

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

“EVALUACIÓN DINÁMICA DE UNA ESTRUCTURA UBICADA EN PEDERNALES  
MEDIANTE UN ANÁLISIS DE SISMO EQUIVALENTE Y UN ANÁLISIS TIEMPO  
HISTORIA”

AUTOR:

MARÍA MERCEDES FLORES FLORES

DIRECTOR: INGENIERO JUAN SEBASTIÁN BAQUERO

QUITO, 2017

## **DEDICATORIA**

Para ti Papito Daniel, no pudiste estar conmigo en cuerpo pero sé que desde arriba nos cuidas,

Para ti Mami Jacy, por tu valentía y esfuerzo estoy donde estoy te amo mamita,

Para ti Hija mía, mi pequeña María José aun no naces pero ya eres el motor que me impulsa a ser alguien mejor, desde que supe de ti todo mi trabajo y mis acciones serán para buscar lo mejor para ti y siempre verte sonreír, no hay amor más grande que el que siento por ti.

María Mercedes Flores Flores.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, siempre sentí su presencia a mi lado en cada paso de mi carrera ayudándome y apoyándome para seguir,

A mi Papito y Mamita que supieron apoyarme desde el inicio de mi carrera,

A mi Mami Jacy y Orlito por apoyarme siempre en mis sueños y brindarme siempre su amor y comprensión,

A mis tíos Marina, Ángela, Catalina, Lucía y Daniel que aportaron todos con un granito de arena para que yo cumpla las metas que me he propuesto,

A mis ñaños Sary, Fede y Toño por su cariño y por la manera en la que me impulsaron para que yo logre llegar hasta aquí,

A mis pequeños Dani, Gordu y Ceceu por darme siempre su cariño y apoyo,

A mis amigos, que en cada momento bueno o malo han estado ahí para mí con su cariño y apoyo,

A mi Director, Ing. Juan Sebastián Baquero por ser más que solo un profesor, ser mi amigo siendo una gran ayuda y apoyo en mi situación,

A mis Correctores, Ing. Wilson Cando e Ing. Jorge Bucheli por guiarme en este arduo camino,

Al Ing. Oscar Jaramillo por brindarme su apoyo y amistad.

María Mercedes Flores Flores.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1. GENERALIDADES</b> .....	1
<b>1.1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.2. JUSTIFICACIÓN</b> .....	1
<b>1.3. OBJETIVOS</b> .....	2
<b>1.3.1. Objetivo General</b> .....	2
<b>1.3.2. Objetivos Específicos</b> .....	3
<b>1.4. HISTORIA SÍSMICA DEL ECUADOR</b> .....	3
<b>1.4.1. Terremoto de Esmeraldas (31 de Enero de 1906)</b> .....	3
<b>1.4.2. Terremoto de Ambato (5 de Agosto de 1949)</b> .....	3
<b>1.4.3. Terremoto de Esmeraldas (19 de Enero de 1958)</b> .....	4
<b>1.4.4. Terremoto de Napo (5 de Marzo de 1987)</b> .....	4
<b>1.4.5. Terremoto de Bahía de Caráquez ( 4 de Agosto de 1998)</b> .....	5
<b>1.4.6. Terremoto de Manabí (16 de Abril del 2016)</b> .....	6
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	7
<b>2.1. CONCEPTOS GENERALES</b> .....	7
<b>2.2. INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DINÁMICO</b> .....	9
<b>2.2.1. Grados de libertad</b> .....	9
<b>2.2.2. Sistemas Inelásticos</b> .....	10
<b>2.2.3. Fuerza de Amortiguamiento</b> .....	10
<b>2.2.4. Ecuación del movimiento</b> .....	11
<b>2.2.5. Consideraciones para la resolución de la ecuación del movimiento</b> .....	12
<b>2.2.6. Análisis Paso a Paso en el tiempo</b> .....	13
<b>2.2.7. Método de Newmark</b> .....	13
<b>2.2.8. Amortiguamiento de Rayleigh</b> .....	14
<b>2.2.9. Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 15)</b> .....	15
<b>3. MODELACIÓN</b> .....	28
<b>3.1. MODELACIÓN EN OPENSEES</b> .....	30
<b>3.1.1. Conversión de unidades</b> .....	30
<b>3.1.2. Archivo ejecutable</b> .....	31
<b>3.1.3. Archivo de modelación</b> .....	33
<b>3.1.4. Archivo del Análisis Modal</b> .....	56

3.1.5.	Archivo del Análisis Dinámico Paso a Paso en el Tiempo .....	57
3.1.6.	Archivo de Resultados (Recorders) .....	61
3.2.	MODELACIÓN EN ETABS 2015 .....	62
4.	RESULTADOS .....	71
4.1.	RESULTADOS EN OPENSEES .....	71
4.1.1.	Resultados inelásticos en X .....	71
4.1.1.1.	Deriva de Piso en X .....	71
4.1.1.2.	Deriva de Piso en Z .....	74
4.1.1.3.	Deformaciones en X .....	76
4.1.1.4.	Deformaciones en Z .....	79
4.1.1.5.	Torsión en Piso 2 .....	81
4.1.1.6.	Torsión en Piso 3 .....	82
4.1.1.7.	Torsión en Piso 4 .....	83
4.1.1.8.	Torsión en Piso 5 .....	84
4.1.1.9.	Torsión en Piso 6 .....	85
4.1.1.10.	Torsión en Piso 7 .....	86
4.1.2.	Resultados inelásticos en Z .....	87
4.1.2.1.	Deriva de Piso en dirección X .....	87
4.1.2.2.	Deriva de Piso en Z .....	90
4.1.2.3.	Deformaciones en X .....	93
4.1.2.4.	Deformaciones en Z .....	96
4.1.2.5.	Torsión en Piso 2 .....	99
4.1.2.6.	Torsión en Piso 3 .....	100
4.1.2.7.	Torsión en Piso 4 .....	101
4.1.2.8.	Torsión en Piso 5 .....	102
4.1.2.9.	Torsión en Piso 6 .....	103
4.1.2.10.	Torsión en Piso 7 .....	104
4.1.3.	Resultados elásticos con inercias agrietadas en X .....	105
4.1.3.1.	Deriva de Piso en Z .....	105
4.1.3.2.	Deriva de Piso en X .....	108
4.1.3.3.	Deformaciones en X .....	111
4.1.3.4.	Deformaciones en Z .....	113

4.1.3.5.	Torsión en Piso 2 .....	116
4.1.3.6.	Torsión en Piso 3 .....	117
4.1.3.7.	Torsión en Piso 4 .....	118
4.1.3.8.	Torsión en Piso 5 .....	119
4.1.3.9.	Torsión en Piso 6 .....	120
4.1.3.10.	Torsión en Piso 7 .....	121
4.1.4.	Resultados elásticos con inercias agrietadas en Z .....	122
4.1.4.1.	Deriva de Piso en Z.....	122
4.1.4.2.	Deriva de Piso en X .....	125
4.1.4.3.	Deformaciones en X .....	127
4.1.4.4.	Deformaciones en Z.....	130
4.1.4.5.	Torsión en Piso 2 .....	133
4.1.4.6.	Torsión en Piso 3 .....	134
4.1.4.7.	Torsión en Piso 4 .....	135
4.1.4.8.	Torsión en Piso 5 .....	136
4.1.4.9.	Torsión en Piso 6 .....	137
4.1.4.10.	Torsión en Piso 7 .....	138
4.1.5.	Resultados elásticos sin inercias agrietadas en X .....	139
4.1.5.1.	Deriva de Piso en X .....	139
4.1.5.2.	Deriva de Piso en Z.....	142
4.1.5.3.	Deformaciones en X .....	145
4.1.5.4.	Deformaciones en Z.....	147
4.1.5.5.	Torsión en Piso 2 .....	150
4.1.5.6.	Torsión en Piso 3 .....	151
4.1.5.7.	Torsión en Piso 4 .....	152
4.1.5.8.	Torsión en Piso 5 .....	153
4.1.5.9.	Torsión en Piso 6 .....	154
4.1.5.10.	Torsión en Piso 7 .....	155
4.1.6.	Resultados elásticos sin inercias agrietadas en Z .....	156
4.1.6.1.	Deriva de Piso en X .....	156
4.1.6.2.	Deriva de Piso en Z.....	159
4.1.6.3.	Deformaciones en X .....	162

4.1.6.4.	Deformaciones en Z.....	164
4.1.6.5.	Torsión en Piso 2 .....	167
4.1.6.6.	Torsión en Piso 3 .....	168
4.1.6.7.	Torsión en Piso 4 .....	169
4.1.6.8.	Torsión en Piso 5 .....	170
4.1.6.9.	Torsión en Piso 6 .....	171
4.1.6.10.	Torsión en Piso 7 .....	172
4.1.7.	Resumen de Resultados .....	173
4.2.	RESULTADOS EN ETABS 2015 .....	171
4.2.1.	Resultados elásticos sin inercias agrietadas .....	171
4.2.1.1.	Deriva máxima análisis en dirección X .....	171
4.2.1.2.	Deriva máxima análisis en dirección Y .....	172
4.2.1.3.	Deformaciones máximas para el análisis en dirección X.....	172
4.2.1.4.	Deformaciones máximas para el análisis en dirección Y .....	173
4.2.2.	Resultados elásticos con inercias agrietadas .....	174
4.2.2.1.	Deriva máxima análisis en dirección X .....	174
4.2.2.2.	Deriva máxima análisis en dirección Y .....	175
4.2.2.3.	Deformaciones máximas para análisis en dirección X.....	176
4.2.2.4.	Deformaciones máximas para análisis en dirección Y.....	177
4.2.3.	Resultados para sismo en X.....	178
4.2.3.1.	Deriva máxima.....	178
4.2.3.2.	Deformación máxima .....	179
4.2.4.	Resultados para sismo en Y.....	180
4.2.4.1.	Deriva máxima.....	180
4.2.4.2.	Deformación máxima .....	181
4.3.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LOS PROGRAMAS .....	182
4.3.1.	Análisis elástico con inercias agrietadas.....	182
4.3.1.1.	Derivas máximas de Piso .....	182
4.3.1.2.	Deformaciones máximas de Piso.....	183
4.3.1.3.	Torsión máxima de Piso.....	184
4.3.2.	Análisis elástico sin inercias agrietadas.....	185
4.3.2.1.	Derivas máximas de Piso .....	185

<b>4.3.2.2. Deformaciones máximas de Piso</b> .....	186
<b>4.3.2.3. Torsión máxima de Piso</b> .....	187
Deriva del 6to Piso de 0 a 0.6 segundos.....	188
Deformación del 6to Piso de 0 a 0.6 segundo.....	189
Torsión del 6to Piso de 0 a 0.6 segundo .....	191
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	192
<b>5.1. CONCLUSIONES</b> .....	192
<b>5.2. RECOMENDACIONES</b> .....	193
BIBLIOGRAFÍA.....	195
ANEXOS .....	196
ANEXO 1 .....	196
ANEXO 2 .....	197
ANEXO 3 .....	199
ANEXO 4 .....	201
ANEXO 5 .....	208
ANEXO 6 .....	215
ANEXO 7 .....	217
ANEXO 8 .....	219
ANEXO 9 .....	220
ANEXO 10 .....	220
ANEXO 11 .....	247

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Factor Z, peligro sísmico en el Ecuador (NEC15).	16
Tabla 2 Tipo de perfil de suelo en Ecuador (NEC15).	18
Tabla 3 Factor Fa (NEC15).	19
Tabla 4 Factor Fd (NEC15).	19
Tabla 5 Factor Fs (NEC15).	20
Tabla 6 Factor de importancia por ocupación (NEC15).	21
Tabla 7 Filosofía de diseño para estructuras de ocupación normal (NEC15).	22
Tabla 8 Tipo de sismo (NEC15).	22
Tabla 9 Filosofía de diseño para estructuras de ocupación esencial y especial (NEC15).	22
Tabla 10 Coeficientes de irregularidad en planta (NEC15).	23
Tabla 11 Coeficientes de irregularidad en elevación (NEC15).	24
Tabla 12 Coeficientes Ct y $\alpha$ (NEC15).	25
Tabla 13 Coeficiente de reducción por ductilidad R para estructuras dúctiles (NEC15).	26
Tabla 14 Coeficiente de reducción por ductilidad R para estructuras de ductilidad limitada (NEC15).	26
Tabla 15 Factor K en función del Ta (NEC15).	27
Tabla 16 Deriva inelástica máxima en dirección X.	73
Tabla 17 Deriva inelástica máxima en dirección Z.	76
Tabla 18 Deformaciones máximas de cada piso en dirección X.	78
Tabla 19 Deformaciones máximas de cada piso en dirección Z.	81
Tabla 20 Ángulo de torsión máxima en piso 2.	81
Tabla 21 Ángulo de torsión máxima en piso 3.	82
Tabla 22 Ángulo de torsión máxima en piso 4.	83
Tabla 23 Ángulo de torsión máxima en piso 5.	84
Tabla 24 Ángulo de torsión máxima en piso 6.	85
Tabla 25 Ángulo de torsión máxima en piso 7.	86
Tabla 26 Deriva inelástica máxima en dirección X.	89
Tabla 27 Deriva inelástica máxima en dirección Z.	92
Tabla 28 Deformación máxima en cada piso en dirección X.	95
Tabla 29 Deformación máxima en cada piso en dirección Z.	98
Tabla 30 Ángulo de torsión máxima en el piso 2.	99
Tabla 31 Ángulo de torsión máxima en el piso 3.	100
Tabla 32 Ángulo de torsión máxima en el piso 4.	101
Tabla 33 Ángulo de torsión máxima en el piso 5.	102
Tabla 34 Ángulo de torsión máxima en el piso 6.	103
Tabla 35 Ángulo de torsión máxima en el piso 7.	104
Tabla 36 Deriva inelástica máxima en dirección Z.	107
Tabla 37 Deriva inelástica máxima en dirección X.	110
Tabla 38 Deformaciones máximas elásticas en dirección X.	113
Tabla 39 Deformaciones máximas elásticas en dirección Z.	115

<i>Tabla 40</i>	<i>Ángulo de torsión máxima en el piso 2</i>	116
<i>Tabla 41</i>	<i>Ángulo de torsión máxima en el piso 3</i>	117
<i>Tabla 42</i>	<i>Ángulo de torsión máxima en el piso 4</i>	118
<i>Tabla 43</i>	<i>Ángulo de torsión máxima en el piso 5</i>	119
<i>Tabla 44</i>	<i>Ángulo de torsión máxima en el piso 6</i>	120
<i>Tabla 45</i>	<i>Ángulo de torsión máxima en el piso 7</i>	121
<i>Tabla 46</i>	<i>Deriva máxima inelástica de piso en Z</i>	124
<i>Tabla 47</i>	<i>Deriva máxima inelástica de piso en X</i>	127
<i>Tabla 48</i>	<i>Deformaciones elásticas máximas en X</i>	129
<i>Tabla 49</i>	<i>Deformaciones elásticas máximas en Z</i>	132
<i>Tabla 50</i>	<i>Ángulo de torsión máxima en piso 2</i>	133
<i>Tabla 51</i>	<i>Ángulo de torsión máxima en piso 3</i>	134
<i>Tabla 52</i>	<i>Ángulo de torsión máxima en piso 4</i>	135
<i>Tabla 53</i>	<i>Ángulo de torsión máxima en piso 5</i>	136
<i>Tabla 54</i>	<i>Ángulo de torsión máxima en piso 6</i>	137
<i>Tabla 55</i>	<i>Ángulo de torsión máxima en piso 7</i>	138
<i>Tabla 56</i>	<i>Deriva Inelástica máxima en X</i>	141
<i>Tabla 57</i>	<i>Deriva Inelástica máxima en Z</i>	144
<i>Tabla 58</i>	<i>Deformaciones máximas de piso en X</i>	147
<i>Tabla 59</i>	<i>Deformaciones máximas de piso en Z</i>	149
<i>Tabla 60</i>	<i>Ángulo máximo de torsión en piso 2</i>	150
<i>Tabla 61</i>	<i>Ángulo máximo de torsión en piso 3</i>	151
<i>Tabla 62</i>	<i>Ángulo máximo de torsión en piso 4</i>	152
<i>Tabla 63</i>	<i>Ángulo máximo de torsión en piso 5</i>	153
<i>Tabla 64</i>	<i>Ángulo máximo de torsión en piso 6</i>	154
<i>Tabla 65</i>	<i>Ángulo máximo de torsión en piso 7</i>	155
<i>Tabla 66</i>	<i>Deriva máxima inelástica en X</i>	158
<i>Tabla 67</i>	<i>Deriva máxima inelástica en Z</i>	161
<i>Tabla 68</i>	<i>Deformaciones máximas para pisos en X</i>	164
<i>Tabla 69</i>	<i>Deformaciones máximas para pisos en Z</i>	166
<i>Tabla 70</i>	<i>Ángulo de torsión máxima de piso 2</i>	167
<i>Tabla 71</i>	<i>Ángulo de torsión máxima de piso 3</i>	168
<i>Tabla 72</i>	<i>Ángulo de torsión máxima de piso 4</i>	169
<i>Tabla 73</i>	<i>Ángulo de torsión máxima de piso 5</i>	170
<i>Tabla 74</i>	<i>Ángulo de torsión máxima de piso 6</i>	171
<i>Tabla 75</i>	<i>Ángulo de torsión máxima de piso 7</i>	172
<i>Tabla 76</i>	<i>Deriva inelástica máxima en X, tabla de resumen</i>	168
<i>Tabla 77</i>	<i>Deriva inelástica máxima en Z, tabla de resumen</i>	168
<i>Tabla 78</i>	<i>Deformación máxima en X, tabla de resumen</i>	169
<i>Tabla 79</i>	<i>Deformación máxima en Z, tabla de resumen</i>	169
<i>Tabla 80</i>	<i>Torsión máxima en radianes, tabla de resumen</i>	170
<i>Tabla 81</i>	<i>Torsión máxima en grados, tabla de resumen</i>	170

<i>Tabla 82 Deriva inelástica máxima en dirección X</i> .....	171
<i>Tabla 83 Deriva inelástica máxima en dirección Y</i> .....	172
<i>Tabla 84 Deformaciones y rotaciones máximas</i> .....	172
<i>Tabla 85 Deformaciones y rotaciones máximas</i> .....	173
<i>Tabla 86 Deriva inelástica máxima en dirección X</i> .....	174
<i>Tabla 87 Deriva inelástica máxima en dirección Y</i> .....	175
<i>Tabla 88 Derivas máximas y rotación máxima para el análisis en dirección X</i> .....	176
<i>Tabla 89 Derivas máximas y rotación máxima para el análisis en dirección Y</i> .....	177
<i>Tabla 90 Deriva inelástica máxima</i> .....	178
<i>Tabla 91 Deformaciones y rotaciones máximas</i> .....	179
<i>Tabla 92 Deriva máxima inelástica máxima</i> .....	180
<i>Tabla 93 Deformaciones y rotaciones máximas</i> .....	181

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Ruinas de la Iglesia Santa Rosa sismo de 1949, Tungurahua. Fuente: USGS</i> .....	4
<i>Figura 2 Edificio Calipso Antes/ Después del sismo de 1998. Fuente: USGS</i> .....	5
<i>Figura 3 Falla de columna Hospital Miguel Alcívar sismo 1998. Fuente: USGS</i> .....	6
<i>Figura 4 Falla por piso flexible Portoviejo. Fuente: Diario el Universo</i> .....	7
<i>Figura 5 Colapso puente a desnivel Guayaquil. Fuente: Ecuavisa.</i> .....	7
<i>Figura 6 Modelo matemático de un sistema de un grado de libertad. Fuente: Dynamics of Structures</i> .....	10
<i>Figura 7 Relación fuerza-deformación de un sistema inelástico. Fuente: Steel Framed Structures</i>	10
<i>Figura 8 Representación del amortiguamiento de Rayleigh. Fuente: Dynamics of Structures.</i> .....	15
<i>Figura 9 Mapa de peligro sísmico del Ecuador. Fuente: NEC15.</i> .....	16
<i>Figura 10 Curva de peligro sísmico de la ciudad de Nueva Loja. Fuente: NEC15.</i> .....	17
<i>Figura 11 Espectro elástico de aceleraciones. Fuente: NEC15.</i> .....	20
<i>Figura 12 Espectro elástico de desplazamientos. Fuente: NEC15.</i> .....	21
<i>Figura 13 Vista en planta con medidas del edificio Yam Yam.</i> .....	28
<i>Figura 14 Vista en elevación del edificio Yam Yam.</i> .....	29
<i>Figura 15 Isometría total del edificio Yam Yam.</i> .....	30
<i>Figura 16 Codificación del programa “Unidades_cm_kgf_sec.tcl”.</i> .....	31
<i>Figura 17 Parte de la codificación del archivo “1_EjecutaYamYam.tcl” Diafragma y tipo de secciones.</i> .....	31
<i>Figura 18 Parte de la codificación del archivo “1_EjecutaYamYam.tcl” Factores de reducción de sección, definición de cargas gravitacionales y propiedades de materiales”.</i> .....	32
<i>Figura 19 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” inicio del modelo.</i> .....	33
<i>Figura 20 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” Definiciones geométricas básicas de la estructura.</i> .....	34
<i>Figura 21 Planta general, ubicación de nodos esclavos, nodo master y elementos.</i> .....	34
<i>Figura 22 Ejes globales para nudos y su representación en números para codificación en OpenSees.</i> .....	35
<i>Figura 23 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” nudos del nivel 0.00m.</i> .....	35
<i>Figura 24 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” nudos del nivel +3.25m.</i> .....	36
<i>Figura 25 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” nudos del nivel +6.50m.</i> .....	36
<i>Figura 26 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” nudos del nivel +9.75m.</i> .....	36
<i>Figura 27 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” nudos del nivel +13.00m.</i> .....	37
<i>Figura 28 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” nudos del nivel +16.25m.</i> .....	37

Figura 29 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” nudos del último nivel +19.50m. ....	37
Figura 30 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de variables para coordenadas de nudos master. ....	38
Figura 31 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” coordenadas de nudos master de la estructura. ....	38
Figura 32 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” restricción de movimiento de los nudos master. ....	39
Figura 33 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” definición de diafragmas rígidos de piso. ....	39
Figura 34 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” condiciones de empotramiento de la estructura. ....	40
Figura 35 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de nombres para secciones elásticas, inelásticas y torsionales. ....	40
Figura 36 Dimensiones de las secciones y tipos de columnas y vigas edificio Yam Yam. ....	41
Figura 37 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de las dimensiones de las secciones de columnas y vigas. ....	41
Figura 38 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de las propiedades elásticas de los materiales de las secciones del modelo. ....	42
Figura 39 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” cálculo de área e inercias de columnas. ....	42
Figura 40 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” cálculo se área e inercias de vigas. ....	43
Figura 41 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” cálculo se área e inercias de vigas. ....	43
Figura 42 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de rigidez. ....	43
Figura 43 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” opción de secciones inelásticas o con fibras. ....	44
Figura 44 Disposiciones de armado de columnas y vigas para el edificio Yam Yam. ....	44
Figura 45 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de refuerzo para la columna 1, área de varillas $\Phi 22$ . ....	45
Figura 46 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de refuerzo para la columna 2, área de varillas $\Phi 22$ . ....	45
Figura 47 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de refuerzo para la columna 3, área de varillas $\Phi 18$ . ....	45
Figura 48 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de refuerzo para la columna 40, área de varillas $\Phi 16$ . ....	45
Figura 49 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de refuerzo para la vigas tipo, y área de varillas correspondiente. ....	45
Figura 50 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de fibras para cada sección parte 1. ....	46

<i>Figura 51 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” continuación de la asignación de fibras parte 2.</i>	46
<i>Figura 52 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl”rigidez torsional para secciones inelásticas, final de creación de secciones.</i>	46
<i>Figura 53 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl”peso de columnas y vigas en unidad de longitud.</i>	47
<i>Figura 54 Ejes locales para columnas y vigas.</i>	47
<i>Figura 55 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl”asignación de parámetros de transformación de ejes, números de puntos de integración.</i>	48
<i>Figura 56 Distribución de columnas tipo piso 2 y 3.</i>	48
<i>Figura 57 Distribución de columnas tipo piso 4 y 5.</i>	48
<i>Figura 58 Distribución de columnas tipo piso 6 y 7.</i>	48
<i>Figura 59 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de elementos con sus diferentes características.</i>	49
<i>Figura 60 Parte de la codificación del archivo “ElementosElasticosYamYam.tcl” asignación de propiedades y longitud de columnas piso 2 para columnas en comportamiento elástico.</i>	50
<i>Figura 61 Parte de la codificación del archivo “ElementosFibrasYamYam.tcl” asignación de propiedades de vigas en dirección z con sus respectivas longitudes en el piso 2 para elementos con fibras.</i>	50
<i>Figura 62 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” cálculo de cargas gravitacionales para vigas.</i>	51
<i>Figura 63 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” cálculo del peso soportado por columnas y vigas exteriores e interiores.</i>	51
<i>Figura 64 Descripción tipo de repartición de carga para pisos.</i>	52
<i>Figura 65 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” pesos para cada sección de los pisos 2 y 3.</i>	52
<i>Figura 66 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” pesos para cada sección de los pisos 4 y 5.</i>	52
<i>Figura 67 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” pesos para cada sección de los pisos 6 y 7.</i>	53
<i>Figura 68 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de peso de cada piso y cálculo del peso total de la estructura.</i>	53
<i>Figura 69 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” llamado del archivo para asignar masas en los nudos.</i>	53
<i>Figura 70 Parte de la codificación del archivo “asignacionmasasYamYam.tcl” asignación de masas en los nudos para el piso 4.</i>	54
<i>Figura 71 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” llamado del archivo para asignar cargas en los elementos.</i>	54
<i>Figura 72 Parte de la codificación del archivo “CargasElementosYamYam.tcl” asignación de cargas a las columnas del piso 3.</i>	55
<i>Figura 73 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” parámetros para el análisis estático.</i>	55

Figura 74 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” análisis estático de la estructura. ....	55
Figura 75 Parte de la codificación del archivo “2_ModelacionYamYam3D.tcl” codificación final para mantener la carga gravitacional constante y reducción de tolerancia para el análisis. ....	56
Figura 76 Parte de la codificación del archivo “3_AnalisisModalYamYam.tcl” llamado del archivo con los parámetros para el análisis. ....	56
Figura 77 Parte de la codificación del archivo “3_AnalisisModalYamYam.tcl” cálculo de frecuencias naturales y periodos. ....	57
Figura 78 Parte de la codificación del archivo “3_AnalisisModalYamYam.tcl” donde se guardan los resultados de frecuencias y periodos. ....	57
Figura 79 Parte de la codificación del archivo “4_AnalisisDinamicoYamYam.tcl” inicio del archivo, dirección del movimiento del suelo. ....	58
Figura 80 Parte de la codificación del archivo “4_AnalisisDinamicoYamYam.tcl” conversión del archivo para tener una lista de acelerogramas para el análisis. ....	58
Figura 81 Parte de la codificación del archivo “4_AnalisisDinamicoYamYam.tcl” time series. ....	58
Figura 82 Parte de la codificación del archivo “4_AnalisisDinamicoYamYam.tcl” asignación de los parámetros del movimiento del suelo. ....	58
Figura 83 Parte de la codificación del archivo “4_AnalisisDinamicoYamYam.tcl” cálculo de los periodos en los 3 modos de vibración. ....	59
Figura 84 Parte de la codificación del archivo “4_AnalisisDinamicoYamYam.tcl” asignación y cálculo de parámetros para el amortiguamiento del sistema. ....	59
Figura 85 Parte de la codificación del archivo “4_AnalisisDinamicoYamYam.tcl” definición de la excitación uniforme y número de pasos para el análisis. ....	60
Figura 86 Parte de la codificación del archivo “4_AnalisisDinamicoYamYam.tcl” inicio del análisis paso a paso en el tiempo primer algoritmo de iteración “Agoritmo de Newton”. ....	60
Figura 87 Parte de la codificación del archivo “4_AnalisisDinamicoYamYam.tcl” iteraciones con los algoritmos de Newton Modificado y KrylovNewtn. ....	60
Figura 88 Parte de la codificación del archivo “4_AnalisisDinamicoYamYam.tcl” iteraciones con los algoritmos SecantNewton y Broyden. ....	61
Figura 89 Parte de la codificación del archivo “4_AnalisisDinamicoYamYam.tcl” iteración con el algoritmo “NewtonWithLineSearch” y finalización del análisis. ....	61
Figura 90 Definición de líneas de construcción. ....	62
Figura 91 Ajuste de unidades de esfuerzos en el programa Robot. ....	62
Figura 92 Asignación del material “hormigón” de resistencia $210\text{kg/cm}^2$ . ....	63
Figura 93 Ejes globales para el modelo en ETABS 2015. ....	64
Figura 94 Creación de secciones para el modelo. ....	64
Figura 95 Asignación de agrietamiento de inercias ....	65
Figura 96 Asignación de empotramientos a la base del modelo. ....	66
Figura 97 Definición del tipo de losa que se va a utilizar en el modelo. ....	66
Figura 98 Asignación de cargas para los diferentes pisos ....	67
Figura 99 Conversión de cargas en masas para el análisis. ....	67
Figura 100 Análisis modal, asignación de parámetros. ....	68
Figura 101 Caso ejemplo para análisis lateral equivalente ....	68

<i>Figura 102</i> Parámetros de amortiguamiento de Rayleigh.....	69
<i>Figura 103</i> Caso tiempo historia elástico.....	69
<i>Figura 104</i> Modelo en 3D en ETABS 2015.....	70
<i>Figura 105</i> Modelo deformado para un análisis elástico tiempo historia.....	70

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

Esta investigación consiste en realizar la modelación de un edificio ya construido, ubicado en la zona de Pedernales considerada una zona de alto peligro sísmico en el Ecuador, la misma que fue gravemente afectada por el terremoto que sacudió al Ecuador el 16 de abril del 2016, este edificio fue uno de los más afectados de la zona, esto quiere decir que el edificio no cumplía con los estándares básicos de la normativa del país provocando su falla.

Para realizar la modelación del edificio se utilizarán dos programas diferentes de modelación estructural los cuales son “OpenSees” el cual es un programa que se usa muy poco para realizar una modelación estructural ya que este no presenta un interfaz gráfico pero el mismo tiene una gran ventaja ya que este programa es gratuito y fácil de conseguir, el otro programa con el cual se va a realizar la modelación estructural del edificio es “ETABS 2015” un programa que actualmente es bastante utilizado para modelación estructural en nuestro medio con una gran desventaja, el software original del programa es costoso, estos dos programas nos proporcionarán un análisis y simulación completa del comportamiento del edificio demostrando que los datos obtenidos de los dos programas son bastante similares.

El presente trabajo se enfoca en realizar una evaluación dinámica de la estructura con ayuda de los programas mencionados anteriormente utilizando el análisis de sismo equivalente y el análisis de tiempo historia, se compararán los resultados obtenidos del mismo modelo estructural con los dos programas para comprobar que los resultados obtenidos con los mismos serán prácticamente iguales, comprobaremos que la estructura a evaluar no cumplirá con los límites que estipula la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

### **1.2. JUSTIFICACIÓN**

La alta peligrosidad sísmica que tiene nuestro país debido a que este forma parte del “Círculo de Fuego del Pacífico” hace indispensable realizar un análisis dinámico de toda estructura que se construirá con la finalidad de garantizar la seguridad de las personas que habiten en la misma.

Tras ya pasado un año del terremoto del 16 de abril aún se siguen teniendo presente todos los daños y víctimas que causó en la costa ecuatoriana, varias estructuras en diferentes ciudades del país colapsaron o simplemente dejaron de ser habitables provocando altas pérdidas económicas para el país, el número de fallecidos fue de 671 personas la mayoría de estas se encontraba en los escombros de viviendas, edificios, puentes, etc.

Para los ingenieros civiles la responsabilidad que se tiene cuando se hace un diseño estructural es bastante alta, si un edificio colapsa puede cobrar la vida de no solo una sino varias personas, después del terremoto del 16 de abril se ha incrementado el control del diseño y la construcción de estructuras en nuestro país, para que los estipulado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción se cumpla, el objetivo principal de un buen cálculo estructural es la seguridad que la estructura debe proporcionar cuando se produce un evento sísmico.

Es importante realizar una evaluación dinámica de las estructuras que fueron mayormente afectadas en terremoto ya que de esta manera aprenderemos de los errores cometidos tanto en la construcción como en el diseño, de esta manera evitar cometerlos. En la evaluación estructural se determinará los materiales que se utilizaron para la construcción esperando que estos cumplan con la normativa actual, de la misma manera se realizará una modelación estructural la cual nos permitirá recrear la respuesta que tuvo la estructura durante el evento sísmico.

Para una modelación estructural podemos usar varios programas los cuales nos permiten simular los efectos de un evento sísmico en una estructura para esta investigación utilizaremos el programa OpenSees el cual fue principalmente creado en un lenguaje de programación C++ y su software original es gratuito y fácil de descargar lo cual es una ventaja para nuestra investigación, el programa ETABS 2015 es un programa para simulación que en nuestro medio es muy utilizado para la modelación estructural.

### **1.3.OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Evaluar el comportamiento de una estructura ante efectos dinámicos afectada por el terremoto del pasado 16 de abril.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Modelar la estructura usando el programa OpenSees y el programa ETABS.
- Determinar el registro sísmico de la zona de estudio para obtener datos para el análisis estático equivalente.
- Analizar la estructura escogida ante el sistema de cargas escogido anteriormente.
- Evaluar las respuestas residuales que tendrá la estructura después del análisis.
- Determinar si las deformaciones laterales de la estructura superan los límites estipulados en el código actual.
- Comparar los resultados dejados por los dos programas que se van a utilizar para la modelación.

## **1.4. HISTORIA SÍSMICA DEL ECUADOR**

### **1.4.1. Terremoto de Esmeraldas (31 de Enero de 1906)**

Este sismo tuvo como epicentro el Océano Pacífico justo en frente de Ecuador y Colombia su magnitud fue de 8.8 considerado como uno de los sismos más grandes registrados, la provincia más afectada en nuestro país fue Esmeraldas aunque los daños fueron mínimos ya que aún no existía una densa población urbana, se estima que el movimiento telúrico duró 2 minutos aproximadamente, este terremoto cobró más de 1500 vidas humanas según los registros tanto por el movimiento telúrico como por las olas que produjo el mismo, cabe recalcar que una de las zonas más afectadas por este terremoto fue Tumaco ubicado en Colombia.

### **1.4.2. Terremoto de Ambato (5 de Agosto de 1949)**

Tuvo una magnitud de 6.8 con una profundidad de 15 km, el terremoto dejó 6000 muertos aproximadamente. Se produjeron constantes réplicas de este terremoto por varios meses, la ciudad de Pelileo fue destruida en su totalidad, afectando también a las provincias de Cotopoxi, Chimborazo, Bolívar y Pastaza; se calculó que el área afectada por este terremoto fue de 1920 km<sup>2</sup>, en donde se conoce que los principales efectos fueron deslizamientos de material, grietas en el suelo, licuefacción; causando grandes pérdidas económicas al país, unas 100000 personas quedaron sin hogar.



*Figura 1 Ruinas de la Iglesia Santa Rosa sismo de 1949, Tungurahua. Fuente: USGS*

#### **1.4.3. Terremoto de Esmeraldas (19 de Enero de 1958)**

Se registró un terremoto de una magnitud de 7.8, el 30% de las estructuras que se encontraban en la ciudad de Esmeraldas colapsaron provocando 15 muertos y 45 heridos, este movimiento también afectó a la costa colombiana en especial a la ciudad de Tumaco, una de las mayores pérdidas fue el colapso del pabellón de niños del hospital de Esmeraldas donde 3 niños perdieron la vida.

#### **1.4.4. Terremoto de Napo (5 de Marzo de 1987)**

Existieron dos sismos con el epicentro en Napo uno de magnitud 6.1 y 6.9, varios daños estructurales en Ibarra donde dos iglesias de la zona presentaron fallas considerables de la misma manera otras estructuras de la ciudad que fueron construidas en ladrillo debieron ser reforzadas después del evento, en la ciudad de Baeza que se encontraba a 60km del epicentro se encontraron daños en estructuras de hormigón y en los cimientos de estructuras de madera, un gimnasio que se estaba construyendo de acero colapsó a causa del sismo en la ciudad de El Chaco, los daños causados por el terremoto fueron mucho menores a los daños que ocasionaron los diferentes deslizamientos de tierra que se provocaron en las zonas cercanas al terremoto, se reportaron 1000 muertes y 60000 viviendas fueron

destruidas la mayor pérdida que se tuvo gracias a este terremoto fue el colapso de 70km del Oleoducto Transecuatoriano bloqueando la exportación de petróleo por 5 meses una pérdida económica para el país de 1000 millones de dólares.

#### **1.4.5. Terremoto de Bahía de Caráquez ( 4 de Agosto de 1998)**

El sismo que sacudió Bahía de Caráquez en 1998 tuvo una magnitud de 7.1 en donde se presentaron 3 muertos, 61 heridos, el colapso de 183 viviendas, un edificio de 5 pisos colapsó mientras que 3 edificios tuvieron daños mayores en su estructura, se encontraron 3 edificios con daños estructurales menores junto con 15 edificios con fallas no estructurales considerables.

En general el 10% de estructuras entre 1 y 2 pisos sufrieron daños estructurales en la zona turística de Bahía mientras en la zona suburbana de la ciudad el 50% de este tipo de estructuras sufrieron daños estructurales importantes, uno de los grandes edificios que terminó colapsando de la zona turística de la ciudad fue el edificio Calipso que tenía 6 pisos.



*Figura 2 Edificio Calipso Antes/ Después del sismo de 1998. Fuente: USGS*

La presencia de fallas estructurales en varios edificios de la ciudad principalmente se debieron a que estos edificios tenían derivas de piso mayores al 1% lo cual estaba fuera de límite que presentaba el código de la construcción en ese tiempo.

El Hospital Miguel Alcívar tuvo uno de los daños más notables gracias al terremoto por ende este tuvo que ser evacuado inmediatamente después del evento telúrico.



*Figura 3 Falla de columna Hospital Miguel Alcívar sismo 1998. Fuente: USGS*

#### **1.4.6. Terremoto de Manabí (16 de Abril del 2016)**

Sacudió al Ecuador un sismo de magnitud 7.8 cuyo epicentro se localizó cerca de Pedernales, hasta la actualidad se han registrado 230 réplicas su mayor réplica tuvo una magnitud de 6.1, este sismo constituye como uno de los más grandes desde el terremoto de 1979 este se sintió en todo el país, las ciudades más afectadas por el evento fueron las provincias de Esmeraldas, Manabí, Guayas entre otras provincias de la costa, cobrando la vida de 671 habitantes, en la ciudad de Pedernales el 10% de las edificaciones colapsaron.

Entre las razones del colapso de los edificios fue, la utilización de materiales inadecuados como por ejemplo utilizar arena de mar, se encontró como principal problema de diseño de edificios la falla por piso blando o flexible, irregularidades en planta y elevación.



*Figura 4 Falla por piso flexible Portoviejo. Fuente: Diario el Universo*

En Babahoyo colapsaron 120 casas, en Santo Domingo de los Tsáchilas colapsaron 127 como también se encontraron daños en la vialidad de toda la costa ecuatoriana, en Guayaquil un puente a desnivel colapsó tomando la vida de dos personas el puente se mantuvo en pie 40 años al momento de su colapso se encontró fallas en el refuerzo transversal y en las uniones de columnas.



*Figura 5 Colapso puente a desnivel Guayaquil. Fuente: Ecuavisa.*

Las pérdidas económicas para el país gracias al terremoto del 16 de abril, muchas personas quedaron sin hogar, hasta la fecha siguen habiendo damnificados por este suceso.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. CONCEPTOS GENERALES**

- **Acelerogramas**

Aceleraciones registradas cuando ocurre un evento sísmico las que se encuentran ordenadas cronológicamente.

- **Configuración estructural**

Distribución de los elementos estructurales en el edificio tanto en planta como en elevación.

- **Cortante Basal**

Fuerza total de diseño por cargas laterales la cual se aplica en la base de la estructura, esta es resultado de la acción del sismo de diseño. (NEC, 2015, pág. 9)

- **Deriva de piso**

Desplazamiento que se tendrá en relación de un piso con el piso consecutivo, puede ser tanto el piso superior como el inferior.

- **Ductilidad**

Propiedad de los materiales la cual permite a este tener grandes deformaciones sin llegar a la rotura cuando esté sometido a una fuerza.

- **Factor Z**

El factor Z es la representación de la aceleración máxima en roca esperada cuando se produce el sismo de diseño y se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

- **Periodo de retorno**

Se considera como el tiempo que se tiene en que un evento parecido suceda en un determinado lapso de tiempo usualmente medido en años.

- **Periodo de vibración de la estructura**

Tiempo que necesita una estructura para realizar una oscilación el cual variará dependiendo de la dirección de estudio.

- **Pórtico especial sismo resistente**

Estructura formada por columnas y vigas descolgadas la cual estará sometida a cargas gravitacionales y sísmicas, donde sus conexiones son resistentes a este tipo de cargas haciendo que la estructura tenga ductilidad.

- **Rigidez**

Característica de un elemento que al ser sometido a una fuerza este se resiste a doblarse.

- **Rótula plástica**

El estado plástico en el que se encuentra un elemento cuando en su sección transversal se produce una articulación.

- **Sismo de diseño**

Sismo el cual tiene un periodo de retorno de 475 años, con una probabilidad del 10% de ocurrencia en 50 años. (NEC, 2015, pág. 12)

## **2.2.INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DINÁMICO**

El análisis dinámico consiste en evaluar una estructura ante una carga dinámica en un sentido, esta carga dinámica es definida como una carga la cual su magnitud o su dirección varía en el tiempo de igual manera sucederá con la respuesta que presente la estructura, en un análisis dinámico la principal respuesta que se debe obtener son los desplazamientos.

### **2.2.1. Grados de libertad**

Se conoce como grado de libertad a la libertad de movimiento que puede tener un nudo o la estructural en general, se puede tener una cantidad infinita de grados de libertad, para analizar una estructura se debe realizar un modelo matemático el cual nos ayudará a sintetizar los grados de libertad, para el análisis dinámico se utiliza mayormente estructuras de un solo grado de libertad.

Las estructuras de un solo grado de libertad se pueden representar en un modelo matemático como una estructura de péndulo invertido con una masa concentrada apoyada en una barra que otorgará rigidez y un amortiguador viscoso el cual nos ayuda a disipar energía, también podemos representar rigidez utilizando un resorte como se muestra en la siguiente figura.

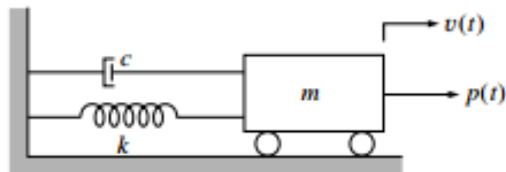


Figura 6 Modelo matemático de un sistema de un grado de libertad. Fuente: Dynamics of Structures

### 2.2.2. Sistemas Inelásticos

Se debe considerar que en los sistemas inelásticos la fuerza restauradora tendrá una rigidez variable y estará en función a la deformación, en la siguiente figura se presenta un diagrama de relación fuerza-deformación de un sistema inelástico que fue sometidos a carga y descarga donde se puede observar que la curva no vuelve a su inicial como sucede en el caso de los sistemas elásticos.

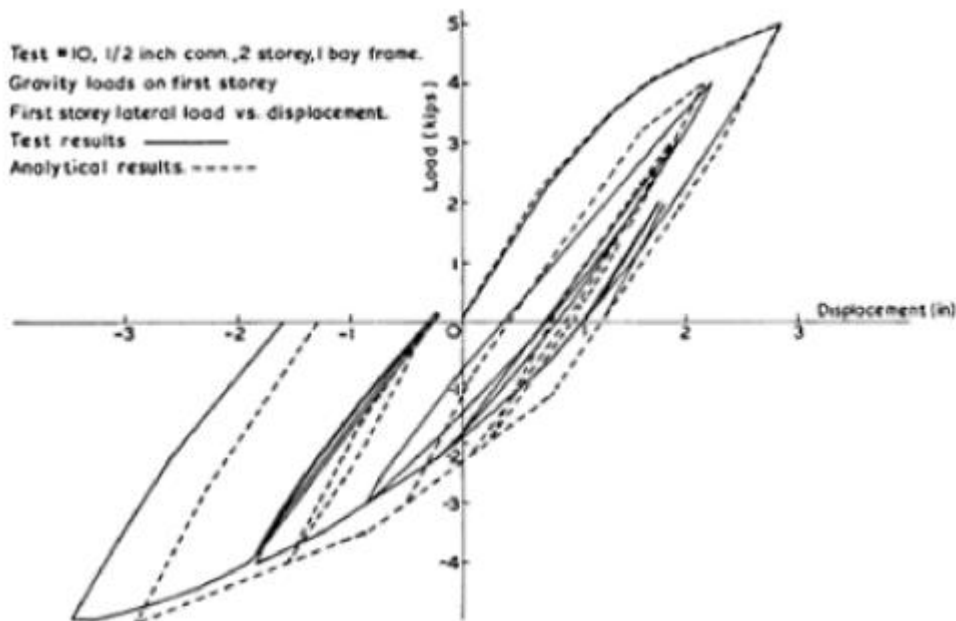


Figura 7 Relación fuerza-deformación de un sistema inelástico. Fuente: Steel Framed Structures

Con estas consideraciones la fuerza restauradora se representará en función de la deformación de la siguiente manera:

$$f_s = f_s(u)$$

### 2.2.3. Fuerza de Amortiguamiento

Cuando un sistema está sometido a vibración existirá una fuerza la cual disminuirá la amplitud de onda de la vibración en una forma constante esta fuerza se denomina fuerza de amortiguamiento, esta fuerza ayuda a disipar energía.

La fuerza de amortiguamiento puede ser originada por muchos factores si pensamos en una estructura real, como por ejemplo la fricción en las conexiones de los elementos podría ser una de las causas, para poder representarla en un sistema simple se utilizará un amortiguador viscoso como lo representó la Figura 6, para la ecuación del movimiento la fuerza de amortiguamiento estará en función de la velocidad y de  $c$  el cual es un coeficiente de amortiguamiento viscoso como se muestra en la siguiente expresión:

$$f_d = c\dot{u}$$

#### 2.2.4. Ecuación del movimiento

Las expresiones que definen la dinámica se conocen como ecuaciones del movimiento y la resolución de estas ecuaciones nos proporcionara las respuestas en desplazamiento de la estructura, por ende la formulación de esta ecuación es fundamental para el análisis dinámico.

Para la formulación de la ecuación de movimiento vamos a utilizar los conceptos de la Segunda Ley de Newton que se resume como la siguiente expresión:

$$\sum F = m \times a$$

Donde  $F$  representa a las fuerzas externas que se aplican a un cuerpo,  $m$  es la masa del cuerpo y  $a$  la aceleración.

Considerando que el sistema estará sometido a una fuerza externa que estará aplicada en función del tiempo la cual la llamaremos  $p(t)$  y sus fuerzas internas, la fuerza restauradora elástica  $f_s$  que se produce gracias a la rigidez del cuerpo y la fuerza de amortiguamiento  $f_d$ , estas fuerzas internas actuarán en el sentido opuesto de la fuerza externa ejercida donde tendremos la siguiente expresión:

$$p(t) - f_d - f_s = ma$$

Según la física básica la velocidad será la derivada del desplazamiento y la aceleración la derivada de la velocidad, de esta manera obtendremos la ecuación del movimiento:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t)$$

Esta es usada para sistemas elásticos, para sistemas inelásticos se utilizará la siguiente expresión:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + fs(u) = p(t)$$

### 2.2.5. Consideraciones para la resolución de la ecuación del movimiento

Se toma como ejemplo primeramente una ecuación sin amortiguamiento para poder obtener las respuestas de esta ecuación ya que esta será una ecuación de segundo orden su solución será:

$$u = A\cos(\omega t) + B\sin(\omega t)$$

La frecuencia circular natural  $\omega_n$  depende de las características físicas del modelo y se define como la siguiente expresión:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Las constantes A y B serán calculadas utilizando el criterio de que la estructura parte del reposo por ende la velocidad y la deformación serán igual a cero.

Se conoce como periodo natural  $T_n$  al tiempo en el que un sistema realiza un ciclo de vibración y se expresa de la siguiente manera:

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n}$$

$$f_n = \frac{1}{T_n}$$

A todas estas características se las denomina como naturales ya que los sistemas las tienen cuando estos vibran libremente sin alguna excitación externa.

Para un sistema viscosamente amortiguado se presenta la siguiente ecuación del movimiento:

$$\ddot{u} + 2\xi\omega_n\dot{u} + \omega_n^2u = 0$$

Donde se define:

$$\xi = \frac{c}{2m\omega n} = \frac{c}{Ccr}$$

Ccr es el coeficiente de amortiguamiento crítico el cual está en función de la masa y de la frecuencia circular natural.

### 2.2.6. Análisis Paso a Paso en el tiempo

El análisis paso a paso es muy utilizado para el análisis no lineal ya que este no utiliza el principio de superposición, para esto la carga y el historial de respuestas se dividen en intervalos de tiempo por ende estas respuestas son independientes; este análisis es calculado desde las condiciones iniciales de desplazamientos y velocidad.

Para realizar un análisis no lineal paso a paso en el tiempo se debe considerar que las propiedades estructurales permanecen constantes durante cada paso y cambiarán en el paso siguiente en conclusión un análisis no lineal paso a paso es una combinación de varios análisis lineales por cada paso de tiempo de un sistema cambiante, mientras más cortos son los pasos de tiempo el análisis será más preciso y detallado.

Cuando se analizan sistemas con más de un grado de libertad a las ecuaciones escalares se las convierte en matrices y de esta manera poder resolverlos.

### 2.2.7. Método de Newmark

El método de Newmark plantea una solución en el tiempo  $i+1$  la cual parte del equilibrio en  $t_{i+1}$  y se basa en dos ecuaciones principales para su resolución las cuales son:

$$\begin{aligned}\dot{u}_{i+1} &= \dot{u}_i + [(1 - \gamma) \Delta t] \ddot{u}_i + (\gamma \Delta t) \ddot{u}_{i+1} \\ u_{i+1} &= u_i + (\Delta t) \dot{u}_i + [(0.5 - \beta)(\Delta t)^2] \ddot{u}_i + [\beta(\Delta t)^2] \ddot{u}_{i+1}\end{aligned}$$

La constante  $\gamma$  se utiliza como una ponderación lineal entre la aceleración final y la inicial que influye sobre el cambio de velocidad y su valor recomendable es  $1/2$ , la constante  $\beta$  se utiliza de la misma manera pero esta en vez de influir en la velocidad influirá en el desplazamiento y tomará valores de  $1/4$  para una aceleración constante y  $1/6$  para una aceleración lineal.

En análisis no lineales es muy importante utilizar métodos numéricos, ya que la fuerza restauradora es implícita, depende de  $u_{i+1}$  se deben realizar iteraciones para poder llegar a las respuestas que requeriremos, en las ecuaciones del análisis dinámico son bastante parecidas a las del análisis estático con la diferencia que en el análisis dinámico se incluirán los términos de inercias y amortiguamiento del sistema. Los valores que utilizamos para la tolerancia en sistemas no lineales van desde  $10^{-3}$  a  $10^{-8}$ .

### 2.2.8. Amortiguamiento de Rayleigh

Existen casos en donde no se puede representar el amortiguamiento en relaciones de amortiguamiento, en su lugar este se debe expresar como una matriz explícita, estos casos son los siguientes:

- Cuando se realiza un análisis no lineal donde los modos no son fijos y cambian con respecto a la rigidez.
- Cuando se realiza un análisis de un sistema lineal que tiene un amortiguamiento no proporcional.

Para poder determinar de una manera fácil la matriz de amortiguamiento se deben evaluar una o más matrices de amortiguamiento proporcional, es aconsejable para un análisis no lineal que se defina una matriz proporcional en el estado elástico inicial esto quiere decir antes que se produzcan las deformaciones no lineales y se asume que esta propiedad permanecerá constante durante la respuesta aunque la rigidez varíe, si consideramos que el amortiguamiento no es proporcional la matriz se debe construir ensamblando un conjunto de matrices de amortiguación, para estas dos situaciones es necesario poder derivar las matrices de amortiguamiento proporcionales.

Se puede realizar una matriz proporcional con la masa o la rigidez del sistema como se muestra en las siguientes expresiones:

$$\mathbf{c} = \alpha_0 \mathbf{m} \quad \text{or} \quad \mathbf{c} = \alpha_1 \mathbf{k}$$

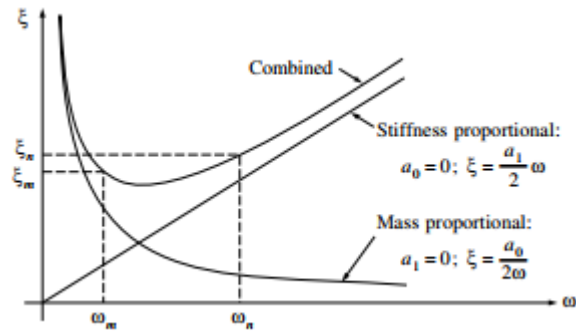
Donde  $\alpha_0$  y  $\alpha_1$  son constantes, pero para modelar de una manera más real el comportamiento del amortiguamiento se debe sumar las dos ecuaciones de proporcionalidad de la siguiente manera:

$$\mathbf{c} = \alpha_0 \mathbf{m} + \alpha_1 \mathbf{k}$$

Esta ecuación representa a lo que se conoce como el amortiguamiento de Rayleigh, el cual enuncia la siguiente relación entre el amortiguamiento y la frecuencia:

$$\xi_n = \frac{a_0}{2\omega_n} + \frac{a_1\omega_n}{2}$$

La relación del amortiguamiento de Rayleigh se puede expresar de manera gráfica como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 8** Representación del amortiguamiento de Rayleigh. Fuente: *Dynamics of Structures*.

Para lograr una versión simplificada para obtener los valores de  $\alpha_0$  y  $\alpha_1$  se utiliza la siguiente ecuación matricial:

$$\begin{Bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{Bmatrix} = \frac{2\xi}{\omega_m + \omega_n} \begin{Bmatrix} \omega_m\omega_n \\ 1 \end{Bmatrix}$$

Donde  $\omega_n$  será la representación de las frecuencias más altas de los modos que influyen en la respuesta dinámica y  $\omega_m$  será la frecuencia natural para en sistema representado como un grado de libertad.

### 2.2.9. Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 15)

Esta norma es la actualización de la NEC 11, la que se encuentra en este momento vigente en el Ecuador y es en la cual nos regiremos para el presente trabajo.

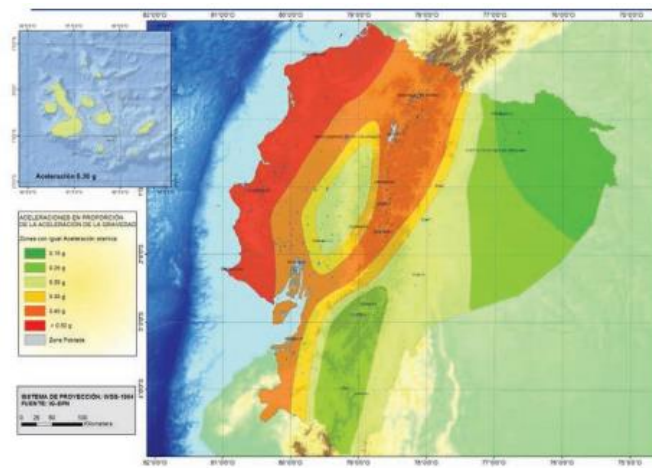
Ante un sismo la respuesta que se debe obtener de la estructura son principalmente desplazamientos, aceleraciones y velocidades de los elementos estructurales de la misma; para tener estas respuestas en un análisis estructural usaremos una filosofía de diseño basada en el desempeño de la estructura y consiste en evitar el colapso estructural y que así se logre proteger la vida de los habitantes de una edificación.

### 2.2.9.1. Consideraciones para el diseño sísmico en el Ecuador

Nuestro país consta de 6 zonas sísmicas las cuales nos sirven para el diseño de edificios de una ocupación normal, considerando el sismo de diseño que tenga un periodo de retorno de 475 años, esta norma presenta una tabla donde se encuentran las principales ciudades del país con su respectivo valor del factor Z, si se desea diseñar en alguna ciudad la cual no esté presente en la tabla se deberá tomar la ciudad que se encuentre más cercana al sitio donde se diseñará.

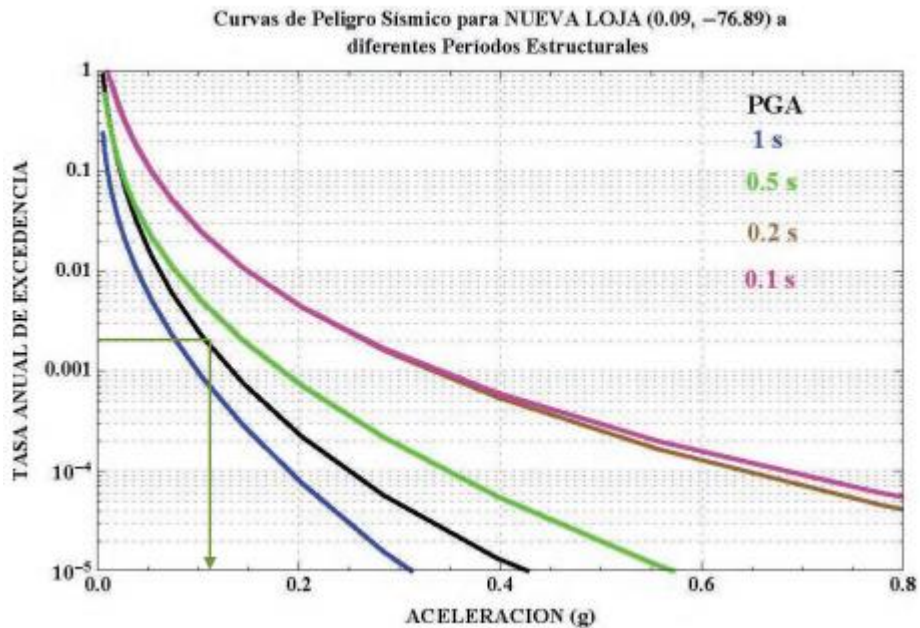
Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

*Tabla 1* Factor Z, peligro sísmico en el Ecuador (NEC15).



*Figura 9* Mapa de peligro sísmico del Ecuador. Fuente: NEC15.

Para estructuras que tienen otro tipo de ocupación que no sea normal se debe diseñar utilizando las curvas de peligro sísmico, ya que hay q verificar diferentes niveles de desempeño, cuyos criterios para su realización no han variado en comparación a la norma NEC 11.



*Figura 10* Curva de peligro sísmico de la ciudad de Nueva Loja. Fuente: NEC15.

La geología local es un factor importante en cuestiones de diseño sísmo resistente, para esto la norma actual NEC 15 considera los siguientes tipos de suelo que influirán en la respuesta que tenga una estructura en un evento sísmico.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500$ m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760$ m/s $> V_s \geq 360$ m/s
Tipo de perfil	Descripción	Definición
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ kPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360$ m/s $> V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100$ kPa $> S_u \geq 50$ kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	IP $> 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H $> 3$ m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H $> 7.5$ m con índice de Plasticidad IP $> 75$ )	
	F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H $> 30$ m)	
	F5—Suelos con contrastes de impedancia $\alpha$ ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
	F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.	

**Tabla 2** Tipo de perfil de suelo en Ecuador (NEC15).

Los tipos de suelo de esta norma se utilizan para buscar los coeficientes tanto de amplificación como de reducción sísmica, en cuestión de suelos tipo F se deben realizar ensayos específicos para poder determinar su comportamiento ante un sismo.

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

**Tabla 3** Factor  $F_a$  (NEC15).

$F_a$  es un coeficiente que aumentará las respuestas del espectro elástico de aceleraciones en un periodo corto.

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

**Tabla 4** Factor  $F_d$  (NEC15).

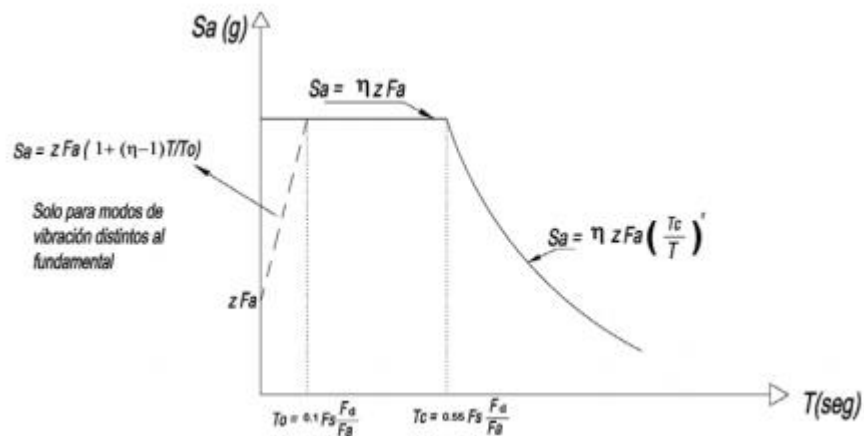
$F_d$  al igual que  $F_a$  es un coeficiente de amplificación el cual aumentará las respuestas del espectro elástico de desplazamientos.

$F_s$  toma en cuenta el comportamiento no lineal del suelo y este se toma en cuenta para los dos espectros, aceleraciones y desplazamientos, el factor  $F_s$  considera la degradación del periodo a lo largo del suelo.

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

**Tabla 5** Factor  $F_s$  (NEC15).

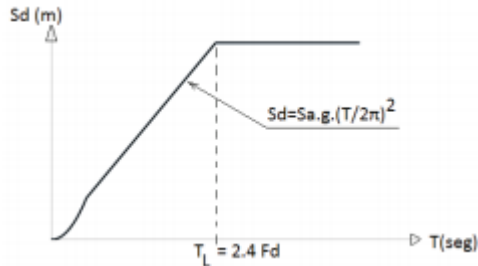
Utilizando estos factores podemos realizar el espectro elástico de aceleraciones el cual esta expresado en la siguiente figura:



**Figura 11** Espectro elástico de aceleraciones. Fuente: NEC15.

$\eta$  se considera la relación entre  $S_a$  en función de la gravedad a 0.1 segundos y el PGA que se encuentran en las curvas de peligro sísmico, en la norma se encuentra recomendado que se tomen los valores de 1.80 en las provincias del Litoral exceptuando la provincia de Esmeraldas, 2.48 en Esmeraldas, Galápagos y las provincias de la Sierra, 2.60 en las provincias de la Amazonía y  $r$  es un factor que depende del tipo de suelo el cual tendrá el valor de 1.0 en todo tipo de suelo exceptuando el suelo tipo E en el cual  $r$  adoptará el valor de 1.50.

Para la construcción del espectro de desplazamientos se tendrá en cuenta los mismos límites que se usaron en el espectro de aceleraciones en la siguiente figura encontramos la representación gráfica del mismo:



**Figura 12** Espectro elástico de desplazamientos. Fuente: NEC15.

### 2.2.9.2. Diseño sismo-resistente

Con la finalidad de que las estructuras que es muy importante que se encuentren de pie y funcionales después de un evento sísmico como por ejemplo hospitales, se tiene el factor de importancia el cual califica a las estructuras por su ocupación, sus valores se presentan en la figura siguiente:

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

**Tabla 6** Factor de importancia por ocupación (NEC15).

La filosofía de diseño que se presenta no ha cambiado con el transcurso del tiempo, en esta norma se presenta una tabla resumen representando en la tasa anual de excedencia la probabilidad de que un sismo de cierta magnitud ocurra esta se encuentra a continuación:

Nivel de desempeño estructural (prevención)	Elementos estructurales	Elementos estructurales no	Tasa anual de excedencia
Servicio	Ningún daño	Ningún daño	0.023
Daño	Ningún daño	Daños	0.01389
Colapso	Cierto grado de daño	Daños considerables	0.00211

**Tabla 7** Filosofía de diseño para estructuras de ocupación normal (NEC15).

Se define el nivel del sismo en la tabla siguiente:

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

**Tabla 8** Tipo de sismo (NEC15).

Los límites de deriva inelástica máxima son de 0.02 en estructuras de madera, hormigón armado y metálicas, y de 0.01 en estructuras de mampostería.

Para estructuras especiales y esenciales se tendrá la siguiente filosofía de diseño en el rango inelástico:

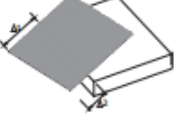
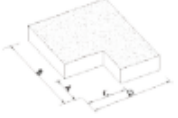
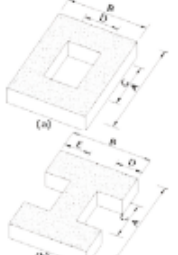
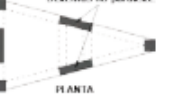
Nivel de desempeño estructural (prevención)	Estructuras de ocupación especial	Estructuras esenciales	Tasa anual de excedencia
Daño	No	Si	0.00211
Colapso	Si	Si	0.00004

**Tabla 9** Filosofía de diseño para estructuras de ocupación esencial y especial (NEC15).

Es importante resaltar que para el diseño sísmico hay que velar por la seguridad de vida la cual se refiere a que el edificio cumpla con los límites de resistencia calculados en esta norma, debe limitar los daños cumpliendo los límites de desplazamientos de la estructura esto quiere decir límites de deriva de piso y la ductilidad de la estructura que se refiere a cuanto energía puede disipar una estructura.

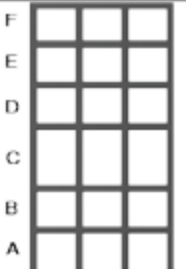
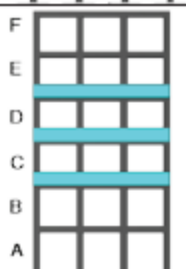
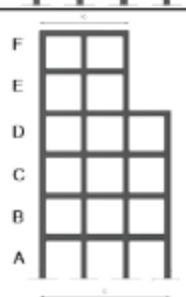
La configuración estructural es muy importante al momento de elegir que método de diseño se va a utilizar estático o dinámico, si la estructura es totalmente regular es suficiente realizar un análisis estático pero si esta presenta alguna irregularidad la norma nos dice que se requiere un análisis estático y un análisis dinámico de la estructura.

En las siguientes tablas encontramos los tipos de irregularidades con los coeficientes de irregularidad que castigan cada una de ellas y los cuales deben tener en cuenta al momento del diseño sismo resistente.

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

**Tabla 10** Coeficientes de irregularidad en planta (NEC15).

En la NEC 15 se presentan dos diferentes irregularidades las que hay que tomar en cuenta que no ocurran en ninguna de las direcciones, existen irregularidades tanto en planta como en elevación.

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

*Tabla 11 Coeficientes de irregularidad en elevación (NEC15).*

### 2.2.9.3. Diseño Basado en Fuerzas

Existen dos métodos con los cuales se puede diseñar según esta norma, el diseño basado en fuerzas conocido como DBF y el diseño basado en desplazamientos DBD el cual es poco utilizado; para el método DBF se debe utilizar la carga reactiva definida como  $W$  igual a la carga muerta de la estructura y en casos de bodegas se aumentará a la carga muerta el 0.25 de la carga viva para la obtención de la carga reactiva, en este diseño se puede utilizar dos tipos de análisis el análisis estático y el análisis dinámico es obligatorio que estos dos se utilicen en toda estructura que se piense analizar excepto en estructuras totalmente regulares en este caso se puede utilizar solamente el método estático.

Para el DBF se debe primero obtener el espectro de diseño el cual se mostró como obtenerlo anteriormente, el cortante basal, el periodo fundamental de vibración de la estructura y la distribución de fuerzas.

Para obtener el cortante basal de la estructura se utiliza la siguiente expresión:

$$V = \frac{IS_a(T_a)}{R\phi_p\phi_E} W$$

Donde T se puede calcular con dos distintos métodos y mediante iteraciones las respuestas que se obtendrán en estos no deben diferir de un 30%, a continuación se presentan las expresiones para cada método:

- Método 1

$$T = C_t h_n^\alpha$$

Siendo  $h_n$  la altura total de la estructura y los otros coeficientes se definen en la siguiente tabla:

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

*Tabla 12 Coeficientes  $C_t$  y  $\alpha$  (NEC15).*

- Método 2

$$T_a = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i \delta_i^2}{g \sum_{i=1}^n f_i \delta_i}}$$

La cual toma en cuenta las propiedades y características de los elementos estructurales y las deflexiones de los mismos.

El cálculo del factor R para reducir la resistencia por ductilidad se debe utilizar cuando el diseño contenga una falla prevista para cierta sección encontramos el factor R para diferentes sistemas estructurales:

<b>Sistemas Estructurales Dúctiles</b>		<b>R</b>
<b>Sistemas Duales</b>		
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras (sistemas duales).		8
Pórticos especiales sismo resistentes de acero laminado en caliente, sea con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas) o con muros estructurales de hormigón armado.		8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas).		8
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.		7
<b>Pórticos resistentes a momentos</b>		
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.		8
Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.		8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.		8
<b>Otros sistemas estructurales para edificaciones</b>		
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.		5
Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda.		5

*Tabla 13 Coeficiente de reducción por ductilidad R para estructuras dúctiles (NEC15).*

<b>Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada</b>		<b>R</b>
<b>Pórticos resistentes a momento</b>		
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la <a href="#">NEC-SE-HM</a> , limitados a viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros.		3
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la <a href="#">NEC-SE-HM</a> con armadura electrosoldada de alta resistencia		2.5
Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos.		2.5
<b>Muros estructurales portantes</b>		
Mampostería no reforzada, limitada a un piso.		1
Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos.		3
Mampostería confinada, limitada a 2 pisos.		3
Muros de hormigón armado, limitados a 4 pisos.		3

*Tabla 14 Coeficiente de reducción por ductilidad R para estructuras de ductilidad limitada (NEC15).*

Para la distribución de fuerzas sísmicas laterales se debe usar las siguientes expresiones:

$$V = \sum_{i=1}^n F_i ; V_x = \sum_{i=x}^n F_i ; F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} V$$

Las cuales representan a una distribución de fuerzas triangular, el factor k se define en función al periodo de vibración de la estructura como se muestra en la tabla:

Valores de T (s)	k
≤ 0.5	1
0.5 < T ≤ 2.5	0.75 + 0.50 T
> 2.5	2

*Tabla 15 Factor K en función del Ta (NEC15).*

La distribución horizontal del cortante se realizará en función a la distribución de rigideces que tenga la estructura.

### **2.2.9.3.1. Análisis Dinámico**

#### **2.2.9.3.1.1. Análisis Espectral**

Este análisis toma en cuenta principalmente lo espectros de diseño realizados con el factor Z y las curvas de peligro sísmico, se debe tener en cuenta los modos de vibración que se van a utilizar; principalmente se deben utilizar aquellos que tengan la mayor influencia a la respuesta que va a tener la estructura.

En cuanto a cuanto pueden reducirse las fuerzas actuantes en la misma para realizar un diseño adecuado, el cortante basal de diseño que será reducido no debe ser menor que el cortante basal elástico en relación con el factor de reducción R.

La distribución de fuerzas y efectos torsionales se calculará de la misma manera que se calculan en el análisis estático.

#### **2.2.9.3.1.2. Análisis Paso a Paso**

Por cada incremento de tiempo se realizará un análisis de respuesta de la estructura, este análisis se utiliza como último recurso después de haber realizado un análisis estático y un análisis espectral cuando el diseño estructural no puede ser justificado con estos análisis.

Se utilizan las componentes horizontales que se encuentran en los acelerogramas de como mínimo 3 sismos cuando no se cuenta con esta información se deberá simular el número de

acelerogramas requeridos para realizar el análisis, “Los acelerogramas deben ser escalados de tal forma que el valor promedio de los espectros provenientes de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los espectros de los registros no se encuentre por debajo del espectro de aceleraciones amortiguado al 5% del sismo de diseño para períodos entre 0.2 T y 1.5 T” (Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 15), 2015, pág. 68)

El límite por deriva inelástica que debe cumplir el edificio está en función de la deriva elástica y se calcula con la siguiente fórmula:

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

### 3. MODELACIÓN

Principalmente para la modelación se necesita la geometría de todos los elementos tanto como en el programa Opensees como en el programa Robot, en las siguientes figuras se presentan las dimensiones.

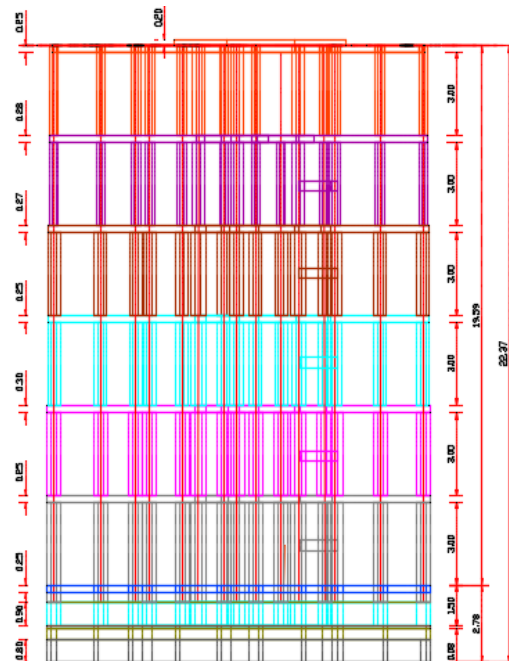


*Figura 13 Vista en planta con medidas del edificio Yam Yam.*

El plano arquitectónico presenta las secciones de columnas y vigas que conforman el sistema estructural del edificio, para el primero y segundo piso se usarán columnas

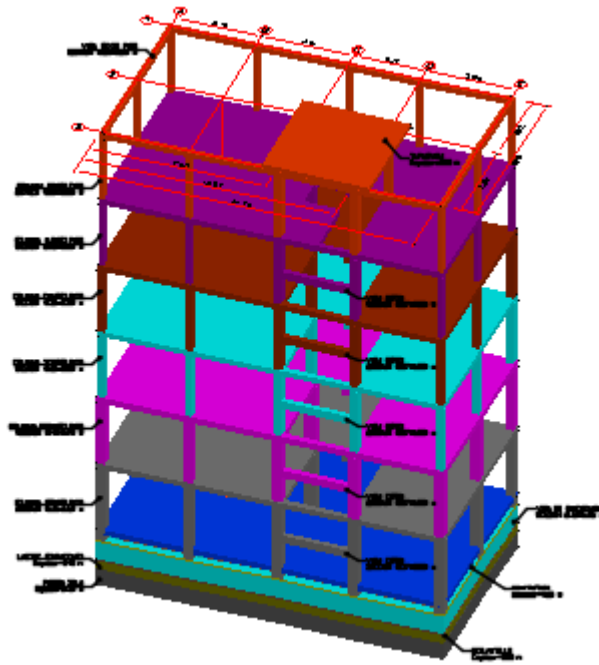
cuadradas de sección transversal de 0.4m x 0.4m, el tercero y cuarto piso tendrán columnas cuadradas de sección transversal de 0.35m x 0.35m, para los pisos quinto y sexto se utilizarán columnas cuadradas de una sección transversal de 0.25m x 0.25m.

En el edificio se presentan vigas entre pisos del primero al quinto piso, las cuales tienen una sección de 0.37m x 0.23m, exceptuando el segundo piso el cual presenta una sección de 0.37m x 0.26m. Cabe recalcar que para la modelación se utilizó una simplificación sobre sus medidas en los dos programas como se detallará en cada modelación.



**Figura 14** Vista en elevación del edificio Yam Yam.

En el Anexo 1 se observa de manera más detallada el plano arquitectónico con todas sus especificaciones en cuestión a dimensiones del modelo.



*Figura 15 Isometría total del edificio Yam Yam.*

### **3.1.MODELACIÓN EN OPENSEES**

El programa OpenSees solo recibe archivos en “.tcl”, por ende todos los archivos que se presenten a continuación se realizarán en el programa Notepad++.

#### **3.1.1. Conversión de unidades**

Se realizará el primer archivo que ayuda en la conversión de unidades para todo el modelo el cual simplificará los cálculos, en este modelo se va a trabajar en kilogramos fuerza, centímetros y segundos, en la siguiente figura se observan todas las unidades que se necesitarán para este modelo en particular:

```

set cm 1.; # define basic units -- output units
set kgf 1.; # define basic units -- output units
set sec 1.; # define basic units -- output units
set LunitTXT "cm"; # define basic-unit text for output
set FunitTXT "kgf"; # define basic-unit text for output
set TunitTXT "sec"; # define basic-unit text for output
set m [expr 100.*$cm]; # define engineering units
set m2 [expr $m*$m];
set m3 [expr $m*$m*$m];
set m4 [expr $m*$m*$m*$m];
set MPa [expr 10.e6/(9.81*pow(100,2))];
set KPa [expr $MPa/1000.];
set Pa [expr $KPa/1000.];
set tonf [expr 1000.*$kgf]; # toneladas fuerza
set KN [expr 1000./9.81*$kgf]; # Kilo Newtons
set kgfcm3 [expr $kgf/pow($cm,3)];
set kgfm3 [expr $kgf/pow($m,3)];
set tonfcm3 [expr $tonf/pow($cm,3)];
set tonfm3 [expr $tonf/pow($m,3)];
set tonfm2 [expr $tonf/pow($m,2)];
set tonfm [expr $tonf/pow($m,1)];
set kgfcm2 [expr $kgf/pow($cm,2)];
set kgfm2 [expr $kgf/pow($m,2)];
set cm2 [expr $cm*$cm];
set cm4 [expr $cm*$cm*$cm*$cm];
set PI [expr 2*asin(1.0)]; # define constants
set gcm [expr 981.*$cm/pow($sec,2)]; # [cm/s2] aceleración de la gravedad.
set gm [expr 9.81*$m/pow($sec,2)]; # [m/s2] aceleración de la gravedad.
set Ubig 1.e10; # a really large number
set Usmall [expr 1/$Ubig]; # a really small number

```

Figura 16 Codificación del programa “Unidades\_cm\_kgf\_sec.tcl”.

El comando “set” que se encuentra en la codificación ayuda a asignar variables en el programa, “expr” se debe asignar antes de comenzar una expresión matemática como se muestra en la Figura 16, el símbolo # es utilizado en el programa para realizar comentarios y aclaraciones, el símbolo “\$” es utilizado para llamar una variable ya asignada de un archivo a otro o del mismo archivo.

### 3.1.2. Archivo ejecutable.

El archivo “1\_EjecutaYamYam.tcl” será el archivo creado para comenzar con las consideraciones iniciales del modelo:

```

# Definición de Diafragma Rígido para Piso
set RigidDiaphragm SI; # Las opciones para ésta variable son: SI, NO.
# Se debe especificar esto antes de que los pará:
# DEFINICION DE SECCIONES -----
# -----
set SectionType FiberSection ; # opciones: Elastic o FiberSection
# set SectionType Elastic ; # opciones: Elastic o FiberSection

```

Figura 17 Parte de la codificación del archivo “1\_EjecutaYamYam.tcl” Diafragma y tipo de secciones.

En la Figura 17 se observa si el modelo trabajará con diafragmas rígidos o no, en este caso si se utilizará diafragmas rígidos, los diafragmas son elementos que se realizan en un solo

plano los cuales son tendrán dos direcciones para su movimiento y una dirección para su rotación.

Para la definición de secciones se ocupan dos tipos de comandos, “FiberSection” el cual es utilizado para realizar un análisis inelástico de los elementos, “Elastic” se usa para realizar un análisis elástico de los elementos del edificio.

```
# Si se definen secciones elasticas, es necesario considerar factores de reduccion de secciones segun la NEC2015
# set FRSC 0.8; # factor de reduccion de seccion para columnas (0.8) segun codigo de construccion/diseno.
# set FRSV 0.5; # factor de reduccion de seccion para vigas (0.5) segun codigo de construccion/diseno.

set FRSC 1.; # factor de reduccion de seccion para columnas (0.8) segun codigo de construccion/diseno.
set FRSV 1.; # factor de reduccion de seccion para vigas (0.5) segun codigo de construccion/diseno.

# DEFINICION DE CARGAS GRAVITACIONALES EN EL MODELO
# =====
source Unidades_cm_kgf_sec.tcl; # definicion de unidades basicas del modelo.
set D [expr 0.70*$tonfm2]; # [tonf/m2] Carga muerta distribuida por metro cuadrado para pisos intermedios.
set Dc [expr 0.40*$tonfm2]; # [tonf/m2] Carga muerta distribuida por metro cuadrado para cubierta.
set Live [expr 0.20*$tonfm2]; # [tonf/m2] Carga Viva distribuida por metro cuadrado en pisos intermedios.
set Livec [expr 0.07*$tonfm2]; # [tonf/m2] Carga Viva distribuida por metro cuadrado en cubierta inaccesible.

# PROPIEDADES DE LOS MATERIALES
# =====
set fc [expr 210.*$kgfcm2]; # Resistencia a la compresion del hormigon.

# ANALISIS GRAVITACIONAL DEL EDIFICIO
# =====
source 2_ModeloYamYam3D.tcl

# ANALISIS MODAL DEL EDIFICIO
# =====
source 3_AnalisisModalYamYam.tcl

puts "Analisis Modal Ejecutado"

# ANALISIS DINAMICO DEL EDIFICIO
# =====
source 4_AnalisisDinamicoYamYam.tcl
```

**Figura 18** Parte de la codificación del archivo “1\_EjecutaYamYam.tcl” Factores de reducción de sección, definición de cargas gravitacionales y propiedades de materiales”.

Como se presentó anteriormente en el documento para edificios de hormigón los cuales vayan a utilizar un análisis elástico según la NEC 15 en el capítulo de “Peligro Sísmico” especifica que se deberá usar el valor de inercias agrietadas en este programa se especifican los valores de los coeficientes que especifica la norma, 0.8 para columnas y 0.5 para vigas, para el análisis inelástico no se deben considerar inercias agrietadas ya que nosotros estamos realizando un análisis inelástico nuestros factores de reducción son iguales a 1.

Como se encuentra en la codificación los valores de las cargas gravitacionales a las cuales estará sometido el edificio serán los siguientes, para la carga viva se ha utilizado de referencia la NEC 15 de “Cargas no sísmicas” en donde se muestra que para cubiertas se debe utilizar una carga viva de 0.70 ton/m<sup>2</sup> y para hoteles y residencias multifamiliares se deberá tener una carga viva de 2.00 ton/m<sup>2</sup>, para carga muerta se debe realizar el cálculo de los elementos que influirán en cada piso como se muestra a continuación:

- Cálculo de la carga muerta D y Dc (cubierta)

$$\text{Peso Losa} = (1 \times 1 \times 0.05)m \times 2.4 \frac{t}{m^3} = 0.12 \frac{t}{m^2}$$

$$\text{Peso Viguetas} = (3.60 \times 0.10 \times 0.20)m \times 2.4 \frac{t}{m^3} = 0.1728 \frac{t}{m^2}$$

$$\text{Peso Alivianamiento} = 4 \times (0.40 \times 0.40 \times 0.20)m \times 0.85 \frac{t}{m^3} = 0.108 \frac{t}{m^2}$$

$$\text{Paredes} = 0.15 \frac{t}{m^2}$$

Para la carga muerta en cubierta se utilizó la suma de todas las cargas exceptuando paredes dando como carga de cubierta  $D_c=0.40t/m^2$ , en carga muerta de cada piso se utilizará la suma de todas las cargas para agregarle seguridad sumamos un  $0.15t/m^2$  teniendo de esta manera un  $D=0.70t/m^2$  como encontramos en la codificación en la Figura 23.

Se definió como la resistencia a compresión del hormigón “fc” de  $210 \text{ kgf/cm}^2$  para todos los componentes estructurales, vigas, columnas y losa.

Se llamarán con el comando “source” los siguientes archivos que vamos a utilizar en el modelo.

### 3.1.3. Archivo de modelación.

Se abrirá el siguiente archivo que ayudará en la modelación llamado “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” en donde se realizará la modelación del edificio.

- Primeras consideraciones del modelo

```
wipe; # borra las definiciones de cualquier modelo previo que esté en memoria.
model BasicBuilder -ndm 3 -ndf 6; # define el modelo y sus dimensiones, ndm=#dimension, ndf=#dofs
set dataDir RESULTADOS/Data; # establece el nombre del directorio donde se guardarán los datos de salida.
file mkdir $dataDir; # crea el directorio para los datos de salida.
set GMdir "../GMfiles"; # directorio donde se encuentran los archivos de los registros sísmicos.
source procSeccionRectHAfibras.tcl; # procedimiento (función) para definir secciones de fibras de Hormigón Armado.
```

**Figura 19** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” inicio del modelo.

Como se muestra en la Figura 19 el comando “wipe” es utilizado para borrar de la memoria del programa de algún otro proyecto, después se define en número de dimensiones “-ndm” en nuestro caso el proyecto será realizado en 3 dimensiones, y los grados de libertad “-ndf” los cuales serán 6: X, Y, Z y rotaciones rX, rY y rZ.

Se creará un archivo el cual se direccionará como se muestra en la Figura 15 para los datos de salida y registros sísmicos del edificio, se debe llamar al archivo “procSeccionRectHafibras.tcl” el cual se encuentra en el Anexo 2 y nos ayudará a definir el número de fibras, las coordenadas del núcleo y el recubrimiento de hormigón para secciones inelásticas.

- Definición de longitud de vigas y columnas.

```
set LCol [expr 3.25*$m]; # altura típica de la columna (dimensión paralela al eje global Y).
set LVigX [expr 3.70*$m]; # longitud típica de vigas X (dimensión paralela al eje global X).
set LVigZ [expr 4.00*$m]; # longitud típica de vigas Z (dimensión paralela al eje global Z).
set LVigProm [expr 3.85*$m]; # longitud de viga promedio.
```

Figura 20 Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” Definiciones geométricas básicas de la estructura.

Las dimensiones de columnas y vigas se basan en el plano arquitectónico, pero para este análisis se realizarán ciertas simplificaciones en cuanto a la geometría del modelo, de esta manera será más fácil el análisis y la codificación, presentando en la Figura 20 las consideraciones de alturas y longitudes de las vigas y columnas.

- Nudos de la estructura

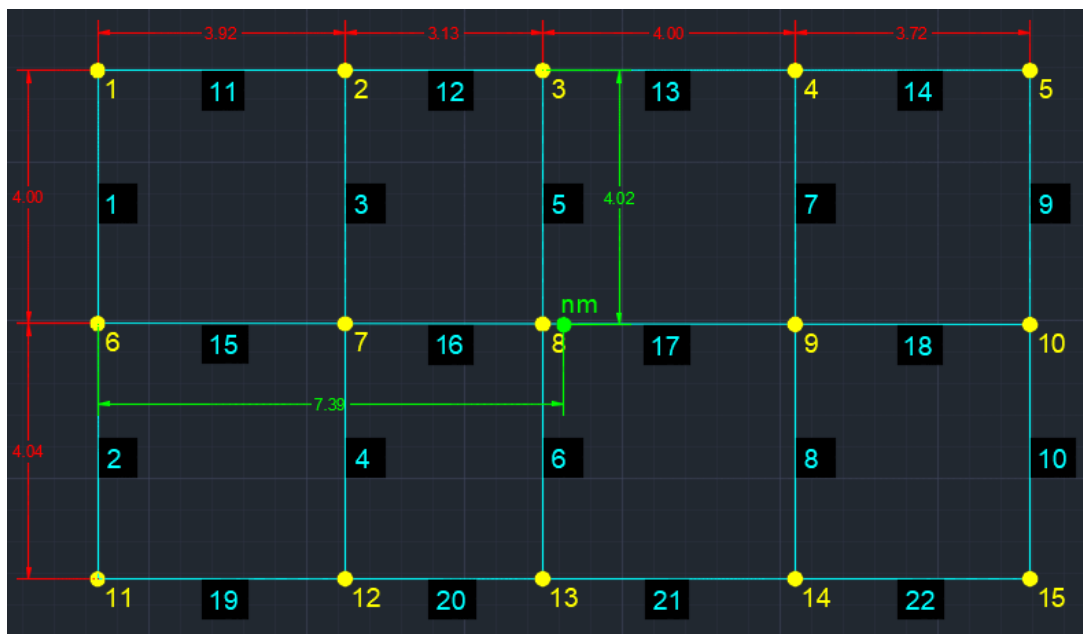
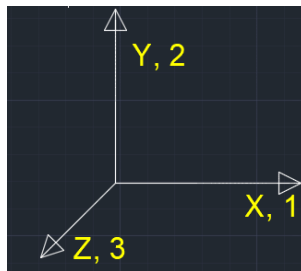


Figura 21 Planta general, ubicación de nodos esclavos, nodo master y elementos.

Ya que en el edificio Yam Yam todas las plantas de la estructura van a ser iguales en la Figura 21, se presenta una planta general donde se encuentra la ubicación de cada nudo esclavo con su nomenclatura la cual será considerada al momento de realizar la codificación, de la misma manera se encuentra la ubicación del nudo master en el centro de gravedad de la figura, se encuentran también los elementos en consideración estos elementos son las vigas de nuestro modelo, de la misma manera estos presentan sus nombres y longitudes los cuales serán representados en el modelo, se encontrará que ciertas medidas han sido alteradas con respecto al plano arquitectónico por motivos de simplificación del modelo.



**Figura 22** Ejes globales para nudos y su representación en números para codificación en OpenSees.

Los nudos que se necesitan para la modelación se deben representar con el comando “node” y las coordenadas de los mismos en cada dirección X, Y, Z, los nudos serán representados con un nombre dependiendo de en qué piso se encuentren en las siguientes figuras se encuentran las coordenadas de cada nudo según su piso, se ha representado la estructura con 7 niveles contando con la base de la misma, se comenzará desde el nivel 0.00m hasta el nivel 19.50m, como se muestra en el plano arquitectónico utilizaremos una altura de entrepiso de 3. 25m, se representan los ejes que consideraremos para la posición los nudos.

```
# node $nodeTag $coorX $coorY $coorZ
node 101 0.00 0.00 0.00
node 102 392.00 0.00 0.00
node 103 705.00 0.00 0.00
node 104 1105.00 0.00 0.00
node 105 1477.00 0.00 0.00
node 106 0.00 0.00 400.00
node 107 392.00 0.00 400.00
node 108 705.00 0.00 400.00
node 109 1105.00 0.00 400.00
node 110 1477.00 0.00 400.00
node 111 0.00 0.00 804.00
node 112 392.00 0.00 804.00
node 113 705.00 0.00 804.00
node 114 1105.00 0.00 804.00
node 115 1477.00 0.00 804.00
```

**Figura 23** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” nudos del nivel 0.00m.

```

# node $nodeTag $coorX $coorY $coorZ
node 301 0.00 650.00 0.00
node 302 392.00 650.00 0.00
node 303 705.00 650.00 0.00
node 304 1105.00 650.00 0.00
node 305 1477.00 650.00 0.00
node 306 0.00 650.00 400.00
node 307 392.00 650.00 400.00
node 308 705.00 650.00 400.00
node 309 1105.00 650.00 400.00
node 310 1477.00 650.00 400.00
node 311 0.00 650.00 804.00
node 312 392.00 650.00 804.00
node 313 705.00 650.00 804.00
node 314 1105.00 650.00 804.00
node 315 1477.00 650.00 804.00

```

*Figura 24* Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” nudos del nivel +3.25m.

```

# node $nodeTag $coorX $coorY $coorZ
node 201 0.00 325.00 0.00
node 202 392.00 325.00 0.00
node 203 705.00 325.00 0.00
node 204 1105.00 325.00 0.00
node 205 1477.00 325.00 0.00
node 206 0.00 325.00 400.00
node 207 392.00 325.00 400.00
node 208 705.00 325.00 400.00
node 209 1105.00 325.00 400.00
node 210 1477.00 325.00 400.00
node 211 0.00 325.00 804.00
node 212 392.00 325.00 804.00
node 213 705.00 325.00 804.00
node 214 1105.00 325.00 804.00
node 215 1477.00 325.00 804.00

```

*Figura 25* Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” nudos del nivel +6.50m.

```

# node $nodeTag $coorX $coorY $coorZ
node 401 0.00 975.00 0.00
node 402 392.00 975.00 0.00
node 403 705.00 975.00 0.00
node 404 1105.00 975.00 0.00
node 405 1477.00 975.00 0.00
node 406 0.00 975.00 400.00
node 407 392.00 975.00 400.00
node 408 705.00 975.00 400.00
node 409 1105.00 975.00 400.00
node 410 1477.00 975.00 400.00
node 411 0.00 975.00 804.00
node 412 392.00 975.00 804.00
node 413 705.00 975.00 804.00
node 414 1105.00 975.00 804.00
node 415 1477.00 975.00 804.00

```

*Figura 26* Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” nudos del nivel +9.75m.

```

# node $nodeTag $coorX $coorY $coorZ
node 501 0.00 1300.00 0.00
node 502 392.00 1300.00 0.00
node 503 705.00 1300.00 0.00
node 504 1105.00 1300.00 0.00
node 505 1477.00 1300.00 0.00
node 506 0.00 1300.00 400.00
node 507 392.00 1300.00 400.00
node 508 705.00 1300.00 400.00
node 509 1105.00 1300.00 400.00
node 510 1477.00 1300.00 400.00
node 511 0.00 1300.00 804.00
node 512 392.00 1300.00 804.00
node 513 705.00 1300.00 804.00
node 514 1105.00 1300.00 804.00
node 515 1477.00 1300.00 804.00

```

**Figura 27** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” nudos del nivel +13.00m.

```

# node $nodeTag $coorX $coorY $coorZ
node 601 0.00 1625.00 0.00
node 602 392.00 1625.00 0.00
node 603 705.00 1625.00 0.00
node 604 1105.00 1625.00 0.00
node 605 1477.00 1625.00 0.00
node 606 0.00 1625.00 400.00
node 607 392.00 1625.00 400.00
node 608 705.00 1625.00 400.00
node 609 1105.00 1625.00 400.00
node 610 1477.00 1625.00 400.00
node 611 0.00 1625.00 804.00
node 612 392.00 1625.00 804.00
node 613 705.00 1625.00 804.00
node 614 1105.00 1625.00 804.00
node 615 1477.00 1625.00 804.00

```

**Figura 28** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” nudos del nivel +16.25m.

```

# node $nodeTag $coorX $coorY $coorZ
node 701 0.00 1950.00 0.00
node 702 392.00 1950.00 0.00
node 703 705.00 1950.00 0.00
node 704 1105.00 1950.00 0.00
node 705 1477.00 1950.00 0.00
node 706 0.00 1950.00 400.00
node 707 392.00 1950.00 400.00
node 708 705.00 1950.00 400.00
node 709 1105.00 1950.00 400.00
node 710 1477.00 1950.00 400.00
node 711 0.00 1950.00 804.00
node 712 392.00 1950.00 804.00
node 713 705.00 1950.00 804.00
node 714 1105.00 1950.00 804.00
node 715 1477.00 1950.00 804.00

puts "Nudos Creados"

```

**Figura 29** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” nudos del último nivel +19.50m.

Al final de la Figura 29 se encuentra el comando “puts” el cual es un comando de salida que presenta en el programa OpenSees un mensaje o valor en este caso se usa para poner mensajes finalizando cada acción.

- Nudos master de la estructura.

Se deben definir los nudos maestros o nudos master de la estructura, siempre que se van a utilizar diafragmas rígidos se debe asignar uno de estos nudos serán los nudos principales ya que estos guiaran el movimiento del diafragma y de los demás nudos conocidos como nudos esclavos ya que dependen del nudo master. Estos nudos siempre se encontrarán en el centro de gravedad de cada nivel.

```
# Piso 2
set Xnmp2 [expr 7.385*$m];
set Znmp2 [expr 4.020*$m];
# Piso 3
set Xnmp3 [expr 7.385*$m];
set Znmp3 [expr 4.020*$m];
# Piso 4
set Xnmp4 [expr 7.385*$m];
set Znmp4 [expr 4.020*$m];
# Piso 5
set Xnmp5 [expr 7.385*$m];
set Znmp5 [expr 4.020*$m];
# Piso 6
set Xnmp6 [expr 7.385*$m];
set Znmp6 [expr 4.020*$m];
# Piso 7
set Xnmp7 [expr 7.385*$m];
set Znmp7 [expr 4.020*$m];
```

**Figura 30** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de variables para coordenadas de nudos master.

En la Figura 30 se asignan variables donde se conoce que los nudos master estarán ubicados en las mismas coordenadas en el eje X y Z ya que los diafragmas son iguales en todos los pisos, no se toma en consideración al piso 1 ya que esta es la base y no tiene diafragma rígido, ubicamos estos nudos en el centro de gravedad del diafragma como se muestra en la Figura 21.

```
# node $nodeTag $coorX $coorY $coorZ
node 299 $Xnmp2 [expr 1.0*$LCol] $Znmp2; # nudo maestro para el diafragma rigido del piso 2.
node 399 $Xnmp3 [expr 2.0*$LCol] $Znmp3; # nudo maestro para el diafragma rigido del piso 3.
node 499 $Xnmp4 [expr 3.0*$LCol] $Znmp4; # nudo maestro para el diafragma rigido del piso 4.
node 599 $Xnmp5 [expr 4.0*$LCol] $Znmp5; # nudo maestro para el diafragma rigido del piso 5.
node 699 $Xnmp6 [expr 5.0*$LCol] $Znmp6; # nudo maestro para el diafragma rigido del piso 6.
node 799 $Xnmp7 [expr 6.0*$LCol] $Znmp7; # nudo maestro para el diafragma rigido del piso 7.
```

**Figura 31** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” coordenadas de nudos master de la estructura.

Se necesita restringir los grados de libertad de los nudos master para esto se debe utilizar el comando “fix” el cual toma el valor 0 como libre y el valor 1 como restringido los cuales se deben asignar a cada grado de libertad como se muestra en la siguiente figura.

```
# $nodeTag x y z rx ry rz
fix 299 0 1 0 1 0 1
fix 399 0 1 0 1 0 1
fix 499 0 1 0 1 0 1
fix 599 0 1 0 1 0 1
fix 699 0 1 0 1 0 1
fix 799 0 1 0 1 0 1

puts "Nudos Maestros, restringidos!"
```

*Figura 32 Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” restricción de movimiento de los nudos master.*

Para restringir el movimiento de estos nudos se deben considerar que estos no podrán moverse en dirección perpendicular al plano del diafragma rígido al que pertenecen, pero solo podrán rotar en este eje como se muestra en la Figura 32, se ha restringido el movimiento en el eje Y pero solo se tendrá libre la rotación en este eje.

