



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“DESEMPEÑO SÍSMICO CONSIDERANDO LA  
INTERACCIÓN SUELO – ESTRUCTURA DE UN EDIFICIO  
MULTIFAMILIAR DE TRES NIVELES, BAÑOS DEL INCA –  
CAJAMARCA, 2019.”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Civil

Autor:

Mirna Elisa Saavedra Murrugarra

Asesor:

Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno

Cajamarca - Perú

2020

## DEDICATORIA

- A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida por los triunfos y momentos difíciles que me han enseñado a valorar cada día vivido.
- A mis padres, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y consejos para hacer de mí una mejor persona, por su esfuerzo y sacrificio que han hecho para que este sueño hoy se haga realidad.
- A mis hermanos y a mis abuelitas por sus palabras y compañía, en especial a mi hermana Yenny pues ella fue el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, en ella tengo el espejo en el cual me quiero reflejar pues sus virtudes infinitas y su gran corazón me llevan a admirar cada día, pues sentó en mis las bases de responsabilidad y deseos de superación.
- A mis tres sobrinas Iveth, Jémica y Xiomara que anhelan materializar cada uno de los sueños que están aflorando en sus corazones.
- A mis compañeros y amigos presentes y pasados en especial a mis cinco amigos, pues ellos fueron los que siempre me motivaron y sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas.

## AGRADECIMIENTO

- A Dios por iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino las personas necesarias que me han dejado enseñanzas y han contribuido a mi formación.
- A mis padres, por brindarme los recursos necesarios para lograr mi objetivo, gracias a sus consejos y palabras de aliento me han ayudado a crecer como persona y a luchar por lo que quiero, gracias por enseñarme valores que me han llevado a alcanzar una gran meta.
- A mis hermanos y demás familiares por su apoyo, consejos durante todo este tiempo.
- A mis amigos, con quienes compartimos largas conversaciones, en las que muchos de nuestros planteamientos y convicciones se vieron reforzados acompañados de un frapuccino o café surgidos de nuestros escuálidos bolsillos, porque con ustedes hice escuela, más allá de lo que asignaba nuestras obligaciones
- A la Universidad Privada del Norte por su espacio de formación y estudio, de igual manera a mis queridos formadores en especial a la docente del curso por guiarme en el desarrollo de la investigación.
- A mi asesor el Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno, por compartir sus conocimientos, paciencia apoyo, amistad, que a su manera ha sido capaz de ganarse mi lealtad y admiración, así como sentirme en deuda con él por todo lo recibido durante el tiempo que ha durado la investigación.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>6</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>13</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>16</b>
1.1. Realidad problemática.....	16
1.2. Formulación del problema.....	60
1.3. Objetivos.....	60
1.3.1. Objetivo general.....	60
1.3.2. Objetivos específicos.....	60
1.4. Hipótesis.....	60
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>61</b>
2.1. Tipo de investigación.....	61
2.2. Población y muestra.....	61
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	63
2.4. Procedimiento.....	64
2.4.1. Caracterización estructural y modelamiento del edificio.....	66
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>114</b>
3.1. Con Interacción suelo estructura.....	114
3.1.1. Curva de Capacidad para el Sismo en Dirección “X”.....	114
3.1.2. Curva de Capacidad para el Sismo en Dirección “Y”.....	117
3.1.3. Espectro de respuesta.....	119

<b>3.2. Sin Interacción suelo estructura .....</b>	<b>120</b>
<b>3.2.1. Curva de Capacidad para el Sismo en Dirección “X” .....</b>	<b>120</b>
<b>3.2.2. Curva de Capacidad para el Sismo en Dirección “Y” .....</b>	<b>122</b>
<b>3.2.3. Espectro de respuesta.....</b>	<b>124</b>
<b>3.3. Determinación de curva de respuesta. ....</b>	<b>125</b>
<b>3.3.1. Con Interacción suelo estructura.....</b>	<b>125</b>
<b>3.3.1.1.Dirección X.....</b>	<b>125</b>
<b>3.3.1.2.Dirección Y.....</b>	<b>127</b>
<b>3.3.2. Sin interacción suelo estructura.....</b>	<b>129</b>
<b>3.3.2.1.Dirección “X” .....</b>	<b>129</b>
<b>3.3.2.2.Dirección “Y” .....</b>	<b>131</b>
<b>3.4. Determinación del desempeño sísmico. ....</b>	<b>133</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>137</b>
<b>4.1 Discusión.....</b>	<b>137</b>
<b>4.2 Conclusiones .....</b>	<b>142</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>144</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>146</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Niveles De Desempeño Para Elementos No Estructurales.....	24
Tabla2: Niveles de desempeño de la edificación .....	25
Tabla 3: Estados De Daño Y Niveles De Desempeño Según Seac.....	28
Tabla4: Niveles de movimiento sísmico.....	30
Tabla 5: Niveles De Movimiento Sísmico.....	31
Tabla 6: Niveles Recomendados De Desempeño Esperados.....	31
Tabla 7 :Coeficiente Sísmico Para Cada Tipo De Sismo.....	32
Tabla 8: Descripción De Los Daños Asociados A Cada Nivel De Desempeño.....	36
Tabla 9 : Rango De Desplazamiento Asociado A Cada Nivel De Desempeño.....	37
Tabla10:Valores aproximados de reducción de velocidad de ondas de corte, N.....	47
Tabla11: Ratio de modulo de corte efectivo ( $G/G_0$ ).....	55
Tabla 12 Distribución De Niveles.....	66
Tabla 13 Ambientes Y Áreas Del Primer Nivel.....	66
Tabla 14 Ambiente Y Áreas Del Segundo Nivel.....	67
Tabla 15 Ambientes Y Áreas Del Tercer Nivel.....	67
Tabla 16 Características Del Concreto.....	68
Tabla 17 Características Del Acero De Refuerzo.....	68
Tabla 18 Cargas Vivas En Viviendas.....	68
Tabla 19 Cálculo De La Aceleración Espectral Con Ise.....	93
Tabla 20 Datos De La Relación Momento Curvatura Y Obtención Del Giro En La Columna.....	99
Tabla 21 Criterios De Aceptación Para La Articulación Columna C-1.....	99
Tabla 22 Datos De La Relación Momento Curvatura Y Obtención Del Giro En La Viga.....	100

Tabla 23	Criterios De Aceptación Para La Articulación V-	101
Tabla 24	Datos De La Relación Momento Curvatura Y Obtención Del Giro En La Va	101
Tabla 25	Criterios De Aceptación Para La Articulación Va	101
Tabla 26	Datos De La Relación Momento Curvatura Y Obtención Del Giro En La Va-1	102
Tabla 27	Criterios De Aceptación Para La Articulación Va-1	102
Tabla 28	Valores Representativos De La Curva Capacidad (Dirección X)	114
Tabla 29	Puntos Relevantes De La Curva De Capacidad (Dirección "X")	116
Tabla 30	Valores Representativos De La Curva Capacidad (Dirección Y)	117
Tabla 31	Puntos Relevantes De La Curva De Capacidad (Dirección "X")	119
Tabla 32	Curva De Capacidad En Dirección "X"	120
Tabla 33	Puntos Relevantes De La Curva De Capacidad (Dirección "X")	122
Tabla 34	Curva De Capacidad En Dirección "Y"	122
Tabla 35	Puntos Relevantes De La Curva De Capacidad (Dirección "Y")	124
Tabla 36	Resumen De Coordenadas $\Delta V$ s V	126
Tabla 37	Resumen De Coordenadas $\Delta V$ s V	128
Tabla 38	Resumen De Coordenadas $\Delta V$ s V	130
Tabla 39	Resumen De Coordenadas $\Delta V$ s V	132
Tabla 40	Punto De Desempeño Para Los Movimientos Sísmicos (Dirección "X")	133
Tabla 41	Niveles De Desempeño Alcanzados Propuestos Por El Seaoc (Dirección "X")	133
Tabla 42	Punto De Desempeño Para Los Movimientos Sísmicos (Dirección "Y")	134
Tabla 43	Niveles De Desempeño Alcanzados Propuestos Por El Seaoc (Dirección "Y")	134
Tabla 44	Punto De Desempeño Para Los Movimientos Sísmicos (Dirección "X")	135
Tabla 45	Niveles De Desempeño Alcanzados - Propuestos	135
Tabla 46	Punto De Desempeño Para Los Movimientos Sísmicos (Dirección "Y")	136
Tabla 47	Niveles De Desempeño Alcanzados - Propuestos	136

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 : Curva De Capacidad (Safina Melone, 2002).....	33
Figura 2 : Patrones De Distribución De Cargas Laterales Para Un Análisis Pushover.(Moreno, 2006). .....	34
Figura 3: Patrón De Desplazamiento Y Nudo De Control En Un Edificio (Bonnet, 2003).....	34
Figura 4: Espectro De Capacidad (Safina Melone, 2002).....	35
Figura 5: Espectro De Demanda. (Safina Melone, 2002) .....	36
Figura 6: Setorización De La Curva De Capacidad. (Seac, 1995). .....	38
Figura 7. Modelo De Base Rígida (Fema 440,2005). .....	42
Figura 8. Modelo De Base Flexible (Fema 440,2005).....	43
Figura 9: Modelo De Interacción Cinemática (Fema 440,2005).....	44
Figura 10: Ratio De Espectro De Respuesta Para El Promedio Losa De Base, Función Del Periodo Y El Tamaño De La Fundación <b>b<sub>e</sub></b> .(Fema 440,2005).....	46
Figura 11. Ratio De Espectros De Respuesta Para Empotramientos $R_{rse}$ , Para $E= 30$ Pies Como Función De Periodo Y La Velocidad De Onda Vs. (Fema 440,2005).....	47
Figura 12. Comportamiento Elastoplástico De Carga - Deformación De Suelos (Fema 356, 2000). .....	49
Figura 13. Resorte Desacoplado Equivalente A La Rigidez Del Suelo. (Fema 356, 2000).....	49
Figura 14. Orientación De Ejes $L \geq B$ . (Fema 356, 2000).....	50
Figura 15. Factor Por Empotramiento. (Fema 356, 2000). .....	51
Figura 16. Porcentaje De Amortiguamiento De La Fundación Vs Relación Efectiva De Alargamiento. (Fema 440, 2005). .....	57

Figura 17. Modificación De Desplazamiento. (Fema 440, 2005). .....	59
Figura 18. Plano De Ubicación De La Edificación .....	62
Figura 19: Hoja De Recolección De Datos, Para La Determinación De Curva De Capacidad Y Sectorización De Dicha Curva.....	63
Figura 20. Procedimiento Para El Desarrollo De La Investigación.....	64
Figura 21: Esquema De Trabajo Para Desempeño Sísmico. ....	65
Figura 22. Ingreso De Coordenadas En Los Ejes X, Y Y Z. ....	69
Figura 23. Definición De Material Concreto $F'c = 210 \text{ Kg/Cm}^2$ . ....	70
Figura 24. Sección De Columna 50x25. ....	70
Figura 25. Columna De 50 X 25 .....	71
Figura 26. Sección De Viga 25 X 40 Cm.....	71
Figura 27. Viga 25 X 40 Cm.....	72
Figura 28. Viga De 25 X 20 Cm .....	72
Figura 29. Va -1 (25 X 20 Cm).....	73
Figura 30. Sección De Viga De 25 X 20 Cm.....	73
Figura 31. Va 25 X 20 Cm.....	74
Figura 32. Asignación De Vigas. ....	74
Figura 33. Asignación De Columnas. ....	75
FIGURA 34. VISTA EN ISOMÉTRICO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL .....	75
Figura 35. Diafragmas Rígidos. ....	76
Figura 36. Carga Muerta En Las Vigas Principales Del Primer Nivel.....	76
Figura 37. Carga Muerta En Las Vigas Principales Del Segundo Nivel.....	77
Figura 38. Carga Muerta En Las Vigas Principales Del Tercer Nivel. ....	77
Figura 39. Definición De Masas. ....	78
Figura 40. Definición De Empotramiento.....	79

Figura 41. Definición De Análisis Estático En X. ....	80
Figura 42. Definición De Análisis Estático En Y. ....	80
Figura 43. Espectro Sísmico E 030 - 2018.....	81
Figura 44. Sismo Dinámico X.....	82
Figura 45. Sismo Dinámico Y.....	82
Figura 46. Losa De Cimentación.....	83
Figura 47. Apoyos En El Edificio. ....	88
Figura 48. Ingreso De Datos Para Resorte Equivalente. ....	89
Figura 49. Espectro De Diseño Con Interacción Suelo Estructura .....	94
Figura 50. Espectro Con Ise. ....	95
Figura 51. Espectro Con Ise Dirección X.....	96
Figura 52. Espectro Con Ise Dirección Y.....	96
Figura 53. Diagrama Momento Giro De Las Rótulas En Columna 50x25. ....	99
Figura 54. Diagrama Momento Giro De Las Rótulas En Las Vigas V-101.....	100
Figura 55. Diagrama Momento Giro De Las Rótulas En La Va. ....	101
Figura 56. Diagrama Momento Giro De Las Rótulas En La Va-1.....	102
Figura 57. Carga Gravitacional No Lineal (Cgnl).....	103
Figura 58. Aenl En Dirección X.....	104
Figura 59. Definición Del Nodo De Control.....	104
Figura 60. Aenl En Dirección Y.....	105
Figura 61. Definición Del Nodo De Control.....	105
Figura 62. Parámetros Para El Aenl.....	106
Figura 63. Parámetros Con Espectro Ise. ....	107
Figura 64. Definición De Roturas. ....	108
Figura 65. Propiedades De Rotula De Viga 25x40cm. ....	109

Figura 66. Propiedades De Rotula De Viga 25x20cm. ....	109
Figura 67. Propiedades De Rotula De Viga 25x20cm. ....	110
Figura 68. Asignamos Rotulas. ....	111
Figura 69. Rotulas Plasticas. ....	111
Figura 70. Análisis Estático No Lineal .....	112
Figura 71. Análisis Estático No Lineal. ....	112
Figura 72. Curva De Capacidad Dirección X.....	113
Figura 73. Curva De Capacidad Dirección Y.....	113
Figura 74. Curva De Capacidad (Sismo En "X").....	114
Figura 75. Estructura Deflectada De Control Y Roturar Plástica En El Máximo Modo (Sismo En "X") .....	115
Figura 76. Sectorización De La Curva De Capacidad, (Sismo En "X"). ....	116
Figura 77. Curva De Capacidad (Sismo En "Y").....	117
Figura 78. Estructura Deflectada De Control Y Roturar Plástica En El Máximo Modo (Sismo En "Y") .....	118
Figura 79. Sectorización De La Curva De Capacidad, (Sismo En "Y"). ....	118
Figura 80. Espectro De Diseño Ise.....	119
Figura 81: Curva De Capacidad Dirección "X" .....	120
Figura 82: Estructura Deflectada Y Rotula Plástica Sismo En "X".....	121
Figura 83: Sectorización De La Curva De Capacidad ( Sismo X).....	121
Figura 84: Curva De Capacidad En Dirección De "Y" .....	123
Figura 85: Estructura Deflectada Y Rotulas Plásticas ( Sismo En "Y").....	123
Figura 86: Sectorización De La Curva De Capacidad, ( Sismo En "Y").....	124
Figura 87: Espectro E 030.....	124
Figura 88. Curva De Respuesta Para El Espectro Ise En X. ....	125

Figura 89. Curva De Respuesta Para El Sismo Ocasional En X.....	125
Figura 90. Curva De Respuesta Para El Sismo Raro En X. ....	126
Figura 91. Curva De Respuesta Para El Sismo Muy Raro En X.....	126
Figura 92. Curva De Respuesta Para El Espectro Ise En Y .....	127
Figura 93. Curva De Respuesta Para El Sismo Ocasional En Y.....	127
Figura 94. Curva De Respuesta Para El Sismo Raro En Y. ....	128
Figura 95. Curva De Respuesta Para El Sismo Muy Raro En Y.....	128
Figura 96: Curva De Respuesta Para El Espectro E030 En Dirección “X” .....	129
Figura 97: Curva De Respuesta Para El Sismo Ocasional En Dirección “X”.....	129
Figura 98: Curva De Respuesta Para El Sismo Raro En Dirección “X” .....	130
Figura 99: Curva De Respuesta Para El Sismo Muy Raro En Dirección “X” .....	130
Figura 100: Curva De Respuesta Para El Espectro E030 En Dirección “Y” .....	131
Figura 101: Curva De Respuesta Para El Sismo Ocasional En Dirección “Y”.....	131
Figura 102: Curva De Respuesta Para El Sismo Raro En Dirección “Y” .....	132
Figura 103: Curva De Respuesta Para El Sismo Muy Raro En Dirección “Y” .....	132
Figura 104. Nivel De Desempeño Sísmico Alcanzado Por La Estructura (Dirección "X").....	133
Figura 105. Nivel De Desempeño Sísmico Alcanzado Por La Estructura (Dirección "Y").....	134
Figura 106: Nivel De Desempeño Sísmico Alcanzado Por La Estructura ( Dirección “X”).....	135
Figura 107: Nivel De Desempeño Sísmico Alcanzado Por La Estructura ( Dirección “Y”).....	136

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Proporción De Espectro De Respuesta – Base Promedio De Losa. ....	46
Ecuación 2: Proporción De Espectro De Respuesta Con Sótano. ....	46
Ecuación 3: Interacción Cinemática En Campo Libre. ....	47
Ecuación 4: Traslación En El Eje X. ....	50
Ecuación 5: Traslación En El Eje Y. ....	50
Ecuación 6: Traslación En El Eje Z. ....	50
Ecuación 7: Rotación En El Eje X. ....	50
Ecuación 8 :Rotación En El Eje Y. ....	51
Ecuación 9: Rotación En El Eje Z. ....	51
Ecuación 10: Factor De Corrección Para Traslación En X. ....	52
Ecuación 11: Factor De Corrección Por Traslación En Z. ....	52
Ecuación 12: Factor De Corrección Para Rotación En X. ....	52
Ecuación 13: Factor De Corrección Para Rotación En Y. ....	52
Ecuación 14: Factor De Corrección Para Rotación En Z. ....	53
Ecuación 15: Rigidez Lateral Base Fija. ....	53
Ecuación 16: Radio De Fundación Equivalente. ....	53
Ecuación 17: Rigidez De Traslación Efectiva. ....	53
Ecuación 18: Módulo De Corte Inicial. ....	54
Ecuación 19: Equivalencia De Módulo De Corte Inicial. ....	54
Ecuación 20: Rigidez Rotacional Efectiva. ....	55
Ecuación 21: Radio Equivalente De Rotación De La Fundación. ....	56
Ecuación 22: Relación De Alargamiento Del Periodo. ....	56

Ecuación 23: Amortiguamiento Efectivo.....	57
Ecuación 24: Coeficiente 1 Para El Amortiguamiento Efectivo.....	57
Ecuación 25: Coeficiente 2 Para El Amortiguamiento Efectivo.....	58
Ecuación 26: Coeficiente De Empotramiento.....	58
Ecuación 27: Flexibilidad De La Base.....	58

## RESUMEN

Esta tesis tuvo como objetivo determinar el desempeño sísmico considerando la interacción suelo – estructura de un edificio multifamiliar de tres niveles, ubicado en Baños del Inca – Cajamarca, 2019 , aplicando los criterios del FEMA 356, 440, para interacción suelo – estructura y para desempeño sísmico Comité VISION 2000 y del ATC – 40, el cual se apoya en el Análisis Estático No Lineal, para determinar el desempeño sismorresistente se realizó el modelamiento de la estructura del edificio utilizando el programa SAP 2000,2019 usando la información de los planos estructurales del mismo; al modelamiento se le aplicó las cargas tanto gravitacionales como sísmicas para poder realizar la simulación de la forma en que la estructura incursiona en el rango elástico, lo cual se logra con la determinación de la curva de capacidad. Finalmente, el nivel de desempeño de la estructura se obtiene de las gráficas del espectro de demanda y el espectro de capacidad. Se determinó que el desempeño sísmico del modelo considerando la interacción suelo – estructura en dirección “X” se encuentra en el rango funcional con un desplazamiento de 0.102m y una cortante basal de 96.190 Tn mientras que en “Y” se encuentra en el rango funcional con un desplazamiento de 0.062m y una cortante basal de 181.900 Tn, llegando a la conclusión que el desempeño en “X” y “Y”, no satisface los criterios del Comité VISION 2000 y que la hipótesis planteada se cumple parcialmente.

**Palabras clave:** Capacidad, Curva de capacidad, desempeño estructuras, amenaza sísmica, nivel de desempeño, rotula plástica, punto de desempeño.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

La experiencia de sismos recientes ha puesto en evidencia una importante limitación del enfoque implícito en los códigos de diseño sísmico hasta ahora empleados; el desempeño de una edificación durante un sismo no está dado de manera explícita en estos códigos y los enfoques empleados no conducen a un eficiente control de daños ni a una plena satisfacción de la filosofía de diseño sismorresistente (Bertero, 1992)

Los efectos sísmicos sobre las estructuras siempre han sido y serán materia de investigación debido a las pérdidas económicas y de vidas humanas que provocan. El punto de partida es determinar las zonas de mayor ocurrencia sísmica, así como los daños que podría causar a la población. (Mosqueira, 2012)

El círculo de fuego, es considerado una de las zonas con mayor actividad sísmica mundial; por lo tanto, se encuentra expuesto de manera frecuente a los eventos sísmicos de gran magnitud, el Perú ha sido afectado de manera reiterativa por sismos de gran magnitud, produciendo daños importantes en las viviendas, esto debido principalmente a que el riesgo no solo depende de las características de los eventos sísmicos, sino también de las condiciones de vulnerabilidad del suelo y de las estructuras que favorecen o facilitan que se desencadene un mayor desastre cuando se presentan los peligros (Ochoa, 2012).

Nuestra Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E-030, está basada en criterios de protección ante un solo nivel de amenaza sísmica para el cual, la edificación no debería colapsar, es importante reconocer que la seguridad ante el colapso debido a grandes sismos no implica necesariamente un comportamiento aceptable de la edificación durante sismos de

pequeña o moderada intensidad, por lo que se requiere definir múltiples niveles de desempeño.

En la ciudad de Cajamarca en las últimas décadas no han ocurrido sismos de gran intensidad, sin embargo, debido a su formación geológica, naturaleza de sus suelos y presencia volcánica, existe una gran probabilidad de ocurrencia de sismos, cuyos efectos se amplificarían por las características de sus suelos, es por esto que se la considera zona de silencio sísmico. (Mosqueira, 2012)

Un punto intermedio, entre el análisis no lineal y el análisis lineal, constituye el análisis no lineal estático, dentro de este una técnica empleado es “Pushover” que se utiliza para determinar la capacidad resistente de una estructura ante un sismo, relacionado la cortante basal  $V$ , con el desplazamiento lateral máximo  $D$ . (Aguar, 2002)

El análisis de edificios se lleva normalmente a cabo suponiendo que el movimiento que se aplica en su base, o las fuerzas estáticas equivalentes que se ejercen en sus distintos niveles, son independientes de las características de la cimentación. Sin embargo, existen casos en que el movimiento en cualquier punto de la frontera suelo – estructura es sensiblemente diferente del que habría ocurrido en dicho punto si la estructura no estuviese presente; en estos casos se dice que existe interacción suelo – estructura. (Bazán & Mell, 2002)

Para poder entender este fenómeno es importante construir un espectro para el diseño sísmico, que ayudará a conocer la aceleración máxima a la que está sometida la estructura. Por ello se realizó la presente investigación a fin de saber el desempeño sísmico de la estructura considerando la frontera suelo – estructura.

Dentro de los antecedentes internacionales tenemos la tesis de Arefi (2008), “Efectos de la interacción suelo-estructura en la Respuesta sísmica de R. C. existente en Edificios y Marcos”, la interacción entre la superestructura y la subestructura (SSI) es investigada para modelar el suelo lo más simple posible y capturar la respuesta general del sistema. Este realiza un modelo simple del suelo y luego lo emplea para modelos de marco no lineales existentes para cuantificar el efecto de SSI en la respuesta global de las estructuras reales. Los resultados de este estudio sugieren que el cumplimiento del modelo soilfor edificio típico, tienen efectos beneficiosos en promedio en términos de demanda estructural especialmente para estructuras. Por otro lado, el componente de gobierno de estos efectos, es decir, el balanceo de fundación, puede en consecuencia a la deformación promedio absoluto más alto de plantas que apunta a golpes potencial problemas de las estructuras existentes en las cercanías de uno al otro.

En antecedentes nacionales tenemos según Valderrama y Meza (2014), en su tesis “Influencia de la interacción suelo - estructura en la reducción de esfuerzos de una edificación aporticada con zapatas aisladas”, de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), dicha investigación busca demostrar que los esfuerzos internos obtenidos a partir de modelaciones que consideran la Interacción Suelo-Estructura, son menores a los que se obtienen de modelaciones que consideran la base empotrada, tomando como punto de partida el modelo dinámico publicado por D.D. Barkan – O.A. Savinov. Esta demostración se llevó a cabo con el uso de la herramienta estadística conocida como la Prueba Chi Cuadrado, comúnmente usada para validar hipótesis. Para obtener una muestra significativa se tomaron en cuenta la fuerza axial, fuerza cortante y momento flector de doce (12) modelaciones de una edificación bajo diferentes condiciones. Tales condiciones están relacionadas con cambios de zona sísmica, cambios de porcentaje de amortiguación del

concreto armado y cambios de tipos de análisis sísmicos, se demostró que con la implementación de la Interacción Suelo-Estructura en los diferentes modelos analizados, los esfuerzos internos de una edificación aporticada con zapatas aisladas se ven disminuidas con respecto a los modelos que no consideran la Interacción suelo-estructura (bases empotradas), se comprobó que en los análisis que consideren la Interacción Suelo Estructura, los desplazamientos de los entrepisos y las fuerzas internas están en función de los coeficientes de rigidez y estos están a su vez en función a las características del edificio, suelo de fundación y de las características geométricas de las zapatas.

Según los ingenieros Galicia y Javier (2007), en su tesis de maestría titulada “Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones de albañilería confinada con plateas de cimentación, de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, nos presenta como objetivo Aplicar la Interacción Sísmica Suelo-Estructura a Edificaciones de Albañilería Confinada con Plateas de Cimentación, llegando a la conclusión que: La interacción suelo estructura nos permite determinar simultáneamente el comportamiento del suelo de fundación con la edificación frente a eventos sísmicos, demostrando que ante tal escenario el suelo coadyuva a una mejor distribución de esfuerzos en todos los elementos estructurales de la edificación, mediante la disipación de cierto porcentaje de energía inducida por un sismo.

Vergara y Zevallos (2014) en su tesis “Análisis sísmico por desempeño estático no lineal de un edificio de 6 niveles en la ciudad de Trujillo, la Libertad”, de la Universidad Privada Antenor Orrego, tiene por objeto obtener el punto de performance de la estructura considerando las incursiones no-lineales en el comportamiento del concreto armado, demostrando numéricamente la aparición de rótulas plásticas y consecuente degradación de

rigidez global de la estructura, llegando a la conclusión que tiene un desplazamiento la edificación de 4.133cm.

Según Allauca (2006) en la tesis “Desempeño sísmico de un edificio aporticado de cinco pisos diseñado con las normas peruanas de edificaciones”; de la Pontificia Universidad Católica del Perú, dicha investigación tiene como objetivo evaluar el desempeño sismorresistente de un edificio aporticado de 5 pisos diseñado con las normas peruanas y la recopilación de trabajos similares con edificios de 3, 4 , 6 y 7 pisos [Ortiz y Rivas 2006, Navarro y Fernández 2006] para establecer posibles tendencias en el comportamiento general esperado de este tipo de estructuras, llegando a la conclusión de que para un sismo frecuente queda en un estado funcional, para un sismo raro el daño es reducido y queda en estado funcional.

En los antecedentes locales tenemos Según Aquino y Rodríguez (2015), en su tesis “Comparación de la respuesta estructural de los módulos B y C de la I. E. Julio Ramón Ribeyro considerando y sin considerar la Interacción suelo-estructura”; de la Universidad Privada del Norte, sede Cajamarca, dicha investigación está enfocada en un estudio comparativo de la respuesta estructural de los módulos B y C de la I. E. Julio Ramón Ribeyro considerando y sin considerar la Interacción suelo-estructura, para el desarrollo de esta investigación se ha considerado dos modelos dinámicos, el modelo dinámico de D.D. Barkan – O. A. Savinov y el modelo dinámico de la Norma Rusa SNIP 2.02.05-87, el modelo de ambos edificios fue desarrollado en el programa ETABS en su versión 2015 teniendo en cuenta los requerimientos dados por el Reglamento Nacional de Edificaciones, como resultado final tenemos que el efecto interacción suelo-estructura produce que los edificios presenten mejor respuesta estructural siempre y cuando los edificios cumplan con los

requerimientos mínimos dados en el artículo 15.1 de la Norma Sismoresistente E.0.30, el análisis sísmico de los edificios con base empotrada se obtuvieron derivadas máximas de 2.15% para el modulo B y de 2.43% del módulo C, dichas derivadas no cumplieron con lo establecido en la norma sismoresistente E 0.30 siendo estos edificios muy flexibles literalmente.

Las bases teóricas consideradas para el desarrollo de esta tesis, parte de dos conceptos primordiales, el primero es desempeño sísmico que consiste en la selección de apropiados esquemas de evaluación que permitan el dimensionado y detallado de los componentes estructurales, no estructurales y del contenido, de manera que para un nivel de movimiento especificado y con diferentes niveles de confiabilidad, la estructura no debería ser dañada más allá de ciertos estados límites (Bertero, 2001)

(Hamburger, 1997; Porter et al., 1993) citado por (Allcahuaman, 2015) *“el desempeño se cuantifica en términos de la cantidad de daño sufrido por un edificio afectado por un movimiento sísmico y el impacto que tienen estos daños en las actividades posteriores al evento sísmico. Este concepto no es sólo aplicable a edificios, sino que puede ser extendido a todo tipo de estructuras e incluso a sus componentes no estructurales y contenido”*.

*“El diseño sísmico basado en el desempeño de las estructuras ha llegado a ser considerado como la manera más racional para plantear el problema del diseño sísmico. Esto se debe a que, desde un inicio del proceso de diseño, el Ingeniero considera de manera explícita los niveles de daños esperados durante la vida útil de la estructura”*. (Viera, 2004).

El nivel de desempeño describe un estado límite de daño discreto. Representa una condición límite o tolerable establecida en función de tres aspectos fundamentales: los posibles daños físicos sobre los componentes estructurales y no estructurales, la amenaza sobre la seguridad

de los ocupantes de la edificación, inducida por estos daños y la funcionalidad de la edificación posterior al terremoto (SEAOC, 1995)

El desempeño sísmico de las edificaciones se establece sobre la base de tres conceptos fundamentales: el nivel de desempeño, el nivel de amenaza y el desempeño esperado de la edificación.

A continuación, se presenta una descripción detallada de los *niveles de desempeño* establecidos por dos de los trabajos más completos realizados hasta el momento: el ATC-40 y el comité VISION 2000

La propuesta del ATC-40 especifica separadamente el nivel de desempeño para la estructura y el nivel de desempeño para los componentes no estructurales de manera que su combinación conduce a la definición del nivel de desempeño de la edificación.

Los niveles de desempeño para la estructura describen los posibles estados de daño sobre la estructura. Para tal fin, se definen tres estados de daño discretos o límites: inmediata ocupación, seguridad y estabilidad estructural, y dos rangos intermedios: daño controlado y seguridad limitada, los cuales se designan con la abreviación SP-n (“Structural Performance”, donde n es un número)

SP-1. Inmediata ocupación: el sistema resistente a cargas verticales y laterales permanece prácticamente inalterado, puede haber ocurrido daño estructural muy limitado, el peligro a la vida es despreciable y la edificación se mantiene funcionando en su totalidad.

SP-2. Daño Controlado: corresponde a un estado de daño que varía entre las condiciones límite de inmediata ocupación y seguridad. La vida de los ocupantes no está en peligro, aunque es posible que sean afectados.

SP-3. Seguridad: puede haber ocurrido daño significativo en la estructura, sin embargo, la mayoría de los elementos estructurales se mantienen. Amenaza a la vida de los ocupantes interiores y exteriores e incluso, puede haber afectados. Costos elevados asociados a las reparaciones estructurales.

SP-4. Seguridad limitada: corresponde a un estado que varía entre las condiciones límite de seguridad estructural, con alto peligro para los ocupantes.

SP-5. Estabilidad estructural: corresponde a un estado de daño en el cual el sistema estructural está en el límite de experimentar un colapso parcial o total. Existe un elevado peligro para ocupantes y transeúntes, así como un peligro elevado en caso de réplicas.

SP-6. No considerado: no corresponde con un nivel de desempeño de la estructura, sino con una condición en la cual solo se incluye una evaluación sísmica de los componentes no estructurales.

Los niveles de desempeño para los componentes no estructurales describen los posibles estados de daño de los componentes no estructurales. Para tal fin, se definen cuatro estados de daño: operacional, inmediata ocupación, seguridad y amenaza, los cuales se designan con la abreviación NP-n (“Nonstructural Performance”, donde n designa una letra).

NP-A. Operacional: después del sismo, los sistemas, componentes y elementos no estructurales permanecen sin daño y funcionando. Todos los equipos y maquinarias deben permanecer operativos.

NP-B. Inmediata ocupación: los sistemas, componentes y elementos no estructurales permaneces en su sitio, con pequeñas interrupciones que no comprometen o limitan su funcionamiento. Se mantiene un estado de seguridad para los ocupantes.

NP-C. Seguridad: contempla considerable daño en sistemas, componentes y elementos no estructurales, pero sin colapso o interrupción de los mismos que pueda atentar seriamente contra los ocupantes.

NP-D. Amenaza: incluye importante daño en los sistemas, componentes y elementos no estructurales, pero sin colapso de los grandes y pesados elementos que pongan en peligro a grupos de personas. El peligro a la vida por los daños en componentes no estructurales es alto.

**Tabla 1**

***Niveles de desempeño para elementos no estructurales.***

<i>Nivel de Desempeño</i>	<i>Características Principales</i>
<b>NP – A</b> Operacional	Los sistemas, componentes y elementos no estructurales permanecen sin daño y funcionando. Equipos y maquinarias permanecen operativos.
<b>NP – B</b> Ocupación Inmediata	Los sistemas, componentes y elementos no estructurales permanecen en su sitio, con pequeñas interrupciones sin limitar su funcionamiento. Se mantiene la seguridad para los ocupantes.
<b>NP – C</b> Seguridad	Sistemas, componentes y elementos no estructurales seriamente afectados. El equipamiento y las maquinarias fuera de servicio. Riesgo de perder la vida bajo, puede haber heridos.
<b>NP – D</b> Amenaza	Importante daño en los sistemas, componentes y elementos no estructurales. El peligro a perder la vida es alto.
<b>NP – E</b> No Considerado	No es un nivel de desempeño. Se limita a considerar el desempeño de los elementos estructurales.

**Fuente:** ATC-40, 1996.

Los niveles de Desempeño de la Edificación describen los posibles estados de daño para la edificación. Estos niveles de desempeño se obtienen de la apropiada combinación de los niveles de desempeño de la estructura y de los componentes no estructurales. Todas estas combinaciones representan el comportamiento global del edificio.

La Tabla 2 muestra las posibles combinaciones donde se han destacado e identificado los cuatro niveles de desempeño de edificaciones más comúnmente referenciados: operacional (1-A), ocupación inmediata (2-B), seguridad (3-C) y estabilidad estructural (5-E); así como otros niveles de desempeño posibles (2-A, 2-B, etc.). La designación NR corresponde a niveles de desempeño no recomendables en el sentido que no deben ser considerados en la evaluación.

**Tabla 2**

*Niveles de desempeño de la edificación.*

	<i>SP – 1</i> <i>Inmediata</i> <i>Ocupación</i>	<i>SP – 2</i> <i>Daño</i> <i>Controlado</i> <i>(rango)</i>	<i>SP – 3</i> <i>Segurida</i> <i>d</i>	<i>SP – 4</i> <i>Segurida</i> <i>d</i> <i>Limitada</i> <i>(rango)</i>	<i>SP – 5</i> <i>Estabilida</i> <i>d</i> <i>Estructur</i> <i>al</i>	<i>SP – 6</i> <i>No</i> <i>Considerad</i> <i>o</i>
<i>NP – A</i> <i>Operacion</i> <i>al</i>	<i>1 – A</i> <i>Operacion</i> <i>al</i>	<i>2 – A</i>	<i>NR</i>	<i>NR</i>	<i>NR</i>	<i>NR</i>
<i>NP – B</i> <i>Inmediata</i> <i>Ocupación</i>	<i>1 – B</i> <i>Ocupación</i> <i>Inmediata</i>	<i>2 – B</i>	<i>3 – B</i>	<i>NR</i>	<i>NR</i>	<i>NR</i>
<i>NP – C</i> <i>Seguridad</i>	<i>1 – C</i>	<i>2 – C</i>	<i>3 – C</i> <i>Segurida</i> <i>d</i> <i>Vital</i>	<i>4 – C</i>	<i>5 – C</i>	<i>6 – C</i>
<i>NP – D</i> <i>Amenaza</i>	<i>NR</i>	<i>2-D</i>	<i>3 – D</i>	<i>4 – D</i>	<i>5 – D</i>	<i>6 – D</i>

<i>NP – E</i>	<i>NR</i>	<i>NR</i>	<i>3 – E</i>	<i>4 – E</i>	<i>5 – E</i>	<i>No</i>
<i>No</i>					<i>Estabilida</i>	<i>Aplicable</i>
<i>Considerad</i>					<i>d</i>	
<i>o</i>					<i>Estructur</i>	
					<i>al</i>	

**Fuente:** ATC-40, 1996.

1-A: Operacional: Se relaciona básicamente con la funcionalidad. Los daños en componentes estructurales son limitados. Los sistemas y elementos no estructurales permanecen funcionando con normalidad después del sismo. Cualquier reparación requerida no perturba ninguna función. Se mantiene la seguridad de los ocupantes. Se mantienen las funciones de los servicios de la edificación, incluso cuando los externos a la misma no estén disponibles.

1-B: Ocupación Inmediata: Corresponde al criterio más usado para edificaciones esenciales (hospitales, por ejemplo). Los espacios de la edificación, los sistemas y los equipamientos permanecen utilizables. Se mantienen en funcionamiento los servicios primarios. Quizás algunos servicios secundarios presenten pequeñas interrupciones de fácil e inmediata reparación. Se mantiene la seguridad de los ocupantes.

3-C: Seguridad Vital: Corresponde a un estado de daños que presenta una baja probabilidad de atentar contra la vida. Constituye el nivel de desempeño de la edificación que se espera alcanzar con la aplicación de los actuales códigos sísmicos; es decir, que se corresponde a un desempeño equivalente al que se obtendría con la aplicación sistemática de los códigos actuales de diseño sísmico.

Se caracteriza por presentar daños limitados en los componentes estructurales y el eventual fallo o volcamiento de los componentes no estructurales, con la posibilidad inclusive de fallo en algún elemento peligroso y en alguno de los elementos primarios (servicios de agua,

electricidad, etc.) y secundarios (acabados, fachadas, etc.), siempre que no atente contra la vida de los usuarios.

5-E: Estabilidad Estructural: Para este estado de daño prácticamente no queda reserva alguna del sistema resistente a carga lateral que permita soportar una réplica, solo se mantiene cierta capacidad del sistema resistente a cargas verticales para mantener la estabilidad de la estructura, de manera que el peligro para la vida es muy alto. El nivel de daño estructural implica que no se requiere la revisión de los elementos no estructurales. El peligro de los ocupantes y transeúntes por el colapso o falla de elementos no estructurales exige el desalojo de la edificación y, en algunos casos, demoler la estructura.

NP-E. No considerado: no corresponde con un nivel de desempeño de los componentes no estructurales.

Propuesta del Comité VISION 2000, este comité define cuatro niveles de desempeño que identifica a través de los siguientes calificadores:

Operacional: corresponde a un nivel en el cual no ocurren esencialmente daños. La edificación permanece completamente segura para sus ocupantes. Todo el contenido y los servicios de la edificación permanecen funcionales y disponibles para su uso. En general no se requieren reparaciones.

Funcional: en este nivel se presentan daños moderados en los elementos no estructurales y en el contenido de la edificación, e incluso algunos daños leves en los elementos estructurales. El daño es limitado y no compromete la seguridad de la estructura para continuar siendo ocupada inmediatamente después del sismo, no obstante, los daños en algunos contenidos y componentes no estructurales pueden interrumpir parcialmente algunas funciones normales. En general se requieren algunas reparaciones menores.

Seguridad: está asociado a la ocurrencia de daños moderados en elementos estructurales y no estructurales, así como en algunos contenidos de la construcción. La rigidez lateral de la estructura y la capacidad de resistir cargas laterales adicionales, se ven reducidas, posiblemente en un gran porcentaje, sin embargo, aún permanece un margen de seguridad frente al colapso. Los daños producidos pueden impedir que la estructura sea ocupada inmediatamente después del sismo, con lo cual, es probable que sea necesario proceder a su rehabilitación, siempre y cuando sea viable y se justifique desde un punto de vista económico.

Próximo al colapso: la degradación de la rigidez lateral y la capacidad resistente del sistema compromete la estabilidad de la estructura aproximándose al colapso. Los servicios de evacuación pueden verse interrumpidos por fallas.

**Tabla 3**

*Estados de daño y niveles de desempeño según SEAOC.*

<b>Estado de daño</b>	<b>Nivel de Desempeño</b>	<b>Características principales</b>
Despreciable	Operacional	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Las instalaciones continúan prestando sus servicios y funciones después del sismo.
Ligero	Funcional	Daños ligeros. Las instalaciones esenciales continúan en servicio y las no esenciales pueden sufrir interrupciones de inmediata recuperación.
Moderado	Seguridad	Daños moderados. La estructura sufre daños, pero permanece estable. Seguridad de ocupantes algunos elementos no estructurales pueden dañarse.
Severo	Pre-Colapso	Daño estructural severo, en la proximidad del colapso estructural. Falla de elementos no estructurales. Seguridad de ocupantes comprometida

---

Completo	Colapso	Colapso estructural
----------	---------	---------------------

---

**Fuente:** SEAOC 1995

Una vez empleada la fase conceptual y establecidos los niveles de daños tolerables en la edificación para cada *nivel de amenaza*, la evaluación sísmica de una edificación requiere establecer su capacidad de satisfacer el nivel de desempeño esperado, de acuerdo con la sismicidad local, propia o característica de su desplazamiento.

*El desempeño esperado de la edificación* describe un comportamiento sísmico que pueden considerarse satisfactorio para una edificación sometida a movimientos sísmicos de diferentes intensidades (ATC-40;1996).

