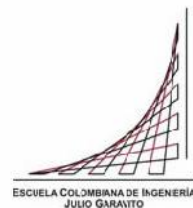


Maestría en Ingeniería Civil

**Evaluación teórica del coeficiente de disipación de energía en
pórticos de concreto reforzado con capacidad de disipación
moderada y especial según el Reglamento NSR-10**

Christian David Murillo Rivas

Bogotá, D.C., 05 de Mayo de 2017

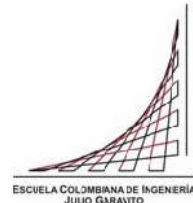


**Evaluación teórica del coeficiente de disipación de energía en
pórticos de concreto reforzado con capacidad de disipación
moderada y especial según el Reglamento NSR-10**

**Tesis para optar al título de magister en Ingeniería Civil, con
énfasis en Ingeniería Estructural**

Ingeniera Sandra Rocío Jerez Barbosa
Directora

Bogotá, D.C., 05 de Mayo de 2017



La tesis de maestría titulada “Evaluación teórica del coeficiente de disipación de energía en pórticos de concreto reforzado con capacidad de disipación moderada y especial según el Reglamento NSR10”, presentada por Christian David Murillo Rivas, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Estructuras.

Director de la tesis

Sandra Rocío Jeréz Barbosa I.C, M.Sc., Ph.D.

Jurado

Luis Enrique Aycardi I.C., M.Sc.

Jurado

Pedro Nel Quiroga I.C., M.Sc., Ph.D.

Bogotá, D.C., 05 de Mayo de 2017

Dedicatoria

A mi esposa e hijas, por su valioso tiempo que me concedieron para cumplir este objetivo.

A mis padres, por su ejemplo.

Resumen

El método general de diseño de acuerdo con el NSR-10, es un método basado en fuerzas que obtiene las fuerzas internas para diseño de un análisis elástico. Para representar el comportamiento inelástico que realmente presentan las estructuras bajo el sismo de diseño, se utiliza el coeficiente de disipación de energía "R" que depende básicamente del sistema estructural, del grado de disipación de energía y de las irregularidades y es único para toda la estructura. Este coeficiente permite diseñar los elementos con unas fuerzas reducidas y se espera que los efectos de los movimientos de diseño a través de deformaciones inelásticas en zonas suficientemente preparadas y detalladas con este fin.

Con el objetivo de determinar cuál es el coeficiente de disipación de energía de pórticos de concreto reforzado analizados bajo el NSR-10, se diseñaron un total de 24 edificaciones acuerdo con el mismo reglamento. Se consideraron edificaciones de 5 y 7 pisos de altura; 5 y 7m de luz para grados de disipación especial (DES) y moderado (DMO) en dos zonas de amenaza sísmica, intermedia y alta. Adicionalmente se estudiaron derivas del 1 y 1.5%.

Con los resultados de dicho diseño se realizó un análisis inelástico sobre los pórticos representativos de cada edificación por medio del método del espectro de capacidad, de acuerdo con lo especificado en el ATC-40 y FEMA 440, teniendo en cuenta los límites de rotación en vigas y columnas para determinar el grado de disipación considerando el desplazamiento de la estructura bajo el sismo de diseño.

Finalmente se realizan las comparaciones entre los coeficientes de disipación que permite asumir el NSR-10 y los determinados mediante el análisis inelástico, así como también los cortantes de diseño, derivas y mecanismo de falla.

Índice General

Introducción	12
Objetivos.....	14
Capítulo I	15
1. Marco Teórico	15
1.1. Diseño Estructural de Edificaciones en el NSR-10	15
1.1.1. Solicitaciones.....	15
1.1.2. Combinaciones de carga.	16
1.1.3. Diseño sísmico.	17
1.1.3.1. Amenaza sísmica.	17
1.1.3.2. Coeficiente de importancia.	18
1.1.3.3. Espectro de diseño.....	18
1.1.3.4. Derivas.	19
1.1.3.5. Daño estructural asociado al nivel de desempeño.....	21
1.1.4. Diseño por capacidad en pórticos de concreto.....	23
1.1.4.1. Columnas.	23
1.1.4.2. Vigas.	25
1.2. Análisis Inelástico del Concreto Reforzado.....	26
1.2.1. Modelo del acero de refuerzo.....	26
1.2.1.1. Modelo de Park y Paulay.	27
1.2.1.2. Modelo de Mander, 1988.....	28
1.2.2. Modelo del concreto reforzado.....	28
1.2.2.1. Modelo de Kent & Park.....	29
1.2.2.2. Modelo de Park et al.....	30
1.2.2.3. Modelo de Mander et al.....	31
1.2.3. Diagrama momento-curvatura.....	34
1.2.4. Ductilidad.....	36
1.2.5. Parámetros de análisis plástico.....	36
1.2.5.1. Rótula plástica.....	36
1.2.5.2. Longitud de plastificación.	37
1.2.5.3. Mecanismo de colapso.....	38
1.2.5.4. Efectos P-Delta.	39
1.3. Análisis Inelástico de Edificaciones	39
1.3.1. Capacidad.....	39
1.3.1.1. Pushover o curva de capacidad.....	40
1.3.2. Demanda.	41
1.3.3. Desempeño estructural.....	41
1.3.3.1. Niveles de amenaza.	42
1.3.3.2. Niveles de desempeño y criterios de aceptación.....	43
1.3.4. Procedimientos de análisis inelásticos simplificados.....	45
1.3.4.1. Método espectro-capacidad (linealización equivalente).....	45
1.3.4.2. Método del coeficiente de desplazamientos.	49
1.4. Progreso del Coeficiente de Capacidad de Disipación de Energía, R.....	50
1.4.1. SEAOC's Blue Book, 1959.....	51
1.4.2. ATC 3-06, 1978.....	52
1.4.3. SEAOC Blue Book, 1988.	53
1.4.4. ATC-19, 1995.	54
1.4.5. UBC, 1990 y 1997.....	55

1.5. Valores del R y γ en pórticos de concreto reforzado.....	55
1.6. Cálculo del coeficiente de capacidad de disipación de energía, R	57
1.6.1. Newmark & Hall, 1973.....	58
1.6.2. Krawmark & Hall, 1973.....	60
1.6.3. Miranda y Bertero, 1994.....	61
1.6.4. NEHRP 2003 y 2009.....	62
1.6.5. A partir del punto de desempeño.....	63
Capítulo II	65
2. Metodología	65
2.1. Generalidades.....	65
2.2. Alcance del análisis.....	69
2.3. Propiedades de los materiales	70
2.3.1. Concreto.....	70
2.3.2. Acero de refuerzo.....	70
2.3.3. Recubrimientos.....	70
2.4. Cargas	70
2.4.1. Cargas gravitacionales.....	70
2.4.1.1. Cargas muertas.....	71
2.4.1.2. Cargas vivas.....	73
2.4.2. Parámetros sísmicos.....	73
2.5. Análisis Estructural.....	74
2.5.1. Inercia secciones de pórticos.....	74
2.5.2. Análisis sísmico.....	75
2.5.3. Coeficientes de disipación de energía.....	75
2.5.4. Periodos fundamentales.....	75
2.5.5. Participación de masa.....	76
2.5.6. Cortantes basales y ajustes de resultados.....	77
2.5.7. Derivas.....	77
2.6. Diseño de Pórticos Según NSR-10.....	78
2.6.1. Secciones de pórticos.....	78
2.6.2. Diseño de vigas.....	79
2.6.2.1. Requisitos DES.....	79
2.6.2.2. Requisitos DMO.....	80
2.6.3. Diseño de columnas.....	82
2.6.3.1. Requisitos DES.....	82
2.6.3.2. Requisitos DMO.....	83
2.7. Diseño Inelástico.....	85
2.7.1. Parámetros de los materiales.....	85
2.7.1.1. Propiedades del acero.....	85
2.7.1.2. Propiedades del concreto en columnas.....	86
2.7.1.3. Propiedades del concreto en vigas.....	87
2.7.2. Diagramas momento – curvatura.....	88
2.7.2.1. Columnas.....	88
2.7.2.2. Vigas.....	89
2.7.3. Rótulas plásticas.....	89
2.7.3.1. Columnas.....	89
2.7.3.2. Vigas.....	91
2.7.4. Cargas permanentes.....	92
2.7.5. Perfil de cargas horizontales y desplazamiento objetivo.....	92

