

ANÁLISIS DE INTERACCIÓN SUELO ESTRUCTURA EN CONJUNTO CON UN ANÁLISIS PUSH OVER EN UNA EDIFICACIÓN DE 10 PISOS EN PÓRTICOS DE CONCRETO, EN ZONAS LACUSTRES DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE BOGOTÁ

Trabajo de grado presentado por

NICOLÁS ANDRÉS MEJÍA BAHAMÓN

Como requisito parcial para optar al título de

MAGISTER EN INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

Bogotá D.C., Colombia

2018

ANÁLISIS DE INTERACCIÓN SUELO ESTRUCTURA EN CONJUNTO CON UN ANÁLISIS PUSH OVER EN UNA EDIFICACIÓN DE 10 PISOS EN PÓRTICOS DE CONCRETO, EN ZONAS LACUSTRES DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE BOGOTÁ

NICOLÁS ANDRÉS MEJÍA BAHAMÓN

APROBADO:

_____

Ms . ÓSCAR EDUARDO PINZÓN VARGAS
Tutor

_____ _____

– –
~~Nombres del primer jurado~~ ~~Nombres del segundo jurado~~
Firma Firma

Bogotá D.C. 27 de Septiembre 2018

Nota de advertencia

“La universidad no se hace responsable de los conceptos emitidos por sus estudiantes en sus proyectos de trabajo de grado, soló velará por la calidad académica de los mismos, en procura de garantizar su desarrollo de acuerdo a la actualidad del área disciplinar respectiva. En el caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, el estudiante – autor asumirá toda la responsabilidad y saldrá en defensa de los derechos. Para todos los derechos la universidad actúa como un tercero de buena fe”. (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995)

Agradecimientos

Agradezco ante todo a Dios todo poderoso, por haberme dado la fortaleza para alcanzar este logro y no dejarme declinar.

A mis padres, MARTHA LUCIA BAHAMÓN JARA, AGUSTÍN MEJÍA MONTES, MISAEL TIRADO y ALEJANDRA MORALES PEDROZA por la paciencia y el apoyo incondicional en la realización de esta etapa en mi vida.

A mi tutor ÓSCAR EDUARDO PINZÓN VARGAS por sus conocimientos, tiempo, disponibilidad y sus acertadas indicaciones para guía del trabajo de grado.

A la Ingeniera Geotecnia ISABELLA ROJAS por los datos del suelo, porque sin esto no hubiera sido posible la elaboración del trabajo.

A mis profesores de Maestría por los conocimientos compartidos y disposición de siempre ayudar y orientar, también por despertar un gran interés en mí sobre la rama de las Estructuras.

Dedicatoria

Martha Lucia Bahamón Jara y Agustín Mejía Montes

Mis padres, porque todo se los debo a ustedes.

MariaJosé, JuanJosé y Sofía

Mis hermanos que deseo lo mejor en sus vidas.

Alejandra Morales

Mi novia, porque es mi fortaleza y apoyo incondicional

Misael Tirado Acero

Por el apoyo y paciencia que siempre me ha tenido.

Tabla de Contenido

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN 1

1.1 Planteamiento del problema 3

1.2 Justificación 5

1.3 Objetivos 6

1.4 Alcance 7

CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE 8

2.1 Aspectos generales 8

2.2 antecedentes 10
2.2.1 Norma ASCE 41-13 10
2.2.2 Norma FEMA 356 13
2.2.3 Norma NSR 10 13
2.2.4 Teoría de Winkler 14

2.3 Estado del Arte 17

CAPÍTULO 3: MARCO DE REFERENCIA 20

3.1 Marco conceptual 20
3.1.1 Microzonificación de Bogotá 21
3.1.2 Suelos arcillosos 24
3.1.3 Coeficiente de balasto 25
3.1.4 Rigidez del suelo 25
3.1.5 Interacción Suelo estructura 25
3.1.6 Análisis Lineal. 25
3.1.7 Fuerza sísmica 26
3.1.8 Análisis no lineal 26

3.2 Marco teórico 27
3.2.1 Estructuras sismo resistente 27
3.2.2 Rigidez estructural. 29
3.2.3 Análisis Estático Lineal: 30
3.2.4 Análisis Elástico no lineal (Push Over) 31
3.2.5 Análisis Push Over convencional. 33
3.2.6 Método de los coeficientes AISC 41–13 y NSR-10 43
3.2.7 Distribución para fuerzas sísmicas. 44
3.2.8 Interacción Suelo Estructura 45
3.2.9 Consideraciones de la Interacción Suelo Estructura Según NSR 10 48
3.2.10 Ensayos triaxiales 49
3.2.11 Prueba Triaxial 51

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA Y DESARROLLO 54

4.1 Análisis Estructural **55**
4.1.1 Software de Análisis estructural 55

4.2 Cargas **57**
4.2.1 Cargas Gravitacionales 57
4.2.2 Cargas Sísmicas 57
4.2.3 Cargas no lineales 58

4.3 Método de análisis **58**
4.3.1 Fuerza horizontal equivalente 58
4.3.2 Análisis dinámico elástico 58
4.3.3 Análisis no Lineal 58

4.4 Diseño Estructural **59**

4.5 Combinaciones de carga **60**
4.5.1 Combinaciones de carga para derivas 60
4.5.2 Combinaciones de carga de Diseño 61
4.5.3 Combinaciones de carga de vigas para corte 61
4.5.4 Combinaciones de carga de Columnas para corte 62

4.6 Tipo de Estudio **62**

4.7 Método de análisis e interpretación de los datos **63**

CAPÍTULO 5: RESULTADOS 64

5.1 Análisis lineal elástico **64**
5.1.1 Zona lacustre 50 64
5.1.2 Zona lacustre 100 71
5.1.3 Zona lacustre 200 80
5.1.4 Zona lacustre 300 89
5.1.5 Zona lacustre 500 98

5.2 Análisis no lineal Estático con apoyos rígidos **107**
5.2.1 Lacustre 50 107
5.2.2 Lacustre 100 110
5.2.3 Lacustre 200 113
5.2.4 Lacustre 300 116
5.2.5 Lacustre 500 119

5.3 Análisis no lineal estático con interacción suelo-estructura. **122**
5.3.1 Lacustre 50. 122
5.3.2 Lacustre 100. 132
5.3.3 Lacustre 200. 142
5.3.4 Lacustre 300. 152
5.3.5 Lacustre 500 162

CAPÍTULO 6: RESUMÉN RESULTADOS 172

5.4 Derivas **172**

5.5 Solicitaciones 174

5.6 Índices de estabilidad 174

5.7 Evolución Push Over. 176
5.7.1 Lacustre 50. 176
5.7.2 Lacustre 100. 180
5.7.3 Lacustre 200. 184
5.7.4 Lacustre 300. 188
5.7.5 Lacustre 500. 192

REFERENCIAS 206

ANEXOS 217

1 PLANTA ARQUITECTÓNICA EDIFICIO 217

2 DEFINICION DE ROTULAS PLÁSTICAS. 218

2.1 Rotulas columnas. 218

2.2 Rotulas vigas 318

3 DESPLAZAMIENTO OBJETIVO SENTIDO X Y Y. 353

4 CUADRO DE CANTIDAD DE PILOTES SEGÚN LA CAPACIDAD PORTANTE PARA CADA ZONA LACUSTRE. 354

4.1 Lacustre 50. 354

4.2 Lacustre 100. 355

4.3 Lacustre 200. 356

4.4 Lacustre 300. 357

4.5 Lacustre 500. 358

5 ESTUDIO DE SUELOS 359

6 EVALUACIONES DE CARGA 360

Lista de Tablas

Tabla 1.Procedimientos de análisis permitidos por el ASCE 41-13 ……..…12
Tabla 2Descripción geotécnica Decreto 523 del 2010……..22
Tabla 3.Descripción de las Zonas de respuesta sísmica……..……22
Tabla 4.Coeficiente de diseño……..……24
Tabla 5.Values for Modification Factor Co……..…..38
Tabla 6.Values for Effective Mass Factor Cm……..……40
Tabla 7.Alternate values for Modification factor C1C2……..40
Tabla 8.Derivas zona lacustre 50……..62
Tabla 9.Estabilidad general lacustre 50……..……64
Tabla 10.Calculo de masa lacustre 50……..……65
Tabla 11.Fuerza horizontal equivalente sentido X lacustre 50…….……65
Tabla 12.Fuerza horizontal equivalente sentido Y lacustre 50……..……67
Tabla 13.Participación de masa modal lacustre 50……..……68
Tabla 14.Análisis modal lacustre 50……..……..69
Tabla 15.Redacciones en la base para análisis dinámico lacustre 50……..……69
Tabla 16.Derivas zona lacustre 100……..……..71
Tabla 17.Estabilidad general lacustre 100……..……73
Tabla 18.Calculo de masa lacustre 100……..……..74
Tabla 19.Fuerza horizontal equivalente sentido X lacustre 100……..……74
Tabla 20.Fuerza horizontal equivalente sentido Y lacustre 100……..……76
Tabla 21.Participacion de masa modal lacustre 100……..……..77
Tabla 22.Análisis modal lacustre 100……..……78
Tabla 23.Redacciones en la base para análisis dinamico lacustre 100……78
Tabla 24.Derivas lacustre 200……..……80
Tabla 25.Estabilidad general lacustre 200……..……82
Tabla 26.Calculo de masa lacustre 200……..……83
Tabla 27.Fuerza horizontal equivalente sentido X lacustre 200……..83
Tabla 28.Fuerza horizontal equivalente sentido Y lacustre 200……..……85
Tabla 29.Participación de masa modal lacustre 200..……86
Tabla 30.Análisis modal lacustre 200..……87
Tabla 31.Reacciones en la base para análisis dinámico lacustre 200..……87
Tabla 32.Derivas lacustre 300…..……89
Tabla 33.Estabilidad general lacustre 200……..……91
Tabla 34.Calculo de masa lacustre 300……..……92
Tabla 35.Fuerza horizontal equivalente sentido X lacustre 300……..……92
Tabla 36.Fuerza horizontal equivalente sentido Y lacustre 300……..……94
Tabla 37.Participación masa modal lacustre 300……..……..95
Tabla 38.Análisis modal lacustre 300……..……..96
Tabla 39.Reacciones en la base para análisis dinamico lacustre 300…….……..96
Tabla 40.Derivas lacustre 500……..……...98
Tabla 41.Estabilidad general lacustre 500……..……100
Tabla 42.Calculo de masa lacustre 500……...101
Tabla 43.Fuerza horizontal equivalente sentido X lacustre 500……101
Tabla 44.Fuerza horizontal equivalente sentido Y lacustre 500……103
Tabla 45.Participación masa modal lacustre 500……...104
Tabla 46.Análisis modal lacustre 500……105
Tabla 47.Reacciones en la base para análisis dinamico lacustre 500..……105
Tabla 48.Derivas Lacustre 50 no lineal……...108
Tabla 49.Estabilidad General lacustre 50 no lineal……109
Tabla 50.Derivas Lacustre 100 no lineal……111
Tabla 51.Estabilidad General lacustre 100 no lineal……...112

Tabla 52.Derivas Lacustre 200 no lineal……113
Tabla 53.Estabilidad General lacustre 200 no lineal……..…115
Tabla 54.Derivas lacustre 300 no lineal……..……...117
Tabla 55.Estabilidad General lacustre 300 no lineal……..……...118
Tabla 56.Derivas lacustre 500……..……119
Tabla 57.Estabilidad General lacustre 500 no lineal……..…121
Tabla 58.Nivel de daño Push X lacustre 50……..……125
Tabla 59.Nivel de daño Push Y lacustre 50……...……..……129
Tabla 60.Nivel de daño Push X lacustre 100……..……..……135
Tabla 61.Nivel de daño Push Y lacustre 100……. ……..……139
Tabla 62.Nivel de daño Push X lacustre 200……..……145
Tabla 63.Nivel de daño Push Y lacustre 200……..……..……149
Tabla 64.Nivel de daño Push X lacustre 300……..……..…155
Tabla 65.Nivel de daño Push Y lacustre 300……..……..……159
Tabla 66.Nivel de daño Push X lacustre 500……..……..…..165
Tabla 67.Nivel de daño Push Y lacustre 500……..……..…..169
Tabla 68.Tabla resumen derivas analisis lineal……..……172
Tabla 69.Tabla resumen derivas análisis No Lineal……..……173
Tabla 70.Resumen de Solicitaciones……..……...174
Tabla 71.Resumen índice estabilidad análisis lineal……..…174
Tabla 72.Resumen índice estabilidad análisis No Lineal……..175

Lista de Figuras

Figura 1Niveles de desempeño para edificaciones de acuerdo a ASCE 41-13.....11
Figura 2Teoría Winkler.....15
Figura 3Módulo de Balasto.....15
Figura 4Modelo de Winkler.....16
Figura 5Zonas Geotécnicas Bogotá.....23
Figura 6Zonas de respuesta Sísmica.....23
Figura 7Curva típica de respuesta estructural para sistemas sujetos a cargas horizontales.....29
Figura 8Representación gráfica de la curva de capacidad típica.....33
Figura 9Curva de Capacidad Idealizada.....33
Figura 10 Curva Idealizada Fuerza- Desplazamiento.....36
Figura 11 Rangos de Deformación.....42
Figura 12Distribución de fuerzas Sísmicas.....45
Figura 13Envolvente de falla de Mohr.....51
Figura 14 Esquema de los modelos propuestos.....55
Figura 15Combinaciones de Carga para Derivas.....60
Figura 16Combinaciones de Crga de Diseño.....61
Figura 17 Combinaciones de Cargas de Columnas para Corte.....62
Figura 18Modelo lineal zona lacustre 50.....64
Figura 19Modelo lineal zona lacustre 100.....71
Figura 20Modelo lineal zona lacustre 200.....80
Figura 21Modelo lineal zona lacustre 300.....89
Figura 22Modelo lineal zona lacustre 500.....98
Figura 23Modelo No lineal estructura zona lacustre 50.....107
Figura 24Modelo No lineal estructura zona lacustre 100.....110
Figura 25Modelo No lineal estructura zona lacustre 200.....113
Figura 26Modelo No lineal estructura zona lacustre 300.....116
Figura 27Modelo No lineal estructura zona lacustre 500.....119
Figura 28 Modelo No lineal estructura zona lacustre 50 con Interacción suelo Estructura.....122
Figura 29Modelo Cimentación zona lacustre 50.....123
Figura 30Modelo No lineal estructura zona lacustre 100 con Interacción suelo Estructura.....132
Figura 31Modelo Cimentación zona lacustre 100.....133
Figura 32Modelo No lineal estructura zona lacustre 200 con Interacción suelo Estructura.....142
Figura 33Modelo Cimentación zona lacustre 200.....143
Figura 34Modelo No lineal estructura zona lacustre 100 con Interacción suelo Estructura.....152
Figura 35Modelo Cimentación zona lacustre 300.....153
Figura 36Modelo No lineal estructura zona lacustre 500 con Interacción suelo Estructura.....162
Figura 37Modelo Cimentación zona lacustre 500.....163
Figura 38Evolución Push Over X apoyos empotrados lacustre 50.....176
Figura 39Evolución Push Over Y apoyos empotrados lacustre 50.....177
Figura 40Evolución Push Over X con interacción suelo-estructura lacustre 50.....178
Figura 41Evolución Push Over Y con interacción suelo-estructura lacustre 50.....179
Figura 42Evolución Push Over X apoyos empotrados lacustre 100.....180
Figura 43Evolución Push Over Y apoyos empotrados lacustre 100.....181
Figura 44Evolución Push Over X con interacción suelo-estructura lacustre 100.....182
Figura 45Evolución Push Over X con interacción suelo-estructura lacustre 100.....183
Figura 46Evolución Push Over X apoyos empotrados lacustre 200.....184
Figura 47Evolución Push Over Y apoyos empotrados lacustre 200.....185
Figura 48Evolución Push Over X con interacción suelo-estructura lacustre 200.....186
Figura 49Evolución Push Over Y con interacción suelo-estructura lacustre 200.....187
Figura 50Evolución Push Over X apoyos empotrados lacustre 300.....188
Figura 51Evolución Push Over Y apoyos empotrados lacustre 300.....189
Figura 52Evolución Push Over X con interacción suelo-estructura lacustre 300.....190
Figura 53Evolución Push Over Y con interacción suelo-estructura lacustre 300.....191

Figura 54Evolución Push Over X apoyos empotrados lacustre 500 192
Figura 55Evolución Push Over Y apoyos empotrados lacustre 500 193
Figura 56Evolución Push Over X con interacción suelo-estructura lacustre 500.....194
Figura 57Evolución Push Over Y con interacción suelo-estructura lacustre 500.....195

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1. Ecuación Modulo de balasto……...……...15
Ecuación 2: Comportamiento Lineal……..……....34
Ecuación 3. Determinación del periodo……..……37
Ecuación 4. Desplazamiento Objetivo. ……..……..37
Ecuación 5. Coeficiente para calcular el desplazamiento objetivo…….……..…...38
Ecuación 6. Relación de resistencia……..……...39
Ecuación 7. Desplazamiento Objetivo……..…40
Ecuación 8. Coeficiente ……..……..43
Ecuación 9. Distribución de Fuerza sísmica Horizontal……..44
Ecuación 10. Coeficiente de Fuerza……..45
Ecuación 11. Relación esfuerzo normal y esfuerzo cortante sobre un plano de falla……50
Ecuación 12. Criterio de falla Morhr-Coulomb……..50
Ecuación 13. Desplazamiento objetivo ASCE 41-13……56
Ecuación 14. Desplazamiento objetivo NSR-10……..……56
Ecuación 15. Diseño a aflexión……..……59
Ecuación 16. Diseño a Corte……...60

Lista de Gráficas

Gráfica 1.Push Over Bilineal en dirección X lacustre 50……...124
Gráfica 2.Niveles de desempeño Push Over dirección X lacustre 50……126
Gráfica 3.Comparación Análisis elástico con Push Over dirección X lacustre 50……...127
Gráfica 4.Push Over Bilineal en dirección Y lacustre 50……..128
Gráfica 5.Niveles de desempeño Push Over dirección Y lacustre 50……130
Gráfica 6.Comparación Análisis elástico con Push Over dirección Y Lacustre 50……..131
Gráfica 7.Push Over Bilineal en dirección X Lacustre 100……..134
Gráfica 8.Niveles de desempeño Push Over dirección X Lacustre 100……..136
Gráfica 9.Comparación Análisis elástico con Push Over dirección X lacustre 100……..137
Gráfica 10.Push Over Bilineal en dirección Y Lacustre 100……...138
Gráfica 11.Niveles de desempeño Push Over dirección Y Lacustre 100……..140
Gráfica 12.Comparación Análisis elástico con Push Over dirección Y Lacustre 100……141
Gráfica 13.Push Over Bilineal en dirección X Lacustre 200……...144
Gráfica 14.Niveles de desempeño Push Over dirección X Lacustre 200……..146
Gráfica 15.Comparación Análisis elástico con Push Over dirección X Lacustre 200……..147
Gráfica 16.Push Over Bilineal en dirección Y Lacustre 200……..148
Gráfica 17.Niveles de desempeño Push Over dirección Y Lacustre 200……..150
Gráfica 18.Comparación Análisis elástico con Push Over dirección Y Lacustre 200……..151
Gráfica 19.Push Over Bilineal en dirección X Lacustre 300……154
Gráfica 20.Niveles de desempeño Push Over dirección X Lacustre 300……155
Gráfica 21.Comparación Análisis elástico con Push Over dirección X Lacustre 300……..157
Gráfica 22.Push Over Bilineal en dirección Y Lacustre 300……158
Gráfica 23.Niveles de desempeño Push Over dirección Y Lacustre 300……160
Gráfica 24.Comparación Análisis elástico con Push Over dirección Y Lacustre 300…..……161
Gráfica 25.Push Over Bilineal en dirección X Lacustre 500……..164
Gráfica 26.Niveles de desempeño Push Over dirección X Lacustre 500……166
Gráfica 27.Comparación Análisis elástico con Push Over dirección X Lacustre 500……167
Gráfica 28.Push Over Bilineal en dirección Y Lacustre 500……168
Gráfica 29.Niveles de desempeño Push Over dirección Y Lacustre 500……170
Gráfica 30.Comparación Análisis elástico con Push Over dirección Y Lacustre 500……...199
Gráfica 31. Derivas Sentido X Análisis No lineal empotrado……200
Gráfica 32. DerivasSentido X Análisis lineal empotrado……200
Gráfica 33. Derivas Sentido Y Análisis No lineal empotrado……..201
Gráfica 34. DerivasSentido Y Análisis lineal empotrado……..201
Gráfica 35. Niveles de Desempeño Sentido X Análisis No lineal con ISE……..202
Gráfica 36. Niveles de Desempeño Sentido Y Análisis No lineal con ISE……202
Gráfica 37. Solicitaciones análisis lineal y no lineal……204

Lista de abreviaturas

A_f = Área fuste de la cimentación
A_a = Coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva para diseño
A_p = Área de la punta de la cimentación
A_v = Coeficiente de aceleración que representa la velocidad horizontal pico efectiva, para diseño
A_s= Área de refuerzo flexión
C_t = Coeficiente para calcular periodo de la estructura
C_u = Coeficiente para calcular el periodo máximo permisible de la estructura
C_u = Resistencia al corte no drenado
C_{vx} = Coeficiente para proporcionar la fuerza horizontal equivalente
C_0 = Factor que relaciona el desplazamiento espectral de un sistema de un grado de libertad con el desplazamiento de la cubierta de una edificación
C_1 = Factor de modificación que relaciona el máximo desplazamiento inelástico esperado con el desplazamiento calculado de la respuesta elástica
C_m = Factor de masa efectiva
C_2 = factor de modificación que representa el efecto de la deformación histeretica, ciclos de degradación de la rigidez y el deterioro de la resistencia en el máximo desplazamiento de respuesta
d= Diámetro del pilote
D = Profundidad de desplante de la cimentación
E = Fuerzas sísmicas reducidas de diseño
E_c = Módulo de elasticidad del concreto
E_s = Módulo de elasticidad del suelo
F_a = Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en las zonas de
F_i = Fuerzas sísmicas horizontales en los niveles i
F_s = Fuerzas sísmicas de diseño
F_v = Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en las zonas de periodos intermedios, debida a los efectos de sitio, adimensional
g=Aceleración debido a la gravedad
h_i = Altura en metros, medidas desde la base del nivel i
h_p = Altura del piso medida desde la superficie del diafragma del piso hasta la superficie del diafragma del piso inmediatamente inferior
I = Momento de inercia de la superficie neta de cimentación
i= Coeficiente de importancia
j = Incremento de la carga latera
k = Exponente relacionado con el período fundamental de la edificación dado en A.4.3.2.
k=variable para calcular el factor de reducción por ductilidad
K_h = Rigidez horizontal de suelo
K_v= Rigidez vertical del suelo
K_i = Rigidez elástica

K_e = Rigidez efectiva
K_b = Coeficiente de balasto
L=Longitud del pilote
M = Masa total de la edificación
M_j = Masa actuante total de la edificación en dirección j
M_i = Parte de M que está colocada en el nivel i
N = Número de pisos de la edificación
P_i = Suma de la carga vertical total, incluyendo muerta y viva, que existe en el piso i y todos los pisos localizados por encima
Q = Factor de comportamiento dúctil
Q_i = Índice de estabilidad de piso i
Q_f = Resistencia a la fricción en la cimentación
Q_p = Capacidad de carga de la punta del pilote
Q_{ult} = Capacidad última del suelo
Q_{adm} = Capacidad admisible del suelo
R = Coeficiente de capacidad de disipación de energía para ser empleado en el diseño
R_0 = Coeficiente de energía de disipación básico
R_d = Factor de ductilidad del sistema
S_a = Valor del espectro de aceleración de diseño para un periodo de aceleración dado
T = Periodo fundamental del edificio
T_a = Periodo fundamental de la estructura aproximado
T_m = Periodo de vibración correspondiente al modo de vibración m
T_i = Periodo fundamental elástico
T_c = Periodo corto
T_e = Periodo efectivo
V_s = Córtate sísmico en la base
V_i = Cortante sísmico lineal
V_y = Cortante de fluencia
W = Peso de la estructura
W_e= Peso efectivo de la estructura vibrando en su modo fundamental
$\Delta^i_{\mathbf{cm,\,j}}$ = deriva del piso **i,** en la dirección bajo estudio, **j,** medida en el centro de masa del piso, como la diferencia
entre el desplazamiento horizontal del piso **i** menos el del piso **i** - **1** en la misma dirección **j**
$\Delta^i_{\mathbf{r}}$ = Deriva del piso **i** en la dirección principal en planta **j.**
$\Delta^i_{\mathbf{max}}$ = Deriva máxima para cualquier punto del piso **i.**
$\delta^i_{\mathbf{cm,\,j}}$ = Desplazamiento horizontal, del centro de masa del piso **i,** en la dirección **j.**
$\delta^i_{pd,\,j}$ = Desplazamiento horizontal adicional, del centro de masa del piso **i,** causado por efectos P-Delta, en la dirección **j.**
$\delta^i_{\mathbf{t,j}}$ = Desplazamiento horizontal adicional causado por efectos de torsión de cualquier punto del diafragma del piso **i** en la dirección **j** .
$\delta^i_{\mathbf{tot,\,j}}$ = Desplazamiento total horizontal, de cualquier punto del diafragma del piso **i** en la dirección **j**
δ_t = Desplazamiento objetivo
Θ_i = Rotación alrededor de un eje vertical que pasa por el centro de masa del piso **i** causada por los efectos torsionales, en radianes.

β=factor reductivo por amortiguamiento suplementario, debido a la interacción suelo-estructura
γ1=peso volumétrico del i-ésimo estrato de la formación de suelo
γs=peso volumétrico medio del suelo
γs=peso volumétrico promedio del suelo
λ= variable para el cálculo de
ω=frecuencia
ζefe=ζ"e=amortiguamiento efectivo del sistema suelo-estructura en la dirección de análisis
ζe=fracción de amortiguamiento crítico de la estructura supuesta con base rígida, en la dirección que se analiza ζr= amortiguamiento efectivo del sistema suelo-estructura en la dirección de análisis
ζs=amortiguamiento histérico del suelo
ζx=coeficiente de amortiguamiento del suelo en el de translación
μ = Coeficiente de poiss

Resumen

Este documento muestra las ventajas y desventajas de usar el análisis de interacción suelo estructura en las zonas lacustres de Bogotá, en edificios de mediana altura con pórticos en concreto, considerando variaciones en parámetros tales como; el tipo de cimentación, el tipo de suelo, los movimientos sísmicos, la rigidez y ductilidad. La estructura que se utiliza en esta investigación será analizada haciendo uso de la interacción suelo estructura, considerando el comportamiento lineal y no lineal del suelo en las curvas esfuerzo- deformación, obtenidas de ensayos triaxiales y la modelación numérica en el programa Plaxis. Además, se llevará hasta el rango inelástico a partir de un análisis no lineal (Push Over) en el programa ETABS. Como elemento de comparación, realizará un análisis elástico convenional sin considerar la interacción suelo estructura. Como solicitación sísmica se utilizarán los espectros de respuesta de la microzonificación sísmica de Bogotá (Decreto 523 de 2010), para las zonas lacustres 50, 100, 200, 300 y 500.

Palabras clave: Interacción suelo-estructura, análisis dinámicos, microzonificación, pórticos de concreto, cimentación, suelos lacustres, rango inelástico.

Abstract

This paper shows the advantages and disadvantages of using the soil interaction analysis in the Bogotá zones, in medium height buildings with the concrete portals, considering variations in parameters such as; the type of foundation, the type of soil, seismic movements, rigidity and ductility. The structure used in this research will be analyzed using the interaction of the soil structure, considering the linear and non-linear behavior of the soil in the stress-strain curves, obtained from triaxial tests and numerical
Modeling in Plaxis program. Also, it will take ranks up to the inelastic range from a non-linear analysis (Push Over) in the software program ETABS. As a comparison element, in turn it will be carried out in a conventional manner with a conventional elastic analysis without considering the interaction structure, in order to compare their behavior.As seismic solicitation, the response spectra of the seismic microzoning of Bogotá (Decree 523 of 2010) were used for the lacustrine zones 50, 100, 200, 300 and 500.

Key words: Soil-structure interaction, dynamic analisys, microzoning, concrete frames, foundation design, lacustrine soils, inelastic range.

Capítulo 1: Introducción

Según el Departamento Nacional de Estadística “cerca del 51 % de la población actual de Bogotá reside en apartamentos en altura” (Dane, 2010), cifra que va incrementándose año a año, generando un aumento en la demanda de vivienda, en especial para las personas menos favorecidas socioeconómicamente. La oferta de vivienda que se crea por el Distrito y los constructores particulares se ejecuta en la mayoría de los casos, sin tener en cuenta el suelo de fundación y algunas zonas de la microzonificación, lo cual genera un alto riesgo sísmico.

Bogotá se encuentra localizada en una zona de amenaza sísmica intermedia, de acuerdo al Código Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10; al ser la ciudad que más desarrollo y oportunidades genera en el país, es necesario que se adelanten estudios sobre la interacción suelo estructura, para así mejorar las técnicas y procedimientos de análisis estructural que se usan en la actualidad, en especial los relacionados con el comportamiento inelástico de las estructuras.

Una estructura debe comportarse sin tener daños importantes bajo sismos pequeños o medianos, que puedan ocurrir durante su existencia. “No debe colapsar ante un sismo fuerte con un periodo de diseño de 50 años o más” (Carpientero, 2012). Por este motivo, es importante conocer el comportamiento en el rango inelástico de una estructura, de manera que se puedan verificar los niveles de desmpeño que se está dispuesto a admitir para diferentes demandas sísmicas.

Comúnmente las edificaciones suelen estar expuestas a fuerzas sísmicas que las llevan al rango inelástico, que representa diferentes niveles de daño. Por ende, es importante caracterizar la disipación de energía que se produce debido a los ciclos de histéresis, y verificar la aplicabilidad del factor R, el cual considera la disipación de energía de acuerdo a su sistema estructural.

Modelar el comportamiento de las estructuras ante solicitaciones sísmicas es un tema muy complejo, si se quiere obtener una respuesta lo más cercana posible a la realidad.

El objetivo es contemplar los efectos, no solo del comportamiento inelástico de la edificación, sino también las implicaciones del análisis de interacción suelo estructura.

El efecto mas marcado de esta interacción se presenta en suelos lacustres, ya que la simplificación convencional de considerar apoyos rígidos, es claramente mas acertada en estratos rocosos, y por lo tanto los resultados para suelos blandos debieran corregirse de alguna manera por los desplazamientos a nivel de cimentación que pueden ser significativos. En Bogotá, de acuerdo con la microzonificación sísmica, predominan los suelos lacustres, y de ahí la necesidad de buscar metodologías que permitan tener en cuenta esta interacción.

En esta investigación se utilizarán los espectros de respuesta de las zonas lacustres 50, 100, 200, 300 y 500, de la microzonificación sísmica actual de Bogotá. Se realizará un análisis estático no lineal considerando la interacción suelo estructura utilizando los resultados de ensayos triaxiales que permiten obtener las propiedades de esfuerzo deformación del suelo, a través de la determinación del esfuerzo de corte que sufre una masa de suelo al ser cargada. Este ensayo es una forma confiable de obtener las curvas esfuerzo-deformación, con gran variedad de estados reales de carga, para luego graficarlas y linealizarlas para obtener el modelo constitutivo idealizado del suelo. Con estos datos se modela el suelo en el programa Plaxis con el fin de verificar su comportamiento y el estado de esfuerzos que alcanza.

Para realizar un análisis más completo, es necesario visualizar el comportamiento del suelo ante las cargas reales de la estructura y la cimentación, lo cual se realizó modelando el mismo en un Software llamado Phase 2, el cual permite ver y analizar los esfuerzos que alcanza el suelo al interactuar con la cimentación y las cargas de la superestructura.

Luego se compilan todos los datos para el cálculo de capacidades portantes y módulos de reacción (coeficiente de balasto), para utilizarlos en los elementos tipo resorte del Programa ETABS, y así realizar el análisis de interacción suelo - estructura. Con el

mismo Software se puede modelar la respuesta inelástica de la estructura controlada por rotulas plásticas.

Se modelará una estructura de mediana altura (10 pisos) en concreto reforzado, con cimentación profunda, considerando la interacción suelo estructura y un análisis no lineal estático tipo Push Over para obtener las solicitaciones de la estructura considerando estos dos efectos. Simultáneamente, se analizará el mismo edificio de manera convencional de dos formas: un modelo elástico de apoyos rígidos para verificar derivas y estabilidad general, y el mismo modelo considerando inelasticidad de la estructura con apoyos rígidos para obtener las solicitaciones patrón.

En lo relacionado a las cargas y consideraciones de análisis, se tendrán en cuenta las recomendaciones de la norma NSR-10 para la elaboración de los modelos.

1.1 Planteamiento del problema

Cuando se analizan algunas estructuras, es frecuente aplicar aceleraciones sísmicas y suponer apoyos rígidos. Sin embargo, actualmente las normas de diseño como la NSR-10, reconocen que las propiedades del suelo y las características de la cimentación pueden afectar de manera significativa la respuesta sísmica de la estructura.

La interacción suelo estructura tiene un papel importante en el comportamiento de las edificaciones de mediana y gran altura ante solicitaciones sísmicas, dicha interacción debe examinarse exhaustivamente, ya que puede producir un aumento en los desplazamientos, generando cambios en las solicitaciones y aumento en los desplazamientos que pueden inviabilizar un proyecto.

Se utilizaron los suelos lacustres de la ciudad de Bogotá, ya que son los más predominantes y presentan características plásticas que facilitan la aplicación del estudio, ya que en los suelos rocosos o muy firmes, la rigidez del suelo como tiende a ser muy alta, y el comportamiento no difiere significativamente de la suposición de

apoyos rígidos que suele utilizarse comúnmente. Por ende, este estudio se limitó a estructuras soportadas en suelos blandos de tipo lacustre.

“En la ingeniería sísmica se espera respuesta inelástica y la supervivencia de las estructuras depende de su habilidad de soportar muchos ciclos de deformación inelástica reversible sin excesiva degradación de rigidez y resistencia “ (Carrillo, 2015)

En algunos casos las estructuras permanecen elásticas durante los sismos de baja magnitud, pero cuando experimentan sismos intermedios o altos alcanzan un comportamiento no lineal, ya que el análisis y el diseño es realizado considerando fuerzas sísmicas reducidas.

En dichos casos, un análisis elástico no puede proveer estimaciones correctas de la respuesta sísmica de la estructura, y por lo general es necesario utilizar un análisis no lineal, más aún cuando se consideran los efectos de interacción suelo-estructura. En los cuales se afectan factores como; el periodo fundamental de vibración, la variación del amortiguamiento y la demanda de ductilidad de la estructura, a causa de la interacción inercial, que prácticamente es generada por la suma de la masa estructural al sistema suelo-cimentación, produciéndose una modificación en el comportamiento del suelo, lo cual influye de manera significativa en la capacidad y desempeño de la estructura. Por ende, si se quiere comprobar a cabalidad estos parámetros es necesario realizar un análisis no lineal.

De igual manera, si se usa el análisis no lineal sin considerar la interacción suelo-estructura, las solicitaciones sísmicas van hacer mayores, que podrían superar la ductilidad máxima tolerable de la estructura, y suponer incluso un colapso ficticio. Aunque se utilicen los factores de reducción por ductilidad adecuados, si no se cuenta con un valor más real de las solicitaciones, se podría errar en la obtención de las solicitaciones de diseño.

Desde otro punto de vista, para edificaciones convencionales de 10 pisos o mediana altura en general, el periodo fundamental es mayor a 0.5 s, Según Carrillo (2015)“ la regla de iguales desplazamiento afirma que el desplazamiento de un sistema inelástico con rigidez K y resistencia Vy sometido a un movimiento particular del suelo, es aproximadamente igual al desplazamiento del mismo sistema respondiendo elásticamente”, Esta regla se puede usar para predecir los desplazamientos inelásticos a partir de un analsis elástico.

Se pretende describir la respuesta sísmica de una edificación de 10 pisos ubicada en zonas lacustres 50, 100, 200, 300 y 500 de la ciudad de Bogotá, utilizando una cimentación profunda de tipo pilote, aplicando el efecto de la interacción suelo estructura, considerando el comportamiento completo del suelo y analizando la misma de forma no lineal, para obtener las solicitaciones y desplazamientos de la misma de la forma mas aproximada posible a la realidad. Además de describir la respuesta sísmica de la edificación considerando la interacción suelo estructura y su no linealidad, se busca comparar su comportamiento con un análisis convencional, el cual considera apoyos rígidos en la base y un análisis elástico para estabilidad global y derivas, y un análisis inelástico para las solicitaciones patrón. Y así corroborar los beneficios tanto estructurales como económicos que tiene la aplicación de este estudio.

Teniendo en cuenta lo anterior, se llega a la siguiente pregunta: ¿Cómo se afecta el comportamiento y respuesta estructural de un edificio de 10 pisos ubicado en las zonas lacustres de Bogotá, cuando se aplica la interacción suelo-estructura considerando el comportamiento elástico y plástico del suelo, y un análisis no lineal (Push Over), en comparación a un análisis convencional?

1.2 Justificación

Con esta investigación se pretende comparar el comportamiento estructural de un edificio de 10 pisos, presente en las zonas lacustres de Bogotá, considerando la interacción suelo estructura en conjunto con un análisis no lineal estático, y un análisis convencional con apoyos rígidos. Dicho propósito más allá de analizar el fenómeno de interacción

suelo-estructura y el análisis no lineal, permite la posibilidad de examinar y diseñar estructuras modeladas de manera más cercana a la realidad, considerando: las propiedades del suelo, la ductilidad, la capacidad, el desempeño, la rigidez de la estructura y el suelo. De esa manera se pueden reducir los esfuerzos que ocurren en los elementos estructurales, esto no se podría llevar acabo si se realiza un proceso conservador. De acuerdo a lo ya mencionado, no es adecuado analizar y diseñar una estructura para responder elásticamente a los movimientos del suelo.

Con este análisis se afecta el comportamiento de la estructura, así como las características del terreno en cercanías al cimiento, dichas variaciones modifican el cortante basal, las derivas de entrepiso y los momentos en la base. Cuando se tiene en cuenta estos elementos, se logran diseños más económicos y confiables.

Por otro lado, al no considerar esta interacción se aumentan las fuerzas internas de la estructura, lo cual se refleja en un diseño más rígido con elementos estructurales más grandes, que requieren más refuerzo, incrementando los costos en la construcción y diseño. Además, al no tener en cuenta el comportamiento no lineal tanto del suelo como de la estructura, se está desaprovechando su capacidad.

Finalmente se pretende incentivar a los diseñadores estructurales para que usen este tipo de análisis, y sea más común, e incluso se puedan implementar comentarios y recomendaciones más elaborados en próximas versiones del reglamento NSR-10.

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Realizar un análisis de interacción suelo estructura considerando el comportamiento elástico y plástico del suelo a partir del módulo de elasticidad y rigidez del mismo, además la respuesta no lineal de la estructura a partir de un análisis Push Over, en una edificación de 10 pisos con pórticos de concreto, destinada a vivienda, sobre las zonas lacustres de la microzonificación de Bogotá,

teniendo en cuenta la influencia del tipo de estudio sobre las solicitaciones y desplazamientos.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar el comportamiento y el grado de respuesta sísmica estructural, a partir de un análisis lineal elástico y un análisis no lineal con interacción suelo estructura.
- Establecer la influencia del tipo de apoyo y la cimentación en el cálculo de los desplazamientos horizontales.
- Fundamentar analíticamente las diferencias entre los desplazamientos y las solicitaciones utilizando el análisis lineal y no lineal de la estructura.

1.4 Alcance

El desarrollo del trabajo consistirá en la evaluación estructural de un edificio convencional de 10 pisos usado para vivienda en las zonas lacustres de Bogotá, mediante un análisis elástico lineal y no lineal (Push Over) considerando los efectos de la interaccion suelo-estructura, los principios de la mecánica estructural, los reglamentos internacionales y NSR-10. Para lo cual se recolecto información necesaria como; datos del suelo, la microzonificación sísmica de Bogotá, el diseño arquitectónico, la geometría de la estructura, el avaluo de cargas verticales, cargas sismicas entre otros.

Se realiza el análisis lineal con el fin de obtener las derivas, estabilidad general y los cortantes de cada una de las zonas lacustres, considerando apoyos empotrados. Dicho análisis incluirá el modelado tridimensional de la estructura utilizando el programa de analisis y diseño ETABS, es posible aplicar este metodo basándose en disposiciones internacionales del ACI 318-14 y el reglamento Colombiano NSR-10, que establecen los criterios para el analisis y diseño estructural. Adicional a esto se realiza un análisis no lineal con apoyos rigidos para obtener las derivas inelásticas y la estabilidad general, simultáneamente en la misma estructura se modela la cimentación con sus respetivos elementos y la rigidez del suelo, representada a apatir de resortes. Para obtener las

cortantes y asi completar el análisis, este procedimiento se aplica cosiderando los criterios establecidos internacionalmente en la ASCE 41-13 y el apéndice A.3 de la NSR-10.

Capítulo 2: Antecedentes y Estado del Arte

2.1 ASPECTOS GENERALES

De las actividades sísmicas recientes del país se destacan; “el sismo del 23 de noviembre de 1979 en el antiguo Caldas, del 12 de diciembre de 1979 en Tumaco y del 31 de marzo de 1983 en Popayán” (Muñoz J. A., 2012). Por ende, La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica- AIS, junto con otras entidades expide el Decreto 1400 de 1984, en el cual se plantea el reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. En el año 1998 con la modificación de la constitución política de Colombia, también se plantea una reforma a este reglamento, dando origen a la Norma Sismo Resistente NSR 98.

A principios del año 2008, La Comisión Asesora Permanente del Régimen de Construcciones Sismo Resistentes creada por la Ley 400 de 1997, y adscrita al Ministerio de Amiente, Vivienda y Desarrollo territorial. Le encargo al AIS realizar y coordinar todos los estudios necesarios para actualizar el reglamento NSR 98, en donde se formaron grupos guiados por especialistas en los diferentes títulos tratados en la Norma. Los documentos presentados fueron llevados a votación para su aprobación, hasta que estuvieran de acuerdo todos los encargados de hacer las correcciones, aunque no se modificaron solo los títulos, sino también se agregaron capítulos para ser complementados, para llegar luego en el año 2010 al producto final, la NSR 10.

Según Leonardo Herrera “En las tres versiones existentes del reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, sean considerado los efectos locales o de sitio, como si todas las ciudades fueran planas, es decir solo se han incluido en los espectros de diseño la presencia de los suelos en superficie, pero no los efectos topográficos.” (Herrera, 2013).

A nivel regional, la administración de la ciudad de Bogotá, el INGEOMINAS y la Universidad de los Andes en el año 1997, publican un estudio de microzonificación sísmica realizada para la zona urbana de la ciudad.

La información sísmica adquirida en la red de Acelerógrafos de Bogotá- RAB, “desde su aplicación en el año 1999 hasta el año 2009, se destaca el sismo del 24 de mayo de 2008 con epicentro en Quetame Cundinamarca” (Bogotá A. M., 2010), el cual se registró en 30 estaciones de la ciudad de Bogotá.

Considerando el uso de los acelerógrafos y la información geotécnica, se presenta un avance en la concepción de los efectos locales y así se elabora mapas con gran detalle de clasificación teniendo en cuanta estos efectos. Con estos se plantea el Decreto 074 de 2001 y 193 de 2006.

Después de utilizar durante varios años el Decreto 193 de 2006, se identificó una serie de aspectos que merecían ser revisados. Por lo tanto, fue necesario aumentar el alcance de la microzonificación y todos sus componentes, dando lugar al Decreto 523 de 2010 en donde se planean las zonas de respuesta sísmica actual. Desde la primera versión del Código Colombiano de construcción sismo resistente en el año 1984, se consideraron los espectros de respuesta para el diseño estructural. Estos se han modificado en sus dos actualizaciones NSR 98 Y NSR 10, de acuerdo al avance en el estado del arte a nivel nacional e internacional.

Los efectos del suelo se han considerado en los espectros de respuesta, aun en la última versión de la norma NSR 10, a pesar que no reflejan los resultados de las microzonificaciones sísmicas de las ciudades que las tienen.

2.2 ANTECEDENTES

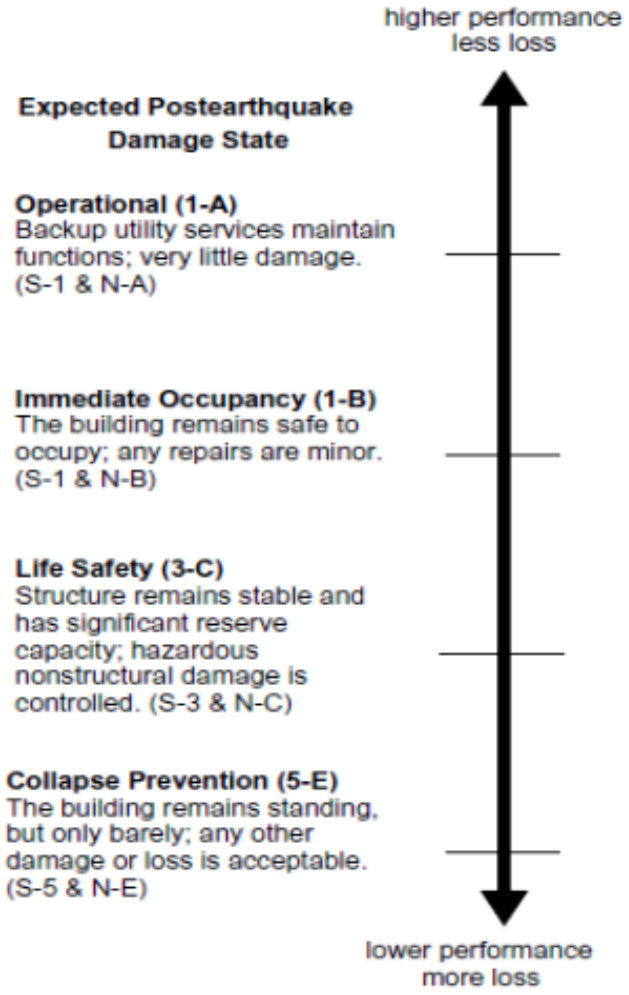
2.2.1 Norma ASCE 41-13

Las primeras guías de diseño por desempeño dieron inicio como criterios de evaluación para estructuras existentes, donde el objetivo era medir la seguridad de las edificaciones, pero luego, se enfocaron a otras consideraciones como es el concepto de control del daño y los estados de desempeño, puntualmente los referidos al nivel de ocupación inmediata y al nivel operacional post-sismo. Teniendo en cuenta esto, se empezó a tomar gran fuerza.

La ASCE 41-13 se centra en la evaluación y rehabilitación de estructuras existentes, patrocinado por el Structural Engineering Institute del ASCE, este describe los procedimientos sistemáticos que usan los principios de Diseño por perfomance para evaluar y remodelar edificios existentes para soportar los efectos de los sismos. En esta se plantea un proceso de 3 etapas para la evaluación sísmica desde prevención del colapso a la continuidad operacional que una la actuación estructural con la actuación estructural de los elementos no estructurales.

En la ASCE 41-13, sus niveles de desempeño contemplan los niveles de daño enmarcados al igual que los IBC dentro de cuatro categorías que se nombran como daño severo, daño moderado, daño leve y daño muy leve.

Figura 1 Niveles de desempeño para edificaciones de acuerdo a ASCE 41-13.



Fuente: (ASCE 41-13 American Society of Civil Engineers, 2014)

El procedimiento que se usa basado en las vulnerabilidades permite que el esfuerzo de evaluación y remodelación se focalice en las vulnerabilidades potenciales específicas detectadas, en base a las observaciones sísmicas pasadas, las cuales fueran motivo de preocupación para determinados tipos y alturas de edificios. Este procedimiento sistemático aplicable a cualquier edificio estable, junto a una metodología para evaluar el edificio entero en forma rigurosa. (Espinosa, 2013)

2.2.1.1 Evaluación del desempeño

De acuerdo al ASCE 41-13, se permiten emplear cuatro tipos de análisis en la evaluación

de las estructuras diseñadas por desempeño, estos tipos de análisis son:

- ✓ Análisis Lineal Estático (Lineal Static Procedure – LSP)
- ✓ Análisis Lineal Dinámico (Lineal Dinamic Procedure – LDP)
- ✓ Análisis No lineal Estático (Nonlineal Stactic Procedure – NSP)
- ✓ Análisis No lineal Dinámico (Nonlineal Dinamic Procedure – NDP)

Tabla 1. Procedimientos de análisis permitidos por el ASCE 41-13

LINEALES		*NO LINEALES*	
ESTÁTICO	DINÁMICO	ESTÁTICO	DINÁMICO
Fuerza horizontal equivalente	Análisis modal espectral	Pushover	Cronológico espectral (Time history)
LSP	LDP	NSP	NDP

Fuente: ASCE 41-13 American Society of Civil Engineers, 2014

Como se evidencia esta norma tiene una gran importancia en el campo del diseño, ya que proporcional una guía real y acertada a los ingenieros estructurales, profesionales del diseño, reguladores y controladores interesados en mejorar la actuación sísmica de edificios existentes, teniendo en cuantas las pautas de esta.

Los sísmicos en la historia en el mundo entero, por ejemplo, el de Chile 1985, México 1985, California 1989, Costa Rica 1991, Medellín 1992, Santafé de Bogotá 1994, Pereira 1995, Armenia 1999, entre otros.; han demostrado la influencia decisiva de las condiciones locales del suelo en las características de los movimientos sísmicos registrados en la en la superficie del terreno. (GSM, 1999). Con todos los antecedentes que se han tenido en la historia, se llegó a la conclusión que es importante tener una metodología clara y óptima para guía de diseño de edificaciones basado en el diseño por desempeño, en la actualidad no se ha implementado de forma obligatoria en los códigos para edificaciones a nivel mundial, pero se está contemplando que la normativa de Diseño sismo resistente se enfoque hacia una metodología. El PBD ya está permitido como método alternativo en Estados Unidos y Filipinas, mientras que en Japón y China se usa para estructuras altas y de características especiales.

Para este trabajo se realizó un análisis Push Over de acuerdo a la NSR 10 y la ASCE 41-13 para una estructura de 10 Pisos, con el propósito de obtener los desplazamientos objetivos, derivas, solicitaciones y la estabilidad general de la estructura.

2.2.2 Norma FEMA 356

El impacto de los sismos en la sociedad ha generado curiosidad de conocer el comportamiento de las estructuras, para así poder mitigar los niveles de riesgo o daño en este tipo de edificaciones. Ya que en la Ingeniería Sísmica se han desarrollado criterios, métodos y herramientas que permiten tener una evaluación sobre el desempeño de las construcciones existentes ante la ocurrencia de un sismo, además se pueden generar estrategias para realizar algún tipo de rehabilitación o mantenimiento si fuese necesario. (Ana B. Acevedo, 2003). Ya que se pude tener una incertidumbre sobre las edificaciones existentes, los ingenieros han desarrollado técnicas y criterios para determinar el nivel de vulnerabilidad Sísmica con el fin de preservar la integridad de las estructuras ante las posibles intensidades sísmicas futuras.

El Documento FEMA 356 presenta los modelos para describir el comportamiento de los diferentes materiales utilizados en la construcción existente y el impacto de elementos no estructurales ante un sismo. El uso que se le da al análisis no lineal Push Over es para estudiar la respuesta dinámica frente a la acción de un sismo de gran intensidad, donde se busca cuantificar de forma simplificada el daño global del sistema a partir de las condiciones de rigidez final e inicial. Además, en este documento se sugiere emplear el Método de coeficientes, este es para estimar el desplazamiento máximo de osciladores de un grado de libertad multiplicando la respuesta elástica por varios coeficientes, asumiendo ciertas propiedades lineales y de amortiguamiento.

2.2.3 Norma NSR 10

La NSR – 10 es el reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, este se encarga de regular las condiciones que deben tener una construcción respecto a la respuesta estructural ante un sismo. Dentro de esta norma en el Apéndice A-3 se

contempla el procedimiento no lineal Estático de plastificación progresiva Push Over, donde se realiza un análisis sísmico. Este apéndice no es de carácter obligatorio, pero se ha pretendido que se estudie para la implementación de nuevas edificaciones si se cree conveniente.

El análisis Push Over se ha incluido en los últimos años en disposición de diseño y construcción de edificaciones, a pesar que esté procedimiento no es nuevo y se ha utilizado en investigaciones y aplicaciones de diseño estructural se pretende que se incluya más en el diseño y construcción de estructuras. Este método no lineal estático corresponde a una metodología para evaluar directamente la respuesta no lineal de estructuras a movimientos fuertes del terreno causado por un sismo.

2.2.4 Teoría de Winkler

En el año 1867 Winkler propuso un procedimiento donde se consideró la interacción de un suelo con la subestructura, este método se creó inicialmente para el análisis de las traviesas del ferrocarril, donde el balasto es la capa de la grava que se tiene sobre la explanación de los ferrocarriles para asentar y sujetar las traviesas. Con este análisis que se realizó se pudo hacer varias aplicaciones no solo en el campo de las cimentaciones, sino en cualquier problema que fuera adaptable a este modelo.

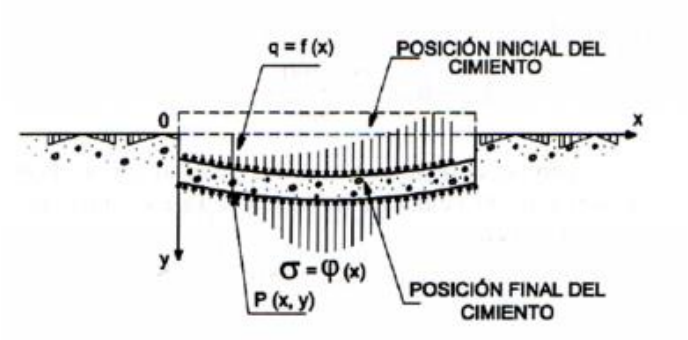
Este método modela las cimentaciones como una viga flexible, en el cual se propone el terreno como un conjunto infinito de muelles situado bajo una viga deformable, la Cimentación; La deformable de cada muelle es Ks (Modulo de balasto), valor que se obtiene del cociente entre la presión de contacto (q) y el desplazamiento (δ).

Ecuación 2. Ecuación Modulo de balasto.

$$\mathrm{Ks} = \mathrm{q}/\delta$$

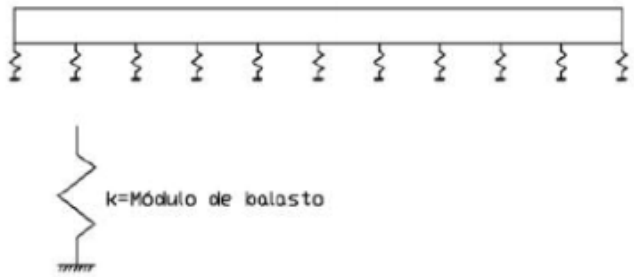
La aplicación de la teoría del módulo de balasto ha tenido gran interés en los últimos tiempos, ya que este permite una fácil asimilación del modelo de la interacción estructura-terreno con ayuda de los métodos matriciales de cálculo pertinentes.

Figura 2 Teoría Winkler



Fuente: (Manuel J. Freire Tellado, 2000)

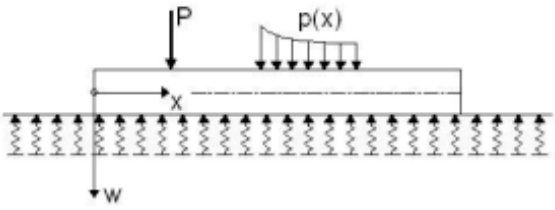
Figura 3Módulo de Balasto.



Fuente: (Silva Gutierrez, 2009)

La ecuación diferencial del comportamiento de la clásica solución de viga flotante o viga sobre fundación elástica (beam on elástica fountation) y que, por tanto, es el resultado de suponer la viga discretizada en infinitas barras de longitud diferencial con nudos en sus extremos, es la siguiente:

Figura 4 Modelo de Winkler



Fuente: (Silva Gutierrez, 2009)

Siendo:

W(x): El asiento de la Viga (m)
X: Coordenadas (m)
k: Módulo de balasto (KN/m3)
p: Carga por Unidad de longitud (KN/m)
E: Módulo de elasticidad de la losa (KN/m2)
I: Inercia de la viga respecto al eje que pasa por su centro de gravedad (m4)

En el caso de la losa la ecuación tiene una forma parecida como se aprecia a

$$d^4w/dx^4 + 2\,d^4/dx^2dy^2 + (k.w - p)12(1 - v^2)/(E.t^3) = 0$$

continuación
Siendo:
W (x, y): Asientos de la Losa (m)
X, y: Coordenadas (m)
K: Módulo de balasto (KN/m3)
q: Carga por unidad de área (KN/m2)
v: Coeficiente de elasticidad de la losa (KN/m2)
t: Espesor de la losa (m)
Hasta los inicios de 1950, las soluciones de los problemas elásticos eran resueltas por métodos analíticos formulados localmente, ya que los problemas variacionales eran un poco laboriosos y complejos.

En la actualidad el uso del computador y los softwares han permitido resolver eficientemente las ecuaciones variacionales, poniendo en práctica métodos numéricos como las Diferencias finitas, Elementos finitos y Elementos de contorno. (Gómez J. E., 2002)

2.3 ESTADO DEL ARTE

En Colombia, en la actualidad la gran mayoría de los diseños estructurales en las edificaciones en concreto reforzado son mediante análisis lineal. Este método es el más frecuente como base en el diseño, ya que es un poco más sencillo; pero hay que tener en cuenta que este no toma una gran cantidad de variables que influyen en el comportamiento de la estructura, y dadas ciertas condiciones se asume un comportamiento que en realidad no ocurre.

A continuación, en la siguiente tabla se mostrarán los trabajos de grado similares al tema propuesto:

Referencia	*Objetivo de Investigación.*
Análisis estático no lineal: Aplicación de métodos avanzados a un edificio típico de la República Dominicana. **(Veras, 2016)**	✓ Evaluar el daño sísmico esperado en una estructura de mampostería reforzada típica en la República Dominicana mediante la aplicación del análisis estático no lineal con el objetivo de determinar el espectro de capacidad, su punto de desempeño y las curvas de fragilidad, comparando los resultados con los obtenidos al aplicar un modelo de daño

	propuesto recientemente por Pujades et al (2015)
Evaluación de los métodos de análisis Estático no lineal para determinar la demanda sísmica en estructuras aporticadas de concreto armado. **(Oscar A. López, 2007)**	✓ Esta investigación tiene como objetivo la evaluación de varios métodos de análisis estático no lineal que se recomiendan en diversas especificaciones y publicaciones especializadas para estimar la demanda que introducen los movimientos sísmicos en las estructuras. Se considerarán pórticos de concreto armado, sujetos a un conjunto de movimientos sísmicos registrados en diversos lugares del planeta. La evaluación se realizará comparando el nivel de predicción de estos métodos aproximados con la demanda más realista obtenida de un análisis dinámico no-lineal.
Evaluación del coeficiente de disipación energía R para edificios con un sistema estructural combinado de muros y pórticos en concreto con diferente número de pisos. **(Valencia, 2016)**	✓ Evaluar los Coeficientes de disipación de Energía R para 15 estructuras, diseñadas con un sistema estructural combinado de muros y pórticos en concreto, variando el número de pisos entre 4, 8, 12, 16 y 20, realizando un

	estudio para cada zona de amenaza sísmica.
Evaluación de la Interacción dinámica suelo-estructura de edificaciones construidas en ladera. **(Baquero, 2013)**	✓ Analizar la interacción suelo estructura de edificaciones localizadas en ladera, a partir de un análisis paramétrico, con base en un diseño experimental multifactorial, considerando un modelo para los suelos y elastoplástico para las estructuras, en un espacio bidimensional, empleando para la evaluación de la respuesta del sistema suelo-estructura el software de elementos finitos PLAXIS 2010.
Análisis comparativo entre la metodología de diseño basada en Fuerzas y la metodología de diseño basada en desplazamientos para sistemas combinados. **(Hurtado, 2015)**	✓ Comparar los resultados al diseñar tres edificaciones de concreto reforzado de sistema estructural combinado, utilizando el método de las fuerzas expuesto en el Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-10, y el

	método de diseño basado en desplazamientos

Capítulo 3: Marco de Referencia

3.1 MARCO CONCEPTUAL

Considerando que Colombia ha sufrido actividad sísmica importante, el 7 de julio de 1984 se expidió por medio del decreto 1400 la primera normativa colombiana de construcciones sismo-resistentes, el cual fe llevado a cabo por la asociación colombiana de construcciones de ingeniería sísmica. Este decreto surgió a raíz de la tragedia ocurrida en Popayán, donde se tuvo el registro de magnitud de 5.5 en la escala de Richter, cuyo resultado fue que el 70% de las edificaciones sufrieron grandes daños (Omar Cardona, 2004).

Considerando esta actividad, se han creado los mapas de amenaza sísmica de las normas Sismo Resistentes, NSR – 98 y NSR 10, como se mencionaron anteriormente. Estas se crearon con el propósito de que fueran una herramienta fundamental para el cálculo y diseño estructural de las edificaciones, con el fin de garantizar infraestructuras sismo resistente que preserven la vida humana.

En la actualidad Bogotá cuenta con una población aproximada de 7.794.463 habitantes según el Dane, siendo una ciudad con gran desarrollo e incrementado en obras de infraestructura, es importante resaltar la necesidad de diseñar obras civiles con especificaciones y técnicas que tenga de objetivo y propósito mantener la seguridad de las personas. A parir de los estudios de la actividad sísmica que ha tenido la cuidad, se ha expuesto que hay una amenaza de dos tipos de sismos, los cuales son: Uno lejano, de epicentro distante el cual dará tiempo de reaccionar y otro Cercano con epicentro próximo, con gran poder destructor.

Teniendo en cuenta esto, Bogotá cuenta con una microzonificación del suelo, gracias a esto los análisis para el diseño de una estructura va a ser más exacto, esto permite a su vez contrarrestar las fuerzas de la naturaleza al máximo posible, así mismo día a día las normas pueden ser modificables para mitigar las catástrofes (Muñoz J. A., 2012).

3.1.1 Microzonificación de Bogotá

Los estudios actuales de microzonificación se dieron en 1993, por la unidad para la prevención y atención de emergencias (UPES). Con estos estudios, se lanzó el Decreto 74 de 2001 y el Decreto 193 de 2006, donde se dieron a conocer los principales resultados del estudio de microzonificación. Estos dos Decretos, se reglamentaron la microzonificación sísmica de la ciudad, con el propósito de establecer las zonas con comportamiento sísmico similar y contemplarlas para los requisitos de diseño sísmico-resistente que se deben tener en cuenta para la construcción de cualquier tipo de edificación.

En la actualidad se cuenta con el decreto 523 del 2010, donde se encuentran las características y especificaciones de cada zona que contempla el reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR 10) para la construcción de cualquier edificación que este en óptimas condiciones en la respuesta estructural ante un sismo. En la ilustración 6 y 7 se enfatizará la descripción de las zonas de respuesta sísmica y la descripción geotécnica de la ciudad de Bogotá.

Tabla 2 Descripción geotécnica Decreto 523 del 2010.

Nombre	Geotecnia	Geología	Geomorfología	Composición principal	Comportamiento geotécnico general	Espesor
Cerros A	Roca de arenisca	Formaciones de Areniscas	Cerros de alta pendiente	Areniscas duras	Rocas competentes y resistentes a la meteorización, eventuales problemas de estabilidad de taludes en excavaciones a cielo abierto, principalmente cuando estén fracturadas o con intercalaciones de arcillolitas blandas	
Cerros B	Roca de arcillolita	Formaciones de Arcillolitas	Cerros de moderada a alta pendiente	Arcillolitas blandas	Rocas de moderada competencia y susceptibles a la meteorización, problemas de estabilidad de taludes en excavaciones a cielo abierto, principalmente cuando estén fracturadas	
Piedemonte A	Suelo coluvial y aluvial norte	Coluviones y Complejo de Conos Aluviales	Piedemonte	Gravas arcillo arenosas compactas	Suelos de alta capacidad portante pero pueden presentar problemas de inestabilidad en excavaciones abiertas	< 50 m
Piedemonte B	Suelo coluvial y aluvial centro			Gravas areno arcillosas compactas		
Piedemonte C	Suelo coluvial y aluvial sur			Gravas areno arcillosas compactas		
Lacustre A	Suelo lacustre muy blando	Terraza Alta - Lacustre	Planicie	Arcillas limosas muy blandas	Suelos de muy baja a media capacidad portante y muy compresibles	20 - 500 m
Lacustre B	Suelo lacustre blando			Arcillas limosas blandas		
Lacustre C	Suelo lacustre - aluvial			Arcillas arenosas firmes		
Aluvial	Suelo aluvial grueso a medio	Terraza Baja - Aluvial y Complejo de Conos Aluviales	Planicie	Arenas arcillosas sueltas a compactas	Suelos de mediana a alta capacidad portante poco compresibles, susceptibles a licuación e inestables en excavaciones a cielo abierto	50 - 250 m
Llanura A	Suelo de llanura - lacustre	Llanura de Inundación	Llanura	Arenas sueltas y arcillas limosas blandas	Suelos de moderada capacidad portante y compresibles, susceptibles a licuación	200 - 500 m
Llanura B	Suelo de llanura - aluvial			Arenas sueltas y arcillas arenosas duras		
Cauce	Cauce activo o antiguo	Cauces Activos	Piedemonte y Planicie	Gravas arenosas sueltas a compactas	Suelos de baja a mediana capacidad portante, susceptibles a licuación y problemas de estabilidad de taludes	
Depósitos	Suelo de ladera	Depósitos de Ladera	Cerros	Gravas areno arcillosas compactas	Suelos de mediana capacidad portante susceptibles a problemas de estabilidad de taludes	5 - 15 m
Residual	Suelo residual	Suelo Residual	Cerros	Arcillas gravo arenosas firmes	Suelos de mediana a alta capacidad portante con posibles problemas de estabilidad de taludes en sectores de alta pendiente	5 - 10 m
Basura	Relleno de basura	Rellenos de Basuras	Piedemonte y Planicie	Basuras	Materiales heterogéneos, que acuerdo con su disposición pueden ser compresibles y susceptibles a problemas de estabilidad en taludes	
Relleno	Relleno de excavación	Rellenos de Excavación	Piedemonte y Planicie	Rellenos heterogéneos	Materiales heterogéneos, que acuerdo con su disposición pueden ser compresibles y susceptibles a problemas de estabilidad en taludes	
Excavación	Excavación especial	Excavaciones Especiales	Piedemonte	Gravas arenosas sueltas a compactas	Zonas de explotación de agregados en el Río Tunjuelo, susceptibles a problemas de estabilidad de taludes	

Fuente: (Bogotá A. M., 2010)

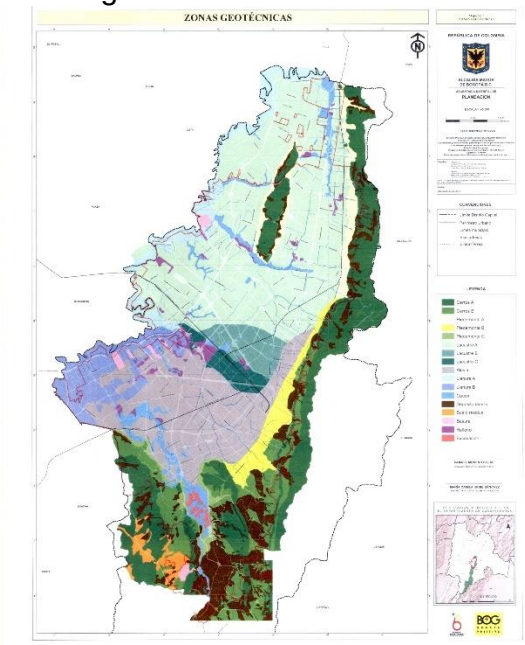
Tabla 3. Descripción de las Zonas de respuesta sísmica.

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

Fuente: (Bogotá A. M., 2010).

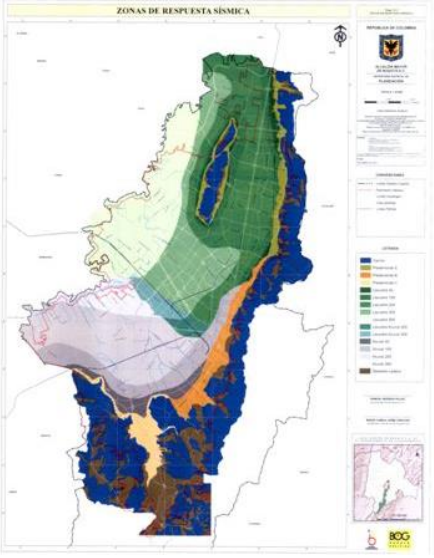
Como se evidencia en las figuras anteriores, se observa que Bogotá cuenta con 17 zonas geotécnicas y 16 zonas de respuesta sísmica, el cual se presentara en la ilustración 8 y 9 que pertenece al mapa de Bogotá D.C.

Figura 5 Zonas Geotécnicas Bogotá



Fuente: Secretaria Distrital de Planeación, Mapa de zonas geotécnicas de la sabana.

Figura 6 Zonas de respuesta Sísmica



Fuente: Secretaria Distrital de planeación, Mapa de zonas de respuesta sísmica de la sabana.

Los coeficientes de diseño, Fa, Fv y A0 se calcularon para un periodo de retorno de 475 años, cuyos cálculos son los de la siguiente ilustración.

Tabla 4. Coeficiente de diseño

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

Fuente: FOPAE.

3.1.2 Suelos arcillosos

En la mecánica de suelos, se le da la definición a la arcilla, a las partículas de cualquier sustancia inorgánica con tamaños menores a 0.02 mm, tamaño para el cual empiezan a tener influencia las acciones fisicoquímicas. Son aquellos que tiene una textura blanda, más compactos que los arenosos, son menos permeables y retienen la humedad. Los terrenos arcillosos son en principio, los más peligrosos para cimentar, puede producir grandes asientos en un gran periodo de tiempo, y es donde se da a conocer su comportamiento bajo las cargas verticales y laterales.

Realizar cimentaciones en este tipo de suelos, es posible, pero se debe contemplar parámetros como: peso específico, humedad, densidad, ángulo de fricción, cohesión, entre otros. Estos influyen en los siguientes aspectos: capacidad portante, coeficientes de reacción, rigidez, desplazamientos, deformaciones, asentamientos, entre otros.

3.1.3 Coeficiente de balasto

El coeficiente de balasto Ks es un parámetro que se define como la relación entre la presión que actúa en un punto, p, y el asiento que se produce, y, es decir Ks=p/y. Este parámetro tiene dimensión de peso específico y, aunque depende de las propiedades del terreno

3.1.4 Rigidez del suelo

La amplificación del movimiento en el suelo está determinada por las propiedades dinámicas del suelo. Entre éstas, la rigidez del suelo y el amortiguamiento son las propiedades claves para el estudio de la respuesta de sitio. Una buena aproximación a la rigidez del suelo se obtiene a partir del módulo de corte G que se calcula por medio de la velocidad de las ondas sísmicas. (UCLM, 2011) La razón de amortiguamiento, ξ, muestra la capacidad que tiene el suelo para disipar la energía. Otras propiedades dinámicas son la densidad ρ y el índice de Poisson v, pero éstas tienen menor influencia.

3.1.5 Interacción Suelo estructura

La interacción dinámica suelo estructura consiste en un conjunto de efectos cinemáticos e inerciales producidos en la estructura y el suelo como resultado de la deformabilidad de este ante excitación sísmica. La interacción modifica las propiedades dinámicas relevantes que tendría la estructura supuesta con base indeformable como por ejemplo el periodo fundamental, así como las características del movimiento del suelo en la vecindad de la cimentación. (Luis Avilés Joaquin, 2004)

3.1.6 Análisis Lineal.

El Análisis Lineal supone que tanto la estructura como el material que la compone tienen un comportamiento lineal, es decir, la fuerza es directamente proporcional a la deformación, cumpliendo de esta manera con la ley de Hooke. La relación entre ambas variables es lineal cuando el cambio de la rigidez de la estructura es despreciable al estar sometida a una carga

3.1.6.1 Análisis Modal

El Análisis Modal es un tipo de Análisis Dinámico, útil para determinar las frecuencias naturales, amortiguamiento y los modos de vibración de la estructura, de esta manera predecir su comportamiento dinámico ante una excitación conocida. Estos parámetros modales son propios para cada estructura y dependen de su masa y rigidez. “La respuesta de la estructura será una superposición lineal de todos los modos de vibración excitados.” (Bibing, s.f.)

3.1.7 Fuerza sísmica

Estas son cualquier fuerza causadas por los movimientos terrestres provocados por un terremoto, el diseño de los componentes horizontales de una estructura en una zona sísmica es de importancia fundamental ya que son estos elementos los menos resistentes a este tipo de movimientos.

3.1.8 Análisis no lineal

En este método de análisis, las fuerzas expresadas horizontales o desplazamientos, son aplicadas a un sistema estructural de resistencia sísmica. Las fuerzas estáticas o desplazamientos son distribuidas a lo largo de toda la altura de la estructura. Las fuerzas son incrementadas en intensidad y el análisis Push Over termina con la última capacidad correspondiente al estado límite o estado de daño de prevención del colapso o al alcanzar el desplazamiento objetivo a nivel de cubierta de la estructura. Este tipo de fuerzas corresponden al primer modo de vibración.

3.2 Marco teórico

3.2.1 Estructuras sismo resistente

El diseño sismo resistente ha evolucionado desde el 1984 hasta la actualidad. En Bogotá existen varios estudios sobre la microzonificación sísmica, para la obtención de datos los cuales permiten realizar cálculos de espectro de aceleraciones, velocidades y desplazamientos (Diaz, 2015).

Se comprende que una estructura sismo resistente es aquella que es capaz de resistir sin sufrir daño considerable, ocasionado por un sismo, para ello es importante de un diseño estructural donde sea evaluado condiciones como; las cargas y sobrecargas para mitigar los daños de la estructura.

Los elementos a considerarse para una estructura sismo-resistentes son las vigas, columnas, muros de carga, entre otros, los cuales constituyen una edificación desde la cimentación hasta la cubierta.

Las funciones de cada elemento que es primordial en una estructura son:

- **Vigas:** son aquellos elementos estructurales que generalmente se colocan en posición horizontal, estos se apoyan sobre las columnas, los cuales soportan las cargas.
- **Columnas:** son los elementos verticales de una estructura, los cuales se encargan de soportar el peso de toda la estructura. Estos son encargados de distribuir las cargas y fuerzas axiales.
- **Cimentación:** este tiene una función soportar y repartir por el suelo todo el peso de la estructura, la cimentación ante un sismo brinda a la estructura una base rígida, la cual es capaz de transferir al suelo las acciones que generan por la interacción suelo estructura, sin que haya una falla o deformación importante en el terreno.

- **Cimentaciones profundas:** Se basan en el esfuerzo cortante entre el terreno y la cimentación para soportar las cargas aplicadas, o más exactamente en la fricción vertical entre la cimentación y el terreno. Por eso deben ser más profundas, para poder proveer una gran área sobre la cual se ejerza un esfuerzo lo suficientemente grande para soportar las cargas. Este tipo de cimentación se utiliza cuando se tienen circunstancias especiales, como, por ejemplo; una construcción determinada con un área extensa, una obra con una carga demasiado grande que no pueda ser soportada por ningún otro tipo de cimentación, en terrenos donde la resistencia sea baja y no tengan las características necesarias para soportar las construcciones. (Montoya, 2010)
  Se clasifican en:

- ✓ Pilas y Cilindros.
- ✓ Pilotes.
- ✓ Pantallas.
- ✓ Pantallas isostáticas.
- ✓ Pantallas hiperestáticas.

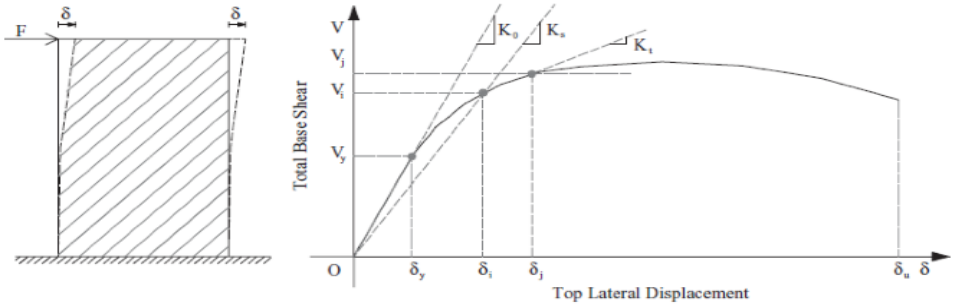
- **Cimentaciones profundas tipo pilotes:** los pilotes trasmiten al terreno las cargas que reciben de la estructura, mediante combinaciones de cargas transmitidas por fricción o resistencia por punta. Estas dependen de las características del pilote y del terreno, se pretende siempre tener una combinación adecuada para que la estructura sea soportada por estos.

Para un diseño de una estructura sismo-resistentes, es importante considerar varios factores que podrían afectar a la estructura durante un sismo, ya que genera movimiento, hay que considerar los factores como el desplazamiento, la velocidad, la aceleración, la energía liberada, entre otros, todos estos en función al tiempo. Para el correcto diseño de una estructura sismo resistente, es indispensable contemplar la NSR-10, que sirve como guía de cálculos estructurales y permitirá que la estructura sea capaz de resistir y no sufra de un colapso.

3.2.2 Rigidez estructural.

- **Rigidez:** es la capacidad de un elemento o conjunto de elementos estructurales de resistir los desplazamientos, como se ilustra en la ilustración 11, estos parámetros son expresados como la relación de fuerza y desplazamiento.

Figura 7 Curva típica de respuesta estructural para sistemas sujetos a cargas horizontales



Fuente: (Elnashai & Di sarno, 2008)**.**

La rigidez de un elemento es función de las propiedades de su sección, la longitud y las condiciones del contorno, la rigidez de un sistema estructural es una función de los mecanismos de resistencia lateral utilizados en pórticos resistentes a momento, pórticos arriostrados, muros entre otros.

Las estructuras que son diseñadas para cargas verticales generalmente poseen suficiente rigidez vertical. Los sismos generan fuerzas de inercia debido a la vibración de masas, por ende, rigidez lateral u horizontal es requerida fundamentalmente para las estructuras. (Elnashai & Di sarno, 2008)

En el diseño Sísmico, la rigidez lateral es esencial para:

- El control de las deformaciones
- Prevenir inestabilidades
- Prevenir daño no estructural
- Asegurar la seguridad de la gente durante sismos bajo a medio.

3.2.3 Análisis Estático Lineal:

La estructura se modela considerando un sistema de varios grados de libertad con rigidez lineal elástica, y un amortiguamiento viscoso lineal. La solicitación sísmica es presentada a través de fuerzas laterales distribuidas por piso, con el fin de obtener las fuerzas internas y los desplazamientos máximos que produciría el sismo. Esto se basa en el primer modo de vibración de la estructura, ya que éste predomina en la respuesta estructural.

3.2.3.1 Método de la Fuerza horizontal equivalente

Este método se le puede aplicar a las edificaciones que tengan las siguientes indicaciones:

- ✓ Todas las edificaciones, reguladores e irregulares, en las zonas de amenaza sísmica baja.
- ✓ Todas las edificaciones, regulares e irregulares, pertenecen al grupo de uso **I** localizadas en las zonas de amenaza sísmica intermedia.
- ✓ Las edificaciones regulares, de 20 niveles o menos y de 60 m de altura o menos medidos desde la base, este puede ser en cualquier zona de amenaza sísmica, exceptuando edificaciones localizadas en lugares que tengan un perfil de suelo tipo D, E o F con periodos de vibración mayores de 2Tc.
- ✓ Edificaciones irregulares que no tengan más de 6 niveles ni más de 18 m de altura desde su base.
- ✓ Estructuras flexibles apoyadas sobre estructuras más rígidas,

3.2.3.2 Método de Análisis dinámico estático.

Este método de análisis debe usarse en todas las edificaciones que no están cubiertas por el método de la fuerza horizontal equivalente, teniendo en cuenta lo siguiente:

- ✓ Edificaciones de más de 20 pisos o más de 6m m de altura, exceptuando las edificaciones mencionadas en el método de la fuerza horizontal equivalente.

- ✓ Edificaciones que tengan irregularidades verticales.
- ✓ Edificaciones de más de 5 niveles o más de 20 m de altura, localizadas en zonas de amenaza sísmica alta, que no tengan el mismo sistema estructural en su altura total.
- ✓ Estructuras regulares o irregulares, localizadas en sitios que tengan perfil de suelo D, E o F y que tengan un periodo mayor a 2Tc en este caso el análisis debe incluir los efectos de interacción suelo – estructura.

3.2.4 Análisis Elástico no lineal (Push Over)

Existen dos tipos de análisis Push Over los cuales son: Push Over convencional y Push Over adaptativo. En este trabajo solo se enfatizará en análisis Push Over convencional que se mencionará más adelante.

El procedimiento estático no lineal (NSP) está basado en los resultados obtenidos de investigaciones en las que se sometían a los elementos estructurales a cargas laterales para observar la formación secuencial de rotulas plásticas. Como se mencionó anteriormente, el procedimiento (NSP) permite determinar la capacidad resistente de la estructura y permite compararla con la demanda posible ante un evento natural. La demanda está relacionada con la amenaza sísmica y del sitio de ubicación de la estructura, por otro lado, la capacidad de la estructura depende de la rigidez, la resistencia y la deformación de cada uno de sus componentes.

Cuando se realiza un análisis Estático no lineal es necesario tener en cuenta esta información específica sobre la estructura a analizar:

- ✓ Característica de los materiales.
- ✓ Tener las geometrías de las secciones de los elementos estructurales y la disposición del acero de refuerzo, tanto longitudinal como transversal, teniendo en cuenta en detalle de cada uno de estos.
- ✓ Las acciones gravitacionales (cargas permanentes y variables) las que actúan sobre ella.

- ✓ La resistencia de las vigas y columnas.
- ✓ Identificar posibles ubicaciones donde podrían formarse las rotulas plásticas en los miembros estructurales
- ✓ Las propiedades de esfuerzo – deformación de las rotulas plásticas en función de su cantidad de acero de refuerzo.
- ✓ Cargas laterales aplicadas en el centro de la masa de la estructura.

3.2.4.1 Rotula plástica

3.2.4.2 Ductilidad

Es la propiedad que posee un material de deformarse en el rango plástico, se entiende también como la relación entre la deformación última y la deformación en el punto de fluencia.

3.2.4.2.1 Factores de Ductilidad

Se definen como la relación entre la deformación última y la deformación de fluencia; sin embargo, no se puede definir como un ensayo de tracción directa.

En las estructuras las deformaciones pueden ser desplazadas de un elemento, desplazamientos relativos entre pisos, rotaciones, curvatura entre otros. Los valores numéricos de la ductilidad expresada con la base en diferentes tipos de deformación no son los mismos. Por esto, es importante especificar qué tipo de ductilidad se está empleando.

Si el comportamiento de un material es perfectamente elástico Plástico, la ductilidad no solo define la deformación máxima sino también la energía disipada. Esto no se cumple ya que los materiales no tienen comportamiento ideal.

3.2.4.3 Curva de capacidad

Normalmente se presentan los resultados de un análisis estático no lineal de una estructura, contemplando una curva de fuerzas no lineales vs desplazamiento de la

cubierta. Esta curva se denomina Curva de capacidad, la cual representa la respuesta no lineal de la estructura y la resistencia de la misma ante una solicitación sísmica.

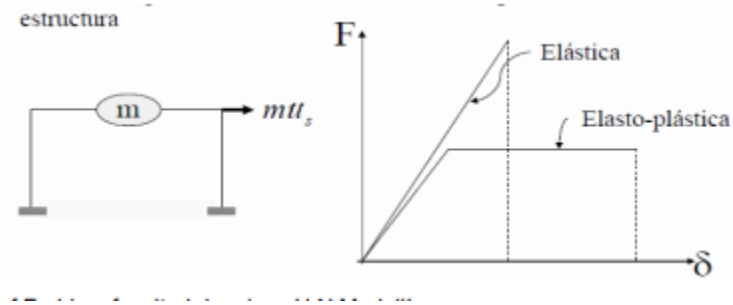
En la Figura 9, se presenta la representación de esta curva de capacidad de una estructura, donde el eje vertical es el cortante en la base y el eje horizontal el desplazamiento que sufre la cubierta.

Figura 8 Representación gráfica de la curva de capacidad típica.



Fuente: (Moreno, 2006)

Figura 9 Curva de Capacidad Idealizada.



Fuente: Tomada de Josef Fabiarz. Facultad de minas U.N Medellín

3.2.5 Análisis Push Over convencional.

En este análisis inelástico, la estructura es afectada por cargas gravitacionales constantes y fuerzas laterales o desplazamientos que van incrementando constantemente. Push Over es un método de estimación de capacidad de la estructura a través de un conjunto de funciones que presentan los efectos de inercia del sismo o terremoto.

En la actualidad hay varias metodologías para realizar este análisis como lo son: (AISC-41-13 del 2000) y (NSR 10- apéndice A.3). Estos tienen en común que facilita la posibilidad de representar gráficamente los resultados del Push Over referente al desplazamiento del techo vs cortante de la base del edificio (Alvarez, 2012).

Dicho análisis es capaz de detectar debilidades del diseño que el análisis elástico no es capaz de hacer. Una de las ventajas de este análisis respecto al análisis estático lineal es que directamente tiene en cuenta los efectos de la respuesta no lineal del material, por otro lado, en el análisis lineal se debe tener en cuenta de manera aproximada, mediante el coeficiente de reducción de resistencia R; y por lo tanto, el cálculo de las fuerzas internas y desplazamiento serán más representativos durante un sismo (Moreno, 2006). Para este tipo de análisis, generalmente se emplea una solución interactiva – incremental de las ecuaciones de equilibrio, ya que se involucran las cargas incrementales pequeñas y así mismo, el comportamiento es lineal y el equilibrio se puede expresar de la siguiente forma:

Ecuación 2. Comportamiento Lineal

$$K\Delta X = \Delta F$$

Esta se puede expresar como:

$$K_t \Delta X + R_t = F$$

Dónde:
Kt: es la rigidez tangente para el incremento de carga en ese momento.
Δx: es el incremento de desplazamiento.
Rt: las fuerzas de restauración al comienzo del incremento de carga.
F: las fuerzas aplicadas.

En un incremento de carga, la resistencia de la estructura se evalúa cuando las condiciones de equilibrio interno y la rigidez Kt son actualizadas. Las fuerzas

desestabilizadoras son repetidas hasta que uno o más criterios de convergencia sean satisfactorios. Durante la convergencia, la Kt es actualizada y otro incremento de desplazamiento o cargas es aplicado, para llegar a la solución, es necesario contemplar y alcanzar un desplazamiento determinado que se relaciona al nivel de desempeño o estado límite de prevención al colapso, esto se alcanza con ayuda del programa de análisis teniendo en cuenta las fallas por convergencia. Para estos resultados, el análisis Push Over o curva de capacidad son correspondientes a término del máximo desplazamiento Vs cortante basal.

3.2.5.1 Desplazamiento del nodo de control para NSP

Para este el nodo de control se ubica en el centro de la masa en el techo de la estructura. Para las edificaciones que cuentan con ático se considera como el nivel del nodo de control. Para el desplazamiento del nodo se usará un modelo matemático donde se calculará para las fuerzas sísmicas especificadas.

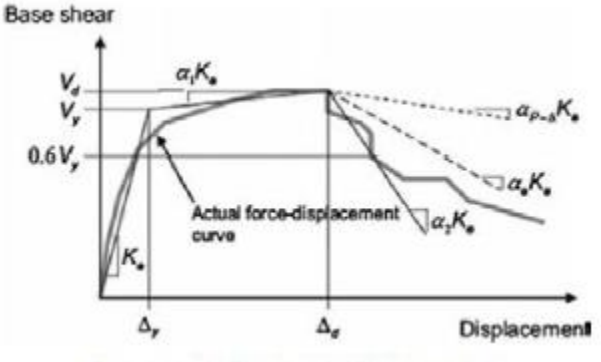
3.2.5.2 Distribución de carga lateral para NSP

Se aplicará cargas laterales al modelo matemático en proporción a la distribución de masa en el plano de carga diafragmada de piso. Para la distribución vertical de estas fuerzas será proporcional a la forma del modo fundamental en la dirección considerada.

3.2.5.3 Curva idealizada de desplazamiento de fuerzas para NSP

La relación de fuerza- desplazamiento no lineal entre cizallamiento de base y de desplazamiento del nodo de control se remplaza por una relación idealizada para calcular la rigidez lateral efectiva Ke y la fuerza de fluencia efectiva Vy, del edificio como se evidencia en la figura 9.

Figura 10 Curva Idealizada Fuerza- Desplazamiento



Fuente: ASCE 41-13 American Society of Civil Engineers, 2014

El primer segmento de línea de la curva idealizada de desplazamiento de fuerza comenzará en el origen y tendrá una pendiente igual a la rigidez lateral efectiva, Ke. La rigidez lateral efectiva, Ke, se tomará como la rigidez secante calculada a una fuerza de cizalladura de base igual al 60% de la resistencia a la deformación efectiva de la estructura. El límite de elasticidad efectivo, Vy, no se tomará como mayor que la fuerza de cizalladura máxima en cualquier punto a lo largo de la curva fuerza-desplazamiento.

El segundo segmento de línea deberá representar la pendiente post-cedencia positiva (α1Ke), determinada por un punto (Vd, Δd) y un punto en la intersección con el primer segmento de línea, de modo que las áreas por encima y por debajo de la curva real estén aproximadamente equilibradas. (Vd, Δd) deberá ser un punto de la curva de fuerza-desplazamiento real en el desplazamiento objetivo calculado, o en el desplazamiento correspondiente al corte de base máxima, lo que sea menor.

El tercer segmento de línea deberá representar la pendiente negativa post-performance (α2Ke), determinada por el punto al final de la pendiente post-cedencia positiva (Vd, Δd) y el punto en el que la deformación de base se degrada al 60% límite de elasticidad.

3.2.5.4 Determinación del Período para NSP

El período fundamental efectivo en la dirección bajo consideración se basará en la curva idealizada fuerza-desplazamiento figura 9. El período fundamental efectivo, Te, se calculará de acuerdo con la siguiente ecuación:

Ecuación 3. Determinación del periodo.

$$T_e = T_i\sqrt{\frac{K_i}{K_e}}$$

Fuente: ASCE 41-13 American Society of Civil Engineers, 2014

Donde Ti = Periodo fundamental elástico (en segundos) en la dirección considerada calculada por análisis dinámico elástico;

Ki = rigidez lateral elástica del edificio en la dirección considerada, calculada utilizando los requisitos de modelado.
Ke = rigidez lateral efectiva del edificio en la dirección considerada.

3.2.5.5 Desplazamiento Objetivo para NSP

El desplazamiento objetivo δt, en cada nivel de piso se calculará de acuerdo siguiente ecuación.

Ecuación 4. Desplazamiento Objetivo.

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g$$

Fuente: ASCE 41-13 American Society of Civil Engineers, 2014

Donde Sa = aceleración del espectro de respuesta en el período fundamental efectivo y relación de amortiguación del edificio en la dirección considerada.
g = aceleración de la gravedad;

C0 = Factor de modificación para relacionar el desplazamiento espectral de un sistema de un grado de libertad equivalente (SDOF) con el desplazamiento del techo del sistema multidegree-of-freedom de construcción (MDOF) calculado usando uno de los siguientes procedimientos:

El factor de participación en masa del primer modo multiplicado por la ordenada de la primera forma de modo en el nodo de control.

El factor de participación en masa calculado usando un vector de forma correspondiente a la forma desviada del edificio en el desplazamiento objetivo multiplicado por ordenadas del vector de forma en el nodo de control. En la tabla 4 se observa los valores:

Tabla 5. Values for Modification Factor Co.

	Shear Buildings[a]		Other Buildings
Number of Stories	Triangular Load Pattern (1.1, 1.2, 1.3)	Uniform Load Pattern (2.1)	Any Load Pattern
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
10+	1.3	1.2	1.5

NOTE: Linear interpolation shall be used to calculate intermediate values.
[a]Buildings in which, for all stories, story drift decreases with increasing height.

Fuente: ASCE 41-13 American Society of Civil Engineers, 2014

C1 = Factor de modificación para relacionar los desplazamientos inelásticos máximos esperados con los desplazamientos calculados para la respuesta elástica lineal. Para períodos inferiores a 0,2s, no es necesario tomar C1 mayor que el valor en T = 0,2s. Para períodos superiores a 1,0s, C1 = 1,0.

Ecuación 5. Coeficiente para calcular el desplazamiento objetivo.

$$C_1 = 1 + \frac{\mu_{strength} - 1}{aT_e^2}$$

Fuente: ASCE 41-13 American Society of Civil Engineers, 2014

Donde:

a = Factor de clase Site:
= 130 Sitio Clase A o B;
= 90 Sitios Clase C;
= 60 Sitios Clase D, E o F.
Te = Período fundamental efectivo del edificio en la dirección considerada, en segundos.
Ts = Periodo característico del espectro de respuesta, definido como el período asociado con la transición del segmento de aceleración constante del espectro al segmento de velocidad constante del espectro

μstrength = Relación entre la demanda de fuerza elástica y el coeficiente de resistencia a la deformación calculado de acuerdo con la siguiente ecuación:

Ecuación 6. Relación de resistencia

$$\mu_{strength} = \frac{S_a}{V_y / W} . C_m$$

Fuente: ASCE 41-13 American Society of Civil Engineers, 2014

Donde:

Sa se define anteriormente
Vy = Fuerza de performance del edificio en la dirección considerada calculada utilizando los resultados del NSP para la curva de fuerza-desplazamiento no lineal idealizada desarrollada para el edificio
W = peso sísmico efectivo
Cm = Factor de masa efectivo de la Tabla 4. Alternativamente, Cm, tomado como el factor de participación de masa modal efectivo calculado para el modo fundamental utilizando un análisis de valores propios. Cm se tomará como 1.0 si el período fundamental, T, es superior a 1.0s.

Tabla 6. Values for Effective Mass Factor Cm

No. of Stories	Concrete Moment Frame	Concrete Shear Wall	Concrete Pier-Spandrel	Steel Moment Frame	Steel Concentrically Braced Frame	Steel Eccentrically Braced Frame	Other
1–2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3 or more	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0

NOTE: C_m shall be taken as 1.0 if the fundamental period, T, in the direction of response under consideration is greater than 1.0 s.

Fuente: ASCE 41-13 American Society of Civil Engineers, 2014

También se tiene la siguiente ecuación para el desplazamiento objetivo, donde:

Ecuación 7. Desplazamiento Objetivo

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800}\left(\frac{\mu_{strength} - 1}{T_e}\right)^2$$

Fuente: ASCE 41-13 American Society of Civil Engineers, 2014

C2 = Factor de modificación para representar el efecto de la forma de histéresis pellizcada, la degradación de rigidez cíclica y el deterioro de la resistencia en la respuesta de desplazamiento máximo. Para períodos superiores a 0.7s, C2 = 1.0.

Alternativamente, se permitirá utilizar C1C2 por Tabla 6, donde m_{max} es el factor “m” más grande para todos los elementos primarios del edificio en la dirección bajo consideración.

Cm = Factor de masa efectivo para tener en cuenta los efectos de la participación en masa modal más alta obtenidos de la Tabla 5.

Tabla 7. Alternate values for Modification factor C_1C_2

Fundamental Period	$m_{max} < 2$	$2 \le m_{max} < 6$	$m_{max} \ge 6$
$T \le 0.3$	1.1	1.4	1.8
$0.3 < T \le 1.0$	1.0	1.1	1.2
$T > 1.0$	1.0	1.0	1.1

Fuente: ASCE 41-13 American Society of Civil Engineers, 2014

Cm se tomará como 1,0 si el período fundamental, T, es mayor que 1,0s;

Sa = aceleración del espectro de respuesta, en el período fundamental y relación de amortiguación del edificio en la dirección considerada.
W = peso sísmico efectivo del edificio, incluyendo la carga muerta total y las porciones aplicables de otras cargas por gravedad que se enumeran a continuación:

- ✓ En las zonas utilizadas para el almacenamiento, será aplicable un mínimo del 25% de la carga viva en el suelo. Se permitirá que la carga viva sea reducida para el área tributaria aprobada por la autoridad competente. La carga de suelo en los garajes públicos y las estructuras de aparcamiento abiertas no es aplicable.
- ✓ Cuando se incluya una tolerancia para la carga de separación en el diseño de la carga de suelo, será aplicable el peso real de la partición o un peso mínimo de 10 lb / pulg2 de superficie de suelo.
- ✓ Peso total del equipo permanente.
- ✓ Cuando la carga de nieve del techo plano calculada de acuerdo con ASCE 7 supere los 30 lb/ft2, la carga de nieve efectiva se tomará como un 20% de la carga de nieve. Cuando la carga de nieve en el techo sea inferior a 30 lb/pie2, se permitirá que la carga de nieve efectiva sea cero.

3.2.5.6 Criterios de aceptabilidad

La aceptabilidad de las acciones de fuerza y de deformación se evaluará para cada componente de acuerdo con los requisitos planteados en la ASCE 41-13. Antes de seleccionar los criterios de aceptación de componentes, cada componente se clasificará como componentes primarios y secundarios.

Componentes Primarios y Secundarios: se definen como Los componentes que afecten a la rigidez lateral en la distribución de las fuerzas en una estructura, o que se carguen como resultado de deformaciones laterales de la estructura, se clasificarán como primarios o secundarios, aunque no estén destinados a ser Parte del sistema resistente a la fuerza sísmica.

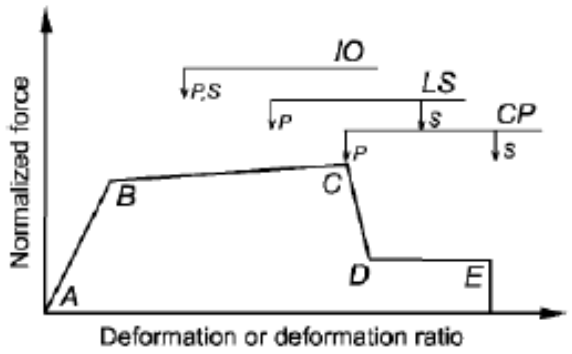
Un componente estructural que se requiere para resistir fuerzas sísmicas y acomodar deformaciones para que la estructura alcance el Nivel de Desempeño seleccionado se clasificará como primario.

Se permitirá clasificar como secundario un componente estructural que acepte deformaciones sísmicas y no esté obligado a resistir fuerzas sísmicas para que la estructura alcance el Nivel de Desempeño seleccionado.

3.2.5.6.1.1.1 Los criterios de aceptación

Son las acciones controladas por deformación utilizadas en procedimientos no lineales serán las deformaciones correspondientes con los siguientes puntos en las curvas de la figura 12.

Figura 11 Rangos de Deformación



Fuente: ASCE 41-13 American Society of Civil Engineers, 2014

Ocupación Inmediata IO: Componentes primarios y secundarios.

La deformación en la que se produjeron daños visibles permanentes en los experimentos, pero no superiores a 0,67 veces el límite de deformación para la Seguridad de Vida **LS.**

Componentes Primarios:

Seguridad en la Vida LS: 0.75 veces la deformación en el punto C en las curvas.
Colapso Prevención CP: 1.0 veces la deformación en el punto E en la curva.

3.2.6 Método de los coeficientes AISC 41–13 y NSR-10

En general este método consiste en empujar el modelo estructural no lineal (geometría y material) con fuerzas proporcionales al primer modo de vibración, hasta que la cubierta llega a un desplazamiento δt.

Ecuación 8. Coeficiente

$$\delta t = \delta \, \text{lineal} * c1 * c2$$

Dónde:

δ lineal: Desplazamiento obtenido de la respuesta lineal de la estructura en el primer modo de vibración.
$c1$: Factor de modificación que relaciona el máximo desplazamiento esperado para una respuesta inelástica.
$c2$: Factor de modificación que representa el efecto causado por el modelo histerético cíclico de degradación de la rigidez y resistencia en el máximo desplazamiento.

En el desplazamiento objetivo se calculan; las derivas, rotaciones plásticas, cortantes, desplazamiento, momentos, etc. Y se compara con la capacidad de la estructura.
Los pasos para analizar son los siguientes:

1. Crear el modelo computacional
2. Clasificar los elementos como primarios o secundarios
3. Incluir la carga de gravedad y aplicar las cargas laterales a la estructura
4. Incursionar las características no lineales al modelo

5. Obtener las fuerzas en los elementos
6. Ajustar e incrementar las fuerzas laterales
7. Graficar el cortante basal y el desplazamiento en la cubierta.
8. Revisar los criterios de aceptación a nivel local de cada elemento.
9. Aplicar un nuevo incremento de carga e iniciar el análisis desde el paso previo.
10. Acumular los valores obtenidos del cortante y el desplazamiento.
11. Repetir los pasos 9 y 10, hasta el desplazamiento objetivo o hasta la falla de la estructura, en muchos casos es reemplazadas por el nivel de desempeño de prevención de colapso. (Durán, 2016)

3.2.7 Distribución para fuerzas sísmicas.

3.2.7.1 Distribución fuerza sísmica horizontal y por piso

Las fuerzas horizontales Fx, son las fuerzas de inercia aplicables en cada piso de la construcción, y se calculan por la siguiente ecuación. Una vez que se ha determinado el valor del cortante en la base, se procede a calcular como se distribuye la fuerza horizontal equivalente a nivel del edificio.

Ecuación 9. Distribución de Fuerza sísmica Horizontal

$$F_x = C_{vs}\, V_s$$

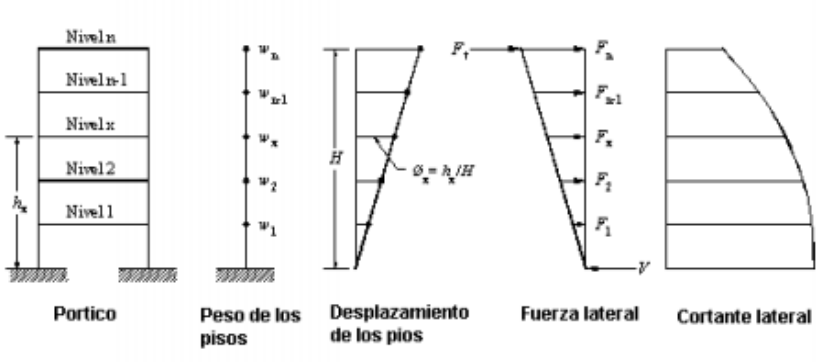
Fuente: NSR-10

Donde

Cvs: es un coeficiente de repartición de la fuerza sísmica en la altura de la edificación para periodos cortos la fuerza horizontal es equivalente a una fuerza uniforme, de tipo triangular con valor 0 en la base; para periodos largos, altura del edificio mayor de 25 pisos, la forma es parabólica.

Vs: cortante sísmico en la base igual a el total de los esfuerzos de inercia horizontales producidos por los movimientos sísmicos de diseño.

Figura 12 Distribución de fuerzas Sísmicas.



Fuente:
http://www.umss.edu.bo/epubs/etexts/downloads/19/Cap_XII_archivos/image034.gif.

Una vez que se obtienen las fuerzas sísmicas horizontales Fx, se puede determinar el coeficiente de fuerza de piso Cvx de cada nivel aplicando la siguiente ecuación:

Ecuación 10. Coeficiente de Fuerza

$$C_{vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^{n}\left(m_1 h_i^k\right)}$$

Fuente: NSR-10

Donde
k está relacionado con T así:

Para T menor o igual a 0.5 segundos	K=1.0
Para T entre 0.5 y 2.5 segundos	K=0.75 +0.5T (A.4.3-2) NSR-10
Para T mayor que 2.5 segundos	K=2.0

3.2.8 Interacción Suelo Estructura

La interacción suelo estructura está compuesta por dos fenómenos cinemáticos e inerciales producidos en la estructura y el suelo, a causa de la relación esfuerzo-deformación de este ante una solicitación sísmica. Esta interacción afecta el comportamiento de la estructura, cuando se considera empotrada en su base,

cambiando algunos parámetros como; el periodo fundamental, los desplazamientos verticales y horizontales de la masa de suelo en las cercanías a la cimentación cuando este se somete a un incremento de esfuerzos, entre otros.

En la interface cimentación-suelo, éste experimenta desplazamientos por a las cargas que se trasmiten a la cimentación dando como resultado desplazamientos totales y diferenciales. Los desplazamientos diferenciales de la estructura deben ser iguales a los originados en la superficie de apoyo de la cimentación. Por ende, la cimentación junto con las cargas que suporta, y las reacciones que se generan en el suelo se sujetaran a una determinada configuración, igual a la tiene el suelo debido a las reacciones que éste aporta a la cimentación para su equilibrio.

La configuración de esfuerzos y deformaciones en la superficie de contacto depende de la rigidez de la cimentación, la deformabilidad del suelo y la distribución de cargas que tenga la estructura y sea trasmitida a la cimentación.

En general el suelo sufre amplificaciones cuando el periodo de excitación y el del suelo concuerdan, generando incrementos en la respuesta estructural. Este fenómeno se conoce como resonancia. (Herrera, 2013)

La prolongación del periodo fundamental y la reducción o el incremento de la demanda de ductilidad, son generados por la interacción inercial, ésta modifica el movimiento del terreno por la adición de la estructura a la interface suelo-cimiento, debido a las fuerzas de inercia que actúan por la masa de la estructura.

Hay que tener en cuenta que la interacción suelo estructura considera un fenómeno más, la interacción cinemática, la cual se define como la modificación del movimiento del terreno a nivel de desplante por la presencia de la cimentación, porque ésta tiene una rigidez considerablemente mayor a la del suelo, evitando que éste pueda moverse de igual manera como lo hacía antes de tenerla. El efecto principal que produce esta interacción es filtrar el movimiento del suelo y no dejarlo pasar a través de la cimentación,

o al menos disminuir la intensidad de las altas frecuencias. Otros efectos asociados son; la rotación respecto a su eje horizontal o “cabeceo” y la rotación respecto a su eje vertical o “torsión”.

Los efectos de la interacción inercial son más importantes que los de la interacción cinemática entre más blando sea el suelo, mayor sea la masa de la estructura y la relación de esbeltez. A su vez considera la flexibilidad adicional al sistema dinámico y el incremento del amortiguamiento, como resultado del aumento del periodo fundamental del sistema y la modificación de las formas modales.

La interacción suelo estructura consiste en encontrar un sistema de reacciones que, al ser aplicadas de manera simultánea a la cimentación y masa del suelo, produzcan los mismos desplazamientos diferenciales entre los dos elementos. (Mendoza, SF)

Este fenómeno también se define como la modificación del movimiento del terreno sobre el cual está apoyada la cimentación, a causa de la presencia de la estructura. Existe mayor interacción a medida que el movimiento en la base de la estructura se ve más modificado por la presencia de la misma.

Algunos de los factores que afectan el grado de interacción que pueden existir en la respuesta sísmica de una estructura son:

A. Peso total de la estructura.
B. Rigidez lateral de la estructura.
C. Altura de la estructura.
D. Relación de esbeltez de la estructura.
E. Tipo de cimentación.
F. Tamaño de la cimentación.
G. Forma de la cimentación.
H. Rigidez de la cimentación.
I. Propiedades dinámicas del suelo.

J. Profundidad y estratigrafía del suelo.
K. Intensidad del movimiento del suelo.
L. Frecuencias del movimiento sísmico. (Miranda, 1995)

Es importante resaltar la reducción que causa esta interacción en parámetros como; el cortante basal, las derivas de piso y los momentos de volteo calculados suponiendo la base empotrada e indeformable, aunque se incrementen los desplazamientos laterales. Cuando se alcanzan estas reducciones, se obtienen diseños más económicos, pero en algunas situaciones esto no se da causando efectos desfavorables. (Soriano, 1989).

3.2.9 Consideraciones de la Interacción Suelo Estructura Según NSR 10

La norma NSR 10 plantea que las estructuras irregulares y regulares, ubicadas en zonas con perfiles de suelo tipo D, E, F y su periodo corto supere los 2 segundos. Deben considerar en su diseño los análisis de interacción suelo estructura. Según esto, el reglamento solo exige la aplicación de esta interacción cuando las estructuras tienen un periodo alto o su configuración estructural las haga flexibles.

En el análisis y diseño la norma exige que los modelos pueden ser dinámicos o estáticos, y tienen que detallar las características de rigidez de la estructura, el suelo y la cimentación, de tal manera que las deformaciones sean consistentes con las esperadas. Los modelos usados deben incorporar condiciones de apoyos rígidos en los elementos estructurales que hagan parte del sistema de resistencia sísmica a nivel de cimentación, coherentes con la rigidez considerada para obtener la respuesta estructural, aplicando la interacción suelo estructura.

En los casos que considere dicha interacción se puede presentar un aumento en el cortante basal, entonces los elementos estructurales deben diseñarse para esta condición, pero por el contrario debido al aumento del periodo efectivo suelo estructura o el amortiguamiento efectivo de suelo se presente una disminución en el cortante basal, el valor sísmico de diseño con puede ser inferior al obtenido por el método de fuerza horizontal equivalente utilizando un periodo fundamental igual al producto Cu.Ta, que

corresponde al periodo aproximado (Ta) obtenido por el método FHE, multiplicado por el coeficiente Cu que está en función del tipo de suelo donde se encuentre la estructura y el tipo de amenaza sísmica, esta condición disminuye la aplicación del análisis de interacción suelo estructura (Herrera, 2013).

Además, el apéndice A-2 del reglamento sismo resistente NSR 10 muestra un método simplificado para tener en cuenta la interacción suelo estructura, éste se basa en las consideraciones de interacción suelo estructura de códigos internacionales, como el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de México (Avilés, 2004). El método es aplicable para estructuras flexibles ubicadas en suelos blandos deformables, éste plantea una disminución en el cortante basal y un aumento en las derivas de piso a causa de los efectos inerciales.

3.2.10 Ensayos triaxiales

Este es un método de medición de las propiedades mecánicas de muchos solidos deformables, especialmente suelos en general. En este tipo de ensayos de corte triaxial, el esfuerzo es aplicado a la muestra de material que está siendo ensayada donde se producen esfuerzos a lo largo de un eje distinto a los esfuerzos en dirección perpendicular. (Braja M, 2005). El esfuerzo cortante en los suelos es el aspecto más importante de la ingeniería geotécnica. La capacidad de soporte de cimentaciones superficiales como profundas, la estabilidad de los taludes y el diseño de muros o paredes de retención, llevan implícito el valor de la resistencia al esfuerzo cortante.

3.2.10.1 Criterios de Falla Mohr-Coulomb

Esta teoría fue presentada por Mohr en 1900, donde hablo sobre la teoría sobre la ruptura de los materiales, se afirmaba que un material falla debido a una combinación crítica de esfuerzo normal y esfuerzo cortante, y no solo por la presencia de un esfuerzo máximo normal o un esfuerzo máximo cortante. A continuación, en la ecuación 8 se expresa la relación entre un esfuerzo normal y un esfuerzo cortante sobre un plano de falla.

Ecuación 11. Relación entre un esfuerzo normal y un esfuerzo cortante sobre un plano de falla.

$$\tau_f = f(\sigma)$$

Fuente: (Etseccpb, 2011)

Donde:

τf = esfuerzo cortante sobre el plano de falla
σ = esfuerzo normal sobre el plano de falla

La envolvente de la falla en la ecuación es una línea curva; para la mayoría de los problemas de mecánica de suelos, es suficiente aproximar el esfuerzo cortante sobre el plano de falla como función lineal des esfuerzo normal, esto se conoce como Criterio de falla Mohr-Coulomb, (Braja M, 2005) la siguiente ecuación representa este criterio.

Ecuación 12. Criterio de falla Mohr-Coulomb

$$\tau_f = c + \sigma \tan\phi$$

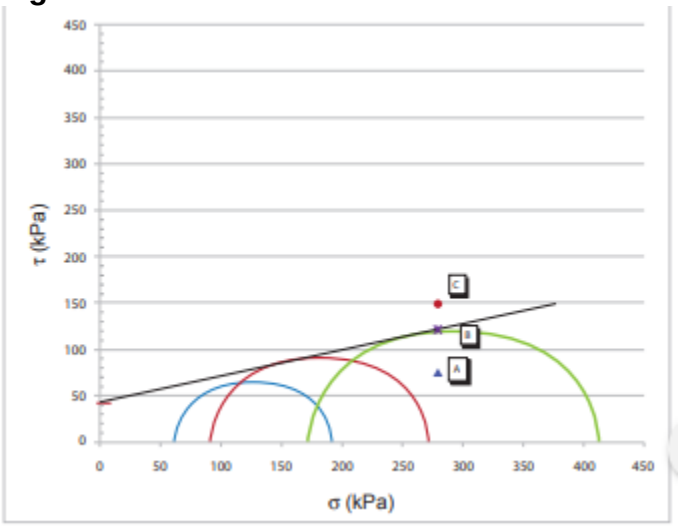
Fuente: Criterios de rotura y clasificaciones geomecánicas (Etseccpb, 2011)

Donde:
c = cohesión
φ = ángulo de fricción interna

En la figura 11, se observa que si el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante sobre un plano en una masa de suelo, como lo representa el punto A, entonces no ocurrirá una falla cortante a lo largo de este plano. Si hay un esfuerzo normal y el esfuerzo cortante sobre el plano como lo representa el punto B, sobre la envolvente de falla, entonces ocurrirá una falla de cortante a lo largo de este plano. El estado de esfuerzo se encuentra

representado por el punto C no existe, porque queda por encima de la envolvente de falle y la falla cortante ya habría ocurrido en el suelo.

Figura 13 Envolvente de falla de Mohr



Fuente: Criterios de rotura y clasificaciones geomecánicas (Etseccpb, 2011)

3.2.11 Prueba Triaxial

Este tipo de prueba es uno de los métodos más confiables para la determinación de los parámetros de la resistencia al cortante. En un tipo de ensayo triaxial, un espécimen cilíndrico de suelo es revestido con una membrana de látex dentro de una cámara a presión. La parte superior e inferior de la muestra tiene discos porosos, los cuales se conectan al sistema de drenaje para saturar o drenar el espécimen. En estas pruebas se pueden variar las presiones actuantes en tres direcciones ortogonales sobre el espécimen de suelo, efectuando mediciones sobre sus características mecánicas en forma completa. Los especímenes usualmente están sujetos a presiones laterales de un líquido, generalmente agua. (E., 2013)

El agua de la cámara puede adquirir cualquier presión deseada por la acción de un compresor comunicado con ella. La carga axial se transmite al espécimen por medio de un vástago que atraviesa la parte superior de la cámara.

La presión que se ejerce con el agua que llena la cámara es hidrostática y produce, por lo tanto, esfuerzos principales sobre el espécimen, iguales en todas las direcciones, tanto lateral como axialmente. En las bases del espécimen actuará además de la presión del agua, el efecto transmitido por el vástago de la cámara desde el exterior.

Es usual llamar σ1, σ2 y σ3 a los esfuerzos principales mayor, intermedio y mínimo, respectivamente. En una prueba de compresión, la presión axial siempre es el esfuerzo principal mayor, σ1; los esfuerzos intermedios y menor son iguales (σ2 = σ3) y son iguales a la presión lateral.

3.2.11.1 Tipos de pruebas triaxiales

3.2.11.1.1 Prueba lenta - Prueba con consolidación y con drenaje (CD)

La característica fundamental de la prueba es que los esfuerzos aplicados al espécimen son efectivos. Inicialmente se aplica al suelo una presión hidrostática, manteniendo abierta la válvula de comunicación con la bureta y dejando transcurrir el tiempo necesario para que haya consolidación completa bajo la presión actuante.

Cuando hay un equilibrio estático interno se haya restablecido, todas las fuerzas exteriores estarán actuando sobre la fase sólida del suelo, es decir, producen esfuerzos efectivos, en tanto que los esfuerzos neutrales en el agua corresponden a la condición hidrostática. La muestra se lleva a la falla a continuación aplicando la carga axial en pequeños incrementos, cada uno de los cuales se mantiene el tiempo necesario para que la presión en el agua, en exceso de la hidrostática, se reduzca a cero.

Los ensayos consolidados drenados se utilizan esencialmente en suelos granulares (arenas), sin embargo, se puede aplicar en suelos finos, pero los ensayos requieren tiempos prolongados del orden de semanas. (Braja M, 2005)

3.2.11.1.2 Prueba rápida – Prueba con consolidación y sin drenaje (CU)

En este tipo de prueba, el espécimen se consolida primeramente bajo la presión hidrostática; así el esfuerzo llega a ser efectivo, actuando sobre la fase sólida del suelo.

En seguida, la muestra se lleva a la falla por un rápido incremento de la carga axial, de manera que no se permita cambio de volumen. El hecho esencial de este tipo de prueba es el no permitir ninguna consolidación adicional durante el periodo de falla, de aplicación de la carga axial. Esto se logra fácilmente en una cámara de compresión triaxial cerrando la válvula de salida de las piedras porosas a la bureta.

En la segunda etapa de una prueba rápida consolidada podría pensarse que todo el esfuerzo desviador fuera tomado por el agua de los vacíos del suelo en forma de presión neutral, ello no ocurre así y se sabe que parte de esa presión axial es tomada por la fase sólida del suelo, sin que, hasta la fecha, se hayan dilucidado por completo ni la distribución de esfuerzos, ni las razones que lo gobiernan. De hecho, no hay ninguna razón en principio para que el esfuerzo desviador sea íntegramente tomado por el agua en forma de presión neutral, si la muestra estuviese lateralmente confinada, como el caso de una prueba de consolidación.

El ensayo CU (consolidado-no drenado) se realiza generalmente con medición de la presión de poros o neutra con el fin de determinar los parámetros de “C” y “φ” en términos de esfuerzos totales y esfuerzos efectivos.

3.2.11.1.3 Prueba rápida - Prueba sin consolidación y sin drenaje (UU)

En este tipo de prueba no se permite en ninguna etapa la consolidación de la muestra. La válvula de comunicación entre el espécimen y la bureta permanece siempre cerrada impidiendo el drenaje. En primer lugar, se aplica al espécimen una presión hidrostática y de inmediato, se falla el suelo con la aplicación rápida de la carga axial. Los esfuerzos efectivos en esta prueba no se conocen bien. El ensayo UU es usualmente llevado a cabo sobre especímenes de arcilla, enmarcando la realización del ensayo dentro del concepto de resistencia para suelos cohesivos saturados, en donde se expresan los resultados en términos de esfuerzos totales. La envolvente de falla para los criterios de Mohr del esfuerzo total se convierte en una línea horizontal, con una condición de $\varphi = 0°$ (ángulo de fricción) y $\tau f = Cu$, siendo Cu la resistencia al cortante no drenada, la cual es igual al radio de los círculos de Mohr.

Capítulo 4: Metodología y Desarrollo

Para el desarrollo del proyecto se proporcionaron los planos arquitectónicos tanto en planta como en corte, los datos y estudio de suelos proporcionados por la Ingeniera Isabella Rojas, en el cual se establecen todas las recomendaciones geotécnicas requeridas para el desarrollo del proyecto.