El ATC-40 considera tres niveles sísmicos los cuales son: Sismo de Servicio, Sismo de Diseño y Sismo Máximo. Estos niveles sísmicos se definen a continuación:

**Sismo de Servicio:** El Sismo de Servicio es definido como el nivel de sismo que tiene un 50% de probabilidad de ser excedido en un periodo de 50 años. Este nivel de sismo es típicamente 0.5 veces el Sismo de Diseño.

El Sismo de Servicio representa un nivel frecuente de sacudimiento del suelo que es probable a ser experimentado durante la vida del edificio. En términos probabilísticos el Sismo de Servicio tiene un periodo de retorno medio de aproximadamente 75 años.

**Sismo de Diseño:** El Sismo de Diseño es definido como el sismo que tiene 10% de probabilidad de ser excedido en un periodo de 50 años. El Sismo de Diseño representa un nivel infrecuente de sacudida del suelo que puede ocurrir durante la vida del edificio. En términos probabilísticos el Sismo de Diseño tiene un periodo de retorno medio de aproximadamente 475 años.

Sismo Máximo: El Sismo Máximo es definido como el máximo nivel sismo que se puede esperar en el lugar donde está situado el edificio dentro de un conocido marco geológico de trabajo.

Esta intensidad de movimiento de suelo puede ser calculado como el nivel de sismo que tiene un 5% de probabilidad de ser excedido en 50 años de periodo. Este nivel de movimiento de la base es 1.25 a 1.5 veces el nivel de movimiento de la base para un Sismo de Diseño. En términos probabilísticos, el Sismo Máximo tiene un periodo de retorno de aproximadamente 975 años.

**Tabla 4**

*Niveles de movimiento sísmico.*

Nivel del Movimiento Sísmico	Intensidad	Ocurrencia	Periodo Medio de Retorno $T$ (años)	Probabilidad de Excedencia $p$ (%) – $t$ (años)
<b>SS</b> <b><u>Sismo de Servicio</u></b>	Baja – Moderada	Frecuente	72	50% – 50
<b>SD</b> <b><u>Sismo de Diseño</u></b> (Códigos Actuales)	Moderada – Severa	Poco frecuente	475	10% – 50
<b>SM</b> <b><u>Sismo Máximo</u></b> (Edificaciones Esenciales)	Severa–Muy severa	Rara	975	5% – 50

**Fuente:** ATC-40, 1996

La propuesta del Comité Visión 2000 (SEAOC 1995) define cuatro niveles de amenaza sísmica, los cuales se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Niveles de movimiento sísmico.*

<i>Nivel del Movimiento Sísmico</i>	<i>Periodo Medio de Retorno T (años)</i>	<i>Probabilidad de Excedencia p (%) – t (años)</i>
<i>Frecuente</i>	43	50% – 30
<i>Ocasional</i>	72	50% – 50
<i>Raro</i>	475	10% – 50
<i>Muy Raro</i>	970	10% – 100

**Fuente:** SEAOC, 1995

El desempeño esperado de las edificaciones establece los requerimientos mínimos sobre el desempeño sísmico ante los diferentes niveles de amenaza. En la Tabla 6 se presentan los niveles recomendados de desempeños esperados para edificaciones.

**Tabla 6**

*Niveles recomendados de desempeño esperados.*

		<i>Nivel de Desempeño Sísmico</i>			
		<i>Operacional</i>	<i>Funcional</i>	<i>Seguridad</i>	<i>Pre-Colapso</i>
<b>1. Edificaciones Básicas</b>					
<b>2. Edificaciones Esenciales</b>					
<b>3. Edificaciones de Seguridad Crítica</b>					
<b>0. Desempeño Inaceptable</b>					
<b>Nivel del Movimiento Sísmico</b>	<b>Frecuente</b> (T = 43 años)	<b>1</b>	0	0	0
	<b>Ocasional</b> (T = 72 años)	2	<b>1</b>	0	0
	<b>Raro</b> (T = 475 años)	3	2	<b>1</b>	0
	<b>Muy Raro</b> (T = 970 años)	–	3	2	<b>1</b>

**Fuente:** SEAOC, 1995

Como podemos ver en la tabla 6, el comité VISION 2000 clasifica las edificaciones en tres grandes grupos, en función al grado de importancia durante y después del sismo.

Edificaciones Esenciales: Son las encargadas de todas las operaciones post-terremoto, tales como hospitales, estaciones de bomberos, policía, centros de control de emergencia, etc.

Edificaciones de Seguridad Crítica: Contienen cantidades de materiales peligrosos que podrían resultar en una amenaza inaceptable para un amplio sector de la comunidad.

Edificaciones Básicas: No están incluidas en los dos primeros grupos.

(Muñoz, San Bartolomé, & Rodriguez, 2002) para determinar los sismos de análisis de acuerdo a SEAOC Vision 2000 Committee (1995), propuso factores como una fracción de la aceleración de gravedad en el Perú, que ve en la tabla 7.

### Tabla 7

*Coefficiente sísmico para cada tipo de sismo.*

Sismo de diseño	Ca	Cv
Frecuente	0.20	0.2
Ocasional	0.25	0.25
Raro	0.40	0.40
Muy raro	0.50	0.50

**Fuente:** (Muñoz, San Bartolomé, & Rodriguez, 2002)

*“El Análisis Estático No Lineal es una alternativa muy práctica para encontrar la respuesta sísmica de una estructura considerando la respuesta no lineal de los materiales, es decir, más allá del límite elástico”.* (Aguar, 2002)

Existen muchos métodos para efectuar este tipo de análisis como por ejemplo los propuestos por el ATC 40 y FEMA 356. Estos métodos se avocan a encontrar la curva de capacidad resistente de las estructuras ante acciones sísmicas, la cual relaciona el cortante basal con el desplazamiento lateral máximo en el tope. El máximo desplazamiento que probablemente

puede ser experimentado durante un sismo dado, es determinado usando espectros de respuesta inelásticos.

La curva de capacidad representa el comportamiento de una estructura ante acciones laterales, las cuales son impuestas por los sismos.

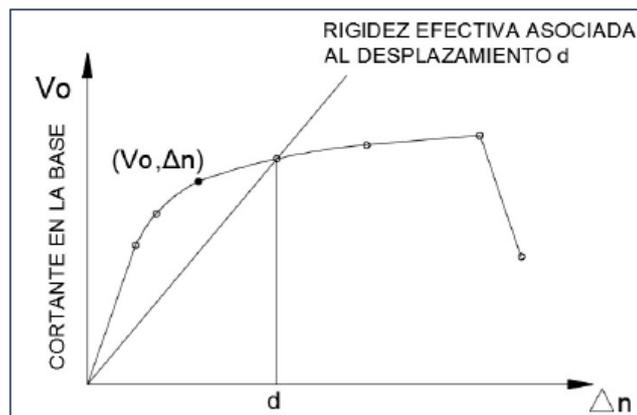


Figura 1 : Curva de capacidad (Safina Melone, 2002)

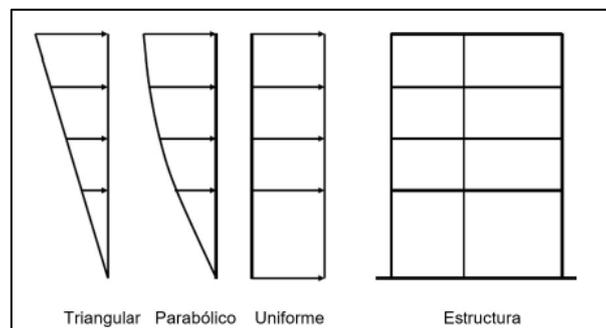
En el Análisis Estático No Lineal, existen dos formas de encontrar la Curva de Capacidad Resistente de las estructuras ante acciones sísmicas. En una se aplican las cargas incrementales monótonicas en una dirección hasta que la estructura alcance el colapso (*Técnica del Pushover*). En la segunda, se la somete a un acelerograma, el mismo que se va incrementando paulatinamente hasta que la estructura colapse. Lo que más se utiliza es la Técnica del Pushover o también conocida con el nombre de Análisis Incremental del Colapso (Viera, 2004). *Esta curva es la base para el Análisis Sísmico por Desempeño.*

Para determinar la *Curva de Capacidad Resistente*, es necesario tener completamente definida la estructura y además se debe conocer la calidad de los materiales.

Durante el Análisis Incremental del Colapso, se somete a la estructura a un patrón de acciones laterales que se incrementan de manera monótonica hasta alcanzar la capacidad

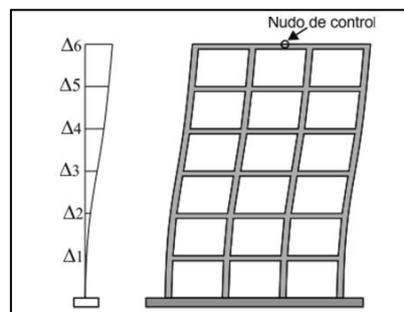
máxima de desplazamientos de la estructura. Este patrón de acciones laterales puede ser un sistema de cargas o uno de desplazamientos (Chunque, 2013).

Para el patrón de cargas laterales la distribución de cargas puede ser uniforme, triangular, parabólica u otra. No existe un patrón que sea universalmente aceptado. Lo que se practica es utilizar al menos dos distribuciones diferentes y definir la Curva de Capacidad mediante la envolvente de los resultados obtenidos (Moreno, 2006).



*Figura 2 : Patrones de distribución de cargas laterales para un análisis pushover.(Moreno, 2006).*

El proceso de Análisis Incremental se controla por un nudo determinado, que generalmente es el centro de masa del techo (Figura 3). Se debe indicar un valor de desplazamiento máximo hasta el cual incrementar el desplazamiento y comenzar dicho análisis partiendo del estado de esfuerzos y deformaciones provenientes de las cargas de gravedad (cargas muertas y cargas vivas).



*Figura 3: Patrón de desplazamiento y nudo de control en un edificio (Bonnet, 2003).*

A través de un análisis estático no lineal incremental de un modelo representativo de la estructura se obtiene una curva de capacidad, la cual generalmente se representa como el cortante basal ( $V$ ), obteniendo para varios incrementos del estado de carga lateral, respecto al desplazamiento lateral del ultimo nivel de la edificación. Esta curva consiste en una serie de segmentos de rectas pendientes decreciente, asociados a la progresiva degradación de la rigidez, la cadencia en elementos y en general, al daño. A este tipo de evaluación se conoce como un análisis “pushover “.

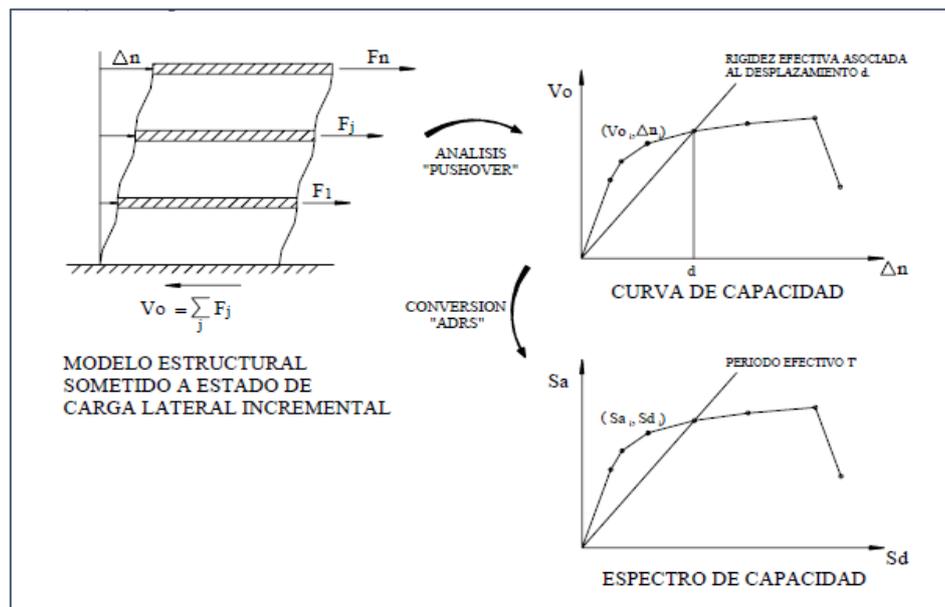


Figura 4: Espectro de capacidad (Safina Melone, 2002)

Los espectros de demanda muestran simultáneamente los espectros clásicos de Aceleración y Desplazamiento en un solo gráfico, donde los ejes horizontal y vertical corresponden a valores del Desplazamiento Espectral ( $S_D$ ) y de la Aceleración Espectral ( $S_A$ ) respectivamente. Los periodos corresponden a rectas inclinadas (Chunque 2013).

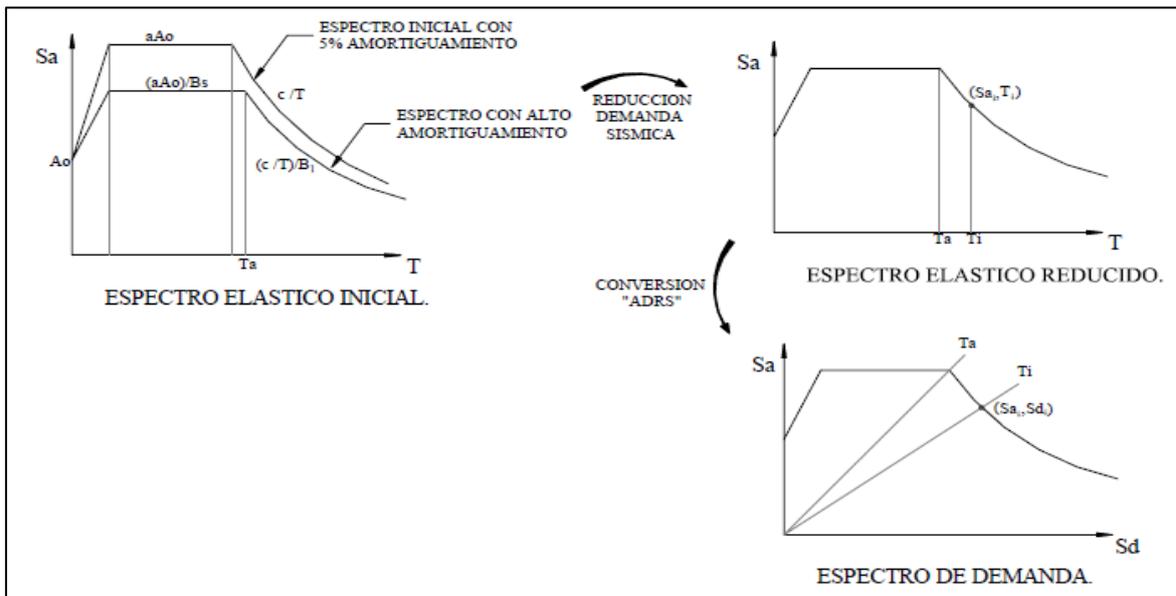


Figura 5: Espectro de demanda. (SAFINA MELONE, 2002)

El Comité VISION 2000 del SEAOC propone cinco *niveles de desempeño*, que se describen en función del comportamiento del sistema estructural y de las instalaciones y elementos no estructurales en general.

Tabla 8

*Descripción de los Daños Asociados a cada Nivel de Desempeño*

<i>Nivel de Desempeño</i>	<i>Descripción</i>
<b>Operacional (O)</b>	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Los sistemas de evacuación y todas las instalaciones continúan prestando servicio.
<b>Funcional (F)</b>	Agrietamiento en elementos estructurales. Daño leve y moderado en elementos arquitectónicos. Los sistemas de evacuación y seguridad funcionan con normalidad
<b>Resguardo de Vida (RV)</b>	Daño moderado en algunos elementos. Pérdida de resistencia y rigidez del sistema resistente de cargas laterales. El sistema permanece funcional. Algunos elementos no estructurales pueden dañarse.

<b>Cerca al Colapso (CC)</b>	Daños severos en elementos estructurales. Fallo de elementos secundarios, no estructurales y contenidos.
<b>Colapso (C)</b>	Pérdida parcial o total de soporte. Colapso parcial o total. No es posible la reparación.

**Fuente: (SEAOC, 1995)**

Desde el punto de vista estructural, los niveles de desempeño corresponden a sectores definidos de la Curva de Capacidad de la estructura. Para sectorizar la Curva de Capacidad debe encontrarse la Fluencia Efectiva para definir el tramo elástico e inelástico de la estructura. El tramo inelástico de la Curva de Capacidad se divide en cuatro sectores definidos por fracciones de  $\Delta_p$  a las cuales se asocia un Nivel de Desempeño. Este criterio de evaluación, propuesto por el Comité VISION 2000 del SEAOC, propone que para cada Nivel de Desempeño le corresponde un rango de desplazamiento en el techo de la estructura. Estos se detallan en la Tabla 9.

**Tabla 9**

**Rango de Desplazamiento Asociado a cada Nivel de Desempeño**

<i>Nivel de Desempeño</i>	<i>Rango de Desplazamiento</i>
<b>Operacional</b>	$0 - (\Delta_{FE})$
<b>Funcional</b>	$(\Delta_{FE}) - (\Delta_{FE} + 0.30\Delta_p)$
<b>Seguridad de Vida</b>	$(\Delta_{FE} + 0.30\Delta_p) - (\Delta_{FE} + 0.60\Delta_p)$
<b>Cerca al Colapso</b>	$(\Delta_{FE} + 0.60\Delta_p) - (\Delta_{FE} + 0.80\Delta_p)$
<b>Colapso</b>	$(\Delta_{FE} + 0.80\Delta_p) - (\Delta_{FE} + \Delta_p)$

**$\Delta_{FE}$ : Desplazamiento correspondiente al Punto de Fluencia Efectiva. Es el desplazamiento en el rango elástico de la estructura.**

**$\Delta_p$ : Rango Plástico.**

Fuente: SEAOC, 1995.

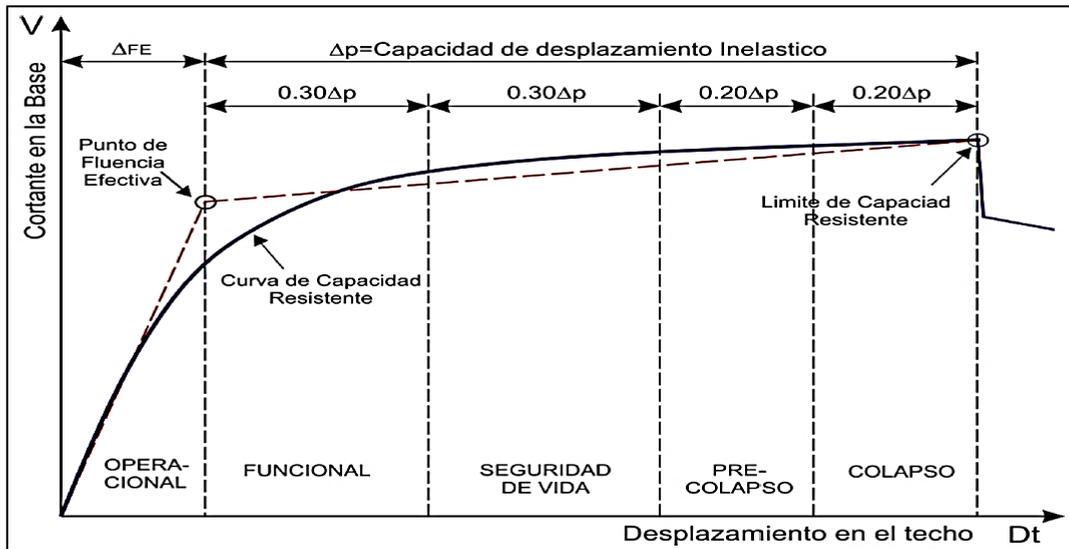


Figura 6: Setorización de la Curva de capacidad. (SEAOC, 1995).

Para el desarrollo de esta tesis tenemos como segundo concepto primordial la interacción suelo-estructura, que según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR- 10. La respuesta sísmica de la estructura está íntimamente ligada a la forma como los movimientos sísmicos del terreno afectan la estructura a través de su cimentación. Las características dinámicas del suelo subyacente, la rigidez y disposición de la cimentación y el tipo de sistema estructural de la edificación interactúan entre sí para caracterizar los efectos sísmicos sobre ella. El hecho de que no se tome en cuenta la rigidez de la cimentación y las características dinámicas del suelo subyacente en el análisis sísmico de la edificación puede conducir a variaciones apreciables entre la respuesta sísmica estimada y la respuesta real de la estructura. Por las razones anotadas es conveniente incluir los efectos de la interacción suelo-estructura en el análisis sísmico de la edificación.

FEMA 440 nos presenta tres categorías principales de interacción suelo-estructura efectos (SSD): Introducción de flexibilidad para el sistema suelo-fundación (efectos de cimentación

flexible), el filtrado de los movimientos del terreno transmitidas a la estructura (efectos cinemáticos) y disipación de la energía desde el sistema suelo-estructura a través de la radiación y el suelo de histéresis de amortiguación (Fundación efectos de amortiguación).

Según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR- 10, formula que, dependiendo de las características de la estructura, de su cimentación y del suelo subyacente, la respuesta de la estructura ante sollicitaciones estáticas verticales y dinámicas (sismo) puede variar con respecto al estimativo que se realiza sin tener en cuenta la interacción suelo-estructura, en los siguientes aspectos:

La presencia de suelos blandos y compresibles en la distribución de esfuerzos y deformaciones bajo losas de fundación, tanto ante sollicitaciones de cargas verticales como de fuerzas horizontales. (NSR,2010)

Aumento en el periodo del sistema suelo-estructura que considera la flexibilidad del suelo, respecto a la evaluación de los períodos de vibración de la edificación considerando un modelo de base empotrada. (NSR,2010)

Generalmente aumento del amortiguamiento viscoso equivalente del sistema estructura-cimentación-suelo respecto al considerado para solo la estructura, al involucrar la disipación adicional de energía producto de los amortiguamientos material y geométrico del suelo. (NSR,2010)

Aumento de los desplazamientos laterales de la estructura ante sollicitaciones sísmicas, debidos en parte significativa a la rotación de la base por efecto de cabeceo, con cambios en las derivas (Desplazamientos horizontales relativos) en función de la altura a la que se encuentren los niveles en consideración. (NSR,2010)

Variación en la distribución de las fuerzas cortantes horizontales producidas por los movimientos sísmicos, entre los diferentes elementos del sistema de resistencia sísmica, especialmente cuando se combinan elementos con rigideces y sistemas de apoyo en la cimentación diferentes, como puede ser el caso de combinación de pórticos y muros estructurales. (NSR,2010)

Al hablar de Interacción Sísmica Suelo-Estructura Villagarra, Pineda, Ramírez, Ramírez, Arango, Rodríguez & Valencia indican que:

El fenómeno de la interacción sísmica suelo-estructura está ligado a la forma como se transmite el movimiento sísmico del terreno a la estructura a través de su cimentación. Al considerar la estructura cimentada sobre un suelo flexible y no sobre un soporte rígido se modifican significativamente los parámetros dinámicos de la estructura, así como las características del movimiento del terreno cerca a la cimentación.

Al incidir una acción dinámica, la respuesta del suelo afecta al movimiento de la estructura y la respuesta de la estructura modifica el movimiento del suelo. La interacción Sísmica Suelo Estructura no se debe confundir con los efectos del suelo, que representan sólo las modificaciones que sufre la señal sísmica al pasar a través de un perfil de suelo o los debidos a las condiciones topográficas del sitio. (Villagarra, y otros, 2015)

*“El fenómeno de la ISSE debe ser entendido como la agregación de dos tipos de efectos que se presentan simultáneamente, la interacción cinemática y la interacción inercial, que se describen a continuación”.* (Villagarra, y otros, 2015)

Interacción cinemática esta componente de la interacción únicamente depende de la relación de rigidez del suelo y la cimentación. Al ascender las ondas sísmicas por un perfil de suelo en campo libre se producen desplazamientos del suelo en dirección horizontal y vertical. Si

La cimentación de un edificio está en la superficie o empotrada dentro de un perfil y es tan rígida que no puede seguir los patrones de deformación de campo libre, se producen modificaciones del movimiento del suelo produciendo un efecto promediador en los desplazamientos. (Villagarra, y otros, 2015)

La interacción cinemática también puede inducir diferentes formas de vibración en una estructura cuando la fundación está embebida en un perfil de suelo sometido a la propagación de ondas s con una longitud de onda mayor o igual a la profundidad de empotramiento, caso en el cual se aplica un momento de volcamiento a la fundación a pesar de que el movimiento de campo libre sea puramente traslacional. A frecuencias mayores o longitudes de onda más cortas la rotación es nula. De forma similar, cuando las ondas se propagan horizontalmente se puede inducir vibración torsional en la fundación. (Villagarra, y otros, 2015)

La interacción inercial es una consecuencia que la estructura, por sí sola, responde dinámicamente en virtud de su masa, generando en el suelo un movimiento equivalente a un campo de fuerzas inerciales. Si el suelo portante es flexible las fuerzas transmitidas a él producirán en la estructura un movimiento que no ocurriría en una estructura apoyada en una base fija. En consecuencia, se producen en el suelo deformaciones diferentes a las de campo libre, que redundan en modificaciones de los movimientos de la cimentación y la estructura. (Villagarra, y otros, 2015)

La inclusión de efectos en el procedimiento estático no lineales presenta los siguientes modelos:

Modelo base rígida, el modelo estructural se monta sobre una base rígida que se excita por el movimiento en campo libre. El movimiento en campo libre es el movimiento teórico de

un solo punto de la superficie del suelo, suponiendo que no hay ninguna estructura cerca de él. (FEMA 440, 2005)

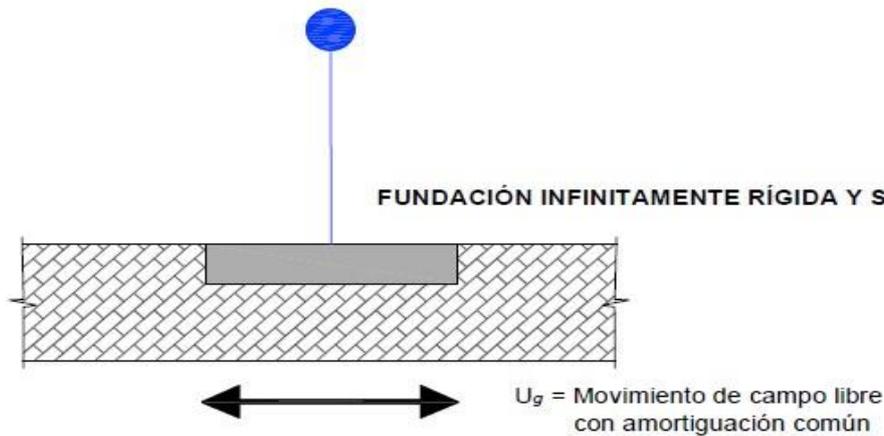


Figura 7. Modelo de base rígida (FEMA 440,2005).

El modelo base flexible incorpora la fundación flexible en el modelo estructural directamente. Según ATC-40 (2000) y FEMA 356, incluye disposiciones para la estimación de la flexibilidad y la fuerza de la base (es decir, las propiedades de los resortes indicados en la figura 8 en una modelo estructural para el análisis inelástico. Estas disposiciones normalmente utilizan el movimiento en campo libre como la sísmica la demanda con un 5% de amortiguamiento con el valor inicial convencional. Este enfoque es capaz de modelar tanto los componentes estructurales y geotécnicos de la Fundación. El resultado es que la respuesta del sistema estructural incluye deformaciones elásticas e inelástica en las partes estructurales y geotécnicas del sistema de cimentación. Estas mejoras en el modelado pueden dar lugar a importantes desviaciones de resultados de base fija y más precisa representación de la respuesta estructural probable. En comparación con el enfoque de modelado de base fija, el período previsto de la estructura se alarga, la distribución de fuerzas entre los distintos elementos de los cambios, la secuencia de falta de elasticidad y los modos de inelástica. El comportamiento puede cambiar, y los mecanismos de las fundaciones (por ejemplo,

mediando, teniendo el suelo fracaso, y el deslizamiento embarcadero / pila) puede ser directamente evaluado y considerado. Todos estos efectos resultan de una evaluación más realista del probable comportamiento estructural y rendimiento. (FEMA 440, 2005)

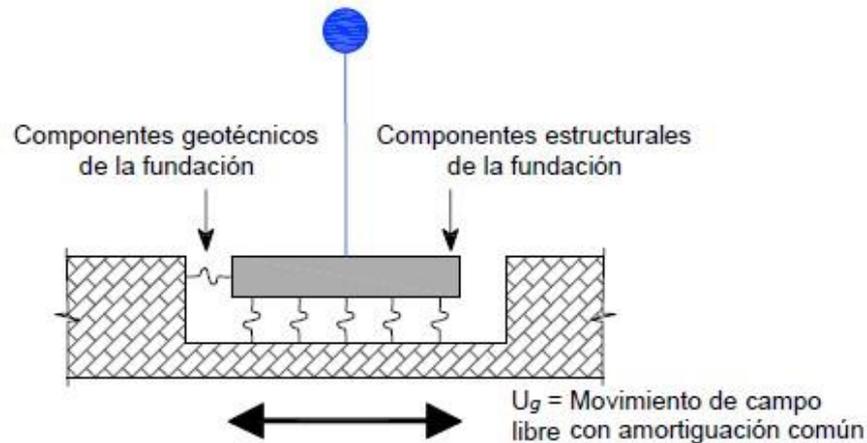


Figura 8. Modelo de base flexible (FEMA 440,2005).

El modelo interacción cinemática presenta los efectos de filtrado de interacción sueloestructura este puede tener el carácter e intensidad de movimiento de tierra que experimenta el modelo estructural. El resultado de interacción cinemática de la presencia de elementos de cimentación relativamente rígidas sobre o dentro del suelo provocan que los movimientos de la cimentación se desvíen de campo libre. Dos efectos se identifican comúnmente: la base de la losa promediada y efectos de empotramiento. La base de la losa efecto promedio se puede visualizar mediante el reconocimiento del movimiento instantáneo que se habría producido en la ausencia de la estructura dentro y por debajo de su huella no es la misma en cada punto. La colocación de una la estructura y la cimentación a través de estas variables en el espacio produce movimientos de un efecto de promediación en el que el movimiento global es menor que los máximos localizado que habría ocurrido en el campo libre. El efecto de empotramiento está asociado con la reducción del

movimiento del terreno que tiende a ocurrir con la profundidad en un depósito de la cimentación. Ambos promedios de baselosa y empotramiento afectan el carácter del movimiento a nivel de cimientos (a veces llamado fundación movimiento de entrada, o FIM) de una manera que es independiente de la superestructura (es decir, la parte de la estructura por encima de la base), con una excepción. Los efectos son fuertemente dependientes del tiempo, de ser maximizada en períodos pequeños los efectos pueden ser visualizados como un filtro que se aplica a los componentes de alta frecuencia (de periodo corto) del movimiento del suelo en campo libre. El impacto de los efectos sobre la respuesta superestructura tenderá a ser mayor para los edificios de periodo corto. (FEMA 440, 2005).

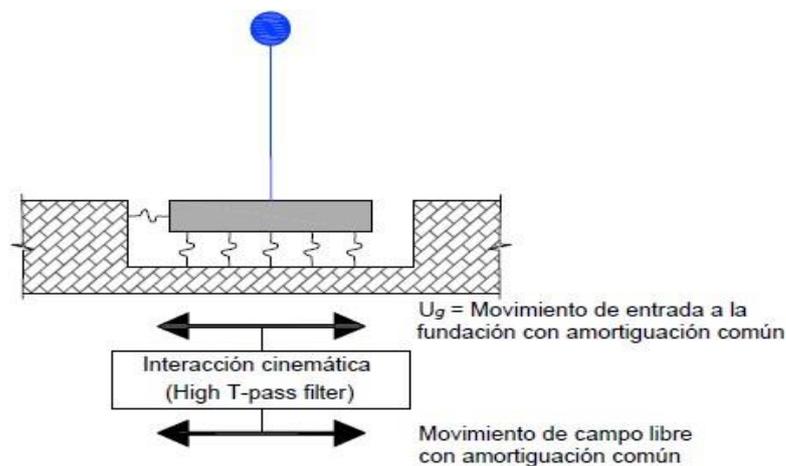


Figura 9: Modelo de interacción cinemática (FEMA 440,2005).

Efectos cinemáticos en campo libre: los movimientos de la cimentación impuestas en la base de una estructura pueden diferir en el campo libre debido a un promedio de movimientos variables en el suelo a través del tipo de cimentación, de onda de dispersión y efectos de empotramiento. Estos efectos se denominan como los efectos de interacción cinemáticas, y tienden a ser importante para los edificios con períodos relativamente cortos fundamentales (períodos  $< \sim 0,5$  seg), con grandes dimensiones en planta, sótanos de 3 mts

de profundidad o de acuerdo al tipo de suelo. A continuación, se presenta los procedimientos para tener en cuenta efectos cinemáticos en estructuras de edificios. (FEMA 440, 2005)

La proporción de respuesta espectral (RRS), factor que puede ser usado para representar los efectos de interacción cinemática. Es la relación de las ordenadas espectrales de respuesta impuestas sobre la base, es decir el movimiento de entrada a la fundación; para las ordenadas espectrales de campo libre. Para la evaluación de una RRS se deben considerar dos fenómenos: base de la losa y empotramiento de la fundación. El efecto promedio de la losa ocurre a nivel de la base para zapatas interconectadas con vigas de conexión o losas de concreto armado. Incluso si una base rígida lateralmente no está presente en el sistema, el promedio puede ocurrir en el primer nivel de edificios altos con diafragmas rígidos. El único caso en el que los efectos de base promedio de la losa no se deben considerar es en edificios sin un sistema de base conectada lateralmente con el piso y techo de diafragmas flexibles. Los efectos de empotramiento de la fundación deben ser considerados para edificios con sótanos. Tales efectos no deben ser considerados para edificios sin sótanos, incluso si se incrustan las zapatas. Los efectos de empotramiento tienden a ser significativo cuando la profundidad de los sótanos es mayor a 3 metros. (FEMA 440, 2005)

Kim y Stewart (2003) citado por Montalva, Catalán y Benedetti (2016) indica que el procedimiento simplificado presentado por FEMA (adaptado de Kim y Stewart, 2003) relaciona los efectos de interacción suelo estructura en función del período del modelo estructural.

Paso 1°: Evaluar el tamaño de la fundación efectiva  $b_e = \sqrt{ab}$ , donde a y b son las dimensiones de huella (en pies) de los cimientos del edificio en planta.

Paso 2°: Estructura sin sótano: evaluar la RRS de la base de la losa de promedio (RRS<sub>bsa</sub>) como una fundación del periodo (ver la Imagen 4)

$$RRS_{bsa} = 1 - \frac{1}{14100} \left( \frac{b_e}{T} \right)^{1.2} \geq \text{para el valor } T = 0.2s$$

**Ecuación 1:** Proporción de espectro de respuesta – base promedio de losa.

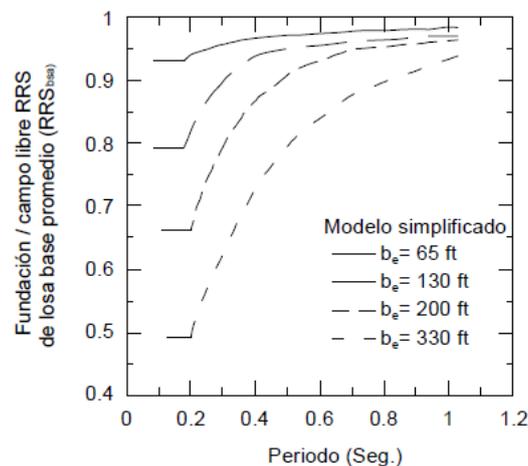


Figura 10: Ratio de espectro de respuesta para el promedio losa de base, función del periodo y el tamaño de la fundación  $b_e$ . (FEMA 440, 2005).

Estructura con sótano: evaluar una RRS adicional de empotramiento (RRS<sub>e</sub>) como una función del periodo (véase imagen N° 5)

$$RRS_e = \cos\left(\frac{2\pi e}{Tnv_s}\right) \geq 0.453$$

$$\text{para } RRS_e T = 0.2s$$

**Ecuación 2:** Proporción de espectro de respuesta con sótano.

Dónde:  $e$  = Empotramiento de la fundación (en pies),  $v_s$  = Velocidad de la onda de corte para las condiciones del tipo de suelo, tomados como valor promedio de la velocidad a una

profundidad de  $b_e$  de la fundación pies/seg y  $n$  =Factor de velocidad de onda cortante esperado PGA según estimación de la tabla N°4

Paso 3°: Evaluar el producto de  $RRS_{bsa}$  en tiempos de RRS para obtener la interacción cinemática de cada periodo. La ordenada espectral del movimiento de entrada a la fundación en cada periodo es el producto del espectro de campo libre y el total RRS

$$Sa_{FIM} = Sa * RRS_{bsa}$$

**Ecuación 3:** Interacción cinemática en campo libre.

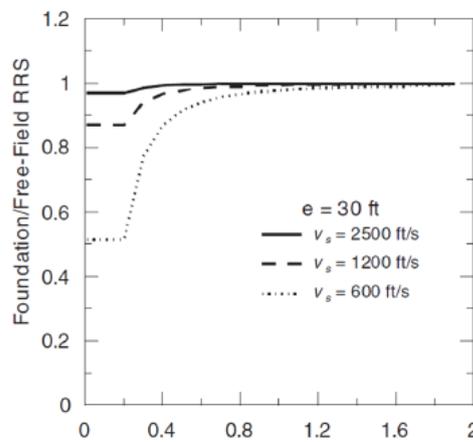


Figura 11. Ratio de espectros de respuesta para empotramientos  $RRS_e$ , para  $e= 30$  pies como función de periodo y la velocidad de onda  $V_s$ . (FEMA 440,2005).

**Tabla 10**

Valores aproximados de reducción de velocidad de ondas de corte,  $n$

<b>Pico de aceleración el duelo (PCA)</b>				
	0.10g	0.15g	0.20g	0.30g
<b>n</b>	0.90	0.80	0.70	0.65

**Fuente:** FEMA 440, 2005.

Paso N° 4: Se repetirá los pasos 1 y 3 para otros periodos, si se desea generar un espectro completo para la entrada de movimiento de la fundación.

La amortiguación de la base (cimentación) relacionada con la interacción fundación-suelo se puede complementar significativamente de la amortiguación que se produce en una estructura debido a la acción inelástica de los componentes estructurales. La amortiguación de la interacción fundación-suelo está asociada con el comportamiento de histéresis de suelo, así como la radiación de energía en el suelo de la base. Estos efectos de amortiguación de la fundación tienden a ser importante para los sistemas rígidos estructurales especialmente cuando el suelo de cimentación es relativamente blando (suelos tipo S3 y S4). (Saucedo, 2016)

Los efectos de amortiguación de la fundación están representados por una relación de amortiguación de sistema modificado. El coeficiente de amortiguamiento inicial para la estructura de amortiguación de la fundación se conoce como  $\beta_i$  generalmente se toma como 5%. La amortiguación que debe atribuirse a la interacción fundación-suelo se conoce como  $\beta_f$ . Finalmente, el coeficiente de amortiguamiento del sistema estructural completa lo que representa para la interacción fundación-suelo, así como amortiguamiento estructural, se conoce como  $\beta_o$ . El cambio en el coeficiente de amortiguamiento de  $\beta_i$  a  $\beta_o$  modifica el espectro de respuesta elástica. Las ordenadas espectrales se reducen si  $\beta_o > \beta_i$ . (Saucedo, 2016)

Varios factores influyen en la fundación como el factor de amortiguamiento  $\beta_f$ . Sujeto a las limitaciones indicadas a continuación, el siguiente procedimiento simplificado puede ser usado para estimar  $\beta_f$  y el cambio de ordenada espectral posterior debido a la relación de amortiguamiento modificada del sistema estructural completo,  $\beta_o$ . (Saucedo, 2016)

Paso N° 01: Se debe evaluar los períodos lineales para el modelo estructural asumiendo na base fija (T) y una base flexible, utilizando modelamientos de cimientos apropiados.

La directriz para evaluar la rigidez es en forma de resortes del suelo, para estos cálculos, el módulo de corte será degradado para representar la rigidez del suelo. (Saucedo, 2016)

las Zapatas que no son muy profundas las cuales son rígidas con respecto al suelo de apoyo, se modela Como un resorte desacoplado el cual representa la rigidez de la fundación (véase imagen N° 7).

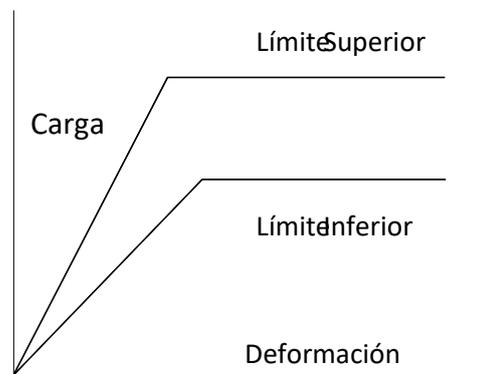


Figura 12. Comportamiento Elastoplástico de carga - deformación de suelos (FEMA 356, 2000).

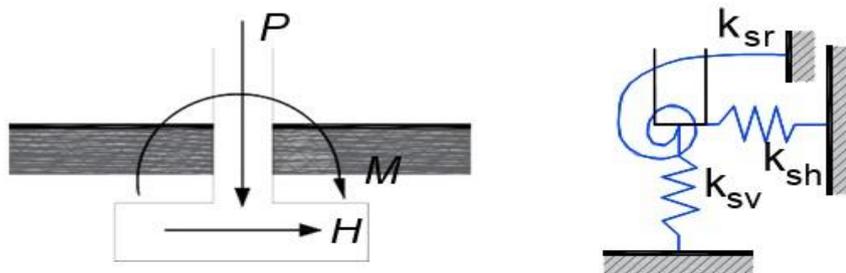


Figura 13. Resorte desacoplado equivalente a la rigidez del suelo. (FEMA 356, 2000).

Paso N° 02: Se calcula la rigidez del suelo en la superficie ( $K_{superficial}$ ) con las siguientes formulas:

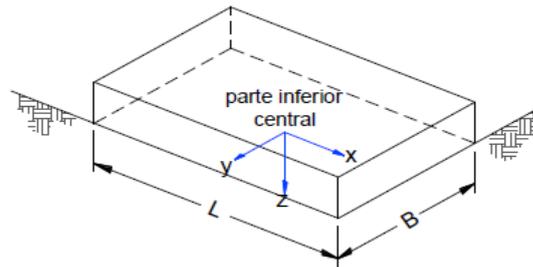


Figura 14. Orientación de ejes  $L \geq B$ . (FEMA 356, 2000).

