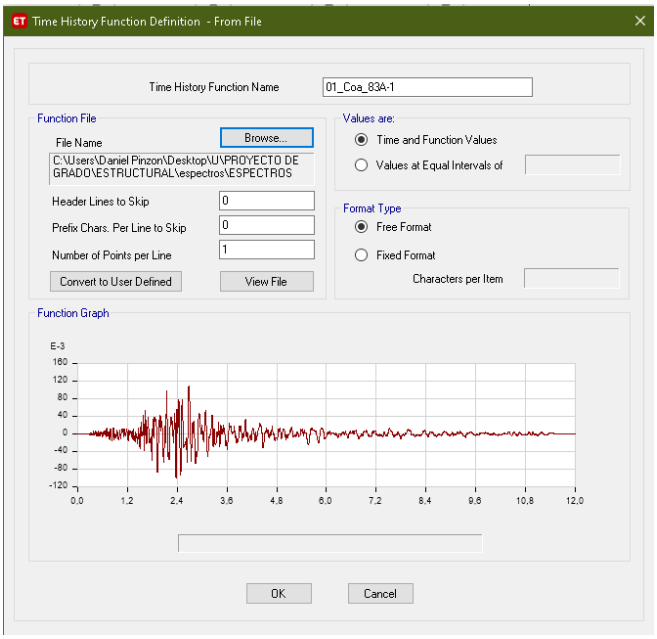


Ilustración 160 Verificación de registro sísmico

1.11 Luego se selecciona la opción Convert to User Defined. Aquí se pueden ver los datos del registro cargado al programa.

1.12 Se selecciona Ok.

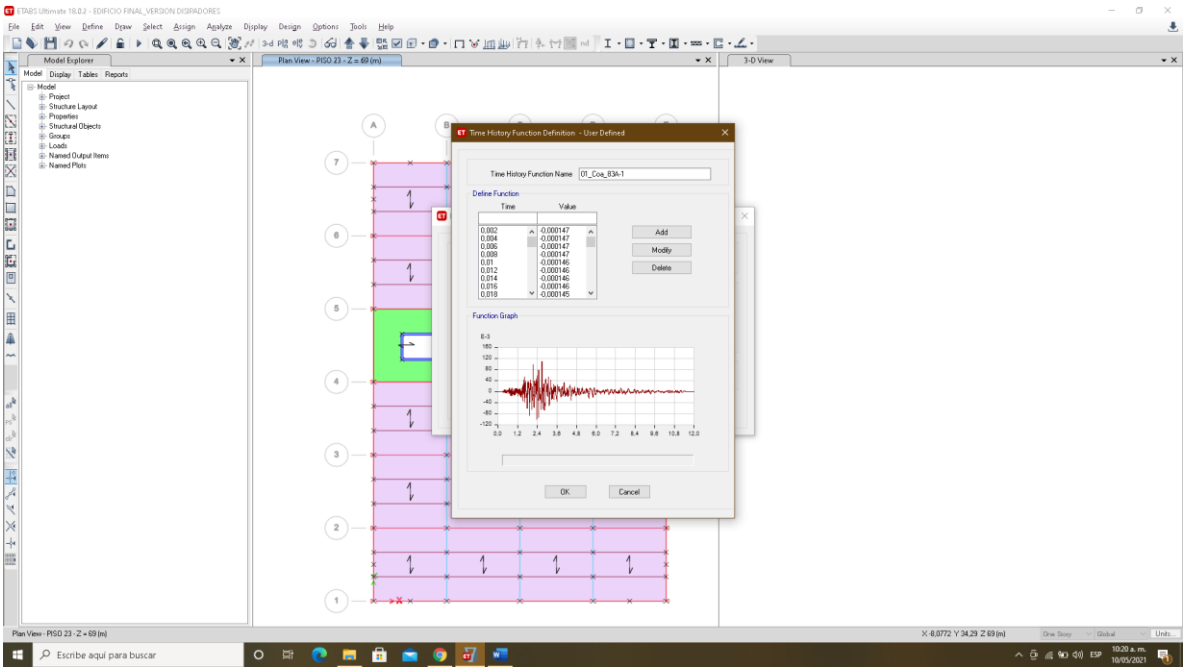


Ilustración 161 verificación de información cargada

1.13 Este mismo procedimiento se realiza con todos los 14 registros que corresponden a las 7 sismos utilizados.

2. Definición de función tipo rampa

Se debe definir la función tipo rampa para el estado de carga gravitacional:

