

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE
MEDIANTE EL MÉTODO NO LINEAL ESTÁTICO
PUSHOVER DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA CIVIL DE
LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA CHOTA,
2018

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Presentado por: ROBERTH FERNÁNDEZ IRIGOÍN

Asesor: Mg. Ing. EDWAR CIEZA SÁNCHEZ

Chota – Perú

2022



FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL – UNACH

1. DATOS DEL AUTOR:

Apellidos y nombres: FERNÁNDEZ IRIGOÍN ROBERTH

Código del alumno: 2013050136

Teléfono: 971214275

Correo electrónico: Robert_fi@hotmail.com

DNI: 47411548

2. MODALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

Trabajo de investigación

Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

Tesis

3. TÍTULO PROFESIONAL O GRADO ACADÉMICO:

Bachiller

Licenciado

Título

Magister

Segunda especialidad

Doctor

4. TÍTULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE MEDIANTE EL MÉTODO NO LINEAL ESTÁTICO PUSHOVER DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA CHOTA, 2018

5. FACULTAD DE: CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

6. ESCUELA PROFESIONAL DE: INGENIERÍA CIVIL

7. ASESOR:

Apellidos y Nombres: Edwar Cieza Sánchez

Teléfono: 972698285

Correo : edwarcs_2014@hotmail.com

D.N.I.: 45795431

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Autónoma de, Chota publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por el presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNACH, versión digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

FIRMA:

DNI.47411548

**Evaluación del desempeño sismorresistente mediante el
método no lineal estático pushover del edificio de ingeniería
civil de la Universidad Nacional Autónoma Chota, 2018**

POR:

Roberth Fernández Irigoín

**Presentada a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la
Universidad Nacional Autónoma de Chota para optar el título**

de

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR



Dr. Ing. Elmer Chávez Vásquez
Reg. CIP. 91731

Dr. Ing. Elmer Natividad Chávez Vásquez

PRESIDENTE



Dra. Carmen R. Cárdenas Rosales

Dra. Ing. Carmen Rosa Cárdenas Rosales

SECRETARIO




Mg. Ing. Claudia Emilia Benavidez Núñez

VOCAL

AGRADECIMIENTOS

A Dios, es el ente que provee salud, sabiduría, y ayuda a lograr nuestras metas.

A la “Universidad Nacional Autónoma de Chota”, facultad de ingeniería civil y a todos los catedráticos que contribuyeron en mi formación profesional, compañeros de aula y especialmente a mis padres por su esfuerzo esmero de lucha y trabajo en mi formación profesional.

Al ingeniero Edwar Cieza Sánchez, asesor de la presente investigación, por sus constantes contribuciones.

DEDICATORIA

A Dios, porque ha emanado un halo de sabiduría para la redacción de la investigación, gracias por haberme permitido llegar a concluir una meta más.

A mis padres: Julio César Fernández Vera y Cleotilde Irigoín Delgado por manifestarme su amor y apoyo constante.

A Ronald, Nely y Alex, mis hermanos, por su apoyo e impulso emocional, que ha incentivado la conclusión de este logro.

A mis amigos, por compartir junto a mí, la vida universitaria, a los que directa o indirectamente contribuyeron a conseguir este logro.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	19
1.1. Planteamiento del problema.....	19
1.2. Formulación del problema	21
1.3. Justificación e importancia.....	21
1.4. Delimitación de la investigación.....	21
1.5. Limitaciones.....	22
1.6. Objetivos	22
1.6.1. Objetivo general.....	22
1.6.2. Objetivos específicos	23
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	24
2.1. Antecedentes de la investigación.....	24
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	24
2.1.2. Antecedentes nacionales	25
2.1.3. Antecedentes regionales	26
2.2. Marco teórico.....	27
2.2.1. Fundamentos sísmicos	27
2.2.2. Parámetros sísmico-estructurales según la norma E.030.....	29
2.2.3. Fundamentos del análisis estructural (norma E.030).....	31
2.2.4. Fundamentos del desempeño sismorresistente	35
2.2.5. Método no lineal estático (Pushover)	39
2.3. Definición de términos	43
CAPÍTULO III. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	45
3.1. Hipótesis.....	45
3.2. Variables	45
3.2.1. Variable independiente	45

3.2.2. Variable dependiente	46
3.3. Operalización de variables	47
CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO	48
4.1. Ubicación geográfica del estudio.....	48
4.2. Unidad de análisis, población y muestra.....	49
4.2.1. Población	49
4.2.2. Muestra	50
4.3. Tipo y descripción del diseño de investigación	51
4.3.1. Tipo de investigación.....	51
4.3.2. Diseño de investigación.....	51
4.3.3. Método de investigación.....	53
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	53
4.4.1. Técnicas	53
4.4.2. Instrumentos.....	53
4.5. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información	54
4.5.1. Procedimiento para la obtención de la información	54
4.5.2. Análisis de la información	56
4.6. Matriz de consistencia metodológica.....	56
CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
5.1. Presentación de resultados	57
5.1.1. Desplazamientos máximos absolutos y relativos.....	59
5.1.2. Cortante estática y dinámica	71
5.1.3. Punto de desempeño para un sismo de servicio, diseño y máximo	74
5.1.4. Identificación de rótulas plásticas o primeros puntos de colapso frente a un evento sísmico	100
5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados	108
5.3. Contrastación de hipótesis.....	128
CAPÍTULO VI. PROPUESTA	133
6.1. Formulación de la propuesta para la solución del problema.....	133
6.1.1. Análisis estático – dinámico	137

6.1.2. Análisis estático no lineal Pushover	139
6.1.3. Identificación de rótulas plásticas	145
CONCLUSIONES	147
RECOMENDACIONES	149
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150
ANEXOS.....	155
Anexo A. Matriz de consistencia.....	155
Anexo B. Panel fotográfico	156
Anexo N° C. Análisis sísmico del edificio de ingeniería civil de la UNACH	158
<i>Módulo I.....</i>	<i>158</i>
<i>Módulo II</i>	<i>196</i>
<i>Módulo III.....</i>	<i>233</i>
<i>Módulo IV.....</i>	<i>266</i>
<i>Módulo V.....</i>	<i>298</i>
<i>Módulo VI.....</i>	<i>332</i>
Anexo N° D. Estudio de mecánica de suelos	364

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Períodos “ T_p ” y “ T_L ”	30
Tabla 2. Sistemas estructurales	31
Tabla 3. Límites para la distorsión del entrepiso	34
Tabla 4. Niveles de amenaza sísmica	37
Tabla 5. Cuadro de operacionalización de variables	47
Tabla 6. Especificaciones estructurales de los módulos del edificio de ingeniería civil.....	57
Tabla 7. Especificaciones de los materiales.....	57
Tabla 8. Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo I.....	60
Tabla 9. Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo II.....	62
Tabla 10. Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo III.....	64
Tabla 11. Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo IV	66
Tabla 12. Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo V.....	68
Tabla 13. Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo VI	70
Tabla 14. Cortante, en X e Y, del módulo I.....	71
Tabla 15. Cortante, X e Y, del módulo II	72
Tabla 16. Cortante, X e Y, del módulo III.....	72
Tabla 17. Cortante, X e Y, del módulo IV.....	73
Tabla 18. Cortante, X e Y, del módulo V	73
Tabla 19. Cortante, X e Y, del módulo VI.....	74
Tabla 20. Parámetros sísmicos del edificio.....	110
Tabla 21. Cortante estática en X e Y del edificio de ingeniería civil de la UNACH.....	111
Tabla 22. Cortante dinámica en X e Y del edificio de ingeniería civil de la UNACH	111
Tabla 23. Porcentaje de representación de la cortante dinámica respecto a la cortante estática.....	112
Tabla 24. Desplazamientos absolutos máximos en X e Y del edificio de ingeniería civil de la UNACH	113
Tabla 25. Derivas máximas relativas en X del edificio de ingeniería civil de la UNACH	113
Tabla 26. Derivas máximas relativas en Y del edificio de ingeniería civil de la UNACH	113
Tabla 27. Fuerzas laterales (ton) en X del edificio de ingeniería civil de la UNACH.....	114
Tabla 28. Fuerzas laterales en Y del edificio de ingeniería civil de la UNACH	114
Tabla 29. Curva de capacidad del edificio de ingeniería civil de la UNACH	115
Tabla 30. Espectro de capacidad en X del edificio de ingeniería civil de la UNACH.....	115
Tabla 31. Espectro de capacidad en Y del edificio de ingeniería civil de la UNACH.....	116
Tabla 32. Puntos de desempeño en X del edificio de ingeniería civil de la UNACH.....	116
Tabla 33. Puntos de desempeño en Y del edificio de ingeniería civil de la UNACH.....	116
Tabla 34. Rótulas plásticas en el edificio de ingeniería civil de la UNACH.....	125
Tabla 35. Datos para el análisis estadístico (ANOVA)	129
Tabla 36. Análisis de Varianza	130
Tabla 37. Resumen del modelo estadístico.....	130

Tabla 38. Cortante, en X e Y, del módulo 5 reforzado.....	139
Tabla 38. Asignación de cargas uniformes en elementos Shell/ Área, módulo I.....	164
Tabla 39. Asignación de cargas distribuidas en vigas	165
Tabla 40. Masa y pesos de la estructura, módulo I	173
Tabla 41. Fuerza sísmica en dirección X e Y, módulo I.....	174
Tabla 42. Periodos y masa participativa de cada modo de vibración, módulo I.....	176
Tabla 43. Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo I.....	178
Tabla 44. Cortante estática y dinámica en la dirección X e Y del módulo I	179
Tabla 45. Fuerzas laterales en el sentido X e Y para el análisis Pushover, módulo I	180
Tabla 46. Distancia de asignación de las rótulas plásticas en vigas, módulo I.....	182
Tabla 47. Asignación de cargas uniformes en elementos Shell/ Área, módulo II	200
Tabla 48. Asignación de cargas distribuidas en vigas, módulo II.....	202
Tabla 49. Masa y pesos de la estructura, módulo II.....	209
Tabla 50. Fuerza sísmica en dirección X e Y, módulo II	210
Tabla 51. Periodos y masa participativa de cada modo de vibración, módulo II.....	212
Tabla 52. Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo II.....	214
Tabla 53. Cortante estática y dinámica en la dirección X e Y del módulo II	215
Tabla 54. Fuerzas laterales en el sentido X e Y para el análisis Pushover, módulo II.....	216
Tabla 55. Distancia de asignación de las rótulas plásticas en vigas, módulo II.....	217
Tabla 56. Asignación de cargas uniformes en elementos Shell/ Área, módulo III	237
Tabla 57. Asignación de cargas distribuidas en vigas, módulo III.....	238
Tabla 58. Masa y pesos de la estructura, módulo III.....	244
Tabla 59. Fuerza sísmica en dirección X e Y módulo III	245
Tabla 60. Periodos y masa participativa de cada modo de vibración, módulo III	247
Tabla 61. Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo III.....	249
Tabla 62. Cortante estática y dinámica en la dirección X e Y del módulo III.....	250
Tabla 63. Fuerzas laterales en el sentido X e Y para el análisis Pushover, módulo III.....	251
Tabla 64. Distancia de asignación de las rótulas plásticas en vigas, módulo III	252
Tabla 65. Asignación de cargas uniformes en elementos Shell/ Área, módulo IV.....	271
Tabla 66. Asignación de cargas distribuidas en vigas, módulo IV	272
Tabla 67. Masa y pesos de la estructura, módulo III.....	278
Tabla 68. Fuerza sísmica en dirección X e Y, módulo IV	279
Tabla 69. Periodos y masa participativa de cada modo de vibración, módulo IV	281
Tabla 70. Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo IV	284
Tabla 71. Cortante estática y dinámica en la dirección X e Y del módulo IV.....	285
Tabla 72. Fuerzas laterales en el sentido X e Y para el análisis Pushover, módulo IV	286
Tabla 73. Asignación de cargas uniformes en elementos Shell/ Área, módulo V	302
Tabla 74. Asignación de cargas distribuidas en vigas, módulo V.....	303
Tabla 75. Masa y pesos de la estructura, módulo V	310
Tabla 76. Fuerza sísmica en dirección X e Y módulo V	311

Tabla 77. Periodos y masa participativa de cada modo de vibración, módulo V	313
Tabla 78. Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo V.....	316
Tabla 79. Cortante estática y dinámica en la dirección X e Y del módulo V.....	317
Tabla 80. Fuerzas laterales en el sentido X e Y para el análisis Pushover, módulo V.....	318
Tabla 81. Distancia de asignación de las rótulas plásticas en vigas, módulo V	319
Tabla 82. Asignación de cargas uniformes en elementos Shell/ Área, módulo VI.....	337
Tabla 83. Asignación de cargas distribuidas en vigas, módulo VI	338
Tabla 84. Masa y pesos de la estructura, módulo IV.....	344
Tabla 85. Fuerza sísmica en dirección X e Y, módulo VI.....	345
Tabla 86. Periodos y masa participativa de cada modo de vibración, módulo VI.....	347
Tabla 87. Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo VI	350
Tabla 88. Cortante estática y dinámica en la dirección X e Y del módulo IV.....	351
Tabla 89. Fuerzas laterales en el sentido X e Y para el análisis Pushover, módulo VI	352

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Elementos de un sismo	27
Figura 2. Zonas sísmicas.....	29
Figura 3. Clasificación de los perfiles de suelo	30
Figura 4. Capacidad, demanda y desempeño.....	35
Figura 5. Niveles de desempeño	36
Figura 6. Objetivos de desempeño según Comité Visión 2000	38
Figura 7. Objetivos de desempeño según ATC-40	38
Figura 8. Patrón de cargas laterales.....	39
Figura 9. Representación de la curva bilineal y la sectorización de la curva de capacidad	41
Figura 10. Curva de capacidad y espectro de capacidad	41
Figura 11. Espectro de demanda.....	42
Figura 12. Punto de desempeño	43
Figura 13. Ciudad de Chota	48
Figura 14. Acceso al campus universitario Colpamatara de la UNACH	49
Figura 15. Campus universitario Colpamatara de la UNACH	49
Figura 16. Ubicación del edificio de Ingeniería Civil de la UNACH	50
Figura 17. Edificio de Ingeniería Civil de la UNACH.....	50
Figura 18. Diseño de investigación: Descriptivo causal simple	52
Figura 19. Edificación del análisis en vista 3D.....	58
Figura 20. Planteamiento arquitectónico del modelo.....	58
Figura 21. Planteamiento arquitectónico dividido en 6 Módulos para el análisis	58
Figura 22. Desplazamientos máximos absolutos en dirección X e Y, módulo I	59
Figura 23. Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo I.....	60
Figura 24. Desplazamientos máximos absolutos en dirección X e Y, módulo II.....	61
Figura 25. Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo II	61
Figura 26. Desplazamientos máximos absolutos en dirección X e Y, módulo III.....	63
Figura 27. Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo III	64
Figura 28. Desplazamientos máximos absolutos en dirección X e Y, módulo IV.....	65
Figura 29. Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo IV	66
Figura 30. Desplazamientos máximos absolutos en dirección X e Y, módulo V.....	67
Figura 31. Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo V	68
Figura 32. Desplazamientos máximos absolutos en dirección X e Y, módulo VI.....	69
Figura 33. Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo VI.....	70
Figura 34. Curva de capacidad, en X, módulo I.....	74
Figura 35. Espectro de demanda para un sismo de servicio (SS), diseño (SD) y máximo (SM)	75
Figura 36. Punto de desempeño, en X, sismo definido por FEMA 440 A1, módulo I.....	76
Figura 37. Punto de desempeño, en X, SS, módulo I.....	76
Figura 38. Punto de desempeño, en X, SD, módulo I.....	76

Figura 39. Punto de desempeño, en X, SM, módulo I.....	77
Figura 40. Curva de capacidad, en Y, módulo I.....	77
Figura 41. Punto de desempeño, en Y, sismo definido por FEMA 440 A1, módulo I.....	78
Figura 42. Punto de desempeño, en Y, SS, módulo I.....	78
Figura 43. Punto de desempeño, en Y, SD, módulo I.....	79
Figura 44. Punto de desempeño, en Y, SM, módulo I.....	79
Figura 45. Curva de capacidad, en X, módulo II.....	80
Figura 46. Punto de desempeño, en X, sismo definido por FEMA 440 A1, módulo II.....	81
Figura 47. Punto de desempeño, en X, SS, módulo II.....	81
Figura 48. Punto de desempeño, en X, SD, módulo II.....	81
Figura 49. Punto de desempeño, en X, SM, módulo II.....	82
Figura 50. Curva de capacidad, en Y, módulo II.....	82
Figura 51. Punto de desempeño, en Y, sismo definido por FEMA 440 A1, módulo II.....	83
Figura 52. Punto de desempeño, en Y, SS, módulo II.....	83
Figura 53. Punto de desempeño, en Y, SD, módulo II.....	84
Figura 54. Punto de desempeño, en Y, SM, módulo II.....	84
Figura 55. Curva de capacidad, en X, módulo III.....	85
Figura 56. Punto de desempeño, en X, sismo definido por FEMA 440 A1, módulo III.....	86
Figura 57. Punto de desempeño, en X, SS, módulo III.....	86
Figura 58. Punto de desempeño, en X, SD, módulo III.....	86
Figura 59. Punto de desempeño, en X, SM, módulo III.....	87
Figura 60. Curva de capacidad, en Y, módulo III.....	87
Figura 61. Punto de desempeño, en Y, sismo definido por FEMA 440 A1, módulo III.....	88
Figura 62. Punto de desempeño, en Y, SS, módulo III.....	88
Figura 63. Punto de desempeño, en Y, SD, módulo III.....	89
Figura 64. Punto de desempeño, en Y, SM, módulo III.....	89
Figura 65. Curva de capacidad, en X, módulo IV.....	90
Figura 66. Punto de desempeño, en X, SM, módulo IV.....	90
Figura 67. Curva de capacidad, en Y, módulo IV.....	91
Figura 68. Punto de desempeño, en Y, sismo definido por FEMA 440 A1, módulo IV.....	92
Figura 69. Punto de desempeño, en Y, SD, módulo IV.....	92
Figura 70. Punto de desempeño, en Y, SM, módulo IV.....	92
Figura 71. Curva de capacidad, en X, módulo V.....	93
Figura 72. Punto de desempeño, en X, sismo definido por FEMA 440 A1, módulo V.....	94
Figura 73. Punto de desempeño, en X, SD, módulo V.....	94
Figura 74. Punto de desempeño, en X, SM, módulo V.....	94
Figura 75. Curva de capacidad, en Y, módulo V.....	95
Figura 76. Punto de desempeño, en Y, SS, módulo V.....	96
Figura 77. Punto de desempeño, en Y, SD, módulo V.....	96
Figura 78. Curva de capacidad en dirección X, módulo VI.....	97

Figura 79. Punto de desempeño, en X, SM, módulo VI.....	97
Figura 80. Curva de capacidad, en Y, módulo VI.....	98
Figura 81. Punto de desempeño, en Y, sismo definido por FEMA 440 A1, módulo VI	99
Figura 82. Punto de desempeño en Y, SD, módulo VI	99
Figura 83. Punto de desempeño, en Y, SM, módulo VI.....	99
Figura 84. Modelo estructural donde se muestran los 23 step, eje X, módulo I.....	100
Figura 85. Módulo estructural en el que se observan los 14 step, eje Y, módulo I	101
Figura 86. Modelo estructural en el que se observan step, eje X, módulo II.....	102
Figura 87. Rótulas plásticas en las placas, dirección Y, módulo II.....	102
Figura 88. Modelo estructural en el que se observan step, eje X, módulo III	103
Figura 89. Modelo estructural en el que se observan los 15 step, eje Y, módulo III.....	104
Figura 90. Modelo estructural en el que se observan step, eje X, módulo IV	104
Figura 91. Modelo estructural en el que se observan step, eje Y, módulo IV	105
Figura 92. Modelo estructural en el que se observan step, eje X, módulo V	105
Figura 93. Modelo estructural en el que se observan los 15 step, eje Y, módulo V	106
Figura 94. Modelo estructural en el que se observan step, eje X, módulo VI.....	107
Figura 95. Módulo estructural en el que se observan step, eje Y, módulo VI.....	107
Figura 96. Modelo estructural del edificio de ingeniería civil de la UNACH.....	109
Figura 97. Curva de capacidad, en X, módulo I.....	117
Figura 98. Curva de capacidad del eje Y del módulo I	118
Figura 99. Curva de capacidad del eje X, módulo II.....	118
Figura 100. Curva de capacidad del eje Y, módulo II.....	119
Figura 101. Curva de capacidad del eje X, módulo III.....	119
Figura 102. Curva de capacidad del eje Y, módulo III.....	120
Figura 103. Curva de capacidad del eje X, del módulo IV.....	120
Figura 104. Curva de capacidad del eje Y, del módulo IV.....	121
Figura 105. Curva de capacidad del eje X, módulo V.....	121
Figura 106. Curva de capacidad del eje Y, módulo V.....	122
Figura 107. Curva de capacidad del eje X, módulo VI	122
Figura 108. Curva de capacidad del eje Y, módulo VI	123
Figura 109. Rótulas plásticas en el edificio de ingeniería civil de la UNACH	126
Figura 110. Gráfico estadístico de variación de medias de la cortante basal	131
Figura 111. Gráfica estadística de residuos para la cortante basal.....	131
Figura 112. Gráfica estadística de residuos para desplazamientos (mm).....	132
Figura 113 Modelo 5, reforzado.....	133
Figura 114 Asignación de placas de reforzamiento en el eje 7-7 y eje 9-9.....	134
Figura 115 Placas de reforzamiento	135
Figura 116 Chequeo general, del reforzamiento.....	136
Figura 117 Asignación de cargas distribuidas, en el modelo reforzado.....	136
Figura 118 Desplazamiento absoluto en X, modulo 5 reforzado.....	137

Figura 119	Desplazamiento absoluto en Y, modulo 5 reforzado.....	137
Figura 120	Desplazamientos relativos en X, modulo 5 reforzado	138
Figura 121	Desplazamientos relativos en Y, modulo 5 reforzado	138
Figura 122	Fuerzas laterales para el análisis Pushover en el sentido X e Y, modulo 5 reforzado	140
Figura 123	Fuerzas laterales para el análisis Pushover en el sentido Y, modulo 5 reforzado.....	140
Figura 124	Asignación de cargas, módulo 5 reforzamiento	141
Figura 125	Asignación de rótulas plásticas, módulo 5 reforzado	141
Figura 126	Curva de capacidad, módulo 5 reforzado, en el sentido X	142
Figura 127	Identificación del punto de desempeño, en el módulo 5 reforzado, en el sentido X.....	143
Figura 128	Punto de desempeño, para un sismo máximo, módulo 5 reforzado, en el sentido X.....	143
Figura 129	Curva de capacidad, módulo 5 reforzado, en el sentido Y	144
Figura 130	Identificación del punto de desempeño, en Y, módulo reforzado.....	144
Figura 131	Punto de desempeño, para un sismo máximo, módulo 5 reforzado, en el sentido Y.....	145
Figura 132	Rótulas plásticas, en X, módulo 5 reforzado.....	146
Figura 133	Rótulas plásticas, en Y, módulo 5 reforzado.....	146
Figura 134	Tercer step, módulo 5 reforzado.....	146

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec. 1. Magnitud de un sismo	28
Ec. 2. Fuerza cortante en la base	32
Ec. 3. Valor de C/R.....	32
Ec. 4. Distribución de la fuerza sísmica en altura	32
Ec. 5. Valor a_i	32
Ec. 6. Período fundamental de vibración	32
Ec. 7. Aceleración espectral	33
Ec. 8. Valores C.....	33
Ec. 9. Respuesta máxima elástica esperada	33
Ec. 10. Coeficiente de correlación ρ_{ij}	33
Ec. 11. Coeficiente de correlación λ	33
Ec. 12. Factor de participación modal para el primer modo natural.....	42
Ec. 13. Coeficiente modal de masa para el primer modo natural	42
Ec. 14. Aceleración espectral	42
Ec. 15. Desplazamiento espectral	42

RESUMEN

El objetivo fue “Evaluar el desempeño sismorresistente mediante el método no lineal estático pushover del edificio de ingeniería civil de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, según el punto de desempeño para un sismo de servicio, de diseño y máximo, a fin de garantizar su uso funcional frente a un evento sísmico”. La muestra fueron los seis módulos que conforman el edificio de ingeniería civil, I laboratorios, II aulas, III administrativo, IV escalera V SS.HH. y VI escalera; para su análisis se hizo preliminarmente el EMS que permitió clasificar al suelo como S2 “suelos intermedios”. Los módulos trabajan como estructuras independientes por lo que se modelaron por separado en el software ETABS 2018. Al realizar el análisis estático y dinámico del edificio de ingeniería civil, se verificaron que los desplazamientos absolutos y derivas relativas máximas en el eje X e Y cumplen con la norma E.030. El edificio de ingeniería civil en promedio, cumple con los objetivos de desempeño para una edificación esencial destinada a educación, tal como nivel operacional, funcional y seguridad de vida, para un sismo de servicio, sismo de diseño y sismo máximo, respectivamente, pero el módulo V, frente a un evento sísmico de diseño se encontraría en pre colapso en la dirección X y en colapso en la dirección Y, además este presenta sus primeros puntos de colapso en las columnas, a diferencia de los otros módulos cuyas rótulas plásticas se dan en las vigas.

Palabras clave: Capacidad, punto de desempeño, espectro de demanda, rótulas plásticas.

ABSTRACT

The objective was "To evaluate the seismic-resistant performance by means of the non-linear static pushover method of the civil engineering building of the Universidad Nacional Autónoma de Chota, according to the performance point for a service, design and maximum earthquake, in order to guarantee its functional use in the face of a seismic event". The sample consisted of the six modules that make up the civil engineering building, I laboratories, II classrooms, III administrative, IV staircase V SS.HH. and VI staircase; for their analysis the EMS was preliminarily performed, which allowed classifying the soil as S2 "intermediate soils". The modules work as independent structures so they were modeled separately in ETABS 2018 software. When performing the static and dynamic analysis of the civil engineering building, it was verified that the absolute displacements and maximum relative drifts in the X and Y axis comply with the E.030 standard. The civil engineering building on average, meets the performance objectives for an essential building intended for education, such as operational, functional and life safety level, for a service earthquake, design earthquake and maximum earthquake, respectively, but module V, facing a design seismic event would be in pre-collapse in the X direction and in collapse in the Y direction, in addition this presents its first collapse points in the columns, unlike the other modules whose plastic hinges occur in the beams.

Key words: Capacity, performance point, demand spectrum, plastic spherical plain bearings.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Los peligros naturales causan pérdidas económicas y difíciles procesos de reconstrucción (Sante y Porzio, 2019). Los eventos sísmicos son los que generan mayor magnitud en el desplazamiento de las edificaciones (Portioli, 2020), por lo que su evaluación sísmica es vital (Kalkbrenner, et al., 2019). Un análisis estructural se realiza con el fin de comprender la respuesta sísmica de los edificios (Asikoglu et al., 2020), pero para su análisis existen procedimientos lineales, con enfoque estándar y no lineales donde se considera un empuje incremental (Lagomarsino, et al., 2020).

Las edificaciones son construidas con distintos tipos de sistemas constructivos: pórticos, duales, albañilería, siendo estos últimos los que comprenden la mayor cantidad del total mundial y nacional (Shrestha et al., 2020), pero las propiedades del material afectan significativamente la respuesta sísmica de la estructura (Zade et al., 2019) por lo que para sistemas constructivos mixtos se recomienda el análisis estático Pushover (Gautam y Paudel, 2020); así mismo Perú se ubica en el “cinturón de fuego del pacífico” (Grupo Banco Mundial, 2018), por lo que se considera una zona de alta peligrosidad sísmica (CISMID, 2018). Una publicación hecha por el BID, estimó que, el país perdería de 17 a 43 mil millones de dólares frente a un sismo de más de 8 grados de magnitud (Radio Programas del Perú, 2017), pero las pérdidas no solo se concentrarían en la capital, sino también en otras regiones.

La región Cajamarca, no se encuentra exenta del riesgo sísmico, prueba de ello son los recientes movimientos telúricos que tuvieron como epicentro a varias

provincias de la región (INDECI, 2019). El distrito y provincia de Chota, se encuentra enmarcado sobre un suelo inestable (Vásquez, 2017), por ello, frente a un evento sísmico las edificaciones podrían sufrir el colapso estructural, más aún cuando las edificaciones públicas o privadas han sido diseñadas con la norma E.030-2014, reglamento estructural anterior, que no contempla la actualización reciente a la norma E.030-2020.

La “Universidad Nacional Autónoma de Chota” (UNACH), está ubicada en el centro poblado Colpamatara del distrito de Chota, es una edificación dedicada al rubro de la educación; alberga alumnos, docentes y personal administrativo de cinco escuelas profesionales. El edificio de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la UNACH, tiene cuatro niveles que incluyen un área administrativa, una biblioteca, laboratorios, SS.HH. en todos los niveles y escaleras de conexión; es una edificación esencial (Tipo A), por lo que según la norma E.030 (MVCS, 2020) debe prevalecer estructuralmente frente a un evento telúrico, en otras palabras se debe garantizar su uso funcional frente a un evento sísmico, pero considerando que su diseño fue realizado con normas anteriores (RNE-2006) al actual Reglamento Nacional de Edificaciones (MVCS, 2020) ha sido necesario considerar la evaluación del desempeño estructural de la edificación con la metodología Pushover debido a que permite conocer el nivel de servicio que tendría la estructura después de un sismo de diseño.

“Las fallas tienen un costo económico elevado, hasta pueden ocasionar que las edificaciones queden inoperativas, sin embargo, con un control se puede disminuir el daño” (Asikoglu et al., 2020) por ello, la investigación, estuvo orientada a determinar ¿Cuál es el desempeño sismorresistente mediante el método no lineal estático pushover del edificio de ingeniería civil – UNACH?

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el desempeño sismorresistente mediante el método no lineal estático pushover del edificio de ingeniería civil de la “Universidad Nacional Autónoma de Chota” según el punto de desempeño para un sismo de servicio, de diseño y máximo?

1.3. Justificación e importancia

El estudio se ha justificado debido a que el edificio de Ingeniería Civil de la UNACH, tiene una evaluación sísmica general y no con un método no lineal cuantificable más concreto en cuanto a evaluación por desempeño sismorresistente. Además, parte de la ingeniería sísmica, se ha orientado al desarrollo de nuevas metodologías de evaluación y diseño sísmico, orientando particular interés en los métodos estáticos no lineales basados en la curva de capacidad. Las fallas tienen un costo económico elevado, hasta pueden ocasionar que las edificaciones queden inoperativas, sin embargo, con un control se puede disminuir el daño, es por ello que se necesita valorar el desempeño sismorresistente de los edificios existentes, ya que, en numerosas investigaciones dadas en las últimas décadas, se ha incorporado el análisis estático no lineal para tener una mejor precisión de la demanda, que impone los sismos en una edificación, y lograr una mejor precisión de los métodos tradicionales que es el análisis lineal.

1.4. Delimitación de la investigación

Se ha desarrollado en Chota, en un lapso de 12 meses desde octubre del 2019 hasta marzo 2020, luego se interrumpió el proceso debido a la pandemia covid-19, y se retomó en octubre de 2020 a marzo de 2021. Se ha analizado a los 6 módulos (2 escaleras, 1 módulo principal, 2 módulos anexos) de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil – UNACH, mismos que en conjunto forman 1

pabellón. Se realizó el análisis estático, análisis dinámico y análisis pushover, a fin de verificar la capacidad o desempeño de la edificación frente a un sismo de servicio, de diseño y máximo.

1.5. Limitaciones

El modelo se ha limitado a representar lo que se puede observar en campo y en los planos del expediente técnico, es decir, se desconoce que hayan existido cambios en la cantidad de acero o dimensiones de las barras de los elementos estructurales del edificio durante la construcción, pero de haber existido cambios en el proceso de construcción, no pueden ser validados debido a que no existe registro al respecto.

El estudio se vio interrumpido por la pandemia covid-19, lo que ocasionó el cierre temporal del laboratorio de mecánica de suelos de la UNACH, razón por la que se decidió determinar la capacidad portante del suelo de cimentación de la edificación de ingeniería civil en un laboratorio externo, para definir el tipo de suelo, el T_p y T_L , en relación a la norma E.030.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

“Evaluar el desempeño sismorresistente mediante el método no lineal estático pushover del edificio de ingeniería civil de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, según el punto de desempeño para un sismo de servicio, sismo de diseño y sismo máximo, a fin de garantizar su uso funcional frente a un evento sísmico”.

1.6.2. *Objetivos específicos*

- Verificar que las derivas y desplazamientos máximos del pabellón de ingeniería civil, cumplan con la norma E.030-2020.
- Determinar la cortante estática y dinámica del pabellón de ingeniería civil, según la norma E.030-2020.
- Determinar la capacidad estructural del pabellón de ingeniería civil, por medio del punto y curva de desempeño, usando el análisis estático no lineal Pushover para un sismo de servicio, diseño y máximo.
- Determinar los elementos estructurales en que se dan las primeras rótulas plásticas o primeros puntos de colapso frente a un evento sísmico en el pabellón de ingeniería civil.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Zahir et al. (2019) en su artículo científico “Seismic Pushover Analysis of Existing Masonry Structures” analizó el comportamiento no lineal de mampostería confinada, estructuras sometidas a cargas laterales numéricamente para evaluar el desempeño de las mismas, concluyendo que en los resultados de análisis convencional solo se produjo una falla por cizallamiento, mientras que en su estudio actual se produjo el daño por flexión y la falla por cizallamiento; por eso lo que se prefirió el análisis no lineal para sus estructuras.

Mariani et al. (2019) en su disertación realizaron la evaluación sísmica de un edificio de mampostería mediante análisis cinemático y Pushover, con lo que concluyeron que los efectos de la componente sísmica vertical se vuelven más importantes a medida que la aceleración del suelo aumenta, mientras que la mayor calidad de la albañilería puede contrastar y compensar los efectos.

Croce, et al. (2019) en su artículo “Probabilistic seismic assessment of existing masonry buildings” evaluaron el desempeño de los edificios de mampostería a partir de un algoritmo simplificado de tipo Pushover no lineal, con lo que los autores concluyeron que el procedimiento Pushover no lineal les permitió cuantificar la propagación de las incertidumbres relacionadas con los parámetros de mampostería en el índice de riesgo sísmico resultante.

Kalkbrenner, et al. (2019) en su artículo científico realizaron el análisis de empuje multidireccional de edificios de mampostería irregular ubicado en Chile,

concluyendo que la edificación muestra mecanismos de falla detectados mediante el análisis no lineal.

Duarte, et al. (2017) realizaron el análisis estático no lineal para evaluar una edificación a fin de verificar si la edificación puede ser ocupada de forma segura. Determinaron el punto de desempeño, con 2523.41 ton y 15.89 cm de fuerza cortante, y desplazamiento. Concluyeron que el edificio de la “Facultad de Medicina de la Universidad de El Salvador”, cumple con el nivel de desempeño.

Quizhpilema (2017) en su tesis realizó la identificación de patologías y la evaluación sísmica simplificada por el método FEMA 154, finalmente determinó el grado de vulnerabilidad del edificio. Concluyó que, los módulos 1 y 2 incumplen la participación modal, de dos movimientos traslacionales y una rotación, en consecuencia, de las múltiples irregularidades torsionales en planta, por tanto, el “Edificio de Ingeniería de la Universidad Central del Ecuador” no cumple con la norma vigente NEC-2015 para un evento telúrico.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Noel et al. (2018) en su artículo científico evaluaron el comportamiento sísmico de la iglesia de San Sebastián y su vulnerabilidad a eventos sísmicos, realizaron la identificación patológica a través de inspección visual y termografía IR, así mismo realizó el análisis numérico Pushover no lineal, para comprobar la capacidad del edificio en un evento sísmico. Concluyeron que la iglesia es altamente vulnerable a cargas sísmicas.

Samillán (2019) en su tesis de maestría utilizó la normativa RNE y el análisis estructural Pushover según los lineamientos del comité visión 2000 y el ATC-40. Logró obtener la demanda sísmica con el espectro de diseño y el desempeño de la estructura de ocho pisos.

Fuentes (2018) en su investigación realizó el análisis Pushover de una edificación en Lima para un sismo máximo según el código FEMA. Concluyó con los límites aceptables para cada nivel de peligro que pueda tener la estructura en su vida útil.

Fernández (2018) en su investigación analizó la I.E. de Yungasuyo de dos niveles, mediante la metodología Pushover descrita por FEMA, ATC-40 y el ASCE 41-13. Concluyó que, con el desempeño alcanzado por la edificación no es aceptable ni por los códigos internacionales ni por la norma peruana E.030, por lo que planteó el reforzamiento logrando el desempeño para un sismo de diseño.

2.1.3. Antecedentes regionales

Mires (2019) en su investigación analizó el nuevo edificio de la I.E. del distrito de Cajamarca, para ello el autor realizó ensayos de esclerometría, y la modelación estructural empleando el análisis Pushover. Concluyendo que, incluso para un sismo máximo tiene un desempeño de inmediata ocupación.

Urteaga (2019) en su disertación analizó la I.E. “San Ramón” según FEMA 420 en el software Etabs, observando que las derivas y cortantes se acrecientan hasta existir fallas significativas en la edificación, por lo que un evento telúrico, de 6.1 a 6.9 (Richter), generaría daños moderados a precolapso.

Cerquín (2019) en su tesis de maestría determinó el nivel de desempeño sísmico de acuerdo a Vision 2000 y la norma E.030 a través del programa SAP2000. Concluyendo que, el desempeño, del módulo B, es colapso por lo que planteó el reforzamiento de los muros, del 2do piso, con vigas de confinamiento.

Vera (2017) en su investigación analizó estructuralmente la edificación. Concluyendo que el acero en los elementos de soporte no concuerda con lo establecido, por lo cual indica, no edifica los siguientes niveles.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Fundamentos sísmicos

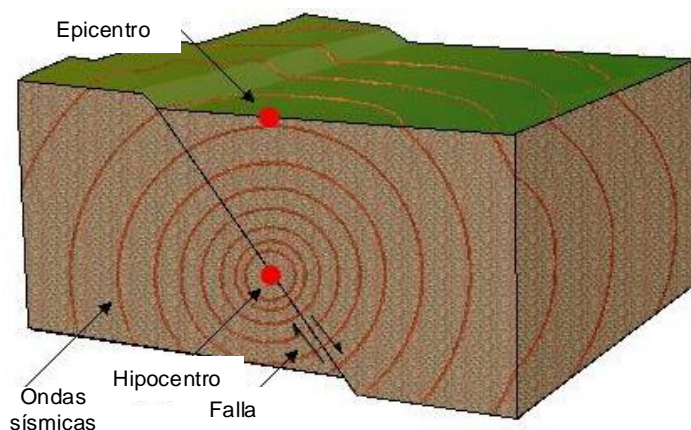
Los sismos, terremotos o temblores son movimientos de tierra, que tiene distintos orígenes y distintas magnitudes y/o intensidades (Hernández, 2012). El sismo es un evento capaz de liberar energía y transmitirla a cualquier cosa que se encuentre en contacto con la porción de tierra que se encuentre en movimiento. Los sismos se generan por diversas razones, tanto humanas como naturales; los movimientos telúricos de índole natural tienen su origen en los movimientos de la corteza terrestre (Rojas, 2012). “Los sismos son formados por movimientos relativos entre las placas tectónicas, lo cual origina una acumulación de energía que da como resultado la formación de ondas sísmicas” (Vergara y Zevallos, 2014, p. 14).

Sismo deriva del griego Seismós → agitación

Terremoto deriva del latin Terra y Motus → Tierra + Movimiento

Figura 1.

Elementos de un sismo



Escala de Richter	
Mide la magnitud de los sismos	
0	Generalmente no se siente, pero es registrado.
3.5	A menudo se sienta, pero sólo causa daños menores.
5.5	Ocasiona daños ligeros a edificios.
6.1	Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas.
7.0	Terremoto mayor. Causa graves daños.
8 o mayor	Gran terremoto. Destrucción total en comunidades cercanas.

RED SISMICA DE PUERTO RICO - ESCALA DE MERCALLI MODIFICADA									
MOVIMIENTO PERCIBIDO	Ninguno	Debil	Ligero	Moderado	Fuerte	Muy Fuerte	Severo	Violento	Extremo
EFFECTOS ASOCIADOS	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Mínimos	Ligeros	Apreciables	Significativos	Mayores	Muy Fuertes
INTENSIDAD	I	II - III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Foco. Es el punto teórico en la corteza terrestre, en dónde se origina un sismo, también se llama centro, hipofoco o hipocentro. (Rojas, 2012)

Epicentro o epifoco. Es la proyección vertical (o hacia el centro de la tierra) del punto sobre la superficie terrestre en el que se origina el sismo hacia la profundidad en la que se produce la falla geológica. (Rojas, 2012)

Ondas sísmicas. Una vez que se produce el rompimiento de las placas, se generan ondas vibratorias diversas que son propagadas a partir del foco, y denominadas ondas sísmicas. Se llaman ondas longitudinales a las que se irradian en trayectoria paralela al radio del sismo y ondas transversales a las que se irradian en trayectoria transversal a las longitudinales. (Rojas, 2012)

Magnitud. Energía que desata un sismo. Normalmente se usan tres tipos de escala para la magnitud: Richter, cuando el equipo que registra el sismo se encuentra a menos de 600 km, la telesísmica para distancias focales mayores a 2000 km y la escala de Gutenberg para distancias entre 600 y 2000 km. (Rojas, 2012)

Ec. 1. Magnitud de un sismo

$$\log_{10} W = 11.8 + 1.5 M \quad (1)$$

Donde:

- W= energía desprendida en ergios
- M= magnitud

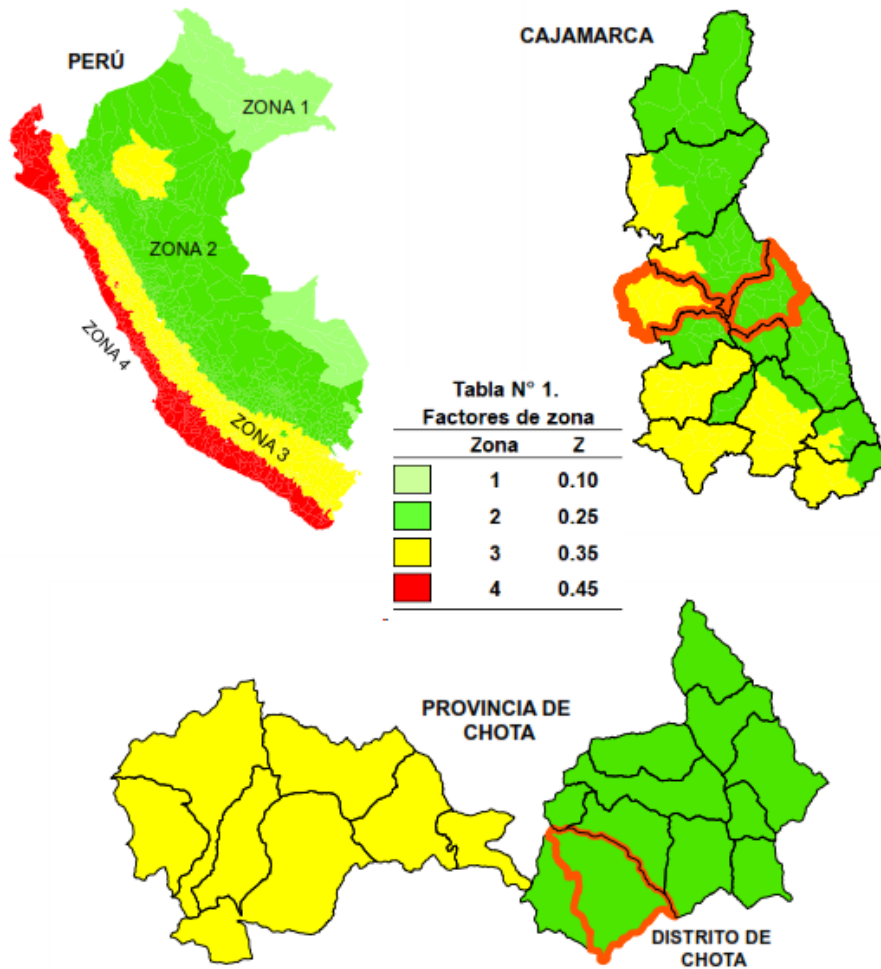
Intensidad. Medida de la percepción del humano respecto al efecto de un sismo. Es adimensional y subjetiva, tradicionalmente se mide con la escala de Mercalli modificada. Está asigna intensidades que van del 1 al 12 en la que, el uno corresponde a sismos imperceptibles, el 6 lo perciben todos y provoca movimientos de líquidos, cuadros y otros objetos colgados; el 12 corresponde a un daño casi total. (Rojas, 2012)

2.2.2. Parámetros sísmico-estructurales (E.030)

Zonificación. El territorio está fragmentado en cuatro (4) zonas sísmicas, basadas en las peculiaridades usuales de los eventos telúricos (MVCS, 2020).

Figura 2.

Zonas sísmicas



Nota: Adaptado (MVCS, 2020).

Tipos de suelos. Según la norma E.030, el suelo está dividido en cuatro perfiles: S1, S2, S3 y S4, acorde a sus propiedades mecánicas. A cada perfil le corresponde valores del factor de amplificación del suelo “S” y los periodos “ T_p ” y “ T_L ”. (MVCS, 2020)

Tabla 1.

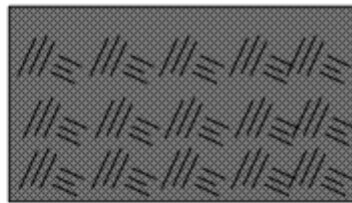
Periodos “ T_p ” y “ T_L ”

	S0	S1	S2	S3
T_p (S)	0.3	0.4	0.6	1.0
T_L (S)	3.0	2.5	2.0	1.6

Nota: (MVCS, 2020)

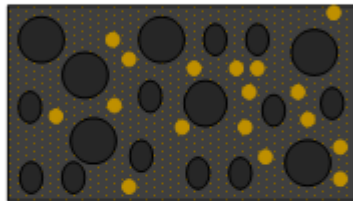
Figura 3.

Perfiles de suelo



Perfil tipo S0: Roca dura

Cuando se conoce que la roca dura es continua hasta una profundidad de 30 m.



Perfil tipo S1: Roca o suelos muy rígidos

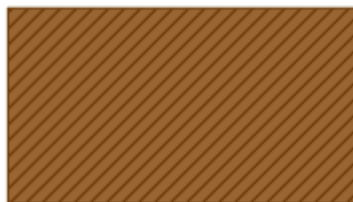
Roca sana con resistencia \geq a 5 kg/cm²

Grava arenosa con resistencia \geq a 1 kg/cm².



Perfil tipo S2: Suelos intermedios

Suelo cohesivo compacto con resistencia al corte entre 0.5 a 1 kg/cm² y con un incremento gradual con la profundidad.



Perfil tipo S3: Suelos blandos

Suelo cohesivo blando con una resistencia al corte entre 0.25 a 0.5 kg/cm².



Perfil tipo S4: Condiciones excepcionales

Suelos flexibles en los que el período fundamental es $>$ 0.6 s.

Nota: (MVCS, 2020)

Categoría de las edificaciones. “Se ha dado un factor de importancia según la categoría de las edificaciones, A (hospitales e I.I.EE), B (teatros, estadios,

patrimonios valiosos), C (Viviendas, hoteles, depósitos) y D (viviendas temporales)”. (MVCS, 2020)

- A → Edificaciones esenciales → Factor U: 1.5
- B → Edificaciones importantes → Factor U: 1.3
- C → Edificaciones comunes → Factor U: 1.0

Sistemas estructurales. Se categorizan por el tipo de material y sistema estructural predominante, en X e Y (MVCS, 2020).

Tabla 2.

Sistemas estructurales

Sistema estructural	Coeficiente de reducción, R (*) para estructuras regulares
<i>Acero</i>	
Pórticos dúctiles con uniones resistentes a momentos (SMF)	8.0
Pórticos intermedios resistentes a momentos (IMF)	5.0
Pórticos ordinarios resistentes a momentos (OMF)	4.0
Pórticos especiales concéntricamente arriostrados (SCBF)	7.0
Pórticos ordinarios concéntricamente arriostrados (OCBF)	4.0
Pórticos excéntricamente arriostrados (EBF)	8.0
<i>Concreto Armado</i>	
Pórticos	8.0
Dual	7.0
De muros estructurales	6.0
Muros de ductilidad limitada	4.0
Albañilería armada o confinada	3.0
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7.0

(*) Estos coeficientes se aplican únicamente a estructuras en las que los elementos verticales y horizontales permitan la disipación de la energía manteniendo la estabilidad de la estructura. Nota: (MVCS, 2020).

2.2.3. Fundamentos del análisis estructural (norma E.030)

Estimación del peso. “El peso (P) se calcula adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se determina de la siguiente manera”: (MVCS, 2020)

- Para la categoría A y B= 50% carga viva.

- Para categoría C= 25% carga viva.
- En depósitos, se toma el 80% del peso total que es posible almacenar.
- En azoteas y techos en general = 25% carga viva.
- En estructuras de tanques, silos y estructuras similares se considera el 100% de la carga que puede contener.

Análisis estático o de fuerzas estáticas. Representa las tensiones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas que actúan en el centro de masa de cada nivel del edificio (MVCS, 2020).

Ec. 2. Fuerza cortante en la base

$$V = \frac{Z \times U \times C \times S}{R} \times P \quad (2)$$

En la ecuación 2, se muestra la fórmula para estimar la fuerza cortante en la base, donde Z es el factor de zona, U es el factor de categoría de la edificación, S es el factor de suelo y R es el coeficiente de reducción.

Ec. 3. Valor de C/R

$$\frac{C}{R} \geq 0.11 \quad (3)$$

Ec. 4. Distribución de la fuerza sísmica en altura

$$F_i = \alpha_i \times V \quad (4)$$

Ec. 5. Valor α_i

$$\alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_j(h_j)^k} \quad (5)$$

Donde: n= Número de pisos de la edificación, k= Exponente relacionado con el período fundamental de la edificación (T), Para $T \leq 0.5 \text{ seg} \rightarrow k = 1.0$; Para $T > 0.5 \text{ seg} \rightarrow k = (0.75 + 0.5T) \leq 2.0$.

Ec. 6. Período fundamental de vibración

$$T = \frac{h_n}{C_T} \quad (6)$$

Donde:

- $C_T = 35$, para pórticos de concreto armado sin muros de corte.
- $C_T = 45$, para pórticos de concreto armado con muros en escaleras.
- $C_T = 60$, para edificios de albañilería, concreto armado duales.

Análisis dinámico modal espectral. Toda estructura puede diseñarse utilizando los resultados del análisis dinámico por combinación modal espectral (MVCS, 2020)

Ec. 7. Aceleración espectral

$$S_a = \frac{Z \times U \times C \times S}{R} \times g \quad (7)$$

Según la norma E.030 (MVCS, 2020), para el análisis en la dirección vertical, puede usarse un espectro con valores iguales a los 2/3 del espectro empleado, para las direcciones horizontales, considerando los valores de C, a excepción de áreas con período corto ($T < 0.2 \times T_p$)

Ec. 8. Valores C

$$C = 1 + 7.5 \times \left(\frac{T}{T_p} \right) \quad (8)$$

“La respuesta elástica máxima esperada (r) correspondiente al efecto conjunto de los diferentes modos de vibración usados (r_i) puede determinarse mediante la combinación cuadrática completa de los valores calculados para cada modo”. (MVCS, 2020)

Ec. 9. Respuesta máxima elástica esperada

$$r = \sqrt{\sum \sum r_i \times p_{ij} \times r_j} \quad (9)$$

Donde r representa las respuestas modales, desplazamientos o fuerzas, los coeficientes de correlación están dados por:

Ec. 10. Coeficiente de correlación p_{ij}

$$p_{ij} = \frac{8\beta^2(1+\lambda)\lambda^{3/2}}{(1-\lambda^2)^2 + 4\beta^2\lambda(1+\lambda)^2} \quad (10)$$

Ec. 11. Coeficiente de correlación λ

$$\lambda = \frac{\omega_j}{\omega_i} \quad (11)$$

Donde:

- B= fracción del amortiguamiento crítico, que se puede suponer constante para todos los modos, igual a 0.05
- ω_i y ω_j son las frecuencias angulares de los modos i, j

Requisitos de rigidez, resistencia y ductilidad. Para estructuras regulares e irregulares, los desplazamientos laterales son el producto del análisis lineal estático por 0.75R y 0.85R respectivamente.

Tabla 3.

Límites para la distorsión del entrepiso

Material predominante	(Δ_i/h_{ei})
Concreto armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada.	0.005

Nota: (MVCS, 2020).

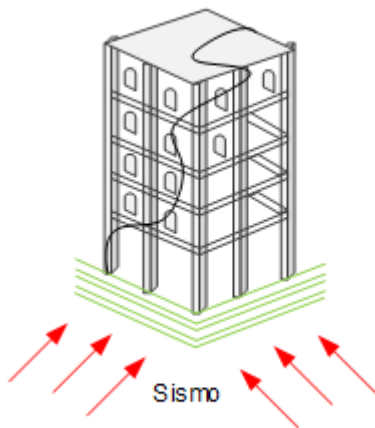
2.2.4. Fundamentos del desempeño sismorresistente

El desempeño sismorresistente representa la capacidad de una edificación de aceptar diferentes niveles de daños en función de la frecuencia con que se producen y de las consecuencias que tienen (Safina, 2003). Es un término del comportamiento deseado, que, un edificio debe ser capaz de alcanzar, cuando se somete a un determinado nivel de movimiento sísmico (Bolaños, 2015).

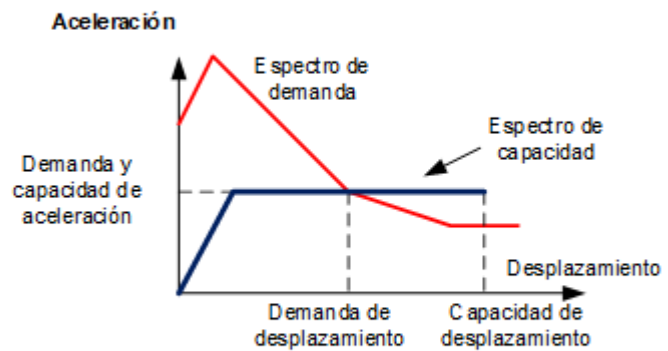
Figura 4.

Capacidad, demanda y desempeño

Capacidad. Fuerza en el punto de rendimiento del elemento o la curva de capacidad de la estructura.



Demanda. Cantidad de fuerza o deformación impuesta en un elemento o componente.



Desempeño. Comportamiento estructural de la intersección de la capacidad versus la demanda.

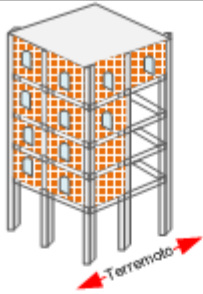
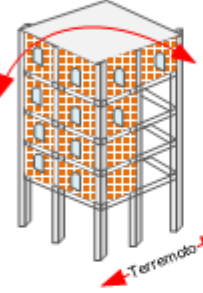
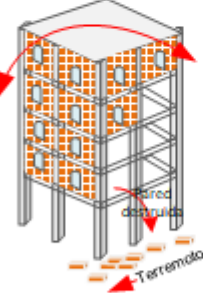
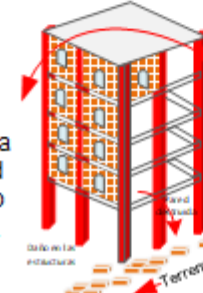
Nota: Adaptado de Merino (2013, pp. 5-7)

Las primordiales propuestas que para determinar el desempeño sísmico están dadas por el Comité Vision 2000 (SEAOC, 1995) y el ATC-40 (1996)

Niveles de desempeño sísmico. “Representa un límite o condición tolerable establecido sobre la base de los probables daños físicos del edificio, la amenaza a la seguridad de los habitantes y la funcionalidad del edificio tras el evento telúrico” (ATC-40, 1996).

Figura 5.

Niveles de desempeño

VISION 2000	ATC-40		
completamente operacional	Operacional		<p>Daño estructural y no estructural despreciable o nulo.</p> <p>Las instalaciones continúan prestando sus servicios y funciones después del sismo.</p>
Ocupacional	Ocupación inmediata	<p>Daños ligeros.</p> 	<p>Las instalaciones esenciales continúan en servicio y las no esenciales pueden sufrir interrupciones de inmediata recuperación.</p>
Seguridad de vida	Seguridad de vida	<p>Daños moderados.</p> 	<p>La estructura sufre daños pero permanece estable. Seguridad de ocupantes. Algunos elementos no estructurales pueden dañarse.</p>
Cerca al colapso	Estabilidad estructural	<p>Daño estructural severo, en la proximidad del colapso estructural.</p> 	<p>Falla de elementos no estructurales. Seguridad de ocupantes comprometida</p>

Niveles de amenaza sísmica. “Valor esperado, de las futuras acciones sísmicas, en un lugar y se cuantifica en términos de una aceleración horizontal del suelo esperada, que tiene una determinada probabilidad de superación en un periodo de tiempo predeterminado” (Corporinoquia, 2016, p. 1).

Tabla 4.

Niveles de amenaza sísmica

Propuesta	Sismo	Vida útil (años)	Probabilidad de excedencia (%)	Período de retorno (años)
Según el Comité Visión 2000	Frecuente	30	50	43
	Ocasional	50	50	72
	Raro	50	10	475
	Muy raro	100	10	970
Según el ATC-40	Sismo de servicio, SE	50	50	72
	Sismo de diseño, DE	50	10	475
	Sismo máximo, ME	50	5	975
Según FEMA 356	Frecuente	50	50	72
	Ocasional	50	20	225
	Raro	50	10	474
	Muy raro	50	2	2475

Nota: Adaptado de Fernández (2018, p. 19), Purca (2015), Intor y Martos (2017); Mamani (2015).

Objetivos del desempeño. Son combinaciones de los niveles de desempeño con la amenaza sísmica, para toda edificación se debe elegir el objetivo de desempeño que se espera de la misma, tomando en consideración su uso, importancia e inversión económica (Fernández, 2018, p. 21).

Figura 6.

Objetivos de desempeño según Comité Visión 2000

		Nivel de desempeño sísmico			
		Totalmente operacional	Operacional	Seguridad de vida	Prevención de colapso
Sismo de diseño	Ocasional Frecuente (43 años)	●	0	0	0
	Ocasional (72 años)	●		Desempeño inaceptable (Para edificaciones nuevas)	0
	Raro (475 años)	●	●	●	0
	Muy raro (970 años)	●	●	●	●

Objetivos básicos

Objetivos esenciales

Objetivos de seguridad crítica

Nota: (SEAOC, 1995)

Figura 7.

Objetivos de desempeño según ATC-40

		Nivel de desempeño del edificio			
		Operacional	Ocupación inmediata	Seguridad de vida	Estabilidad estructural
Nivel de sismo de diseño	Sismo de servicio	P	NA	NA	NA
	Sismo de diseño	P	P	P	NA
	Sismo máximo	NA	P	P	P

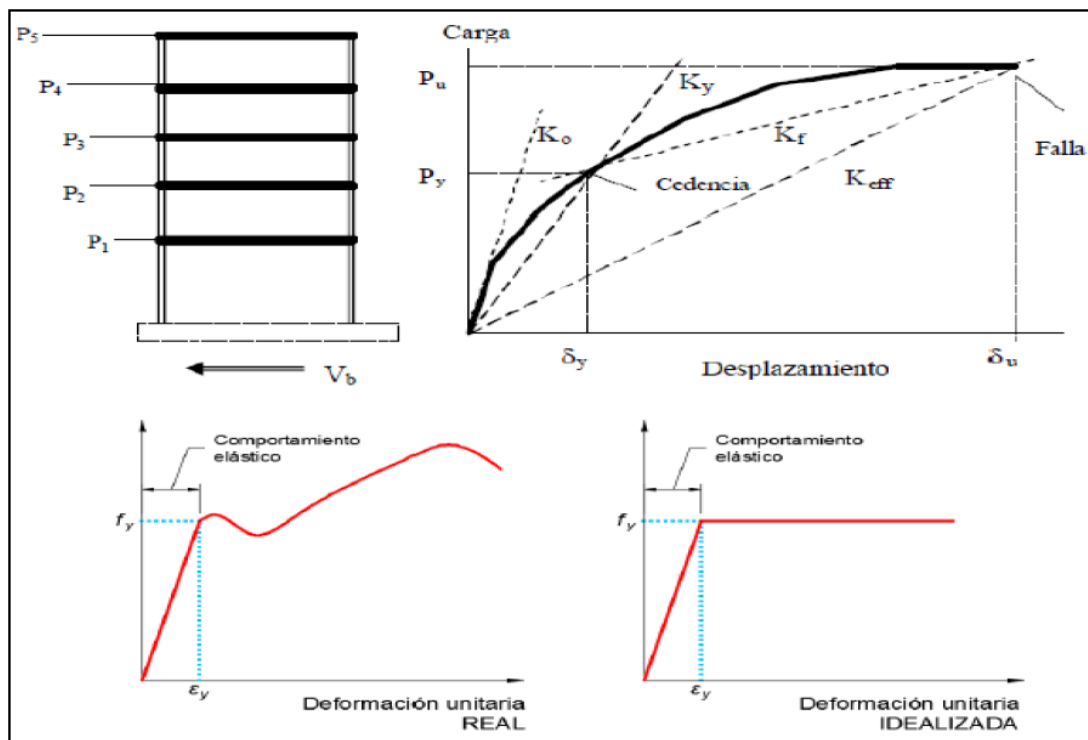
Nota: (ATC-40, 1996)

2.2.5. Método no lineal estático (*Pushover*)

Es un estudio que se realiza en una edificación en el rango inelástico, hasta alcanzar al colapso, reside en aumentar cargas laterales de forma monótona, formando desplazamientos laterales en cada entrepiso, por lo que, se visualizan los puntos de falla en los elementos (Huaman, 2016; Paredes, 2016; Vega, 2020, p. 29). Se basa en aplicar un patrón de cargas laterales, que, se van acrecentando hasta lograr un desplazamiento objetivo, concerniente al máximo que puede soportar la edificación (Urteaga, 2019, p. 26). Este procedimiento admite comprobar la respuesta de la edificación a efecto de las fuerzas laterales, derivadas por un sismo de fija intensidad, y así establecer los niveles de desempeño sísmico, según ATC-40 y/o FEMA 356 (Loa, 2017, p. 8).

Figura 8.

Patrón de cargas laterales



Nota: (Hernandez, 2017, citado por Urteaga, 2019).

Procedimiento para el análisis Pushover

Se determinan las fuerzas distribuidas en cada piso (F_i), cuya sumatoria será igual a la cortante basal, tal como se muestra en la Fig. 8. Estas fuerzas se aplican a la edificación consiguiendo un desplazamiento lateral máximo d_s , que es el máximo antes de que la edificación colapse, al ir incrementando progresivamente las cargas (Paredes, 2016, pp. 27-28).

Las distribuciones de carga lateral, que más se usan son: (FEMA, 1996)

- Patrón uniforme de cada, proporcionadamente según nivel.
- Distribución proporcionada, según multiplicación de masa y deformación modal.

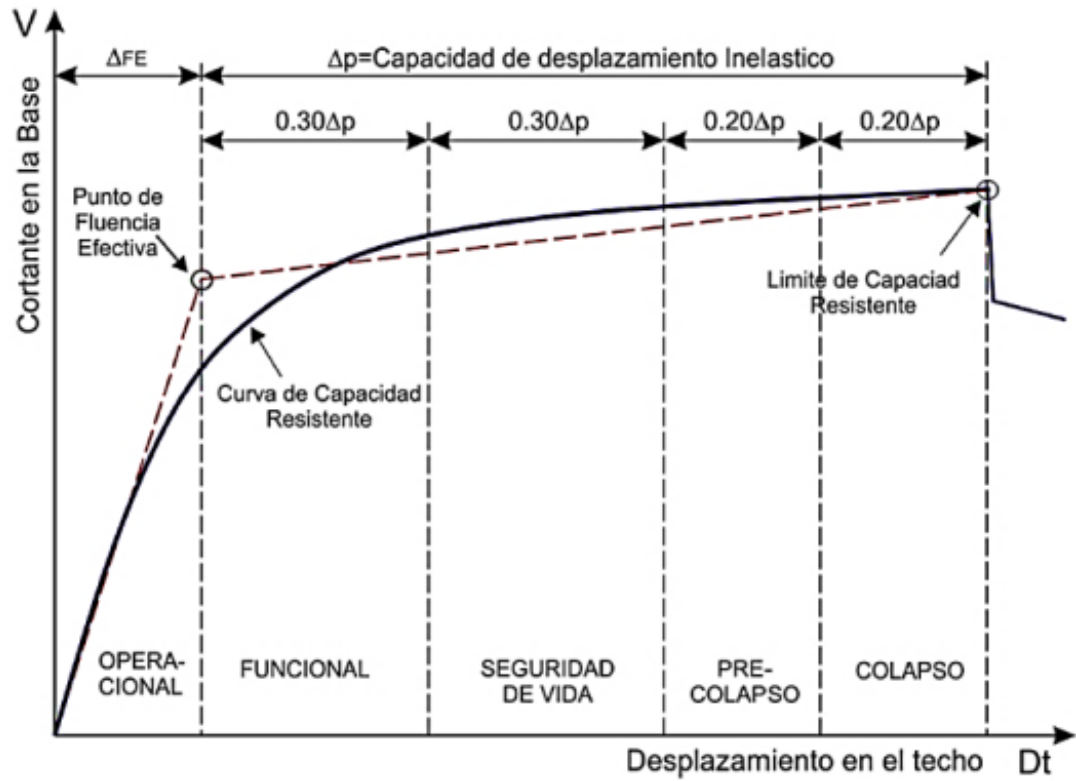
a. Espectro de capacidad

“Sistema de ejes de coordenadas; en el eje de abscisas está el desplazamiento en el último nivel y en el eje de ordenadas el esfuerzo cortante en la base” (Fernández, 2018, p. 25).

Par determinar el desempeño por el ATC-40, FEMA, etc., primero se debe transformar la curva de capacidad (cortante basal – desplazamiento), a espectro de capacidad (S_a vs. S_d) (Paredes, 2016, p. 30).

Figura 9.

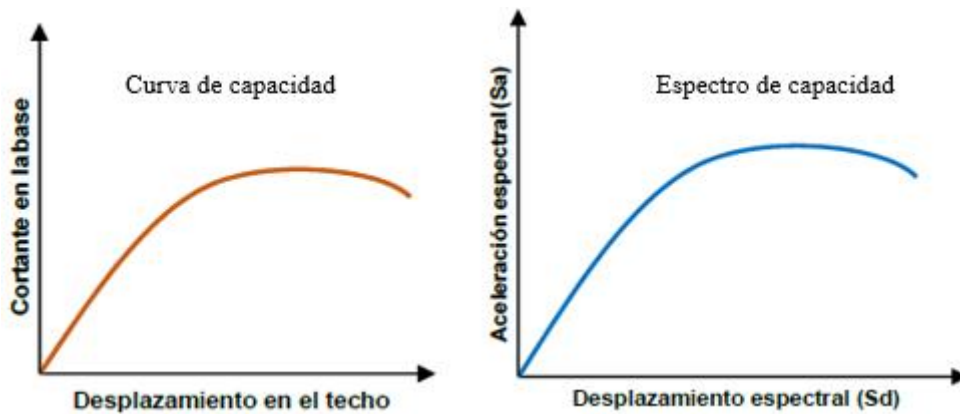
Representación de la curva bilineal y la sectorización de la curva de capacidad



Nota: (Vega, 2020, p. 42)

Figura 10.

Curva de capacidad y espectro de capacidad



Nota: (Fernández, 2018, pp.24-25)

Las ecuaciones necesarias para convertir la curva de capacidad a espectro de capacidad son:

Ec. 12. Factor de participación modal para el primer modo natural

$$PF_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (W_i \phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^N (W_i \phi_{i1}^2) / g} \quad (12)$$

Ec. 13. Coeficiente modal de masa para el primer modo natural

$$\alpha_1 = \frac{[\sum_{i=1}^N (W_i \phi_{i1}) / g]^2}{[\sum_{i=1}^N (W_i \phi_{i1}) / g] \times [\sum_{i=1}^N (W_i \phi_{i1}^2) / g]} \quad (13)$$

Ec. 14. Aceleración espectral

$$S_{ai} = \frac{V_i / w}{\alpha_1} \quad (14)$$

Ec. 15. Desplazamiento espectral

$$S_{di} = \frac{\Delta_{techo}}{PF_1 \times \phi_{techo,1}} \quad (15)$$

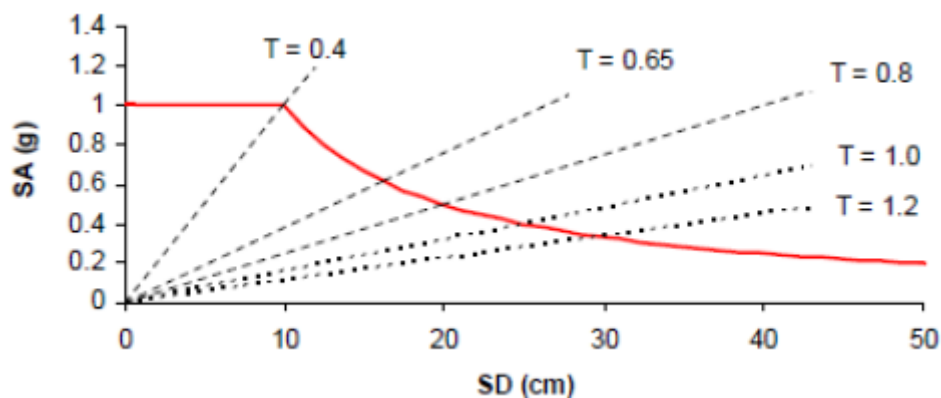
Donde: W_i/g = masa asignada al nivel i , ϕ_{i1} = amplitud del modo 1 en el nivel i , N = nivel N , el nivel más alto de la edificación, V = cortante basal, W = peso de la edificación, Δ_{techo} = desplazamiento del techo.

b. Espectro de demanda

El espectro está dado en medidas de aceleración y desplazamientos espectrales (Fernández, 2018, p. 26).

Figura 11.

Espectro de demanda



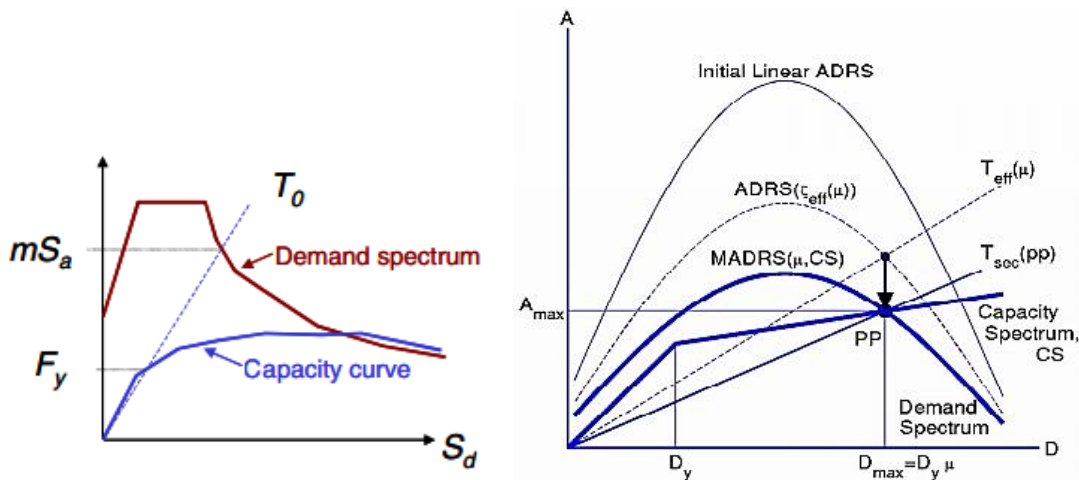
Nota: (Toledo, 2011, p. 8)

c. Punto de desempeño

Se alcanza con la confluencia entre el espectro de capacidad y el espectro de demanda (Vega, 2020, p. 42).

Figura 12.

Punto de desempeño



Nota: (Compartin, et al., 2004)

2.3. Definición de términos

Espectro

Respuesta estructural máxima, que relaciona la fuerza restitutiva con el desplazamiento o aceleración (Marín, 2014, p. 21).

Estructura

Es el conjunto de partes que conforman un todo incluyendo la forma en la que se conectan y la interacción de ellas. La estructura o súper estructura es la parte de la edificación que queda sobre el nivel del suelo. (Rojas, 2012)

Desempeño sismorresistente

El desempeño sismorresistente representa la capacidad de una edificación de aceptar los diferentes niveles de daños, en función de la frecuencia con la que ocurren y los efectos que tienen (Safina, 2003).

Método estático no lineal Pushover

Método que consiste en aplicar cargas laterales hasta verificar que la estructura cumpla con el objetivo de desempeño (Paredes, 2016).

Sismo

Movimientos conexos, entre placas tectónicas, que causa un acopio de energía, liberado en ondas sísmicas (Vergara y Zevallos, 2014, p. 14).

CAPÍTULO III.

PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

H1: El desempeño sismorresistente, mediante el método no lineal estático pushover, del edificio de ingeniería civil de la UNACH, según el punto de desempeño, es distinto, para un sismo de servicio, de diseño y máximo.

Ho: El desempeño sismorresistente, mediante el método no lineal estático pushover, del edificio de ingeniería civil de la UNACH, según el punto de desempeño, es igual, para un sismo de servicio, de diseño y máximo.

3.2. Variables

3.2.1. *Variable independiente*

El “Método no lineal estático pushover”, es la aplicación de los lineamientos del método no lineal, para determinar el desempeño sísmico de la estructura. Involucra la definición de los datos necesarios para el modelamiento de la estructura y posterior análisis sísmico. Tiene como dimensiones:

- Capacidad portante del suelo
- Parámetros sísmicos. Son los factores de diseño de la estructura según la actual norma E.030.
- Propiedades resistentes de los materiales
- Metrado de cargas
- Modelo estructural. Este análisis es del tipo estático no lineal-Pushover, por tanto, la edificación se somete a cargas de gravedad y a fuerzas laterales que son exageradas de manera monótona, hasta alcanzar la capacidad máxima de la edificación.

3.2.2. Variable dependiente

El “Desempeño sismorresistente” refiere al comportamiento estructural que presenta la edificación, según las propuestas del ATC-40, FEMA-356 y ASCE7SEI41-13. Tiene las siguientes dimensiones:

- Capacidad. Pende de la resistencia y deformación máxima de sus elementos.
- Demanda sísmica. Estimado de la máxima respuesta esperada del edificio durante un eventual sismo y que puede variar durante la vida útil de la edificación.
- Desempeño sísmico. Comportamiento global de la estructura y posibles daños estructurales a sufrir ante un eventual sismo.

3.3. Operalización de variables

Tabla 5.

Cuadro de operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Indicador	Instrumento	Índice	
Variable independiente	Parámetros sísmicos	Factor de zona	Espectro de diseño	Adimensional	
		Factor de suelo		Adimensional	
		Factor de importancia		Adimensional	
		Factor de sistema estructural		Adimensional	
	Propiedades resistentes de los materiales	Concreto	Expediente técnico de ejecución	Kg/cm ²	
		Acero		Kg/cm ²	
		Albañilería		Kg/cm ²	
	Método no lineal Pushover	Metrado de cargas	Carga viva	Formato de metrado	Kg/cm ²
			Carga muerta		Kg/cm ²
			Carga unitaria		Kg/cm ²
Modelamiento estructural	Configuración estructural	Comportamiento no lineal	Modelo digital ETABS	----	
				Patrón de cargas laterales	----
				Derivas	mm
Variable dependiente	Análisis sísmico según norma E.030	Desplazamientos	Modelo ETABS	mm	
		Cortante basal		Adimensional	
		Capacidad estructural		Curva de capacidad	Cm
Desempeño sismorresistente	Análisis sísmico Pushover	Demanda sísmica	Intersección del espectro de capacidad y demanda	Niveles	
		Desempeño sísmico		Niveles	

CAPÍTULO IV.

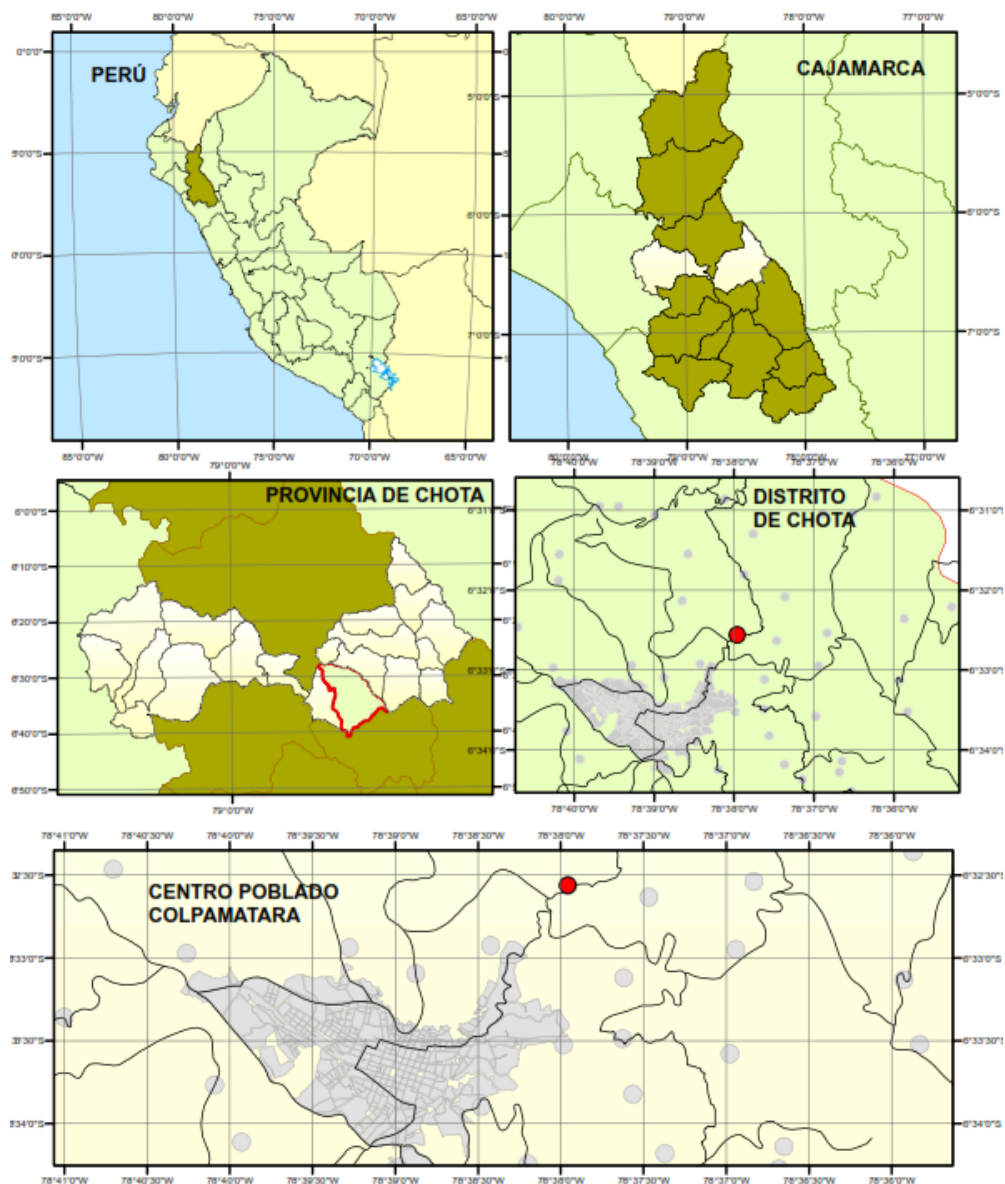
MARCO METODOLÓGICO

4.1. Ubicación geográfica del estudio

La ciudad de Chota está situada geográficamente en las coordenadas UTM WGS84 759907.01 m y 9274121.38 m S a una altura de 2,388 msnm (MPCH, 2018). La UNACH, está localizada en el centro poblado de Colpamatara, del distrito y provincia Chota, región Cajamarca.

Figura 13.

Ciudad de Chota



4.2. Unidad de análisis, población y muestra

4.2.1. Población

Pabellones del campus universitario ubicado en el centro poblado Colpamatara de la UNACH.

Figura 14.

Acceso al campus universitario Colpamatara de la UNACH

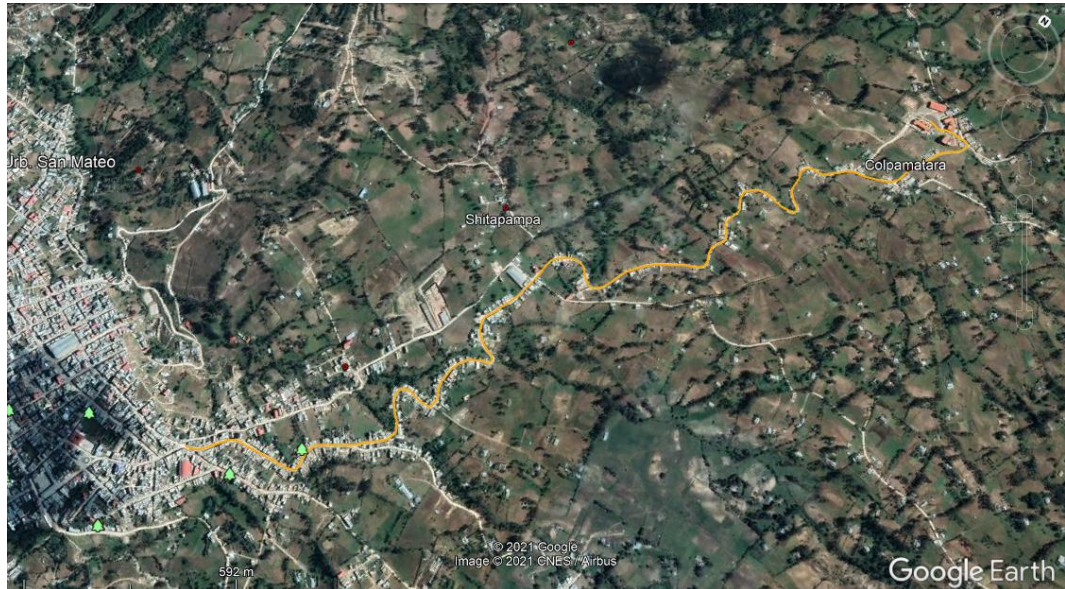


Figura 15.

Campus universitario Colpamatara de la UNACH



4.2.2. Muestra

La muestra de análisis fue el edificio de Ingeniería Civil del campus universitario Colpamatara de la UNACH del distrito de Chota, definida por conveniencia.

Figura 16.

Ubicación del edificio de Ingeniería Civil de la UNACH

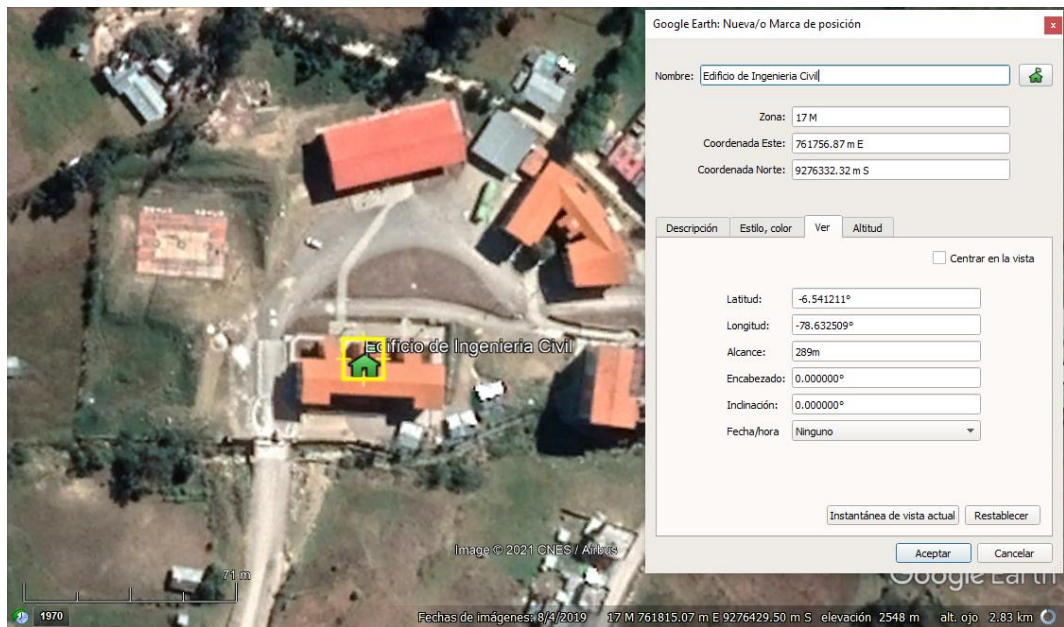


Figura 17.

Edificio de Ingeniería Civil de la UNACH



4.3. Tipo y descripción del diseño de investigación

4.3.1. Tipo de investigación

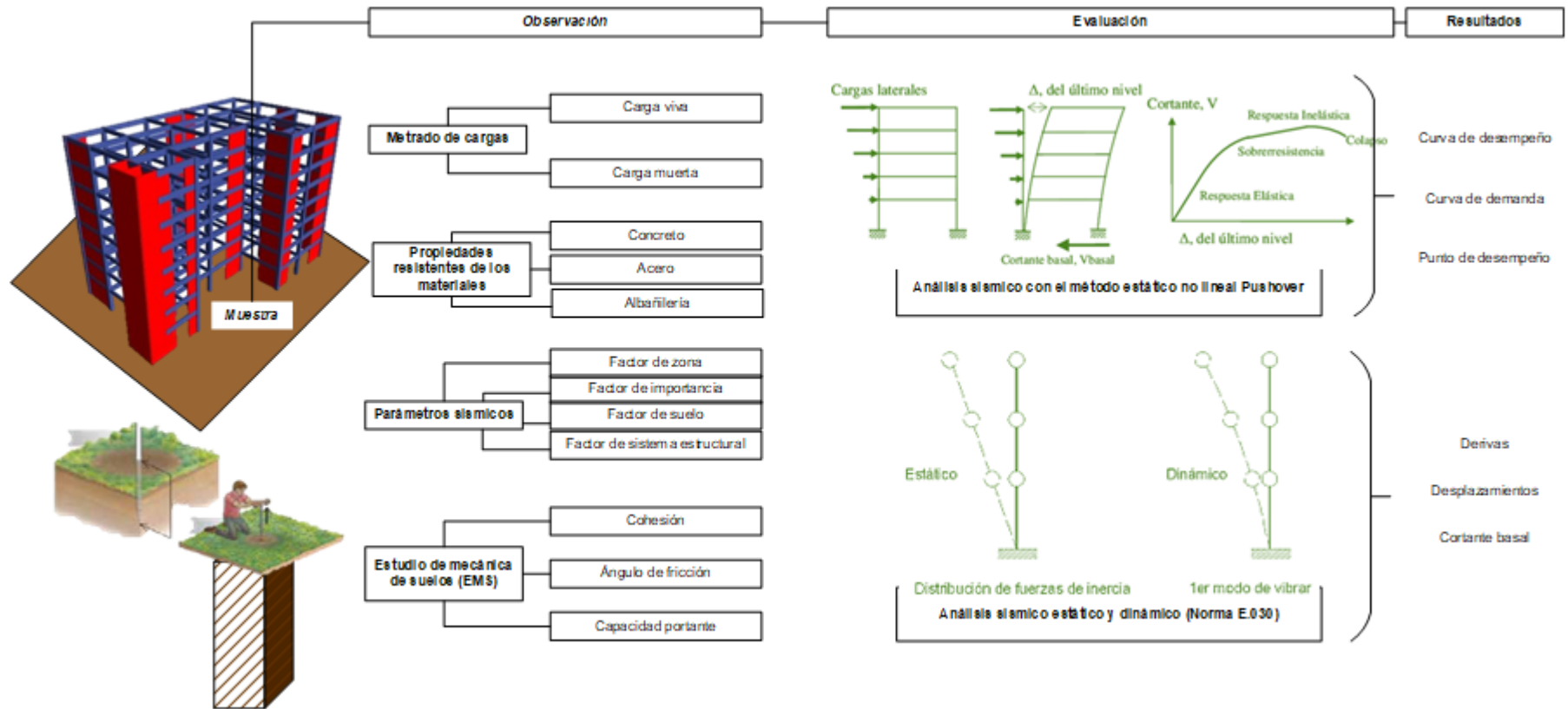
Es cuantitativa debido (Hernández, et al., 2014, p. 10), se ha cuantificado la capacidad portante del suelo, la calidad de los materiales las cargas y dimensiones de la edificación, para luego procesar los datos mediante el programa Etabs, para determinar deformaciones, desplazamientos e identificar el punto de desempeño sismorresistente de la edificación.

4.3.2. Diseño de investigación

El diseño es descriptivo causal simple, se ha aplicado la observación sobre la muestra de estudio para describir los resultados, pero se ha tratado de medir una relación de causa (x) y efecto (Y), en una sola muestra (M), en este caso la causa es el evento sísmico, y el efecto que produce es la modificación del desempeño de la edificación. Se representa mediante el esquema $M \leftarrow XY$, expuesto en la Fig. 18.

Figura 18.

Diseño de investigación: Descriptivo causal simple



4.3.3. Método de investigación

Se hizo uso del método sintético analítico (Behar, 2008), debido a que el modelo estructural que es un “Todo”, fue analizado por niveles para ingresar las cargas y definir las secciones, así mismo, cada elemento estructural fue analizado por sí solo para definir sus propiedades resistentes, es decir fue separado por “partes”, pero luego volvió a analizarse la edificación en su totalidad para conocer su comportamiento frente a un evento sísmico.

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1. Técnicas

- Observación sistemática. Visualización de la estructura para corroborar los planos según el Expediente Técnico (E.T).
- Análisis documental. Revisión del Expediente técnico (E.T.) y normas de aplicación, para definir los parámetros sísmicos, niveles de desempeño y niveles sísmicos para el análisis Pushover.
- Ensayos de laboratorio. Ensayo de corte directo al suelo de cimentación de la edificación.
- Modelamiento de la edificación. Utilización del software ETABS para modelar la edificación y realizar el análisis sísmico según la norma E.030-2020 y por el método estático no lineal Pushover.

4.4.2. Instrumentos

- Cuaderno de campo. Medio de registro de la información observada en campo y gabinete durante la ejecución de la investigación.
- Formato de registro de información. Medio de registro de valores de importancia referentes a los materiales definidos en el E.T., el metrado de

cargas y los parámetros sísmicos definidos por los lineamientos de la norma E.030-2020.

- Formatos de ensayos de laboratorio. El formato del ensayo de corte directo permite definir los valores de la cohesión, ángulo de fricción y la resistencia al corte del suelo. Con los valores de las propiedades mecánicas se define la capacidad portante del suelo, este valor clasifica al suelo según la norma E.030-2020.
- Modelo de la edificación. El modelo de la edificación permite la aplicación de la norma E.030-2020 y del método estático no lineal Pushover para determinar el comportamiento de la estructura frente a un sismo.

4.5. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

4.5.1. Procedimiento para la obtención de la información

Ensayo de corte directo NTP 339.171 (INACAL, 2017)

Según Llique (2003) mediante este ensayo se determina el ángulo de fricción interna (ϕ), la cohesión (C), la resistencia al esfuerzo cortante (τ), y la capacidad portante del suelo (q_0).

Equipos y/o materiales

- Equipo de corte directo
- Caja rectangular con accesorios
- Muestreador
- Extractor de muestras
- Balanza con aprox. 0.01 gr.
- Muestra inalterada

Procedimiento

- Se realizó la excavación de 1 calicata de una profundidad de 3.00 m, en las coordenadas UTM WGS84 761739.35 m E, 9276340.05 m S.
- Se obtuvieron tres muestras inalteradas de 10 cm de lado y 4 cm de altura.
- Se ensambló la placa de base con la mitad de la caja rectangular.
- Se colocó la caja rectangular ensamblada en el equipo de corte directo
- Se colocaron y establecieron cuatro diales de expansión en ceros.
- Se dio una carga vertical la cual permanecerá constante durante el ensayo.
- Se aplicaron cargas tangenciales mediante las deformaciones del resorte del anillo horizontal
- Se registraron las deformaciones, luego se repitió el ensayo en las otras dos muestras.
- Se dibujó las curvas esfuerzo – deformación, para determinar la cohesión y fricción.

Modelamiento en ETABS

ETABS, instrumento de diseño y análisis, que se basa en los conceptos de elementos finitos, para realizar análisis estáticos y/o dinámicos para el rango lineal o no lineal. “Para el caso de análisis no lineal, la generación de rótulas plásticas se realiza utilizando modelos de plasticidad concentrada en las zonas de mayor rigidez del elemento” (Bolaños, 2015, pp. 30-31).

Equipos y/o materiales

- Computadora portátil
- Escritorio
- Software ETABS vs. 2018
- Software AutoCAD 2018
- Software Microsoft Excel 2016

- Reglamento Nacional de Edificaciones 2020
- Manual FEMA 356
- Expediente técnico de la edificación
- Formatos de ensayo de corte directo
- Formato de estimación de cargas

Procedimiento

- Abrir el programa Etabs y configurar el modelo
- Definir las características de los materiales
- Definir las secciones de la losa, columnas, vigas y placas
- Se procede a dibujar el modelo estructural
- Creación de cargas de gravedad
- Creación de diafragma rígido
- Asignación de cargas
- Análisis modal – espectral
- Análisis Pushover

4.5.2. Análisis de la información

Se hizo en los softwares computacionales Microsoft Excel 2016 y Etabs 2018, según la norma E.030-2020, ATC-40, SEAOC 1995, y FEMA 356, para el análisis estático no lineal Pushover.

4.6. Matriz de consistencia metodológica

Anexo N° 1.

CAPÍTULO V.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Presentación de resultados

El edificio de ingeniería civil de la UNACH, está destinado al rubro educación superior, tiene cuatro niveles, con dos accesos a los niveles superiores “escaleras independientes” (módulo IV y módulo VI), SS.HH. (módulo V), un módulo administrativo (módulo III), un módulo destinado a laboratorios (módulo I), y un módulo principal destinado a aulas y auditorio (módulo II).

Tabla 6.

Especificaciones estructurales de los módulos del edificio de ingeniería civil

Eje	Módulo					
	I	II	III	IV	V	VI
Eje X-X	Pórtico de concreto armado	Pórtico de concreto armado	Pórtico de concreto armado	Muros estructurales	Sistema Dual	Muros estructurales
Eje Y-Y	Pórtico de concreto armado	Sistema Dual	Pórtico de concreto armado	Muros estructurales	Sistema Dual	Muros estructurales

Tabla 7.

Especificaciones de los materiales

Propiedades de los materiales	Concreto	Acero	Albañilería
Resistencia	210 kg/cm ²	4,200 kg/cm ²	45 kg/cm ²
Peso específico	2400 kg/m ³	7850 kg/m ³	1850 kg/m ³
Módulo de elasticidad	15000*(210) ^{0.5} Kg/cm ²	2*10 ⁶ Kg/ccm ²	500*45 Kg/cm ²
Módulo de poisson	0.20		
Fluencia (fu)		6,300 kg/cm ² de grado 60	
Clase			Ladrillo tipo IV
Dimensiones			Ladrillo King Kong 9 x 13 x 24 cm

Figura 19.

Edificación del análisis en vista 3D.



Figura 20.

Planteamiento arquitectónico del modelo.

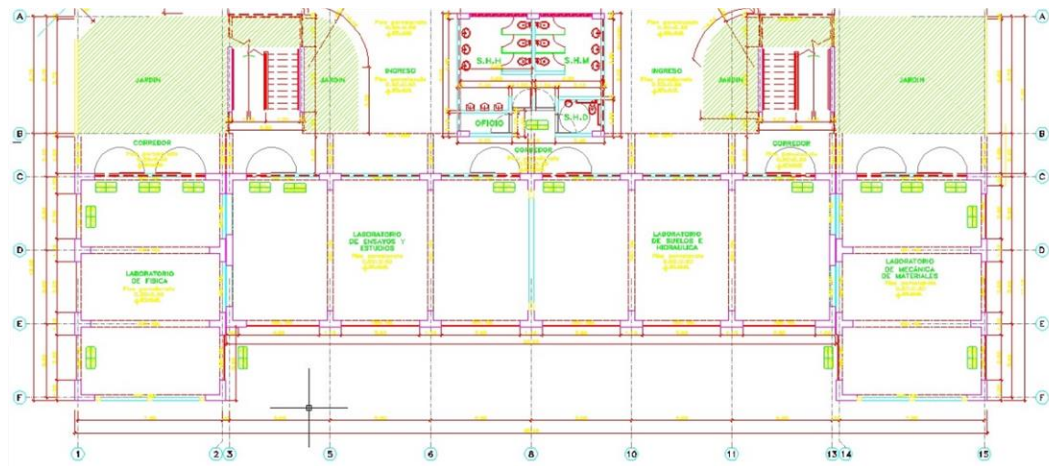
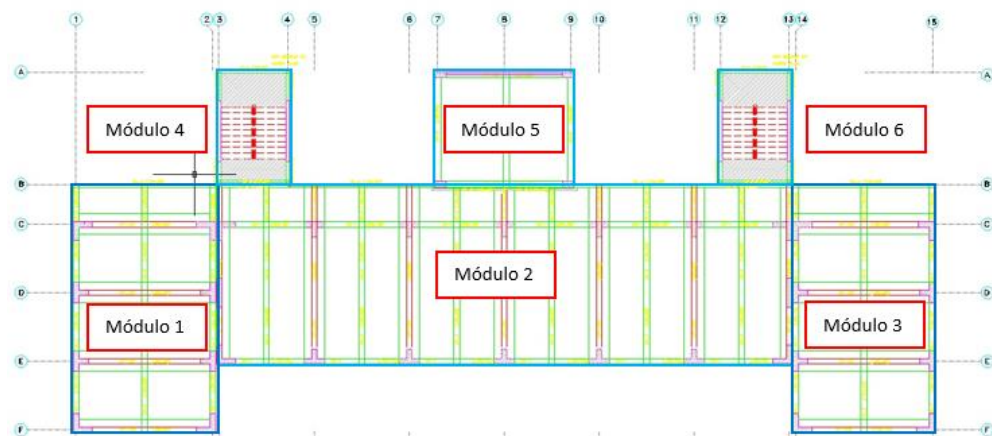


Figura 21.

Planteamiento arquitectónico dividido en 6 Módulos para el análisis



5.1.1. Desplazamientos máximos absolutos y relativos

5.1.1.1. Módulo I

Los desplazamientos máximos absolutos y relativos del análisis sísmico del módulo I, así como las verificaciones sugeridas en la norma E.030 se muestran en las Fig. 22 y Fig. 23, donde se puede observar que el desplazamiento absoluto en X es 9.01 mm, y en Y es 2.76 mm; así mismo, las derivas relativas máximas por piso X e Y son nimios a 0.007, cumplen con la norma E.030.

Figura 22.

Desplazamientos máximos absolutos en dirección X e Y, módulo I

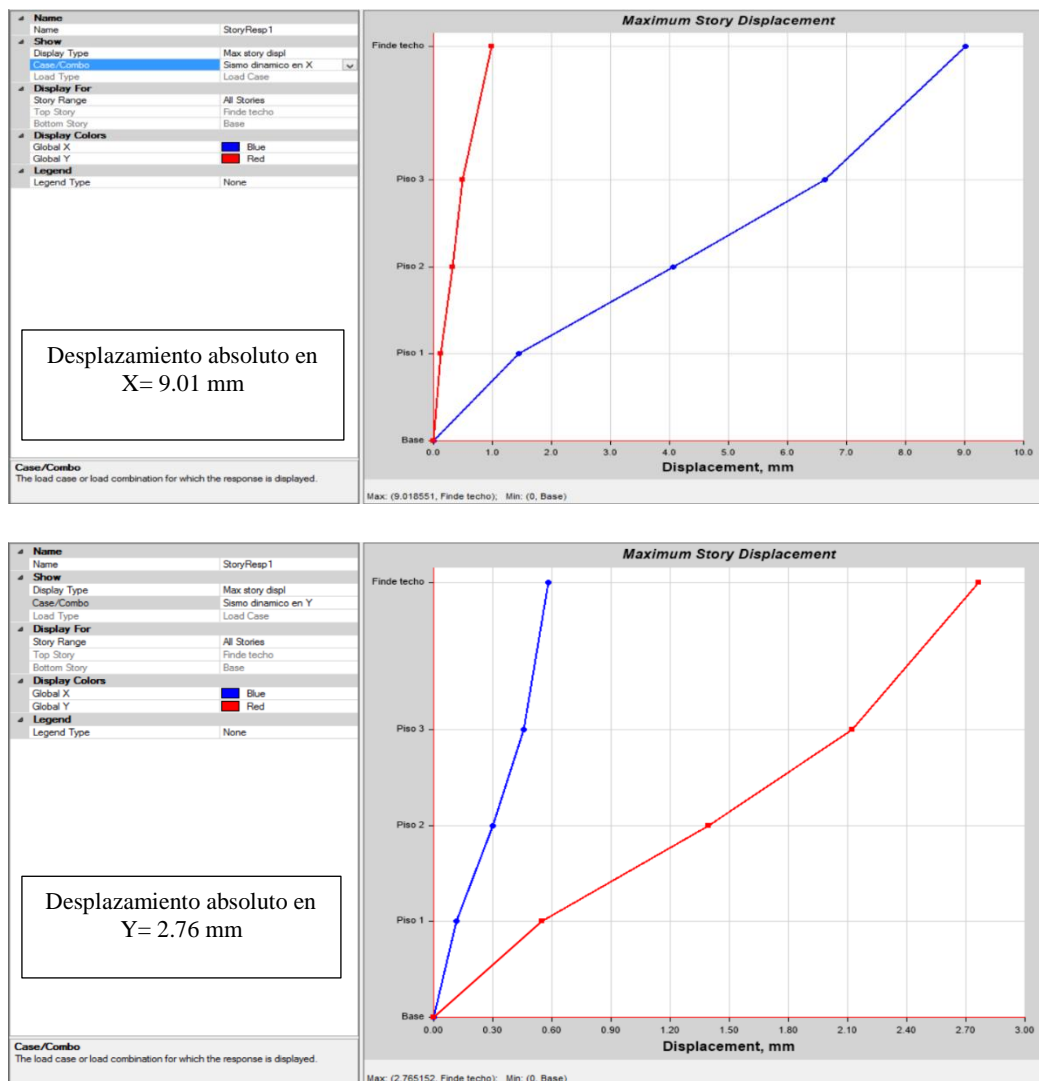


Figura 23.

Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo I

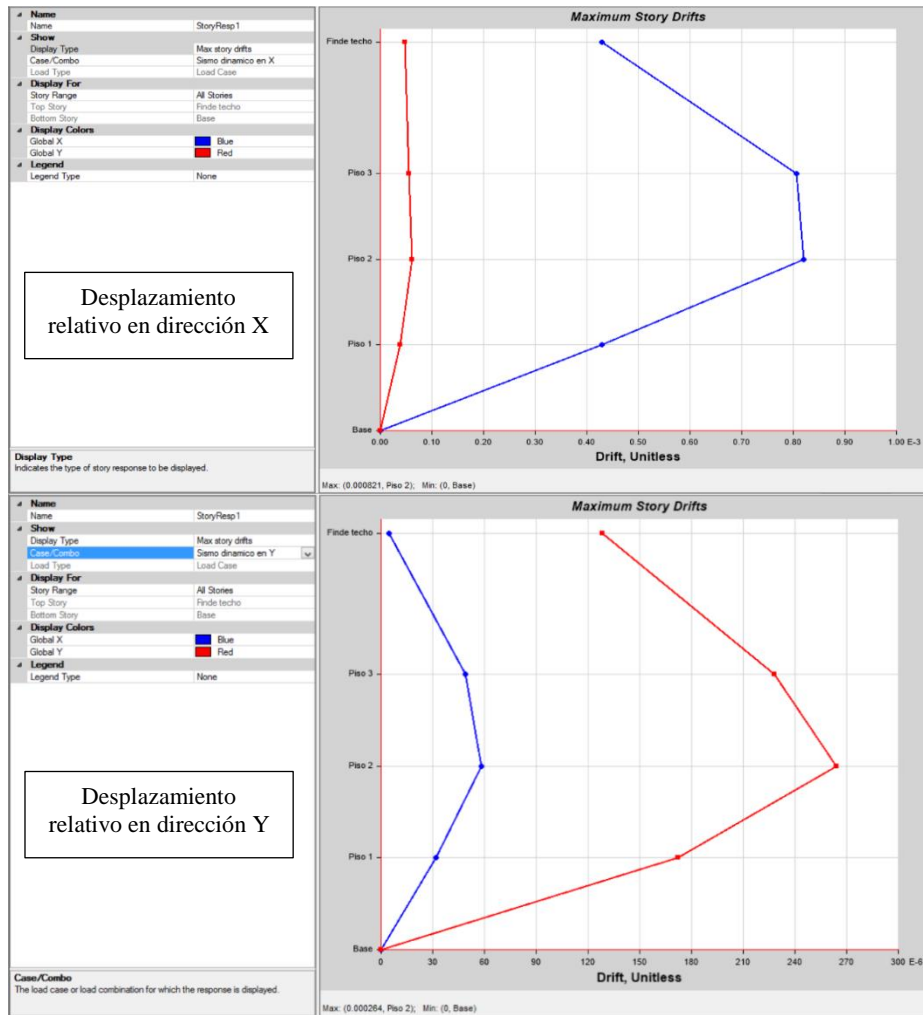


Tabla 8.

Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo I

Pisos	Caso de carga	Dirección	Deriva	Rx= 8	
				Deriva	*0.75*R < 0.007
Deriva máximas por piso en la dirección X					
Fin techo	SIS Dinam.	X	0.00043	0.002574	Si
Piso 3	SIS Dinam.	X	0.00081	0.00483	Si
Piso 2	SIS Dinam.	X	0.00082	0.004926	Si
Piso 1	SIS Dinam.	X	0.00043	0.002574	Si
Deriva máximas por piso en la dirección Y					
Fin techo	SIS Dinam.	Y	0.000128	0.000768	Si
Piso 3	SIS Dinam.	Y	0.000228	0.001368	Si
Piso 2	SIS Dinam.	Y	0.000264	0.001584	Si
Piso 1	SIS Dinam.	Y	0.000172	0.001032	Si

5.1.1.2.Módulo II

Los desplazamientos máximos absolutos y relativos del análisis sísmico del módulo II, así como las verificaciones sugeridas en la norma E.030 se muestran en las Fig. 24 y Fig. 25, donde se puede observar que el desplazamiento absoluto en X es 4.61 mm, y en Y es 9.26 mm; así mismo, las derivas relativas máximas por piso en la dirección X e Y son nimios a 0.007, cumplen con la norma E.030.

Figura 24.

Desplazamientos máximos absolutos en dirección X e Y, módulo II

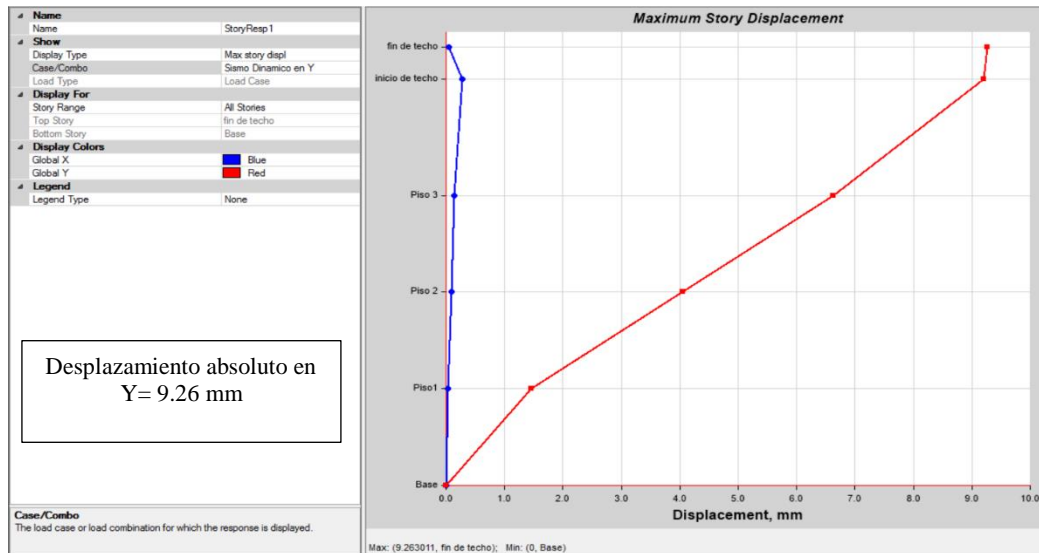
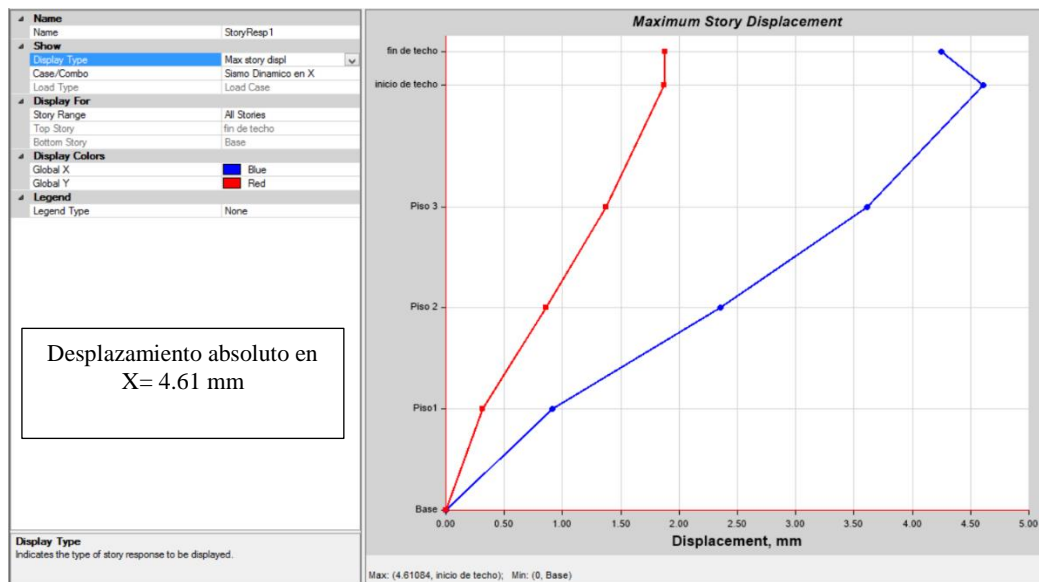


Figura 25.

Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo II

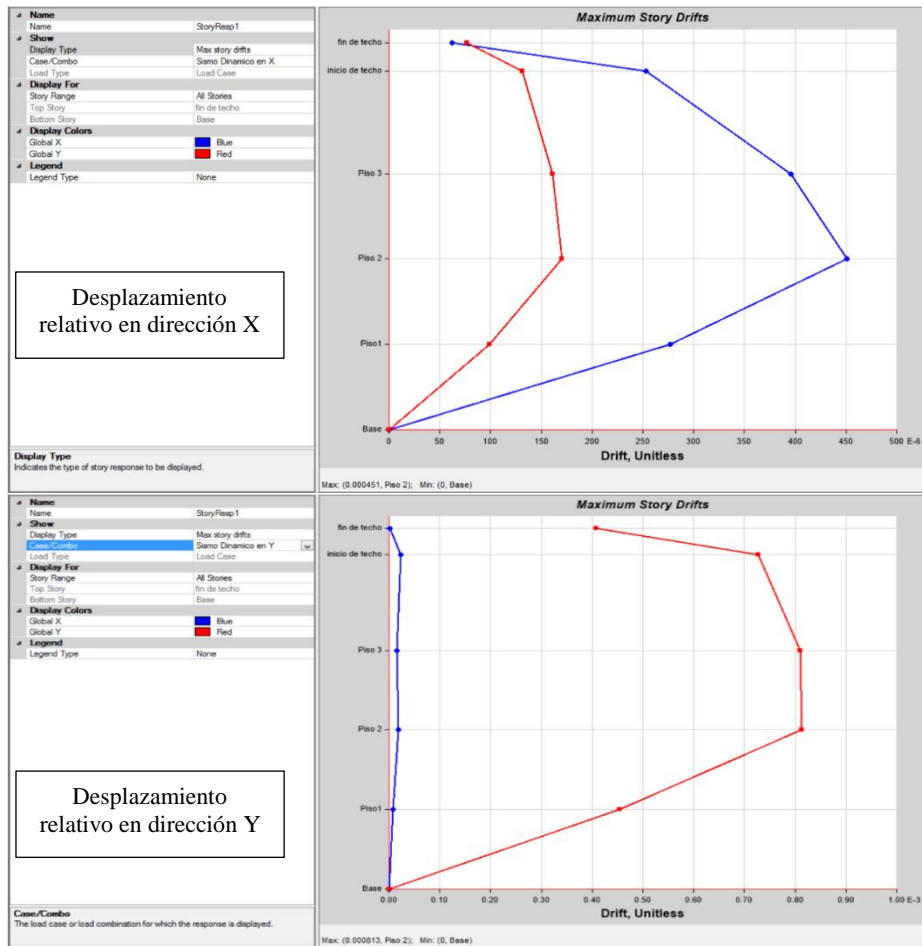


Tabla 9.

Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo II

Pisos	Caso de carga	Dirección	Deriva	Rx= 8, Ry= 7	
				Deriva *0.75*R	< 0.007
Deriva máximas por piso en la dirección X					
Fin techo	SIS Dinam.	X	0.000062	0.000372	Si
Inicio techo	SIS Dinam.	X	0.000253	0.001518	Si
Piso 3	SIS Dinam.	X	0.000396	0.002376	Si
Piso 2	SIS Dinam.	X	0.000451	0.002706	Si
Piso 1	SIS Dinam.	X	0.000277	0.001662	Si
Deriva máximas por piso en la dirección Y					
Fin techo	SIS Dinam.	Y	0.000408	0.0002142	Si
Inicio techo	SIS Dinam.	Y	0.000728	0.003822	Si
Piso 3	SIS Dinam.	Y	0.00081	0.0042525	Si
Piso 2	SIS Dinam.	Y	0.000813	0.00426825	Si
Piso 1	SIS Dinam.	Y	0.000454	0.0023835	Si

5.1.1.3.Módulo III

Los desplazamientos máximos absolutos y relativos del análisis sísmico del módulo III, así como las verificaciones sugeridas en la norma E.030 se muestran en las Fig. 26 y Fig. 27, donde se puede observar que el desplazamiento absoluto, en X es 9.03 mm, y en Y es 2.72 mm; así mismo, las derivas relativas máximas por piso en la dirección X e Y son nimios a 0.007, cumplen con la norma E.030.

Figura 26.

Desplazamientos máximos absolutos en dirección X e Y, módulo III

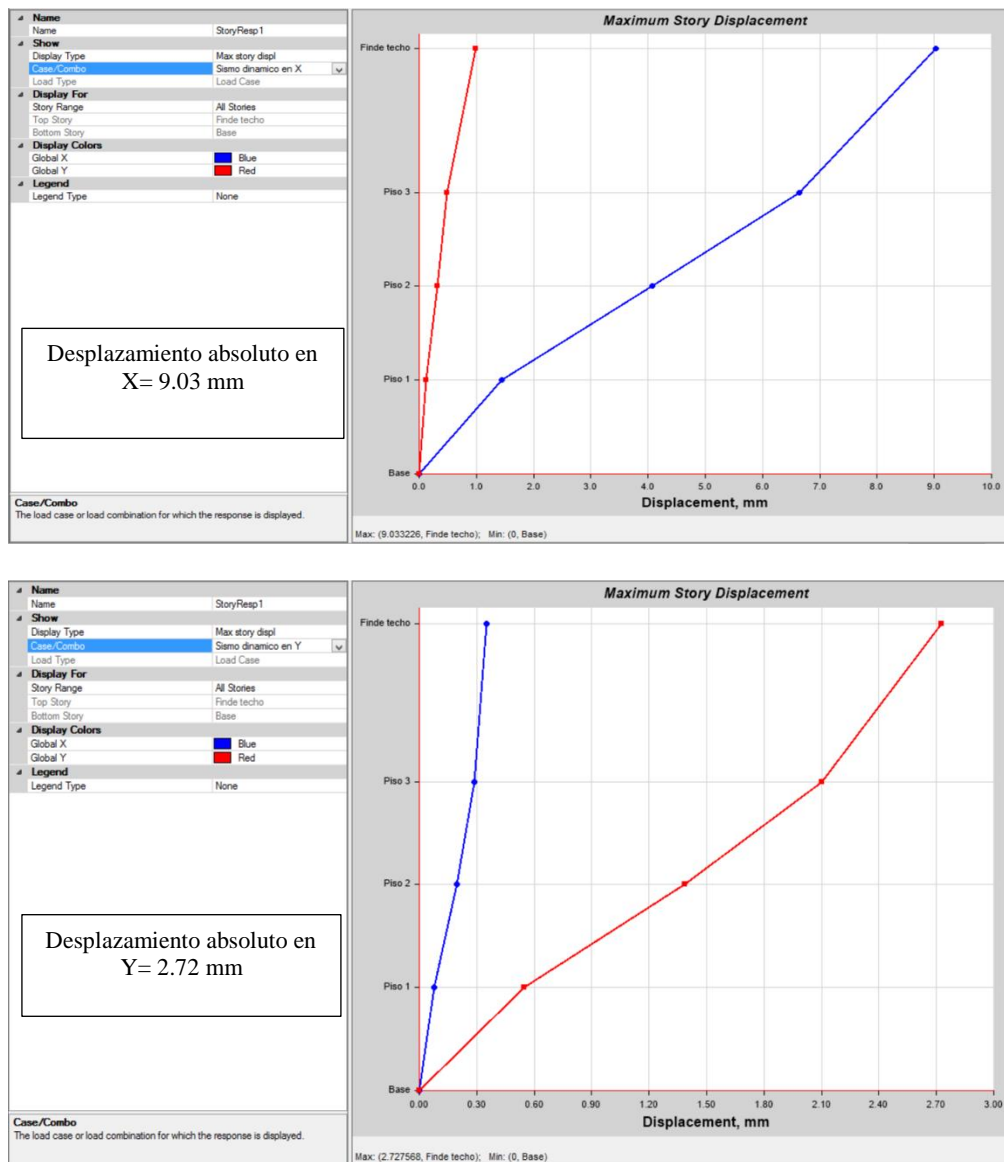


Figura 27.

Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo III

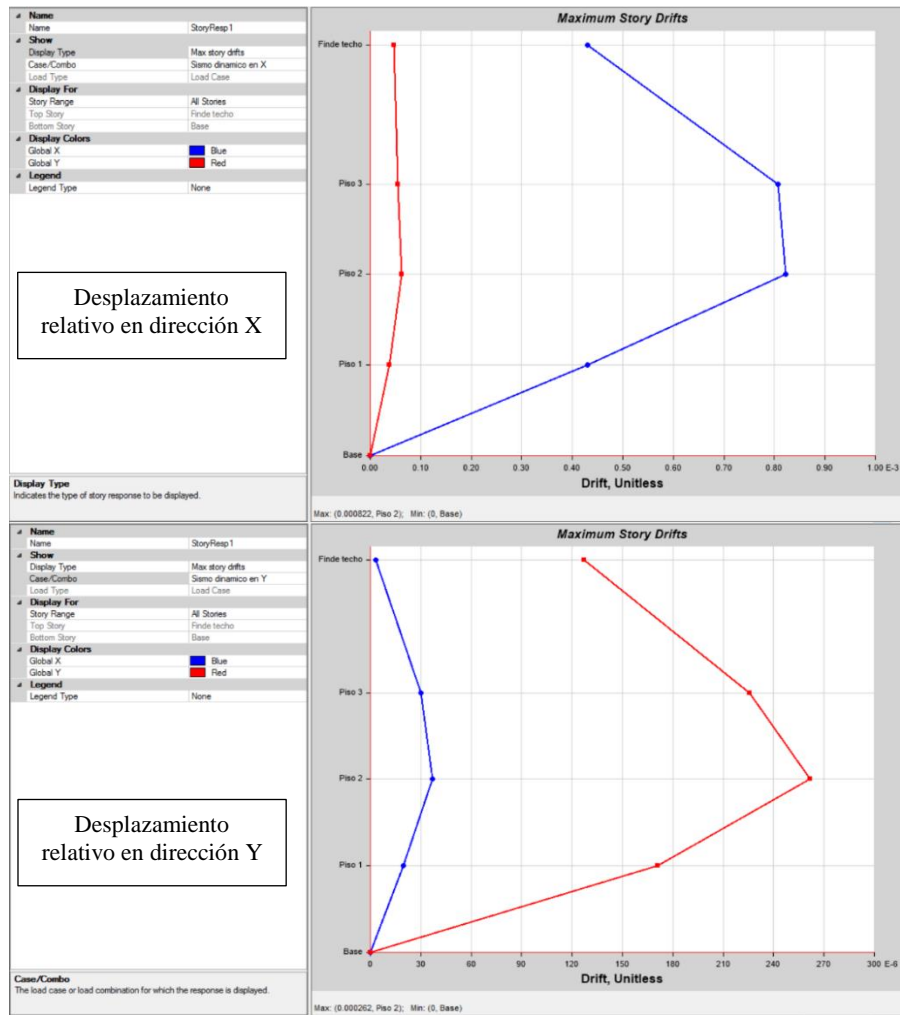


Tabla 10.

Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo III

Pisos	Caso de carga	Dirección	Deriva	Rx= 8	
				Deriva	*0.75*R < 0.007
Deriva máximas por piso en la dirección X					
Fin techo	SIS Dinam.	X	0.00043	0.00258	Si
Piso 3	SIS Dinam.	X	0.000807	0.004842	Si
Piso 2	SIS Dinam.	X	0.000822	0.004932	Si
Piso 1	SIS Dinam.	X	0.00043	0.00258	Si
Deriva máximas por piso en la dirección Y					
Fin techo	SIS Dinam.	Y	0.000127	0.000762	Si
Piso 3	SIS Dinam.	Y	0.000226	0.001356	Si
Piso 2	SIS Dinam.	Y	0.000262	0.001572	Si
Piso 1	SIS Dinam.	Y	0.000171	0.001026	Si

5.1.1.4.Módulo IV

Los desplazamientos máximos absolutos y relativos del análisis sísmico del módulo IV, así como las verificaciones sugeridas en la norma E.030 se muestran en las Fig. 28 y Fig. 29, donde se puede observar que el desplazamiento absoluto, en X es 8.53 mm, y en Y es 3.04 mm; así mismo, las derivas relativas máximas por piso en la dirección X e Y son nimios a 0.007, cumplen con la norma E.030.

Figura 28.

Desplazamientos máximos absolutos en dirección X e Y, módulo IV

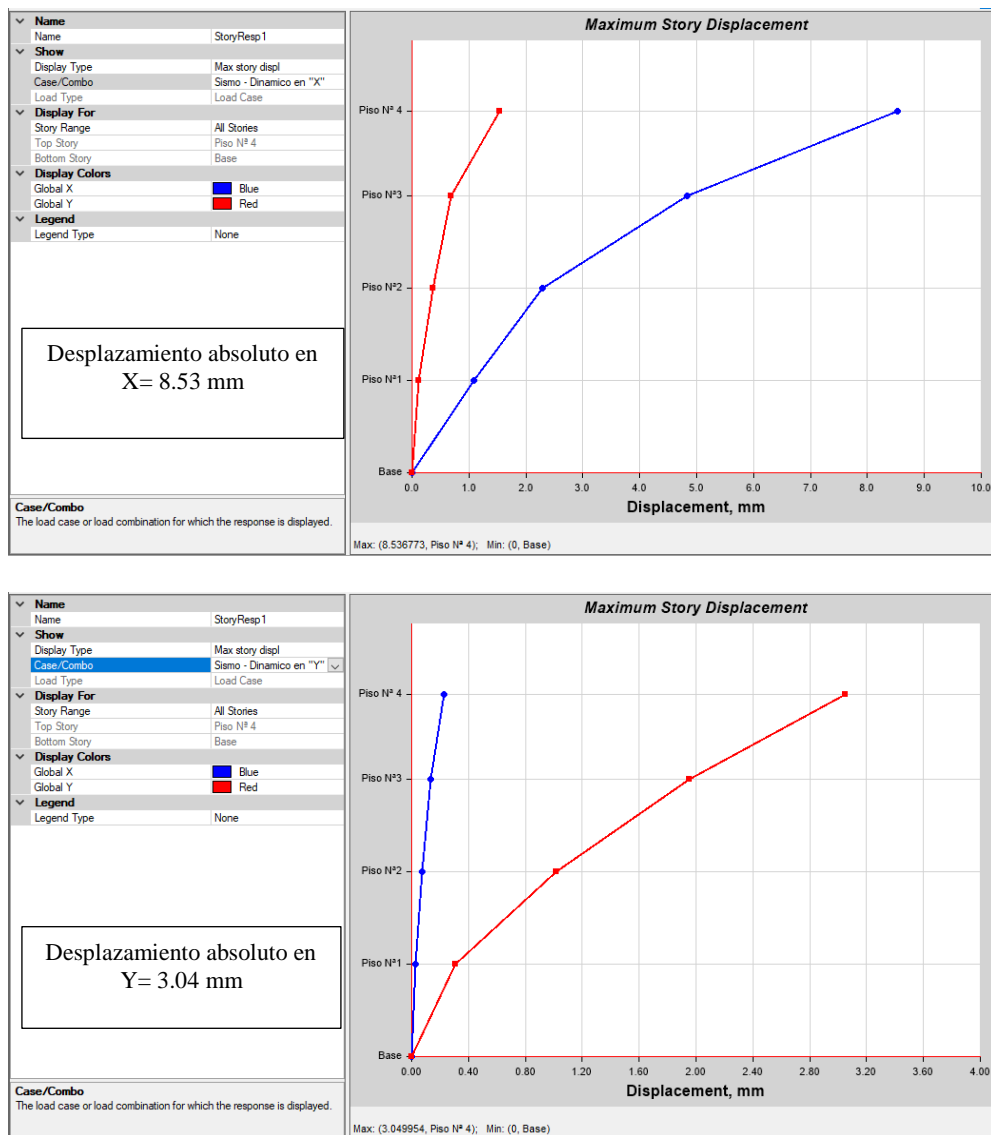


Figura 29.

Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo IV

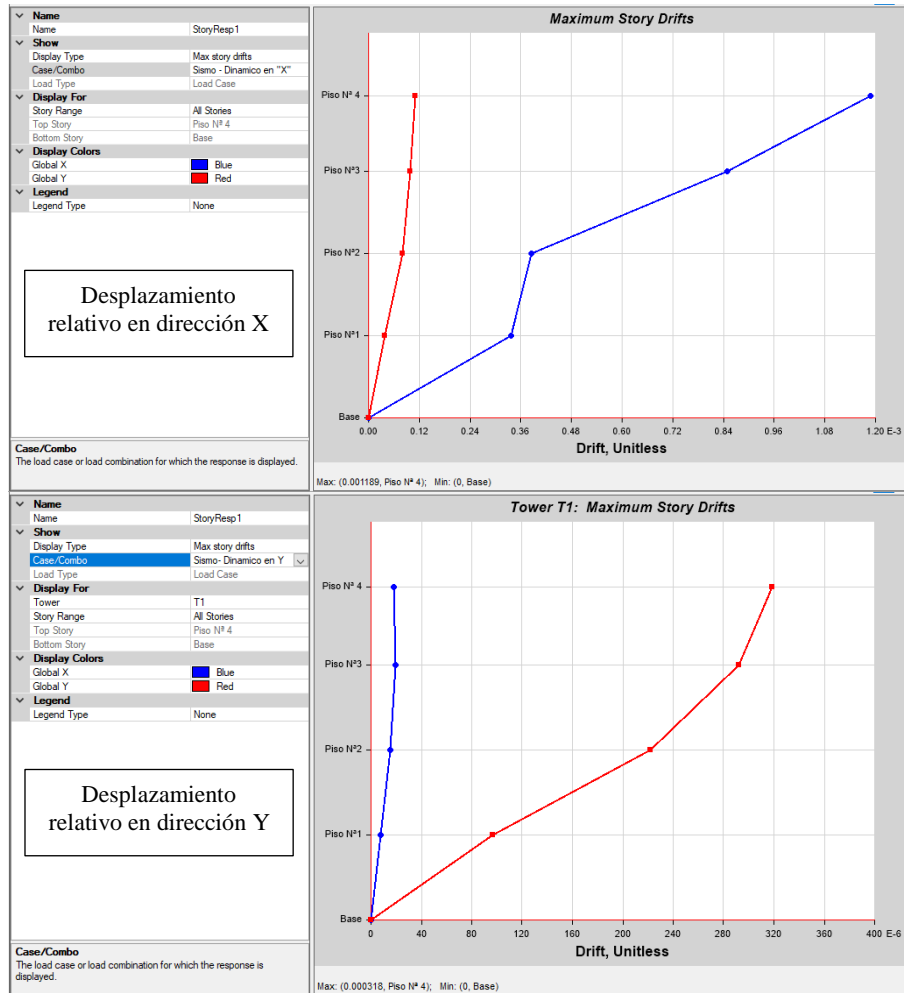


Tabla 11.

Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo IV

Pisos	Carga	Dirección	Deriva	Rx= 6, Ry= 6	
				Deriva *0.75*R < 0.007	
Deriva máximas por piso en la dirección X					
4	SIS Dinam.	X	0.00119	0.0053505	Si
3	SIS Dinam.	X	0.00085	0.0038205	Si
2	SIS Dinam.	X	0.00039	0.001737	Si
1	SIS Dinam.	X	0.00034	0.001521	Si
Deriva máximas en la dirección Y					
4	SIS Dinam.	Y	0.00032	0.001431	Si
3	SIS Dinam.	Y	0.00029	0.001314	Si
2	SIS Dinam.	Y	0.00022	0.000999	Si
1	SIS Dinam.	Y	0.00096	0.000432	Si

5.1.1.5.Módulo V

Los desplazamientos máximos absolutos y relativos del análisis sísmico del módulo V, así como las verificaciones sugeridas en la norma E.030 se muestran en las Fig. 30 y Fig. 31, donde se puede observar que el desplazamiento absoluto, en X es 1.16 mm, y en Y es 20.41 mm; así mismo, las derivas relativas máximas por piso en la dirección X e Y son nimios a 0.007, cumplen con la norma E.030.

Figura 30.

Desplazamientos máximos absolutos en dirección X e Y, módulo V

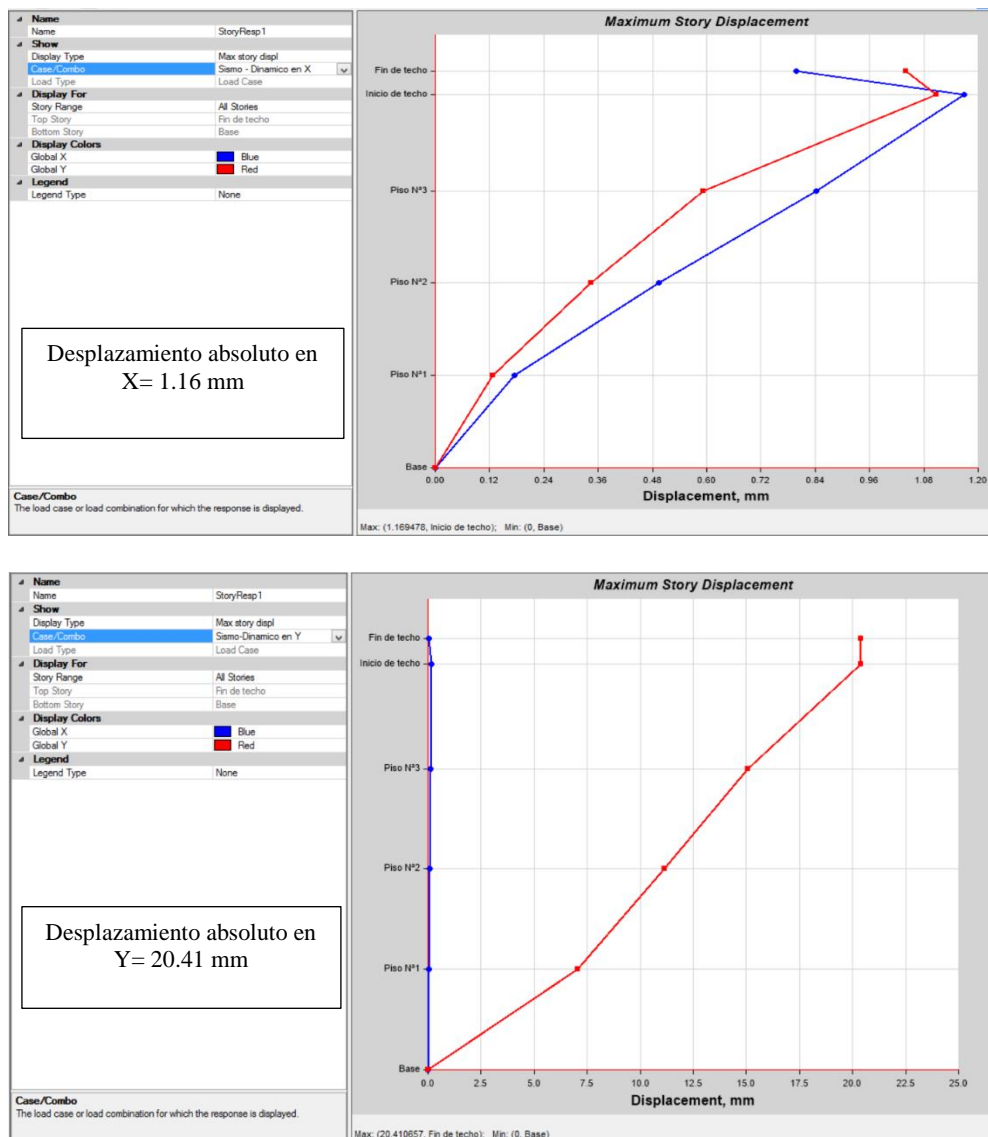


Figura 31.

Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo V

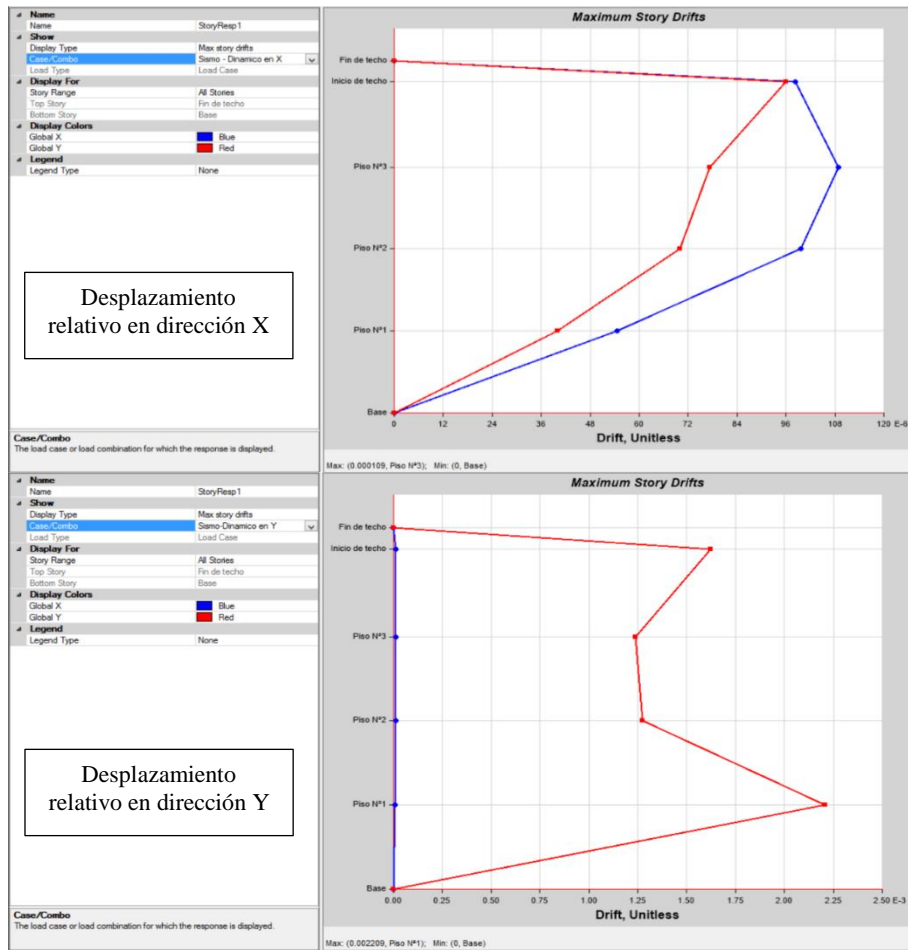


Tabla 12.

Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo V

Pisos	Caso de carga	Dirección	Deriva	Rx= 8	
				Deriva	*0.75*R < 0.007
Deriva máximas por piso en la dirección X					
Fin techo	SIS Dinam.	X	0	0	Si
Inicio techo	SIS Dinam.	X	0.000098	0.0005145	Si
Piso 3	SIS Dinam.	X	0.000109	0.00057225	Si
Piso 2	SIS Dinam.	X	0.001	0.000525	Si
Piso 1	SIS Dinam.	X	0.000055	0.00028875	Si
Deriva máximas por piso en la dirección Y					
Fin techo	SIS Dinam.	Y	0	0	Si
Inicio teho	SIS Dinam.	Y	0.001624	0.008526	Si
Piso 3	SIS Dinam.	Y	0.001237	0.00649425	Si
Piso 2	SIS Dinam.	Y	0.001272	0.006678	Si
Piso 1	SIS Dinam.	Y	0.002209	0.01159725	Si

5.1.1.6.Módulo VI

Los desplazamientos máximos absolutos y relativos del análisis sísmico del módulo IV, así como las verificaciones sugeridas en la norma E.030 se muestran en las Fig. 32 y Fig. 33, donde se puede observar que el desplazamiento absoluto, en X es 8.53 mm, y en Y es 3.04 mm; así mismo, las derivas relativas máximas por piso en la dirección X e Y son nimios a 0.007, cumplen con la norma E.030.

Figura 32.