Paso 2°. 1: Se calculará la traslación a lo largo del eje x.

$$K_x = \frac{GB}{2 - \nu} \left[ 3.4 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.65} + 1.2 \right]$$

**Ecuación 4:** Traslación en el eje x.

Paso 2°.2: Se calculará la traslación a lo largo del eje y.

$$K_y = \frac{GB}{2 - \nu} \left[ 3.4 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.65} + 0.4 \frac{L}{B} + 0.8 \right]$$

**Ecuación 5:** Traslación en el eje y.

Paso 2°.3: Se calculará la traslación a lo largo del eje z.

$$K_z = \frac{GB}{1 - \nu} \left[ 1.55 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.75} + 0.8 \right]$$

**Ecuación 6:** Traslación en el eje z.

Paso 2°.4: Se calculará la rotación a lo largo del eje x.

$$K_{xx} = \frac{GB^3}{1 - \nu} \left[ 0.4 \left( \frac{L}{B} \right) + 0.1 \right]$$

**Ecuación 7:** Rotación en el eje x.

Paso 2º.5: Se calculará la rotación a lo largo del eje y.

$$K_{yy} = \frac{GB^3}{1 - \nu} \left[ 0.47 \left( \frac{L}{B} \right)^{2.4} + 0.034 \right]$$

**Ecuación 8 :** Rotación en el eje y.

Paso 2º.6: Se calculará la rotación a lo largo del eje z.

$$K_{zz} = GB^3 \left[ 0.53 \left( \frac{L}{B} \right)^{2.45} + 0.51 \right]$$

**Ecuación 9:** Rotación en el eje z.

Nota: las unidades L y B deberán estar en pies.

Luego de haber calculado la rigidez del suelo en la superficie se tendrá que realizar la corrección por empotramiento según datos de la figura N° 9, la cual consiste en multiplicar la rigidez y rotación con los factores siguientes:

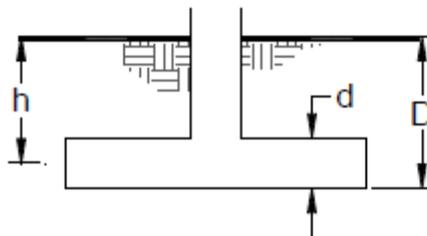


Figura 15. Factor por empotramiento. (FEMA 356, 2000).

Dónde:  $D$  = Profundidad de losa de cimentación zapata (en pies),  $h$  = Distancia al centroide de losa de cimentación o zapata (en pies) y  $d$  = Es pesor de losa de cimentación o zapata (en pies)

Paso 2º.7: La traslación en  $K_x$  y  $K_y$  se multiplicará por el factor de corrección por empotramiento  $\beta_x, \beta_y$  respectivamente.

$$\beta_x \beta_y = \left( 1 + 0.21 \sqrt{\frac{D}{B}} \right) \cdot \left[ 1 + 1.6 \left( \frac{hd(B+L)^{0.4}}{BL^2} \right) \right]$$

**Ecuación 10:** Factor de corrección para traslación en x.

Paso 2°.8: La traslación en  $K_z$  se multiplicará por el factor de corrección por empotramiento  $\beta_z$ .

$$\beta_z = \left[ 1 + \frac{1}{21} \frac{D}{B} \left( 2 + 2.6 \frac{B}{L} \right) \right] \cdot \left[ 1 + 0.32 \left( 1 + 0.32 \left( \frac{d(B+L)^{2/3}}{BL} \right) \right) \right]$$

**Ecuación 11:** Factor de corrección por traslación en z.

Paso 2°.9: La rotación en  $K_{xx}$  se multiplicará por el factor de corrección por empotramiento  $\beta_{xx}$ .

$$\beta_{xx} = 1 + 2.5 \frac{d}{B} \left[ 1 + \frac{2d}{B} \left( \frac{d}{D} \right)^{-0.2} \sqrt{\frac{B}{L}} \right]$$

**Ecuación 12:** Factor de corrección para rotación en x.

Paso 2°.10: La rotación en  $K_{yy}$  se multiplicará por el factor de corrección por empotramiento  $\beta_{yy}$ .

$$\beta_{yy} = 1 + 1.4 \left( \frac{d}{L} \right)^{0.6} \left[ 1.5 + 3.7 \left( \frac{d}{L} \right)^{1.9} \left( \frac{d}{D} \right)^{-0.6} \right]$$

**Ecuación 13:** Factor de corrección para rotación en y.

Paso 2°.11: La rotación en  $K_{zz}$  se multiplicará por el factor de corrección por empotramiento  $\beta_{zz}$ .

“Desempeño sísmico considerando la interacción suelo – estructura de un edificio multifamiliar de tres niveles, Baños del Inca – Cajamarca, 2019.”

$$\beta_{zz} = 1 + 2.6 \left(1 + \frac{B}{L}\right) \left(\frac{d}{B}\right)^{0.9}$$

**Ecuación 14:** Factor de corrección para rotación en z.

**Paso N° 03:** Según (FEMA 440,2005). Se calcula la rigidez estructural efectiva de oscilador SDOF para las condiciones de base fija.

$$K^*_{fijo} = M * \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$$

**Ecuación 15:** Rigidez lateral base fija.

Dónde: M= Masa efectiva para el primer modo calculado como el total de veces de la masa por el coeficiente de masa efectiva.

**Paso N° 04:** Se determina el radio de fundación equivalente para la traslación como:

$$r_x = \sqrt{\frac{A_{base}}{\pi}}$$

**Ecuación 16:** Radio de fundación equivalente.

Donde:  $A_{base}$  = área de la base cuando los elementos están interconectados lateralmente.

**Paso N° 05:** Se calcula la rigidez de traslación de la fundación  $K_x$ . Para muchas aplicaciones, la rigidez de traslación se puede estimar como:

$$K_x = \frac{8}{2 - \nu} Gr_x$$

**Ecuación 17:** Rigidez de traslación efectiva.

Dónde:  $G$  = Módulo efectivo de deformación degradada cizalladura del suelo (ver tabla N°2.5) y  $\nu$  = Coeficiente de Poisson.

**Parámetros de Rigidez:** El módulo de corte inicial,  $G_0$ , se calcula de acuerdo con la ecuación 18 o 19

$$G_0 = \frac{\gamma v_s^2}{g}$$

**Ecuación 18:** Módulo de corte inicial.

Donde:  $v_s$  = Velocidad de onda cortante en cepas bajas,  $\gamma$  = Peso específico del suelo,  $g$  = Aceleración debido a la gravedad y  $G_0$  Se expresa en libras por pie cuadrado, como es  $\sigma'_0$

$$G_0 \cong 20000(\overline{N}_{60})^{1/3} \sqrt{\sigma'_0}$$

**Ecuación 19:** Equivalencia de módulo de corte inicial.

Donde:  $\overline{N}_{60}$  = Promedio ponderado del ensayo estándar de penetración,  $\sigma'_0$  = Tensión vertical efectiva) Lbs/pies<sup>2</sup>),  $\sigma'_0 = \gamma_t d - \gamma_w (d - d_w)$ ,  $\gamma_t$  = Peso total unitario del suelo,  $d$  = Profundidad de la muestra,  $d_w$  = Profundidad al nivel de agua subterránea.

El módulo de corte efectivo ( $G$ ) se calculará de acuerdo con la tabla N°11

**Tabla 11**

*Ratio de módulo de corte efectivo ( $G/G_0$ )*

Tipo de Suelo	Aceleración efectiva pico $S_{xs}/2.5$			
	$S_{xs} / 2.5$	$S_{xs}/2.5$	$S_{xs}/2.5$	$S_{xs}/2.5$
	= 0	= 0.1	= 0.4	= 0.8
Perfil Tipo $S_0$	1.00	1.00	1.00	1.00
Perfil Tipo $S_1$	1.00	1.00	0.95	0.90
Perfil Tipo $S_2$	1.00	0.95	0.75	0.60
Perfil Tipo $S_3$	1.00	0.90	0.50	0.10
Perfil Tipo $S_4$	1.00	0.90	0.05	*

**Fuente:** FEMA 356, 2000.

Nota: Se utilizará interpolación lineal para los valores intermedios de  $S_{xs}/2.5$  para (\*) se realizarán investigación geotécnica específica de suelo y los análisis dinámicos de respuesta del suelo.

**Paso N° 06:** Se calcula el radio de la base equivalente para la rotación  $r_\theta$ , por primera evaluación de la rigidez rotacional efectiva de la fundación  $K_\theta$

$$K_\theta = \frac{K^*_{fijo} (h^*)^2}{\left(\frac{\tilde{T}}{\bar{T}}\right)^2 - 1 - \frac{K^*_{fijo}}{K_x}}$$

**Ecuación 20:** Rigidez rotacional efectiva.

Dónde:  $h$  = Altura de la estructura efectiva

Se toma  $h$  como la altura total del edificio para las estructuras de un solo piso, y como la distancia vertical desde la fundación hasta el bicentro de la primera forma del modo para las estructuras de varios pisos. En este último caso  $h^*$  se puede aproximar como el 70% de la altura total de la estructura. La cantidad  $K_x$  es a menudo mucho mayor que  $K^*_{fijo}$  en cuyo

caso una evaluación precisa de  $K_x$  es innecesario y la relación  $K_{fijo}^*/K_x$  se puede aproximar como cero.

**Paso N° 07:** El radio equivalente de rotación para la fundación se calcula como:

$$r_{\theta} = \left( \frac{3(1-\nu)K_{\theta}}{8G} \right)^{\frac{1}{3}}$$

**Ecuación 21:** Radio equivalente de rotación de la fundación.

El módulo de corte efectivo del suelo  $G$  y el coeficiente de Poisson  $\nu$  debe ser coherente con los datos utilizados en la evaluación de la rigidez del resorte de fundación.

**Paso N° 08:** Se estima la relación efectiva periodo-amplificación  $\tilde{T}_{eff}/T_{eff}$  utilizando el modelo estructural de suelo específico desarrollado para el análisis no lineal. Esta relación periodo de amplificación se calcula para la estructura en su estado de rotura es decir, que representan la ductilidad estructural y la ductilidad del suelo. Una expresión para la relación es:

$$\frac{\tilde{T}_{eff}}{T_{eff}} = \left\{ 1 + \frac{1}{\mu} \left[ \left( \frac{\tilde{T}}{T} \right)^2 - 1 \right] \right\}^{0.5}$$

**Ecuación 22:** Relación de alargamiento del periodo.

Dónde:  $\mu$  = demanda de ductilidad esperada para el sistema (considerando la estructura del suelo y efectos); Por lo tanto, la ductilidad debe ser estimada antes de la solución actual y posteriormente verificada.

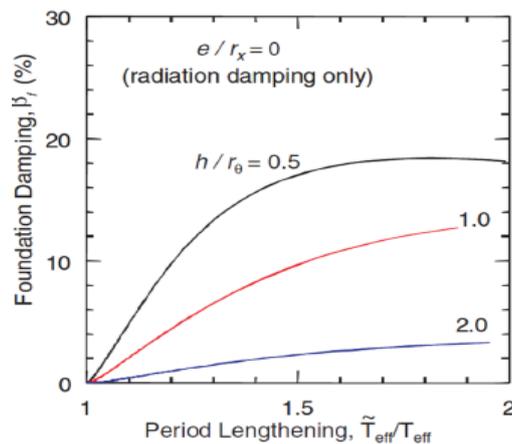
**Paso N° 09:** Se evalúa el coeficiente de amortiguamiento de base fija inicial para la estructura ( $\beta_i$ ), que se toma a menudo como 5%.

**Paso N° 10:** Se evalúa el coeficiente de amortiguamiento de la fundación debido a la radiación de amortiguamiento  $\beta_f$  basada en:  $e/r_x$  y  $h/r_\theta$ , usando los graficos en las figuras N°10 y 11 una aproximación a esas curvas viene dado por la siguiente expresión:

$$\beta_f = a_1 \left( \frac{\tilde{T}_{eff}}{T_{eff}} - 1 \right) + a_2 \left( \frac{\tilde{T}_{eff}}{T_{eff}} - 1 \right)^2$$

**Ecuación 23:** Amortiguamiento efectivo.

Donde:  $\beta_f$  = está dado en porcentaje.



*Figura 16.* Porcentaje de amortiguamiento de la fundación vs relación efectiva de alargamiento. (FEMA 440, 2005).

La imagen N° 16 es un ejemplo de amortiguamiento de la fundación  $\beta_f$  como una función de la relación efectiva periodo de alargamiento  $\tilde{T}_{eff}/T_{eff}$ , por empotramiento constante  $e/r_x = 0$ , y diversos valores de rigidez de fundación de rotación rigidez  $h/r_\theta$ .

$$a_1 = C_e \exp (4.7 - 1.6h/r_\theta)$$

**Ecuación 24:** Coeficiente 1 para el amortiguamiento efectivo.

$$a_2 = C_e \exp[25 (h/r_\theta) - 16]$$

**Ecuación 25:** Coeficiente 2 para el amortiguamiento efectivo.

$$C_e = C_e 1.5 \left( \frac{e}{r_x} \right) + 1$$

**Ecuación 26:** Coeficiente de empotramiento.

Nota: las ecuaciones anteriores son las aplicables para  $\tilde{T}_{eff}/T_{eff} < 1.5$  generalmente proporcionan estimaciones conservadoras (bajos) de amortiguación para un mayor  $\tilde{T}_{eff}/T_{eff}$ .

**Paso N°11:** Se evalúa la flexibilidad de la base, coeficiente de amortiguamiento  $\beta_o$  de  $\beta_i$ ,  $\beta_f$  y  $\tilde{T}_{eff}/T_{eff}$  de la siguiente manera:

$$\beta_o = \beta_f + \frac{\beta_i}{(\tilde{T}_{eff}/T_{eff})^3}$$

**Ecuación 27:** Flexibilidad de la base.

**Paso N° 12:** se evalúa el efecto sobre las ordenadas espectrales del cambio en el coeficiente de amortiguamiento de  $\beta_i$  con  $\beta_o$  luego se modifica el espectro del movimiento de entrada de la fundación.

Desde este punto, el desplazamiento máximo esperado del modelo oscilador SDOF no lineal se puede estimar utilizando la modificación de desplazamiento.

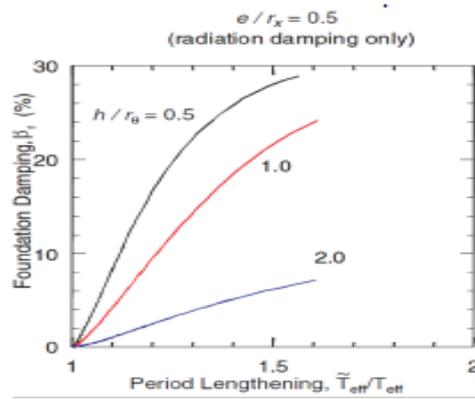


Figura 17. Modificación de desplazamiento. (FEMA 440, 2005).

Ejemplo de fundación de amortiguamiento  $\beta_f$  como una función de la relación efectiva periodo de alargamiento  $\tilde{T}_{eff}/T_{eff}$ , por empotramiento constante  $e/r_x = 0.5$ , y diversos valores de rigidez de fundación de rotación rigidez  $h/r_\theta$ .

## **1.2. Formulación del problema.**

¿Cuál es el nivel alcanzado de desempeño sísmico, considerando la interacción suelo – estructura de un edificio multifamiliar de tres niveles, Baños del Inca - Cajamarca?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar el nivel de desempeño sísmico considerando la interacción suelo – estructura de un edificio multifamiliar de tres niveles, Baños del Inca – Cajamarca, 2019.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar la curva de capacidad de un edificio multifamiliar de tres niveles considerando la interacción suelo estructura.
- Determinar la curva de capacidad de un edificio multifamiliar de tres niveles sin considerar la interacción suelo estructura
- Determinar la curva de respuesta de un edificio multifamiliar de tres niveles, para el nivel de movimiento sísmico ocasional, raro, muy raro e interacción suelo estructura.
- Determinar la curva de respuesta de un edificio multifamiliar de tres niveles, para el nivel de movimiento sísmico frecuente, ocasional, raro (E.030), muy raro.

## **1.4. Hipótesis**

El nivel de desempeño sísmico alcanzado por el modelo de un edificio multifamiliar de tres niveles considerando la interacción suelo – estructura, es seguridad de vida, para un sismo ocasional es operacional, para un sismo raro es funcional y para un sismo muy raro es seguridad de vida.

## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA**

### **2.1. Tipo de investigación**

La investigación es de tipo No Experimental – transversal, siendo Descriptivo, ya que determina el desempeño sísmico de la edificación considerando la interacción suelo-estructura, en base a ello se evaluarán y analizarán las variables de estudio.

### **2.2. Población y muestra**

#### **2.2.1. Población**

Una edificación multifamiliar de tres niveles construida en el distrito de Los Baños del Inca

#### **2.2.2. Muestra**

La muestra se seleccionó realizando un muestreo no probabilístico de tipo intencional, será una edificación de tres niveles, la cual se analizará el desempeño sísmico considerando el efecto de interacción suelo estructura.

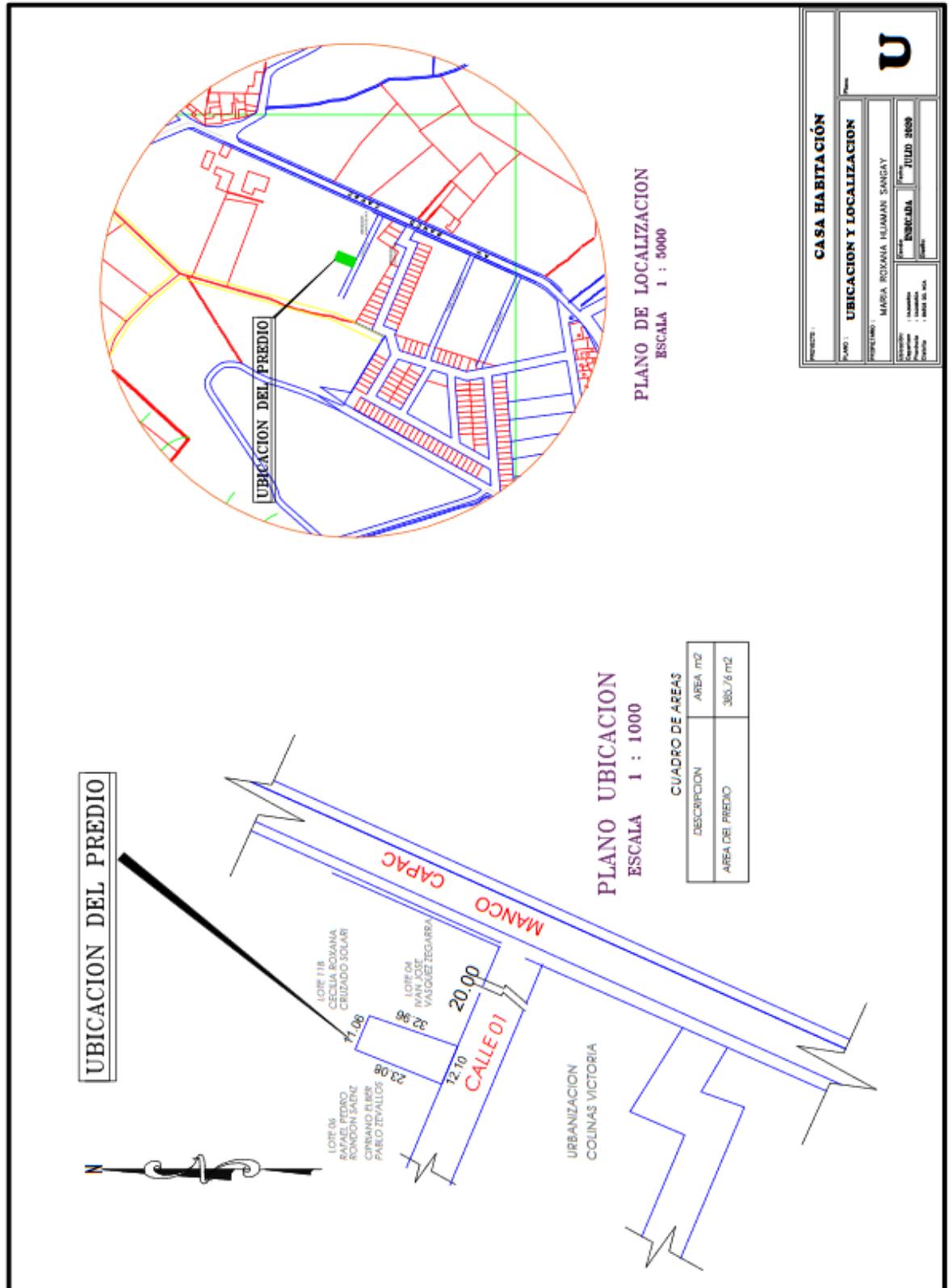


Figura 18. Plano de ubicación de la edificación

### 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

El presente trabajo de investigación se realizó mediante la técnica de observación directa y análisis documental, los instrumentos que se utilizaron fueron los planos de arquitectura y estructuras de la vivienda de tres niveles del distrito de Baños del Inca.

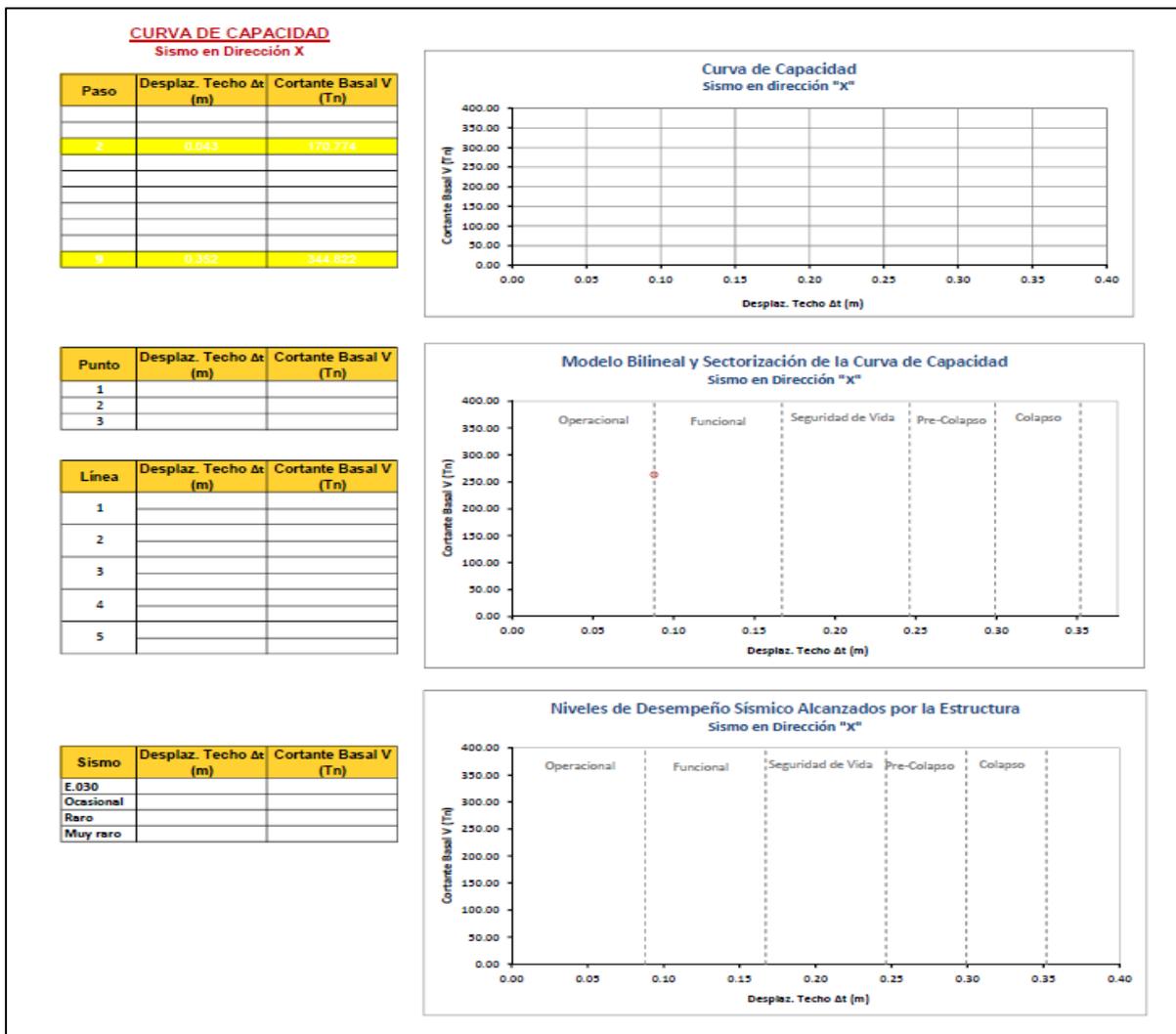


Figura 19: hoja de recolección de datos, para la determinación de curva de capacidad y sectorización de dicha curva

La técnica que se utilizó para el análisis de datos en la fase de gabinete, fue el procesamiento de información usando el software Microsoft Excel versión 2016 y Sap 2000 versión 2019.

## 2.4. Procedimiento

Para la recolección de los datos empleados, se siguió el siguiente procedimiento, se realizó una observación directa de los planos de la edificación, para realizar el metrado de la de la estructura en Excel, luego un análisis documental de las diferentes normas técnicas utilizadas en el desarrollo de la investigación, una vez teniendo la información se elaboró el modelo computacional en Sap 2000, se hizo el modelamiento y se procesó dichos resultados en Excel.

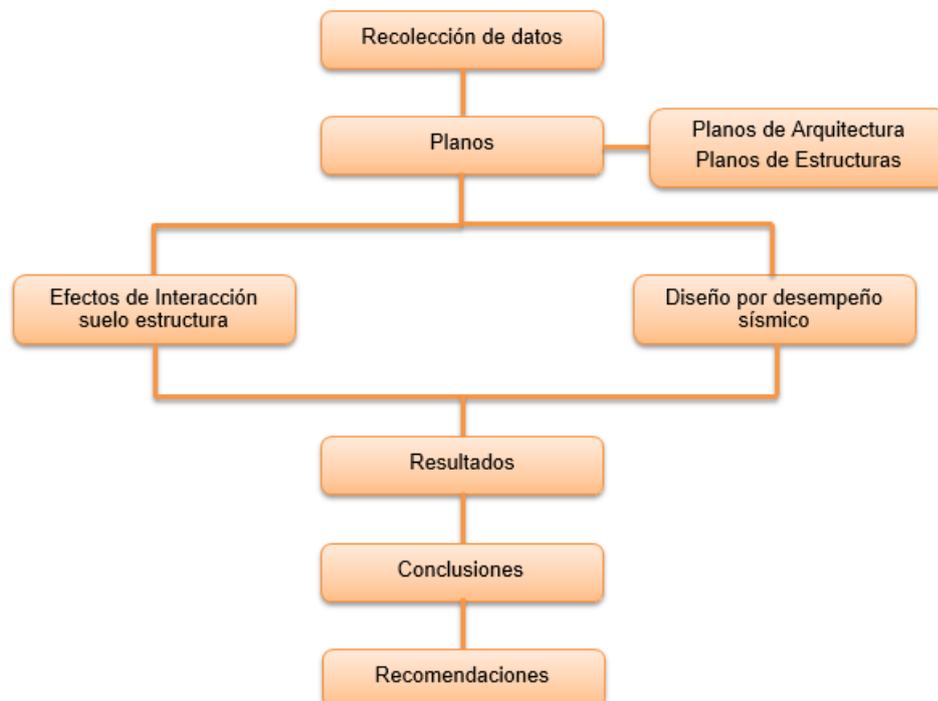


Figura 20. Procedimiento para el desarrollo de la investigación.

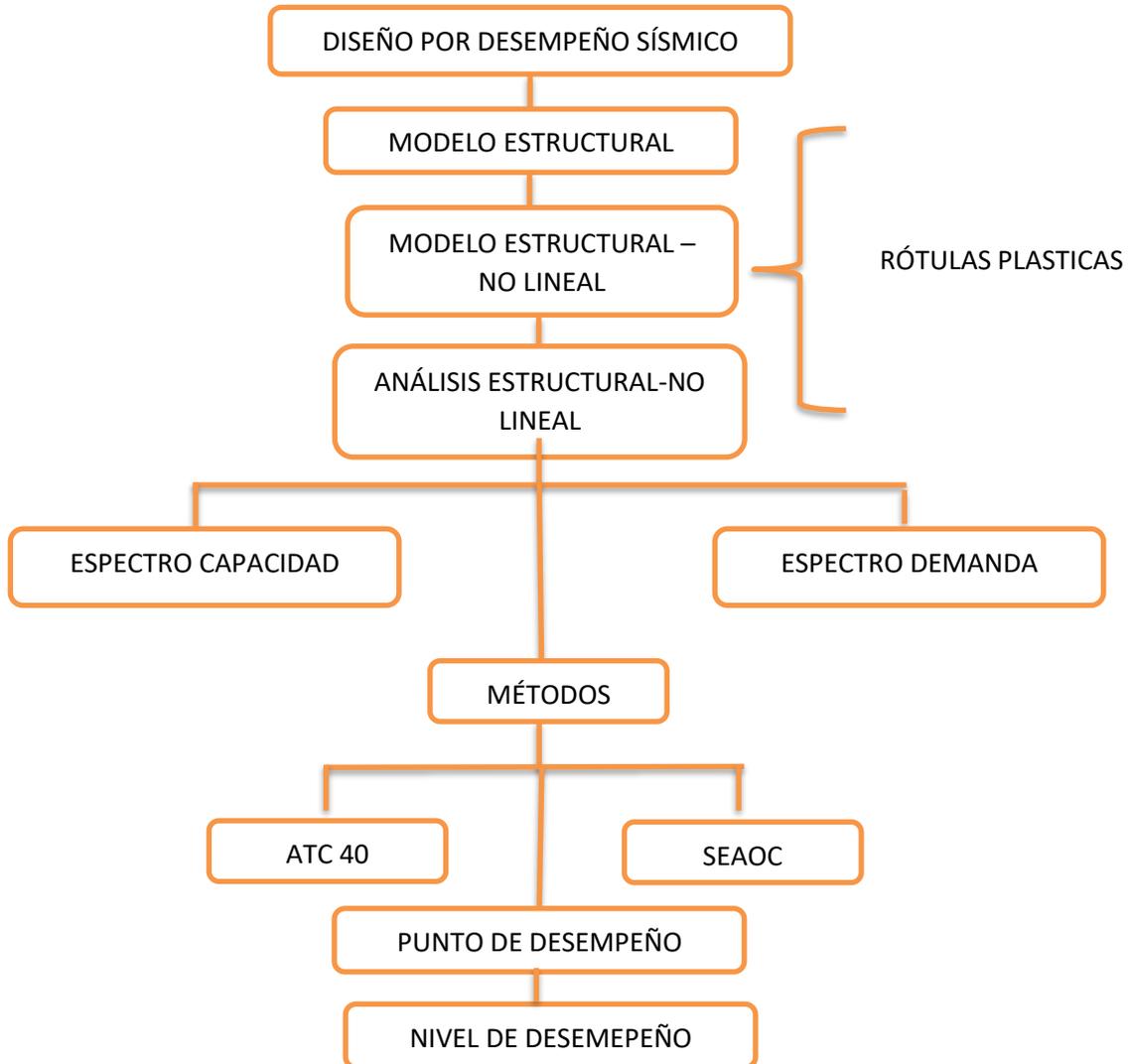


Figura 21: Esquema de trabajo para desempeño sísmico.

## 2.4.1. Caracterización estructural y modelamiento del edificio

### 2.4.1.1. Características de edificio

#### A. Arquitectura

Es una edificación que cuenta con un área construida de 255.33  $m^2$ , cuenta con 3 niveles destinados a distintos tipos de atención (ver tabla 12 Y Anexo 3).

**Tabla 12**

*Distribución de niveles.*

	Tienda
<b>Primer nivel</b>	Departamento
<b>Segundo nivel</b>	Departamento
<b>Tercer nivel</b>	Departamento

La altura de entre piso es variada, del primer nivel 4.69 m de altura, del segundo y tercer nivel de 2.90m.

**Tabla 13**

*Ambientes y áreas del primer nivel.*

Ambiente	Primer nivel	
	Cantidad	Area ( $m^2$ )
<b>Ingreso a tienda</b>	1	31.39
<b>Ingreso a departamento 101</b>	1	10.80
<b>Tienda</b>	1	208.41
<b>Baños de tienda</b>	1	3.87
<b>Terraza</b>	1	33.54
<b>Cochera</b>	1	61.46
<b>Sala, comedor y cocina</b>	1	29.90
<b>Baño de departmaneto</b>	1	3.60
<b>Dormitorio</b>	1	14.07
<b>Lavanderia</b>	1	2.96
<b>Escalera</b>	1	8.74
<b>Hall de entrada</b>	1	5.07

**Tabla 14**

*Ambiente y áreas del segundo nivel.*

Ambiente	Segundo nivel	
	Cantidad	Area (m <sup>2</sup> )
Balcón	1	4.75
Cocina	1	17.83
Lavanderia	1	4.46
Sala comedor	1	45.45
Bar	1	5.86
Estudio	1	14.36
Baño de servicio	1	3.12
Estar TV	1	16.70
Dormitorio 1	1	22.62
Dormitorio 2	1	25.62
Dormitorio 3	1	24.21
Dormitorio 4	1	22.33
Ducto de star TV	1	12.44
Ducto de estudio	1	10.73
Ducto de baños	1	0.78

**Tabla 15**

*Ambientes y áreas del tercer nivel*

Ambiente	Tercer nivel	
	Cantidad	Area (m <sup>2</sup> )
Balcón	1	4.75
Cocina	1	17.83
Lavanderia	1	4.46
Sala comedor	1	45.45
Bar	1	5.86
Estudio	1	14.36
Baño de servicio	1	3.12
Estar TV	1	16.70
Dormitorio 1	1	22.62
Dormitorio 2	1	25.62
Dormitorio 3	1	24.21
Dormitorio 4	1	22.33
Ducto de star TV	1	12.44
Ducto de estudio	1	10.73
Ducto de baños	1	0.78

## B. Estructuras

Cuenta con un sistema estructural aporticado, para dicho diseño se han considerado las siguientes características de materiales.

**Tabla 16**

*Características del concreto.*

Resistencia a la compresión	$f'c = 210.00 \text{ Kg/cm}^2$
Peso por unidad de volumen	$\gamma = 2400.00 \text{ Kg/cm}^3$
Módulo de elasticidad	$E = 217000 \text{ kg/cm}^2$
Coefficiente de Poisson	$U = 0.15$

**Tabla 17**

*Características del acero de refuerzo.*

Esfuerzo de fluencia	$f'y = 4\ 200 \text{ Kg/cm}^2$
----------------------	--------------------------------

### 2.4.1.2. Diseño de edificio

#### A. Metrado de cargas

- **Cargas vivas**

Se considera las siguientes cargas para viviendas

**Tabla 18**

*Cargas vivas en viviendas.*

Uso	Carga ( $\text{Kg/m}^2$ )
<b>Corredores y escaleras</b>	200.00

**Fuente:** Reglamento Nacional de Edificaciones – cargas E 020

- **Pesos unitarios y repartidos**

Losa aligerada ( $e = 0.20\text{m}$ ) :  $300 \text{ Kg/m}^2$

- **Acabados**

Piso terminado (e=0.05m): 100 Kg/m<sup>2</sup>

### 2.4.1.3. Modelamiento en SAP 2000 2019

- Se procede a generar los ejes mediante la cuadrícula para el sistema de coordenadas globales (eje x, y, z).

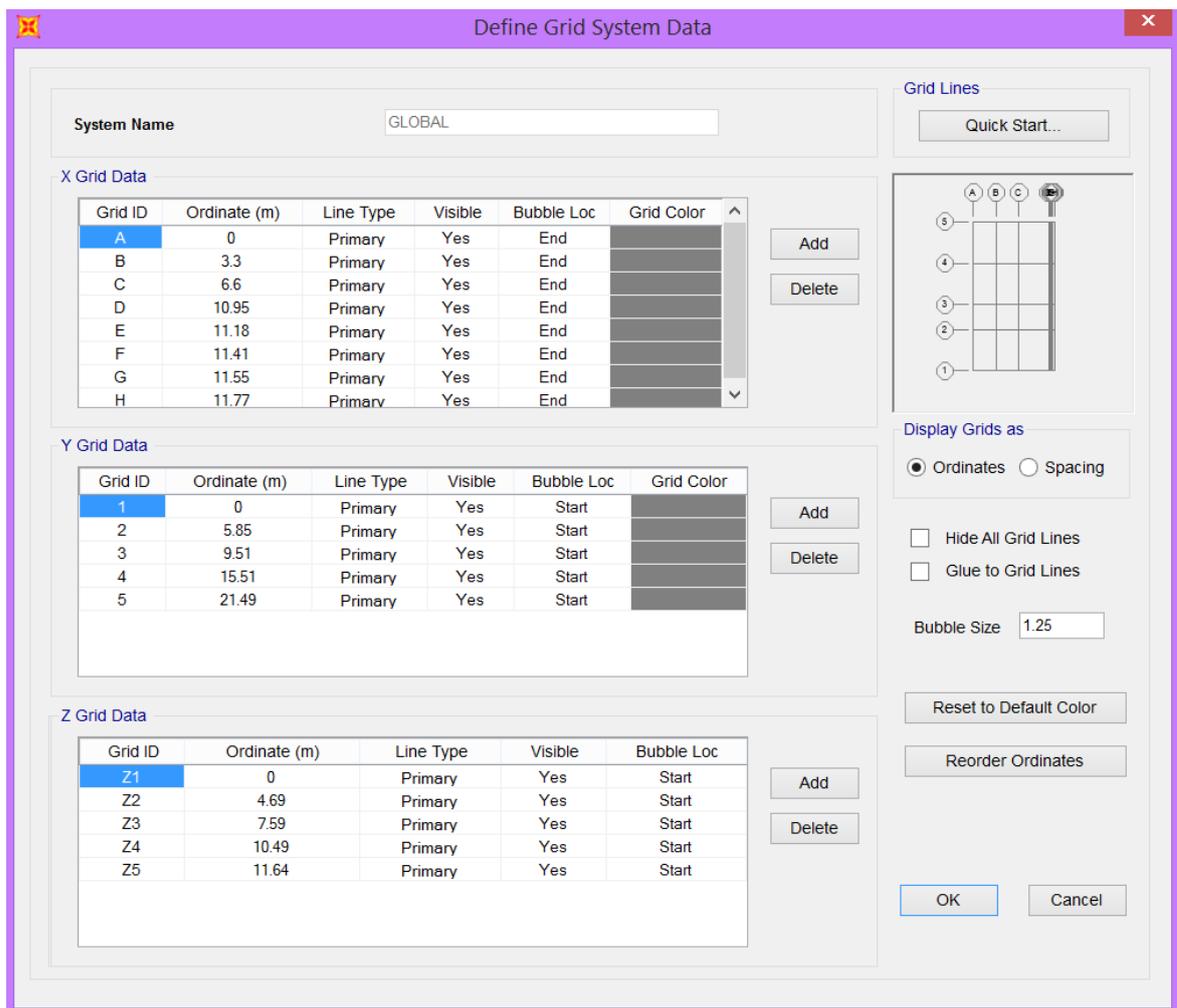


Figura 22. Ingreso de coordenadas en los ejes X, Y y Z.

- Se definen los materiales de acuerdo a los planos de diseño.

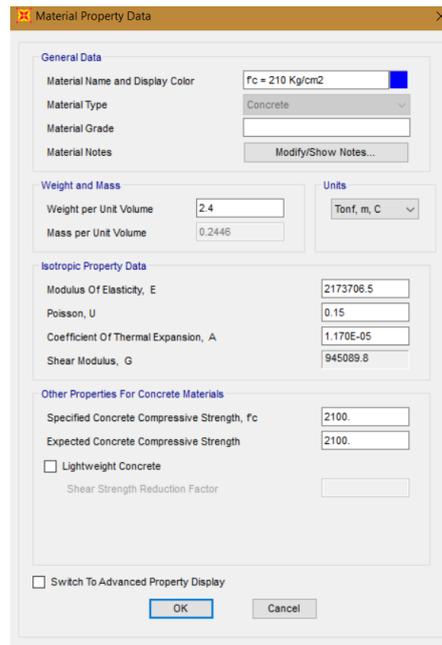


Figura 23. Definición de material concreto  $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ .

- Definimos la sección de columnas y vigas.

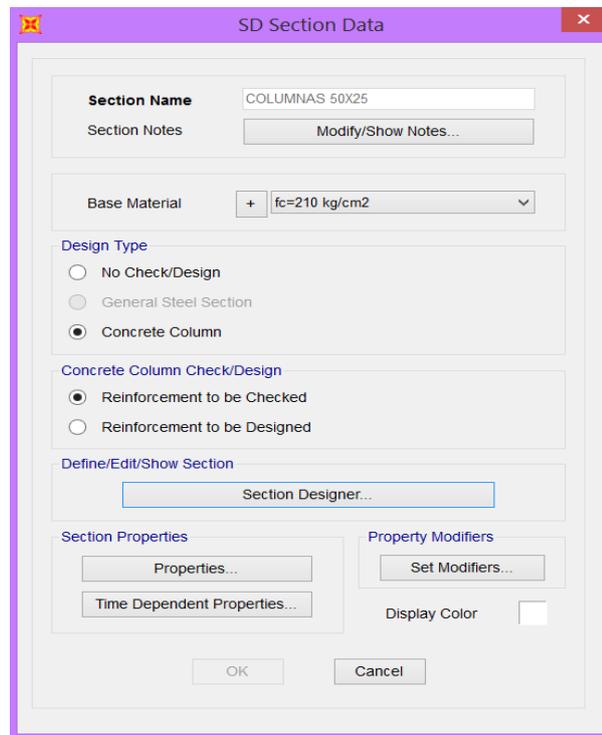


Figura 24. Sección de columna 50X25.