- Definición de diafragmas rígidos de la estructura.

Para realizar la codificación definiendo los diafragmas rígidos de cada estructura se deben tener en cuenta que OpenSees representa con un número a cada dirección en este caso vamos a considerar la dirección perpendicular al plano del diafragma rígido será Y la cual el programa la denomina como dirección 2.

```
set perpDirn 2;
# rigidDiaphragm $perpDirn $masterNodeTag $slaveNodeTag1 $slaveNodeTag2
rigidDiaphragm $perpDirn 299 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215; # Diafragma Rigido para el Piso 2.
rigidDiaphragm $perpDirn 399 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315; # Diafragma Rigido para el Piso 3.
rigidDiaphragm $perpDirn 499 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415; # Diafragma Rigido para el Piso 5.
rigidDiaphragm $perpDirn 599 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515; # Diafragma Rigido para el Piso 5.
rigidDiaphragm $perpDirn 699 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615; # Diafragma Rigido para el Piso 6.
rigidDiaphragm $perpDirn 799 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715; # Diafragma Rigido para el Piso 7.

puts "Diafragma Rigido para cada piso creado"
```

*Figura 33 Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” definición de diafragmas rígidos de piso.*

El comando “rigidDiaphragm” será el que nos ayude a definir los diafragmas rígidos de la estructura donde se debe especificar la dirección perpendicular al plano como encontramos

en la codificación, se debe poner primero el nombre del nudo master y de siguientes irán todos los nudos esclavos del piso como se encuentra en la Figura 33.

- Definición de apoyo de la estructura al suelo

Se toma en consideración que la estructura se encuentra empotrada lo cual quiere decir que en su base la estructura no tendrá ninguna libertad de movimiento, usando el comando “fix” se restringe todo movimiento del piso 1 el cual en nuestro modelo es la base de la estructura como se muestra en la siguiente figura.

```
fix 101 1 1 1 1 1 1
fix 102 1 1 1 1 1 1
fix 103 1 1 1 1 1 1
fix 104 1 1 1 1 1 1
fix 105 1 1 1 1 1 1
fix 106 1 1 1 1 1 1
fix 107 1 1 1 1 1 1
fix 108 1 1 1 1 1 1
fix 109 1 1 1 1 1 1
fix 110 1 1 1 1 1 1
fix 111 1 1 1 1 1 1
fix 112 1 1 1 1 1 1
fix 113 1 1 1 1 1 1
fix 114 1 1 1 1 1 1
fix 115 1 1 1 1 1 1

puts "Nudos para consideraciones de Suelo, Restringidos (empotramiento)"
```

**Figura 34** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” condiciones de empotramiento de la estructura.

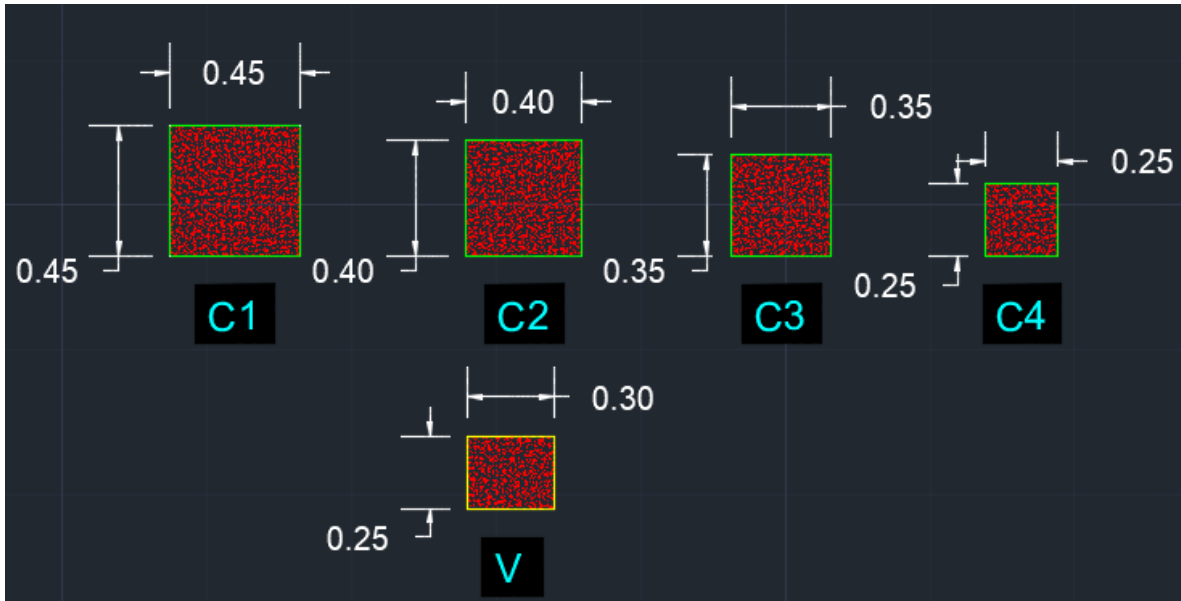
- Definición de las secciones de vigas y columnas

```
# Secciones Elasticas
set SecTagCol1 1
set SecTagCol2 2
set SecTagCol3 3
set SecTagCol4 4
set SecTagViga 5
# Secciones con Fibras
set SecTagColFib1 101
set SecTagColFib2 102
set SecTagColFib3 103
set SecTagColFib4 104
set SecTagVigaFib 105
# Acoplamiento Torsional por el modelo 3D.
set SecTagTorsion 70
```

**Figura 35** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de nombres para secciones elásticas, inelásticas y torsionales.

Por motivos de facilitar la codificación se asignarán nombres a los diferentes tipos de secciones que tendremos en el modelo como se muestra en la Figura 35.

Para este modelo tendrán 4 diferentes tipos de columnas y solo un tipo de viga como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 36** Dimensiones de las secciones y tipos de columnas y vigas edificio Yam Yam.

```
# Propiedades de la Columna C1.
set HCol1 [expr 45.0*$cm]; # C1: dimension mayor de la columna.
set BCol1 [expr 45.0*$cm]; # C2: dimension menor de la columna.
# Propiedades de la Columna C2.
set HCol2 [expr 40.0*$cm]; # C1: dimension mayor de la columna.
set BCol2 [expr 40.0*$cm]; # C2: dimension menor de la columna.
# Propiedades de la Columna C3.
set HCol3 [expr 35.0*$cm]; # C1: dimension mayor de la columna.
set BCol3 [expr 35.0*$cm]; # C2: dimension menor de la columna.
# Propiedades de la Columna C4.
set HCol4 [expr 25.0*$cm]; # C1: dimension mayor de la columna.
set BCol4 [expr 25.0*$cm]; # C2: dimension menor de la columna.

# VIGAS
# Propiedades de la Viga V
set HViga [expr 25.0*$cm]; # Peralte de la Viga -- perpendicular al eje de flexion. Valores tipicos en este modelo.
set BViga [expr 30.0*$cm]; # Ancho de la Viga -- paralelo al eje de flexion. Valores tipicos en este modelo.
```

**Figura 37** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de las dimensiones de las secciones de columnas y vigas.

- Asignación de materiales elásticos

Ya que el análisis que se va puede ser tanto elástico o inelástico se deben tomar en cuenta las propiedades de los materiales de las dos maneras, en esta codificación se usa el comando “If” utilizado tanto en este como en otros programas para realizar una condición si son secciones elásticas o inelásticas.

```

# Propiedades de los materiales:
set Ec [expr 15100.0*$kgfcm2*pow($fc,0.5)];           # [kgf/cm2] Modulo de elasticidad del hormigon.
set nu 0.2;                                           # [adim] Modulo de Poisson.
set Gc [expr $Ec/2./(1+$nu)];                       # [kgf/cm2] Modulo de Corte.
set J $Ubig;                                         # [kg/cm2] modulo de Rigidez Torsional. Valor Bastante grande!!.

```

**Figura 38** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de las propiedades elásticas de los materiales de las secciones del modelo.

En el cálculo del Módulo de Elasticidad se utilizará la fórmula presentada por la ACI en función de la resistencia a compresión del hormigón “fc” la cual tomó el valor de 210kg/cm<sup>2</sup> como se asignó en la Figura 23, el valor de “Ec”, aclarando que el comando “pow” es utilizado en el programa como representación de una potencia se ha codificado en función de la siguiente expresión:  $Ec = 15100 \times \sqrt{fc}$

Según el mismo ACI la relación de Poisson “nu” para el concreto puede variar desde 0.15 a 0.2, para este modelo se asignó a “nu” como 0.2.

El Módulo de Corte será calculado en función del módulo de elasticidad y la relación de Poisson ya que se considera que el hormigón será un material isotrópico lineal y se expresa de la siguiente manera:  $Gc = \frac{Ec}{2(1+nu)}$

Para la rigidez torsional “J” utilizaremos la variable “Ubig” la cual ya fue definida en la Figura 16 y se conoce como un número exageradamente grande para realizar una modelación considerando rigideces simplificando de esta manera el cálculo.

```

# COLUMNA 1
# AREAS
set AgCol1 [expr $HCol1*$BCol1];                    # [cm2] area de la seccion transversal de las columnas C1.
#INERCIAS z
set IzCol1 [expr $FRSC*1./12*$BCol1*pow($HCol1,3)]; # [cm4] Momento de inercia al rededor del eje z en Columna C1.
# INERCIA y
set IyCol1 [expr $FRSC*1./12*$HCol1*pow($BCol1,3)]; # [cm4] Momento de inercia al rededor del eje y en Columna C1.

# COLUMNA 2
# AREAS
set AgCol2 [expr $HCol2*$BCol2];                    # [cm2] area de la seccion transversal de las columnas C2.
#INERCIAS z
set IzCol2 [expr $FRSC*1./12*$BCol2*pow($HCol2,3)]; # [cm4] Momento de inercia al rededor del eje z en Columna C2.
# INERCIA y
set IyCol2 [expr $FRSC*1./12*$HCol2*pow($BCol2,3)]; # [cm4] Momento de inercia al rededor del eje y en Columna C2.

# COLUMNA 3
# AREAS
set AgCol3 [expr $HCol3*$BCol3];                    # [cm2] area de la seccion transversal de las columnas C3.
#INERCIAS z
set IzCol3 [expr $FRSC*1./12*$BCol3*pow($HCol3,3)]; # [cm4] Momento de inercia al rededor del eje z en Columna C3.
# INERCIA y
set IyCol3 [expr $FRSC*1./12*$HCol3*pow($BCol3,3)]; # [cm4] Momento de inercia al rededor del eje y en Columna C3.

# COLUMNA 4
# AREAS
set AgCol4 [expr $HCol4*$BCol4];                    # [cm2] area de la seccion transversal de las columnas C4.
#INERCIAS z
set IzCol4 [expr $FRSC*1./12*$BCol4*pow($HCol4,3)]; # [cm4] Momento de inercia al rededor del eje z en Columna C4.
# INERCIA y
set IyCol4 [expr $FRSC*1./12*$HCol4*pow($BCol4,3)]; # [cm4] Momento de inercia al rededor del eje y en Columna C4.

```

**Figura 39** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” cálculo de área e inercias de columnas.

```

# Viga V1
set AgViga [expr $HViga*$BViga]; # [cm2] area de la seccion transversal tipico de la viga del modelo.
set IzViga [expr $FRSV*1./12*$BViga*pow($HViga,3)]; # [cm4] Momento de inercia al rededor del eje z.
set IyViga [expr $FRSV*1./12*$HViga*pow($BViga,3)]; # [cm4] Momento de inercia al rededor del eje y.

```

**Figura 40** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” cálculo se área e inercias de vigas.

Se realizará el cálculo de inercias de las secciones tanto en X como en Y y se agrega al cálculo el factor de inercias agrietadas, donde se utilizará las siguientes expresiones según la inercia alrededor del eje que queramos considerar.

$$I_z = \frac{b \times h^3}{12} ; I_y = \frac{h \times b^3}{12}$$

```

# section Elastic $secTag $E $A $Iz $Iy $G $J
section Elastic $SecTagCol1 $Ec $AgCol1 $IzCol1 $IyCol1 $Gc $J
section Elastic $SecTagCol2 $Ec $AgCol2 $IzCol2 $IyCol2 $Gc $J
section Elastic $SecTagCol3 $Ec $AgCol3 $IzCol3 $IyCol3 $Gc $J
section Elastic $SecTagCol4 $Ec $AgCol4 $IzCol4 $IyCol4 $Gc $J
section Elastic $SecTagViga $Ec $AgViga $IzViga $IyViga $Gc $J

```

**Figura 41** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” cálculo se área e inercias de vigas.

El comando “section” es utilizado para agregar secciones al modelo, como se muestra en la Figura 41 se agregarán secciones elásticas al modelo para cada columna y viga se agregan las propiedades geométricas y de sus materiales las cuales ya las calculamos en las figuras de la 38 a la 40.

```

# Asignación de rigidez Torsional al modelo 3D.
uniaxialMaterial Elastic $SecTagTorsion $Ubig
# section Aggregator $secTag $matTag1 $string1 $matTag2 $string2 ..... <-section $sectionTag>
section Aggregator $SecTagColFib1 $SecTagTorsion T -section $SecTagCol1
section Aggregator $SecTagColFib2 $SecTagTorsion T -section $SecTagCol2
section Aggregator $SecTagColFib3 $SecTagTorsion T -section $SecTagCol3
section Aggregator $SecTagColFib4 $SecTagTorsion T -section $SecTagCol4
section Aggregator $SecTagVigaFib $SecTagTorsion T -section $SecTagViga

set IDconcCore 1; # numero de materiales para los recorders (este recorder tipo stres
set IDSteel 2; # numero de materiales para los recorders (este recorder tipo stres

```

**Figura 42** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de rigidez.

En la Figura 42 se asigna una rigidez la cual influirá en la reacción del nudo de estudio cuando se produzca movimiento, en un modelo 3D como el que estamos realizando para simplificar el análisis se ha utilizado un número bastante grande.

- Asignación de materiales inelásticos

```

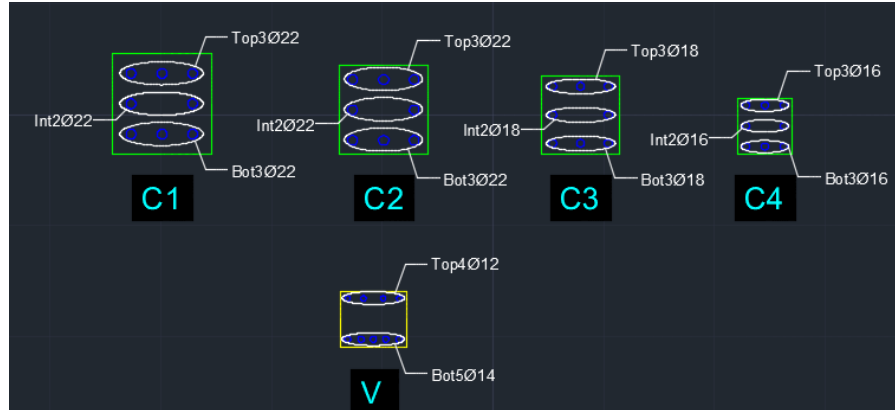
elseif {$SectionType == "FiberSection"} {
  # Parametros de los Materiales.
  source LibMaterialsRC.tcl; # se define la libreria para materiales de Hormigon Armado.

```

**Figura 43** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” opción de secciones inelásticas o con fibras.

Para realizar un estudio inelástico se toma en cuenta el archivo “LibMaterialsRC.tcl” el cual se encuentra como Anexo 3 donde se definen todas las propiedades tanto del hormigón y del acero para un estudio inelástico.

Se representará el acero en las secciones de columnas y vigas de la siguiente forma:



**Figura 44** Disposiciones de armado de columnas y vigas para el edificio Yam Yam.

Para el acero que se distribuirá en los elementos se ha considerado una cuantía mínima  $\rho=1.5\%$  la cual se calculó la siguiente manera:

$$\rho = \frac{\text{Área del acero}}{\text{Área del hormigón}} \times 100$$

$$\rho_{col1} = \frac{8 \times 3.80}{45 \times 45} \times 100 = 1.50\%$$

$$\rho_{col2} = \frac{8 \times 3.80}{40 \times 40} \times 100 = 1.90\%$$

$$\rho_{col3} = \frac{8 \times 2.54}{35 \times 35} \times 100 = 1.70\%$$

$$\rho_{col4} = \frac{8 \times 2.01}{25 \times 25} \times 100 = 2.50\%$$

$$\rho_{viga} = \frac{(4 \times 1.13) + (5 \times 1.54)}{30 \times 25} \times 100 = 1.60\%$$

```

# Columna C1:
set numBarsTopCol1 3;           # numero de varillas longitudinales de refuerzo en la capa superior.
set numBarsBotCol1 3;          # numero de varillas longitudianles de refuerzo en la capa inferior.
set numBarsIntCol1 2;          # numero TOTAL de varillas de refuerzo en las capas intermedias.
set barAreaTopCol1 [expr 3.80*$cm*$cm]; # area de la varilla de refuerzo longitudinal.
set barAreaBotCol1 [expr 3.80*$cm*$cm]; # area de la varilla de refuerzo longitudinal.
set barAreaIntCol1 [expr 3.80*$cm*$cm]; # area de la varilla de refuerzo longitudinal.

```

**Figura 45** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de refuerzo para la columna 1, área de varillas  $\Phi 22$ .

```

# Columna C2:
set numBarsTopCol2 3;           # numero de varillas longitudinales de refuerzo en la capa superior.
set numBarsBotCol2 3;          # numero de varillas longitudianles de refuerzo en la capa inferior.
set numBarsIntCol2 2;          # numero TOTAL de varillas de refuerzo en las capas intermedias.
set barAreaTopCol2 [expr 3.80*$cm*$cm]; # area de la varilla de refuerzo longitudinal.
set barAreaBotCol2 [expr 3.80*$cm*$cm]; # area de la varilla de refuerzo longitudinal.
set barAreaIntCol2 [expr 3.80*$cm*$cm]; # area de la varilla de refuerzo longitudinal.

```

**Figura 46** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de refuerzo para la columna 2, área de varillas  $\Phi 22$ .

```

# Columna C3:
set numBarsTopCol3 3;           # numero de varillas longitudinales de refuerzo en la capa superior.
set numBarsBotCol3 3;          # numero de varillas longitudianles de refuerzo en la capa inferior.
set numBarsIntCol3 2;          # numero TOTAL de varillas de refuerzo en las capas intermedias.
set barAreaTopCol3 [expr 2.54*$cm*$cm]; # area de la varilla de refuerzo longitudinal.
set barAreaBotCol3 [expr 2.54*$cm*$cm]; # area de la varilla de refuerzo longitudinal.
set barAreaIntCol3 [expr 2.54*$cm*$cm]; # area de la varilla de refuerzo longitudinal.

```

**Figura 47** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de refuerzo para la columna 3, área de varillas  $\Phi 18$ .

```

# Columna C4:
set numBarsTopCol4 3;           # numero de varillas longitudinales de refuerzo en la capa superior.
set numBarsBotCol4 3;          # numero de varillas longitudianles de refuerzo en la capa inferior.
set numBarsIntCol4 2;          # numero TOTAL de varillas de refuerzo en las capas intermedias.
set barAreaTopCol4 [expr 2.01*$cm*$cm]; # area de la varilla de refuerzo longitudinal.
set barAreaBotCol4 [expr 2.01*$cm*$cm]; # area de la varilla de refuerzo longitudinal.
set barAreaIntCol4 [expr 2.01*$cm*$cm]; # area de la varilla de refuerzo longitudinal.

```

**Figura 48** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de refuerzo para la columna 40, área de varillas  $\Phi 16$ .

```

# VIGA
set numBarsTopViga 4;           # numero de varillas longitudinales de refuerzo en la capa superior
set numBarsBotViga 5;          # numero de varillas longitudianles de refuerzo en la capa inferior
set numBarsIntViga 2;          # numero TOTAL de varillas de refuerzo en las capas intermedias.
set barAreaTopViga [expr 1.13*$cm*$cm]; # area de la varilla de refuerzo longitudinal.
set barAreaBotViga [expr 1.54*$cm*$cm]; # area de la varilla de refuerzo longitudinal.
set barAreaIntViga [expr 0.01*$cm*$cm]; # area de la varilla de refuerzo longitudinal.

```

**Figura 49** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de refuerzo para la vigas tipo, y área de varillas correspondiente.

En la viga tipo de la Figura 49 existe un área de varilla intermedia muy pequeña esto es solamente una representación ya que como se observa en la Figura 44 la viga no presenta varillas interiores, la expresión de un número tan pequeño es solamente para realizar la programación y no influirá de manera significativa en el análisis.

- Fibras para las secciones inelásticas

Para el análisis inelástico de las secciones se usarán fibras para cada sección de cada una de ella se estudiará su comportamiento inelástico en el programa Opensees por esto en la

codificación definimos el número de fibras y donde se encontrarán ubicadas tomando como base el archivo que se presenta como Anexo 2 el cual nos ayuda a diferenciar entre el recubrimiento y el núcleo de hormigón con la distribución de fibras para la sección.

```

set numfib 20;

set nfCoreY $numfib;      # numero de fibras en el recuadro del núcleo en la direccion y-local.
set nfCoreZ $numfib;      # numero de fibras en el recuadro del núcleo en la direccion z-local.
set nfCoverY $numfib;     # numero de fibras en los recuadros del recubrimiento que tengan lados largos en direccion y-local.
set nfCoverZ $numfib;     # numero de fibras en los recuadros del recubrimiento que tengan lados largos en direccion z-local.

# Seccion rectangular con una capa de acero distribuida uniformemente al rededor del perimetro y un nucleo confinado.
#
# COLUMNAS
# =====
# Columna 1
procSeccionRectHafibras $SecTagColFib1 $HCol1 $BCol1 $cover $cover $IDconcCore $IDconcCover $IDSteel $numBarsTopCol1 $barAreaTopCol1 $numBarsBotCol1
# Columna 2
procSeccionRectHafibras $SecTagColFib2 $HCol2 $BCol2 $cover $cover $IDconcCore $IDconcCover $IDSteel $numBarsTopCol2 $barAreaTopCol2 $numBarsBotCol2
# Columna 3
procSeccionRectHafibras $SecTagColFib3 $HCol3 $BCol3 $cover $cover $IDconcCore $IDconcCover $IDSteel $numBarsTopCol3 $barAreaTopCol3 $numBarsBotCol3
# Columna 4
procSeccionRectHafibras $SecTagColFib4 $HCol4 $BCol4 $cover $cover $IDconcCore $IDconcCover $IDSteel $numBarsTopCol4 $barAreaTopCol4 $numBarsBotCol4
# VIGAS
# =====
procSeccionRectHafibras $SecTagVigaFib $HViga $BViga $cover $cover $IDconcCore $IDconcCover $IDSteel $numBarsTopViga $barAreaTopViga $numBarsBotViga

```

**Figura 50** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de fibras para cada sección parte 1.

```

eY nfCoreZ nfCoverY nfCoverZ}

$barAreaBotCol1 $numBarsIntCol1 $barAreaIntCol1 $nfCoreY $nfCoreZ $nfCoverY $nfCoverZ
$barAreaBotCol2 $numBarsIntCol2 $barAreaIntCol2 $nfCoreY $nfCoreZ $nfCoverY $nfCoverZ
$barAreaBotCol3 $numBarsIntCol3 $barAreaIntCol3 $nfCoreY $nfCoreZ $nfCoverY $nfCoverZ
$barAreaBotCol4 $numBarsIntCol4 $barAreaIntCol4 $nfCoreY $nfCoreZ $nfCoverY $nfCoverZ

$barAreaBotViga $numBarsIntViga $barAreaIntViga $nfCoreY $nfCoreZ $nfCoverY $nfCoverZ

```

**Figura 51** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” continuación de la asignación de fibras parte 2.

```

# Asignación de rigidez Torsional al modelo 3D.
uniaxialMaterial Elastic $SecTagTorsion $Ubig
section Aggregator $SecTagCol1 $SecTagTorsion T -section $SecTagColFib1
section Aggregator $SecTagCol2 $SecTagTorsion T -section $SecTagColFib2
section Aggregator $SecTagCol3 $SecTagTorsion T -section $SecTagColFib3
section Aggregator $SecTagCol4 $SecTagTorsion T -section $SecTagColFib4
section Aggregator $SecTagViga $SecTagTorsion T -section $SecTagVigaFib

} else {
  puts "No section has been defined"
  return -1
}

puts "Secciones de los Elementos Tipo: $SectionType han sido generados"

```

**Figura 52** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” rigidez torsional para secciones inelásticas, final de creación de secciones.

Para todo modelo 3D se debe asignar una rigidez adicional como se explicó anteriormente en las secciones elásticas también se la debe asignar para las secciones inelásticas.

Finaliza el comando “if” si es que no se ha definido una sección el programa nos llevará nuevamente al principio usando el comando “return”.

- Peso de columnas y vigas

```
set GammaConcrete [expr 2.40*$tonfm3];           # Peso específico del hormigon armado.
set QdlCol1 [expr $GammaConcrete*$HCol1*$BCol1]; # peso propio de columna C1 por unidad de longitud.
set QdlCol2 [expr $GammaConcrete*$HCol2*$BCol2]; # peso propio de columna C2 por unidad de longitud.
set QdlCol3 [expr $GammaConcrete*$HCol3*$BCol3]; # peso propio de columna C3 por unidad de longitud.
set QdlCol4 [expr $GammaConcrete*$HCol4*$BCol4]; # peso propio de columna C4 por unidad de longitud.
set QViga [expr $GammaConcrete*$HViga*$BViga];   # peso propio de viga por unidad de longitud.
```

Figura 53 Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” peso de columnas y vigas en unidad de longitud.

Para el hormigón armado se usa un peso específico de 2.40t/m<sup>3</sup>, en la Figura 53 se presenta el cálculo del peso de cada sección de columnas y vigas por una unidad de longitud siguiendo la siguiente fórmula:

$$Qd = \text{Peso específico} \times H \times B$$

Siendo H y B las dimensiones de las secciones de los elementos estructurales.

- Asignación de elementos (columnas y vigas)

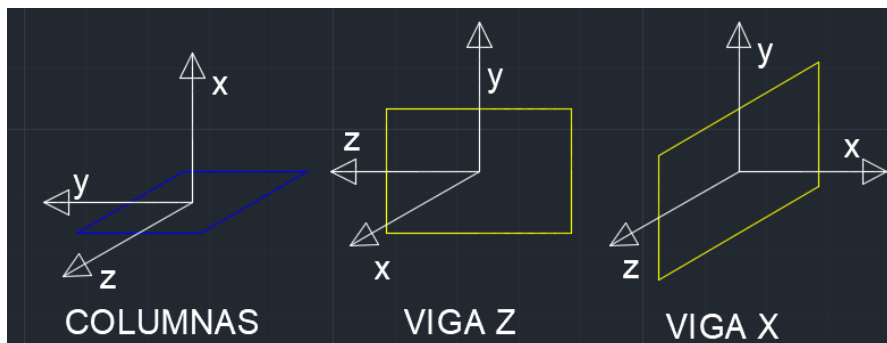


Figura 54 Ejes locales para columnas y vigas.

El modelo ya que se encuentra en 3D tendrá vigas que se encuentren a lo largo del eje Z y vigas que se encuentren a lo largo del eje X en la Figura 54 se encuentra la representación de los ejes locales de cada elemento según a lo largo de que eje estén extendidos.

```

set IDColTransf 1;      # para todas las columnas.
set IDVigaZTransf 2;   # para todas las vigas orientadas en Z-Global.
set IDVigaXTransf 3;   # para todas las vigas orientadas en X-Global.

set ColTransfType Linear ;      # Tipo de transformacion geometrica para columnas con las siguientes opciones: Linear, PDelta, Corotational.

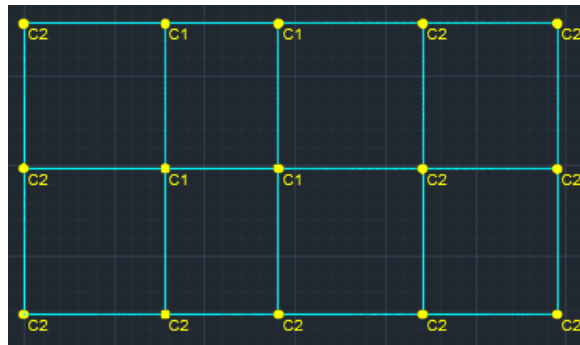
geomTransf $ColTransfType $IDColTransf 0 0 1 ;      # solamente las columnas pueden tener efectos PDelta (efectos por cargas gravitacionales).
geomTransf Linear $IDVigaZTransf -1 0 0 ;      # Esta configuracion permite que todas las vigas tengan su eje y-local en Y-Global.
geomTransf Linear $IDVigaXTransf 0 0 1

# Definicion de Elementos Viga-Columna.
set np 5;      # numero de puntos de integracion de Gauss-Lobatto para la distribucion no lineal de la curvatura.

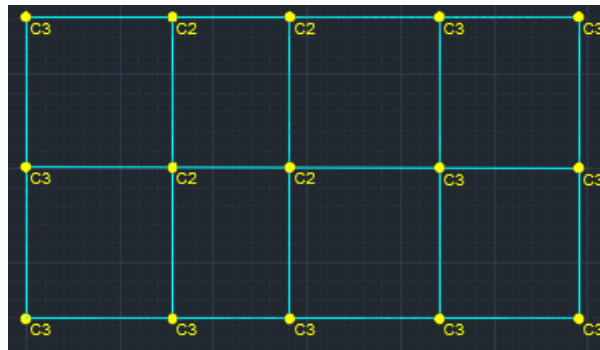
```

**Figura 55** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de parámetros de transformación de ejes, números de puntos de integración.

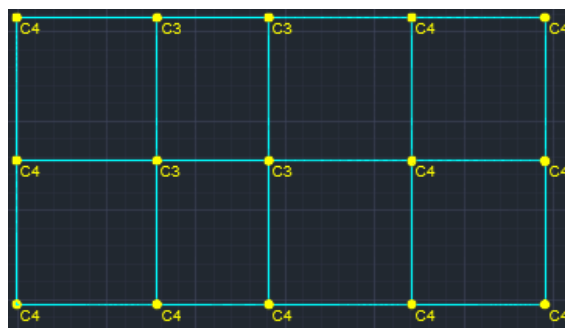
Para la asignación de elementos de columnas y vigas se debe tener en cuenta el tipo de elemento que se tendrá si es elástico y inelástico en el programa se tomó una sola viga general el modelo y en cuanto a la distribución de columnas nos encontramos con lo siguiente:



**Figura 56** Distribución de columnas tipo piso 2 y 3.



**Figura 57** Distribución de columnas tipo piso 4 y 5.



**Figura 58** Distribución de columnas tipo piso 6 y 7.

Para definir esta distribución de columnas y vigas se debe tener en cuenta el tipo de elemento del cual estarán formadas sea elástico o inelástico en la codificación siguiente presentaremos el comando “if” el cual nos ayudará a definir el tipo de material y asociarlo con el elemento que compondrá.

```
if {$SectionType == "Elastic"} {  
    source ElementosElasticosYamYam.tcl  
    puts "Elementos Elasticos han sido creados"  
} elseif {$SectionType == "FiberSection"} {  
    source ElementosFibrasYamYam.tcl  
    puts "Elementos Inelasticos con Fibras han sido creados"  
} else {  
    puts "No hay elementos definidos"  
    return -1  
}
```

**Figura 59** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de elementos con sus diferentes características.

Los dos archivos que se ven que son llamados con el comando “source” corresponden a la asignación de elementos elásticos “ElementosElasticosYamYam.tcl” y a la asignación de elementos inelásticos utilizando fibras como en el archivo “ElementosFibrasYamYam.tcl” los cuales contendrán la asignación de elementos con sus propiedades y de que nudo a que nudo estará conectado cada uno de ellos también se encuentra la respectiva transformación de ejes locales a ejes globales.

```

# Columnas
element nonlinearBeamColumn 1101      101 201 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1102      102 202 $np $SecTagCol1 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1103      103 203 $np $SecTagCol1 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1104      104 204 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1105      105 205 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1106      106 206 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1107      107 207 $np $SecTagCol1 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1108      108 208 $np $SecTagCol1 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1109      109 209 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1110      110 210 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1111      111 211 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1112      112 212 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1113      113 213 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1114      114 214 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1115      115 215 $np $SecTagCol2 $IDColTransf

```

**Figura 60** Parte de la codificación del archivo “ElementosElasticosYamYam.tcl” asignación de propiedades y longitud de columnas piso 2 para columnas en comportamiento elástico.

```

# Vigas Z
element nonlinearBeamColumn 2201      201 206 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2202      206 211 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2203      202 207 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2204      207 212 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2205      203 208 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2206      208 213 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2207      204 209 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2208      209 214 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2209      205 210 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2210      210 215 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf

```

**Figura 61** Parte de la codificación del archivo “ElementosFibrasYamYam.tcl” asignación de propiedades de vigas en dirección z con sus respectivas longitudes en el piso 2 para elementos con fibras.

Tanto en el Anexo 4 como en el Anexo 5 encontraremos la codificación completa de columnas y vigas para cada piso con elementos elásticos y elementos inelásticos con fibras.

- Asignación de cargas gravitatorias

Las cargas que van a ser distribuidas en cada viga del edificio toman una forma triangular o trapezoidal, para poder realizar el cálculo esta carga se convertirá en uniforme con el coeficiente 0.625 como se encuentra en la codificación, realizando el mismo procedimiento para carga muerta como para carga viva en pisos y cubierta. El factor 0.625 es una aproximación a los valores de transformación de carga trapezoidal o triangular como se encuentra en la siguiente fórmula:

$$qp = qmax(1 - \frac{4}{3} \left( \frac{b}{l^2} \right))$$

Donde b y l son las medidas de la viga.

```

set Bv $LVigX; # longitud mas corta que tienen los vanos de las losas tipo.
set qmaxD [expr $D*$Bv*0.5]; # cota maxima de carga distribuida triangular o trapecial.
set qpD [expr $qmaxD*0.625]; # carga distribuida UNIFORME sobre longitud.
set qmaxDc [expr $Dc*$Bv*0.5]; # cota maxima de carga distribuida triangular o trapecial para cubierta.
set qpDc [expr $qmaxDc*0.625]; # carga distribuida UNIFORME sobre longitud para cubierta.

set qmaxL [expr $Live*$Bv*0.5]; # cota maxima de carga viva distribuida trapecial o triangular.
set qpL [expr $qmaxL*0.625]; # carga distribuida UNIFORME Viva sobre longitud.
set qmaxLc [expr $Livec*$Bv*0.5]; # cota maxima de carga viva distribuida trapecial o triangular para cubierta.
set qpLc [expr $qmaxLc*0.625]; # carga distribuida UNIFORME Viva sobre longitud para cubierta.

set qDLExt [expr $qpD+$qpL]; # carga distribuida gravitacional D+L para elementos viga exteriores.
set qDLInt [expr 2.*$qDLExt]; # carga distribuida gravitacional D+L para elementos viga interiores.
set qDLExtc [expr $qpDc+$qpLc]; # carga distribuida gravitacional D+L para elementos viga exteriores en la cubierta.
set qDLIntc [expr 2.*$qDLExtc]; # carga distribuida gravitacional D+L para elementos viga interiores en la cubierta.

```

*Figura 62* Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” cálculo de cargas gravitacionales para vigas.

```

set PesoVigaE [expr ($QViga + $qpD)*$LVigProm]; # Peso de vigas exteriores. Es decir que soportan solo un vano a un lado.
set PesoVigaI [expr ($QViga + 2.*$qpD)*$LVigProm]; # Peso de vigas interiores, es decir, que soportan dos vanos a sus lados.
set PesoVigaEc [expr ($QViga + $qpDc)*$LVigProm]; # Peso de vigas exteriores. Es decir que soportan solo un vano a un lado.
set PesoVigaIc [expr ($QViga + 2.*$qpDc)*$LVigProm]; # Peso de vigas interiores, es decir, que soportan dos vanos a sus lados.

set PesoCol1 [expr $Qd1Col1*$LCol1]; # Peso de las Columnas C1.
set PesoCol2 [expr $Qd1Col2*$LCol1]; # Peso de las Columnas C2.
set PesoCol3 [expr $Qd1Col3*$LCol1]; # Peso de las Columnas C3.
set PesoCol4 [expr $Qd1Col4*$LCol1]; # Peso de las Columnas C4.

```

*Figura 63* Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” cálculo del peso soportado por columnas y vigas exteriores e interiores.

Para realizar la asignación de cargas en cada nudo de la estructura dependiendo del piso primero se debe conocer como se repartirán estas cargas en cada nudo teniendo en cuenta que se usa mitad de cada vano, tanto en columnas como en vigas, los pisos 3 y 5 tendrán una combinación de columnas ya que en su parte inferior tendrán un tipo de columna y en su parte superior otro tipo.

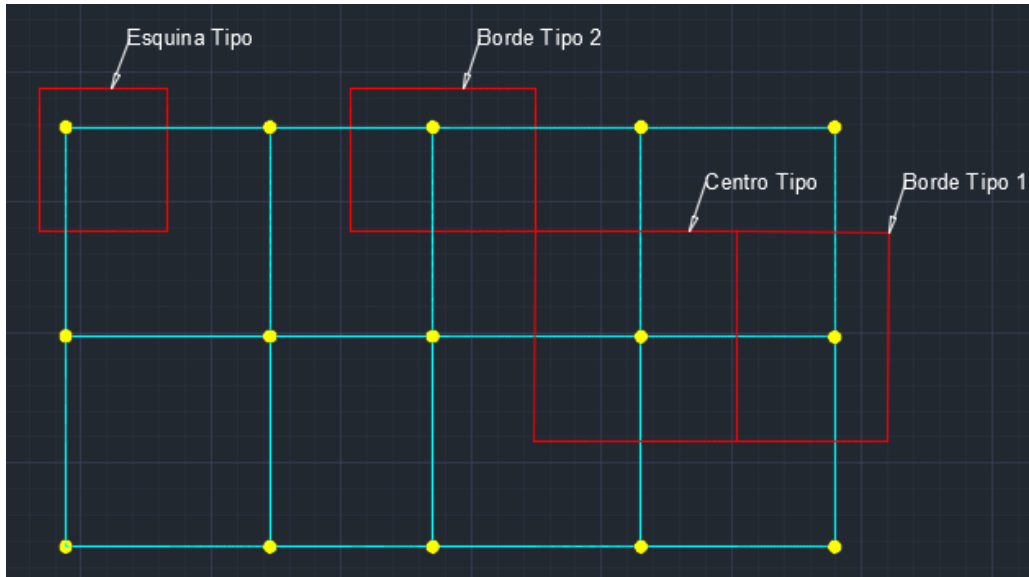


Figura 64 Descripción tipo de repartición de carga para pisos.

En la codificación encontraremos la repartición de cada peso en bordes, centros y esquinas para cada piso del modelo, utilizando los criterios utilizados en la figura 64.

```

# Piso 2
set EsqP2 [expr $PesoVigaE + $PesoCol2];
set BordelP2 [expr $PesoVigaE + 0.5*$PesoVigaI + $PesoCol1];
set Borde2P2 [expr $PesoVigaE + 0.5*$PesoVigaI + $PesoCol2];
set CentrolP2 [expr 2.0*$PesoVigaI + $PesoCol1];
set Centro2P2 [expr 2.0*$PesoVigaI + $PesoCol2];
# =====
# Piso 3
set EsqP3 [expr $PesoVigaE + 0.5*$PesoCol2 + 0.5*$PesoCol3];
set BordelP3 [expr $PesoVigaE + 0.5*$PesoVigaI + 0.5*$PesoCol1 + 0.5*$PesoCol2];
set Borde2P3 [expr $PesoVigaE + 0.5*$PesoVigaI + 0.5*$PesoCol2 + 0.5*$PesoCol3];
set CentrolP3 [expr 2.0*$PesoVigaI + 0.5*$PesoCol1 + 0.5*$PesoCol2];
set Centro2P3 [expr 2.0*$PesoVigaI + 0.5*$PesoCol2 + 0.5*$PesoCol3];

```

Figura 65 Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” pesos para cada sección de los pisos 2 y 3.

```

# Piso 4
set EsqP4 [expr $PesoVigaE + $PesoCol3];
set BordelP4 [expr $PesoVigaE + 0.5*$PesoVigaI + $PesoCol2];
set Borde2P4 [expr $PesoVigaE + 0.5*$PesoVigaI + $PesoCol3];
set CentrolP4 [expr 2.0*$PesoVigaI + $PesoCol2];
set Centro2P4 [expr 2.0*$PesoVigaI + $PesoCol3];
# =====
# Piso 5
set EsqP5 [expr $PesoVigaE + 0.5*$PesoCol3 + 0.5*$PesoCol4];
set BordelP5 [expr $PesoVigaE + 0.5*$PesoVigaI + 0.5*$PesoCol2 + 0.5*$PesoCol3];
set Borde2P5 [expr $PesoVigaE + 0.5*$PesoVigaI + 0.5*$PesoCol3 + 0.5*$PesoCol4];
set CentrolP5 [expr 2.0*$PesoVigaI + 0.5*$PesoCol2 + 0.5*$PesoCol3];
set Centro2P5 [expr 2.0*$PesoVigaI + 0.5*$PesoCol3 + 0.5*$PesoCol4];

```

Figura 66 Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” pesos para cada sección de los pisos 4 y 5.

```

# Piso 6
set EsqP6 [expr $PesoVigaE + $PesoCol4];
set BordelP6 [expr $PesoVigaE + 0.5*$PesoVigaI + $PesoCol3];
set Borde2P6 [expr $PesoVigaE + 0.5*$PesoVigaI + $PesoCol4];
set CentrolP6 [expr 2.0*$PesoVigaI + $PesoCol3];
set Centro2P6 [expr 2.0*$PesoVigaI + $PesoCol4];
# =====
# Piso 7
set EsqP7 [expr $PesoVigaE + 0.5*$PesoCol4];
set BordelP7 [expr $PesoVigaE + 0.5*$PesoVigaI + 0.5*$PesoCol3];
set Borde2P7 [expr $PesoVigaE + 0.5*$PesoVigaI + 0.5*$PesoCol4];
set CentrolP7 [expr 2.0*$PesoVigaI + 0.5*$PesoCol3];
set Centro2P7 [expr 2.0*$PesoVigaI + 0.5*$PesoCol4];

```

*Figura 67* Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” pesos para cada sección de los pisos 6 y 7.

En el cálculo del peso total de cada piso consideraremos que cada uno tendrá 4 esquinas, 6 bordes superior e inferior, 2 bordes laterales y 3 centros como mostramos en la siguiente figura donde se realiza la codificación.

```

# Peso de cada Piso
set PesoP2 [expr 4.0*$EsqP2 + 6.0*$Borde2P2 + 2.0*$BordelP2 + 2.0*$CentrolP2 + $Centro2P2];
set PesoP3 [expr 4.0*$EsqP3 + 6.0*$Borde2P3 + 2.0*$BordelP3 + 2.0*$CentrolP3 + $Centro2P3];
set PesoP4 [expr 4.0*$EsqP4 + 6.0*$Borde2P4 + 2.0*$BordelP4 + 2.0*$CentrolP4 + $Centro2P4];
set PesoP5 [expr 4.0*$EsqP5 + 6.0*$Borde2P5 + 2.0*$BordelP5 + 2.0*$CentrolP5 + $Centro2P5];
set PesoP6 [expr 4.0*$EsqP6 + 6.0*$Borde2P6 + 2.0*$BordelP6 + 2.0*$CentrolP6 + $Centro2P6];
set PesoP7 [expr 4.0*$EsqP7 + 6.0*$Borde2P7 + 2.0*$BordelP7 + 2.0*$CentrolP7 + $Centro2P7];

# Peso Total del Edificio
set PesoTotal [expr $PesoP2+$PesoP3+$PesoP4+$PesoP5+$PesoP6+$PesoP7];
puts "El peso Total aproximado de la Estructura es: [expr $PesoTotal/1000.] tonf"

```

*Figura 68* Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” asignación de peso de cada piso y cálculo del peso total de la estructura.

- Asignación de masas en nudos

Se direccionará un archivo adicional el cual realizará el trabajo de asignar las masas en cada uno de los nudos de la estructura para cada piso donde la masa se repartirá solo en las direcciones X y Z ya que en estas dos direcciones se moverá el diafragma. Para ver toda la codificación correspondiente a la asignación de masas revisar el Anexo 6.

```

source asignacionmasasYamYam.tcl
puts "Cargas gravitacionales han sido creadas y masas asignadas a los nudos"

```

*Figura 69* Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” llamado del archivo para asignar masas en los nudos.

```

# PISO 4
# =====
mass 401 [expr $EsqP4/$gcm] 0.00 [expr $EsqP4/$gcm] 0.00 0.00 0.00
mass 402 [expr $Borde1P4/$gcm] 0.00 [expr $Borde1P4/$gcm] 0.00 0.00 0.00
mass 403 [expr $Borde1P4/$gcm] 0.00 [expr $Borde1P4/$gcm] 0.00 0.00 0.00
mass 404 [expr $Borde2P4/$gcm] 0.00 [expr $Borde2P4/$gcm] 0.00 0.00 0.00
mass 405 [expr $EsqP4/$gcm] 0.00 [expr $EsqP4/$gcm] 0.00 0.00 0.00
mass 406 [expr $Borde2P4/$gcm] 0.00 [expr $Borde2P4/$gcm] 0.00 0.00 0.00
mass 407 [expr $Centro1P4/$gcm] 0.00 [expr $Centro1P4/$gcm] 0.00 0.00 0.00
mass 408 [expr $Centro1P4/$gcm] 0.00 [expr $Centro1P4/$gcm] 0.00 0.00 0.00
mass 409 [expr $Centro2P4/$gcm] 0.00 [expr $Centro2P4/$gcm] 0.00 0.00 0.00
mass 410 [expr $Borde2P4/$gcm] 0.00 [expr $Borde2P4/$gcm] 0.00 0.00 0.00
mass 411 [expr $EsqP4/$gcm] 0.00 [expr $EsqP4/$gcm] 0.00 0.00 0.00
mass 412 [expr $Borde2P4/$gcm] 0.00 [expr $Borde2P4/$gcm] 0.00 0.00 0.00
mass 413 [expr $Borde2P4/$gcm] 0.00 [expr $Borde2P4/$gcm] 0.00 0.00 0.00
mass 414 [expr $Borde2P4/$gcm] 0.00 [expr $Borde2P4/$gcm] 0.00 0.00 0.00
mass 415 [expr $EsqP4/$gcm] 0.00 [expr $EsqP4/$gcm] 0.00 0.00 0.00

```

**Figura 70** Parte de la codificación del archivo “*asignacionmasasYamYam.tcl*” asignación de masas en los nudos para el piso 4.

- Asignación de cargas en cada elemento de la estructura

```

pattern Plain 101 Linear {
  source CargasElementosYamYam.tcl
}

puts "Se han cargado los elementos columnas y vigas, las ultimas tanto con carga Viva como carga Muerta"

```

**Figura 71** Parte de la codificación del archivo “*2\_ModelacionYamYam3D.tcl*” llamado del archivo para asignar cargas en los elementos.

En la Figura 71 se utiliza el comando “pattern” para comenzar a asignar un patrón de carga a los elementos estructurales, se llama al archivo “CargasElementosYamYam.tcl” para asignar a cada elemento estructural la carga que le corresponda, en el Anexo 7 encontraremos la codificación completa para asignar las cargas en el programa.

```

# Columnas
eleLoad -ele      1201      -type      -beamUniform      0.0 0.0 -$Qd1Col2
eleLoad -ele      1202      -type      -beamUniform      0.0 0.0 -$Qd1Col1
eleLoad -ele      1203      -type      -beamUniform      0.0 0.0 -$Qd1Col1
eleLoad -ele      1204      -type      -beamUniform      0.0 0.0 -$Qd1Col2
eleLoad -ele      1205      -type      -beamUniform      0.0 0.0 -$Qd1Col2
eleLoad -ele      1206      -type      -beamUniform      0.0 0.0 -$Qd1Col2
eleLoad -ele      1207      -type      -beamUniform      0.0 0.0 -$Qd1Col1
eleLoad -ele      1208      -type      -beamUniform      0.0 0.0 -$Qd1Col1
eleLoad -ele      1209      -type      -beamUniform      0.0 0.0 -$Qd1Col2
eleLoad -ele      1210      -type      -beamUniform      0.0 0.0 -$Qd1Col2
eleLoad -ele      1211      -type      -beamUniform      0.0 0.0 -$Qd1Col2
eleLoad -ele      1212      -type      -beamUniform      0.0 0.0 -$Qd1Col2
eleLoad -ele      1213      -type      -beamUniform      0.0 0.0 -$Qd1Col2
eleLoad -ele      1214      -type      -beamUniform      0.0 0.0 -$Qd1Col2
eleLoad -ele      1215      -type      -beamUniform      0.0 0.0 -$Qd1Col2

```

**Figura 72** Parte de la codificación del archivo “CargasElementosYamYam.tcl” asignación de cargas a las columnas del piso 3.

- Análisis Estático del modelo

```

set Tol 1.0e-8; # tolerancia de convergencia para la prueba de convergencia.
variable constraintsTypeGravity Plain; # default;

if { [info exists RigidDiaphragm] == 1 } {
    if { $RigidDiaphragm=="SI" } {
        variable constraintsTypeGravity Lagrange; # large model: try Transformation
    }; # si tenemos SI en diafragma rigido.
}; # si existe un diafragma rigido.

```

**Figura 73** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” parámetros para el análisis estático.

```

constraints $constraintsTypeGravity ; # define como se maneja las condiciones de borde.
numberer RCM; # re-enumerar los grados de libertad para optimizar el ancho de banda.
system BandGeneral ; # define como almacenar y resolver el sistema de ecuaciones del analisis (para modelos grandes se recomienda usar
test EnergyIncr $Tol 100 ; # determina si la convergencia ha sido alcanzada en el final de un paso de iteracion.
algorithm Newton; # usa el algoritmo de solucion de Newton: es decir, que actualiza la rigidez tangente en cada paso de iteracion.
set NstepGravity 10; # aplica la carga gravitacional estatica en el numero de pasos establecido, por default 10.
set DGravity [expr 1./$NstepGravity]; # primer incremento de carga calculado para el analisis.
integrator LoadControl $DGravity; # determina el siguiente paso para el analisis.
analysis Static; # define si el analisis es de tipo Estatico (Static) o Dinamico (transient).
analyze $NstepGravity; # ejecuta el analisis.

```

**Figura 74** Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” análisis estático de la estructura.

Para el análisis estático de una estructura lo primero se debe definir la tolerancia que va a tener el análisis como se encuentra en la Figura 73, el comando “numberer RCM” nos permite realizar una correlación entre los grados de libertad y las ecuaciones matriciales que se utilizarán para obtener los resultados del análisis estático, el comando “system BandGeneral” es utilizado para realizar la matriz para el análisis en función de las condiciones de borde que asignamos anteriormente, “test EnergyIncr” define si se ha realizado la convergencia teniendo en cuenta la tolerancia ya antes indicada, se utiliza el algoritmo de Newton para realizar el análisis estático el cual se usa para elementos no lineales donde se actualiza la rigidez tangencial de los mismos en cada iteración.

Se usarán 10 pasos para realizar este análisis, por ende cada paso de tiempo para el análisis será 1/10, este paso debe ser colocado junto al comando “integrator LoadControl, se define el análisis en este caso análisis estático con el comando “analysis Stactic” y se corre el analizar “analyze” con el número de pasos que hemos determinado.

```
loadConst -time 0.0
set Tol 1.0e-6;          # reduce tolerance after gravity loads
puts "Model Built"
```

*Figura 75 Parte de la codificación del archivo “2\_ModelacionYamYam3D.tcl” codificación final para mantener la carga gravitacional constante y reducción de tolerancia para el análisis.*

Se debe mantener constante la carga gravitacional para todas las iteraciones que se realicen para esto utilizamos la ayuda del comando “loadConst” y asignamos un tiempo 0 esto quiere decir que las cargas serán constantes desde el inicio del análisis.

### 3.1.4. Archivo del Análisis Modal

El análisis modal se realizó en un archivo llamado “3\_AnalisisModalYamYAm.tcl” en este análisis se encontrarán las formas modales y sus frecuencias, primeramente se deben establecer los parámetros que se utilizarán para este análisis que van a encontrarse en el archivo “LibAnalysisDynamicParameters.tcl” el cual se encuentra en este documento como Anexo 7 donde cada variable y comando utilizado está bien referido en cada comentario del archivo.

```
# ----- set up analysis parameters
source LibAnalysisDynamicParameters.tcl; # constraintsHandler,DOFnumberer,system-ofequations,convergenceTest,solutionAlgorithm,integrator
puts "Parametros de Analisis Dinamico establecidos"
```

*Figura 76 Parte de la codificación del archivo “3\_AnalisisModalYamYam.tcl” llamado del archivo con los parámetros para el análisis.*

Se utilizará el análisis matricial para estudiar las 3 primeras respuestas modales de la estructura como se muestra en la codificación ayudado por el comando “eigen” el cual nos sirve para codificar de manera matricial la solución, encontrando las respuestas de las frecuencias naturales y periodos para la estructura.

```

# PARAMETROS PARA ANALISIS DE AUTOVALORES
# set EigenSolver -fullGenLapack
set EigenSolver -genBandArpac
k

# CALCULO DE VALORES PROPIOS
# eigen <$solver> $numEigenvalues
set lambda [eigen [expr $numeigs]]
set freq ""
set period ""
foreach lam $lambda {
    lappend freq [expr sqrt($lam)]
    lappend period [expr 2.0*$PI/sqrt($lam)]
}

```

*Figura 77* Parte de la codificación del archivo “3\_AnalisisModalYamYam.tcl” cálculo de frecuencias naturales y periodos.

Para guardar los resultados del análisis estos se direccionan una carpeta donde se mostrarán los resultados de frecuencia y periodo como se muestra en la codificación.

```

# Almaceno en un archivo de output las frecuencias y periodos.
file mkdir RESULTADOS/AnalisisModal
set fid [open RESULTADOS/AnalisisModal/Frecuencias_Naturales.out w]
puts $fid "Frecuencias Naturales (rad/sec)"
puts $fid $freq
puts $fid "\nPeriodos (sec/cycle)"
puts $fid $period
close $fid

```

*Figura 78* Parte de la codificación del archivo “3\_AnalisisModalYamYam.tcl” donde se guardan los resultados de frecuencias y periodos.

Se conoce como recorder al comando que registrará la respuesta de los nudos en cada paso de tiempo, estos se guardarán en la misma carpeta de resultados para cada modo de la estructura.

### 3.1.5. Archivo del Análisis Dinámico Paso a Paso en el Tiempo

Como se muestra en el primer archivo que se debe correr en el programa “1\_EjecutaYamYam.tcl” se llamará un archivo adicional para el análisis dinámico el cual tiene el nombre de “4\_AnalisisDinamicoYamYam.tcl”, para informarnos que se inicia el análisis dinámico nos ayudamos con el comando “puts” el cual nos mostrará al ejecutar el archivo en el programa nos mostrará un mensaje como se muestra en la Figura 76.

```
puts "Comienza a ejecutarse el Analisis Dinamico"

# Nombres de variables que pueden variar previamente.
# Uniform Earthquake ground motion (uniform acceleration input at all support nodes)
set GMdirection 1;           # direccion en la que se aplica el "ground-motion"
set GMfact 1.;              # factor de escala para el registro "ground-motion". Incluir aqui factor si el registro esta en unidades de g.
```

**Figura 79** Parte de la codificación del archivo “4\_AnalisisDinamicoYamYam.tcl” inicio del archivo, dirección del movimiento del suelo.

Se deben definir para el análisis en que dirección se aplicará la aceleración en el caso de este análisis la aceleración se aplicará en la dirección X representada con el número 1, y su escala será de 1.

```
# Se convierte el registro en una lista para introducir en el Path Series.
source listRegistro.tcl;           # es el predecimiento que lee el archivo y lo hace lista.
set registro [listRegistro APED_E_100mdt002.txt]; # se convierte en lista el archivo con los datos del registro.
# =====
```

**Figura 80** Parte de la codificación del archivo “4\_AnalisisDinamicoYamYam.tcl” conversión del archivo para tener una lista de acelerogramas para el análisis.

Se obtiene un registro de acelerogramas de la zona de estudio en este caso será un registro de Pedernales el cual lo vamos a convertir en un registro con una sola columna para que el programa lo pueda leer, en el Anexo 8 encontraremos la transformación del registro de acelerogramas, este registro fue proporcionado por el Instituto Geofísico.

```
# Definicion del TIMESERIES
set dt 0.002;           # paso de tiempo con el que han sido registrados los datos de aceleraciones.
set tsTag 66

# timeSeries Path $tsTag -dt $dt -filePath $GMfile -factor $GMfact
timeSeries Path $tsTag -dt $dt -values $registro -factor $GMfact
```

**Figura 81** Parte de la codificación del archivo “4\_AnalisisDinamicoYamYam.tcl” time series.

Se utilizará un comando “timeSeries” el cual sirve para relacionar la aceleración que se aplicará y el tiempo del análisis, tendremos un paso de tiempo de 0.002 como se encuentra en el registro de acelerogramas que presentamos anteriormente.

```
# Se definen los parametros de analisis para el movimiento de suelo. (ground motion)
set NumDatosGM 40001.;           # numero de datos en el registro que se va a usar. Esto debe variar de registro a registro.
set DuracionGM [expr ($dt*$NumDatosGM-$dt)*$sec]; # duracion del ground motion.
set DtAnalysis [expr $dt*$sec];   # paso de tiempo Dt para el analisis. En este caso el el mismo que el del registro.
set TmaxAnalysis [expr ($DuracionGM+5.)*$sec];   # duracion maxima del analisis dinamico, en este caso dura lo que dura el registro, # mas 5 segundo para definir respuesta en vibracion libre.
```

**Figura 82** Parte de la codificación del archivo “4\_AnalisisDinamicoYamYam.tcl” asignación de los parámetros del movimiento del suelo.

Los parámetros que definimos en la Figura 82 son: el número de datos del registro de acelerogramas que vamos a utilizar, para obtener la duración del movimiento del suelo debemos multiplicar el número de datos del registro por el paso de tiempo que ya definimos a esto se le debe restar un paso del tiempo para que el análisis empiece después del tiempo

0.0. para realizar un análisis más detallado aumentaremos a la duración del movimiento del suelo 5 segundos para comprender como se comporta la estructura.

```
source LibAnalysisDynamicParameters.tcl;      # constraintsHandler,DOFnumberer,system-of-equat.
puts "Parametros de Analisis Dinamico establecidos"

set nEigen 3;          # mode 3
set lambdaN [eigen [expr $nEigen]];          # eigenvalue analysis for nEigenJ modes
set lambda1 [lindex $lambdaN [expr 0]];      # eigenvalue mode i
set lambda2 [lindex $lambdaN [expr 1]];      # eigenvalue mode j
set lambda3 [lindex $lambdaN [expr 2]];
set omega1 [expr pow($lambda1,0.5)];
set omega2 [expr pow($lambda2,0.5)];
set omega3 [expr pow($lambda3,0.5)];
set period1 [expr 2.*PI/pow($lambda1,0.5)];
set period2 [expr 2.*PI/pow($lambda2,0.5)];
set period3 [expr 2.*PI/pow($lambda3,0.5)];
puts "Periodo Fundamental = $period1 sec"
puts "Periodo 2 = $period2 sec"
puts "Periodo 3 = $period3 sec"
```

*Figura 83 Parte de la codificación del archivo “4\_AnalisisDinamicoYamYam.tcl” cálculo de los periodos en los 3 modos de vibración.*

Lo que en el programa conocemos como “lambda” será la frecuencia de vibración para los 3 distintos modos que vamos a analizar, de esta manera calcularemos los 3 periodos como se muestra en la figura 83.

```
set xDamp 0.02;          # fraccion de amortiguamiento critico cosiderado 2% para hormigon.
set MpropSwitch 1.0;
set KcurrSwitch 0.0;
set KcommSwitch 1.0;
set KinitSwitch 0.0;
set nEigenI 1;         # mode 1
set nEigenJ 3;         # mode 3
set lambdaN [eigen [expr $nEigenJ]];          # eigenvalue analysis for nEigenJ modes
set lambdaI [lindex $lambdaN [expr $nEigenI-1]];      # eigenvalue mode i
set lambdaJ [lindex $lambdaN [expr $nEigenJ-1]];      # eigenvalue mode j
set omegaI [expr pow($lambdaI,0.5)];
set period1 [expr 2.*PI/pow($lambdaI,0.5)];
puts "Periodo Fundamental = $period1 sec"
set omegaJ [expr pow($lambdaJ,0.5)];
set alphaM [expr $MpropSwitch*$xDamp*(2*$omegaI*$omegaJ)/($omegaI+$omegaJ)];      # M-prop. damping; D = alphaM*M
set betaKcurr [expr $KcurrSwitch*2.*$xDamp/($omegaI+$omegaJ)];      # current-K;      +beatKcurr*KCurrent
set betaKcomm [expr $KcommSwitch*2.*$xDamp/($omegaI+$omegaJ)];      # last-committed K;      +betaKcomm*KlastCommitt
set betaKinit [expr $KinitSwitch*2.*$xDamp/($omegaI+$omegaJ)];      # initial-K;      +beatKinit*Kini
rayleigh $alphaM $betaKcurr $betaKinit $betaKcomm;      # RAYLEIGH damping
puts "Se ha introducido el amortiguamiento critico para la estructura, Xi = [expr $xDamp*100]%"
```

*Figura 84 Parte de la codificación del archivo “4\_AnalisisDinamicoYamYam.tcl” asignación y cálculo de parámetros para el amortiguamiento del sistema.*

Se va a utilizar el Método de Rayleigh para obtener el amortiguamiento que se asignará a la estructura como se encuentra en la Figura 84.

```

# Los siguientes comandos son utilizados solo para una excitación sísmica uniforme
set IDloadTag 400; # for uniformSupport excitation

pattern UniformExcitation $IDloadTag $GMDirection -accel $tsTag ; # crea una excitación uniforme

set Nsteps [expr int($TmaxAnalysis/$DtAnalysis)];
set ok [analyze $Nsteps $DtAnalysis]; # cuando ok=0 el análisis dinámico habrá terminado

```

**Figura 85** Parte de la codificación del archivo “4\_AnalisisDinamicoYamYam.tcl” definición de la excitación uniforme y número de pasos para el análisis.

Se va a utilizar una excitación uniforme lo que quiere decir que no existieran cambios de la misma al momento de realizar el análisis, para obtener los resultados del análisis se usarán varios métodos de iteración los cuales ayudarán a obtener el resultado más preciso posible.

```

if {$ok != 0} { # analysis was not successful.
# -----
# change some analysis parameters to achieve convergence
# performance is slower inside this loop
# Time-controlled analysis
set ok 0;
set controlTime [getTime];
while {$controlTime < $TmaxAnalysis && $ok == 0} {
set controlTime [getTime]
set ok [analyze 1 $DtAnalysis]

# =====
if {$ok != 0} {
puts ""
puts "Intentar Newton with Initial Tangent .."
test NormDispIncr $Tol 1000 0
algorithm Newton -initial
set ok [analyze 1 $DtAnalysis];
if {$ok == 0} {puts "***** Initial Newton funciona .. regreso a $algorithmTypeDynamic"}
algorithm $algorithmTypeDynamic
puts ""
}
}

```

**Figura 86** Parte de la codificación del archivo “4\_AnalisisDinamicoYamYam.tcl” inicio del análisis paso a paso en el tiempo primer algoritmo de iteración “Algoritmo de Newton”.

```

if {$ok != 0} {
puts ""
puts "Intentar ModifiedNewton con rigidez inicial .."
algorithm ModifiedNewton -initial
set ok [analyze 1 $DtAnalysis];
if {$ok == 0} {puts "***** Initial ModifiedNewton -inicial funciona .. regreso a Newton"}
algorithm $algorithmTypeDynamic
puts ""
}

if {$ok != 0} {
puts ""
puts "Intentar KrylovNewton .."
algorithm KrylovNewton
set ok [analyze 1 $DtAnalysis];
if {$ok == 0} {puts "***** Initial KrylovNewton funciona .. regreso a Newton"}
algorithm $algorithmTypeDynamic
puts ""
}

```

**Figura 87** Parte de la codificación del archivo “4\_AnalisisDinamicoYamYam.tcl” iteraciones con los algoritmos de Newton Modificado y KrylovNewtn.

```

if {$ok != 0} {
    puts ""
    puts "Intentar SecantNewton .."
    algorithm SecantNewton
    set ok [analyze 1 $DtAnalysis];
    if {$ok == 0} {puts "***** Initial SecantNewton funciona .. regreso a Newton"}
    algorithm $algorithmTypeDynamic
    puts ""
}

if {$ok != 0} {
    puts ""
    puts "Intentar Broyden .."
    algorithm Broyden 8
    set ok [analyze 1 $DtAnalysis];
    if {$ok == 0} {puts "***** Broyden funciona .. regreso a Newton"}
    algorithm $algorithmTypeDynamic
    puts ""
}

```

**Figura 88** Parte de la codificación del archivo “4\_AnalisisDinamicoYamYam.tcl” iteraciones con los algoritmos SecantNewton y Broyden.

```

if {$ok != 0} {
    puts ""
    puts "Intentar NewtonWithLineSearch .."
    algorithm NewtonLineSearch -type InitialInterpolation -tol 0.8 -maxIter 100
    set ok [analyze 1 $DtAnalysis];
    if {$ok == 0} {puts "***** NewtonWithLineSearch funciona .. regreso a Newton"}
    algorithm $algorithmTypeDynamic
    puts ""
}
}; # end if ok !0

puts "ANALISIS DINAMICO TERMINADO. Tiempo de ejecucion: [getTime]"

```

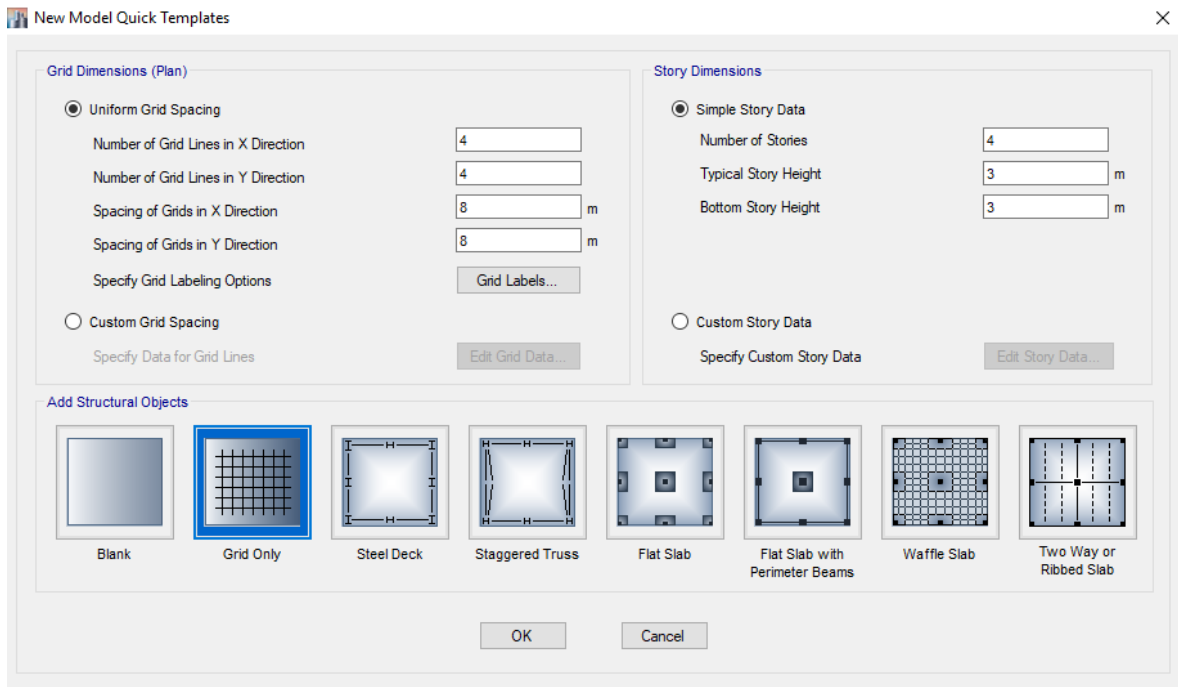
**Figura 89** Parte de la codificación del archivo “4\_AnalisisDinamicoYamYam.tcl” iteración con el algoritmo “NewtonWithLineSearch” y finalización del análisis.

### 3.1.6. Archivo de Resultados (Recorders)

El archivo “RecordersYamYam.tcl” será utilizado para direccionar todos los resultados que el programa nos va a facilitar, este lo direccionará a una carpeta que será generada en la misma dirección en donde se encuentran todos los archivos ejecutables en el Anexo 10 se encuentra la codificación de este archivo.

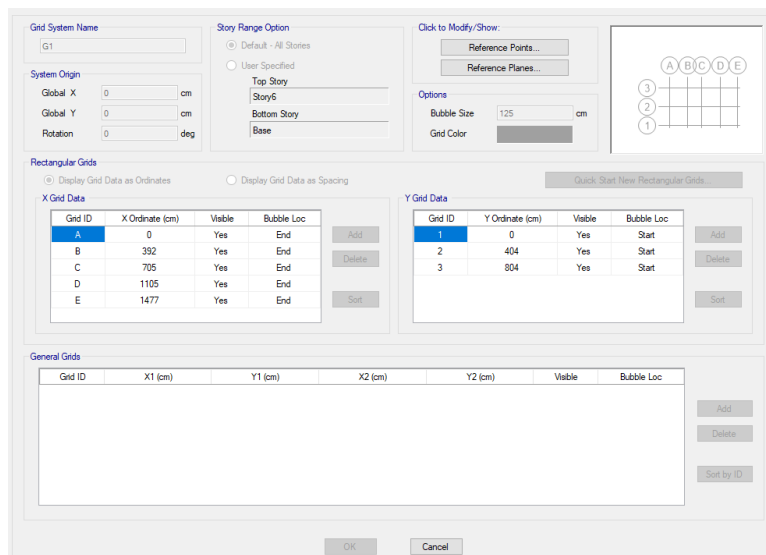
### 3.2. MODELACIÓN EN ETABS 2015

Para iniciar la modelación se deben establecer las líneas de construcción del edificio, las cuales serán iguales a las características geométricas presentadas en OpenSees.



*Figura 90 Definición de líneas de construcción.*

Para poder especificar las distancias de las líneas de construcción cuando esta no es igual entre cada eje se debe modificar la grilla de la siguiente manera:



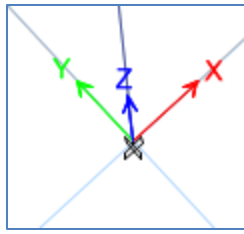
*Figura 91 Ajuste de unidades de esfuerzos en el programa Robot.*

- Propiedades de los materiales

Para realizar este modelo se usarán las mismas consideraciones del programa OpenSees tanto de las propiedades de los materiales como de la geometría del edificio y las secciones de sus elementos, en este caso se usa un hormigón de  $210\text{kg/cm}^2$ , usando Define-Material Property en este programa:

**Figura 92** Asignación del material “hormigón” de resistencia  $210\text{kg/cm}^2$ .

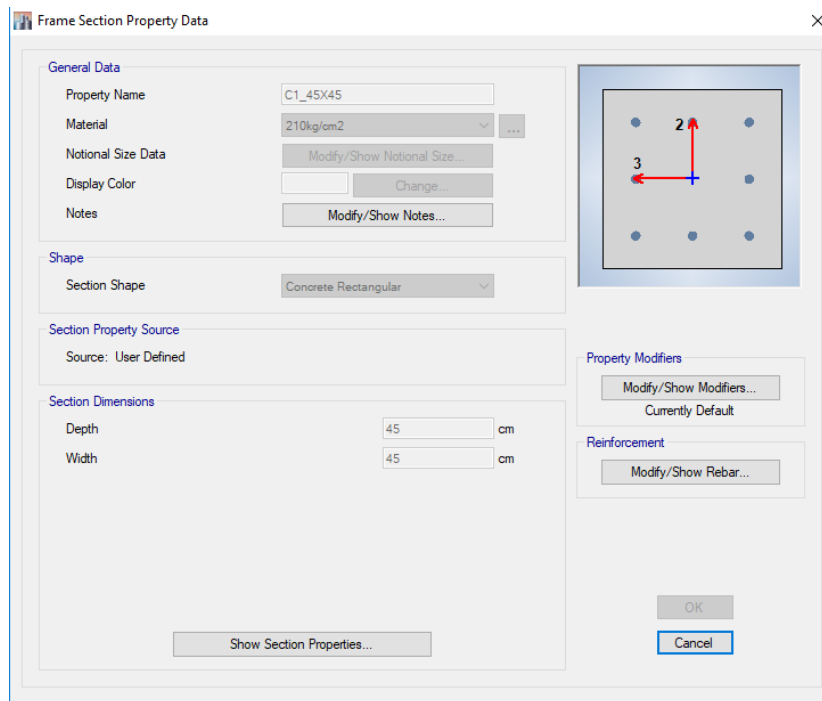
Los ejes globales en ETABS 2015 tienen diferente dirección y serán representados como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 93** Ejes globales para el modelo en ETABS 2015.

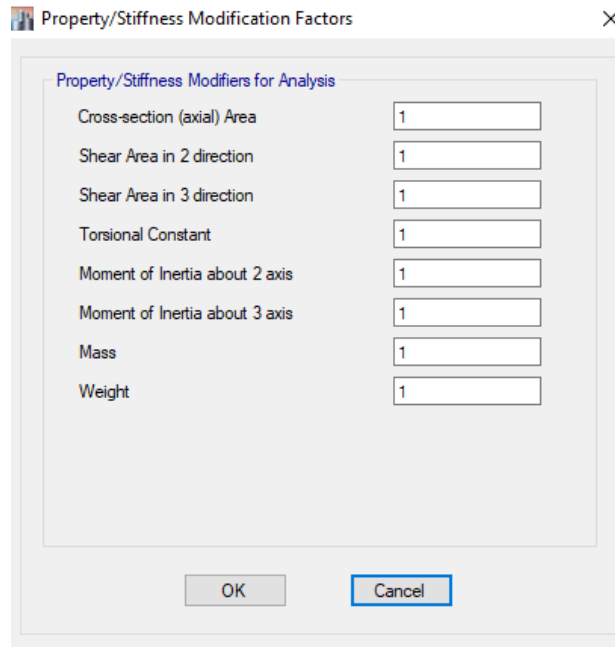
- Creación de las secciones de los elementos

En Robot se crearán de la misma manera 4 secciones de columnas y una solo sección para vigas las cuales se asignarán con ayuda de los comandos Define-Section Properties-Frame Sections, estas secciones están representadas en la Figura 36 del documento.



**Figura 94** Creación de secciones para el modelo.

El material ya vendrá previamente asignado ya que lo asignamos primero, se deben asignar las medidas de cada sección en centímetros, cuando se realiza un análisis inelástico no se deben considerar las inercias agrietadas, si se hace un análisis elástico se deben considerar según la NEC15 0.5 en columnas y 0.8 en vigas en el comando Show Modifiers.



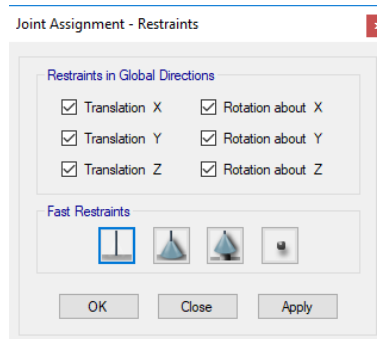
*Figura 95 Asignación de agrietamiento de inercias*

- Creación de elementos estructurales

Para crear las columnas de la edificación se utiliza el comando Quick Draw Column el cual permite ir creando cada columna y ubicándolas en la parte del plano que corresponden, la distribución del tipo de columnas que se va a usar será la misma que tuvimos en OpenSees, nos regiremos a las figuras 52, 53 y 54 donde se muestra la distribución de columnas en cada piso, se utilizará de la misma manera el comando vigas para crear todas las vigas de la estructura.

- Definición de apoyos de la base

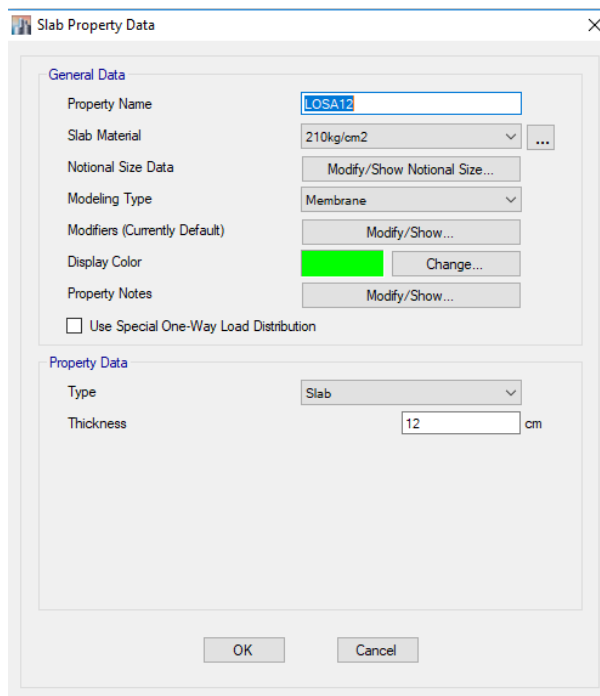
Se considera que la estructura estará empotrada en el suelo esto quiere decir que se restringirán todos sus movimientos en los apoyos.



**Figura 96** Asignación de empotramientos a la base del modelo.

- Definición de losas

Todas las losas serán definidas de un mismo espesor, esta losa será una losa alivianada con las medidas, se utilizará “membrane” para que las cargas estén distribuidas uniformemente en los elementos estructurales.

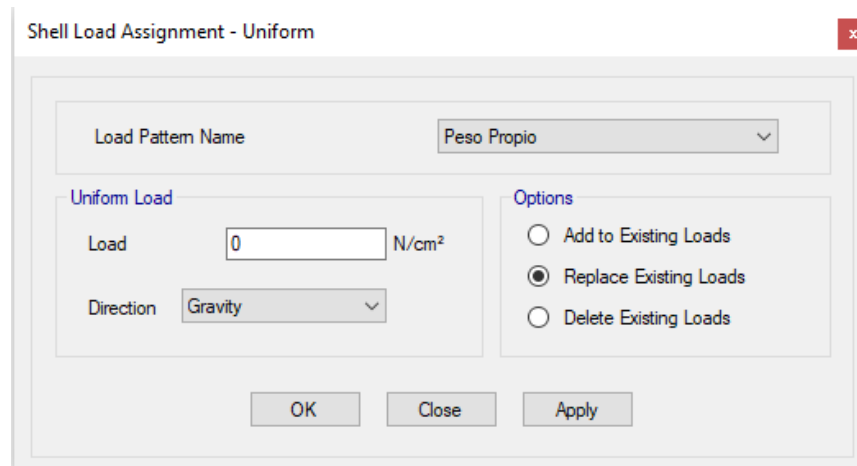


**Figura 97** Definición del tipo de losa que se va a utilizar en el modelo.

Una vez definida que características de losa que se va a utilizar, se asigna que esta se comportará como un diafragma rígido al igual que en OpenSees, para asignar como contorno en cada esquina de cada uno de los pisos del modelo.

- Asignación de cargas

Se utilizará carga muerta “D” y no se asignará la carga viva “L” , ya que para análisis sólo se deben asignar las cargas actuantes antes del sismo la cual será solo la carga permanente.

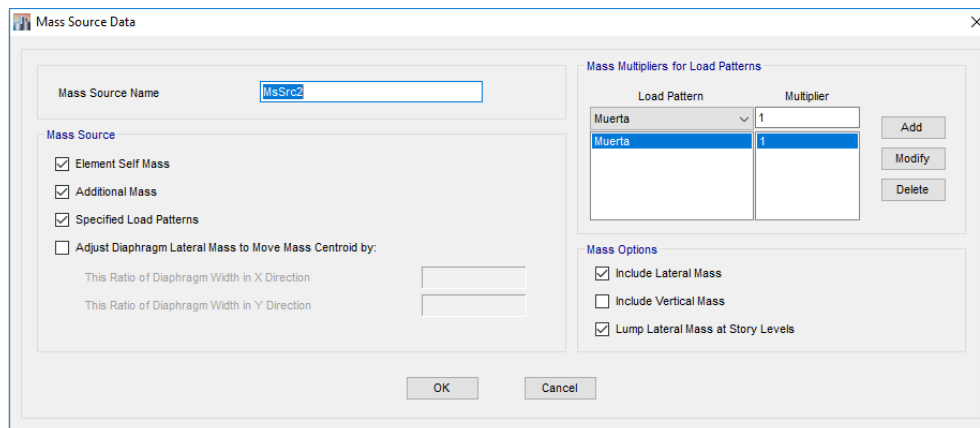


**Figura 98** Asignación de cargas para los diferentes pisos

Se tendrán las mismas cargas muerta y viva como en el programa OpenSees, restando en la carga muerta el peso de la estructura ya que el programa lo calcula automáticamente..

- Conversión de masas

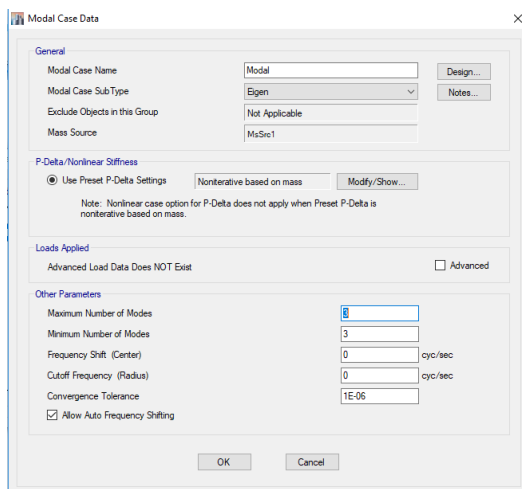
Se convierte las cargas de la estructura a masas para poder realizar el análisis, como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 99** Conversión de cargas en masas para el análisis.

- Análisis Modal

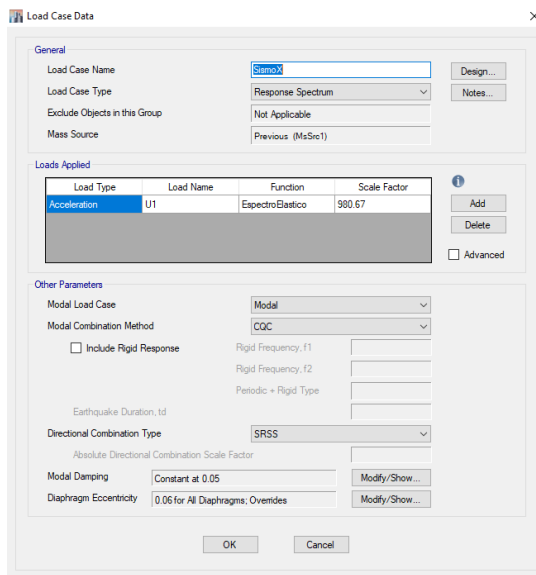
Sólo se va a calcular los 3 primeros modos de vibración de la estructura, la tolerancia y el número de iteraciones serán los mismos de la modelación del programa anterior, usando autovectores para este análisis.



**Figura 100** Análisis modal, asignación de parámetros.

- Análisis por Sismo Lateral Equivalente

Para realizar el análisis lateral equivalente se debe ingresar al programa un espectro de diseño el cual se muestra en el Anexo 11, y se tendrán 2 casos de análisis tanto en x como en Y.

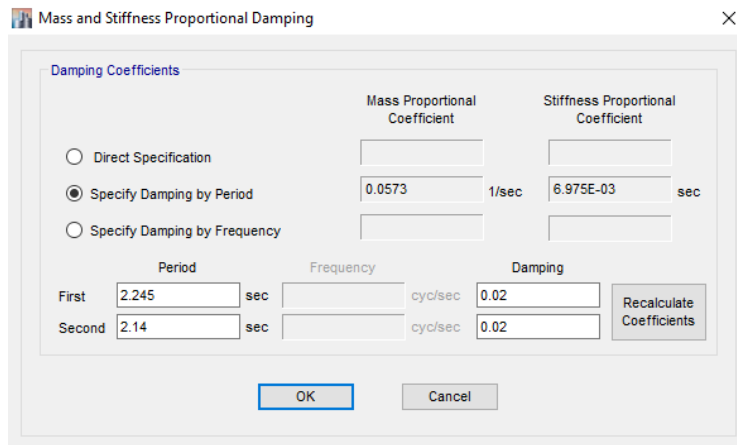


**Figura 101** Caso ejemplo para análisis lateral equivalente

- Análisis paso a paso en el tiempo

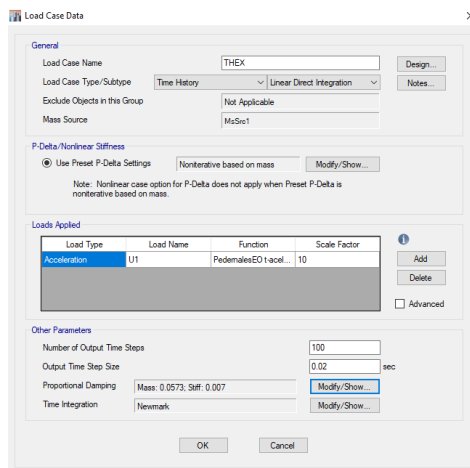
El análisis paso a paso en el tiempo se lo conoce como time history en el programa ETABS 2015, al igual que el análisis lateral equivalente se debe ingresar la función a la cual estará sometido el edificio.

Se utilizará el amortiguamiento de Rayleigh donde los valores para frecuencias naturales serán resultado del OpenSees y el programa ETABS calculará automáticamente los valores alfa y beta para tener las condiciones de amortiguamiento.

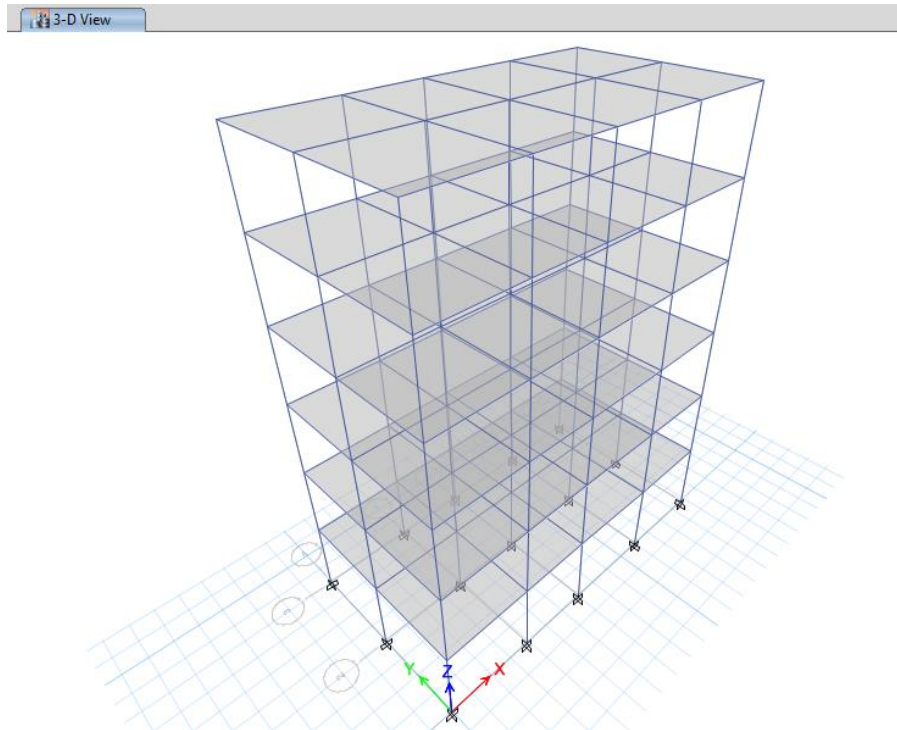


**Figura 102** Parámetros de amortiguamiento de Rayleigh.

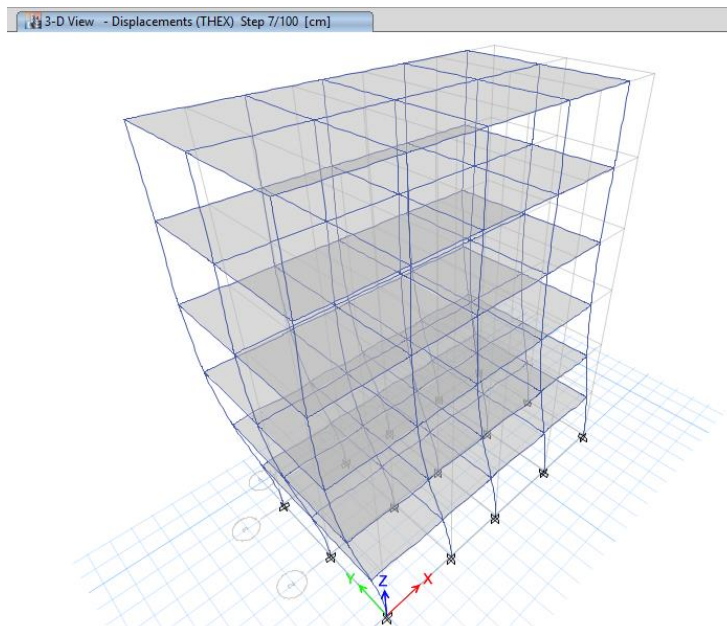
Si se realiza un análisis no lineal primero se definirán las rótulas plásticas, en este caso solo se realiza un análisis elástico lineal como se muestra en la figura:



**Figura 103** Caso tiempo historia elástico



*Figura 104 Modelo en 3D en ETABS 2015*



*Figura 105 Modelo deformado para un análisis elástico tiempo historia*

## 4. RESULTADOS

Los datos de resultados que presentan en este capítulo representan a una respuesta en cada instante de tiempo, en nuestro caso cada 0.02 segundos por ende se presentaran gráficas de las respuestas con respecto al tiempo.

Se mostrarán derivas de cada piso tomadas con respecto al nudo master las cuales se compararán con la deriva inelástica máxima que se muestra en la NEC15, se presentarán las deformaciones en centímetros de cada piso tomadas con respecto al nudo master y la torsión de cada planta.

Para el cálculo de la deriva máxima cuando se analiza elásticamente y para poder compararla con la deriva máxima inelástica que nos presenta la norma se debe calcular con la siguiente expresión:

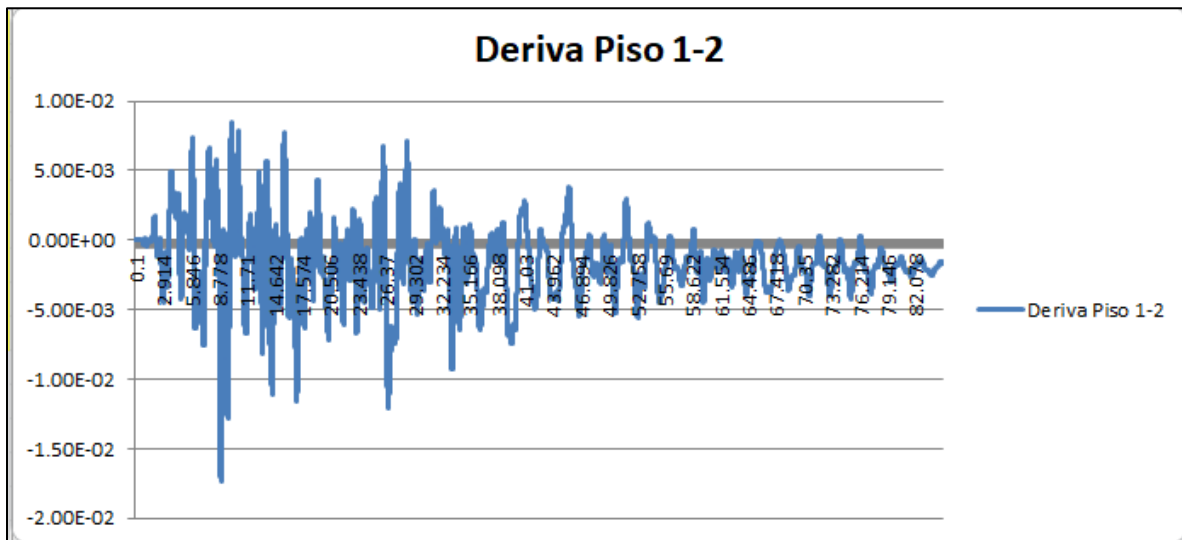
$$\Delta M = 0.75R\Delta E$$

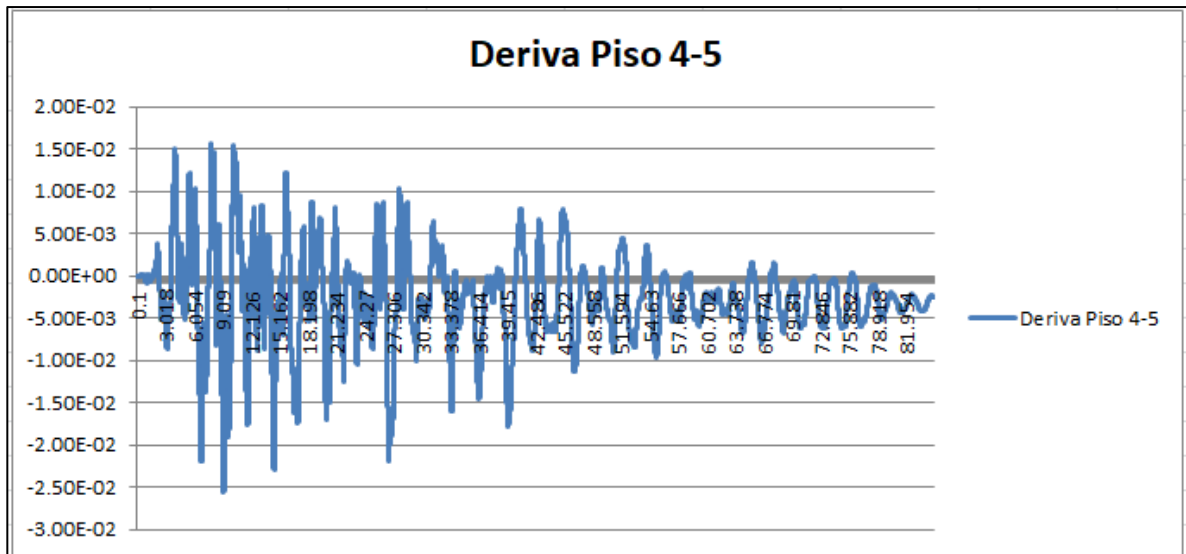
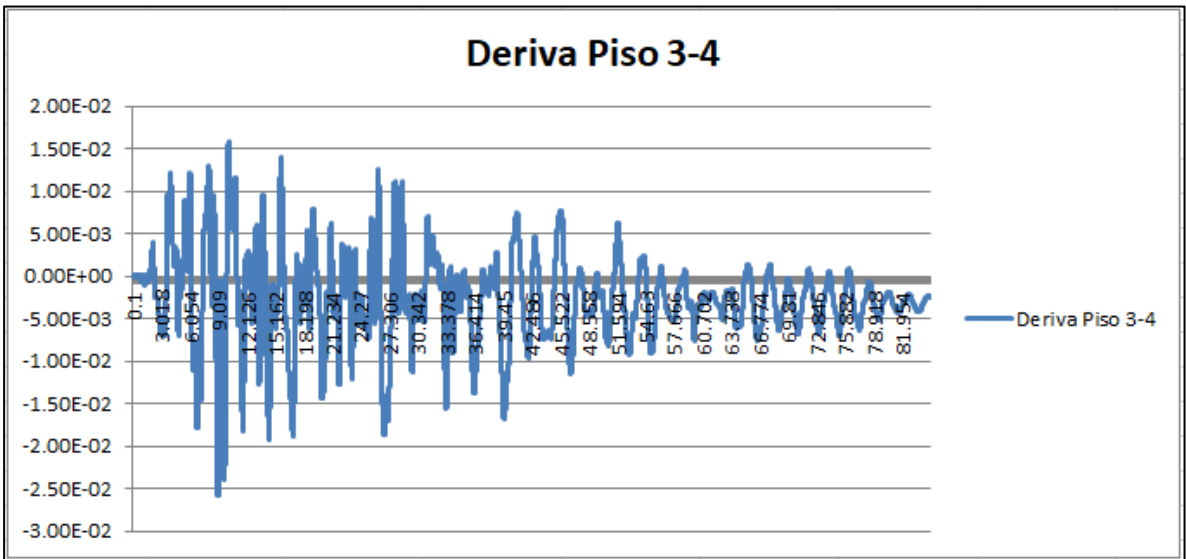
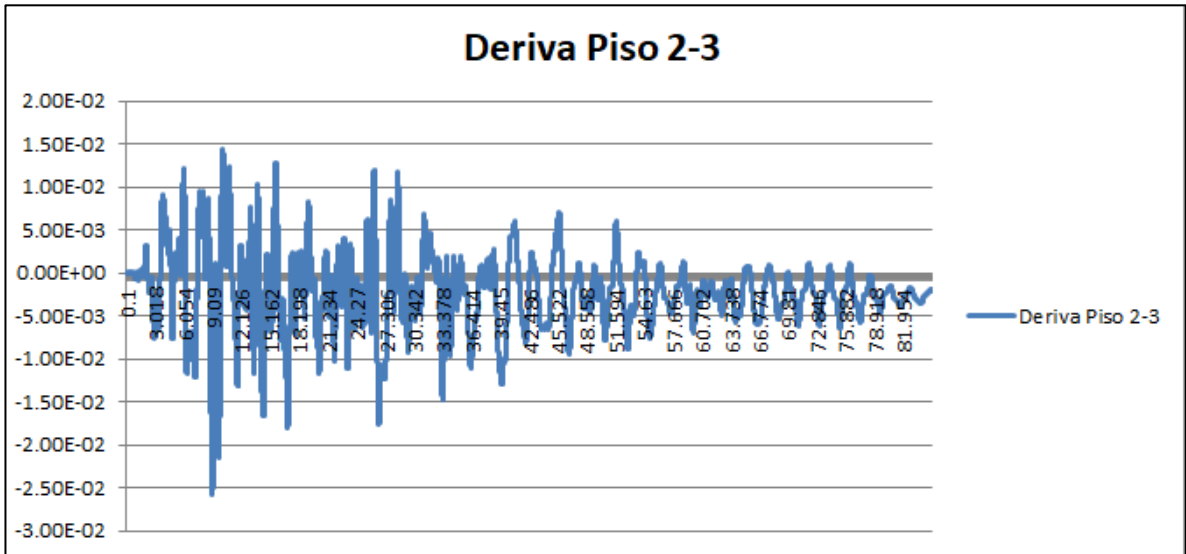
Tomando el valor de R de las Tablas 7 y 8 para ductilidad.