Desplazamientos máximos absolutos en dirección X e Y, módulo VI

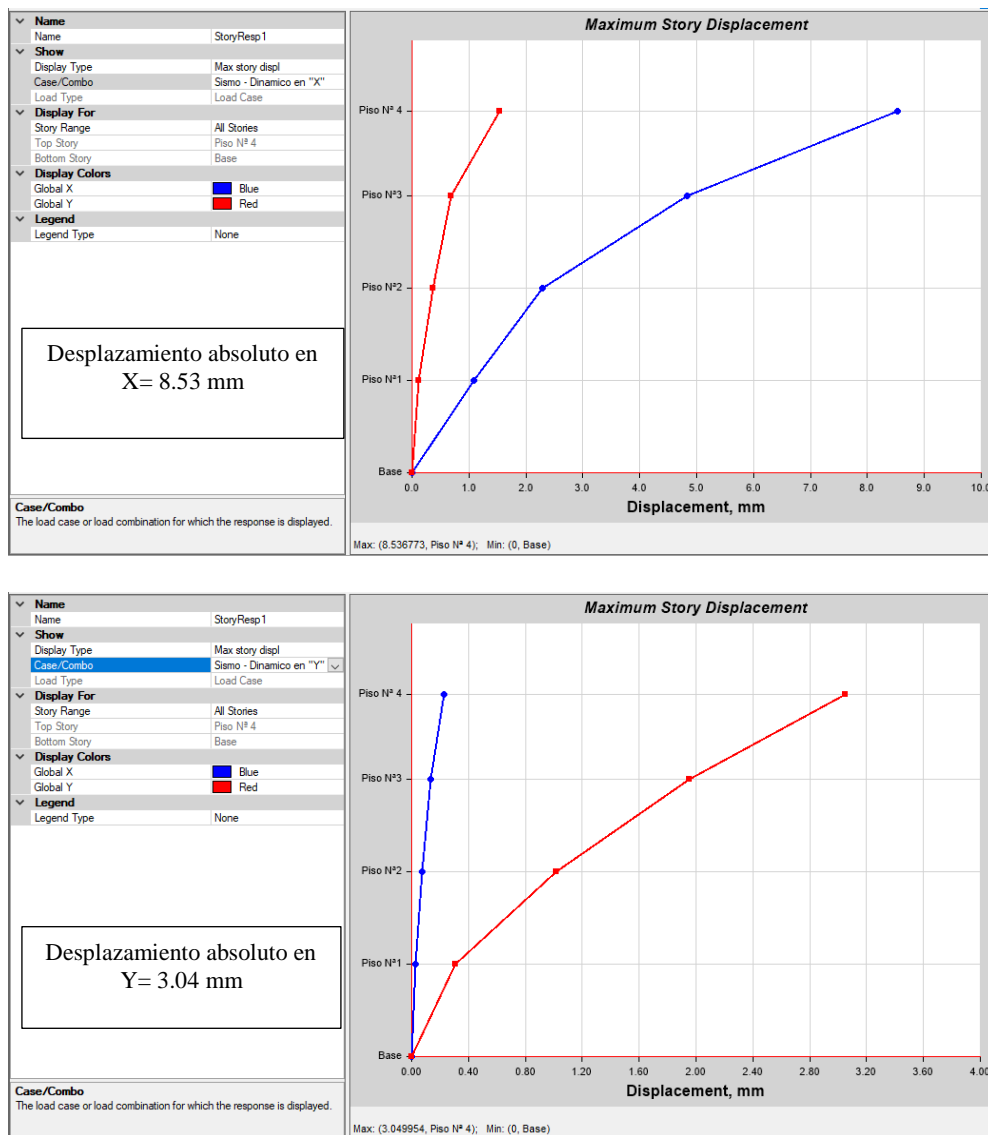


Figura 33.

Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo VI

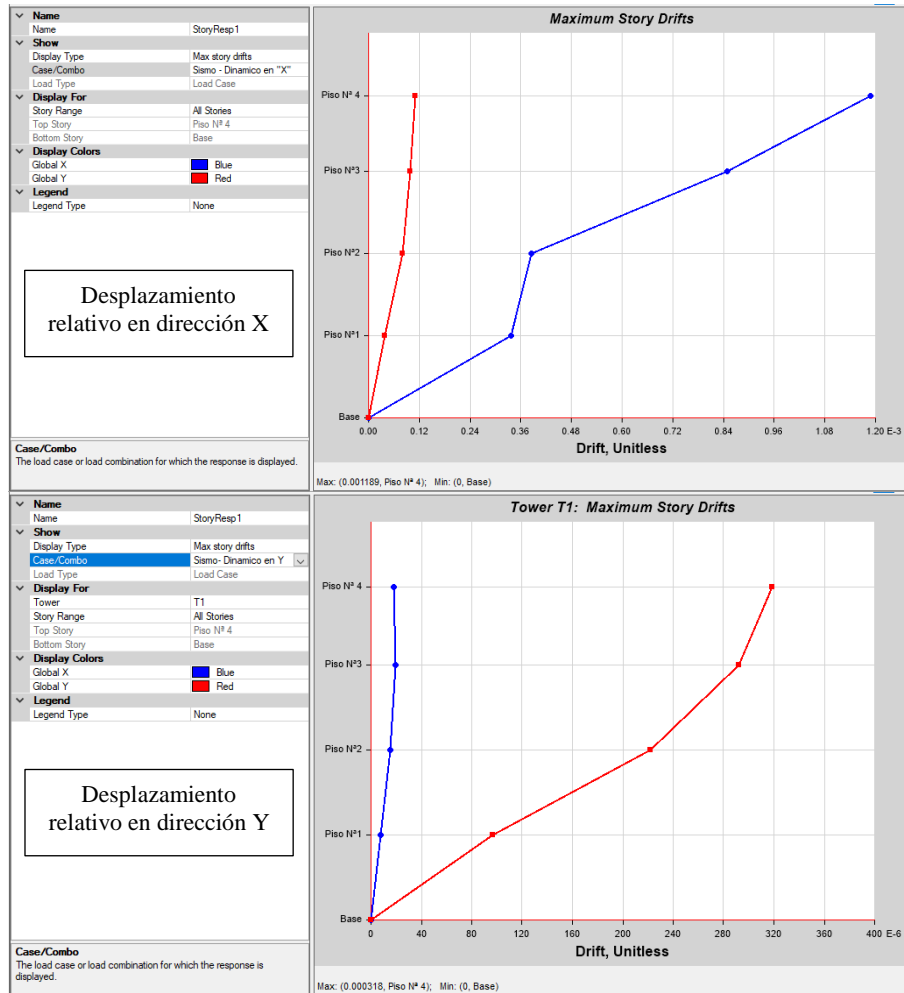


Tabla 13.

Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo VI

Pisos	Carga	Dirección	Deriva	Rx= 6, Ry= 6	
				Deriva *0.75*R < 0.007	
Deriva máximas por piso en la dirección X					
4	SIS Dinam.	X	0.00119	0.0053505	Si
3	SIS Dinam.	X	0.00085	0.0038205	Si
2	SIS Dinam.	X	0.00039	0.001737	Si
1	SIS Dinam.	X	0.00034	0.001521	Si
Deriva máximas en la dirección Y					
4	SIS Dinam.	Y	0.00032	0.001431	Si
3	SIS Dinam.	Y	0.00029	0.001314	Si
2	SIS Dinam.	Y	0.00022	0.000999	Si
1	SIS Dinam.	Y	0.00096	0.000432	Si

5.1.2. Cortante estática y dinámica

5.1.2.1. Módulo I

La norma E.030 (MVCS, 2020) establece que la cortante dinámica debe ser mayor o igual al 80% de la cortante estática para edificaciones regulares, y 90% para edificaciones irregulares. La cortante dinámica en X equivale a 42.86, lo que representa el 79% de la cortante estática, 54.52, por tanto, fue necesario incrementar la cortante, en cambio en Y, la cortante dinámica ascendía a 44.50, lo que representa el 82% de la cortante dinámica (54.52), cumpliendo lo normado. Para amplificar la cortante dinámica en X, se utilizó el factor F_{ax} igual a 1.02, este no afecta a los desplazamientos, solo al diseño.

Tabla 14.

Cortante, en X e Y, del módulo I

Dirección	Cortante	F	$V_{din} \geq 80\% V_{est}$		Factor de amplificación
En X	Estática	54.52			
En X	Dinámica	42.86	79%	No cumple	1.02
En Y	Estática	54.52			
En Y	Dinámica	44.50	82%	Cumple	

5.1.2.2. Módulo II

La cortante dinámica en X equivale a 116.39, lo que representa el 79% de la cortante estática, 147.25, por tanto, fue necesario incrementar la cortante, al igual que en Y, donde la cortante dinámica ascendía a 129.89, lo que representa el 77% de la cortante dinámica (168.29). Para amplificar la cortante dinámica en la dirección X e Y, se utilizó el factor F_{ax} y F_{ay} igual a 1.01 y 1.04, respectivamente, estos factores solo influyen en el diseño.

Tabla 15.*Cortante, X e Y, del módulo II*

Dirección	Cortante	F	<i>Vdin</i> ≥ 80% <i>Vest</i>		Factor de amplificación
En X	Estática	147.25			
En X	Dinámica	116.39	79%	No cumple	1.01
En Y	Estática	168.29			
En Y	Dinámica	129.89	77%	No Cumple	1.04

5.1.2.3.Módulo III

La cortante dinámica en X equivale a 43.03, lo que representa el 78% de la cortante estática, 54.90, por tanto, fue necesario incrementar la cortante, en cambio en Y, donde la cortante dinámica ascendía a 44.89, lo que representa el 82% de la cortante dinámica (54.90). Para amplificar la cortante dinámica en X, se utilizó el factor Fax igual a 1.02, estos factores solo influyen en el diseño.

Tabla 16.*Cortante, X e Y, del módulo III*

Dirección	Cortante	F	<i>Vdin</i> ≥ 80% <i>Vest</i>		Factor de amplificación
En X	Estática	54.90			
En X	Dinámica	43.03	78%	No cumple	1.02
En Y	Estática	54.90			
En Y	Dinámica	44.89	82%	Cumple	

5.1.2.4.Módulo IV

La cortante dinámica en X equivale a 14.27, lo que representa el 65% de la cortante estática, 21.97, por tanto, fue necesario incrementar la cortante, al igual que en la dirección Y, donde la cortante dinámica ascendía a 13.51, lo que representa el 61% de la cortante dinámica (21.97). Para amplificar la cortante dinámica en la dirección X e Y, se utilizó el factor Fax y Fay equivalentes a 1.23 y 1.30 respectivamente, estos factores solo influyen en el diseño.

Tabla 17.*Cortante, X e Y, del módulo IV*

Dirección	Cortante	F	$V_{din} \geq 80\% V_{est}$		Factor de amplificación
En X	Estática	21.97			
En X	Dinámica	14.27	65%	No cumple	1.23
En Y	Estática	21.97			
En Y	Dinámica	13.51	61%	No cumple	1.30

5.1.2.5.Módulo V

La cortante dinámica en X equivale a 17.61, lo que representa el 54% de la cortante estática, 32.74, por tanto, fue necesario incrementar la cortante, en cambio en Y, la cortante dinámica ascendía a 28.31, lo que representa el 86% de la cortante dinámica (32.74). Para amplificar la cortante dinámica en X, se utilizó el factor F_{ax} igual a 1.49, estos factores solo influyen en el diseño.

Tabla 18.*Cortante, X e Y, del módulo V*

Dirección	Cortante	F	$V_{din} \geq 80\% V_{est}$		Factor de amplificación
En X	Estática	32.74			
En X	Dinámica	17.61	54	No cumple	1.49
En Y	Estática	32.74			
En Y	Dinámica	28.31	86	Cumple	

5.1.2.6.Módulo VI

La cortante dinámica en X equivale a 14.23, lo que representa el 65% de la cortante estática, 21.97, por tanto, fue necesario incrementar la cortante, al igual que en Y, donde la cortante dinámica ascendía a 13.28, lo que representa el 60% de la cortante dinámica (21.97). Para amplificar la cortante dinámica en la dirección X e Y, se utilizó el factor F_{ax} y F_{ay} equivalentes a 1.24 y 1.32 respectivamente, estos factores solo influyen el diseño.

Tabla 19.

Cortante, X e Y, del módulo VI

Dirección	Cortante	F	$V_{din} \geq 80\% V_{est}$		Factor de amplificación
En X	Estática	21.97			
En X	Dinámica	14.23	65	No cumple	1.24
En Y	Estática	21.97			
En Y	Dinámica	13.28	60	No cumple	1.32

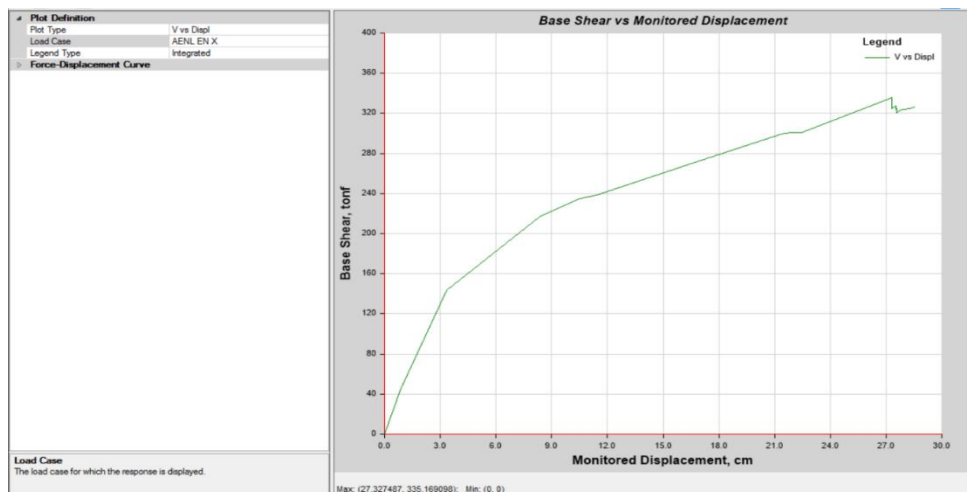
5.1.3. Punto de desempeño para un sismo de servicio, diseño y máximo

5.1.3.1. Módulo I

En la dirección X, la estructura llega a su capacidad última, cuando se aplica una cortante basal de 335.16 ton, alcanzando un desplazamiento de 27.32 cm, se cree con este valor, la estructura, módulo I, alcanza su máxima capacidad y colapsa.

Figura 34.

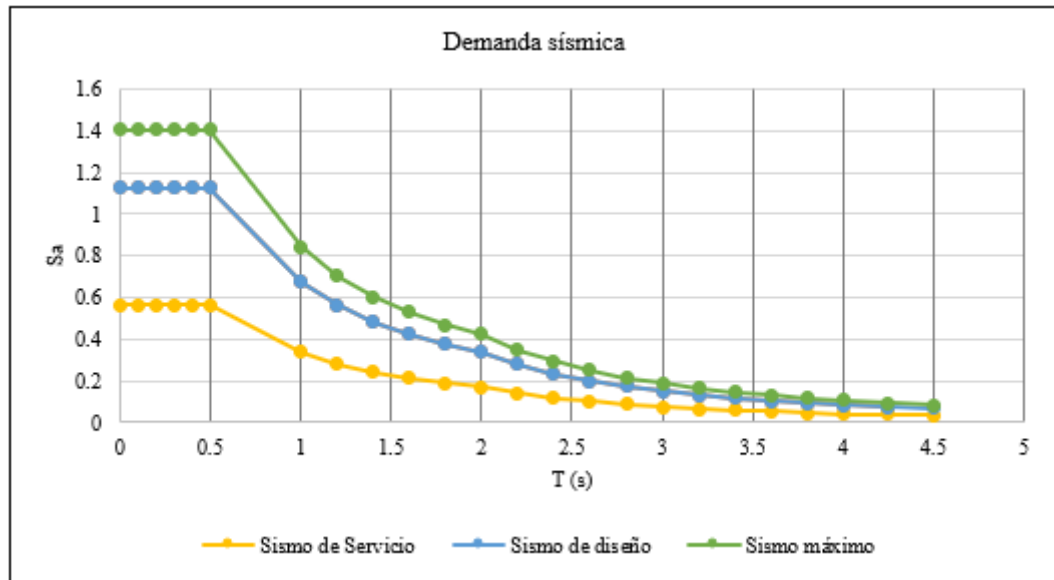
Curva de capacidad, en X, módulo I



Para definir, el punto de desempeño, se debe conocer la curva de capacidad (espectro de capacidad) y el espectro de demanda, este en base al ATC 40, debe definirse para un sismo de servicio (SS), sismo de diseño (SD) y sismo máximo (SM), donde el sismo de servicio representa el 0.5 del SD, y el sismo máximo es el 1.25 del SD. Tomando en cuenta ello, la representación de la demanda sísmica está dada por:

Figura 35.

Espectro de demanda para un sismo de servicio (SS), diseño (SD) y máximo (SM)



Definida la curva de capacidad y el espectro de demanda, se puede determinar el punto de desempeño por el FEMA 440 y por el ATC 40 para un SS, SD y SM. En la dirección X, según el punto de desempeño para un sismo por FEMA 440 AL, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura va a resistir un cortante de 236.45 ton, y desplazamiento espectral "Sd" de 7.22 cm (Fig. 36). Según el punto de desempeño para un SS, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 184.97 ton, con un desplazamiento espectral "Sd" de 4.12 cm (Fig. 37). Según el punto de desempeño para un SD, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 236.48 ton, con un desplazamiento espectral "Sd" de 7.23 cm (Fig. 38). Según el punto de desempeño para un sismo máximo, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 253.42 ton, con un desplazamiento espectral "Sd" de 9.29 cm (Fig. 39).

Figura 36.

Punto de desempeño, en X, sismo definido por FEMA 440 A1, módulo I

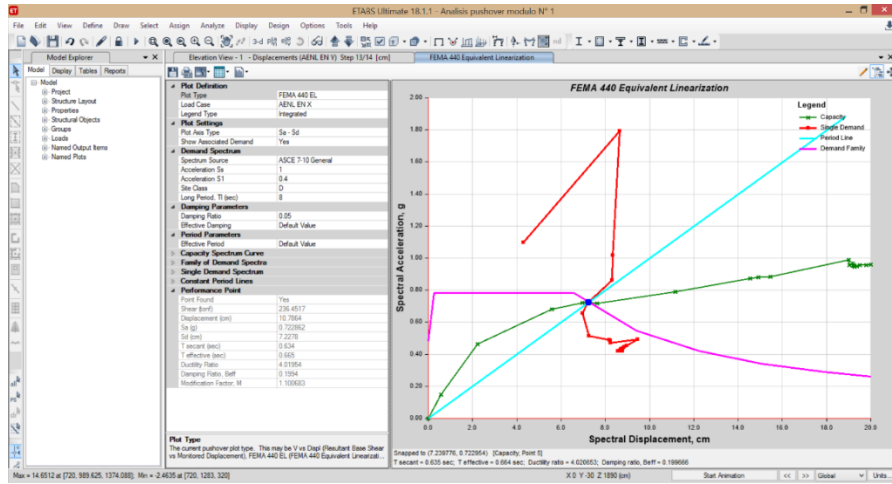


Figura 37.

Punto de desempeño, en X, SS, módulo I

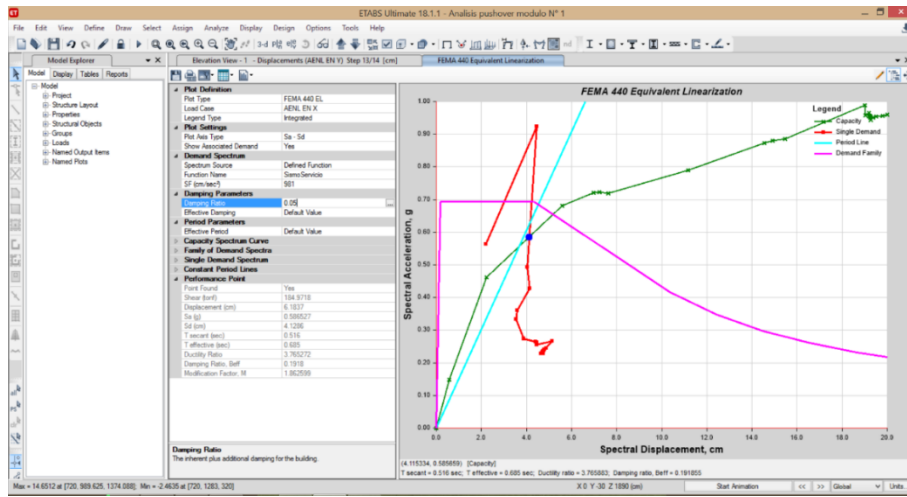


Figura 38.

Punto de desempeño, en X, SD, módulo I

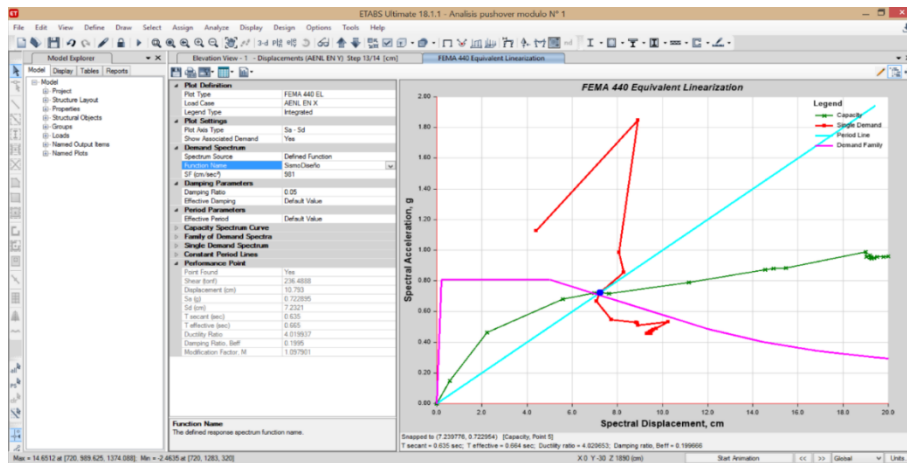
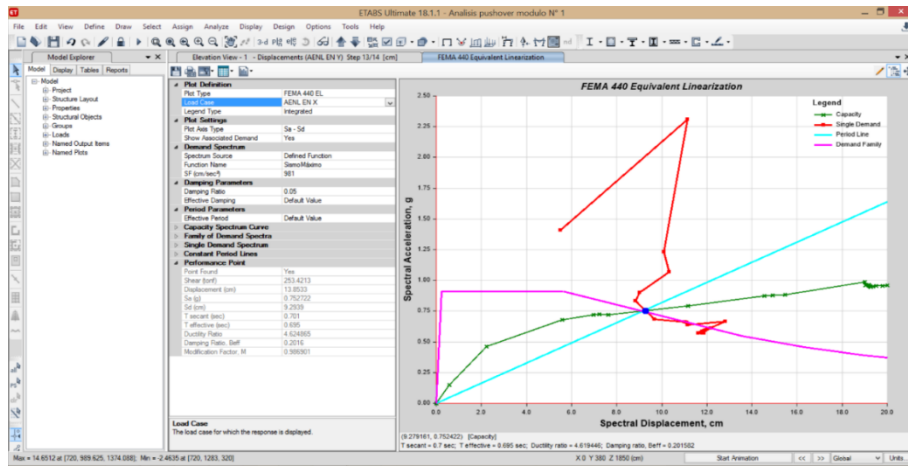


Figura 39.

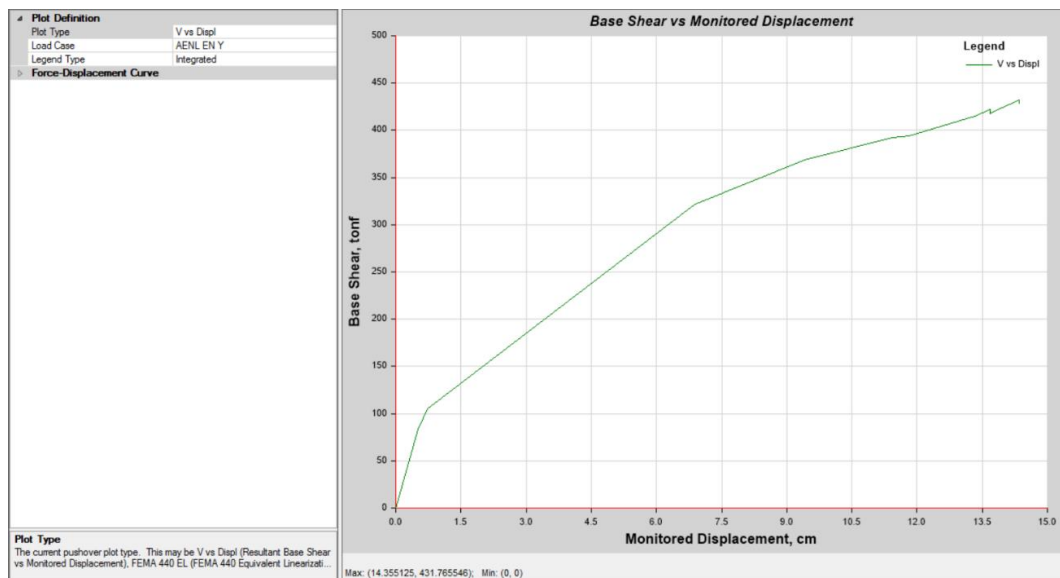
Punto de desempeño, en X, SM, módulo I



En la dirección Y, la estructura al soportar una cortante basal de 431.76 Ton, llega a su capacidad máxima, con un desplazamiento de 14.35 cm, con este valor la estructura, módulo I, alcanza su máxima capacidad y colapsa.

Figura 40.

Curva de capacidad, en Y, módulo I



En la dirección Y, según el punto de desempeño para un sismo por FEMA 440 AL, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura va a soportar una cortante de 345.54 ton, y desplazamiento espectral “Sd” de 5.74 cm (Fig. 41). Según el

punto de desempeño para un SS, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 183.08 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 2.06 cm (Fig. 42). Según el punto de desempeño para un SD, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 349.73 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 5.90 cm (Fig. 43). Según el punto de desempeño para un SM, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 378.03 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 7.22 cm (Fig. 44).

Figura 41.

Punto de desempeño, en Y, sismo definido por FEMA 440 A1, módulo I

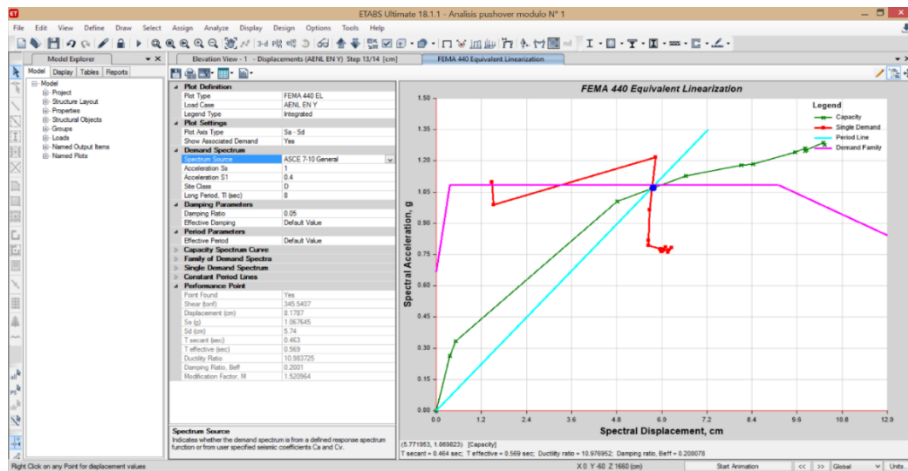


Figura 42.

Punto de desempeño, en Y, SS, módulo I

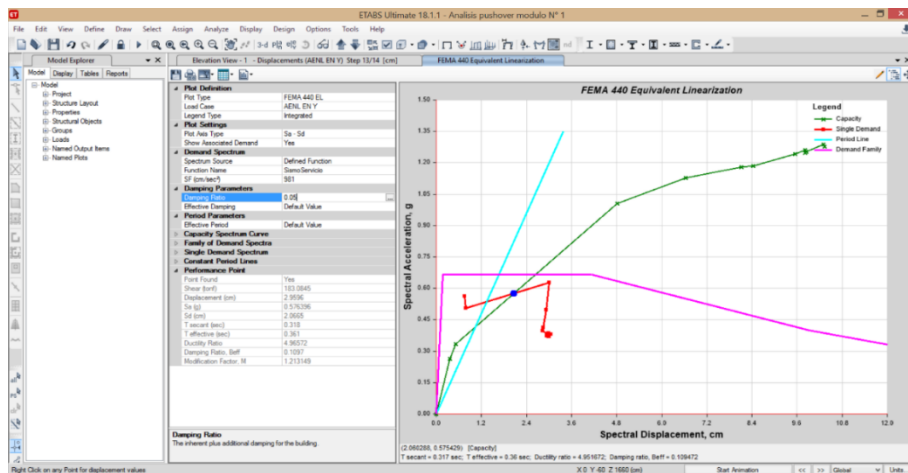


Figura 43.

Punto de desempeño, en Y, SD, módulo I

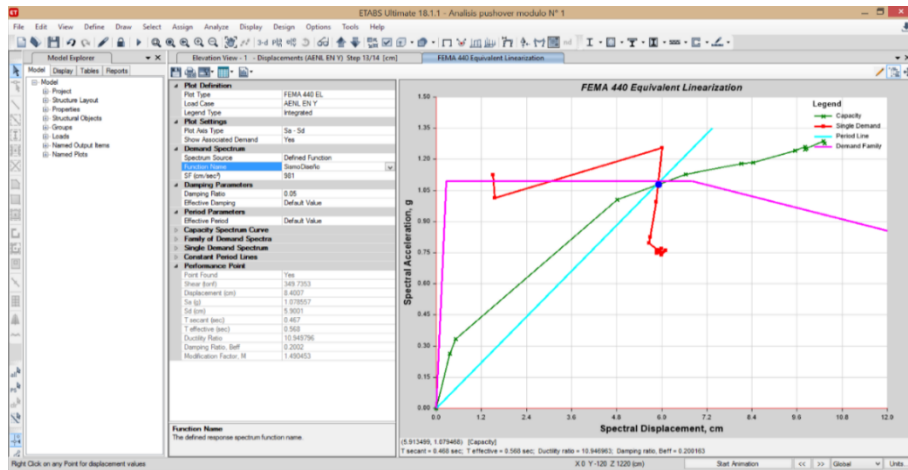
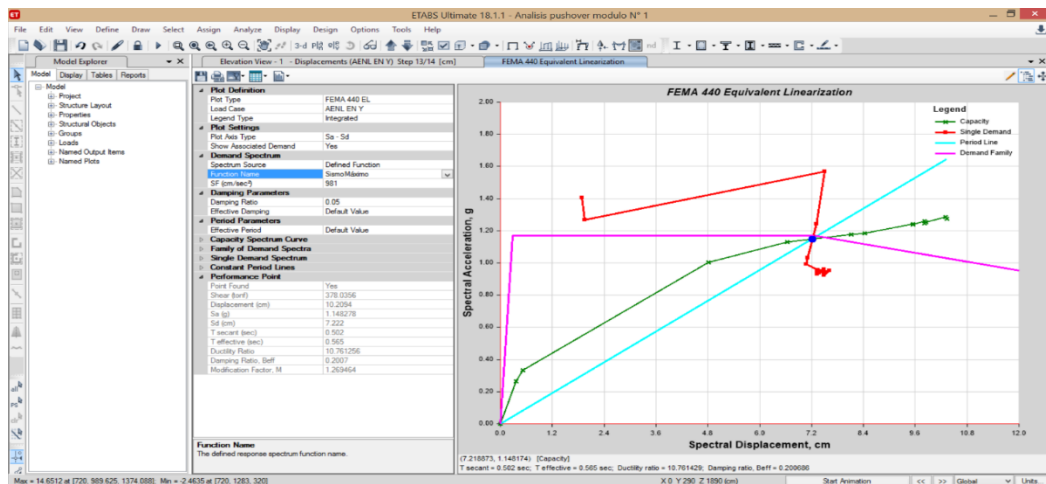


Figura 44.

Punto de desempeño, en Y, SM, módulo I

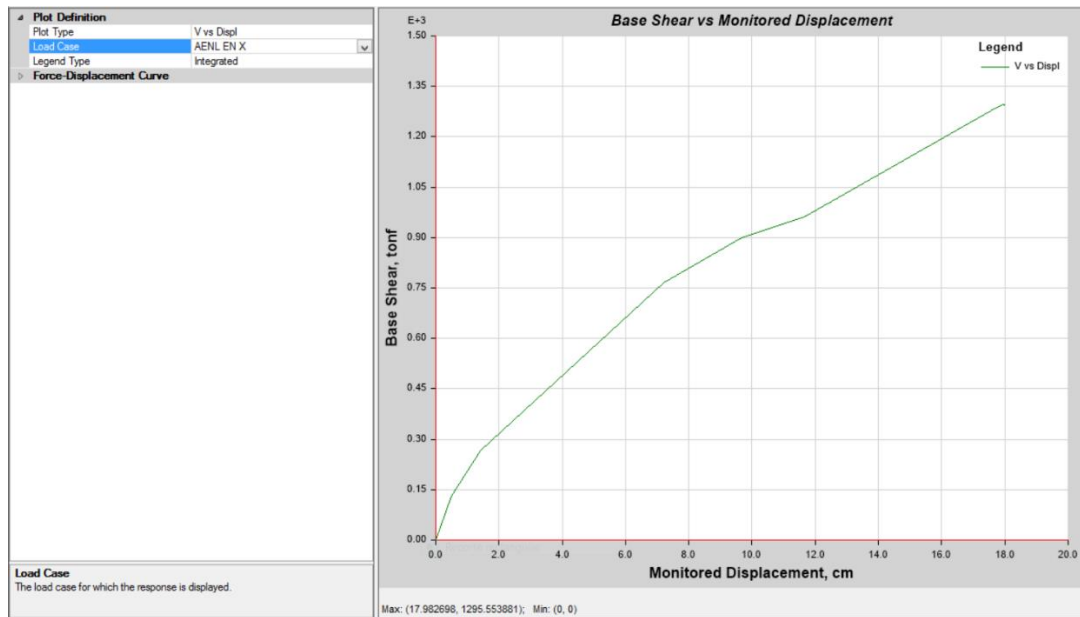


5.1.3.2.Módulo II

En la dirección X, la estructura alcanza su capacidad última para una cortante basal de 1295.55 ton, con un desplazamiento de 17.98 cm, con este valor, la estructura, módulo II, alcanza su máxima capacidad y colapsa (Fig. 45).

Figura 45.

Curva de capacidad, en X, módulo II



Definida la curva de capacidad y el espectro de demanda, se puede determinar el punto de desempeño por el FEMA 440 y por el ATC 40 para un SS, SD y SM. En la dirección X, según el punto de desempeño para un sismo por FEMA 440 AL, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura va a soportar un cortante de 929.83 ton, y desplazamiento espectral “Sd” de 7.79 cm (Fig. 46). Según el punto de desempeño para un SS, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 636.38 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 4.15 cm (Fig. 47). Según el punto de desempeño para un SD, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 925.48 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 7.67 cm (Fig. 48). Según el punto de desempeño para un SM, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 1101.42 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 10.64 cm (Fig. 49).

Figura 46.

Punto de desempeño, en X, sismo definido por FEMA 440 A1, módulo II

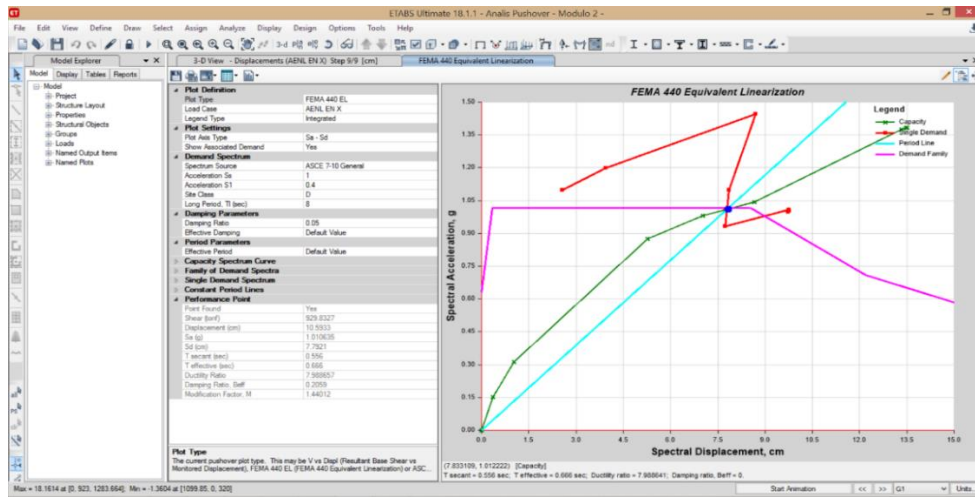


Figura 47.

Punto de desempeño, en X, SS, módulo II

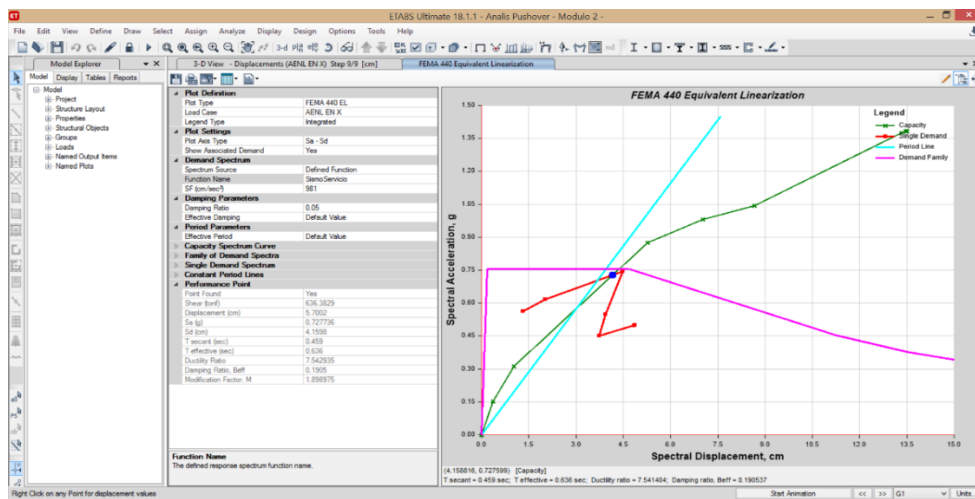


Figura 48.

Punto de desempeño, en X, SD, módulo II

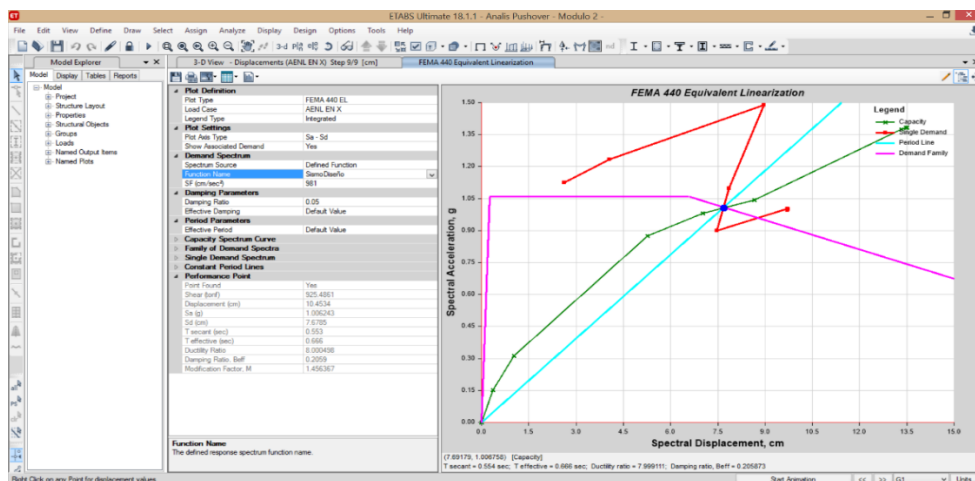
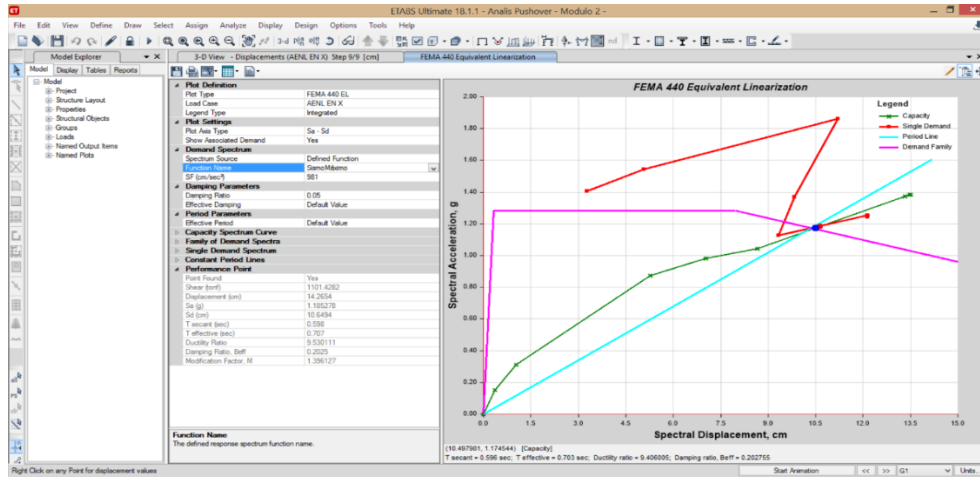


Figura 49.

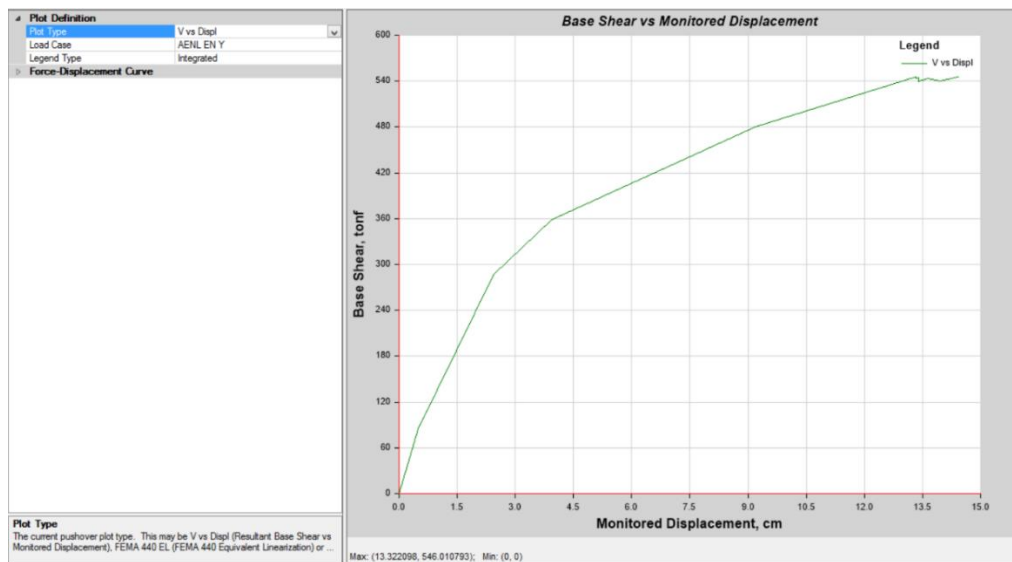
Punto de desempeño, en X, SM, módulo II



En la dirección Y, la estructura llega a su capacidad última, con una cortante basal de 546 ton y desplazamiento de 13.32 cm, con este valor la estructura, módulo II, alcanza su máxima capacidad y colapsa.

Figura 50.

Curva de capacidad, en Y, módulo II



En la dirección Y, según el punto de desempeño para un sismo por FEMA 440 AL, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura va a soportar una cortante de 506.9 ton, y desplazamiento espectral “Sd” de 8.02 cm (Fig. 51). Según el

punto de desempeño para un SS, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 391.04 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 3.92 cm (Fig. 52). Según el punto de desempeño para un SD, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 519 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 8.57 cm (Fig. 53). Según el punto de desempeño para un SM, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 541.11 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 10.67 cm (Fig. 54).

Figura 51.

Punto de desempeño, en Y, sismo definido por FEMA 440 A1, módulo II

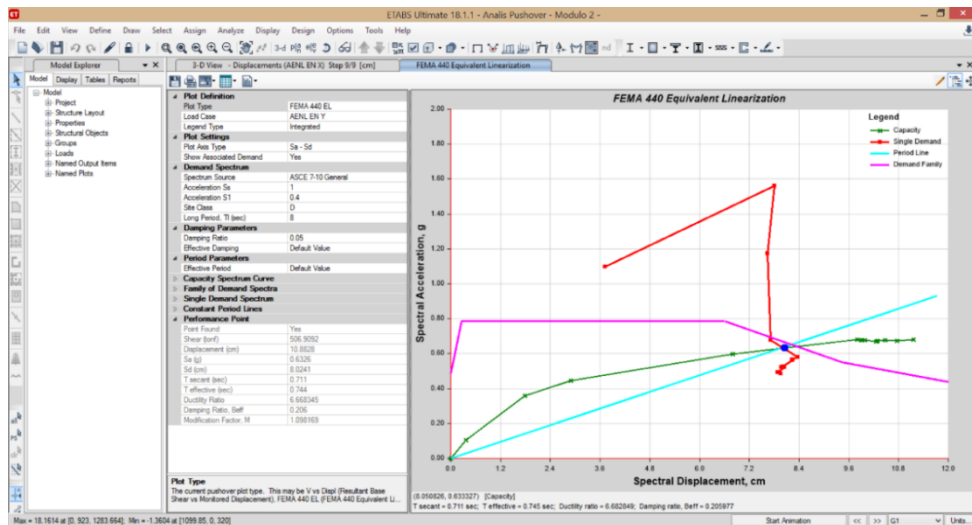


Figura 52.

Punto de desempeño, en Y, SS, módulo II

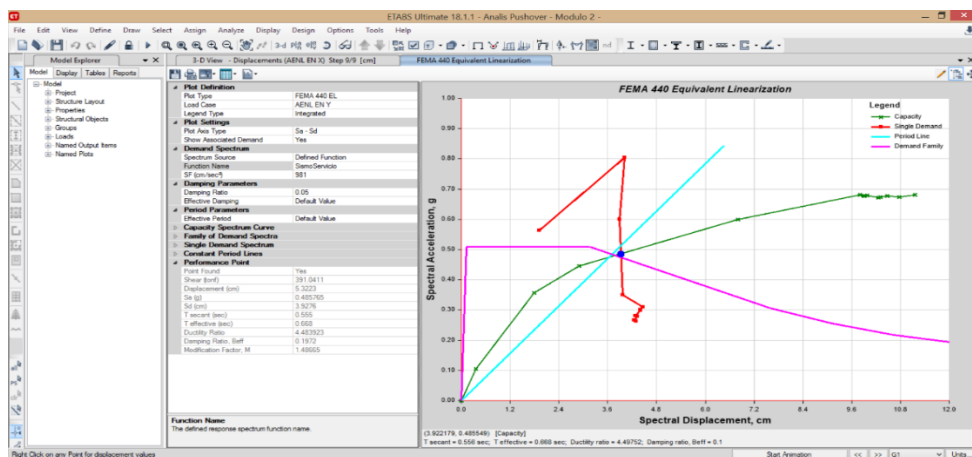


Figura 53.

Punto de desempeño, en Y, SD, módulo II

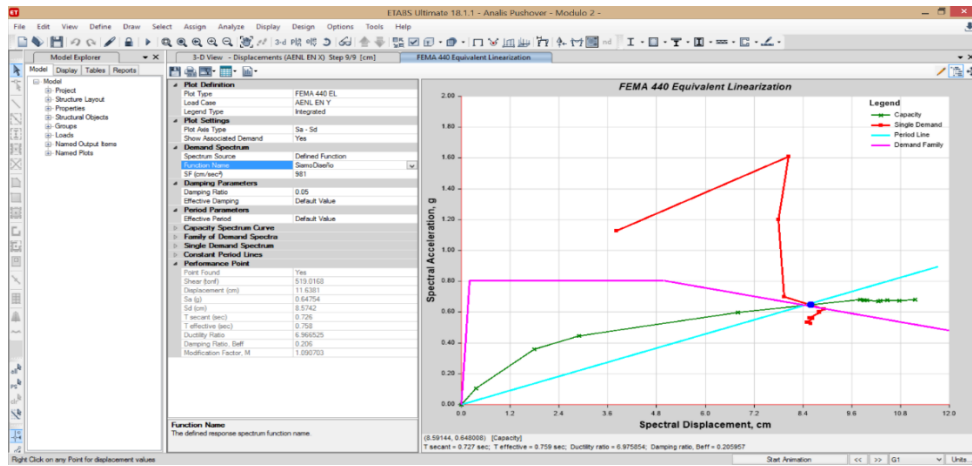
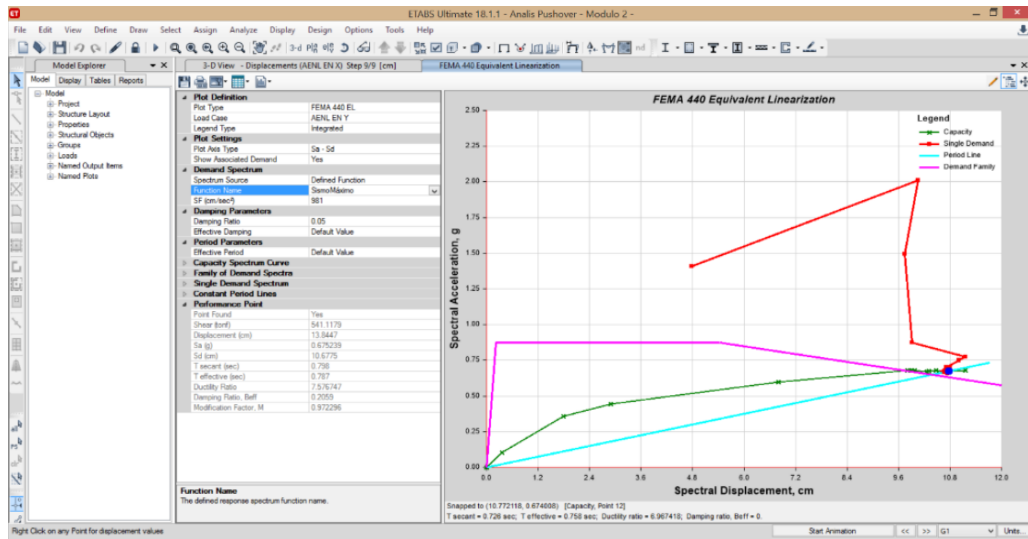


Figura 54.

Punto de desempeño, en Y, SM, módulo II

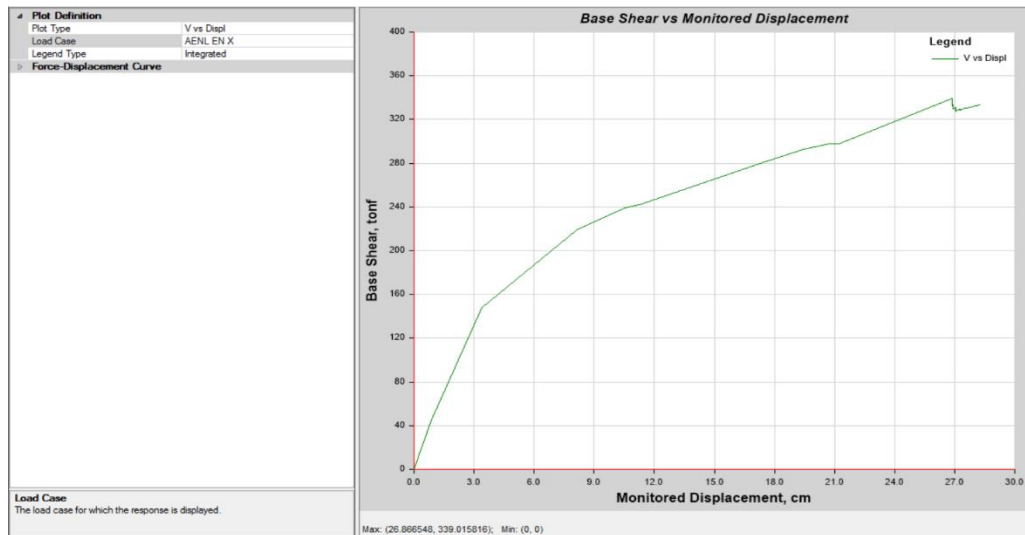


5.1.3.3. Módulo III

En la dirección X, la estructura llega a su capacidad última con la cortante basal 339 ton, con un desplazamiento de 28.86 cm, con este valor la estructura, módulo III, alcanza su máxima capacidad y colapsa (Fig. 55).

Figura 55.

Curva de capacidad, en X, módulo III



En la dirección X, según el punto de desempeño para un sismo por FEMA 440 AL, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura va a soportar un cortante de 241.09 ton, y desplazamiento espectral “Sd” de 7.37 cm (Fig. 56). Según el punto de desempeño para un SS, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 187.72 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 4.04 cm (Fig. 57). Según el punto de desempeño para un SD, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 241.18 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 7.38 cm (Fig. 58). Según el punto de desempeño para un SM, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 257.09 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 9.18 cm (Fig. 59).

Figura 56.

Punto de desempeño, en X, sismo definido por FEMA 440 AI, módulo III

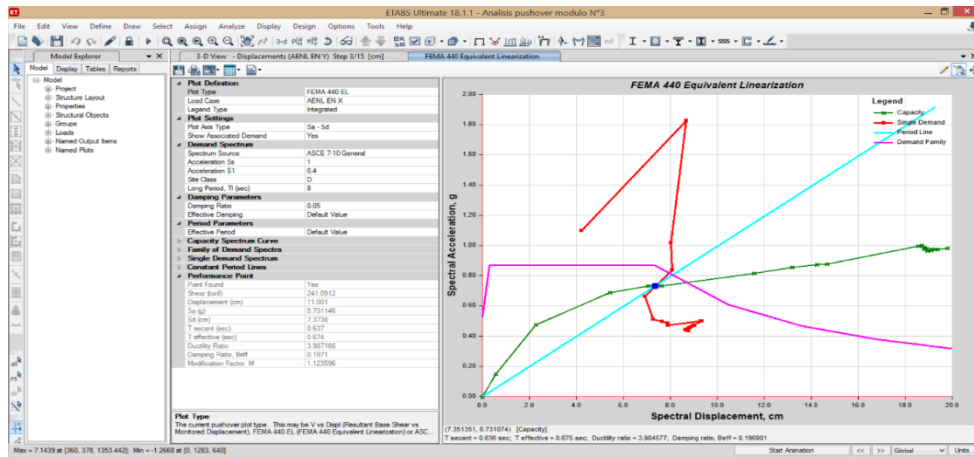


Figura 57.

Punto de desempeño, en X, SS, módulo III

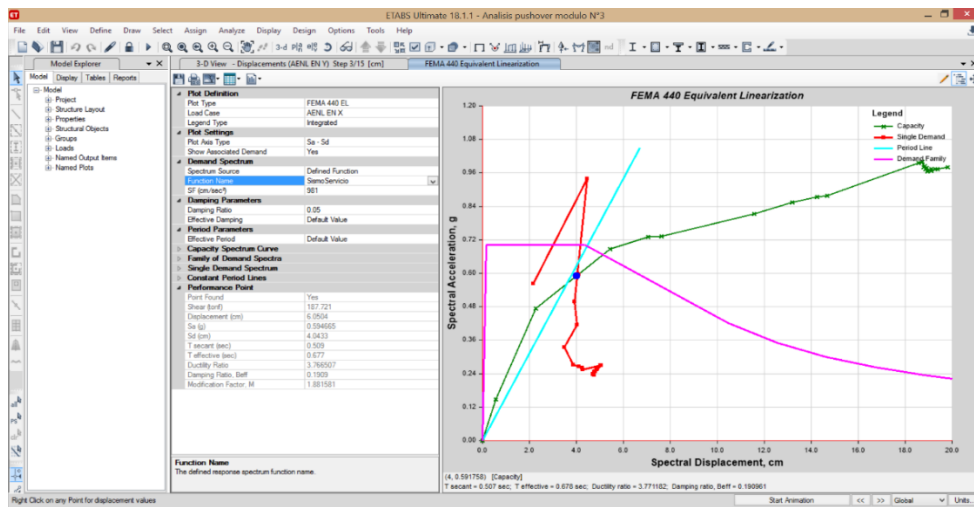


Figura 58.

Punto de desempeño, en X, SD, módulo III

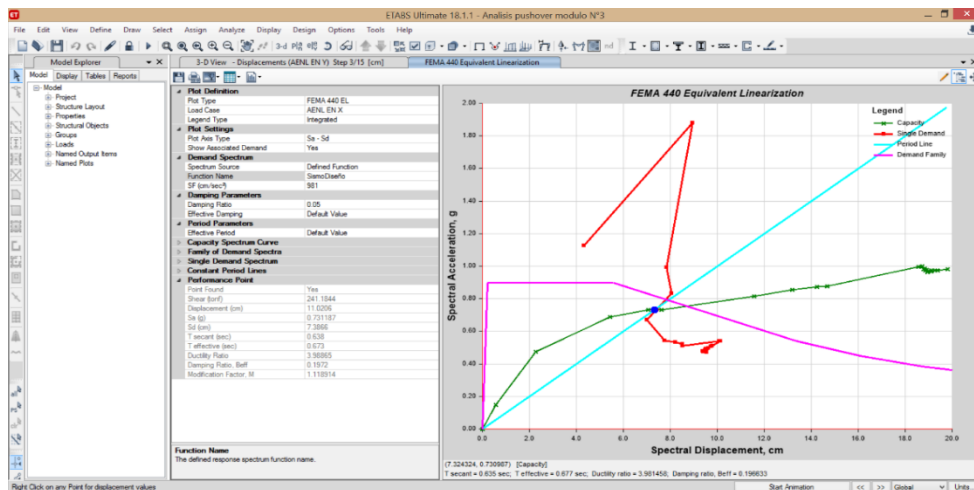
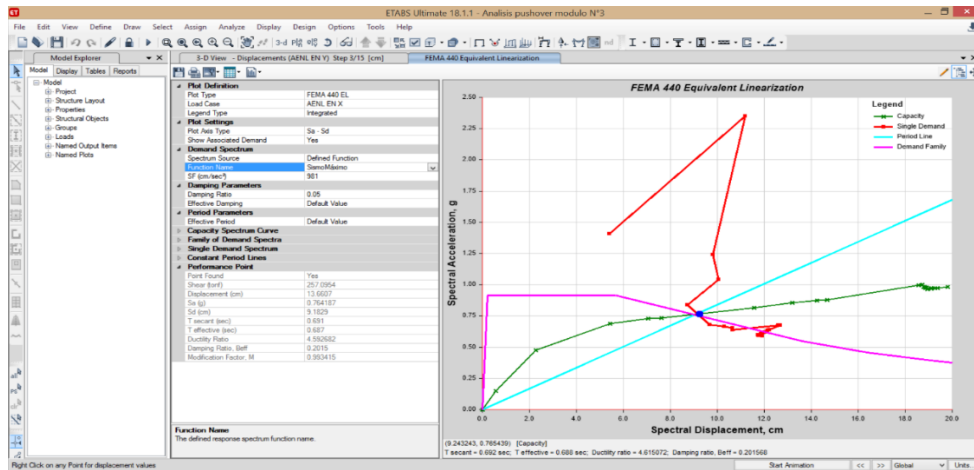


Figura 59.

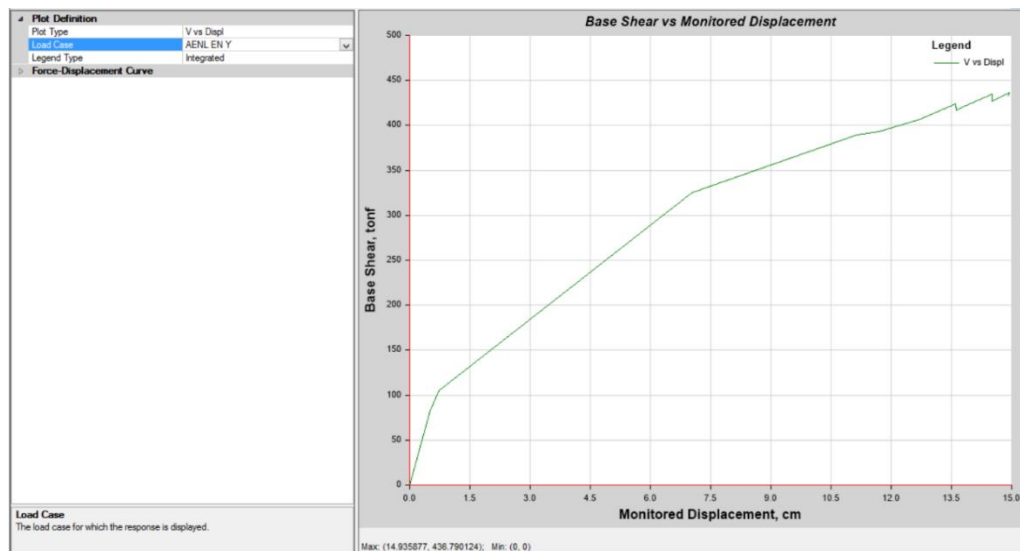
Punto de desempeño, en X, SM, módulo III



En la dirección Y, la estructura llega a su capacidad última con la cortante basal 436.79 ton, a 14.93 cm de desplazamiento, con este valor la estructura, módulo III, alcanza su máxima capacidad y colapsa (Fig. 60).

Figura 60.

Curva de capacidad, en Y, módulo III



En la dirección Y, según el punto de desempeño, para un sismo por FEMA 440 AL, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura va a soportar una cortante de 345.71 ton, y desplazamiento espectral “Sd” de 5.85 cm (Fig. 61). Según el punto de desempeño para un SS, con un amortiguamiento inicial de 5%, la

estructura soporta una cortante de 184.79 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 2.10 cm (Fig. 62). Según el punto de desempeño para un SD, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 348.31 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 5.97 cm (Fig. 63). Según el punto de desempeño para un SM, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 377.66 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 7.34 cm (Fig. 64).

Figura 61.

Punto de desempeño, en Y, sismo definido por FEMA 440 A1, módulo III

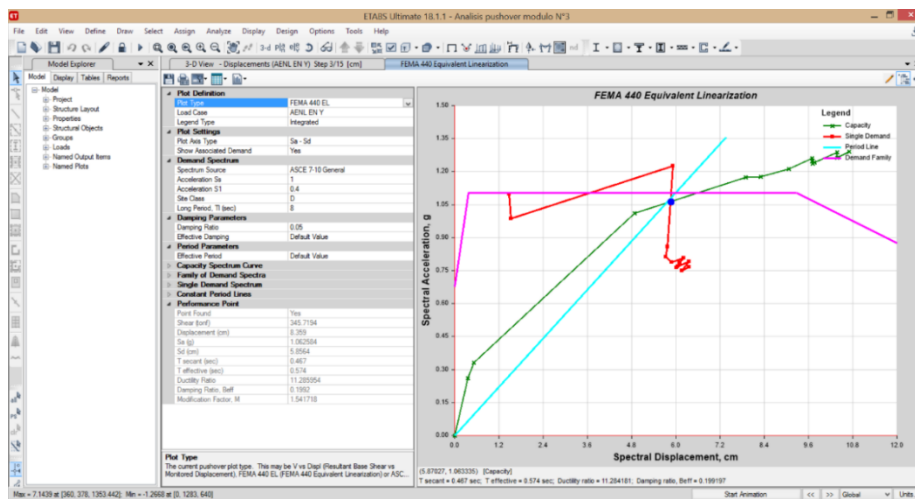


Figura 62.

Punto de desempeño, en Y, SS, módulo III

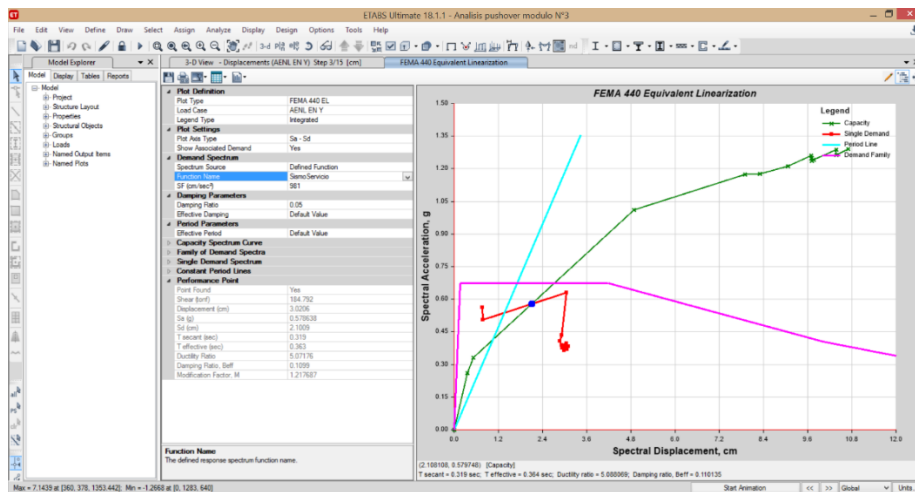


Figura 63.

Punto de desempeño, en Y, SD, módulo III

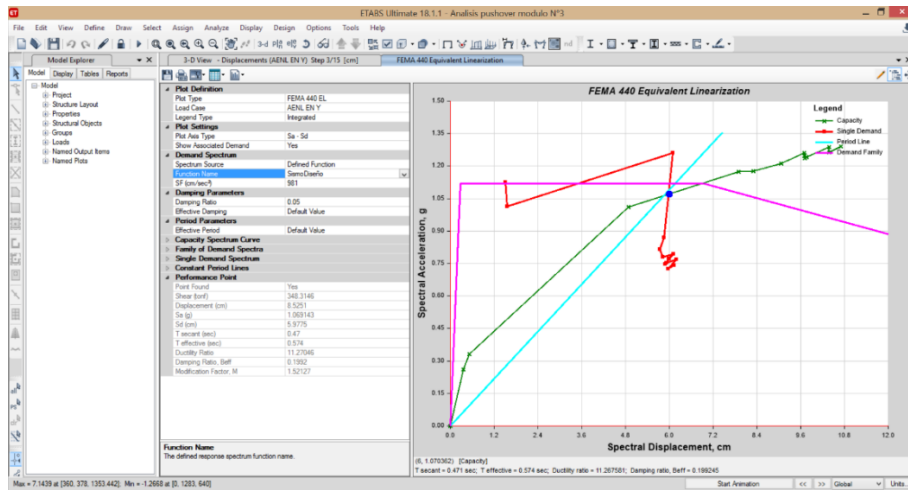
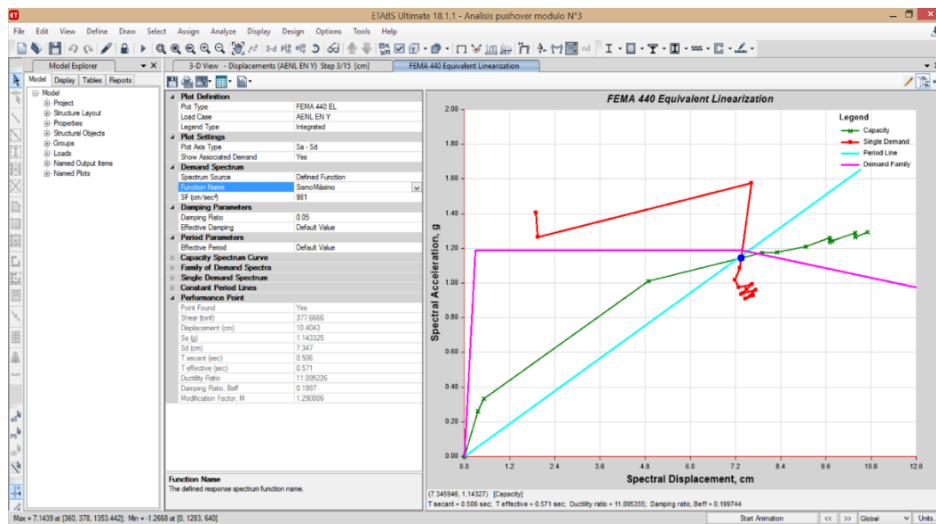


Figura 64.

Punto de desempeño, en Y, SM, módulo III

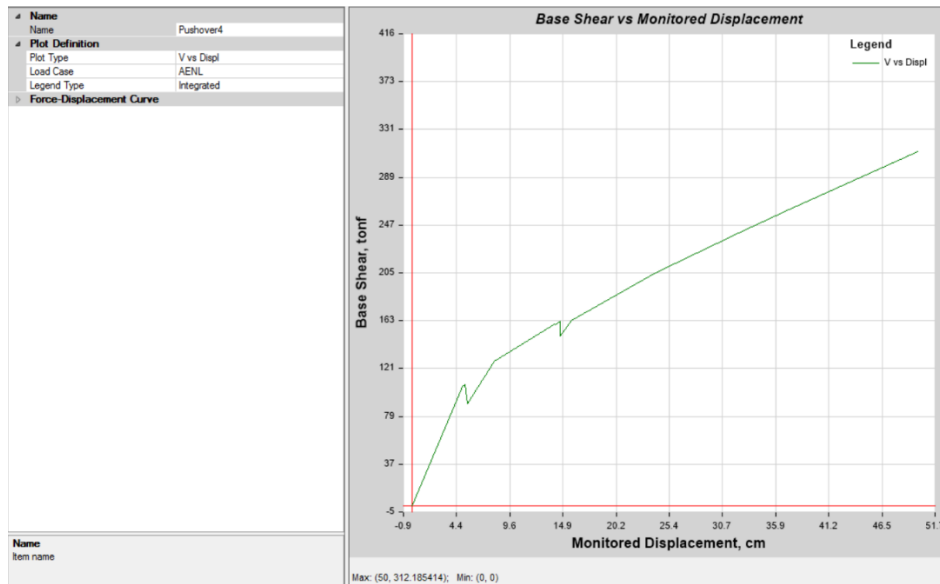


5.1.3.4. Módulo IV

En la dirección X, la estructura llega a su capacidad última cuando la cortante basal es 312.18 ton, alcanzando 50.31 cm de desplazamiento, con este valor la estructura, módulo IV, alcanza su máxima capacidad y colapsa (Fig. 65).

Figura 65.

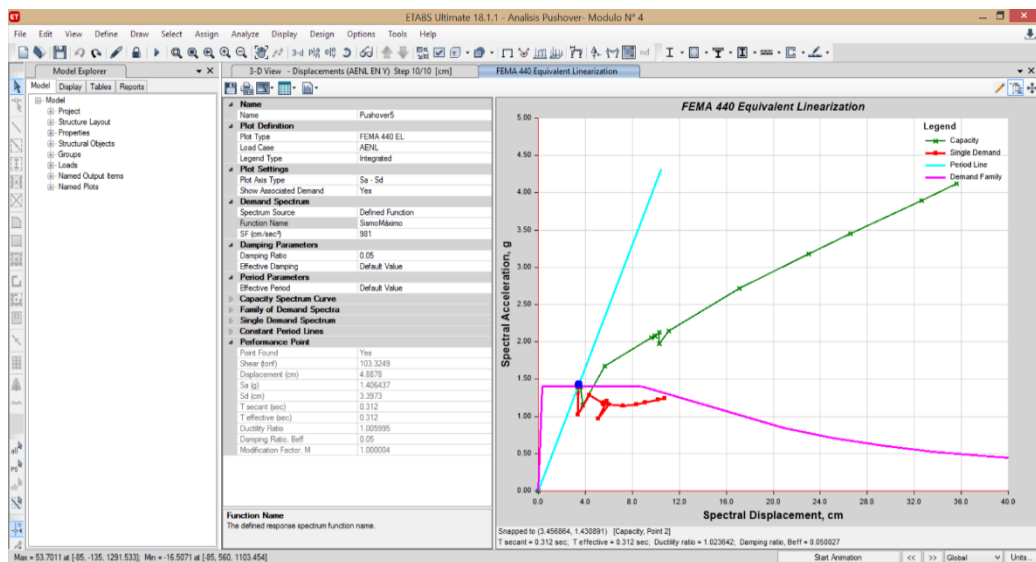
Curva de capacidad, en X, módulo IV



En este caso la estructura desestima los efectos del sismo de servicio y sismo de diseño, por ello, solo se ha podido definir el punto de desempeño para un sismo máximo. En la dirección X, según el punto de desempeño para un sismo máximo, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 103.32 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 3.39 cm (Fig. 66).

Figura 66.

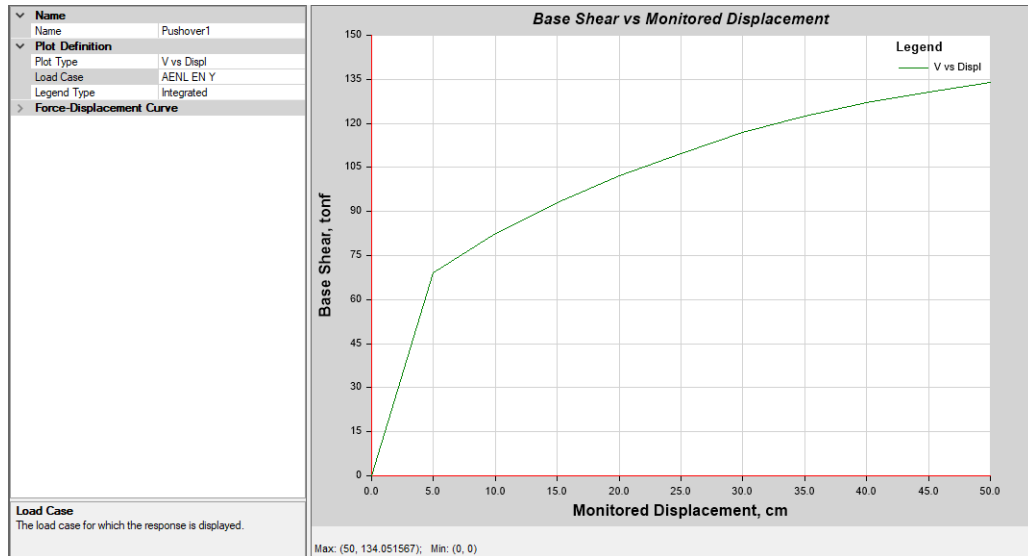
Punto de desempeño, en X, SM, módulo IV



En la dirección Y, con un desplazamiento de 50 cm y una cortante basal de 134 ton, la estructura, módulo IV, alcanza su máxima capacidad y colapsa (Fig. 67).

Figura 67.

Curva de capacidad, en Y, módulo IV



En la dirección Y, según el punto de desempeño, para un sismo por FEMA 440 AL, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura va a soportar una cortante de 74.03 ton, y desplazamiento espectral “Sd” de 4.86 cm (Fig. 68). Según el punto de desempeño para un SD, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 74.38 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 4.95 cm (Fig. 69). Según el punto de desempeño para un SM, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 80.18 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 6.47 cm (Fig. 70).

Figura 68.

Punto de desempeño, en Y, sismo definido por FEMA 440 A1, módulo IV

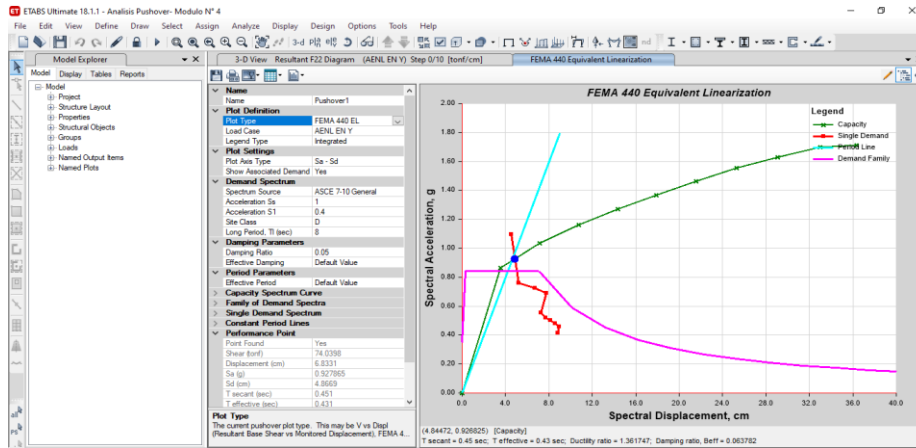


Figura 69.

Punto de desempeño, en Y, SD, módulo IV

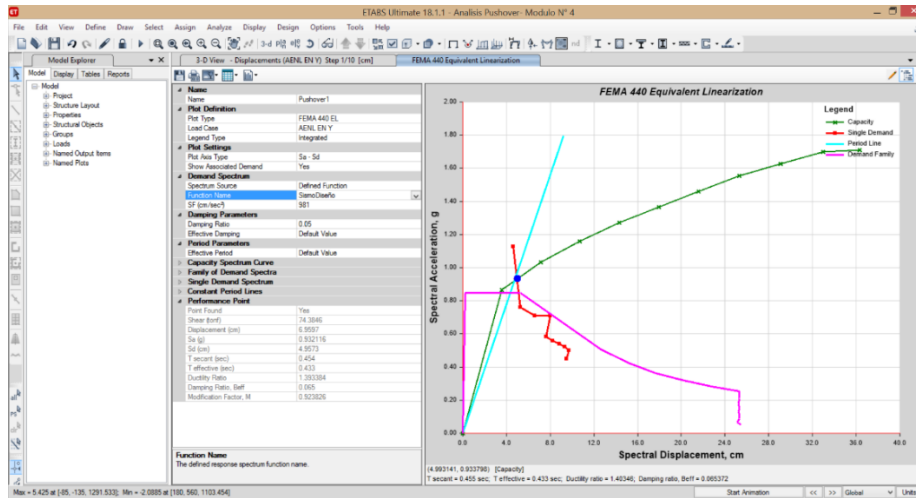
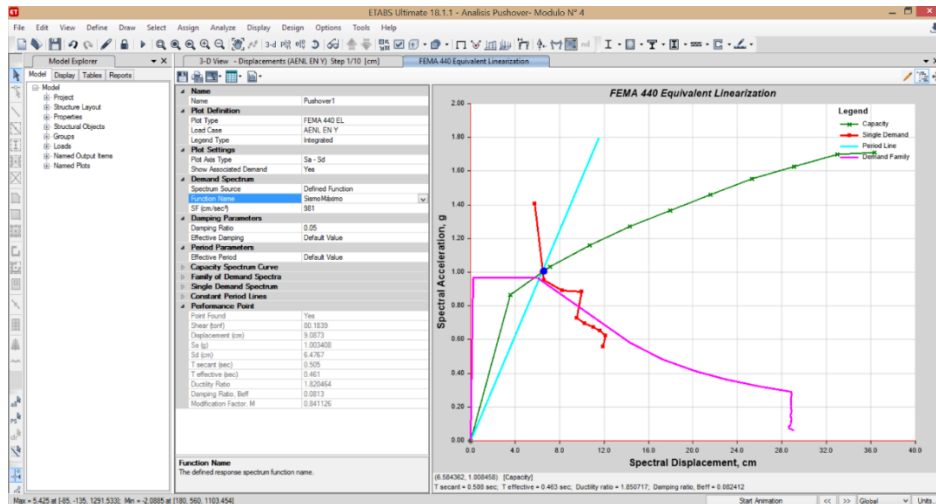


Figura 70.

Punto de desempeño, en Y, SM, módulo IV

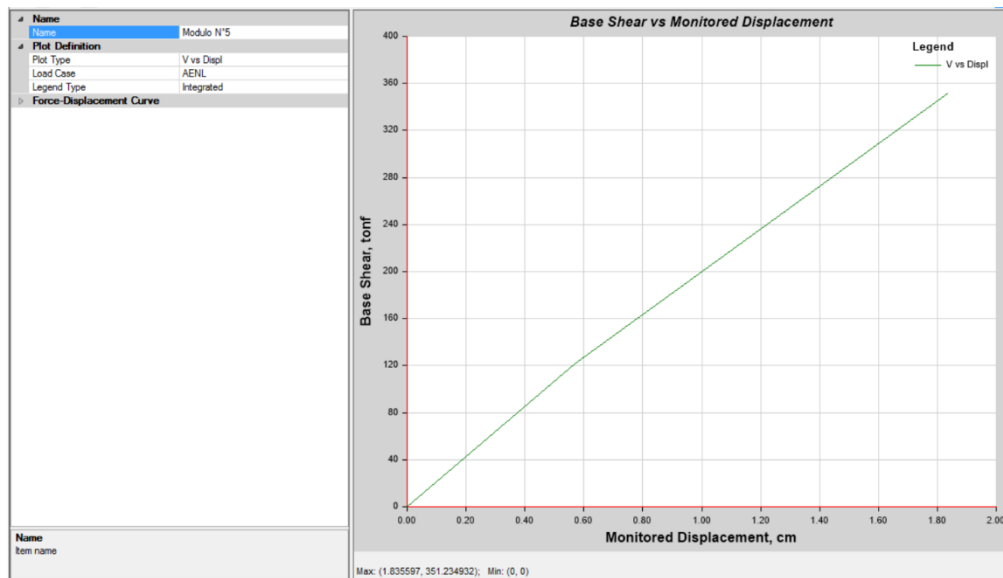


5.1.3.5.Módulo V

En la dirección X, con un desplazamiento de 1.83 cm y un cortante basal de 351.23 ton, la estructura, módulo V, alcanza su máxima capacidad y colapsa (Fig. 71).

Figura 71.

Curva de capacidad, en X, módulo V



En la dirección X, según el punto de desempeño para un sismo por FEMA 440 AL, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura va a soportar un cortante de 177.78 ton, y desplazamiento espectral “Sd” de 0.61 cm (Fig. 72). Según el punto de desempeño para un SD, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 186.31 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 0.65 cm (Fig. 73). Según el punto de desempeño para un SN, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 267.32 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 0.97 cm (Fig. 74).

Figura 72.

Punto de desempeño, en X, sismo definido por FEMA 440 A1, módulo V

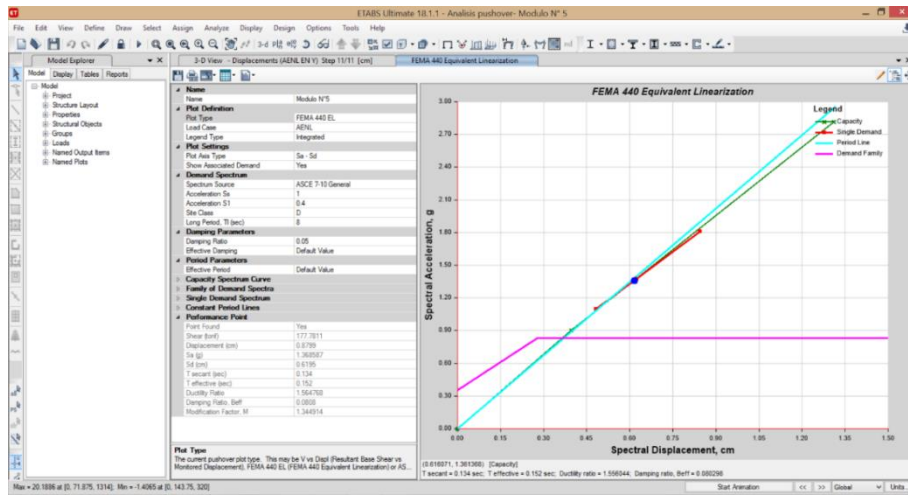


Figura 73.

Punto de desempeño, en X, SD, módulo V

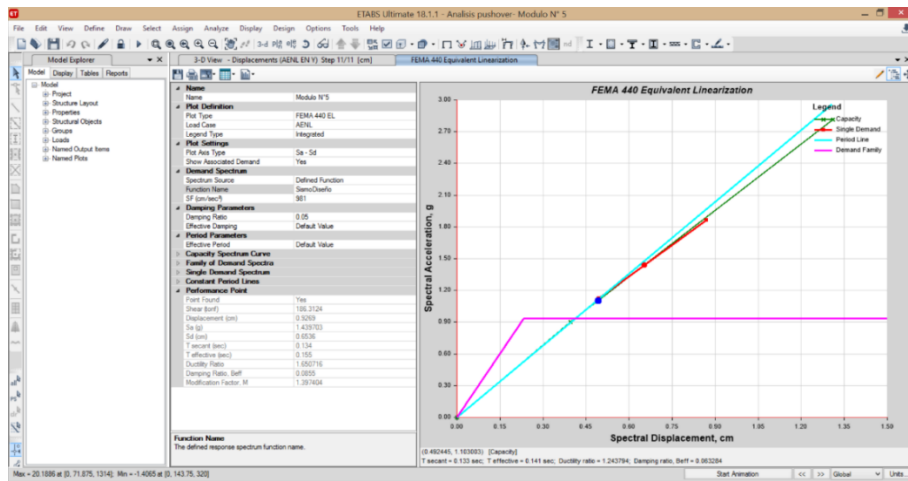
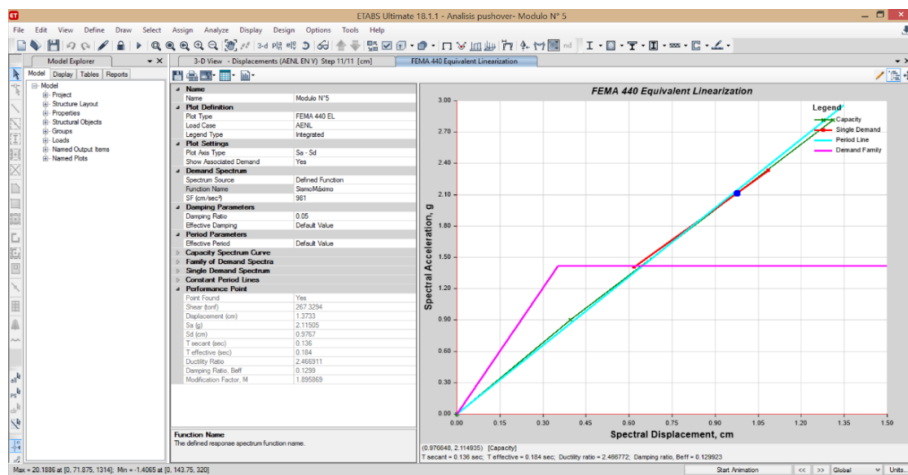


Figura 74.

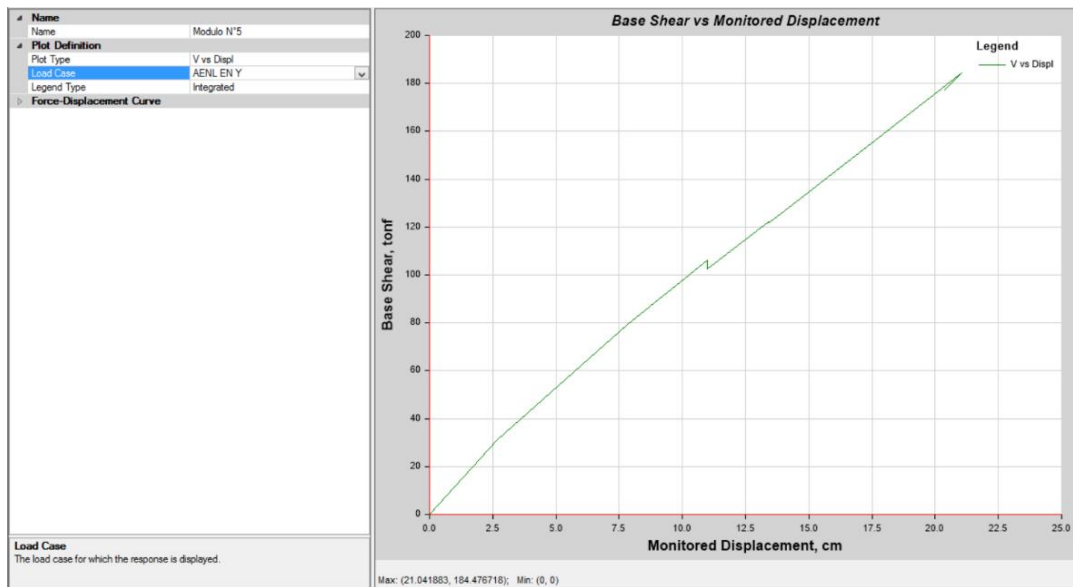
Punto de desempeño, en X, SM, módulo V



En la dirección Y, con un desplazamiento de 21.04 cm y una cortante basal de 184.47 ton, la estructura, módulo V, alcanza su máxima capacidad y colapsa (Fig. 75).

Figura 75.

Curva de capacidad, en Y, módulo V



En la dirección Y, según el punto de desempeño para un SS, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 104.82 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 7.71 cm (Fig. 76). Según el punto de desempeño para un SD y SM, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura colapsaría (Fig. 77).

Figura 76.

Punto de desempeño, en Y, SS, módulo V

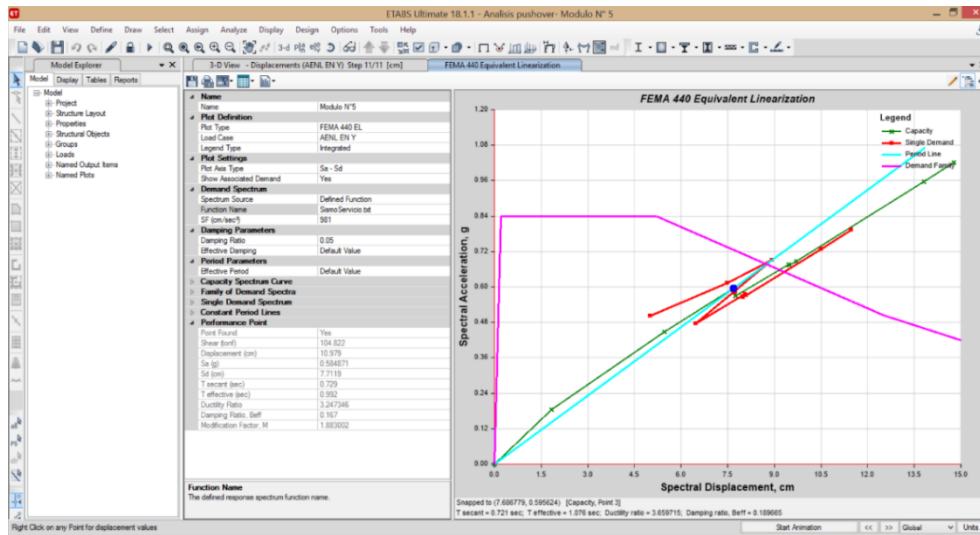
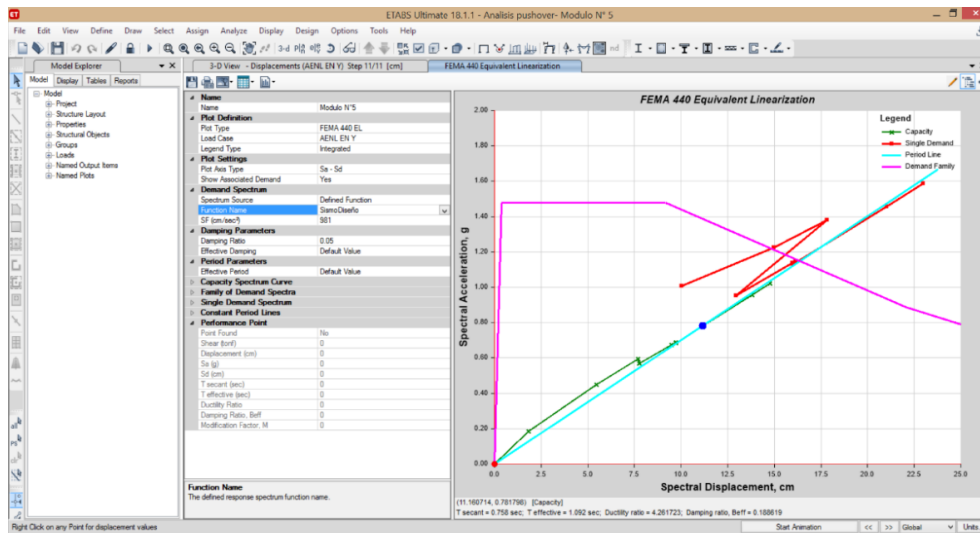


Figura 77.

Punto de desempeño, en Y, SD, módulo V

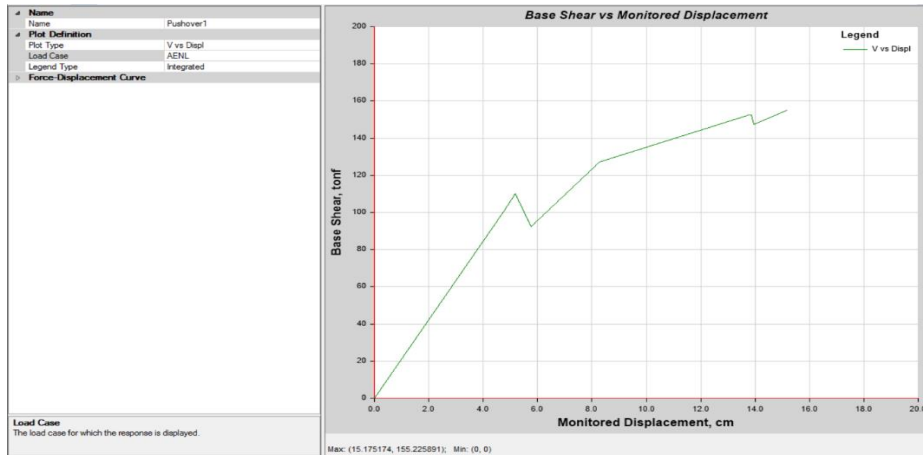


5.1.3.6. Módulo VI

En la dirección X, con un desplazamiento de 15.17 cm y un cortante basal de 155.22 ton, la estructura, módulo IV, alcanza su máxima capacidad y colapsa.

Figura 78.

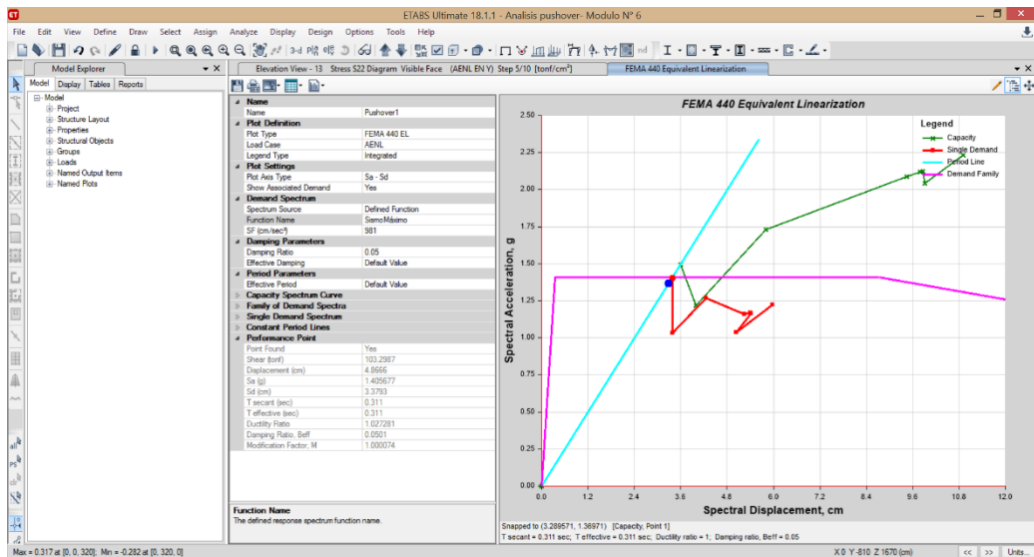
Curva de capacidad en dirección X, módulo VI



En este caso la estructura desestima los efectos del SS y SD por ello, solo se ha podido definir el punto de desempeño para un SM. En la dirección X, según el punto de desempeño para un sismo máximo, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 103.29 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 3.37 cm (Fig. 79).

Figura 79.

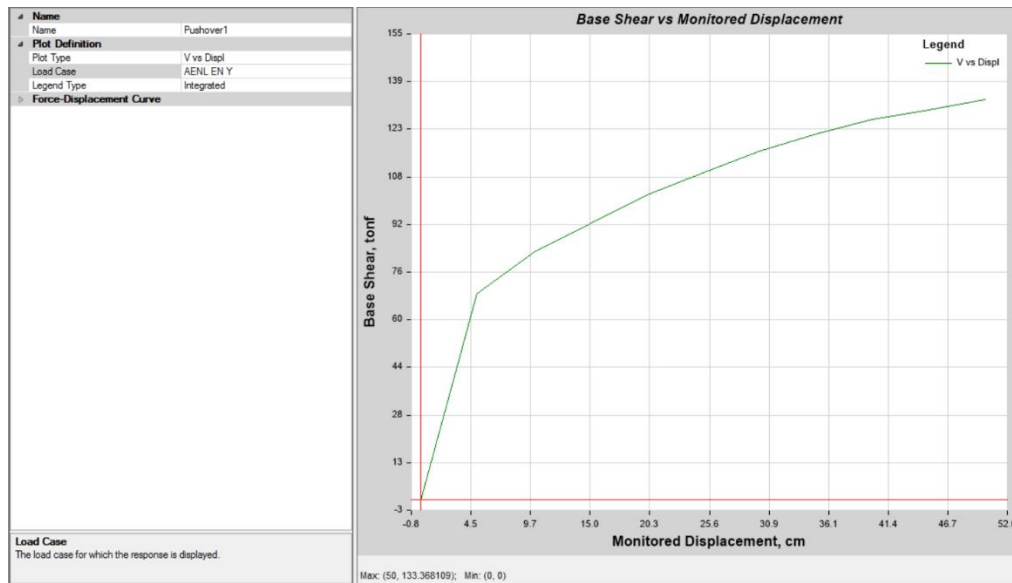
Punto de desempeño, en X, SM, módulo VI



En la dirección Y, con un desplazamiento de 50.13 cm y una cortante basal de 133.36 ton, la estructura, módulo VI, alcanza su máxima capacidad y colapsa (Fig. 80).

Figura 80.

Curva de capacidad, en Y, módulo VI



En la dirección Y, según el punto de desempeño para un sismo por FEMA 440 AL, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura va a soportar una cortante de 73.20 ton, y desplazamiento espectral “Sd” de 4.73 cm (Fig. 81). Según el punto de desempeño para un SD, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 73.64 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 4.84 cm (Fig. 82). Según el punto de desempeño para un SM, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 79.40 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 6.36 cm (Fig. 83).

Figura 81.

Punto de desempeño, en Y, sismo definido por FEMA 440 A1, módulo VI

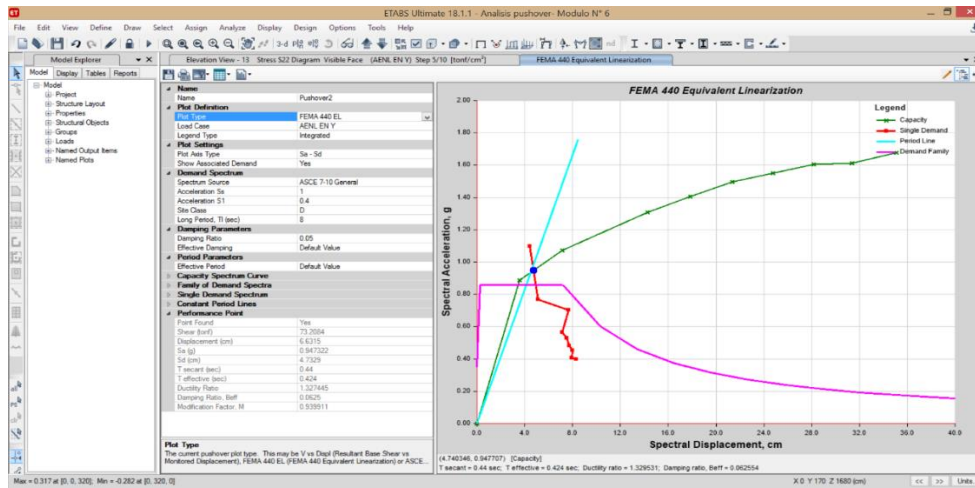


Figura 82.

Punto de desempeño en Y, SD, módulo VI

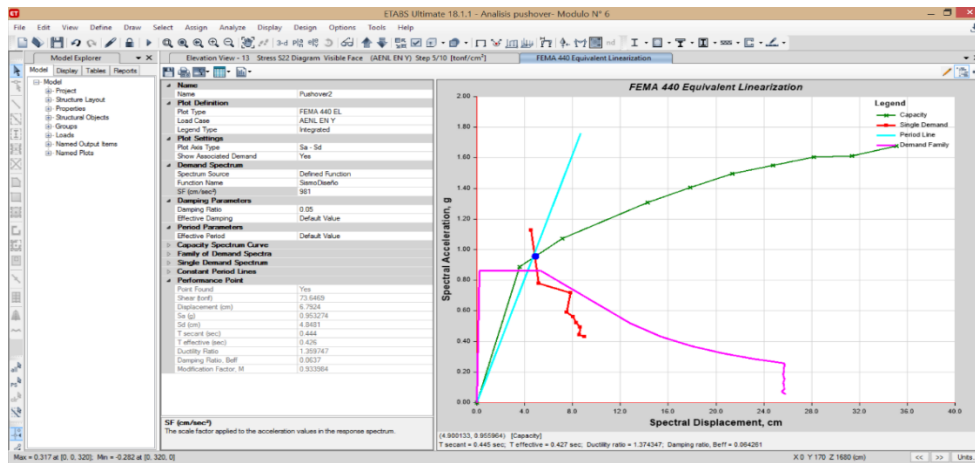
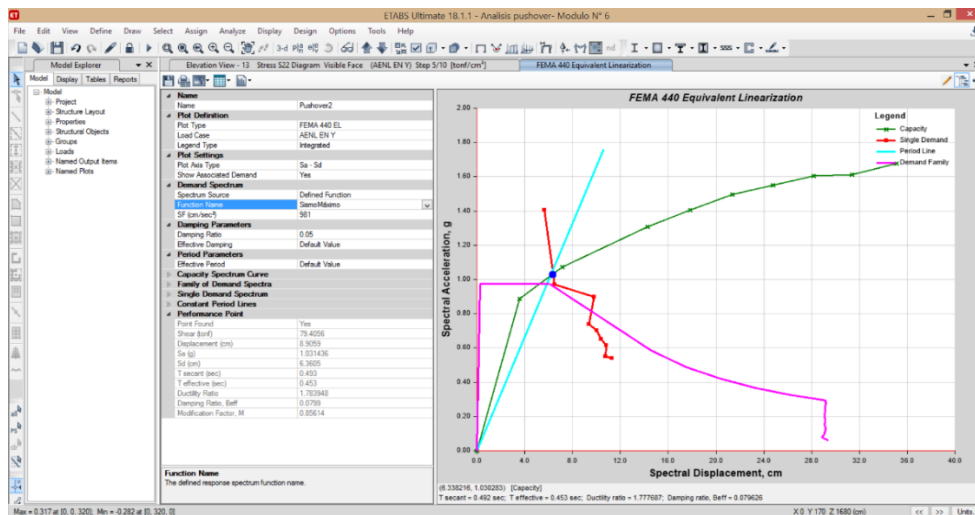


Figura 83.

Punto de desempeño, en Y, SM, módulo VI



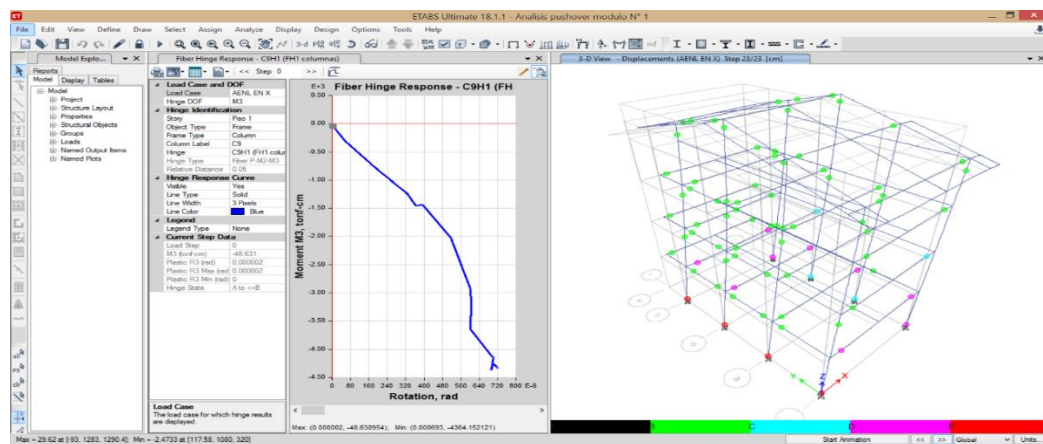
5.1.4. Identificación de rótulas plásticas o primeros puntos de colapso frente a un evento sísmico

5.1.4.1. Módulo I

En la dirección X, las primeras rótulas plásticas que se forman en la edificación es en el fin de techo en la viga B26, en el Eje (2-2). En el segundo step, se observa rótulas en las vigas y la primera rotula en la columna C13 en el (Eje 2-2). En el primer piso se forman las rótulas en todas las columnas (tercer step). En el quinto step, se observan las primeras rótulas plásticas que se encuentra en precolapso, estas están en el primer piso en la columna C8, que se halla en el Eje (C-C). En el sexto step se visualiza que la segunda rotula plástica que se encuentra en precolapso está en el primer piso en la columna C5, que se halla en el Eje (D-D). En el séptimo step, se muestra la tercera rotula plástica que se encuentra en precolapso, está en el primer piso en la columna C6, que se halla en el Eje (E-E). En el octavo step, se visualiza la cuarta rotula plásticas que se encuentra en precolapso, que está en el primer piso en la columna C4, que se halla en el Eje (F-F).

Figura 84.

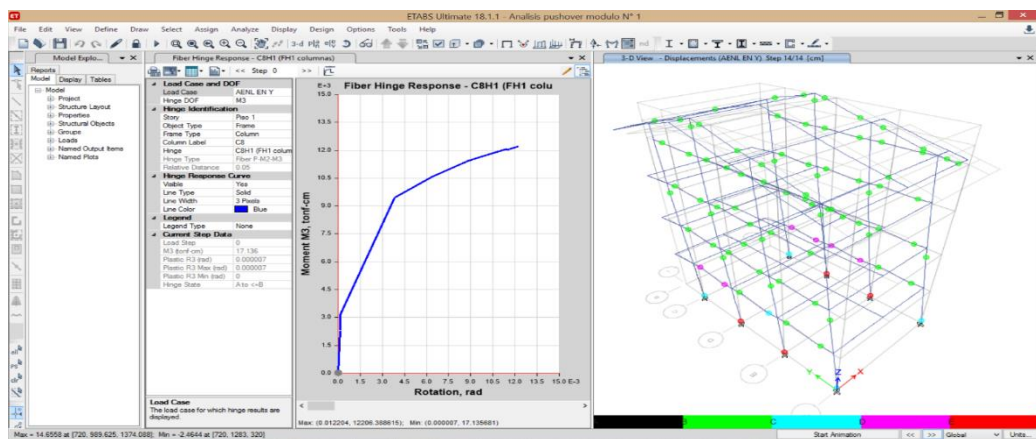
Modelo estructural donde se muestran los 23 step, eje X, módulo I



En la dirección Y, las primeras rótulas plásticas que se forman en la edificación están en el segundo piso en las vigas B2 y B5, que se halla en el Eje (1-1 y 2-2). En el segundo step, se observa rótulas en las vigas. Las primeras roturas que se forman en las columnas se encuentran en el primer piso (tercer step). En el cuarto step se observan las primeras rótulas plásticas que se encuentran en precolapso, estas están en el primer piso en la columna C5, C6, C2 y C3, en el eje (D-E).

Figura 85.

Módulo estructural en el que se observan los 14 step, eje Y, módulo I

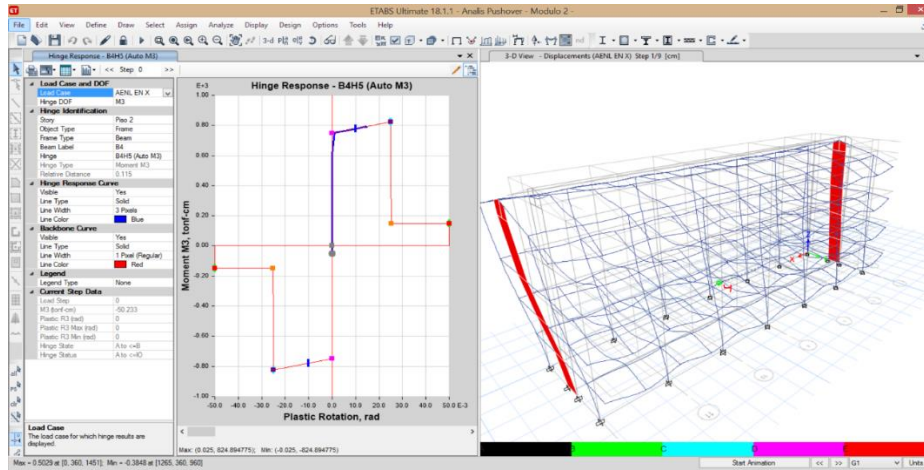


5.1.4.2. Módulo II

En la dirección X, las primeras rótulas plásticas se forman en el segundo piso en la viga B26, que se halla entre el Eje 8-8 y 10-10. En el segundo y tercer step, se observan rótulas en las vigas y columnas del primer piso. En el cuarto step se observan las primeras rótulas plásticas que se encuentran en precolapso ubicadas en el primer piso que se halla en el Eje 5-5, 6-6, 8-8, 10-10 y 11-11. En el quinto step se observan todas las rótulas plásticas de la edificación.

Figura 86.

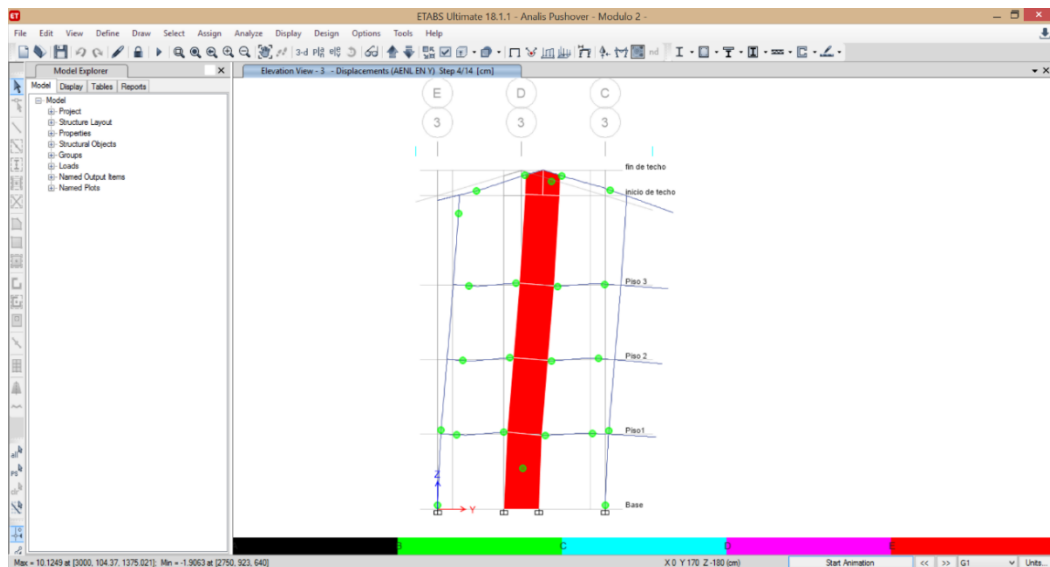
Modelo estructural en el que se observan step, eje X, módulo II



En la dirección Y, las primeras rótulas plásticas que se forman en la edificación están en el segundo piso en las vigas B147 y B149, que se halla en el Eje (3-3 y 13-13). En el segundo step, se observa rótulas en las vigas en el eje 3-3 y 13-13. Las primeras roturas que se forman en las columnas se encuentran en el primer piso (tercer step). En el cuarto step se observan las primeras rótulas plásticas que se encuentran en precolapso.

Figura 87.

Rótulas plásticas en las placas, dirección Y, módulo II

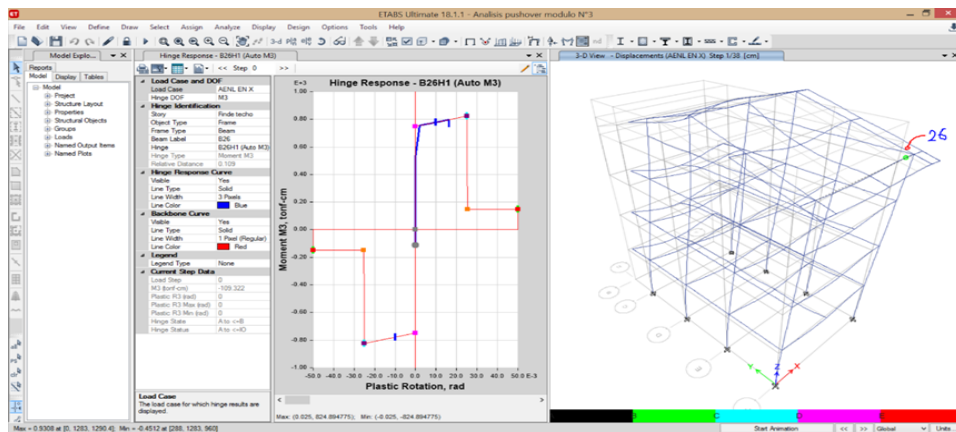


5.1.4.3. Módulo III

En la dirección X, las primeras rótulas plásticas se forman en el techo en la viga B26, que se halla entre el Eje 15-15 (primer step). En el segundo step, se observan rótulas en las vigas y la primera rotula en la columna C13 en el eje 15-15. En el tercer step se forman las rótulas en todas las columnas. En el quinto step se forman las primeras rótulas plásticas que se encuentran en precolapso ubicadas en el primer piso en la columna C8 y C5, que se hallan en el eje B-B y C-C. En el sexto step se forma la tercera rotula plástica que se encuentra en precolapso ubicada en el primer piso en la columna C5, que se halla en el eje E-E. En el octavo step se forma la cuarta rotula plástica que se encuentra en precolapso ubicada en el primer piso en la columna C4, que se halla en el eje F-F.

Figura 88.

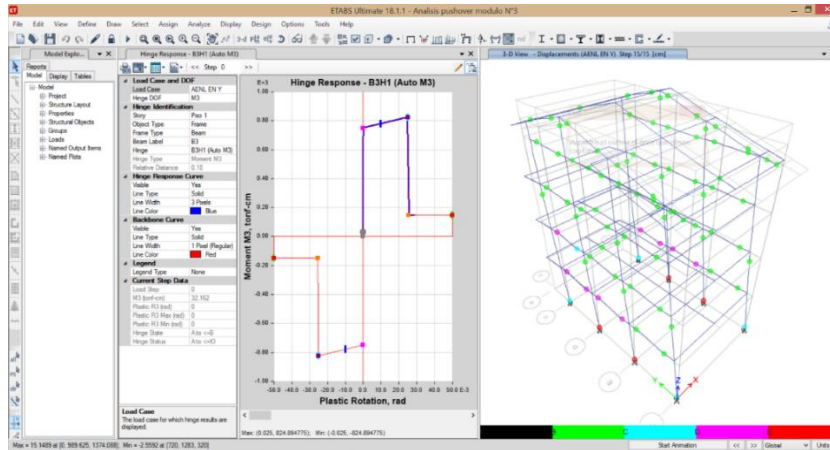
Modelo estructural en el que se observan step, eje X, módulo III



En la dirección Y, las primeras rótulas plásticas que se forman en la edificación están en el segundo piso en las vigas B2 y B5, que se halla en el Eje 14-14 y 15-15 (primer step). En el segundo step, se observa rótulas en las vigas y en el tercer step, rótulas plásticas en las columnas. En el cuarto step, se forman las primeras rótulas plásticas que se encuentran en precolapso, ubicadas en el primer piso en la columna C5, C6, C2 y C3, que se hallan en el eje D-D y E-E. En el 15 step se pueden visualizar todas las rótulas plásticas en el eje Y.

Figura 89.

Modelo estructural en el que se observan los 15 step, eje Y, módulo III

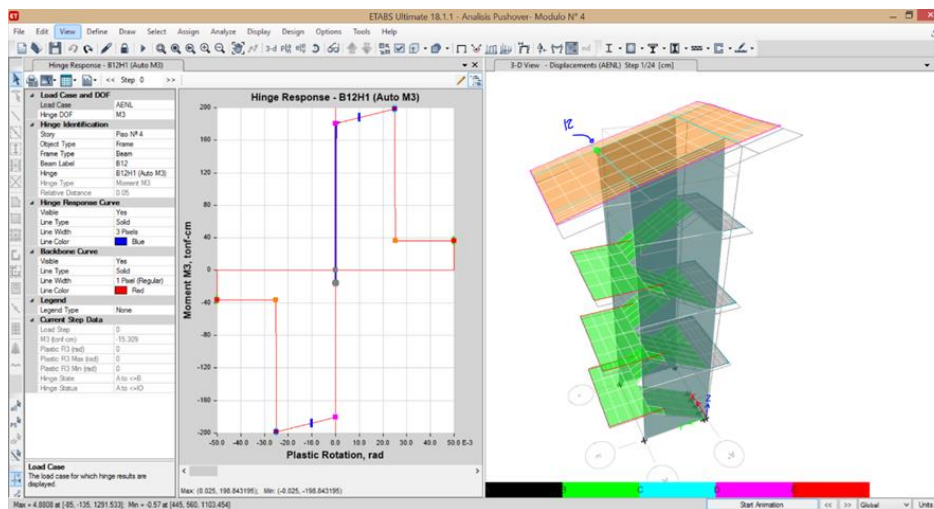


5.1.4.4. Módulo IV

En la dirección X, las primeras rótulas plásticas se forman en el piso N° 4 en la viga B12, que se halla entre el eje A'-A' (primer step). En el quinto step se forman las primeras rótulas plásticas que se forman en la placa de la estructura en el piso N° 1, que se halla entre el eje 3-3. En el veinteavo step se observa la segunda rotula plástica que se forma en la placa de la estructura en el piso N° 2, que se halla entre el eje 3-3.

Figura 90.

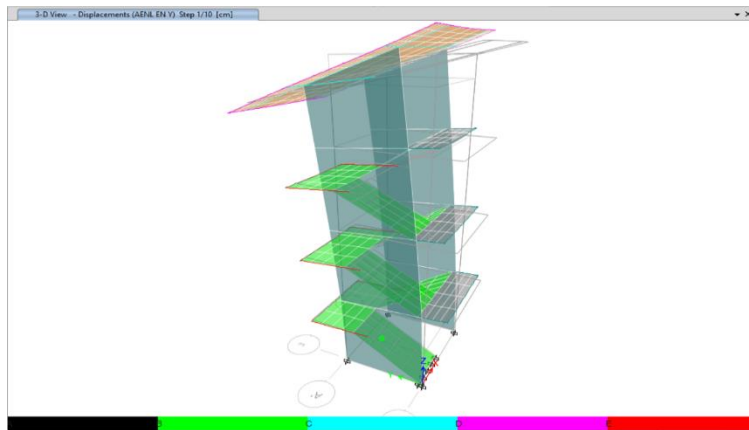
Modelo estructural en el que se observan step, eje X, módulo IV



En la dirección Y, las primeras rótulas plásticas que se forman en la edificación están en la placa en el primer piso, entre el eje 3-3 y 4-4 (primer step). En el cuarto step, se observa la segunda rotula plástica que se forma en la placa de la estructura en el segundo piso, entre el eje 3-3 y 4-4. En el décimo step se pueden observar todas las rótulas plásticas que se forman en la edificación.

Figura 91.

Modelo estructural en el que se observan step, eje Y, módulo IV

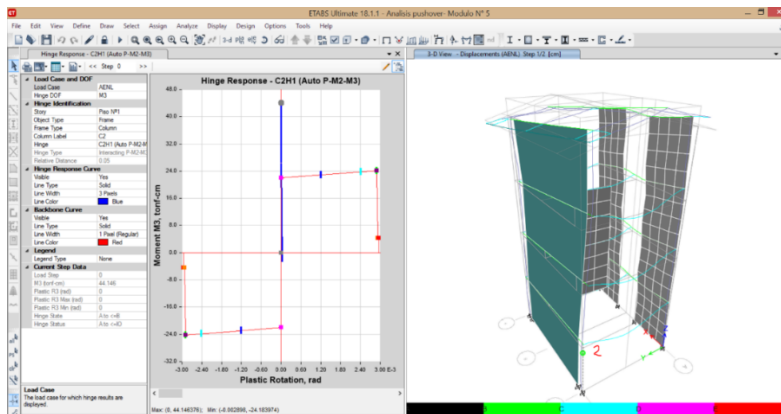


5.1.4.5. Módulo V

En la dirección X, las primeras rótulas plásticas se forman en las columnas C-2 que están en el eje B-B del primer piso (primer step). En el cuarto step se observan todas las rótulas plásticas de la estructura.

Figura 92.

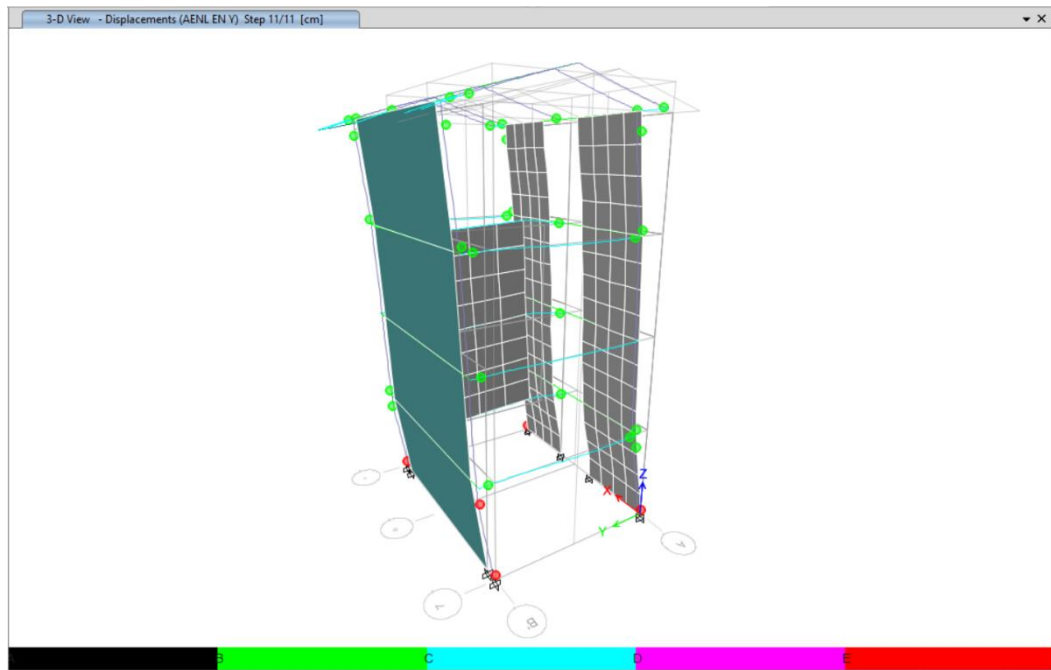
Modelo estructural en el que se observan step, eje X, módulo V



En la dirección Y, las primeras rótulas plásticas que se forman en la edificación están en las columnas C2 y C3 en el eje B-B del primer piso (primer step). En el segundo step, se observan rótulas plásticas en pre colapso en las columnas C2 y C3 del eje B-B primer piso. En el cuarto step se forman rótulas plásticas en pre colapso en las columnas C4 y C5 que están en el eje A-A del primer piso.

Figura 93.

Modelo estructural en el que se observan los 15 step, eje Y, módulo V

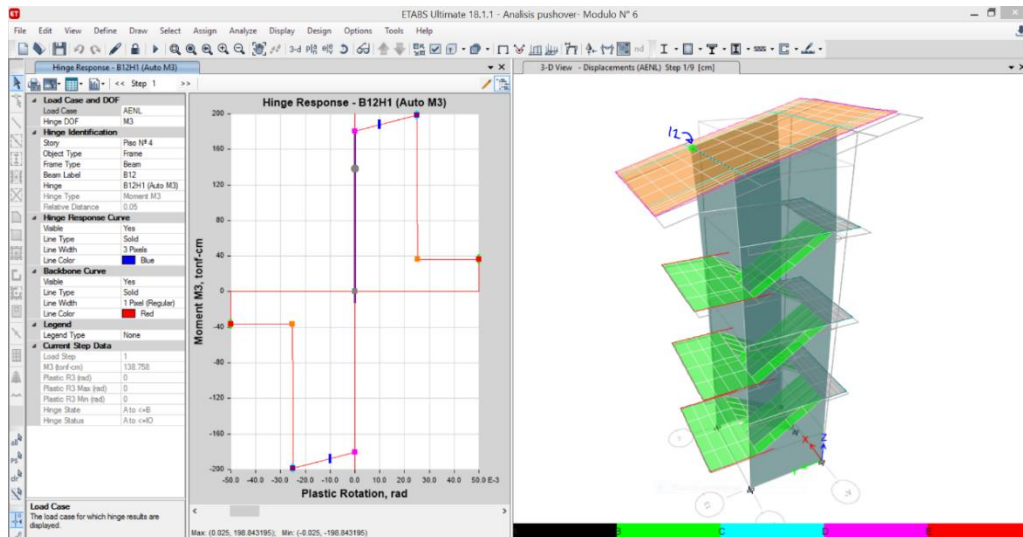


5.1.4.6. Módulo VI

En la dirección X, las primeras rótulas plásticas se forman en el piso N° 4 en la viga B12, que se halla entre el eje A'-A' (primer step). En el quinto step se forman las primeras rótulas plásticas que se forman en la placa de la estructura en el piso N° 1, que se halla entre el eje 13-13.

Figura 94.

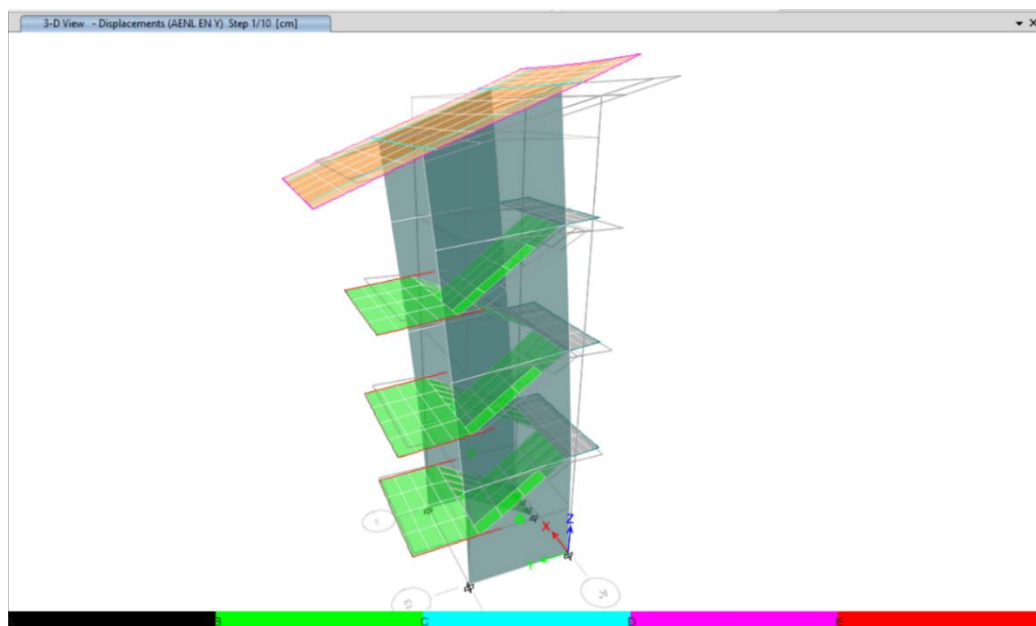
Modelo estructural en el que se observan step, eje X, módulo VI



En la dirección Y, las primeras rótulas plásticas que se forman en la edificación están en la placa en el primer piso, entre el eje 13-13 y 14-14 (primer step). La segunda rótula plástica que se forma en la edificación está en la placa que se halla en el segundo piso, entre el eje 13-13 y 14-14 (tercer step). En el décimo step se pueden observar todas las rótulas plásticas que se forman en la edificación.

Figura 95.

Módulo estructural en el que se observan step, eje Y, módulo VI



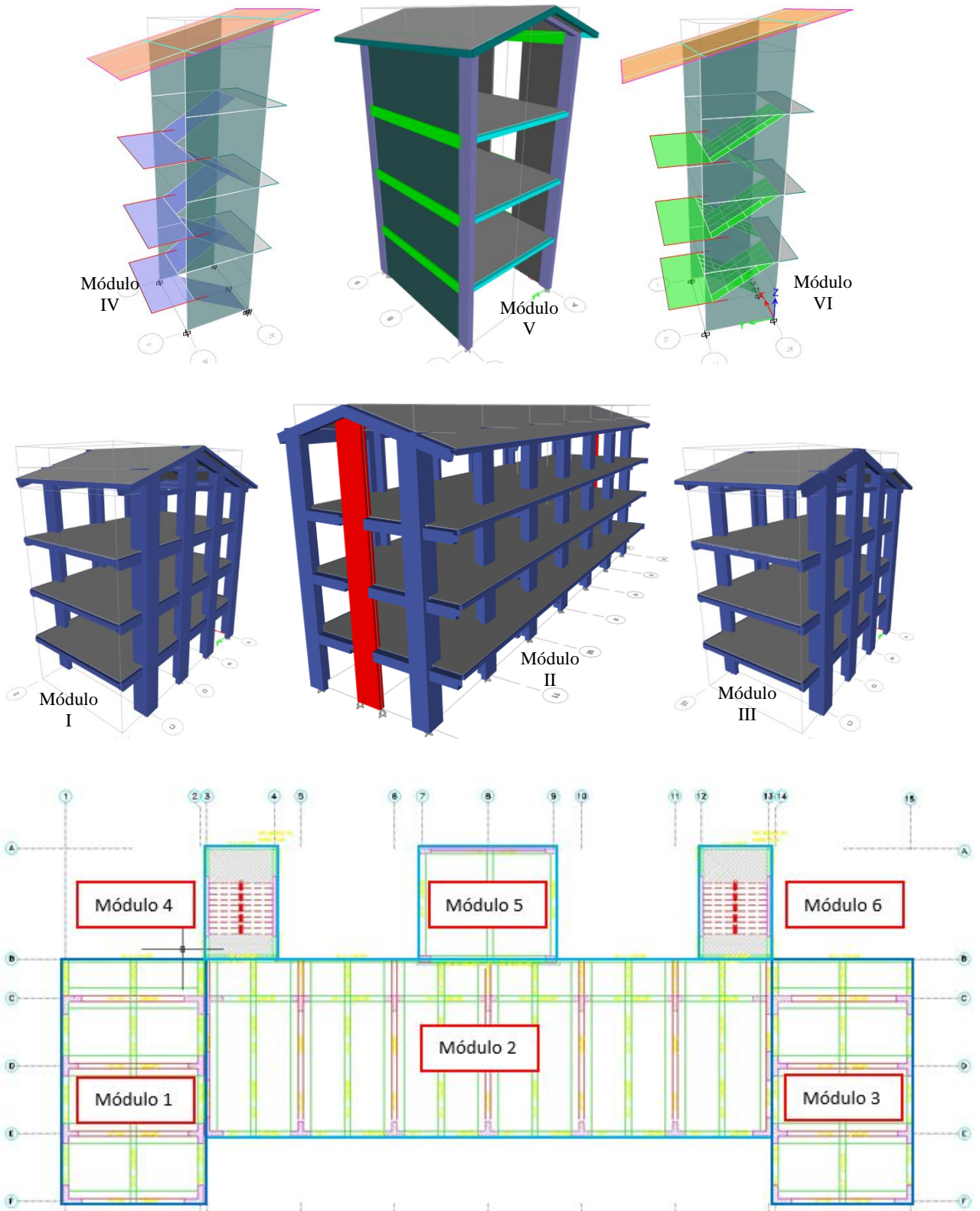
5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados

El edificio de ingeniería civil de la UNACH, está conformado por seis módulos: el módulo I está integrado por los laboratorios de fluidos (1° piso), topografía (2° piso), dibujo (3° piso) y biblioteca (4° piso); el módulo II está integrado por el laboratorio de mecánica de materiales (primer piso) y las aulas en el resto de niveles; el módulo III está integrado por el laboratorio de mecánica de suelos (primer piso), área administrativa de la EPIC (segundo piso), laboratorios de computación (tercer y cuarto piso); el módulo IV y módulo VI corresponden a las escaleras de conexión izquierda y derecha, respectivamente; el módulo V está integrado en todos los niveles por los servicios higiénicos para alumnos y docentes. Estos seis módulos trabajan como estructuras independientes, por ello han sido modeladas en el software ETABS 2018 por separado, dando a cada estructura sus características, dimensiones, materiales, secciones y cargas respectivas para el análisis estático, análisis dinámico y análisis Pushover.

Investigadores como Zahir et al. (2019), Croce et al. (2019), Kalkbrenner et al. (2019) también realizaron el modelamiento y análisis de múltiples edificaciones destinadas a uso privado, modelando las mismas por separado en softwares de procesamiento como ETABS y SAP, mientras que, autores como Quizhpilema (2017), Duarte et al. (2017), Mires (2019), Urteaga (2019) y Cerquín (2019) modelaron edificaciones públicas destinadas al rubro educación, tal como en el presente estudio.

Figura 96.

Modelo estructural del edificio de ingeniería civil de la UNACH



Se han determinado los parámetros sísmicos de la edificación de ingeniería civil de la UNACH en relación a la norma E.030 (MVCS, 2020). Los parámetros de zona, suelo, categoría de edificación y regularidad sísmica, son similares a los parámetros tomados por autores locales como Mires (2019), Urteaga (2019) y Cerquín (2019), en cambio, el sistema estructural varía por cada módulo, el módulo I y módulo III tienen sistema estructural aporticado, el módulo IV y módulo VI están integrados por muros estructurales, el módulo V es un sistema estructural dual, y el módulo II está integrado por pórticos en el eje X y por un sistema dual en el eje Y. Edificaciones analizadas por Vera (2017), Noel et al. (2018), Samillán (2019), Fuentes (2018) y Fernández (2018) tienen sistema estructural conformado por mampostería confinada y pórticos, por tanto, los coeficientes de reducción sísmica son diferentes a los analizados en la presente investigación.

Tabla 20.

Parámetros sísmicos del edificio

Parámetros sísmicos	Módulo I	Módulo II	Módulo III	Módulo IV	Módulo V	Módulo VI
Z	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
U	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
S2	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
TP	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
TL	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Ia	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Ip	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Rx	8.00	8.00	8.00	6.00	7.00	6.00
Ry	8.00	7.00	8.00	6.00	7.00	6.00

Nota: Z Factor de zona sísmica, S2 Suelos intermedios capacidad portante entre 0.5 a 1 kg/cm², T_p y T_L factores de amplificación del suelo, U categoría de la edificación (para edificaciones esenciales A factor 1.5), I Factor de irregularidad (para edificaciones regulares se considera 1.00), R Coeficiente de reducción según sistemas estructurales (pórticos= 8, dual= 7 y muros estructurales= 6).

Definido el modelo sísmico y los parámetros sísmicos de cada módulo, se ha realizado el análisis sísmico, obteniendo la cortante estática y cortante dinámica en X e Y para cada módulo del edificio de ingeniería civil de la UNACH, resultados que se exponen en la Tabla 21 y Tabla 22, respectivamente. Así mismo según la norma E.030 (MVCS, 2020) la cortante dinámica debe ser al menos el 80% de la cortante estática, pero muchos de los resultados no cumplen tal requisito (Tabla 23), por lo que fue necesario generar un coeficiente de amplificación que varía de 1.10 a 1.4, este factor no afecta a las derivas y desplazamientos, sino al diseño planteado, tal como lo afirman Samillán (2019) y Fuentes (2018).

Tabla 21.

Cortante estática en X e Y del edificio de ingeniería civil de la UNACH

Módulo	Cortante estática (ton)	
	X	Y
Módulo I	54.52	54.52
Módulo II	147.25	168.29
Módulo III	54.90	54.90
Módulo IV	21.97	21.97
Módulo V	32.74	32.74
Módulo VI	21.97	21.97

Tabla 22.

Cortante dinámica en X e Y del edificio de ingeniería civil de la UNACH

Módulo	Cortante dinámica (ton)	
	X	Y
Módulo I	42.86	44.50
Módulo II	116.39	129.89
Módulo III	43.03	44.89
Módulo IV	14.27	13.51
Módulo V	17.61	28.31
Módulo VI	14.23	13.28

Tabla 23.*Porcentaje de representación de la cortante dinámica respecto a la cortante estática*

Módulo	Porcentaje de representación Cortante dinámica/ Cortante estática	
	X	Y
Módulo I	78.61%	81.62%
Módulo II	79.04%	77.18%
Módulo III	78.38%	81.77%
Módulo IV	64.95%	61.49%
Módulo V	53.79%	86.47%
Módulo VI	64.77%	60.45%

Los desplazamientos absolutos y derivas relativas máximas en X e Y, de ingeniería civil de la UNACH se muestran en la Tabla 24 (desplazamientos absolutos), Tabla 25 y Tabla 26 (derivas en X e Y respectivamente). Las derivas están dentro de la norma E.030 (MVCS, 2020), por tanto, cumplen la resistencia sísmica estática y dinámica normada, tal como aseveran Noel et al. (2018), Samillán (2019), Fuentes (2018) y Fernández (2018), no obstante, los módulos IV y módulo VI presentan un comportamiento modal inadecuado, debido a que no cumplen con la exigencia de mostrar movimientos traslacionales para los dos primeros modos de vibración y un movimiento rotacional para el tercer modo, esto según Quizhpilema (2017) se debe a irregularidades torsionales en planta, por lo que no se puede decir que la estructura cumple los requisitos de resistencia frente a un sismo, para definir su capacidad estructural debe realizarse un análisis estático no lineal Pushover, para comprobar su nivel de desempeño sísmico, tal como lo expresan Zahir et al. (2019), Mariani et al. (2019), Croce et al. (2019), Duarte et al. (2017) y Kalkbrenner et al. (2019).

Tabla 24.*Desplazamientos absolutos máximos en X e Y del edificio de ingeniería civil de la UNACH*

Módulo	Desplazamientos absolutos máximos (mm)	
	X	Y
Módulo I	9.01	2.76
Módulo II	4.61	9.26
Módulo III	9.03	2.72
Módulo IV	8.53	3.04
Módulo V	1.16	20.41
Módulo VI	8.53	3.04

Tabla 25.*Derivas máximas relativas en X del edificio de ingeniería civil de la UNACH*

Módulo	Derivas relativas (mm)			
	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Fin techo
Módulo I	0.002574	0.004926	0.00483	0.002574
Módulo II	0.001662	0.002706	0.002376	0.00372
Módulo III	0.00258	0.004932	0.004842	0.00258
Módulo IV	0.001521	0.001737	0.0038205	0.0053505
Módulo V	0.00028875	0.000525	0.00057225	0.0005145
Módulo VI	0.001521	0.001737	0.0038205	0.0053505

Tabla 26.*Derivas máximas relativas en Y del edificio de ingeniería civil de la UNACH*

Módulo	Derivas relativas (mm)			
	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Fin techo
Módulo I	0.001032	0.001584	0.001368	0.00768
Módulo II	0.0023835	0.00426825	0.0042525	0.0002142
Módulo III	0.001026	0.001572	0.001356	0.000762
Módulo IV	0.000432	0.000999	0.001314	0.001431
Módulo V	0.1159725	0.006678	0.00649425	0.008526
Módulo VI	0.000432	0.000999	0.001314	0.001431

Para el análisis estático no lineal Pushover se aplicaron cargas laterales en sentido del eje X o Y según el caso, para cada módulo del edificio de ingeniería civil (Tabla 27 y Tabla 28), estas cargas según Zahir et al. (2019) dependen del peso de la edificación, y son cargas que se irán incrementando hasta lograr el colapso de la edificación, a fin de estimar su capacidad estructural.