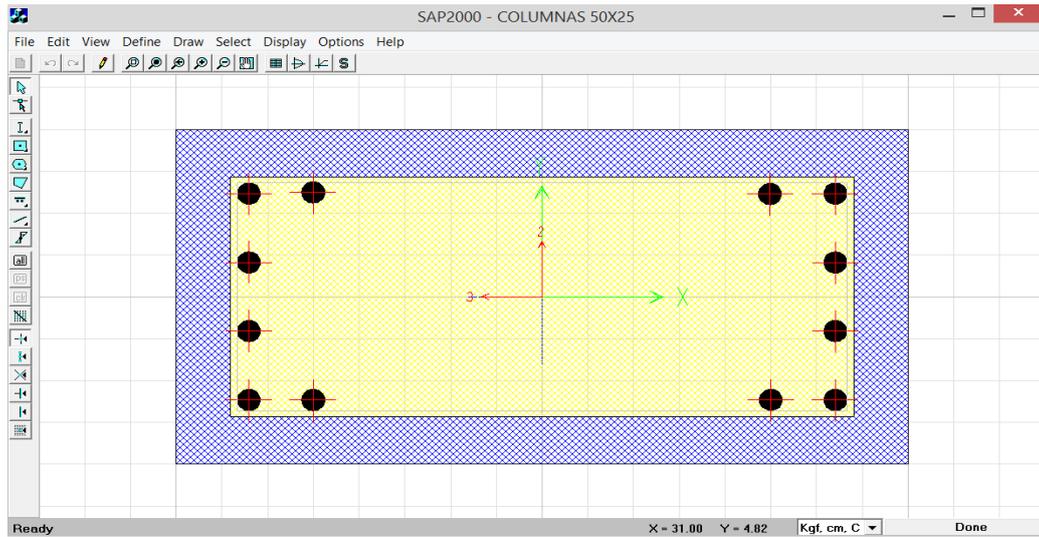


Figura 25. COLUMNA DE 50 X 25

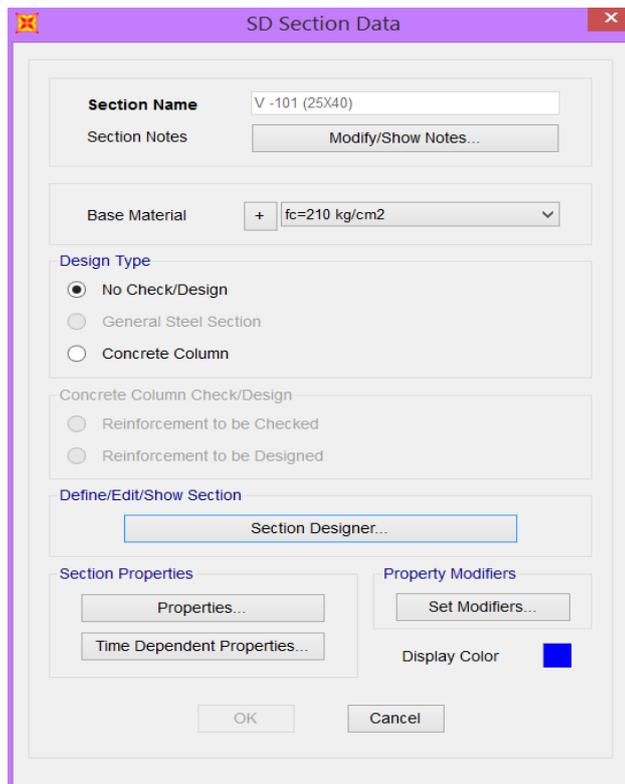
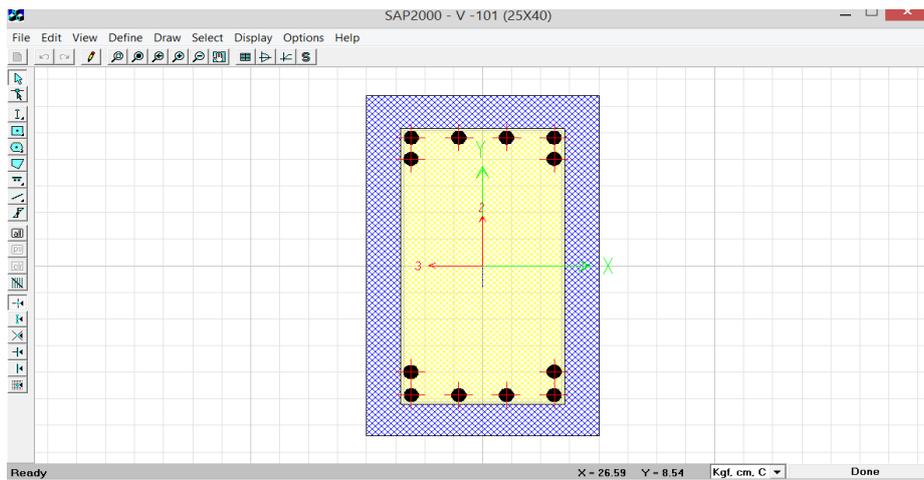
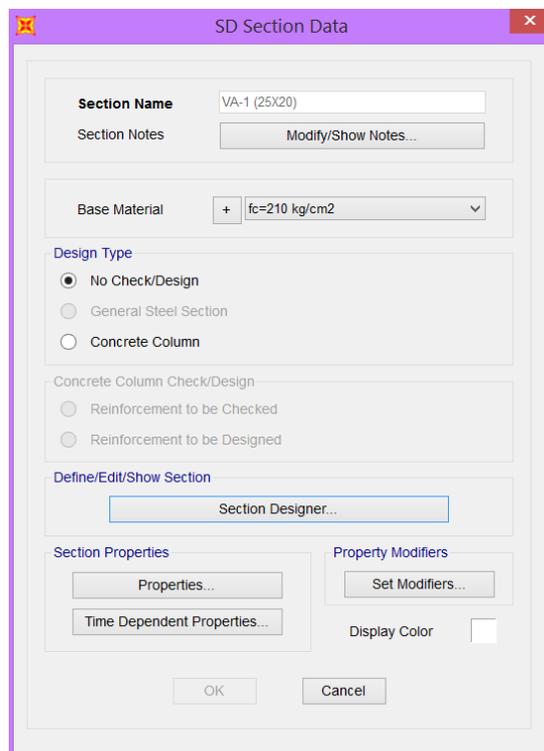


Figura 26. Sección de viga 25 X 40 cm.



*Figura 27. VIGA 25 X 40 cm.*



*Figura 28. VIGA DE 25 X 20 cm*

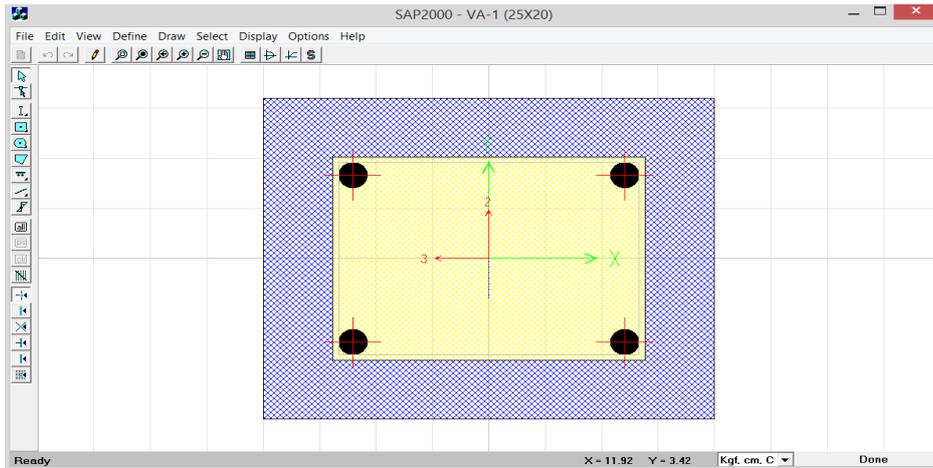


Figura 29. VA -1 (25 X 20 cm).

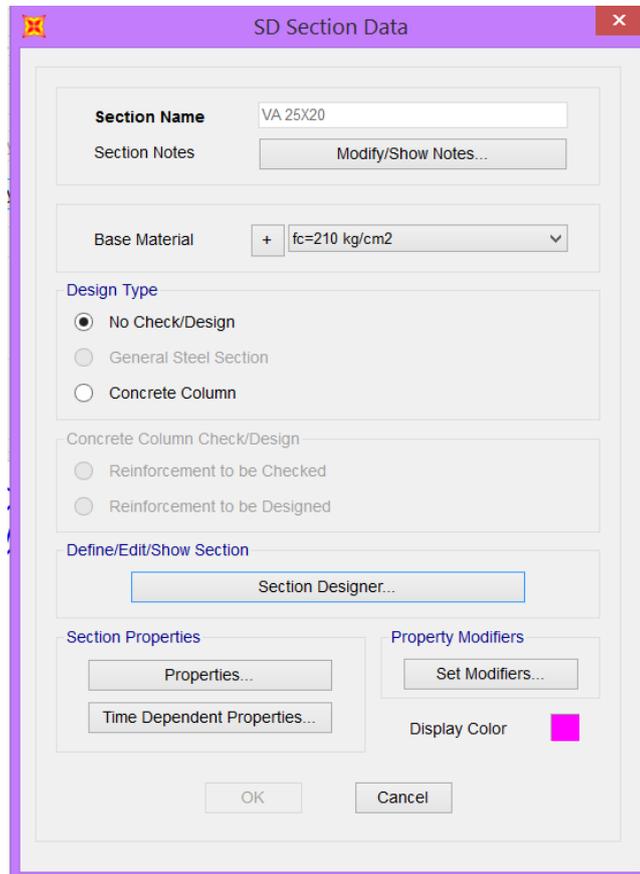


Figura 30. Sección de viga de 25 X 20 cm.

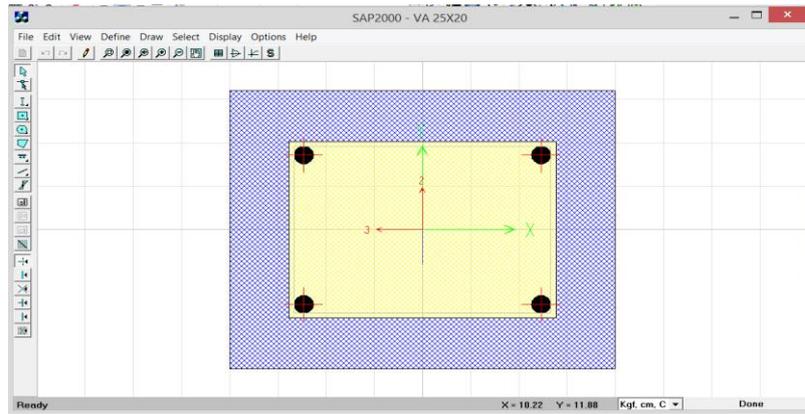


Figura 31. VA 25 X 20 cm.

- Una vez definidas las secciones de los elementos estructurales se procederá asignar las columnas, vigas

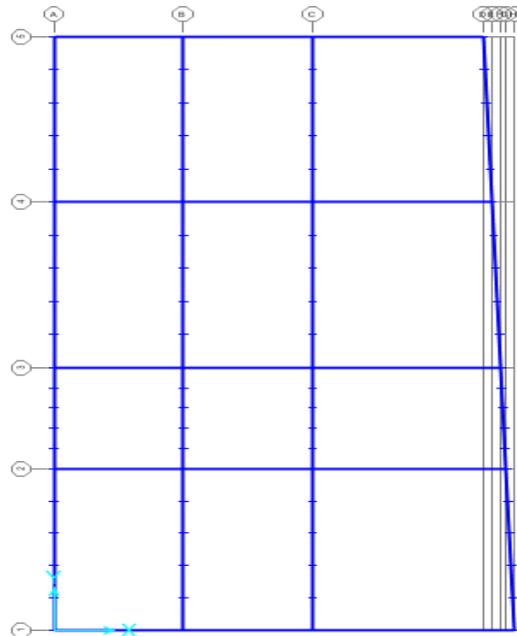


Figura 32. Asignación de vigas.

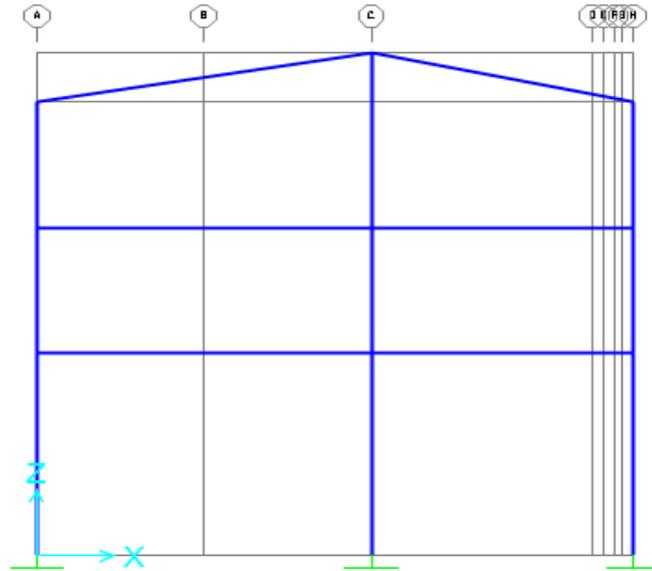


Figura 33. Asignación de Columnas.

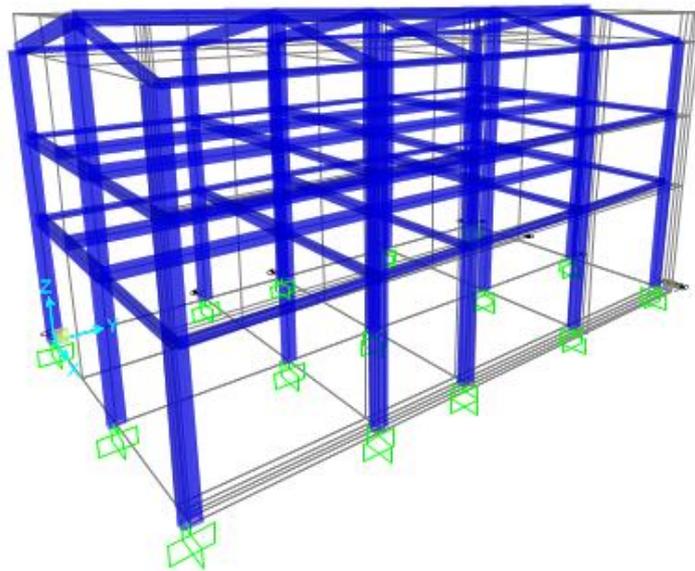


FIGURA 34. VISTA EN ISOMÉTRICO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

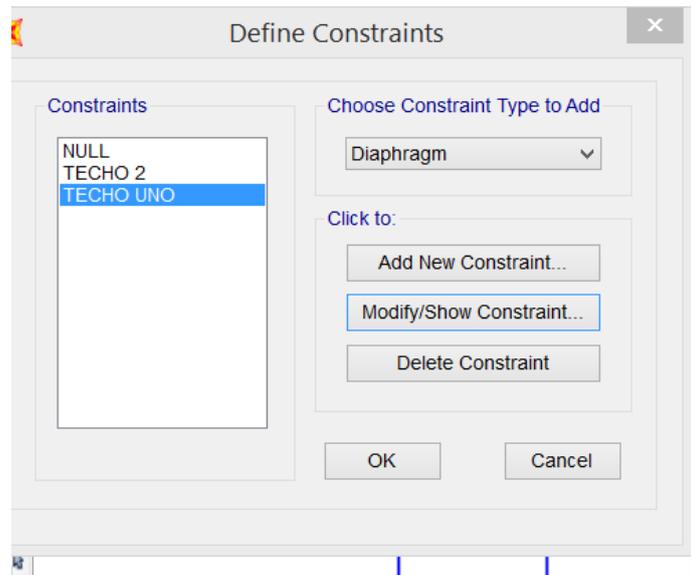


Figura 35. Diafragmas rígidos.

- Asignamos las cargas.

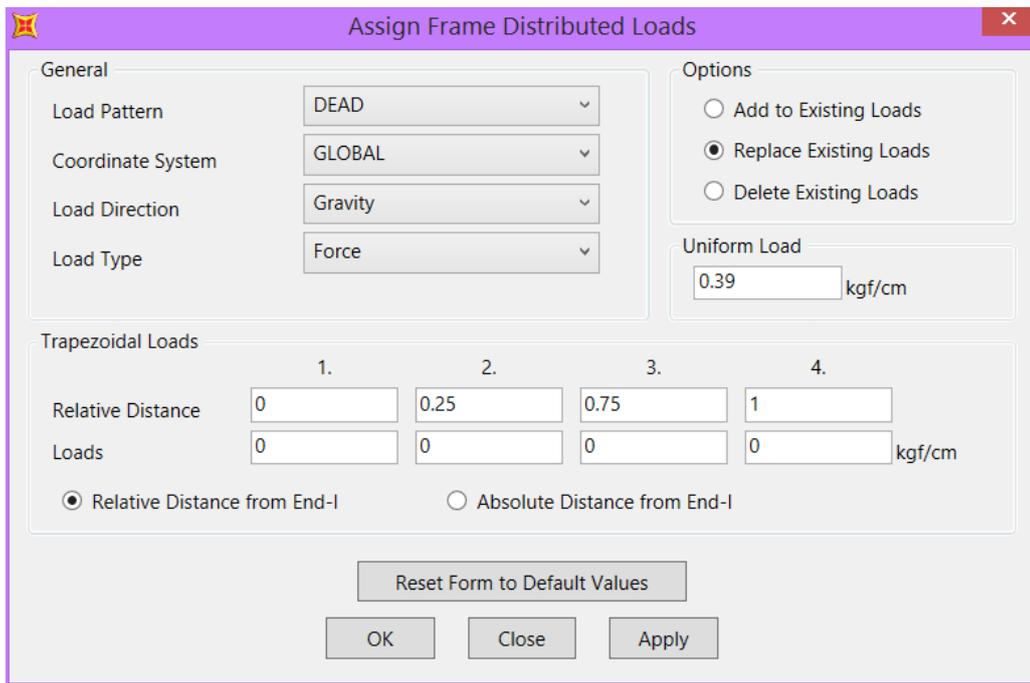
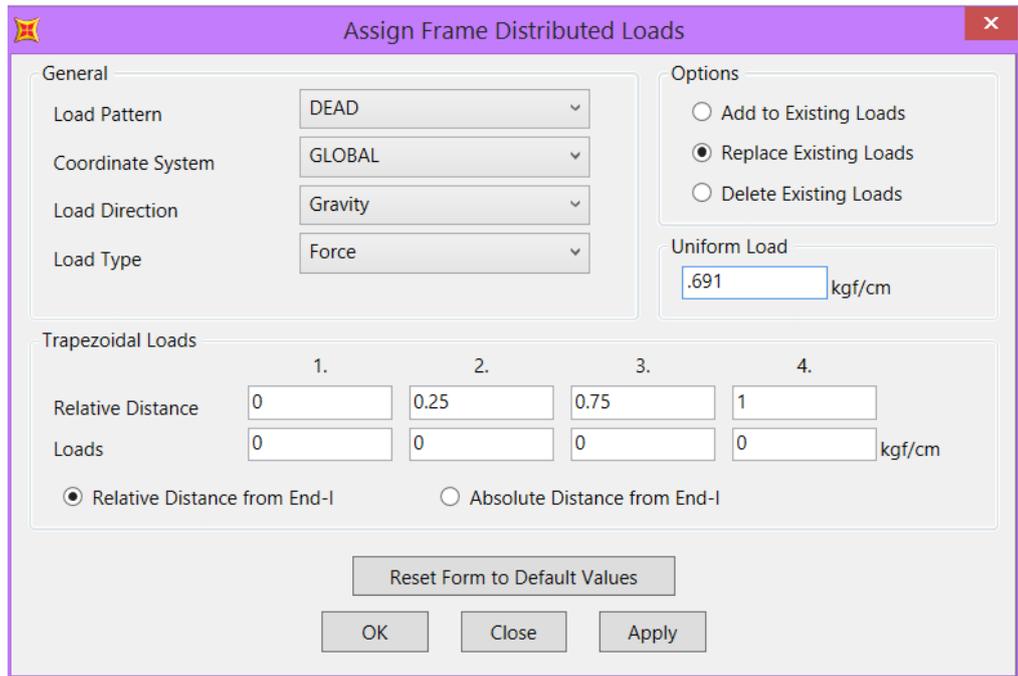


Figura 36. Carga muerta en las vigas principales del primer nivel.



**Assign Frame Distributed Loads**

**General**

Load Pattern: DEAD

Coordinate System: GLOBAL

Load Direction: Gravity

Load Type: Force

**Options**

Add to Existing Loads

Replace Existing Loads

Delete Existing Loads

**Uniform Load**

.691 kgf/cm

**Trapezoidal Loads**

	1.	2.	3.	4.
Relative Distance	0	0.25	0.75	1
Loads	0	0	0	0

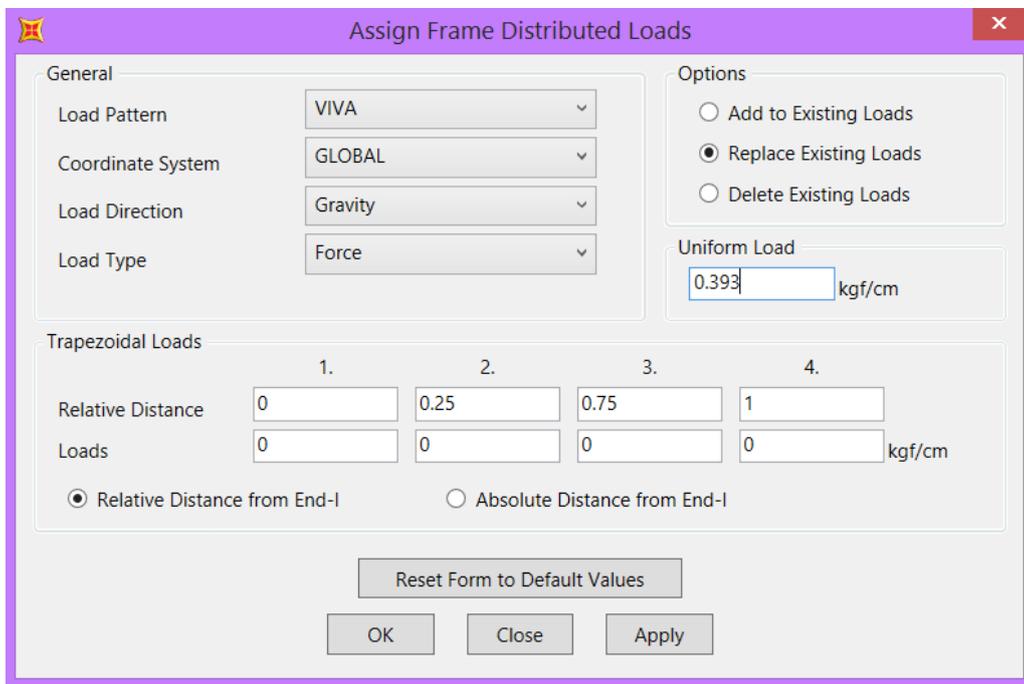
kgf/cm

Relative Distance from End-I     Absolute Distance from End-I

Reset Form to Default Values

OK    Close    Apply

Figura 37. Carga muerta en las vigas principales del segundo nivel.



**Assign Frame Distributed Loads**

**General**

Load Pattern: VIVA

Coordinate System: GLOBAL

Load Direction: Gravity

Load Type: Force

**Options**

Add to Existing Loads

Replace Existing Loads

Delete Existing Loads

**Uniform Load**

0.393 kgf/cm

**Trapezoidal Loads**

	1.	2.	3.	4.
Relative Distance	0	0.25	0.75	1
Loads	0	0	0	0

kgf/cm

Relative Distance from End-I     Absolute Distance from End-I

Reset Form to Default Values

OK    Close    Apply

Figura 38. Carga muerta en las vigas principales del tercer nivel.

Mass Source Name: CATEGORIA C

Mass Source

Element Self Mass and Additional Mass

Specified Load Patterns

Mass Multipliers for Load Patterns

Load Pattern	Multiplier
VIVA	0.25
DEAD	1.
VIVA	0.25
VIVA DE TECHO	0.25

Buttons: Add, Modify, Delete, OK, Cancel

Figura 39. Definición de masas.

#### 2.4.1.4. Análisis y diseño de edificio con bases empotradas en SAP 2000 2019

Para el siguiente análisis se considerará un intermedio con las condiciones de empotramiento perfecto.

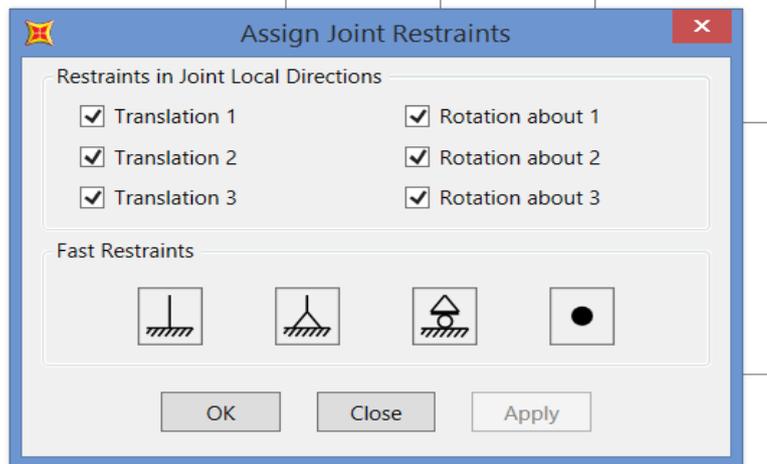


Figura 40. Definición de empotramiento

#### A. Análisis estático

Para realizar el Análisis Estático, se debe realizar de forma independiente tanto para “X” e “Y”, con los parámetros de la norma E.030, se ingresa en factor de escala para la dirección X e Y, cuyo cálculo se realiza de la siguiente manera:

Tenemos para el factor de amplificación sísmica  $T < T_p$ ,  $C=2.5$

$$T = \frac{h_n}{C_t} = \frac{11.64}{35} = 0.333$$

0.333 < Entonces  $C=2.5$

Factor de zona  $Z= 0.35$

Categoría  $U= 1.0$

Factor de amplificación sísmica  $C= 2.50$

“Desempeño sísmico considerando la interacción suelo – estructura de un edificio multifamiliar de tres niveles, Baños del Inca – Cajamarca, 2019.”

Factor de suelo

S= 1.15

Factor de reducción

R= 8

$$f_e = \frac{ZUCS}{R}$$

$$f_e = \frac{0.35 * 1 * 2.50 * 1.15}{8} = 0.109$$

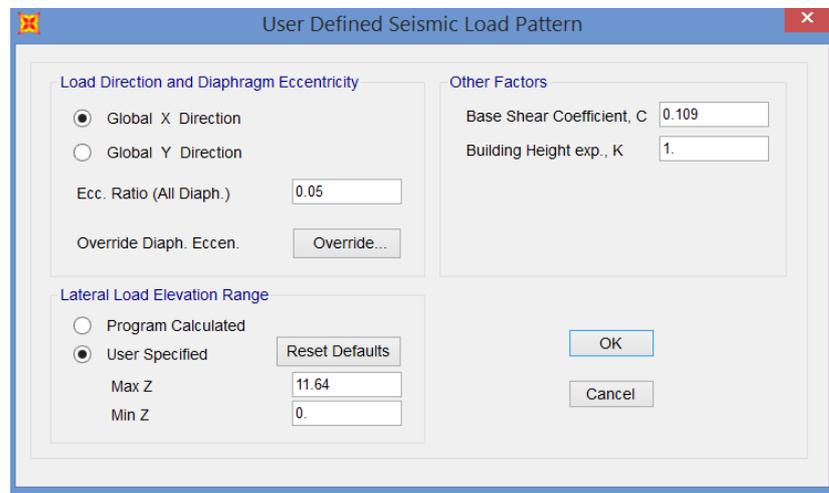


Figura 41. Definición de análisis estático en X.

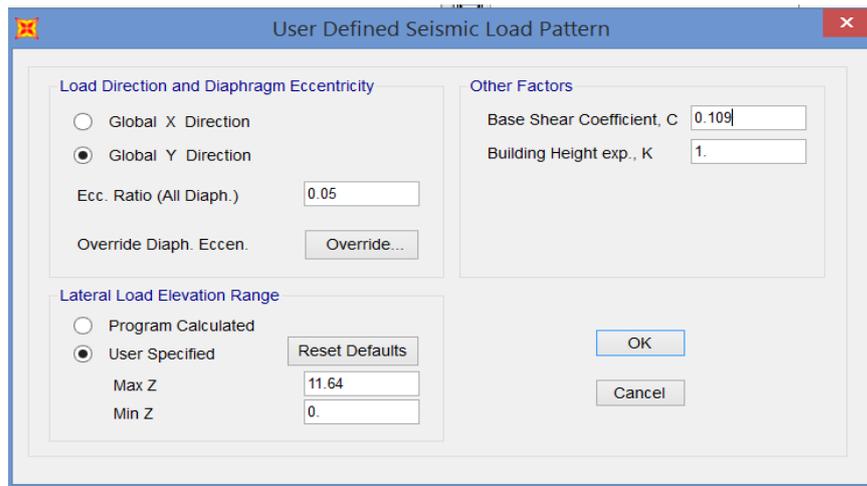


Figura 42. Definición de análisis estático en Y.

## B. Análisis dinámico

### - Análisis espectral con suelo Intermedio

Se ingresa el espectro de diseño norma E.030, 2018

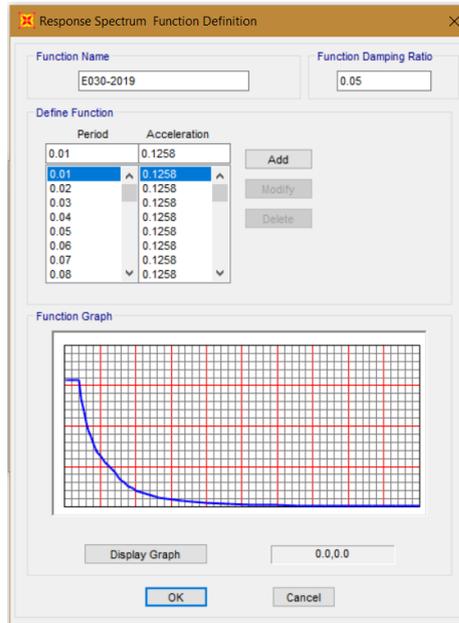


Figura 43. Espectro sísmico E 030 - 2018

Espectro en la dirección X con 5% de excentricidad accidental y factor de escala igual a la gravedad.

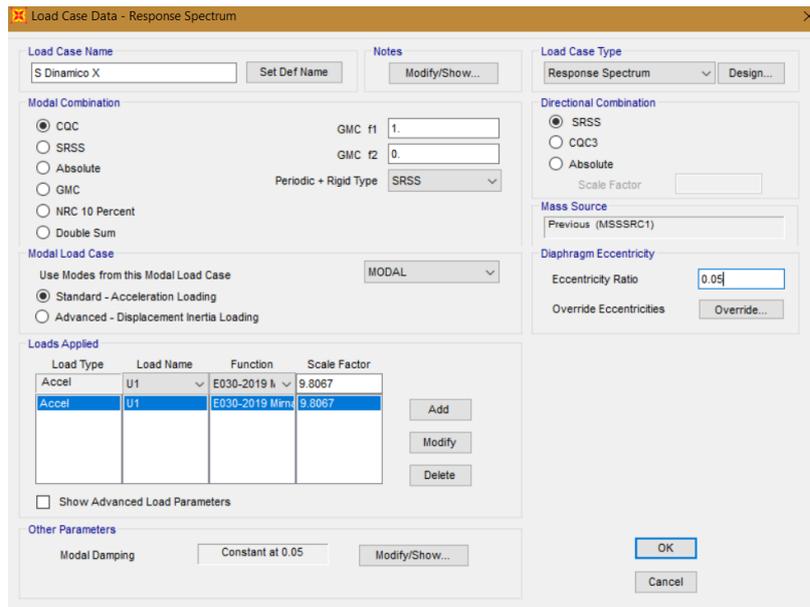


Figura 44. Sismo dinámico X.

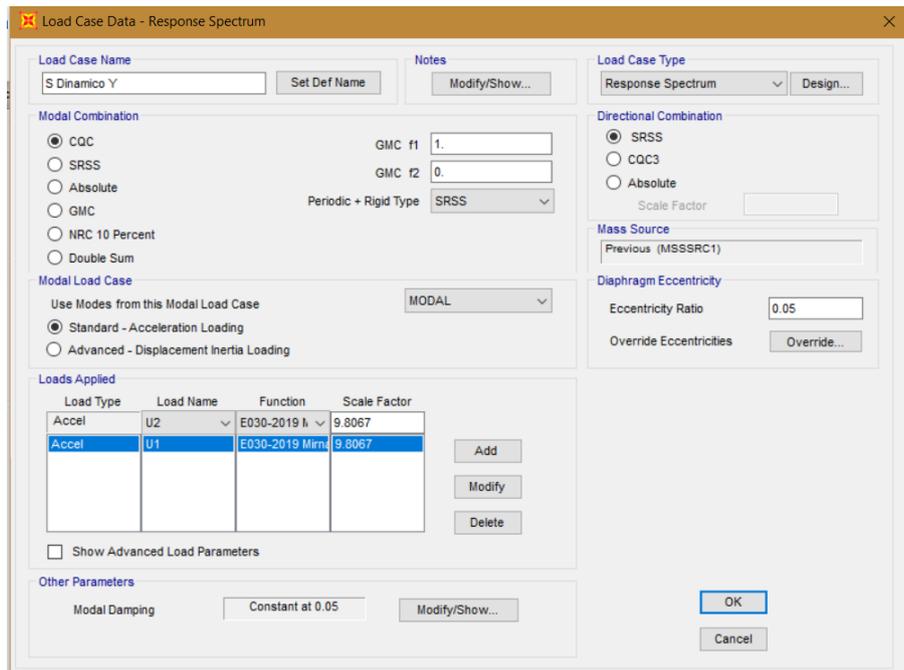


Figura 45. Sismo dinámico Y.

### 2.4.1.5. Análisis y diseño con interacción suelo estructura.

#### - Resorte equivalente

Datos:

Peso específico del suelo	Y=	1800	Kg/m <sup>3</sup>	(Ver anexo 6)
Velocidad de onda de corte	V <sub>s</sub> =	470	m/s	NTPE-030
Aceleración de la gravedad	.g=	9.81	m/s <sup>2</sup>	
Módulo de poisson	V=	0.30	(Saucedo Ruiz, 2016)	(Leoni, 2015)

Convirtiendo al sistema inglés:

$$y = 1800 \frac{Kg}{m^3} * \frac{2.204622622 lb}{1 Kg} * \frac{1 m^3}{(3.228084)^3} = 112.37 \frac{lb}{pie^3}$$

$$V_s = 470 \frac{m}{s} * \frac{3.228084 pie}{1 m} = 1541.99 \frac{pie}{s}$$

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2} * \frac{3.228084 pie}{1 m} = 32.17 \frac{pie}{s^2}$$

Ingresamos datos de la losa de cimentación según la figura N° 46.

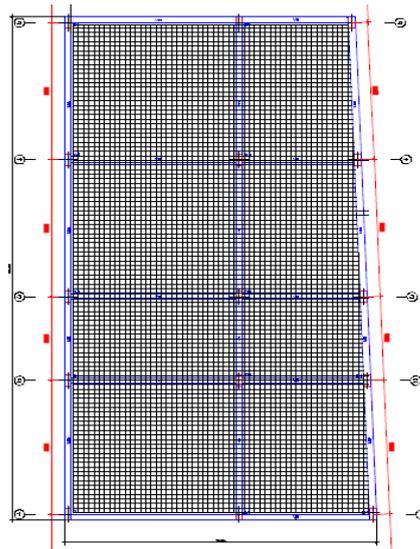


Figura 46. Losa de cimentación

Largo	L =	21.99 m	865.75 in
Ancho	B =	12.02 m	473.23 in
Profundidad de zapata	D =	0.95 m	37.4 in
Distancia al centroide	h =	0.75 m	29.53 in
Espesor zapata	d =	0.4 m	15.75 in
Factor de zona	Z =	0.35	
Categoría	U =	1	
Factor de amplificación sísmica	C =	2.5	
Factor de suelo	S =	1.15	
Cantidad de apoyos	t =	15	
	$v$	=	0.3

Cálculo del módulo de corte inicial:

$$G_0 = \frac{y * vs^2}{g}$$

$$G_0 = \frac{112.37 * 1541.99^2}{32.17}$$

$$G_0 = 8305435.971 \frac{lb}{pie^2}$$

$$G_0 = 57676.639 \frac{lb}{pulg^2}$$

Cálculo del módulo de corte efectivo:

- Se calcula la aceleración espectral  $S_x$

$$S_x = \frac{0.35 * 1 * 2.5 * 1.15}{2.5} = 0.4025$$

- Según la tabla N° 9 interpolamos el valor:

$$\frac{G}{G_0} = 0.75$$

$$G = 0.75 * 57676.639$$

$$G = 43257.47902 \frac{lb}{pulg^2}$$

Cálculos de traslación y rotación superficial:

- Se calcula la traslación a lo largo del eje x, según la ecuación N° 4.

$$K_x = \frac{43257.479 * 473.23}{2 - 0.30} \left[ 3.4 \left( \frac{865.75}{473.23} \right)^{0.65} + 1.2 \right]$$

$$K_x = 63816047.82 \frac{lb}{in} \cong 11396248.97 \frac{Kg}{cm}$$

- Se calcula la traslación a lo largo del eje y, según la ecuación N° 5.

$$K_y = \frac{43257.479 * 473.23}{2 - 0.30} \left[ 3.4 \left( \frac{865.75}{473.23} \right)^{0.65} + 0.4 \frac{865.75}{473.23} + 0.8 \right]$$

$$K_y = 67211932.85 \frac{lb}{in} \cong 12002685 \frac{Kg}{cm}$$

- Se calcula la traslación a lo largo del eje z, según la ecuación N° 6.

$$K_z = \frac{43257.479 * 473.23}{1 - 0.30} \left[ 1.55 \left( \frac{865.75}{473.23} \right)^{0.75} + 0.8 \right]$$

$$K_z = 88007881.1 \frac{lb}{in} \cong 15716418.64 \frac{Kg}{cm}$$

- Se calcula la rotación sobre el eje x, según la ecuación N° 7.

$$K_{xx} = \frac{43257.479 * 473.23^3}{1 - 0.30} \left[ 0.4 \left( \frac{865.75}{473.23} \right) + 0.1 \right]$$

$$K_{xx} = 4.584353E + 12 \frac{lb}{in} \cong 8.18672E + 11 \frac{Kg}{cm}$$

- Se calcula la rotación sobre el eje y, según la ecuación N° 8.

$$K_{yy} = \frac{43257.479 * 473.23^3}{1 - 0.30} \left[ 0.47 \left( \frac{865.75}{473.23} \right)^{2.4} + 0.034 \right]$$

$$K_{yy} = 2.64663E + 12 \frac{lb}{in} \cong 4.72635E + 11 \frac{Kg}{cm}$$

- Se calcula la rotación sobre el eje z, según la ecuación N° 9.

$$K_{zz} = 43257.479 * 473.23^3 \left[ 0.53 \left( \frac{865.75}{473.23} \right)^{2.45} + 0.51 \right]$$

$$K_{zz} = 1.301E + 13 \frac{lb}{in} \cong 2.32329E + 12 \frac{Kg}{cm}$$

Se calcula los factores de corrección por profundidad.

- Se calcula el factor de corrección para la traslación en x, y, según la ecuación N° 10.

$$\beta_x \beta_y = \left( 1 + 0.21 \sqrt{\frac{37.4}{473.23}} \right) \cdot \left[ 1 + 1.16 \left( \frac{29.53 * 15.75 (473.23 + 865.75)^{0.4}}{473.23 * 865.75^2} \right) \right]$$

$$\beta_x \beta_y = 1.059$$

- Se calcula el factor de corrección para la traslación en z, según la ecuación N° 11.

$$\beta_z = \left[ 1 + \frac{1}{21} \frac{37.4}{473.23} \left( 2 + 2.6 \frac{473.23}{865.75} \right) \right] \cdot \left[ 1 + 0.32 \left( 1 + 0.32 \left( \frac{15.75 (473.23 + 865.75)^{2/3}}{473.23 * 865.75} \right) \right) \right]$$

$$\beta_z = 1.011$$

- Se calcula el factor de corrección para la rotación en x, según la ecuación N° 12.

$$\beta_{xx} = 1 + 2.5 \frac{15.75}{473.23} \left[ 1 + \frac{2 * 15.75}{473.23} \left( \frac{15.75}{37.40} \right)^{-0.2} \sqrt{\frac{473.23}{865.75}} \right]$$

$$\beta_{xx} = 1.088$$

- Se calcula el factor de corrección para la rotación en y, según la ecuación N° 13.

$$\beta_{yy} = 1 + 1.4 \left( \frac{15.75}{865.75} \right)^{0.6} \left[ 1.5 + 3.7 \left( \frac{15.75}{865.75} \right)^{1.9} \left( \frac{15.75}{37.40} \right)^{-0.6} \right]$$

$$\beta_{yy} = 1.190$$

- Se calcula el factor de corrección para la rotación en z, según la ecuación N° 14.

$$\beta_{zz} = 1 + 2.6 \left( 1 + \frac{473.23}{865.75} \right) \left( \frac{15.75}{473.23} \right)^{0.9}$$

$$\beta_{zz} = 1.188$$

Corrección por profundidad a la traslación y rotación en los ejes globales:

$$K_x = 63816047.82 * 1.059$$

$$K_x = 67583650.48 \frac{lb}{in} \cong 1206905.637 \frac{tn}{m}$$

$$K_y = 12002685 * 1.059$$

$$K_y = 12711305.32 \frac{lb}{in} \cong 226997.89 \frac{tn}{m}$$

$$K_z = 88007881.08 * 1.011$$

$$K_z = 88967111.8 \frac{lb}{in} \cong 1588770.48 \frac{tn}{m}$$

$$K_{xx} = 4.58435E + 12 * 1.088$$

$$K_{xx} = 4.9881E + 12 \frac{lb}{in} \cong 8.9077E + 10 \frac{tn}{m}$$

$$K_{yy} = 2.64663E + 12 * 1.190$$

$$K_{yy} = 3.1498E + 12 \frac{lb}{in} \cong 5.6249E + 10 \frac{tn}{m}$$

$$K_{zz} = 1.30098 E + 13 * 1.188$$

$$K_{zz} = 1.5457 E + 13 \frac{lb}{in} \cong 2.7603E + 11 \frac{tn}{m}$$

Finalmente, la traslación y rotación se divide entre la cantidad de apoyos, 15 según la figura 47.