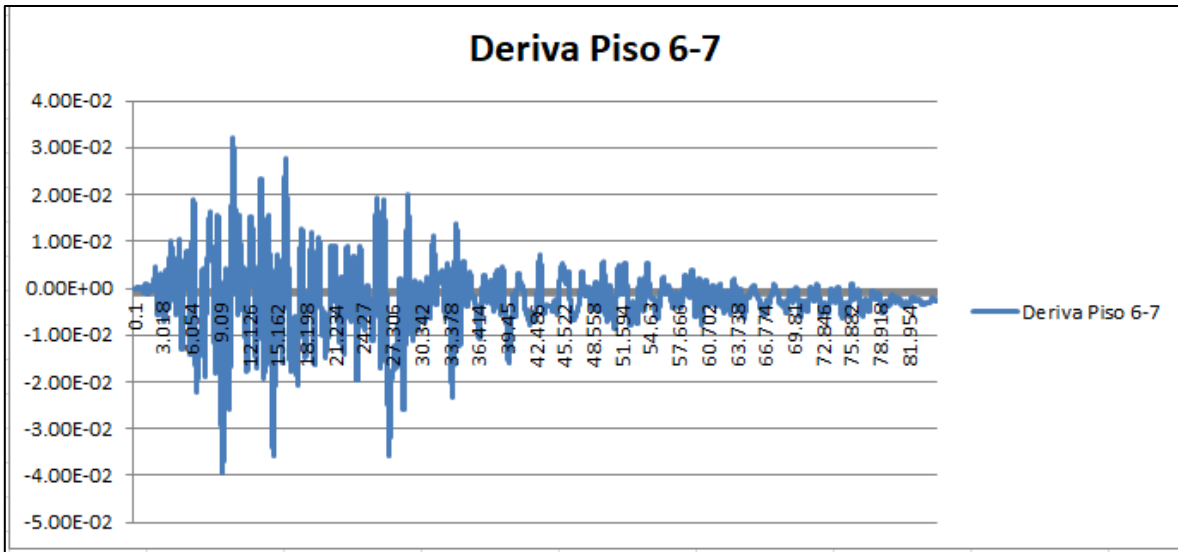
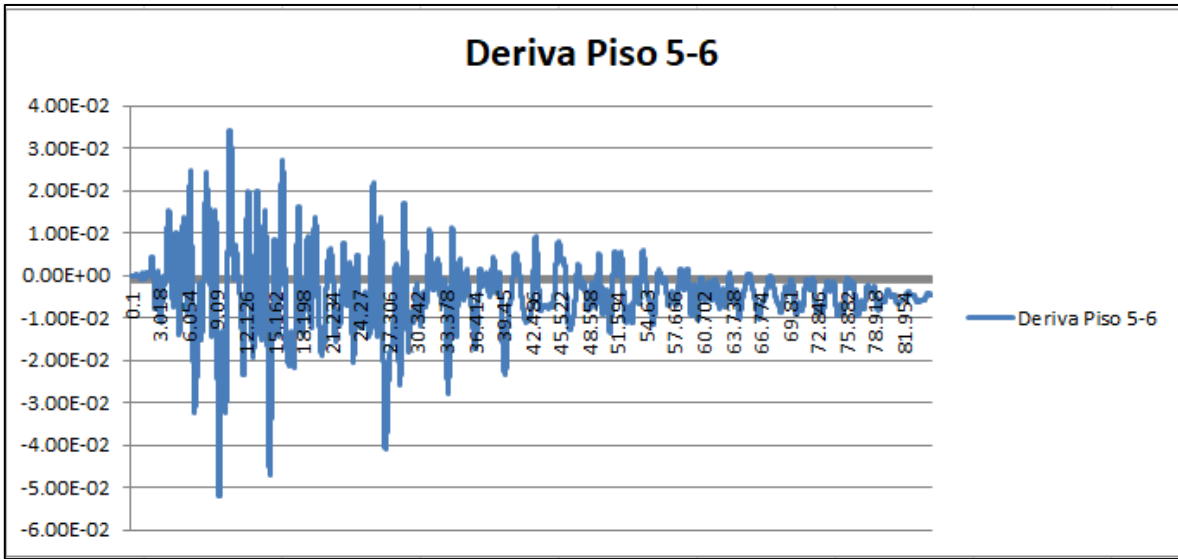
### 4.1. RESULTADOS EN OPENSEES

#### 4.1.1. Resultados inelásticos en X

##### 4.1.1.1. Deriva de Piso en X

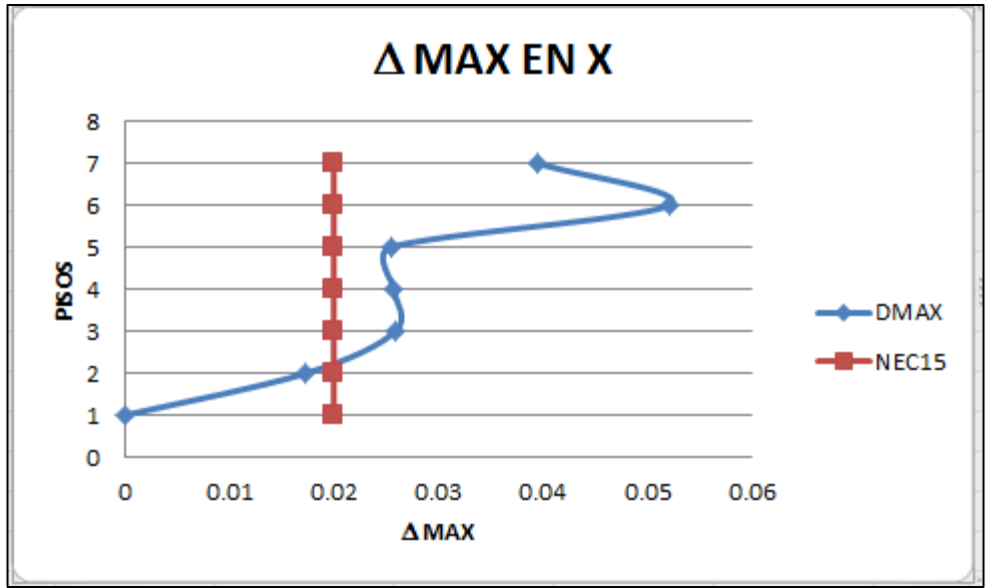




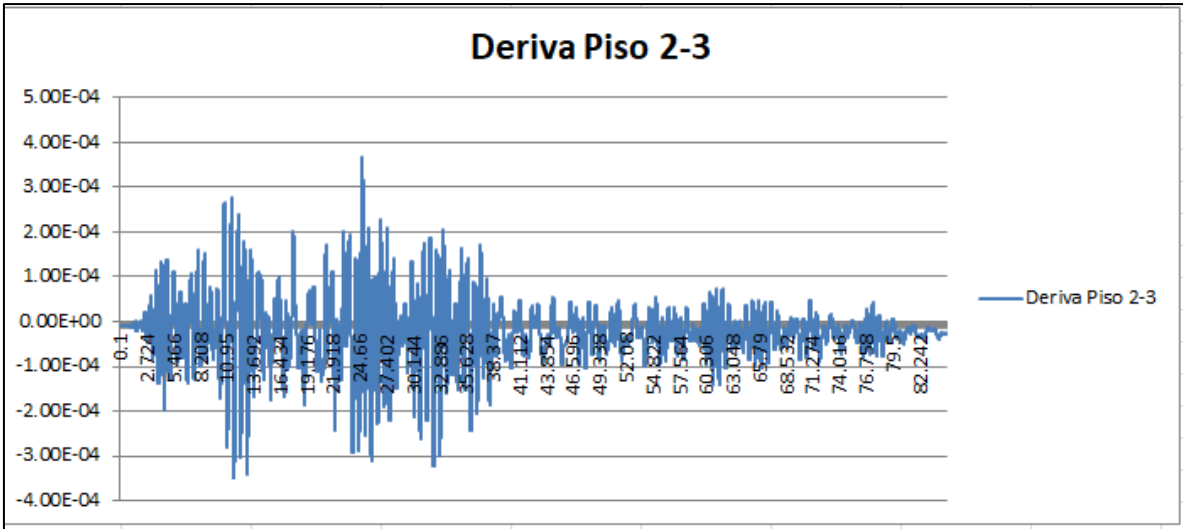
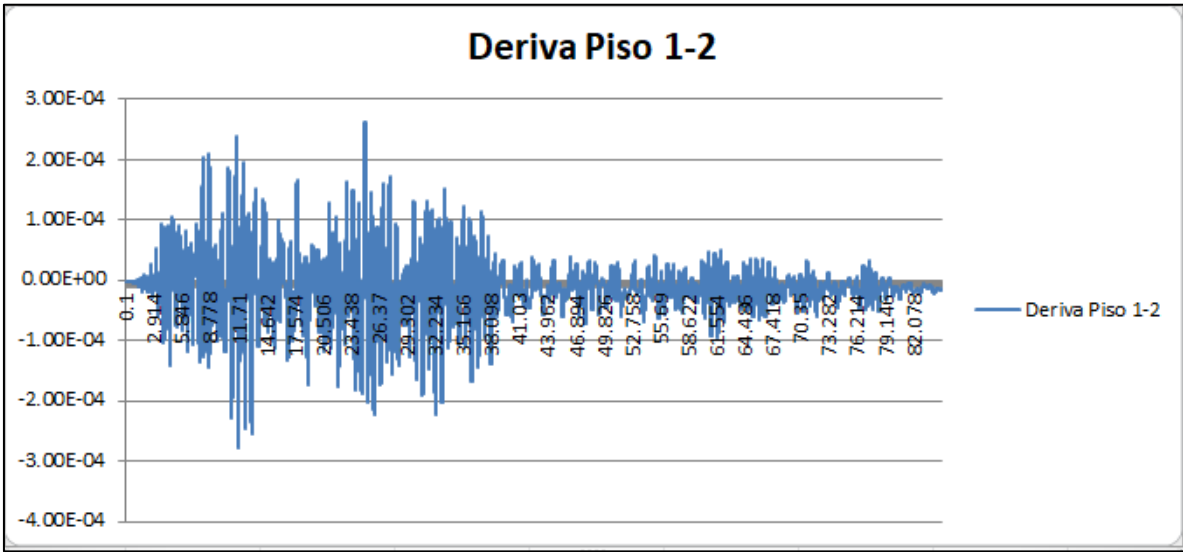


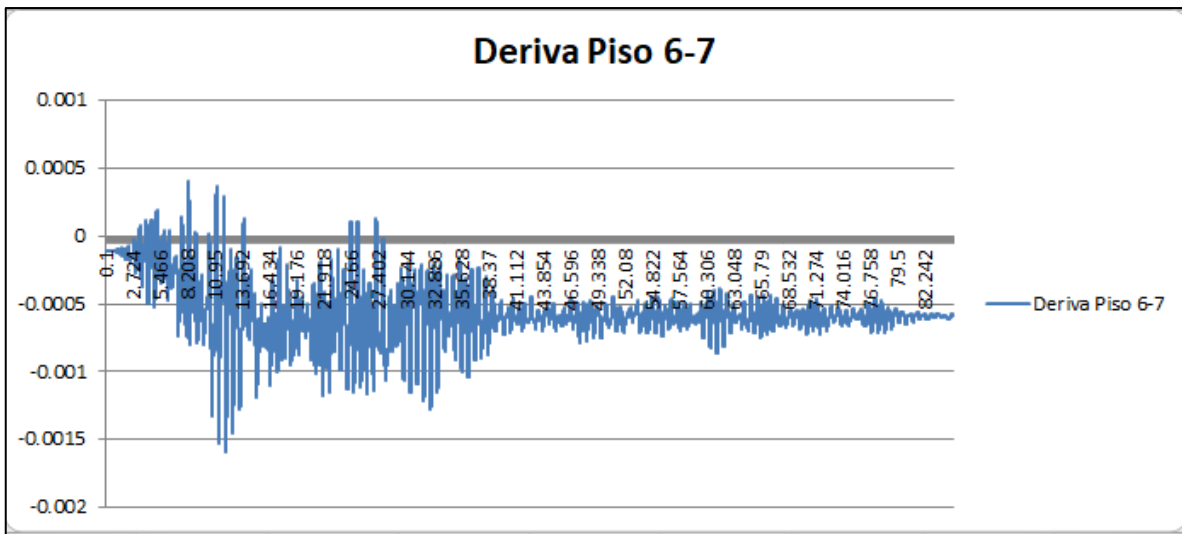
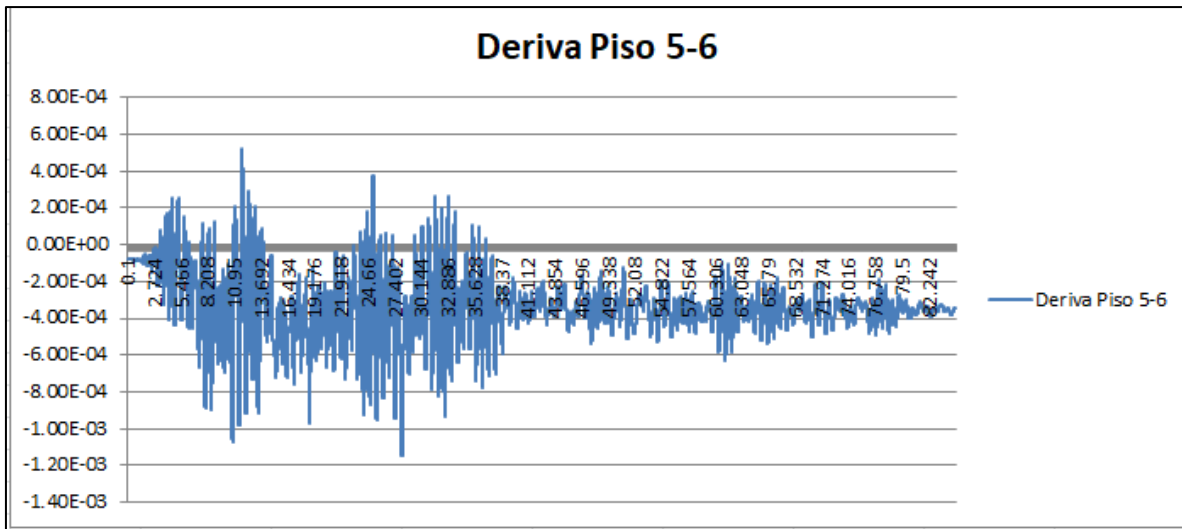
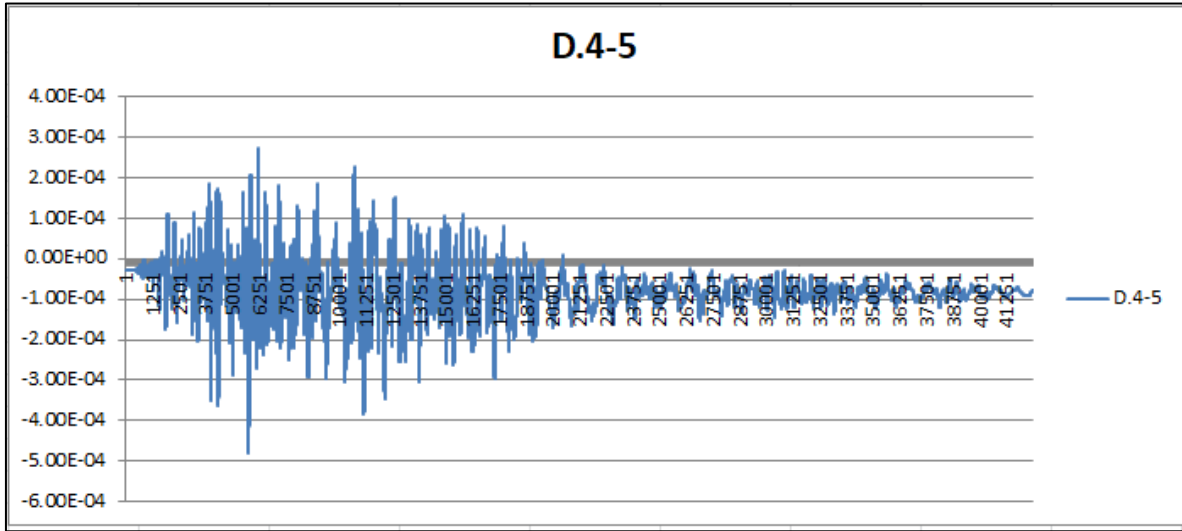
$\Delta\text{MAX1-2}$	0.0173346
$\Delta\text{MAX2-3}$	0.0258739
$\Delta\text{MAX3-4}$	0.0257669
$\Delta\text{MAX4-5}$	0.0254837
$\Delta\text{MAX5-6}$	0.0520343
$\Delta\text{MAX6-7}$	0.0394087

*Tabla 16 Deriva inelástica máxima en dirección X*



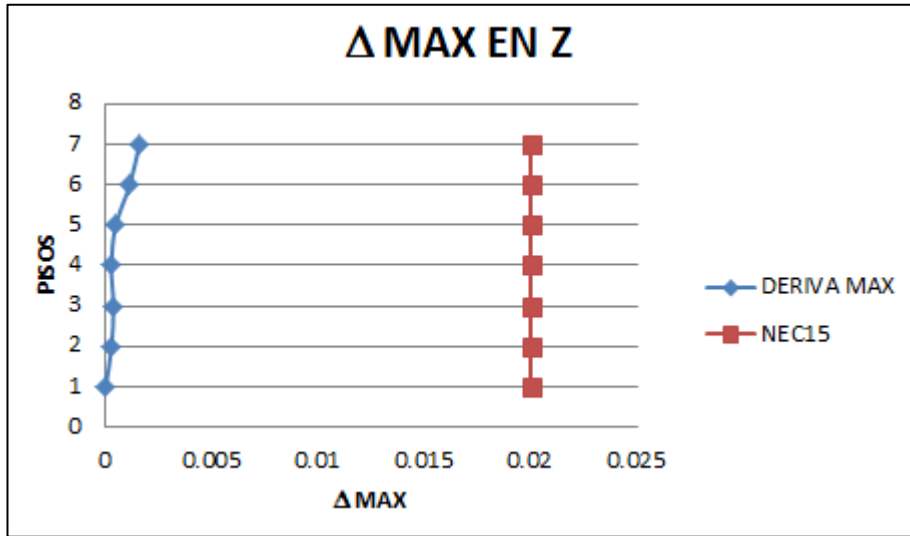
#### 4.1.1.2. Deriva de Piso en Z



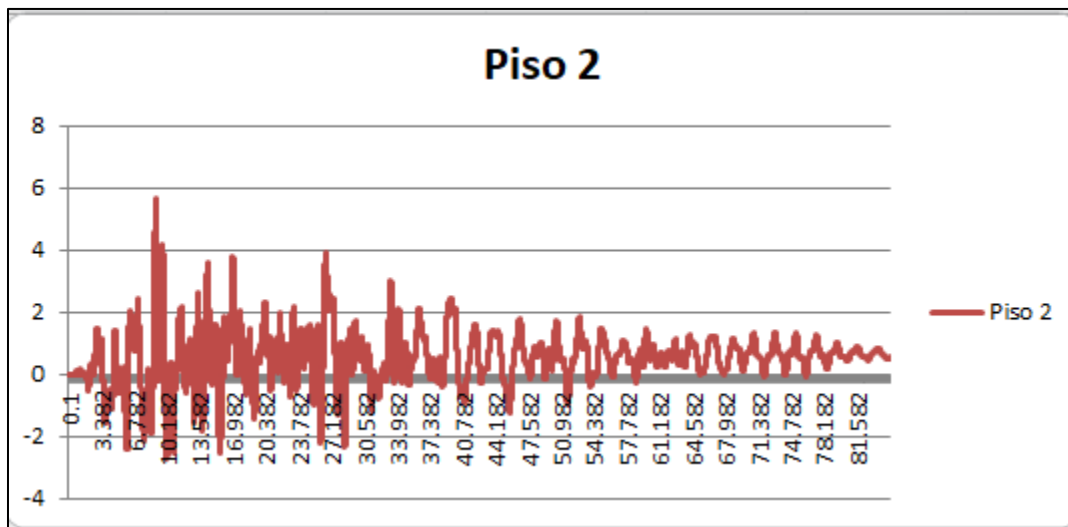


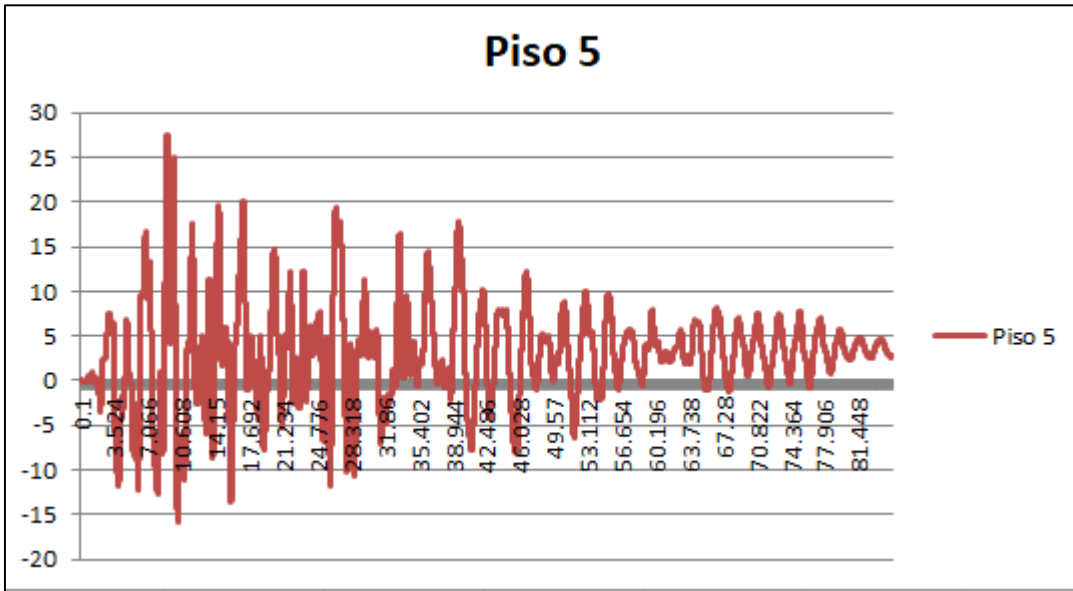
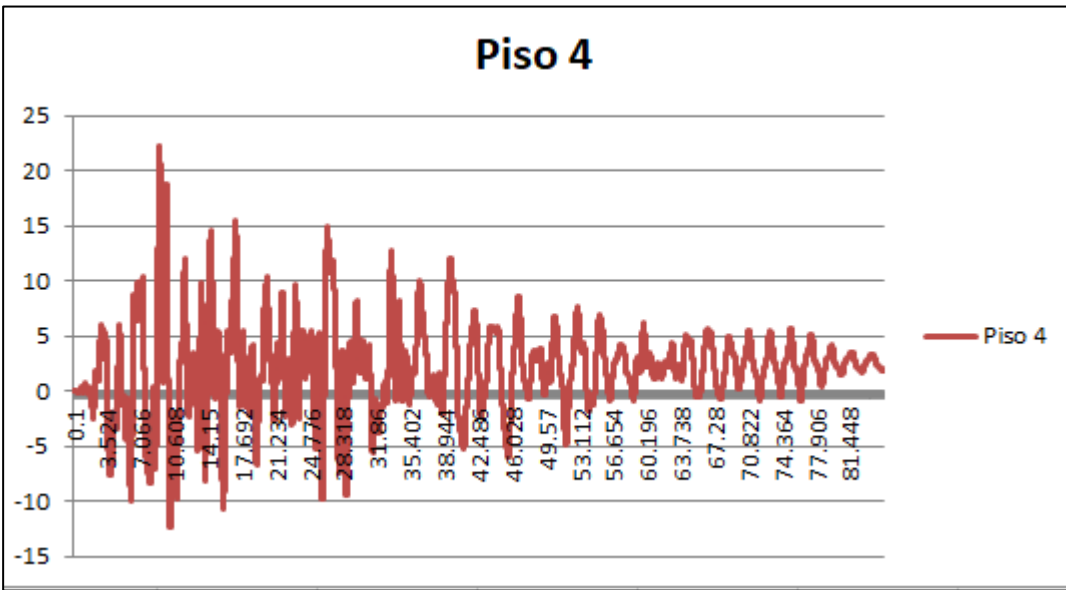
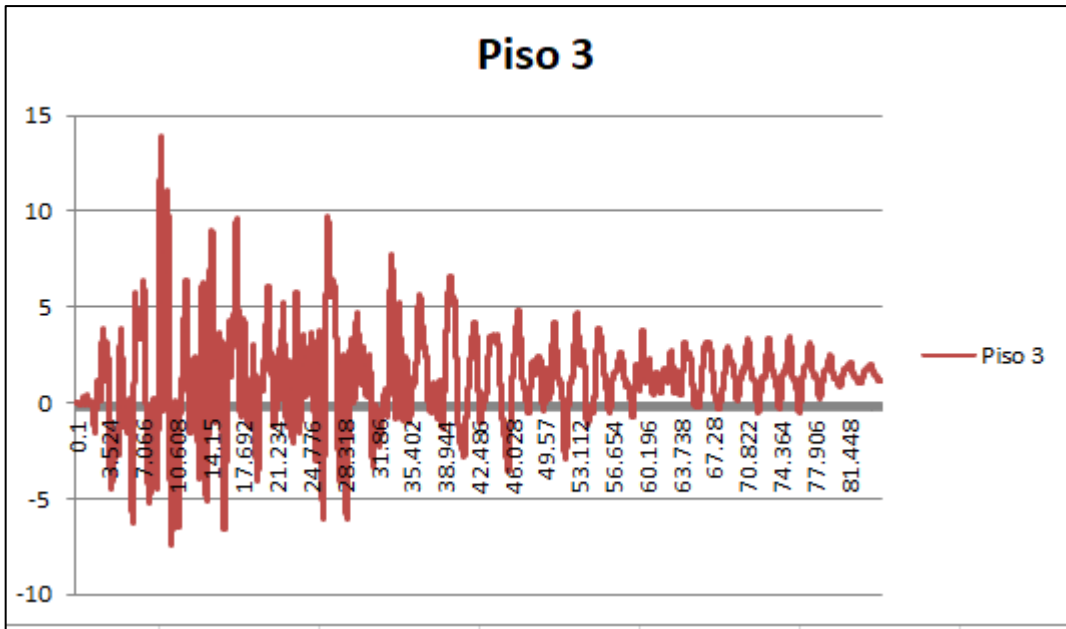
$\Delta$ MAX1-2	0.000278388
$\Delta$ MAX2-3	0.000367628
$\Delta$ MAX3-4	0.000268923
$\Delta$ MAX4-5	0.000478827
$\Delta$ MAX5-6	0.00114216
$\Delta$ MAX6-7	0.00158926

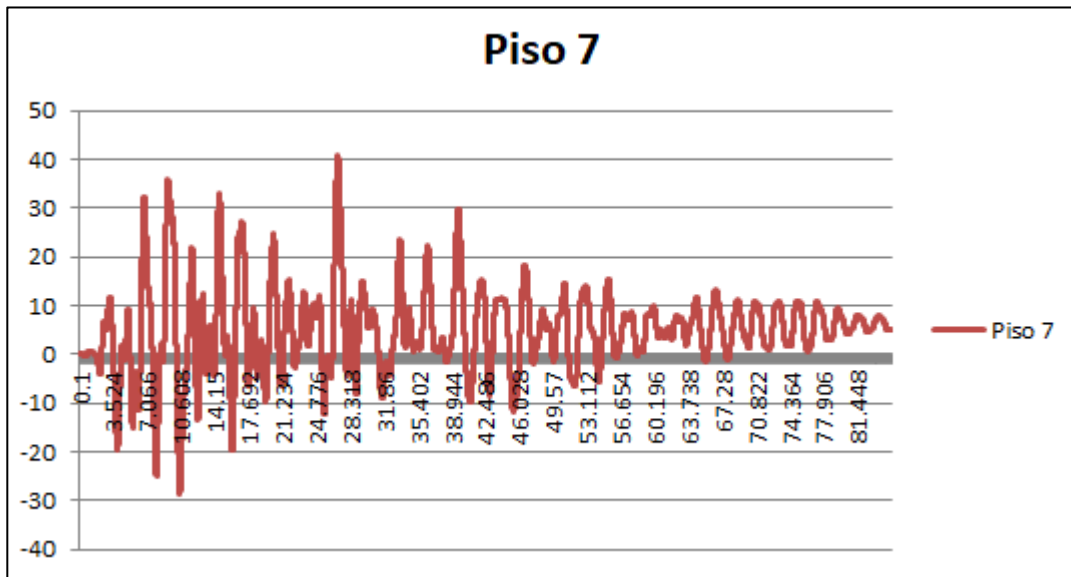
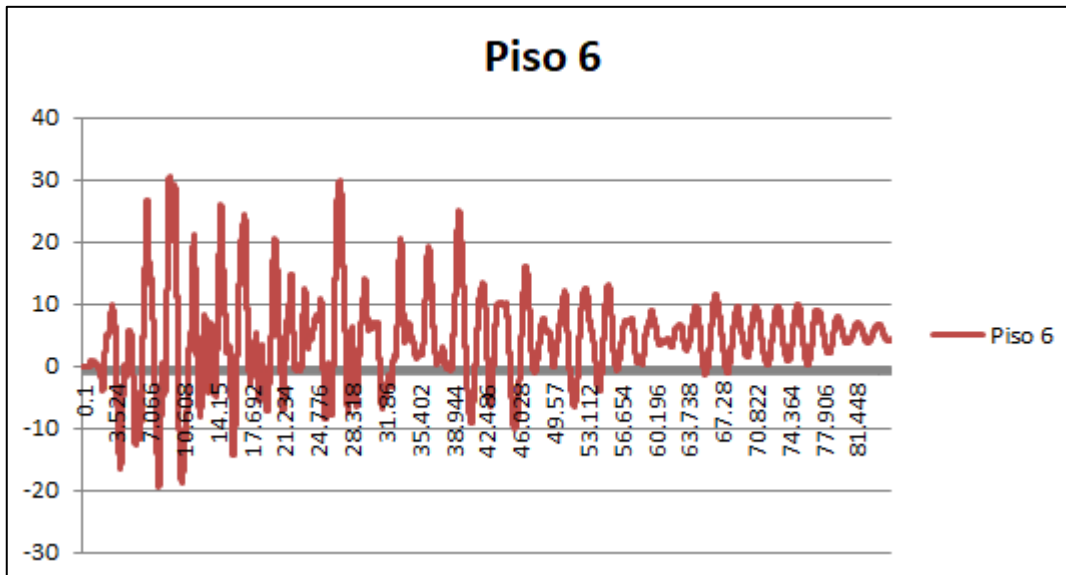
Tabla 17 Deriva inelástica máxima en dirección Z



#### 4.1.1.3. Deformaciones en X



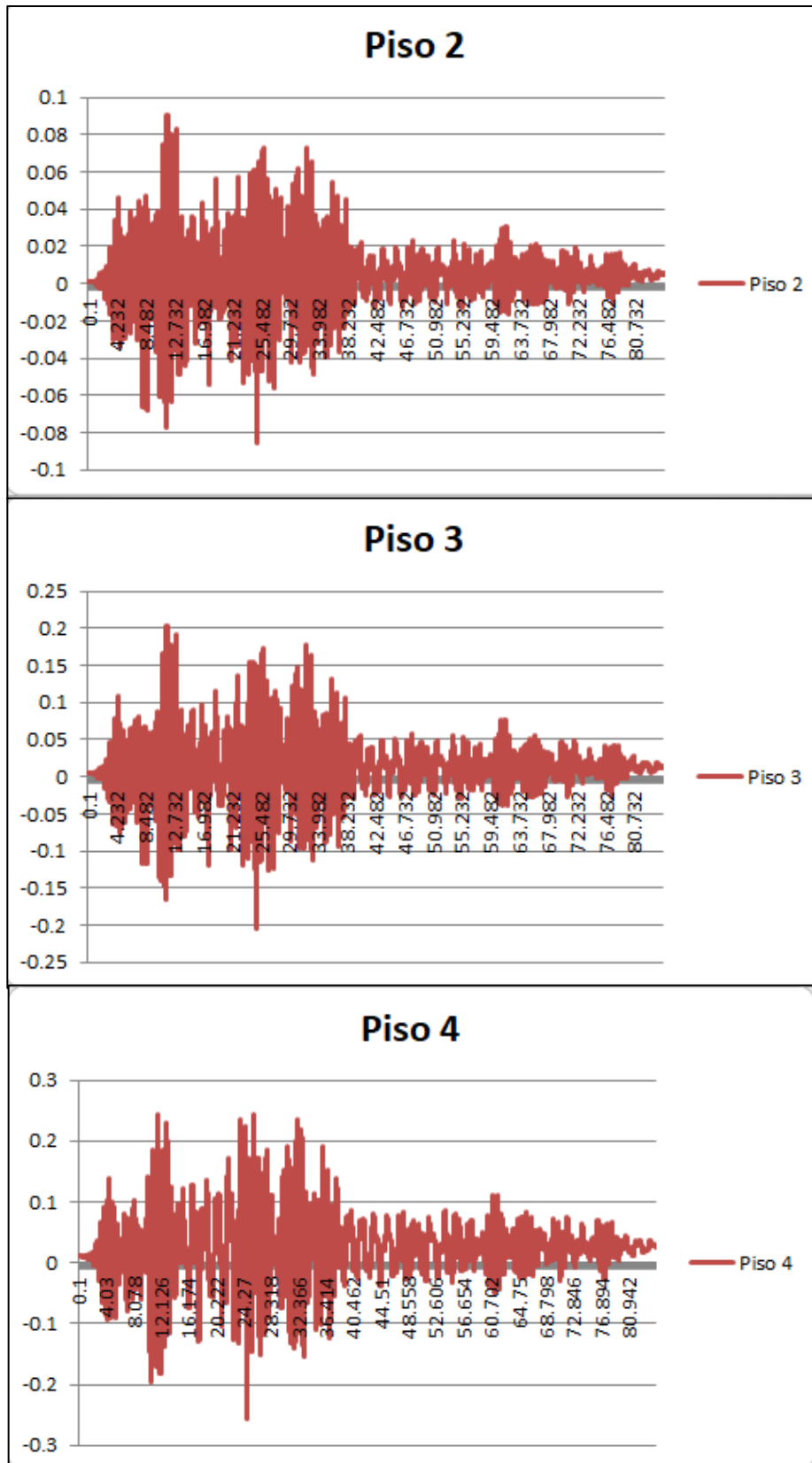


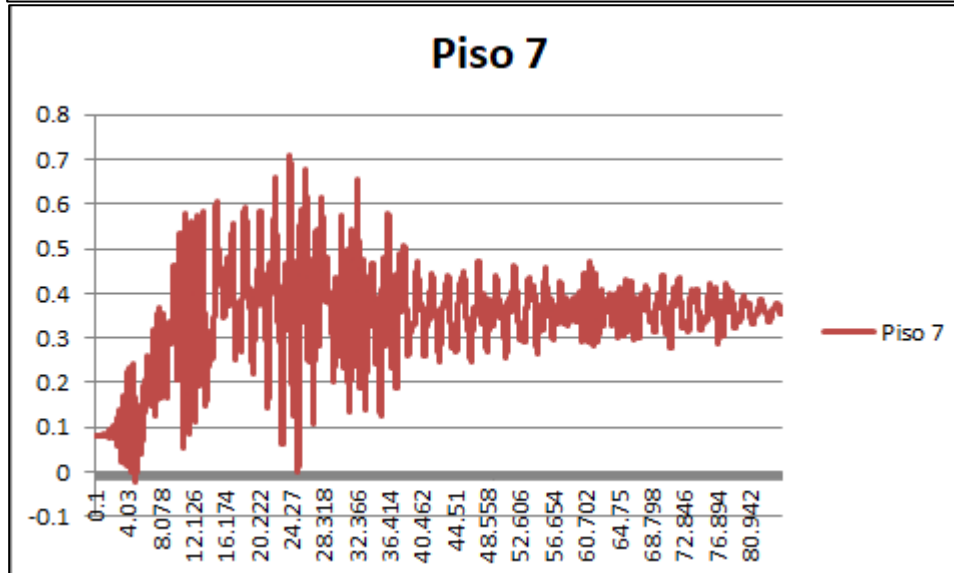
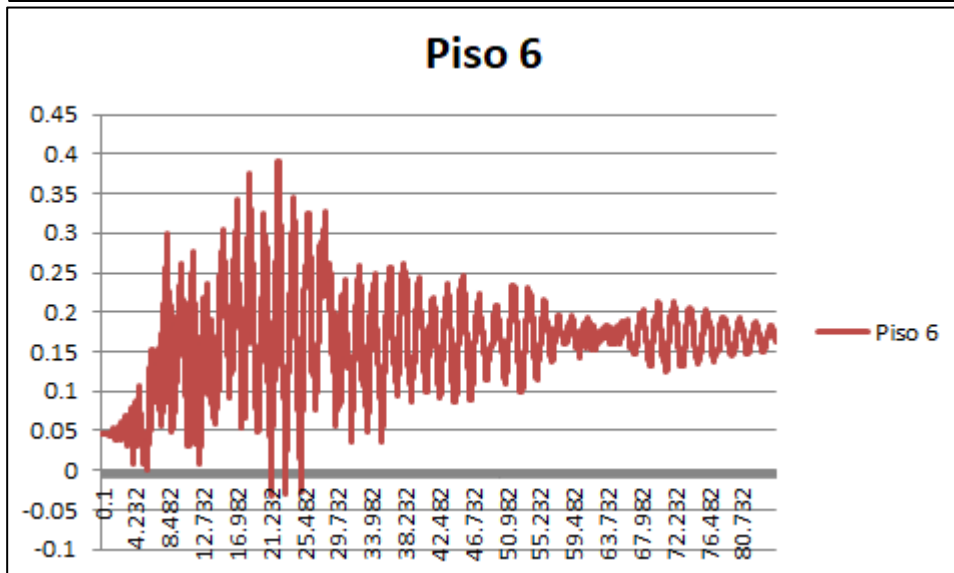
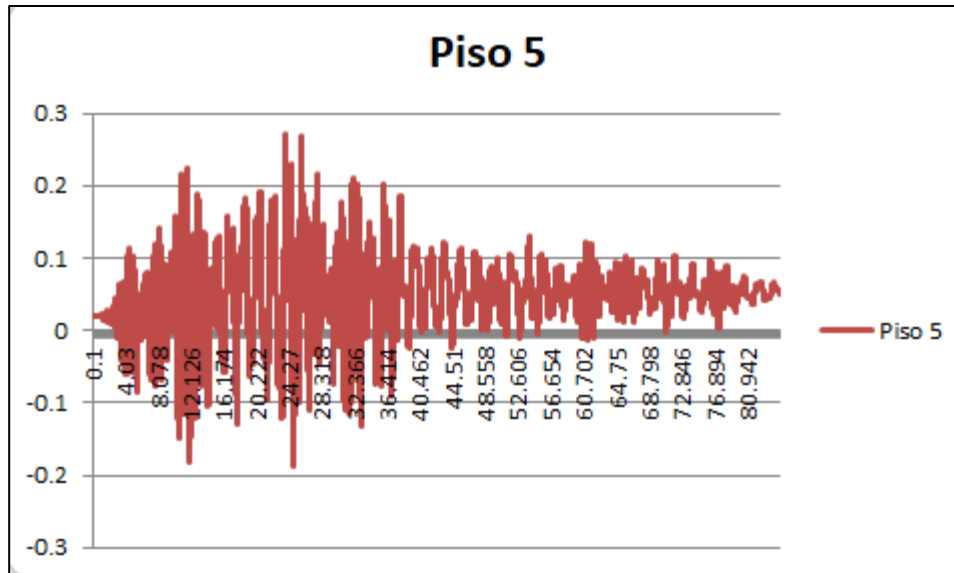


$\delta_{MAX1}$	0
$\delta_{MAX2}$	5.63373
$\delta_{MAX3}$	13.9009
$\delta_{MAX4}$	22.2261
$\delta_{MAX5}$	27.4163
$\delta_{MAX6}$	30.6597
$\delta_{MAX7}$	40.9499

*Tabla 18 Deformaciones máximas de cada piso en dirección X*

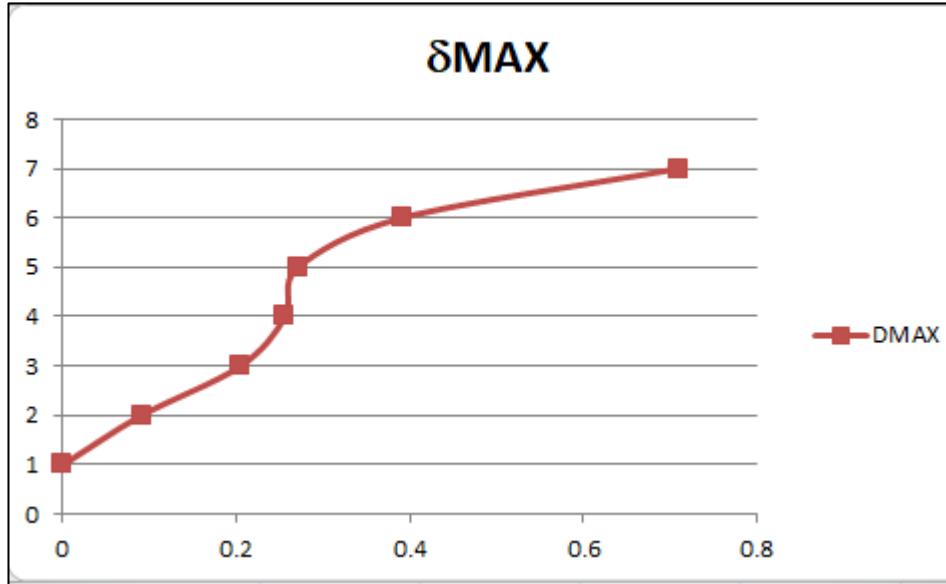
#### 4.1.1.4. Deformaciones en Z





$\delta_{MAX1}$	0
$\delta_{MAX2}$	0.090476
$\delta_{MAX3}$	0.204656
$\delta_{MAX4}$	0.255994
$\delta_{MAX5}$	0.271143
$\delta_{MAX6}$	0.390962
$\delta_{MAX7}$	0.709881

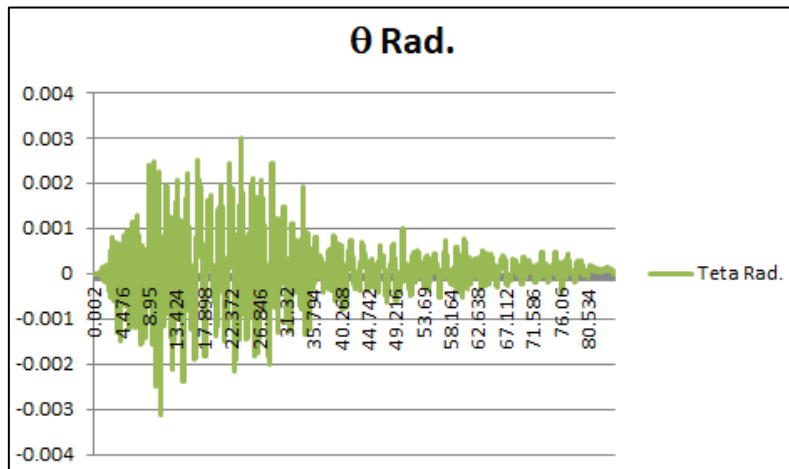
Tabla 19 Deformaciones máximas de cada piso en dirección Z

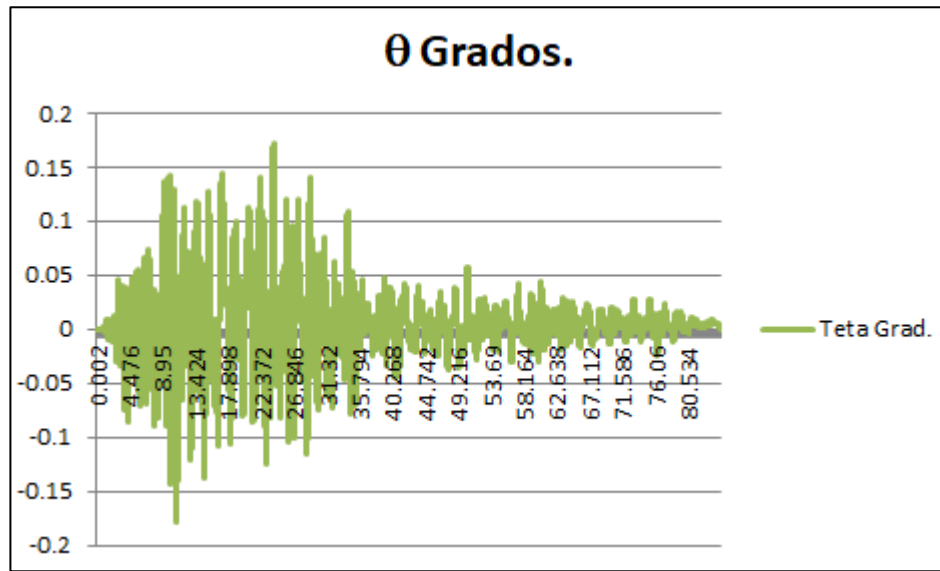


#### 4.1.1.5. Torsión en Piso 2

$\theta_{max}$ Rad.	0.00310759
$\theta_{max}$ Grados.	0.17805169

Tabla 20 Ángulo de torsión máxima en piso 2

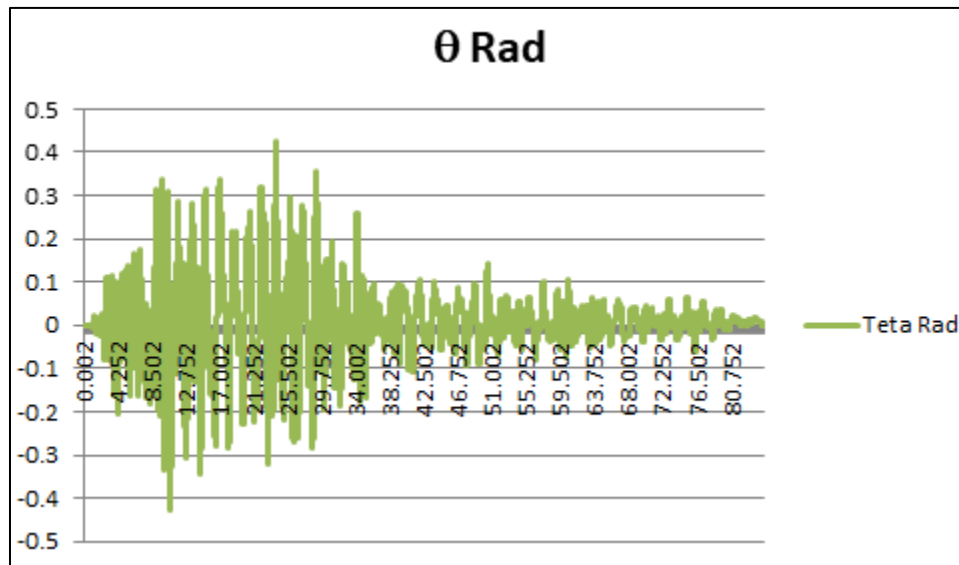


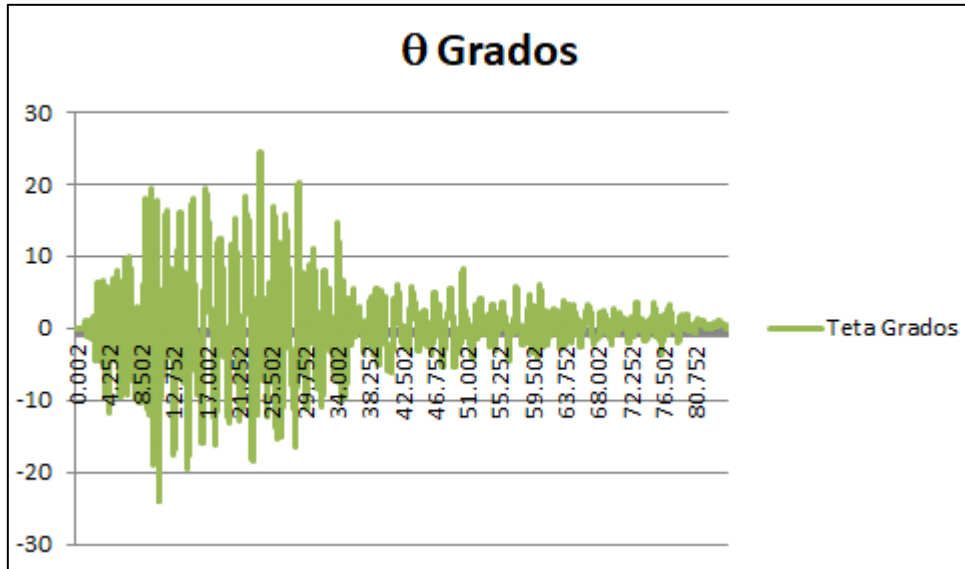


**4.1.1.6.Torsión en Piso 3**

$\theta_{max}$ Rad.	0.00744711
$\theta_{max}$ Grados.	0.42668771

*Tabla 21* Ángulo de torsión máxima en piso 3

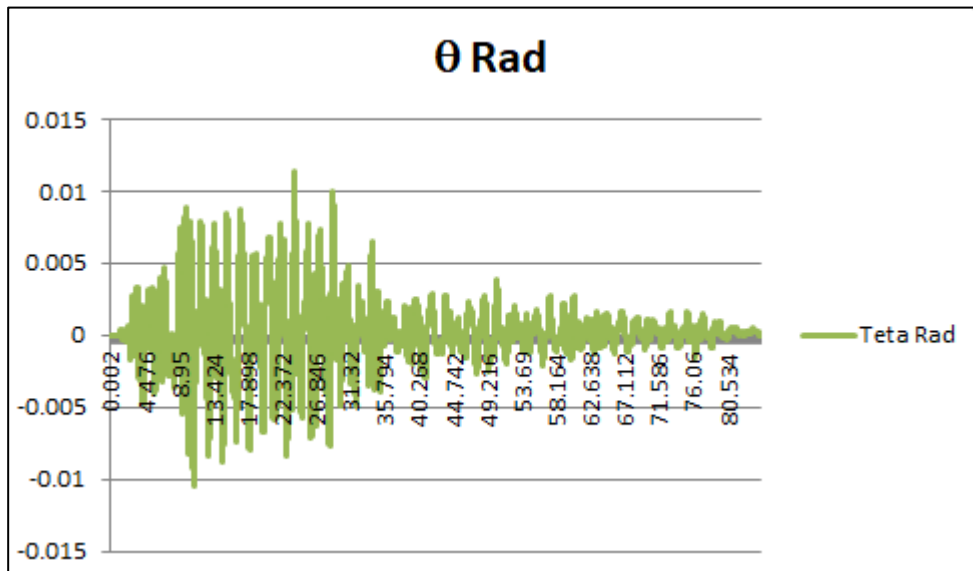


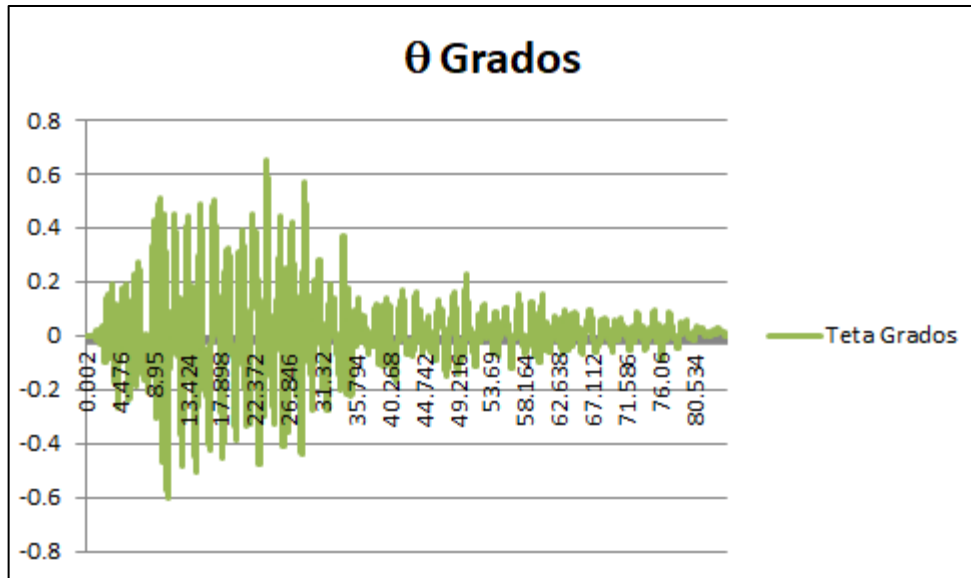


**4.1.1.7. Torsión en Piso 4**

$\theta_{\max}$ Rad.	0.01133101
$\theta_{\max}$ Grados.	0.64921927

*Tabla 22 Ángulo de torsión máxima en piso 4*

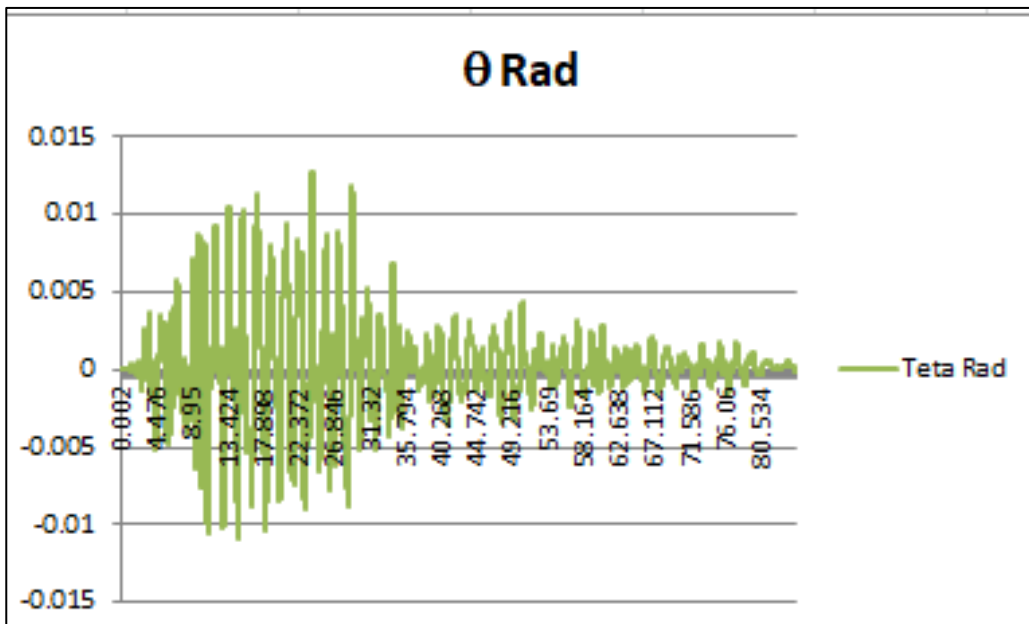


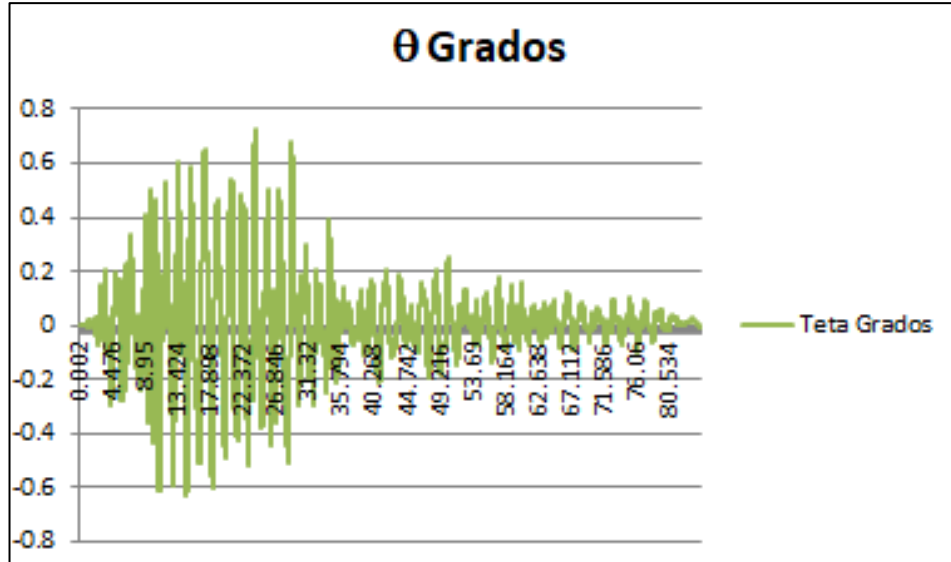


#### 4.1.1.8.Torsión en Piso 5

$\theta_{max}$ Rad.	0.01267292
$\theta_{max}$ Grados.	0.72610505

Tabla 23 Ángulo de torsión máxima en piso 5

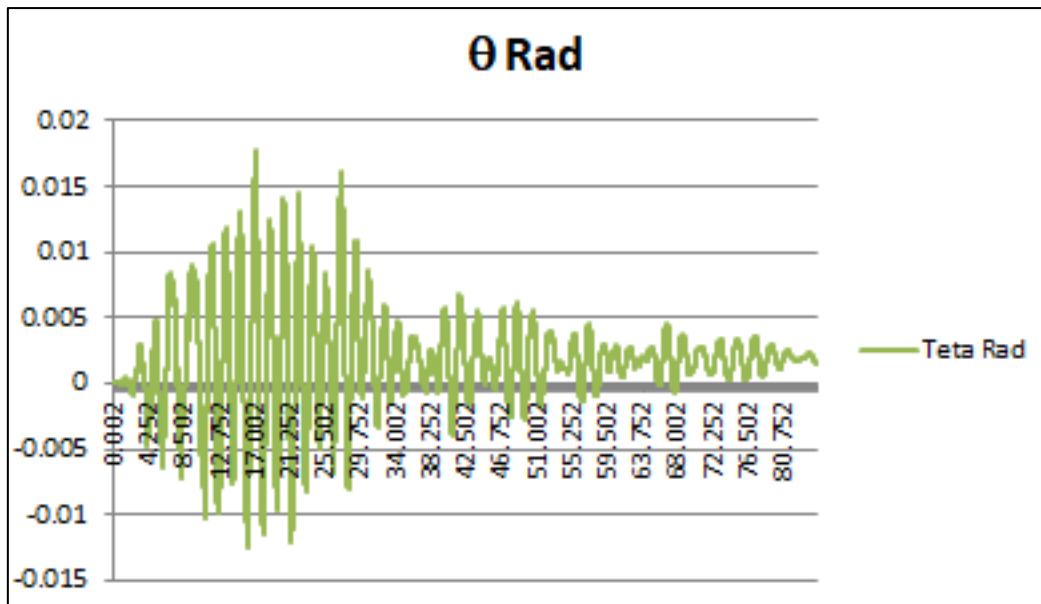


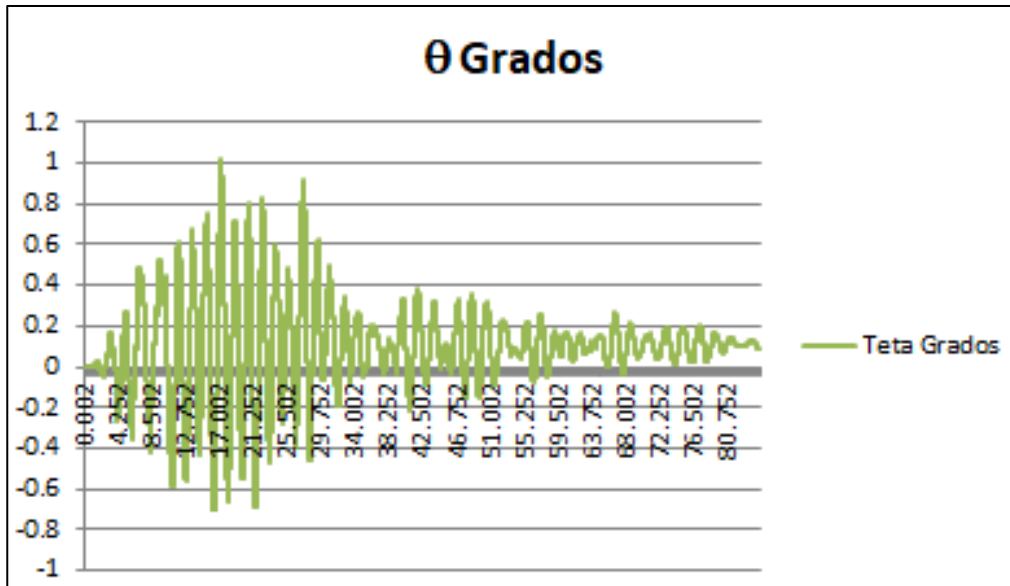


**4.1.1.9. Torsión en Piso 6**

$\theta_{\max}$ Rad.	0.01780497
$\theta_{\max}$ Grados.	1.02014982

*Tabla 24* Ángulo de torsión máxima en piso 6

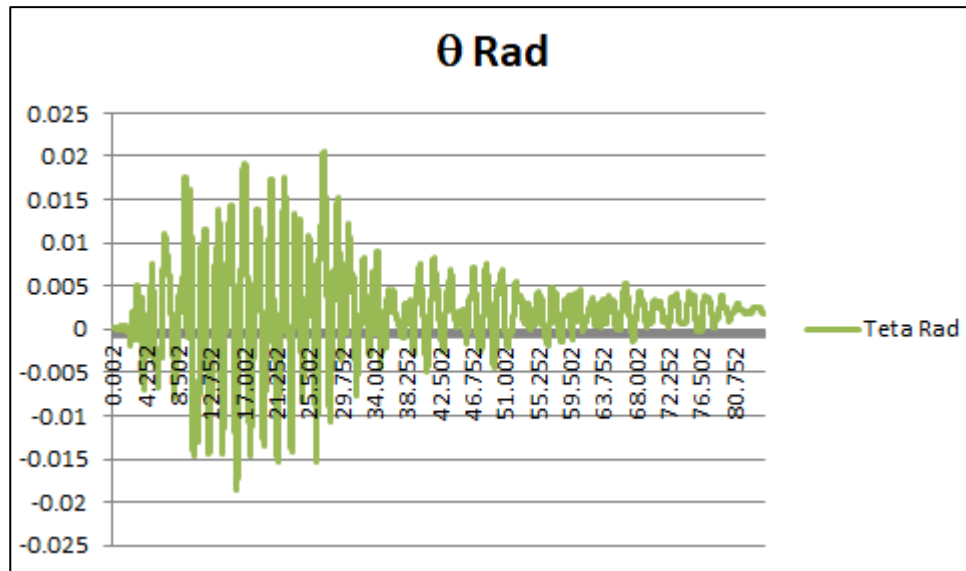


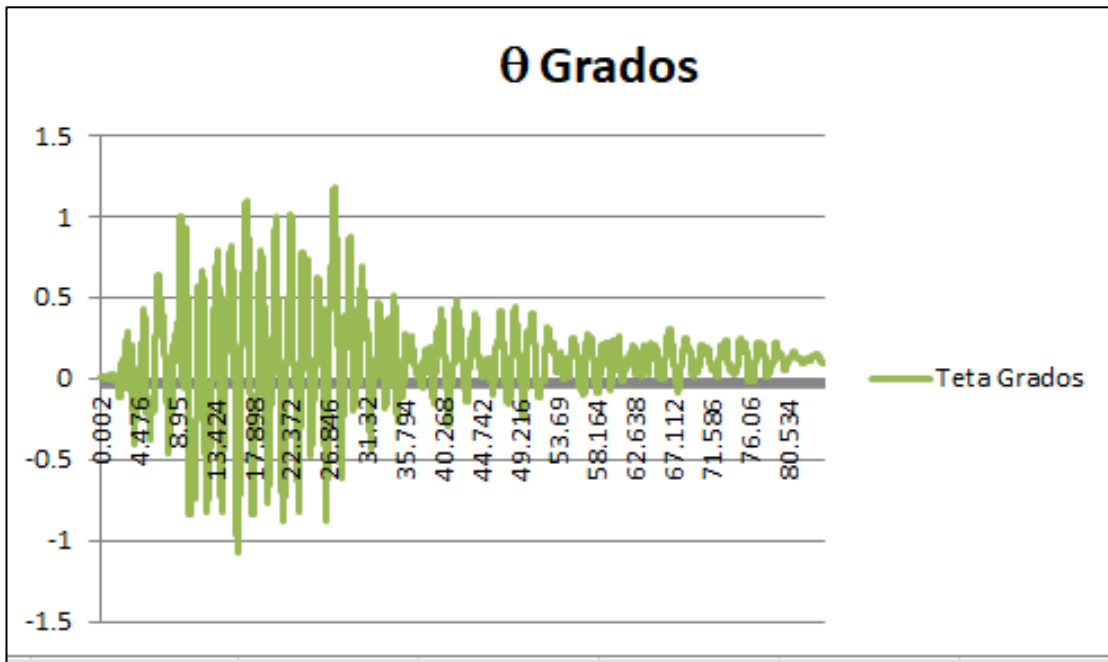


**4.1.1.10. Torsión en Piso 7**

$\theta_{\max}$ Rad.	0.02056849
$\theta_{\max}$ Grados.	1.17848748

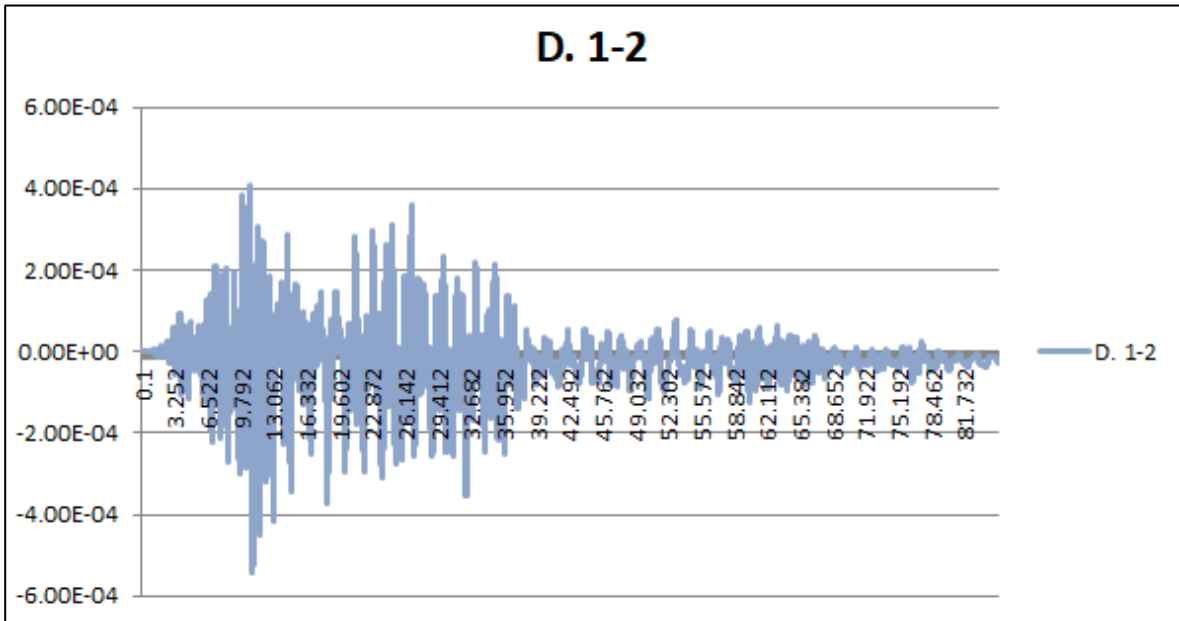
*Tabla 25* Ángulo de torsión máxima en piso 7

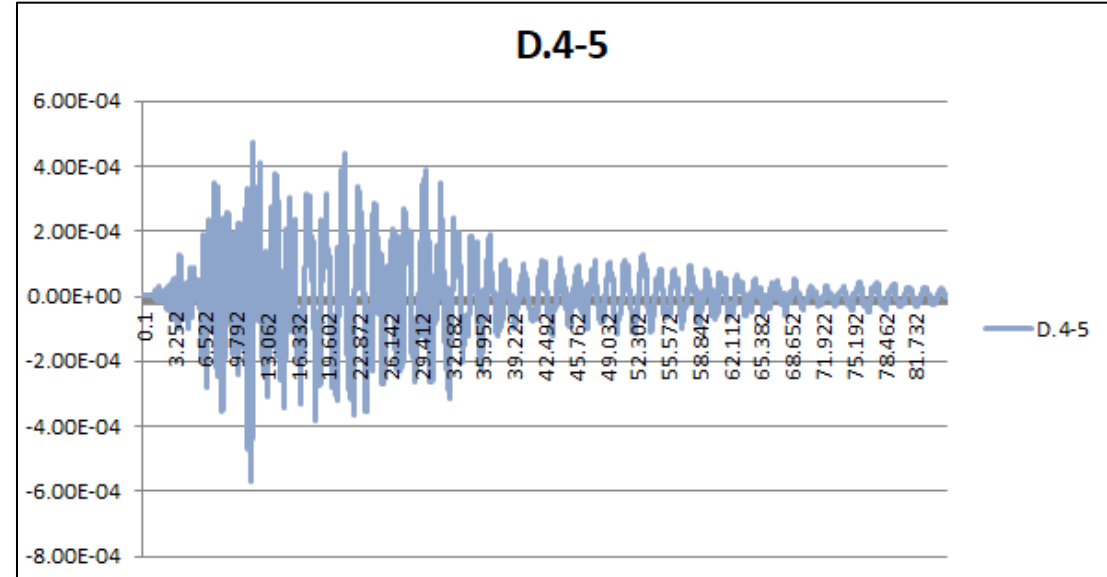
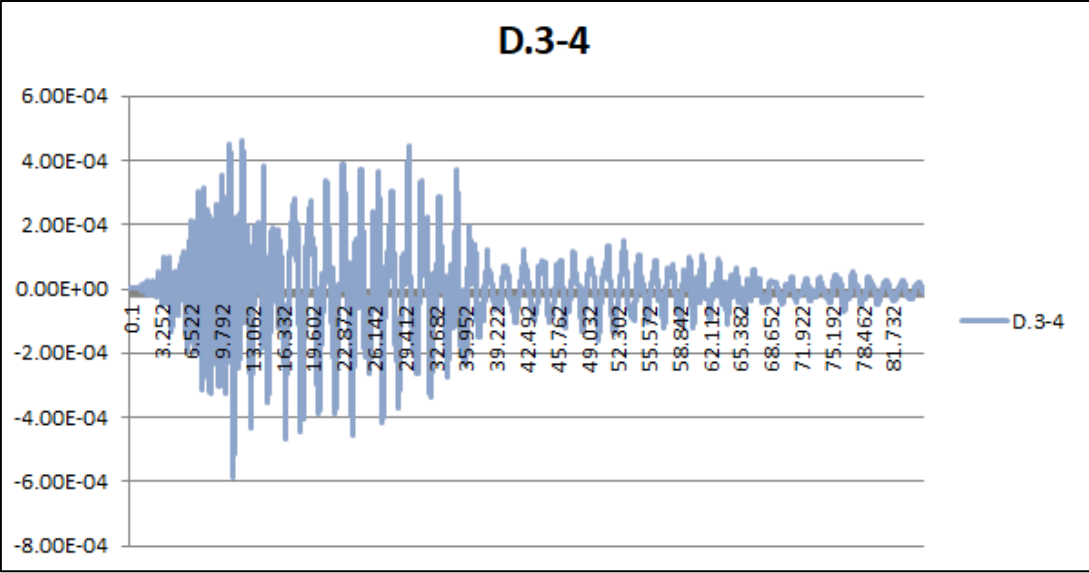
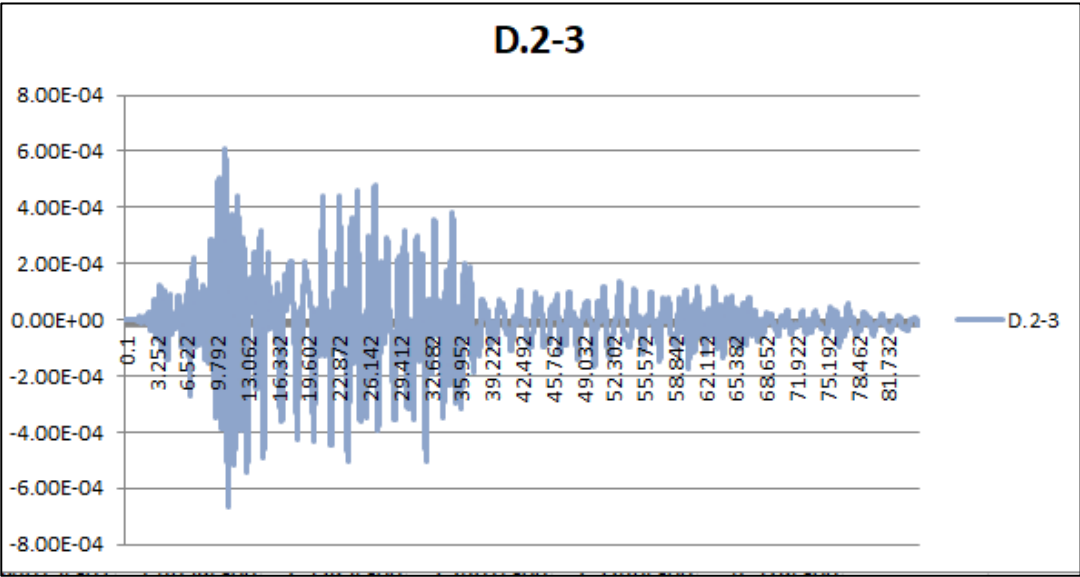


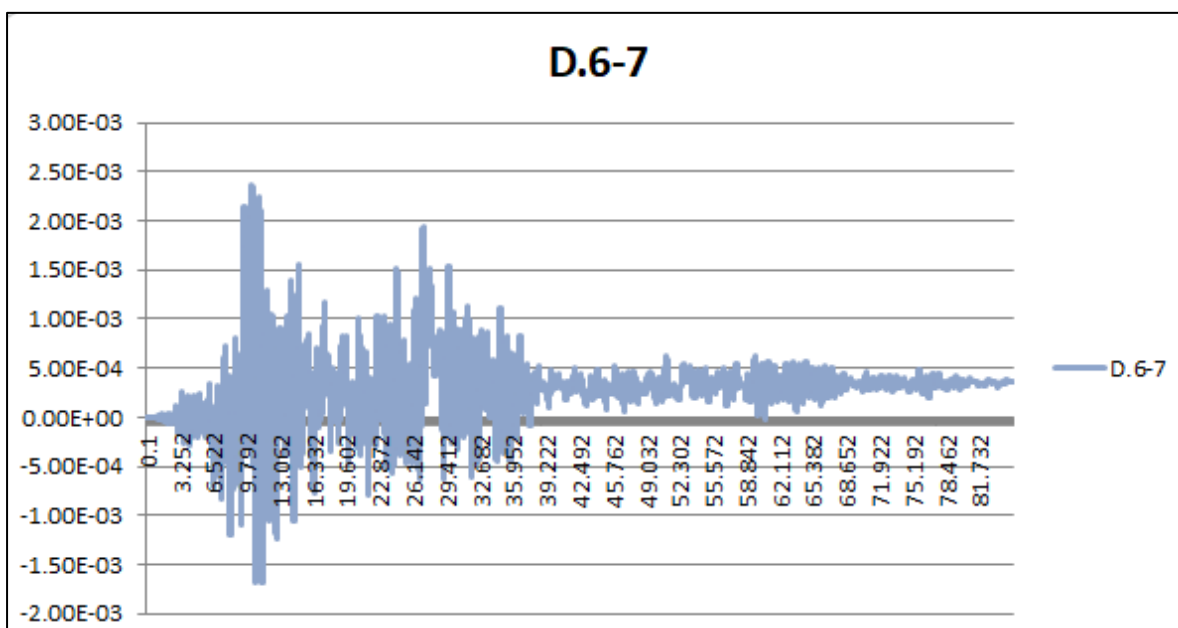
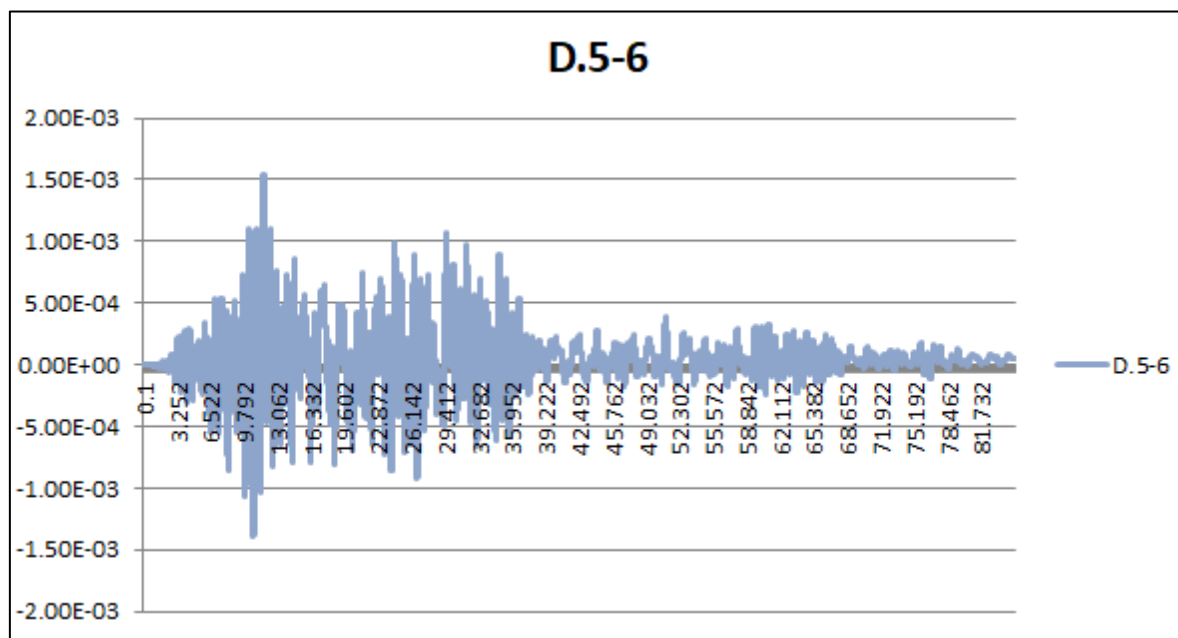


**4.1.2. Resultados inelásticos en Z**

**4.1.2.1. Deriva de Piso en dirección X**

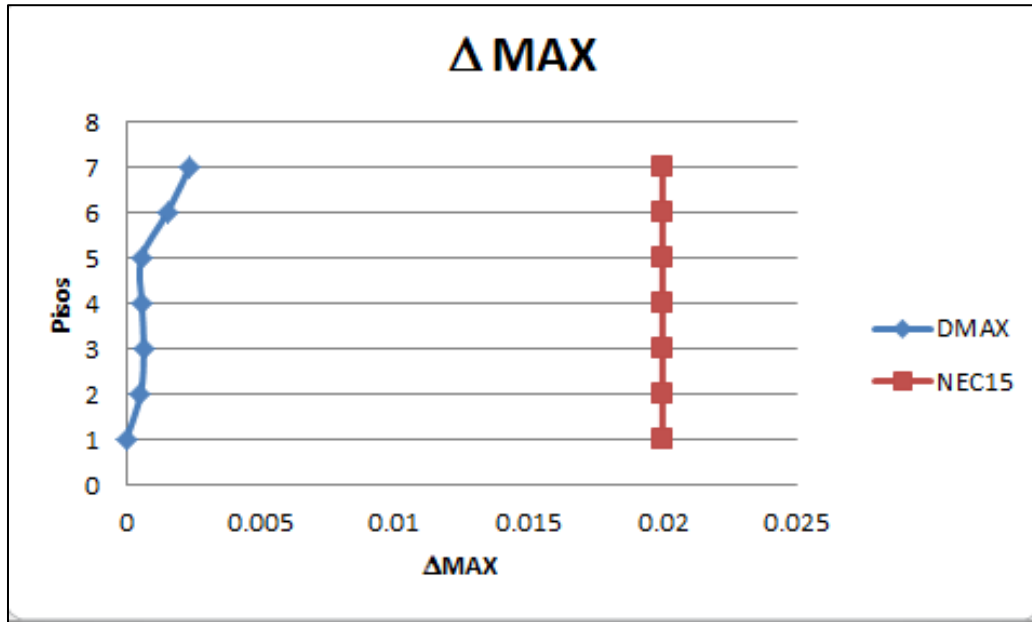




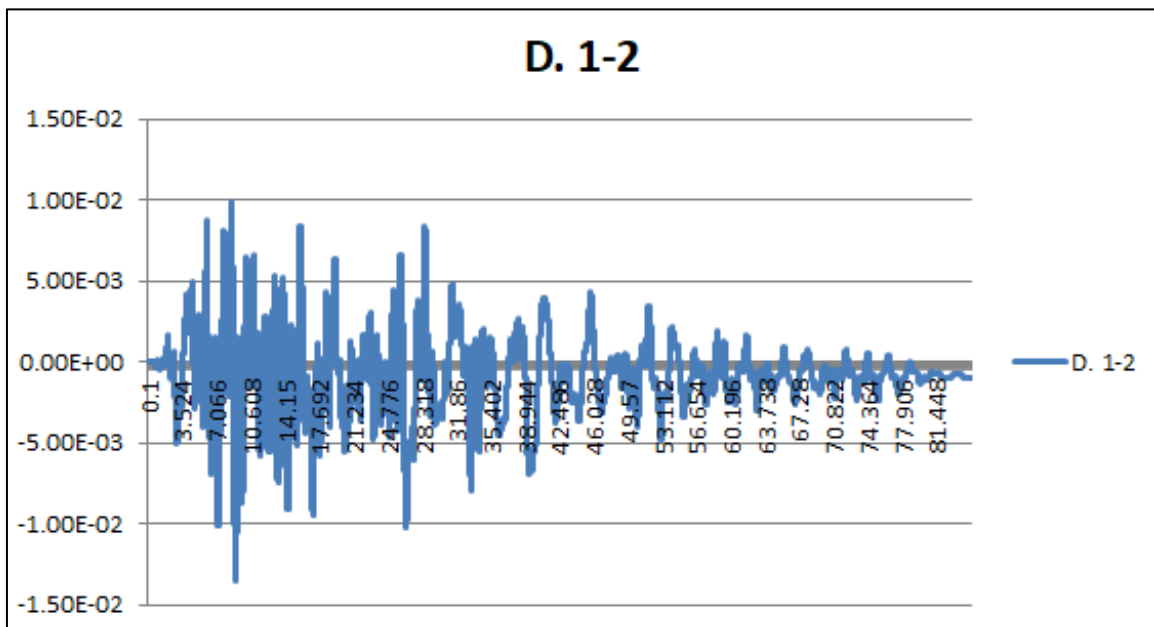


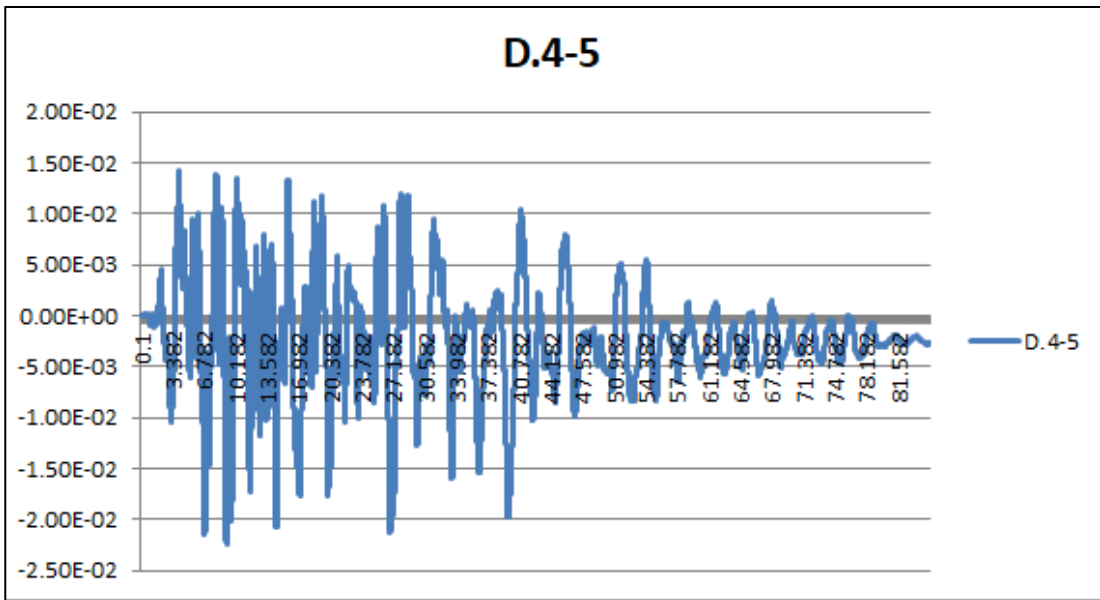
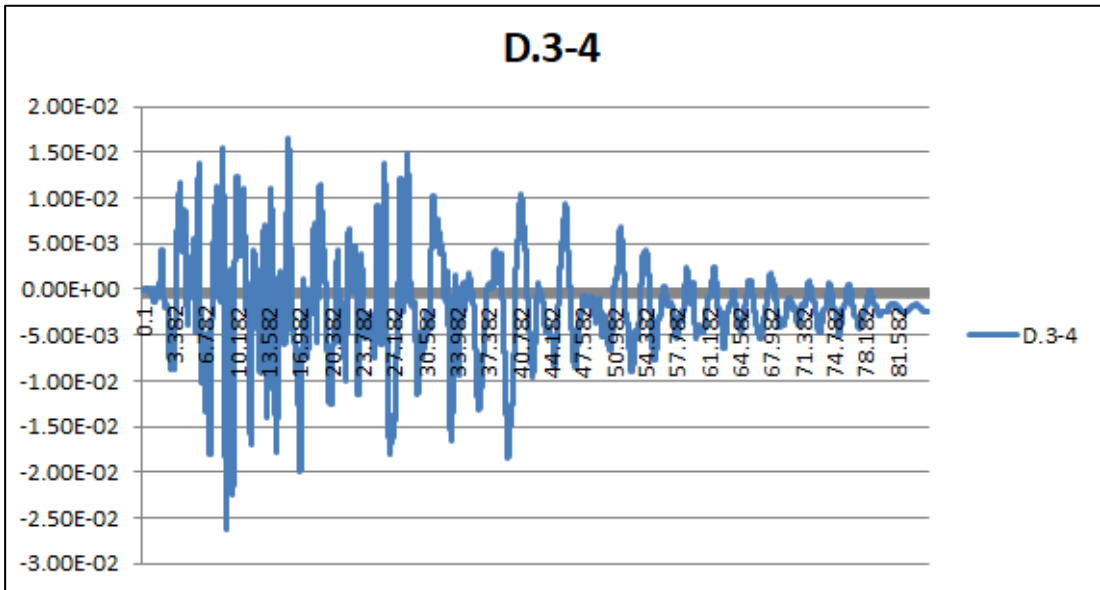
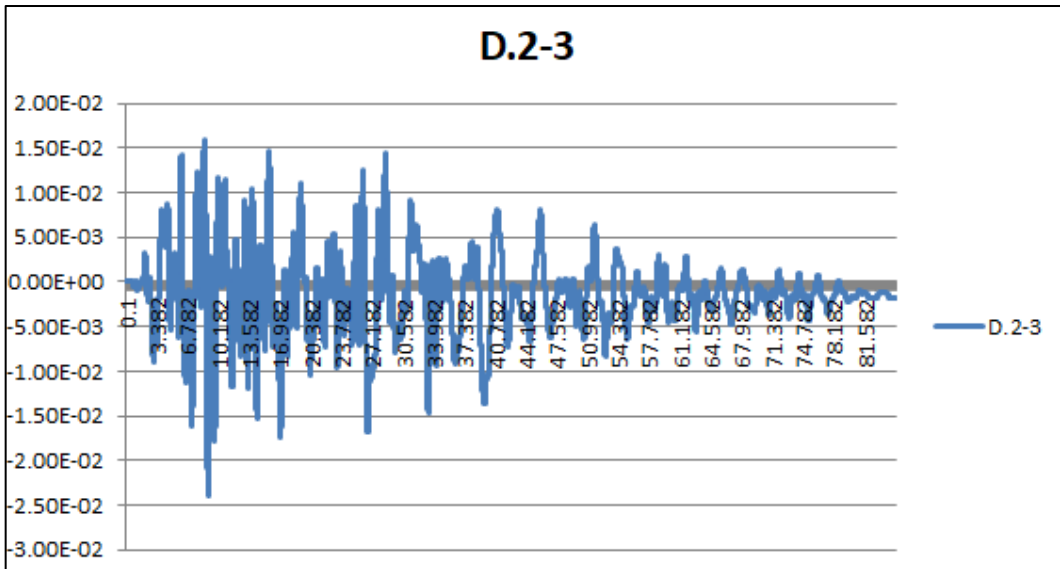
$\Delta\text{MAX1-2}$	0.00054316
$\Delta\text{MAX2-3}$	0.00066526
$\Delta\text{MAX3-4}$	0.00058586
$\Delta\text{MAX4-5}$	0.00056939
$\Delta\text{MAX5-6}$	0.00154482
$\Delta\text{MAX6-7}$	0.00237149

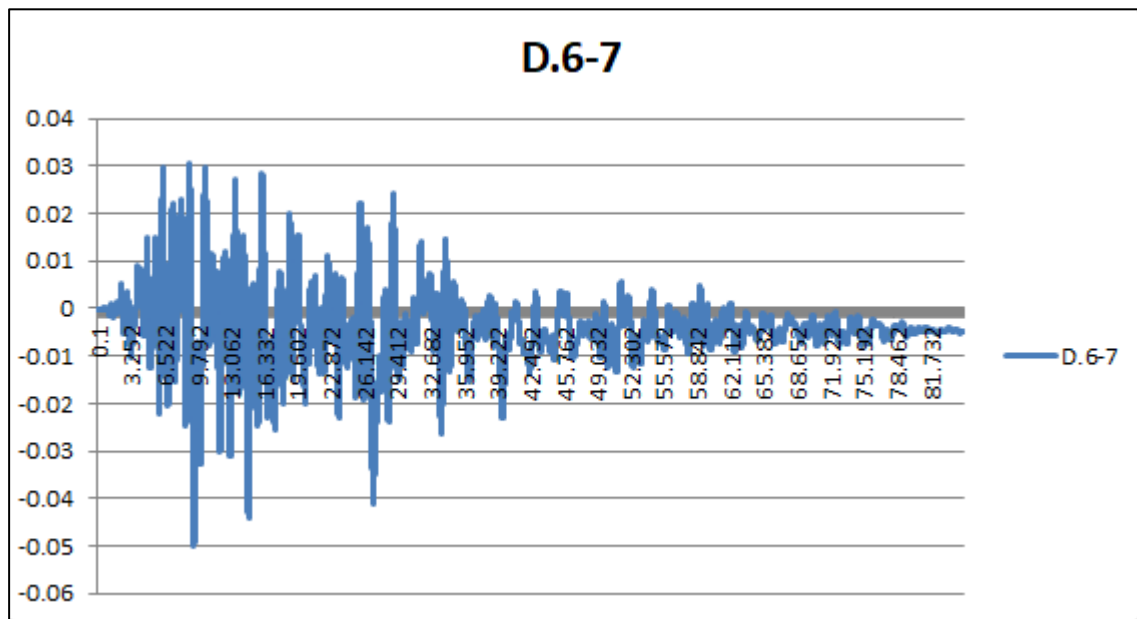
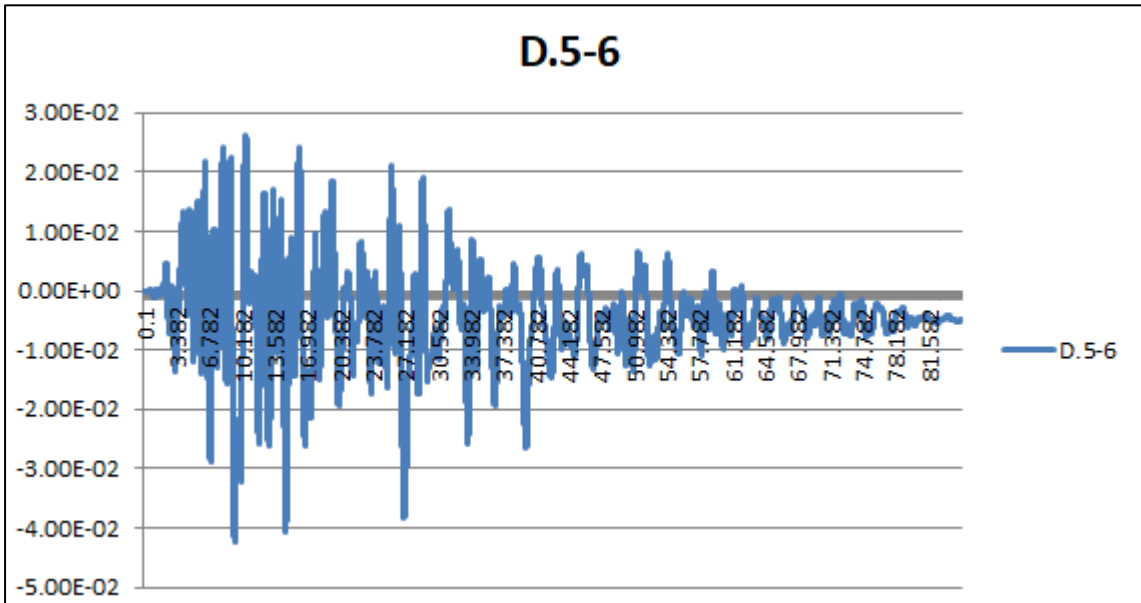
*Tabla 26 Deriva inelástica máxima en dirección X*