Tabla 27.*Fuerzas laterales (ton) en X del edificio de ingeniería civil de la UNACH*

Módulo	Fuerzas laterales (ton) por nivel			
	1	2	3	4
Módulo I	6.20	12.15	24.03	12.14
Módulo II	14.99	30.90	48.76	52.60
Módulo III	6.39	12.20	24.13	12.19
Módulo IV	2.10	4.19	6.64	9.04
Módulo V	3.08	6.82	10.98	11.85
Módulo VI	2.10	4.19	6.64	9.04

Tabla 28.*Fuerzas laterales en Y del edificio de ingeniería civil de la UNACH*

Módulo	Fuerzas laterales (ton) por nivel			
	1	2	3	4
Módulo I	6.20	12.15	24.03	12.14
Módulo II	17.13	35.32	55.72	60.12
Módulo III	6.39	12.20	24.13	12.19
Módulo IV	2.10	4.19	6.64	9.04
Módulo V	3.08	6.82	10.98	11.85
Módulo VI	2.10	4.19	6.64	9.04

Una vez procesadas las cargas en el software Etabs 2018, se ha determinado los valores de cortante basal (ton) y desplazamientos (cm) con los que se elaboran la curva de capacidad en el eje X e Y para cada módulo del edificio de ingeniería civil de la UNACH. La cortante basal representa la fuerza máxima que puede resistir la estructura antes de colapsar, y el desplazamiento máximo que alcanzaría frente a un evento sísmico extremo, tal como lo manifiestan Mariani et al. (2019), Croce et al. (2019) y Kalkbrenner et al. (2019).

Tabla 29.*Curva de capacidad del edificio de ingeniería civil de la UNACH*

Módulo	Curva de capacidad en X		Curva de capacidad en Y	
	Desplazamiento	Cortante basal	Desplazamiento	Cortante basal
	(cm)	(ton)	(cm)	(ton)
Módulo I	27.32	335.16	14.35	431.76
Módulo II	17.98	1295.55	13.32	546
Módulo III	28.86	339	14.93	436.79
Módulo IV	50.31	312.18	50	134
Módulo V	1.83	351.23	21.04	184.47
Módulo VI	15.17	155.22	50.13	133.36

En la Tabla 30 y Tabla 31 se pueden observar los puntos de desempeño en el eje X e Y para cada uno de los módulos del edificio de ingeniería civil, en función de la aceleración espectral “Sa” y el desplazamiento espectral “Sd”, así mismo, en la Tabla 32 y 33 se pueden observar los puntos de desempeño en el eje X e Y en términos de cortante basal (ton) y desplazamiento en el techo (mm), valores esenciales para elaborar la sectorización de la curva de capacidad y determinar el nivel de desempeño estructural de una edificación según Paredes (2016).

Tabla 30.*Espectro de capacidad en X del edificio de ingeniería civil de la UNACH*

Módulo	“Sa” (g)			“Sd” (cm)		
	SS	SD	SM	SS	SD	SM
I	0.5865	0.7228	0.7527	4.12	7.23	9.29
II	0.7277	1.00624	1.1852	4.15	7.67	10.64
III	0.5546	0.73118	0.764187	4.04	7.38	9.18
IV			1.406437			3.39
V	1.3685	1.4397	2.11505	0.61	0.65	0.97
VI			1.405677			3.37

Nota: SS sismo de servicio, SD sismo de diseño, SM sismo máximo

Tabla 31.*Espectro de capacidad en Y del edificio de ingeniería civil de la UNACH*

Módulo	"Sa" (g)			"Sd" (cm)		
	SS	SD	SM	SS	SD	SM
Módulo I	0.5763	1.07855	1.1482	2.06	5.90	7.22
Módulo II	0.4857	0.64754	0.6752	3.92	8.57	10.67
Módulo III	0.57063	1.06914	1.14332	2.10	5.97	7.34
Módulo IV	0.9278	0.932116	1.0034	4.86	4.95	6.47
Módulo V	0.584871			7.71		
Módulo VI	0.947322	0.953274	1.031436	4.73	4.84	6.36

Nota: SS sismo de servicio, SD sismo de diseño, SM sismo máximo

Tabla 32.*Puntos de desempeño en X del edificio de ingeniería civil de la UNACH*

Módulo	Cortante basal (ton)			Desplazamiento en el techo (mm)		
	SS	SD	SM	SS	SD	SM
I	184.97	236.48	253.42	61.80	108.00	138.50
II	636.38	925.48	1101.42	41.50	104.50	142.60
III	187.72	241.18	257.09	60.50	110.20	136.60
IV			103.32			48.80
V	177.78	186.31	267.32	8.799	9.269	13.733
VI			103.29			48.666

Nota: SS sismo de servicio, SD sismo de diseño, SM sismo máximo

Tabla 33.*Puntos de desempeño en Y del edificio de ingeniería civil de la UNACH*

Módulo	Cortante basal (ton)			Desplazamiento en el techo (mm)		
	SS	SD	SM	SS	SD	SM
Módulo I	183.08	349.73	378.03	29.50	84.00	102.00
Módulo II	391.04	519	541.11	53.20	116.30	138.40
Módulo III	184.79	348.31	377.66	30.20	85.20	104.00
Módulo IV	74.03	74.38	80.18	68.33	69.50	90.18
Módulo V	104.82	Colapsa		109.79		
Módulo VI	73.20	73.64	79.40	66.315	67.904	89.059

Nota: SS sismo de servicio, SD sismo de diseño, SM sismo máximo.

El módulo I, en el eje X cumple con el objetivo de desempeño, mientras que en el eje Y, tendría un nivel de desempeño de pre colapso frente a un SM. El módulo II en el eje X e Y cumple el objetivo de desempeño para un SS y de diseño, pero para un SM tiene un nivel de pre colapso en X y colapso en Y. El módulo III en

el eje X cumple con el objetivo de desempeño, mientras que en el eje Y, el módulo tendría un nivel de pre colapso frente a un SM. El módulo IV en el eje X sobrepasa las expectativas de desempeño del ATC-40 (1996) debido que para un SM se encontraría en un nivel operacional, así mismo, en el eje Y cumple con el objetivo de desempeño. El módulo V, en el eje X no cumple con el objetivo de desempeño, después de un sismo de diseño la estructura estaría en el nivel de seguridad de vida, mientras que después de un SM el módulo estaría en pre colapso, así mismo, en el eje Y la estructura frente a un SS se encontraría en el nivel de desempeño de seguridad de vida, mientras que para un SD y SM el módulo V colapsaría. El módulo VI, presenta un adecuado desempeño estructural, después de un SM la edificación estaría funcional tanto en el eje X e Y.

Figura 97.

Curva de capacidad, en X, módulo I

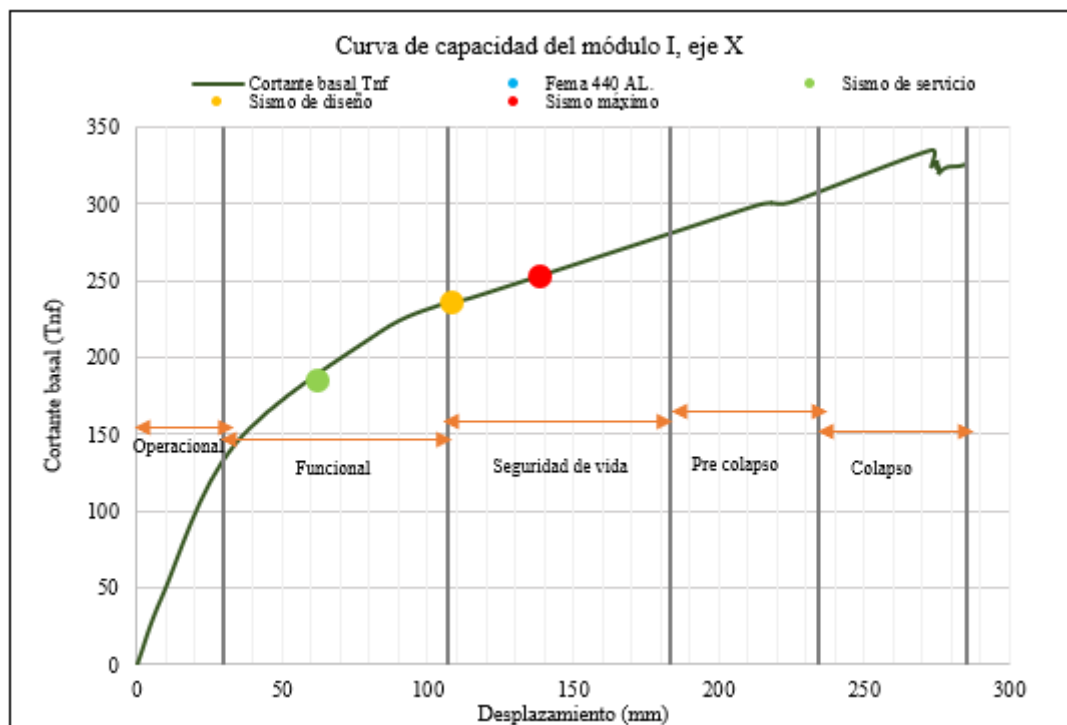


Figura 98.

Curva de capacidad del eje Y del módulo I

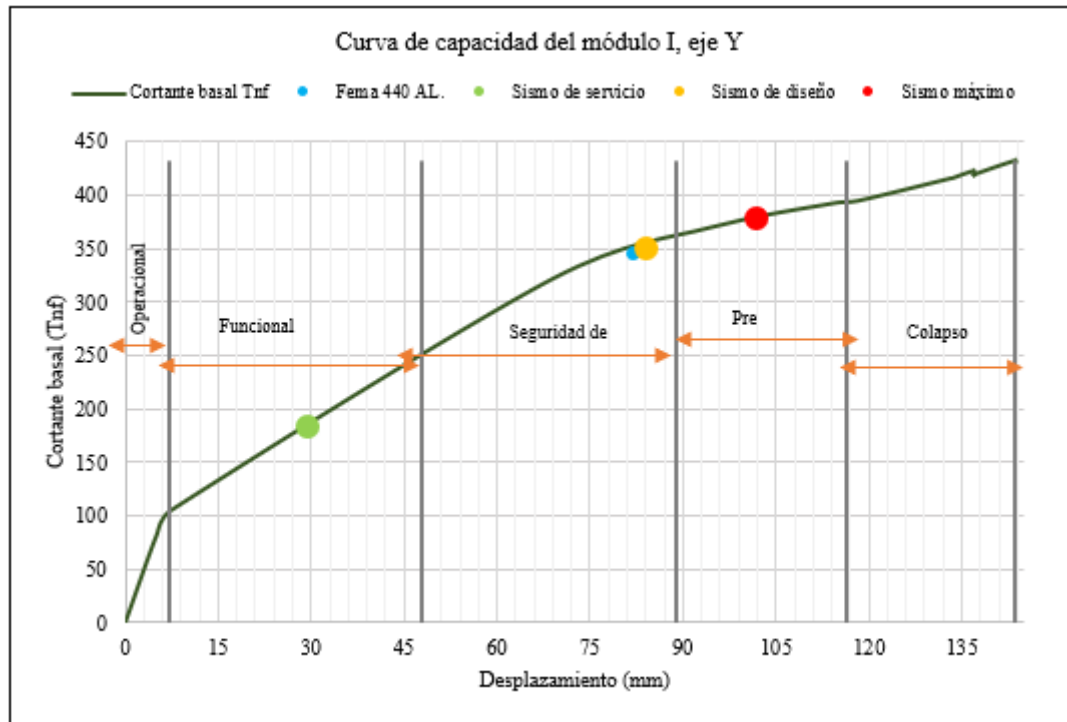


Figura 99.

Curva de capacidad del eje X, módulo II

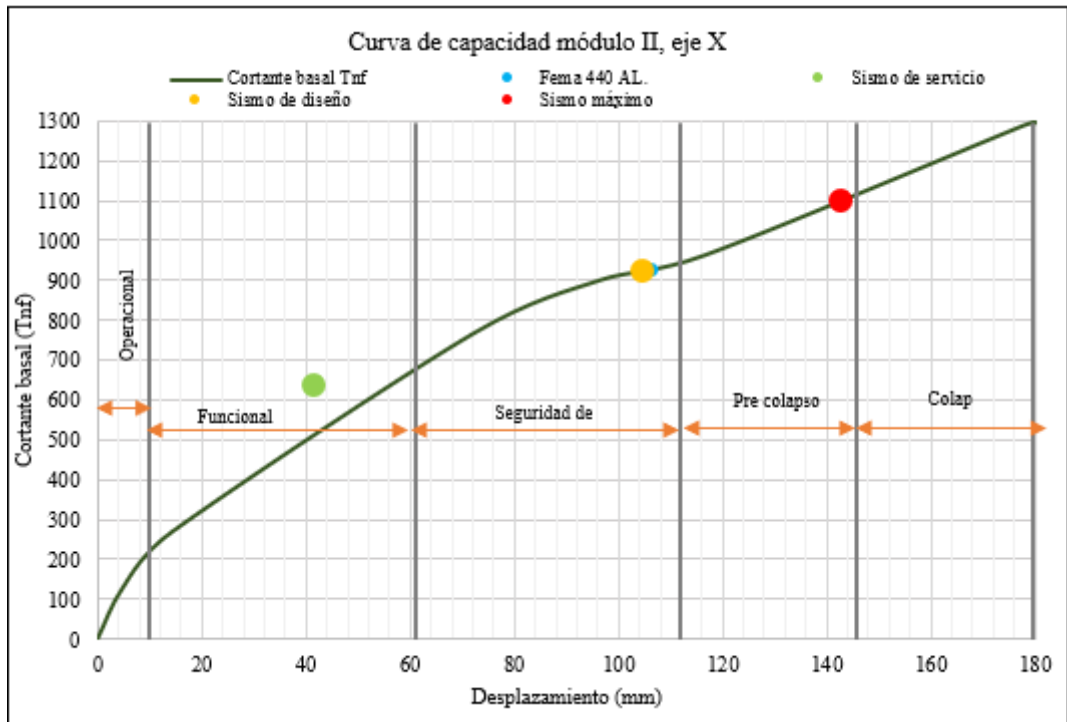


Figura 100.

Curva de capacidad del eje Y, módulo II

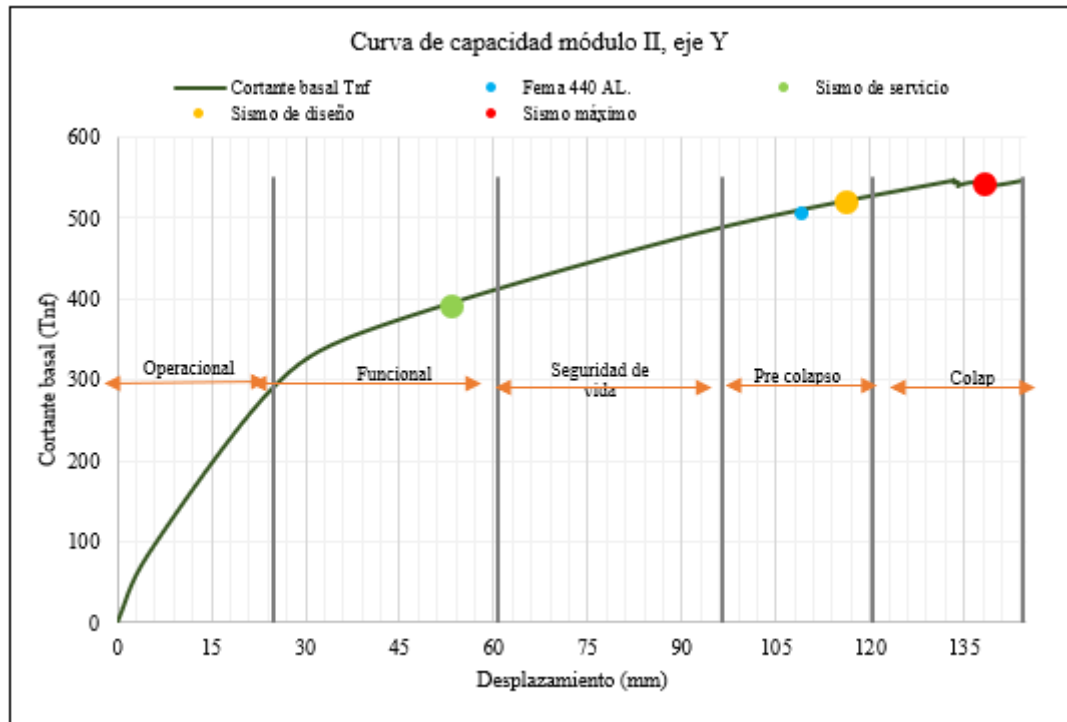


Figura 101.

Curva de capacidad del eje X, módulo III

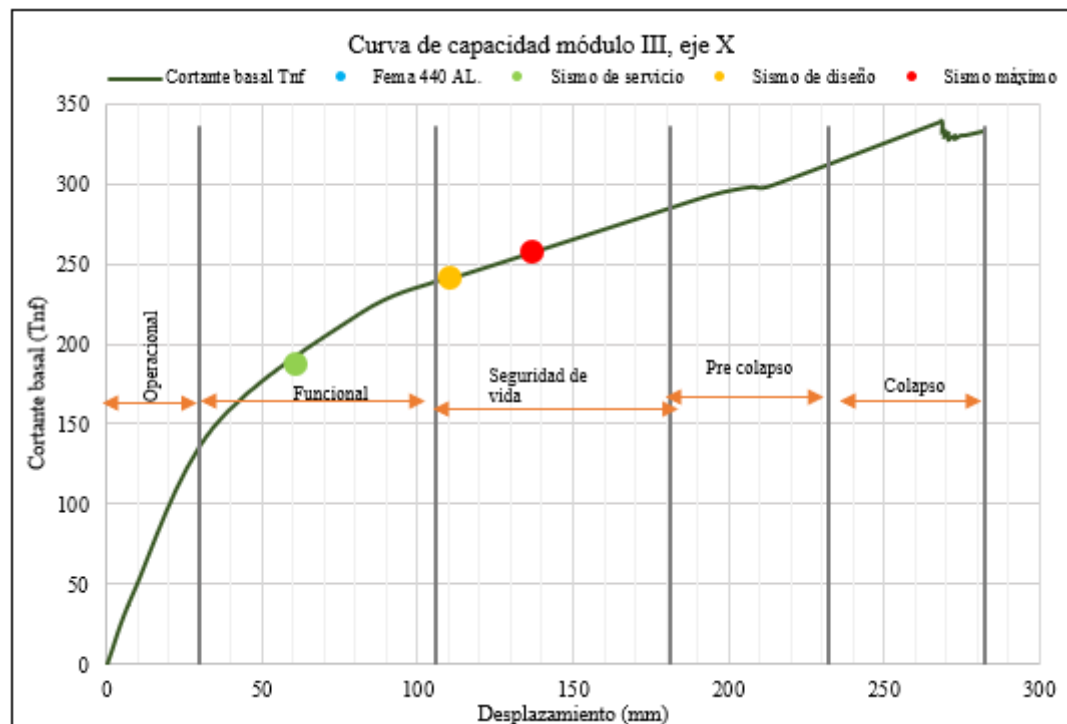


Figura 102.

Curva de capacidad del eje Y, módulo III

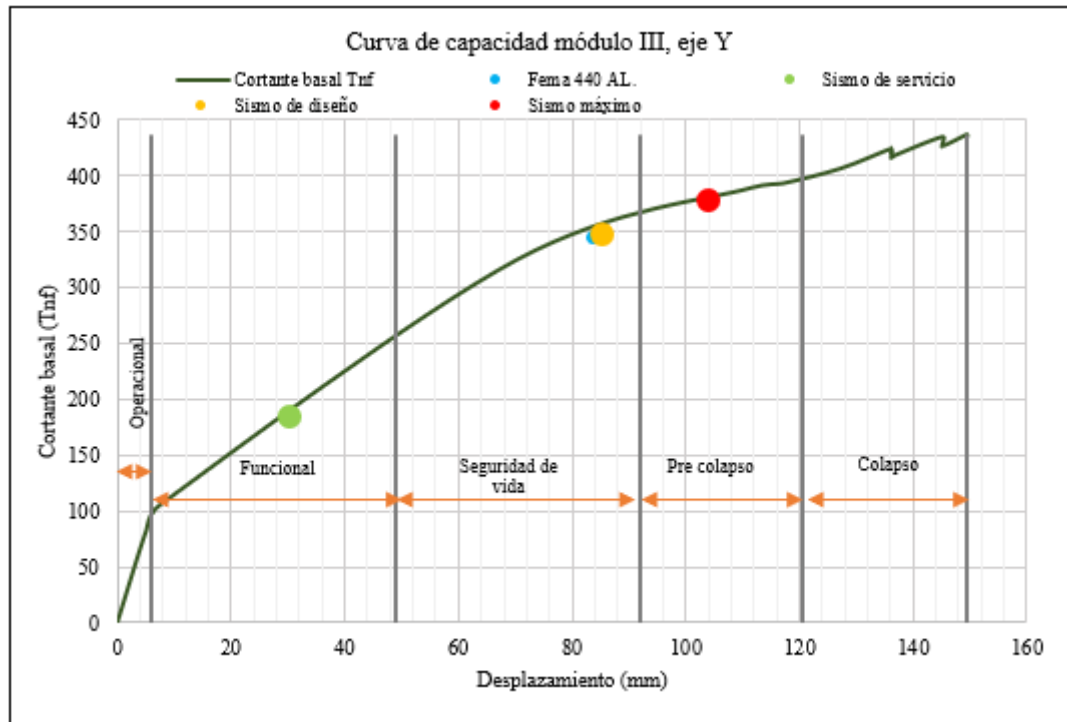


Figura 103.

Curva de capacidad del eje X, del módulo IV

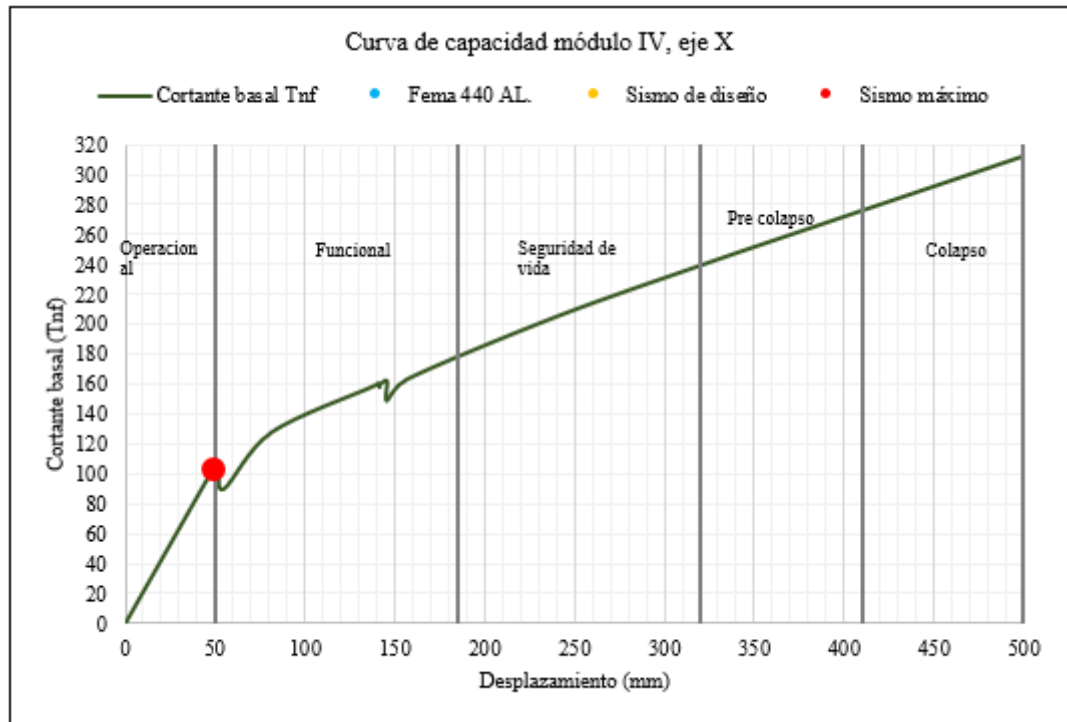


Figura 104.

Curva de capacidad del eje Y, del módulo IV

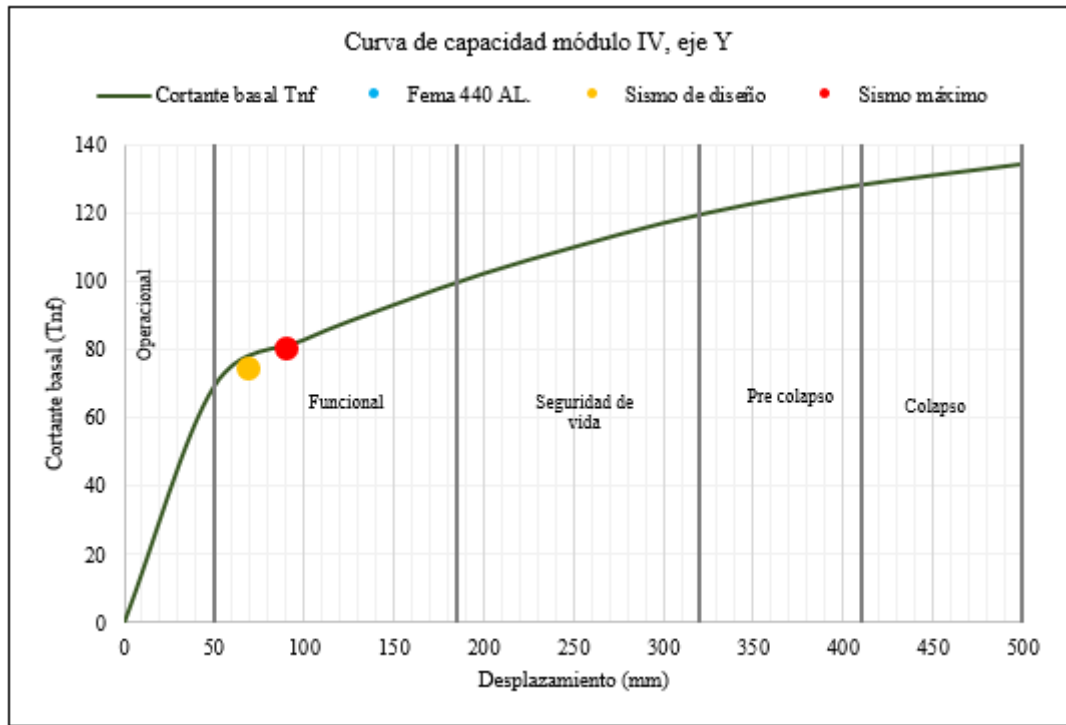


Figura 105.

Curva de capacidad del eje X, módulo V

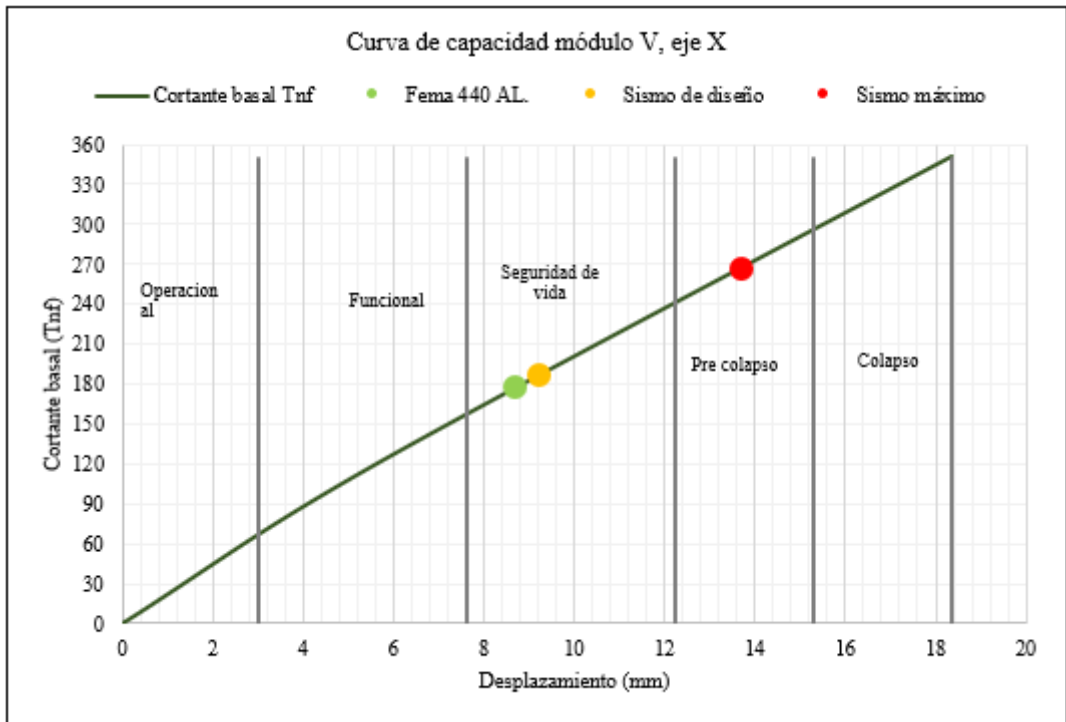


Figura 106.

Curva de capacidad del eje Y, módulo V

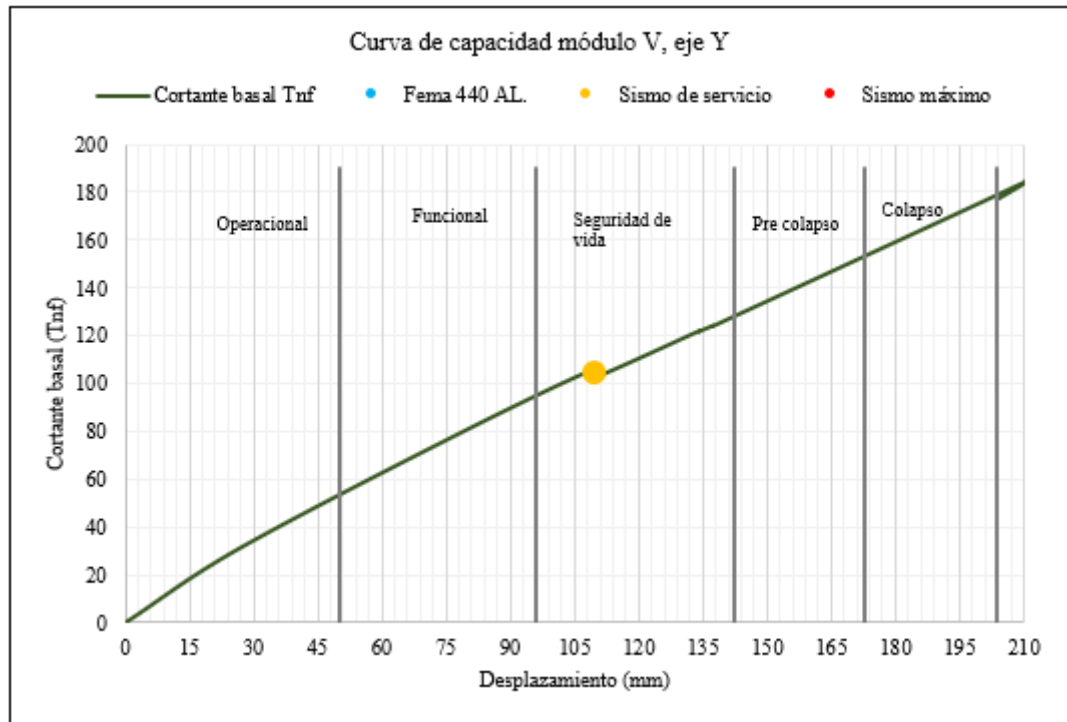


Figura 107.

Curva de capacidad del eje X, módulo VI

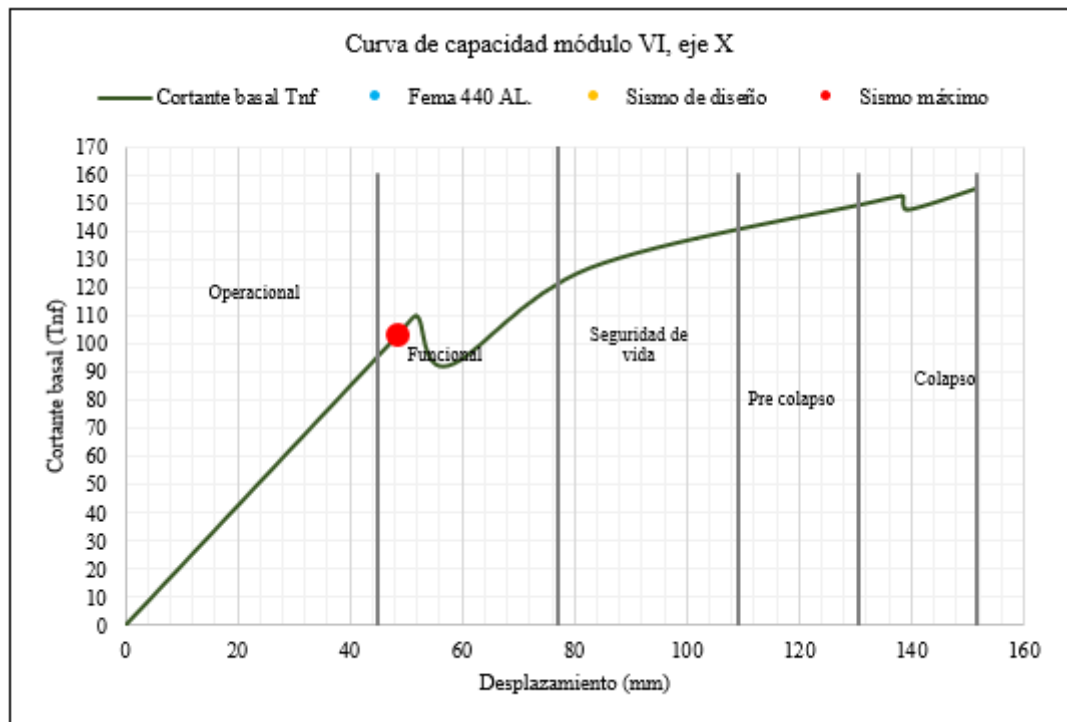
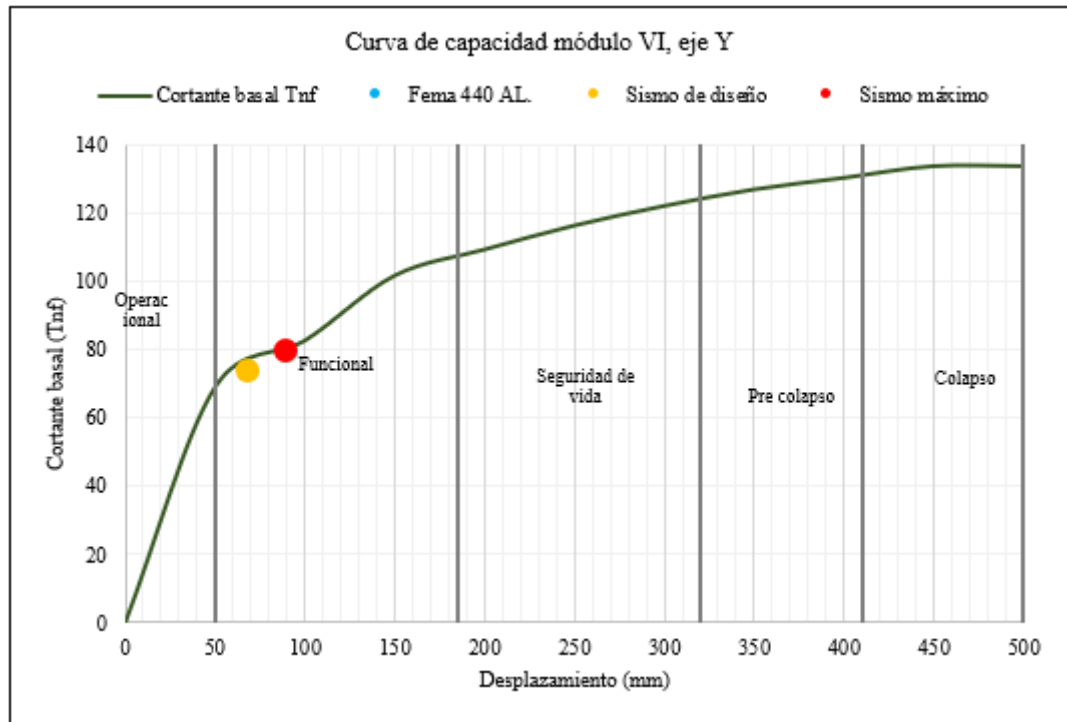


Figura 108.

Curva de capacidad del eje Y, módulo VI



El edificio de ingeniería civil de la UNACH, está conformado por seis módulos, de los cuales el módulo IV y módulo VI, cumplen totalmente con los objetivos de desempeño estructural según el ATC-40, tal como el edificio analizado por Duarte et al. (2017), los módulos I, II y III cumplen el nivel de desempeño para un SS y para un SD, pero para un SM tienen un nivel de servicio de pre colapso, lo que representaría que frente a un evento sísmico raro la estructura no podría ser utilizada antes de ser reforzada o reconstruida según sea el caso (Quizhpilema, 2017), pero en cualquier otro evento sísmico de menor intensidad la edificación no sufriría mayores daños estructurales, en cambio, el módulo V, frente a un evento SD se encontraría en pre colapso en el eje X y en colapso en el eje Y, lo que representa la necesidad de reforzar esta estructura para garantizar su capacidad estructural, no obstante, también se debe considerar que el módulo V, está integrado netamente por los servicios higiénicos del edificio de ingeniería

civil, por tanto, la propuesta de reforzamiento debe considerar un análisis costo/beneficio para no demandar un gasto excedente para una estructura que quizás no representa el mismo nivel de interés que otros módulos del edificio de la EPIC, siendo así se puede, realizar una posterior investigación científica sobre el método de reforzamiento más adecuado técnica y económicamente para el módulo V del edificio en estudio, siendo así la presente investigación ha generado nuevos temas de análisis, tal cual, ha sucedido con investigaciones realizadas por otros autores como Zahir et al. (2019), Mariani et al. (2019), Croce et al. (2019), Kalkbrenner et al. (2019), Quizhpilema (2017), Noel et al. (2018), Fernández (2018), Urteaga (2019), Cerquín (2019) y Vera (2017).

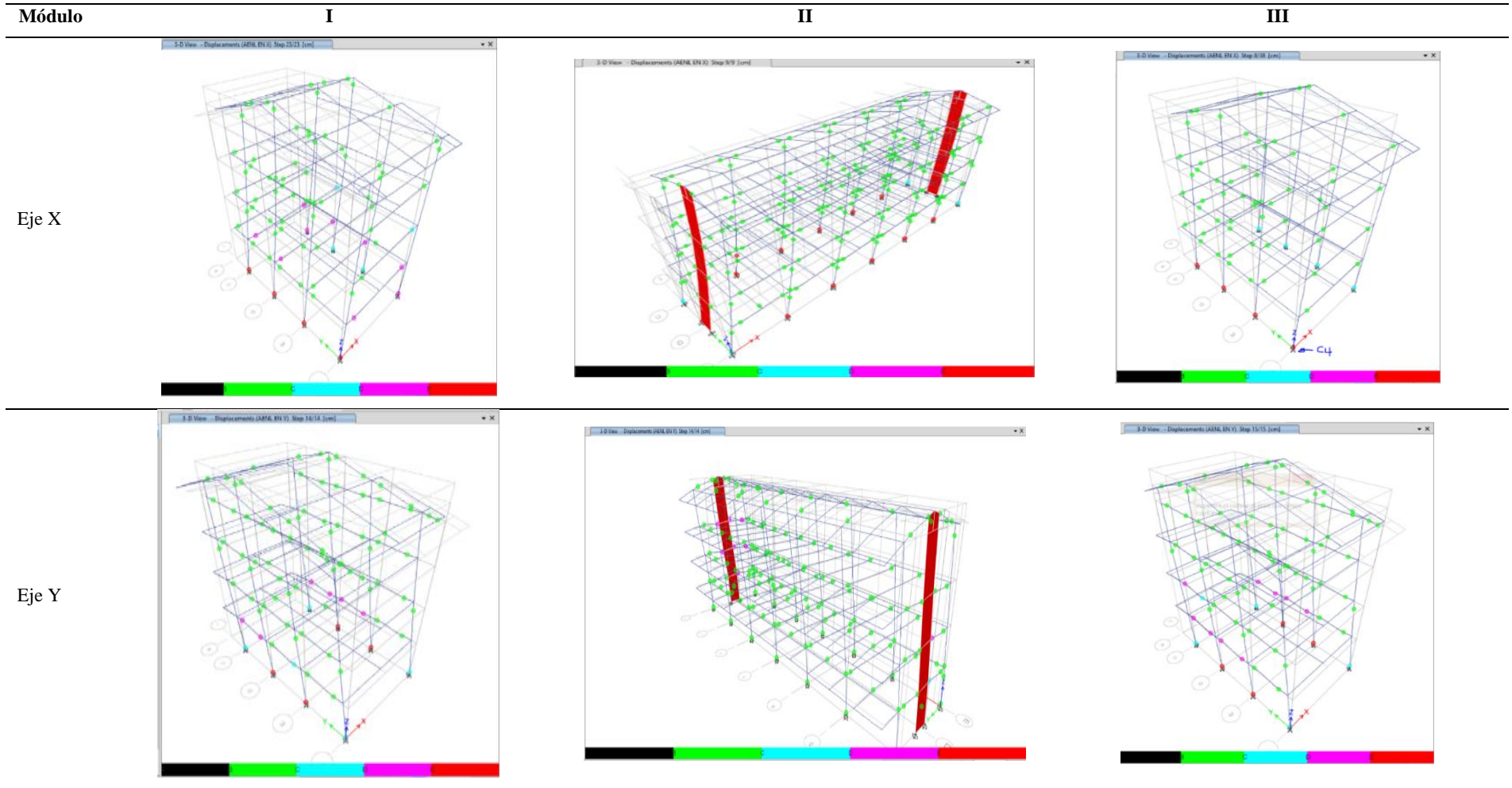
Pocas investigaciones identifican los primeros puntos de colapso frente a un evento sísmico, como parte de su análisis estructural, no obstante determinar las rótulas plásticas, es el primer paso para instaurar un plan de seguridad frente a eventos sísmicos, es decir si se conoce estos puntos se puede plantear de forma más certera la ruta de escape frente a un sismo, así mismo, si en el análisis estructural se demostrará que la edificación colapsará, se podría proponer el reforzamiento del módulo en los puntos de colapso analizados, tal como expresan Quizhpilema (2017), Noel et al. (2018), Fernández (2018) y Urteaga (2019). En las Fig. 109, se visualizan todas las rótulas plásticas de los seis módulos del edificio de ingeniería civil en el eje X e Y. En la Tabla 34, se describe específicamente la ubicación de las primeras rótulas plásticas de colapso frente a un evento sísmico del edificio de la EPIC, estos puntos generalmente están ubicados en las vigas, pero en el módulo V se ubican en las columnas, lo que generaría el colapso de esa estructura frente a un sismo severo.

Tabla 34.*Rótulas plásticas en el edificio de ingeniería civil de la UNACH*

Módulo	Primeras rótulas plásticas	
	X	Y
Módulo I	Fin de techo viga B26 eje 2-2	Segundo piso en las vigas B2 y B5
Módulo II	Segundo piso viga B26 entre el eje 8-8 y 10-10	Segundo piso vigas B147 y B149 en el eje 3-3 y 13-13
Módulo III	En el techo en la viga B26 en el eje 15-15	Segundo piso vigas B2 y B5 entre el eje 14-14 y 15-15
Módulo IV	Piso N° 4 en la viga B12 que se halla en el eje A'-A'	Placa del primer piso entre el eje 3-3 y 4-4
Módulo V	Columnas C2 del primer piso eje B-B	Columnas C2 y C3 en el eje B-B del primer piso
Módulo VI	Piso N° 4 en la viga B12 en el eje A'-A'	Placa del primer piso entre el eje 13-13 y 14-14

Figura 109.

Rótulas plásticas en el edificio de ingeniería civil de la UNACH

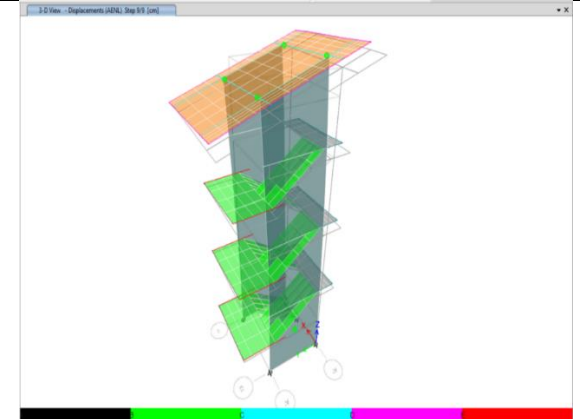
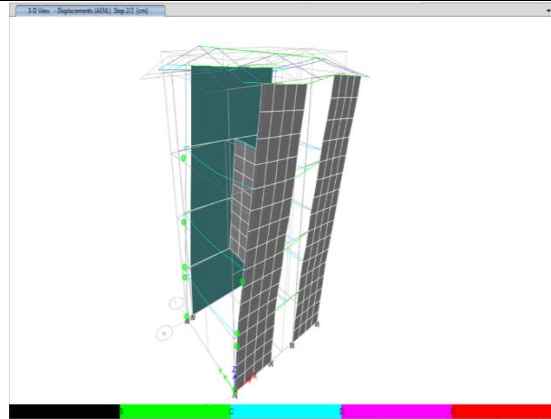
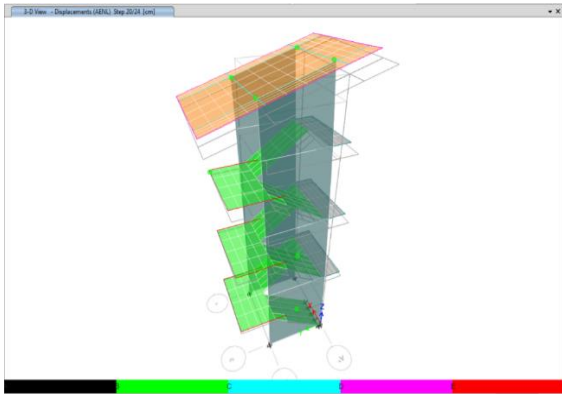


IV

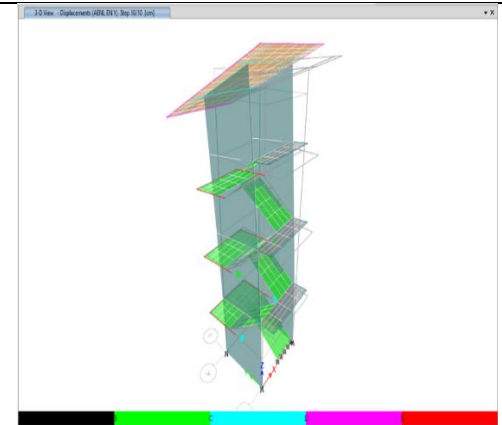
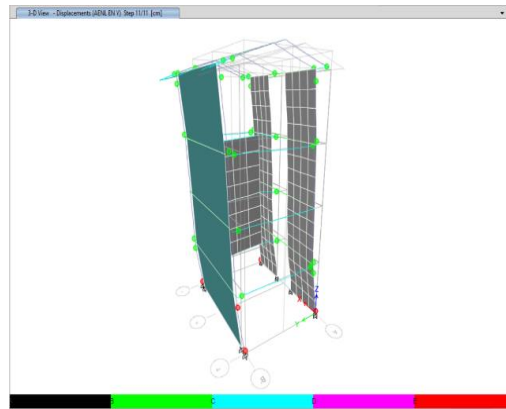
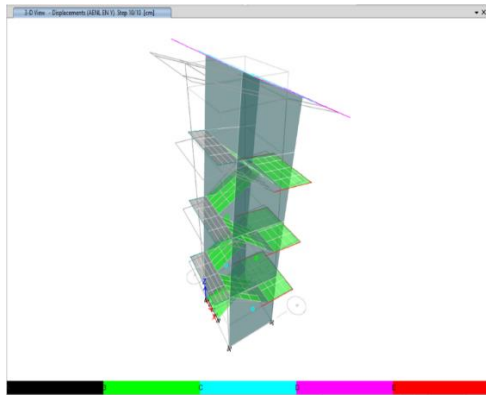
V

VI

Eje X



Eje Y



5.3. Contrastación de hipótesis

El análisis estadístico de la varianza (ANOVA) se realizó mediante el software Minitab 19, con el fin de aceptar la hipótesis nula (H_0) o aceptar la hipótesis alternativa (H_1). Si el valor-p (probabilidad) es menor que el nivel de significancia (0.05) se rechaza H_0 , pero si el valor-p es mayor que 0.05 se acepta H_0 . El modelo estadístico que más se ajusta a los datos es el Modelo lineal general, y las hipótesis que se analizan son las siguientes:

- H_1 : El desempeño sismorresistente, mediante el método no lineal estático pushover, del edificio de ingeniería civil, según el punto de desempeño, para un sismo de servicio, sismo de diseño y sismo máximo, es distinto.
- H_0 : El desempeño sismorresistente, mediante el método no lineal estático pushover, del edificio de ingeniería civil, según el punto de desempeño, para un sismo de servicio, sismo de diseño y sismo máximo, es igual.

Para el análisis ANOVA se han utilizado los datos de la Tabla 35, donde los principales indicadores han sido el módulo, eje X e Y, tipo de sismo (SS, SD, SM) y desplazamiento en el techo (mm), con estos valores se determinará la variable de respuesta Cortante basal (ton), a fin de estimar la significancia de cada indicador en la variable respuesta.

Tabla 35.*Datos para el análisis estadístico (ANOVA)*

Módulo	Eje	Tipo de sismo	Desplazamiento (mm)	Cortante basal (ton)
1	1	1	61.8	184.97
2	1	1	41.5	636.38
3	1	1	60.5	187.72
4	1	1	0	0
5	1	1	8.799	177.78
6	1	1	0	0
1	1	2	108	236.48
2	1	2	104.5	925.48
3	1	2	110.2	241.18
4	1	2	0	0
5	1	2	9.269	186.31
6	1	2	0	0
1	1	3	138.5	253.42
2	1	3	142.6	1101.42
3	1	3	136.6	257.09
4	1	3	48.8	103.32
5	1	3	13.733	267.32
6	1	3	48.666	103.29
1	2	1	29.5	183.08
2	2	1	53.2	391.04
3	2	1	30.2	184.79
4	2	1	68.33	74.03
5	2	1	109.79	104.82
6	2	1	66.315	73.2
1	2	2	84	349.73
2	2	2	116.3	519
3	2	2	85.2	348.31
4	2	2	69.5	74.38
5	2	2	0	0
6	2	2	67.904	73.64
1	2	3	102	378.03
2	2	3	138.4	541.11
3	2	3	104	377.66
4	2	3	90.18	80.18
5	2	3	0	0
6	2	3	89.059	79.4

Nota: Módulos: 1, 2, 3, 4, 5, 6; Ejes: X=1, Y=2; tipo de sismo: SS=1, SD= 2, SM= 3.

Según la Tabla 36, existe diferencia significativa en el desempeño sismorresistente del edificio de ingeniería civil, según módulo, es decir todos los módulos no presentan la misma capacidad estructural sino esta varía para cada estructura, sin embargo, no existe diferencia significativa en el desempeño sismorresistente del edificio según el eje de análisis (X e Y), es decir sin importar el eje de análisis los resultados son similares, pero si existe diferencia significativa entre los resultados según el tipo de sismo (SS, SD, SM), por lo que se acepta la hipótesis alternativa. Se puede concluir que no todas las medias son iguales, ya que la cortante basal se ve afectada por los factores módulo y tipo de sismo.

Tabla 36.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Módulo	5	1692363	338473	22.42	0.000
Eje	1	29456	29456	1.95	0.174
Tipo de sismo	2	11453	5727	4.62	0.019
Error	27	407619	15097		
Total	35	2205146			

En la Tabla 37, R-cuadrado es igual a 81.52%, lo que muestra una alta confiabilidad de las resultas y que el modelo estadístico se ajusta a los datos, además se puede utilizar el modelo para hacer generalizaciones más allá de los datos de la muestra.

Tabla 37.

Resumen del modelo estadístico

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
122.870	81.52%	76.04%	67.14%

En la Fig. 110, se puede observar como las medias de la cortante basal (ton) van variando según cambia el tipo de módulo de la edificación, así mismo, se observa

como la cortante basal (ton) se incrementa para cada tipo de sismo (1 “sismo de servicio”, 2 “sismo de diseño” y 3 “sismo máximo”). Así mismo en la Fig. 111 y Fig. 112 se observa la gráfica de residuos para la variable de respuesta cortante basal y desplazamientos respectivamente, obtenidas como parte del análisis estadístico, el desplazamiento depende de la cortante basal y viceversa, porque estas variables se relacionan para encontrar el punto de desempeño y por correspondiente el nivel de desempeño estructural de la edificación, en estas figuras se observan cuatro gráficos: la gráfica de probabilidad normal, la gráfica de ajustes, el histograma de frecuencia, y el gráfico de orden de residuos.

Figura 110.

Gráfico estadístico de variación de medias de la cortante basal

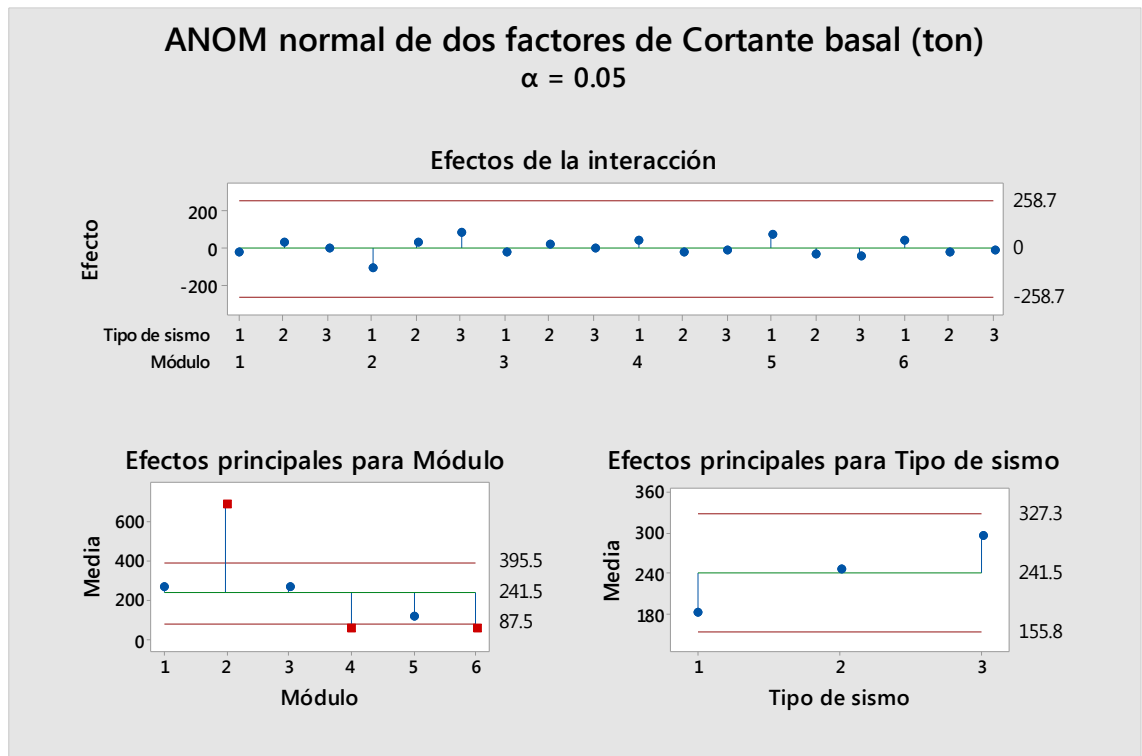


Figura 111.

Gráfica estadística de residuos para la cortante basal

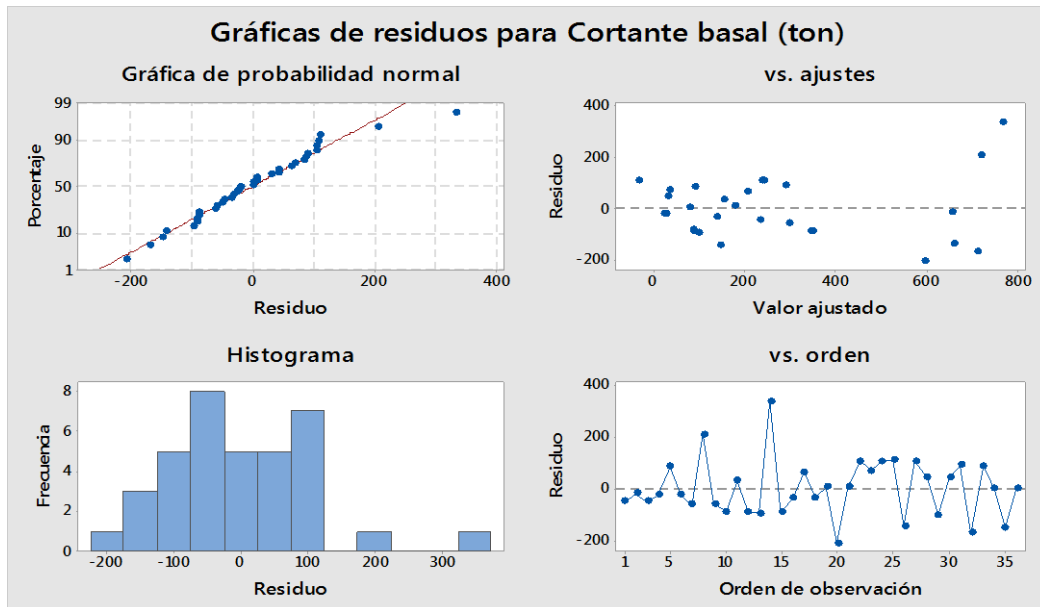
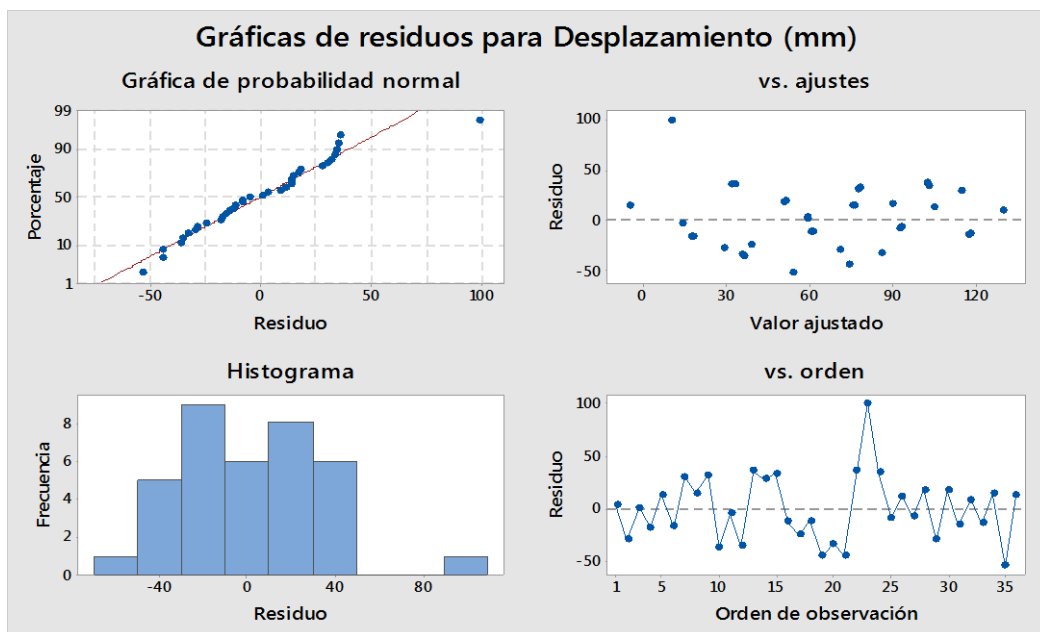


Figura 112.

Gráfica estadística de residuos para desplazamientos (mm)



CAPÍTULO VI.

PROPUESTA

6.1. Formulación de la propuesta para la solución del problema

El módulo 5, colapsaría frente a un evento sísmico severo, por tanto, se ha planteado el reforzamiento de la edificación, mismo que, consiste en la colocación de placas laterales de 1.20 m de largo, 0.20 m de espesor, en toda la altura de la edificación, tal como se puede observar en la figura x, no obstante, es necesario que, en futuras investigaciones se realice un estudio específico, del reforzamiento, con un análisis costo – beneficio, que permita optar por otras medidas de solución, que no se han considerado en el presente estudio, como la colocación de disipadores de energía.

Figura 113

Modelo 5, reforzado

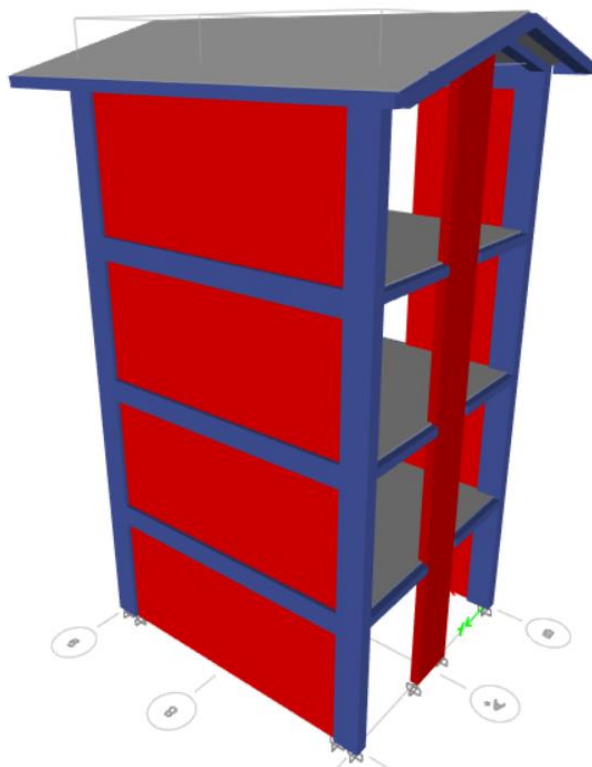


Figura 114

Asignación de placas de reforzamiento en el eje 7-7 y eje 9-9

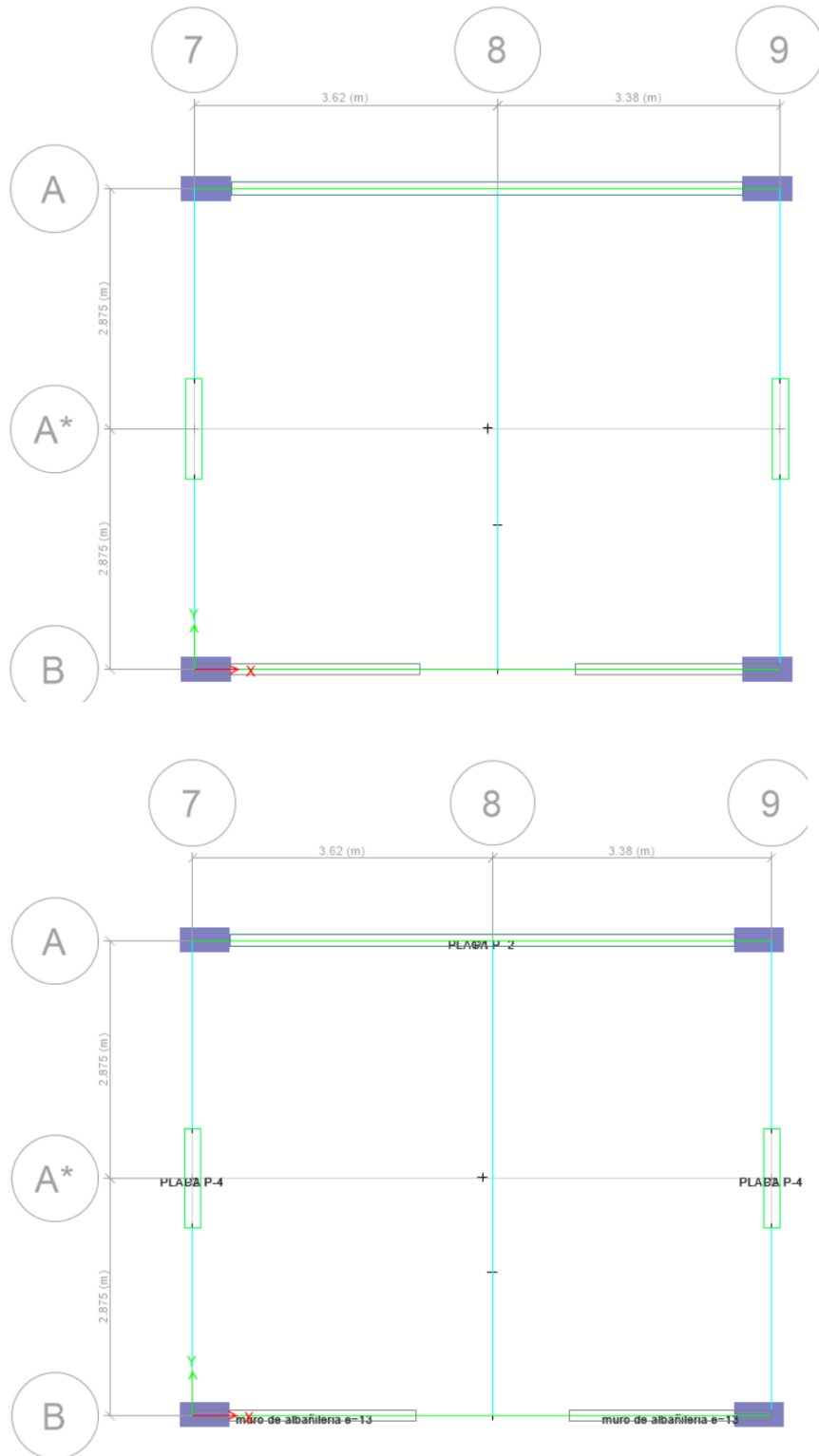
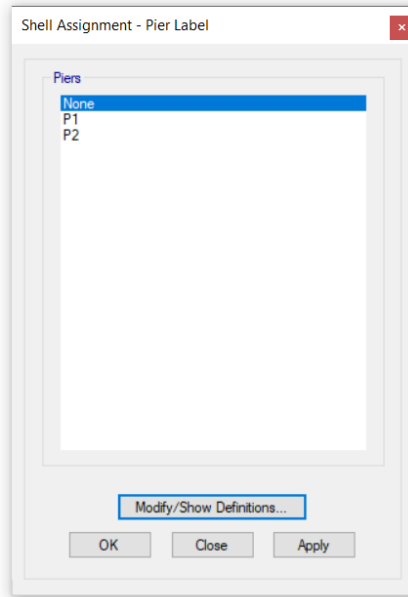
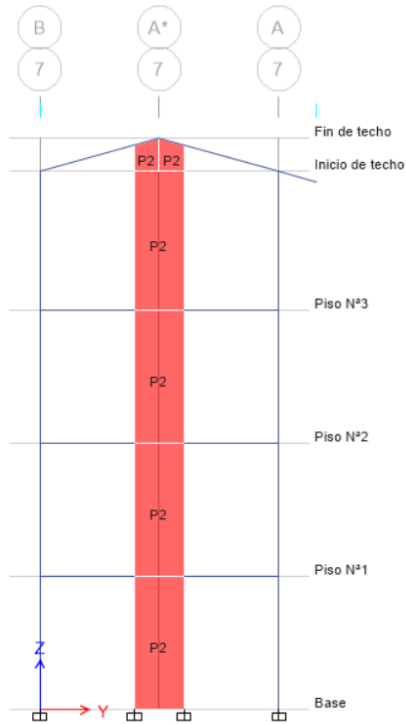


Figura 115

Placas de reforzamiento

Eje 7-7



Eje 9-9

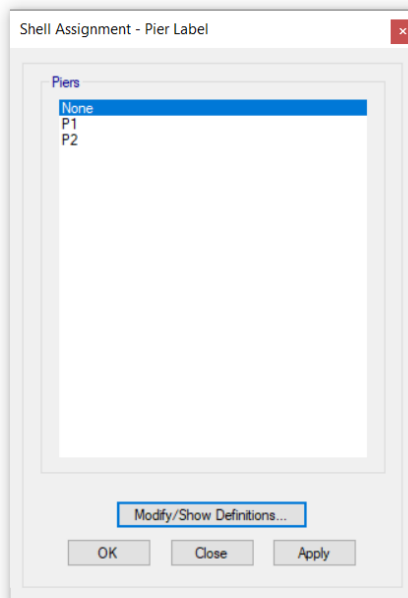
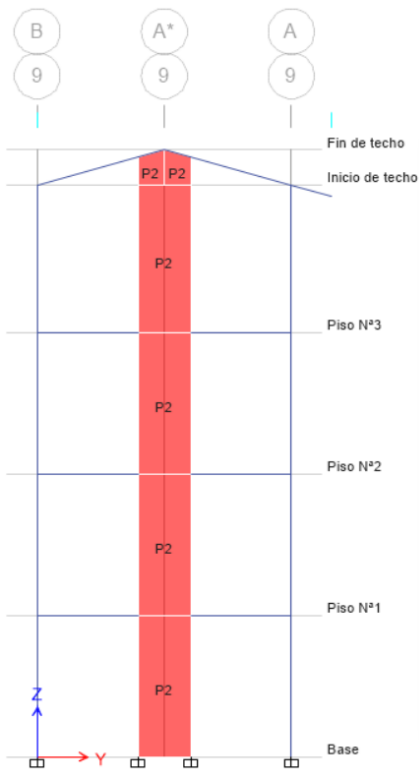


Figura 116

Chequeo general, del reforzamiento

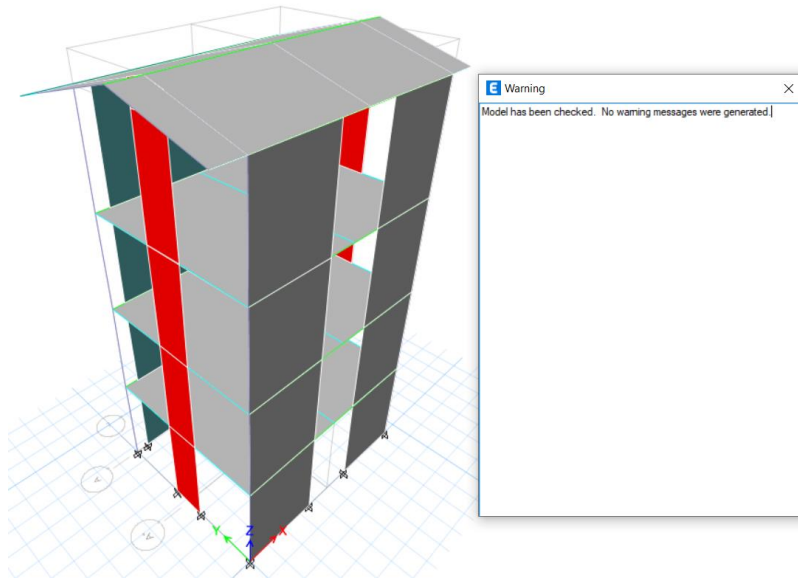
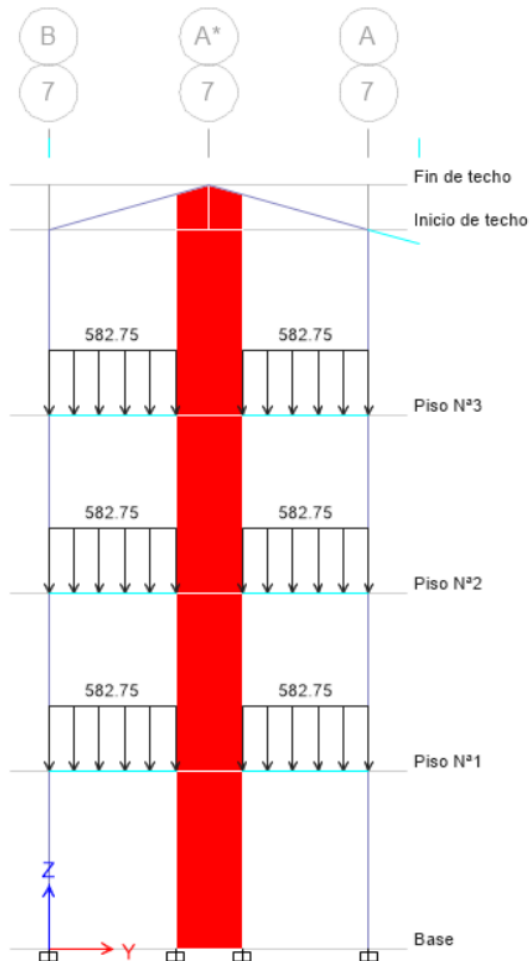


Figura 117

Asignación de cargas distribuidas, en el modelo reforzado



6.1.1. Análisis estático – dinámico

La edificación reforzada, presenta desplazamientos en X e Y de 1.15 mm y 9.75 mm, así mismo los desplazamiento y derivas en X e Y, cumplen para un sistema estructural dual.

Figura 118

Desplazamiento absoluto en X, modulo 5 reforzado

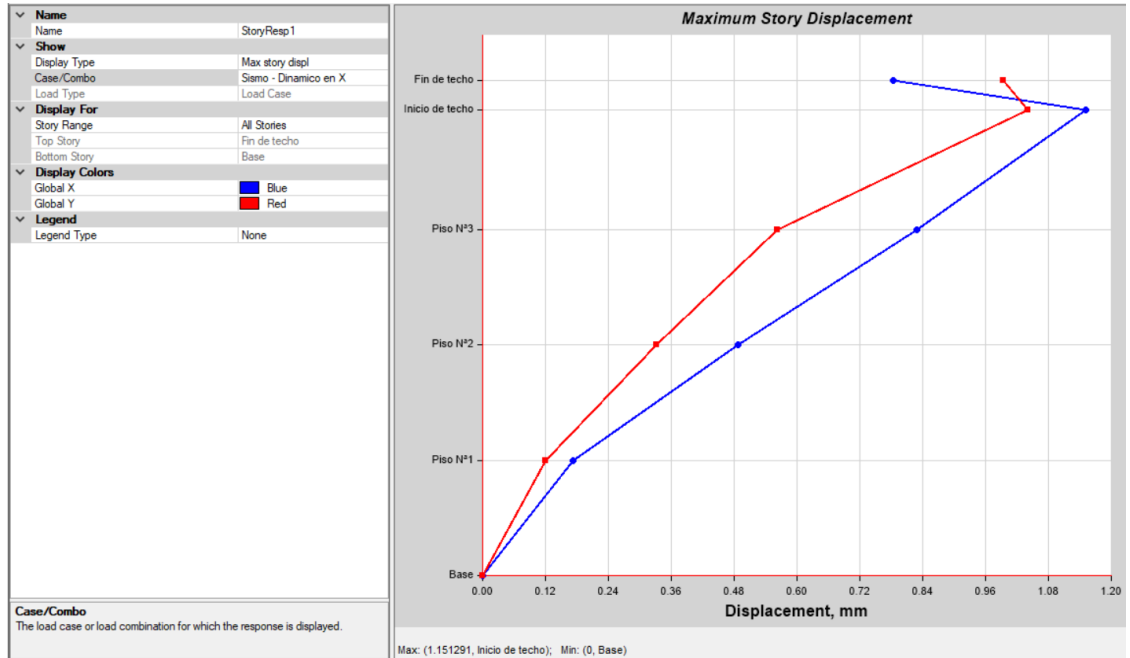


Figura 119

Desplazamiento absoluto en Y, modulo 5 reforzado

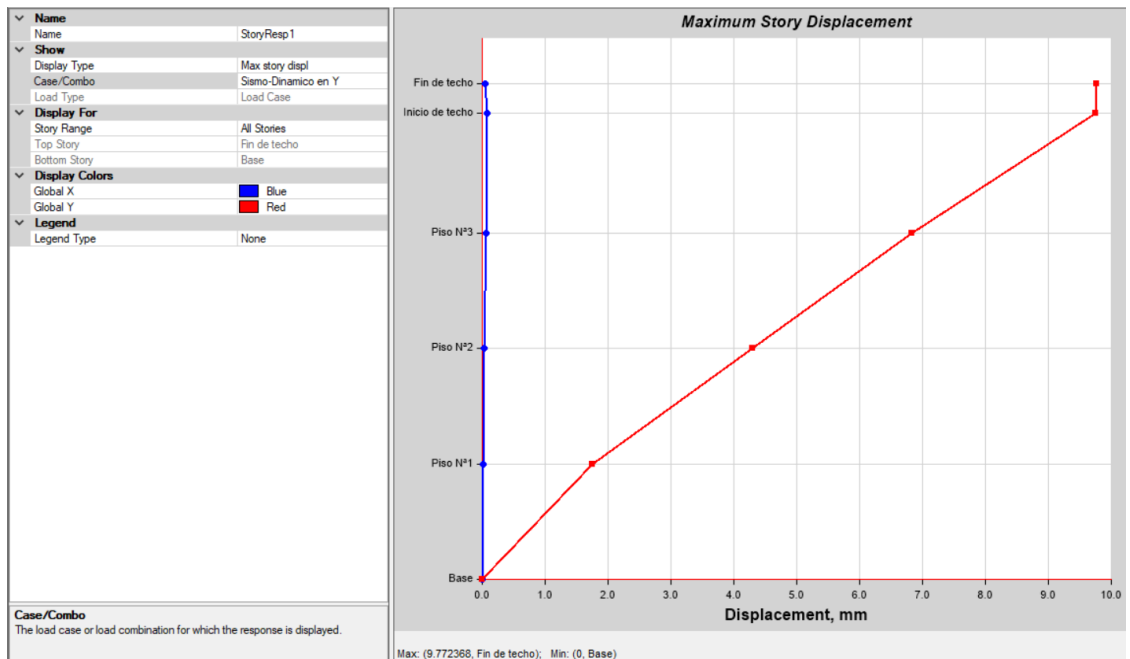


Figura 120

Desplazamientos relativos en X, modulo 5 reforzado

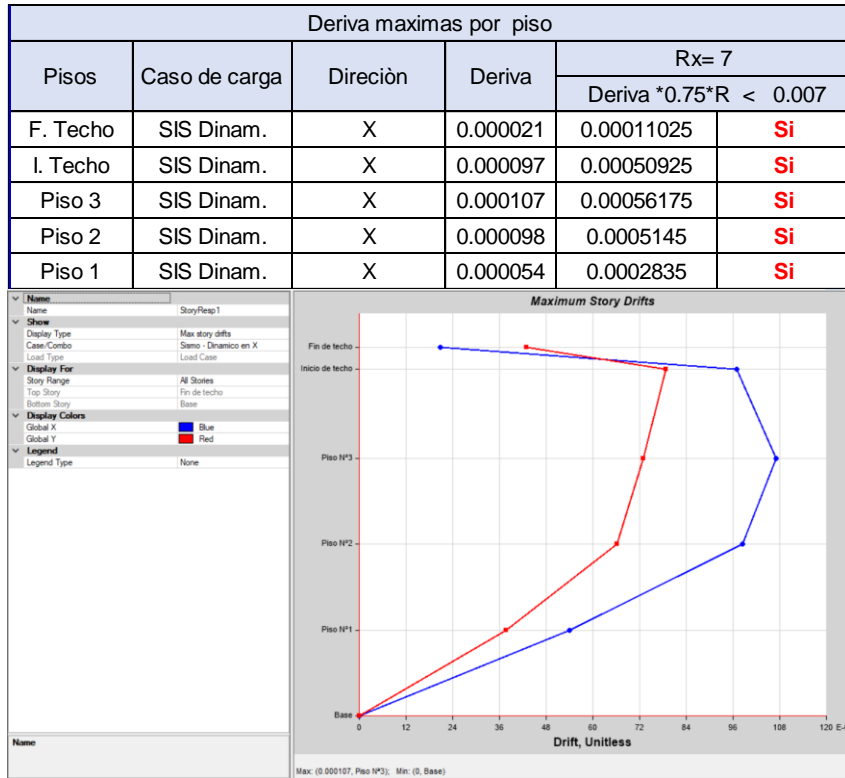
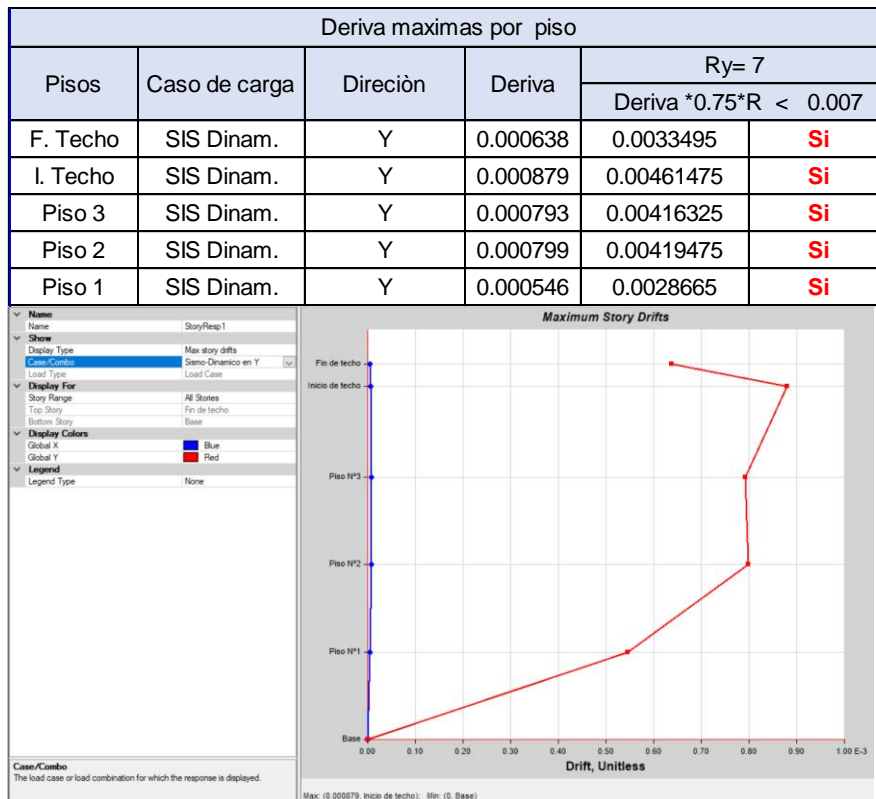


Figura 121

Desplazamientos relativos en Y, modulo 5 reforzado



La norma E.030 (MVCS, 2020) establece que la cortante dinámica debe ser mayor o igual al 80% de la cortante estática para edificaciones regulares, y 90% para edificaciones irregulares. La cortante dinámica en X equivale a 18.71, lo que representa el 58% de la cortante estática, 32.43, por tanto, fue necesario incrementar la cortante, igual en Y, la cortante dinámica ascendía a 25.10, lo que representa el 77% de la cortante dinámica (32.43), cumpliendo lo normado. Para amplificar la cortante dinámica en X e Y, se utilizó el factor F_x y F_y igual a 1.39 y 1.03, este no afecta a los desplazamientos, solo al diseño, por lo que se debe realizar el chequeo del acero en estudios posteriores.

Tabla 38.

Cortante, en X e Y, del módulo 5 reforzado

Dirección	Cortante	F	$V_{din} \geq 80\% V_{est}$		Factor de amplificación
En X	Estática	32.43			
En X	Dinámica	18.71	58%	No cumple	1.39
En Y	Estática	32.43			
En Y	Dinámica	25.10	77%	No cumple	1.03

6.1.2. Análisis estático no lineal Pushover

Para el análisis estático no lineal pushover, se determinaron las fuerzas laterales que se asignaron para llevar al colapso la estructura según el ATC-40, considerando el estudio para un sismo máximo, en el sentido X e Y.

Figura 122

Fuerzas laterales para el análisis Pushover en el sentido X e Y, modulo 5 reforzado

Nivel	Pi (kg)	hi(m)	$Pi * (hi)^k$	ai	Fi (kg)	Fi (ton)
4	46306.73	13.74	725320.91	0.39	12747.06	12.75
3	54858.99	9.60	589702.02	0.32	10363.65	10.36
2	52071.77	6.40	365671.70	0.20	6426.45	6.43
1	48558.72	3.20	164692.82	0.09	2894.37	2.89
Σ= P. Ed.	201796.21	Σ = $Pi * (hi)^k$	1845387.45	1.00	32431.53	32.43

Grafico de la fuerzas en la altura

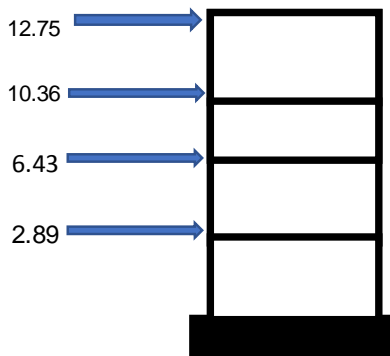


Figura 123

Fuerzas laterales para el análisis Pushover en el sentido Y, modulo 5 reforzado

Nivel	Pi (kg)	hi(m)	$Pi * (hi)^k$	ai	Fi (kg)	Fi (ton)
4	46306.73	13.74	725320.91	0.39	12747.06	12.75
3	54858.99	9.60	589702.02	0.32	10363.65	10.36
2	52071.77	6.40	365671.70	0.20	6426.45	6.43
1	48558.72	3.20	164692.82	0.09	2894.37	2.89
Σ= P. Ed.	201796.21	Σ = $Pi * (hi)^k$	1845387.45	1.00	32431.53	32.43

Grafico de la fuerzas en la altura

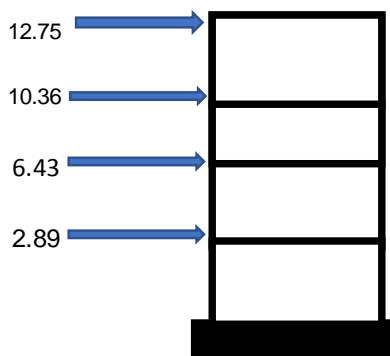


Figura 124

Asignación de cargas, módulo 5 reforzamiento

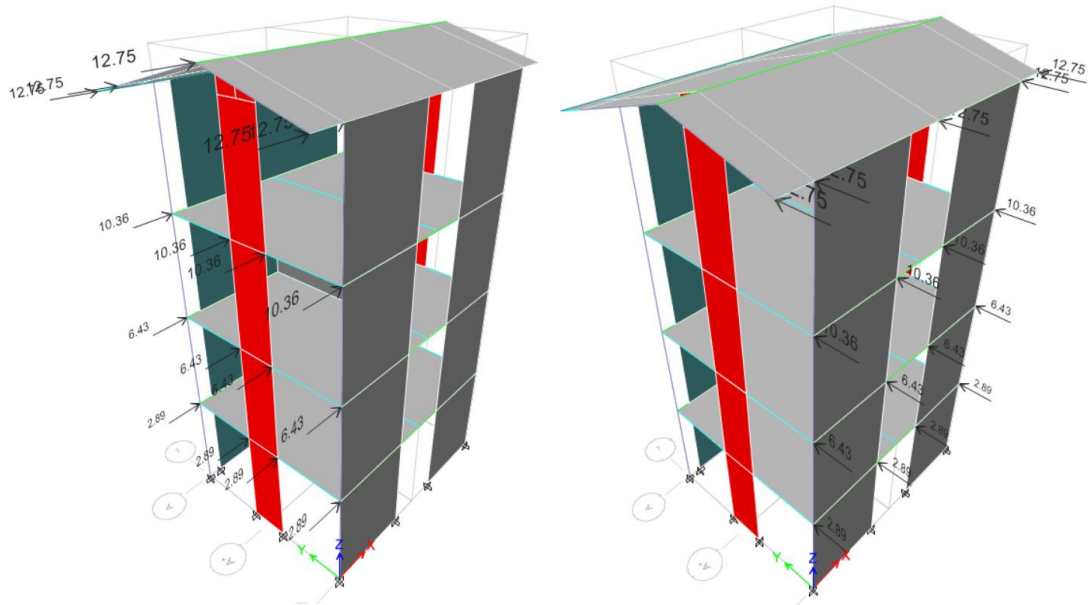
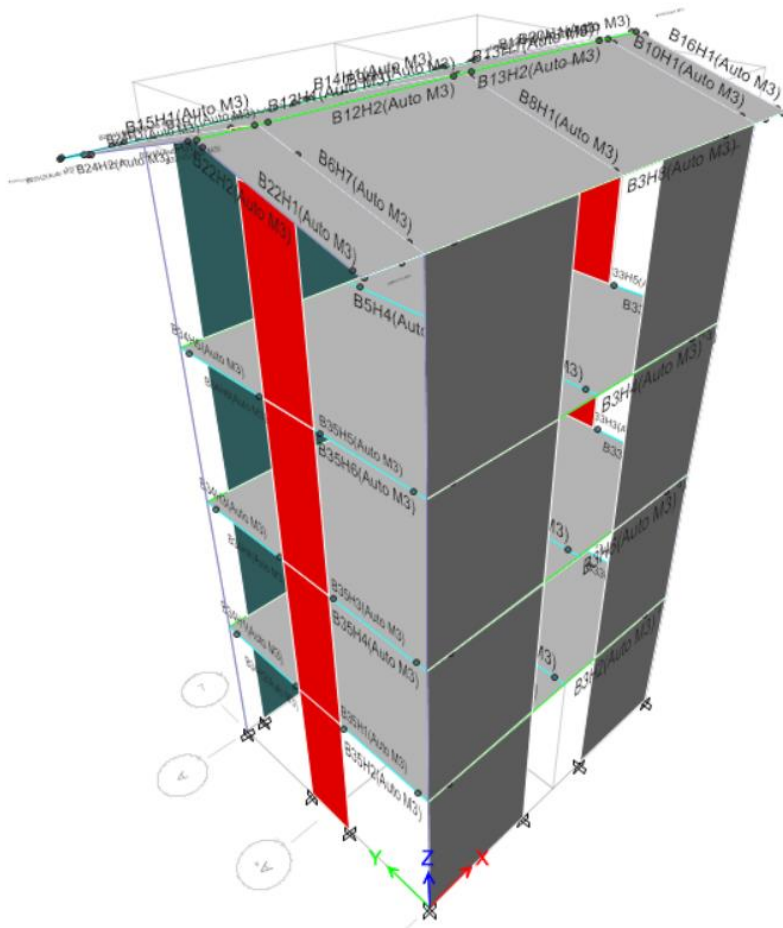


Figura 125

Asignación de rótulas plásticas, módulo 5 reforzado



El módulo 5, reforzado con placas, en el sentido X, alcanza su capacidad última a un desplazamiento de 1.83 cm y un cortante basal de 425.91 ton. En conclusión, al desplazarse 1.83 cm la estructura alcanza su máxima capacidad y colapsa. El punto de desempeño para un sismo máximo, con un amortiguamiento inicial de 5%, soporta un cortante de 207.43 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 0.69 cm. Así mismo, según la curva de capacidad la edificación frente a un sismo máximo sigue siendo funcional, por tanto, cumple los objetivos de desempeño.

En el sentido Y, alcanza su capacidad última a un desplazamiento de 27.19 cm y un cortante basal de 389.51 ton. Al desplazarse 27.19 cm, la estructura, alcanza su capacidad máxima y colapsa. El punto de desempeño para un sismo máximo, con un amortiguamiento inicial de 5%, soporta un cortante de 333.74 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 15.72 cm. Así mismo, según la curva de capacidad la edificación frente a un sismo máximo se encuentra en seguridad de vida, cumpliendo así con los objetivos de desempeño, sin embargo, se recomienda la ejecución de estudios más específicos sobre la propuesta de reforzamiento.

Figura 126

Curva de capacidad, módulo 5 reforzado, en el sentido X

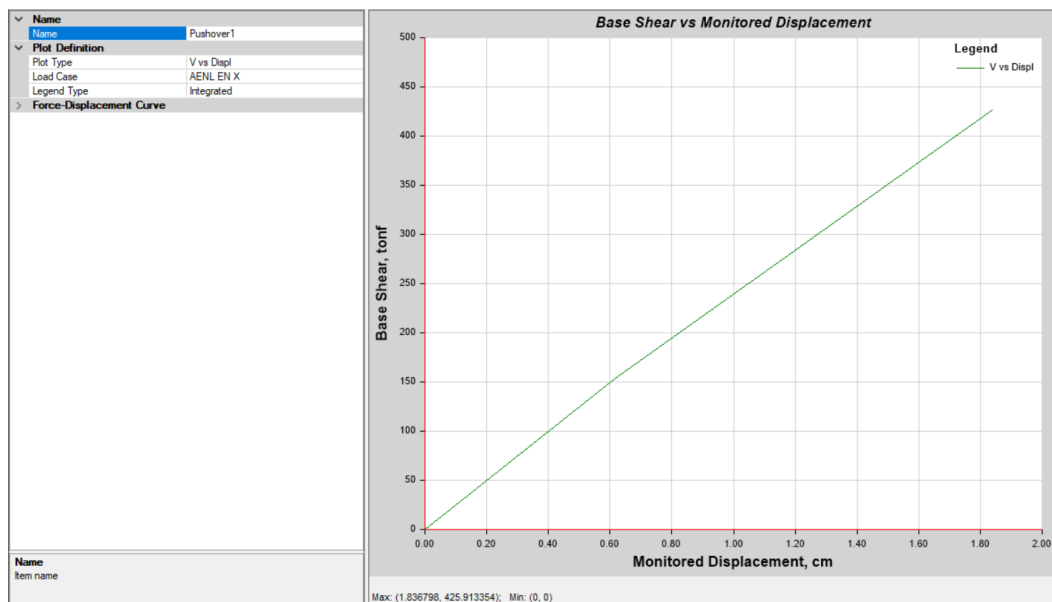


Figura 127

Identificación del punto de desempeño, en el módulo 5 reforzado, en el sentido X

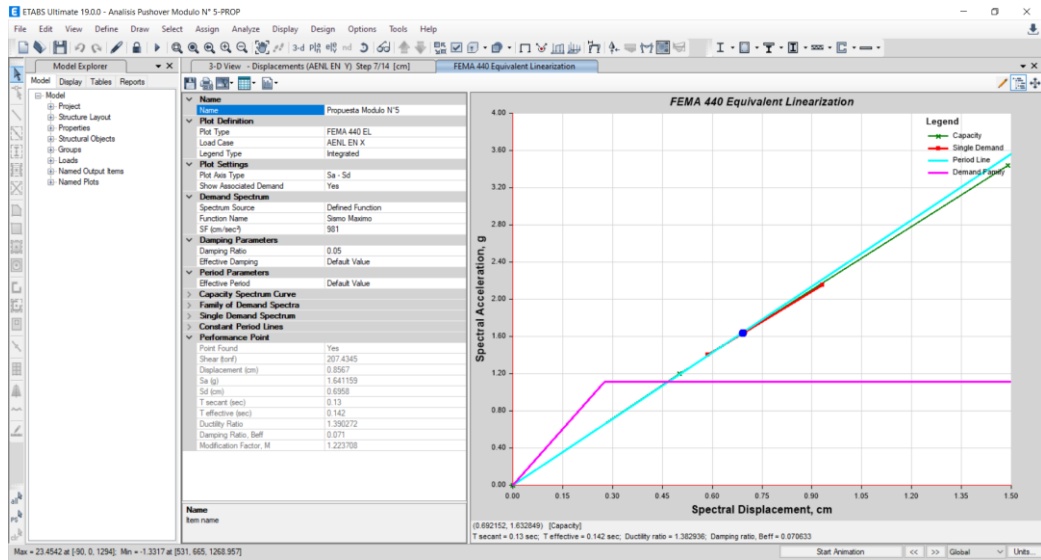


Figura 128

Punto de desempeño, para un sismo máximo, módulo 5 reforzado, en el sentido X

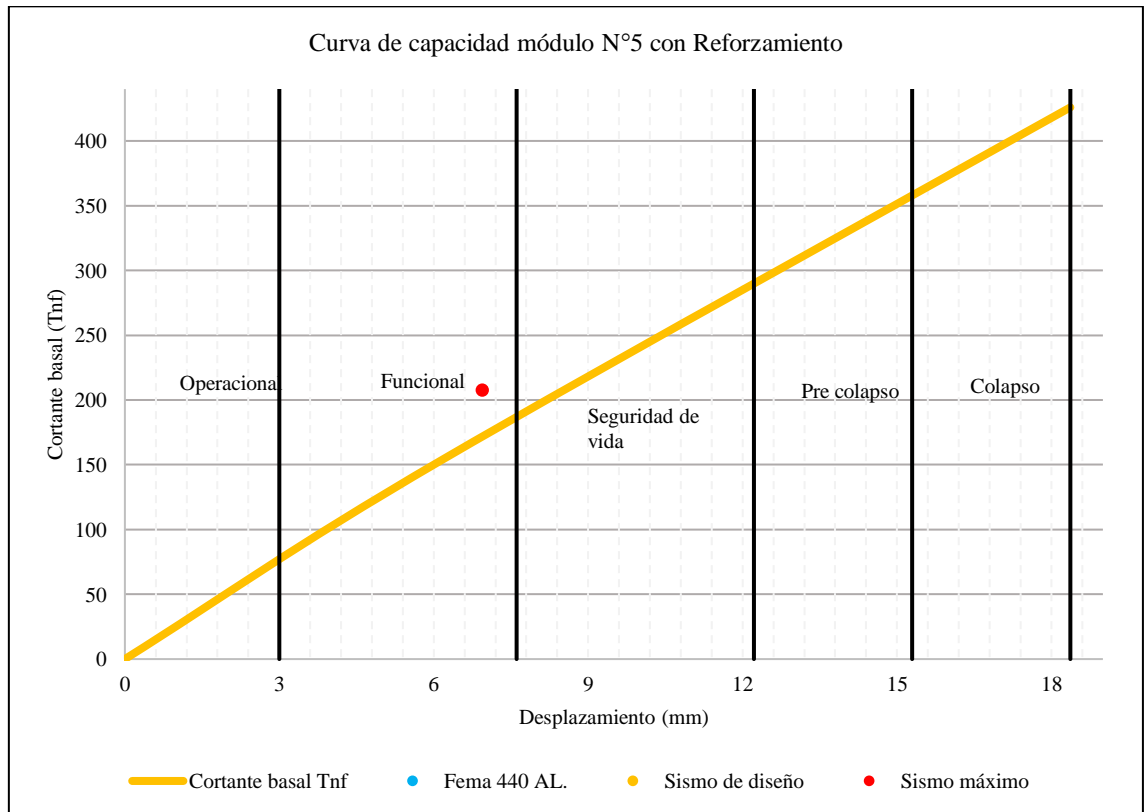


Figura 129

Curva de capacidad, módulo 5 reforzado, en el sentido Y

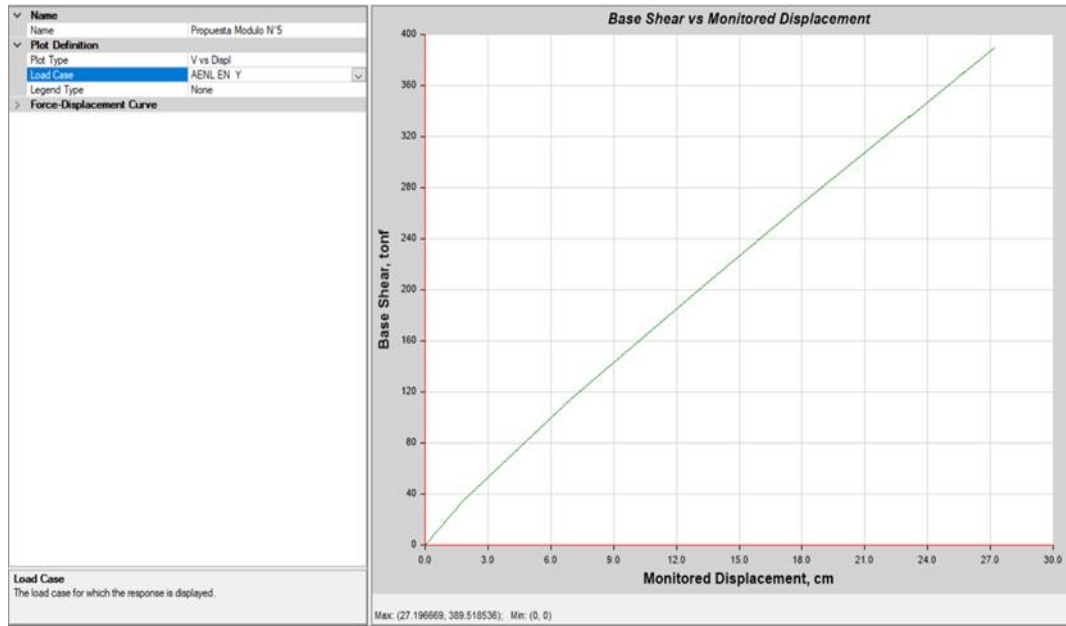


Figura 130

Identificación del punto de desempeño, en Y, módulo reforzado

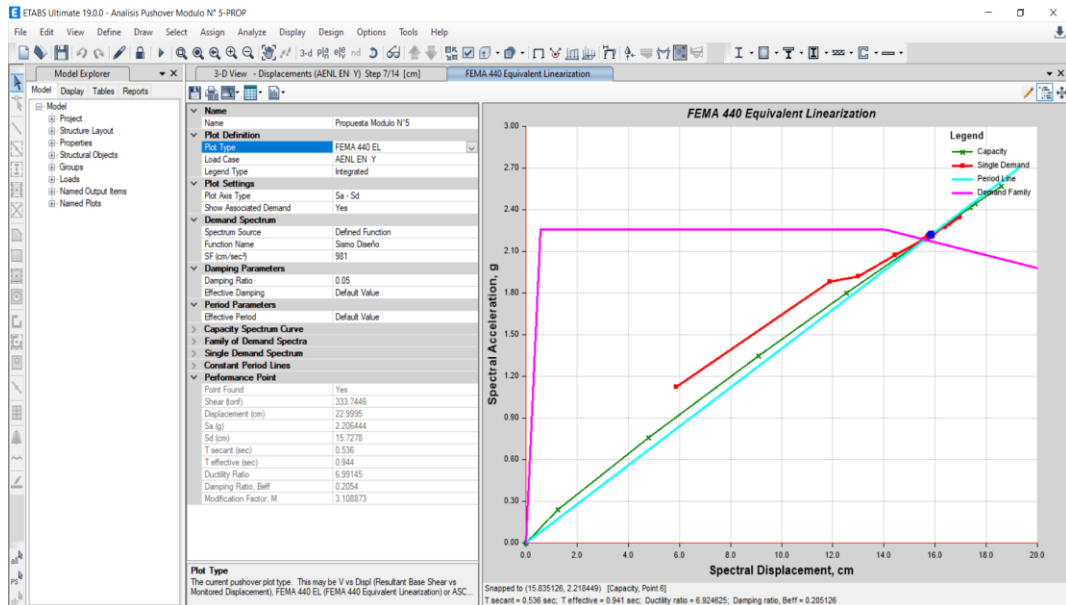
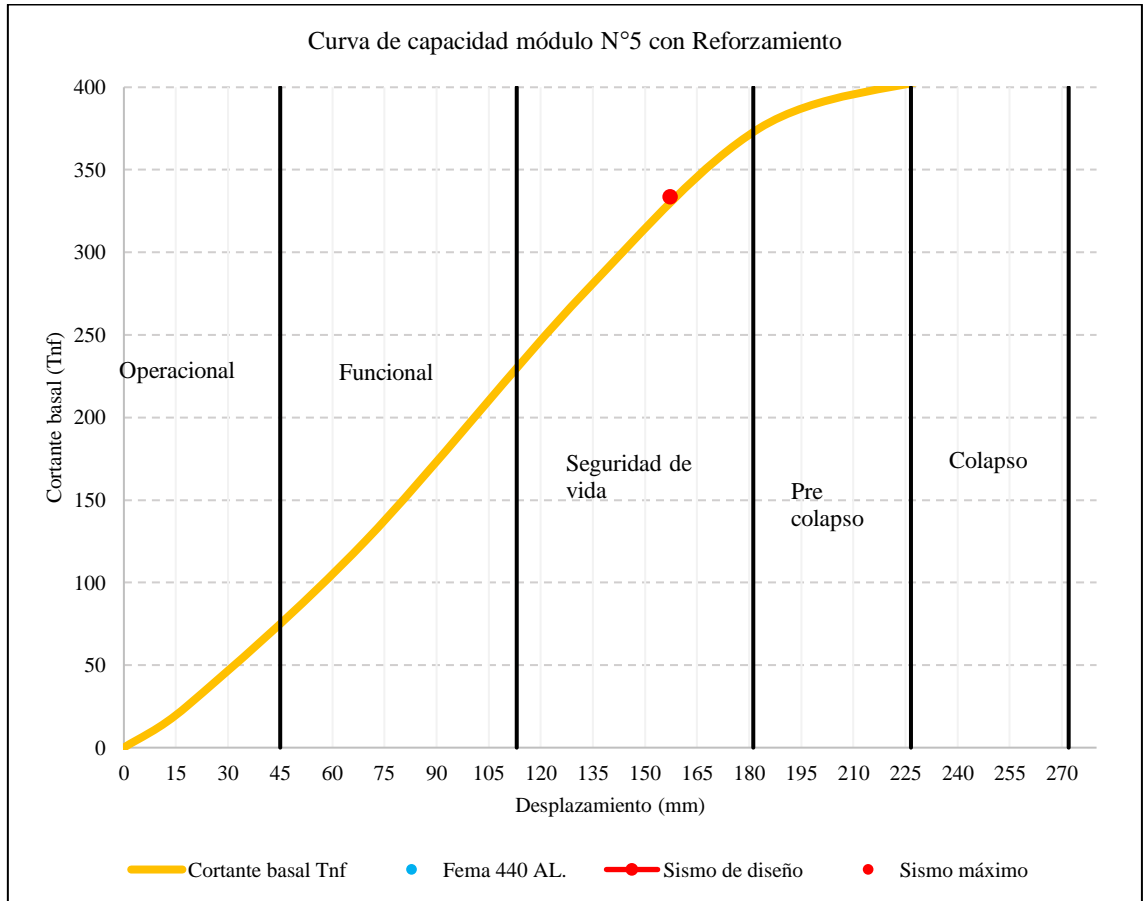


Figura 131

Punto de desempeño, para un sismo máximo, módulo 5 reforzado, en el sentido Y



6.1.3. Identificación de rótulas plásticas

Al ser reforzada la edificación, módulo 5, con placas, las primeras rotulas plásticas se forman en las vigas del tercer piso, por tanto, ya no hay fallo inicial en las columnas, así mismo, recién en el tercer step se forman las rótulas plásticas en la placa de reforzamiento.

Figura 132

Rótulas plásticas, en X, módulo 5 reforzado

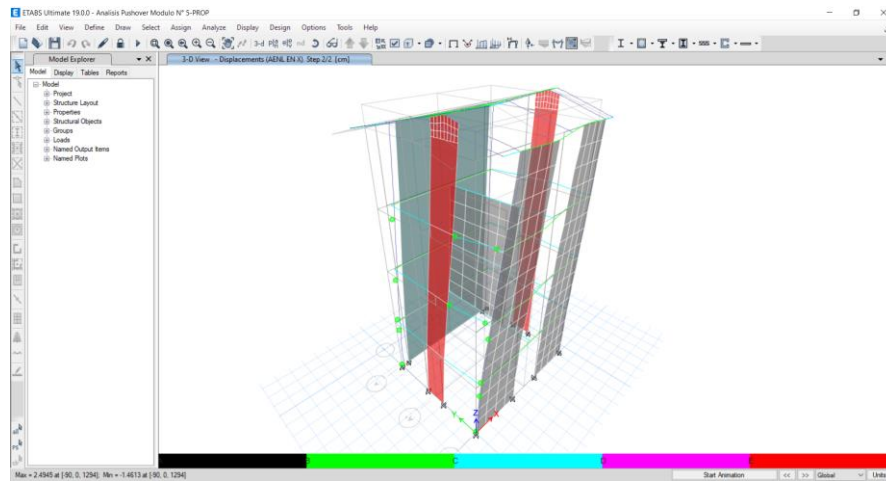


Figura 133

Rótulas plásticas, en Y, módulo 5 reforzado

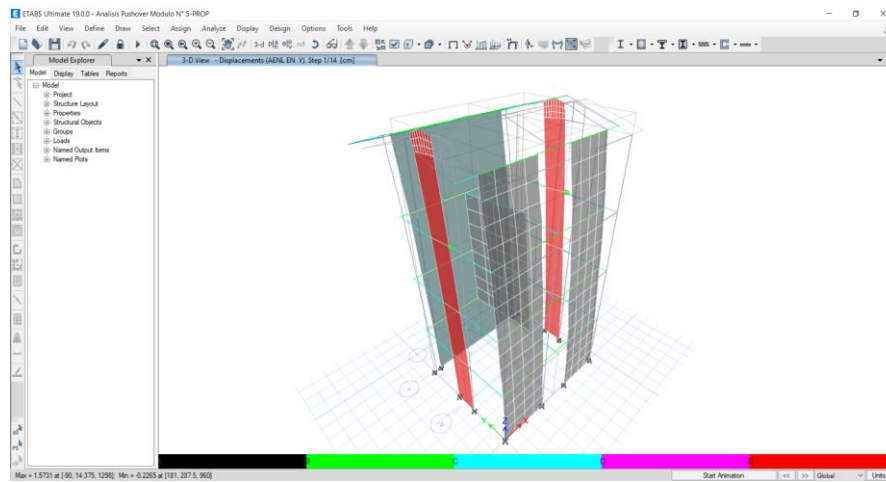
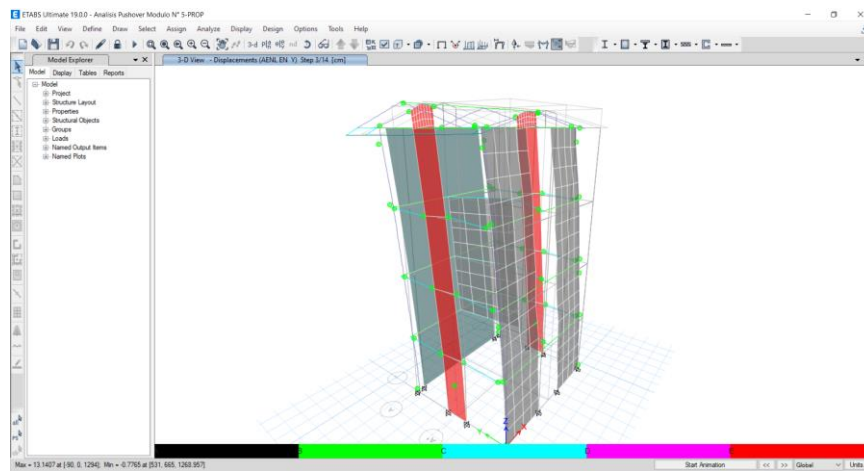


Figura 134

Tercer step, módulo 5 reforzado



CONCLUSIONES

El edificio de ingeniería civil – UNACH, está conformado por seis módulos, módulo I laboratorios, módulo II aulas, módulo III administrativo, módulo IV escalera, módulo V servicios higiénicos y módulo VI escalera. Estos módulos trabajan como estructuras independientes, por lo que han sido modeladas por separado en el software ETABS 2018, dando sus características (zona= 0.25, S2= 1.20, U=1.5), dimensiones, materiales, secciones, y cargas respectivas, llegando a las conclusiones:

- (1) Los desplazamientos absolutos máximos y derivas máximas del edificio de ingeniería civil, en el eje X e Y, para todos los módulos, cumplen la norma E.030 (MVCS, 2020), según la Tabla 24, Tabla 25, y Tabla 26.
- (2) En las tablas 21 y 22 se muestran las cortantes estáticas y dinámicas, respectivas, para los seis módulos del edificio de ingeniería civil de la UNACH, donde, la cortante dinámica del módulo II, IV y VI en Y no representan el 80% de la cortante estática, como sugiere el MVCS (2021), por lo que fue necesario generar coeficientes de amplificación que varían de 1.10 a 1.40, pero que no afectan a las derivas y desplazamientos.
- (3) El edificio de ingeniería civil, en promedio, cumple con los objetivos de desempeño para una edificación esencial destinada al rubro de educación, tal como nivel operacional, funcional y seguridad de vida (Fig. 7), para un sismo de servicio, de diseño y máximo, respectivamente, pero al realizar el análisis de forma específica por módulo, se concluye que el módulo IV y módulo VI, cumplen totalmente con los objetivos de desempeño estructural según el ATC-40 (Fig. 103, Fig. 104, Fig. 107 y Fig. 108), los módulos I, II y III cumplen el nivel de desempeño para un sismo de servicio y para un sismo de diseño, pero para un sismo máximo tienen un nivel de servicio de pre colapso, cumpliendo

parcialmente los objetivos de desempeño, en cambio, el módulo V, frente a un evento sísmico de diseño se encontraría en pre colapso en el eje X y en colapso en el eje Y, por tanto, no cumple con la capacidad estructural estándar (Fig. 105 y Fig. 106).

- (4) Los elementos estructurales en que se dan las primeras rótulas plásticas o primeros puntos de colapso frente a un evento sísmico en el edificio de ingeniería civil, son para el módulo I, II, III, IV y VI, las vigas B26 eje 2-2, viga B26 eje 8-8 a eje 10-10, viga B26 eje 15-15, viga B12 eje A'-A' y viga B12 eje A'-A', respectivamente, mientras, que para el módulo V, los primeros punto de colapso en la dirección X de dan en las columnas C2 del eje B-B, y en la dirección Y en las columnas C3 del eje B-B (Tabla 34 y Fig. 109). Conocer las rótulas plásticas, ayuda a plantear métodos de reforzamiento estructural o a diseñar una adecuada ruta de salida frente a un evento sísmico.

RECOMENDACIONES

- (1) Se sugiere a la UNACH utilizar los resultados de la presente investigación, para mejorar el sistema estructural del edificio de ingeniería civil, específicamente el módulo V, debido a que según el análisis colapsaría frente a un evento sísmico de diseño.
- (2) Se recomienda a los proyectistas e ingenieros civiles utilizar el método no lineal Pushover para demostrar la capacidad estructural del diseño de una edificación, además de efectuar el análisis estático y dinámico dado en la norma E.030 vigente, de tal manera, que se logren proyectos con mejor desempeño frente a un evento sísmico.
- (3) Se aconseja que cuando se realice el análisis Pushover de una edificación ya construida se trate de verificar las dimensiones, secciones, tipo de suelo, resistencia de los materiales y demás parámetros dados en los planos del expediente técnico (ET) en campo, es decir en el contexto real del proyecto, debido a que muchas veces durante la ejecución de un proyecto existen variaciones que no son plasmadas en el ET.
- (4) Se exhorta a los alumnos, bachilleres e ingenieros civiles a realizar una investigación científica que busque determinar técnica y económica el método de reforzamiento más apropiado para el módulo V, considerando que este módulo está integrado solamente por los servicios higiénicos del pabellón de ingeniería civil – UNACH.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATC-40. (1996). *Seismic Evaluation and retrofit of concrete buildings, vol. 1*. Applied Technology Council.
- Asikoglu, A., Vasconcelos, G., Lourenco, P.B., Pantó, B. (2020). Pushover analysis of unreinforced irregular masonry buildings: Lessons from different modeling approaches. *Engineering Structures*, 218(1). <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110830>
- Behar, D.S. (2008). *Metodología de la investigación*. Editorial Shalom.
- Bolaños, M.I. (2015). *Desempeño sismo resistente del edificio 4F de la universidad nacional de Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Centro Peruano Japonés de Investigaciones sísmicas y mitigación de desastres (2018). Informes de sismos. CISMID. <http://www.cismid-uni.org/itemlist/category/16-informes>
- Cerquín, C.G. (2019). *Nivel de desempeño sísmico de la edificación del instituto superior de educación público "Hno. Victorino Elorz Goicochea" Cajamarca 2018*. [Tesis de maestría en ciencias, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Compartin, C.D., Aschheim, M., Guayader, A., Hamburger, R., Hanson, R., Holmes, W., Iwan, W., Mahoney, M., Mirando, E., Moehle, J., Rojahn, C., y Stewart, J. (2004). *FEMA 440: Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures*. 13th World Conference on Earthquake Engineering.
- Corporinoquia. (2016, 15 de agosto). *Glosario*. Corporinoquia. <https://www.corporinoquia.gov.co/index.php/pages/glosario.html>
- Croce, P., Landi, F., y Formichi, P. (2019). Probabilistic Seismic Assessment of Existing Masonry Buildings. *Buildings*, 9(12), 237. <https://doi.org/10.3390/buildings9120237>
- Duarte, C.E., Martínez, M.E. y Santamaría, J.J. (2017). *Análisis estático no lineal (pushover) del cuerpo central del edificio de la facultad de medicina de la Universidad del Salvador*. [Tesis de grado, Universidad de El Salvador].
- FEMA 356. (2000). *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*. Federal Emergency Management Agency.
- FEMA 440. (2005). *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*. Federal Emergency Management Agency.

- Fernández, W. (2018). *Análisis Pushover para evaluar el desempeño sísmico de una Institución Educativa en el Centro Poblado Yungasuyo, Provincia Utcubamba – Amazonas*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo].
- Fuentes, N.F. (2018). *Desempeño sísmico de un edificio de cinco niveles de concreto armado mediante el análisis estático no lineal PUSHOVER*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo].
- Gautam, R., & Paudel, K. (2020). Seismic Capacity Assessment of Unreinforced Brick Masonry Building Performed According To Eurocode. *Technical Journal*, 2(1), 121-125. <https://doi.org/10.3126/tj.v2i1.32848>
- Grupo Banco Mundial. (2018). Una alianza contra los terremotos. <http://www.bancomundial.org/es/news/infographic/2018/02/09/una-alianza-contra-los-terremotos>
- Hernández, G. (2012). *Conceptos básicos sobre terremotos y las causas que lo originan, proyecto de prevención y mitigación del riesgo en el Colegio Nicolás Gómez Dávila I.E.D*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia].
- Hernández, C., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. McGrill Hill.
- Huaman, J.A. (2016). *Predicción del comportamiento sísmico por desplazamiento mediante el análisis no lineal en las edificaciones de la Universidad César Vallejo – Chiclayo*. [Tesis de maestría en Ingeniería Civil con mención en Estructuras, Universidad César Vallejo].
- Instituto Nacional de la Calidad. (2017). *Suelos. Método de ensayo normalizado para el corte directo desuelos bajo condiciones consolidadas drenadas. 1a Edición*. INACAL.
- Intor, K.A., y Martos, C.J. (2017). *Desempeño sísmico del módulo “A” de la I.E. San Ramón en la ciudad de Cajamarca – 2017*. [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte].
- Kalkbrenner, P., Pelá, L., y Sandoval, C. (2019). Multi directional pushover analysis of irregular masonry buildings without box behavior. *Engineering Structures*, 201(1), 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109534>
- Lagomarsino, S., Marino, S., Cattari, S. (2020). Linear static procedures for the seismic assessment of masonry buildings: Open issues in the new generation of European codes. *Structures*, 26(1), 427-440. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.04.003>

- Llique, R.H. (2003). *Manual de laboratorio de mecánica de suelos*. Editorial Universitaria de la UNC.
- Loa, G.J.F. (2017). *Evaluación del desempeño sísmico de tres opciones de reforzamiento incremental en edificaciones educativas típicas construidas antes de 1997*. [Tesis de maestría en Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Mamani, P. M. (2015). *Evaluación del desempeño sismorresistente de un edificio de oficinas, analizado y diseñado con el método convencional*. [Tesis de grado, Universidad Católica De Santa María].
<http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/5309>
- Marín, F. R. (2014). *Determinación de la vulnerabilidad sísmica de los pabellones 1 y 2 de la institución estatal Ramón Castilla y Marquesado del distrito de Jaén – Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Mariani, M., Pugi, F. y Francioso, A. (2019). Vertical component of the seismic action: amplified vulnerability of existing masonry buildings. *7th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*, 3807-3835.
- Merino, L. E. (2013). *Desempeño sismorresistente del edificio 4j de la universidad nacional de Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Ministerio de vivienda, Construcción y Saneamiento. (2020). Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma E.030. MVCS.
- Mires, N. Y. (2019). *Desempeño sismorresistente de la institución educativa técnica Rafael Loayza Guevara utilizando el método Pushover y propuesta de mejora*. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte].
- Municipalidad Provincial de Chota. (2018). *Plan de desarrollo urbano de la ciudad de Chota, PDU 2017 – 2027*. MPCH.
- Noel, M.F., Moreira, S., Briceño, C., López-Hurtado, E., y Aguilar, R. (2018). Seismic Assessment of the Church of San Sebastian in Cusco, Peru by Means of Pushover Nonlinear Analysis. *Structural Analysis of Historical Constructions*, 18(1), 1462-1470. http://doi.org/10.1007/978-3-319-99441-3_157
- Paredes, M. Á. (2016). *Evaluación del desempeño sismo resistente de un edificio destinado a vivienda en la ciudad de Lima aplicando el análisis estático no lineal pushover*. [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].
- Portioli, F.P. (2020). Rigid block modelling of historic masonry structures using mathematical programming: a unified formulation for non-linear time history,

- static pushover and limit equilibrium analysis. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18(1), 211-239.
- Purca, R. J. (2015). *Resumen: ATC-40 Cap. 8 Procedimiento de análisis estático no lineal*. Traducción de la Universidad Nacional San Agustín.
- Quizhpilema, A. E. (2017). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica del edificio de aulas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central del Ecuador, utilizando la norma ecuatoriana de la construcción*. [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador].
- Qamaruddin, S. (2017). Seismic response study of multi-storied reinforced concrete building with fluid viscous dampers. Master of Engineering in Civil Engineering with Specialisation *In Structural Engineering*. Chaitanya Bharathi Institute of Technology.
- Radio Programas del Perú. (2017, 20 de setiembre). Un terremoto en lima le costaría 43 mil millones de dólares al estado. RPP. <https://n9.cl/o5s9>
- Rojas, A. (2012). *Proyecto arquitectónico en zonas sísmicas*. Bloomington. <https://afly.co/mf94>
- Safina, S. (2003). Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93538>
- Samillán, R.J. (2019). *Análisis del desempeño sísmico no lineal estático (pushover) en una edificación de ocho pisos Chiclayo-Lambayeque*. [Tesis de maestría, Universidad César Vallejo].
- Sante, R., y Porzio, S. (2019). A new multi-control-point pushover methodology for the seismic assessment of historic masonry buildings. *Journal of Building Engineering*, 26(1), 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100926>
- SEAOC (1995). *Conceptual framework for performance based seismic engineering of buildings*. Vision 2000 Committee and California Office of Emergency Services, Sacramento, USA.
- Shrestha, J.K., Bhandari, S., Pradhan, S., y Gautam, D. (2020). Simplified frame model for capacity assessment of masonry buildings. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 131(1). <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106056>
- Toledo, V. (2011). *Ingeniería sísmica basada en desempeño, 1ª ed.* Comunidad para Ingeniería Civil.

- Urteaga, W.M. (2019). *Nivel de desempeño sísmico del edificio N° 01 de la institución educativa San Ramón (anexo Chontapaccha) considerando la interacción suelo estructura*. [Tesis de maestría en ciencias, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Vásquez, V. (2017, 25 de mayo). El suelo de la ciudad es inestable, afortunadamente el nivel sísmico es bajo. *Santa Mónica radio*.
- Vega, G. (2020). *Evaluación del desempeño sísmico mediante el análisis estático no lineal, vivienda-comercio Miura Grill, Chiclayo*. [Tesis de grado en Ingeniería Civil, Universidad Señor de Sipán].
- Vera, R.Y. (2017). *Evaluación del comportamiento estructural de una vivienda autoconstruida el año 2012, sector camino real II, calle Tres Marías - provincia de Jaén*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Vergara, V. A. A. y Zevallos, M. C. (2014). *Análisis sísmico por desempeño estático no lineal de un edificio de 6 niveles en la ciudad de Trujillo, la libertad*. [Tesis de grado, Universidad privada Antenor Orrego].
- Zade, N.P., Sarkar P., y Davis P.R. (2020) Seismic Behaviour of Unreinforced Masonry. In: Chakraverty S., Biswas P. (eds) Recent Trends in Wave Mechanics and Vibrations. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0287-3_13
- Zahir, A., Rizzo, S., Celebi, E., y Stempniewski, L. (2019). Seismic Pushover Analysis of Existing Masonry Structures. VI International Earthquake Symposium Kocaeli, 25(27), 423-428. https://www.imb.kit.edu/mb/download/iesko_Paper_fulltext.pdf

ANEXOS

Anexo A. Matriz de consistencia

Tesis: Evaluación del desempeño sismorresistente mediante el método no lineal estático pushover del edificio de ingeniería civil de la Universidad

Nacional Autónoma Chota, 2018

Tesista: Roberth Fernández Irigoín

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Metodología
¿Cuál es el desempeño sismorresistente mediante el método no lineal estático pushover del edificio de ingeniería civil de la “Universidad Nacional Autónoma de Chota” según el punto de desempeño para un sismo de servicio, sismo de diseño y sismo máximo?	Objetivo general: Evaluar el desempeño sismorresistente mediante el método no lineal estático pushover del edificio de ingeniería civil de la “Universidad Nacional Autónoma de Chota”, según el punto de desempeño para un sismo de servicio, sismo de diseño y sismo máximo, a fin de garantizar su uso funcional frente a un evento sísmico.	H1: El desempeño sismorresistente, mediante el método no lineal estático pushover, del edificio de ingeniería civil de la “Universidad Nacional Autónoma de Chota”, según el punto de desempeño, para un sismo de servicio, sismo de diseño y sismo máximo, es distinto.	Variable dependiente	Análisis sísmico según norma E.030	Enfoque: Cuantitativo
	Objetivos específicos: – Verificar que las derivadas y desplazamientos máximos del pabellón de ingeniería civil de la “Universidad Nacional Autónoma de Chota”, cumplan con la norma E.030-2020. – Determinar la cortante estática y dinámica del pabellón de ingeniería civil de la “Universidad Nacional Autónoma de Chota”, según la norma E.030-2020. – Determinar la capacidad estructural del pabellón de ingeniería civil de la “Universidad Nacional Autónoma de Chota”, por medio del punto y curva de desempeño para un sismo de servicio, diseño y máximo. – Determinar los elementos estructurales en que se dan las primeras rótulas plásticas o primeros puntos de colapso frente a un evento sísmico en el pabellón de ingeniería civil de la “Universidad Nacional Autónoma de Chota”.	Ho: El desempeño sismorresistente, mediante el método no lineal estático pushover, del edificio de ingeniería civil de la “Universidad Nacional Autónoma de Chota”, según el punto de desempeño, para un sismo de servicio, sismo de diseño y sismo máximo, es igual.	Desempeño sismorresistente	Análisis sísmico Pushover	Nivel de investigación: Aplicativo
			Variable independiente	Parámetros sísmicos	Diseño de investigación: Descriptivo
			Método no lineal Pushover	Propiedades resistentes de los materiales Metrado de cargas Modelamiento estructural	Muestra: seis módulos del edificio de ingeniería civil de la UNACH

Anexo B. Panel fotográfico

Fotografía 1. Edificio de Ingeniería Civil de la “Universidad Nacional Autónoma de Chota”



Fotografía 2. Calicata N° 1 en el suelo de cimentación del edificio de Ingeniería Civil



Fotografía 3. Ensayos físicos al suelo de cimentación de la calicata N° 1



Fotografía 4. Ensayos mecánicos al suelo de cimentación de la calicata N° 1



Anexo N° C. Análisis sísmico del edificio de ingeniería civil de la UNACH

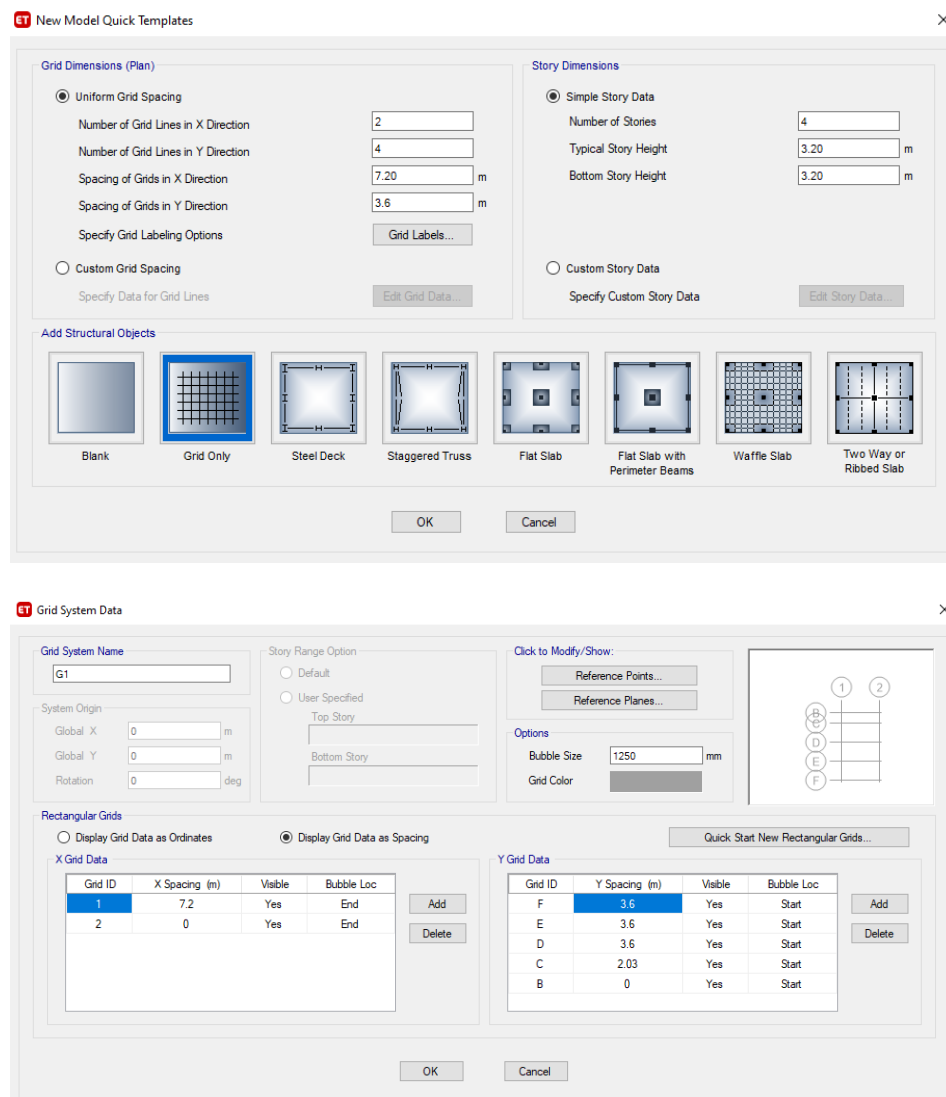
1) Módulo I

1.1) Modelamiento módulo I

Abrir el programa Etabs “File/New Model”. En, “Use Built-in Settings With”, usar la configuración del modelo con los valores establecidos en la parte en la parte inferior. Completar los datos de los ejes, el número de pisos y la información del espaciado entre ejes

Figura 135.

Parámetros de inicio en el programa ETABS



Para definir las propiedades del concreto, se modifica 4000Psi, en “Modify/ Show Material” y en “Material Name”, se escriba Concreto 210kg/cm2, propiedades: Peso específico de concreto: 2400kg/m3: 2.4 tonf/m3, Módulo de elasticidad del concreto (E): $15000\sqrt{210}$ kg/cm2: 2173706.51 tonf/m2. Para definir las propiedades del acero, se modifica A615Gr60, en “Modify/ Show Material” y en “Material Name” se escribe Acero 4200 kg/cm2, el peso específico del acero: 7850kg/m3: 7.85 tonf/m3, y módulo de elasticidad del acero (E): 2×10^6 kg/cm2: 20000000 tonf/m2.

Figura 136.

Definición de las propiedades del concreto

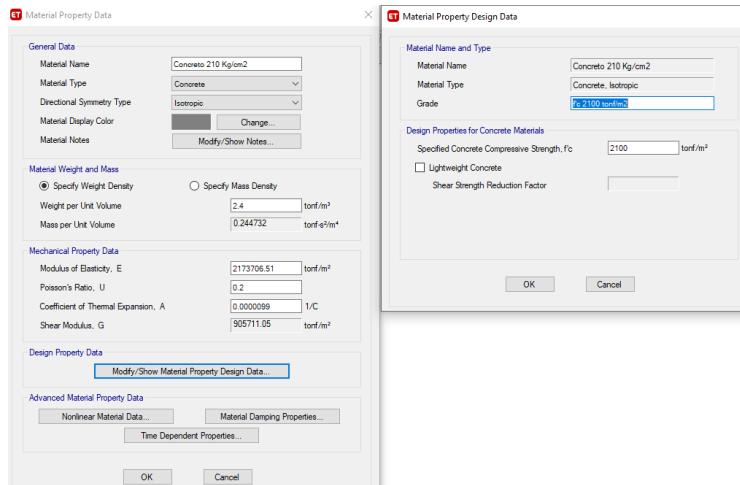
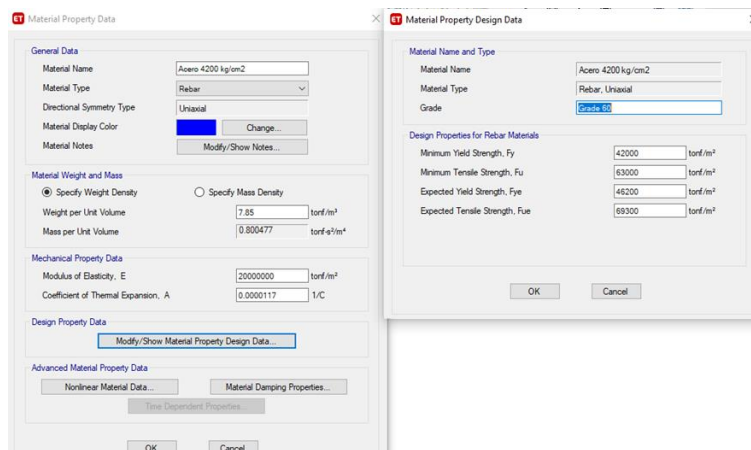


Figura 137.

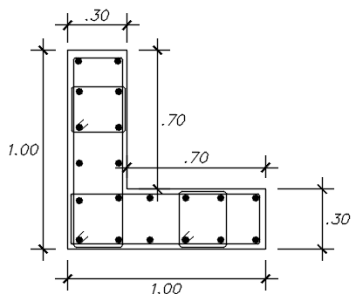
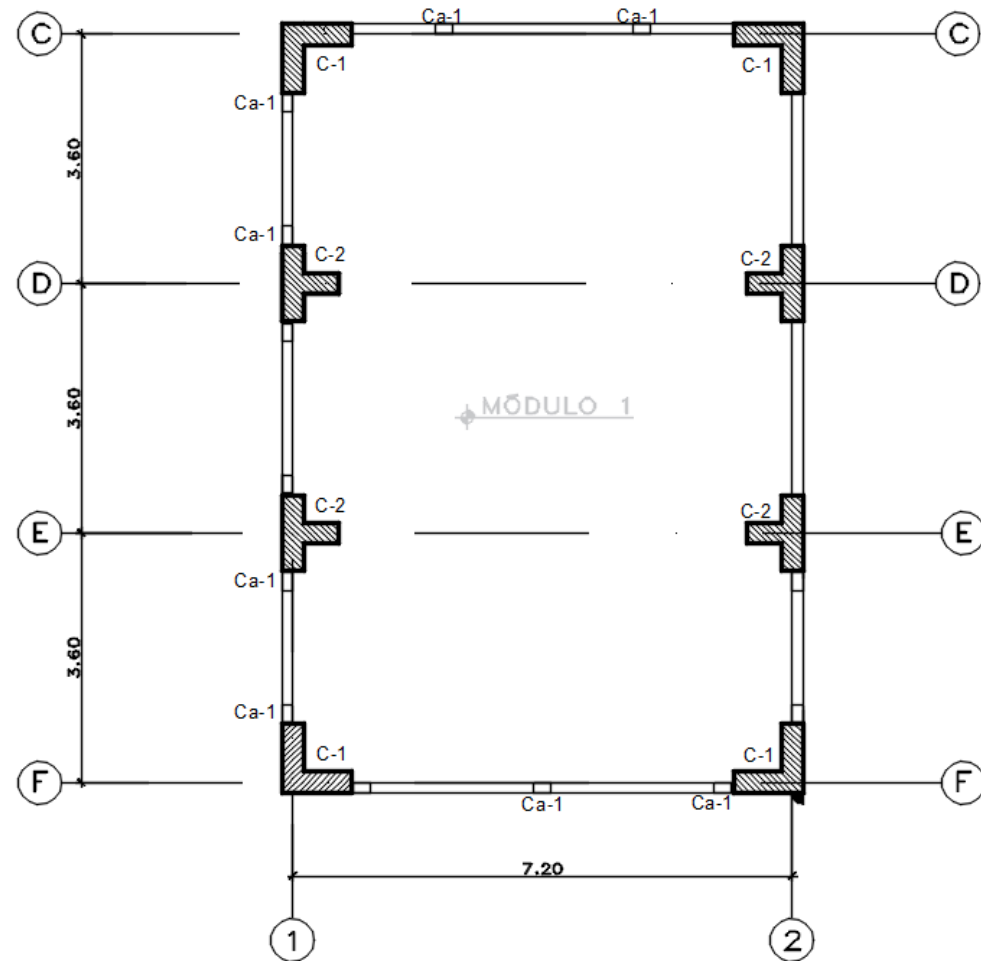
Definición de las propiedades del acero de refuerzo



Se define las secciones, los objetos frame (columnas, vigas) y elementos Wall (Placas) como se muestra a continuación:

Figura 138.

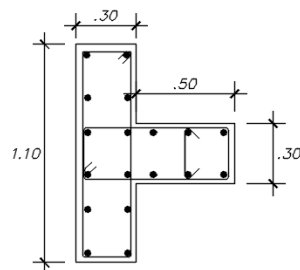
Plano estructural módulo I



20 $\phi 3/4"$
 $\square 3/8": 1 @ .05, 5 @ .10, 2 @ 15, Rto. @ .25$ c/ext.