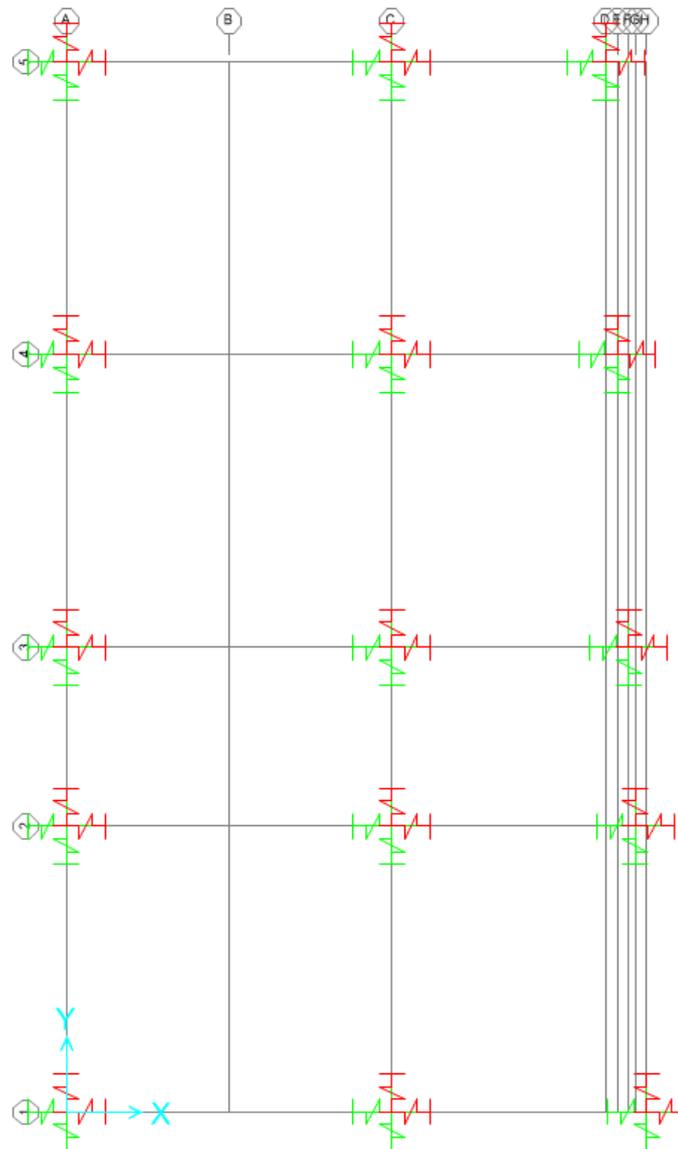


Figura 47. Apoyos en el edificio.

- Traslación eje x,  $K_x = \frac{1206905.64}{15} = 80460.38 \text{tn/m}$
- Traslación eje y,  $K_y = \frac{226997.89}{15} = 15133.193 \text{ tn/m}$
- Traslación eje z,  $K_z = \frac{1588770.48}{15} = 105918.03 \text{tn/m}$
- Rotación eje x,  $K_{xx} = \frac{8.9077E+10}{15} = 5938494289 \text{ tn/m}$
- Rotación eje y,  $K_{yy} = \frac{3749962158}{15} = 3749962158 \text{ tn/m}$
- Rotación eje z,  $K_{zz} = \frac{2.7603E+11}{15} = 1.8402E + 10 \text{ tn/m}$

Figura 48. Ingreso de datos para resorte equivalente.

## A. Análisis dinámico

### - Análisis dinámico espectral

En el análisis dinámico espectral se calcula el amortiguamiento considerando ISE.

Peso para cálculo sísmico	P=	595.268 tn	1312.34 Klb
Aceleración de la gravedad	g=	9.81 m/s <sup>2</sup>	386.1 pulg/s <sup>2</sup>
Masa efectiva	M=	60.6797 tn s <sup>2</sup> /m	3.837 Klb.pulg/s <sup>2</sup>
Periodo de vibración	T=	0.333 s	
Periodo de vibración (resorte)	T=	0.6 s	
Amortiguamiento	$\beta_1$ =	5 %	
Módulo de corte efectivo	G=	3041.079 kg/cm <sup>2</sup>	43.25 klb/pulg <sup>2</sup>
			(Leoni,
Módulo de poisson	$\nu$ =	0.3	2015)
Demanda de ductilidad	$\mu$ =	3	E050 FS
Largo	L=	21.99 m	865.75 Pulg
Ancho	B=	12.02 m	473.23 Pulg
Atura efectiva	h*=	11.7 m	460.63 Pulg

Cálculo de la rigidez efectiva, según la ecuación N° 15.

$$K^*_{fijo} = +3.837 - \left(\frac{2\pi}{0.33}\right)^2$$

$$K^*_{fijo} = 1366.039 \frac{Klb}{pulg} \cong 24394.693 \frac{tn}{m}$$

Cálculo del radio equivalente, según la ecuación N° 16.

$$r_x = \sqrt{\frac{865.75 * 473.23}{\pi}}$$

$$r_x = 361.125 \text{ pulg} \cong 9.173 \text{ m}$$

Cálculo de rigidez traslacional, según la ecuación N° 17.

$$K_x = \frac{8}{2 - 0.3} * 43.25 * 361.125$$

$$K_x = 73499.541 \frac{Klb}{pulg}$$

Cálculo de rigidez rotacional de la cimentación, según la ecuación N° 20.

$$K_\theta = \frac{1366.039(460.63)^2}{\left(\frac{0.631}{0.333}\right)^2 - 1 - \frac{1366.039}{73499.541}}$$

$$K_\theta = 112691101.30 \text{ lb} \frac{pulg}{rad}$$

Cálculo de radio por rotación equivalente a la cimentación, según la ecuación N° 21.

$$r_\theta = \left(\frac{3(1 - 0.30)}{8 * 43.25}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$r_\theta = 88.107 \text{ pulg} \cong 2.238 \text{ m}$$

Cálculo de radio por rotación equivalente a la cimentación, según la ecuación N°26.

$$\frac{\widetilde{T}_{eff}}{T_{eff}} = \left\{1 + \frac{1}{3.0} \left[\left(\frac{0.631}{0.333}\right)^2 - 1\right]\right\}^{0.5}$$

$$\frac{\widetilde{T}_{eff}}{T_{eff}} = 1.365$$

Luego de calcula el amortiguamiento de la cimentación, según la ecuación N°23;

para ello se debe calcular el coeficiente de empotramiento con la ecuación N ° 26.

$$c_e = 1.5 * (0) + 1$$

$$c_e = 1$$

También se calcula los coeficientes de amortiguamiento de la fundación con la ecuación N° 24 y 25.

$$a_1 = 1 * \exp \left( 4.7 - 1.6 \frac{460.63}{88.107} \right)$$

$$a_1 = 0.0256$$

$$a_2 = 1 - \left[ 25 \left( \frac{460.63}{88.107} \right) - 16 \right]$$

$$a_2 = 114.702$$

$$\beta_f = 0.0256 * (1.365 - 1) + 114.702 * (1.365 - 1)^2$$

$$\beta_f = 15.30\%$$

Calculo del amortiguamiento de la cimentación, según la ecuación N° 27.

$$\beta_0 = 15.30 + \frac{5}{(1.36)^3}$$

$$\beta_0 = 17.267\%$$

Calculo del factor de escala para el espectro de sismo.

$$B = \frac{4}{5.6 - \ln(17.267)}$$

$$B = 1.454$$

Se calcula el tamaño efectivo de la fundación  $b_e = \sqrt{ab}$ , para hacer la evolución y cálculo por periodo T, de la proporción espectral de respuesta.

$$RRS_{bsa} = 1 - \frac{1}{14100} \left( \frac{53.34}{0.2} \right)^{1.2}$$

$$RRS_{bsa} = 0.942$$

Calculo de interacción cinemática en campo libre según la ecuación N° 3

$$Sa_{FIM} = (48.564 * 0.942)$$

$$Sa_{FIM} = 45.756$$

Se divide entre el factor de escala:

$$Sa\beta_0 = \frac{1.454}{45.756}$$

$$Sa\beta_0 = 31.472$$

Después de los pasos anteriores se deberá calcular los valores de R para el espectro de diseño con interacción suelo estructura en la tabla N°:

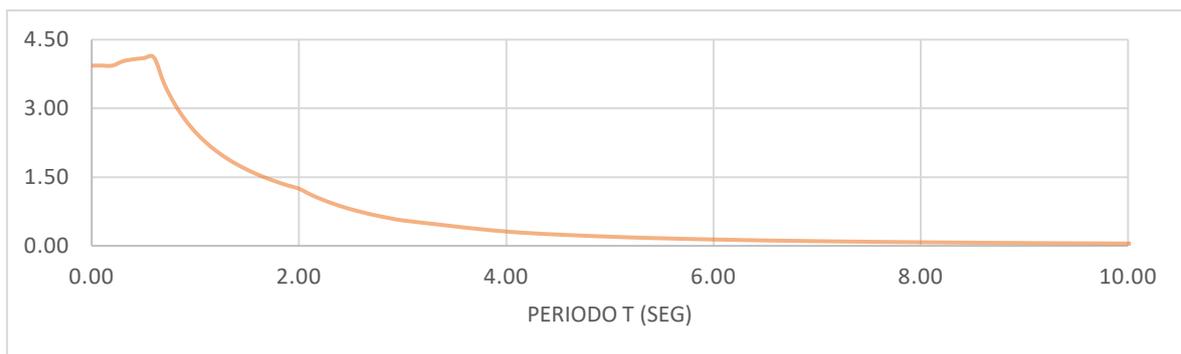
$$R = \frac{31.472}{8} = 3.934$$

**Tabla 19**

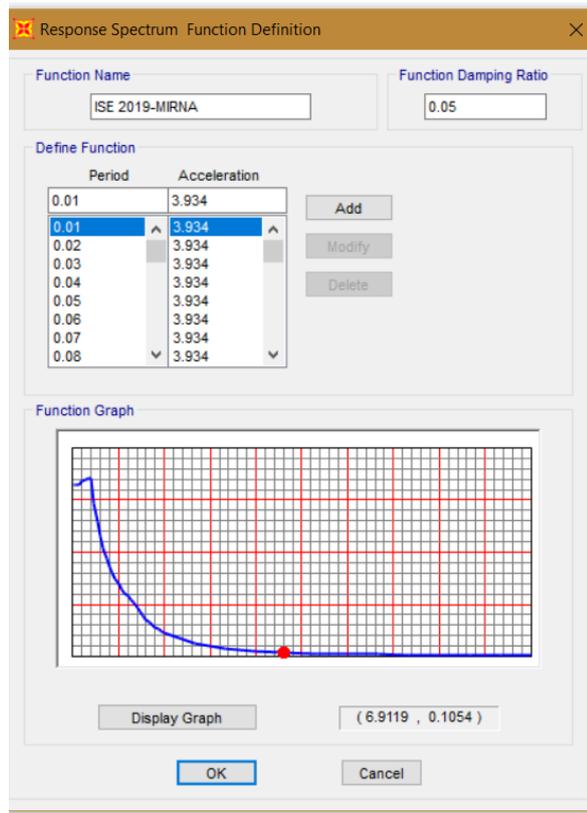
*Cálculo de la aceleración espectral con ISE.*

T(s)	Sa/g	RRSbsa	SaFIM	SaB0	R
0.01	48.564	0.942	45.757	31.472	3.934
0.02	48.564	0.942	45.757	31.472	3.934
0.03	48.564	0.942	45.757	31.472	3.934
0.04	48.564	0.942	45.757	31.472	3.934
0.05	48.564	0.942	45.757	31.472	3.934
0.06	48.564	0.942	45.757	31.472	3.934
0.07	48.564	0.942	45.757	31.472	3.934
0.08	48.564	0.942	45.757	31.472	3.934
0.09	48.564	0.942	45.757	31.472	3.934
0.1	48.564	0.942	45.757	31.472	3.934
0.2	48.564	0.942	45.757	31.472	3.934
0.3	48.564	0.964	46.838	32.216	4.027
0.4	48.564	0.975	47.342	32.563	4.070
0.5	48.564	0.981	47.629	32.760	4.095
0.6	48.564	0.985	47.813	32.887	4.111
0.7	48.564	0.987	47.940	32.974	4.122
0.8	48.564	0.989	48.032	33.038	4.130
0.9	48.564	0.990	48.102	33.086	4.136
1	48.564	0.992	48.157	33.123	4.140
1.1	48.564	0.993	48.201	33.154	4.144
1.2	48.564	0.993	48.237	33.178	4.147
1.3	48.564	0.994	48.267	33.199	4.150
1.4	48.564	0.994	48.292	33.216	4.152
1.5	48.564	0.995	48.314	33.231	4.154
1.6	48.564	0.995	48.333	33.244	4.156

<b>1.7</b>	48.564	0.996	48.349	33.255	4.157
<b>1.8</b>	48.564	0.996	48.363	33.265	4.158
<b>1.9</b>	48.564	0.996	48.376	33.274	4.159
<b>2</b>	48.564	0.996	48.387	33.282	4.160
<b>2.1</b>	48.564	0.997	48.397	33.288	4.161
<b>2.2</b>	46.998	0.997	46.845	32.221	4.028
<b>2.3</b>	45.529	0.997	45.388	31.219	3.902
<b>2.4</b>	44.149	0.997	44.020	30.278	3.785
<b>2.5</b>	42.851	0.997	42.731	29.391	3.674
<b>2.6</b>	41.626	0.997	41.516	28.555	3.569
<b>2.7</b>	40.470	0.997	40.367	27.765	3.471
<b>2.8</b>	39.376	0.998	39.280	27.018	3.377
<b>2.9</b>	38.340	0.998	38.251	26.310	3.289
<b>3</b>	37.357	0.998	37.273	25.637	3.205
<b>4</b>	36.423	0.998	36.365	25.013	3.127
<b>5</b>	35.535	0.999	35.492	24.412	3.051
<b>6</b>	34.689	0.999	34.655	23.836	2.980
<b>7</b>	33.882	0.999	33.854	23.286	2.911
<b>8</b>	33.112	0.999	33.089	22.759	2.845
<b>9</b>	32.376	0.999	32.357	22.256	2.782
<b>10</b>	31.672	0.999	31.656	21.773	2.722
<b>11</b>	30.998	1.000	30.984	21.311	2.664
<b>12</b>	30.353	1.000	30.340	20.868	2.609
<b>13</b>	29.733	1.000	29.722	20.443	2.555
<b>14</b>	29.138	1.000	29.128	20.035	2.504
<b>15</b>	28.567	1.000	28.558	19.643	2.455



*Figura 49. Espectro de diseño con Interacción Suelo Estructura*



*Figura 50.* Espectro con ISE.

Espectro en la dirección X con 5% de excentricidad accidental y factor de escala igual a la gravedad.

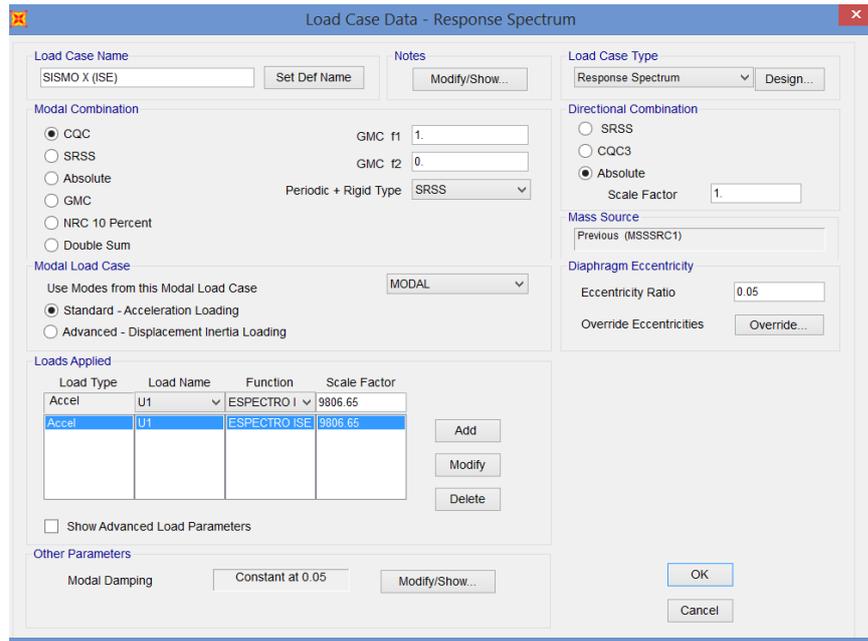


Figura 51. Espectro con ISE dirección X.

Espectro en la dirección Y con 5% de excentricidad accidental y factor de escala igual a la gravedad.

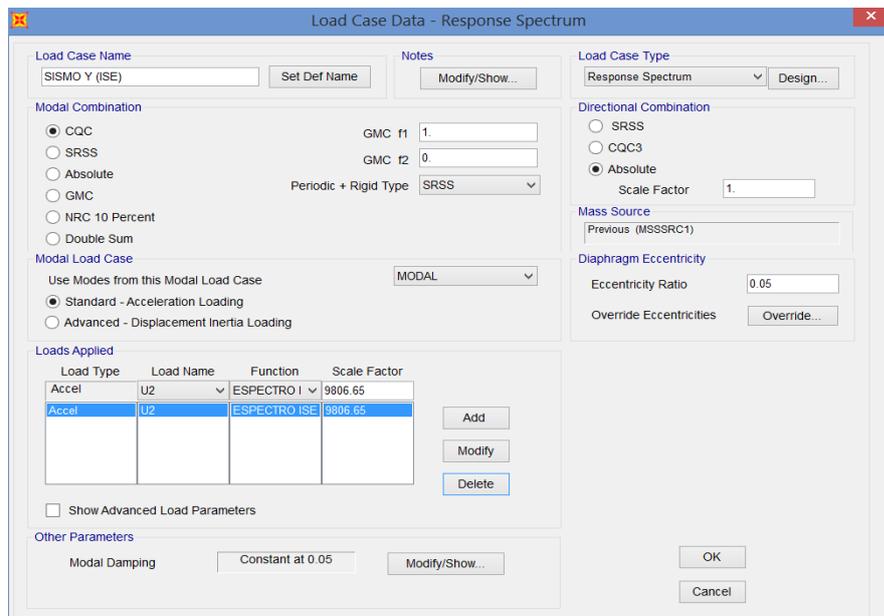


Figura 52. Espectro con ISE dirección Y.

#### **2.4.1.6. Análisis por desempeño PUSHOVER.**

El análisis estático no lineal que se realizó para la estructura consideró todas las características de la misma, como las características y propiedades de los materiales, propiedades geométricas del edificio y de cada uno de sus elementos estructurales y las cargas a las que está expuesta. Todas estas características y propiedades se incluyeron en el modelamiento de la estructura realizado en el programa SAP 2000.

Para el modelamiento de la estructura se consideraron las siguientes propiedades obtenidas de los planos estructurales:

##### **2.4.1.6.1. Propiedades y especificaciones técnicas del concreto.**

Resistencia a la compresión de vigas:

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

Resistencia a la compresión de columnas:

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

Módulo de elasticidad:

$$E = 15000\sqrt{f'c}$$

$$E = 217370.651 \text{ kg/m}^3$$

$$E = 2173706.51 \text{ Tn/m}^3$$

Peso unitario:

$$Y = 2400 \text{ Kg/m}^3$$

$$Y = 2.4 \text{ Tn /m}^3$$

Recubrimiento de columnas y vigas:

$$Rec. = 4cm$$

#### **2.4.1.6.2. Propiedades y especificaciones técnicas del acero.**

Esfuerzo de fluencia:

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

Peso unitario:

$$Y = 7850 \text{ Kg /m}^3$$

Módulo de elasticidad:

$$E = 2 \times 10^7 \text{ Tn/m}^2$$

#### **2.4.1.6.3. Diagrama de momento giro.**

Los diagramas momento giro se obtuvieron a partir de los datos de las relaciones momento curvatura obtenidos con la aplicación de la función Section Designer del programa SAP 2000, para lo cual se modeló las secciones correspondientes a la ubicación de las rótulas plásticas ubicadas en vigas principales, en vigas secundarias y en columnas.

a. Columna de 25x50 cm

Tabla 20

Datos de la relación momento curvatura y obtención del giro en la columna.

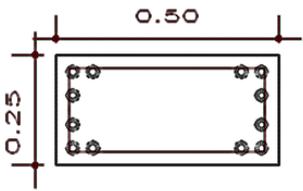
SECCIÓN TRANSVERSAL	PUNTO	CURVATURA (1/m)	MOMENTO (Tn-m)	$L_p$ (m)	GIRO (Rad)	$M/M_y$	$\theta/\theta_y$
	-E	-1.1600	-1.2507	0.1250	-0.1450	-	-
	-D	-0.8408	-8.7694	0.1250	-0.1051	0.1504	41.9378
	-C	-0.7468	-8.6514	0.1250	-0.0934	-	-
	-B	-0.0277	-8.3168	0.1250	-0.0035	1.0544	30.3977
	A	0.0000	0.0000	0.1250	0.0000	1.0402	26.9993
	B	0.0277	8.3168	0.1250	0.0035	-	-1.0000
	C	0.7468	8.6514	0.1250	0.0934	1.0000	1.0000
	D	0.8408	8.7694	0.1250	0.1051	1.0402	26.9993
	E	1.1600	1.2507	0.1250	0.1450	1.0544	30.3977
						0.1504	41.9378

Tabla 21

Criterios de aceptación para la articulación columna C-1.

$\theta$	IO	LS	CP
0.0899	0.0259	0.0709	0.0934

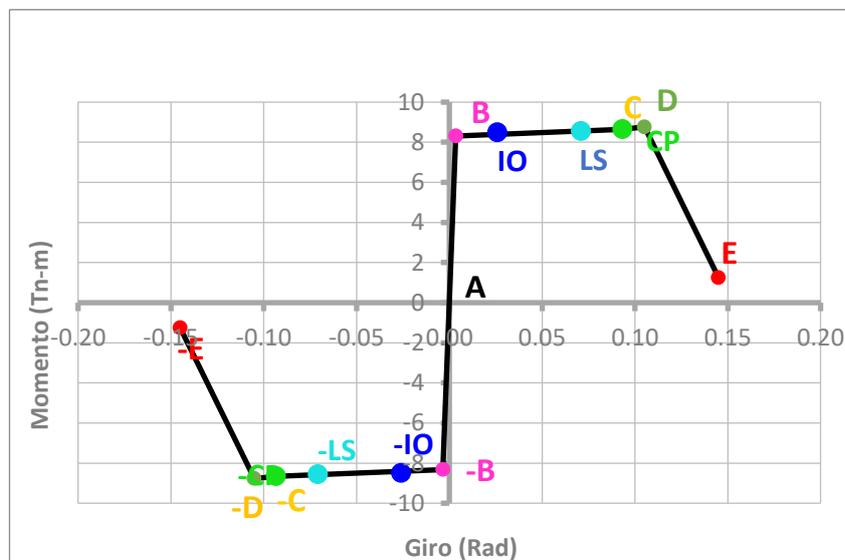
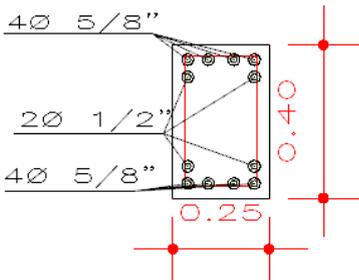


Figura 53. Diagrama momento giro de las rótulas en columna 50X25.

**b. Viga principal V 101 de 25x40 cm**

**Tabla 22**

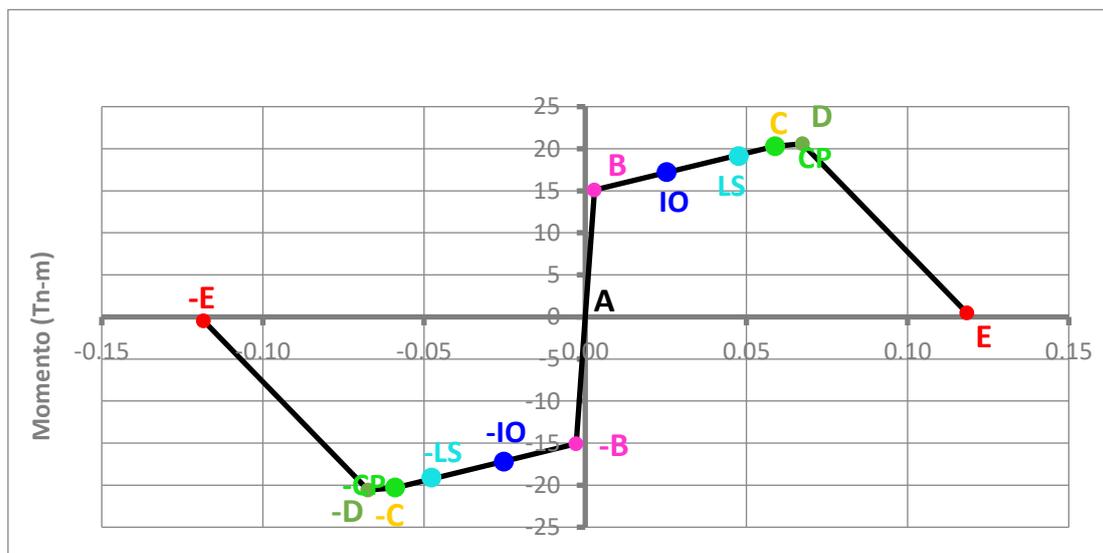
*Datos de la relación momento curvatura y obtención del giro en la viga.*

SECCIÓN TRANSVERSAL	PUNTO	CURVATURA (1/m)	MOMENTO (Tn-m)	$L_p$ (m)	GIRO (Rad)	$M/M_y$	$\theta/\theta_y$
	-E	-0.5919	-0.4706	0.2000	-0.1184	-0.0312	-
	-D	-0.3370	-20.5799	0.2000	-0.0674	-1.3637	41.8008
	-C	-0.2945	-20.2955	0.2000	-0.0589	-1.3448	-
	-B	-0.0142	-15.0917	0.2000	-0.0028	-1.0000	-1.0000
	A	0.0000	0.0000	0.2000	0.0000	0.0000	0.0000
	B	<b>0.0142</b>	<b>15.0917</b>	<b>0.2000</b>	<b>0.0028</b>	<b>1.0000</b>	<b>1.0000</b>
C	0.2945	20.2955	0.2000	0.0589	1.3448	20.7980	
D	0.3370	20.5799	0.2000	0.0674	1.3637	23.7994	
E	0.5919	0.4706	0.2000	0.1184	0.0312	41.8008	

**Tabla 23**

*Criterios de aceptación para la articulación V-101.*

$\theta$	IO	LS	CP
<b>0.0561</b>	0.0253	0.0477	0.0589



*Figura 54. Diagrama momento giro de las rótulas en las vigas V-101.*

c. Viga principal VA de 25x20 cm

Tabla 24

Datos de la relación momento curvatura y obtención del giro en la VA.

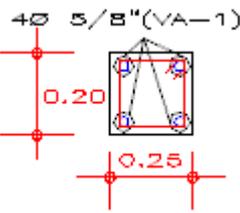
SECCIÓN TRANSVERSAL	PUNTO	CURVATURA (1/m)	MOMENTO (Tn-m)	$L_p$ (m)	GIRO (Rad)	$M/M_y$	$\theta/\theta_y$
	-E	-1.7300	-0.0185	0.2000	-0.3460	-0.0082	-122.1751
	-D	-0.9843	-2.5971	0.2000	-0.1969	-1.1480	-69.5127
	-C	-0.8602	-2.5433	0.2000	-0.1720	-1.1243	-60.7486
	-B	-0.0414	-2.2622	0.2000	-0.0083	-1.0000	-2.9209
	A	0.0000	0.0000	0.2000	0.0000	0.0000	0.0000
	B	<b>0.0414</b>	<b>2.2622</b>	<b>0.2000</b>	<b>0.0083</b>	<b>1.0000</b>	<b>2.9209</b>
	C	0.8602	2.5433	0.2000	0.1720	1.1243	60.7486
	D	0.9843	2.5971	0.2000	0.1969	1.1480	69.5127
	E	1.7300	0.0185	0.2000	0.3460	0.0082	122.1751

Tabla 25

Criterios de aceptación para la articulación VA.

$\theta$	IO	LS	CP
<b>0.1638</b>	0.0738	0.1393	0.1720

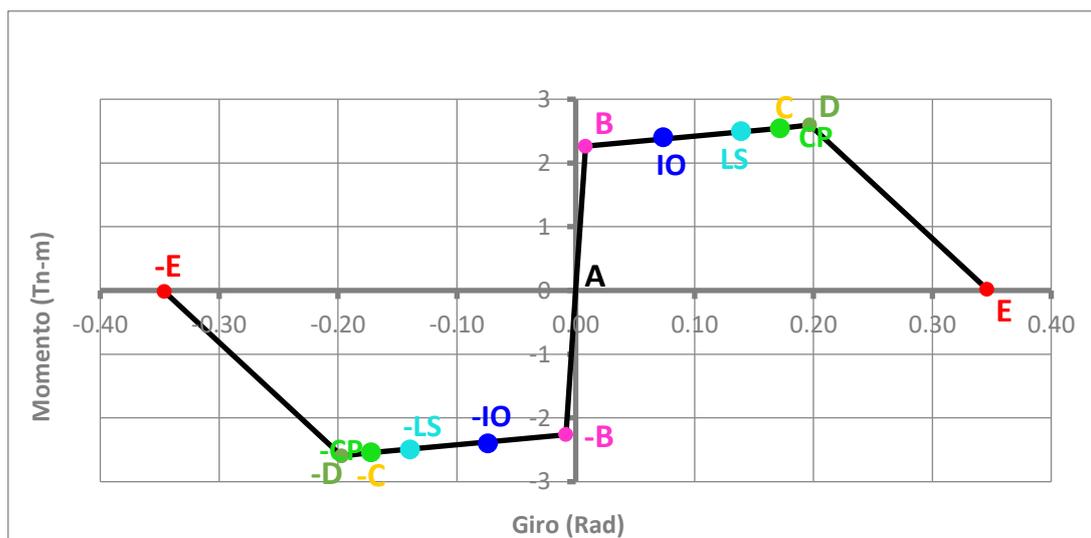


Figura 55. Diagrama momento giro de las rótulas en la VA.

d. Viga principal VA-1 de 25x20 cm

Tabla 26

Datos de la relación momento curvatura y obtención del giro en la VA-1.

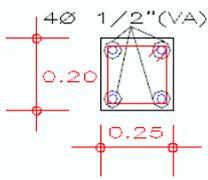
SECCIÓN TRANSVERSAL	PUNTO	CURVATURA (1/m)	MOMENTO (Tn-m)	$L_p$ (m)	GIRO (Rad)	$M/M_y$	$\theta/\theta_y$
	-E	-1.6800	-0.0143	0.1000	-0.1680	-0.0091	-41.8639
	-D	-0.9552	-0.0177	0.1000	-0.0955	-0.0113	-23.8026
	-C	-0.8348	-1.7348	0.1000	-0.0835	-1.1100	-20.8024
	-B	-0.0401	-1.5629	0.1000	-0.0040	-1.0000	-1.0000
	A	0.0000	0.0000	0.1000	0.0000	0.0000	0.0000
	B	<b>0.0401</b>	<b>1.5629</b>	<b>0.1000</b>	<b>0.0040</b>	<b>1.0000</b>	<b>1.0000</b>
	C	0.8348	1.7348	0.1000	0.0835	1.1100	20.8024
	D	0.9552	0.0177	0.1000	0.0955	0.0113	23.8026
	E	1.6800	0.0143	0.1000	0.1680	0.0091	41.8639

Tabla 27

Criterios de aceptación para la articulación VA-1.

$\theta$	IO	LS	CP
<b>0.0795</b>	0.0358	0.0676	0.0835

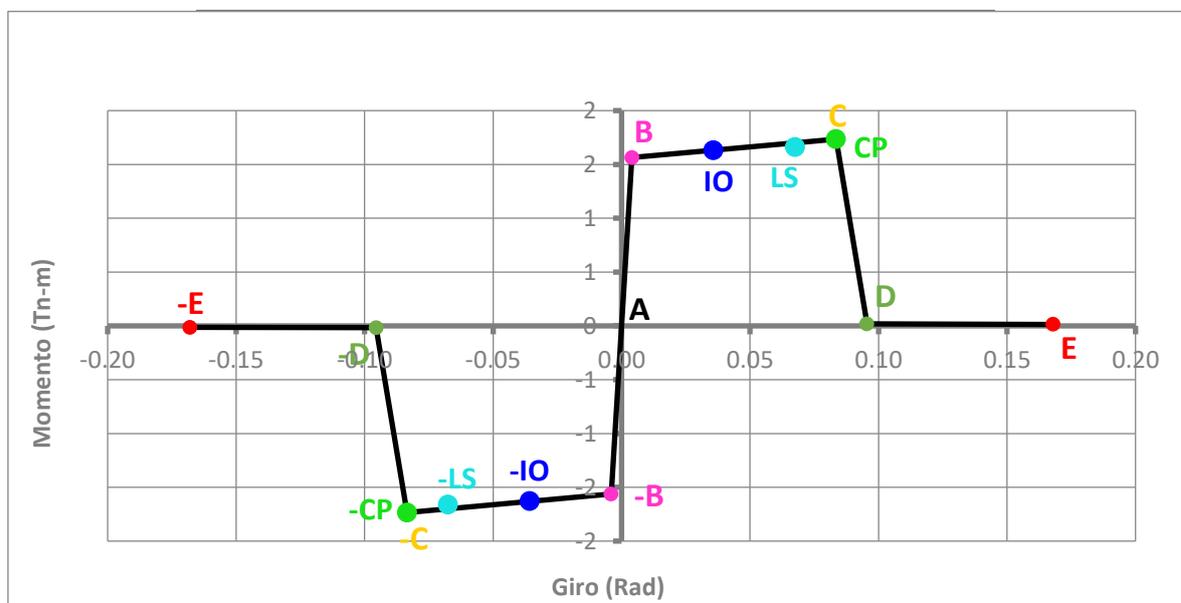
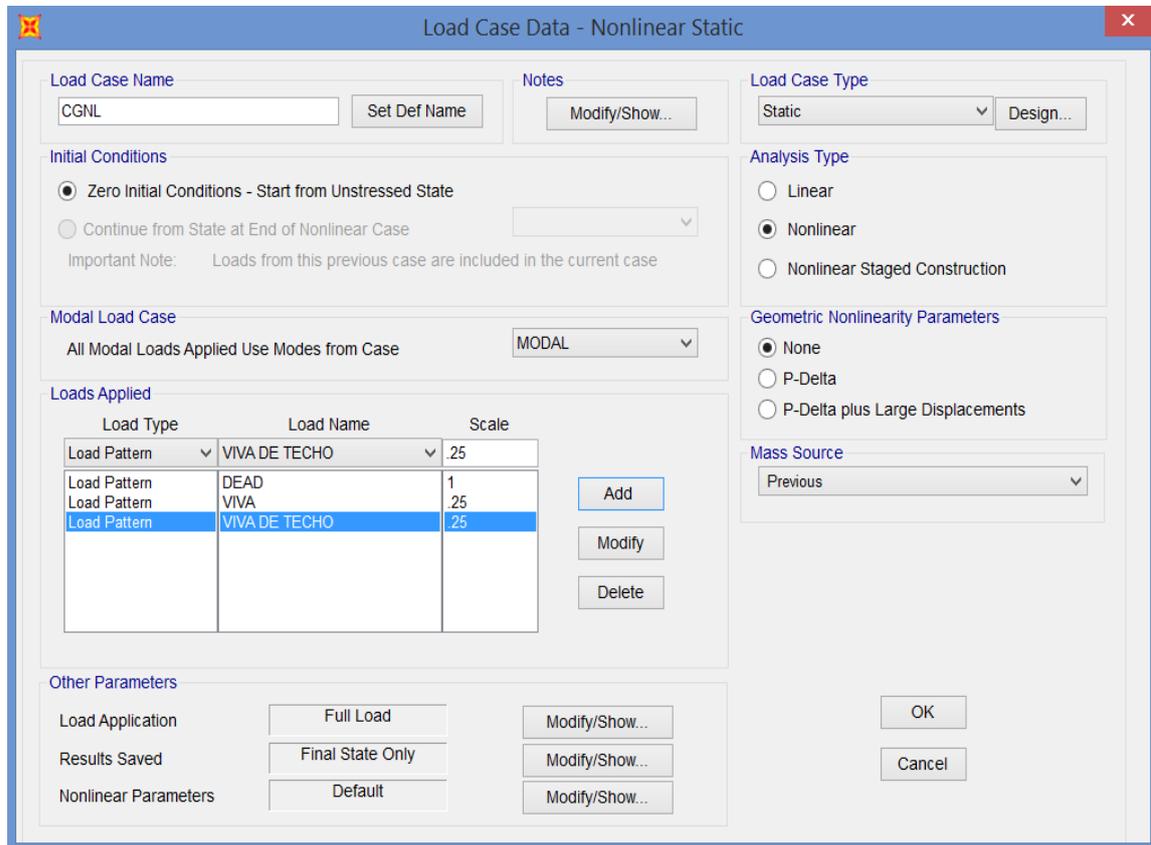


Figura 56. Diagrama momento giro de las rótulas en la VA-1.

En base a los patrones de carga se definen los casos de carga. Para la presente investigación se definen dos casos: el caso de carga gravitacional no lineal (CGNL) y el caso para el análisis estático no lineal (AENL).



Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: CGNL [Set Def Name] [Modify/Show...]

Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Static [Design...]

Initial Conditions:
 

- Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- Continue from State at End of Nonlinear Case [v]

 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case [MODAL v]

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale
Load Pattern v	VIVA DE TECHO v	.25
Load Pattern	DEAD	1
Load Pattern	VIVA	.25
Load Pattern	VIVA DE TECHO	.25

[Add] [Modify] [Delete]

Geometric Nonlinearity Parameters:
 

- None
- P-Delta
- P-Delta plus Large Displacements

Mass Source: [Previous v]

Other Parameters:
 

- Load Application: [Full Load] [Modify/Show...]
- Results Saved: [Final State Only] [Modify/Show...]
- Nonlinear Parameters: [Default] [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Figura 57. Carga gravitacional no lineal (CGNL)

Para el caso Análisis Estático No Lineal se repite el paso anterior y este caso queda determinado de la siguiente manera. Este paso se realiza para los sismos en X y los sismos en Y.

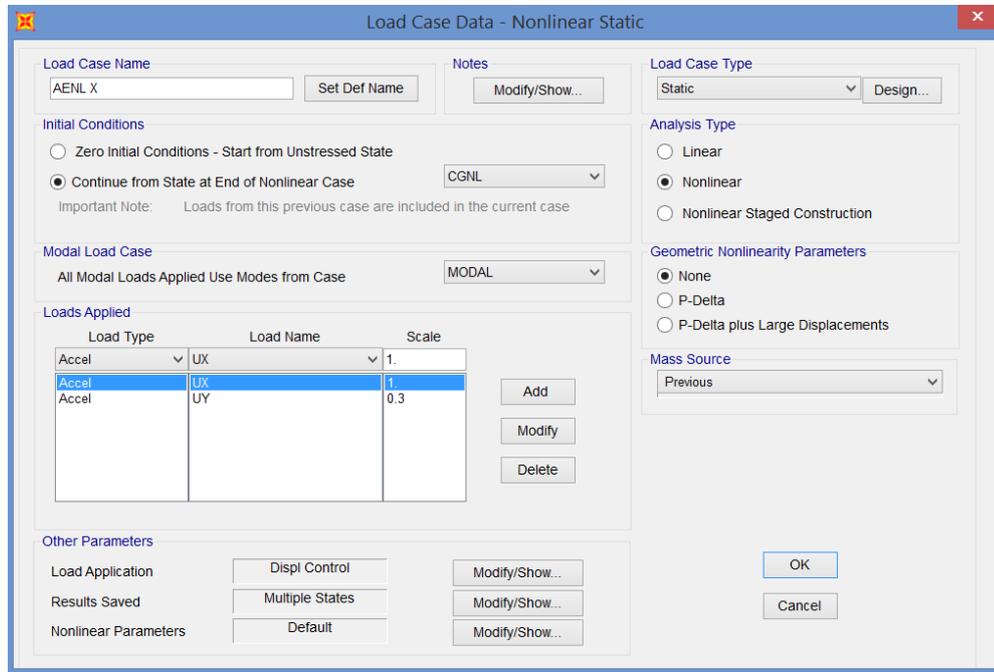


Figura 58. AENL en dirección X.

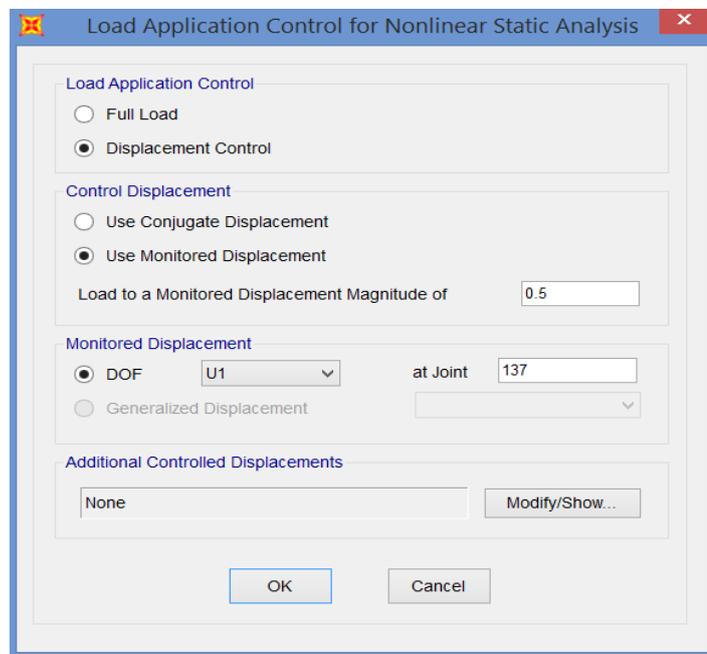


Figura 59. Definición del nodo de control.

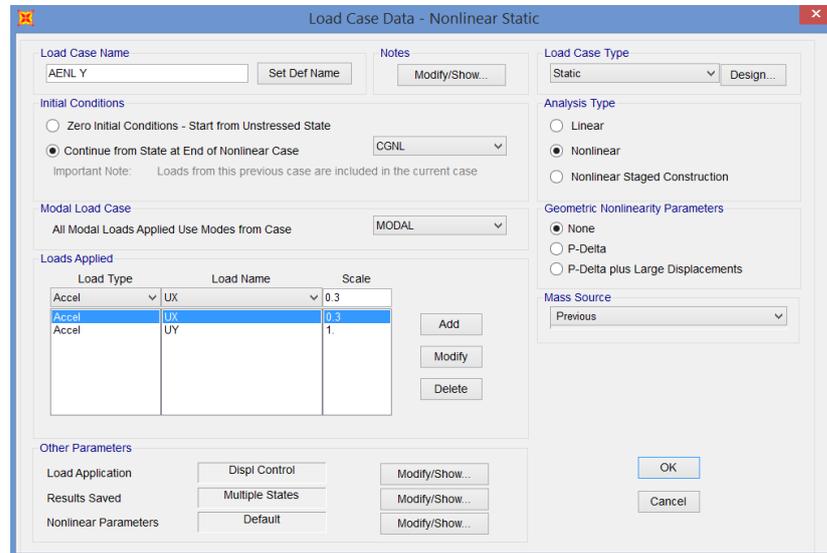


Figura 60. AENL en dirección Y.