**4.1.2.2. Deriva de Piso en Z**

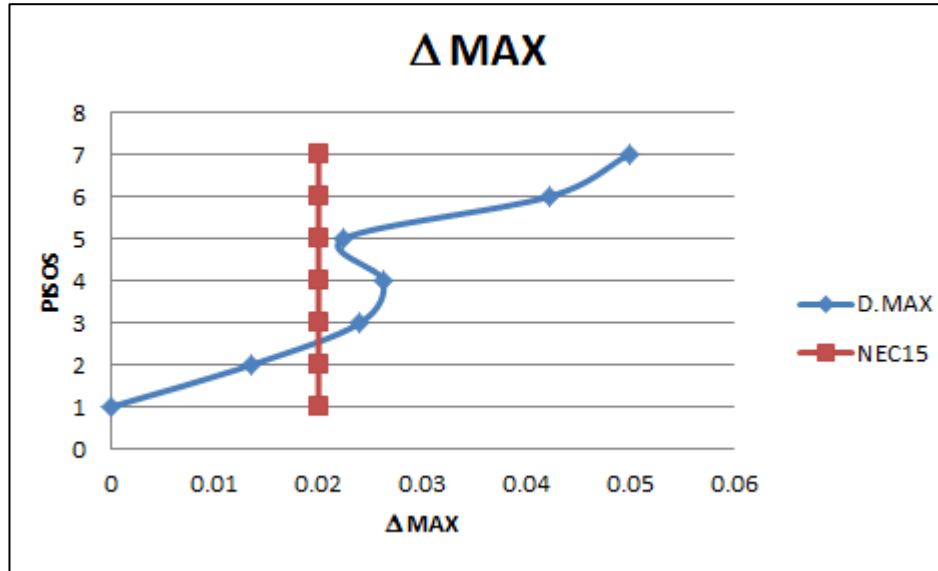




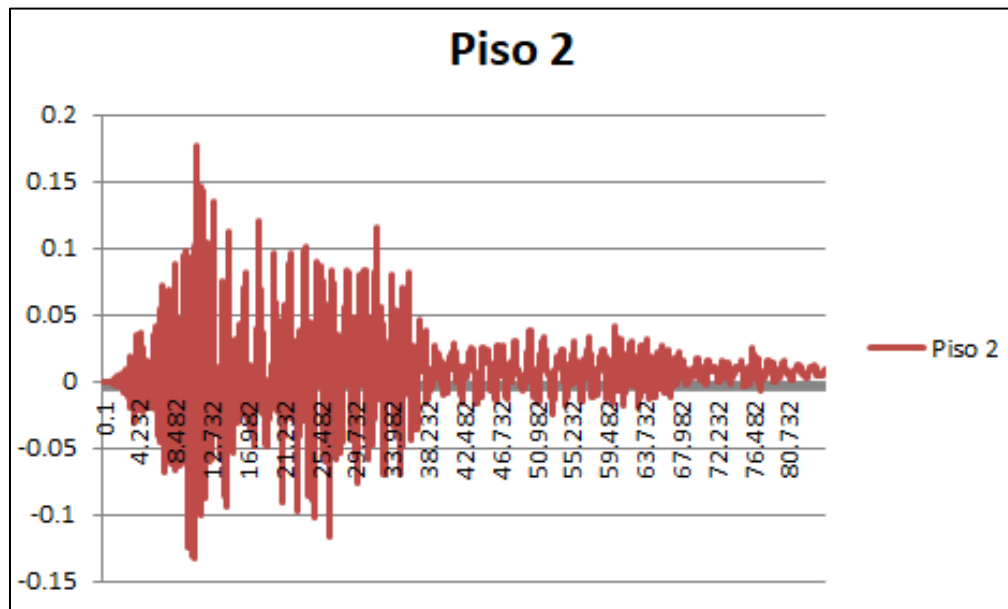


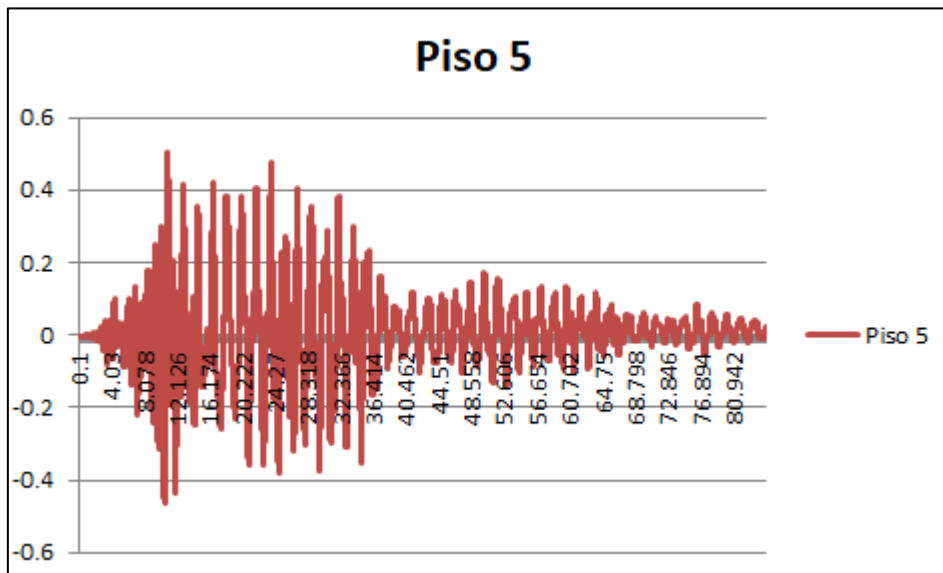
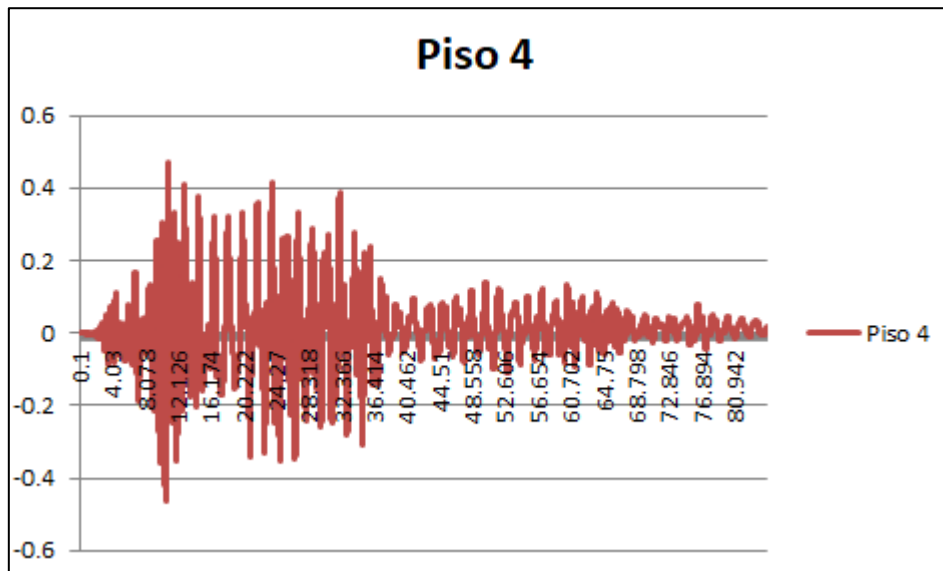
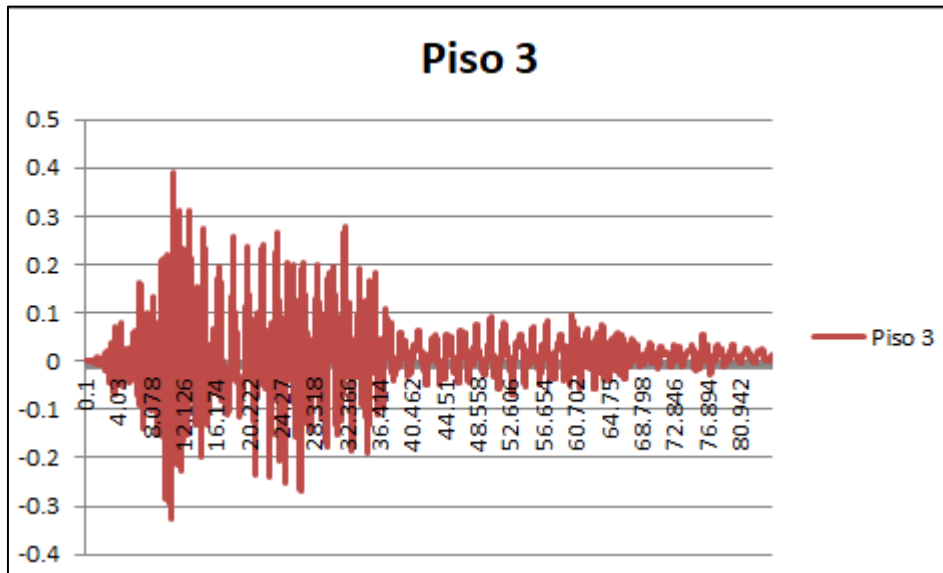
$\Delta\text{MAX1-2}$	0.0135514
$\Delta\text{MAX2-3}$	0.0240131
$\Delta\text{MAX3-4}$	0.0262288
$\Delta\text{MAX4-5}$	0.0224313
$\Delta\text{MAX5-6}$	0.0422744
$\Delta\text{MAX6-7}$	0.0498774

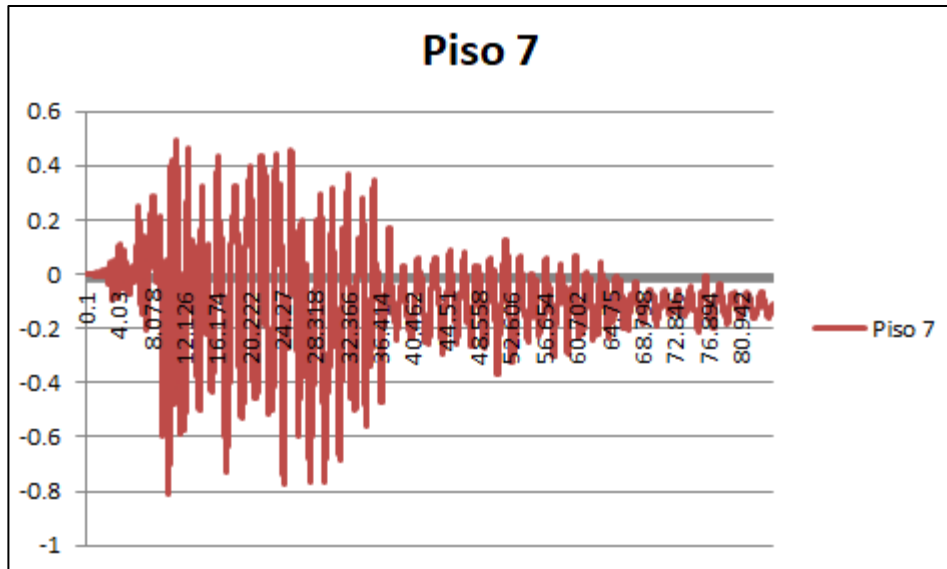
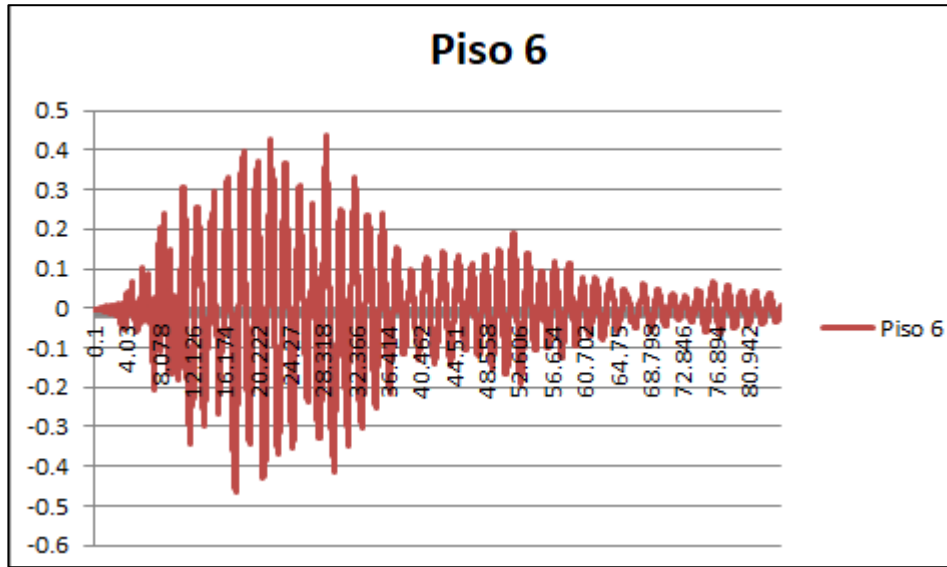
*Tabla 27 Deriva inelástica máxima en dirección Z*



**4.1.2.3. Deformaciones en X**

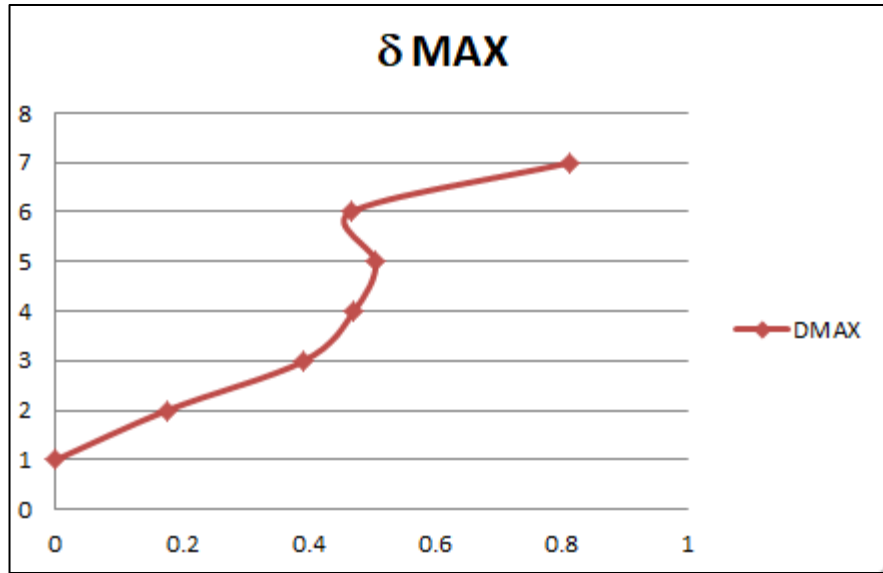




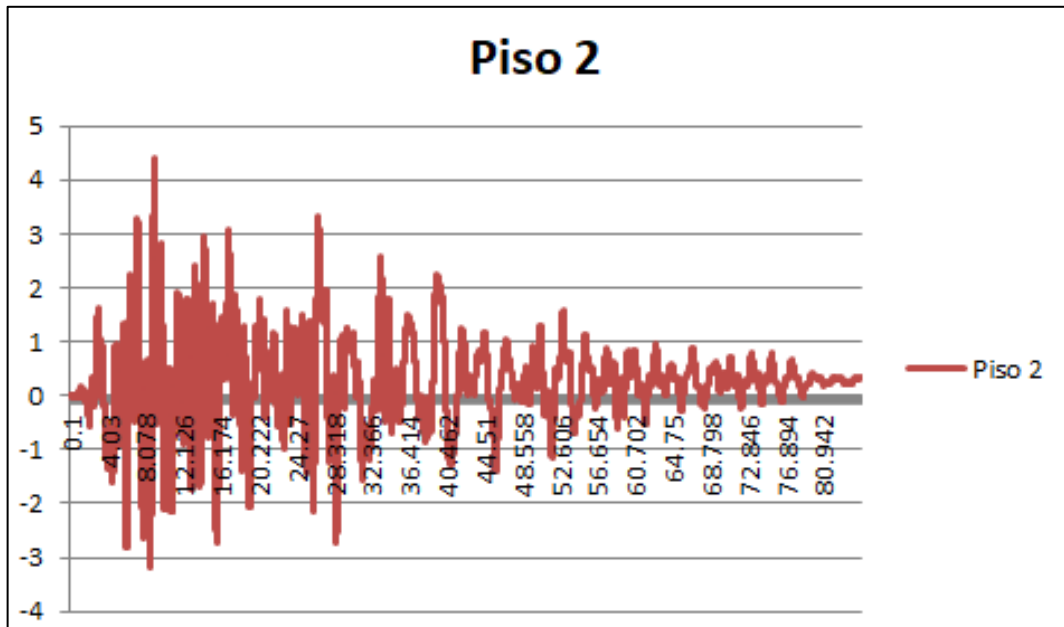


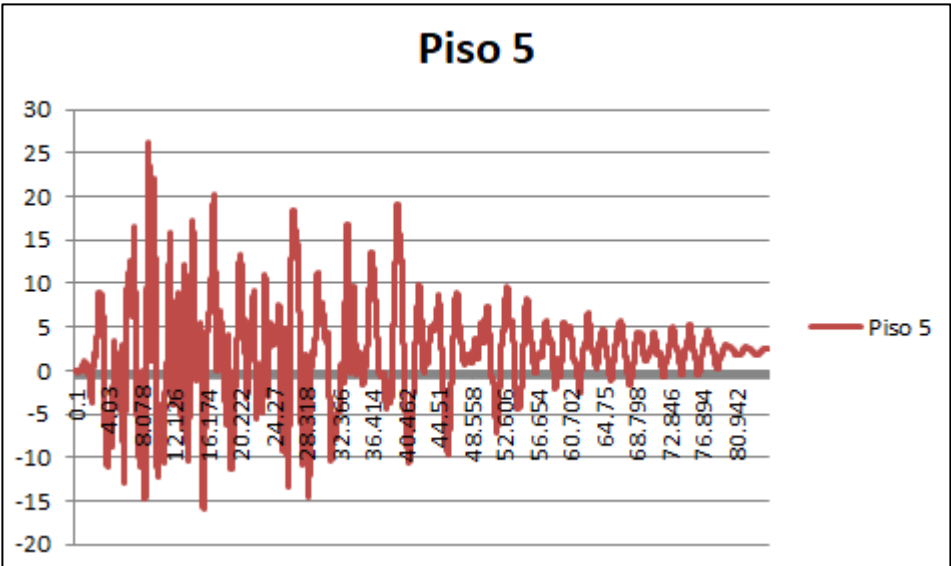
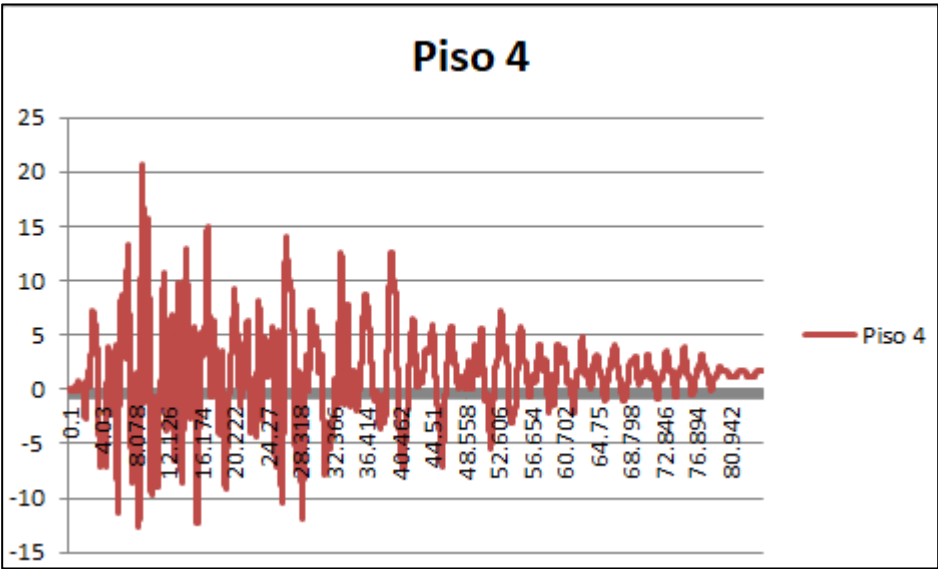
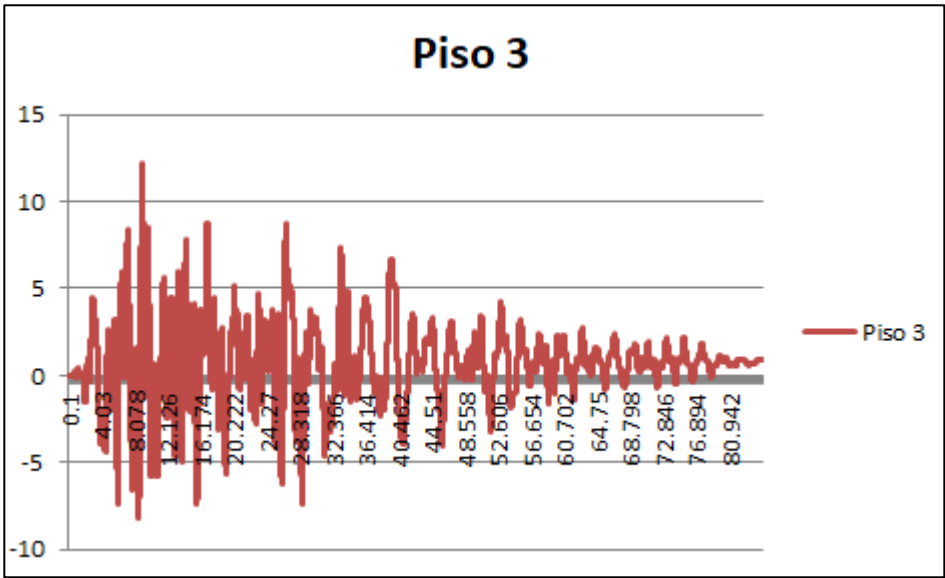
$\delta_{MAX1}$	0
$\delta_{MAX2}$	0.176528
$\delta_{MAX3}$	0.392583
$\delta_{MAX4}$	0.471628
$\delta_{MAX5}$	0.506019
$\delta_{MAX6}$	0.466266
$\delta_{MAX7}$	0.813193

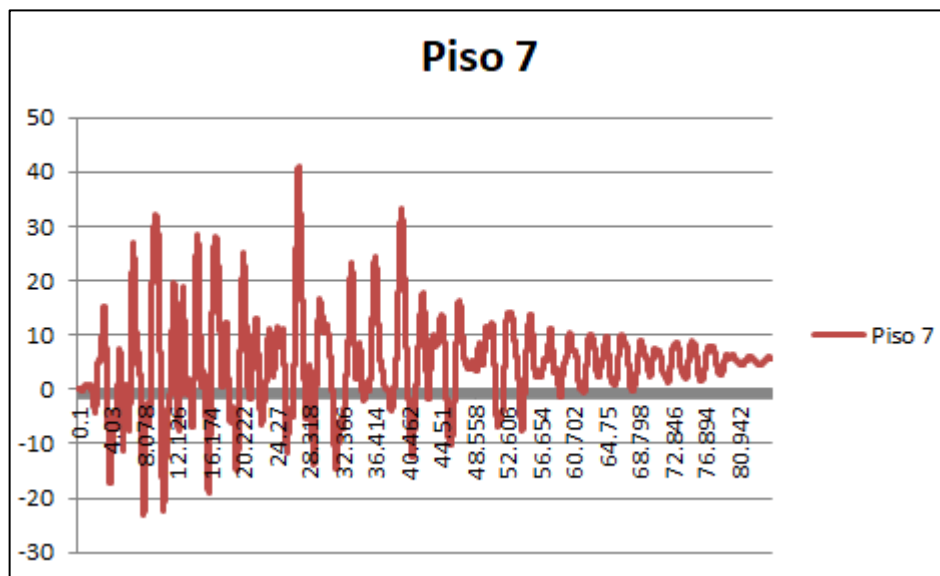
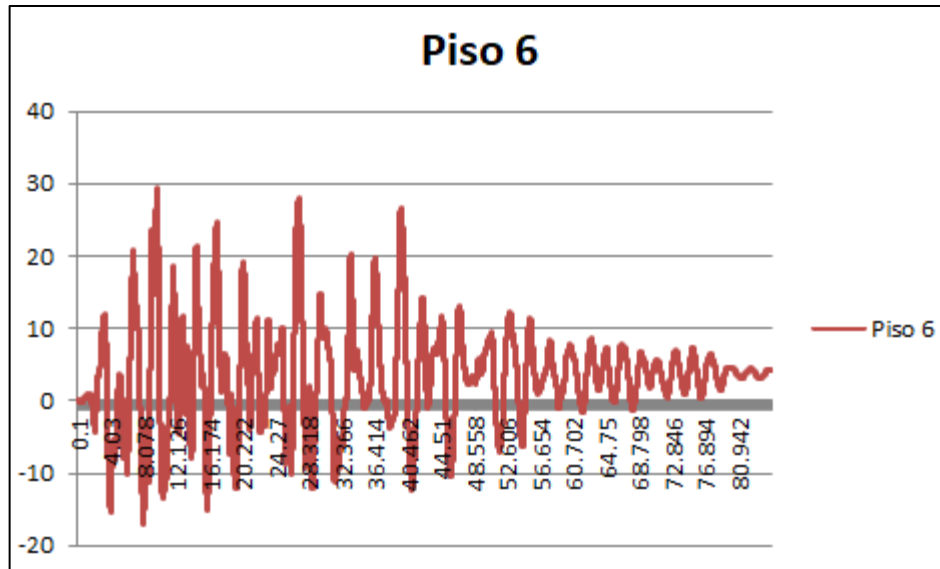
*Tabla 28 Deformación máxima en cada piso en dirección X*



**4.1.2.4. Deformaciones en Z**

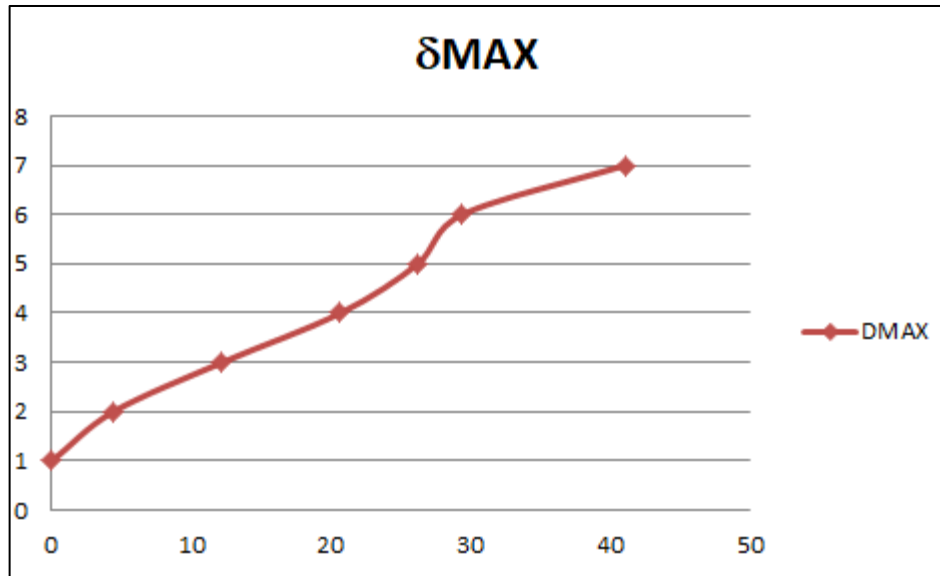






$\delta_{MAX1}$	0
$\delta_{MAX2}$	4.40421
$\delta_{MAX3}$	12.1974
$\delta_{MAX4}$	20.6604
$\delta_{MAX5}$	26.2209
$\delta_{MAX6}$	29.4115
$\delta_{MAX7}$	41.0902

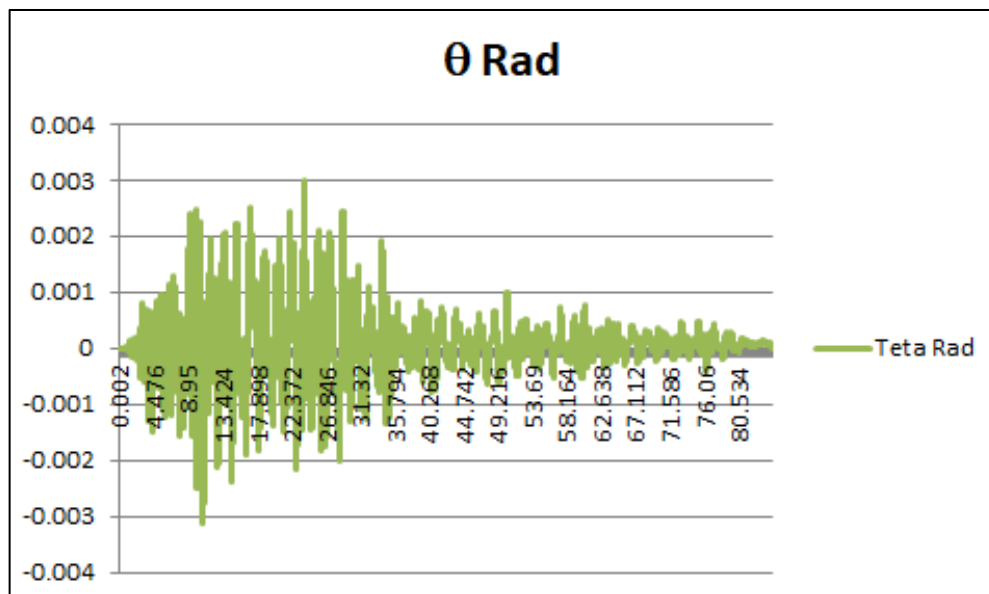
*Tabla 29* Deformación máxima en cada piso en dirección Z

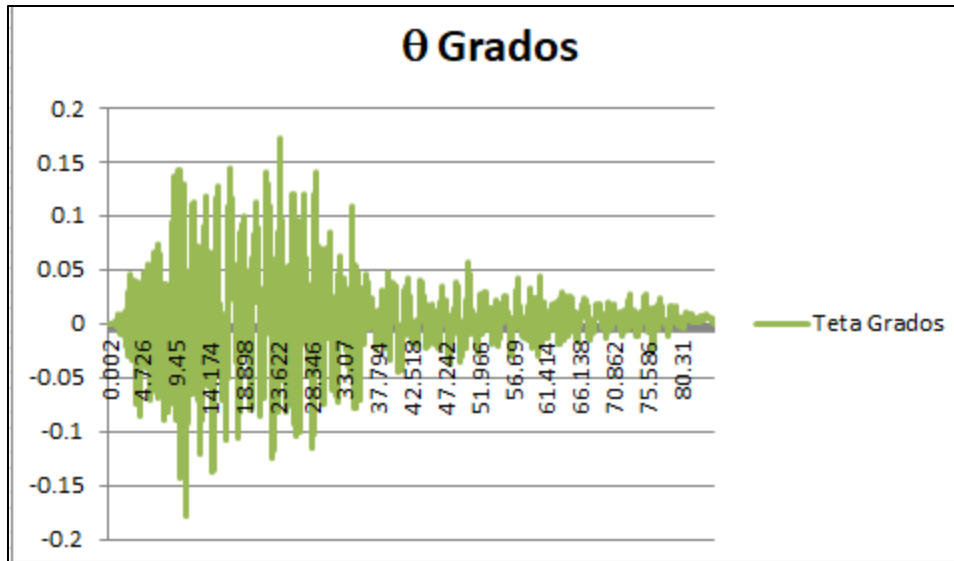


#### 4.1.2.5.Torsión en Piso 2

$\theta$ Rad Max	0.00310759
$\theta$ Grados Max	0.17805169

Tabla 30 Ángulo de torsión máxima en el piso 2

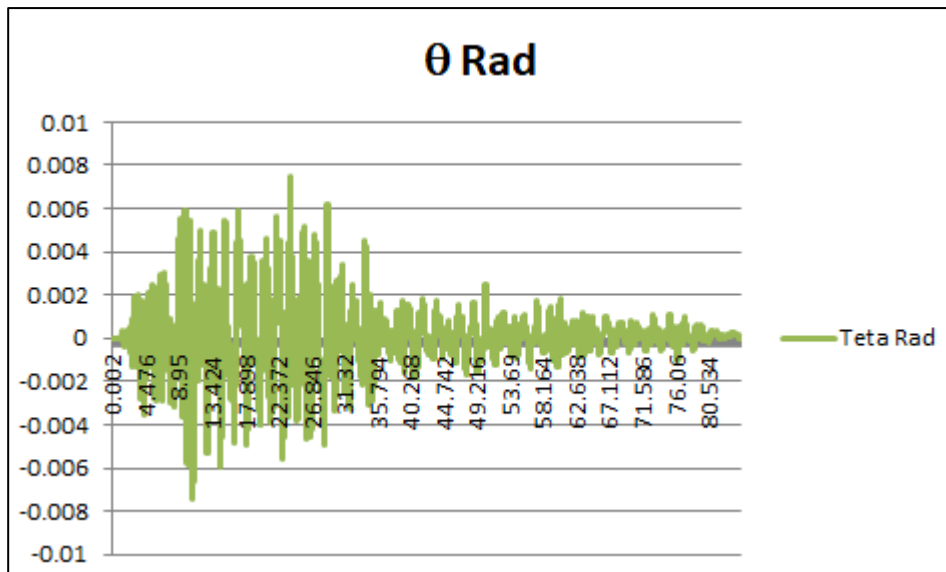


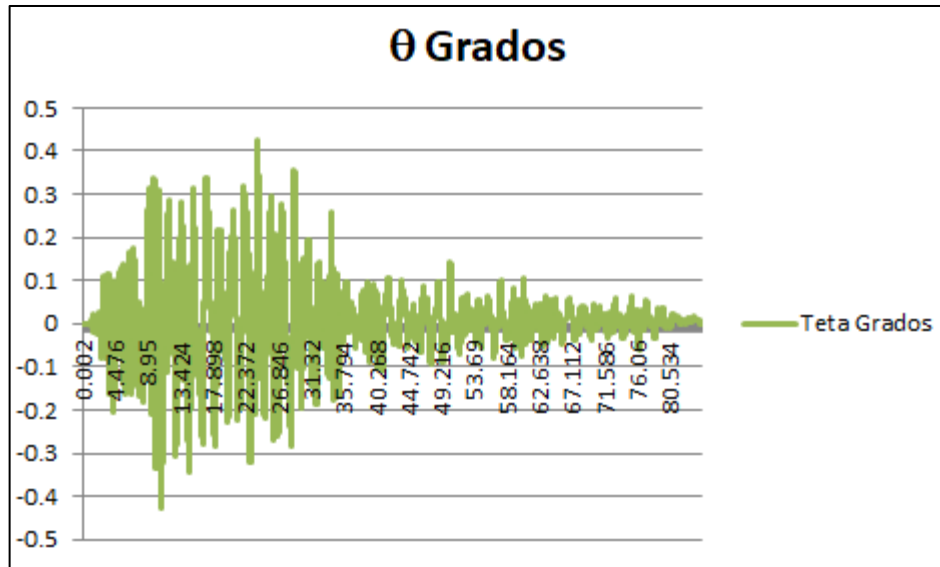


**4.1.2.6. Torsión en Piso 3**

$\theta$ Rad Max	0.00744711
$\theta$ Grados Max	0.42668771

*Tabla 31* Ángulo de torsión máxima en el piso 3

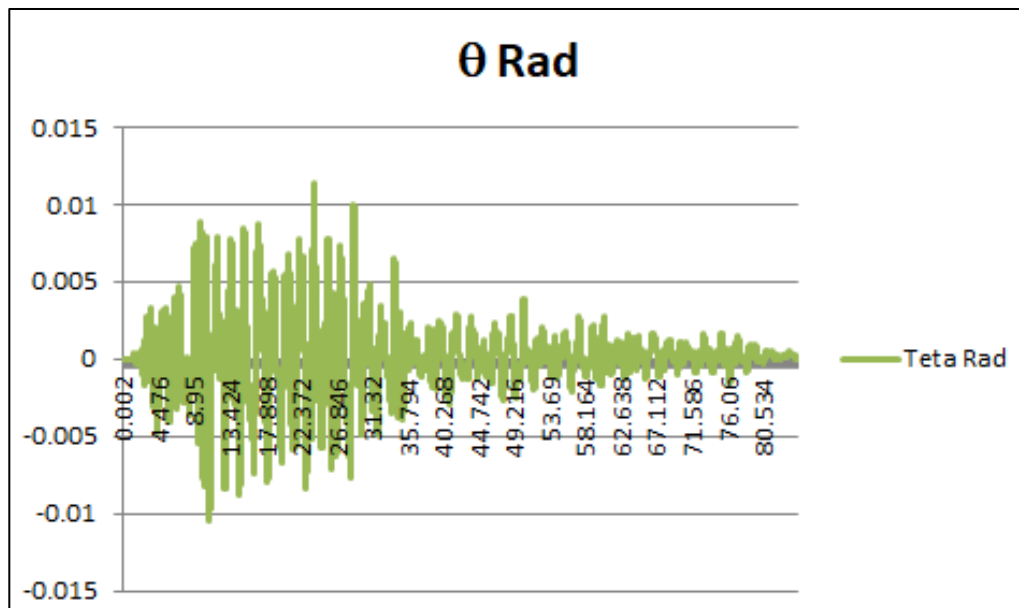


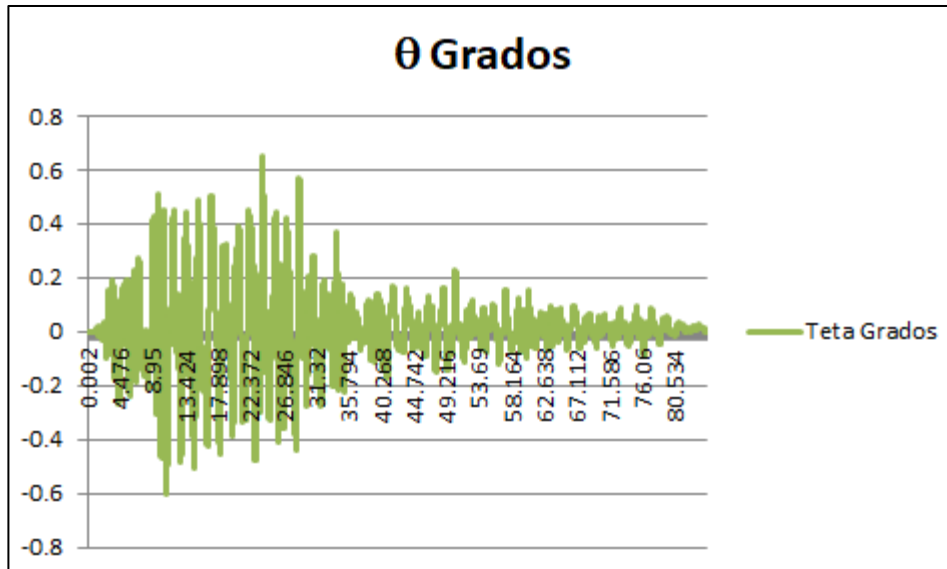


**4.1.2.7. Torsión en Piso 4**

θ Rad Max	0.01133101
θ Grados Max	0.64921927

*Tabla 32* Ángulo de torsión máxima en el piso 4

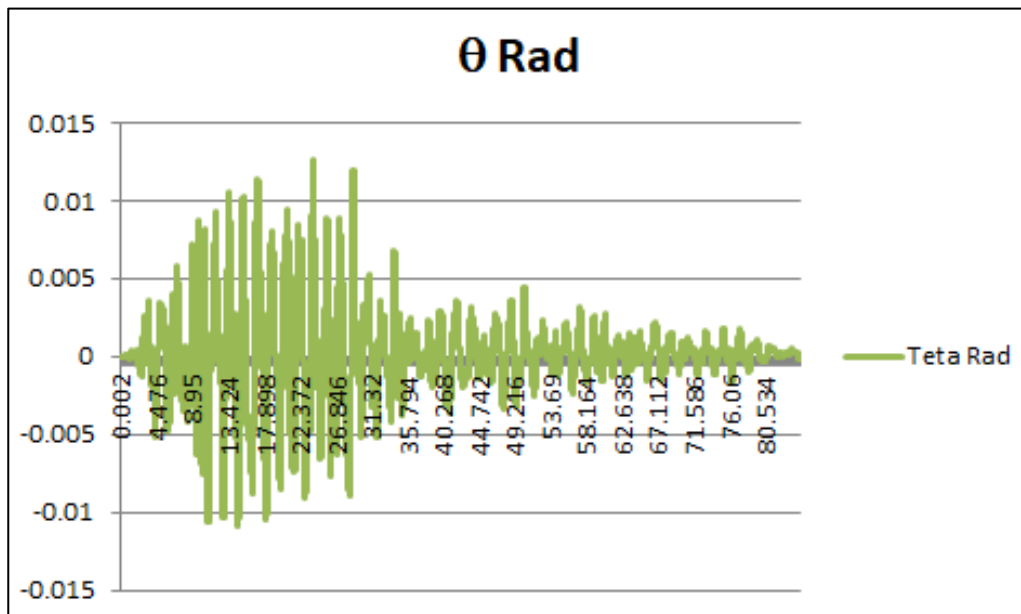


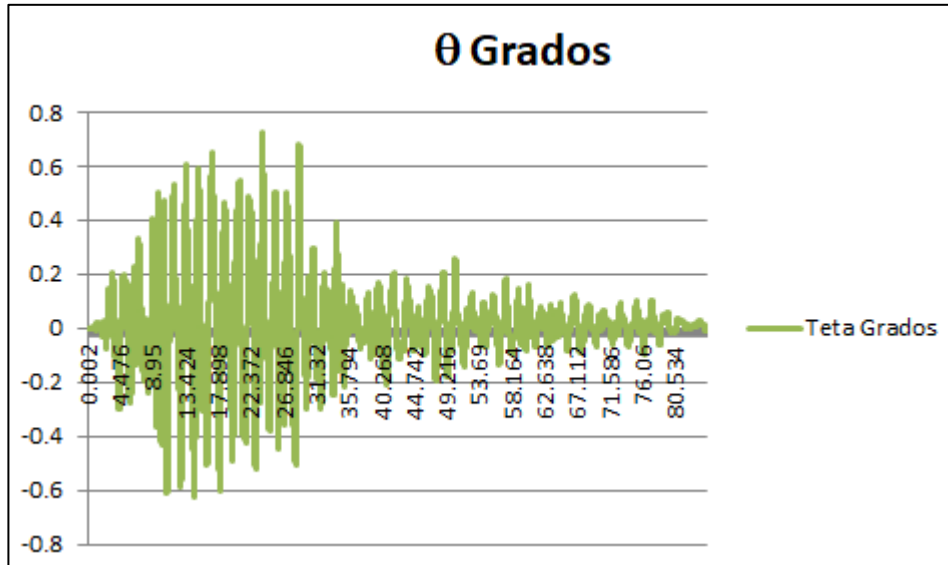


#### 4.1.2.8. Torsión en Piso 5

$\theta$ Rad Max	0.01267292
$\theta$ Grados Max	0.72610505

Tabla 33 Ángulo de torsión máxima en el piso 5

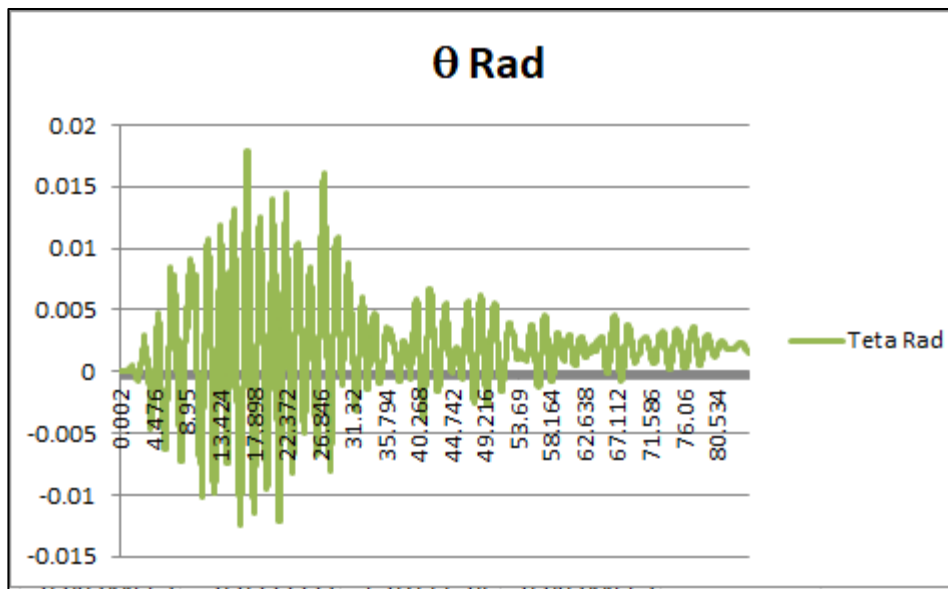


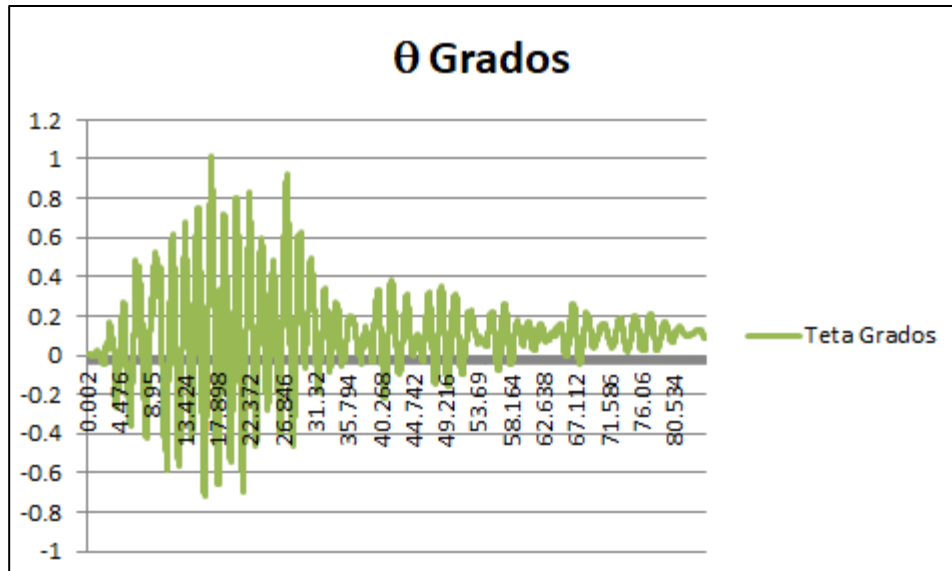


**4.1.2.9. Torsión en Piso 6**

θ Rad Max	0.01780497
θ Grados Max	1.02014982

*Tabla 34* Ángulo de torsión máxima en el piso 6

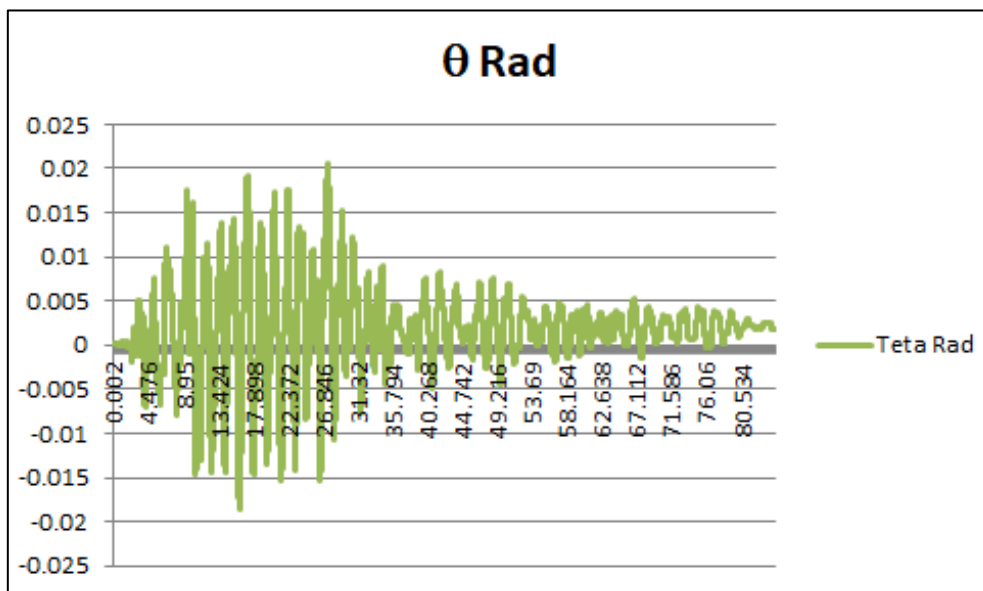


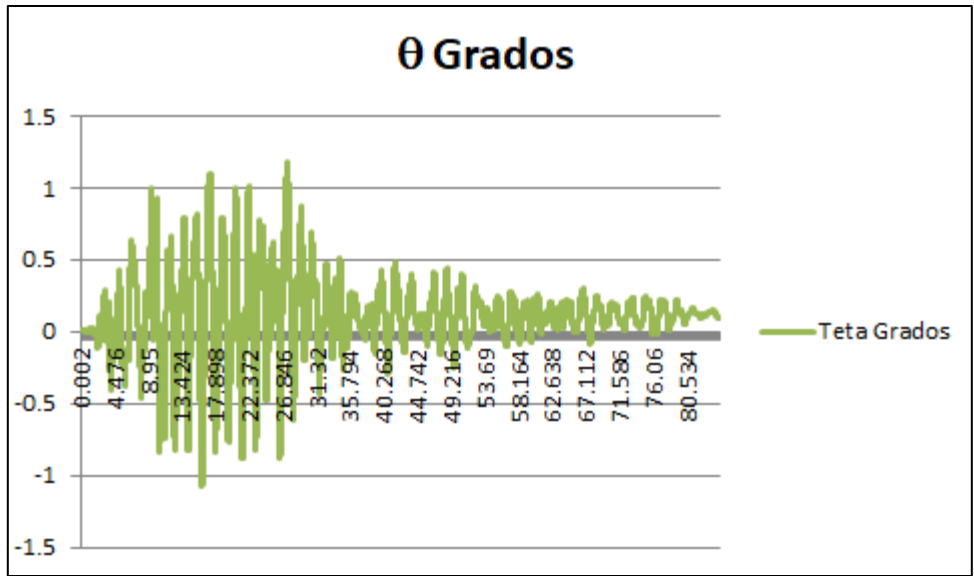


**4.1.2.10. Torsión en Piso 7**

$\theta$ Rad Max	0.02056849
$\theta$ Grados Max	1.17848748

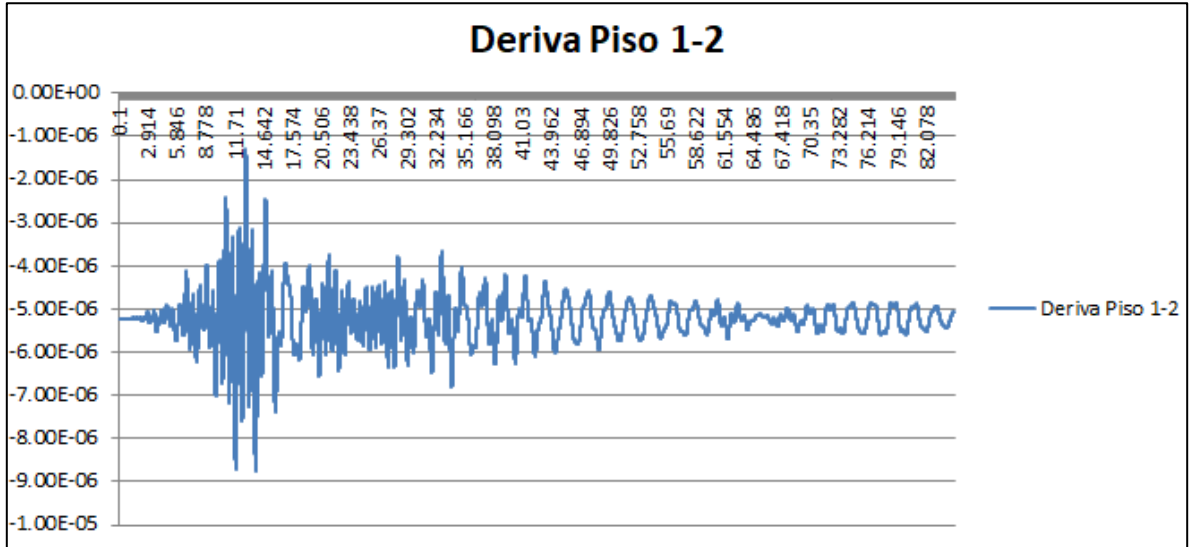
*Tabla 35 Ángulo de torsión máxima en el piso 7*

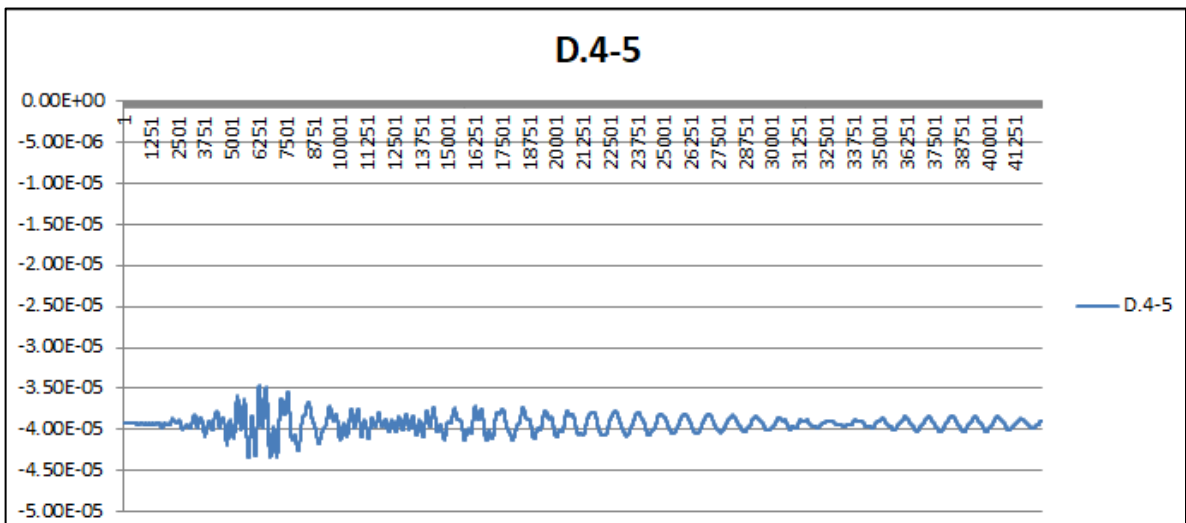
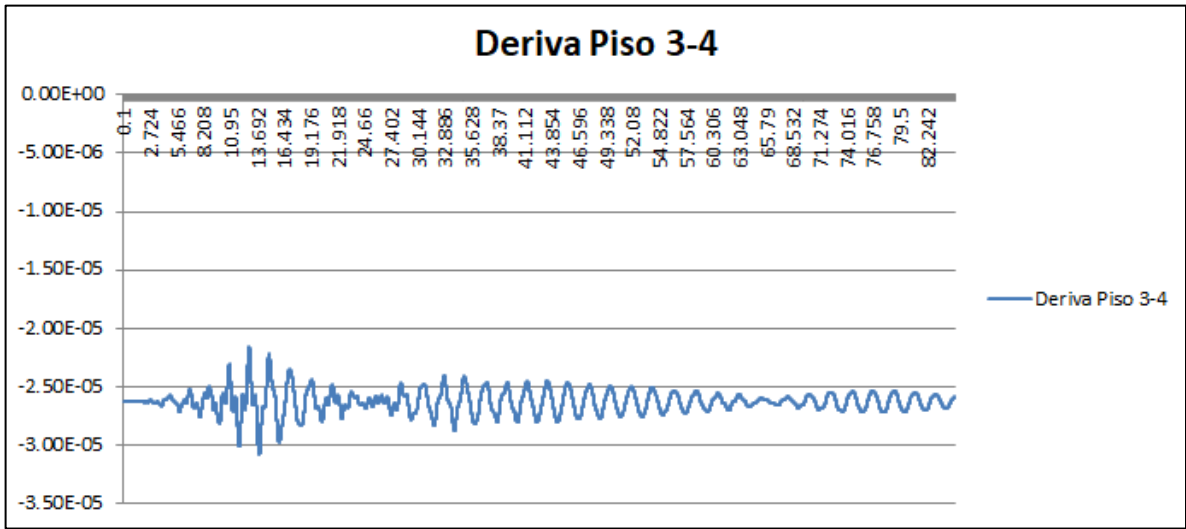
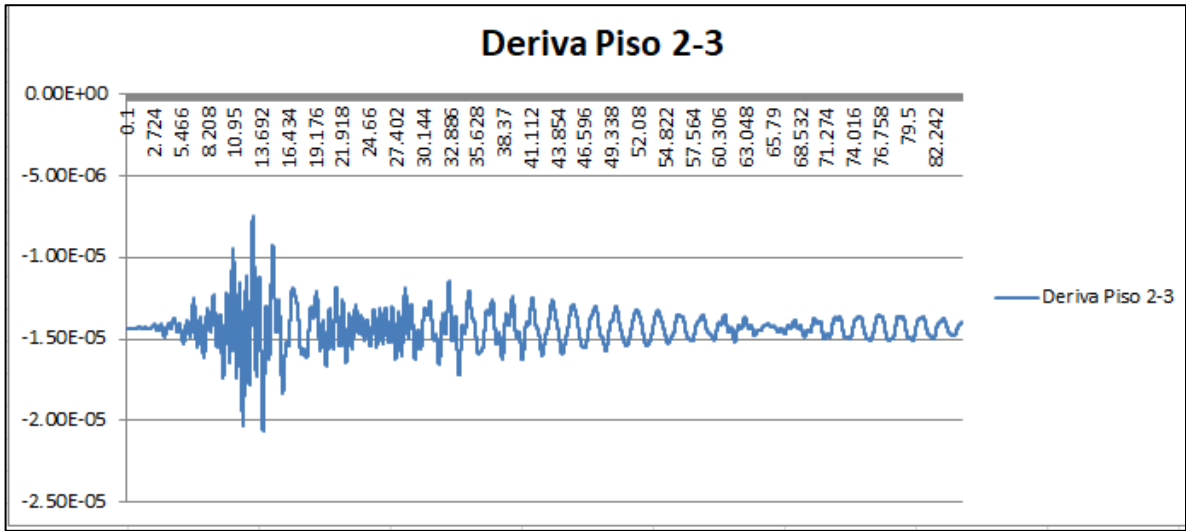


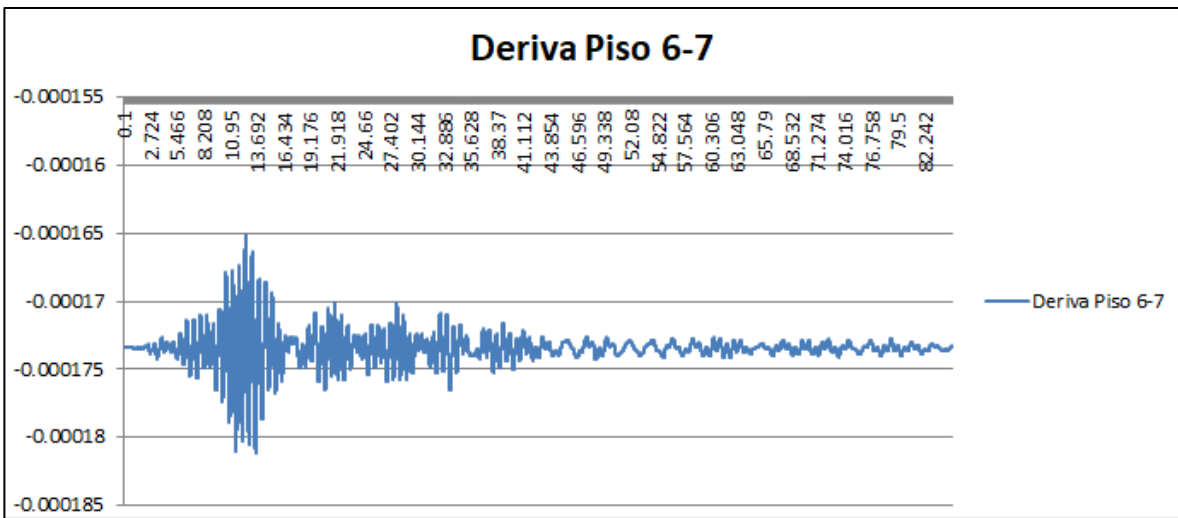
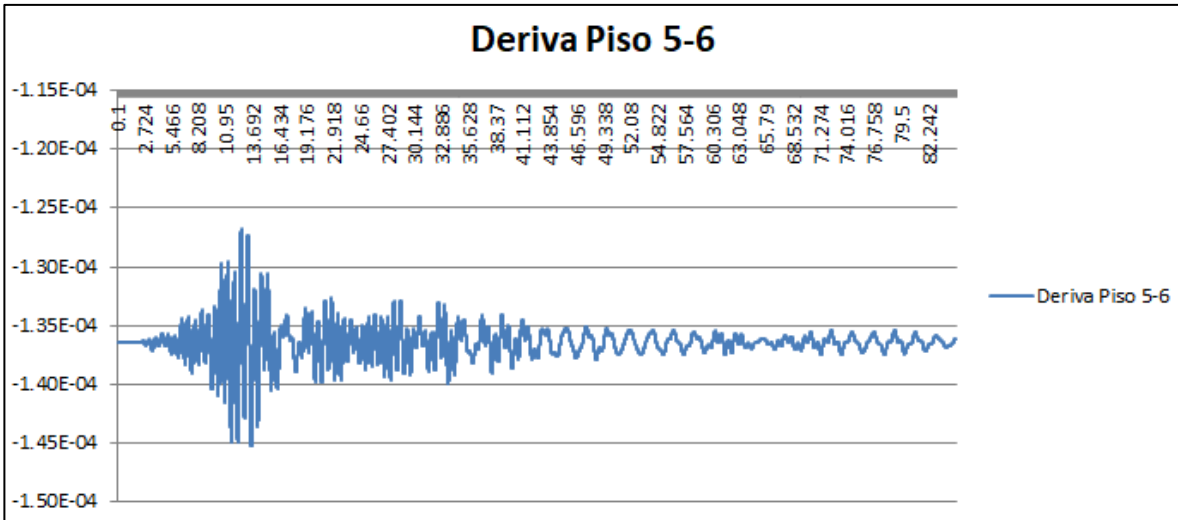


**4.1.3. Resultados elásticos con inercias agrietadas en X**

**4.1.3.1. Deriva de Piso en Z**

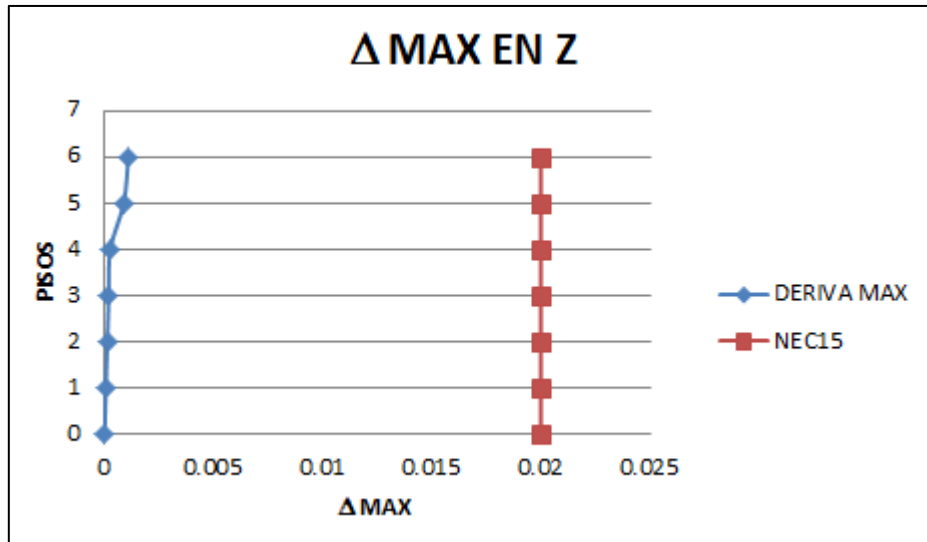




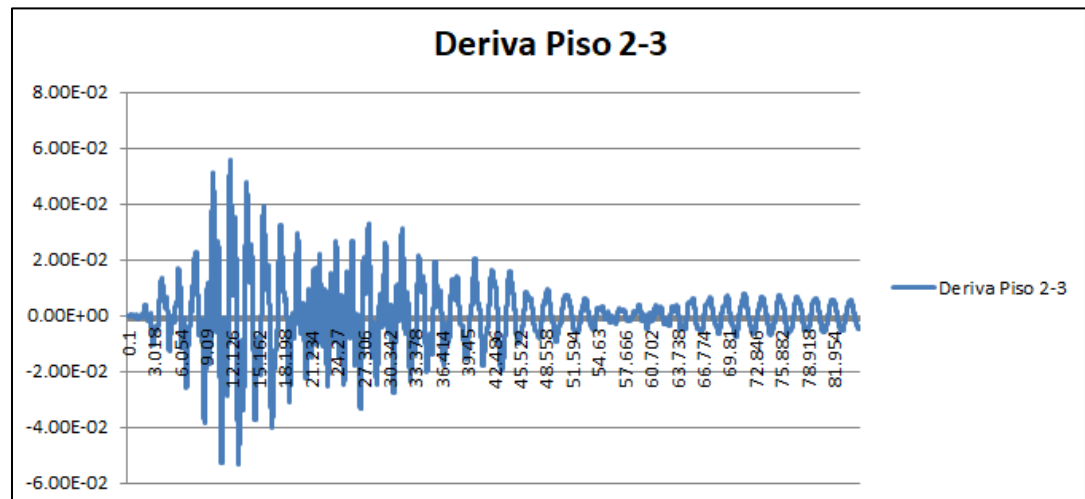
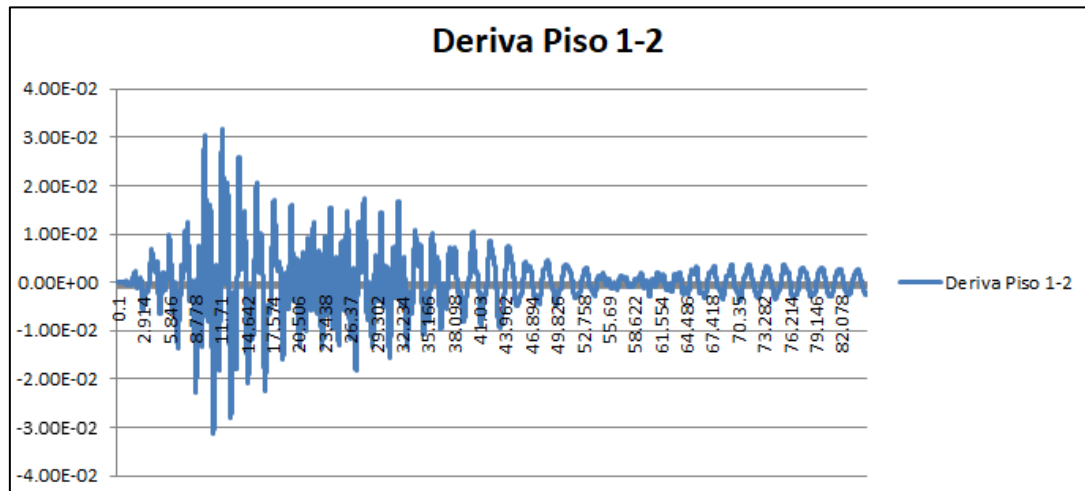


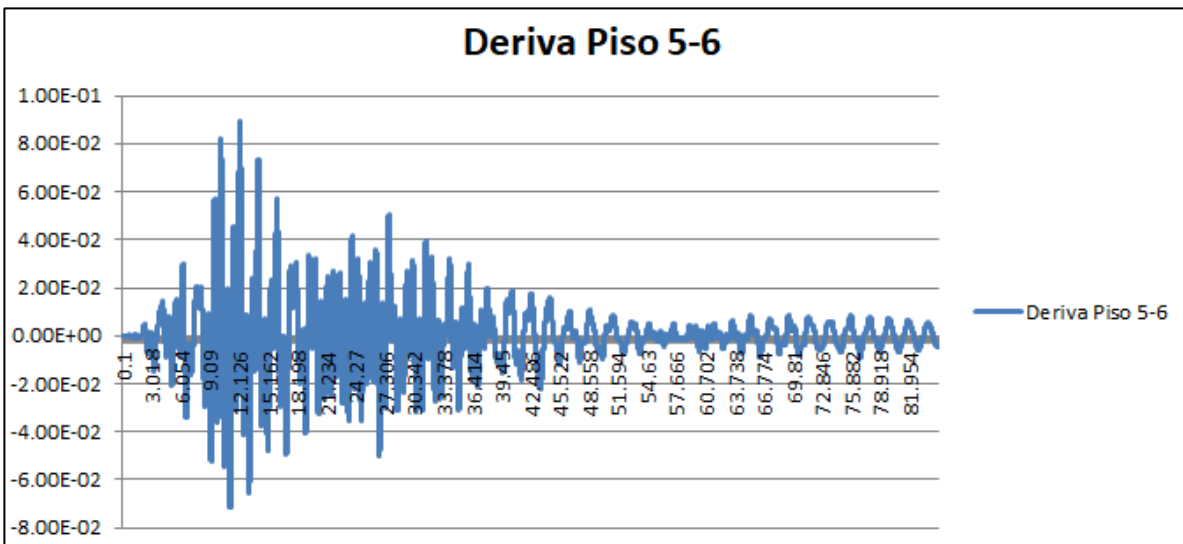
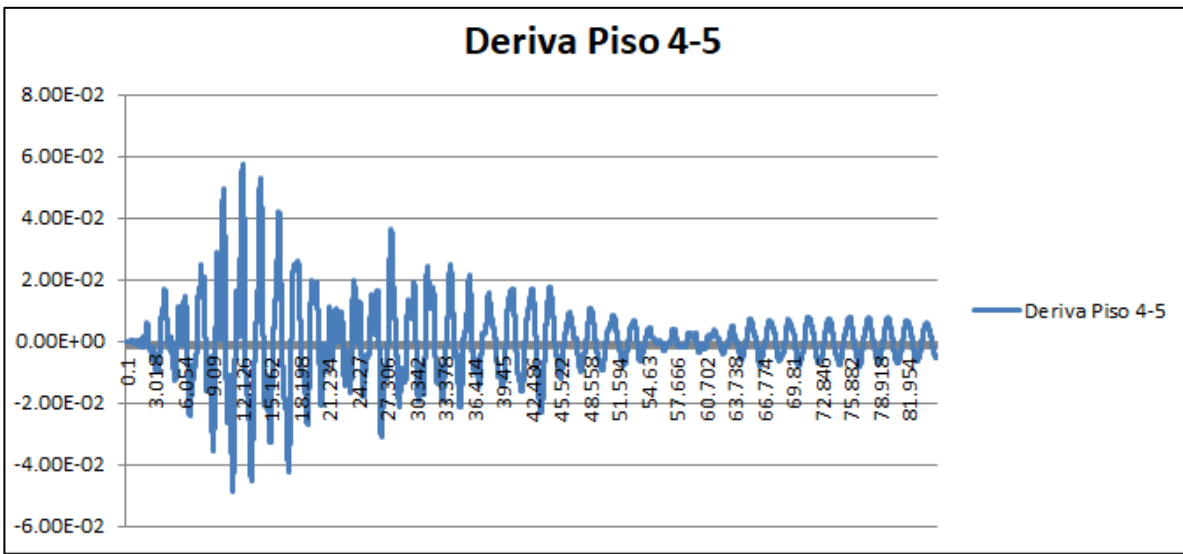
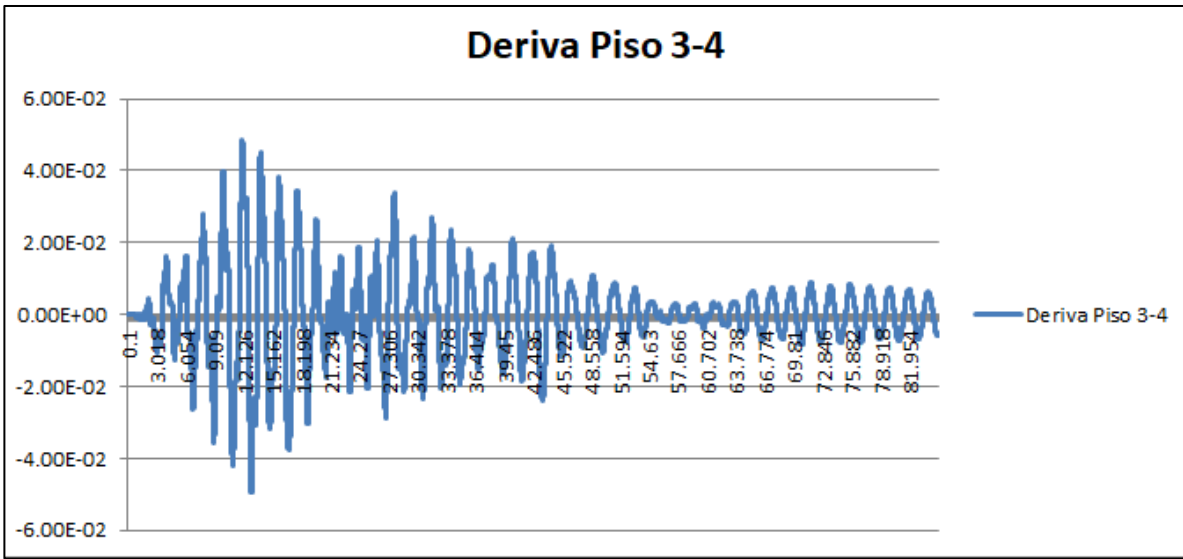
$\Delta MAX1-2$	0.000052617
$\Delta MAX2-3$	0.000123595
$\Delta MAX3-4$	0.000185116
$\Delta MAX4-5$	0.000260716
$\Delta MAX5-6$	0.00087156
$\Delta MAX6-7$	0.001086882

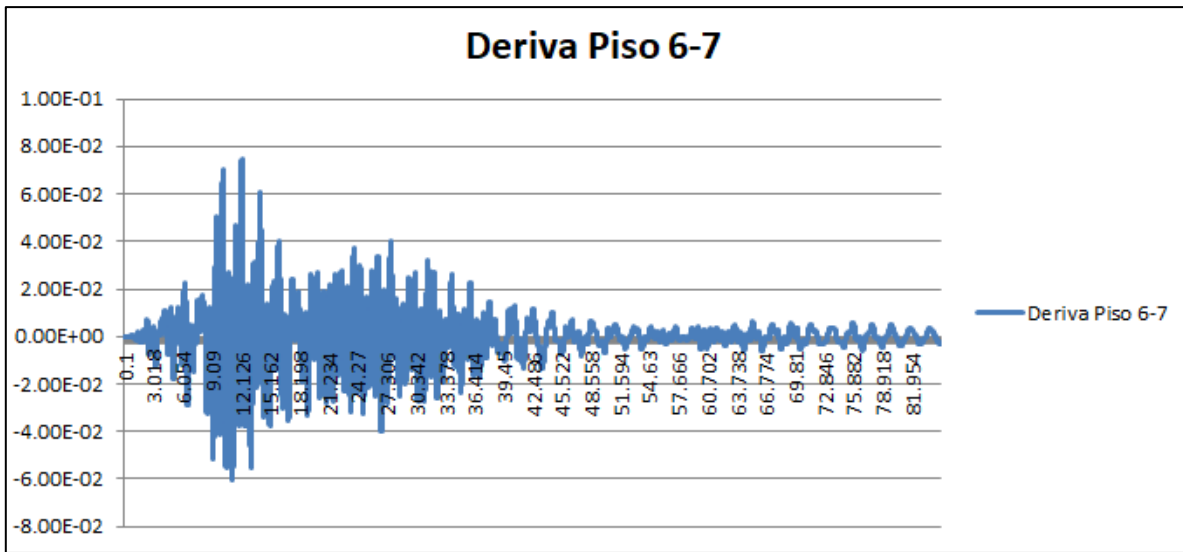
*Tabla 36 Deriva inelástica máxima en dirección Z*



#### 4.1.3.2. Deriva de Piso en X

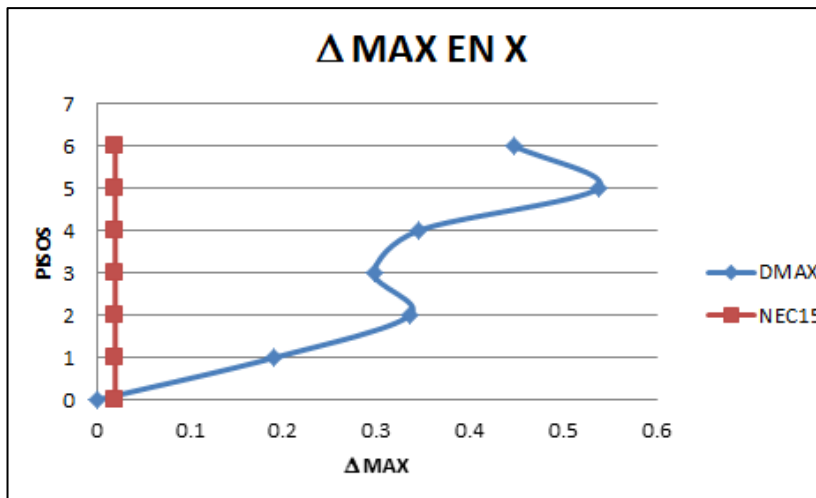




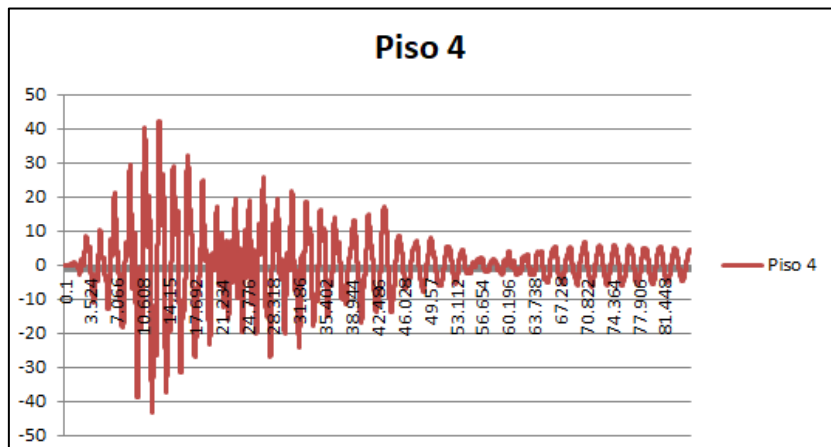
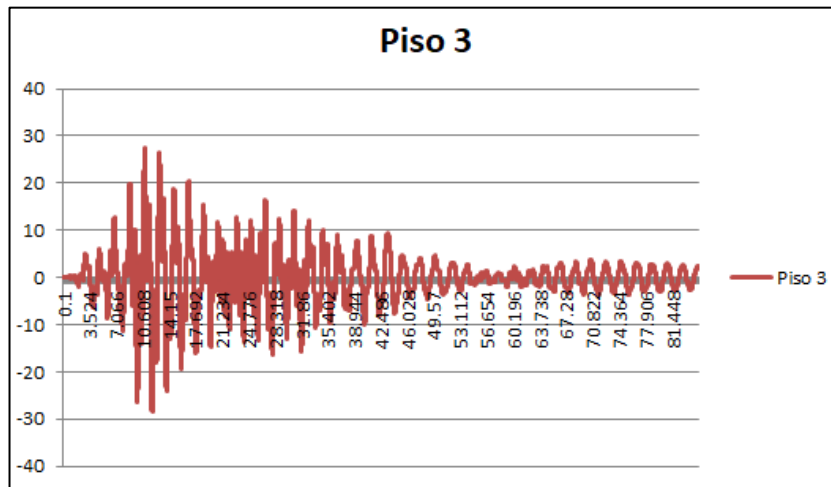
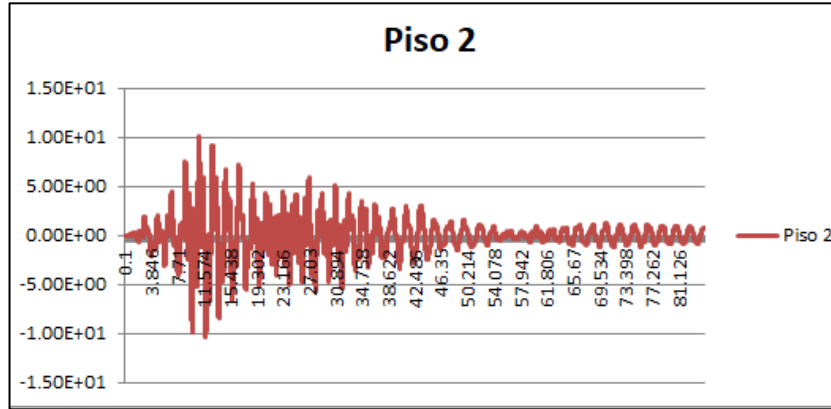


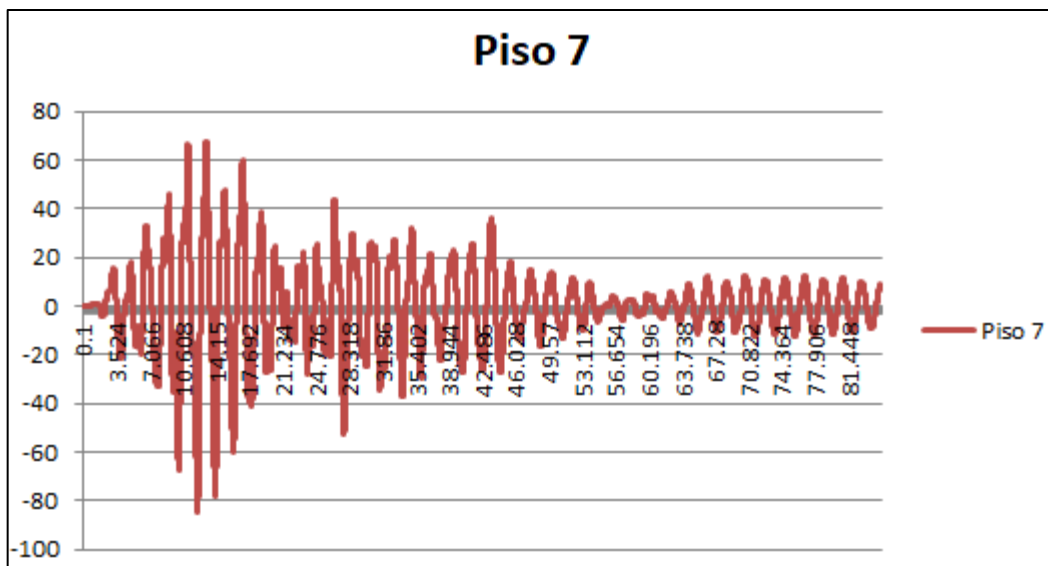
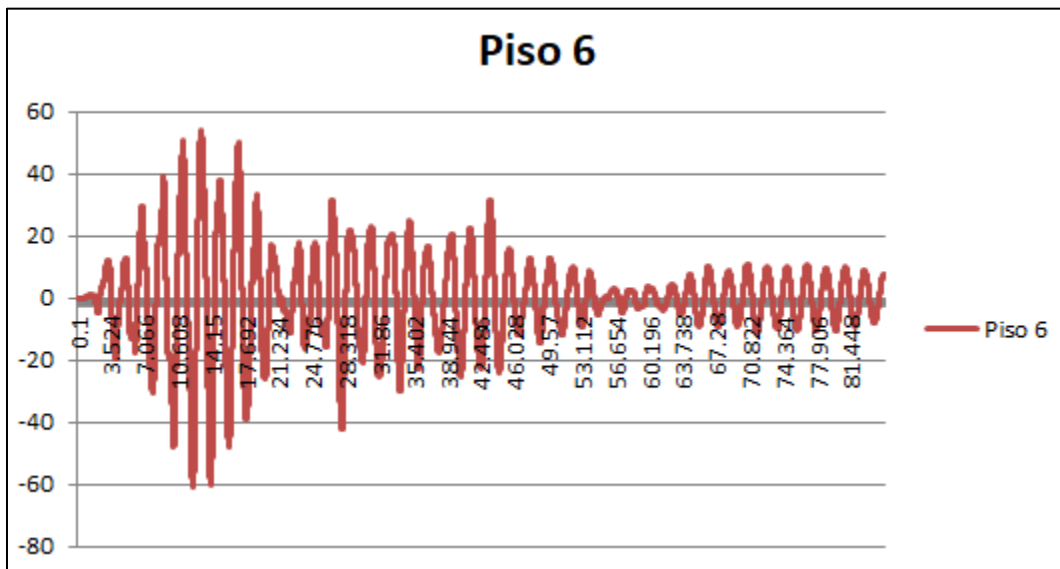
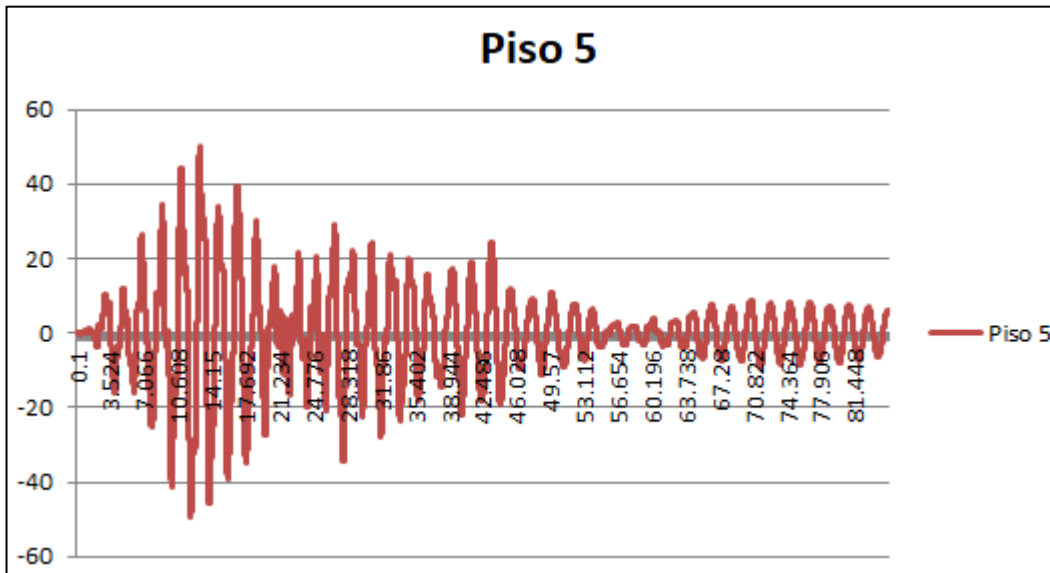
$\Delta\text{MAX1-2}$	0.1905912
$\Delta\text{MAX2-3}$	0.335532
$\Delta\text{MAX3-4}$	0.2971332
$\Delta\text{MAX4-5}$	0.3453276
$\Delta\text{MAX5-6}$	0.5375238
$\Delta\text{MAX6-7}$	0.4466862

Tabla 37 Deriva inelástica máxima en dirección X



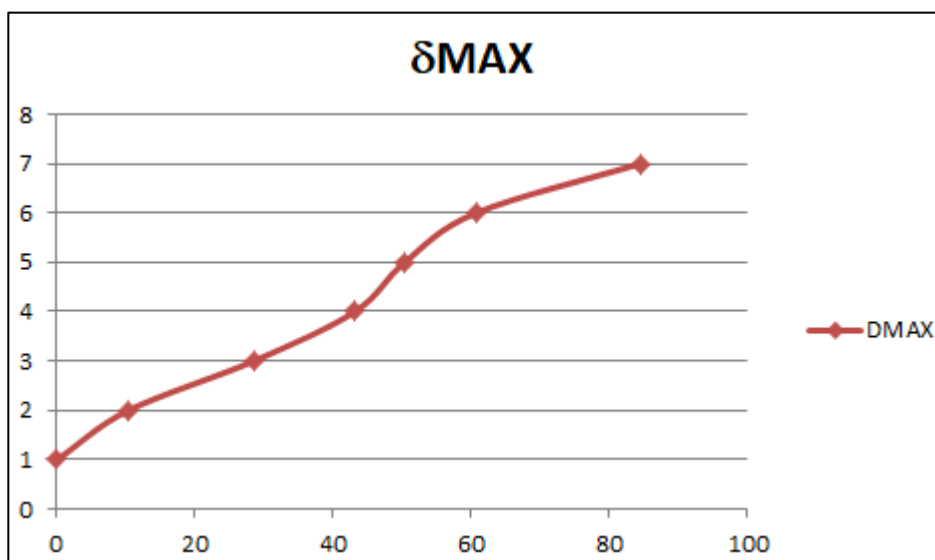
### 4.1.3.3. Deformaciones en X



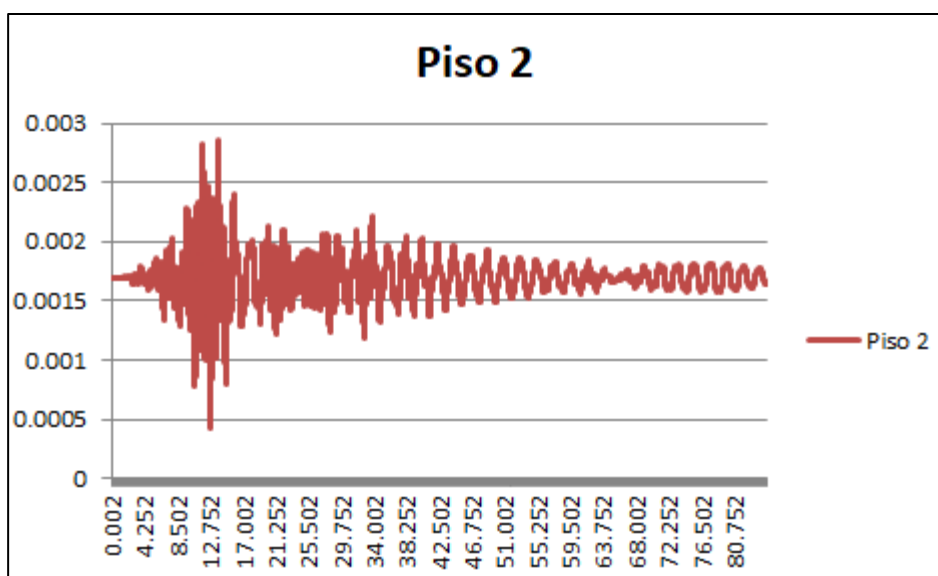


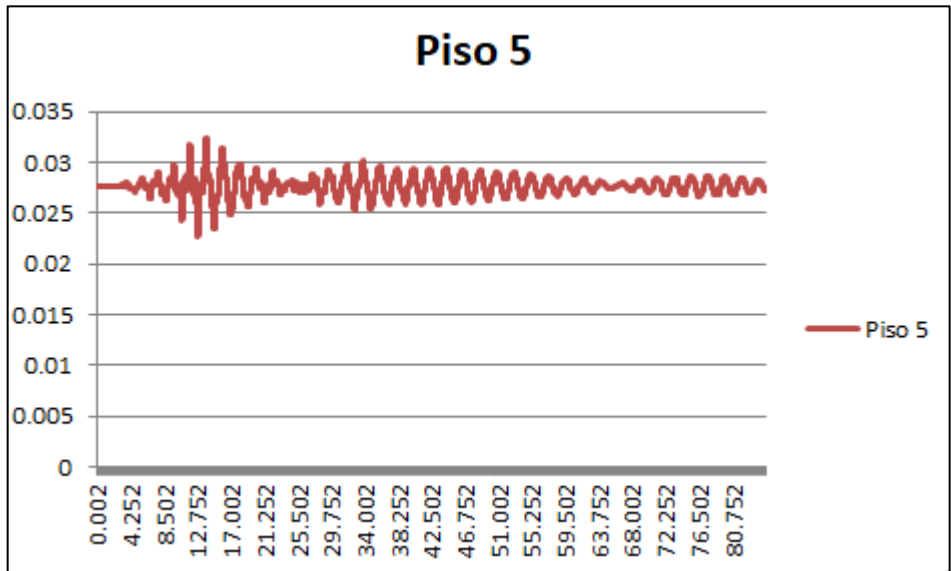
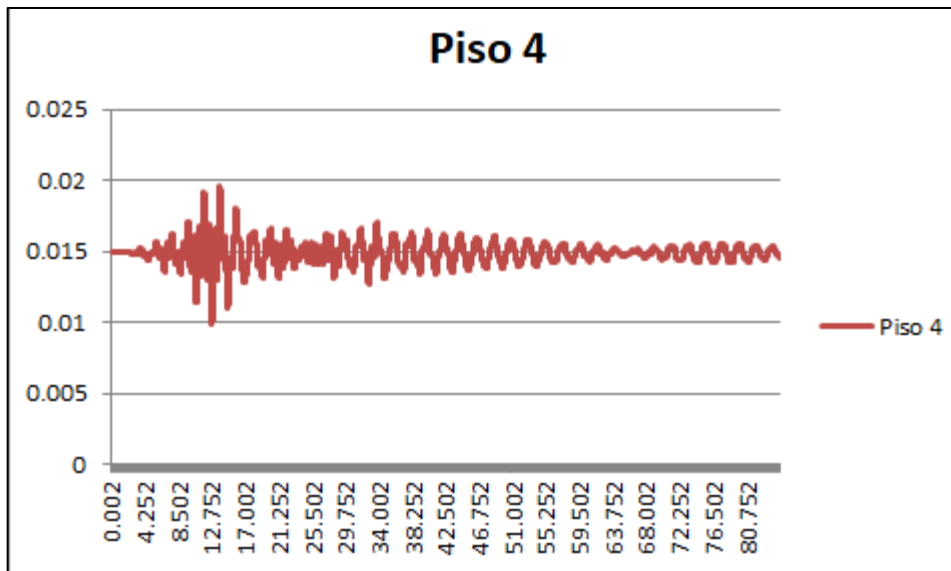
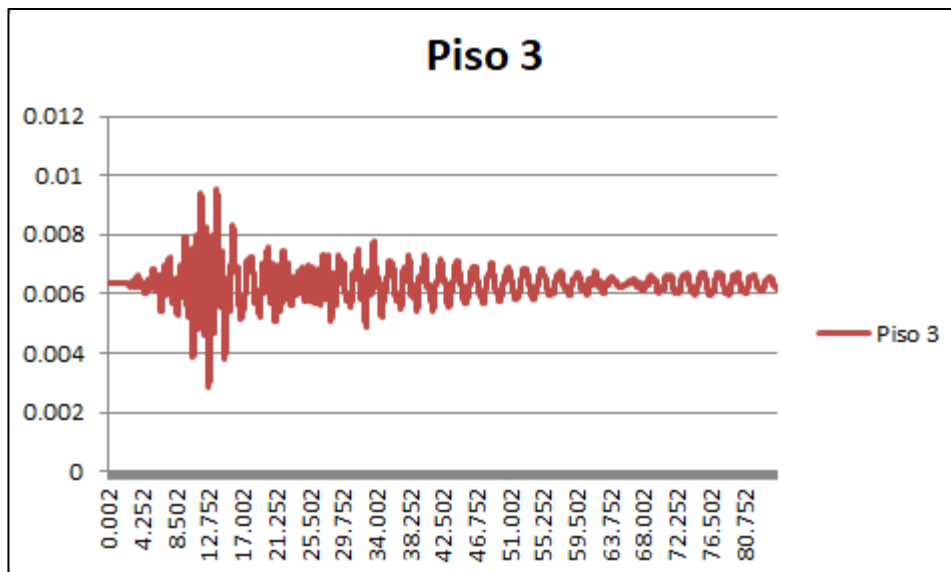
$\delta_{MAX1}$	0
$\delta_{MAX2}$	10.3237
$\delta_{MAX3}$	28.4578
$\delta_{MAX4}$	43.1043
$\delta_{MAX5}$	50.3313
$\delta_{MAX6}$	60.6784
$\delta_{MAX7}$	84.468

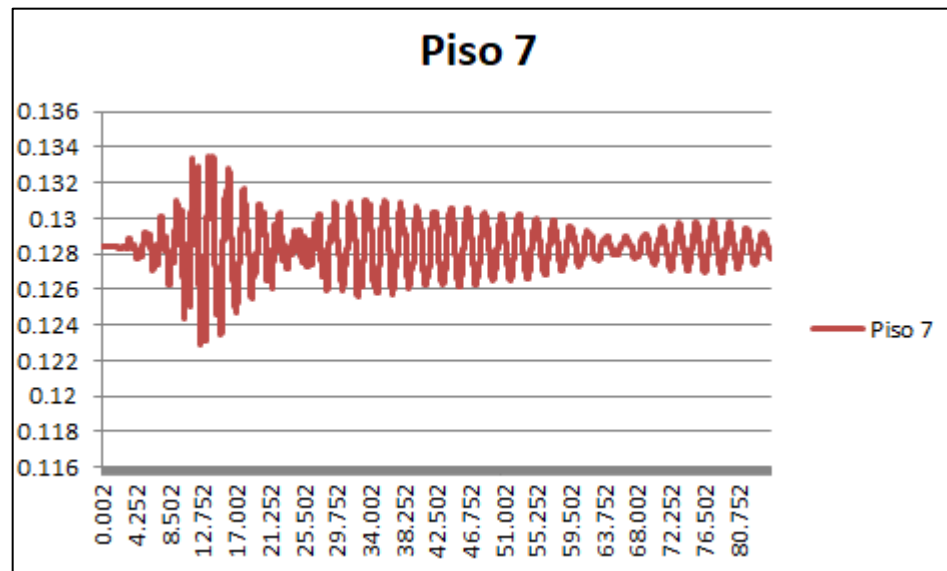
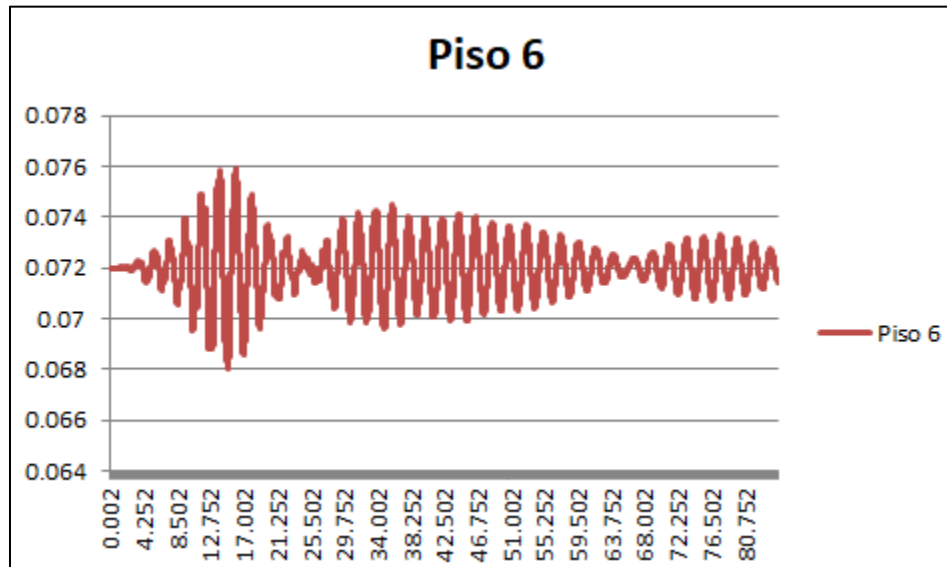
Tabla 38 Deformaciones máximas elásticas en dirección X