2.1 Define

2.2 Functions

2.3 Time History

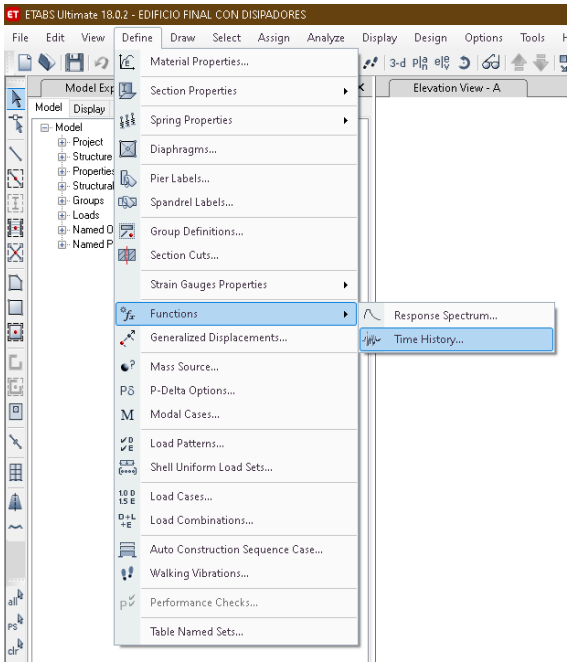


Ilustración 162 Selección de función tipo rampa

2.4 Add new function

2.5 Se asignan los valores correspondientes.

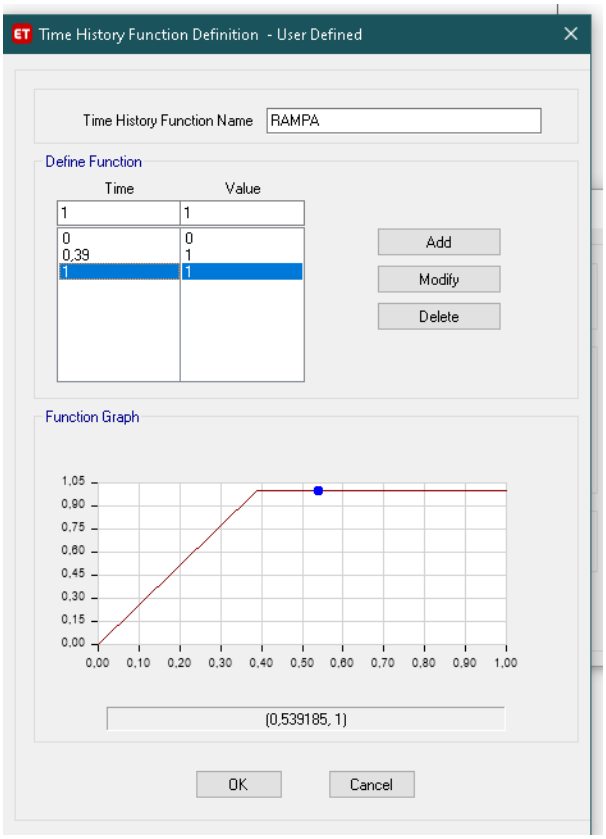


Ilustración 163 Valores de rampa

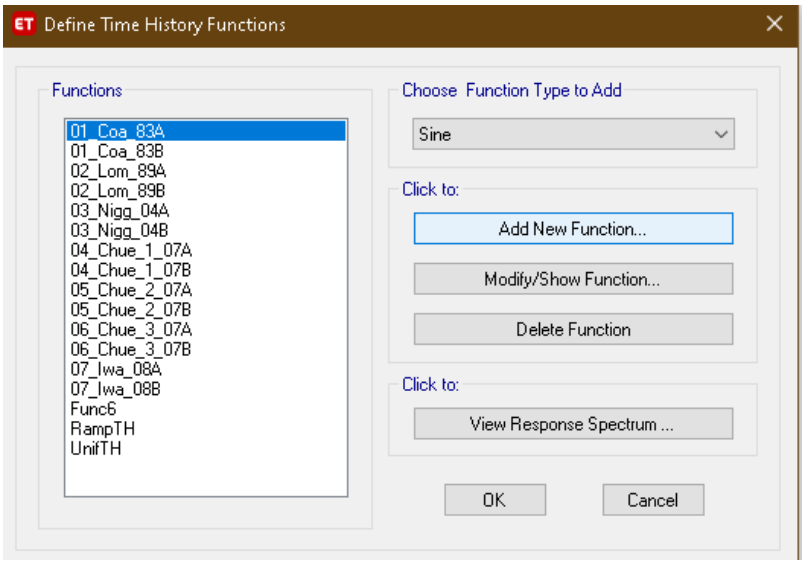


Ilustración 164 Definición de funciones tiempo historia

Se realiza con la finalidad de convertir el análisis NO LINEAL casi en un análisis estático, aumentando el amortiguamiento en casi 0.9999.

3. Carga gravitacional

3.1 Define

3.2 Load cases

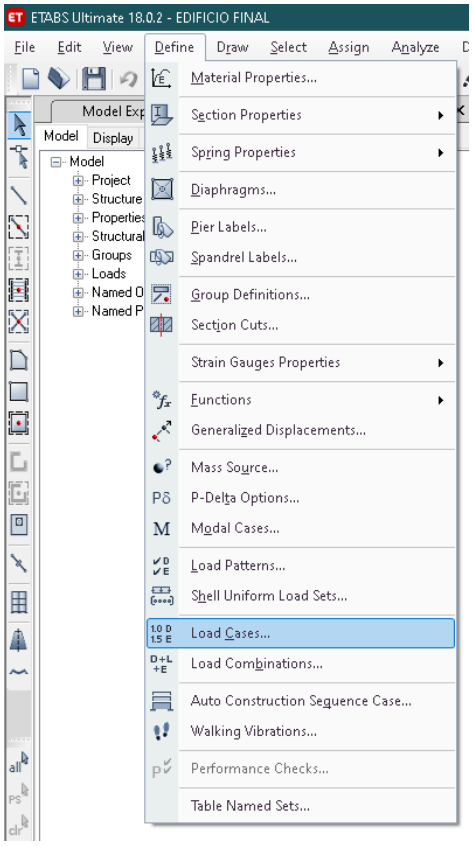


Ilustración 165 Load cases

3.3 Add new case

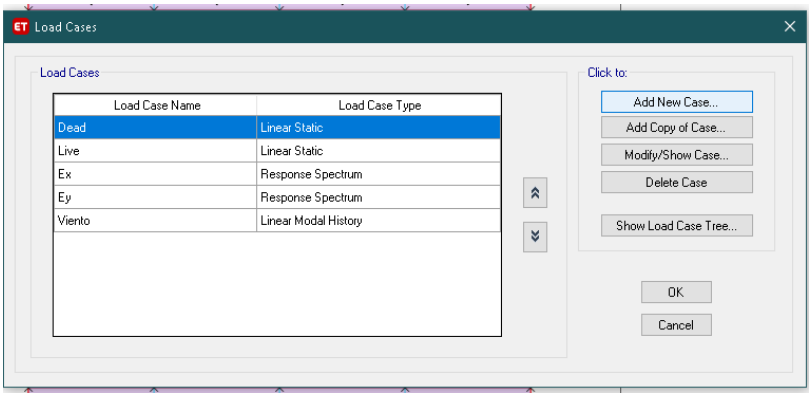


Ilustración 166 Add New Case

3.4 Load case

3.5 Type/SubType, Time History, Nonlinear Modal (FNA)

Se describen las cargas aplicadas, y se toma la funcion rampa con un factor de escala para carga vida y carga muerta; para la carga muerta de deja un factor de 1 y para la carga viva de 0.25.