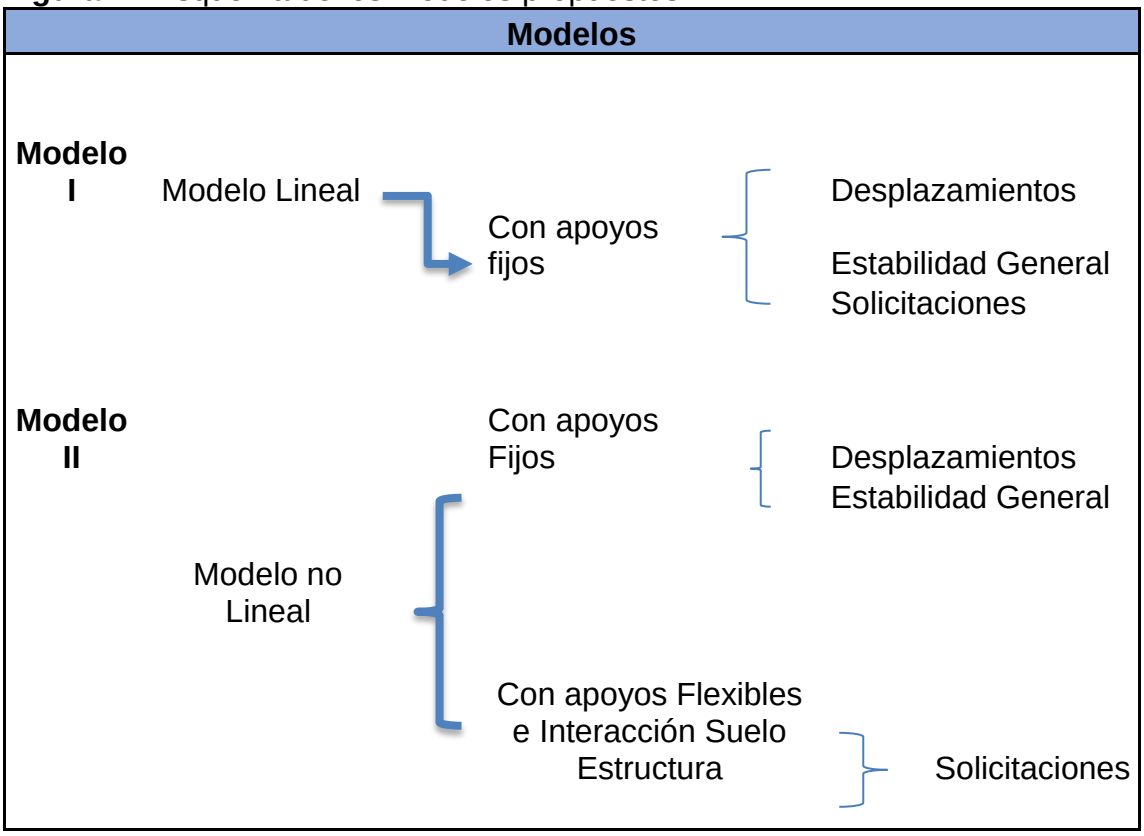
Con esta información se procedió a seguir los lineamientos establecidos en la NSR-10 tabla A.1.3.1, en la cual se establecen los requerimientos mínimos para el análisis y diseño estructural, junto a la experiencia personal y del tutor para plantear el siguiente procedimiento:

- ✓ Definir el tipo de sistema estructural a emplear de acuerdo a las características del proyecto.
- ✓ Evaluar tanto las cargas gravitacionales como horizontales que actúan sobre la estructura. Definiendo estas últimas, de acuerdo a cada una de las zonas lacustres y su espectro de diseño.
- ✓ Elaborar un modelo matemático tridimensional en el Software ETABS V.16.2.1, el cual permite simular la estructura en tres dimensiones estableciendo todas las características geométricas propias de la edificación con el objetivo de obtener las solicitaciones, los desplazamientos y la estabilidad general de la estructura.
- ✓ Determinar las irregularidades que presenta la estructura tanto en planta como altura o ausencia de redundancia. Para este caso no se presentó ninguna de ellas.
- ✓ Obtener los desplazamientos máximos representados en las derivas, la estabilidad general y las solicitaciones para el modelo de análisis elástico lineal
- ✓ Obtener los desplazamientos máximos representados en las derivas y la estabilidad general del modelo análisis no lineal con apoyos rígidos.
- ✓ Representar la cimentación con sus correspondientes características en el modelo de análisis no lineal, con el propósito de considerar la interacción suelo estructura,

teniendo en cuenta la rigidez horizontal y vertical de los cimientos. Con el fin de obtener las solicitaciones.

- ✓ Estudiar y analizar los resultados obtenidos para así realizar las conclusiones y recomendaciones de este estudio.

Figura 14 Esquema de los modelos propuestos.



Fuente: Elaboración Propia.

4.1 Análisis Estructural

4.1.1 Software de Análisis estructural

El análisis estructural fue desarrollado en el software ETAPS V.16.2.1 el cual fue desarrollado por Computers and Structures Inc, compañía que ha estado desarrollando desde 1975 herramientas computacionales que permiten realizar el análisis y diseño en el área de la ingeniería estructural y sísmica. El software emplea el método de elementos finitos para obtener los resultados del análisis de cada uno de los elementos modelados.

4.1.1.1 Sistema estructural y modelación

La estructura se idealiza mediante un modelo tridimensional lineal elástico y no elástico, en donde los elementos vigas y columnas son modelados mediante elementos tipos frame y las losas son modeladas mediante elementos tipo membrane. Para cada elemento se definen tanto sus propiedades geométricas como el tipo de material a emplear en el análisis y diseño. En el caso del modelo no lineal fue necesario obtener el acero de refuerzo del modelo lineal elástico, con estos datos se realizaron las curvas de momento curvatura en el software XTRACT; para definir y asignar en ETABS las rotulas plásticas considerando la distancia relativa a la cara de las vigas y 0 a 1 en el caso de las columnas, estos son dispositivos que permite representar la curvatura de la deformación plástica generada a partir de un momento externo aplicado, generando así una liberación de energía y una rotulación en las conexiones viga-columna. Posteriormente se define un caso de carga no lineal gravitacional combinando las cargas verticales como se menciona en literal 4.2.3 de este trabajo, se continúa definiendo los casos de carga no lineales Push X y Push Y aplicando las cargas según el modo fundamental de mayor preponderancia en cada una de las direcciones principales. Al finalizar el análisis se obtiene la curva de capacidad cortante vs desplazamiento, la cual es bilinealizada considerando el cortante de fluencia, el desplazamiento de fluencia, el cortante último y el desplazamiento ultimo al llevar el análisis al 150% del desplazamiento objetivo. Este último se obtiene como se muestra en las siguientes ecuaciones.

Ecuación 13. Desplazamiento objetivo

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g$$

Fuente: ASCE 41-13 C.7

Ecuación 14. Desplazamiento objetivo

$$\delta_T = C_0 C_1 S_a \left(\frac{T_e}{2\pi}\right)^2 g$$

Fuente: NSR-10 A.3

El cálculo de cada uno de estos coeficientes y el valor del desplazamiento objetivo se muestran en los resultados anexos para cada una de las zonas lacustres.

Para verificar el estado de la estructura al finalizar el análisis, se hacen graficas para evaluar el daño según la cantidad de rotulas formadas y el nivel de desempeño en el que quedan.

La cimentación se representó de forma tridimensional, donde los elementos lineales: pilotes y vigas de cimentación son modelados mediante elementos tipo Frame y los elementos de área (Cabezales) son modelados mediante elementos tipo Shell.

Para considerar la rigidez del suelo tanto vertical y lateral fue necesario definir elementos tipos Spring (resortes) los cuales permiten incorporar los coeficientes de balasto y así tener en cuenta la interacción suelo estructura.

4.2 Cargas

4.2.1 Cargas Gravitacionales

Las cargas gravitacionales empleadas en el modelo son: La carga muerta, La carga viva y la carga viva de cubierta. Para la sobrecarga se utilizo un valor de 0.4 Ton/m^2, lo cual considera acabados y peso de muros internos. Para la carga muerta el programa ETABS considera el peso propio de cada uno de los elementos estructurales modelados, la carga viva y viva de cubierta tienen un valor de 0.18 Ton/m^2, esto corresponde al uso de vivienda según la NSR-10.

4.2.2 Cargas Sísmicas

El proyecto en desarrollo se localiza en la zona de amenaza sísmica intermedia del mapa de microzonificación sísmica de Bogotá, se usan los espectros de diseño definidos para

las zonas lacustres 50, 100, 200,300 y 500 en el decreto de microzonificación sísmica de Bogotá.

4.2.3 Cargas no lineales

Se consideraron las cargas no lineales a partir de los resultados de una combinación inicial de cargas gravitacionales del 110% de carga muerta y el 25% de la carga viva, para los casos de carga Push X y Y (Direcciones principales horizontales), considerando el modo fundamental de vibración correspondiente a cada dirección.

4.3 Método de análisis

4.3.1 Fuerza horizontal equivalente

El método de análisis sísmico es el horizontal equivalente cuyo uso está permitido en A.3.4 de la NSR-10, para el desarrollo de este método se siguen los lineamientos del capítulo A4.

4.3.2 Análisis dinámico elástico

Este método de análisis es permitido según el A.3.4 de la norma NSR-10, para el desarrollo de este método se siguen los lineamientos requeridos del capítulo A5. El número de modos empleados es tal que se obtenga para dicha cantidad de modos al menos al 90% de la masa participante de la estructura con el objeto de tener una respuesta dinámica significativa de la estructura.

4.3.3 Análisis no Lineal

Este método de análisis es permitido según el A.3 de la norma NSR-10, para el desarrollo de este método se siguen los lineamientos requeridos en dicho apéndice. La estructura debe ser analizada para la aplicación de las acciones sísmicas ocurriendo simultáneamente con los efectos de cargas verticales combinadas como se mencionó

anteriormente. Estas fuerzas laterales se aplican en el centro de masas de cada nivel y son proporcionales a la distribución obtenida en el análisis modal para el modo fundamental de respuesta en cada dirección. Las cargas laterales se incrementan de manera monotónica. Los incrementos de la fuerza se realizan de tal manera que sean los suficientemente pequeños para permitir y detectar los cambios significativos en el comportamiento de los elementos individuales tales como la fluencia y la falla. En cada paso se registró el total de la fuerza aplicada y el desplazamiento lateral, este análisis se lleva hasta que el desplazamiento del punto de control es por lo menos 150% del desplazamiento objetivo determinado de acuerdo a la sección A.3.2.5 del Apéndice A-3 de la NSR-10, y el capítulo 7 del ASCE 41-13.

4.4 Diseño Estructural

El diseño estructural se realizó considerando los efectos preponderantes y los tipos de falla en cada elemento; las vigas se realizaron considerando la teoría de resistencia ultima utilizando la ecuación de Whitney, para el diseño a corte considerando en capitulo C.21, el software ETABS calcula el cortante máximo probable como la suma del cortante gravitacional más el cortante probable, el cual se comprende como la sumatoria de los momentos actuantes en cada extremo dividido en la luz, para respetar lo que dice la norma se amplifica los efectos cortantes por un factor de 2.

Ecuación 15. Diseño a flexión

$$\emptyset M_n = \emptyset \left[\rho f_y \left(1 - 0.59 \rho \frac{f_y}{f_c'} \right) \right] b d^2$$

Fuente: Manual ETABS 2016.

Ecuación 16. Diseño a Corte

$$Vc = 0.17.\lambda.\sqrt{f'}.b_w.d$$ Para miembros sin carga axial.

$$Vc = 0.17.\lambda.\left(1 + \frac{N_u}{14.A_g}\right).\sqrt{f'_c}.b_w.d$$ Para miembros con compresión axial.

$$Vc = 0.17.\lambda.\left(1 + \frac{N_u}{3.5.A_g}\right).\sqrt{f'_c}.b_w.d$$

Para miembros con tracción axial significativa. Un es negativo para la tracción.

Fuente: NSR-10 C.11.2

Para las columnas se consideró el diagrama de interacción biaxial en cada una de las direcciones de las mismas para el diseño de a flexión, para el diseño a corte también se considera el máximo cortante probable amplificado por la sobreresistencia.

4.5 Combinaciones de carga

4.5.1 Combinaciones de carga para derivas

Las derivas se calcularon a partir del espectro de deriva sin reducir por R en cada una de las direcciones y para cada zona lacustre, para revisar la irregularidad torsional se utilizaron las siguientes combinaciones de carga, que consideran el espectro de deriva:

Figura 15. Combinaciones de Carga para Derivas

	C.M.	C.V.	SISMO X	SISMO Y
1	1.4			
2	1.2	1.6		
3	1.2	1.0	+ F.a	
4	1.2	1.0	- F.a	
5	1.2	1.0		+ F.a
6	1.2	1.0		- F.a
7	0.9		+ F.a	
8	0.9		- F.a	
9	0.9			+ F.a
10	0.9			- F.a

Fuente: Alexander Duran, clase 8 diseño sismo-resistente y verificación del desempeño.

4.5.2 Combinaciones de carga de Diseño

Figura 16. Combinaciones de Carga de Diseño

COMBINACIONES DE CARGA DE DISEÑO DE COLUMNAS Y VIGAS (FLEXIÓN)

	C.M.		C.V.		SISMO X		SISMO Y
D1	1.4						
D2	1.2	+	1.6				
D3	1.2	+	1.0	+	F.a / R	+	0.3 F.a / R
D4	1.2	+	1.0	+	F.a / R	-	0.3 F.a / R
D5	1.2	+	1.0	-	F.a / R	+	0.3 F.a / R
D6	1.2	+	1.0	-	F.a / R	-	0.3 F.a / R
D7	1.2	+	1.0	+	0.3 F.a / R	+	F.a / R
D8	1.2	+	1.0	-	0.3 F.a / R	+	F.a / R
D9	1.2	+	1.0	+	0.3 F.a / R	-	F.a / R
D10	1.2	+	1.0	-	0.3 F.a / R	-	F.a / R
D11	0.9			+	F.a / R	+	0.3 F.a / R
D12	0.9			+	F.a / R	-	0.3 F.a / R
D13	0.9			-	F.a / R	+	0.3 F.a / R
D14	0.9			-	F.a / R	-	0.3 F.a / R
D15	0.9			+	0.3 F.a / R	+	F.a / R
D16	0.9			-	0.3 F.a / R	+	F.a / R
D17	0.9			+	0.3 F.a / R	-	F.a / R
D18	0.9			-	0.3 F.a / R	-	F.a / R

Fuente: Alexander Duran, clase 8 diseño sismo-resistente y verificación del desempeño.

4.5.3 Combinaciones de carga de vigas para corte

Figura 17. Combinaciones de Carga de Vigas para Corte

3.0. DISEÑO DE VIGAS (CORTANTE) -- Según literal C.21.3.3 (NSR-10)

	C.M.		C.V.		SISMO X		SISMO Y
DV1	1.4						
DV2	1.2	+	1.6				
DV3	1.2	+	1.0	+	2*F.a / R	+	2*0.3* F.a / R
DV4	1.2	+	1.0	+	2*F.a / R	-	2*0.3* F.a / R
DV5	1.2	+	1.0	-	2*F.a / R	+	2*0.3* F.a / R
DV6	1.2	+	1.0	-	2*F.a / R	-	2*0.3* F.a / R
DV7	1.2	+	1.0	+	2*0.3* F.a / R	+	2*F.a / R
DV8	1.2	+	1.0	-	2*0.3* F.a / R	+	2*F.a / R
DV9	1.2	+	1.0	+	2*0.3* F.a / R	-	2*F.a / R
DV10	1.2	+	1.0	-	2*0.3* F.a / R	-	2*F.a / R
DV11	0.9			+	2*F.a / R	+	2*0.3* F.a / R
DV12	0.9			+	2*F.a / R	-	2*0.3* F.a / R
DV13	0.9			-	2*F.a / R	+	2*0.3* F.a / R
DV14	0.9			-	2*F.a / R	-	2*0.3* F.a / R
DV15	0.9			+	2*0.3* F.a / R	+	2*F.a / R
DV16	0.9			-	2*0.3* F.a / R	+	2*F.a / R
DV17	0.9			+	2*0.3* F.a / R	-	2*F.a / R
DV18	0.9			-	2*0.3* F.a / R	-	2*F.a / R

Fuente: Alexander Duran, clase 8 diseño sismo-resistente y verificación del desempeño.

4.5.4 Combinaciones de carga de Columnas para corte

Figura 18. Combinaciones de Cargas de Columnas para Corte

3.0. DISEÑO DE COLUMNAS (CORTANTE) -- Según literal C.21.3.3 (NSR-10)

	C.M.		C.V.R		SISMO X		SISMO Y
DC1	1.4						
DC2	1.2	+	1.6				
DC3	1.2	+	1.0	+	Ω_0*F.a / R	+	0.3* Ω_0*F.a / R
DC4	1.2	+	1.0	+	Ω_0*F.a / R	-	0.3* Ω_0*F.a / R
DC5	1.2	+	1.0	-	Ω_0*F.a / R	+	0.3* Ω_0*F.a / R
DC6	1.2	+	1.0	-	Ω_0*F.a / R	-	0.3* Ω_0*F.a / R
DC7	1.2	+	1.0	+	0.3* Ω_0*F.a / R	+	Ω_0*F.a / R
DC8	1.2	+	1.0	-	0.3* Ω_0*F.a / R	+	Ω_0*F.a / R
DC9	1.2	+	1.0	+	0.3* Ω_0*F.a / R	-	Ω_0*F.a / R
DC10	1.2	+	1.0	-	0.3* Ω_0*F.a / R	-	Ω_0*F.a / R
DC11	0.9			+	Ω_0*F.a / R	+	0.3* Ω_0*F.a / R
DC12	0.9			+	Ω_0*F.a / R	-	0.3* Ω_0*F.a / R
DC13	0.9			-	Ω_0*F.a / R	+	0.3* Ω_0*F.a / R
DC14	0.9			-	Ω_0*F.a / R	-	0.3* Ω_0*F.a / R
DC15	0.9			+	0.3* Ω_0*F.a / R	+	Ω_0*F.a / R
DC16	0.9			-	0.3* Ω_0*F.a / R	+	Ω_0*F.a / R
DC17	0.9			+	0.3* Ω_0*F.a / R	-	Ω_0*F.a / R
DC18	0.9			-	0.3* Ω_0*F.a / R	-	Ω_0*F.a / R

Fuente: Alexander Duran, clase 8 diseño sismo-resistente y verificación del desempeño.

4.6 Tipo de Estudio

El estudio es de tipo correlacional, porque permite visualizar como se relacionan o vinculan los fenómenos asociados a la interacción suelo estructura y el análisis no lineal, lo más importante de éste es conocer cómo se comporta el suelo al ser excitado por un movimiento sísmico, adicionando a esto el comportamiento no lineal del mismo y la estructura. De igual manera se relaciona el análisis elástico convencional con un análisis inelástico, lo que implica llevar el suelo y la estructura a su máxima capacidad ante solicitaciones sísmicas.

4.7 Método de análisis e interpretación de los datos

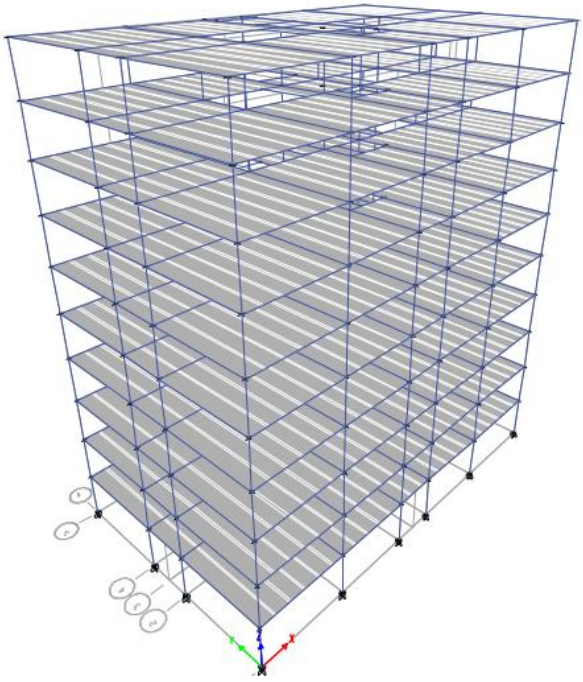
Se hará uso del método comparativo que correlaciona datos cuantitativos en caminados evidenciar el beneficio de la interacción suelo estructura, en relación al análisis convencional.

Capítulo 5: Resultados

5.1 Análisis lineal elástico

5.1.1 Zona lacustre 50

Figura 19. Modelo lineal zona lacustre 50



Fuente: Elaboración Propia, ETABS

Estructura de 10 pisos con luces entre ejes de 4 a 6 metros destinada para vivienda, altura de entrepisos 2.75 m. Con vigas de 40x40 cm, columnas 40x160 cm y 40x100 cm, en anexo 1 se presenta la planta arquitectónica de dicha edificación.

5.1.1.1 Deriva lacustre 50

Tabla 8. Derivas zona lacustre 50

PISO	H PISO (m)		DERIVA EN X (%)		DERIVA EN Y (%)
N+27.5	2.75		0.45		0.51
N+24.75	2.75		0.54		0.60

N+22.00	2.75		0.66		0.72
N+19.25	2.75		0.78		0.84
N+16.5	2.75		0.88		0.93
N+13.75	2.75		0.94		0.99
N+11.00	2.75		0.94		0.99
N+8.25	2.75		0.87		0.90
N+5.50	2.75		0.68		0.70
N+2.75	2.75		0.31		0.32
N+0.00	0		0.00		0.00

$$\Delta a = \sqrt{(\delta x_1 - \delta x_2)^2 + (\delta y_1 - \delta y_2)^2}$$

Da = Deriva del análisis.
Dr = Deriva permitida.
(0.01 h)

DERIVA SENTIDO X

	H piso (m)	d x (m)	d y (m)	Da (cm)	Dr (cm)	Comprobación	%
N+27.5	2.75	0.1842	0.0607	1.23	2.75	OK	0.45
N+24.75	2.75	0.1726	0.0566	1.49	2.75	OK	0.54
N+22.00	2.75	0.1585	0.0517	1.82	2.75	OK	0.66
N+19.25	2.75	0.1413	0.0458	2.14	2.75	OK	0.78
N+16.5	2.75	0.1210	0.0391	2.41	2.75	OK	0.88
N+13.75	2.75	0.0981	0.0315	2.58	2.75	OK	0.94
N+11.00	2.75	0.0735	0.0235	2.60	2.75	OK	0.94
N+8.25	2.75	0.0488	0.0155	2.40	2.75	OK	0.87
N+5.50	2.75	0.0260	0.0082	1.87	2.75	OK	0.68
N+2.75	2.75	0.0082	0.0025	0.85	2.75	OK	0.31

DERIVA SENTIDO Y

	H piso (m)	d x (m)	d y (m)	Da (cm)	Dr (cm)	Comprobación	%
N+27.5	2.75	0.05550	0.1989	1.40	2.75	OK	0.51
N+24.75	2.75	0.05201	0.1853	1.66	2.75	OK	0.60
N+22.00	2.75	0.04776	0.1693	1.99	2.75	OK	0.72
N+19.25	2.75	0.04257	0.1501	2.31	2.75	OK	0.84
N+16.5	2.75	0.03645	0.1279	2.57	2.75	OK	0.93
N+13.75	2.75	0.02955	0.1031	2.72	2.75	OK	0.99
N+11.00	2.75	0.02216	0.0769	2.72	2.75	OK	0.99
N+8.25	2.75	0.01471	0.0508	2.49	2.75	OK	0.90
N+5.50	2.75	0.00783	0.0268	1.93	2.75	OK	0.70
N+2.75	2.75	0.00246	0.0083	0.87	2.75	OK	0.32

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.2 Estabilidad General

CÁLCULO INDICE DE ESTABILIDAD Qi (A.6.2.3)

No de pisos 10
H piso 2.75

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

Sentido X

Tabla9.Estabilidad

PISO	MASA	P_{MUERTA}	P_{VIVA}	P_{TOTAL}	Δ_{CM}	V_I	Q_I	CHECK	CHECK
	Ton-s²/m	Ton	Ton	Ton	H_{pi}	ton		P-Delta	Estabilidad
N+27.5	27.70374	271.680882	58.8861	330.566982	0.004283	228.3905	0.003	ok	estable
N+24.75	41.46991	406.680893	118.3423	525.023193	0.00521	512.5422	0.002	ok	estable
N+22.00	41.46991	406.680893	177.7984	584.479293	0.006341	761.3226	0.002	ok	estable
N+19.25	41.46991	406.680893	237.2545	643.935393	0.007451	978.6399	0.002	ok	estable
N+16.5	41.46991	406.680893	296.7106	703.391493	0.008369	1164.858	0.002	ok	estable
N+13.75	41.46991	406.680893	356.1668	762.847693	0.008944	1319.0254	0.002	ok	estable
N+11.00	41.46991	406.680893	415.6229	822.303793	0.009001	1439.7361	0.002	ok	estable
N+8.25	41.46991	406.680893	475.079	881.759893	0.008302	1525.7753	0.002	ok	estable
N+5.50	41.46991	406.680893	534.5352	941.216093	0.006488	1577.0956	0.002	ok	estable
N+2.75	41.46991	406.680893	593.9913	1000.67219	0.002964	1596.7738	0.001	ok	estable

Sentido Y

PISO	MASA	P_{MUERTA}	P_{VIVA}	P_{TOTAL}	Δ_{CM}	V_I	Q_I	CHECK	CHECK
	Ton-s²/m	Ton	Ton	Ton	H_{pi}	ton		P-Delta	Estabilidad
N+27.5	27.70374	271.680882	58.8861	330.566982	0.005091	232.0026	0.003	ok	estable
N+24.75	41.46991	406.680893	118.3423	525.023193	0.006042	518.4357	0.003	ok	estable
N+22.00	41.46991	406.680893	177.7984	584.479293	0.007197	767.4814	0.002	ok	estable
N+19.25	41.46991	406.680893	237.2545	643.935393	0.00832	983.8227	0.002	ok	estable
N+16.5	41.46991	406.680893	296.7106	703.391493	0.009227	1168.4137	0.003	ok	estable
N+13.75	41.46991	406.680893	356.1668	762.847693	0.009754	1320.7632	0.003	ok	estable
N+11.00	41.46991	406.680893	415.6229	822.303793	0.009719	1439.8008	0.003	ok	estable
N+8.25	41.46991	406.680893	475.079	881.759893	0.008876	1524.5371	0.002	ok	estable
N+5.50	41.46991	406.680893	534.5352	941.216093	0.006863	1575.0553	0.002	ok	estable
N+2.75	41.46991	406.680893	593.9913	1000.67219	0.003097	1594.4418	0.001	ok	estable

5.1.1.3 Análisis estructural y solicitaciones

El Análisis Sísmico se realizará por el método del Análisis Dinámico.

El programa de análisis estructural ETABS realiza directamente el análisis dinámico utilizando el Espectro Elástico de Diseño, el cual se elabora según parámetros del espectro obtenido de la Microzonificación del sitio.

Tabla 10. Calculo de masa lacustre 50.

PISO	Área [m²]	Carga Muerta [Ton/m²]	Masa [Ton s²/m]
N+27.5	323.98	**0.770**	27.62
N+24.75	323.98	**1.116**	41.59
N+22.00	323.98	**1.116**	41.59
N+19.25	323.98	**1.116**	41.59
N+16.5	323.98	**1.116**	41.59
N+13.75	323.98	**1.116**	41.59
N+11.00	323.98	**1.116**	41.59
N+8.25	323.98	**1.116**	41.59
N+5.50	323.98	**1.116**	41.59
N+2.75	323.98	**1.116**	41.59
N+0.00	323.98	**0.137**	4.52

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Fuerza horizontal equivalente sentido X lacustre 50.

PISO	W = g m [T]	ALTURA PISO [m]	h (acumulado) [m]	m h ^{k}	Cvx	Fx	NIVEL
N+27.5	270.94		27.50	2099.12	0.15	304.08	27.50
		2.75					
N+24.75	408.00		24.75	2754.37	0.19	399.00	24.75
		2.75					
N+22.00	408.00		22.00	2361.46	0.17	342.08	22.00
		2.75					
N+19.25	408.00		19.25	1983.35	0.14	287.31	19.25
		2.75					
N+16.5	408.00		16.50	1621.51	0.11	234.89	16.50
		2.75					
N+13.75	408.00		13.75	1277.76	0.09	185.10	13.75
		2.75					
N+11.00	408.00		11.00	954.58	0.07	138.28	11.00
		2.75					

N+8.25	408.00		8.25	655.47	0.05	94.95	8.25
		2.75					
N+5.50	408.00		5.50	385.88	0.03	55.90	5.50
		2.75					
N+2.75	408.00		2.75	155.98	0.01	22.60	2.75
		2.75					
N+0.00	44.31						
			Σ	14249.49	1.00	2064.20	

PESO TOTAL EDIFICIO	3,987 Ton
PESO TOTAL SISMICO	3,931.81 Ton

Ct = 0.047
hn = 27.50 m
Ta = 0.928 s

T = Cu*Ta
Cu = 1.75-1.2AvFv
Cu = 1.05
T = 1.11 s Periodo Estático

Sa = 0.53 g
K = 1.31

Tabla A.4.2-1
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas.

(Ta = Ct $hn^{0.9}$)

Fuente: Elaboración propia.

Cortante estático

Sax = 0.525 g

Vsx = 2,064.20 Ton (Vs = Sa×Westructura)

Cortante sísmico en la base

Tx **=** 1.049 g Definitivo entre Estático y Análisis modal

Sax = 0.525 g

Vsx = 2,064.20 Ton Vsx = 412.84 Ton Cortante de Diseño

Tabla 12. Fuerza horizontal equivalente sentido Y lacustre 50.

PISO	W = g m [T]	ALTURA PISO [m]	h (acumulado) [m]	m h ^{k}	Cvx	Fx	NIVEL
N+27.5	270.94		27.50	2099.12	0.15	304.08	27.50
		2.75					
N+24.75	408.00		24.75	2754.37	0.19	399.00	24.75
		2.75					
N+22.00	408.00		22.00	2361.46	0.17	342.08	22.00
		2.75					
N+19.25	408.00		19.25	1983.35	0.14	287.31	19.25
		2.75					
N+16.5	408.00		16.50	1621.51	0.11	234.89	16.50
		2.75					
N+13.75	408.00		13.75	1277.76	0.09	185.10	13.75
		2.75					
N+11.00	408.00		11.00	954.58	0.07	138.28	11.00
		2.75					
N+8.25	408.00		8.25	655.47	0.05	94.95	8.25
		2.75					
N+5.50	408.00		5.50	385.88	0.03	55.90	5.50
		2.75					
N+2.75	408.00		2.75	155.98	0.01	22.60	2.75
		2.75					
N+0.00	44.31						
			Σ	14249.49	1.00	2064.20	

PESO TOTAL EDIFICIO	3,987 Ton
PESO TOTAL SISMICO	3,931.81 Ton

Ct = 0.047
hn = 27.50 m
Ta = 0.928 s

T = Cu*Ta
Cu = 1.75-1.2AvFv
Cu = 1.05
T = 1.11 s Periodo Estático
Sa = 0.53 g
K = 1.31

Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas.

(Ta = Ct $hn^{0.9}$)

Fuente: Elaboración propia.

Cortante estático

Say = 0.525 g

Vsy = 2,064.20 Ton (Vs = Sa×Westructura)

Cortante sísmico en la base

Ty = 1.000 g Definitivo entre FH y Análisis modal

Say = 0.525 g

Vsy = 2,064.20 Ton Vsy = 412.84 Ton

AJUSTE DE LOS RESULTADOS

Irregularidad de la estructura = REGULAR

Si la estructura es Regular, el cortante dinámico en la base no puede ser menor que el 80 % del cortante calculado por Fuerza Horizontal Equivalente NSR-10

CORTANTE DINAMICO EN LA BASE:

Vtx	=	1,666.09 Ton	> 0.80 Vs =	1,651.36 T	OK	Obtenido (Base reactions)	Factor A. 0.9991
Vty	=	1,665.46 Ton	> 0.80 Vs =	1,651.36 T	OK	Obtenido (Base reactions)	Factor A. 0.9992

PERIODO DE LA ESTRUCTURA DETERMINADO EN EL ANALISIS MODAL

Tx = 1.05 s Ty = 1.00 s
Sax = 0.525 Say= 0.525

Tabla 13. Participación de masa modal lacustre 50

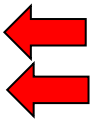
TABLE: Modal Load Participation Ratios

Case	Item Type	Item	Static	Dynamic
			%	%
Modal	Acceleration	UX	100	99.99
Modal	Acceleration	UY	100	99.99

Fuente: ETABS

Tabla 14. Análisis modal lacustre 50

TABLE: Modal Participating Mass Ratios				
Case	**Mode**	**Period**	**UX**	**UY**
		sec		
Modal	1	1.049	0	0.7417
Modal	2	1	0.7475	0
Modal	3	0.866	0.0003	0
Modal	4	0.294	0	0.1266
Modal	5	0.285	0.1221	0
Modal	6	0.235	0.00002743	0
Modal	7	0.138	0	0.0546
Modal	8	0.136	0.0537	0
Modal	9	0.107	0.000006676	0
Modal	10	0.08	0	0.0306
Modal	11	0.079	0.0302	0
Modal	12	0.06	0.000002921	0
Modal	13	0.052	0	0.0189
Modal	14	0.052	0.0187	0
Modal	15	0.039	0.000001861	0
Modal	16	0.037	0	0.0122
Modal	17	0.037	0.0121	0
Modal	18	0.029	0	0.0078
Modal	19	0.029	0.0078	0
Modal	20	0.028	0	0
Modal	21	0.023	0	0.0047
Modal	22	0.023	0.0046	0
Modal	23	0.021	0	0
Modal	24	0.02	0	0.0023
Modal	25	0.02	0.0023	0
Modal	26	0.019	0	0.0006
Modal	27	0.019	0.0006	0
Modal	28	0.018	0	0
Modal	29	0.015	0	0
Modal	30	0.014	0	0



Fuente: ETABS.

Tabla 15. Redacciones en la base para análisis dinámico lacustre 50

TABLE: Base Reactions		
Load Case/Combo	**FX**	**FY**
	tonf	tonf
DERIVAX Max	1596.7738	475.5718
DERIVAY Max	481.1549	1594.4418

Fuente: ETABS.

CORTANTE DINAMICO EN LA BASE

Cortante basal en SENTIDO X:

F1 = 1,596.77 Ton

F2 = 475.57 Ton

Vtx = $\sqrt[2]{(F1^2)+(F2^2)}$ = 1,666.09 Ton

Cortante basal en SENTIDO Y:

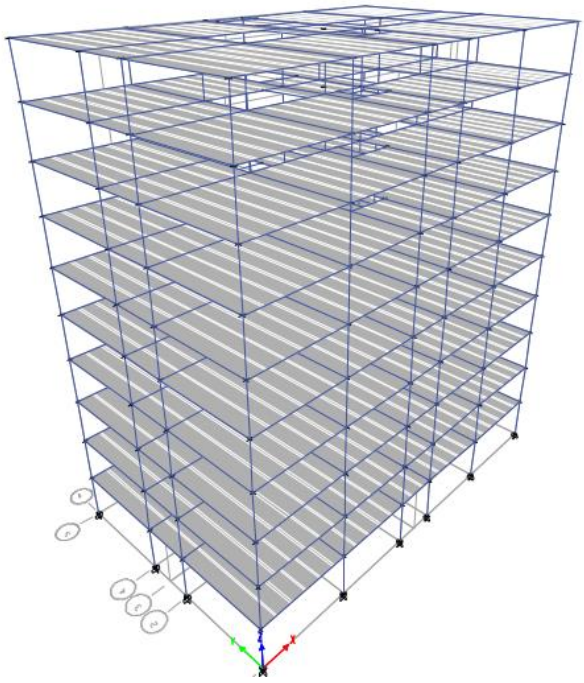
F1 = 481.15 Ton

F2 = 1,594.44 Ton

Vty = $\sqrt[2]{(F1^2)+(F2^2)}$ = 1,665.46 Ton

5.1.2 Zona lacustre 100

Figura 20. Modelo lineal zona lacustre 100



Fuente: Elaboración Propia, ETABS.

Estructura de 10 pisos con luces entre ejes de 4 a 6 metros destinada para vivienda, altura de entrepisos 2.75 m. Con vigas de 40x40 cm, columnas 40x160 cm y 40x100 cm, en anexo 1 se presenta la planta arquitectónica de dicha edificación.

5.1.2.1 Deriva lacustre 100

Tabla 16. Derivas zona lacustre 100

PISO	ALTURA DE PISO	DERIVA EN X (%)	DERIVA EN Y (%)
N+27.5	**2.75**	**0.42**	**0.48**
N+24.75	**2.75**	**0.51**	**0.57**
N+22.00	**2.75**	**0.62**	**0.68**
N+19.25	**2.75**	**0.72**	**0.79**
N+16.5	**2.75**	**0.82**	**0.88**
N+13.75	**2.75**	**0.87**	**0.94**
N+11.00	2.75	0.88	0.94

N+8.25	2.75	0.81	0.86
N+5.50	2.75	0.63	0.66
N+2.75	2.75	0.29	0.30
N+0.00	0	0.00	0.00

$$\Delta a = \sqrt{(\delta x_1 - \delta x_2)^2 + (\delta y_1 - \delta y_2)^2}$$

Da = Deriva del análisis.
Dr = Deriva permitida.
(0.01 h)

DERIVA SENTIDO X								
	H piso (m)	***δx*** (m)	***δy*** (m)	**Da** (cm)	**Dr** (cm)	**Comprobación**		%
N+27.5	2.75	0.1714	0.0565	1.14	2.75		OK	0.42
N+24.75	2.75	0.1606	0.0527	1.39	2.75		OK	0.51
N+22.00	2.75	0.1475	0.0481	1.69	2.75		OK	0.62
N+19.25	2.75	0.1314	0.0427	1.99	2.75		OK	0.72
N+16.5	2.75	0.1125	0.0363	2.24	2.75		OK	0.82
N+13.75	2.75	0.0912	0.0293	2.40	2.75		OK	0.87
N+11.00	2.75	0.0684	0.0219	2.42	2.75		OK	0.88
N+8.25	2.75	0.0454	0.0144	2.23	2.75		OK	0.81
N+5.50	2.75	0.0242	0.0076	1.74	2.75		OK	0.63
N+2.75	2.75	0.0076	0.0024	0.79	2.75		OK	0.29
DERIVA SENTIDO Y								
	H piso (m)	***δx*** (m)	***δy*** (m)	**Da** (cm)	**Dr** (cm)	**Comprobación**		%
N+27.5	2.75	0.05159	0.1886	1.32	2.75		OK	0.48
N+24.75	2.75	0.04834	0.1758	1.57	2.75		OK	0.57
N+22.00	2.75	0.04439	0.1606	1.88	2.75		OK	0.68
N+19.25	2.75	0.03957	0.1424	2.19	2.75		OK	0.79
N+16.5	2.75	0.03388	0.1213	2.43	2.75		OK	0.88
N+13.75	2.75	0.02747	0.0978	2.58	2.75		OK	0.94
N+11.00	2.75	0.02060	0.0729	2.58	2.75		OK	0.94
N+8.25	2.75	0.01367	0.0481	2.36	2.75		OK	0.86
N+5.50	2.75	0.00728	0.0255	1.82	2.75		OK	0.66
N+2.75	2.75	0.00228	0.0079	0.82	2.75		OK	0.30

Fuente: Elaboración propia

5.1.2.2 Estabilidad General

CÁLCULO INDICE DE ESTABILIDAD Qi (A.6.2.3)

No de pisos 10
H piso 2.75
Sentido X

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

Tabla 17. Estabilidad

PISO	MASA	P_{MUERTA}	P_{VIVA}	P_{TOTAL}	Δ_{CM}	V_I	Q_I	CHECK	CHECK
	Ton-s²/m	Ton	Ton	Ton	H_{pi}	ton		P-Delta	Estabilidad
N+27.5	27.70374	271.680882	58.8861	330.566982	0.003985	212.5031	0.003	ok	estable
N+24.75	41.46991	406.680893	118.3423	525.023193	0.004848	476.8884	0.002	ok	estable
N+22.00	41.46991	406.680893	177.7984	584.479293	0.0059	708.363	0.002	ok	estable
N+19.25	41.46991	406.680893	237.2545	643.935393	0.006933	910.5632	0.002	ok	estable
N+16.5	41.46991	406.680893	296.7106	703.391493	0.007787	1083.8275	0.002	ok	estable
N+13.75	41.46991	406.680893	356.1668	762.847693	0.008322	1227.2706	0.002	ok	estable
N+11.00	41.46991	406.680893	415.6229	822.303793	0.008375	1339.5843	0.002	ok	estable
N+8.25	41.46991	406.680893	475.079	881.759893	0.007725	1419.6384	0.002	ok	estable
N+5.50	41.46991	406.680893	534.5352	941.216093	0.006037	1467.3888	0.002	ok	estable
N+2.75	41.46991	406.680893	593.9913	1000.67219	0.002758	1485.6981	0.001	ok	estable

Sentido Y

PISO	MASA	P_{MUERTA}	P_{VIVA}	P_{TOTAL}	Δ_{CM}	V_I	Q_I	CHECK	CHECK
	Ton-s²/m	Ton	Ton	Ton	H_{pi}	ton		P-Delta	Estabilidad
N+27.5	27.70374	271.680882	58.8861	330.566982	0.004732	215.652	0.003	ok	estable
N+24.75	41.46991	406.680893	118.3423	525.023193	0.005616	481.8984	0.003	ok	estable
N+22.00	41.46991	406.680893	177.7984	584.479293	0.00669	713.3924	0.002	ok	estable
N+19.25	41.46991	406.680893	237.2545	643.935393	0.007734	914.4868	0.002	ok	estable
N+16.5	41.46991	406.680893	296.7106	703.391493	0.008577	1086.0685	0.003	ok	estable
N+13.75	41.46991	406.680893	356.1668	762.847693	0.009067	1227.6811	0.003	ok	estable
N+11.00	41.46991	406.680893	415.6229	822.303793	0.009034	1338.3294	0.003	ok	estable
N+8.25	41.46991	406.680893	475.079	881.759893	0.008251	1417.0939	0.002	ok	estable
N+5.50	41.46991	406.680893	534.5352	941.216093	0.006379	1464.0517	0.002	ok	estable
N+2.75	41.46991	406.680893	593.9913	1000.67219	0.002879	1482.0719	0.001	ok	estable

5.1.2.3 Análisis estructural y solicitaciones

El Análisis Sísmico se realizará por el método del Análisis Dinámico.

El programa de análisis estructural ETABS realiza directamente el análisis dinámico utilizando el Espectro Elástico de Diseño, el cual se elabora según parámetros del espectro obtenido de la Microzonificación del sitio.

Tabla 18. Calculo de masa lacustre 100.

PISO	Área [m²]	Carga Muerta [Ton/m²]	Masa [Ton s²/m]
N+27.5	323.98	**0.770**	27.62
N+24.75	323.98	**1.116**	41.59
N+22.00	323.98	**1.116**	41.59
N+19.25	323.98	**1.116**	41.59
N+16.5	323.98	**1.116**	41.59
N+13.75	323.98	**1.116**	41.59
N+11.00	323.98	**1.116**	41.59
N+8.25	323.98	**1.116**	41.59
N+5.50	323.98	**1.116**	41.59
N+2.75	323.98	**1.116**	41.59
N+0.00	323.98	**0.137**	4.52

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Fuerza horizontal equivalente sentido X lacustre 100.

PISO	W = g m [T]	ALTURA PISO [m]	h (acumulado) [m]	m h ^{k}	Cvx	Fx	NIVEL
N+27.5	270.94		27.50	2099.12	0.15	282.65	27.50
		2.75					
N+24.75	408.00		24.75	2754.37	0.19	370.88	24.75
		2.75					
N+22.00	408.00		22.00	2361.46	0.17	317.98	22.00
		2.75					
N+19.25	408.00		19.25	1983.35	0.14	267.06	19.25
		2.75					
N+16.5	408.00		16.50	1621.51	0.11	218.34	16.50
		2.75					
N+13.75	408.00		13.75	1277.76	0.09	172.05	13.75
		2.75					
N+11.00	408.00		11.00	954.58	0.07	128.54	11.00
		2.75					

N+8.25	408.00		8.25	655.47	0.05	88.26	8.25
		2.75					
N+5.50	408.00		5.50	385.88	0.03	51.96	5.50
		2.75					
N+2.75	408.00		2.75	155.98	0.01	21.00	2.75
		2.75					
N+0.00	44.31						
			Σ	14249.49	1.00	1918.72	

PESO TOTAL EDIFICIO	3,987 Ton
PESO TOTAL SISMICO	3,931.81 Ton

Tabla A.4.2-1
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas.

Ct = 0.047
hn = 27.50 m
Ta = 0.928 s

(Ta = Ct $hn^{0.9}$)

T = Cu*Ta
Cu = 1.75-1.2AvFv
Cu = 0.98
T = 1.11 s Periodo Estático

Sa = 0.49 g
K = 1.31

Fuente: Elaboración Propia.

Cortante estático

Sax = 0.488 g

Vsx = 1,918.72 Ton (Vs = Sa×Westructura)

Cortante sísmico en la base

Tx **=** 1.000 g Definitivo entre Estático y Análisis modal

Sax = 0.488 g

Vsx = 1,918.72 Ton Vsx = 383.74 Ton Cortante de Diseño

Tabla 20. Fuerza horizontal equivalente sentido Y lacustre 100.

PISO	W = g m [T]	ALTURA PISO [m]	h (acumulado) [m]	m h ^{k}	Cvx	Fx	NIVEL
N+27.5	270.94		27.50	27.62	0.00	3.72	27.50
		2.75					
N+24.75	408.00		24.75	41.59	0.00	5.60	24.75
		2.75					
N+22.00	408.00		22.00	41.59	0.00	5.60	22.00
		2.75					
N+19.25	408.00		19.25	41.59	0.00	5.60	19.25
		2.75					
N+16.5	408.00		16.50	41.59	0.00	5.60	16.50
		2.75					
N+13.75	408.00		13.75	41.59	0.00	5.60	13.75
		2.75					
N+11.00	408.00		11.00	41.59	0.00	5.60	11.00
		2.75					
N+8.25	408.00		8.25	41.59	0.00	5.60	8.25
		2.75					
N+5.50	408.00		5.50	41.59	0.00	5.60	5.50
		2.75					
N+2.75	408.00		2.75	41.59	0.00	5.60	2.75
		2.75					
N+0.00	44.31						
			Σ	401.93	0.03	54.12	

PESO TOTAL EDIFICIO	3,987 Ton
PESO TOTAL SISMICO	3,931.81 Ton

Ct = 0.047
hn = 27.50 m
Ta = 0.928 s

T = Cu*Ta
Cu = 1.75-1.2AvFv
Cu = 0.98
T = 1.11 s Periodo Estático

Sa = 0.49 g
K = 1.31

Tabla A.4.2-1
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas.

(Ta = Ct $hn^{0.9}$)

Fuente: Elaboración Propia.

AJUSTE DE LOS RESULTADOS

Irregularidad de la estructura = REGULAR

Si la estructura es Regular, el cortante dinámico en la base no puede ser menor que el 80 % del cortante calculado por Fuerza Horizontal Equivalente NSR-10

CORTANTE DINAMICO EN LA BASE:

Vtx	=	1,550.19 Ton	> 0.80 Vs =	1,534.98 T	OK	Obtenido (Base reactions)	Factor A.	0.990
Vty	=	1,548.08 Ton	> 0.80 Vs =	1,534.98 T	OK	Obtenido (Base reactions)	Factor A.	0.992

PERIODO DE LA ESTRUCTURA DETERMINADO EN EL ANALISIS MODAL

Tx = 1.00 s Ty = 1.05 s

Sax = 0.488 Say= 0.488

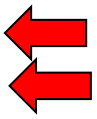
Tabla 21. Participación de masa modal lacustre 100

TABLE: Modal Load Participation Ratios				
Case	Item Type	Item	Static	Dynamic
			%	%
Modal	Acceleration	UX	100	99.99
Modal	Acceleration	UY	100	99.99

Fuente: ETABS

Tabla 22. Análisis modal lacustre 100

TABLE: Modal Participating Mass Ratios				
Case	**Mode**	**Period**	**UX**	**UY**
		sec		
Modal	1	1.049	0	0.7417
Modal	2	1	0.7475	0
Modal	3	0.866	0.0003	0
Modal	4	0.294	0	0.1266
Modal	5	0.285	0.1221	0
Modal	6	0.235	0.00002743	0
Modal	7	0.138	0	0.0546
Modal	8	0.136	0.0537	0
Modal	9	0.107	0.000006676	0
Modal	10	0.08	0	0.0306
Modal	11	0.079	0.0302	0
Modal	12	0.06	0.000002921	0
Modal	13	0.052	0	0.0189
Modal	14	0.052	0.0187	0
Modal	15	0.039	0.000001861	0
Modal	16	0.037	0	0.0122
Modal	17	0.037	0.0121	0
Modal	18	0.029	0	0.0078
Modal	19	0.029	0.0078	0
Modal	20	0.028	0	0
Modal	21	0.023	0	0.0047
Modal	22	0.023	0.0046	0
Modal	23	0.021	0	0
Modal	24	0.02	0	0.0023
Modal	25	0.02	0.0023	0
Modal	26	0.019	0	0.0006
Modal	27	0.019	0.0006	0
Modal	28	0.018	0	0
Modal	29	0.015	0	0
Modal	30	0.014	0	0



Fuente: ETABS

Tabla 23. Redacciones en la base para análisis dinámico lacustre 100.

TABLE: Base Reactions		
Load Case/Combo	**FX**	**FY**
	tonf	tonf
SISX Max	1485.7002	442.4904
SISY Max	447.245	1482.0719

Fuente: ETABS

CORTANTE DINAMICO EN LA BASE

Cortante basal en SENTIDO X

F1 = 1,485.70 Ton

F2 = 442.49 Ton

Vtx = $\sqrt[2]{(F1^2)+(F2^2)}$ = 1,550.19 Ton

Cortante basal en SENTIDO Y

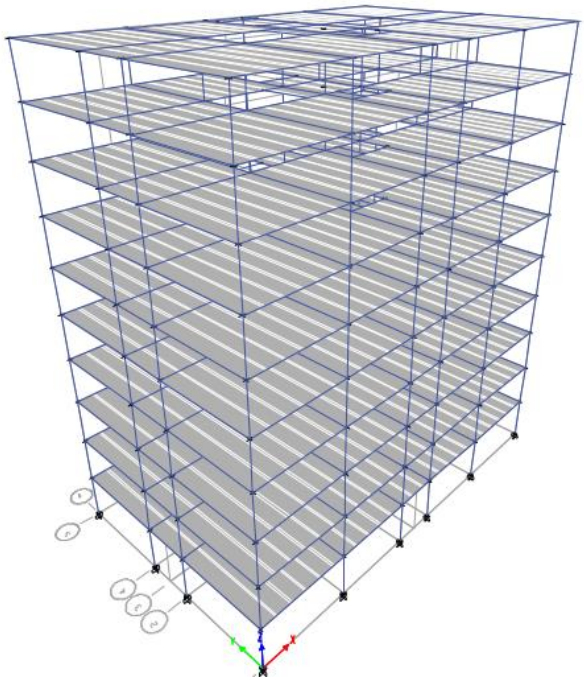
F1 = 447.25 Ton

F2 = 1,482.07 Ton

Vty = $\sqrt[2]{(F1^2)+(F2^2)}$ = 1,548.08 Ton

5.1.3 Zona lacustre 200

Figura 21. Modelo lineal zona lacustre 200



Fuente: Elaboración Propia, ETABS.

Estructura de 10 pisos con luces entre ejes de 4 a 6 metros destinada para vivienda, altura de entrepisos 2.75 m. Con vigas de 40x40 cm, columnas 40x160 cm y 40x100 cm, en anexo 1 se presenta la planta arquitectónica de dicha edificación.

5.1.3.1 Deriva lacustre 200

Tabla 24. Derivas lacustres 200

PISO	ALTURA DE PISO	DERIVA EN X (%)	DERIVA EN Y (%)
N+27.5	2.75	0.38	0.44
N+24.75	2.75	0.47	0.53
N+22.00	2.75	0.57	0.63
N+19.25	2.75	0.67	0.73
N+16.5	2.75	0.75	0.82
N+13.75	2.75	0.80	0.87
N+11.00	2.75	0.81	0.86

N+8.25	2.75	0.75	0.79
N+5.50	2.75	0.58	0.61
N+2.75	2.75	0.27	0.28
N+0.00	0	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia.

$$\Delta a = \sqrt{\left(\delta x_1 - \delta x_2\right)^2 + \left(\delta y_1 - \delta y_2\right)^2}$$

Da= Deriva del análisis
Dr= deriva permitida (0.01h)

DERIVA SENTIDO X							
	H piso (m)	δx (m)	δy (m)	**Da** (cm)	**Dr** (cm)	**Comprobación**	%
N+27.5	2.75	0.1579	0.0521	1.05	2.75	OK	0.38
N+24.75	2.75	0.1479	0.0485	1.28	2.75	OK	0.47
N+22.00	2.75	0.1359	0.0443	1.56	2.75	OK	0.57
N+19.25	2.75	0.1211	0.0393	1.84	2.75	OK	0.67
N+16.5	2.75	0.1037	0.0335	2.07	2.75	OK	0.75
N+13.75	2.75	0.0841	0.0270	2.21	2.75	OK	0.80
N+11.00	2.75	0.0630	0.0201	2.23	2.75	OK	0.81
N+8.25	2.75	0.0418	0.0133	2.05	2.75	OK	0.75
N+5.50	2.75	0.0223	0.0070	1.60	2.75	OK	0.58
N+2.75	2.75	0.0070	0.0022	0.73	2.75	OK	0.27

DERIVA SENTIDO Y							
	H piso (m)	δx (m)	δy (m)	**Da** (cm)	**Dr** (cm)	**Comprobación**	%
N+27.5	2.75	0.04757	0.1739	1.22	2.75	OK	0.44
N+24.75	2.75	0.04458	0.1621	1.45	2.75	OK	0.53
N+22.00	2.75	0.04094	0.1481	1.74	2.75	OK	0.63
N+19.25	2.75	0.03649	0.1313	2.02	2.75	OK	0.73
N+16.5	2.75	0.03124	0.1118	2.24	2.75	OK	0.82
N+13.75	2.75	0.02533	0.0902	2.38	2.75	OK	0.87
N+11.00	2.75	0.01899	0.0673	2.38	2.75	OK	0.86
N+8.25	2.75	0.01261	0.0444	2.17	2.75	OK	0.79
N+5.50	2.75	0.00671	0.0235	1.68	2.75	OK	0.61
N+2.75	2.75	0.00211	0.0073	0.76	2.75	OK	0.28

Fuente: Elaboración propia

5.1.3.2 Estabilidad general lacustre 200

CÁLCULO INDICE DE ESTABILIDAD Qi (A.6.2.3)

No de pisos 10
H piso 2.75
Sentido X
Tabla 25. Estabilidad

PISO	MASA	P_{MUERTA}	P_{VIVA}	P_{TOTAL}	Δ_{CM}	V_I	Q_I	CHECK	CHECK
	Ton-s²/m	Ton	Ton	Ton	H_{pi}	ton		P-Delta	Estabilidad
N+27.5	27.70374	271.680882	58.8861	330.566982	0.003671	195.7632	0.003	ok	estable
N+24.75	41.46991	406.680893	118.3423	525.023193	0.004466	439.3216	0.002	ok	estable
N+22.00	41.46991	406.680893	177.7984	584.479293	0.005435	652.5618	0.002	ok	estable
N+19.25	41.46991	406.680893	237.2545	643.935393	0.006387	838.8336	0.002	ok	estable
N+16.5	41.46991	406.680893	296.7106	703.391493	0.007174	998.449	0.002	ok	estable
N+13.75	41.46991	406.680893	356.1668	762.847693	0.007666	1130.5924	0.002	ok	estable
N+11.00	41.46991	406.680893	415.6229	822.303793	0.007715	1234.0587	0.002	ok	estable
N+8.25	41.46991	406.680893	475.079	881.759893	0.007116	1307.8065	0.002	ok	estable
N+5.50	41.46991	406.680893	534.5352	941.216093	0.005561	1351.7953	0.002	ok	estable
N+2.75	41.46991	406.680893	593.9913	1000.67219	0.002541	1368.6623	0.001	ok	estable

Sentido Y

PISO	MASA	P_{MUERTA}	P_{VIVA}	P_{TOTAL}	Δ_{CM}	V_I	Q_I	CHECK	CHECK
	Ton-s²/m	Ton	Ton	Ton	H_{pi}	ton		P-Delta	Estabilidad
N+27.5	27.70374	271.680882	58.8861	330.566982	0.004364	198.8594	0.003	ok	estable
N+24.75	41.46991	406.680893	118.3423	525.023193	0.005179	444.3735	0.003	ok	estable
N+22.00	41.46991	406.680893	177.7984	584.479293	0.006169	657.8412	0.002	ok	estable
N+19.25	41.46991	406.680893	237.2545	643.935393	0.007132	843.2766	0.002	ok	estable
N+16.5	41.46991	406.680893	296.7106	703.391493	0.007909	1001.4974	0.003	ok	estable
N+13.75	41.46991	406.680893	356.1668	762.847693	0.008361	1132.0828	0.003	ok	estable
N+11.00	41.46991	406.680893	415.6229	822.303793	0.008331	1234.115	0.003	ok	estable
N+8.25	41.46991	406.680893	475.079	881.759893	0.007608	1306.7461	0.002	ok	estable
N+5.50	41.46991	406.680893	534.5352	941.216093	0.005882	1350.0474	0.002	ok	estable
N+2.75	41.46991	406.680893	593.9913	1000.67219	0.002655	1366.6644	0.001	ok	estable

5.1.3.3 Análisis estructural y solicitaciones lacustres 200

El Análisis Sísmico se realizará por el método del Análisis Dinámico.

El programa de análisis estructural ETABS realiza directamente el análisis dinámico utilizando el Espectro Elástico de Diseño, el cual se elabora según parámetros del espectro obtenido de la Microzonificación del sitio.

Tabla 26. Calculo de masa lacustre 200.

PISO	Área [m²]	Carga Muerta [Ton/m²]	Masa [Ton s²/m]
N+27.5	323.98	**0.770**	27.62
N+24.75	323.98	**1.116**	41.59
N+22.00	323.98	**1.116**	41.59
N+19.25	323.98	**1.116**	41.59
N+16.5	323.98	**1.116**	41.59
N+13.75	323.98	**1.116**	41.59
N+11.00	323.98	**1.116**	41.59
N+8.25	323.98	**1.116**	41.59
N+5.50	323.98	**1.116**	41.59
N+2.75	323.98	**1.116**	41.59
N+0.00	323.98	**0.137**	4.52

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Fuerza horizontal equivalente sentido X lacustre 200

PISO	W = g m [T]	ALTURA PISO [m]	h (acumulado) [m]	m h ^{k}	Cvx	Fx	NIVEL
N+27.5	270.94		27.50	2099.12	0.15	260.64	27.50
		2.75					
N+24.75	408.00		24.75	2754.37	0.19	342.00	24.75
		2.75					
N+22.00	408.00		22.00	2361.46	0.17	293.21	22.00
		2.75					
N+19.25	408.00		19.25	1983.35	0.14	246.27	19.25
		2.75					
N+16.5	408.00		16.50	1621.51	0.11	201.34	16.50
		2.75					
N+13.75	408.00		13.75	1277.76	0.09	158.66	13.75
		2.75					
N+11.00	408.00		11.00	954.58	0.07	118.53	11.00
		2.75					
N+8.25	408.00		8.25	655.47	0.05	81.39	8.25

		2.75					
N+5.50	408.00		5.50	385.88	0.03	47.91	5.50
		2.75					
N+2.75	408.00		2.75	155.98	0.01	19.37	2.75
		2.75					
N+0.00	44.31						
			Σ	14249.49	1.00	1769.31	

Fuente: Elaboración Propia**.**

PESO TOTAL EDIFICIO	3,987 Ton
PESO TOTAL SISMICO	3,931.81 Ton

Tabla A.4.2-1
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas.

Ct = 0.047

Hn = 27.50 m

Ta = 0.928 s

(Ta = Ct $hn^{0.9}$)

T = Cu*Ta

Cu = 1.75-1.2AvFv

Cu = 0.91

T = 1.11 s Periodo Estático

Sa = 0.45 g

K = 1.31

Cortante estático

Sax = 0.450 g

Vsx = 1,769.31 Ton (Vs = Sa×Westructura)

Cortante sísmico en la base

Tx **=** 1.000 g Definitivo entre Estático y Análisis modal

Sax = 0.450 g

Vsx = 1,769.31 Ton

Vsx = 353.86 Ton

Tabla 28. Fuerza horizontal equivalente sentido Y lacustre 200

PISO	W = g m [T]	ALTURA PISO [m]	h (acumulado) [m]	m h ^{k}	Cvx	Fx	NIVEL
N+27.5	270.94		27.50	2099.12	0.15	260.64	27.50
		2.75					
N+24.75	408.00		24.75	2754.37	0.19	342.00	24.75
		2.75					
N+22.00	408.00		22.00	2361.46	0.17	293.21	22.00
		2.75					
N+19.25	408.00		19.25	1983.35	0.14	246.27	19.25
		2.75					
N+16.5	408.00		16.50	1621.51	0.11	201.34	16.50
		2.75					
N+13.75	408.00		13.75	1277.76	0.09	158.66	13.75
		2.75					
N+11.00	408.00		11.00	954.58	0.07	118.53	11.00
		2.75					
N+8.25	408.00		8.25	655.47	0.05	81.39	8.25
		2.75					
N+5.50	408.00		5.50	385.88	0.03	47.91	5.50
		2.75					
N+2.75	408.00		2.75	155.98	0.01	19.37	2.75
		2.75					
N+0.00	44.31						
			Σ	14249.49	1.00	1769.31	

Fuente: Elaboración Propia**.**

PESO TOTAL EDIFICIO	3,987 Ton
PESO TOTAL SISMICO	3,931.81 Ton

Tabla A.4.2-1
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas.

Ct = 0.047

Hn = 27.50 m

Ta = 0.928 s

(Ta = Ct $hn^{0.9}$)

T = Cu*Ta

Cu = 1.75-1.2AvFv

Cu = 0.91

T = 1.11 s Periodo Estático

Sa = 0.45 g
K = 1.31

Cortante estático

Say = 0.450 g		
Vsy = 1,769.31 Ton	(Vs = Sa×Westructura)	

Cortante sísmico en la base

Ty = 1.049 g	Definitivo entre FH y Análisis modal	
Say = 0.450 g		
Vsy = 1,769.31 Ton	Vsy =	353.86 Ton

AJUSTE DE LOS RESULTADOS

Irregularidad de la estructura = REGULAR

Si la estructura es Regular, el cortante dinámico en la base no puede ser menor que el 80 % del cortante calculado por Fuerza Horizontal Equivalente NSR-10

CORTANTE DINAMICO EN LA BASE:

Vtx =	1,428.08 Ton	> 0.80 Vs =	1,415.45 T	OK	Obtenido (Base reactions)	Factor A.	0.91
Vty =	1,427.54 Ton	> 0.80 Vs =	1,415.45 T	OK	Obtenido (Base reactions)	Factor A.	0.92

PERIODO DE LA ESTRUCTURA DETERMINADO EN EL ANALISIS MODAL

Tx = 1.00 s	Ty = 1.05 s
Sax = 0.45	Say= 0.45

Tabla 29. Participación de masa modal lacustre 200

TABLE: Modal Load Participation Ratios				
Case	Item Type	Item	Static	Dynamic
			%	%
Modal	Acceleration	UX	100	99.99
Modal	Acceleration	UY	100	99.99

Fuente: ETABS

Tabla 30. Análisis modal lacustre 200

TABLE: Modal Participating Mass Ratios				
Case	**Mode**	**Period**	**UX**	**UY**
		sec		
Modal	1	1.049	0	0.7417
Modal	2	1	0.7475	0
Modal	3	0.866	0.0003	0
Modal	4	0.294	0	0.1266
Modal	5	0.285	0.1221	0
Modal	6	0.235	0.00002743	0
Modal	7	0.138	0	0.0546
Modal	8	0.136	0.0537	0
Modal	9	0.107	0.000006676	0
Modal	10	0.08	0	0.0306
Modal	11	0.079	0.0302	0
Modal	12	0.06	0.000002921	0
Modal	13	0.052	0	0.0189
Modal	14	0.052	0.0187	0
Modal	15	0.039	0.000001861	0
Modal	16	0.037	0	0.0122
Modal	17	0.037	0.0121	0
Modal	18	0.029	0	0.0078
Modal	19	0.029	0.0078	0
Modal	20	0.028	0	0
Modal	21	0.023	0	0.0047
Modal	22	0.023	0.0046	0
Modal	23	0.021	0	0
Modal	24	0.02	0	0.0023
Modal	25	0.02	0.0023	0
Modal	26	0.019	0	0.0006
Modal	27	0.019	0.0006	0
Modal	28	0.018	0	0
Modal	29	0.015	0	0
Modal	30	0.014	0	0

Fuente: ETABS

Tabla 31. Reacciones en la base para análisis dinámico lacustre 200

TABLE: Base Reactions		
Load Case/Combo	**FX**	**FY**
	tonf	tonf
SISX Max	1368.6633	407.633
SISY Max	412.4185	1366.6644

Fuente: ETABS

CORTANTE DINAMICO EN LA BASE

Cortante basal en SENTIDO X:

F1 = 1,368.66 Ton

F2 = 407.63 Ton

Vtx	**=**	$\sqrt[2]{(F1^2)+(F2^2)}$	**=**	**1,428.08 Kg**

Cortante basal en SENTIDO Y:

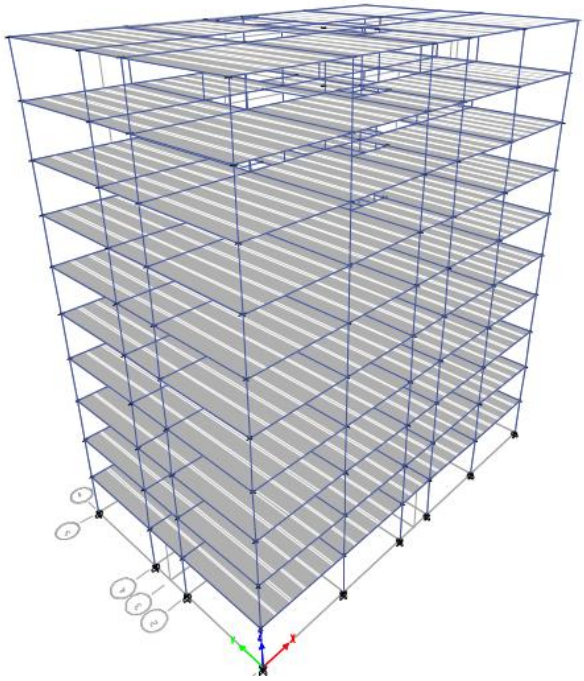
F1 = 412.42 Ton

F2 = 1,366.66 Ton

Vty	**=**	$\sqrt[2]{(F1^2)+(F2^2)}$	**=**	**1,427.54 Kg**

5.1.4 Zona lacustre 300

Figura 22. Modelo lineal zona lacustre 300



Fuente: Elaboración Propia, ETABS

Estructura de 10 pisos con luces entre ejes de 4 a 6 metros destinada para vivienda, altura de entrepisos 2.75 m. Con vigas de 40x40 cm, columnas 40x160 cm y 40x100 cm, en anexo 1 se presenta la planta arquitectónica de dicha edificación.

5.1.4.1 Deriva lacustre 300

Tabla 32. Derivas lacustre 300

PISO	ALTURA DE PISO	DERIVA EN X (%)	DERIVA EN Y (%)
N+27.5	2.75	0.34	0.39
N+24.75	2.75	0.41	0.46
N+22.00	2.75	0.50	0.55
N+19.25	2.75	0.58	0.64
N+16.5	2.75	0.66	0.71
N+13.75	2.75	0.70	0.76
N+11.00	2.75	0.71	0.76
N+8.25	2.75	0.65	0.69

N+5.50	2.75	0.51	0.54
N+2.75	2.75	0.23	0.24
N+0.00	0	0.00	0.00

$$\Delta a = \sqrt{(\delta x_1 - \delta x_2)^2 + (\delta y_1 - \delta y_2)^2}$$

Da= Deriva del análisis
Dr= deriva permitida (0.01h)

DERIVA SENTIDO X

	H piso (m)	δx (m)	δy (m)	Da (cm)	Dr (cm)	Comprobación		%
N+27.5	2.75	0.1382	0.0456	0.92	2.75		OK	0.34
N+24.75	2.75	0.1295	0.0425	1.12	2.75		OK	0.41
N+22.00	2.75	0.1190	0.0388	1.37	2.75		OK	0.50
N+19.25	2.75	0.1060	0.0344	1.61	2.75		OK	0.58
N+16.5	2.75	0.0908	0.0293	1.81	2.75		OK	0.66
N+13.75	2.75	0.0736	0.0236	1.94	2.75		OK	0.70
N+11.00	2.75	0.0552	0.0176	1.95	2.75		OK	0.71
N+8.25	2.75	0.0366	0.0116	1.80	2.75		OK	0.65
N+5.50	2.75	0.0195	0.0061	1.40	2.75		OK	0.51
N+2.75	2.75	0.0061	0.0019	0.64	2.75		OK	0.23

DERIVA SENTIDO Y

	H piso (m)	δx (m)	δy (m)	Da (cm)	Dr (cm)	Comprobación		%
N+27.5	2.75	0.04165	0.1523	1.07	2.75		OK	0.39
N+24.75	2.75	0.03903	0.1419	1.27	2.75		OK	0.46
N+22.00	2.75	0.03584	0.1296	1.52	2.75		OK	0.55
N+19.25	2.75	0.03195	0.1150	1.76	2.75		OK	0.64
N+16.5	2.75	0.02735	0.0979	1.96	2.75		OK	0.71
N+13.75	2.75	0.02218	0.0790	2.08	2.75		OK	0.76
N+11.00	2.75	0.01663	0.0589	2.08	2.75		OK	0.76
N+8.25	2.75	0.01104	0.0389	1.90	2.75		OK	0.69
N+5.50	2.75	0.00588	0.0206	1.47	2.75		OK	0.54
N+2.75	2.75	0.00184	0.0064	0.67	2.75		OK	0.24

Fuente: Elaboración Propia

5.1.4.2 Estabilidad General lacustre 300

CÁLCULO INDICE DE ESTABILIDAD Qi (A.6.2.3)

No de pisos 10
H piso 2.75
Sentido X

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

Tabla 33. Estabilidad

PISO	MASA	P_{MUERTA}	P_{VIVA}	P_{TOTAL}	Δ_{CM}	V_I	Q_I	CHECK	CHECK
	Ton-s²/m	Ton	Ton	Ton	H_{pi}	ton		P-Delta	Estabilidad
N+27.5	27.70374	271.680882	58.8861	330.566982	0.003214	171.4015	0.003	ok	estable
N+24.75	41.46991	406.680893	118.3423	525.023193	0.00391	384.6505	0.002	ok	estable
N+22.00	41.46991	406.680893	177.7984	584.479293	0.004759	571.3541	0.002	ok	estable
N+19.25	41.46991	406.680893	237.2545	643.935393	0.005592	734.4454	0.002	ok	estable
N+16.5	41.46991	406.680893	296.7106	703.391493	0.006281	874.1976	0.002	ok	estable
N+13.75	41.46991	406.680893	356.1668	762.847693	0.006712	989.8965	0.002	ok	estable
N+11.00	41.46991	406.680893	415.6229	822.303793	0.006755	1080.4869	0.002	ok	estable
N+8.25	41.46991	406.680893	475.079	881.759893	0.006231	1145.0572	0.002	ok	estable
N+5.50	41.46991	406.680893	534.5352	941.216093	0.004869	1183.5719	0.002	ok	estable
N+2.75	41.46991	406.680893	593.9913	1000.67219	0.002225	1198.3399	0.001	ok	estable

Sentido Y

PISO	MASA	P_{MUERTA}	P_{VIVA}	P_{TOTAL}	Δ_{CM}	V_I	Q_I	CHECK	CHECK
	Ton-s²/m	Ton	Ton	Ton	H_{pi}	ton		P-Delta	Estabilidad
N+27.5	27.70374	271.680882	58.8861	330.566982	0.003821	174.1125	0.003	ok	estable
N+24.75	41.46991	406.680893	118.3423	525.023193	0.004535	389.0737	0.003	ok	estable
N+22.00	41.46991	406.680893	177.7984	584.479293	0.005401	575.9765	0.002	ok	estable
N+19.25	41.46991	406.680893	237.2545	643.935393	0.006244	738.3355	0.002	ok	estable
N+16.5	41.46991	406.680893	296.7106	703.391493	0.006925	876.8666	0.003	ok	estable
N+13.75	41.46991	406.680893	356.1668	762.847693	0.00732	991.2013	0.003	ok	estable
N+11.00	41.46991	406.680893	415.6229	822.303793	0.007294	1080.5362	0.003	ok	estable
N+8.25	41.46991	406.680893	475.079	881.759893	0.006661	1144.1288	0.002	ok	estable
N+5.50	41.46991	406.680893	534.5352	941.216093	0.00515	1182.0415	0.002	ok	estable
N+2.75	41.46991	406.680893	593.9913	1000.67219	0.002324	1196.5906	0.001	ok	estable

5.1.4.3 Análisis Estructural y Solicitaciones lacustre 300

El Análisis Sísmico se realizará por el método del Análisis Dinámico.

El programa de análisis estructural ETABS realiza directamente el análisis dinámico utilizando el Espectro Elástico de Diseño, el cual se elabora según parámetros del espectro obtenido de la Microzonificación del sitio.

Tabla 34. Calculo de masa lacustre 300.

PISO	Área [m²]	Carga Muerta [Ton/m²]	Masa [Ton s²/m]
N+27.5	323.98	**0.770**	27.62
N+24.75	323.98	**1.116**	41.59
N+22.00	323.98	**1.116**	41.59
N+19.25	323.98	**1.116**	41.59
N+16.5	323.98	**1.116**	41.59
N+13.75	323.98	**1.116**	41.59
N+11.00	323.98	**1.116**	41.59
N+8.25	323.98	**1.116**	41.59
N+5.50	323.98	**1.116**	41.59
N+2.75	323.98	**1.116**	41.59
N+0.00	323.98	**0.137**	4.52

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 35. Fuerza horizontal equivalente sentido X lacustre 300

PISO	W = g m [T]	ALTURA PISO [m]	h (acumulado) [m]	m h ^{k}	Cvx	Fx	NIVEL
N+27.5	270.94		27.50	2099.12	0.15	228.21	27.50
		2.75					
N+24.75	408.00		24.75	2754.37	0.19	299.44	24.75
		2.75					
N+22.00	408.00		22.00	2361.46	0.17	256.73	22.00
		2.75					
N+19.25	408.00		19.25	1983.35	0.14	215.62	19.25
		2.75					
N+16.5	408.00		16.50	1621.51	0.11	176.28	16.50
		2.75					
N+13.75	408.00		13.75	1277.76	0.09	138.91	13.75
		2.75					
N+11.00	408.00		11.00	954.58	0.07	103.78	11.00
		2.75					

N+8.25	408.00		8.25	655.47	0.05	71.26	8.25
		2.75					
N+5.50	408.00		5.50	385.88	0.03	41.95	5.50
		2.75					
N+2.75	408.00		2.75	155.98	0.01	16.96	2.75
		2.75					
N+0.00	44.31						
			Σ	14249.49	1.00	1549.13	

PESO TOTAL EDIFICIO	3,987 Ton
PESO TOTAL SISMICO	3,931.81 Ton

Tabla A.4.2-1
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas.

Ct = 0.047

hn = 27.50 m

Ta = 0.928 s

(Ta = Ct $hn^{0.9}$)

T = Cu*Ta

Cu = 1.75-1.2AvFv

Cu = 1.05

T = 1.11 s Periodo Estático

Sa = 0.39 g

K = 1.31

Cortante estático

Sax = 0.394 g

Vsx = 1,549.13 Ton (Vs = Sa×Westructura)

Cortante sísmico en la base

Tx **=** 1.000 g Definitivo entre Estático y Análisis modal

Sax = 0.394 g

Vsx = 1,549.13 Ton

Vsx = 309.83 Ton

Tabla 36. Fuerza horizontal equivalente sentido Y lacustre 300

PISO	W = g m [T]	ALTURA PISO [m]	h (acumulado) [m]	m h ^{k}	Cvx	Fx	NIVEL
N+27.5	270.94		27.50	2099.12	0.15	228.21	27.50
		2.75					
N+24.75	408.00		24.75	2754.37	0.19	299.44	24.75
		2.75					
N+22.00	408.00		22.00	2361.46	0.17	256.73	22.00
		2.75					
N+19.25	408.00		19.25	1983.35	0.14	215.62	19.25
		2.75					
N+16.5	408.00		16.50	1621.51	0.11	176.28	16.50
		2.75					
N+13.75	408.00		13.75	1277.76	0.09	138.91	13.75
		2.75					
N+11.00	408.00		11.00	954.58	0.07	103.78	11.00
		2.75					
N+8.25	408.00		8.25	655.47	0.05	71.26	8.25
		2.75					
N+5.50	408.00		5.50	385.88	0.03	41.95	5.50
		2.75					
N+2.75	408.00		2.75	155.98	0.01	16.96	2.75
		2.75					
N+0.00	44.31						
			Σ	14249.49	1.00	1549.13	

PESO TOTAL EDIFICIO	3,987 Ton
PESO TOTAL SISMICO	3,931.81 Ton

Ct = 0.047
hn = 27.50 m
Ta = 0.928 s

T = Cu*Ta
Cu = 1.75-1.2AvFv
Cu = 1.05
T = 1.11 s Periodo Estático

Sa = 0.39 g

Tabla A.4.2-1
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas.

(Ta = Ct $hn^{0.9}$)

K = 1.31

Cortante estático

Say =	0.394 g	
Vsy =	1,549.13 Ton	(Vs = Sa×Westructura)

Cortante sísmico en la base

Ty =	1.049 g	Definitivo entre FH y Análisis modal
Say =	0.394 g	
Vsy =	1,549.13 Ton	

Vsy = 309.83 Ton

AJUSTE DE LOS RESULTADOS

Irregularidad de la estructura = REGULAR

Si la estructura es Regular, el cortante dinámico en la base no puede ser menor que el 80 % del cortante calculado por Fuerza Horizontal Equivalente NSR-10

CORTANTE DINAMICO EN LA BASE:

Vtx =	1,250.36 Ton	> 0.80 Vs =	1,239.31 T	OK	Obtenido (Base reactions)	Factor A.	0.991
Vty =	1,249.89 Ton	> 0.80 Vs =	1,239.31 T	OK	Obtenido (Base reactions)	Factor A.	0.992

PERIODO DE LA ESTRUCTURA DETERMINADO EN EL ANALISIS MODAL

Tx = 1.00 s Ty = 1.05 s

Sax = 0.394 Say= 0.394

Tabla 37. Participación masa modal lacustre 300

TABLE: Modal Load Participation Ratios

Case	Item Type	Item	Static	Dynamic
			%	%
Modal	Acceleration	UX	100	99.99
Modal	Acceleration	UY	100	99.99

Fuente: ETABS

Tabla 38. Análisis modal lacustre 300

TABLE: Modal Participating Mass Ratios				
Case	Mode	Period	UX	UY
		sec		
Modal	1	1.049	0	0.7417
Modal	2	1	0.7475	0
Modal	3	0.866	0.0003	0
Modal	4	0.294	0	0.1266
Modal	5	0.285	0.1221	0
Modal	6	0.235	0.00002743	0
Modal	7	0.138	0	0.0546
Modal	8	0.136	0.0537	0
Modal	9	0.107	0.000006676	0
Modal	10	0.08	0	0.0306
Modal	11	0.079	0.0302	0
Modal	12	0.06	0.000002921	0
Modal	13	0.052	0	0.0189
Modal	14	0.052	0.0187	0
Modal	15	0.039	0.000001861	0
Modal	16	0.037	0	0.0122
Modal	17	0.037	0.0121	0
Modal	18	0.029	0	0.0078
Modal	19	0.029	0.0078	0
Modal	20	0.028	0	0
Modal	21	0.023	0	0.0047
Modal	22	0.023	0.0046	0
Modal	23	0.021	0	0
Modal	24	0.02	0	0.0023
Modal	25	0.02	0.0023	0
Modal	26	0.019	0	0.0006
Modal	27	0.019	0.0006	0
Modal	28	0.018	0	0
Modal	29	0.015	0	0
Modal	30	0.014	0	0

Fuente: ETABS

Tabla 39. Reacciones en la base para análisis dinámico lacustre 300

TABLE: Base Reactions		
Load Case/Combo	FX	FY
	tonf	tonf
SISX Max	1198.3399	356.9053
SISY Max	361.0953	1196.5906

Fuente: ETABS

CORTANTE DINAMICO EN LA BASE

Cortante basal en SENTIDO X:

F1 = 1,198.34 Ton

F2 = 356.91 Ton

Vtx	**=**	$\sqrt[2]{(F1^2)+(F2^2)}$	**=**	**1,250.36 Kg**

Cortante basal en SENTIDO Y:

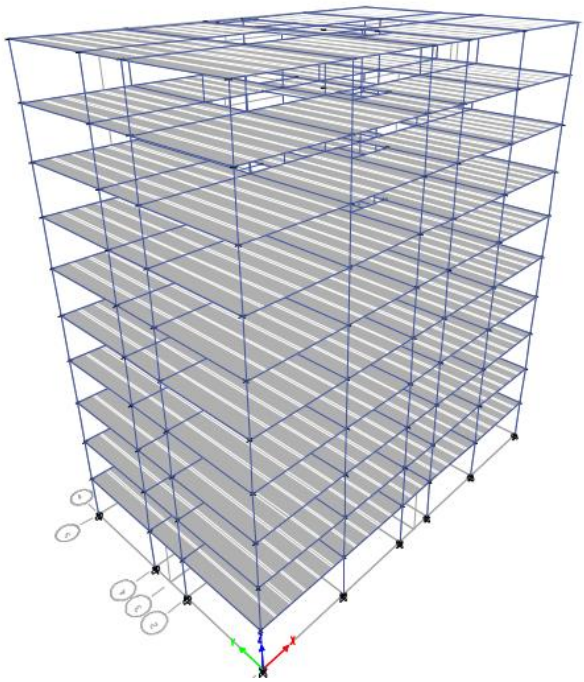
F1 = 361.10 Ton

F2 = 1,196.59 Ton

Vty	**=**	$\sqrt[2]{(F1^2)+(F2^2)}$	**=**	**1,249.89 Kg**

5.1.5 Zona lacustre 500

Figura 23. Modelo lineal zona lacustre 500



Fuente: Elaboración Propia, ETABS.

Estructura de 10 pisos con luces entre ejes de 4 a 6 metros destinada para vivienda, altura de entrepisos 2.75 m. Con vigas de 40x40 cm, columnas 40x160 cm y 40x100 cm, en anexo 1 se presenta la planta arquitectónica de dicha edificación.

5.1.5.1 Deriva lacustre 500

Tabla 40. Derivas lacustre 500

PISO	ALTURA DE PISO	DERIVA EN X (%)	DERIVA EN Y (%)
N+27.5	2.75	0.30	0.35
N+24.75	2.75	0.37	0.42
N+22.00	2.75	0.45	0.50
N+19.25	2.75	0.53	0.58
N+16.5	2.75	0.59	0.65

N+13.75	2.75	0.64	0.68
N+11.00	2.75	0.64	0.68
N+8.25	2.75	0.59	0.63
N+5.50	2.75	0.46	0.48
N+2.75	2.75	0.21	0.22
N+0.00	0	0.00	0.00

$$\Delta a = \sqrt{\left(\delta x_1 - \delta x_2\right)^2 + \left(\delta y_1 - \delta y_2\right)^2}$$

Da= Deriva del análisis
Dr= deriva permitida (0.01h)

DERIVA SENTIDO X

	H piso (m)	δx (m)	δy (m)	Da (cm)	Dr (cm)	Comprobación	%
N+27.5	2.75	0.1249	0.0412	0.83	2.75	OK	0.30
N+24.75	2.75	0.1170	0.0384	1.01	2.75	OK	0.37
N+22.00	2.75	0.1075	0.0351	1.23	2.75	OK	0.45
N+19.25	2.75	0.0958	0.0311	1.45	2.75	OK	0.53
N+16.5	2.75	0.0820	0.0265	1.64	2.75	OK	0.59
N+13.75	2.75	0.0665	0.0214	1.75	2.75	OK	0.64
N+11.00	2.75	0.0499	0.0159	1.76	2.75	OK	0.64
N+8.25	2.75	0.0331	0.0105	1.62	2.75	OK	0.59
N+5.50	2.75	0.0176	0.0056	1.27	2.75	OK	0.46
N+2.75	2.75	0.0055	0.0017	0.58	2.75	OK	0.21

DERIVA SENTIDO Y

	H piso (m)	δx (m)	δy (m)	Da (cm)	Dr (cm)	Comprobación	%
N+27.5	2.75	0.03763	0.1376	0.96	2.75	OK	0.35
N+24.75	2.75	0.03527	0.1282	1.15	2.75	OK	0.42
N+22.00	2.75	0.03239	0.1171	1.37	2.75	OK	0.50
N+19.25	2.75	0.02887	0.1039	1.59	2.75	OK	0.58
N+16.5	2.75	0.02472	0.0885	1.77	2.75	OK	0.65
N+13.75	2.75	0.02004	0.0714	1.88	2.75	OK	0.68
N+11.00	2.75	0.01503	0.0532	1.88	2.75	OK	0.68
N+8.25	2.75	0.00997	0.0351	1.72	2.75	OK	0.63
N+5.50	2.75	0.00531	0.0186	1.33	2.75	OK	0.48
N+2.75	2.75	0.00167	0.0058	0.60	2.75	OK	0.22

Fuente: Elaboración Propia

5.1.5.2 Estabilidad General

CÁLCULO INDICE DE ESTABILIDAD Qi (A.6.2.3)

No de pisos 10
H piso 2.75

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

Sentido X

Tabla 41.

PISO	MASA	PMUERTA	PVIVA	PTOTAL	DCM	VI	QI	CHECK	CHECK
	Ton-s2/m	Ton	Ton	Ton	Hpi	ton		P-Delta	Estabilidad
N+27.5	27.70374	271.680882	58.8861	330.566982	0.002904	154.8704	0.003	ok	estable
N+24.75	41.46991	406.680893	118.3423	525.023193	0.003533	347.5522	0.002	ok	estable
N+22.00	41.46991	406.680893	177.7984	584.479293	0.0043	516.2489	0.002	ok	estable
N+19.25	41.46991	406.680893	237.2545	643.935393	0.005053	663.6106	0.002	ok	estable
N+16.5	41.46991	406.680893	296.7106	703.391493	0.005675	789.8841	0.002	ok	estable
N+13.75	41.46991	406.680893	356.1668	762.847693	0.006065	894.4242	0.002	ok	estable
N+11.00	41.46991	406.680893	415.6229	822.303793	0.006103	976.2775	0.002	ok	estable
N+8.25	41.46991	406.680893	475.079	881.759893	0.00563	1034.6202	0.002	ok	estable
N+5.50	41.46991	406.680893	534.5352	941.216093	0.0044	1069.4203	0.002	ok	estable
N+2.75	41.46991	406.680893	593.9913	1000.67219	0.00201	1082.764	0.001	ok	estable

Sentido Y

PISO	MASA	PMUERTA	PVIVA	PTOTAL	DCM	VI	QI	CHECK	CHECK
	Ton-s2/m	Ton	Ton	Ton	Hpi	ton		P-Delta	Estabilidad
N+27.5	27.70374	271.680882	58.8861	330.566982	0.003452	157.3199	0.003	ok	estable
N+24.75	41.46991	406.680893	118.3423	525.023193	0.004097	351.5488	0.003	ok	estable
N+22.00	41.46991	406.680893	177.7984	584.479293	0.00488	520.4255	0.002	ok	estable
N+19.25	41.46991	406.680893	237.2545	643.935393	0.005642	667.1255	0.002	ok	estable
N+16.5	41.46991	406.680893	296.7106	703.391493	0.006257	792.2957	0.003	ok	estable
N+13.75	41.46991	406.680893	356.1668	762.847693	0.006614	895.6032	0.003	ok	estable
N+11.00	41.46991	406.680893	415.6229	822.303793	0.006591	976.3221	0.003	ok	estable
N+8.25	41.46991	406.680893	475.079	881.759893	0.006019	1033.7814	0.002	ok	estable
N+5.50	41.46991	406.680893	534.5352	941.216093	0.004654	1068.0375	0.002	ok	estable
N+2.75	41.46991	406.680893	593.9913	1000.67219	0.0021	1081.1834	0.001	ok	estable

5.1.5.3 Análisis Estructural y Solicitaciones lacustre 300

El Análisis Sísmico se realizará por el método del Análisis Dinámico.

El programa de análisis estructural ETABS realiza directamente el análisis dinámico utilizando el Espectro Elástico de Diseño, el cual se elabora según parámetros del espectro obtenido de la Microzonificación del sitio.

Tabla 42. Calculo de masa lacustre 500.

PISO	Área [m²]	Carga Muerta [Ton/m²]	Masa [Ton s²/m]
N+27.5	323.98	**0.770**	27.62
N+24.75	323.98	**1.116**	41.59
N+22.00	323.98	**1.116**	41.59
N+19.25	323.98	**1.116**	41.59
N+16.5	323.98	**1.116**	41.59
N+13.75	323.98	**1.116**	41.59
N+11.00	323.98	**1.116**	41.59
N+8.25	323.98	**1.116**	41.59
N+5.50	323.98	**1.116**	41.59
N+2.75	323.98	**1.116**	41.59
N+0.00	323.98	**0.137**	4.52

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 43. Fuerza horizontal equivalente sentido X lacustre 500

PISO	W = g m [T]	ALTURA PISO [m]	h (acumulado) [m]	m h ^{k}	Cvx	Fx	NIVEL
N+27.5	270.94		27.50	2099.12	0.15	206.20	27.50
		2.75					
N+24.75	408.00		24.75	2754.37	0.19	270.56	24.75
		2.75					
N+22.00	408.00		22.00	2361.46	0.17	231.97	22.00
		2.75					
N+19.25	408.00		19.25	1983.35	0.14	194.82	19.25
		2.75					
N+16.5	408.00		16.50	1621.51	0.11	159.28	16.50
		2.75					
N+13.75	408.00		13.75	1277.76	0.09	125.51	13.75
		2.75					
N+11.00	408.00		11.00	954.58	0.07	93.77	11.00
		2.75					

N+8.25	408.00		8.25	655.47	0.05	64.39	8.25
		2.75					
N+5.50	408.00		5.50	385.88	0.03	37.90	5.50
		2.75					
N+2.75	408.00		2.75	155.98	0.01	15.32	2.75
		2.75					
N+0.00	44.31						
			Σ	14249.49	1.00	1399.72	

PESO TOTAL EDIFICIO	3,987 Ton
PESO TOTAL SISMICO	3,931.81 Ton

Tabla A.4.2-1
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas.

Ct = 0.047

hn = 27.50 m

Ta = 0.928 s

(Ta = Ct $hn^{0.9}$)

T = Cu*Ta

Cu = 1.75-1.2AvFv

Cu = 1.10

T = 1.11 s Periodo Estático

Sa = 0.36 g

K = 1.31

Cortante estático

Sax = 0.356 g

Vsx = 1,399.72 Ton (Vs = Sa×Westructura)

Cortante sísmico en la base

Tx **=** 1.000 g Definitivo entre Estático y Análisis modal

Sax = 0.356 g

Vsx = 1,399.72 Ton

Vsx = 279.94 Ton

Tabla 44. Fuerza horizontal equivalente sentido Y lacustre 500

PISO	W = g m [T]	ALTURA PISO [m]	h (acumulado) [m]	m h ^{k}	Cvx	Fx	NIVEL
N+27.5	270.94		27.50	2099.12	0.15	206.20	27.50
		2.75					
N+24.75	408.00		24.75	2754.37	0.19	270.56	24.75
		2.75					
N+22.00	408.00		22.00	2361.46	0.17	231.97	22.00
		2.75					
N+19.25	408.00		19.25	1983.35	0.14	194.82	19.25
		2.75					
N+16.5	408.00		16.50	1621.51	0.11	159.28	16.50
		2.75					
N+13.75	408.00		13.75	1277.76	0.09	125.51	13.75
		2.75					
N+11.00	408.00		11.00	954.58	0.07	93.77	11.00
		2.75					
N+8.25	408.00		8.25	655.47	0.05	64.39	8.25
		2.75					
N+5.50	408.00		5.50	385.88	0.03	37.90	5.50
		2.75					
N+2.75	408.00		2.75	155.98	0.01	15.32	2.75
		2.75					
N+0.00	44.31						
			Σ	14249.49	1.00	1399.72	

PESO TOTAL EDIFICIO	3,987 Ton
PESO TOTAL SISMICO	3,931.81 Ton

Ct = 0.047

hn = 27.50 m

Ta = 0.928 s

T = Cu*Ta

Cu = 1.75-1.2AvFv

Cu = 1.10

T = 1.11 s Periodo Estático

Sa = 0.36 g

Tabla A.4.2-1
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas.

(Ta = Ct $hn^{0.9}$)

K = 1.31

Cortante estático

Say =	0.356 g	
Vsy =	1,399.72 Ton	(Vs = Sa×Westructura)

Cortante sísmico en la base

Ty =	1.049 g	Definitivo entre FH y Análisis modal
Say =	0.356 g	
Vsy =	1,399.72 Ton	

Vsy = 279.94 Ton

AJUSTE DE LOS RESULTADOS

Irregularidad de la estructura = REGULAR

Si la estructura es Regular, el cortante dinámico en la base no puede ser menor que el 80 % del cortante calculado por Fuerza Horizontal Equivalente NSR-10

CORTANTE DINAMICO EN LA BASE:

Vtx =	1,129.77 Ton	> 0.80 Vs =	1,119.78 T	OK	Obtenido (Base reacciones)	Factor A.	0.991
Vty =	1,129.34 Ton	> 0.80 Vs =	1,119.78 T	OK	Obtenido (Base reactions)	Factor A.	0.992

PERIODO DE LA ESTRUCTURA DETERMINADO EN EL ANALISIS MODAL

Tx =	1.00 s	Ty =	1.05 s
Sax =	0.356	Say=	0.356

Tabla 45. Participación masa modal lacustre 500

TABLE: Modal Load Participation Ratios

Case	Item Type	Item	Static	Dynamic
			%	%
Modal	Acceleration	UX	100	99.99
Modal	Acceleration	UY	100	99.99

Fuente: ETABS

Tabla 46. Análisis modal lacustre 500

TABLE: Modal Participating Mass Ratios				
Case	Mode	Period	UX	UY
		sec		
Modal	1	1.049	0	0.7417
Modal	2	1	0.7475	0
Modal	3	0.866	0.0003	0
Modal	4	0.294	0	0.1266
Modal	5	0.285	0.1221	0
Modal	6	0.235	0.00002743	0
Modal	7	0.138	0	0.0546
Modal	8	0.136	0.0537	0
Modal	9	0.107	0.000006676	0
Modal	10	0.08	0	0.0306
Modal	11	0.079	0.0302	0
Modal	12	0.06	0.000002921	0
Modal	13	0.052	0	0.0189
Modal	14	0.052	0.0187	0
Modal	15	0.039	0.000001861	0
Modal	16	0.037	0	0.0122
Modal	17	0.037	0.0121	0
Modal	18	0.029	0	0.0078
Modal	19	0.029	0.0078	0
Modal	20	0.028	0	0
Modal	21	0.023	0	0.0047
Modal	22	0.023	0.0046	0
Modal	23	0.021	0	0
Modal	24	0.02	0	0.0023
Modal	25	0.02	0.0023	0
Modal	26	0.019	0	0.0006
Modal	27	0.019	0.0006	0
Modal	28	0.018	0	0
Modal	29	0.015	0	0
Modal	30	0.014	0	0

Fuente: ETABS

Tabla 47. Reacciones en la base para análisis dinámico lacustre 500

TABLE: Base Reactions		
Load Case/Combo	FX	FY
	tonf	tonf
SISX Max	1082.7647	322.483
SISY Max	326.2689	1081.1836

Fuente: ETABS

CORTANTE DINAMICO EN LA BASE

Cortante basal en SENTIDO X:

F1 = 1,082.76 Ton

F2 = 322.48 Ton

Vtx	=	$\sqrt[2]{(F1^2)+(F2^2)}$	=	**1,129.77 Kg**

Cortante basal en SENTIDO Y:

F1 = 326.27 Ton

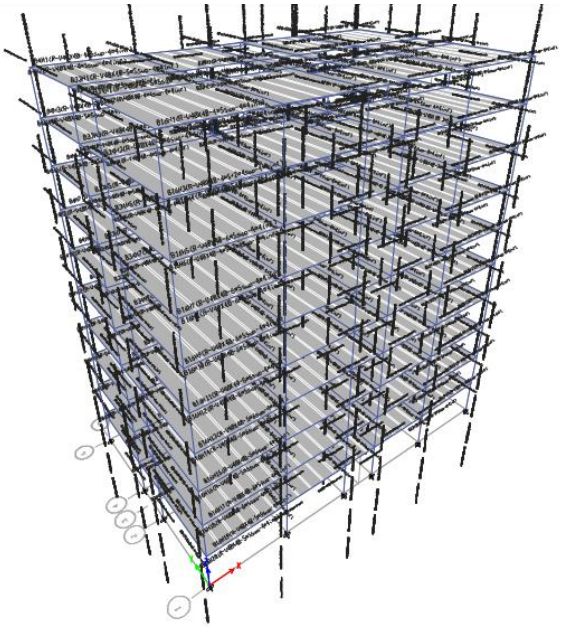
F2 = 1,081.18 Ton

Vty	=	$\sqrt[2]{(F1^2)+(F2^2)}$	=	**1,129.34 Kg**

5.2 Análisis no lineal Estático con apoyos rígidos

5.2.1 Lacustre 50

Figura 24. Modelo No lineal estructura zona lacustre 50



Fuente: Elaboración propia, ETABS

Estructura de 10 pisos con luces entre ejes de 4 a 6 metros destinada para vivienda, altura de entrepisos 2.75 m. Con vigas de 40x40 cm, columnas 40x160 cm y 40x100 cm, en anexo 1 se presenta la planta arquitectónica de dicha edificación. Esta se encuentra empotrada en su base y los elementos viga y columnas están asignadas las rotulas plásticas, en el anexo 2 se presenta la definición de las rotulas plásticas. El desplazamiento objetivo en la cubierta es calculado a parir de la ASCE 41-13 y la NSR-10, ver anexo 3.

5.2.1.1 Derivas

Tabla 48. Derivas lacustre 50 no lineal

PISO	H PISO (m)	DERIVA EN X (%)	DERIVA EN Y (%)
N+27.5	2.75	0.70	0.82
N+24.75	2.75	0.75	0.85
N+22.00	2.75	0.81	0.90

N+19.25	2.75	0.87	0.94
N+16.5	2.75	0.92	0.96
N+13.75	2.75	0.95	0.96
N+11.00	2.75	0.95	0.93
N+8.25	2.75	0.91	0.85
N+5.50	2.75	0.82	0.74
N+2.75	2.75	0.63	0.50
N+0.00	0	0.00	0.00

$$\Delta a = \sqrt{\left(\delta x_1 - \delta x_2\right)^2 + \left(\delta y_1 - \delta y_2\right)^2}$$

Da= Deriva del análisis
Dr= deriva permitida (0.01h)

PUSHOVER SENTIDO X							
	H piso (m)	δx (m)	δy (m)	**Da** (cm)	**Dr** (cm)		%
N+27.5	2.75	0.2293	0.0026	1.93	2.75	OK	0.70
N+24.75	2.75	0.2100	0.0023	2.06	2.75	OK	0.75
N+22.00	2.75	0.1893	0.0020	2.23	2.75	OK	0.81
N+19.25	2.75	0.1670	0.0017	2.40	2.75	OK	0.87
N+16.5	2.75	0.1430	0.0014	2.54	2.75	OK	0.92
N+13.75	2.75	0.1176	0.0011	2.63	2.75	OK	0.95
N+11.00	2.75	0.0913	0.0008	2.62	2.75	OK	0.95
N+8.25	2.75	0.0651	0.0005	2.51	2.75	OK	0.91
N+5.50	2.75	0.0400	0.0002	2.26	2.75	OK	0.82
N+2.75	2.75	0.0174	0.0000	1.74	2.75	OK	0.63

PUSHOVER SENTIDO Y							
	H piso (m)	δx (m)	δy (m)	**Da** (cm)	**Dr** (cm)		%
N+27.5	2.75	0.00022	0.2579	2.25	2.75	OK	0.82
N+24.75	2.75	0.00021	0.2330	2.35	2.75	OK	0.85
N+22.00	2.75	0.00020	0.2069	2.47	2.75	OK	0.90
N+19.25	2.75	0.00019	0.1795	2.58	2.75	OK	0.94
N+16.5	2.75	0.00017	0.1509	2.64	2.75	OK	0.96
N+13.75	2.75	0.00015	0.1215	2.64	2.75	OK	0.96
N+11.00	2.75	0.00013	0.0922	2.55	2.75	OK	0.93
N+8.25	2.75	0.00010	0.0639	2.35	2.75	OK	0.85
N+5.50	2.75	0.00005	0.0378	2.03	2.75	OK	0.74
N+2.75	2.75	0.00001	0.0152	1.37	2.75	OK	0.50

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.1.2 Estabilidad general

CALCULO INDICE DE ESTABILIDAD Qi (A.6.2.3)

No de pisos 10
H piso 2.75

Sentido X

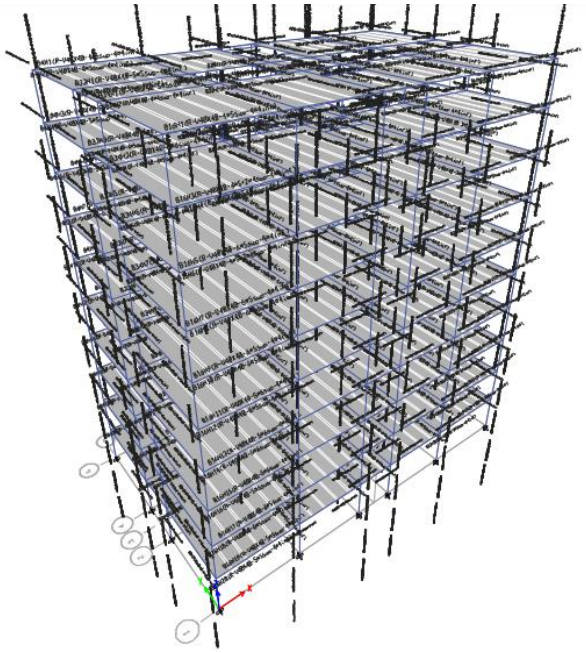
PISO	MASA	P_{MUERTA}	P_{VIVA}	P_{TOTAL}	Δ_{CM}	V_I	Q_I	CHECK	CHECK
	Ton-s^2/m	Ton	Ton	Ton	H_{pi}	ton		P-Delta	Estabilidad
N+27.5	27.70374	271.680882	58.8861	330.566982	0.012598	70.3268	0.022	ok	estable
N+24.75	41.46991	406.680893	118.3423	525.023193	0.013217	169.0296	0.015	ok	estable
N+22.00	41.46991	406.680893	177.7984	584.479293	0.014008	259.7025	0.012	ok	estable
N+19.25	41.46991	406.680893	237.2545	643.935393	0.014783	340.5304	0.011	ok	estable
N+16.5	41.46991	406.680893	296.7106	703.391493	0.01536	409.7127	0.010	ok	estable
N+13.75	41.46991	406.680893	356.1668	762.847693	0.015605	465.7574	0.010	ok	estable
N+11.00	41.46991	406.680893	415.6229	822.303793	0.015403	507.7364	0.010	ok	estable
N+8.25	41.46991	406.680893	475.079	881.759893	0.014667	535.5631	0.009	ok	estable
N+5.50	41.46991	406.680893	534.5352	941.216093	0.013312	550.3568	0.009	ok	estable
N+2.75	41.46991	406.680893	593.9913	1000.67219	0.009974	554.9887	0.007	ok	estable

Sentido Y

PISO	MASA	P_{MUERTA}	P_{VIVA}	P_{TOTAL}	Δ_{CM}	V_I	Q_I	CHECK	CHECK
	Ton-s^2/m	Ton	Ton	Ton	H_{pi}	ton		P-Delta	Estabilidad
N+27.5	27.70374	271.680882	58.8861	330.566982	0.013727	55.4244	0.03	ok	estable
N+24.75	41.46991	406.680893	118.3423	525.023193	0.014137	132.7741	0.021	ok	estable
N+22.00	41.46991	406.680893	177.7984	584.479293	0.01463	203.4367	0.016	ok	estable
N+19.25	41.46991	406.680893	237.2545	643.935393	0.015068	266.089	0.014	ok	estable
N+16.5	41.46991	406.680893	296.7106	703.391493	0.015317	319.4306	0.013	ok	estable
N+13.75	41.46991	406.680893	356.1668	762.847693	0.015267	362.4096	0.012	ok	estable
N+11.00	41.46991	406.680893	415.6229	822.303793	0.014828	394.4188	0.012	ok	estable
N+8.25	41.46991	406.680893	475.079	881.759893	0.013935	415.5045	0.011	ok	estable
N+5.50	41.46991	406.680893	534.5352	941.216093	0.01251	426.6349	0.011	ok	estable
N+2.75	41.46991	406.680893	593.9913	1000.67219	0.008833	430.0895	0.008	ok	estable

5.2.2 Lacustre 100

Figura 25. Modelo No lineal estructura zona lacustre 100



Fuente: Elaboración propia, ETABS

Estructura de 10 pisos con luces entre ejes de 4 a 6 metros destinada para vivienda, altura de entrepisos 2.75 m. Con vigas de 40x40 cm, columnas 40x160 cm y 40x100 cm, en anexo 1 se presenta la planta arquitectónica de dicha edificación. Esta se encuentra empotrada en su base y los elementos viga y columnas están asignadas las rotulas plásticas, en el anexo 2 se presenta la definición de las rotulas plásticas. El desplazamiento objetivo en la cubierta es calculado a parir de la ASCE 41-13 y la NSR-10, ver anexo 3.

5.2.2.1 Derivas

Tabla 50. Derivas lacustre 100 no lineal

PISO	H PISO (m)	DERIVA EN X (%)	DERIVA EN Y (%)
N+27.5	2.75	0.42	0.48
N+24.75	2.75	0.51	0.57
N+22.00	2.75	0.62	0.68
N+19.25	2.75	0.72	0.79

N+16.5	2.75	0.82	0.88
N+13.75	2.75	0.87	0.94
N+11.00	2.75	0.88	0.94
N+8.25	2.75	0.81	0.86
N+5.50	2.75	0.63	0.66
N+2.75	2.75	0.29	0.30
N+0.00	0	0.00	0.00

$$\Delta a = \sqrt{\left(\delta x_1 - \delta x_2\right)^2 + \left(\delta y_1 - \delta y_2\right)^2}$$

Da= Deriva del análisis
Dr= deriva permitida (0.01h)

DERIVA SENTIDO X

	H piso (m)	δx (m)	δy (m)	**Da** (cm)	**Dr** (cm)		%
N+27.5	2.75	0.1714	0.0565	1.14	2.75	OK	0.42
N+24.75	2.75	0.1606	0.0527	1.39	2.75	OK	0.51
N+22.00	2.75	0.1475	0.0481	1.69	2.75	OK	0.62
N+19.25	2.75	0.1314	0.0427	1.99	2.75	OK	0.72
N+16.5	2.75	0.1125	0.0363	2.24	2.75	OK	0.82
N+13.75	2.75	0.0912	0.0293	2.40	2.75	OK	0.87
N+11.00	2.75	0.0684	0.0219	2.42	2.75	OK	0.88
N+8.25	2.75	0.0454	0.0144	2.23	2.75	OK	0.81
N+5.50	2.75	0.0242	0.0076	1.74	2.75	OK	0.63
N+2.75	2.75	0.0076	0.0024	0.79	2.75	OK	0.29

DERIVA SENTIDO Y

	H piso (m)	δx (m)	δy (m)	**Da** (cm)	**Dr** (cm)		%
N+27.5	2.75	0.05159	0.1886	1.32	2.75	OK	0.48
N+24.75	2.75	0.04834	0.1758	1.57	2.75	OK	0.57
N+22.00	2.75	0.04439	0.1606	1.88	2.75	OK	0.68
N+19.25	2.75	0.03957	0.1424	2.19	2.75	OK	0.79
N+16.5	2.75	0.03388	0.1213	2.43	2.75	OK	0.88
N+13.75	2.75	0.02747	0.0978	2.58	2.75	OK	0.94
N+11.00	2.75	0.02060	0.0729	2.58	2.75	OK	0.94
N+8.25	2.75	0.01367	0.0481	2.36	2.75	OK	0.86
N+5.50	2.75	0.00728	0.0255	1.82	2.75	OK	0.66
N+2.75	2.75	0.00228	0.0079	0.82	2.75	OK	0.30

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.2.2 Estabilidad general

CÁLCULO INDICE DE ESTABILIDAD Qi (A.6.2.3)

No de pisos 10
H piso 2.75
Sentido X

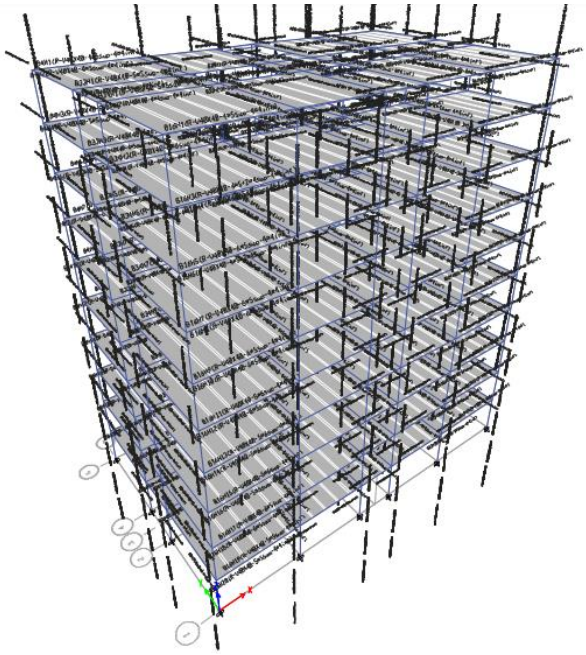
PISO	MASA	P_{MUERTA}	P_{VIVA}	P_{TOTAL}	Δ_{CM}	V_I	Q_I	CHECK	CHECK
	Ton-s²/m	Ton	Ton	Ton	H_{pi}	ton		P-Delta	Estabilidad
N+27.5	27.70374	271.680882	58.8861	330.566982	0.012576	70.9967	0.022	ok	estable
N+24.75	41.46991	406.680893	118.3423	525.023193	0.013205	170.6397	0.015	ok	estable
N+22.00	41.46991	406.680893	177.7984	584.479293	0.01401	262.1763	0.012	ok	estable
N+19.25	41.46991	406.680893	237.2545	643.935393	0.014803	343.7741	0.011	ok	estable
N+16.5	41.46991	406.680893	296.7106	703.391493	0.015395	413.6155	0.010	ok	estable
N+13.75	41.46991	406.680893	356.1668	762.847693	0.015654	470.194	0.010	ok	estable
N+11.00	41.46991	406.680893	415.6229	822.303793	0.015463	512.5729	0.010	ok	estable
N+8.25	41.46991	406.680893	475.079	881.759893	0.014735	540.6646	0.009	ok	estable
N+5.50	41.46991	406.680893	534.5352	941.216093	0.013384	555.5993	0.009	ok	estable
N+2.75	41.46991	406.680893	593.9913	1000.67219	0.010034	560.2753	0.007	ok	estable

Sentido Y

PISO	MASA	P_{MUERTA}	P_{VIVA}	P_{TOTAL}	Δ_{CM}	V_I	Q_I	CHECK	CHECK
	Ton-s²/m	Ton	Ton	Ton	H_{pi}	ton		P-Delta	Estabilidad
N+27.5	27.70374	271.680882	58.8861	330.566982	0.014491	55.8307	0.032	ok	estable
N+24.75	41.46991	406.680893	118.3423	525.023193	0.014903	133.7473	0.022	ok	estable
N+22.00	41.46991	406.680893	177.7984	584.479293	0.015397	204.9279	0.016	ok	estable
N+19.25	41.46991	406.680893	237.2545	643.935393	0.015834	268.0395	0.014	ok	estable
N+16.5	41.46991	406.680893	296.7106	703.391493	0.01608	321.7721	0.013	ok	estable
N+13.75	41.46991	406.680893	356.1668	762.847693	0.016025	365.0661	0.013	ok	estable
N+11.00	41.46991	406.680893	415.6229	822.303793	0.015575	397.3099	0.012	ok	estable
N+8.25	41.46991	406.680893	475.079	881.759893	0.014668	418.5502	0.012	ok	estable
N+5.50	41.46991	406.680893	534.5352	941.216093	0.013217	429.7622	0.011	ok	estable
N+2.75	41.46991	406.680893	593.9913	1000.67219	0.009343	433.2421	0.008	ok	estable

5.2.3 Lacustre 200

Figura 26. Modelo No lineal estructura zona lacustre 200



Fuente: Elaboración propia, ETABS

Estructura de 10 pisos con luces entre ejes de 4 a 6 metros destinada para vivienda, altura de entrepisos 2.75 m. Con vigas de 40x40 cm, columnas 40x160 cm y 40x100 cm, en anexo 1 se presenta la planta arquitectónica de dicha edificación. Esta se encuentra empotrada en su base y los elementos viga y columnas están asignadas las rotulas plásticas, en el anexo 2 se presenta la definición de las rotulas plásticas. El desplazamiento objetivo en la cubierta es calculado a parir de la ASCE 41-13 y la NSR-10, ver anexo 3.

5.2.3.1 Derivas

Tabla 52. Derivas lacustre 200 no lineal

PISO	H PISO (m)	DERIVA EN X (%)	DERIVA EN Y (%)
N+27.5	2.75	0.73	0.86
N+24.75	2.75	0.77	0.88
N+22.00	2.75	0.82	0.92
N+19.25	2.75	0.87	0.94

N+16.5	2.75	0.90	0.95
N+13.75	2.75	0.92	0.94
N+11.00	2.75	0.90	0.90
N+8.25	2.75	0.86	0.83
N+5.50	2.75	0.77	0.72
N+2.75	2.75	0.58	0.49
N+0.00	0	0.00	0.00

$$\Delta a = \sqrt{\left(\delta x_1 - \delta x_2\right)^2 + \left(\delta y_1 - \delta y_2\right)^2}$$

Da= Deriva del análisis
Dr= deriva permitida (0.01h)

PUSHOVER SENTIDO X							
	H piso (m)	δx (m)	δy (m)	**Da** (cm)	**Dr** (cm)		%
N+27.5	2.75	0.2625	0.0021	2.01	2.75	OK	0.73
N+24.75	2.75	0.2388	0.0019	2.12	2.75	OK	0.77
N+22.00	2.75	0.2139	0.0016	2.25	2.75	OK	0.82
N+19.25	2.75	0.1874	0.0014	2.38	2.75	OK	0.87
N+16.5	2.75	0.1594	0.0011	2.48	2.75	OK	0.90
N+13.75	2.75	0.1302	0.0008	2.52	2.75	OK	0.92
N+11.00	2.75	0.1005	0.0005	2.49	2.75	OK	0.90
N+8.25	2.75	0.0712	0.0003	2.36	2.75	OK	0.86
N+5.50	2.75	0.0435	0.0001	2.11	2.75	OK	0.77
N+2.75	2.75	0.0187	0.0000	1.59	2.75	OK	0.58

PUSHOVER SENTIDO Y							
	H piso (m)	δx (m)	δy (m)	**Da** (cm)	**Dr** (cm)		%
N+27.5	2.75	0.00019	0.2725	2.35	2.75	OK	0.86
N+24.75	2.75	0.00018	0.2448	2.43	2.75	OK	0.88
N+22.00	2.75	0.00016	0.2162	2.52	2.75	OK	0.92
N+19.25	2.75	0.00014	0.1866	2.59	2.75	OK	0.94
N+16.5	2.75	0.00012	0.1561	2.62	2.75	OK	0.95
N+13.75	2.75	0.00009	0.1253	2.58	2.75	OK	0.94
N+11.00	2.75	0.00007	0.0949	2.47	2.75	OK	0.90
N+8.25	2.75	0.00005	0.0658	2.27	2.75	OK	0.83
N+5.50	2.75	0.00004	0.0391	1.97	2.75	OK	0.72
N+2.75	2.75	0.00005	0.0159	1.35	2.75	OK	0.49

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.3.2 Estabilidad General

CÁLCULO INDICE DE ESTABILIDAD Qi (A.6.2.3)

No de pisos 10
H piso 2.75

Sentido X

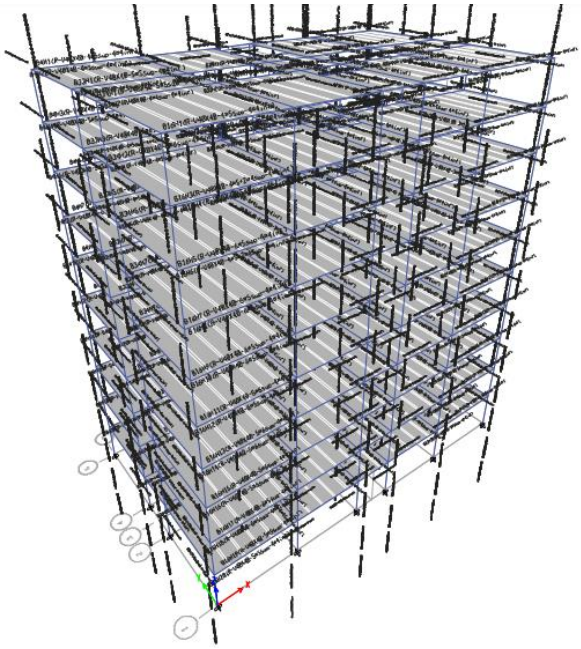
PISO	MASA	P_{MUERTA}	P_{VIVA}	P_{TOTAL}	Δ_{CM}	V_I	Q_I	CHECK	CHECK
	Ton-s²/m	Ton	Ton	Ton	H_{pi}	ton		P-Delta	Estabilidad
N+27.5	27.70374	271.680882	58.8861	330.566982	0.013863	78.3378	0.022	ok	estable
N+24.75	41.46991	406.680893	118.3423	525.023193	0.014349	188.2837	0.015	ok	estable
N+22.00	41.46991	406.680893	177.7984	584.479293	0.014934	289.2852	0.011	ok	estable
N+19.25	41.46991	406.680893	237.2545	643.935393	0.015493	379.3202	0.010	ok	estable
N+16.5	41.46991	406.680893	296.7106	703.391493	0.015906	456.3831	0.009	ok	estable
N+13.75	41.46991	406.680893	356.1668	762.847693	0.016039	518.8118	0.009	ok	estable
N+11.00	41.46991	406.680893	415.6229	822.303793	0.015811	565.5726	0.009	ok	estable
N+8.25	41.46991	406.680893	475.079	881.759893	0.01514	596.569	0.009	ok	estable
N+5.50	41.46991	406.680893	534.5352	941.216093	0.013916	613.0479	0.008	ok	estable
N+2.75	41.46991	406.680893	593.9913	1000.67219	0.010924	618.2074	0.007	ok	estable

Sentido Y

PISO	MASA	P_{MUERTA}	P_{VIVA}	P_{TOTAL}	Δ_{CM}	V_I	Q_I	CHECK	CHECK
	Ton-s²/m	Ton	Ton	Ton	H_{pi}	ton		P-Delta	Estabilidad
N+27.5	27.70374	271.680882	58.8861	330.566982	0.016109	57.071	0.034	ok	estable
N+24.75	41.46991	406.680893	118.3423	525.023193	0.016454	136.7186	0.023	ok	estable
N+22.00	41.46991	406.680893	177.7984	584.479293	0.016841	209.4805	0.018	ok	estable
N+19.25	41.46991	406.680893	237.2545	643.935393	0.017134	273.9941	0.015	ok	estable
N+16.5	41.46991	406.680893	296.7106	703.391493	0.017219	328.9205	0.014	ok	estable
N+13.75	41.46991	406.680893	356.1668	762.847693	0.017011	373.1764	0.013	ok	estable
N+11.00	41.46991	406.680893	415.6229	822.303793	0.016446	406.1365	0.013	ok	estable
N+8.25	41.46991	406.680893	475.079	881.759893	0.01547	427.8486	0.012	ok	estable
N+5.50	41.46991	406.680893	534.5352	941.216093	0.013992	439.3097	0.011	ok	estable
N+2.75	41.46991	406.680893	593.9913	1000.67219	0.010048	442.8669	0.009	ok	estable

5.2.4 Lacustre 300

Figura 27. Modelo No lineal estructura zona lacustre 300



Fuente: Elaboración propia, ETABS

Estructura de 10 pisos con luces entre ejes de 4 a 6 metros destinada para vivienda, altura de entrepisos 2.75 m. Con vigas de 40x40 cm, columnas 40x160 cm y 40x100 cm, en anexo 1 se presenta la planta arquitectónica de dicha edificación. Esta se encuentra empotrada en su base y los elementos viga y columnas están asignadas las rotulas plásticas, en el anexo 2 se presenta la definición de las rotulas plásticas. El desplazamiento objetivo en la cubierta es calculado a parir de la ASCE 41-13 y la NSR-10, ver anexo 3.