#### 4.1.3.4. Deformaciones en Z

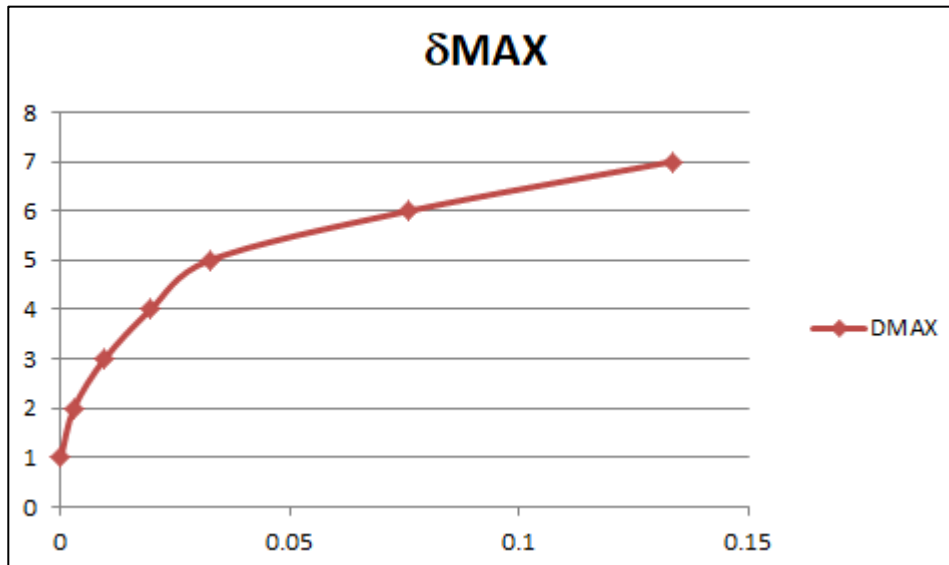






$\delta_{MAX1}$	0
$\delta_{MAX2}$	0.00285009
$\delta_{MAX3}$	0.00954475
$\delta_{MAX4}$	0.0195706
$\delta_{MAX5}$	0.0324325
$\delta_{MAX6}$	0.0759414
$\delta_{MAX7}$	0.133501

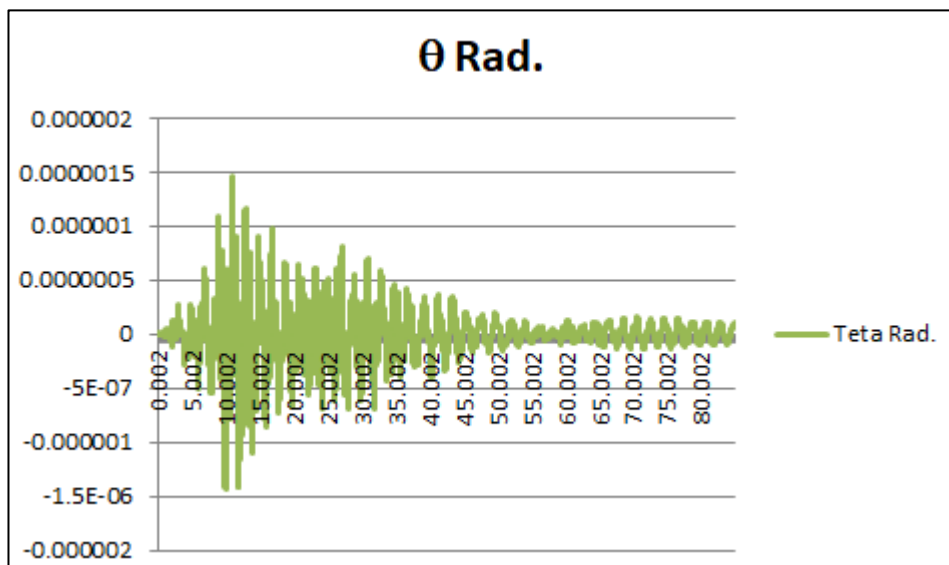
*Tabla 39 Deformaciones máximas elásticas en dirección Z*

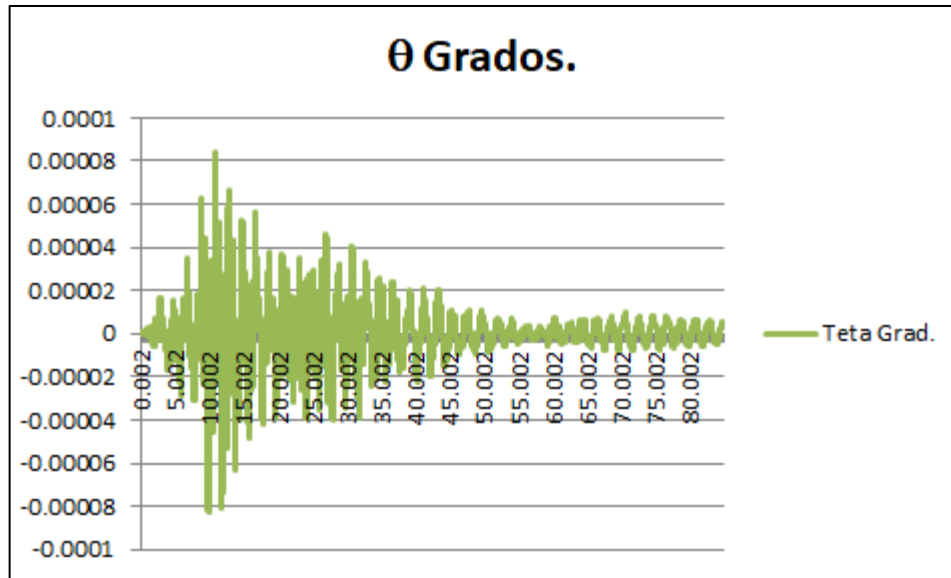


#### 4.1.3.5. Torsión en Piso 2

$\theta_{\max}$ Rad.	1.4633E-06
$\theta_{\max}$ Grados.	8.3841E-05

Tabla 40 Ángulo de torsión máxima en el piso 2

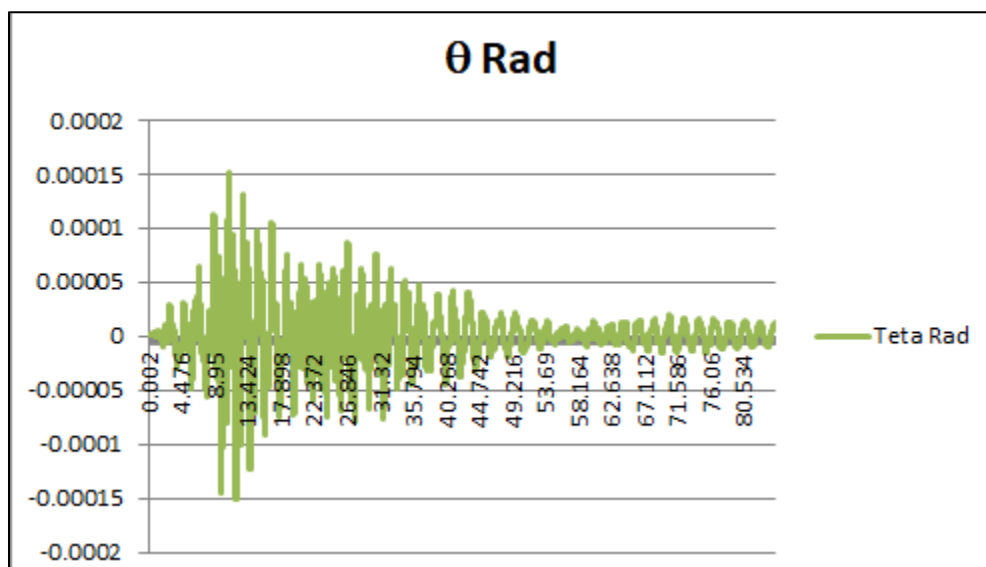


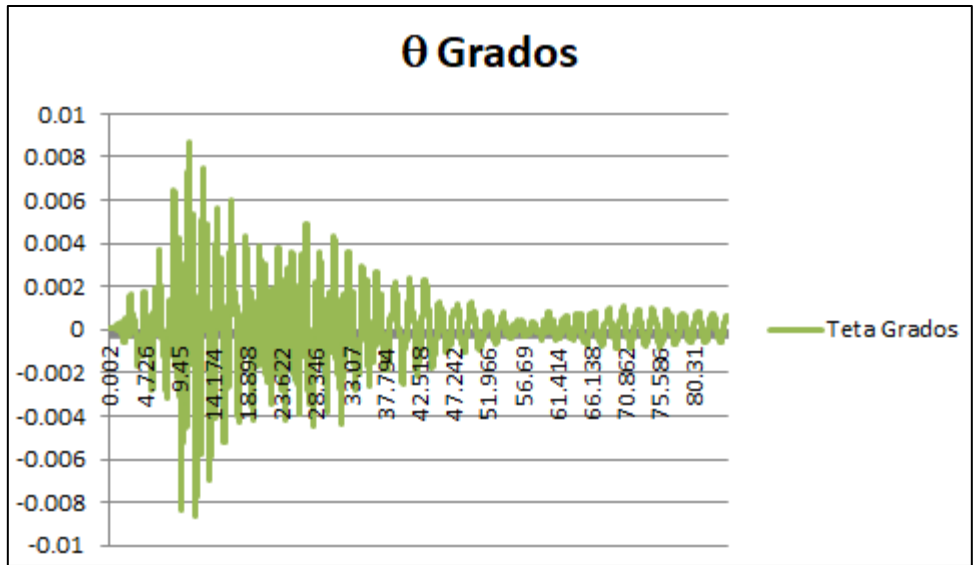


#### 4.1.3.6. Torsión en Piso 3

$\theta_{\max}$ Rad.	2.6471E-06
$\theta_{\max}$ Grados.	0.00015167

Tabla 41 Ángulo de torsión máxima en el piso 3

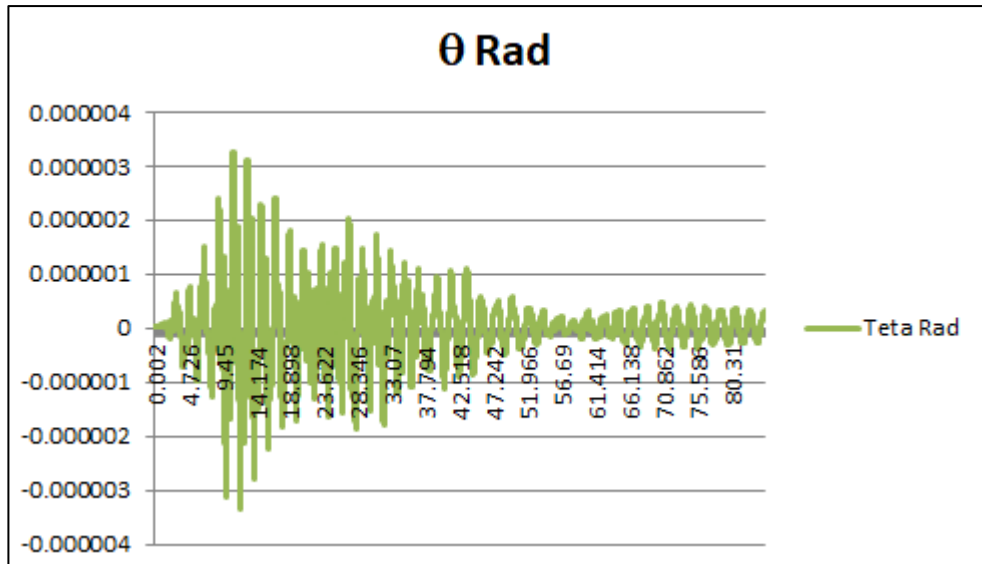


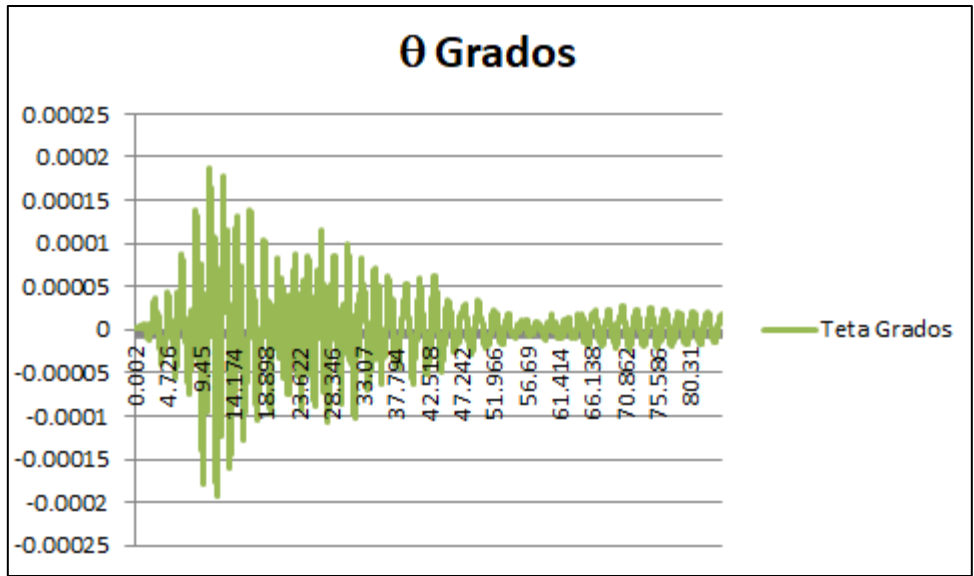


#### 4.1.3.7. Torsión en Piso 4

$\theta_{\max}$ Rad.	3.3467E-06
$\theta_{\max}$ Grados.	0.00019175

Tabla 42 Ángulo de torsión máxima en el piso 4

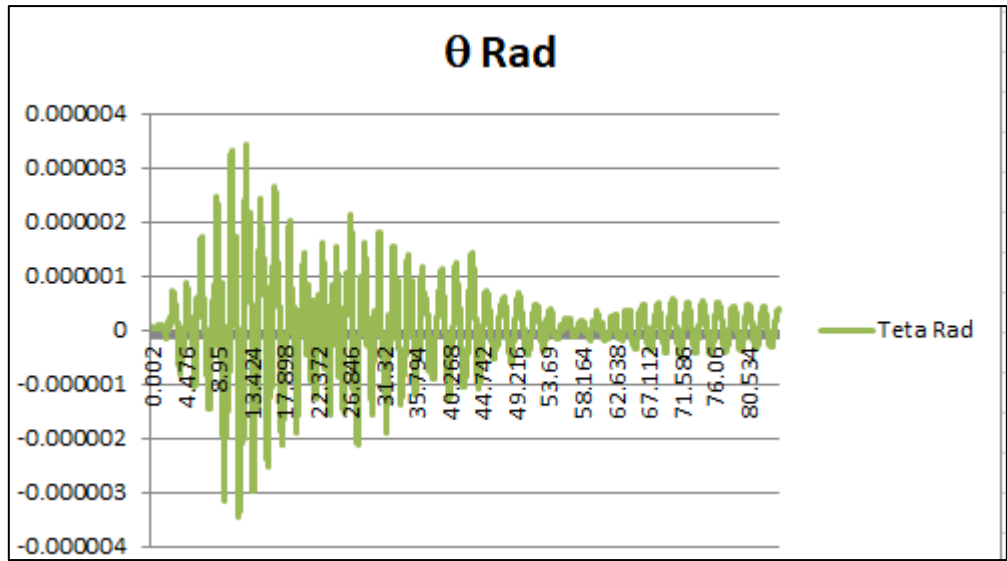


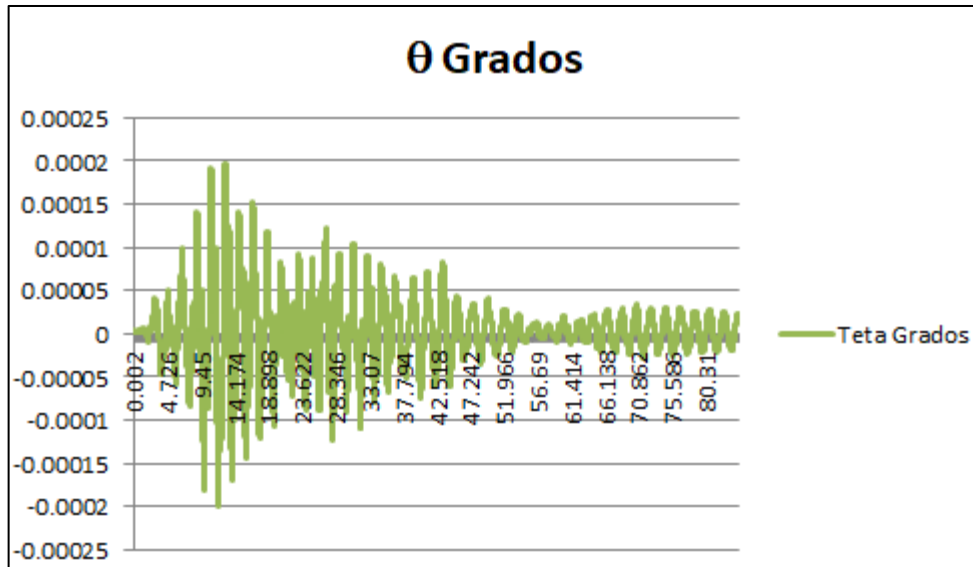


**4.1.3.8. Torsión en Piso 5**

θmax Rad.	3.4728E-06
θmax Grados.	0.00019898

*Tabla 43* Ángulo de torsión máxima en el piso 5

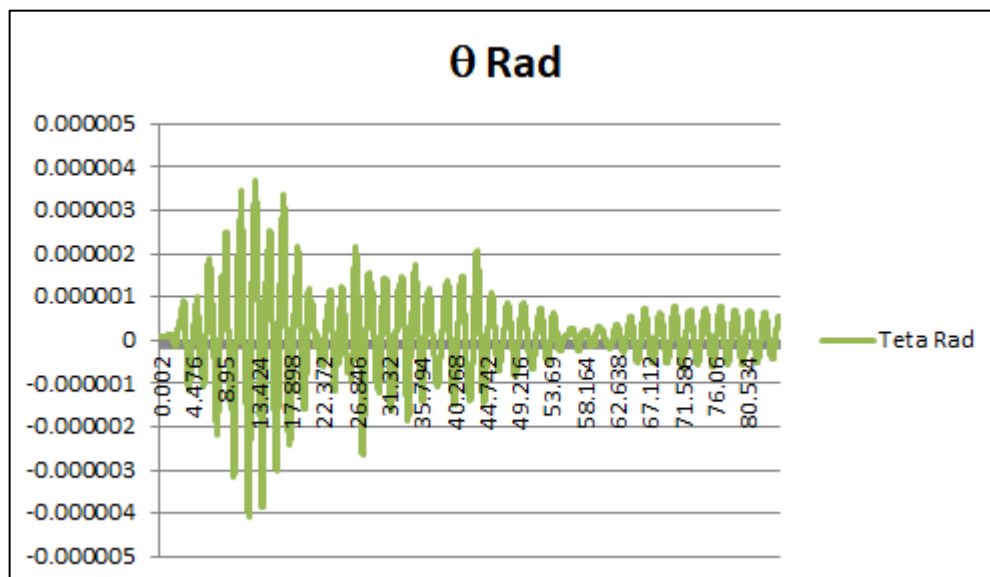


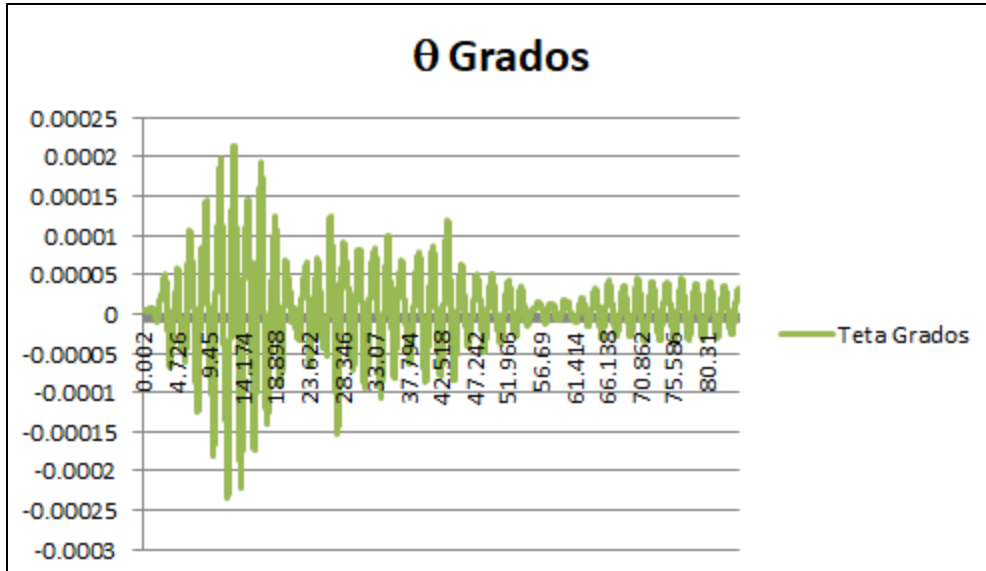


#### 4.1.3.9. Torsión en Piso 6

$\theta_{\max}$ Rad.	4.082E-06
$\theta_{\max}$ Grados.	0.0002339

Tabla 44 Ángulo de torsión máxima en el piso 6

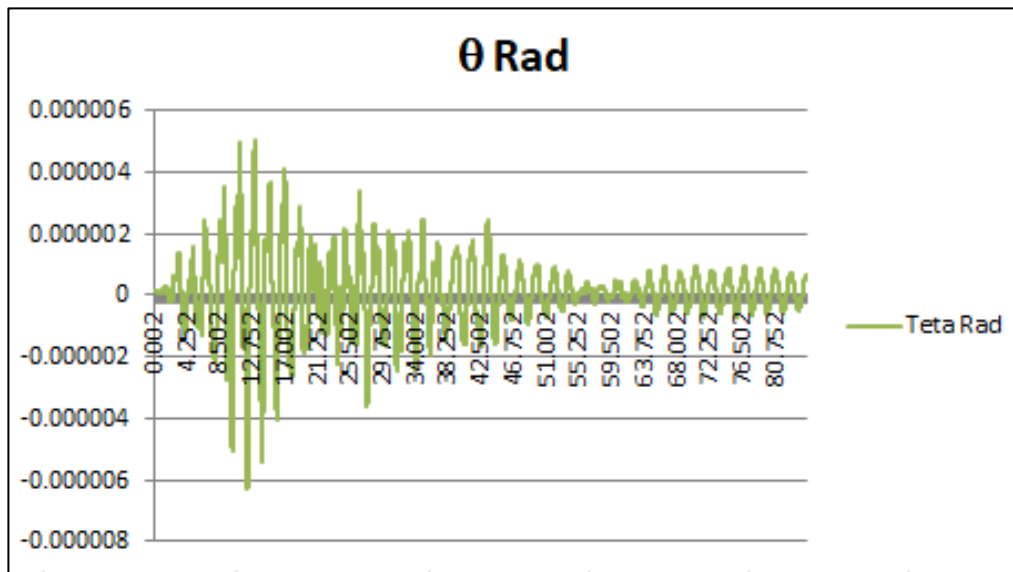


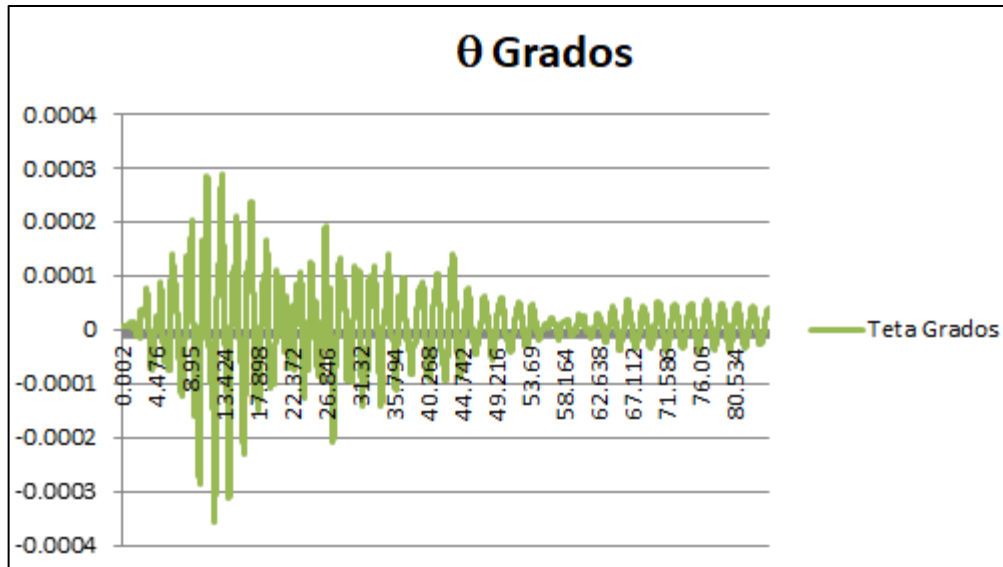


**4.1.3.10. Torsión en Piso 7**

$\theta_{\max}$ Rad.	6.25169E-06
$\theta_{\max}$ Grados.	0.000358196

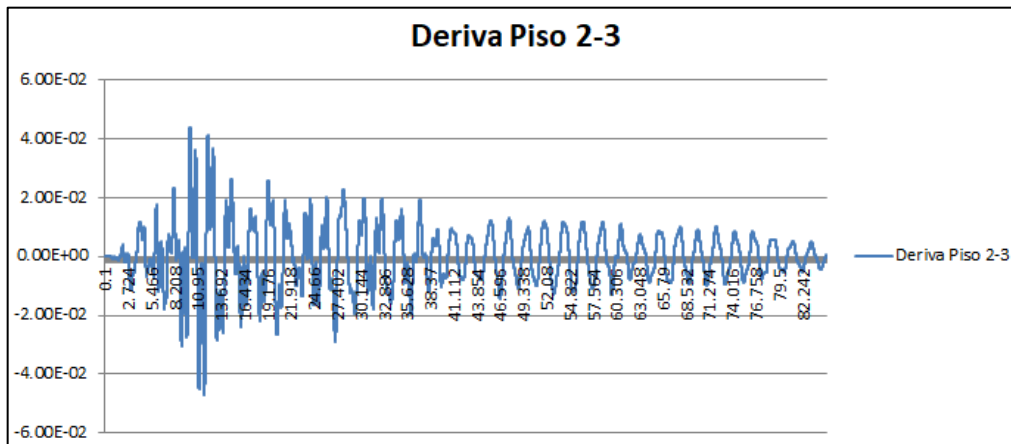
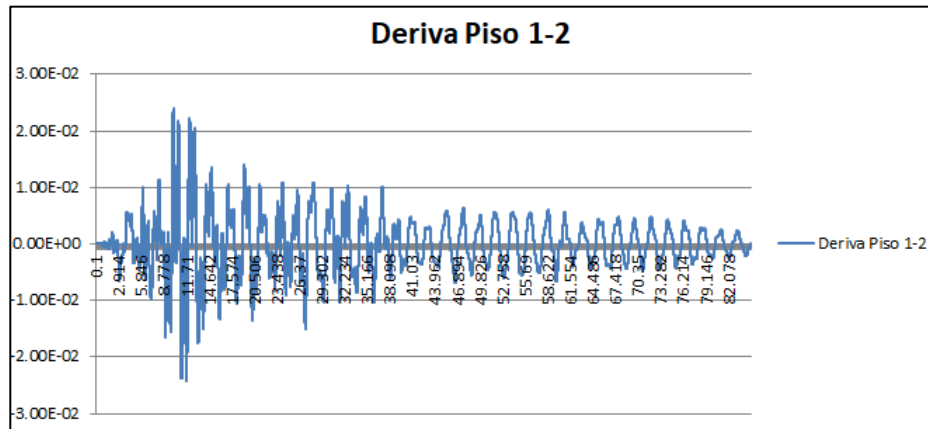
*Tabla 45* Ángulo de torsión máxima en el piso 7

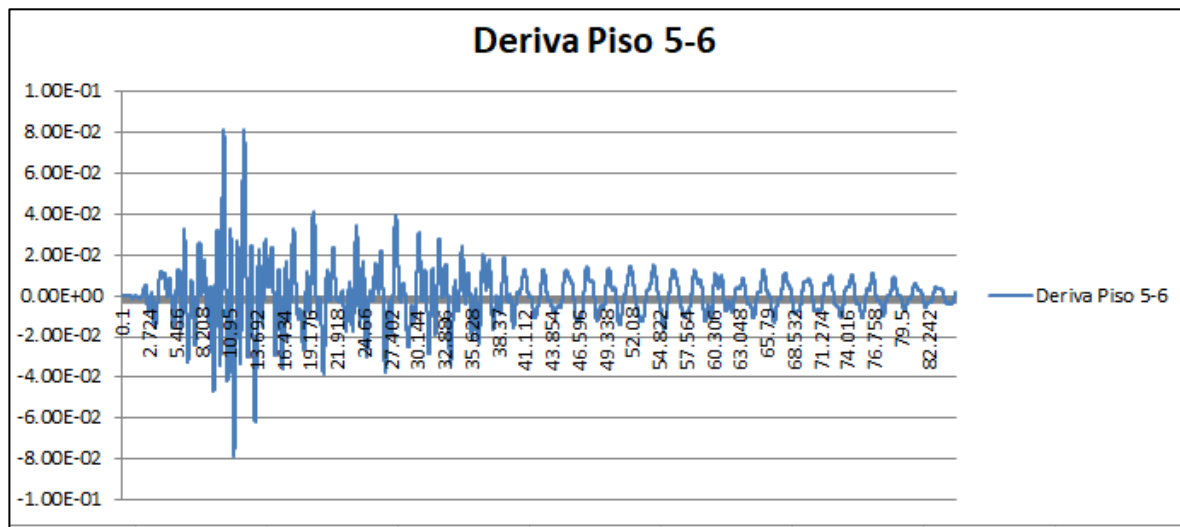
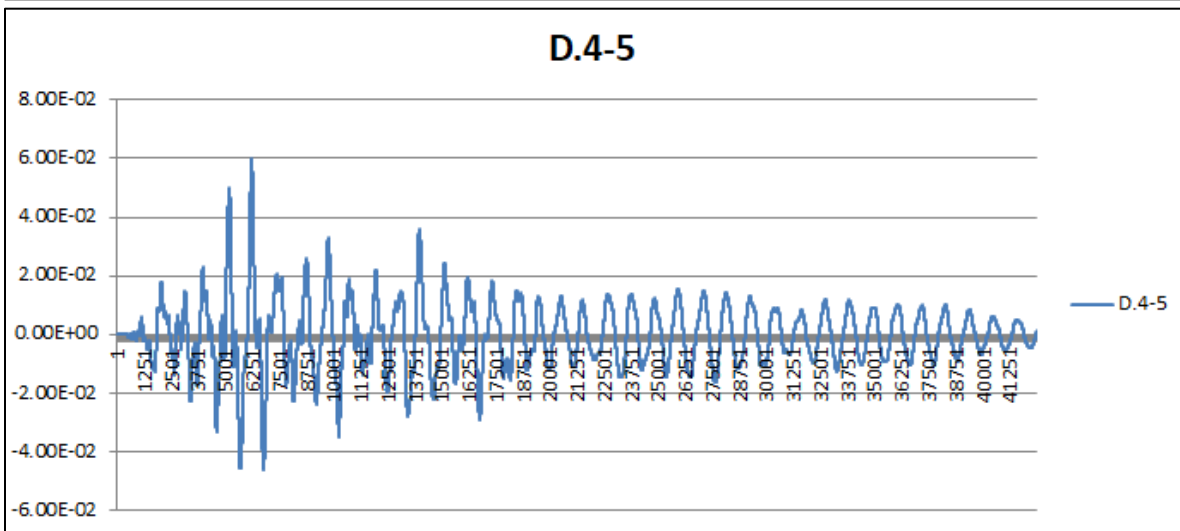
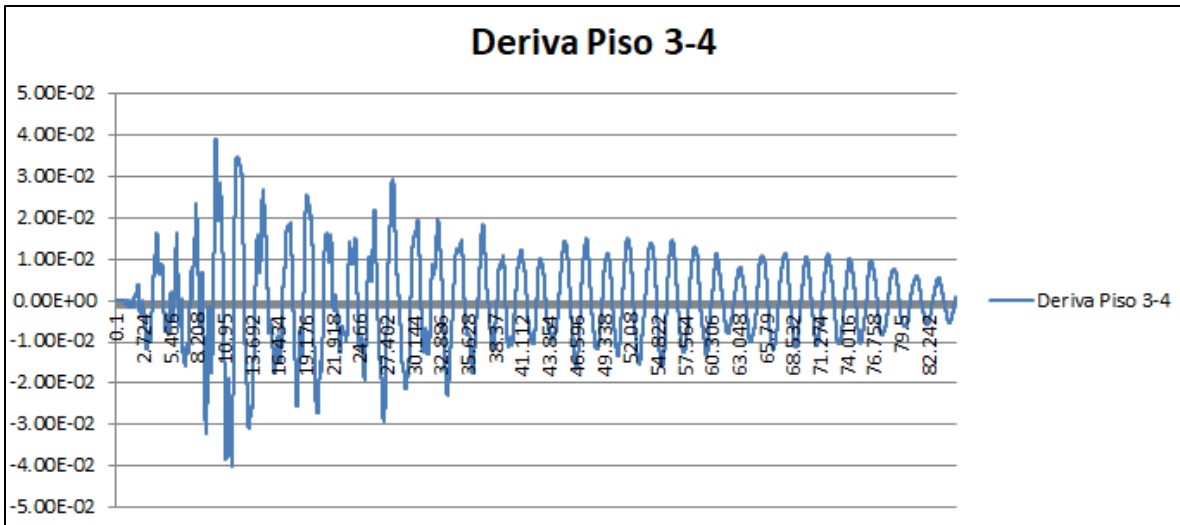


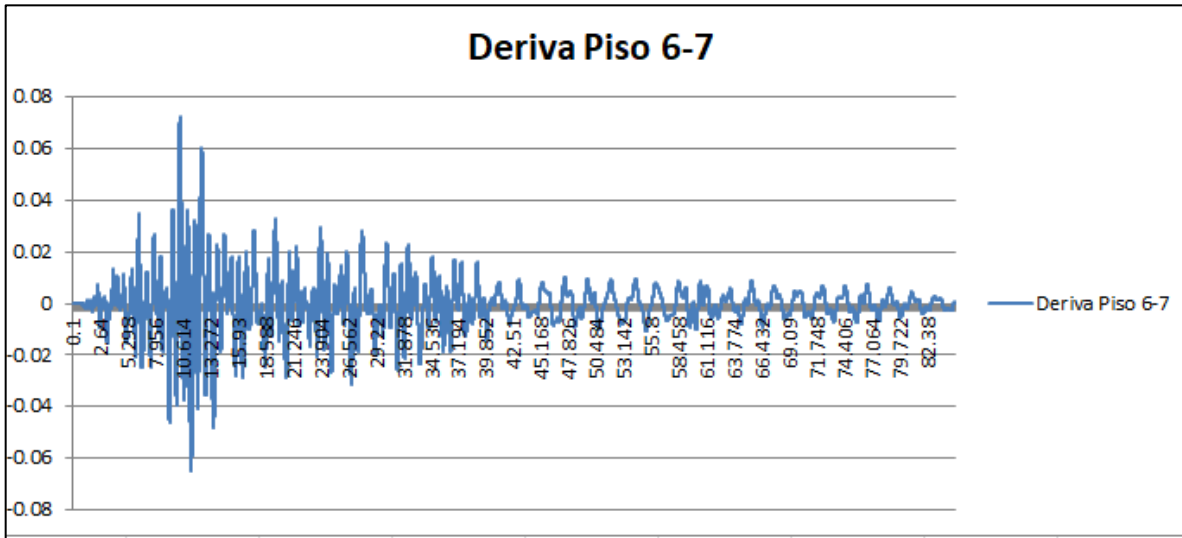


#### 4.1.4. Resultados elásticos con inercias agrietadas en Z

##### 4.1.4.1. Deriva de Piso en Z

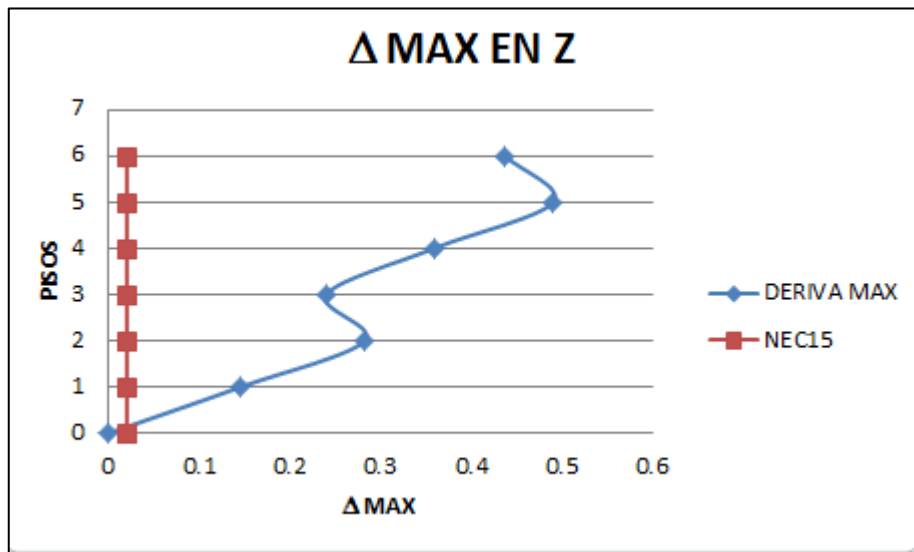




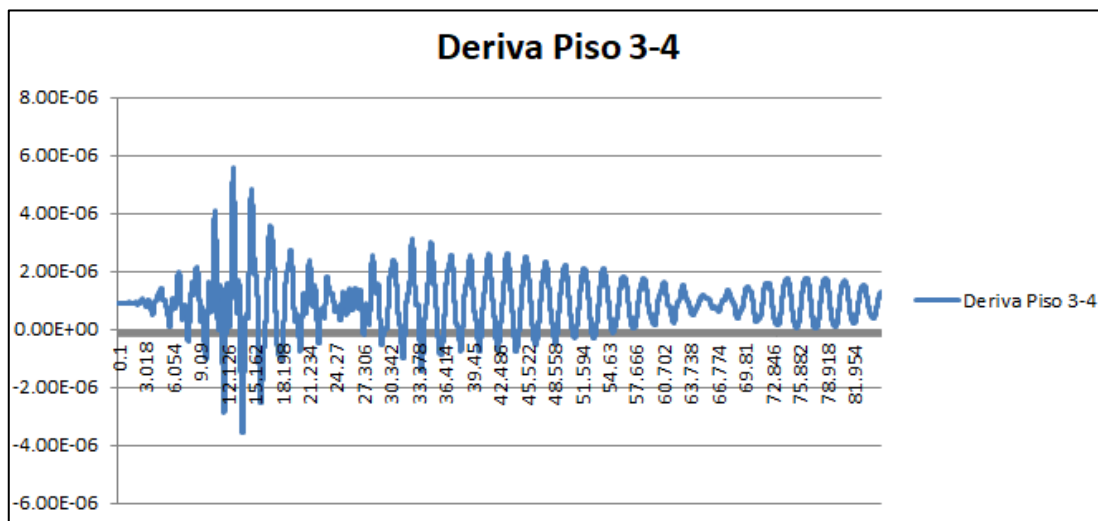
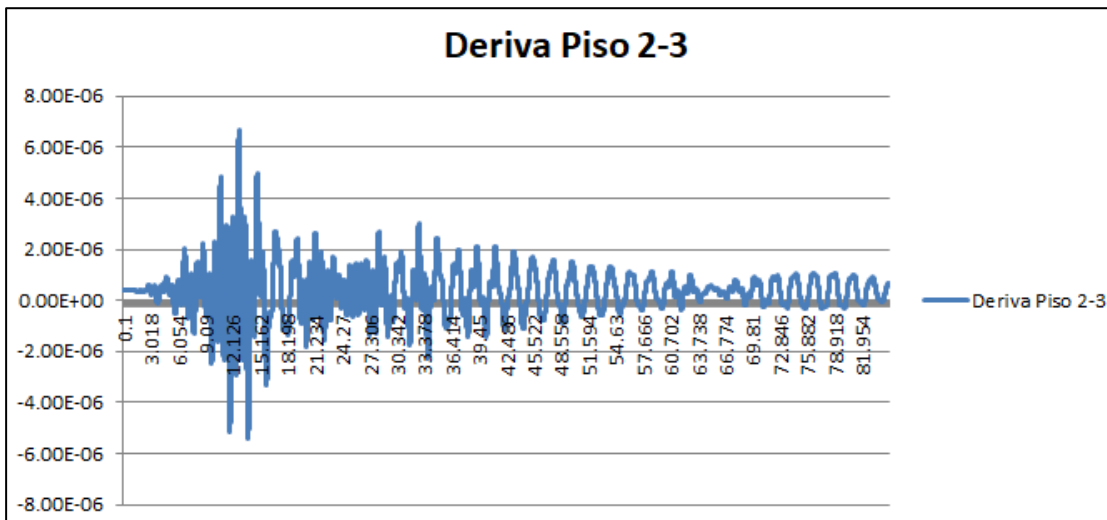
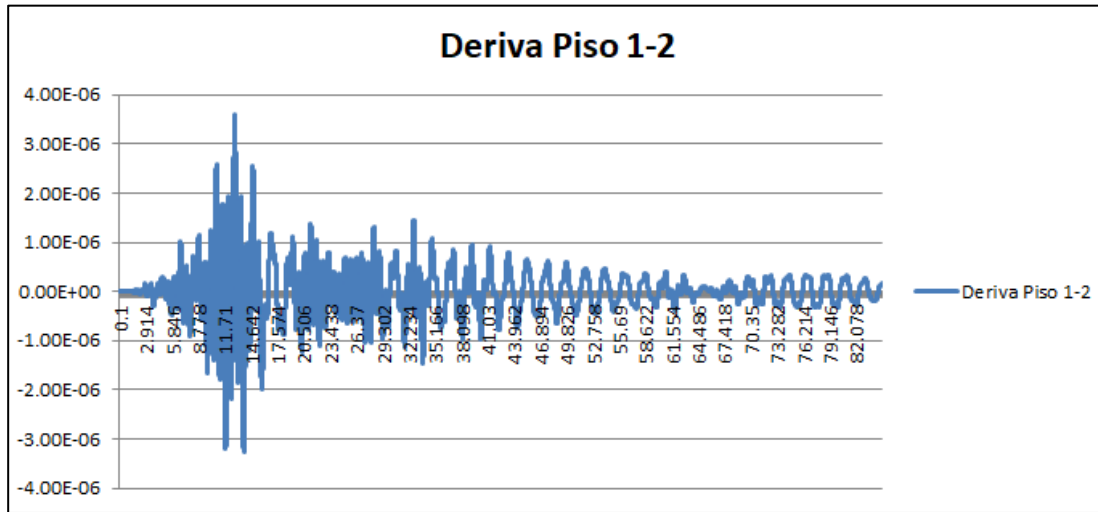


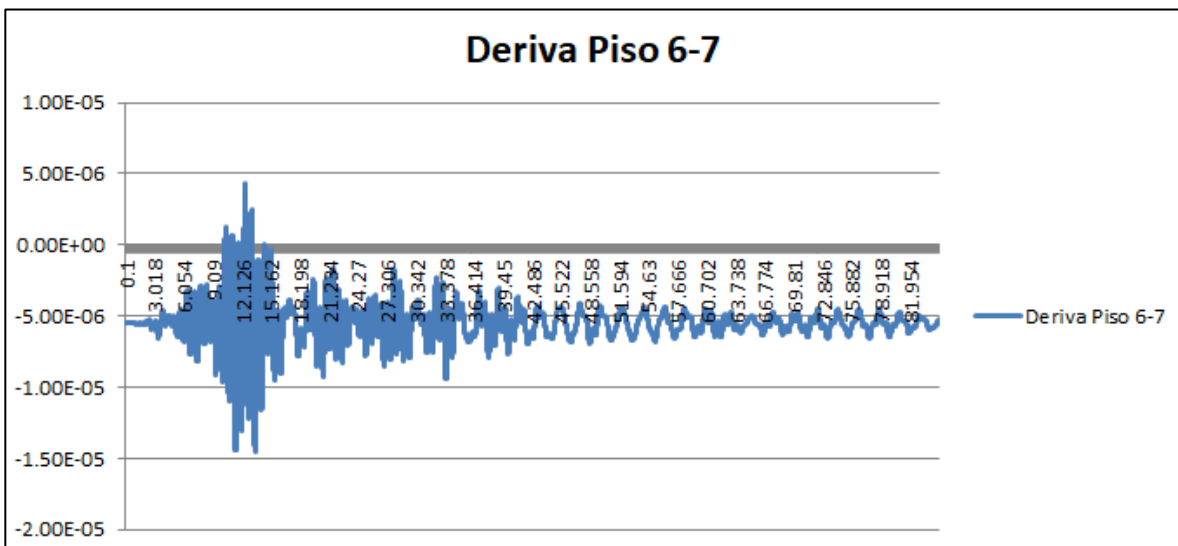
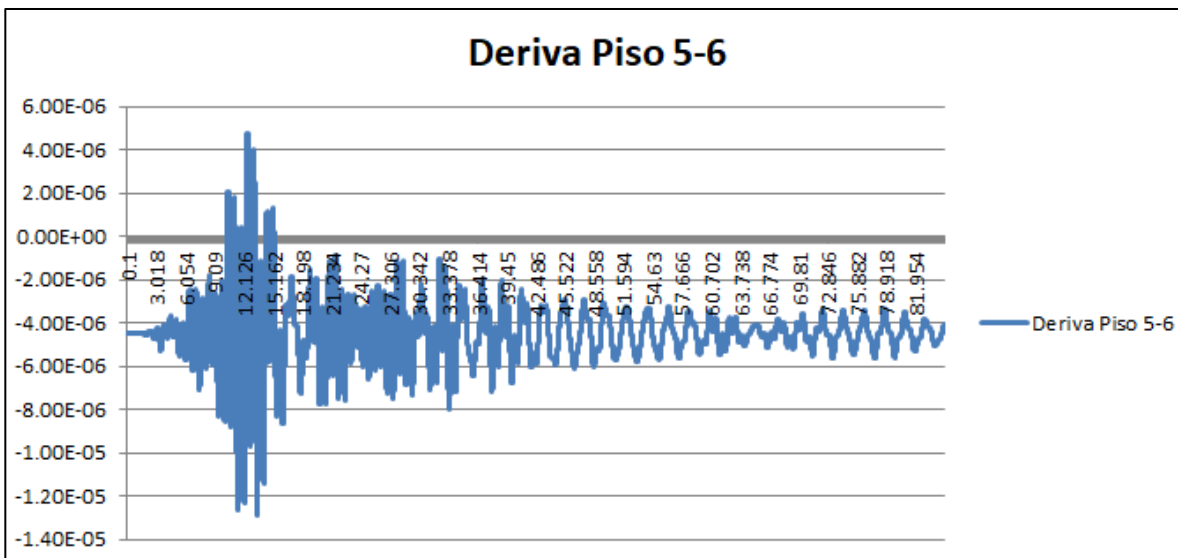
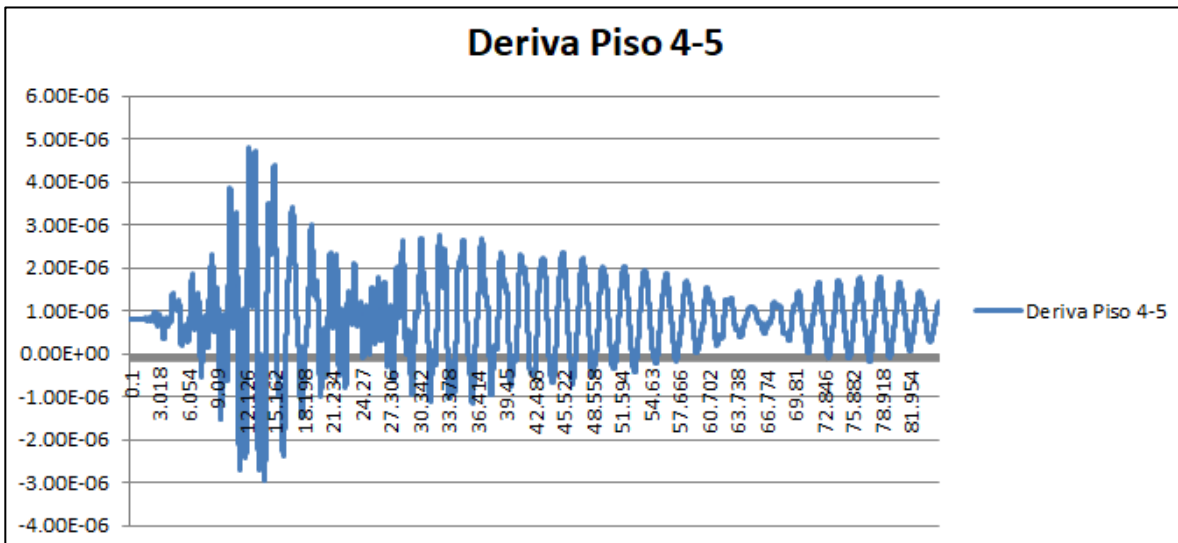
$\Delta MAX1-2$	0.1457436
$\Delta MAX2-3$	0.1457436
$\Delta MAX3-4$	0.2401506
$\Delta MAX4-5$	0.3589818
$\Delta MAX5-6$	0.4898478
$\Delta MAX6-7$	0.4365768

*Tabla 46 Deriva máxima inelástica de piso en Z*



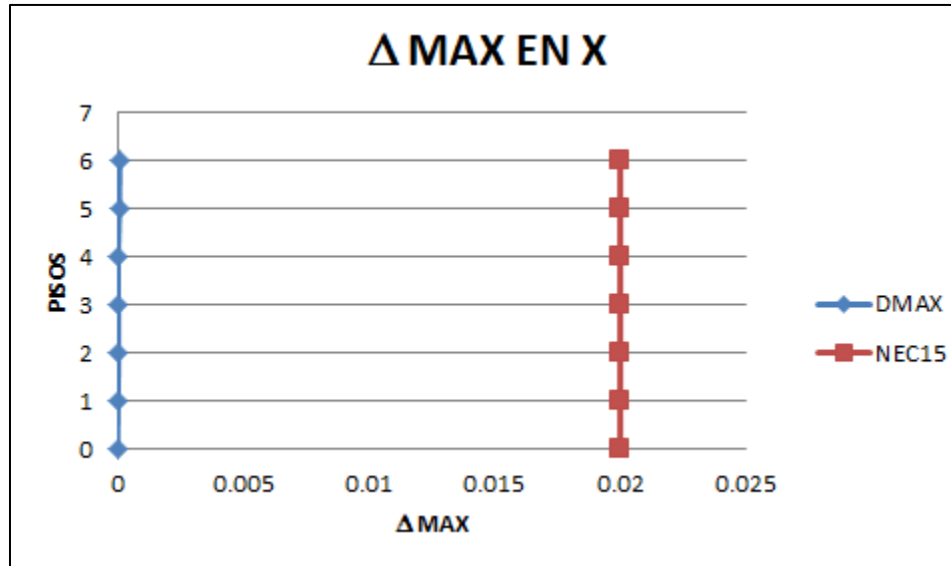
#### 4.1.4.2. Deriva de Piso en X



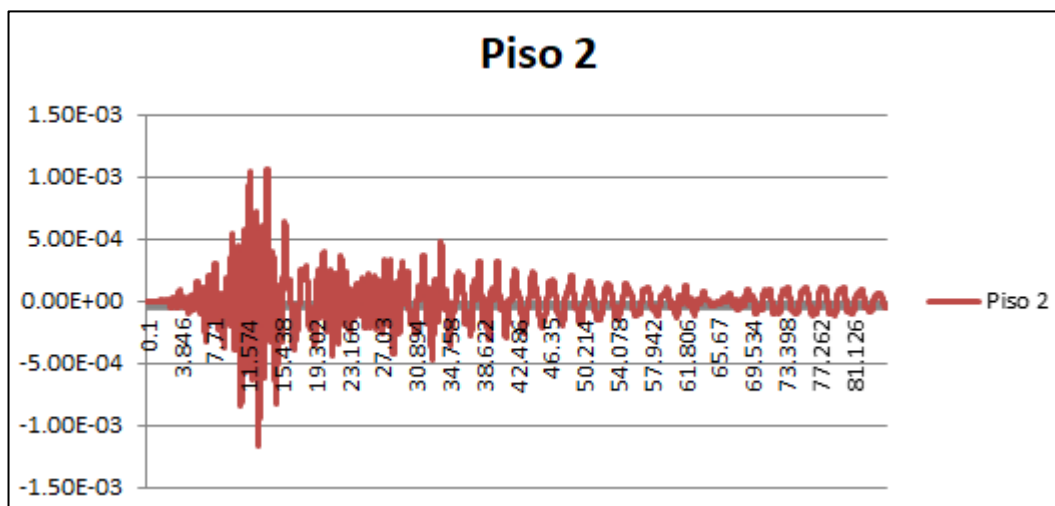


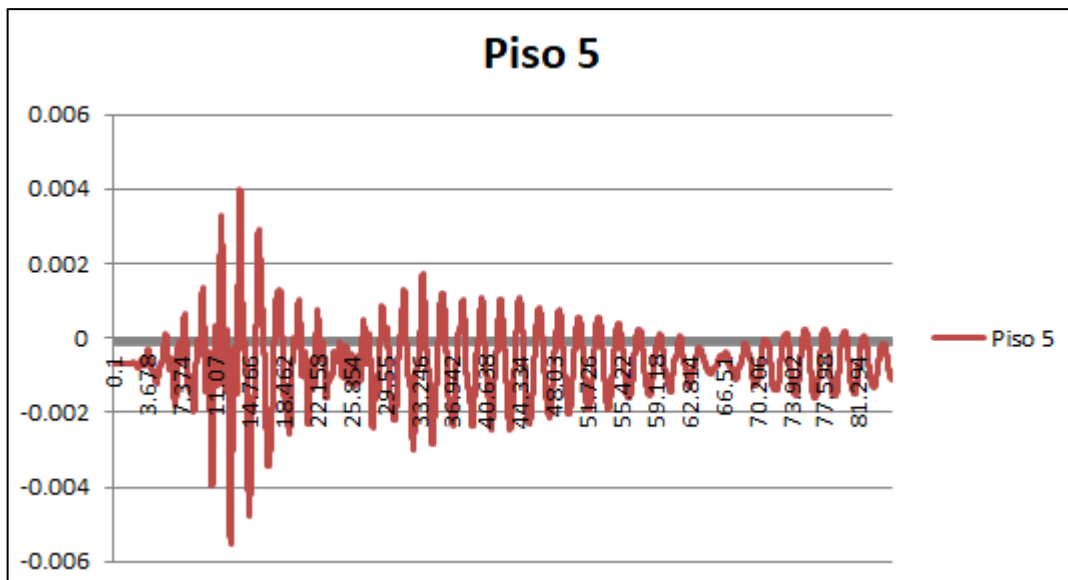
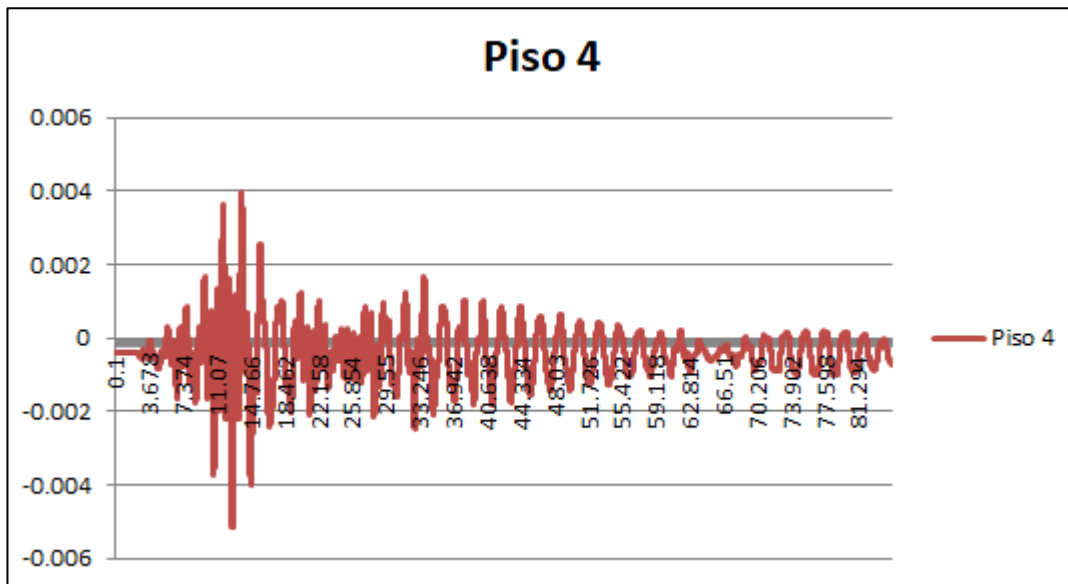
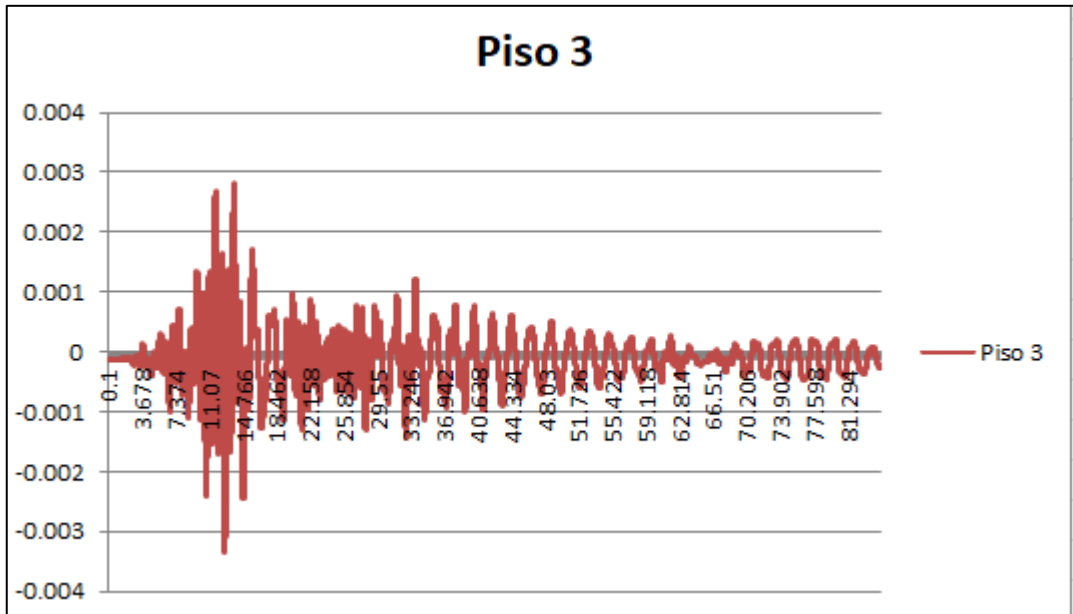
$\Delta$ MAX1-2	2.16286E-05
$\Delta$ MAX2-3	4.00875E-05
$\Delta$ MAX3-4	3.34257E-05
$\Delta$ MAX4-5	2.87357E-05
$\Delta$ MAX5-6	7.72716E-05
$\Delta$ MAX6-7	8.74284E-05

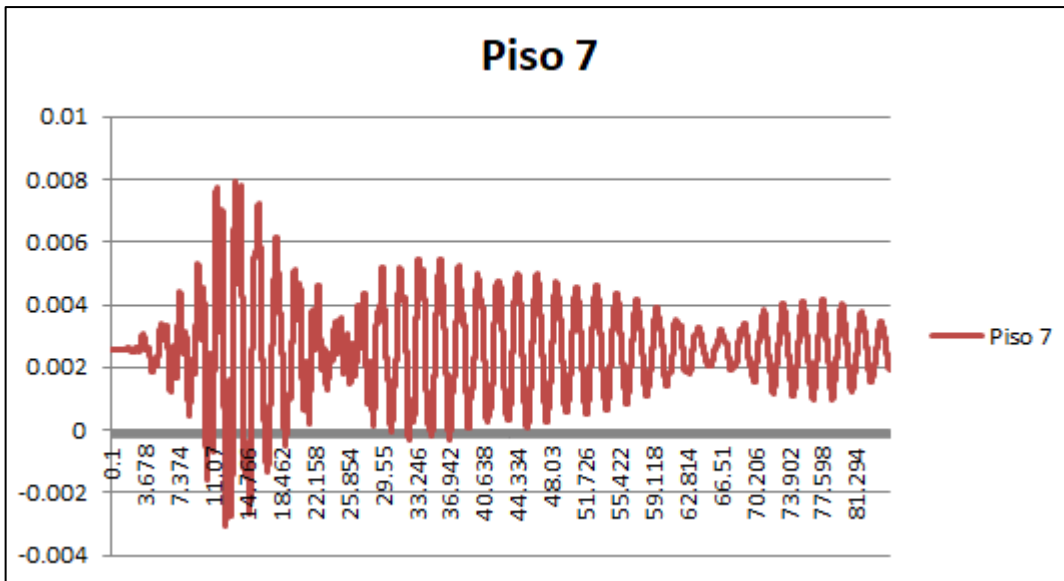
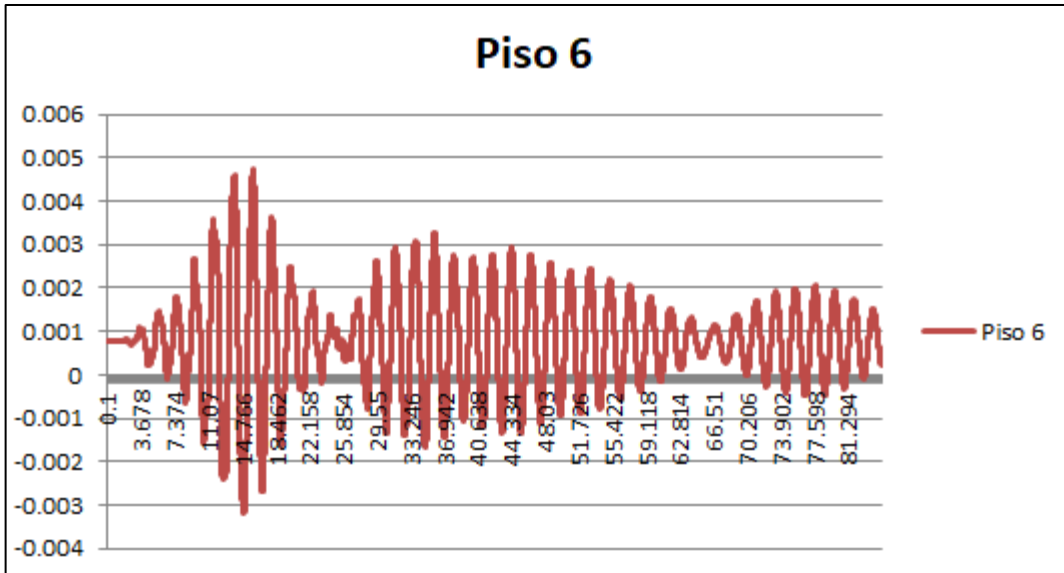
Tabla 47 Deriva máxima inelástica de piso en X



#### 4.1.4.3. Deformaciones en X

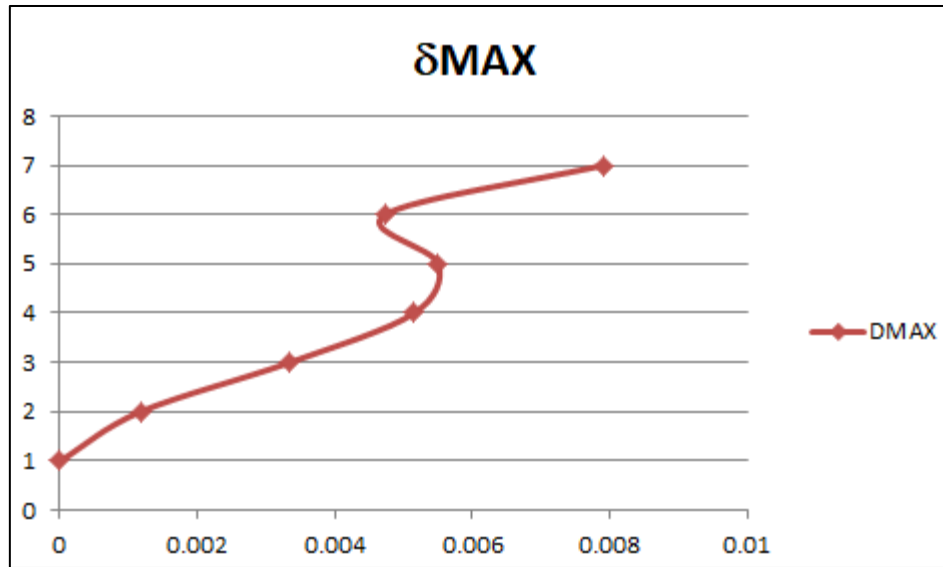




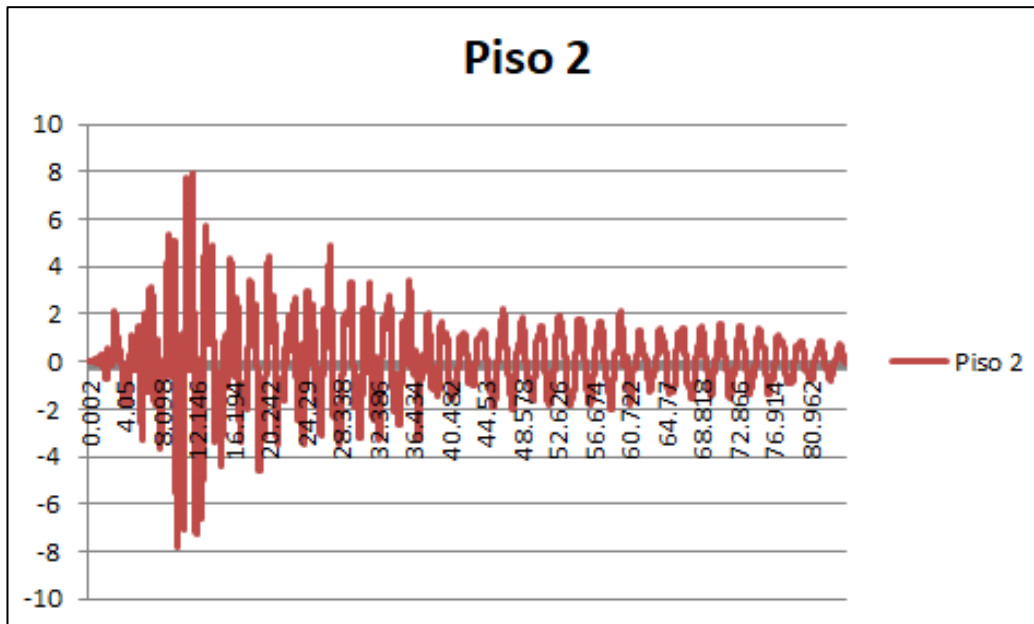


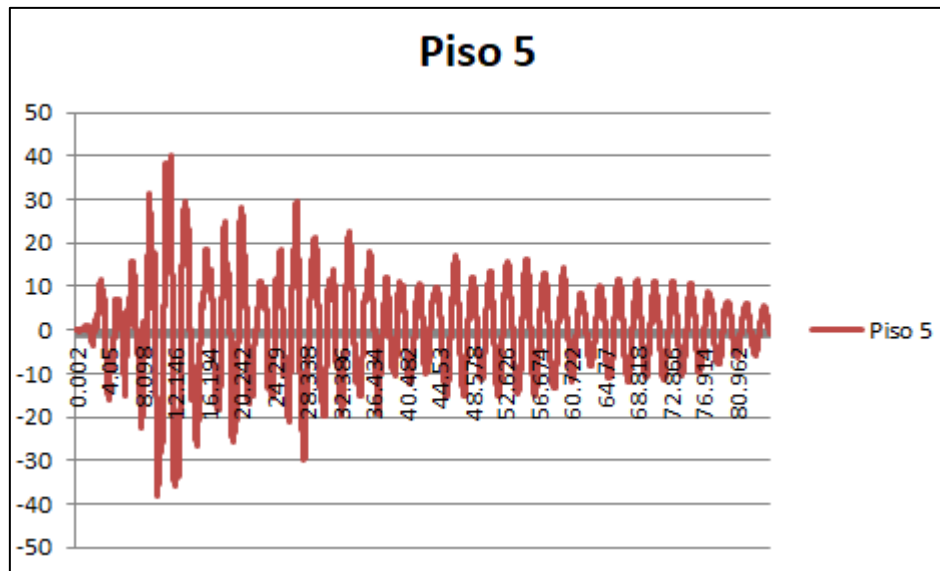
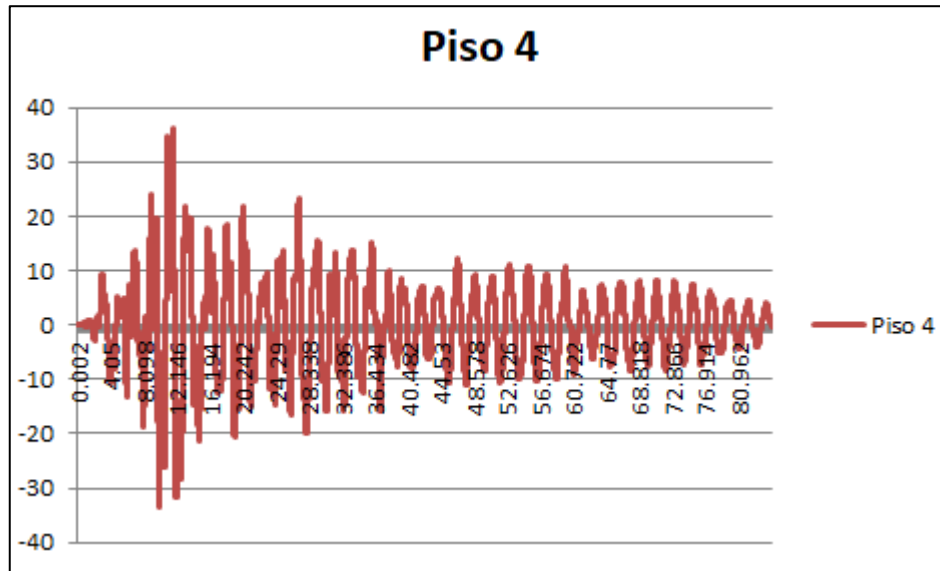
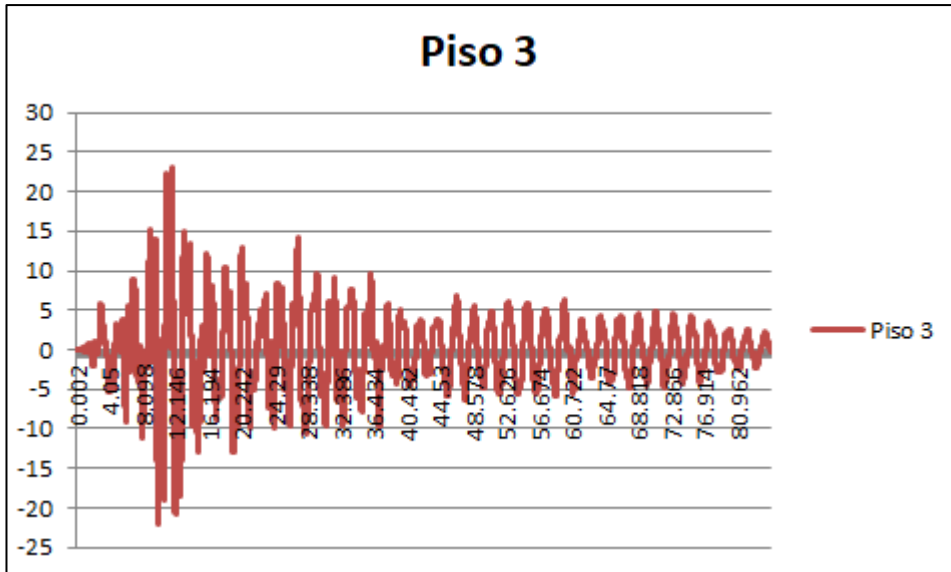
$\delta_{MAX1}$	0
$\delta_{MAX2}$	0.00117155
$\delta_{MAX3}$	0.00334287
$\delta_{MAX4}$	0.00515304
$\delta_{MAX5}$	0.00550707
$\delta_{MAX6}$	0.00473193
$\delta_{MAX7}$	0.00790278

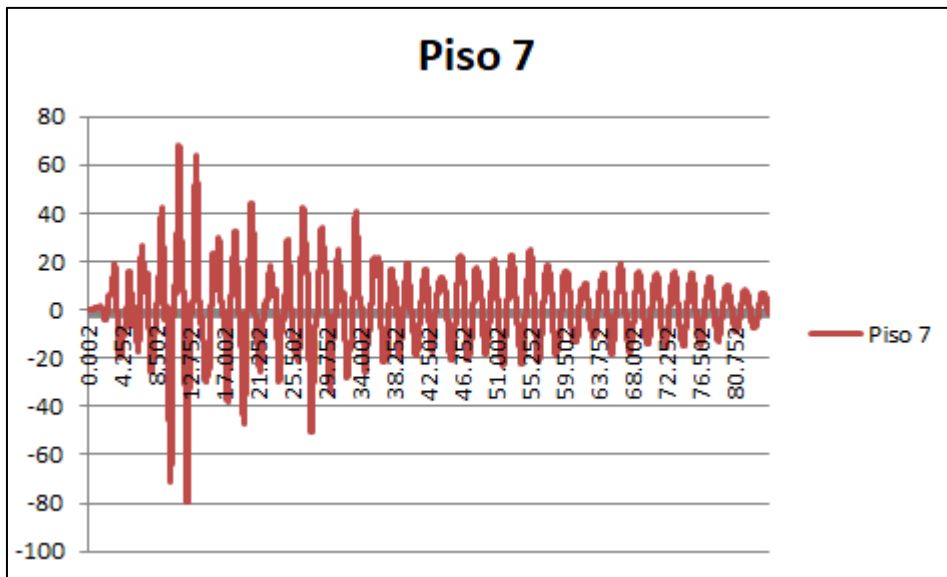
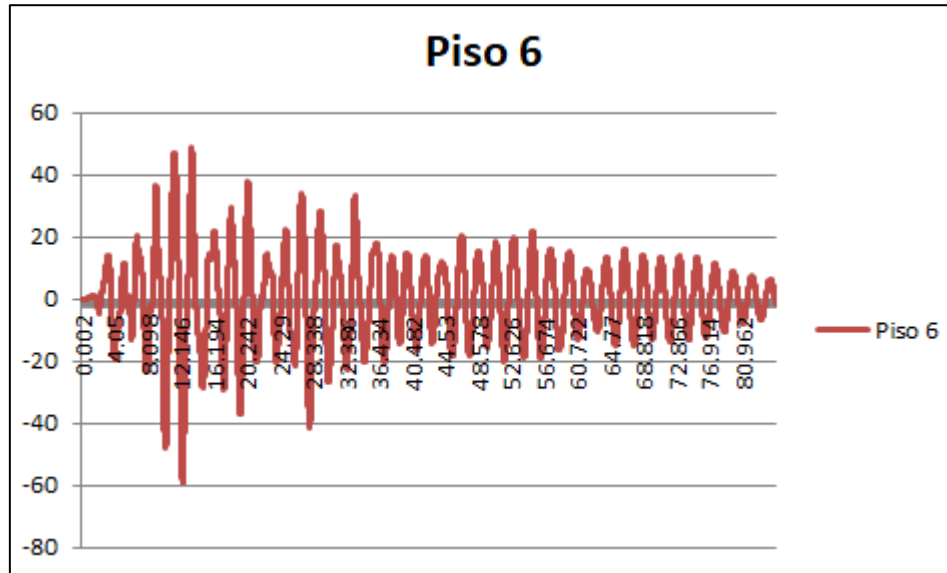
*Tabla 48* Deformaciones elásticas máximas en X



**4.1.4.4. Deformaciones en Z**

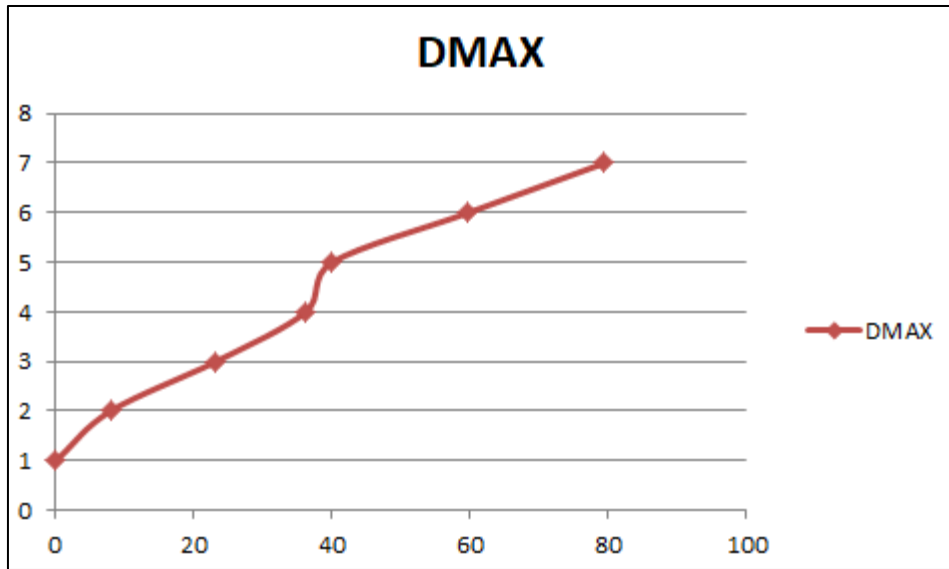






$\delta_{MAX1}$	0
$\delta_{MAX2}$	7.89445
$\delta_{MAX3}$	23.1679
$\delta_{MAX4}$	36.1761
$\delta_{MAX5}$	40.0358
$\delta_{MAX6}$	59.7196
$\delta_{MAX7}$	79.4393

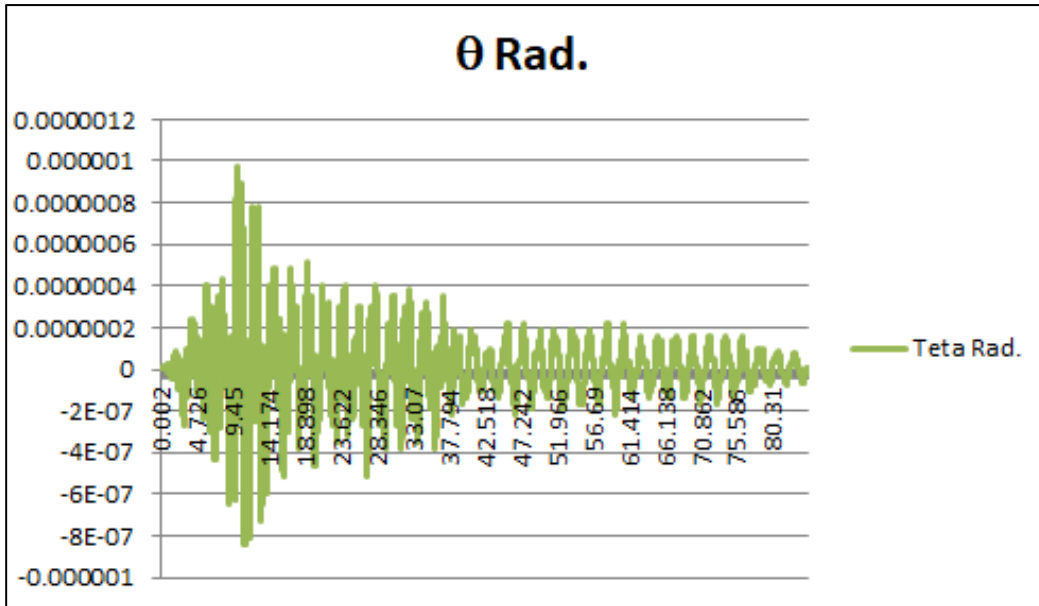
*Tabla 49* Deformaciones elásticas máximas en Z

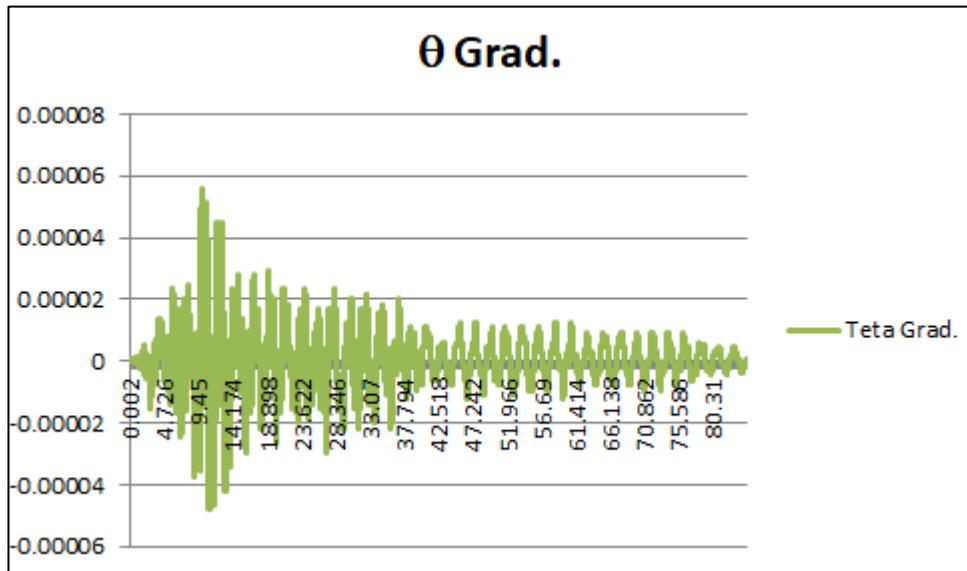


**4.1.4.5. Torsión en Piso 2**

$\theta_{\max}$ Rad.	9.7429E-07
$\theta_{\max}$ Grados.	5.58227E-05

*Tabla 50* Ángulo de torsión máxima en piso 2

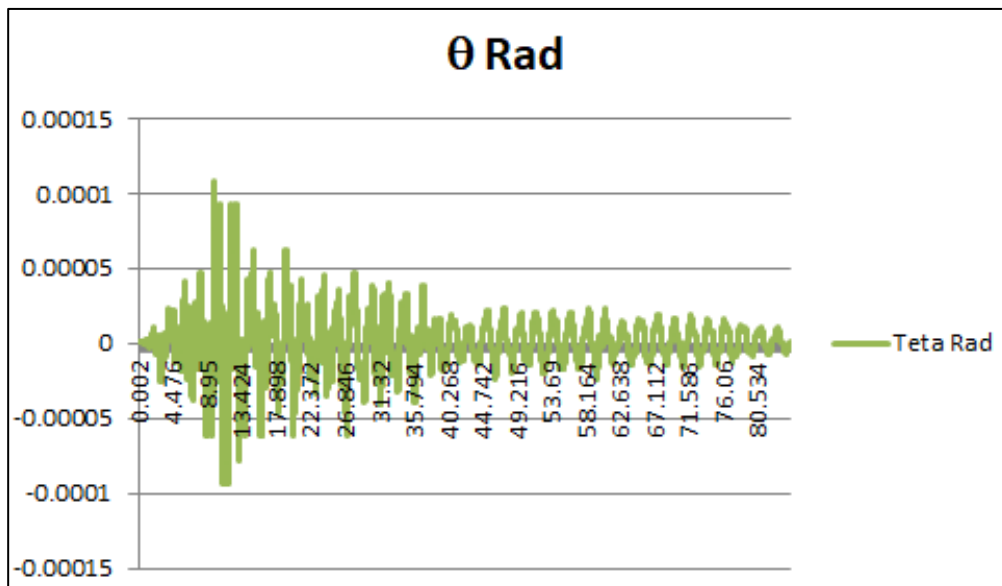


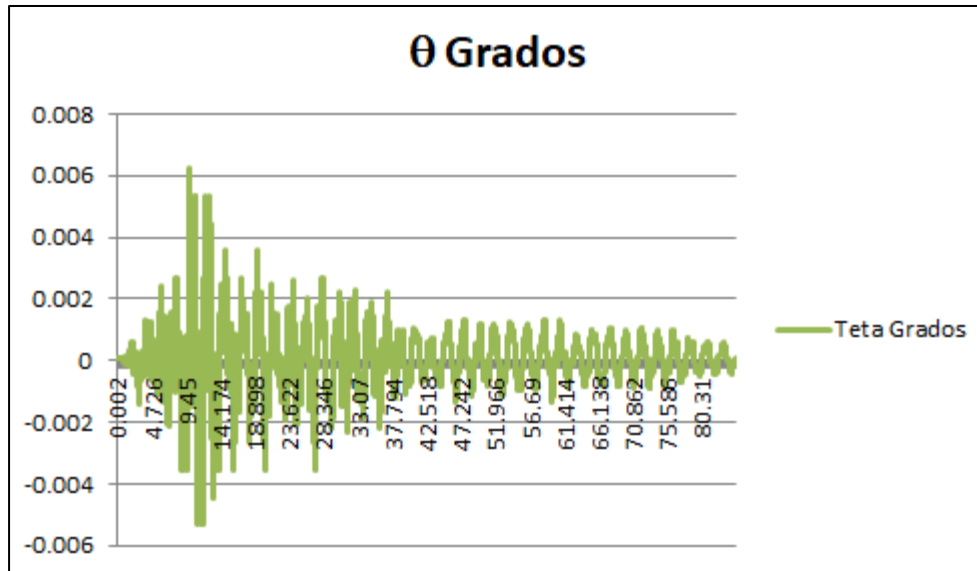


#### 4.1.4.6. Torsión en Piso 3

$\theta_{max}$ Rad.	1.8945E-06
$\theta_{max}$ Grados.	0.00010854

Tabla 51 Ángulo de torsión máxima en piso 3

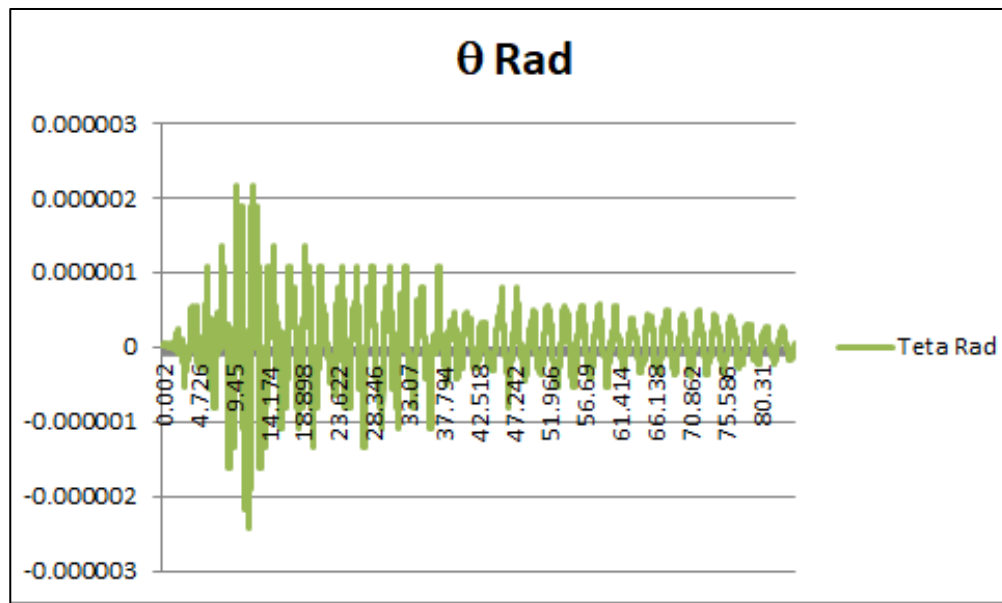


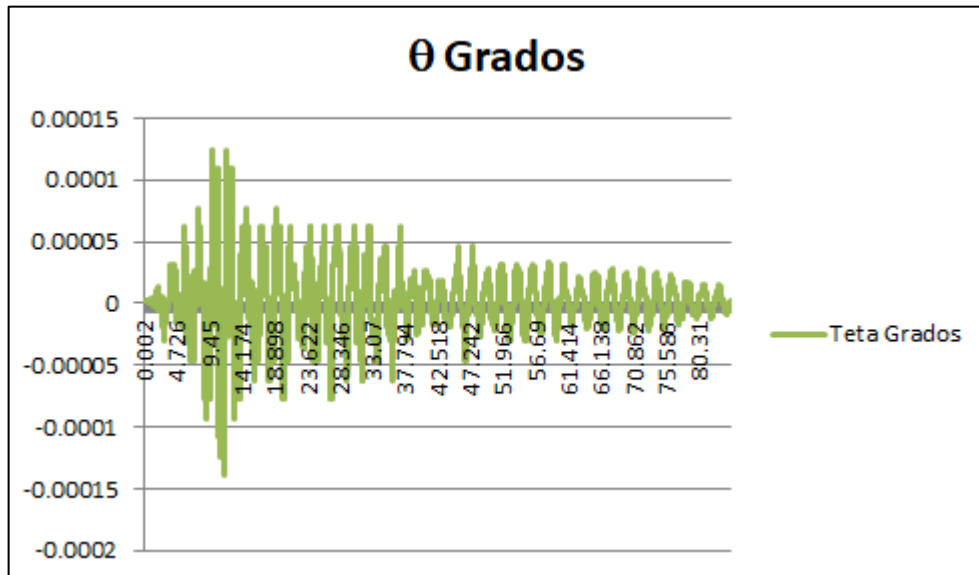


**4.1.4.7. Torsión en Piso 4**

$\theta_{max}$ Rad.	2.4357E-06
$\theta_{max}$ Grados.	0.00013956

*Tabla 52 Ángulo de torsión máxima en piso 4*

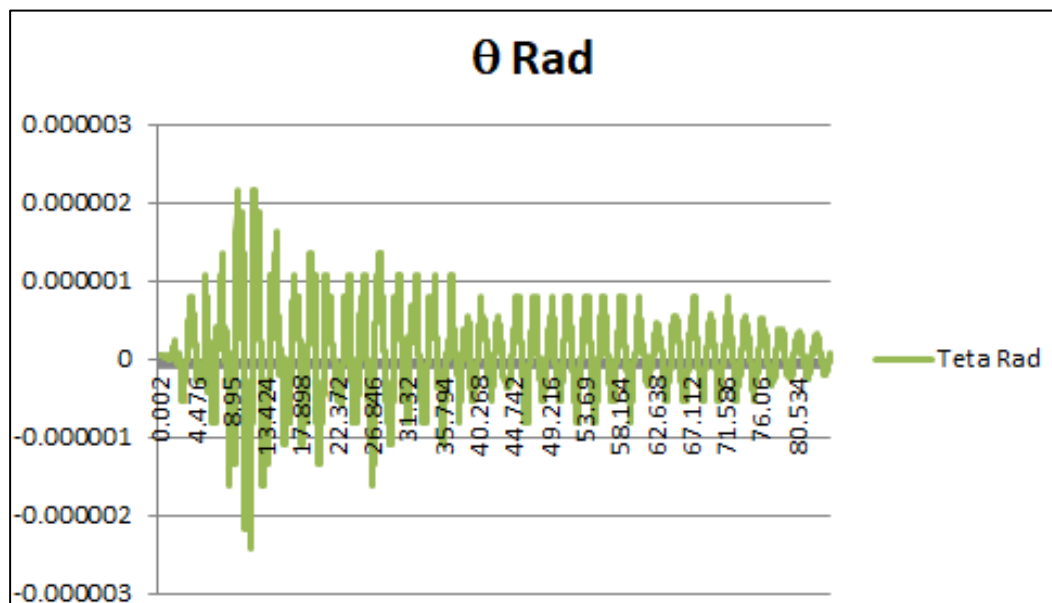


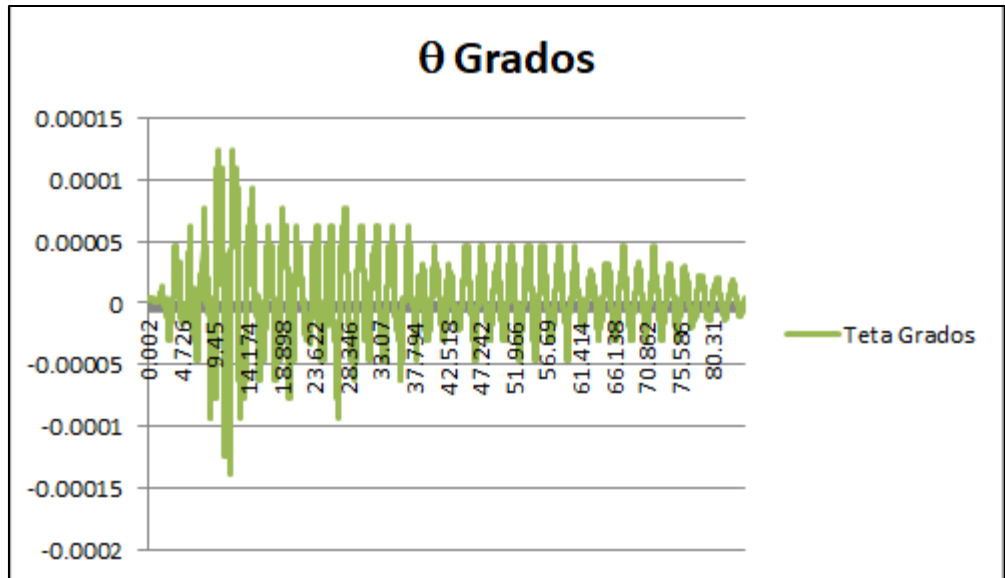


**4.1.4.8. Torsión en Piso 5**

$\theta_{max}$ Rad.	2.4357E-06
$\theta_{max}$ Grados.	0.00013956

*Tabla 53* Ángulo de torsión máxima en piso 5

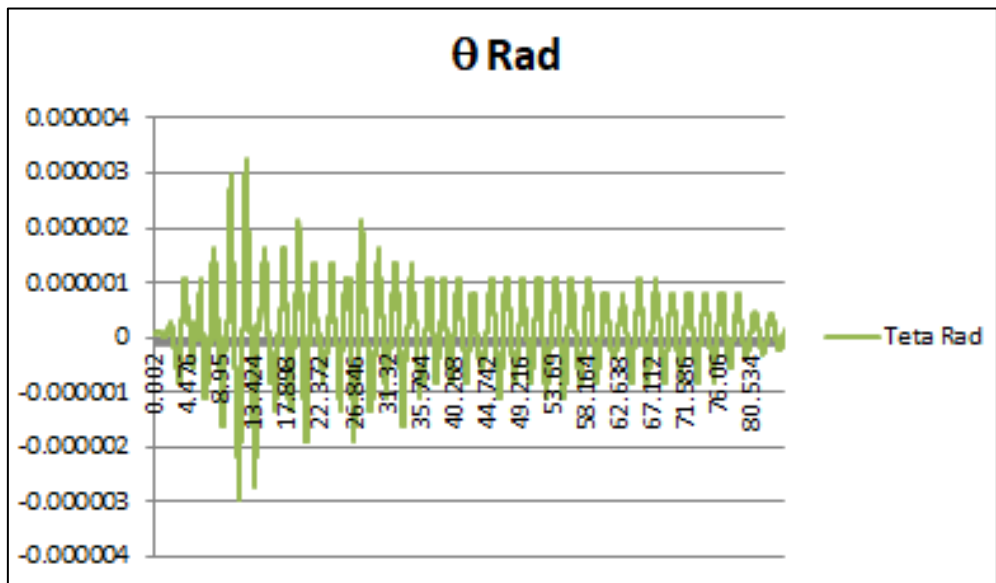


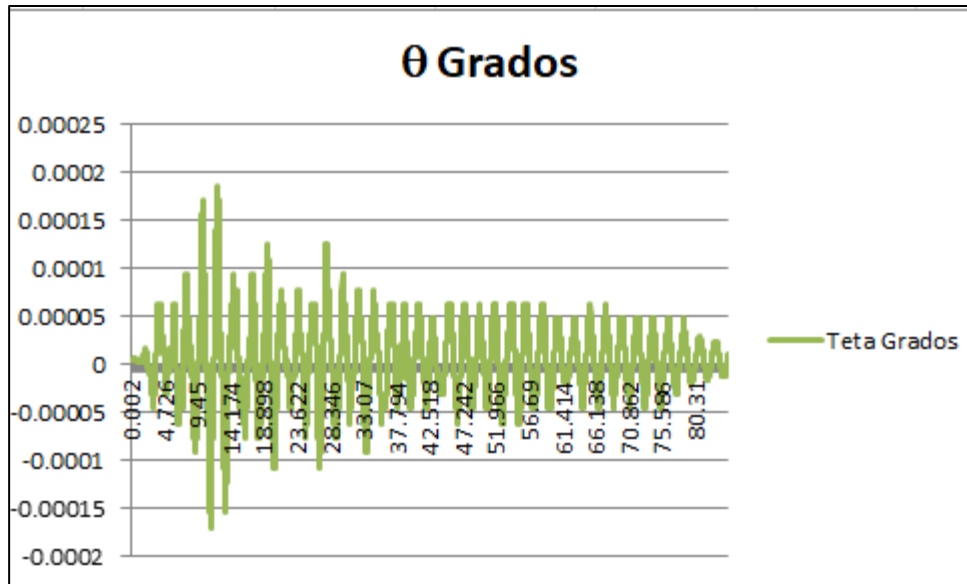


**4.1.4.9. Torsión en Piso 6**

θmax Rad.	3.2476E-06
θmax Grados.	0.00018608

*Tabla 54* Ángulo de torsión máxima en piso 6

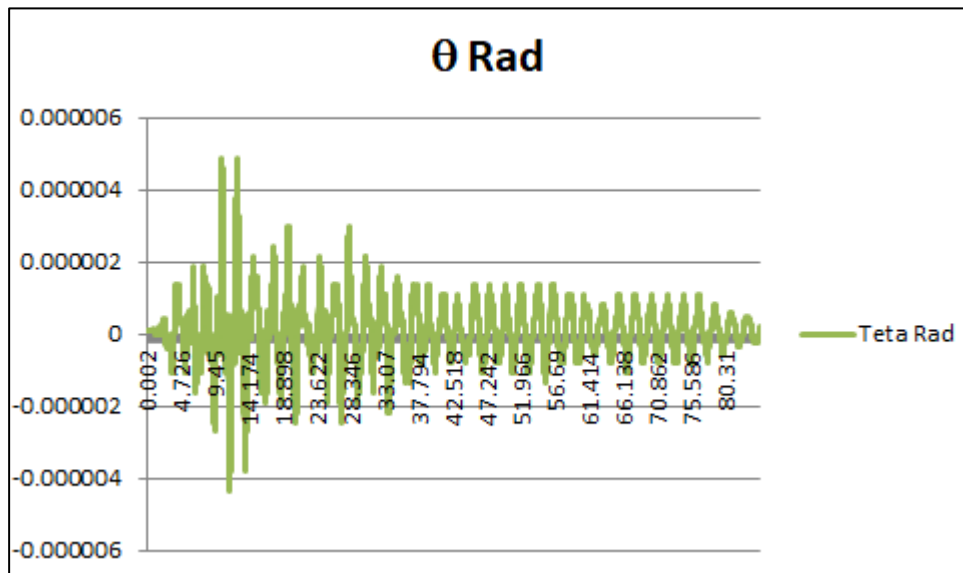


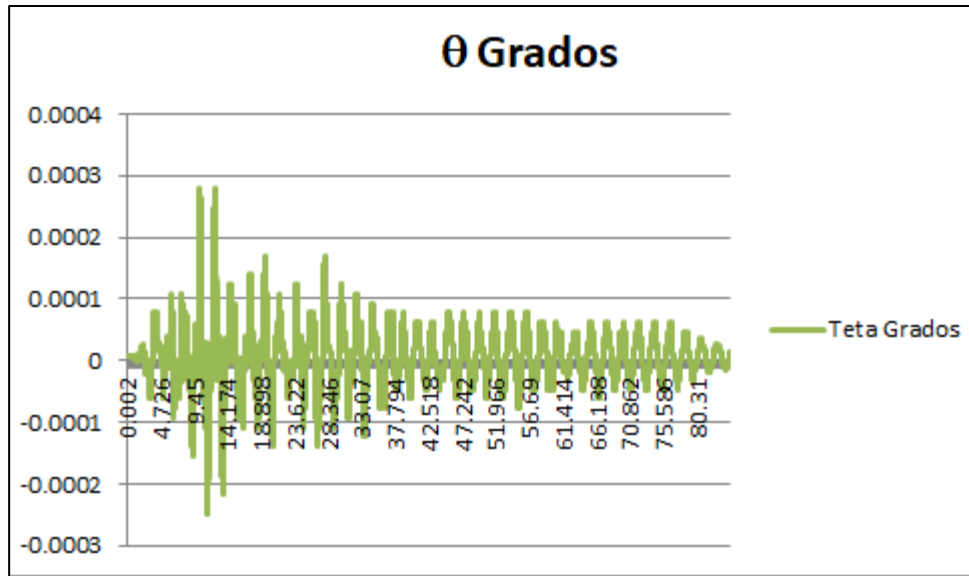


**4.1.4.10. Torsión en Piso 7**

$\theta_{max}$ Rad.	4.8714E-06
$\theta_{max}$ Grados.	0.00027911

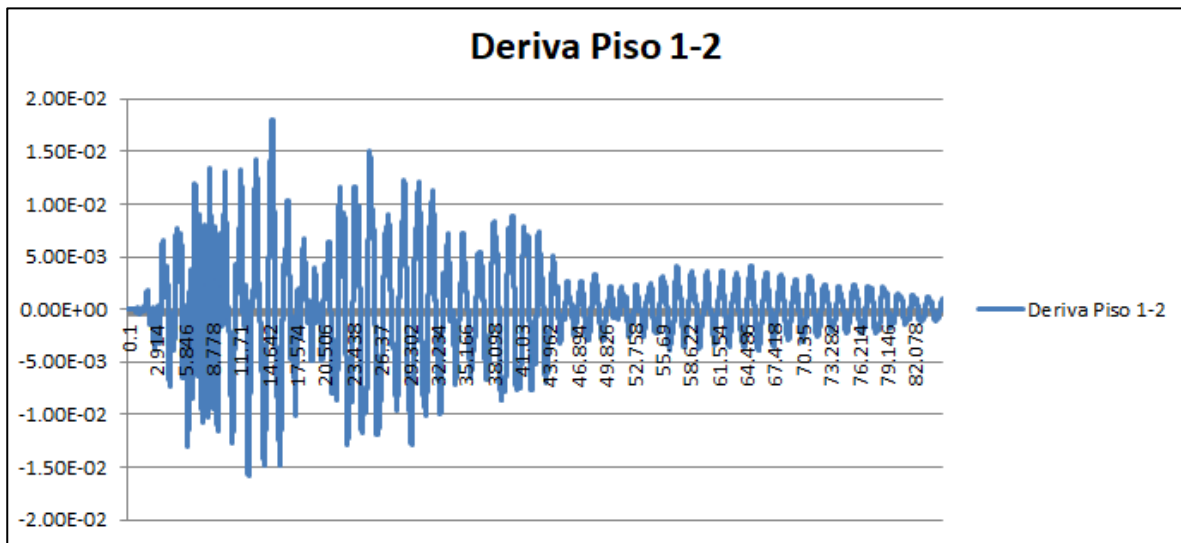
*Tabla 55 Ángulo de torsión máxima en piso 7*