3.6 Se deja un factor de amortiguamiento de 0.999

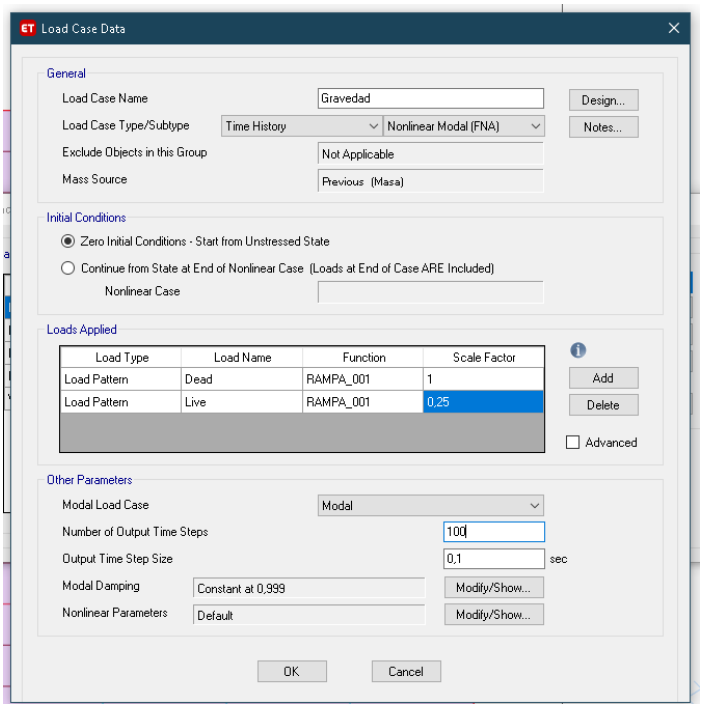


Ilustración 167 Carga gravitacional

4. Escala de registros

Se procede a ESCALAR los registros cargados en el programa mediante los archivos de texto .txt.

4.1 Define

4.2 Functions

4.3 Time History

En la ventana desplegada een la opción Chosee Function Type to Add

4.4 Selecciona Matched to Response Espectrum

4.5 Add New Funtion

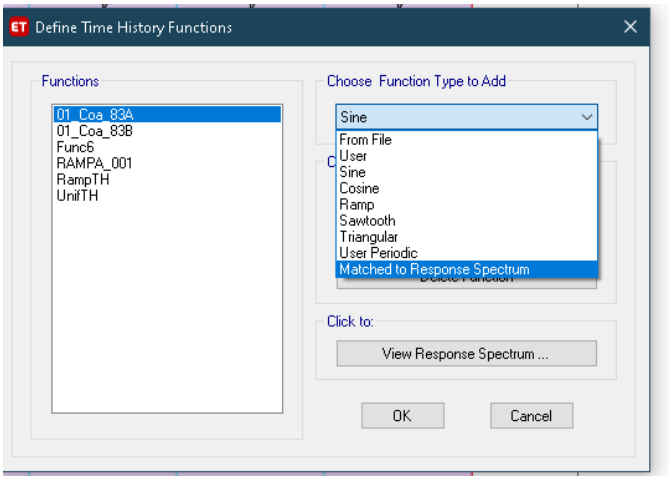


Ilustración 168 Definición Tiempo-Historia

Se asigna un nombre al registro escalado, se toma el espectro de diseño y el registro que se desea escalar en unidades seleccionadas (g) units, para lograr escalar el registro al espectro de diseño luego del proceso de escalamiento de clike en “Coverto to User Default”.

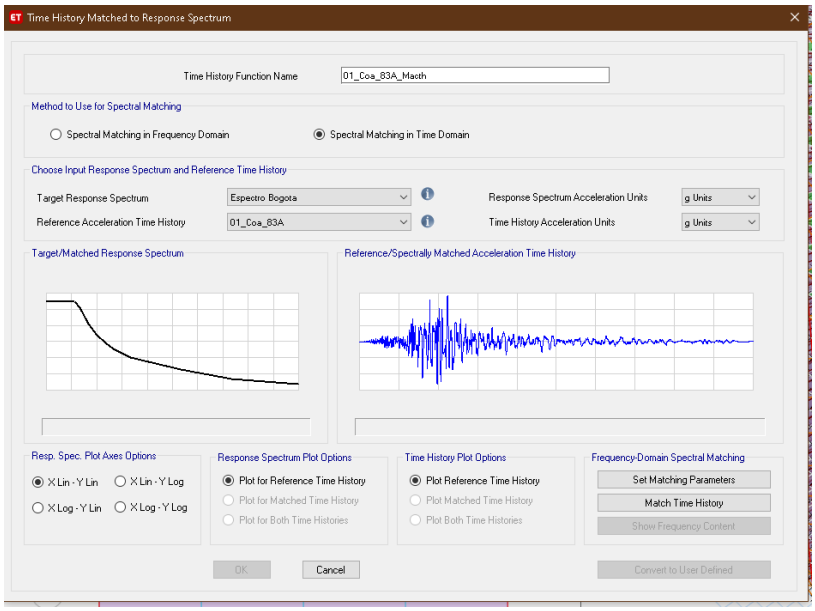


Ilustración 169 Escala de registro sísmico

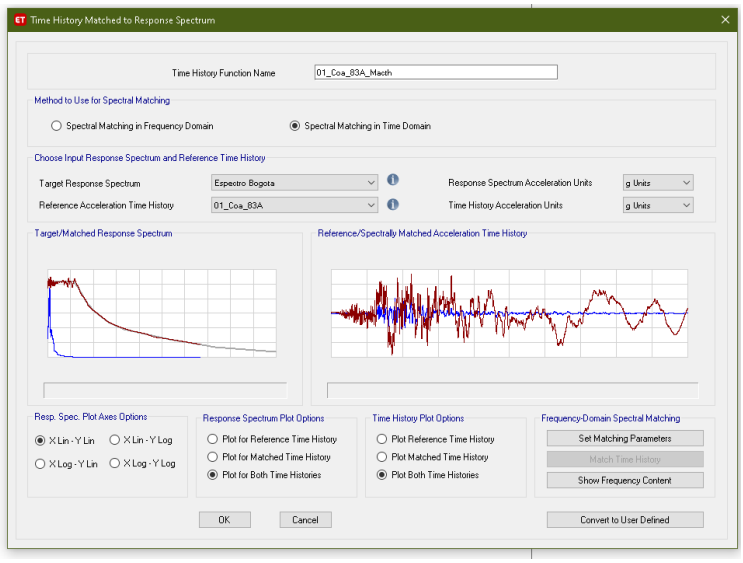


Ilustración 170 Grafica de tiempo - historia escalado

5. Carga tipo pulso

5.1 Define

5.2 Functions

5.3 Tome History

En la ventana desplegada en la opción “Chosee Function Type to Add”

5.4 User

5.5 Add New Funtion

En la ventana emergente se pondrán los valores para la carga tipo pulso, esto ayudara a definir posteriormente cuanto amortiguamiento se le ha agregado al sistema.