5.2.4.1 Derivas

Tabla 54. Derivas lacustre 300 no lineal

PISO	H PISO (m)	DERIVA EN X (%)	DERIVA EN Y (%)
N+27.5	2.75	0.67	0.80
N+24.75	2.75	0.71	0.83
N+22.00	2.75	0.76	0.86
N+19.25	2.75	0.81	0.89

N+16.5	2.75	0.85	0.91
N+13.75	2.75	0.87	0.90
N+11.00	2.75	0.85	0.86
N+8.25	2.75	0.80	0.78
N+5.50	2.75	0.71	0.67
N+2.75	2.75	0.51	0.45
N+0.00	0	0.00	0.00

$$\Delta a = \sqrt{\left(\delta x_1 - \delta x_2\right)^2 + \left(\delta y_1 - \delta y_2\right)^2}$$

Da= Deriva del análisis
Dr= deriva permitida (0.01h)

PUSHOVER SENTIDO X							
	H piso (m)	δx (m)	δy (m)	**Da** (cm)	**Dr** (cm)		%
N+27.5	2.75	0.2306	0.0022	1.84	2.75	OK	0.67
N+24.75	2.75	0.2102	0.0020	1.96	2.75	OK	0.71
N+22.00	2.75	0.1885	0.0017	2.10	2.75	OK	0.76
N+19.25	2.75	0.1651	0.0015	2.24	2.75	OK	0.81
N+16.5	2.75	0.1402	0.0012	2.34	2.75	OK	0.85
N+13.75	2.75	0.1142	0.0009	2.38	2.75	OK	0.87
N+11.00	2.75	0.0877	0.0006	2.35	2.75	OK	0.85
N+8.25	2.75	0.0617	0.0004	2.21	2.75	OK	0.80
N+5.50	2.75	0.0372	0.0002	1.94	2.75	OK	0.71
N+2.75	2.75	0.0156	0.0000	1.40	2.75	OK	0.51

PUSHOVER SENTIDO Y							
	H piso (m)	δx (m)	δy (m)	**Da** (cm)	**Dr** (cm)		%
N+27.5	2.75	0.00019	0.2429	2.19	2.75	OK	0.80
N+24.75	2.75	0.00019	0.2185	2.28	2.75	OK	0.83
N+22.00	2.75	0.00018	0.1932	2.38	2.75	OK	0.86
N+19.25	2.75	0.00017	0.1668	2.46	2.75	OK	0.89
N+16.5	2.75	0.00015	0.1395	2.49	2.75	OK	0.91
N+13.75	2.75	0.00014	0.1118	2.47	2.75	OK	0.90
N+11.00	2.75	0.00012	0.0844	2.36	2.75	OK	0.86
N+8.25	2.75	0.00009	0.0582	2.16	2.75	OK	0.78
N+5.50	2.75	0.00005	0.0342	1.85	2.75	OK	0.67
N+2.75	2.75	0.00000	0.0136	1.23	2.75	OK	0.45

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.4.2 Estabilidad General

CÁLCULO INDICE DE ESTABILIDAD Qi (A.6.2.3)

No de pisos 10
H piso 2.75
Sentido X

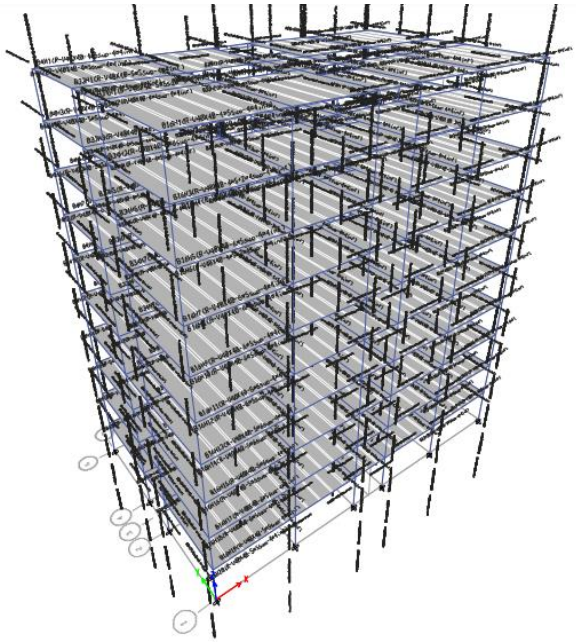
PISO	MASA	P_{MUERTA}	P_{VIVA}	P_{TOTAL}	Δ_{CM}	V_I	Q_I	CHECK	CHECK
	Ton-s^2/m	Ton	Ton	Ton	H_{pi}	ton		P-Delta	Estabilidad
N+27.5	27.70374	271.680882	58.8861	330.566982	0.013157	73.2324	0.022	ok	estable
N+24.75	41.46991	406.680893	118.3423	525.023193	0.00000031	176.0131	0.001	ok	estable
N+22.00	41.46991	406.680893	177.7984	584.479293	0.000001	270.4322	0.001	ok	estable
N+19.25	41.46991	406.680893	237.2545	643.935393	0.000001	354.5996	0.001	ok	estable
N+16.5	41.46991	406.680893	296.7106	703.391493	0.000002	426.6402	0.001	ok	estable
N+13.75	41.46991	406.680893	356.1668	762.847693	0.000002	485.0004	0.001	ok	estable
N+11.00	41.46991	406.680893	415.6229	822.303793	0.000002	528.7138	0.001	ok	estable
N+8.25	41.46991	406.680893	475.079	881.759893	0.000002	557.6901	0.001	ok	estable
N+5.50	41.46991	406.680893	534.5352	941.216093	0.000002	573.095	0.001	ok	estable
N+2.75	41.46991	406.680893	593.9913	1000.67219	0.000001	577.9183	0.001	ok	estable

Sentido Y

PISO	MASA	P_{MUERTA}	P_{VIVA}	P_{TOTAL}	Δ_{CM}	V_I	Q_I	CHECK	CHECK
	Ton-s^2/m	Ton	Ton	Ton	H_{pi}	ton		P-Delta	Estabilidad
N+27.5	27.70374	271.680882	58.8861	330.566982	0.014099	54.1012	0.032	ok	estable
N+24.75	41.46991	406.680893	118.3423	525.023193	0.000086	129.6042	0.001	ok	estable
N+22.00	41.46991	406.680893	177.7984	584.479293	0.000089	198.5799	0.001	ok	estable
N+19.25	41.46991	406.680893	237.2545	643.935393	0.000099	259.7364	0.001	ok	estable
N+16.5	41.46991	406.680893	296.7106	703.391493	0.000106	311.8046	0.001	ok	estable
N+13.75	41.46991	406.680893	356.1668	762.847693	0.000103	353.7576	0.001	ok	estable
N+11.00	41.46991	406.680893	415.6229	822.303793	0.000093	385.0025	0.001	ok	estable
N+8.25	41.46991	406.680893	475.079	881.759893	0.000077	405.5849	0.001	ok	estable
N+5.50	41.46991	406.680893	534.5352	941.216093	0.000054	416.4495	0.001	ok	estable
N+2.75	41.46991	406.680893	593.9913	1000.67219	0.000026	419.8217	0.001	ok	estable

5.2.5 Lacustre 500

Figura 28. Modelo No lineal estructura zona lacustre 500



Fuente: Elaboración propia, ETABS

Estructura de 10 pisos con luces entre ejes de 4 a 6 metros destinada para vivienda, altura de entrepisos 2.75 m. Con vigas de 40x40 cm, columnas 40x160 cm y 40x100 cm, en anexo 1 se presenta la planta arquitectónica de dicha edificación. Esta se encuentra empotrada en su base y los elementos viga y columnas están asignadas las rotulas plásticas, en el anexo 2 se presenta la definición de las rotulas plásticas. El desplazamiento objetivo en la cubierta es calculado a parir de la ASCE 41-13 y la NSR-10, ver anexo 3.

5.2.5.1 Derivas

Tabla 56. Derivas lacustre 500 no lineal

PISO	H PISO (m)	DERIVA EN X (%)	DERIVA EN Y (%)
N+27.5	2.75	0.60	0.74
N+24.75	2.75	0.64	0.77
N+22.00	2.75	0.69	0.80
N+19.25	2.75	0.74	0.83

N+16.5	2.75	0.77	0.85
N+13.75	2.75	0.79	0.84
N+11.00	2.75	0.77	0.80
N+8.25	2.75	0.71	0.73
N+5.50	2.75	0.61	0.62
N+2.75	2.75	0.42	0.40
N+0.00	0	0.00	0.00

$$\Delta a = \sqrt{\left(\delta x_1 - \delta x_2\right)^2 + \left(\delta y_1 - \delta y_2\right)^2}$$

Da= Deriva del análisis
Dr= deriva permitida (0.01h)

PUSHOVER SENTIDO X							
	H piso (m)	δx (m)	δy (m)	**Da** (cm)	**Dr** (cm)		%
N+27.5	2.75	0.2060	0.0023	1.64	2.75	OK	0.60
N+24.75	2.75	0.1878	0.0021	1.75	2.75	OK	0.64
N+22.00	2.75	0.1683	0.0018	1.90	2.75	OK	0.69
N+19.25	2.75	0.1472	0.0015	2.03	2.75	OK	0.74
N+16.5	2.75	0.1247	0.0013	2.13	2.75	OK	0.77
N+13.75	2.75	0.1010	0.0010	2.16	2.75	OK	0.79
N+11.00	2.75	0.0770	0.0007	2.11	2.75	OK	0.77
N+8.25	2.75	0.0535	0.0004	1.96	2.75	OK	0.71
N+5.50	2.75	0.0317	0.0002	1.69	2.75	OK	0.61
N+2.75	2.75	0.0129	0.0000	1.16	2.75	OK	0.42

PUSHOVER SENTIDO Y							
	H piso (m)	δx (m)	δy (m)	**Da** (cm)	**Dr** (cm)		%
N+27.5	2.75	0.00021	0.2253	2.02	2.75	OK	0.74
N+24.75	2.75	0.00020	0.2029	2.11	2.75	OK	0.77
N+22.00	2.75	0.00019	0.1794	2.21	2.75	OK	0.80
N+19.25	2.75	0.00018	0.1549	2.29	2.75	OK	0.83
N+16.5	2.75	0.00017	0.1294	2.33	2.75	OK	0.85
N+13.75	2.75	0.00015	0.1035	2.31	2.75	OK	0.84
N+11.00	2.75	0.00013	0.0778	2.21	2.75	OK	0.80
N+8.25	2.75	0.00010	0.0533	2.01	2.75	OK	0.73
N+5.50	2.75	0.00006	0.0310	1.70	2.75	OK	0.62
N+2.75	2.75	0.00000	0.0121	1.09	2.75	OK	0.40

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.5.1 Estabilidad General

CÁLCULO INDICE DE ESTABILIDAD Qi (A.6.2.3)

No de pisos 10
H piso 2.75

Sentido X

PISO	MASA	P_{MUERTA}	P_{VIVA}	P_{TOTAL}	Δ_{CM}	V_I	Q_I	CHECK	CHECK
	Ton-s²/m	Ton	Ton	Ton	H_{pi}	ton		P-Delta	Estabilidad
N+27.5	27.70374	271.680882	58.8861	330.566982	0.013285	70.4237	0.023	ok	estable
N+24.75	41.46991	406.680893	118.3423	525.023193	0.000000	169.2623	0.001	ok	estable
N+22.00	41.46991	406.680893	177.7984	584.479293	0.000001	260.0601	0.001	ok	estable
N+19.25	41.46991	406.680893	237.2545	643.935393	0.000001	340.9993	0.001	ok	estable
N+16.5	41.46991	406.680893	296.7106	703.391493	0.000002	410.2768	0.001	ok	estable
N+13.75	41.46991	406.680893	356.1668	762.847693	0.000002	466.3987	0.001	ok	estable
N+11.00	41.46991	406.680893	415.6229	822.303793	0.000002	508.4355	0.001	ok	estable
N+8.25	41.46991	406.680893	475.079	881.759893	0.000002	536.3005	0.001	ok	estable
N+5.50	41.46991	406.680893	534.5352	941.216093	0.000002	551.1145	0.001	ok	estable
N+2.75	41.46991	406.680893	593.9913	1000.67219	0.000001	555.7529	0.001	ok	estable

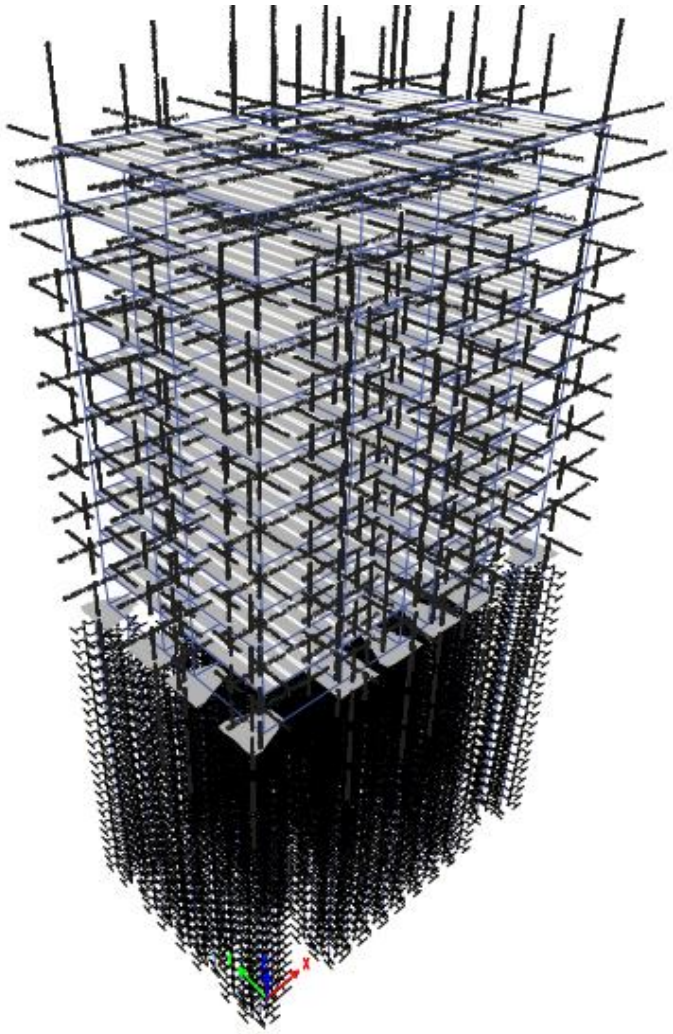
Sentido Y

PISO	MASA	P_{MUERTA}	P_{VIVA}	P_{TOTAL}	Δ_{CM}	V_I	Q_I	CHECK	CHECK
	Ton-s²/m	Ton	Ton	Ton	H_{pi}	ton		P-Delta	Estabilidad
N+27.5	27.70374	271.680882	58.8861	330.566982	0.014081	53.1989	0.032	ok	estable
N+24.75	41.46991	406.680893	118.3423	525.023193	0.000101	127.4427	0.001	ok	estable
N+22.00	41.46991	406.680893	177.7984	584.479293	0.000103	195.2679	0.001	ok	estable
N+19.25	41.46991	406.680893	237.2545	643.935393	0.000104	255.4045	0.001	ok	estable
N+16.5	41.46991	406.680893	296.7106	703.391493	0.000103	306.6042	0.001	ok	estable
N+13.75	41.46991	406.680893	356.1668	762.847693	0.0001	347.8575	0.001	ok	estable
N+11.00	41.46991	406.680893	415.6229	822.303793	0.000092	378.5813	0.001	ok	estable
N+8.25	41.46991	406.680893	475.079	881.759893	0.00008	398.8204	0.001	ok	estable
N+5.50	41.46991	406.680893	534.5352	941.216093	0.000059	409.5039	0.001	ok	estable
N+2.75	41.46991	406.680893	593.9913	1000.67219	0.000026	412.8197	0.001	ok	estable

5.3 Análisis no lineal estático con interacción suelo-estructura.

5.3.1 Lacustre 50.

Figura 29. Modelo No lineal estructura zona lacustre 50 con Interacción suelo Estructura.

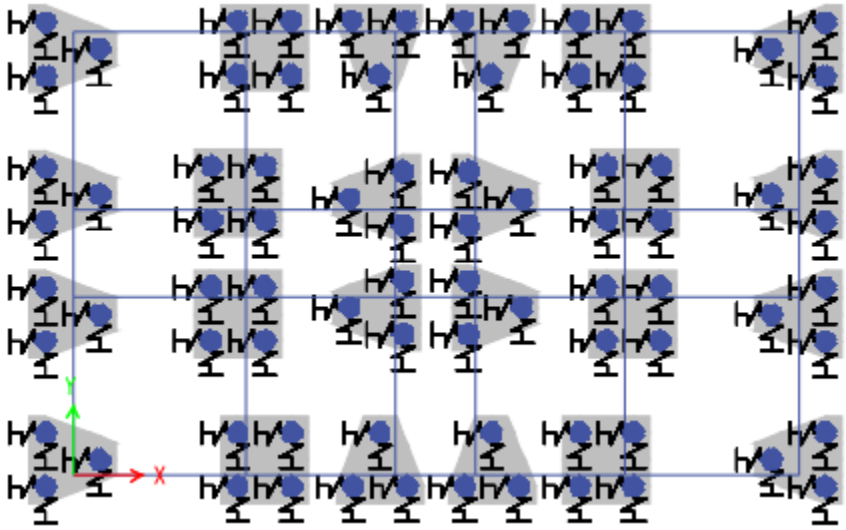


Fuente: Elaboración propia, ETABS

Estructura de 10 pisos con luces entre ejes de 4 a 6 metros destinada para vivienda, altura de entrepisos 2.75 m. Con vigas de 40x40 cm, columnas 40x160 cm y 40x100 cm, en anexo 1 se presenta la planta arquitectónica de dicha edificación. En esta se modela la cimentación obtenida del estudio de suelos para cada zona lacustre, en el Anexo 5 se

presenta dicho estudio, en el anexo 4 se muestra el cuadro de cantidad de pilotes según la capacidad portante de cada zona lacustre.

Figura 30. Modelo Cimentación zona lacustre 50.



Fuente: Elaboración propia, ETABS

Esta cimentación consta de vigas de 50x100 cm, cabezales separados según recomendación del estudio de suelo tres veces el diámetro del pilote. Los pilotes planteados son de 60 cm de diámetro por 25 m de profundidad, estos trabajan por punta y a fricción. La rigidez de los pilotes se representa a partir de un coeficiente de balasto vertical y horizontal contemplando los principios de mecánica de suelos, estos tienen como principal característica el módulo de elasticidad del suelo, obtenido de curvas de esfuerzo deformación del suelo que consideran el rango elástico y plástico del mismo.

5.3.1.1 Análisis Estructural no lineal y solicitaciones

5.3.1.1.1 Datos análisis de Push Over ASCE 41-13 en dirección X

Gráfica 1. Push Over Bilineal en dirección X lacustre 50.

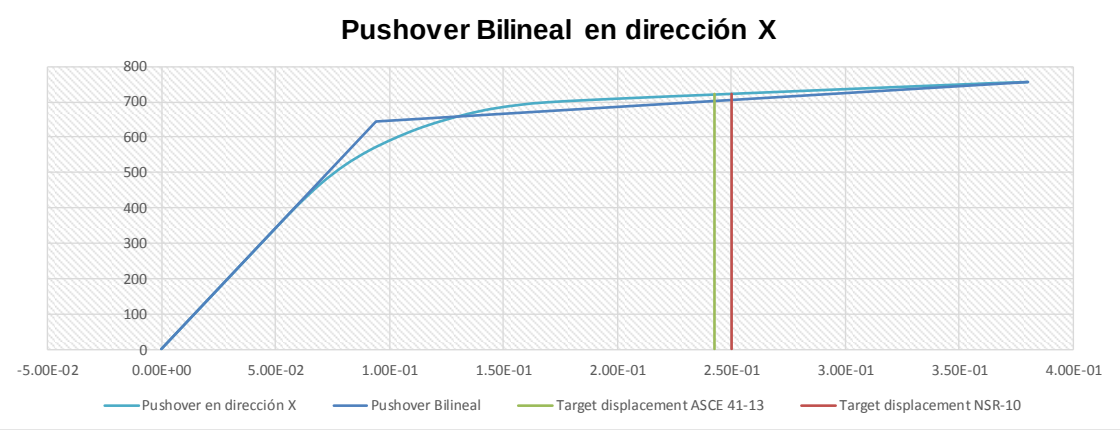
Target dp ASCE 41-13		1.5 dp ASCE 41-13	
0	0.24 m	0	0.363811
721.5 Ton	0.24 m	754 Ton	0.363811

Target dp NSR-10		1.5 dp NSR-10	
0.25 m	0	0.375	0
0.25 m	724 Ton	0.375	757 Ton

Pushover en dirección X

Limite deriva: 0.28m
Cortante en el limite: 2064 Ton
Target displacement ASCE 41-13: 0.24m
Cortante target: 721.5 Ton

Target displacement NSR-10: 0.25m
Cortante target: 723.5 Ton



Modelo bilineal

Area = 232.2
V_y = 644 Ton
V_u = 757.0 Ton
δ_u = 0.380m
δ_y = 0.094m

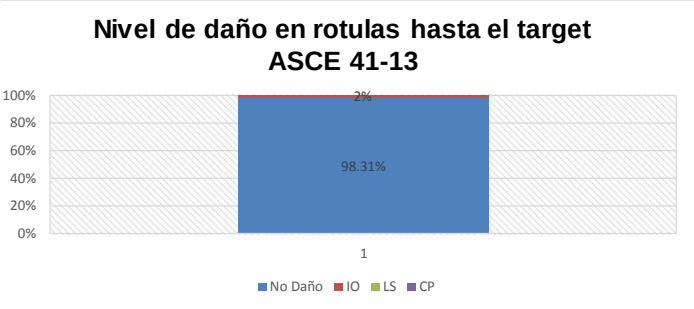
Pushover Bilineal	
0.00	0.00
0.09	644
0.38	757

Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

Tabla 58. Nivel de daño Push X Lacustre 50.

Nivel de daño en los elementos hasta el target ASCE 41-13

Total de rótulas asignadas	NIVEL	1720	100%
Rótulas formadas	No Daño	1691	98.31%
	IO	29	1.69%
	LS	0	0%
	CP	0	0%



Calculo de ductilidad por desplazamientos

Δu = 0.38m
Δ_y = 0.0489m
V_y = 334 Ton
V_e = 2064 Ton

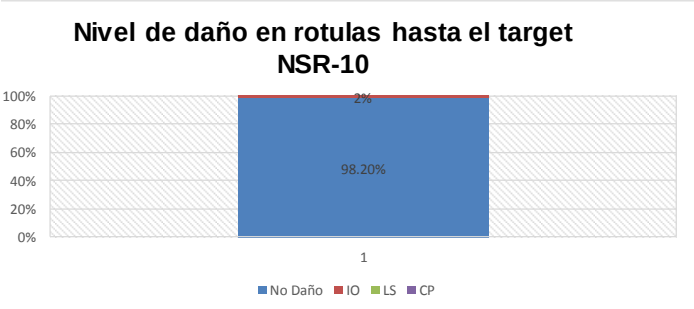
μ = 7.77

Factor de reduccion de demanda de resistencia por ductilidad

R = 6.17

Nivel de daño en los elementos hasta el target NSR-10

Total de rótulas asignadas	NIVEL	1720	100%
Rótulas formadas	No Daño	1689	98.20%
	IO	31	1.8%
	LS	0	0%
	CP	0	0%



Calculo de ductilidad por desplazamientos

Δu = 0.38m
Δ_y = 0.0489m
V_y = 334 Ton
V_e = 2064 Ton

μ = 7.77

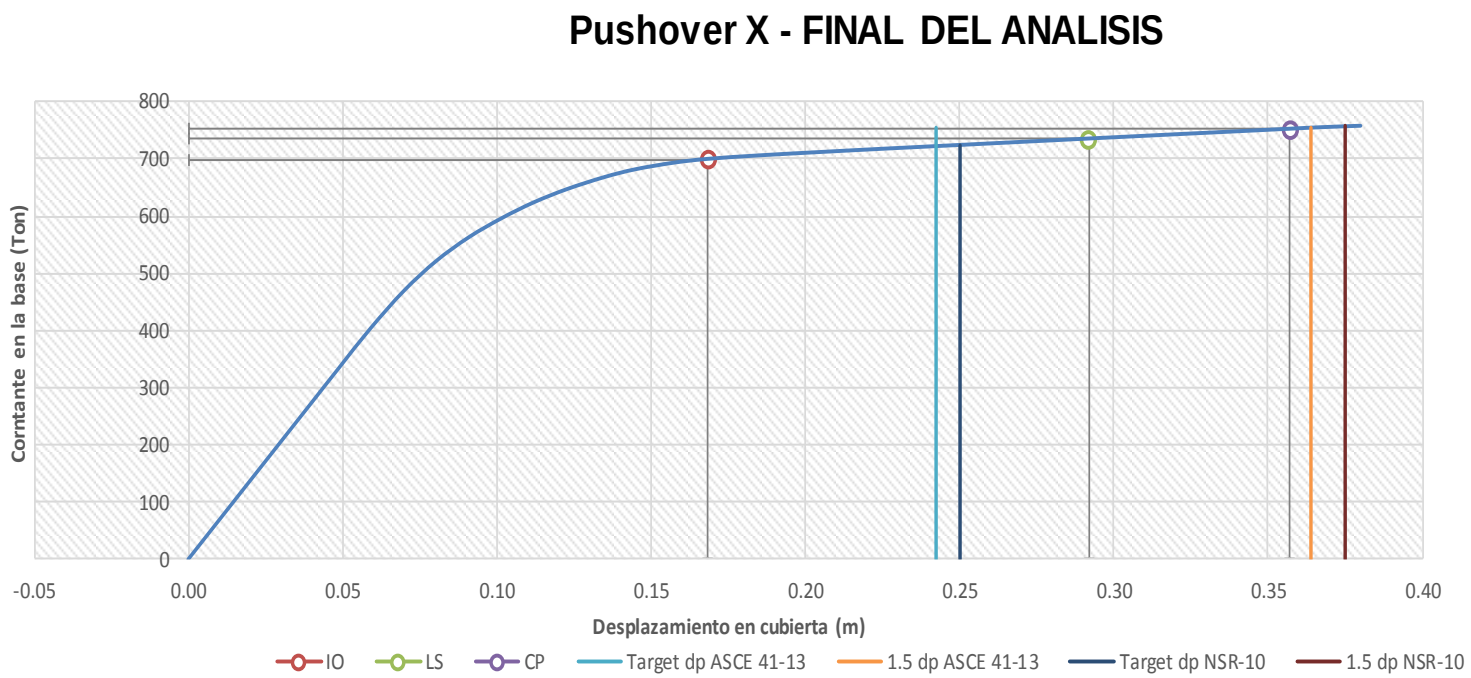
Factor de reduccion de demanda de resistencia por ductilidad

R = 6.17

Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

Gráfica 2. Niveles de desempeño Push Over dirección X Lacustre 50

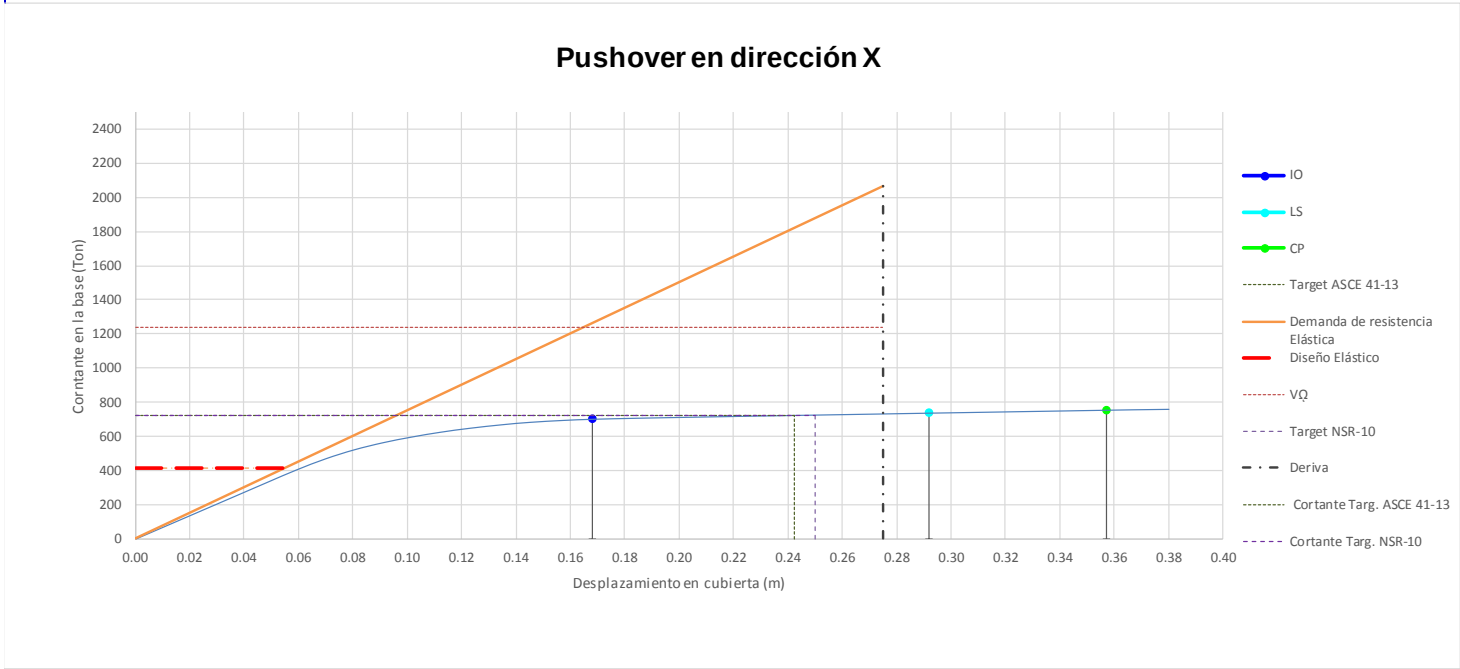
Limites de comportamiento		
IO= 0.17m V = 699 Ton	LS= 0.29m V = 735 Ton	CP= 0.36m V = 752 Ton
16	26	31



Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

Gráfica 3. Comparación Análisis elástico con Push Over dirección X Lacustre 50.

Deriva Elastica	Cortante Deriva	Deriva Elastica	Cortante Deriva	Cortante Diseño Elastico		Sobreresistencia		Cortante Diseño Targ. ASCE 41-13		Cortante Diseño Targ. NSR-10	
0m	0 Ton	0.28m	0 Ton	0m	413 Ton	0m	1239 Ton	0m	721 Ton	0m	723 Ton
0.28m	2064 Ton	0.28m	2064.2 Ton	0.055m	413 Ton	0.28m	1239 Ton	0.24m	721 Ton	0.25m	723 Ton



Análisis elástico:	V_e = 2064.20 Ton	Δ_e = 0.275m
Diseño elástico:	V_{dis} = 412.84 Ton	V_Ω = 1239 Ton
Cortante en la primera fluencia:	V_y = 334.5 Ton	
Sobreresistencia:	Ω = 3.00	
	V= 1003.44 Ton	

Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

5.3.1.1.2 Datos análisis de Push Over ASCE 41-13 en dirección Y.

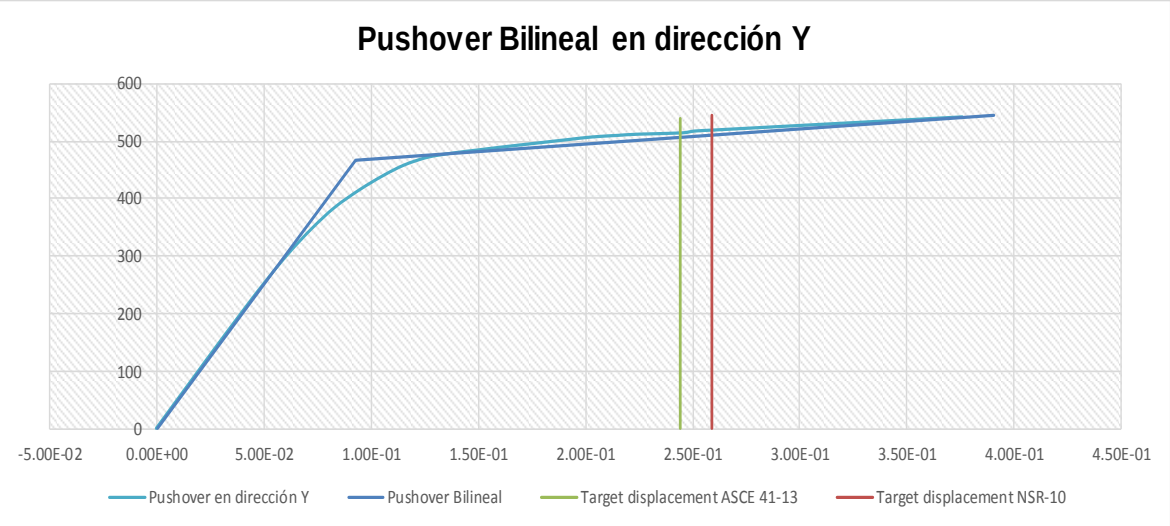
Gráfica 4. Push Over Bilineal en dirección Y Lacustre 50

Target dp ASCE 41-14		1.5 dp ASCE 41-14	
0	0.24 m	0	0.366434
513.5 Ton	0.24 m	539 Ton	0.366434

Target dp NSR-10		1.5 dp NSR-10	
0.26 m	0	0.388399332	0
0.26 m	518 Ton	0.388399332	543 Ton

Pushover en dirección Y

Limite deriva: 0.28m
Cortante en el limite: 2064 Ton
Target displacement ASCE 41-13: 0.24m
Cortante target: 513.5 Ton
Target displacement NSR-10: 0.26m
Cortante target: 518.4 Ton



Modelo bilineal

Area = 172.3
V_y = 465 Ton
V_u = 543.4 Ton
δ_u = 0.391m
δ_y = 0.093m

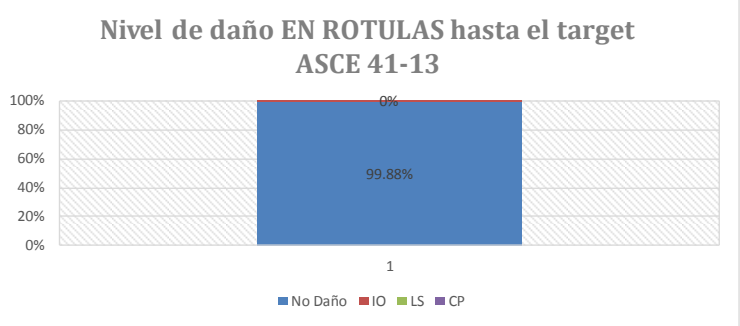
Pushover Bilineal	
0.00	0.00
0.09	465
0.39	543

Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

Tabla 59. Nivel de daño Push Y Lacustre 50

Nivel de daño en los elementos hasta el target ASCE 41-13

Total de rótulas asignadas	NIVEL	1720	100%
Rótulas formadas	No Daño	1718	99.88%
	IO	2	0.12%
	LS	0	0%
	CP	0	0%



Calculo de ductilidad por desplazamientos

Δu = 0.39m
Δ_y = 0.0259m
V_y = 134 Ton
V_e = 2064 Ton

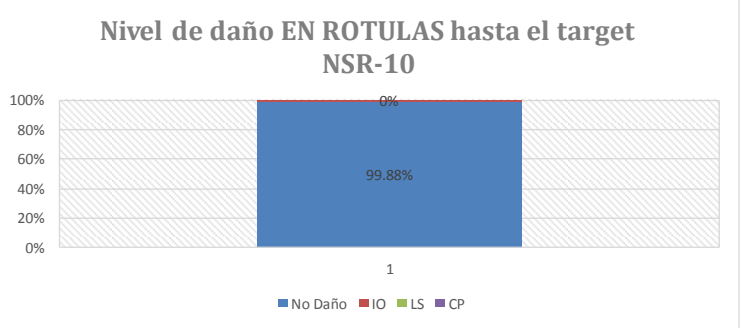
μ = 15.11

Factor de reduccion de demanda de resistencia por ductilidad

R = 15.37

Nivel de daño en los elementos hasta el target NSR-10

Total de rótulas asignadas	NIVEL	1720	100%
Rótulas formadas	No Daño	1718	99.88%
	IO	2	0.12%
	LS	0	0%
	CP	0	0%



Calculo de ductilidad por desplazamientos

Δu = 0.39m
Δ_y = 0.0259m
V_y = 134 Ton
V_e = 2064 Ton

μ = 15.11

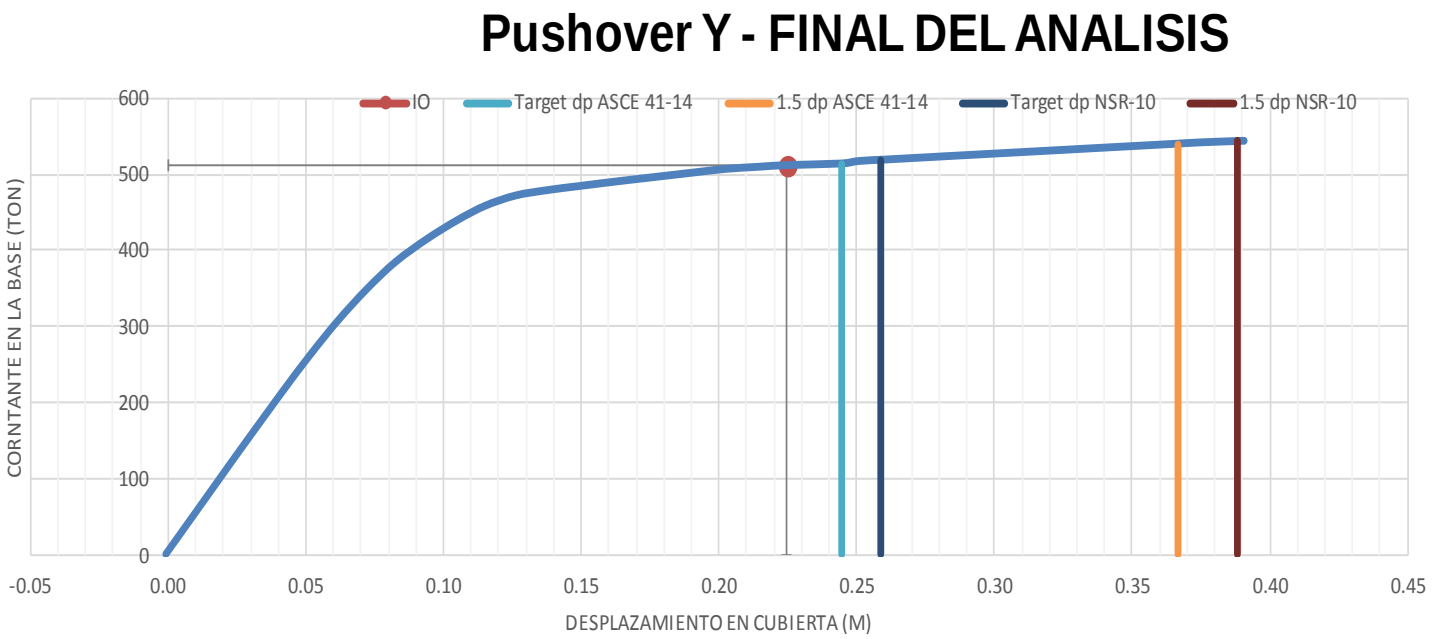
Factor de reduccion de demanda de resistencia por ductilidad

R = 15.37

Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

Gráfica 5. Niveles de desempeño Push Over dirección Y Lacustre 50

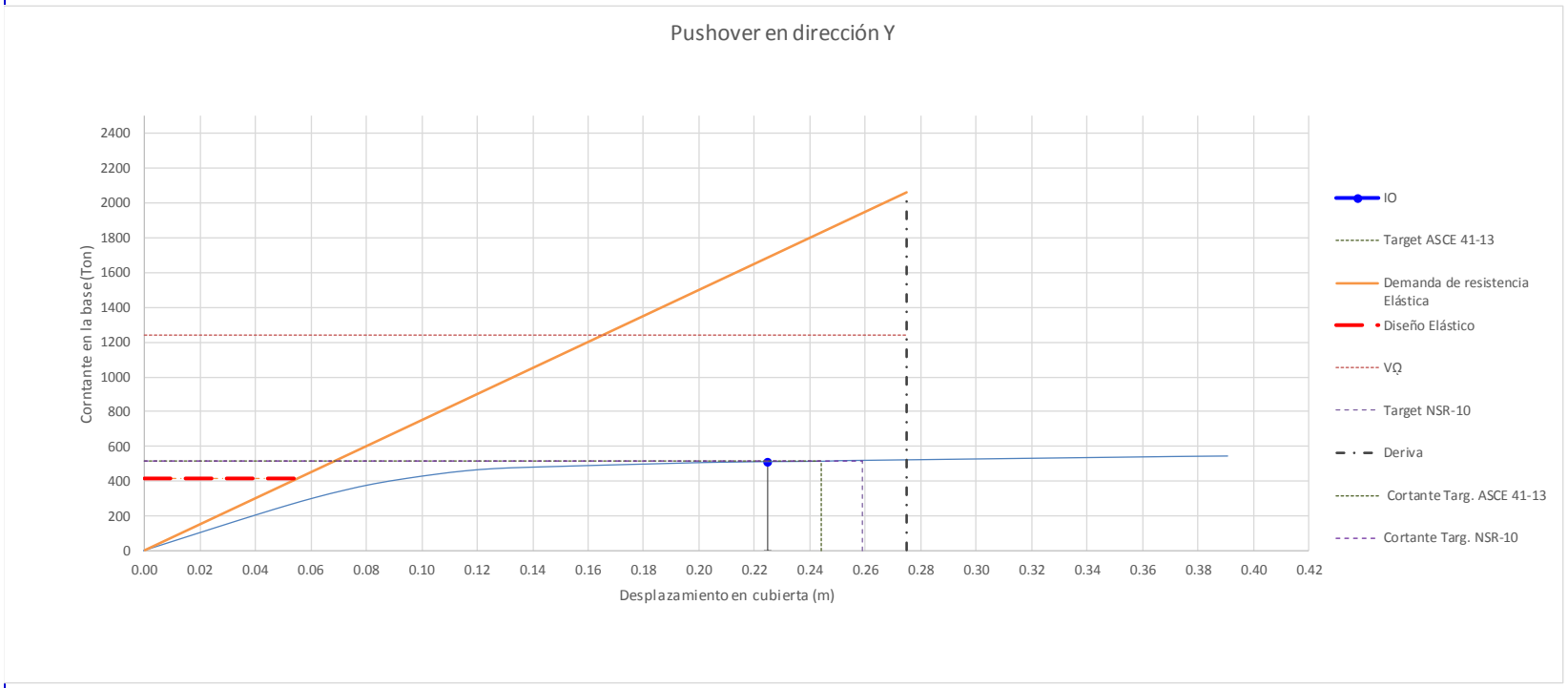
IO= 0.22m V = 511 Ton	LS= 0.00m V = 0 Ton	CP= 0.00m V = 0 Ton
21	0	0



Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

Gráfica 6. Comparación Análisis elástico con Push Over dirección Y Lacustre 50.

Deriva Elastica	Cortante Deriva	Deriva Elastica	Cortante Deriva	Cortante Diseño Elastico		Sobreresistencia		Cortante Diseño Targ. ASCE 41-13		Cortante Diseño Targ. NSR-10	
0m	0 Ton	0.28m	0 Ton	0m	413 Ton	0m	1239 Ton	0m	514 Ton	0m	518 Ton
0.28m	2064 Ton	0.28m	2064.2 Ton	0.055m	413 Ton	0.28m	1239 Ton	0.24m	514 Ton	0.26m	518 Ton

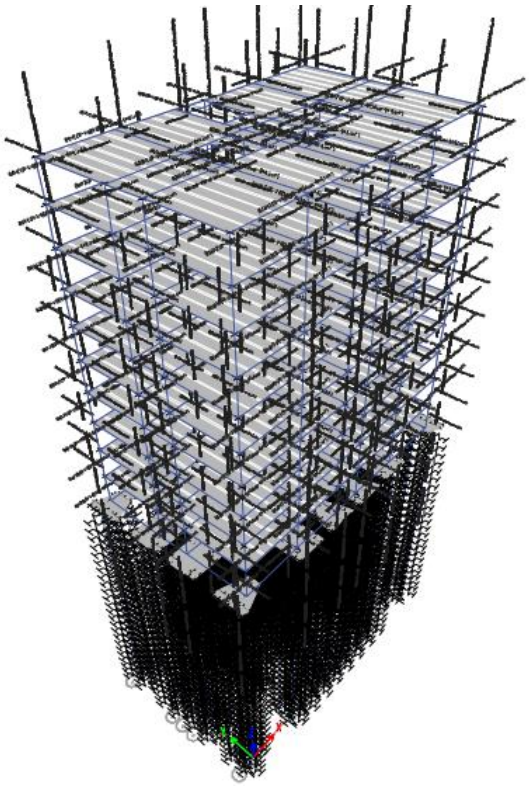


Análisis elástico:	V_e = 2064.20 Ton	Δ_e = 0.275m
Diseño elástico:	V_{dis} = 412.84 Ton	V_Ω = 1239 Ton
Cortante en la primera fluencia:	V_y = 134.3 Ton	
Sobreresistencia:	Ω = 3.00	
	V= 403.03 Ton	

Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

5.3.2 Lacustre 100.

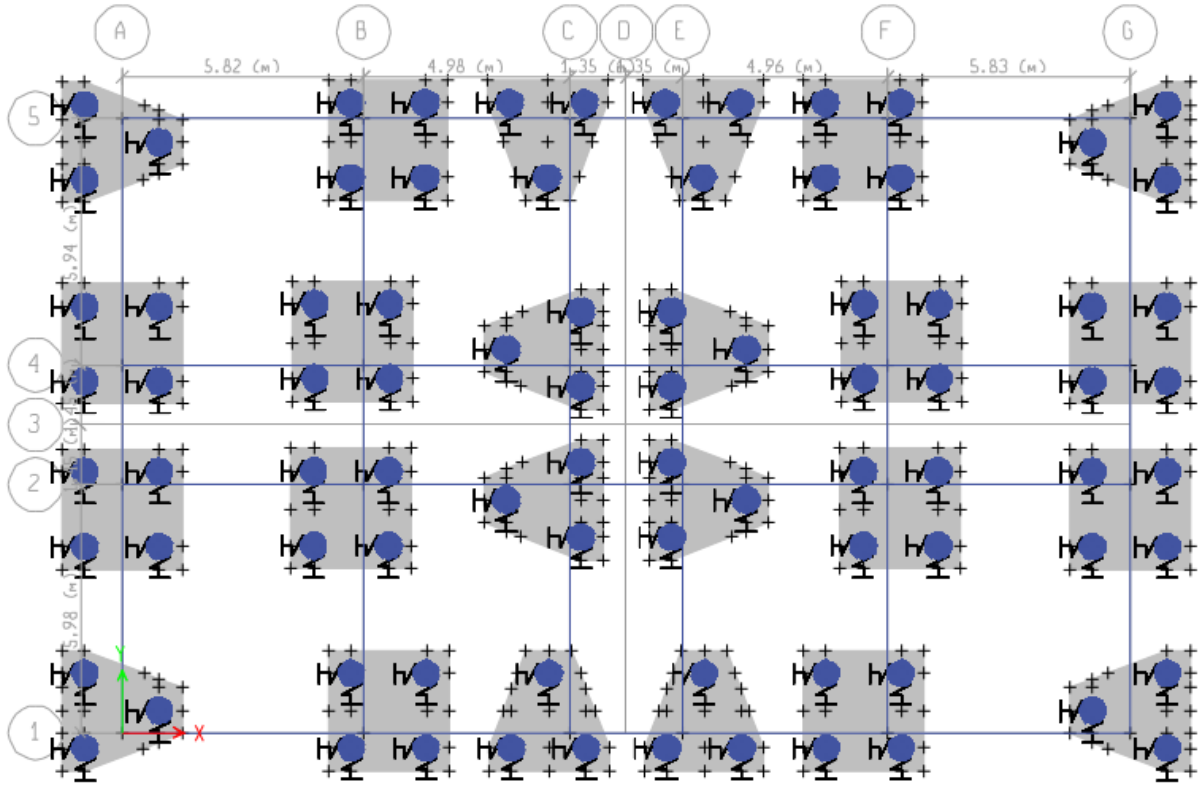
Figura 31. Modelo No lineal estructura zona lacustre 100 con Interacción suelo Estructura.



Fuente: Elaboración propia, ETABS

Estructura de 10 pisos con luces entre ejes de 4 a 6 metros destinada para vivienda, altura de entrepisos 2.75 m. Con vigas de 40x40 cm, columnas 40x160 cm y 40x100 cm, en anexo 1 se presenta la planta arquitectónica de dicha edificación. En esta se modela la cimentación obtenida del estudio de suelos para cada zona lacustre, en el Anexo 5 se presenta dicho estudio, en el anexo 4 se muestra el cuadro de cantidad de pilotes según la capacidad portante de cada zona lacustre.

Figura 32. Modelo Cimentación zona lacustre 100.



Fuente: Elaboración propia, ETABS

Esta cimentación consta de vigas de 50x100 cm, cabezales separados según recomendación del estudio de suelo tres veces el diámetro del pilote. Los pilotes planteados son de 60 cm de diámetro por 25 m de profundidad, estos trabajan por punta y a fricción. La rigidez de los pilotes se representa a partir de un coeficiente de balasto vertical y horizontal contemplando los principios de mecánica de suelos, estos tienen como principal característica el módulo de elasticidad del suelo, obtenido de curvas de esfuerzo deformación del suelo que consideran el rango elástico y plástico del mismo.

5.3.2.1 Análisis Estructural no lineal y solicitaciones

5.3.2.1.1 Datos análisis de Push Over ASCE 41-13 en dirección X

Gráfica 7. Push Over Bilineal en dirección X Lacustre 100

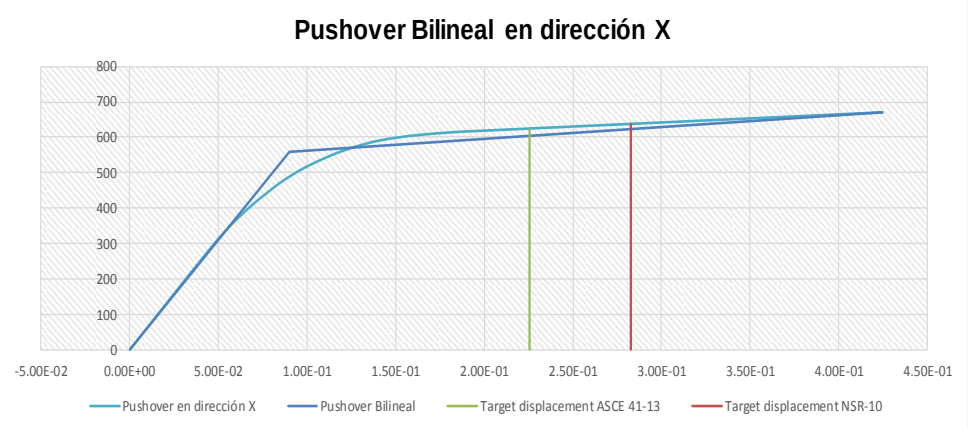
Target dp ASCE 41-14		1.5 dp ASCE 41-14	
0	0.23 m	0	0.338173
623.8 Ton	0.23 m	651 Ton	0.338173

Target dp NSR-10		1.5 dp NSR-10	
0.28 m	0	0.42	0
0.28 m	637 Ton	0.42	670 Ton

Pushover en dirección X

Limite deriva: 0.28m
Cortante en el limite: 1919 Ton
Target displacement ASCE 41-13: 0.23m
Cortante target: 623.8 Ton

Target displacement NSR-10: 0.28m
Cortante target: 637.0 Ton



Modelo bilineal

Area = 232.7
V_y = 560 Ton
V_u = 669.5 Ton
δ_u = 0.425m
δ_y = 0.090m

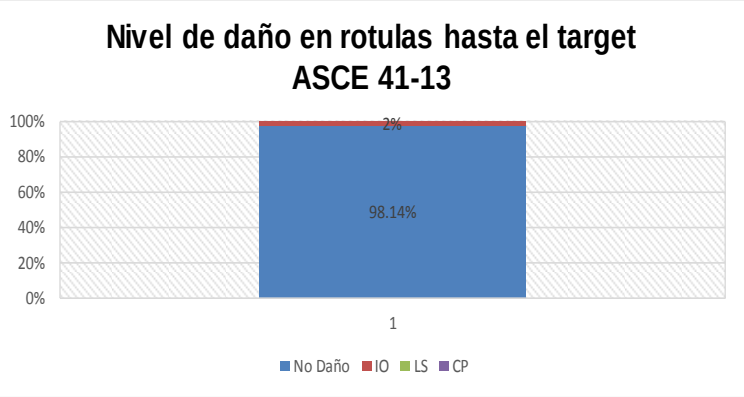
Pushover Bilineal	
0.00	0.00
0.09	560
0.42	670

Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL

Tabla 60. Nivel de daño Push X Lacustre 100.

Nivel de daño en los elementos hasta el target ASCE 41-13

Total de rótulas asignadas	NIVEL	1720	100%
Rótulas formadas	No Daño	1688	98.14%
	IO	32	1.86%
	LS	0	0%
	CP	0	0%



Calculo de ductilidad por desplazam

Δu = 0.42m
Δ_y = 0.0339m
V_y = 214 Ton
V_e = 1919 Ton

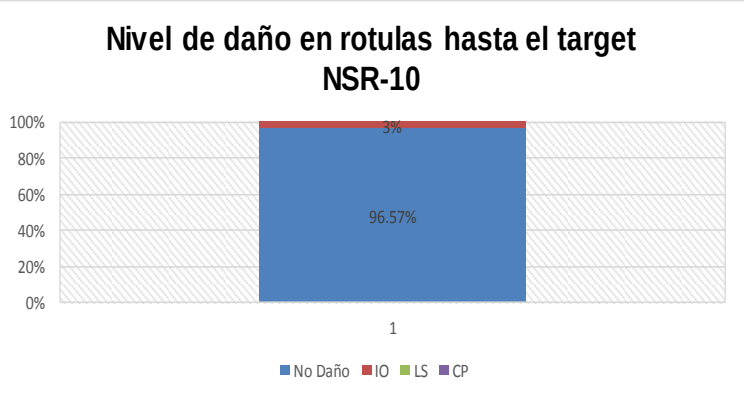
μ = 12.53

Factor de reduccion de demanda de resistencia por ductilidad

R = 8.96

Nivel de daño en los elementos hasta el target NSR-10

Total de rótulas asignadas	NIVEL	1720	100%
Rótulas formadas	No Daño	1661	96.57%
	IO	59	3.4%
	LS	0	0%
	CP	0	0%



Calculo de ductilidad por desplazam

Δu = 0.42m
Δ_y = 0.0339m
V_y = 214 Ton
V_e = 1919 Ton

μ = 12.53

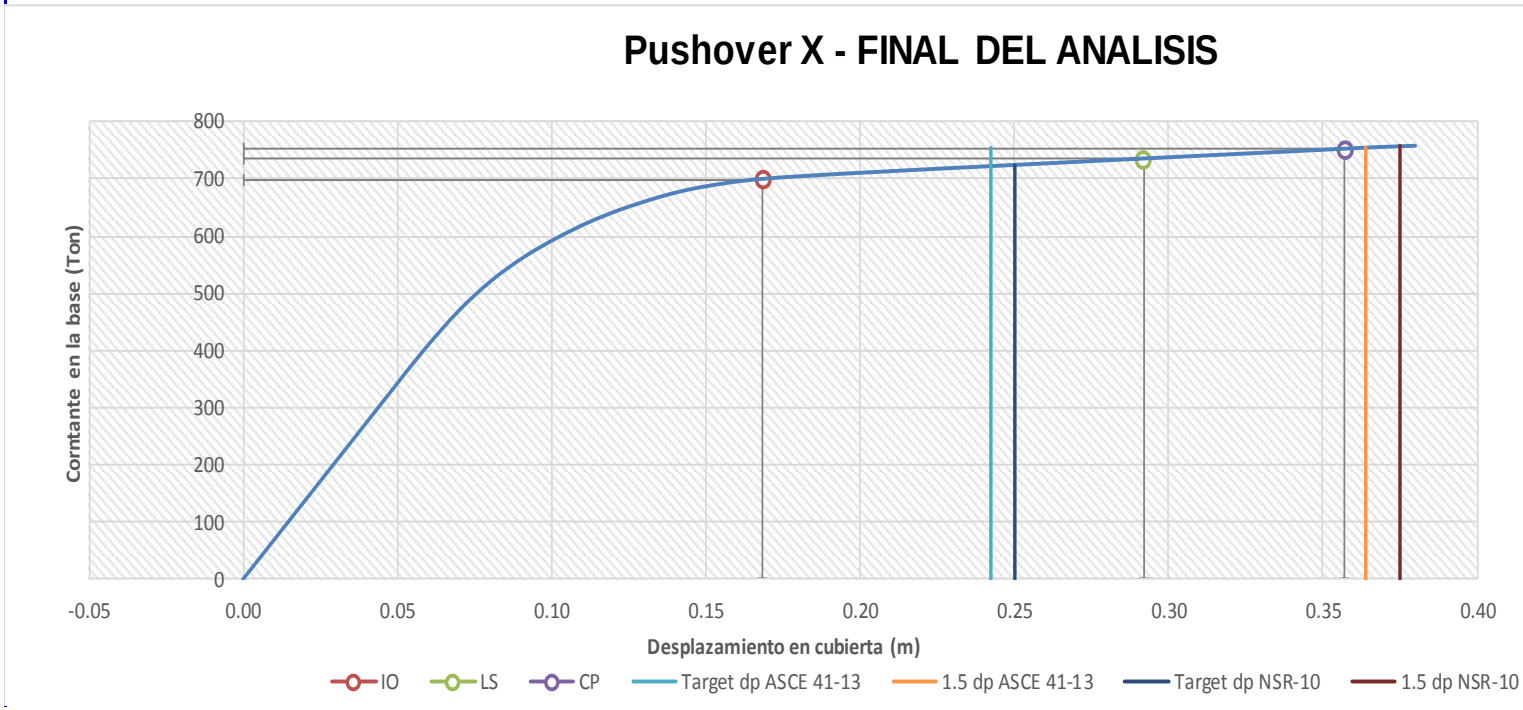
Factor de reduccion de demanda de resistencia por ductilidad

R = 8.96

Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

Gráfica 8. Niveles de desempeño Push Over dirección X Lacustre 100

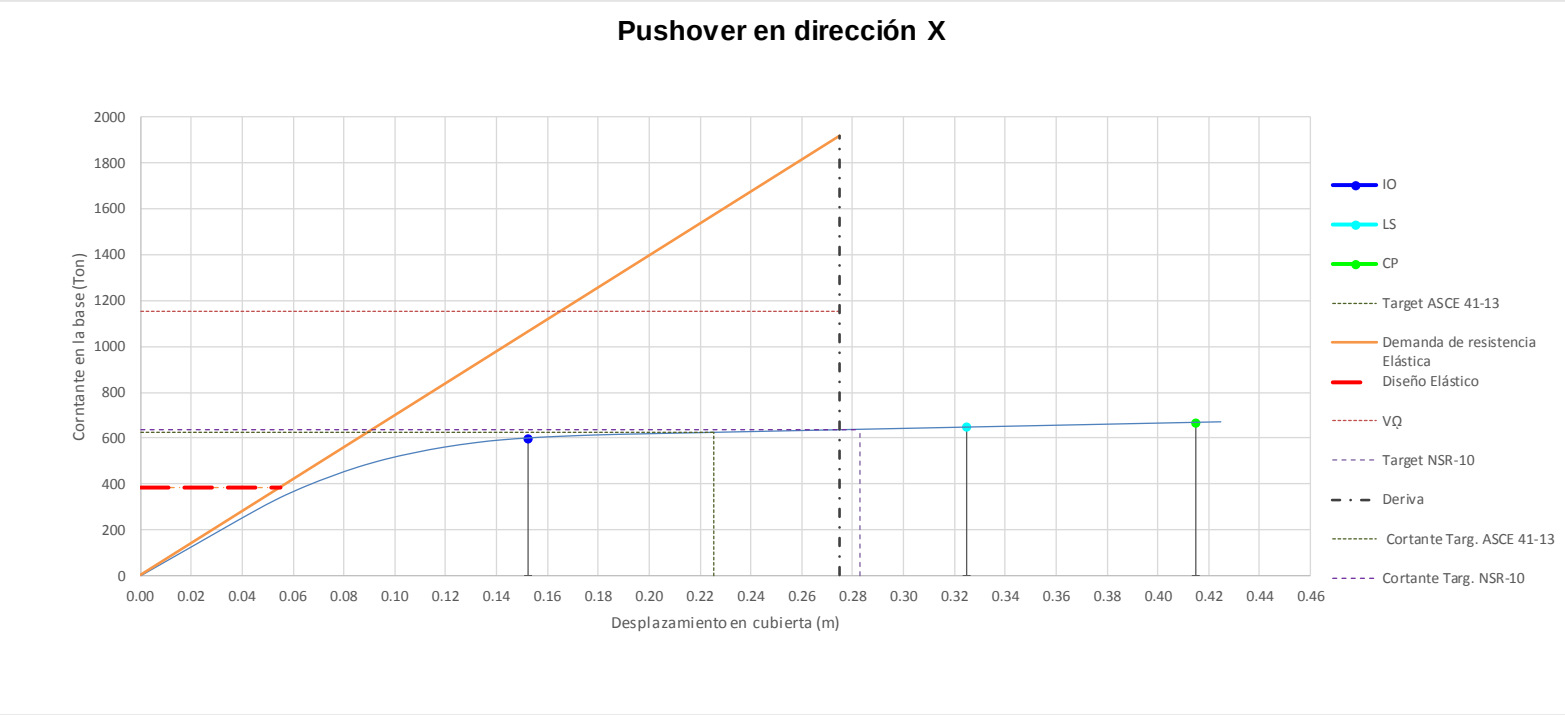
Limites de comportamiento		
IO= 0.17m V = 699 Ton	LS= 0.29m V = 735 Ton	CP= 0.36m V = 752 Ton
16	26	31



Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

Gráfica 9. Comparación Análisis elástico con Push Over dirección X lacustre 100.

Deriva Elastica	Cortante Deriva	Deriva Elastica	Cortante Deriva	Cortante Diseño Elastico		Sobreresistencia		Cortante Diseño Targ. ASCE 41-13		Cortante Diseño Targ. NSR-10	
0m	0 Ton	0.28m	0 Ton	0m	384 Ton	0m	1151 Ton	0m	624 Ton	0m	637 Ton
0.28m	1919 Ton	0.28m	1918.7 Ton	0.055m	384 Ton	0.28m	1151 Ton	0.23m	624 Ton	0.28m	637 Ton



Análisis elástico:	V_e = 1918.72 Ton	Δ_e = 0.275m
Diseño elástico:	V_{dis} = 383.74 Ton	V_Ω = 1151 Ton
Cortante en la primera fluencia:	V_y = 214.0 Ton	
Sobreresistencia:	Ω = 3.00	
	V= 642.08 Ton	

Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

5.3.2.1.2 Datos análisis de Push Over ASCE 41-13 en dirección Y.

Gráfica 10. Push Over Bilineal en dirección Y Lacustre 100.

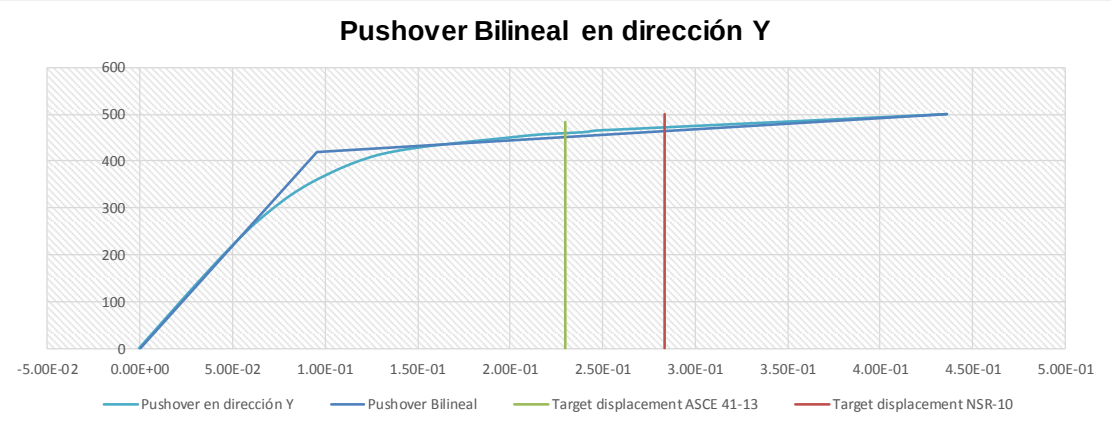
Target dp ASCE 41-14		1.5 dp ASCE 41-14	
0	0.23 m	0	0.34504
459.8 Ton	0.23 m	484 Ton	0.34504

Target dp NSR-10		1.5 dp NSR-10	
0.28 m	0	0.425088708	0
0.28 m	472 Ton	0.425088708	500 Ton

Pushover en dirección Y

Limite deriva: 0.28m
Cortante en el limite: 1919 Ton
Target displacement ASCE 41-13: 0.23m
Cortante target: 459.8 Ton

Target displacement NSR-10: 0.28m
Cortante target: 472.2 Ton



Modelo bilineal

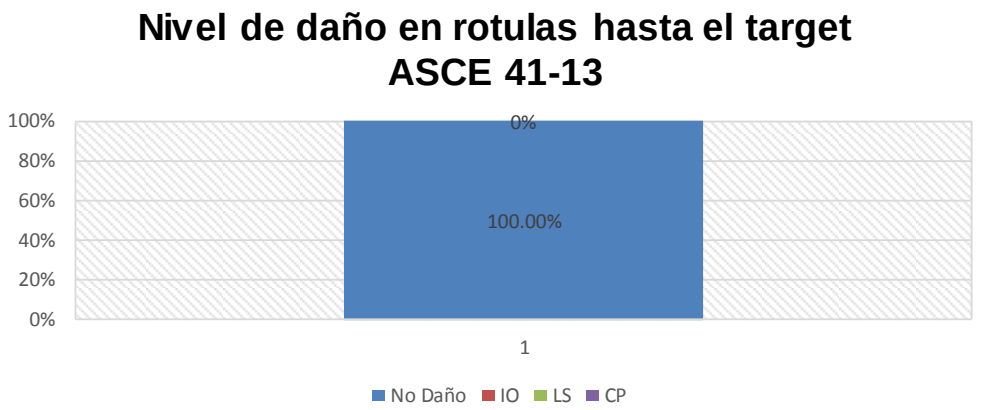
Area = 176.0
V_y = 418 Ton
V_u = 500.4 Ton
δ_u = 0.436m
δ_y = 0.095m

Pushover Bilineal	
0.00	0.00
0.10	418
0.44	500

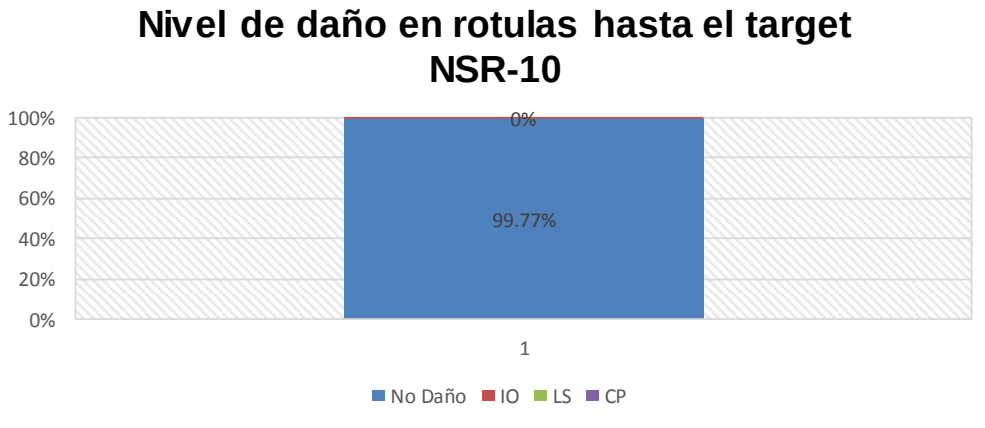
Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL

Tabla 61. Nivel de daño Push Y lacustre 100.

Nivel de daño en los elementos hasta el target ASCE 41-13			
Total de rótulas asignadas	**NIVEL**	**1720**	100%
Rótulas formadas	No Daño	1720	100.00%
	IO	0	0.00%
	LS	0	0%
	CP	0	0%



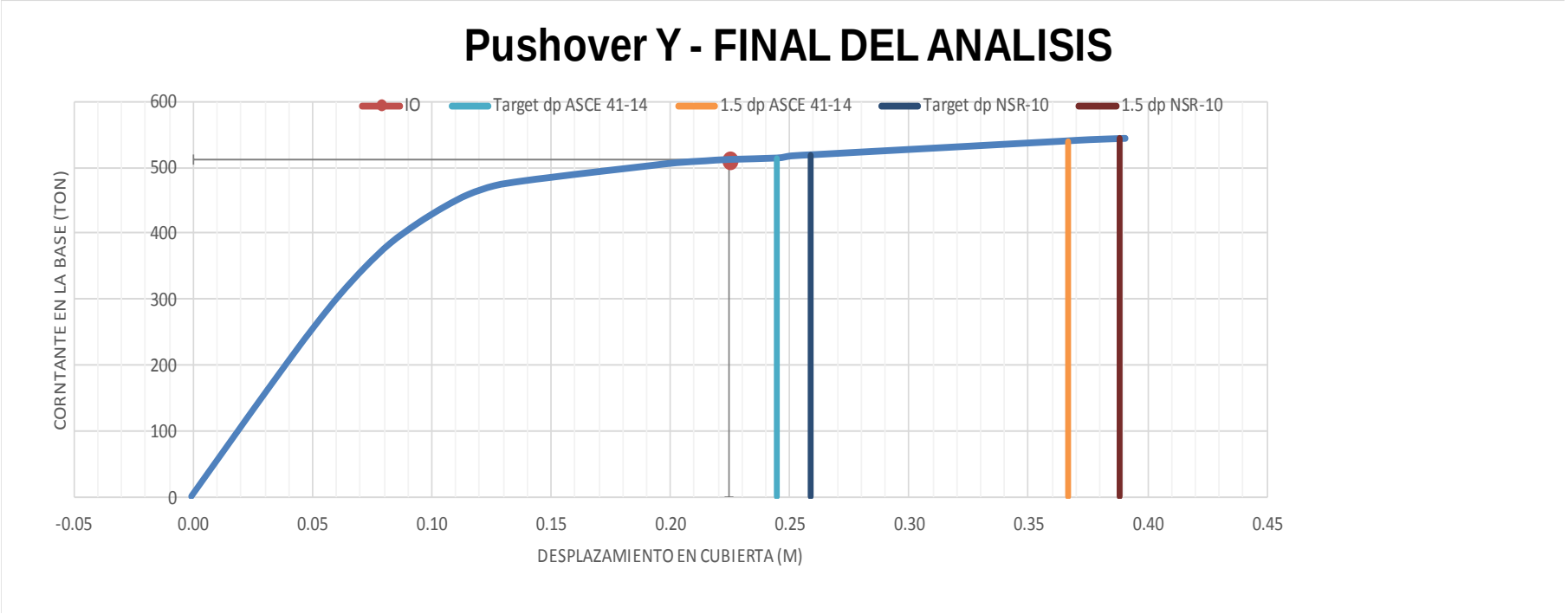
Nivel de daño en los elementos hasta el target NSR-10			
Total de rótulas asignadas	**NIVEL**	**1720**	100%
Rótulas formadas	No Daño	1716	99.77%
	IO	4	0.2%
	LS	0	0%
	CP	0	0%



Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

Gráfica 11. Niveles de desempeño Push Over dirección Y Lacustre 100.

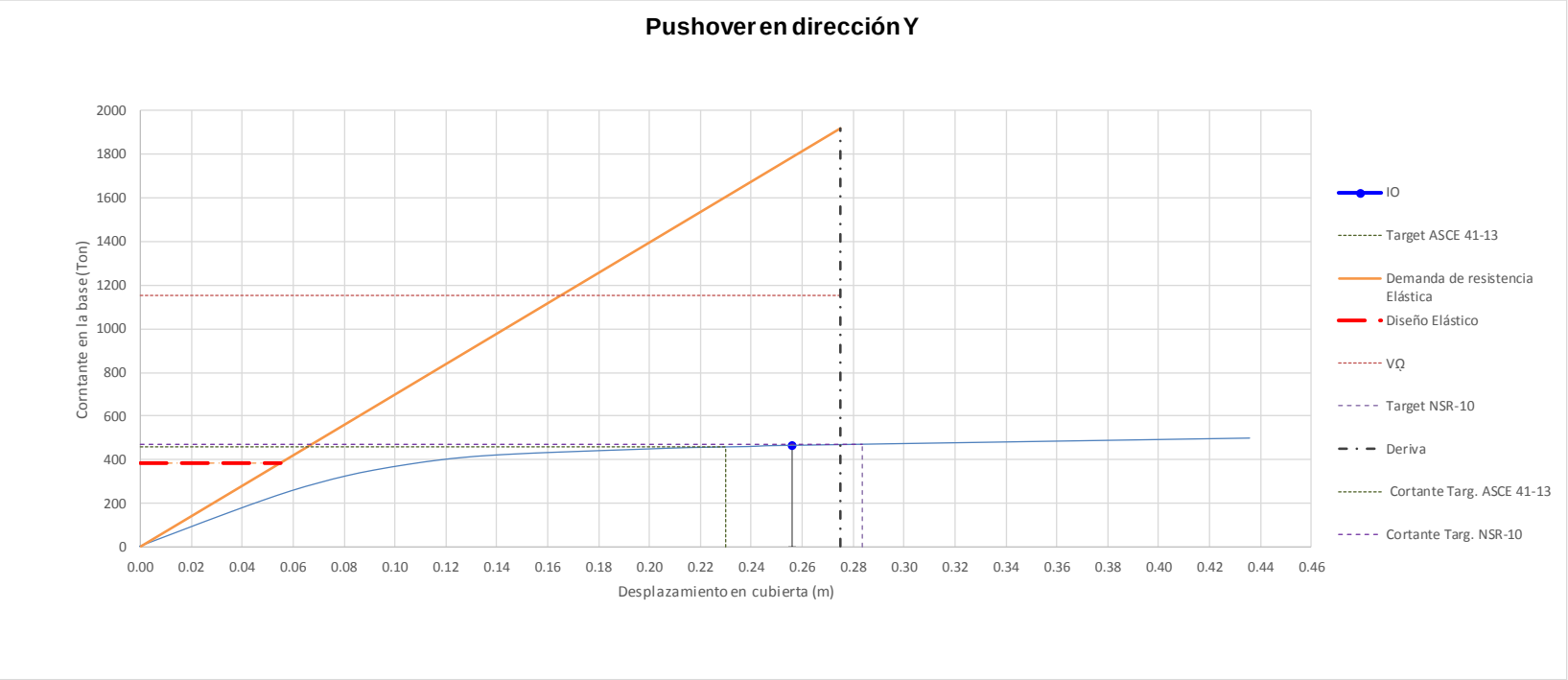
IO= 0.22m V = 511 Ton	LS= 0.00m V = 0 Ton	CP= 0.00m V = 0 Ton
21	0	0



Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

Gráfica 12. Comparación Análisis elástico con Push Over dirección Y Lacustre 100.

Deriva Elastica	Cortante Deriva	Deriva Elastica	Cortante Deriva	Cortante Diseño Elastico		Sobreresistencia		Cortante Diseño Targ. ASCE 41-13		Cortante Diseño Targ. NSR-10	
0m	0 Ton	0.28m	0 Ton	0m	384 Ton	0m	1151 Ton	0m	460 Ton	0m	472 Ton
0.28m	1919 Ton	0.28m	1918.7 Ton	0.055m	384 Ton	0.28m	1151 Ton	0.23m	460 Ton	0.28m	472 Ton

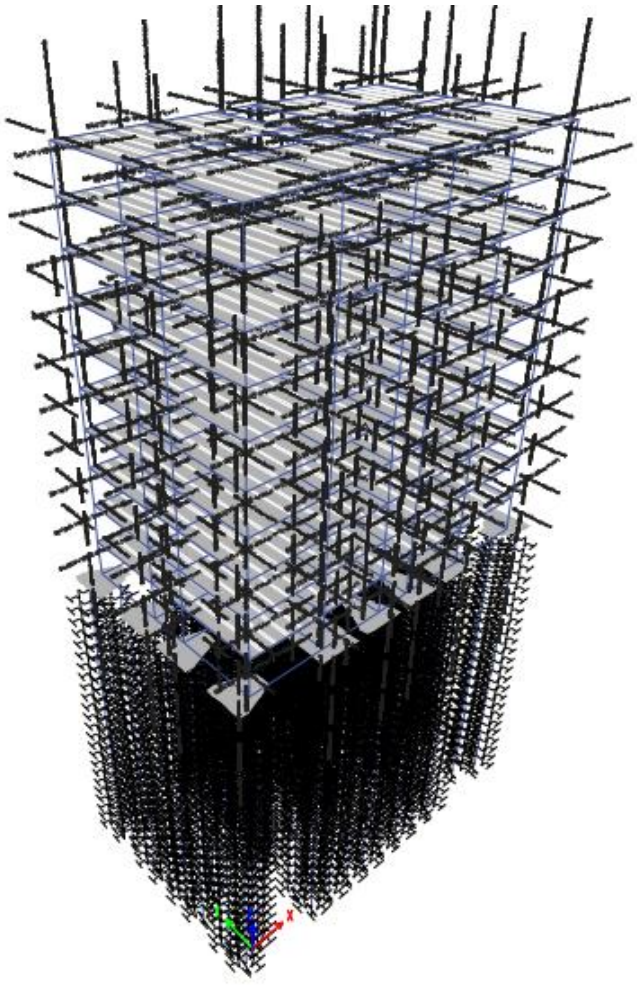


Análisis elástico:	V_e = 1918.72 Ton	Δ_e = 0.275m
Diseño elástico:	V_{dis} = 383.74 Ton	V_Ω = 1151 Ton
Cortante en la primera fluencia:	V_y = 169.7 Ton	
Sobreresistencia:	Ω = 3.00	
	V= 509.10 Ton	

Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

5.3.3 Lacustre 200.

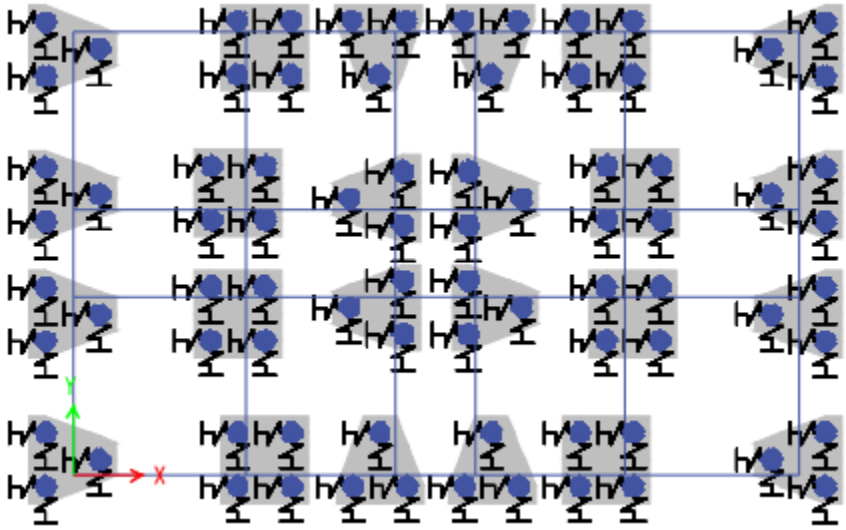
Figura 33. Modelo No lineal estructura zona lacustre 200 con Interacción suelo Estructura.



Fuente: Elaboración propia, ETABS

Estructura de 10 pisos con luces entre ejes de 4 a 6 metros destinada para vivienda, altura de entrepisos 2.75 m. Con vigas de 40x40 cm, columnas 40x160 cm y 40x100 cm, en anexo 1 se presenta la planta arquitectónica de dicha edificación. En esta se modela la cimentación obtenida del estudio de suelos para cada zona lacustre, en el Anexo 5 se presenta dicho estudio, en el anexo 4 se muestra el cuadro de cantidad de pilotes según la capacidad portante de cada zona lacustre.

Figura 34. Modelo Cimentación zona lacustre 200.



Fuente: Elaboración propia, ETABS

Esta cimentación consta de vigas de 50x100 cm, cabezales separados según recomendación del estudio de suelo tres veces el diámetro del pilote. Los pilotes planteados son de 60 cm de diámetro por 25 m de profundidad, estos trabajan por punta y a fricción. La rigidez de los pilotes se representa a partir de un coeficiente de balasto vertical y horizontal contemplando los principios de mecánica de suelos, estos tienen como principal característica el módulo de elasticidad del suelo, obtenido de curvas de esfuerzo deformación del suelo que consideran el rango elástico y plástico del mismo.

5.3.3.1 Análisis Estructural no lineal y solicitaciones

5.3.3.1.1 Datos análisis de Push Over ASCE 41-13 en dirección X

Gráfica 13. Push Over Bilineal en dirección X Lacustre 200.

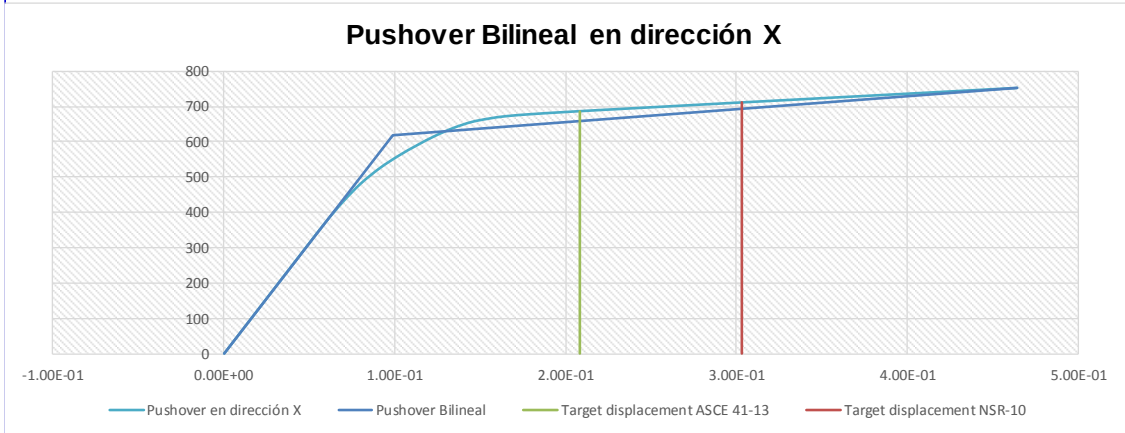
Target dp ASCE 41-14		1.5 dp ASCE 41-14	
0	0.2 m	0	0.311967
684.5 Ton	0.2 m	715 Ton	0.311967

Target dp NSR-10		1.5 dp NSR-10	
0.30 m	0	0.45	0
0.30 m	710 Ton	0.45	750 Ton

Pushover en dirección X

Limite deriva: 0.28m
Cortante en el limite: 1769 Ton
Target displacement ASCE 41-13: 0.2m
Cortante target: 684.5 Ton

Target displacement NSR-10: 0.302m
Cortante target: 709.2 Ton



Modelo bilineal

Area = 284.0
V_y = 619 Ton
V_u = 750.3 Ton
δ_u = 0.464m
δ_y = 0.099m

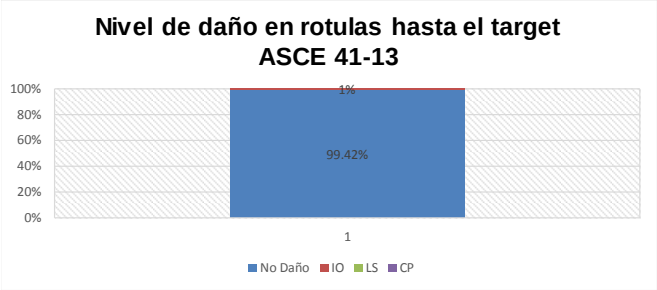
Pushover Bilineal	
0.00	0.00
0.10	619
0.46	750

Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL

Tabla 62. Nivel de daño Push X Lacustre 200.

Nivel de daño en los elementos hasta el target ASCE 41-13

Total de rótulas asignadas	NIVEL	1720	100%
Rótulas formadas	No Daño	1710	99.42%
	IO	10	0.58%
	LS	0	0%
	CP	0	0%



Calculo de ductilidad por desplazamientos

Δu = 0.46m
Δ_y = 0.0372m
V_y = 233 Ton
V_e = 1769 Ton

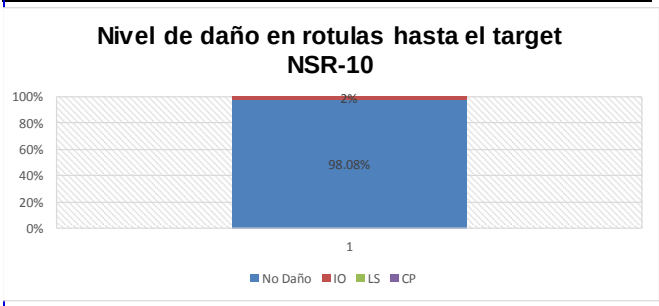
μ = 12.50

Factor de reduccion de demanda de resistencia por ductilidad

R = 7.60

Nivel de daño en los elementos hasta el target NSR-10

Total de rótulas asignadas	NIVEL	1720	100%
Rótulas formadas	No Daño	1687	98.08%
	IO	33	1.9%
	LS	0	0%
	CP	0	0%



Calculo de ductilidad por desplazamientos

Δu = 0.46m
Δ_y = 0.0372m
V_y = 233 Ton
V_e = 1769 Ton

μ = 12.50

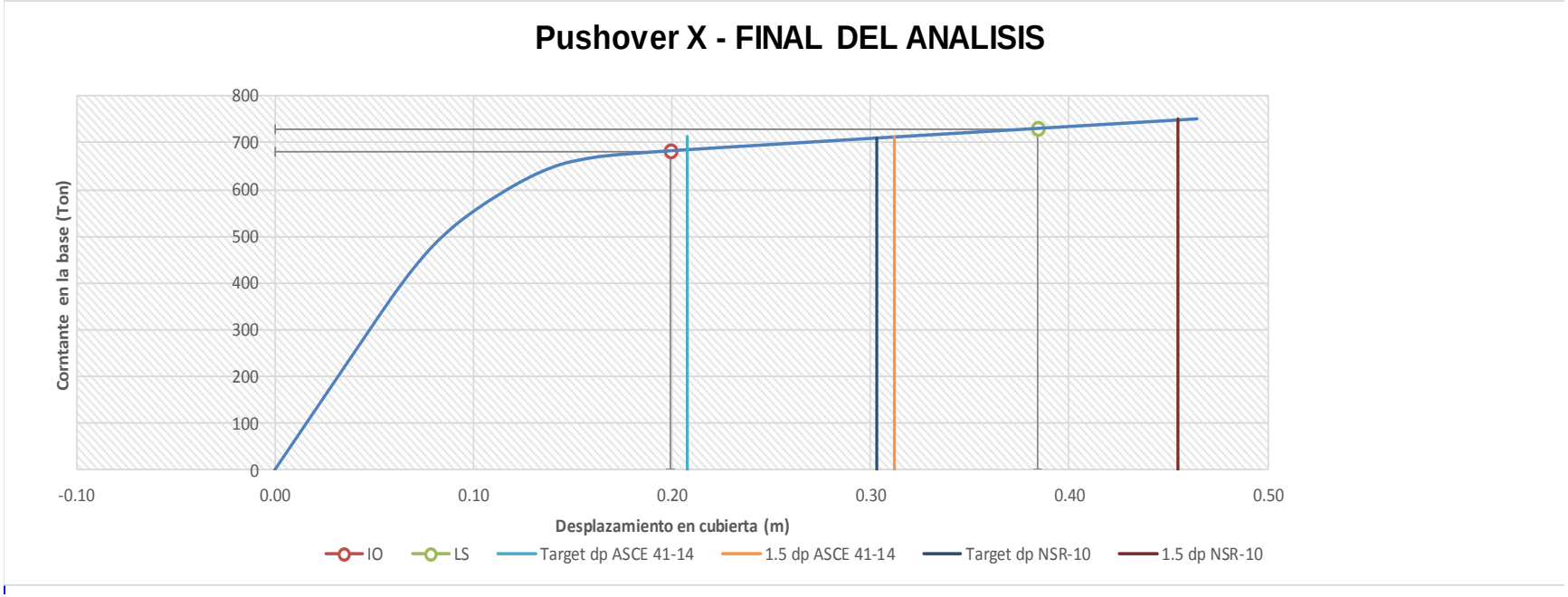
Factor de reduccion de demanda de resistencia por ductilidad

R = 7.60

Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

Gráfica 14. Niveles de desempeño Push Over dirección X Lacustre 200

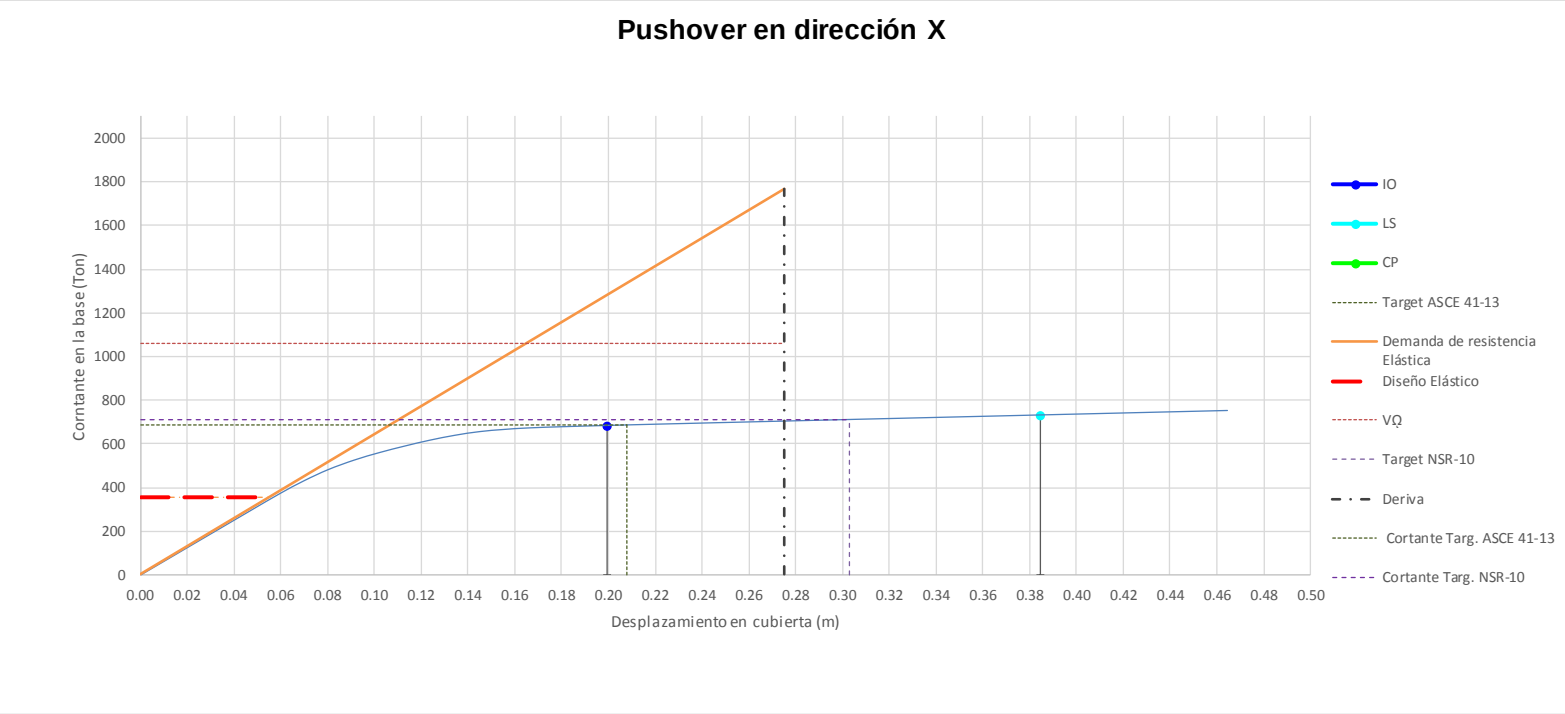
Limites de comportamiento		
IO= 0.20m V = 682 Ton	LS= 0.38m V = 730 Ton	CP= 0.00m V = 0 Ton
18	35	0



Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

Gráfica 15. Comparación Análisis elástico con Push Over dirección X Lacustre 200.

Deriva Elastica	Cortante Deriva	Deriva Elastica	Cortante Deriva	Cortante Diseño Elastico		Sobreresistencia		Cortante Diseño Targ. ASCE 41-13		Cortante Diseño Targ. NSR-10	
0m	0 Ton	0.28m	0 Ton	0m	354 Ton	0m	1062 Ton	0m	685 Ton	0m	709 Ton
0.28m	1769 Ton	0.28m	1769.3 Ton	0.055m	354 Ton	0.28m	1062 Ton	0.21m	685 Ton	0.30m	709 Ton



Análisis elástico:	V_e = 1769.31 Ton	Δ_e = 0.275m
Diseño elástico:	V_{dis} = 353.86 Ton	V_Ω = 1062 Ton
Cortante en la primera fluencia:	V_y = 232.8 Ton	
Sobreresistencia:	Ω = 3.00	
	V= 698.42 Ton	

Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

5.3.3.1.2 Datos análisis de Push Over ASCE 41-13 en dirección Y.

Gráfica 16. Push Over Bilineal en dirección Y Lacustre 200

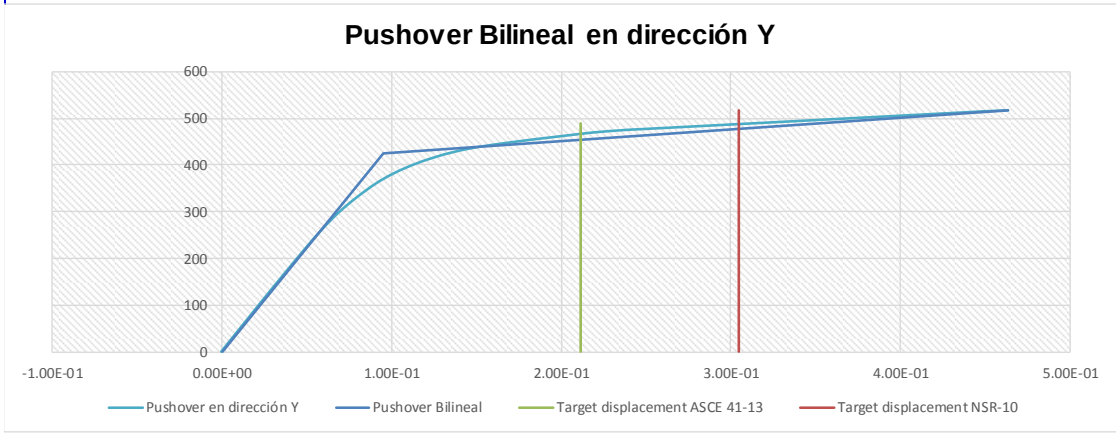
Target dp ASCE 41-14		1.5 dp ASCE 41-14	
0	0.21 m	0	0.317264
465.9 Ton	0.21 m	490 Ton	0.317264

Target dp NSR-10		1.5 dp NSR-10	
0.30 m	0	0.457149685	0
0.30 m	487 Ton	0.457149685	516 Ton

Pushover en dirección Y

Limite deriva: 0.28m
Cortante en el limite: 1769 Ton
Target displacement ASCE 41-13: 0.21m
Cortante target: 465.9 Ton

Target displacement NSR-10: 0.30m
Cortante target: 486.8 Ton



Modelo bilineal

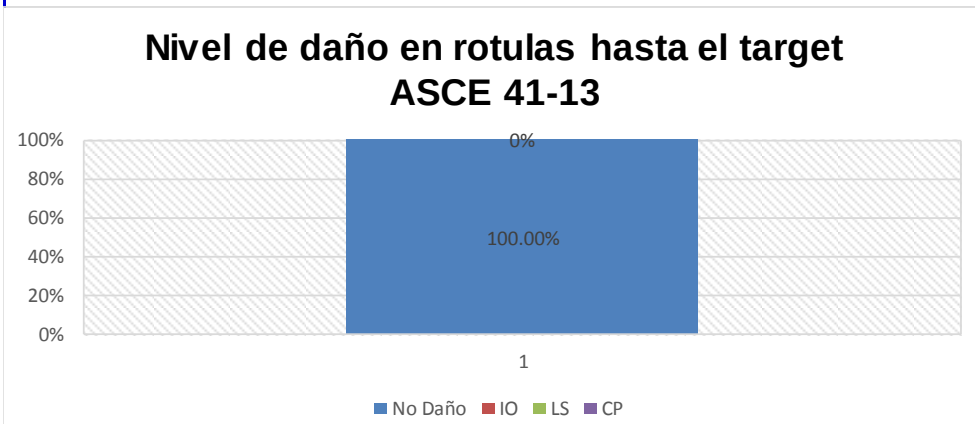
Area = 194.1
V_y = 425 Ton
V_u = 516.2 Ton
δ_u = 0.464m
δ_y = 0.095m

Pushover Bilineal	
0.00	0.00
0.09	425
0.46	516

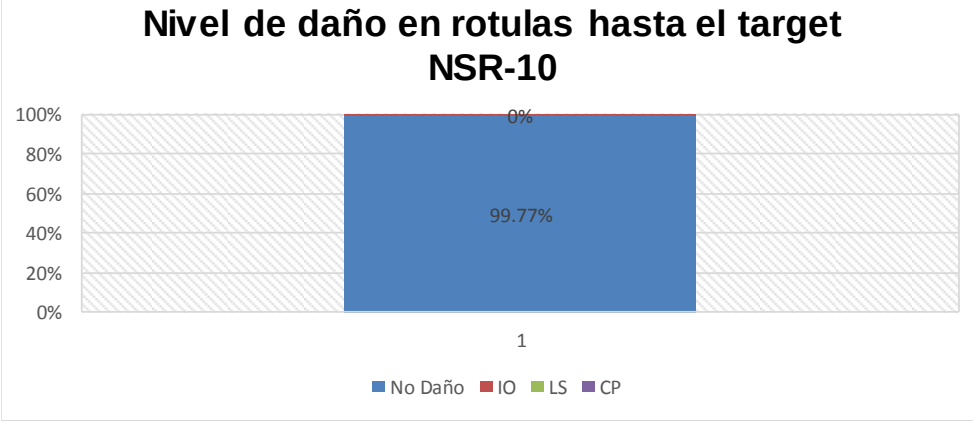
Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL

Tabla 63. Nivel de daño Push Y Lacustre 200.

Nivel de daño en los elementos hasta el target ASCE 41-13			
Total de rótulas asignadas	**NIVEL**	**1720**	100%
Rótulas formadas	No Daño	1720	100.00%
	IO	0	0.00%
	LS	0	0%
	CP	0	0%



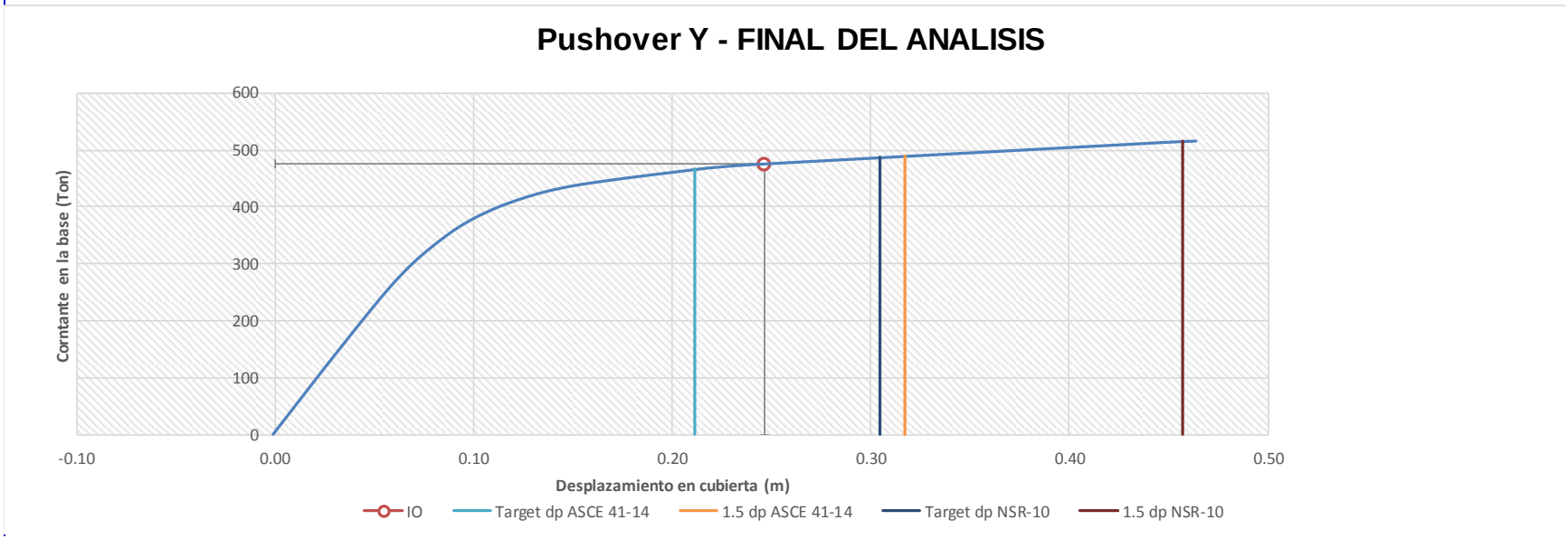
Nivel de daño en los elementos hasta el target NSR-10			
Total de rótulas asignadas	**NIVEL**	**1720**	100%
Rótulas formadas	No Daño	1716	99.77%
	IO	4	0.2%
	LS	0	0%
	CP	0	0%



Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

Gráfica 17. Niveles de desempeño Push Over dirección Y Lacustre 200.

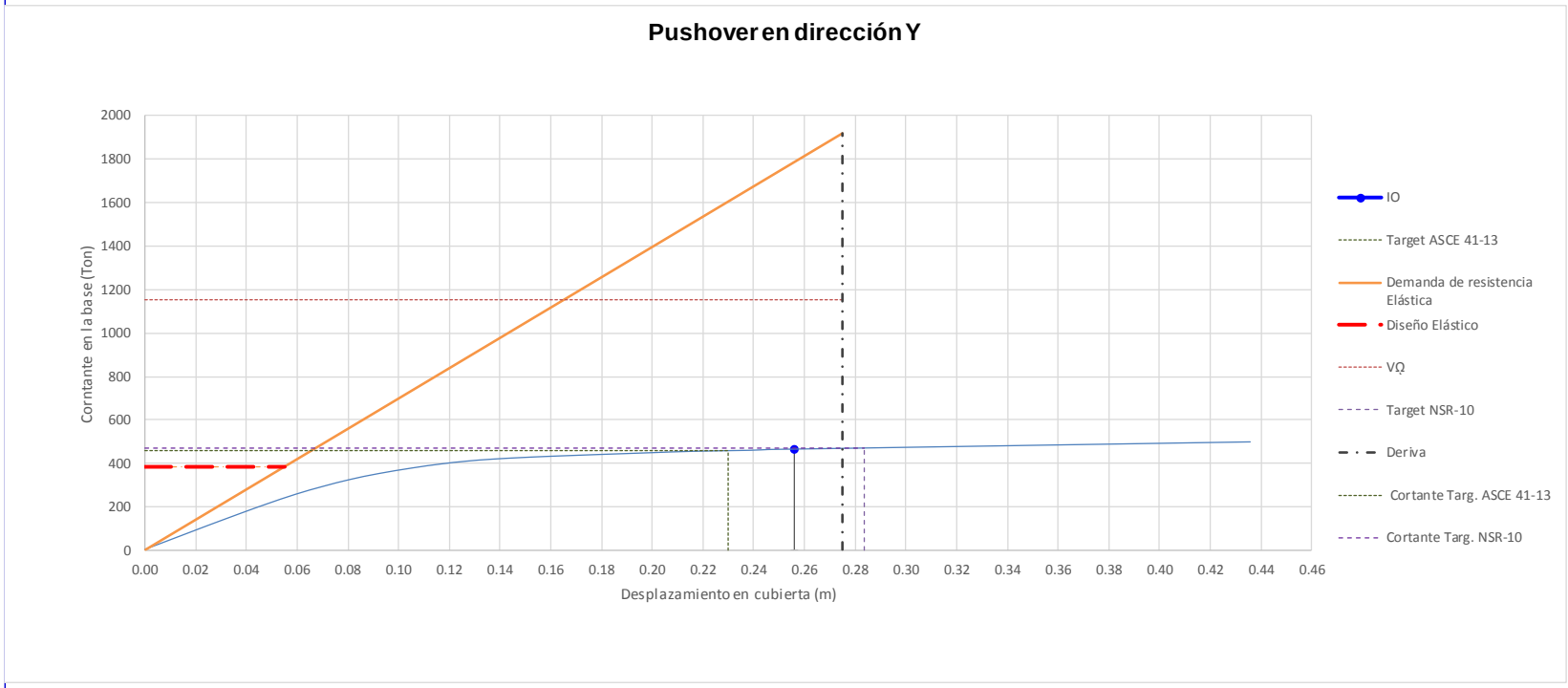
Limites de comportamiento		
IO= 0.25m V = 476 Ton	LS= 0.00m V = 0 Ton	CP= 0.00m V = 0 Ton
22	0	0



Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

Gráfica 18. Comparación Análisis elástico con Push Over dirección Y Lacustre 200.

Deriva Elastica	Cortante Deriva	Deriva Elastica	Cortante Deriva	Cortante Diseño Elastico		Sobreresistencia		Cortante Diseño Targ. ASCE 41-13		Cortante Diseño Targ. NSR-10	
0m	0 Ton	0.28m	0 Ton	0m	384 Ton	0m	1151 Ton	0m	460 Ton	0m	472 Ton
0.28m	1919 Ton	0.28m	1918.7 Ton	0.055m	384 Ton	0.28m	1151 Ton	0.23m	460 Ton	0.28m	472 Ton

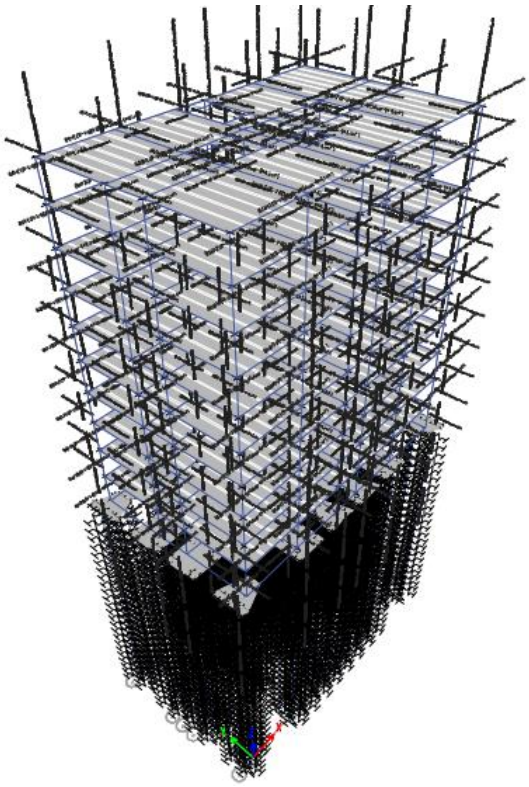


Análisis elástico:	V_e = 1918.72 Ton	Δ_e = 0.275m
Diseño elástico:	V_{dis} = 383.74 Ton	V_Ω = 1151 Ton
Cortante en la primera fluencia:	V_y = 169.7 Ton	
Sobreresistencia:	Ω = 3.00	
	V= 509.10 Ton	

Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

5.3.4 Lacustre 300.

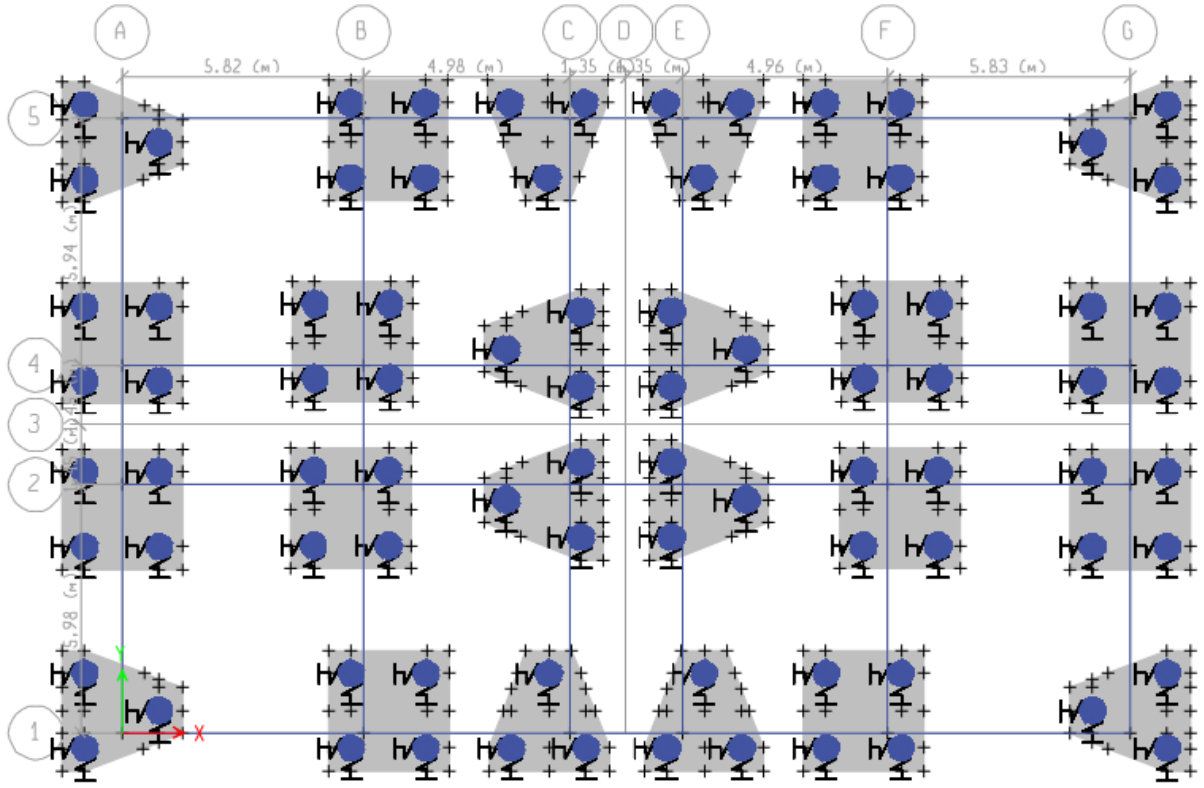
Figura 35. Modelo No lineal estructura zona lacustre 100 con Interacción suelo Estructura.



Fuente: Elaboración propia, ETABS

Estructura de 10 pisos con luces entre ejes de 4 a 6 metros destinada para vivienda, altura de entrepisos 2.75 m. Con vigas de 40x40 cm, columnas 40x160 cm y 40x100 cm, en anexo 1 se presenta la planta arquitectónica de dicha edificación. En esta se modela la cimentación obtenida del estudio de suelos para cada zona lacustre, en el Anexo 5 se presenta dicho estudio, en el anexo 4 se muestra el cuadro de cantidad de pilotes según la capacidad portante de cada zona lacustre.

Figura 36. Modelo Cimentación zona lacustre 300.



Fuente: Elaboración propia, ETABS

Esta cimentación consta de vigas de 50x100 cm, cabezales separados según recomendación del estudio de suelo tres veces el diámetro del pilote. Los pilotes planteados son de 60 cm de diámetro por 25 m de profundidad, estos trabajan por punta y a fricción. La rigidez de los pilotes se representa a partir de un coeficiente de balasto vertical y horizontal contemplando los principios de mecánica de suelos, estos tienen como principal característica el módulo de elasticidad del suelo, obtenido de curvas de esfuerzo deformación del suelo que consideran el rango elástico y plástico del mismo.

5.3.4.1 Análisis Estructural no lineal y solicitaciones

5.3.4.1.1 Datos análisis de Push Over ASCE 41-13 en dirección X

Gráfica 19. Push Over Bilineal en dirección X Lacustre 300.

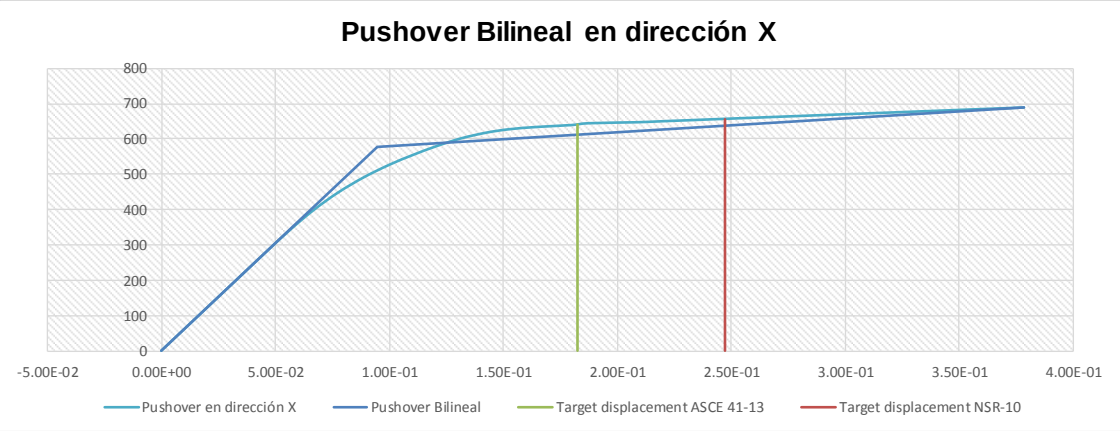
Target dp ASCE 41-14		1.5 dp ASCE 41-14	
0	0.18 m	0	0.273185
640.6 Ton	0.18 m	664 Ton	0.273185

Target dp NSR-10		1.5 dp NSR-10	
0.25 m	0	0.371	0
0.25 m	657 Ton	0.371	689 Ton

Pushover en dirección X

Limite deriva: 0.28m
Cortante en el limite: 1549 Ton
Target displacement ASCE 41-13: 0.18m
Cortante target: 640.6 Ton

Target displacement NSR-10: 0.25m
Cortante target: 656.6 Ton



Modelo bilineal

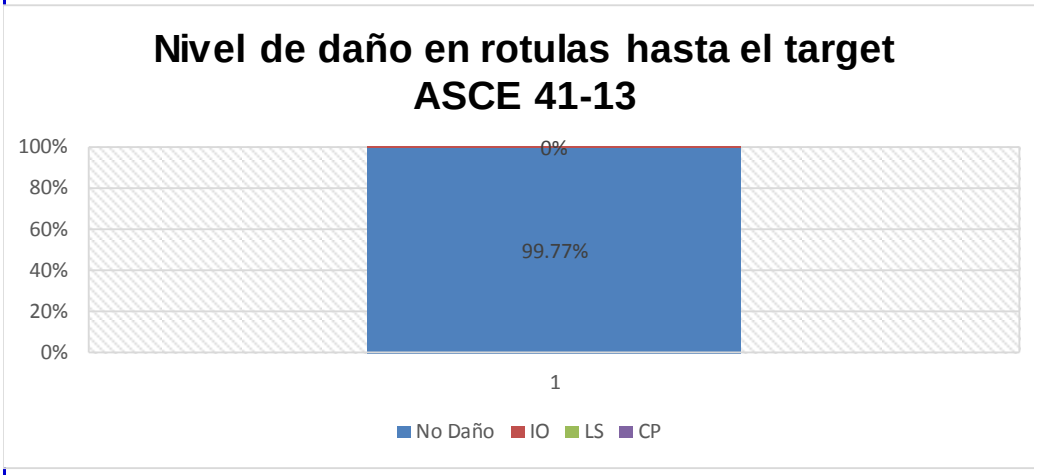
Area = 209.2
V_y = 576 Ton
V_u = 688.9 Ton
δ_u = 0.378m
δ_y = 0.094m

Pushover Bilineal	
0.00	0.00
0.09	576
0.38	689

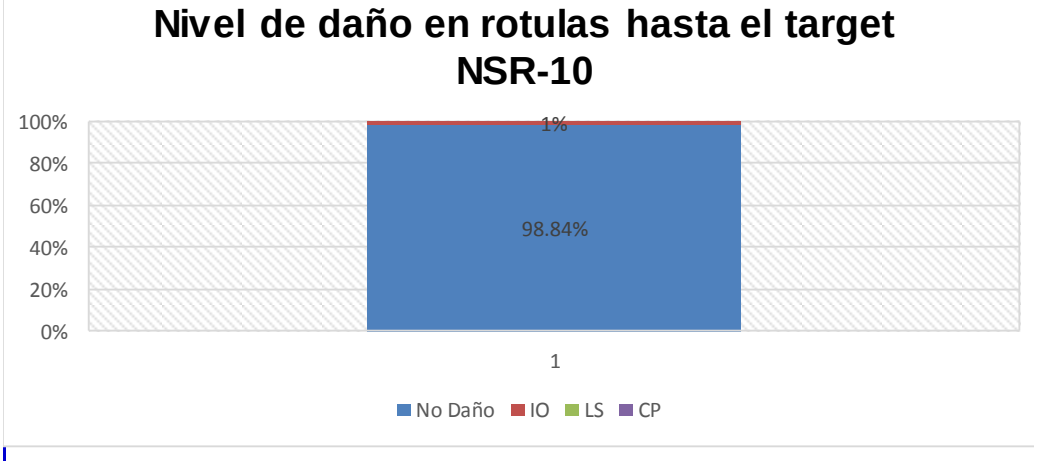
Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL

Tabla 64. Nivel de daño Push X Lacustre 300.