2.7.6. Parámetros de los pórticos planos	92
Capítulo III	94
3. Resultados y Contribución	94
3.1. Diseño elástico	94
3.2. Comportamiento inelástico	97
3.2.1. Mecanismos de falla	97
3.2.2. Límites de rotación.....	99
3.2.3. Curvas de capacidad	101
3.2.4. Puntos de comportamiento	102
3.3. Evaluación del coeficiente de disipación de energía “R”	107
3.3.1. R en función del grado de disipación	107
3.3.2. R en función de la deriva	109
3.3.3. R en función del número de pisos.....	110
3.3.4. R en función de la luz de los vanos.....	111
3.3.5. R en función del periodo	112
3.4. Cortantes de diseño	113
3.5. Derivas bajo sismo de diseño.....	115
Conclusiones	117
Bibliografía.....	120
Anexos	122

Índice de Tablas

Tabla 1. Nivel de amenaza sísmica según valores de A_a y A_v , (NSR-10).....	18
Tabla 2. Límites de deriva (NSR-10).....	20
Tabla 3. Límites de deriva (ATC-40)	21
Tabla 4. Descripción del daño según la deriva (ATC-40)	22
Tabla 5. Criterios de aceptación para rótulas de vigas de concreto reforzado controladas por flexión, ATC-40.....	44
Tabla 6. Criterios de aceptación para rótulas de columnas de concreto reforzado controladas por flexión, ATC-40.....	44
Tabla 7. Valores de K en “SEAOC Blue Book”, 1959.....	52
Tabla 8. Primera aparición histórica del R en un código, ATC 3-06 (ATC, 1978)	53
Tabla 9. Valores de R, pórticos de concreto, código Indio (IS 1893).....	56
Tabla 10. Valores de R, Eurocódigo (EC8)	56
Tabla 11. Valores de R, ASCE 7.....	56
Tabla 12. Comparación factor de modificación de respuesta en Japón y México.....	57
Tabla 13. Valores del coeficiente R en diferentes lugares del mundo, (Priestley et al, 2007)	57
Tabla 15. Nomenclatura modelos estructurales	66
Tabla 16. Cargas muertas totales	72
Tabla 17. Periodos fundamentales.....	76
Tabla 18. Porcentajes de participación de masa.....	76
Tabla 19. Cortantes basales bajo el NSR-10	77
Tabla 20. Derivas bajo el NSR-10.....	78
Tabla 21. Secciones de pórticos	79
Tabla 22. Resumen de refuerzo en vigas disipación DES.....	80
Tabla 23. Resumen de refuerzo en vigas disipación DMO	81
Tabla 24. Resumen de refuerzo en columnas disipación DES.....	83
Tabla 25. Resumen de refuerzo en columnas disipación DMO	84
Tabla 26. Parámetros concreto confinado en columnas.....	86
Tabla 27. Parámetros concreto confinado en vigas	87
Tabla 28. Parámetros rótulas plásticas en columnas	90
Tabla 29. Parámetros rótulas plásticas en vigas.....	91
Tabla 30. Parámetros rótulas plásticas en columnas	93
Tabla 31. Parámetros rótulas plásticas en columnas	93
Tabla 32. Valores de R – Modelos DES.....	107
Tabla 33. Valores de R – Modelos DMO	108

Índice de Figuras

Figura 1. Espectro elástico de aceleraciones de diseño, (NSR-10).....	19
Figura 2. Mecanismos de plastificación en edificios de pórticos, (Paulay T., 1996).....	23
Figura 3. Cortantes de diseño para columnas, (NSR-10).....	25
Figura 4. Cortantes de diseño para vigas, (NSR-10).....	26
Figura 5. Curva esfuerzo vs. deformación idealizada, (Park R., 1983).....	27
Figura 6. Relaciones esfuerzo-deformación del concreto y tipos de confinamiento, (Yepez, 1996).....	29
Figura 7. Curva esfuerzo-deformación del concreto, Kent y Park, (Park R., 1983).....	29
Figura 8. Curva esfuerzo-deformación del concreto, Kent y Park modificado, (Park R., 1982).....	30
Figura 9. Curva esfuerzo-deformación concreto confinado y no confinado, (Mander, 1988).....	31
Figura 10. Esfuerzo de confinamiento y acción de arco (Priestley, 1996).....	32
Figura 11. Confinamiento efectivo secciones rectangulares, (Mander, 1988).....	32
Figura 12. Nomograma para determinar la resistencia del concreto confinado en secciones rectangulares, (Mander, 1988).....	33
Figura 13. Deformaciones y tensiones en una sección sometida a flexocompresión.	34
Figura 14. Relación momento-curvatura típica y curva bilineal.	35
Figura 15. Determinación del momento plástico.	37
Figura 16. Longitud de plastificación, (Dalmau et al., 2003).....	38
Figura 17. Ejemplos de mecanismos de colapso, (Rus, 2008).....	38
Figura 18. Curva de capacidad, (ATC-40).....	40
Figura 19. Parámetros de modelamiento fuerza-deformación para un componente estructural, (ATC-40).....	45
Figura 20. Determinación del máximo desplazamiento usando MADRS (FEMA-440).....	48
Figura 21. Influencia del periodo en la reducción de fuerza por ductilidad, (Paulay T., 1991).....	58
Figura 22. Relación entre ductilidad y R. Principio de iguales desplazamientos. Para estructuras de periodo largo, (Paulay T., 1991).....	58
Figura 23. Relación entre ductilidad y R. Principio de iguales energías. Para estructuras de periodo corto, (Paulay T., 1991).....	59
Figura 24. Curva de deformación inelástica y cálculo del R, (FEMA, 2009).....	62
Figura 25. Determinación del máximo desplazamiento usando MADRS (FEMA-440).....	64
Figura 26. Modelo 5 pisos, luz 5m (5P-5L).....	67
Figura 27. Modelo 5 pisos, luz 7m (5P-7L).....	68
Figura 28. Modelo 7 pisos, luz 5m (7P-5L).....	68
Figura 29. Modelo 7 pisos, luz 7m (7P-7L).....	69
Figura 30. Placa piso típico.....	71
Figura 31. Placa cubierta.....	72
Figura 33. Modelo del acero de refuerzo.....	85
Figura 34. Curva típica concreto confinado columnas – Modelo Mander.....	86
Figura 35.	87
Figura 36. Momento-curvatura columnas - modelo Mander.....	88
Figura 37. Momento-curvatura vigas modelo Mander.....	89
Figura 38. Aceleraciones de diseño análisis elástico.....	94
Figura 39. Refuerzo a cortante en columnas.....	95
Figura 40. Refuerzo a cortante en vigas.....	96

Figura 41. Separación refuerzo a cortante en vigas.....	96
Figura 42. Mecanismo de falla en punto de comportamiento DES-ZA-D1-7P-7L.....	97
Figura 43. Mecanismo de falla en punto de comportamiento DMO-ZI-D1-7P-7L.....	98
Figura 44. Modo de falla pórtico DES-ZA-D1.5-7P-5L.....	99
Figura 45. Límites de rotaciones en vigas respecto a rotación de fluencia.....	100
Figura 46. Curvas de capacidad pórticos DES-Amenaza Alta.....	101
Figura 47. Curvas de capacidad pórticos DMO-Amenaza Intermedia.....	102
Figura 48. Puntos de comportamiento modelos DES-ZA-D1.0.....	103
Figura 49. Puntos de comportamiento modelos DES-ZA-D1.5.....	104
Figura 50. Puntos de comportamiento modelos DMO-ZI-D1.0.....	105
Figura 51. Puntos de comportamiento modelos DMO-ZI-D1.5.....	106
Figura 52. Valor de R – Modelos DES.....	108
Figura 53. Valor de R – Modelos DMO.....	109
Figura 54. Valor de R versus deriva.....	110
Figura 55. Valor de R en función del número de pisos.....	110
Figura 56. Valor de R en función de la luz.....	111
Figura 57. Valor de R en función del periodo.....	112
Figura 58. Comparación de cortantes de diseño análisis elástico e inelástico.....	113
Figura 59. Comparación de cortantes de diseño análisis elástico e inelástico modelos DES.....	114
Figura 60. Comparación de cortantes de diseño análisis elástico e inelástico modelos DMO.....	114
Figura 61. Comparación de derivas análisis elástico e inelástico límite 1.0%.....	115
Figura 62. Comparación de derivas análisis elástico e inelástico límite 1.5%.....	116

Introducción

Los métodos de diseño actuales basados en fuerzas, como el especificado en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, en adelante NSR-10, consideran la estructura elástica (rigidez constante) para el cálculo de desplazamientos y para el diseño aplican factores de reducción que llevan a la estructura a tener un comportamiento inelástico (rigidez variable). Sin embargo, rara vez se conocen los desplazamientos inelásticos que sufre la estructura bajo la demanda sísmica esperada después de realizar el diseño bajo los lineamientos del Reglamento, ya que el método asume que los desplazamientos inelásticos del sistema son iguales a los del modelo elástico (principio de los desplazamientos iguales).