(1° a 4° PISO)

C-1



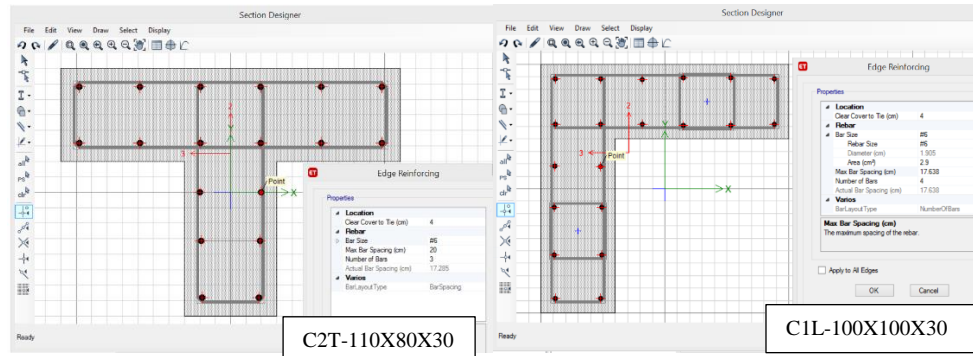
18 $\phi 3/4"$
 $\square 3/8": 1 @ .05, 5 @ .10, 2 @ 15, Rto. @ .25$ c/ext.

(1° a 4° PISO)

C-2

Figura 139.

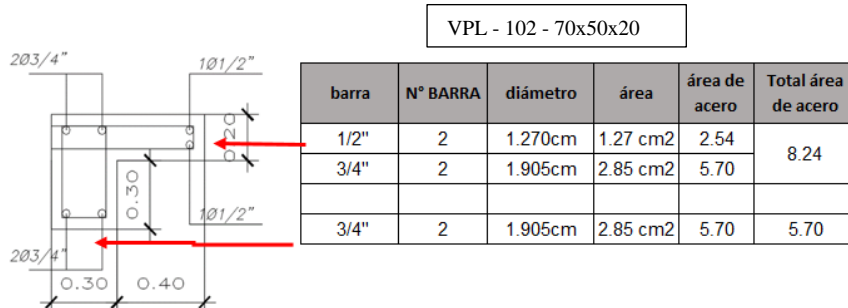
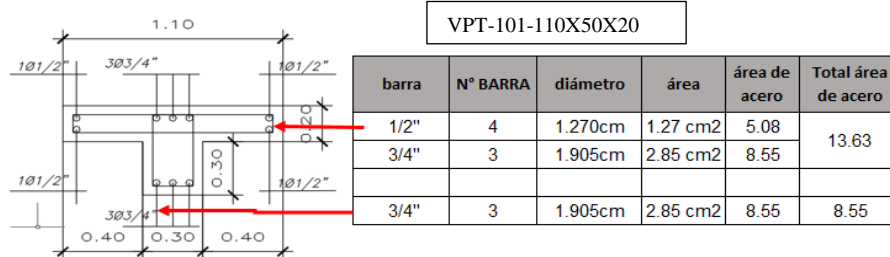
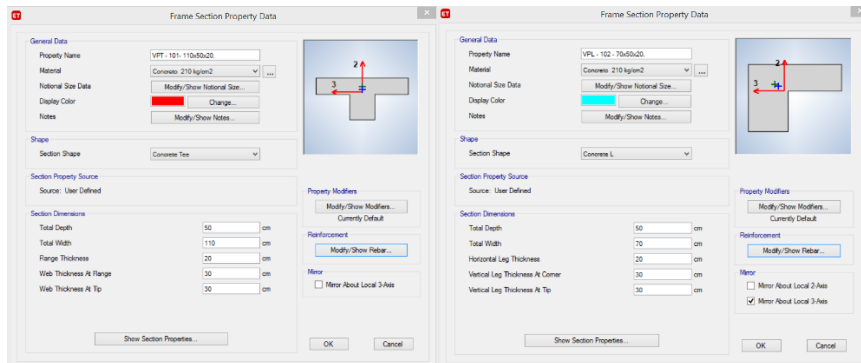
Columnas del módulo I



Nota: C2T- 110x80x30, se introdujo 18 barras de acero de refuerzo longitudinales de #6, y las barras de confinamiento de = #3 con espaciado uniforme de 15cm. C1L- 100x100x30, se introdujo 20 barras de acero de refuerzo longitudinales de #6, y las barras de confinamiento de #3 con espaciado uniforme de 15cm.

Figura 140.

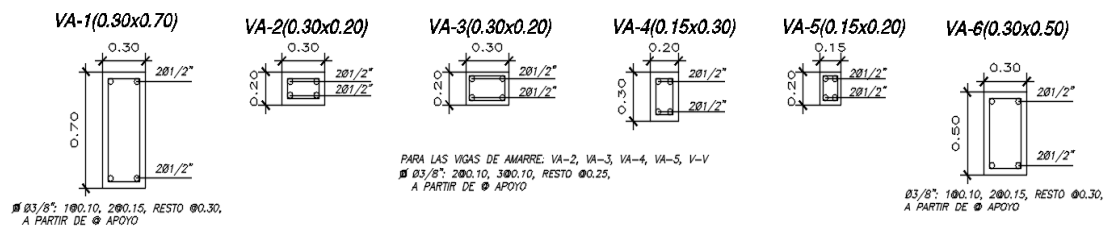
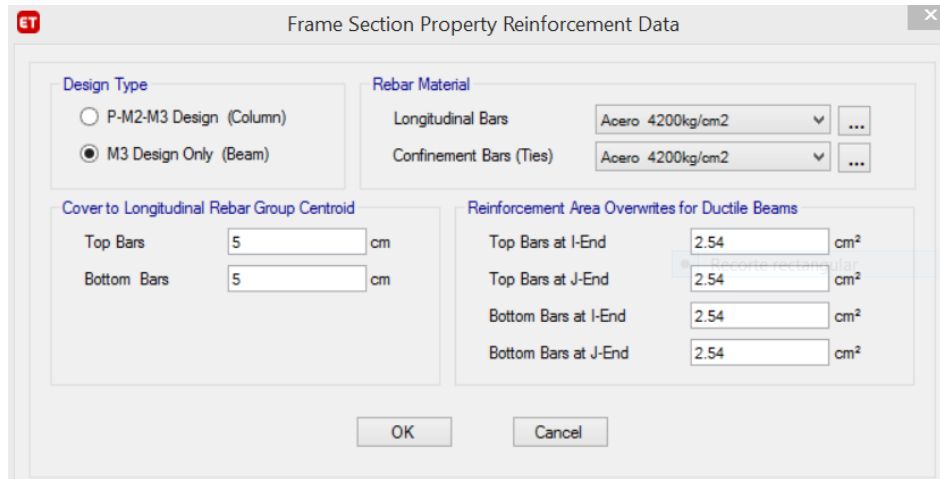
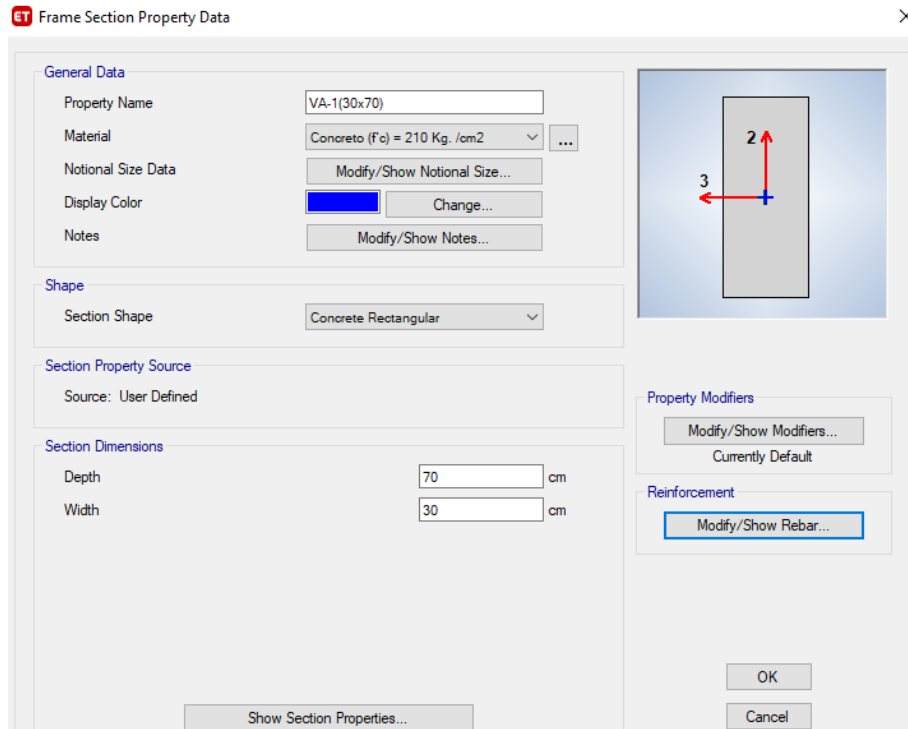
Vigas principales del módulo I.



Nota: Se modifica A615Gr60, en "Modify/ Show Material" y escriba en "Material Name": Acero 4200 kg/cm², el peso específico del acero: 7850kg/m³: 7.85 tonf/m³.

Figura 141.

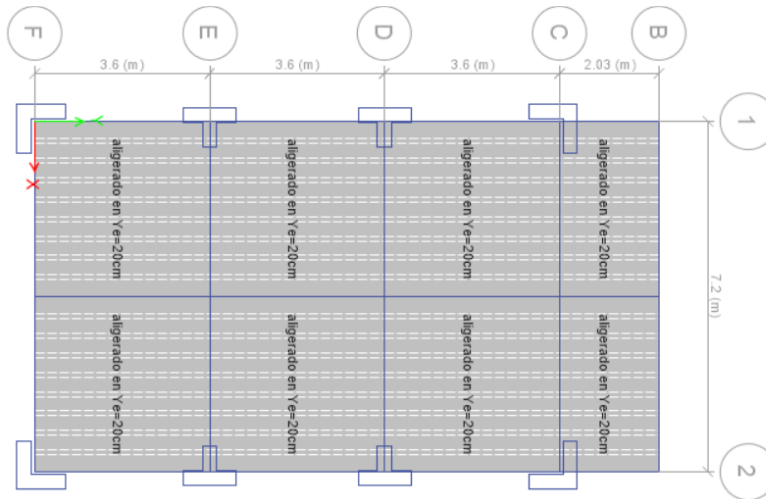
Viga de amarre VA -1(30x70).






Nota: De la misma manera se creó todas las secciones de las vigas de amarre, VA-2(30x20), VA-3(30x20), VA-4(20x30), VA-5(15x20) y VA-6(30x50). Con recubrimiento de 3.5 hasta el centro de la barra, con un área de acero de 2.54 cm.


Figura 142.

Asignación de losas del módulo I



Nota: Se sigue la siguiente ruta en “Define/ Section Properties/ Slab Sections”. En Modeling Type se selecciona “Shell - Thin”, Como un elemento fino. Se procede a dibujar en el Etabs. Columnas, clic en el

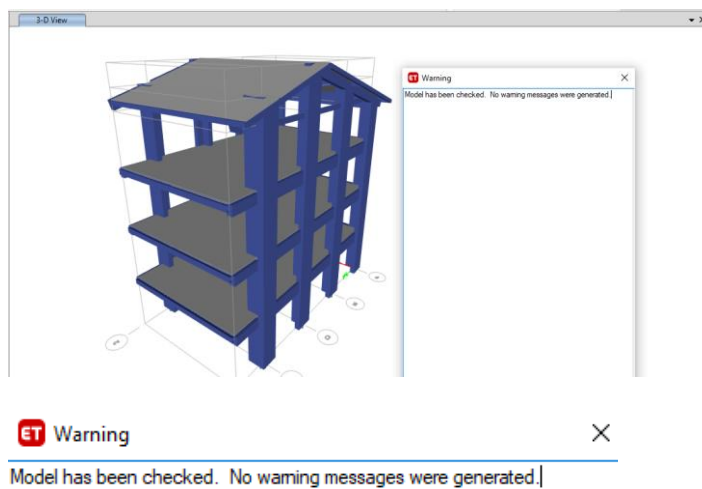
icono , Vigas se da clic en el icono . Asignación de losas en el icono .

Para ver la dirección del techado en “Set Display Options”  “Slab Internal Ribs”.

Se realiza un chequeo general de la edificación, con la finalidad que no haya ningún error, en la opción “Analyze / Check Model” de esta manera se da una tolerancia de 10 mm de separación con cada elemento.

Figura 143.

Chequeo general de la edificación



Nota: Si se muestra esta imagen, se menciona que no hay ningún error en la edificación.

Para definir los tipos de carga a las que estará sometido nuestro modelo, carga por peso propio (Dead), cargas vivas (Live), carga viva de techo (Roof Live), se selecciona Define / Load Patterns. Se asignaron las cargas en los elementos Shell/ área. Se asignaron cargas uniformes sobre elementos área en las losas, se selecciona la losa e=20cm. En “Select /Properties/ Slab Sections”, una vez seleccionado las losas de e=20cm, en “Assign /Shell Loads /Uniform”, se coloca el peso de la carga muerta que es de 125.31 (kg/m²) para todos los pisos. Se asigna la carga viva en “Assign/ Shell Loads/ Uniform”. Se asignaron cargas distribuidas en vigas, en “Assign / Frame Loads / Distributed”, carga distribuida de manera uniforme y en “Assign/Frame Loads/Distributed”, carga distribuida de manera no uniforme.

Tabla 39.

Asignación de cargas uniformes en elementos Shell/ Área, módulo I

Piso	Descripción	Cant/m ²	Peso Unitario (kg)	Peso por m ²	Peso Total (kg/m ²)
Piso 1	Carga muerta				
	- Peso del Poliestireno 120x30x15cm	2.083	0.15	0.31	125.31
	- Acabados			100	
	- Cielo raso			25	
	Carga viva				
- Pasadizo				400	
- Laboratorio de topografía				300	
Piso 2	Carga muerta				
	- Peso del Poliestireno 120x30x15cm	2.083	0.15	0.31	125.31
	- Acabados			100	
	- Cielo raso			25	
	Carga viva				
- Pasadizo				400	
- Aulas				250	
Piso 3	Carga muerta				
	- Peso del Poliestireno 120x30x15cm	2.083	0.15	0.31	125.31
	- Acabados			100	
	- Cielo raso			25	
	Carga viva				
- Pasadizo				400	
- Aulas				250	
Techos	Carga muerta				
	- Peso del Poliestireno 120x30x15cm	2.083	0.15	0.31	35.31
	- Cobertura de teja andina			10	
	- Cielo raso			25	
Carga viva de techo					
- Techos inclinados				50	

Figura 144.

Carga muerta y viva en todos los pisos del módulo I

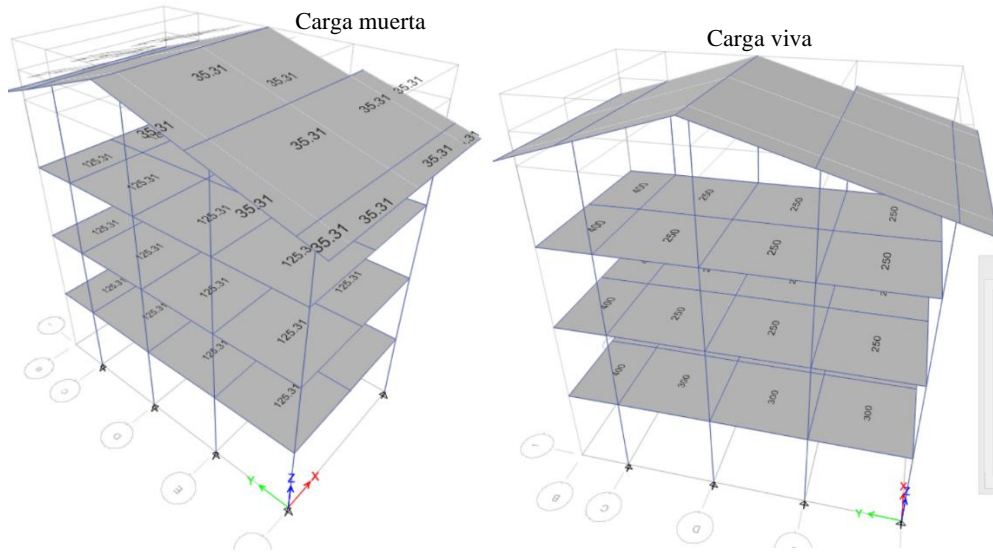


Tabla 40.

Asignación de cargas distribuidas en vigas

Descripción	Espesor de muro (m)	Altura (m)	Peso propio albañilería tarrajada	Por metro (m) lineal	Peso (Kg/m)
Carga distribuida					
Muro frontal del Eje (C-C)	0.15	2.1	1850	1	582.75
Muro lateral del Eje (1-1)	0.15	1	1850	1	277.50
Muro lateral del Eje (2-2)	0.15	1	1850	1	277.50
Muro posterior del Eje (F-F)	0.15	3.45	1850	1	957.38
	0.15	2.1	1850	1	582.75
	0.15	2.7	1850	1	749.25
Muro interior del Eje (E-E)	0.15	2.45	1850	1	679.88
	0.15	2.45	1850	1	679.88

Figura 145.

Asignación de cargas distribuidas en vigas

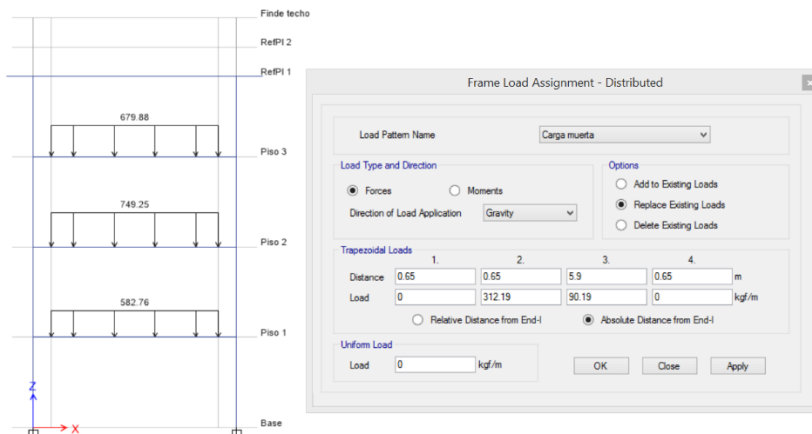
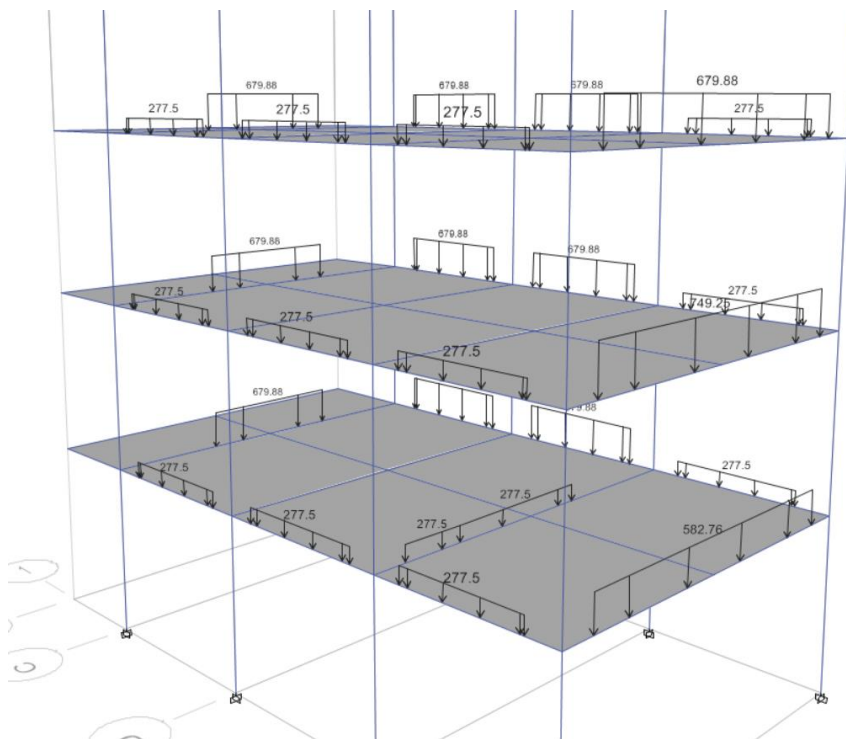
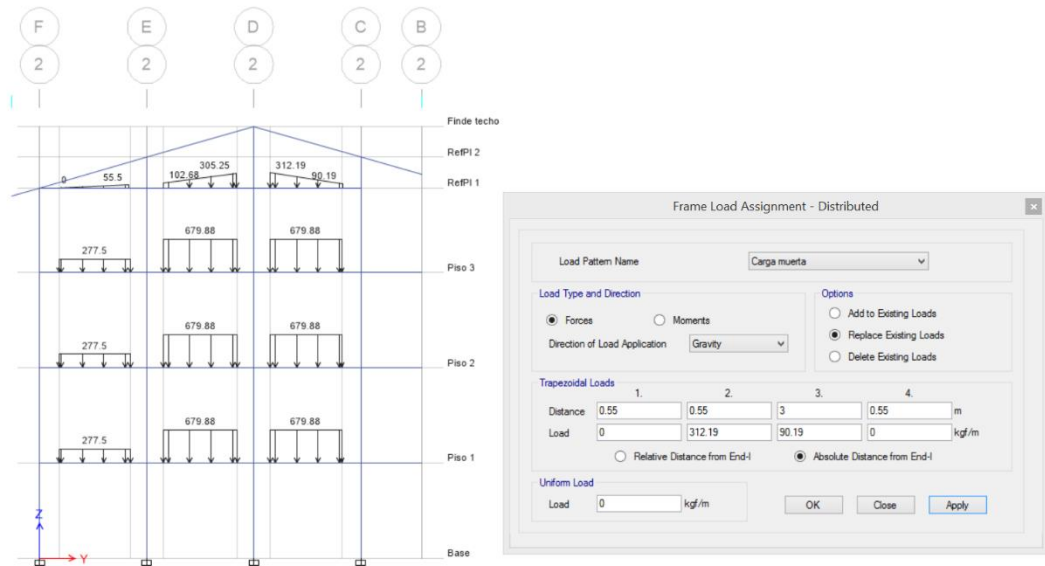


Figura 146.

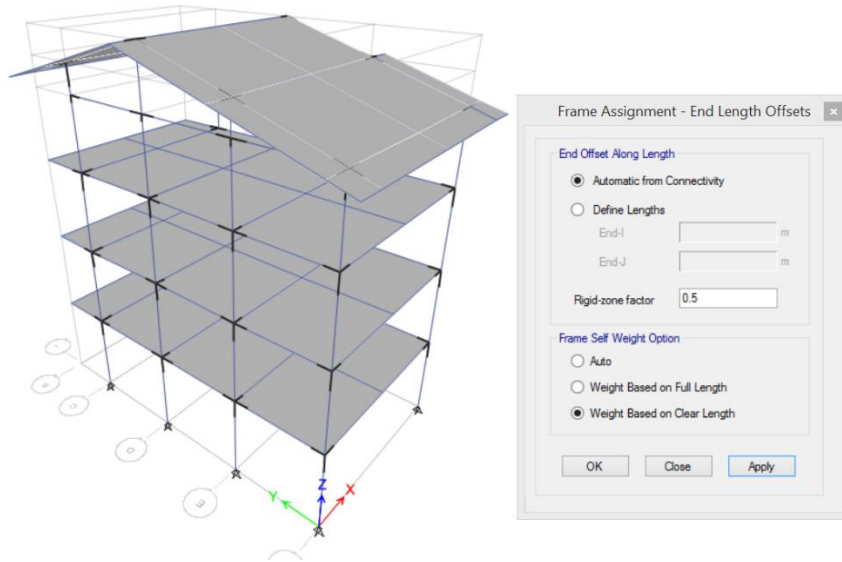
Asignación de cargas distribuidas de manera no uniforme



Para dar las restricciones de la base, se selecciona todos los apoyos en la base en “Assing / Joint/ Restraints”, empotramiento perfecto. Así mismo, para la creación del brazo rígido, se selecciona todo el dibujo en “Select / all”, luego se asigna el brazo rígido en “Assing / Frame / End Length Offsets”.

Figura 147.

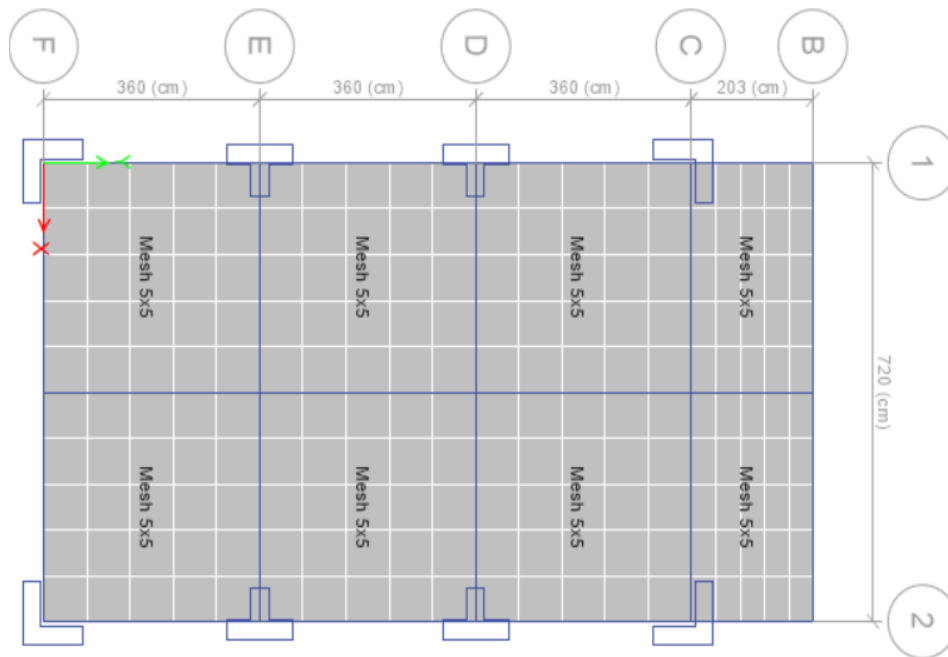
Creación de brazo rígido del módulo I



La discretización, es un método para el análisis estructural, a menores dimensiones de los elementos es mejor la precisión. Para ello se selecciona, en “Assing/ Shell/ Floor Auto Mesh Options”, discretización de losas.

Figura 148.

Discretización de losas del módulo I



Para que se transfiera las cargas adecuadamente de losas a las vigas y las vigas a las columnas, se selecciona todo el dibujo y en “Frame Auto Mesh options” se selecciona la opción “Include selected frame objects in mesh”, que incluya el mallado en vigas. Para generar la adecuada transferencia de cargas donde no hay continuidad del mallado, se selecciona todo el dibujo y en “Assign / Shell / auto Edge Constraint” que todo está amarrado monolíticamente.

Figura 149.

Conectividad viga – losa, losa – viga

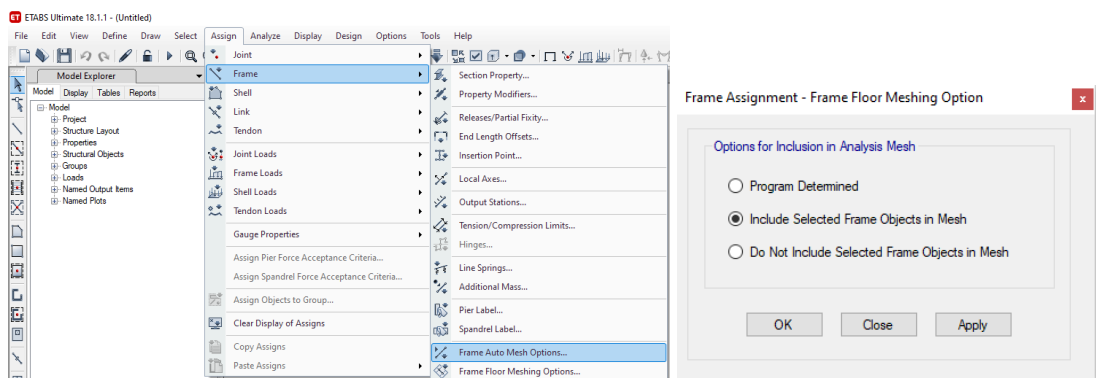
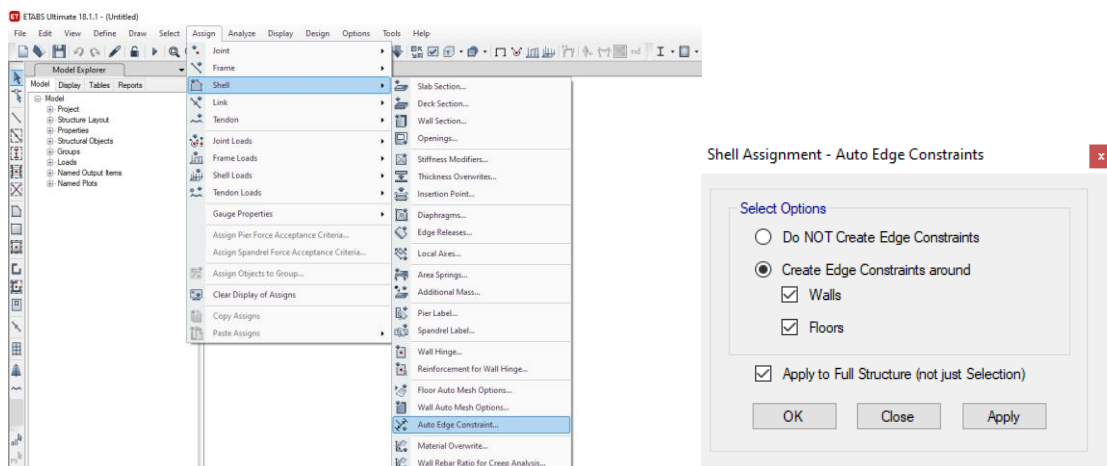


Figura 150.

Conectividad en los elementos estructurales



1.2) Análisis sísmico estático del módulo I

El periodo fundamental de vibración se ha determinado según:

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

h_n = Altura desde el nivel 0+000= 14.51 m

C_{tx} = Edificios de pórticos de concreto armado= 45

C_{ty} = Edificios de pórtico de concreto armado= 45

$$T_x = 0.32 \text{ seg}$$

$$T_y = 0.32 \text{ seg}$$

Parámetros sísmicos:

– $Z = 0.25$

– $U = 1.50$

– $S = 1.20 \rightarrow \begin{matrix} T & TP & TL \\ S2 & 0.6 & 2.00 \end{matrix}$

Los coeficientes de reducción “R” son:

– Factor de irregularidad en altura $I_a = 1.00$

– Factor de irregularidad en planta $I_p = 1.00$

– $R_x = 8.00 \rightarrow$ Pórtico de concreto armado

– $R_y = 8.00 \rightarrow$ Pórtico de concreto armado

Cálculo de la amplificación sísmica “C”:

$$T_x = 0.32, T_y = 0.32, T_p = 0.60$$

$$T < T_p \rightarrow C = 2.5$$

$$C_x = 2.50$$

$$C_y = 2.50$$

Para el cálculo del coeficiente cortante en ETABS, el valor de C/R no debe ser menor que $C/R \geq 0.11$.

$$\text{En el eje } x \rightarrow \frac{C}{R} \geq 0.11 \rightarrow 0.31250 \geq 0.11 \text{ OK}$$

$$\text{En el eje } y \rightarrow \frac{C}{R} \geq 0.11 \rightarrow 0.31250 \geq 0.11 \text{ OK}$$

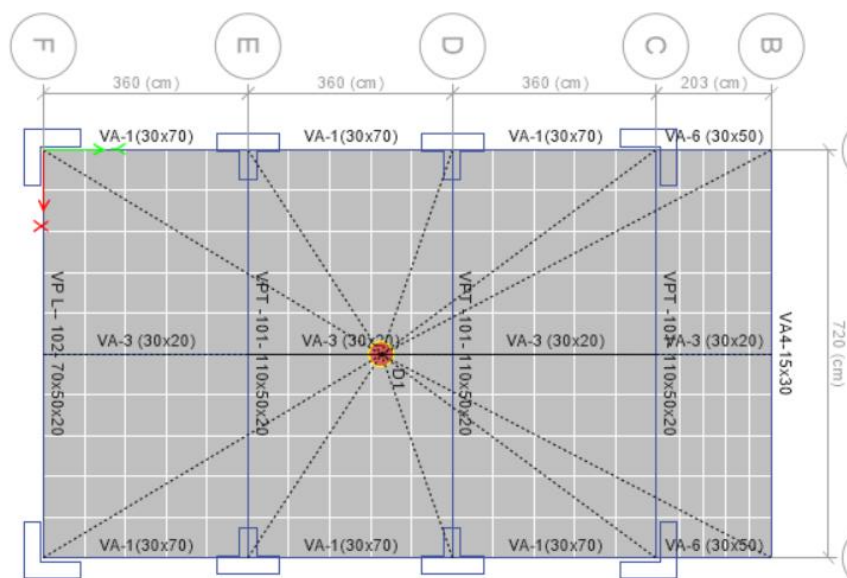
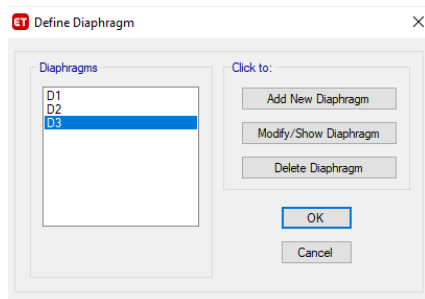
$$V_x = \frac{ZUCS}{R_x} = 0.1406$$

$$V_y = \frac{ZUCS}{R_y} = 0.1406$$

Se asigna diafragmas rígidos a los entrepisos y así liberar los grados de libertad como se indica en la norma E-030, los diagramas deben tener tres grados de libertad, dos desplazamientos y un giro. En “Define / Diaphragms”, “Assign/Shell/ Diaphragms”, se asigna el diafragma rígido (D1, D2 y D3).

Figura 151.

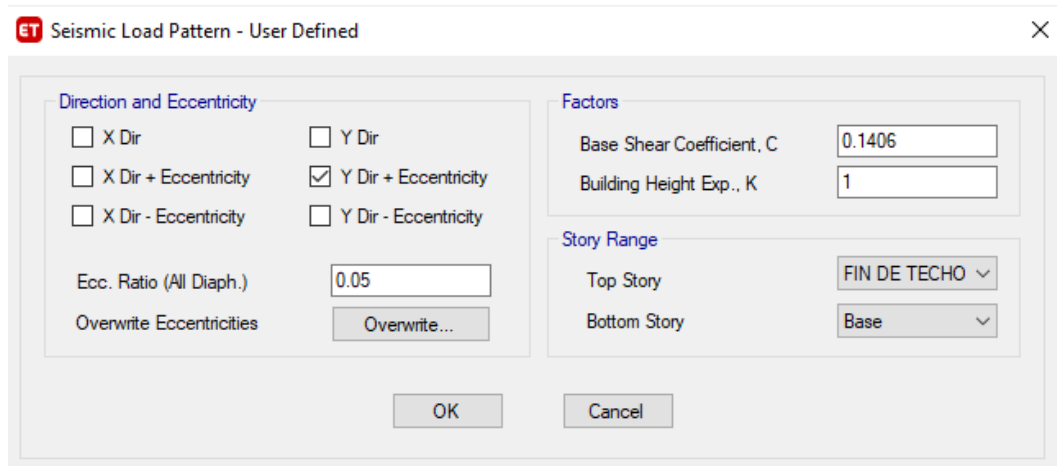
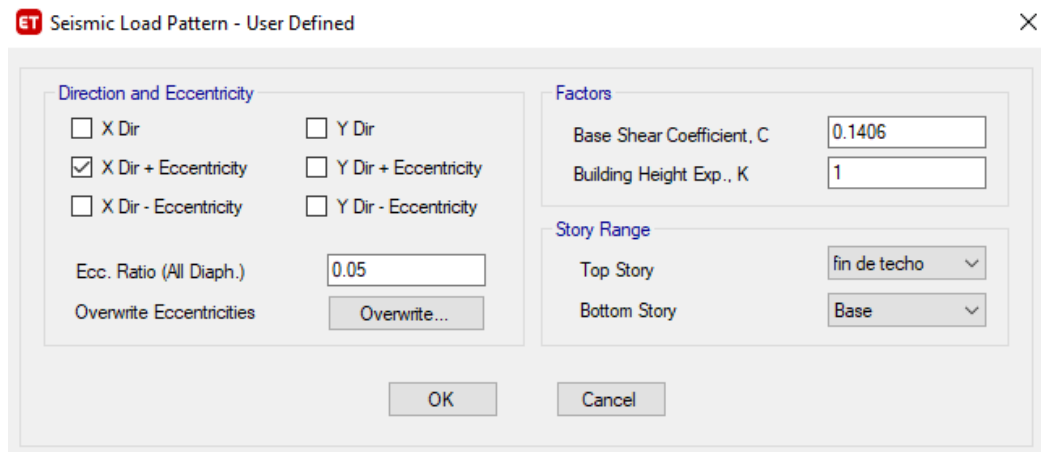
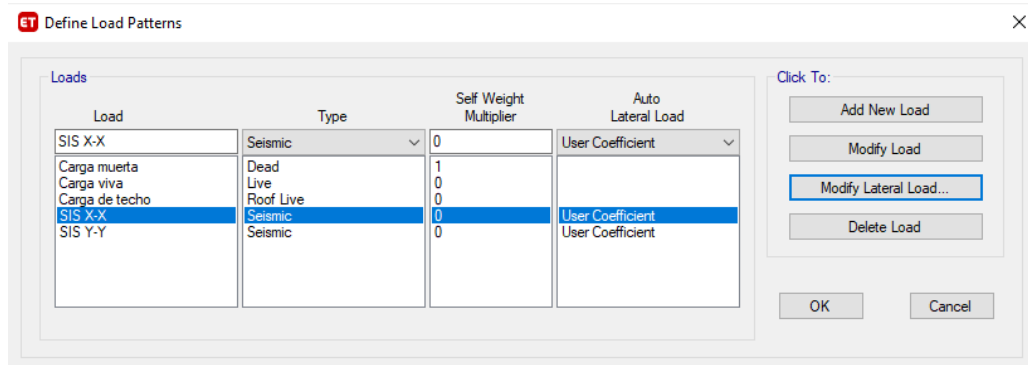
Creación de diafragma rígido



En “Define Load Patterns”, se crea el sismo en (X) :(SIS X-X) y el sismo en la dirección (Y): (SIS –Y-Y).

Figura 152.

Ingresar el sismo estático.



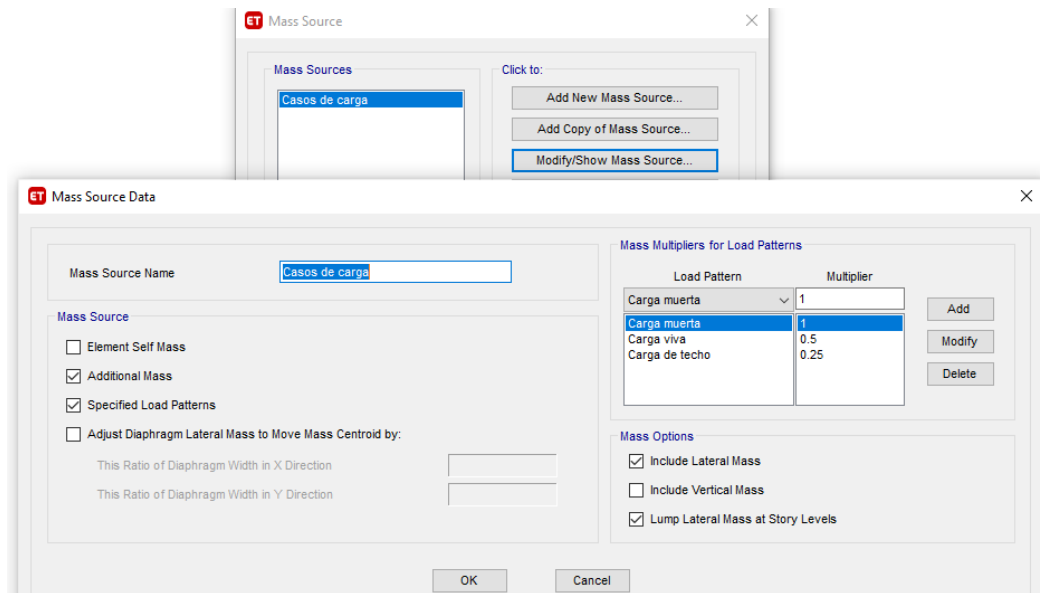
Nota: Se coloca el coeficiente de cortante en la base es que es de 0.1406 en la dirección de “x”, el valor de $k_x=1$ y con una excentricidad de 5%. Se coloca el coeficiente de cortante en la base es que es de 0.1406 en la dirección de “y”, el valor de $k_y=1$ y con una excentricidad de 5%.

La norma E-30 de diseño sismorresistente, indica que el peso (P), se calcula adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga de la siguiente manera:

- a) En edificaciones de las categorías A y B, se tomará el 50% de la carga viva.
- b) En azoteas y techos en general se tomará el 25% de la carga viva.

Figura 153.

Definir el peso de la edificación (como se va calcular la masa)



Por último, se ejecuta el análisis estático. Para ello se configura las opciones de análisis, en “Analyze / Set Active of Freedom” y se selecciona Full 3D. Así mismo, en “Analyze / Set Load Cases to Run”, se selecciona “Calculate Diaphragm Centers of Rigdty”, para que calcule el centro de rigidez del diafragma y finalmente se corre el programa en “Run Mow”.

$$Kx = 1.00$$

$$Ky = 1.00$$

Tabla 42.

Fuerza sísmica en dirección X e Y, módulo I

Nivel	Pi (kg)	hi(m)	Pi × hi ^k	ai	Fi (kg)	Fi (ton)
En la dirección X						
4	45192.12	14.51	655737.65	0.22	12137.44	12.14
3	135250.67	9.60	1298406.40	0.44	24032.98	24.03
2	102532.45	6.40	656207.69	0.22	12146.14	12.15
1	104714.49	3.20	335086.37	0.11	6202.31	6.20
∑= P. Ed.	387689.73	$\sum Pi \times hi^k$	2945438.11	1.00	54518.87	54.52
En la dirección Y						
4	45192.12	14.51	655737.65	0.22	12137.44	12.14
3	135250.67	9.60	1298406.40	0.44	24032.98	24.03
2	102532.45	6.40	656207.69	0.22	12146.14	12.15
1	104714.49	3.20	335086.37	0.11	6202.31	6.20
∑= P. Ed.	387689.73	$\sum Pi \times hi^k$	2945438.11	1.00	54518.87	54.52

1.3) Análisis dinámico

Para el análisis dinámico se ha definido el espectro de respuesta en la dirección X e Y. Se ha empleado el método de superposición espectral considerando como criterio la combinación cuadrática completa (CQC) de los valores calculados para cada modo. Se ha trabajado con un amortiguamiento y excentricidad del diafragma del 5%. Luego se ha corrido el modelo realizando el chequeo modal y espectral. Para los modos de vibración de la estructura se tomaron en cuenta las consideraciones:

- El número mínimo de modos es de 3 (dos de traslación uno y de rotación).
- En cada dirección se han considerado aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas ha sido por lo menos el 90 % de la masa total.

Figura 154.

Espectro de respuesta en la dirección a) X, b) Y, del módulo I

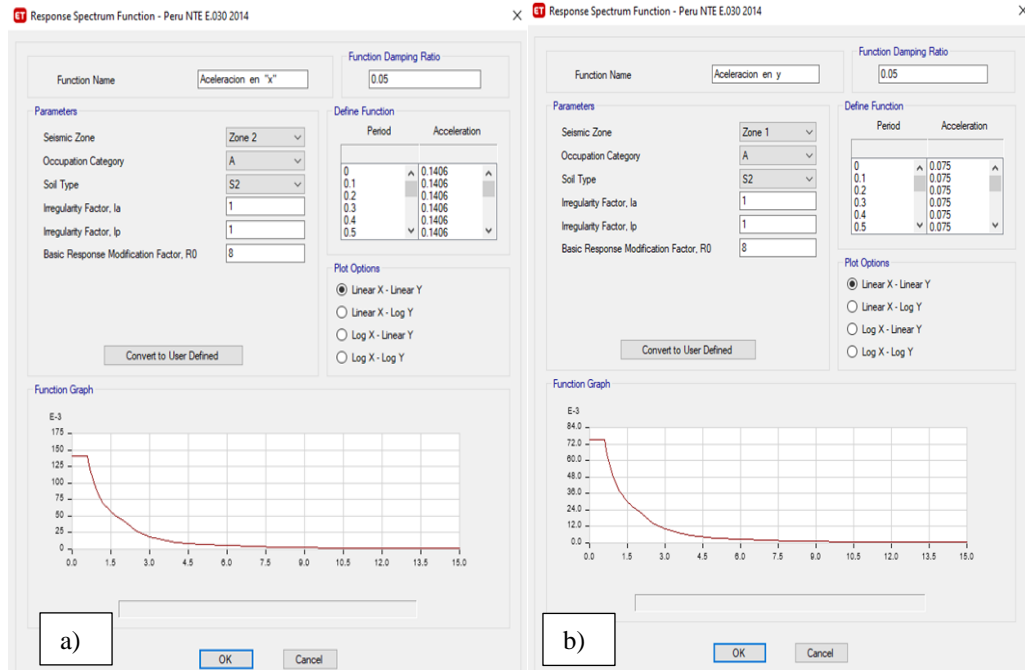


Figura 155.

Modos de vibración a) Modo 1 traslación, b) Modo 2 rotación, c) Modo 3 traslación, módulo I

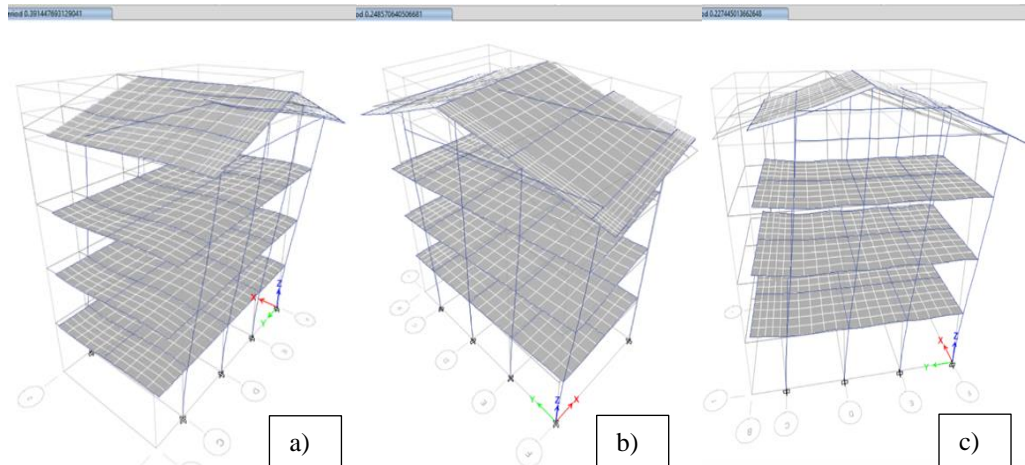


Tabla 43.

Periodos y masa participativa de cada modo de vibración, módulo I

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	0.391	0.775	3.128E-06	0	0.775	3.128E-06	0	1.972E-06	0.1461	0.0055	1.972E-06	0.1461	0.0055
Modal	2	0.249	0.0051	0.0085	2.102E-06	0.7802	0.0085	2.315E-06	0.0021	0.0005	0.799	0.0021	0.1466	0.8045
Modal	3	0.227	2.893E-05	0.8052	0.0003	0.7802	0.8137	0.0003	0.1159	3.279E-06	0.0086	0.118	0.1466	0.8131
Modal	4	0.1	0.1283	1.656E-05	1.049E-05	0.9086	0.8137	0.0003	1.046E-05	0.2791	0.0048	0.118	0.4258	0.8179
Modal	5	0.091	9.612E-07	0.005	0.0283	0.9086	0.8187	0.0286	0.0012	0	0	0.1191	0.4258	0.8179
Modal	6	0.085	0	0.0048	0.0268	0.9086	0.8234	0.0554	0.0849	0	0.000006121	0.204	0.4258	0.8179
Modal	7	0.084	5.121E-07	0.0013	0.0046	0.9086	0.8247	0.0599	0.0137	3.001E-06	0	0.2177	0.4258	0.8179
Modal	8	0.084	0	0.0003	4.171E-05	0.9086	0.825	0.06	0.0006	8.661E-07	0	0.2184	0.4258	0.8179
Modal	9	0.083	1.04E-06	0	0.0162	0.9086	0.825	0.0762	0.0107	5.537E-06	0.00000438	0.2291	0.4258	0.8179
Modal	10	0.071	0.0005	0.0932	0.0016	0.9091	0.9182	0.0778	0.2463	0.0014	0.0045	0.4753	0.4272	0.8224
Modal	11	0.067	0.0079	0.0043	0.0001	0.917	0.9225	0.0779	0.0121	0.018	0.1044	0.4875	0.4452	0.9268
Modal	12	0.064	0	2.466E-05	0.2024	0.917	0.9225	0.2803	0.0025	6.177E-06	0	0.49	0.4452	0.9268
Modal	13	0.063	8.997E-07	0.0001	9.298E-06	0.917	0.9226	0.2803	0.0026	0	0.00001948	0.4926	0.4452	0.9269
Modal	14	0.063	0	6.993E-07	0.0433	0.917	0.9226	0.3237	0.0008	8.259E-07	0.000001979	0.4934	0.4452	0.9269
Modal	15	0.062	0	1.908E-05	0.0566	0.917	0.9226	0.3802	0.0007	5.387E-06	0	0.4941	0.4452	0.9269

Nota: Se muestra los periodos y la masa participativa de cada uno de los modos, del modelo, en cada dirección se han considerado aquellos modos de vibración cuya suma de masa efectiva ha sido por lo menos 90% de la masa total.

Los desplazamientos máximos absolutos y relativos del análisis sísmico del módulo I, así como las verificaciones sugeridas en la norma E.030 se muestran en las Fig. 134 y Fig. 135, donde se puede observar que el desplazamiento absoluto de la estructura por carga de sismo en dirección X es 9.01 mm, y en dirección Y es 2.76 mm; así mismo, las derivas relativas máximas por piso en la dirección X e Y son menores a 0.007, por tanto, cumplen con las especificaciones de la norma E.030 (MVCS, 2020).

Figura 156.

Desplazamientos máximos absolutos en dirección X e Y, módulo I

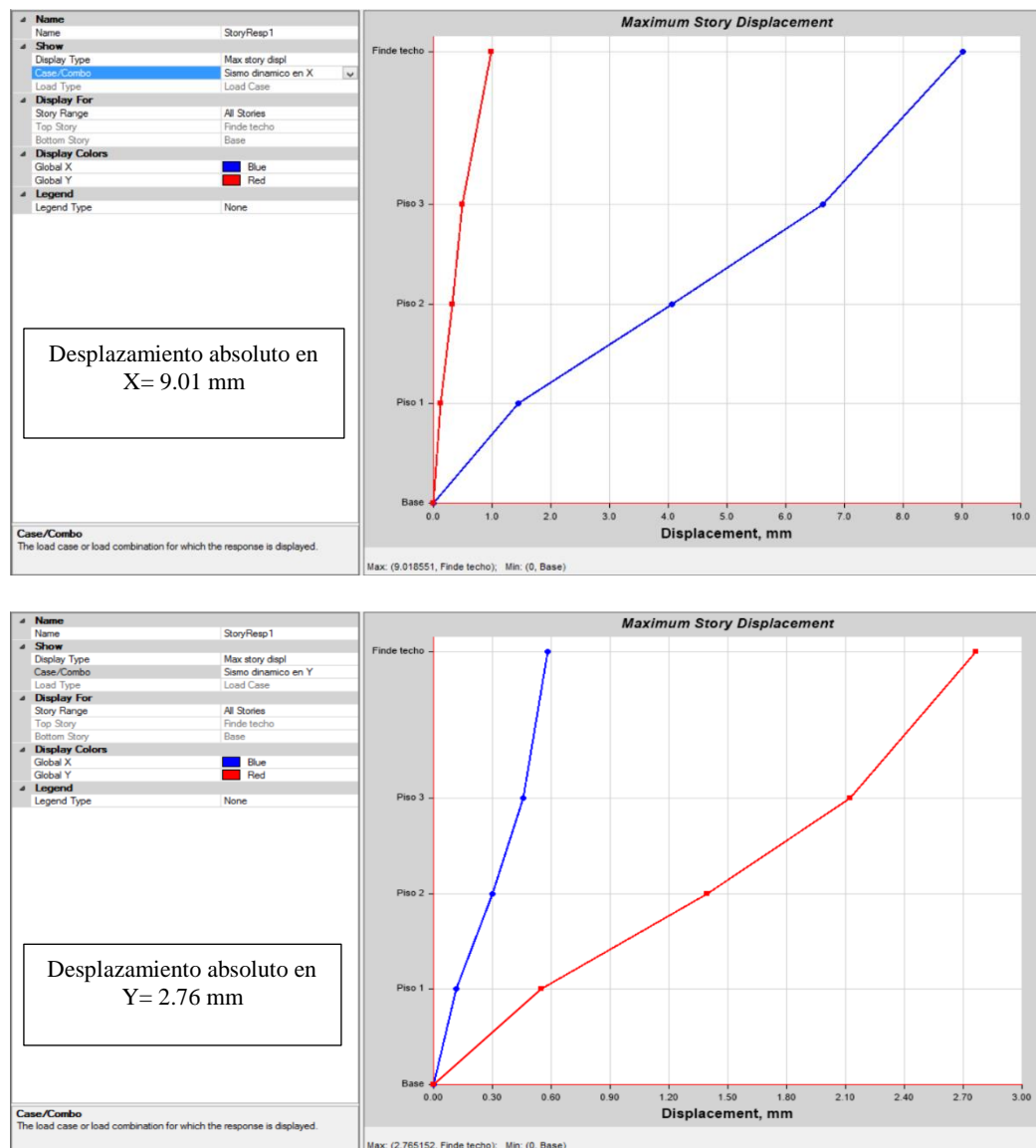


Figura 157.

Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo I

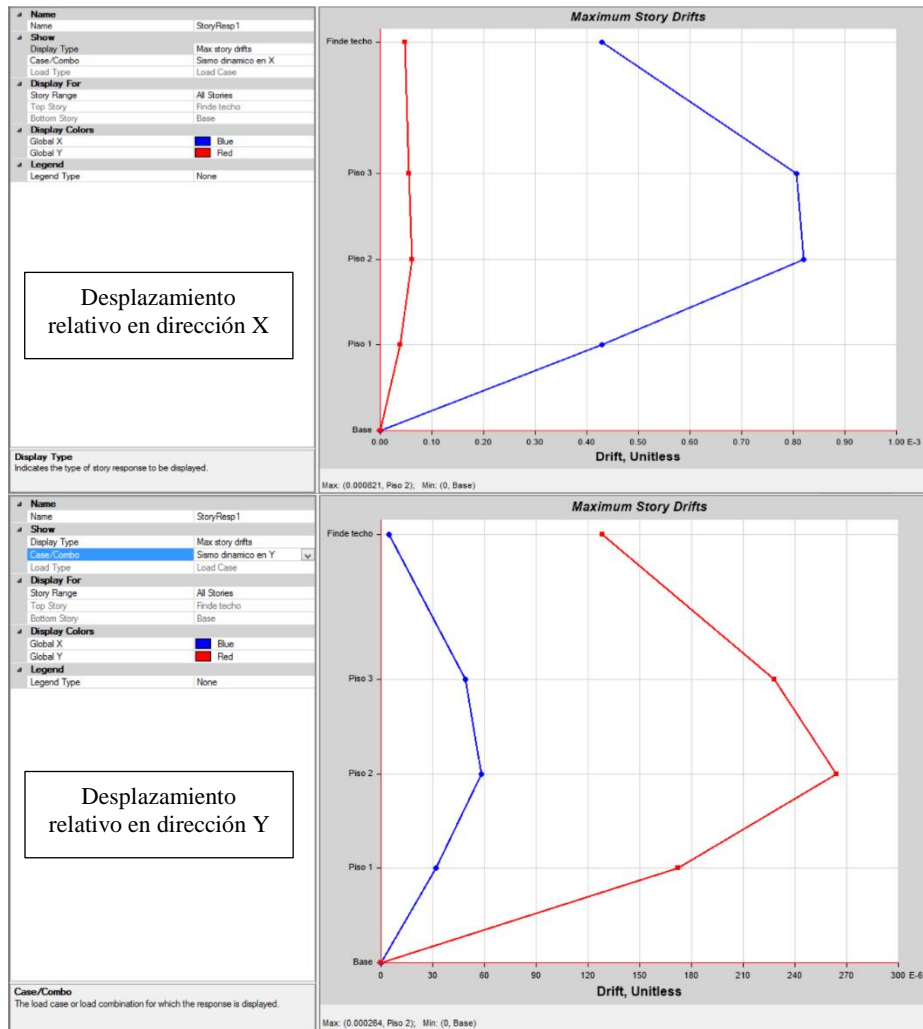


Tabla 44.

Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo I

Pisos	Caso de carga	Dirección	Deriva	Rx= 8	
				Deriva	*0.75*R < 0.007
Deriva máximas por piso en la dirección X					
Fin techo	SIS Dinam.	X	0.00043	0.002574	Si
Piso 3	SIS Dinam.	X	0.00081	0.00483	Si
Piso 2	SIS Dinam.	X	0.00082	0.004926	Si
Piso 1	SIS Dinam.	X	0.00043	0.002574	Si
Deriva máximas por piso en la dirección Y					
Fin techo	SIS Dinam.	Y	0.000128	0.000768	Si
Piso 3	SIS Dinam.	Y	0.000228	0.001368	Si
Piso 2	SIS Dinam.	Y	0.000264	0.001584	Si
Piso 1	SIS Dinam.	Y	0.000172	0.001032	Si

La norma E.030 (MVCS, 2020) establece que la cortante dinámica debe ser mayor o igual al 80% de la cortante estática para edificaciones regulares, y 90% para edificaciones irregulares. La cortante dinámica en la dirección X equivale a 42.86, lo que representa el 79% de la cortante estática, 54.52, por tanto, fue necesario incrementar la cortante, en cambio en la dirección Y la cortante dinámica ascendía a 44.50, lo que representa el 82% de la cortante dinámica (54.52), cumpliendo lo normado. Para amplificar la cortante dinámica en la dirección X, se utilizó el factor F_{ax} igual a 1.02, este no afecta a los desplazamientos, solo al diseño.

Tabla 45.

Cortante estática y dinámica en la dirección X e Y del módulo I

Dirección	Cortante	F	$V_{din} \geq 80\% V_{est}$		Factor de amplificación
En X	Estática	54.52			
En X	Dinámica	42.86	79%	No cumple	1.02
En Y	Estática	54.52			
En Y	Dinámica	44.50	82%	Cumple	

1.4) Análisis Pushover

El método Pushover consiste en aplicar una distribución vertical de cargas laterales a la estructural, mismas que deben incrementarse monótonamente hasta que la estructura alcance el máximo desplazamiento. Primero se ha realizado el análisis estático convencional con la finalidad de extraer características estáticas de la estructura, para luego seguir el procedimiento dado por el FEMA 356. En la Fig. 136 se muestran los valores de las fuerzas laterales en el sentido X e Y, estas cargas se asignaron al modelo estructural (módulo I) para la ejecución del análisis Pushover Fig. 137.

Tabla 46.

Fuerzas laterales en el sentido X e Y para el análisis Pushover, módulo I

Nivel	Pi (kg)	hi(m)	Pi × hi ^k	ai	Fi (kg)	Fi (ton)
En la dirección X						
4	45192.12	14.51	655737.65	0.22	12137.44	12.14
3	135250.67	9.60	1298406.40	0.44	24032.98	24.03
2	102532.45	6.40	656207.69	0.22	12146.14	12.15
1	104714.49	3.20	335086.37	0.11	6202.31	6.20
∑= P. Ed.	387689.73	$\sum Pi \times hi^k$	2945438.11	1.00	54518.87	54.52
En la dirección Y						
4	45192.12	14.51	655737.65	0.22	12137.44	12.14
3	135250.67	9.60	1298406.40	0.44	24032.98	24.03
2	102532.45	6.40	656207.69	0.22	12146.14	12.15
1	104714.49	3.20	335086.37	0.11	6202.31	6.20
∑= P. Ed.	387689.73	$\sum Pi \times hi^k$	2945438.11	1.00	54518.87	54.52

Figura 158.

Fuerzas laterales en el sentido X e Y para el análisis Pushover, módulo I

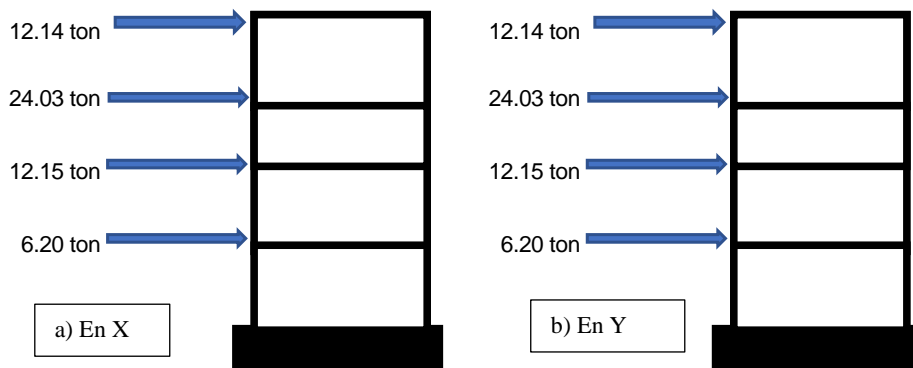
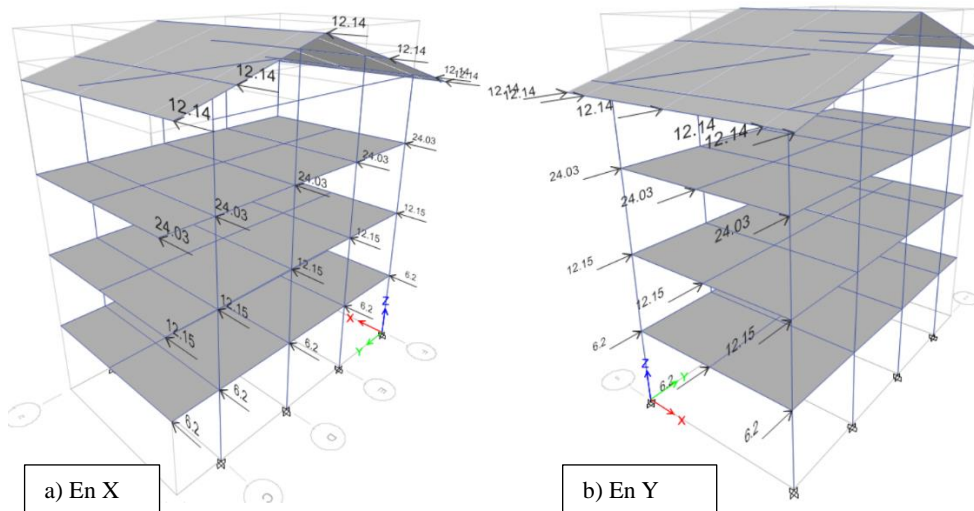


Figura 159.

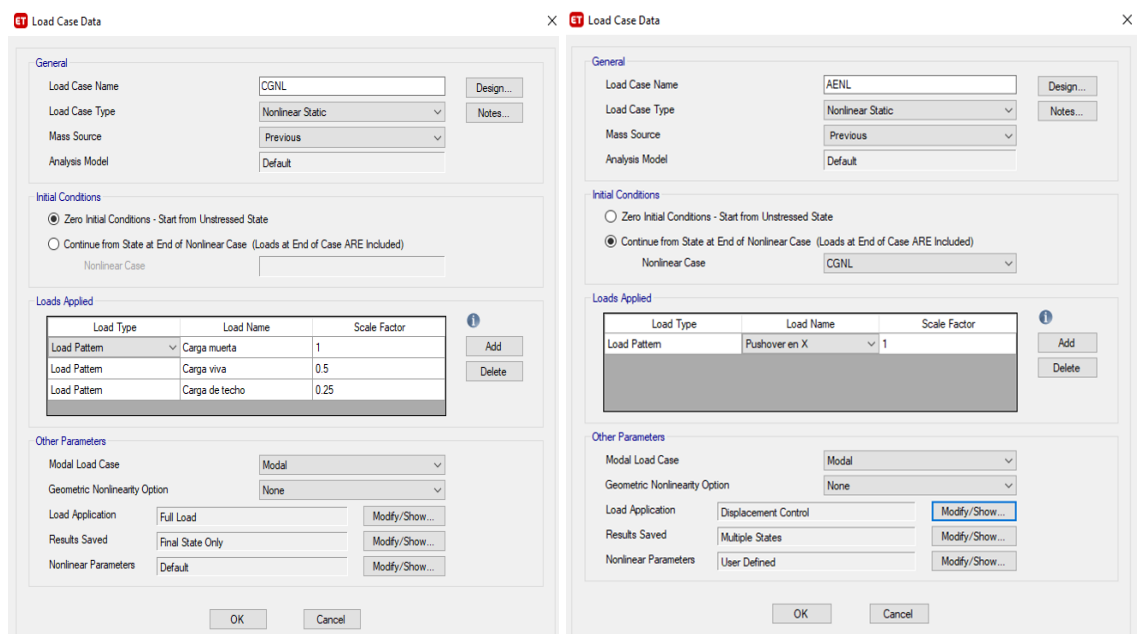
Asignación de cargas laterales Pushover, en el sentido X e Y, módulo I



Para el análisis estático no lineal se crean dos estados de carga no lineales: CGNL (carga gravitacional no lineal) y AENL (análisis estoico no lineal). La creación de estas cargas genera un orden lógico para desarrollar el NSP, primero se aplican las cargas gravitacionales, una vez que estas hayan deformado la estructura y disminuido su rigidez, entra el proceso AENL, de esta manera se está aplicando la carga lateral monotónica hasta que un nudo extremo del último piso alcance un desplazamiento máximo.

Figura 160.

Creación de la carga CGNL y AENL para el análisis Pushover



Nota: Para la aplicación de la carga “Load Application” se da clic en “Modify / Show”. Se selecciona “Displacement Control”, porque se va a controlar el desplazamiento. En “Use Monitored Displacement”, el máximo desplazamiento que se va monitorear es de 0.50 m. En “Monitored Displacement”, se va a ver el desplazamiento U1, fin de techo y el punto (Label =3).

El procedimiento no lineal sucede en puntos discretos predefinidos (hinges), la posibilidad de formarse rótulas plásticas a flexión en los extremos de las vigas (M3) y a flexo compresión, en los extremos de las columnas (P-M2-M3). Las rótulas en vigas se asignaron a una distancia “n” tal que la formación no se realice dentro de la unión, sino cerca de la columna.

Se asignaron rótulas en las vigas principales 0.085 para el inicio y 0.915 para el final (Eje D-E). Se asignaron rótulas en las vigas principales 0.109 para el inicio y 0.891 para el final (Eje C-F). Se asignaron rótulas en las vigas secundarias 0.180 para el inicio y 0.820 para el final (Eje D-E). Se asignaron rótulas en las vigas secundarias 0.18 en el inicio y 0.795 para el final (Eje C-D). Se asignaron rótulas en las vigas amarre de 0.05 para el inicio y 0.95 para el final.

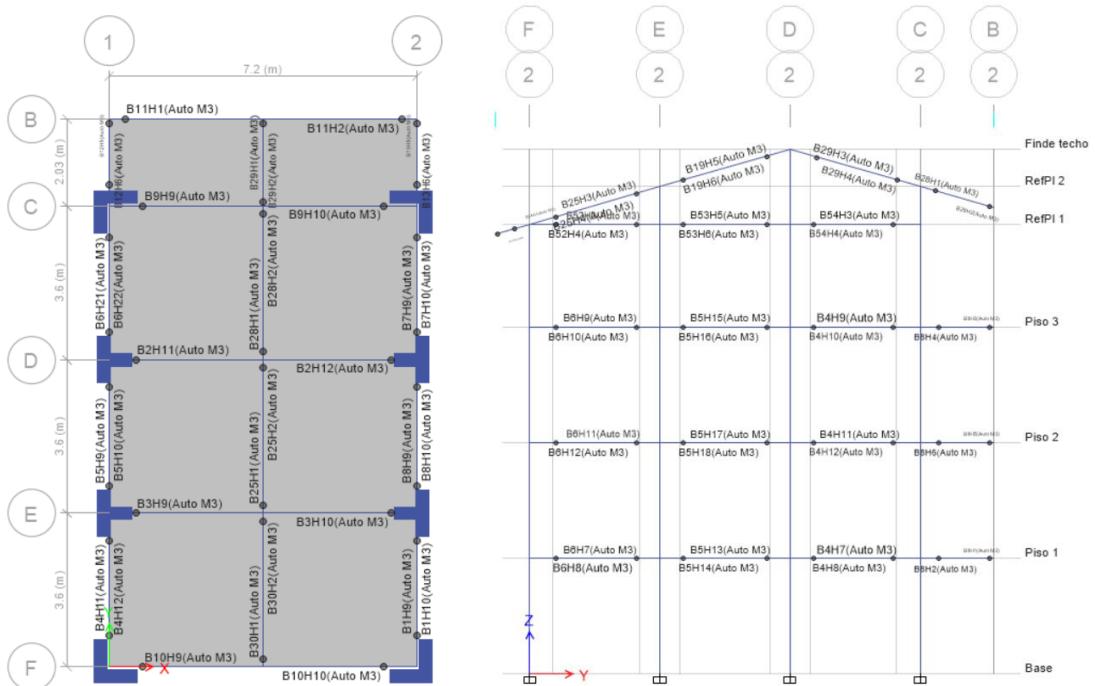
Tabla 47.

Distancia de asignación de las rótulas plásticas en vigas, módulo I

Rótulas plásticas	Eje D-E	Eje C-F	Eje D-E	Eje C-D	Eje E-F
Viga	VP-101 (0.30x0.50)	VP-102 (0.30x0.50)	VA-1 (0.30x0.70)	Viga secundaria	Viga secundaria
Cara de la columna (m)	0.80	1.00	0.70		
Eje + 0.1 m	0.50	0.60	0.45		
Luz libre de la viga (m)	5.90	5.50	2.50		
LP inicio	0.085	0.109	0.180	0.180	0.205
LP final	0.915	0.891	0.820	0.795	0.820

Figura 161.

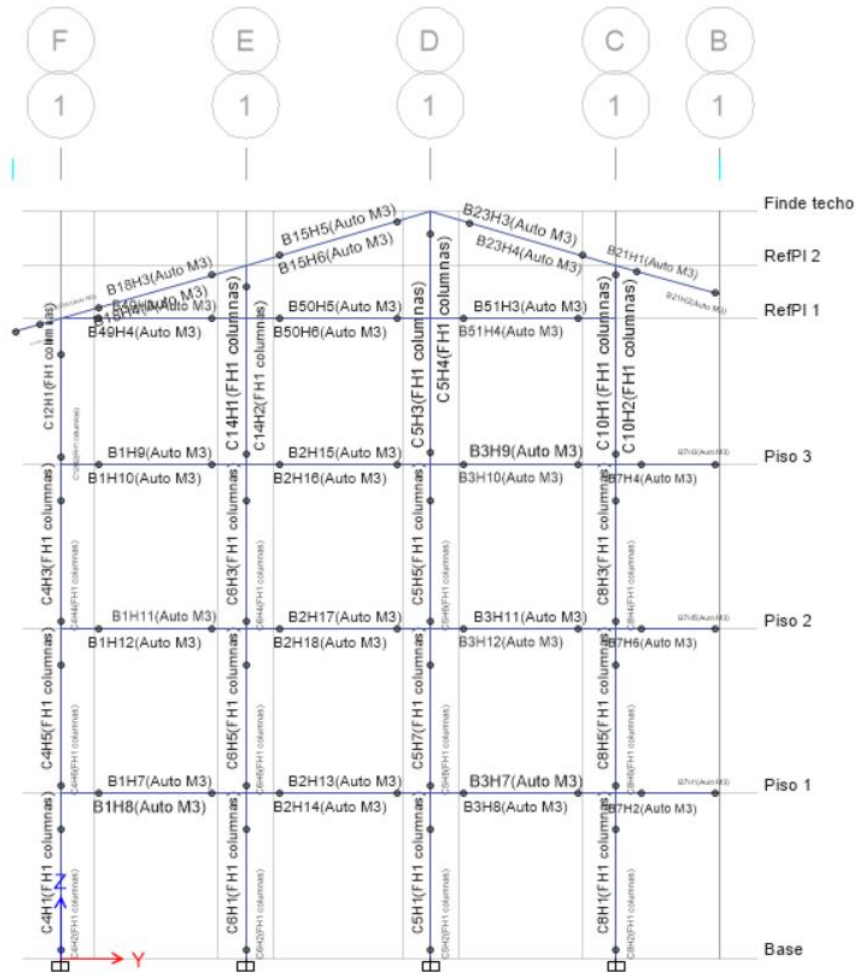
Asignación de rótulas plásticas en todas las vigas, módulo I



Se busca que las rótulas plásticas se formen en las vigas antes que en las columnas. Para la asignación de rótulas plásticas en columnas por medio del menú “Define/ Section Properties/ Frame/Wall Nolinear Hinges”, se seleccionaron todas las columnas y en “Asing/Frame/Hings” se realizó la asignación automática.

Figura 162.

Asignación de rótulas plásticas en columnas, módulo I



Una vez establecido los casos de carga no lineales con el patrón de fuerzas laterales se corre el modelo. Para generar y visualizar la curva de capacidad en la dirección “X” o “Y” se hace clic sobre el comando “Display/Show Static Pushover Curve”. En el software se puede visualizar la curva de capacidad en la dirección X y en la dirección Y.

En la dirección X, la estructura alcanza su capacidad última cuando se logra un desplazamiento de 27.32 cm y un cortante basal de 335.16 ton. Es decir, se detiene el análisis cuando se logra un desplazamiento máximo de 27.32 cm, se considera este el valor con el que la estructura en estudio, módulo I, alcanza su capacidad máxima y colapsa. Así mismo, se muestra las rótulas plásticas de los elementos estructurales del módulo I, realizado en el programa Etabs 2018.

Figura 163. Curva de capacidad en dirección X, módulo I

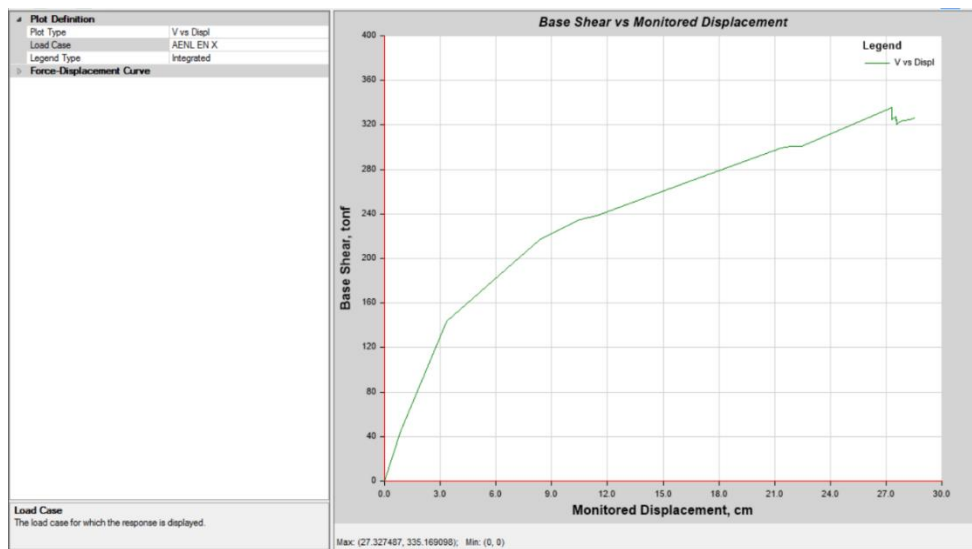


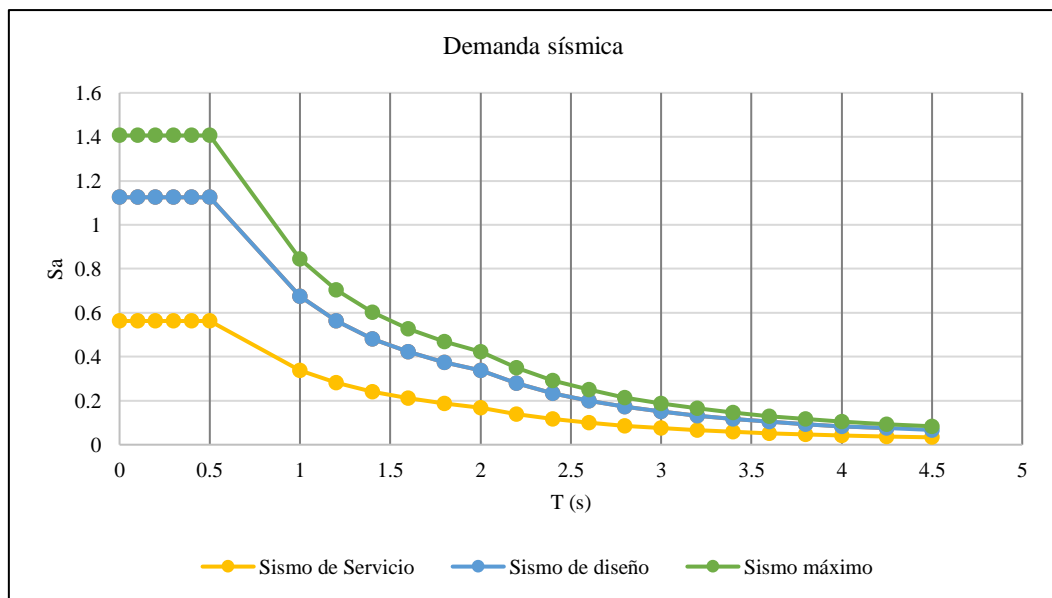
Figura 164. 23 – primeros step, en la dirección X, módulo I

Setp	Monitored Displ cm	Base Force tont	A - B	B - C	C - D	D - E	>E	A - IO	IO - LS	LS - CP	>CP	Total
0	0	0	252	0	0	0	0	252	0	0	0	252
1	0.8609	44.7416	251	1	0	0	0	252	0	0	0	252
2	3.3528	143.4483	234	18	0	0	0	252	0	0	0	252
3	8.3436	216.6521	213	39	0	0	0	251	1	0	0	252
4	10.3807	234.1485	210	42	0	0	0	245	7	0	0	252
5	10.8048	236.5556	210	41	0	0	1	244	8	0	0	252
6	11.4174	238.5435	208	42	0	0	2	244	7	1	0	252
7	16.5803	270.0776	188	56	5	0	3	220	24	8	0	252
8	21.34	299.3242	184	60	4	0	4	217	27	7	1	252
9	21.8171	300.7662	182	62	4	0	4	217	27	6	2	252
10	22.4518	301.0271	181	63	4	0	4	217	27	5	3	252
11	27.3275	335.1691	172	69	5	2	4	214	29	3	6	252
12	27.328	324.9606	172	69	2	5	4	214	27	5	6	252
13	27.5169	327.7069	172	68	3	5	4	214	27	5	6	252
14	27.5174	323.7165	172	68	2	6	4	214	26	6	6	252
15	27.5592	324.5651	172	67	3	6	4	214	26	6	6	252
16	27.5597	322.7115	172	67	2	7	4	214	25	7	6	252
17	27.5885	323.1134	172	66	3	7	4	214	25	7	6	252
18	27.589	320.4625	172	66	2	8	4	214	24	8	6	252
19	27.7151	322.4966	172	66	2	8	4	214	24	8	6	252
20	27.9041	324.256	172	66	2	8	4	214	24	8	6	252
21	28.2822	324.7106	171	66	2	9	4	212	25	9	6	252
22	28.5404	326.0979	171	64	4	9	4	212	23	11	6	252
23	28.5406	326.0995	171	64	4	9	4	212	23	11	6	252

Para definir el punto de desempeño se debe conocer la curva de capacidad (espectro de capacidad) y el espectro de demanda, este en base al ATC 40, debe definirse para un sismo de servicio (SS), sismo de diseño (SD) y sismo máximo (SM), donde el sismo de servicio representa el 0.5 del SD, y el sismo máximo es el 1.25 del SD. Tomando en cuenta ello, la representación de la demanda sísmica está dada por:

Figura 165.

Espectro de demanda para un sismo de servicio, diseño y máximo



Definida la curva de capacidad y el espectro de demanda, se puede determinar el punto de desempeño por el FEMA 440 y por el ATC 40 para un sismo de servicio, sismo de diseño y sismo máximo. En la dirección X, según el punto de desempeño para un sismo por FEMA 440 AL, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura va a soportar un cortante de 236.45 ton, y desplazamiento espectral “S_d” de 7.22 cm (Fig. 144). Según el punto de desempeño para un sismo de servicio, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 184.97 ton, con un desplazamiento espectral “S_d” de 4.12 cm (Fig. 145). Según el punto de desempeño para un sismo de diseño, con un amortiguamiento inicial

de 5%, la estructura soporta una cortante de 236.48 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 7.23 cm (Fig. 146). Según el punto de desempeño para un sismo máximo, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 253.42 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 9.29 cm (Fig. 147).

Figura 166.

Punto de desempeño en la dirección X para un sismo definido por FEMA 440 A1, módulo I

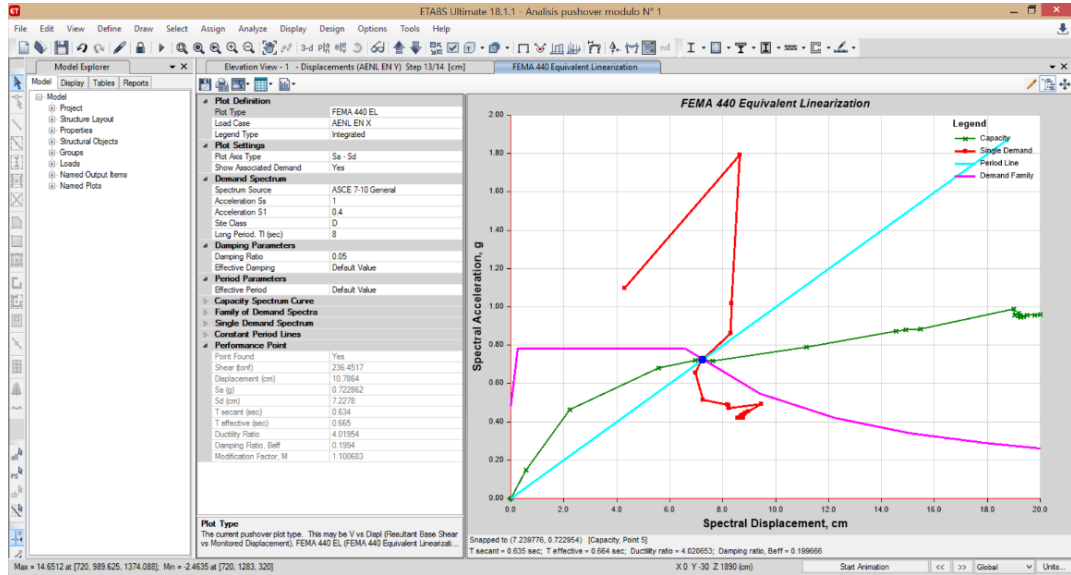


Figura 167.

Punto de desempeño en la dirección X para un sismo de servicio, módulo I

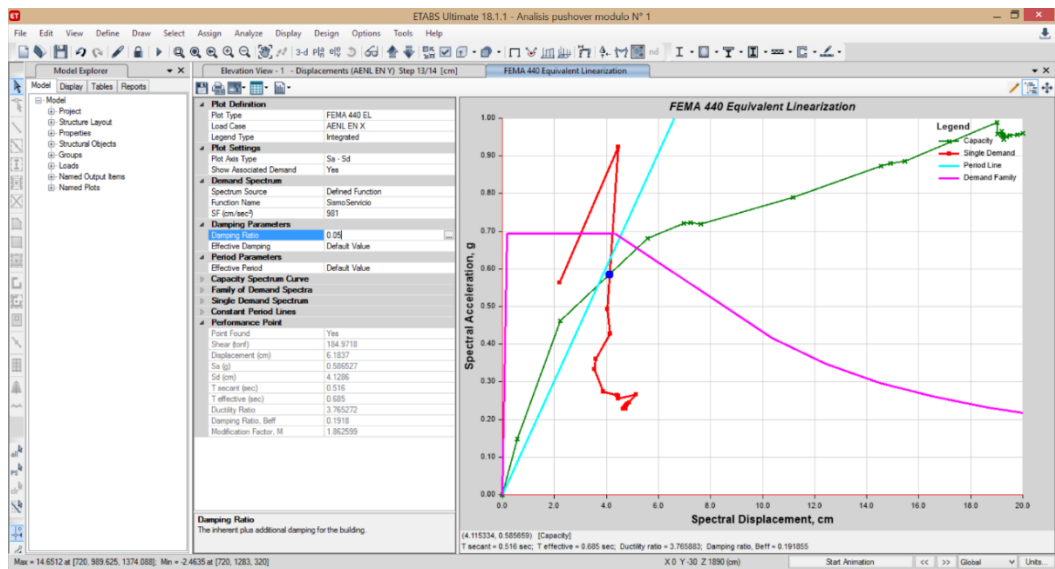


Figura 168.

Punto de desempeño en la dirección X para un sismo de diseño, módulo I

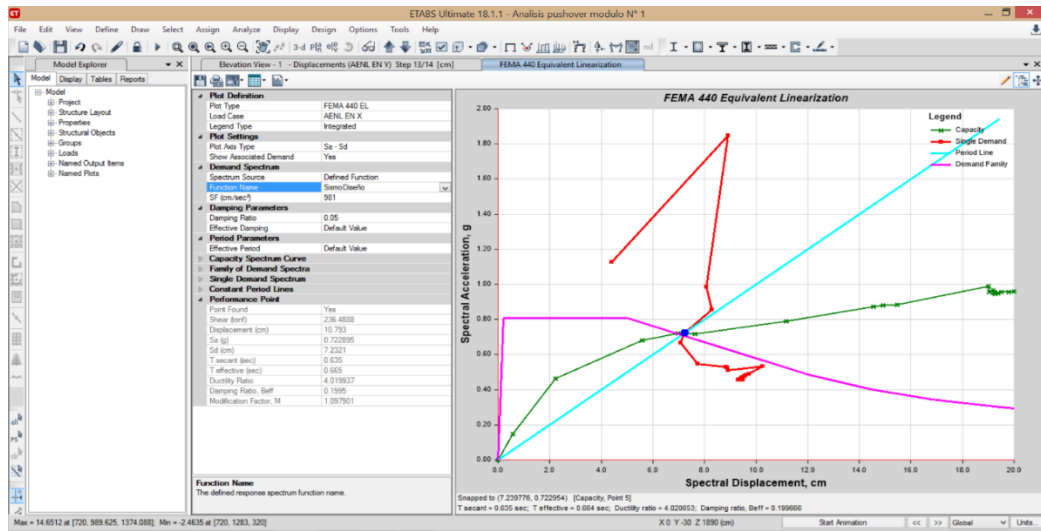
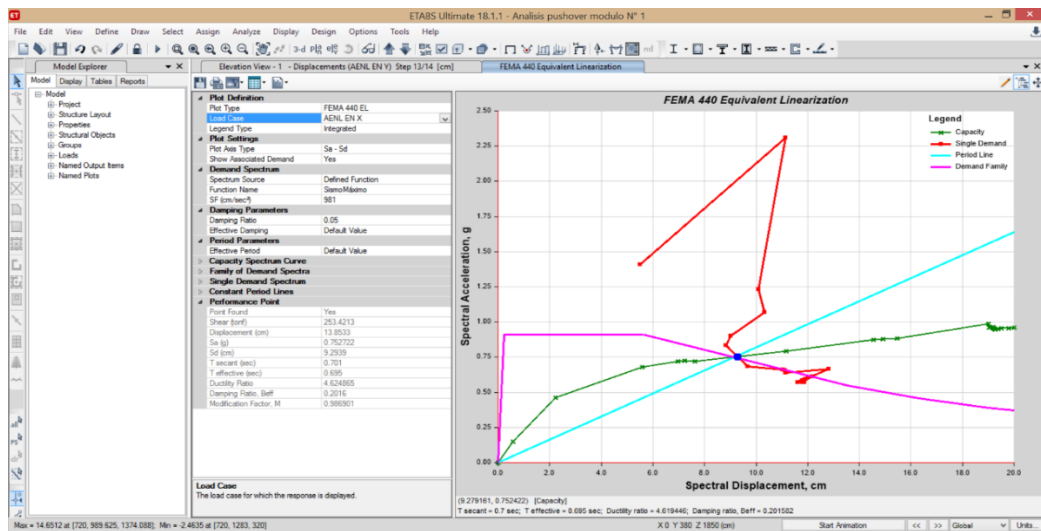


Figura 169.

Punto de desempeño en la dirección X para un sismo máximo, módulo I



En la dirección Y, la estructura alcanza su capacidad última cuando se alcanza un desplazamiento de 14.35 cm y una cortante basal de 431.76 ton. Es decir, se detiene el análisis cuando se logra un desplazamiento máximo de 14.35 cm, se considera este el valor con el que la estructura en estudio, módulo I, alcanza su capacidad máxima y colapsa. Así mismo, se muestra las rótulas plásticas de los elementos estructurales del módulo I, realizado en el programa Etabs 2018.

Figura 170.

Curva de capacidad de la estructura en dirección Y, módulo I

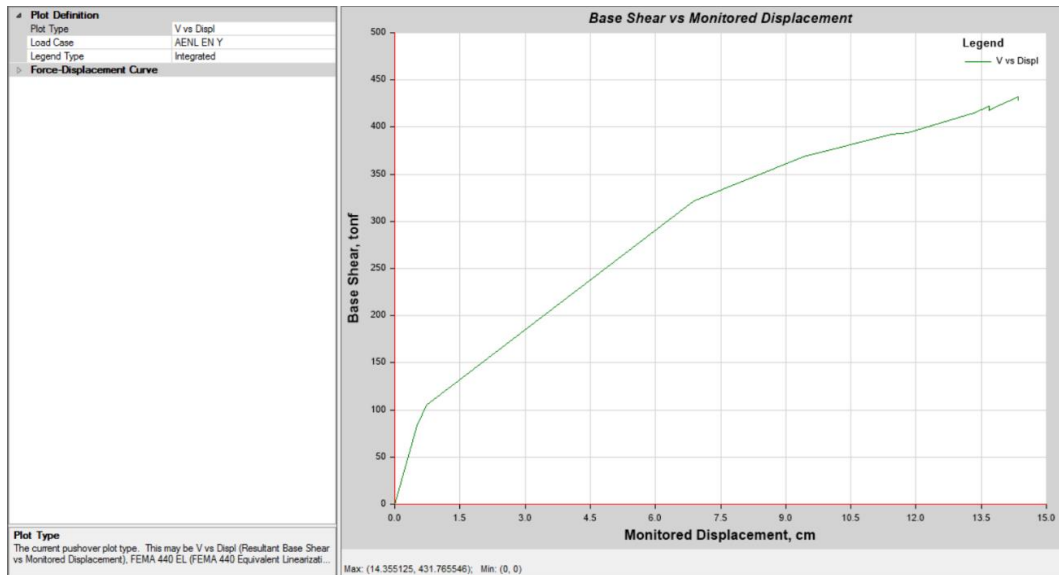


Figura 171.

Se observa (14 – primeros step), dirección Y, módulo I

Setp	Monitored Displ cm	Base Force tont	A - B	B - C	C - D	D - E	>E	A - IO	IO - LS	LS - CP	>CP	Total
0	0	0	252	0	0	0	0	252	0	0	0	252
1	0.5143	82.9887	250	2	0	0	0	252	0	0	0	252
2	0.7357	104.9244	218	34	0	0	0	252	0	0	0	252
3	6.8883	321.1624	193	59	0	0	0	232	20	0	0	252
4	9.4227	369.0447	187	61	0	0	4	208	44	0	0	252
5	11.4206	391.8795	173	71	4	0	4	208	36	8	0	252
6	11.8162	394.1753	171	73	4	0	4	208	36	8	0	252
7	13.323	415.2723	165	77	5	1	4	208	34	10	0	252
8	13.3235	414.969	165	77	4	2	4	208	34	10	0	252
9	13.6867	422.1442	164	76	6	2	4	208	34	10	0	252
10	13.6872	417.9035	164	76	4	4	4	208	32	12	0	252
11	13.7324	419.6013	164	76	4	4	4	208	32	12	0	252
12	14.3551	431.7655	161	78	5	4	4	208	32	8	4	252
13	14.3556	428.4707	161	76	5	6	4	208	30	10	4	252
14	14.3587	428.6198	161	76	5	6	4	208	30	10	4	252

En la dirección Y, según el punto de desempeño para un sismo por FEMA 440 AL, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura va a soportar una cortante de 345.54 ton, y desplazamiento espectral “Sd” de 5.74 cm (Fig. 150). Según el punto de desempeño para un sismo de servicio, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 183.08 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 2.06 cm (Fig. 151). Según el punto de desempeño para un sismo

de diseño, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 349.73 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 5.90 cm (Fig. 152). Según el punto de desempeño para un sismo máximo, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 378.03 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 7.22 cm (Fig. 153).

Figura 172.

Punto de desempeño en la dirección Y para un sismo definido por FEMA 440 A1, módulo I

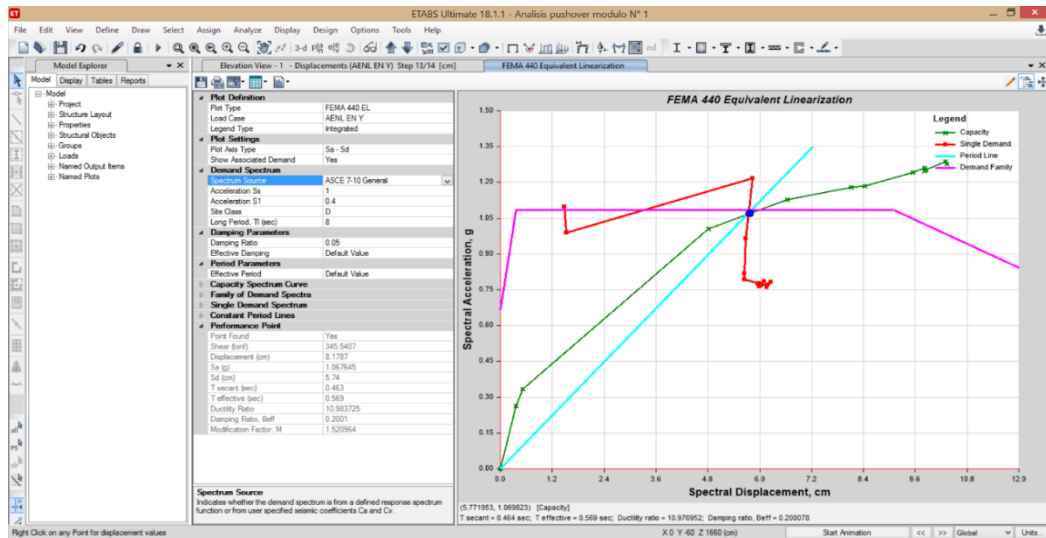


Figura 173.

Punto de desempeño en la dirección Y para un sismo de servicio, módulo I

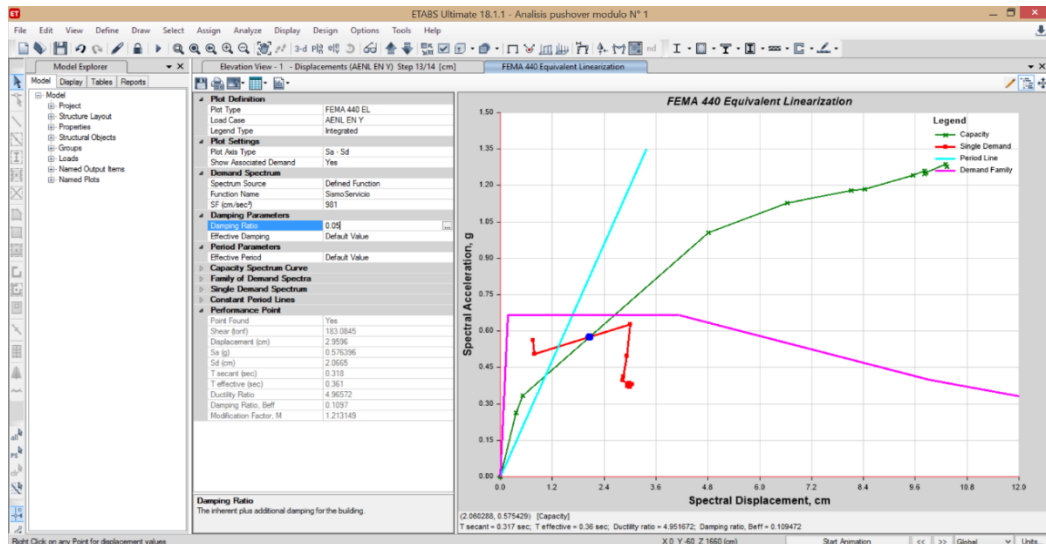


Figura 174.

Punto de desempeño en la dirección Y para un sismo de diseño, módulo I

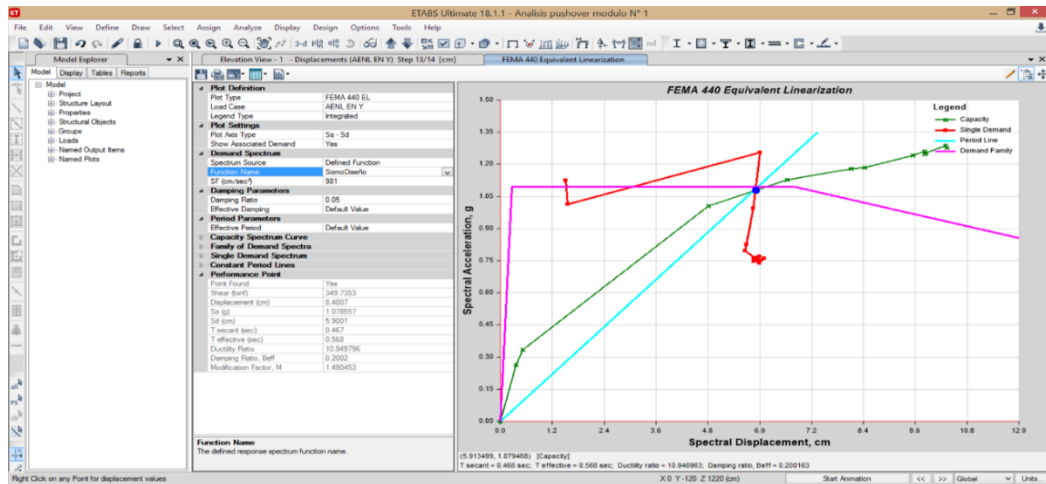
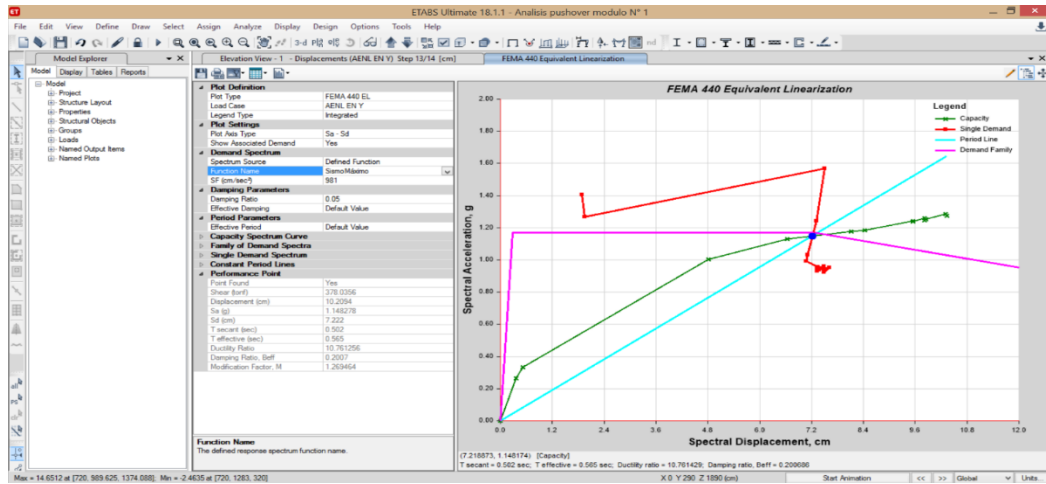


Figura 175.

Punto de desempeño en la dirección Y para un sismo máximo, módulo I



1.5) Identificación de rótulas plásticas o primeros puntos de colapso frente a un evento sísmico

En la dirección X, las primeras rótulas plásticas que se forman en la estructura es en el fin de techo en la viga B26, en el Eje (2-2). En el segundo step, se observa rótulas en las vigas y la primera rotula en la columna C13 en el (Eje 2-2). En el primer piso se forman las rótulas en todas las columnas (tercer step). En el quinto step, se observan las primeras rótulas plásticas que se encuentra en precolapso,

estas están en el primer piso en la columna C8, que se halla en el Eje (C-C). En el sexto step se visualiza que la segunda rotula plástica que se encuentra en precolapso está en el primer piso en la columna C5, que se halla en el Eje (D-D). En el séptimo step, se muestra la tercera rotula plástica que se encuentra en precolapso, está en el primer piso en la columna C6, que se halla en el Eje (E-E). En el octavo step, se visualiza la cuarta rotula plásticas que se encuentra en precolapso, que está en el primer piso en la columna C4, que se halla en el Eje (F-F).

Figura 176.

Primer step, eje X, módulo I

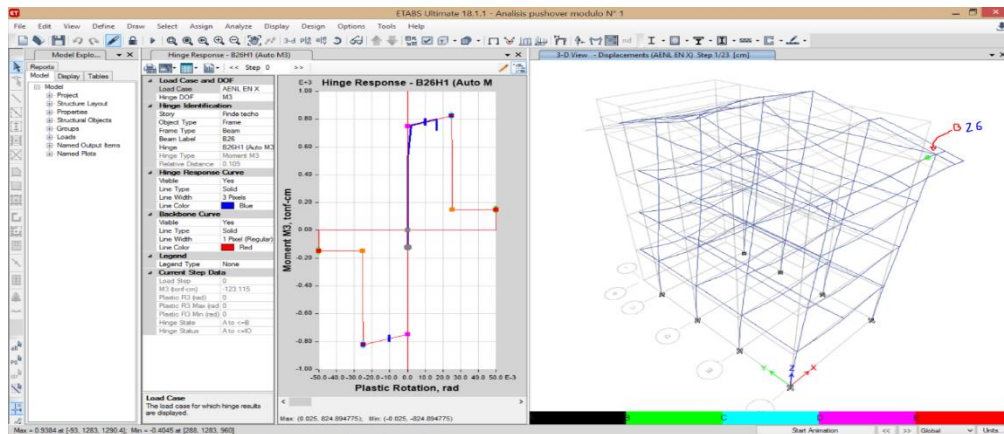


Figura 177.

Segundo step, eje X, módulo I

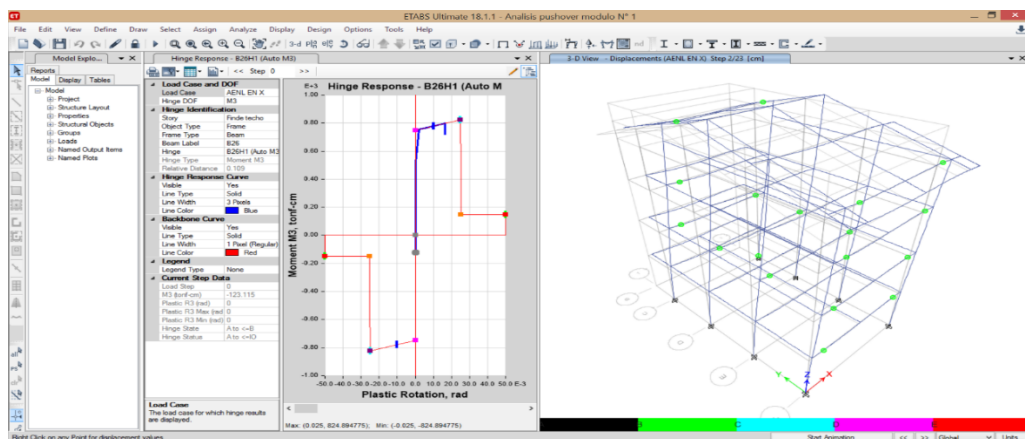


Figura 178.

Tercer step, eje X, módulo I

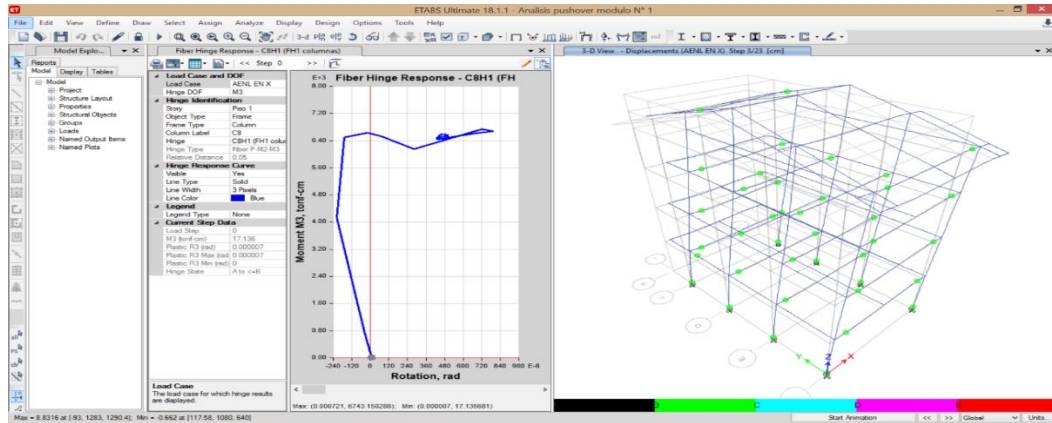


Figura 179.

Quinto step, eje X, módulo I

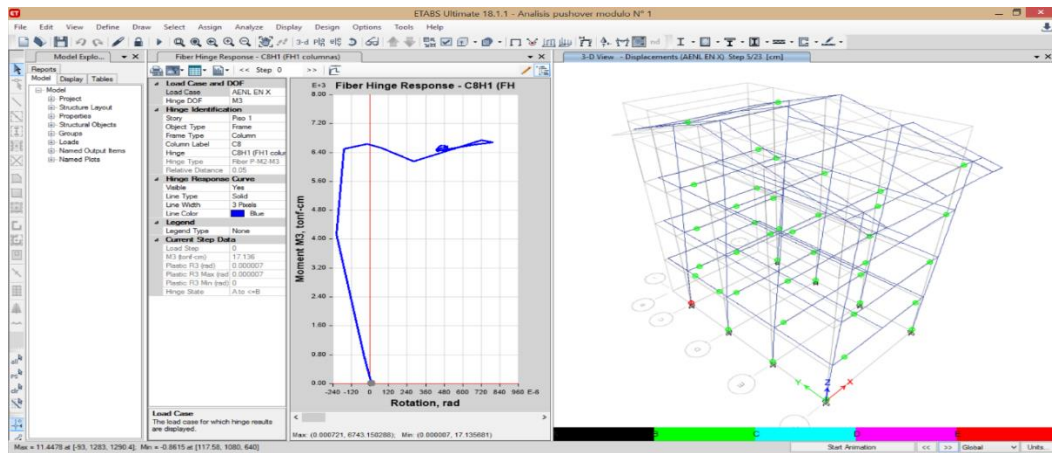


Figura 180.

Sexto step, eje X, módulo I

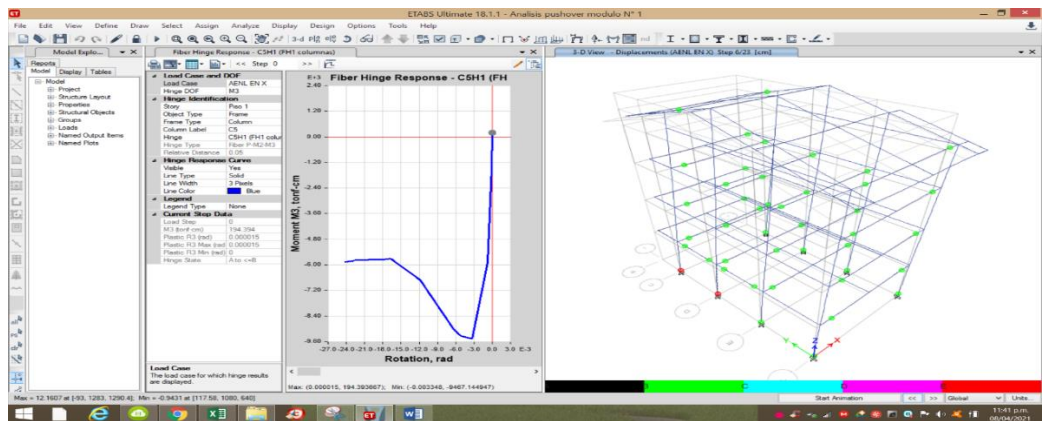


Figura 181.

Séptimo step, eje X, módulo I

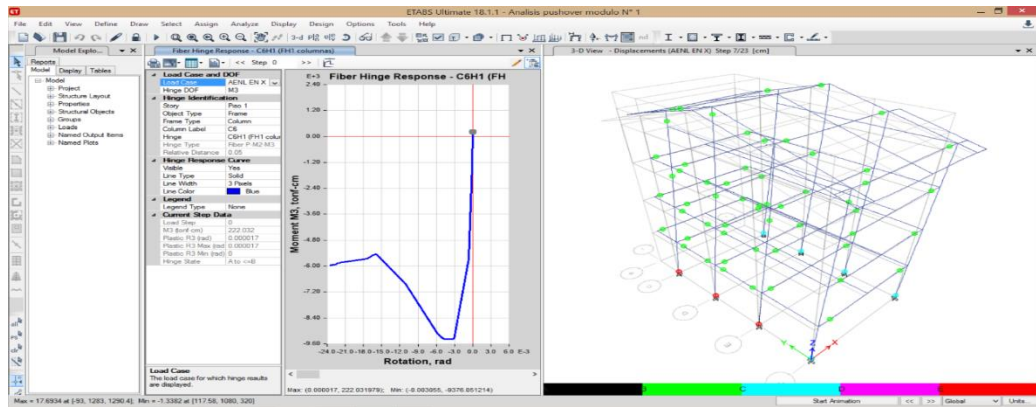


Figura 182.

Octavo step, eje X, módulo I

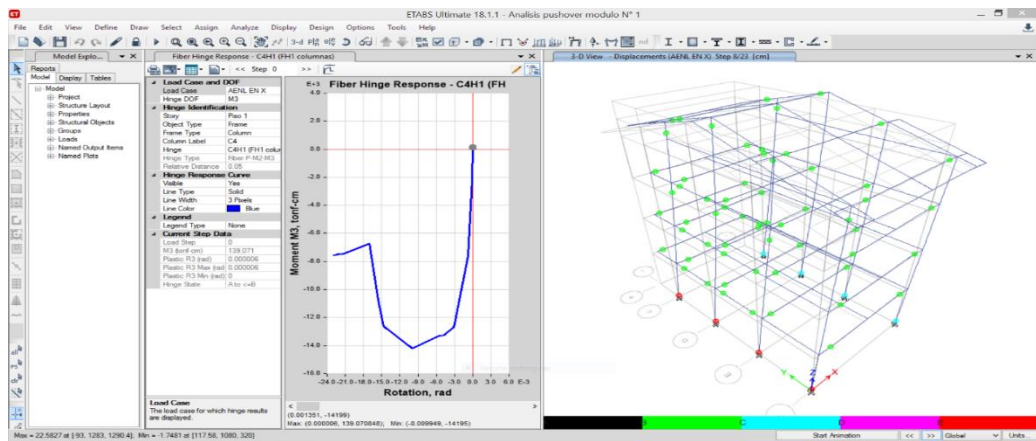
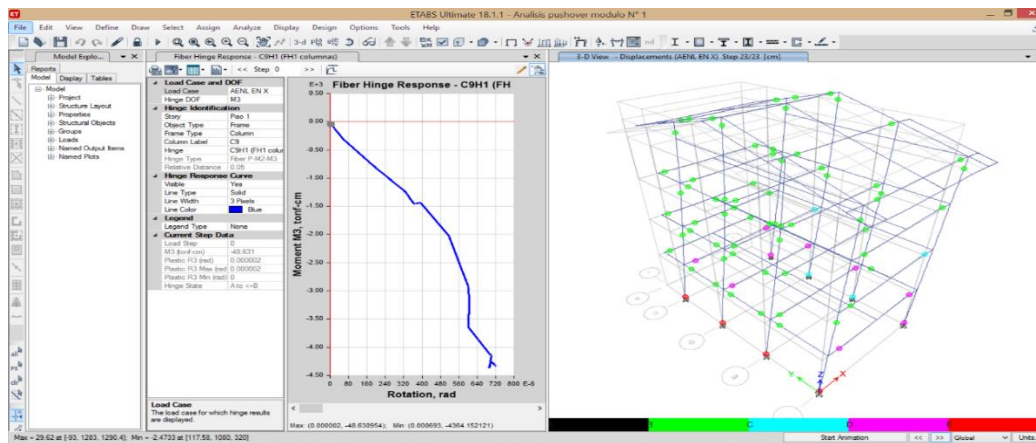


Figura 183.

Modelo estructural donde se muestran los 23 step, eje X, módulo I



En la dirección Y, las primeras rótulas plásticas que se forman en la estructura están en el segundo piso en las vigas B2 y B5, que se halla en el Eje (1-1 y 2-2).

En el segundo step, se observa rótulas en las vigas. Las primeras roturas que se forman en las columnas se encuentran en el primer piso (tercer step). En el cuarto step se observan las primeras rótulas plásticas que se encuentran en precolapso, estas están en el primer piso en la columna C5, C6, C2 y C3, en el eje (D-E).

Figura 184.

Primer step, eje Y, módulo I

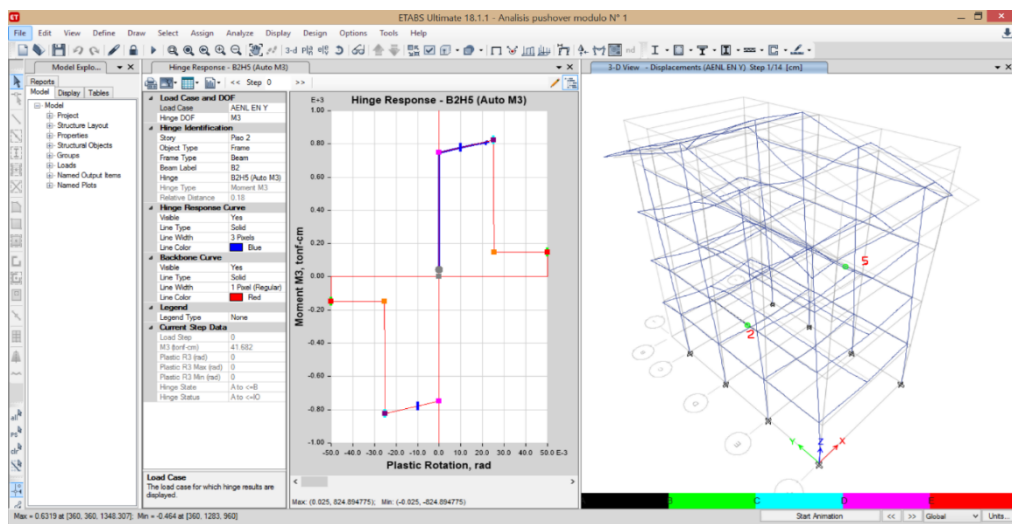


Figura 185.

Segundo Step, eje Y, módulo I

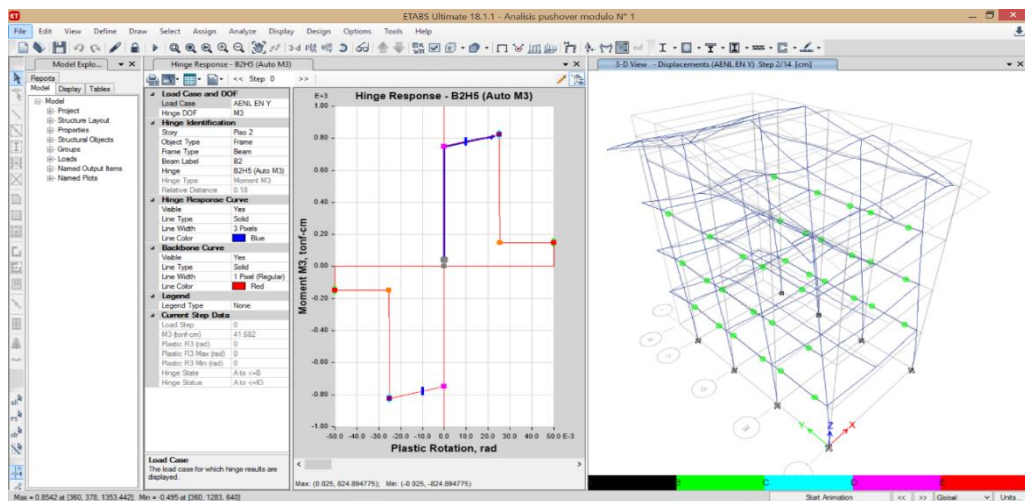


Figura 186.

Tercer step, eje Y, módulo I

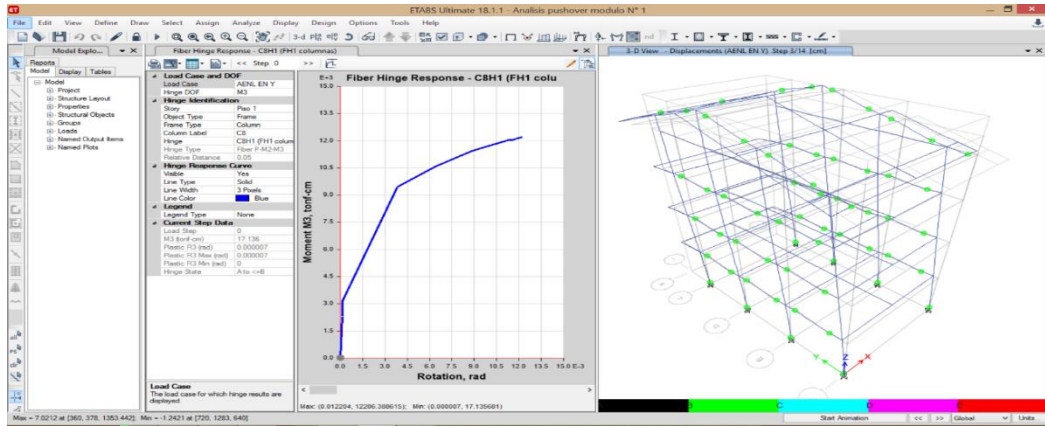


Figura 187.

Cuarto step, eje Y, módulo I

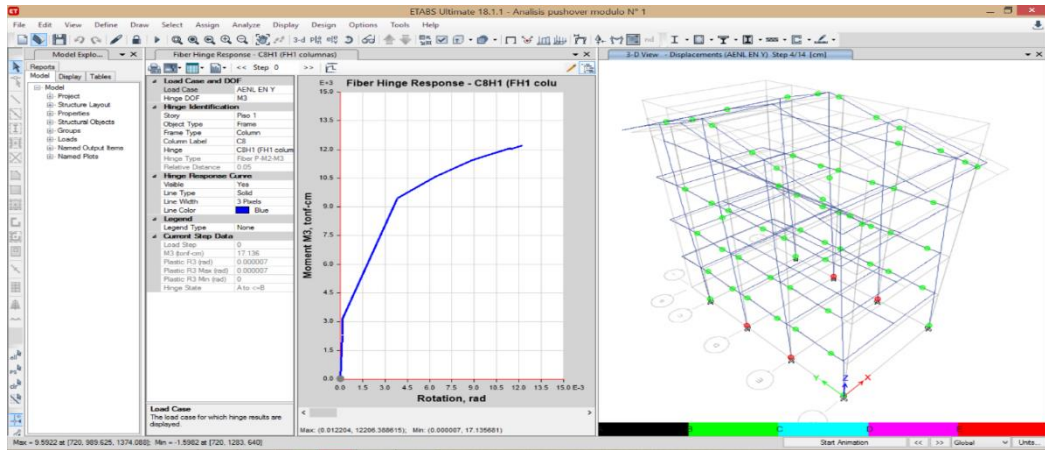
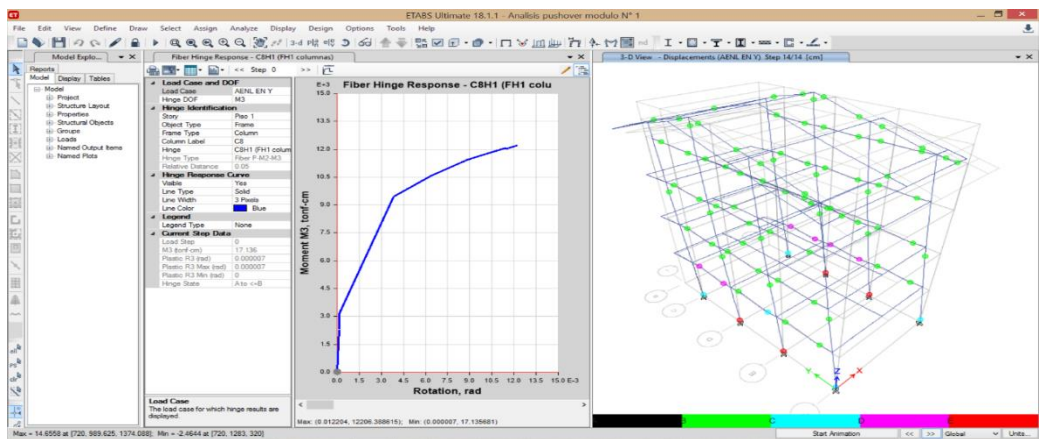


Figura 188.

Módulo estructural en el que se observan los 14 step, eje Y, módulo I



2) Módulo II

2.1) Modelamiento módulo II

Para modelar el módulo II, se sigue el mismo proceso inicial que para el módulo I, es decir se abre el programa Etabs, se completan la información de los ejes, el número de pisos, la información del espaciado entre ejes y se definen las propiedades de los materiales: concreto, acero y albañilería. Luego, se definen las secciones según el plano de estructuras, es decir se definen los objetos frame (columnas, vigas) y los elementos Wall (Placas).

Figura 189.

Plano estructural módulo II

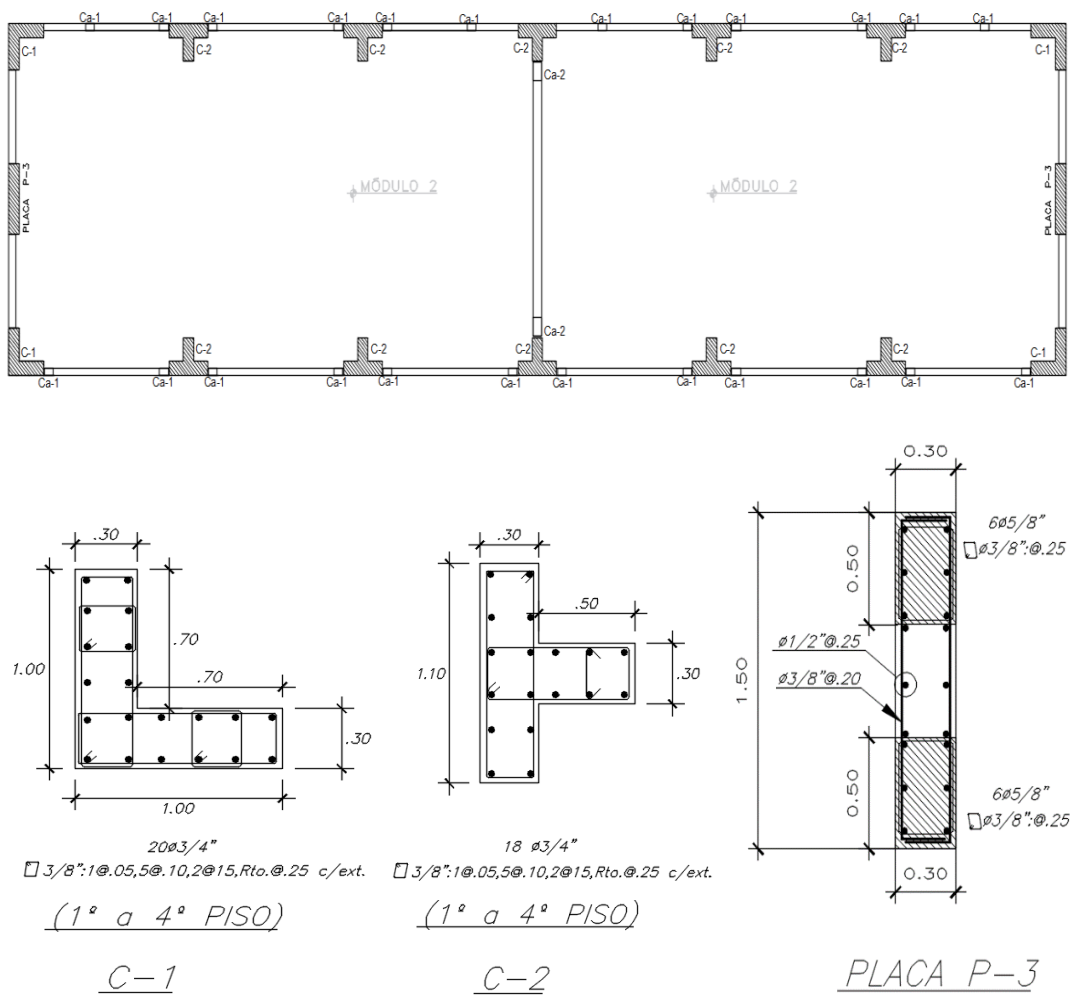
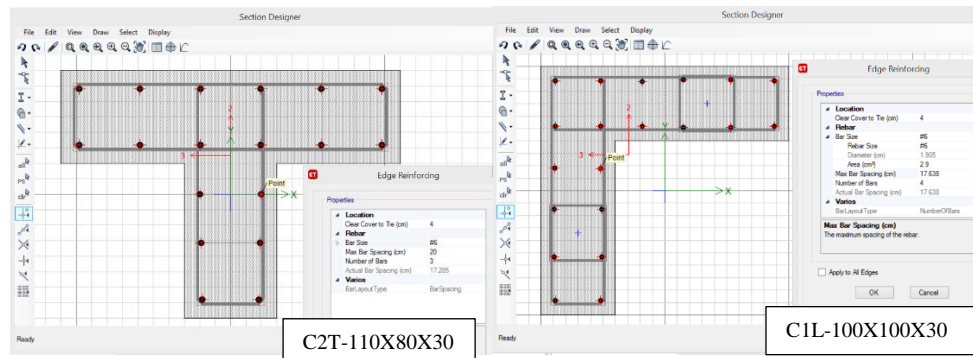


Figura 190.

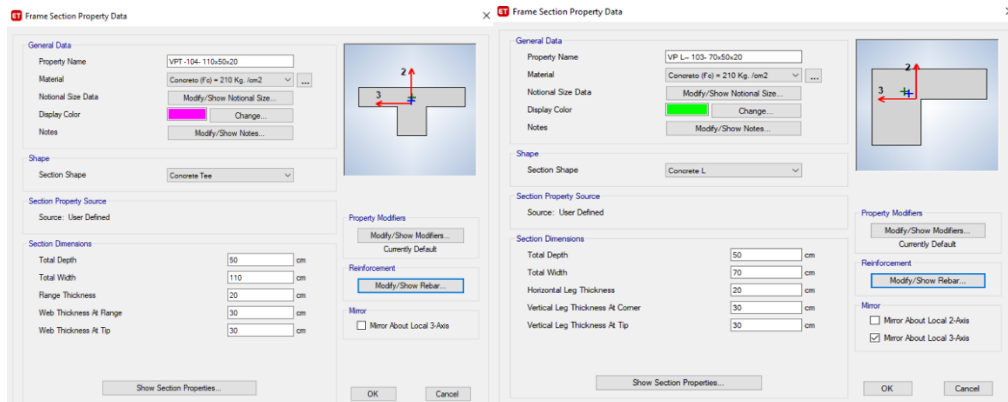
Columnas del módulo II



Nota: C2T- 110x80x30, se introdujo 18 barras de acero de refuerzo longitudinales de #6, y las barras de confinamiento de = #3 con espaciado uniforme de 15cm. C1L- 100x100x30, se introdujo 20 barras de acero de refuerzo longitudinales de #6, y las barras de confinamiento de #3 con espaciado uniforme de 15cm.

Figura 191.

Vigas principales del módulo II



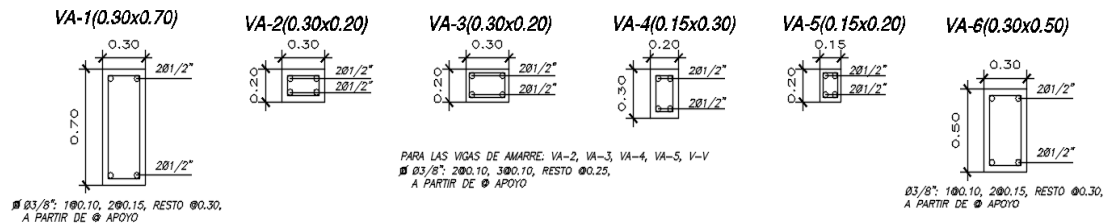
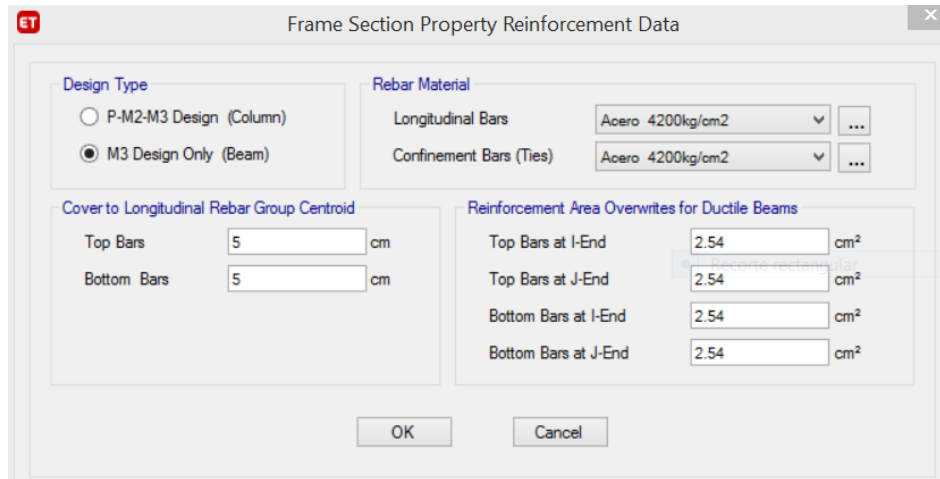
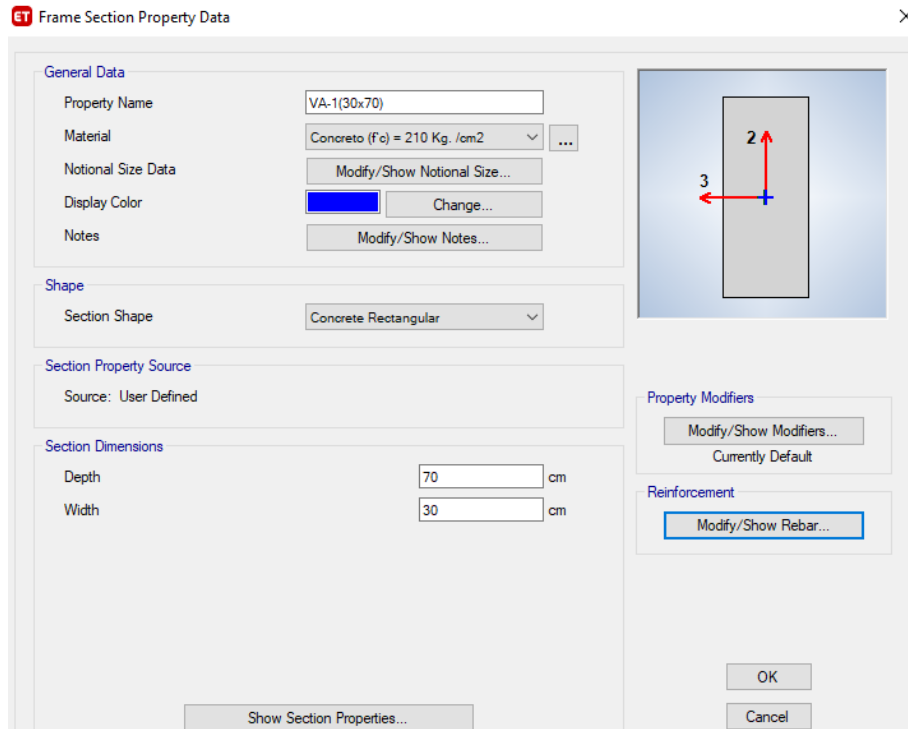
		VPT-104-110X50X20				
barra	Nº barra	diámetro	área	área de acero	Total área de acero	
Barras Superiores						
5/8"	4	1.588cm	1.98 cm ²	7.92	13.62	
3/4"	2	1.905cm	2.85 cm ²	5.70		
Barras Inferiores						
3/4"	3	1.905cm	2.85 cm ²	8.55	8.55	

		VPL - 103 - 70x50x20				
barra	Nº barra	diámetro	área	área de acero	Total área de acero	
Barras Superiores						
1/2"	2	1.270cm	1.27 cm ²	2.54	8.24	
3/4"	2	1.905cm	2.85 cm ²	5.70		
Barras Inferiores						
3/4"	2	1.905cm	2.85 cm ²	5.70	5.70	

Nota: Se da clic en "Modify/Show Ribar", arrojará una ventana para colocar el recubrimiento y la cantidad de acero de la viga.

Figura 192.

Viga de amarre VA -1(30x 70), módulo II

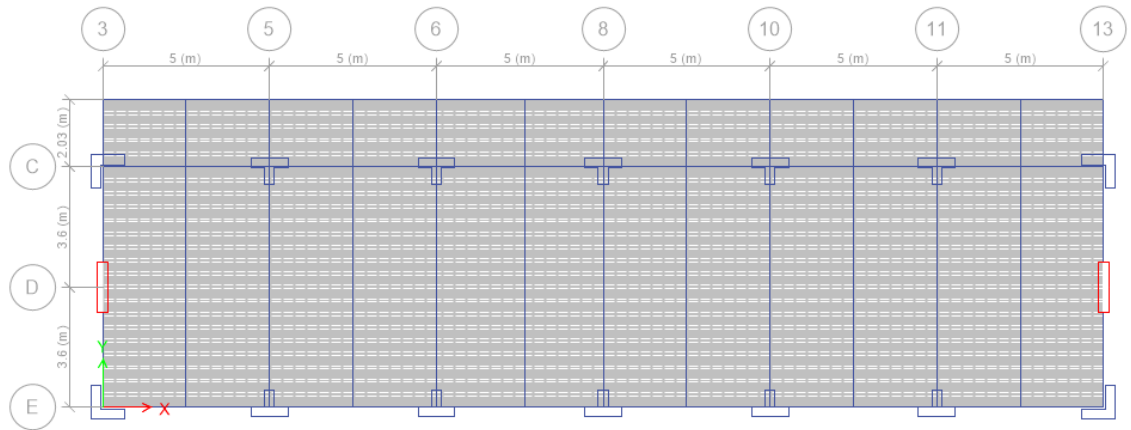


Nota: De la misma manera se crearon todas las secciones de las vigas de amarre, VA-2(30x20), VA-3(30x20), VA-4(20x30), VA-5(15x20) y VA-6(30x50). Con recubrimiento de 3.5 hasta el centro de la barra, con un área de acero de 2.54 cm.

Para la asignación de losas se sigue la ruta en “Define/ Section Properties/ Slab Sections” y en Modeling Type se selecciona “Shell - Thin”, como un elemento fino, tal como se realizó para el módulo I. Mientras que para definir placas se sigue la ruta “Define/ Section Properties/ Wall Sections”.

Figura 193.

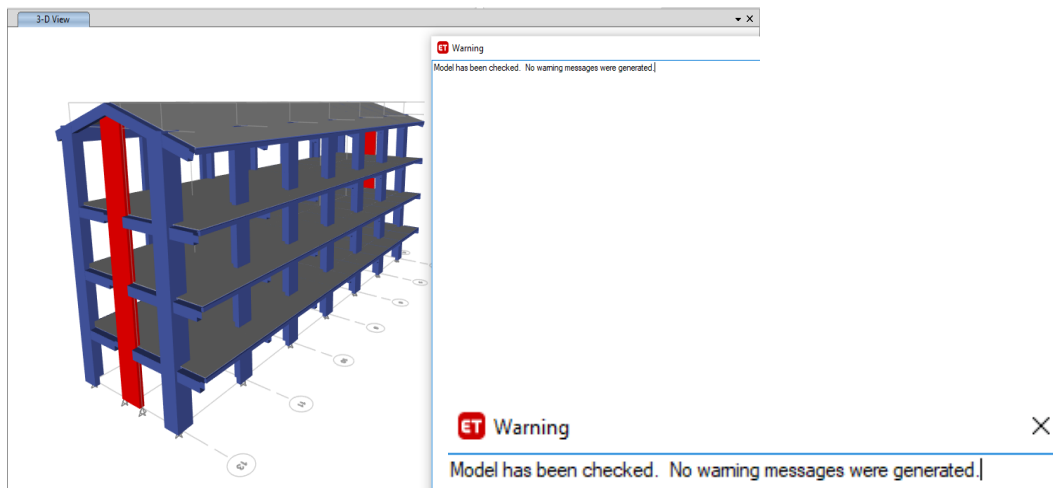
Asignación de losas del módulo II



Se realiza un chequeo general de la edificación, con la finalidad que no haya ningún error, en la opción “Analyze / Check Model” de esta manera se da una tolerancia de 10 mm de separación con cada elemento.

Figura 194.

Chequeo general de la edificación, módulo II



Nota: Si se muestra esta imagen, se menciona que no hay ningún error en la edificación.

Las cargas del módulo II, se colocaron al modelo estructural, siguiendo el mismo procedimiento ya descrito en el módulo I. Las cargas asignadas fueron:

Tabla 48.