Nivel de daño en los elementos hasta el target ASCE 41-13			
Total de rótulas asignadas	**NIVEL**	**1720**	100%
Rótulas formadas	No Daño	1716	99.77%
	IO	4	0.23%
	LS	0	0%
	CP	0	0%



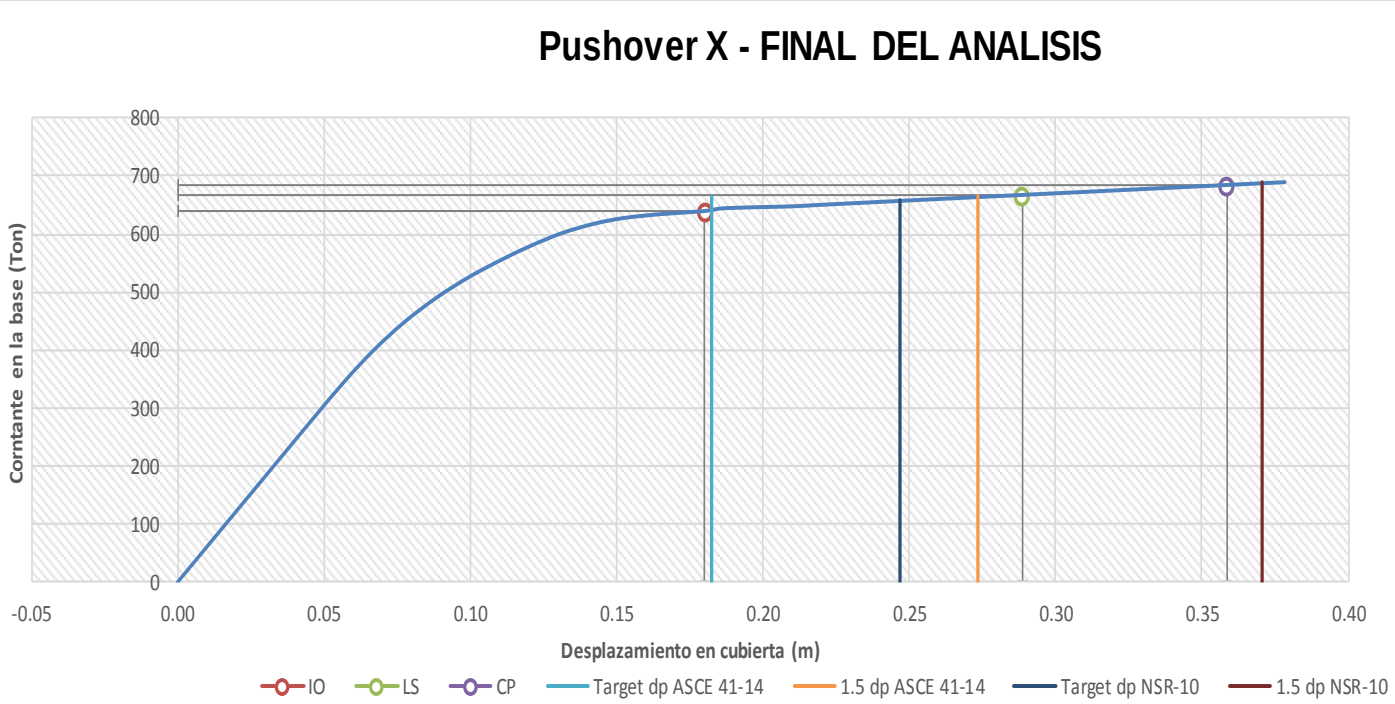
Nivel de daño en los elementos hasta el target NSR-10			
Total de rótulas asignadas	**NIVEL**	**1720**	100%
Rótulas formadas	No Daño	1700	98.84%
	IO	20	1.2%
	LS	0	0%
	CP	0	0%



Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

Gráfica 20. Niveles de desempeño Push Over dirección X Lacustre 300.

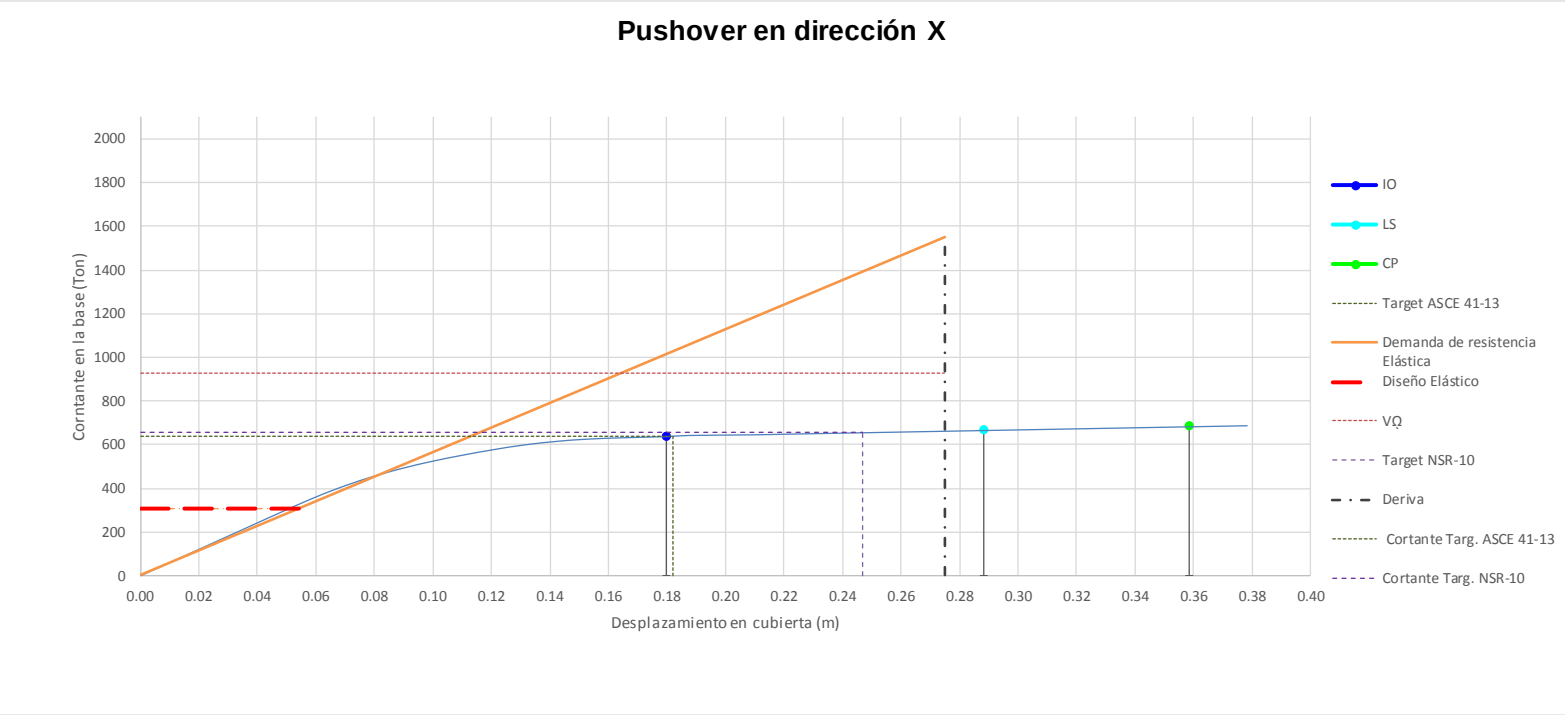
Limites de comportamiento		
IO= 0.18m V = 639 Ton	LS= 0.29m V = 667 Ton	CP= 0.36m V = 684 Ton
17	27	34



Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

Gráfica 21. Comparación Análisis elástico con Push Over dirección X Lacustre 300.

Deriva Elastica	Cortante Deriva	Deriva Elastica	Cortante Deriva	Cortante Diseño Elastico		Sobreresistencia		Cortante Diseño Targ. ASCE 41-13		Cortante Diseño Targ. NSR-10	
0m	0 Ton	0.28m	0 Ton	0m	310 Ton	0m	929 Ton	0m	641 Ton	0m	657 Ton
0.28m	1549 Ton	0.28m	1549.1 Ton	0.055m	310 Ton	0.28m	929 Ton	0.18m	641 Ton	0.25m	657 Ton



Análisis elástico:	V_e = 1549.13 Ton	Δ_e = 0.275m
Diseño elástico:	V_{dis} = 309.83 Ton	V_Ω = 929 Ton
Cortante en la primera fluencia:	V_y = 283.9 Ton	
Sobreresistencia:	Ω = 3.00	
	V= 851.57 Ton	

Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

5.3.4.1.2 Datos análisis de Push Over ASCE 41-13 en dirección Y

Gráfica 22. Push Over Bilineal en dirección Y Lacustre 300.

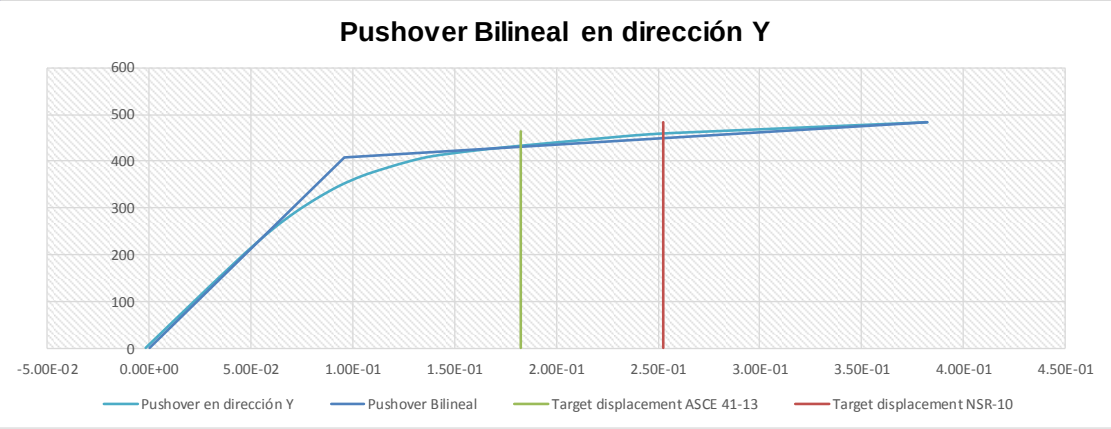
Target dp ASCE 41-14		1.5 dp ASCE 41-14	
0	0.18 m	0	0.273976
433.8 Ton	0.18 m	464 Ton	0.273976

Target dp NSR-10		1.5 dp NSR-10	
0.25 m	0	0.378780966	0
0.25 m	460 Ton	0.378780966	485 Ton

Pushover en dirección Y

Limite deriva: 0.28m
Cortante en el limite: 1549 Ton
Target displacement ASCE 41-13: 0.2m
Cortante target: 433.8 Ton

Target displacement NSR-10: 0.25m
Cortante target: 460.3 Ton



Modelo bilineal

Area = 146.7
V_y = 408 Ton
V_u = 484.5 Ton
δ_u = 0.382m
δ_y = 0.096m

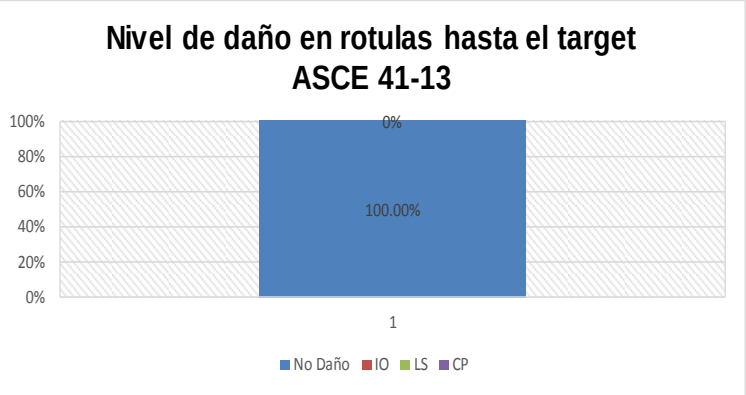
Pushover Bilineal	
0.00	0.00
0.10	408
0.38	485

Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL

Tabla 65. Nivel de daño Push Y Lacustre 300

Nivel de daño en los elementos hasta el target ASCE 41-13

Total de rótulas asignadas	NIVEL	1720	100%
Rótulas formadas	No Daño	1720	100.00%
	IO	0	0.00%
	LS	0	0%
	CP	0	0%



Calculo de ductilidad por desplazam

Δu = 0.38m
Δ_y = 0.0301m
V_y = 134 Ton
V_e = 1549 Ton

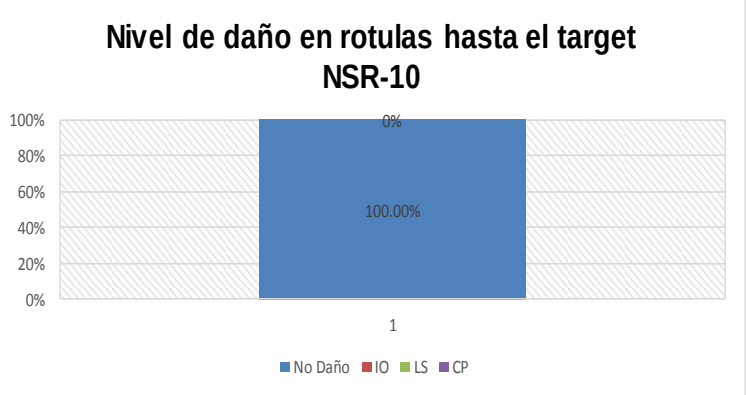
μ = 12.71

Factor de reduccion de demanda de resistencia por ductilidad

R = 11.59

Nivel de daño en los elementos hasta el target NSR-10

Total de rótulas asignadas	NIVEL	1720	100%
Rótulas formadas	No Daño	1720	100.00%
	IO	0	0.0%
	LS	0	0%
	CP	0	0%



Calculo de ductilidad por desplazam

Δu = 0.38m
Δ_y = 0.0301m
V_y = 134 Ton
V_e = 1549 Ton

μ = 12.71

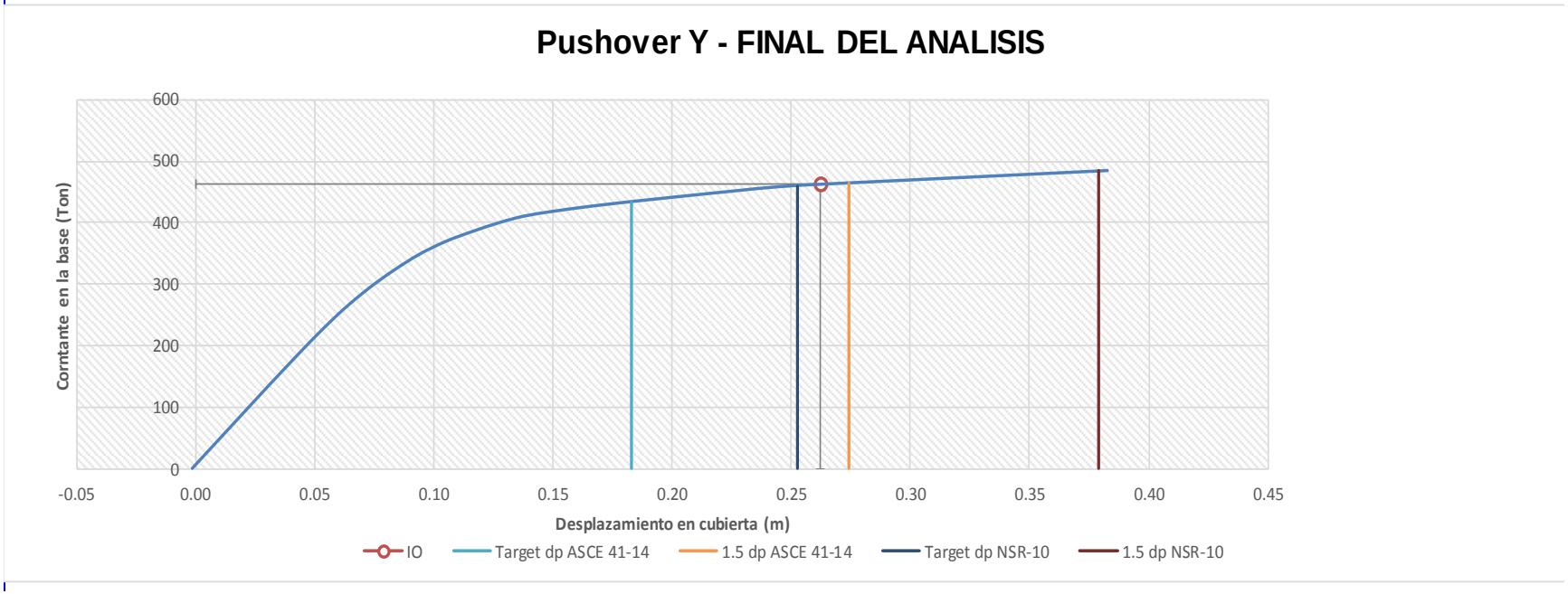
Factor de reduccion de demanda de resistencia por ductilidad

R = 11.59

Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

Gráfica 23. Niveles de desempeño Push Over dirección Y Lacustre 300

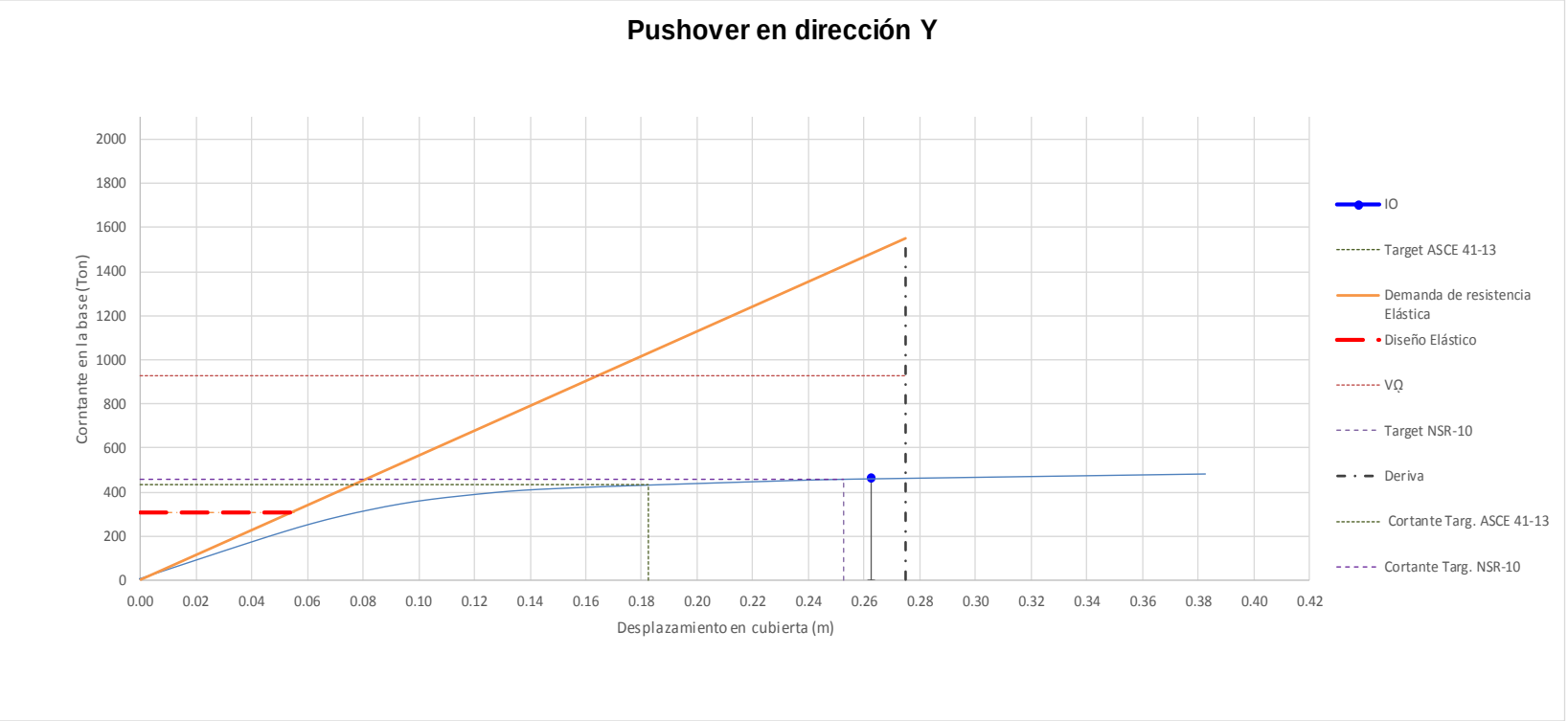
Limites de comportamiento		
IO= 0.26m V = 462 Ton	LS= 0.00m V = 0 Ton	CP= 0.00m V = 0 Ton
25	0	0



Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

Gráfica 24. Comparación Análisis elástico con Push Over dirección Y Lacustre 300.

Deriva Elastica	Cortante Deriva	Deriva Elastica	Cortante Deriva	Cortante Diseño Elastico		Sobreresistencia		Cortante Diseño Targ. ASCE 41-13		Cortante Diseño Targ. NSR-10	
0m	0 Ton	0.28m	0 Ton	0m	310 Ton	0m	929 Ton	0m	434 Ton	0m	460 Ton
0.28m	1549 Ton	0.28m	1549.1 Ton	0.055m	310 Ton	0.28m	929 Ton	0.18m	434 Ton	0.25m	460 Ton

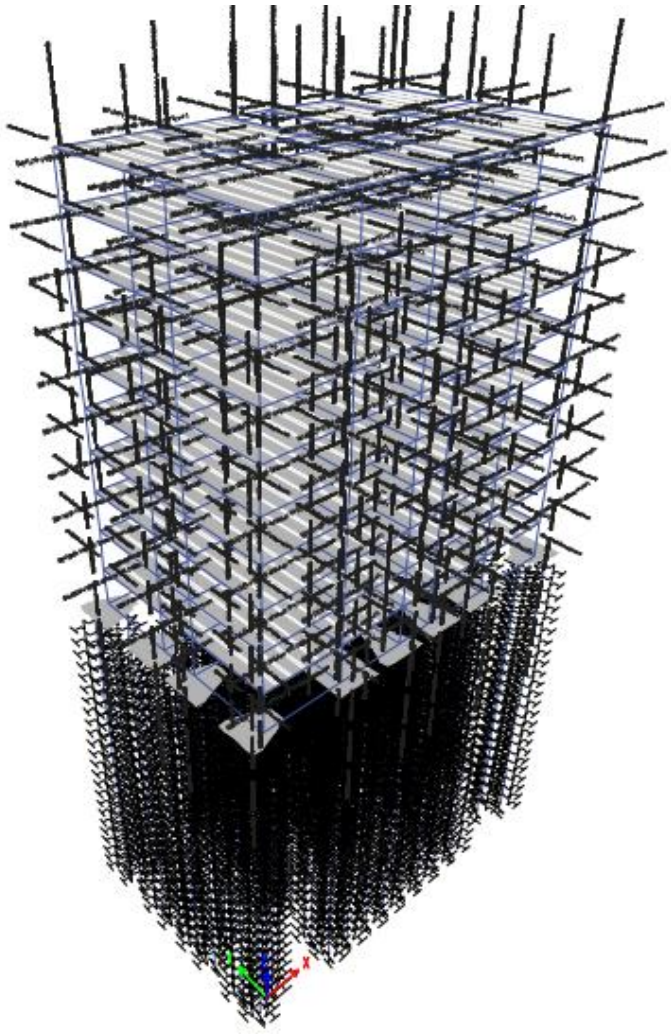


Análisis elástico:	V_e = 1549.13 Ton	Δ_e = 0.275m
Diseño elástico:	V_{dis} = 309.83 Ton	V_Ω = 929 Ton
Cortante en la primera fluencia:	V_y = 133.6 Ton	
Sobreresistencia:	Ω = 3.00	
	V= 400.85 Ton	

Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL

5.3.5 Lacustre 500

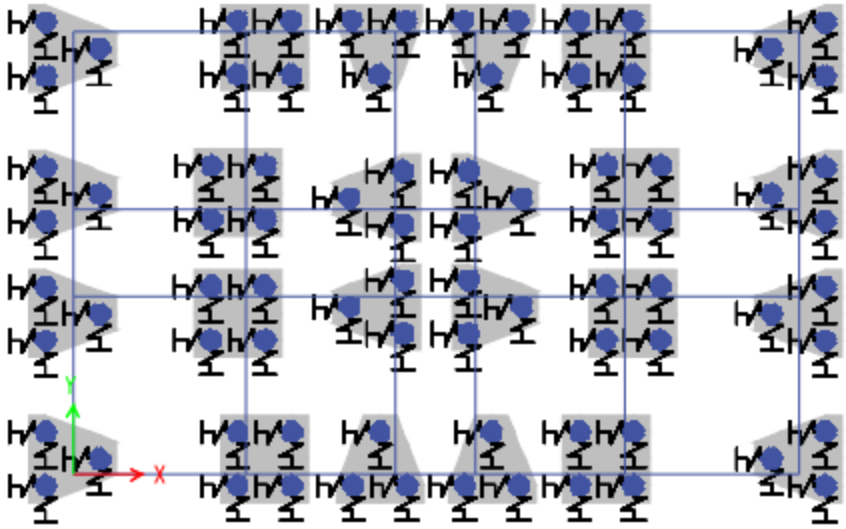
Figura 37. Modelo No lineal estructura zona lacustre 500 con Interacción suelo Estructura.



Fuente: Elaboración propia, ETABS

Estructura de 10 pisos con luces entre ejes de 4 a 6 metros destinada para vivienda, altura de entrepisos 2.75 m. Con vigas de 40x40 cm, columnas 40x160 cm y 40x100 cm, en anexo 1 se presenta la planta arquitectónica de dicha edificación. En esta se modela la cimentación obtenida del estudio de suelos para cada zona lacustre, en el Anexo 5 se presenta dicho estudio, en el anexo 4 se muestra el cuadro de cantidad de pilotes según la capacidad portante de cada zona lacustre.

Figura 38. Modelo Cimentación zona lacustre 500.



Fuente: Elaboración propia, ETABS

Esta cimentación consta de vigas de 50x100 cm, cabezales separados según recomendación del estudio de suelo tres veces el diámetro del pilote. Los pilotes planteados son de 60 cm de diámetro por 25 m de profundidad, estos trabajan por punta y a fricción. La rigidez de los pilotes se representa a partir de un coeficiente de balasto vertical y horizontal contemplando los principios de mecánica de suelos, estos tienen como principal característica el módulo de elasticidad del suelo, obtenido de curvas de esfuerzo deformación del suelo que consideran el rango elástico y plástico del mismo.

5.3.5.1 Análisis Estructural no lineal y solicitaciones

5.3.5.1.1 Datos análisis de Push Over ASCE 41-13 en dirección X

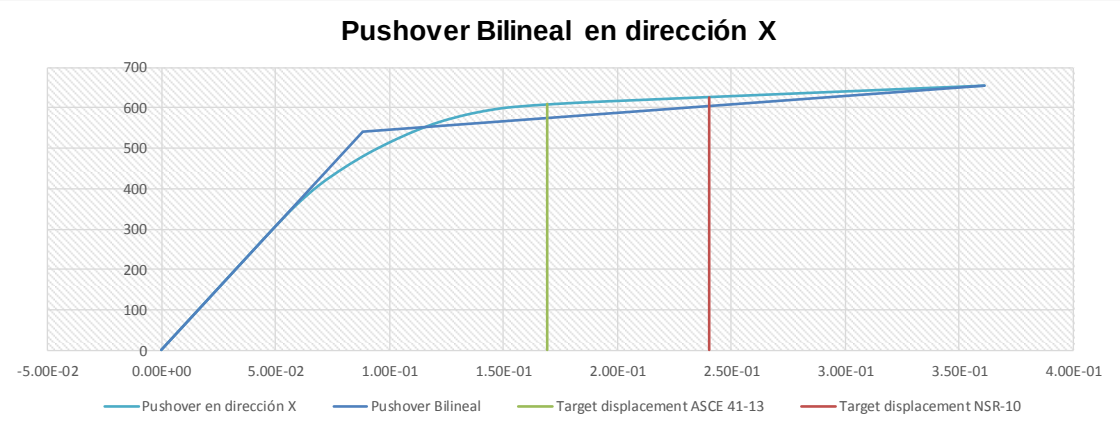
Gráfica 25. Push Over Bilineal en dirección X Lacustre 500.

Target dp ASCE 41-14		1.5 dp ASCE 41-14	
0	0.17 m	0	0.25374
608.1 Ton	0.17 m	629 Ton	0.25374

Target dp NSR-10		1.5 dp NSR-10	
0.240 m	0	0.36	0
0.240 m	627 Ton	0.36	655 Ton

Pushover en dirección X

Limite deriva: 0.28m
Cortante en el limite: 1400 Ton
Target displacement ASCE 41-13: 0.17m
Cortante target: 608.1 Ton
Target displacement NSR-10: 0.24m
Cortante target: 626.6 Ton



Modelo bilineal

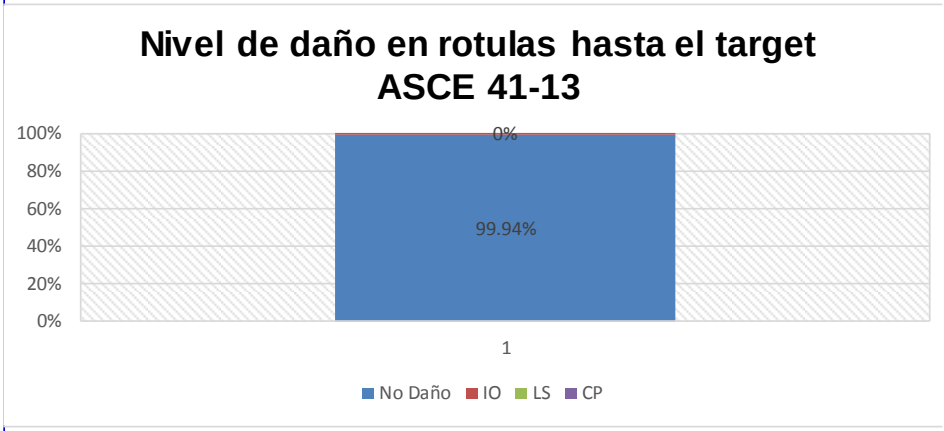
Area = 190.2
V_y = 542 Ton
V_u = 655.0 Ton
δ_u = 0.361m
δ_y = 0.088m

Pushover Bilineal	
0.00	0.00
0.09	542
0.36	655

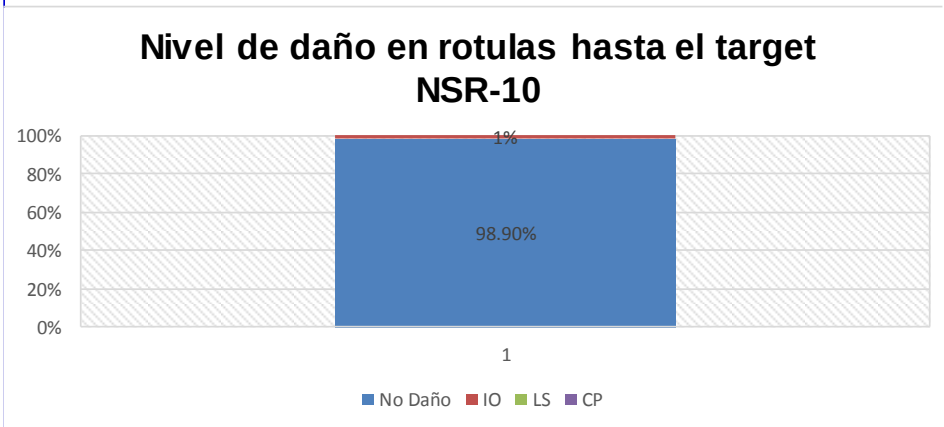
Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

Tabla 66. Nivel de daño Push X Lacustre 500.

Nivel de daño en los elementos hasta el target ASCE 41-13			
Total de rótulas asignadas	**NIVEL**	**1720**	100%
Rótulas formadas	No Daño	1719	99.94%
	IO	1	0.06%
	LS	0	0%
	CP	0	0%



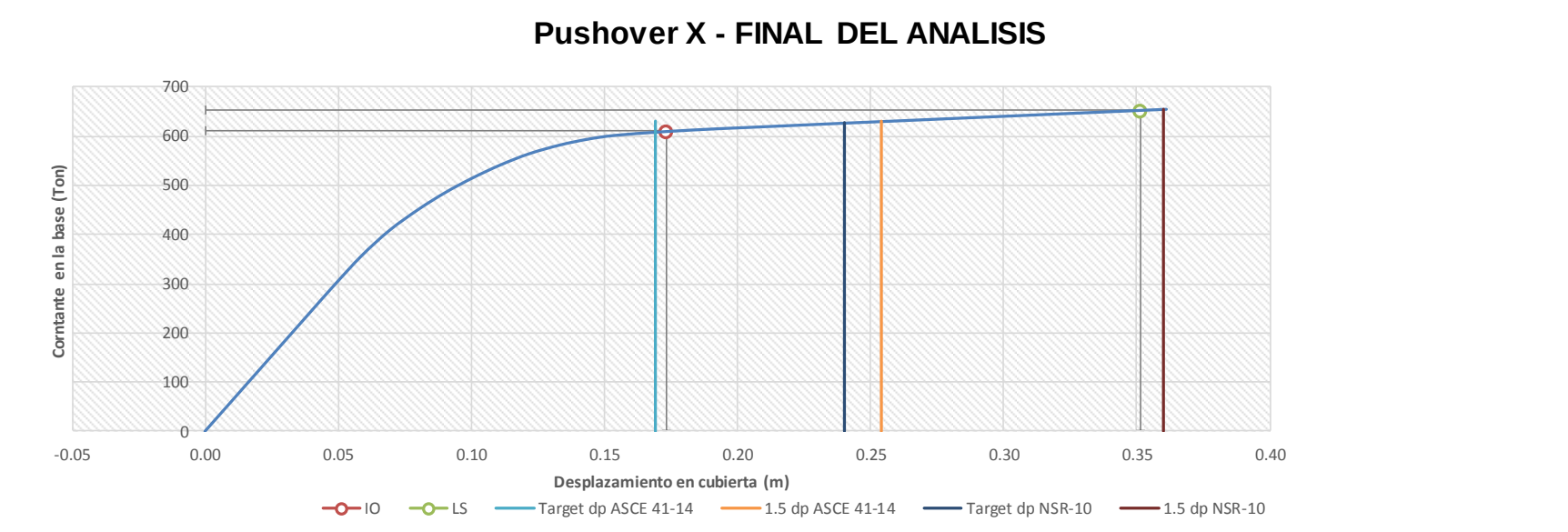
Nivel de daño en los elementos hasta el target NSR-10			
Total de rótulas asignadas	**NIVEL**	**1720**	100%
Rótulas formadas	No Daño	1701	98.90%
	IO	19	1.1%
	LS	0	0%
	CP	0	0%



Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

Gráfica 26 Niveles de desempeño Push Over dirección X Lacustre 500.

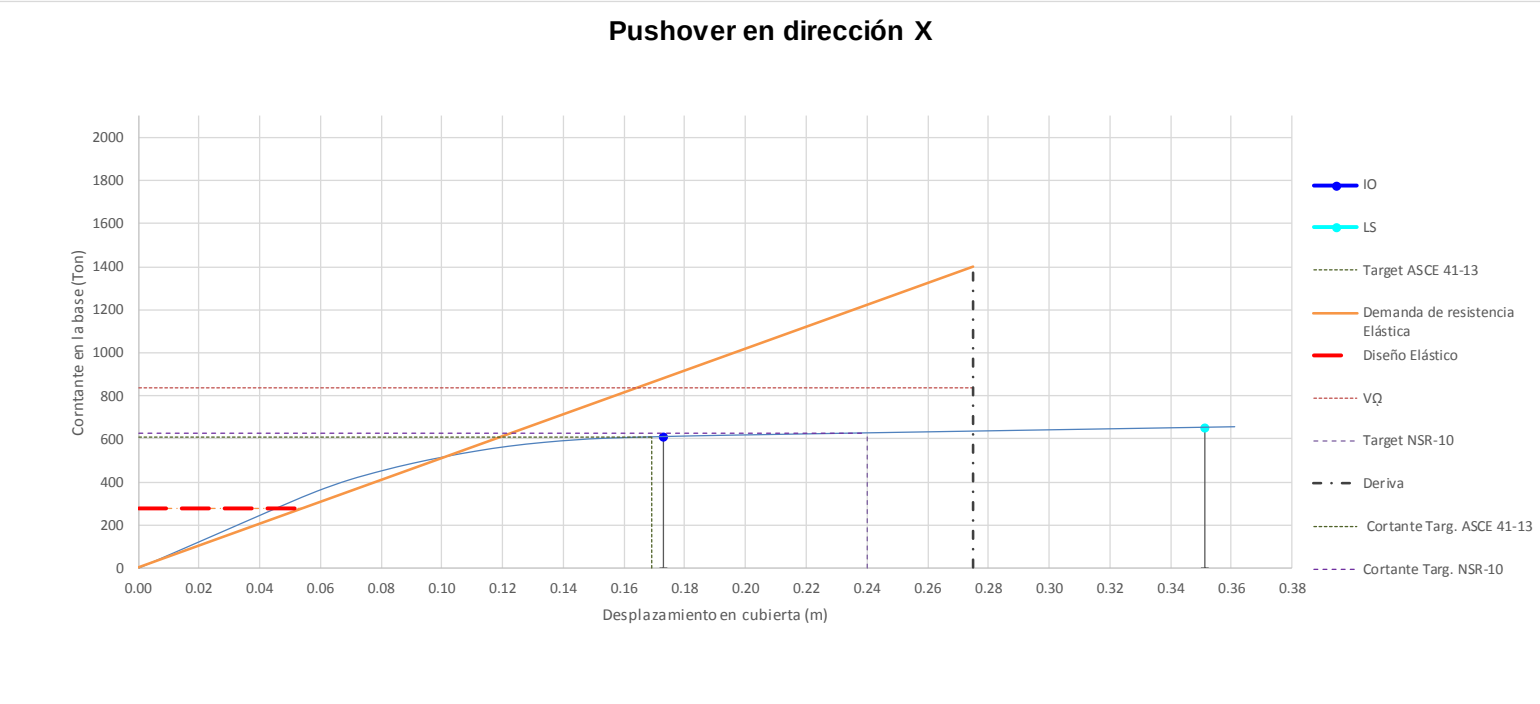
Limites de comportamiento		
IO= 0.17m V = 610 Ton	LS= 0.35m V = 653 Ton	CP= 0.00m V = 0 Ton
16	33	0



Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

Gráfica 27. Comparación Análisis elástico con Push Over dirección X Lacustre 500.

Deriva Elastica	Cortante Deriva	Deriva Elastica	Cortante Deriva	Cortante Diseño Elastico		Sobreresistencia		Cortante Diseño Targ. ASCE 41-13		Cortante Diseño Targ. NSR-10	
0m	0 Ton	0.28m	0 Ton	0m	280 Ton	0m	840 Ton	0m	608 Ton	0m	627 Ton
0.28m	1400 Ton	0.28m	1399.7 Ton	0.055m	280 Ton	0.28m	840 Ton	0.17m	608 Ton	0.24m	627 Ton



Análisis elástico:	V_e = 1399.72 Ton	Δ_e = 0.275m
Diseño elástico:	V_{dis} = 279.94 Ton	V_Ω = 840 Ton
Cortante en la primera fluencia:	V_y = 298.1 Ton	
Sobreresistencia:	Ω = 3.00	
	V= 894.42 Ton	

Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

5.3.5.1.2 Datos análisis de Push Over ASCE 41-13 en dirección Y.

Gráfica 28. Push Over Bilineal en dirección Y Lacustre 500.

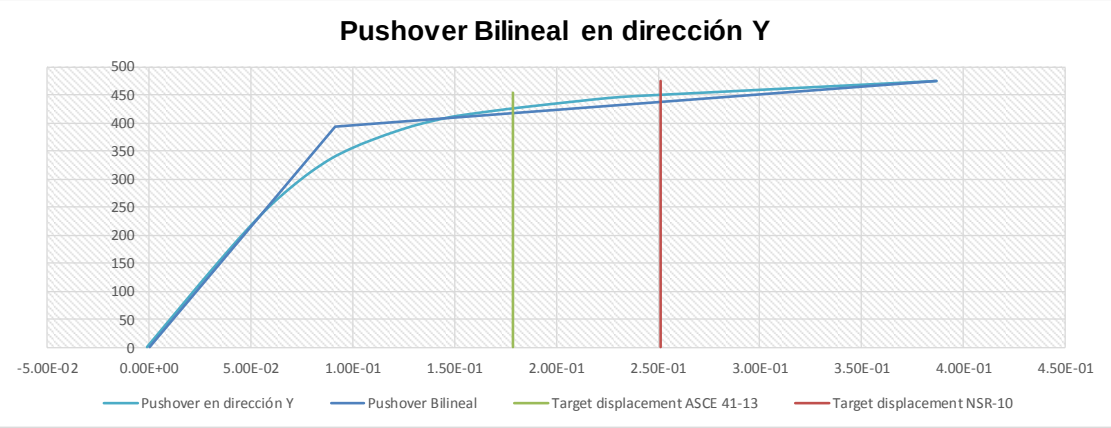
Target dp ASCE 41-14		1.5 dp ASCE 41-14	
0	0.18 m	0	0.267952
426.5 Ton	0.18 m	454 Ton	0.267952

Target dp NSR-10		1.5 dp NSR-10	
0.25 m	0	0.377142223	0
0.25 m	451 Ton	0.377142223	476 Ton

Pushover en dirección Y

Limite deriva: 0.28m
Cortante en el limite: 1400 Ton
Target displacement ASCE 41-13: 0.18m
Cortante target: 426.5 Ton

Target displacement NSR-10: 0.25m
Cortante target: 450.9 Ton



Modelo bilineal

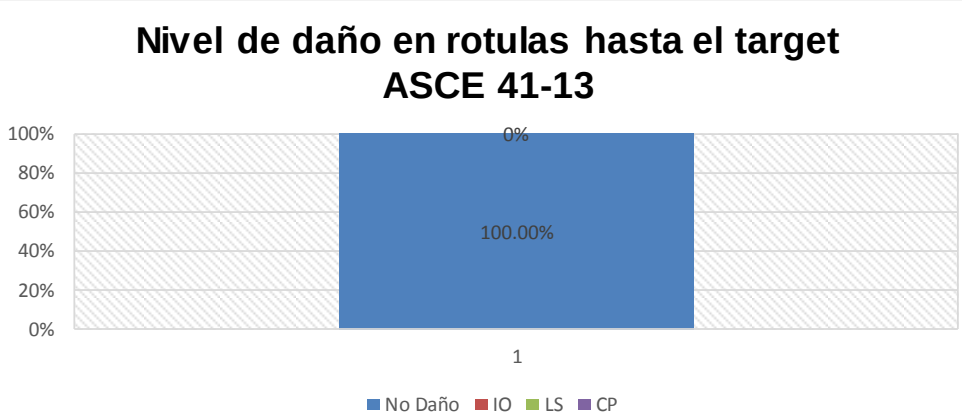
Area = 146.5
V_y = 392 Ton
V_u = 475.5 Ton
δ_u = 0.387m
δ_y = 0.091m

Pushover Bilineal	
0.00	0.00
0.09	392
0.39	476

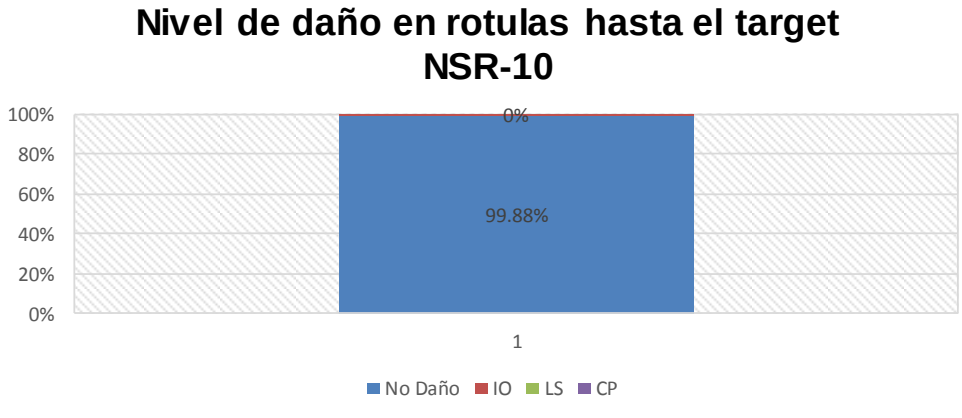
Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

Tabla 67. Nivel de daño Push Y Lacustre 500.

Nivel de daño en los elementos hasta el target ASCE 41-13			
Total de rótulas asignadas	**NIVEL**	**1720**	100%
Rótulas formadas	No Daño	1720	100.00%
	IO	0	0.00%
	LS	0	0%
	CP	0	0%



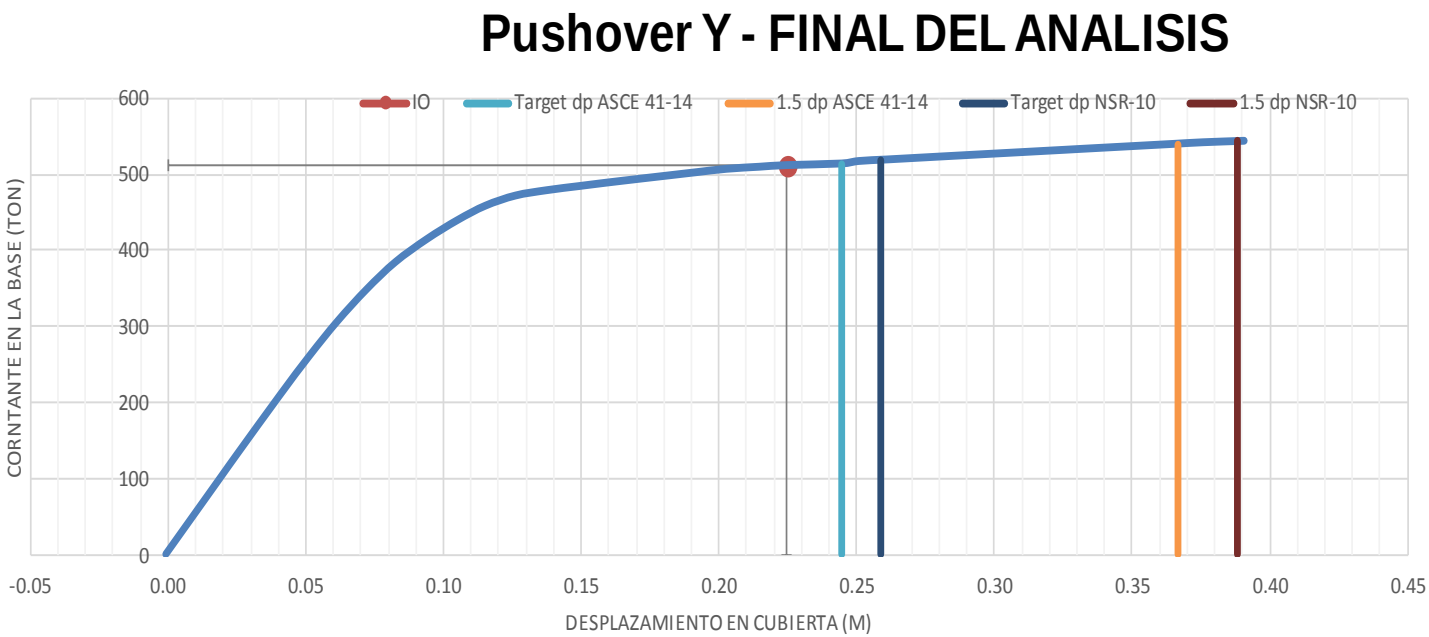
Nivel de daño en los elementos hasta el target NSR-10			
Total de rótulas asignadas	**NIVEL**	**1720**	100%
Rótulas formadas	No Daño	1718	99.88%
	IO	2	0.1%
	LS	0	0%
	CP	0	0%



Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL

Gráfica 29. Niveles de desempeño Push Over dirección Y Lacustre 500.

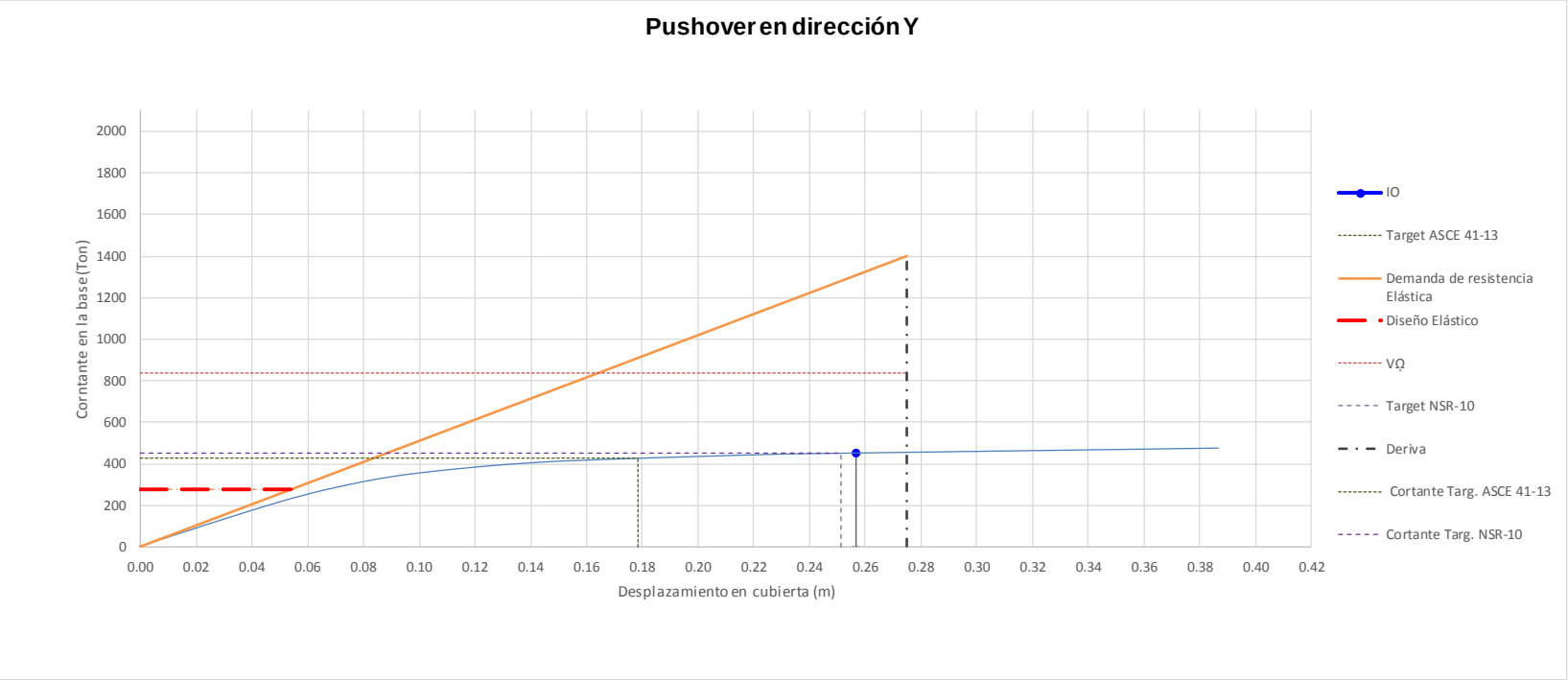
IO= 0.22m V = 511 Ton	LS= 0.00m V = 0 Ton	CP= 0.00m V = 0 Ton
21	0	0



Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

Gráfica 30. Comparación Análisis elástico con Push Over dirección Y Lacustre 500.

Deriva Elastica	Cortante Deriva	Deriva Elastica	Cortante Deriva	Cortante Diseño Elastico		Sobreresistencia		Cortante Diseño Targ. ASCE 41-13		Cortante Diseño Targ. NSR-10	
0m	0 Ton	0.28m	0 Ton	0m	280 Ton	0m	840 Ton	0m	426 Ton	0m	451 Ton
0.28m	1400 Ton	0.28m	1399.7 Ton	0.055m	280 Ton	0.28m	840 Ton	0.18m	426 Ton	0.25m	451 Ton



Análisis elástico:	V_e = 1399.72 Ton	Δ_e = 0.275m
Diseño elástico:	V_{dis} = 279.94 Ton	V_Ω = 840 Ton
Cortante en la primera fluencia:	V_y = 167.7 Ton	
Sobreresistencia:	Ω = 3.00	
	V= 503.25 Ton	

Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos EXCEL.

Capítulo 6: Resumén Resultados

5.4 Derivas

Tabla 68. Tabla resumen derivas análisis lineal

DERIVA EN Y (%)	N+0.00	N+2.75	N+5.50	N+8.25	N+11.00	N+13.75	N+16.5	N+19.25	N+22.00	N+24.75	N+27.5
LACUSTRE 50	0	0.32	0.70	0.90	0.99	0.99	0.93	0.84	0.72	0.60	0.51
LACUSTRE 100	0	0.30	0.66	0.86	0.94	0.94	0.88	0.79	0.68	0.57	0.48
LACUSTRE 200	0	0.28	0.61	0.79	0.86	0.87	0.82	0.73	0.63	0.53	0.44
LACUSTRE 300	0	0.24	0.54	0.69	0.76	0.76	0.71	0.64	0.55	0.46	0.39
LACUSTRE 500	0	0.22	0.48	0.63	0.68	0.68	0.65	0.58	0.50	0.42	0.35
DERIVA EN X (%)											
	N+0.00	**N+2.75**	**N+5.50**	**N+8.25**	**N+11.00**	**N+13.75**	**N+16.5**	**N+19.25**	**N+22.00**	**N+24.75**	**N+27.5**
LACUSTRE 50	0	0.31	0.68	0.87	0.94	0.94	0.88	0.78	0.66	0.54	0.45
LACUSTRE 100	0	0.29	0.63	0.81	0.88	0.87	0.82	0.72	0.62	0.51	0.42
LACUSTRE 200	0	0.27	0.58	0.75	0.81	0.80	0.75	0.67	0.57	0.47	0.38
LACUSTRE 300	0	0.23	0.51	0.65	0.71	0.70	0.66	0.58	0.50	0.41	0.34
LACUSTRE 500	0	0.21	0.46	0.59	0.64	0.64	0.59	0.53	0.45	0.37	0.30

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 69. Tabla resumen derivas análisis No Lineal

DERIVA EN Y (%)	**N+0.00**	**N+2.75**	**N+5.50**	**N+8.25**	**N+11.00**	**N+13.75**	**N+16.5**	**N+19.25**	**N+22.00**	**N+24.75**	**N+27.5**
LACUSTRE 50	0	0.50	0.74	0.85	0.93	0.96	0.96	0.94	0.90	0.85	0.82
LACUSTRE 100	0	0.52	0.77	0.89	0.96	0.99	0.99	0.97	0.93	0.89	0.85
LACUSTRE 200	0	0.49	0.72	0.83	0.90	0.94	0.95	0.94	0.92	0.88	0.86
LACUSTRE 300	0	0.45	0.67	0.78	0.86	0.90	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
LACUSTRE 500	0	0.40	0.62	0.73	0.80	0.84	0.85	0.83	0.80	0.77	0.74

DERIVA EN X (%)	**N+0.00**	**N+2.75**	**N+5.50**	**N+8.25**	**N+11.00**	**N+13.75**	**N+16.5**	**N+19.25**	**N+22.00**	**N+24.75**	**N+27.5**
LACUSTRE 50	0	0.63	0.82	0.91	0.95	0.95	0.92	0.87	0.81	0.75	0.70
LACUSTRE 100	0	0.58	0.82	0.92	0.98	0.99	0.97	0.91	0.84	0.77	0.72
LACUSTRE 200	0	0.58	0.77	0.86	0.90	0.92	0.90	0.87	0.82	0.77	0.73
LACUSTRE 300	0	0.51	0.71	0.80	0.85	0.87	0.85	0.81	0.76	0.71	0.67
LACUSTRE 500	0	0.42	0.61	0.71	0.77	0.79	0.77	0.74	0.69	0.64	0.60

Fuente: Elaboración Propia.

5.5 Solicitaciones

Tabla 70. Resumen de Solicitaciones

LACUSTRES	CORTANTE LINEAL SENTIDO X (Ton)	CORTANTE NO LINEAL CON ISE SENTIDO X (Ton)	CORTANTE LINEAL SENTIDO Y (Ton)	CORTANTE NO LINEAL CON ISE SENTIDO Y (Ton)
Lacustre 50	412.84	723.49	412.840	518.39
Lacustre 100	383.74	636.98	383.744	472.18
Lacustre 200	353.86	709.17	353.862	486.81
Lacustre 300	309.83	656.63	309.826	460.30
Lacustre 500	279.94	626.60	279.944	450.90

Fuente: Elaboración Propia.

5.6 Índices de estabilidad

Tabla 71. Resumen índice estabilidad análisis lineal

QI EN Y	N+0.00	N+11.00	N+13.75	N+16.5	N+19.25	N+2.75	N+22.00	N+24.75	N+27.5	N+5.50	N+8.25
LACUSTRE 50	0	0.003	0.003	0.003	0.002	0.001	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002
LACUSTRE 100	0	0.003	0.003	0.003	0.002	0.001	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002
LACUSTRE 200	0	0.003	0.003	0.003	0.002	0.001	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002
LACUSTRE 300	0	0.003	0.003	0.003	0.002	0.001	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002
LACUSTRE 500	0	0.003	0.003	0.003	0.002	0.001	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002

QI EN X	N+0.00	N+11.00	N+13.75	N+16.5	N+19.25	N+2.75	N+22.00	N+24.75	N+27.5	N+5.50	N+8.25
LACUSTRE 50	0	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002
LACUSTRE 100	0	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002
LACUSTRE 200	0	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002
LACUSTRE 300	0	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002
LACUSTRE 500	0	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 72. Resumen índice estabilidad análisis No Lineal

QI EN Y	N+0.00	N+11.00	N+13.75	N+16.5	N+19.25	N+2.75	N+22.00	N+24.75	N+27.5	N+5.50	N+8.25
LACUSTRE 50	0	0.012	0.012	0.013	0.014	0.008	0.016	0.021	0.03	0.011	0.011
LACUSTRE 100	0	0.012	0.013	0.013	0.014	0.008	0.016	0.022	0.032	0.011	0.012
LACUSTRE 200	0	0.013	0.013	0.014	0.015	0.009	0.018	0.023	0.034	0.011	0.012
LACUSTRE 300	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.032	0.001	0.001
LACUSTRE 500	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.032	0.001	0.001

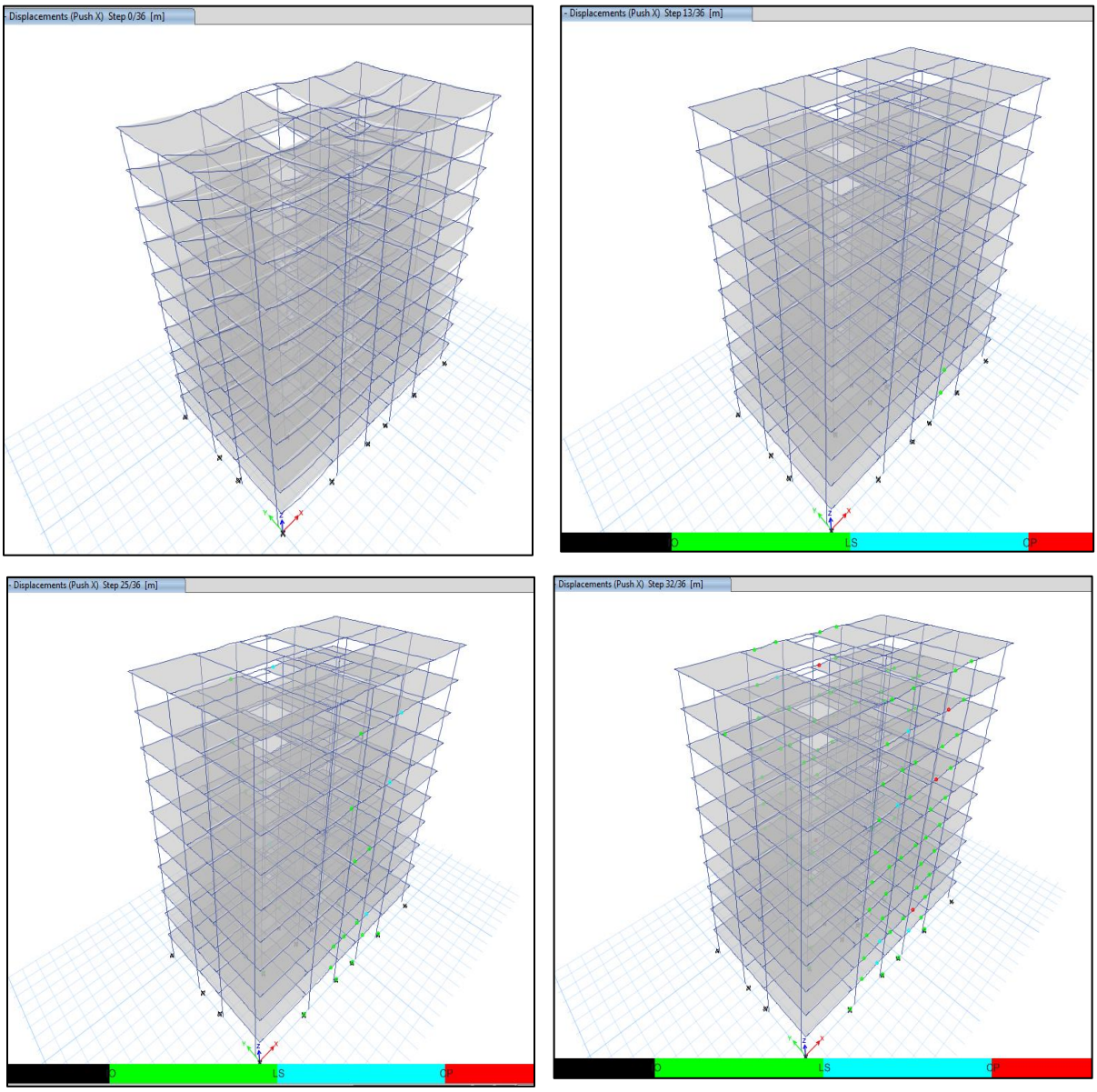
QI EN X	N+0.00	N+11.00	N+13.75	N+16.5	N+19.25	N+2.75	N+22.00	N+24.75	N+27.5	N+5.50	N+8.25
LACUSTRE 50	0	0.010	0.010	0.010	0.011	0.007	0.012	0.015	0.022	0.009	0.009
LACUSTRE 100	0	0.010	0.010	0.010	0.011	0.007	0.012	0.015	0.022	0.009	0.009
LACUSTRE 200	0	0.009	0.009	0.009	0.01	0.007	0.011	0.015	0.022	0.008	0.009
LACUSTRE 300	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.022	0.001	0.001
LACUSTRE 500	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.023	0.001	0.001

Fuente: Elaboración Propia.

5.7 Evolución Push Over.

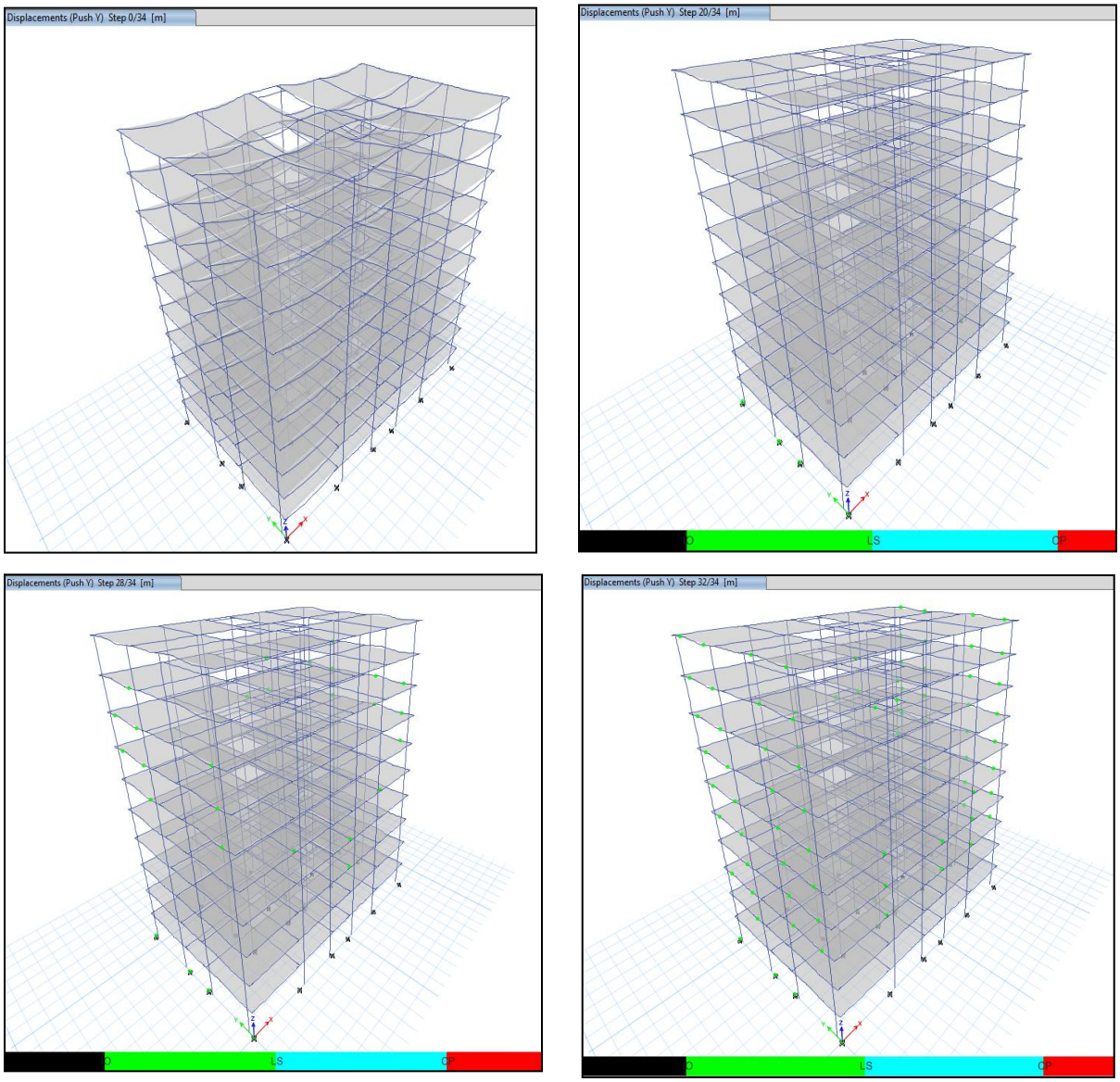
5.7.1 Lacustre 50.

Figura 39. Evolución Push Over X apoyos empotrados lacustre 50



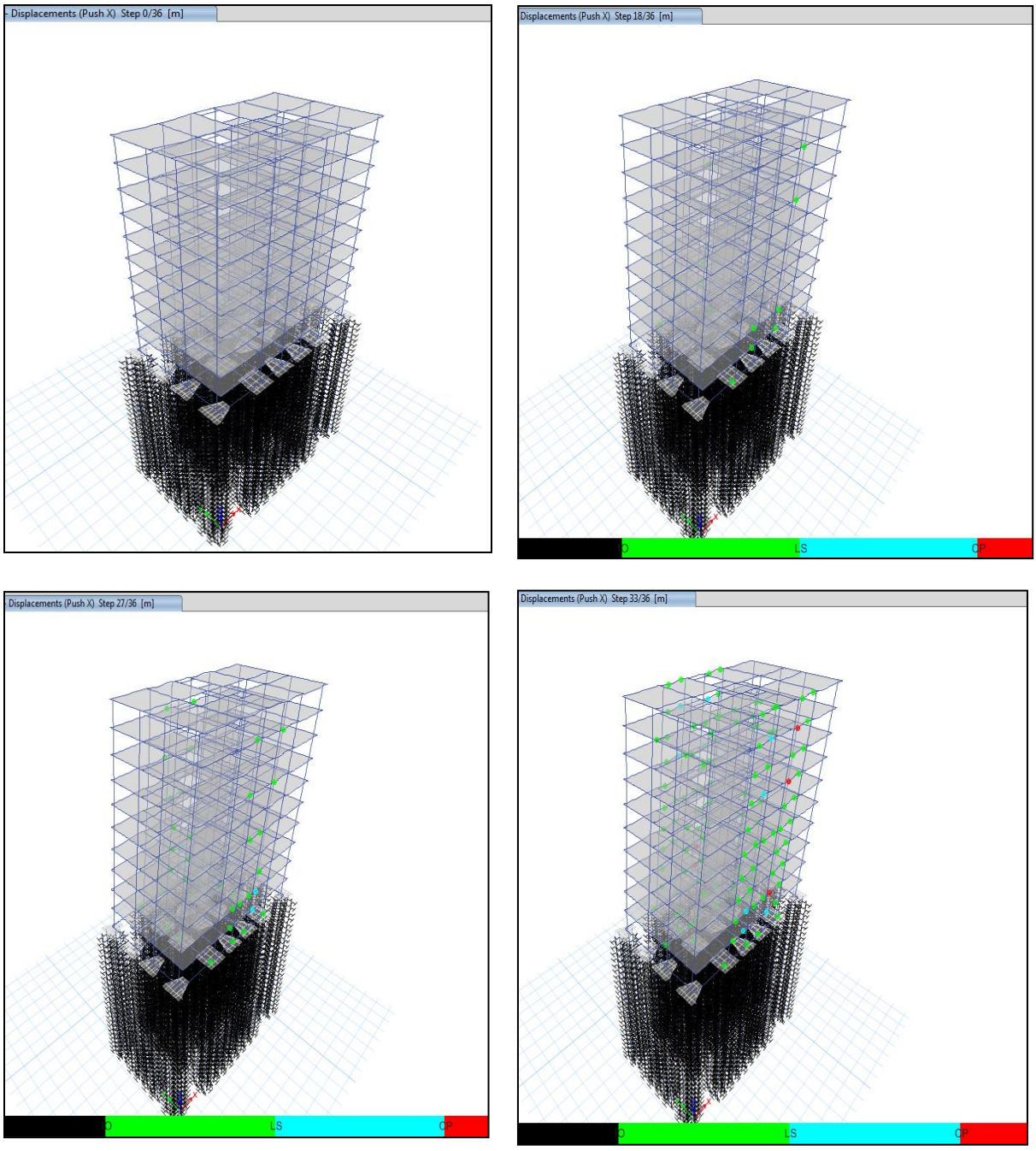
Fuente: ETABS.

Figura 17 Evolución Push Over Y apoyos empotrados lacustre 50



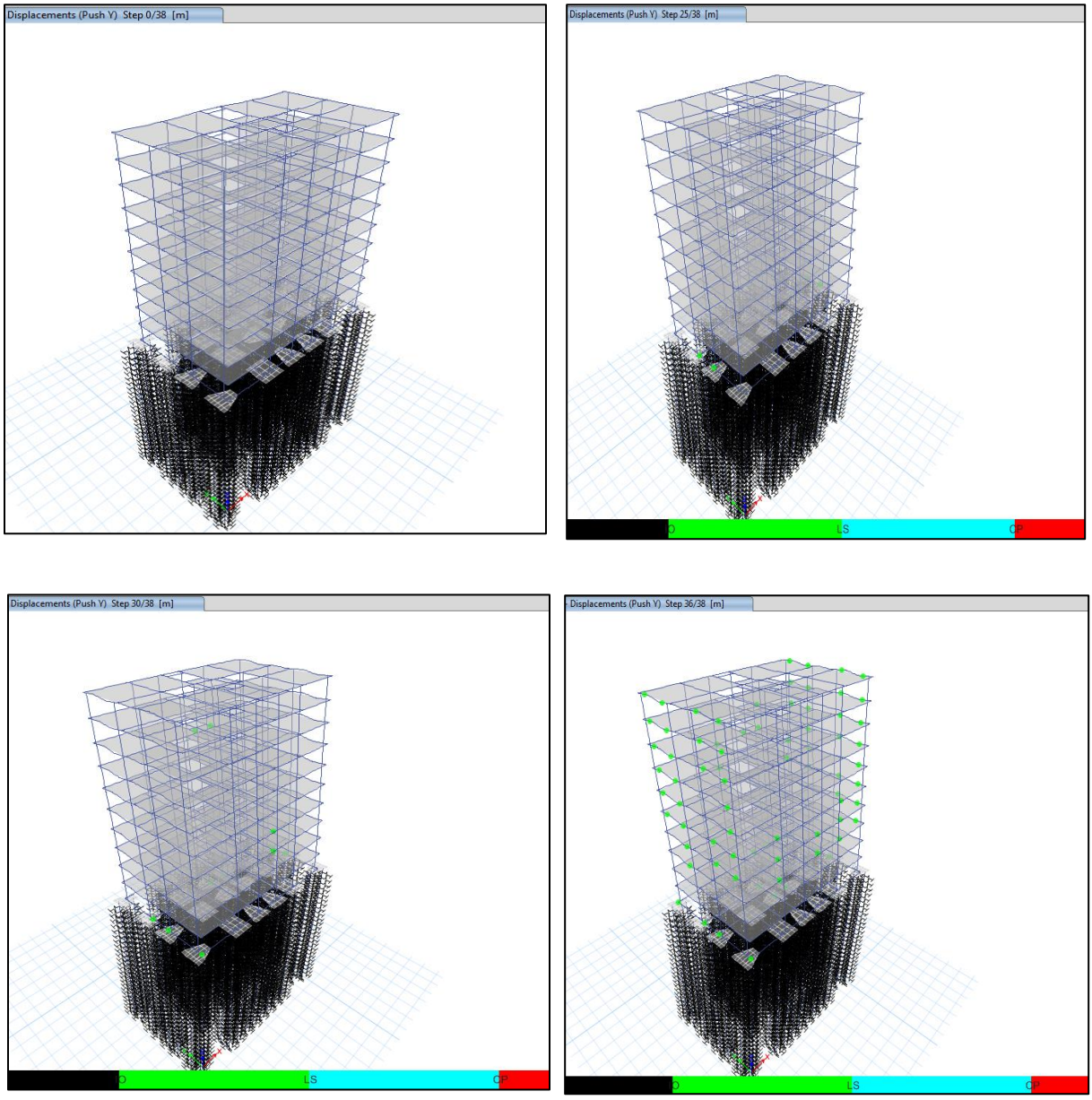
Fuente: ETABS.

Figura 41. Evolución Push Over X con interacción suelo-estructura lacustre 50



Fuente: ETABS.

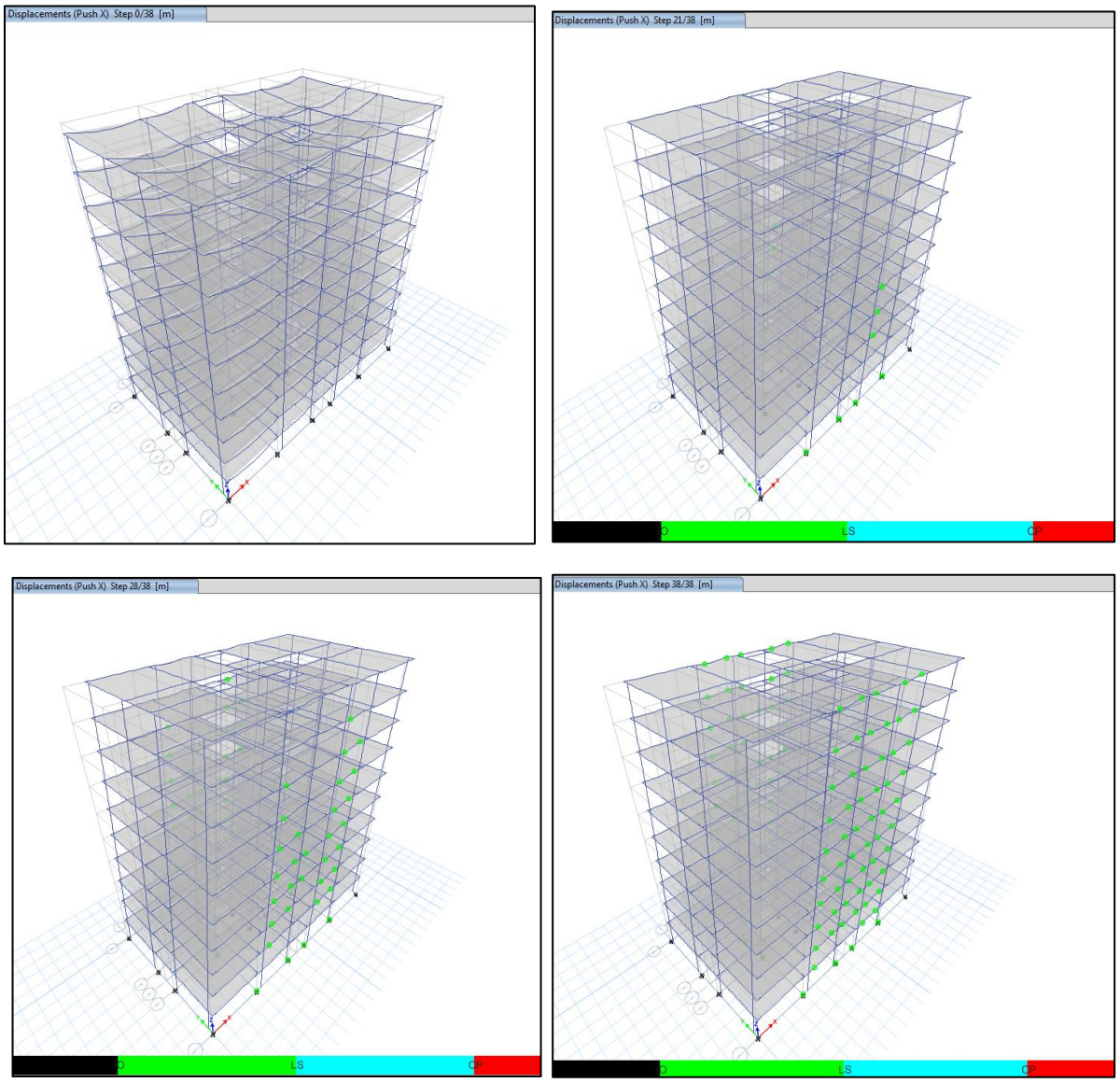
Figura 42. Evolución Push Over Y con interacción suelo-estructura lacustre 50



Fuente: ETABS.

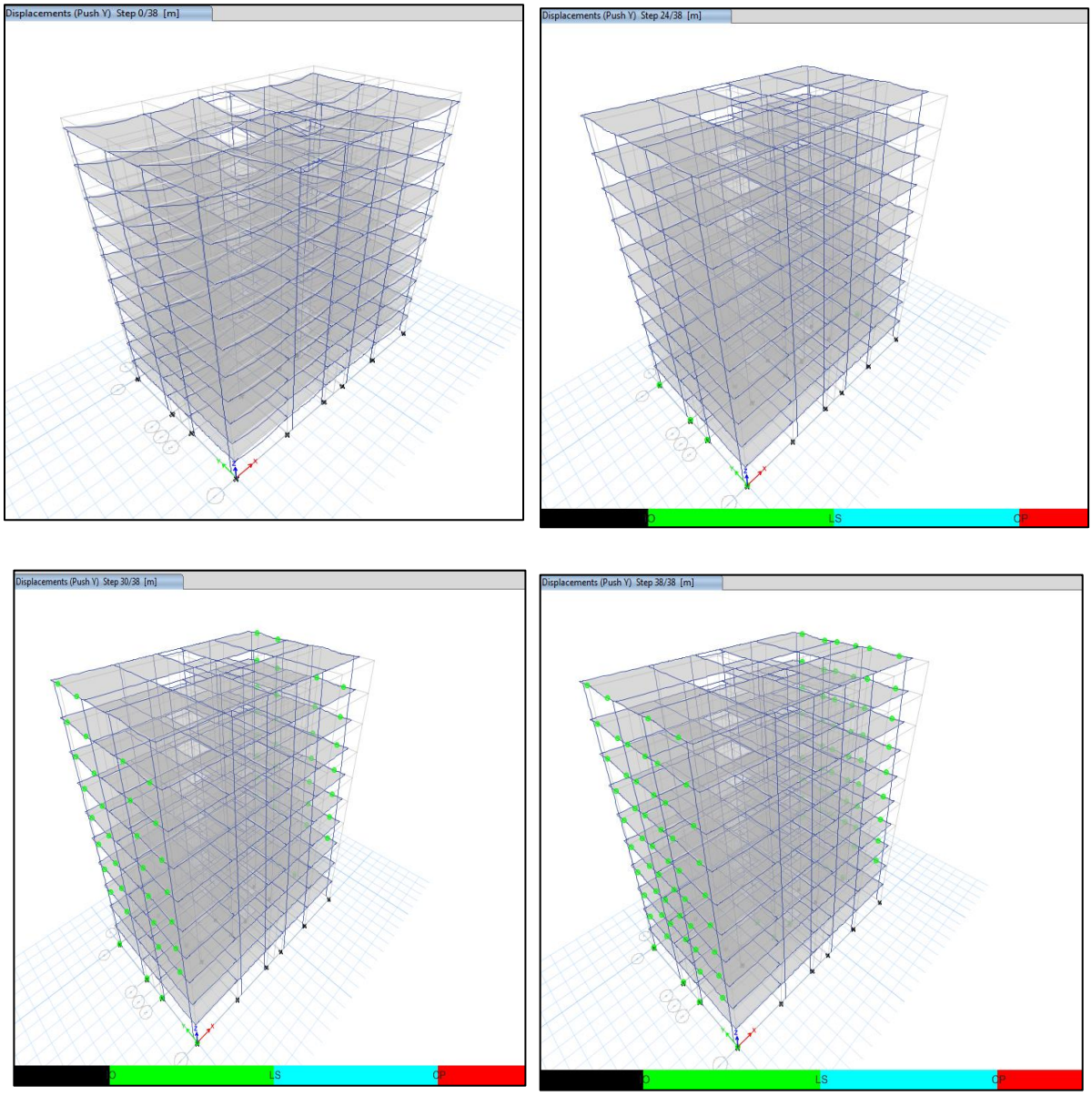
5.7.2 Lacustre 100.

Figura 18 Evolución Push Over X apoyos empotrados lacustre 100



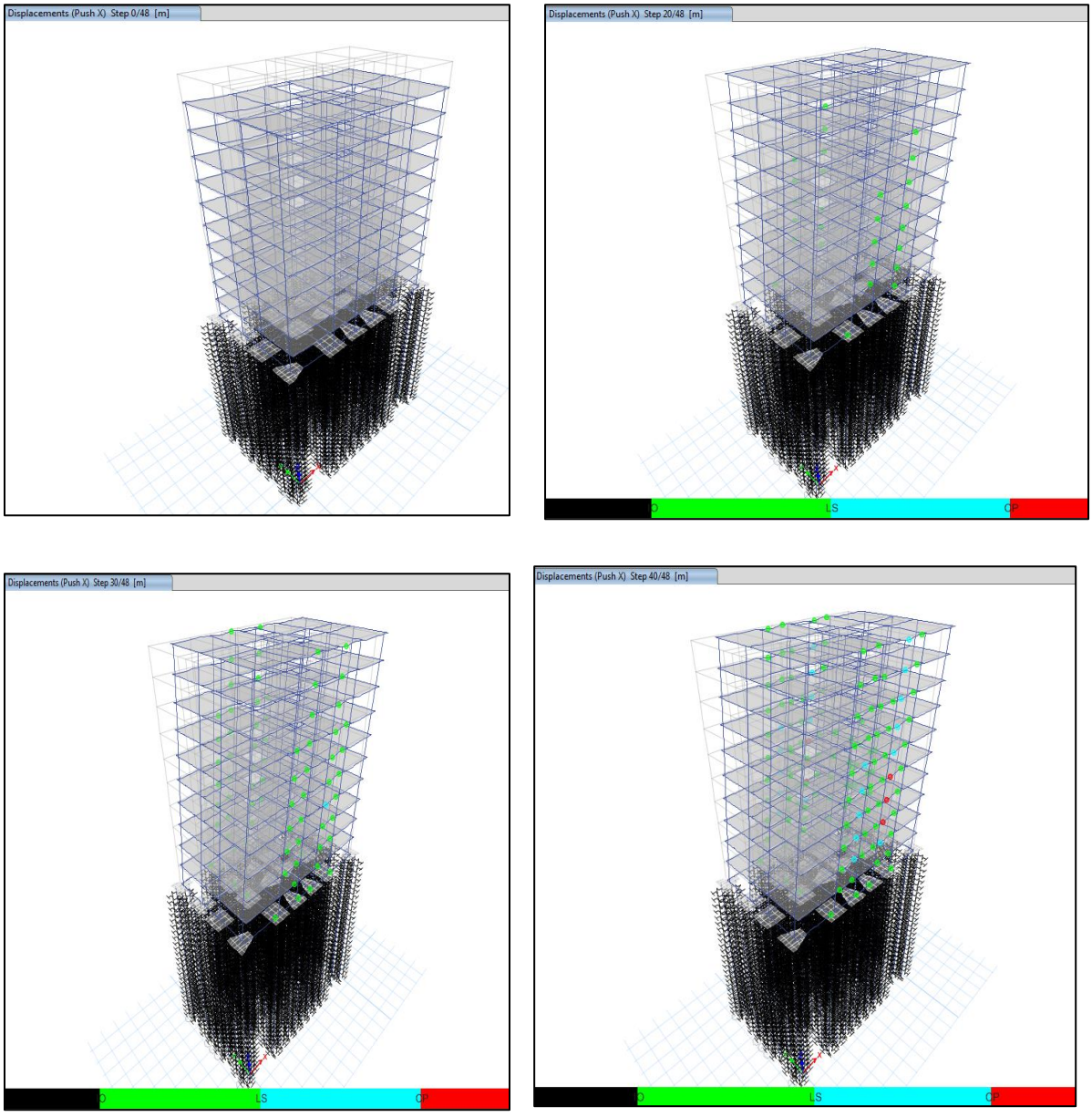
Fuente: ETABS.

Figura 19 Evolución Push Over Y apoyos empotrados lacustre 100



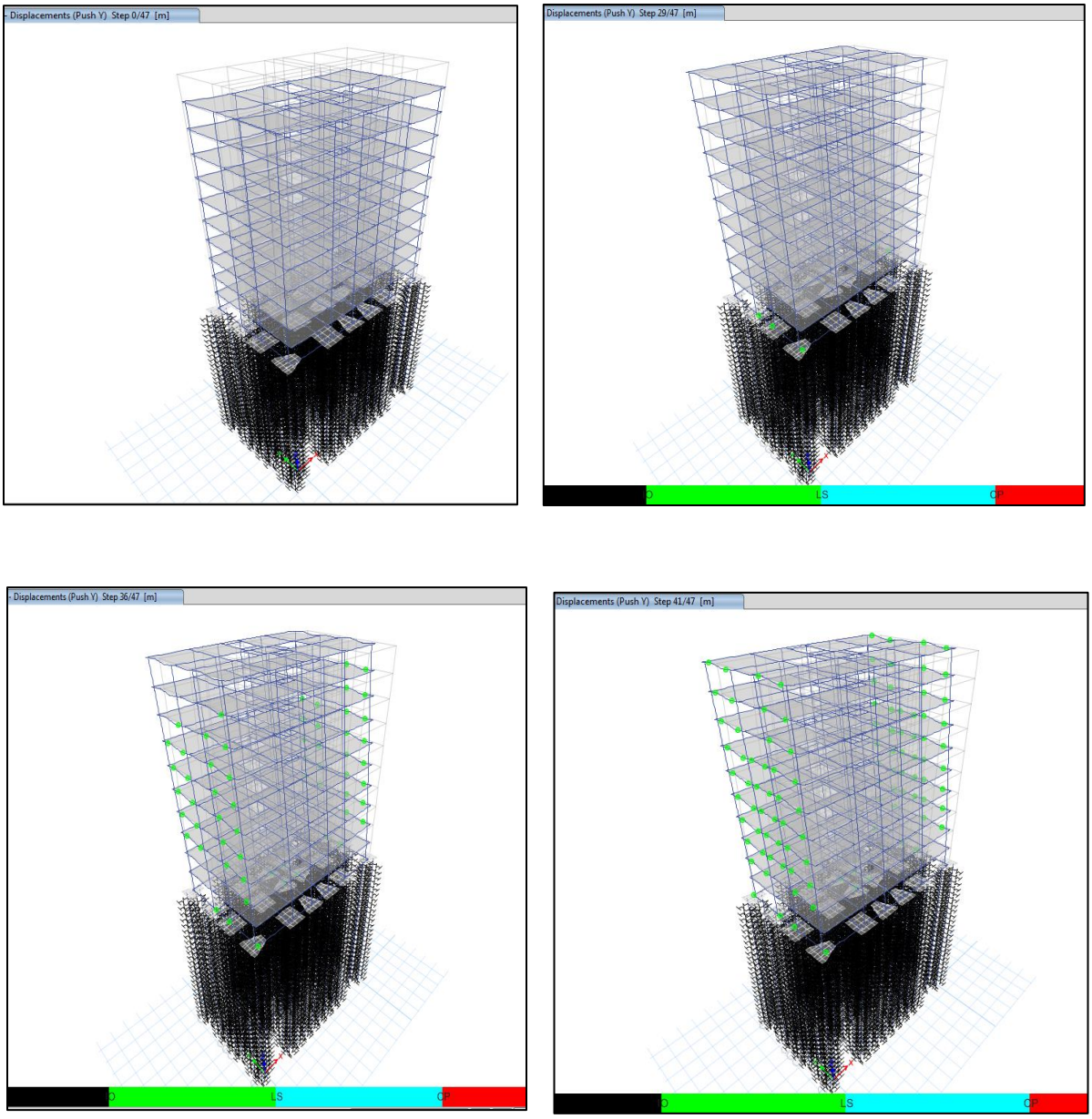
Fuente: ETABS.

Figura 45. Evolución Push Over X con interacción suelo-estructura lacustre 100



Fuente: ETABS.

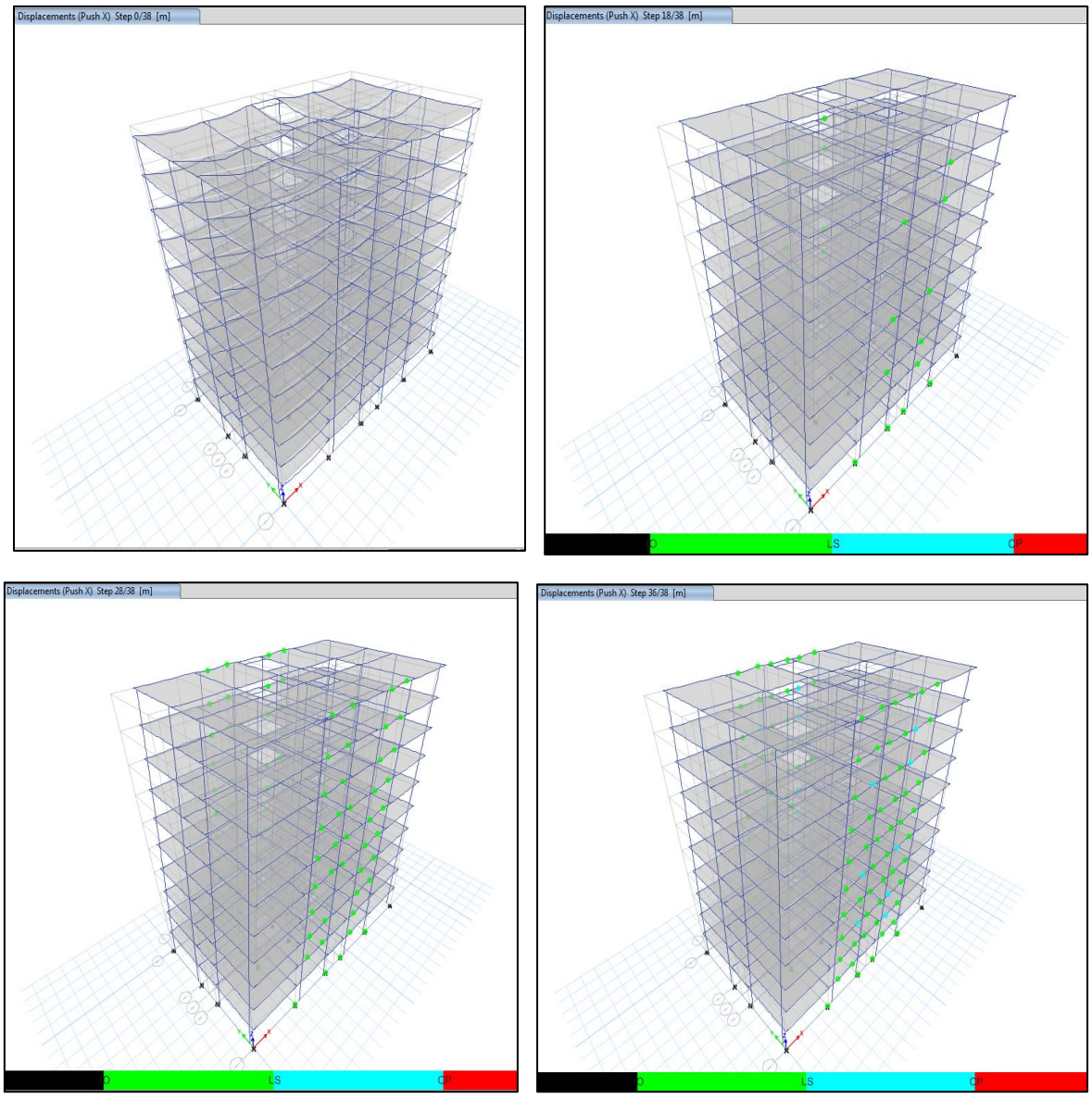
Figura 20 Evolución Push Over X con interacción suelo-estructura lacustre 100



Fuente: ETABS.

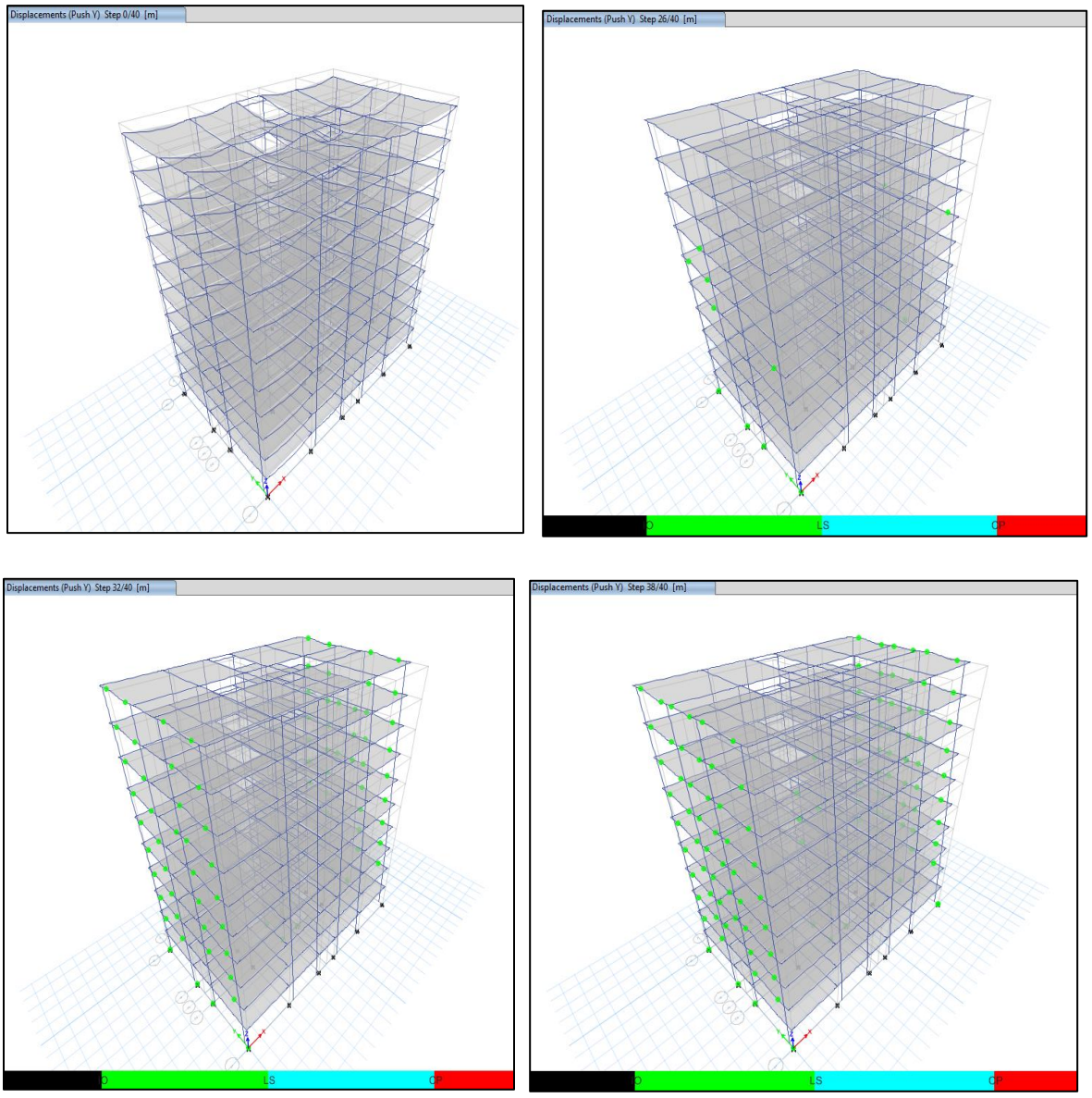
5.7.3 Lacustre 200.

Figura 47. Evolución Push Over X apoyos empotrados lacustre 200



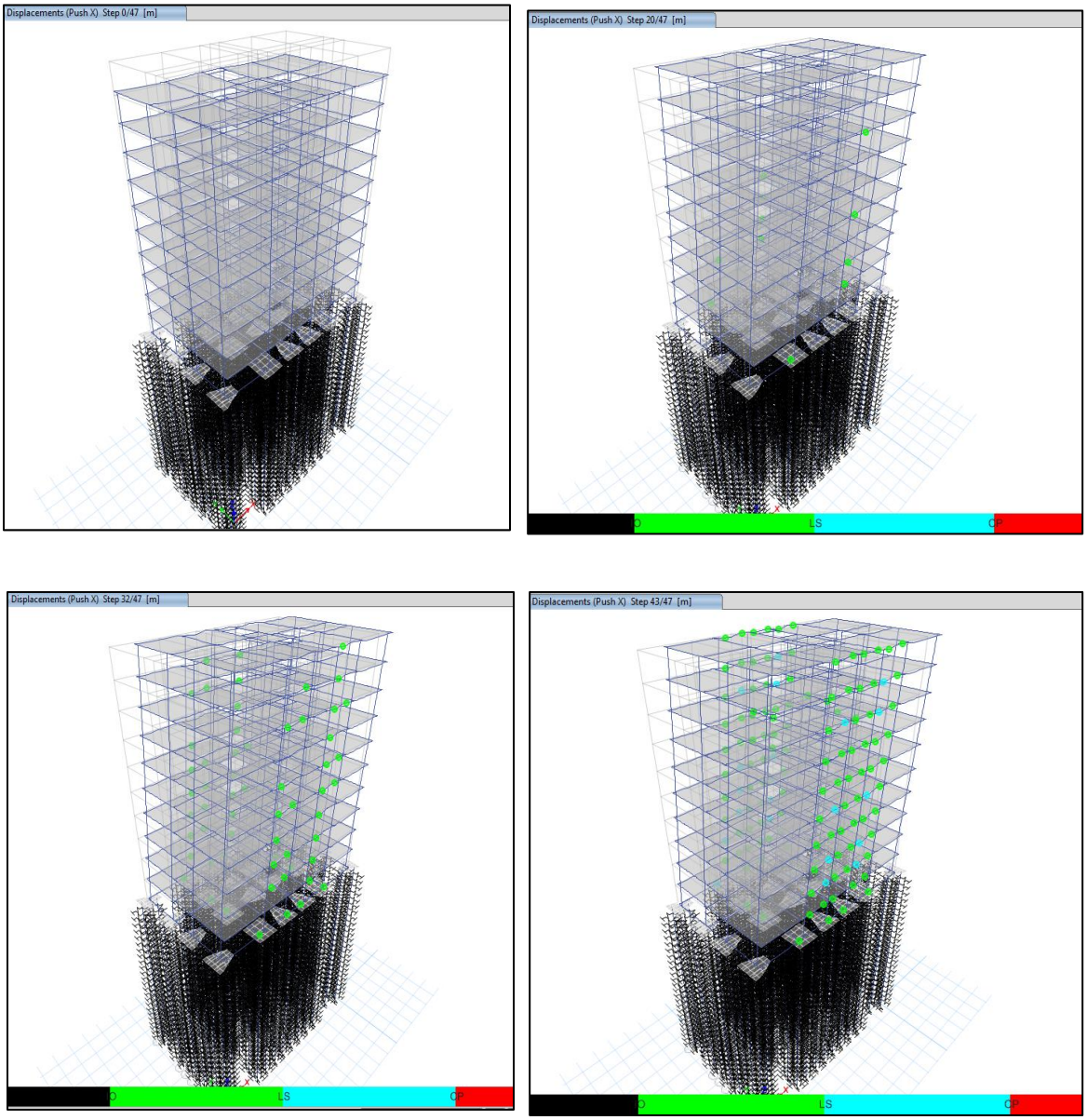
Fuente: ETABS.

Figura 48. Evolución Push Over Y apoyos empotrados lacustre 200



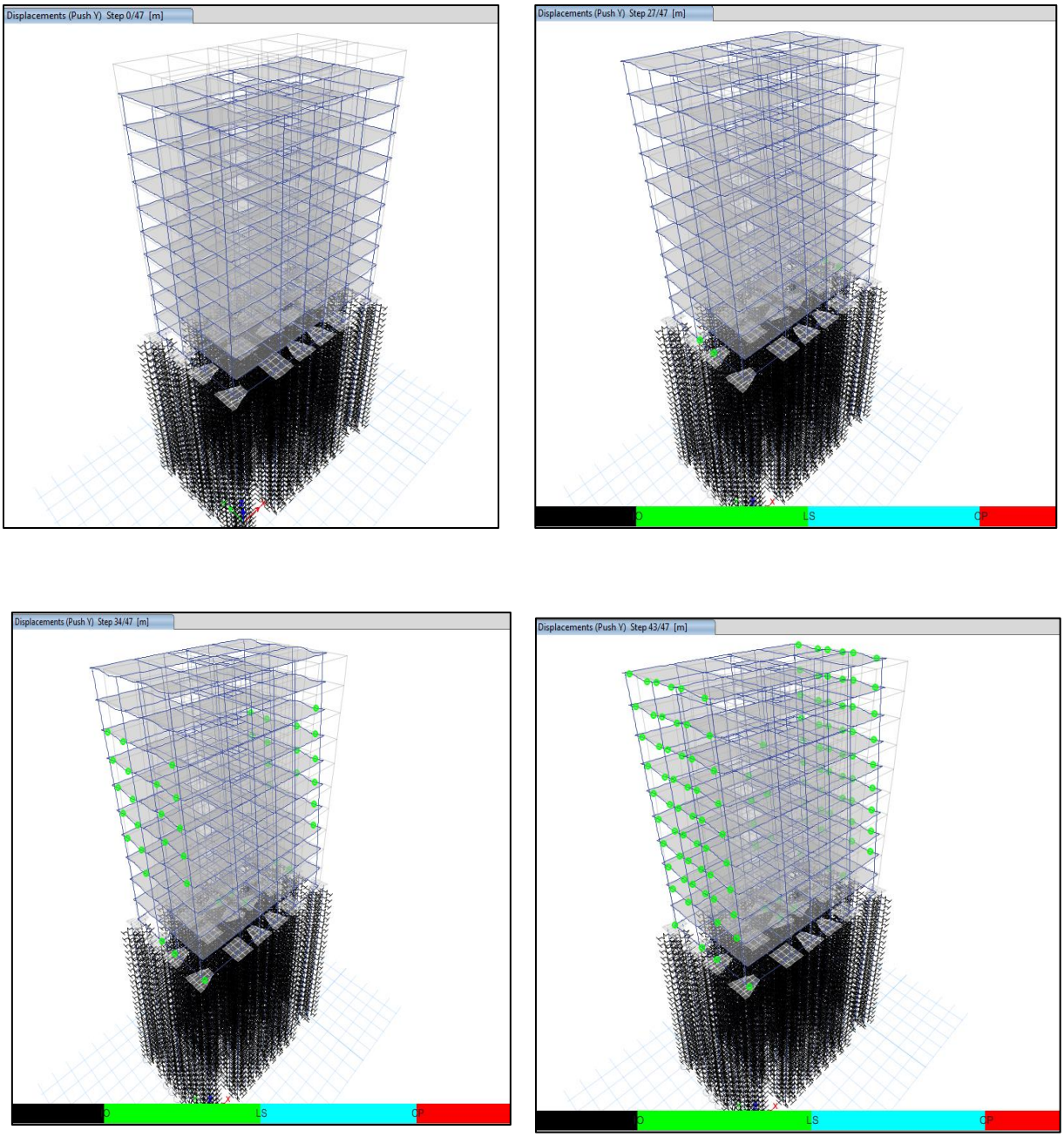
Fuente: ETABS.

Figura 49. Evolución Push Over X con interacción suelo-estructura lacustre 200



Fuente: ETABS.

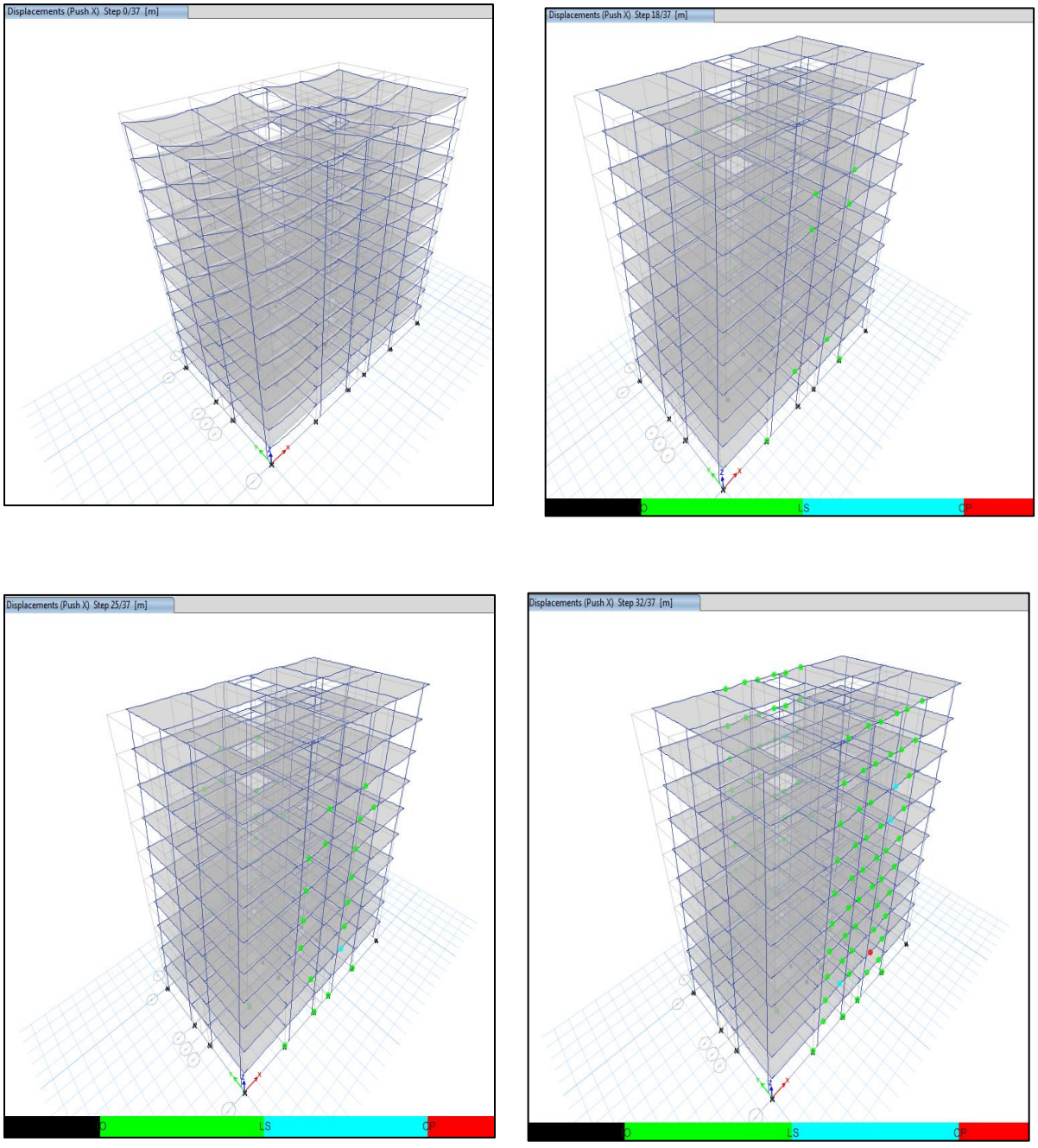
Figura 50. Evolución Push Over Y con interacción suelo-estructura lacustre 200



Fuente: ETABS.

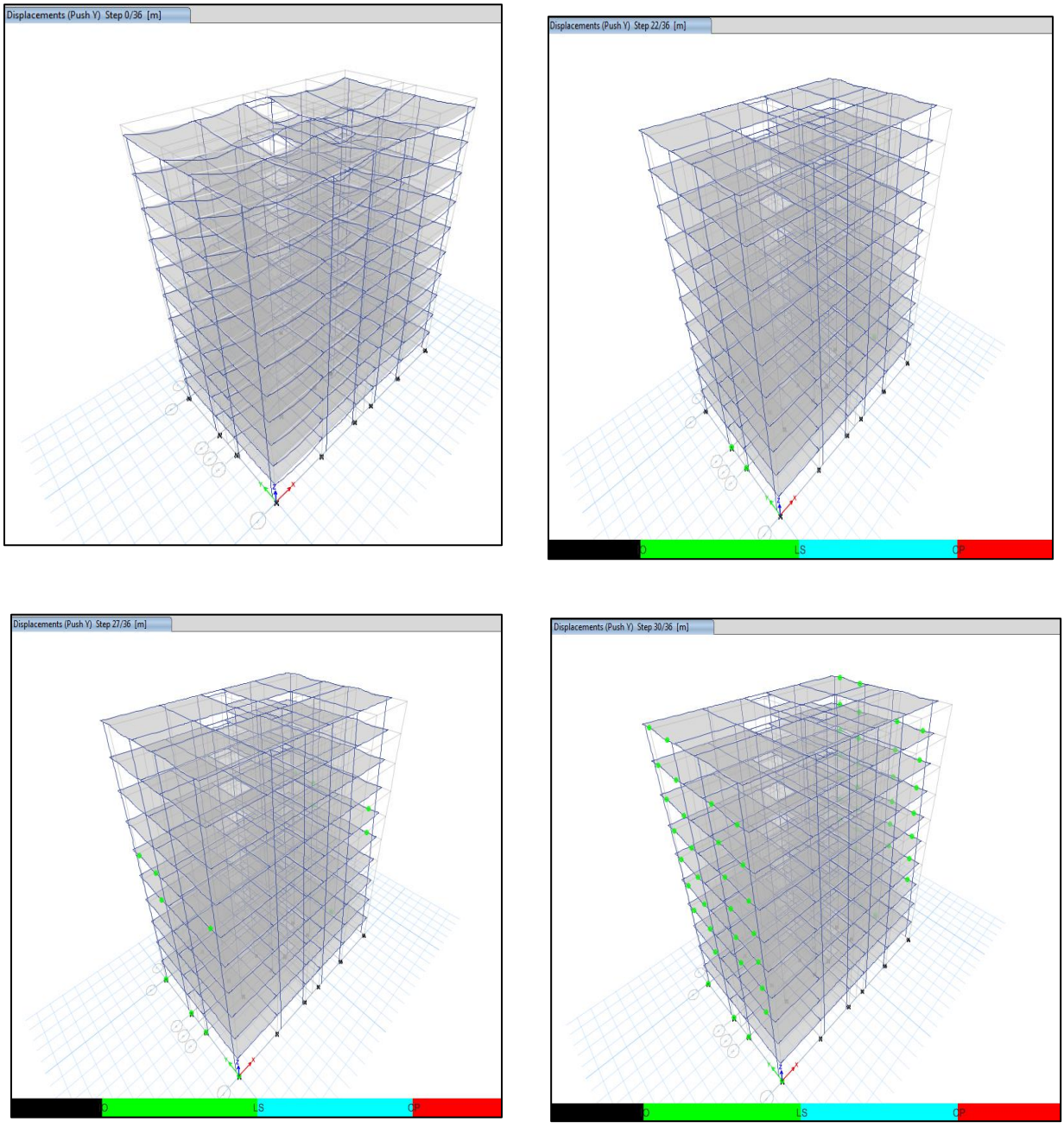
5.7.4 Lacustre 300.

Figura 51. Evolución Push Over X apoyos empotrados lacustre 300



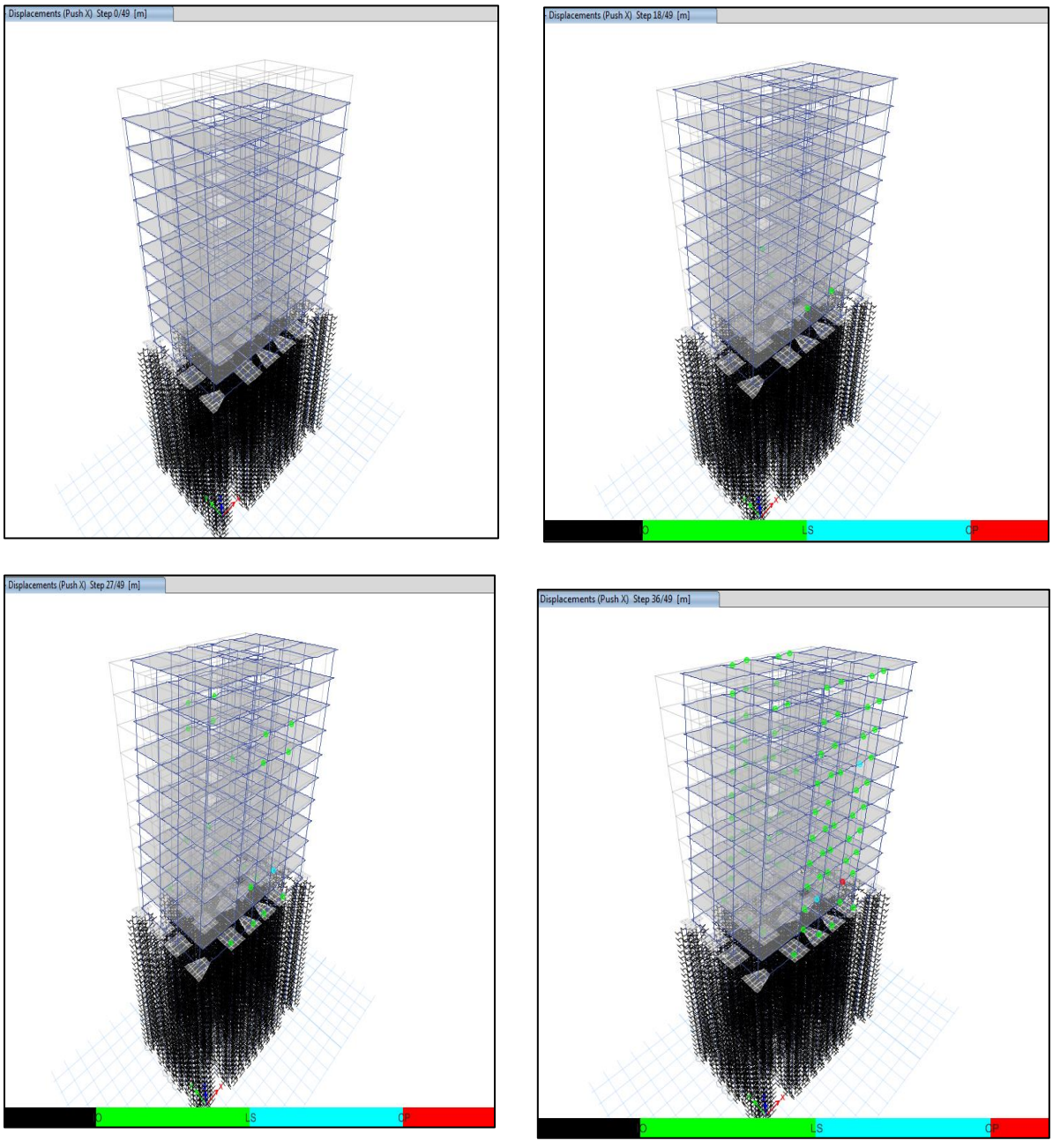
Fuente: ETABS.