En el análisis sísmico basado en fuerzas, entre más exigente es el límite de deriva, se requiere mayor rigidez para controlar las deformaciones de la estructura y por lo tanto fuerzas más grandes, obtenidas a partir del espectro de aceleraciones, se aplican a la estructura. El diseño para acciones sísmicas se realiza teniendo en cuenta el coeficiente de disipación de energía “R” el cual depende básicamente, en el Reglamento actual, tanto del material como del sistema estructural. Sin embargo, al final del diseño no es común, como debiera hacerse, comprobar cuál es la capacidad de disipación que la estructura diseñada está en capacidad de asumir.

Los límites de los desplazamientos en las estructuras, van enfocados esencialmente a proteger la vida y el patrimonio. En ese sentido, el Reglamento NSR-10 especifica dentro de su objeto (Capítulo A.1.2.2) que una edificación diseñada bajo sus requisitos, “debe ser capaz de resistir, además de las fuerzas que le impone su uso, temblores de poca intensidad sin daño, temblores moderados sin daño estructural, pero posiblemente con algún daño a los elementos no estructurales y un temblor fuerte con daños a elementos estructurales y no estructurales pero sin colapso.”

El NSR-10 involucra claramente dos niveles de amenaza, el primero es el correspondiente al “sismo fuerte” el cual está definido para una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años y es el sismo de diseño; el segundo corresponde al sismo del umbral de daño, definido para una probabilidad de excedencia del 80% en 50 años y que aplica, como criterio adicional al sismo de diseño, para las edificaciones de grupos de uso III y IV,

edificaciones de atención a la comunidad y edificaciones indispensables. Implícitamente, el nivel de desempeño está definido en función de fuerzas, al utilizar mayores solicitaciones sísmicas mediante el uso del coeficiente de importancia, pero en cuanto a control de daños el límite de deriva sigue siendo el 1% para el sismo de diseño (estado límite último), y cumpliendo con ésta se espera, como se mencionó anteriormente, lograr un nivel de desempeño entre control de daños y seguridad de la vida, pero sin manera de comprobar después del diseño si la edificación, al entrar en el rango inelástico, cumple alguno de los mencionados niveles de comportamiento.

En estudios para la evaluación del coeficiente de disipación de energía para pórticos de acero se ha observado que bajo las derivas del 1% del Reglamento Colombiano, los valores del coeficiente de disipación de energía obtenidos mediante métodos de plastificación progresiva son muy inferiores ($R=1.0$ a 3.5) a los fijados por el Reglamento ($R=7$) (Valencia, 2008).

En cuanto a pórticos de concreto reforzado, se ha observado que para una deriva del 2% los valores del coeficiente de disipación obtenidos por medio de análisis no lineales ($R=4.5$), son menores que los del respectivo código comparado ($R=5$ para zona sísmica alta, si se compara con el NSR se debería hacer con un valor de 7 pero para una deriva del 1%) para un nivel de desempeño de control de daños. Sin embargo, cuando los límites de derivas son ampliados, considerando un nivel de desempeño de seguridad de la vida los valores del coeficiente de disipación de energía obtenidos ($R=5.5$ a 8.5 para límites de deriva del orden del 2%) son mayores que los especificados en el código comparado ($R=5$), lo cual estaría del lado de la seguridad (Mondal, 2013).

Por lo anterior se propone evaluar el comportamiento inelástico de pórticos en concreto reforzado para dos niveles de disipación de energía, especial (DES) o moderada (DMO) y en dos zonas de amenaza sísmica, alta e intermedia, diseñados bajo el NSR-10 y comparar los coeficientes de disipación determinados mediante análisis inelásticos y el especificado en el NSR-10.

Objetivos

Objetivo General

Estimar el coeficiente de disipación de energía de pórticos en concreto reforzado para diferentes configuraciones, en zonas de amenaza sísmica intermedia y alta de acuerdo con el NSR-10, para grados de disipación especial (DES) y moderado (DMO) en zonas de amenaza alta e intermedia con el fin de compararlo con los factores de disipación de energía especificados en el mismo Reglamento.

Objetivos Específicos

- Realizar el análisis y diseño de edificaciones representativas de un sistema de pórtico en concreto reforzado, de acuerdo con lo especificado en el NSR-10, para grados de disipación especial (DES) y moderado (DMO) en zonas de amenaza sísmica alta e intermedia y para derivas de 1% y 1.5%, con dos alturas y dos luces diferentes
- Estimar el coeficiente de disipación de energía de cada uno de los pórticos mediante un análisis estático no lineal y compararlo con el de diseño, establecido en el NSR-10 para las zonas sísmicas consideradas.
- Determinar el cortante basal para el punto de comportamiento de los pórticos versus el calculado de acuerdo con el NSR-10.
- Determinar el desplazamiento de los pórticos bajo el sismo de diseño mediante el método de espectro de capacidad de acuerdo con el ATC-40 y FEMA 440.
- Verificar las derivas de los pórticos en el punto de comportamiento con el límite de deriva para el cual fue diseñado.
- Revisar el nivel de ductilidad de los miembros estructurales, el comportamiento de las rótulas y determinar el mecanismo de falla de cada pórtico.

Capítulo I

1. Marco Teórico

1.1. Diseño Estructural de Edificaciones en el NSR-10

En Colombia, el diseño estructural de edificaciones se realiza mediante el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente de 2010, el cual tiene como normas y documentos base, entre otros, la SEAOC 1999, NEHRP 2006, IBC-2009, Eurocódigo-8, Norma AIS 100-09, ASCE-SEI 7-05, IBC-2009, ACI-318-08, AISC-2010. En el Reglamento se tiene como filosofía general permitir que el diseño de las edificaciones se haga cumpliendo unos requisitos mínimos de resistencia y funcionamiento.

1.1.1. Solicitaciones.

El Título B del NSR-10 está basado en los documentos ASCE/SEI 7-05, IBC-2009, ACI-IPS-1 y AIS 100-09 y en él se especifican los tipos de carga sobre las edificaciones, valores mínimos de cargas y sus combinaciones.

La clasificación de cargas en el Reglamento está hecha en función de su temporalidad, por lo que se especifican cargas permanentes (varían muy poco su valor en el tiempo) y variables.

Los diferentes tipos de cargas consideradas en el Título B del Reglamento son:

- D = carga muerta.
- E = fuerza sísmica reducida de diseño.
- Ed = fuerza sísmica del umbral de daño.
- F = carga de fluidos.
- Fa = carga por inundaciones.
- Fs = fuerza sísmica sin reducir.
- G = carga de granizo.
- L = carga viva.
- Le = carga de empozamiento de agua.

- L_r = carga viva de cubierta.
- H = empuje lateral del suelo, agua o materiales con restricción horizontal.
- T = fuerzas de temperatura.
- W = carga de viento.

1.1.2. Combinaciones de carga.

Las combinaciones de carga especificadas en el NSR-10 son aplicables a los tipos de materiales que están permitidos por el mismo: Concreto, acero, aluminio, mampostería, madera y guadua. Se permiten dos métodos para el diseño estructural.

El primero, es el diseño por el método de la resistencia, en el cual se utilizan factores de mayoración para las cargas, los cuales reflejan la probabilidad de falla estructural especificada en el Reglamento y para ello se deben utilizar con los factores de reducción de resistencia con el fin de estudiar cada estado límite. Las combinaciones básicas especificadas en el Reglamento son:

- $1.4 D + 1.2 (D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$
- $1.2D + 1.6(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e) + (L \text{ ó } 0.8W)$
- $1.2D + 1.0W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$
- $1.2D + 1.0E + 1.0L$
- $0.9D + 1.0W + 1.6H$
- $0.9D + 1.0E + 1.6H$

El segundo, es el diseño por el método de los esfuerzos de trabajo en el cual, las cargas aplicadas no se mayoran y deben ser menores que la resistencia del material afectado por un factor de seguridad. Las combinaciones básicas especificadas en el Reglamento son:

- $D + F$
- $D + H + F + L + T$
- $D + H + F + (L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$
- $D + H + F + 0.75(L + T) + 0.75(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$

- $D+H+F+W$
- $D+H+F+0.7E$
- $D+H+F+0.75W+0.75L+0.75(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$
- $D+H+F+0.75(0.7E)+0.75L+0.75(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$
- $0.6D+W+H$
- $0.6D+0.7E+H$

1.1.3. Diseño sísmico.

El NSR-10 en el Título A, especifica dos métodos para el diseño sísmico: La Fuerza Horizontal equivalente y el Análisis Dinámico (modal espectral elástico y dinámico cronológico). Alternativamente, en el Apéndice A-3 se deja abierta la posibilidad de realizar un análisis estático no lineal de plastificación progresiva.