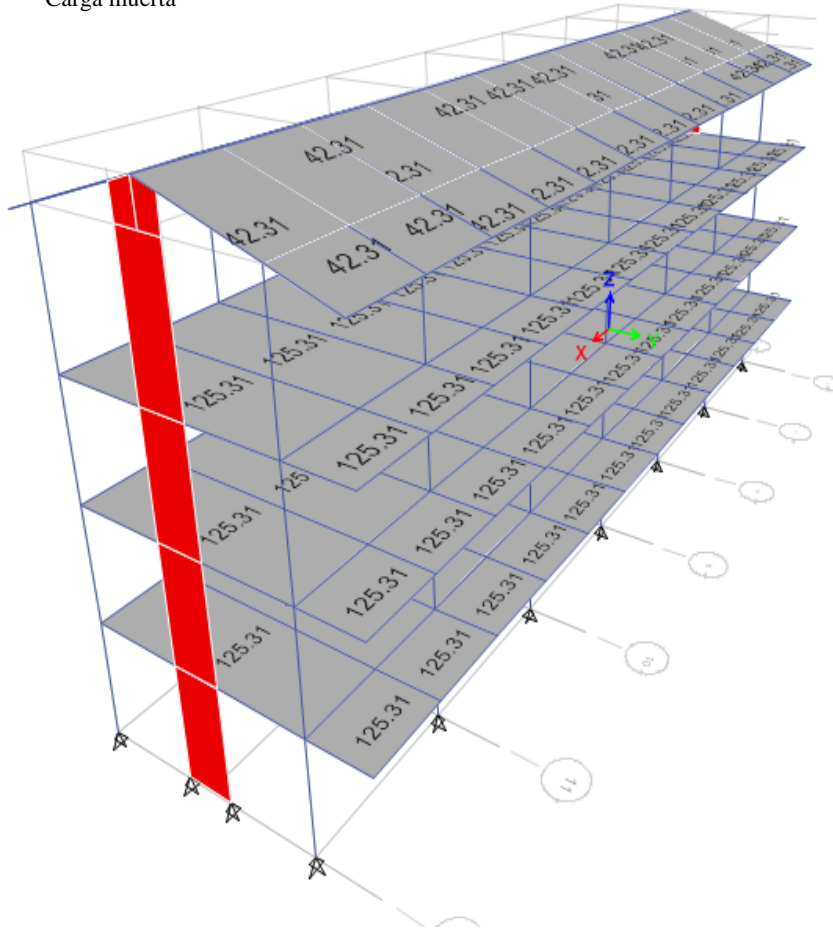
Asignación de cargas uniformes en elementos Shell/ Área, módulo II

Piso	Descripción	Cant/m2	Peso unitario (kg)	Peso por m2	Peso total (kg/m2)
Carga muerta					
Piso 1	- peso del poliestireno 120x30x15cm	2.083	0.15	0.31	
	- acabados			100	125.31
	- cielo raso			25	
Carga viva					
	- pasadizo				400
	- aulas				250
	- administración				250
Carga muerta					
Piso 2	- peso del poliestireno 120x30x15cm	2.083	0.15	0.31	
	- acabados			100	125.31
	- cielo raso			25	
Carga viva					
	- pasadizo				400
	- talleres				350
	- laboratorio				300
Carga muerta					
Piso 3	- peso del poliestireno 120x30x15cm	2.083	0.15	0.31	
	- acabados			100	125.31
	- cielo raso			25	
Carga viva					
	- pasadizo				400
	- biblioteca				300
	- sala de profesores				300
Carga muerta					
Techos	- peso del poliestireno 120x30x15cm	2.083	0.15	0.31	
	- cobertura de teja andina			10	
	- cielo raso			25	42.31
	- otras cargas no consideradas			7	
Carga viva de techo					
	- techos inclinados				50
	- techos horizontales				100

Figura 195.

Carga muerta y viva en todos los pisos del módulo II

Carga muerta



Carga viva

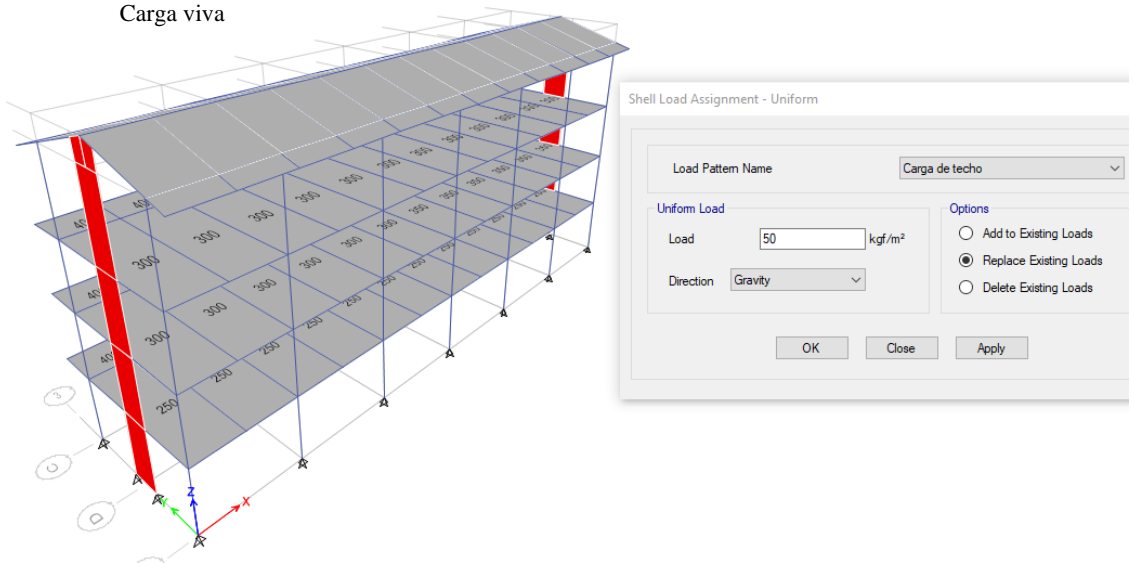


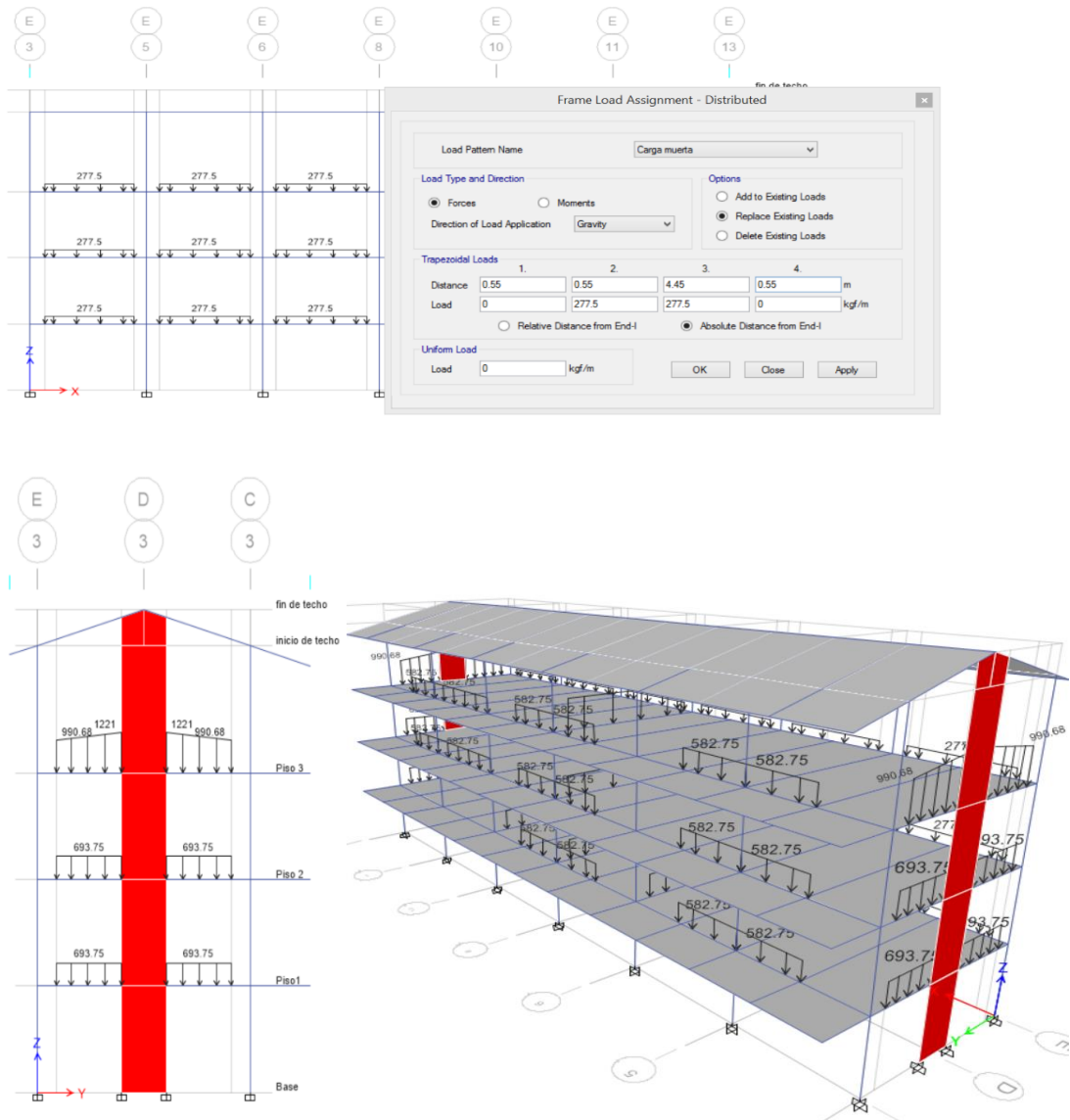
Tabla 49.

Asignación de cargas distribuidas en vigas, módulo II

Descripción	Espesor de muro (m)	Altura (m)	Peso propio albañilería tarrajada	Por metro (m) lineal	Peso (Kg/m)
Muro del Eje (3-3)	0.15	2.5	1850	1	693.75
Muro del Eje (6-6)	0.15	2.5	1850	1	693.75
Muro del Eje (8-8)	0.15	2.5	1850	1	693.75
Muro del Eje (10-10)	0.15	2.5	1850	1	693.75
Muro del Eje (13-13)	0.15	2.5	1850	1	693.75
Muro frontal del Eje (C-C)	0.15	2.1	1850	1	582.75
Muro interior del Eje (E-E)	0.15	1	1850	1	277.50

Figura 196.

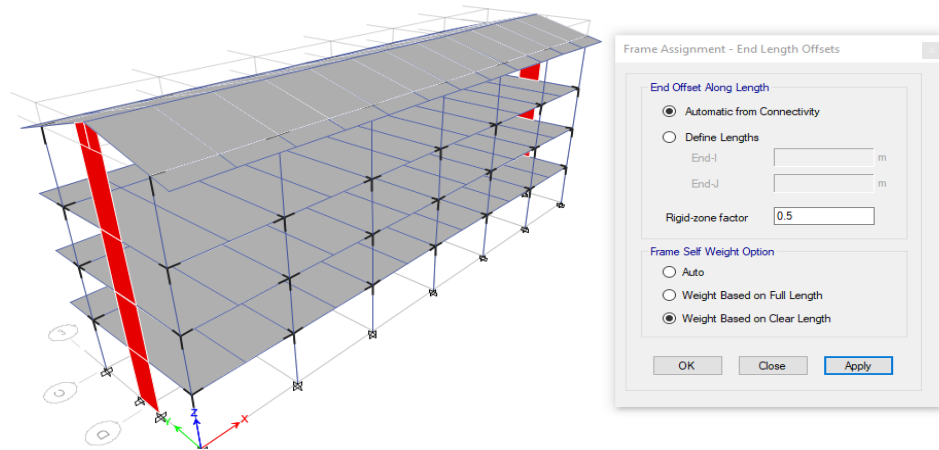
Asignación de cargas distribuidas de manera uniforme y no uniforme, módulo II



Para dar las restricciones de la base, se selecciona todos los apoyos en la base en “Assing / Joint/ Restraints”, empotramiento perfecto. Así mismo, para la creación del brazo rígido, se selecciona todo el dibujo en “Select / all”, luego se asigna el brazo rígido en “Assing / Frame / End Length Offsets”.

Figura 197.

Creación de brazo rígido del módulo II



La discretización, es un método para el análisis estructural, a menores dimensiones de los elementos es mejor la precisión. Para ello se selecciona, en “Assing/ Shell/ Floor Auto Mesh Options”, discretización de losas.

Figura 198.

Discretización de losas del módulo II

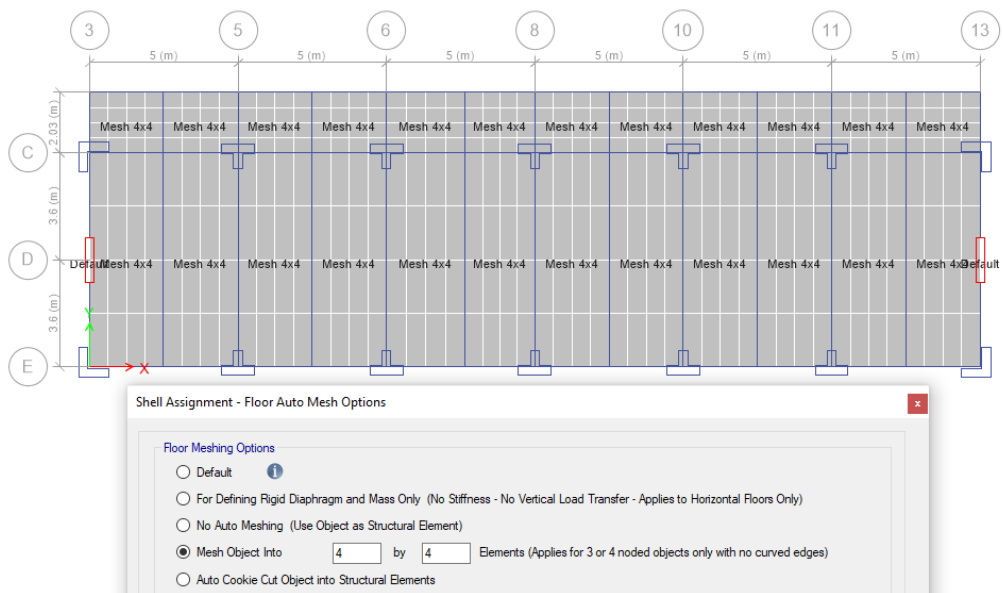
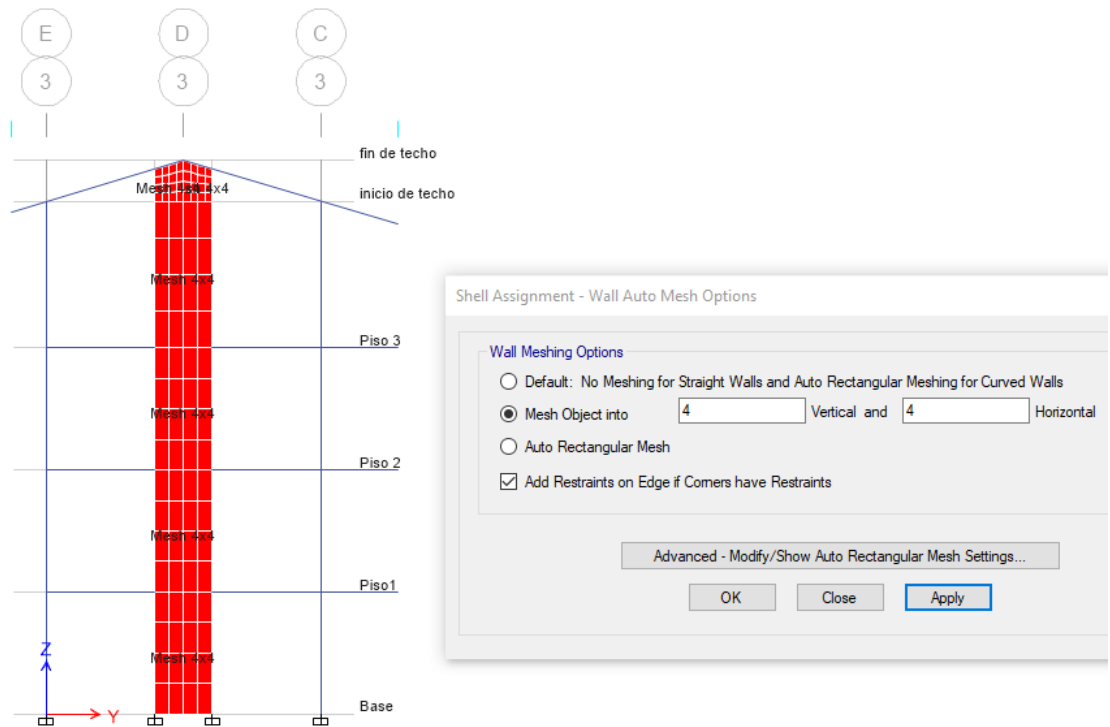


Figura 199.

Discretización de placas, módulo II



Nota: Se selecciona los muros en “Select / Properties/ Wall Sections”, Para discretizar en “Assign/ Shell/ Wall Auto Mesh Options”.

Para que se transfiera las cargas adecuadamente de losas a las vigas y las vigas a las columnas, se selecciona todo el dibujo y en “Frame Auto Mesh options” se selecciona la opción “Include selected frame objects in mesh”, que incluya el mallado en vigas. Para generar la adecuada transferencia de cargas donde no hay continuidad del mallado, se selecciona todo el dibujo y en “Assign / Shell / auto Edge Constraint” que todo está amarrado monolíticamente, tal como se ha realizado para el módulo I.

2.2) Análisis sísmico estático del módulo II

El periodo fundamental de vibración se ha determinado según:

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

h_n = Altura desde el nivel 0+000= 14.51 m

C_{Tx} = Edificios de pórticos de concreto armado= 45

C_{Ty} = Edificios de sistema dual= 60

$$T_x = 0.32 \text{ seg}$$

$$T_y = 0.24 \text{ seg}$$

Parámetros sísmicos:

– $Z = 0.25$

– $U = 1.50$

– $S = 1.20 \rightarrow \begin{matrix} T & TP & TL \\ S2 & 0.6 & 2.00 \end{matrix}$

Los coeficientes de reducción “R” son:

– Factor de irregularidad en altura $I_a = 1.00$

– Factor de irregularidad en planta $I_p = 1.00$

– $R_x = 8.00 \rightarrow$ Pórtico de concreto armado

– $R_y = 7.00 \rightarrow$ Sistema dual

Cálculo de la amplificación sísmica “C”:

$$T_x = 0.32, T_y = 0.24, T_p = 0.60$$

$$T < T_p \rightarrow C = 2.5$$

$$C_x = 2.50$$

$$C_y = 2.50$$

Para el cálculo del coeficiente cortante en ETABS, el valor de C/R no debe ser menor que $C/R \geq 0.11$.

$$\text{En el eje } x \rightarrow \frac{C}{R} \geq 0.11 \rightarrow 0.31250 \geq 0.11 \text{ OK}$$

$$\text{En el eje } y \rightarrow \frac{C}{R} \geq 0.11 \rightarrow 0.35714 \geq 0.11 \text{ OK}$$

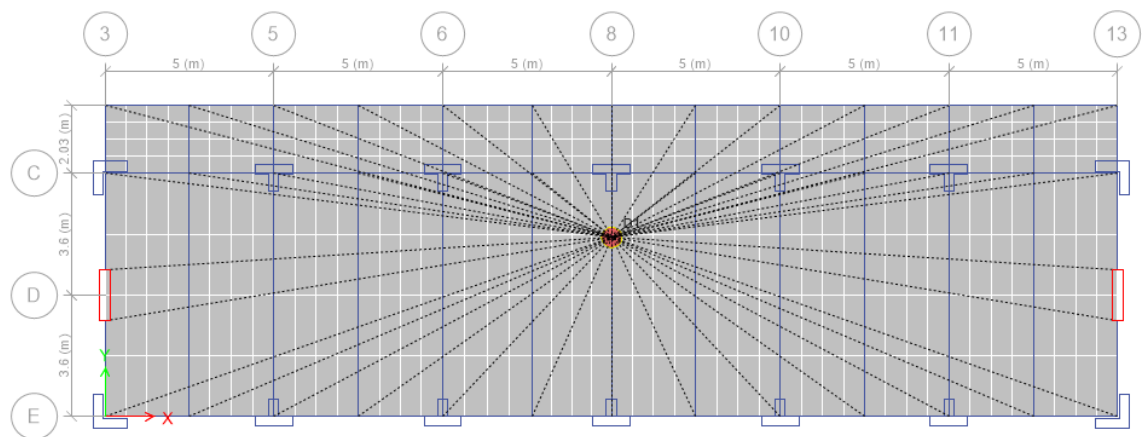
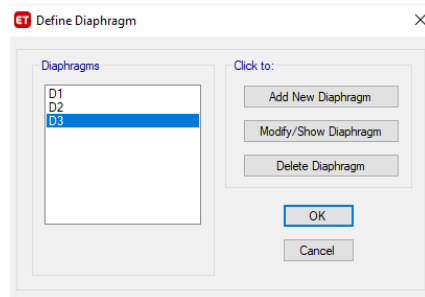
$$V_x = \frac{ZUCS}{R_x} = 0.1406$$

$$V_y = \frac{ZUCS}{R_y} = 0.1607$$

Se asigna diafragmas rígidos a los entrepisos y así liberar los grados de libertad como se indica en la norma E-030, los diagramas deben tener tres grados de libertad, dos desplazamientos y un giro. En “Define / Diaphragms”, “Assign/Shell/ Diaphragms”, se asigna el diafragma rígido (D1, D2 y D3).

Figura 200.

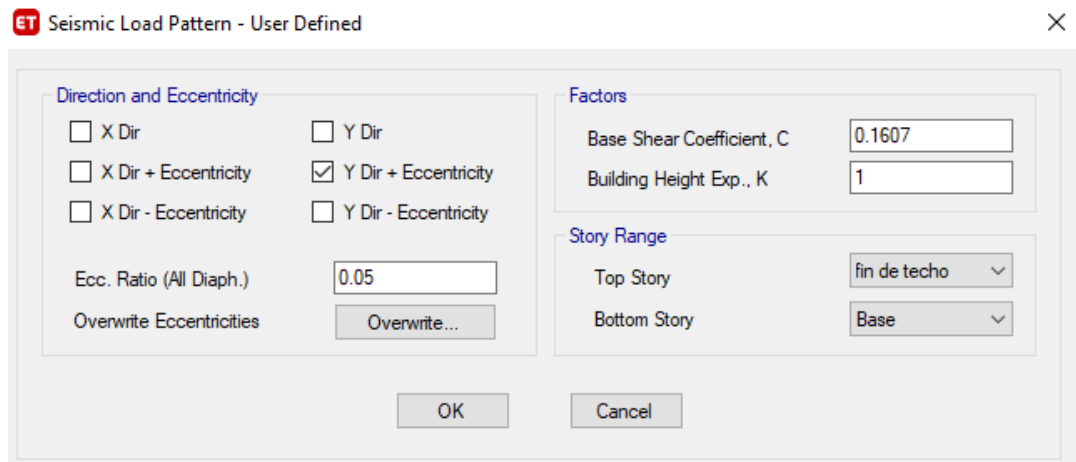
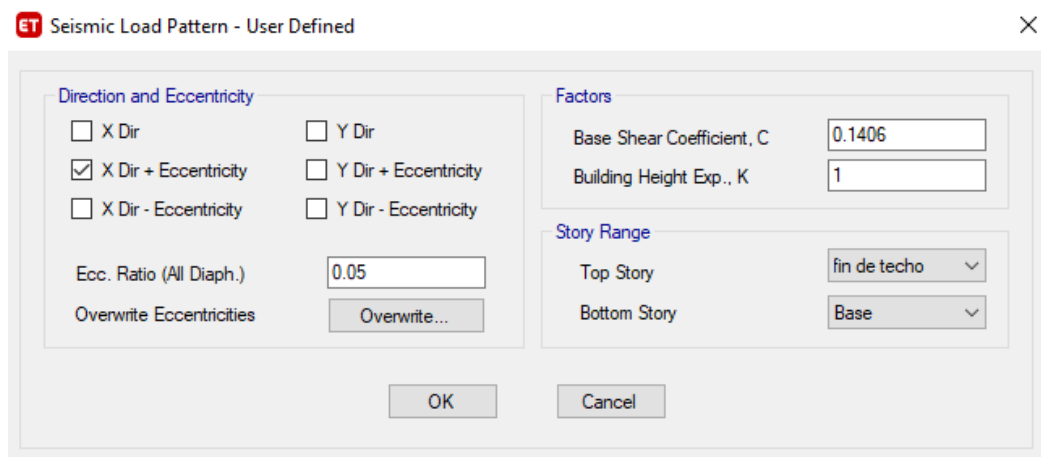
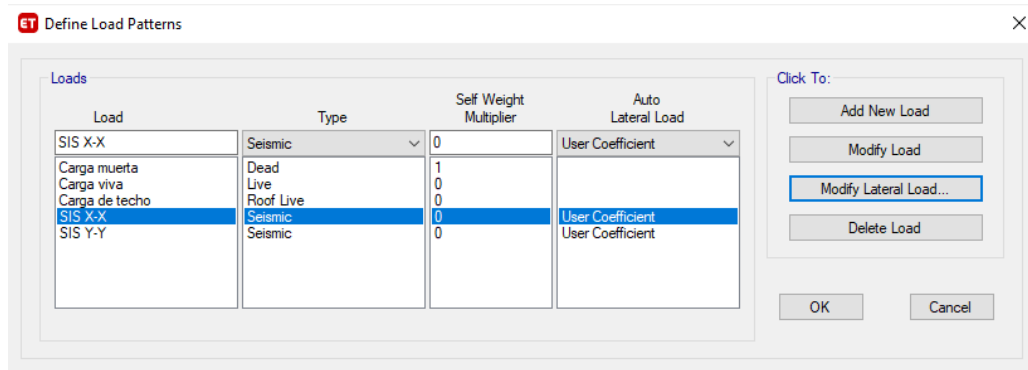
Creación de diafragma rígido, módulo II



En “Define Load Patterns”, se crea el sismo en (X) :(SIS X-X) y el sismo en la dirección (Y): (SIS -Y-Y).

Figura 201.

Proceso para ingresar el sismo estático y colocar el coeficiente de cortante basal para el módulo II



Nota: Se coloca el coeficiente de cortante en la base es que es de 0.1406 en la dirección de “x”, el valor de $k_x=1$ y con una excentricidad de 5%. Se coloca el coeficiente de cortante en la base es que es de 0.1607 en la dirección de “y”, el valor de $k_x=1$ y con una excentricidad de 5%.

La norma E-30 de diseño sismorresistente, indica que el peso (P), se calcula adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga de la siguiente manera:

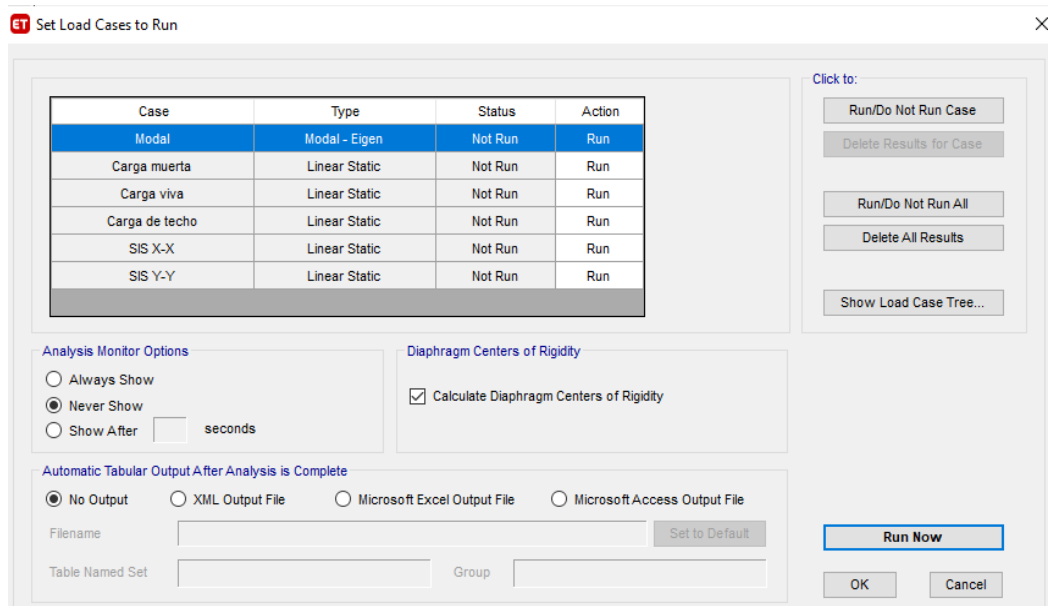
- a) En edificaciones de las categorías A y B, se tomará el 50% de la carga viva.
- b) En azoteas y techos en general se tomará el 25% de la carga viva.

Se define el peso de la edificación en “Define masas source”, casos de carga: carga muerta 1, carga viva 0.5 y carga de techo 0.25, según el proceso descrito para el módulo I.

Por último, se ejecuta el análisis estático. Para ello se configura las opciones de análisis, en “Analyze / Set Active of Freedom” y se selecciona Full 3D. Así mismo, en “Analyze / Set Load Cases to Run”, se selecciona “Calculate Diaphragm Centers of Rigdty”, para que calcule el centro de rigidez del diafragma y finalmente se corre el programa en “Run Mow”.

Figura 202.

Proceso para correr el análisis estático del módulo II



$$Kx = 1.0$$

$$Ky = 1.00$$

Tabla 51.

Fuerza sísmica en dirección X e Y, módulo II

Nivel	Pi (kg)	hi(m)	$Pi \times hi^k$	ai	Fi (kg)	Fi (ton)
En la dirección X						
4	208384.31	14.51	3023656.40	0.36	52602.00	52.60
3	291950.41	9.60	2802723.91	0.33	48758.48	48.76
2	277553.94	6.40	1776345.20	0.21	30902.75	30.90
1	269231.82	3.20	861541.82	0.10	14988.09	14.99
â= P. Ed.	1047120.48	$\sum Pi \times hi^k$	8464267.33	1.00	147251.32	147.25
En la dirección Y						
4	208384.31	14.51	3023656.40	0.36	60116.57	60.12
3	291950.41	9.60	2802723.91	0.33	55723.97	55.72
2	277553.94	6.40	1776345.20	0.21	35317.43	35.32
1	269231.82	3.20	861541.82	0.10	17129.24	17.13
â= P. Ed.	1047120.48	$\sum Pi \times hi^k$	8464267.33	1.00	168287.22	168.29

2.3) Análisis dinámico del módulo II

Para el análisis dinámico se ha definido el espectro de respuesta en la dirección X e Y. Se ha empleado el método de superposición espectral considerando como criterio la combinación cuadrática completa (CQC) de los valores calculados para cada modo. Se ha trabajado con un amortiguamiento y excentricidad del diafragma del 5%. Luego se ha corrido el modelo realizando el chequeo modal y espectral. Para los modos de vibración de la estructura se tomaron en cuenta las consideraciones:

- El número mínimo de modos es de 3 (dos de traslación uno y de rotación).
- En cada dirección se han considerado aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas ha sido por lo menos el 90 % de la masa total.

Figura 203.

Espectro de respuesta en la dirección a) X, b) Y, del módulo II

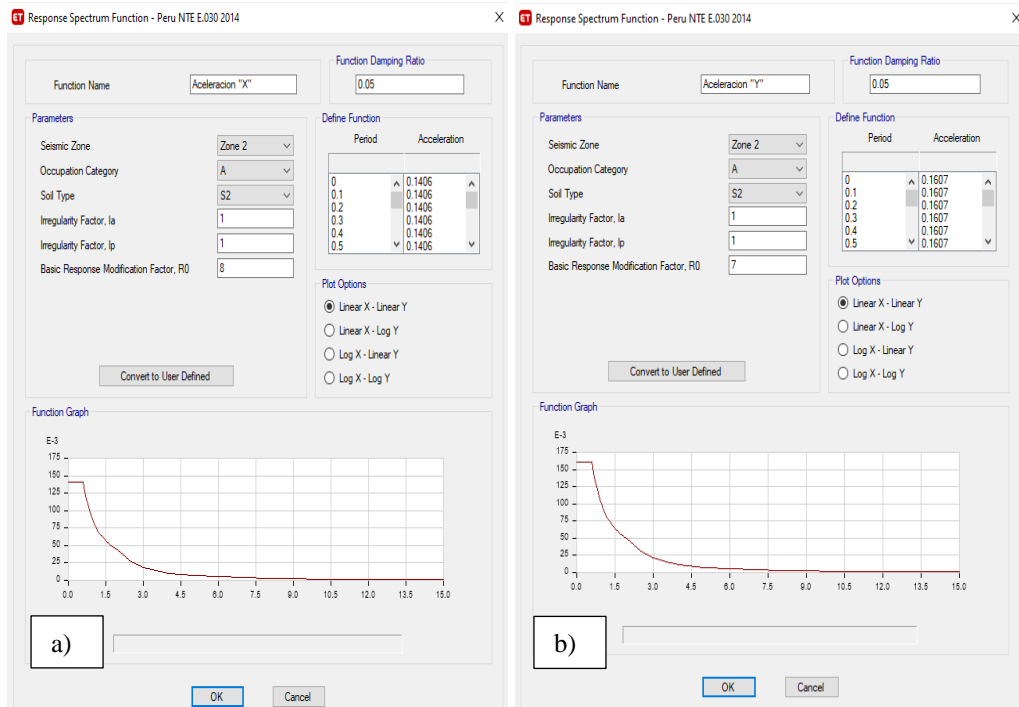


Figura 204.

Modos de vibración a) Modo 1 traslación, b) Modo 2 traslación, c) Modo 3 rotación, módulo II

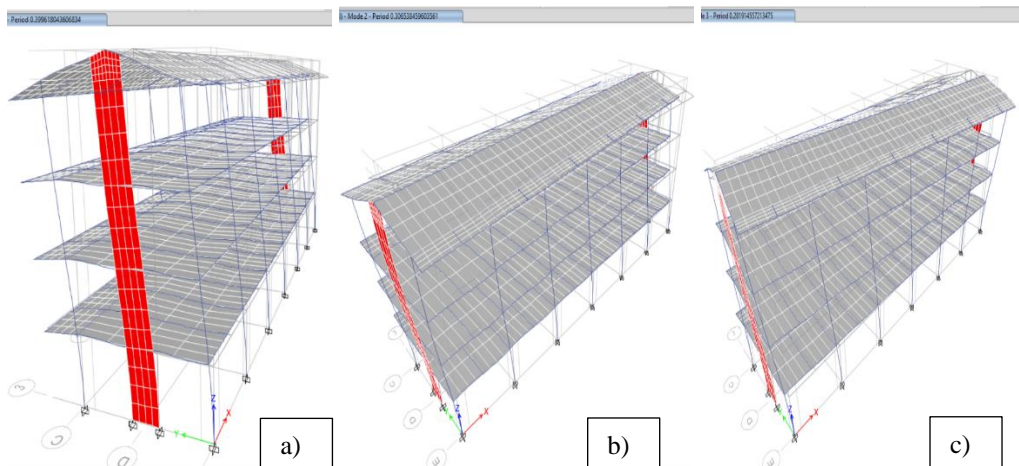


Tabla 52.

Periodos y masa participativa de cada modo de vibración, módulo II

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	0.4	0	0.7583	0.0005	0	0.7583	0.0005	0.1757	0	9.86E-06	0.1757	0	9.86E-06
Modal	2	0.307	0.738	0.00E+00	0	0.738	0.7583	5.00E-04	0.00E+00	0.0255	0.0695	0.1757	0.0255	0.0695
Modal	3	0.282	0.0715	1.23E-06	0	0.8095	0.7583	5.00E-04	1.09E-06	0.006	0.6996	0.1757	0.0315	0.7691
Modal	4	0.125	0	0.14	0.001	0.8095	0.8983	0.0015	0.2936	0	0	0.4692	0.0315	0.7691
Modal	5	0.096	0.0986	1.2E-06	0.00E+00	0.9081	0.8983	0.0015	2.1E-06	0.0654	0.0184	0.4692	0.0969	0.7875
Modal	6	0.092	3.98E-06	0	0.00E+00	0.9081	0.8983	1.50E-03	0.00E+00	0.0007	1.652E-06	0.4692	0.0976	0.7875
Modal	7	0.091	0	0	0.00E+00	0.9081	0.8983	0.0015	0	0.0009	1.00E-04	0.4692	0.0985	0.7876
Modal	8	0.09	1.00E-04	2.6E-06	0.006	0.9082	0.8983	0.0075	0.0001	0.0015	5.00E-04	0.4694	0.1	0.7881
Modal	9	0.089	0.0175	5.47E-06	7.8E-06	0.9257	0.8983	0.0075	6.9E-06	0.0244	1.09E-01	0.4694	0.1244	0.8966
Modal	10	0.089	1.7E-06	0.00E+00	0.0034	0.9257	0.8983	1.09E-02	4.15E-05	3.52E-06	9.872E-06	0.4694	0.1244	0.8966
Modal	11	0.088	2.95E-05	1.36E-06	0.0054	0.9257	0.8983	0.0164	0.0001	0.0023	1.00E-04	0.4695	0.1267	0.8968
Modal	12	0.088	5.15E-06	7.4E-07	3.00E-03	0.9257	0.8983	0.0194	0.0001	0.0045	1.00E-04	0.4696	0.1312	0.8968
Modal	13	0.087	4.93E-05	0.00E+00	0.0002	0.9258	0.8983	0.0196	2.8E-06	0.017	1.00E-04	0.4696	0.1483	0.8969
Modal	14	0.087	0.00E+00	8.53E-07	1.21E-02	0.9258	0.8983	3.17E-02	2.00E-04	0.001	5.236E-06	0.4697	0.1492	0.8969
Modal	15	0.086	0	0	0.0006	0.9258	0.8983	0.0322	2.8E-05	3.248E-06	0.00E+00	0.4698	0.1492	0.8969
Modal	16	0.086	0	1.60E-05	0.1026	0.9258	0.8983	0.1348	0.0017	2.10E-03	8.945E-06	0.4714	0.1513	0.8969
Modal	17	0.084	2.34E-05	0.00E+00	0.0001	0.9258	0.8983	1.35E-01	1.13E-06	0.0089	4.794E-05	0.4714	0.1603	0.897
Modal	18	0.082	0.00E+00	5.7E-06	0.0453	0.9258	0.8983	0.1802	0.0011	1.43E-06	0.00E+00	0.4726	0.1603	0.897
Modal	19	0.081	4.62E-05	3.76E-06	0.0104	0.9258	0.8983	0.1906	0.0001	0.0071	1.585E-05	0.4727	0.1673	0.897
Modal	20	0.08	0.0001	0	0.0019	0.9259	0.8983	0.1925	0.0001	0.0054	8.636E-06	0.4728	0.1728	0.897
Modal	21	0.079	1.00E-04	3.2E-06	0.0249	0.926	0.8983	0.2174	0.0004	0.0514	0	0.4732	0.2242	0.897
Modal	22	0.079	6.80E-07	6.2E-06	0.0509	0.926	0.8983	0.2683	0.0005	0.0414	0.0000049	0.4737	0.2656	0.897
Modal	23	0.077	0.00E+00	1.6E-05	0.0856	0.926	0.8983	0.3539	0	0.0007	0	0.4737	0.2662	0.897
Modal	24	0.076	0.0003	0	0.0019	0.9263	0.8983	0.3558	0.0002	0.024	1.00E-04	0.4739	0.2902	0.8971
Modal	25	0.076	0.0001	4.33E-06	0.009	0.9264	0.8983	0.3648	0.0007	0.0077	2.79E-05	0.4746	0.2979	0.8971
Modal	26	0.068	0	1.21E-02	0.0089	0.9264	0.9104	0.3737	0.0018	3.977E-06	0.00E+00	0.4764	0.2979	0.8971
Modal	27	0.068	0.00E+00	6.00E-04	2.75E-06	0.9264	0.9111	0.3737	0.0006	0.0025	0.0006	0.4771	0.3004	0.8977
Modal	28	0.068	0	0.001	2.57E-06	0.9264	0.912	0.3737	0.0009	0.0018	4.00E-04	0.478	0.3022	0.8981
Modal	29	0.067	0.00E+00	2.05E-05	1.49E-05	0.9264	0.9121	0.3737	1.2E-06	0.0026	0.0004	0.478	0.3048	0.8985
Modal	30	0.067	0	3.7E-06	0.0011	0.9264	0.9121	3.75E-01	8.00E-04	2.00E-04	3.29E-05	0.4788	0.305	0.8985

Nota: Se muestra los periodos y la masa participativa de cada uno de los modos, del modelo, en cada dirección se han considerado aquellos modos de vibración cuya suma de masa

efectiva ha sido por lo menos 90% de la masa total.

Los desplazamientos máximos absolutos y relativos del análisis sísmico del módulo II, así como las verificaciones sugeridas en la norma E.030 se muestran en las Fig. 183 y Fig. 184, donde se puede observar que el desplazamiento absoluto de la estructura por carga de sismo en dirección X es 4.61 mm, y en dirección Y es 9.26 mm; así mismo, las derivas relativas máximas por piso en la dirección X e Y son menores a 0.007, por tanto, cumplen con las especificaciones de la norma E.030 (MVCS, 2020).

Figura 205.

Desplazamientos máximos absolutos en dirección X e Y, módulo II

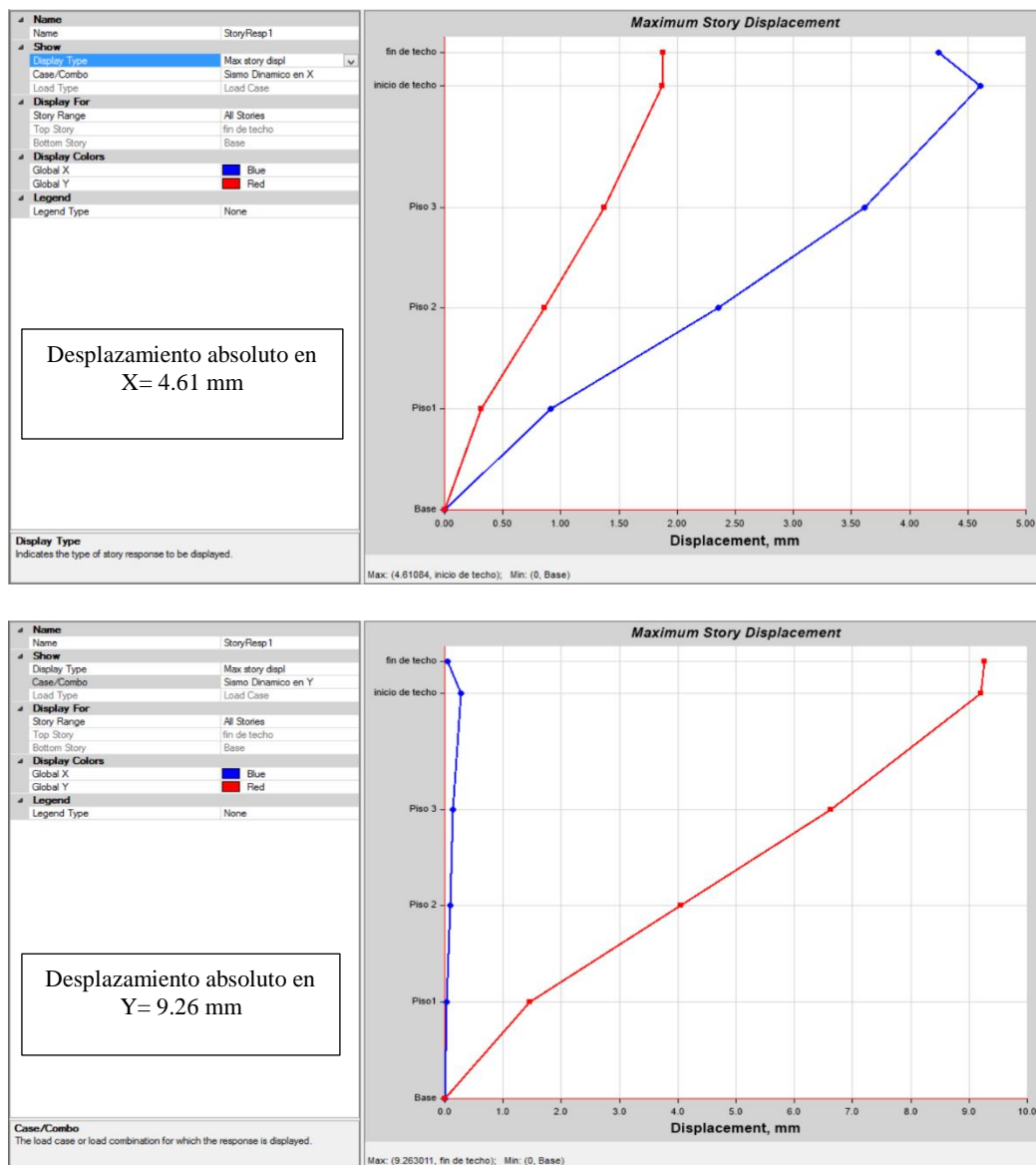


Figura 206.

Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo II

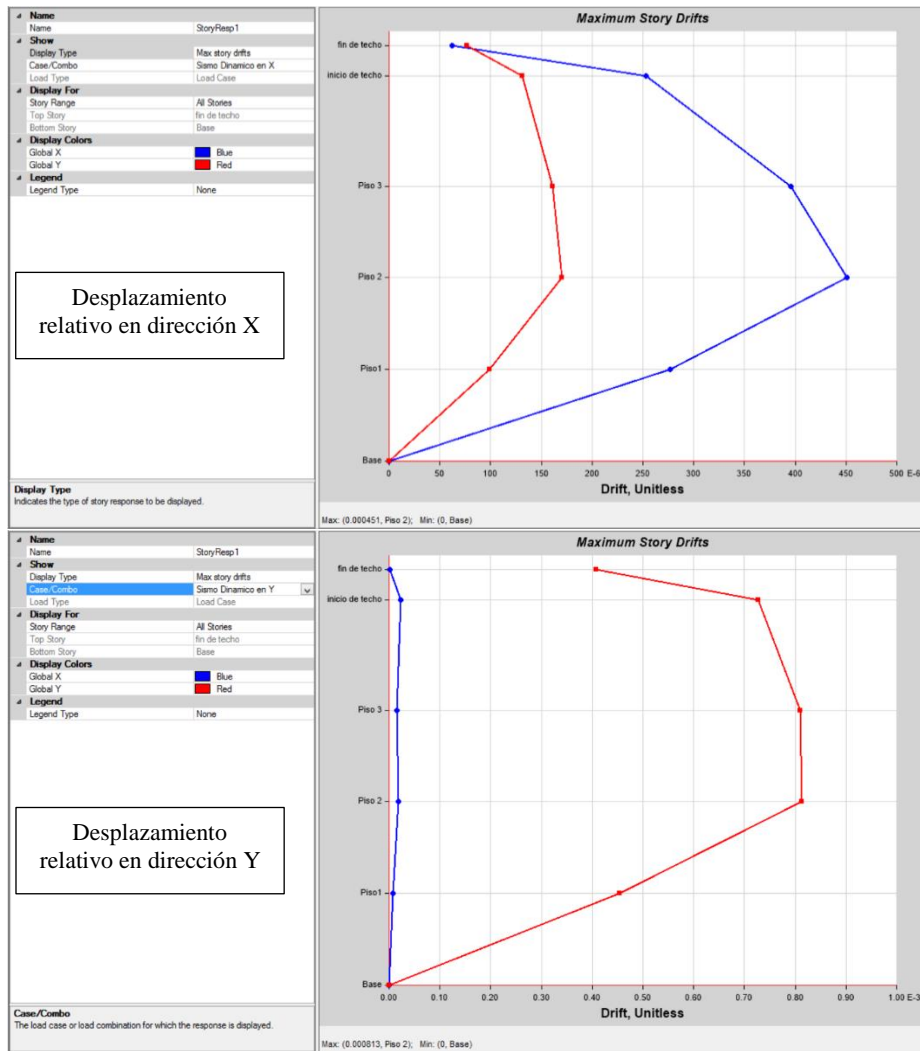


Tabla 53.

Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo II

Pisos	Caso de carga	Dirección	Deriva	Rx= 8, Ry= 7 Deriva *0.75*R < 0.007	
Deriva máximas por piso en la dirección X					
Fin techo	SIS Dinam.	X	0.000062	0.000372	Si
Inicio techo	SIS Dinam.	X	0.000253	0.001518	Si
Piso 3	SIS Dinam.	X	0.000396	0.002376	Si
Piso 2	SIS Dinam.	X	0.000451	0.002706	Si
Piso 1	SIS Dinam.	X	0.000277	0.001662	Si
Deriva máximas por piso en la dirección Y					
Fin techo	SIS Dinam.	Y	0.000408	0.0002142	Si
Inicio techo	SIS Dinam.	Y	0.000728	0.003822	Si
Piso 3	SIS Dinam.	Y	0.00081	0.0042525	Si
Piso 2	SIS Dinam.	Y	0.000813	0.00426825	Si
Piso 1	SIS Dinam.	Y	0.000454	0.0023835	Si

La norma E.030 (MVCS, 2020) establece que la cortante dinámica debe ser mayor o igual al 80% de la cortante estática para edificaciones regulares, y 90% para edificaciones irregulares. La cortante dinámica en la dirección X equivale a 116.39, lo que representa el 79% de la cortante estática, 147.25, por tanto, fue necesario incrementar la cortante, al igual que en la dirección Y, donde la cortante dinámica ascendía a 129.89, lo que representa el 77% de la cortante dinámica (168.29). Para amplificar la cortante dinámica en la dirección X e Y, se utilizó el factor F_x y F_y igual a 1.01 y 1.04, respectivamente, estos factores no afectan a los desplazamientos, solo al diseño.

Tabla 54.

Cortante estática y dinámica en la dirección X e Y del módulo II

Dirección	Cortante	F	$V_{din} \geq 80\% V_{est}$		Factor de amplificación
En X	Estática	147.25			
En X	Dinámica	116.39	79%	No cumple	1.01
En Y	Estática	168.29			
En Y	Dinámica	129.89	77%	No Cumple	1.04

2.4) Análisis Pushover del módulo II

El método Pushover consiste en aplicar una distribución vertical de cargas laterales a la estructural, mismas que deben incrementarse monótonamente hasta que la estructura alcance el máximo desplazamiento. Primero se ha realizado el análisis estático convencional con la finalidad de extraer características estáticas de la estructura, para luego seguir el procedimiento dado por el FEMA 356. En la Fig. 185 se muestran los valores de las fuerzas laterales en el sentido X e Y, estas cargas se asignaron al modelo estructural (módulo II) para la ejecución del análisis Pushover Fig. 186.

Tabla 55.

Fuerzas laterales en el sentido X e Y para el análisis Pushover, módulo II

Nivel	Pi (kg)	hi(m)	Pi × hi ^k	ai	Fi (kg)	Fi (ton)
En la dirección X						
4	208384.31	14.51	3023656.40	0.36	52602.00	52.60
3	291950.41	9.60	2802723.91	0.33	48758.48	48.76
2	277553.94	6.40	1776345.20	0.21	30902.75	30.90
1	269231.82	3.20	861541.82	0.10	14988.09	14.99
∑= P. Ed.	1047120.48	$\sum Pi \times hi^k$	8464267.33	1.00	147251.32	147.25
En la dirección Y						
4	208384.31	14.51	3023656.40	0.36	60116.57	60.12
3	291950.41	9.60	2802723.91	0.33	55723.97	55.72
2	277553.94	6.40	1776345.20	0.21	35317.43	35.32
1	269231.82	3.20	861541.82	0.10	17129.24	17.13
∑= P. Ed.	1047120.48	$\sum Pi \times hi^k$	8464267.33	1.00	168287.22	168.29

Figura 207.

Fuerzas laterales en el sentido X e Y para el análisis Pushover, módulo II

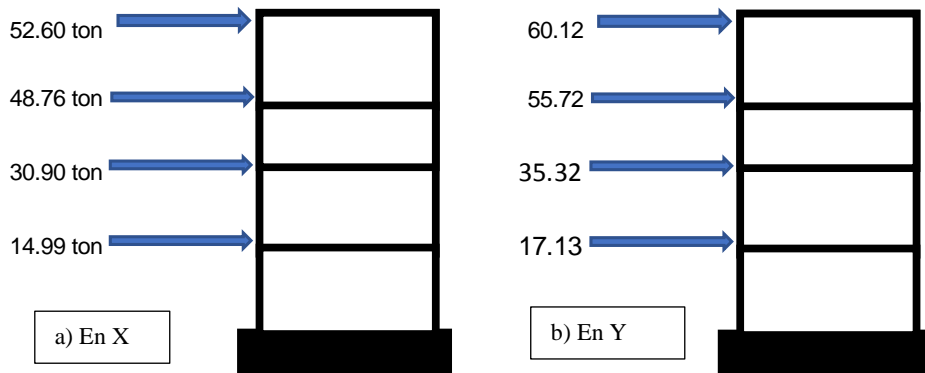
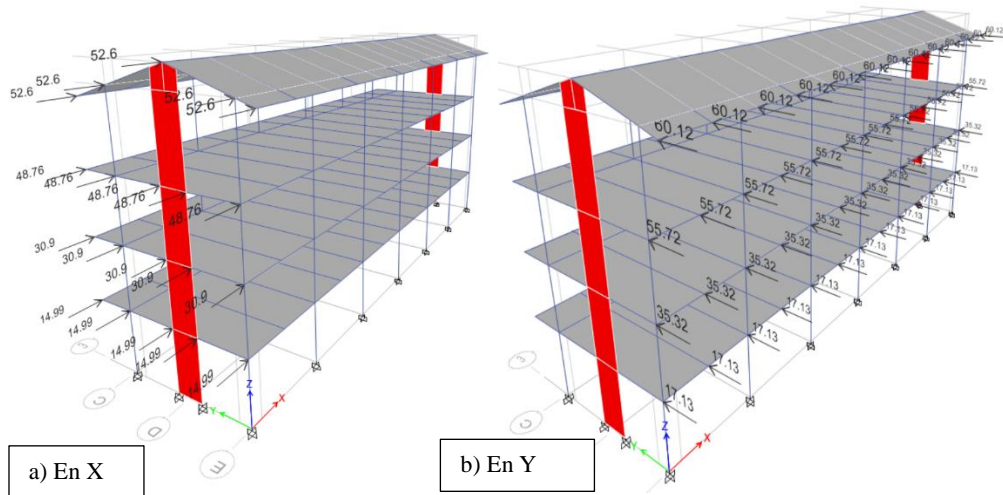


Figura 208.

Asignación de cargas laterales Pushover, en el sentido X e Y, módulo II



Para el análisis estático no lineal se crean dos estados de carga no lineales: CGNL (carga gravitacional no lineal) y AENL (análisis estoico no lineal). La creación de estas cargas genera un orden lógico para desarrollar el NSP, primero se aplican las cargas gravitacionales, una vez que estas hayan deformado la estructura y disminuido su rigidez, entra el proceso AENL, de esta manera se está aplicando la carga lateral monotónica hasta que un nudo extremo del último piso alcance un desplazamiento máximo.

El procedimiento no lineal sucede en puntos discretos predefinidos (hinges), la posibilidad de formarse rótulas plásticas a flexión en los extremos de las vigas (M3) y a flexo compresión, en los extremos de las columnas (P-M2-M3). Se asignaron rótulas en las vigas principales y secundarias según la Tabla 55.

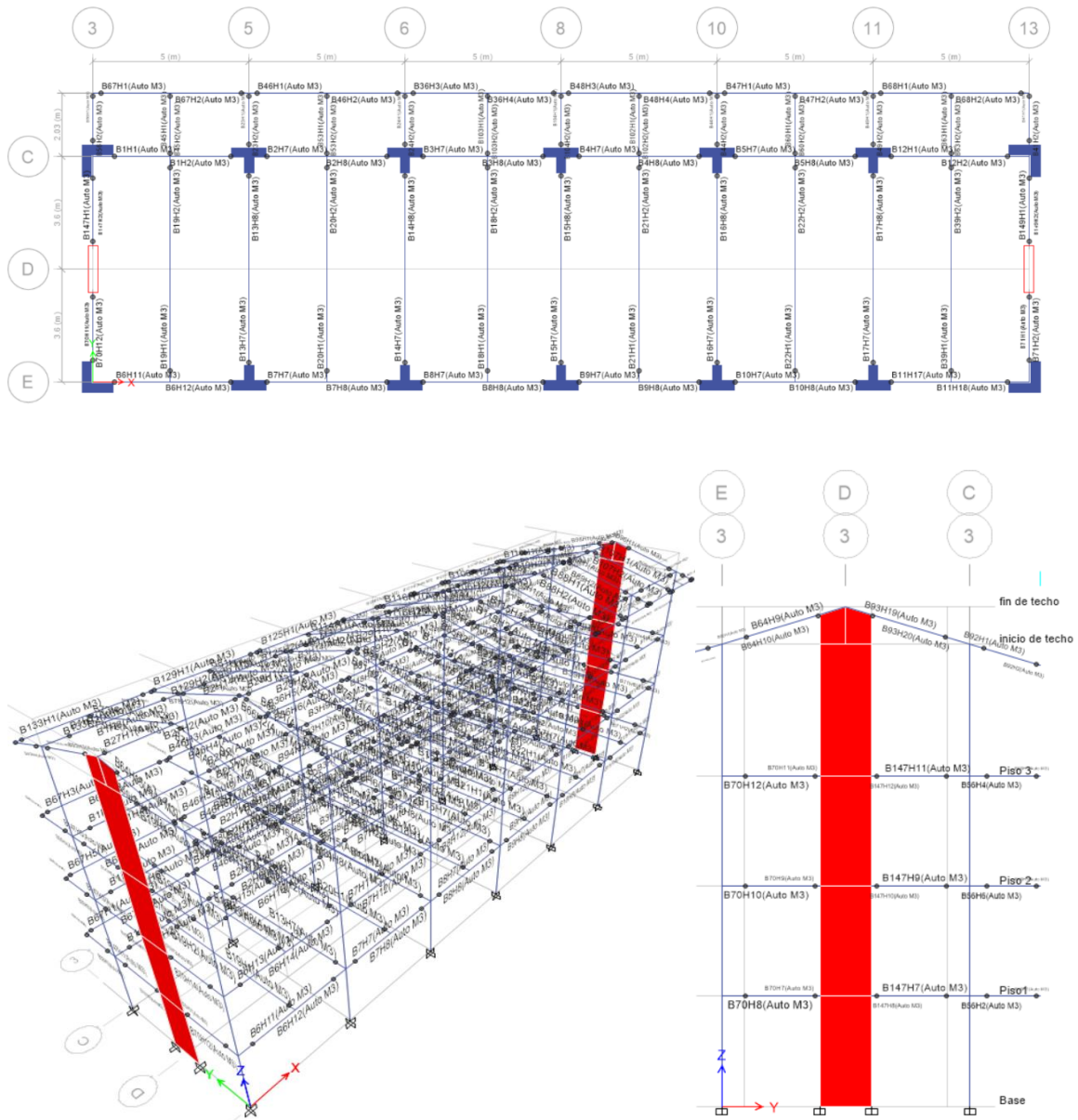
Tabla 56.

Distancia de asignación de las rótulas plásticas en vigas, módulo II

Rótulas plásticas	Vigas				Vigas de amarre
	VP-104	VA-1	VP	VP	
Dimensiones	0.30x0.50	0.30x0.70	0.30x0.50	0.30x0.50	
Cara de la columna (m)	0.80	0.70	0.80	0.75	
Eje + 0.1 m	0.50	0.45	0.50	0.48	
Luz libre de la viga (m)	5.90	3.90	3.60	2.00	
LP inicio	0.085	0.115	0.139	0.238	0.05
LP final	0.915	0.885	0.861	0.763	0.95

Figura 209.

Asignación de rótulas plásticas en todas las vigas, módulo II

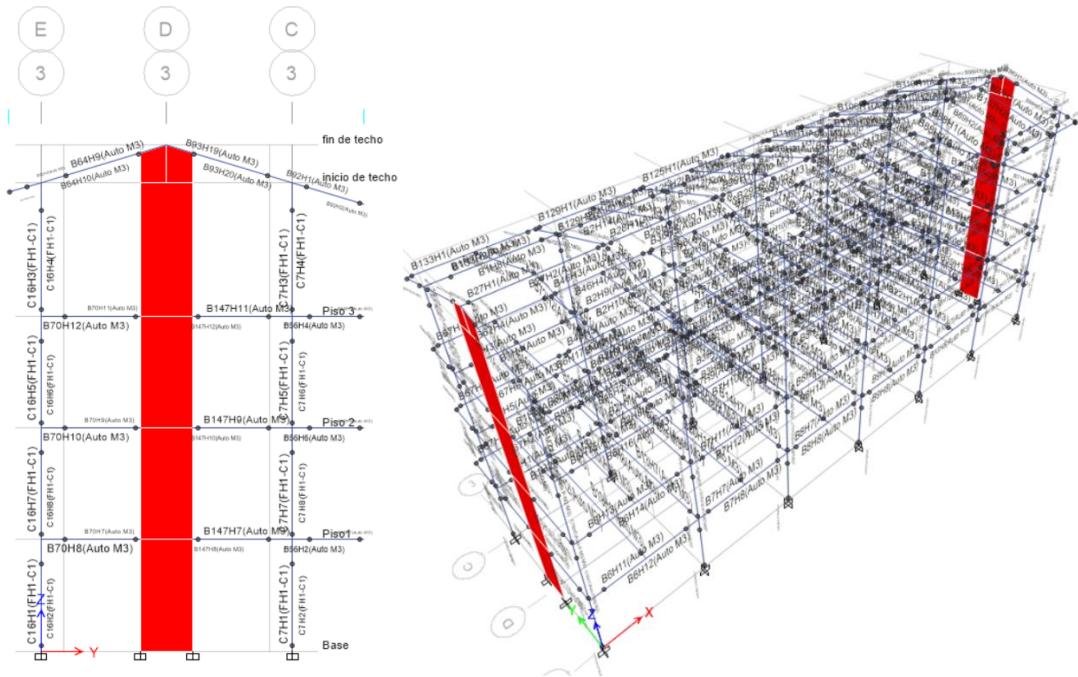


Se busca que las rótulas plásticas se formen en las vigas antes que en las columnas.

Para la asignación de rótulas plásticas en columnas por medio del menú “Define/ Section Properties/ Frame/Wall Nolinear Hinges”, se seleccionaron todas las columnas y en “Asing/Frame/Hings” se realizó la asignación automática.

Figura 210.

Asignación de rótulas plásticas en columnas, módulo II



Para asignar las rótulas plásticas en placas, se selecciona “Assing/ Shell/ Reinforcement for Wall Hinge”, se da clic en “More” y se distribuye el acero de acuerdo a la placa P-3. En la Fig. 190, se muestra la distribución del acero de la placa P-3, tanto longitudinal, transversal y el acero de confinamiento, el cual tiene un recubrimiento de 4 cm. Para observar las deformaciones de las placas en “Display/ Force Stress Diagramas/ Shell Stresses/ Forces”.

Figura 211.

Placa P-3, módulo II

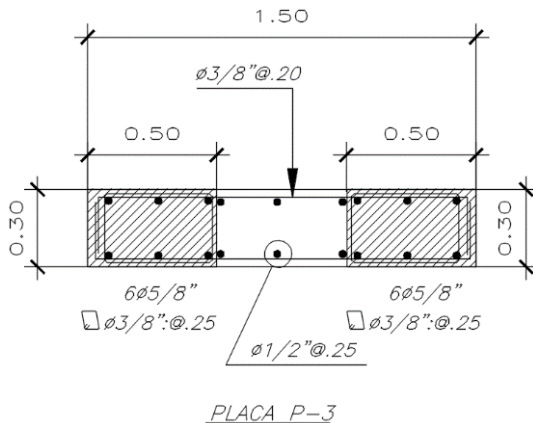


Figura 212.

Distribución del acero de la placa P-3, módulo II

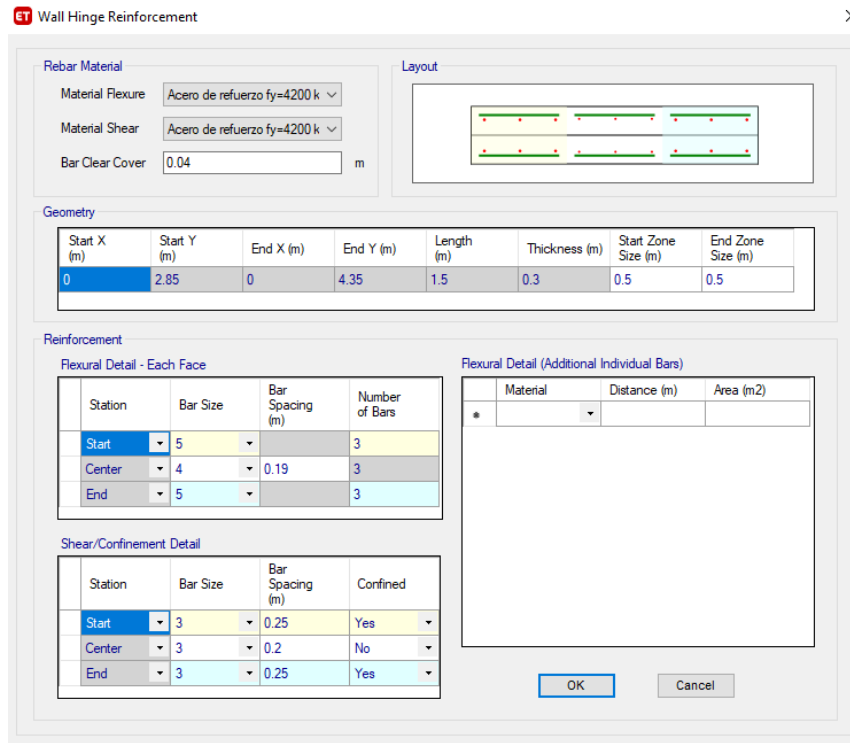


Figura 213.

Asignación de rótulas plásticas en placas, módulo II

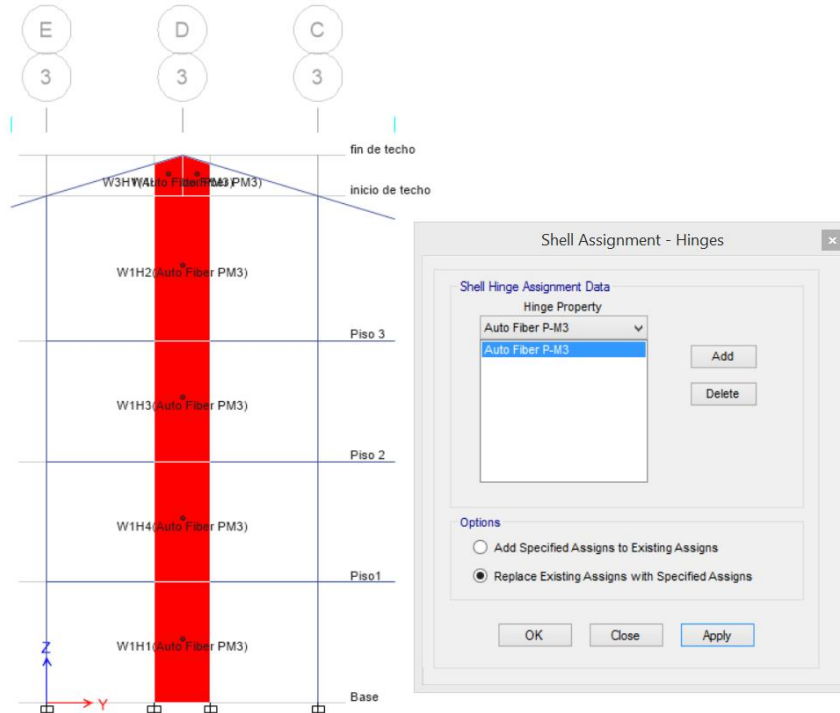


Figura 214.

Parámetros para la asignación de rótulas en placas, módulo II

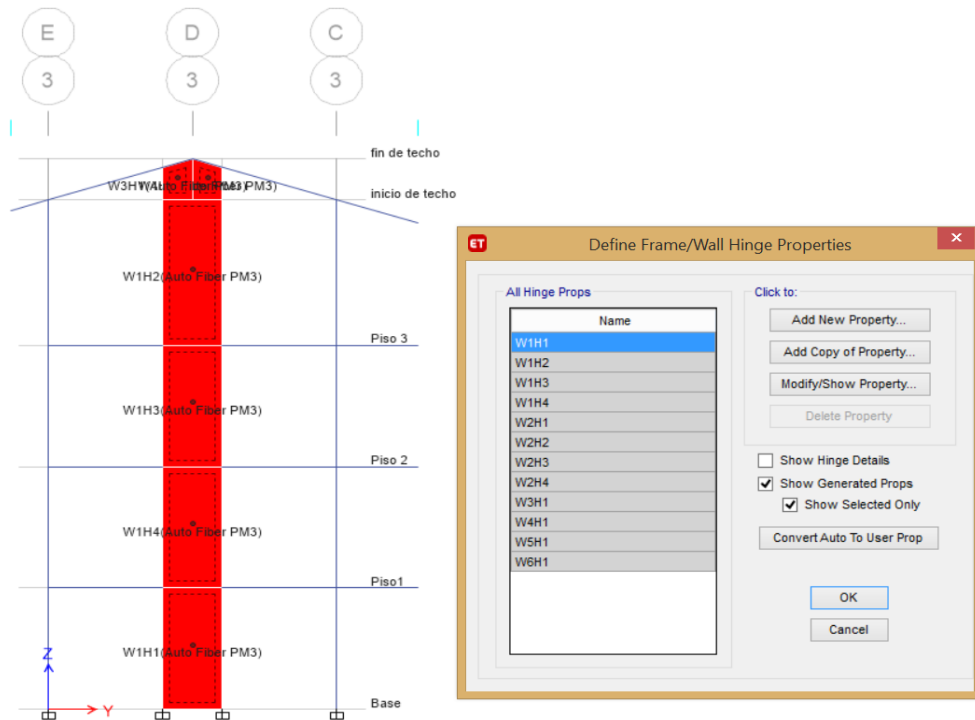
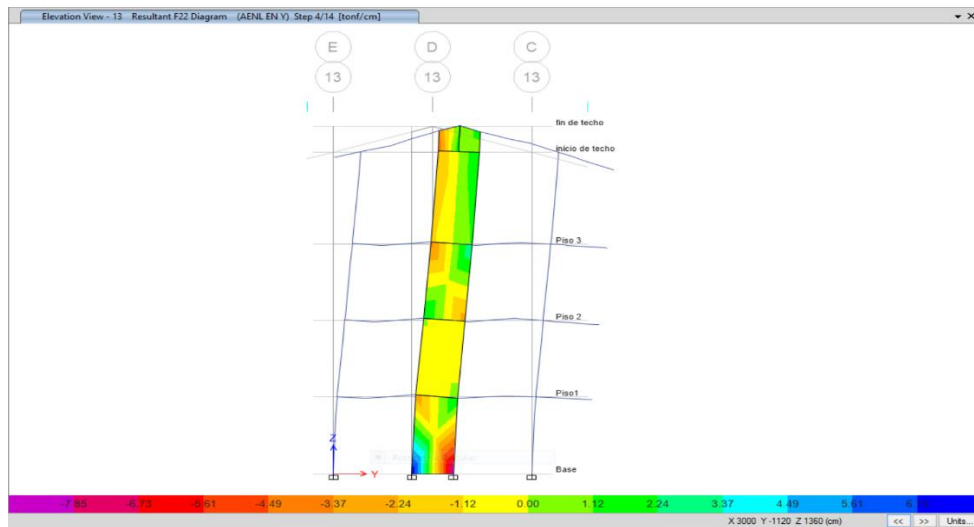


Figura 215.

Deformaciones en placas, módulo II



Una vez establecido los casos de carga no lineales con el patrón de fuerzas laterales se corre el modelo, para generar y visualizar la curva de capacidad en la dirección “X” o “Y”.

En la dirección X, la estructura alcanza su capacidad última cuando logra un desplazamiento de 17.98 cm y un cortante basal de 1295.55 ton. Es decir, se detiene el análisis cuando se logra un desplazamiento máximo de 17.98 cm, se considera este el valor con el que la estructura en estudio, módulo II, alcanza su capacidad máxima y colapsa (Fig. 194). Así mismo, se muestra las rótulas plásticas de los elementos estructurales del módulo II, realizado en el programa Etabs 2018 (Fig. 195).

Figura 216.

Curva de capacidad en dirección X, módulo II

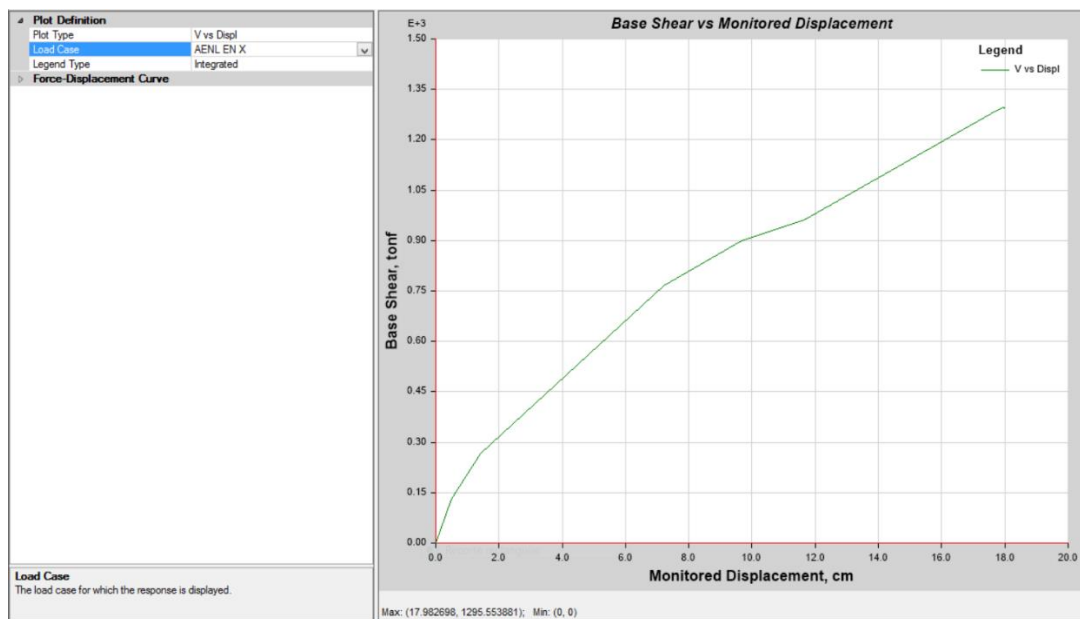


Figura 217.

9 – primeros step, en la dirección X, módulo II

Setp	Monitored Displ cm	Base Force tonf	A - B	B - C	C - D	D - E	>E	A - IO	IO - LS	LS - CP	>CP	Total
0	0	0	564	0	0	0	0	564	0	0	0	564
1	0.4874	129.2122	563	1	0	0	0	564	0	0	0	564
2	1.4032	266.9631	468	96	0	0	0	564	0	0	0	564
3	7.2185	766.9185	451	113	0	0	0	561	3	0	0	564
4	9.6568	900.7274	429	127	0	0	8	546	13	5	0	564
5	11.6607	963.0083	407	143	4	0	10	507	43	14	0	564
6	17.7581	1287.039	373	177	4	0	10	477	73	4	10	564
7	17.9484	1294.9863	371	179	4	0	10	475	75	4	10	564
8	17.9827	1295.5539	370	179	4	0	11	475	75	4	10	564
9	17.9734	1292.3427	370	179	4	0	11	475	74	5	10	564

El espectro de demanda en base al ATC 40, debe definirse para un sismo de servicio (SS), sismo de diseño (SD) y sismo máximo (SM), donde el sismo de servicio representa el 0.5 del SD, y el sismo máximo es el 1.25 del SD.

Definida la curva de capacidad y el espectro de demanda, se puede determinar el punto de desempeño por el FEMA 440 y por el ATC 40 para un sismo de servicio, sismo de diseño y sismo máximo. En la dirección X, según el punto de desempeño para un sismo por FEMA 440 AL, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura va a soportar un cortante de 929.83 ton, y desplazamiento espectral "Sd" de 7.79 cm (Fig. 196). Según el punto de desempeño para un sismo de servicio, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 636.38 ton, con un desplazamiento espectral "Sd" de 4.15 cm (Fig. 197). Según el punto de desempeño para un sismo de diseño, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 925.48 ton, con un desplazamiento espectral "Sd" de 7.67 cm (Fig. 198). Según el punto de desempeño para un sismo máximo, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 1101.42 ton, con un desplazamiento espectral "Sd" de 10.64 cm (Fig. 199).

Figura 218.

Punto de desempeño en la dirección X para un sismo definido por FEMA 440 AL, módulo II

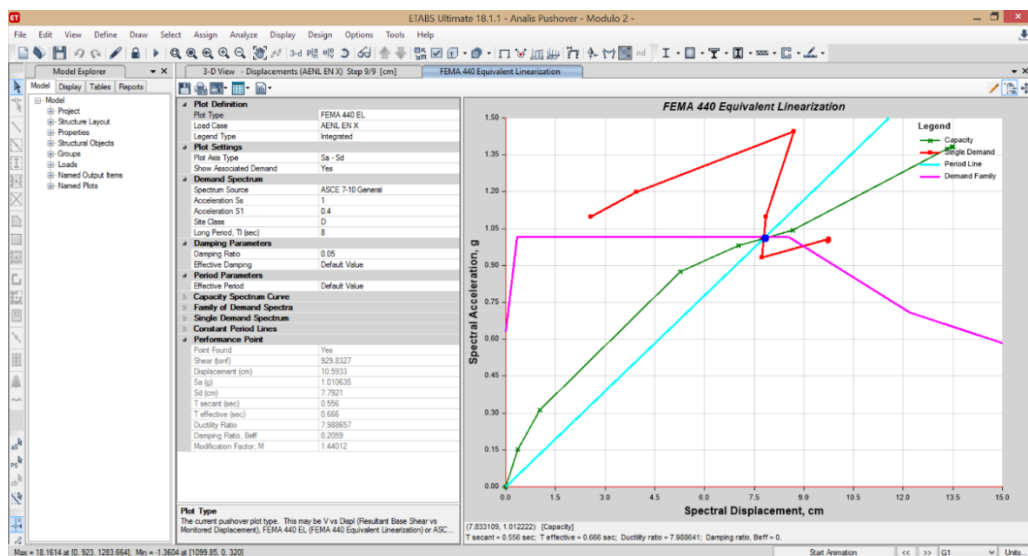


Figura 219. Punto de desempeño en la dirección X para un sismo de servicio, módulo II

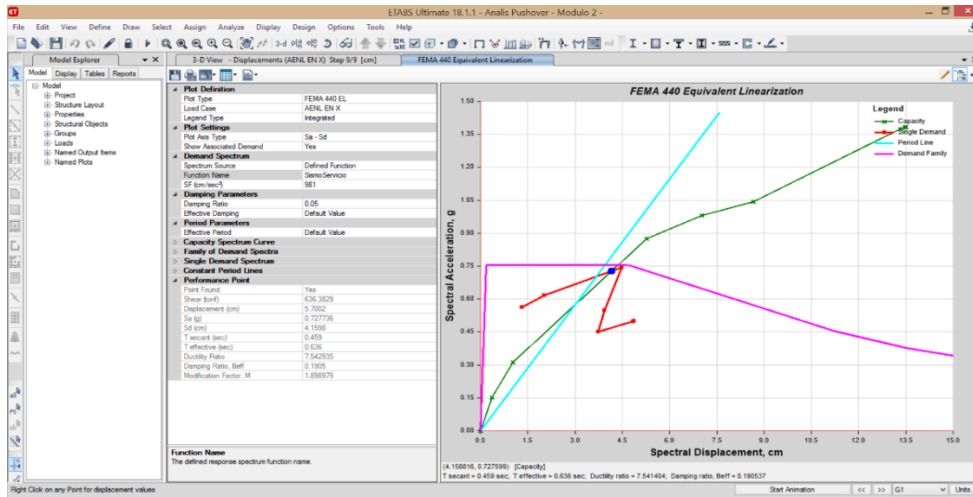


Figura 220. Punto de desempeño en la dirección X para un sismo de diseño, módulo II

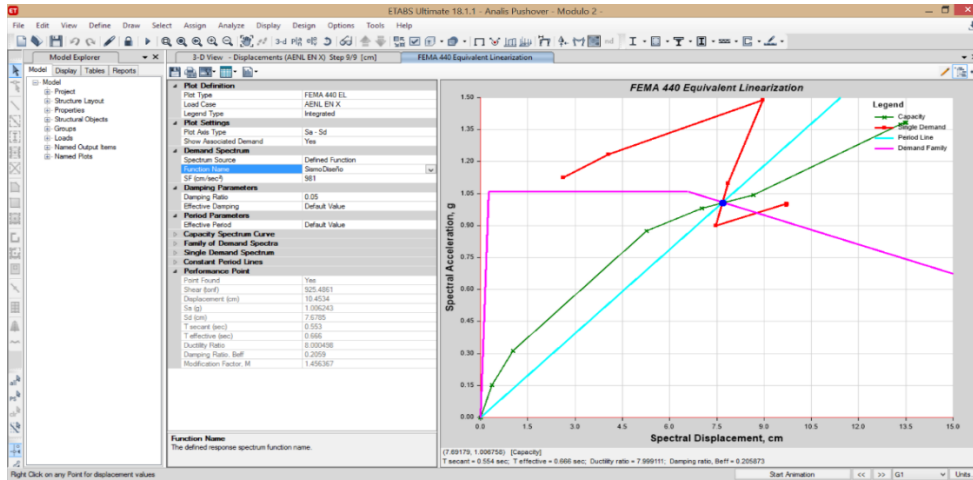
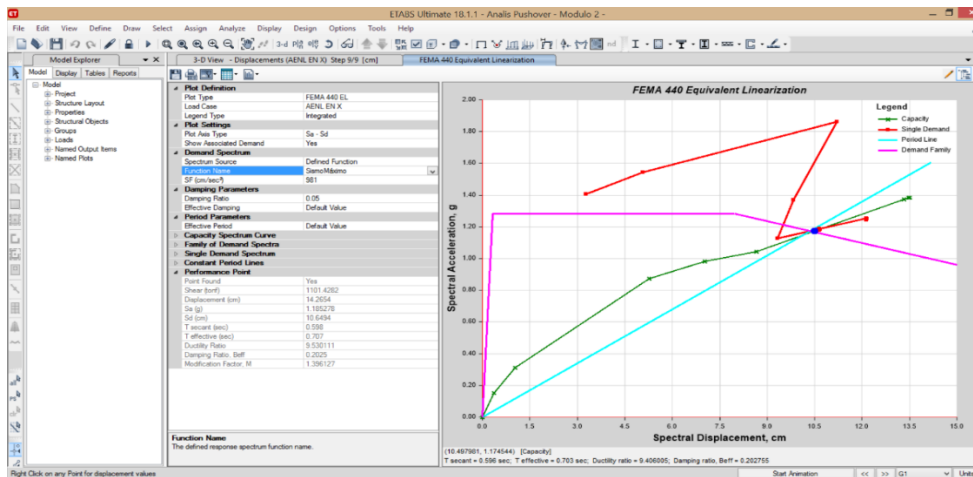


Figura 221. Punto de desempeño en la dirección X para un sismo máximo, módulo II



En la dirección Y, la estructura alcanza su capacidad última cuando se alcanza un desplazamiento de 13.32 cm y una cortante basal de 546 ton. Es decir, se detiene el análisis cuando se logra un desplazamiento máximo de 13.32 cm, se considera este el valor con el que la estructura en estudio, módulo II, alcanza su capacidad máxima y colapsa. Así mismo, se muestra las rótulas plásticas de los elementos estructurales del módulo II, realizado en el programa Etabs 2018 (Fig. 201).

Figura 222.

Curva de capacidad de la estructura en dirección Y, módulo II

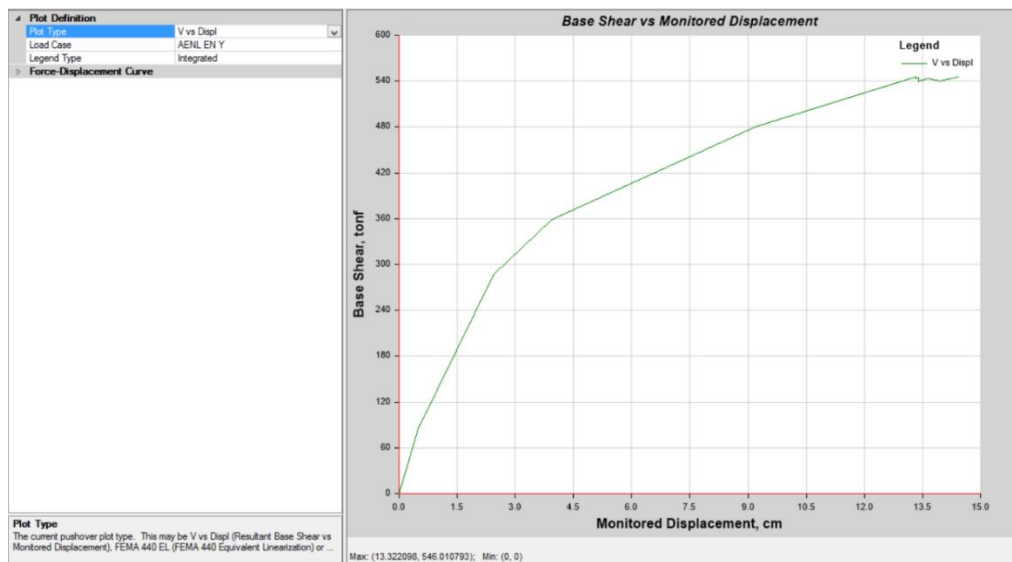


Figura 223.

Se observa (15 – primeros step), dirección Y, módulo II

Setp	Monitored Displ cm	Base Force tont	A - B	B - C	C - D	D - E	>E	A - IO	IO - LS	LS - CP	>CP	Total
0	0	0	252	0	0	0	0	252	0	0	0	252
1	0.5107	82.5565	250	2	0	0	0	252	0	0	0	252
2	0.7358	104.8858	218	34	0	0	0	252	0	0	0	252
3	7.0273	324.919	193	59	0	0	0	232	20	0	0	252
4	11.1551	389.3943	177	67	4	0	4	208	40	4	0	252
5	11.7053	393.2718	171	73	4	0	4	208	36	8	0	252
6	12.7188	406.5844	170	74	4	0	4	208	36	8	0	252
7	13.6069	424.2305	165	77	6	0	4	208	36	8	0	252
8	13.6074	420.0118	165	77	4	2	4	208	34	10	0	252
9	13.6198	420.4957	164	76	6	2	4	208	34	10	0	252
10	13.6203	416.2535	164	76	4	4	4	208	32	12	0	252
11	13.6792	418.4709	164	76	4	4	4	208	32	12	0	252
12	14.5111	434.9464	161	75	8	4	4	207	33	8	4	252
13	14.5116	426.9136	161	75	4	8	4	207	29	12	4	252
14	14.9359	436.7901	160	75	5	8	4	207	29	12	4	252
15	14.9268	432.9155	160	74	5	9	4	207	28	13	4	252

En la dirección Y, según el punto de desempeño para un sismo por FEMA 440 AL, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura va a soportar una cortante de 506.9 ton, y desplazamiento espectral “Sd” de 8.02 cm (Fig. 202). Según el punto de desempeño para un sismo de servicio, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 391.04 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 3.92 cm (Fig. 203). Según el punto de desempeño para un sismo de diseño, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 519 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 8.57 cm (Fig. 204). Según el punto de desempeño para un sismo máximo, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 541.11 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 10.67 cm (Fig. 205).

Figura 224.

Punto de desempeño en la dirección Y para un sismo definido por FEMA 440 Al, módulo II

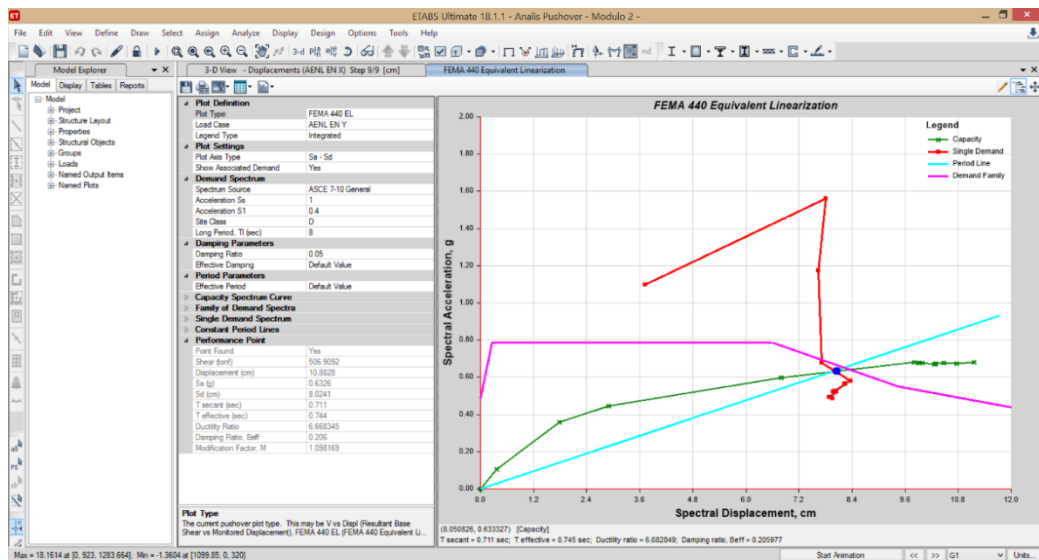


Figura 225.

Punto de desempeño en la dirección Y para un sismo de servicio, módulo II

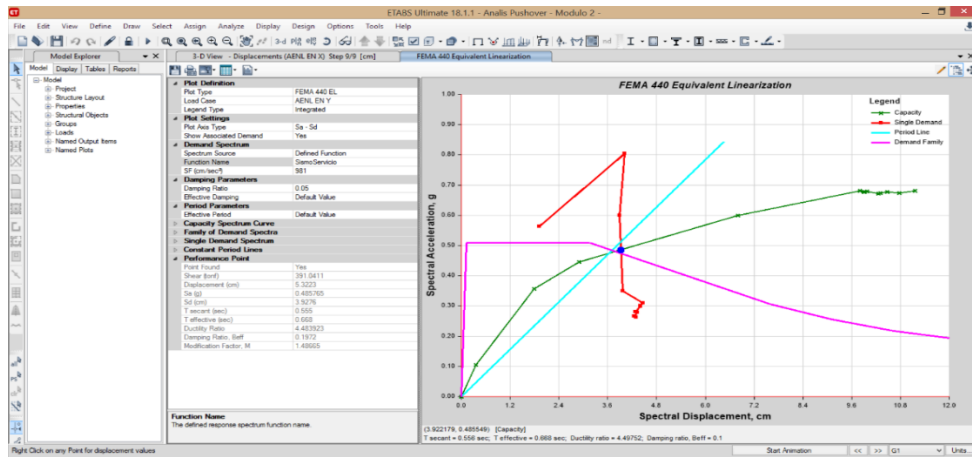


Figura 226.

Punto de desempeño en la dirección Y para un sismo de diseño, módulo II

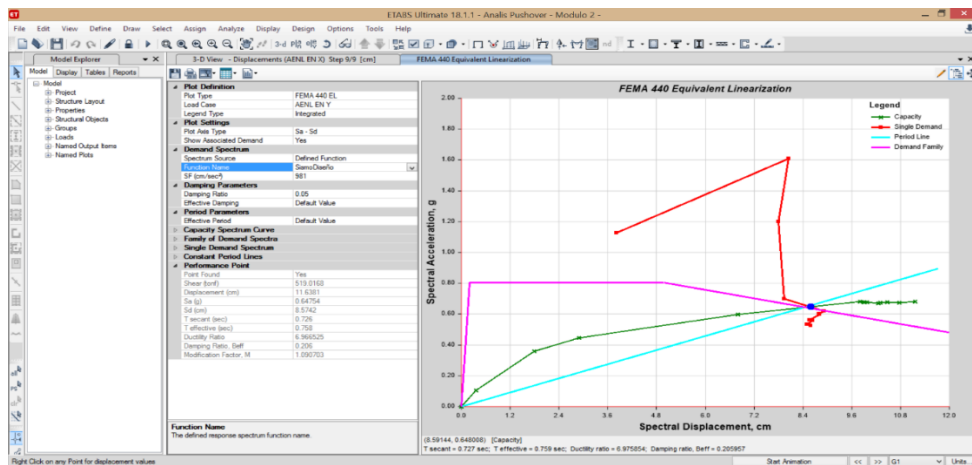
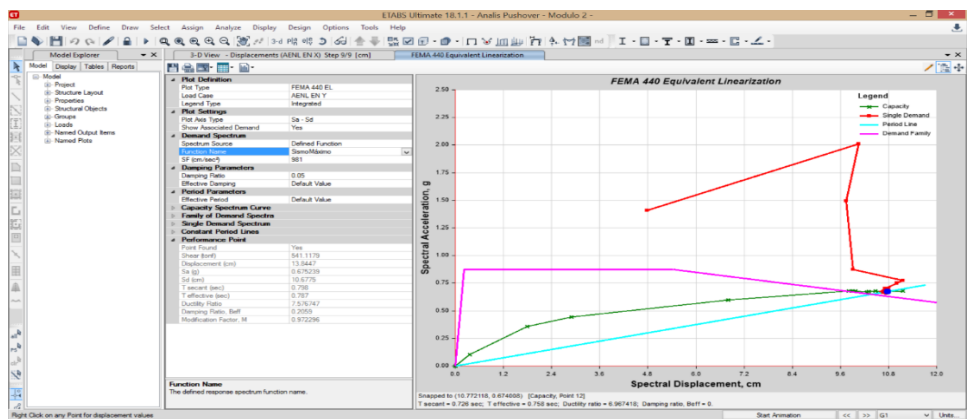


Figura 227.

Punto de desempeño en la dirección Y para un sismo máximo, módulo II



2.5) Identificación de rótulas plásticas o primeros puntos de colapso frente a un evento sísmico, módulo II

En la dirección X, las primeras rótulas plásticas se forman en el segundo piso en la viga B26, que se halla entre el Eje 8-8 y 10-10. En el segundo y tercer step, se observan rótulas en las vigas y columnas del primer piso. En el cuarto step se observan las primeras rótulas plásticas que se encuentran en precolapso ubicadas en el primer piso que se halla en el Eje 5-5, 6-6, 8-8, 10-10 y 11-11. En el quinto step se observan todas las rótulas plásticas de la edificación.

Figura 228.

Primer step, eje X, módulo II

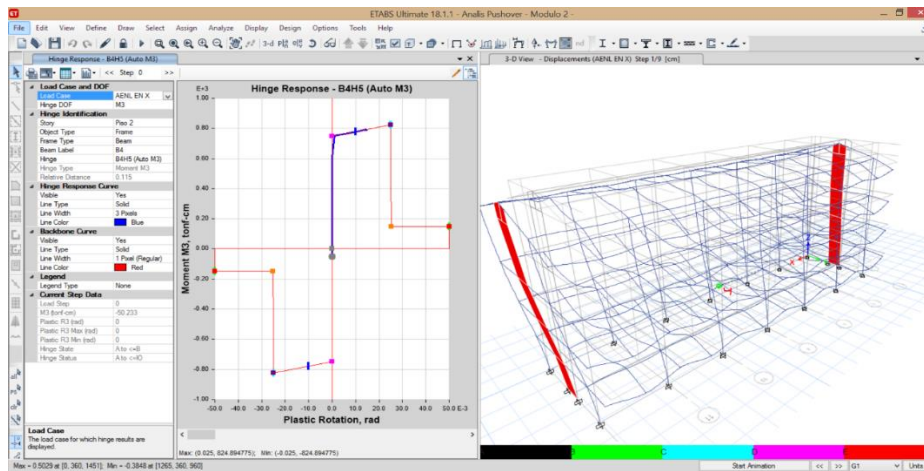


Figura 229.

Segundo step, eje X, módulo II

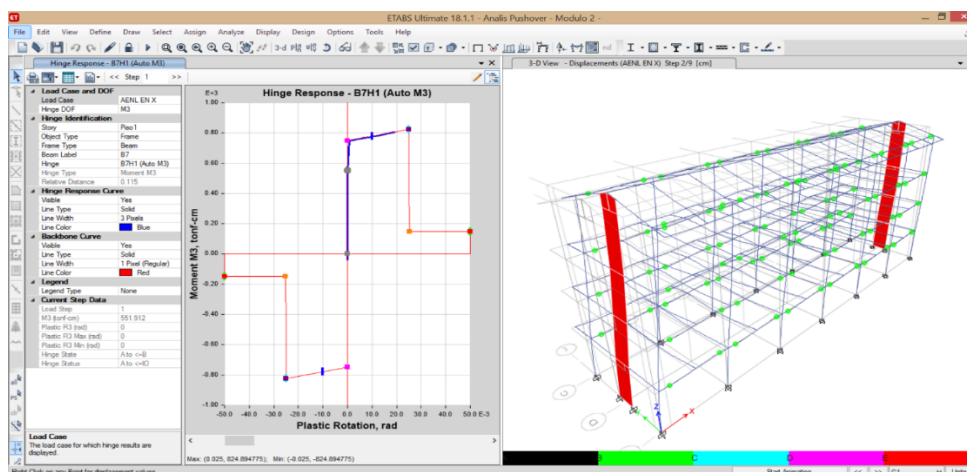


Figura 230.

Tercer step, eje X, módulo II

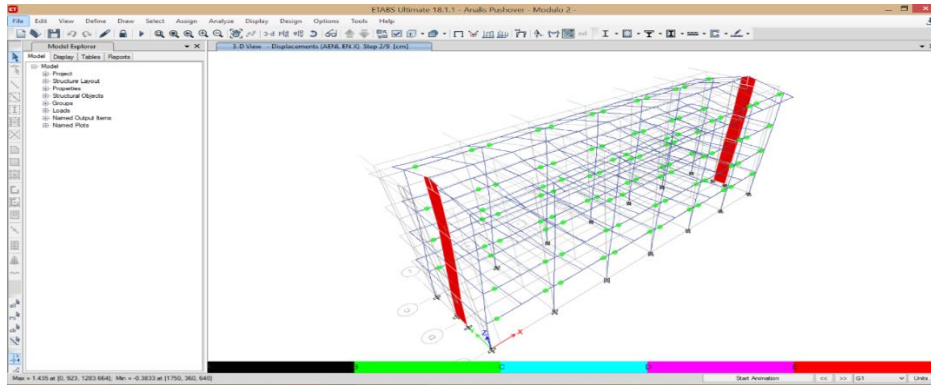


Figura 231.

Cuarto step, eje X, módulo II

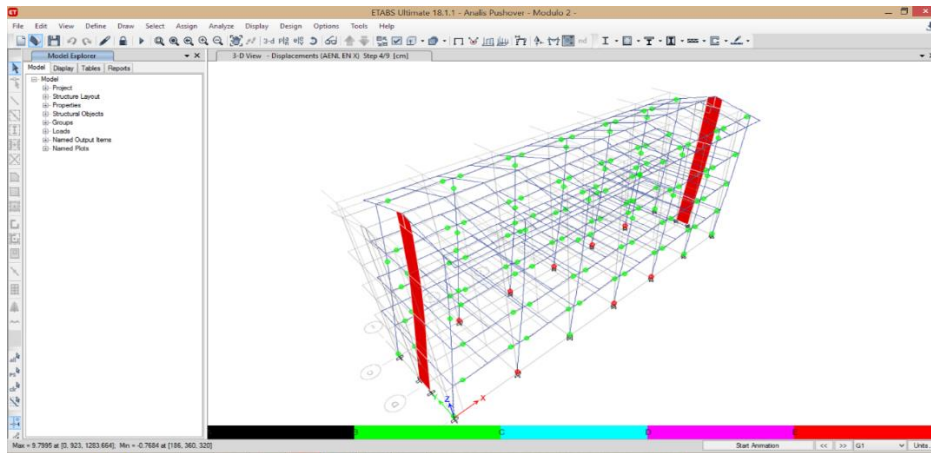
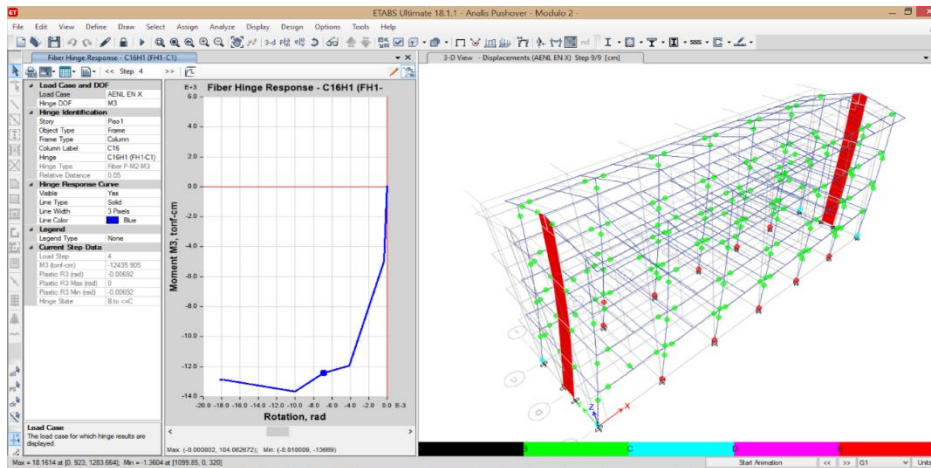


Figura 232.

Quinto step, eje X, módulo II



En la dirección Y, las primeras rótulas plásticas que se forman en la estructura están en el segundo piso en las vigas B147 y B149, que se halla en el Eje (3-3 y 13-13). En el segundo step, se observa rótulas en las vigas en el eje 3-3 y 13-13. Las primeras roturas que se forman en las columnas se encuentran en el primer piso (tercer step). En el cuarto step se observan las primeras rótulas plásticas que se encuentran en precolapso.

Figura 233.

Primer step, eje Y, módulo II

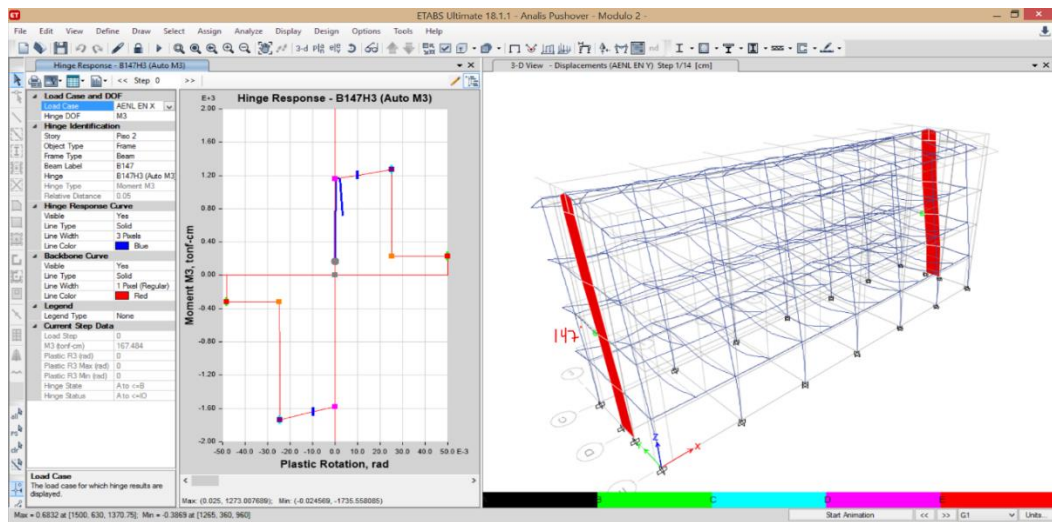


Figura 234.

Segundo step, eje Y, módulo II

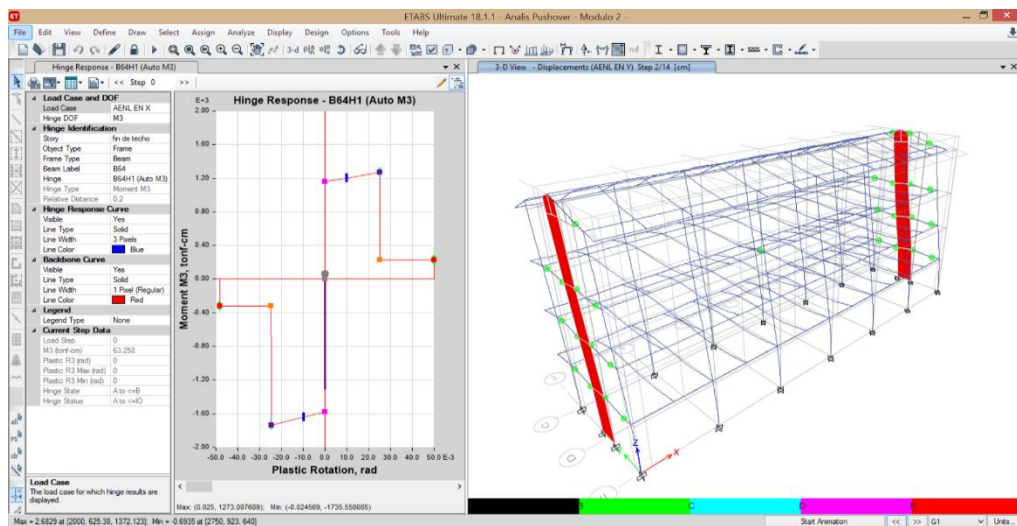


Figura 235.

Tercer step, eje Y, módulo II

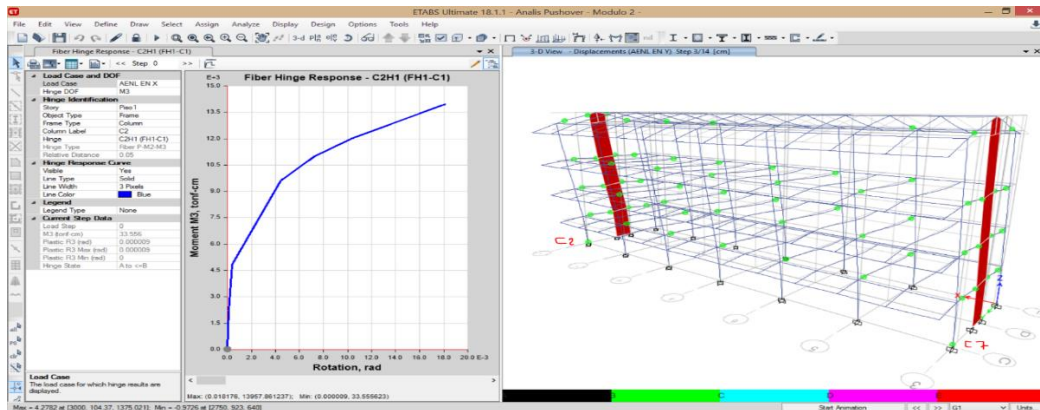


Figura 236.

Cuarto step, eje Y, módulo II

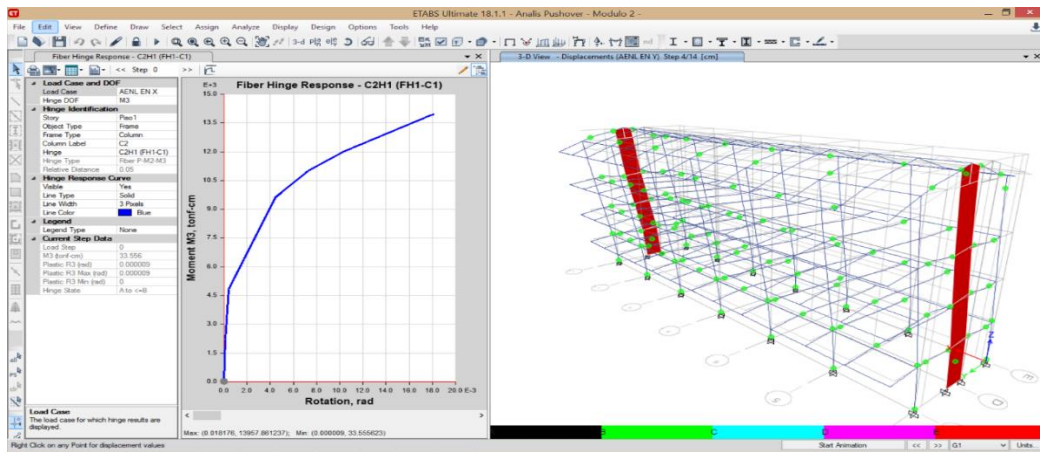


Figura 237.

Modelo de la estructura donde se observan los 14 step, eje Y, módulo II

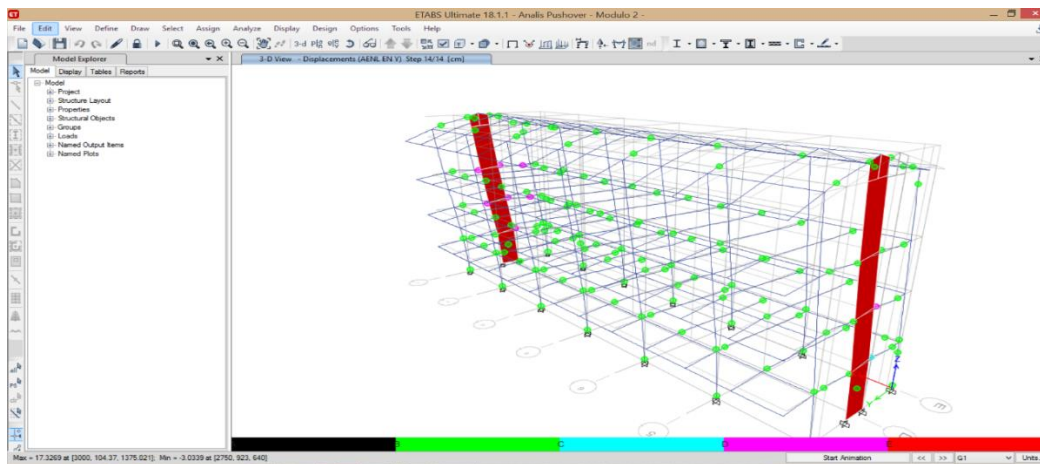
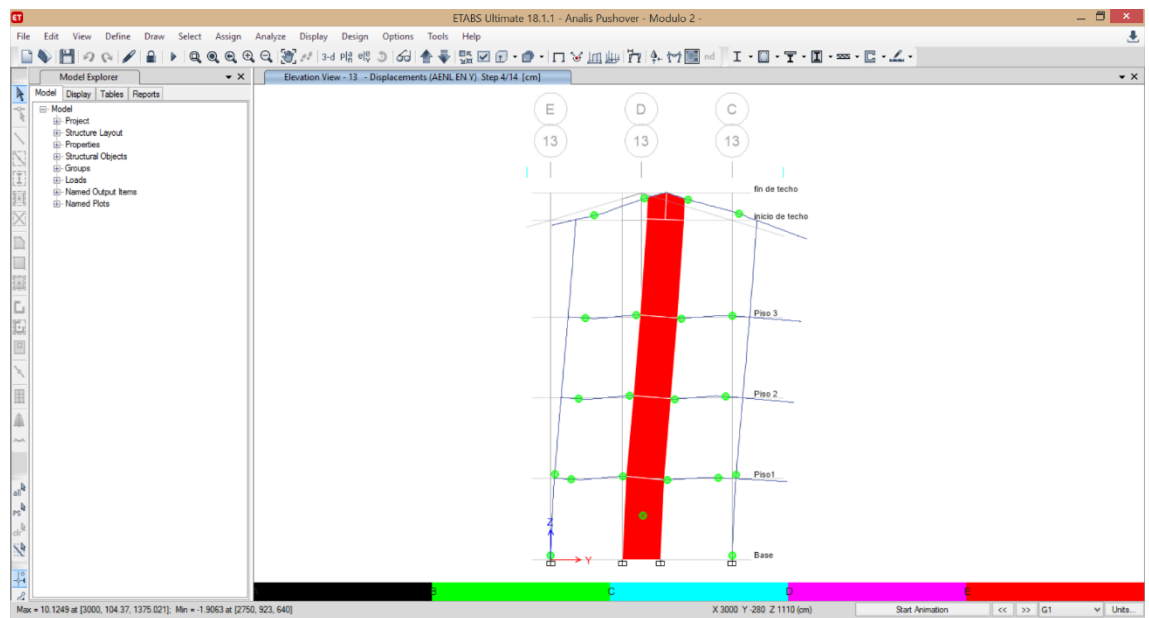
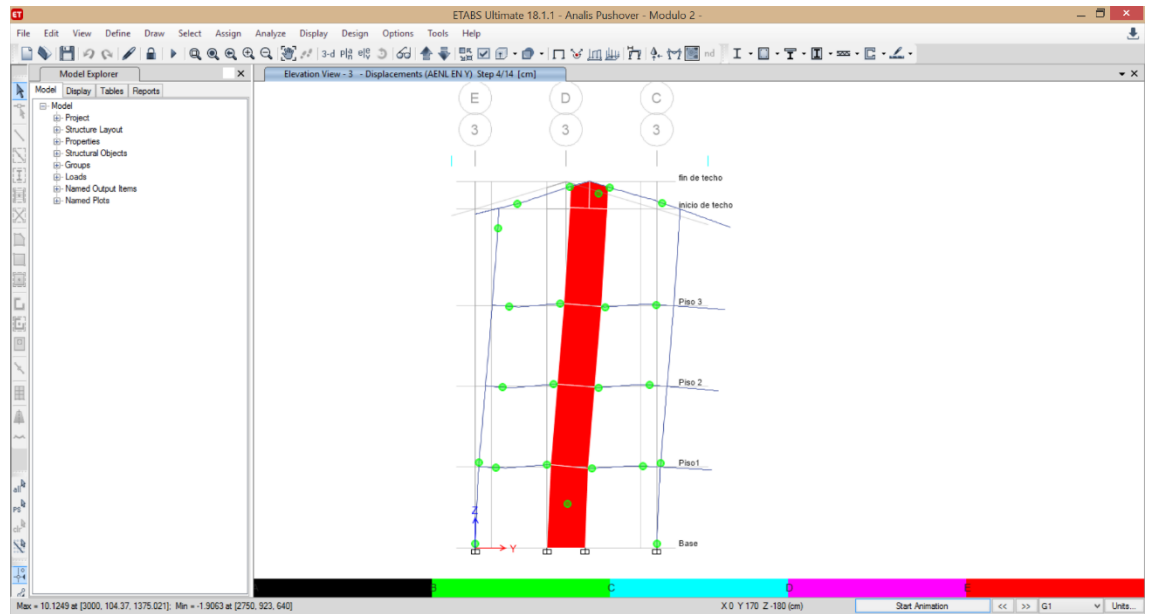


Figura 238.

Rótulas plásticas en las placas, dirección Y, módulo II



3) Módulo III

3.1) Modelamiento módulo III

Para modelar el módulo III, se sigue el mismo proceso inicial que para el módulo I, es decir se abre el programa Etabs, se completan la información de los ejes, el número de pisos, la información del espaciado entre ejes y se definen las propiedades de los materiales: concreto, acero y albañilería. Luego, se definen las secciones según el plano de estructuras, es decir se definen los objetos frame (columnas, vigas) y los elementos Wall (Placas).

Figura 239.

Plano estructural módulo III

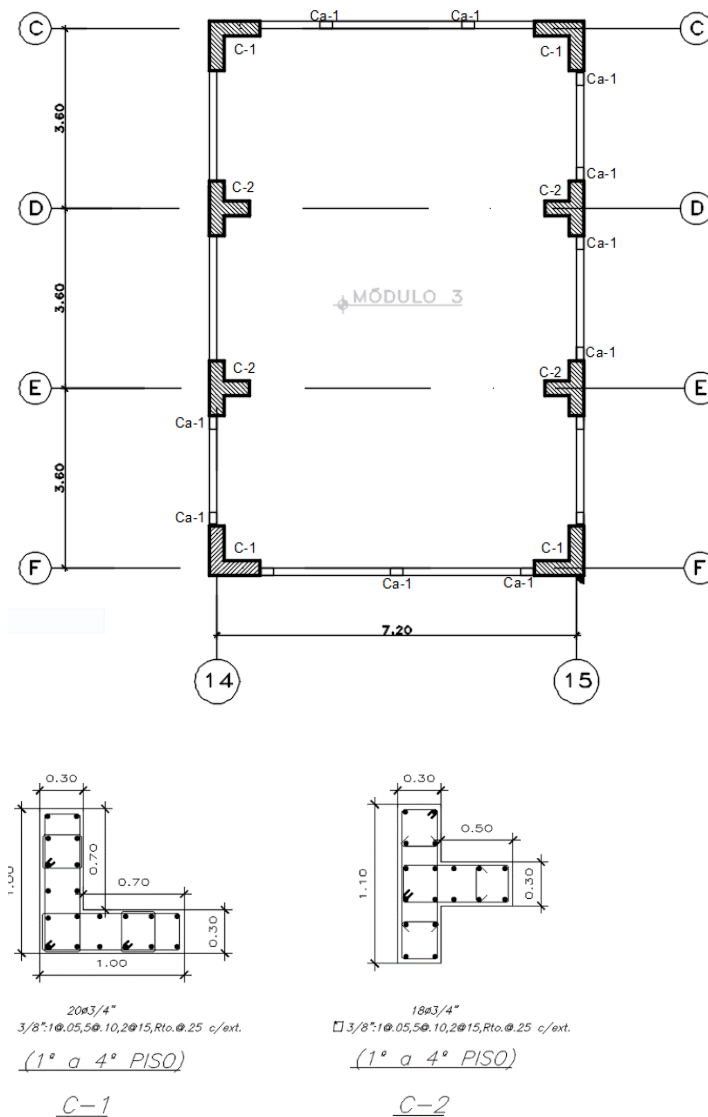
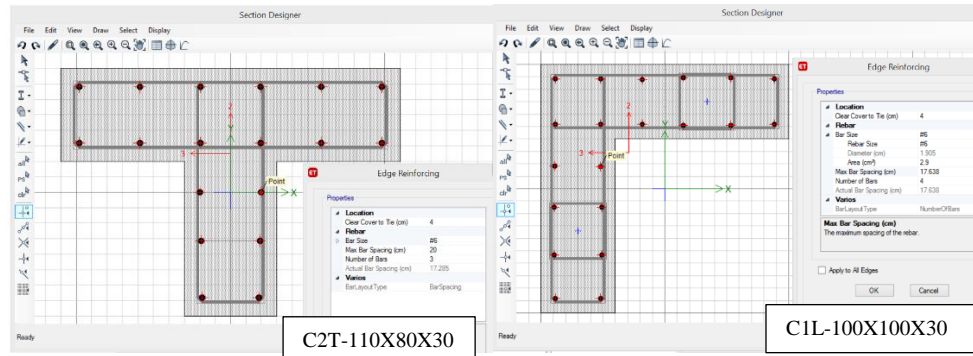


Figura 240.

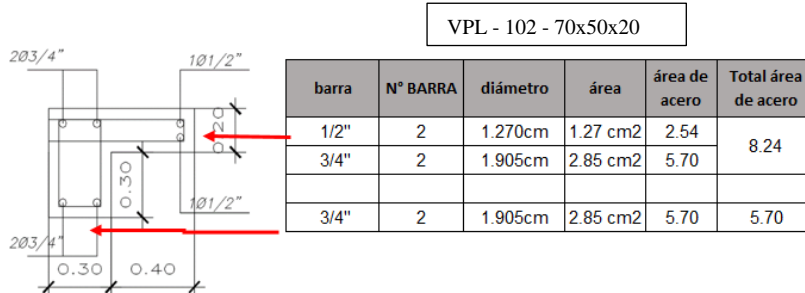
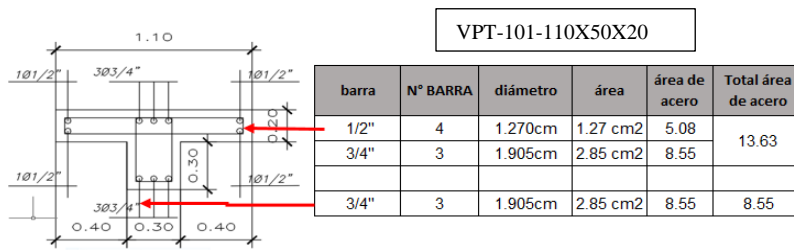
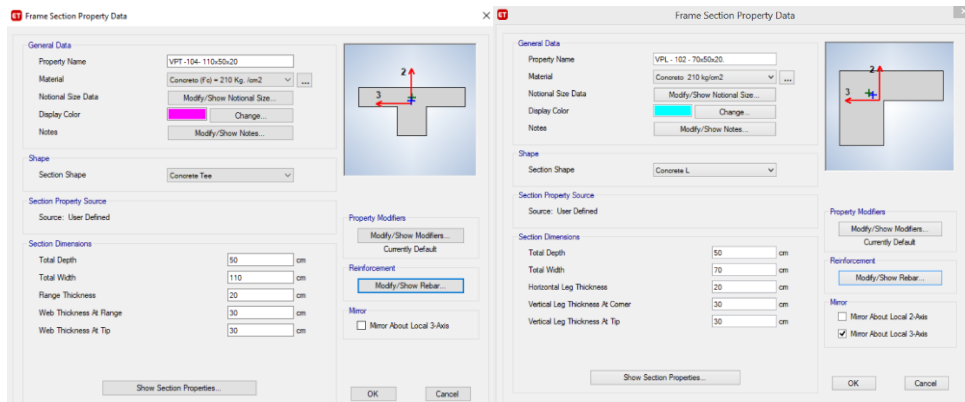
Columnas del módulo III



Nota: C2T- 110x80x30, se introdujo 18 barras de acero de refuerzo longitudinales de #6, y las barras de confinamiento de = #3 con espaciado uniforme de 15cm. C1L- 100x100x30, se introdujo 20 barras de acero de refuerzo longitudinales de #6, y las barras de confinamiento de #3 con espaciado uniforme de 15cm.

Figura 241.

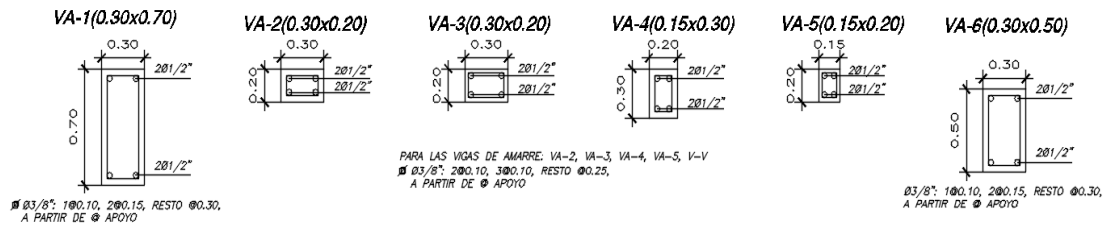
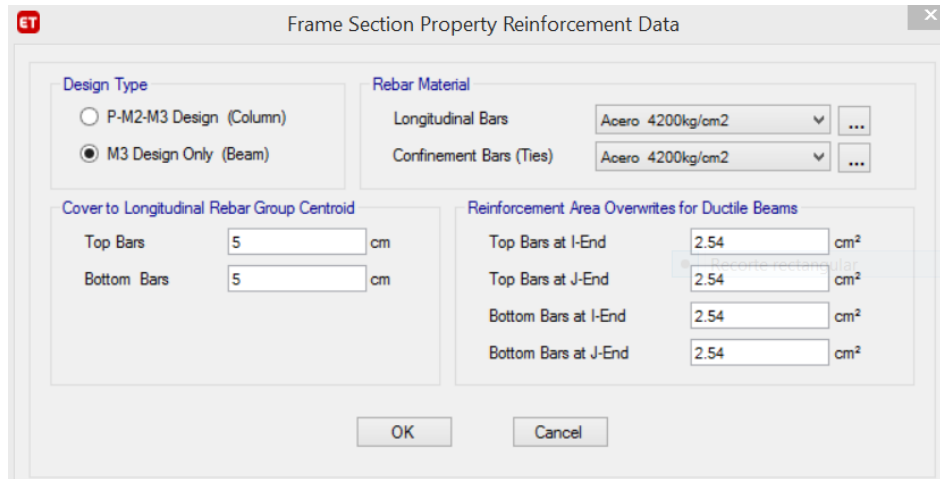
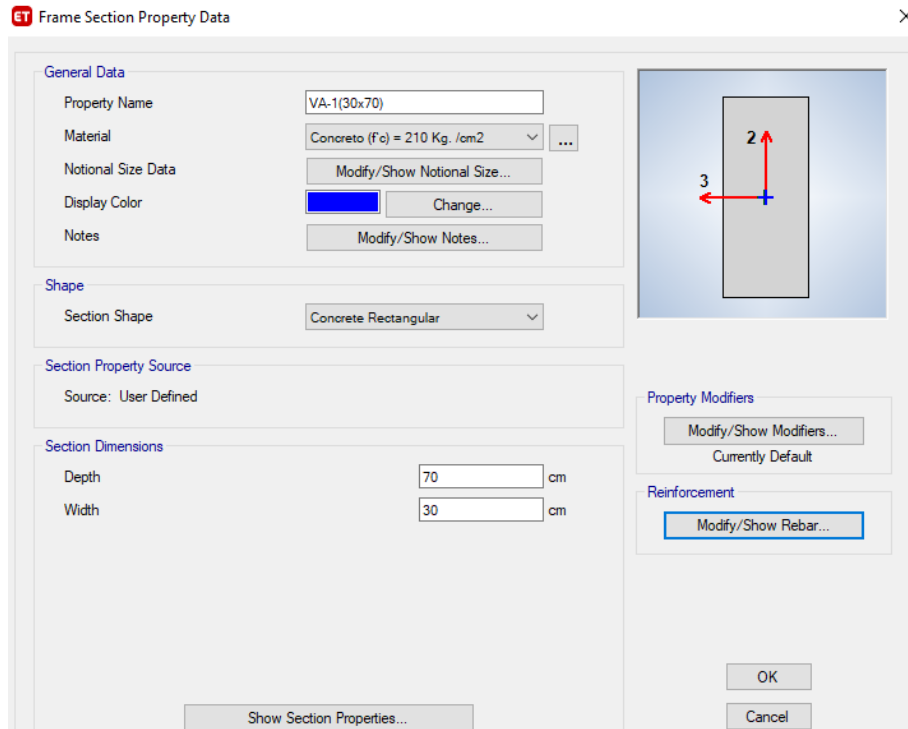
Vigas principales del módulo III



Nota: Se da clic en "Modify/Show Ribar", arrojará una ventana para colocar el recubrimiento y la cantidad de acero de la viga.

Figura 242.

Viga de amarre VA -1(30x 70), módulo III

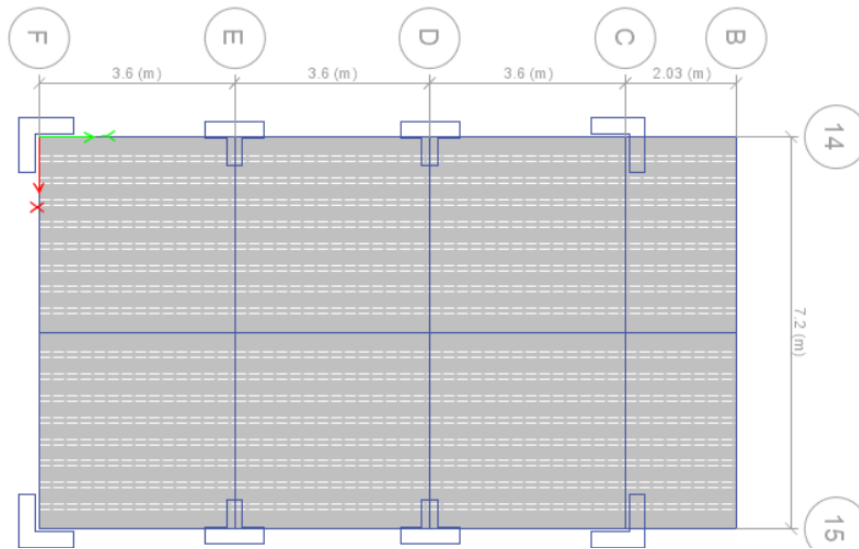


Nota: De la misma manera se crearon todas las secciones de las vigas de amarre, VA-2(30x20), VA-3(30x20), VA-4(20x30), VA-5(15x20) y VA-6(30x50). Con recubrimiento de 3.5 hasta el centro de la barra, con un área de acero de 2.54 cm.

Para la asignación de losas se sigue la ruta en “Define/ Section Properties/ Slab Sections” y en Modeling Type se selecciona “Shell - Thin”, como un elemento fino, tal como se realizó para el módulo I.

Figura 243.

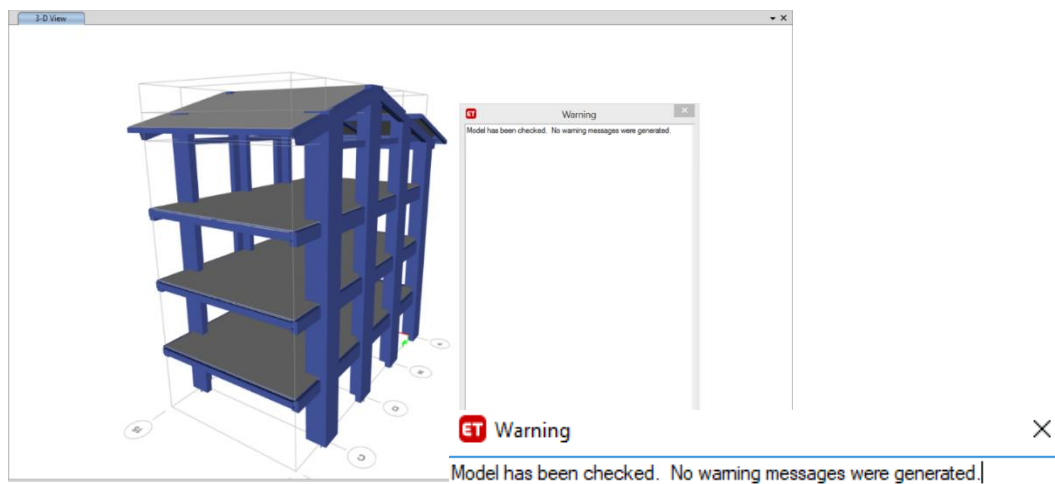
Asignación de losas del módulo III



Se realiza un chequeo general de la edificación, con la finalidad que no haya ningún error, en la opción “Analyze / Check Model” de esta manera se da una tolerancia de 10 mm de separación con cada elemento.

Figura 244.

Chequeo general de la edificación, módulo III



Nota: Si se muestra esta imagen, se menciona que no hay ningún error en la edificación.

Las cargas del módulo III, se colocaron al modelo estructural, siguiendo el mismo procedimiento ya descrito en el módulo I. Las cargas asignadas fueron:

Tabla 57.

Asignación de cargas uniformes en elementos Shell/ Área, módulo III

Piso	Descripción	Cant/m2	Peso unitario (kg)	Peso por m2	Peso total (kg/m2)
Carga muerta					
Piso 1	- peso del poliestireno 120x30x15cm	2.083	0.15	0.31	
	- acabados			100	125.31
	- cielo raso			25	
Carga viva					
	- pasadizo				400
	- oficinas				250
Carga muerta					
Piso 2	- peso del poliestireno 120x30x15cm	2.083	0.15	0.31	
	- acabados			100	125.31
	- cielo raso			25	
Carga viva					
	- pasadizo				400
	- sala de computación				250
Carga muerta					
Piso 3	- peso del poliestireno 120x30x15cm	2.083	0.15	0.31	
	- acabados			100	125.31
	- cielo raso			25	
Carga viva					
	- pasadizo				400
	- aulas				250
Carga muerta					
Techos	- peso del poliestireno 120x30x15cm	2.083	0.15	0.31	
	- cobertura de teja andina			10	35.31
	- cielo raso			25	
Carga viva de techo					
	- techos inclinados				50
	- techos horizontales				100

Figura 245.

Carga muerta y viva en todos los pisos del módulo III

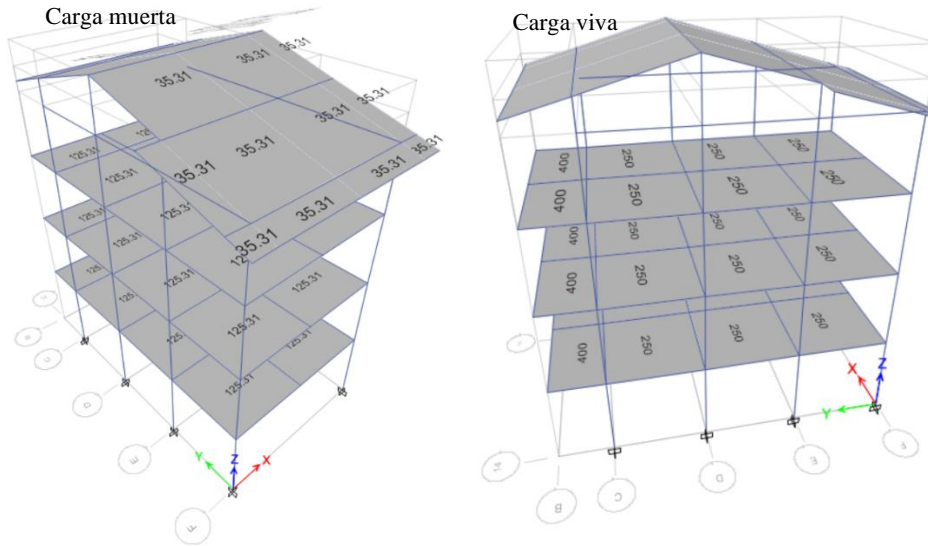


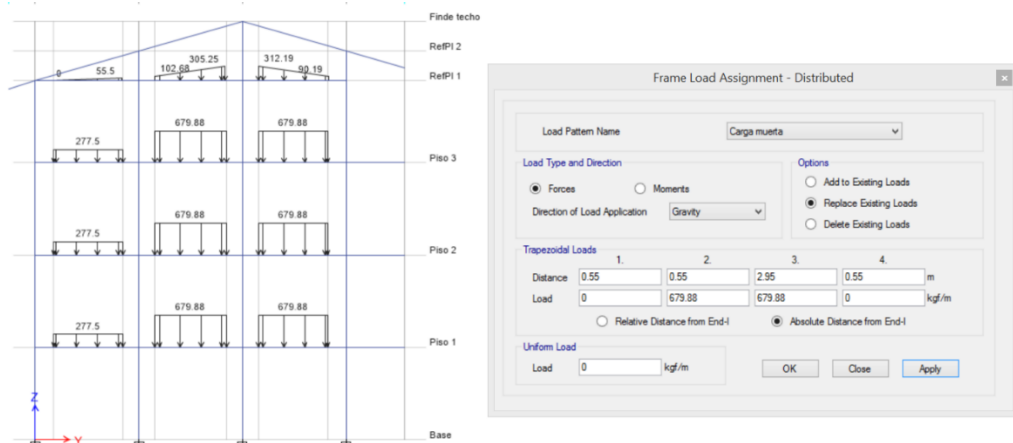
Tabla 58.

Asignación de cargas distribuidas en vigas, módulo III

Descripción	Espesor de muro (m)	Altura (m)	Peso propio albañilería tarrajada	Por metro (m) lineal	Peso (Kg/m)
Carga distribuida					
Muro frontal del Eje (C-C)	0.15	2.1	1850	1	582.75
Muro lateral del Eje (14-14)	0.15	2.45	1850	1	679.88
	0.15	1	1850	1	277.50
Muro lateral del Eje (15-15)	0.15	1	1850	1	277.50
Muro posterior del Eje (F-F)	0.15	2.1	1850	1	582.75
	0.15	2.7	1850	1	749.25
	0.15	2.45	1850	1	679.88
Carga Interior Piso N°1					
Muro interior del Eje (D-D)	0.15	2.1	1850	1	582.75
Muro interior del Eje (14-15)	0.15	2.7	1850	1	749.25

Figura 246.

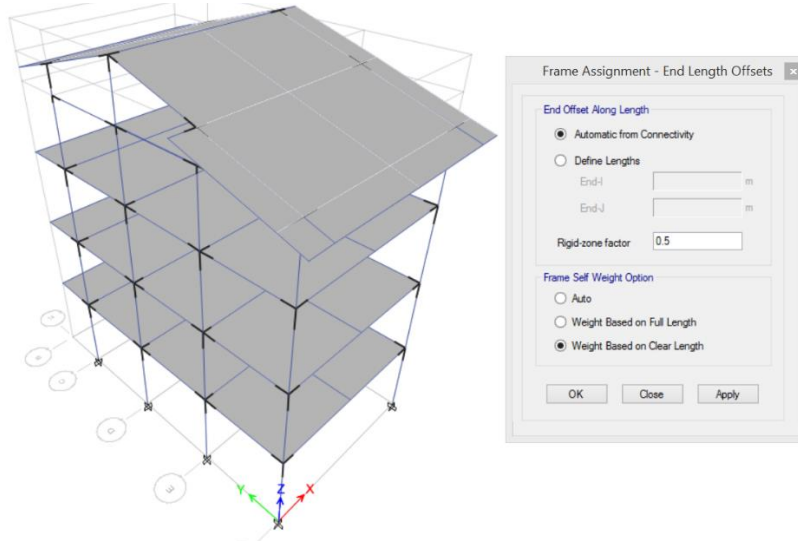
Asignación de cargas distribuidas en vigas, módulo III



Para dar las restricciones de la base, se selecciona todos los apoyos en la base en “Assing / Joint/ Restraints”, empotramiento perfecto. Así mismo, para la creación del brazo rígido, se selecciona todo el dibujo en “Select / all”, luego se asigna el brazo rígido en “Assing / Frame / End Length Offsets”.

Figura 247.

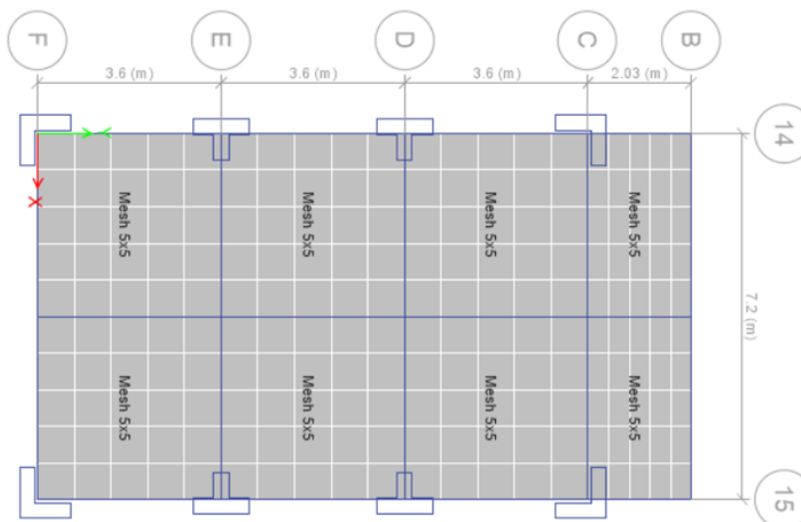
Creación de brazo rígido del módulo III



La discretización, es un método para el análisis estructural, a menores dimensiones de los elementos es mejor la precisión. Para ello se selecciona, en “Assing/ Shell/ Floor Auto Mesh Options”, discretización de losas.