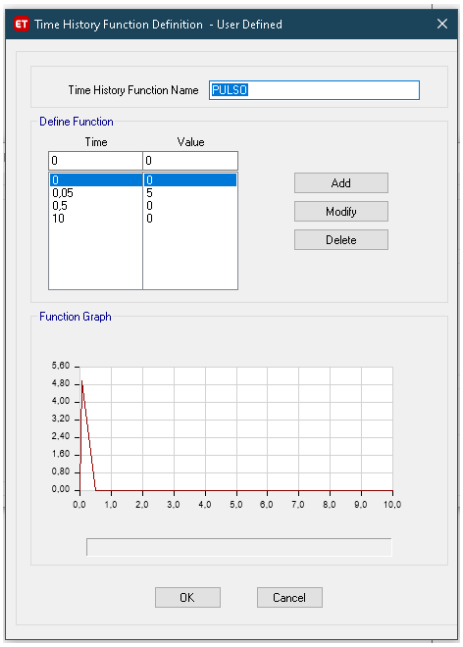


Ilustración 171 Adición de valores de carga tipo pulso

6. Definición de carga gravitacional

6.1 Define

6.2 Load cases

6.3 Add New Case

Se nombra la nueva carga y se selecciona el tipo de caso de carga, Load Case/Subtype, se selecciona Time History y FNA, para las condiciones iniciales se selecciona “Continue from State at End of Nonlinear Case” Seleccionado el caso ya creado anteriormente “Gravedad”.

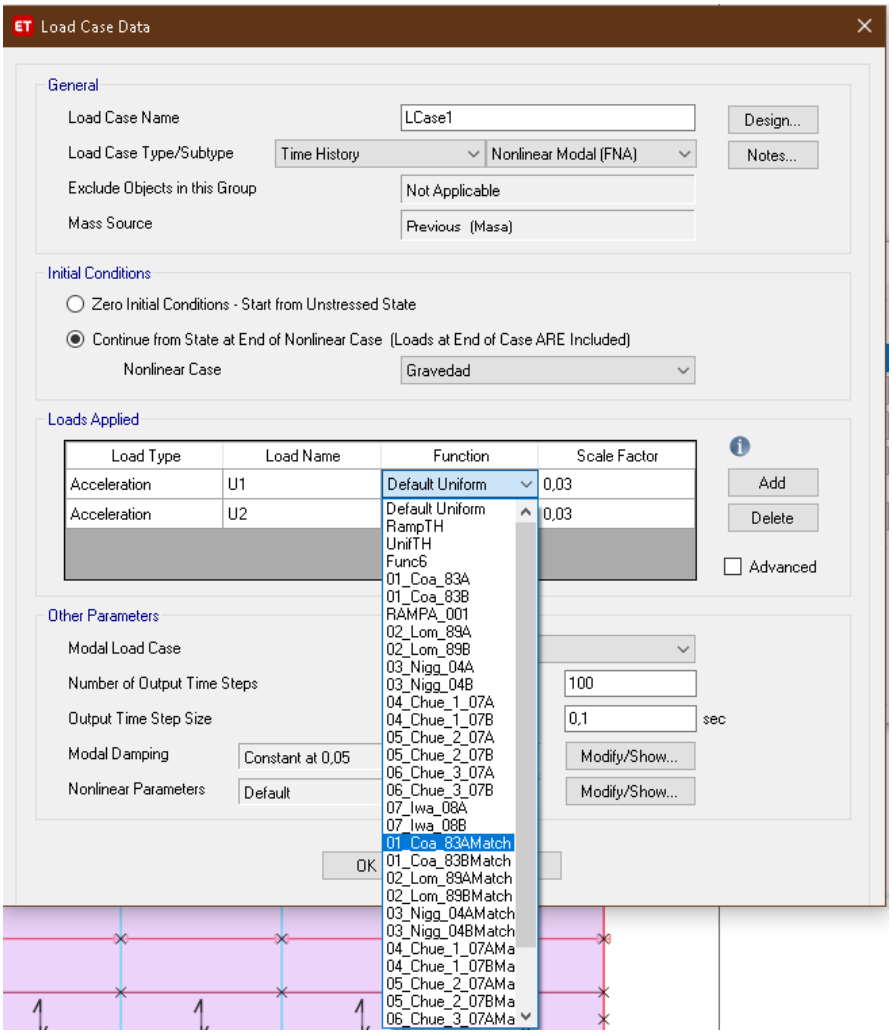


Ilustración 172 Definición de carga gravitacional

6.4 Seccion Loads Applied
6.5 Type Aceleration
6.6 Function

Se carga para U1 el registro escalado en sentido E-W y en U2 el registro N-S, para las casillas Number of Out Put Time Steps, se realizará la verificación de los archivos .txt, donde se observa el tiempo total del sismo, y se dividirá en el intervalo de tiempo según el registro obtenido, OK.