La filosofía de diseño que predomina actualmente es el **diseño basado en fuerzas**, el cual tiene como eje fundamental el espectro de aceleraciones, donde las fuerzas laterales aplicadas a la estructura se basan en propiedades elásticas de la misma pero asumiendo un comportamiento inelástico mediante la utilización del coeficiente de capacidad de disipación de energía “R”. Los desplazamientos sísmicos, obtenidos a partir de fuerzas, se convierten en uno de los objetivos principales para el diseño dado que no deben ser excedidos de los valores especificados en el Reglamento. Finalmente se diseñan los elementos estructurales basados en las fuerzas reducidas de diseño y el diseño por capacidad para garantizar algunos comportamientos deseados en la estructura.

1.1.3.1. Amenaza sísmica.

En Colombia están definidas 3 zonas de amenaza sísmica: Alta, Intermedia y Baja. Para cada municipio del territorio colombiano está definida su zona de amenaza sísmica y sus correspondientes parámetros de aceleraciones A_a y A_v . Igualmente, en algunas ciudades existen estudios de microzonificación, los cuales tienen mayor relevancia que la clasificación general del país en cuanto a parámetros de aceleración en el suelo.

Tabla 1. Nivel de amenaza sísmica según valores de A_a y A_v , (Tabla tomada del Reglamento NSR-10)

Mayor valor entre A_a y A_v	Asociado en mapas de las figuras A.2.3-2 y A.2.3-3 a Región N°	Amenaza Sísmica
0.50	10	Alta
0.45	9	Alta
0.40	8	Alta
0.35	7	Alta
0.30	6	Alta
0.25	5	Alta
0.20	4	Intermedia
0.15	3	Intermedia
0.10	2	Baja
0.05	1	Baja

1.1.3.2. Coeficiente de importancia.

En el NSR-10 están definidos 4 tipos de edificaciones, los cuales tienen asociados coeficientes de importancia (I) diferentes.

- Grupo I: Estructuras de ocupación normal, $I=1.00$
- Grupo II: Estructuras de ocupación especial, $I=1.10$
- Grupo III: Edificaciones de atención a la comunidad, $I=1.25$
- Grupo IV: Edificaciones indispensables, $I=1.50$

1.1.3.3. Espectro de diseño

En el NSR-10, están definidos los espectros de aceleraciones, velocidades y desplazamientos. Normalmente, el espectro de aceleraciones es el más utilizado y consiste en un espectro elástico, donde las aceleraciones " S_a " se expresan como una fracción de la gravedad, para un coeficiente de amortiguamiento crítico del 5%.

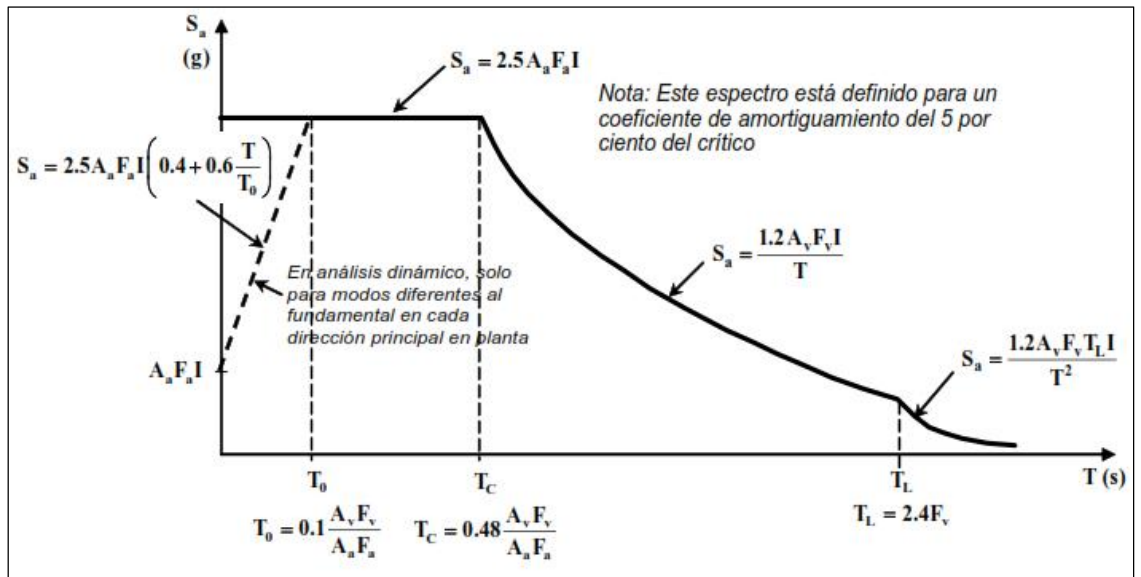


Figura 1. Espectro elástico de aceleraciones de diseño, (NSR-10)

1.1.3.4. Derivas.

El Capítulo A.6.1.3 del NSR-10 aclara la necesidad de controlar la deriva, dado que “.....está asociada a los siguientes efectos durante un temblor”:

- Deformación inelástica de los elementos estructurales y no estructurales.
- Estabilidad global de la estructura.
- Daño a los elementos estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica y a los elementos no estructurales, tales como muros divisorios, particiones, enchapes, acabados, instalaciones eléctricas y mecánicas, entre otros.
- Alarma y pánico entre las personas que ocupen la edificación.

Y termina especificando que: “Por las razones anteriores es fundamental llevar a cabo durante el diseño un estricto cumplimiento de los requisitos de deriva dados en el presente Capítulo, con el fin de garantizar el cumplimiento del propósito del Reglamento y un adecuado comportamiento de la estructura y su contenido.”

Los límites de deriva para los pórticos de concreto se especifican en la Tabla A.6.4-1 del NSR-10:

Tabla 2. Límites de deriva (NSR-10)

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

Dicho límite puede modificarse de acuerdo con:

- Numeral A.6.4.1.1: “Cuando se utilicen secciones fisuradas, tanto en concreto reforzado,....., las derivas pueden multiplicarse por 0.7 antes de hacer la comparación con los límites dados en la tabla A.6.4-1.
- Numeral A.6.4.1.2: “Cuando se haya efectuado un análisis inelástico verificando el desempeño de la totalidad de los elementos estructurales en un rango de desempeño no mayor a Protección de la Vida (LS según los requerimientos del ASCE-31 y ASCE-41), las derivas pueden multiplicarse por 0.7 antes de hacer la comparación con los límites dados en la tabla A.6.4.1”.

El ATC-40 especifica claramente los límites de deriva de acuerdo con el nivel de desempeño (donde el límite de estabilidad estructura se toma como prevención del colapso, CP, de acuerdo con otros estándares equivalentes como el FEMA 356) y lo asocia con el daño estructural y observaciones sobre pruebas de laboratorio y campo:

Tabla 3. Límites de deriva (ATC-40)

Límite de deriva para cada nivel de desempeño			
Ocupación inmediata (IO)	Control Daños	Seguridad de Vidas (LS)	Estabilidad Estructural (CP)
0.01	0.01-0.02	0.02	0.33Vi/Pi

Los anteriores límites “...están basados en el criterio del equipo del proyecto” y los justifican de la siguiente manera dentro del documento:

- IO: El límite de 0.01 está basado en daños observados en pruebas de laboratorio en estructuras aperticadas bien detalladas, teniendo en cuenta que los límites están basados en sólo la estructura y que límites adicionales pueden ser requeridos para proteger componentes no estructurales.
- LS: El límite de 0.02 es recomendado porque la experiencia significativa con respuestas a niveles de altas deformaciones es deficiente. Pruebas de laboratorio en sistemas estructurales relativamente completos raramente se extienden más allá de esos niveles de deformación. Adicionalmente, la mayoría de las pruebas se han hecho en estructuras que satisfacen los requerimientos normativos actuales. Las medidas de respuesta de edificios sujetos a sismos reales tampoco se extienden más allá de estos límites.
- CP: El límite es similar a lo especificado en las provisiones del NEHRP. Este límite no es muy restrictivo, por lo que podría ser inaceptable y límites inferiores pueden ser apropiados en muchos casos.

1.1.3.5. Daño estructural asociado al nivel de desempeño

Los diseños mediante el NSR-10 tienen como objetivos principales proteger la vida, el patrimonio y controlar el daño en las edificaciones. En cuanto a esto último se especifica en A.1.2.2.1 que “Una edificación diseñada siguiendo los requisitos de este Reglamento, debe ser capaz de resistir, además de las fuerzas que le impone su uso, temblores de poca intensidad

sin daño, temblores moderados sin daño estructura, pero posiblemente con algún daño a los elementos no estructurales y un temblor fuerte con daños a elementos estructurales y no estructurales pero sin colapso.”