Figura 248.

Discretización de losas del módulo III



Para que se transfiera las cargas adecuadamente de losas a las vigas y las vigas a las columnas, se selecciona todo el dibujo y en “Frame Auto Mesh options” se selecciona la opción “Include selected frame objects in mesh”, que incluya el mallado en vigas. Para generar la adecuada transferencia de cargas donde no hay continuidad del mallado, se selecciona todo el dibujo y en “Assign / Shell / auto Edge Constraint” que todo está amarrado monolíticamente, tal como se ha realizado para el módulo I.

3.2) Análisis sísmico estático del módulo III

El periodo fundamental de vibración se ha determinado según:

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

h_n = Altura desde el nivel 0+000= 14.51 m

C_{tx} = Edificios de pórticos de concreto armado= 45

C_{ty} = Edificios de pórticos de concreto armado= 45

$$T_x = 0.32 \text{ seg}$$

$$T_y = 0.32 \text{ seg}$$

Parámetros sísmicos:

– $Z = 0.25$

– $U = 1.50$

– $S = 1.20 \rightarrow \begin{matrix} T & TP & TL \\ S2 & 0.6 & 2.00 \end{matrix}$

Los coeficientes de reducción “R” son:

– Factor de irregularidad en altura $I_a = 1.00$

– Factor de irregularidad en planta $I_p = 1.00$

– $R_x = 8.00 \rightarrow$ Pórtico de concreto armado

– $R_y = 8.00 \rightarrow$ Pórtico de concreto armado

Cálculo de la amplificación sísmica “C”:

$$T_x = 0.32, T_y = 0.32, T_p = 0.60$$

$$T < T_p \rightarrow C = 2.5$$

$$C_x = 2.50$$

$$C_y = 2.50$$

Para el cálculo del coeficiente cortante en ETABS, el valor de C/R no debe ser menor que $C/R \geq 0.11$.

$$\text{En el eje } x \rightarrow \frac{C}{R} \geq 0.11 \rightarrow 0.31250 \geq 0.11 \text{ OK}$$

$$\text{En el eje } y \rightarrow \frac{C}{R} \geq 0.11 \rightarrow 0.31250 \geq 0.11 \text{ OK}$$

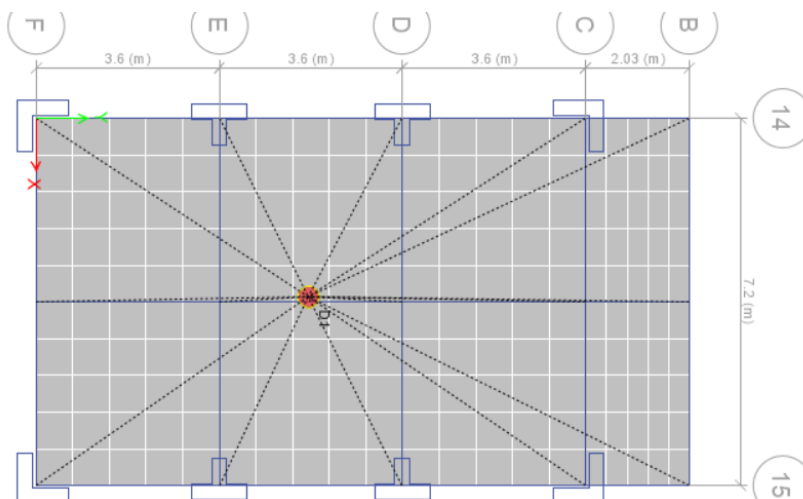
$$V_x = \frac{ZUCS}{R_x} = 0.1406$$

$$V_y = \frac{ZUCS}{R_y} = 0.1406$$

Se asigna diafragmas rígidos a los entrepisos y así liberar los grados de libertad como se indica en la norma E-030, los diafragmas deben tener tres grados de libertad, dos desplazamientos y un giro. En “Define / Diaphragms”, “Assign/Shell/ Diaphragms”, se asigna el diafragma rígido (D1, D2 y D3).

Figura 249.

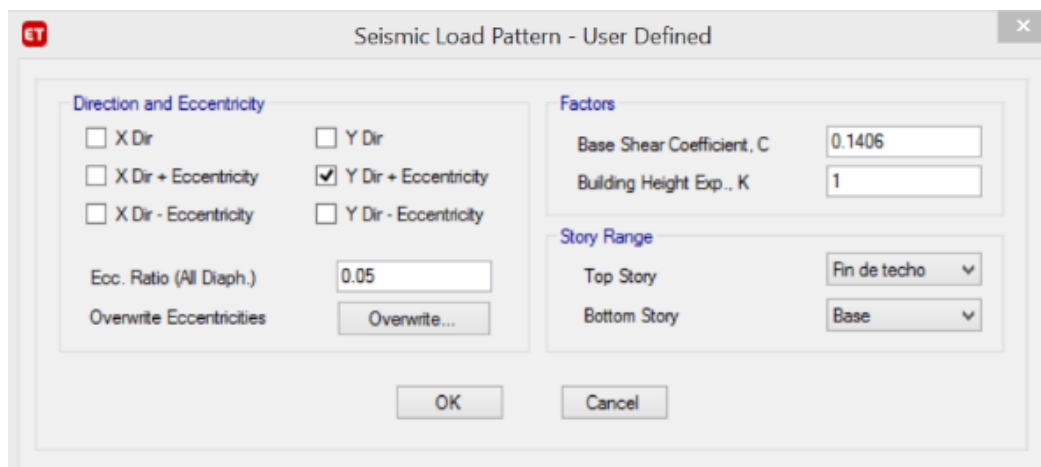
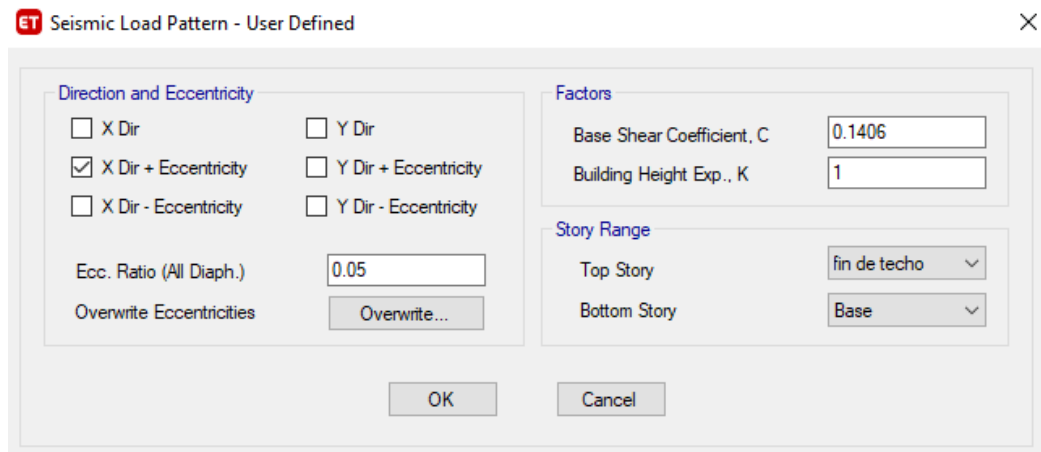
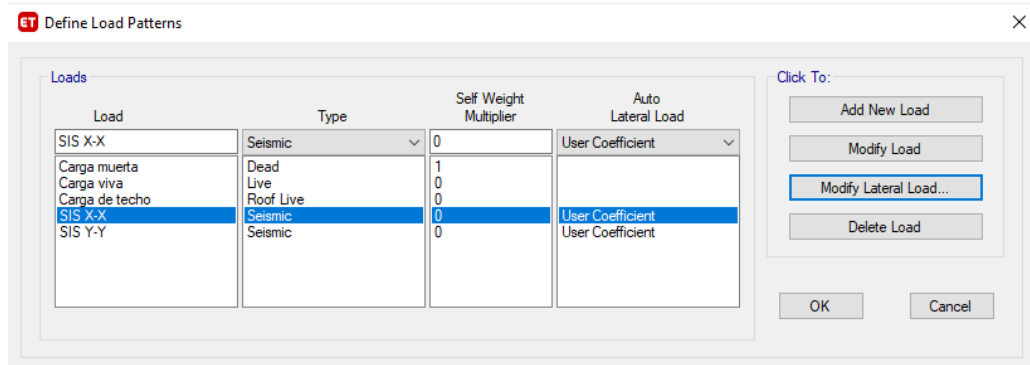
Creación de diafragma rígido, módulo III



En “Define Load Patterns”, se crea el sismo en (X) :(SIS X-X) y el sismo en la dirección (Y): (SIS –Y-Y).

Figura 250.

Proceso para ingresar el sismo estático y colocar el coeficiente de cortante basal para el módulo III



Nota: Se coloca el coeficiente de cortante en la base es que es de 0.1406 en la dirección de “x”, el valor de $k_x=1$ y con una excentricidad de 5%. Se coloca el coeficiente de cortante en la base es que es de 0.1406 en la dirección de “y”, el valor de $k_x=1$ y con una excentricidad de 5%.

La norma E-30 de diseño sismorresistente, indica que el peso (P), se calcula adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga de la siguiente manera:

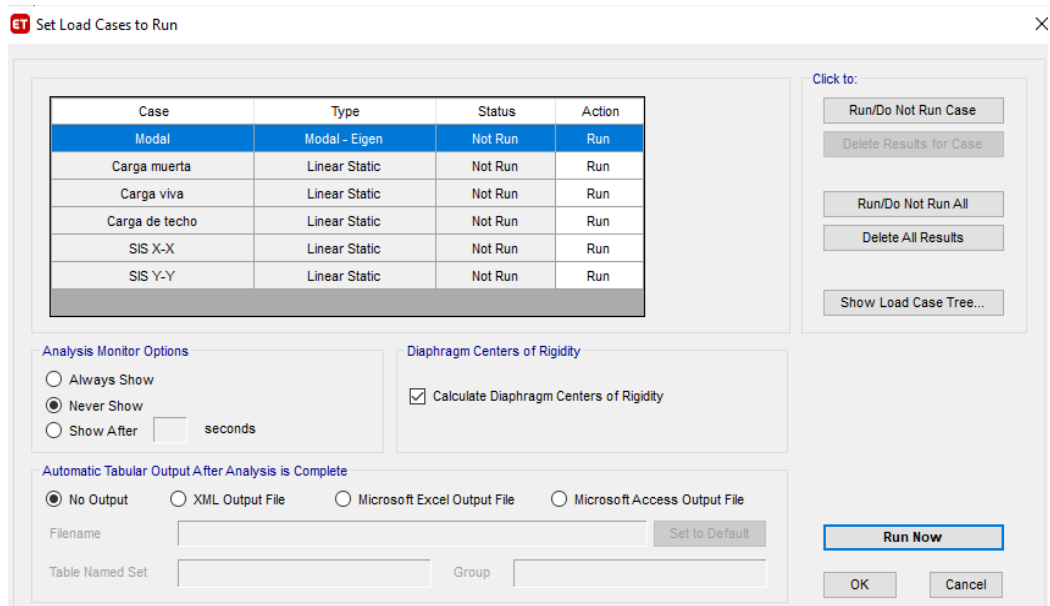
- a) En edificaciones de las categorías A y B, se tomará el 50% de la carga viva.
- b) En azoteas y techos en general se tomará el 25% de la carga viva.

Se define el peso de la edificación en “Define masas source”, casos de carga: carga muerta 1, carga viva 0.5 y carga de techo 0.25, según el proceso descrito para el módulo I.

Por último, se ejecuta el análisis estático. Para ello se configura las opciones de análisis, en “Analyze / Set Active of Freedom” y se selecciona Full 3D. Así mismo, en “Analyze / Set Load Cases to Run”, se selecciona “Calculate Diaphragm Centers of Rigdty”, para que calcule el centro de rigidez del diafragma y finalmente se corre el programa en “Run Mow”.

Figura 251.

Proceso para correr el análisis estático del módulo III



$$Kx = 1.00$$

$$Ky = 1.00$$

Tabla 60.

Fuerza sísmica en dirección X e Y módulo III

Nivel	Pi (kg)	hi(m)	$Pi \times hi^k$	ai	Fi (kg)	Fi (ton)
En la dirección X						
4	45192.12	14.51	655737.65	0.22	12186.64	12.19
3	135250.67	9.60	1298406.40	0.44	24130.39	24.13
2	102532.45	6.40	656207.69	0.22	12195.37	12.20
1	107437.55	3.20	343800.16	0.12	6389.40	6.39
â= P. Ed.	390412.79	$\sum Pi \times hi^k$	2954151.90	1.00	54901.80	54.90
En la dirección Y						
4	45192.12	14.51	655737.65	0.22	12186.64	12.19
3	135250.67	9.60	1298406.40	0.44	24130.39	24.13
2	102532.45	6.40	656207.69	0.22	12195.37	12.20
1	107437.55	3.20	343800.16	0.12	6389.40	6.39
â= P. Ed.	390412.79	$\sum Pi \times hi^k$	2954151.90	1.00	54901.80	54.90

3.3) Análisis dinámico del módulo III

Para el análisis dinámico se ha definido el espectro de respuesta en la dirección X e Y. Se ha empleado el método de superposición espectral considerando como criterio la combinación cuadrática completa (CQC) de los valores calculados para cada modo. Se ha trabajado con un amortiguamiento y excentricidad del diafragma del 5%. Luego se ha corrido el modelo realizando el chequeo modal y espectral. Para los modos de vibración de la estructura se tomaron en cuenta las consideraciones:

- El número mínimo de modos es de 3 (dos de traslación uno y de rotación).
- En cada dirección se han considerado aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas ha sido por lo menos el 90 % de la masa total.

Figura 252.

Espectro de respuesta en la dirección a) X, b) Y, del módulo III

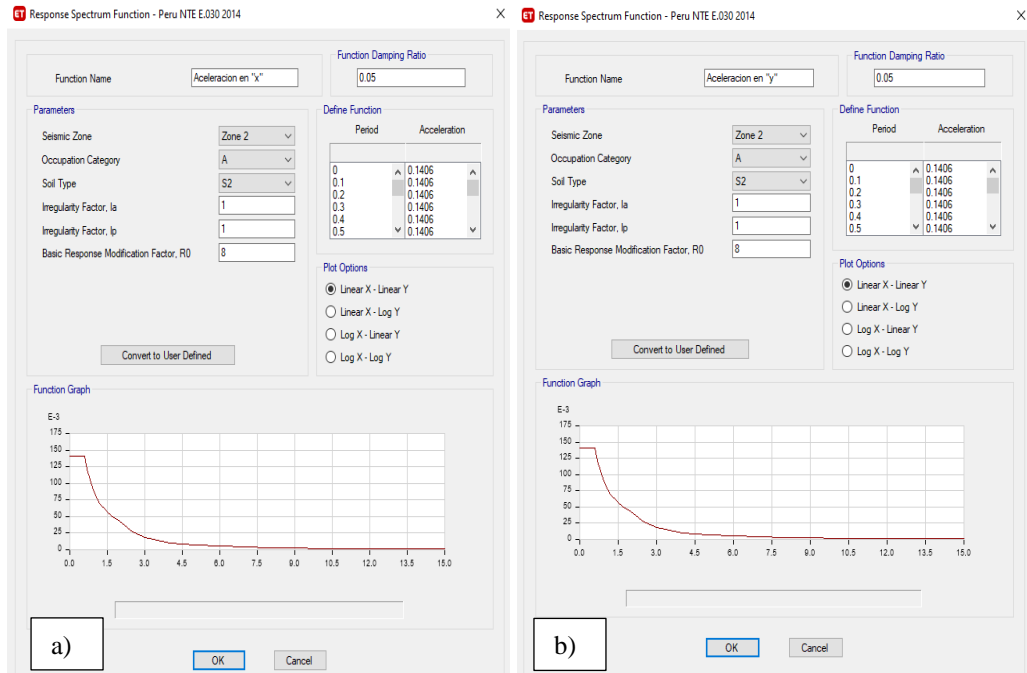


Figura 253.

Modos de vibración a) Modo 1 traslación, b) Modo 2 rotación, c) Modo 3 traslación, módulo III

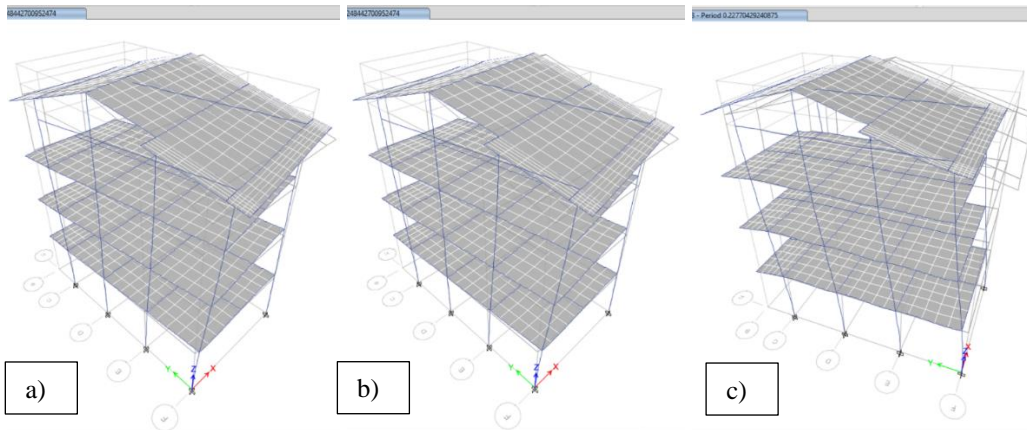


Tabla 61.*Periodos y masa participativa de cada modo de vibración, módulo III*

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	0.392	0.7724	0	0	0.7724	0	0	1.301E-06	0.1484	0.0059	1.301E-06	0.1484	0.0059
Modal	2	0.248	0.0053	1.20E-03	6.237E-07	0.7777	0.0012	6.495E-07	0.0007	0.0005	0.805	0.0007	0.1489	0.8109
Modal	3	0.228	3.899E-06	0.8104	0.0002	0.7777	0.8116	0.0002	0.1184	0	1.30E-03	0.119	0.1489	0.8122
Modal	4	0.101	0.1301	1.11E-05	0.00E+00	0.9078	0.8116	0.0002	1.5E-05	0.2803	0.0045	0.1191	0.4292	0.8168
Modal	5	0.091	7.99E-07	0.0051	0.0284	0.9078	0.8166	0.0286	0.0012	1.56E-06	8.091E-07	0.1203	0.4292	0.8168
Modal	6	0.085	2.69E-05	0.0049	0.0265	0.9078	0.8215	0.0551	0.0855	0.0001	0.00001456	0.2058	0.4293	0.8168
Modal	7	0.084	8.438E-06	0.0013	0.0044	0.9078	0.8228	0.0595	1.36E-02	0.00001256	7.185E-07	0.2193	0.4293	0.8168
Modal	8	0.084	1.231E-06	0.0004	1.551E-05	0.9078	0.8232	0.0595	0.0004	2.07E-06	0	0.2198	0.4293	0.8168
Modal	9	0.083	2.43E-06	0	0.0149	0.9078	0.8232	0.0744	0.0107	4.01E-06	3.97E-06	0.2305	0.4293	0.8168
Modal	10	0.072	0.0003	0.0956	0.0043	0.9081	0.9187	0.0787	0.2567	0.0008	0.0028	0.4872	0.4301	0.8196
Modal	11	0.071	4.473E-06	0.0007	0.0854	0.9081	0.9195	0.1641	0.0021	0.00002133	0.00004725	0.4893	0.4301	0.8197
Modal	12	0.068	0.0088	0.0028	3.297E-05	0.9169	0.9222	0.1642	0.0076	0.0193	0.1069	0.4969	0.4494	0.9266
Modal	13	0.063	0.00E+00	0.0001	0.1227	0.9169	0.9224	0.2868	0.0042	3.76E-06	0.000002019	0.5011	0.4494	0.9266
Modal	14	0.063	0	3.02E-05	0.0174	0.9169	0.9224	0.3043	0.0012	0.00E+00	0.00002237	0.5023	0.4494	0.9266
Modal	15	0.063	0	1.295E-05	0.0192	0.9169	0.9224	0.3235	0.0253	0.00E+00	0.000001854	0.5276	0.4494	0.9266

Nota: Se muestra los periodos y la masa participativa de cada uno de los modos, del modelo, en cada dirección se han considerado aquellos modos de vibración cuya suma de masa efectiva ha sido por lo menos 90% de la masa total.

Los desplazamientos máximos absolutos y relativos del análisis sísmico del módulo III, así como las verificaciones sugeridas en la norma E.030 se muestran en las Fig. 232 y Fig. 233, donde se puede observar que el desplazamiento absoluto de la estructura por carga de sismo en dirección X es 9.03 mm, y en dirección Y es 2.72 mm; así mismo, las derivas relativas máximas por piso en la dirección X e Y son menores a 0.007, por tanto, cumplen con las especificaciones de la norma E.030 (MVCS, 2020).

Figura 254.

Desplazamientos máximos absolutos en dirección X e Y, módulo III

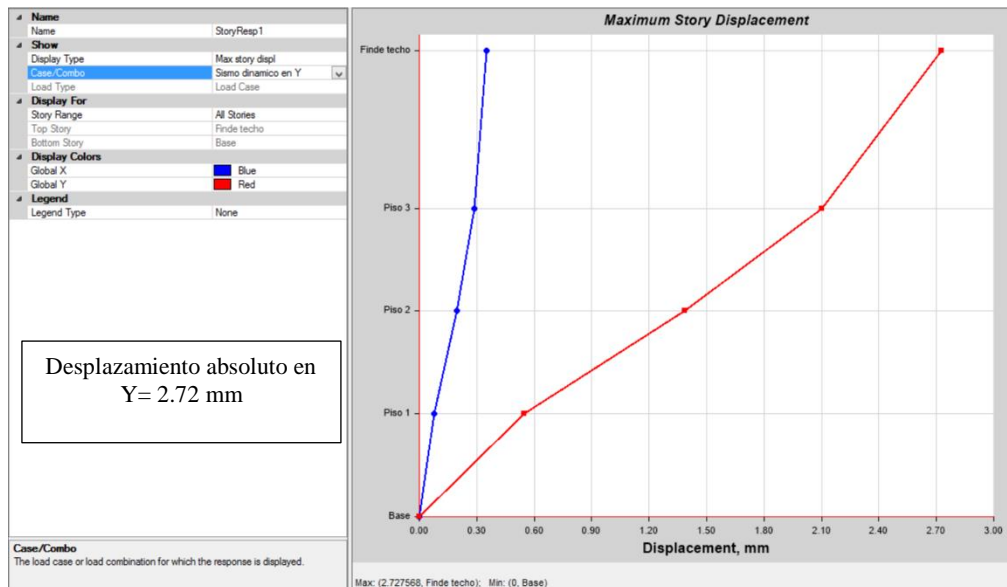
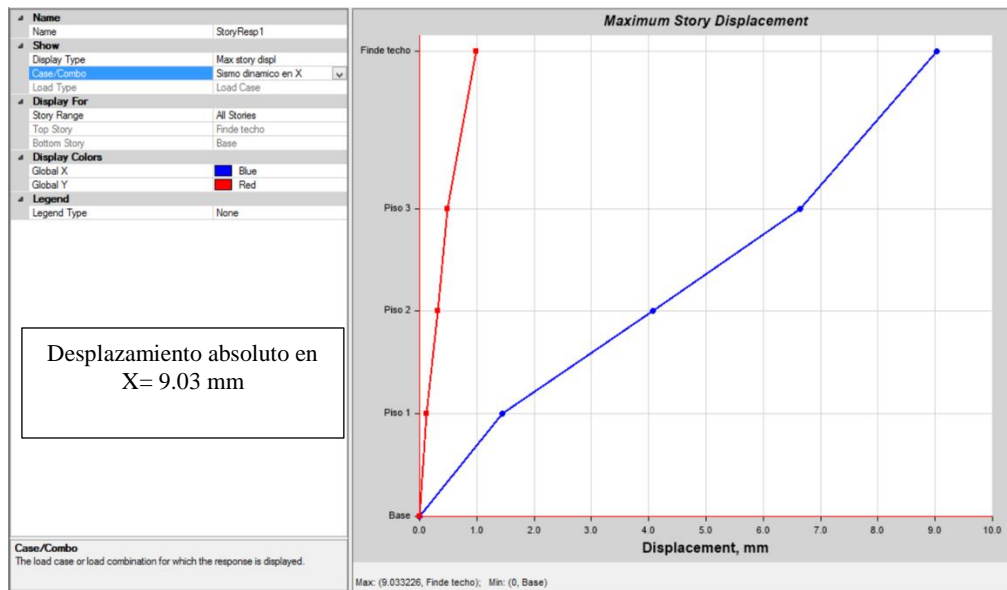


Figura 255.

Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo III

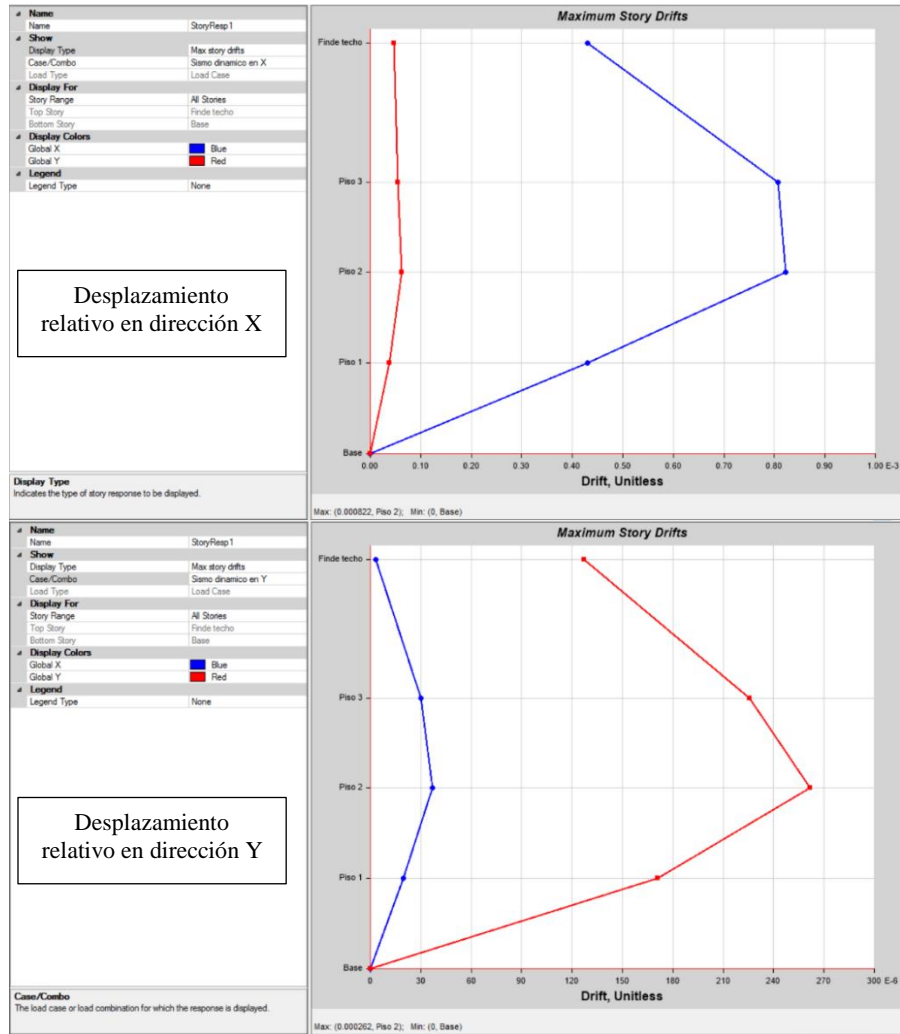


Tabla 62.

Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo III

Pisos	Caso de carga	Dirección	Deriva	Rx= 8	
				Deriva	*0.75*R < 0.007
Deriva máximas por piso en la dirección X					
Fin techo	SIS Dinam.	X	0.00043	0.00258	Si
Piso 3	SIS Dinam.	X	0.000807	0.004842	Si
Piso 2	SIS Dinam.	X	0.000822	0.004932	Si
Piso 1	SIS Dinam.	X	0.00043	0.00258	Si
Deriva máximas por piso en la dirección Y					
Fin techo	SIS Dinam.	Y	0.000127	0.000762	Si
Piso 3	SIS Dinam.	Y	0.000226	0.001356	Si
Piso 2	SIS Dinam.	Y	0.000262	0.001572	Si
Piso 1	SIS Dinam.	Y	0.000171	0.001026	Si

La norma E.030 (MVCS, 2020) establece que la cortante dinámica debe ser mayor o igual al 80% de la cortante estática para edificaciones regulares, y 90% para edificaciones irregulares. La cortante dinámica en la dirección X equivale a 43.03, lo que representa el 78% de la cortante estática, 54.90, por tanto, fue necesario incrementar la cortante, en cambio en la dirección Y, donde la cortante dinámica ascendía a 44.89, lo que representa el 82% de la cortante dinámica (54.90). Para amplificar la cortante dinámica en la dirección X, se utilizó el factor F_{ax} igual a 1.02, estos factores no afectan a los desplazamientos, solo al diseño.

Tabla 63.

Cortante estática y dinámica en la dirección X e Y del módulo III

Dirección	Cortante	F	$V_{din} \geq 80\% V_{est}$		Factor de amplificación
En X	Estática	54.90			
En X	Dinámica	43.03	78%	No cumple	1.02
En Y	Estática	54.90			
En Y	Dinámica	44.89	82%	Cumple	

3.4) Análisis Pushover del módulo III

El método Pushover consiste en aplicar una distribución vertical de cargas laterales a la estructural, mismas que deben incrementarse monótonamente hasta que la estructura alcance el máximo desplazamiento. Primero se ha realizado el análisis estático convencional con la finalidad de extraer características estáticas de la estructura, para luego seguir el procedimiento dado por el FEMA 356. En la Fig. 234 se muestran los valores de las fuerzas laterales en el sentido X e Y, estas cargas se asignaron al modelo estructural (módulo III) para la ejecución del análisis Pushover Fig. 235.

Tabla 64.

Fuerzas laterales en el sentido X e Y para el análisis Pushover, módulo III

Nivel	Pi (kg)	hi(m)	Pi × hi ^k	ai	Fi (kg)	Fi (ton)
En la dirección X						
4	45192.12	14.51	655737.65	0.22	12186.64	12.19
3	135250.67	9.60	1298406.40	0.44	24130.39	24.13
2	102532.45	6.40	656207.69	0.22	12195.37	12.20
1	107437.55	3.20	343800.16	0.12	6389.40	6.39
∑= P. Ed.	390412.79	$\sum Pi \times hi^k$	2954151.90	1.00	54901.80	54.90
En la dirección Y						
4	45192.12	14.51	655737.65	0.22	12186.64	12.19
3	135250.67	9.60	1298406.40	0.44	24130.39	24.13
2	102532.45	6.40	656207.69	0.22	12195.37	12.20
1	107437.55	3.20	343800.16	0.12	6389.40	6.39
∑= P. Ed.	390412.79	$\sum Pi \times hi^k$	2954151.90	1.00	54901.80	54.90

Figura 256.

Fuerzas laterales en el sentido X e Y para el análisis Pushover, módulo III

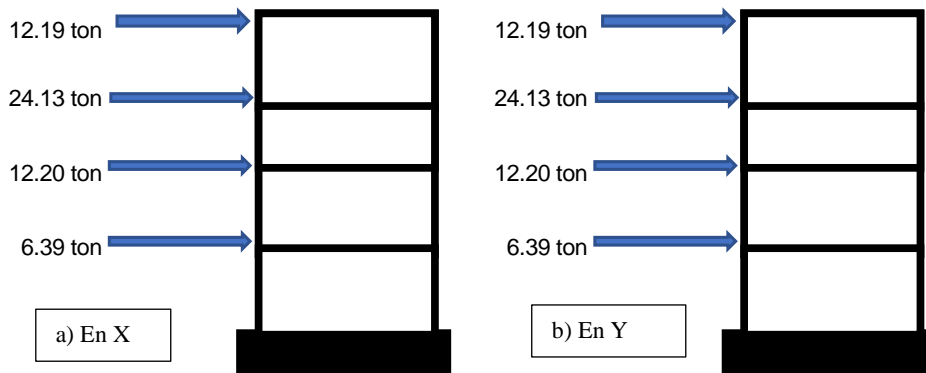
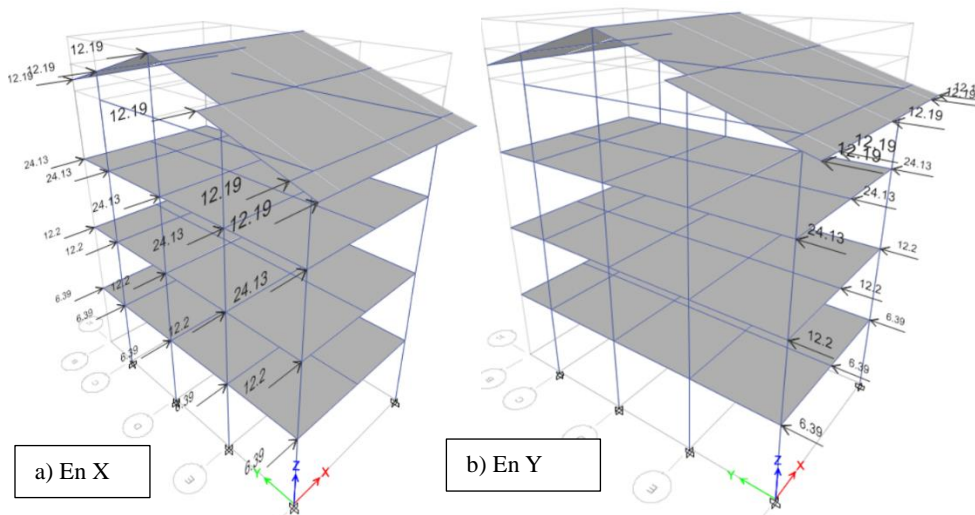


Figura 257.

Asignación de cargas laterales Pushover, en el sentido X e Y, módulo III



Para el análisis estático no lineal se crean dos estados de carga no lineales: CGNL (carga gravitacional no lineal) y AENL (análisis estoico no lineal). La creación de estas cargas genera un orden lógico para desarrollar el NSP, primero se aplican las cargas gravitacionales, una vez que estas hayan deformado la estructura y disminuido su rigidez, entra el proceso AENL, de esta manera se está aplicando la carga lateral monotónica hasta que un nudo extremo del último piso alcance un desplazamiento máximo.

El procedimiento no lineal sucede en puntos discretos predefinidos (hinges), existe la posibilidad de formar rótulas plásticas a flexión en los extremos de las vigas (M3) y a flexo compresión, en los extremos de las columnas (P-M2-M3). Se asignaron rótulas en las vigas principales y secundarias según la Tabla 64.

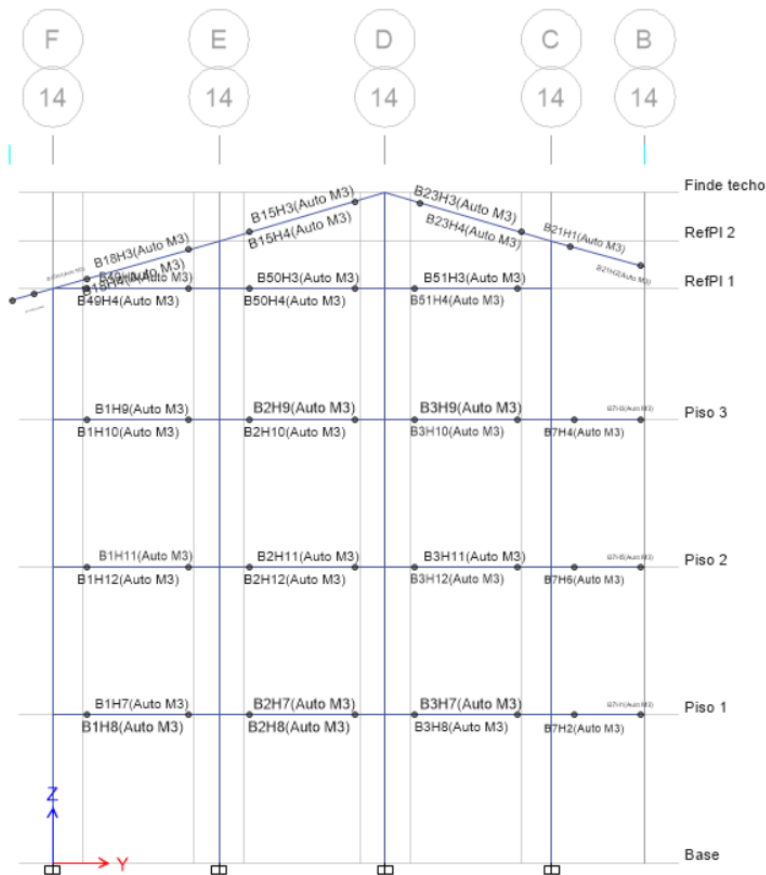
Tabla 65.

Distancia de asignación de las rótulas plásticas en vigas, módulo III

Rótulas plásticas	Vigas				
	VP-101	VP-102	VA-1	Viga secundaria	Viga secundaria
Eje	D-E	C-F	D-E	C-D	E-F
Dimensiones	0.30x0.50	0.30x0.50	0.30x0.70		
Cara de la columna (m)	0.80	1.00	0.70		
Eje + 0.1 m	0.50	0.60	0.45		
Luz libre de la viga (m)	5.90	5.50	2.50		
LP inicio	0.085	0.109	0.180	0.180	0.205
LP final	0.915	0.891	0.820	0.795	0.820

Figura 258.

Asignación de rótulas plásticas en todas las vigas, módulo III

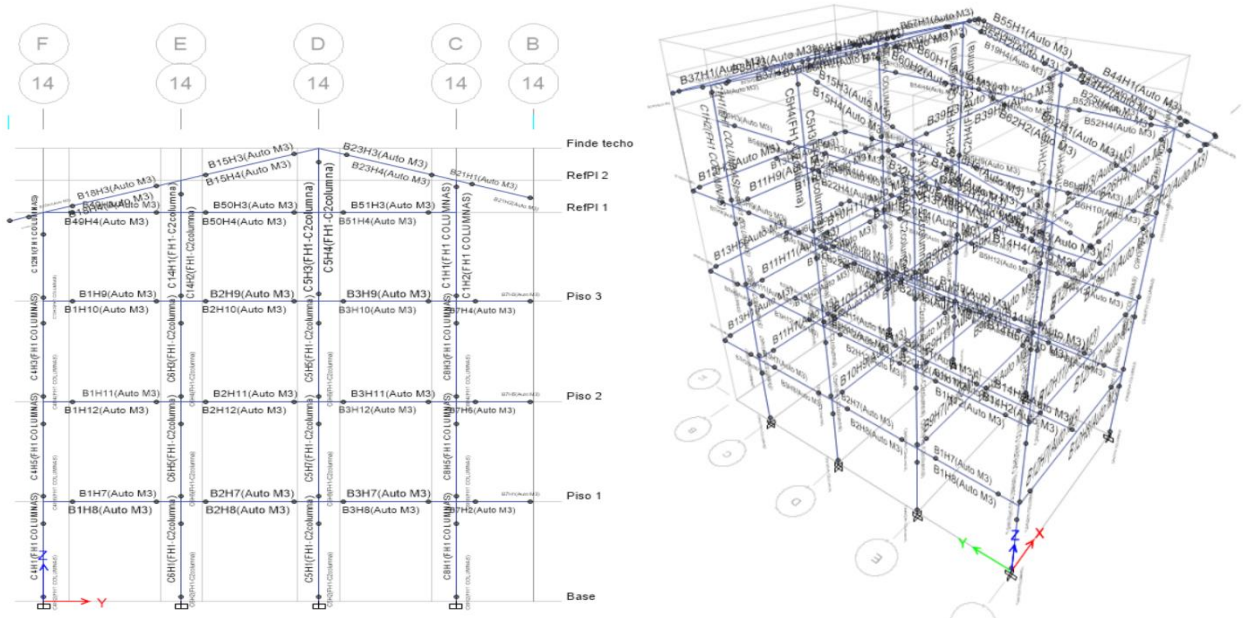


Se busca que las rótulas plásticas se formen en las vigas antes que en las columnas.

Para la asignación de rótulas plásticas en columnas por medio del menú “Define/ Section Properties/ Frame/Wall Nolinear Hinges”, se seleccionaron todas las columnas y en “Asing/Frame/Hings” se realizó la asignación automática.

Figura 259.

Asignación de rótulas plásticas en columnas, módulo III



Una vez establecido los casos de carga no lineales con el patrón de fuerzas laterales se corre el modelo, para generar y visualizar la curva de capacidad en la dirección “X” o “Y”.

En la dirección X, la estructura alcanza su capacidad última cuando logra un desplazamiento de 28.86 cm y un cortante basal de 339 ton. Es decir, se detiene el análisis cuando se logra un desplazamiento máximo de 28.86 cm, se considera este el valor con el que la estructura en estudio, módulo III, alcanza su capacidad máxima y colapsa (Fig. 238). Así mismo, se muestra las rótulas plásticas de los elementos estructurales del módulo III, realizado en el programa Etabs 2018 (Fig. 239).

Figura 260.

Curva de capacidad en dirección X, módulo III

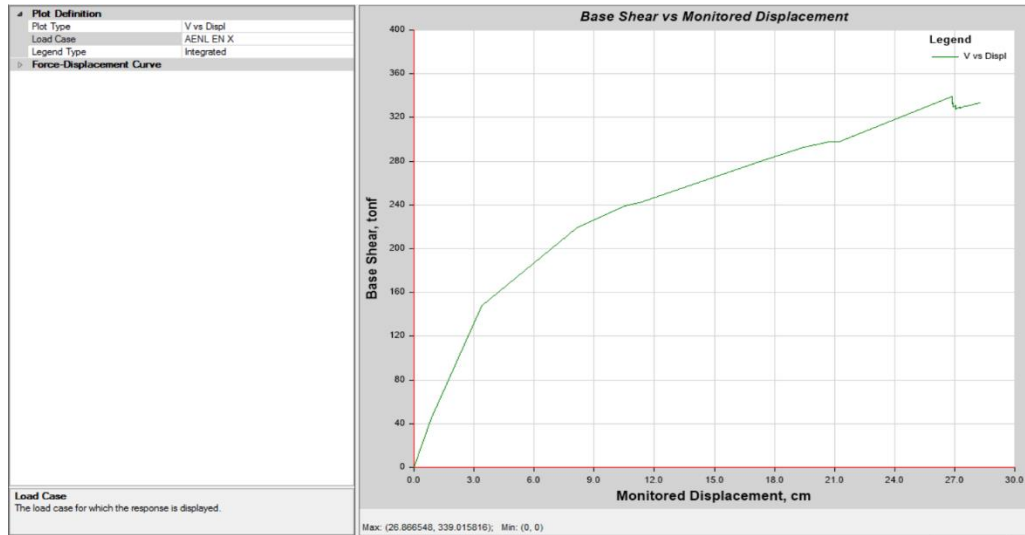


Figura 261.

38 – primeros step, en la dirección X, módulo III

Setp	Monitored Displ cm	Base Force tont	A - B	B - C	C - D	D - E	>E	A - IO	IO - LS	LS - CP	>CP	Total
0	0	0	252	0	0	0	0	252	0	0	0	252
1	0.8498	45.1025	251	1	0	0	0	252	0	0	0	252
2	3.401	147.6921	233	19	0	0	0	252	0	0	0	252
3	8.1023	218.7241	213	39	0	0	0	251	1	0	0	252
4	10.5248	238.8223	210	42	0	0	0	245	7	0	0	252
5	11.3906	242.9474	209	41	0	0	2	244	7	1	0	252
6	17.1407	278.7845	187	57	5	0	3	220	24	8	0	252
7	19.4369	292.983	186	58	5	0	3	217	27	7	1	252
8	20.7576	298.1261	186	58	4	0	4	217	27	7	1	252
9	21.2515	298.0993	185	59	4	0	4	217	27	7	1	252
10	26.6373	337.4323	173	71	2	2	4	214	30	2	6	252
11	26.8665	339.0158	173	70	3	2	4	214	30	2	6	252
12	26.867	332.3037	173	69	2	4	4	214	28	4	6	252
13	26.9376	333.548	173	68	3	4	4	214	28	4	6	252
14	26.9381	329.5187	173	68	2	5	4	214	27	5	6	252
15	26.9854	330.4639	173	68	2	5	4	214	27	5	6	252
16	27.0639	331.4753	173	67	3	5	4	214	27	5	6	252
17	27.0644	327.4704	173	67	2	6	4	214	26	6	6	252
18	27.0893	327.97	173	67	2	6	4	214	26	6	6	252
19	27.2765	330.0094	173	66	3	6	4	214	26	6	6	252
20	27.277	328.1251	173	66	2	7	4	214	25	7	6	252
21	27.4689	330.185	173	66	2	7	4	214	25	7	6	252
22	27.6224	330.3455	173	65	3	7	4	214	24	8	6	252
23	28.2366	333.0599	173	63	4	8	4	213	23	10	6	252
24	28.2409	333.0944	173	63	4	8	4	213	23	10	6	252
25	28.2409	333.0945	173	63	4	8	4	213	23	10	6	252
26	28.2421	333.1039	173	63	4	8	4	213	23	10	6	252
27	28.2421	333.104	173	63	4	8	4	213	23	10	6	252
28	28.2422	333.1046	173	63	4	8	4	213	23	10	6	252
29	28.2422	333.1046	173	63	4	8	4	213	23	10	6	252
30	28.2422	333.1047	173	63	4	8	4	213	23	10	6	252
31	28.2422	333.1047	173	63	4	8	4	213	23	10	6	252
32	28.2422	333.1048	173	63	4	8	4	213	23	10	6	252
33	28.2422	333.1048	173	63	4	8	4	213	23	10	6	252
34	28.2422	333.1048	173	63	4	8	4	213	23	10	6	252
35	28.2422	333.1048	173	63	4	8	4	213	23	10	6	252
36	28.2422	333.1048	173	63	4	8	4	213	23	10	6	252
37	28.2422	333.1048	173	63	4	8	4	213	23	10	6	252
38	28.2422	333.1048	173	63	4	8	4	213	23	10	6	252

El espectro de demanda en base al ATC 40, debe definirse para un sismo de servicio (SS), sismo de diseño (SD) y sismo máximo (SM), donde el sismo de servicio representa el 0.5 del SD, y el sismo máximo es el 1.25 del SD.

Definida la curva de capacidad y el espectro de demanda, se puede determinar el punto de desempeño por el FEMA 440 y por el ATC 40 para un sismo de servicio, sismo de diseño y sismo máximo. En la dirección X, según el punto de desempeño para un sismo por FEMA 440 AL, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura va a soportar un cortante de 241.09 ton, y desplazamiento espectral “Sd” de 7.37 cm (Fig. 240). Según el punto de desempeño para un sismo de servicio, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 187.72 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 4.04 cm (Fig. 241). Según el punto de desempeño para un sismo de diseño, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 241.18 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 7.38 cm (Fig. 242). Según el punto de desempeño para un sismo máximo, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 257.09 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 9.18 cm (Fig. 243).

Figura 262.

Punto de desempeño en la dirección X para un sismo definido por FEMA 440 AL, módulo III

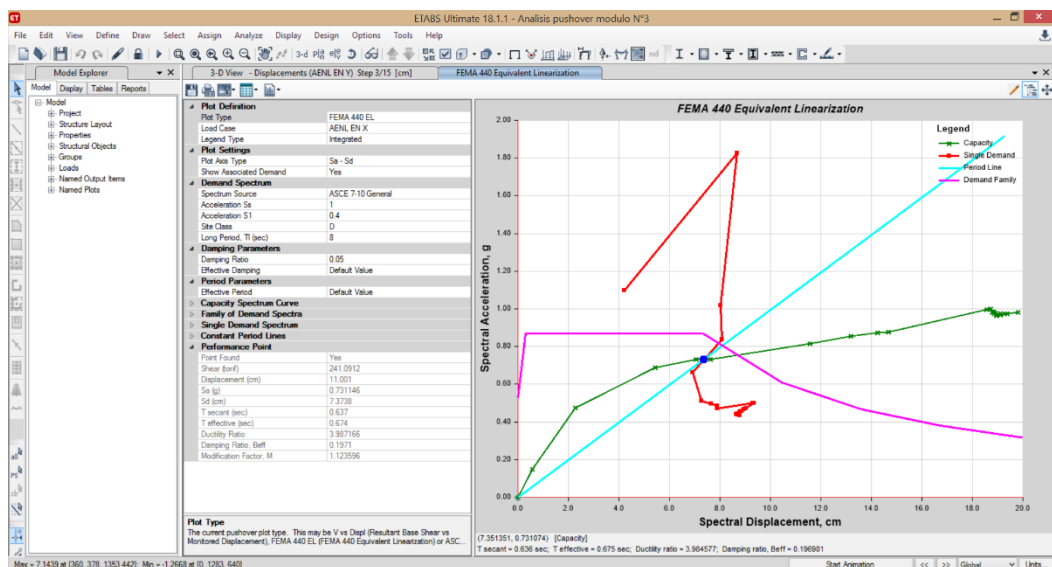


Figura 263. Punto de desempeño en la dirección X para un sismo de servicio, módulo III

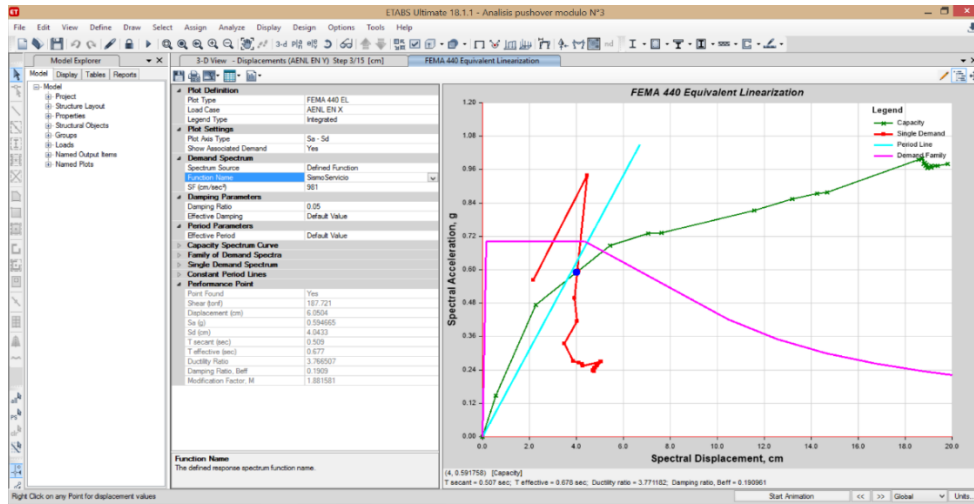


Figura 264. Punto de desempeño en la dirección X para un sismo de diseño, módulo III

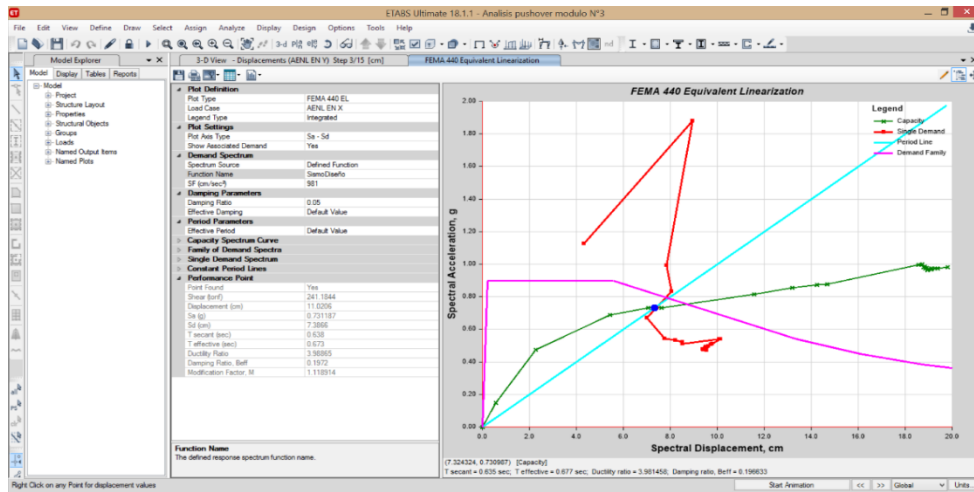
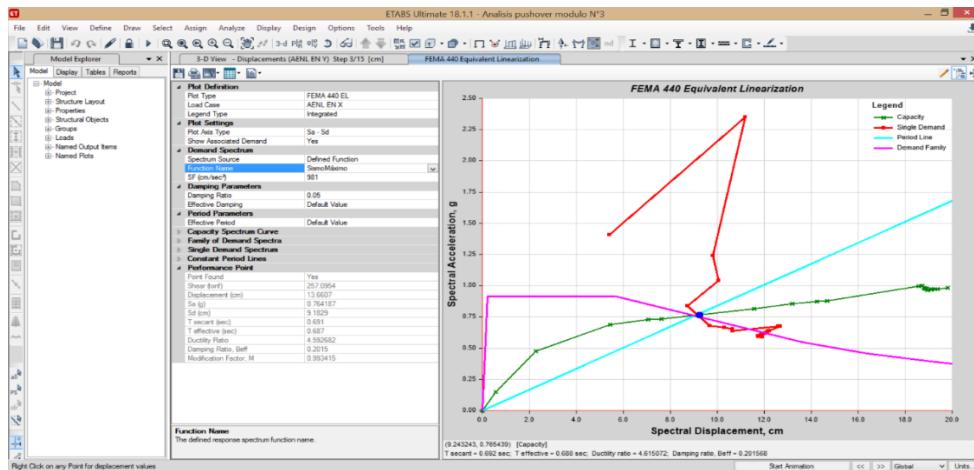


Figura 265. Punto de desempeño en la dirección X para un sismo máximo, módulo III



En la dirección Y, la estructura alcanza su capacidad última cuando se alcanza un desplazamiento de 14.93 cm y una cortante basal de 436.79 ton. Es decir, se detiene el análisis cuando se logra un desplazamiento máximo de 14.93 cm, se considera este el valor con el que la estructura en estudio, módulo III, alcanza su capacidad máxima y colapsa (Fig. 244). Así mismo, se muestra las rótulas plásticas de los elementos estructurales del módulo III, realizado en el programa Etabs 2018 (Fig. 245).

Figura 266.

Curva de capacidad de la estructura en dirección Y, módulo III

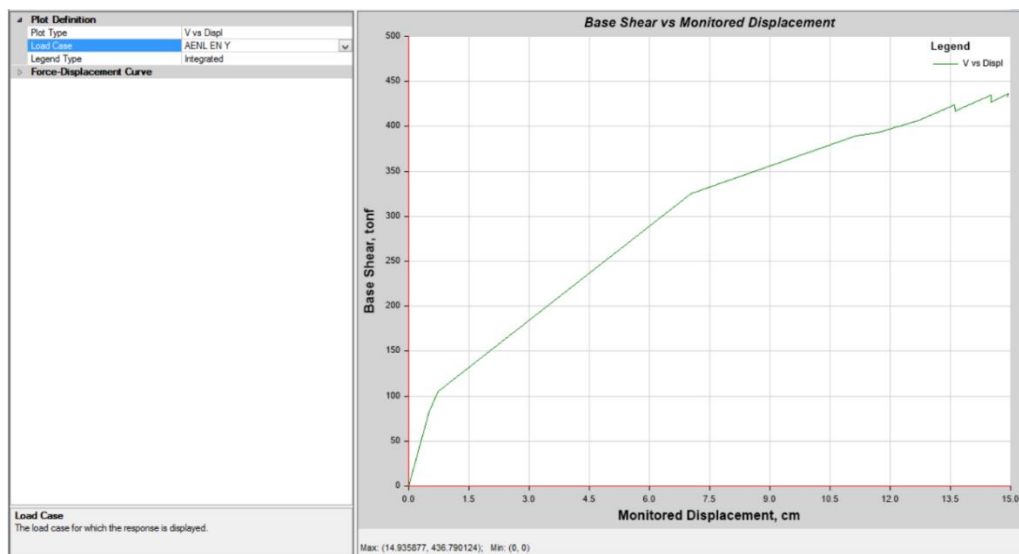


Figura 267.

Se observa (15 – primeros step), dirección Y, módulo III

Setp	Monitored Displ cm	Base Force tont	A - B	B - C	C - D	D - E	>E	A - IO	IO - LS	LS - CP	>CP	Total
0	0	0	252	0	0	0	0	252	0	0	0	252
1	0.5107	82.5565	250	2	0	0	0	252	0	0	0	252
2	0.7358	104.8858	218	34	0	0	0	252	0	0	0	252
3	7.0273	324.919	193	59	0	0	0	232	20	0	0	252
4	11.1551	389.3943	177	67	4	0	4	208	40	4	0	252
5	11.7053	393.2718	171	73	4	0	4	208	36	8	0	252
6	12.7188	406.5844	170	74	4	0	4	208	36	8	0	252
7	13.6069	424.2305	165	77	6	0	4	208	36	8	0	252
8	13.6074	420.0118	165	77	4	2	4	208	34	10	0	252
9	13.6198	420.4957	164	76	6	2	4	208	34	10	0	252
10	13.6203	416.2535	164	76	4	4	4	208	32	12	0	252
11	13.6792	418.4709	164	76	4	4	4	208	32	12	0	252
12	14.5111	434.9464	161	75	8	4	4	207	33	8	4	252
13	14.5116	426.9136	161	75	4	8	4	207	29	12	4	252
14	14.9359	436.7901	160	75	5	8	4	207	29	12	4	252
15	14.9268	432.9155	160	74	5	9	4	207	28	13	4	252

En la dirección Y, según el punto de desempeño para un sismo por FEMA 440 AL, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura va a soportar una cortante de 345.71 ton, y desplazamiento espectral “Sd” de 5.85 cm (Fig. 246). Según el punto de desempeño para un sismo de servicio, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 184.79 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 2.10 cm (Fig. 247). Según el punto de desempeño para un sismo de diseño, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 348.31 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 5.97 cm (Fig. 248). Según el punto de desempeño para un sismo máximo, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 377.66 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 7.34 cm (Fig. 249).

Figura 268.

Punto de desempeño en la dirección Y para un sismo definido por FEMA 440 Al, módulo III

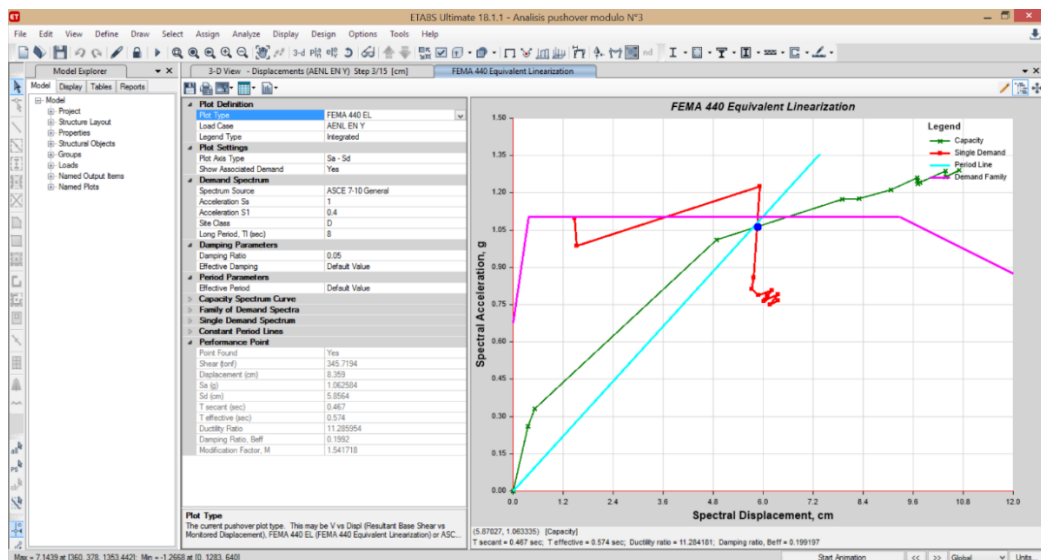


Figura 269. Punto de desempeño en la dirección Y para un sismo de servicio, módulo III

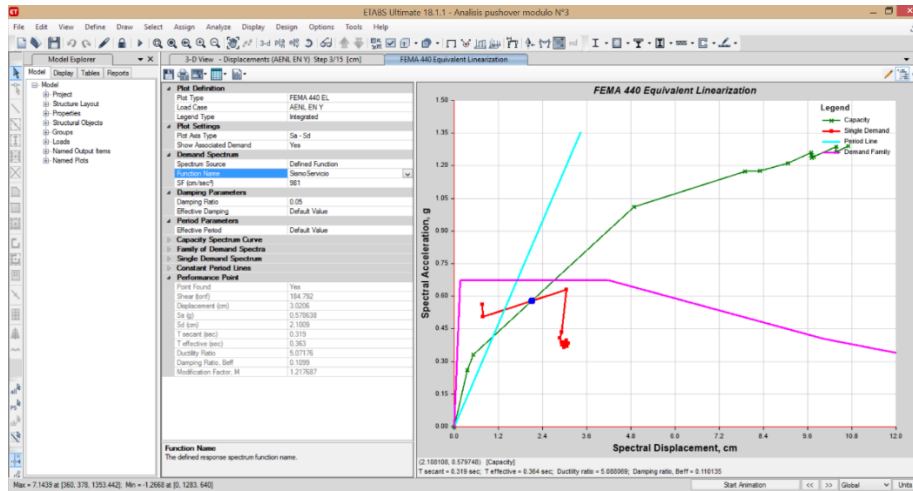


Figura 270. Punto de desempeño en la dirección Y para un sismo de diseño, módulo III

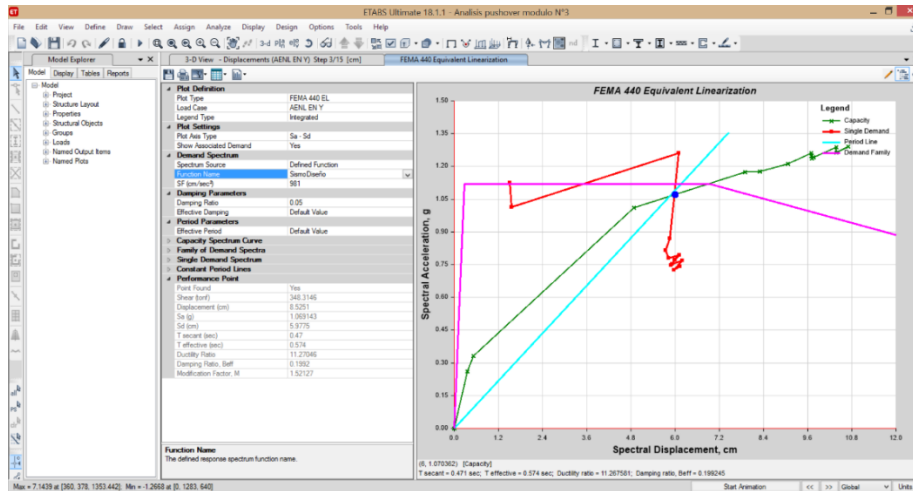
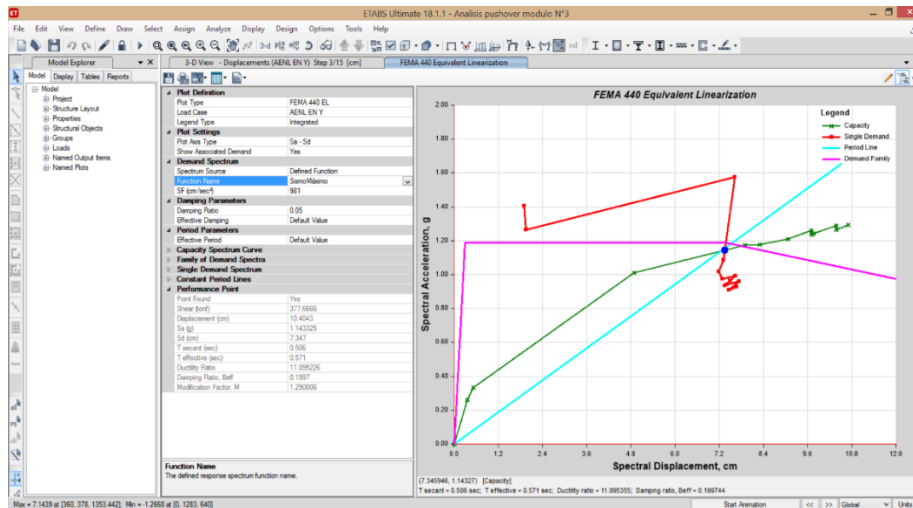


Figura 271. Punto de desempeño en la dirección Y para un sismo máximo, módulo III



3.5) Identificación de rótulas plásticas o primeros puntos de colapso frente a un evento sísmico, módulo III

En la dirección X, las primeras rótulas plásticas se forman en el techo en la viga B26, que se halla entre el Eje 15-15 (primer step). En el segundo step, se observan rótulas en las vigas y la primera rotula en la columna C13 en el eje 15-15. En el tercer step se forman las rótulas en todas las columnas. En el quinto step se forman las primeras rótulas plásticas que se encuentran en precolapso ubicadas en el primer piso en la columna C8 y C5, que se hallan en el eje B-B y C-C. En el sexto step se forma la tercera rotula plástica que se encuentra en precolapso ubicada en el primer piso en la columna C5, que se halla en el eje E-E. En el octavo step se forma la cuarta rotula plástica que se encuentra en precolapso ubicada en el primer piso en la columna C4, que se halla en el eje F-F.

Figura 272.

Primer step, eje X, módulo III

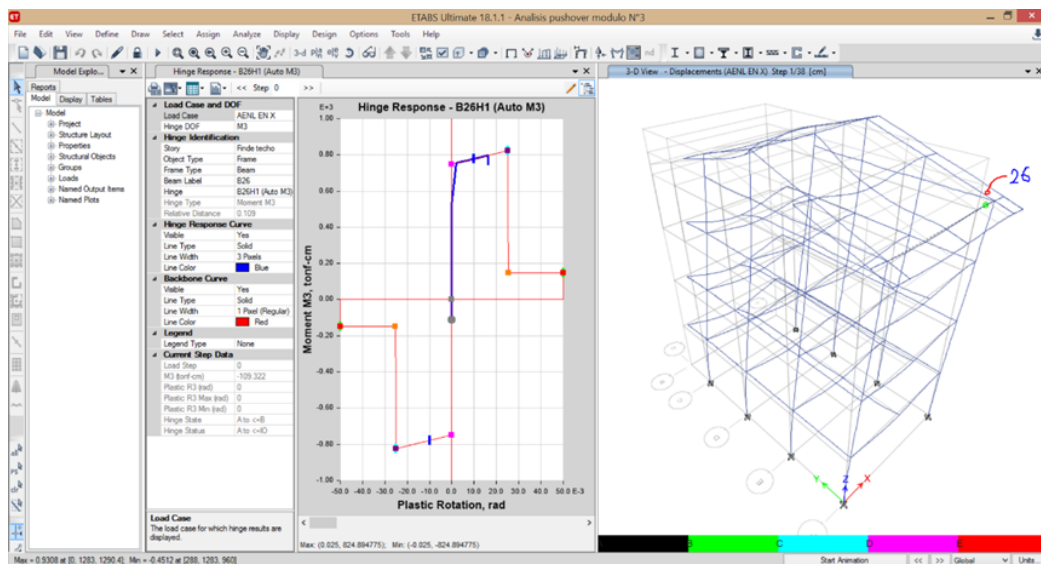


Figura 273. Segundo step, eje X, módulo III

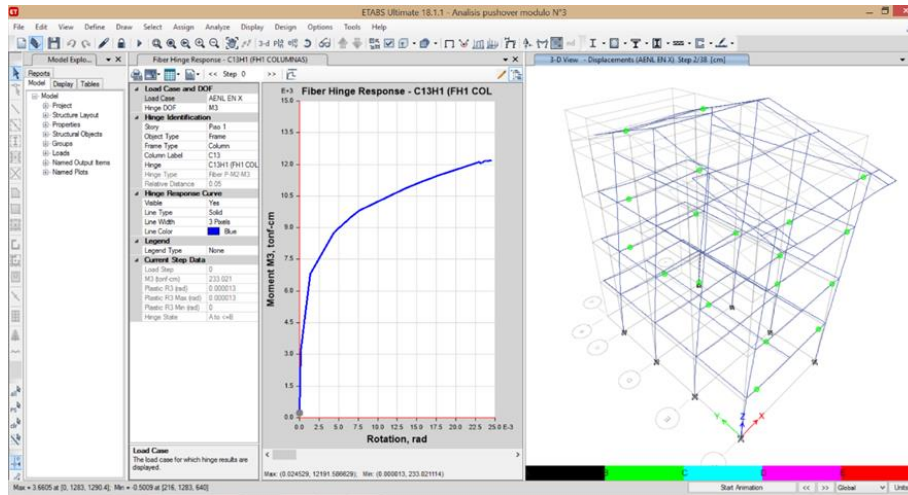


Figura 274. Tercer step, eje X, módulo III

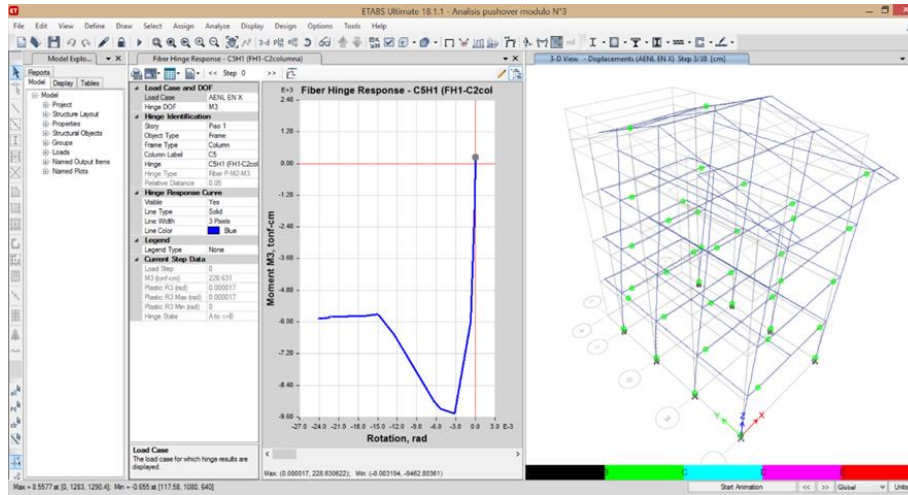


Figura 275. Quinto step, eje X, módulo III

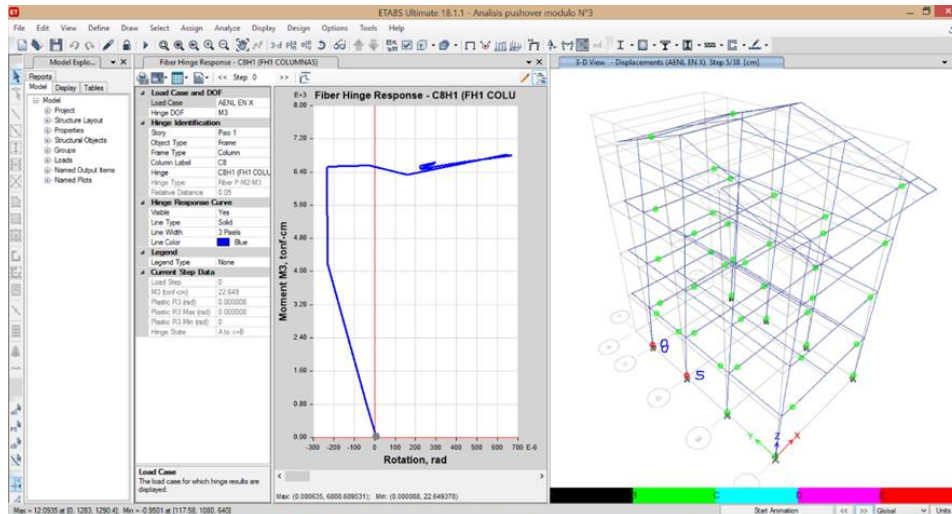


Figura 276.

Sexto step, eje X, módulo III

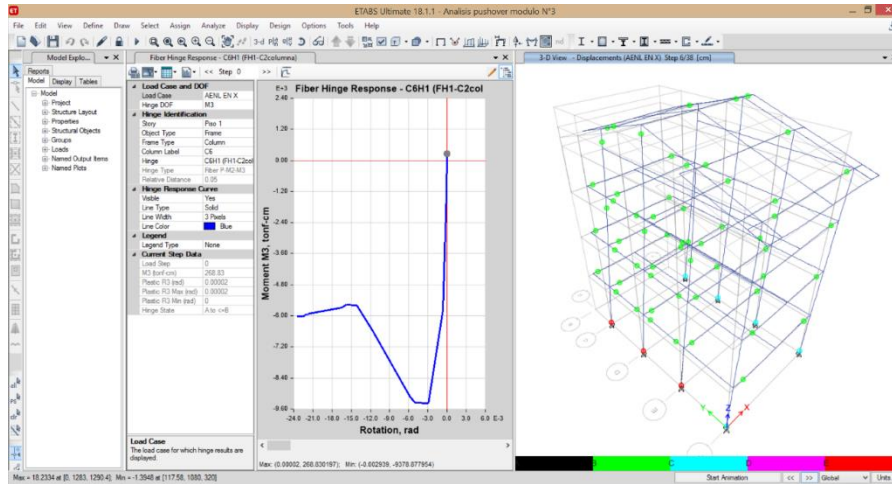
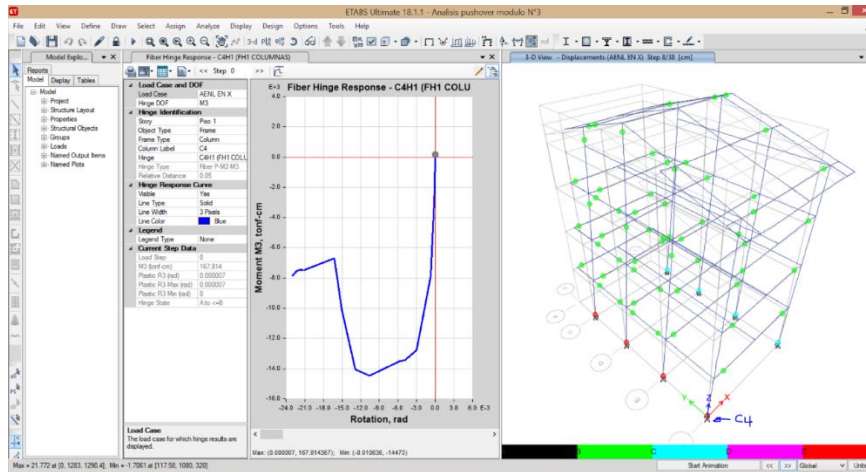


Figura 277.

Octavo step, eje X, módulo III



En la dirección Y, las primeras rótulas plásticas que se forman en la estructura están en el segundo piso en las vigas B2 y B5, que se halla en el Eje 14-14 y 15-15 (primer step). En el segundo step, se observa rótulas en las vigas y en el tercer step, rótulas plásticas en las columnas. En el cuarto step, se forman las primeras rótulas plásticas que se encuentran en precolapso, ubicadas en el primer piso en la columna C5, C6, C2 y C3, que se hallan en el eje D-D y E-E. En el 15 step se pueden visualizar todas las rótulas plásticas en el eje Y.

Figura 278.

Primer step, eje Y, módulo III

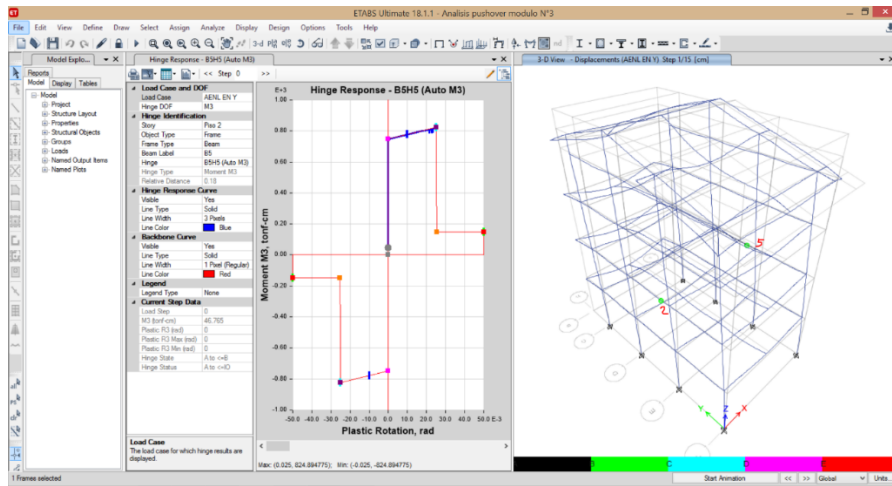


Figura 279.

Segundo step, eje Y, módulo III

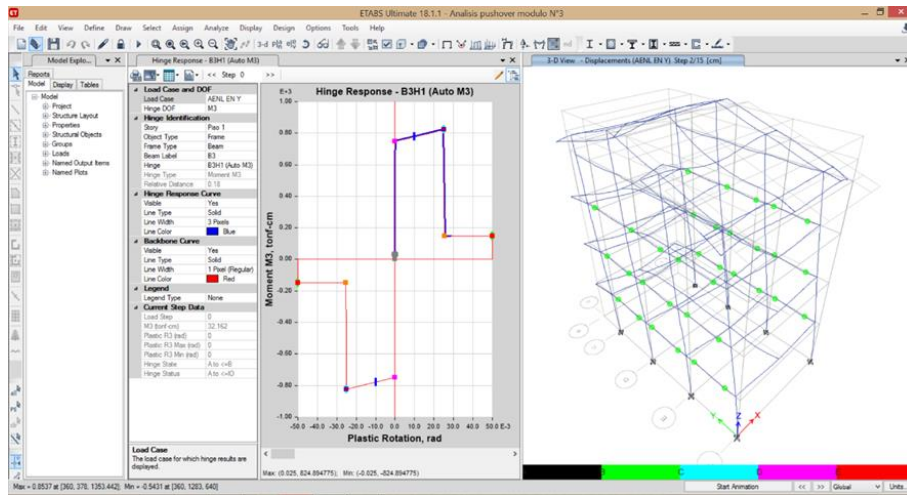


Figura 280.

Tercer step, eje Y, módulo III

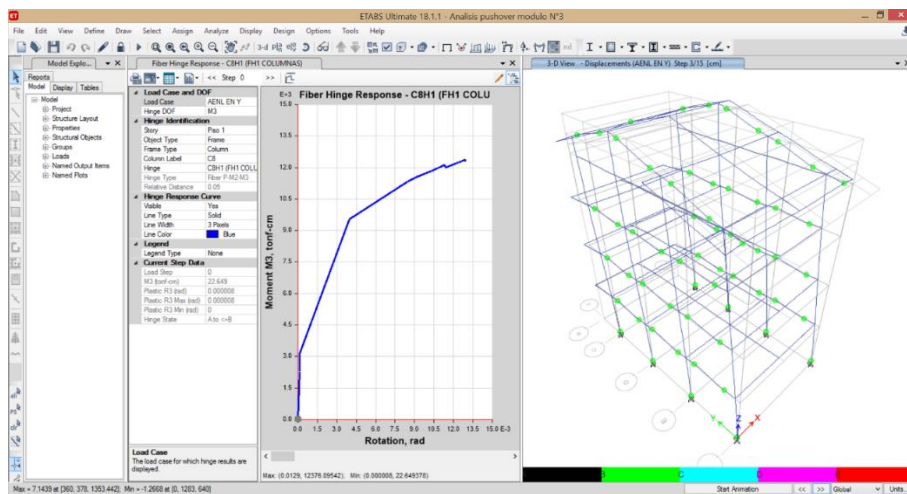


Figura 281.

Cuarto step, eje Y, módulo III

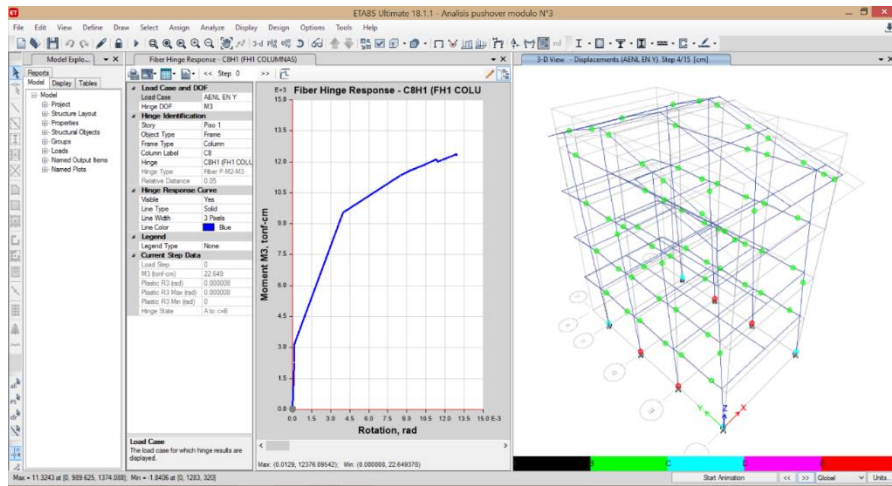


Figura 282.

Octavo step, eje Y, módulo III

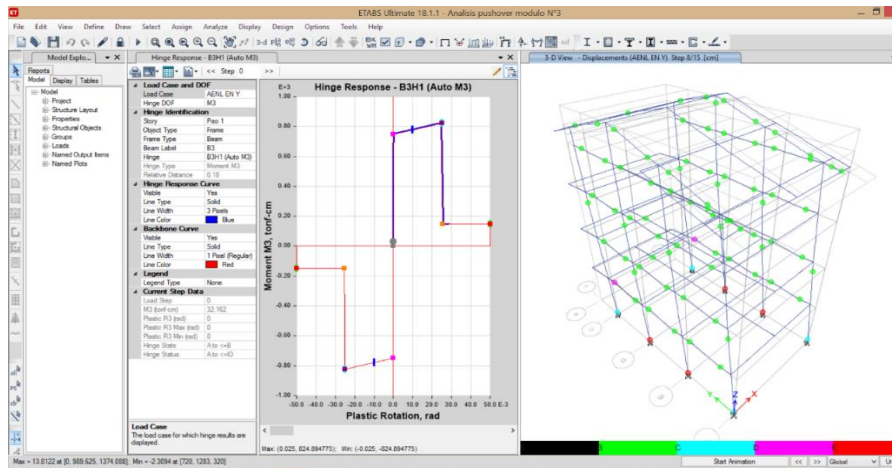
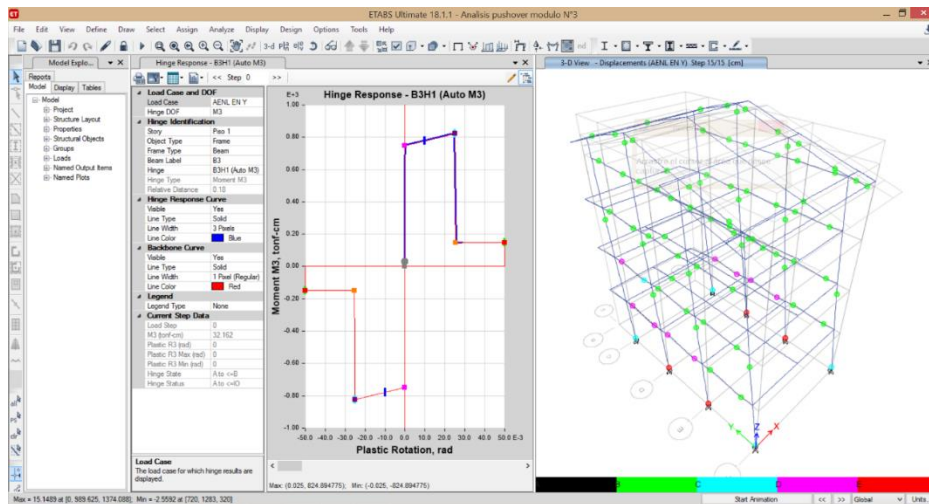


Figura 283.

Modelo estructural en el que se observan los 15 step, eje Y, módulo III



4) Módulo IV

4.1) Modelamiento módulo IV

Para modelar el módulo IV, se sigue el mismo proceso inicial que para el módulo I, es decir se abre el programa Etabs, se completa la información de los ejes, el número de pisos, la información del espaciado entre ejes y se definen las propiedades de los materiales: concreto, acero y albañilería. Luego, se definen las secciones según el plano de estructuras, es decir se definen los objetos frame (columnas, vigas) y los elementos Wall (Placas).

Figura 284.

Plano estructural módulo IV

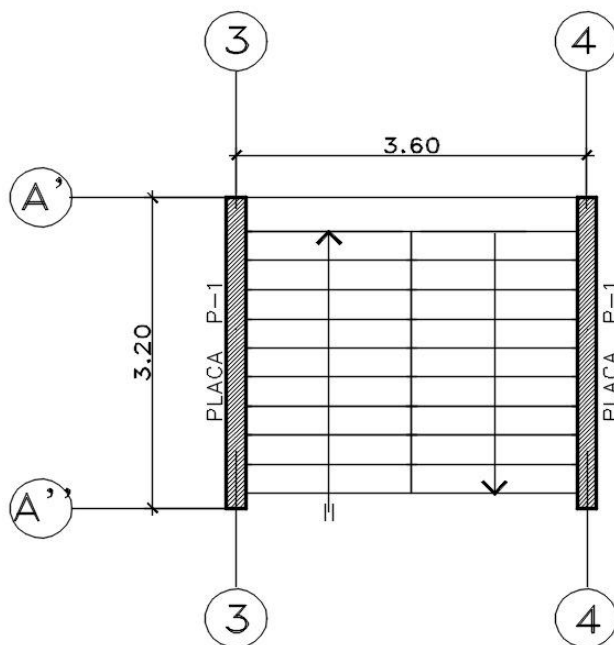
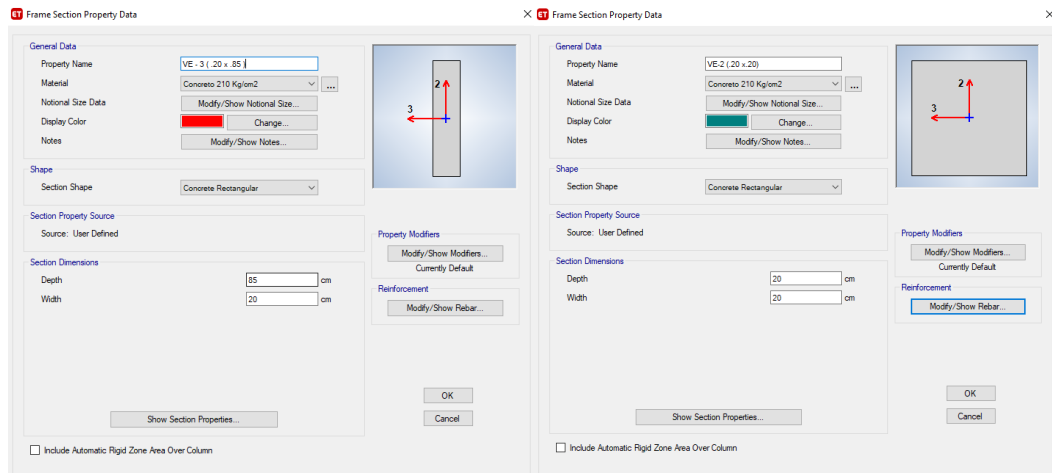
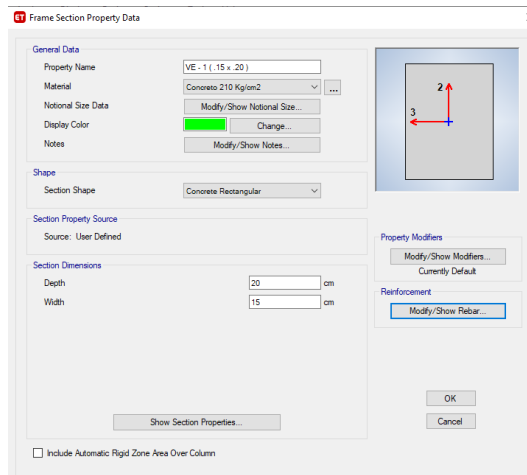


Figura 285.

Vigas principales del módulo IV



VE - 3 (.20x.85)						VE - 2 (.20x.20)					
barra	N° barra	diámetro	área	área de acero	Total área de acero	barra	N° barra	diámetro	área	área de acero	Total área de acero
Barras Superiores						Barras Superiores					
5/8"	3	1.588cm	1.98 cm ²	5.94	5.94	1/2"	2	1.270cm	1.27 cm ²	2.54	2.54
Barras Inferiores						Barras Inferiores					
5/8"	3	1.588cm	1.98 cm ²	5.94	5.94	1/2"	2	1.270cm	1.27 cm ²	2.54	2.54



VE - 1 (.15x.20)					
barra	N° barra	diámetro	área	área de acero	Total área de acero
Barras Superiores					
1/2"	1	1.270cm	1.27 cm ²	1.27	1.27
Barras Inferiores					
1/2"	1	1.270cm	1.27 cm ²	1.27	1.27

Para la asignación de losas se sigue la ruta en “Define/ Section Properties/ Slab Sections” y en Modeling Type se selecciona “Shell - Thin”, como un elemento finoy para definir las placas se sigue la ruta “Define/ Section Properties/ Wall Sections”, tal como se realizó para el módulo I.

Figura 286.

Proceso para dibujar vigas en el módulo IV

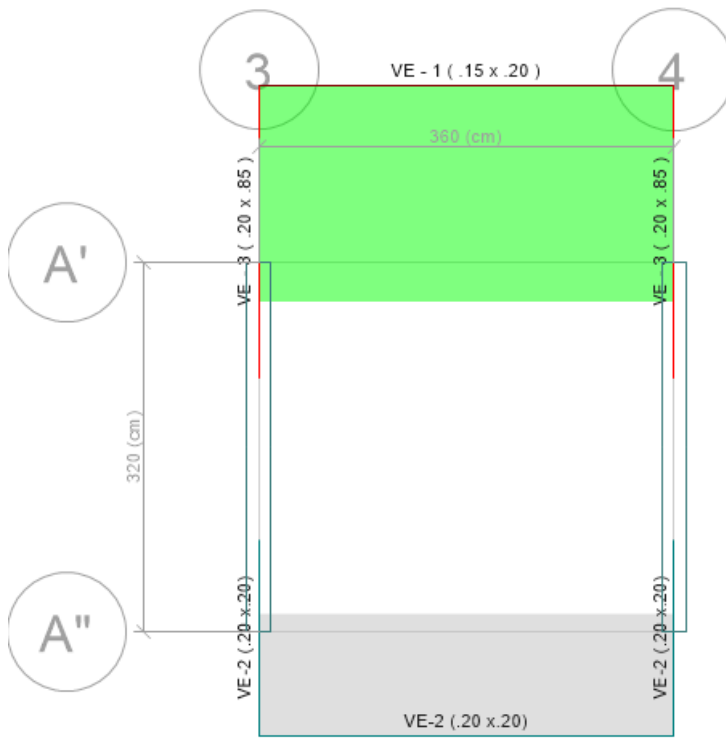


Figura 287.

Proceso para dibujar placas en el módulo IV

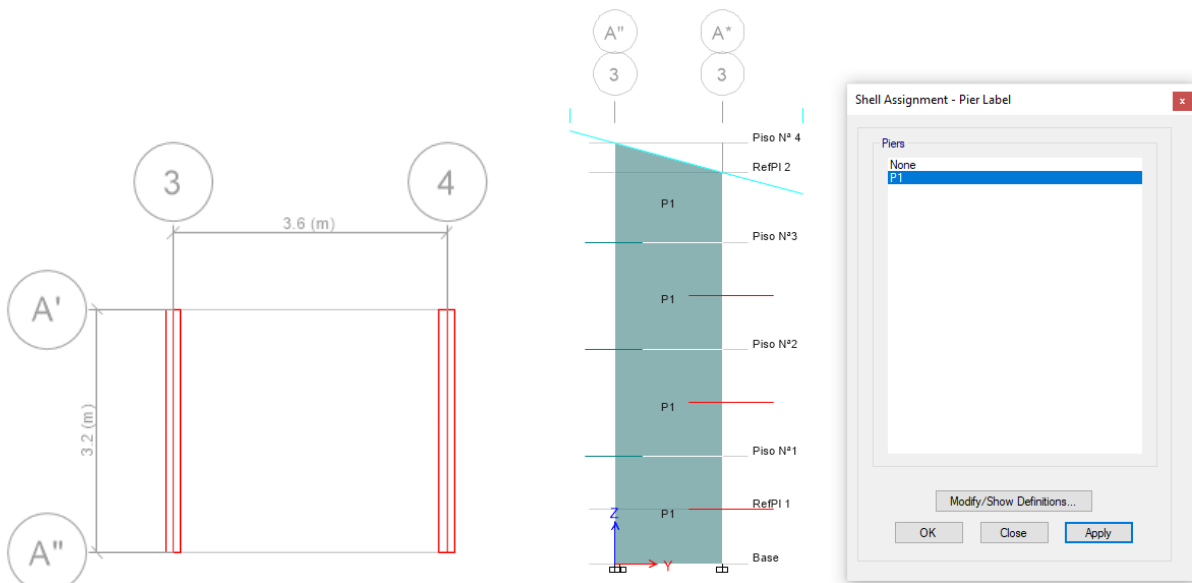


Figura 288.

Asignación de losas, módulo IV

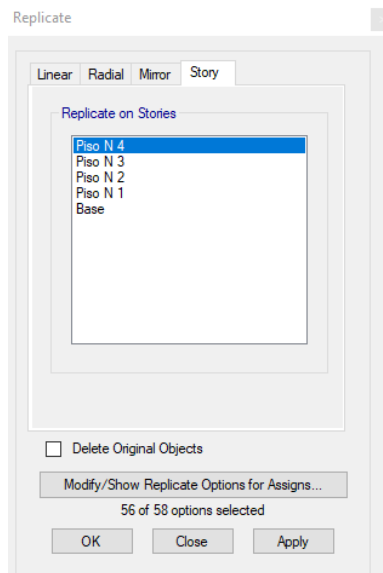
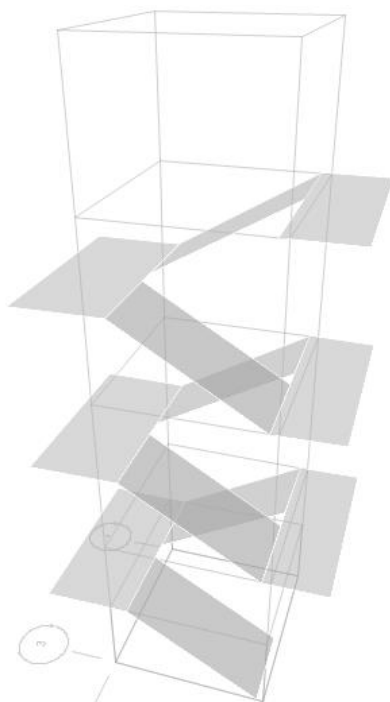
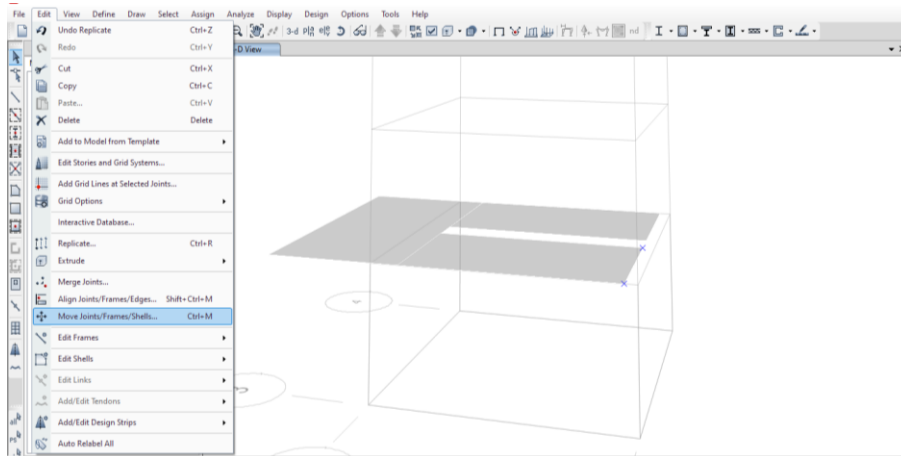
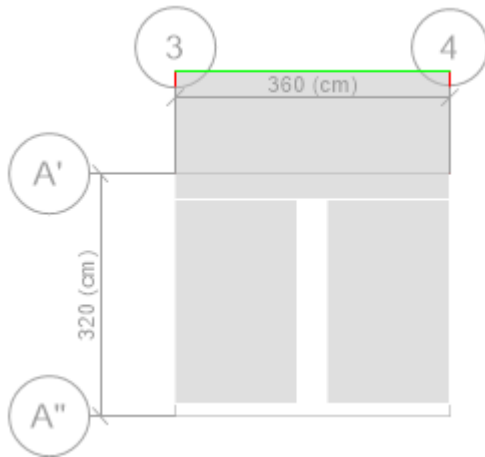
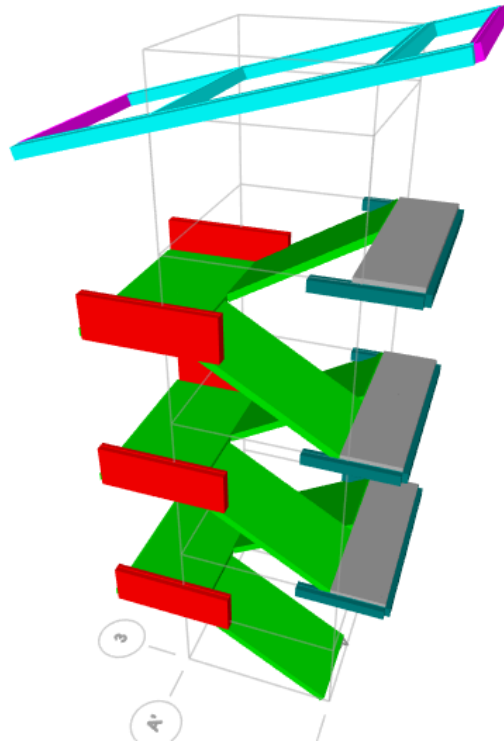


Figura 289.

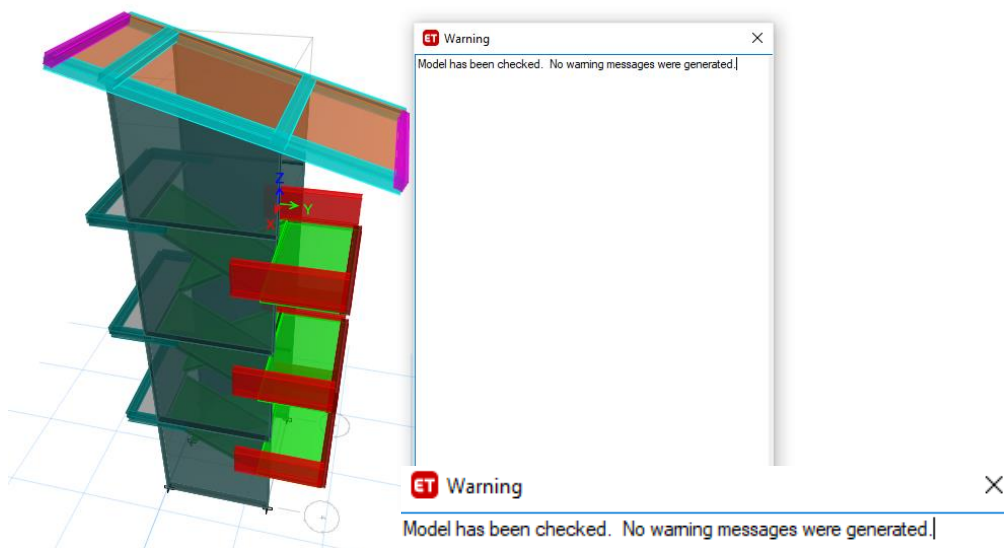
Vista de vigas, losas y placas, en la escalera, módulo IV



Se realiza un chequeo general de la edificación, con la finalidad que no haya ningún error, en la opción “Analyze / Check Model” de esta manera se da una tolerancia de 10 mm de separación con cada elemento.

Figura 290.

Chequeo general de la edificación, módulo IV



Nota: Si se muestra esta imagen, se menciona que no hay ningún error en la edificación.

Las cargas del módulo IV, se colocaron al modelo estructural, siguiendo el mismo procedimiento ya descrito en el módulo I. Las cargas asignadas fueron:

Tabla 66.

Asignación de cargas uniformes en elementos Shell/ Área, módulo IV

Piso	Descripción	Cant/m2	Peso Unitario (kg)	Peso por m2	Peso Total (kg/m2)
Carga muerta					
Piso 1-2-3-4	- Acabados			100	110
	- Otras cargas no consideradas			10	
Carga viva					
	- Pasadizo				400
Carga muerta					
Techos	- Peso de Tecnopor 120x30x15cm	2.083	0.15	0.31	42.31
	- Cobertura de teja andina			10	
	- Cielo raso			25	
	- Otras cargas no consideradas			7	
Carga viva de techo					
	- Techos inclinados				50

Figura 291.

Carga muerta y viva en todos los pisos del módulo IV

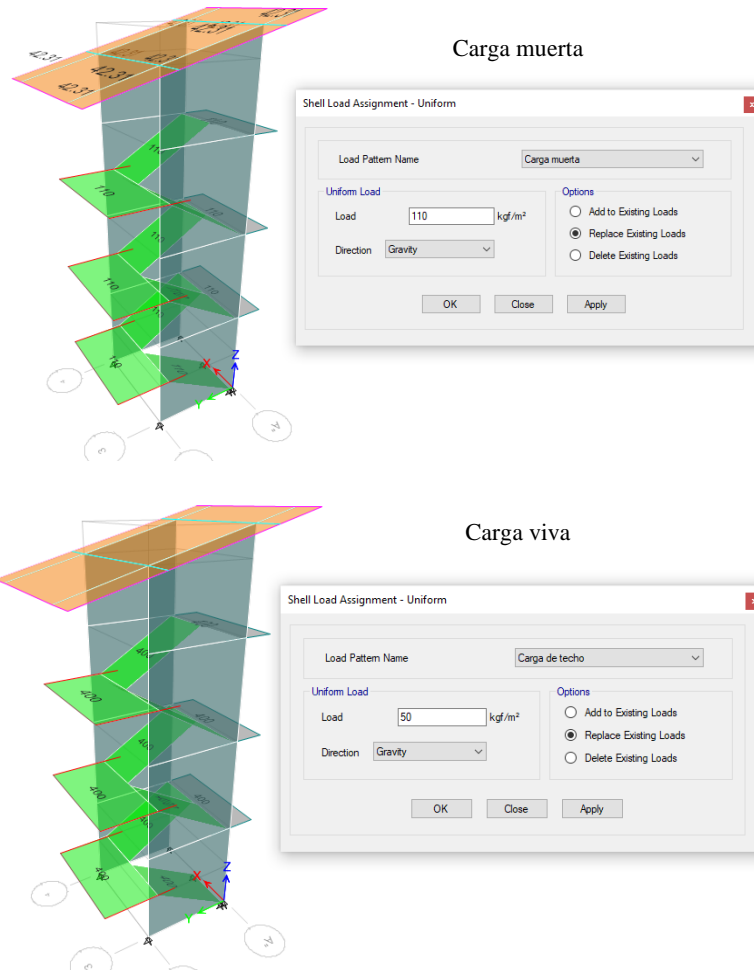


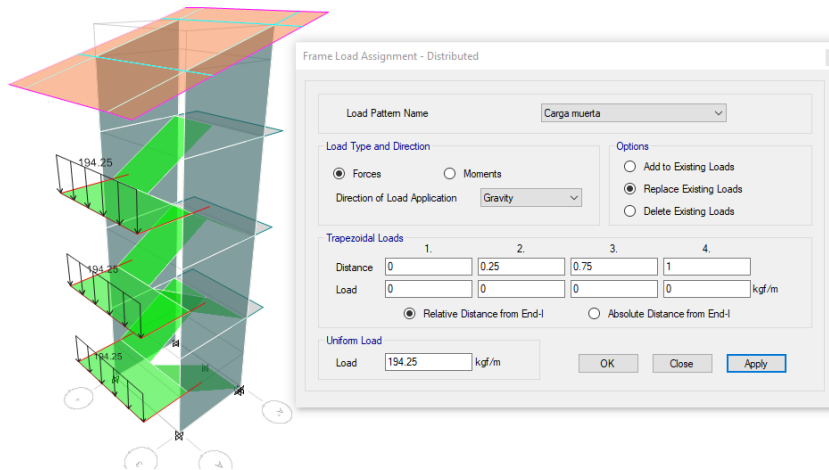
Tabla 67.

Asignación de cargas distribuidas en vigas, módulo IV

Descripción	Espesor de muro (m)	Altura (m)	Peso propio albañilería tarrajada	Por metro (m) lineal	Peso (Kg/m)
Carga distribuida					
Parapeto	0.15	0.7	1850	1	194.25

Figura 292.

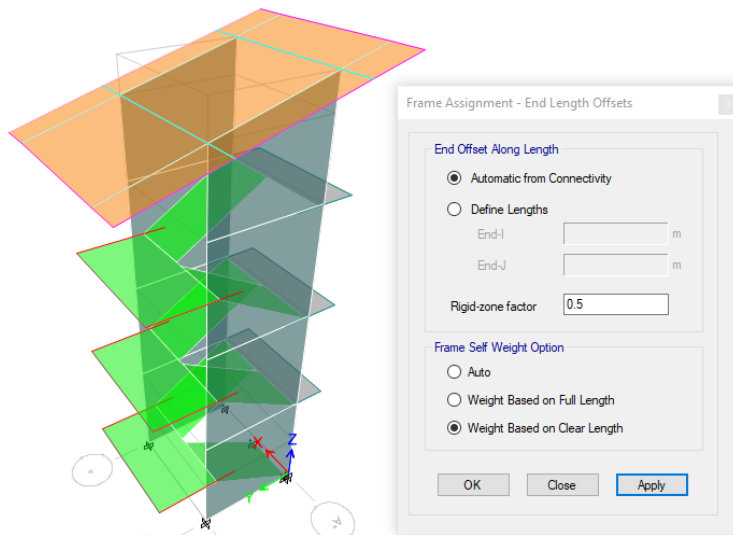
Asignación de cargas distribuidas en vigas, módulo IV



Para dar las restricciones de la base, se selecciona todos los apoyos en la base en “Assing / Joint/ Restraints”, empotramiento perfecto. Así mismo, para la creación del brazo rígido, se selecciona todo el dibujo en “Select / all”, luego se asigna el brazo rígido en “Assing / Frame / End Length Offsets”.

Figura 293.

Creación de brazo rígido del módulo IV



La discretización, es un método para el análisis estructural, a menores dimensiones de los elementos es mejor la precisión. Para ello se selecciona, en “Assing/ Shell/ Floor Auto Mesh Options”, discretización de losas.

Figura 294. Discretización de losas del módulo IV

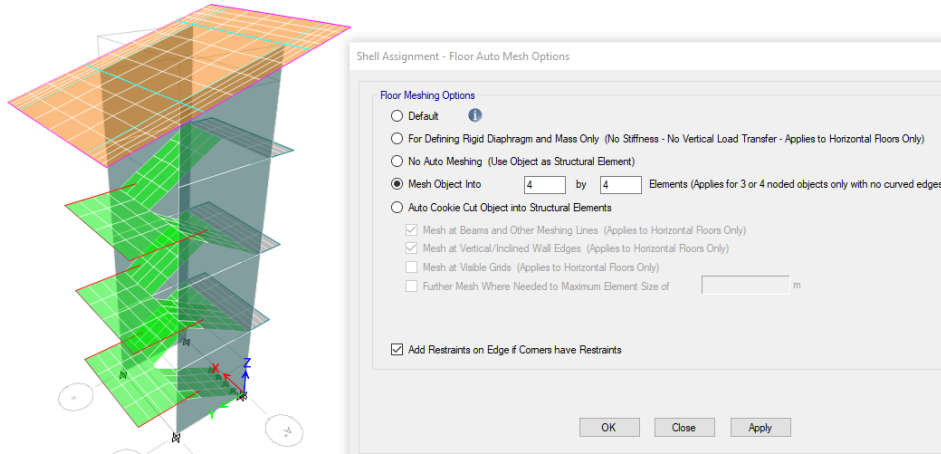
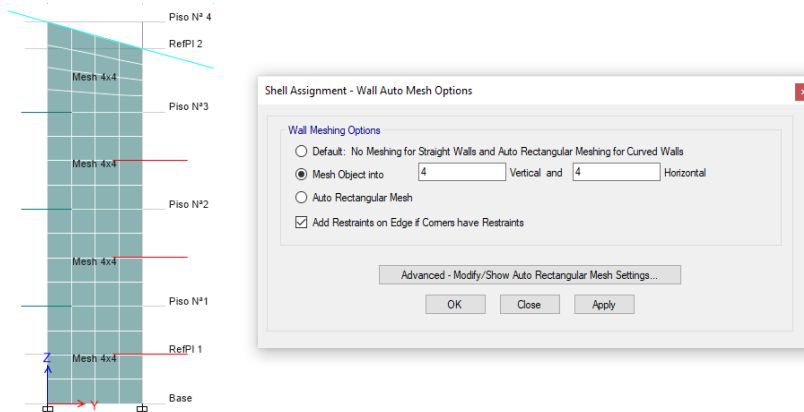


Figura 295. Discretización de muros, módulo IV



Para que se transfiera las cargas adecuadamente de losas a las vigas y las vigas a las columnas, se selecciona todo el dibujo y en “Frame Auto Mesh options” se selecciona la opción “Include selected frame objects in mesh”, que incluya el mallado en vigas. Para generar la adecuada transferencia de cargas donde no hay continuidad del mallado, se selecciona todo el dibujo y en “Assign / Shell / auto Edge Constraint” que todo está amarrado monolíticamente, tal como se ha realizado para el módulo I.

4.2) Análisis sísmico estático del módulo IV

El periodo fundamental de vibración se ha determinado según:

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

h_n = Altura desde el nivel 0+000= 12.55 m

C_{Tx} = Edificios de pórticos de concreto armado= 60

C_{Ty} = Edificios de pórticos de concreto armado= 60

$$T_x = 0.21 \text{ seg}$$

$$T_y = 0.21 \text{ seg}$$

Parámetros sísmicos:

– $Z = 0.25$

– $U = 1.50$

– $S = 1.20 \rightarrow \begin{matrix} T & TP & TL \\ S2 & 0.6 & 2.00 \end{matrix}$

Los coeficientes de reducción “R” son:

– Factor de irregularidad en altura $I_a = 1.00$

– Factor de irregularidad en planta $I_p = 1.00$

– $R_x = 6.00 \rightarrow$ Muros estructurales

– $R_y = 6.00 \rightarrow$ Muros estructurales

Cálculo de la amplificación sísmica “C”:

$$T_x = 0.59, T_y = 0.59, T_p = 0.60$$

$$T < T_p \rightarrow C = 2.5$$

$$C_x = 2.50$$

$$C_y = 2.50$$

Para el cálculo del coeficiente cortante en ETABS, el valor de C/R no debe ser menor que $C/R \geq 0.11$.

$$\text{En el eje } x \rightarrow \frac{C}{R} \geq 0.11 \rightarrow 0.41667 \geq 0.11 \text{ OK}$$

$$\text{En el eje } y \rightarrow \frac{C}{R} \geq 0.11 \rightarrow 0.41667 \geq 0.11 \text{ OK}$$

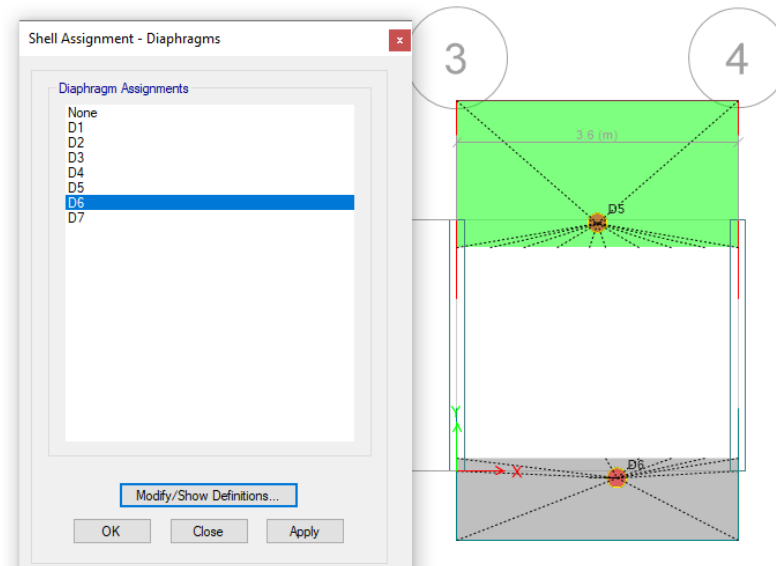
$$V_x = \frac{ZUCS}{R_x} = 0.1875$$

$$V_y = \frac{ZUCS}{R_y} = 0.1875$$

Se asigna diafragmas rígidos a los entrepisos y así liberar los grados de libertad como se indica en la norma E-030, los diagramas deben tener tres grados de libertad, dos desplazamientos y un giro. En “Define / Diaphragms”, “Assign/Shell/ Diaphragms”, se asigna el diafragma rígido (D1, D2 y D3).

Figura 296.

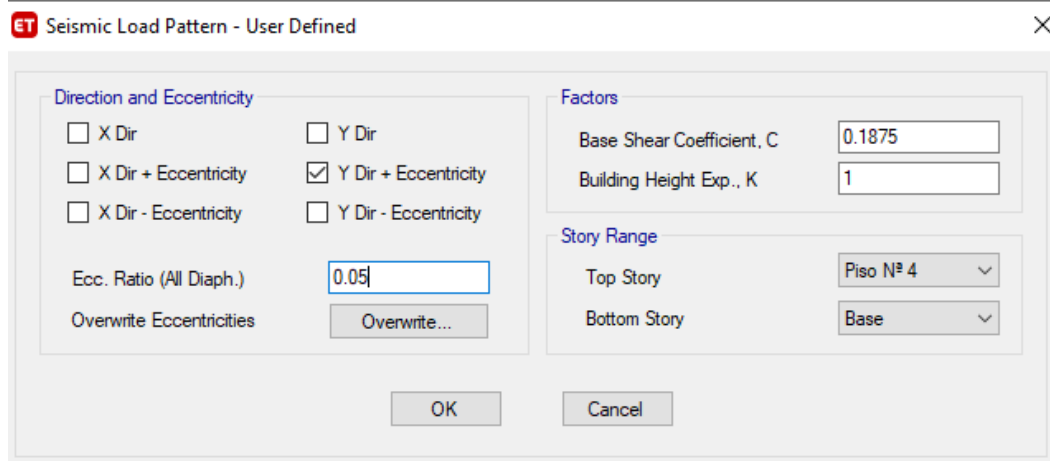
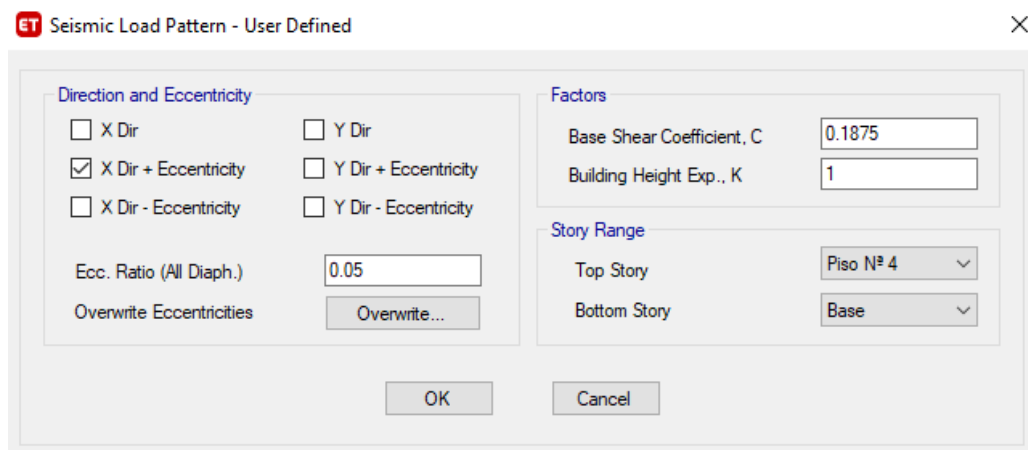
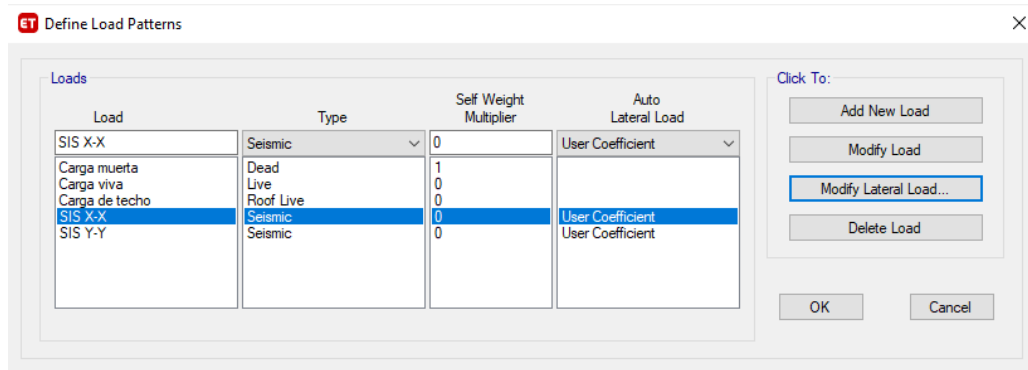
Creación de diafragma rígido, módulo IV



En “Define Load Patterns”, se crea el sismo en (X) :(SIS X-X) y el sismo en la dirección (Y): (SIS -Y-Y).

Figura 297.

Proceso para ingresar el sismo estático y colocar el coeficiente de cortante basal para el módulo IV



Nota: Se coloca el coeficiente de cortante en la base es que es de 0.1875 en la dirección de “x”, el valor de $k_x=1$ y con una excentricidad de 5%. Se coloca el coeficiente de cortante en la base es que es de 0.1875 en la dirección de “y”, el valor de $k_x=1$ y con una excentricidad de 5%.

La norma E-30 de diseño sismorresistente, indica que el peso (P), se calcula adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga de la siguiente manera:

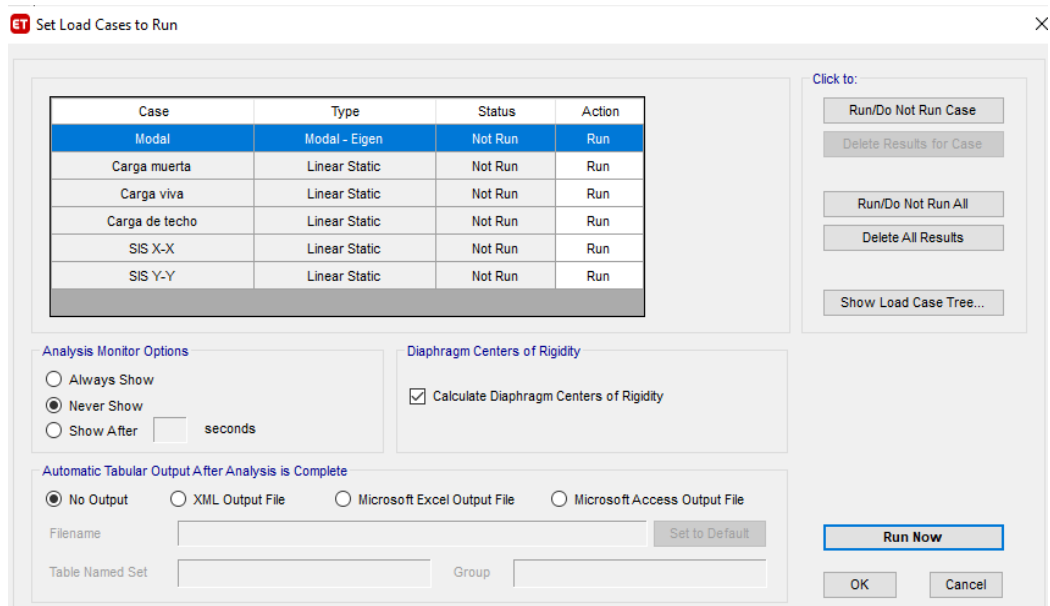
- a) En edificaciones de las categorías A y B, se tomará el 50% de la carga viva.
- b) En azoteas y techos en general se tomará el 25% de la carga viva.

Se define el peso de la edificación en “Define masas source”, casos de carga: carga muerta 1, carga viva 0.5 y carga de techo 0.25, según el proceso descrito para el módulo I.

Por último, se ejecuta el análisis estático. Para ello se configura las opciones de análisis, en “Analyze / Set Active of Freedom” y se selecciona Full 3D. Así mismo, en “Analyze / Set Load Cases to Run”, se selecciona “Calculate Diaphragm Centers of Rigidity”, para que calcule el centro de rigidez del diafragma y finalmente se corre el programa en “Run Now”.

Figura 298.

Proceso para correr el análisis estático del módulo IV



$$K_x = 1.00$$

$$K_y = 1.00$$

Tabla 69.

Fuerza sísmica en dirección X e Y, módulo IV

Nivel	Pi (kg)	hi(m)	$P_i \times h_i^k$	ai	Fi (kg)	Fi (ton)
En la dirección X						
4	30986.16	12.55	388876.31	0.41	9035.94	9.04
3	29784.83	9.60	285934.35	0.30	6643.98	6.64
2	28205.32	6.40	180514.05	0.19	4194.43	4.19
1	28205.32	3.20	90257.02	0.10	2097.21	2.10
∑= P. Ed.	117181.63	$\sum P_i \times h_i^k$	945581.73	1.00	21971.56	21.97
En la dirección Y						
4	30986.16	12.55	388876.31	0.41	9035.94	9.04
3	29784.83	9.60	285934.35	0.30	6643.98	6.64
2	28205.32	6.40	180514.05	0.19	4194.43	4.19
1	28205.32	3.20	90257.02	0.10	2097.21	2.10
∑= P. Ed.	117181.63	$\sum P_i \times h_i^k$	945581.73	1.00	21971.56	21.97

4.3) Análisis dinámico del módulo IV

Para el análisis dinámico se ha definido el espectro de respuesta en la dirección X e Y. Se ha empleado el método de superposición espectral considerando como criterio la combinación cuadrática completa (CQC) de los valores calculados para cada modo. Se ha trabajado con un amortiguamiento y excentricidad del diafragma del 5%. Luego se ha corrido el modelo realizando el chequeo modal y espectral. Para los modos de vibración de la estructura se tomaron en cuenta las consideraciones:

- El número mínimo de modos es de 3 (dos de traslación uno y de rotación).
- En cada dirección se han considerado aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas ha sido por lo menos el 90 % de la masa total.

Figura 299.

Espectro de respuesta en la dirección a) X, b) Y, del módulo IV

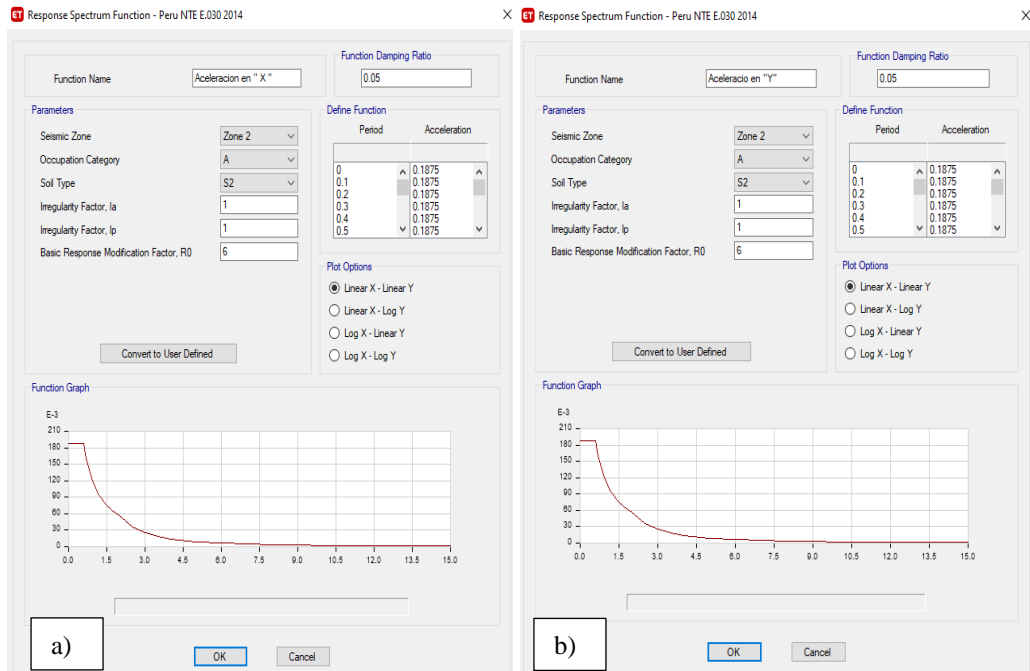


Figura 300.

Modos de vibración a) Modo 1 traslación, b) Modo 2 rotación, c) Modo 3 traslación, módulo IV

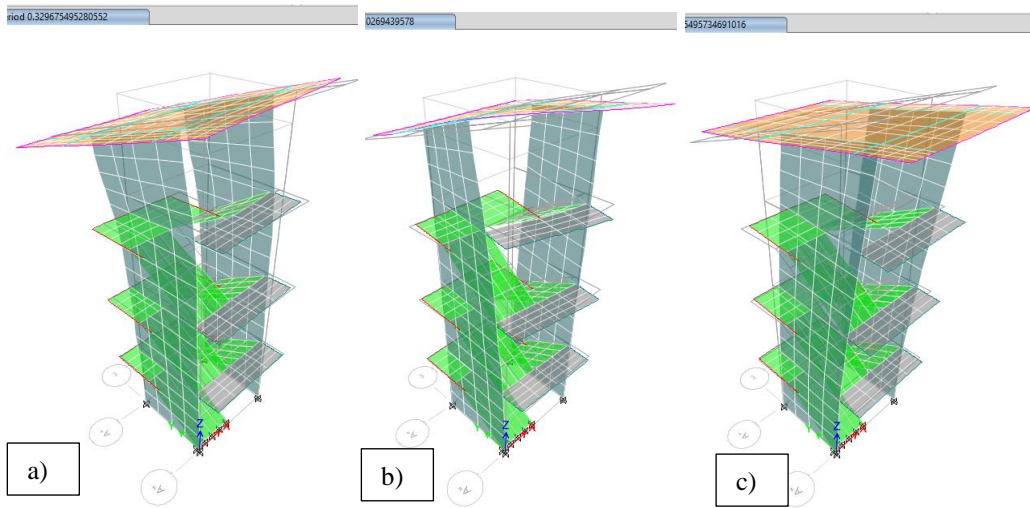


Tabla 70. *Periodos y masa participativa de cada modo de vibración, módulo IV*

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	0.33	0.5872	1.20E-06	4.69E-06	0.5872	1.20E-06	4.69E-06	0	0.3062	0.0213	0	3.06E-01	0.0213
Modal	2	0.247	0.0206	0.0008	0.0001	0.6078	0.0008	0.0001	0.0005	0.0288	0.6587	0.0005	0.335	0.68
Modal	3	0.215	4.86E-06	0.5965	0.0021	0.6078	0.5973	0.0022	0.4098	0.0001	0.0004	0.4103	0.335	0.6804
Modal	4	0.141	0.2537	2.46E-06	0.0002	0.8615	0.5973	0.0023	1.44E-05	0.133	0.0001	0.4103	0.468	0.6805
Modal	5	0.103	0	0.02	0.0527	0.8615	0.6173	0.055	0.0072	1.01E-06	0	0.4176	0.468	0.6805
Modal	6	0.068	0.0005	0	0.0056	0.862	0.6173	0.0606	2.99E-05	0.0141	0.0273	0.4176	0.4821	0.7078
Modal	7	0.061	0.0216	3.79E-06	0.0813	0.8837	0.6173	0.1419	0.0004	0.0636	0.0314	0.418	0.5457	0.7392
Modal	8	0.061	0.0404	0.0004	0.032	0.9241	0.6177	0.1739	0.0011	0.1633	0.0299	0.419	0.709	0.7692
Modal	9	0.051	0.0001	0.0649	0.0773	0.9242	0.6825	0.2512	0.0595	0.0004	0.0000195	0.4785	0.7094	0.7692
Modal	10	0.048	0.0005	0.0078	0.0397	0.9247	0.6903	0.291	0.0084	0.0005	0.0405	0.4869	0.7099	0.8097
Modal	11	0.045	0.0003	0.0174	0.0069	0.925	0.7077	0.2979	0.0124	0.0006	0.0153	0.4992	0.7105	0.825
Modal	12	0.044	0.0004	0.0166	0.1008	0.9254	0.7243	0.3987	0.008	0.0035	0.0045	0.5073	0.714	0.8295
Modal	13	0.043	9.81E-06	0.0014	0.0207	0.9254	0.7257	0.4195	0.0022	0.0025	0.0267	0.5095	0.7165	0.8562
Modal	14	0.043	0.0007	0.0039	0.0041	0.9261	0.7295	0.4236	0.006	0.0022	4.00E-04	0.5155	0.7187	0.8566
Modal	15	0.042	0.0012	1.20E-03	0.0241	0.9273	0.7308	0.4477	0.0051	0.0021	1.00E-04	0.5206	0.7209	0.8566
Modal	16	0.041	0.0188	2.93E-06	0.0003	0.9461	0.7308	0.4479	0.0001	0.058	0	0.5207	0.7788	0.8566
Modal	17	0.039	1.00E-04	0.0322	0.0026	0.9461	0.763	0.4505	0.0344	6.00E-04	0.0001	0.5551	0.7794	0.8567
Modal	18	0.037	0.0093	0.0009	0.0029	0.9554	0.764	0.4535	0.001	0.0148	0.0083	0.5562	0.7943	0.865
Modal	19	0.037	0.0005	0.0059	0.0041	0.956	0.7699	0.4576	0.006	0.0002	0.0004	0.5622	0.7944	0.8654
Modal	20	0.036	0.0083	0.0023	0.0012	0.9643	0.7721	0.4588	0.0036	0.007	0.0071	0.5658	0.8014	0.8725
Modal	21	0.035	0.0004	0.0059	0.0303	0.9647	0.778	0.4891	0.0064	0.0253	0.0036	0.5722	0.8268	0.8761
Modal	22	0.034	0.0002	0.0034	0.0004	0.9648	0.7815	0.4895	0.0025	0.0003	0.0021	0.5747	0.827	0.8783
Modal	23	0.034	9.58E-06	0.0003	0.0026	0.9649	0.7818	0.4921	2.3E-05	1.238E-05	0.0012	0.5747	0.827	0.8795
Modal	24	0.033	0.0003	0.0234	0.0079	0.9651	0.8051	0.5	0.0498	0.0084	0.0004	0.6245	0.8354	0.8799
Modal	25	0.032	0.001	0.0222	0.0219	0.9661	0.8273	0.5218	0.0282	1.00E-04	0.0013	0.6526	0.8356	0.8812
Modal	26	0.031	1.00E-04	0.0064	3.24E-05	0.9662	0.8338	0.5219	0.0085	0.0014	6.155E-06	0.6611	0.837	0.8812
Modal	27	0.03	0.008	0.0004	0.0092	0.9742	0.8342	0.531	0.0002	0.0244	0.0088	0.6613	0.8613	0.8901
Modal	28	0.03	0.0004	0.0053	0.0502	0.9747	0.8395	0.5813	0.0018	0.0003	1.018E-05	0.6631	0.8616	0.8901
Modal	29	0.029	0.0002	0.0006	0.1377	0.9749	0.8401	0.719	0.0027	0.0053	0.0055	0.6657	0.867	0.8956
Modal	30	0.026	0.0001	0.0047	0.0852	0.975	0.8447	0.8042	0.0099	0.0062	0.0012	0.6757	0.8731	0.8967
Modal	31	0.026	9.51E-06	0.0005	0.0091	0.975	0.8452	0.8133	0.0014	0.0179	0.0006	0.6771	0.891	0.8973
Modal	32	0.025	1.00E-04	0.0004	0.0013	0.9751	0.8456	0.8146	0.001	0.0061	0.0122	0.678	0.8971	0.9095
Modal	33	0.024	1.00E-04	0.0002	0.0054	0.9752	0.8458	0.8201	0.0005	0.0001	0.0009	0.6785	0.8972	0.9104
Modal	34	0.024	1.14E-06	1.00E-04	0.0008	0.9752	0.8459	0.8209	1.00E-04	3.10E-03	0.0042	0.6786	0.9003	0.9146
Modal	35	0.023	3.42E-06	2.00E-04	0.0001	0.9752	0.8461	0.8209	4.00E-04	0.0012	0.0003	0.679	0.9016	0.9148
Modal	36	0.023	2.29E-06	3.00E-04	0.0001	0.9752	0.8465	0.8211	3.00E-04	2.00E-04	0.0013	0.6793	0.9017	0.9162

Modal	37	0.022	0.0001	6.37E-07	0.0012	0.9753	0.8465	0.8223	1.00E-04	0.0066	6.20E-03	0.6794	0.9083	0.9224
Modal	38	0.022	0	0.0002	1.71E-05	0.9753	0.8466	0.8223	0.0003	0.0001	1.184E-05	0.6797	0.9084	0.9224
Modal	39	0.022	5.30E-06	2.60E-03	0.0014	0.9753	0.8493	0.8238	3.00E-03	0.0001	1.372E-06	0.6827	0.9085	0.9224
Modal	40	0.022	1.51E-05	0.0009	0.0117	0.9753	0.8502	0.8355	0.0026	6.87E-07	0.0002	0.6853	0.9085	0.9226
Modal	41	0.021	0.0001	0.0009	5.10E-03	0.9755	0.8511	0.8406	0.0036	0.0008	0.0002	0.6889	0.9093	0.9228
Modal	42	0.021	0.0001	0.0003	0.0005	0.9755	0.8514	0.8411	0.0008	0.0003	0.0011	0.6897	0.9096	0.9239
Modal	43	0.021	0.000029	0.0019	0.0003	0.9756	0.8533	0.8414	0.0026	0.0002	6.516E-06	0.6923	0.9098	0.9239
Modal	44	0.021	0.0001	0.0008	0.0076	0.9757	0.854	0.849	0.0022	0.0014	0.0028	0.6945	0.9112	0.9267
Modal	45	0.021	0.0004	0.0039	0.0069	0.9761	0.8579	0.8559	0.0094	0.0029	0.0007	0.7039	0.914	0.9274
Modal	46	0.02	1.00E-04	0.0005	0.0045	0.9762	0.8584	0.8604	0.0011	0.0003	5.313E-06	0.705	0.9143	0.9274
Modal	47	0.02	3.00E-04	0.0002	0.0004	0.9764	0.8586	0.8607	0.0009	0.001	0.0045	0.7059	0.9153	0.9319
Modal	48	0.02	0.0006	0.0002	6.00E-04	0.977	0.8588	0.8613	0.0006	0.0013	0.0011	0.7065	0.9166	0.933
Modal	49	0.02	0.0001	2.4E-05	3.93E-06	0.9771	0.8588	0.8613	0.0001	0.0001	6.00E-04	0.7065	0.9168	0.9336
Modal	50	0.02	0.001	1.20E-03	0.0002	0.9781	0.86	0.8615	0.0025	0.0003	0.001	0.709	0.9171	0.9345
Modal	51	0.019	3.00E-04	0.0027	0.0003	0.9783	0.8627	0.8618	4.50E-03	0.0004	0.0005	0.7136	0.9175	0.9351
Modal	52	0.019	1.00E-04	0.0001	0.0002	0.9785	0.8628	0.862	0.0002	1.10E-03	0.002	0.7138	0.9186	0.937
Modal	53	0.019	0.00E+00	4.6E-05	2.00E-04	0.9785	0.8629	0.8622	0.0001	2.00E-04	0.0002	0.7138	0.9188	0.9372
Modal	54	0.018	0.0005	2.1E-05	0.0002	0.979	0.8629	0.8624	1.1E-05	0.0017	0.0004	0.7139	0.9205	0.9376
Modal	55	0.018	2.84E-05	0.0074	0.0041	0.979	0.8703	0.8665	0.0109	0.0002	0.0029	0.7247	0.9206	0.9405
Modal	56	0.018	0.0001	0.0038	0.0027	0.9791	0.8741	0.8692	5.50E-03	4.00E-04	0.0015	0.7303	0.921	0.942
Modal	57	0.018	3.16E-05	3.00E-04	0.0017	0.9791	0.8744	0.8709	0.0004	2.00E-04	0.0003	0.7307	0.9212	0.9423
Modal	58	0.018	3.92E-05	0.0002	0.0002	0.9792	0.8746	0.8711	0.0004	1.00E-04	0.0002	0.7311	0.9213	0.9425
Modal	59	0.017	2.22E-06	0.0021	0.0057	0.9792	0.8768	0.8768	0.0045	2.292E-05	0.0004	0.7356	0.9214	0.9429
Modal	60	0.017	0.0003	0.0001	0.0001	0.9795	0.8768	0.8769	0.0001	0.0019	0.0002	0.7357	0.9233	0.9431
Modal	61	0.017	1.00E-04	2.71E-05	0.0001	0.9795	0.8769	0.877	0.0001	0.0003	1.00E-04	0.7357	0.9235	0.9432
Modal	62	0.016	5.67E-07	0.0001	3.79E-05	0.9795	0.8769	0.877	0.0001	1.00E-04	7.25E-07	0.7358	0.9236	0.9432
Modal	63	0.016	0.0002	0.0152	0.0003	0.9797	0.8922	0.8774	0.0271	0.0007	0.0032	0.7629	0.9242	0.9463
Modal	64	0.016	0.0012	0.0006	0.0004	0.9809	0.8927	0.8778	0.001	0.0076	0.0011	0.7639	0.9319	0.9474
Modal	65	0.016	2.69E-05	0.0065	0.0006	0.9809	0.8992	0.8784	0.0111	0.0001	0.0026	0.775	0.9319	0.95
Modal	66	0.015	0.0012	0.0007	0.0008	0.9821	0.8999	0.8792	0.0013	0.0017	2.821E-05	0.7763	0.9337	0.95
Modal	67	0.015	0.0001	0.0028	0.0093	0.9821	0.9027	0.8884	0.0065	0.0003	0.0008	0.7828	0.9339	0.9508
Modal	68	0.015	0.0003	0.0007	0.0057	0.9824	0.9034	0.8941	0.0019	1.00E-04	0.0034	0.7847	0.934	0.9541
Modal	69	0.014	4E-05	0.0007	2.9E-05	0.9825	0.9041	0.8941	0.0013	0.0017	0.0001	0.786	0.9358	0.9542
Modal	70	0.014	0.0002	0.0006	0.0001	0.9827	0.9047	0.8942	0.0011	0.0006	2.901E-05	0.7871	0.9363	0.9542

Nota: Se muestra los periodos y la masa participativa de cada uno de los modos, del modelo, en cada dirección se han considerado aquellos modos de vibración cuya suma de masa

efectiva ha sido por lo menos 90% de la masa total.