Figura 52. Evolución Push Over Y apoyos empotrados lacustre 300



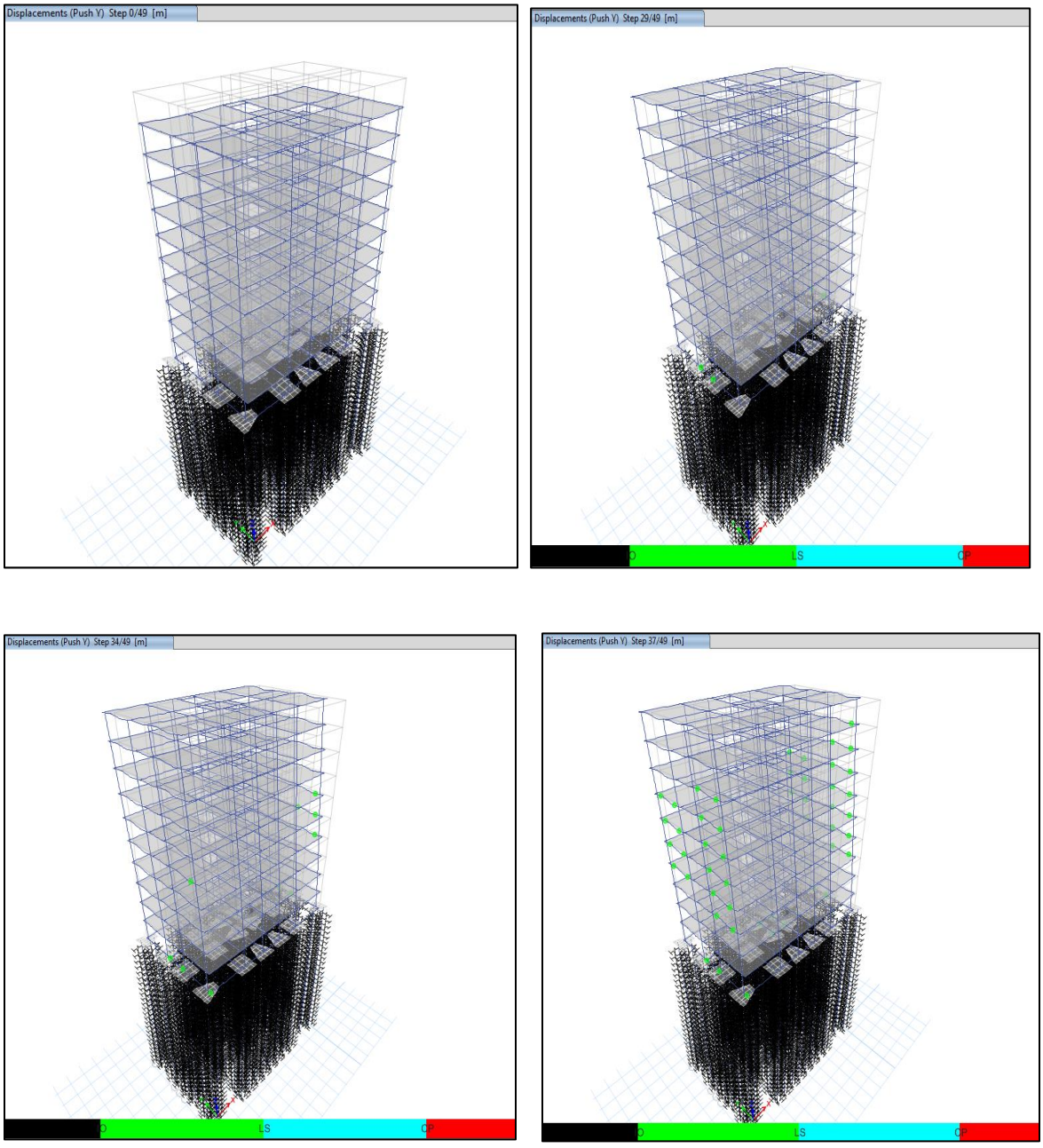
Fuente: ETABS.

Figura 53. Evolución Push Over X con interacción suelo-estructura lacustre 300



Fuente: ETABS.

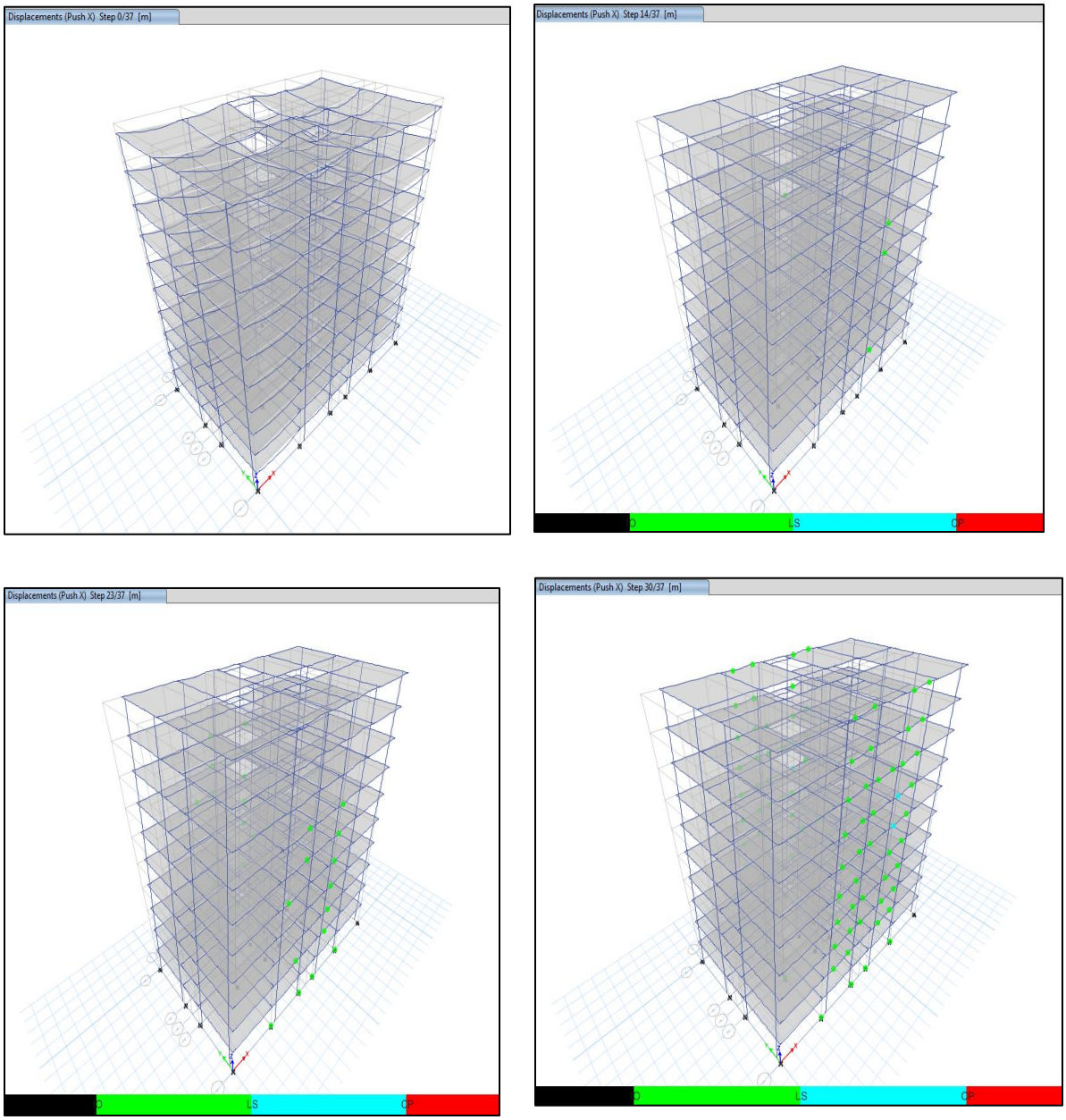
Figura 54. Evolución Push Over Y con interacción suelo-estructura lacustre 300



Fuente: ETABS.

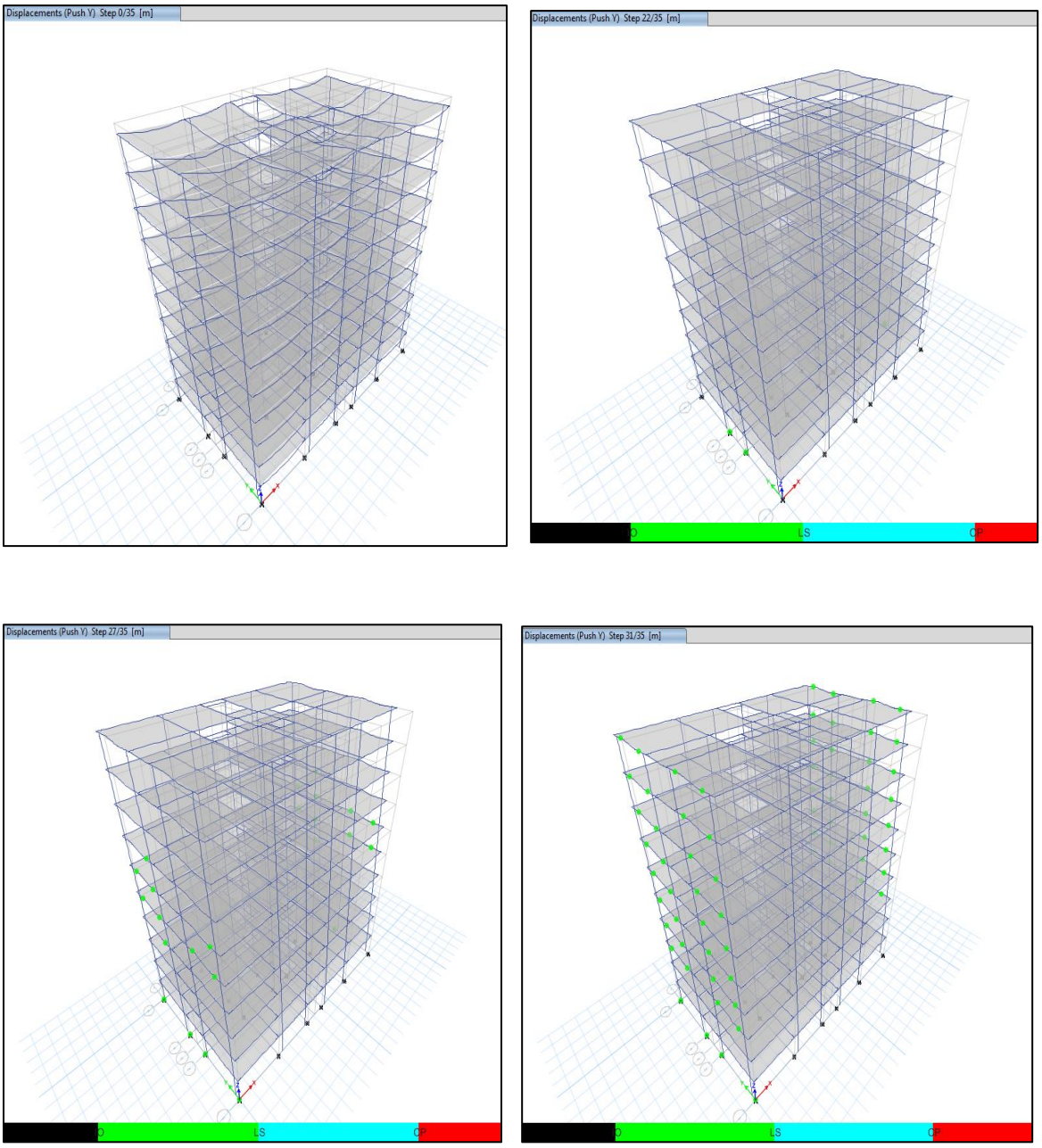
5.7.5 Lacustre 500.

Figura 55. Evolución Push Over X apoyos empotrados lacustre 500



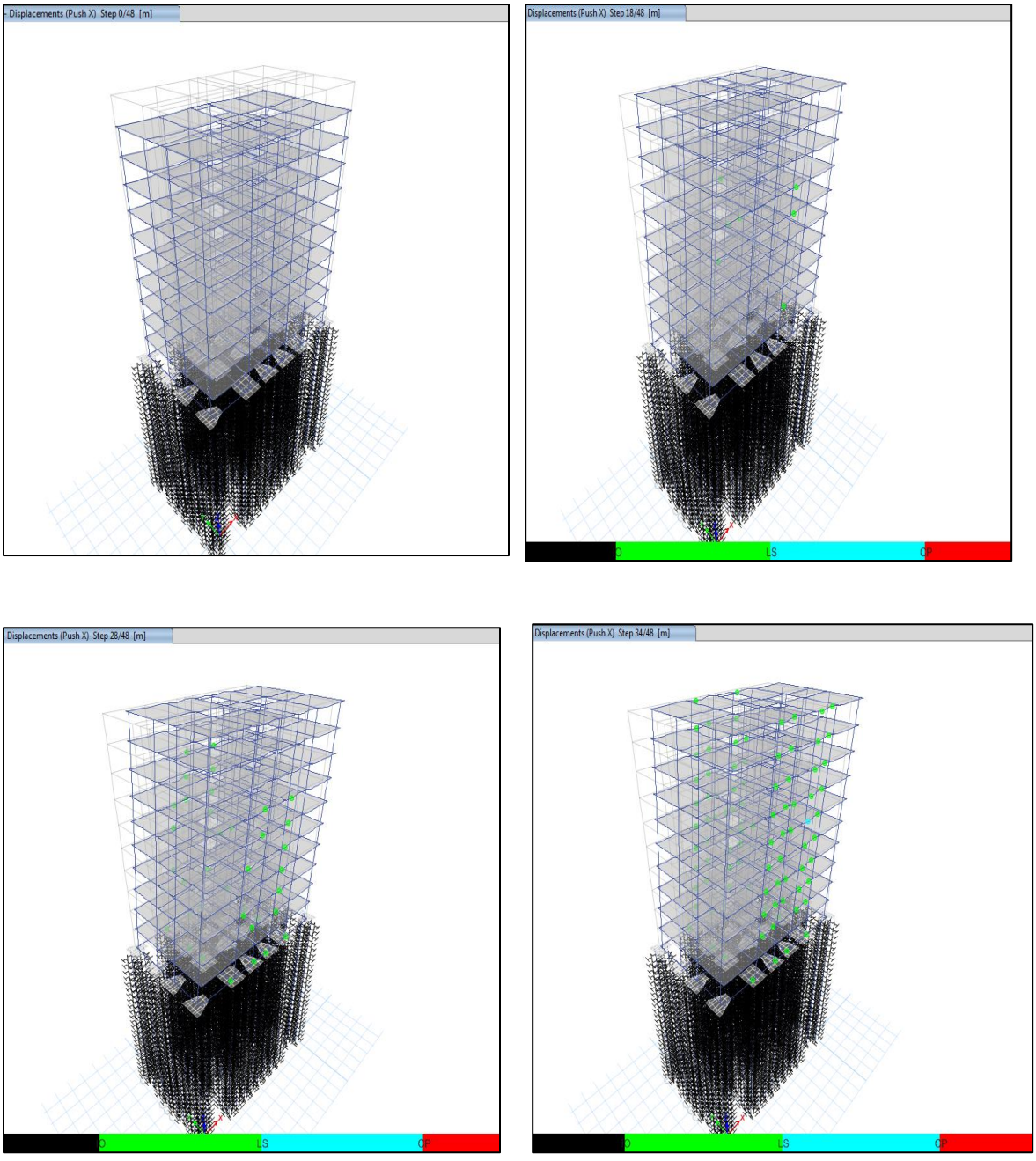
Fuente: ETABS.

Figura 56. Evolución Push Over Y apoyos empotrados lacustre 500



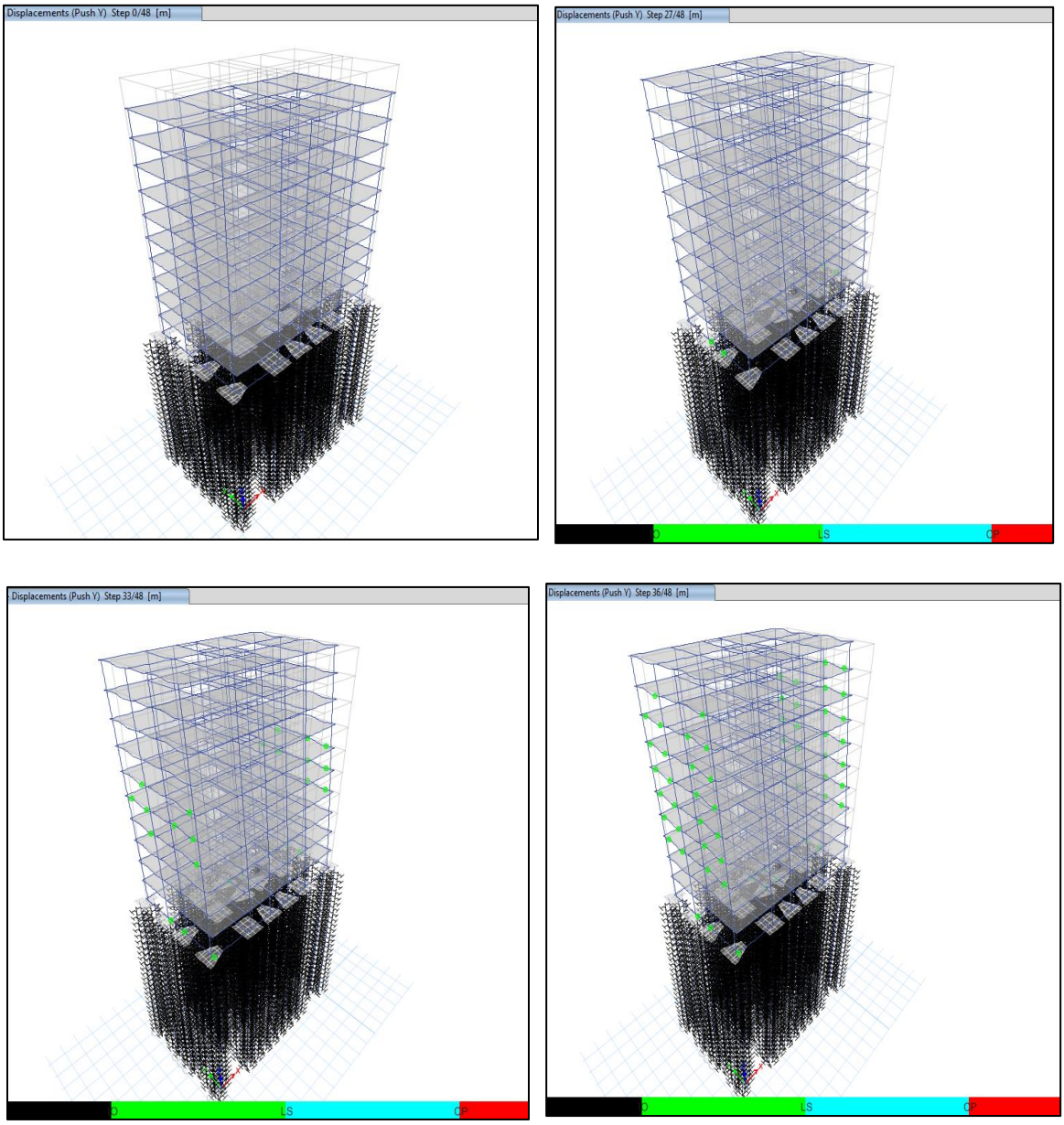
Fuente: ETABS.

Figura 57. Evolución Push Over X con interacción suelo-estructura lacustre 500



Fuente: ETABS.

Figura 58. Evolución Push Over Y con interacción suelo-estructura lacustre 500



Fuente: ETABS.

Convención niveles de desempeño:

Operacional
Ocupación inmediata
Seguridad de vida
Prevención del colapso

Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones

- Al realizar un análisis elástico en cada una de las zonas lacustres de Bogotá en una estructura aporticada de concreto de 10 pisos, se observó cómo disminuyen las solicitaciones y los desplazamientos a medida que se pasa de Lacustre 50 a 500, esto se atribuye a la reducción de aproximadamente 4 g en la aceleración espectral entre dichas zonas. Esto se vio reflejado en la cantidad de acero de refuerzo que requerían los elementos estructurales y el valor de las derivas.

- Se comprobó la importancia del índice de estabilidad para la evaluación estructural, en especial en estructuras convencionales de vivienda ubicadas en suelos arcillosos como los son las zonas lacustres de Bogotá, porque este permite relacionar el momento estabilizante causado por las cargas verticales y el desplazamiento del centro de masa con el momento de vuelco que causa el cortante lateral y la altura de piso. Con este indicador se puede verificar si la estructura es potencialmente inestable, lo cual produciría un aumento en los desplazamientos horizontales y las fuerzas internas en los elementos.

- En el análisis lineal se presentan valores del índice de estabilidad inferiores al análisis no lineal, porque la estructura se lleva hasta un desplazamiento objetivo que tiene su correspondiente cortante en la en la curva de capacidad de la estructura, cuyo valor es mayor al cortante del análisis lineal. Y esto afecta directamente el valor de este índice, pero de igual manera en ninguno de los dos análisis la estructura resulta inestable.

- Conocer el comportamiento real de las estructuras se ha convertido en uno de los principales pilares de la ingeniería estructural, lo que ha llevado a la creación de nuevos métodos y herramientas de análisis para tener mayor control de las

estructuras. Con esta investigación se pudo ratificar la influencia de los materiales y la configuración estructural en aspectos como; la rigidez, la estabilidad, la ductilidad, la respuesta sísmica entre otros. Esto se puede evidenciar en el acero de refuerzo necesario para la definición de las rotulas plásticas en cada zona lacustre, porque los elementos más solicitados eran los más rígidos y se encontraban ubicados en las zonas donde se concentraban los esfuerzos. De esa forma fue posible ratificar la proporcionalidad entre la fuerza y la rigidez de una estructura.

Otro aspecto que respalda esta afirmación es el uso del concreto confinado a la hora de evaluar las secciones en el diagrama de momento-curvatura, logrando un aumento significativo en la capacidad de las mismas. Dando como resultado rotulas con mayor capacidad a momento y mejor comportamiento ante las deformaciones.

- Considerar el comportamiento no lineal de la estructura a partir del método de análisis tipo Push Over basado en coeficientes, permitió encontrar un comportamiento estructural más real. Porque lleva la estructura a desarrollar su ductilidad a partir del acero de refuerzo y la configuración estructural, encontrado así la capacidad de la misma para una solicitación y desplazamiento controlado. Los cuales consideran parámetros como: cortante de fluencia, cortante lineal, desplazamiento de fluencia, desplazamiento lineal, periodo fundamental, periodo efectivo, rigidez elástica, rigidez efectiva entre otros.

  Cabe resaltar el criterio y la responsabilidad que lleva el uso de este tipo de análisis no lineal, porque aun si la estructura presenta un buen comportamiento y mecanismo de falla esperado. Se debe cumplir con lo reglamentado en la NSR-10 en lo concerniente a límites de desplazamientos y los parámetros expuestos en el capítulo A y C.

En relación a los desplazamientos en sentido X en el análisis lineal se presentan las máximas derivas en todos los modelos en los niveles N+11.00 y N+13.75, esto corresponde a la mitad de la estructura. En cambio en el análisis no lineal las máximas derivas varian entre los niveles N-13.75 al N+16.50, trasfiriendose a la parte superior de la estructura. Ademas los desplazamientos de los niveles N+2.75, N+5.50, N+8.25, N+27.5, N+24.75 y N+22.00 también aumentan en magnitud, lo cual nos lleva a interpretar que al considerar el acero de refuerzo representado en las rotulas plasticas de los elementos, la rigidez de los mismos se redistribuye produciendo un aumento de los desplazamientos con tendencia hacia la parte superior de la estructura.

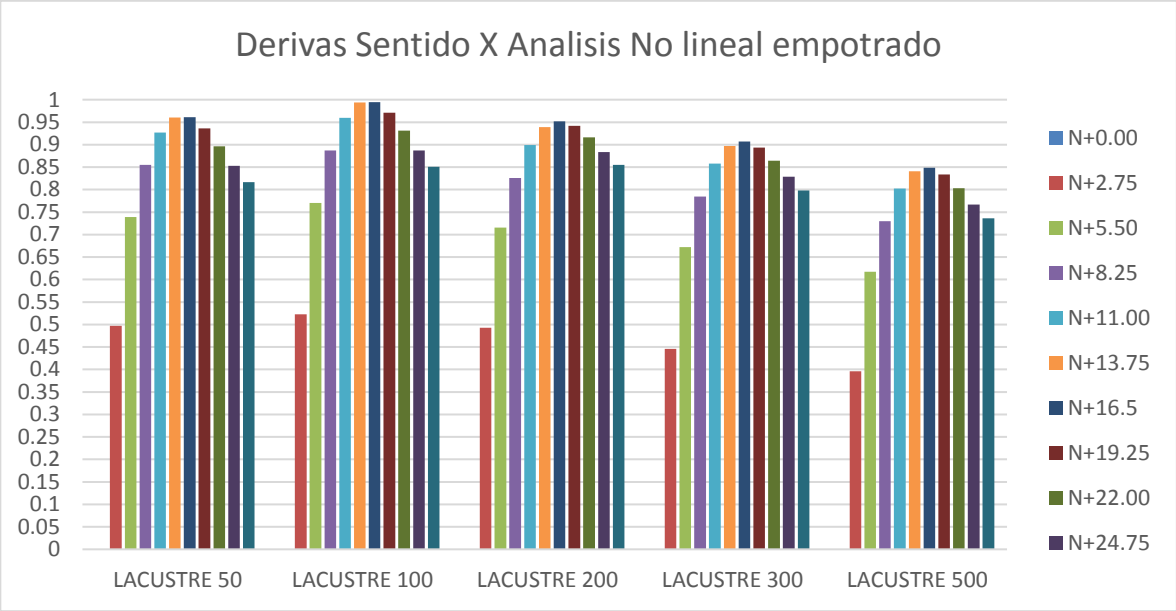
En sentido Y en el análisis lineal se presenta un pequeño aumento en el valor de las derivas en relación al Sentido X, esto se debe a la disposición de los elementos estructurales. Pero en el analsis no lineal pasa lo contrario, en sentido Y disminuyen un poco las derivas con respecto al sentido X, esto se atribuye a la disposición de acero de refuerzo en las rotulas plásticas, el cual es un poco mayor en esa dirección. Estas rotulas presentan mas acero porque las losas de entrepiso y cubierta trabajan en esa dirección generando un aumento en las fuerzas de los elementos. Con esto también se comprueba la relación que guarda la disposición y aplicación de las rotulas plásticas con la rigidez estructural.

En el analisis lineal para el sentido Y se conserva la misma relación de niveles para las derivas máximas, pero en el análisis no lineal estos valores máximos ahora varian entre N+13.75 al N+19.25 corroborando el aumento hacia la parte superior del edificio.

La variabilidad de las derivas en algunos pisos se atribuye a la distribución del acero y la asignación de las rotulas plásticas en el análisis no lineal como se había descrito anteriormente, lo cual pudo haber generado un cambio en la repartición de la rigidez en los modelos. Además, el cálculo de las derivas en el análisis no lineal depende especialmente del desplazamiento objetivo de la estructura, el cual

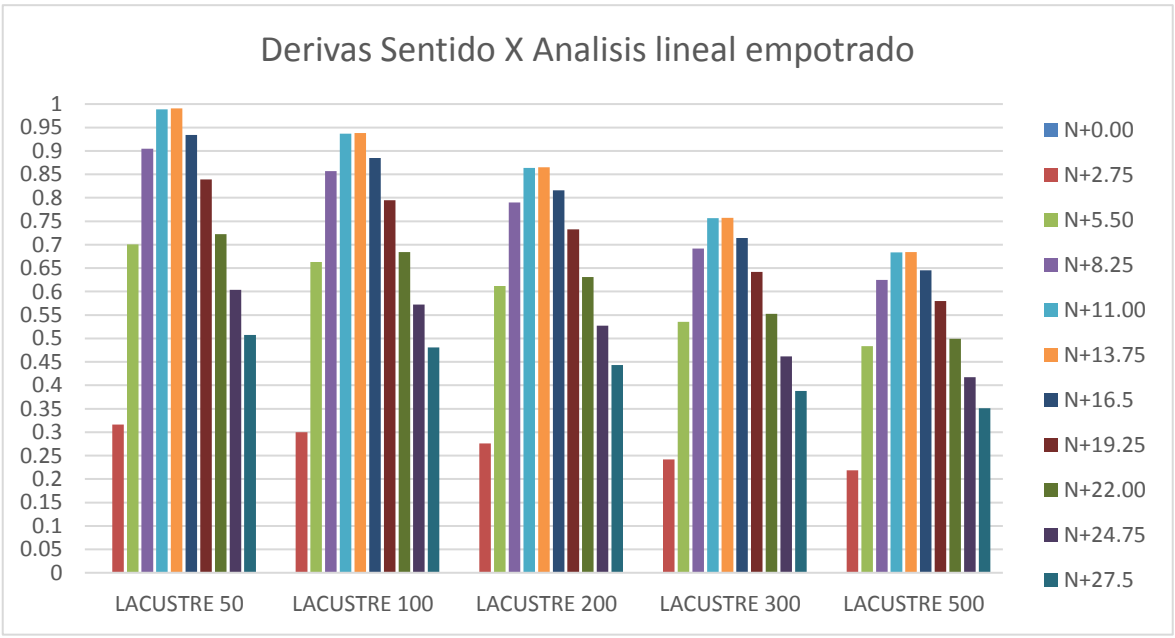
a su vez depende de los parámetros ya mencionados. A continuacion se muestran las graficas con las derivas resultantes de los dos análisis.

Gráfica 31. Derivas Sentido X Análisis No lineal empotrado.



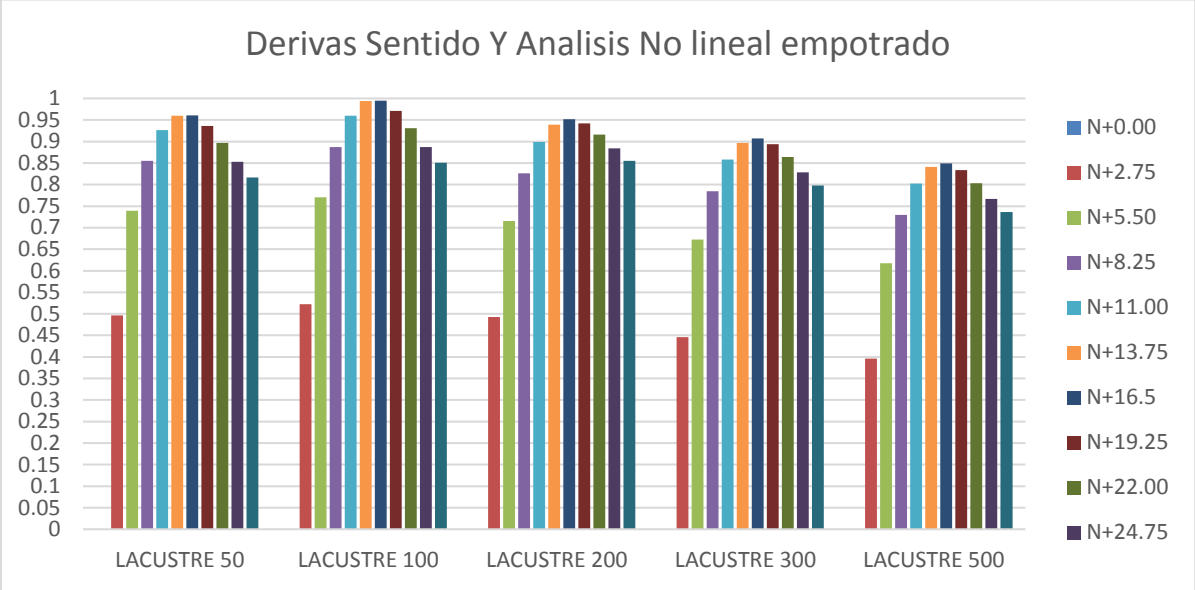
Fuente: Elaboración Propia, datos EXCEL.

Gráfica 32. Derivas Sentido X Análisis lineal empotrado



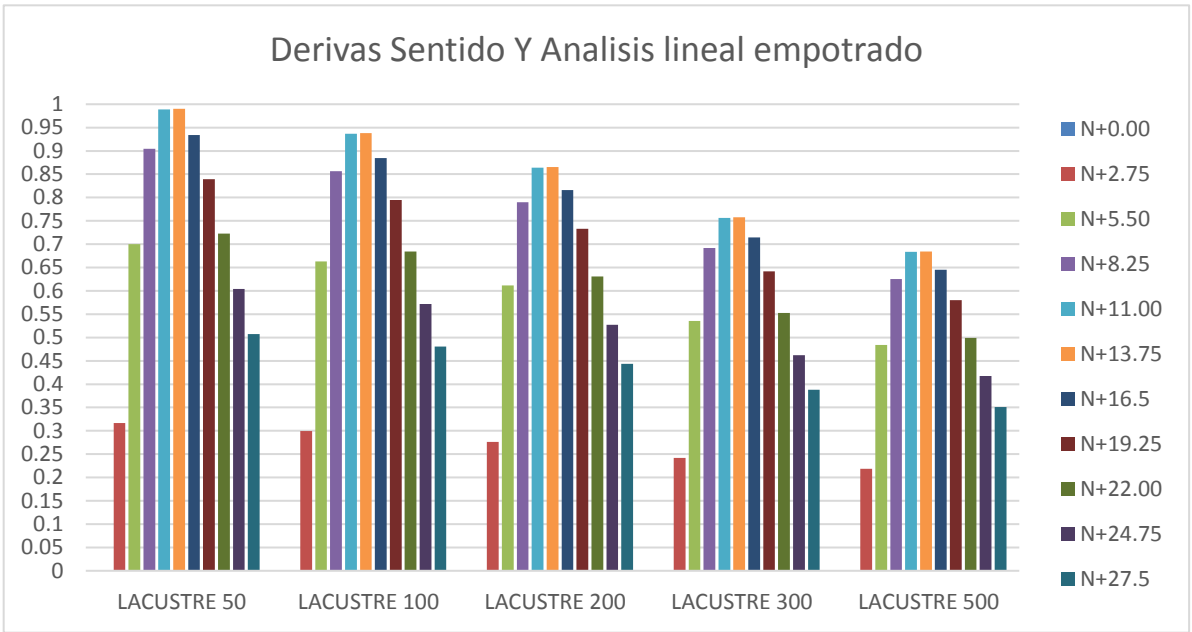
Fuente: Elaboración Propia, datos EXCEL**.**

Gráfica 33. Derivas Sentido Y Análisis No lineal empotrado.



Fuente: Elaboración Propia, datos EXCEL.

Gráfica 34. Derivas Sentido Y Análisis lineal empotrado.

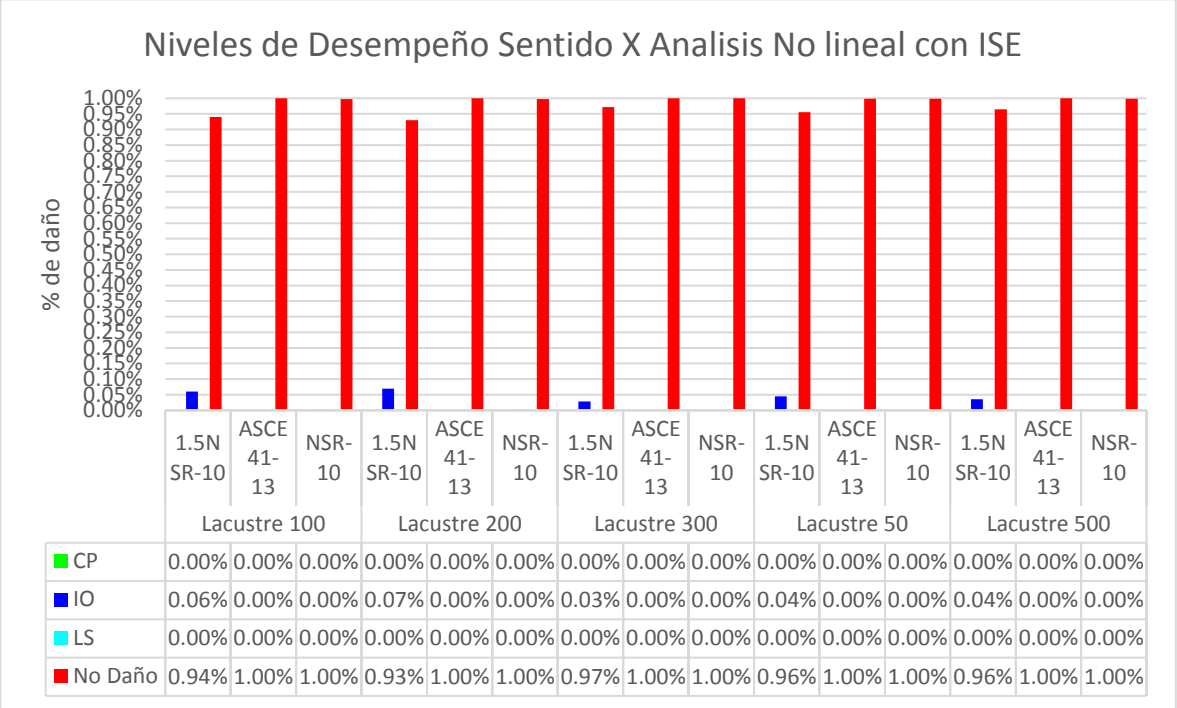


Fuente: Elaboración Propia, datos EXCEL.

- El comportamiento estructural también se puede comprobar con los niveles de desempeño que alcanzan las estructuras en el análisis no lineal, para probar dicha afirmación se pone de ejemplo el modelo de lacustre 50 con interacción suelo-estructura. Este presenta mayor cantidad de acero de refuerzo porque las

solicitaciones eran mayores, esto se vio reflejado en algunas rotulas plásticas que alcanzan el colapso, al llevar el análisis no lineal hasta el 150 % del desplazamiento objetivo. Esto se muestra en las siguientes gráficas.

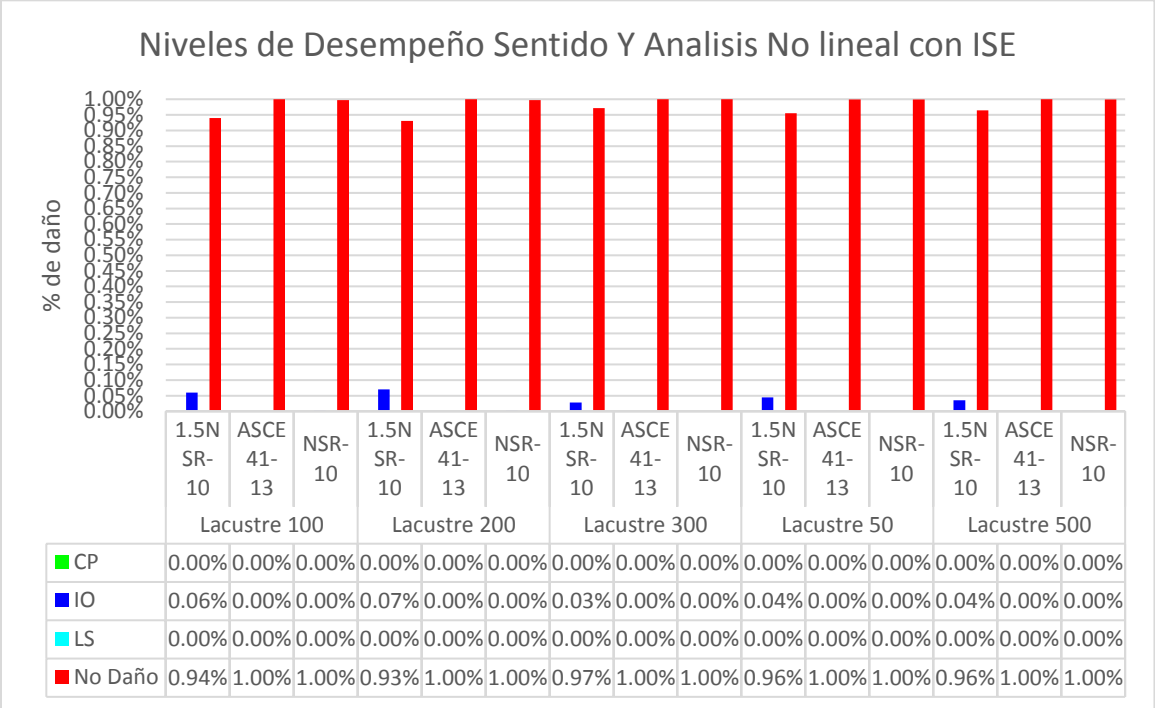
Gráfica 35. Niveles de Desempeño Sentido X Análisis No lineal con ISE.



	1.5N SR-10	ASCE 41-13	NSR-10	1.5N SR-10	ASCE 41-13	NSR-10	1.5N SR-10	ASCE 41-13	NSR-10	1.5N SR-10	ASCE 41-13	NSR-10	1.5N SR-10	ASCE 41-13	NSR-10
	Lacustre 100			Lacustre 200			Lacustre 300			Lacustre 50			Lacustre 500		
CP	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
IO	0.06%	0.00%	0.00%	0.07%	0.00%	0.00%	0.03%	0.00%	0.00%	0.04%	0.00%	0.00%	0.04%	0.00%	0.00%
LS	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
No Daño	0.94%	1.00%	1.00%	0.93%	1.00%	1.00%	0.97%	1.00%	1.00%	0.96%	1.00%	1.00%	0.96%	1.00%	1.00%

Fuente: Elaboración Propia, datos EXCEL.

Gráfica 36. Niveles de Desempeño Sentido Y Análisis No lineal con ISE.



	1.5N SR-10	ASCE 41-13	NSR-10	1.5N SR-10	ASCE 41-13	NSR-10	1.5N SR-10	ASCE 41-13	NSR-10	1.5N SR-10	ASCE 41-13	NSR-10	1.5N SR-10	ASCE 41-13	NSR-10
	Lacustre 100			Lacustre 200			Lacustre 300			Lacustre 50			Lacustre 500		
CP	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
IO	0.06%	0.00%	0.00%	0.07%	0.00%	0.00%	0.03%	0.00%	0.00%	0.04%	0.00%	0.00%	0.04%	0.00%	0.00%
LS	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
No Daño	0.94%	1.00%	1.00%	0.93%	1.00%	1.00%	0.97%	1.00%	1.00%	0.96%	1.00%	1.00%	0.96%	1.00%	1.00%

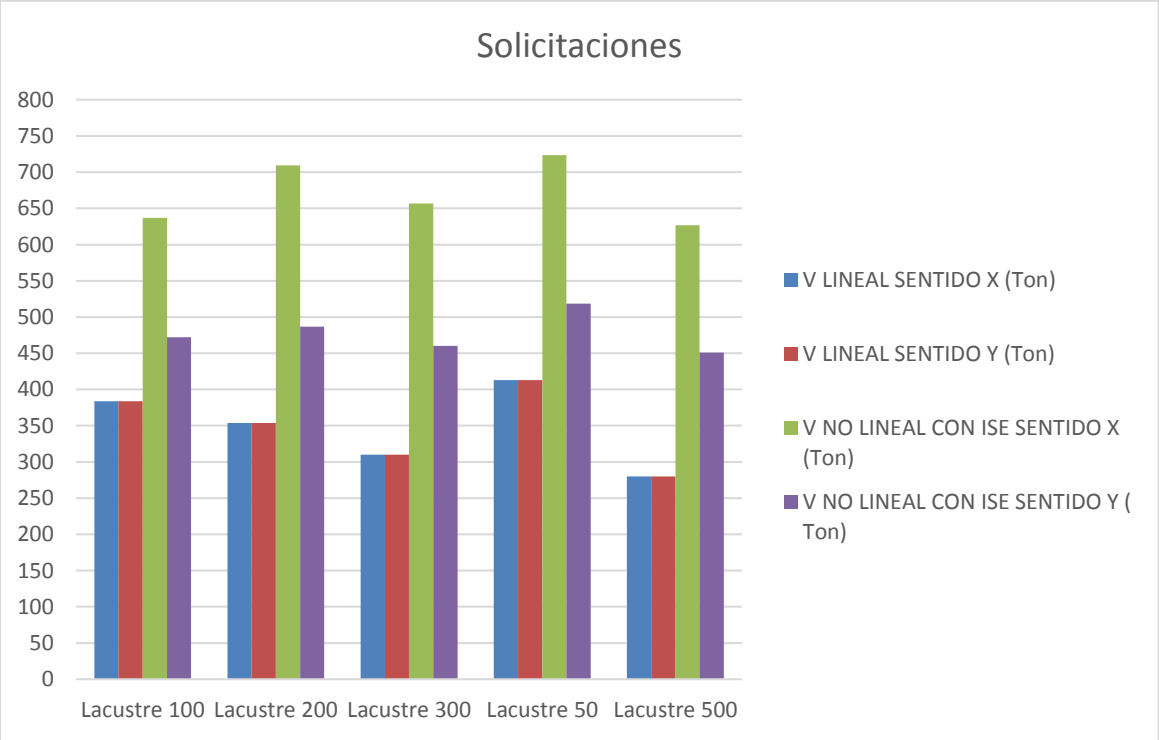
Fuente: Elaboración Propia, datos EXCEL.

- Según las graficas anteriores y las figuras de evoluacion de Push Over en sentido Y no se forman rotulas plásticas que pasen al colapso al finalizar el análisis, esto a causa de la rigidez que presenta la estructura en ese sentido y la configuración de acero de refuerzo en las rotulas platicas. Estas presentan una cuantia baja por no tener grandes solicitaciones. A diferencia del sentido X donde se encuentran los elementos primarios (vigas de carga).

  En estas graficas se observa que las estructuras analizadas en esta investigación presentan gran cantidad de acero de refuerzo en sus elementos, por ende, el nivel de daño tiene un porcentaje cercano a 0%. Con esto se puede concluir que los edificios estan Sobrereforzados en relación al diseño elástico y cumplen lo planteado en la NSR-10, en lo que corresponde a cuantías en los elementos. Pero no se optó por optimizar más porque las derivas máximas tanto elásticas como inelásticas se encontraban cerca al límite del 1 %.

- Según la tabla resumen de solicitaciones y la grafica 37, los modelos del análisis lineal que no consideran la interacción suelo-estructura, tienen un cortante de diseño más bajo que el obtenido en el análisis no lineal con interaccion suelo-estructura, en los puntos de desempeño tanto por la ASCE 41-13 como por la NSR-10. Por lo cual las estructuras presentan una configuración de acero de refuerzo que resiste un cortante mayor para el que fue prevista. Sin contar que al considerar la sobreresistencia del material este valor del cortante se incrementa en un 300 %, pero este parámetro solo es considerado en el análisis lineal en el diseño de columnas y elementos sometidos a fuerzas de flexocompresion y corte. Ademas es imporante resaltar que en el analisis lineal todas las zonas lacustres presentaron un periodo fundamental que ubicaba la estructura en la meseta de los espectros sísmicos, por ende las aceleraciones espectrales tanto en X como en Y tenían el mismo valor. Produciendo un cortante sísmico igual en ambas direcciones.

Gráfica 37. Solicitaciones análisis lineal y no lineal.



Fuente: Elaboración Propia, datos EXCEL.

- En el análisis no lineal con interaccion suelo estructura se considero el aporte de la cimentación a las solicitaciones y desplazamientos, porque esta genera un aumento considerable en los mismos. Esto se ve reflejado en las gráficas de comparación análisis elástico con Push Over, en donde la curva de capacidad tiene una tendencia incremental en lo relacionado a los desplazamientos, haciendo que esta se aleje de la demanda elástica y se produzca mayor ductilidad.

  Con esto se debe mencionar que la rigidez del suelo tiene un papel importante en este comportamiento estructural, porque convencionalmente se utilizan apoyos empotrados considerados infinitamente rígidos. Pero esto no es real, porque el suelo tiene una rigidez que depende principalmente del módulo de elasticidad, que a su vez depende de la capacidad del suelo para deformarse al ser sometido a diferentes condiciones de esfuerzo. Por eso fue crucial considerar las curvas de esfuerzo deformación en el rango elástico y plástico del suelo para obtener un módulo de elasticidad que represente mejor el comportamiento de este, y así obtener una rigidez tanto lateral como vertical más aproximada a la realidad.

  Se puede comprobar la relación entre la rigidez lateral y vertical del suelo, con las solicitaciones presentadas en la superestructura utilizando como ejemplo el modelo de análisis no lineal con interaccion suelo-estructura de la zona Lacustre 100, en este se ve un valor del cortante no lineal de 636.98 Ton en sentido X, lo cual es menor al valor presente de 709.17 Ton del mismo modelo pero en la zona Lacustre 200 en la misma dirección. Esto no debería pasar, porque el modelo de Lacustre 100 presenta mayor refuerzo en sus elementos y por ende debería soportar más corte, pero al revisar la rigidez tanto lateral como por punta en la cimentación, esta tiene un valor inferior a la obtenida en Lacustre 200. De ahí la premisa a mayor rigidez en los elementos mayor fuerza soportan.

- Relacionando lo anterior se recomienda utilizar la interacción suelo-estructura en el análisis y diseño estructural de las edificaciones de concreto, porque permite conocer y controlar mejor el comportamiento estructural. Pero se deben

considerar los parámetros descritos en la NSR-10, los principios de mecánica estructural y de suelos para realizar una práctica acertada. Porque cabe la posibilidad de obtener resultados diferentes a un análisis convencional que puedan generar confusiones y discrepancias.

- Para un análisis y diseño más óptimo se sugiere utilizar un análisis no lineal para representar mejor la conducta estructural, tener un mejor control sobre las fuerzas internas de los elementos y los desplazamientos horizontales, pero se deben cumplir los lineamientos presentes en las normas extranjeras y la NSR-10. Aun así, se recomienda realizar el análisis lineal elástico para corroborar los resultados y evitar errores.

- Para realizar un proyecto estructural se debe contar con la mayor cantidad de datos en relación a; el suelo, uso, ubicación del proyecto, sistema estructural, grado de disipación de energía, tipo de cimentación entre otros. Lo cual nos lleva a recomendar el uso de estudios más representativos en relación al suelo que consideren el comportamiento completo de este con la estructura, en especial en proyectos con características particulares.

Referencias

(s.f.).

Alcaldía_Bogotá. (2004). Fuentes de abastecimiento de Bog*otá D.C*. *Plan de desarrollo Distrital, 2004 - 2007*.

Alcaldía_Bogotá. (7 de Marzo de 2012). *Bogotá Humana*. Recuperado el 4 de Septiembre de 2012, de Bogotá Humana: http://www.bogota.gov.co/portel/libreria/php/x_frame_detalle.php?id=49296

AlcaldíaBogotá. (2008). *Portal Bogotá*. Recuperado el 19 de Agosto de 2012, de Portal Bogotá: http://www.bogota.gov.co/portel/libreria/php/01.02010401.html

AlcaldiaMayordeBogotá. (2012). *Bogotá - Empresario*. Recuperado el 19 de Agosto de 2012, de Bogotá - Empresario: http://empresario.com.co/recursos/ccb_2012/tlc_evento_ccb/

AlcaldíaMayordeBogotá. (2012). *Portal Bogotá*. Recuperado el 20 de Agosto de 2012, de Portal Bogotá: http://www.bogota.gov.co/galeria/cifrasproyeccionpoblacionsexo1985a2016.pdf

Aldaya, M., Niemeyer, I., & Zarate, E. (2011). *Agua y globalización: Retos y oportunidades para una mejor gestión de los recursos hídricos*. Recuperado el 13 de Octubre de 2012, de Agua y globalización: Retos y oportunidades para una mejor gestión de los recursos hídricos: http://www.huellahidrica.org/Reports/Aldaya-Niemeyer-Zarate-2011.pdf

Alvarez, M. P. (2012). *Análisis estático no linela y análisis dinamico no linela del hospital vielha.* UPC.

Ana B. Acevedo, F. N. (2003). *“Evaluación de la confiabilidad estructural de construcciones escolares.* México.

Avilés, J. (Enero de 2004). *ResearchGate.* Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/26506102_Bases_para_las_nuevas_disposiciones_reglamentarias_sobre_interaccion_dinamica_suelo-estructura

Ballesteros, P. (2007). *Evaluación de tasas retributivas por vertimientos hídricos en la cuenca media del río Bogotá.* Bogotá D.C.: ESAP, Escuela Superior de Administración Pública.

Baquero, L. H. (2013). *Evaluación de la Interacción dinamica suelo-estructura de edificaciones construidas en ladera.* Medellín.

Bibing. (s.f.). *Obtenido de Análisis Modal Operacional: teoría y Práctica:*. Obtenido de http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/3828/fichero/Cap%C3%ADtulos%252F5+An

Bogotá, A. M. (octubre de 2010). *FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIA .* Obtenido de http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/coleccion_digital/Suelo_Bogota/Zonificacion_Respuesta_Sismica-FOPAE-2010.pdf

Bogotá, A. M. (2010). *n uso de sus facultades constitucionales y legales, en especial de las que le confiere el ordinal 4° del artículo 38 del Decreto-Ley 1421 de 1993, el inciso 2° del artículo 144 del Decreto Distrital 190 del 2004, y el ordinal A.2.9.1. del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente - NSR-10, adoptado mediante el Decreto Nacional 926 de 2010, modificado por el Decreto Nacional 2525 de 2010 .* Obtenido de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=40984

Braja M, D. (2005). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica - Cap 7.* Cengage learning.

Carpientero, H. D. (2012). *repositorio Universidad Industrial de Santander.* Obtenido de http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/2323/2/145070.pdf

Carrillo, J. (2015). Conceptos básicos de resistencia y ductilidad., (pág. 36). Bogotá.

CEPAL. (2004). *Los servicios del agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI.* Santiago de Chile: Naciones Unidas, Santiago de Chile.

Chaves, E. W. (2010). *Integracion Numerica en el Tiempo .* Obtenido de https://www.uclm.es/profesorado/evieira/asignatura/meccomp/book/sistemas/integracion/integracion.pdf

Congreso_de_Colombia. (22 de Diciembre de 1993). *Ley 99/93*. Recuperado el 24 de Abril de 2013, de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297

Congreso_de_Colombia. (11 de Julio de 1994). Ley 142 de 1994. *Régimen de los servicios públicos domiciliarios y otras disposiciones*. Bogotá D.C., Colombia.

Consejo. (1974). Código de los recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente. Bogotá D.C., Colombia.

Correa, F., Ossa, A., & Vallejo, Z. (2007). Regulación ambiental en Colombia: el caso de la tasa retributiva para el control de la contaminación hídrica. *Semestre económico, Universidad de Medellín*, 27 - 46.

Cruz, D. (19 de Enero de 2007). *EAAB - Quinta Revisión Anual*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2012, de EAAB - Quinta Revisión Anua: http://www.bnamericas.com/cgi-bin/getresearch?report=12148.pdf&documento=74200&idioma=E&login=

Dane. (9 de Septiempre de 2010). *BOLETIN Censo General 2005.* Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/11001T7T000.PDF

DANE. (25 de Mayo de 2012). *Cuentas Departamentales - Resultados PIB Departamental, 2009 y 2010*. Recuperado el 4 de Septiembre de 2012, de Cuentas Departamentales - Resultados PIB Departamental, 2009 y 2010: http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/departamentales/B_2005/Resultados_2010.pdf

DANE. (25 de Mayo de 2012). *Cuentas Departamentales, Resultados PIB Departamental 2006 y 2010*. Recuperado el 19 de Agosto de 2012, de Cuentas Departamentales, Resultados PIB Departamental 2006 y 2010: http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/departamentales/B_2005/Resultados_2010.pdf

Diaz, C. A. (2015). Interación suelo estructura,para edificaciones de muros de concreto, en suelos blandos. *Escuela de Ingenieros Julio Garavito* .

Durán, A. (2016). Material dela clase de desempeño y diseño avanzado de estrucuras de concreto. Bogotá.

E., F. (2013). *Ensayos de Laboratorio - Resistencia de los Suelos: Ensayo Triaxial.*

EAAB. (2003). *El agua en la historia de Bogotá, 1986 - 2003.* Bogotá D.C.: Villegas Editores.

EAAB. (2003). *El agua en la historia de Bogotá, tomo III.* Bogotá D.C.: Villegas editores.

EAAB. (2004). *Plegable técnico de la PTAR Salitre*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2012, de Plegable técnico de la PTAR Salitre: http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/resources/PTAR/Plegable_tecnico.pdf

EAAB. (2004). *Plegable técnico de la PTAR Salitre*. Recuperado el 30 de Septiembre de 2012, de http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/resources/PTAR/Plegable_tecnico.pdf

EAAB. (2008). *Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos.* Bogotá: EAAB.

EAAB. (2010). *Manual de calidad*. Recuperado el 4 de Septiembre de 2012, de Manual de calidad: http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CDgQFjAC&url=http%3A%2F%2Fweb.acueducto.com.co%2FRedMatriz%2FRedMatriz%2Farchivos%2FManual_de_Calidad.ppt&ei=_rlGUPjSMIro9ATd9IGQAg&usg=AFQjCNFrVpCLGfCozqBILLu3juwPPt3T5A

Elnashai & Di sarno. (2008). Innovative strategies for seismic retrofitting of steel and composite structures. *Journal of Progress in Structural Engineering and Materials., 7*(3), 115 - 135.

Engineers, A. 4.-1. (2014). *ASCE 41-13.* American Society of Civil Engineers.

Ercin, A., Mekonnen, M., & Hoekstra, A. (Marzo de 2012). *THE WATER FOOTPRINT OF FRANCE*. Recuperado el 13 de Octubre de 2012, de THE WATER FOOTPRINT OF FRANCE: http://www.waterfootprint.org/Reports/Report56-WaterFootprintFrance.pdf

Espinosa, G. B. (2013). *Diseño por Desempeño.* ai. México., México.

Etseccpb. (2011). Criterios de rotura y clasificaciones geomecánicas. 31.

Fomons, J. M. (1982). *El Método de los elementos finitos en la ingenieria de estructuras.* Barcelona: Universidad Politecnica de Barcelona.

Garrido, A., Llamas, M., Varela-Ortega, C., Novo, P., Rodríguez-Casado, R., & Aldaya, M. (2010). *Water Footprint and Virtual Water Trade in Spain.* Madrid: Springer.

Gobierno_en_linea. (2010). *Sistema Único de Información de los Servicios Públicos.* Recuperado el 22 de Agosto de 2012, de Sistema Único de Información de los Servicios Públicos: http://reportes.sui.gov.co/fabricaReportes/frameSet.jsp?idreporte=acu_tec_041

Gómez, J. E. (2002). *Introducción al análisis EStructural por Elementos Finitos.* UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MANIZALES, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Manizales.

Gómez, L. (4 de Septiembre de 2012). *Periódico El Tiempo*. Recuperado el 4 de Septiembre de 2012, de Periódico El Tiempo: http://m.eltiempo.com/colombia/bogota/uso-del-agua-en-bogot/9109335

Gómez, L. (2013). *El Tiempo*. Recuperado el 14 de Marzo de 2012, de El Tiempo: http://m.eltiempo.com/colombia/en-bogota-el-metro-cubico-de-agua-potable-es-el-mas-caro-del-pais/7740549/1/home

Gongreso_de_la_República. (1994). Ley 142 de 1994. *Artículo 87*. Bogotá D.C.

González, F. (1990). *Ensayos Ambiente y Desarrollo: reflexiones acerca de la relación antre los conceptos: ecosistema, cultura y desarrollo.* Bogotá D.C. : Javergraf.

GSM, G. d. (1999). *Instrimentación y microzonificación Sísmica de área Urbana.* Medellín.

Herrera, L. B. (2013). *Evaluación de la interaccion dinamica suelo estructura de edificaciones construidas en ladera.* Medellin: Universidad Nacional de Colombia.

Hoekstra, A. (2004). *Huella Hídrica*. Recuperado el 20 de Agosto de 2012, de Huella Hídrica: http://www.waterfootprint.org/index.php?page=files/home

Hoekstra, A., & Chapagain, A. (2010). *Globalización del agua: Compartir los recursos de agua dulce del planeta.* Barcelona: Marcial Pons.

Hoekstra, A., Booij, M., Hunink, J., & Meijer, K. (Junio de 2012). *Blue water footprint of agriculture, industry, house holds and water management in the Netherlands*. Recuperado el 13 de Octubre de 2012, de Blue water footprint of agriculture, industry, house holds and water management in the Netherlands: http://www.waterfootprint.org/Reports/Report58-BlueWF-NL.pdf

Hoekstra, A.Y. (2012). *waterfootprint*. Recuperado el 20 de Agosto de 2012, de waterfootprint: http://www.waterfootprint.org/index.php?page=files/Publications

Huella hídrica, d. y. (Diciembre de 2011). *Fundación_MAPFRE.* Recuperado el 22 de Agosto de 2012, de Fundación_MAPFRE: http://www.huellahidrica.org/Reports/FundacionMapfre-2011-huella-hidrica-y-desarrollo-sostenible.pdf

Hurtado, C. A. (2015). *Análisis comparativo entre la metodología de diseño basada en fuerzas y la metodología de diseño basada en desplazamientos para sistemas combinados.* Bogotá.

Luca, L. M. (2010). *Efectos asociados con la Interacción Suelo Estructura en el diseño de edificaciones de concreto reforzado en Bucaramanga.* Bucaramanga.

Luis Avilés Joaquin, P. R. (2004). ”Bases para las nuevas disposiciones reglamentarias sobre interaccion dinamica suelo.estructura. *Ingeniería Sísmica*, 1-36.

MADS. (Octubre de 2010). Recuperado el 17 de Abril de 2013, de http://www.cornare.gov.co/Memorias/MemoriasDecreto3930/proyecto_de_resolucion_limites_permisibles.pdf

MADS. (2010). *Resolución: Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a sistemas de*

alcantarillado público, y se dictan otras disposiciones. Recuperado el 29 de Marzo de 2013, de www.minambiente.gov.co/...norma/.../300412_proy_norma_vertimi

Manuel J. Freire Tellado. (2000). *I(INTERACTION OF SOIL, FOUNDATIONS AND STRUCTURE.* Univ . de A. Coruña , Tecnologia de la Construcción. .

MAVDT. (26 de Junio de 1984). *Decreto 1594 de 1984*. Recuperado el 1 de Abril de 2013, de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18617

MAVDT. (1 de Abril de 1997). *Decreto 901 de 1997*. Recuperado el 9 de Mayo de 2013, de http://www.minambiente.gov.co/documentos/dec_0901_010497.pdf

MAVDT. (30 de Octubre de 2003). *Decreto 3100 de 2003*. Recuperado el 2 de Marzo de 2013, de Por el cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales: http://www.minambiente.gov.co/documentos/dec_3100_301003.pdf

MAVDT. (30 de Octubre de 2003). *Decreto 3100 de 2003*. Recuperado el 9 de Mayo de 2013, de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=15073

MAVDT. (2010). Recuperado el 22 de Julio de 2013, de Proyecto de la Resolución por la cual se establecen las normas y los valores límites máximos permisibles de parámetros en vertimientos puntuales a sistemas de alcantarillado público y a cuerpos de aguas continentales superficiales: http://www.grupaac.com/proyecto-de-resolucion-del-mavdt-vertimientos

MAVDT. (s.f.). *Decreto 2667 de 2012*. Recuperado el 9 de Mayo de 2012, de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=51042#0

MAVDT. (s.f.). *Decreto 3440 de 2004*. Recuperado el 9 de Mayo de 2013, de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=15072

Mendoza, U. d. (SF). *facultad de estructuras.* Obtenido de http://www.um.edu.ar/um/fau/estructura5-anterior/CIMENTACIONES.htm

Mesa Cuadros, G. (2010). *Derechos ambientales en perspectiva de integralidad.* Bogoá: Universidad Nacional de Colombia.

Metro_cuadrado. (2010). *Ciudades y precios de finca raíz*. Recuperado el 14 de Marzo de 2013, de Ciudades y precios de finca raíz: http://contenido.metrocuadrado.com/contenidom2/ciudyprec_m2/inforbog_m2/informacingeneralbogot/ARTICULO-WEB-PL_DET_NOT_REDI_M2-2026901.html

MillenniumEcosystemAssessment. (2005). *Evaluación de los ecosistemas del Milenio*. Recuperado el 19 de Agosto de 2012, de Evaluación de los ecosistemas del Milenio: http://www.maweb.org/documents/document.439.aspx.pdf

Miranda, E. (1995). *conceptos básicos de sobre la interacción dinámica suelo estructura.* Mexico.

Montessus, F. (1978). *Historia sismica.* Obtenido de Memorias Cientificas: http://200.89.78.45/index.php/ANUC/article/viewFile/24285/25634

Montoya, J. (Agosto de 2010). *avdiaz.* Obtenido de https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/08/cimentaciones-y-fundaciones.pdf

Moreno, R. (2006). *Evaluación del riesgo Sísmico en edificios mediante análisis est´stico no linela: aplicación a diversos escenarios sísmicos de Barcalona.* Universidad Politécnica de Cataluña.

Muñoz, J. A. (2012). *Comparación técnica y económica de edificios de cinco pisos con sotanos con la NSR- 98 y NSR-10 para la Microzonificación sísmica de Bogotá.* Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá.

Muñoz, J. A. (Junio de 2012). *Repositorio UMNG.* Obtenido de Repositorio UMNG: http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/7187/2/GonzalezMunozJoseAlex2012.pdf

Naciones_Unidas. (14 de Junio de 1992). *Declaración del Río sobre el medio ambiente y desarrollo.* Recuperado el 23 de Agosto de 2012, de Declaración del Río sobre el medio ambiente y desarrollo: http://www.bioculturaldiversity.net/Downloads/Papers/Rio_declaration_Spanish.pdf

Numpaque, C. A. (2017). *Análisis de vulnerabilidad EStructural del bloque 5 de la facultad Tecnólogica de la Universidad Dsitrital Francisco José de caldas mediante el uso del procedimento no Lineal estático de plastificación progresiva "Push Over".* Bogotá.

Omar Cardona, G. W. (2004). *Estudio sobre los desastres ocurridos en Colombia.* Evaluación de riesgos naturales de colombia. Recuperado el 2017, de http://www.desenredando.org/public/varios/2007/varios_omar/ERNDesastres_Colombia_LaRed.pdf

OPS. (2001). *Informe regional sobre la evaluación del sector de agua potable y saneamiento, estado actual y perspectivas*. Recuperado el 2 de Marzo de 2013, de http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsaas/e/fulltext/infregio/infregio.pdf

Oscar A. López, G. D. (2007). EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS ESTÁTICO NOLINEAL PARA DETERMINAR LA DEMANDA SÍSMICA EN. *IMME*, 28.

Plaxis. (2010). *PLAXIS Versión Profesional, Dynamics Manual.* Obtenido de http://www.beritakamu.com/plaxis-3d-manual-2012.pdf

Rodríguez Casado, R., Garrido, A., Llamas, R., & Varela - Ortega, C. (2008). *La huella hidrológica de la agricultura española*. Recuperado el 13 de Octubre de 2010, de La huella hidrológica de la agricultura española: http://www.huellahidrica.org/Reports/Rodriguez_et%20al_2008.pdf

Salmoral, G., Dumont, A., Aldaya, M., Rodríguez - Casado, R., Garrido, A., & Llamas, R. (2010). *Análisis de la huella hídrica extendida de la cuenca de Guadalquivir*. Recuperado el 13 de Octubre de 2012, de Análisis de la huella hídrica extendida de la cuenca de Guadalquivir: http://www.huellahidrica.org/Reports/SHAN%20GUA-web.pdf

Sanchez-Sesma, F. J. (2004). *Sociedad Mexicana de Ingenieria Estructural.* Obtenido de http://docplayer.es/4023090-Fronteras-absorbentes-espectrales-resumen.html

SDA, & EAAB. (2008). Calidad del sistema hídrico de Bogotá. Bogotá D.C., Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.

Seto, K. C., Sánchez Rodríguez, R., & Fragkias, M. (2010). The new geography of contemporary urbanization and the environment. *The annual of environment and resources*, 167 - 194.

Shiklomanov, I. (2000). Appraisal and Assessment of World Water Resources. *Water International*, 11-35.

Silva Gutierrez, D. A. (2009). *"Interacción Sísmica Suelo – Estructura en Edificaciones Aporticadas".* UNP.

Soriano. (22 de Marzo de 1989). *Revistas umc.* Obtenido de https://revistas.ucm.es/index.php/FITE/article/download/FITE8989110287A/12620

UCLM. (2011). *Estructuras de acero*. Obtenido de https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Trans_const/MetodosAnalisis.pdf

Valencia, J. G. (2016). *Evaluación del coeficiente de disipación energía R para edificios con un sistema estructural combinado de muros y pórticos en concreto con diferente número de pisos.* Bogotá.

Valencia, J. G. (2016). *Evaluación del coeficiente de disipación energía, R, para edificios con un sistema estructural combinado de muros y pórticos en concreto, con diferente número de pisos.* Bogotá.

Veras, M. A. (2016). *Ánalsis Estático no Lineal: Aplicación de Métodos avanzados a un Edificio típico de la República Dominicana.* Barcelona.

WWF. (8 de Junio de 2012). *Una mirada a la agricultura de Colombia*. Recuperado el 19 de Agosto de 2012, de Una mirada a la agricultura de Colombia: http://www.wwf.org.co/?205138/Huella-Hidrica-Colombia

WWF, Arévalo Uribe, D., & Sabogal, J. (2012). *Una mirada a la agricultura de Colombia desde su huella hídrica*. Recuperado el 13 de Octubre de 2012, de http://www.huellahidrica.org/Reports/Arevalo-2012-HuellaHidricaColombia.pdf

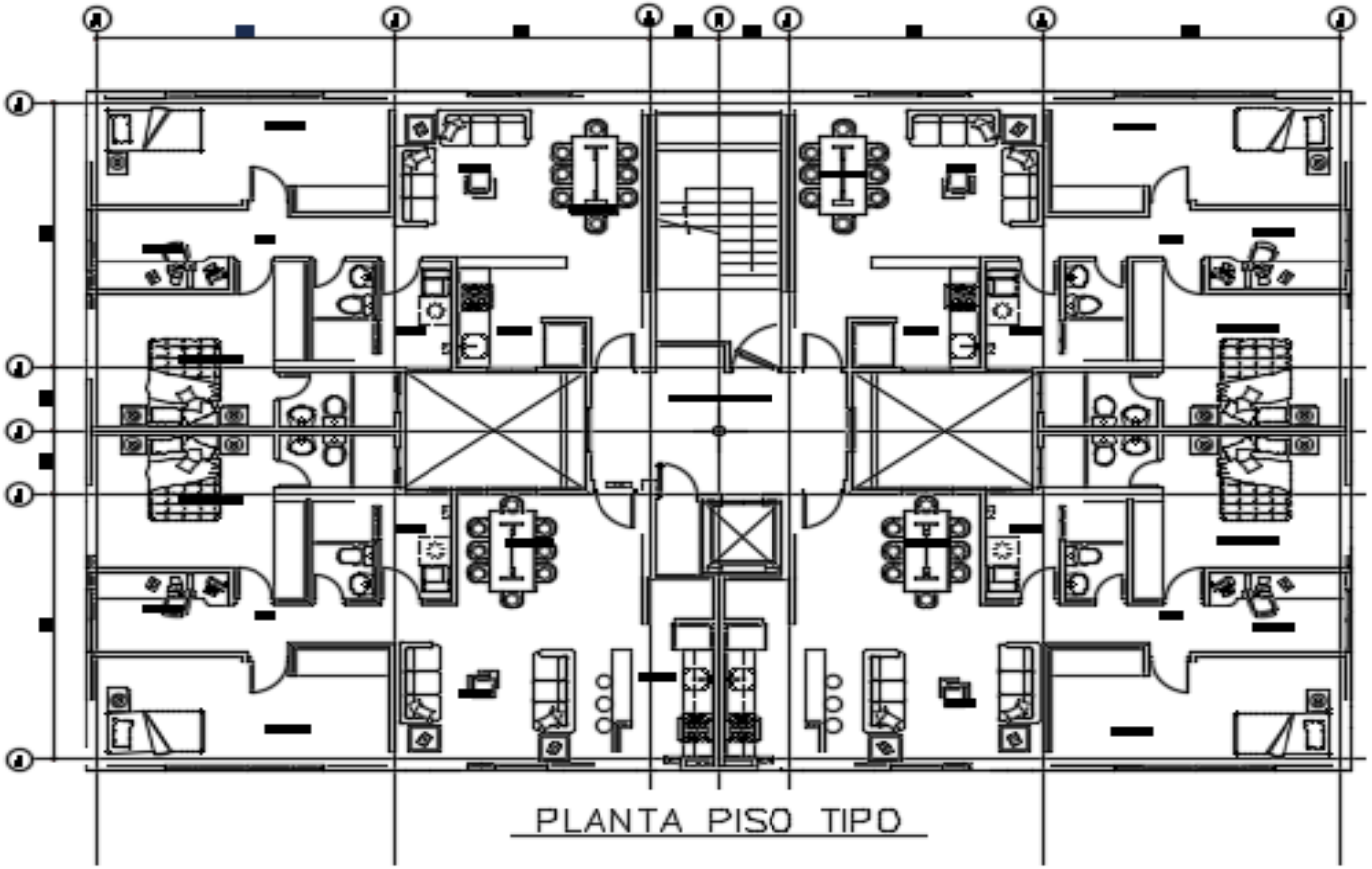
Zeng, Z., Koeneman, P., Zarate, E., & Hoekstra, A. (16 de Agosto de 2012). Assessing water footprint at river basin level: a case study for the Heihe River Basin in northwest China. *Hydrology and Earth System Science* , págs. 2271 - 2781. Recuperado el 13 de Octubre de 2012, de Assessing water

footprint at river basin level: a case study for the Heihe River Basin in northwest China: http://www.waterfootprint.org/Reports/Zeng-et-al-2012-WaterFootprint-HeiheBasin.pdf

Zúñiga, F. B. (1999). Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales . Yucatán Mexico: Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán.

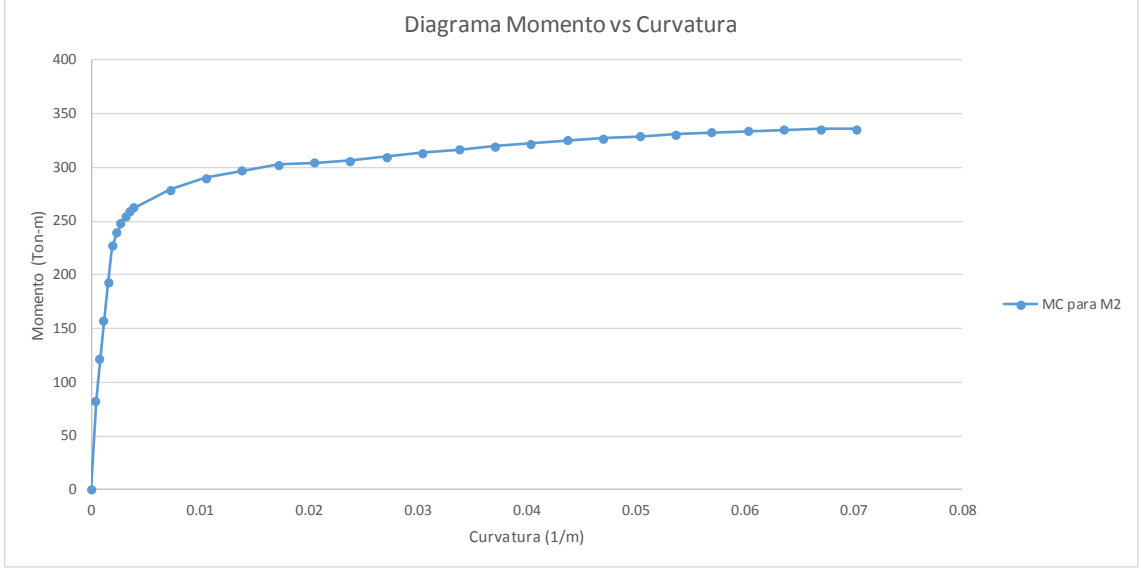
Anexos

1 Planta arquitectónica edificio

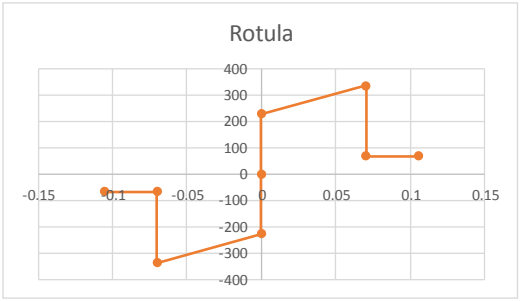


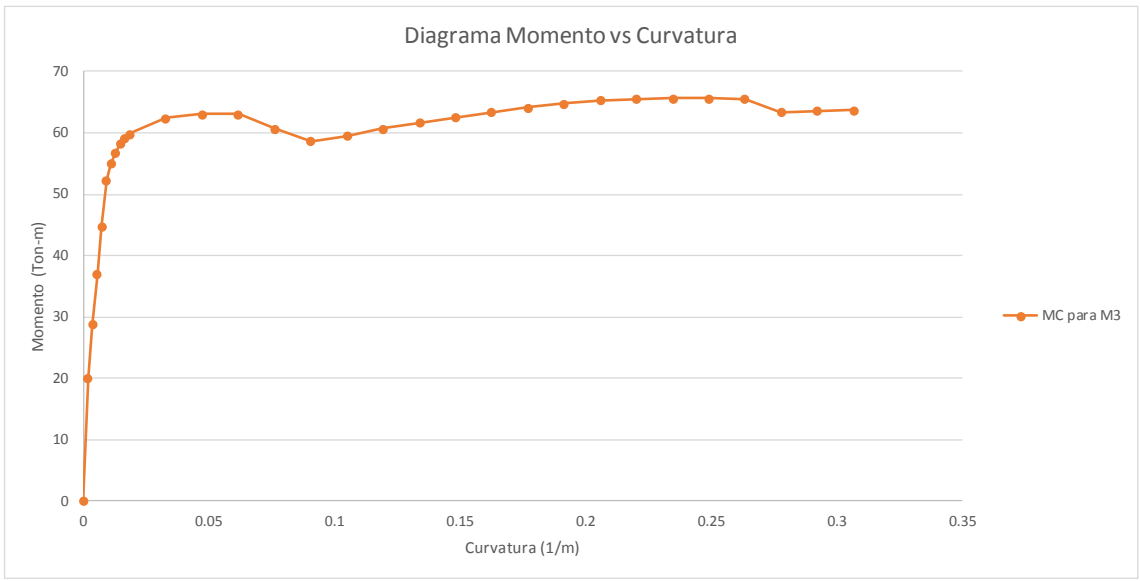
2 Definicion de rotulas plásticas.

2.1 Rotulas columnas.

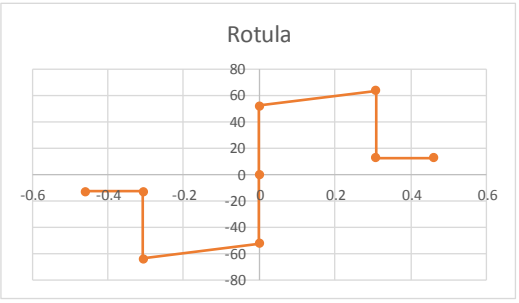


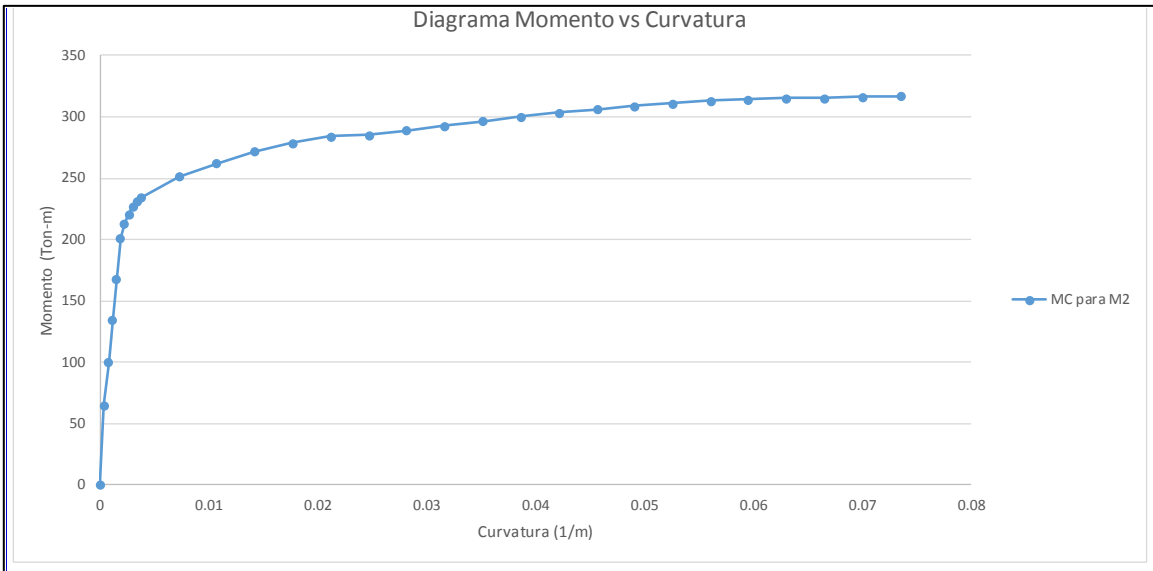
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-67.22	-0.105525
D-	-67.22	-0.07035
C-	-336.1	-0.07035
B-	-227.4	0
A	0	0
B	227.4	0
C	336.1	0.07035
D	67.22	0.07035
E	67.22	0.105525



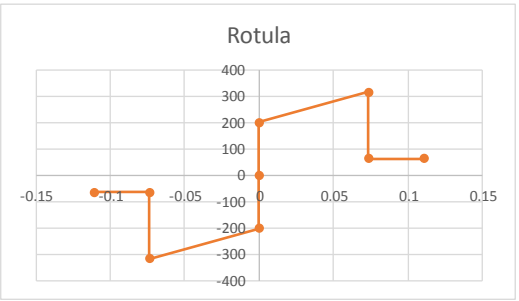


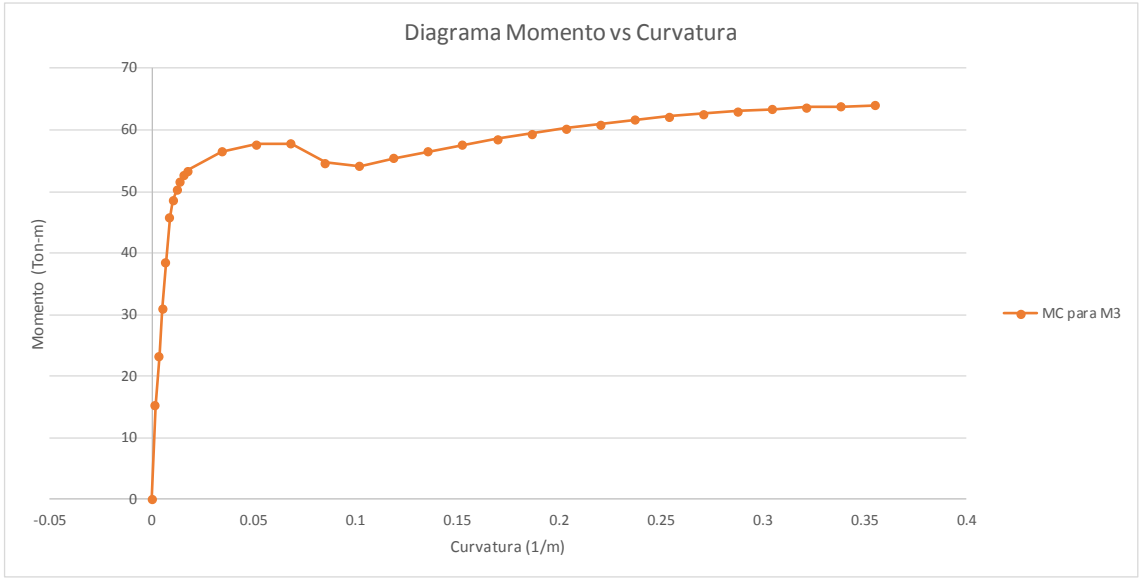
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-12.734	-0.46035
D-	-12.734	-0.3069
C-	-63.67	-0.3069
B-	-52.33	0
A	0	0
B	52.33	0
C	63.67	0.3069
D	12.734	0.3069
E	12.734	0.46035



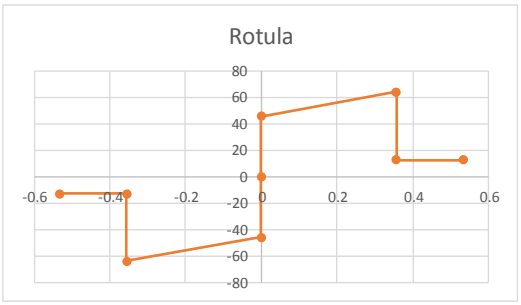


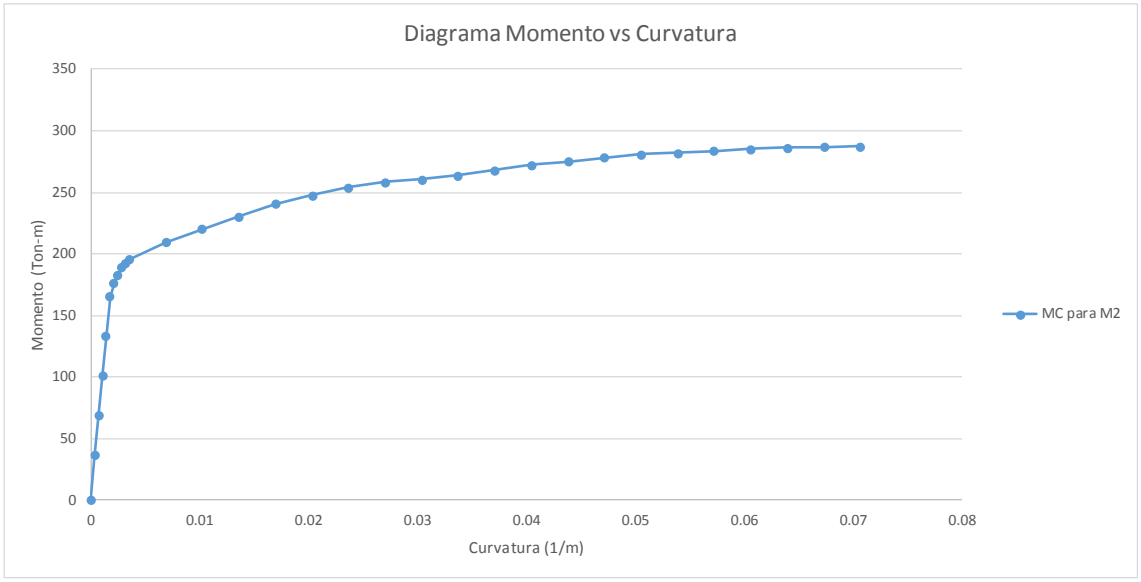
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-63.34	-0.1104
D-	-63.34	-0.0736
C-	-316.7	-0.0736
B-	-201.7	0
A	0	0
B	201.7	0
C	316.7	0.0736
D	63.34	0.0736
E	63.34	0.1104



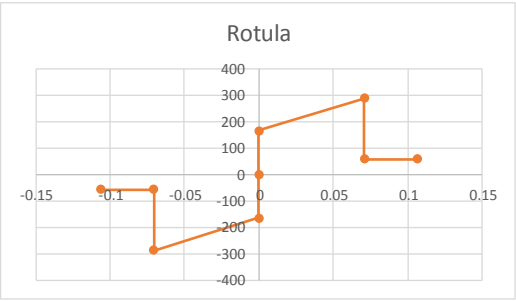


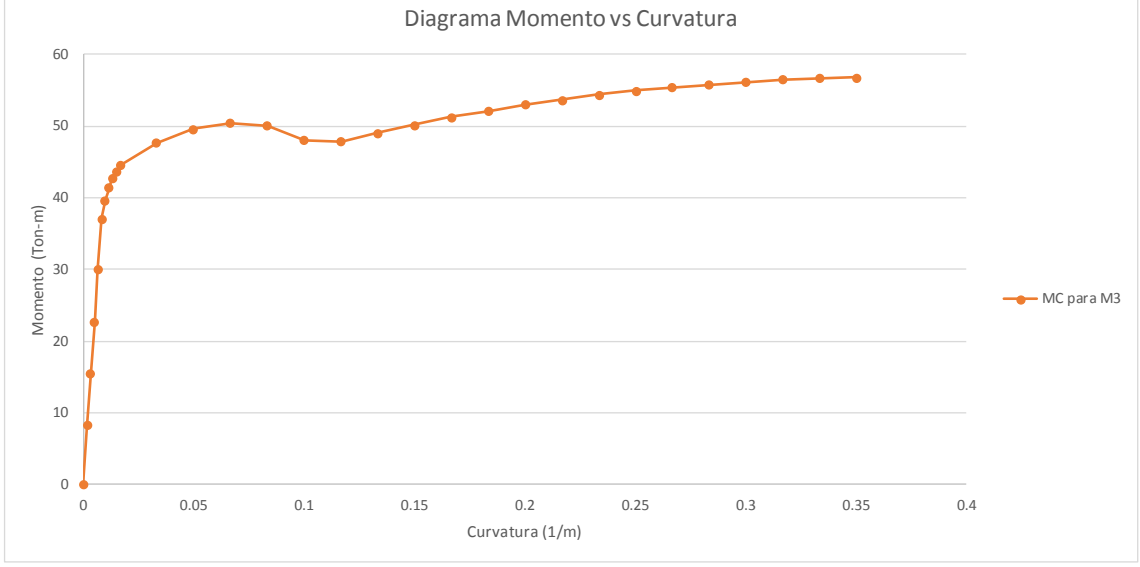
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-12.812	-0.5334
D-	-12.812	-0.3556
C-	-64.06	-0.3556
B-	-45.88	0
A	0	0
B	45.88	0
C	64.06	0.3556
D	12.812	0.3556
E	12.812	0.5334



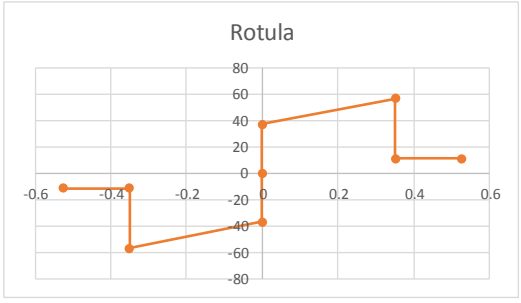


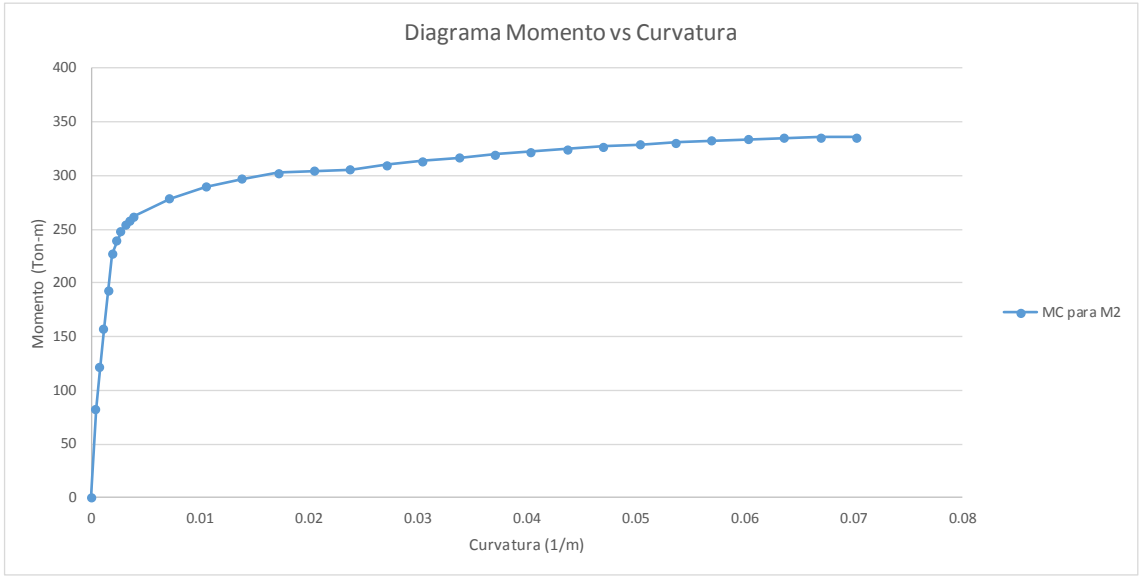
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-57.48	-0.106125
D-	-57.48	-0.07075
C-	-287.4	-0.07075
B-	-165.4	0
A	0	0
B	165.4	0
C	287.4	0.07075
D	57.48	0.07075
E	57.48	0.106125



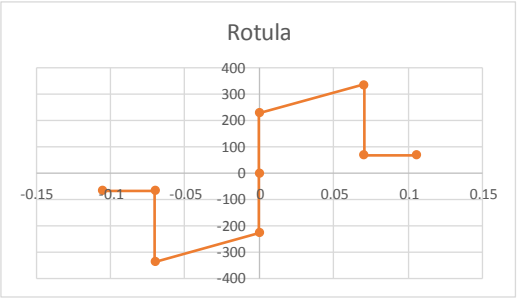


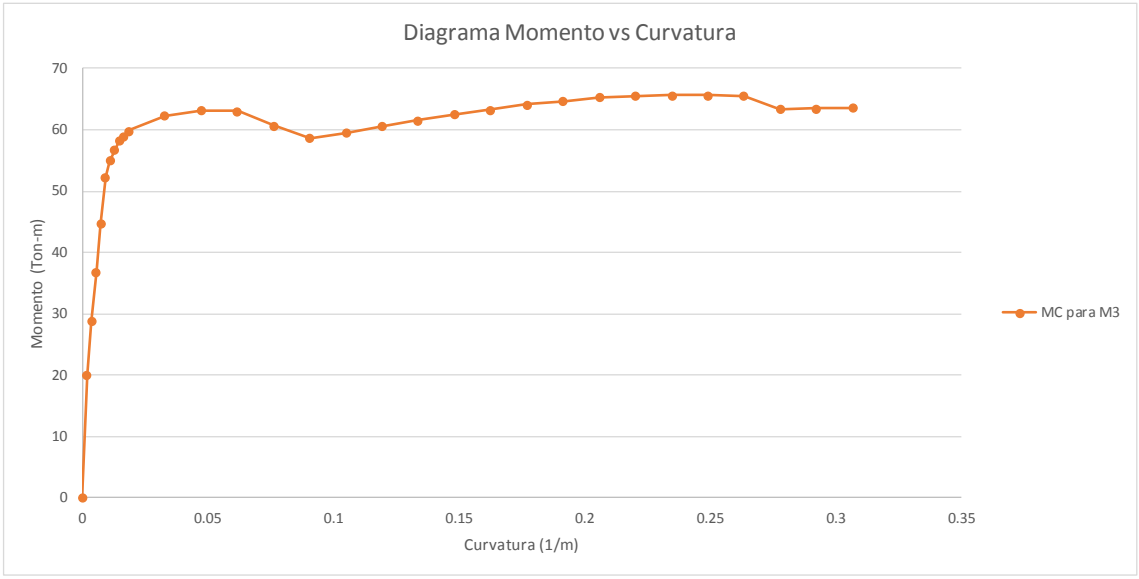
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-11.362	-0.5259
D-	-11.362	-0.3506
C-	-56.81	-0.3506
B-	-37.13	0
A	0	0
B	37.13	0
C	56.81	0.3506
D	11.362	0.3506
E	11.362	0.5259



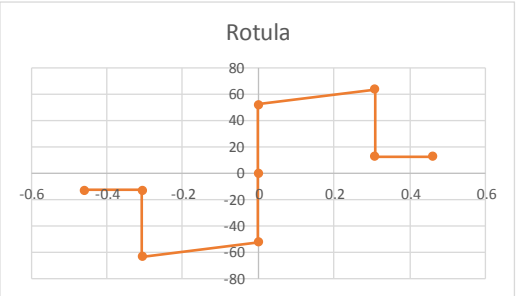


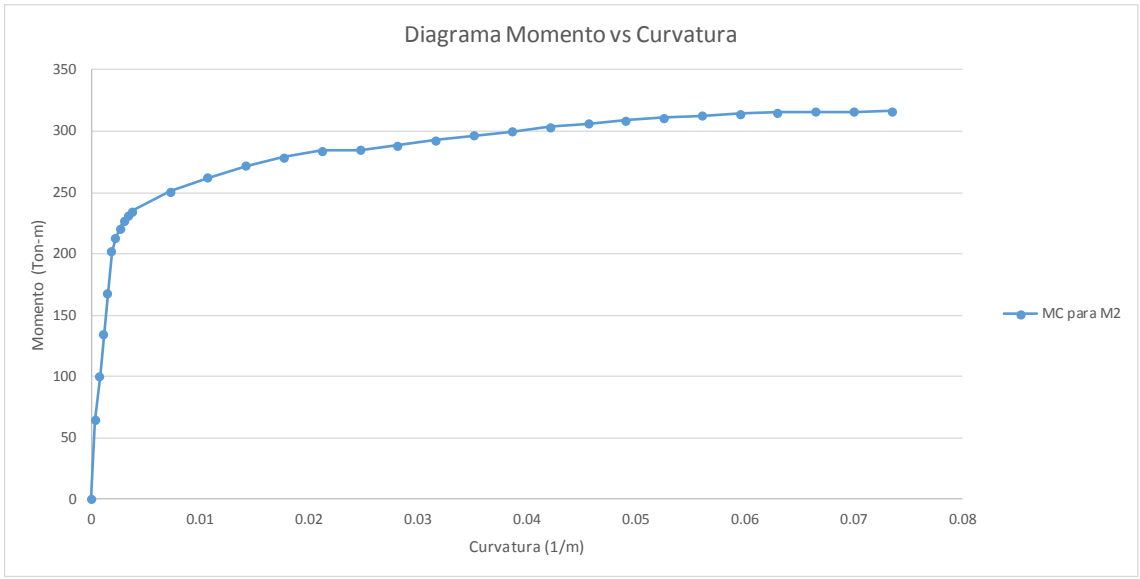
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-67.22	-0.105525
D-	-67.22	-0.07035
C-	-336.1	-0.07035
B-	-227.2	0
A	0	0
B	227.2	0
C	336.1	0.07035
D	67.22	0.07035
E	67.22	0.105525



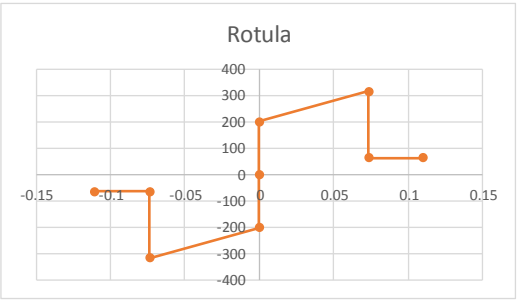


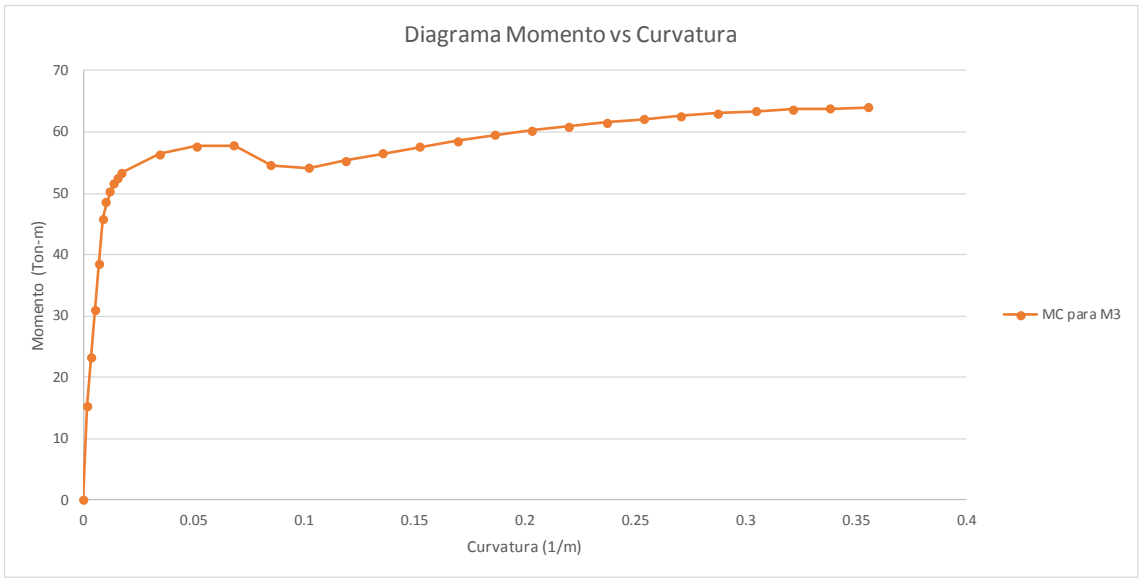
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-12.728	-0.46035
D-	-12.728	-0.3069
C-	-63.64	-0.3069
B-	-52.29	0
A	0	0
B	52.29	0
C	63.64	0.3069
D	12.728	0.3069
E	12.728	0.46035



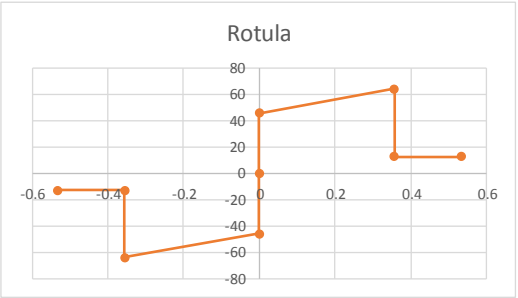


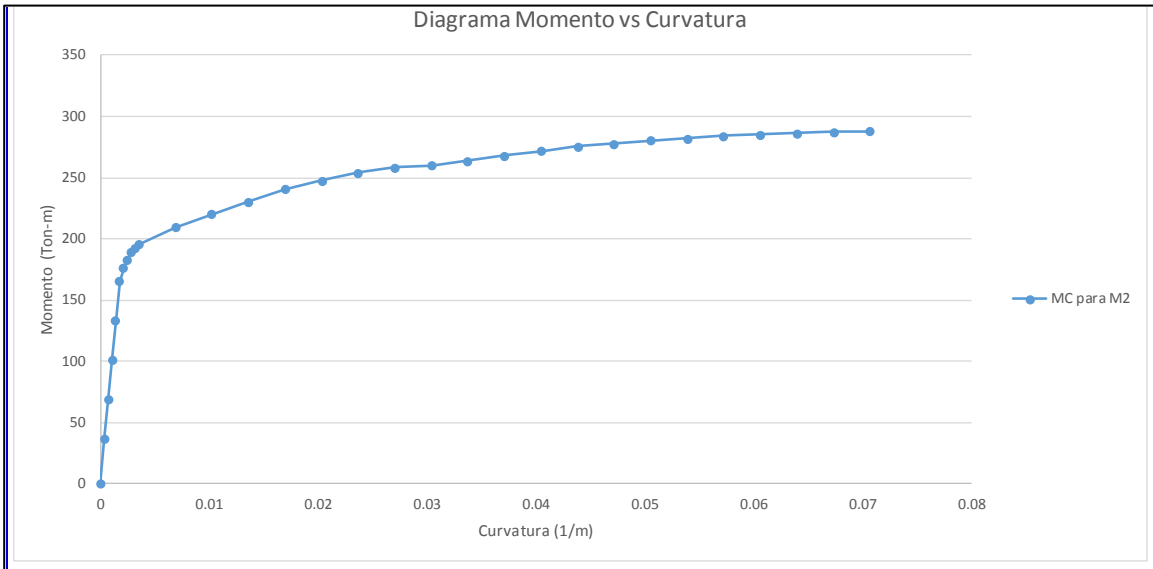
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-63.3	-0.11037
D-	-63.3	-0.07358
C-	-316.5	-0.07358
B-	-201.9	0
A	0	0
B	201.9	0
C	316.5	0.07358
D	63.3	0.07358
E	63.3	0.11037



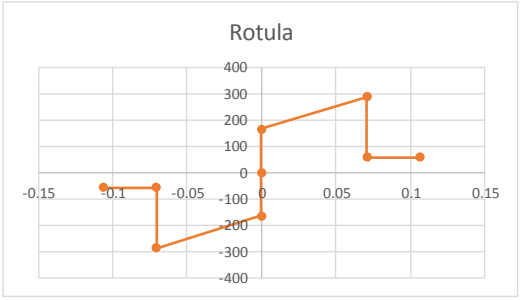


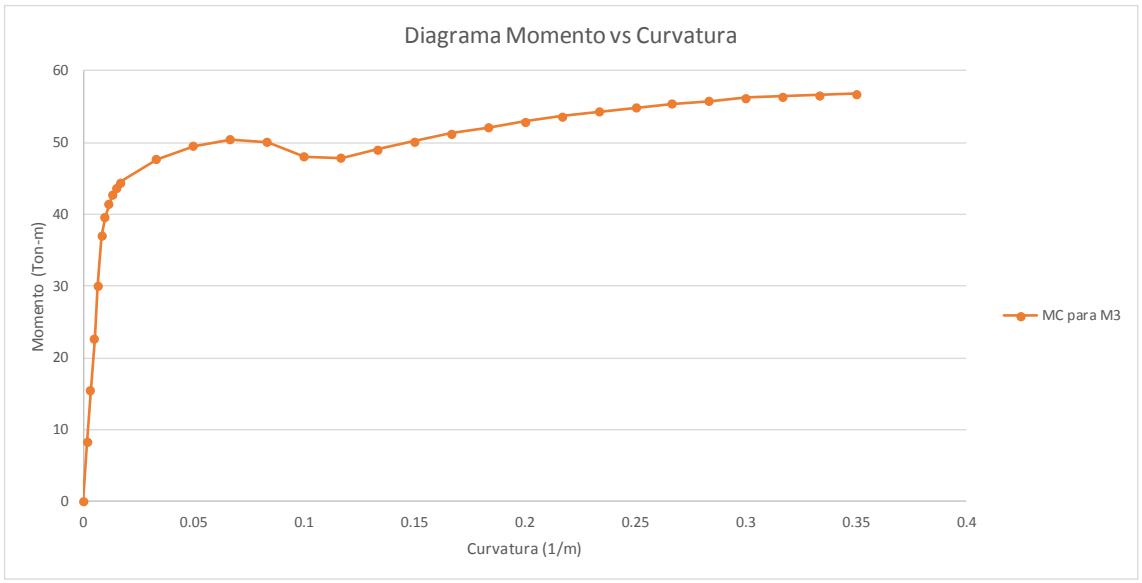
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-12.796	-0.5334
D-	-12.796	-0.3556
C-	-63.98	-0.3556
B-	-45.86	0
A	0	0
B	45.86	0
C	63.98	0.3556
D	12.796	0.3556
E	12.796	0.5334



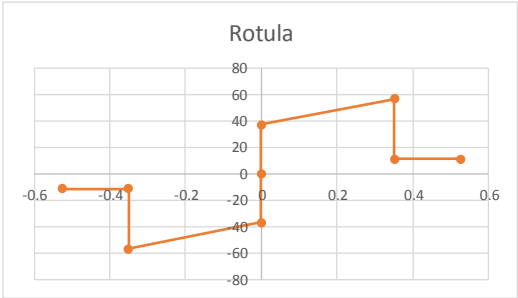


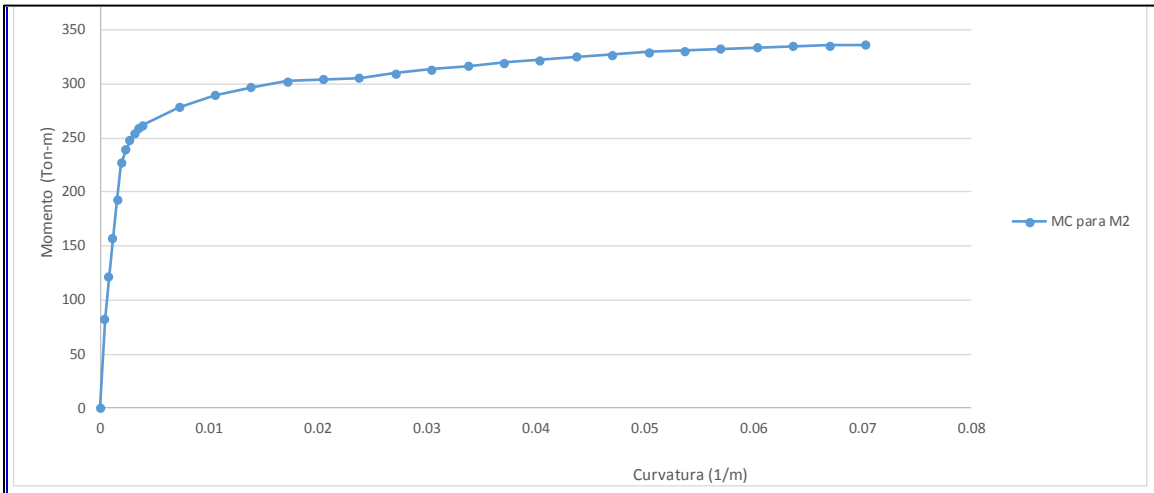
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-57.56	-0.106125
D-	-57.56	-0.07075
C-	-287.8	-0.07075
B-	-165.4	0
A	0	0
B	165.4	0
C	287.8	0.07075
D	57.56	0.07075
E	57.56	0.106125



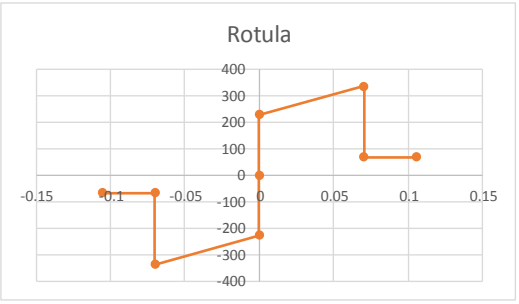


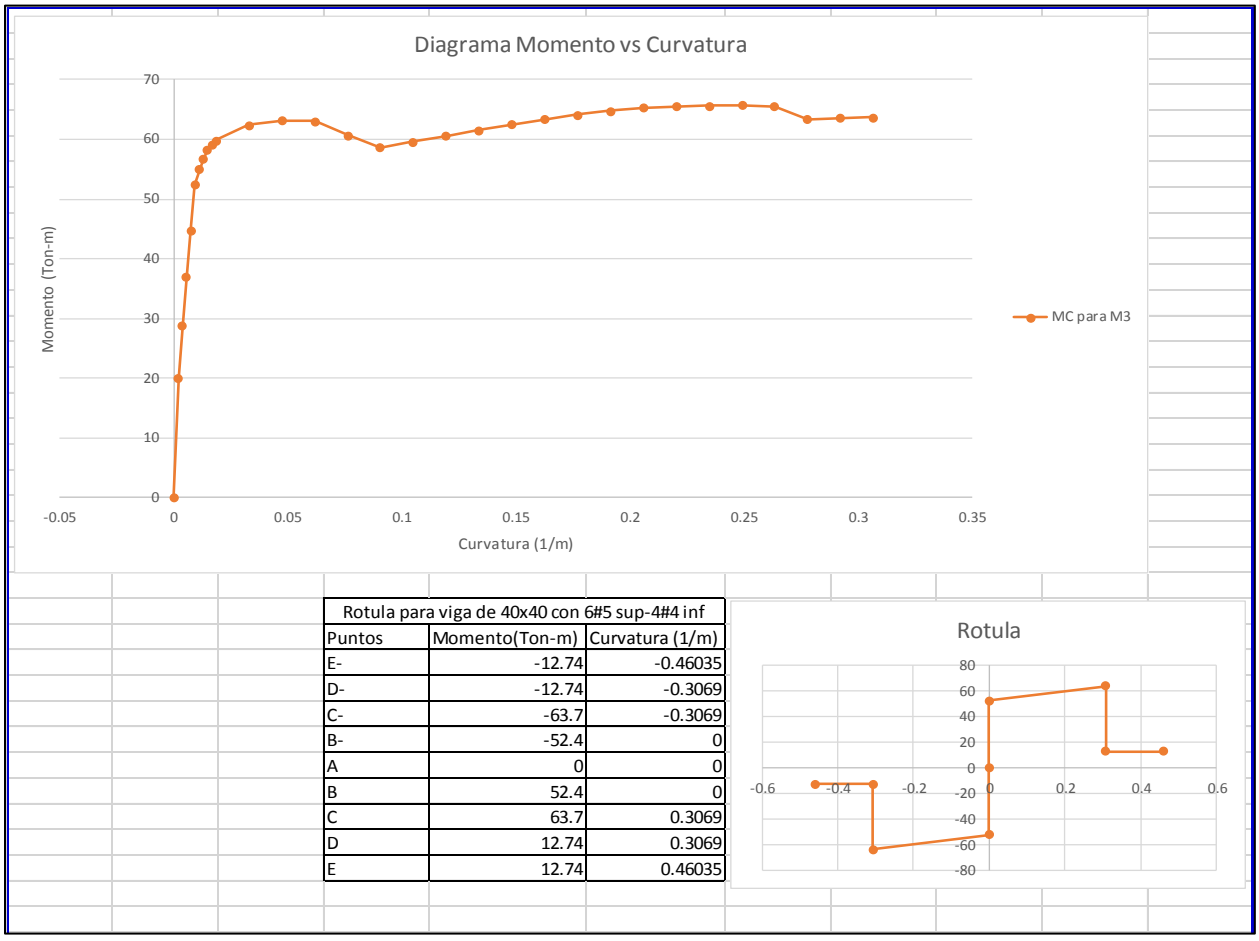
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-11.36	-0.5259
D-	-11.36	-0.3506
C-	-56.8	-0.3506
B-	-37.04	0
A	0	0
B	37.04	0
C	56.8	0.3506
D	11.36	0.3506
E	11.36	0.5259



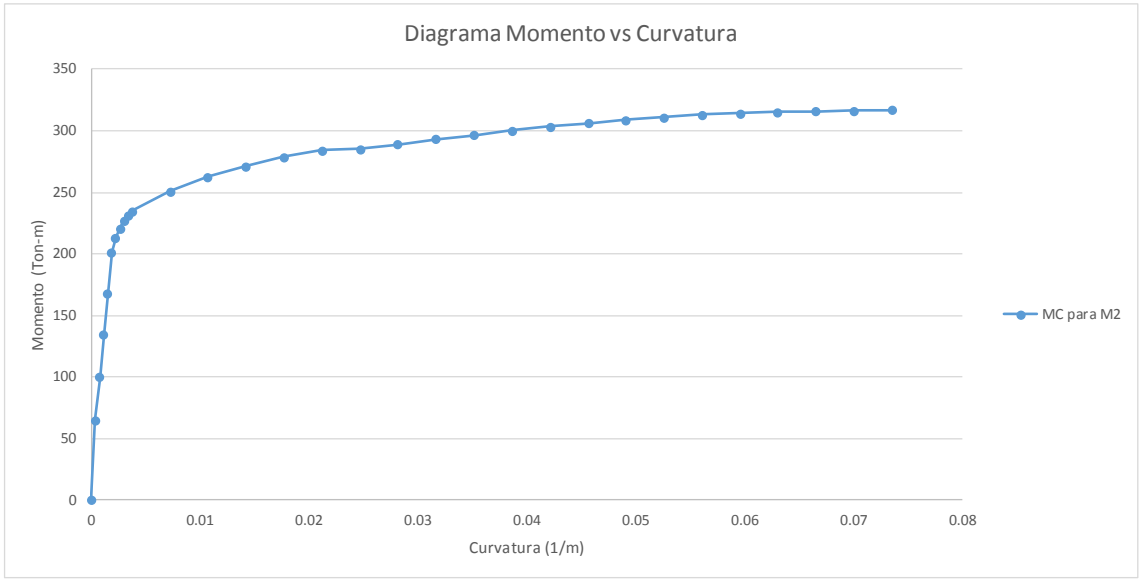


Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-67.24	-0.105525
D-	-67.24	-0.07035
C-	-336.2	-0.07035
B-	-227.4	0
A	0	0
B	227.4	0
C	336.2	0.07035
D	67.24	0.07035
E	67.24	0.105525

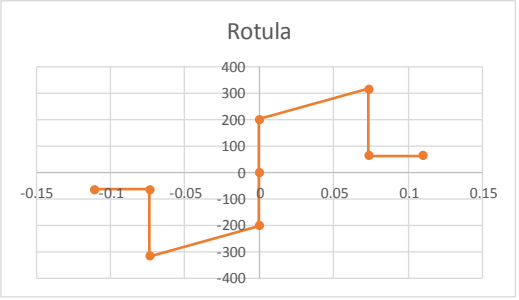


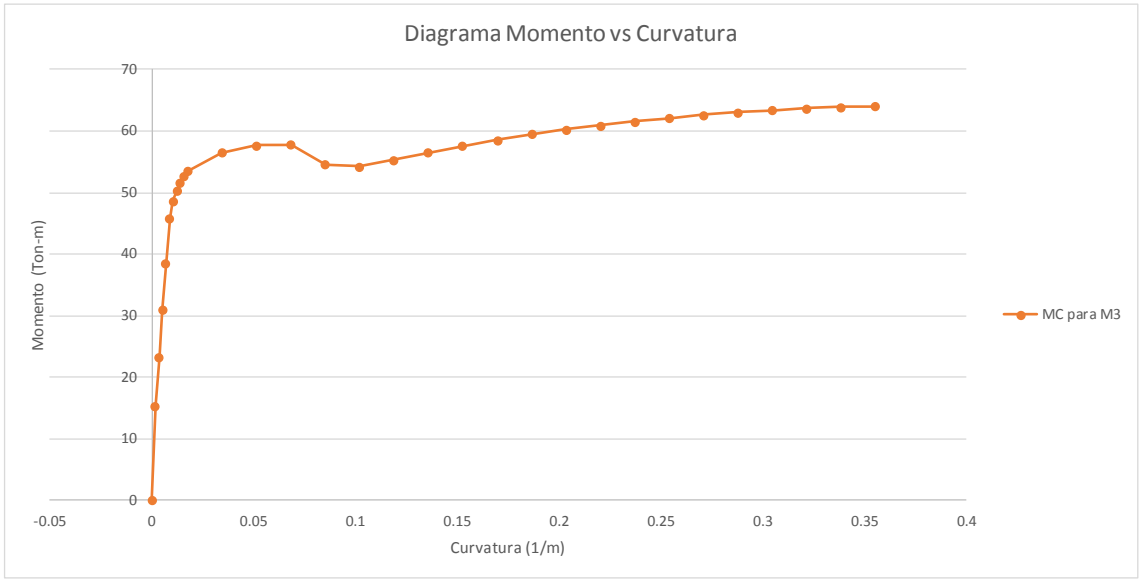


Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-12.74	-0.46035
D-	-12.74	-0.3069
C-	-63.7	-0.3069
B-	-52.4	0
A	0	0
B	52.4	0
C	63.7	0.3069
D	12.74	0.3069
E	12.74	0.46035

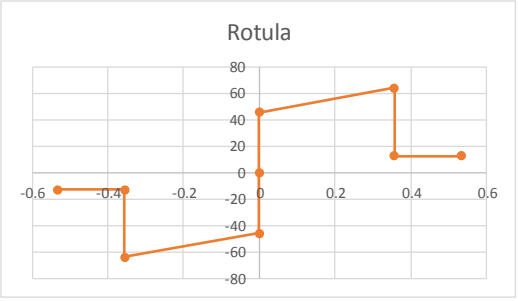


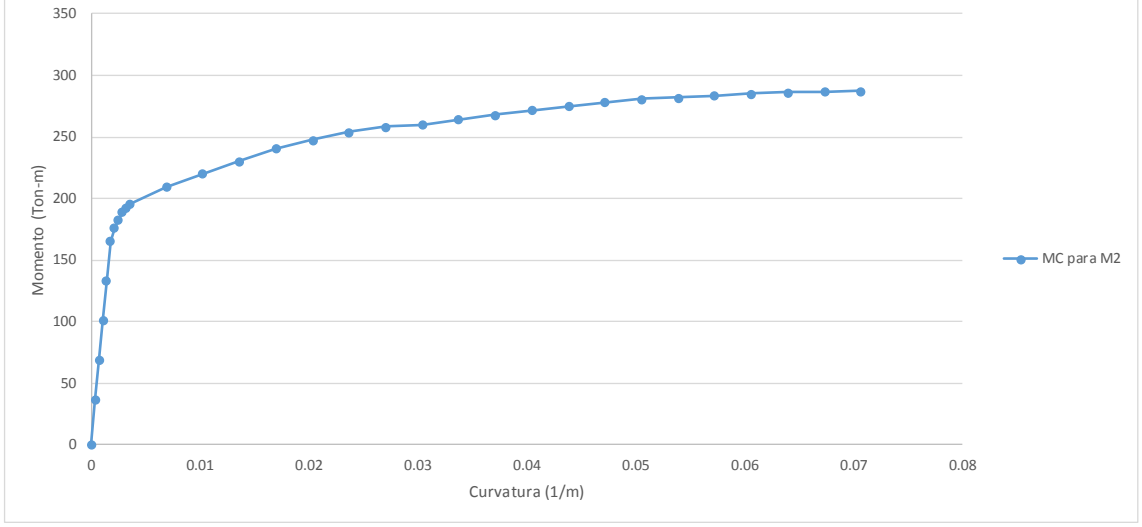
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-63.34	-0.11037
D-	-63.34	-0.07358
C-	-316.7	-0.07358
B-	-201.7	0
A	0	0
B	201.7	0
C	316.7	0.07358
D	63.34	0.07358
E	63.34	0.11037