No obstante lo anterior, no hay una descripción cualitativa del término daño, el cual también es una de las razones para los límites de deriva especificados en el Reglamento.

El ATC-40 brinda una descripción del daño para elementos y componentes en pórticos no dúctiles de concreto y lo asocia claramente con cada nivel de desempeño:

Tabla 4. Descripción del daño según la deriva (ATC-40)

Elementos	Variable	Ocupación Inmediata (IO)	Damage Control	Life Safety (LS)	Structural Stability (CP)
Columnas	Desprendimiento concreto	No se presenta.	Poco o nada.	Sobre y debajo de los nudos viga-columna.	Significante, sobre y debajo de los nudos viga-columna. Concreto en el núcleo pulverizado.
	Fisuras	Por flexión. Muy limitadas.	Por flexión y cortante. Limitadas.	Se forman en la parte inferior del edificio.	Se forman en la parte inferior del edificio.
	Desplazamientos horizontales		No se presentan.	Alrededor del 2.0% de deriva.	Alrededor del 3.5% de deriva.
	Capacidad cargas gravitacionales		Se mantiene.	Se mantiene.	Se mantiene a través de toda la estructura.
Vigas	Desprendimiento concreto	Muy limitado. Alrededor del nudo viga-columna.	Limitado. Alrededor del nudo viga-columna.	Alrededor del nudo viga-columna y de la articulación.	Excesivo. Alrededor del nudo viga-columna y de la articulación.
	Fisuras	Por flexión. Muy limitadas. En región de articulación.	Por flexión. Limitadas. En región de articulación.	Por flexión y cortante. En región de articulación, progresando al nudo viga-columna.	Por flexión y cortante. Excesivas. En región de articulación, progresando al nudo viga-columna.
	Deflexión	No son permanentes.	No son permanentes.	Permanentes (verticales) aprox. L/175.	Permanentes (verticales) aprox. L/75.
	Capacidad cargas gravit.	Se mantiene.	Se mantiene.	Se mantiene.	Se mantiene.
	Flajes	-	-	Elongación de los flajes alrededor del nudo.	Rotura.
No estructurales	Rompimiento vidrios	No se presenta.	Muy limitado. En vidrios exteriores.	Águeros. Faltan en pisos con los mayores desplazamientos.	La mayoría. Faltan en pisos con los mayores desplazamientos. Vidrios en otros pisos.
	Puertas interiores/exteriores	Operativas.	Operativas.	La mayoría de exteriores operativas. Águeros interiores averiadas y fuera de	Averiadas y fuera de operación.
	Cielo suspendido	Daño muy limitado.	Daño limitado.	Águeros colapsados.	La mayoría colapsados.
	Luminaria	Daño muy limitado. Sin colapso.	Daño limitado.	Dañadas.	La mayoría colapsadas.
	Mobiliario	Algunos muy pocos volcamientos.	Volcamientos aislados.	Muchos volcamientos.	No caen.
	Particiones internas y acabado fosc escaleras	Fisuras muy limitadas.	Fisuras limitadas.	Excesivamente fisurados. Algunos muros derribados.	Excesivamente fisurados. Muros parcialmente derribados.
	Ascensores y utilidades Penthouse	Operativos.	Operativos.	No operativos.	No operativos.
	Daños muy limitados.	Daños limitados.	Excesivamente dañados.	Parcialmente colapsadas.	

1.1.4. Diseño por capacidad en pórticos de concreto.

En el Capítulo C.21 del NSR-10, se definen entre otros requisitos, aquellos que buscan controlar la respuesta inelástica de la estructura mediante los mecanismos de rótulas plásticas. Dicho comportamiento se puede lograr realizando un adecuado diseño por capacidad, que busca además, una capacidad de los elementos de absorber grandes deformaciones previo a la falla, la cual se busca que sea de flexión y no de cortante, véase la Figura 2.

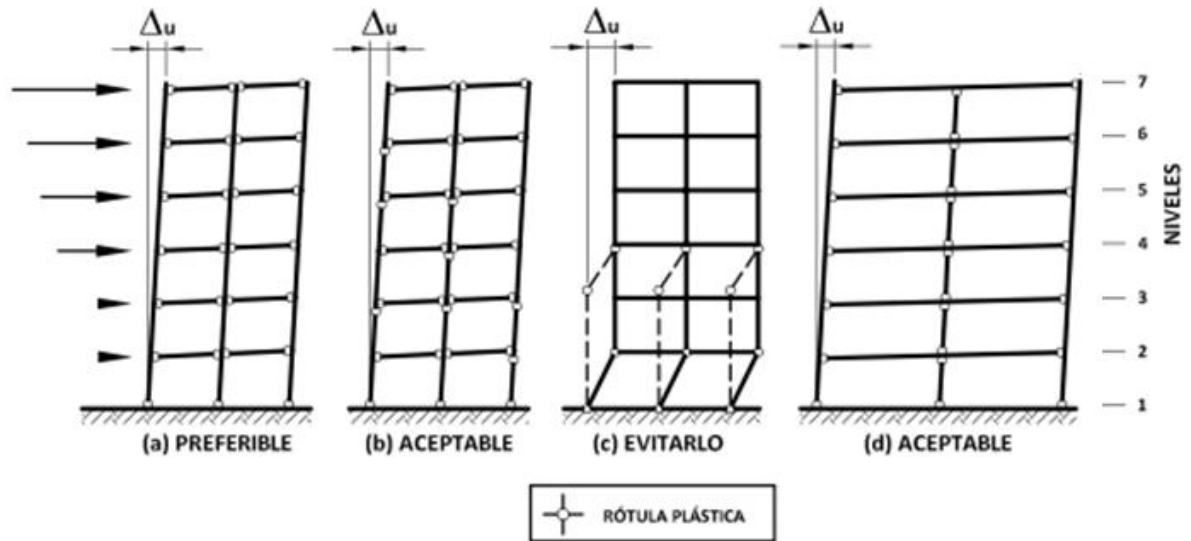


Figura 2. Mecanismos de plastificación en edificios de pórticos, (Paulay T., 1996)

1.1.4.1. Columnas.

El objetivo principal del diseño de columnas es garantizar un comportamiento columna fuerte-viga débil para evitar algún mecanismo de falla indeseable en la plastificación de la edificación, como por ejemplo la fluencia de todas las columnas de un mismo piso. Por lo tanto, en Capítulo C.21 del NSR-10, especifica en los numerales C.21.3.6.2 y C.21.6.2.2, para columnas DMO y DES respectivamente, lo siguiente:

$$\sum M_n \geq 1.2 \sum M_n \quad (\text{Ec.1-1})$$

En donde:

ΣM_n = Suma de todos los momentos nominales de flexión de las columnas que llegan al nudo, evaluados en las caras del nudo. La resistencia a la flexión de la columna debe calcularse para la fuerza axial mayorada, congruente con la dirección de las fuerzas laterales consideradas, que conduzca a la resistencia a la flexión más baja.

ΣM_n = Suma de todos los momentos resistentes nominales a flexión de las vigas que llegan al nudo, evaluados en las caras del nudo.

Las resistencias a la flexión deben sumarse de tal manera que los momentos de la columna se opongan a los momentos de la viga. Debe satisfacerse la ecuación (C.21-4) para momentos de vigas que actúen en ambas direcciones en el plano vertical del pórtico que se considera.

Además del mecanismo columna fuerte-viga débil descrito anteriormente, se tienen otras consideraciones importantes en el diseño por capacidad de las columnas, como son:

- El detallado de zonas de confinamiento, limitando la separación máxima de estribos, recomendando una longitud mínima de la zona de confinamiento y la cantidad de refuerzo transversal. Todo lo anterior con el fin de limitar fallas locales del refuerzo por pandeo y permitir grandes capacidades de absorción de energía mediante grandes deformaciones.
- La resistencia a cortante para columnas DMO se basa en la capacidad para desarrollar los momentos nominales M_n en los extremos del elemento, mientras que para columnas DES, la resistencia está basada en la capacidad para desarrollar las resistencias a flexión probables M_{pr} a partir de cargas estáticas.
- La resistencia a cortante del concreto V_c no se tiene en cuenta cuando las fuerzas cortantes debidas únicamente a las cargas

sísmicas son mayores al 50% de la resistencia a cortante requerida en las zonas de confinamiento y cuando simultáneamente la fuerza axial de compresión mayorada (incluyendo el efecto sísmico) es menor que $A_g f'_c / 20$