Los desplazamientos máximos absolutos y relativos del análisis sísmico del módulo IV, así como las verificaciones sugeridas en la norma E.030 se muestran en las Fig. 279 y Fig. 280, donde se puede observar que el desplazamiento absoluto de la estructura por carga de sismo en dirección X es 8.53 mm, y en dirección Y es 3.04 mm; así mismo, las derivas relativas máximas por piso en la dirección X e Y son menores a 0.007, por tanto, cumplen con las especificaciones de la norma E.030 (MVCS, 2020).

Figura 301.

Desplazamientos máximos absolutos en dirección X e Y, módulo IV

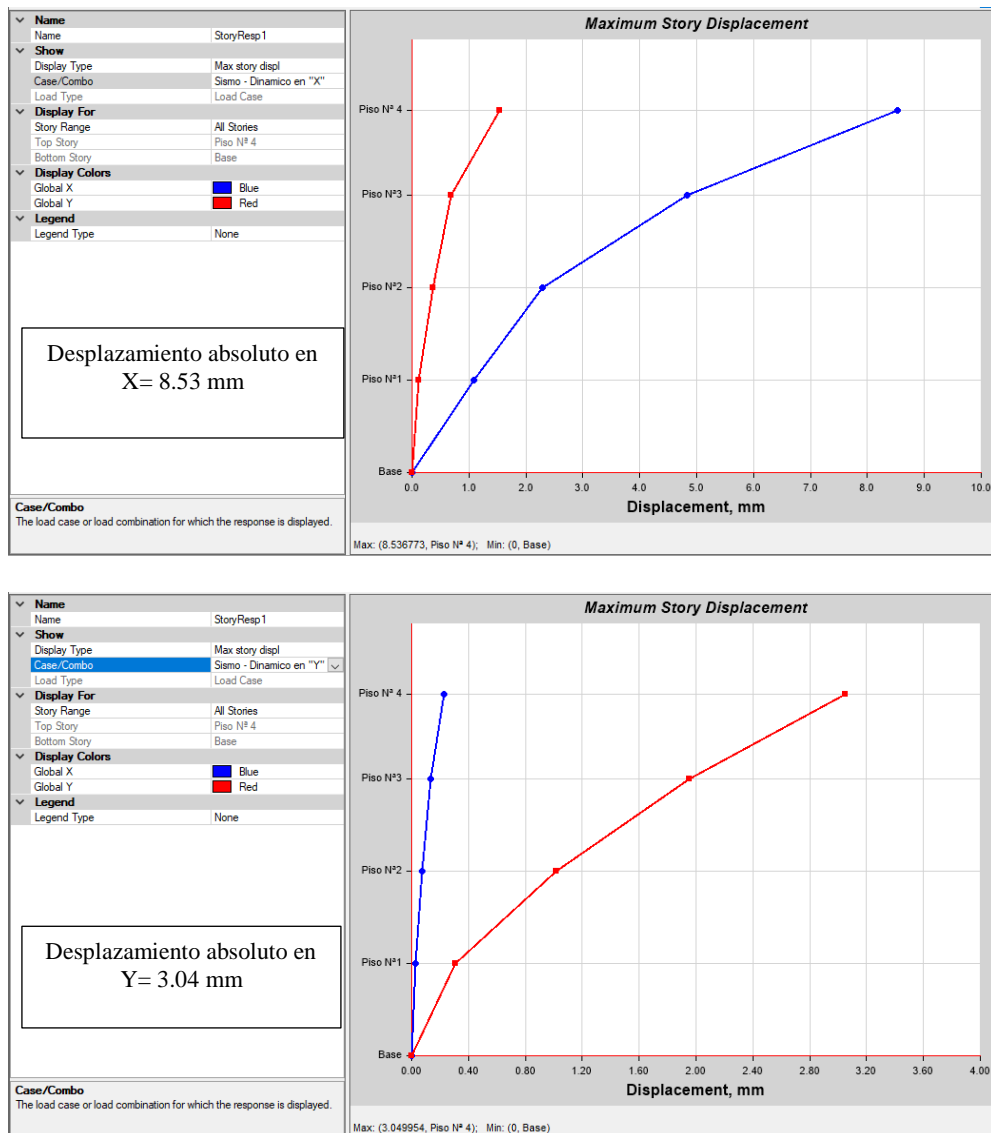


Figura 302.

Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo IV

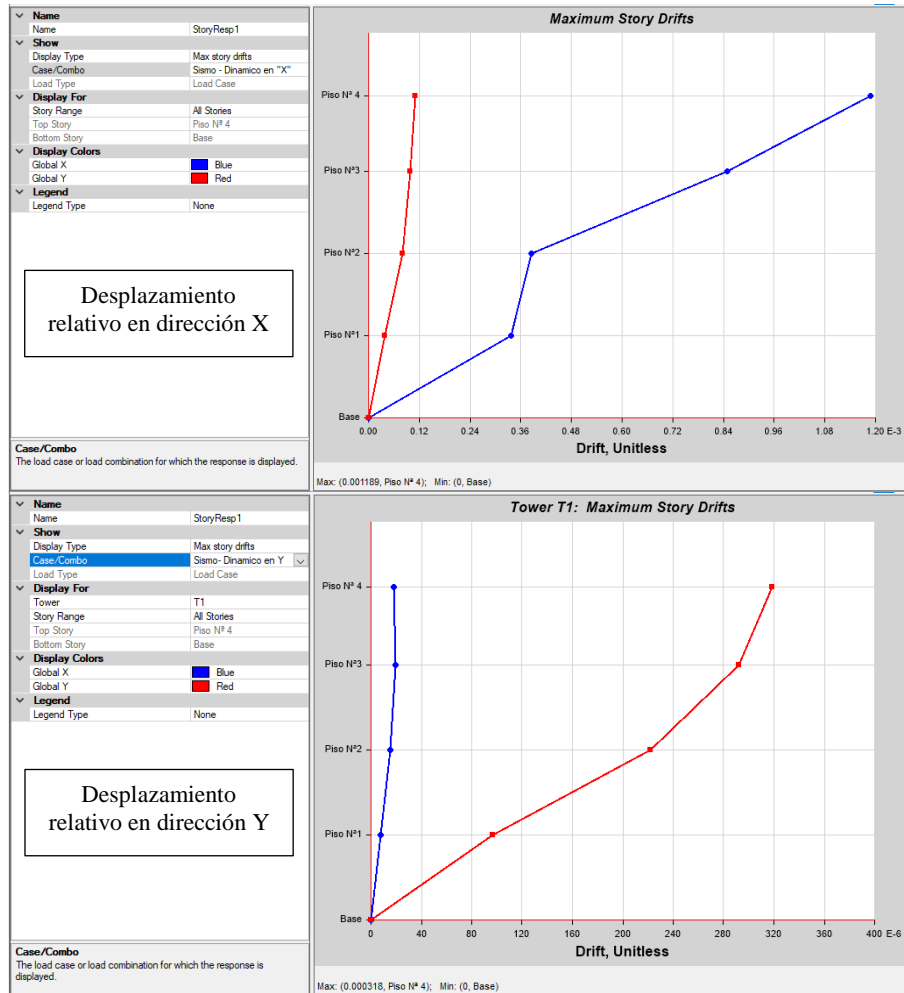


Tabla 71.

Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo IV

Pisos	Caso de carga	Dirección	Deriva	Rx= 6, Ry= 6	
				Deriva	*0.75*R < 0.007
Deriva máximas por piso en la dirección X					
Piso 4	SIS Dinam.	X	0.00119	0.0053505	Si
Piso 3	SIS Dinam.	X	0.00085	0.0038205	Si
Piso 2	SIS Dinam.	X	0.00039	0.001737	Si
Piso 1	SIS Dinam.	X	0.00034	0.001521	Si
Deriva máximas por piso en la dirección Y					
Piso 4	SIS Dinam.	Y	0.00032	0.001431	Si
Piso 3	SIS Dinam.	Y	0.00029	0.001314	Si
Piso 2	SIS Dinam.	Y	0.00022	0.000999	Si
Piso 1	SIS Dinam.	Y	0.00096	0.000432	Si

La norma E.030 (MVCS, 2020) establece que la cortante dinámica debe ser mayor o igual al 80% de la cortante estática para edificaciones regulares, y 90% para edificaciones irregulares. La cortante dinámica en la dirección X equivale a 14.27, lo que representa el 65% de la cortante estática, 21.97, por tanto, fue necesario incrementar la cortante, al igual que en la dirección Y, donde la cortante dinámica ascendía a 13.51, lo que representa el 61% de la cortante dinámica (21.97). Para amplificar la cortante dinámica en la dirección X e Y, se utilizó el factor F_{ax} y F_{ay} equivalentes a 1.23 y 1.30 respectivamente, estos factores no afectan a los desplazamientos, solo al diseño.

Tabla 72.

Cortante estática y dinámica en la dirección X e Y del módulo IV

Dirección	Cortante	F	$V_{din} \geq 80\% V_{est}$		Factor de amplificación
En X	Estática	21.97			
En X	Dinámica	14.27	65%	No cumple	1.23
En Y	Estática	21.97			
En Y	Dinámica	13.51	61%	No cumple	1.30

4.4) Análisis Pushover del módulo IV

El método Pushover consiste en aplicar una distribución vertical de cargas laterales a la estructural, mismas que deben incrementarse monótonamente hasta que la estructura alcance el máximo desplazamiento. Primero se ha realizado el análisis estático convencional con la finalidad de extraer características estáticas de la estructura, para luego seguir el procedimiento dado por el FEMA 356. En la Fig. 281 se muestran los valores de las fuerzas laterales en el sentido X e Y, estas cargas se asignaron al modelo estructural (módulo IV) para la ejecución del análisis Pushover Fig. 282.

Tabla 73.

Fuerzas laterales en el sentido X e Y para el análisis Pushover, módulo IV

Nivel	Pi (kg)	hi(m)	$Pi \times hi^k$	ai	Fi (kg)	Fi (ton)
En la dirección X						
4	30986.16	12.55	388876.31	0.41	9035.94	9.04
3	29784.83	9.60	285934.35	0.30	6643.98	6.64
2	28205.32	6.40	180514.05	0.19	4194.43	4.19
1	28205.32	3.20	90257.02	0.10	2097.21	2.10
∑= P. Ed.	117181.63	$\sum Pi \times hi^k$	945581.73	1.00	27971.56	21.97
En la dirección Y						
4	30986.16	12.55	388876.31	0.41	9035.94	9.04
3	29784.83	9.60	285934.35	0.30	6643.98	6.64
2	28205.32	6.40	180514.05	0.19	4194.43	4.19
1	28205.32	3.20	90257.02	0.10	2097.21	2.10
∑= P. Ed.	117181.63	$\sum Pi \times hi^k$	945581.73	1.00	27971.56	21.97

Figura 303.

Fuerzas laterales en el sentido X e Y para el análisis Pushover, módulo IV

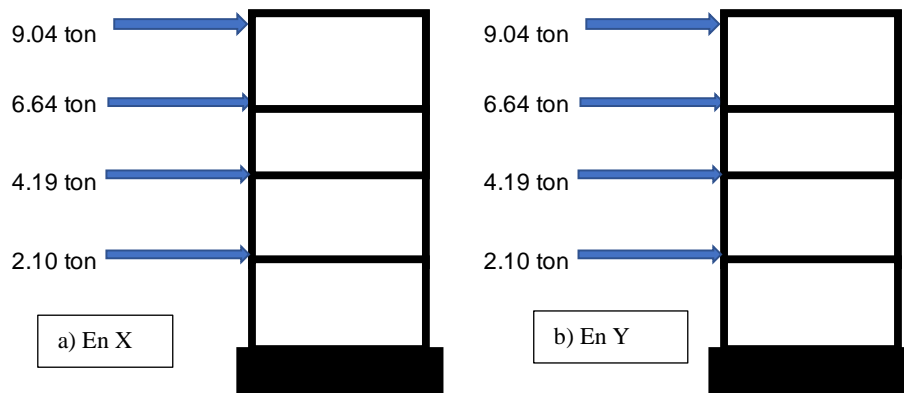
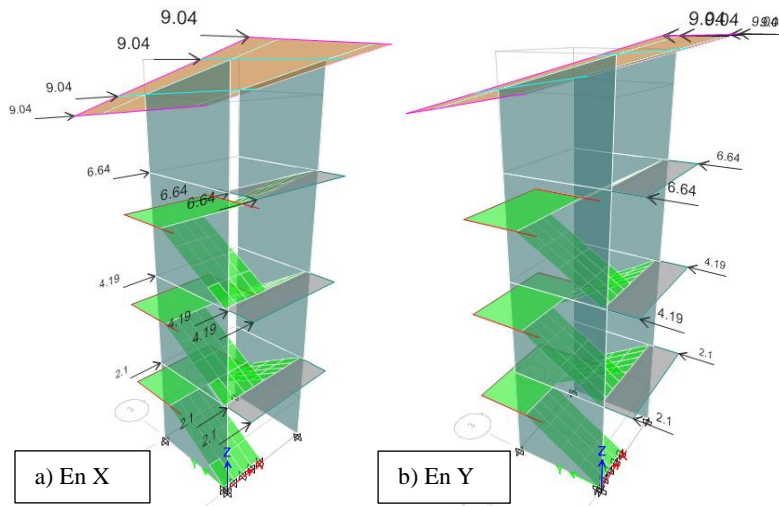


Figura 304.

Asignación de cargas laterales Pushover, en el sentido X e Y, módulo IV



Para el análisis estático no lineal se crean dos estados de carga no lineales: CGNL (carga gravitacional no lineal) y AENL (análisis estoico no lineal). La creación de estas cargas genera un orden lógico para desarrollar el NSP, primero se aplican las cargas gravitacionales, una vez que estas hayan deformado la estructura y hayan disminuido su rigidez, entra el proceso AENL, de esta manera se está aplicando la carga lateral monótonica hasta que un nudo extremo del último piso alcance un desplazamiento máximo.

El procedimiento no lineal sucede en puntos discretos predefinidos (hinges). Se asignaron rótulas en las vigas y placas según se muestra en las Fig. 284 y Fig. 286.

Figura 305.

Asignación de rótulas plásticas en las vigas, módulo IV

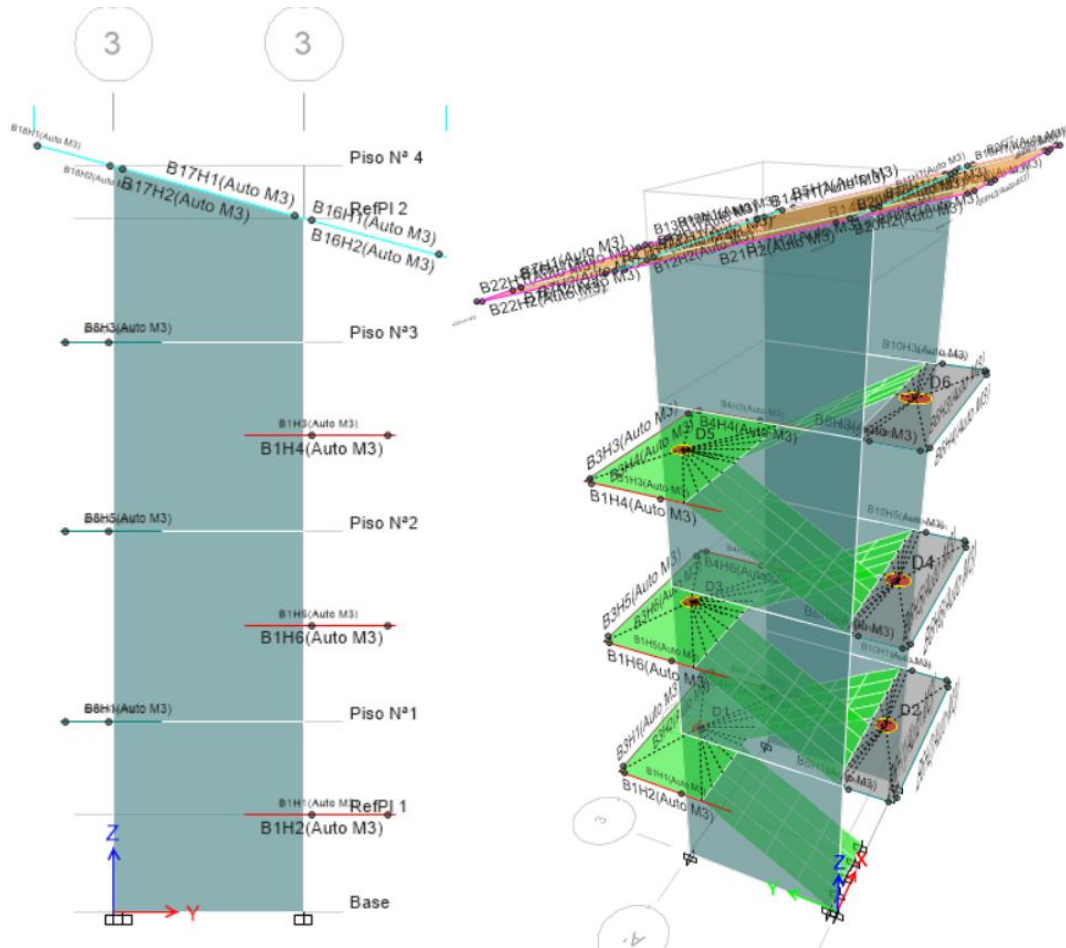


Figura 306.

Modelo estructural de la escalera para la asignación de rótulas plásticas en placas, módulo IV

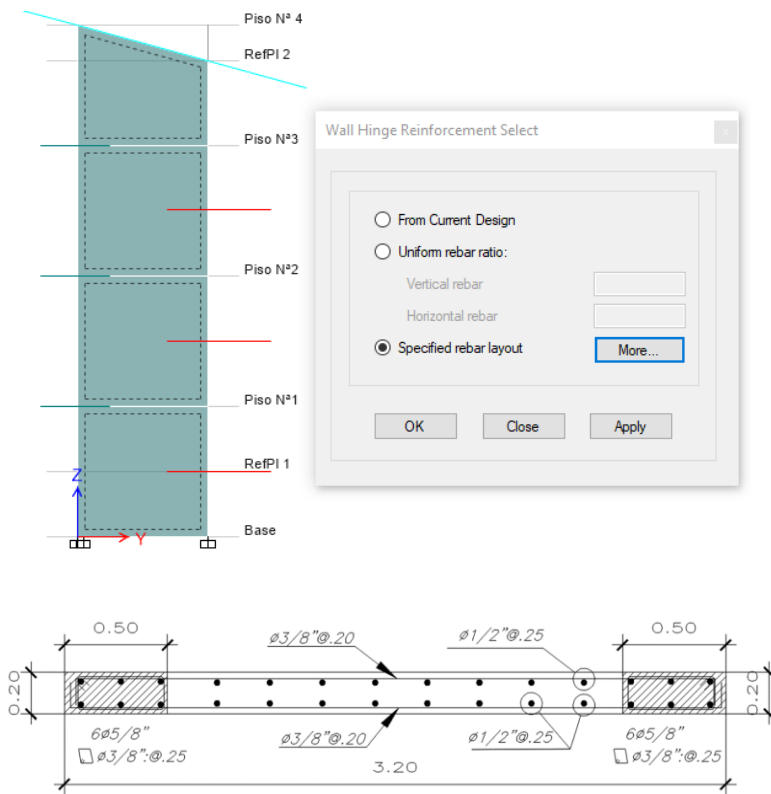


Figura 307.

Distribución de acero en la placa P-3, módulo IV

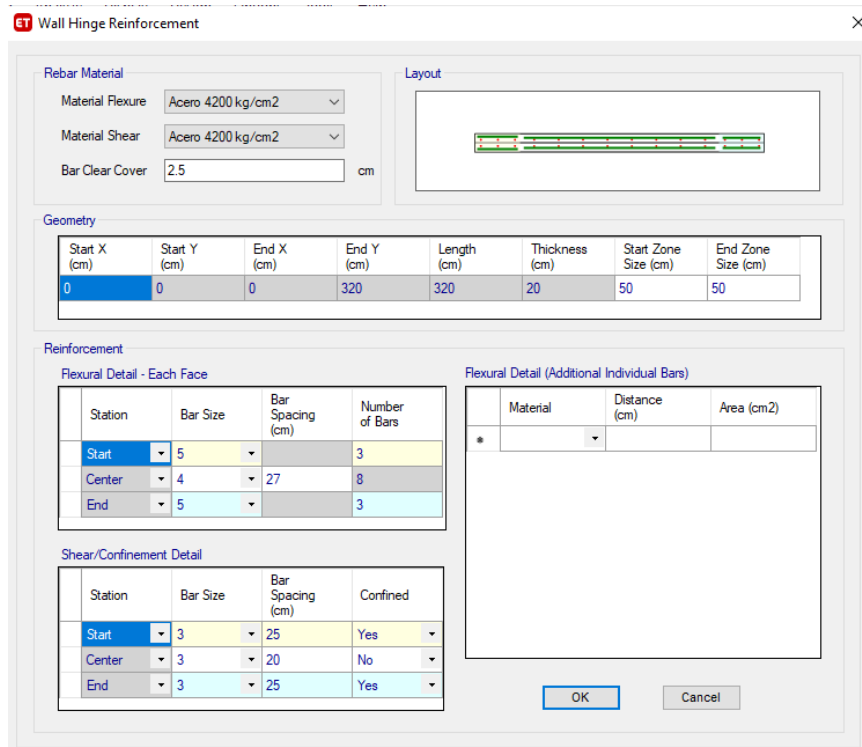


Figura 308.

Asignación de rótulas plásticas en las placas, módulo IV

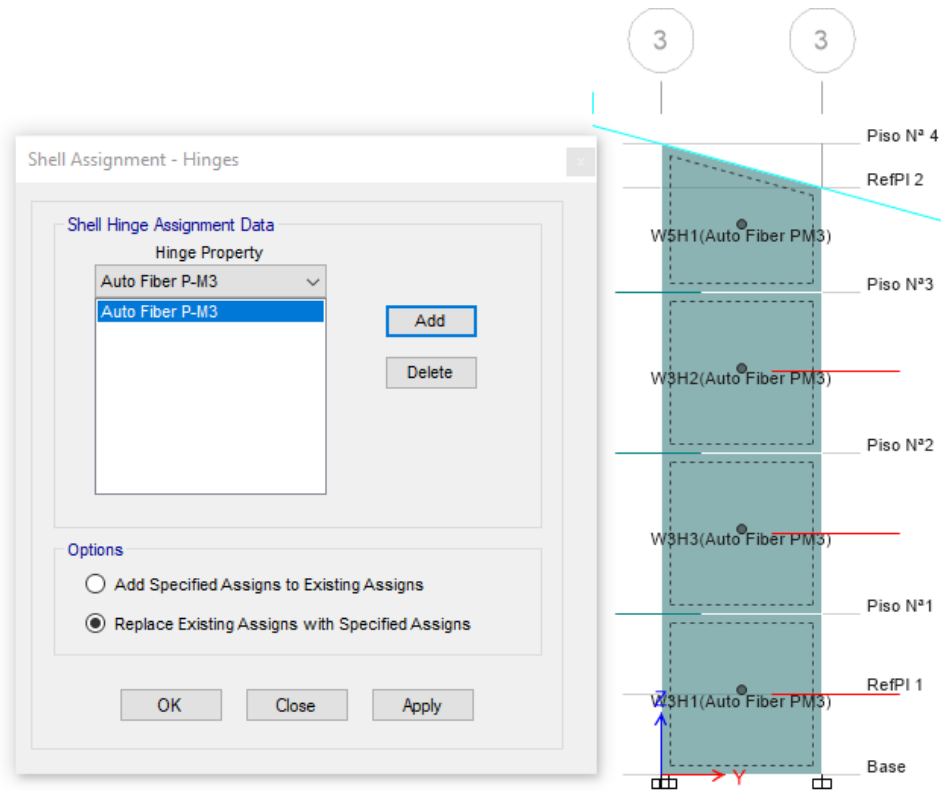


Figura 309.

Parámetros para la asignación de rótulas plásticas en las placas, módulo IV

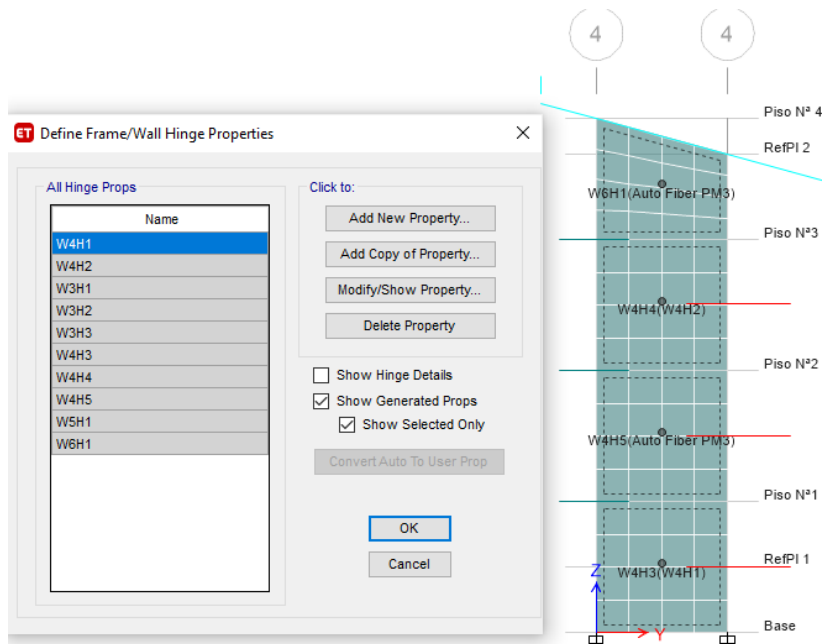
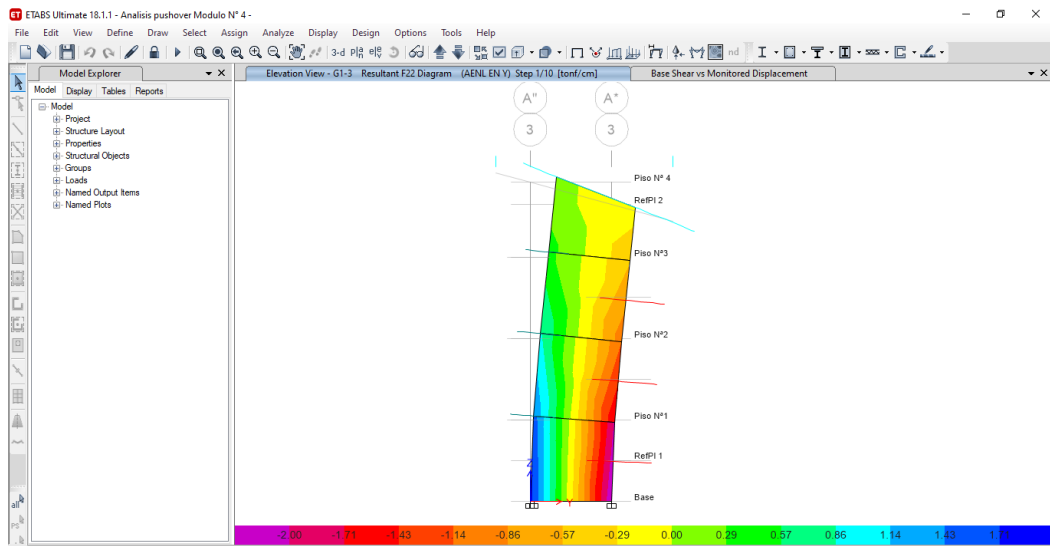


Figura 310.

Deformaciones en las placas, módulo IV



Una vez establecido los casos de carga no lineales con el patrón de fuerzas laterales se corre el modelo, para generar y visualizar la curva de capacidad en la dirección “X” o “Y”.

En la dirección X, la estructura alcanza su capacidad última cuando logra un desplazamiento de 50.31 cm y un cortante basal de 312.18 ton. Es decir, se detiene el análisis cuando se logra un desplazamiento máximo de 50.31 cm, se considera este el valor con el que la estructura en estudio, módulo IV, alcanza su capacidad máxima y colapsa (Fig. 289). Así mismo, se muestra las rótulas plásticas de los elementos estructurales del módulo IV, realizado en el programa Etabs 2018 (Fig. 290).

Figura 311.

Curva de capacidad en dirección X, módulo IV

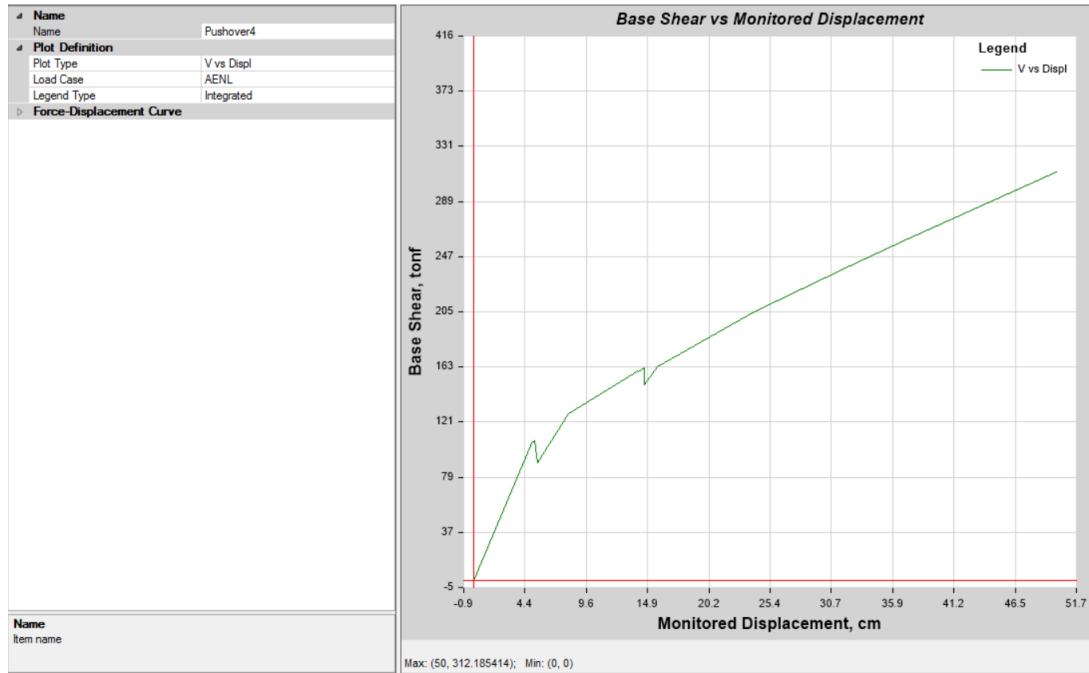


Figura 312.

10 – primeros step, en la dirección X, módulo IV

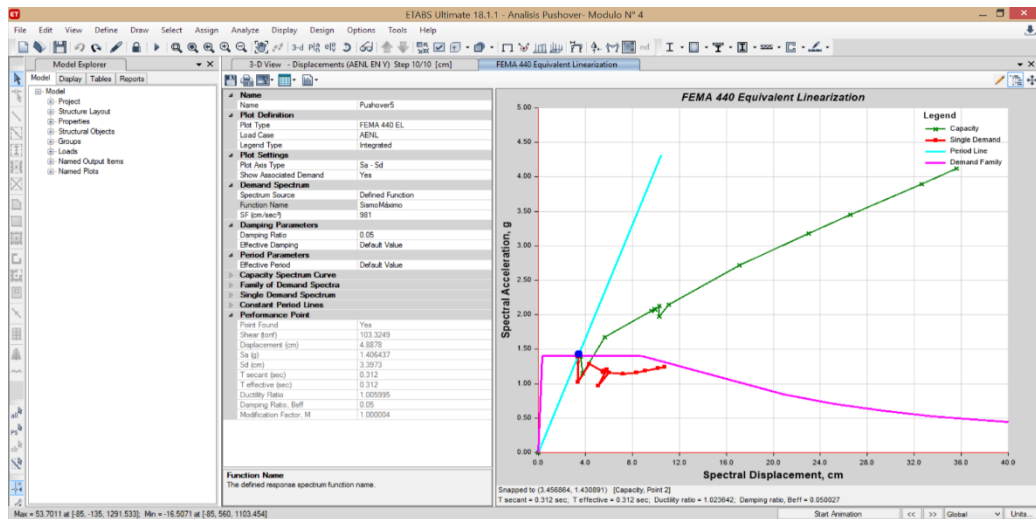
Base Force tonf	A - B	B - C	C - D	D - E	>E	A - IO	IO - LS	LS - CP	>CP	Total
0	92	0	0	0	0	92	0	0	0	92
102.7095	91	1	0	0	0	92	0	0	0	92
105.1366	90	2	0	0	0	92	0	0	0	92
106.5367	90	2	0	0	0	92	0	0	0	92
89.9489	90	2	0	0	0	92	0	0	0	92
127.6664	87	5	0	0	0	92	0	0	0	92
157.7381	87	5	0	0	0	92	0	0	0	92
159.7569	87	5	0	0	0	92	0	0	0	92
159.1027	87	5	0	0	0	92	0	0	0	92
159.1411	87	5	0	0	0	92	0	0	0	92
159.1555	87	5	0	0	0	92	0	0	0	92
159.1589	87	5	0	0	0	92	0	0	0	92
159.1808	87	5	0	0	0	92	0	0	0	92
159.1962	87	5	0	0	0	92	0	0	0	92
159.1954	87	5	0	0	0	92	0	0	0	92
159.1959	87	5	0	0	0	92	0	0	0	92
159.2008	87	5	0	0	0	92	0	0	0	92
162.0556	87	5	0	0	0	92	0	0	0	92
149.3208	87	5	0	0	0	92	0	0	0	92
163.2973	87	5	0	0	0	92	0	0	0	92
205.2307	85	7	0	0	0	91	1	0	0	92
240.2647	84	8	0	0	0	91	1	0	0	92
260.7013	84	7	1	0	0	91	0	1	0	92
295.2977	82	9	1	0	0	90	1	1	0	92
312.1854	80	11	1	0	0	90	1	1	0	92

El espectro de demanda en base al ATC 40, se ha definido para un sismo de servicio ($SS= 0.5*SD$), sismo de diseño (SD) y sismo máximo ($SM= 1.25*SD$).

Definida la curva de capacidad y el espectro de demanda, se ha podido determinar el punto de desempeño por el FEMA 440 y por el ATC 40. En este caso la estructura desestima los efectos del sismo de servicio y sismo de diseño, por ello, solo se ha podido definir el punto de desempeño para un sismo máximo. En la dirección X, según el punto de desempeño para un sismo máximo, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 103.32 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 3.39 cm (Fig. 291).

Figura 313.

Punto de desempeño en la dirección X para un sismo máximo, módulo IV



En la dirección Y, la estructura alcanza su capacidad última cuando se alcanza un desplazamiento de 50 cm y una cortante basal de 134 ton. Es decir, se detiene el análisis cuando se logra un desplazamiento máximo de 50 cm, se considera este el valor con el que la estructura en estudio, módulo IV, alcanza su capacidad máxima y colapsa (Fig. 292). Así mismo, se muestra las rótulas plásticas de los elementos estructurales del módulo IV, realizado en el programa Etabs 2018 (Fig. 293).

Figura 314.

Curva de capacidad de la estructura en dirección Y, módulo IV

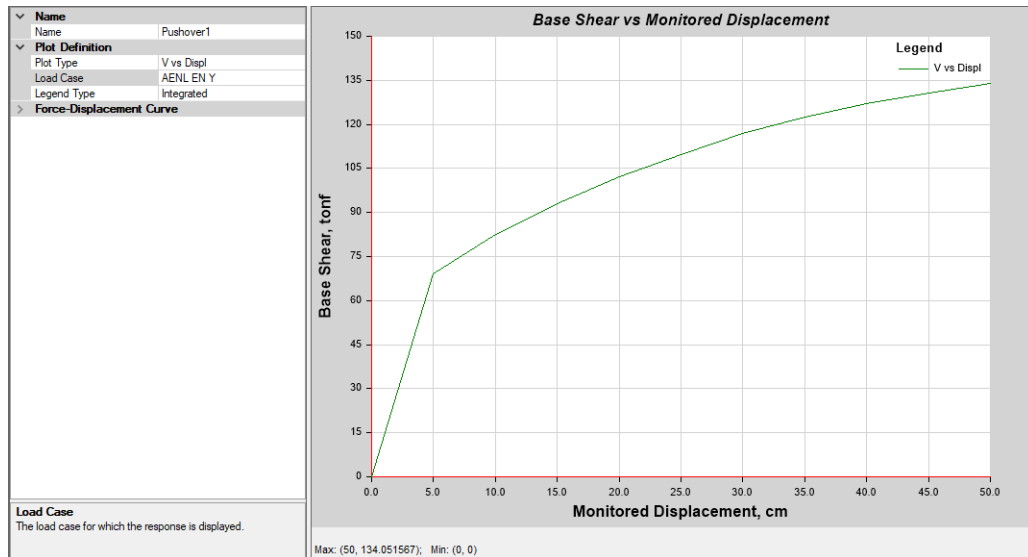


Figura 315.

Se observa (10 – primeros step), dirección Y, módulo IV

Setp	Monitored Displ cm	Base Force tont	A - B	B - C	C - D	D - E	>E	A - IO	IO - LS	LS - CP	>CP	Total
0	0	0	92	0	0	0	0	92	0	0	0	92
1	5	69.0429	90	2	0	0	0	92	0	0	0	92
2	10	82.6718	90	2	0	0	0	92	0	0	0	92
3	15	92.8996	90	2	0	0	0	92	0	0	0	92
4	20	102.0423	88	4	0	0	0	90	2	0	0	92
5	25	109.728	88	4	0	0	0	90	2	0	0	92
6	30	116.8021	88	4	0	0	0	90	2	0	0	92
7	35	122.526	88	2	2	0	0	90	1	1	0	92
8	40	127.2049	88	2	2	0	0	90	0	2	0	92
9	45	130.7615	88	2	2	0	0	90	0	2	0	92
10	50	134.0505	88	2	2	0	0	90	0	2	0	92

En la dirección Y, según el punto de desempeño para un sismo por FEMA 440 AL, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura va a soportar una cortante de 74.03 ton, y desplazamiento espectral “Sd” de 4.86 cm (Fig. 294). Según el punto de desempeño para un sismo de diseño, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 74.38 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 4.95 cm (Fig. 295). Según el punto de desempeño para un sismo máximo, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 80.18 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 6.47 cm (Fig. 296).

Figura 316.

Punto de desempeño en la dirección Y para un sismo definido por FEMA 440 A1, módulo IV

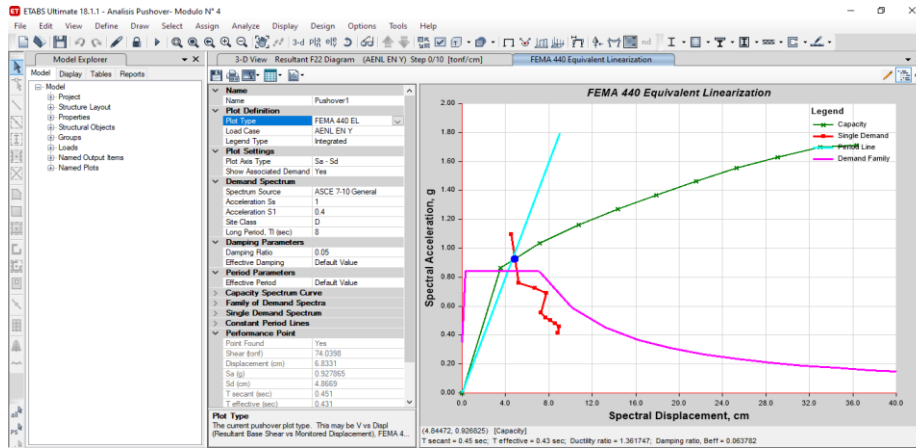


Figura 317.

Punto de desempeño en la dirección Y para un sismo de diseño, módulo IV

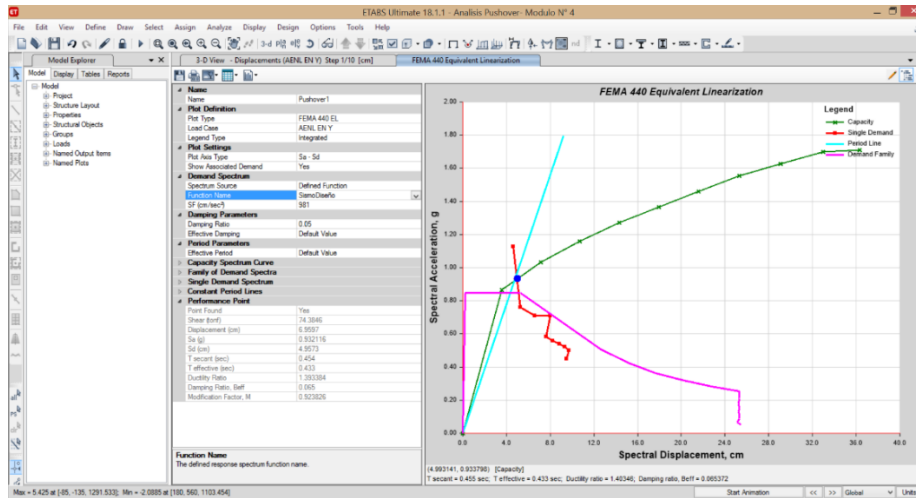
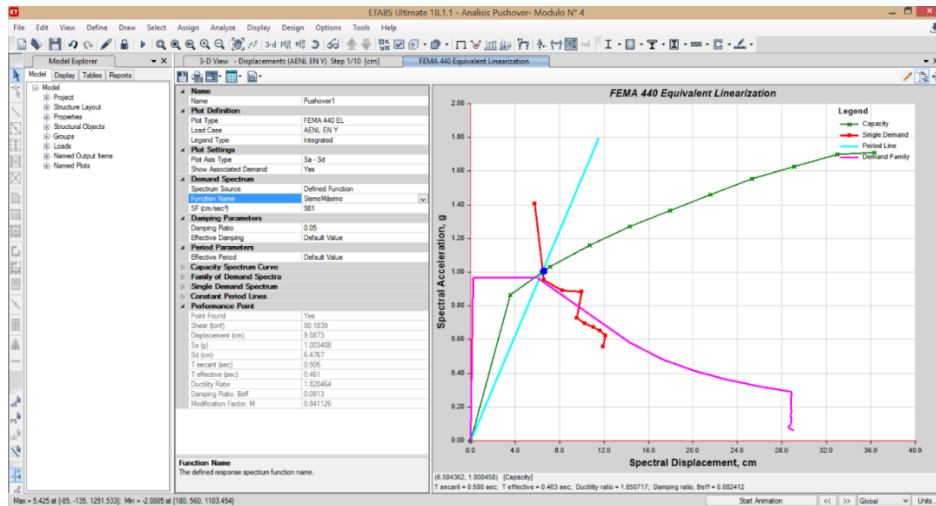


Figura 318.

Punto de desempeño en la dirección Y para un sismo máximo, módulo IV



4.5) Identificación de rótulas plásticas o primeros puntos de colapso frente a un evento sísmico, módulo IV

En la dirección X, las primeras rótulas plásticas se forman en el piso N° 4 en la viga B12, que se halla entre el eje A'-A' (primer step). En el quinto step se forman las primeras rótulas plásticas que se forman en la placa de la estructura en el piso N° 1, que se halla entre el eje 3-3. En el veinteavo step se observa la segunda rótula plástica que se forma en la placa de la estructura en el piso N° 2, que se halla entre el eje 3-3.

Figura 319.

Primer step, eje X, módulo IV

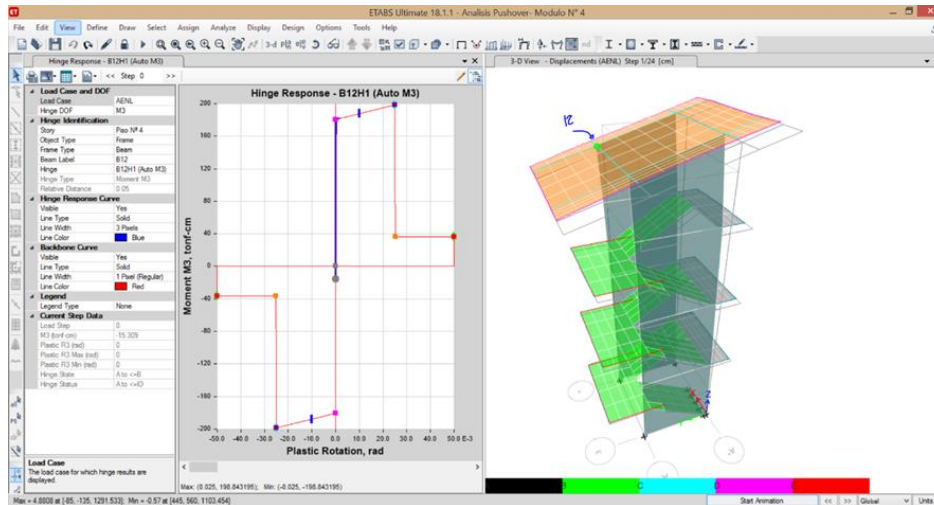


Figura 320. Segundo step, eje X, módulo IV

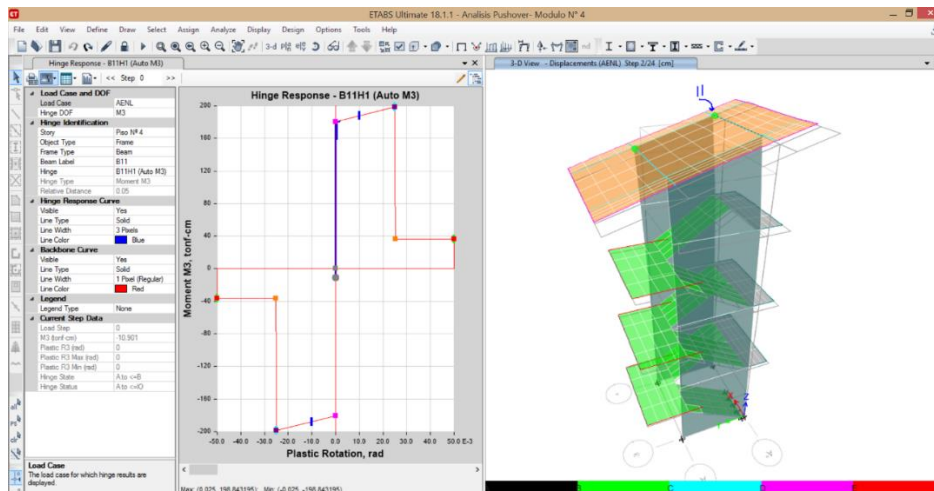


Figura 321.

Quinto step, eje X, módulo IV

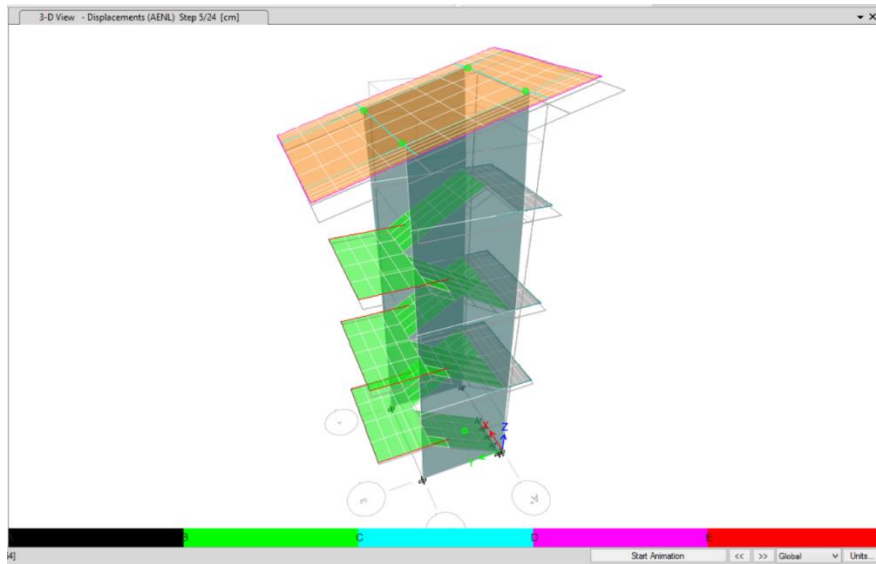
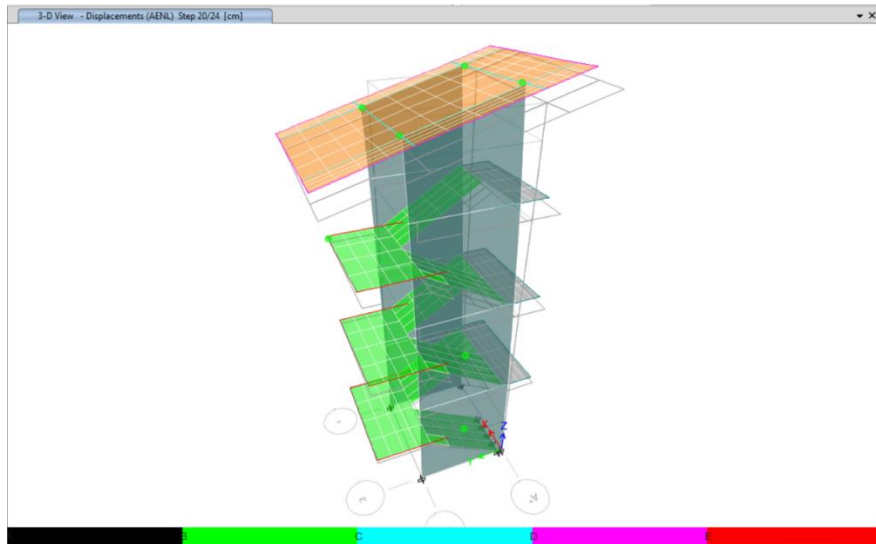


Figura 322.

Veinteavo step, eje X, módulo IV



En la dirección Y, las primeras rótulas plásticas que se forman en la estructura están en la placa en el primer piso, entre el eje 3-3 y 4-4 (primer step). En el cuarto step, se observa la segunda rotula plástica que se forma en la placa de la estructura en el segundo piso, entre el eje 3-3 y 4-4. En el décimo step se pueden observar todas las rótulas plásticas que se forman en la estructura.

Figura 323. *Primer step, eje Y, módulo IV*

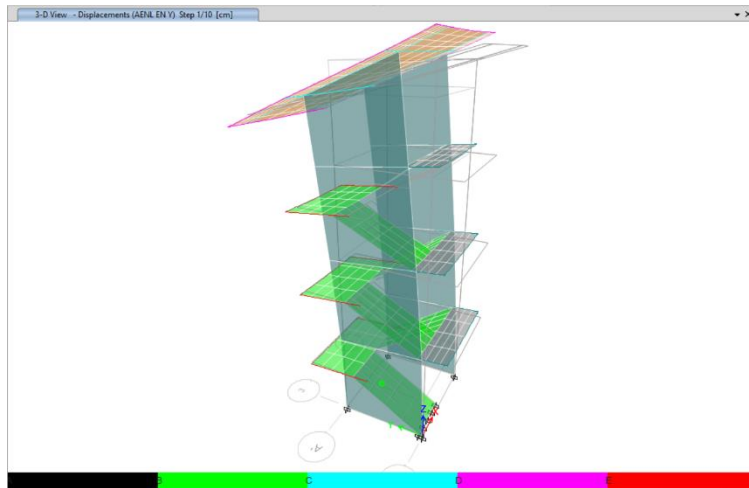


Figura 324. *Cuarto step, eje Y, módulo IV*

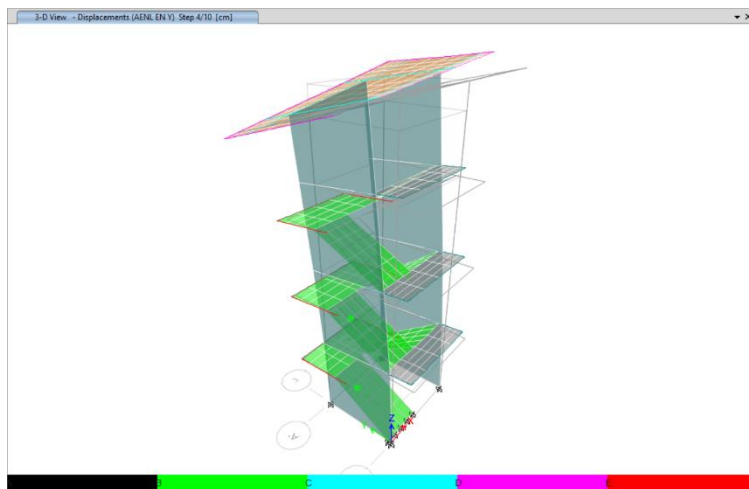
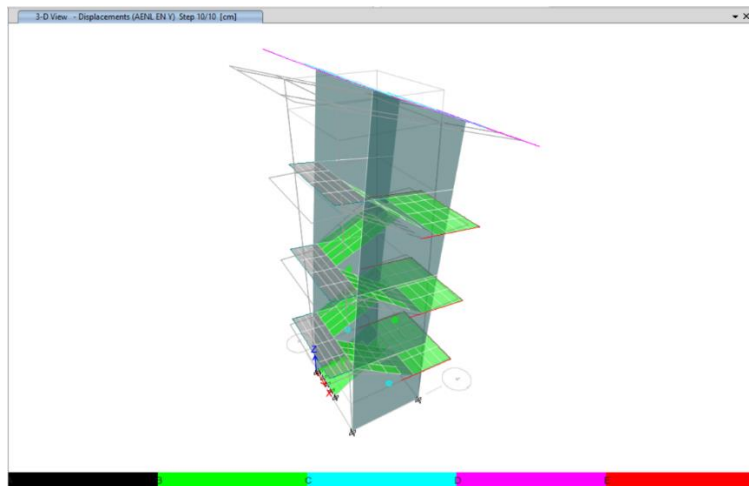


Figura 325. *Décimo step, eje Y, módulo IV*



5) Módulo V

5.1) Modelamiento módulo V

Para modelar el módulo V, se sigue el mismo proceso inicial que para el módulo I, es decir se abre el programa Etabs, se completan la información de los ejes, el número de pisos, la información del espaciado entre ejes y se definen las propiedades de los materiales: concreto, acero y albañilería. Luego, se definen las secciones según el plano de estructuras, es decir se definen los objetos frame (columnas, vigas) y los elementos Wall (Placas).

Figura 326.

Plano estructural módulo V

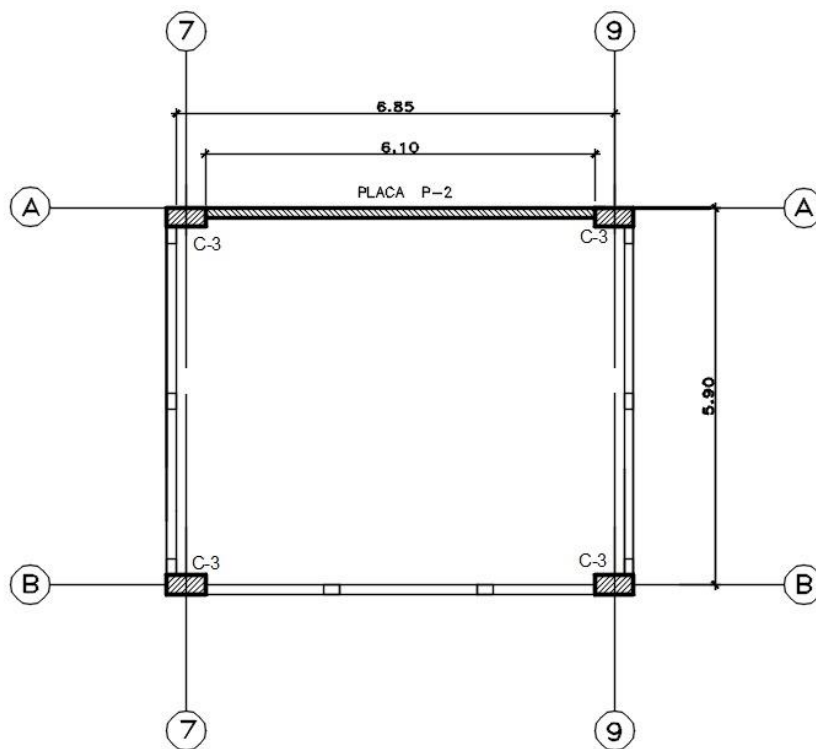
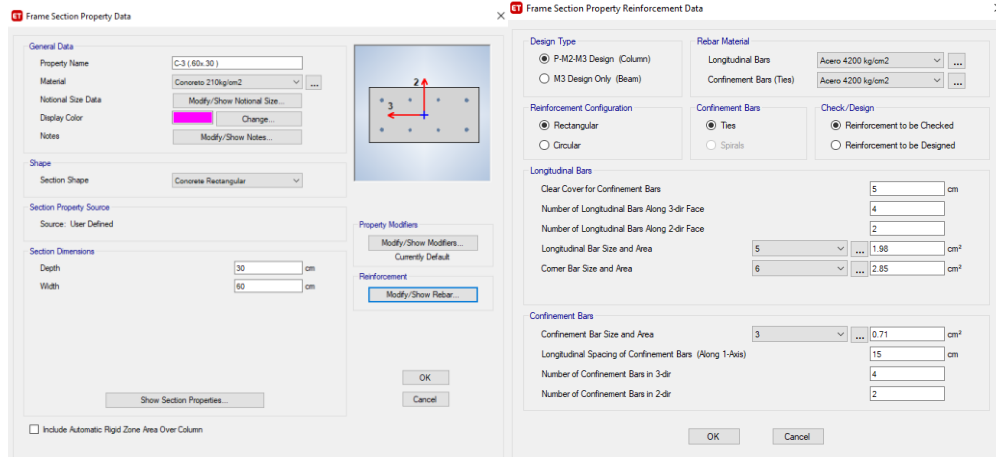


Figura 327.

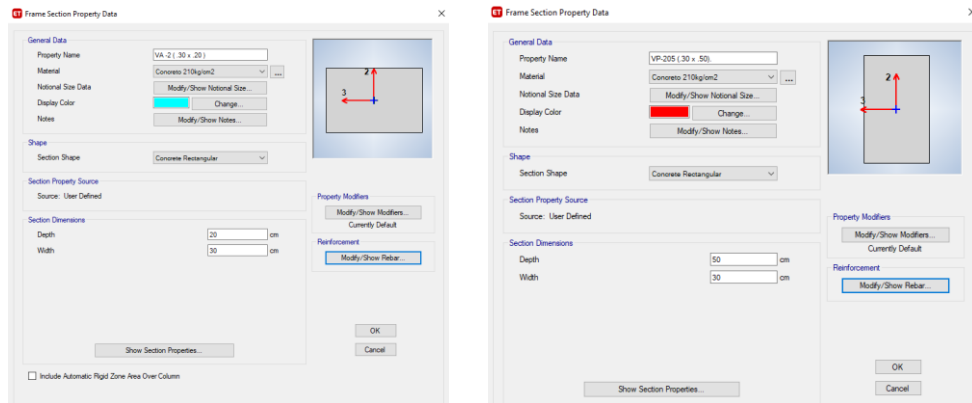
Columnas del módulo V



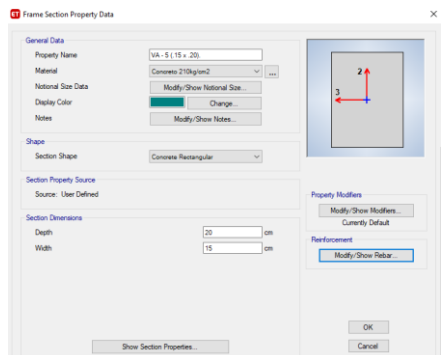
Nota: C3- 60x30, se introdujo 8 barras de acero de refuerzo longitudinales 4φ#6, 4φ#5 y las barras de confinamiento de = #3 con espaciado uniforme de 15cm.

Figura 328.

Vigas del módulo V



VA - 2 (.30x.20)						VP - 205 (.30x.50)					
barra	N° barra	diámetro	área	área de acero	Total área de acero	barra	N° barra	diámetro	área	área de acero	Total área de acero
Barras Superiores						Barras Superiores					
1/2"	2	1.270cm	1.27 cm2	2.54	2.54	1/2"	2	1.270cm	1.27 cm2	2.54	2.54
Barras Inferiores						Barras Inferiores					
1/2"	2	1.270cm	1.27 cm2	2.54	2.54	1/2"	2	1.270cm	1.27 cm2	2.54	2.54



VA - 5 (.15x.20)					
barra	N° barra	diámetro	área	área de acero	Total área de acero
Barras Superiores					
1/2"	2	1.270cm	1.27 cm2	2.54	2.54
Barras Inferiores					
1/2"	2	1.270cm	1.27 cm2	2.54	2.54

Para la asignación de losas se sigue la ruta en “Define/ Section Properties/ Slab Sections” para placas se sigue la ruta “Define/ Section Properties/ Wall Sections,” luego para ambos, en Modeling Type se selecciona “Shell - Thin”, como un elemento fino, tal como se realizó para el módulo I.

Figura 329.

Asignación de vigas del módulo V

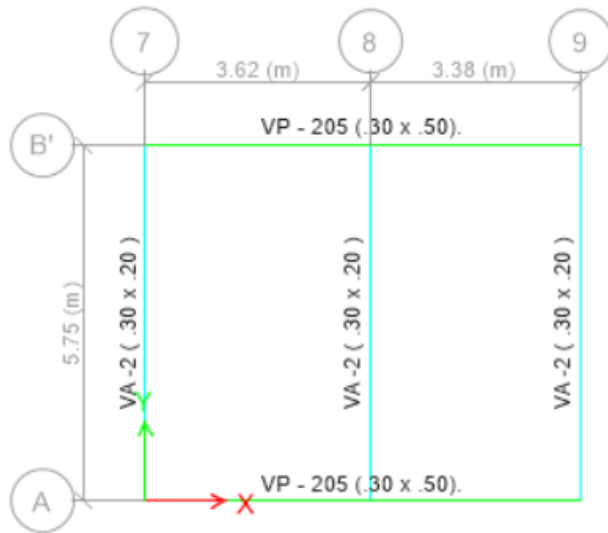


Figura 330.

Asignación de columnas, módulo V



Figura 331.

Asignación de placas, módulo V

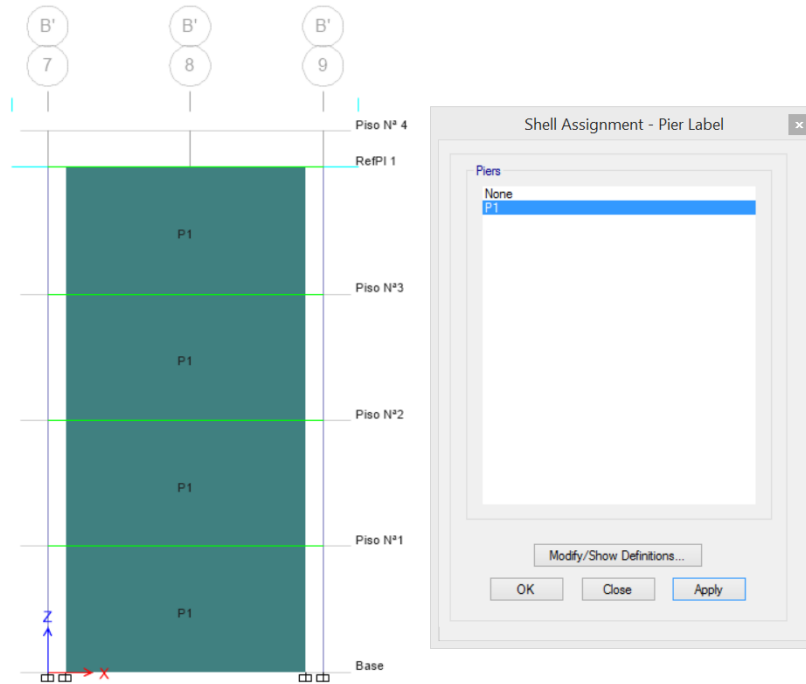
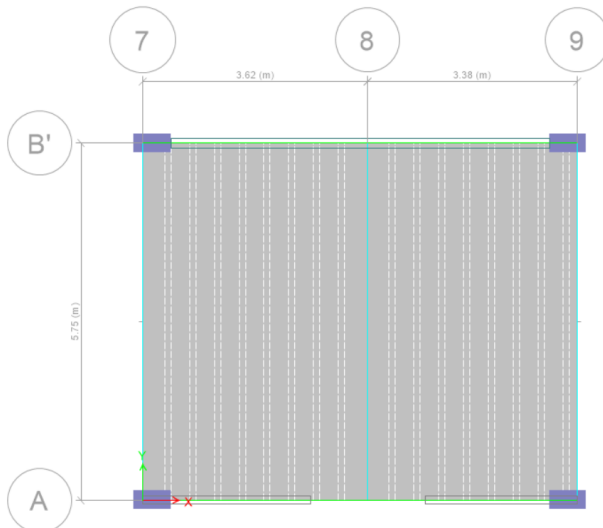


Figura 332.

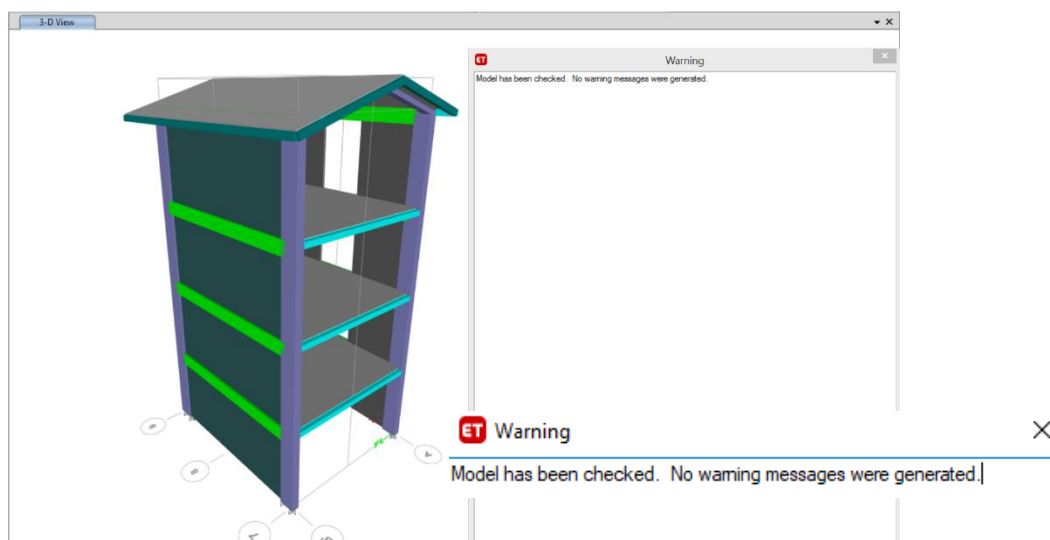
Asignación de losas del módulo V



Se realiza un chequeo general de la edificación, con la finalidad que no haya ningún error, en la opción “Analyze / Check Model” de esta manera se da una tolerancia de 10 mm de separación con cada elemento.

Figura 333.

Chequeo general de la edificación, módulo V



Nota: Si se muestra esta imagen, se menciona que no hay ningún error en la edificación.

Las cargas del módulo V, se colocaron al modelo estructural, siguiendo el mismo procedimiento ya descrito en el módulo I. Las cargas asignadas fueron:

Tabla 74.

Asignación de cargas uniformes en elementos Shell/ Área, módulo V

Piso	Descripción	Cant/m2	Peso unitario (kg)	Peso por m2	Peso total (kg/m2)
Carga muerta					
Piso 1-2-3-4	- peso de Tecnopor 120x30x15cm	2.083	0.15	0.31	125.31
	- acabados			100	
	- cielo raso			25	
Carga viva					
	- áreas de servicio				300
Carga muerta					
Techos	- peso de Tecnopor 120x30x15cm	2.083	0.15	0.31	42.31
	- cobertura de teja andina			10	
	- cielo raso			25	
	- otras cargas no consideradas			7	
Carga viva de techo					
	- techos inclinados				50

Figura 334.

Carga muerta y viva en todos los pisos del módulo V

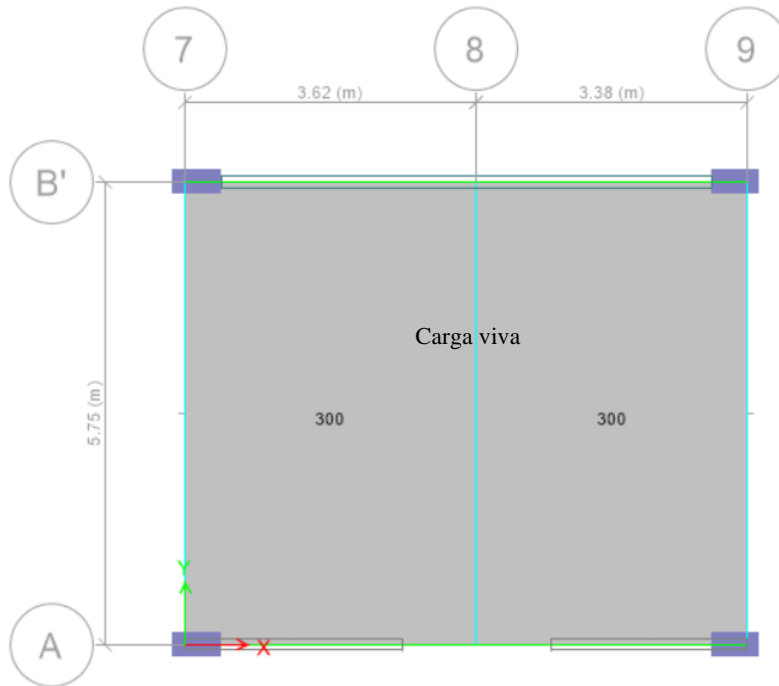
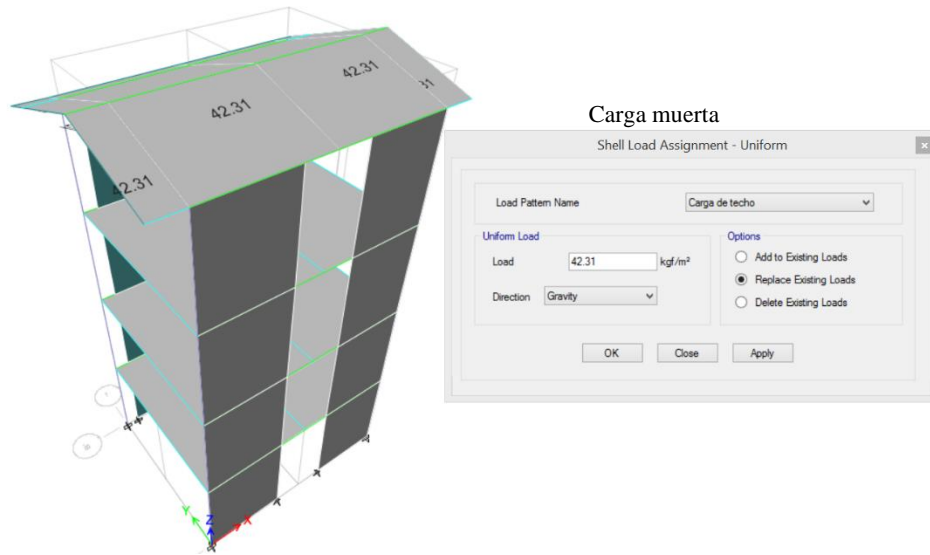


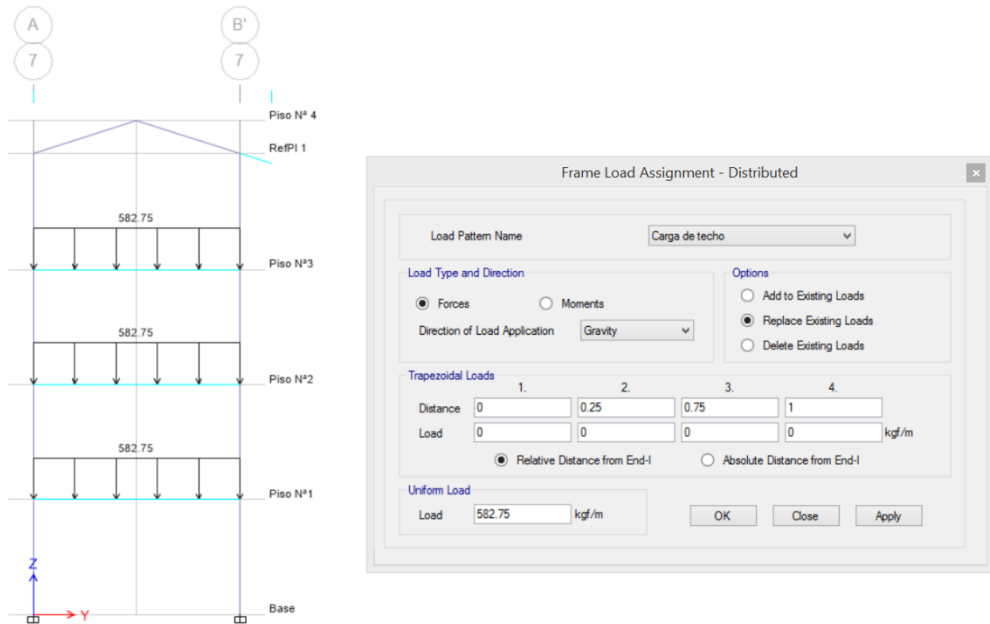
Tabla 75.

Asignación de cargas distribuidas en vigas, módulo V

Descripción	Espesor de muro (m)	Altura (m)	Peso propio albañilería tarrajada	Por metro (m) lineal	Peso (Kg/m)
Carga distribuida					
Paredes	0.15	2.1	1850	1	582.75
Paredes	0.15	3	1850	1	832.50

Figura 335.

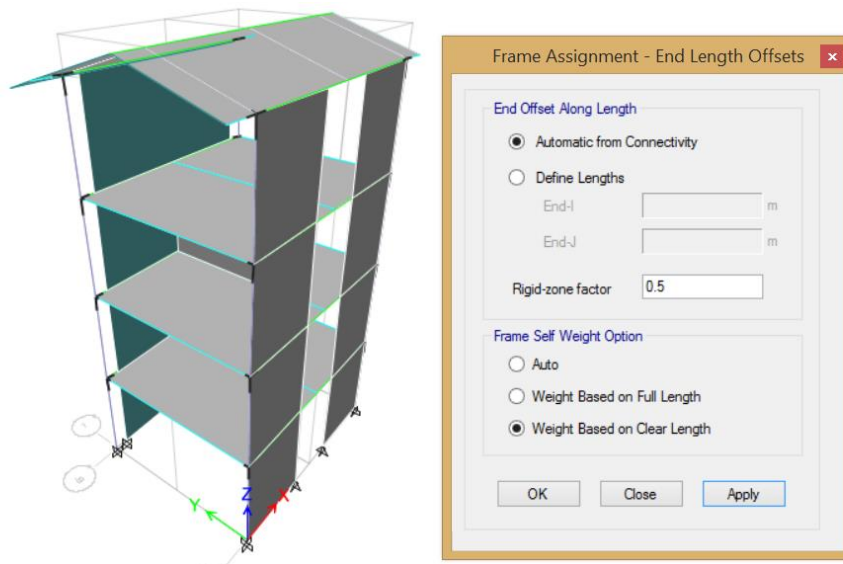
Asignación de cargas distribuidas en vigas, módulo V



Para dar las restricciones de la base, se selecciona todos los apoyos en la base en “Assing / Joint/ Restraints”, empotramiento perfecto. Así mismo, para la creación del brazo rígido, se selecciona todo el dibujo en “Select / all”, luego se asigna el brazo rígido en “Assing / Frame / End Length Offsets”.

Figura 336.

Creación de brazo rígido del módulo V



La discretización, es un método para el análisis estructural, a menores dimensiones de los elementos es mejor la precisión. Para ello se selecciona, en “Assing/ Shell/ Floor Auto Mesh Options”, discretización de losas.

Figura 337.

Discretización de losas del módulo V

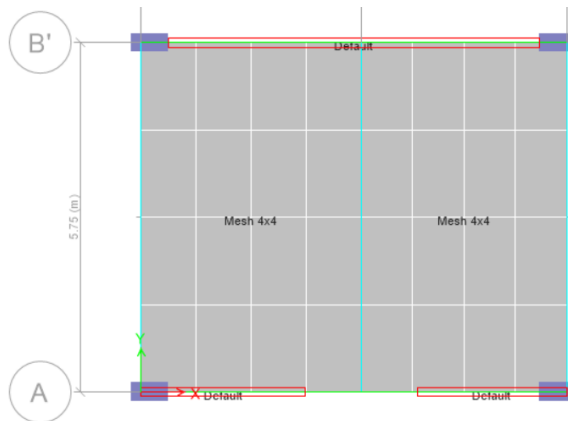
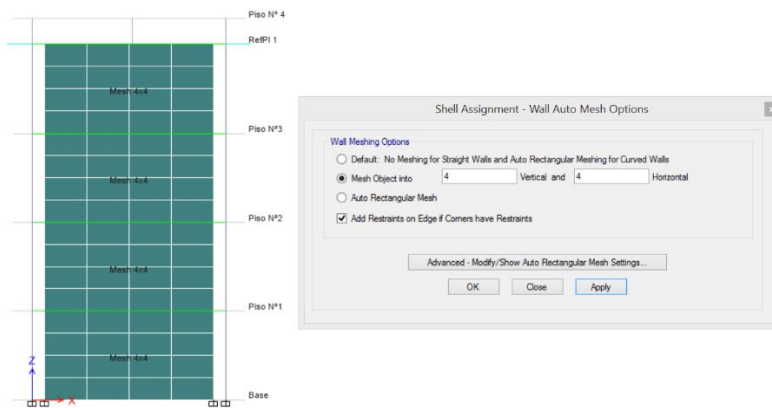


Figura 338.

Discretización de muros, módulo V



Para que se transfiera las cargas adecuadamente de losas a las vigas y las vigas a las columnas, se selecciona todo el dibujo y en “Frame Auto Mesh options” se selecciona la opción “Include selected frame objects in mesh”, que incluya el mallado en vigas. Para generar la adecuada transferencia de cargas donde no hay continuidad del mallado, se selecciona todo el dibujo y en “Assign / Shell / auto Edge Constraint” que todo está amarrado monolíticamente, tal como se ha realizado para el módulo I.

5.2) Análisis sísmico estático del módulo V

El periodo fundamental de vibración se ha determinado según:

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

h_n = Altura desde el nivel 0+000= 13.74 m

C_{Tx} = Edificios de sistema dual= 60

C_{Ty} = Edificios de sistema dual= 60

$$T_x = 0.23 \text{ seg}$$

$$T_y = 0.23 \text{ seg}$$

Parámetros sísmicos:

– $Z = 0.25$

– $U = 1.50$

– $S = 1.20 \rightarrow \begin{matrix} T & TP & TL \\ S2 & 0.6 & 2.00 \end{matrix}$

Los coeficientes de reducción “R” son:

– Factor de irregularidad en altura $I_a = 1.00$

– Factor de irregularidad en planta $I_p = 1.00$

– $R_x = 7.00 \rightarrow$ Sistema dual

– $R_y = 7.00 \rightarrow$ Sistema dual

Cálculo de la amplificación sísmica “C”:

$$T_x = 0.23, T_y = 0.23, T_p = 0.60$$

$$T < T_p \rightarrow C = 2.5$$

$$C_x = 2.50$$

$$C_y = 2.50$$

Para el cálculo del coeficiente cortante en ETABS, el valor de C/R no debe ser menor que $C/R \geq 0.11$.

$$\text{En el eje } x \rightarrow \frac{C}{R} \geq 0.11 \rightarrow 0.35714 \geq 0.11 \text{ OK}$$

$$\text{En el eje } y \rightarrow \frac{C}{R} \geq 0.11 \rightarrow 0.35714 \geq 0.11 \text{ OK}$$

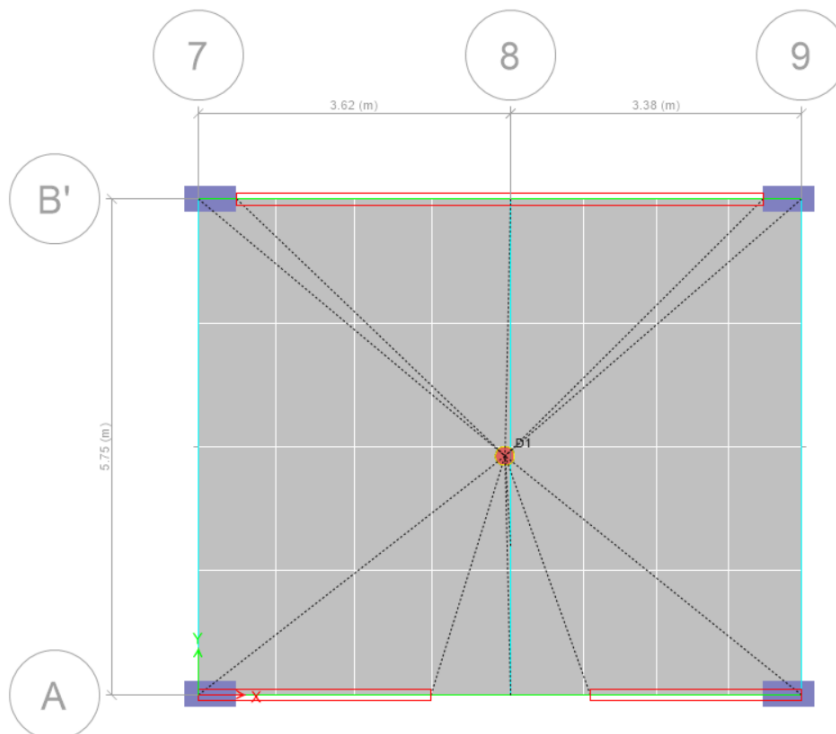
$$V_x = \frac{ZUCS}{R_x} = 0.1607$$

$$V_y = \frac{ZUCS}{R_y} = 0.1607$$

Se asigna diafragmas rígidos a los entrepisos y así liberar los grados de libertad como se indica en la norma E-030, los diafragmas deben tener tres grados de libertad, dos desplazamientos y un giro. En “Define / Diaphragms”, “Assign/Shell/ Diaphragms”, se asigna el diafragma rígido (D1, D2 y D3).

Figura 339.

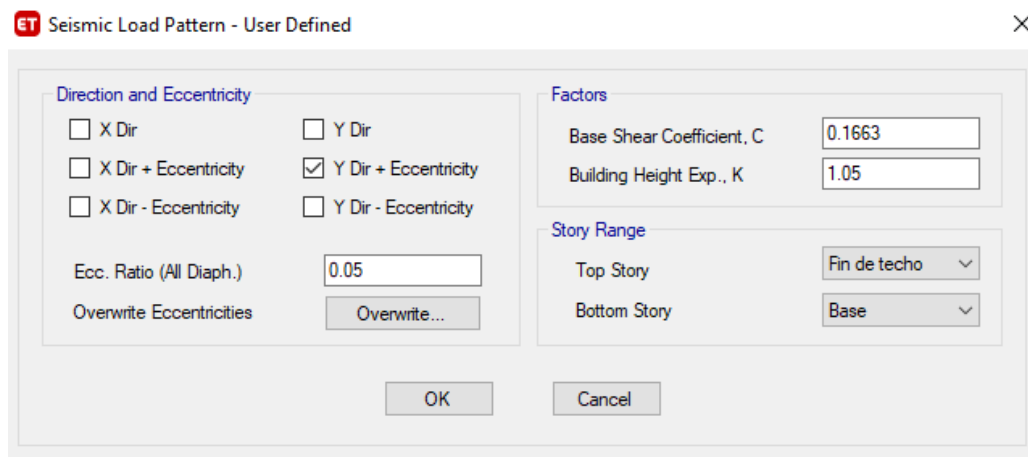
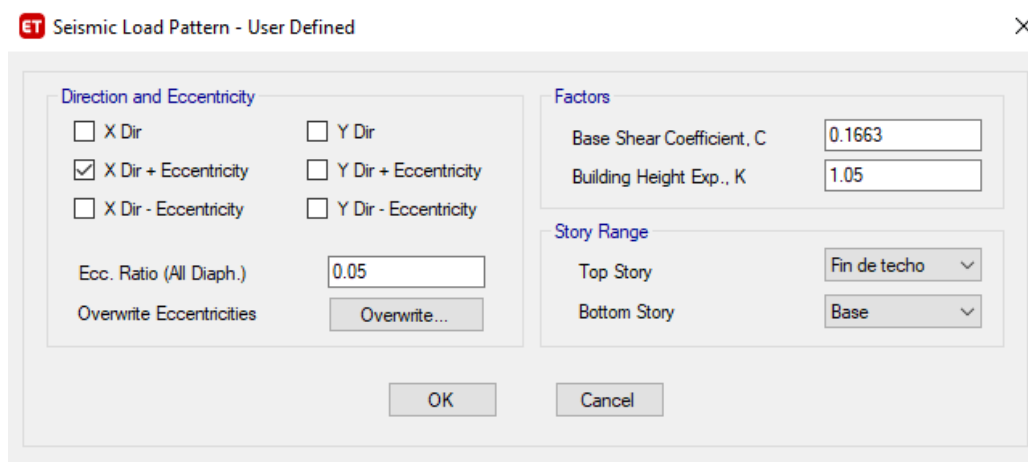
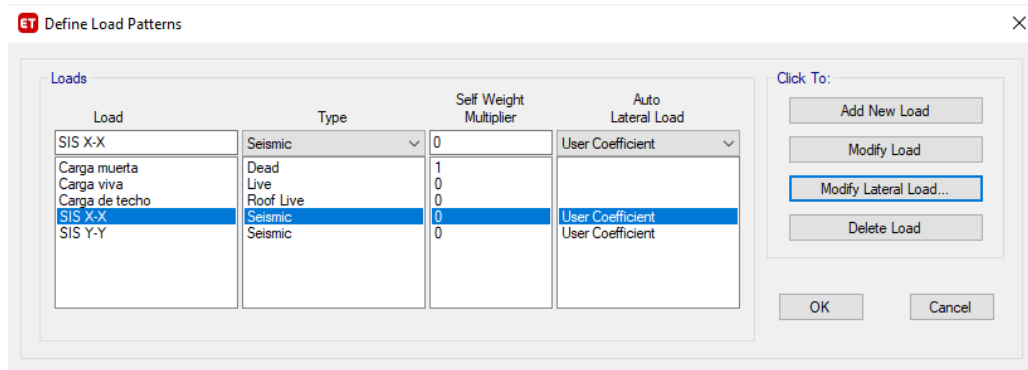
Creación de diafragma rígido, módulo V



En “Define Load Patterns”, se crea el sismo en (X) :(SIS X-X) y el sismo en la dirección (Y): (SIS -Y-Y).

Figura 340.

Proceso para ingresar el sismo estático y colocar el coeficiente de cortante basal para el módulo V



Nota: Se coloca el coeficiente de cortante en la base es que es de 0.1663 en la dirección de “x”, el valor de $k_x=1$ y con una excentricidad de 5%. Se coloca el coeficiente de cortante en la base es que es de 0.1663 en la dirección de “y”, el valor de $k_y=1$ y con una excentricidad de 5%.

La norma E-30 de diseño sismorresistente, indica que el peso (P), se calcula adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga de la siguiente manera:

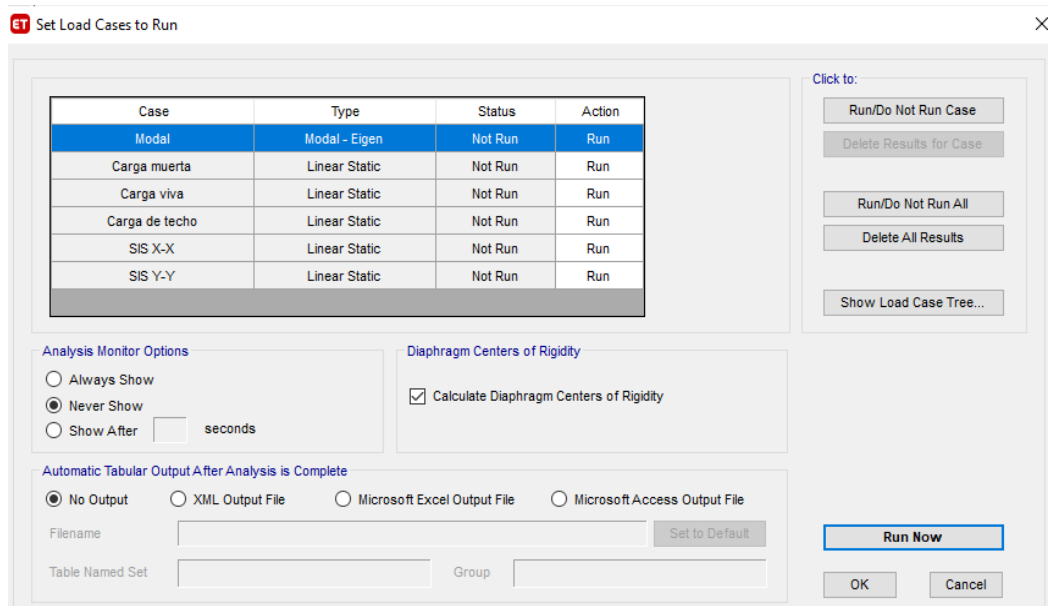
- a) En edificaciones de las categorías A y B, se tomará el 50% de la carga viva.
- b) En azoteas y techos en general se tomará el 25% de la carga viva.

Se define el peso de la edificación en “Define masas source”, casos de carga: carga muerta 1, carga viva 0.5 y carga de techo 0.25, según el proceso descrito para el módulo I.

Por último, se ejecuta el análisis estático. Para ello se configura las opciones de análisis, en “Analyze / Set Active of Freedom” y se selecciona Full 3D. Así mismo, en “Analyze / Set Load Cases to Run”, se selecciona “Calculate Diaphragm Centers of Rigdty”, para que calcule el centro de rigidez del diafragma y finalmente se corre el programa en “Run Mow”.

Figura 341.

Proceso para correr el análisis estático del módulo V



$$Kx = 1.00$$

$$Ky = 1.00$$

Tabla 77.

Fuerza sísmica en dirección X e Y módulo V

Nivel	Pi (kg)	hi(m)	$Pi \times hi^k$	ai	Fi (kg)	Fi (ton)
En la dirección X						
4	42113.15	13.74	659635.20	0.36	11847.96	11.85
3	56874.55	9.60	611368.14	0.34	10981.02	10.98
2	54107.55	6.40	379967.81	0.21	6824.75	6.82
1	50594.49	3.20	171597.39	0.09	3082.13	3.08
â= P. Ed.	203689.74	$\sum Pi \times hi^k$	1822568.54	1.00	32735.85	32.74
En la dirección Y						
4	42113.15	13.74	659635.20	0.36	11847.96	11.85
3	56874.55	9.60	611368.14	0.34	10981.02	10.98
2	54107.55	6.40	379967.81	0.21	6824.75	6.82
1	50594.49	3.20	171597.39	0.09	3082.13	3.08
â= P. Ed.	203689.74	$\sum Pi \times hi^k$	1822568.54	1.00	32735.85	32.74

5.3) Análisis dinámico del módulo V

Para el análisis dinámico se ha definido el espectro de respuesta en la dirección X e Y. Se ha empleado el método de superposición espectral considerando como criterio la combinación cuadrática completa (CQC) de los valores calculados para cada modo. Se ha trabajado con un amortiguamiento y excentricidad del diafragma del 5%. Luego se ha corrido el modelo realizando el chequeo modal y espectral. Para los modos de vibración de la estructura se tomaron en cuenta las consideraciones:

- El número mínimo de modos es de 3 (dos de traslación uno y de rotación).
- En cada dirección se han considerado aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas ha sido por lo menos el 90 % de la masa total.

Figura 342.

Espectro de respuesta en la dirección a) X, b) Y, del módulo V

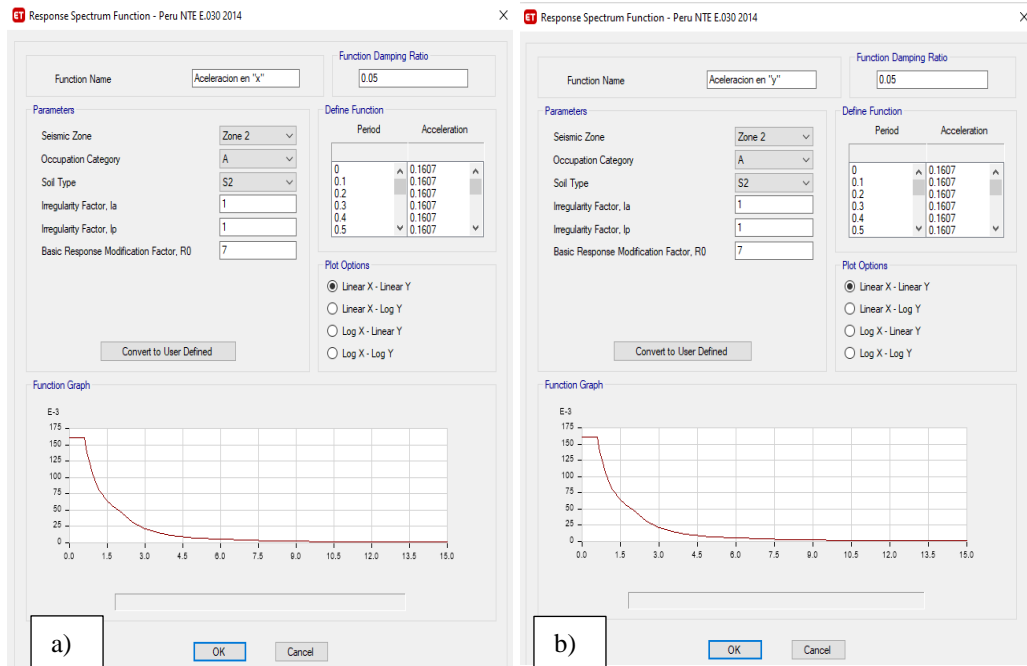


Figura 343.

Modos de vibración a) Modo 1 traslación, b) Modo 2 traslación, c) Modo 3 rotación, módulo V

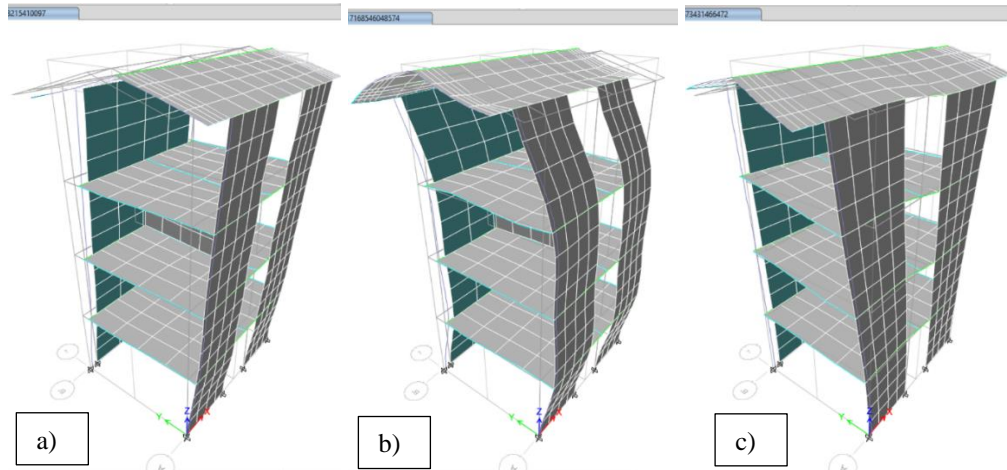


Tabla 78.

Periodos y masa participativa de cada modo de vibración, módulo V

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	0.604	5.99E-07	0.8645	0.0006	5.99E-07	0.8645	0.0006	0.1086	9.68E-07	5.01E-06	0.1086	9.68E-07	5.01E-06
Modal	2	0.217	9.05E-06	0.0881	0.0003	9.65E-06	0.9525	0.0008	0.3848	4.58E-06	0.0001	0.4933	5.55E-06	0.0001
Modal	3	0.183	0.1693	2.13E-06	0	0.1694	0.9525	0.0008	1.29E-05	0.0515	0.5607	0.4934	0.0515	0.5607
Modal	4	0.128	0.0001	0.03	0.0161	0.1694	0.9825	0.0169	0.1293	1.06E-05	1.96E-05	0.6226	0.0515	0.5607
Modal	5	0.116	0.4949	1.05E-06	7.32E-06	0.6643	0.9825	0.0169	6.22E-06	0.2634	0.1586	0.6226	0.3148	0.7193
Modal	6	0.095	2.42E-05	0.0001	0.037	0.6643	0.9827	0.0539	0.0021	2.32E-06	1.93E-06	0.6248	0.3148	0.7193
Modal	7	0.09	0.0409	0	0.0007	0.7053	0.9827	0.0546	1.70E-06	0.0016	0.0011	0.6248	0.3164	0.7204
Modal	8	0.085	0.0006	3.69E-05	0.0077	0.7058	0.9827	0.0623	0.0001	0.0004	3.76E-06	0.6249	0.3168	0.7204
Modal	9	0.083	0.0016	0	0.0104	0.7074	0.9827	0.0727	2.55E-05	0.0001	0.0001	0.6249	0.3169	0.7205
Modal	10	0.083	0.0013	0.0001	0.1521	0.7087	0.9829	0.2248	0.0028	0.0043	0.0003	0.6277	0.3213	0.7208
Modal	11	0.082	0.0023	1.04E-06	0.0002	0.711	0.9829	0.225	3.90E-06	0.0029	0.0001	0.6277	0.3242	0.7209
Modal	12	0.081	0.0037	1.62E-06	0.0001	0.7147	0.9829	0.2251	4.50E-05	0.0006	0.0003	0.6277	0.3248	0.7212
Modal	13	0.08	0.0075	3.54E-05	0.039	0.7222	0.9829	0.2642	0.0008	0.0209	0.0017	0.6286	0.3457	0.7229
Modal	14	0.063	0.0005	9.88E-07	0.0002	0.7227	0.9829	0.2643	0.0001	0.0011	8.75E-06	0.6286	0.3467	0.7229
Modal	15	0.063	0.0005	0	0.0001	0.7232	0.9829	0.2645	3.06E-06	0.0002	0.0001	0.6286	0.347	0.723
Modal	16	0.062	0.0016	1.03E-05	0.0012	0.7249	0.9829	0.2657	0.0014	0.0051	1.16E-06	0.63	0.352	0.723
Modal	17	0.06	0.0002	1.04E-06	0.0003	0.7251	0.9829	0.266	0.0002	0.0005	1.88E-05	0.6301	0.3525	0.723
Modal	18	0.059	0.0003	0	0.0002	0.7254	0.9829	0.2661	5.07E-06	0.0002	0.0001	0.6301	0.3527	0.7231
Modal	19	0.059	0.0011	1.02E-05	0.0011	0.7265	0.9829	0.2673	0.0018	0.0038	3.18E-05	0.6319	0.3565	0.7231
Modal	20	0.05	0.0228	0	2.39E-05	0.7492	0.9829	0.2673	0	0.0637	0.1495	0.6319	0.4202	0.8727
Modal	21	0.047	1.13E-05	2.65E-06	0.0013	0.7492	0.9829	0.2686	0.0001	0.0001	0.0001	0.632	0.4202	0.8728
Modal	22	0.046	0.0002	0	0.0008	0.7494	0.9829	0.2694	1.07E-05	0.0002	0.0019	0.632	0.4204	0.8747
Modal	23	0.046	0.0003	2.96E-06	0.0175	0.7497	0.9829	0.2869	0.0013	0.002	0.0003	0.6333	0.4225	0.8749
Modal	24	0.043	3.59E-05	6.61E-06	0.003	0.7498	0.9829	0.2899	0.0003	1.43E-06	8.83E-06	0.6336	0.4225	0.875
Modal	25	0.042	0.0007	0	0.0017	0.7504	0.9829	0.2915	3.83E-05	0.0013	0.0008	0.6337	0.4237	0.8757
Modal	26	0.042	0.0004	1.87E-06	0.0187	0.7509	0.9829	0.3103	0.0018	0.0022	0.0001	0.6355	0.4259	0.8759
Modal	27	0.038	0.0043	3.15E-06	1.80E-06	0.7552	0.9829	0.3103	0	0.007	0.0005	0.6355	0.4329	0.8763
Modal	28	0.037	1.94E-05	4.78E-05	0.0041	0.7552	0.983	0.3144	0.0031	1.78E-05	9.99E-07	0.6386	0.4329	0.8763
Modal	29	0.036	0.0007	3.81E-06	0.0001	0.7559	0.983	0.3145	0.0001	0.0015	0.0001	0.6386	0.4344	0.8764
Modal	30	0.036	0.0059	7.75E-06	0.0003	0.7618	0.983	0.3148	0.0011	0.0123	0.0012	0.6398	0.4467	0.8776
Modal	31	0.035	0.0565	0.0001	2.07E-05	0.8183	0.9831	0.3148	0.001	0.0943	0.0096	0.6408	0.541	0.8872
Modal	32	0.035	0.0007	0.001	0.0005	0.819	0.9841	0.3153	0.0055	0.0011	0.0001	0.6463	0.5421	0.8873
Modal	33	0.035	0.0274	2.64E-06	3.13E-05	0.8464	0.9841	0.3154	0.0002	0.0484	0.0062	0.6464	0.5905	0.8935
Modal	34	0.035	0.0009	0.0003	0.0015	0.8473	0.9844	0.3169	0.0508	0.0012	0.0003	0.6972	0.5917	0.8938

Modal	35	0.035	0.0226	3.07E-05	8.18E-07	0.8699	0.9844	0.3169	0.0031	0.0444	0.0065	0.7003	0.6361	0.9003
Modal	36	0.034	0.0128	4.49E-06	0.0037	0.8827	0.9844	0.3206	0.0022	0.0227	0.0045	0.7025	0.6589	0.9048
Modal	37	0.033	0.0086	7.08E-06	0.0052	0.8913	0.9844	0.3258	0.0056	0.0233	0.0032	0.7081	0.6821	0.9079
Modal	38	0.033	0.0022	2.98E-06	0.0022	0.8935	0.9844	0.328	0.0001	0.0152	0.0004	0.7082	0.6974	0.9083
Modal	39	0.032	0.0002	1.79E-05	5.23E-06	0.8937	0.9844	0.328	0.0008	0.0004	2.62E-05	0.709	0.6978	0.9084
Modal	40	0.032	0.0023	7.78E-06	0.0005	0.896	0.9844	0.3286	0.0003	0.0045	0.001	0.7092	0.7023	0.9093
Modal	41	0.032	0.0003	2.27E-05	0.0012	0.8963	0.9845	0.3297	0.0051	0.0005	0.0001	0.7143	0.7028	0.9094
Modal	42	0.032	3.87E-05	2.74E-05	0.0021	0.8963	0.9845	0.3319	0.001	0.0001	0.0001	0.7153	0.7029	0.9095
Modal	43	0.032	3.76E-05	2.72E-06	0.006	0.8964	0.9845	0.3378	0.0012	3.28E-06	3.06E-05	0.7165	0.7029	0.9096
Modal	44	0.032	0.0001	0	3.18E-06	0.8965	0.9845	0.3379	3.50E-06	0.0001	2.59E-05	0.7165	0.7029	0.9096
Modal	45	0.031	3.81E-05	8.38E-06	0.0001	0.8965	0.9845	0.3379	0.0002	0.0001	0.0002	0.7167	0.703	0.9098
Modal	46	0.031	0.0003	1.06E-05	0.0021	0.8968	0.9845	0.3401	0.0036	0.0005	0.0001	0.7203	0.7036	0.9099
Modal	47	0.031	7.66E-07	1.07E-05	0.0042	0.8968	0.9845	0.3442	0.0045	1.24E-05	0.0002	0.7248	0.7036	0.9101
Modal	48	0.031	1.50E-05	9.24E-07	0.0185	0.8968	0.9845	0.3627	0.012	0.0002	3.63E-06	0.7368	0.7038	0.9101
Modal	49	0.031	2.23E-05	7.94E-06	0.0194	0.8968	0.9845	0.3821	0.0114	0.0002	1.15E-06	0.7481	0.704	0.9101
Modal	50	0.03	1.75E-06	0.0001	0.0001	0.8968	0.9846	0.3822	0.0004	0	6.13E-07	0.7486	0.704	0.9101
Modal	51	0.03	2.00E-06	7.96E-06	0.0001	0.8969	0.9846	0.3824	0.0001	0.0001	1.50E-05	0.7486	0.7041	0.9101
Modal	52	0.03	2.82E-06	0	0.1312	0.8969	0.9846	0.5136	0.0081	4.81E-05	3.37E-06	0.7567	0.7041	0.9101
Modal	53	0.029	0.0006	9.13E-07	0.0003	0.8974	0.9846	0.5139	5.64E-06	0.0003	0.0007	0.7567	0.7044	0.9109
Modal	54	0.029	0.002	1.38E-05	2.67E-05	0.8994	0.9846	0.5139	0.0004	0.0022	1.23E-05	0.7572	0.7066	0.9109
Modal	55	0.029	0.0008	4.09E-05	0.0017	0.9002	0.9847	0.5156	0.0018	0.0001	0.0003	0.7589	0.7067	0.9112
Modal	56	0.028	0.0001	2.96E-05	0.0061	0.9002	0.9847	0.5217	0.0031	0.0001	5.10E-06	0.7621	0.7068	0.9112
Modal	57	0.028	0.0005	3.55E-05	0.0003	0.9007	0.9847	0.522	3.26E-05	0.0007	0.0002	0.7621	0.7075	0.9114
Modal	58	0.028	0.0085	0	0.0001	0.9092	0.9847	0.5221	0.0016	0.0135	0.0003	0.7637	0.7209	0.9116
Modal	59	0.027	0.001	3.91E-05	0.0019	0.9102	0.9848	0.524	0.0027	0.0025	0.0004	0.7664	0.7234	0.912
Modal	60	0.027	0.0013	0.0003	0.0169	0.9115	0.985	0.5409	0.0114	0.0064	0.0131	0.7777	0.7298	0.9251

Nota: Se muestra los periodos y la masa participativa de cada uno de los modos, del modelo, en cada dirección se han considerado aquellos modos de vibración cuya suma de masa

efectiva ha sido por lo menos 90% de la masa total.

Los desplazamientos máximos absolutos y relativos del análisis sísmico del módulo V, así como las verificaciones sugeridas en la norma E.030 se muestran en las Fig. 322 y Fig. 323, donde se puede observar que el desplazamiento absoluto de la estructura por carga de sismo en dirección X es 1.16 mm, y en dirección Y es 20.41 mm; así mismo, las derivas relativas máximas por piso en la dirección X e Y son menores a 0.007, por tanto, cumplen con las especificaciones de la norma E.030 (MVCS, 2020).

Figura 344.

Desplazamientos máximos absolutos en dirección X e Y, módulo V

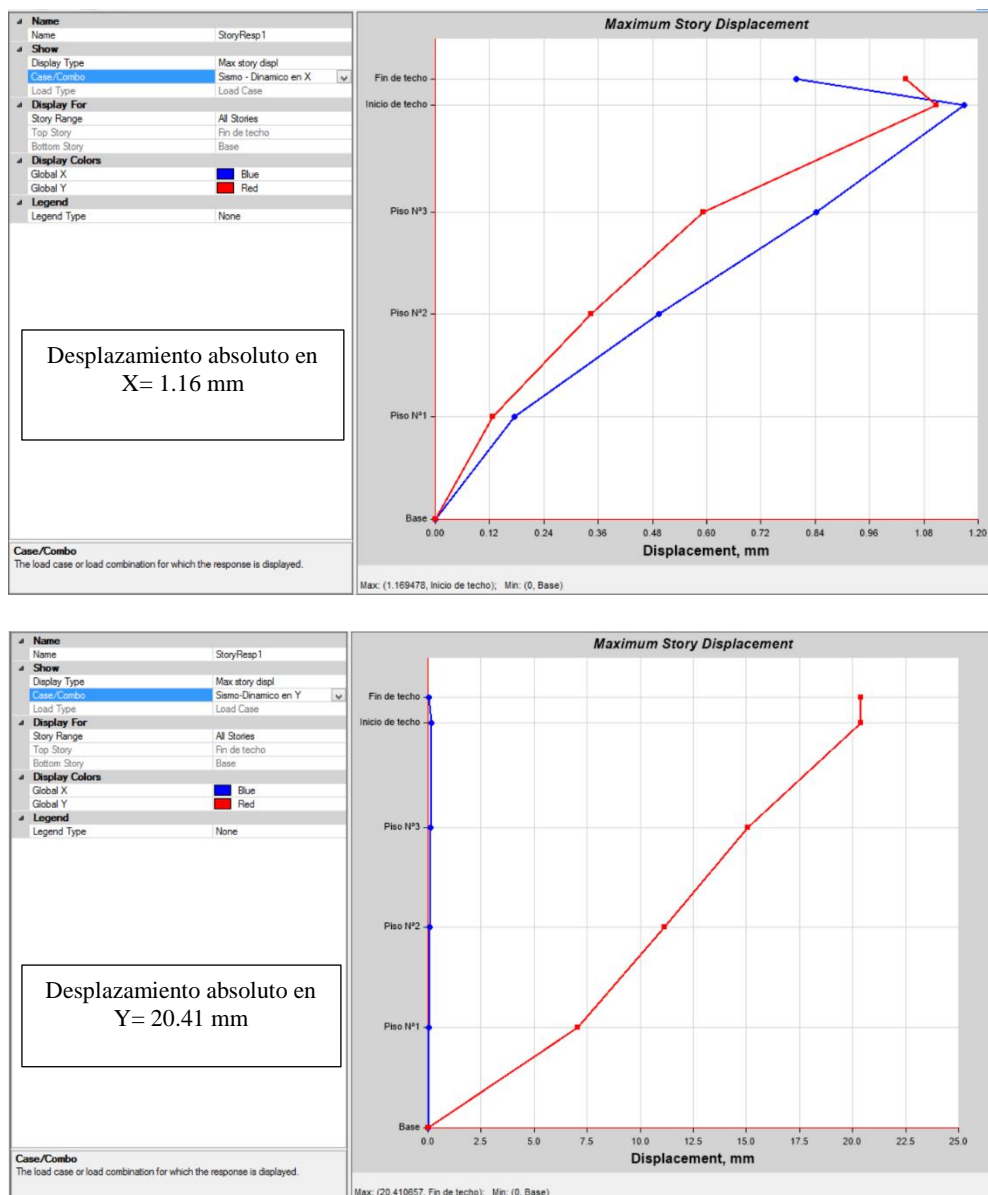


Figura 345.

Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo V

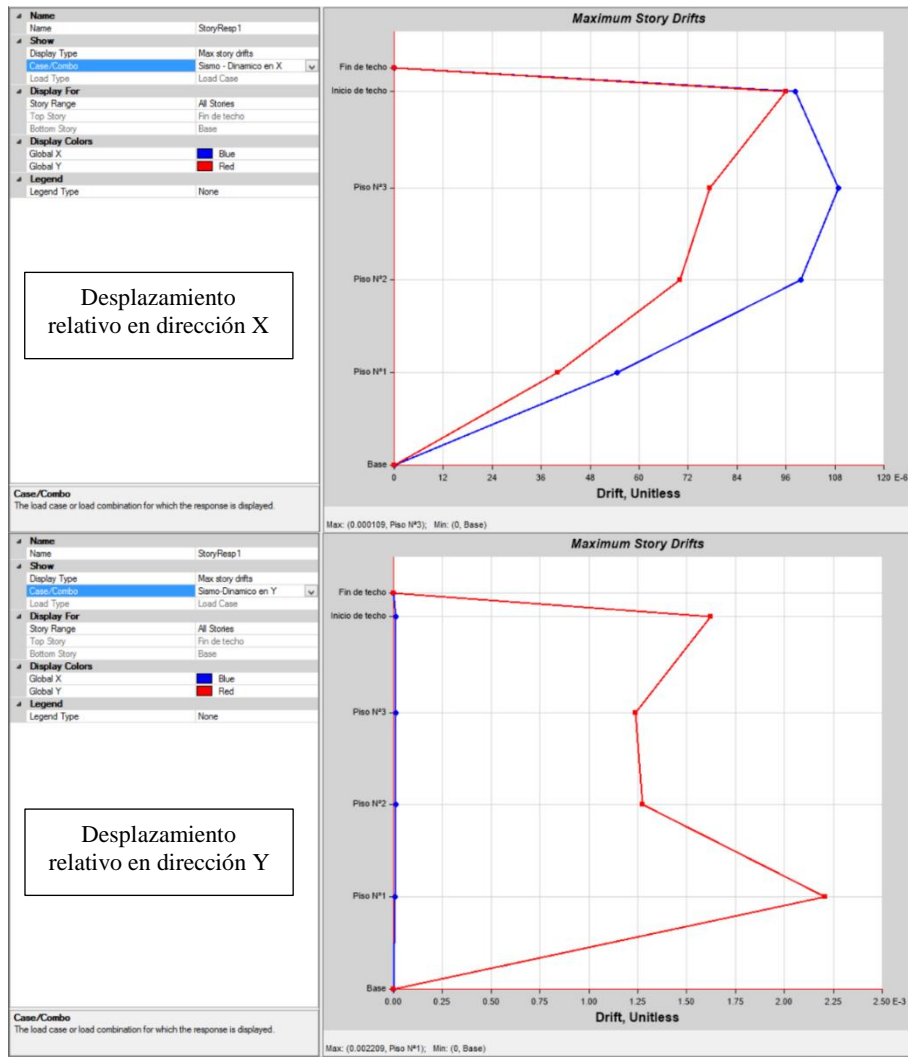


Tabla 79.

Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo V

Pisos	Caso de carga	Dirección	Deriva	Rx= 8	
				Deriva	*0.75*R < 0.007
Deriva máximas por piso en la dirección X					
Fin techo	SIS Dinam.	X	0	0	Si
Inicio techo	SIS Dinam.	X	0.000098	0.0005145	Si
Piso 3	SIS Dinam.	X	0.000109	0.00057225	Si
Piso 2	SIS Dinam.	X	0.001	0.000525	Si
Piso 1	SIS Dinam.	X	0.000055	0.00028875	Si
Deriva máximas por piso en la dirección Y					
Fin techo	SIS Dinam.	Y	0	0	Si
Inicio teho	SIS Dinam.	Y	0.001624	0.008526	Si
Piso 3	SIS Dinam.	Y	0.001237	0.00649425	Si
Piso 2	SIS Dinam.	Y	0.001272	0.006678	Si
Piso 1	SIS Dinam.	Y	0.002209	0.01159725	Si

La norma E.030 (MVCS, 2020) establece que la cortante dinámica debe ser mayor o igual al 80% de la cortante estática para edificaciones regulares, y 90% para edificaciones irregulares. La cortante dinámica en la dirección X equivale a 17.61, lo que representa el 54% de la cortante estática, 32.74, por tanto, fue necesario incrementar la cortante, en cambio en la dirección Y, la cortante dinámica ascendía a 28.31, lo que representa el 86% de la cortante dinámica (32.74). Para amplificar la cortante dinámica en la dirección X, se utilizó el factor F_{ax} igual a 1.49, estos factores no afectan a los desplazamientos, solo al diseño.

Tabla 80.

Cortante estática y dinámica en la dirección X e Y del módulo V

Dirección	Cortante	F	$V_{din} \geq 80\% V_{est}$		Factor de amplificación
En X	Estática	32.74			
En X	Dinámica	17.61	54	No cumple	1.49
En Y	Estática	32.74			
En Y	Dinámica	28.31	86	Cumple	

5.4) Análisis Pushover del módulo V

El método Pushover consiste en aplicar una distribución vertical de cargas laterales a la estructural, mismas que deben incrementarse monótonamente hasta que la estructura alcance el máximo desplazamiento. Primero se ha realizado el análisis estático convencional con la finalidad de extraer características estáticas de la estructura, para luego seguir el procedimiento dado por el FEMA 356. En la Fig. 324 se muestran los valores de las fuerzas laterales en el sentido X e Y, estas cargas se asignaron al modelo estructural (módulo V) para la ejecución del análisis Pushover Fig. 325.

Tabla 81.

Fuerzas laterales en el sentido X e Y para el análisis Pushover, módulo V

Nivel	Pi (kg)	hi(m)	Pi × hi ^k	ai	Fi (kg)	Fi (ton)
En la dirección X						
4	42113.15	13.74	659635.20	0.36	11847.96	11.85
3	56874.55	9.60	611368.14	0.34	10981.02	10.98
2	54107.55	6.40	379967.81	0.21	6824.75	6.82
1	50594.49	3.20	171597.39	0.09	3082.13	3.08
∑= P. Ed.	203689.74	$\sum Pi \times hi^k$	1822568.54	1.00	32735.85	32.74
En la dirección Y						
4	42113.15	13.74	659635.20	0.36	11847.96	11.85
3	56874.55	9.60	611368.14	0.34	10981.02	10.98
2	54107.55	6.40	379967.81	0.21	6824.75	6.82
1	50594.49	3.20	171597.39	0.09	3082.13	3.08
∑= P. Ed.	203689.74	$\sum Pi \times hi^k$	1822568.54	1.00	32735.85	32.74

Figura 346.

Fuerzas laterales en el sentido X e Y para el análisis Pushover, módulo V

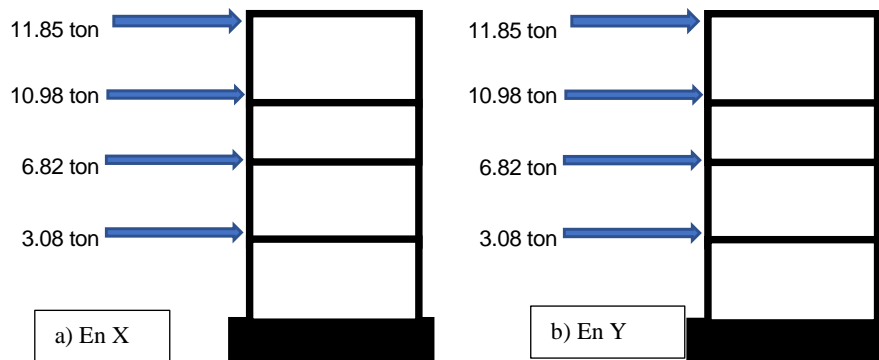
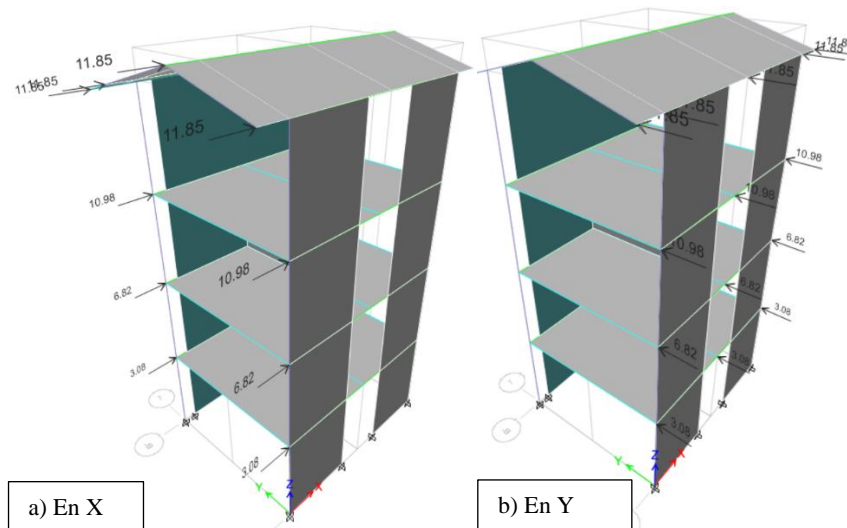


Figura 347.

Asignación de cargas laterales Pushover, en el sentido X e Y, módulo V



Para el análisis estático no lineal se crean dos estados de carga no lineales: CGNL (carga gravitacional no lineal) y AENL (análisis estoico no lineal). La creación de estas cargas genera un orden lógico para desarrollar el NSP, primero se aplican las cargas gravitacionales, una vez que estas hayan deformado la estructura y disminuido su rigidez, entra el proceso AENL, de esta manera se está aplicando la carga lateral monotónica hasta que un nudo extremo del último piso alcance un desplazamiento máximo.

El procedimiento no lineal sucede en puntos discretos predefinidos (hinges), existe la posibilidad de formar rótulas plásticas a flexión en los extremos de las vigas (M3) y a flexo compresión, en los extremos de las columnas (P-M2-M3). Se asignaron rótulas en las vigas principales y secundarias según la Tabla 81.

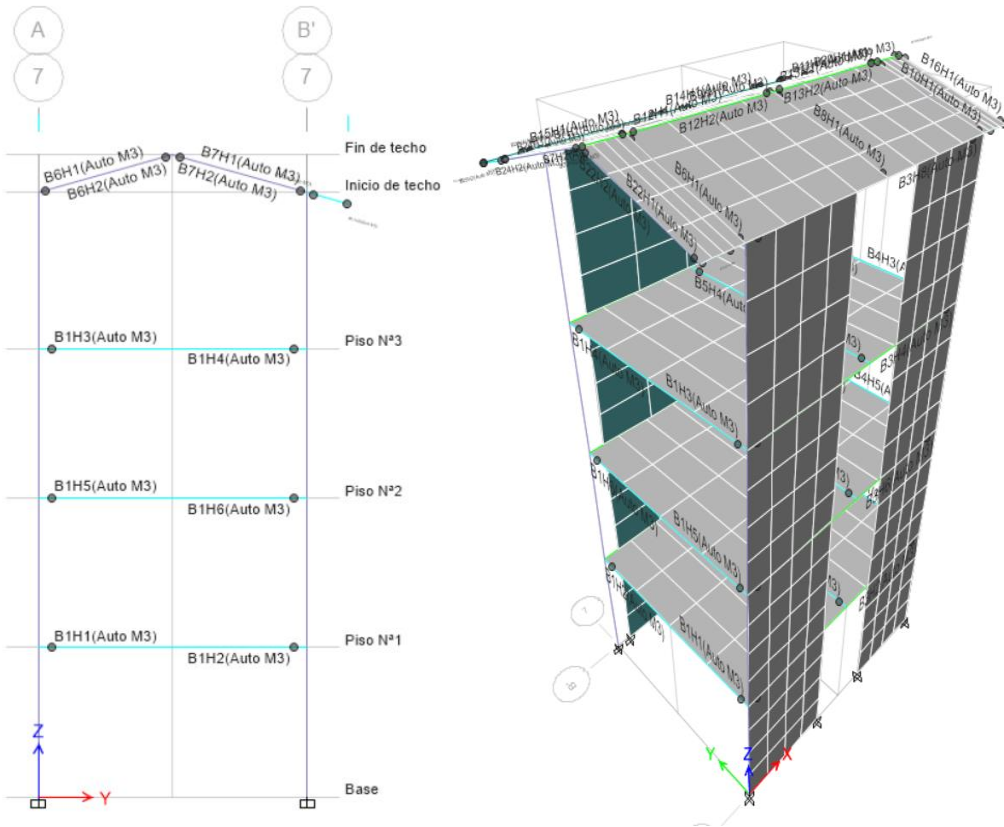
Tabla 82.

Distancia de asignación de las rótulas plásticas en vigas, módulo V

Rótulas plásticas	Vigas				
	VP-101	VP-102	VA-1	Viga secundaria	Viga secundaria
Eje	D-E	C-F	D-E	C-D	E-F
Dimensiones	0.30x0.50	0.30x0.50	0.30x0.70		
Cara de la columna (m)	0.80	1.00	0.70		
Eje + 0.1 m	0.50	0.60	0.45		
Luz libre de la viga (m)	5.90	5.50	2.50		
LP inicio	0.085	0.109	0.180	0.180	0.205
LP final	0.915	0.891	0.820	0.795	0.820

Figura 348.

Asignación de rótulas plásticas en todas las vigas, módulo V



Se busca que las rótulas plásticas se formen en las vigas antes que en las columnas. Para la asignación de rótulas plásticas en columnas por medio del menú “Define/ Section Properties/ Frame/Wall Nonlinear Hinges”, se seleccionaron todas las columnas y en “Asing/Frame/Hings” se realizó la asignación automática (Fig. 327). Para la asignación de rótulas plásticas en placas se seleccionan las placas y en “Assing/ Shell/ Reinforcement for Wall Hinge” (Fig. 328), se da clic en “More”, para distribuir la placa P-2 (Fig. 329), por último, en “Asing/ Shell/ Wall Hinge” (Fig. 330), se colocan los parámetros de asignación automática de rótulas en las placas (Fig. 331). Las deformaciones de las placas se pueden observar en “Display/ Force Stress Diagramas/ Shell Stresses/ Forces” (Fig. 332).

Figura 349.

Asignación de rótulas plásticas en columnas, módulo V

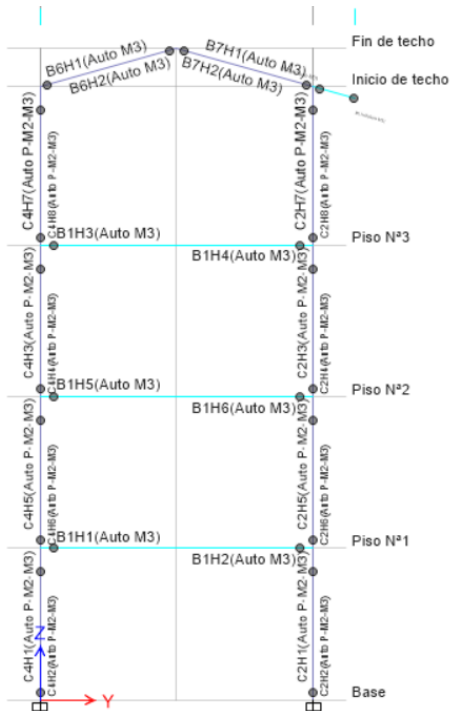


Figura 350.

Modelo estructural de las placas para la asignación de rótulas plásticas, módulo V

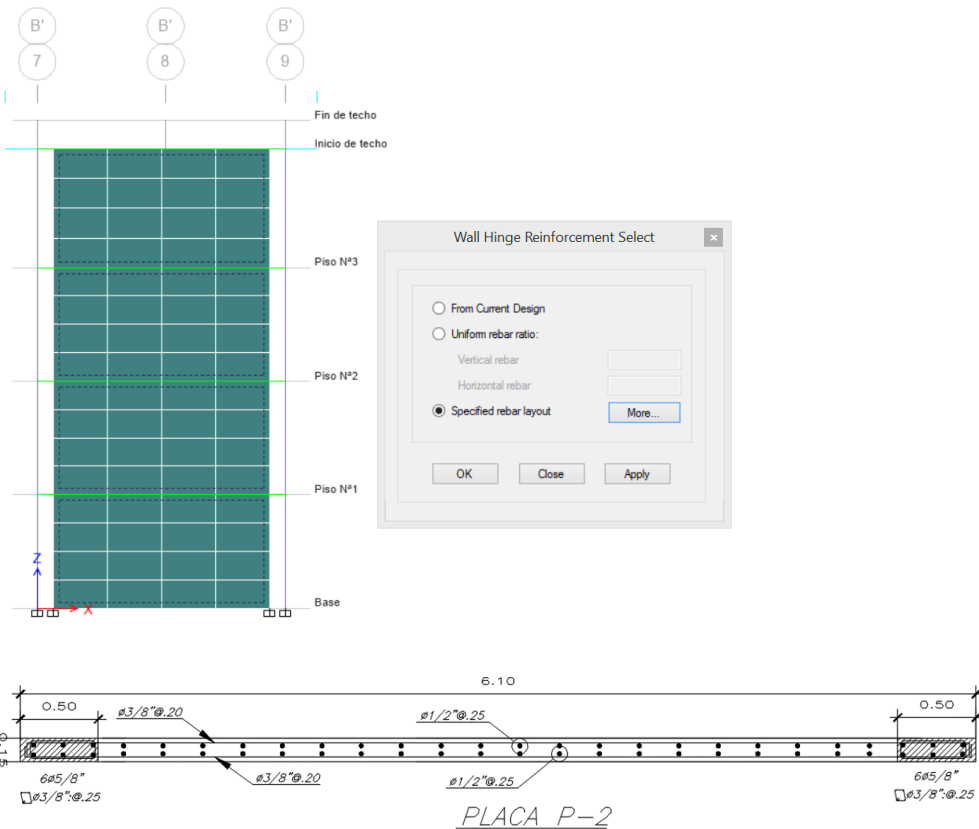


Figura 351.

Distribución de acero longitudinal, transversal y de confinamiento, placa P-2, módulo V

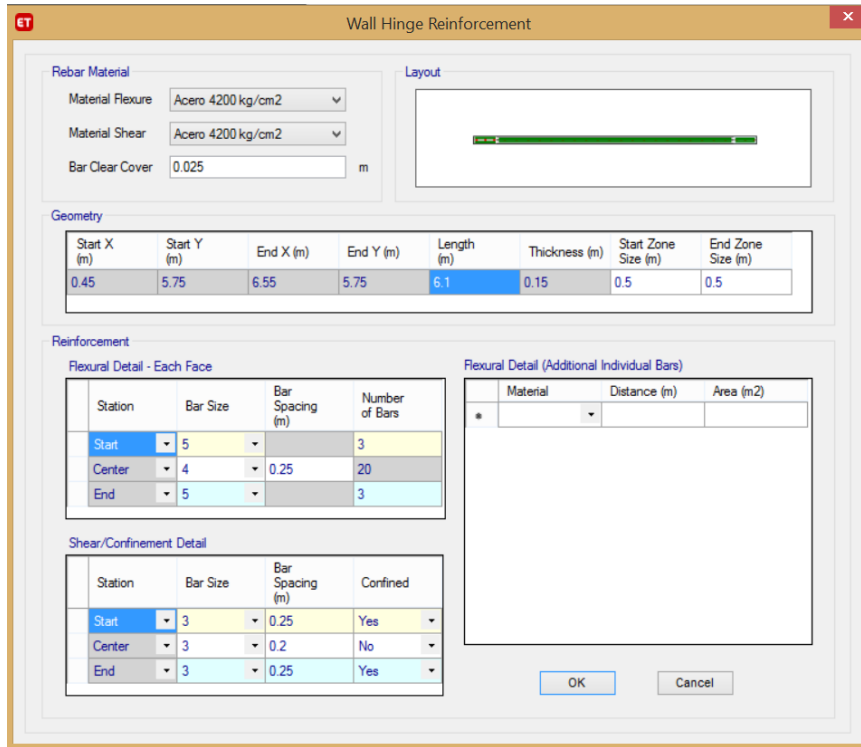


Figura 352.

Asignación de rótulas plásticas en placas, módulo V

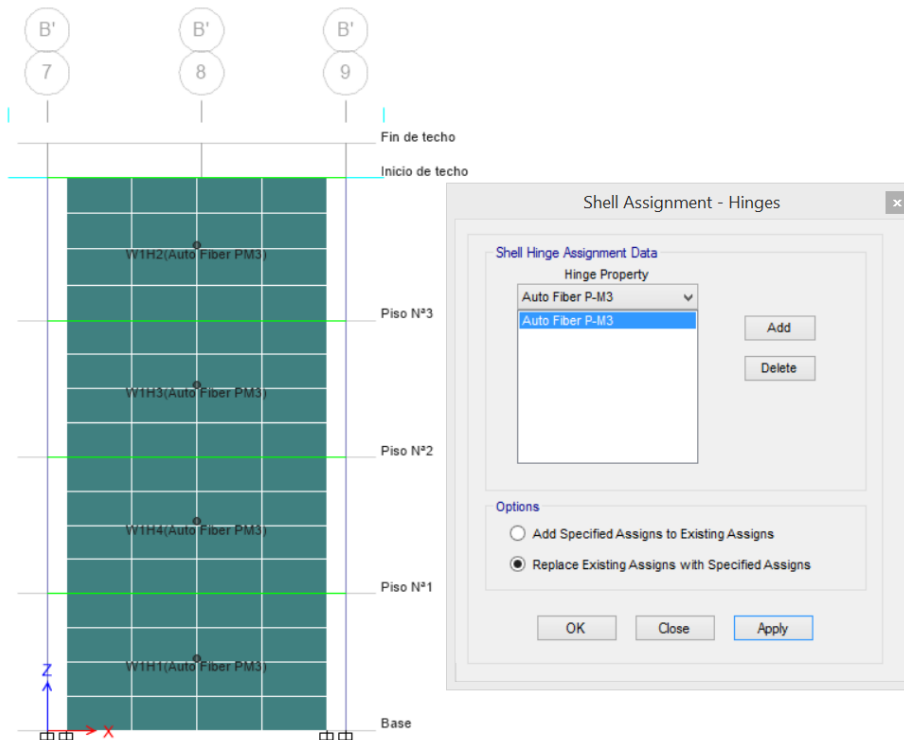


Figura 353.

Parámetros de asignación automática de rótulas plásticas en placas, módulo V

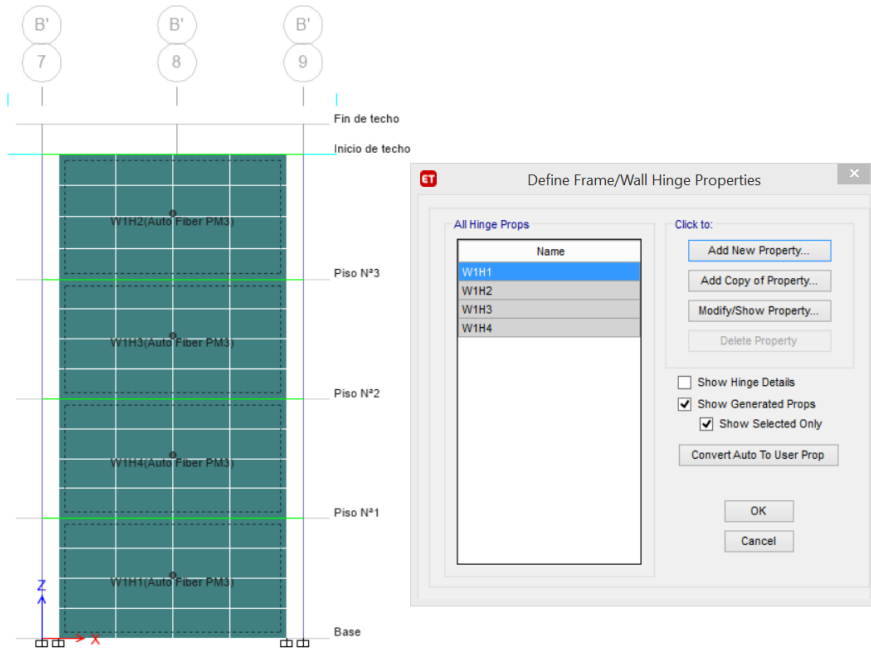
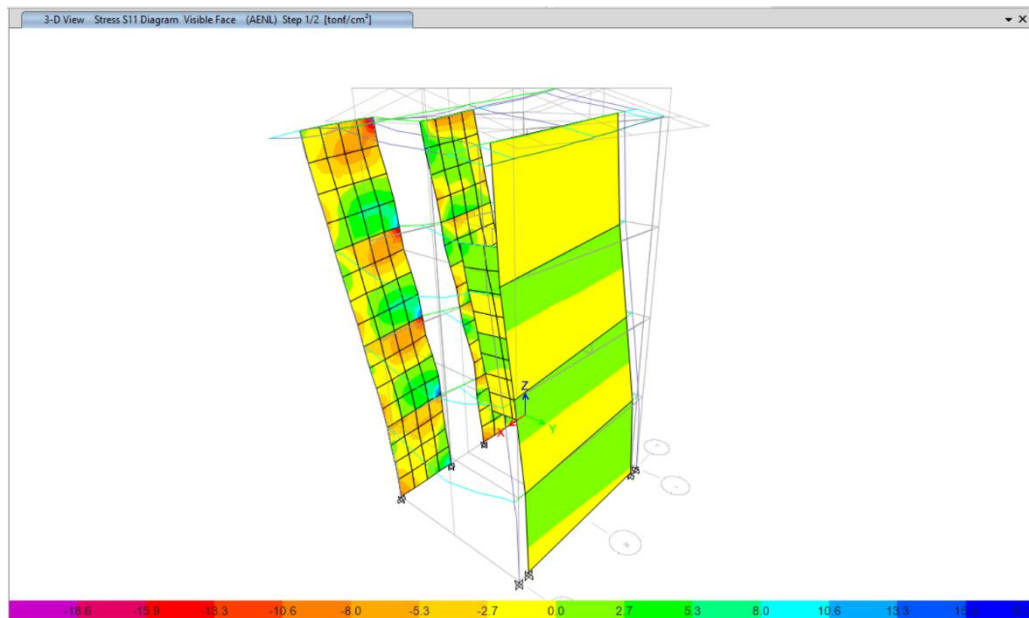


Figura 354.

Deformaciones en placas, módulo V



Una vez establecido los casos de carga no lineales con el patrón de fuerzas laterales se corre el modelo, para generar y visualizar la curva de capacidad en la dirección "X" o "Y".

En la dirección X, la estructura alcanza su capacidad última cuando logra un desplazamiento de 1.83 cm y un cortante basal de 351.23 ton. Es decir, se detiene el análisis cuando se logra un desplazamiento máximo de 1.83 cm, se considera este el valor con el que la estructura en estudio, módulo V, alcanza su capacidad máxima y colapsa (Fig. 333). Así mismo, se muestra las rótulas plásticas de los elementos estructurales del módulo V, realizado en el programa Etabs 2018 (Fig. 334).

Figura 355.