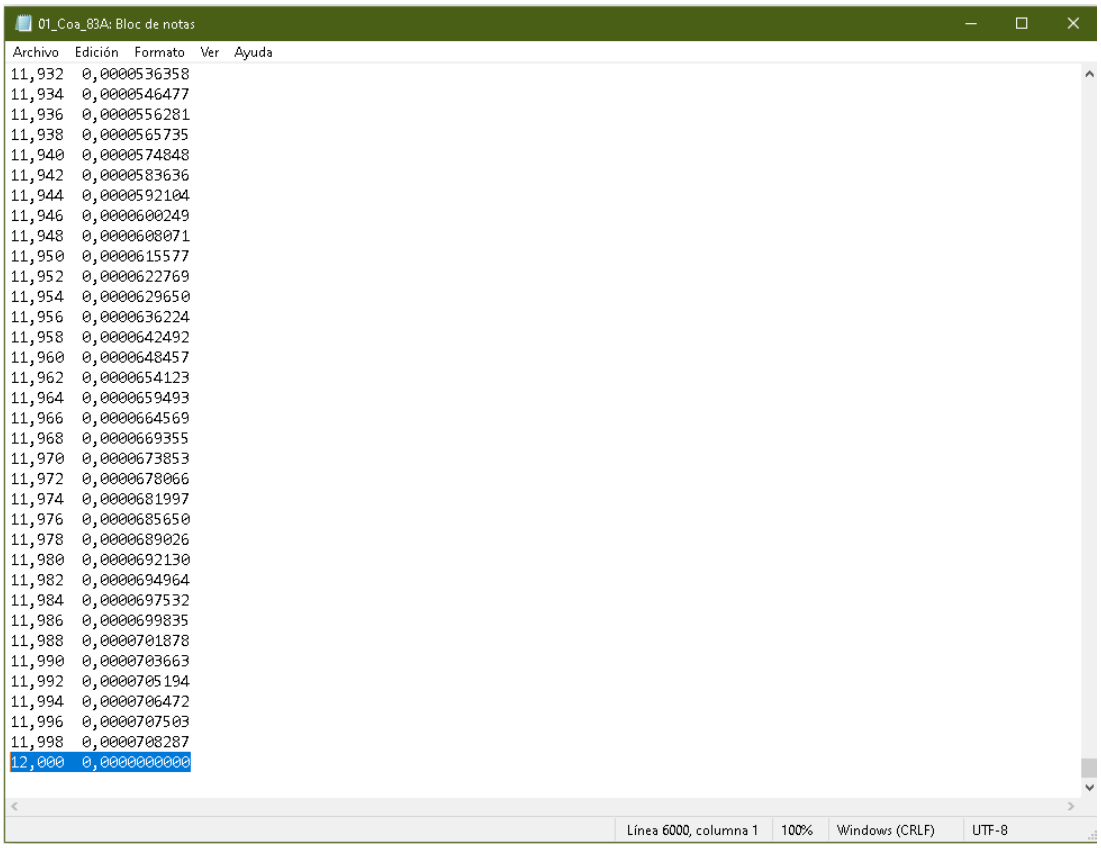


Ilustración 173 Datos de registro escalado

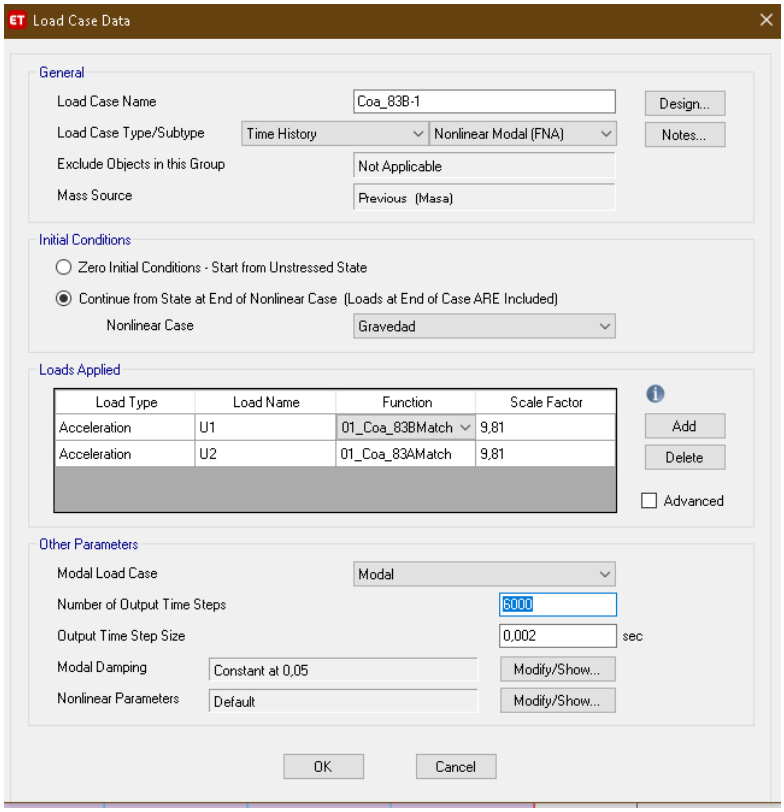
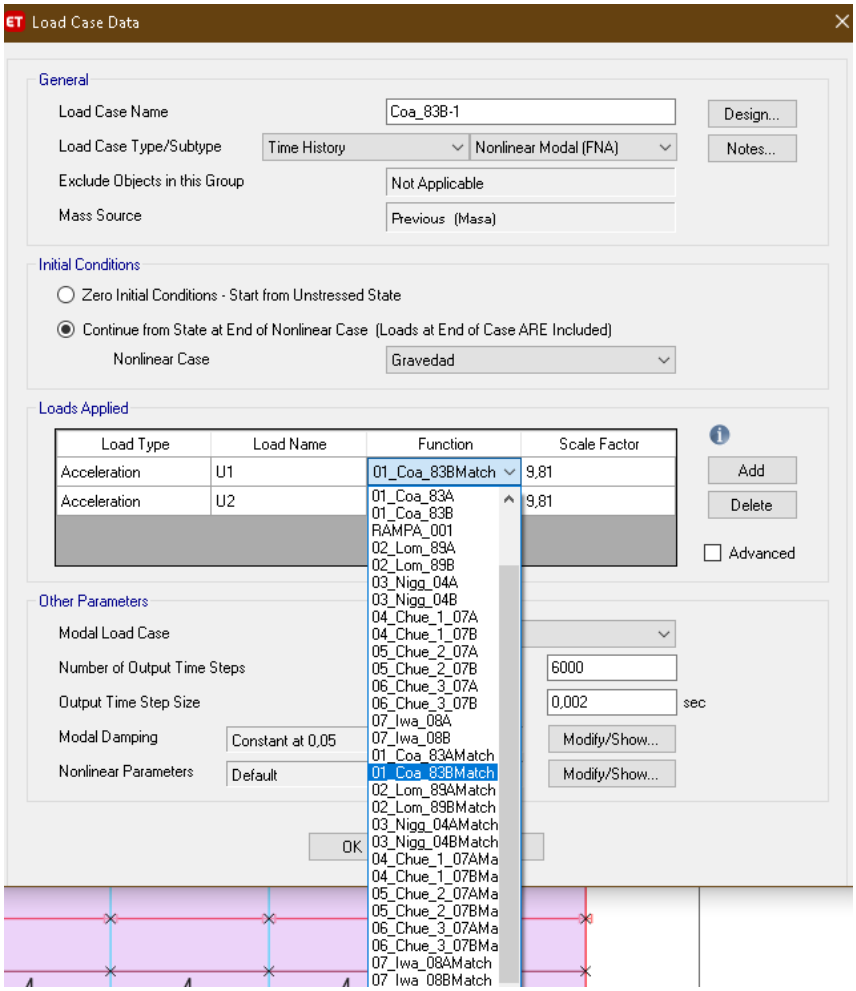


Ilustración 174 Datos de registro

Nota: *Este paso se debe realizar nuevamente con el mismo par de registros, pero invirtiendo el sentido en que se aplica la carga; esto quiere decir que en el recuadro de la ventana Loads Applied" Seleccionar Load Type Aceleration y en Function se cargara para U1 el resigristro escalado en sentido N-S y en U2 el registro E-W.*



7. Análisis modal

Cuando se trabaja con un procedimiento de Tiempo-Historia, se trabaja con los vectores de Ritz.