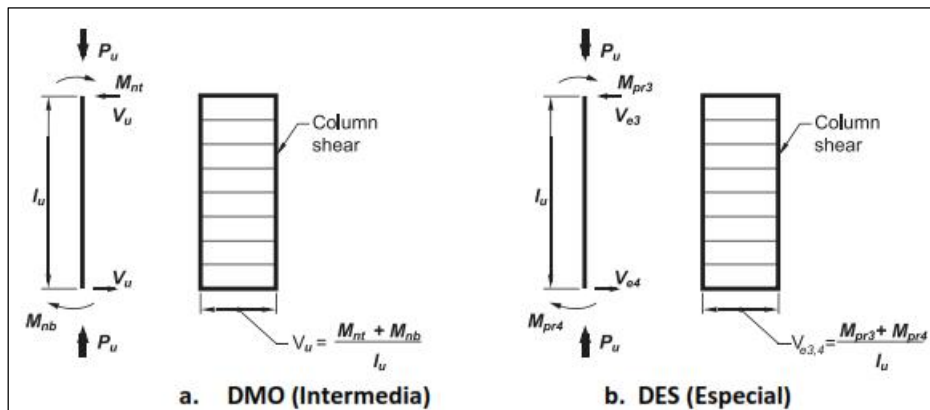


Figura 3. Cortantes de diseño para columnas, (NSR-10)

1.1.4.2. Vigas.

El objetivo principal del diseño sísmico de vigas es garantizar su falla por flexión antes que por cortante, para lo cual especifica su resistencia a cortante de una manera similar a lo usado para columnas:

- La resistencia a cortante para vigas DMO se basa en la capacidad para desarrollar los momentos nominales M_n en los extremos del elemento, mientras que para vigas DES, la resistencia está basada en la capacidad para desarrollar las resistencias a flexión probables M_{pr} a partir de cargas estáticas.

Al igual que en columnas, la resistencia a cortante del concreto V_c no se tiene en cuenta cuando las fuerzas cortantes debidas únicamente a las cargas sísmicas son mayores al 50% de la resistencia a cortante requerida en las zonas de confinamiento y cuando simultáneamente la fuerza axial de compresión mayorada (incluyendo el efecto sísmico) es menor que $A_g f'_c / 20$.

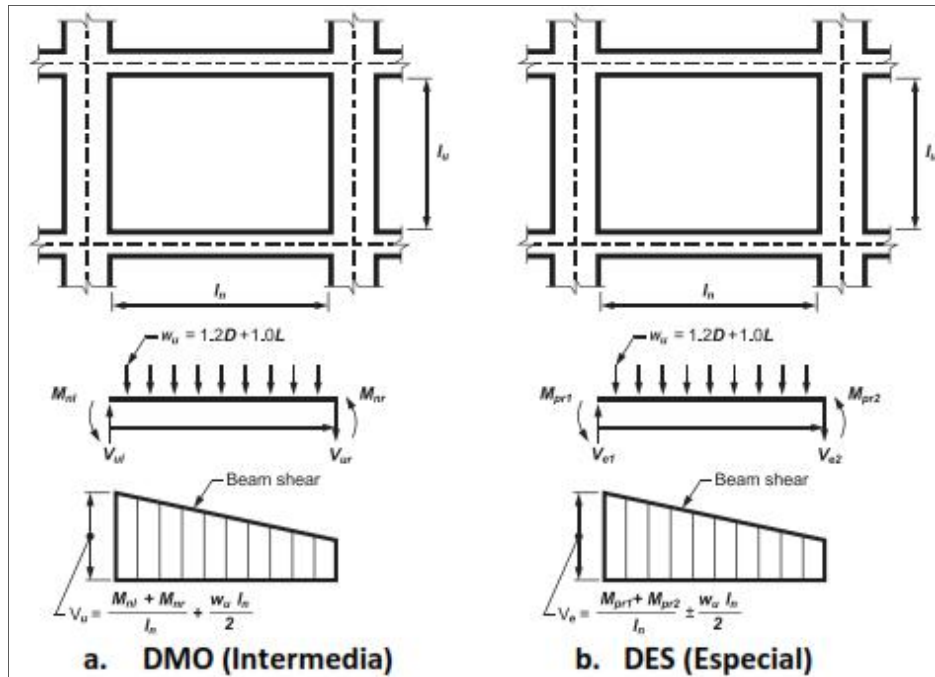


Figura 4. Cortantes de diseño para vigas, (NSR-10)

1.2. Análisis Inelástico del Concreto Reforzado

El concreto reforzado, al estar constituido por dos materiales de diferentes características, tiene un comportamiento especial ante deformaciones más allá del límite elástico, por lo cual se han planteado varias metodologías para su análisis inelástico.

1.2.1. Modelo del acero de refuerzo.

En general, para el acero de refuerzo pasivo se utilizan aquellos con límites de fluencia de $f_y=240$ MPa y 420 MPa. Al ensayar una barra a tensión, se tiene una primera parte elástica, donde los esfuerzos son proporcionales a las deformaciones hasta alcanzar el punto de fluencia. Posterior a ello, aumentan las deformaciones en la barra sin soportar mayores esfuerzos hasta que comienza el fenómeno de endurecimiento por deformación donde aumentan tanto las deformaciones como los esfuerzos. En la última parte de la curva, se observa el

aumento de las deformaciones y la disminución de esfuerzos hasta que ocurre la fractura del elemento.

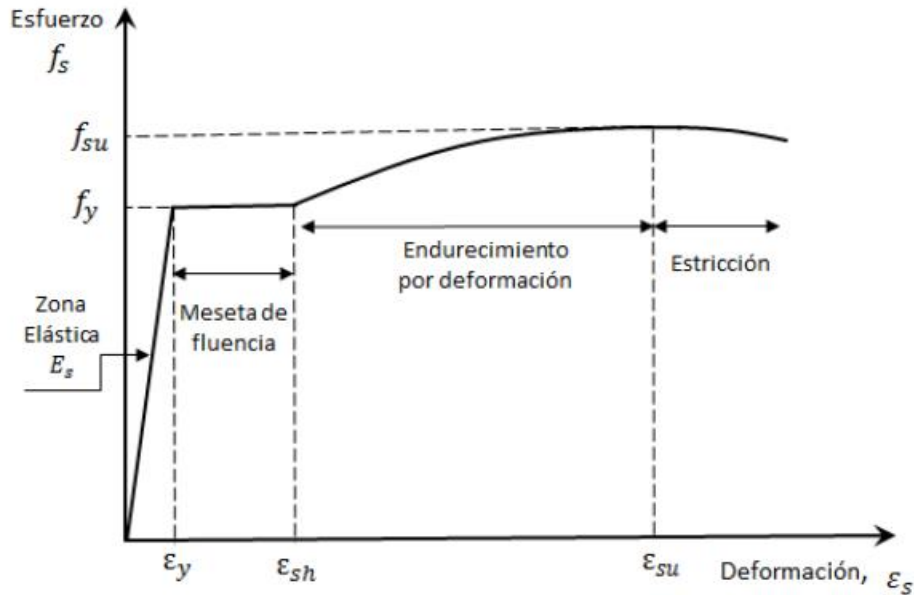


Figura 5. Curva esfuerzo vs. deformación idealizada, (Park R., 1983)

El módulo de elasticidad se obtiene de la parte elástica de la curva esfuerzo vs. deformación y su valor, para acero de refuerzo no preesforzado, puede tomarse como $E_s=200.000$ MPa.

1.2.1.1. Modelo de Park y Paulay (1996).

Este modelo simplifica el comportamiento del acero en tres zonas (Figura 5):

- Zona elástica: $0 \leq \epsilon_s \leq \epsilon_y$, donde $f_s = \epsilon_s E_s$ (Ec.1-2)
- Meseta de fluencia: $\epsilon_y < \epsilon_s \leq \epsilon_{sh}$, donde $f_s = f_y$ (Ec.1-2a)
- Endurecimiento por deformación: $\epsilon_{sh} < \epsilon_s \leq \epsilon_s$, donde

$$f_s = \left[\frac{m+2}{6} \frac{u}{u+2} + \frac{(6-m)u}{2(3+r+1)^2} \right] f_y \quad (\text{Ec.1-2b})$$

Los parámetros m, r y u se obtienen directamente de ensayos o en ausencia de ellos mediante las siguientes expresiones:

$$m = \frac{\frac{f_s}{f_y} (3+r+1)^2 - 6}{r-1} \frac{r-1}{r^2} \quad (\text{Ec.1-2c})$$

$$r = \varepsilon_s - \varepsilon_{sh} \quad (\text{Ec.1-2d})$$

$$u = \varepsilon_s - \varepsilon_{sh} \quad (\text{Ec.1-2e})$$

1.2.1.2. Modelo de Mander, 1988.

Este modelo mantiene las primeras dos zonas (Figura 5), elástica y meseta de fluencia, de acuerdo al modelo bilineal clásico, en cambio, para la zona de endurecimiento por deformación utiliza la siguiente ecuación (Priestley, 1996):

$$f_s = f_s + (f_y - f_s) \left(\frac{\varepsilon_s - \varepsilon_s}{\varepsilon_s - \varepsilon_{sh}} \right)^p \quad (\text{Ec.1-3})$$

$$p = \frac{\ln \left(\frac{f_s - f_{s1}}{f_s - f_y} \right)}{\ln \left(\frac{\varepsilon_s - \varepsilon_{s1}}{\varepsilon_s - \varepsilon_{sh}} \right)} \quad (\text{Ec.1-3a})$$

Donde f_{s1} y ε_{s1} corresponden al esfuerzo y la deformación en un punto intermedio dentro de la zona de endurecimiento obtenido mediante pruebas experimentales. En ausencia de ensayos, f_{s1} puede tomarse como el promedio entre f_y y f_s y ε_{s1} se obtiene a partir de las ecuaciones anteriores donde $f_s = f_{s1}$ y $\varepsilon_s = \varepsilon_{s1}$.