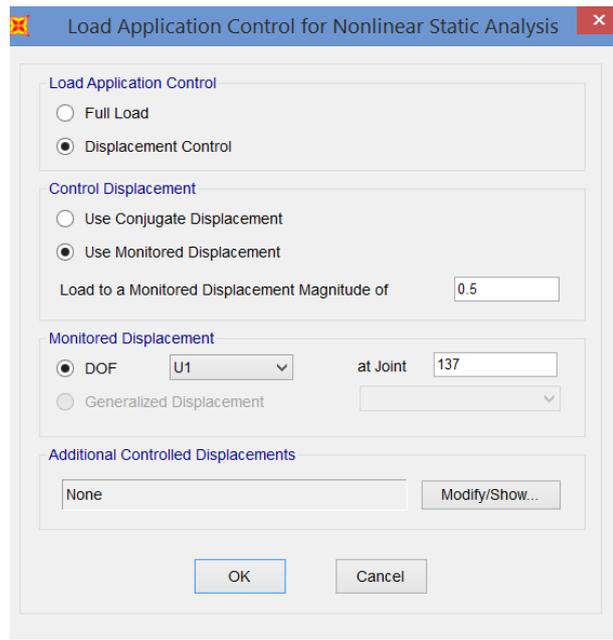
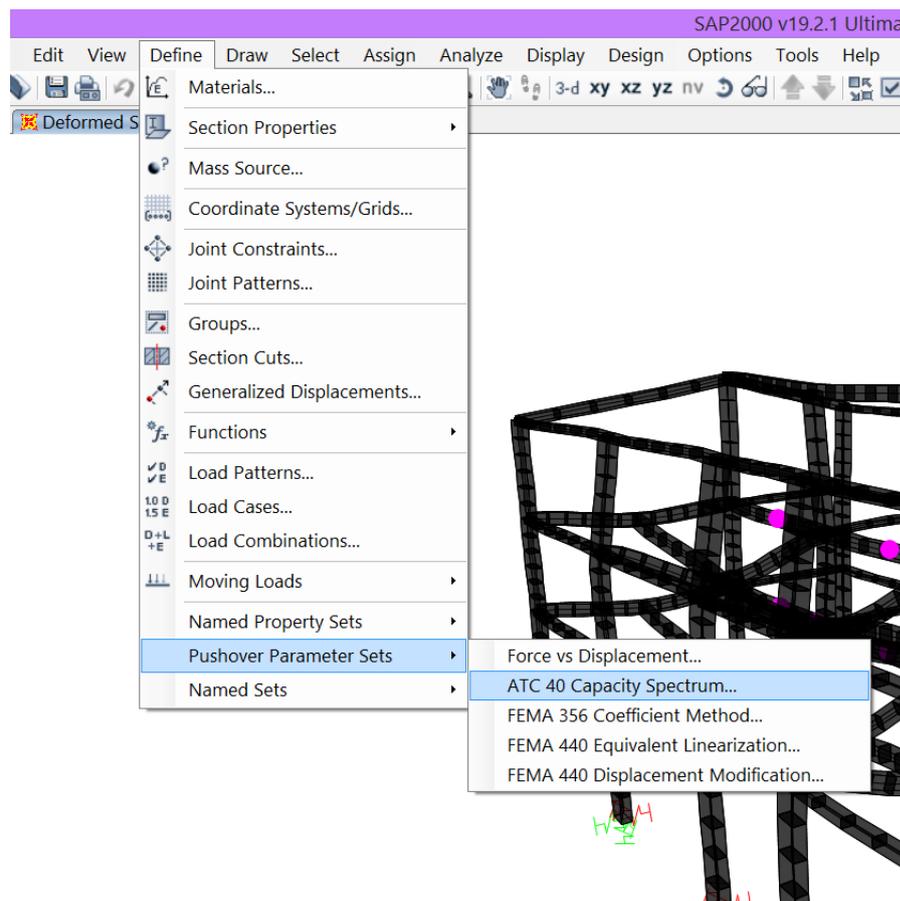


Figura 61. Definición del nodo de control.



*Figura 62. Parámetros para el AENL*

Al elegir la opción anterior aparece la ventana siguiente en la que elegimos las coordenada en las que queremos obtener la curva de capacidad ( $S_a-S_d$ ) y también se elegirá la forma en que queremos que se realice el análisis, esto es con el espectro de repuesta calculado o usando cos coeficiente  $C_a$  y  $C_v$ .

**Parameters For ATC-40 Capacity Spectrum**

**Pushover Parameters Name**  
 Name: ATC 40 E ISE Mirna  
 Units: Tonf, m, C

**Plot Axes**  
 Sa - Sd    Sa - T    Sd - T  
 Axis Labels and Range: Set Axis Data...

**Demand Spectrum Definition**  
 Function: ISE 2019-MIRNA   SF: 1.  
 User Coeffs: Ca:   Cv:

**Damping Parameters Definition**  
 Inherent + Additional Damping: 0.05  
 Structural Behavior Type:  A    B    C    User   Modify/Show...

**Items Visible On Plot**

- Show Capacity Curve   Color: ■
- Show Family of Demand Spectra   Color: ■  
 Damping Ratios:
- Show Single Demand Spectrum (ADRS) (Variable Damping)   Color: ■
- Show Constant Period Lines at   Color: ■

Reset Default Colors

Update Plot

OK   Cancel

Figura 63. Parámetros con espectro ISE.

Ahora se asignan las rótulas plásticas en los elementos, para vigas se asignaron tres rótulas y para columnas solo dos. Se selecciona “Define”/ “Section Properties”/ “Hinge Properties”.

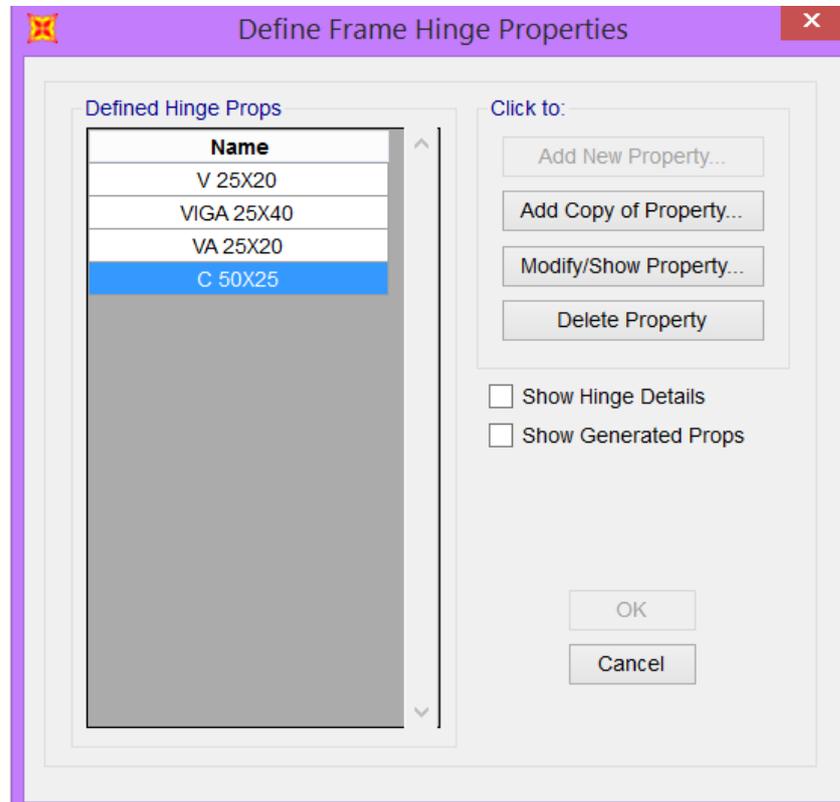


Figura 64. Definición de roturas.

Al elegir el tipo de rótula aparecerá la ventana para asignar valores a los diagramas de momento giro, determinando así los valores de los puntos A, B, C, D, E.

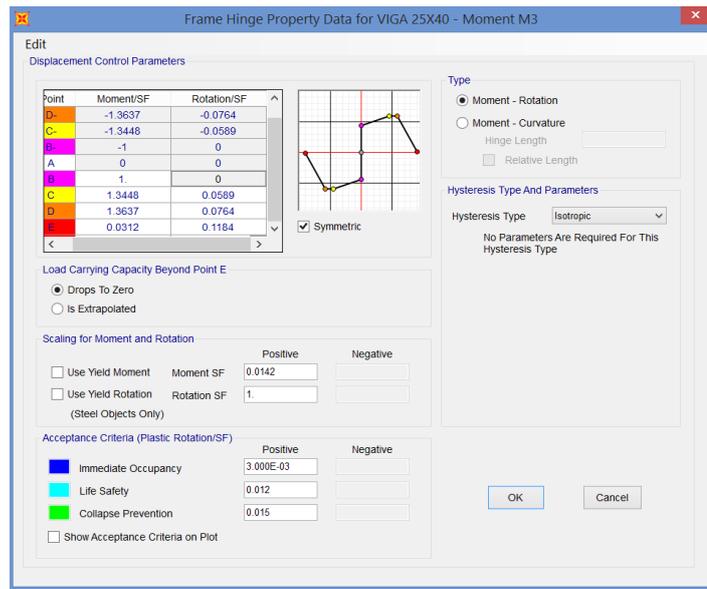


Figura 65. Propiedades de rotula de viga 25x40cm.

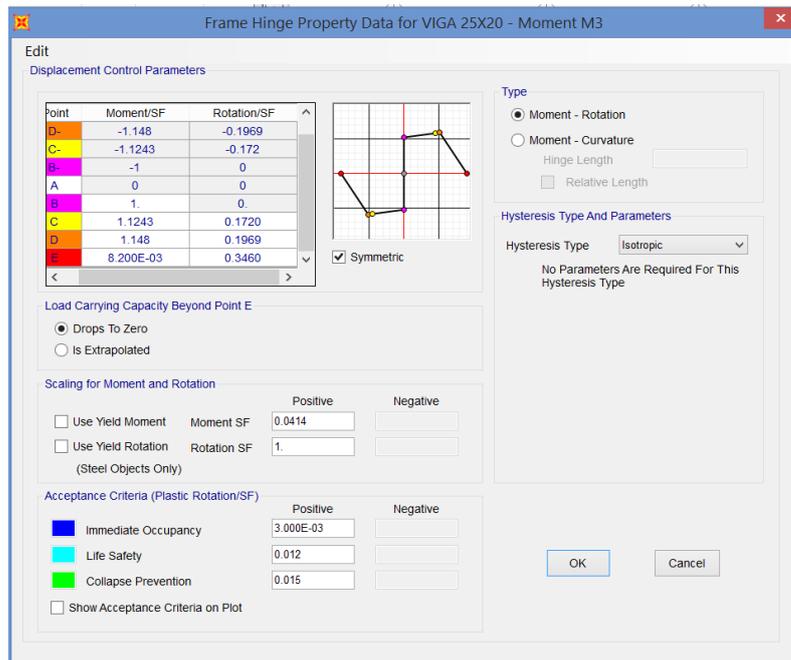


Figura 66. Propiedades de rotula de viga 25x20cm.

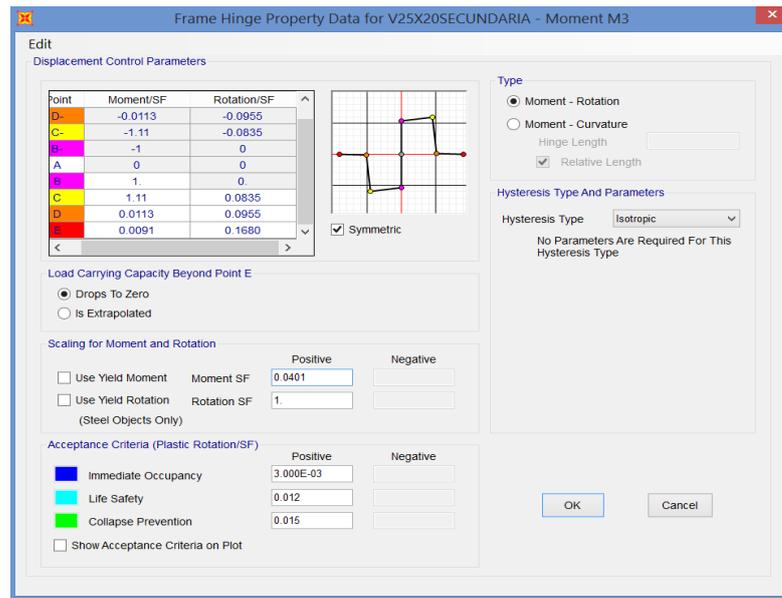


Figura 67. Propiedades de rótula de viga 25x20cm.

Elegimos el tipo de rótula anteriormente definidas, y le asignamos una distancia relativa respecto a la longitud total. En la imagen se muestra un tipo rótula asignada a una viga en tres puntos distintos correspondientes al 10%, 50% y 90% de la longitud total. La segunda imagen muestra con un punto rojo las tres rótulas en vigas y dos en columnas de una vista del modelo de la estructura.

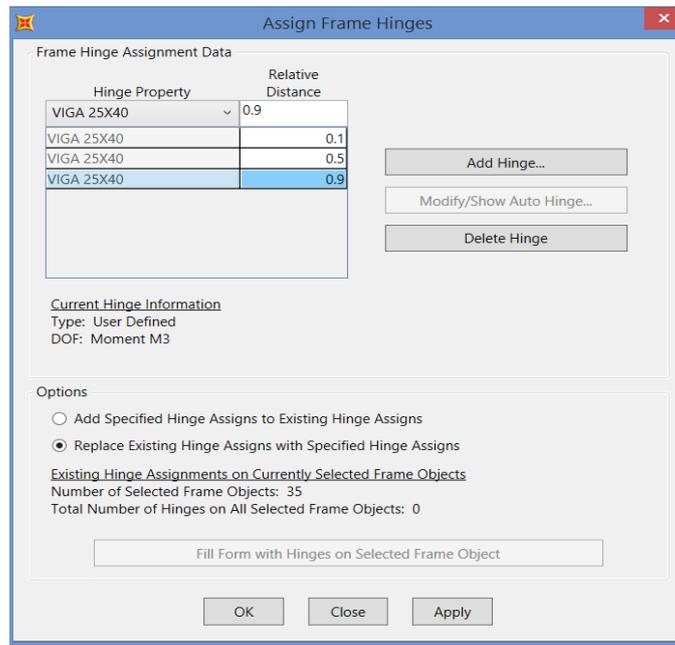


Figura 68. asignamos rotulas.

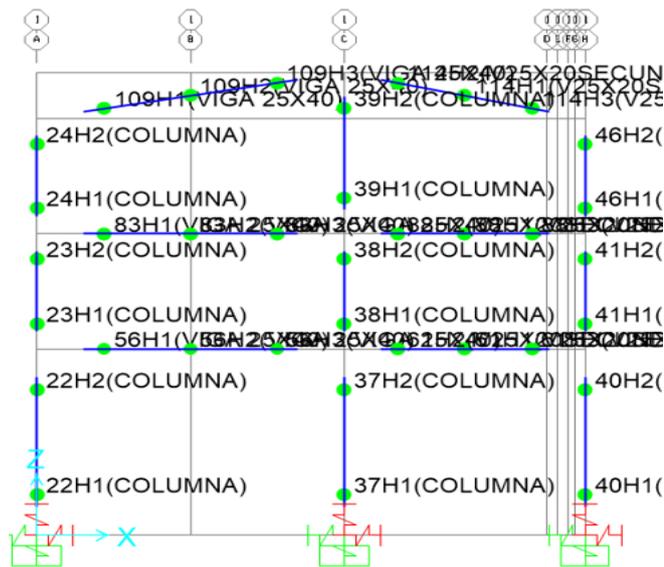
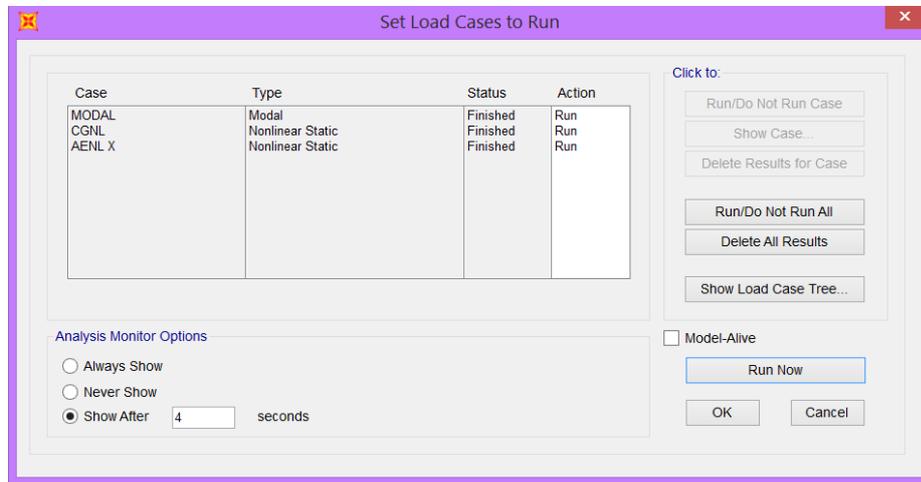
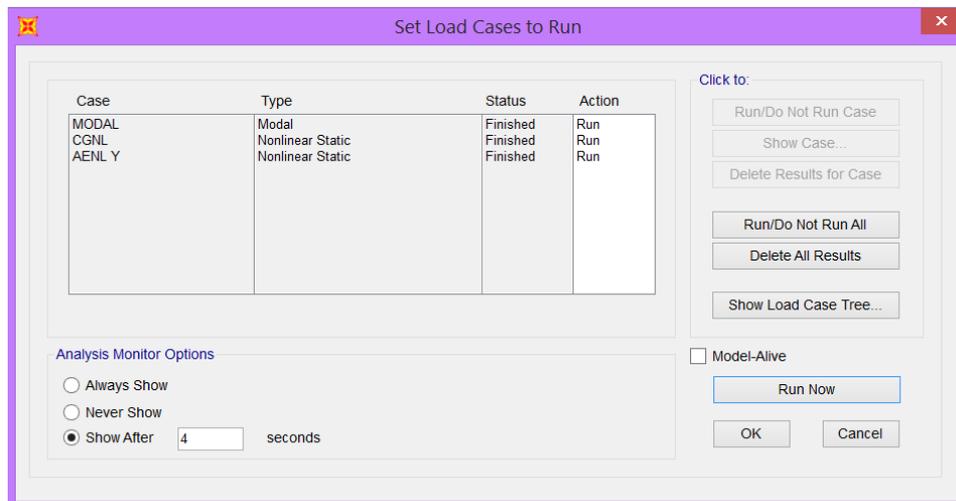


Figura 69. Rotulas Plasticas.

Al haber realizado los pasos anteriores podemos comenzar el análisis estático no lineal pulsando el botón “Run” y en la ventana que aparece “Run Now”.



*Figura 70. Análisis estático no lineal*



*Figura 71. Análisis estático no lineal.*

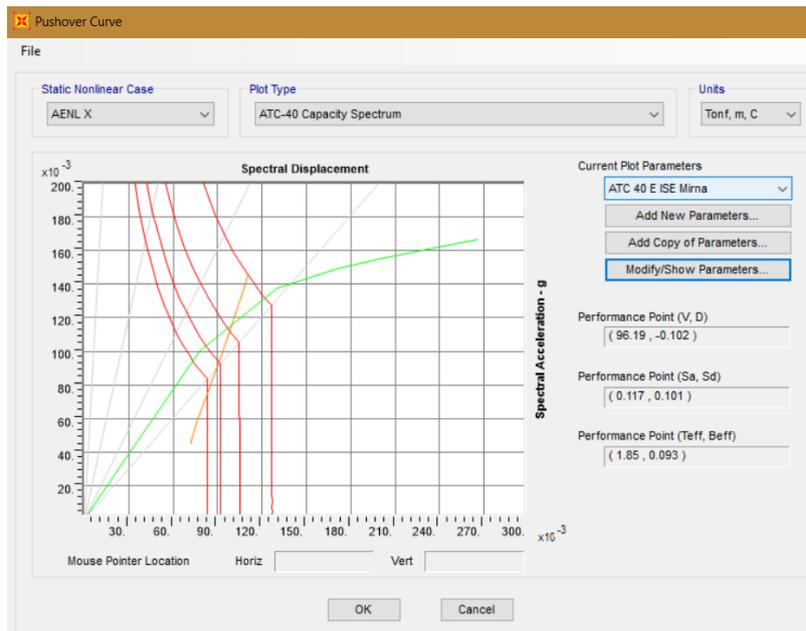


Figura 72. Curva de capacidad dirección X.

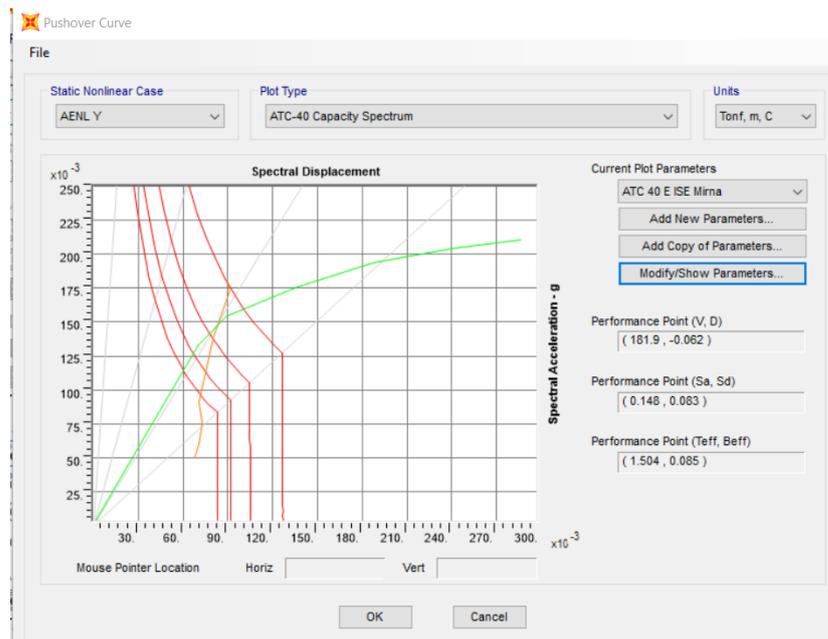


Figura 73. Curva de capacidad dirección Y.

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

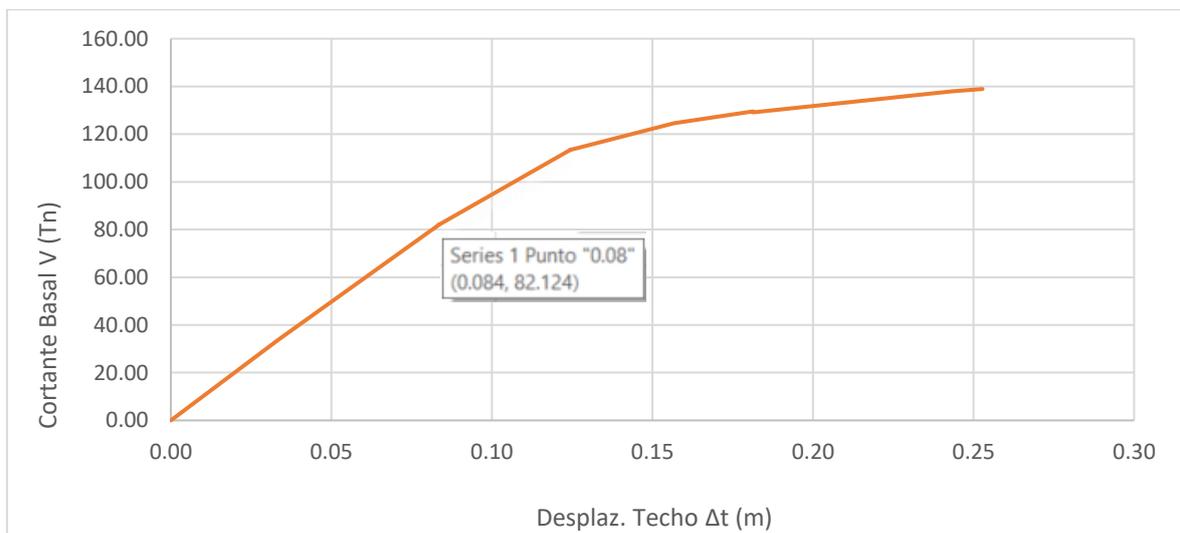
#### 3.1. Con Interacción suelo estructura.

##### 3.1.1. Curva de Capacidad para el Sismo en Dirección “X”

**Tabla 28**

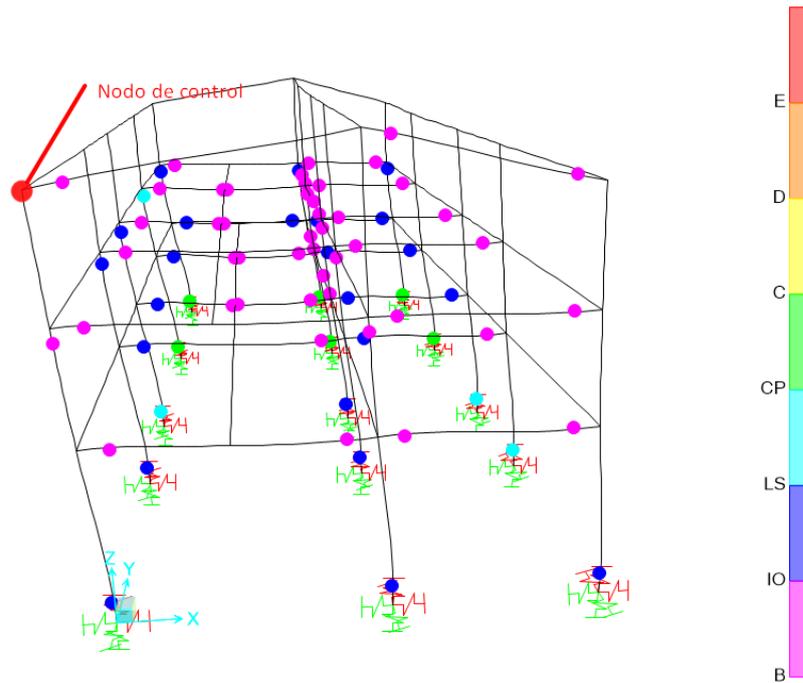
*Valores representativos de la curva capacidad (dirección x)*

Paso	Desplaz. Techo $\Delta t$ (m)	Cortante Basal V (Tn)
0	0.000	0.000
1	0.034	33.951
2	0.084	82.124
3	0.124	113.279
4	0.157	124.579
5	0.181	129.541
6	0.181	129.093
7	0.243	137.878
8	0.253	138.904



*Figura 74. Curva de capacidad (Sismo en "X")*

El programa SAP2000 relaciona el giro de las rótulas con los diferentes niveles de  
 desempeño dados por el ATC-40, asignándole a cada uno un color diferente que cambia a  
 medida que crece el giro de la rótula plástica.



*Figura 75.* Estructura deflectada de control y roturar plástica en el máximo modo (Sismo en "X")

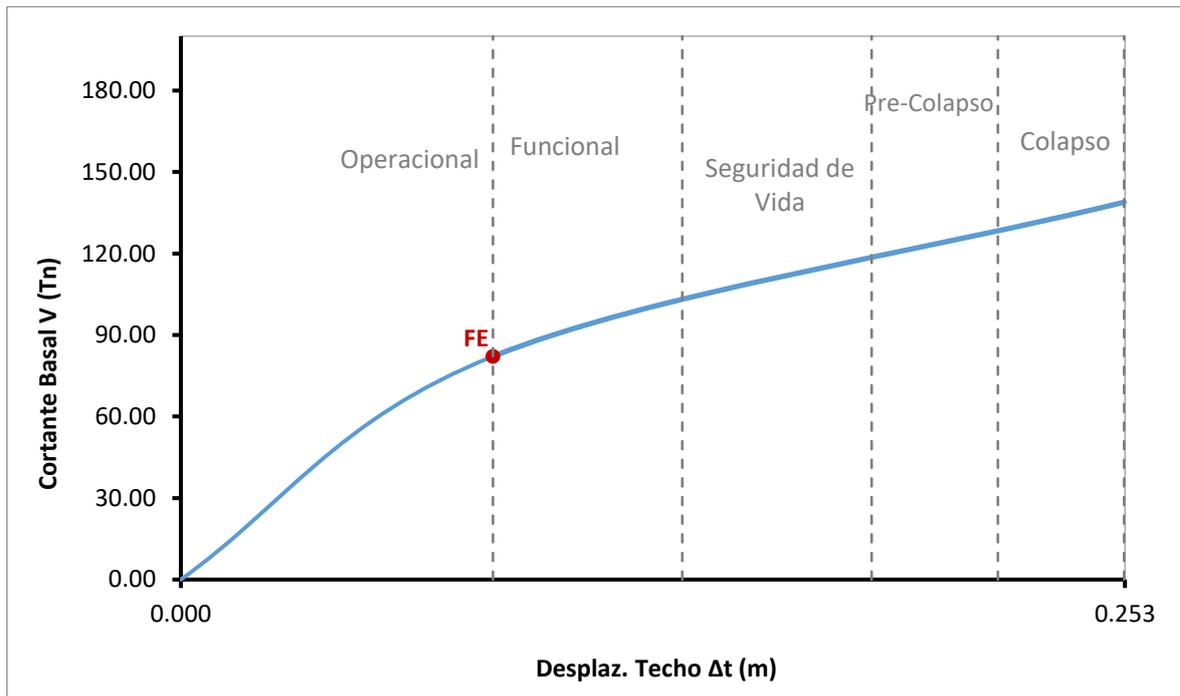


Figura 76. Sectorización de la curva de capacidad, (Sismo en "X").

Para determinar los niveles de desempeño propuestos por la SEAOC, es necesario sectorizar la curva de capacidad, e indicar el punto de fluencia efectiva que es el punto que separa el rango elástico del plástico.

**Tabla 29**

*Puntos relevantes de la curva de capacidad (Dirección "X")*

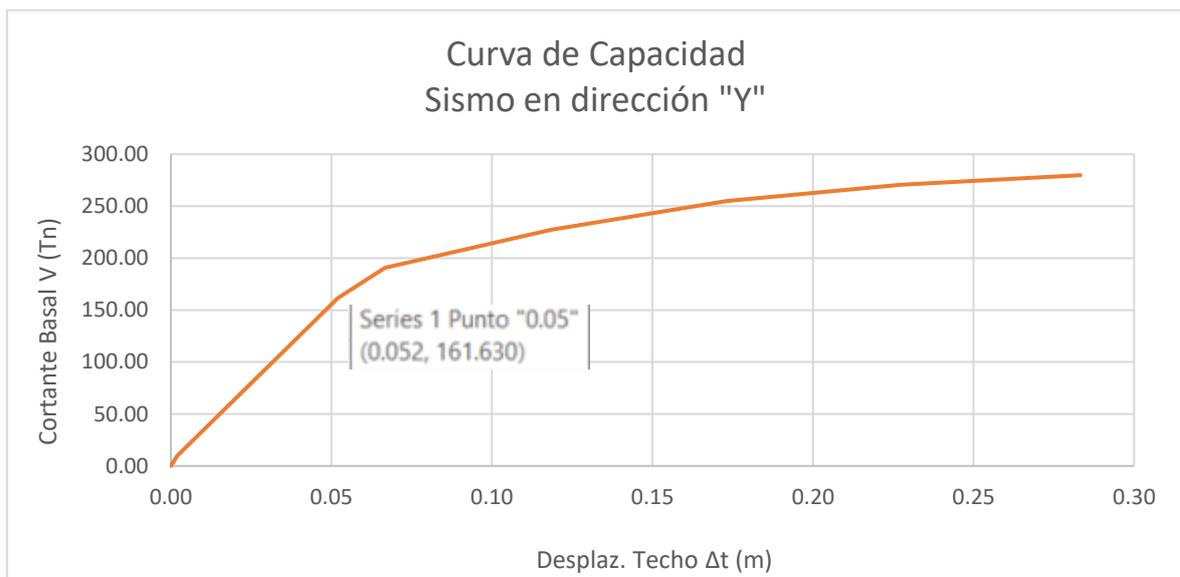
Descripción	Dirección "X"	
	$\Delta t$ (cm)	V (Tn)
Fluencia Efectiva	8.4	82.124
Colapso	25.3	138.904

### 3.1.2. Curva de Capacidad para el Sismo en Dirección “Y”

**Tabla 30**

*Valores representativos de la curva capacidad (dirección Y)*

Paso	Desplaz. Techo $\Delta t$ (m)	Cortante Basal V (Tn)
0	0.000	0.000
1	0.002	9.767
2	0.052	161.630
3	0.067	190.733
4	0.118	227.190
5	0.173	254.825
6	0.227	270.785
7	0.283	279.825



*Figura 77. Curva de capacidad (Sismo en "Y")*

El programa SAP2000 relaciona el giro de las rótulas con los diferentes niveles de desempeño dados por el ATC-40, asignándole a cada uno un color diferente que cambia a medida que crece el giro de la rótula plástica.

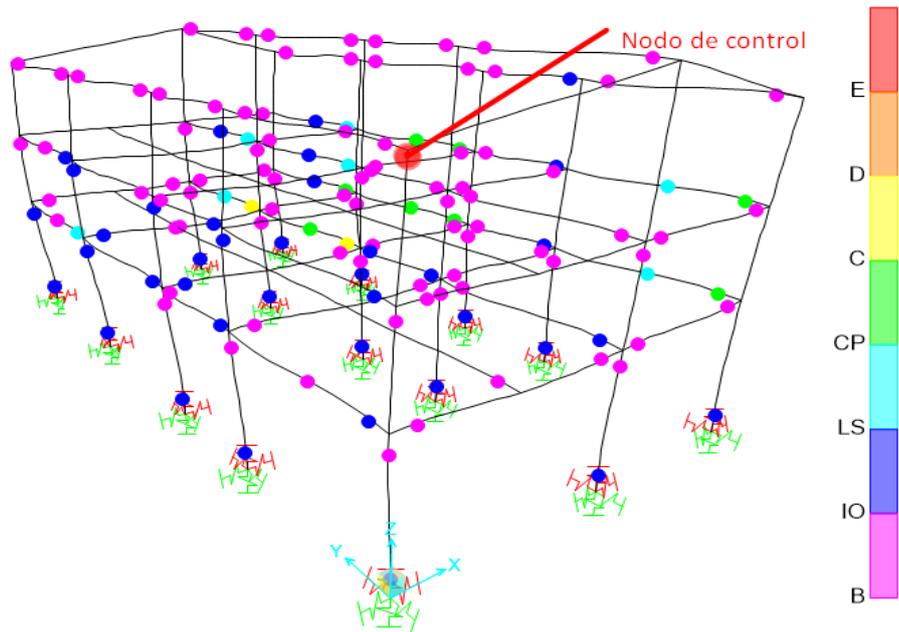


Figura 78. Estructura deflactada de control y roturar plástica en el máximo modo (Sismo en "Y")

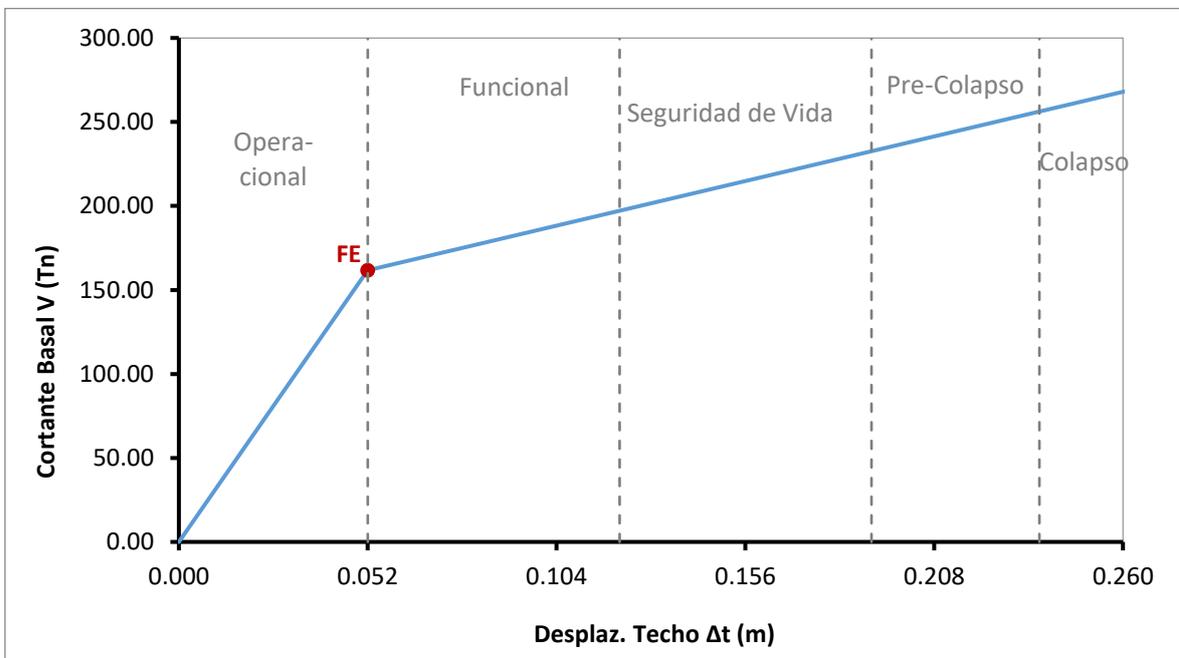


Figura 79. Sectorización de la curva de capacidad, (Sismo en "Y").

Para determinar los niveles de desempeño propuestos por la SEAOC, es necesario sectorizar la curva de capacidad, e indicar el punto de fluencia efectiva que es el punto que separa el rango elástico del plástico.

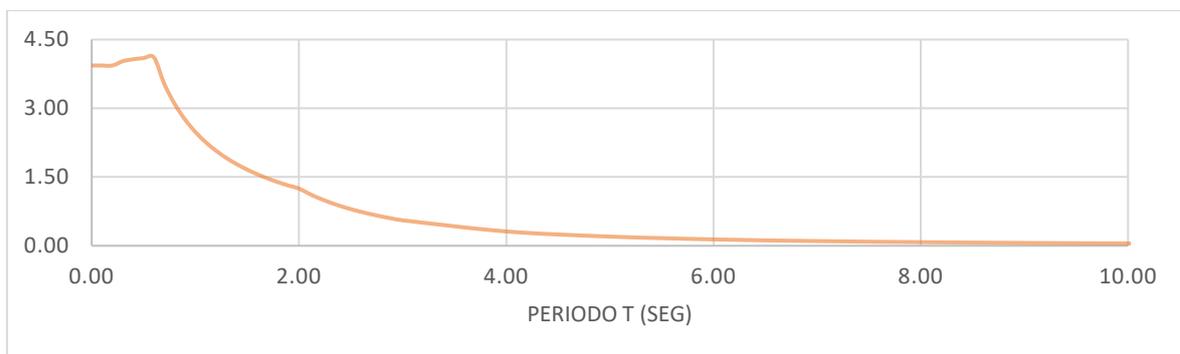
**Tabla 31**

*Puntos relevantes de la curva de capacidad (Dirección "X")*

Descripción	Dirección "X"	
	$\Delta t$ (cm)	V (Tn)
Fluencia Efectiva	5.2	161.630
Colapso	28.3	279.825

### 3.1.3. Espectro de respuesta

Para la aplicación del espectro de respuesta se trabajará con el espectro realizado para ISE



*Figura 80. Espectro de diseño ISE.*

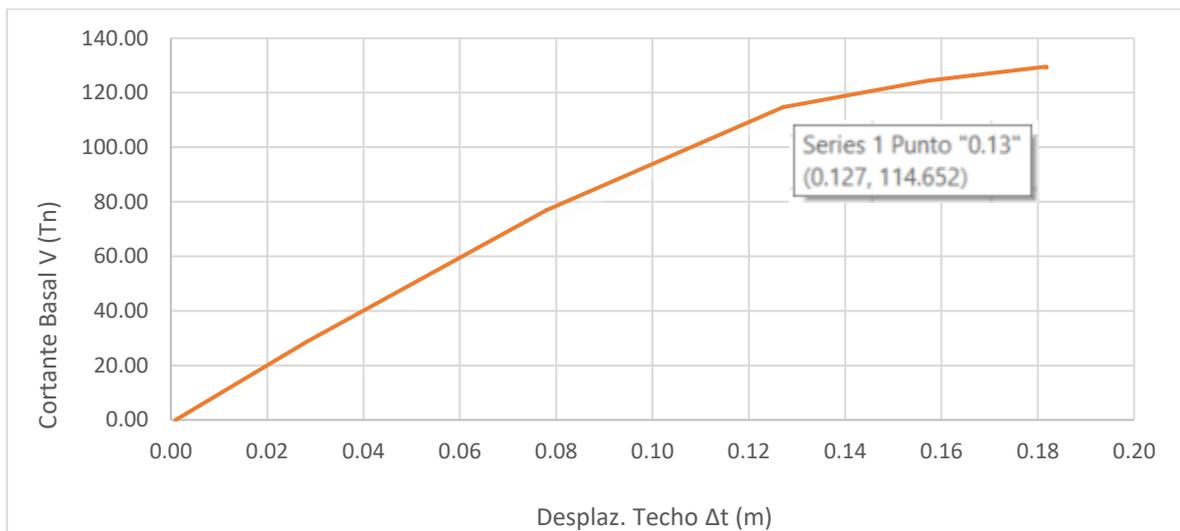
### 3.2. Sin Interacción suelo estructura

#### 3.2.1. Curva de Capacidad para el Sismo en Dirección “X”

**Tabla 32**

*Curva de capacidad en dirección “X”*

Paso	Desplaz. Techo $\Delta t$ (m)	Cortante Basal V (Tn)
0	0.001	0.000
1	0.028	28.444
2	0.078	76.973
3	0.127	114.652
4	0.157	124.425
5	0.182	129.571
6	0.182	129.226



*Figura 81: Curva de capacidad dirección “X”*

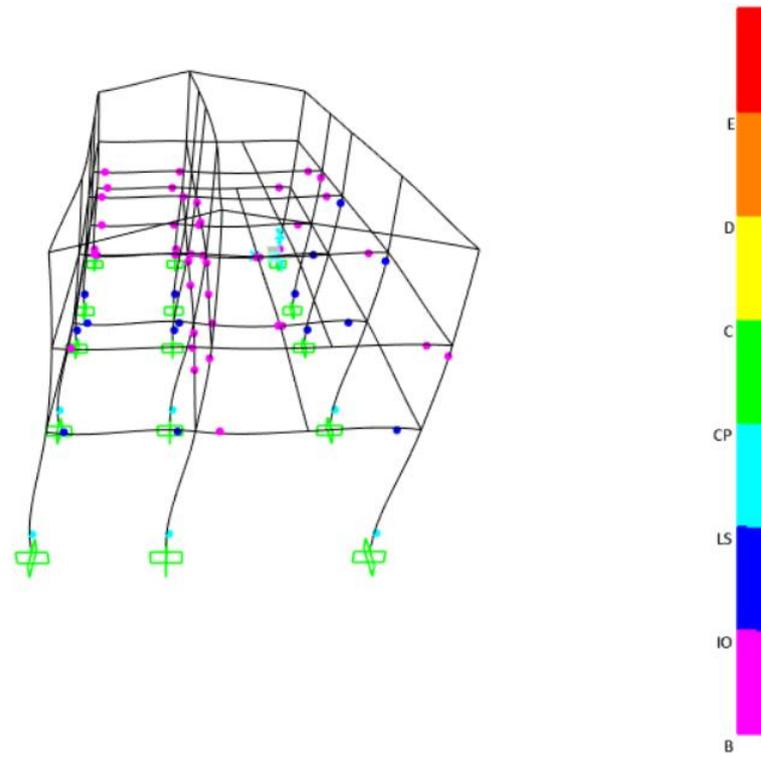


Figura 82: Estructura deflectada y rotula plástica sismo en “X”.