7.1 Define

7.2 Modal Cases

7.3 Modify

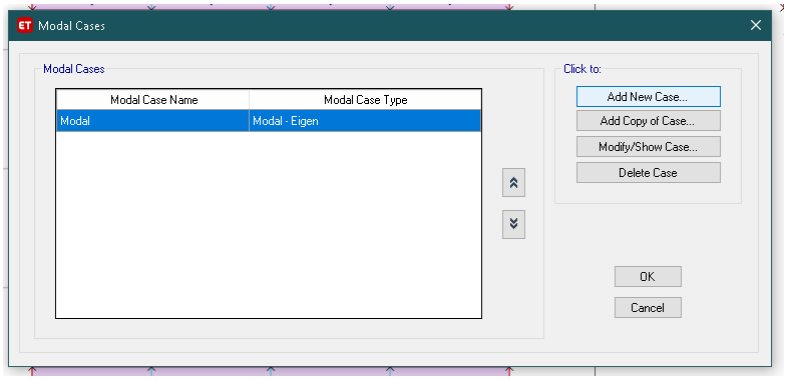


Ilustración 175 Modificación casos modales

7.4 Modal Case Sub Type se selecciona Ritz

7.5 Loads Applied, se carga la aceleración en X y, la carga muerta y carga viva.

7.6 Other Parameters, se selecciona el número de modos para la estructura.

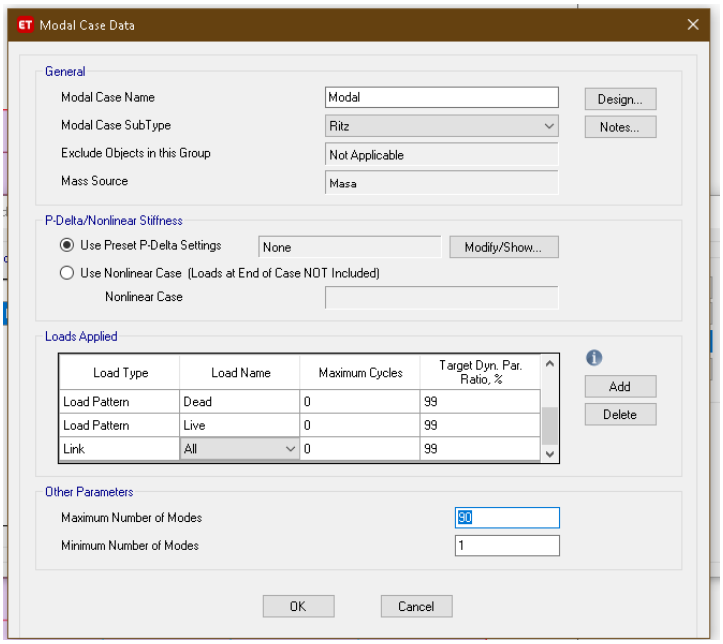


Ilustración 176 Selección de parámetros para los modos

8. Revisión de desplazamientos

Luego de realizar todos los pasos anteriores y cargar todos los 14 espectros, escalarlos, definir pulso, carga gravitacional, revisar el análisis modal y la verificación de masas, se correrá la modelación. En este punto se revisarán los desplazamientos los cuales se pasarán a tabla de Excel para hacer el debido proceso de datos:

8.1 Display

8.2 Story Respond Plots

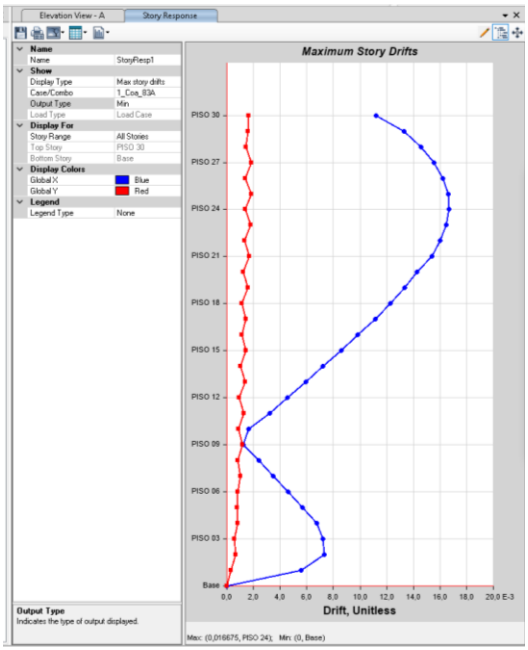


Ilustración 177 Desplazamientos generados por los sismos cargados

En la ventana Show se selecciona Display Type Max Story drifts; en Case /Combo seleccionar el espectro del sismo que se desea evaluar y la dirección E-W o N-S, se evaluaran los máximos y mínimos desplazamientos, y de estos, se tomara el valor máximo de los 2.

Anexo C. APU'S y cantidades de obra de las edificaciones

APU'S Diseño estructural sin disipadores

	Universidad Distrital Francisco José de Caldas			
	Facultad Tecnológica			
	Ingeniería Civil			
	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			
	TRABAJO DE GRADO	RESPUESTA SÍSMICA DE UNA ESTRUCTURA DE ACERO IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C		
APU, DISEÑO ESTRUCTURAL SIN DISIPADORES DE ENERGIA				
PROPONENTE	DENNIS LOPEZ - DANIEL PINZON	FECHA:	MAYO DE 2021	
ITEM 2.4	Suministro e instalacion de placa de entrepiso en Metaldeck, concreto de 4000PSI incluye malla	UND	M2	

MATERIALES

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
Lamina galvanizada JOIST cal 20 Luz libre 1.55	M2	1	$ 55.700,88	$ 55.700,88
Malla electrosoldada 15x15 cm x 6 mm	KG	2,792	$ 20.277,35	$ 56.614,36
Concreto de 4000 PSI suministrado de planta	M3	0,12	$ 354.573,60	$ 42.548,83
				$ -
			SUBTOTAL	$ 154.864,07

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
1 Oficial	hora	0,548	$ 11.837,32	$ 6.486,85
2 Ayudante	hora	0,39	$ 7.502,37	$ 2.925,92
			SUBTOTAL	$ 9.412,78

RRAMIENTA Y EQUI

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
Herramienta menor	%	0,001	$ 162.607,28	$ 162,61
Bomba estacionaria	m2	1	$ 50.000,00	$ 50.000,00
			SUBTOTAL	$ 50.162,61