1.2.2. Modelo del concreto reforzado.

Los modelos del concreto reforzado básicamente parten de la curva esfuerzo deformación del concreto simple y de acuerdo a las teorías desarrolladas por diferentes autores, se tiene en cuenta el incremento en la ductilidad y/o resistencia que proporciona el acero de confinamiento. El objetivo de dichos modelos es determinar la resistencia máxima a compresión y la deformación última del concreto para definir el bloque de esfuerzos a utilizar en los respectivos modelos.

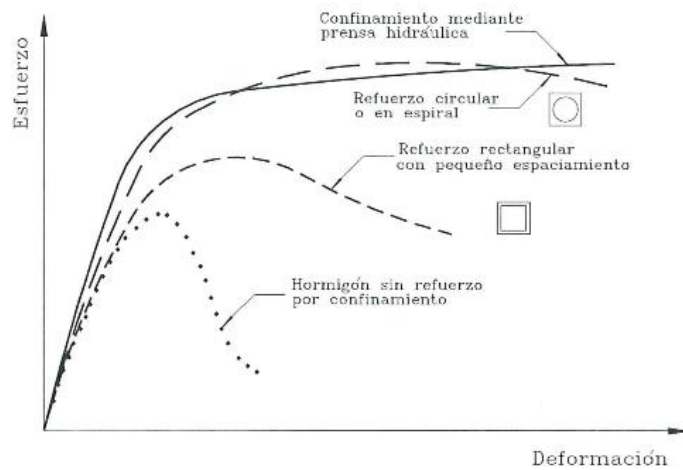


Figura 6. Relaciones esfuerzo-deformación del concreto y tipos de confinamiento, (Yépez, 1996)

A continuación se describen los modelos más representativos del concreto reforzado:

1.2.2.1. Modelo de Kent & Park.

Fue desarrollado en 1971 y considera únicamente el aumento de ductilidad por efectos del confinamiento y define 3 zonas:

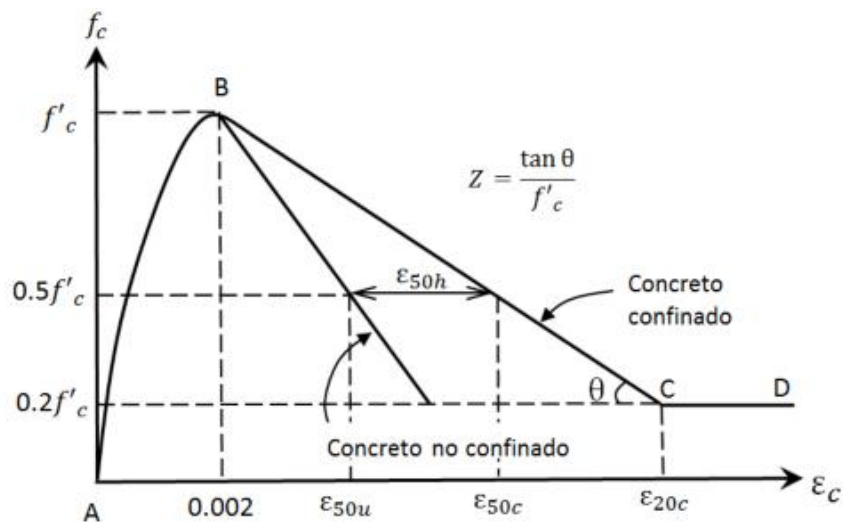


Figura 7. Curva esfuerzo-deformación del concreto, Kent y Park, (Park R., 1983)

- Zona AB: $f_c = f'_c \left[\frac{2\varepsilon_c}{0.0} - \left(\frac{\varepsilon_c}{0.0} \right)^2 \right]$ (Ec.1-4)

- Zona BC: $f_c = f'_c [1 - Z(\varepsilon_c - 0.002)]$ (Ec.1-5)

$$Z = \frac{0.5}{\varepsilon_{5u} + \varepsilon_{50} - 0.0} \quad (\text{Ec.1-5a})$$

$$\varepsilon_{5u} = \frac{3+0.0}{f'_c - 1} f'_c, (f'_c \text{ e } p) \quad (\text{Ec.1-5b})$$

$$\varepsilon_{5u} = \frac{3}{4} \rho_s \sqrt{\frac{b''}{s_h}} \quad (\text{Ec.1-5c})$$

$$\varepsilon_{2c} = \frac{0.8}{Z} + 0.002 \quad (\text{Ec.1-5d})$$

Donde:

ρ_s = cuantía volumétrica de los flejes de confinamiento.

b'' = ancho del núcleo confinado medido al exterior de los flejes.

s_h = cuantía volumétrica de los flejes de confinamiento.

- Zona CD: $f_c = 0.20f'_c$ (Ec.1-6)

1.2.2.2. Modelo de Park et al.

Fue propuesto en 1982 y considera aumento tanto de resistencia como de ductilidad por efectos del confinamiento:

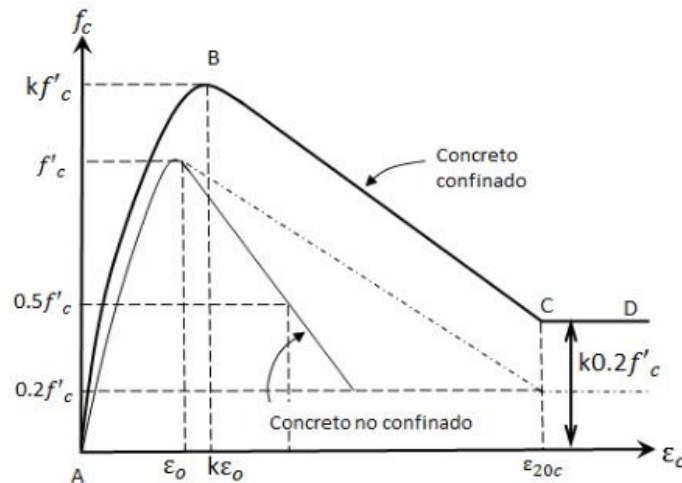


Figura 8. Curva esfuerzo-deformación del concreto, Kent y Park modificado, (Park R., 1982)

La resistencia f'_c y la deformación unitaria no confinada E_o (generalmente 0.002) se amplifica por un factor $K = 1 + \frac{\rho_s f_y}{f'_c}$ (Ec.1-7) el cual es el aporte de los estribos de confinamiento a la resistencia y ductilidad.

- Zona AB: $f_c = K f'_c \left[\frac{2\varepsilon_c}{0.0 K} - \left(\frac{\varepsilon_c}{0.0 K} \right)^2 \right]$ (Ec.1-8)

- Zona BC: $f_c = K' f'_c [1 - Z(\varepsilon_c - 0.002K)]$ (Ec.1-9)

$$Z = \frac{0.5}{\varepsilon_{su} + \varepsilon_s - 0.0 K} \quad (\text{Ec.1-9a})$$

1.2.2.3. Modelo de Mander et al.

Fue propuesto en 1988 y considera aumento tanto de resistencia como de ductilidad por efectos del confinamiento. La teoría está formulada en el momento en que falla la primera barra de confinamiento. La resistencia se ve incrementa por el esfuerzo de confinamiento que puede desarrollar el refuerzo transversal y la deformación está relacionada con la falla del refuerzo transversal.

Es aplicable a diferentes tipos de sección y confinamiento, lo que lo hace muy versátil y confiable para realizar los modelos de concreto en los análisis inelásticos.