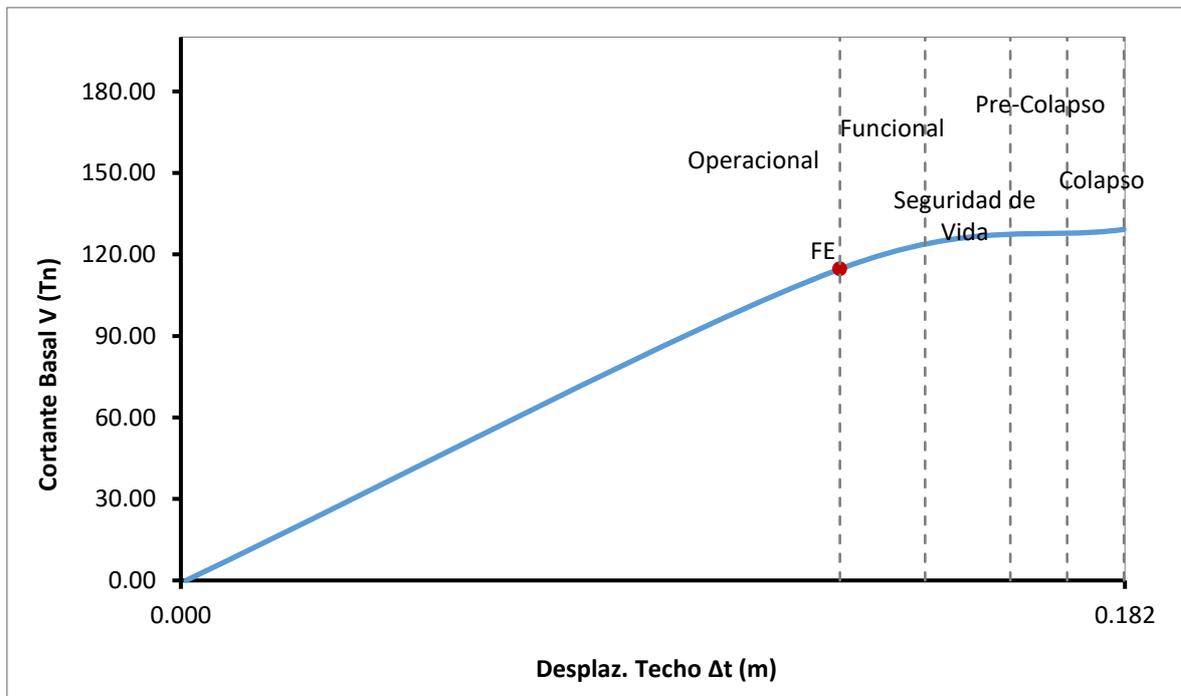


Figura 83: Sectorización de la curva de capacidad ( Sismo X)

**Tabla 33**

*Puntos relevantes de la curva de capacidad (Dirección “X”)*

Descripción	Dirección "X"	
	$\Delta t$ (cm)	V (Tn)
Fluencia Efectiva	12.71	114.652
Colapso	18.2	129.226

### 3.2.2. Curva de Capacidad para el Sismo en Dirección “Y”

**Tabla 34**

*Curva de capacidad en dirección “Y”*

Paso	Desplaz. Techo $\Delta t$ (m)	Cortante Basal V (Tn)
0	0.001	0.000
1	0.002	8.173
2	0.052	160.417
3	0.067	190.593
4	0.118	226.700
5	0.172	253.825
6	0.228	270.535
7	0.281	279.434

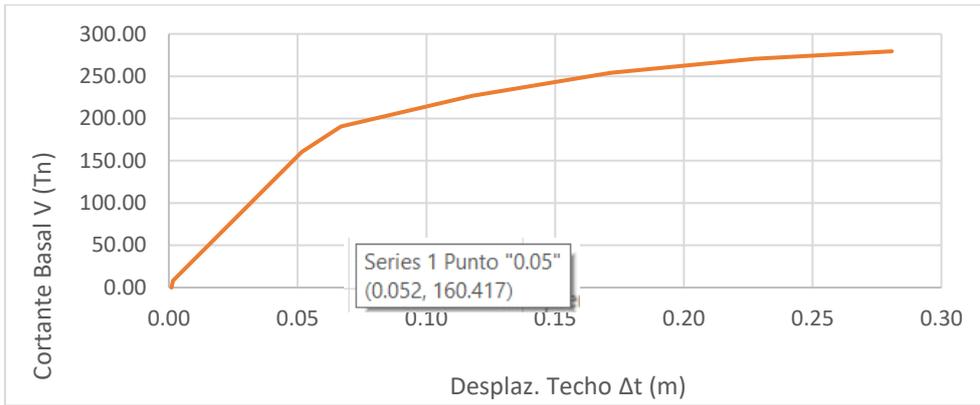


Figura 84: Curva de capacidad en dirección de “Y”

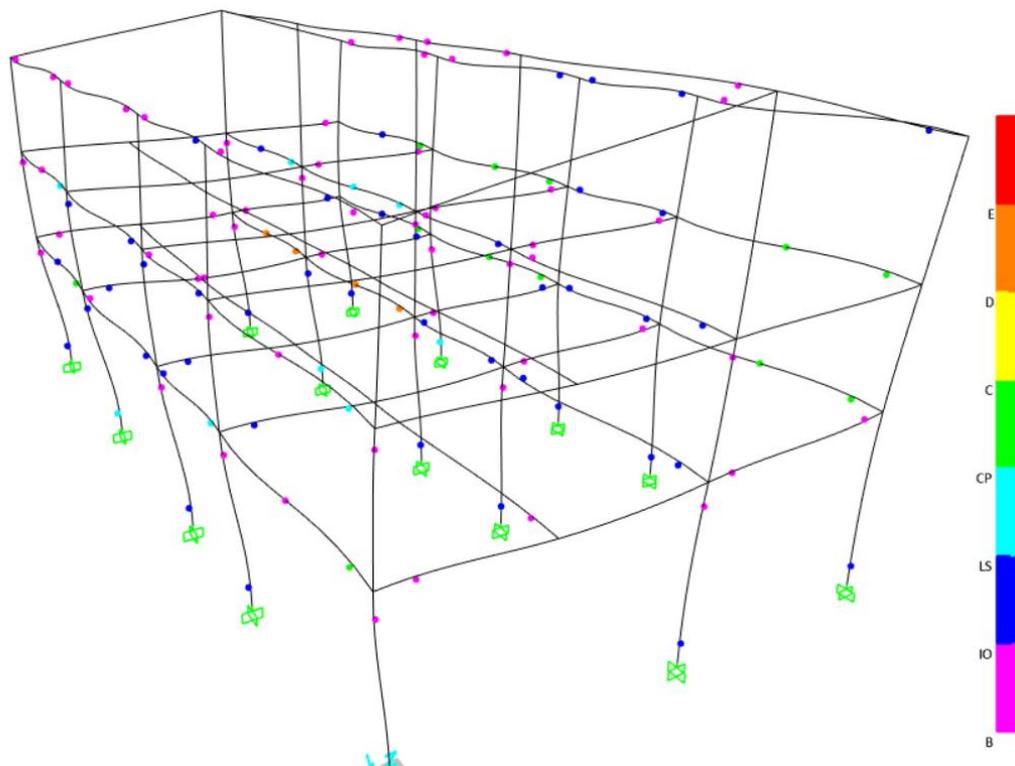


Figura 85: Estructura deflectada y rotulas plásticas ( Sismo en “Y”)

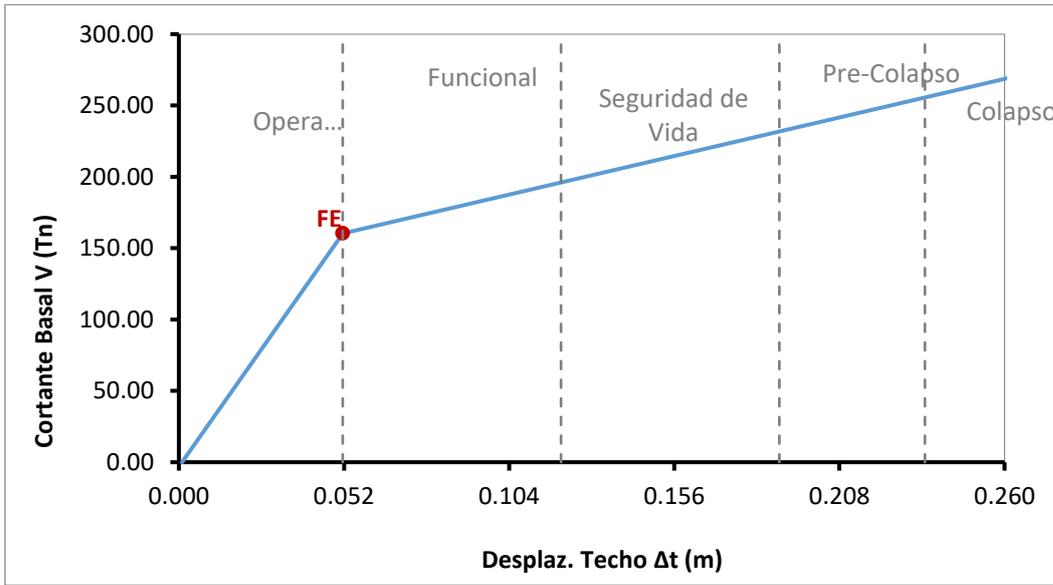


Figura 86: Sectorización de la curva de capacidad, ( Sismo en "Y")

**Tabla 35**

Puntos relevantes de la curva de capacidad (Dirección "Y")

Descripción	Dirección "Y"	
	Δt (cm)	V (Tn)
Fluencia Efectiva	5.2	160.417
Colapso	28.1	279.434

### 3.2.3. Espectro de respuesta

Para la aplicación del espectro de respuesta se trabajará con el espectro de la norma técnica peruana E030

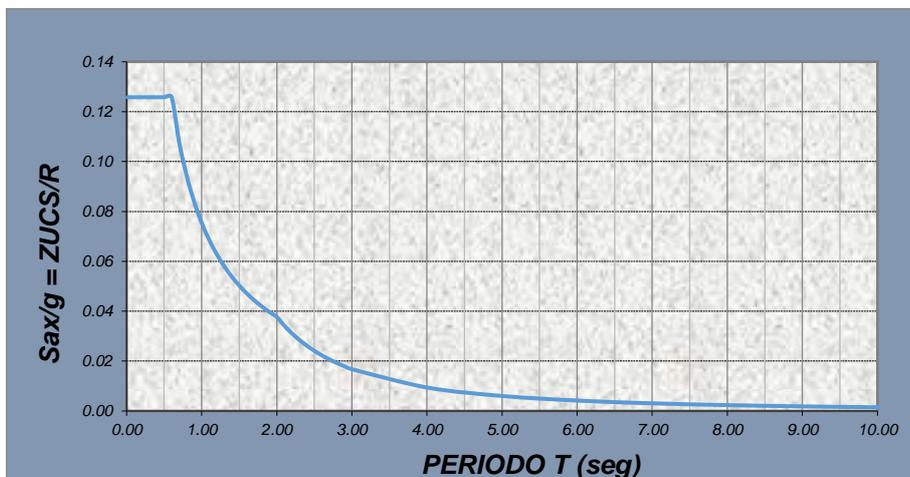


Figura 87: Espectro E 030

### 3.3. Determinación de curva de respuesta.

#### 3.3.1. Con Interacción suelo estructura

##### 3.3.1.1. Dirección X.

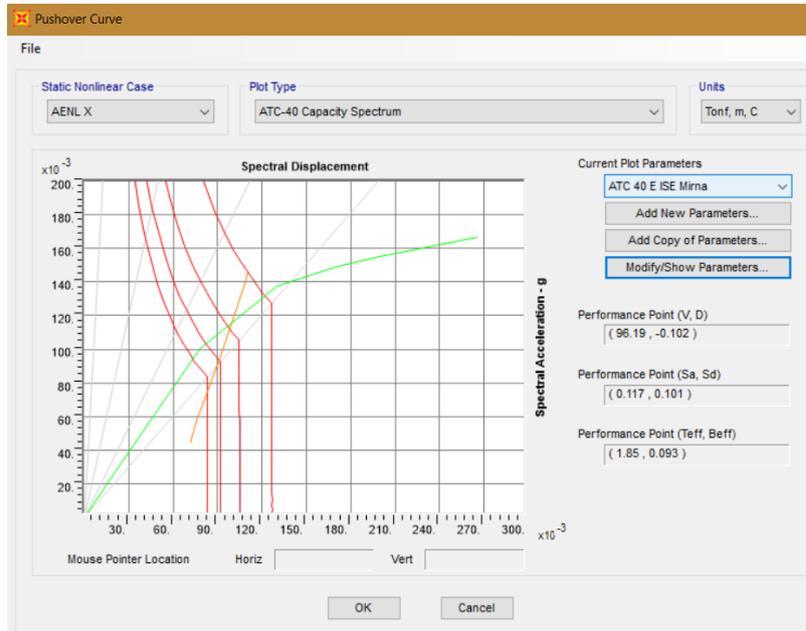


Figura 88. Curva de respuesta para el espectro ISE en X.

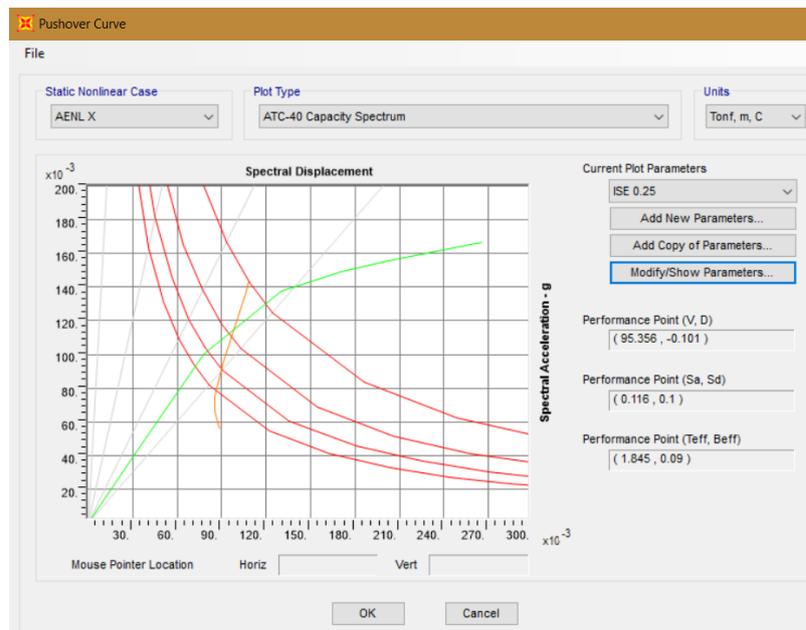


Figura 89. Curva de respuesta para el sismo ocasional en X

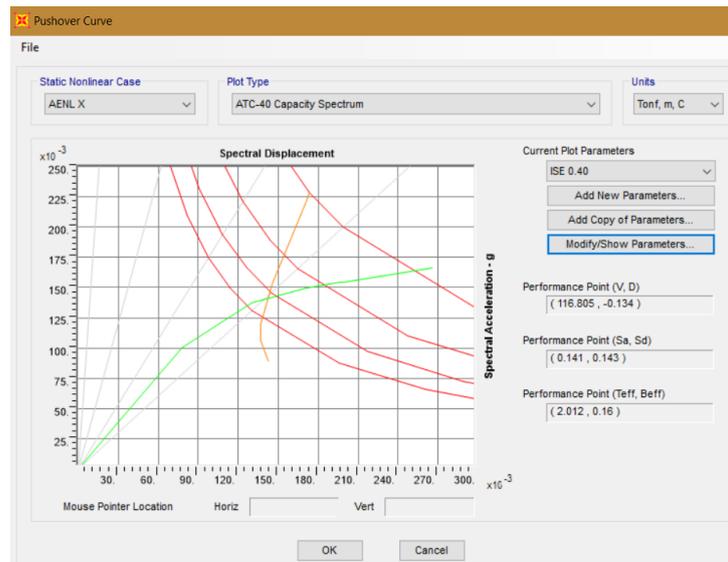


Figura 90. Curva de respuesta para el sismo raro en X.

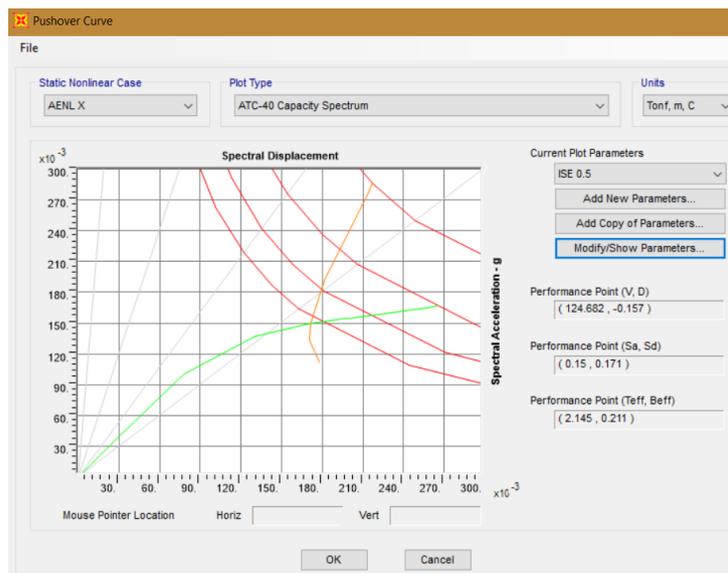


Figura 91. Curva de respuesta para el sismo muy raro en X.

**Tabla 36**

*Resumen de coordenadas  $\Delta$  vs  $V$*

Sismo	$\Delta t$ (m)	V (Tn)
ISE	0.102	96.190
Ocasional	0.101	95.356
Raro	0.134	116.805
Muy raro	0.157	124.682

### 3.3.1.2. Dirección Y.

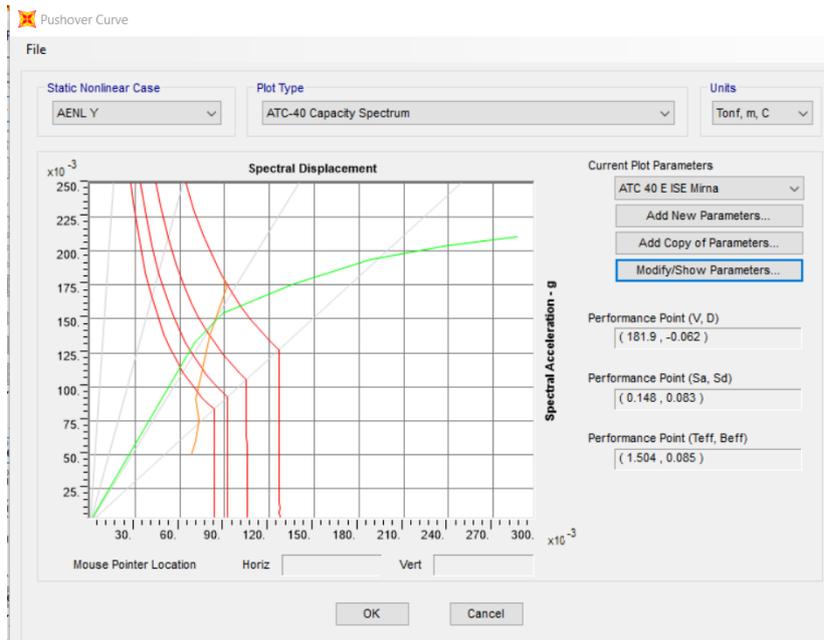


Figura 92. Curva de respuesta para el espectro ISE en Y

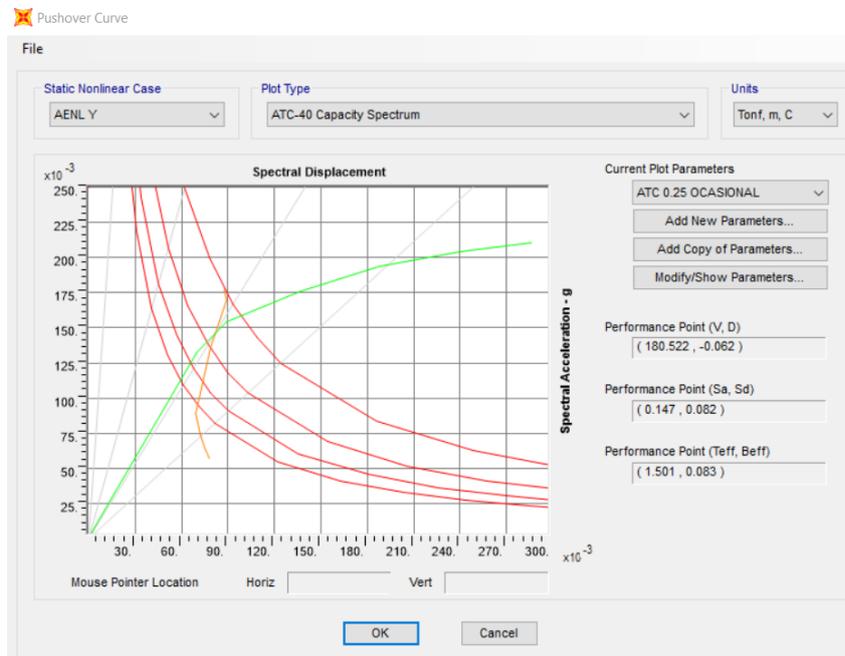


Figura 93. Curva de respuesta para el sismo ocasional en Y.

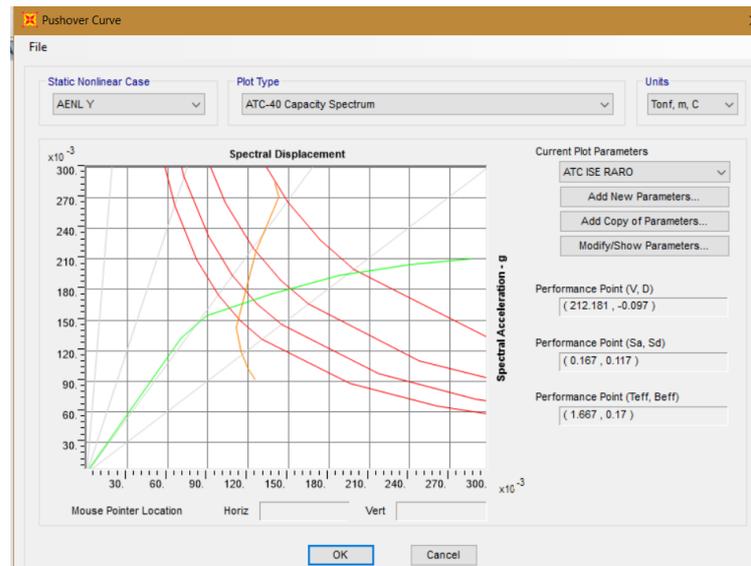


Figura 94. Curva de respuesta para el sismo raro en Y.

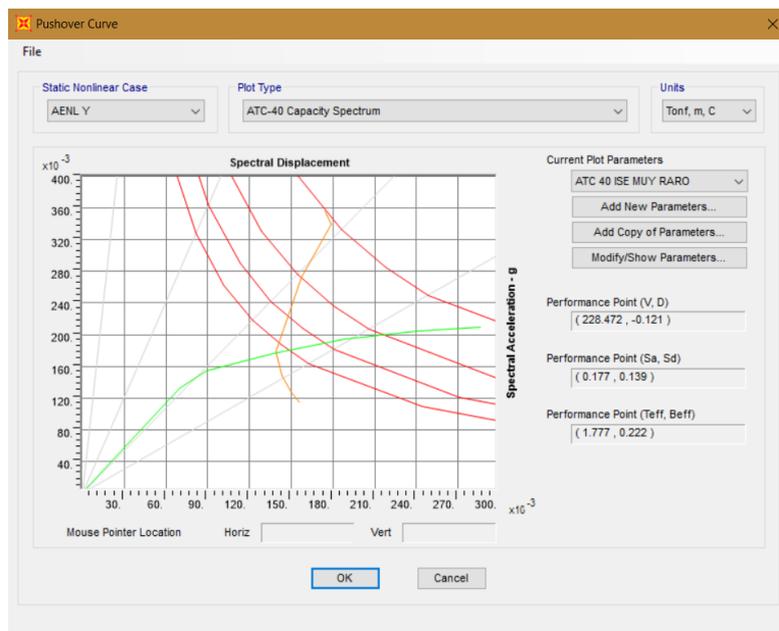


Figura 95. Curva de respuesta para el sismo muy raro en Y.

**Tabla 37**

*Resumen de coordenadas  $\Delta$  vs  $V$*

Sismo	Desplaz. Techo $\Delta t$ (m)	Cortante Basal $V$ (Tn)
ISE	0.062	181.900
Ocasional	0.062	180.522
Raro	0.097	212.181
Muy raro	0.121	228.472

### 3.3.2. Sin interacción suelo estructura.

#### 3.3.2.1. Dirección “X”

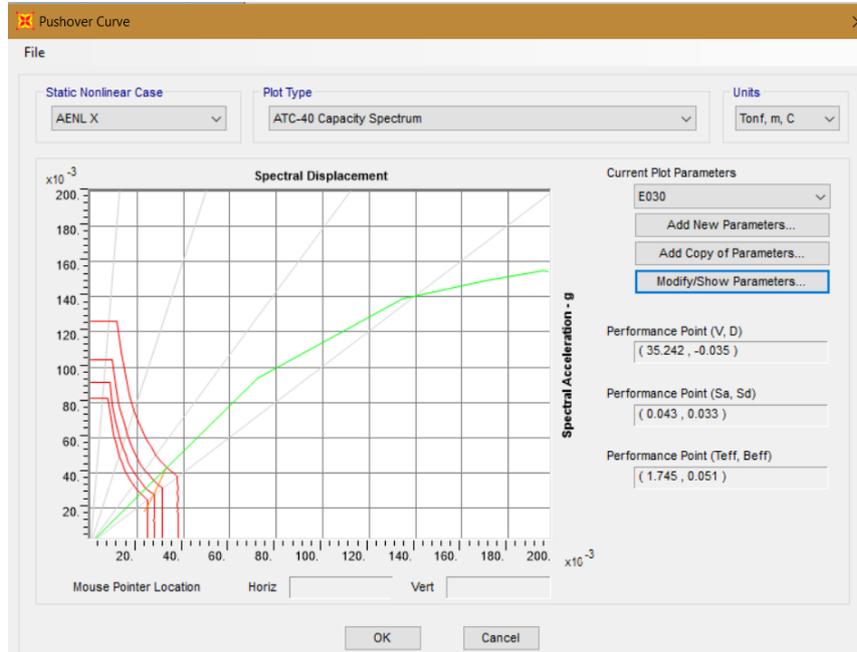


Figura 96: Curva de respuesta para el sismo frecuente en dirección “X”

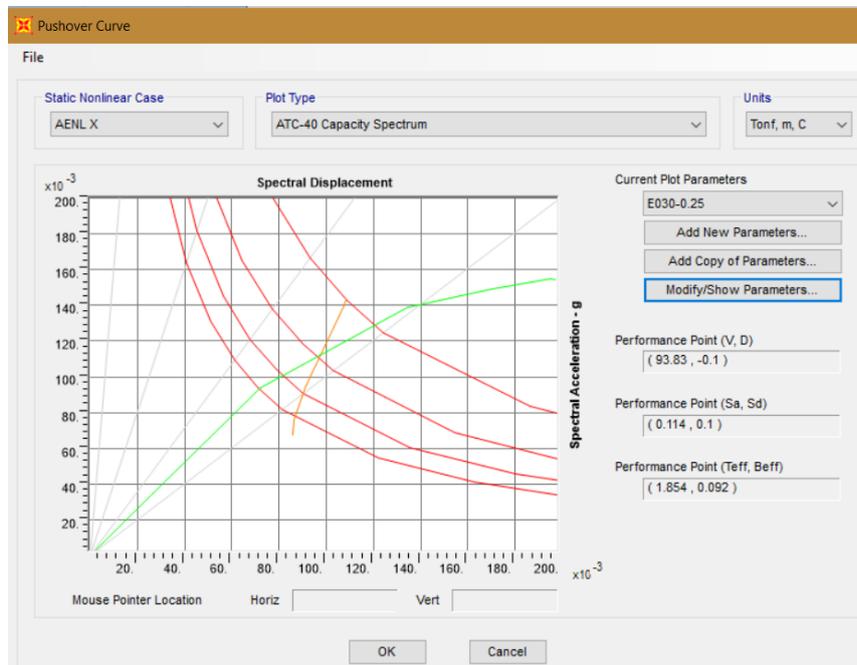


Figura 97: Curva de respuesta para el sismo ocasional en dirección “X”

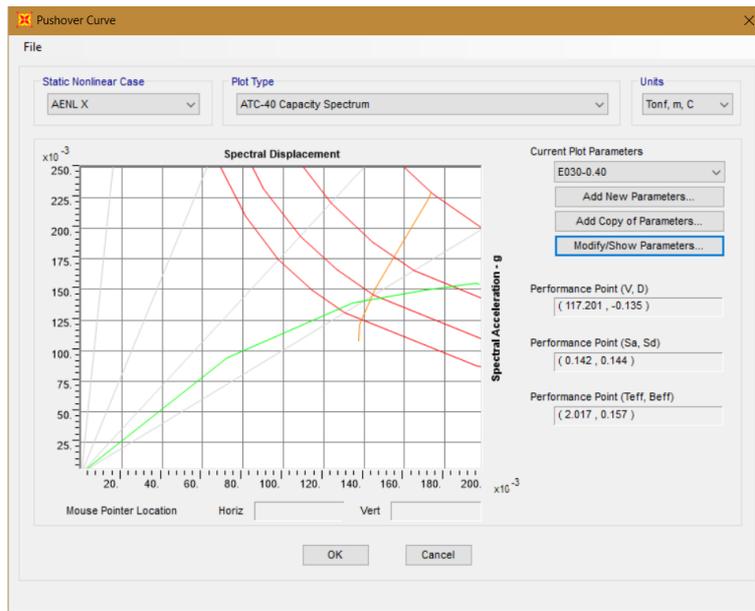


Figura 98: Curva de respuesta para el sismo raro en dirección “X”

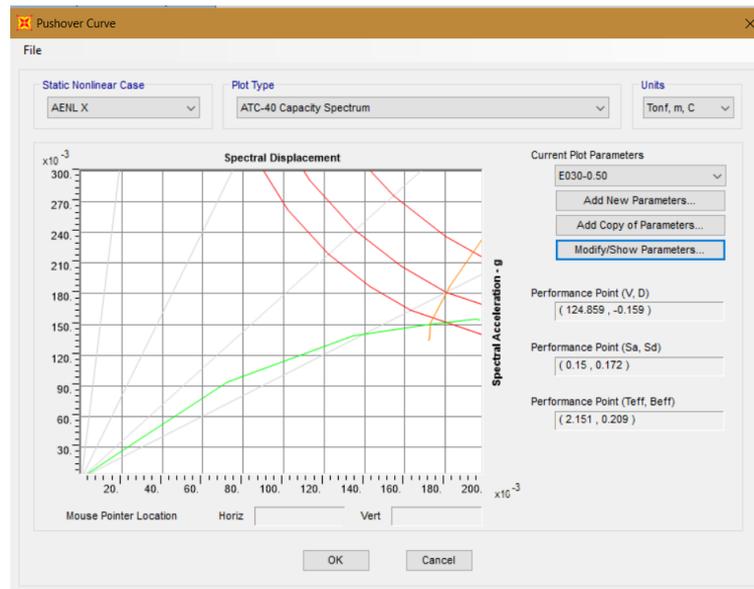


Figura 99: Curva de respuesta para el sismo muy raro en dirección “X”

**Tabla 38**

Resumen de coordenadas  $\Delta$  vs  $V$

Sismo	Desplaz. Techo $\Delta t$ (m)	Cortante Basal $V$ (Tn)
Frecuente	0.035	35.242
Ocasional	0.100	93.830
Raro (E030)	0.135	117.201
Muy raro	0.159	124.859

### 3.3.2.2. Dirección “Y”

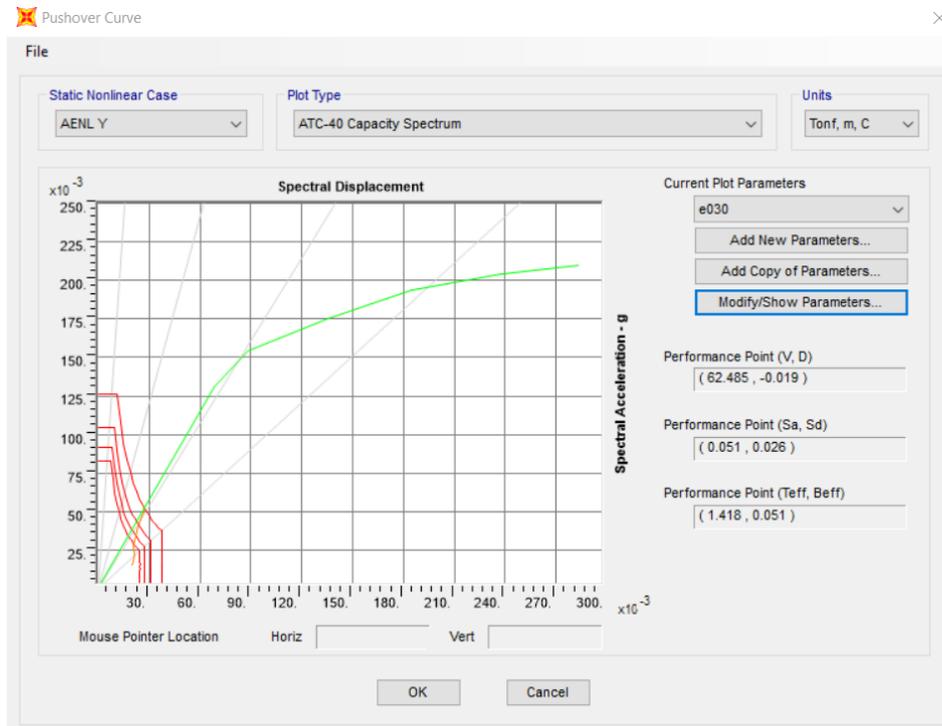


Figura 100: Curva de respuesta para el sismo frecuente en dirección “Y”

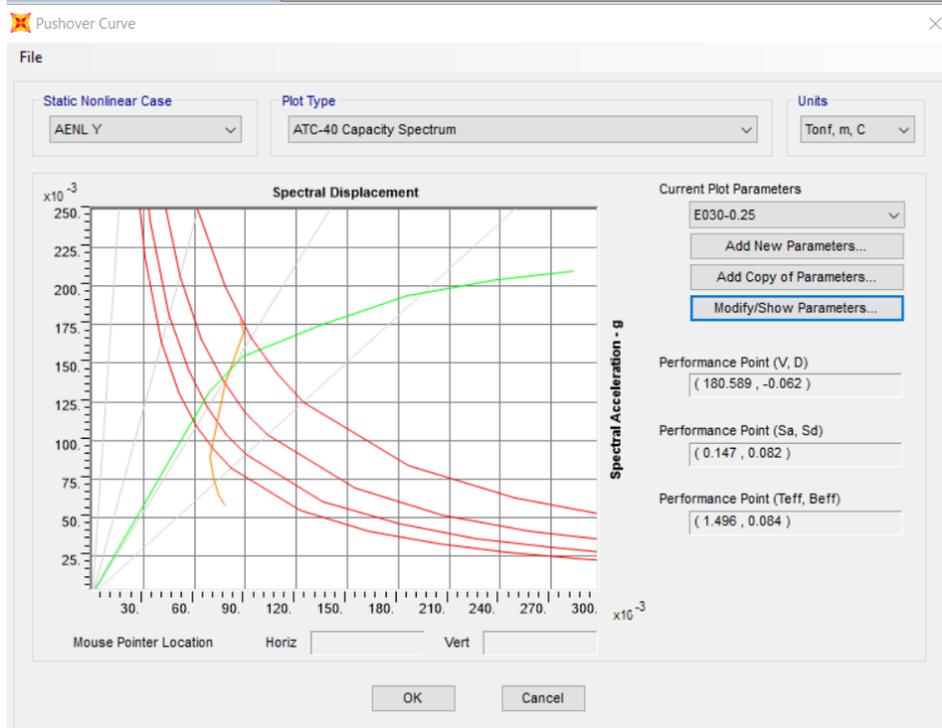


Figura 101: Curva de respuesta para el sismo ocasional en dirección “Y”

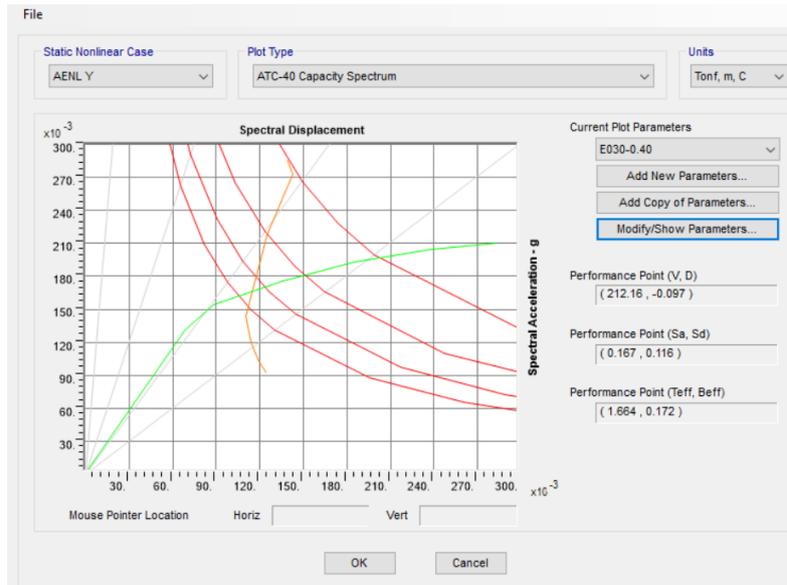


Figura 102: Curva de respuesta para el sismo raro en dirección “Y”

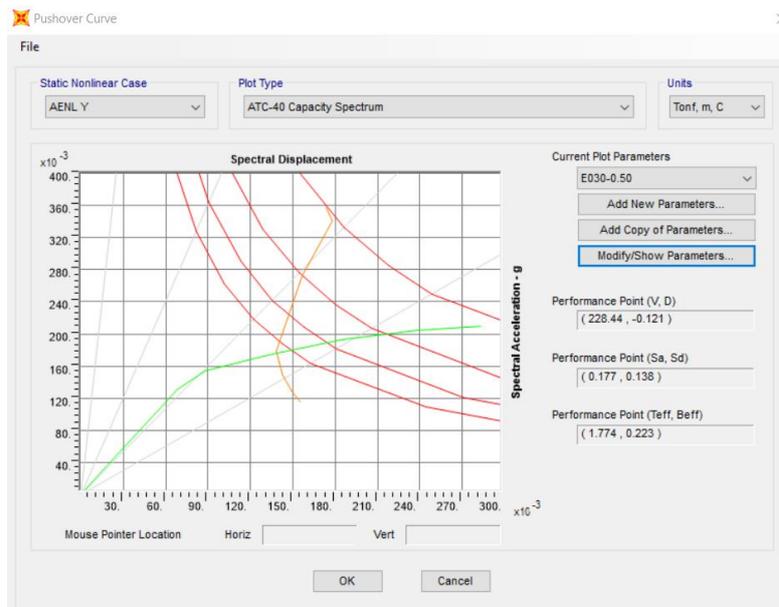


Figura 103: Curva de respuesta para el sismo muy raro en dirección “Y”

Tabla 39

Resumen de coordenadas  $\Delta$  vs  $V$

Sismo	Desplaz. Techo $\Delta$ (m)	Cortante Basal $V$ (Tn)
Frecuente	0.019	62.485
Ocasional	0.062	180.589
Raro E030	0.097	212.160
Muy raro	0.121	228.440

### 3.4. Determinación del desempeño sísmico.

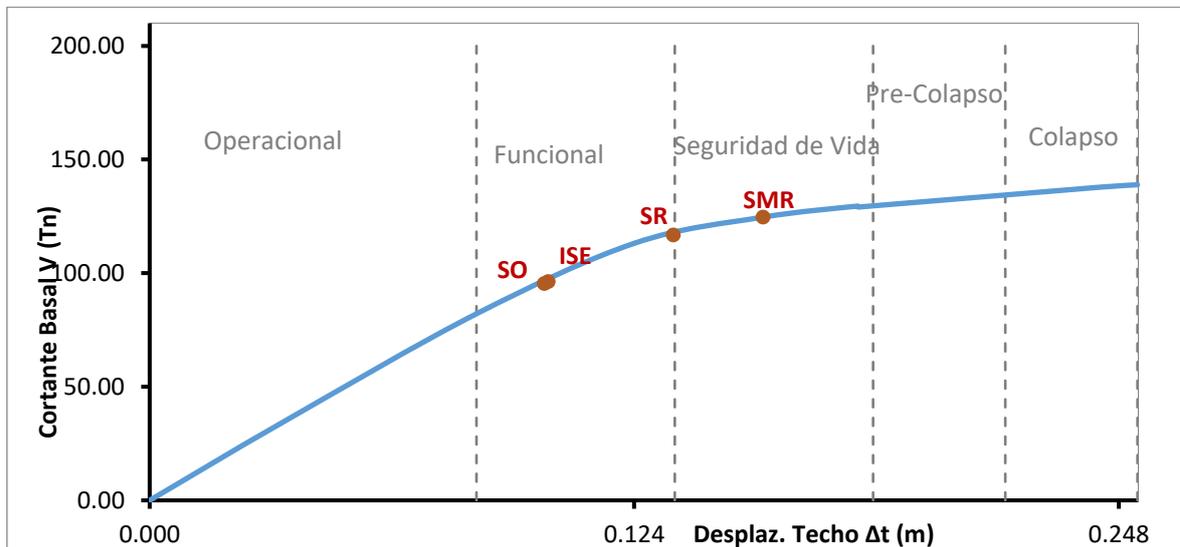
#### 3.4.1.1. Con interacción suelo estructura

##### 3.4.1.1.1. Nivel de desempeño para la dirección “X”.

**Tabla 40**

*Punto de desempeño para los movimientos sísmicos (Dirección "X").*

Sismo	Desplaz. Techo $\Delta t$ (m)	Cortante Basal V (Tn)
<b>ISE</b>	0.102	96.190
<b>Ocasional</b>	0.101	95.356
<b>Raro</b>	0.134	116.805
<b>Muy raro</b>	0.157	124.682



*Figura 104. Nivel de desempeño sísmico alcanzado por la estructura (Dirección "X").*

**Tabla 41**

*Niveles de desempeño alcanzados propuestos por el SEAOC (Dirección "X").*

Instalación Básicas		NIVEL DE DESEMPEÑO SÍSMICO			
		Operacional	Funcional	Seguridad de Vida	Pre - Colapso
Nivel del Movimiento Sísmico	ISE		X		
	Ocasional		X		
	Raro		X		
	Muy Raro			X	

### 3.4.1.1.2. Nivel de desempeño para la dirección “Y”.

**Tabla 42**

Punto de desempeño para los movimientos sísmicos (Dirección "Y").