Curva de capacidad en dirección X, módulo V

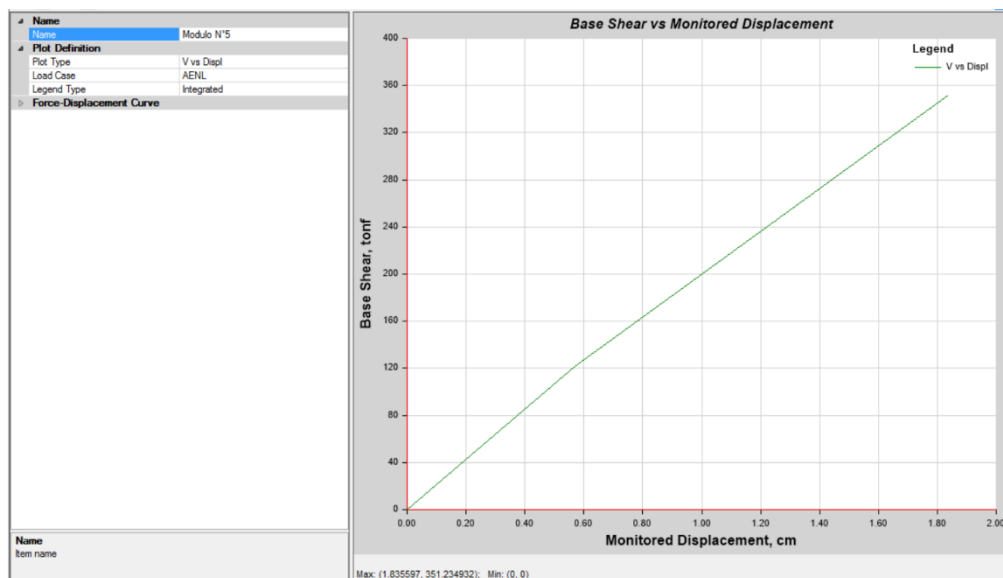


Figura 356.

2 – primeros step, en la dirección X, módulo V

Setp	Monitored Displ cm	Base Force tont	A - B	B - C	C - D	D - E	>E	A - IO	IO - LS	LS - CP	>CP	Total
0	0	0	116	0	0	0	0	116	0	0	0	116
1	0.571	121.7212	115	1	0	0	0	116	0	0	0	116
2	1.8356	351.2349	106	10	0	0	0	115	1	0	0	116

El espectro de demanda en base al ATC 40, debe definirse para un sismo de servicio (SS), sismo de diseño (SD) y sismo máximo (SM), donde el sismo de servicio representa el 0.5 del SD, y el sismo máximo es el 1.25 del SD.

Definida la curva de capacidad y el espectro de demanda, se puede determinar el punto de desempeño por el FEMA 440 y por el ATC 40 para un sismo de servicio, sismo de diseño y sismo máximo. En la dirección X, según el punto de desempeño para un sismo por FEMA 440 AL, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura va a soportar un cortante de 177.78 ton, y desplazamiento espectral “Sd” de 0.61 cm (Fig. 335). Según el punto de desempeño para un sismo de diseño, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 186.31 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 0.65 cm (Fig. 336). Según el punto de desempeño para un sismo máximo, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 267.32 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 0.97 cm (Fig. 337).

Figura 357.

Punto de desempeño en la dirección X para un sismo definido por FEMA 440 AL, módulo V

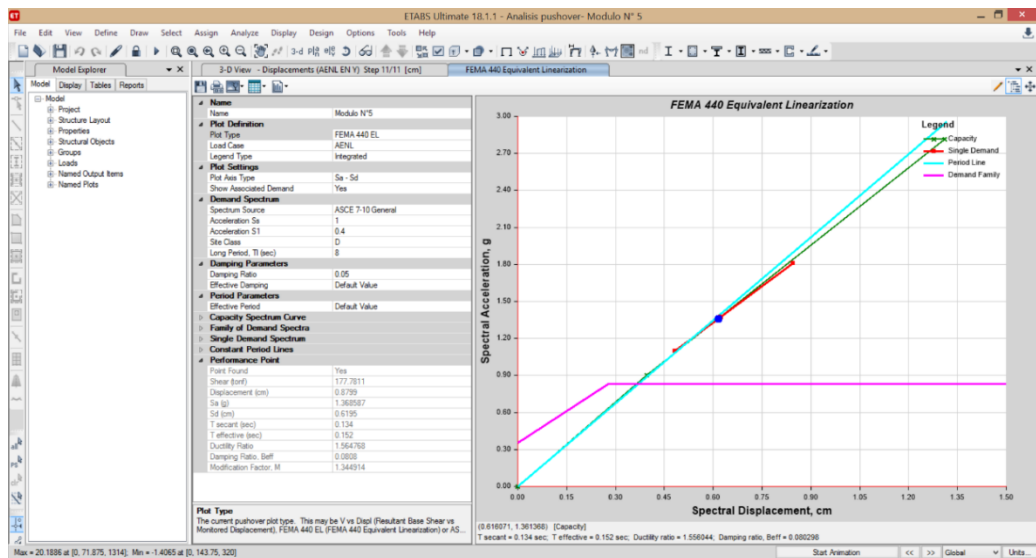


Figura 358.

Punto de desempeño en la dirección X para un sismo de diseño, módulo V

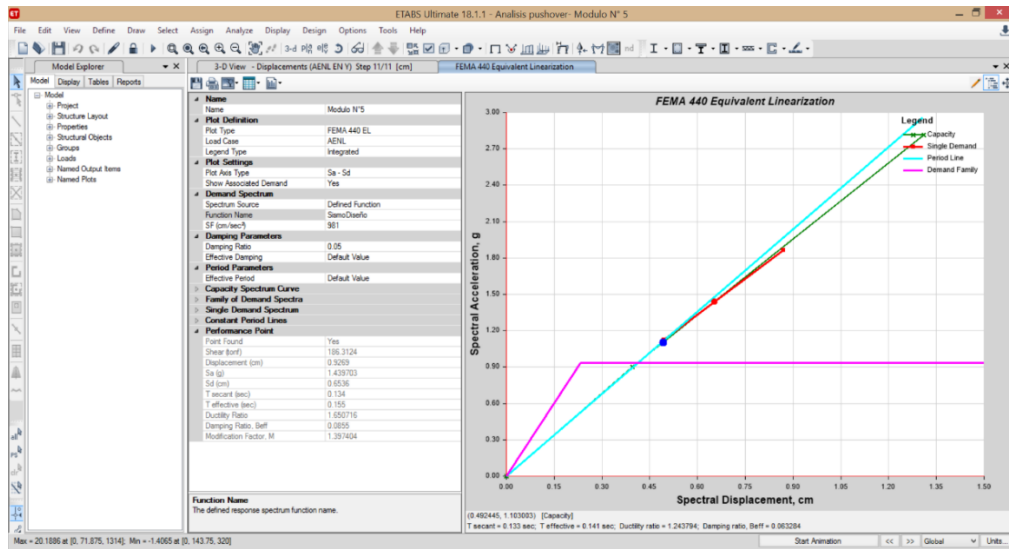
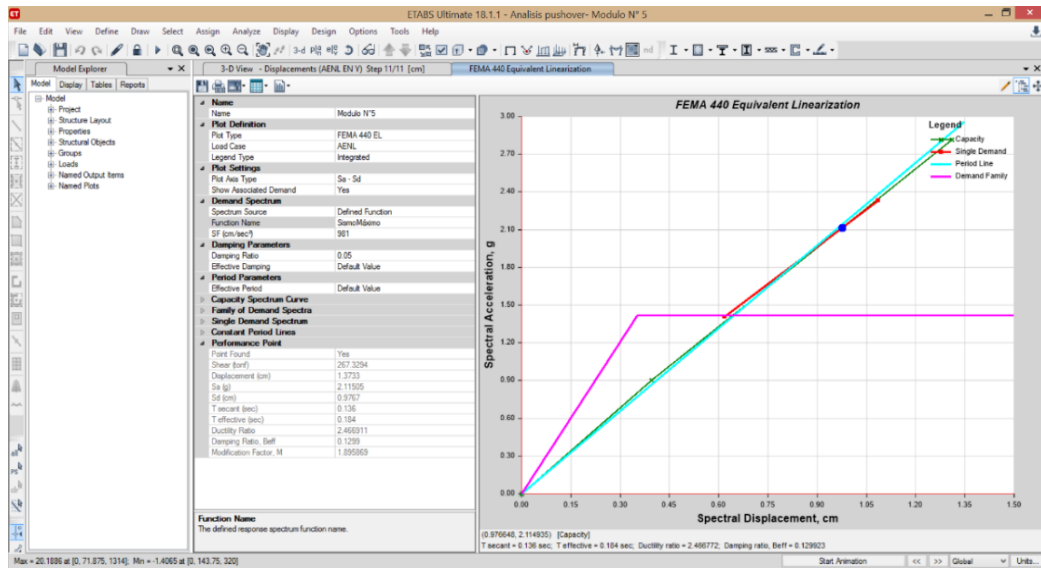


Figura 359.

Punto de desempeño en la dirección X para un sismo máximo, módulo V



En la dirección Y, la estructura alcanza su capacidad última cuando se alcanza un desplazamiento de 21.04 cm y una cortante basal de 184.47 ton. Es decir, se detiene el análisis cuando se logra un desplazamiento máximo de 21.04 cm, se considera este el valor con el que la estructura en estudio, módulo V, alcanza su capacidad máxima y colapsa (Fig. 338). Así mismo, se muestra las rótulas

plásticas de los elementos estructurales del módulo V, realizado en el programa Etabs 2018 (Fig. 339).

Figura 360.

Curva de capacidad de la estructura en dirección Y, módulo V

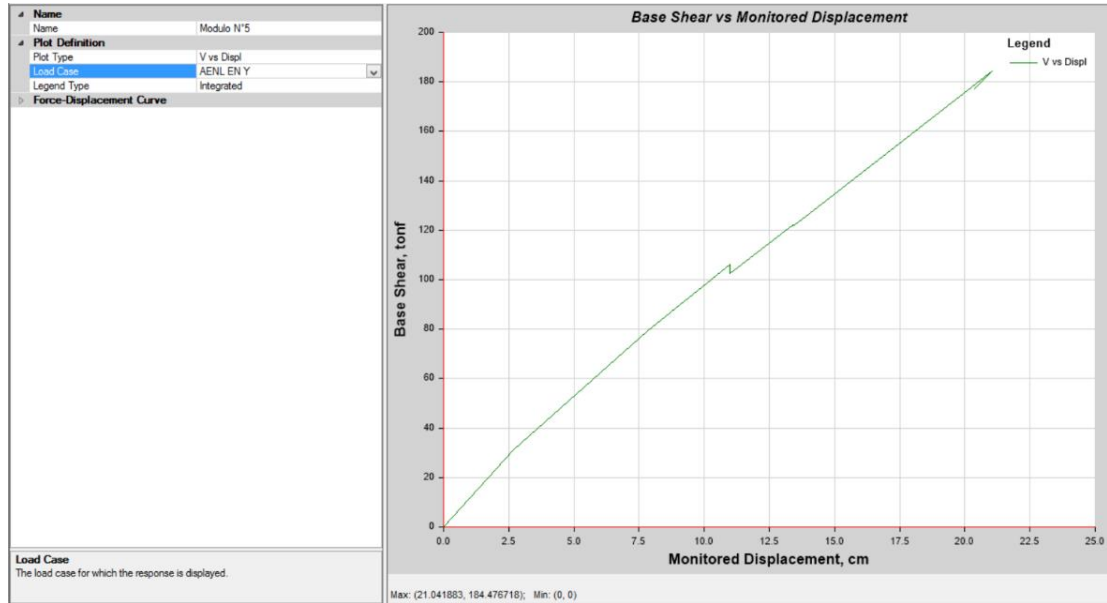


Figura 361.

Se observa (11 – primeros step), dirección Y, módulo V

Setp	Monitored Displ cm	Base Force tont	A - B	B - C	C - D	D - E	>E	A - IO	IO - LS	LS - CP	>CP	Total
0	0	0	116	0	0	0	0	116	0	0	0	116
1	2.6785	31.2206	114	2	0	0	0	116	0	0	0	116
2	7.8195	79.3049	89	27	0	0	0	112	4	0	0	116
3	10.9788	106.3345	82	32	2	0	0	108	2	0	6	116
4	10.9793	102.6745	82	32	0	0	2	108	1	1	6	116
5	13.4063	122.0485	79	33	1	1	2	105	3	0	8	116
6	13.4068	121.8981	79	33	1	0	3	105	3	0	8	116
7	13.7458	124.3712	79	33	0	1	3	105	3	0	8	116
8	13.7459	124.213	79	33	0	0	4	105	3	0	8	116
9	19.6356	172.8435	74	38	0	0	4	100	5	2	9	116
10	21.0419	184.4767	74	37	1	0	4	99	6	0	11	116
11	20.3681	177.0402	73	38	0	0	5	98	6	0	12	116

En la dirección Y, según el punto de desempeño para un sismo de servicio, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 104.82 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 7.71 cm (Fig. 340). Según el punto de desempeño para un sismo de diseño y sismo máximo, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura colapsaría (Fig. 341).

Figura 362.

Punto de desempeño en la dirección Y para un sismo de servicio, módulo V

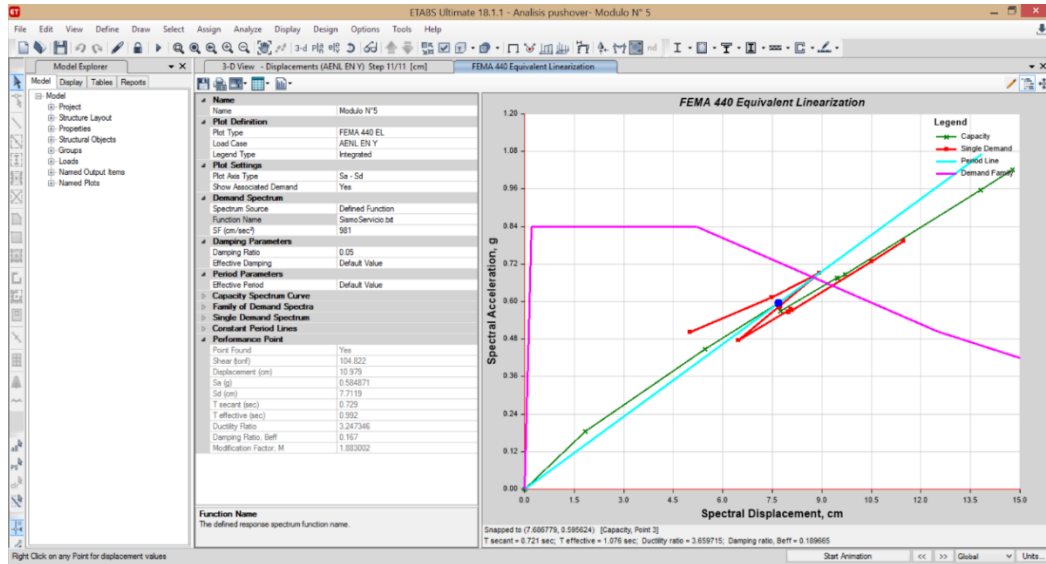
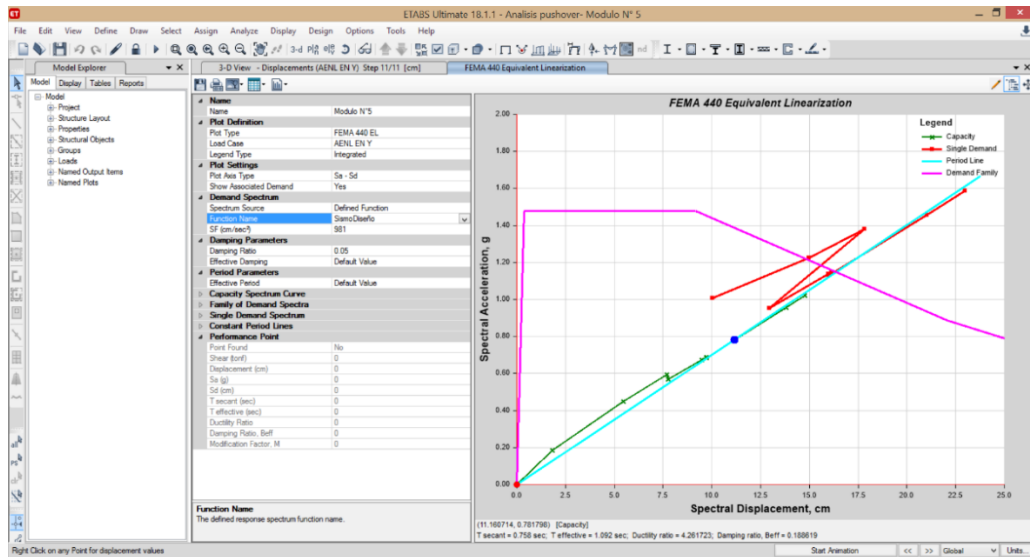


Figura 363.

Punto de desempeño en la dirección Y para un sismo de diseño, módulo V



5.5) Identificación de rótulas plásticas o primeros puntos de colapso frente a un evento sísmico, módulo V

En la dirección X, las primeras rótulas plásticas se forman en las columnas C-2 que están en el eje B-B del primer piso (primer step). En el cuarto step se observan todas las rótulas plásticas de la estructura.

Figura 364.

Primer step, eje X, módulo V

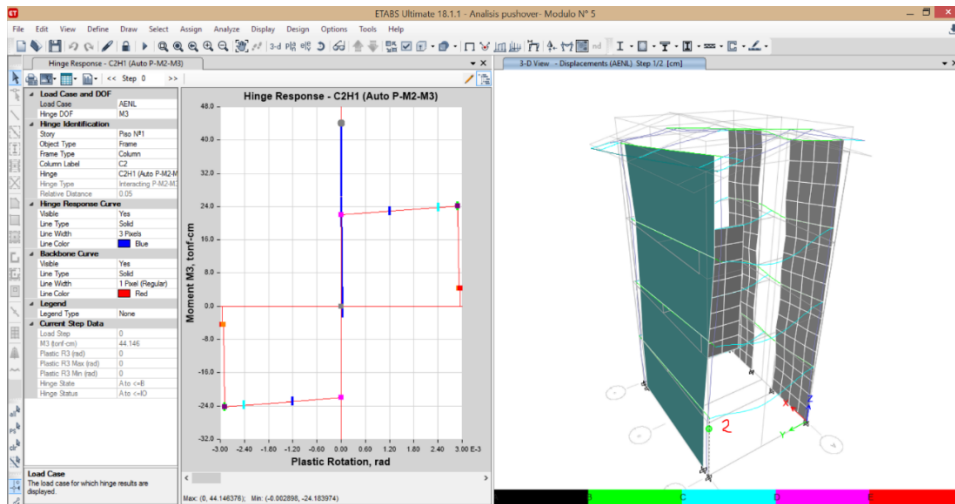
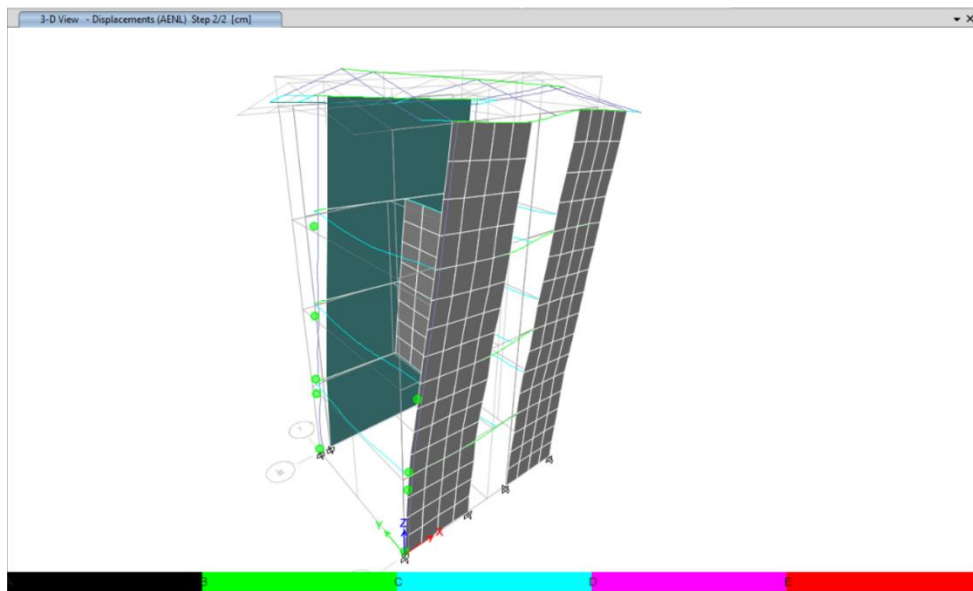


Figura 365.

Cuarto step, eje X, módulo V



En la dirección Y, las primeras rótulas plásticas que se forman en la estructura están en las columnas C2 y C3 en el eje B-B del primer piso (primer step). En el segundo step, se observan rótulas plásticas en pre colapso en las columnas C2 y C3 del eje B-B primer piso. En el cuarto step se forman rótulas plásticas en pre colapso en las columnas C4 y C5 que están en el eje A-A del primer piso.

Figura 366.

Primer step, eje Y, módulo V

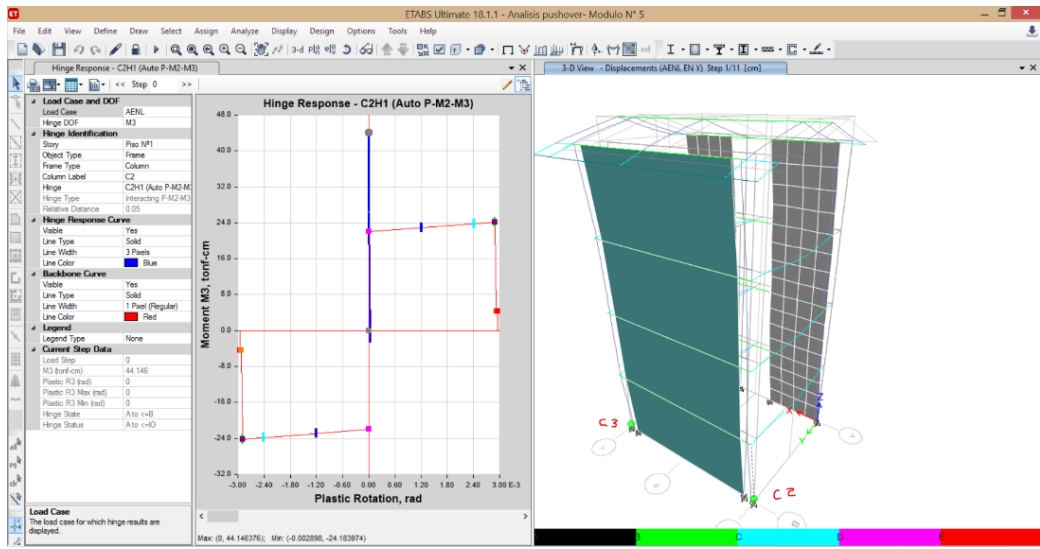


Figura 367.

Segundo step, eje Y, módulo V

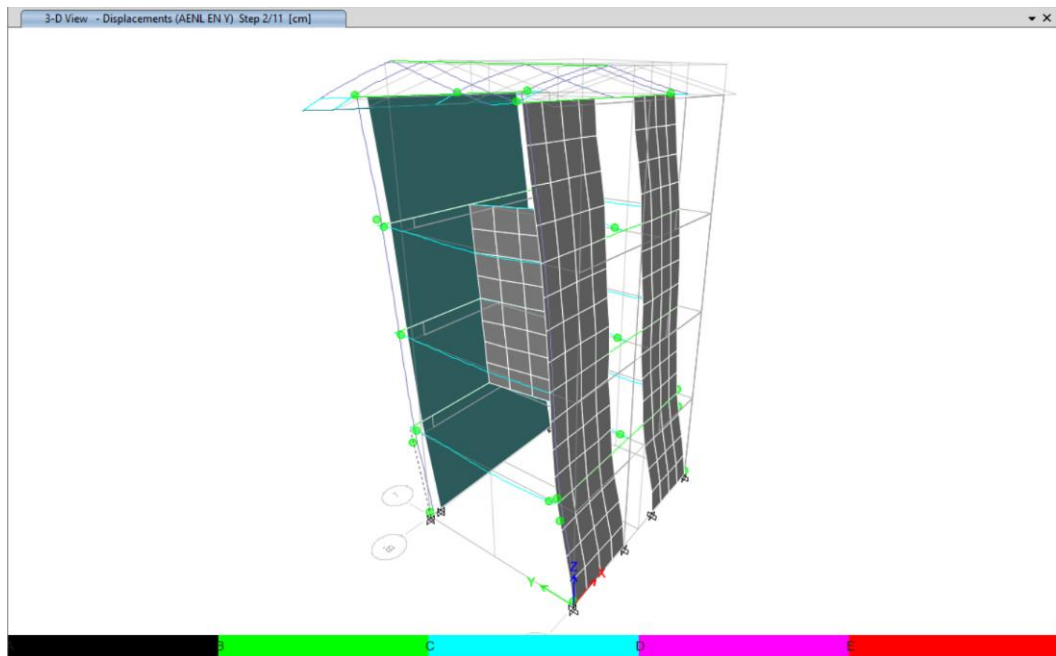


Figura 368.

Cuarto step, eje Y, módulo V

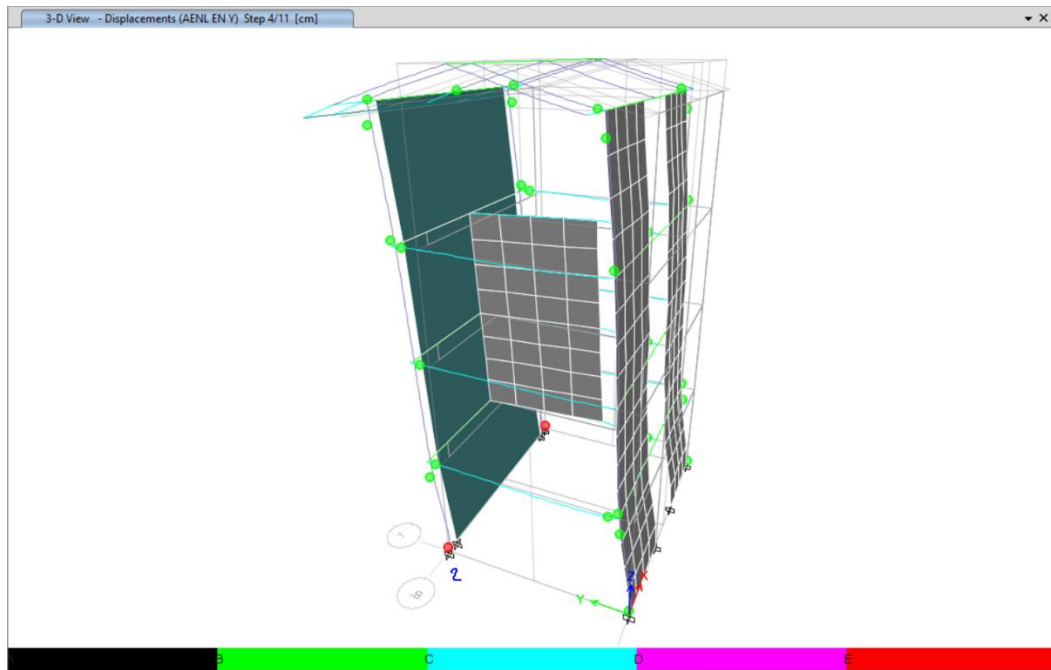
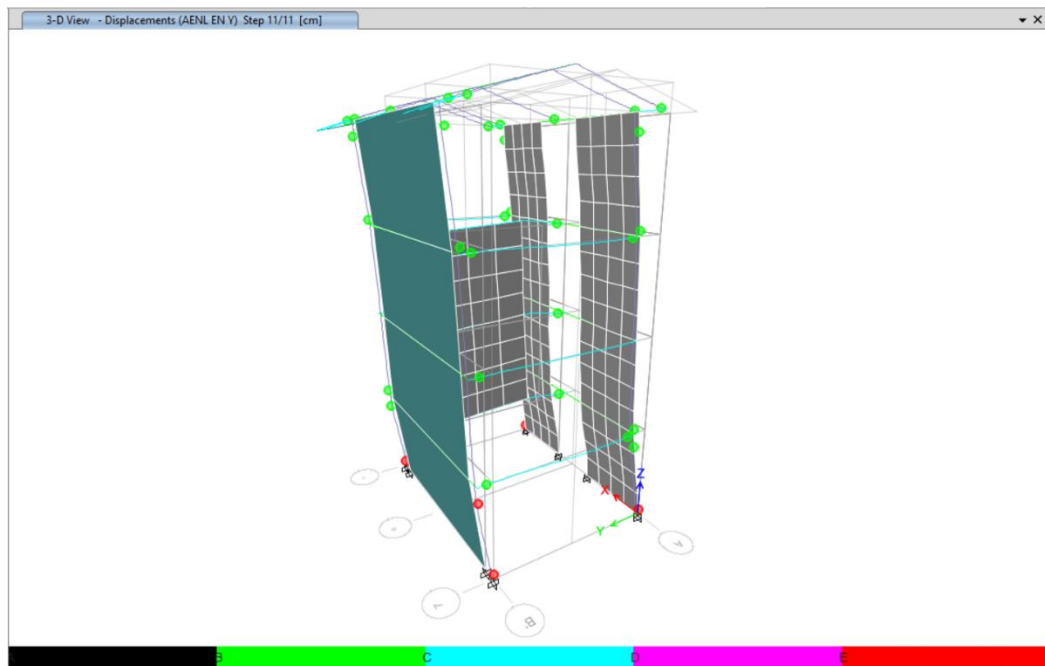


Figura 369. *Modelo estructural en el que se observan los 15 step, eje Y, módulo V*



6) Módulo VI

6.1) Modelamiento módulo VI

Para modelar el módulo VI, se sigue el mismo proceso inicial que para el módulo I, es decir se abre el programa Etabs, se completan la información de los ejes, el número de pisos, la información del espaciado entre ejes y se definen las propiedades de los materiales: concreto, acero y albañilería. Luego, se definen las secciones según el plano de estructuras, es decir se definen los objetos frame (columnas, vigas) y los elementos Wall (Placas).

Figura 370.

Plano estructural módulo IV

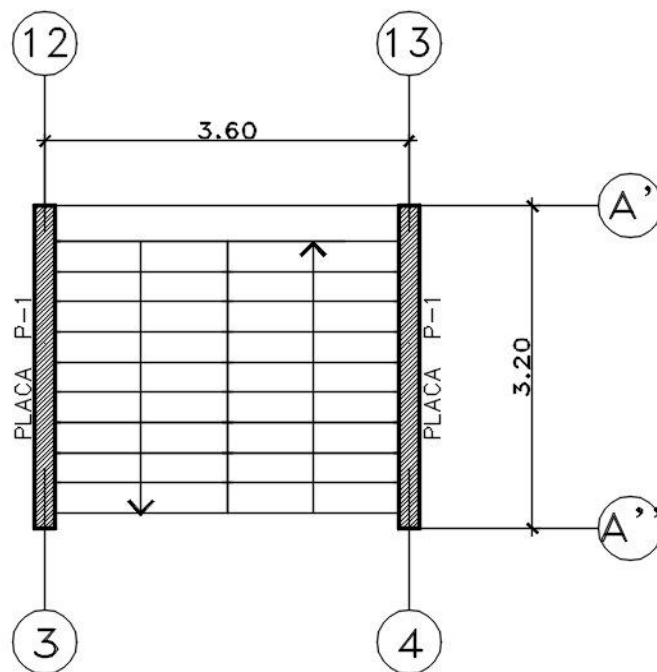
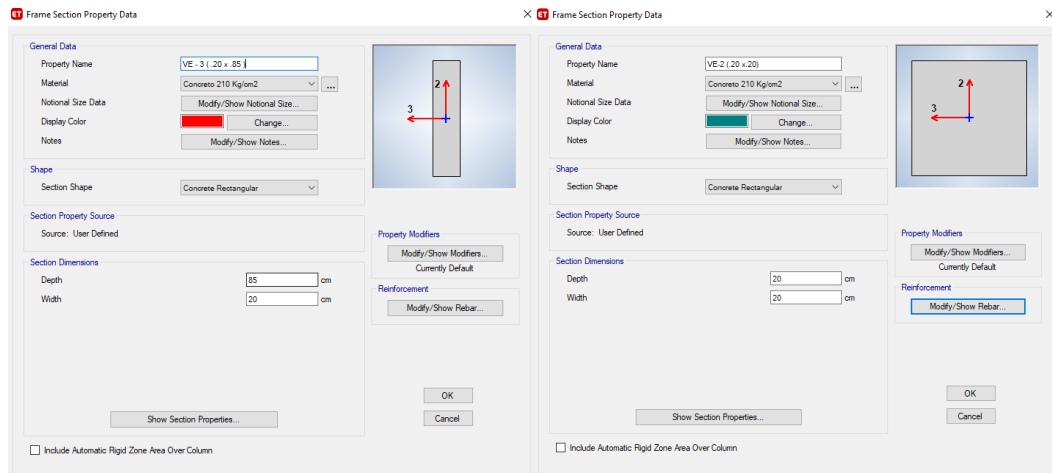
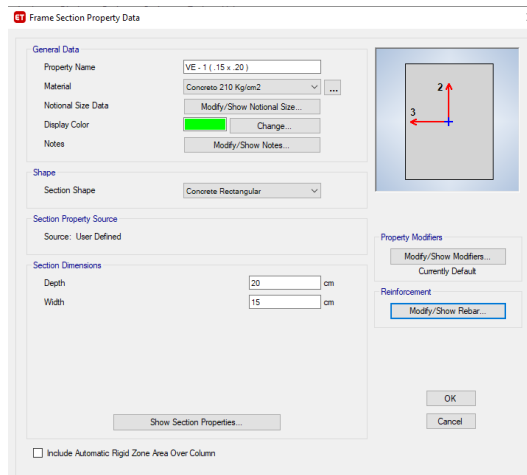


Figura 371.

Vigas principales del módulo VI



VE - 3 (.20x.85)						VE - 2 (.20x.20)					
barra	N° barra	diámetro	área	área de acero	Total área de acero	barra	N° barra	diámetro	área	área de acero	Total área de acero
Barras Superiores						Barras Superiores					
5/8"	3	1.588cm	1.98 cm ²	5.94	5.94	1/2"	2	1.270cm	1.27 cm ²	2.54	2.54
Barras Inferiores						Barras Inferiores					
5/8"	3	1.588cm	1.98 cm ²	5.94	5.94	1/2"	2	1.270cm	1.27 cm ²	2.54	2.54



VE - 1 (.15x.20)					
barra	N° barra	diámetro	área	área de acero	Total área de acero
Barras Superiores					
1/2"	1	1.270cm	1.27 cm ²	1.27	1.27
Barras Inferiores					
1/2"	1	1.270cm	1.27 cm ²	1.27	1.27

Para la asignación de losas se sigue la ruta en “Define/ Section Properties/ Slab Sections” y en Modeling Type se selecciona “Shell - Thin”, como un elemento finoy para definir las placas se sigue la ruta “Define/ Section Properties/ Wall Sections”, tal como se realizó para el módulo I.

Figura 372.

Proceso para dibujar vigas en el módulo VI

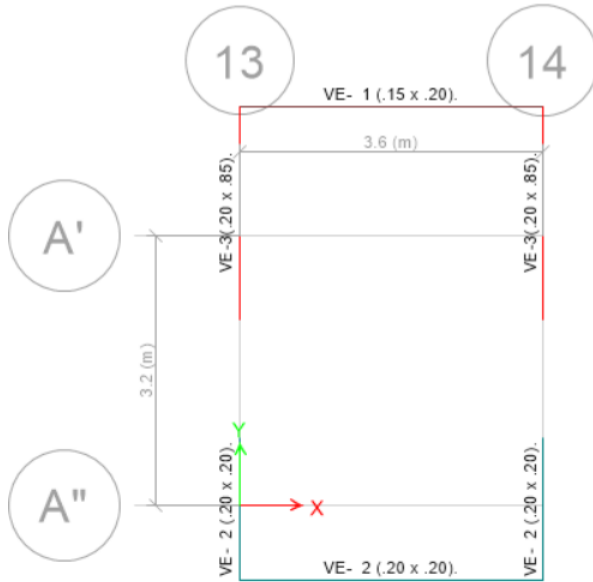


Figura 373.

Proceso para dibujar placas en el módulo VI

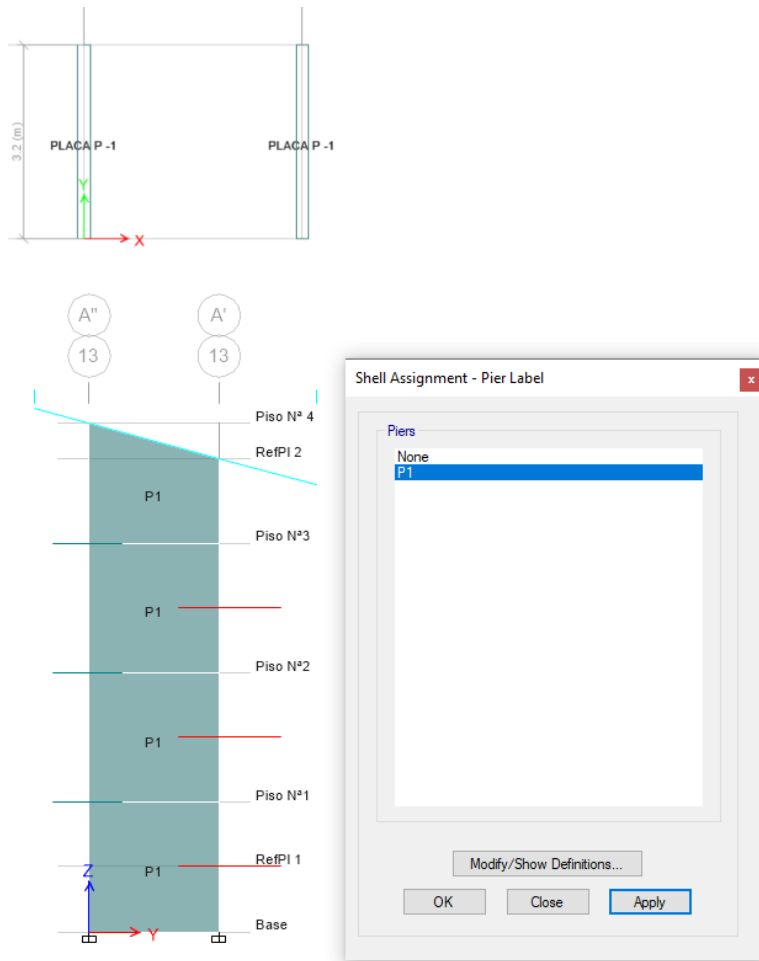


Figura 374.

Asignación de losas, módulo VI

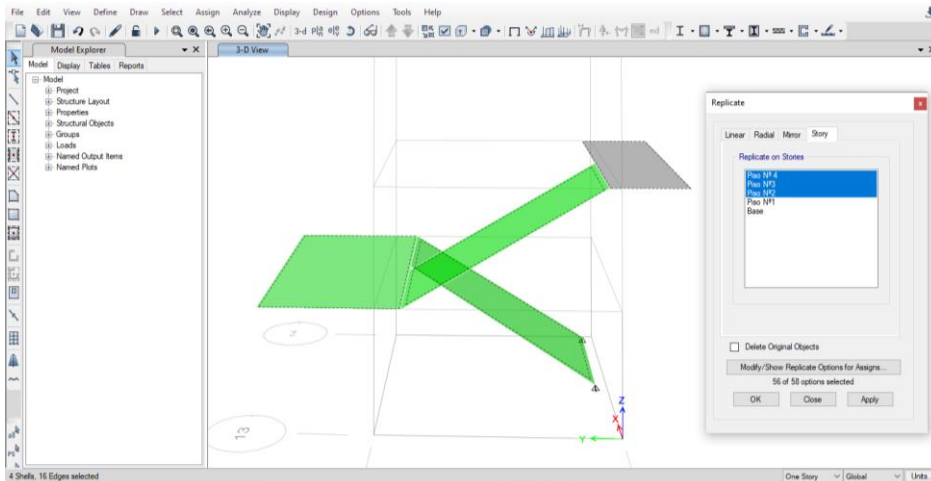
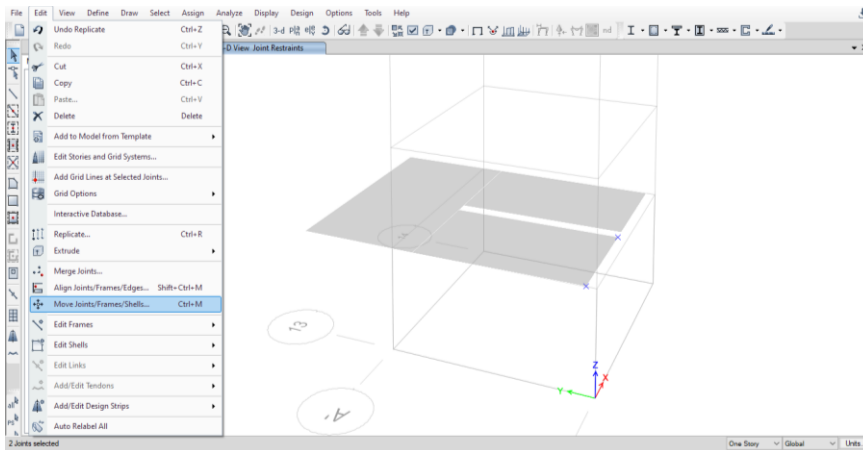
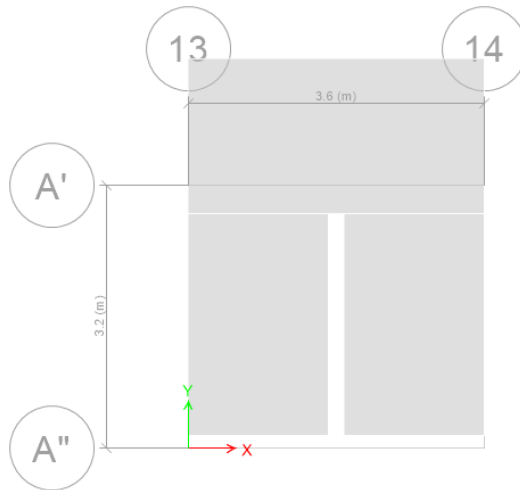
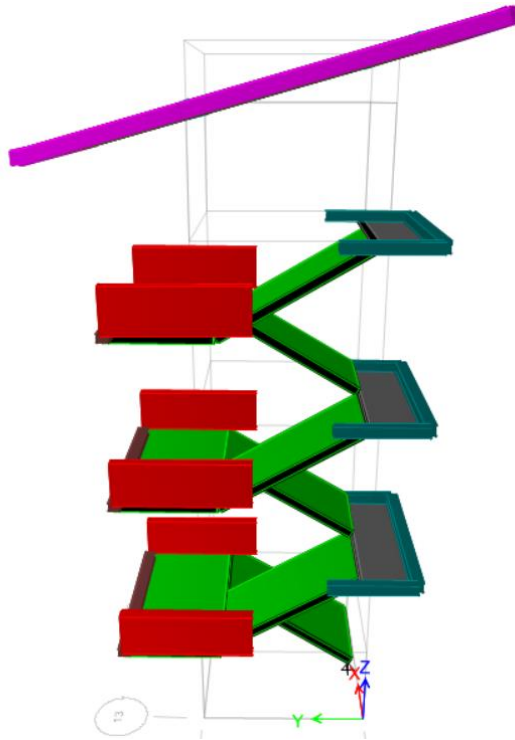


Figura 375.

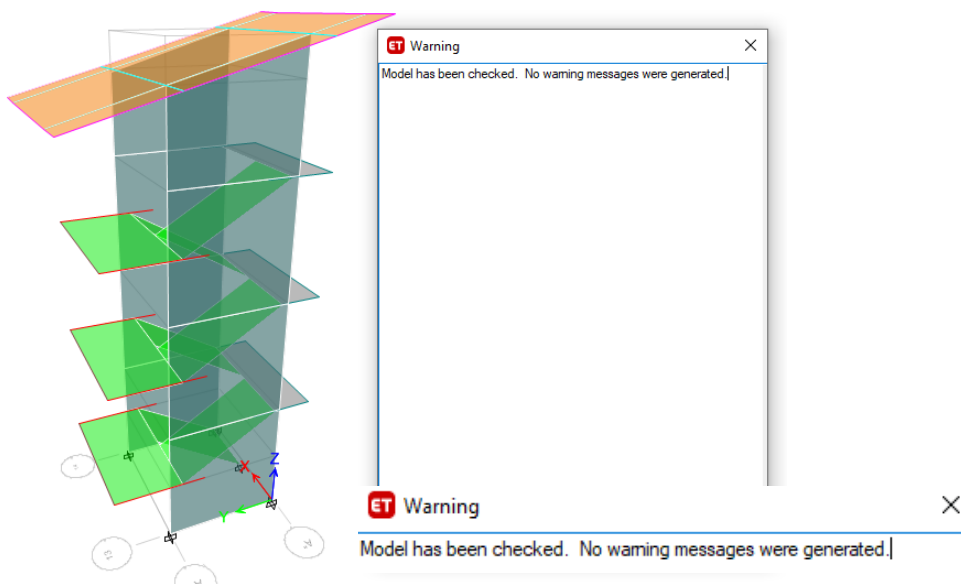
Vista de vigas, losas y placas, en la escalera, módulo VI



Se realiza un chequeo general de la edificación, con la finalidad que no haya ningún error, en la opción “Analyze / Check Model” de esta manera se da una tolerancia de 10 mm de separación con cada elemento.

Figura 376.

Chequeo general de la edificación, módulo VI



Nota: Si se muestra esta imagen, se menciona que no hay ningún error en la edificación.

Las cargas del módulo VI, se colocaron al modelo estructural, siguiendo el mismo procedimiento ya descrito en el módulo I. Las cargas asignadas fueron:

Tabla 83.

Asignación de cargas uniformes en elementos Shell/ Área, módulo VI

PISO	DESCRIPCIÓN	Cant/m2	Peso Unitario (kg)	Peso por m2	Peso Total (kg/m2)
Carga muerta					
Piso 1-2-3-4	- Acabados			100	110
	- Otras cargas no consideradas			10	
Carga viva					
	- Pasadizo				400
Carga muerta					
Techos	- Peso de Tecnopor 120x30x15cm	2.083	0.15	0.31	42.31
	- Cobertura de teja andina			10	
	- Cielo raso			25	
	- Otras cargas no consideradas			7	
Carga viva de techo					
	- Techos inclinados				50

Figura 377.

Carga muerta y viva en todos los pisos del módulo VI

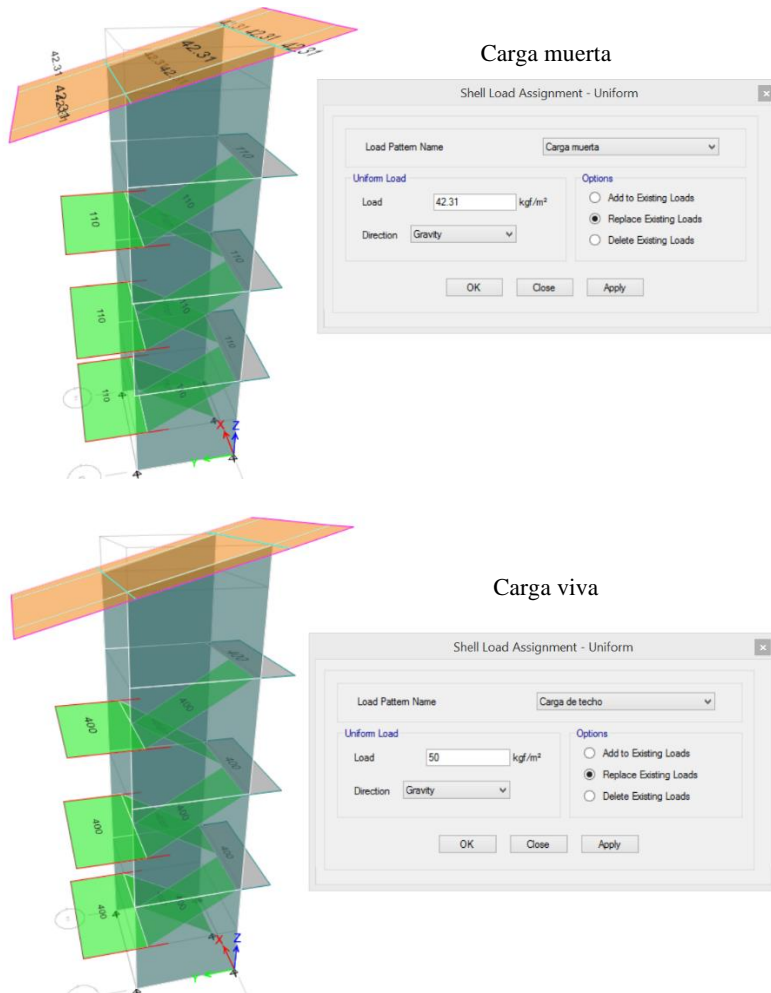


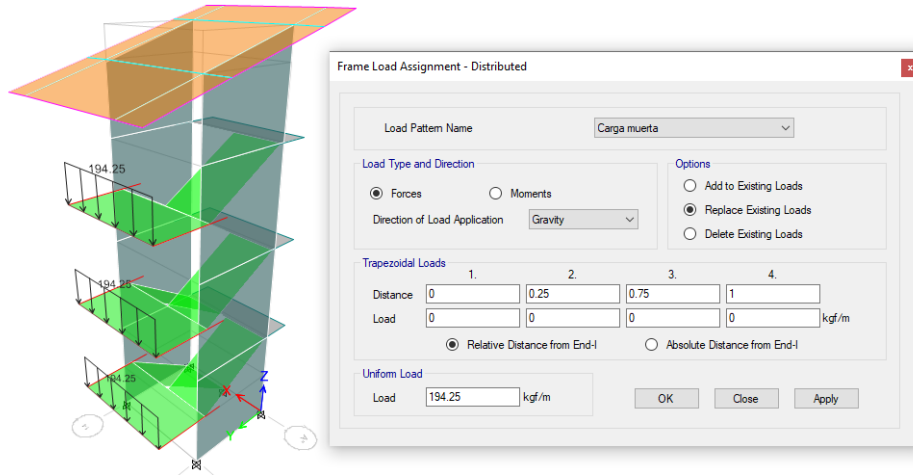
Tabla 84.

Asignación de cargas distribuidas en vigas, módulo VI

Descripción	Espesor de muro (m)	Altura (m)	Peso propio albañilería tarrajada	Por metro (m) lineal	Peso (Kg/m)
Carga distribuida					
Parapeto	0.15	0.7	1850	1	194.25

Figura 378.

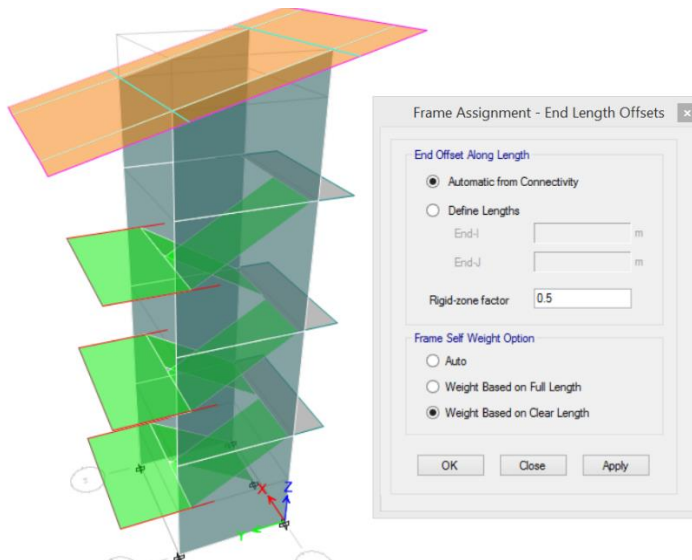
Asignación de cargas distribuidas en vigas, módulo VI



Para dar las restricciones de la base, se selecciona todos los apoyos en la base en “Assing / Joint/ Restraints”, empotramiento perfecto. Así mismo, para la creación del brazo rígido, se selecciona todo el dibujo en “Select / all”, luego se asigna el brazo rígido en “Assing / Frame / End Length Offsets”.

Figura 379.

Creación de brazo rígido del módulo VI



La discretización, es un método para el análisis estructural, a menores dimensiones de los elementos es mejor la precisión. Para ello se selecciona, en “Assing/ Shell/ Floor Auto Mesh Options”, discretización de losas.

Figura 380. Discretización de losas del módulo VI

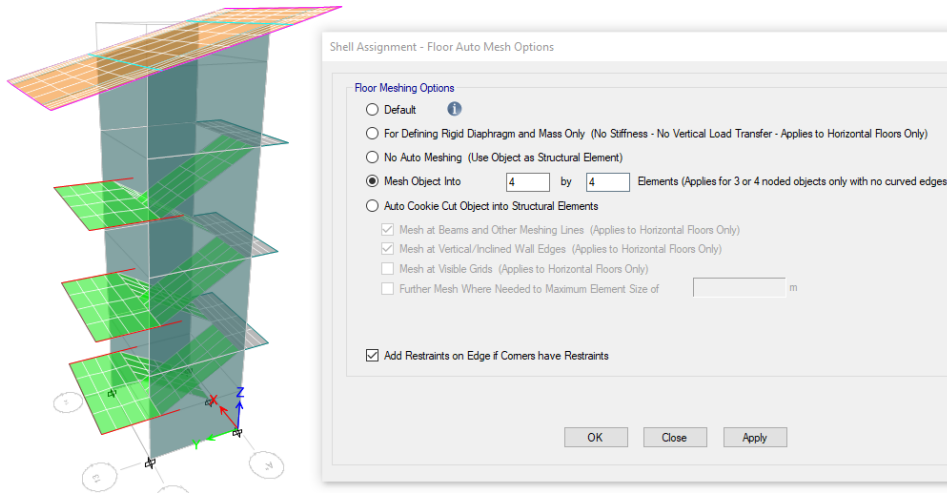
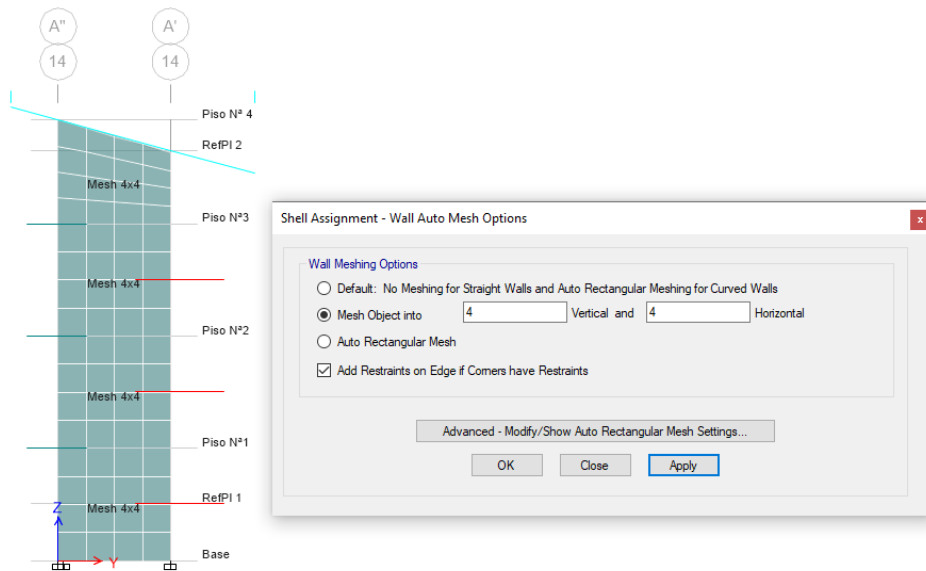


Figura 381.

Discretización de muros, módulo VI



Para que se transfiera las cargas adecuadamente de losas a las vigas y las vigas a las columnas, se selecciona todo el dibujo y en “Frame Auto Mesh options” se selecciona la opción “Include selected frame objects in mesh”, que incluya el mallado en vigas, tal como se ha realizado para el módulo I.

6.2) Análisis sísmico estático del módulo VI

El periodo fundamental de vibración se ha determinado según:

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

h_n = Altura desde el nivel 0+000= 12.55 m

C_{tx} = Edificios de pórticos de concreto armado= 60

C_{ty} = Edificios de pórticos de concreto armado= 60

$$T_x = 0.21 \text{ seg}$$

$$T_y = 0.21 \text{ seg}$$

Parámetros sísmicos:

– $Z = 0.25$

– $U = 1.50$

– $S = 1.20 \rightarrow \begin{matrix} T & TP & TL \\ S2 & 0.6 & 2.00 \end{matrix}$

Los coeficientes de reducción “R” son:

– Factor de irregularidad en altura $I_a = 1.00$

– Factor de irregularidad en planta $I_p = 1.00$

– $R_x = 6.00 \rightarrow$ Muros estructurales

– $R_y = 6.00 \rightarrow$ Muros estructurales

Cálculo de la amplificación sísmica “C”:

$$T_x = 0.59, T_y = 0.59, T_p = 0.60$$

$$T < T_p \rightarrow C = 2.5$$

$$C_x = 2.50$$

$$C_y = 2.50$$

Para el cálculo del coeficiente cortante en ETABS, el valor de C/R no debe ser menor que $C/R \geq 0.11$.

$$\text{En el eje } x \rightarrow \frac{C}{R} \geq 0.11 \rightarrow 0.41667 \geq 0.11 \text{ OK}$$

$$\text{En el eje } y \rightarrow \frac{C}{R} \geq 0.11 \rightarrow 0.41667 \geq 0.11 \text{ OK}$$

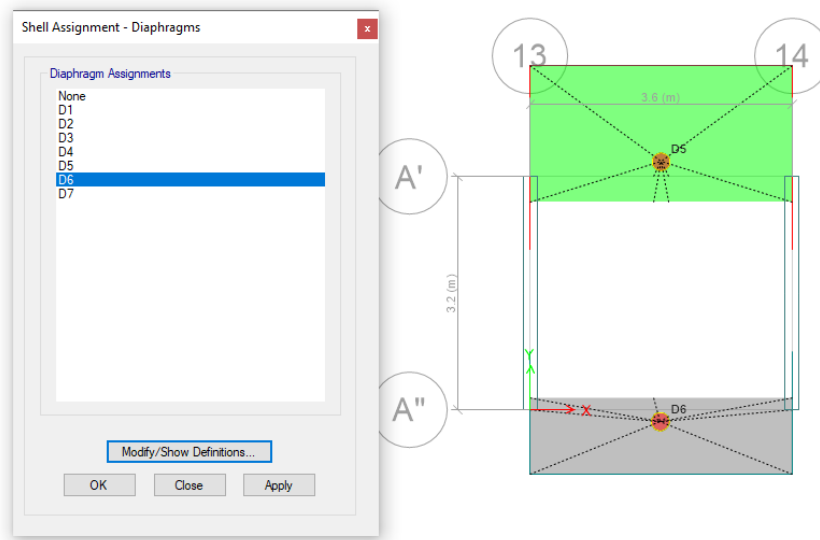
$$V_x = \frac{ZUCS}{R_x} = 0.1875$$

$$V_y = \frac{ZUCS}{R_y} = 0.1875$$

Se asigna diafragmas rígidos a los entrepisos y así liberar los grados de libertad como se indica en la norma E-030, los diagramas deben tener tres grados de libertad, dos desplazamientos y un giro. En “Define / Diaphragms”, “Assign/Shell/ Diaphragms”, se asigna el diafragma rígido (D1, D2 y D3).

Figura 382.

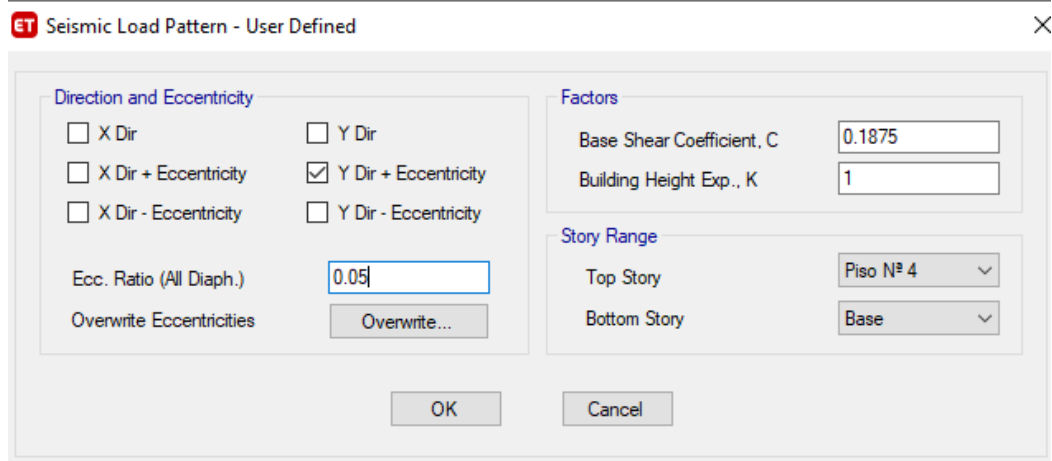
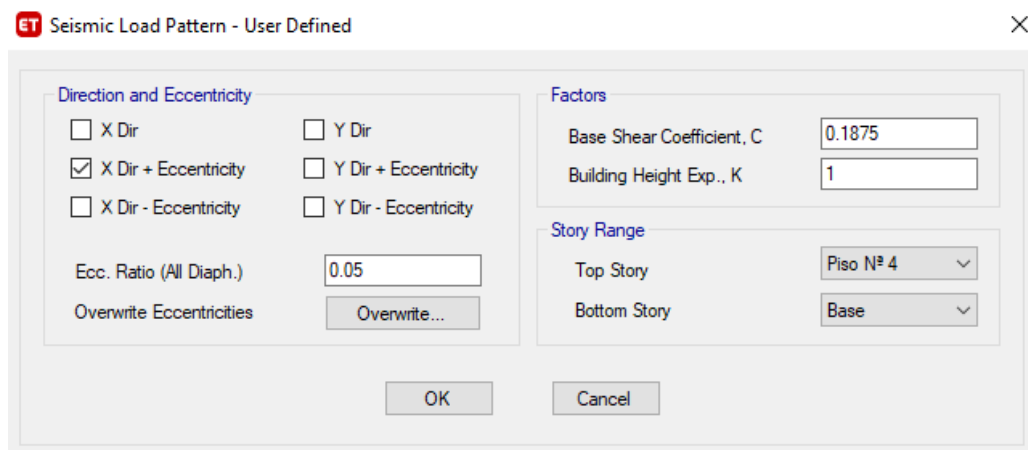
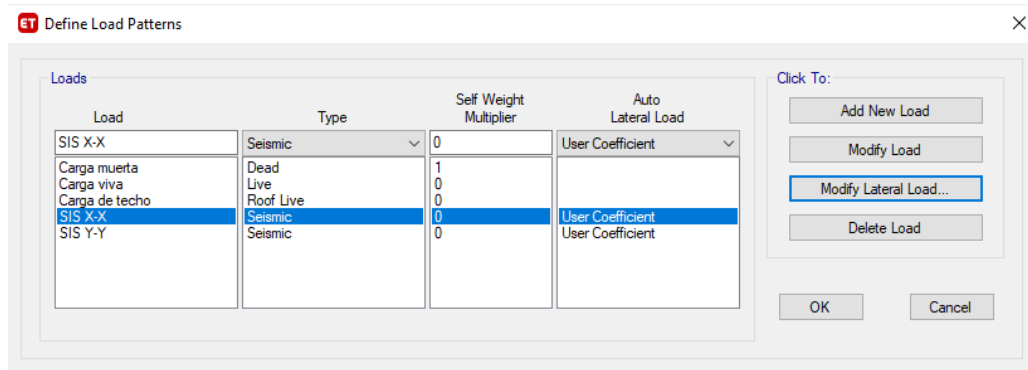
Creación de diafragma rígido, módulo VI



En “Define Load Patterns”, se crea el sismo en (X) :(SIS X-X) y el sismo en la dirección (Y): (SIS –Y-Y).

Figura 383.

Proceso para ingresar el sismo estático y colocar el coeficiente de cortante basal para el módulo VI



Nota: Se coloca el coeficiente de cortante en la base es que es de 0.1875 en la dirección de “x”, el valor de $k_x=1$ y con una excentricidad de 5%. Se coloca el coeficiente de cortante en la base es que es de 0.1875 en la dirección de “y”, el valor de $k_x=1$ y con una excentricidad de 5%.

La norma E-30 de diseño sismorresistente, indica que el peso (P), se calcula adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga de la siguiente manera:

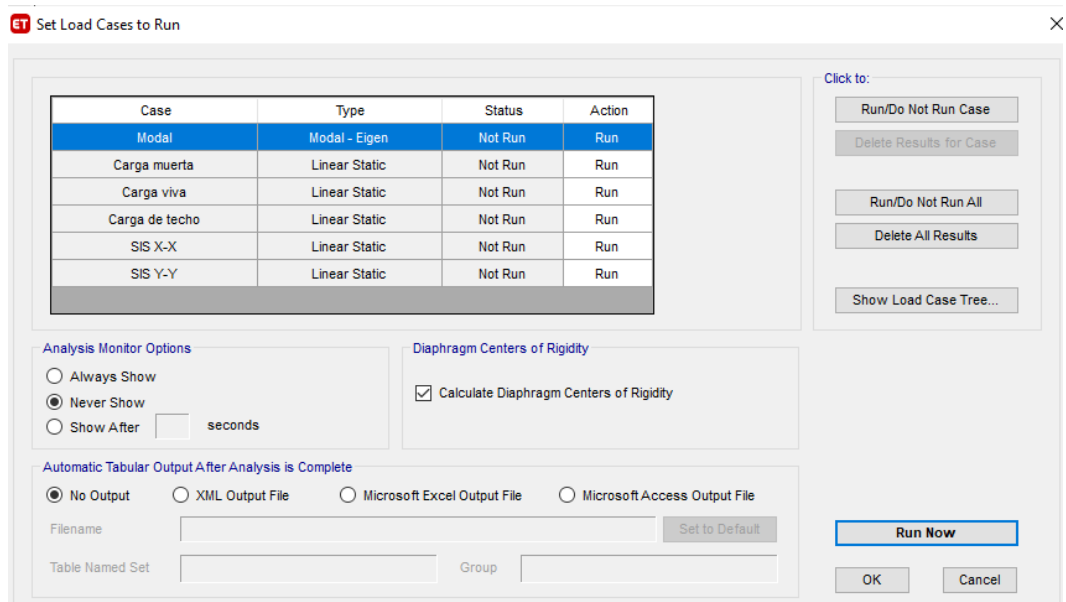
- a) En edificaciones de las categorías A y B, se tomará el 50% de la carga viva.
- b) En azoteas y techos en general se tomará el 25% de la carga viva.

Se define el peso de la edificación en “Define masas source”, casos de carga: carga muerta 1, carga viva 0.5 y carga de techo 0.25, según el proceso descrito para el módulo I.

Por último, se ejecuta el análisis estático. Para ello se configura las opciones de análisis, en “Analyze / Set Active of Freedom” y se selecciona Full 3D. Así mismo, en “Analyze / Set Load Cases to Run”, se selecciona “Calculate Diaphragm Centers of Rigdty”, para que calcule el centro de rigidez del diafragma y finalmente se corre el programa en “Run Mow”.

Figura 384.

Proceso para correr el análisis estático del módulo VI



$$K_x = 1.00$$

$$K_y = 1.00$$

Tabla 86.

Fuerza sísmica en dirección X e Y, módulo VI

Nivel	Pi (kg)	hi(m)	$P_i \times h_i^k$	ai	Fi (kg)	Fi (ton)
En la dirección X						
4	30986.16	12.55	388876.31	0.41	9035.94	9.04
3	29784.83	9.60	285934.35	0.30	6643.98	6.64
2	28205.32	6.40	180514.05	0.19	4194.43	4.19
1	28205.32	3.20	90257.02	0.10	2097.21	2.10
∑= P. Ed.	117181.63	$\sum P_i \times h_i^k$	945581.73	1.00	21971.56	21.97
En la dirección Y						
4	30986.16	12.55	388876.31	0.41	9035.94	9.04
3	29784.83	9.60	285934.35	0.30	6643.98	6.64
2	28205.32	6.40	180514.05	0.19	4194.43	4.19
1	28205.32	3.20	90257.02	0.10	2097.21	2.10
∑= P. Ed.	117181.63	$\sum P_i \times h_i^k$	945581.73	1.00	21971.56	21.97

6.3) Análisis dinámico del módulo VI

Para el análisis dinámico se ha definido el espectro de respuesta en la dirección X e Y. Se ha empleado el método de superposición espectral considerando como criterio la combinación cuadrática completa (CQC) de los valores calculados para cada modo. Se ha trabajado con un amortiguamiento y excentricidad del diafragma del 5%. Luego se ha corrido el modelo realizando el chequeo modal y espectral. Para los modos de vibración de la estructura se tomaron en cuenta las consideraciones:

- El número mínimo de modos es de 3 (dos de traslación uno y de rotación).
- En cada dirección se han considerado aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas ha sido por lo menos el 90 % de la masa total.

Figura 385.

Espectro de respuesta en la dirección a) X, b) Y, del módulo VI

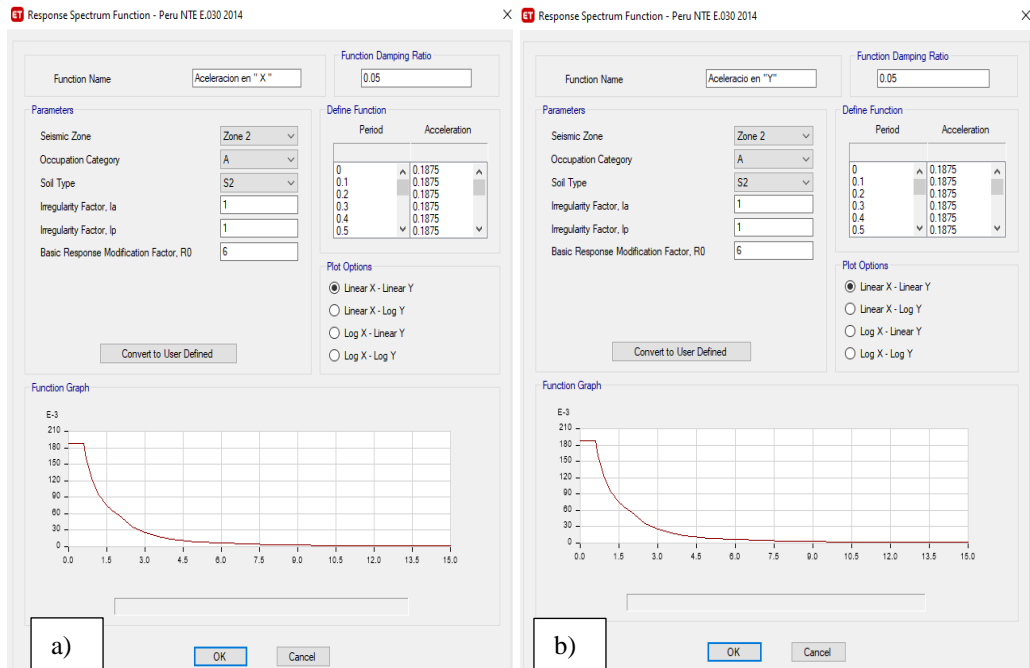


Figura 386.

Modos de vibración a) Modo 1 traslación, b) Modo 2 rotación, c) Modo 3 traslación, módulo VI

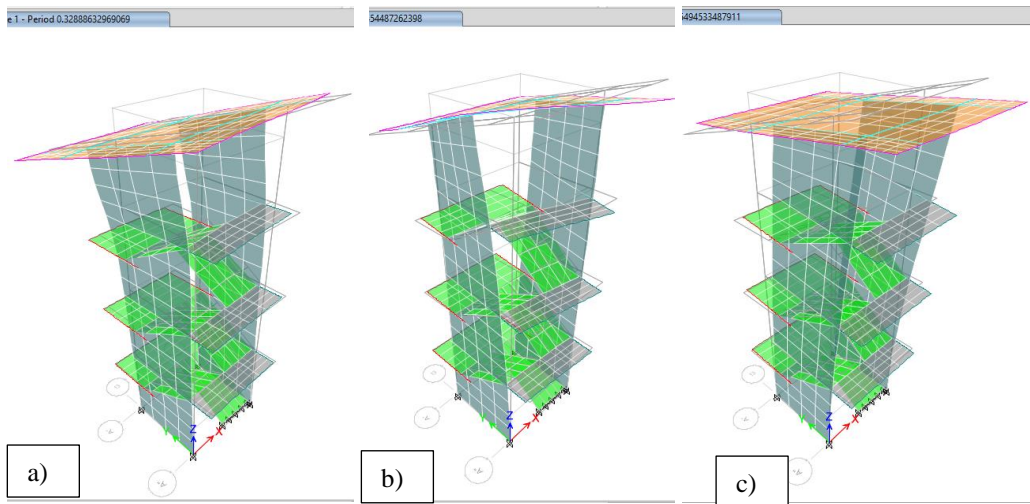


Tabla 87. *Periodos y masa participativa de cada modo de vibración, módulo VI*

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	0.329	0.5867	1.36E-06	4.09E-06	0.5867	1.36E-06	4.09E-06	0	0.3062	0.0215	0	3.06E-01	0.0215
Modal	2	0.246	0.0208	0.0008	0.0001	0.6075	0.0008	0.0001	0.0005	0.029	0.6583	0.0005	0.3353	0.6798
Modal	3	0.215	5.10E-06	0.5965	0.0021	0.6075	0.5973	0.0022	0.4098	0.0001	0.0005	0.4103	0.3353	0.6803
Modal	4	0.141	0.2535	2.38E-06	0.0002	0.861	0.5973	0.0023	1.36E-05	0.1322	0.0001	0.4103	0.4675	0.6804
Modal	5	0.103	0	0.02	0.0527	0.861	0.6173	0.055	0.0072	1.02E-06	0	0.4176	0.4675	0.6804
Modal	6	0.068	0.0005	0	0.0052	0.8615	0.6173	0.0602	2.69E-05	0.0139	0.0268	0.4176	0.4814	0.7072
Modal	7	0.061	0.0231	6.93E-06	0.0792	0.8846	0.6173	0.1394	0.0003	0.0677	0.0312	0.4179	0.5491	0.7384
Modal	8	0.061	0.0396	0.0004	0.0336	0.9242	0.6177	0.173	0.0011	0.1603	0.0315	0.419	0.7094	0.7699
Modal	9	0.051	0.0001	0.0653	0.0784	0.9243	0.6829	0.2514	0.0599	0.0005	0.00003151	0.4789	0.7099	0.7699
Modal	10	0.048	0.0006	0.0078	0.0397	0.9249	0.6907	0.2912	0.0084	0.0007	0.0391	0.4872	0.7106	0.809
Modal	11	0.045	0.0003	0.0199	0.014	0.9252	0.7107	0.3051	0.0137	0.0005	0.0172	0.5009	0.7112	0.8262
Modal	12	0.044	0.0006	0.0138	0.0931	0.9258	0.7245	0.3982	0.0065	0.004	0.003	0.5074	0.7152	0.8292
Modal	13	0.043	2.208E-05	0.0013	0.021	0.9258	0.7258	0.4193	0.0023	0.0028	0.0266	0.5097	0.718	0.8558
Modal	14	0.043	0.0007	0.0038	0.0043	0.9265	0.7296	0.4236	0.0059	0.0023	6.00E-04	0.5156	0.7203	0.8564
Modal	15	0.042	0.0011	1.20E-03	0.0246	0.9276	0.7308	0.4482	0.005	0.0019	1.00E-04	0.5206	0.7222	0.8564
Modal	16	0.04	0.0187	0.00E+00	0.0002	0.9463	0.7308	0.4484	0.0001	0.057	0.000003957	0.5207	0.7792	0.8564
Modal	17	0.039	3.11E-05	0.0331	0.0024	0.9463	0.7638	0.4508	0.0354	5.00E-04	0.0001	0.5561	0.7797	0.8566
Modal	18	0.037	0.0088	0.0008	0.0031	0.9552	0.7646	0.4539	0.0008	0.0142	0.0081	0.5569	0.7938	0.8646
Modal	19	0.037	0.0008	0.0052	0.0046	0.956	0.7698	0.4586	0.0052	0.0003	0.0005	0.5621	0.7942	0.8652
Modal	20	0.036	0.0083	0.0023	0.001	0.9643	0.7721	0.4595	0.0036	0.0068	0.0073	0.5657	0.801	0.8725
Modal	21	0.035	0.0004	0.0059	0.0304	0.9647	0.778	0.4899	0.0064	0.0255	0.0035	0.5721	0.8265	0.8761
Modal	22	0.034	0.0002	0.0035	0.0006	0.9648	0.7814	0.4905	0.0026	0.0003	0.002	0.5747	0.8268	0.8781
Modal	23	0.034	8.185E-06	0.0004	0.0029	0.9649	0.7819	0.4934	0.0001	0.00001041	0.0014	0.5747	0.8268	0.8795
Modal	24	0.033	0.0003	0.0233	0.0083	0.9651	0.8052	0.5017	0.0498	0.0085	0.0004	0.6245	0.8353	0.8799
Modal	25	0.032	0.001	0.0223	0.0217	0.9662	0.8274	0.5235	0.0283	1.00E-04	0.0013	0.6528	0.8354	0.8812
Modal	26	0.031	4.31E-05	0.0064	4.106E-05	0.9662	0.8338	0.5235	0.0083	0.0015	0.00001132	0.6611	0.8369	0.8812
Modal	27	0.03	0.008	0.0005	0.0075	0.9742	0.8343	0.531	0.0002	0.0247	0.009	0.6613	0.8616	0.8902
Modal	28	0.03	0.0005	0.0052	0.0496	0.9748	0.8395	0.5806	0.0019	0.0002	0.000001289	0.6631	0.8618	0.8902
Modal	29	0.029	0.0002	0.0006	0.139	0.975	0.8401	0.7196	0.0027	0.0054	0.0054	0.6658	0.8672	0.8956
Modal	30	0.026	0.0001	0.0046	0.0843	0.9751	0.8447	0.8039	0.0098	0.0064	0.0012	0.6756	0.8735	0.8968
Modal	31	0.026	9.985E-06	0.0005	0.0093	0.9751	0.8452	0.8132	0.0014	0.0177	0.0005	0.6771	0.8912	0.8973
Modal	32	0.025	1.00E-04	0.0004	0.0013	0.9752	0.8456	0.8145	0.001	0.0061	0.0122	0.678	0.8974	0.9096
Modal	33	0.024	1.00E-04	0.0002	0.0056	0.9753	0.8458	0.8201	0.0005	0.0001	0.001	0.6785	0.8975	0.9106
Modal	34	0.024	1.37E-06	1.00E-04	0.0008	0.9753	0.8459	0.8209	1.00E-04	3.10E-03	0.0042	0.6786	0.9006	0.9148
Modal	35	0.023	3.02E-06	2.00E-04	0.0001	0.9753	0.8461	0.8209	4.00E-04	0.0012	0.0003	0.679	0.9018	0.9151
Modal	36	0.023	5.59E-06	4.00E-04	0.0002	0.9754	0.8465	0.8211	4.00E-04	1.00E-04	0.0013	0.6793	0.9019	0.9164

Modal	37	0.022	0.0001	0.00E+00	0.0012	0.9754	0.8465	0.8223	1.00E-04	0.0066	6.20E-03	0.6794	0.9086	0.9226
Modal	38	0.022	0	0.0002	1.487E-05	0.9754	0.8466	0.8223	0.0003	0.0001	0.00001364	0.6797	0.9087	0.9226
Modal	39	0.022	3.70E-06	2.70E-03	0.0016	0.9754	0.8493	0.8239	3.10E-03	0.0001	0	0.6828	0.9088	0.9226
Modal	40	0.022	2.04E-05	0.0009	0.0115	0.9754	0.8502	0.8354	0.0024	0	0.0001	0.6853	0.9088	0.9227
Modal	41	0.021	0.0001	0.0009	5.20E-03	0.9756	0.8511	0.8406	0.0036	0.0008	0.0002	0.6889	0.9095	0.923
Modal	42	0.021	0.0001	0.0003	0.0004	0.9757	0.8514	0.8411	0.0008	0.0004	0.0011	0.6897	0.9099	0.9241
Modal	43	0.021	4.556E-05	0.0018	0.0003	0.9757	0.8532	0.8414	0.0026	0.0003	0.000007777	0.6922	0.9101	0.9241
Modal	44	0.021	0.0001	0.0011	0.0088	0.9758	0.8543	0.8501	0.0029	0.001	0.0026	0.6952	0.9112	0.9266
Modal	45	0.021	0.0004	0.0037	0.0059	0.9762	0.858	0.8561	0.0089	0.003	0.001	0.7041	0.9142	0.9276
Modal	46	0.02	1.00E-04	0.0004	0.0042	0.9762	0.8584	0.8603	0.0009	0.0003	0	0.705	0.9144	0.9276
Modal	47	0.02	2.00E-04	0.0002	0.0004	0.9765	0.8586	0.8607	0.0008	0.001	0.0044	0.7058	0.9155	0.932
Modal	48	0.02	0.0005	0.0003	6.00E-04	0.977	0.8588	0.8613	0.0007	0.0013	0.0012	0.7065	0.9168	0.9332
Modal	49	0.02	0.0001	1.292E-05	8.248E-06	0.9771	0.8589	0.8613	3.465E-05	0.0001	5.00E-04	0.7066	0.9169	0.9337
Modal	50	0.02	0.001	1.20E-03	0.0002	0.9781	0.86	0.8615	0.0025	0.0003	0.0009	0.709	0.9172	0.9347
Modal	51	0.019	3.00E-04	0.0027	0.0003	0.9784	0.8627	0.8618	4.60E-03	0.0004	0.0005	0.7136	0.9176	0.9351
Modal	52	0.019	1.00E-04	0.0001	0.0002	0.9785	0.8628	0.862	0.0002	1.20E-03	0.002	0.7138	0.9187	0.9371
Modal	53	0.019	0.00E+00	4.006E-05	2.00E-04	0.9785	0.8629	0.8622	4.373E-05	2.00E-04	0.0001	0.7138	0.9189	0.9373
Modal	54	0.018	0.0005	2.274E-05	0.0002	0.979	0.8629	0.8624	1.268E-05	0.0017	0.0004	0.7138	0.9206	0.9377
Modal	55	0.018	2.93E-05	0.0077	0.0043	0.9791	0.8706	0.8667	0.0113	0.0002	0.0027	0.7251	0.9208	0.9404
Modal	56	0.018	0.0001	0.0035	0.0025	0.9792	0.874	0.8692	5.10E-03	3.00E-04	0.0016	0.7303	0.9211	0.942
Modal	57	0.018	3.111E-05	3.00E-04	0.0017	0.9792	0.8744	0.8709	0.0004	2.00E-04	0.0003	0.7306	0.9213	0.9423
Modal	58	0.017	3.98E-05	0.0003	0.0003	0.9792	0.8746	0.8712	0.0005	1.00E-04	0.0002	0.7311	0.9214	0.9425
Modal	59	0.017	2.80E-06	0.0021	0.0056	0.9792	0.8768	0.8768	0.0045	0.00002104	0.0004	0.7356	0.9215	0.943
Modal	60	0.017	0.0003	0.0001	0.0001	0.9795	0.8768	0.8769	0.0001	0.0019	0.0002	0.7357	0.9234	0.9431
Modal	61	0.017	1.00E-04	2.77E-05	0.0001	0.9796	0.8768	0.877	0.0001	0.0003	1.00E-04	0.7357	0.9237	0.9432
Modal	62	0.016	4.43E-06	0.0001	3.387E-05	0.9796	0.8769	0.877	0.0001	2.49E-05	0.00E+00	0.7359	0.9237	0.9432
Modal	63	0.016	0.0002	0.0157	0.0003	0.9798	0.8927	0.8773	0.028	0.0008	0.0029	0.7638	0.9246	0.9461
Modal	64	0.016	0.0011	0.0003	0.0004	0.9809	0.893	0.8777	0.0005	0.0073	0.0011	0.7643	0.9319	0.9473
Modal	65	0.016	3.145E-05	0.0063	0.0006	0.9809	0.8993	0.8784	0.0108	0.00003784	0.0027	0.7752	0.9319	0.95
Modal	66	0.015	0.0012	0.0007	0.0008	0.9821	0.9	0.8792	0.0013	0.0018	0.00002631	0.7764	0.9337	0.9501
Modal	67	0.015	0.0001	0.0028	0.0093	0.9822	0.9028	0.8884	0.0065	0.0003	0.0008	0.7829	0.934	0.9508
Modal	68	0.015	0.0003	0.0008	0.0056	0.9825	0.9035	0.894	0.002	1.00E-04	0.0034	0.7849	0.9341	0.9542
Modal	69	0.014	4.161E-05	0.0007	4.253E-05	0.9825	0.9043	0.8941	0.0014	0.0018	0.0001	0.7863	0.9359	0.9543
Modal	70	0.014	0.0002	0.0005	0.0001	0.9827	0.9048	0.8942	0.001	0.0005	0.00001828	0.7872	0.9364	0.9543

Nota: Se muestra los periodos y la masa participativa de cada uno de los modos, del modelo, en cada dirección se han considerado aquellos modos de vibración cuya suma de masa efectiva ha sido por lo menos 90% de la masa total.

Los desplazamientos máximos absolutos y relativos del análisis sísmico del módulo IV, así como las verificaciones sugeridas en la norma E.030 se muestran en las Fig. 365 y Fig. 366, donde se puede observar que el desplazamiento absoluto de la estructura por carga de sismo en dirección X es 8.53 mm, y en dirección Y es 3.04 mm; así mismo, las derivas relativas máximas por piso en la dirección X e Y son menores a 0.007, por tanto, cumplen con las especificaciones de la norma E.030 (MVCS, 2020).

Figura 387.

Desplazamientos máximos absolutos en dirección X e Y, módulo VI

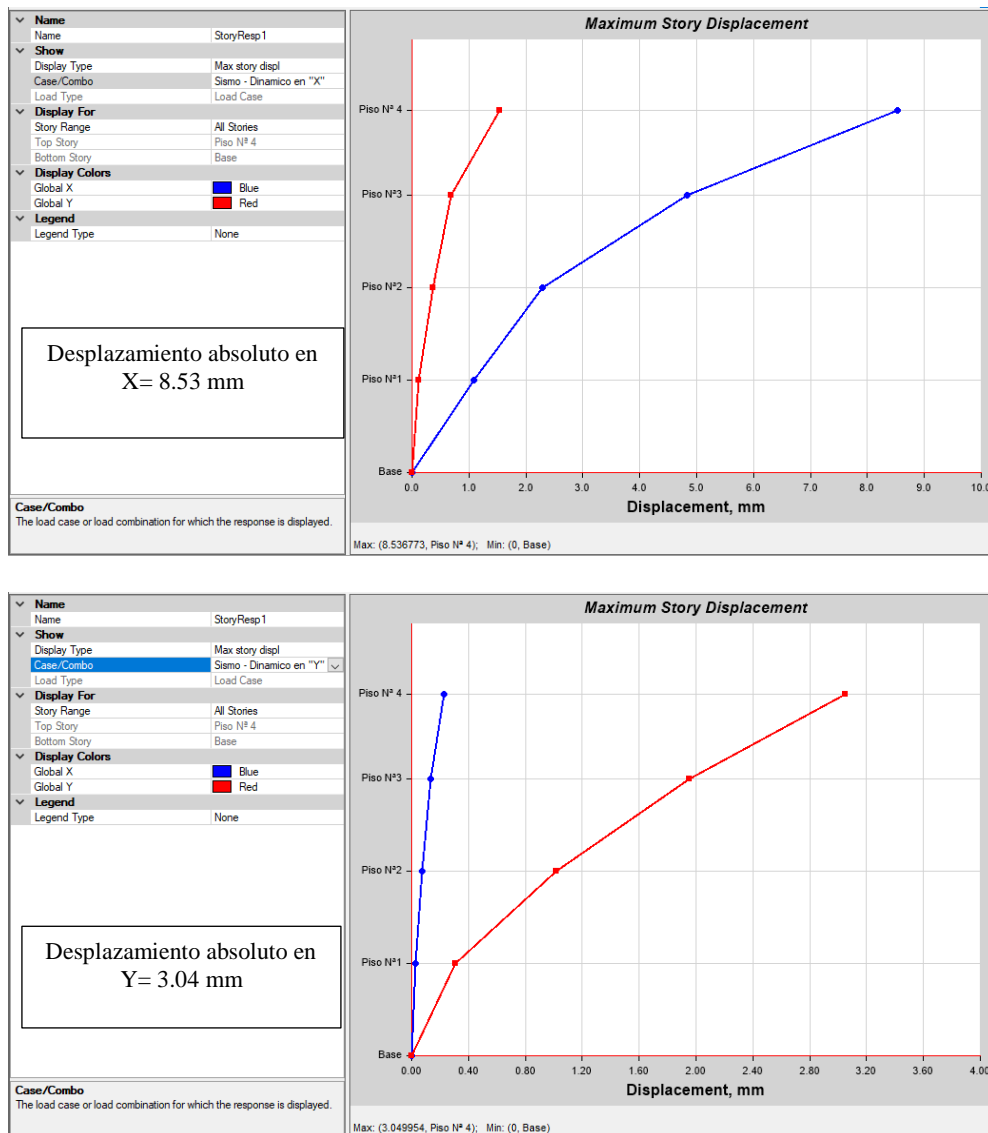


Figura 388.

Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo VI

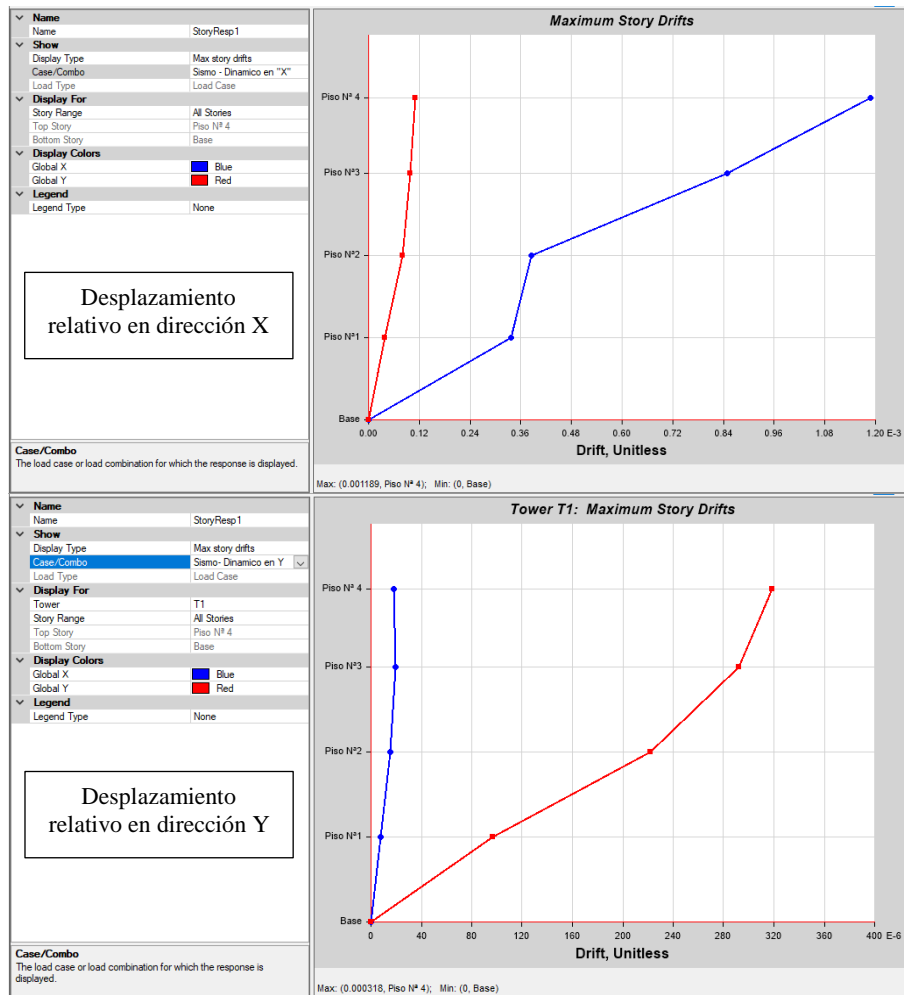


Tabla 88.

Desplazamiento relativo en dirección X e Y, módulo VI

Pisos	Caso de carga	Dirección	Deriva	Rx= 6, Ry= 6	
				Deriva	*0.75*R < 0.007
Deriva máximas por piso en la dirección X					
Piso 4	SIS Dinam.	X	0.00119	0.0053505	Si
Piso 3	SIS Dinam.	X	0.00085	0.0038205	Si
Piso 2	SIS Dinam.	X	0.00039	0.001737	Si
Piso 1	SIS Dinam.	X	0.00034	0.001521	Si
Deriva máximas por piso en la dirección Y					
Piso 4	SIS Dinam.	Y	0.00032	0.001431	Si
Piso 3	SIS Dinam.	Y	0.00029	0.001314	Si
Piso 2	SIS Dinam.	Y	0.00022	0.000999	Si
Piso 1	SIS Dinam.	Y	0.00096	0.000432	Si

La norma E.030 (MVCS, 2020) establece que la cortante dinámica debe ser mayor o igual al 80% de la cortante estática para edificaciones regulares, y 90% para edificaciones irregulares. La cortante dinámica en la dirección X equivale a 14.23, lo que representa el 65% de la cortante estática, 21.97, por tanto, fue necesario incrementar la cortante, al igual que en la dirección Y, donde la cortante dinámica ascendía a 13.28, lo que representa el 60% de la cortante dinámica (21.97). Para amplificar la cortante dinámica en la dirección X e Y, se utilizó el factor F_{ax} y F_{ay} equivalentes a 1.24 y 1.32 respectivamente, estos factores no afectan a los desplazamientos, solo al diseño.

Tabla 89.

Cortante estática y dinámica en la dirección X e Y del módulo IV

Dirección	Cortante	F	$V_{din} \geq 80\% V_{est}$		Factor de amplificación
En X	Estática	21.97			
En X	Dinámica	14.23	65	No cumple	1.24
En Y	Estática	21.97			
En Y	Dinámica	13.28	60	No cumple	1.32

6.4) Análisis Pushover del módulo VI

El método Pushover consiste en aplicar una distribución vertical de cargas laterales a la estructural, mismas que deben incrementarse monótonamente hasta que la estructura alcance el máximo desplazamiento. Primero se ha realizado el análisis estático convencional con la finalidad de extraer características estáticas de la estructura, para luego seguir el procedimiento dado por el FEMA 356. En la Fig. 367 se muestran los valores de las fuerzas laterales en el sentido X e Y, estas cargas se asignaron al modelo estructural (módulo VI) para la ejecución del análisis Pushover Fig. 368.

Tabla 90.

Fuerzas laterales en el sentido X e Y para el análisis Pushover, módulo VI

Nivel	Pi (kg)	hi(m)	$Pi \times hi^k$	ai	Fi (kg)	Fi (ton)
En la dirección X						
4	30986.16	12.55	388876.31	0.41	9035.94	9.04
3	29784.83	9.60	285934.35	0.30	6643.98	6.64
2	28205.32	6.40	180514.05	0.19	4194.43	4.19
1	28205.32	3.20	90257.02	0.10	2097.21	2.10
∑= P. Ed.	117181.63	$\sum Pi \times hi^k$	945581.73	1.00	21971.56	21.97
En la dirección Y						
4	30986.16	12.55	388876.31	0.41	9035.94	9.04
3	29784.83	9.60	285934.35	0.30	6643.98	6.64
2	28205.32	6.40	180514.05	0.19	4194.43	4.19
1	28205.32	3.20	90257.02	0.10	2097.21	2.10
∑= P. Ed.	117181.63	$\sum Pi \times hi^k$	945581.73	1.00	21971.56	21.97

Figura 389.

Fuerzas laterales en el sentido X e Y para el análisis Pushover, módulo VI

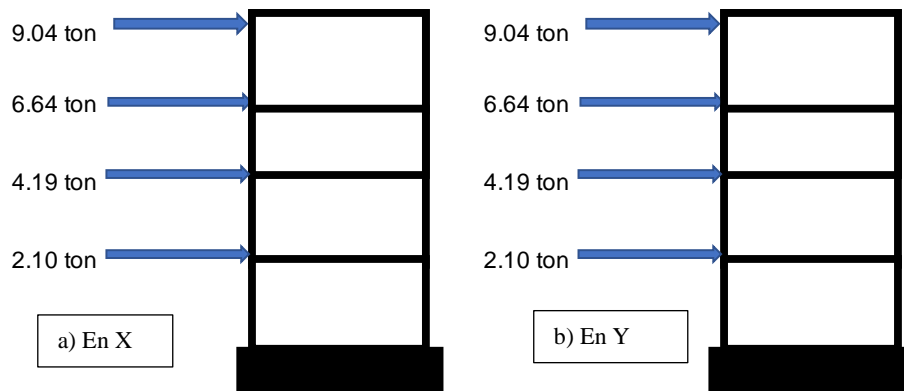


Figura 390.

Asignación de cargas laterales Pushover, en el sentido X e Y, módulo VI

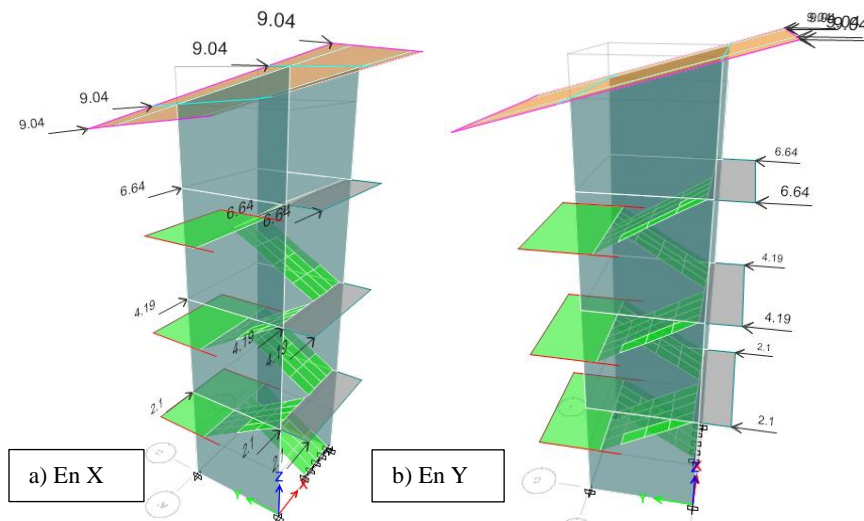


Figura 392.

Modelo estructural de la escalera para la asignación de rótulas plásticas en placas, módulo VI

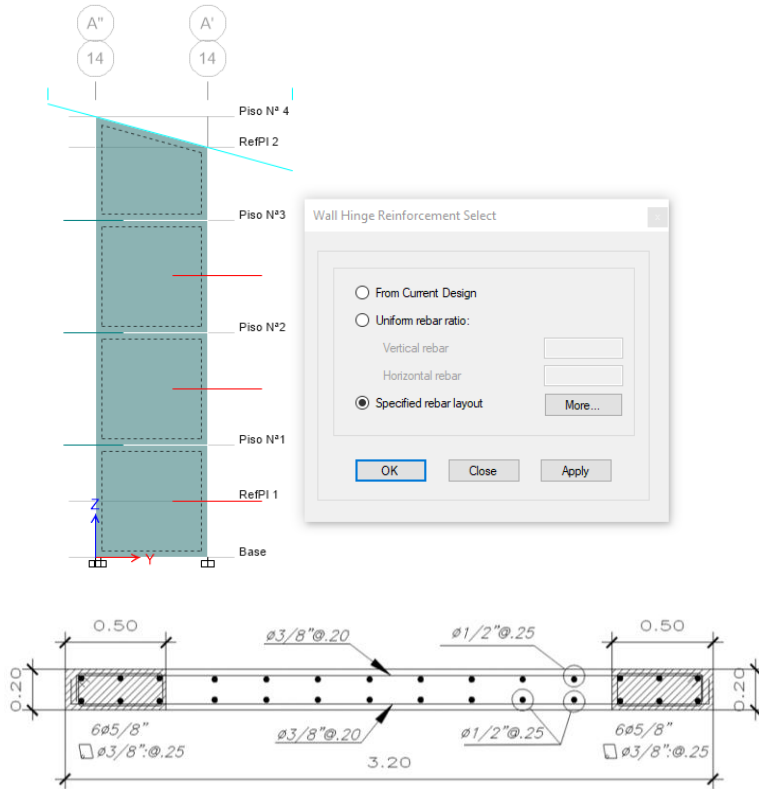


Figura 393.

Distribución de acero en la placa P-1, módulo VI

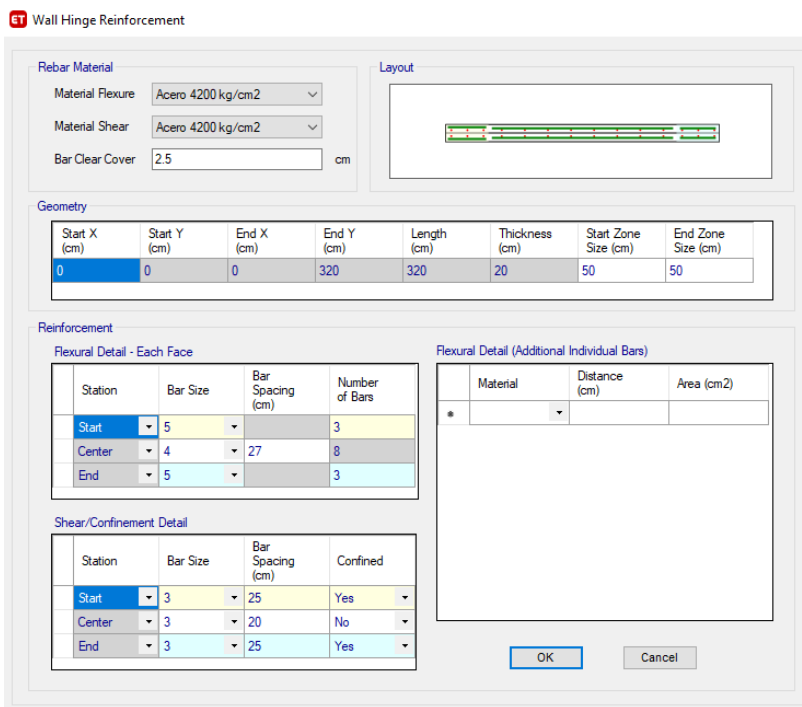


Figura 394.

Asignación de rótulas plásticas en las placas, módulo VI

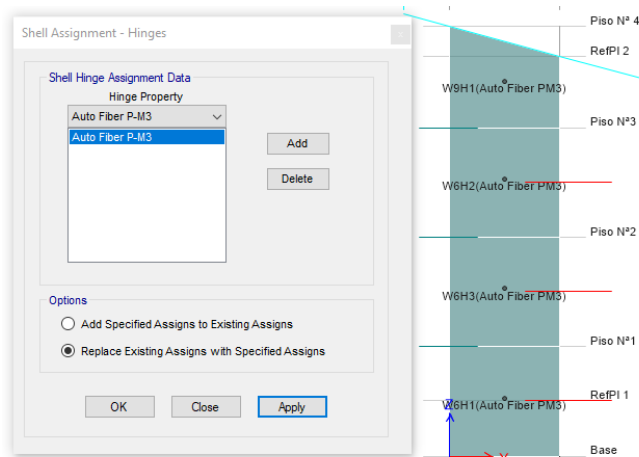


Figura 395.

Parámetros para la asignación de rótulas plásticas en las placas, módulo VI

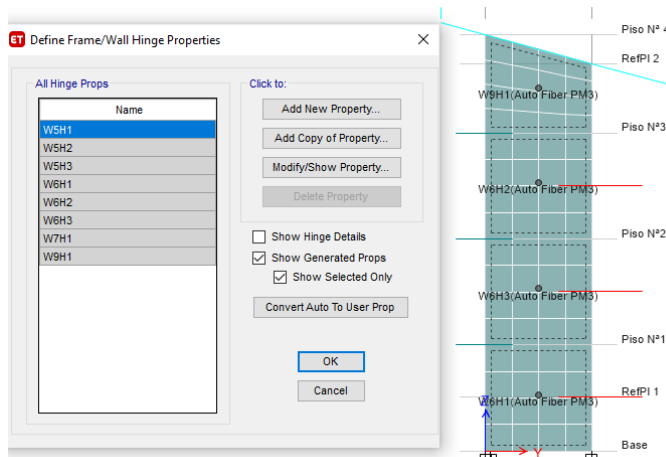
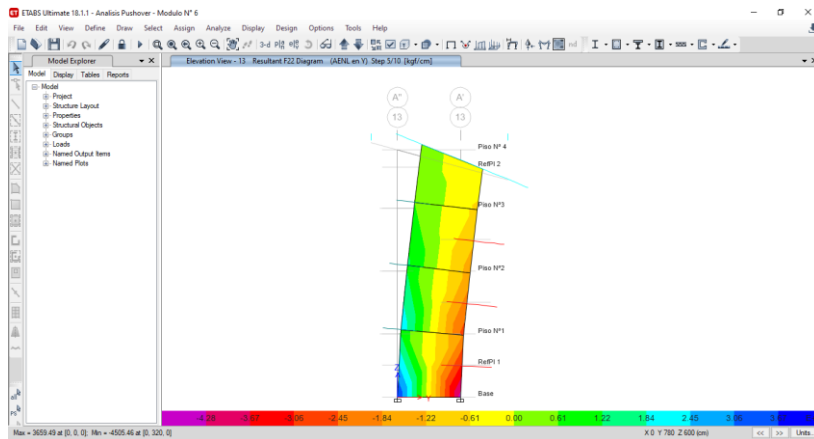


Figura 396.

Deformaciones en las placas, módulo VI



Una vez establecido los casos de carga no lineales con el patrón de fuerzas laterales se corre el modelo, para generar y visualizar la curva de capacidad en la dirección “X” o “Y”.

En la dirección X, la estructura alcanza su capacidad última cuando logra un desplazamiento de 15.17 cm y un cortante basal de 155.22 ton. Es decir, se detiene el análisis cuando se logra un desplazamiento máximo de 15.17 cm, se considera este el valor con el que la estructura en estudio, módulo IV, alcanza su capacidad máxima y colapsa. Así mismo, se muestra las rótulas plásticas de los elementos estructurales del módulo VI, realizado en el programa Etabs 2018 (Fig. 376).

Figura 397.

Curva de capacidad en dirección X, módulo VI

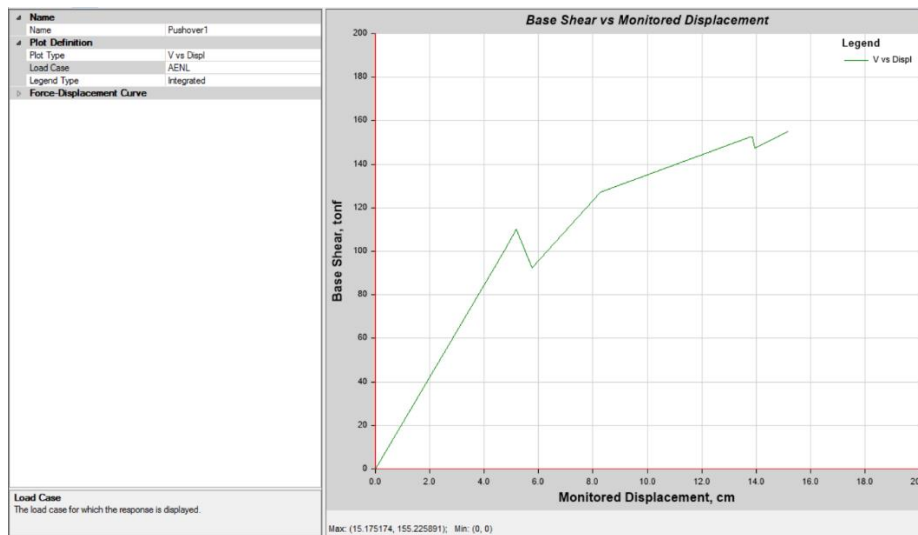


Figura 398.

9 – primeros step, en la dirección X, módulo VI

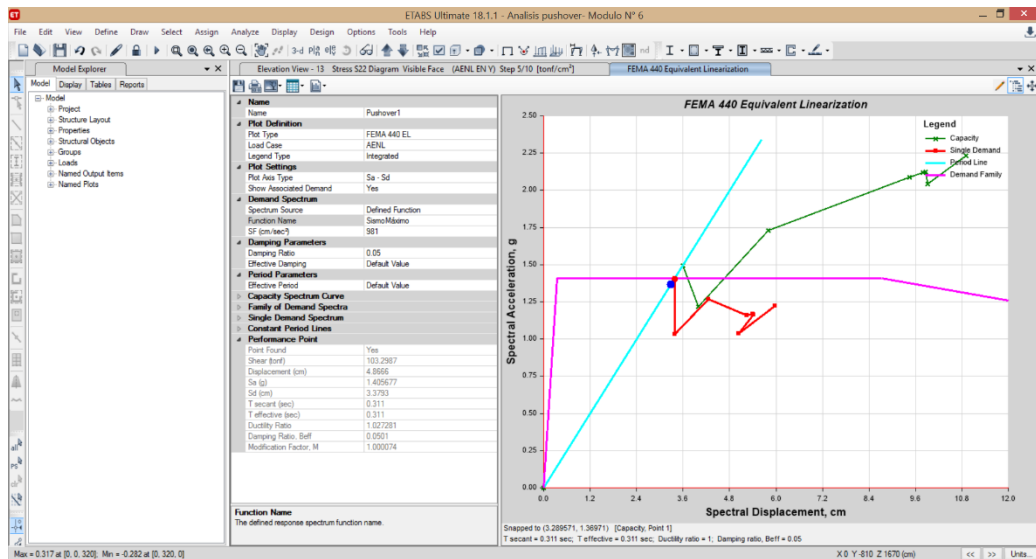
Setp	Monitored Displ cm	Base Force tont	A - B	B - C	C - D	D - E	>E	A - IO	IO - LS	LS - CP	>CP	Total
0	0	0	92	0	0	0	0	92	0	0	0	92
1	4.7357	100.5338	91	1	0	0	0	92	0	0	0	92
2	5.188	110.0858	90	2	0	0	0	92	0	0	0	92
3	5.7599	92.3049	90	2	0	0	0	92	0	0	0	92
4	8.2842	127.0261	88	4	0	0	0	92	0	0	0	92
5	13.3176	150.4062	87	5	0	0	0	92	0	0	0	92
6	13.7863	152.4576	87	5	0	0	0	92	0	0	0	92
7	13.8644	152.4156	87	5	0	0	0	92	0	0	0	92
8	13.9426	147.6302	87	5	0	0	0	92	0	0	0	92
9	15.1752	155.2259	87	5	0	0	0	92	0	0	0	92

El espectro de demanda en base al ATC 40, se ha definido para un sismo de servicio ($SS=0.5*SD$), sismo de diseño (SD) y sismo máximo ($SM=1.25*SD$).

Definida la curva de capacidad y el espectro de demanda, se ha podido determinar el punto de desempeño por el FEMA 440 y por el ATC 40. En este caso la estructura desestima los efectos del sismo de servicio y sismo de diseño por ello, solo se ha podido definir el punto de desempeño para un sismo máximo. En la dirección X, según el punto de desempeño para un sismo máximo, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 103.29 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 3.37 cm (Fig. 377).

Figura 399.

Punto de desempeño en la dirección X para un sismo máximo, módulo VI



En la dirección Y, la estructura alcanza su capacidad última cuando se alcanza un desplazamiento de 50.13 cm y una cortante basal de 133.36 ton. Es decir, se detiene el análisis cuando se logra un desplazamiento máximo de 50.13 cm, se considera este el valor con el que la estructura en estudio, módulo VI, alcanza su capacidad máxima y colapsa (Fig. 378). Así mismo, se muestra las rótulas plásticas de los elementos estructurales del módulo III, realizado en el programa Etabs 2018 (Fig. 379).

Figura 400.

Curva de capacidad de la estructura en dirección Y, módulo VI

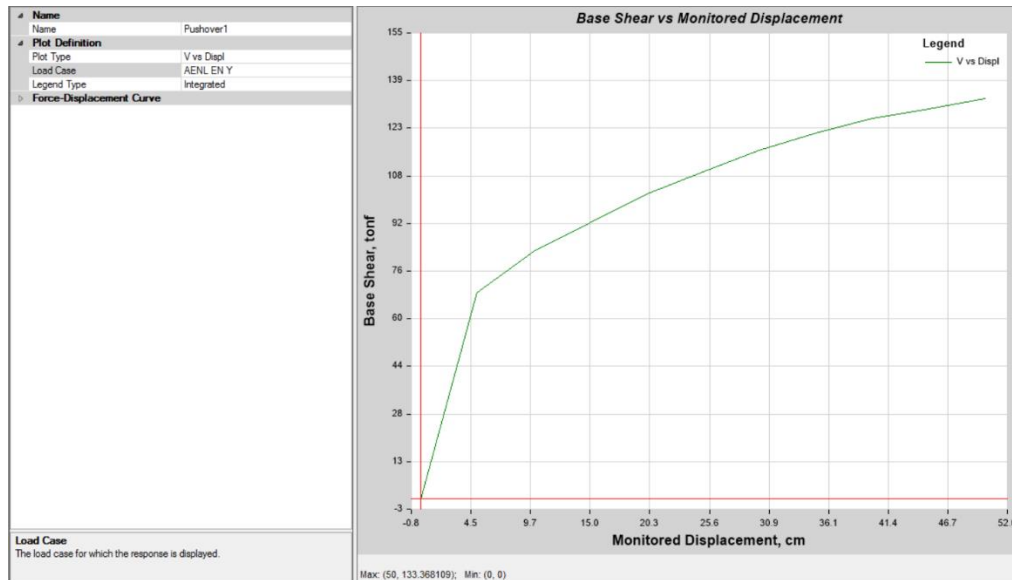


Figura 401.

Se observa (10 – primeros step), dirección Y, módulo VI

Setp	Monitored Displ cm	Base Force tont	A - B	B - C	C - D	D - E	>E	A - IO	IO - LS	LS - CP	>CP	Total
0	0	0	92	0	0	0	0	92	0	0	0	92
1	5	68.7632	90	2	0	0	0	92	0	0	0	92
2	10	82.3866	90	2	0	0	0	92	0	0	0	92
3	19.9951	101.3795	89	3	0	0	0	90	2	0	0	92
4	24.9951	109.0007	88	4	0	0	0	90	2	0	0	92
5	29.9951	116.0027	88	4	0	0	0	90	2	0	0	92
6	34.9951	121.7231	88	2	2	0	0	90	1	1	0	92
7	39.9951	126.5526	88	2	2	0	0	90	0	2	0	92
8	44.9951	129.9376	88	2	2	0	0	90	0	2	0	92
9	49.9951	133.3652	88	2	2	0	0	90	0	2	0	92
10	50	133.3681	88	2	2	0	0	90	0	2	0	92

En la dirección Y, según el punto de desempeño para un sismo por FEMA 440 AL, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura va a soportar una cortante de 73.20 ton, y desplazamiento espectral “Sd” de 4.73 cm (Fig. 380). Según el punto de desempeño para un sismo de diseño, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 73.64 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 4.84 cm (Fig. 381). Según el punto de desempeño para un sismo máximo, con un amortiguamiento inicial de 5%, la estructura soporta una cortante de 79.40 ton, con un desplazamiento espectral “Sd” de 6.36 cm (Fig. 382).

Figura 402.

Punto de desempeño en la dirección Y para un sismo definido por FEMA 440 A1, módulo VI

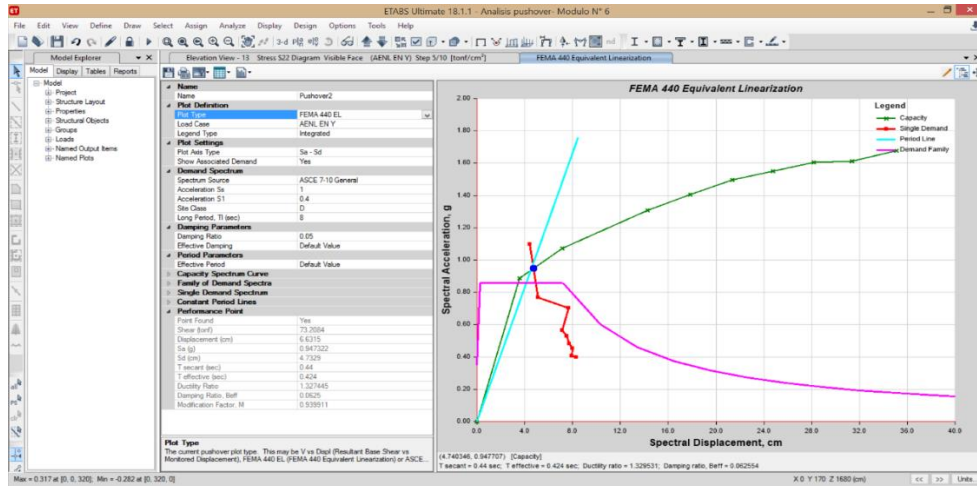


Figura 403.

Punto de desempeño en la dirección Y para un sismo de diseño, módulo VI

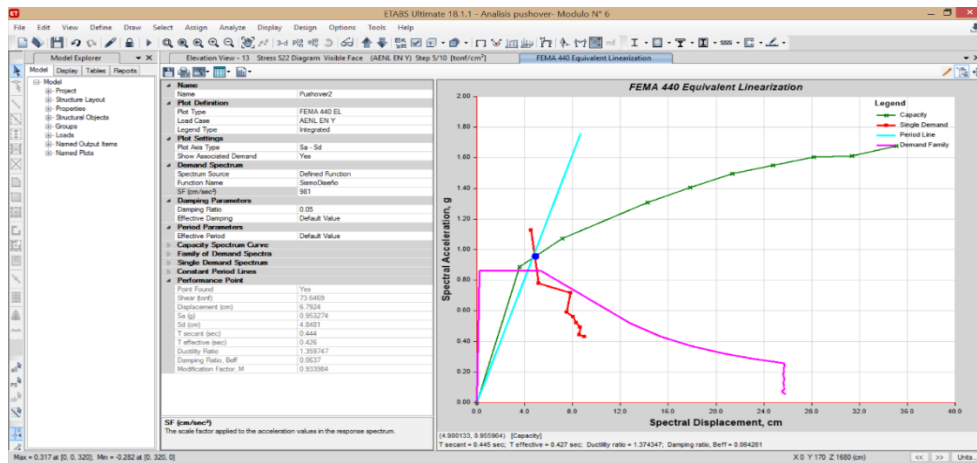
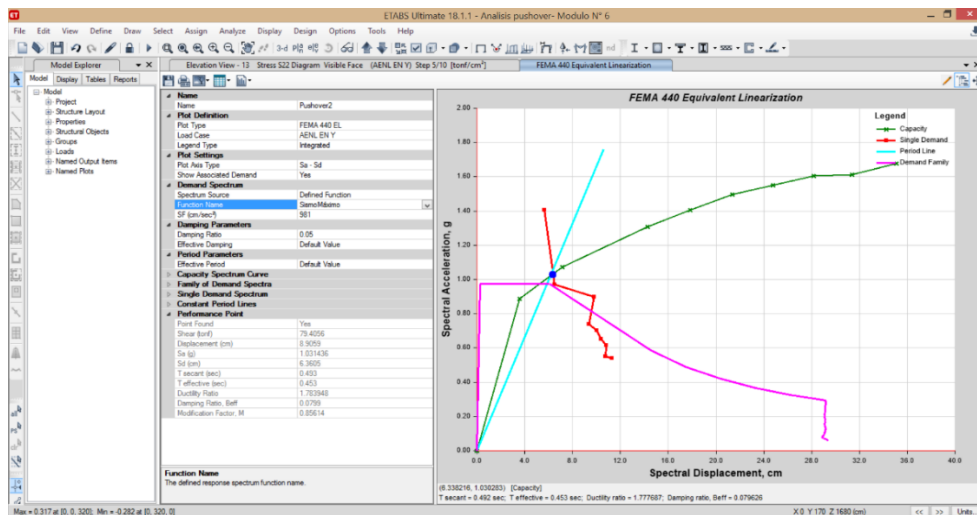


Figura 404.

Punto de desempeño en la dirección Y para un sismo máximo, módulo VI



6.5) Identificación de rótulas plásticas o primeros puntos de colapso frente a un evento sísmico, módulo VI

En la dirección X, las primeras rótulas plásticas se forman en el piso N° 4 en la viga B12, que se halla entre el eje A'-A' (primer step). En el quinto step se forman las primeras rótulas plásticas que se forman en la placa de la estructura en el piso N° 1, que se halla entre el eje 13-13.

Figura 405.

Primer step, eje X, módulo VI

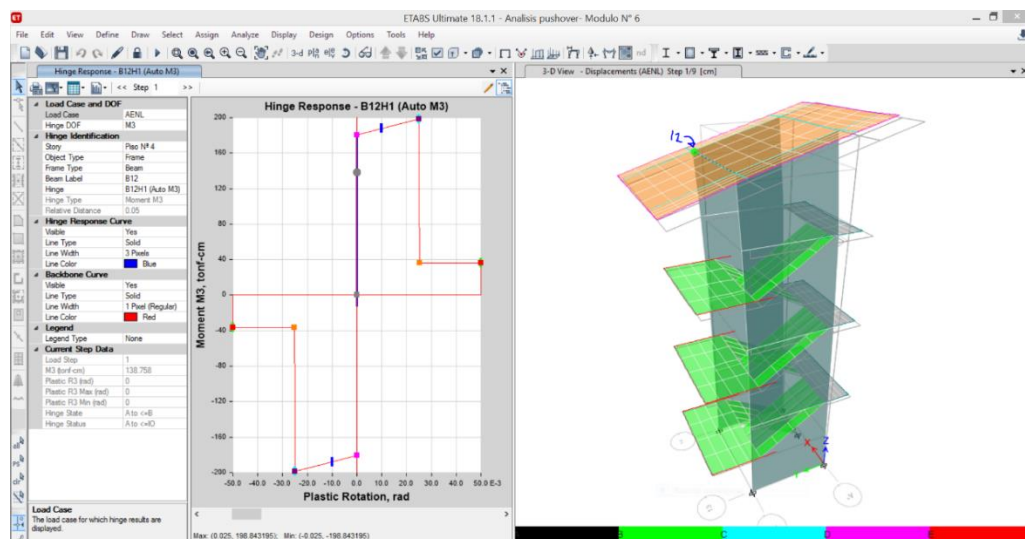


Figura 406. Segundo step, eje X, módulo VI

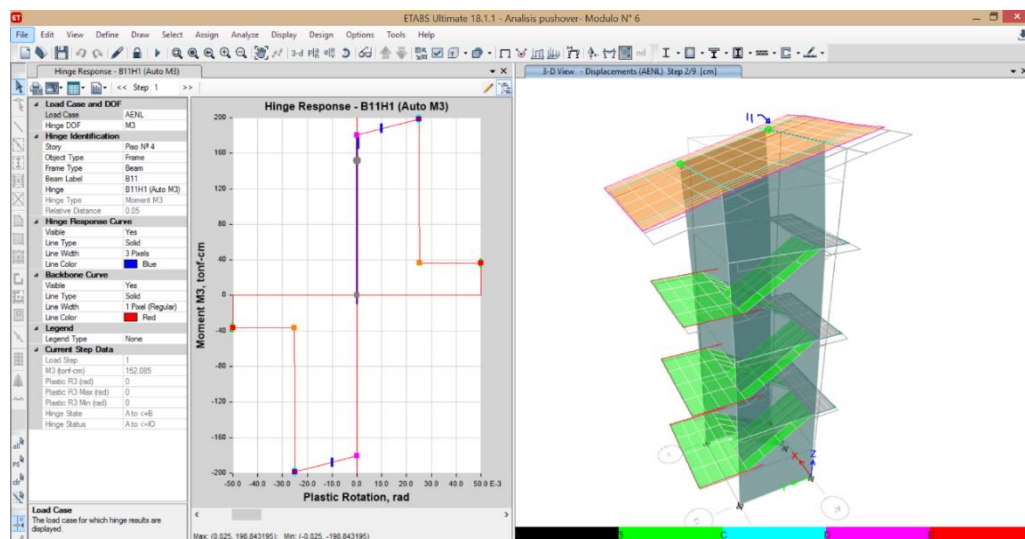


Figura 407.

Quinto step, eje X, módulo VI

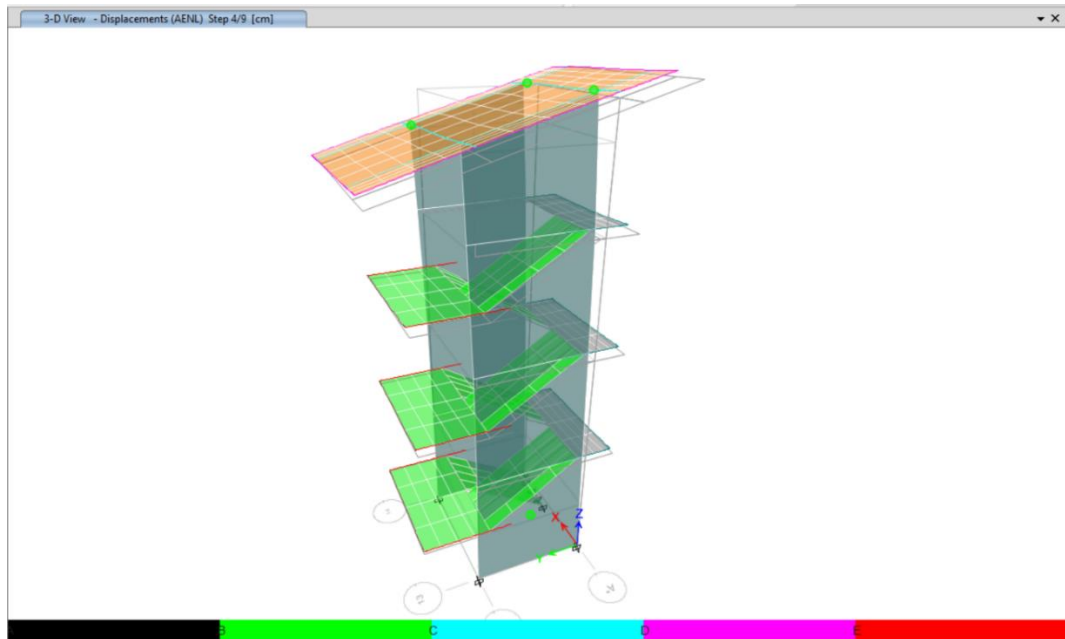
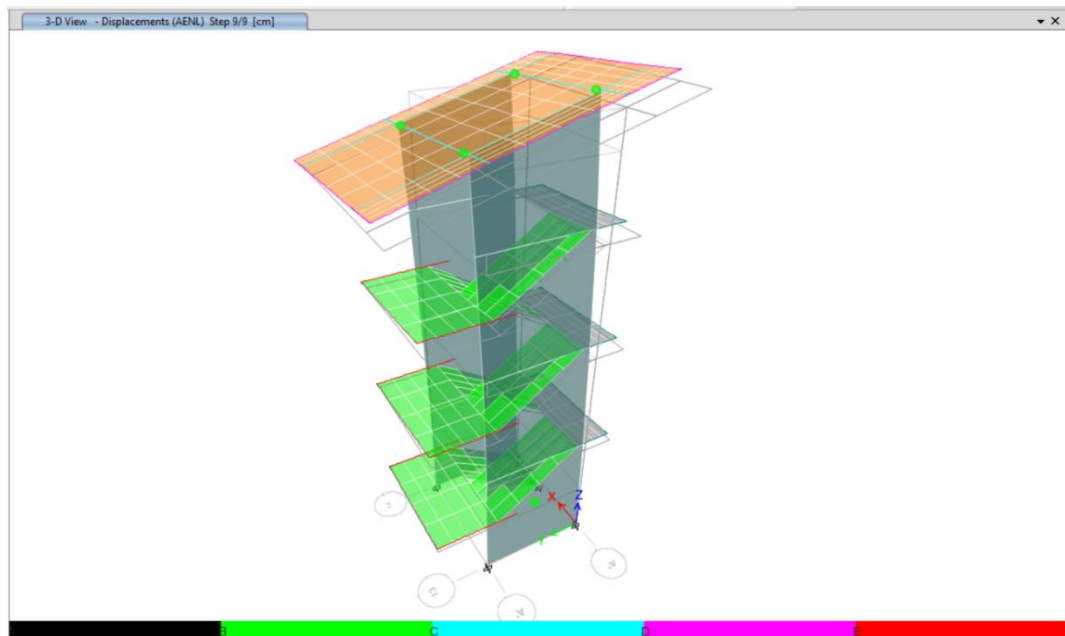


Figura 408.

Noveno step, eje X, módulo VI



En la dirección Y, las primeras rótulas plásticas que se forman en la estructura están en la placa en el primer piso, entre el eje 13-13 y 14-14 (primer step). La segunda rotula plástica que se forma en la estructura está en la placa que se halla

en el segundo piso, entre el eje 13-13 y 14-14 (tercer step). En el décimo step se pueden observar todas las rótulas plásticas que se forman en la estructura.

Figura 409.

Primer step, eje Y, módulo VI

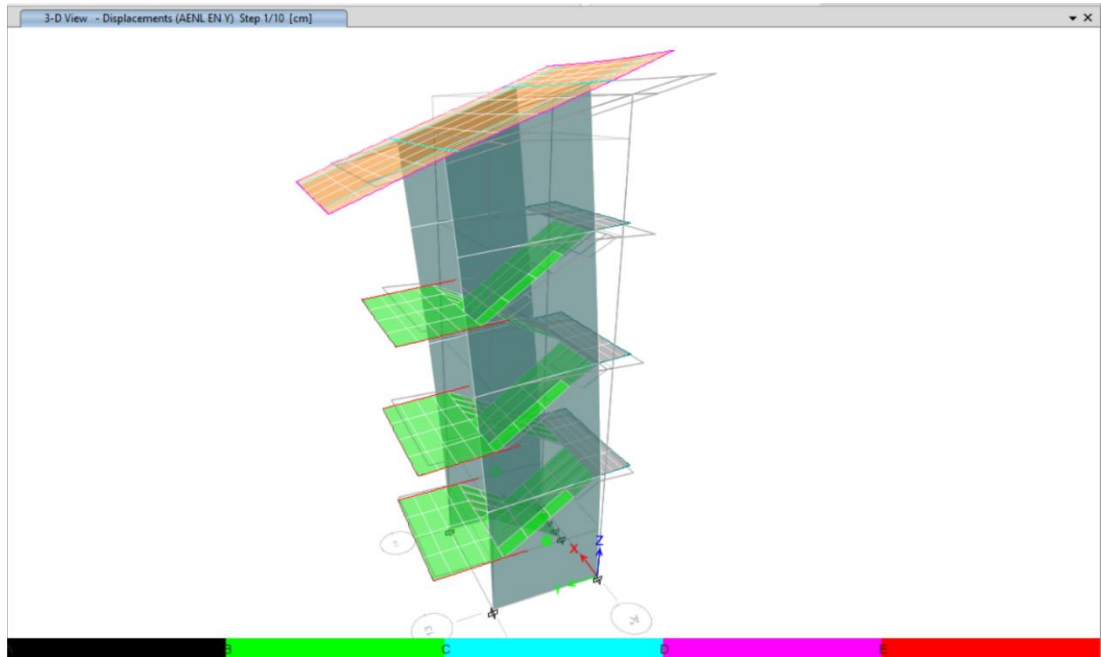


Figura 410.

Tercer step, eje Y, módulo VI

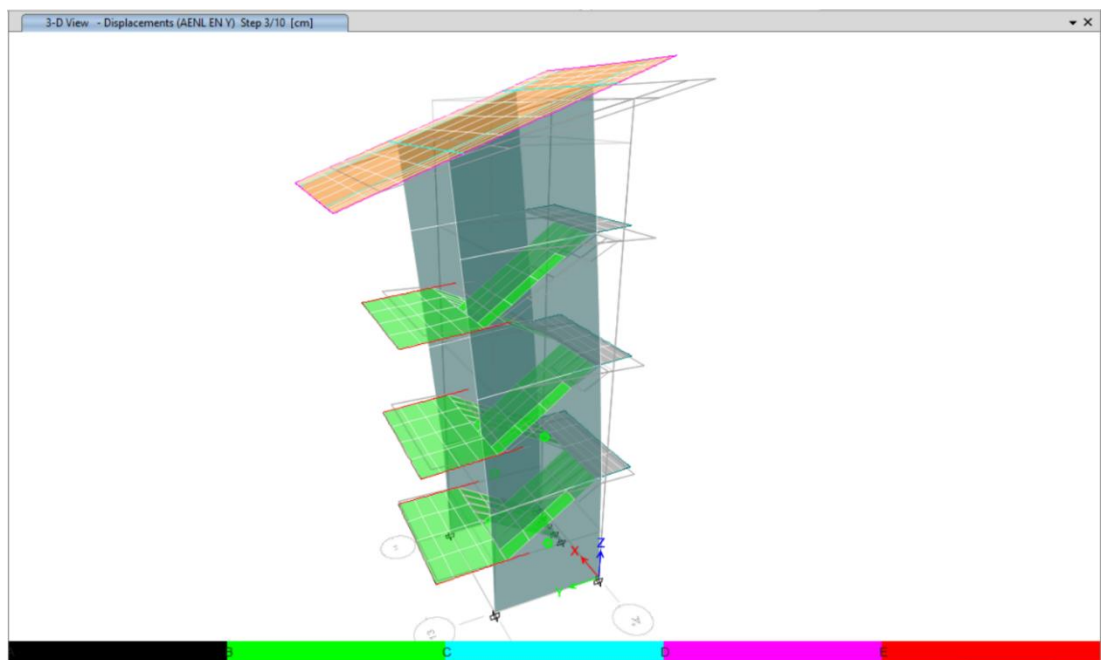


Figura 411.

Cuarto step, eje Y, módulo VI

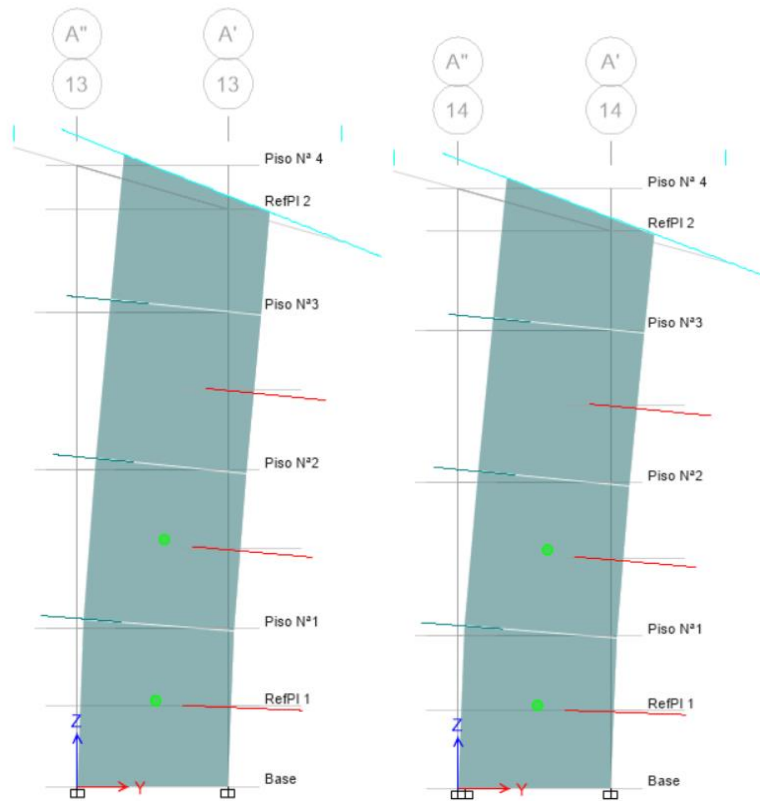
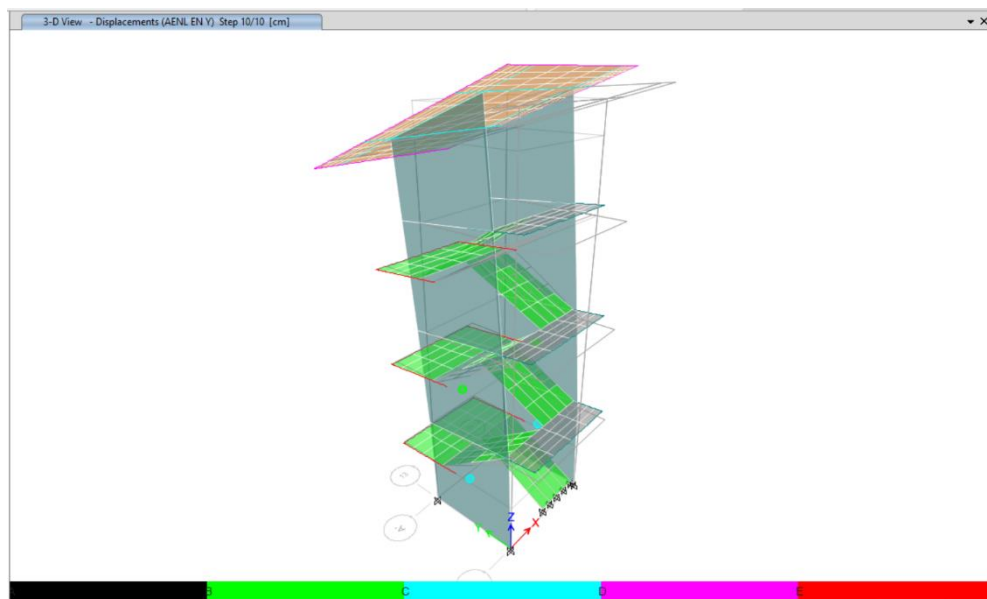


Figura 412.

Décimo step, eje Y, módulo VI



Anexo N° D. Estudio de mecánica de suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA



CONSTANCIA

El que suscribe Mg. Ing. Miguel Angel Silva Tarrillo, **JEFE DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Autónoma de Chota:

HACE CONSTAR

Que el bachiller: **ROBERTH FERNÁNDEZ IRIGOÍN**, ha presentado la tesis denominada: **“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE MEDIANTE EL MÉTODO NO LINEAL ESTÁTICO PUSHOVER DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA CHOTA”**, para la verificación de su contenido en el programa antiplagio Turnitin de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, indicando que la misma tiene un 19 % de similitud, estando dentro de los límites permitidos.

Sin otro particular.

Colpa Matara, 27 de abril del 2022.

Miguel Ángel SILVA TARRILLO
INGENIERO CIVIL
D.C. 9 127 762

Ing. Miguel Ángel Silva Tarrillo
Jefe de la unidad de investigación
FCI-UNACH