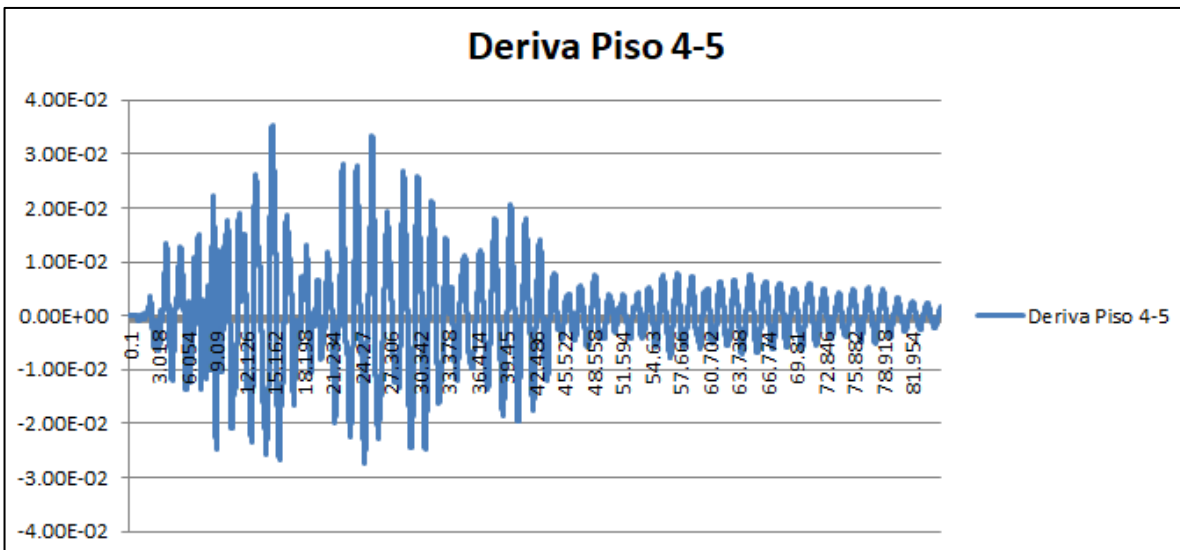
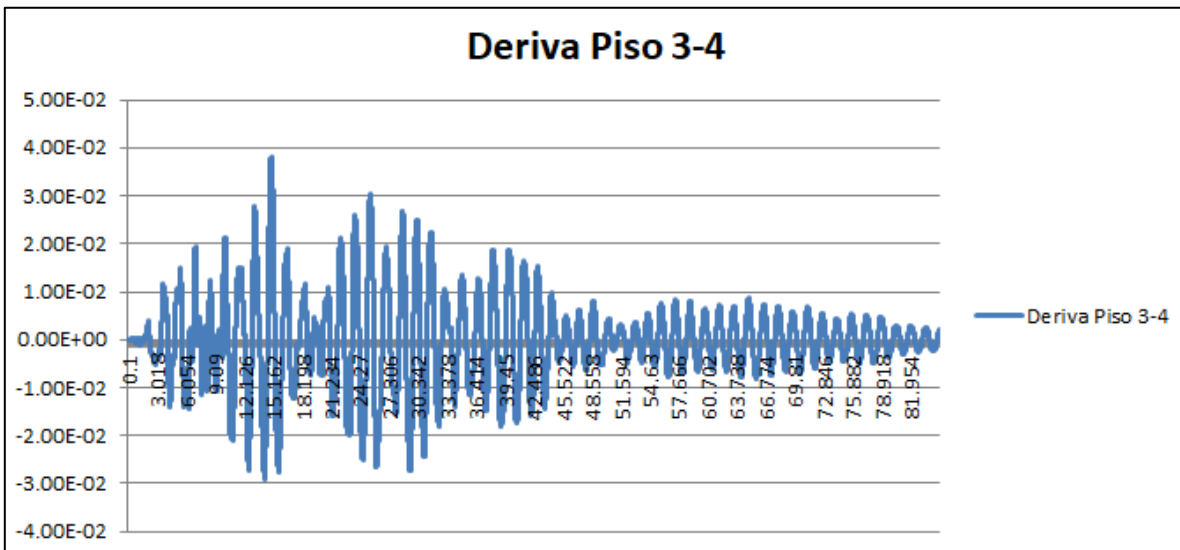
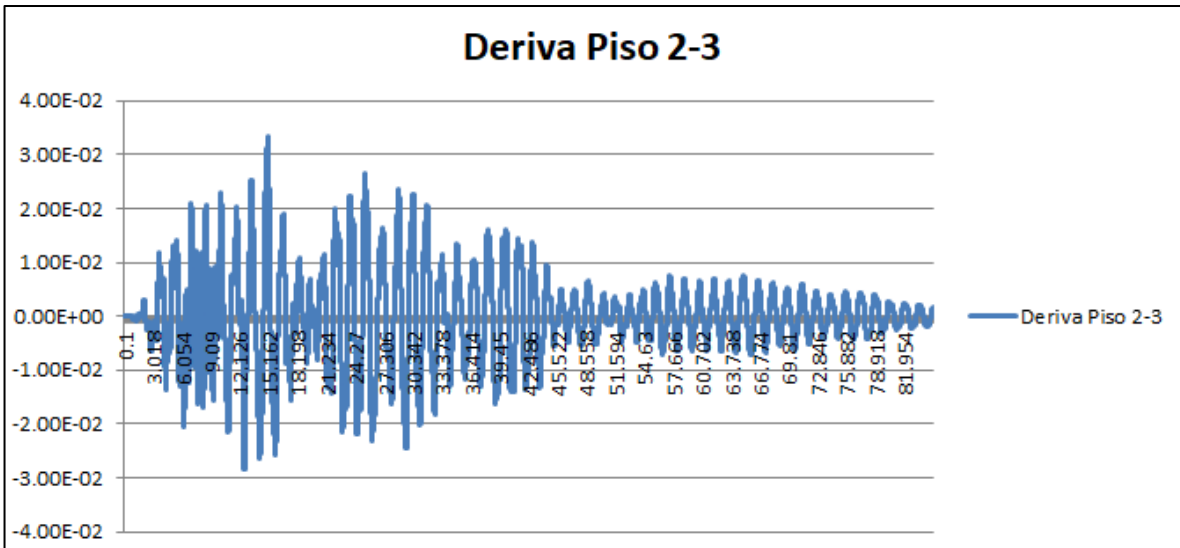


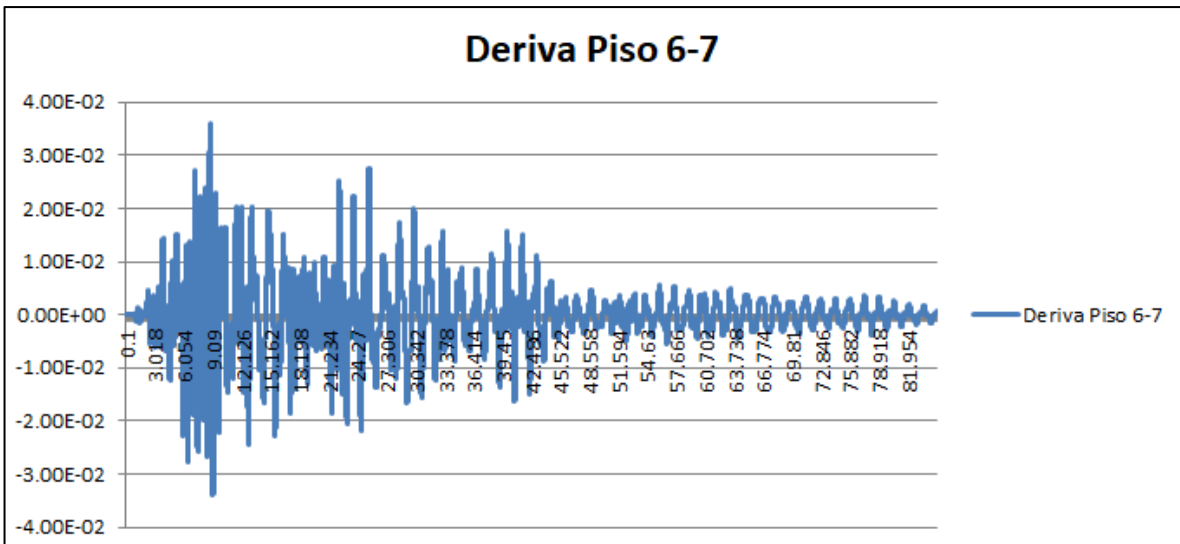
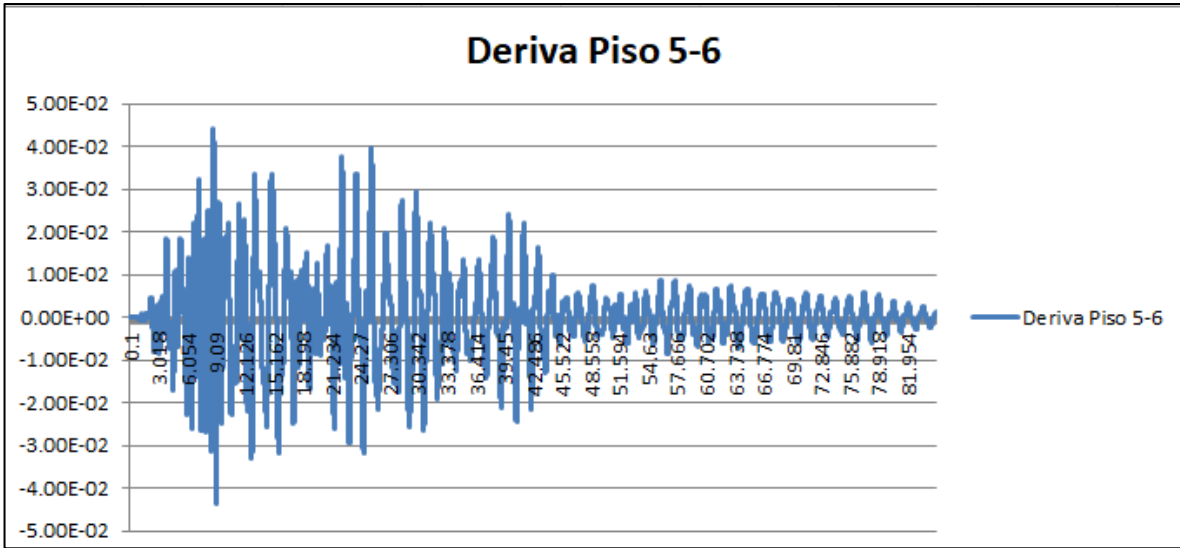


**4.1.5. Resultados elásticos sin inercias agrietadas en X**

**4.1.5.1. Deriva de Piso en X**

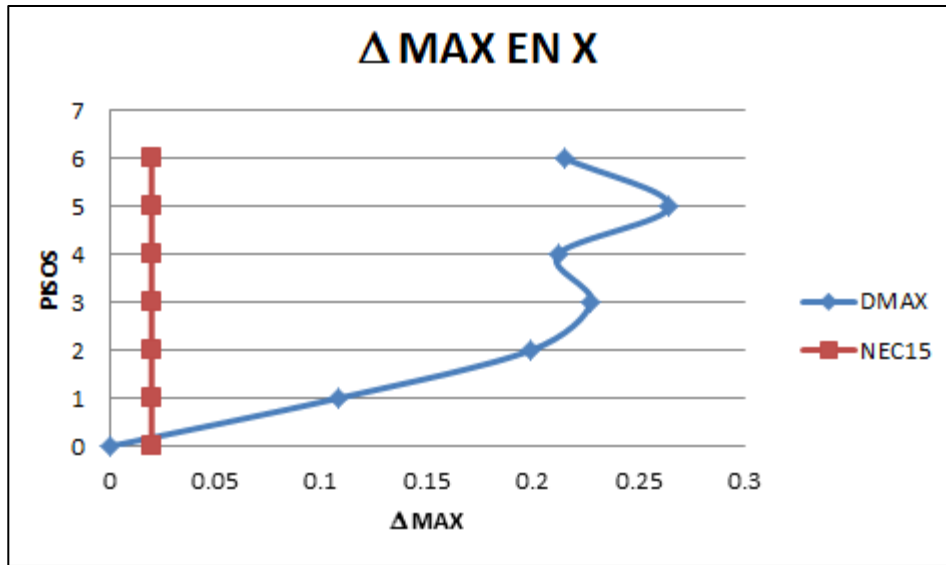




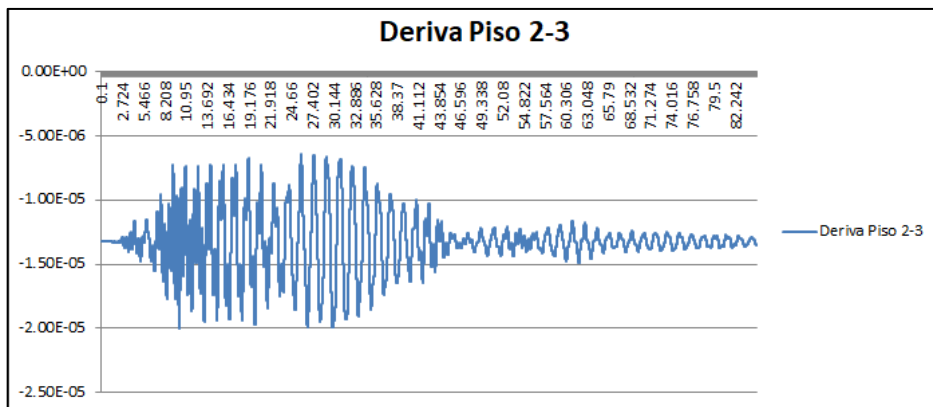
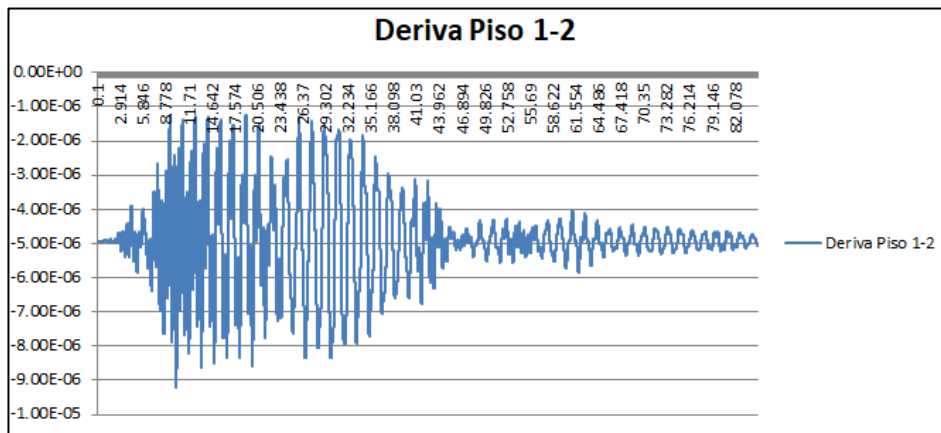


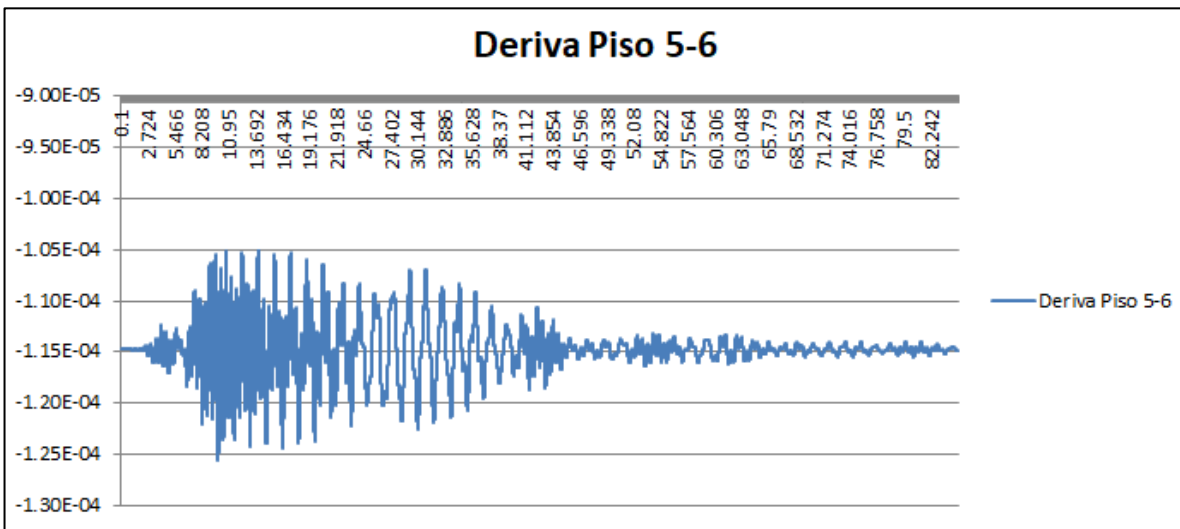
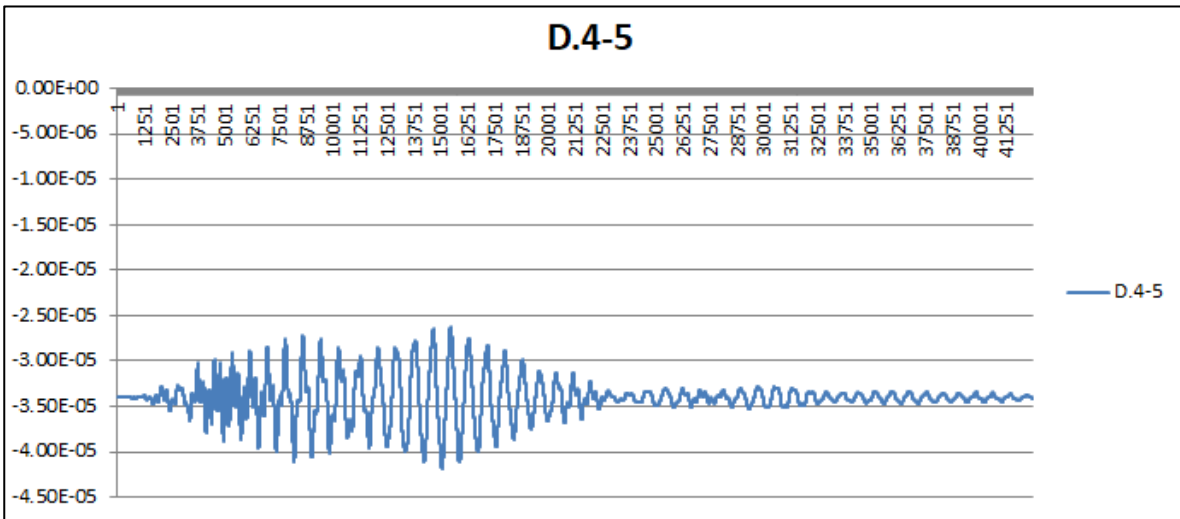
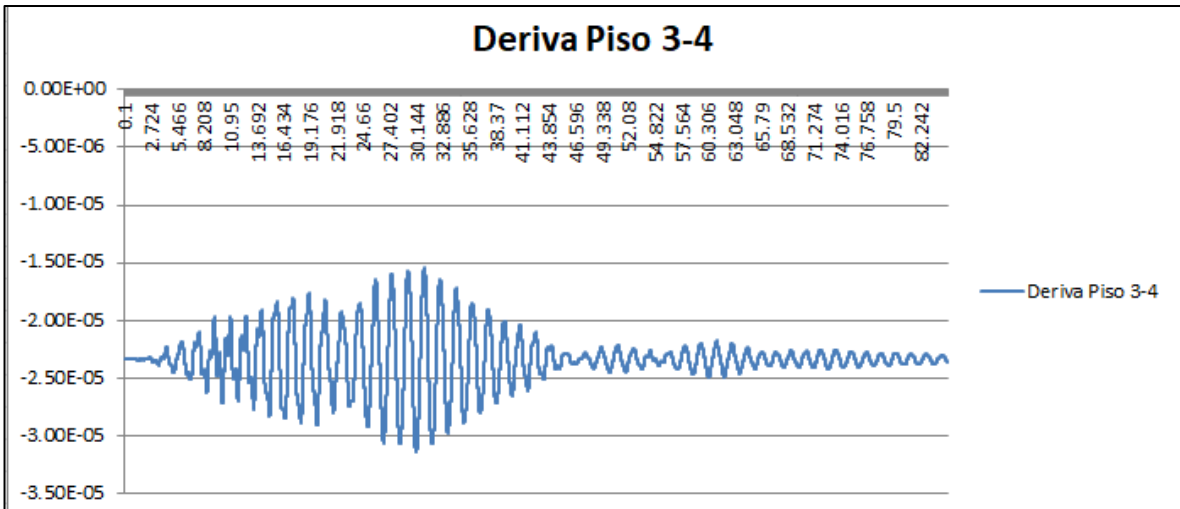
$\Delta\text{MAX1-2}$	0.107904
$\Delta\text{MAX2-3}$	0.1992312
$\Delta\text{MAX3-4}$	0.2276142
$\Delta\text{MAX4-5}$	0.2121048
$\Delta\text{MAX5-6}$	0.2648052
$\Delta\text{MAX6-7}$	0.214857

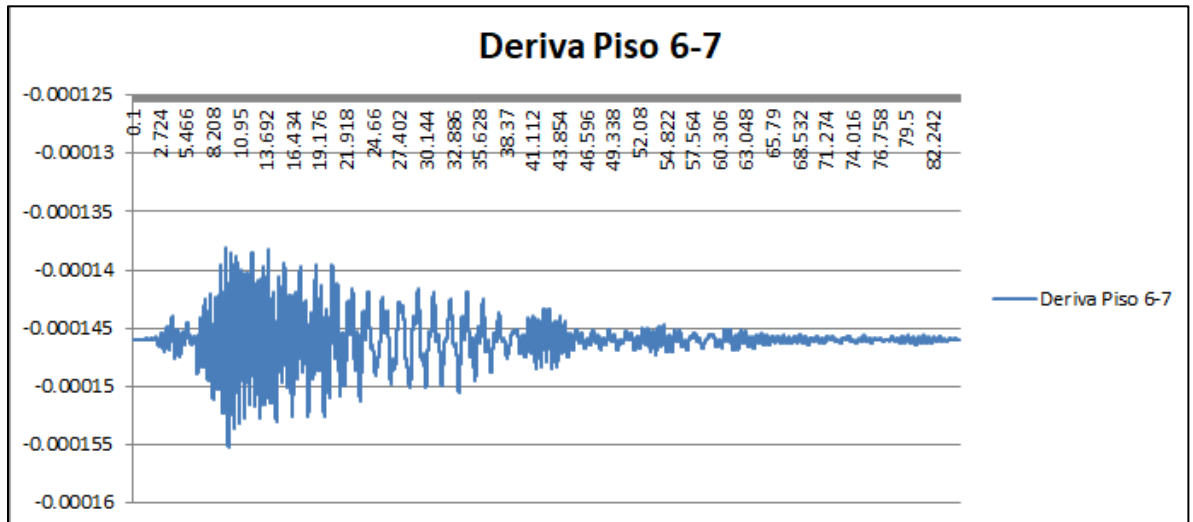
*Tabla 56 Deriva Inelástica máxima en X*



#### 4.1.5.2. Deriva de Piso en Z

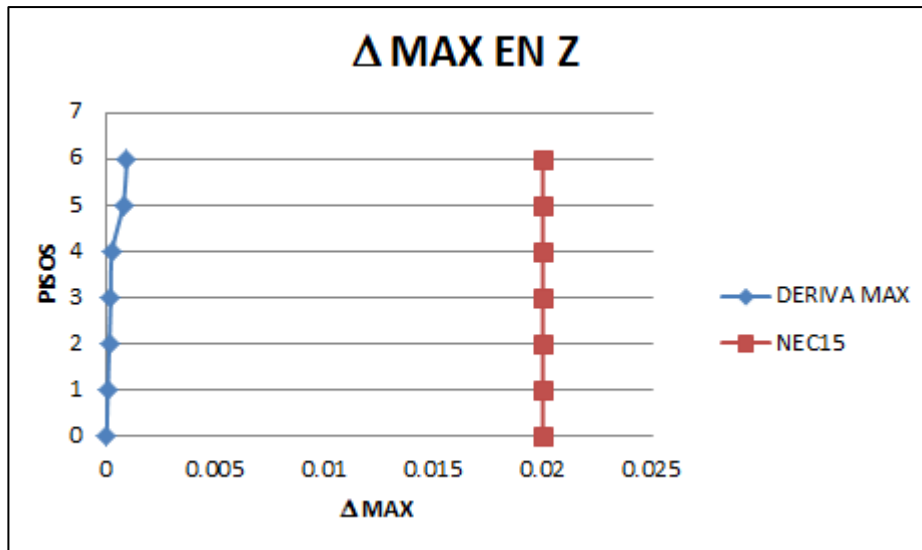




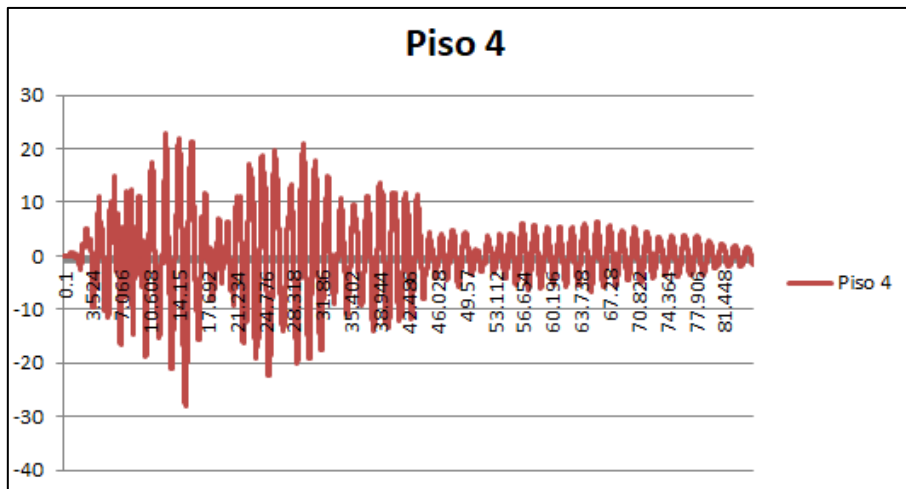
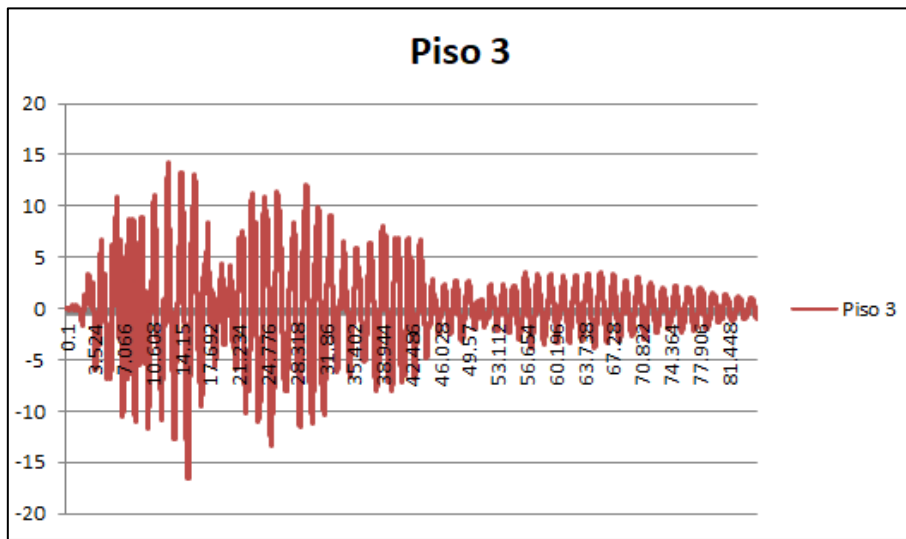
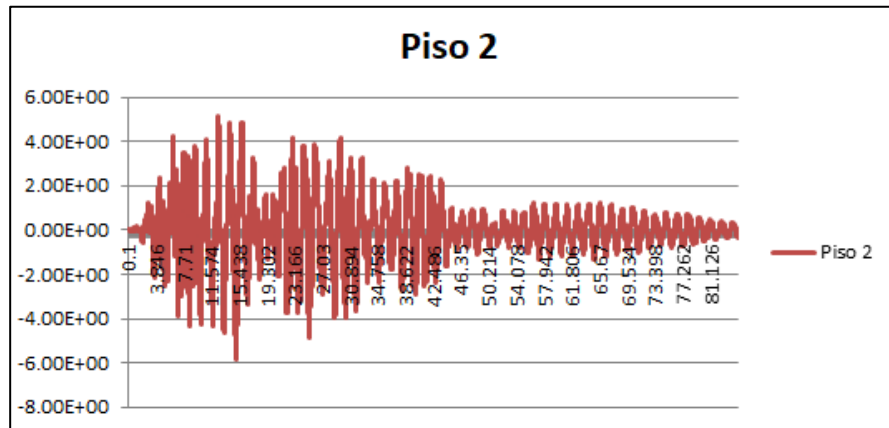


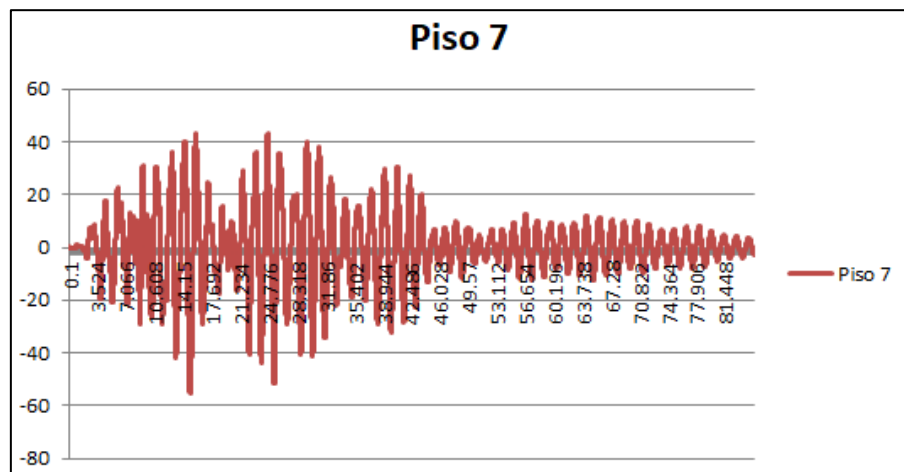
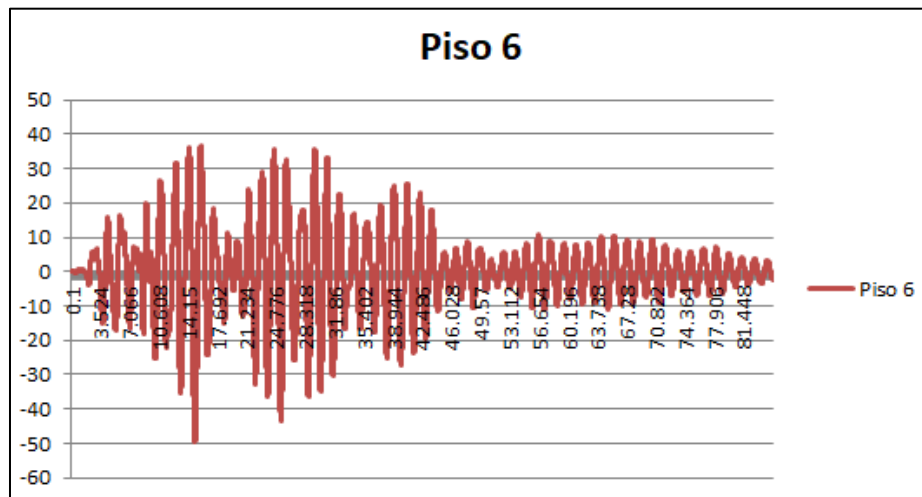
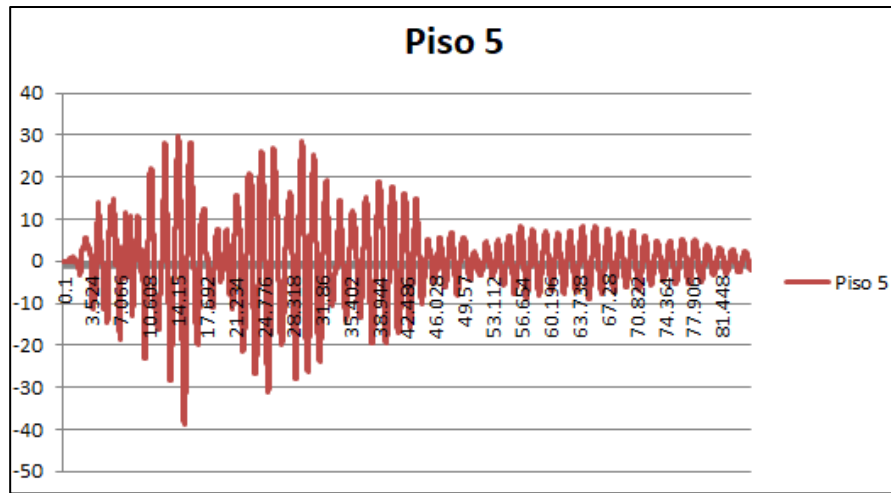
$\Delta MAX1-2$	5.52773E-05
$\Delta MAX2-3$	0.000120358
$\Delta MAX3-4$	0.000188
$\Delta MAX4-5$	0.0002513
$\Delta MAX5-6$	0.000753108
$\Delta MAX6-7$	0.000931812

Tabla 57 Deriva Inelástica máxima en Z



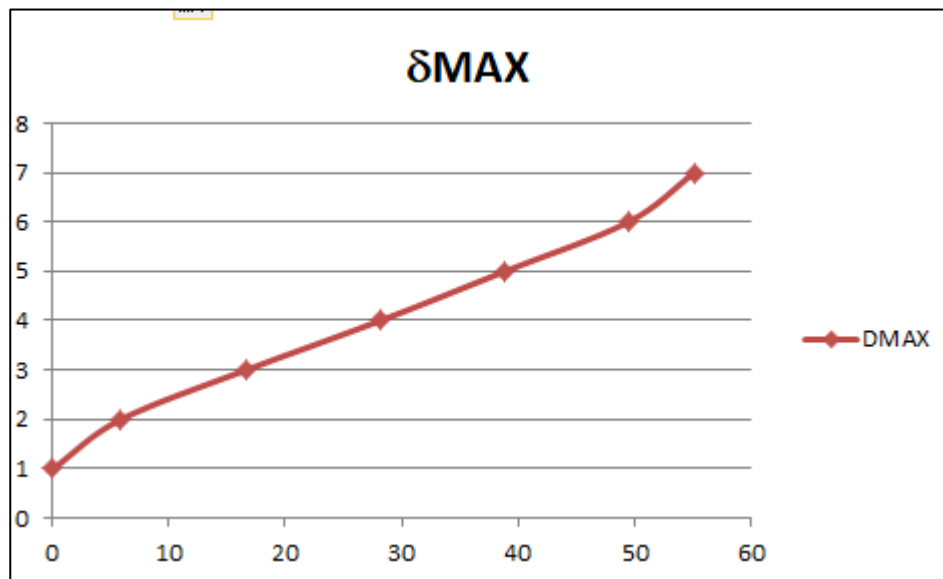
### 4.1.5.3. Deformaciones en X



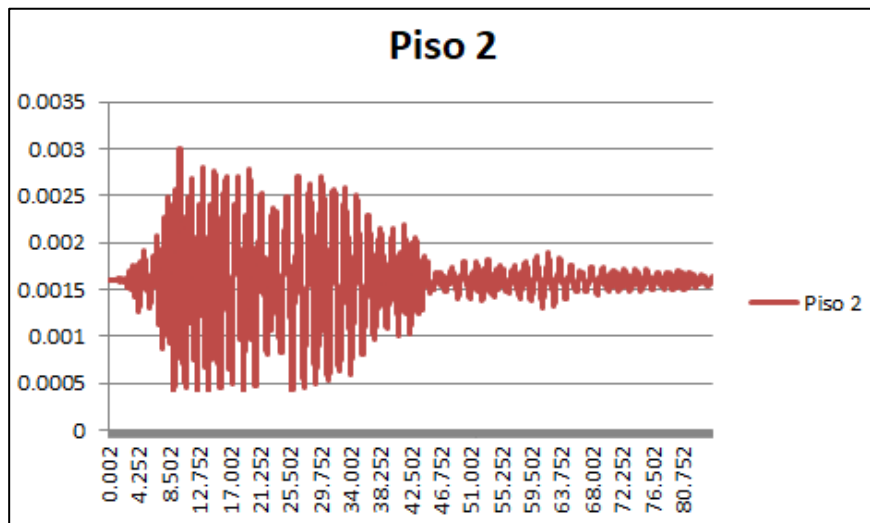


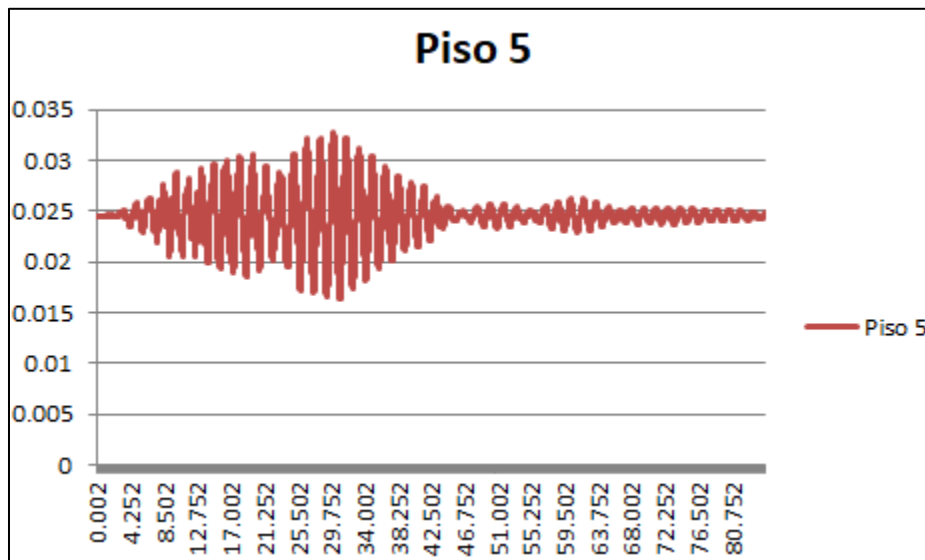
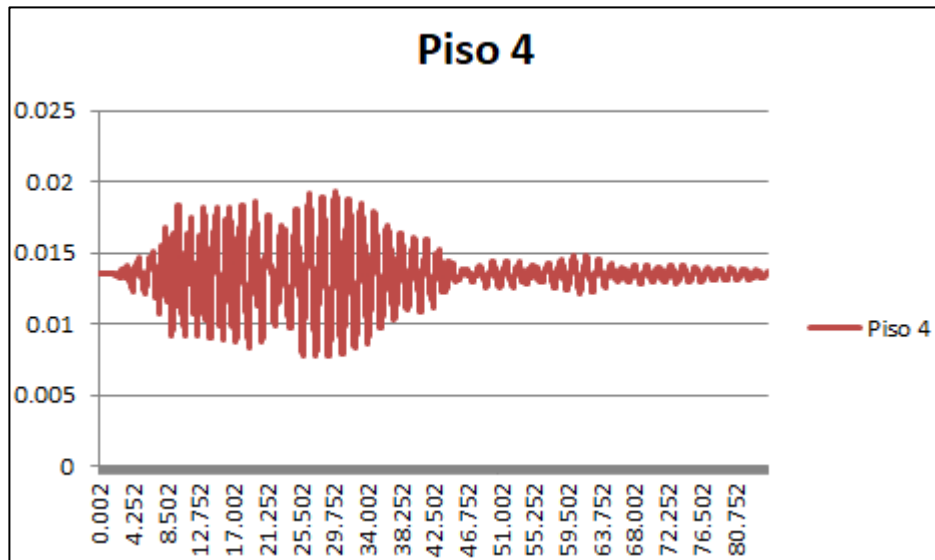
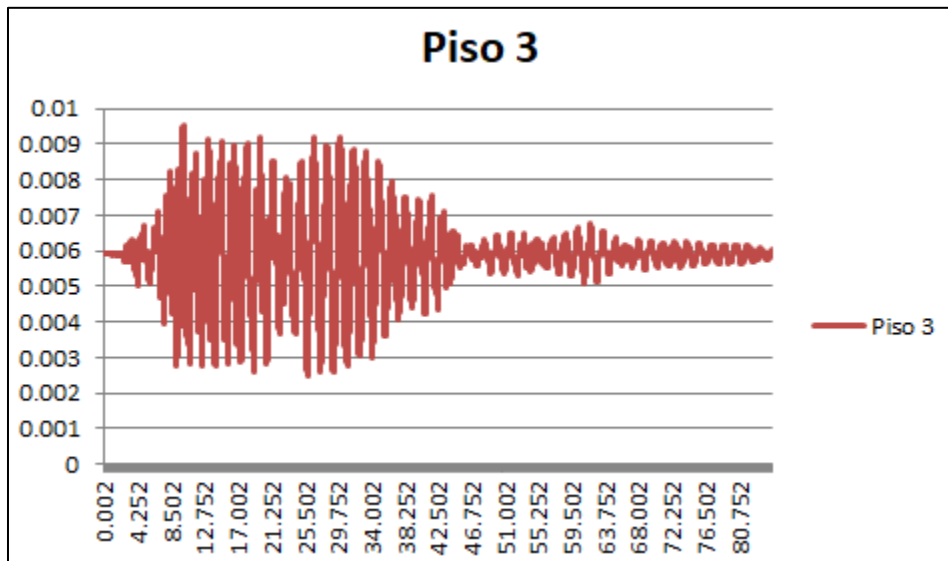
$\delta_{MAX1}$	0
$\delta_{MAX2}$	5.84481
$\delta_{MAX3}$	16.6028
$\delta_{MAX4}$	28.1421
$\delta_{MAX5}$	38.8724
$\delta_{MAX6}$	49.5035
$\delta_{MAX7}$	55.1849

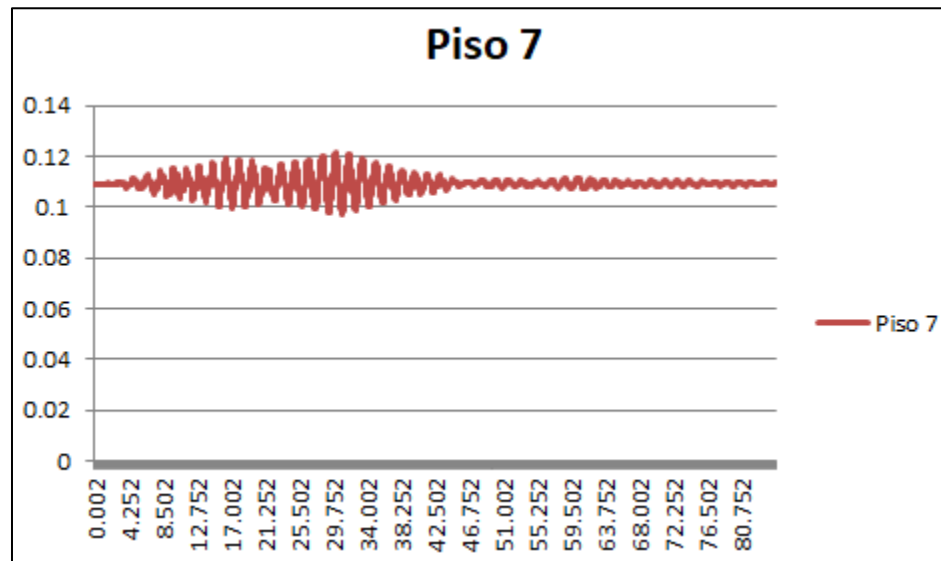
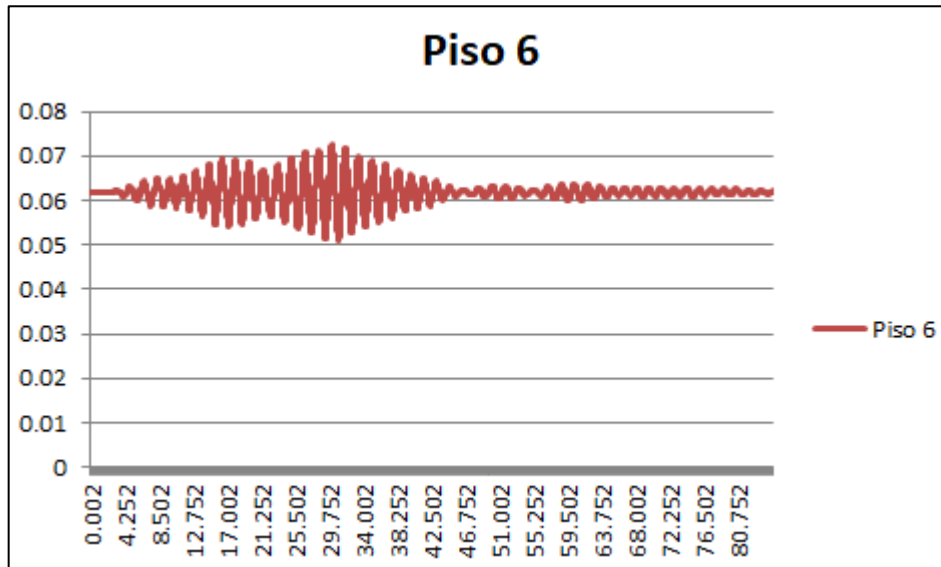
Tabla 58 Deformaciones máximas de piso en X



#### 4.1.5.4. Deformaciones en Z

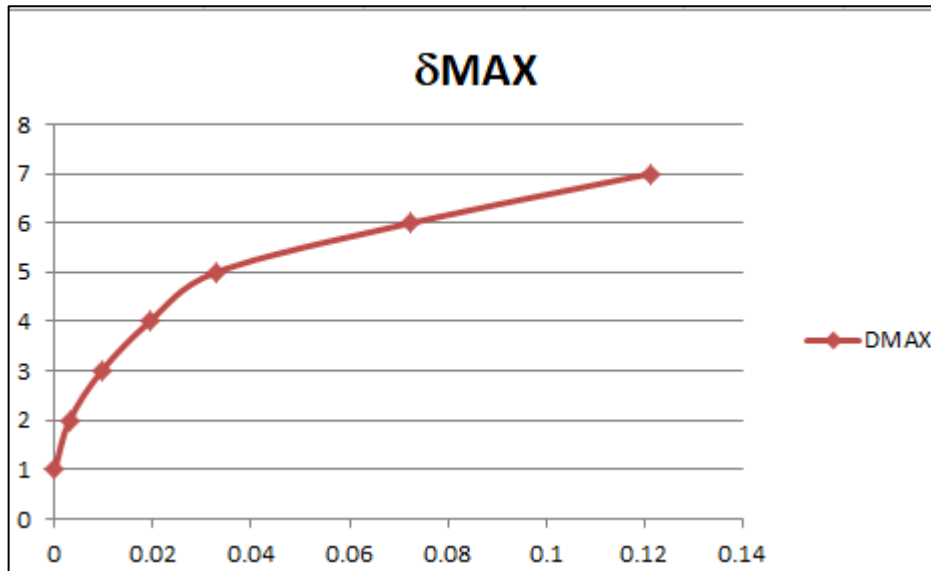






$\delta_{MAX1}$	0
$\delta_{MAX2}$	0.00299419
$\delta_{MAX3}$	0.00951358
$\delta_{MAX4}$	0.0193099
$\delta_{MAX5}$	0.03281
$\delta_{MAX6}$	0.072598
$\delta_{MAX7}$	0.121372

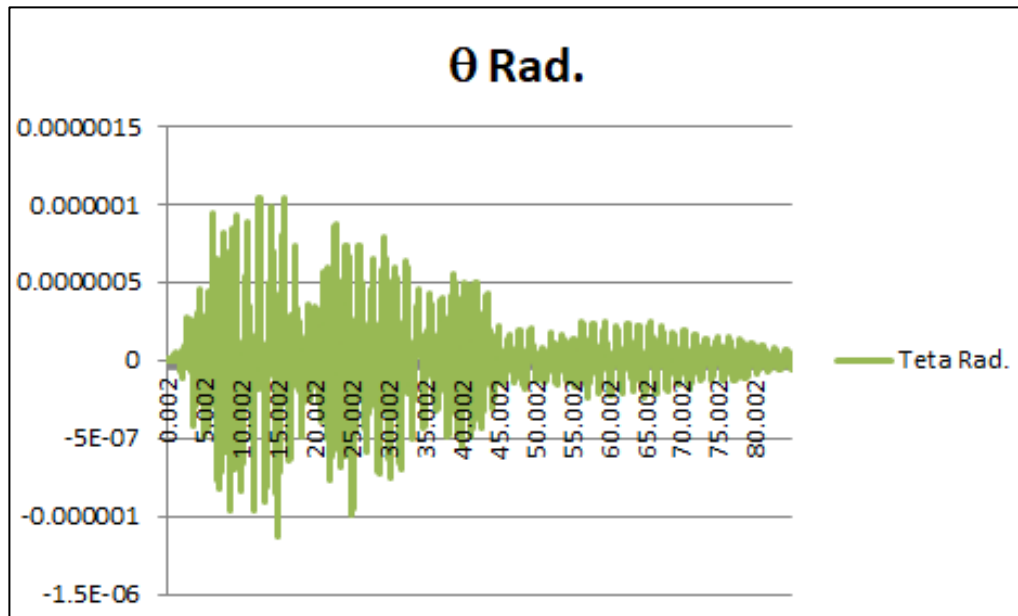
*Tabla 59 Deformaciones máximas de piso en Z*

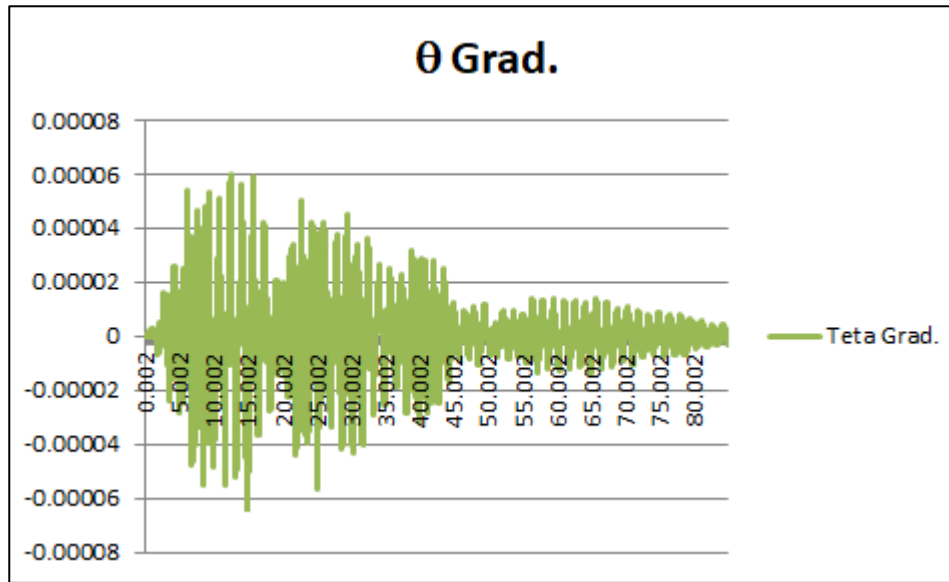


#### 4.1.5.5. Torsión en Piso 2

$\theta_{\max}$ Rad.	1.1234E-06
$\theta_{\max}$ Grados.	6.4364E-05

Tabla 60 Ángulo máximo de torsión en piso 2

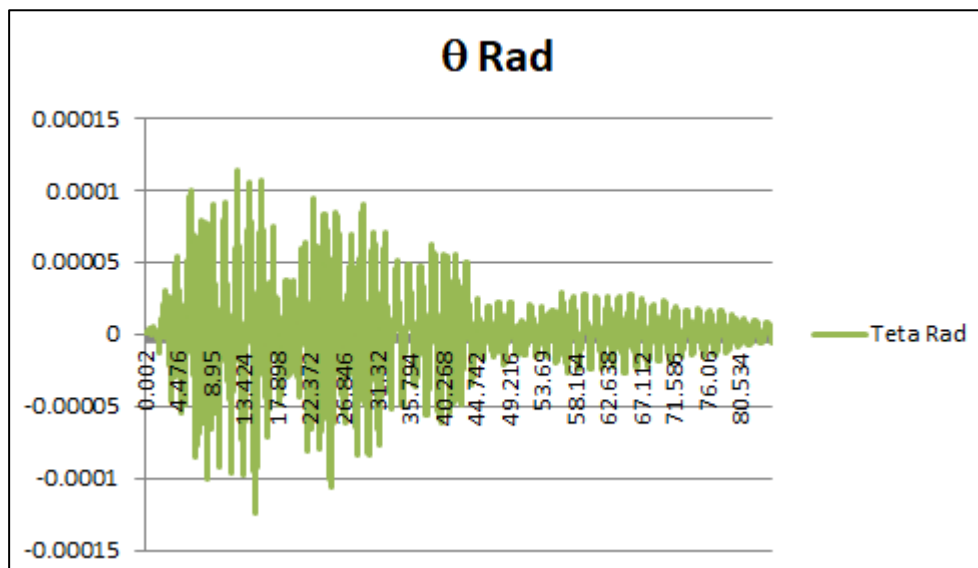


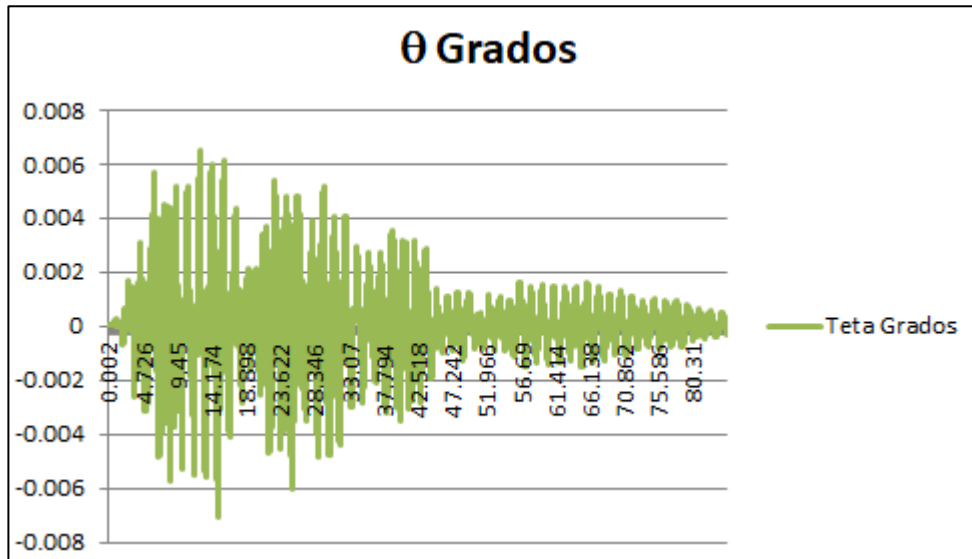


#### 4.1.5.6. Torsión en Piso 3

$\theta_{\max}$ Rad.	2.1604E-06
$\theta_{\max}$ Grados.	0.00012378

*Tabla 61* Ángulo máximo de torsión en piso 3

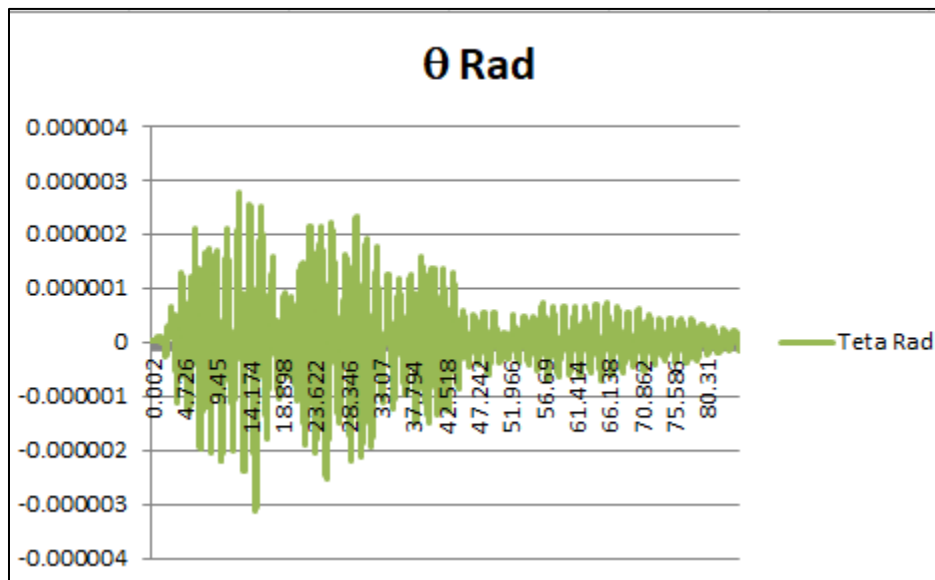


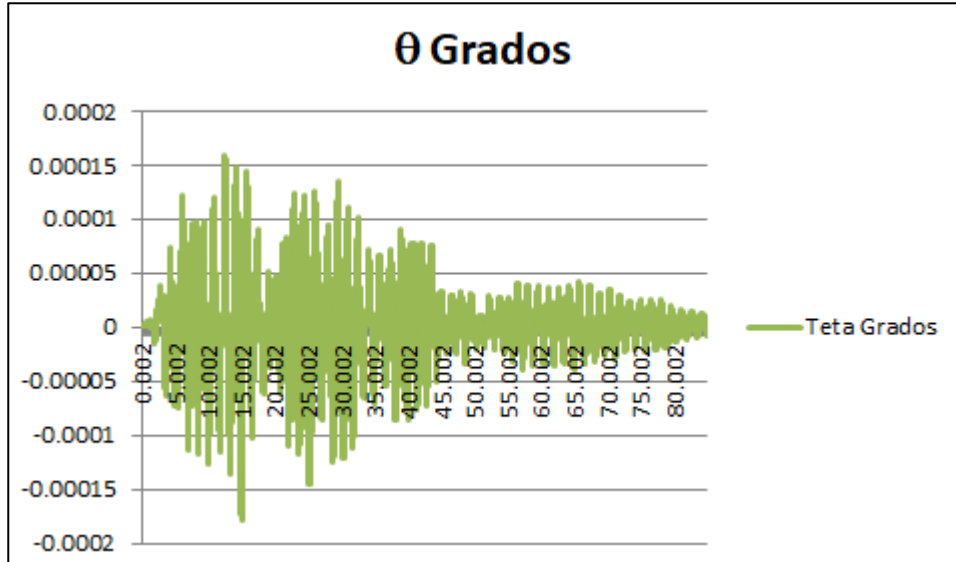


#### 4.1.5.7. Torsión en Piso 4

θmax Rad.	3.1112E-06
θmax Grados.	0.00017826

Tabla 62 Ángulo máximo de torsión en piso 4

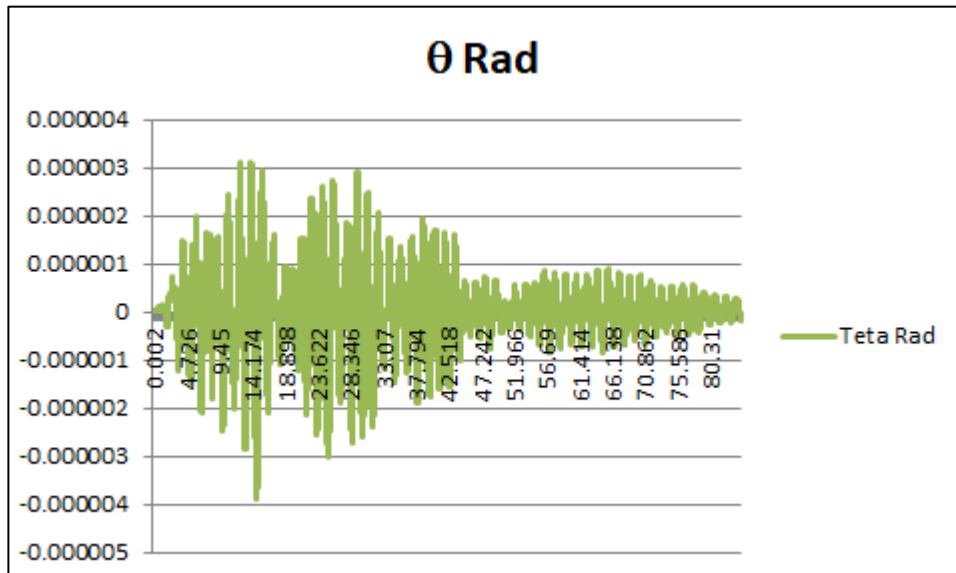


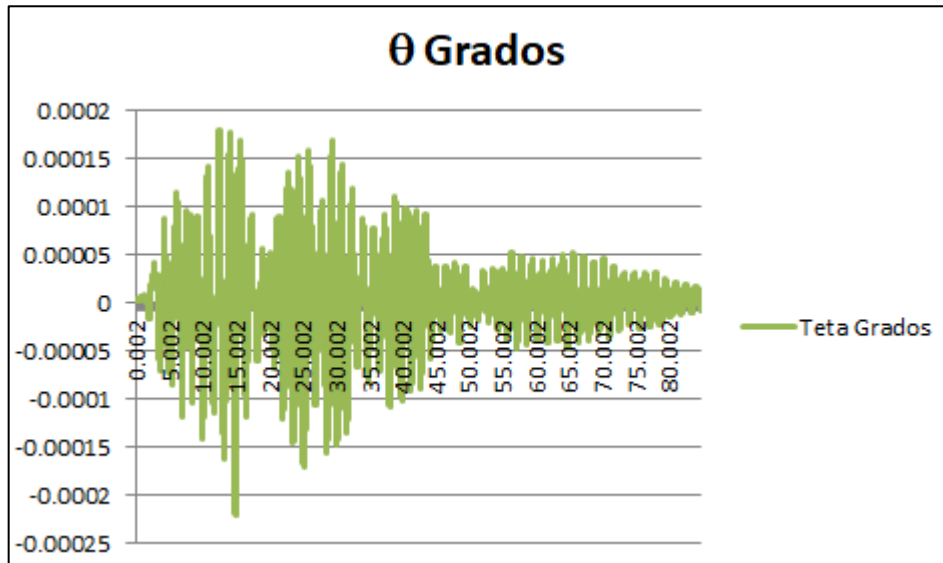


**4.1.5.8. Torsión en Piso 5**

$\theta_{\max}$ Rad.	3.8698E-06
$\theta_{\max}$ Grados.	0.00022172

*Tabla 63* Ángulo máximo de torsión en piso 5

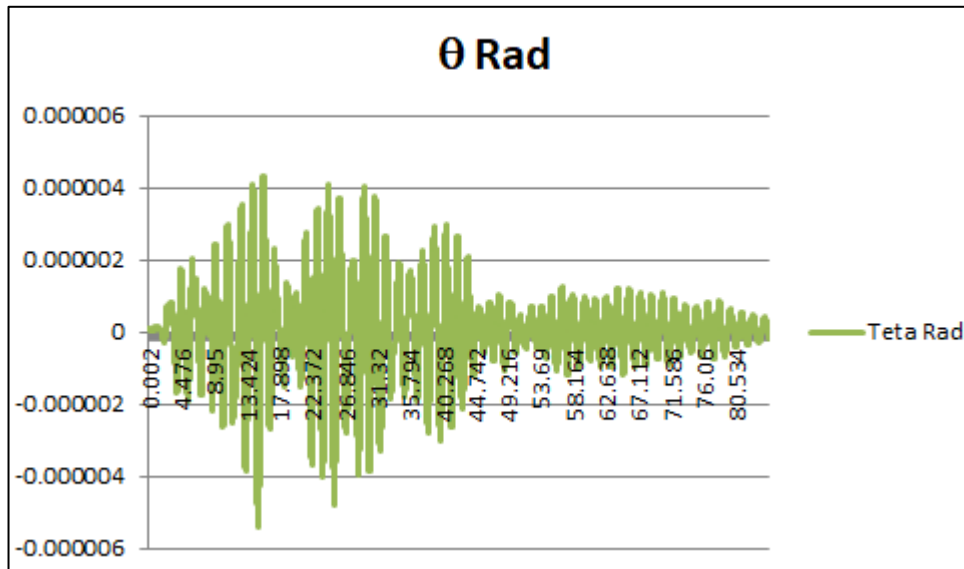


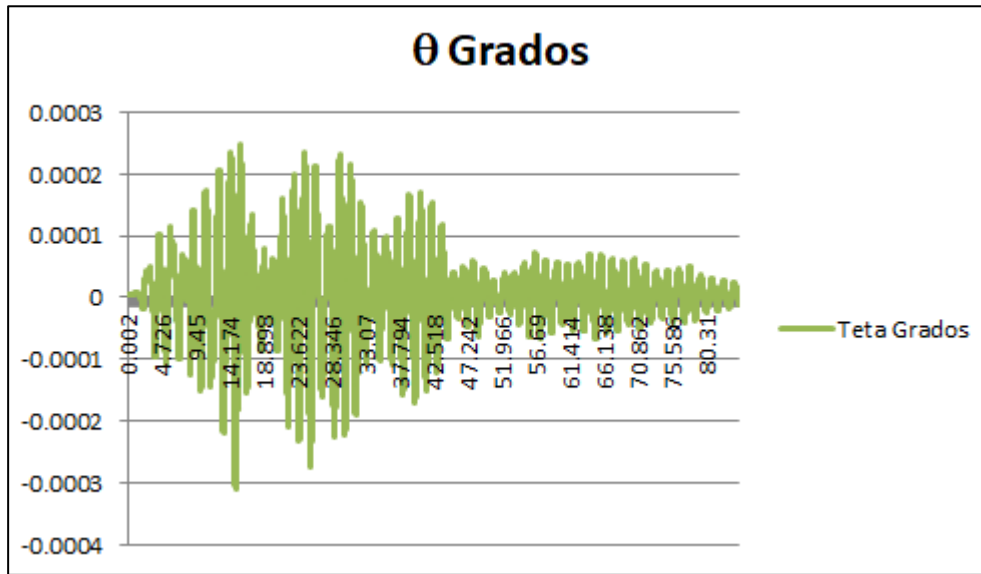


**4.1.5.9.Torsión en Piso 6**

$\theta_{max}$ Rad.	5.394E-06
$\theta_{max}$ Grados.	0.00030906

*Tabla 64* Ángulo máximo de torsión en piso 6

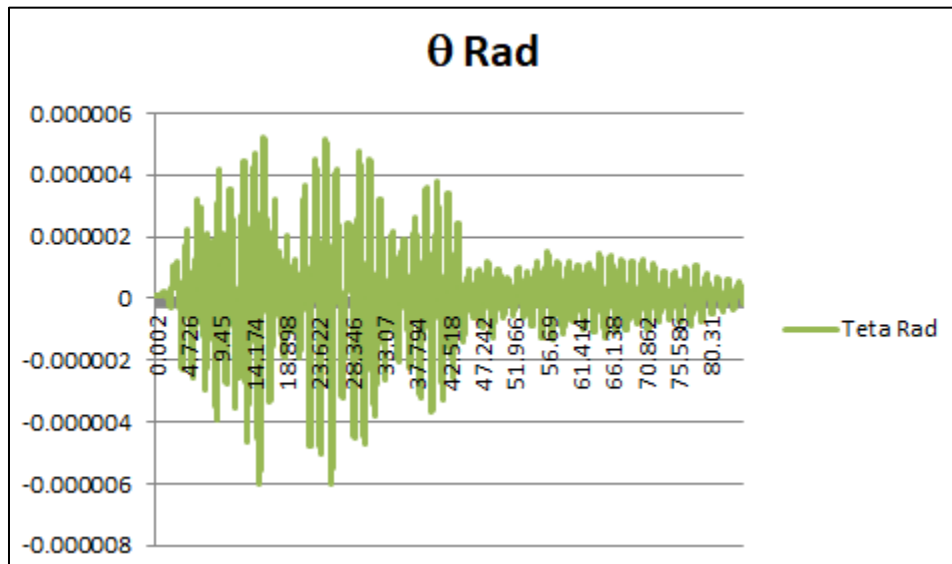


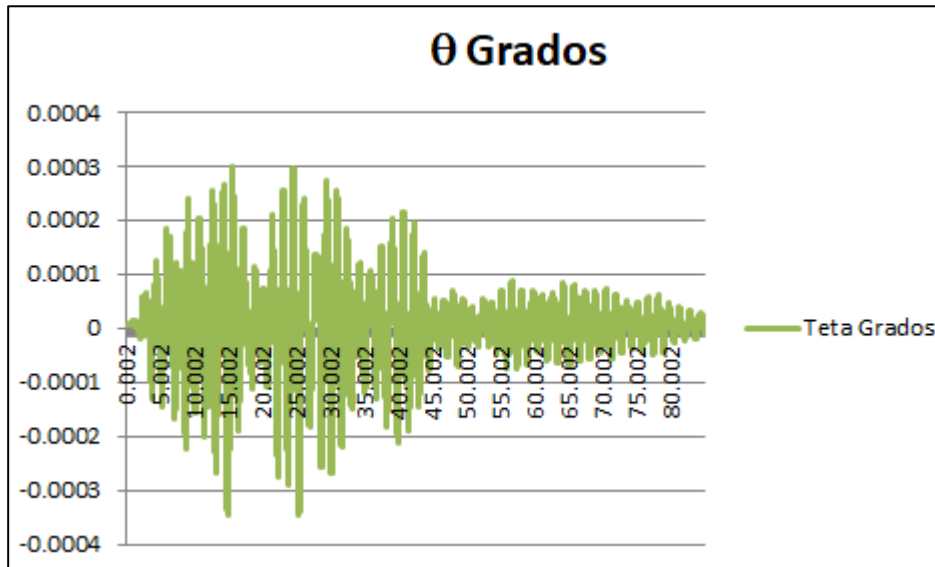


**4.1.5.10. Torsión en Piso 7**

$\theta_{max}$ Rad.	6.0244E-06
$\theta_{max}$ Grados.	0.00034517

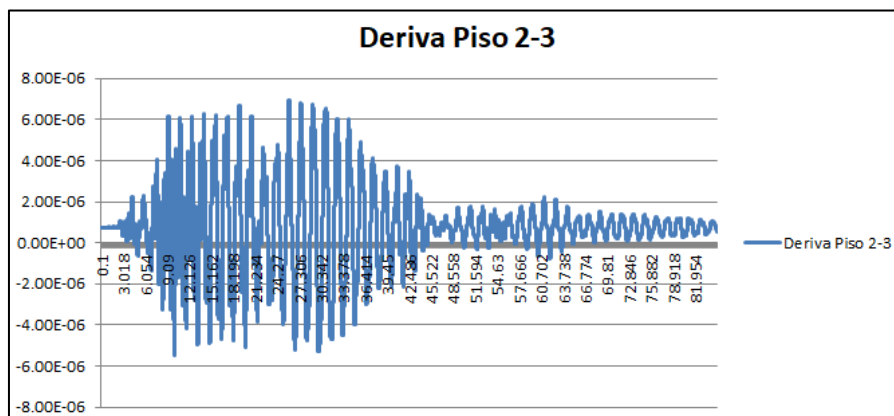
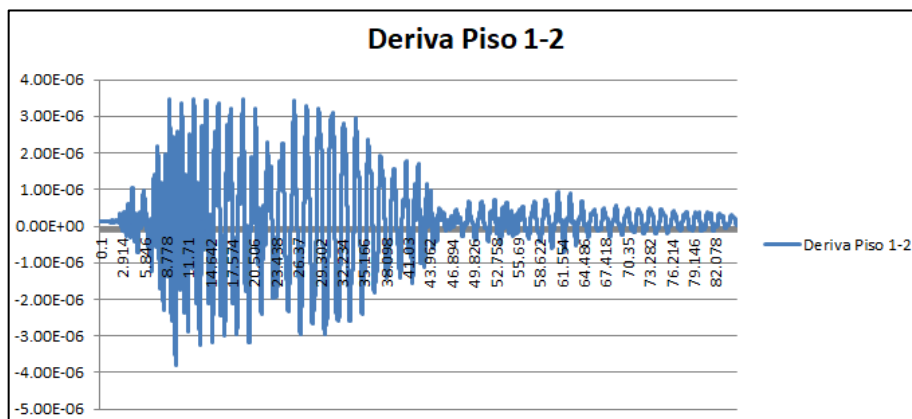
*Tabla 65* Ángulo máximo de torsión en piso 7

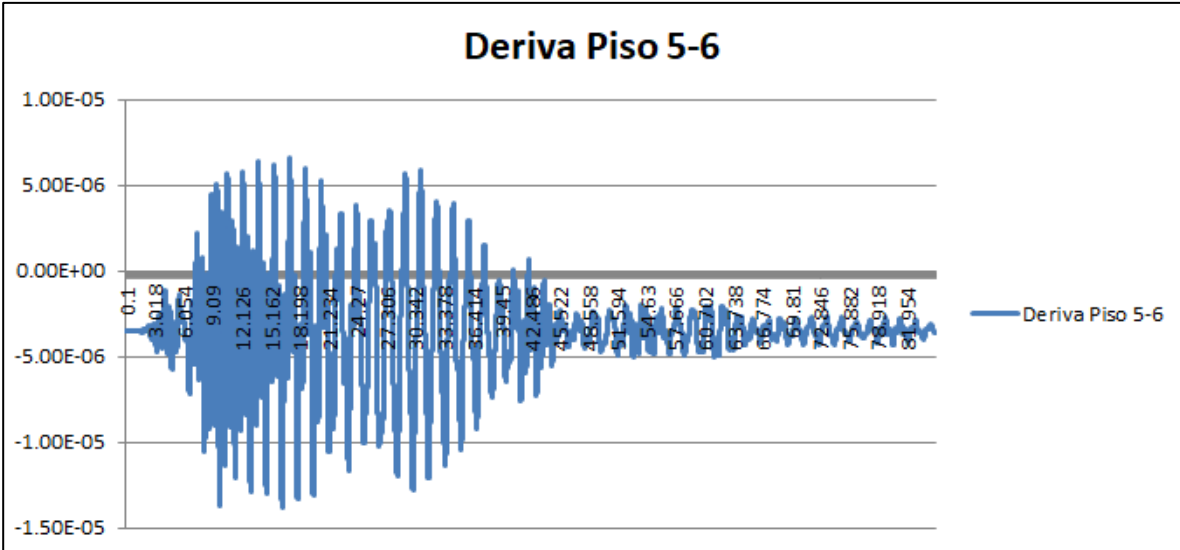
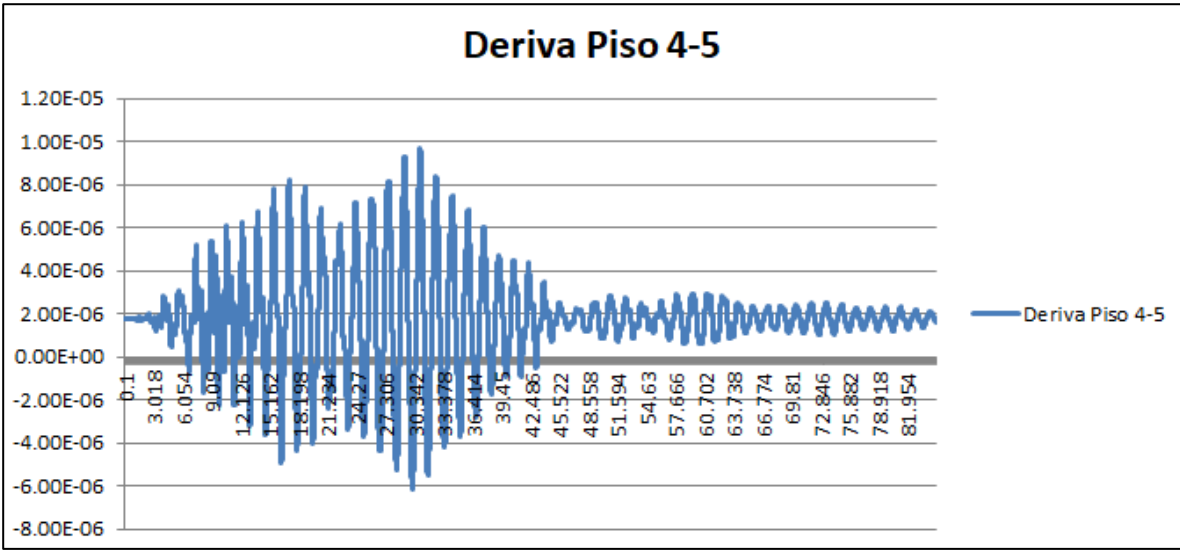
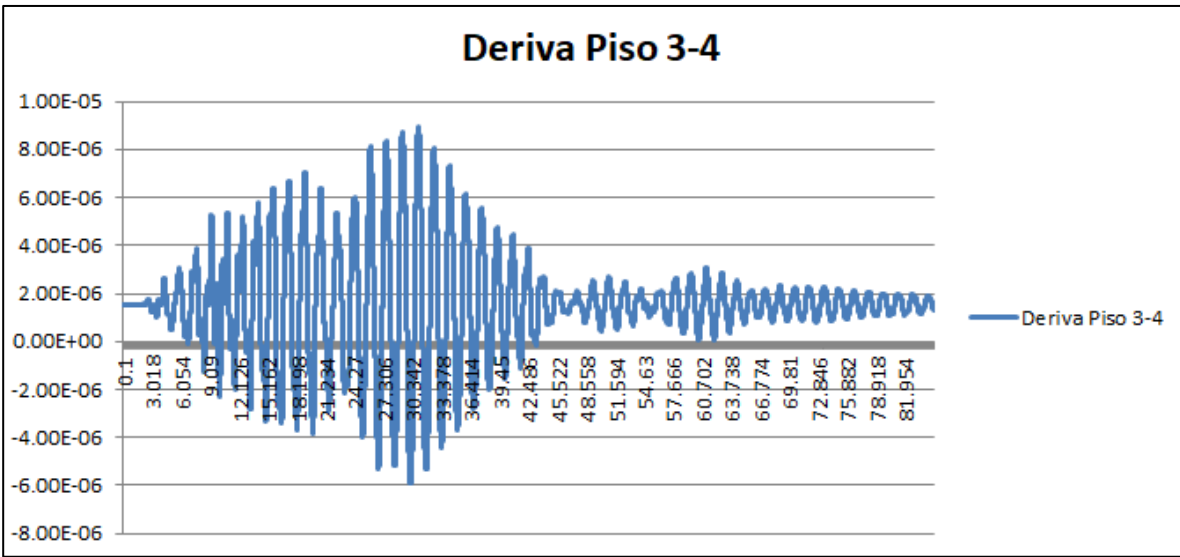


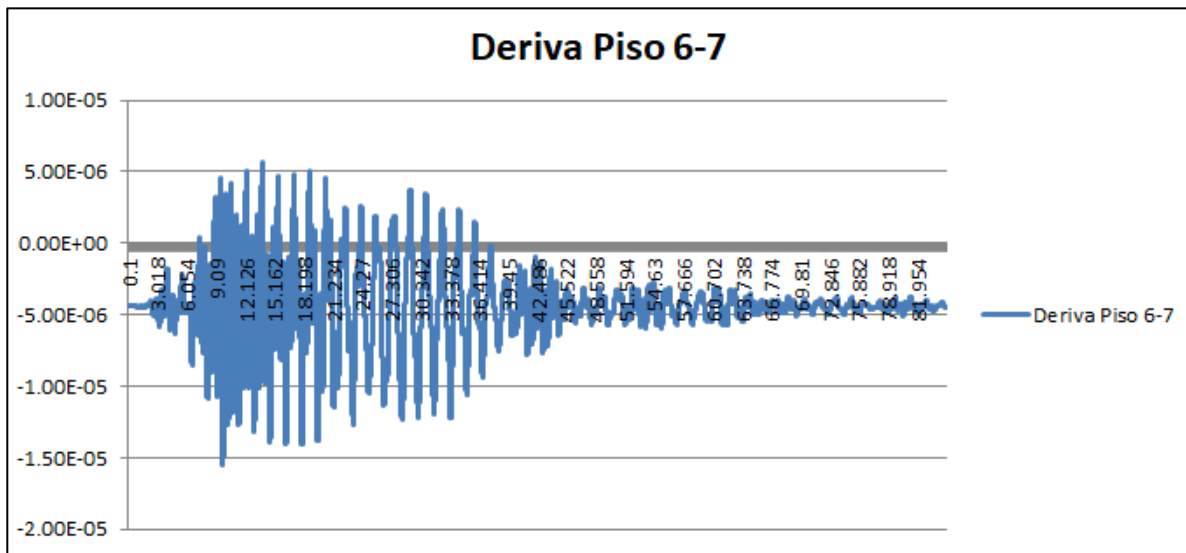


#### 4.1.6. Resultados elásticos sin inercias agrietadas en Z

##### 4.1.6.1. Deriva de Piso en X

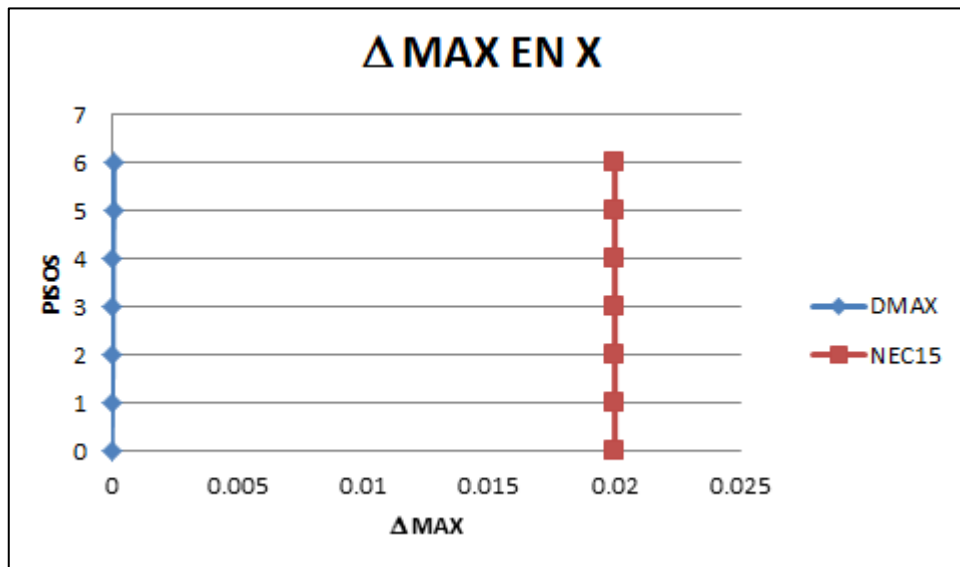




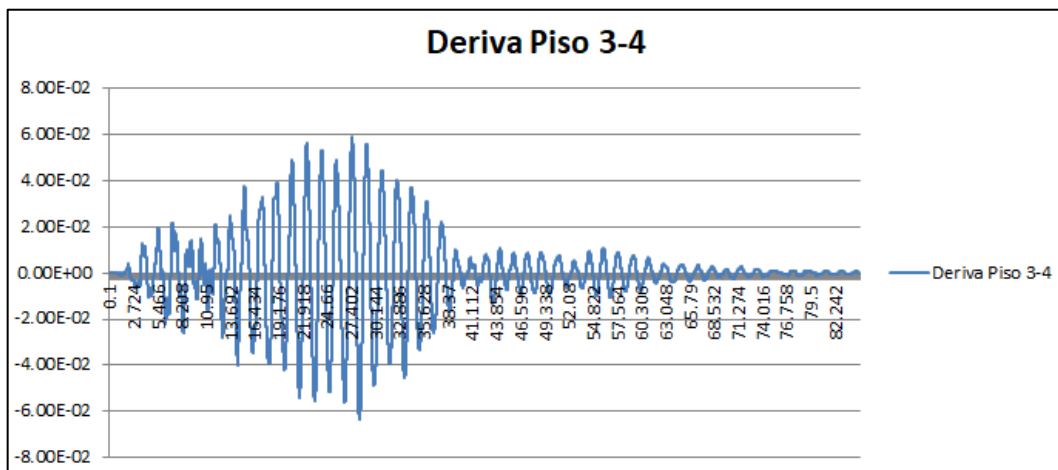
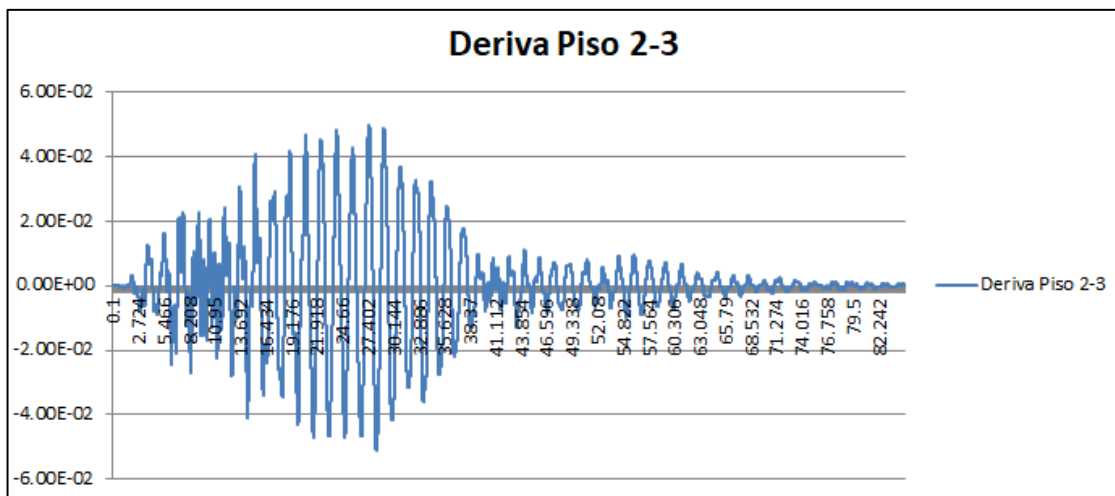
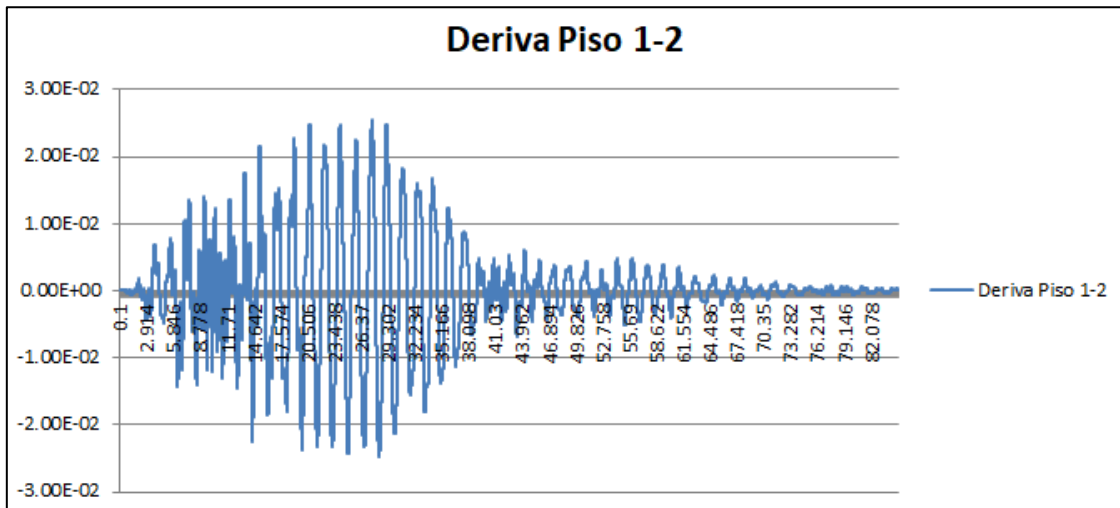


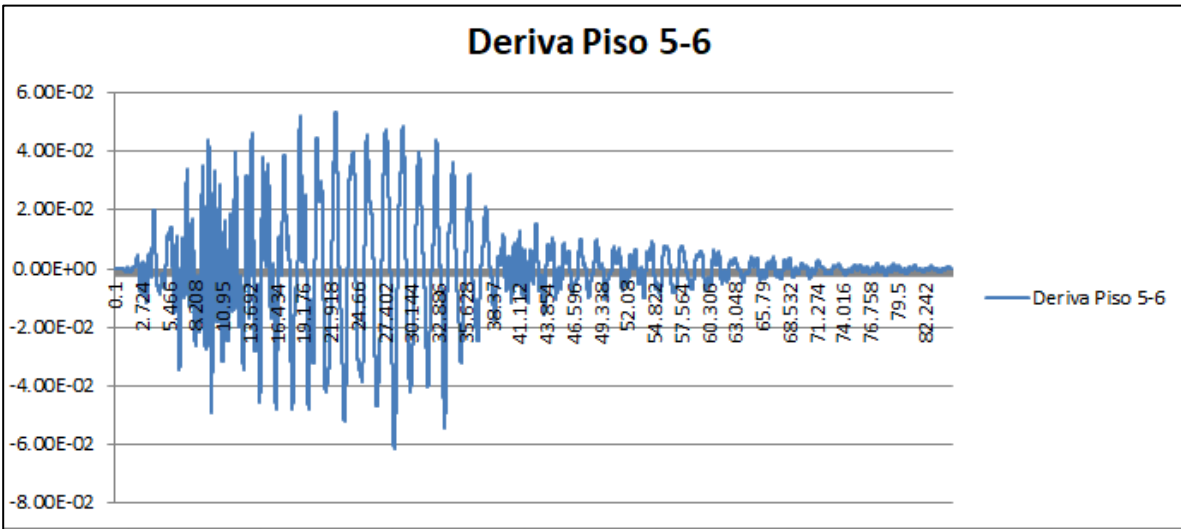
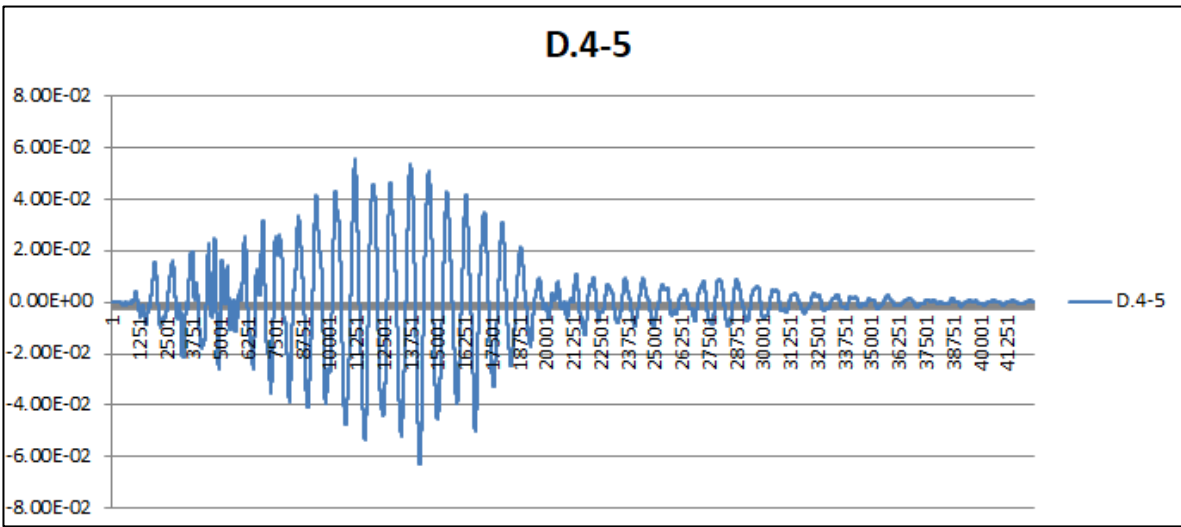
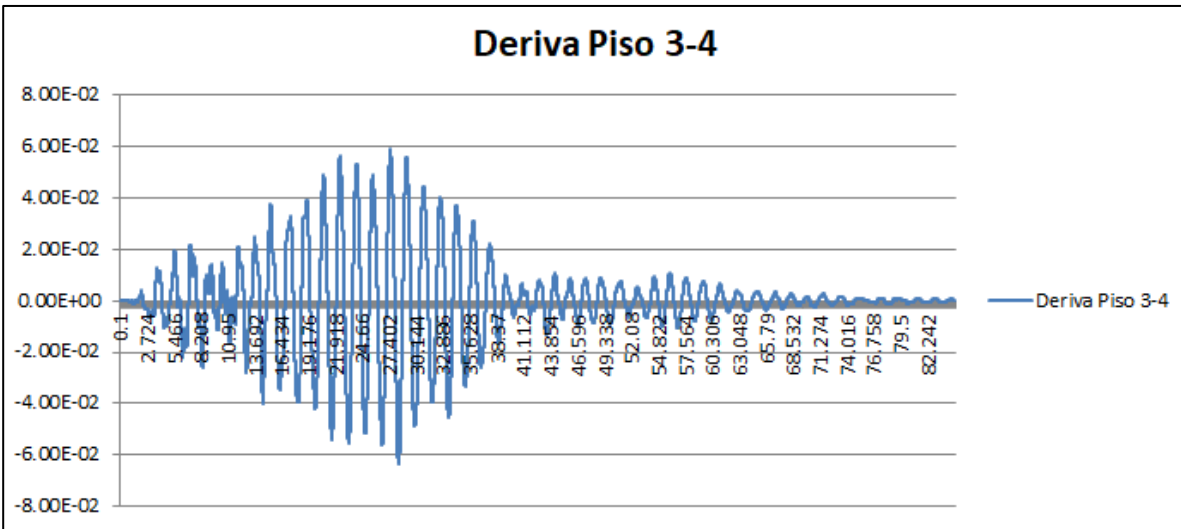
$\Delta\text{MAX1-2}$	2.27643E-05
$\Delta\text{MAX2-3}$	4.16698E-05
$\Delta\text{MAX3-4}$	5.35552E-05
$\Delta\text{MAX4-5}$	5.80844E-05
$\Delta\text{MAX5-6}$	8.29242E-05
$\Delta\text{MAX6-7}$	9.30444E-05