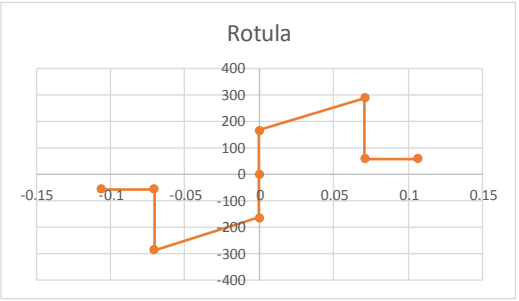


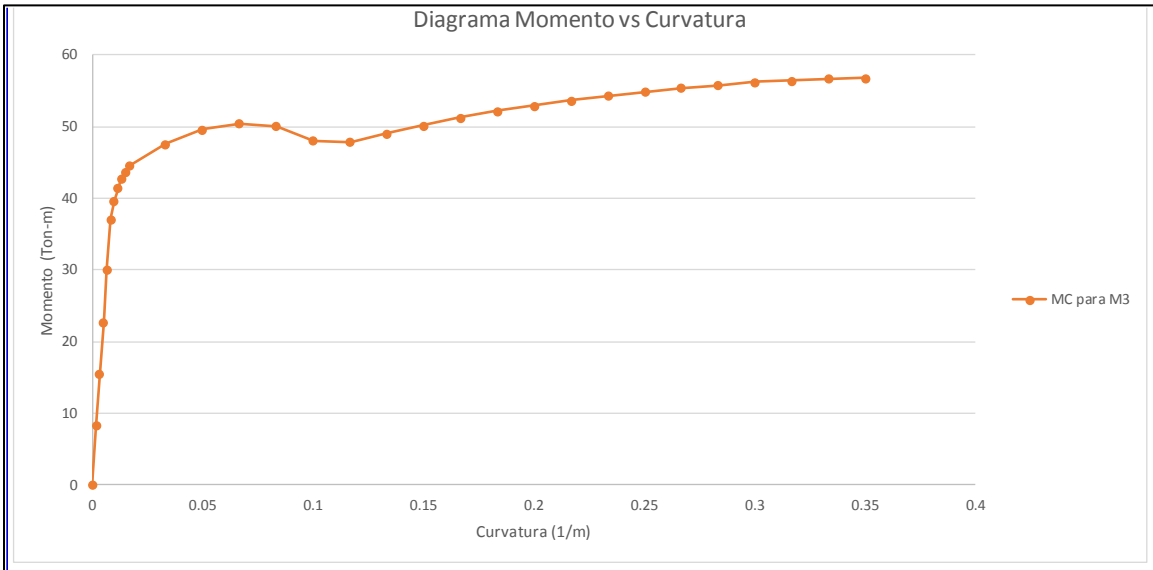
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-12.812	-0.5334
D-	-12.812	-0.3556
C-	-64.06	-0.3556
B-	-45.86	0
A	0	0
B	45.86	0
C	64.06	0.3556
D	12.812	0.3556
E	12.812	0.5334



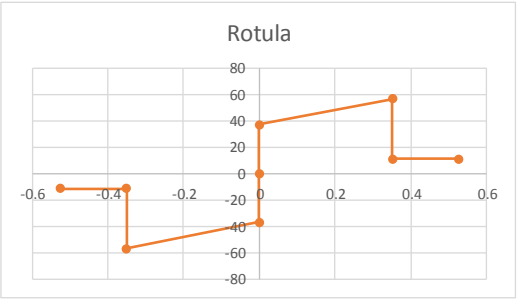


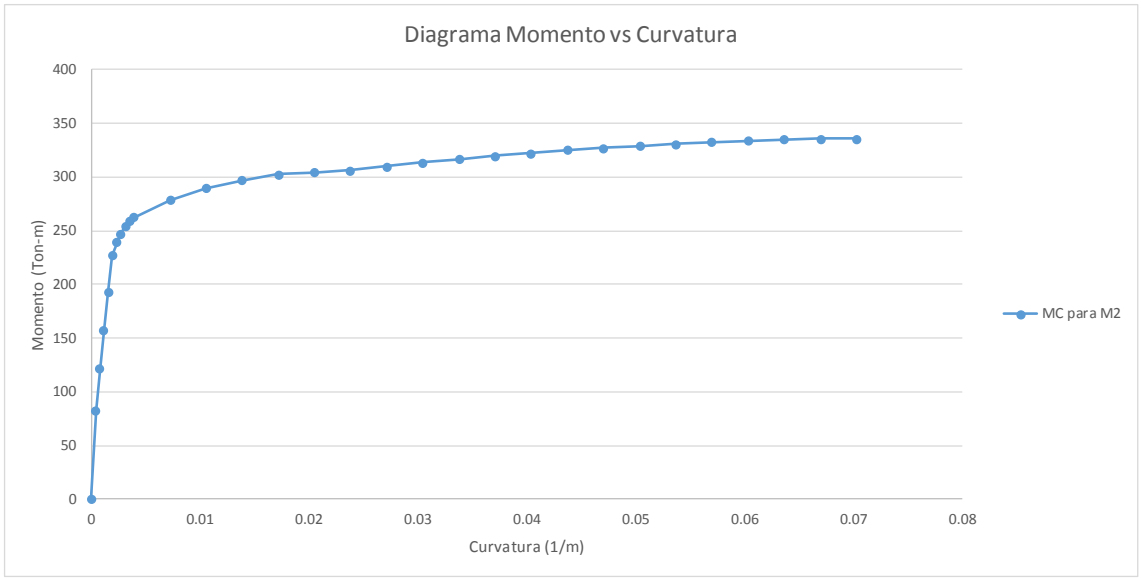
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-57.5	-0.106125
D-	-57.5	-0.07075
C-	-287.5	-0.07075
B-	-165.6	0
A	0	0
B	165.6	0
C	287.5	0.07075
D	57.5	0.07075
E	57.5	0.106125



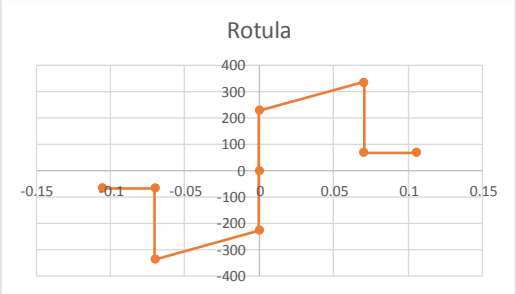


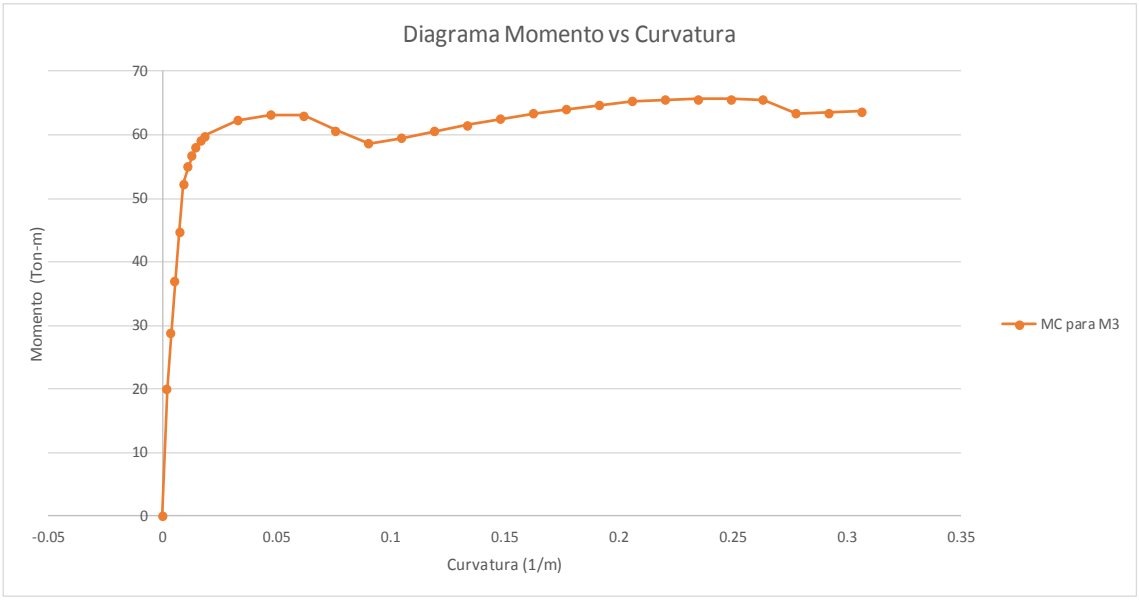
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-11.366	-0.5259
D-	-11.366	-0.3506
C-	-56.83	-0.3506
B-	-37.13	0
A	0	0
B	37.13	0
C	56.83	0.3506
D	11.366	0.3506
E	11.366	0.5259



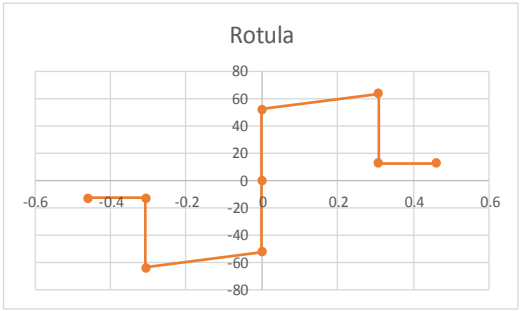


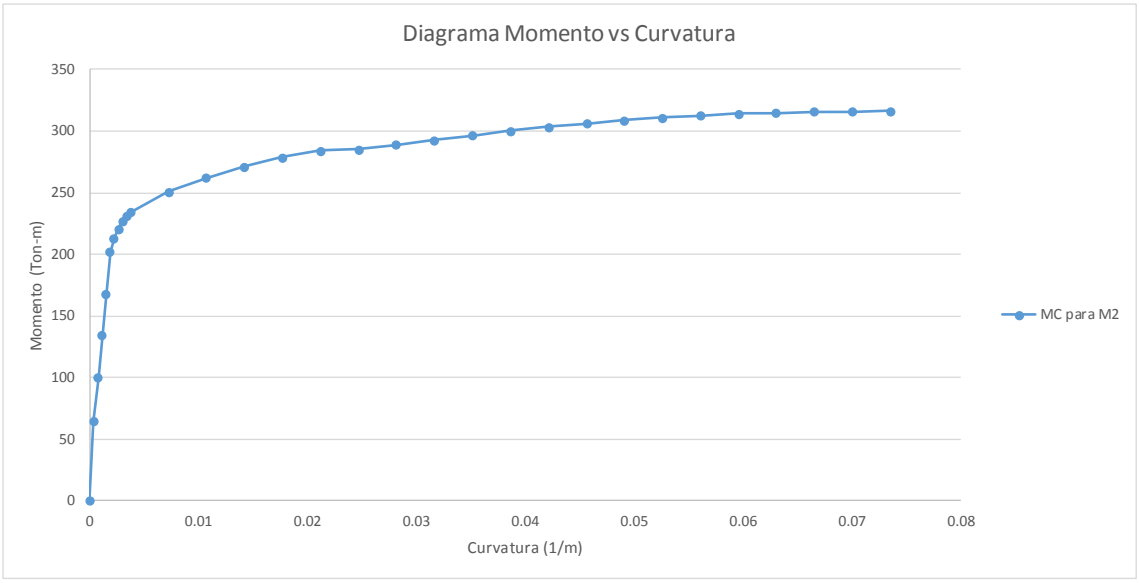
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-67.2	-0.105525
D-	-67.2	-0.07035
C-	-336	-0.07035
B-	-227.3	0
A	0	0
B	227.3	0
C	336	0.07035
D	67.2	0.07035
E	67.2	0.105525



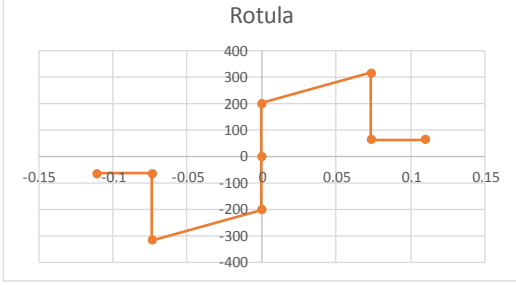


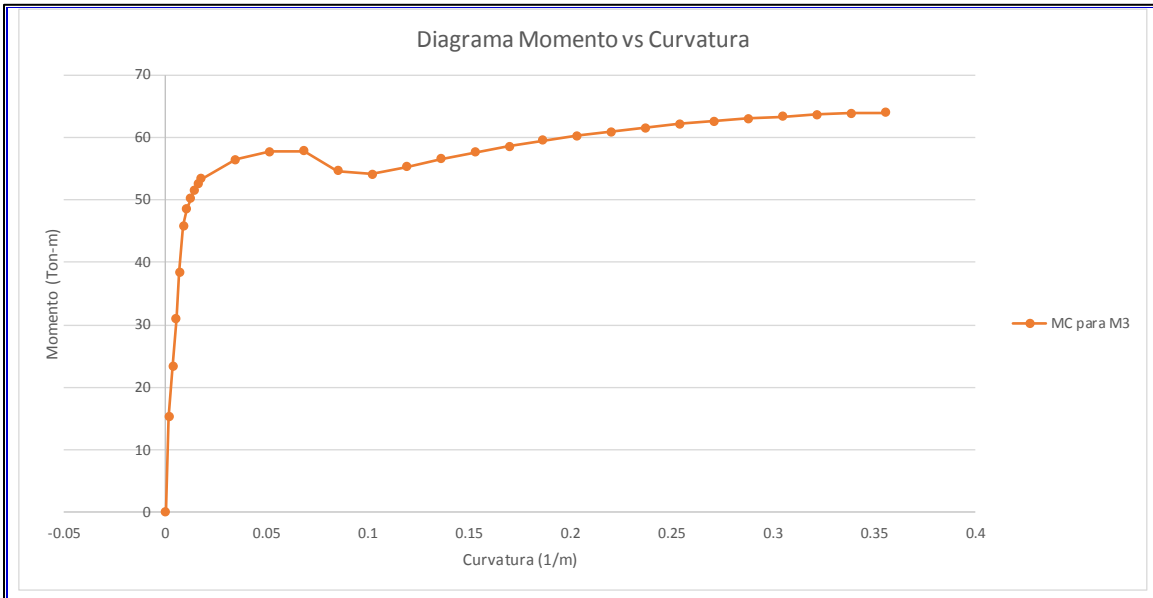
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-12.732	-0.46035
D-	-12.732	-0.3069
C-	-63.66	-0.3069
B-	-52.35	0
A	0	0
B	52.35	0
C	63.66	0.3069
D	12.732	0.3069
E	12.732	0.46035



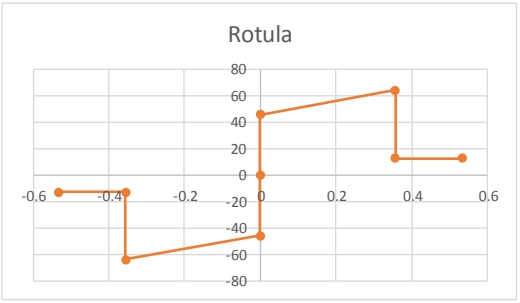


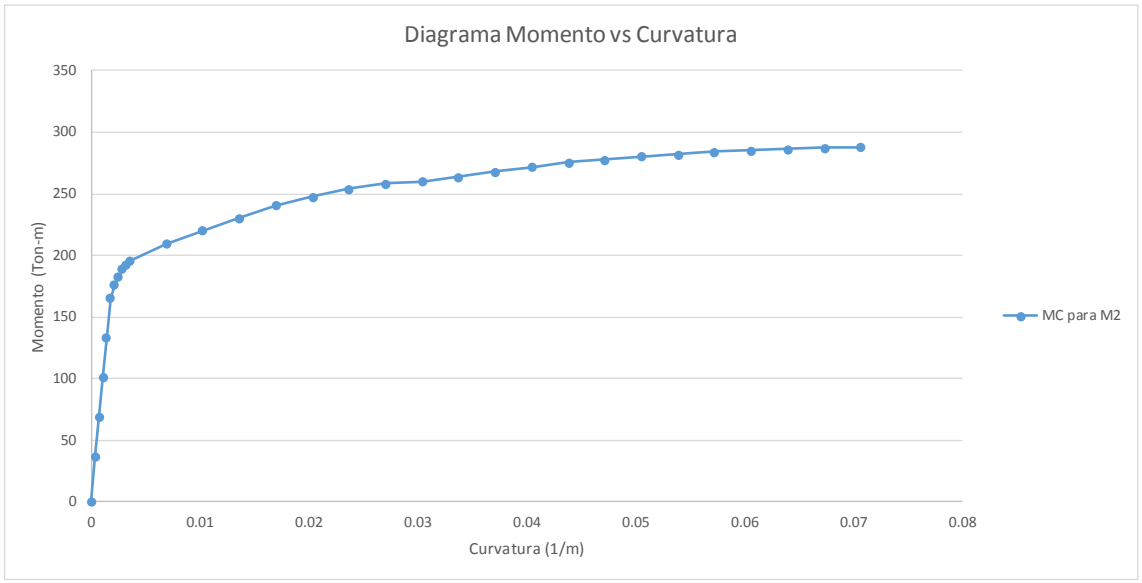
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-63.3	-0.11037
D-	-63.3	-0.07358
C-	-316.5	-0.07358
B-	-201.8	0
A	0	0
B	201.8	0
C	316.5	0.07358
D	63.3	0.07358
E	63.3	0.11037



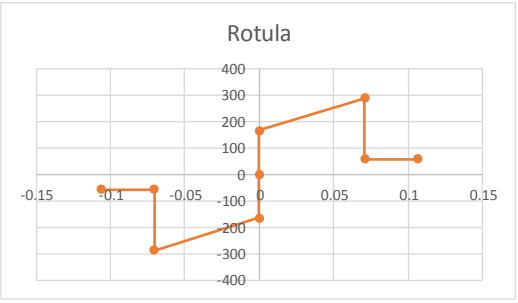


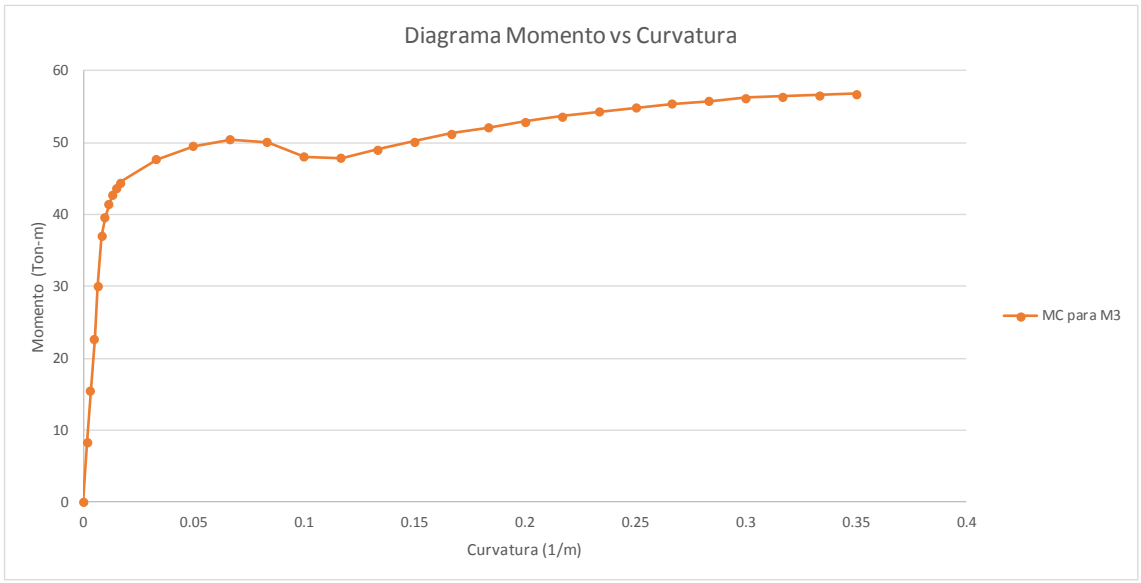
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-12.804	-0.5334
D-	-12.804	-0.3556
C-	-64.02	-0.3556
B-	-45.84	0
A	0	0
B	45.84	0
C	64.02	0.3556
D	12.804	0.3556
E	12.804	0.5334



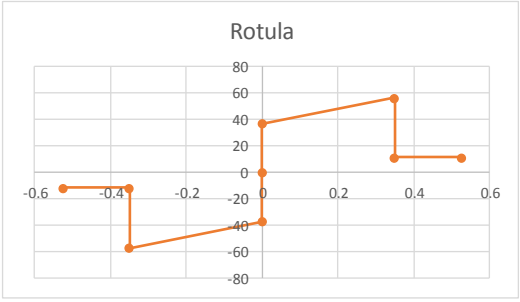


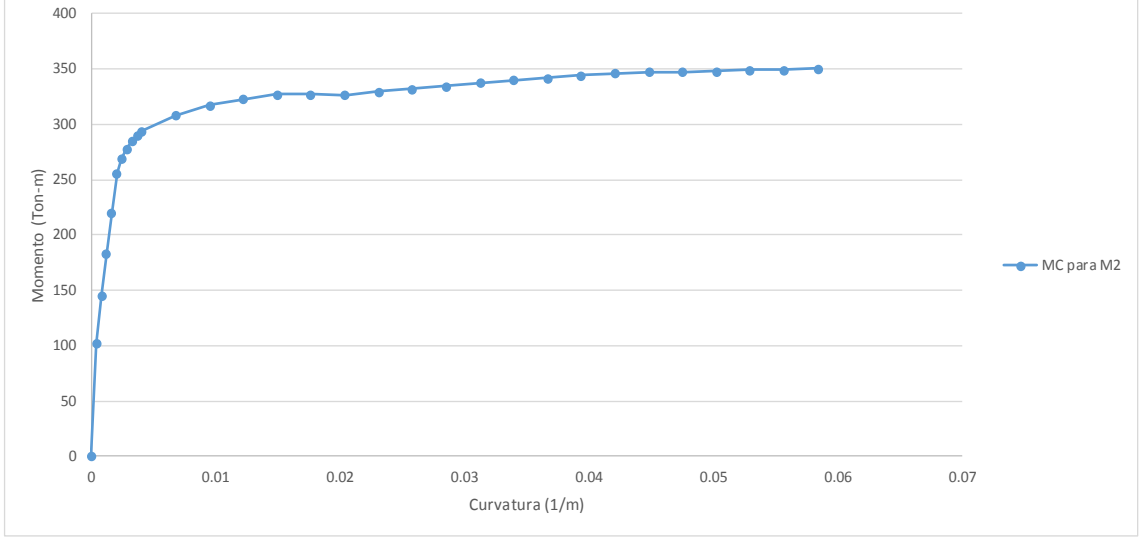
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-57.56	-0.106125
D-	-57.56	-0.07075
C-	-287.8	-0.07075
B-	-165.4	0
A	0	0
B	165.4	0
C	287.8	0.07075
D	57.56	0.07075
E	57.56	0.106125



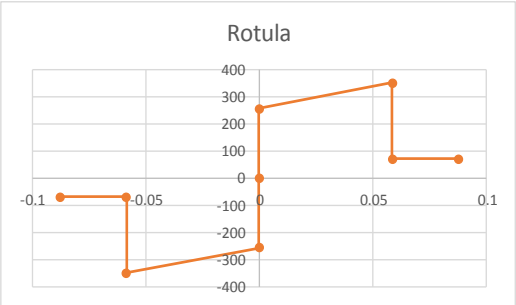


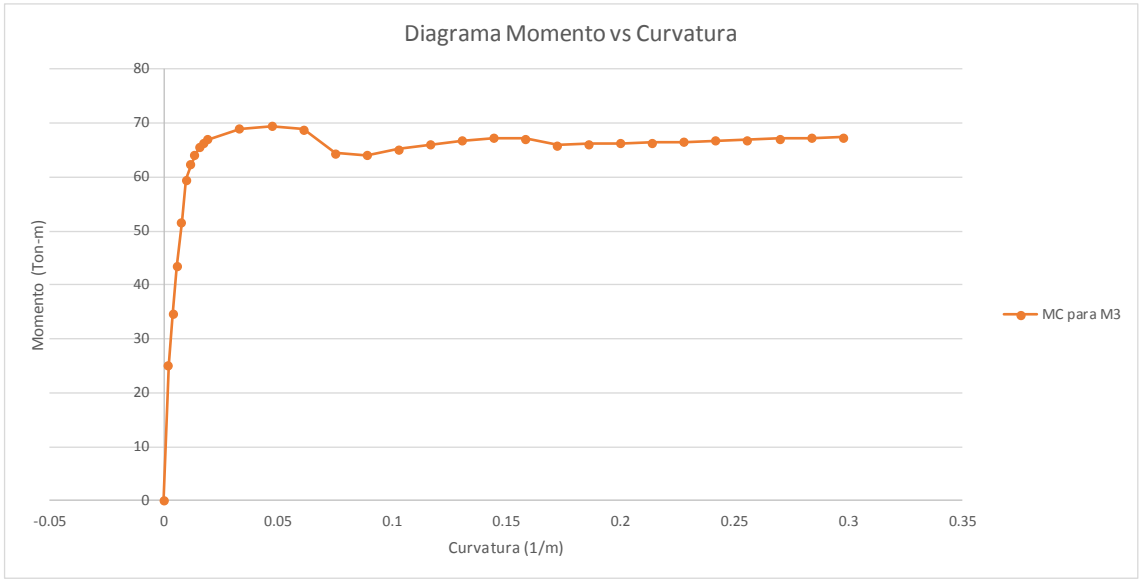
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-11.36	-0.5259
D-	-11.36	-0.3506
C-	-56.8	-0.3506
B-	-37.04	0
A	0	0
B	37.04	0
C	56.8	0.3506
D	11.36	0.3506
E	11.36	0.5259



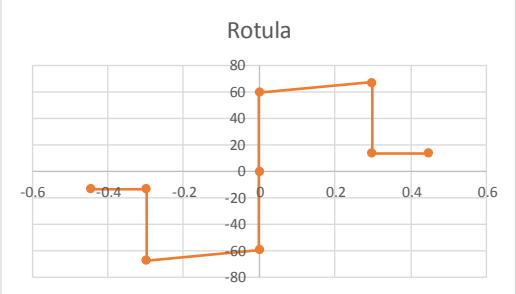


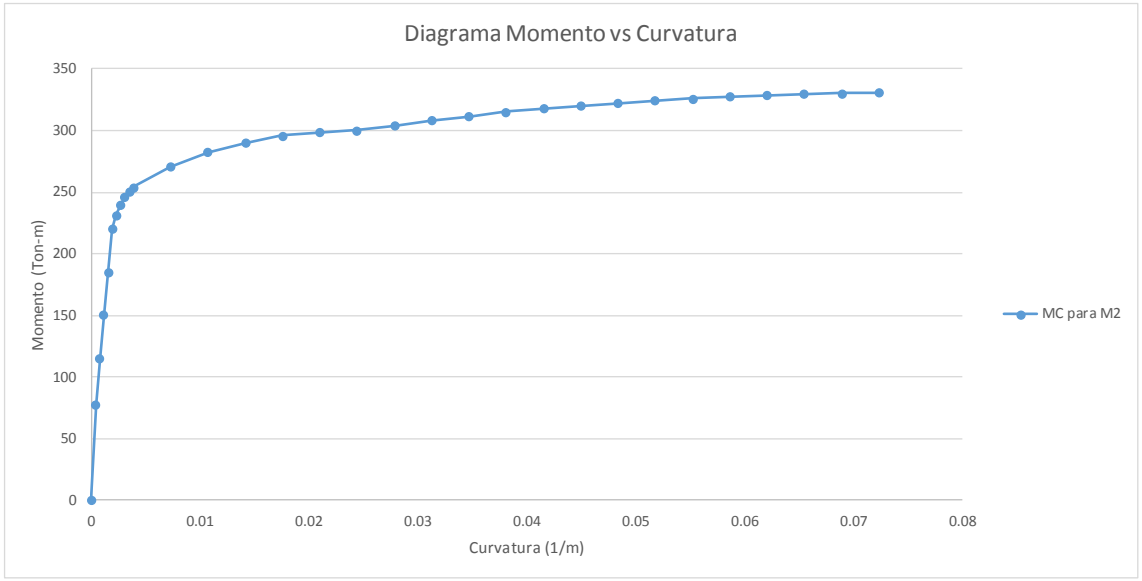
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-70.08	-0.087645
D-	-70.08	-0.05843
C-	-350.4	-0.05843
B-	-256.2	0
A	0	0
B	256.2	0
C	350.4	0.05843
D	70.08	0.05843
E	70.08	0.087645



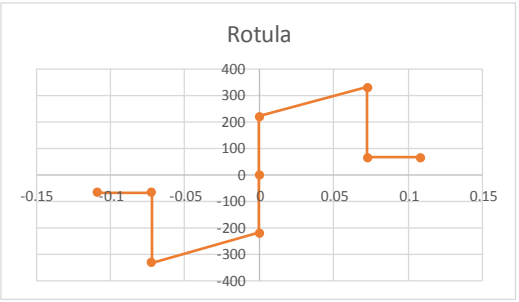


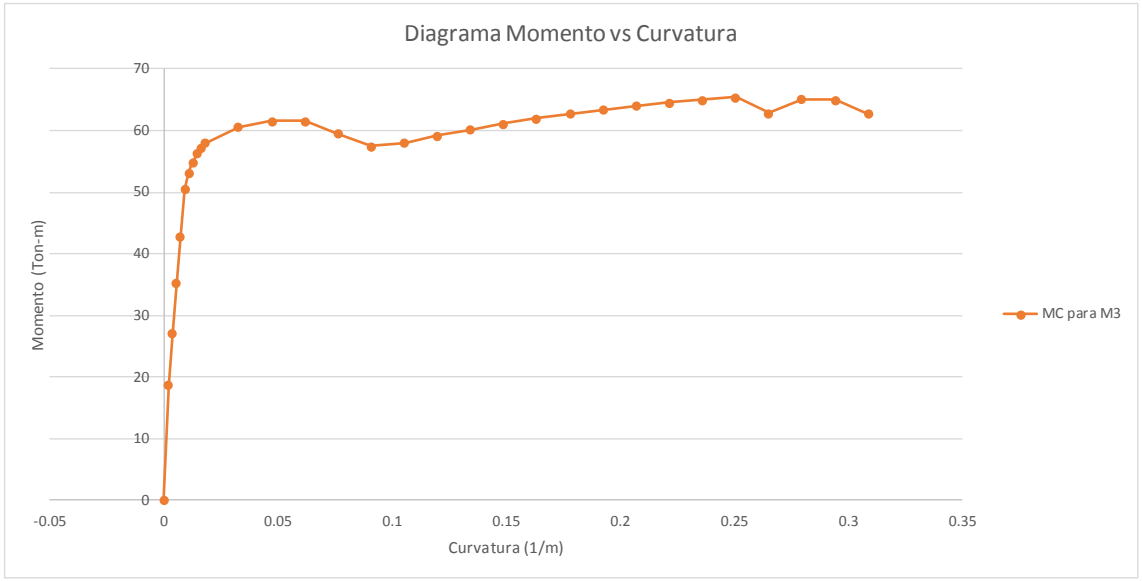
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-13.482	-0.4467
D-	-13.482	-0.2978
C-	-67.41	-0.2978
B-	-59.51	0
A	0	0
B	59.51	0
C	67.41	0.2978
D	13.482	0.2978
E	13.482	0.4467



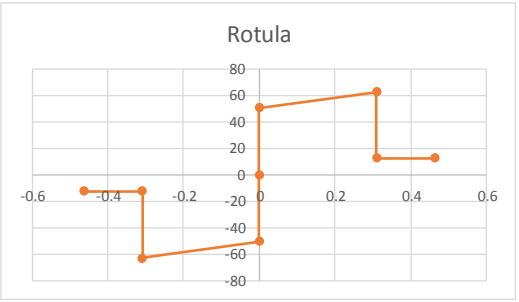


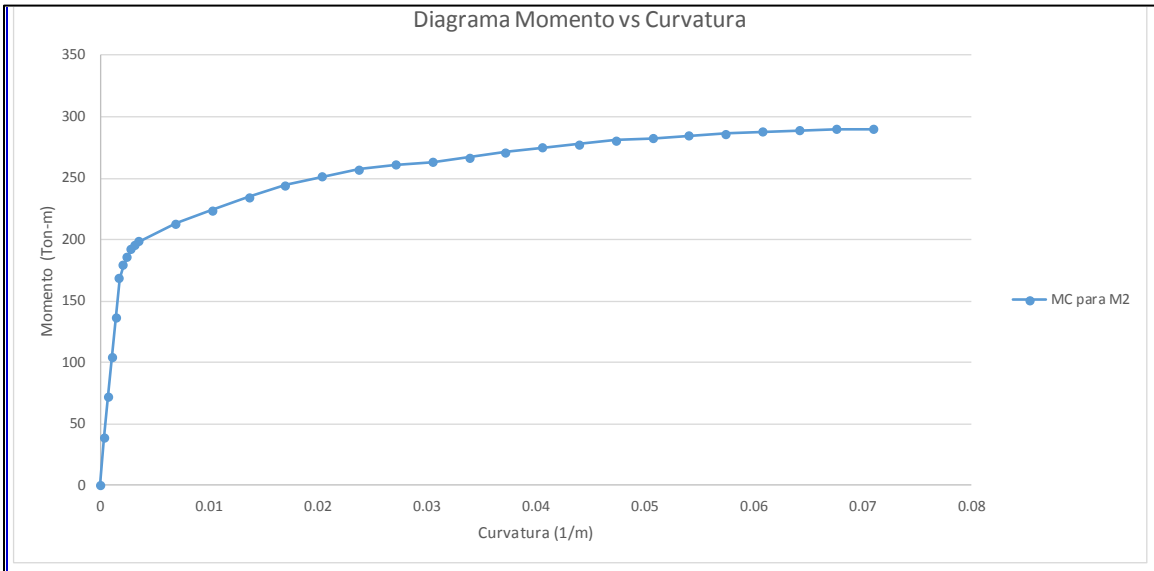
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-66.18	-0.10854
D-	-66.18	-0.07236
C-	-330.9	-0.07236
B-	-220.2	0
A	0	0
B	220.2	0
C	330.9	0.07236
D	66.18	0.07236
E	66.18	0.10854



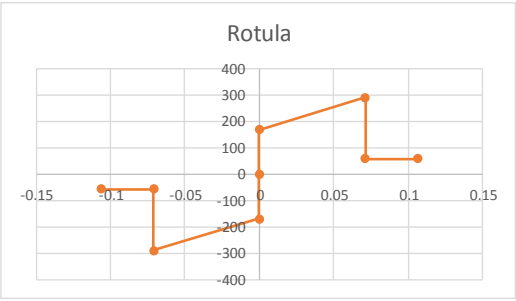


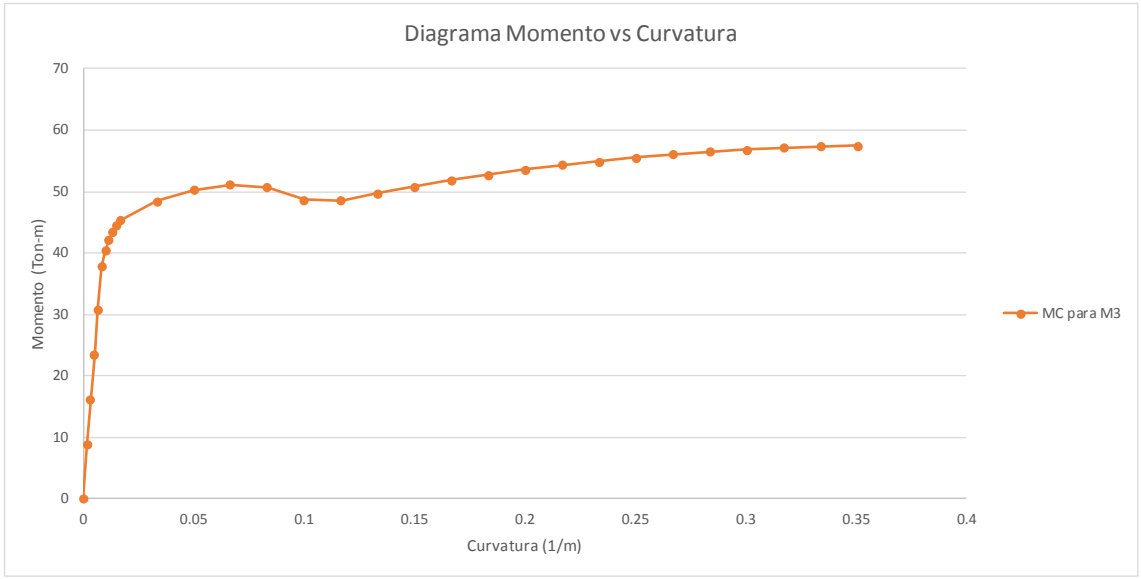
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-12.55	-0.4632
D-	-12.55	-0.3088
C-	-62.75	-0.3088
B-	-50.47	0
A	0	0
B	50.47	0
C	62.75	0.3088
D	12.55	0.3088
E	12.55	0.4632



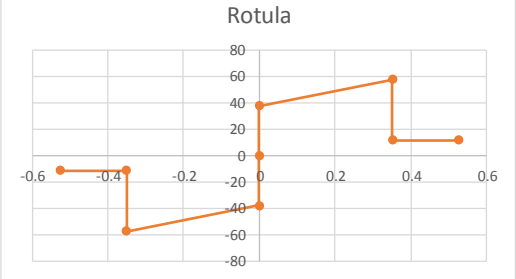


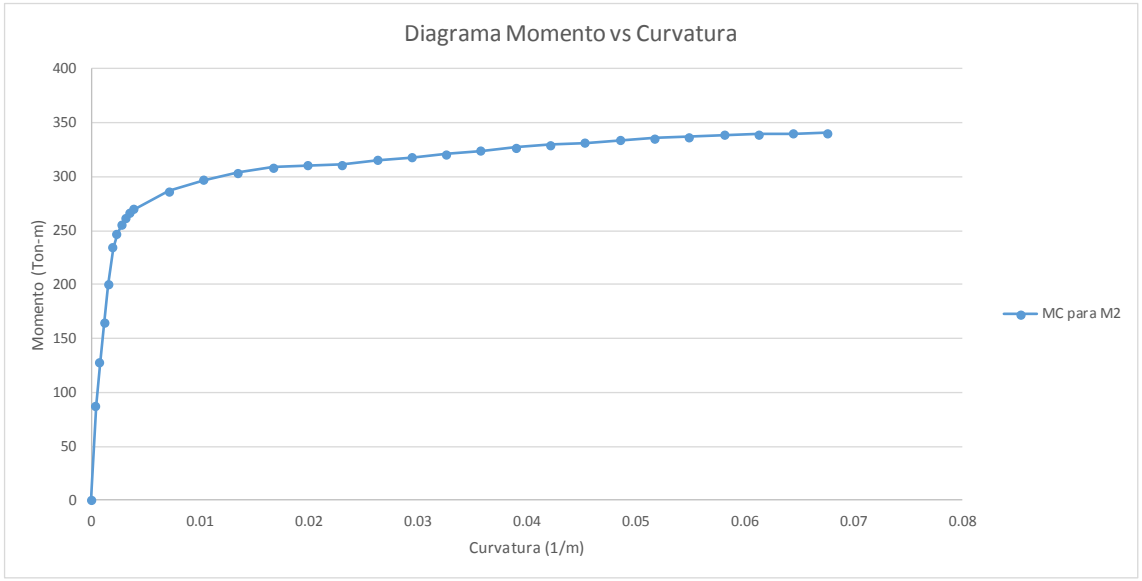
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-58.02	-0.10653
D-	-58.02	-0.07102
C-	-290.1	-0.07102
B-	-168.7	0
A	0	0
B	168.7	0
C	290.1	0.07102
D	58.02	0.07102
E	58.02	0.10653



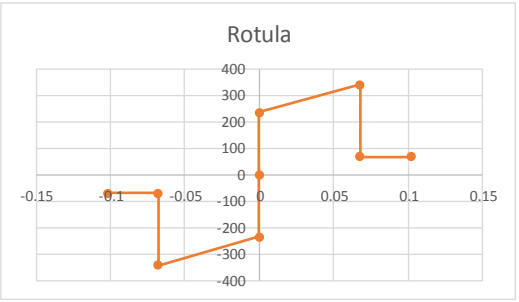


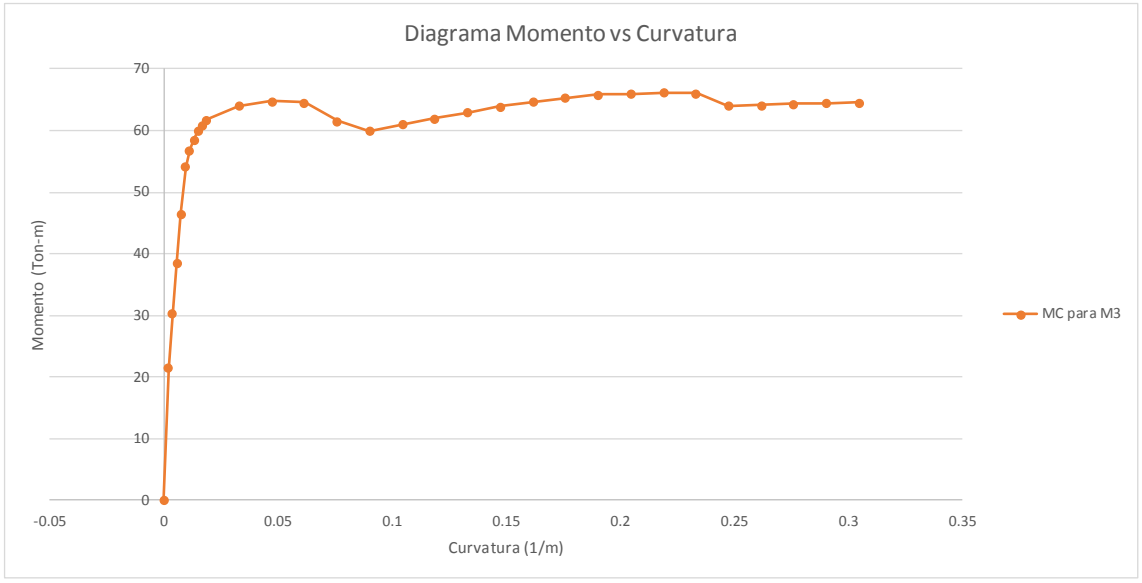
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-11.5	-0.5262
D-	-11.5	-0.3508
C-	-57.5	-0.3508
B-	-37.84	0
A	0	0
B	37.84	0
C	57.5	0.3508
D	11.5	0.3508
E	11.5	0.5262



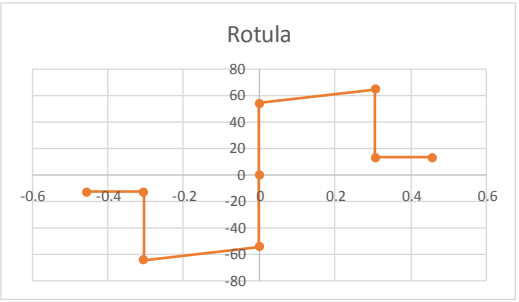


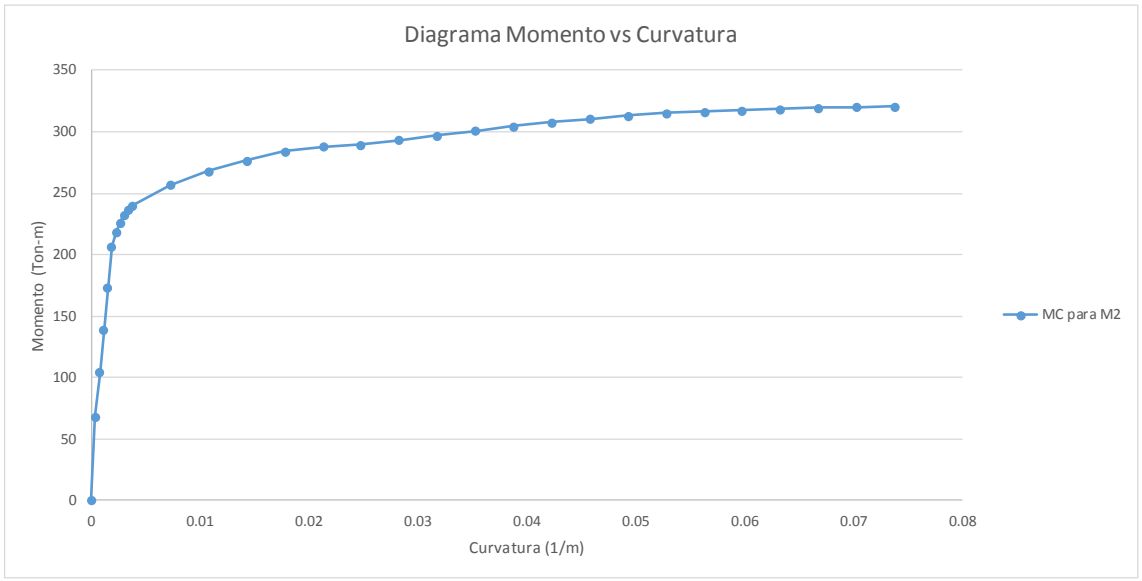
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-68.2	-0.10158
D-	-68.2	-0.06772
C-	-341	-0.06772
B-	-234.7	0
A	0	0
B	234.7	0
C	341	0.06772
D	68.2	0.06772
E	68.2	0.10158



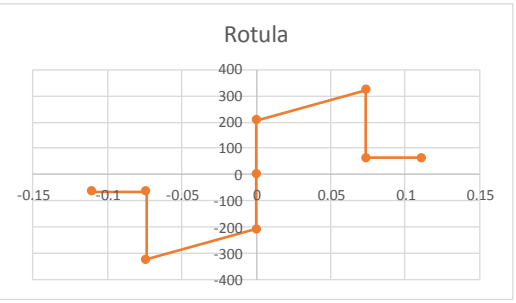


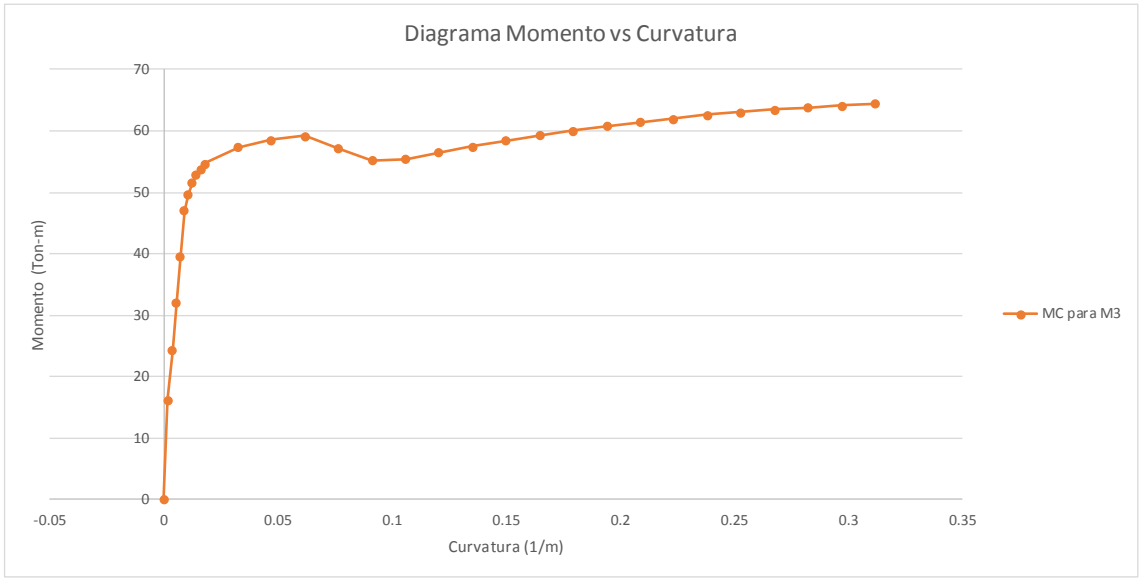
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-12.918	-0.4575
D-	-12.918	-0.305
C-	-64.59	-0.305
B-	-54.16	0
A	0	0
B	54.16	0
C	64.59	0.305
D	12.918	0.305
E	12.918	0.4575



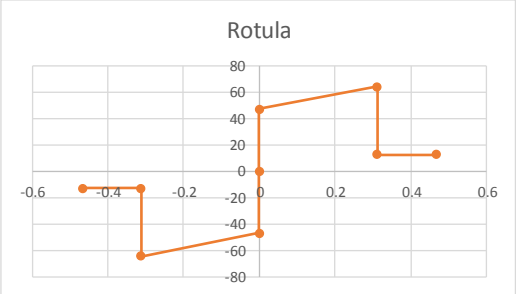


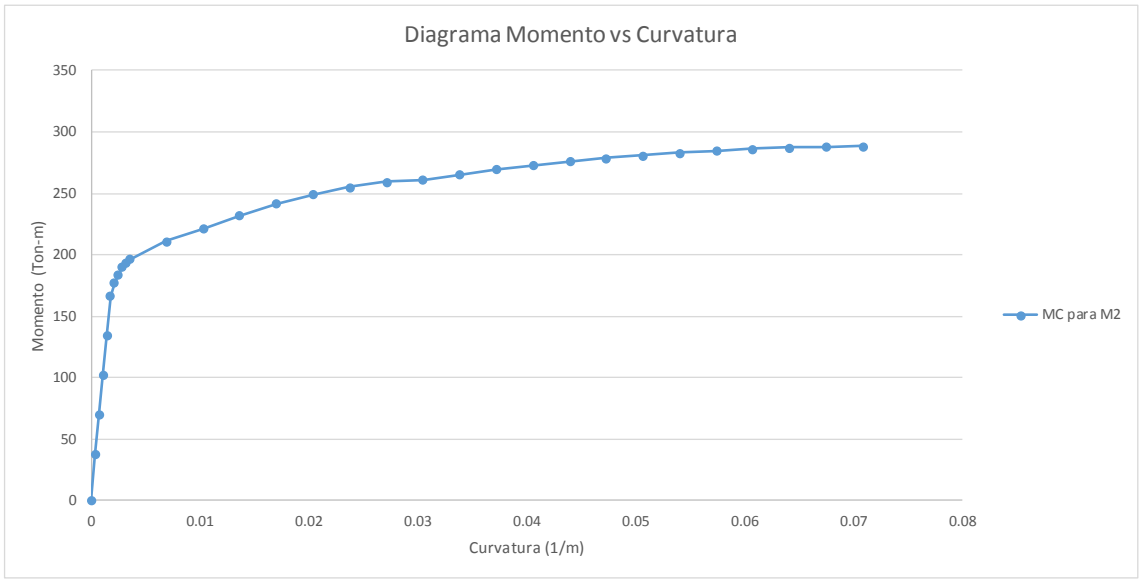
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-64.16	-0.11079
D-	-64.16	-0.07386
C-	-320.8	-0.07386
B-	-206.8	0
A	0	0
B	206.8	0
C	320.8	0.07386
D	64.16	0.07386
E	64.16	0.11079



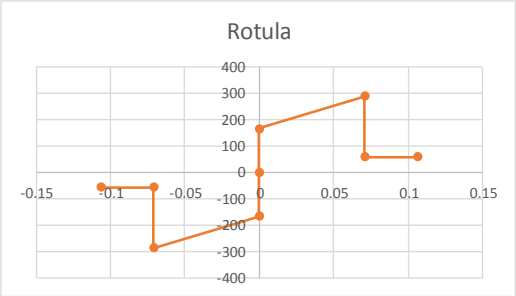


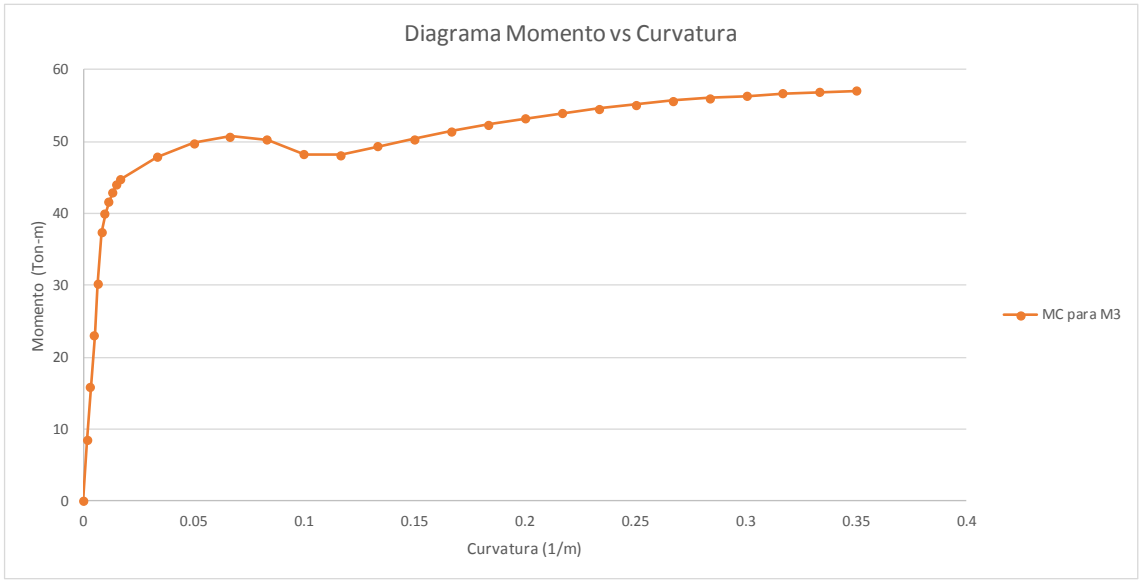
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-12.888	-0.46785
D-	-12.888	-0.3119
C-	-64.44	-0.3119
B-	-47.05	0
A	0	0
B	47.05	0
C	64.44	0.3119
D	12.888	0.3119
E	12.888	0.46785



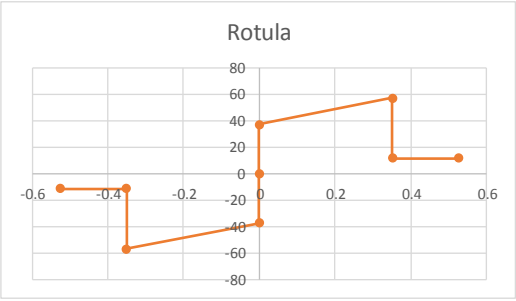


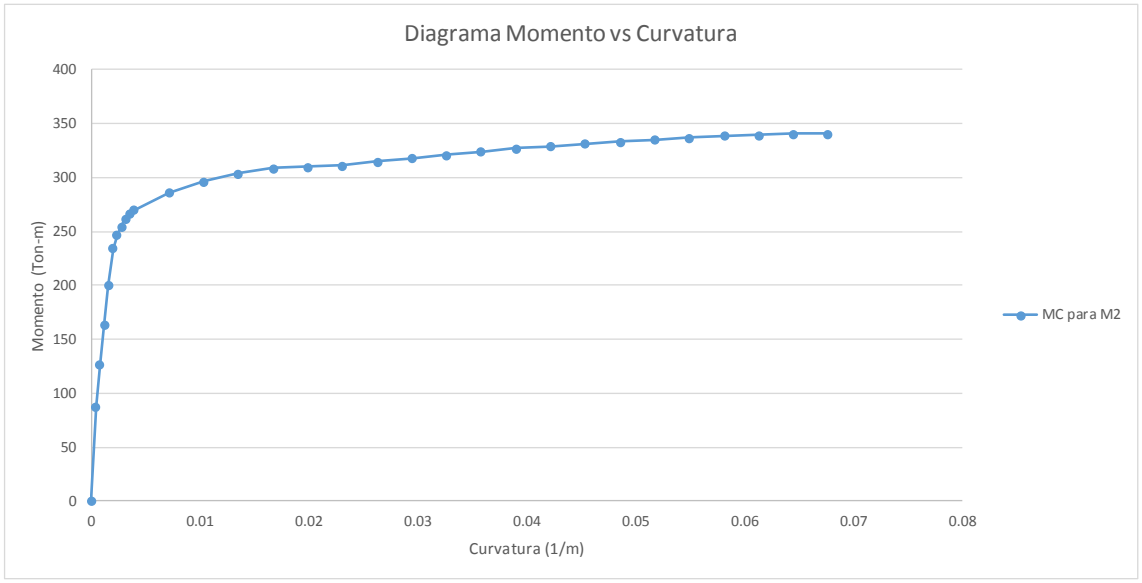
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-57.64	-0.106365
D-	-57.64	-0.07091
C-	-288.2	-0.07091
B-	-166.8	0
A	0	0
B	166.8	0
C	288.2	0.07091
D	57.64	0.07091
E	57.64	0.106365



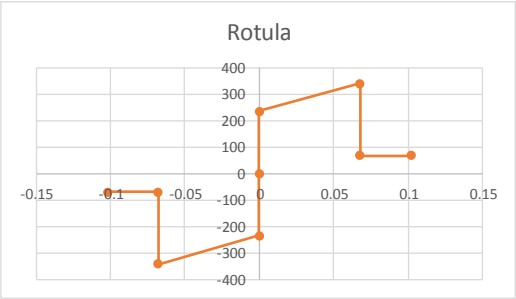


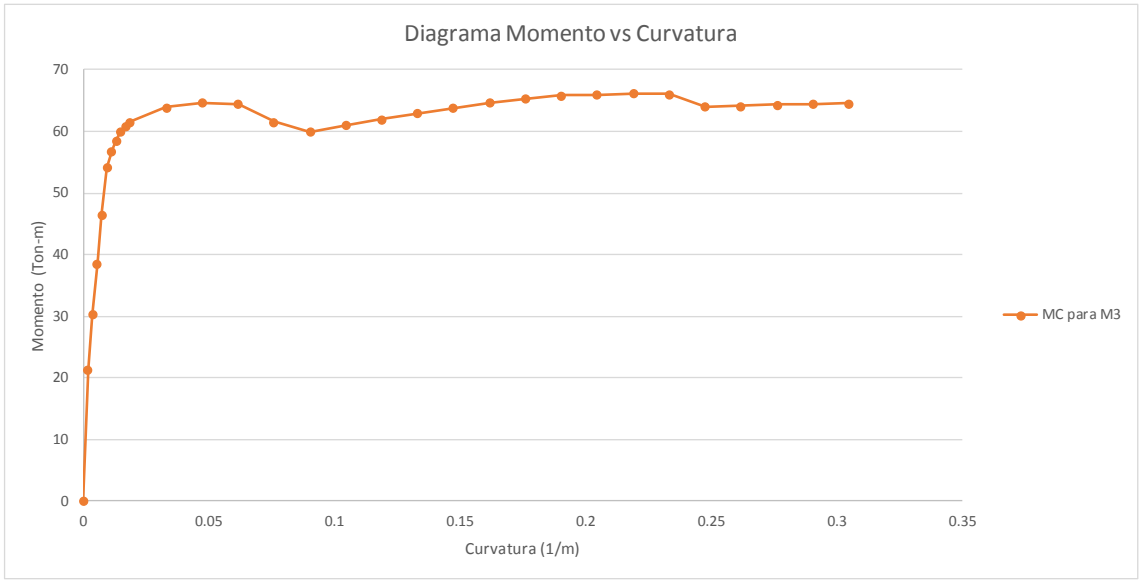
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-11.418	-0.5259
D-	-11.418	-0.3506
C-	-57.09	-0.3506
B-	-37.39	0
A	0	0
B	37.39	0
C	57.09	0.3506
D	11.418	0.3506
E	11.418	0.5259



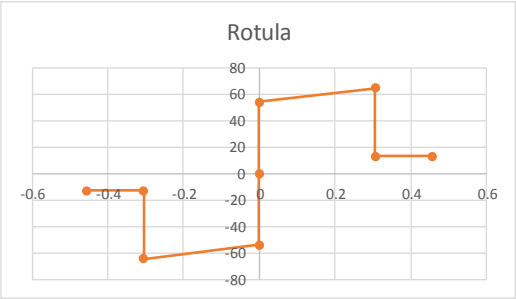


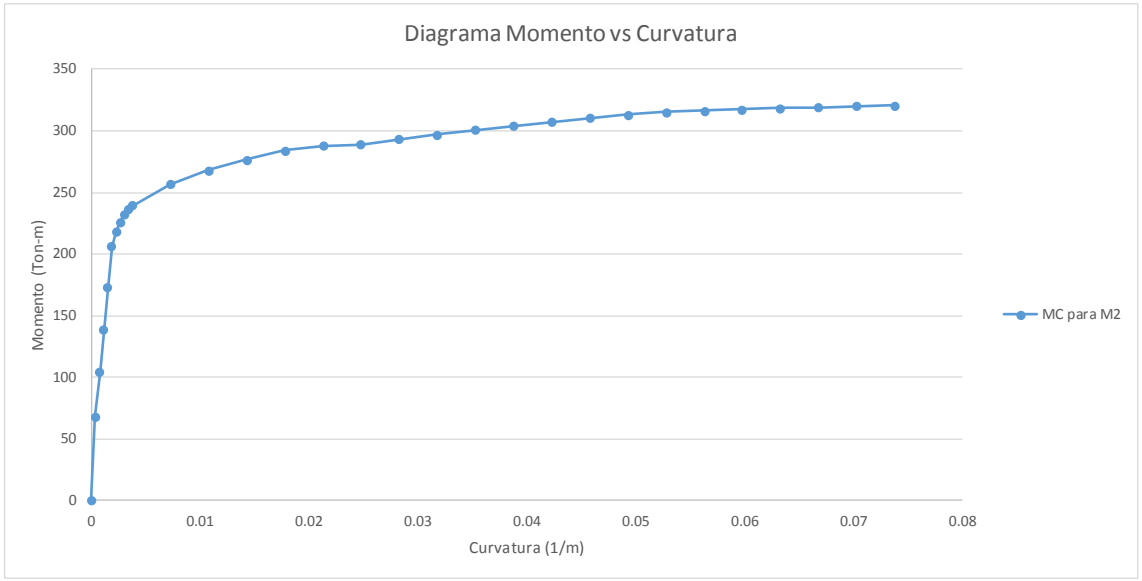
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-68.2	-0.10158
D-	-68.2	-0.06772
C-	-341	-0.06772
B-	-234.7	0
A	0	0
B	234.7	0
C	341	0.06772
D	68.2	0.06772
E	68.2	0.10158



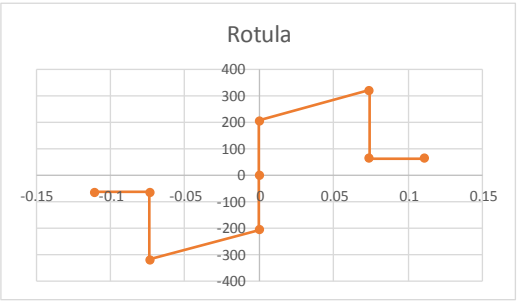


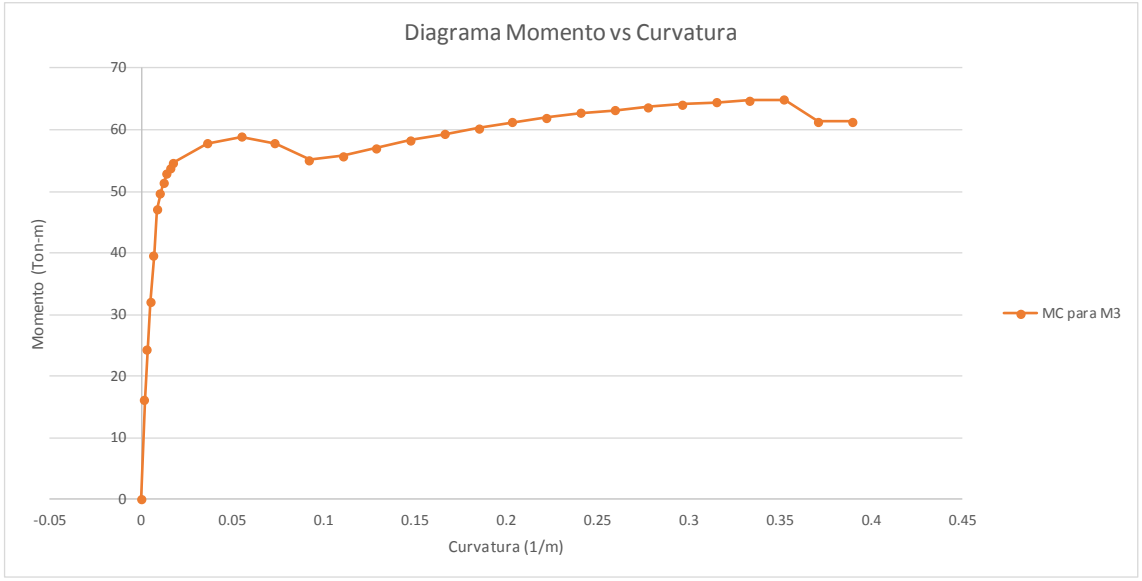
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-12.916	-0.4575
D-	-12.916	-0.305
C-	-64.58	-0.305
B-	-54.11	0
A	0	0
B	54.11	0
C	64.58	0.305
D	12.916	0.305
E	12.916	0.4575



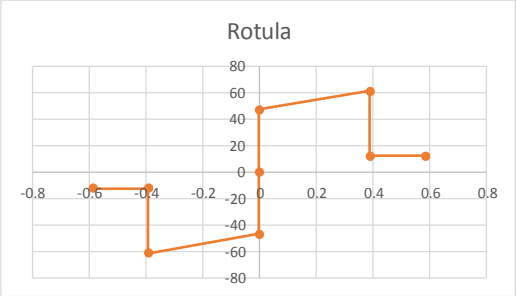


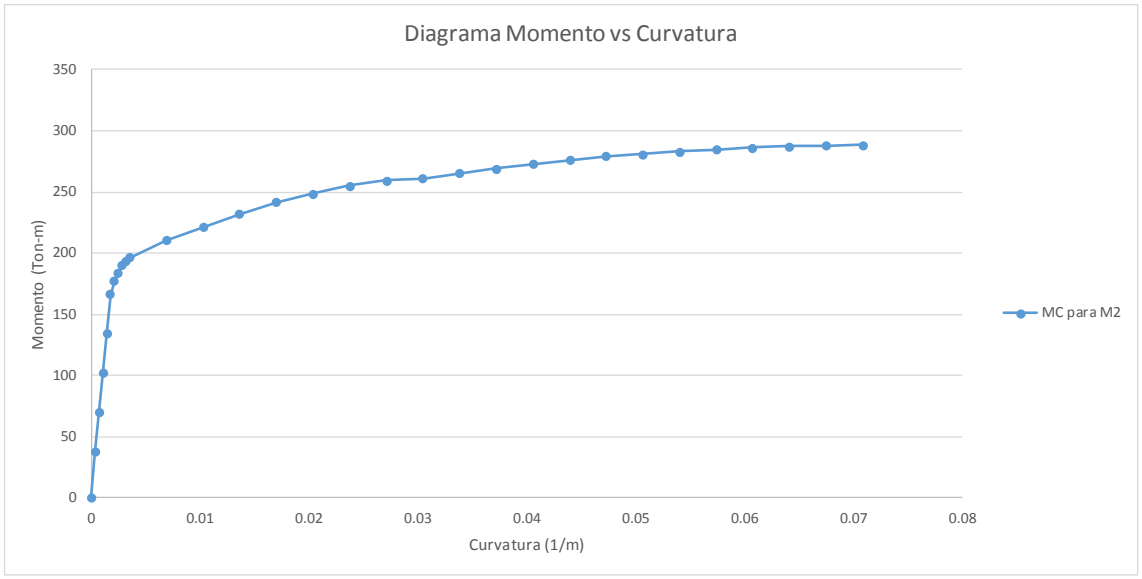
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-64.14	-0.11079
D-	-64.14	-0.07386
C-	-320.7	-0.07386
B-	-206.5	0
A	0	0
B	206.5	0
C	320.7	0.07386
D	64.14	0.07386
E	64.14	0.11079



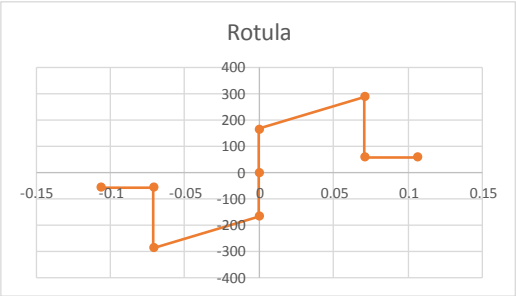


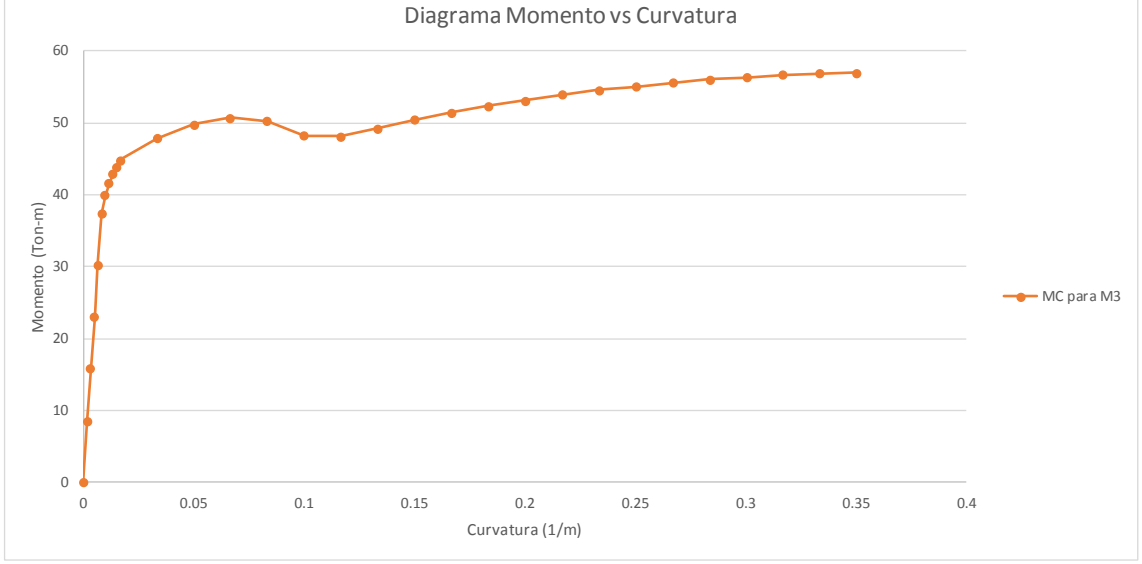
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-12.272	-0.5847
D-	-12.272	-0.3898
C-	-61.36	-0.3898
B-	-47.09	0
A	0	0
B	47.09	0
C	61.36	0.3898
D	12.272	0.3898
E	12.272	0.5847



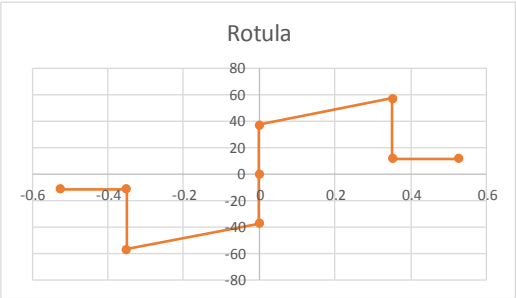


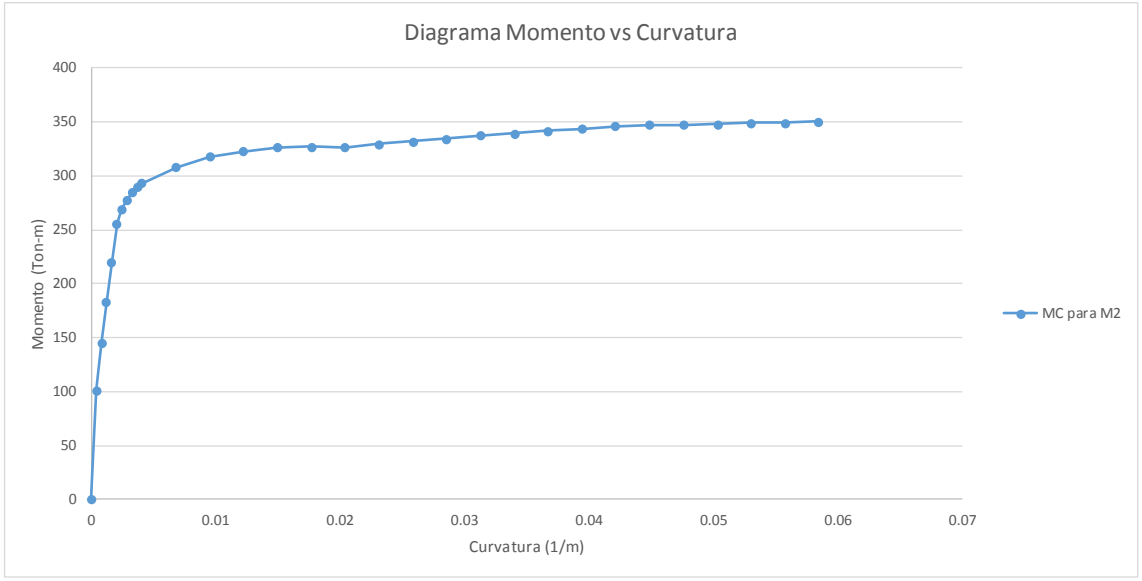
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-57.64	-0.106365
D-	-57.64	-0.07091
C-	-288.2	-0.07091
B-	-166.4	0
A	0	0
B	166.4	0
C	288.2	0.07091
D	57.64	0.07091
E	57.64	0.106365



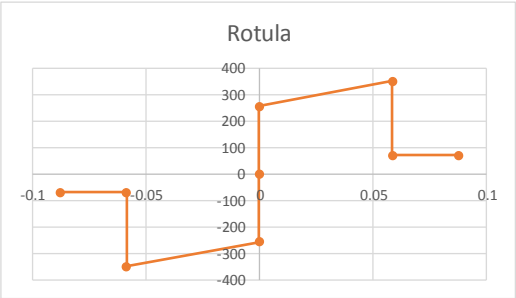


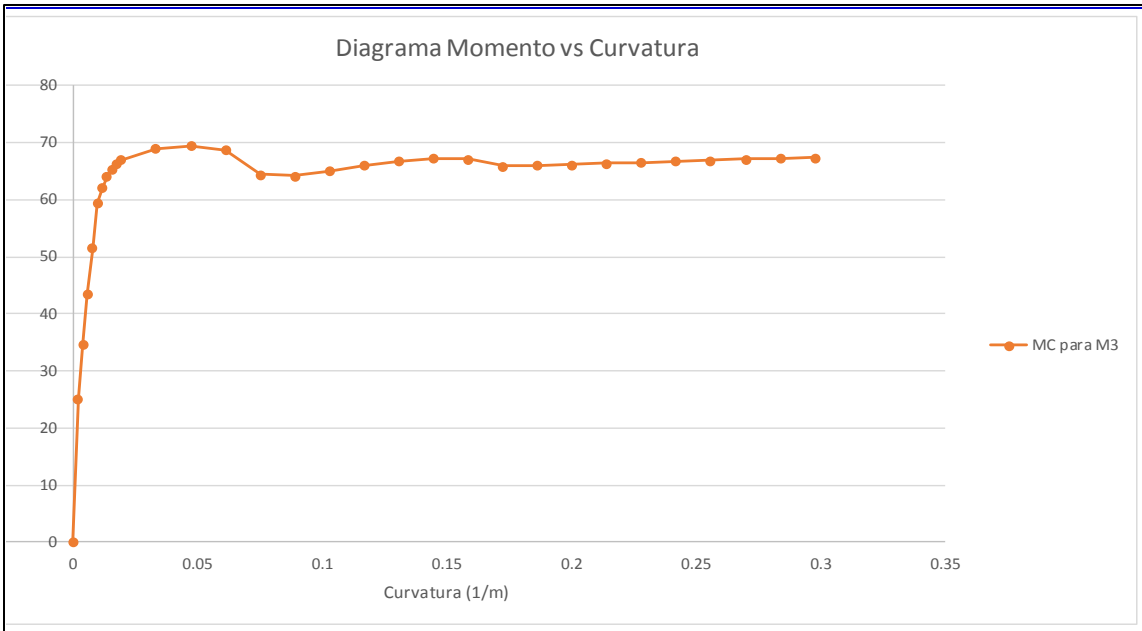
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-11.404	-0.5259
D-	-11.404	-0.3506
C-	-57.02	-0.3506
B-	-37.35	0
A	0	0
B	37.35	0
C	57.02	0.3506
D	11.404	0.3506
E	11.404	0.5259



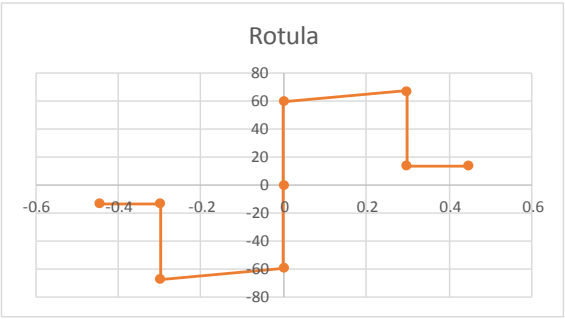


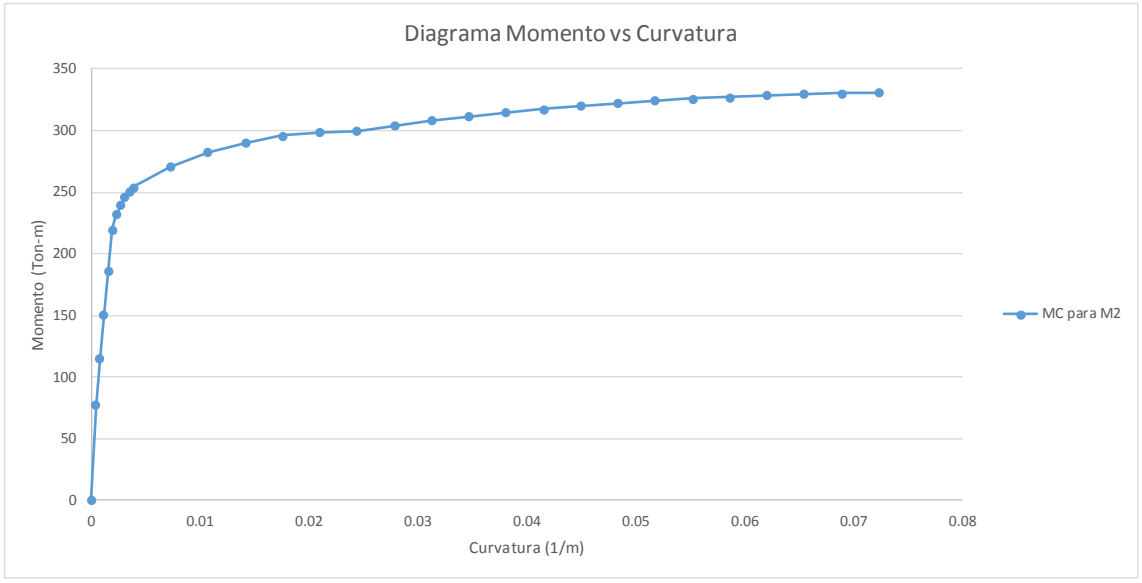
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-70.06	-0.08775
D-	-70.06	-0.0585
C-	-350.3	-0.0585
B-	-255.9	0
A	0	0
B	255.9	0
C	350.3	0.0585
D	70.06	0.0585
E	70.06	0.08775



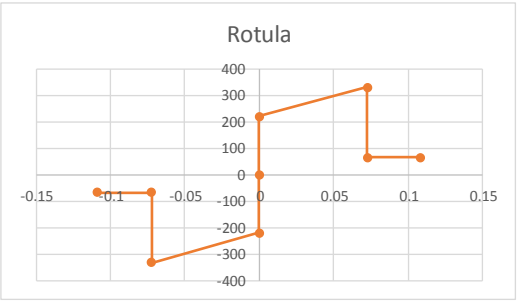


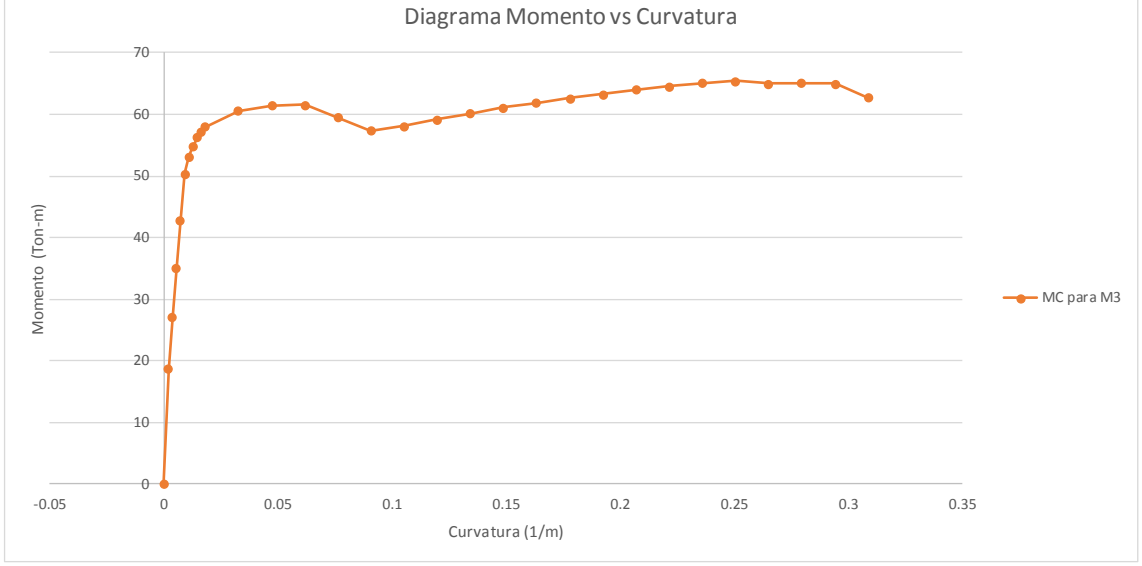
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-13.472	-0.4467
D-	-13.472	-0.2978
C-	-67.36	-0.2978
B-	-59.46	0
A	0	0
B	59.46	0
C	67.36	0.2978
D	13.472	0.2978
E	13.472	0.4467



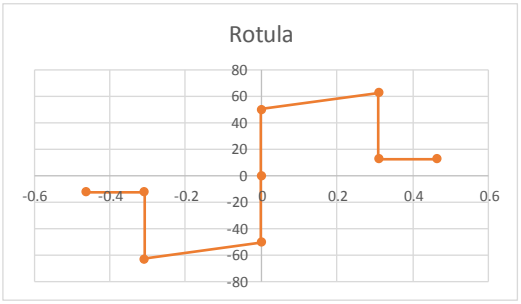


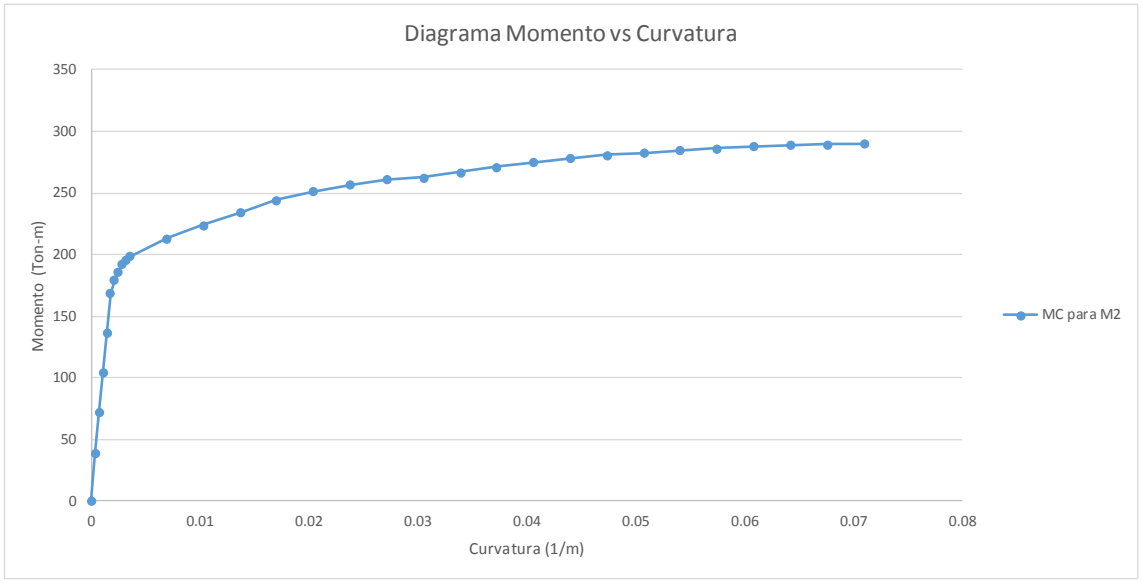
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-66.16	-0.10854
D-	-66.16	-0.07236
C-	-330.8	-0.07236
B-	-219.9	0
A	0	0
B	219.9	0
C	330.8	0.07236
D	66.16	0.07236
E	66.16	0.10854



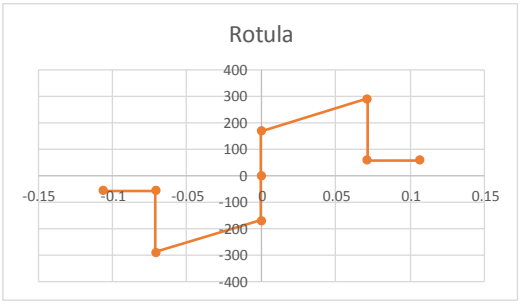


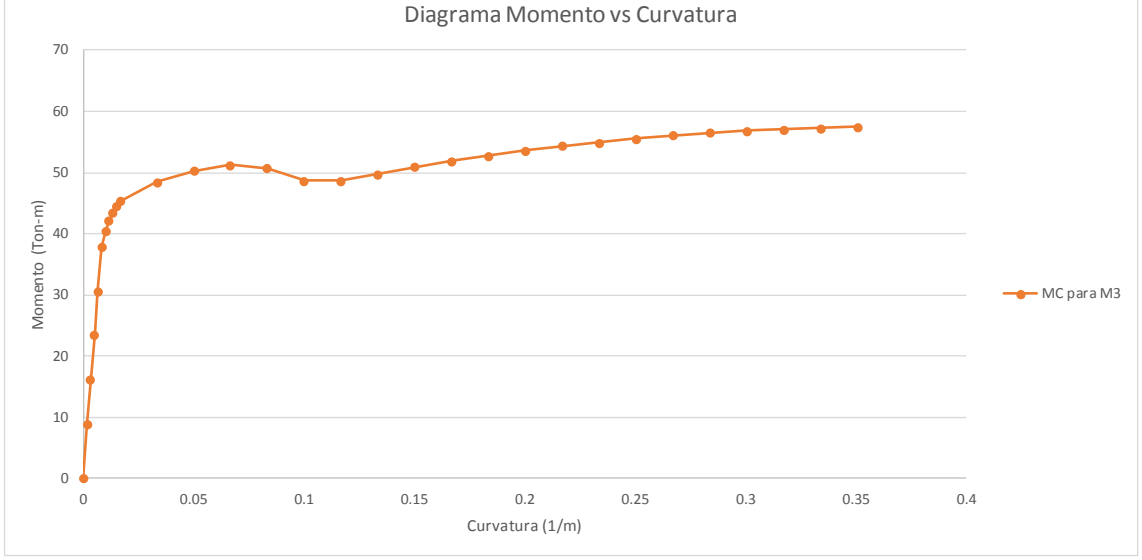
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-12.546	-0.4632
D-	-12.546	-0.3088
C-	-62.73	-0.3088
B-	-50.41	0
A	0	0
B	50.41	0
C	62.73	0.3088
D	12.546	0.3088
E	12.546	0.4632



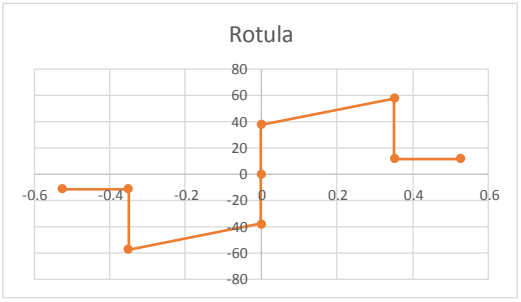


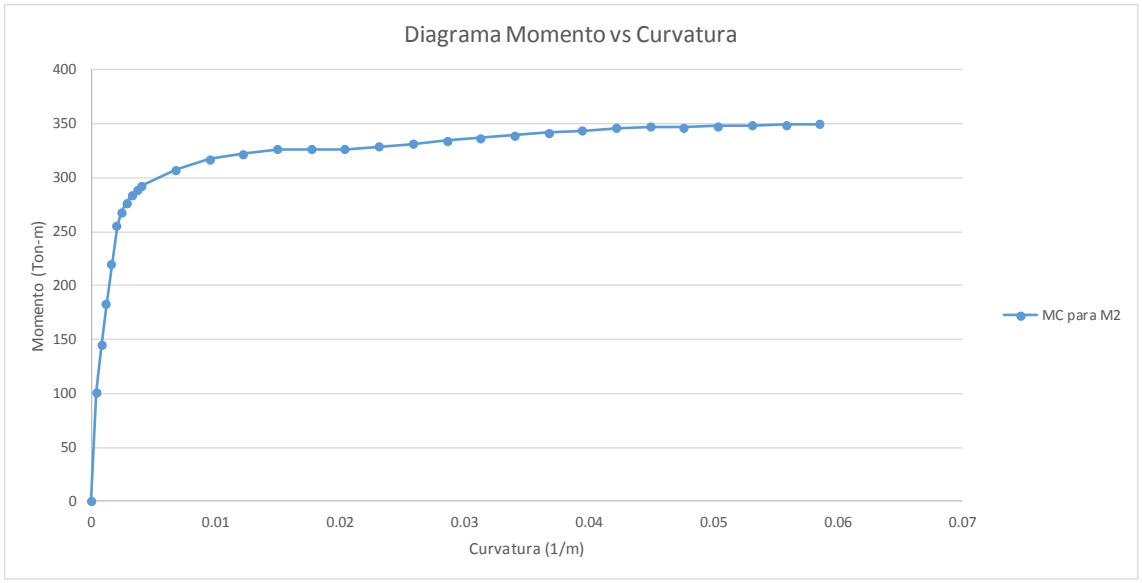
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-58.02	-0.10653
D-	-58.02	-0.07102
C-	-290.1	-0.07102
B-	-168.7	0
A	0	0
B	168.7	0
C	290.1	0.07102
D	58.02	0.07102
E	58.02	0.10653



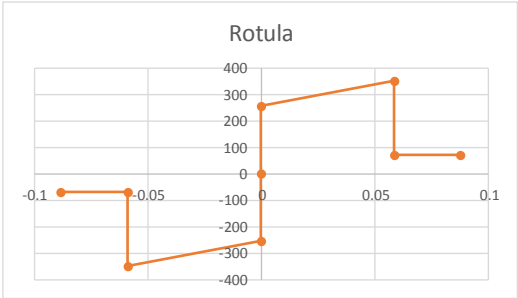


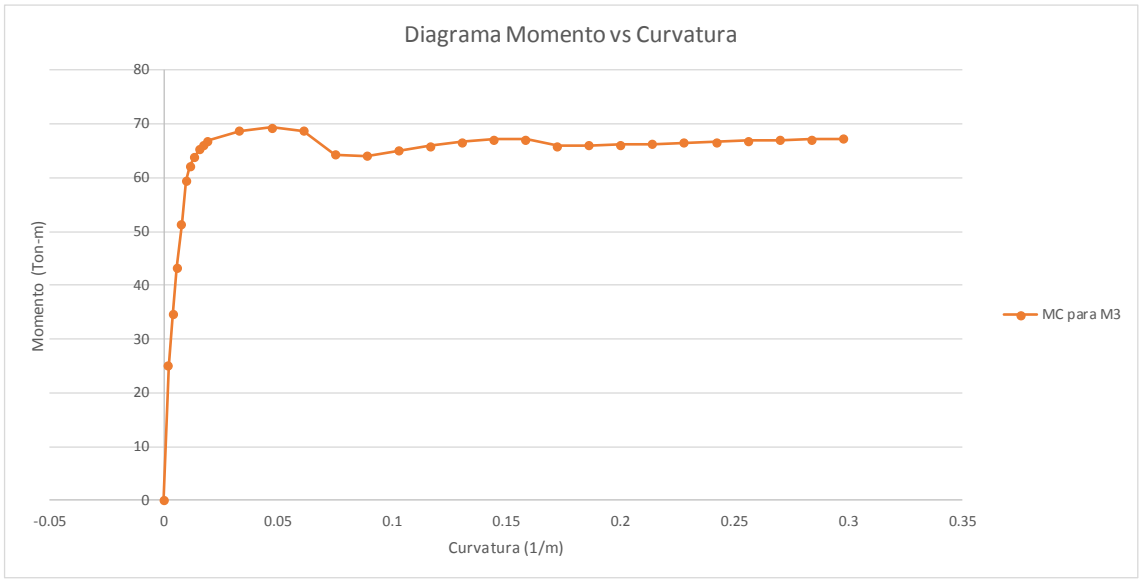
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-11.49	-0.5262
D-	-11.49	-0.3508
C-	-57.45	-0.3508
B-	-37.87	0
A	0	0
B	37.87	0
C	57.45	0.3508
D	11.49	0.3508
E	11.49	0.5262



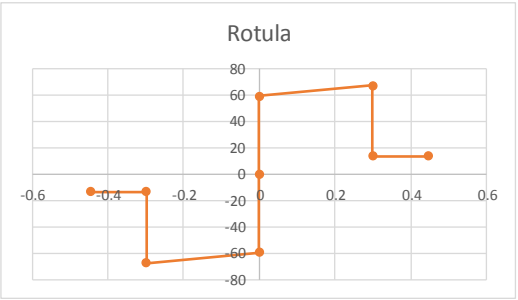


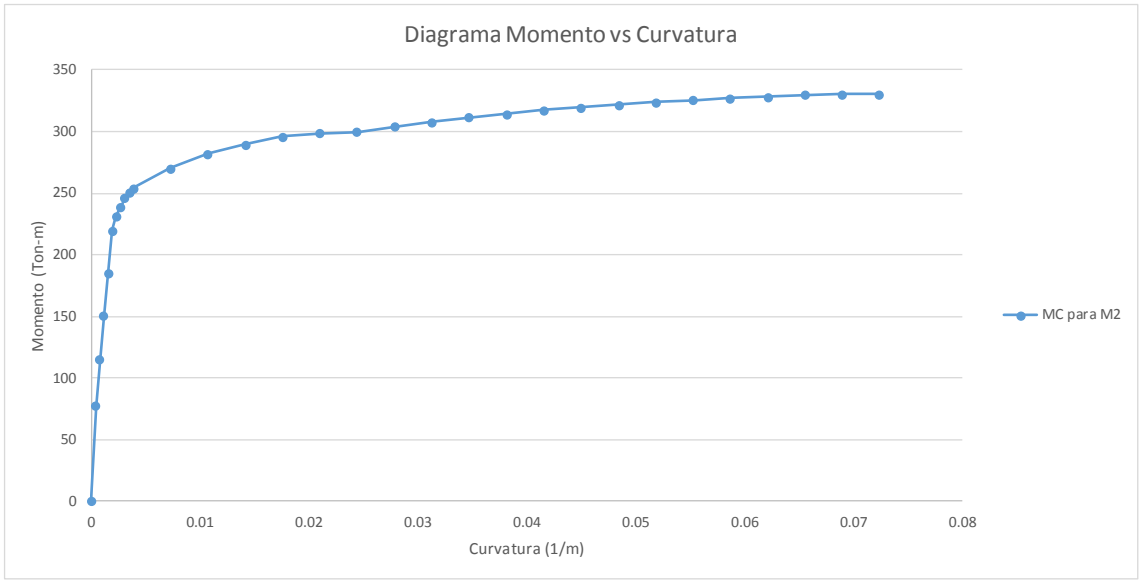
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-70	-0.08787
D-	-70	-0.05858
C-	-350	-0.05858
B-	-255.7	0
A	0	0
B	255.7	0
C	350	0.05858
D	70	0.05858
E	70	0.08787



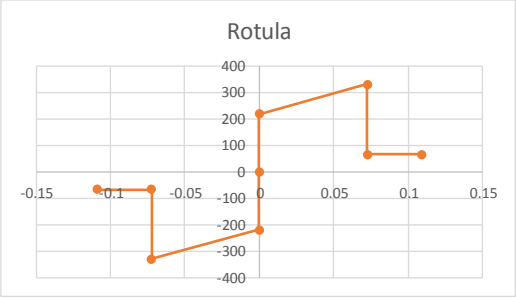


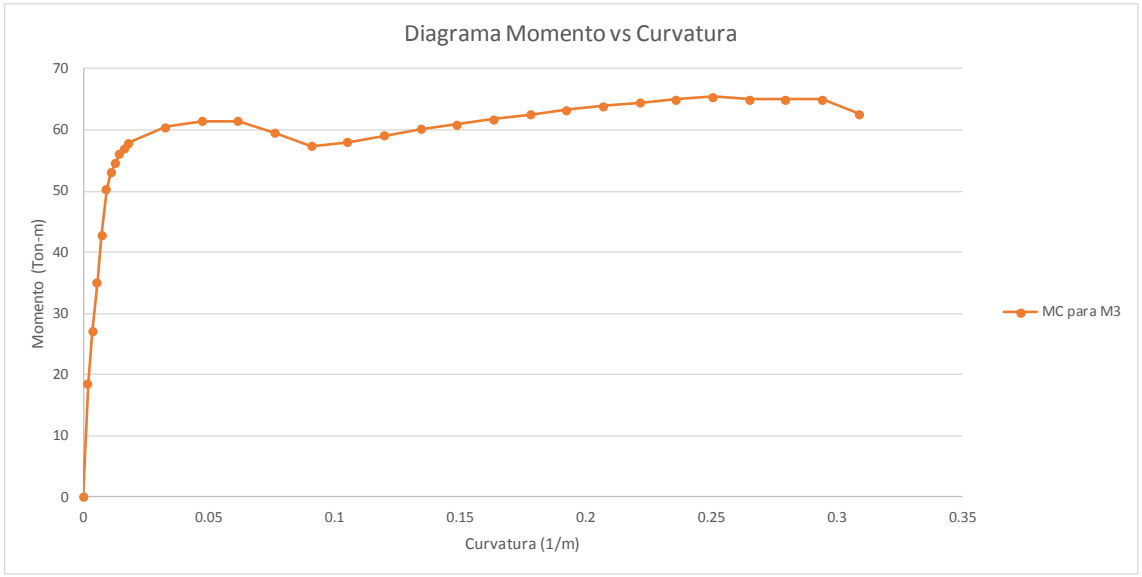
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-13.468	-0.447
D-	-13.468	-0.298
C-	-67.34	-0.298
B-	-59.38	0
A	0	0
B	59.38	0
C	67.34	0.298
D	13.468	0.298
E	13.468	0.447



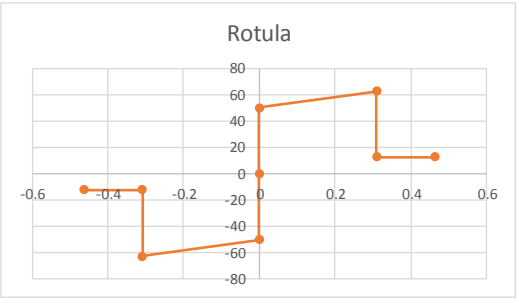


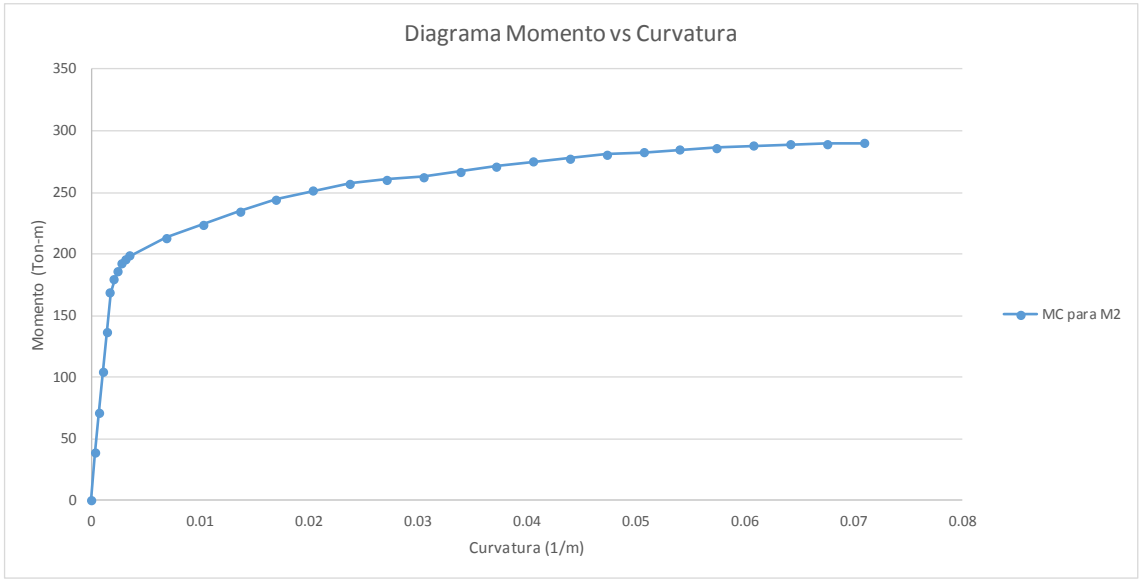
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-66.1	-0.10866
D-	-66.1	-0.07244
C-	-330.5	-0.07244
B-	-219.6	0
A	0	0
B	219.6	0
C	330.5	0.07244
D	66.1	0.07244
E	66.1	0.10866



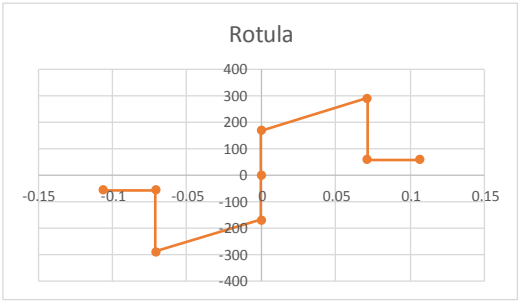


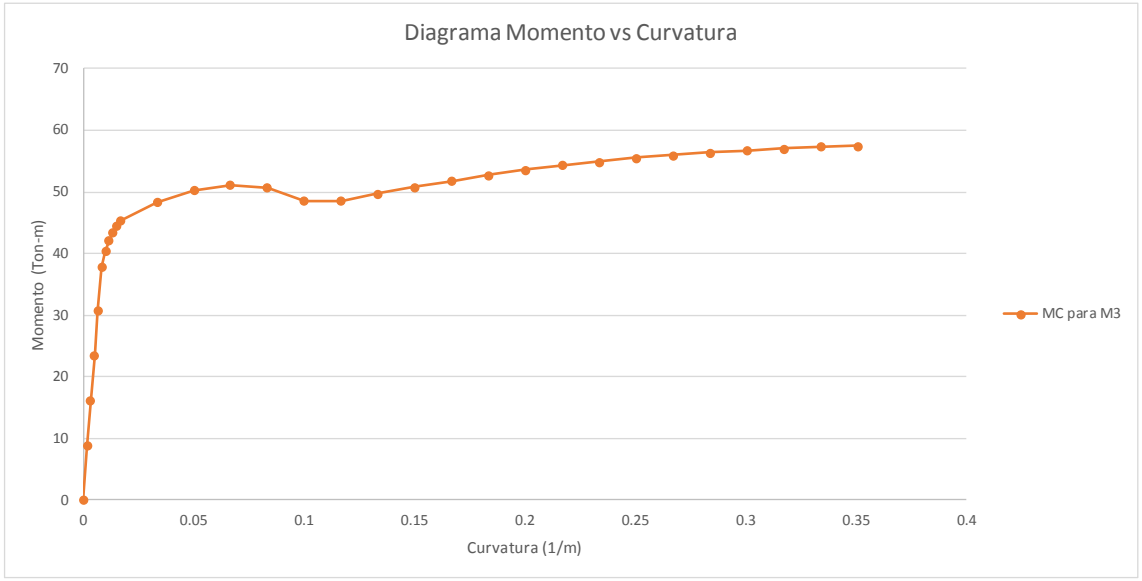
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-12.532	-0.46335
D-	-12.532	-0.3089
C-	-62.66	-0.3089
B-	-50.28	0
A	0	0
B	50.28	0
C	62.66	0.3089
D	12.532	0.3089
E	12.532	0.46335



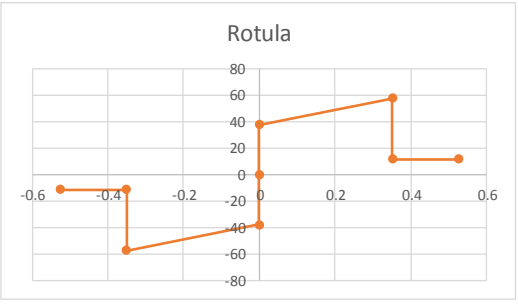


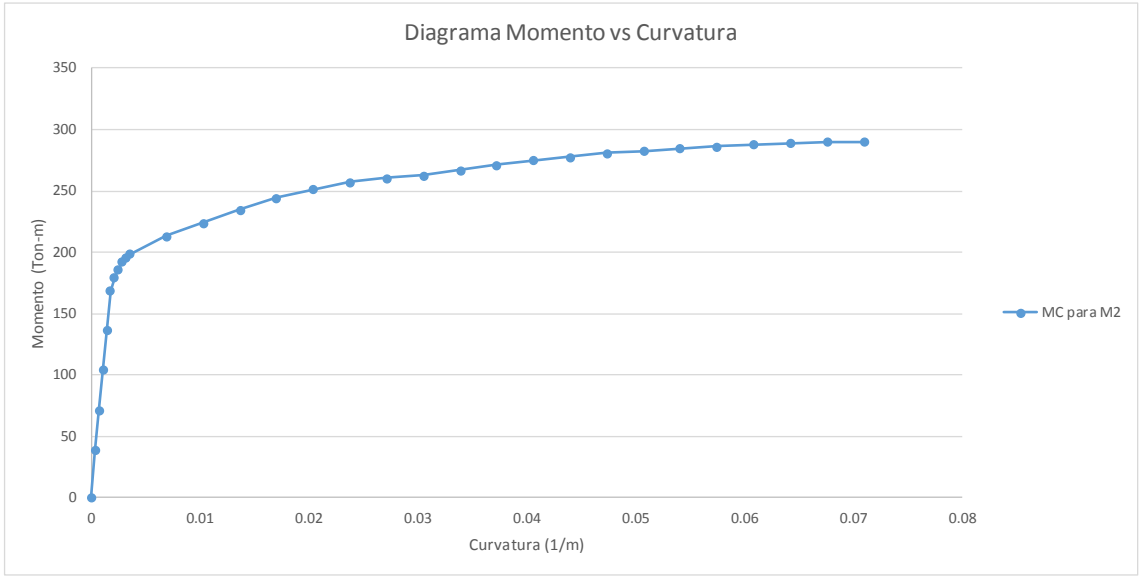
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-58	-0.10653
D-	-58	-0.07102
C-	-290	-0.07102
B-	-168.5	0
A	0	0
B	168.5	0
C	290	0.07102
D	58	0.07102
E	58	0.10653



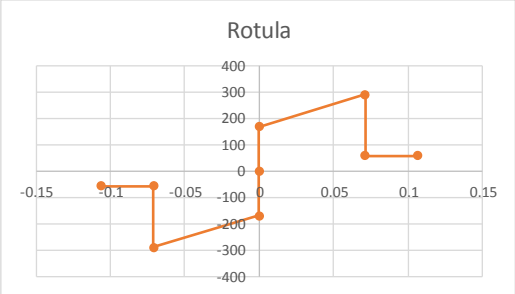


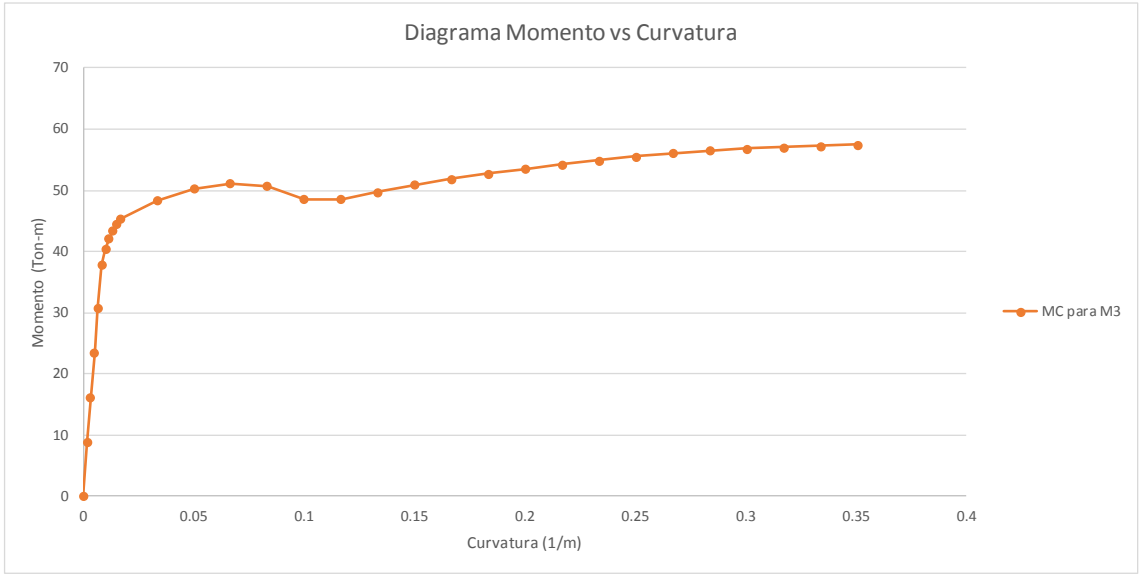
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-11.492	-0.5262
D-	-11.492	-0.3508
C-	-57.46	-0.3508
B-	-37.87	0
A	0	0
B	37.87	0
C	57.46	0.3508
D	11.492	0.3508
E	11.492	0.5262



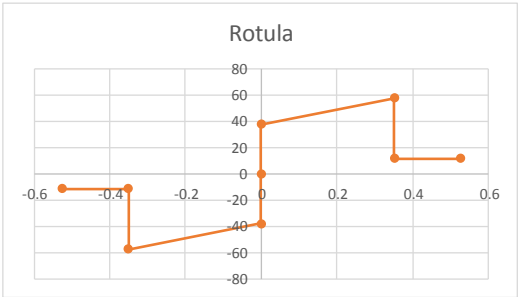


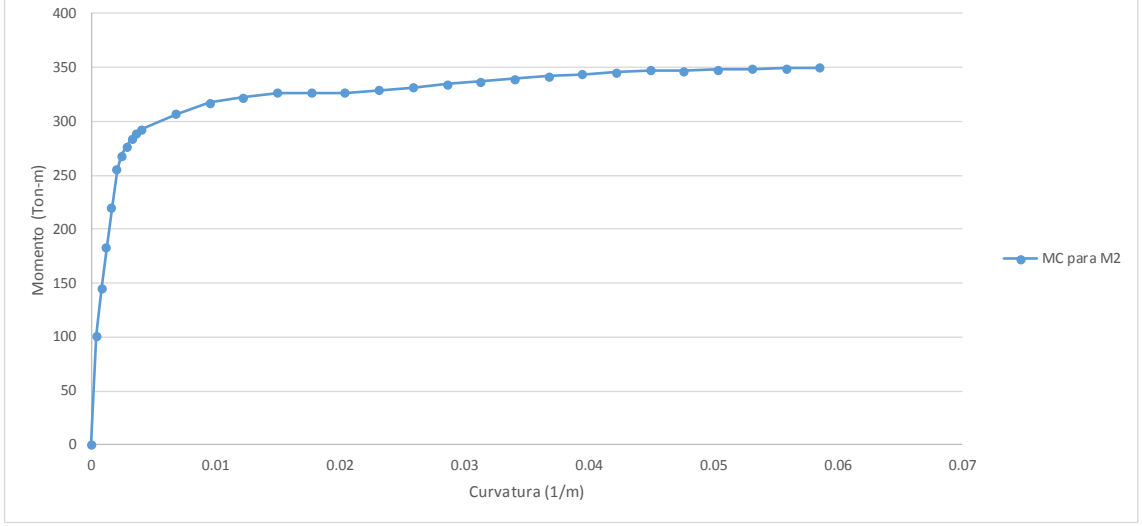
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-58.02	-0.10653
D-	-58.02	-0.07102
C-	-290.1	-0.07102
B-	-168.5	0
A	0	0
B	168.5	0
C	290.1	0.07102
D	58.02	0.07102
E	58.02	0.10653



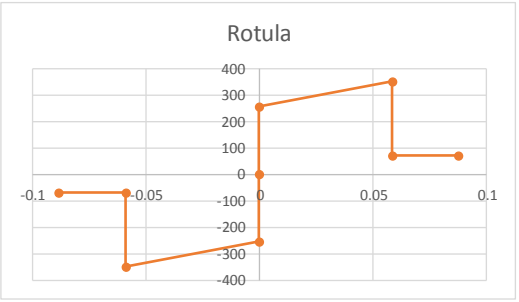


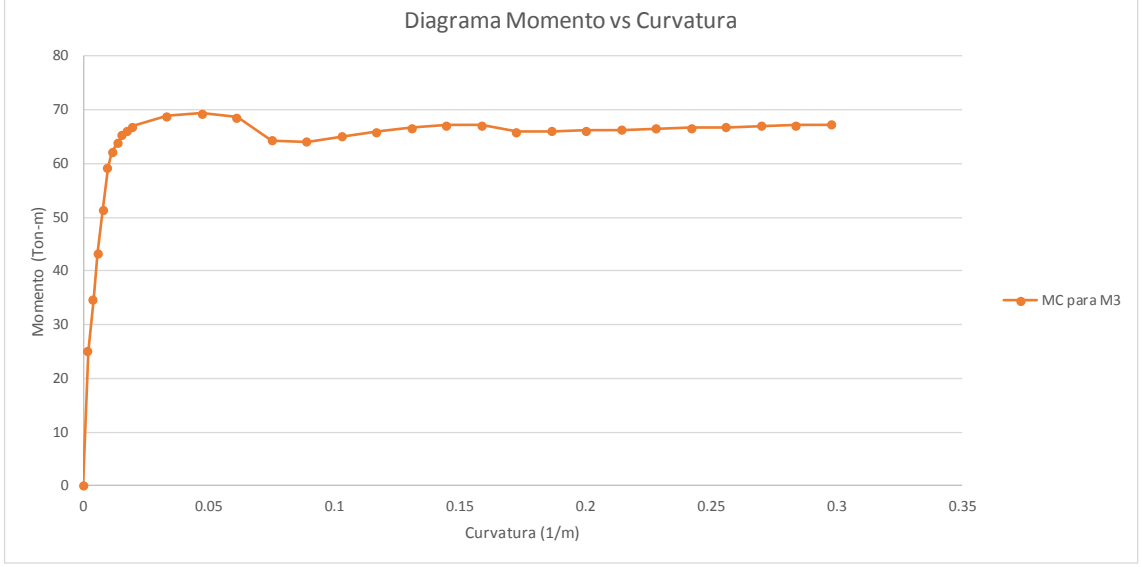
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-11.496	-0.5262
D-	-11.496	-0.3508
C-	-57.48	-0.3508
B-	-37.87	0
A	0	0
B	37.87	0
C	57.48	0.3508
D	11.496	0.3508
E	11.496	0.5262



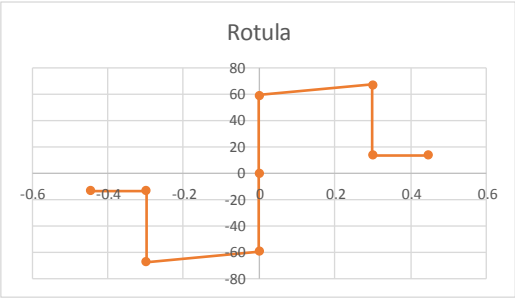


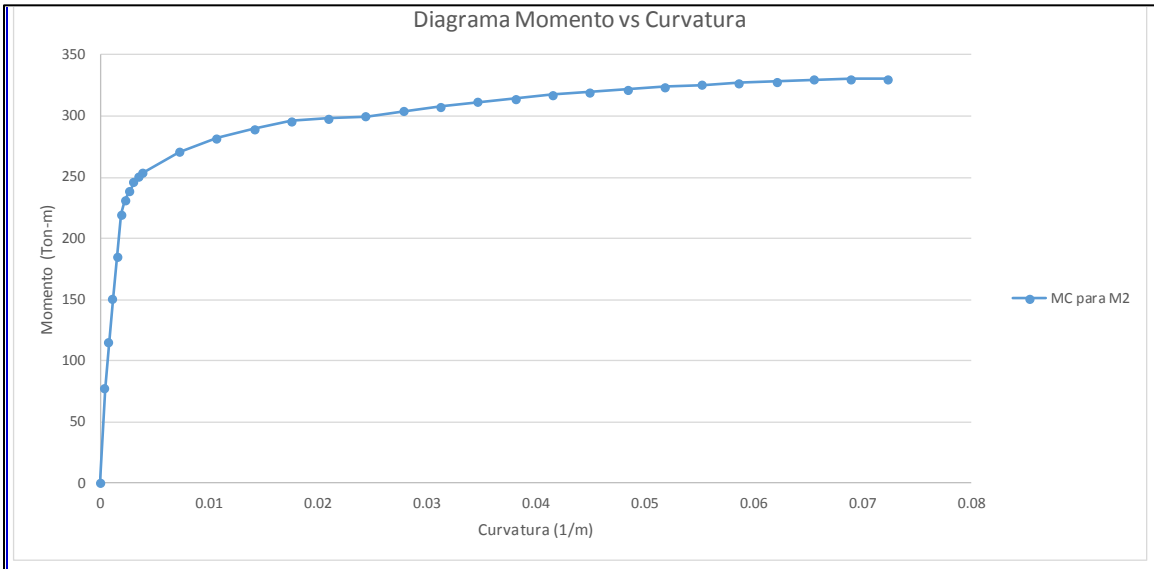
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-69.96	-0.08787
D-	-69.96	-0.05858
C-	-349.8	-0.05858
B-	-255.5	0
A	0	0
B	255.5	0
C	349.8	0.05858
D	69.96	0.05858
E	69.96	0.08787