Sismo	Desplaz. Techo $\Delta t$ (m)	Cortante Basal V (Tn)
ISE	0.062	181.900
Ocasional	0.062	180.522
Raro	0.097	212.181
Muy raro	0.121	228.472

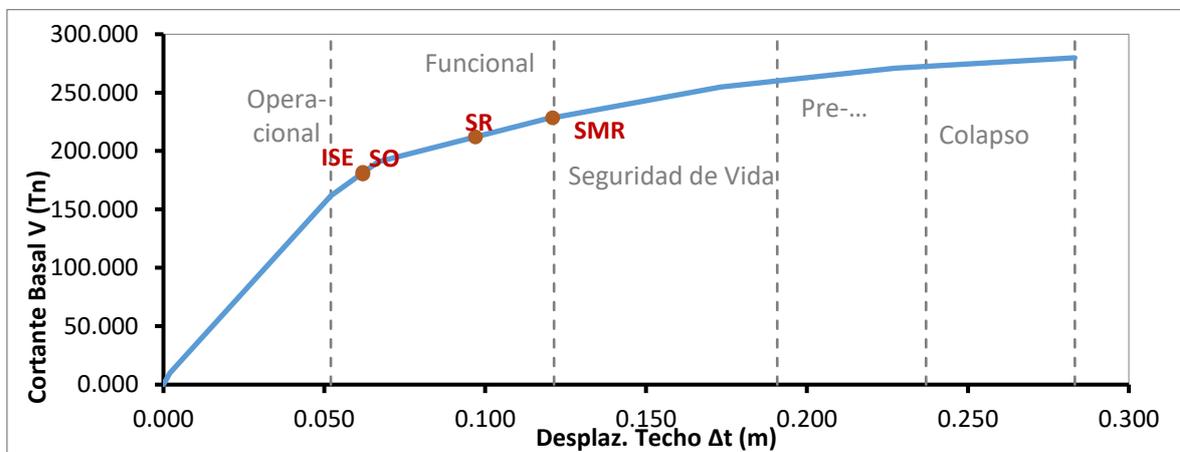


Figura 105. Nivel de desempeño sísmico alcanzado por la estructura (Dirección "Y").

**Tabla 43**

Niveles de desempeño alcanzados propuestos por el SEAOC (Dirección "Y").

Instalación Básicas		NIVEL DE DESEMPEÑO SÍSMICO			
		Operacional	Funcional	Seguridad de Vida	Pre - Colapso
Nivel del Movimiento Sísmico	ISE		X		
	Ocasional		X		
	Raro		X		
	Muy Raro			X	

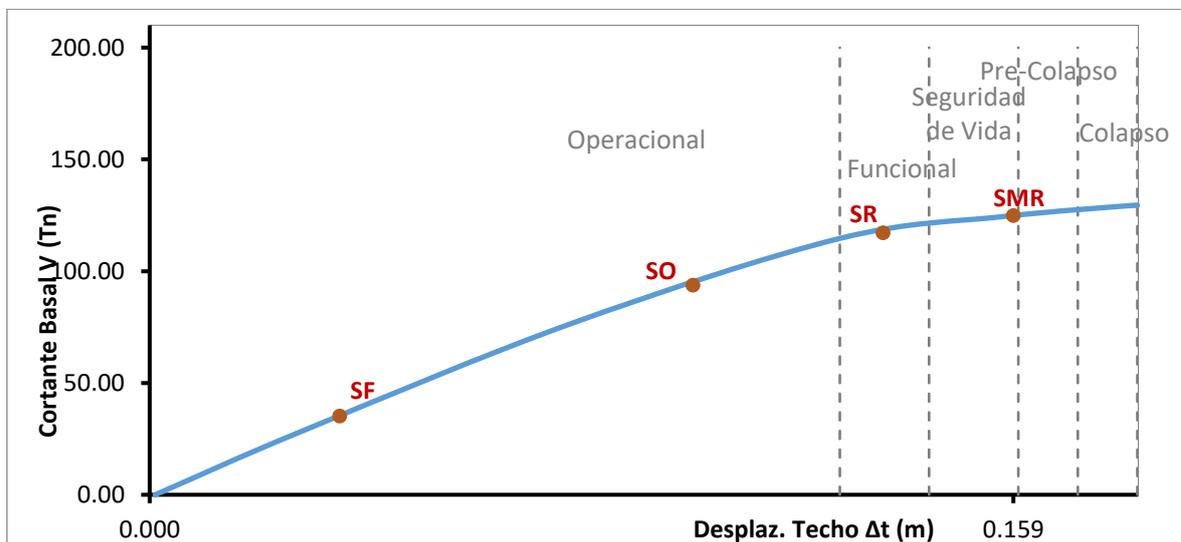
### 3.4.1.2. Sin interacción suelo estructura

#### 3.4.1.2.1. Nivel de desempeño para la dirección “X”

**Tabla 44**

*Punto de desempeño para los movimientos sísmicos (Dirección “X”)*

Sismo	Desplaz. Techo $\Delta t$ (m)	Cortante Basal V (Tn)
Frecuente	0.035	35.242
Ocasional	0.100	93.830
Raro E030	0.135	117.201
Muy raro	0.159	124.859



*Figura 106: Nivel de desempeño sísmico alcanzado por la estructura ( dirección “X”)*

**Tabla 45**

*Niveles de desempeño alcanzados - propuestos*

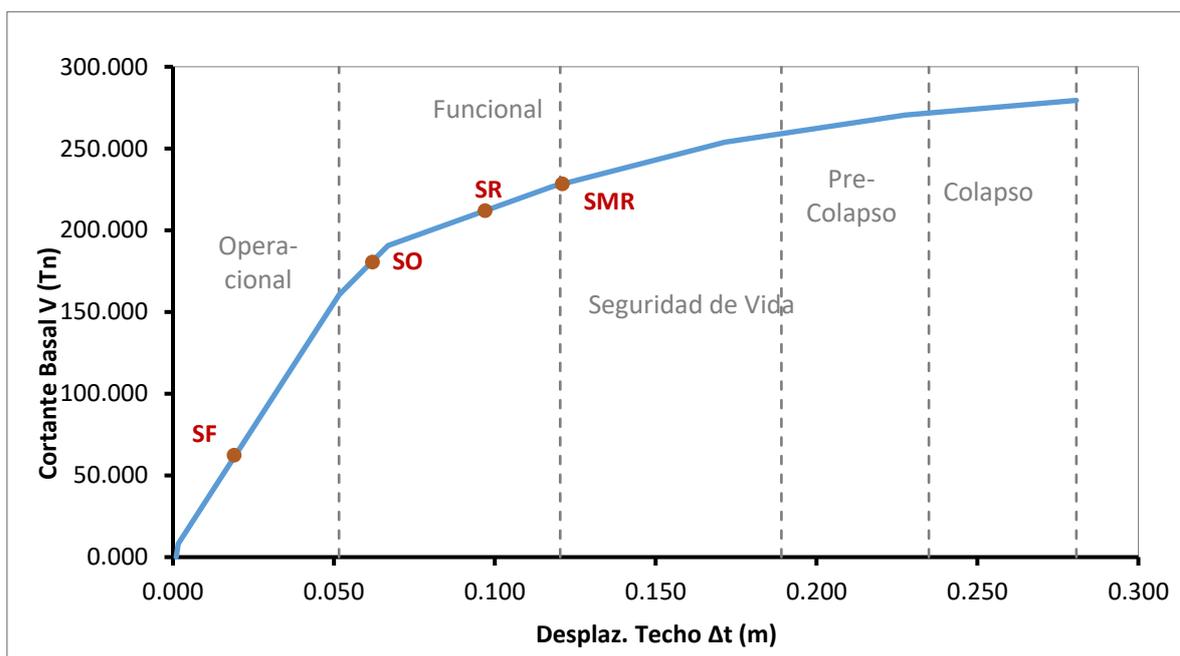
Instalación Básicas		NIVEL DE DESEMPEÑO SÍSMICO			
		Operacional	Funcional	Seguridad de Vida	Pre - Colapso
Nivel del Movimiento Sísmico	Frecuente	X			
	Ocasional	X	X		
	Raro E030		X	X	
	Muy Raro			X	X

### 3.4.1.2.2. Nivel de desempeño para la dirección “Y”

**Tabla 46**

*Punto de desempeño para los movimientos sísmicos (Dirección “Y”)*

Sismo	Desplaz. Techo $\Delta t$ (m)	Cortante Basal V (Tn)
Frecuente	0.019	62.485
Ocasional	0.062	180.589
Raro E030	0.097	212.160
Muy raro	0.121	228.440



*Figura 107: Nivel de desempeño sísmico alcanzado por la estructura ( dirección “Y”)*

**Tabla 47**

*Niveles de desempeño alcanzados - propuestos*

Instalación Básicas		NIVEL DE DESEMPEÑO SÍSMICO			
		Operacional	Funcional	Seguridad de Vida	Pre - Colapso
Nivel del Movimiento Sísmico	Frecuente	X			
	Ocasional		X		
	Raro E030		X	X	
	Muy Raro			X	X

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

**De las tablas 41, 43 y las figuras 104 y 105, podemos decir:**

- Nivel de desempeño sísmico alcanzado considerando interacción suelo estructura.

El desempeño alcanzado por el edificio considerando la interacción suelo – estructura, en dirección “X” e “Y” se encuentra en el rango funcional. Esto significa que la estructura empieza a incursionar en el rango inelástico y se espera que sufra daños menores principalmente en los elementos no estructurales y su contenido, quizá se requiera algunas reparaciones, sin embargo, la edificación deberá permanecer disponible para cumplir con sus funciones inmediatamente después del sismo

Para el Sismo Ocasional: El desempeño alcanzado, tanto en dirección “X” e “Y” se encuentran al inicio del rango funcional y se espera sufra daños moderados ante tal nivel de movimiento sísmico.

Para sismo raro: El desempeño que alcanza la estructura para este nivel de movimiento tanto en dirección “X” e “Y” sigue siendo Funcional, sin embargo, en la dirección “X” el nivel de desempeño se encuentra al final del rango, lo cual indica una incursión considerable en el rango inelástico, por lo que se espera que el daño alcance a los elementos estructurales; sin embargo, la seguridad de la edificación no se ve comprometida.

Sismo muy raro: El desempeño que alcanza la estructura tanto en dirección “X” e “Y” se encuentra en el rango Seguridad de Vida, lo que indica que habrá daños moderados en elementos estructurales y daños severos en los elementos no estructurales, así como también

una degradación de la rigidez lateral y de la capacidad resistente del sistema, además se espera una interrupción de servicios electrónicos, mecánicos, perturbación de las vías de escape; viendo también que en la dirección “Y” el daño es menor pues se encuentra al inicio del rango, mientras que en la dirección “X” se encuentra en la mitad del rango y por consiguiente el daño esperado es superior.

**De las tablas 45, 47 y las figuras 106 y 107, podemos decir:**

- Nivel de desempeño sísmico alcanzado sin considerar la interacción suelo estructura.

Para el sismo frecuente: El desempeño alcanzado por el edificio sin considerar la interacción suelo – estructura, en dirección “X” e “Y” se encuentra en el rango operacional, esto significa que la estructura permanece en su rango elástico, es decir no sufre una deformación permanente, mostrando fisuras imperceptibles en elementos no estructurales, los cuales no requieren de reparación alguna poniendo a la estructura en operatividad inmediata.

Para el Sismo Ocasional: El desempeño alcanzado por el edificio, en dirección “X” se encuentra en el rango operacional con pequeños agrietamientos imperceptibles y sin necesidad de reparaciones, mientras que en “Y” se encuentra al inicio del rango funcional y se espera sufra daños moderados ante tal nivel de movimiento sísmico.

Para Sismos Raros: El desempeño que alcanza la estructura para este nivel de movimiento sísmico en dirección “X” y “Y” se encuentra en el rango funcional y se espera que sufra daños moderados.

Para Sismos Muy Raro: El desempeño que alcanza la estructura en dirección “X” y “Y” se halla en el rango seguridad de vida, lo que indica que habrá daños moderados en elementos estructurales y daños severos en los elementos no estructurales y el contenido, degradación

de la rigidez lateral y de la capacidad resistente del sistema. Además, se prevé interrupción de servicios eléctricos, mecánicos, perturbación de las vías escape.

Las instalaciones quedan fuera de servicio y el edificio requerirá de reparaciones importantes antes de volver a estar disponible para su uso.

**- Nivel de desempeño sísmico esperado considerando la interacción suelo estructura**

**De las tablas 41 y 43 podemos decir que:**

Para la Dirección “X” e” Y”: El desempeño alcanzado por la edificación para el Nivel de Movimiento Sísmico Ocasional es el esperado por la SEAOC, mientras que para el resto de niveles no cumple con la SEAOC.

**De las tablas 36 ,37, 38 y 39 podemos decir que:**

Se muestran los puntos de desempeño estructural para los sismos indicados, estos están representados en dos tipos de coordenadas que son los de desplazamiento versus la cortante basal ( $\Delta$ , V).

**De las tablas 36 y 37, considerando interacción suelo estructura podemos decir que:**

**Para la dirección “X”:** En la tabla 36 podemos ver que para el espectro de Interacción suelo estructura tenemos un desplazamiento de 0.102m y una cortante basal de 96.109 tn, para un sismo ocasional tenemos un desplazamiento de 0.101 m y una cortante basal de 95.356 tn, para un sismo raro un desplazamiento de 0.134m y una cortante de 116.805 tn, para un sismo muy raro hay un desplazamiento de 0.157 m y una cortante basal de 124.682 tn.

**Para la dirección Y:** En la tabla 37 podemos ver que para el espectro de Interacción suelo estructura tenemos un desplazamiento de 0.062m y una cortante basal de 181.900 tn, para un sismo ocasional tenemos un desplazamiento de 0.062 m y una cortante basal de 180.522 tn, para un sismo raro un desplazamiento de 0.097m y una cortante de 212.181 tn, para un sismo muy raro hay un desplazamiento de 0.121 m y una cortante basal de 228.472 tn.

**De las tablas 38 y 39, sin considerar la interacción suelo estructura podemos decir que:**

**Para la dirección “X”:** En la tabla 38 podemos ver que, para el sismo frecuente, tenemos un desplazamiento de 0.035m y una cortante basal de 35.242 tn, para un sismo ocasional tenemos un desplazamiento de 0.100 m y una cortante basal de 93.830 tn, para un sismo raro un desplazamiento de 0.135m y una cortante de 117.201 tn, para un sismo muy raro hay un desplazamiento de 0.159 m y una cortante basal de 124.859 tn.

**Para la dirección Y:** En la tabla 39 podemos ver que para el sismo frecuente tenemos un desplazamiento de 0.019 m y una cortante basal de 62.485 tn, para un sismo ocasional tenemos un desplazamiento de 0.062 m y una cortante basal de 180.589 tn, para un sismo raro un desplazamiento de 0.097m y una cortante de 212.160 tn, para un sismo muy raro hay un desplazamiento de 0.121 m y una cortante basal de 228.440 tn.

Al comparar los resultados obtenidos en la presente investigación, con los antecedentes “Comparación de la respuesta estructural de los módulos B y C de la I. E. Julio Ramón Ribeyro considerando y sin considerar la Interacción suelo-estructura” de Aquino y Rodríguez (2015) y “Desempeño sísmico de un edificio aporticado de cinco pisos diseñado con las normas peruanas de edificaciones” de Allauca (2006): se puede observar que en el primer antecedente el efecto interacción suelo-estructura produce que los edificios presenten mejor respuesta estructural siempre y cuando los edificios cumplan con los requerimientos

mínimos dados en la Norma Sismoresistente E.0.30 y en el segundo llegan a la conclusión de que para un sismo frecuente queda en un estado funcional, para un sismo raro el daño es reducido y queda en estado funcional; mientras que en la presente investigación podemos ver que la estructura tiene mejor desempeño sísmico cuando no se considerando la interacción suelo estructura y en cuanto al nivel de desempeño sísmico podemos ver que para un sismo frecuente está en el rango operacional en ambas direcciones y para el sismo raro es funcional en ambas direcciones.

Así también, conforme a los antecedentes de esta investigación y a los resultados obtenidos se puede observar que podría ser factible, por un lado, que se corrija el diseño a partir de los resultados obtenidos teniendo en cuenta el efecto interacción suelo estructura.

Del mismo modo, considerando que las edificaciones en el Perú, se diseñan en base a la norma E030: se podría recomendar que es importante considerar el diseño por desempeño sísmico ya que nos permitirá tener una mejor respuesta de la estructura, así mismo considerar el efecto interacción suelo estructura ya que esto nos coadyuva a una mejor distribución de esfuerzos en todos los elementos estructurales de la edificación, mediante la disipación de ciertos porcentajes de energía inducida por un sismo; teniendo en cuenta el tipo de suelo.

Es necesario tomar en cuenta que en la ciudad de Cajamarca muchas de las construcciones se hacen de manera informal, no respetando las Normas Técnicas Peruanas y sabiendo que Cajamarca se encuentra en una zona sísmica, en ese sentido, al realizar el diseño por desempeño y el efecto interacción suelo estructura, nos ayudará a tener mejor respuesta de la estructura ante un sismo economizando a largo plazo.

## 4.2 Conclusiones

1. El desempeño sísmico del modelo de un edificio multifamiliar de tres niveles considerando la interacción suelo – estructura en la dirección “X” e “Y” es funcional, para el sismo ocasional en la dirección “X” e “Y” alcanza un nivel funcional, para el sismo raro en la dirección “X” e “Y” es funcional, para el sismo muy raro en la dirección “X” e “Y” alcanza un nivel de seguridad de vida, por lo que concluimos que la hipótesis planteada se cumple parcialmente.
2. El nivel de desempeño sísmico considerando la interacción suelo – estructura de un edificio multifamiliar de tres niveles, tanto en la dirección “X” e “Y” se encuentran al inicio del nivel funcional.
3. Se determinó la curva de capacidad para un edificio multifamiliar de tres niveles considerando la interacción suelo estructura; en la dirección transversal presenta un cortante basal máximo de  $V_{m\acute{a}x} = 279.825 Tn$ , un desplazamiento máximo en de  $\Delta_{m\acute{a}x} = 28.3cm$ , en la dirección longitudinal presenta un cortante basal máximo de  $V_{m\acute{a}x} = 138.904Tn$ , un desplazamiento máximo de  $\Delta_{m\acute{a}x} = 25.30cm$ , la capacidad en la dirección transversal es un poco superior a la de la otra dirección.
4. Se determinó la curva de capacidad para un edificio multifamiliar de tres niveles sin considerar la interacción suelo estructura; en la dirección transversal presenta un cortante basal máximo de  $V_{m\acute{a}x} = 279.434 Tn$ , un desplazamiento máximo en de  $\Delta_{m\acute{a}x} = 28.1cm$ , en la dirección longitudinal presenta un cortante basal máximo de  $V_{m\acute{a}x} = 129.226Tn$ , un desplazamiento máximo de  $\Delta_{m\acute{a}x} = 18.2cm$ , la capacidad en la dirección transversal es un poco superior a la de la otra dirección.
5. Se determinó la curva de respuesta de un edificio multifamiliar de tres niveles; para el nivel de movimiento sísmico ocasional en la dirección “X” es de (0.101 m;

95.356Tn) y en “Y” es de (0.062 m; 180.522Tn), para el nivel de sismo raro en la dirección “X” es de (0.134m; 116.805 Tn) y en la dirección “Y” es de (0.097m; 212.181 Tn), para el nivel de sismo muy raro en la dirección “X” es de (0.157 m; 124.682 Tn), y en la dirección “Y” es de (0.121m; 228.472Tn) y para Interacción suelo – estructura en la dirección “X” es de ( 0.102 m; 96.190 Tn) y en la dirección “Y” es de (0.062 m; 181.900 Tn).

6. Se determinó la curva de respuesta de un edificio multifamiliar de tres niveles; para el nivel de movimiento sísmico frecuente en la dirección “X” es de (0.035 m; 35.242Tn) y en “Y” es de (0.019 m; 62.485Tn), sísmico ocasional en la dirección “X” es de (0.100 m; 93.830Tn) y en “Y” es de (0.062 m; 180.589Tn), para el nivel de sismo raro (E030) en la dirección “X” es de (0.135m; 117.201 Tn) y en la dirección “Y” es de (0.097m; 212.160 Tn), para el nivel de sismo muy raro en la dirección “X” es de (0.159 m; 124.859 Tn), y en la dirección “Y” es de (0.121m; 228.440Tn).

## REFERENCIAS

1. Allcahuaman, J. (2015). Reparación de un muro de albañilería confinada mediante vidrio. Trujillo: Universidad Alas Peruanas.
2. Burgos, M. (2007). Estudio de la metodología “diseño por capacidad” en edificaciones apertadas de concreto armado para ser incorporada a la norma peruana E-060 como alternativa de diseño. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
3. FEMA 356. (2000). Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of. Estados Unidos.
4. Montalva Alvarado, G., Catalán Alarcón, P., & Benedetti Leonelli, F. (2016). ¿Qué Vs30 se debe usar como Índice para la Amplificación Sísmica? El caso de Edificios de varios Subterráneos. Santiago de Chile, Chile.
5. RNE E. 020. (2006). E. 020 Norma de Cargas. Lima: Reglamento Nacional de Edificaciones.
6. Santa, R. (2012). DISEÑO SÍSMICO POR DESEMPEÑO DE ESTRUCTURAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA. Lima: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - SECCION DE POSGRADO.
7. Muñoz, A., Tinman, M., & Quiun, D. (2015). Riesgo Sísmico de Edificios Peruanos. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado el 30 de Noviembre de 2017
8. Aguiar, R. (2002). Verificación del desempeño en el diseño sismo resistente. Rev.Int. De desastres naturales, accidentes e infraestructura civil, 41.
9. APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL (ATC). (1996). Seismic evaluation and retrofit of concrete. California: United States of America.
10. Bazán, E., & Mell, R. (2002). Diseño Sísmico de Edificios. México: Limusa.
11. Bertero, V. (1992). Lecciones aprendidas de terremotos catastróficos recientes y otras investigaciones. Madrid: ECCET.
12. Chunque. (2013). Nivel de Desempeño Sísmico del Edificio ‘A’ de la Universidad Privada del Norte – Sede Cajamarca. Cajamarca, Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte.
13. FEMA 440. (2005). Effects of Strength and Stiffness Degradation on Seismic Response, Applied Technology Council. Estados Unidos.
14. Leoni, A. J. (2015). Parametrización de suelos. Argentina: Universidad Nacional de la Plata.

15. Moreno. (2006). Estudio de la Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de los Edificios de la Ciudad de Barcelona. Barceloma, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
16. Mosqueira, M. (2012). RIESGO SISMICO EN LAS EDIFICACIONES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA. TRUJILLO, TRUJILLO.
17. Muñoz, A., San Bartolomé, Á., & Rodriguez, C. (2002). Demandas de resistencia para edificios de albañilería en el Perú. Lima: Pontifica Universidad Catolica del Perú Fondo Editorial.
18. Ochoa, A. (2012). Aplicación de los sistemas de información geografica para la determinación de escenarios de riesgo en el balneario de Pucusana. Lima: Instituto Geofisico del Perú.
19. Safina Melone, S. (2002). Vulnerabilidad sismica de edificaciones esenciales, análisis de su contribución al riesgo sísmico. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
20. Santa, R. (2012). DISEÑO SÍSMICO POR DESEMPEÑO DE ESTRUCTURAS DE ALBAÑILERIA CONFINADA. Lima: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - SECCION DE POSGRADO.
21. Saucedo Ruiz, L. A. (2016). EFECTOS DE INTERACCIÓN SUELO ESTRUCTURA EN SUELOS MUY RIGIDO, INTERMEDIO Y BLANDO EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO CLINICA LOS FRESNOS, CAJAMARCA. CAJAMARCA: UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE.
22. SEAOC. (1995). Moving Toward Performance-based Engineering. California : Structural Engineers Association.
23. Viera. (2004). Diseño Sísmico Basado en Desempeño de Edificios de Hormigón Armado. Tungurahua, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
24. Villagarra, M., Pineda, M., Ramírez, A., Ramírez , C., Arango, J., Rodriguez, R., & Valencia, J. (2015). ESTUDIO PARAMETRICO DE LOS EFECTOS DE LA INTERACCIÓN SÍSMICA SUELO ESTRUCTURA. Medellín: Civiles Universidad Nacional de Colombia.
25. Zeevaert, L. (1980). Interacción Suelo - Estructura de Cimentación. Mexico: LIMUSA.

## ANEXOS

### ANEXO N° 1: METRADO DE CARGAS

#### - PRIMER NIVEL

##### Viga

Eje A-A Tramo 1 2  
Longitud 5.85  
1° Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	5.35	0.15	2.56	1800	1	3697.92
Losa + P.T.	5.85	1.65	--	400	1	3861
<b>Total(Tn)</b>						<b>7.55892</b>
<b>Carga/m</b>						<b>1.3</b>

##### Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	5.85	1.525	--	200	1	1784.25
<b>Total(Tn)</b>						<b>1.78425</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.31</b>

##### Viga

Eje A-A Tramo 2 3  
Longitud 3.66  
1° Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	3.16	0.15	2.56	1800	1	2184.192
Albañilería	1.54	0.15	2.56	1800	1	1064.448
Losa + P.T.	3.66	1.65	--	400	1	2415.6
<b>Total(Tn)</b>						<b>5.66424</b>
<b>Carga/m</b>						<b>1.55</b>

##### Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	3.16	1.65	--	200	1	1042.8
<b>Total(Tn)</b>						<b>1.0428</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.28</b>

### Viga

Eje A-A Tramo 3 4  
Longitud 6  
Carga Muerta  
1° Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	6	0.15	2.56	1800	1	4147.2
<b>Total(Tn)</b>						<b>4.1472</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.69</b>

### Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	6	0.25	--	200	1	300
<b>Total(Tn)</b>						<b>0.3</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.05</b>

### Viga

Eje A A Tramo 4 5  
Longitud 6.00  
1° Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	1.54	0.15	2.56	1800	1	1064.448
Albañilería	5.88	0.15	2.56	1800	1	4064.256
Losa+P.T.	6	1.56	--	400	1	3744
<b>Total(Tn)</b>						<b>7.808256</b>
<b>Carga/m</b>						<b>1.3</b>

### Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	5.48	1.56	--	200	1	1709.76
<b>Total(Tn)</b>						<b>1.70976</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.28</b>

### Viga

Eje B B Tramo 1 2  
Longitud 5.85  
Carga Muerta  
1° Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Losa+P.T.	5.85	3.3	--	400	1	7722
<b>Total(Tn)</b>						<b>7.722</b>
<b>Carga/m</b>						<b>1.32</b>

Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	5.35	3.3	--	200	1	3531
<b>Total(Tn)</b>						<b>3.531</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.6</b>

**Viga**

Eje B B Tramo 2 3

Longitud 3.66

1° Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Puerta	2	0.05	2.4	900	1	216
Albañilería	3.02	0.15	2.56	1800	1	2087.424
Losa+P.T.	3.16	3.3	--	400	1	4171.2
<b>Total(Tn)</b>						<b>6.474624</b>
<b>Carga/m</b>						<b>1.77</b>

Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	3.41	3.3	--	200	1	2250.6
<b>Total(Tn)</b>						<b>2.2506</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.61</b>

**Viga**

Eje B B Tramo 3 4

Longitud 6

Carga Muerta

1° Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	5.66	0.15	2.56	1800	1	3912.192
Albañilería	3.9	0.15	0.6	1800	1	631.8
Ventana	3.9	0.15	1.8	2500	1	2632.5
Losa+P.T.	6	3.3	--	400	1	7920
<b>Total(Tn)</b>						<b>15.096492</b>
<b>Carga/m</b>						<b>2.52</b>

Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	5.5	2.68	--	200	1	2948
<b>Total(Tn)</b>						<b>2.948</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.49</b>

### Viga

Eje B-B Tramo 4 5  
Longitud 5.98  
1° Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	5.48	0.15	2.56	1400	1	2946.048
Losa+P.T.	5.98	0.15	3.3	400	1	1184.04
<b>Total(Tn)</b>						<b>4.130088</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.69</b>

### Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	5.48	3.3	--	200	1	3616.8
<b>Total(Tn)</b>						<b>3.6168</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.6</b>

### Viga

Eje C C Tramo 1 2  
Longitud 5.85  
1° Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	5.53	0.15	2.56	1800	1	3822.336
Ventana	1.35	0.006	1.8	2500	1	36.45
Puerta	2	0.05	2.4	900	1	216
Albañilería	1.35	0.15	0.6	1800	1	218.7
Losa+P.T.	5.85	4.23	--	400	1	9898.2
<b>Total(Tn)</b>						<b>14.191686</b>
<b>Carga/m</b>						<b>2.43</b>

### Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	5.73	4.23	--	200	1	4847.58
<b>Total(Tn)</b>						<b>4.84758</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.88</b>

### Viga

Eje CC Tramo 2-3  
Longitud 3.66  
1° Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	3.15	0.15	0.6	1800	1	510.3
Ventana	3.15	0.006	1.8	2500	1	85.05
Losa+P.T.	3.66	3.12	--	400	1	4567.68
<b>Total(Tn)</b>						<b>5.16303</b>

<b>Carga/m</b>	<b>1.41</b>
----------------	-------------

Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	3.41	3.12	--	200	1	2127.84
<b>Total(Tn)</b>						<b>2.12784</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.58</b>

**Viga**

Eje CC Tramo 3-4

Longitud 6

1° Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	13.01	0.15	2.56	1800	1	8992.512
Puerta	0.8	0.11	2.1	900	1	166.32
Puerta	0.9	0.11	2.1	900	1	187.11
Puerta	0.9	0.11	2.1	900	1	187.11
Losa+P.T.	6	4.05	5.1	400	1	49572
<b>Total(Tn)</b>						<b>59.105052</b>
<b>Carga/m</b>						<b>9.85</b>

Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	5.75	4.05	--	200	1	4657.5
<b>Total(Tn)</b>						<b>4.6575</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.78</b>

**Viga**

Eje CC Tramo 4-5

Longitud 5.98

1° Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	11.87	0.15	2.56	1800	1	8204.544
Puerta	0.8	0.11	2.1	900	1	166.32
Puerta	0.8	0.11	2.1	900	1	166.32
Losa+P.T.	5.98	4.05	5.1	400	1	49406.76
<b>Total(Tn)</b>						<b>57.943944</b>
<b>Carga/m</b>						<b>9.69</b>

Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	5.75	4.05	--	200	1	4657.5
<b>Total(Tn)</b>						<b>4.6575</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.39</b>

**Viga**

Eje DD Tramo 1-2  
Longitud 5.98  
1° Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	5.35	0.15	2.56	1800	1	3697.92
Albañilería	2.25	0.15	0.8	1800	1	486
Ventans	2.25	0.006	1.6	2500	1	54
Losa+P.T.	5.98	2.71	-	400	1	6482.32
<b>Total(Tn)</b>						<b>10.72024</b>
<b>Carga/m</b>						<b>1.79</b>

Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	5.73	2.45	--	200	1	2807.7
<b>Total(Tn)</b>						<b>2.8077</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.52</b>

**Viga**

Eje DD Tramo 2-3  
Longitud 3.66  
1° Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	3.63	0.15	2.56	1800	1	2509.056
Albañilería	2	0.15	0.6	1800	1	324
Ventans	2	0.006	1.8	2500	1	54
Albañilería	2.75	0.15	1.1	1800	1	816.75
Ventans	2.75	0.006	1.3	2500	1	53.625
<b>Total(Tn)</b>						<b>3.757431</b>
<b>Carga/m</b>						<b>1.03</b>

Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	3.41	0.25	--	200	1	170.5
<b>Total(Tn)</b>						<b>0.1705</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.05</b>

**Viga**

Eje DD Tramo 3-4  
Longitud 6  
1° Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	7.7	0.15	2.56	1800	1	5322.24
Losa+P.T.	6	2.38	-	400	1	5712
<b>Total(Tn)</b>						<b>11.03424</b>
<b>Carga/m</b>						<b>1.84</b>

Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	5.75	2.38	--	200	1	2737
<b>Total(Tn)</b>						<b>2.737</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.36</b>

**Viga**

Eje DD Tramo 4-5  
Longitud 5.98  
1° Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	5.49	0.15	2.56	1800	1	3794.688
Losa+P.T.	5.98	2.16	-	400	1	5166.72
<b>Total(Tn)</b>						<b>8.961408</b>
<b>Carga/m</b>						<b>1.5</b>

Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	5.86	2.16	--	200	1	2531.52
<b>Total(Tn)</b>						<b>2.53152</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.46</b>

- SEGUNDO NIVEL

### Viga

Eje A-A Tramo 1 2  
Longitud 5.85  
2do Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	5.35	0.15	2.56	1800	1	3697.92
Losa + P.T.	5.85	1.65	--	400	1	3861
<b>Total(Tn)</b>						<b>7.55892</b>
<b>Carga/m</b>						<b>1.3</b>

### Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	5.85	1.525	--	200	1	1784.25
<b>Total(Tn)</b>						<b>1.78425</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.31</b>

### Viga

Eje A-A Tramo 2 3  
Longitud 3.66  
2do Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	3.16	0.15	2.56	1800	1	2184.192
Albañilería	1.54	0.15	2.56	1800	1	1064.448
Losa + P.T.	3.66	1.65	--	400	1	2415.6
<b>Total(Tn)</b>						<b>5.66424</b>
<b>Carga/m</b>						<b>1.55</b>

### Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	3.16	1.65	--	200	1	1042.8
<b>Total(Tn)</b>						<b>1.0428</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.28</b>

### Viga

Eje A-A Tramo 3 4  
Longitud 6

Carga  
Muerta  
2do Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	6	0.15	2.56	1800	1	4147.2
<b>Total(Tn)</b>						<b>4.1472</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.69</b>

Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	6	0.25	--	200	1	300
<b>Total(Tn)</b>						<b>0.3</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.05</b>

**Viga**

Eje A A Tramo 4 5  
Longitud 6.00  
2do Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	1.54	0.15	2.56	1800	1	1064.448
Albañilería	5.88	0.15	2.56	1800	1	4064.256
Losa+P.T.	6	1.56	--	400	1	3744
<b>Total(Tn)</b>						<b>7.808256</b>
<b>Carga/m</b>						<b>1.3</b>

**Carga Viva**

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	5.48	1.56	--	200	1	1709.76
<b>Total(Tn)</b>						<b>1.70976</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.28</b>

**Viga**

Eje B B Tramo 1 2  
Longitud 5.85

Carga  
Muerta  
2do Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial	
Losa+P.T.	5.85	3.3	--	400	1	7722	
						Total(Tn)	7.722
						<b>Carga/m</b>	<b>1.32</b>

Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial	
Sobrecarga	5.35	3.3	--	200	1	3531	
						Total(Tn)	3.531
						<b>Carga/m</b>	<b>0.6</b>

**Viga**

Eje B B Tramo 2 3  
Longitud 3.66  
2do Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial	
Puerta	2	0.05	2.4	900	1	216	
Albañilería	3.02	0.15	2.56	1800	1	2087.424	
Losa+P.T.	3.16	3.3	--	400	1	4171.2	
						<b>Total(Tn)</b>	<b>6.474624</b>
						<b>Carga/m</b>	<b>1.77</b>

Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial	
Sobrecarga	3.41	3.3	--	200	1	2250.6	
						<b>Total(Tn)</b>	<b>2.2506</b>
						<b>Carga/m</b>	<b>0.61</b>

**Viga**

Eje B B Tramo 3 4  
Longitud 6

Carga  
Muerta  
2do Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	5.66	0.15	2.56	1800	1	3912.192
Albañilería	3.9	0.15	0.6	1800	1	631.8
Ventana	3.9	0.15	1.8	2500	1	2632.5
Losa+P.T.	6	3.3	--	400	1	7920
<b>Total(Tn)</b>						<b>15.096492</b>
<b>Carga/m</b>						<b>2.52</b>

Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	5.5	2.68	--	200	1	2948
<b>Total(Tn)</b>						<b>2.948</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.49</b>

**Viga**

Eje B-B Tramo 4 5  
Longitud 5.98  
2do Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	5.48	0.15	2.56	1400	1	2946.048
Losa+P.T.	5.98	0.15	3.3	400	1	1184.04
<b>Total(Tn)</b>						<b>4.130088</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.69</b>

Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	5.48	3.3	--	200	1	3616.8
<b>Total(Tn)</b>						<b>3.6168</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.6</b>

**Viga**

Eje C C Tramo 1 2  
Longitud 5.85  
2do Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	5.53	0.15	2.56	1800	1	3822.336
Ventana	1.35	0.006	1.8	2500	1	36.45
Puerta	2	0.05	2.4	900	1	216
Albañilería	1.35	0.15	0.6	1800	1	218.7
Losa+P.T.	5.85	4.23	--	400	1	9898.2
<b>Total(Tn)</b>						<b>14.191686</b>
<b>Carga/m</b>						<b>2.43</b>

Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	5.73	4.23	--	200	1	4847.58
<b>Total(Tn)</b>						<b>4.84758</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.88</b>

**Viga**

Eje CC Tramo 2-3

Longitud 3.66

2do Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	3.15	0.15	0.6	1800	1	510.3
Ventana	3.15	0.006	1.8	2500	1	85.05
Losa+P.T.	3.66	3.12	--	400	1	4567.68
<b>Total(Tn)</b>						<b>5.16303</b>
<b>Carga/m</b>						<b>1.41</b>

Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	3.41	3.12	--	200	1	2127.84
<b>Total(Tn)</b>						<b>2.12784</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.58</b>

**Viga**

Eje CC Tramo 3-4

Longitud 6

2do Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	13.01	0.15	2.56	1800	1	8992.512
Puerta	0.8	0.11	2.1	900	1	166.32
Puerta	0.9	0.11	2.1	900	1	187.11
Puerta	0.9	0.11	2.1	900	1	187.11
Losa+P.T.	6	4.05	5.1	400	1	49572
<b>Total(Tn)</b>						<b>59.105052</b>
<b>Carga/m</b>						<b>9.85</b>

#### Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	5.75	4.05	--	200	1	4657.5
<b>Total(Tn)</b>						<b>4.6575</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.78</b>

#### Viga

Eje CC Tramo 4-5  
Longitud 5.98  
2do Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	11.87	0.15	2.56	1800	1	8204.544
Puerta	0.8	0.11	2.1	900	1	166.32
Puerta	0.8	0.11	2.1	900	1	166.32
Losa+P.T.	5.98	4.05	5.1	400	1	49406.76
<b>Total(Tn)</b>						<b>57.943944</b>
<b>Carga/m</b>						<b>9.69</b>

#### Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	5.75	4.05	--	200	1	4657.5
<b>Total(Tn)</b>						<b>4.6575</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.39</b>

#### Viga

Eje DD Tramo 1-2  
Longitud 5.98  
2do Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	5.35	0.15	2.56	1800	1	3697.92
Albañilería	2.25	0.15	0.8	1800	1	486
Ventans	2.25	0.006	1.6	2500	1	54
Losa+P.T.	5.98	2.71	-	400	1	6482.32
<b>Total(Tn)</b>						<b>10.72024</b>
<b>Carga/m</b>						<b>1.79</b>

#### Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	5.73	2.45	--	200	1	2807.7
<b>Total(Tn)</b>						<b>2.8077</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.52</b>

#### Viga

Eje DD Tramo 2-3  
Longitud 3.66  
2do Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	3.63	0.15	2.56	1800	1	2509.056
Albañilería	2	0.15	0.6	1800	1	324
Ventans	2	0.006	1.8	2500	1	54
Albañilería	2.75	0.15	1.1	1800	1	816.75
Ventans	2.75	0.006	1.3	2500	1	53.625
<b>Total(Tn)</b>						<b>3.757431</b>
<b>Carga/m</b>						<b>1.03</b>

#### Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	3.41	0.25	--	200	1	170.5
<b>Total(Tn)</b>						<b>0.1705</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.05</b>

#### Viga

Eje DD Tramo 3-4  
Longitud 6  
2do Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	7.7	0.15	2.56	1800	1	5322.24
Losa+P.T.	6	2.38	-	400	1	5712
<b>Total(Tn)</b>						<b>11.03424</b>
<b>Carga/m</b>						<b>1.84</b>

Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	5.75	2.38	--	200	1	2737
<b>Total(Tn)</b>						<b>2.737</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.36</b>

Viga

Eje DD Tramo 4-5  
Longitud 5.98  
2do Nivel

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Albañilería	5.49	0.15	2.56	1800	1	3794.688
Losa+P.T.	5.98	2.16	-	400	1	5166.72
<b>Total(Tn)</b>						<b>8.961408</b>
<b>Carga/m</b>						<b>1.5</b>

Carga Viva

Descripción	Largo	Ancho	Altura	Peso esp.	Veces	Parcial
Sobrecarga	5.86	2.16	--	200	1	2531.52
<b>Total(Tn)</b>						<b>2.53152</b>
<b>Carga/m</b>						<b>0.46</b>

- ERCER NIVEL

Descripción	und/m	Espesor	Peso esp.	Peso/m2
Tubo estructural 2x6"x3mm	1.66666667	--	9.17	15.28333333
Peso tecnopor	--	0.05	16	0.8

Peso plancha mdf 19mm	--	--	--	17.1
Peso teja andina	--	--	--	12.17
				33.1833333

EJE	W (Kg/m <sup>2</sup> )	Ancho de Influencia (m)	Carga (Kg/m)	Carga (Tn/m)
<b>A</b>	33.183333	2.21	73.34	0.073
<b>V- CENTRAL</b>	0	0.00	0.00	0.000
<b>B</b>	33.183333	4.72	156.46	0.156
<b>C</b>	33.183333	2.51	83.12	0.083

EJE	W (Kg/m <sup>2</sup> )	Ancho de Influencia (m)	Carga (Kg/m)	Carga (Tn/m)
<b>A</b>	50	2.21	110.50	0.111
<b>V- CENTRAL</b>	0	0.00	0.00	0.000
<b>B</b>	50	4.72	235.75	0.236
<b>C</b>	50	2.51	125.25	0.125

**ANEXO N° 2:** Planos de ubicación.

**ANEXO N° 3:** Planos de arquitectura.

**ANEXO N° 4:** Planos de estructuras.

**ANEXO N° 5:** Planos de cimentación.

**ANEXO N° 6:** Estudio de suelos.