TOTAL	$ 214.439,46

	Universidad Distrital Francisco José de Caldas			
	Facultad Tecnológica			
	Ingeniería Civil			
	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			
	TRABAJO DE GRADO	RESPUESTA SÍSMICA DE UNA ESTRUCTURA DE ACERO IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C		
APU, DISEÑO ESTRUCTURAL SIN DISIPADORES DE ENERGIA				
PROPONENTE	DENNIS LOPEZ - DANIEL PINZON	FECHA:	MAYO DE 2021	
ITEM 2.3	Muro de refuerzo ascensor espesor 12 cm en concreto de 4000 PSI	UND	M2	

MATERIALES

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
Malla electrosoldada a dos caras 15x15 cm x 7.5mm	KG	6,27	$ 12.039,41	$ 75.544,89
Concreto de 4000 PSI Suministrado de planta	M3	0,27	$ 454.573,60	$ 122.734,87
Alambre galvanizado	KG	0,015	$ 2.835,99	$ 42,54
Formaleta metalica hasta 3m altura	M2	0,007	$ 381.173,22	$ 2.668,21
Estructura de soporte a fomaleta	UND	0,007	$ 524.113,00	$ 3.668,79
				$ -
			SUBTOTAL	$ 204.659,31

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
1 Oficial	hora	0,28	$ 14.416,12	$ 4.036,51
2 Ayudante	hora	0,31	$ 10.745,63	$ 3.331,15
			SUBTOTAL	$ 7.367,66

HERRAMIENTA Y EQUIPO

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
Herramienta menor	%	0,001	$ 214.892,27	$ 214,89
Bomba estacionaria	m3	1	$ 50.000,00	$ 50.000,00
			SUBTOTAL	$ 50.214,89

TOTAL	$ 262.241,86

	Universidad Distrital Francisco José de Caldas			
	Facultad Tecnológica			
	Ingeniería Civil			
	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			
	TRABAJO DE GRADO	RESPUESTA SÍSMICA DE UNA ESTRUCTURA DE ACERO IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C		
APU, DISEÑO ESTRUCTURAL SIN DISIPADORES DE ENERGIA				
PROPONENTE	DENNIS LOPEZ - DANIEL PINZON	FECHA:	MAYO DE 2021	
ITEM 2.2	Descanso escalera hasta 1.80 m x 1.50 m concreto de 3000 PSI		UND	UND

MATERIALES

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
Varilla corrugada 1/2" x 6m	KG	6,27	$ 18.500,00	$ 116.083,80
Concreto de 3000 PSI Suministrado de planta	M3	0,27	$ 295.478,00	$ 79.779,06
Alambre galvanizado	KG	0,015	$ 2.835,99	$ 42,54
Formaleta en madera MDF e=10 mm	M2	2,7	$ 10.577,00	$ 28.557,90
			SUBTOTAL	**$ 224.463,30**

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
1 Oficial	hora	0,55	$ 11.837,32	$ 6.486,85
2 Ayudante	hora	0,39	$ 7.502,37	$ 2.925,92
			SUBTOTAL	**$ 9.412,78**

HERRAMIENTA Y EQUIPO

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
Herramienta menor	%	0,001	$ 235.686,46	$ 235,69
Bomba estacionaria	m3	0,27	$ 50.000,00	$ 13.500,00
			SUBTOTAL	**$ 13.735,69**

TOTAL	**$ 247.611,76**

	Universidad Distrital Francisco José de Caldas			
	Facultad Tecnológica			
	Ingeniería Civil			
	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			
	TRABAJO DE GRADO	RESPUESTA SÍSMICA DE UNA ESTRUCTURA DE ACERO IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C		
APU, DISEÑO ESTRUCTURAL SIN DISIPADORES DE ENERGIA				
PROPONENTE	DENNIS LOPEZ - DANIEL PINZON	FECHA:	MAYO DE 2021	
ITEM 2.1	Escalera en concreto 3000PSI, incluye acero de refuerzo		UND	M3

MATERIALES

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
Varilla corrugada 1/2" x 6m	KG	1,328	$ 18.500,00	$ 24.568,00
Alambre galvanizado	KG	0,015	$ 2.835,99	$ 42,54
Concreto de 3000 PSI Suministrado de planta	M3	0,31	$ 295.478,00	$ 91.598,18
Formaleta en madera MDF e=10 mm	M2	0,81	$ 10.577,00	$ 8.567,37
			SUBTOTAL	**$ 124.776,09**

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
1 Oficial	hora	0,548	$ 11.837,32	$ 6.486,85
2 Ayudante	hora	0,39	$ 7.502,37	$ 2.925,92
			SUBTOTAL	**$ 9.412,78**

HERRAMIENTA Y EQUIPO

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
Herramienta menor	%	0,001	$ 131.014,89	$ 131,01
Bomba estacionaria	m3	1	$ 50.000,00	$ 50.000,00
			SUBTOTAL	**$ 50.131,01**

TOTAL	**$ 184.319,88**

	Universidad Distrital Francisco José de Caldas			
	Facultad Tecnológica			
	Ingeniería Civil			
	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			
	TRABAJO DE GRADO	RESPUESTA SÍSMICA DE UNA ESTRUCTURA DE ACERO IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C		
APU, DISEÑO ESTRUCTURAL SIN DISIPADORES DE ENERGIA				
PROPONENTE	DENNIS LOPEZ - DANIEL PINZON	FECHA:	MAYO DE 2021	
ITEM 1.5	**Suministro e instalacion de IPE 240 en acero A992 grado 50 para correas**		**UND**	**KG**

MATERIALES

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
IPE 240 A992 gr 50	KG	1	$ 3.348,40	$ 3.348,40
Soldadura E7018 X 3/32	KG	0,0856	$ 13.900,00	$ 1.189,84
Anticorrosivo	GL	0,0016	$ 43.011,00	$ 68,82
Esmalte color negro	GL	0,0016	$ 17.900,00	$ 28,64
			SUBTOTAL	**$ 4.635,70**

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
Oficial de 1ra montador de estructura metalica	hora	0,462	$ 14.232,90	$ 6.575,60
Ayudante	hora	0,462	$ 10.324,57	$ 4.769,95
			SUBTOTAL	**$ 11.345,55**

HERRAMIENTA Y EQUIPO

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
Herramienta menor	%	0,01	$ 4.867,48	$ 48,67
Torre grua	dia	0,002	$ 60.000,00	$ 120,00
Equipo soldadura	dia	0,0856	$ 13.333,00	$ 1.141,30
			SUBTOTAL	**$ 1.309,98**