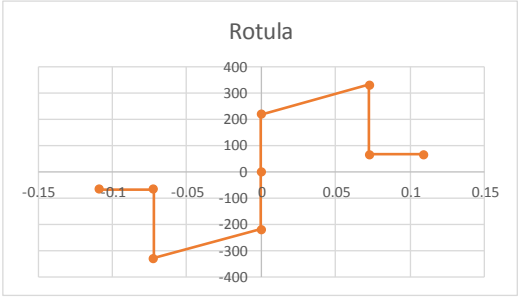


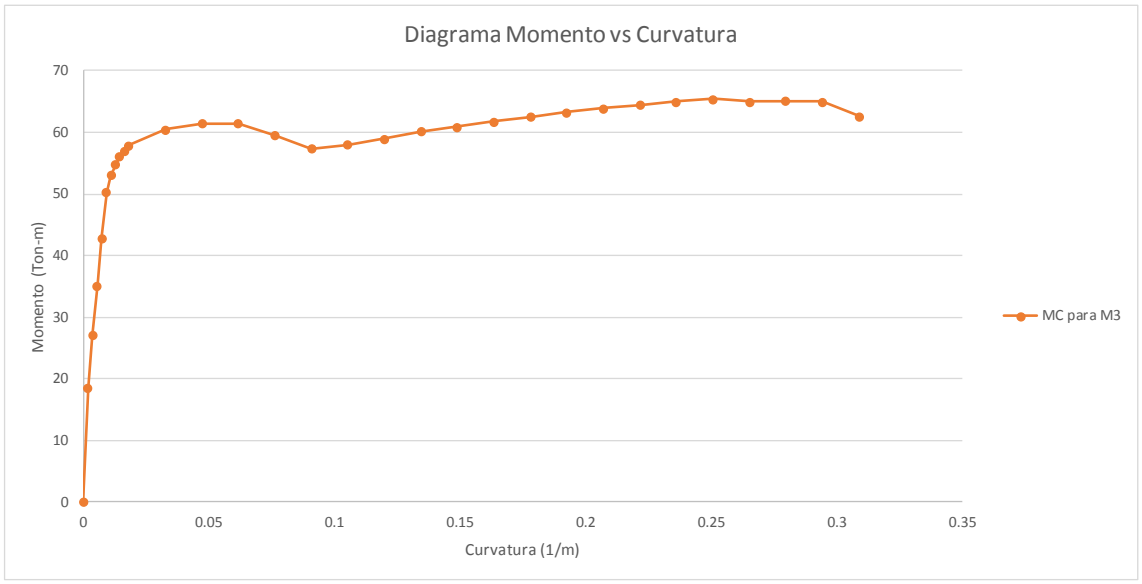
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-13.468	-0.447
D-	-13.468	-0.298
C-	-67.34	-0.298
B-	-59.32	0
A	0	0
B	59.32	0
C	67.34	0.298
D	13.468	0.298
E	13.468	0.447



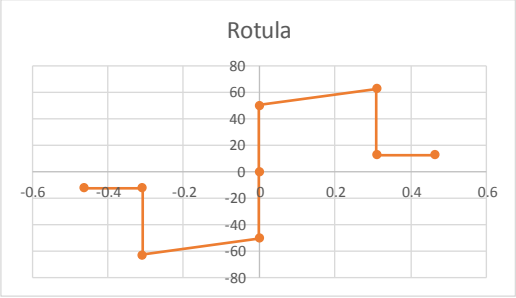


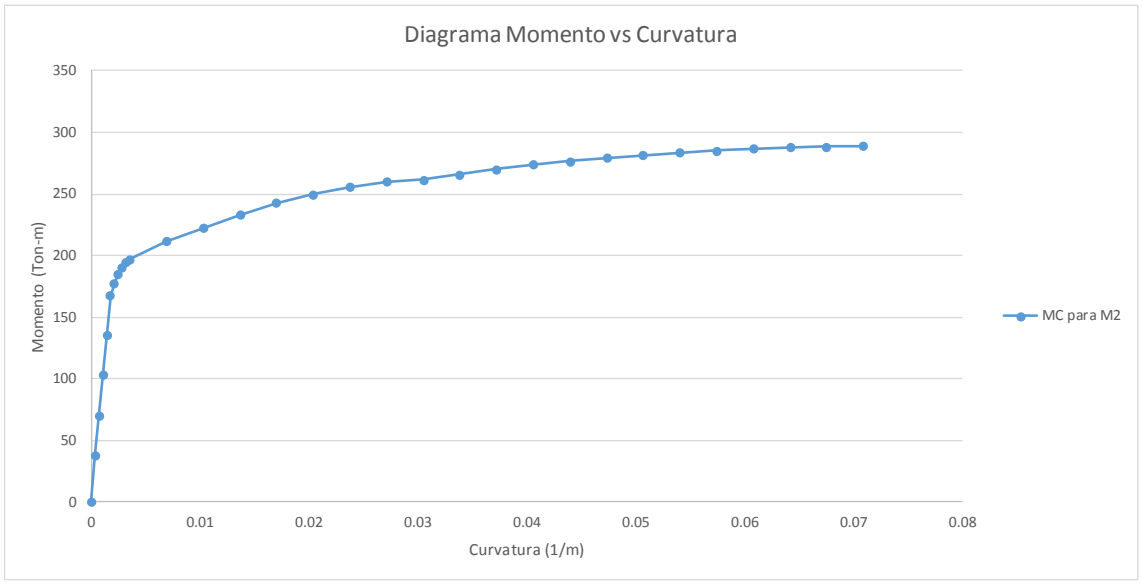
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-66.1	-0.10866
D-	-66.1	-0.07244
C-	-330.5	-0.07244
B-	-219.5	0
A	0	0
B	219.5	0
C	330.5	0.07244
D	66.1	0.07244
E	66.1	0.10866



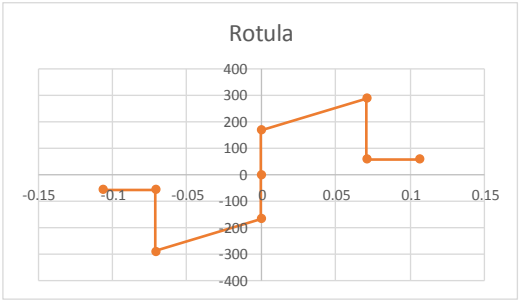


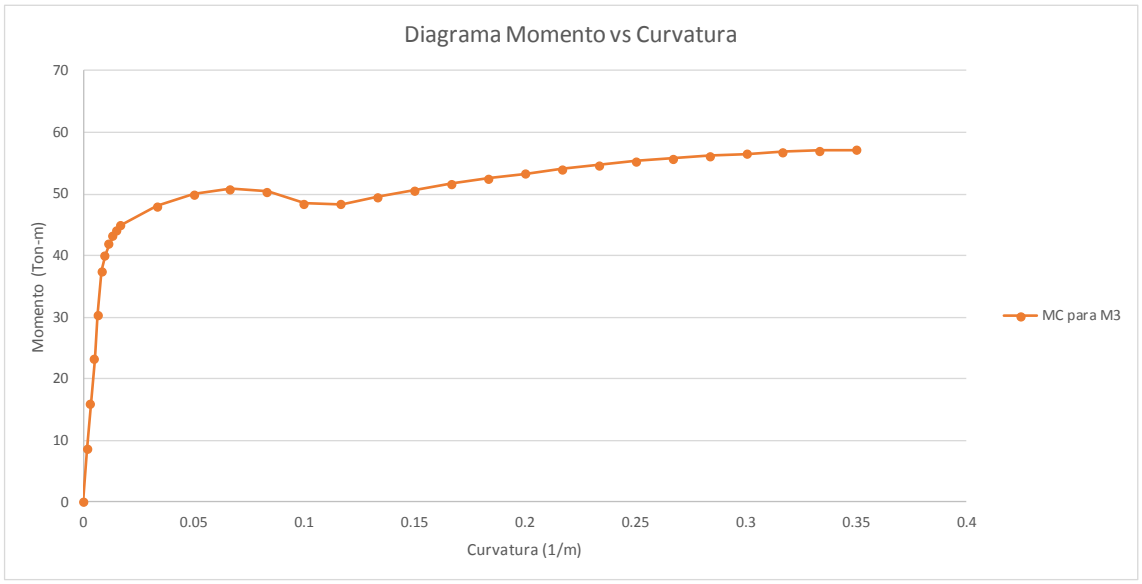
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-12.534	-0.46335
D-	-12.534	-0.3089
C-	-62.67	-0.3089
B-	-50.32	0
A	0	0
B	50.32	0
C	62.67	0.3089
D	12.534	0.3089
E	12.534	0.46335



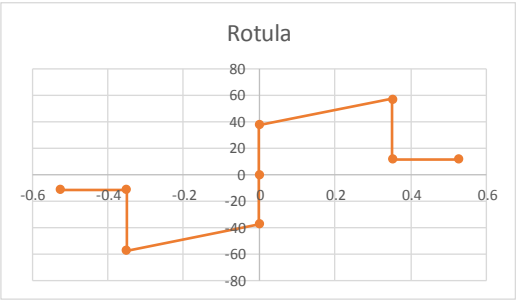


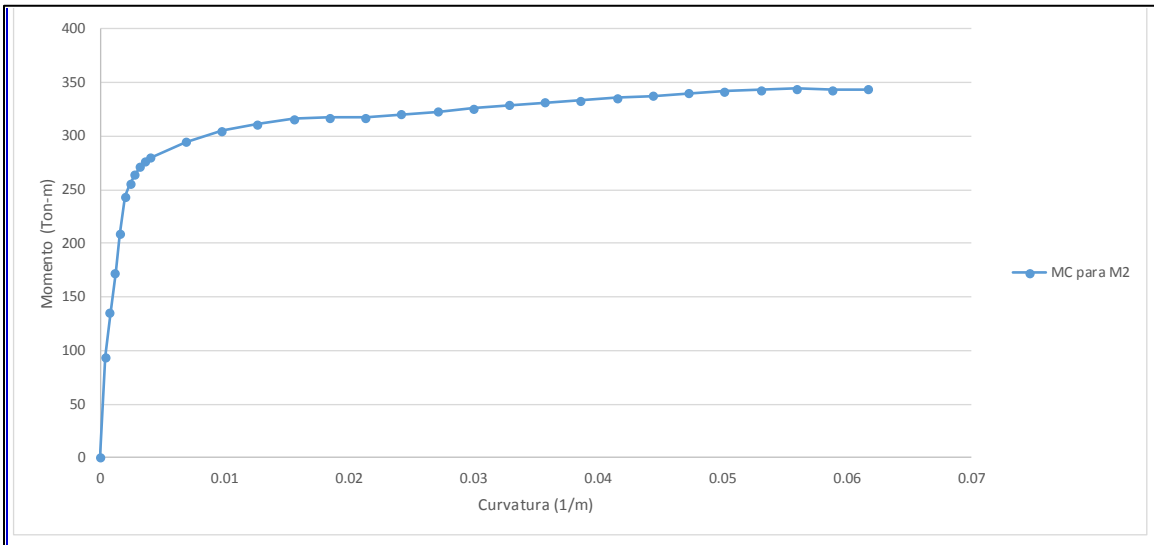
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-57.8	-0.10641
D-	-57.8	-0.07094
C-	-289	-0.07094
B-	-167.4	0
A	0	0
B	167.4	0
C	289	0.07094
D	57.8	0.07094
E	57.8	0.10641



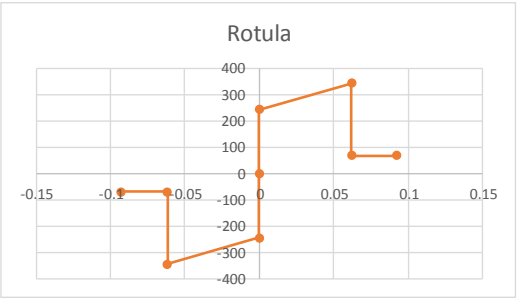


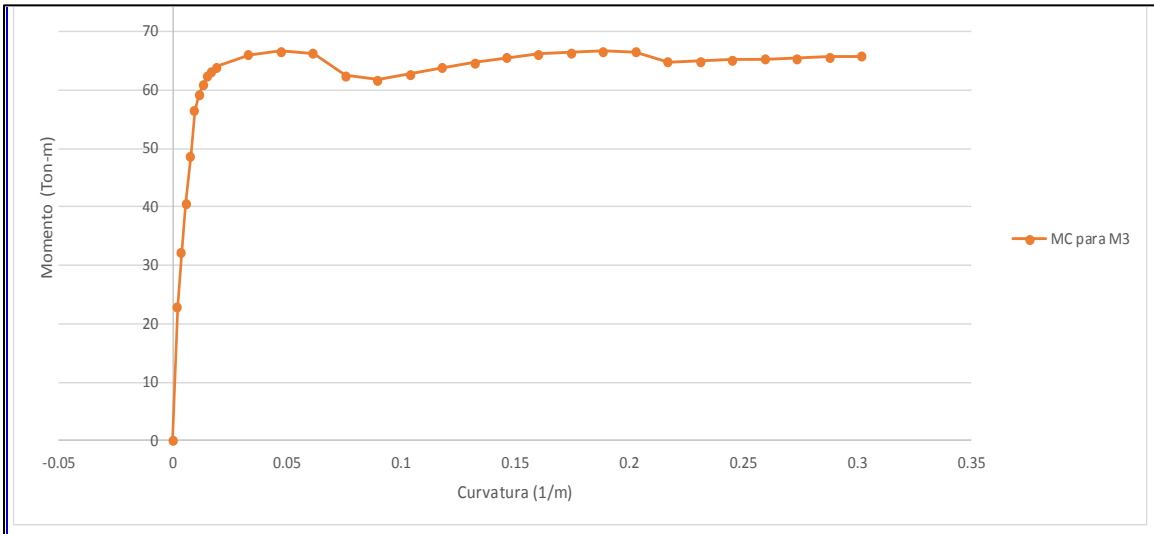
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-11.44	-0.52605
D-	-11.44	-0.3507
C-	-57.2	-0.3507
B-	-37.5	0
A	0	0
B	37.5	0
C	57.2	0.3507
D	11.44	0.3507
E	11.44	0.52605



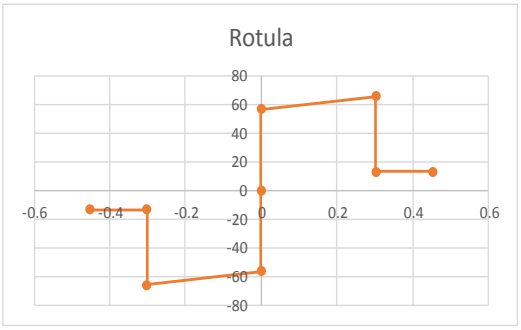


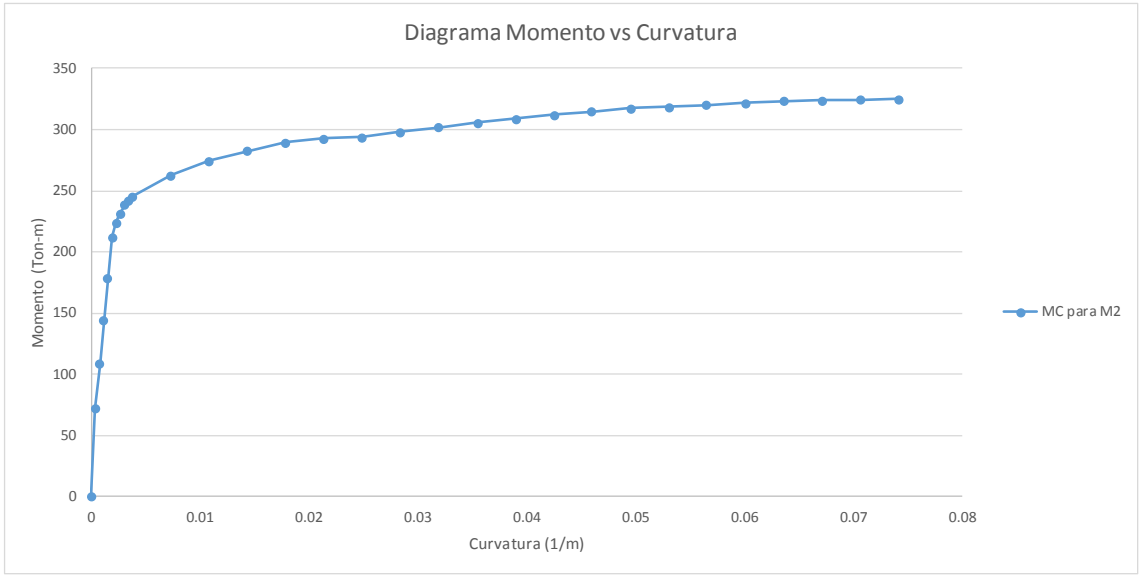
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-68.74	-0.092655
D-	-68.74	-0.06177
C-	-343.7	-0.06177
B-	-243.7	0
A	0	0
B	243.7	0
C	343.7	0.06177
D	68.74	0.06177
E	68.74	0.092655



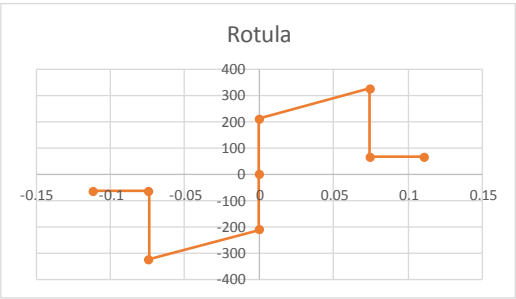


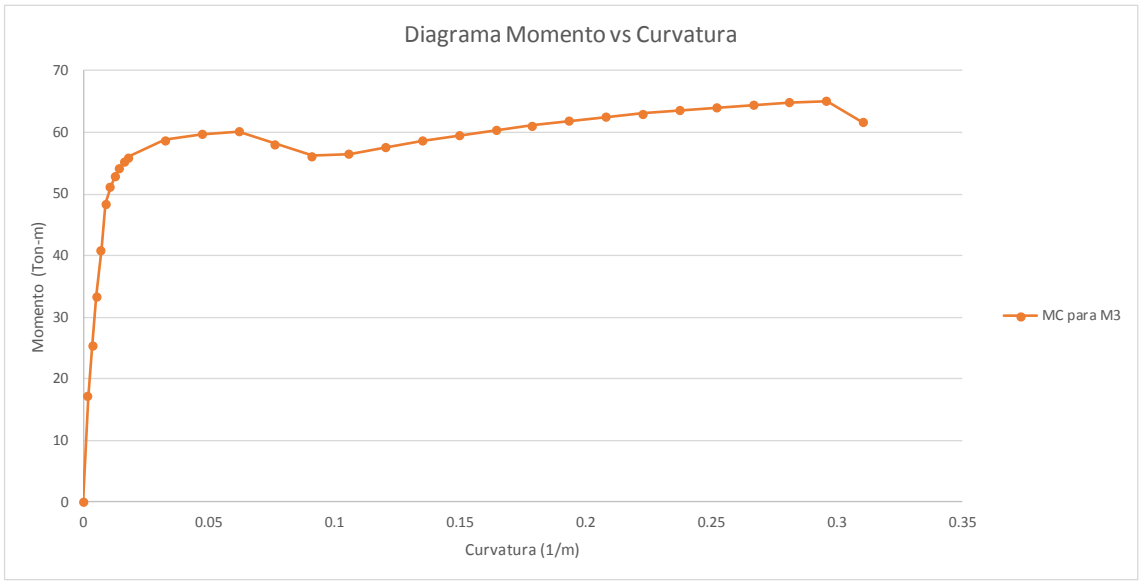
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-13.16	-0.4533
D-	-13.16	-0.3022
C-	-65.8	-0.3022
B-	-56.46	0
A	0	0
B	56.46	0
C	65.8	0.3022
D	13.16	0.3022
E	13.16	0.4533



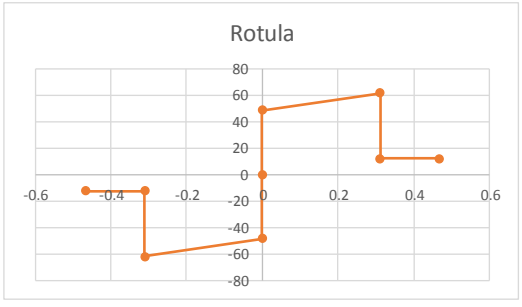


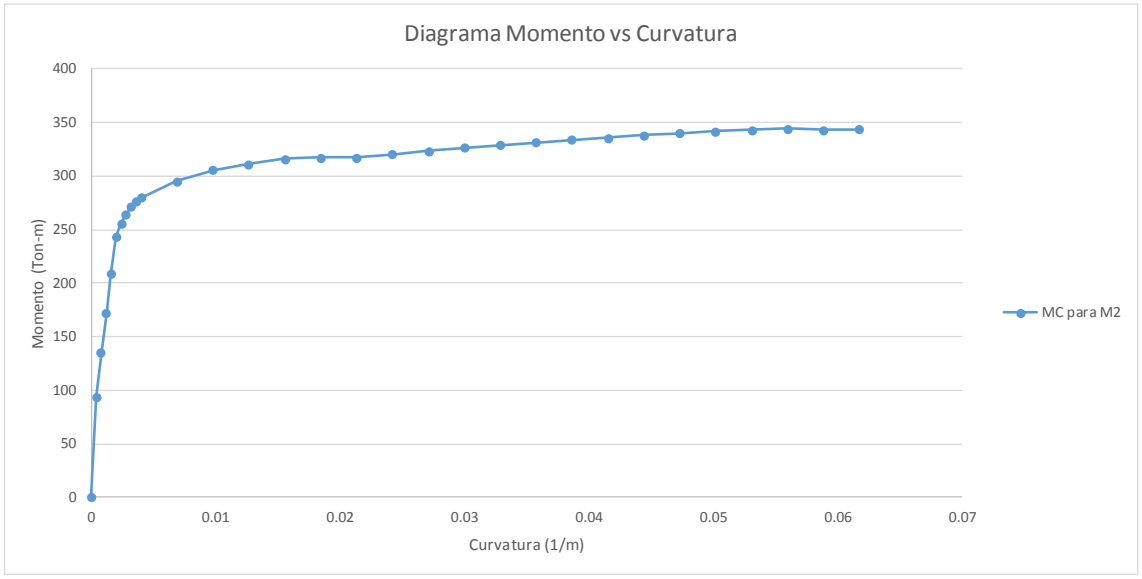
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-65.02	-0.111255
D-	-65.02	-0.07417
C-	-325.1	-0.07417
B-	-212.1	0
A	0	0
B	212.1	0
C	325.1	0.07417
D	65.02	0.07417
E	65.02	0.111255



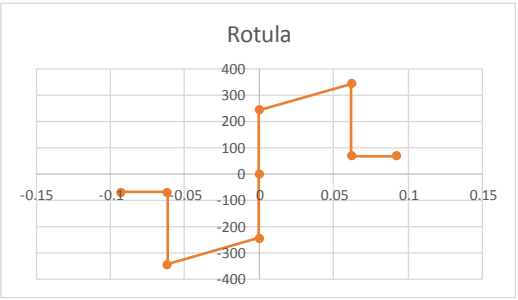


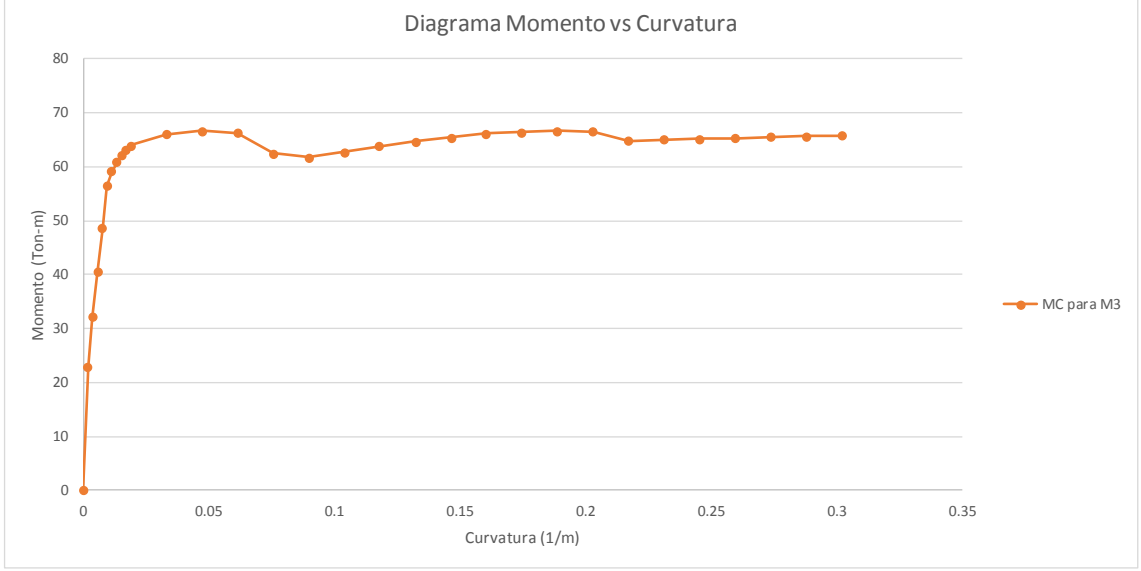
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-12.342	-0.46605
D-	-12.342	-0.3107
C-	-61.71	-0.3107
B-	-48.46	0
A	0	0
B	48.46	0
C	61.71	0.3107
D	12.342	0.3107
E	12.342	0.46605



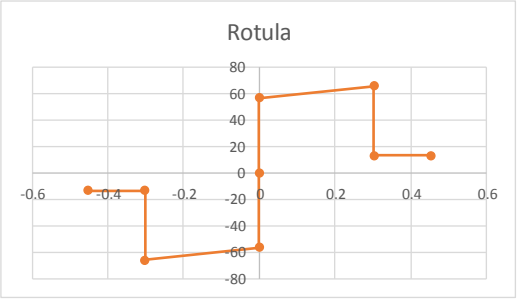


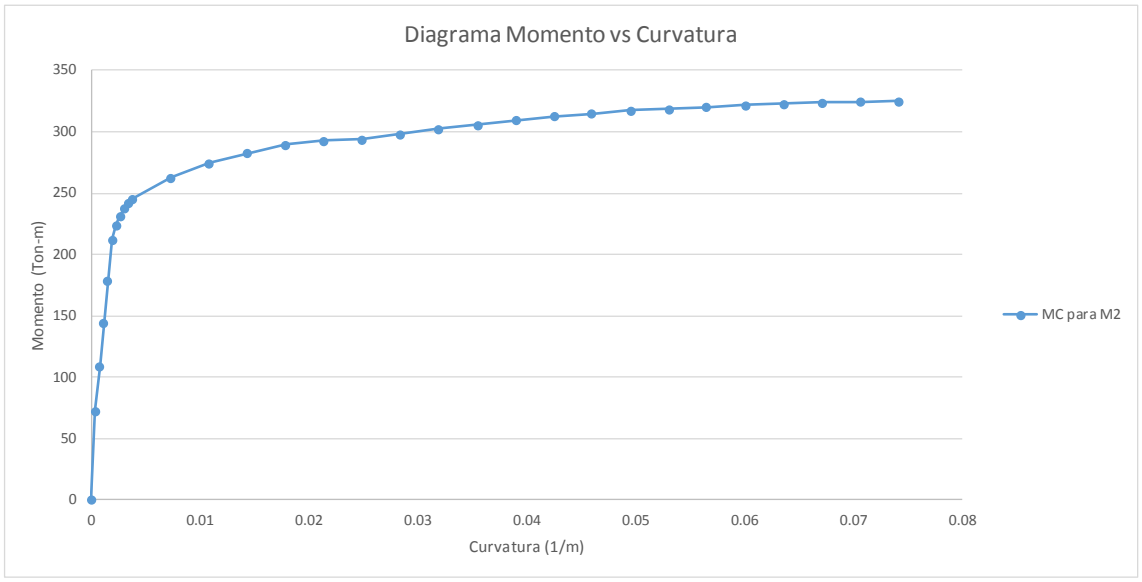
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-68.78	-0.092655
D-	-68.78	-0.06177
C-	-343.9	-0.06177
B-	-243.8	0
A	0	0
B	243.8	0
C	343.9	0.06177
D	68.78	0.06177
E	68.78	0.092655



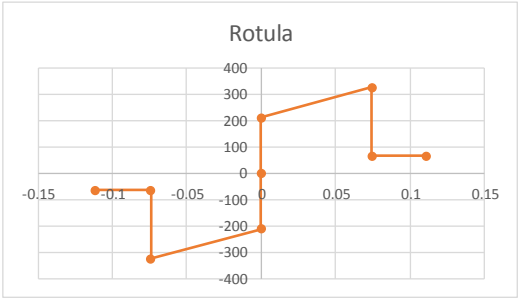


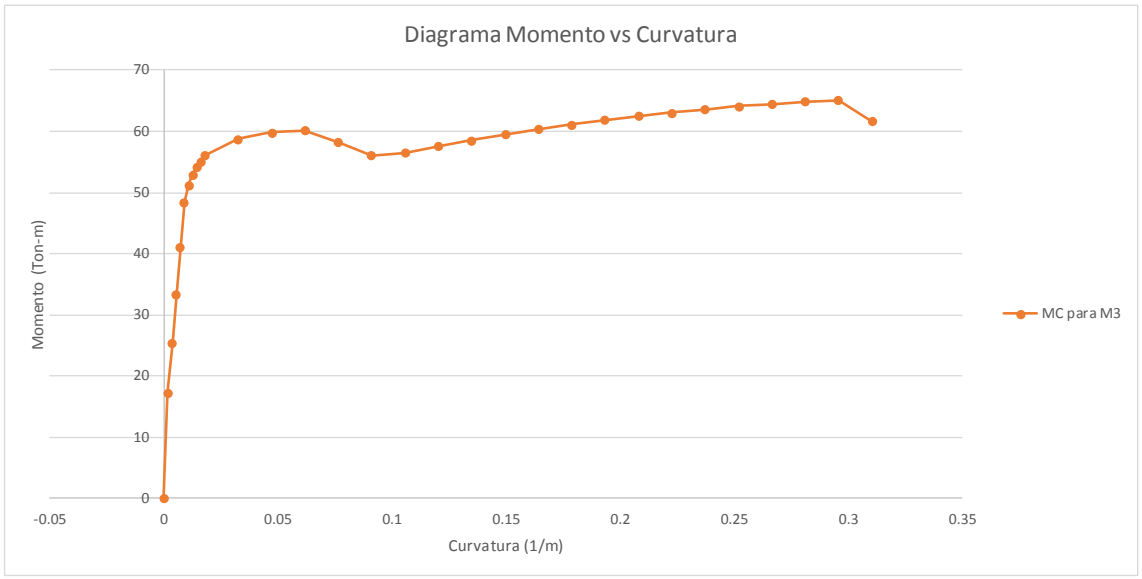
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-13.168	-0.4533
D-	-13.168	-0.3022
C-	-65.84	-0.3022
B-	-56.44	0
A	0	0
B	56.44	0
C	65.84	0.3022
D	13.168	0.3022
E	13.168	0.4533



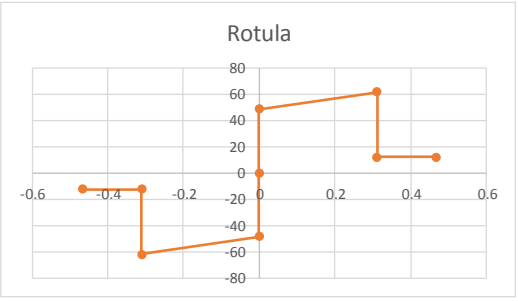


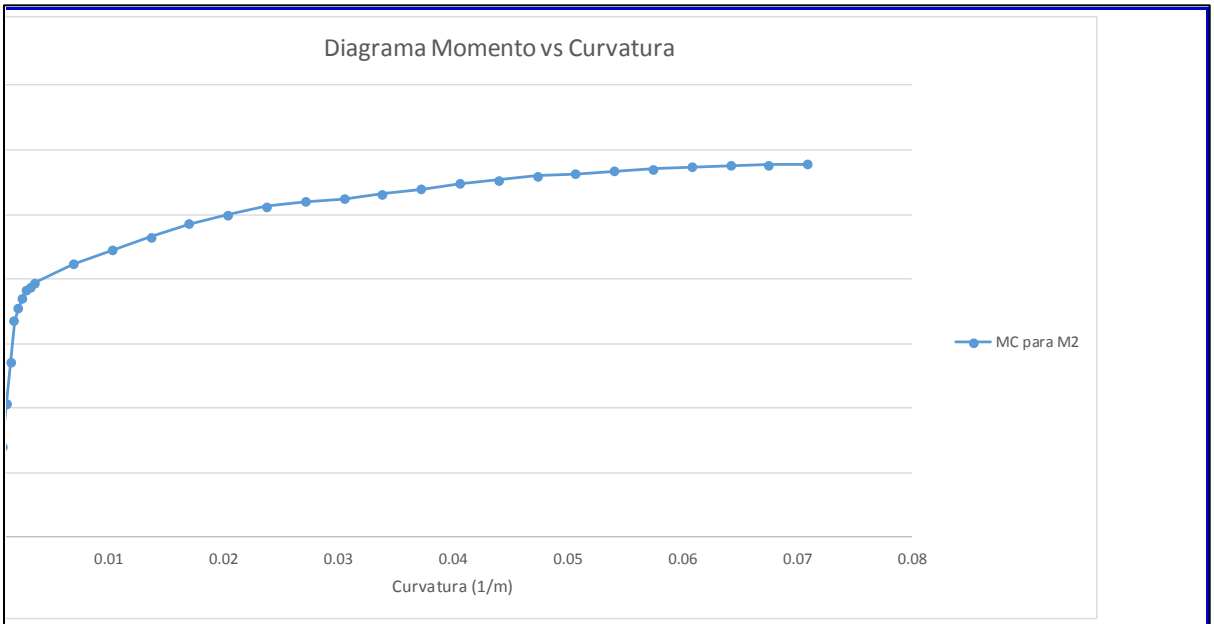
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-64.98	-0.111255
D-	-64.98	-0.07417
C-	-324.9	-0.07417
B-	-212	0
A	0	0
B	212	0
C	324.9	0.07417
D	64.98	0.07417
E	64.98	0.111255



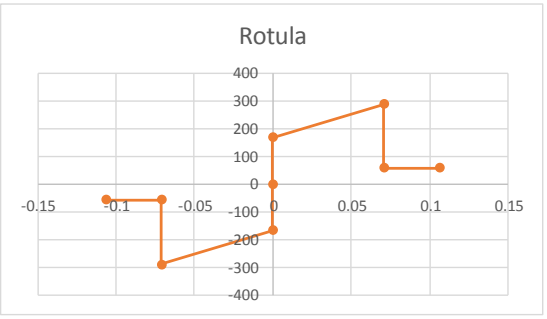


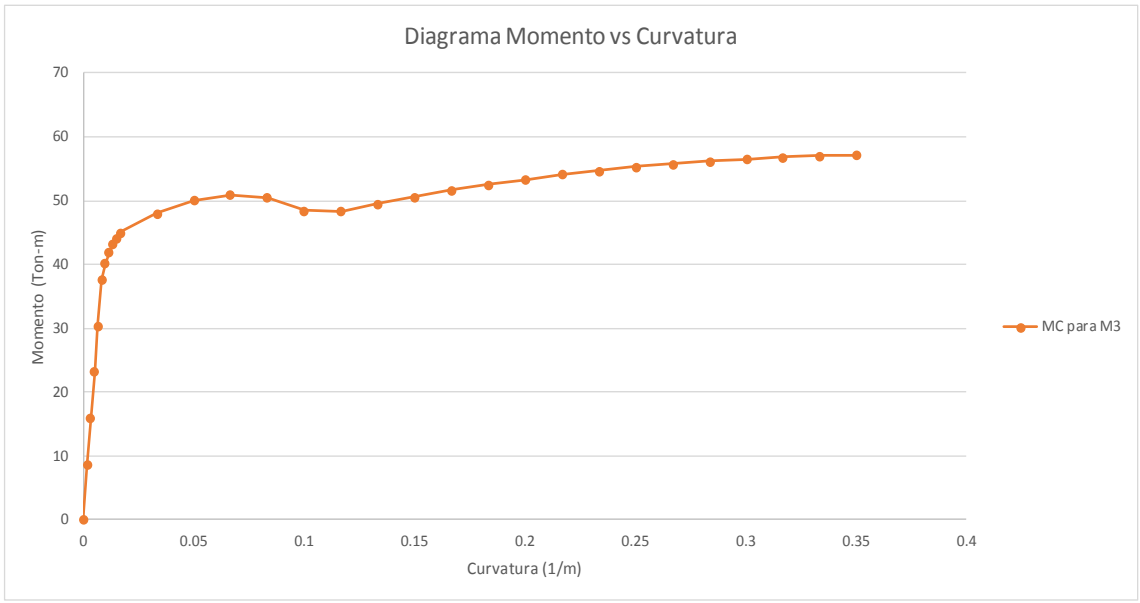
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-12.342	-0.46605
D-	-12.342	-0.3107
C-	-61.71	-0.3107
B-	-48.47	0
A	0	0
B	48.47	0
C	61.71	0.3107
D	12.342	0.3107
E	12.342	0.46605



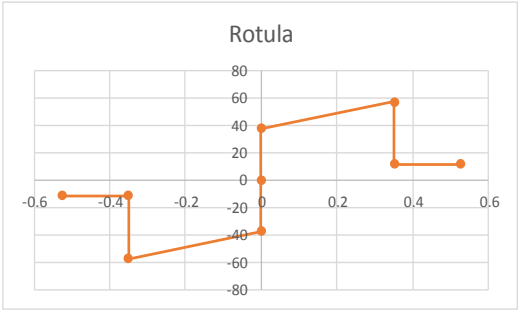


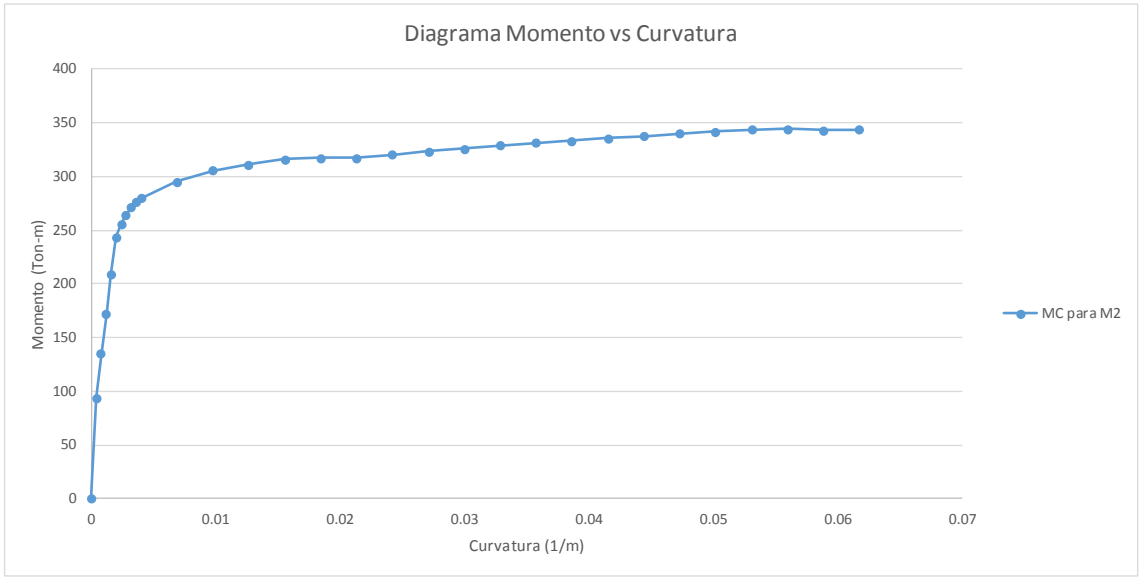
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-57.82	-0.10641
D-	-57.82	-0.07094
C-	-289.1	-0.07094
B-	-167.4	0
A	0	0
B	167.4	0
C	289.1	0.07094
D	57.82	0.07094
E	57.82	0.10641



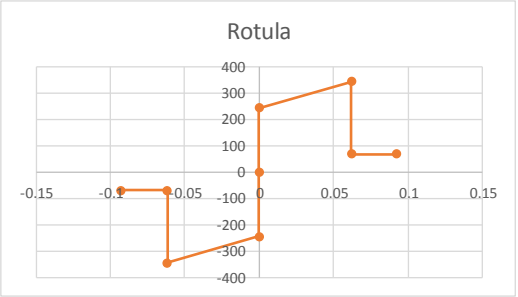


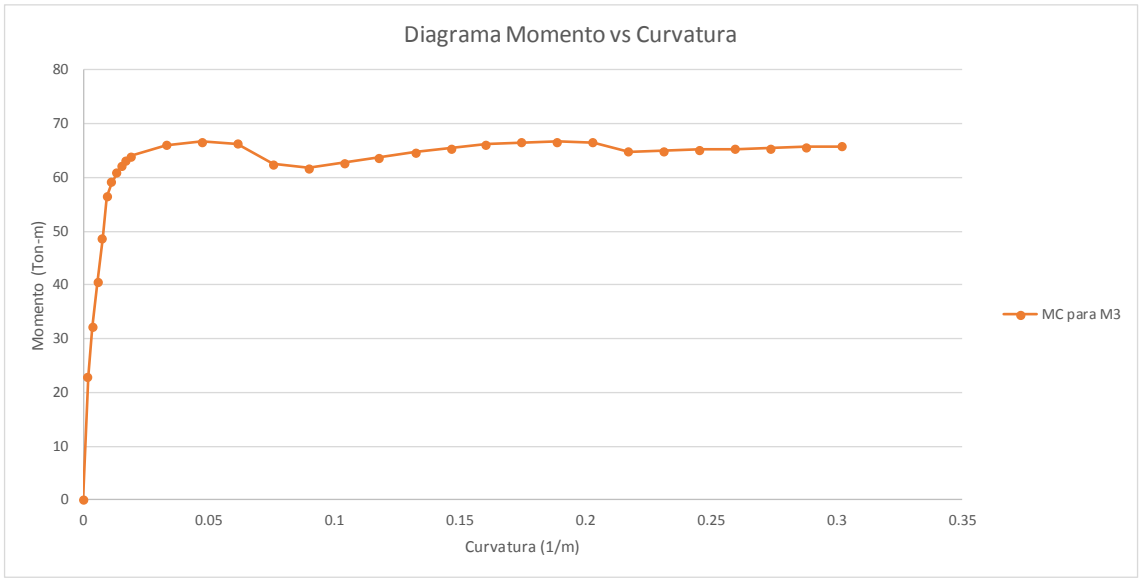
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-11.434	-0.52605
D-	-11.434	-0.3507
C-	-57.17	-0.3507
B-	-37.58	0
A	0	0
B	37.58	0
C	57.17	0.3507
D	11.434	0.3507
E	11.434	0.52605



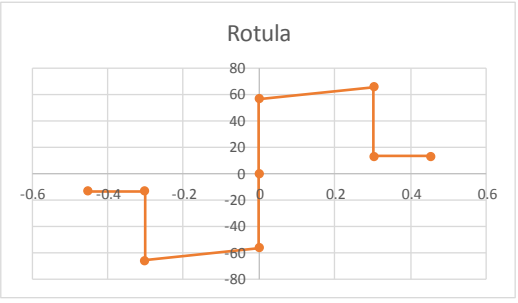


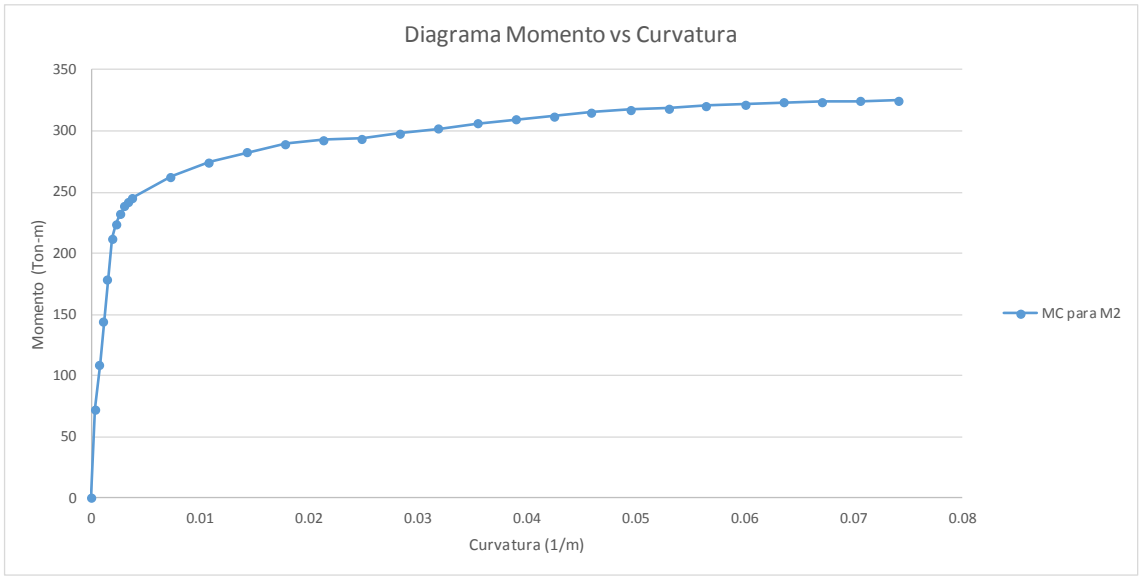
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-68.76	-0.092655
D-	-68.76	-0.06177
C-	-343.8	-0.06177
B-	-243.8	0
A	0	0
B	243.8	0
C	343.8	0.06177
D	68.76	0.06177
E	68.76	0.092655



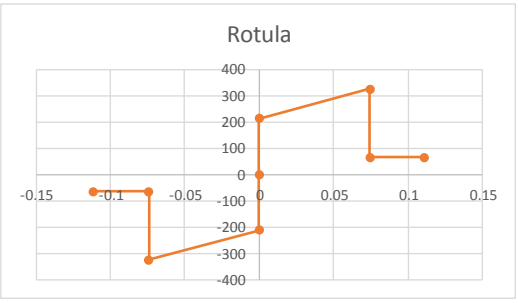


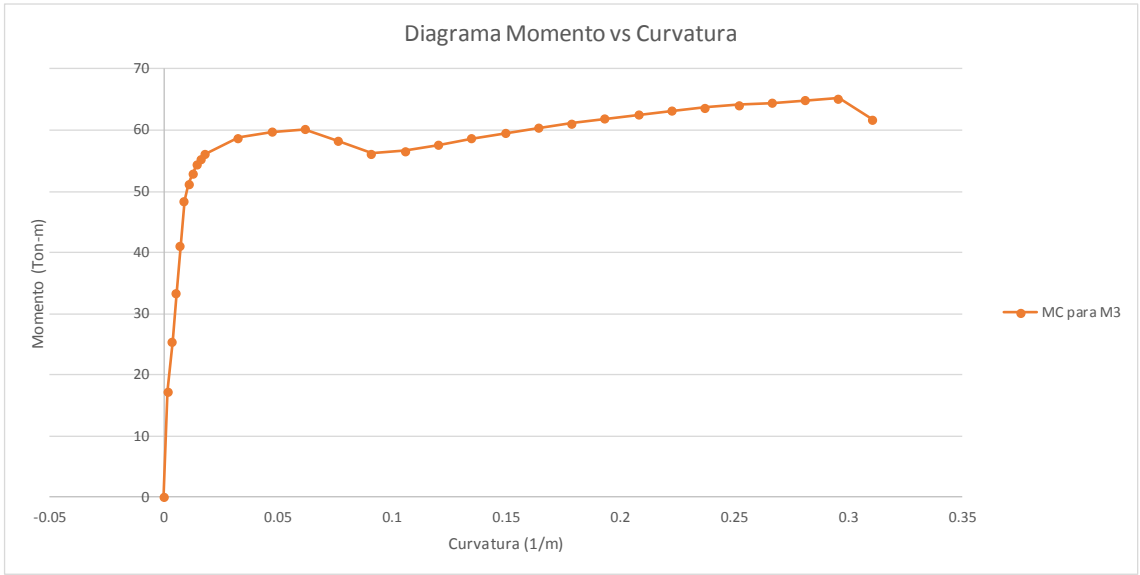
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-13.156	-0.4533
D-	-13.156	-0.3022
C-	-65.78	-0.3022
B-	-56.45	0
A	0	0
B	56.45	0
C	65.78	0.3022
D	13.156	0.3022
E	13.156	0.4533



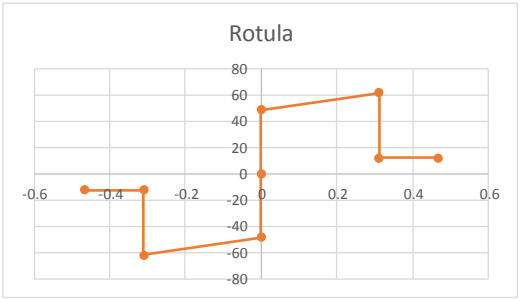


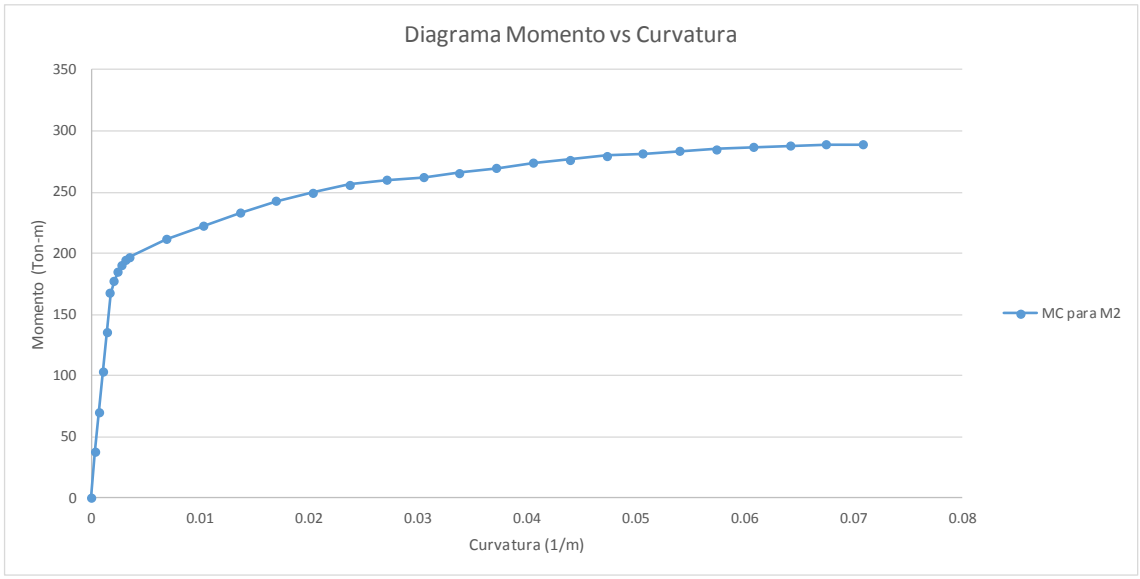
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-65.04	-0.111255
D-	-65.04	-0.07417
C-	-325.2	-0.07417
B-	-212.2	0
A	0	0
B	212.2	0
C	325.2	0.07417
D	65.04	0.07417
E	65.04	0.111255



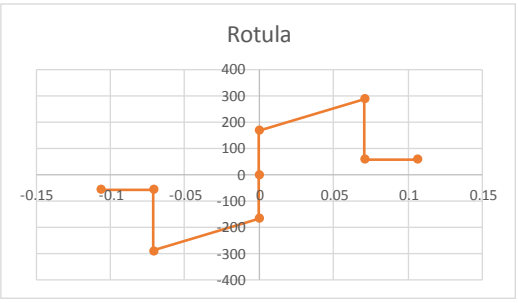


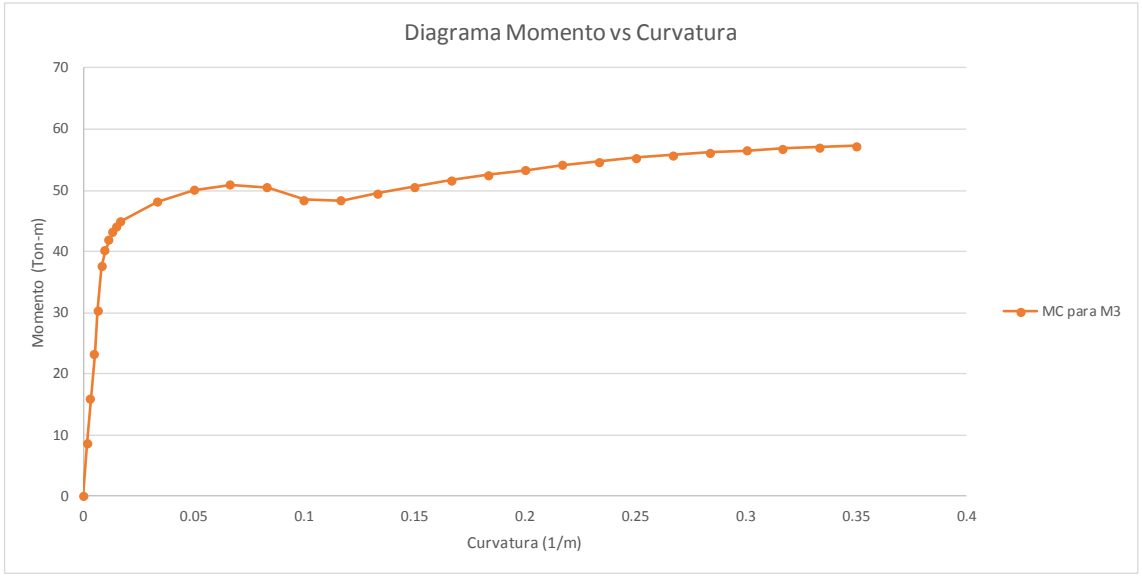
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-12.35	-0.46605
D-	-12.35	-0.3107
C-	-61.75	-0.3107
B-	-48.49	0
A	0	0
B	48.49	0
C	61.75	0.3107
D	12.35	0.3107
E	12.35	0.46605



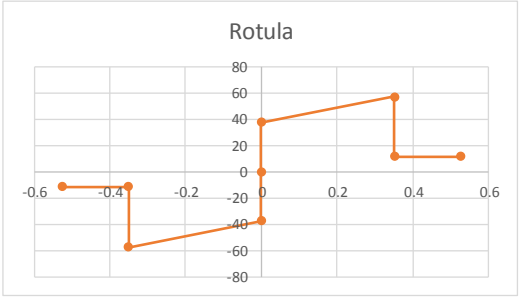


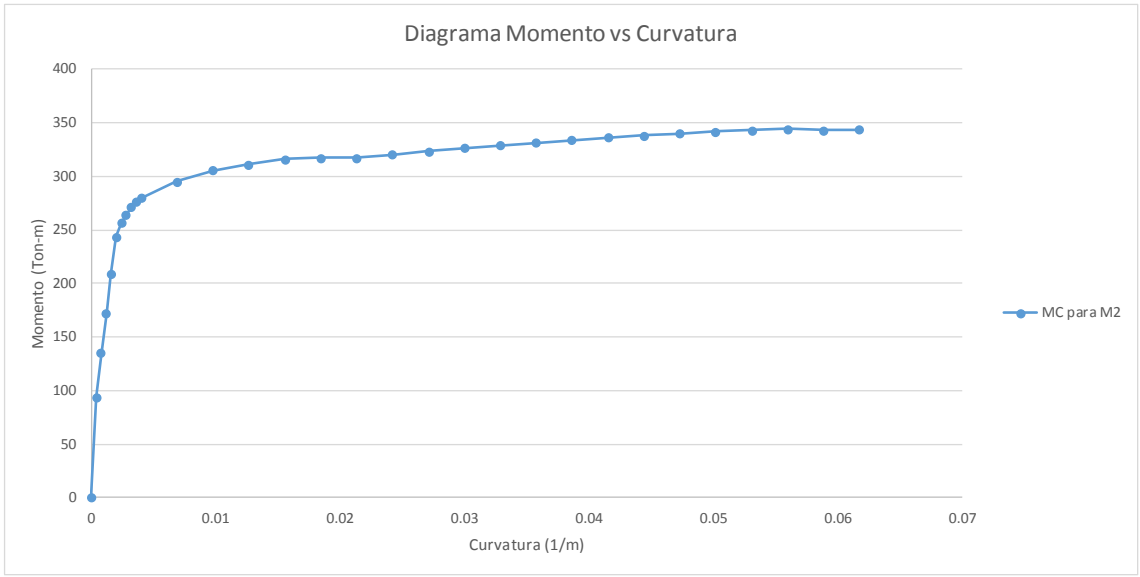
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-57.8	-0.10641
D-	-57.8	-0.07094
C-	-289	-0.07094
B-	-167.4	0
A	0	0
B	167.4	0
C	289	0.07094
D	57.8	0.07094
E	57.8	0.10641



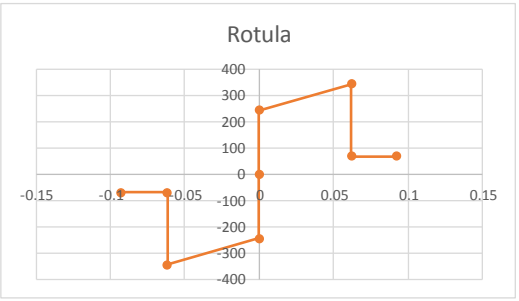


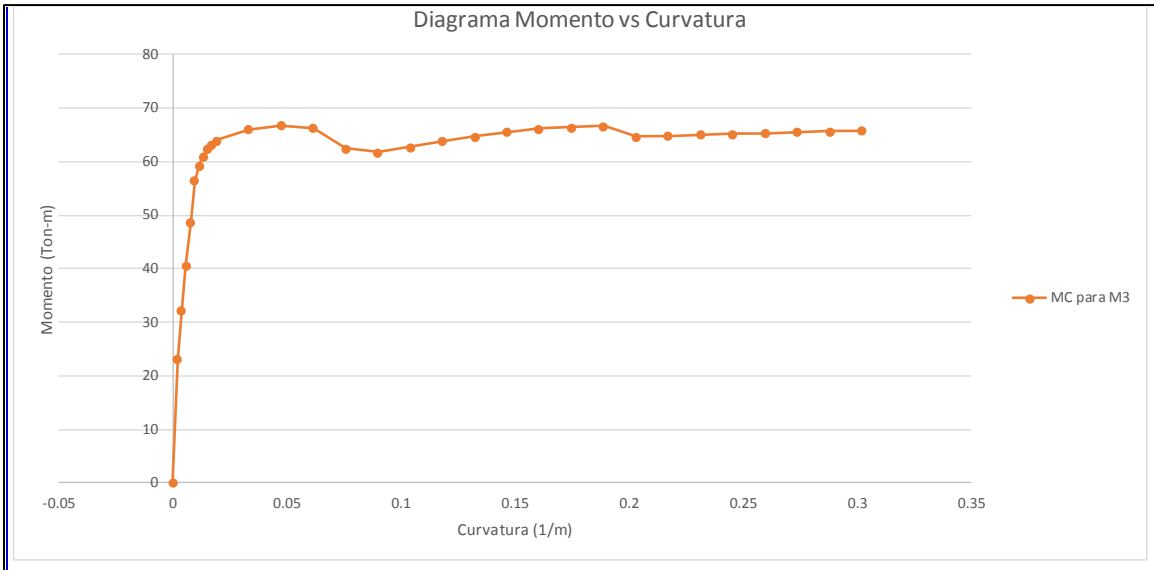
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-11.444	-0.52605
D-	-11.444	-0.3507
C-	-57.22	-0.3507
B-	-37.58	0
A	0	0
B	37.58	0
C	57.22	0.3507
D	11.444	0.3507
E	11.444	0.52605



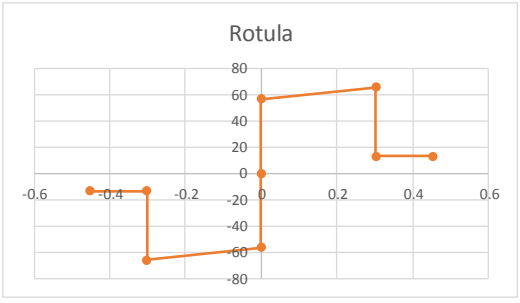


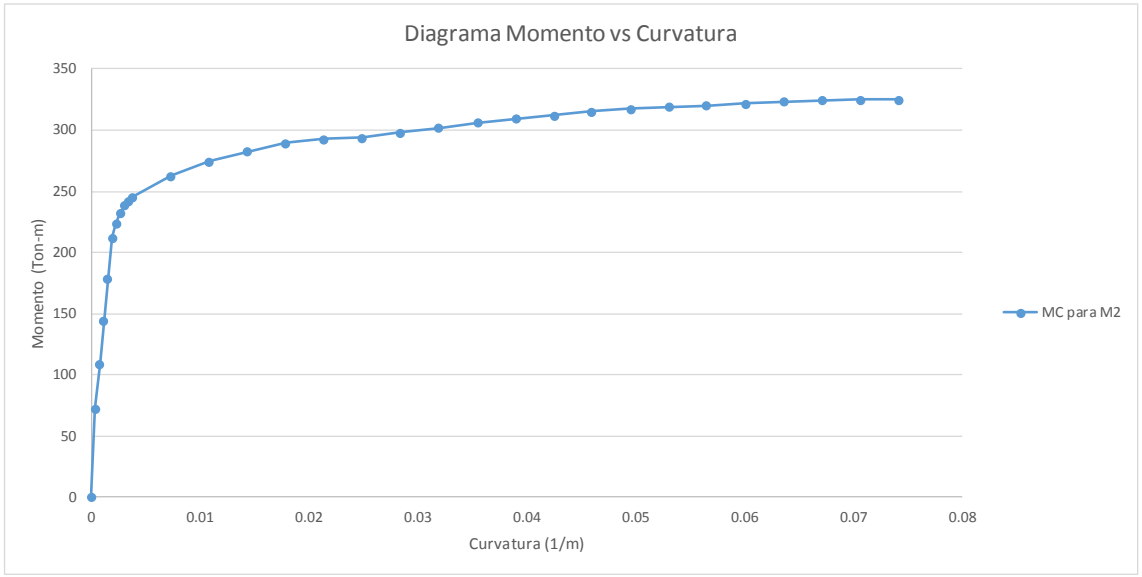
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-68.78	-0.092655
D-	-68.78	-0.06177
C-	-343.9	-0.06177
B-	-243.8	0
A	0	0
B	243.8	0
C	343.9	0.06177
D	68.78	0.06177
E	68.78	0.092655



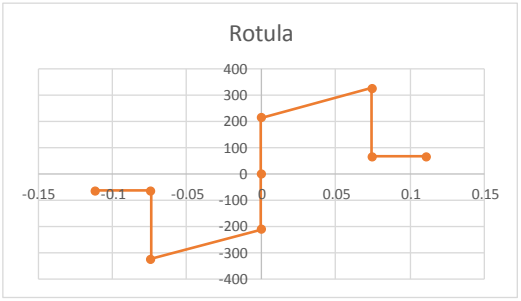


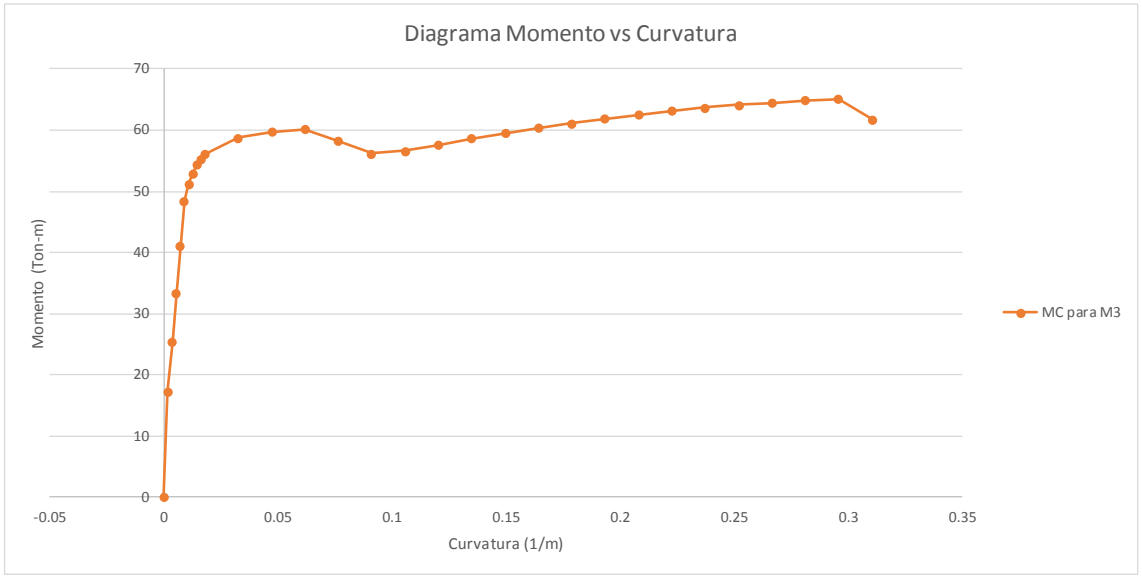
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-13.156	-0.4533
D-	-13.156	-0.3022
C-	-65.78	-0.3022
B-	-56.45	0
A	0	0
B	56.45	0
C	65.78	0.3022
D	13.156	0.3022
E	13.156	0.4533



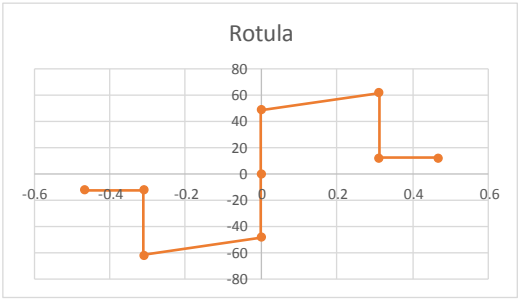


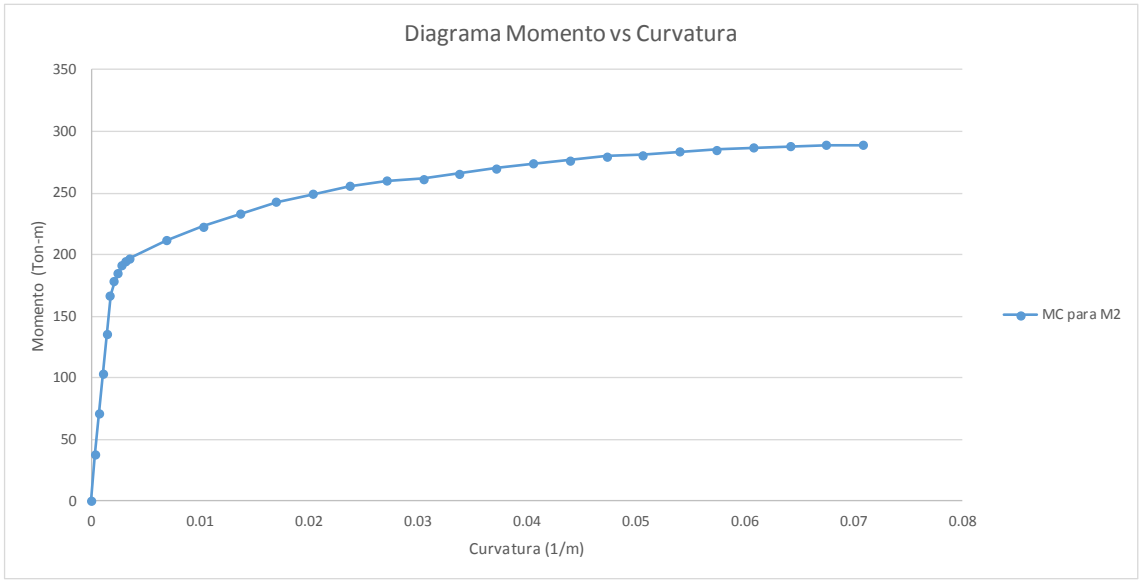
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-64.96	-0.111255
D-	-64.96	-0.07417
C-	-324.8	-0.07417
B-	-212.2	0
A	0	0
B	212.2	0
C	324.8	0.07417
D	64.96	0.07417
E	64.96	0.111255



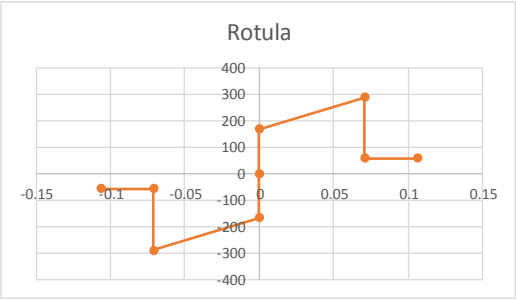


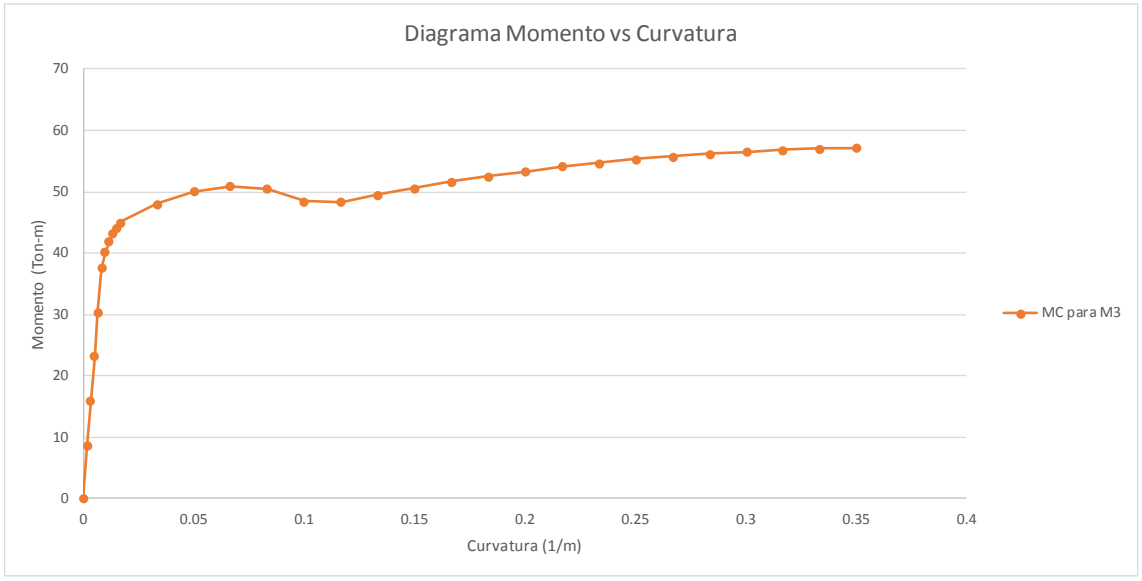
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-12.35	-0.46605
D-	-12.35	-0.3107
C-	-61.75	-0.3107
B-	-48.49	0
A	0	0
B	48.49	0
C	61.75	0.3107
D	12.35	0.3107
E	12.35	0.46605



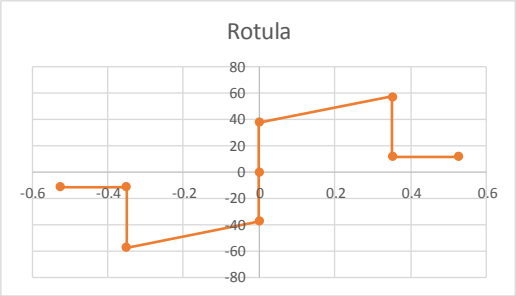


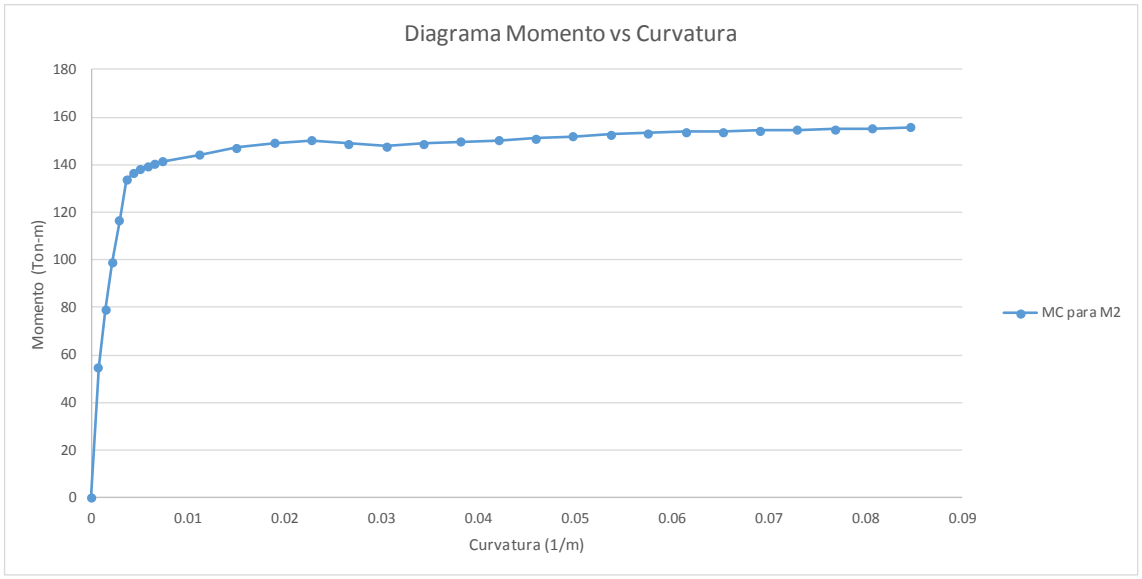
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-57.8	-0.10641
D-	-57.8	-0.07094
C-	-289	-0.07094
B-	-167.3	0
A	0	0
B	167.3	0
C	289	0.07094
D	57.8	0.07094
E	57.8	0.10641



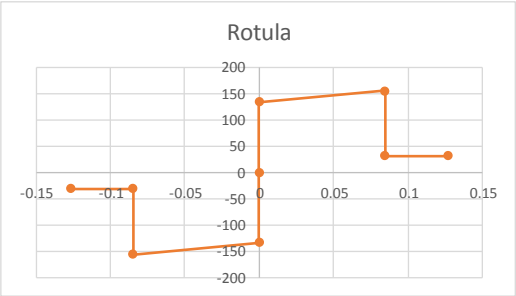


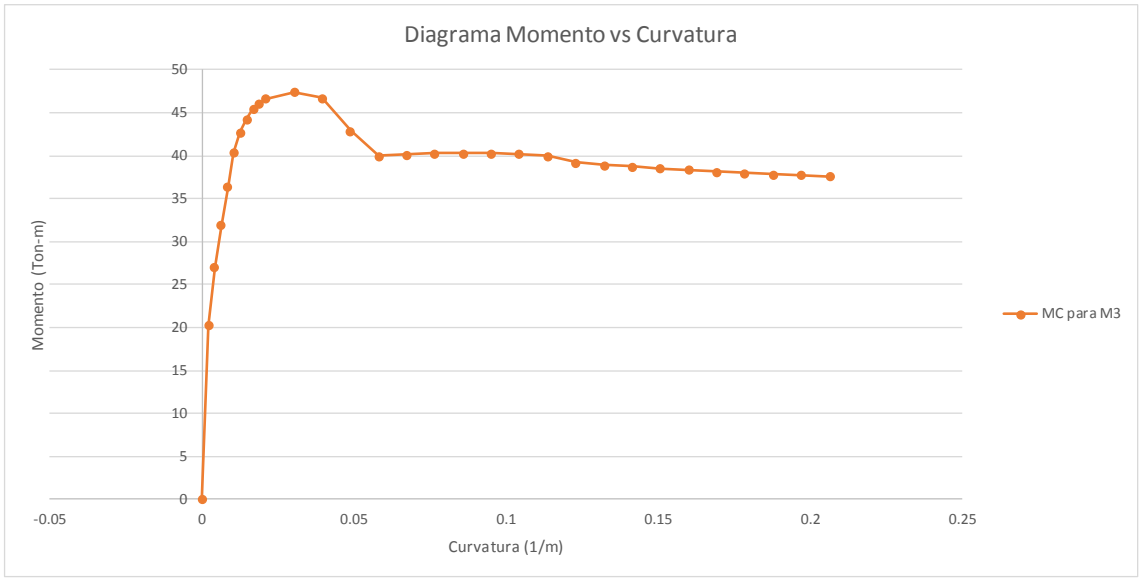
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-11.434	-0.52605
D-	-11.434	-0.3507
C-	-57.17	-0.3507
B-	-37.58	0
A	0	0
B	37.58	0
C	57.17	0.3507
D	11.434	0.3507
E	11.434	0.52605



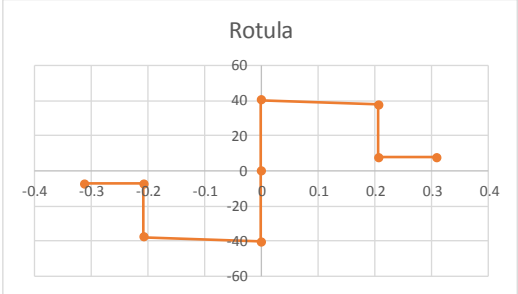


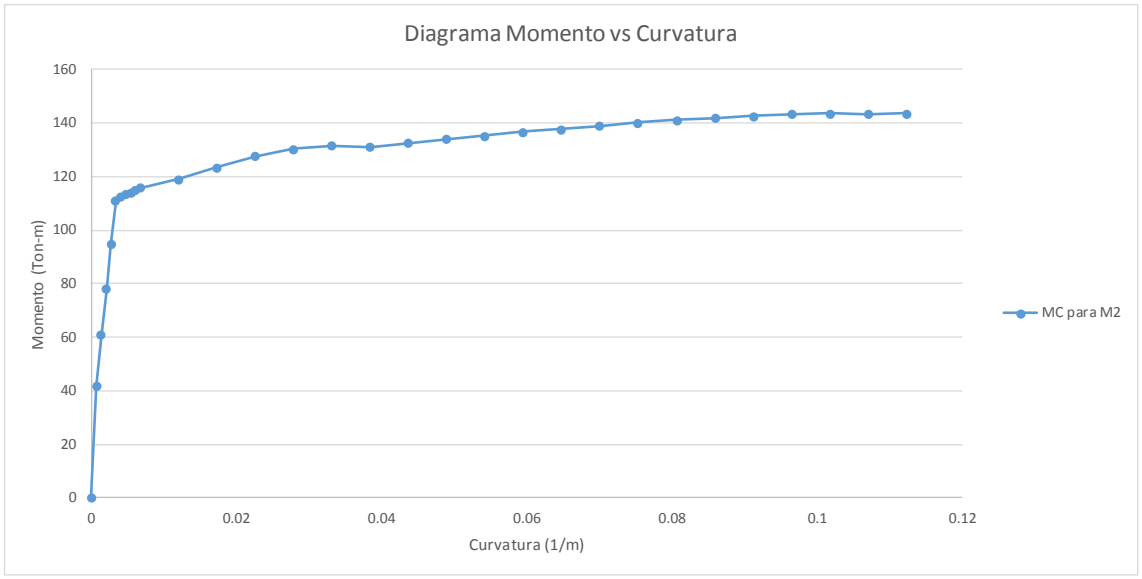
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-31.14	-0.126975
D-	-31.14	-0.08465
C-	-155.7	-0.08465
B-	-134.1	0
A	0	0
B	134.1	0
C	155.7	0.08465
D	31.14	0.08465
E	31.14	0.126975



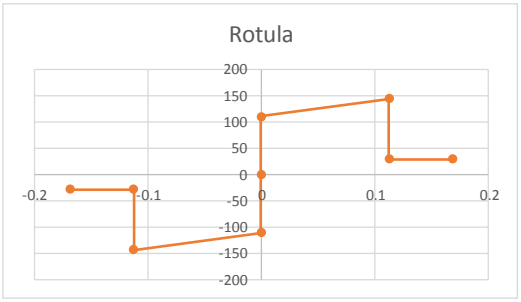


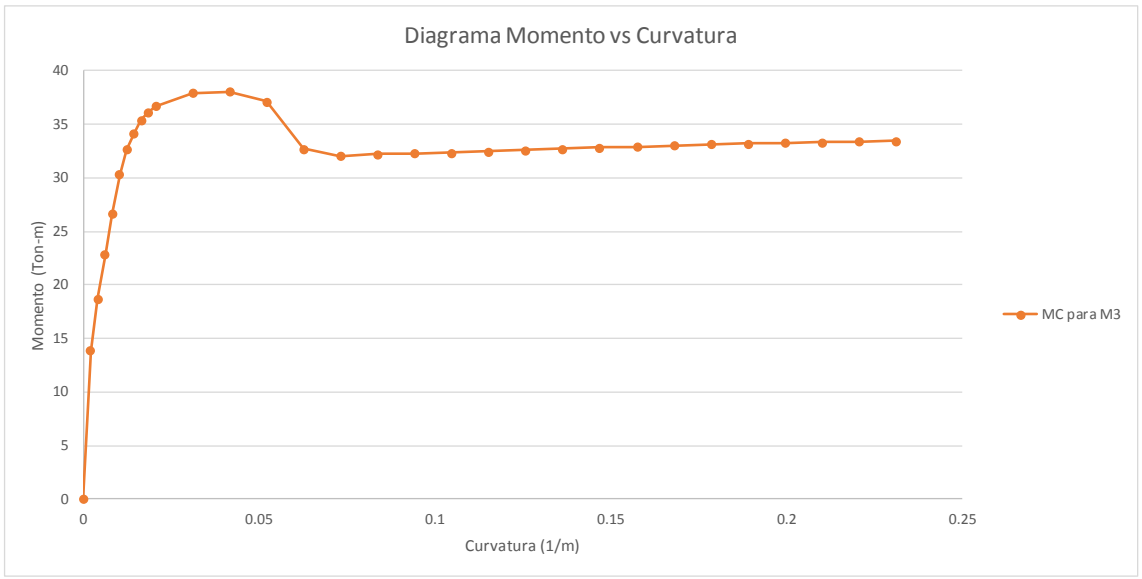
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-7.528	-0.30975
D-	-7.528	-0.2065
C-	-37.64	-0.2065
B-	-40.37	0
A	0	0
B	40.37	0
C	37.64	0.2065
D	7.528	0.2065
E	7.528	0.30975



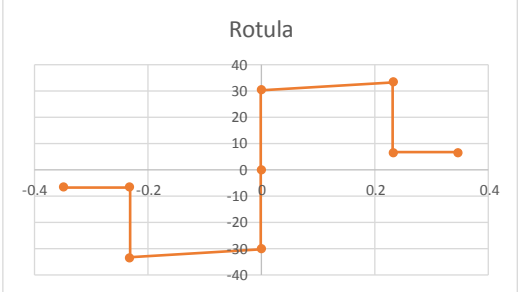


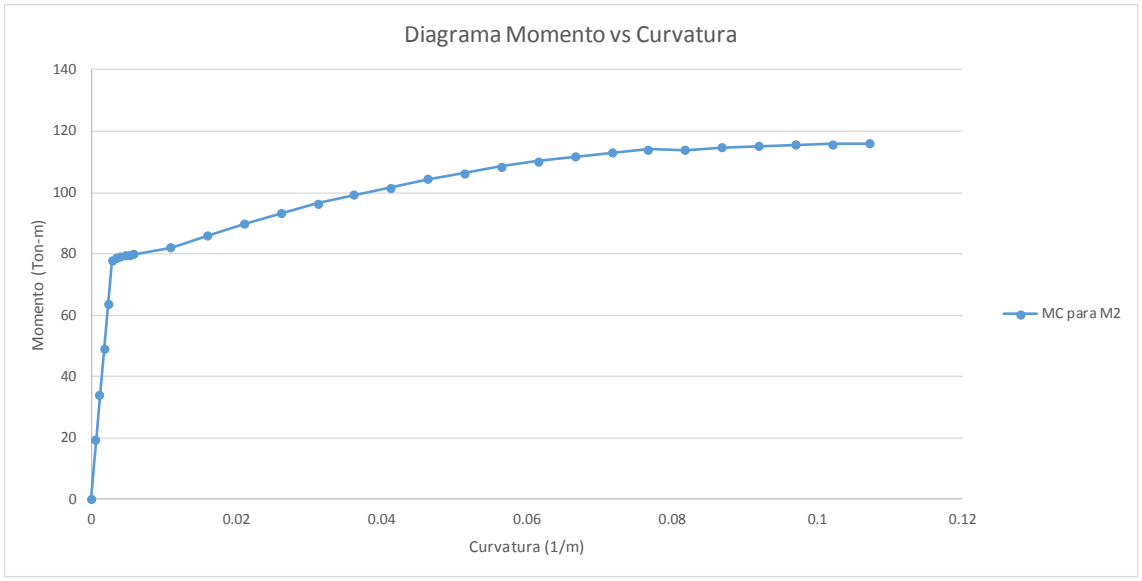
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-28.72	-0.1686
D-	-28.72	-0.1124
C-	-143.6	-0.1124
B-	-111	0
A	0	0
B	111	0
C	143.6	0.1124
D	28.72	0.1124
E	28.72	0.1686



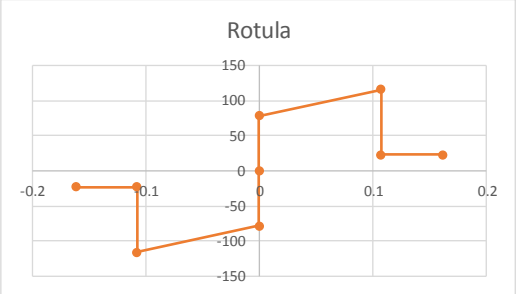


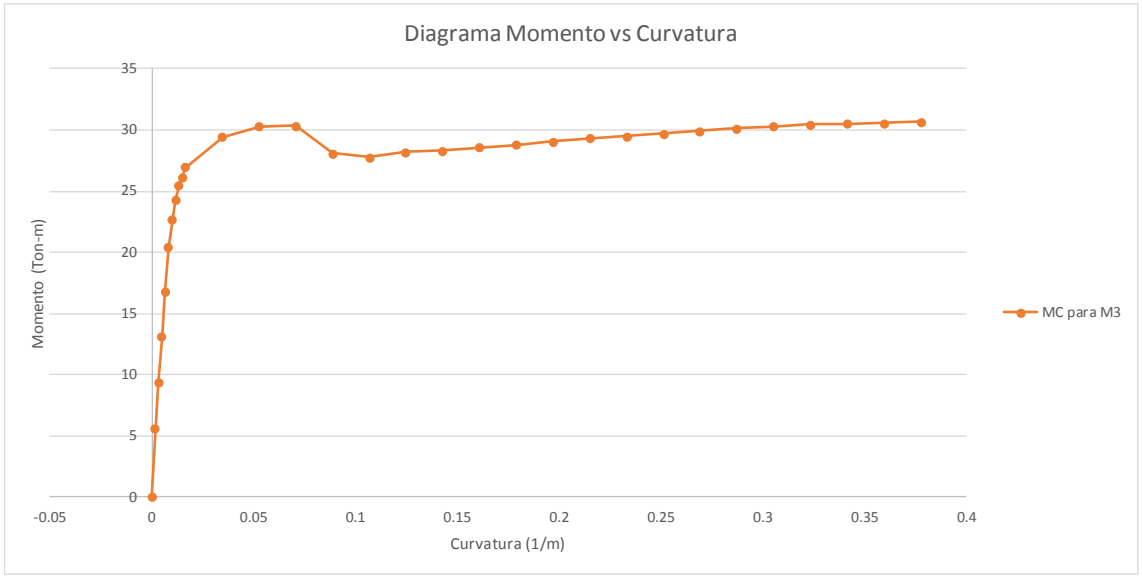
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-6.69	-0.34695
D-	-6.69	-0.2313
C-	-33.45	-0.2313
B-	-30.31	0
A	0	0
B	30.31	0
C	33.45	0.2313
D	6.69	0.2313
E	6.69	0.34695



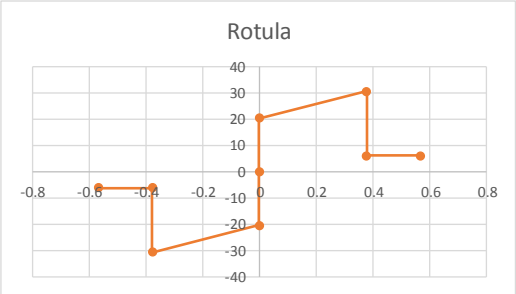


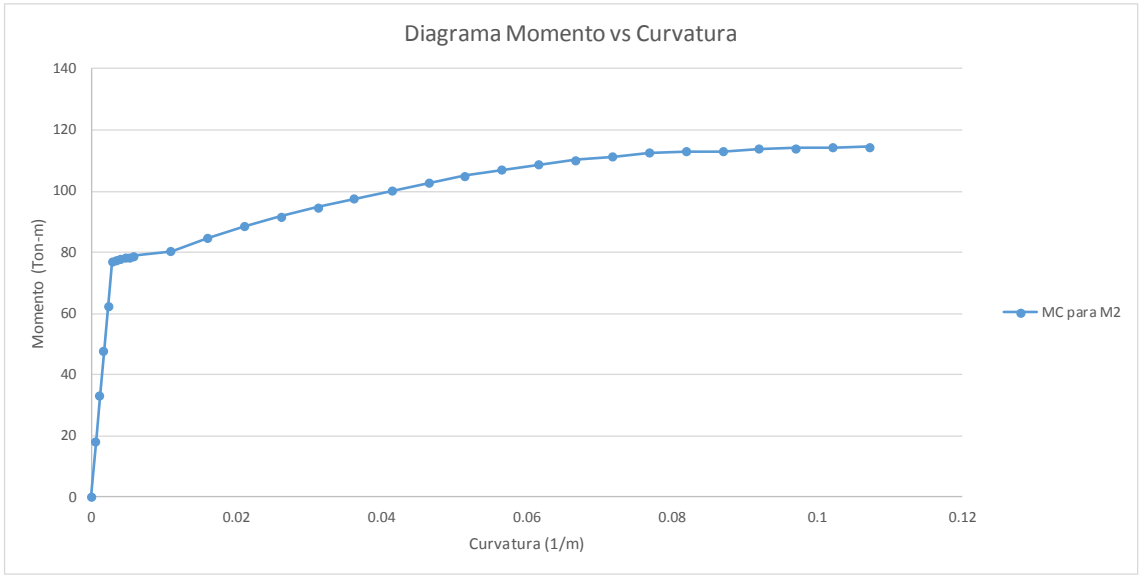
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-23.2	-0.16095
D-	-23.2	-0.1073
C-	-116	-0.1073
B-	-78.08	0
A	0	0
B	78.08	0
C	116	0.1073
D	23.2	0.1073
E	23.2	0.16095



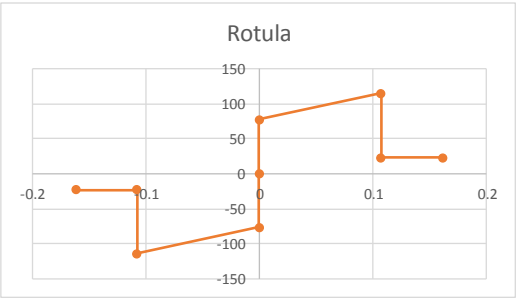


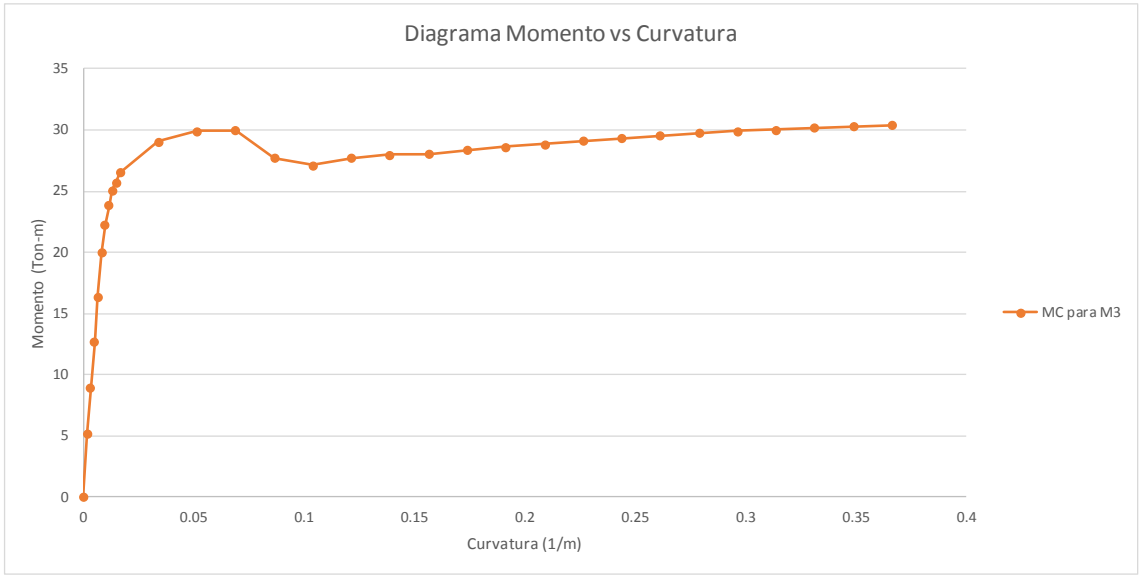
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-6.136	-0.5667
D-	-6.136	-0.3778
C-	-30.68	-0.3778
B-	-20.45	0
A	0	0
B	20.45	0
C	30.68	0.3778
D	6.136	0.3778
E	6.136	0.5667



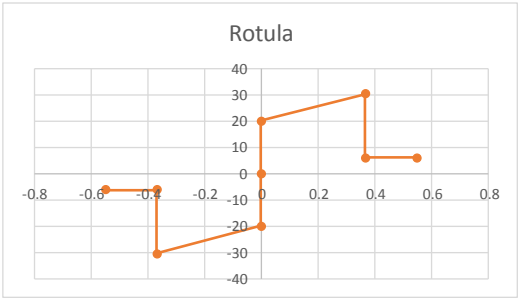


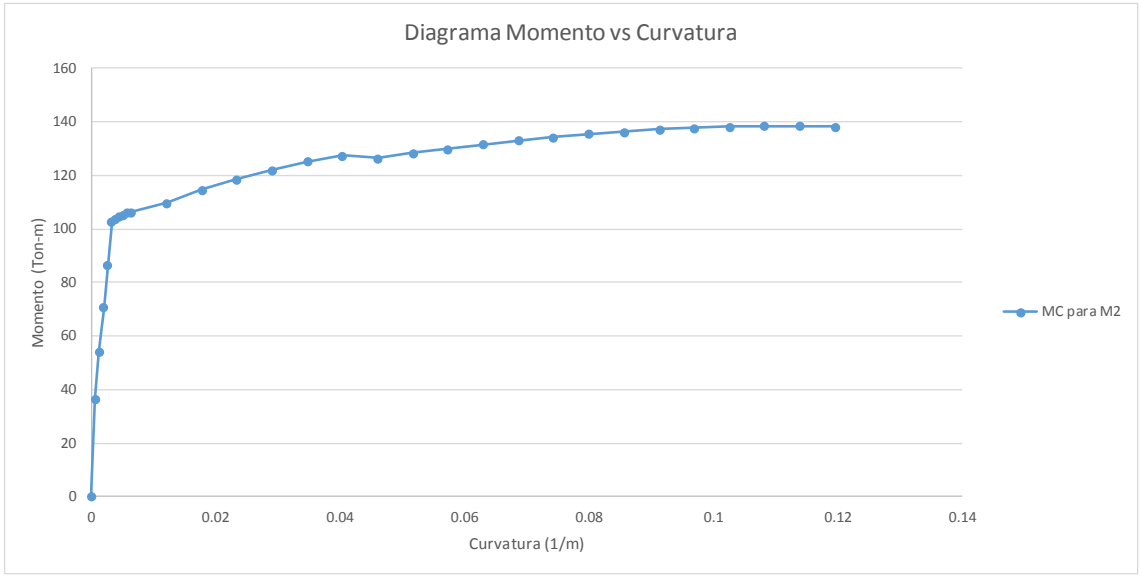
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-22.92	-0.1611
D-	-22.92	-0.1074
C-	-114.6	-0.1074
B-	-76.85	0
A	0	0
B	76.85	0
C	114.6	0.1074
D	22.92	0.1074
E	22.92	0.1611



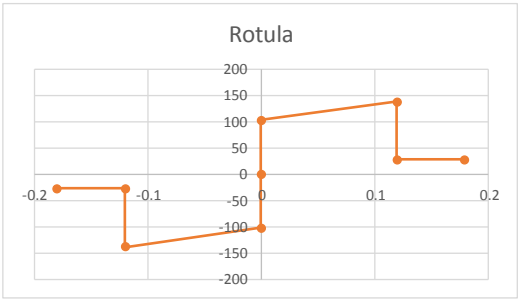


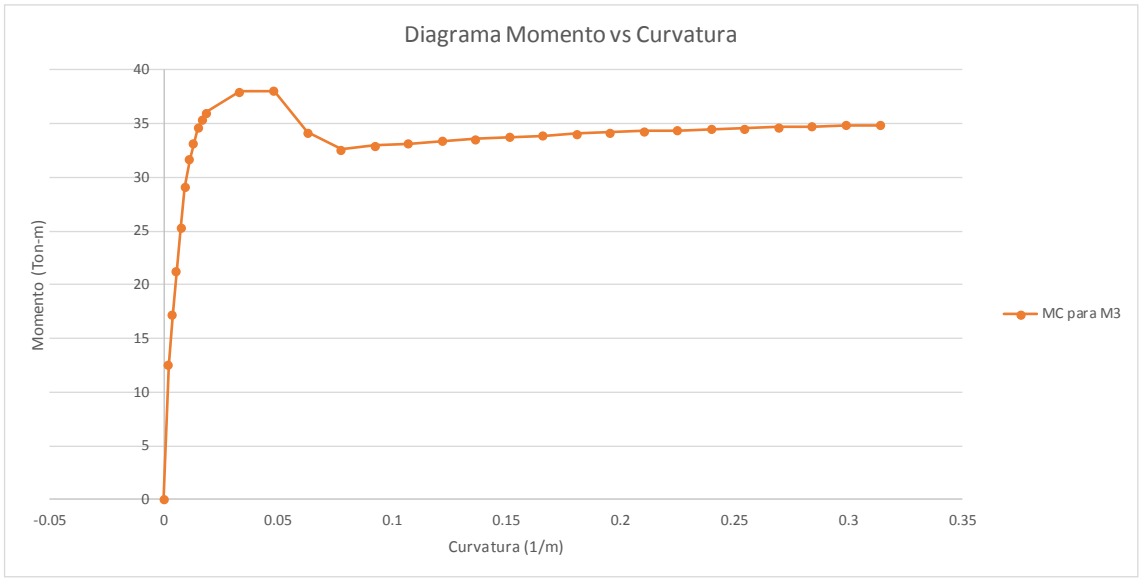
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-6.084	-0.54975
D-	-6.084	-0.3665
C-	-30.42	-0.3665
B-	-20.01	0
A	0	0
B	20.01	0
C	30.42	0.3665
D	6.084	0.3665
E	6.084	0.54975



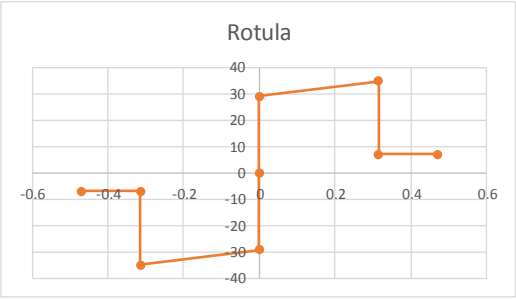


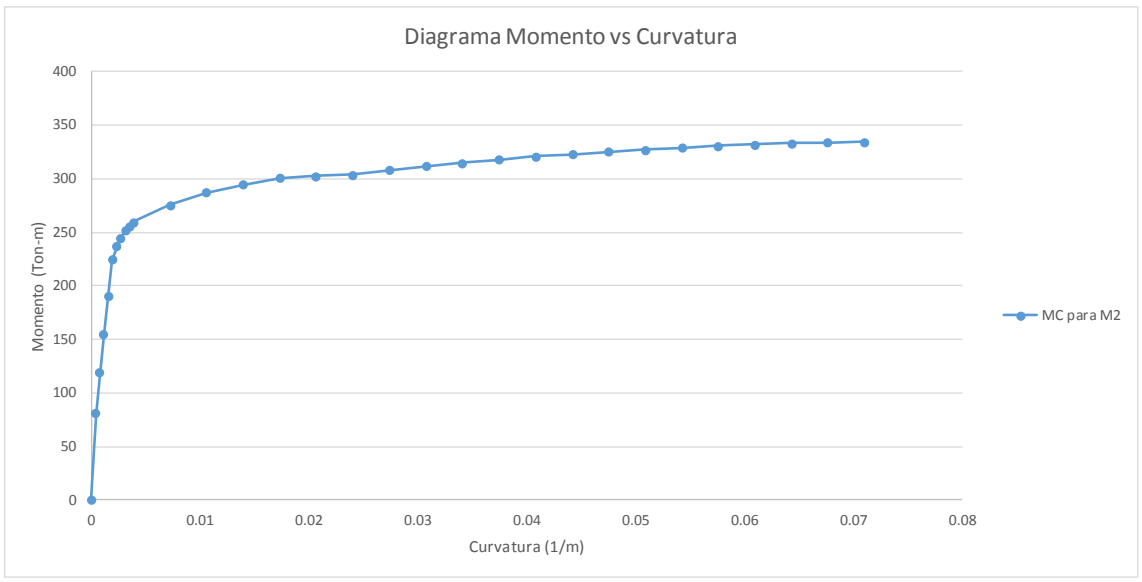
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-27.66	-0.1794
D-	-27.66	-0.1196
C-	-138.3	-0.1196
B-	-102.6	0
A	0	0
B	102.6	0
C	138.3	0.1196
D	27.66	0.1196
E	27.66	0.1794



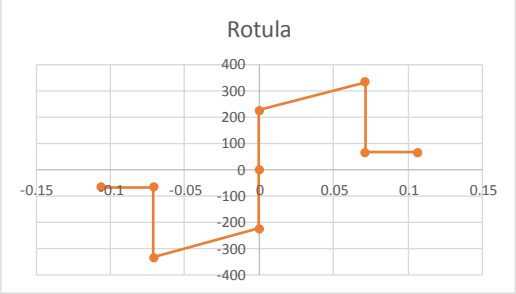


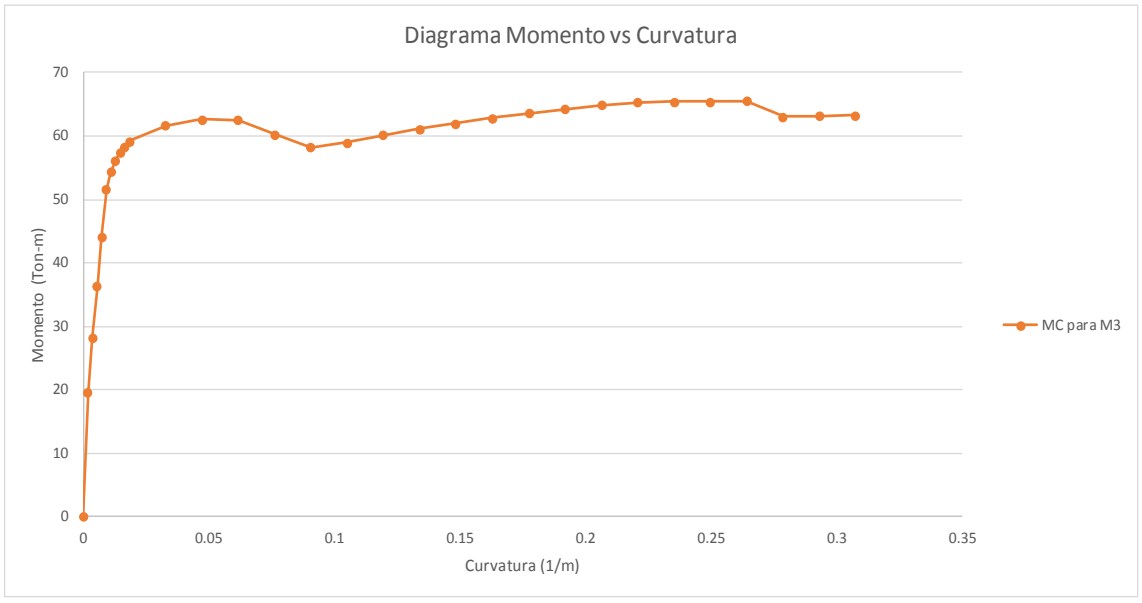
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-6.978	-0.471
D-	-6.978	-0.314
C-	-34.89	-0.314
B-	-29.13	0
A	0	0
B	29.13	0
C	34.89	0.314
D	6.978	0.314
E	6.978	0.471



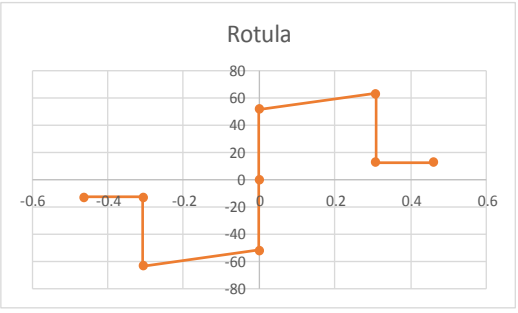


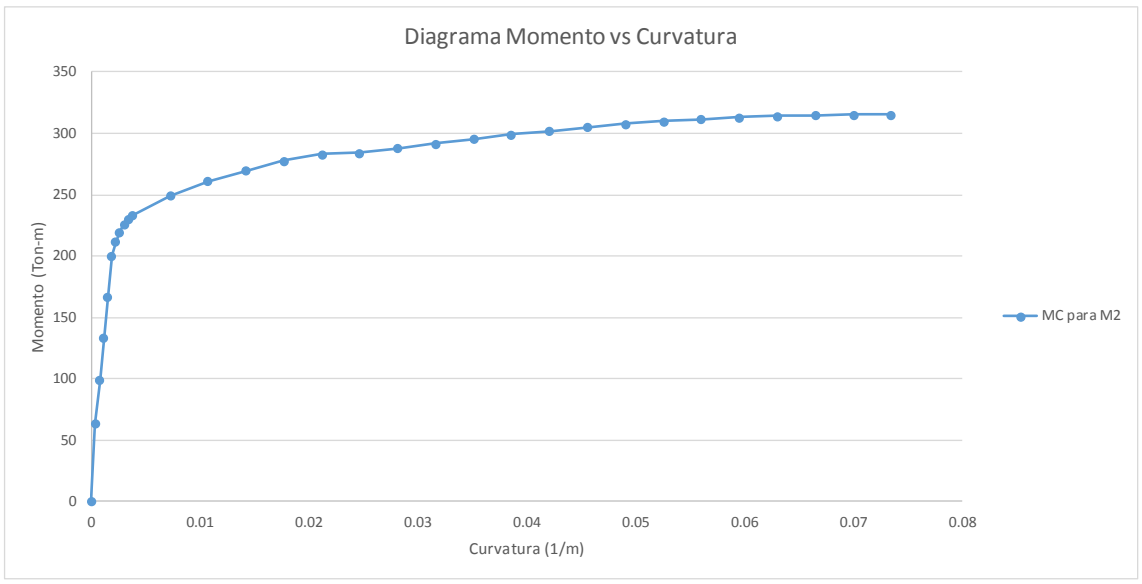
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-66.88	-0.10659
D-	-66.88	-0.07106
C-	-334.4	-0.07106
B-	-224.7	0
A	0	0
B	224.7	0
C	334.4	0.07106
D	66.88	0.07106
E	66.88	0.10659



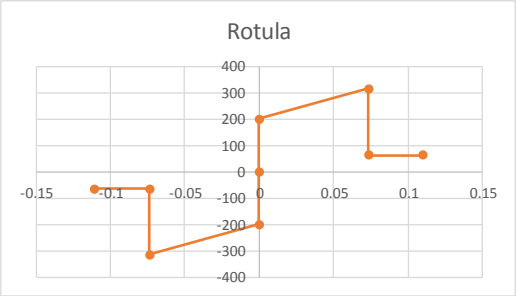


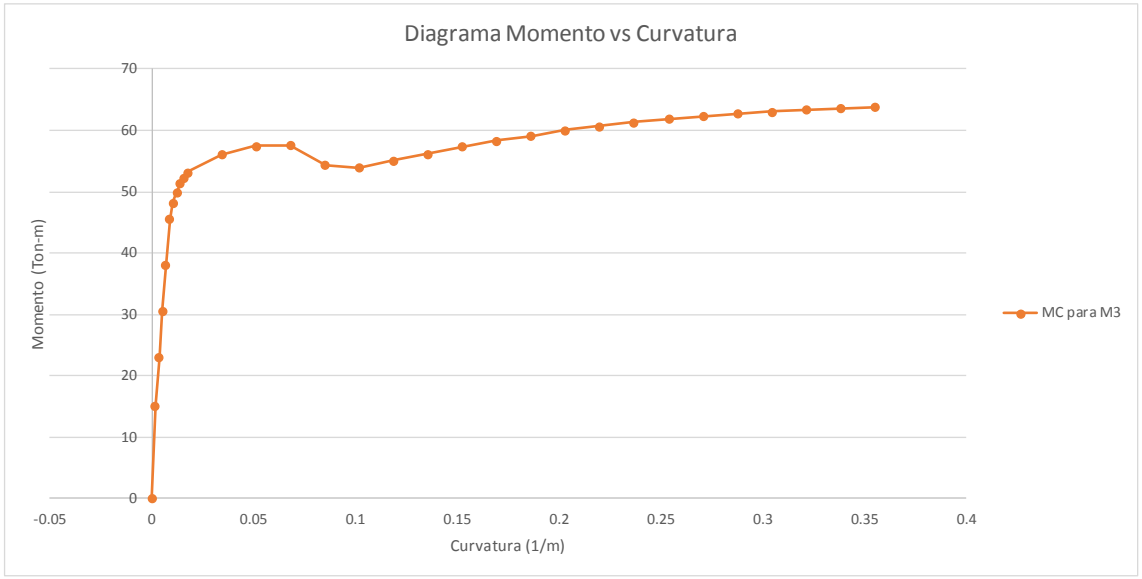
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-12.666	-0.4614
D-	-12.666	-0.3076
C-	-63.33	-0.3076
B-	-51.69	0
A	0	0
B	51.69	0
C	63.33	0.3076
D	12.666	0.3076
E	12.666	0.4614



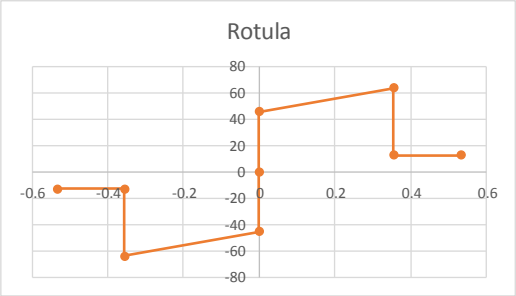


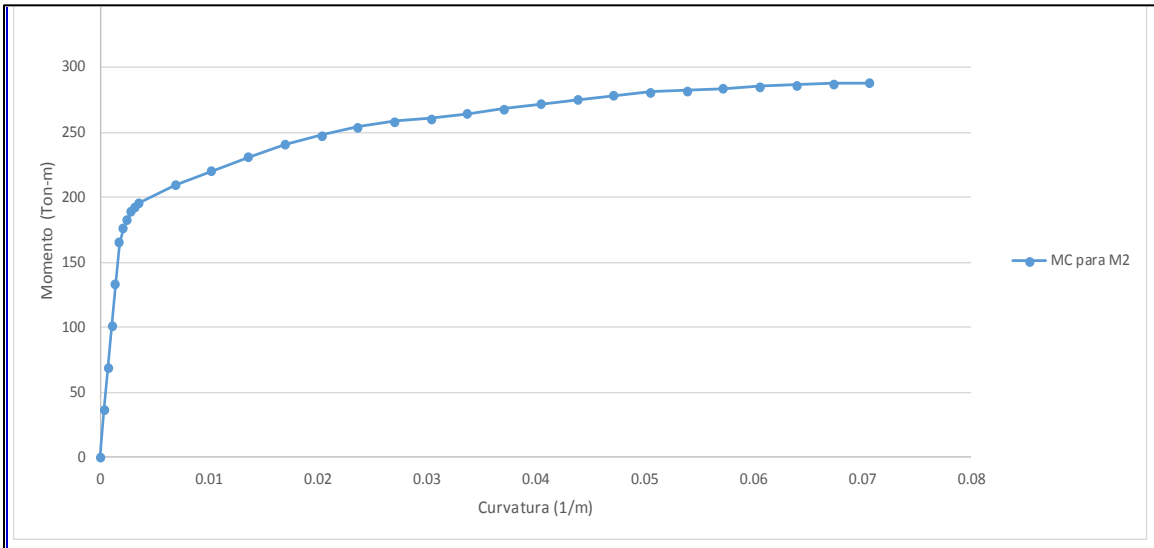
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-63.1	-0.11025
D-	-63.1	-0.0735
C-	-315.5	-0.0735
B-	-200.4	0
A	0	0
B	200.4	0
C	315.5	0.0735
D	63.1	0.0735
E	63.1	0.11025



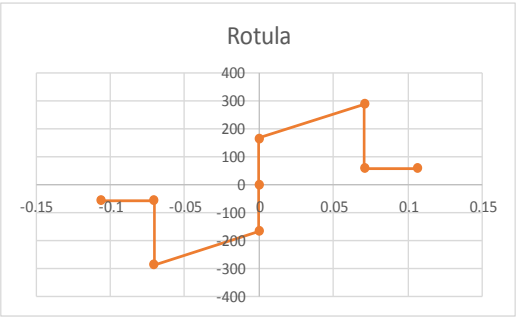


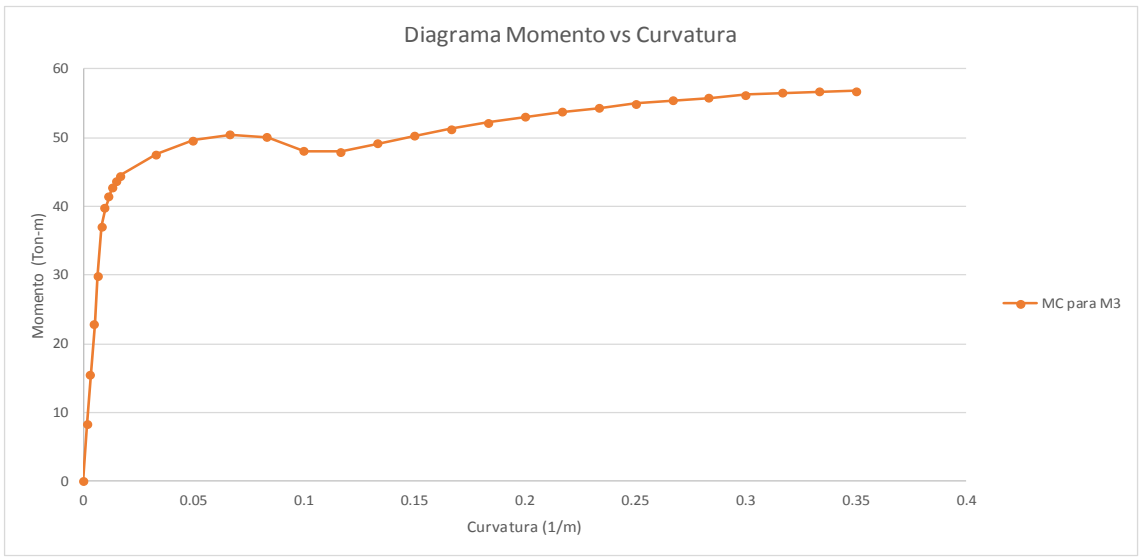
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-12.756	-0.53295
D-	-12.756	-0.3553
C-	-63.78	-0.3553
B-	-45.57	0
A	0	0
B	45.57	0
C	63.78	0.3553
D	12.756	0.3553
E	12.756	0.53295



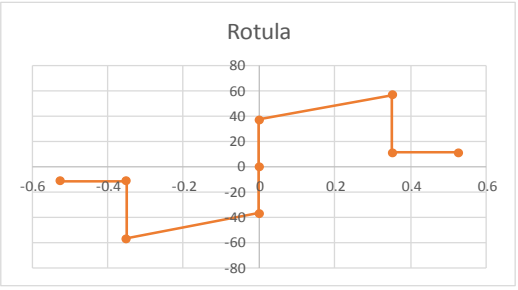


Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-57.56	-0.106125
D-	-57.56	-0.07075
C-	-287.8	-0.07075
B-	-165.7	0
A	0	0
B	165.7	0
C	287.8	0.07075
D	57.56	0.07075
E	57.56	0.106125

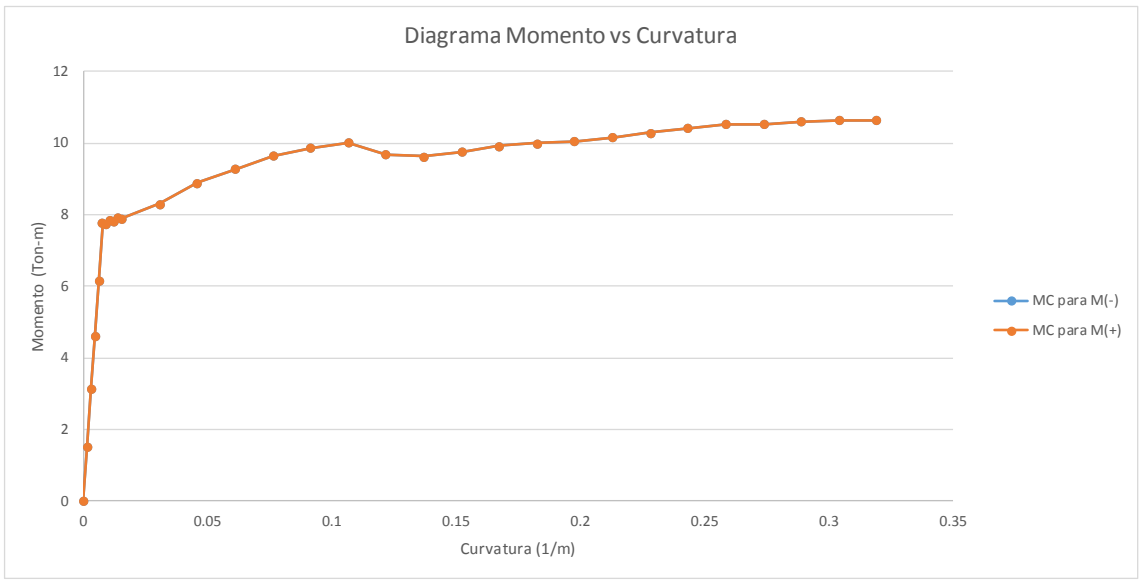




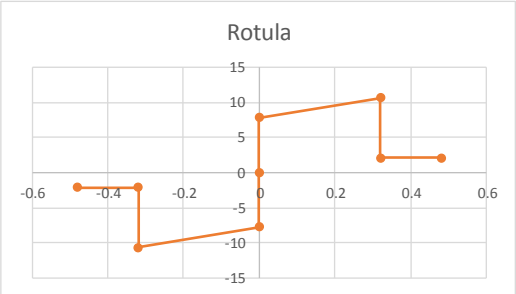
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-11.366	-0.5259
D-	-11.366	-0.3506
C-	-56.83	-0.3506
B-	-37.12	0
A	0	0
B	37.12	0
C	56.83	0.3506
D	11.366	0.3506
E	11.366	0.5259