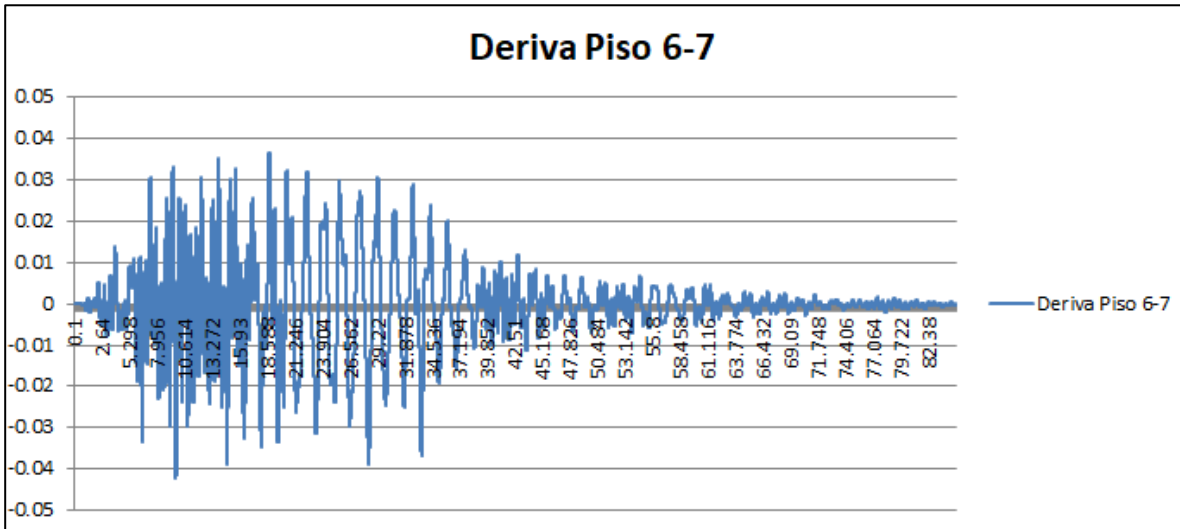
*Tabla 66 Deriva máxima inelástica en X*



#### 4.1.6.2. Deriva de Piso en Z

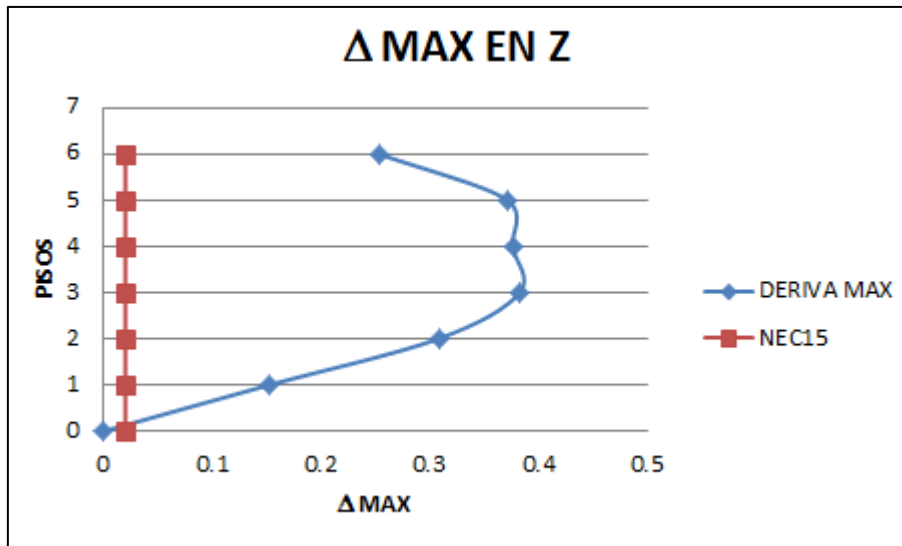




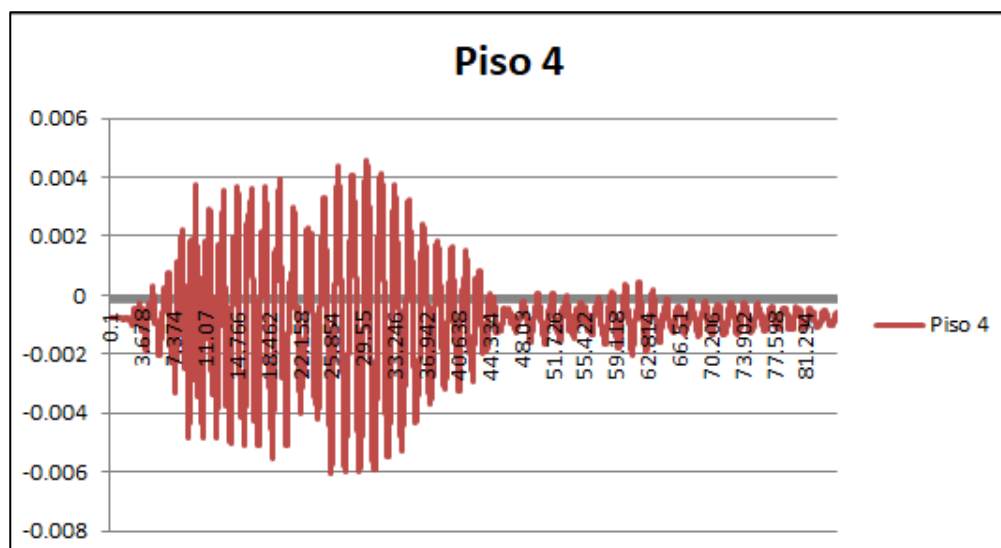
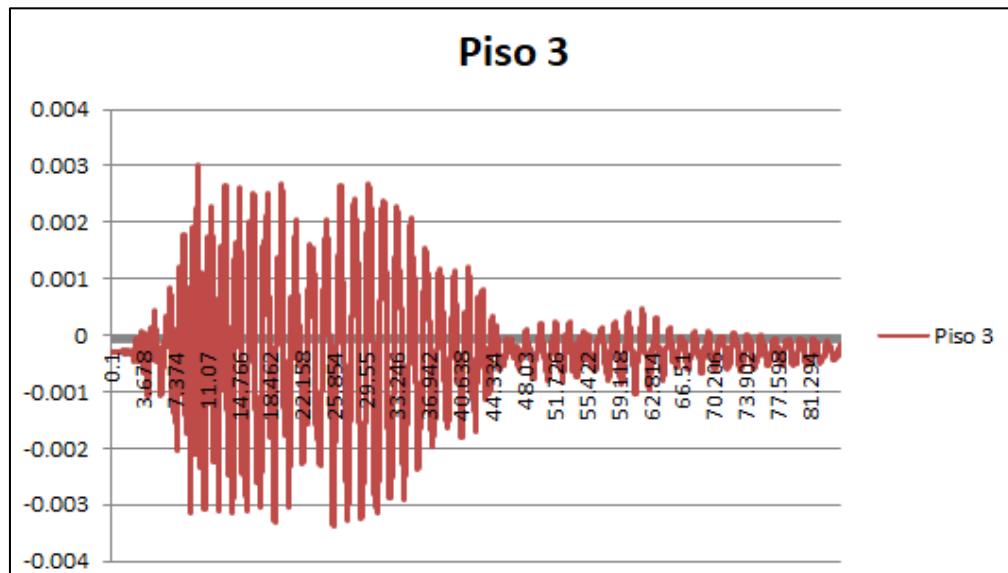
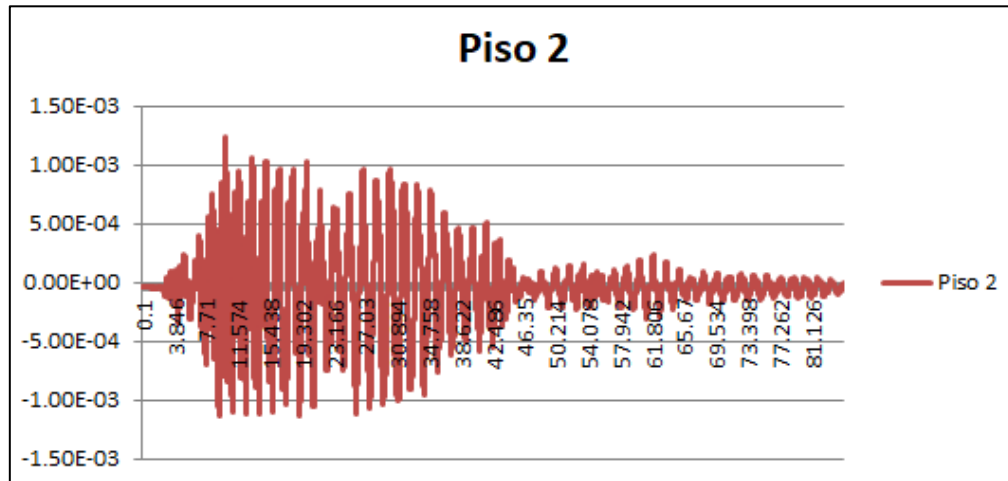


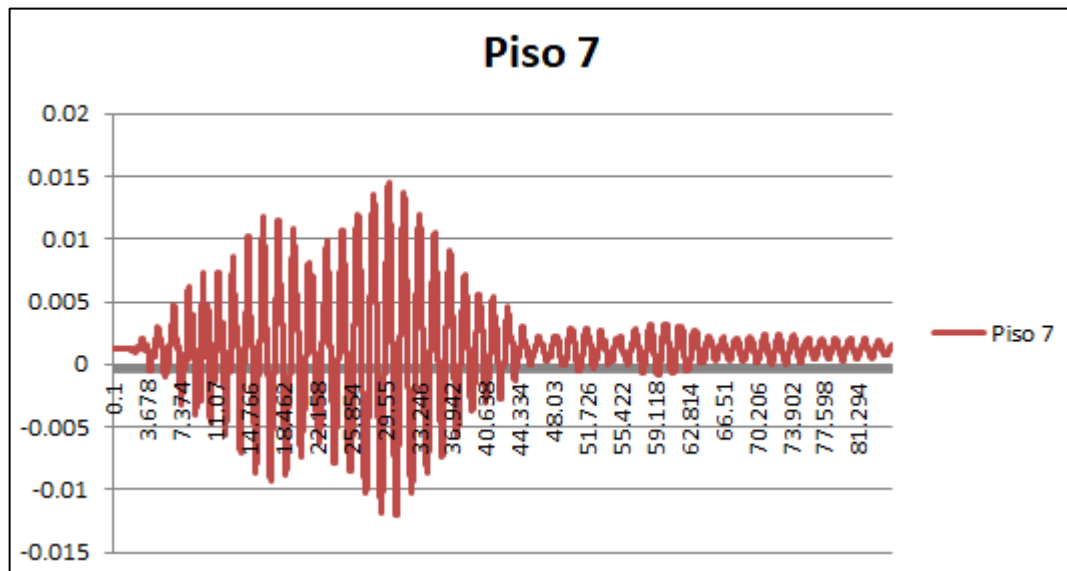
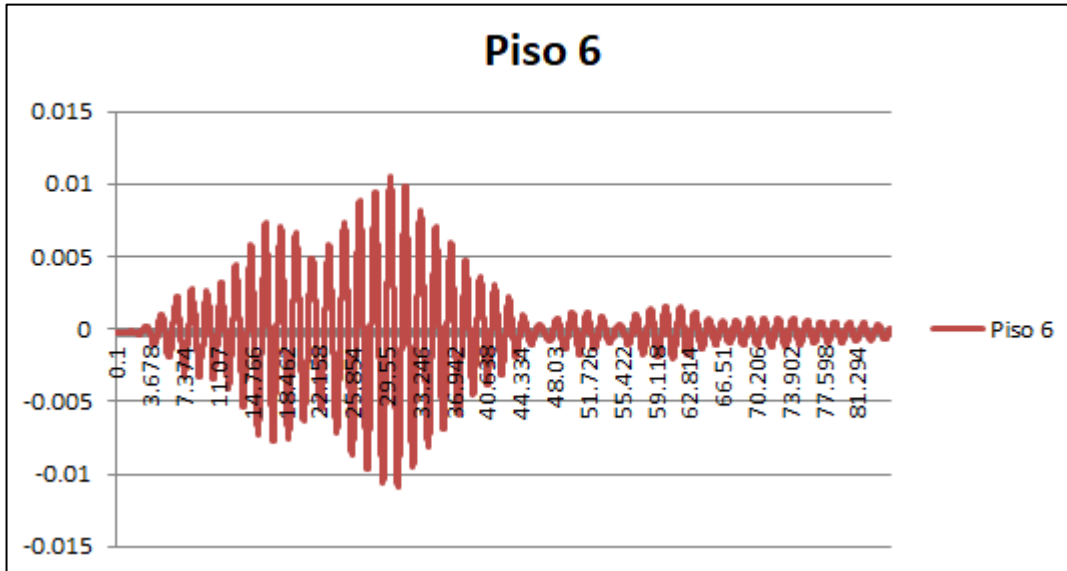
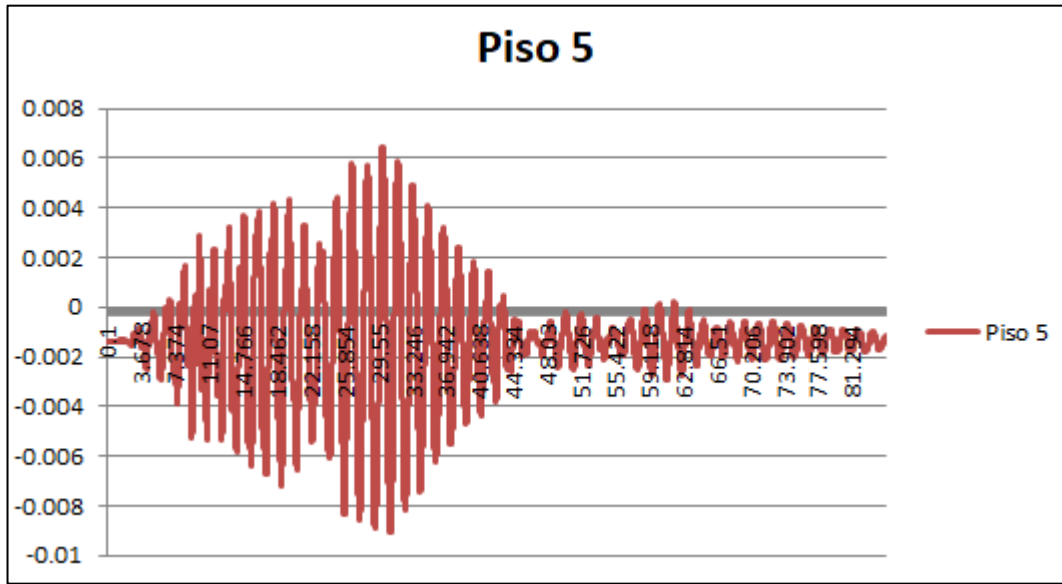
$\Delta\text{MAX1-2}$	0.1524144
$\Delta\text{MAX2-3}$	0.3078
$\Delta\text{MAX3-4}$	0.382278
$\Delta\text{MAX4-5}$	0.375582
$\Delta\text{MAX5-6}$	0.3705966
$\Delta\text{MAX6-7}$	0.2524152

*Tabla 67 Deriva máxima inelástica en Z*



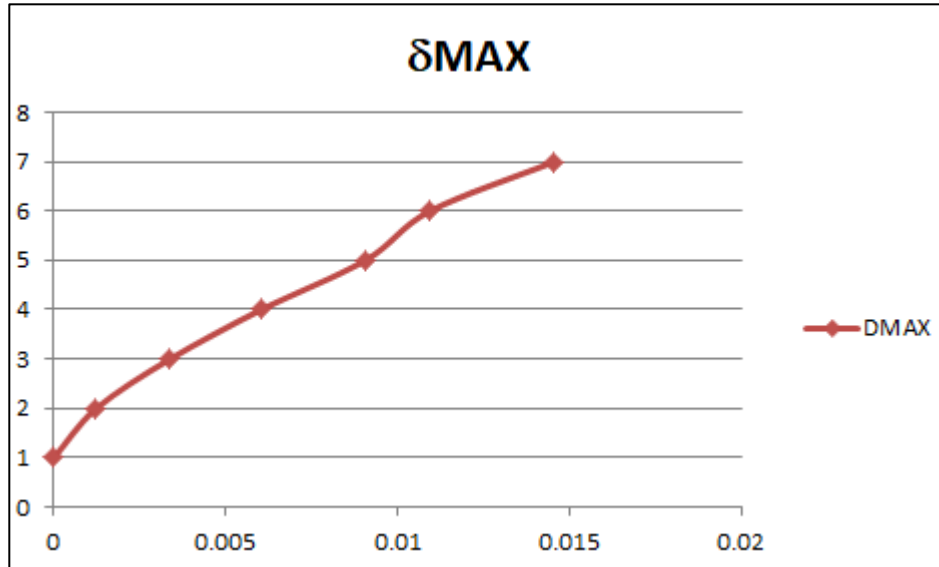
### 4.1.6.3. Deformaciones en X



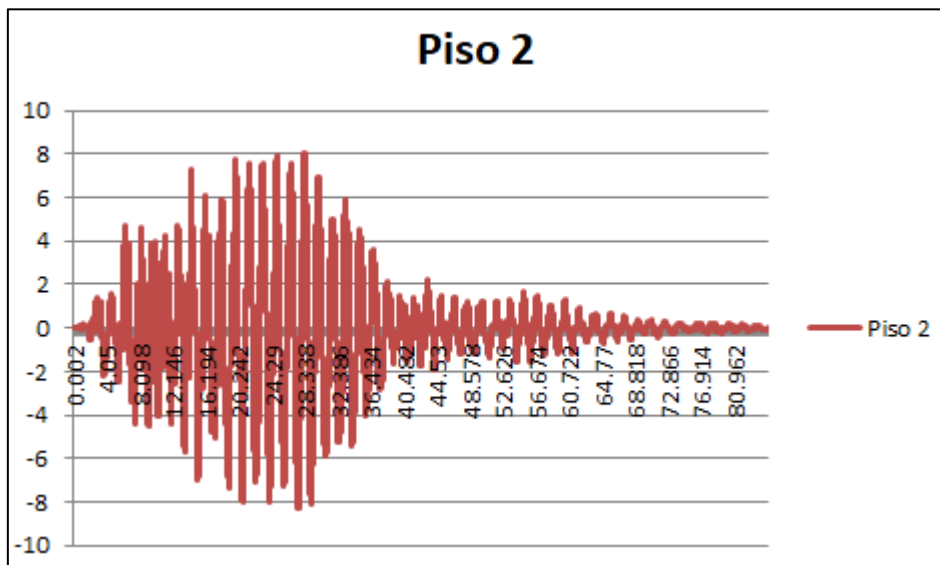


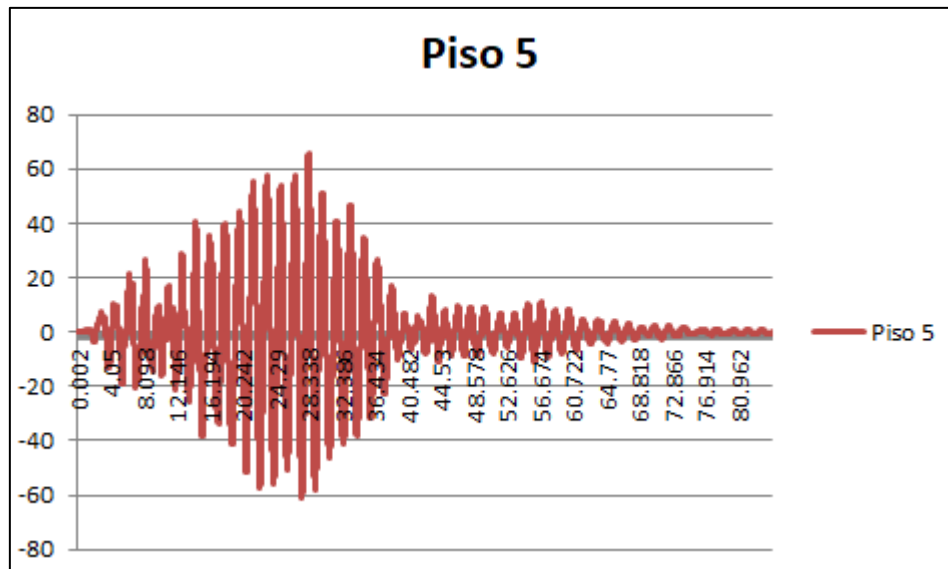
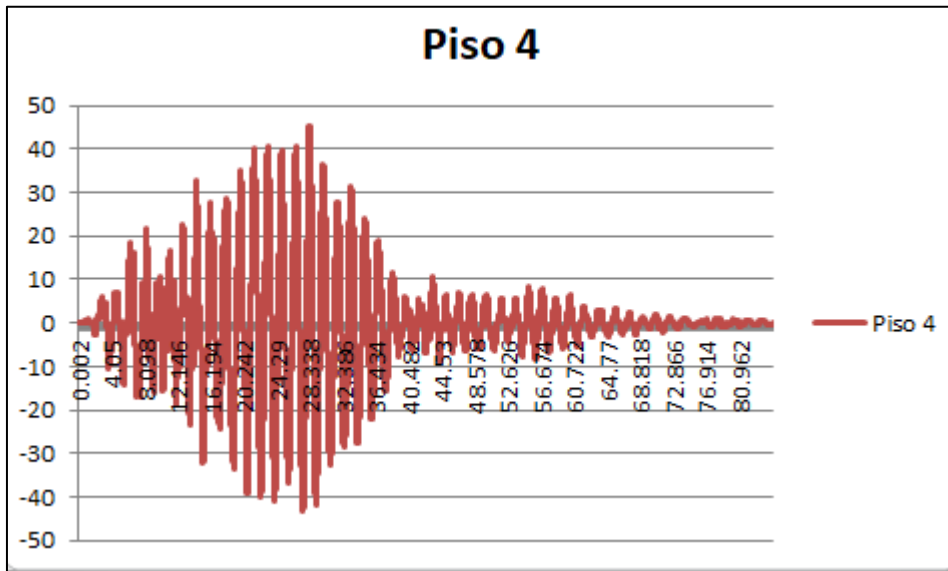
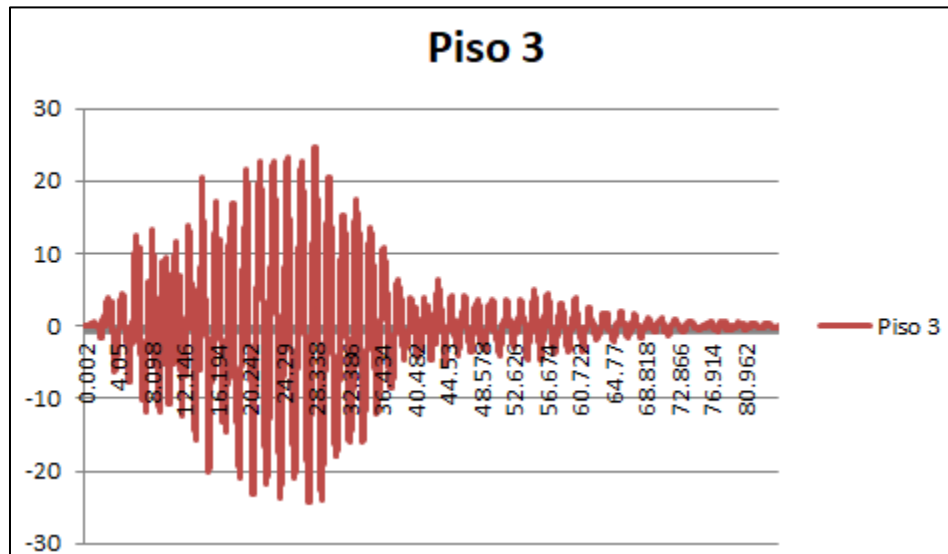
$\delta$ MAX1	0
$\delta$ MAX2	0.00123307
$\delta$ MAX3	0.00337718
$\delta$ MAX4	0.00603089
$\delta$ MAX5	0.00906233
$\delta$ MAX6	0.0109512
$\delta$ MAX7	0.0145657

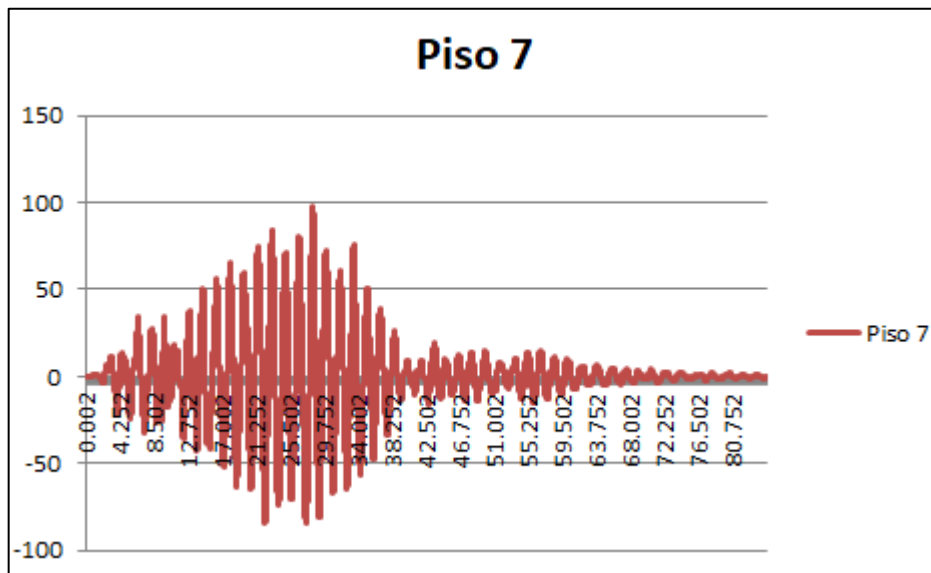
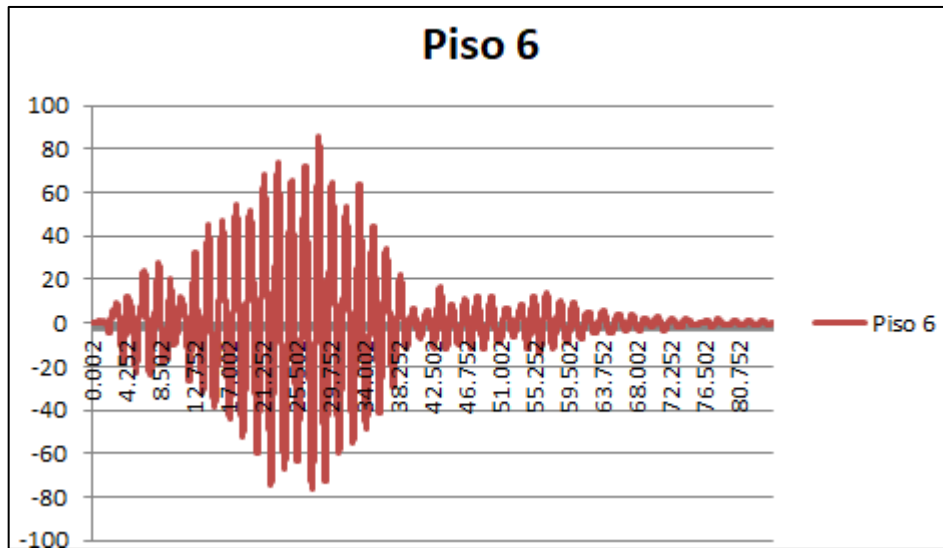
Tabla 68 Deformaciones máximas para pisos en X



#### 4.1.6.4. Deformaciones en Z

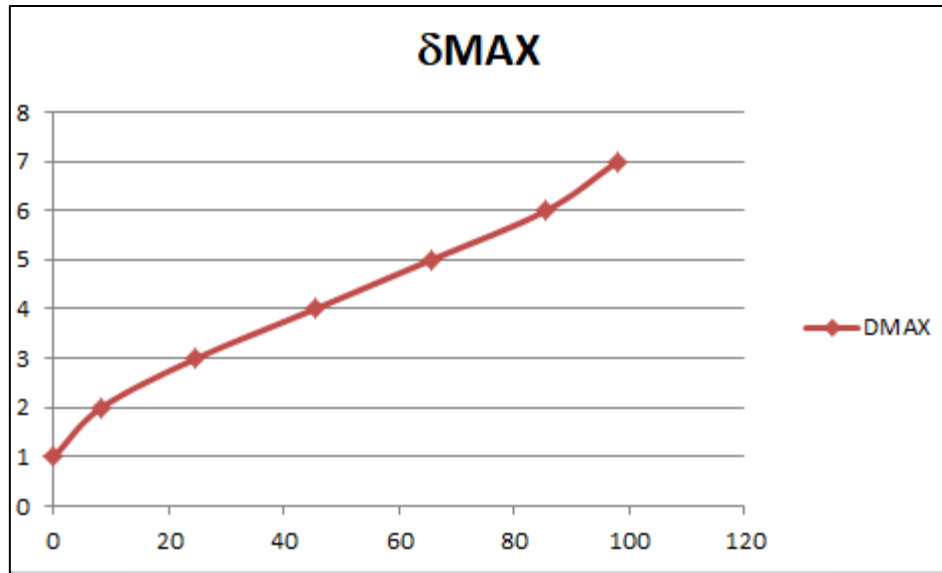






$\delta_{MAX1}$	0
$\delta_{MAX2}$	8.25579
$\delta_{MAX3}$	24.7223
$\delta_{MAX4}$	45.3131
$\delta_{MAX5}$	65.5595
$\delta_{MAX6}$	85.5149
$\delta_{MAX7}$	97.935

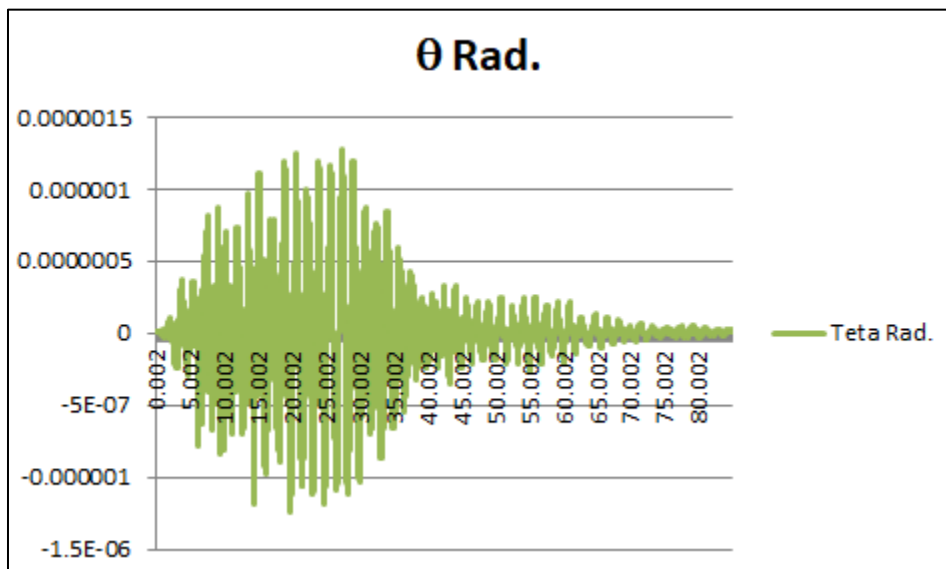
*Tabla 69* Deformaciones máximas para pisos en Z

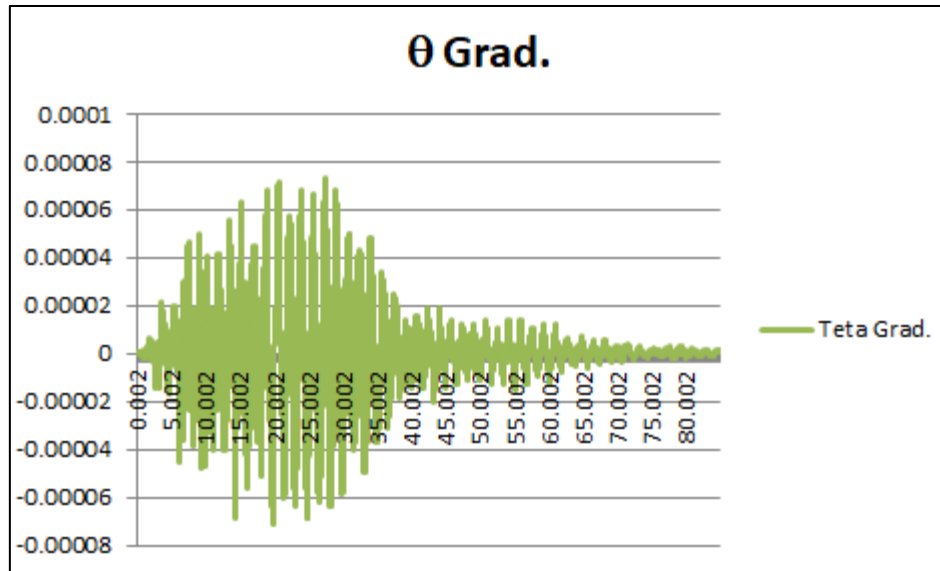


#### 4.1.6.5. Torsión en Piso 2

$\theta_{\max}$ Rad.	1.272E-06
$\theta_{\max}$ Grados.	7.288E-05

Tabla 70 Ángulo de torsión máxima de piso 2

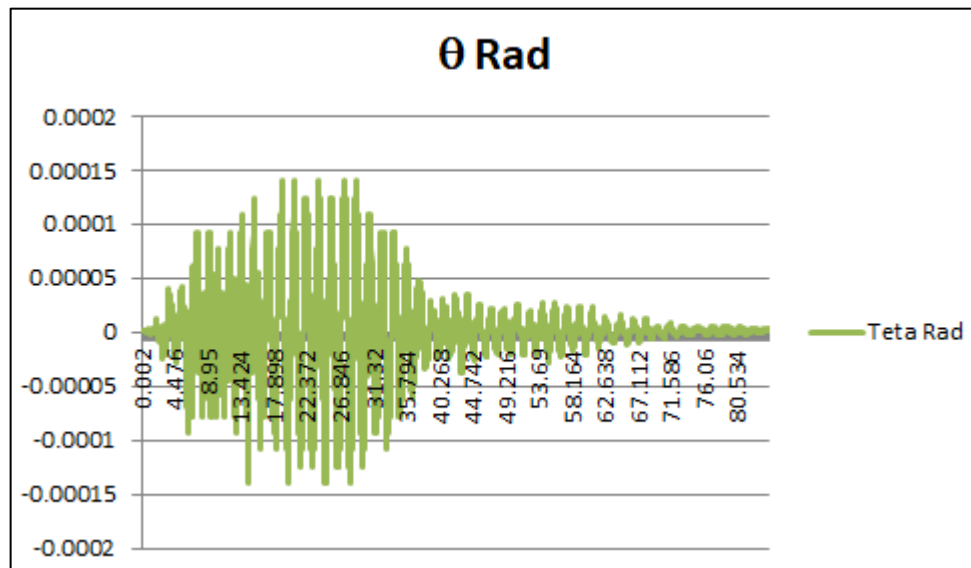


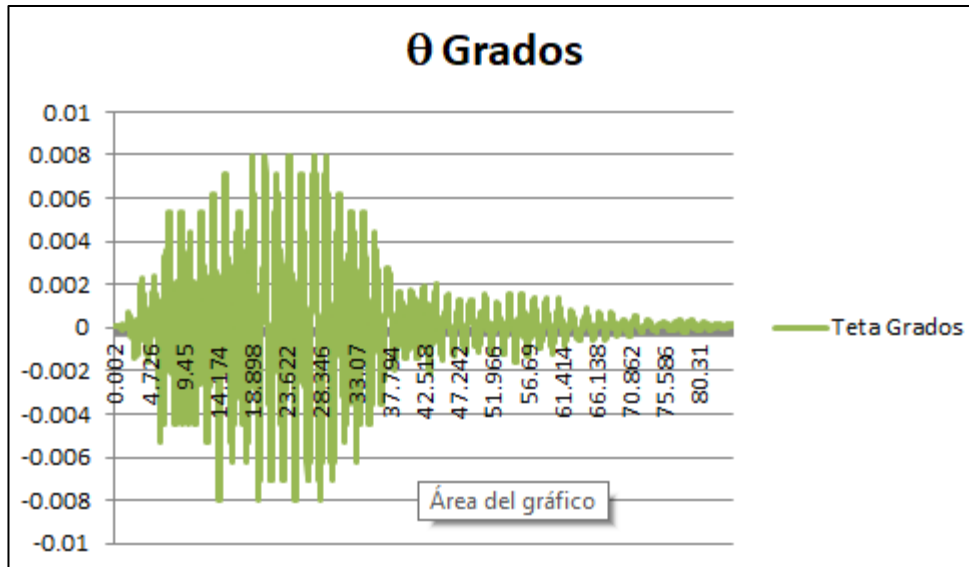


**4.1.6.6. Torsión en Piso 3**

$\theta_{\max}$ Rad.	2.4357E-06
$\theta_{\max}$ Grados.	0.00013956

*Tabla 71* Ángulo de torsión máxima de piso 3

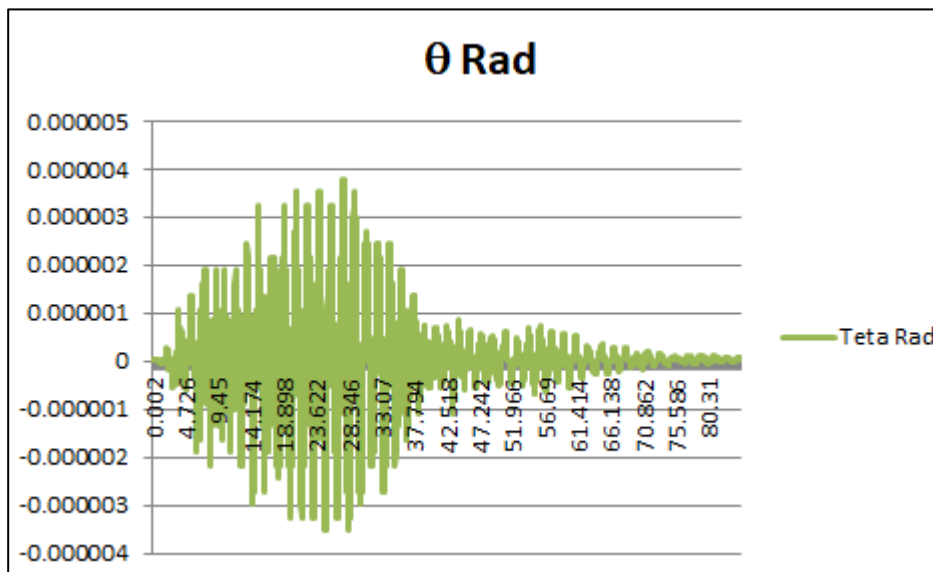


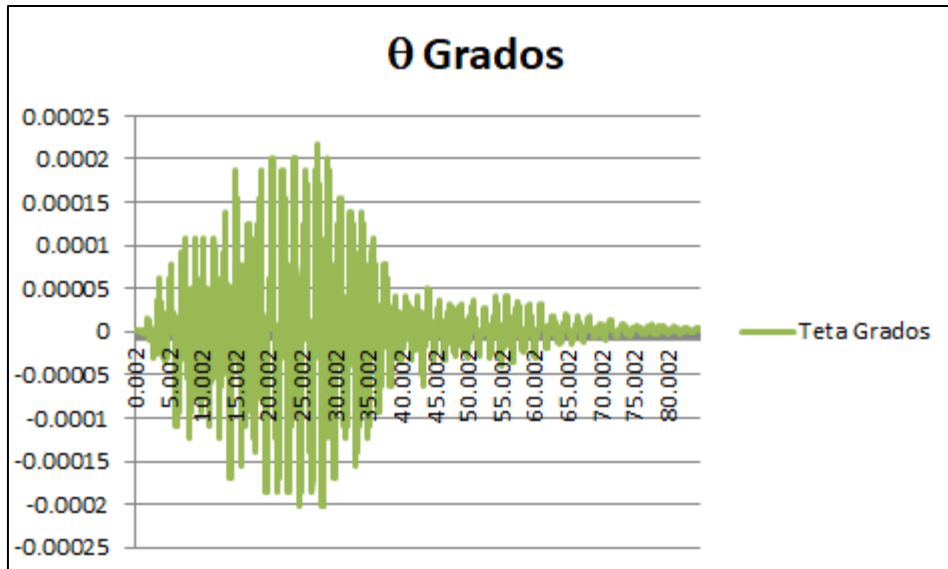


#### 4.1.6.7. Torsión en Piso 4

θmax Rad.	3.7889E-06
θmax Grados.	0.00021709

Tabla 72 Ángulo de torsión máxima de piso 4

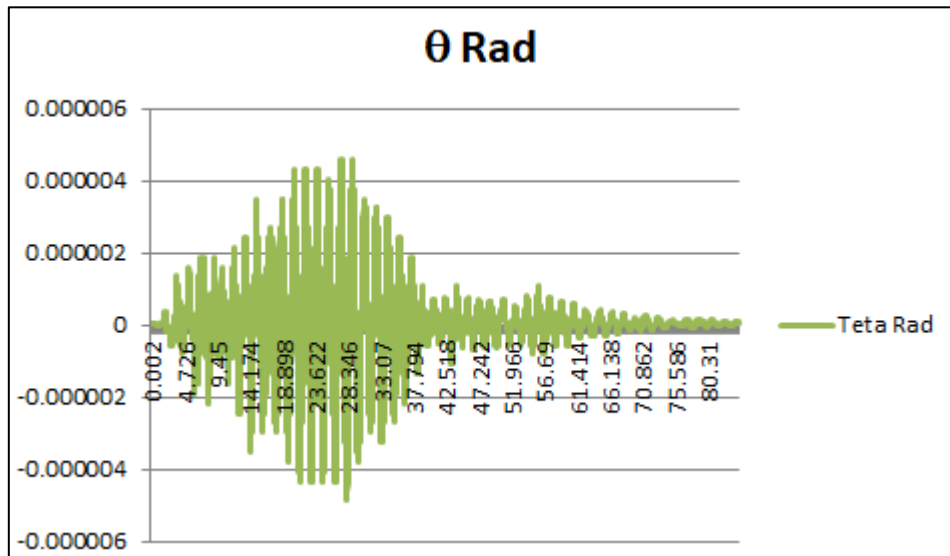


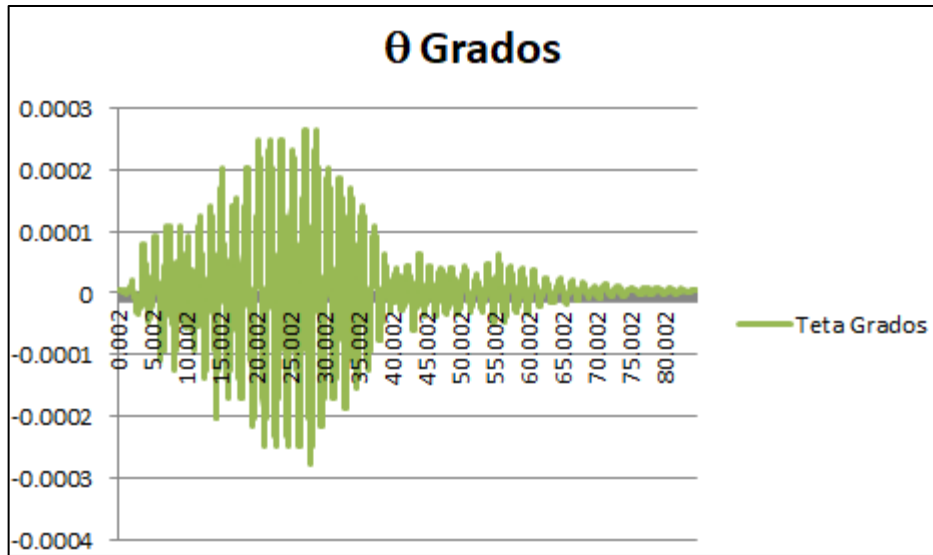


#### 4.1.6.8. Torsión en Piso 5

$\theta_{\max}$ Rad.	4.8714E-06
$\theta_{\max}$ Grados.	0.00027911

Tabla 73 Ángulo de torsión máxima de piso 5

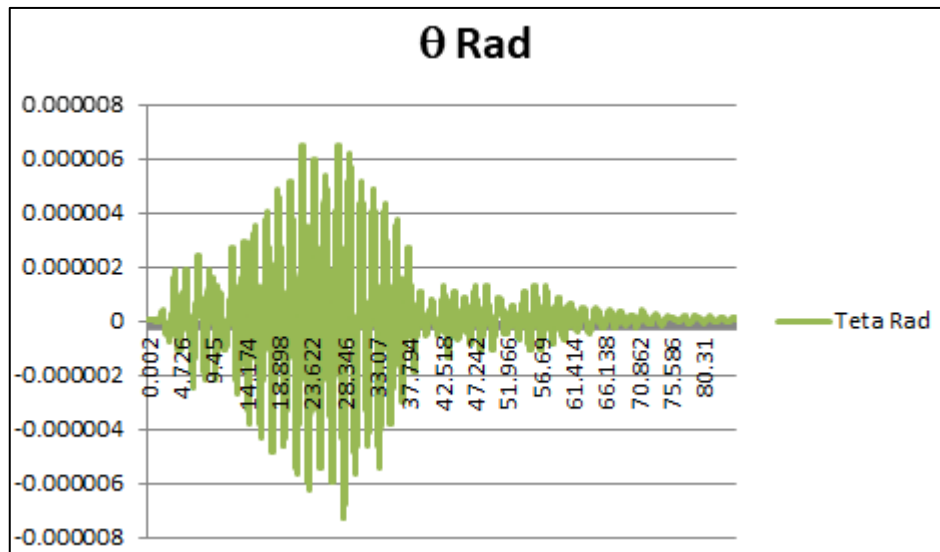


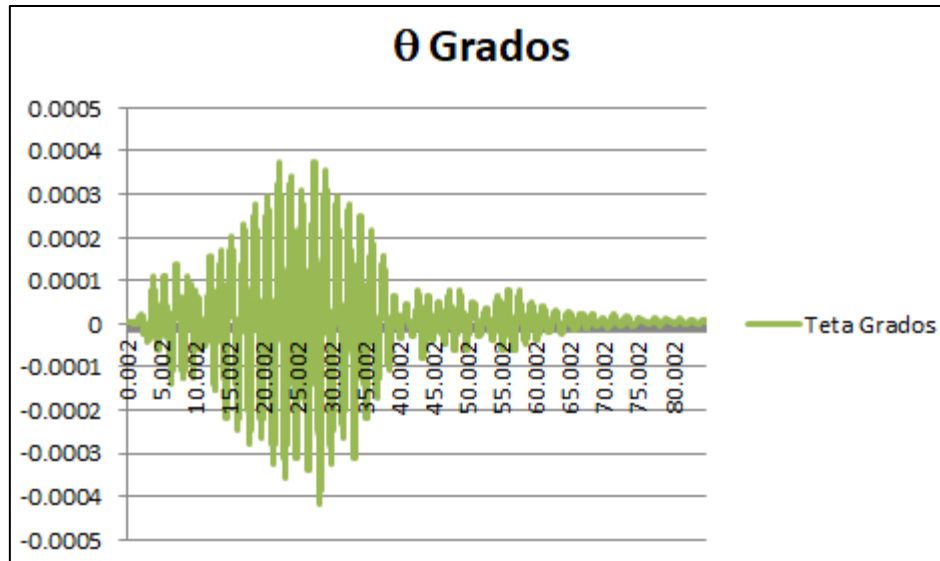


#### 4.1.6.9. Torsión en Piso 6

$\theta_{\max}$ Rad.	7.3072E-06
$\theta_{\max}$ Grados.	0.00041867

**Tabla 74** Ángulo de torsión máxima de piso 6

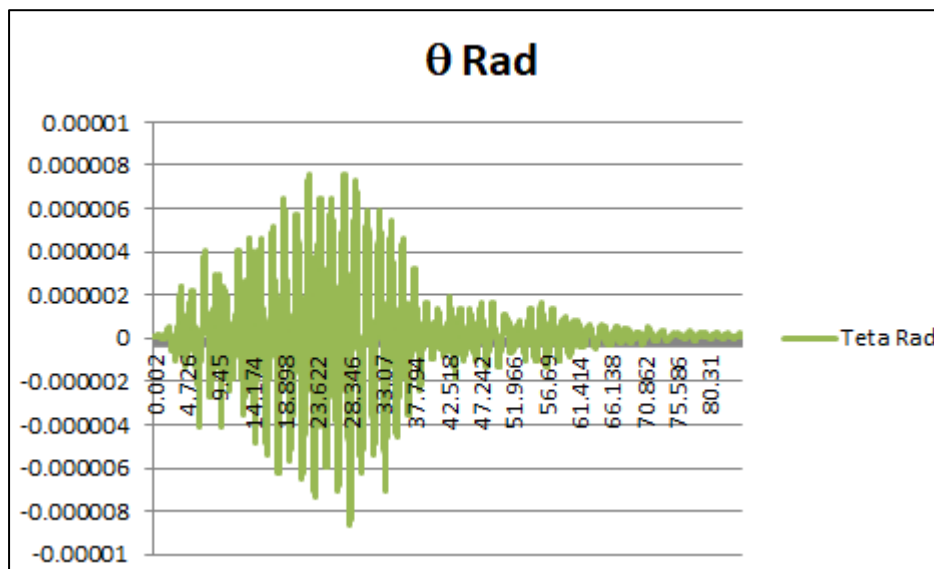


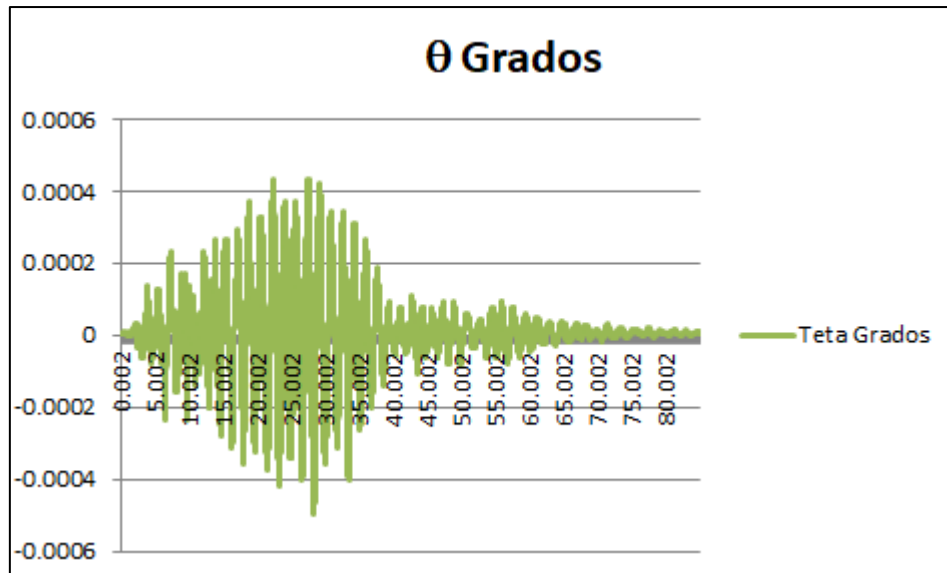


4.1.6.10. Torsión en Piso 7

$\theta_{\max}$ Rad.	8.6604E-06
$\theta_{\max}$ Grados.	0.0004962

Tabla 75 Ángulo de torsión máxima de piso 7





#### 4.1.7. Resumen de Resultados

Los siguientes datos representan un resumen de los datos que el programa OpenSees entregó, teniendo las derivas máximas, deformaciones máximas y torsión máxima en cada piso, se resaltó con color amarillo los valores máximos de cada análisis.

<b>Δ INELÁSTICA MÁXIMA EN X</b>							
<b>Tipo de análisis</b>	<b>Piso 1</b>	<b>Piso 2</b>	<b>Piso 3</b>	<b>Piso 4</b>	<b>Piso 5</b>	<b>Piso 6</b>	<b>Piso 7</b>
Inelástico en X	0	0.0173346	0.0258739	0.0257669	0.0254837	0.0520343	0.0394087
Inelástico en Z	0	0.0005432	0.0006653	0.0005859	0.0005694	0.00154482	0.00237149
Elástico con Inercias Agrietadas en X	0	0.1905912	0.335532	0.2971332	0.3453276	0.5375238	0.4466862
Elástico con Inercias Agrietadas en Z	0	2.16E-05	4.01E-05	3.34E-05	2.87E-05	7.73E-05	8.74E-05
Elástico sin Inercias Agrietadas en X	0	0.107904	0.1992312	0.2276142	0.2121048	0.2648052	0.214857
Elástico sin Inercias Agrietadas en Z	0	2.28E-05	4.17E-05	5.36E-05	5.81E-05	8.29E-05	9.30E-05

*Tabla 76 Deriva inelástica máxima en X, tabla de resumen*

<b>Δ INELÁSTICA MÁXIMA EN Z</b>							
<b>Tipo de análisis</b>	<b>Piso 1</b>	<b>Piso 2</b>	<b>Piso 3</b>	<b>Piso 4</b>	<b>Piso 5</b>	<b>Piso 6</b>	<b>Piso 7</b>
Inelástico en X	0	0.000278388	0.0003676	0.0002689	0.0004788	0.0011422	0.00158926
Inelástico en Z	0	0.0135514	0.0240131	0.0262288	0.0224313	0.0422744	0.0498774
Elástico con Inercias Agrietadas en X	0	0.000052617	0.0001236	0.0001851	0.0002607	0.0008716	0.001086882
Elástico con Inercias Agrietadas en Z	0	0.1457436	0.1457436	0.2401506	0.3589818	0.4898478	0.4365768
Elástico sin Inercias Agrietadas en X	0	5.53E-05	0.0001204	0.000188	0.0002513	0.0007531	0.000931812
Elástico sin Inercias Agrietadas en Z	0	0.1524144	0.3078	0.382278	0.375582	0.3705966	0.2524152

*Tabla 77 Deriva inelástica máxima en Z, tabla de resumen*

<b>δ MÁXIMA EN X</b>							
<b>Tipo de análisis</b>	<b>Piso 1</b>	<b>Piso 2</b>	<b>Piso 3</b>	<b>Piso 4</b>	<b>Piso 5</b>	<b>Piso 6</b>	<b>Piso 7</b>
Inelástico en X	0	5.63373	13.9009	22.2261	27.4163	30.6597	40.9499
Inelástico en Z	0	0.176528	0.392583	0.471628	0.506019	0.466266	0.813193
Elástico con Inercias Agrietadas en X	0	10.3237	28.4578	43.1043	50.3313	60.6784	84.468
Elástico con Inercias Agrietadas en Z	0	0.0011716	0.0033429	0.005153	0.0055071	0.00473193	0.00790278
Elástico sin Inercias Agrietadas en X	0	5.84481	16.6028	28.1421	38.8724	49.5035	55.1849
Elástico sin Inercias Agrietadas en Z	0	0.0012331	0.0033772	0.0060309	0.0090623	0.0109512	0.0145657

*Tabla 78 Deformación máxima en X, tabla de resumen*

<b>δ MÁXIMA EN Z</b>							
<b>Tipo de análisis</b>	<b>Piso 1</b>	<b>Piso 2</b>	<b>Piso 3</b>	<b>Piso 4</b>	<b>Piso 5</b>	<b>Piso 6</b>	<b>Piso 7</b>
Inelástico en X	0	0.090476	0.204656	0.255994	0.271143	0.390962	0.709881
Inelástico en Z	0	4.40421	12.1974	20.6604	26.2209	29.4115	41.0902
Elástico con Inercias Agrietadas en X	0	0.00285009	0.0095448	0.0195706	0.0324325	0.0759414	0.133501
Elástico con Inercias Agrietadas en Z	0	7.89445	23.1679	36.1761	40.0358	59.7196	79.4393
Elástico sin Inercias Agrietadas en X	0	0.00299419	0.0095136	0.0193099	0.03281	0.072598	0.121372
Elástico sin Inercias Agrietadas en Z	0	8.25579	24.7223	45.3131	65.5595	85.5149	97.935

*Tabla 79 Deformación máxima en Z, tabla de resumen*

<b><math>\theta</math> MÁXIMO RADIANES</b>							
<b>Tipo de análisis</b>	<b>Piso 1</b>	<b>Piso 2</b>	<b>Piso 3</b>	<b>Piso 4</b>	<b>Piso 5</b>	<b>Piso 6</b>	<b>Piso 7</b>
Inelástico en X	0	0.0031076	0.0074471	0.011331	0.0126729	0.01780497	0.02056849
Inelástico en Z	0	0.0031076	0.0074471	0.011331	0.0126729	0.01780497	0.02056849
Elástico con Inercias Agrietadas en X	0	1.46E-06	2.65E-06	3.35E-06	3.47E-06	4.08E-06	6.25E-06
Elástico con Inercias Agrietadas en Z	0	9.74E-07	1.89E-06	2.44E-06	2.44E-06	3.25E-06	4.87E-06
Elástico sin Inercias Agrietadas en X	0	1.12E-06	2.16E-06	3.11E-06	3.87E-06	5.39E-06	6.02E-06
Elástico sin Inercias Agrietadas en Z	0	1.27E-06	2.44E-06	3.79E-06	4.87E-06	7.31E-06	8.66E-06

*Tabla 80 Torsión máxima en radianes, tabla de resumen*

<b><math>\theta</math> MÁXIMO GRADOS</b>							
<b>Tipo de análisis</b>	<b>Piso 1</b>	<b>Piso 2</b>	<b>Piso 3</b>	<b>Piso 4</b>	<b>Piso 5</b>	<b>Piso 6</b>	<b>Piso 7</b>
Inelástico en X	0	0.17805169	0.4266877	0.6492193	0.7261051	1.0201498	1.17848748
Inelástico en Z	0	0.17805169	0.4266877	0.6492193	0.7261051	1.0201498	1.17848748
Elástico con Inercias Agrietadas en X	0	8.38E-05	0.0001517	0.0001918	0.000199	0.0002339	0.000358195
Elástico con Inercias Agrietadas en Z	0	5.58227E-05	0.0001085	0.0001396	0.0001396	0.0001861	0.000279111
Elástico sin Inercias Agrietadas en X	0	6.43661E-05	0.0001238	0.0001783	0.0002217	0.0003091	0.000345173
Elástico sin Inercias Agrietadas en Z	0	7.28802E-05	0.0001396	0.0002171	0.0002791	0.0004187	0.000496204

*Tabla 81 Torsión máxima en grados, tabla de resumen*

## 4.2.RESULTADOS EN ETABS 2015

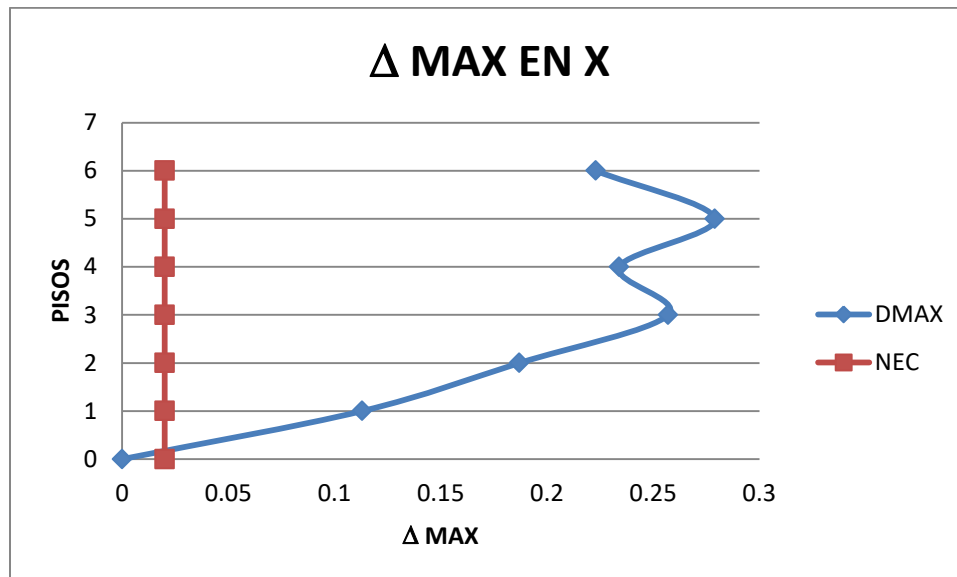
El programa ETABS 2015 nos permite analizar los resultados tiempo historia de una manera distinta que el programa OpenSees por ende los resultados que se muestran a continuación solo corresponden a los valores máximos de respuesta de cada análisis, el programa ETABS 2015 obvia los resultados de las derivas en cierta dirección, ya que estas son demasiado pequeñas para influir en el análisis.

### 4.2.1. Resultados elásticos sin inercias agrietadas

#### 4.2.1.1. Deriva máxima análisis en dirección X

$\Delta$ INELÁSTICA MÁXIMA		
PISOS	DIRECCIÓN	DERIVA
0	X	0
1	X	0.113
2	X	0.187
3	X	0.257
4	X	0.234
5	X	0.279
6	X	0.223

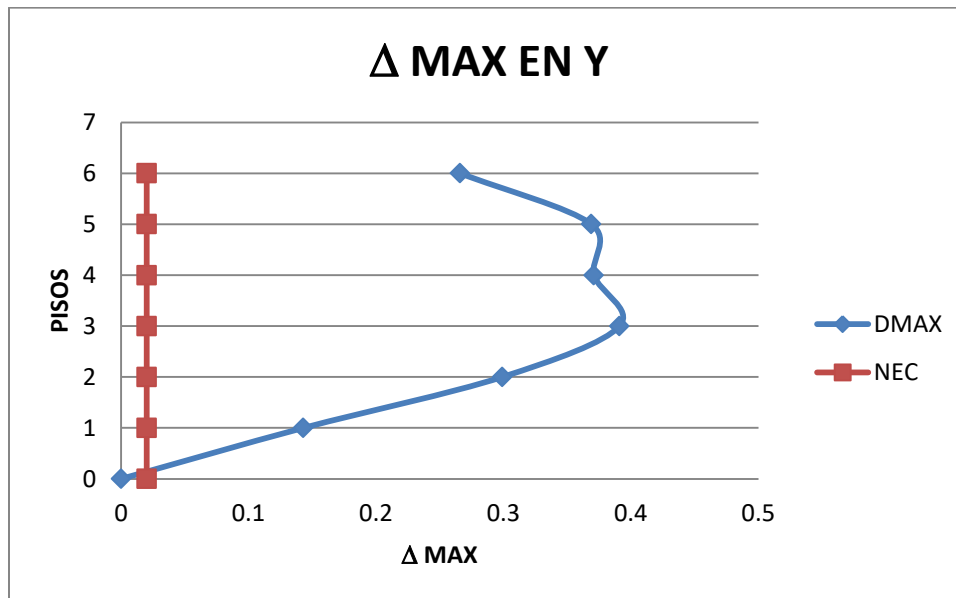
Tabla 82 Deriva inelástica máxima en dirección X



#### 4.2.1.2. Deriva máxima análisis en dirección Y

$\Delta$ INELÁSTICA MÁXIMA		
PISOS	DIRECCIÓN	DERIVA
0	Y	0
1	Y	0.143
2	Y	0.299
3	Y	0.391
4	Y	0.371
5	Y	0.369
6	Y	0.266

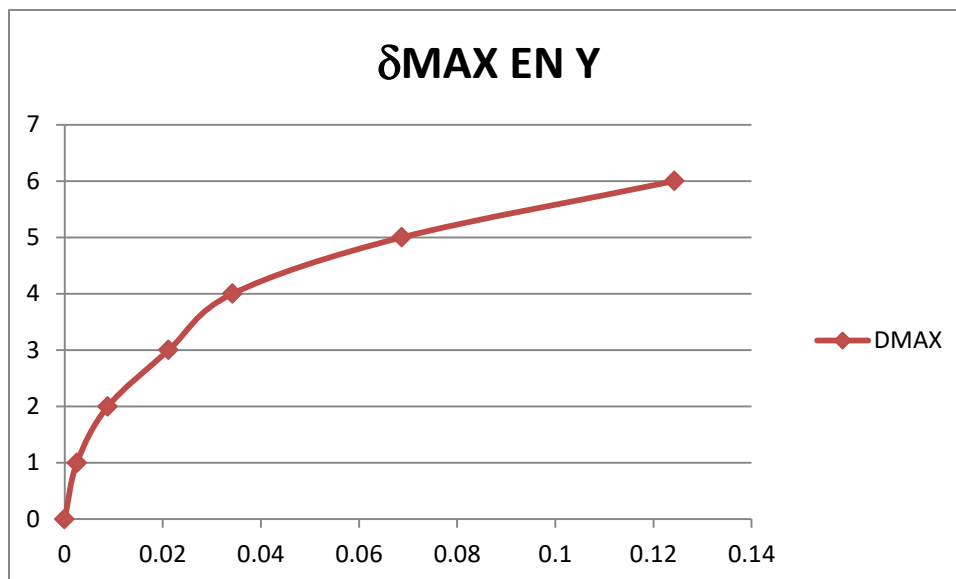
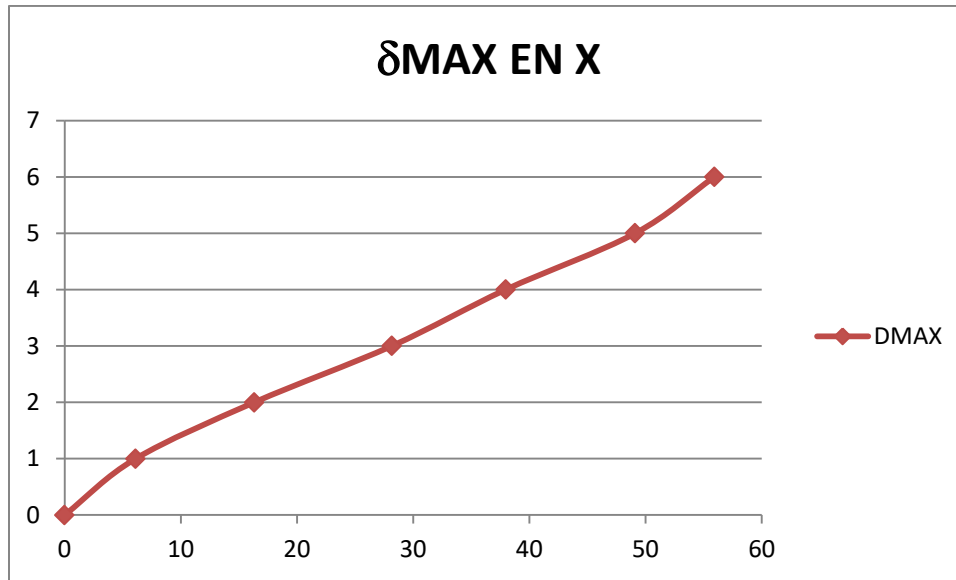
Tabla 83 Deriva inelástica máxima en dirección Y



#### 4.2.1.3. Deformaciones máximas para el análisis en dirección X

$\delta$ MAX Y $\theta$ MAX			
PISOS	DIR. X	DIR. Y	$\theta$ max
0	0	0	0
1	6.114	0.0025	1.20E-06
2	16.329	0.0088	0.00000174
3	28.167	0.0212	0.00000301
4	37.965	0.0342	0.00000414
5	49.115	0.0687	0.00000559
6	55.923	0.1243	0.00000624

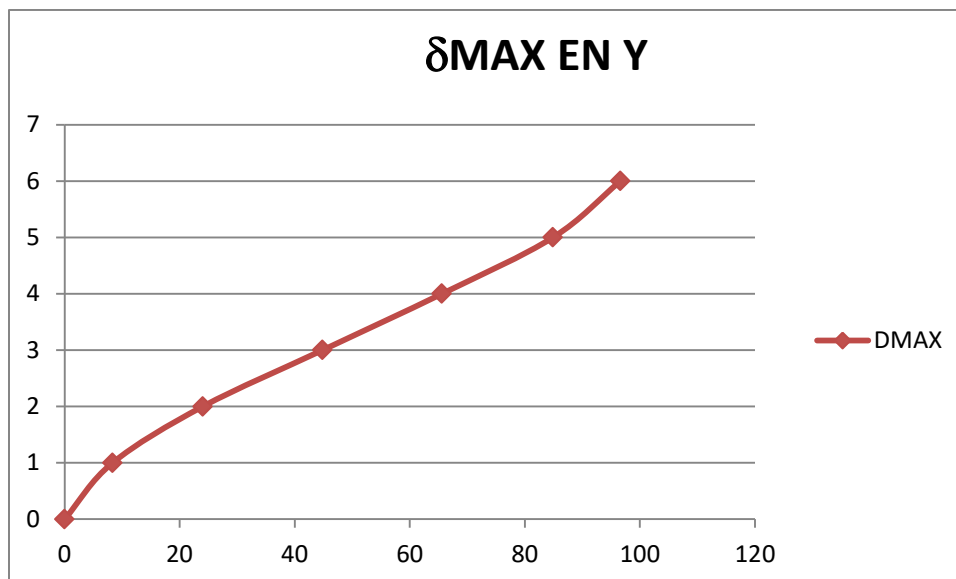
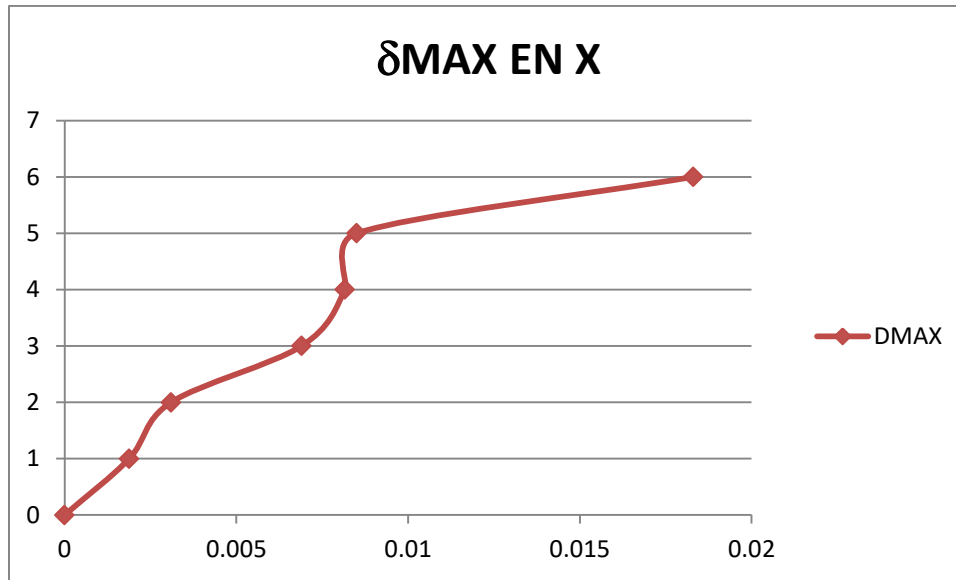
Tabla 84 Deformaciones y rotaciones máximas



#### 4.2.1.4. Deformaciones máximas para el análisis en dirección Y

δ MAX Y θ MAX			
PISOS	DIR. X	DIR.Y	θmax
0	0	0	0
1	0.00188	8.338	1.10E-06
2	0.0031	24.022	0.0000011
3	0.0069	44.839	0.0000029
4	0.00816	65.5876	0.0000045
5	0.0085	84.899	0.00000712
6	0.0183	96.608	0.0000084

Tabla 85 Deformaciones y rotaciones máximas

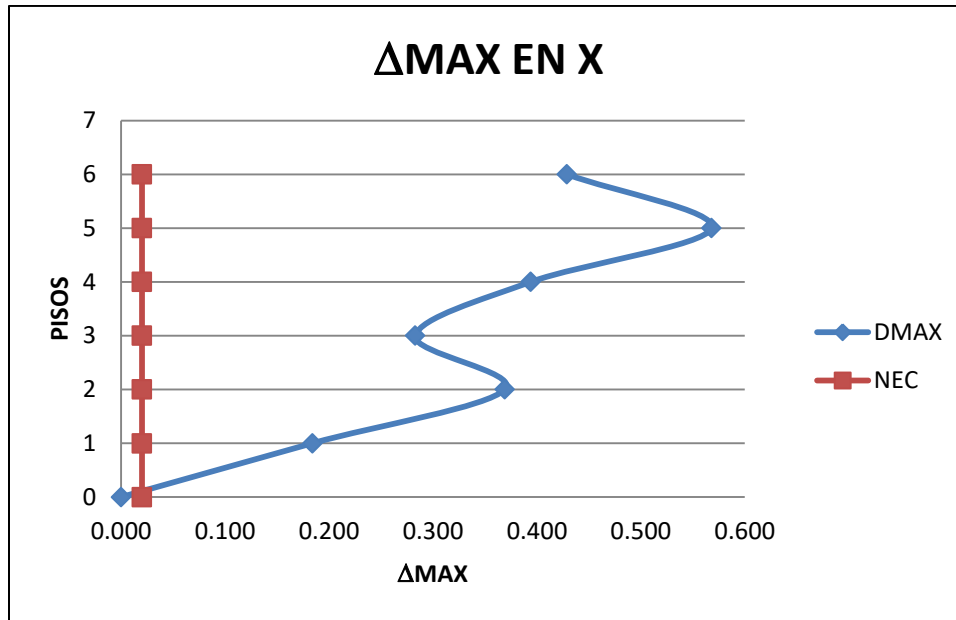


#### 4.2.2. Resultados elásticos con inercias agrietadas

##### 4.2.2.1. Deriva máxima análisis en dirección X

Δ INELÁSTICA MÁXIMA		
PISOS	DIRECCIÓN	DERIVA
0	X	0
1	X	0.184
2	X	0.369
3	X	0.283
4	X	0.394
5	X	0.568
6	X	0.429

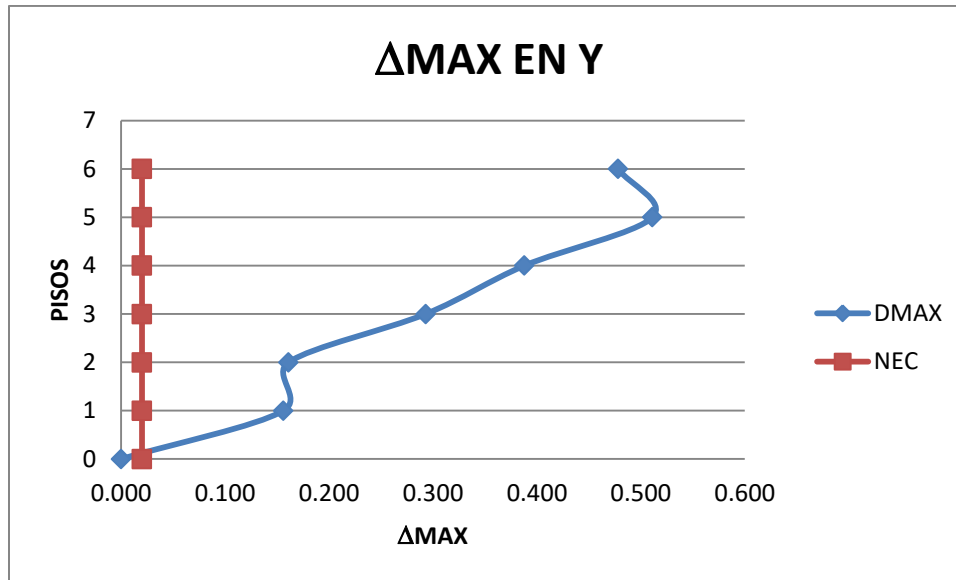
Tabla 86 Deriva inelástica máxima en dirección X



#### 4.2.2.2. Deriva máxima análisis en dirección Y

Δ INELÁSTICA MÁXIMA		
PISOS	DIRECCIÓN	DERIVA
0	Y	0
1	Y	0.156
2	Y	0.161
3	Y	0.293
4	Y	0.388
5	Y	0.511
6	Y	0.478

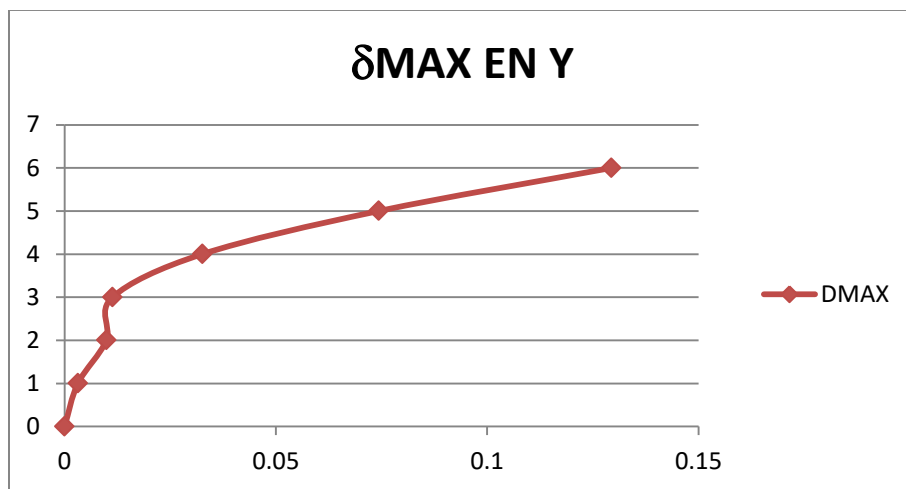
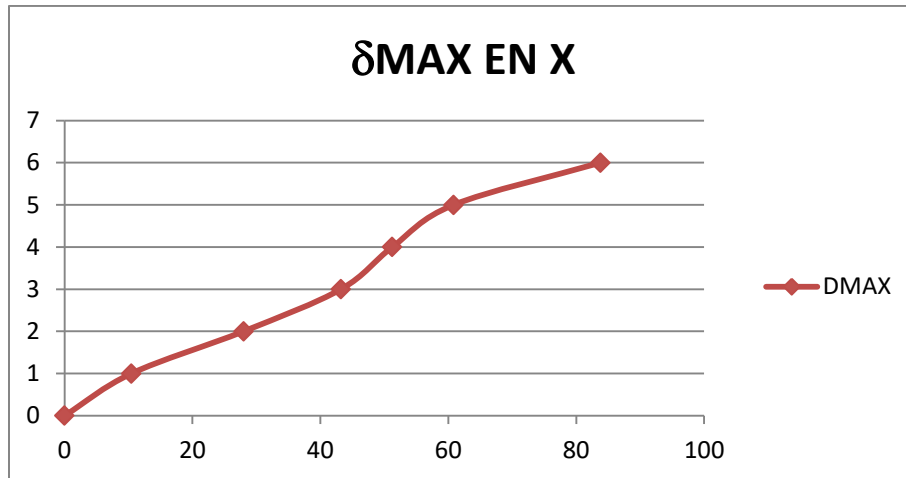
Tabla 87 Deriva inelástica máxima en dirección Y



#### 4.2.2.3. Deformaciones máximas para análisis en dirección X

δ MAX Y θ MAX			
PISOS	DIR. X	DIR.Y	θmax
0	0	0	0
1	10.452	0.00315	0.0000018
2	27.988	0.00987	0.0000029
3	43.226	0.01134	0.0000036
4	51.243	0.03259	0.000004
5	60.837	0.07433	0.0000042
6	83.787	0.12936	0.0000066

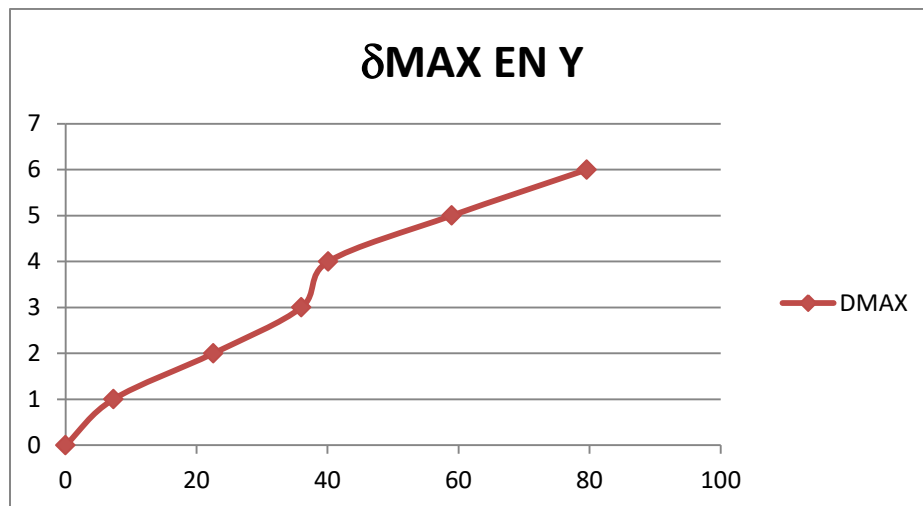
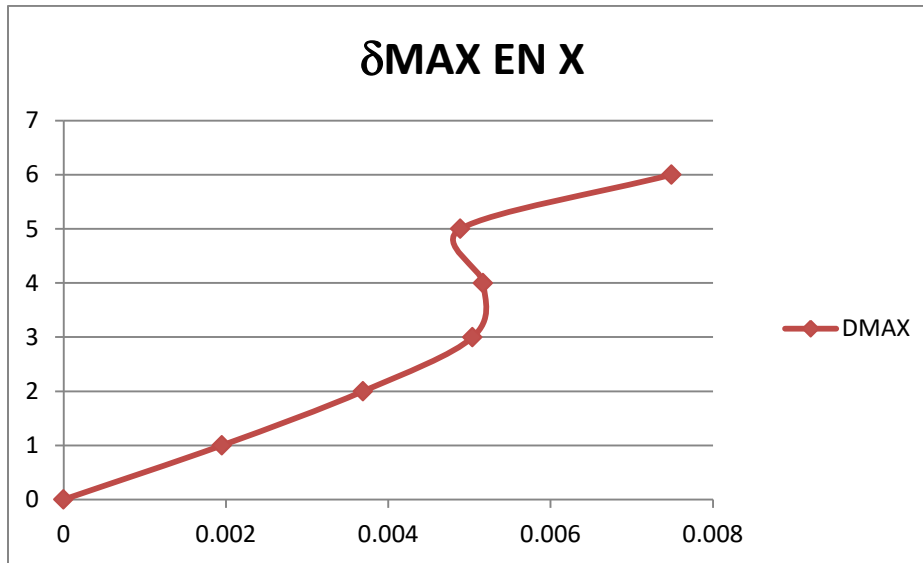
Tabla 88 Derivas máximas y rotación máxima para el análisis en dirección X



#### 4.2.2.4. Deformaciones máximas para análisis en dirección Y

δ MAX Y θ MAX			
PISOS	DIR. X	DIR.Y	θmax
0	0	0	0
1	0.00195	7.307	0.00000084
2	0.00369	22.559	0.0000001
3	0.00489	35.99	0.00000251
4	0.00504	40.122	0.000282
5	0.00517	58.963	0.0000036
6	0.00749	79.568	0.00000493

Tabla 89 Derivas máximas y rotación máxima para el análisis en dirección Y

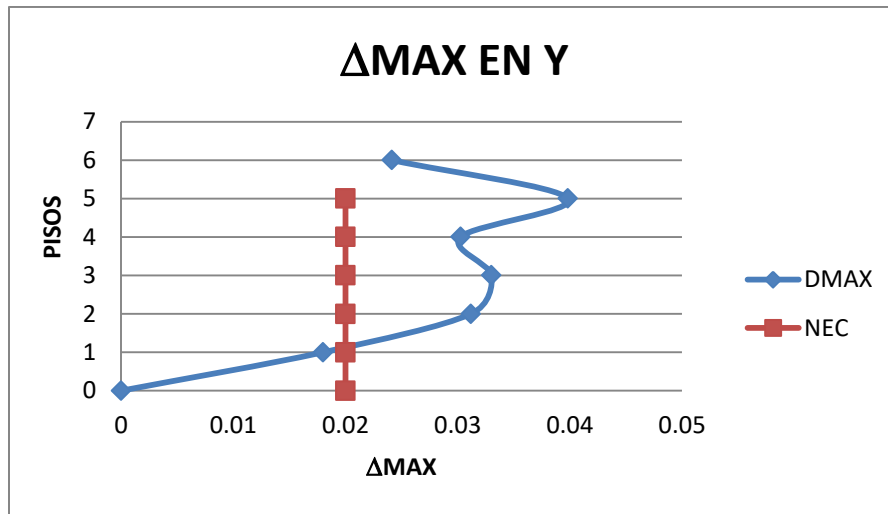
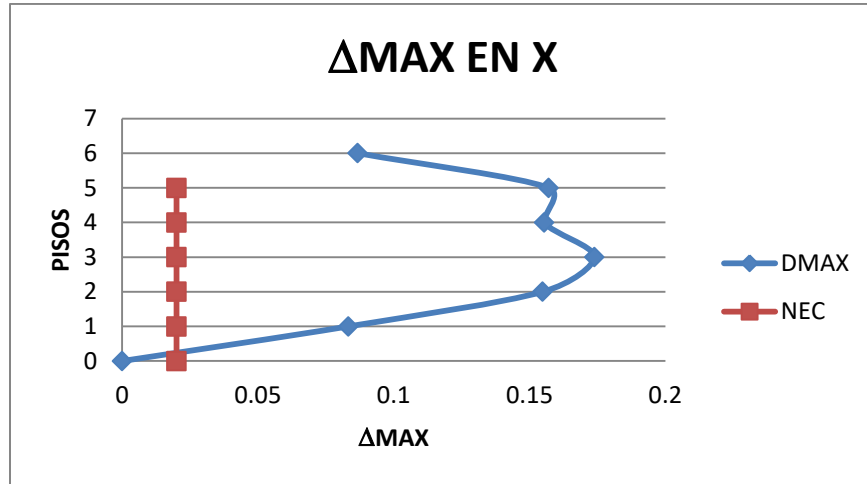


### 4.2.3. Resultados para sismo en X

#### 4.2.3.1. Deriva máxima

Δ INELÁSTICA MÁXIMA		
PISOS	DIR.X	DIR.Y
0	0	0
1	0.08336	0.01801
2	0.15486	0.03118
3	0.17389	0.03301
4	0.15548	0.03026
5	0.15704	0.03982
6	0.08675	0.02414

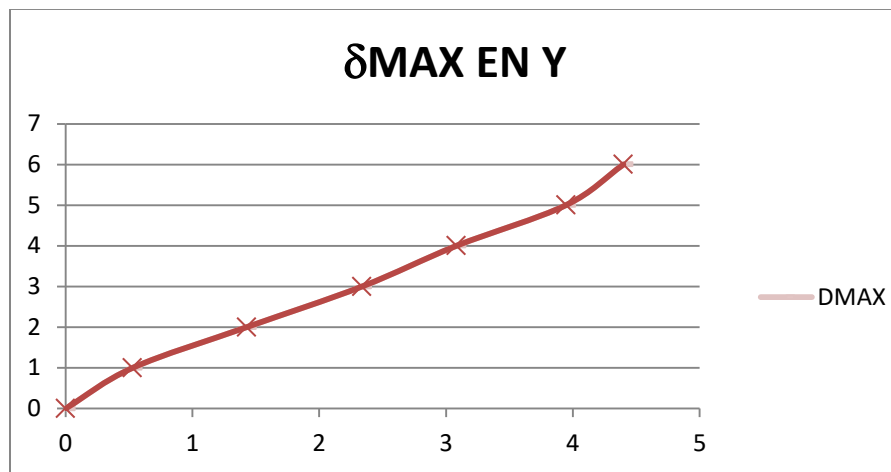
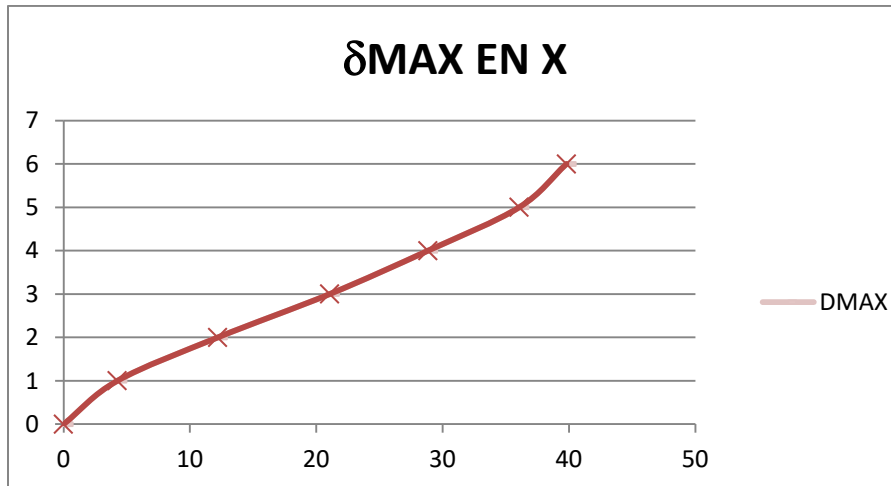
Tabla 90 Deriva inelástica máxima



**4.2.3.2. Deformación máxima**

δ MAX Y θ MAX			
PISOS	DIR. X	DIR.Y	θmax
0	0	0	0
1	4.2543	0.52797647	0.001272
2	12.1981	1.42657647	0.003468
3	21.0623	2.33658824	0.005742
4	28.8430	3.08056471	0.007625
5	36.0630	3.94457059	0.009821
6	39.8037	4.39836471	0.0109

*Tabla 91 Deformaciones y rotaciones máximas*

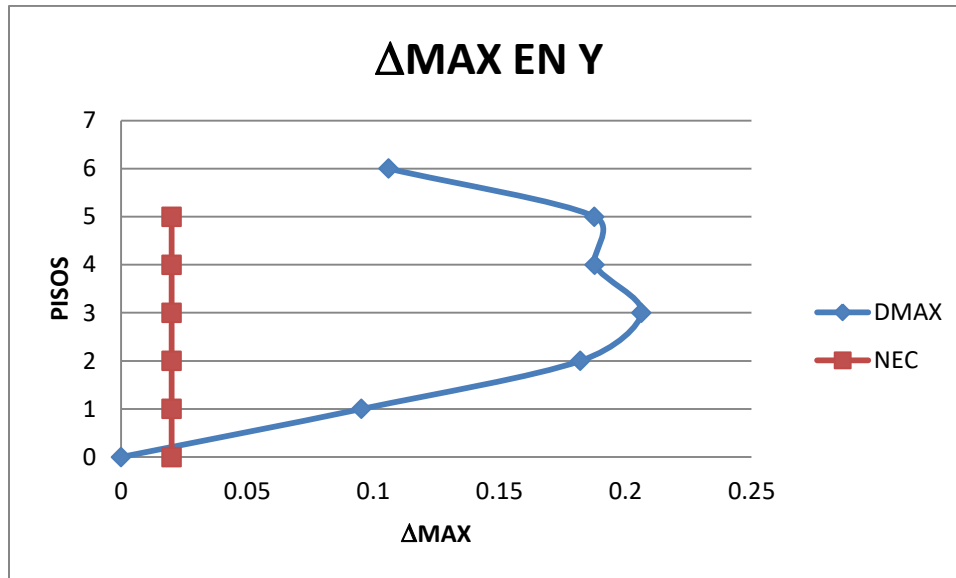


#### 4.2.4. Resultados para sismo en Y

##### 4.2.4.1. Deriva máxima

Δ INELÁSTICA MÁXIMA		
PISOS	DIRECCIÓN	DERIVA
0	Y	0
1	Y	0.0953
2	Y	0.1821
3	Y	0.2064
4	Y	0.1878
5	Y	0.1878
6	Y	0.1061

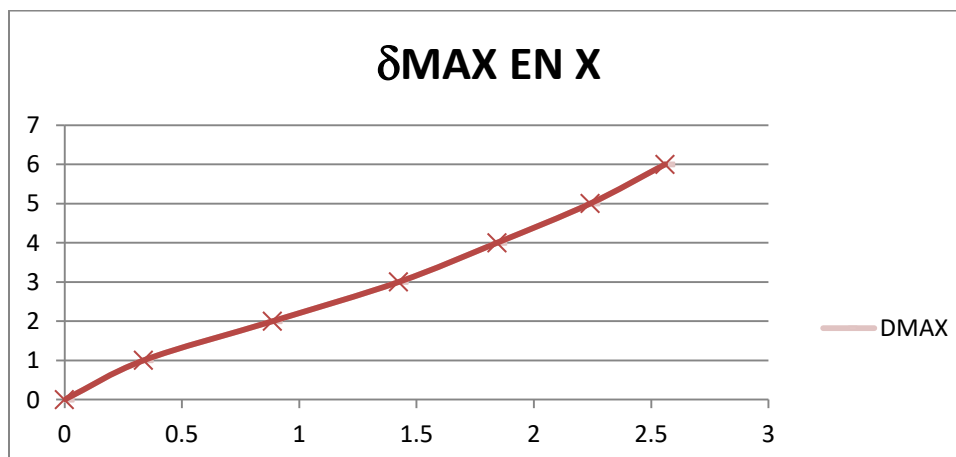
Tabla 92 Deriva máxima inelástica máxima

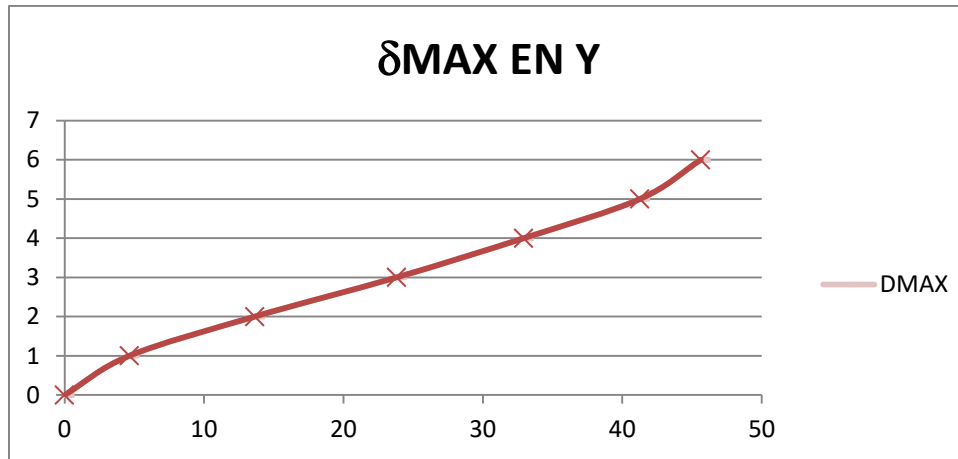


#### 4.2.4.2. Deformación máxima

δ MAX Y θ MAX			
PISOS	DIR. X	DIR.Y	θmax
0	0	0	0
1	0.33592941	4.64767059	0.001204
2	0.88672941	13.6409529	0.003263
3	1.42375294	23.8112353	0.005382
4	1.84312941	32.9292529	0.007107
5	2.2402375	41.2708438	0.009026
6	2.55921176	45.6297412	0.009763