TOTAL	**$ 17.291,23**

	Universidad Distrital Francisco José de Caldas			
	Facultad Tecnológica			
	Ingeniería Civil			
	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			
	TRABAJO DE GRADO	RESPUESTA SÍSMICA DE UNA ESTRUCTURA DE ACERO IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C		
APU, DISEÑO ESTRUCTURAL SIN DISIPADORES DE ENERGIA				
PROPONENTE	DENNIS LOPEZ - DANIEL PINZON	FECHA:	MAYO DE 2021	
ITEM 1.4	**Suministro e instalacion de angulo doble de 3/4" x 6" A992 grado 50 para arriostramientos**		**UND**	**KG**

MATERIALES

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
Angulo doble 3/4" x 6" A992 grado 50	KG	1	$ 1.009,80	$ 1.009,80
Soldadura E7018 X 3/32	KG	0,0856	$ 13.900,00	$ 1.189,84
Anticorrosivo	GL	0,0016	$ 43.011,00	$ 68,82
Esmalte color negro	GL	0,0016	$ 17.900,00	$ 28,64
			SUBTOTAL	**$ 2.297,10**

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
Oficial de 1ra montador de estructura metalica	hora	0,462	$ 14.232,90	$ 6.575,60
Ayudante	hora	0,462	$ 10.324,57	$ 4.769,95
			SUBTOTAL	**$ 11.345,55**

HERRAMIENTA Y EQUIPO

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
Herramienta menor	%	0,01	$ 2.411,95	$ 24,12
Equipo soldadura	dia	0,0856	$ 13.333,00	$ 1.141,30
			SUBTOTAL	**$ 1.165,42**

TOTAL	**$ 14.808,07**

	Universidad Distrital Francisco José de Caldas			
	Facultad Tecnológica			
	Ingeniería Civil			
	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			
	TRABAJO DE GRADO	RESPUESTA SÍSMICA DE UNA ESTRUCTURA DE ACERO IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C		
APU, DISEÑO ESTRUCTURAL SIN DISIPADORES DE ENERGIA				
PROPONENTE	DENNIS LOPEZ - DANIEL PINZON	FECHA:	MAYO DE 2021	
ITEM 1.3	Suministro e instalacion de HEA 300 en acero A992 grado 50 para vigas		UND	KG

MATERIALES

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
HEA 300 A992 gr 50	KG	1	$ 4.185,50	$ 4.185,50
Soldadura E7018 X 3/32	KG	0,0856	$ 13.900,00	$ 1.189,84
Anticorrosivo	GL	0,0016	$ 43.011,00	$ 68,82
Esmalte color negro	GL	0,0016	$ 17.900,00	$ 28,64
			SUBTOTAL	$ 5.472,80

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
Oficial de 1ra montador de estructura metalica	hora	0,462	$ 14.232,90	$ 6.575,60
Ayudante	hora	0,462	$ 10.324,57	$ 4.769,95
			SUBTOTAL	$ 11.345,55

HERRAMIENTA Y EQUIPO

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
Herramienta menor	%	0,01	$ 5.746,44	$ 57,46
Torre grua	dia	0,002	$ 60.000,00	$ 120,00
Equipo soldadura	dia	0,0856	$ 13.333,00	$ 1.141,30
			SUBTOTAL	$ 1.318,77

TOTAL	$ 18.137,12

	Universidad Distrital Francisco José de Caldas			
	Facultad Tecnológica			
	Ingeniería Civil			
	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			
	TRABAJO DE GRADO	RESPUESTA SÍSMICA DE UNA ESTRUCTURA DE ACERO IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C		
APU, DISEÑO ESTRUCTURAL SIN DISIPADORES DE ENERGIA				
PROPONENTE	DENNIS LOPEZ - DANIEL PINZON	FECHA:	MAYO DE 2021	
ITEM 1.2	Suministro e instalacion de HEA 400 en acero A992 grado 50 para vigas		UND	KG

MATERIALES

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
HEA 400 A992 gr 50	KG	1	$ 6.696,80	$ 6.696,80
Soldadura E7018 X 3/32	KG	0,0856	$ 13.900,00	$ 1.189,84
Anticorrosivo	GL	0,0016	$ 43.011,00	$ 68,82
Esmalte color negro	GL	0,0016	$ 17.900,00	$ 28,64
			SUBTOTAL	$ 7.984,10

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
Oficial de 1ra montador de estructura metalica	hora	0,462	$ 14.232,90	$ 6.575,60
Ayudante	hora	0,462	$ 10.324,57	$ 4.769,95
			SUBTOTAL	$ 11.345,55

HERRAMIENTA Y EQUIPO

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
Herramienta menor	%	0,01	$ 8.383,30	$ 83,83
Torre grua	dia	0,002	$ 60.000,00	$ 120,00
Equipo soldadura	dia	0,0856	$ 13.333,00	$ 1.141,30
			SUBTOTAL	$ 1.345,14

TOTAL	$ 20.674,79

	Universidad Distrital Francisco José de Caldas			
	Facultad Tecnológica			
	Ingeniería Civil			
	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			
	TRABAJO DE GRADO	RESPUESTA SÍSMICA DE UNA ESTRUCTURA DE ACERO IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C		
APU, DISEÑO ESTRUCTURAL SIN DISIPADORES DE ENERGIA				
PROPONENTE	DENNIS LOPEZ - DANIEL PINZON	FECHA:	MAYO DE 2021	
ITEM 1.1	**Suministro e instalacion de HEA 600 en acero A992 grado 50 para columnas**		**UND**	**KG**

MATERIALES

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
HEA 600 A992 gr 50	KG	1	$ 8.371,00	$ 8.371,00
Soldadura E7018 X 3/32	KG	0,0856	$ 13.900,00	$ 1.189,84
Anticorrosivo	GL	0,0016	$ 43.011,00	$ 68,82
Esmalte color negro	GL	0,0016	$ 17.900,00	$ 28,64
			SUBTOTAL	**$ 9.658,30**

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
Oficial de 1ra montador de estructura metalica	hora	0,462	$ 14.232,90	$ 6.575,60
Ayudante	hora	0,462	$ 10.324,57	$ 4.769,95
			SUBTOTAL	**$ 11.345,55**

HERRAMIENTA Y EQUIPO

DESCRIPCION	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
Herramienta menor	%	0,01	$ 10.141,21	$ 101,41
Torre grua	dia	0,002	$ 60.000,00	$ 120,00
Equipo soldadura	dia	0,0856	$ 13.333,00	$ 1.141,30
			SUBTOTAL	**$ 1.362,72**

TOTAL	**$ 22.366,57**