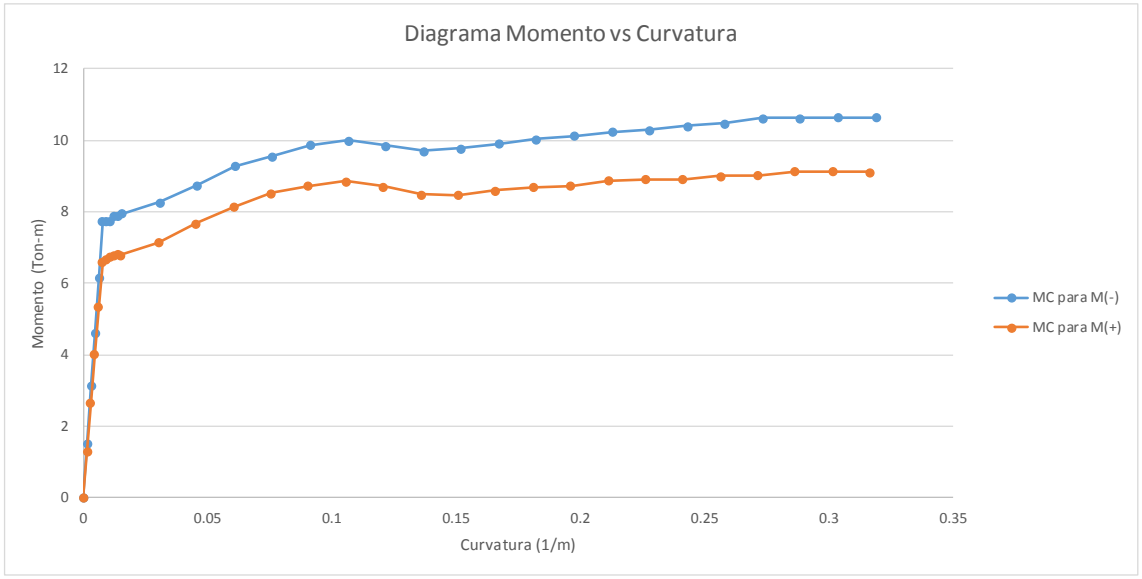


2.2 Rotulas vigas

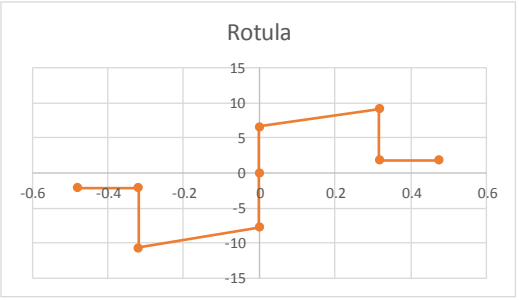


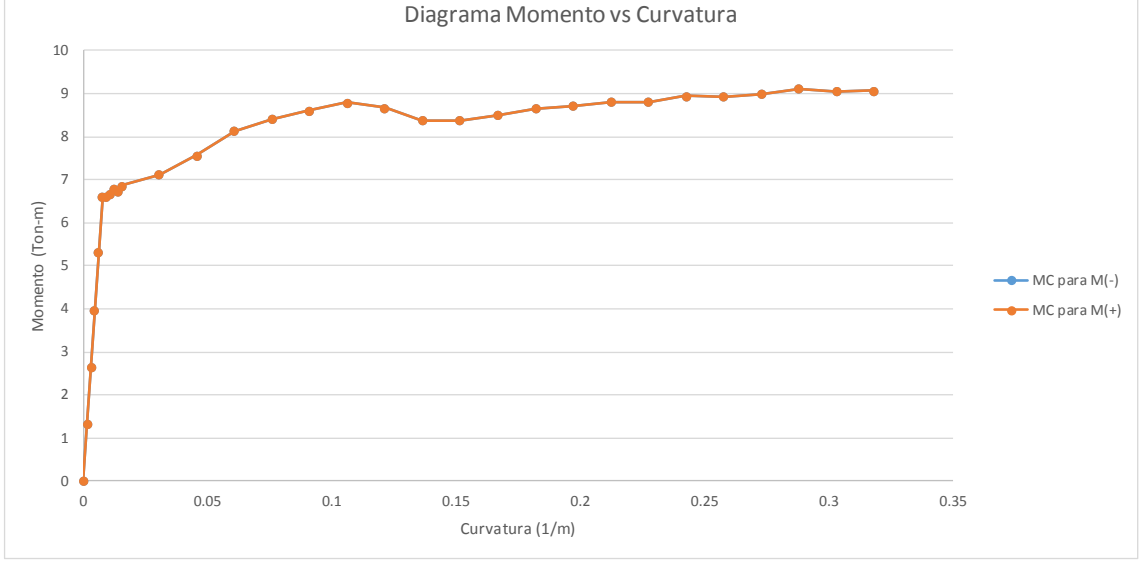
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-2.128	-0.4794
D-	-2.128	-0.3196
C-	-10.64	-0.3196
B-	-7.768	0
A	0	0
B	7.768	0
C	10.64	0.3196
D	2.128	0.3196
E	2.128	0.4794



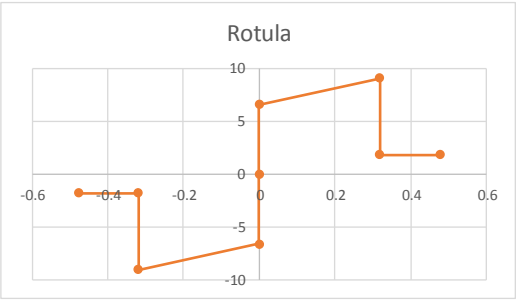


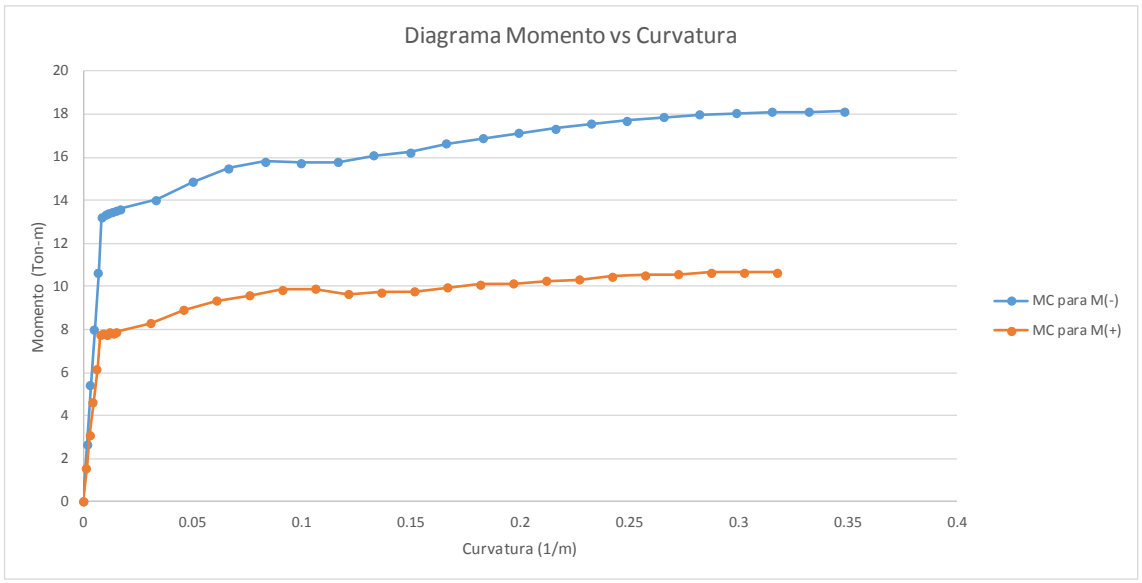
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-2.128	-0.4788
D-	-2.128	-0.3192
C-	-10.64	-0.3192
B-	-7.75	0
A	0	0
B	6.587	0
C	9.125	0.3169
D	1.825	0.3169
E	1.825	0.47535



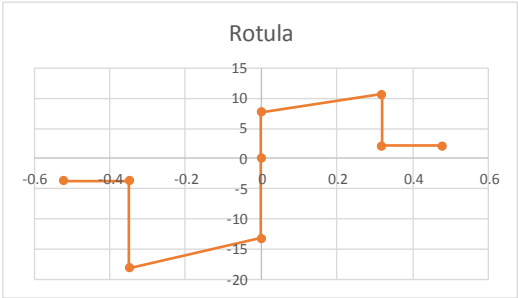


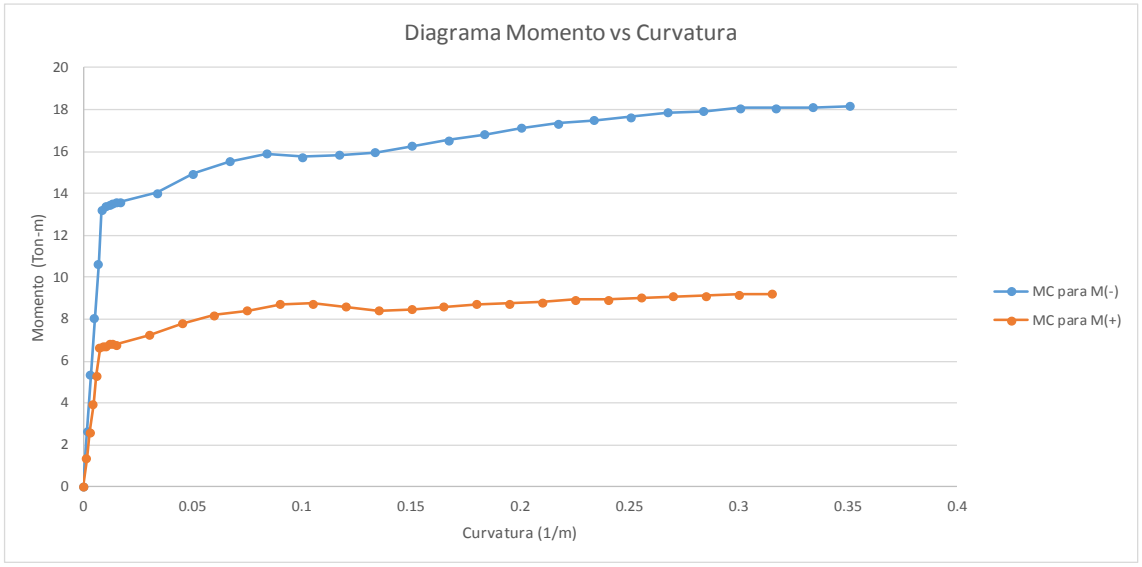
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-1.8152	-0.47775
D-	-1.8152	-0.3185
C-	-9.076	-0.3185
B-	-6.611	0
A	0	0
B	6.611	0
C	9.076	0.3185
D	1.8152	0.3185
E	1.8152	0.47775



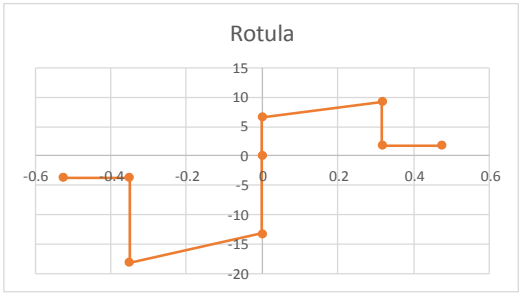


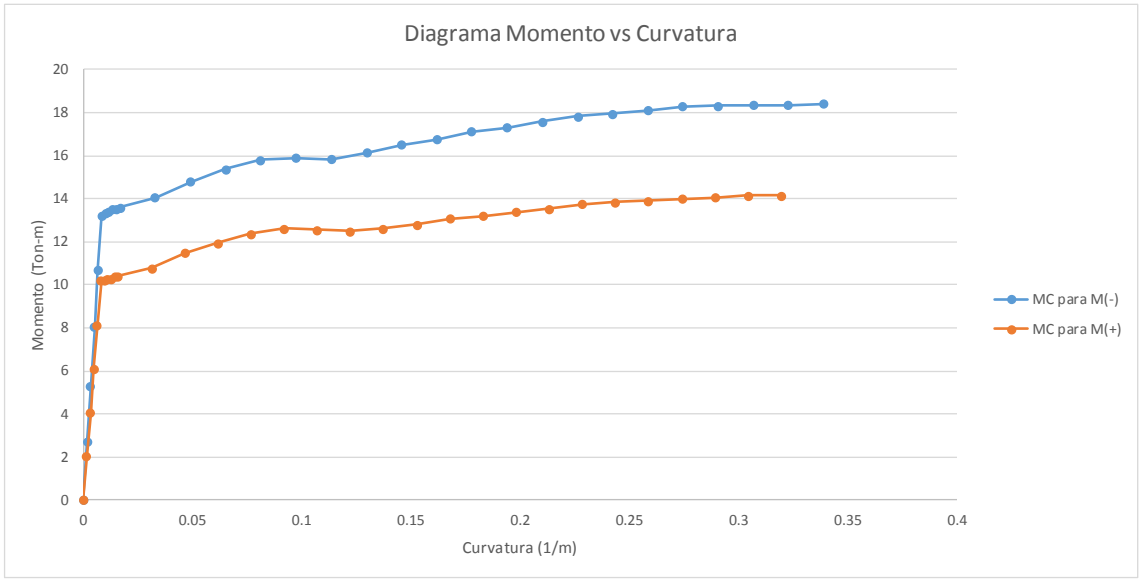
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-3.626	-0.52365
D-	-3.626	-0.3491
C-	-18.13	-0.3491
B-	-13.24	0
A	0	0
B	7.742	0
C	10.65	0.3181
D	2.13	0.3181
E	2.13	0.47715



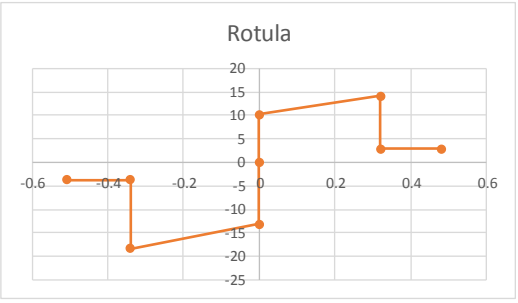


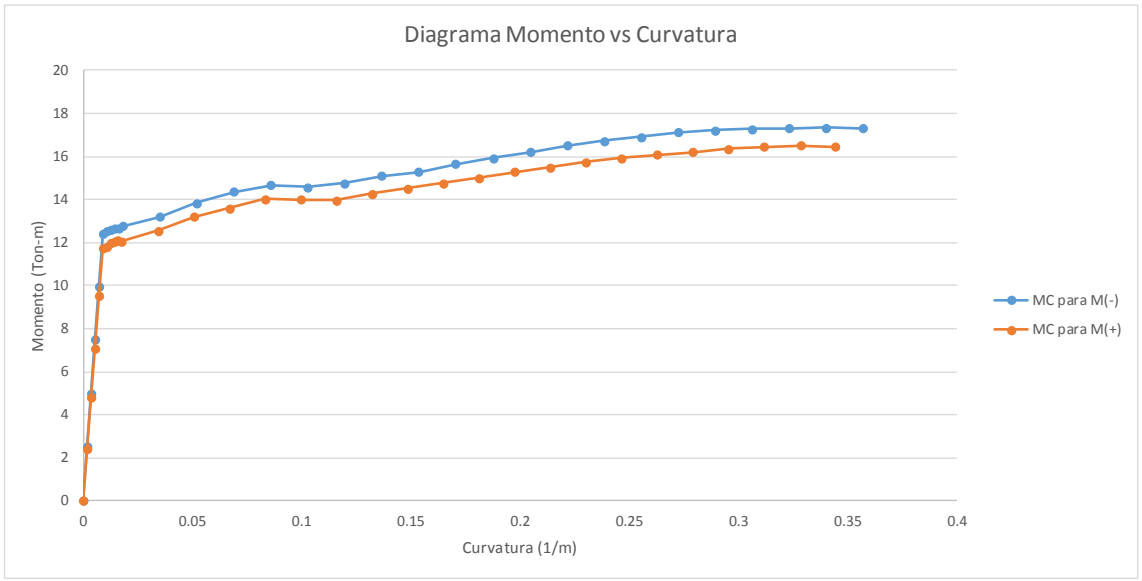
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-3.632	-0.5265
D-	-3.632	-0.351
C-	-18.16	-0.351
B-	-13.24	0
A	0	0
B	6.631	0
C	9.203	0.3156
D	1.8406	0.3156
E	1.8406	0.4734



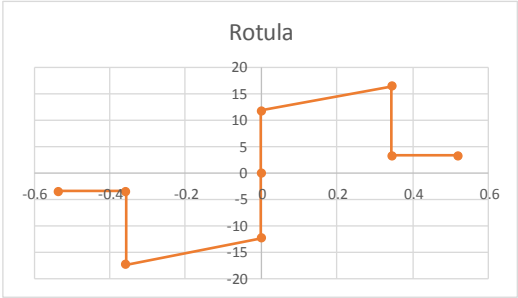


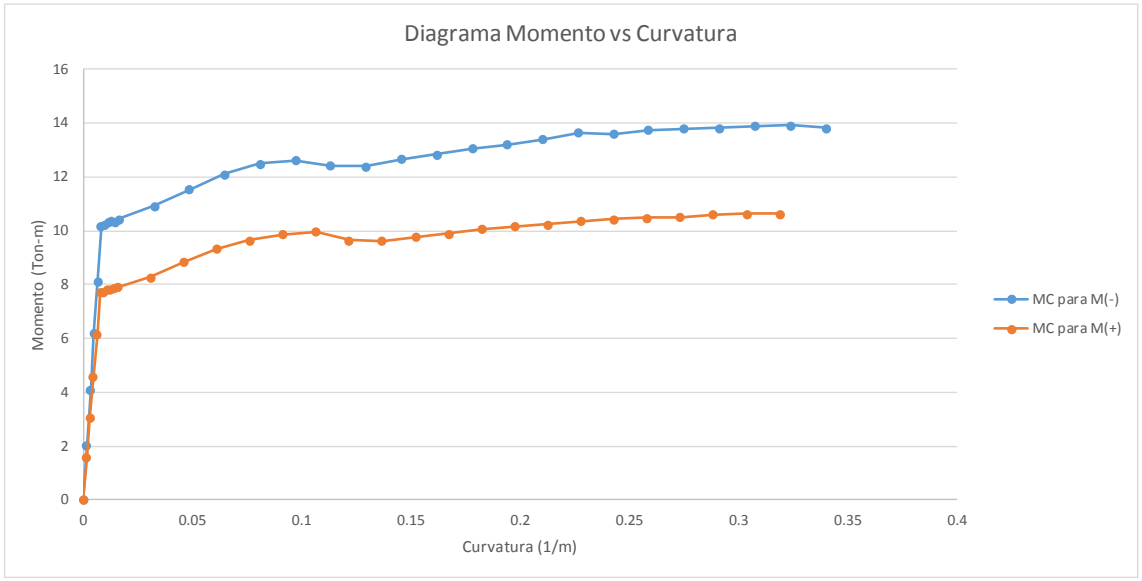
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-3.686	-0.50895
D-	-3.686	-0.3393
C-	-18.43	-0.3393
B-	-13.21	0
A	0	0
B	10.18	0
C	14.16	0.3199
D	2.832	0.3199
E	2.832	0.47985



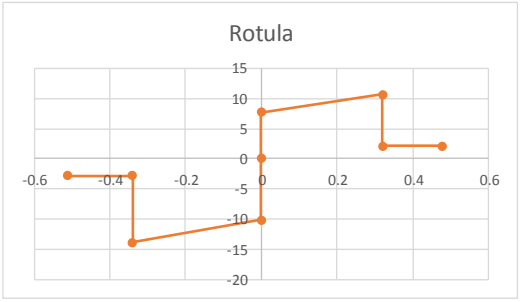


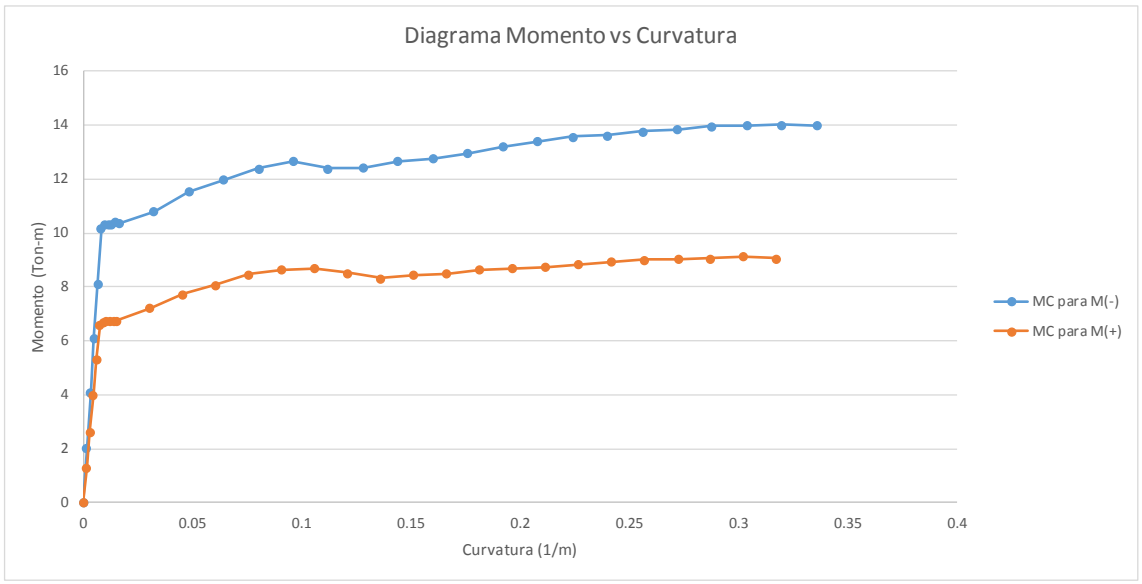
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-3.46	-0.5361
D-	-3.46	-0.3574
C-	-17.3	-0.3574
B-	-12.41	0
A	0	0
B	11.77	0
C	16.44	0.3449
D	3.288	0.3449
E	3.288	0.51735



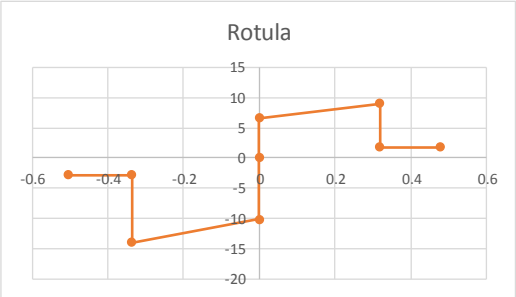


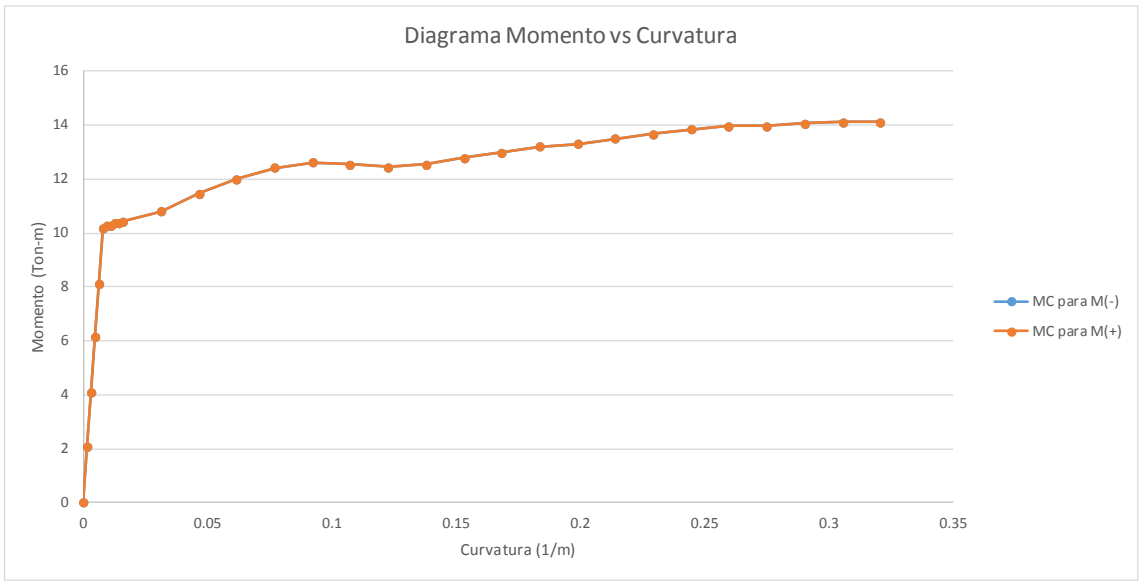
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-2.764	-0.51015
D-	-2.764	-0.3401
C-	-13.82	-0.3401
B-	-10.18	0
A	0	0
B	7.703	0
C	10.64	0.3191
D	2.128	0.3191
E	2.128	0.47865



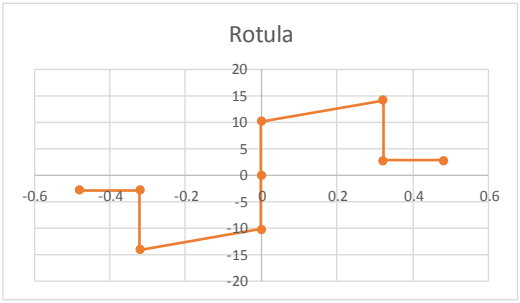


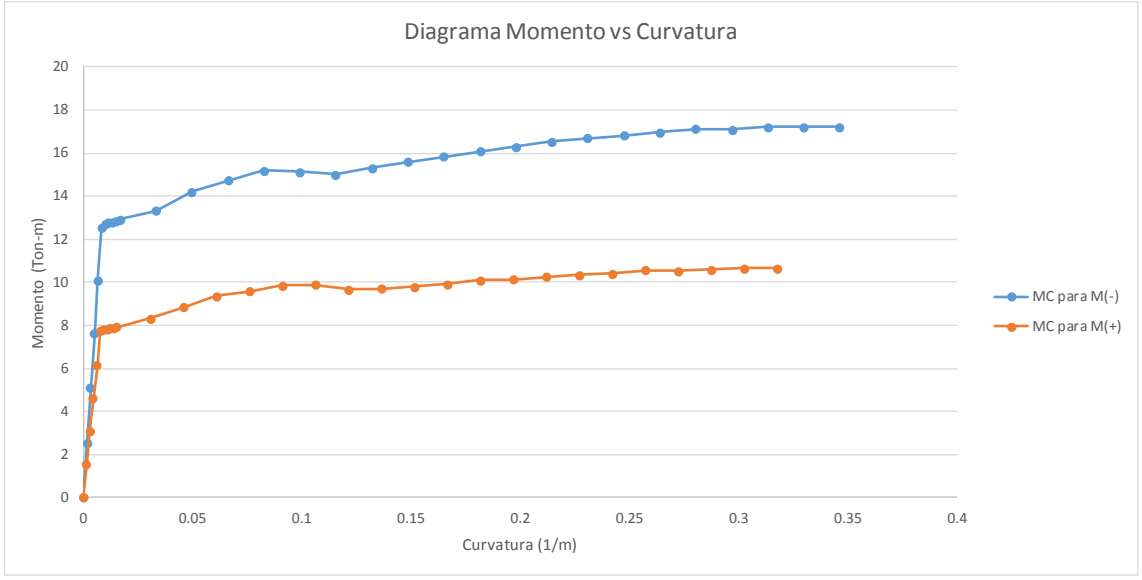
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-2.798	-0.504
D-	-2.798	-0.336
C-	-13.99	-0.336
B-	-10.16	0
A	0	0
B	6.616	0
C	9.057	0.3177
D	1.8114	0.3177
E	1.8114	0.47655



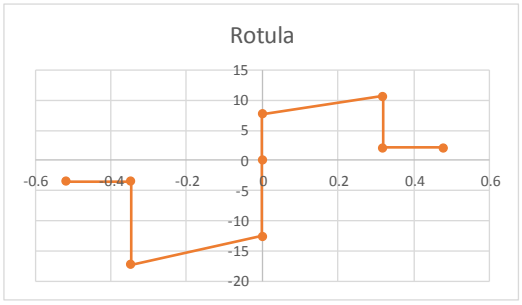


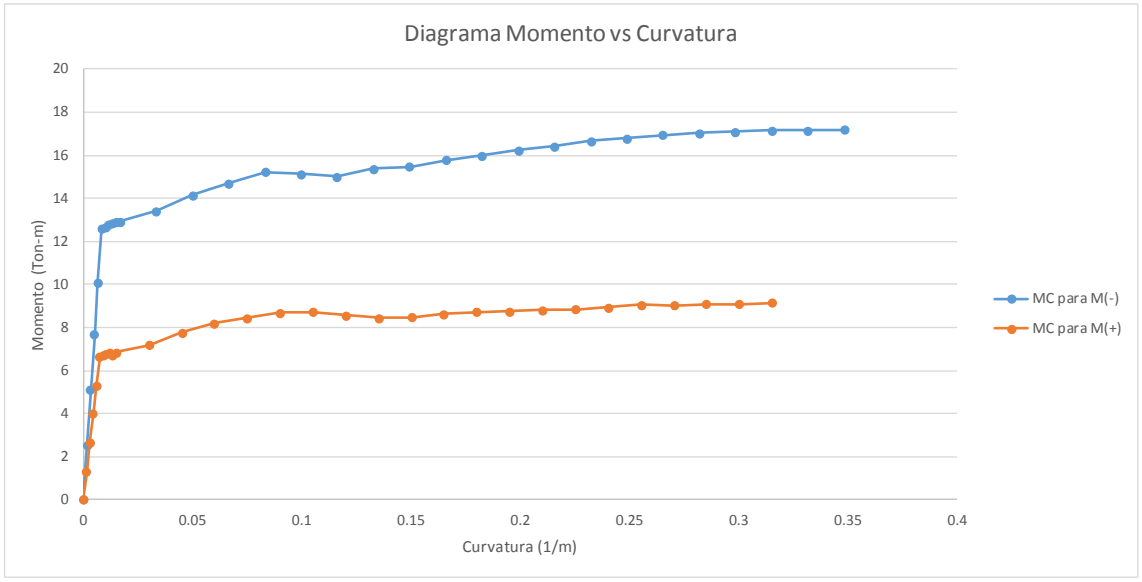
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-2.824	-0.48165
D-	-2.824	-0.3211
C-	-14.12	-0.3211
B-	-10.17	0
A	0	0
B	10.17	0
C	14.12	0.3211
D	2.824	0.3211
E	2.824	0.48165



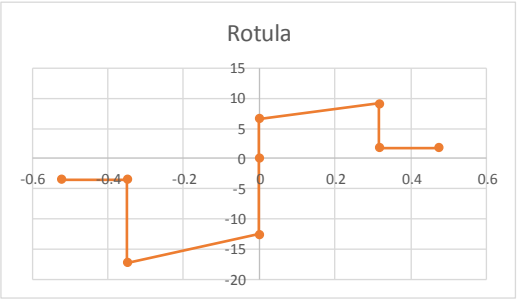


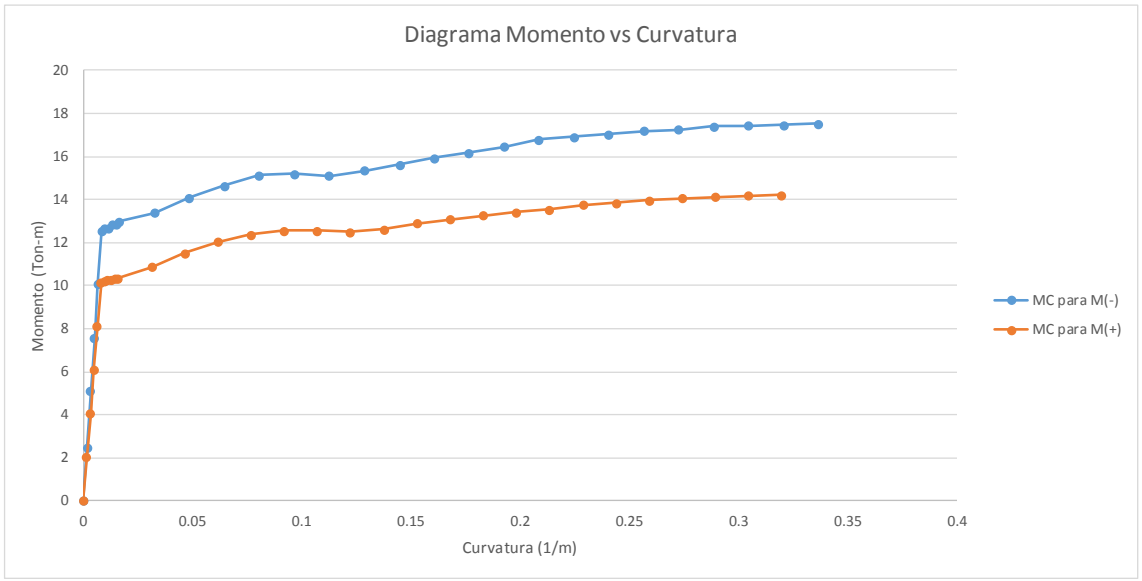
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-3.446	-0.52005
D-	-3.446	-0.3467
C-	-17.23	-0.3467
B-	-12.56	0
A	0	0
B	7.737	0
C	10.65	0.3182
D	2.13	0.3182
E	2.13	0.4773



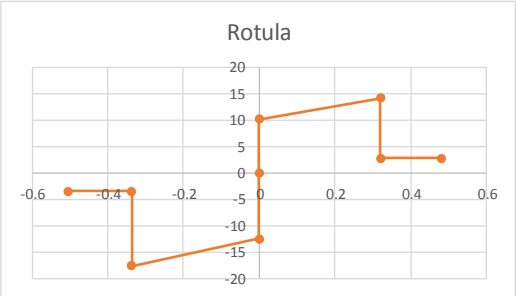


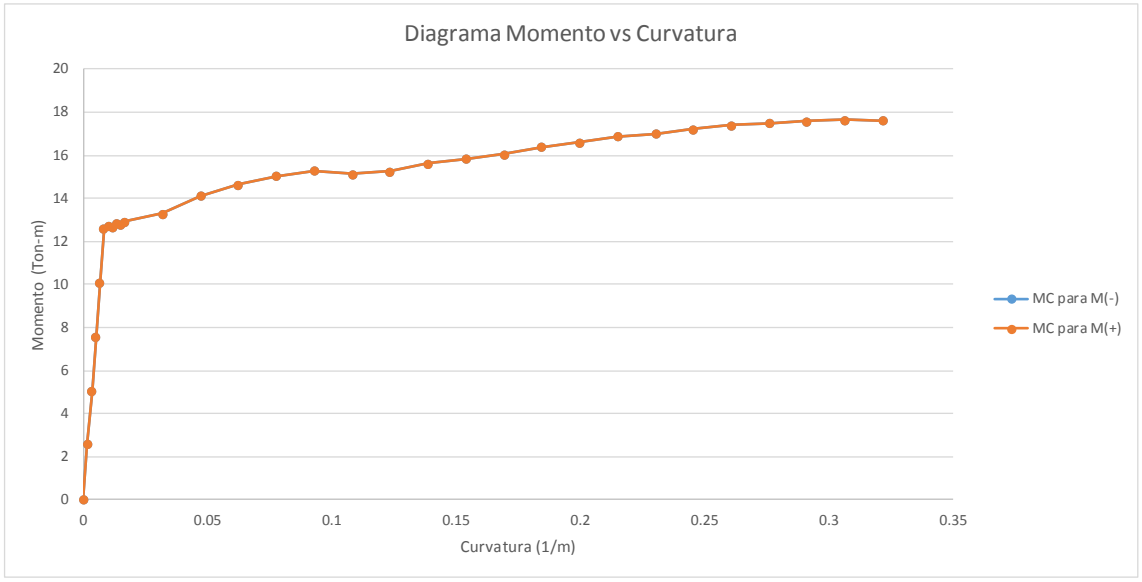
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-3.44	-0.52305
D-	-3.44	-0.3487
C-	-17.2	-0.3487
B-	-12.59	0
A	0	0
B	6.653	0
C	9.145	0.3157
D	1.829	0.3157
E	1.829	0.47355



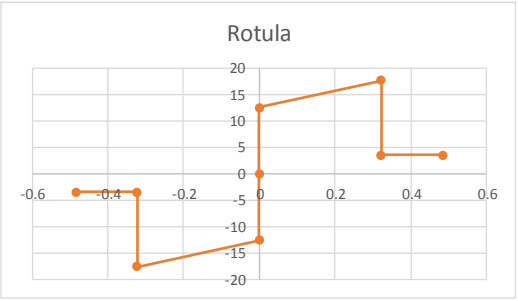


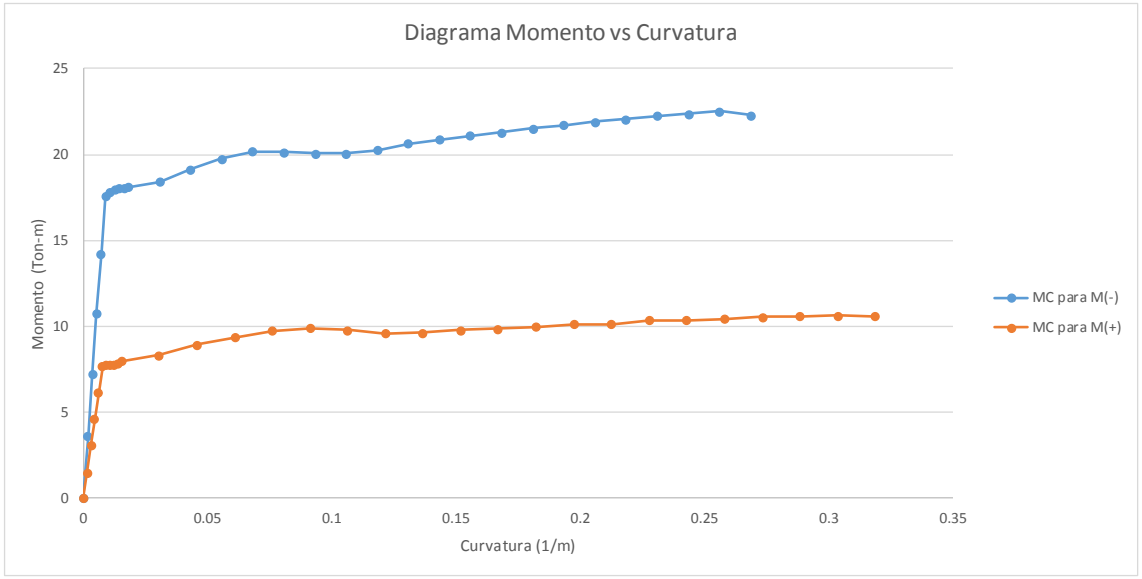
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-3.508	-0.5055
D-	-3.508	-0.337
C-	-17.54	-0.337
B-	-12.53	0
A	0	0
B	10.17	0
C	14.2	0.32
D	2.84	0.32
E	2.84	0.48



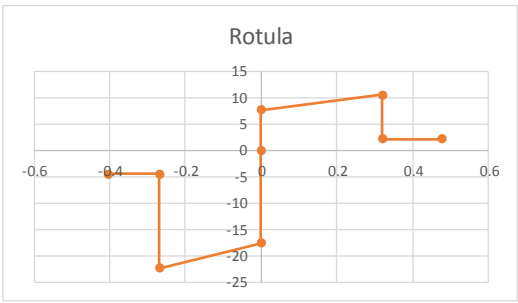


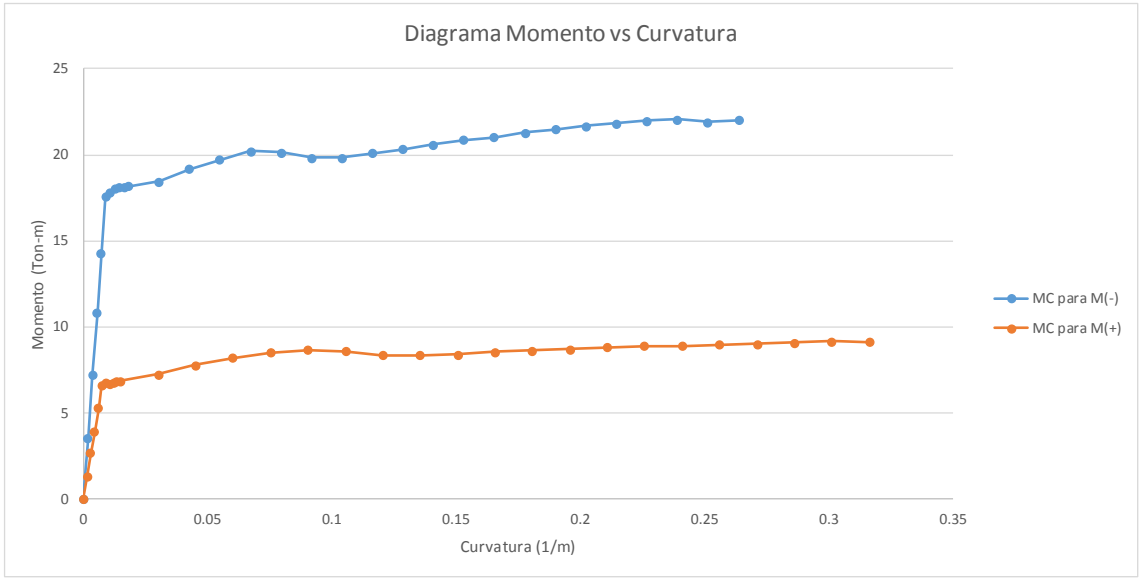
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-3.526	-0.483
D-	-3.526	-0.322
C-	-17.63	-0.322
B-	-12.59	0
A	0	0
B	12.59	0
C	17.63	0.322
D	3.526	0.322
E	3.526	0.483



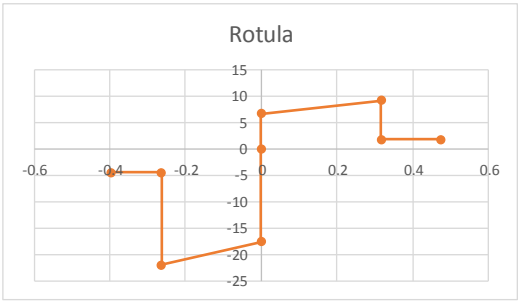


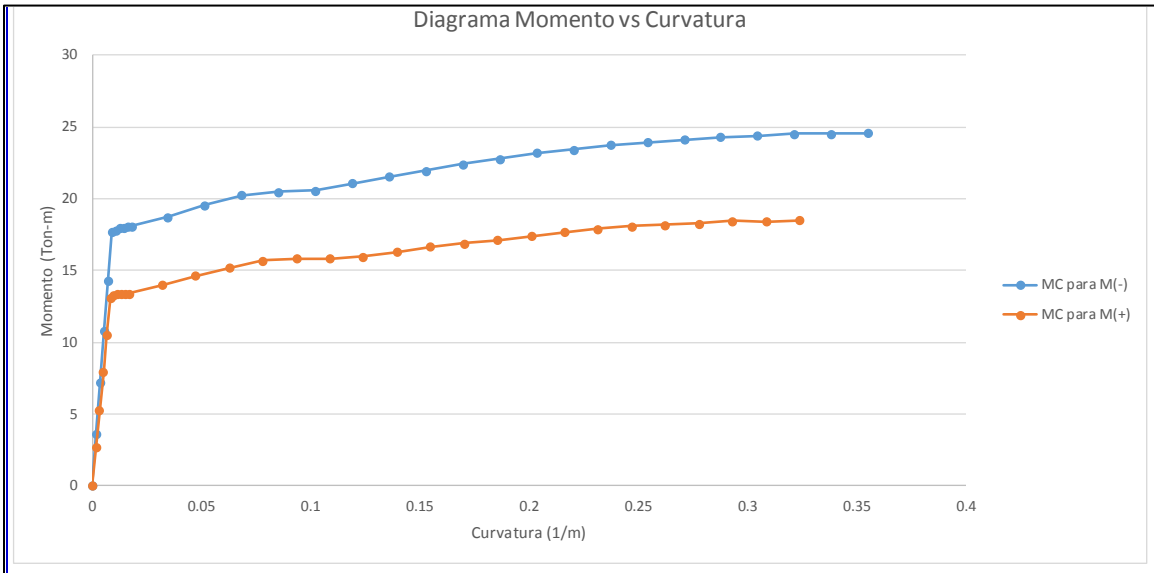
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-4.458	-0.4032
D-	-4.458	-0.2688
C-	-22.29	-0.2688
B-	-17.63	0
A	0	0
B	7.657	0
C	10.61	0.319
D	2.122	0.319
E	2.122	0.4785



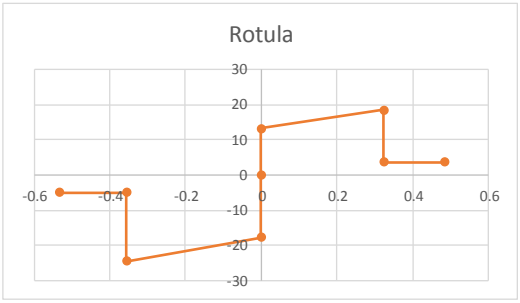


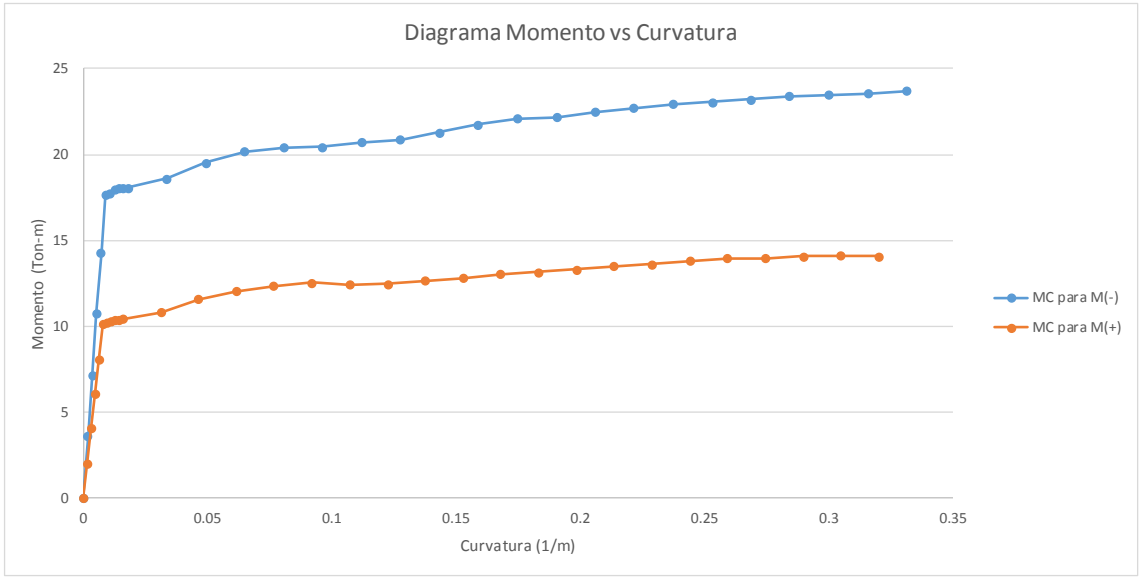
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-4.402	-0.39585
D-	-4.402	-0.2639
C-	-22.01	-0.2639
B-	-17.63	0
A	0	0
B	6.611	0
C	9.124	0.3166
D	1.8248	0.3166
E	1.8248	0.4749



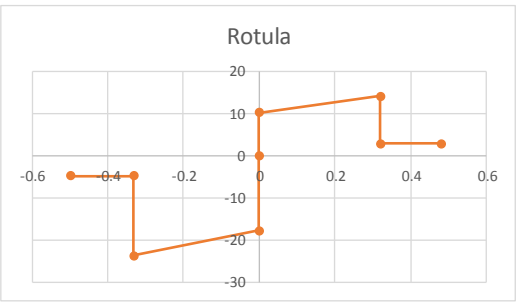


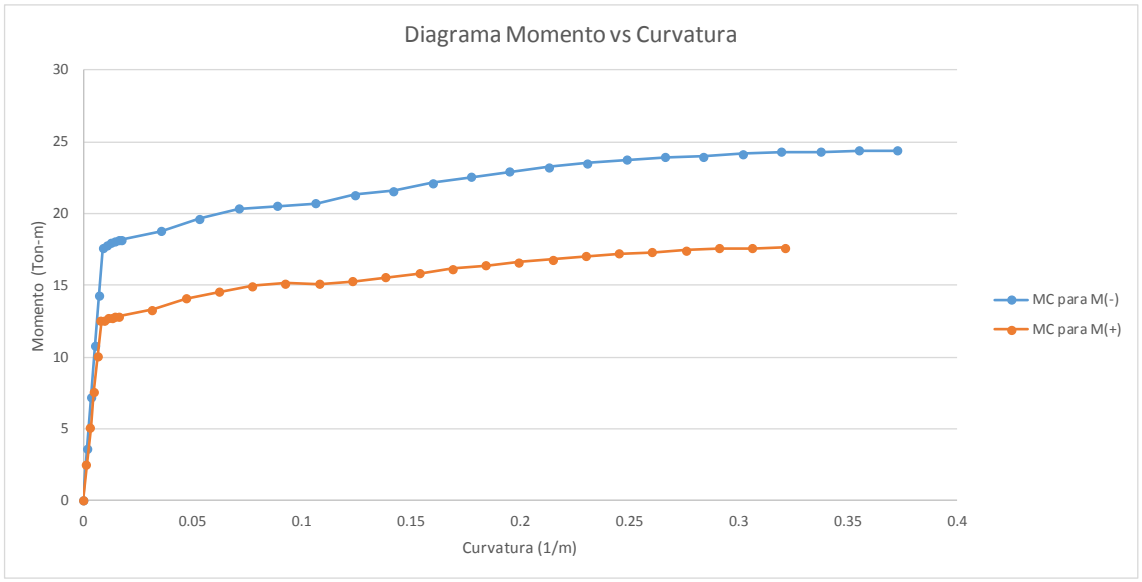
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-4.92	-0.5334
D-	-4.92	-0.3556
C-	-24.6	-0.3556
B-	-17.73	0
A	0	0
B	13.13	0
C	18.52	0.324
D	3.704	0.324
E	3.704	0.486



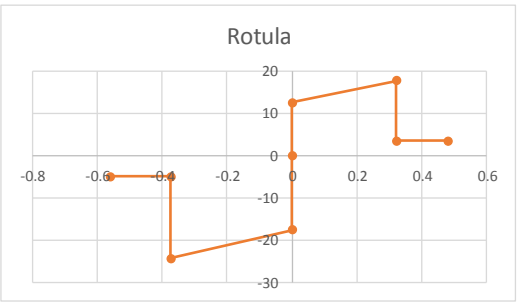


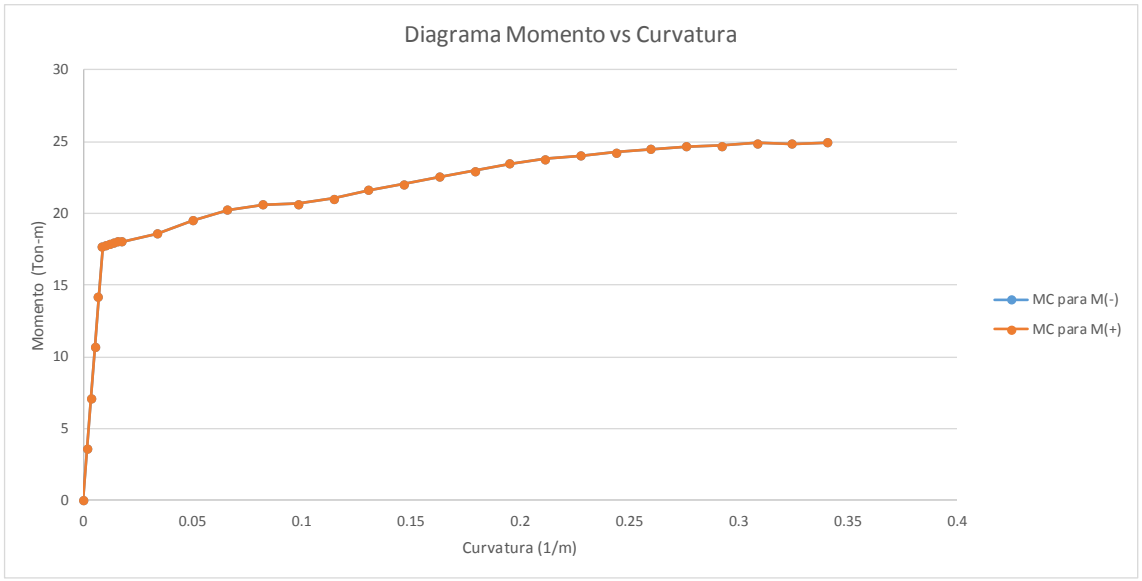
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-4.744	-0.49755
D-	-4.744	-0.3317
C-	-23.72	-0.3317
B-	-17.7	0
A	0	0
B	10.14	0
C	14.09	0.3204
D	2.818	0.3204
E	2.818	0.4806



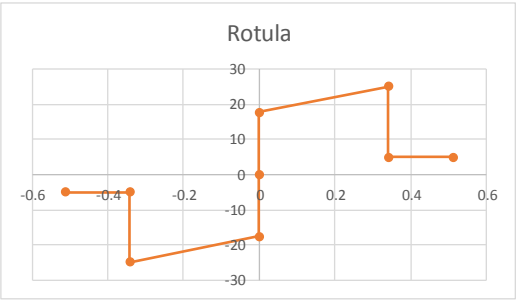


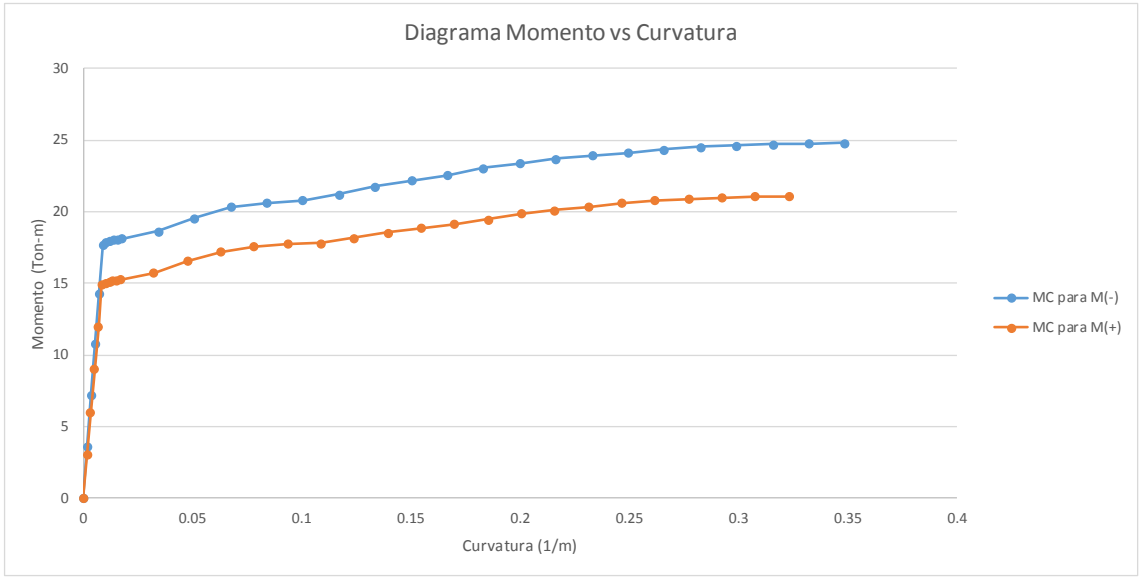
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-4.88	-0.55995
D-	-4.88	-0.3733
C-	-24.4	-0.3733
B-	-17.65	0
A	0	0
B	12.52	0
C	17.65	0.3219
D	3.53	0.3219
E	3.53	0.48285



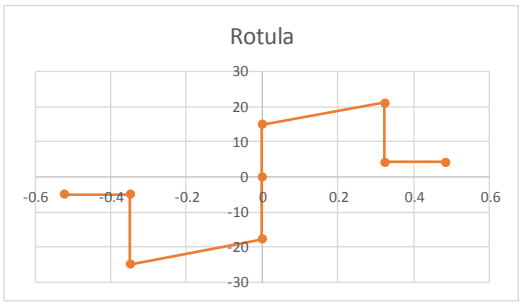


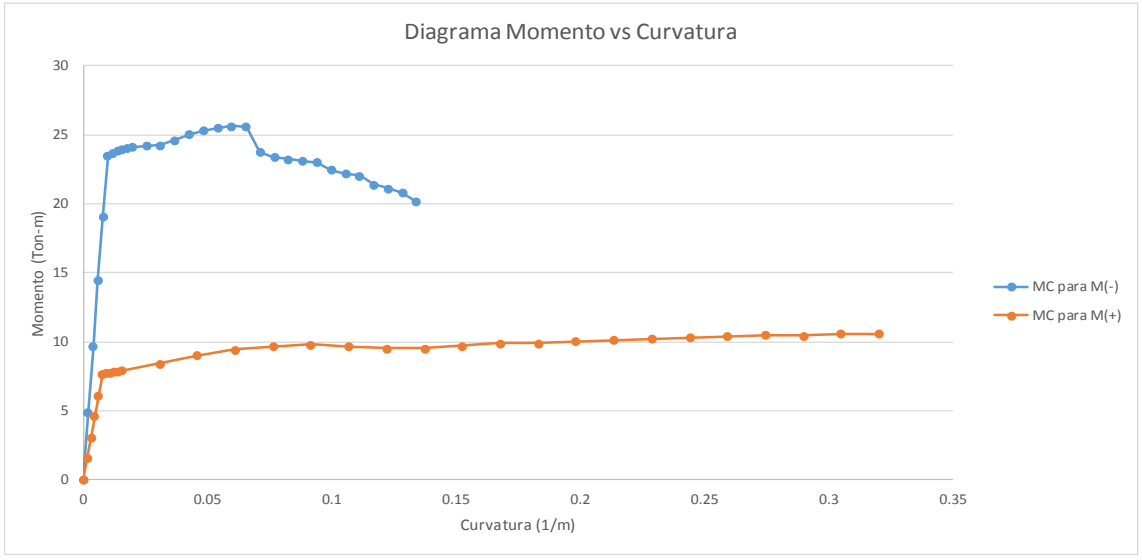
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-4.988	-0.51165
D-	-4.988	-0.3411
C-	-24.94	-0.3411
B-	-17.67	0
A	0	0
B	17.67	0
C	24.94	0.3411
D	4.988	0.3411
E	4.988	0.51165



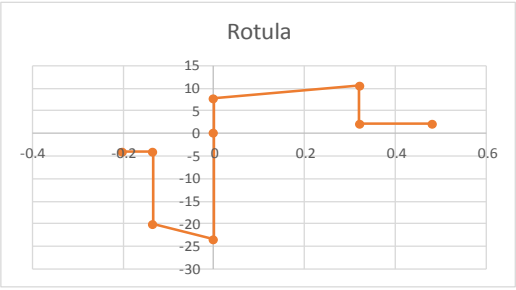


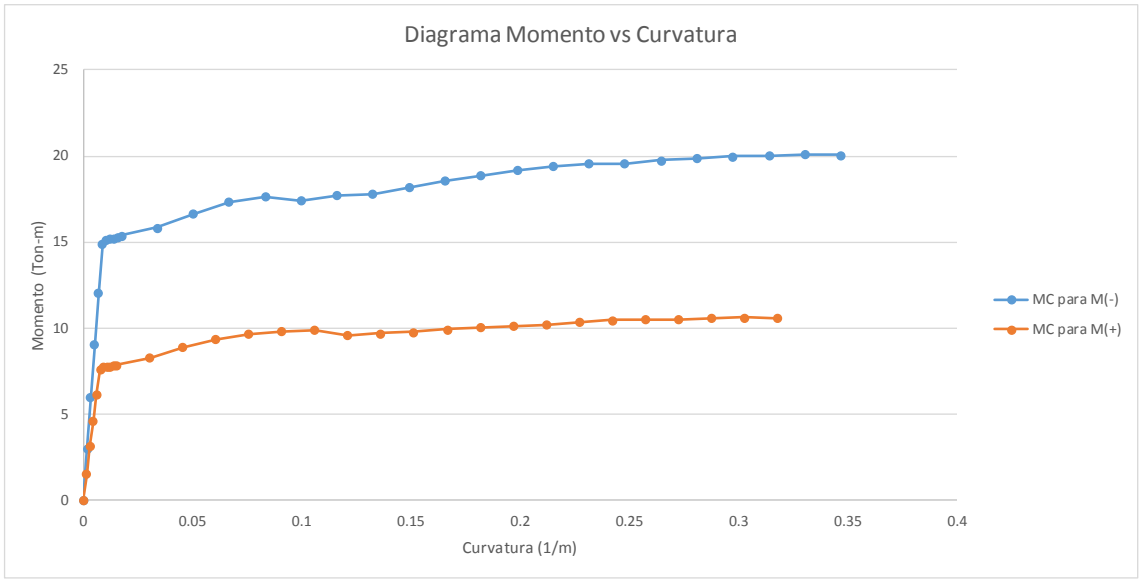
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-4.966	-0.52365
D-	-4.966	-0.3491
C-	-24.83	-0.3491
B-	-17.69	0
A	0	0
B	14.94	0
C	21.09	0.3233
D	4.218	0.3233
E	4.218	0.48495



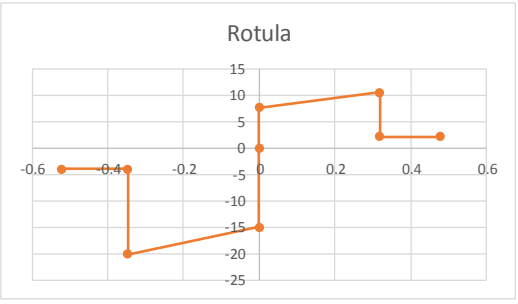


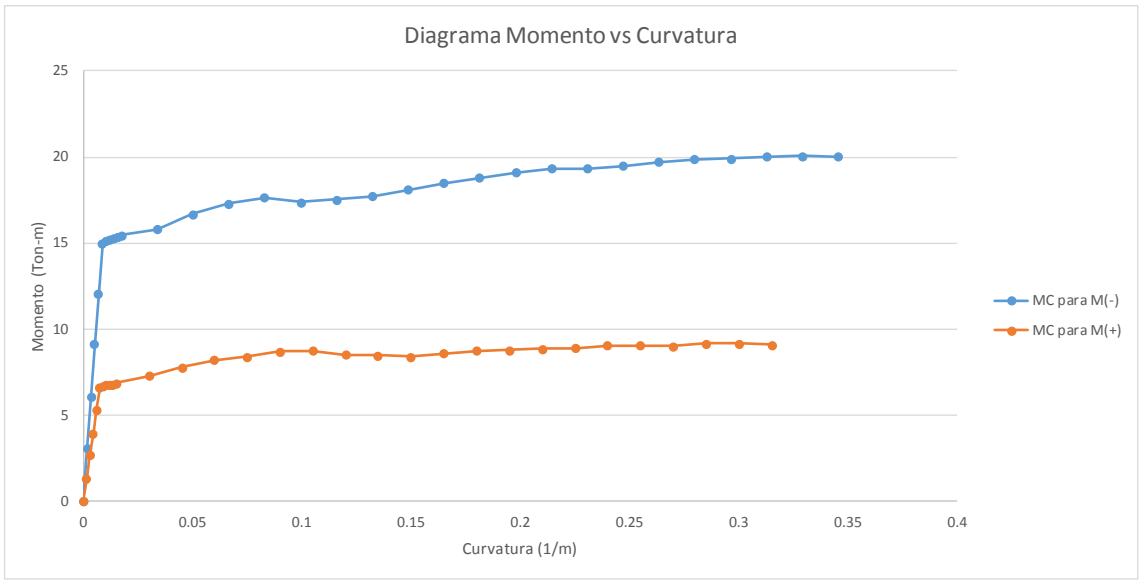
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-4.034	-0.2013
D-	-4.034	-0.1342
C-	-20.17	-0.1342
B-	-23.5	0
A	0	0
B	7.674	0
C	10.61	0.3206
D	2.122	0.3206
E	2.122	0.4809



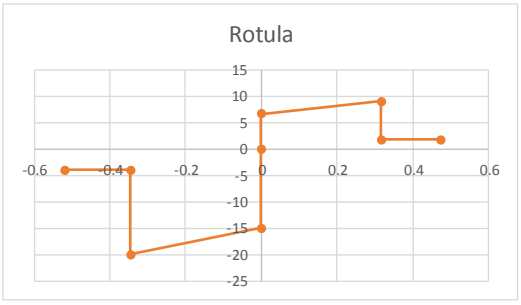


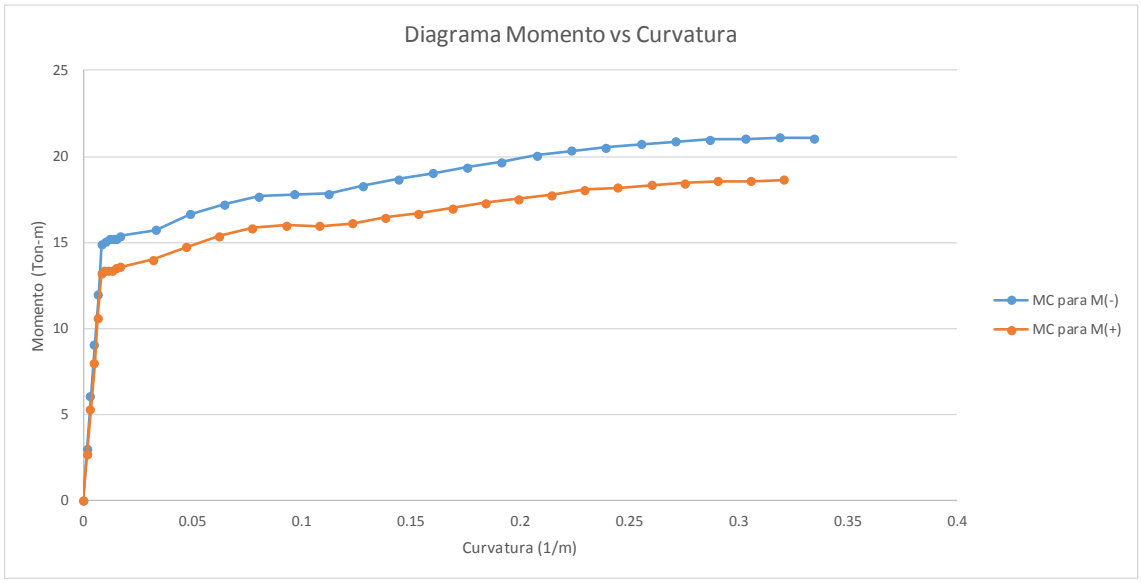
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-4.014	-0.5205
D-	-4.014	-0.347
C-	-20.07	-0.347
B-	-14.94	0
A	0	0
B	7.642	0
C	10.59	0.3178
D	2.118	0.3178
E	2.118	0.4767



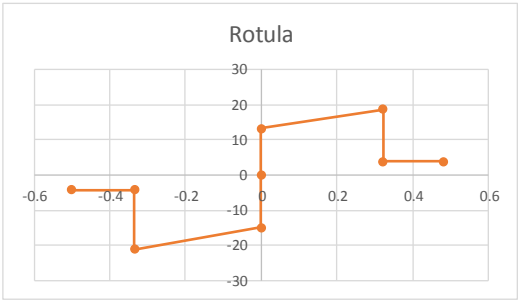


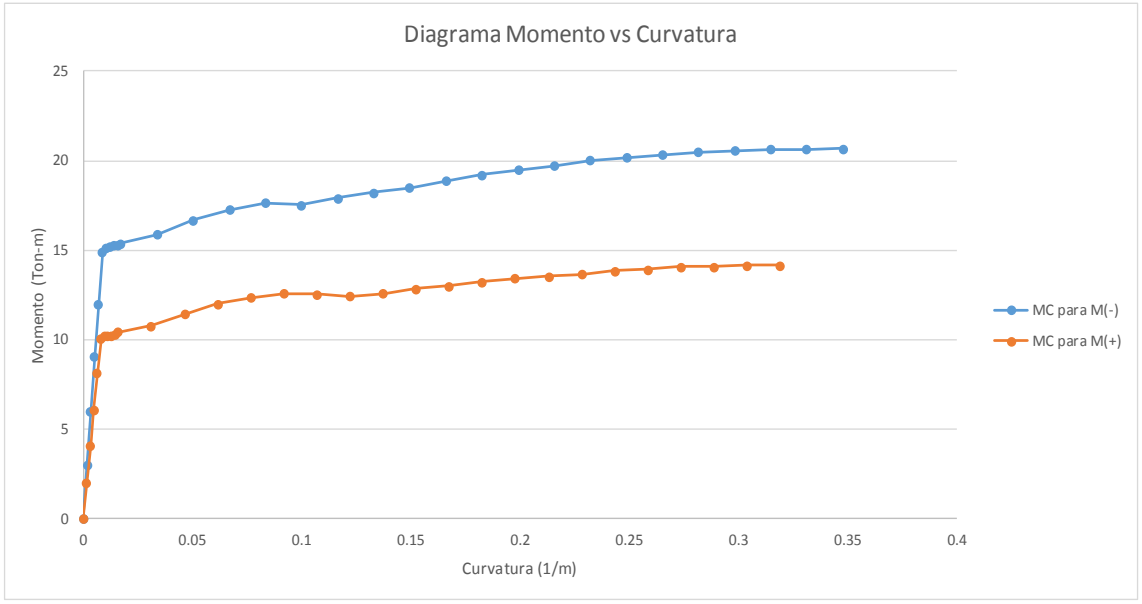
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-4.006	-0.51885
D-	-4.006	-0.3459
C-	-20.03	-0.3459
B-	-14.99	0
A	0	0
B	6.634	0
C	9.1	0.3154
D	1.82	0.3154
E	1.82	0.4731



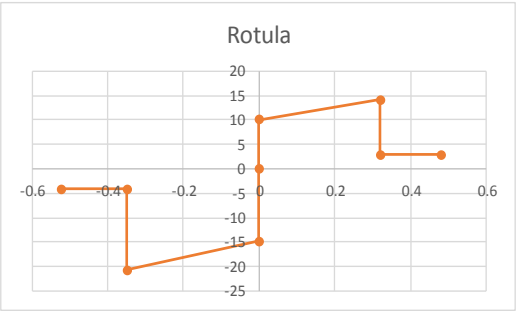


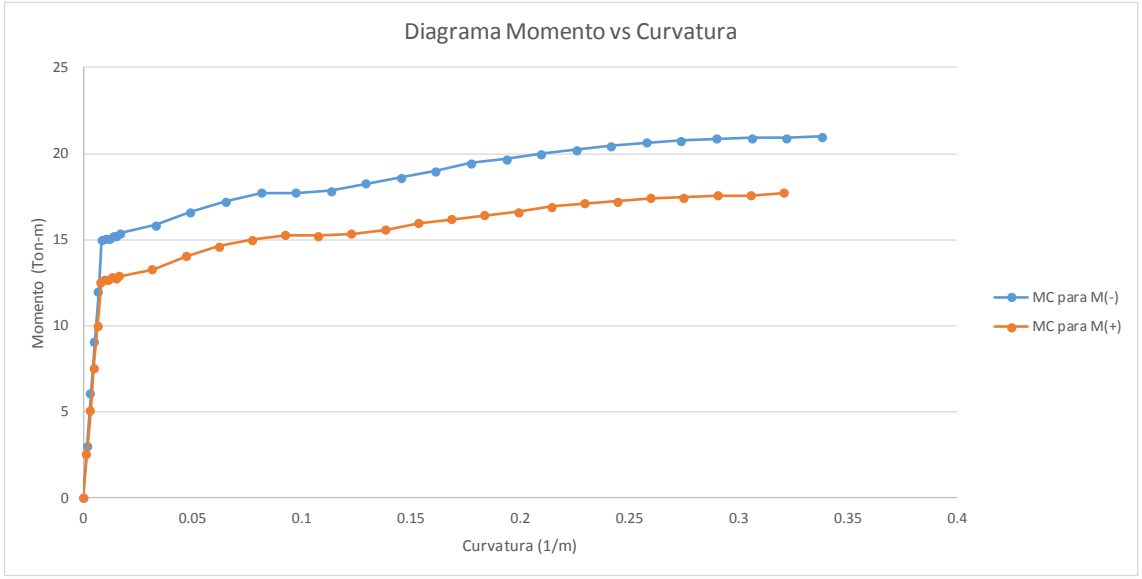
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-4.216	-0.5025
D-	-4.216	-0.335
C-	-21.08	-0.335
B-	-14.9	0
A	0	0
B	13.24	0
C	18.64	0.3213
D	3.728	0.3213
E	3.728	0.48195



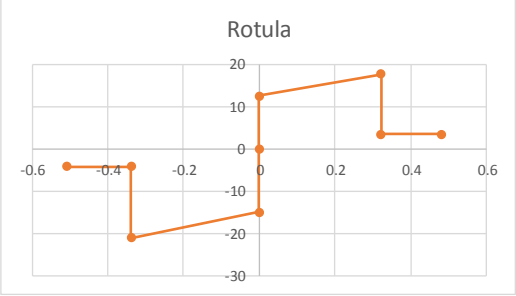


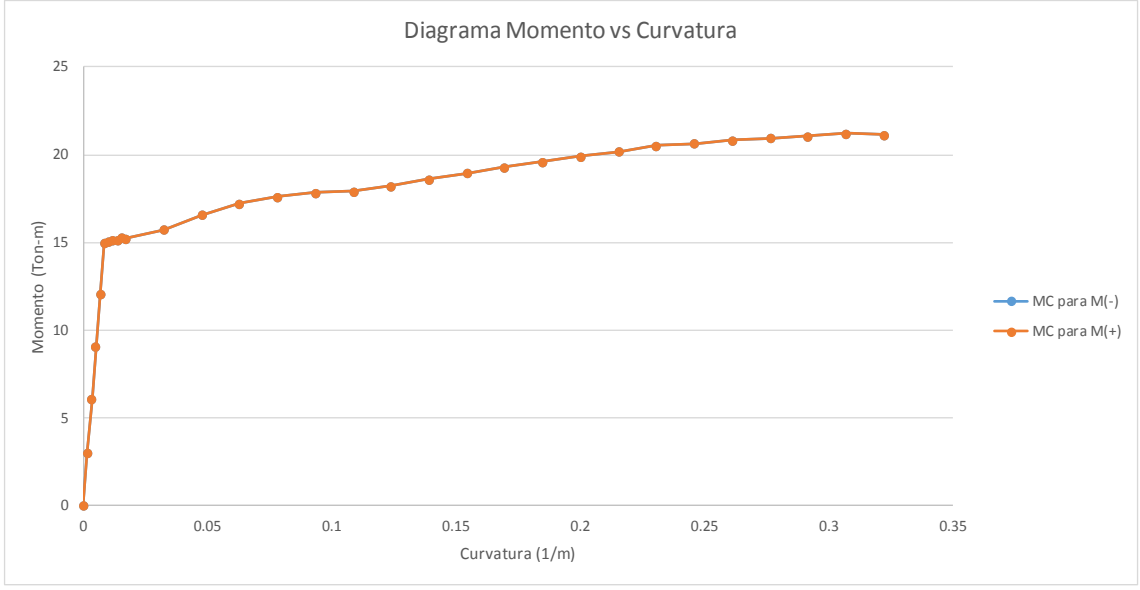
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-4.138	-0.52215
D-	-4.138	-0.3481
C-	-20.69	-0.3481
B-	-14.91	0
A	0	0
B	10.11	0
C	14.16	0.3194
D	2.832	0.3194
E	2.832	0.4791



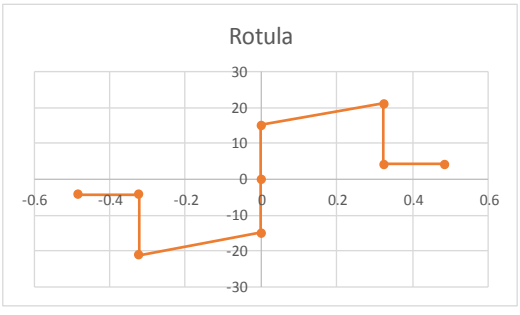


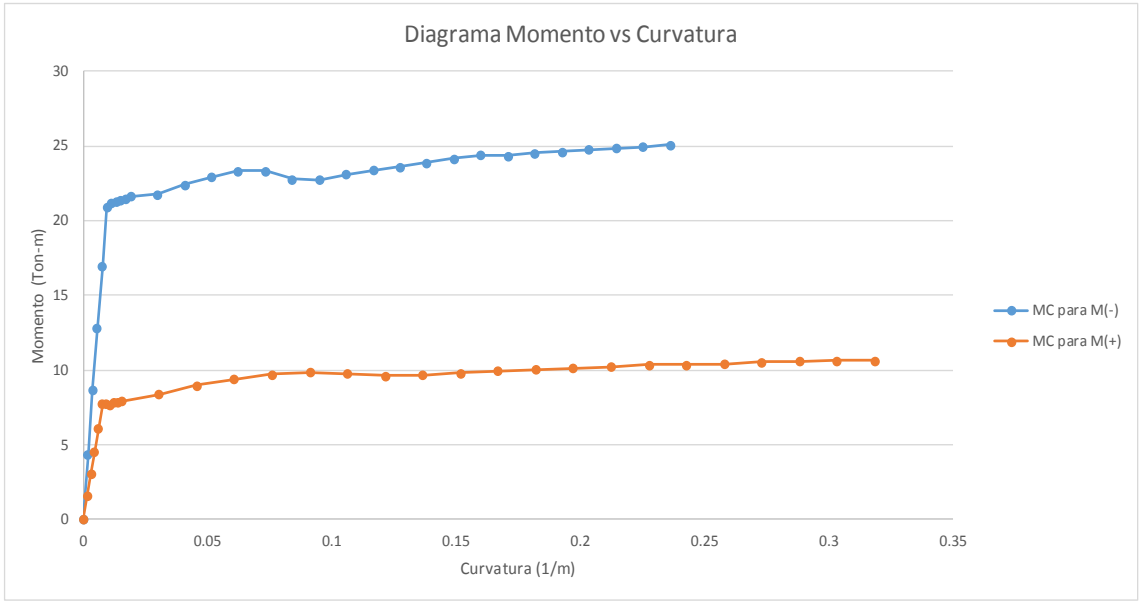
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-4.2	-0.50775
D-	-4.2	-0.3385
C-	-21	-0.3385
B-	-14.96	0
A	0	0
B	12.54	0
C	17.72	0.321
D	3.544	0.321
E	3.544	0.4815



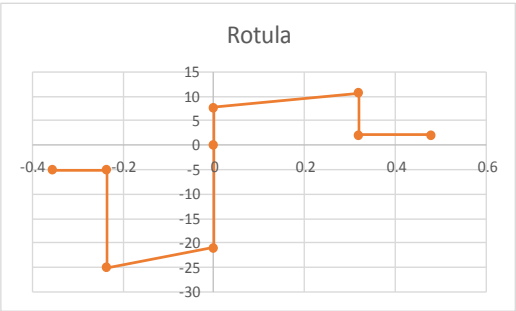


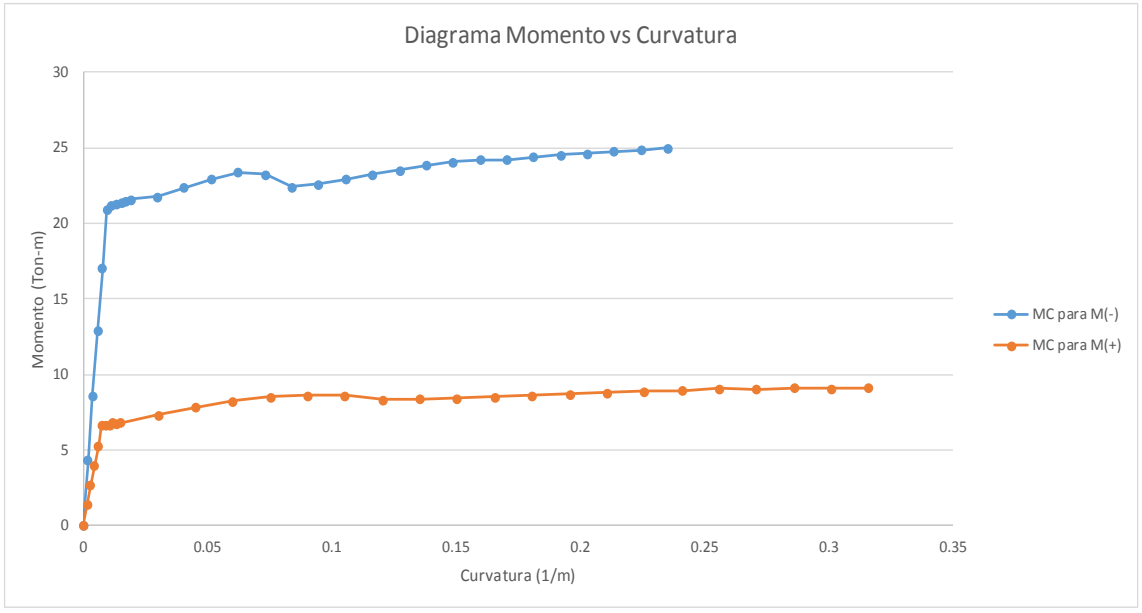
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-4.232	-0.48375
D-	-4.232	-0.3225
C-	-21.16	-0.3225
B-	-14.98	0
A	0	0
B	14.98	0
C	21.16	0.3225
D	4.232	0.3225
E	4.232	0.48375



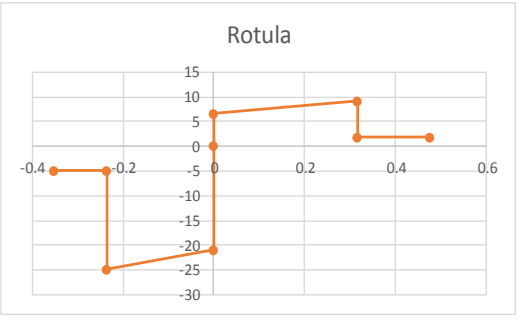


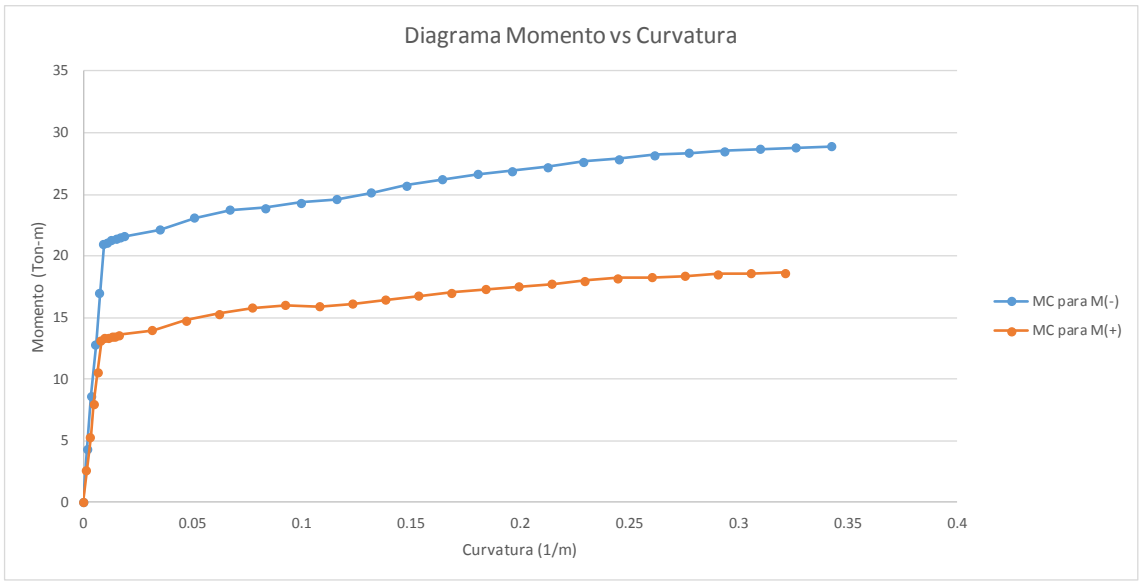
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-5.014	-0.35445
D-	-5.014	-0.2363
C-	-25.07	-0.2363
B-	-20.95	0
A	0	0
B	7.723	0
C	10.66	0.3187
D	2.132	0.3187
E	2.132	0.47805



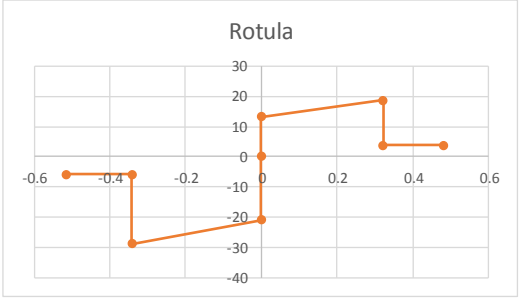


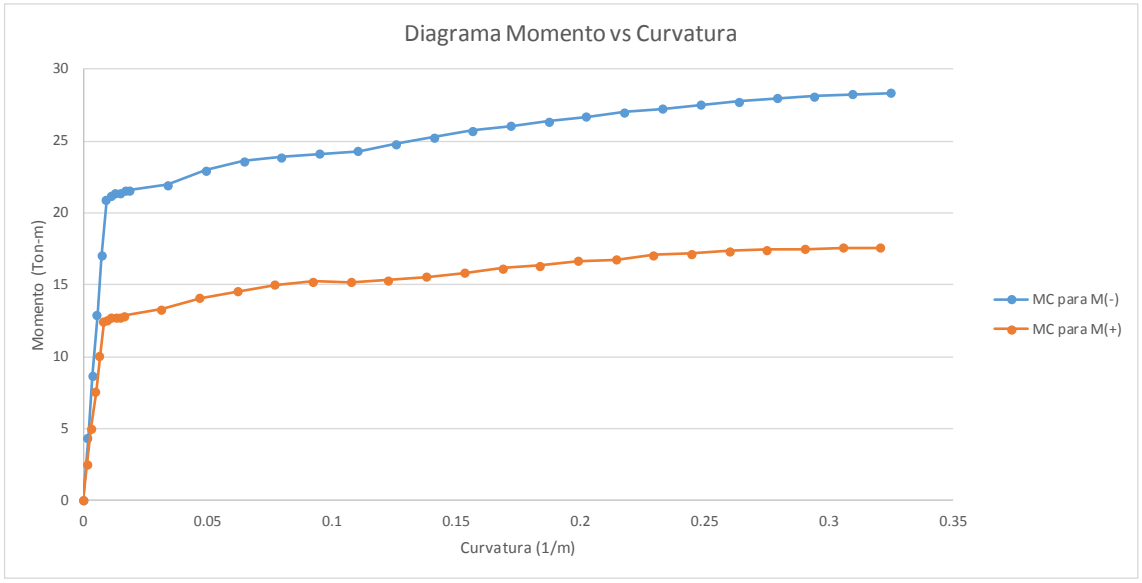
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-4.996	-0.3534
D-	-4.996	-0.2356
C-	-24.98	-0.2356
B-	-20.96	0
A	0	0
B	6.659	0
C	9.121	0.3164
D	1.8242	0.3164
E	1.8242	0.4746



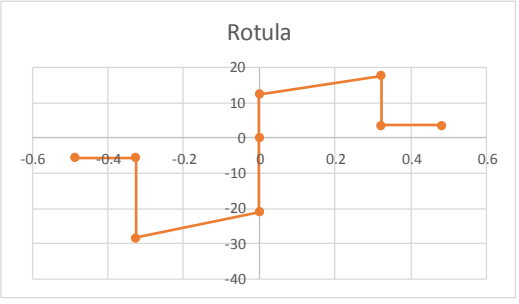


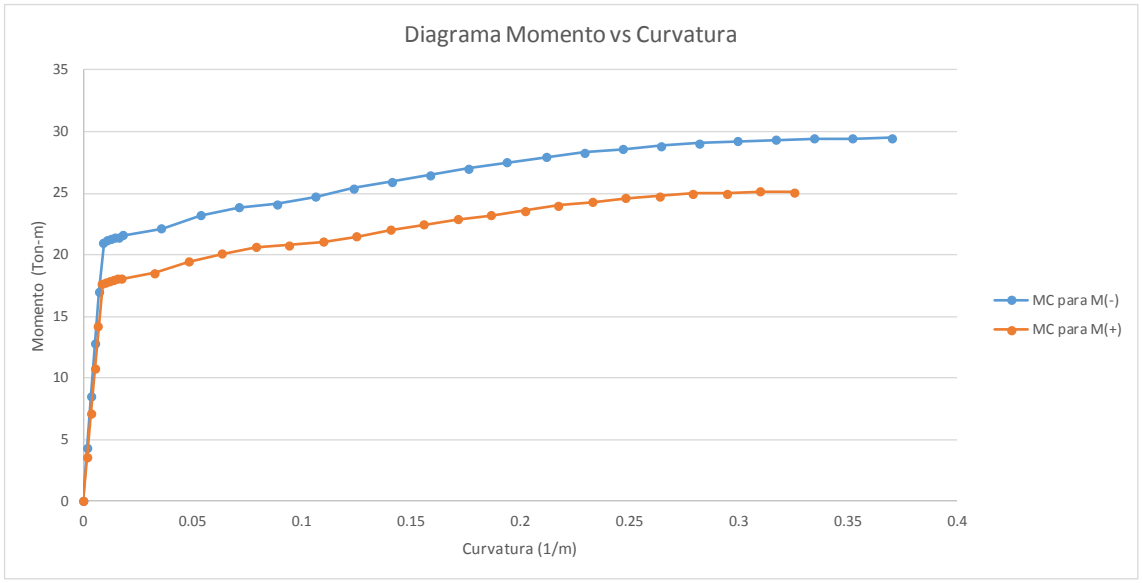
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-5.778	-0.51375
D-	-5.778	-0.3425
C-	-28.89	-0.3425
B-	-21	0
A	0	0
B	13.13	0
C	18.64	0.3214
D	3.728	0.3214
E	3.728	0.4821



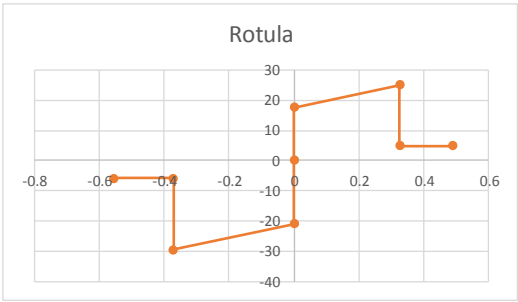


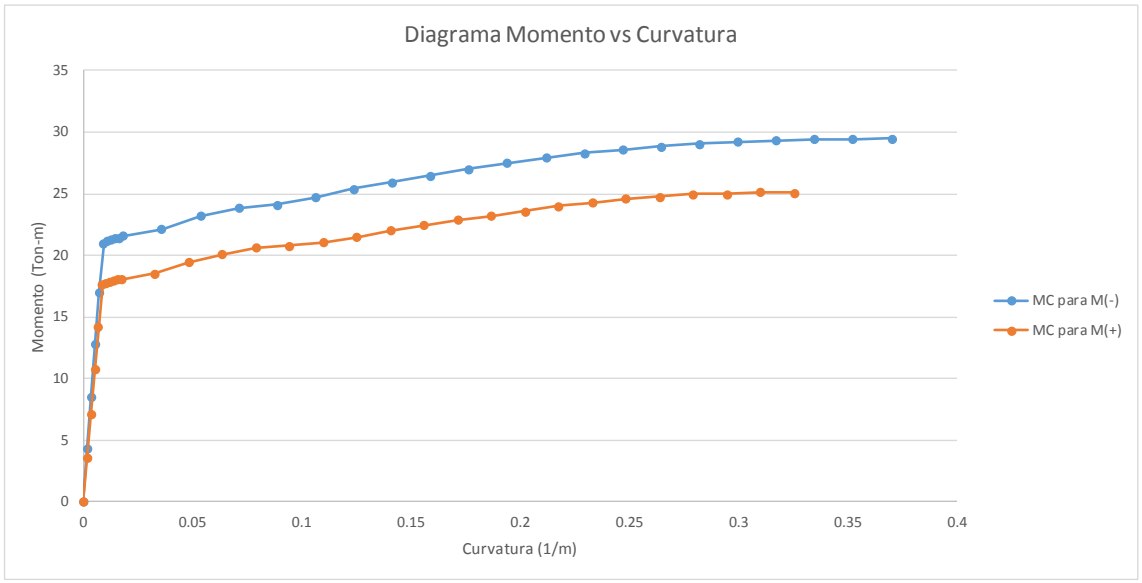
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-5.676	-0.48795
D-	-5.676	-0.3253
C-	-28.38	-0.3253
B-	-20.97	0
A	0	0
B	12.46	0
C	17.59	0.3211
D	3.518	0.3211
E	3.518	0.48165



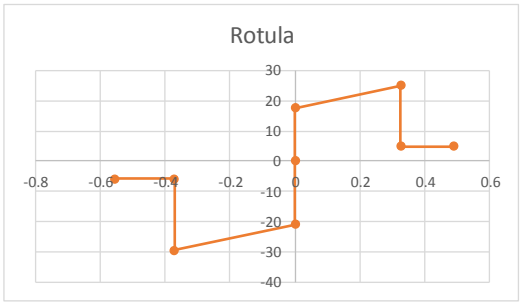


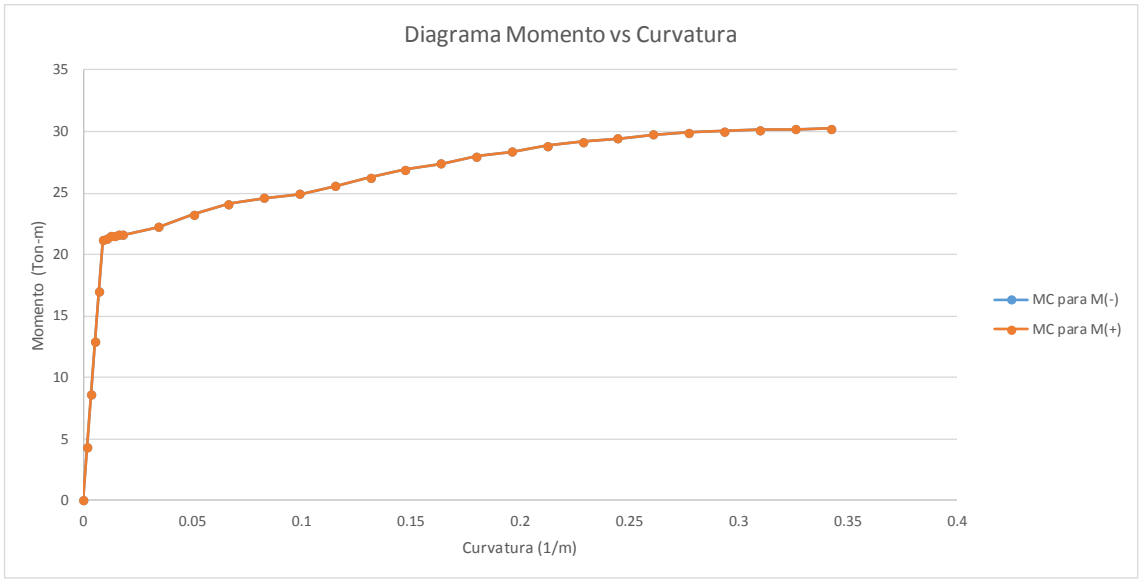
Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-5.894	-0.55545
D-	-5.894	-0.3703
C-	-29.47	-0.3703
B-	-21.02	0
A	0	0
B	17.7	0
C	25.09	0.3257
D	5.018	0.3257
E	5.018	0.48855



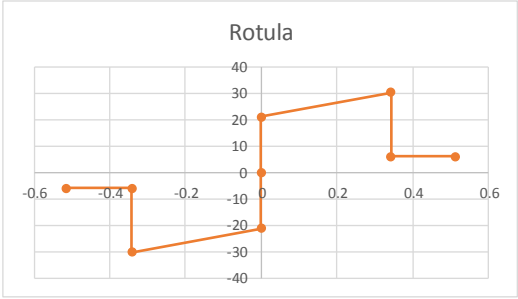


Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-5.894	-0.55545
D-	-5.894	-0.3703
C-	-29.47	-0.3703
B-	-21.02	0
A	0	0
B	17.7	0
C	25.09	0.3257
D	5.018	0.3257
E	5.018	0.48855





Rotula para viga de 40x40 con 6#5 sup-4#4 inf		
Puntos	Momento(Ton-m)	Curvatura (1/m)
E-	-6.05	-0.51375
D-	-6.05	-0.3425
C-	-30.25	-0.3425
B-	-21.15	0
A	0	0
B	21.15	0
C	30.25	0.3425
D	6.05	0.3425
E	6.05	0.51375



3 Desplazamiento objetivo sentido X y Y.

LACUSTRE	TARGET ASCE 41-13 SENTIDO X (m)	TARGET ASCE 41-13 SENTIDO Y (m)	TARGET NR-10 SENTIDO X (m)	TARGET NSR-10 SENTIDO Y (m)
LACUSTRE 50	0.21	0.22	0.22	0.24
LACUSTRE 100	0.20	0.20	0.25	0.26
LACUSTRE 200	0.18	0.20	0.26	0.27
LACUSTRE 300	0.16	0.17	0.22	0.24
LACUSTRE 500	0.15	0.16	0.20	0.22

4 Cuadro de cantidad de pilotes según la capacidad portante para cada zona lacustre.

4.1 LACUSTRE 50.

Story	Joint Label	Load Case/Combo	FX	FY	FZ	MX	MY	Peso Propio del cimiento	Carga total	# de pilotes de 0.6 a 25 m	# de pilotes de 0.6 a 25 m	Carga por pilote (Ton)
			tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m					
N+0.00	19	ENVSERVICIOCONSISMO Max	4.3563	18.7294	184.662	119.4845	10.2618	12.92634	197.58834	2.5	3	65.86278
N+0.00	21	ENVSERVICIOCONSISMO Max	4.5851	21.3697	215.8678	119.8805	10.5183	15.110746	230.978546	2.9	3	76.99284867
N+0.00	27	ENVSERVICIOCONSISMO Max	6.2217	3.2881	240.7182	6.9464	29.9339	16.850274	257.568474	3.3	4	64.3921185
N+0.00	28	ENVSERVICIOCONSISMO Max	19.6316	2.1745	241.1206	9.2157	112.3975	16.878442	257.999042	3.3	4	64.4997605
N+0.00	29	ENVSERVICIOCONSISMO Max	2.6228	8.7	201.845	32.2279	6.3608	14.12915	215.97415	2.7	3	71.99138333
N+0.00	30	ENVSERVICIOCONSISMO Max	19.9138	2.2347	177.6848	9.4642	112.537	12.437936	190.122736	2.4	3	63.37424533
N+0.00	33	ENVSERVICIOCONSISMO Max	4.603	20.5914	216.4467	120.277	10.561	15.151269	231.597969	2.9	3	77.199323
N+0.00	34	ENVSERVICIOCONSISMO Max	6.2461	3.0074	241.3761	7.1923	30.0574	16.896327	258.272427	3.3	4	64.56810675
N+0.00	35	ENVSERVICIOCONSISMO Max	4.4116	19.7459	184.8076	118.9347	10.4481	12.936532	197.744132	2.5	3	65.91471067
N+0.00	36	ENVSERVICIOCONSISMO Max	20.0087	2.6709	243.1201	8.7708	114.7863	17.018407	260.138507	3.3	4	65.03462675
N+0.00	37	ENVSERVICIOCONSISMO Max	20.4255	2.9299	198.4955	8.8341	114.9919	13.894685	212.390185	2.7	3	70.79672833
N+0.00	38	ENVSERVICIOCONSISMO Max	2.5992	7.336	197.9974	33.2274	6.3569	13.859818	211.857218	2.7	3	70.61907267
N+0.00	39	ENVSERVICIOCONSISMO Max	21.9685	2.9047	197.6073	8.8468	115.7436	13.832511	211.439811	2.7	3	70.479937
N+0.00	40	ENVSERVICIOCONSISMO Max	20.3312	2.6664	243.1827	8.7663	114.9386	17.022789	260.205489	3.3	4	65.05137225
N+0.00	41	ENVSERVICIOCONSISMO Max	8.5997	3.0048	241.1332	7.1896	31.8094	16.879324	258.012524	3.3	4	64.503131
N+0.00	42	ENVSERVICIOCONSISMO Max	4.2596	7.3926	193.3708	33.1545	7.8204	13.535956	206.906756	2.6	3	68.96891867
N+0.00	43	ENVSERVICIOCONSISMO Max	1.1629	19.7326	184.9372	118.8686	7.5845	12.945604	197.882804	2.5	3	65.96093467
N+0.00	44	ENVSERVICIOCONSISMO Max	1.1652	20.5774	216.5761	120.2159	7.5306	15.160327	231.736427	2.9	3	77.24547567
N+0.00	45	ENVSERVICIOCONSISMO Max	4.1742	8.7053	201.172	32.2232	7.7284	14.08204	215.25404	2.7	3	71.75134667
N+0.00	46	ENVSERVICIOCONSISMO Max	8.5664	3.2871	240.5694	6.9442	31.6795	16.839858	257.409258	3.3	4	64.3523145
N+0.00	47	ENVSERVICIOCONSISMO Max	19.9722	2.1737	241.1735	9.2133	112.5619	16.882145	258.055645	3.3	4	64.51391125
N+0.00	48	ENVSERVICIOCONSISMO Max	21.7866	2.2346	177.2852	9.4635	113.4538	12.409964	189.695164	2.4	3	63.23172133
N+0.00	49	ENVSERVICIOCONSISMO Max	1.1608	21.355	216.0146	119.8138	7.4998	15.121022	231.135622	2.9	3	77.04520733
N+0.00	50	ENVSERVICIOCONSISMO Max	1.1229	18.7166	184.8012	119.4238	7.4114	12.936084	197.737284	2.5	3	65.912428
				Máximo	243.1827			Máximo	260.205489		Máximo	77.24547567

4.2 LACUSTRE 100.

Story	Joint Label	Load Case/Combo	FX	FY	FZ	MX	MY	Peso Propio del cimiento	Carga total	# de pilotes de 0.6 a 25 m	# de pilotes de 0.6 a 25 m	Carga por pilote (Ton)
			tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m					
N+0.00	19	ENVSERVICIOCONSISMO Max	4.1936	17.3819	182.7283	111.093	9.6716	12.790981	195.519281	2.7	3	65.17309367
N+0.00	21	ENVSERVICIOCONSISMO Max	4.4147	19.8954	213.5347	111.4265	9.9176	14.947429	228.482129	3.1	4	57.12053225
N+0.00	27	ENVSERVICIOCONSISMO Max	5.7283	3.0683	238.9428	6.4507	27.8064	16.725996	255.668796	3.5	4	63.917199
N+0.00	28	ENVSERVICIOCONSISMO Max	18.2577	2.0081	239.7985	8.586	104.5745	16.785895	256.584395	3.5	4	64.14609875
N+0.00	29	ENVSERVICIOCONSISMO Max	2.3997	8.1481	199.7847	29.9303	5.8825	13.984929	213.769629	2.9	3	71.256543
N+0.00	30	ENVSERVICIOCONSISMO Max	18.4795	2.0581	175.5616	8.8256	104.6843	12.289312	187.850912	2.6	3	62.61697067
N+0.00	33	ENVSERVICIOCONSISMO Max	4.432	19.1194	214.0943	111.8242	9.9579	14.986601	229.080901	3.2	4	57.27022525
N+0.00	34	ENVSERVICIOCONSISMO Max	5.7508	2.7879	239.5898	6.6968	27.9211	16.771286	256.361086	3.5	4	64.0902715
N+0.00	35	ENVSERVICIOCONSISMO Max	4.2457	18.399	182.8987	110.5436	9.8455	12.802909	195.701609	2.7	3	65.23386967
N+0.00	36	ENVSERVICIOCONSISMO Max	18.6089	2.5047	241.7858	8.1413	106.797	16.925006	258.710806	3.6	4	64.6777015
N+0.00	37	ENVSERVICIOCONSISMO Max	18.9641	2.7536	196.3256	8.1958	106.9723	13.742792	210.068392	2.9	3	70.02279733
N+0.00	38	ENVSERVICIOCONSISMO Max	2.3752	6.7846	195.9228	30.9301	5.8765	13.714596	209.637396	2.9	3	69.879132
N+0.00	39	ENVSERVICIOCONSISMO Max	20.5067	2.7285	195.454	8.2085	107.7238	13.68178	209.13578	2.9	3	69.71192667
N+0.00	40	ENVSERVICIOCONSISMO Max	18.9312	2.5004	241.829	8.1372	106.9492	16.92803	258.75703	3.6	4	64.6892575
N+0.00	41	ENVSERVICIOCONSISMO Max	8.1042	2.7855	239.3452	6.6943	29.673	16.754164	256.099364	3.5	4	64.024841
N+0.00	42	ENVSERVICIOCONSISMO Max	4.0353	6.8412	191.2968	30.8574	7.3399	13.390776	204.687576	2.8	3	68.229192
N+0.00	43	ENVSERVICIOCONSISMO Max	0.9971	18.3866	183.0292	110.4827	6.982	12.812044	195.841244	2.7	3	65.28041467
N+0.00	44	ENVSERVICIOCONSISMO Max	0.9943	19.1063	214.2252	111.7684	6.9275	14.995764	229.220964	3.2	4	57.305241
N+0.00	45	ENVSERVICIOCONSISMO Max	3.9509	8.1534	199.1125	29.9258	7.2499	13.937875	213.050375	2.9	3	71.01679167
N+0.00	46	ENVSERVICIOCONSISMO Max	8.0728	3.0674	238.7943	6.4487	29.5518	16.715601	255.509901	3.5	4	63.87747525
N+0.00	47	ENVSERVICIOCONSISMO Max	18.598	2.0073	239.8325	8.5838	104.7388	16.788275	256.620775	3.5	4	64.15519375
N+0.00	48	ENVSERVICIOCONSISMO Max	20.3519	2.0581	175.1782	8.8249	105.601	12.262474	187.440674	2.6	3	62.48022467
N+0.00	49	ENVSERVICIOCONSISMO Max	0.9906	19.8816	213.683	111.3652	6.8992	14.95781	228.64081	3.1	4	57.1602025
N+0.00	50	ENVSERVICIOCONSISMO Max	0.9603	17.37	182.8683	111.0376	6.8214	12.800781	195.669081	2.7	3	65.223027
				Máximo	241.829			Máximo	258.75703		Máximo	71.256543

4.3 LACUSTRE 200.

Story	Joint Label	Load Case/Combo	FX	FY	FZ	MX	MY	Peso Propio del cimiento	Carga total	# de pilotes de 0.6 a 25 m	# de pilotes de 0.6 a 25 m	Carga por pilote (Ton)
			tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m					
N+0.00	19	ENVSERVICIOCONSISMO Max	4.1936	17.3819	182.7283	111.093	9.6716	12.790981	195.519281	2.5	3	65.17309367
N+0.00	21	ENVSERVICIOCONSISMO Max	4.4147	19.8954	213.5347	111.4265	9.9176	14.947429	228.482129	2.9	3	76.16070967
N+0.00	27	ENVSERVICIOCONSISMO Max	5.7283	3.0683	238.9428	6.4507	27.8064	16.725996	255.668796	3.3	4	63.917199
N+0.00	28	ENVSERVICIOCONSISMO Max	18.2577	2.0081	239.7985	8.586	104.5745	16.785895	256.584395	3.3	4	64.14609875
N+0.00	29	ENVSERVICIOCONSISMO Max	2.3997	8.1481	199.7847	29.9303	5.8825	13.984929	213.769629	2.7	3	71.256543
N+0.00	30	ENVSERVICIOCONSISMO Max	18.4795	2.0581	175.5616	8.8256	104.6843	12.289312	187.850912	2.4	3	62.61697067
N+0.00	33	ENVSERVICIOCONSISMO Max	4.432	19.1194	214.0943	111.8242	9.9579	14.986601	229.080901	2.9	3	76.36030033
N+0.00	34	ENVSERVICIOCONSISMO Max	5.7508	2.7879	239.5898	6.6968	27.9211	16.771286	256.361086	3.3	4	64.0902715
N+0.00	35	ENVSERVICIOCONSISMO Max	4.2457	18.399	182.8987	110.5436	9.8455	12.802909	195.701609	2.5	3	65.23386967
N+0.00	36	ENVSERVICIOCONSISMO Max	18.6089	2.5047	241.7858	8.1413	106.797	16.925006	258.710806	3.3	4	64.6777015
N+0.00	37	ENVSERVICIOCONSISMO Max	18.9641	2.7536	196.3256	8.1958	106.9723	13.742792	210.068392	2.7	3	70.02279733
N+0.00	38	ENVSERVICIOCONSISMO Max	2.3752	6.7846	195.9228	30.9301	5.8765	13.714596	209.637396	2.7	3	69.879132
N+0.00	39	ENVSERVICIOCONSISMO Max	20.5067	2.7285	195.454	8.2085	107.7238	13.68178	209.13578	2.7	3	69.71192667
N+0.00	40	ENVSERVICIOCONSISMO Max	18.9312	2.5004	241.829	8.1372	106.9492	16.92803	258.75703	3.3	4	64.6892575
N+0.00	41	ENVSERVICIOCONSISMO Max	8.1042	2.7855	239.3452	6.6943	29.673	16.754164	256.099364	3.3	4	64.024841
N+0.00	42	ENVSERVICIOCONSISMO Max	4.0353	6.8412	191.2968	30.8574	7.3399	13.390776	204.687576	2.6	3	68.229192
N+0.00	43	ENVSERVICIOCONSISMO Max	0.9971	18.3866	183.0292	110.4827	6.982	12.812044	195.841244	2.5	3	65.28041467
N+0.00	44	ENVSERVICIOCONSISMO Max	0.9943	19.1063	214.2252	111.7684	6.9275	14.995764	229.220964	2.9	3	76.406988
N+0.00	45	ENVSERVICIOCONSISMO Max	3.9509	8.1534	199.1125	29.9258	7.2499	13.937875	213.050375	2.7	3	71.01679167
N+0.00	46	ENVSERVICIOCONSISMO Max	8.0728	3.0674	238.7943	6.4487	29.5518	16.715601	255.509901	3.2	4	63.87747525
N+0.00	47	ENVSERVICIOCONSISMO Max	18.598	2.0073	239.8325	8.5838	104.7388	16.788275	256.620775	3.3	4	64.15519375
N+0.00	48	ENVSERVICIOCONSISMO Max	20.3519	2.0581	175.1782	8.8249	105.601	12.262474	187.440674	2.4	3	62.48022467
N+0.00	49	ENVSERVICIOCONSISMO Max	0.9906	19.8816	213.683	111.3652	6.8992	14.95781	228.64081	2.9	3	76.21360333
N+0.00	50	ENVSERVICIOCONSISMO Max	0.9603	17.37	182.8683	111.0376	6.8214	12.800781	195.669081	2.5	3	65.223027
				Máximo	241.829			Máximo	258.75703		Máximo	76.406988

4.4 LACUSTRE 300.

Story	Joint Label	Load Case/Combo	FX	FY	FZ	MX	MY	Peso Propio del cimiento	Carga total	# de pilotes de 0.6 a 25 m	# de pilotes de 0.6 a 25 m	Carga por pilote (Ton)
			tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m					
N+0.00	19	ENVSERVICIOCONSISMO Max	3.7727	13.9585	177.8156	89.7742	8.1449	12.447092	190.262692	2.6	3	63.42089733
N+0.00	21	ENVSERVICIOCONSISMO Max	3.974	16.1497	207.6073	89.9489	8.3635	14.532511	222.139811	3	3	74.04660367
N+0.00	27	ENVSERVICIOCONSISMO Max	4.4516	2.5098	234.432	5.1914	22.3022	16.41024	250.84224	3.4	4	62.71056
N+0.00	28	ENVSERVICIOCONSISMO Max	14.7033	1.5853	236.3782	6.9863	84.3359	16.546474	252.924674	3.5	4	63.2311685
N+0.00	29	ENVSERVICIOCONSISMO Max	1.8225	6.7459	194.5504	24.0932	4.645	13.618528	208.168928	2.9	3	69.38964267
N+0.00	30	ENVSERVICIOCONSISMO Max	14.769	1.6096	170.0688	7.2033	84.3689	11.904816	181.973616	2.5	3	60.657872
N+0.00	33	ENVSERVICIOCONSISMO Max	3.9896	15.3797	208.1179	90.3495	8.3974	14.568253	222.686153	3.1	4	55.67153825
N+0.00	34	ENVSERVICIOCONSISMO Max	4.4693	2.2301	235.0518	5.4381	22.3943	16.453626	251.505426	3.4	4	62.8763565
N+0.00	35	ENVSERVICIOCONSISMO Max	3.8165	14.9772	178.0492	89.2255	8.2866	12.463444	190.512644	2.6	3	63.50421467
N+0.00	36	ENVSERVICIOCONSISMO Max	14.9878	2.0824	238.3338	6.542	86.1282	16.683366	255.017166	3.5	4	63.7542915
N+0.00	37	ENVSERVICIOCONSISMO Max	15.1835	2.3058	190.7116	6.5741	86.2251	13.349812	204.061412	2.8	3	68.02047067
N+0.00	38	ENVSERVICIOCONSISMO Max	1.7955	5.3836	190.652	25.0939	4.6339	13.34564	203.99764	2.8	3	67.99921333
N+0.00	39	ENVSERVICIOCONSISMO Max	16.725	2.2807	189.8831	6.587	86.976	13.291817	203.174917	2.8	3	67.72497233
N+0.00	40	ENVSERVICIOCONSISMO Max	15.3093	2.0788	238.3268	6.5388	86.28	16.682876	255.009676	3.5	4	63.752419
N+0.00	41	ENVSERVICIOCONSISMO Max	6.8224	2.2281	234.8027	5.4362	24.146	16.436189	251.238889	3.4	4	62.80972225
N+0.00	42	ENVSERVICIOCONSISMO Max	3.455	5.4404	186.0278	25.0216	6.0967	13.021946	199.049746	2.7	3	66.34991533
N+0.00	43	ENVSERVICIOCONSISMO Max	0.5682	14.9669	178.1818	89.1779	5.4233	12.472726	190.654526	2.6	3	63.55150867
N+0.00	44	ENVSERVICIOCONSISMO Max	0.5522	15.3689	208.2524	90.3071	5.3673	14.577668	222.830068	3.1	4	55.707517
N+0.00	45	ENVSERVICIOCONSISMO Max	3.3731	6.7513	193.88	24.089	6.0118	13.5716	207.4516	2.8	3	69.15053333
N+0.00	46	ENVSERVICIOCONSISMO Max	6.7958	2.5091	234.2846	5.1898	24.0474	16.399922	250.684522	3.4	4	62.6711305
N+0.00	47	ENVSERVICIOCONSISMO Max	15.0428	1.5846	236.363	6.9846	84.4998	16.54541	252.90841	3.5	4	63.2271025
N+0.00	48	ENVSERVICIOCONSISMO Max	16.6403	1.6096	169.7271	7.2028	85.285	11.880897	181.607997	2.5	3	60.535999
N+0.00	49	ENVSERVICIOCONSISMO Max	0.5501	16.1383	207.7595	89.9009	5.3453	14.543165	222.302665	3	3	74.10088833
N+0.00	50	ENVSERVICIOCONSISMO Max	0.5396	13.9488	177.9576	89.7321	5.2948	12.457032	190.414632	2.6	3	63.471544
				Máximo	238.3338			Máximo	255.017166		Máximo	74.10088833

4.5 LACUSTRE 500.

Story	Joint Label	Load Case/Combo	FX	FY	FZ	MX	MY	Peso Propio del cimiento	Carga total	# de pilotes de 0.6 a 25 m	# de pilotes de 0.6 a 25 m	Carga por pilote (Ton)
			tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m					
N+0.00	19	ENVSERVICIOCONSISMO Max	3.6034	12.5746	175.8297	81.1559	7.5308	12.308079	188.137779	2.4	3	62.712593
N+0.00	21	ENVSERVICIOCONSISMO Max	3.7967	14.6355	205.2112	81.2664	7.7384	14.364784	219.575984	2.8	3	73.19199467
N+0.00	27	ENVSERVICIOCONSISMO Max	3.9381	2.2841	232.6085	4.6823	20.0884	16.282595	248.891095	3.2	4	62.22277375
N+0.00	28	ENVSERVICIOCONSISMO Max	13.2737	1.4144	235.0025	6.3396	76.196	16.450175	251.452675	3.2	4	62.86316875
N+0.00	29	ENVSERVICIOCONSISMO Max	1.5904	6.179	192.4344	21.7335	4.1473	13.470408	205.904808	2.7	3	68.634936
N+0.00	30	ENVSERVICIOCONSISMO Max	13.2766	1.4283	167.8596	6.5475	76.198	11.750172	179.609772	2.3	3	59.869924
N+0.00	33	ENVSERVICIOCONSISMO Max	3.8116	13.8679	205.7019	81.6683	7.7698	14.399133	220.101033	2.8	3	73.367011
N+0.00	34	ENVSERVICIOCONSISMO Max	3.9539	2.0046	233.2172	4.9293	20.1714	16.325204	249.542404	3.2	4	62.385601
N+0.00	35	ENVSERVICIOCONSISMO Max	3.6439	13.594	176.0888	80.6076	7.6597	12.326216	188.415016	2.4	3	62.80500533
N+0.00	36	ENVSERVICIOCONSISMO Max	13.5314	1.9117	236.9455	5.8955	77.8152	16.586185	253.531685	3.3	4	63.38292125
N+0.00	37	ENVSERVICIOCONSISMO Max	13.663	2.1248	188.4537	5.9186	77.8805	13.191759	201.645459	2.6	3	67.215153
N+0.00	38	ENVSERVICIOCONSISMO Max	1.5624	4.8173	188.5212	22.7346	4.1341	13.196484	201.717684	2.6	3	67.239228
N+0.00	39	ENVSERVICIOCONSISMO Max	15.204	2.0997	187.6425	5.9314	78.6312	13.134975	200.777475	2.6	3	66.925825
N+0.00	40	ENVSERVICIOCONSISMO Max	13.8525	1.9083	236.9182	5.8927	77.9669	16.584274	253.502474	3.3	4	63.3756185
N+0.00	41	ENVSERVICIOCONSISMO Max	6.3069	2.0028	232.9663	4.9276	21.923	16.307641	249.273941	3.2	4	62.31848525
N+0.00	42	ENVSERVICIOCONSISMO Max	3.2216	4.8741	183.8977	22.6625	5.5966	12.872839	196.770539	2.5	3	65.59017967
N+0.00	43	ENVSERVICIOCONSISMO Max	0.3957	13.5845	176.2222	80.5654	4.7964	12.335554	188.557754	2.4	3	62.85258467
N+0.00	44	ENVSERVICIOCONSISMO Max	0.3743	13.8581	205.8379	81.6313	4.7398	14.408653	220.246553	2.8	3	73.41551767
N+0.00	45	ENVSERVICIOCONSISMO Max	3.1407	6.1845	191.7648	21.7295	5.5139	13.423536	205.188336	2.7	3	68.396112
N+0.00	46	ENVSERVICIOCONSISMO Max	6.2822	2.2834	232.4615	4.6808	21.8335	16.272305	248.733805	3.2	4	62.18345125
N+0.00	47	ENVSERVICIOCONSISMO Max	13.6129	1.4138	234.9676	6.3381	76.3597	16.447732	251.415332	3.2	4	62.853833
N+0.00	48	ENVSERVICIOCONSISMO Max	15.1475	1.4283	167.5347	6.547	77.1139	11.727429	179.262129	2.3	3	59.754043
N+0.00	49	ENVSERVICIOCONSISMO Max	0.373	14.6251	205.3648	81.2239	4.7204	14.375536	219.740336	2.8	3	73.24677867
N+0.00	50	ENVSERVICIOCONSISMO Max	0.3704	12.5657	175.9724	81.1192	4.6809	12.318068	188.290468	2.4	3	62.76348933
				Máximo	236.9455			Máximo	253.531685		Máximo	73.41551767

5 Estudio de suelos

Anexo Pdf 1.

6 Evaluaciones de carga

Anexo Pdf 2.