Tabla 93 Deformaciones y rotaciones máximas

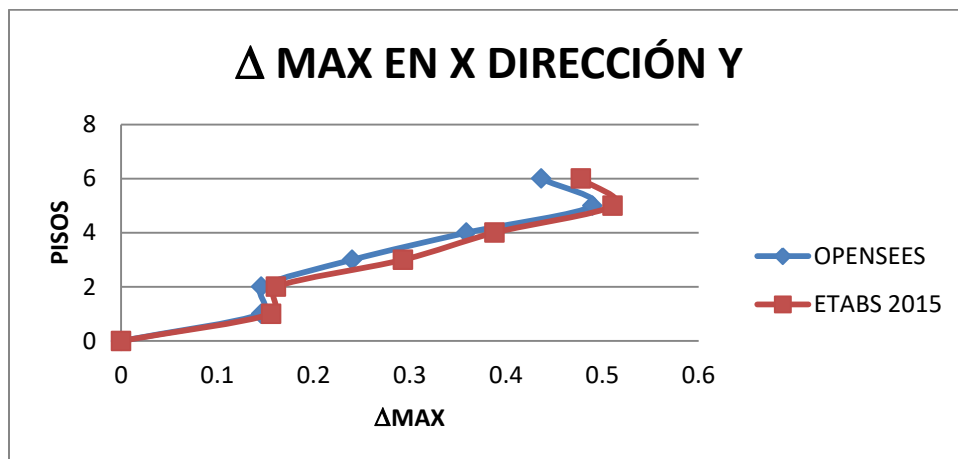
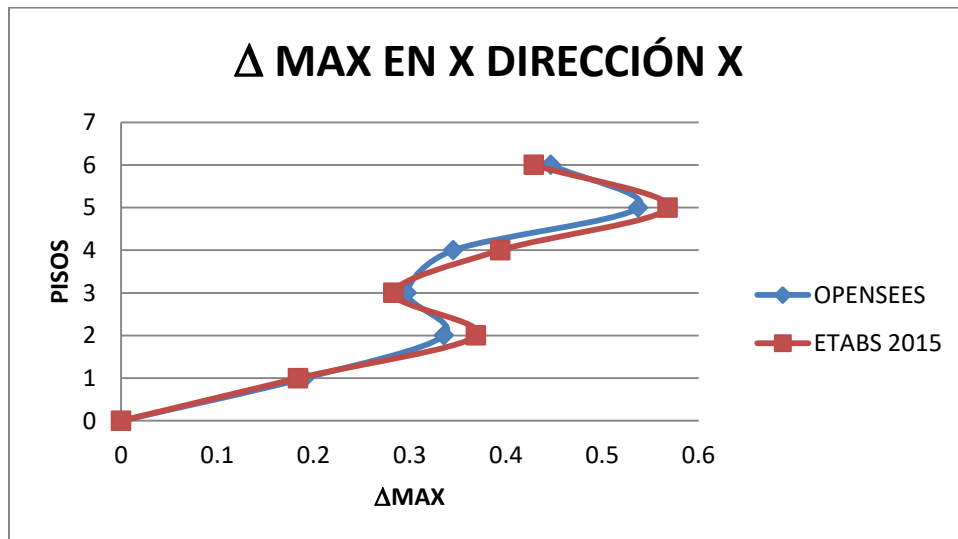




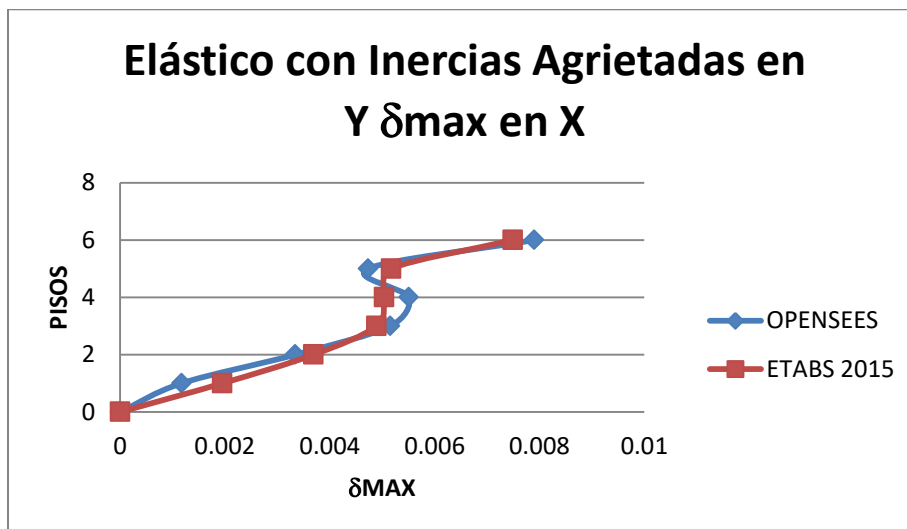
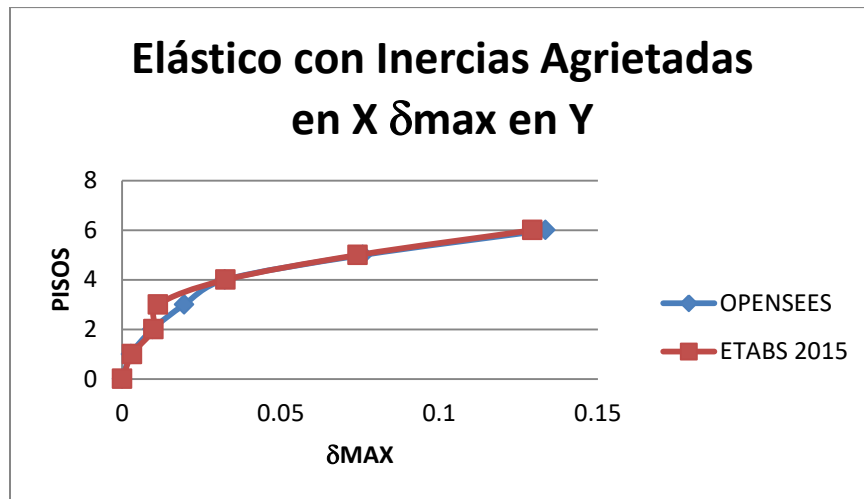
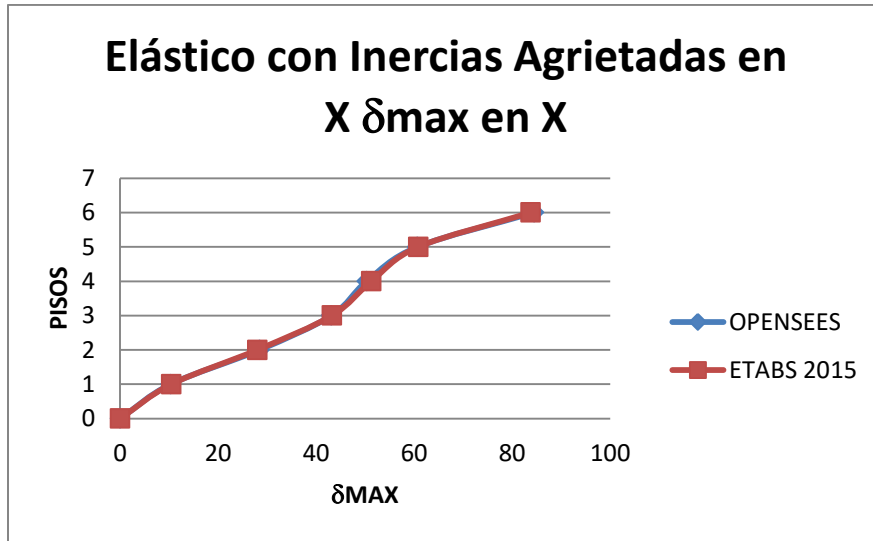
### 4.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LOS PROGRAMAS

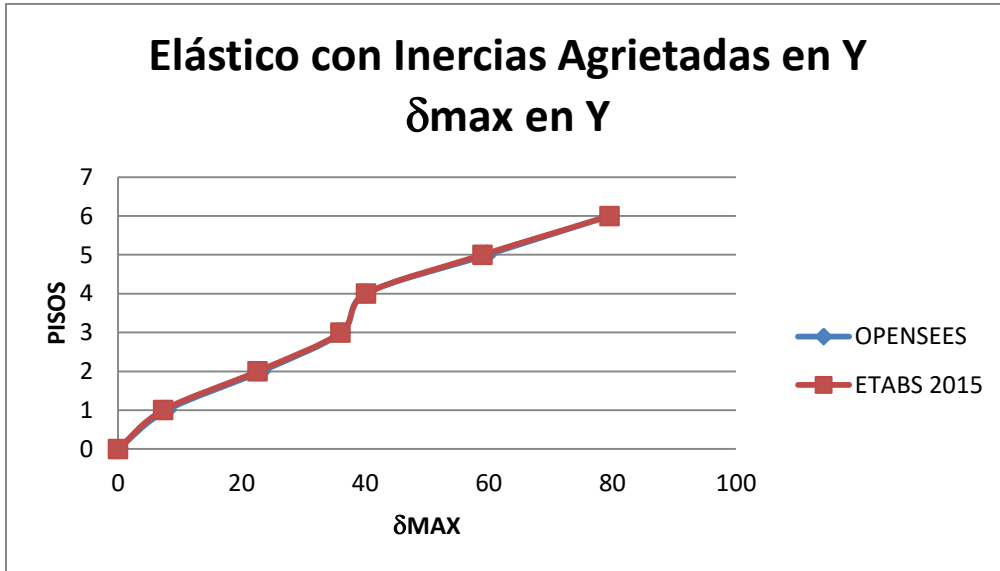
#### 4.3.1. Análisis elástico con inercias agrietadas

##### 4.3.1.1. Derivas máximas de Piso

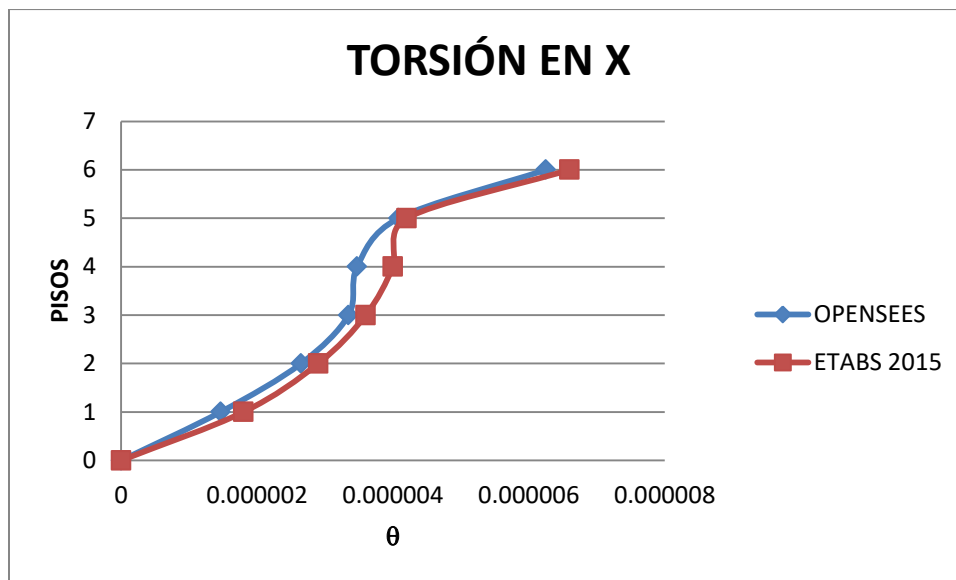


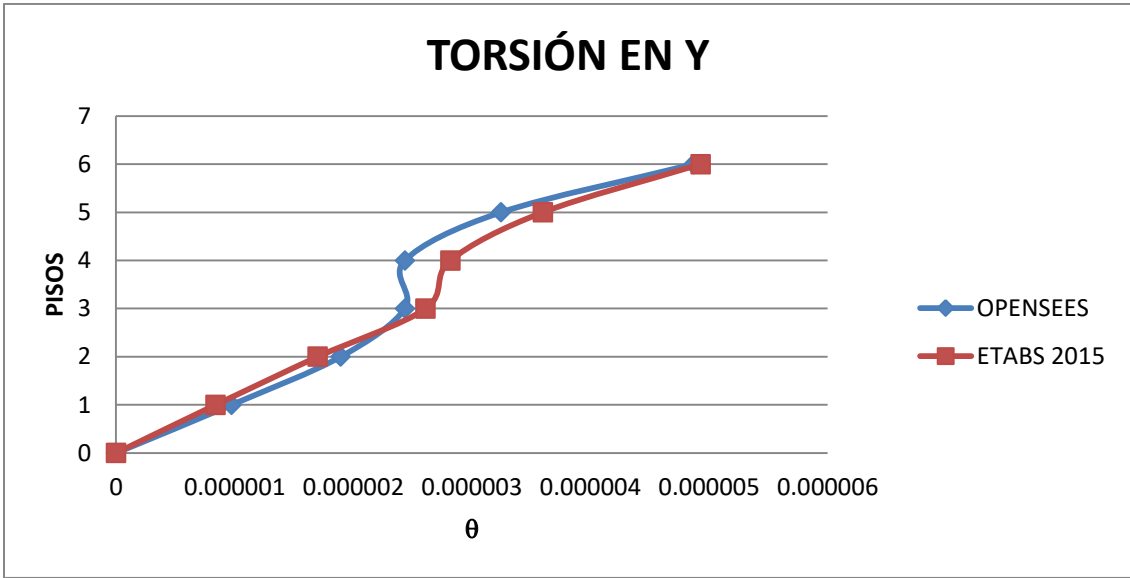
### 4.3.1.2. Deformaciones máximas de Piso





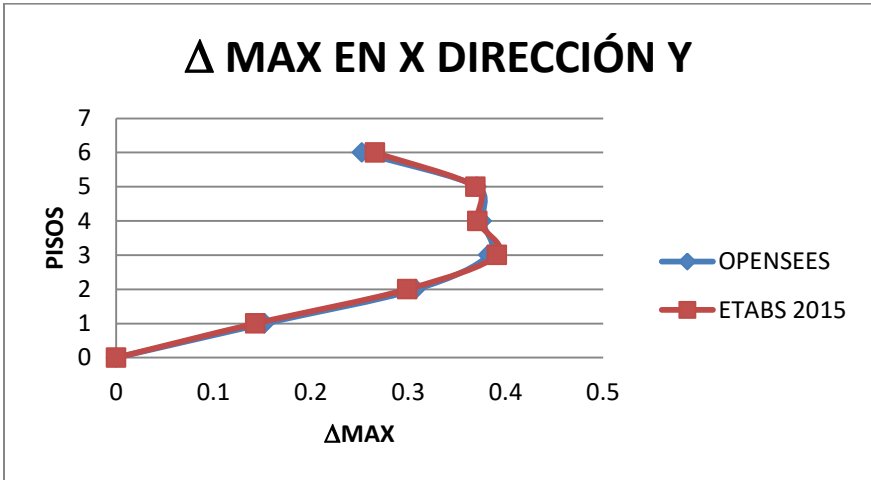
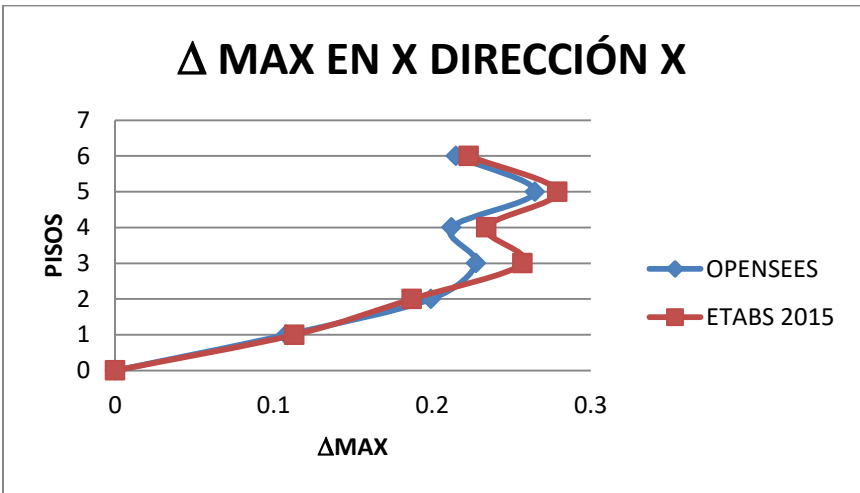
#### 4.3.1.3. Torsión máxima de Piso



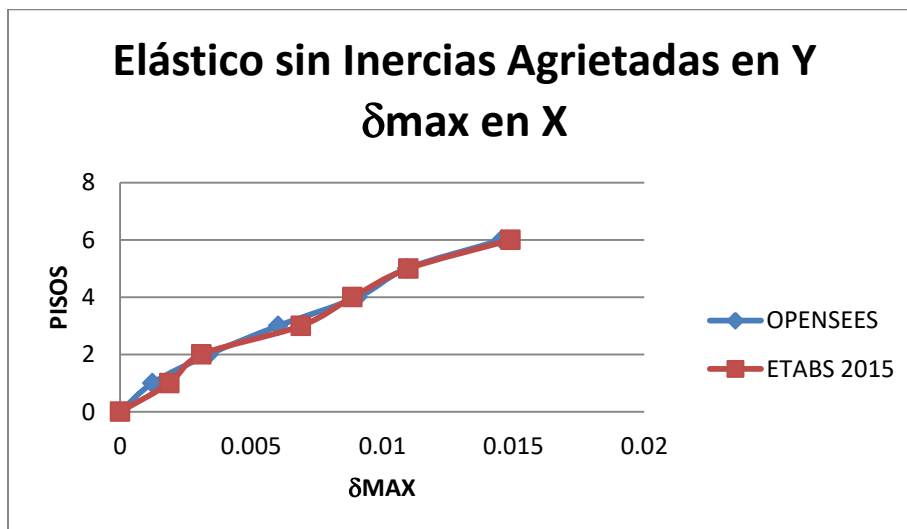
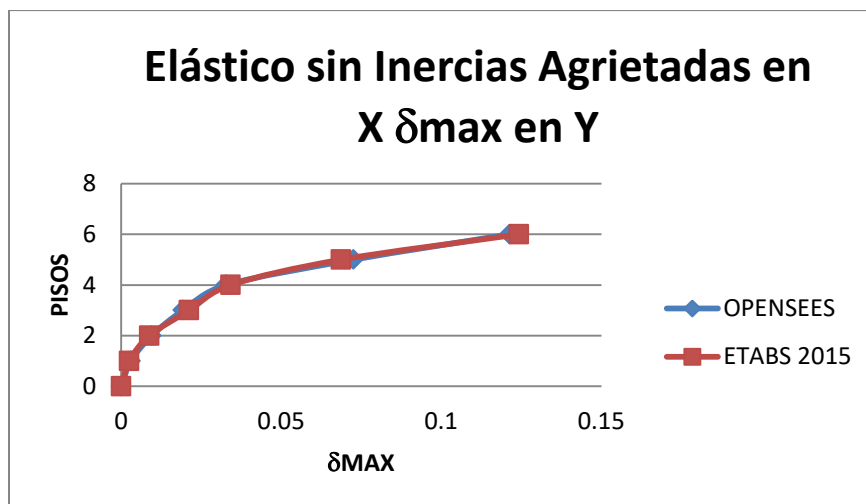
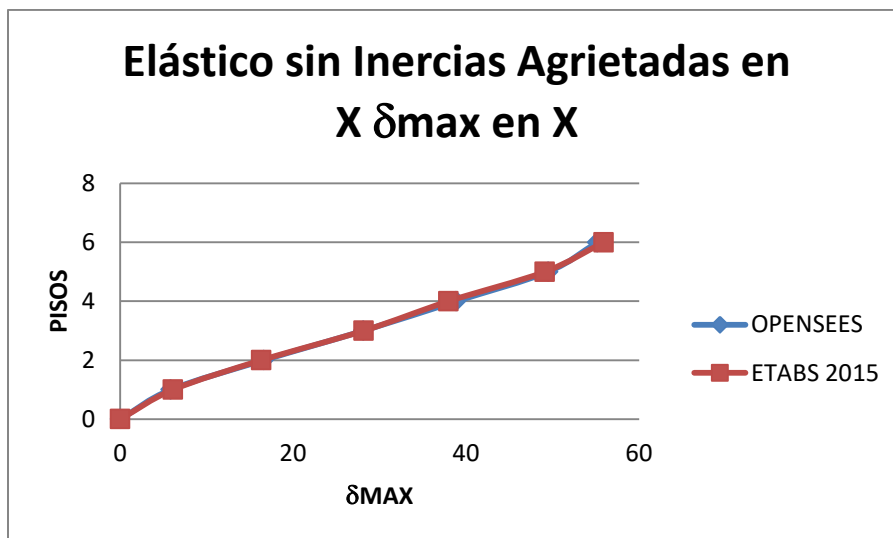


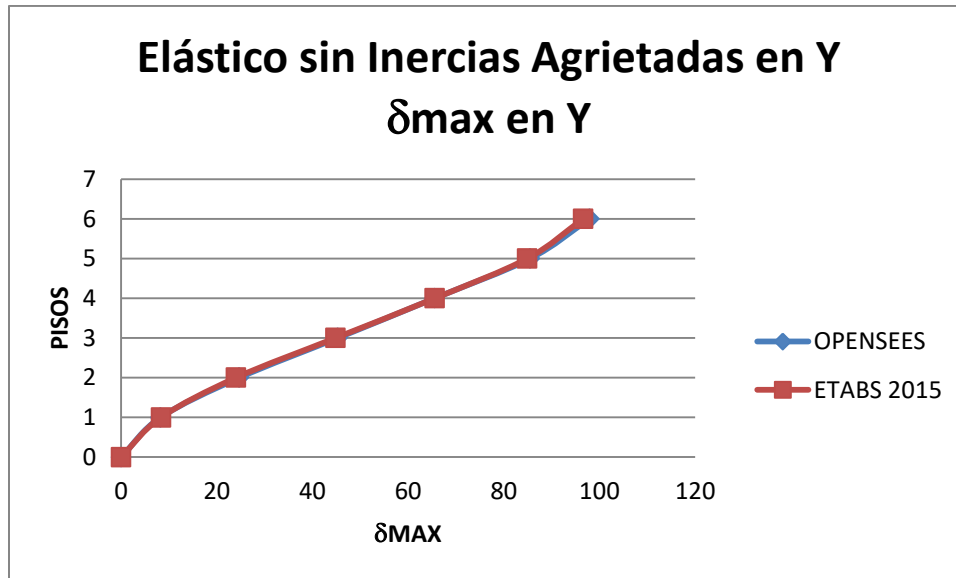
**4.3.2. Análisis elástico sin inercias agrietadas**

**4.3.2.1. Derivas máximas de Piso**

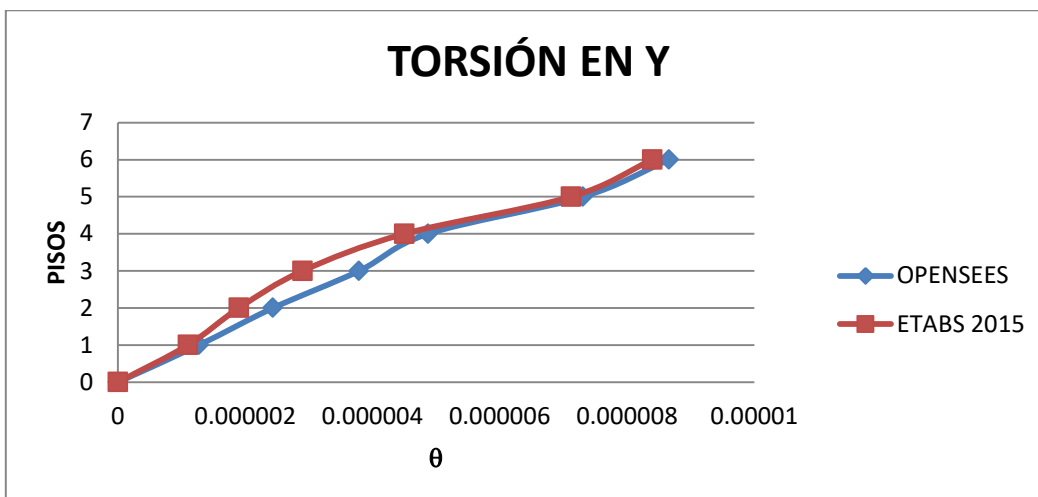
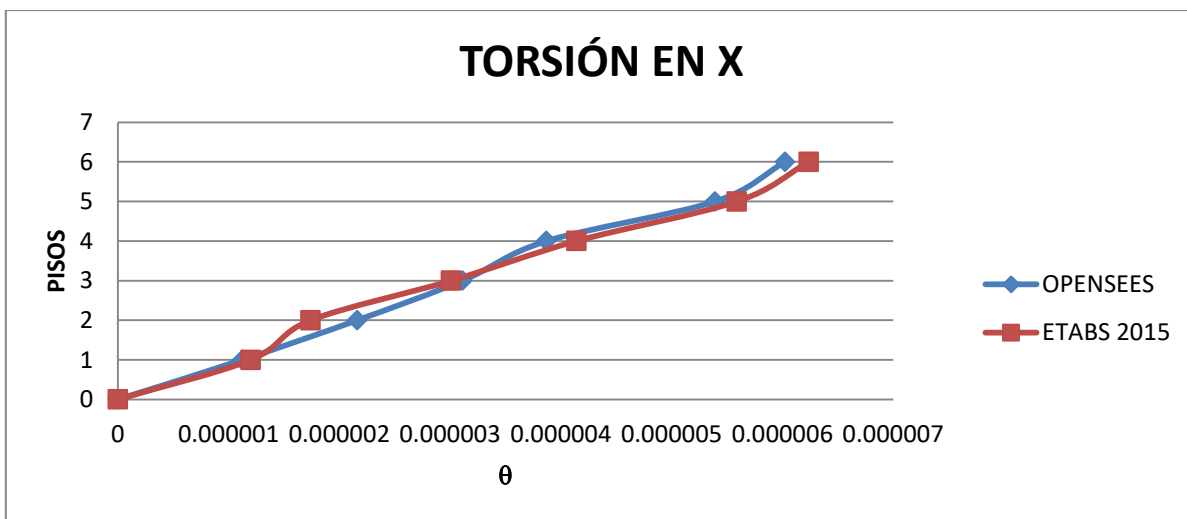


#### 4.3.2.2. Deformaciones máximas de Piso

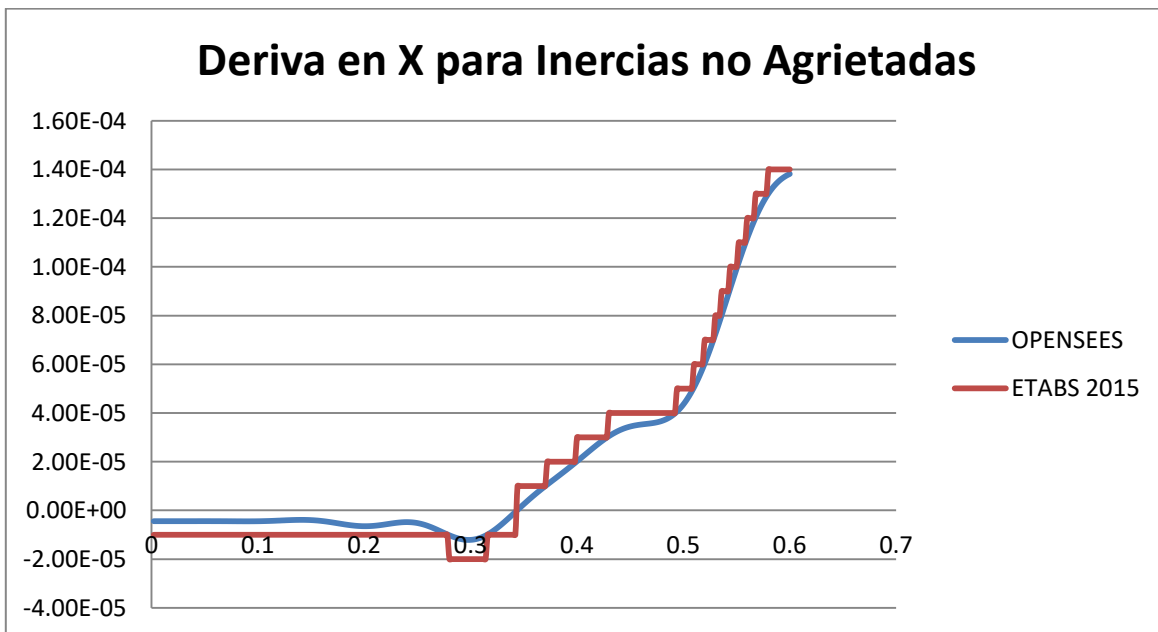
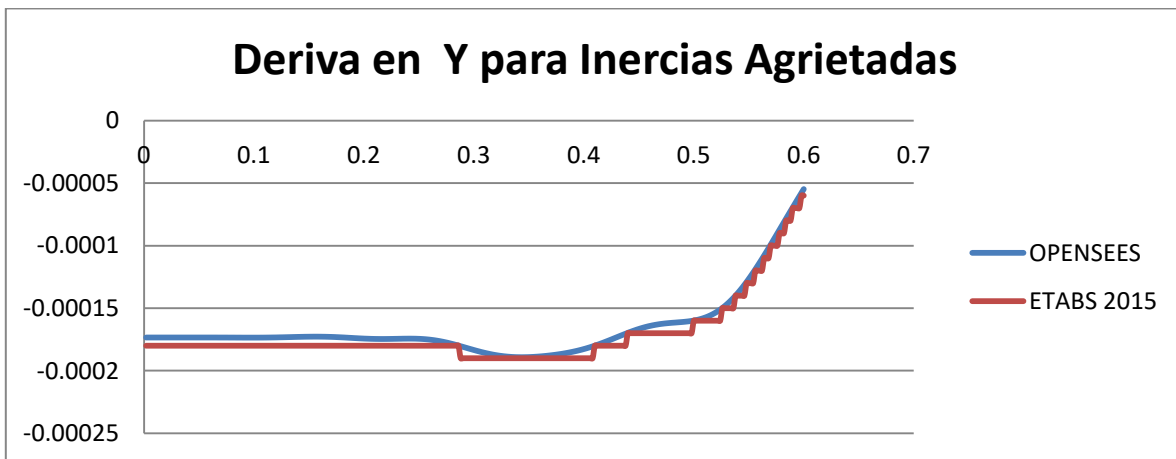
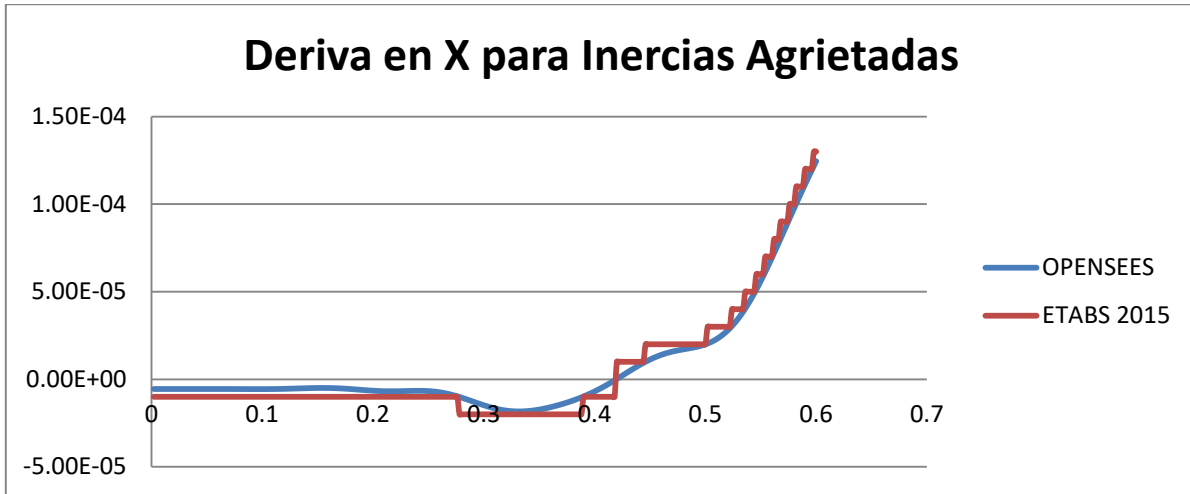


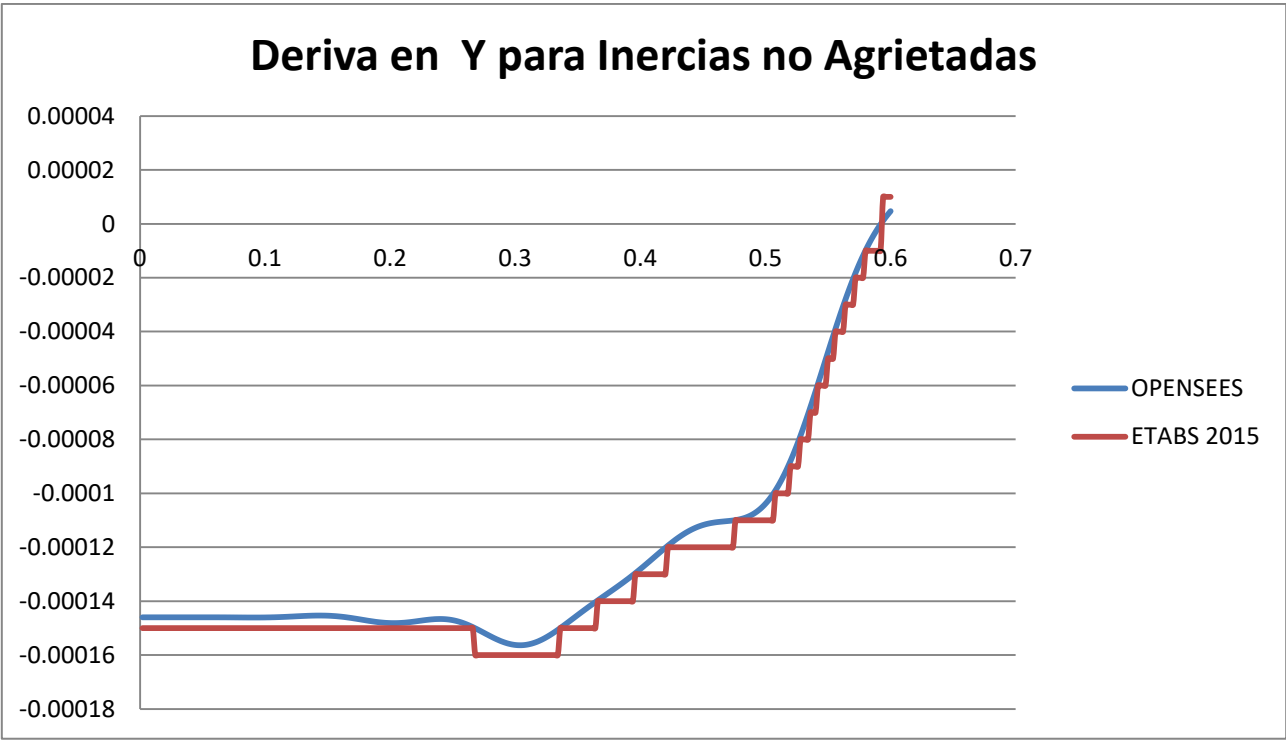


#### 4.3.2.3. Torsión máxima de Piso

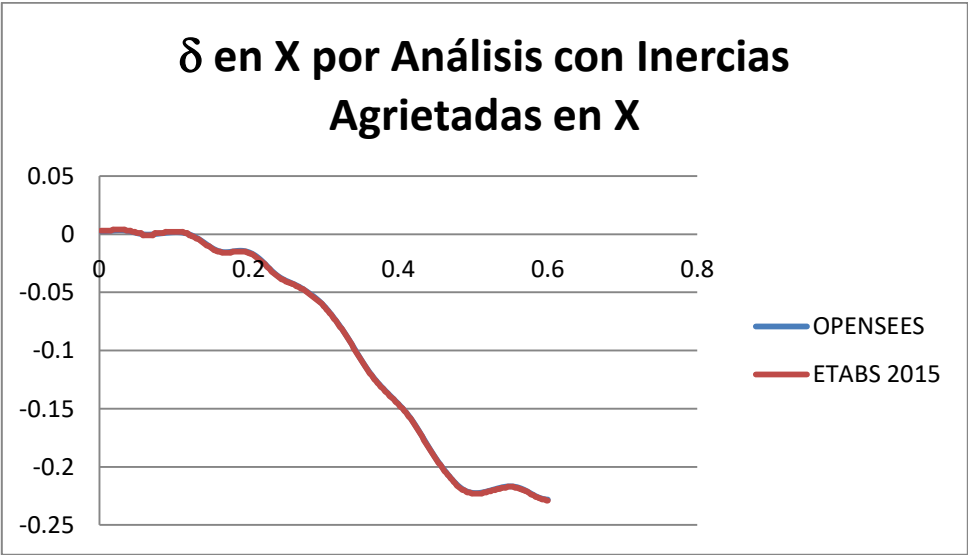


Deriva del 6to Piso de 0 a 0.6 segundos

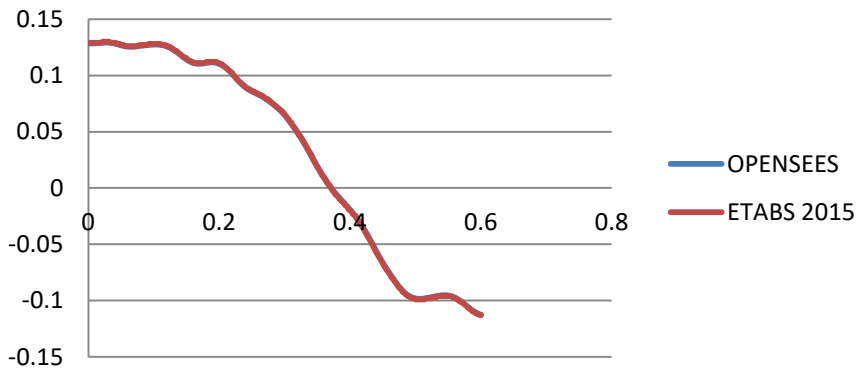




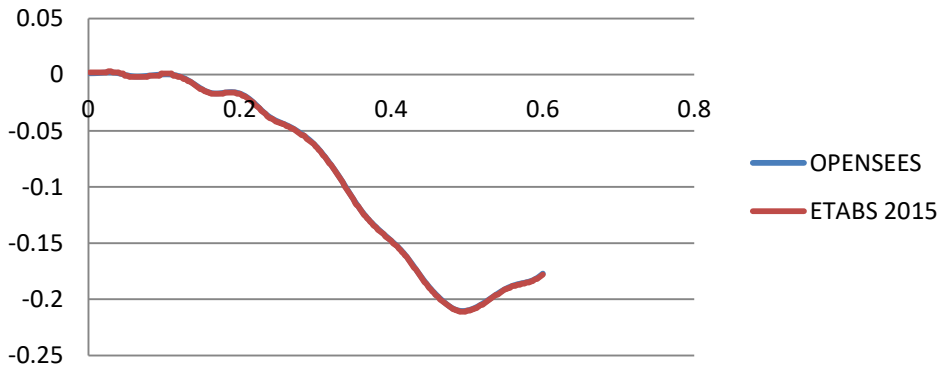
Deformación del 6to Piso de 0 a 0.6 segundo



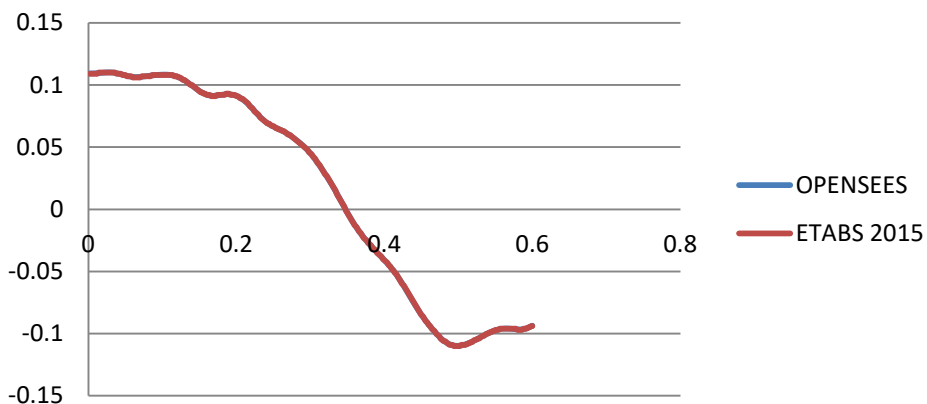
### $\delta$ en Y por Análisis con Inercias Agrietadas en Y



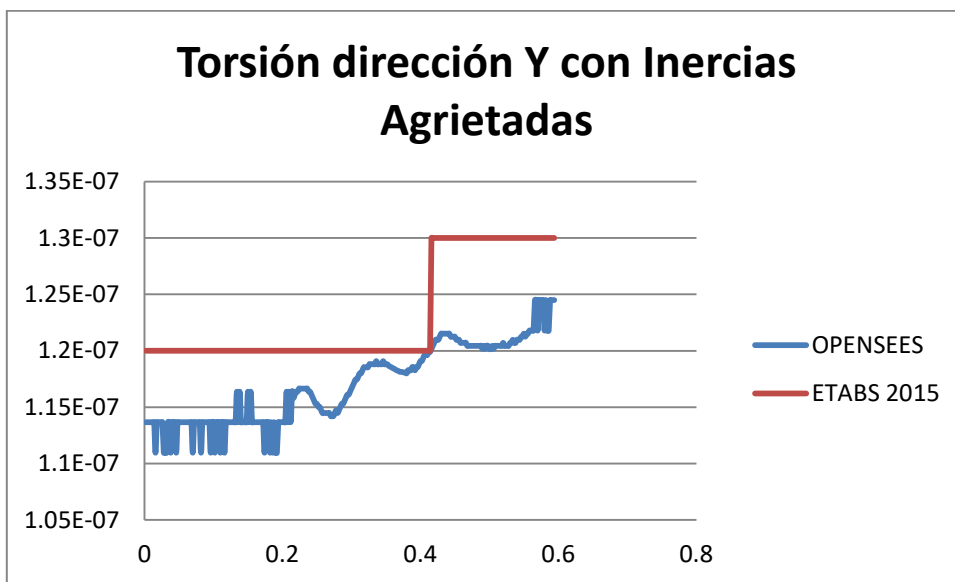
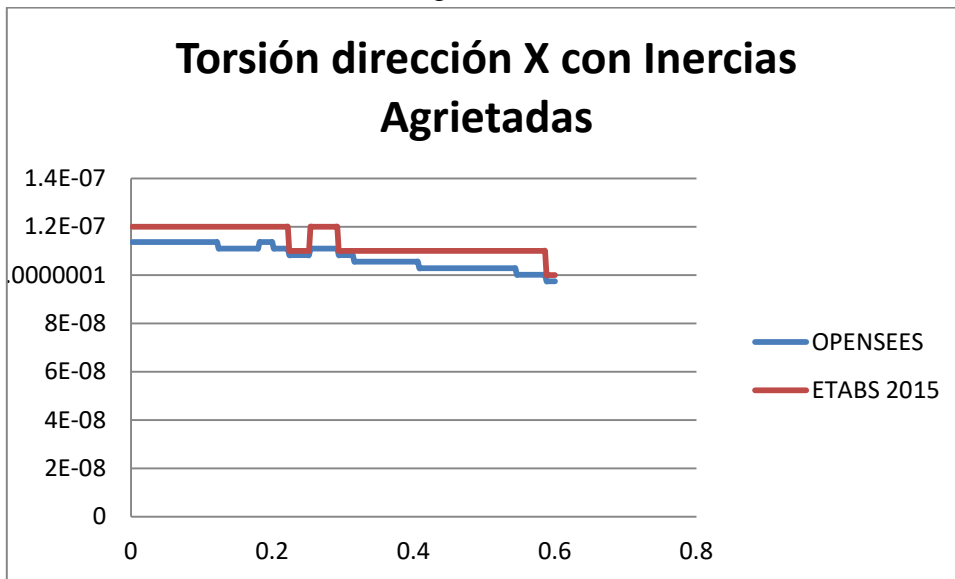
### $\delta$ en X por Análisis sin Inercias Agrietadas en X

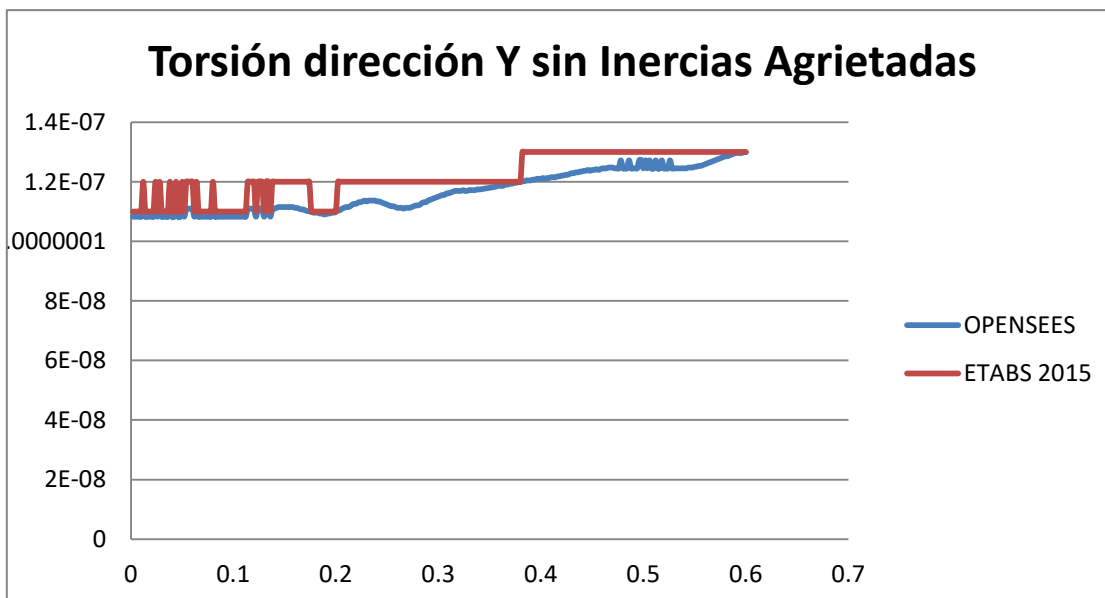
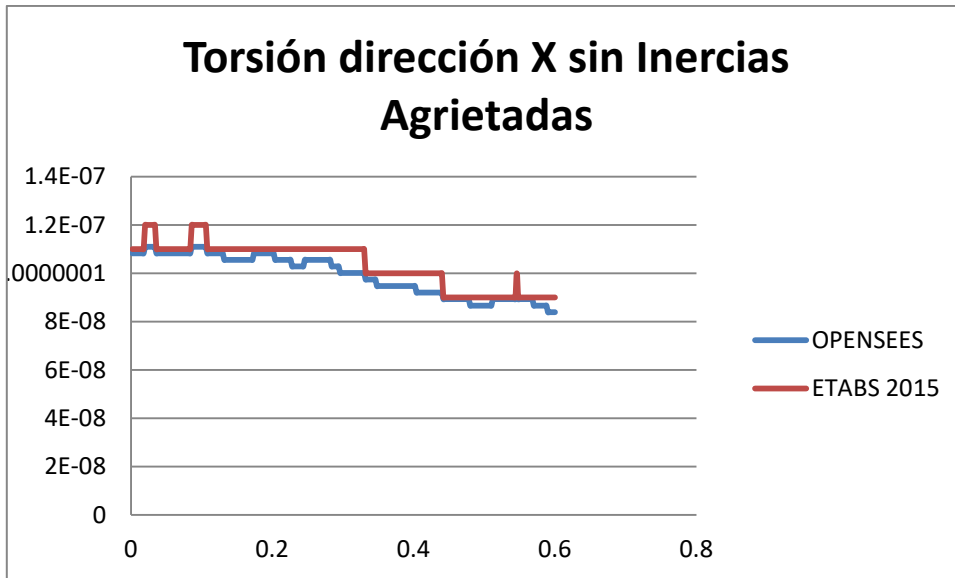


### $\delta$ en Y por Análisis sin Inercias Agrietadas en Y



Torsión del 6to Piso de 0 a 0.6 segundo





## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- Definimos cargas y realizamos el espectro de diseño del edificio Yam Yam considerando todas sus características estructurales según la norma vigente NEC15.
- Evaluamos los resultados de derivas que nos proporcionaron los programas con la deriva máxima dada en la NEC15, por ende el edificio Yam Yam llegó a su falla debido a que los resultados de sus derivas de piso eran mucho más altos que la deriva máxima especificadas en la norma NEC15.

- Otra razón considerable de la falla del edificio Yam Yam es la concentración de esfuerzos que se generó por el cambio de sección en sus columnas.
- Realizamos análisis adicionales, un análisis inelástico de tiempo historia en OpenSees y un análisis de sismo lateral equivalente en ETABS.
- Comparamos los resultados obtenidos en el programa OpenSees y en el programa ETABS 2015, dándonos en estas respuestas muy similares, las cuales difieren por las aproximaciones que cada programa realiza.
- Comprobamos la funcionalidad de los dos diferentes programas utilizados.
- El tiempo que tarda cada programa en analizar el edificio depende del tipo de análisis que se realizará, un análisis tiempo historia se demora más que un análisis de sismo equivalente, un análisis inelásticos se demora muchísimo más que un análisis elástico.
- Los resultados que se obtendrán en un análisis tiempo historia son más detallados que un análisis de sismo equivalente, en el análisis tiempo historia podemos especificar cuantos resultados necesitaremos y obtendremos resultados en el tiempo que los necesitemos al contrario el análisis de sismo equivalente nos da respuestas máximas sin importar el tiempo del sismo.

## **5.2.RECOMENDACIONES**

- Para utilizar el método de Newmark y hacerlo lo más parecido a la realidad posible se recomienda que se tome un factor  $\beta=1/6$  ya que este representa una aceleración que varía linealmente y no constante como el valor de  $1/4$ , aunque en nuestro modelo hayamos utilizado el valor de  $1/4$ .
- Cuando se realiza la modelación en OpenSees es muy útil poner mensajes con el símbolo # especificando que estamos realizando en la modelación, ya que este símbolo se usa para tener mensajes los cuales no alteran la modelación podemos especificar todos los pasos de esta con él y así lograremos tener una codificación clara para que otra persona que reciba este archivo la entienda.
- Es recomendable en cada finalización de algún paso importante de la modelación en el programa OpenSees hacer uso del comando “puts” ya que este nos mostrará al momento de correr el programa en donde se encuentra el análisis y por ende será mucho más fácil encontrar errores en la codificación si se llegan a presentar y también nos indicará en que paso del análisis se encontrará el programa.

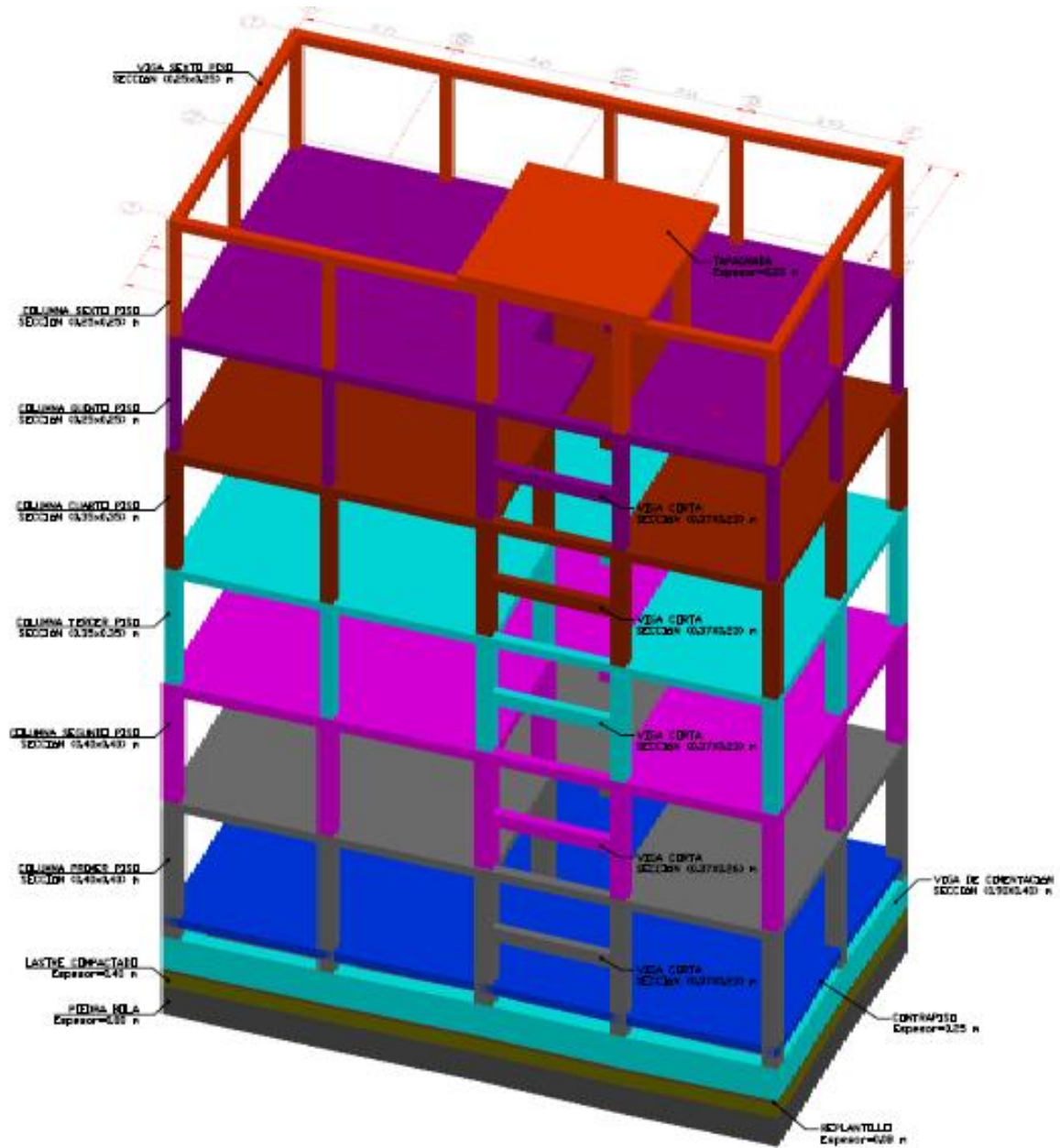
- El programa ETABS 2015 no nos presenta todos los resultados detalladamente como el programa OpenSees, por esto se recomienda utilizar OpenSees cuando se necesitan respuestas muy detalladas.
- Se recomienda utilizar ETABS 2015 cuando se necesita realizar modelos en un tiempo corto ya que este nos proporciona resultados más rápidamente que el programa OpenSees.
- Para utilizar OpenSees se recomienda tener todos los conceptos del cálculo estructural bien claros, desde el más básico hasta el más complicado ya que en este programa es mucho más fácil cometer errores de modelación.
- Para realizar una modelación estructural que no sea de un edificio se recomienda utilizar el programa OpenSees ya que el programa ETABS 2015 se especializa en edificaciones.
- Se recomienda continuidad en los elementos estructurales para evitar concentraciones de esfuerzos que lleven a una falla estructural.

## BIBLIOGRAFÍA

- Autodesk. (2017). *Autodesk*. Obtenido de Autodesk Robot Structural Analysis Professional: <https://knowledge.autodesk.com/support/robot-structural-analysis-products/troubleshooting/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/ROBOT-How-to-define-a-time-history-analysis-and-how-to-explore-results.html>
- Cassano, A. M. (2009). *ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS BAJO ACCIONES DINÁMICAS*. Paraná: Editorial de la Universidad Nacional.
- Chopra, A. K. (2013). *DINÁMICA DE ESTRUCTURAS*. México: Pearson.
- Clough, R. W., & Penzien, J. (2003). *DYNAMICS OF STRUCTURES*. USA: Computers & Structures.
- EPN. (Mayo de 2017). *Instituto Geofísico*. Obtenido de Instituto Geofísico: <http://www.igepn.edu.ec>
- Foundation, N. S. (2006). *OpenSees*. Obtenido de OpenSees Wiki: [http://opensees.berkeley.edu/wiki/index.php/Main\\_Page](http://opensees.berkeley.edu/wiki/index.php/Main_Page)
- Mario, P. (1992). *DINÁMICA ESTRUCTURAL*. España: Reverté.
- NEC, N. E. (2015). *PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE*. Quito.
- Suárez, L. E. (2014). *ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS CON CARGAS DINÁMICAS TOMO I*. USA: Creatspace.

# ANEXOS

## ANEXO 1





```

#
#
#           Y
#           ^
#           |
#
# -----
#  | \  recubrimiento  / |
#  | \----superior--- / |
#  |r|                 |r|
#  |e|                 |e|
#  s <-----|c|   núcleo   |c| HSec
#  |u|                 |u|
#  |b|                 |b|
#  | /----inferior--- \ |
#  | /  recubrimiento  \ |
#  |-----
#
#           Bsec
#
#
# Notas
# El hormigón que forma parte del núcleo termina en el EN (Eje Neutro) de las varillas de reforsamiento longitudinal.
# El centro de la sección se encuentra en el (0,0) del sistema de ejes locales.
#
set coverY [expr $HSec/2.0];           # La distancia desde el eje s de la sección hacia el borde del recubrimiento de hormigón -- borde externo del recubrimiento de Hormigón.
set coverZ [expr $BSec/2.0];         # La distancia desde el eje y de la sección hacia el borde del recubrimiento de hormigón -- borde externo del recubrimiento de Hormigón.
set coreY [expr $coverY-$coverH];     # La distancia desde el eje s de la sección hacia el borde del núcleo de hormigón -- borde del núcleo de hormigón/borde interno del recubrimiento de hormigón.
set coreZ [expr $coverZ-$coverB];     # La distancia desde el eje y de la seccion hacia el borde del núcleo de hormigón -- borde del núcleo de hormigón/borde interno del recubrimiento de hormigón.
set numBarsInt [expr $numBarsIntTot/2]; # Número de varillas intermedias por cada lado.

# Se define la sección usando fibras.
section fiberSec $id {
  # Se define el patch del núcleo.
  patch quad $coreID $nfCoreY $nfCoreZ -$coreY -$coreZ $coreY -$coreZ $coreY $coreZ -$coreY $coreZ

  # Se define los cuatro patches correspondientes a los recubrimientos.
  patch quad $coverID 2 $nfCoverY -$coverY $coverZ -$coreY $coreZ $coreY $coreZ $coverY $coverZ
  patch quad $coverID 2 $nfCoverY -$coreY -$coreZ -$coverY -$coverZ $coverY -$coverZ $coreY -$coreZ
  patch quad $coverID $nfCoverZ 2 -$coverY $coverZ -$coverY -$coverZ -$coreY -$coreZ -$coreY -$coreZ
  patch quad $coverID $nfCoverZ 2 $coreY $coreZ $coreY -$coreZ $coverY -$coverZ $coverY $coverZ

  # Se definen las capas de varillas de refuerzo longitudinal.
  layer straight $steelID $numBarsInt $barAreaInt -$coreY $coreZ $coreY $coreZ; # capa de refuerzo intermedio +s
  layer straight $steelID $numBarsInt $barAreaInt -$coreY -$coreZ $coreY -$coreZ; # capa de refuerzo intermedio -s
  layer straight $steelID $numBarsTop $barAreaTop $coreY $coreZ $coreY -$coreZ; # capa de refuerzo superior.
  layer straight $steelID $numBarsBot $barAreaBot -$coreY $coreZ -$coreY -$coreZ; # capa de refuerzo inferior.
}; # fin de la definición de sección usando fibras.
}; # fin del procedimiento (función).

```

### ANEXO 3

```
#####
# LibMaterialsRC.tcl: define la libreria de materiales de Hormigon Armado.
#           Silvia Mazzoni & Frank McKenna, 2006
#           Modificado por Maria Mercedes Flores, 2017
#####

# Parametros Generales del Material
set G $Ubig;           # modulo de corte bastante rigido.
set J 1.0;             # modulo torsional de la seccion (G hace GJ grande).
set GJ [expr $G*$J];

# -----
# Hormigon Confinado y no Confinado.
# Resistencia nominal a compresion del hormigon.
set fc [expr -210.*$kgfcm2];           # Resistencia a la compresion del Hormigon, [kg/cm2] (+Tension, -Compresion)
set Ec [expr 15100.*$kgfcm2*sqrt(-$fc)]; # Modulo de elasticidad del hormigon.
set nu 0.2;                             # Modulo de Poisson.
set Gc [expr $Ec/2./(1+$nu)];           # Modulo de Corte

# Datos para el Hormigón Confinado
set Kfc 1.3;                             # Relacion de hormigon confinado. fc_conf/fc.
set Kres 0.2;                             # Relacion de esfuerzos maximos residual/ultimo.
set fclC [expr $Kfc*$fc];                 # Esfuerzo maximo para hormigon CONFINADO (modelo de Mander).
set eps1C [expr 2.*$fclC/$Ec];           # deformcion unitaria cuando el esfuerzo es maximo.
set fc2C [expr $Kres*$fclC];             # esfuerzo ultimo.
set eps2C [expr 20*$eps1C];              # deformacion unitaria cuando llega al esfuerzo ultimo.
set lambda 0.1;                          # relacion entre la pendiente de descarga en $eps2 y la pendiente inicial $Ec.

# Datos para el Hormigon No Confinado
set fclU $fc;                             # Esfuerzo maximo para hormigon NO CONFINADO (modelo parabolico de Todeschini).
set eps1U -0.003;                         # Deformacion unitaria del hormion no confinado cuando el esfuerzo es maximo.
set fc2U [expr $Kres*$fclU];              # Esfuerzo ultimo.
set eps2U -0.01;                          # Deformacion unitaria cuando llega al esfuerzo ultimo.

# Propiedades de Resistencia a la Traccion.
set ftC [expr -0.14*$fclC];               # Resistencia a la tension. + para tension.
set ftU [expr -0.14*$fclU];               # Resistencia a la tension. + para tension.
set Ets [expr $ftU/0.002];                # tension softening stiffness
```

```

# Definicion de la Libreria de Materiales.
if { [info exists imat ] != 1 } {set imat 0};      # se define un valor solo si este no ha sido definido previamente.
set IDconcCore 1
set IDconcCover 2
uniaxialMaterial Concrete02 $IDconcCore $fc1C $eps1C $fc2C $eps2C $lambda $ftC $Ets;      # Nucleo de Hormigon. (confinado)
uniaxialMaterial Concrete02 $IDconcCover $fc1U $eps1U $fc2U $eps2U $lambda $ftU $Ets;      # Recubrimiento de Hormigon.(NO confinado)

# -----
# Parametros de ACERO DE REFUERZO.
#
set Fy [expr 4200.*$kgfcm2];      # Resistencia de Fluencia del Acero.
set Es [expr 2.04e6*$kgfcm2];      # Modulo de elasticidad del acero.
set Bs 0.01;      # Radio de endurecimiento por deformacion.
set R0 18;      # Controla la transicion de rango elastico a plastico.
set cR1 0.925;      # Controla la transicion de rango elastico a plastico.
set cR2 0.15;      # Controla la transicion de rango elastico a plastico.

set IDSteel 3
uniaxialMaterial Steel02 $IDSteel $Fy $Es $Bs $R0 $cR1 $cR2

```

## ANEXO 4

```
# -----  
# MODELO ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO "EDIFICIO YAM-YAM" EN PEDERNALES-MANABI. ECUADOR  
# Creado por: María Mercedes Flores .  
# nonlinearBeamColumn element, inelastic/elastic fiber section  
# Última Modificación: lunes 20 de Junio 2017  
  
# Definicion de secciones elásticas para el modelo.  
# =====  
  
# Elementos del modelo con secciones elásticas.  
  
# PISO 2  
# Columnas  
element nonlinearBeamColumn 1101 101 201 $np $SecTagCol2 $IDColTransf  
element nonlinearBeamColumn 1102 102 202 $np $SecTagCol1 $IDColTransf  
element nonlinearBeamColumn 1103 103 203 $np $SecTagCol1 $IDColTransf  
element nonlinearBeamColumn 1104 104 204 $np $SecTagCol2 $IDColTransf  
element nonlinearBeamColumn 1105 105 205 $np $SecTagCol2 $IDColTransf  
element nonlinearBeamColumn 1106 106 206 $np $SecTagCol2 $IDColTransf  
element nonlinearBeamColumn 1107 107 207 $np $SecTagCol1 $IDColTransf  
element nonlinearBeamColumn 1108 108 208 $np $SecTagCol1 $IDColTransf  
element nonlinearBeamColumn 1109 109 209 $np $SecTagCol2 $IDColTransf  
element nonlinearBeamColumn 1110 110 210 $np $SecTagCol2 $IDColTransf  
element nonlinearBeamColumn 1111 111 211 $np $SecTagCol2 $IDColTransf  
element nonlinearBeamColumn 1112 112 212 $np $SecTagCol2 $IDColTransf  
element nonlinearBeamColumn 1113 113 213 $np $SecTagCol2 $IDColTransf  
element nonlinearBeamColumn 1114 114 214 $np $SecTagCol2 $IDColTransf  
element nonlinearBeamColumn 1115 115 215 $np $SecTagCol2 $IDColTransf  
  
# Vigas 2  
element nonlinearBeamColumn 2201 201 206 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf  
element nonlinearBeamColumn 2202 206 211 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf  
element nonlinearBeamColumn 2203 202 207 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf  
element nonlinearBeamColumn 2204 207 212 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf  
element nonlinearBeamColumn 2205 203 208 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf  
element nonlinearBeamColumn 2206 208 213 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf  
element nonlinearBeamColumn 2207 204 209 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf  
element nonlinearBeamColumn 2208 209 214 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf  
element nonlinearBeamColumn 2209 205 210 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf  
element nonlinearBeamColumn 2210 210 215 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf
```

```

# Vigas X
element nonlinearBeamColumn 2211 201 202 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2212 202 203 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2213 203 204 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2214 204 205 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2215 206 207 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2216 207 208 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2217 208 209 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2218 209 210 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2219 211 212 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2220 212 213 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2221 213 214 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2222 214 215 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf

# PISO 3
# Columnas
element nonlinearBeamColumn 1201 201 301 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1202 202 302 $np $SecTagCol1 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1203 203 303 $np $SecTagCol1 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1204 204 304 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1205 205 305 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1206 206 306 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1207 207 307 $np $SecTagCol1 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1208 208 308 $np $SecTagCol1 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1209 209 309 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1210 210 310 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1211 211 311 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1212 212 312 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1213 213 313 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1214 214 314 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1215 215 315 $np $SecTagCol2 $IDColTransf

# Vigas 2
element nonlinearBeamColumn 2301 301 306 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2302 306 311 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2303 302 307 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2304 307 312 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2305 303 308 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2306 308 313 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2307 304 309 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2308 309 314 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2309 305 310 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2310 310 315 $np $SecTagViga $IDViga2Transf

```

```

# Vigas X
element nonlinearBeamColumn 2311 301 302 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2312 302 303 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2313 303 304 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2314 304 305 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2315 306 307 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2316 307 308 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2317 308 309 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2318 309 310 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2319 311 312 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2320 312 313 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2321 313 314 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2322 314 315 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf

# PISO 4
# Columnas
element nonlinearBeamColumn 1301 301 401 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1302 302 402 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1303 303 403 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1304 304 404 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1305 305 405 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1306 306 406 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1307 307 407 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1308 308 408 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1309 309 409 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1310 310 410 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1311 311 411 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1312 312 412 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1313 313 413 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1314 314 414 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1315 315 415 $np $SecTagCol3 $IDColTransf

# Vigas 2
element nonlinearBeamColumn 2401 401 406 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2402 406 411 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2403 402 407 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2404 407 412 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2405 403 408 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2406 408 413 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2407 404 409 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2408 409 414 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2409 405 410 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2410 410 415 $np $SecTagViga $IDViga2Transf

```

```

# Vigas X
element nonlinearBeamColumn 2411 401 402 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2412 402 403 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2413 403 404 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2414 404 405 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2415 406 407 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2416 407 408 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2417 408 409 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2418 409 410 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2419 411 412 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2420 412 413 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2421 413 414 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2422 414 415 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf

# PISO 5
# Columnas
element nonlinearBeamColumn 1401 401 501 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1402 402 502 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1403 403 503 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1404 404 504 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1405 405 505 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1406 406 506 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1407 407 507 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1408 408 508 $np $SecTagCol2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1409 409 509 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1410 410 510 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1411 411 511 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1412 412 512 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1413 413 513 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1414 414 514 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1415 415 515 $np $SecTagCol3 $IDColTransf

# Vigas Z
element nonlinearBeamColumn 2501 501 506 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2502 506 511 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2503 502 507 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2504 507 512 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2505 503 508 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2506 508 513 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2507 504 509 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2508 509 514 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2509 505 510 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2510 510 515 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf

```

```

# Vigas X
element nonlinearBeamColumn 2511 501 502 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2512 502 503 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2513 503 504 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2514 504 505 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2515 506 507 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2516 507 508 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2517 508 509 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2518 509 510 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2519 511 512 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2520 512 513 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2521 513 514 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2522 514 515 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf

```

```

# PISO 6

```

```

# Columnas

```

```

element nonlinearBeamColumn 1501 501 601 $np $SecTagCol4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1502 502 602 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1503 503 603 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1504 504 604 $np $SecTagCol4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1505 505 605 $np $SecTagCol4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1506 506 606 $np $SecTagCol4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1507 507 607 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1508 508 608 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1509 509 609 $np $SecTagCol4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1510 510 610 $np $SecTagCol4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1511 511 611 $np $SecTagCol4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1512 512 612 $np $SecTagCol4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1513 513 613 $np $SecTagCol4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1514 514 614 $np $SecTagCol4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1515 515 615 $np $SecTagCol4 $IDColTransf

```

```

# Vigas 2

```

```

element nonlinearBeamColumn 2601 601 606 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2602 606 611 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2603 602 607 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2604 607 612 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2605 603 608 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2606 608 613 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2607 604 609 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2608 609 614 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2609 605 610 $np $SecTagViga $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2610 610 615 $np $SecTagViga $IDViga2Transf

```

```

# Vigas X
element nonlinearBeamColumn 2611 601 602 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2612 602 603 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2613 603 604 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2614 604 605 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2615 606 607 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2616 607 608 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2617 608 609 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2618 609 610 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2619 611 612 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2620 612 613 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2621 613 614 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2622 614 615 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf

```

```

# PISO 7

```

```

# Columnas

```

```

element nonlinearBeamColumn 1601 601 701 $np $SecTagCol4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1602 602 702 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1603 603 703 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1604 604 704 $np $SecTagCol4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1605 605 705 $np $SecTagCol4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1606 606 706 $np $SecTagCol4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1607 607 707 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1608 608 708 $np $SecTagCol3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1609 609 709 $np $SecTagCol4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1610 610 710 $np $SecTagCol4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1611 611 711 $np $SecTagCol4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1612 612 712 $np $SecTagCol4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1613 613 713 $np $SecTagCol4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1614 614 714 $np $SecTagCol4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1615 615 715 $np $SecTagCol4 $IDColTransf

```

```

# Vigas Z

```

```

element nonlinearBeamColumn 2701 701 706 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2702 706 711 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2703 702 707 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2704 707 712 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2705 703 708 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2706 708 713 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2707 704 709 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2708 709 714 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2709 705 710 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2710 710 715 $np $SecTagViga $IDVigaZTransf

```

# Vigas X

```
element nonlinearBeamColumn 2711 701 702 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2712 702 703 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2713 703 704 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2714 704 705 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2715 706 707 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2716 707 708 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2717 708 709 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2718 709 710 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2719 711 712 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2720 712 713 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2721 713 714 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2722 714 715 $np $SecTagViga $IDVigaXTransf
```

## ANEXO 5

```
# -----
# MODELO ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO "EDIFICIO YAM-YAM" EN PEDERNALES-MANABI. ECUADOR
# Creado por: Maria Mercedes Flores
# nonlinearBeamColumn element, inelastic/elastic fiber section
# Última Modificación: 20 de Junio 2017

# Definicion de secciones no lineales con fibras para el modelo.
# =====

# Elementos del modelo con secciones no lineales con fibras.

# PISO 2
# Columnas
element nonlinearBeamColumn 1101 101 201 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1102 102 202 $np $SecTagColFib1 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1103 103 203 $np $SecTagColFib1 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1104 104 204 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1105 105 205 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1106 106 206 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1107 107 207 $np $SecTagColFib1 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1108 108 208 $np $SecTagColFib1 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1109 109 209 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1110 110 210 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1111 111 211 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1112 112 212 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1113 113 213 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1114 114 214 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1115 115 215 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf

# Vigas Z
element nonlinearBeamColumn 2201 201 206 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2202 206 211 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2203 202 207 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2204 207 212 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2205 203 208 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2206 208 213 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2207 204 209 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2208 209 214 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2209 205 210 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2210 210 215 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
```

```

# Vigas X
element nonlinearBeamColumn 2211 201 202 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2212 202 203 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2213 203 204 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2214 204 205 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2215 206 207 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2216 207 208 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2217 208 209 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2218 209 210 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2219 211 212 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2220 212 213 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2221 213 214 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2222 214 215 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf

# PISO 3
# Columnas
element nonlinearBeamColumn 1201 201 301 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1202 202 302 $np $SecTagColFib1 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1203 203 303 $np $SecTagColFib1 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1204 204 304 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1205 205 305 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1206 206 306 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1207 207 307 $np $SecTagColFib1 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1208 208 308 $np $SecTagColFib1 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1209 209 309 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1210 210 310 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1211 211 311 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1212 212 312 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1213 213 313 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1214 214 314 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1215 215 315 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf

# Vigas Z
element nonlinearBeamColumn 2301 301 306 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2302 306 311 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2303 302 307 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2304 307 312 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2305 303 308 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2306 308 313 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2307 304 309 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2308 309 314 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2309 305 310 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2310 310 315 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf

```

```

# Vigas X
element nonlinearBeamColumn 2311 301 302 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2312 302 303 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2313 303 304 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2314 304 305 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2315 306 307 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2316 307 308 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2317 308 309 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2318 309 310 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2319 311 312 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2320 312 313 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2321 313 314 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2322 314 315 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf

# PISO 4
# Columnas
element nonlinearBeamColumn 1301 401 401 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1302 402 402 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1303 403 403 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1304 404 404 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1305 405 405 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1306 406 406 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1307 407 407 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1308 408 408 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1309 409 409 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1310 410 410 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1311 411 411 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1312 412 412 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1313 413 413 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1314 414 414 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1315 415 415 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf

# Vigas Z
element nonlinearBeamColumn 2401 401 406 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2402 406 411 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2403 402 407 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2404 407 412 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2405 403 408 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2406 408 413 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2407 404 409 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2408 409 414 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2409 405 410 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf
element nonlinearBeamColumn 2410 410 415 $np $SecTagVigaFib $IDVigaZTransf

```

```

# Vigas X
element nonlinearBeamColumn 2411 401 402 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2412 402 403 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2413 403 404 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2414 404 405 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2415 406 407 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2416 407 408 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2417 408 409 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2418 409 410 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2419 411 412 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2420 412 413 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2421 413 414 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2422 414 415 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf

# PISO 5
# Columns
element nonlinearBeamColumn 1401 401 501 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1402 402 502 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1403 403 503 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1404 404 504 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1405 405 505 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1406 406 506 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1407 407 507 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1408 408 508 $np $SecTagColFib2 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1409 409 509 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1410 410 510 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1411 411 511 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1412 412 512 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1413 413 513 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1414 414 514 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1415 415 515 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf

# Vigas 2
element nonlinearBeamColumn 2501 501 506 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2502 506 511 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2503 502 507 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2504 507 512 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2505 503 508 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2506 508 513 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2507 504 509 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2508 509 514 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2509 505 510 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2510 510 515 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf

```

```

# Vigas X
element nonlinearBeamColumn 2511 501 502 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2512 502 503 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2513 503 504 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2514 504 505 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2515 506 507 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2516 507 508 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2517 508 509 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2518 509 510 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2519 511 512 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2520 512 513 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2521 513 514 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2522 514 515 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf

# PISO 6
# Columnas
element nonlinearBeamColumn 1501 501 601 $np $SecTagColFib4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1502 502 602 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1503 503 603 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1504 504 604 $np $SecTagColFib4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1505 505 605 $np $SecTagColFib4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1506 506 606 $np $SecTagColFib4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1507 507 607 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1508 508 608 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1509 509 609 $np $SecTagColFib4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1510 510 610 $np $SecTagColFib4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1511 511 611 $np $SecTagColFib4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1512 512 612 $np $SecTagColFib4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1513 513 613 $np $SecTagColFib4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1514 514 614 $np $SecTagColFib4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1515 515 615 $np $SecTagColFib4 $IDColTransf

# Vigas 2
element nonlinearBeamColumn 2601 601 606 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2602 606 611 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2603 602 607 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2604 607 612 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2605 603 608 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2606 608 613 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2607 604 609 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2608 609 614 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2609 605 610 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2610 610 615 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf

```

```

# Vigas X
element nonlinearBeamColumn 2611 601 602 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2612 602 603 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2613 603 604 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2614 604 605 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2615 606 607 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2616 607 608 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2617 608 609 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2618 609 610 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2619 611 612 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2620 612 613 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2621 613 614 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn 2622 614 615 $np $SecTagVigaFib $IDVigaXTransf

# PISO 7
# Columnas
element nonlinearBeamColumn 1601 601 701 $np $SecTagColFib4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1602 602 702 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1603 603 703 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1604 604 704 $np $SecTagColFib4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1605 605 705 $np $SecTagColFib4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1606 606 706 $np $SecTagColFib4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1607 607 707 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1608 608 708 $np $SecTagColFib3 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1609 609 709 $np $SecTagColFib4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1610 610 710 $np $SecTagColFib4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1611 611 711 $np $SecTagColFib4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1612 612 712 $np $SecTagColFib4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1613 613 713 $np $SecTagColFib4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1614 614 714 $np $SecTagColFib4 $IDColTransf
element nonlinearBeamColumn 1615 615 715 $np $SecTagColFib4 $IDColTransf

# Vigas 2
element nonlinearBeamColumn 2701 701 706 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2702 706 711 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2703 702 707 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2704 707 712 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2705 703 708 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2706 708 713 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2707 704 709 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2708 709 714 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2709 705 710 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf
element nonlinearBeamColumn 2710 710 715 $np $SecTagVigaFib $IDViga2Transf

```

# Vigas X

element nonlinearBeamColumn	2711	701	702	\$np	\$SecTagVigaFib	\$IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn	2712	702	703	\$np	\$SecTagVigaFib	\$IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn	2713	703	704	\$np	\$SecTagVigaFib	\$IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn	2714	704	705	\$np	\$SecTagVigaFib	\$IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn	2715	706	707	\$np	\$SecTagVigaFib	\$IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn	2716	707	708	\$np	\$SecTagVigaFib	\$IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn	2717	708	709	\$np	\$SecTagVigaFib	\$IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn	2718	709	710	\$np	\$SecTagVigaFib	\$IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn	2719	711	712	\$np	\$SecTagVigaFib	\$IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn	2720	712	713	\$np	\$SecTagVigaFib	\$IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn	2721	713	714	\$np	\$SecTagVigaFib	\$IDVigaXTransf
element nonlinearBeamColumn	2722	714	715	\$np	\$SecTagVigaFib	\$IDVigaXTransf

## ANEXO 6

```
#-----  
# MODELO ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO "EDIFICIO YAM-YAM" EN PEDERNALES-MANABI. ECUADOR  
# Creado por: María Mercedes Flores.  
# nonlinearBeamColumn element, inelastic/elastic fiber section  
# Última Modificación: 20 de Junio 2017  
  
# Asignacion de masas en los nudos de las losas en funcion de lo calculado anteriormente  
#-----  
  
# El comando que se utiliza es el siguiente.  
# mass $nodeTag (ndf $massValues)  
  
# PISO 2  
#-----  
mass 201 [expr $EsqP2/$gcm] 0.00 [expr $EsqP2/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 202 [expr $Borde1P2/$gcm] 0.00 [expr $Borde1P2/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 203 [expr $Borde1P2/$gcm] 0.00 [expr $Borde1P2/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 204 [expr $Borde2P2/$gcm] 0.00 [expr $Borde2P2/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 205 [expr $EsqP2/$gcm] 0.00 [expr $EsqP2/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 206 [expr $Borde2P2/$gcm] 0.00 [expr $Borde2P2/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 207 [expr $Centro1P2/$gcm] 0.00 [expr $Centro1P2/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 208 [expr $Centro1P2/$gcm] 0.00 [expr $Centro1P2/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 209 [expr $Centro2P2/$gcm] 0.00 [expr $Centro2P2/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 210 [expr $Borde2P2/$gcm] 0.00 [expr $Borde2P2/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 211 [expr $EsqP2/$gcm] 0.00 [expr $EsqP2/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 212 [expr $Borde2P2/$gcm] 0.00 [expr $Borde2P2/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 213 [expr $Borde2P2/$gcm] 0.00 [expr $Borde2P2/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 214 [expr $Borde2P2/$gcm] 0.00 [expr $Borde2P2/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 215 [expr $EsqP2/$gcm] 0.00 [expr $EsqP2/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
  
# PISO 3  
#-----  
mass 301 [expr $EsqP3/$gcm] 0.00 [expr $EsqP3/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 302 [expr $Borde1P3/$gcm] 0.00 [expr $Borde1P3/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 303 [expr $Borde1P3/$gcm] 0.00 [expr $Borde1P3/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 304 [expr $Borde2P3/$gcm] 0.00 [expr $Borde2P3/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 305 [expr $EsqP3/$gcm] 0.00 [expr $EsqP3/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 306 [expr $Borde2P3/$gcm] 0.00 [expr $Borde2P3/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 307 [expr $Centro1P3/$gcm] 0.00 [expr $Centro1P3/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 308 [expr $Centro1P3/$gcm] 0.00 [expr $Centro1P3/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 309 [expr $Centro2P3/$gcm] 0.00 [expr $Centro2P3/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 310 [expr $Borde2P3/$gcm] 0.00 [expr $Borde2P3/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 311 [expr $EsqP3/$gcm] 0.00 [expr $EsqP3/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 312 [expr $Borde2P3/$gcm] 0.00 [expr $Borde2P3/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 313 [expr $Borde2P3/$gcm] 0.00 [expr $Borde2P3/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 314 [expr $Borde2P3/$gcm] 0.00 [expr $Borde2P3/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 315 [expr $EsqP3/$gcm] 0.00 [expr $EsqP3/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
  
# PISO 4  
#-----  
mass 401 [expr $EsqP4/$gcm] 0.00 [expr $EsqP4/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 402 [expr $Borde1P4/$gcm] 0.00 [expr $Borde1P4/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 403 [expr $Borde1P4/$gcm] 0.00 [expr $Borde1P4/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 404 [expr $Borde2P4/$gcm] 0.00 [expr $Borde2P4/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 405 [expr $EsqP4/$gcm] 0.00 [expr $EsqP4/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 406 [expr $Borde2P4/$gcm] 0.00 [expr $Borde2P4/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 407 [expr $Centro1P4/$gcm] 0.00 [expr $Centro1P4/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 408 [expr $Centro1P4/$gcm] 0.00 [expr $Centro1P4/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 409 [expr $Centro2P4/$gcm] 0.00 [expr $Centro2P4/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 410 [expr $Borde2P4/$gcm] 0.00 [expr $Borde2P4/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 411 [expr $EsqP4/$gcm] 0.00 [expr $EsqP4/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 412 [expr $Borde2P4/$gcm] 0.00 [expr $Borde2P4/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 413 [expr $Borde2P4/$gcm] 0.00 [expr $Borde2P4/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 414 [expr $Borde2P4/$gcm] 0.00 [expr $Borde2P4/$gcm] 0.00 0.00 0.00  
mass 415 [expr $EsqP4/$gcm] 0.00 [expr $EsqP4/$gcm] 0.00 0.00 0.00
```



## ANEXO 7

```
# -----
# dynamic-analysis parameters
# I am setting all these variables as global variables (using variable rather than set command)
# so that these variables can be uploaded by a procedure
#                               Silvia Mazzoni & Frank McKenna, 2006
# Traducido por: María Mercedes Flores

# Parámetros para el análisis
# CONSTRAINTS handler -- Determinacion de que ecuaciones seran tomadas en cuenta para el analisis
# Transformation Method -- Condensa los grados de libertad para el análisis
variable constraintsTypeDynamic Transformation;
constraints $constraintsTypeDynamic ;

# DOF NUMBERER == Grados de libertad para el dominio
# relacion entre grados de libertad y ecuaciones para las iteraciones
# RCM -- re-enumera los grados de libertad para optimizar el ancho de banda
variable numbererTypeDynamic RCM
numberer $numbererTypeDynamic

# Resolucion de un sistema de ecuaciones en el analisis
# BandGeneral -- define como almacenar y resolver el sistema de ecuaciones del analisis (para modelos grandes se recomienda usar UmfPack).
variable systemTypeDynamic BandGeneral; # try UmfPack for large problems
system $systemTypeDynamic

# Pruebas de convergencia
# EnergyIncr-- Specifies a tolerance on the inner product of the unbalanced load and displacement increments at the current iteration
# RelativeNormUnbalance --
# RelativeNormDispIncr --
# RelativeEnergyIncr --
variable TolDynamic 1.e-6; # Tolerancia para la convergencia
variable maxNumIterDynamic 100; # Máximo número de iteraciones para llegar a la convergencia
variable printFlagDynamic 0; # Convergence Test: flag used to print information on convergence (optional) # 1: print information on each step;
variable testTypeDynamic EnergyIncr; # Tipo de analisis para la convergencia
test $testTypeDynamic $TolDynamic $maxNumIterDynamic $printFlagDynamic; # analisis
# para mejorar la convergencia:
variable maxNumIterConvergeDynamic 2000;
variable printFlagConvergeDynamic 0;
```

```

# Solution ALGORITHM
#       Newton -- usa el algoritmo de solucion de Newton: es decir, que actualiza la rigidez tangente en cada paso de iteracion.
#       ModifiedNewton -- utiliza la rigidez tangente que se modifica en la primera iteracion
variable algorithmTypeDynamic ModifiedNewton
algorithm $algorithmTypeDynamic;

# Transient INTEGRATOR: -- determina los pasos de tiempo considerando los efectos de la inercia
#       Newmark -- Metodo paso a paso en el tiempo desarrollado por Newmark con 2 parámetros para el analisis
#       HHT -- The three parameter Hilbert-Hughes-Taylor time-stepping method
variable NewmarkGamma 0.5; # Newmark-integrator gamma parameter (also HHT)
variable NewmarkBeta 0.25; # Newmark-integrator beta parameter
variable integratorTypeDynamic Newmark;
integrator $integratorTypeDynamic $NewmarkGamma $NewmarkBeta

#Definicion del analisis que se realizara
#       Transient Analysis -- tiene un paso de tiempo constante, este analisis resuelve el modelo dependiendo del paso del tiempo.
#       variableTransient Analysis -- resuelve el analisis de la misma manera que el transient solo que teniendo un tiempo variable.
variable analysisTypeDynamic Transient
analysis $analysisTypeDynamic

```

## ANEXO 8

```
# =====  
# Procedimiento para leer un archivo con datos distribuidos en una columna  
# y convertirlos en una lista de Tcl.  
# Maria Mercedes Flores.  
# Tomado de: http://stackoverflow.com/questions/18219420/how-to-convert-a-file-to-a-tcl-list  
# abril 2017  
# =====  
  
proc listRegistro {filename} {  
    set f [open $filename r]  
    set data [split [string trim [read $f]]]  
    close $f  
    return $data  
}
```

## ANEXO 9

El anexo 9 se encuentra de manera digital ya que son 40000 datos del acelerograma, esta presentado como un block de notas.

## ANEXO 10

```
-----
# MODELO ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO "EDIFICIO YAM-YAM" EN FEDERNALES-MANABI. ECUADOR
# Creado por: Maria Mercedes Flores
# nonlinearBeamColumn element, inelastic/elastic fiber section
# Última Modificación: 27 de Junio 2017

# Definición de Recorders para el Modelo Estructura Edificio Yam-Yam 3D
# -----

# Reacciones en los nudos de Base.
recorder Node -file $dataDir/RBaseX.out -time -node 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 -dof 1 reaction; # reaccion X en la base.
recorder Node -file $dataDir/RBaseY.out -time -node 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 -dof 2 reaction; # reaccion Y en la base.
recorder Node -file $dataDir/RBaseZ.out -time -node 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 -dof 3 reaction; # reaccion Z en la base.
# Drifts de cada piso.
# Drifts en direccion Z-Global
recorder Drift -file $dataDir/DrNodeZ.out -time -iNode 299 399 499 599 699 799 -jNode 108 299 399 499 599 699 -dof 3 -perpDirn 2; # drift lateral en direccion Z-Global.
# Drifts en direccion X-Global
recorder Drift -file $dataDir/DrNodeX.out -time -iNode 299 399 499 599 699 799 -jNode 108 299 399 499 599 699 -dof 1 -perpDirn 2; # drift lateral en direccion X-Global.
# Respuesta de Desplazamientos
recorder Node -file $dataDir/DNMaster1_3.out -time -node 106 299 399 499 599 699 799 -dof 1 3 disp; # displacements of support nodes
recorder Node -file $dataDir/DNMaster1.out -time -node 106 299 399 499 599 699 799 -dof 1 disp; # displacements of support nodes
recorder Node -file $dataDir/DBase2.out -time -node 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 -dof 2 disp; # displacements of support nodes

# RECORDERS PARA FUERZAS Y DEFORMACIONES DE LOS ELEMENTOS
# COLUMNAS
# =====
file mkdir $dataDir/Columnas;
recorder Element -file $dataDir/Columnas/ForceEle1101secl.out -time -ele 1101 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Columnas/ForceEle1101sec$np.out -time -ele 1101 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Columnas/DeformEle1101secl.out -time -ele 1101 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Columnas/DeformEle1101sec$np.out -time -ele 1101 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Columnas/ForceEle1102secl.out -time -ele 1102 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Columnas/ForceEle1102sec$np.out -time -ele 1102 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Columnas/DeformEle1102secl.out -time -ele 1102 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Columnas/DeformEle1102sec$np.out -time -ele 1102 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Columnas/ForceEle1103secl.out -time -ele 1103 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Columnas/ForceEle1103sec$np.out -time -ele 1103 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Columnas/DeformEle1103secl.out -time -ele 1103 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Columnas/DeformEle1103sec$np.out -time -ele 1103 section $np deformation;
```





















```

# VIGAS
# =====
file mkdir $dataDir/Vigas;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2201secl.out -time -ele 2201 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2201sec$np.out -time -ele 2201 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2201secl.out -time -ele 2201 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2201sec$np.out -time -ele 2201 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2202secl.out -time -ele 2202 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2202sec$np.out -time -ele 2202 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2202secl.out -time -ele 2202 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2202sec$np.out -time -ele 2202 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2203secl.out -time -ele 2203 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2203sec$np.out -time -ele 2203 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2203secl.out -time -ele 2203 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2203sec$np.out -time -ele 2203 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2204secl.out -time -ele 2204 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2204sec$np.out -time -ele 2204 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2204secl.out -time -ele 2204 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2204sec$np.out -time -ele 2204 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2205secl.out -time -ele 2205 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2205sec$np.out -time -ele 2205 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2205secl.out -time -ele 2205 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2205sec$np.out -time -ele 2205 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2206secl.out -time -ele 2206 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2206sec$np.out -time -ele 2206 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2206secl.out -time -ele 2206 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2206sec$np.out -time -ele 2206 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2207secl.out -time -ele 2207 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2207sec$np.out -time -ele 2207 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2207secl.out -time -ele 2207 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2207sec$np.out -time -ele 2207 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2208secl.out -time -ele 2208 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2208sec$np.out -time -ele 2208 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2208secl.out -time -ele 2208 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2208sec$np.out -time -ele 2208 section $np deformation;

```



```

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2217secl.out -time -ele 2217 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2217sec$np.out -time -ele 2217 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2217secl.out -time -ele 2217 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2217sec$np.out -time -ele 2217 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2218secl.out -time -ele 2218 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2218sec$np.out -time -ele 2218 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2218secl.out -time -ele 2218 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2218sec$np.out -time -ele 2218 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2219secl.out -time -ele 2219 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2219sec$np.out -time -ele 2219 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2219secl.out -time -ele 2219 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2219sec$np.out -time -ele 2219 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2220secl.out -time -ele 2220 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2220sec$np.out -time -ele 2220 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2220secl.out -time -ele 2220 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2220sec$np.out -time -ele 2220 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2221secl.out -time -ele 2221 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2221sec$np.out -time -ele 2221 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2221secl.out -time -ele 2221 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2221sec$np.out -time -ele 2221 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2222secl.out -time -ele 2222 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2222sec$np.out -time -ele 2222 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2222secl.out -time -ele 2222 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2222sec$np.out -time -ele 2222 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2301secl.out -time -ele 2301 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2301sec$np.out -time -ele 2301 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2301secl.out -time -ele 2301 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2301sec$np.out -time -ele 2301 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2302secl.out -time -ele 2302 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2302sec$np.out -time -ele 2302 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2302secl.out -time -ele 2302 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2302sec$np.out -time -ele 2302 section $np deformation;

```





```

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2319secl.out -time -ele 2319 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2319sec$np.out -time -ele 2319 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2319secl.out -time -ele 2319 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2319sec$np.out -time -ele 2319 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2320secl.out -time -ele 2320 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2320sec$np.out -time -ele 2320 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2320secl.out -time -ele 2320 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2320sec$np.out -time -ele 2320 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2321secl.out -time -ele 2321 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2321sec$np.out -time -ele 2321 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2321secl.out -time -ele 2321 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2321sec$np.out -time -ele 2321 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2322secl.out -time -ele 2322 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2322sec$np.out -time -ele 2322 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2322secl.out -time -ele 2322 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2322sec$np.out -time -ele 2322 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2401secl.out -time -ele 2401 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2401sec$np.out -time -ele 2401 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2401secl.out -time -ele 2401 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2401sec$np.out -time -ele 2401 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2402secl.out -time -ele 2402 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2402sec$np.out -time -ele 2402 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2402secl.out -time -ele 2402 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2402sec$np.out -time -ele 2402 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2403secl.out -time -ele 2403 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2403sec$np.out -time -ele 2403 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2403secl.out -time -ele 2403 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2403sec$np.out -time -ele 2403 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2404secl.out -time -ele 2404 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2404sec$np.out -time -ele 2404 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2404secl.out -time -ele 2404 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2404sec$np.out -time -ele 2404 section $np deformation;

```















```

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2617secl.out -time -ele 2617 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2617sec$np.out -time -ele 2617 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2617secl.out -time -ele 2617 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2617sec$np.out -time -ele 2617 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2618secl.out -time -ele 2618 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2618sec$np.out -time -ele 2618 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2618secl.out -time -ele 2618 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2618sec$np.out -time -ele 2618 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2619secl.out -time -ele 2619 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2619sec$np.out -time -ele 2619 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2619secl.out -time -ele 2619 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2619sec$np.out -time -ele 2619 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2620secl.out -time -ele 2620 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2620sec$np.out -time -ele 2620 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2620secl.out -time -ele 2620 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2620sec$np.out -time -ele 2620 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2621secl.out -time -ele 2621 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2621sec$np.out -time -ele 2621 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2621secl.out -time -ele 2621 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2621sec$np.out -time -ele 2621 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2622secl.out -time -ele 2622 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2622sec$np.out -time -ele 2622 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2622secl.out -time -ele 2622 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2622sec$np.out -time -ele 2622 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2701secl.out -time -ele 2701 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2701sec$np.out -time -ele 2701 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2701secl.out -time -ele 2701 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2701sec$np.out -time -ele 2701 section $np deformation;

recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2702secl.out -time -ele 2702 section 1 force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/ForceEle2702sec$np.out -time -ele 2702 section $np force;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2702secl.out -time -ele 2702 section 1 deformation;
recorder Element -file $dataDir/Vigas/DeforEle2702sec$np.out -time -ele 2702 section $np deformation;

```





## ANEXO 11

### LOCALIZACION DEL PROYECTO

PROVINCIA	MANABI
CANTON	PEDERNALES
PARROQUIA	PEDERNALES_
FACTOR DE ZONA Z	0.5
ZONA	6

### FACTOR DE IMPORTANCIA (I)

I	OTRAS ESTRUCTURAS	1
---	-------------------	---

TIPO DE PERFIL DEL SUELO	DESCRIPCION
D	PERFILES DE SUELOS RÍGIDOS

Fa	1.12
Fd	1.11
Fs	1.4

DATOS DE LA EDIFICACIÓN		
ALTURA TOTAL (M)	19.5	
NÚMERO DE PISOS	6	
ALTURA ENTRE PISOS	3.25	
CÁLCULO DE Tc (seg)	0.763125	
CÁLCULO DE T (seg)	0.796881675	
CÁLCULO DE To (seg)	0.13875	
TIPO DE ESTRUCTURA	Ct	$\alpha$
Porticos especiales de hormigon armado sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9

<b>Relacion de amplificacion espectral <math>n</math></b>	Provincias de la Costa, excepto Esmeraldas	1.8
---	--	-----

<b>Factor usado en el espectro de aceleración espectral <math>r</math></b>	1
--	---

**DETERMINACIÓN DEL ESPECTRO DE PSEUDO-ACELERACIONES**

<b>Sa</b>	0.96530015
-----------	------------

**FACTOR DE REDUCCIÓN DE RESISTENCIA SÍSMICA (R)**

<b>SISTEMA ESTRUCTURAL</b>	Sistemas_Estructurales_Dúctiles
<b>TIPO DE ESTRUCTURA</b>	Pórticos_resistentes_a_momentos
<b>SUBTIPO DE ESTRUCTURA</b>	Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.
<b>R</b>	8