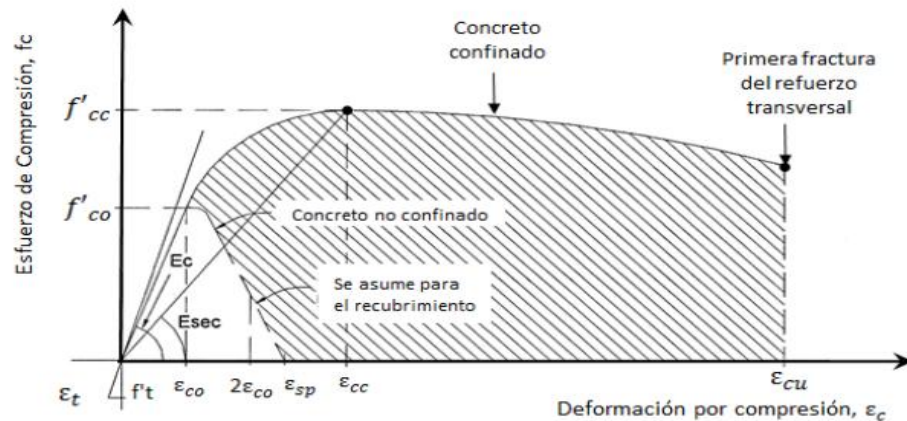


Figura 9. Curva esfuerzo-deformación concreto confinado y no confinado, (Mander, 1988)

La presión lateral de confinamiento es:

$$f_l = \frac{2f_y A_{sp}}{sd_s} \quad (\text{Ec.1-10})$$

Donde A_{sp} es el área de los estribos de confinamiento.

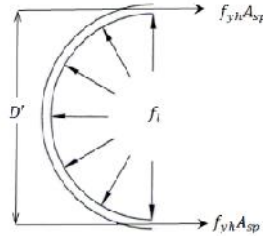


Figura 2. Esfuerzo de confinamiento y acción de arco (Priestley, 1996)

La presión lateral efectiva de confinamiento es:

$$f'_l = f_l k_e \quad (\text{Ec.1-11})$$

$$f'_l = \frac{1}{2} k_e \rho_s f_y \quad (\text{Ec.1-12})$$

Donde K_e es el coeficiente de efectividad y depende de la forma de la sección y se define como la relación entre el área efectiva de concreto confinado A_e (encerrada por el refuerzo de confinamiento pandeado) el área confinada por el refuerzo A_{cc} .

Para estribos rectangulares (donde f_l puede tener dos valores diferentes al cuantificar el refuerzo transversal tanto en la dirección larga como corta):

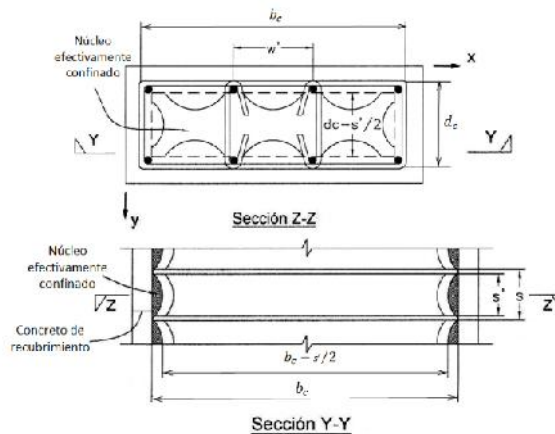


Figura 11. Confinamiento efectivo secciones rectangulares, (Mander, 1988)

$$k_e = \frac{\left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{W_i^2}{6}\right) \left(1 - \frac{s'}{2b_c}\right) \left(1 - \frac{s'}{2d_c}\right)}{(1 - \rho_c)} \quad (\text{Ec.1-13})$$

La resistencia del concreto confinado se determina como:

$$f'_c = f'_c \left(-1.254 + 2.254 \sqrt{1 + \frac{7.9 f'_1}{f'_c} - \frac{2f'_1}{f'_c}} \right) \quad (\text{Ec.1-14})$$

El esfuerzo en cualquier punto se puede determinar como:

$$f_c = \frac{f'_c x}{r - 1 + x^r} \quad (\text{Ec.1-15})$$

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c} \quad (\text{Ec.1-16})$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_s} \quad (\text{Ec.1-17})$$

$$E_s = \frac{f'_c}{\varepsilon_c} \quad (\text{Ec.1-18})$$

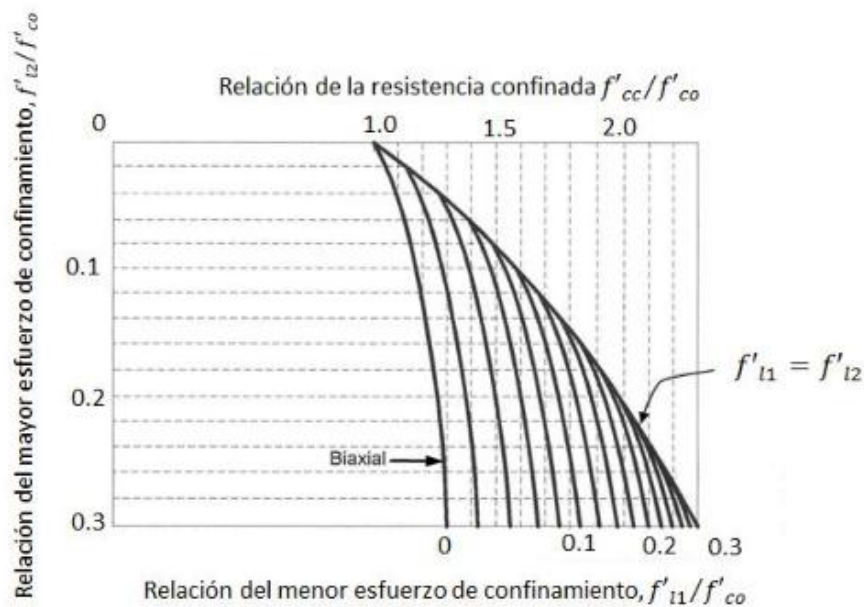


Figura 3. Nomograma para determinar la resistencia del concreto confinado en secciones rectangulares, (Mander, 1988)

La deformación longitudinal a compresión del concreto está dada por:

$$\varepsilon_c = 0.002 \left[1 + 5 \left(\frac{f'_c}{f'_c} - 1 \right) \right] \quad (\text{Ec.1-19})$$

$$\varepsilon_c = 0.004 + \frac{1.4 \rho_s f_y h \varepsilon_s}{f'_c} \quad (\text{Ec.1-20})$$

Donde:

ε_{sm} : Deformación unitaria máxima del acero en tensión (normalmente 0.10 para acero grado 60).

ρ_s : Cuantía total de acero de confinamiento.

1.2.3. Diagrama momento-curvatura.

El momento flector sobre una sección, para una carga axial constante, produce una curvatura sobre la sección. El momento flector se calcula al equilibrar el esfuerzo interno con el externo, partiendo del principio de compatibilidad de deformaciones (entre concreto y acero de refuerzo) y suponiendo que las secciones planas permanecen planas.

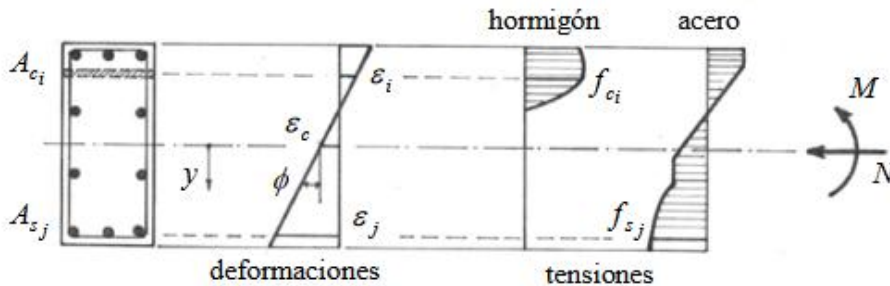


Figura 4. Deformaciones y tensiones en una sección sometida a flexocompresión.

Si se lleva la sección hasta la falla, se pueden considerar 3 fases las cuales están marcadas por el comportamiento de los materiales:

- Comportamiento elástico: Tanto el concreto como el acero están en su rango elástico.
- Fluencia del acero de refuerzo: Por efectos de la tensión en el acero, éste alcanza su punto de fluencia y comienza a entrar en la fase de endurecimiento. En este punto, el concreto ya ha superado la deformación hasta la cual soporta esfuerzos de tensión, por lo que se tiene el concreto en estado fisurado.

- Deformación última: Las deformaciones impuestas llevan a la falla primero el refuerzo transversal y posteriormente el refuerzo longitudinal o el concreto.

Al realizar el análisis de esfuerzo – deformación, teniendo en cuenta un bloque de esfuerzos en el concreto y acero (como se mencionó en los numerales anteriores) se puede definir el comportamiento momento-curvatura de una sección mediante una curva la cual se puede simplificar en una curva generalmente bilineal donde la energía de la curva real debe ser igual a la curva aproximada.

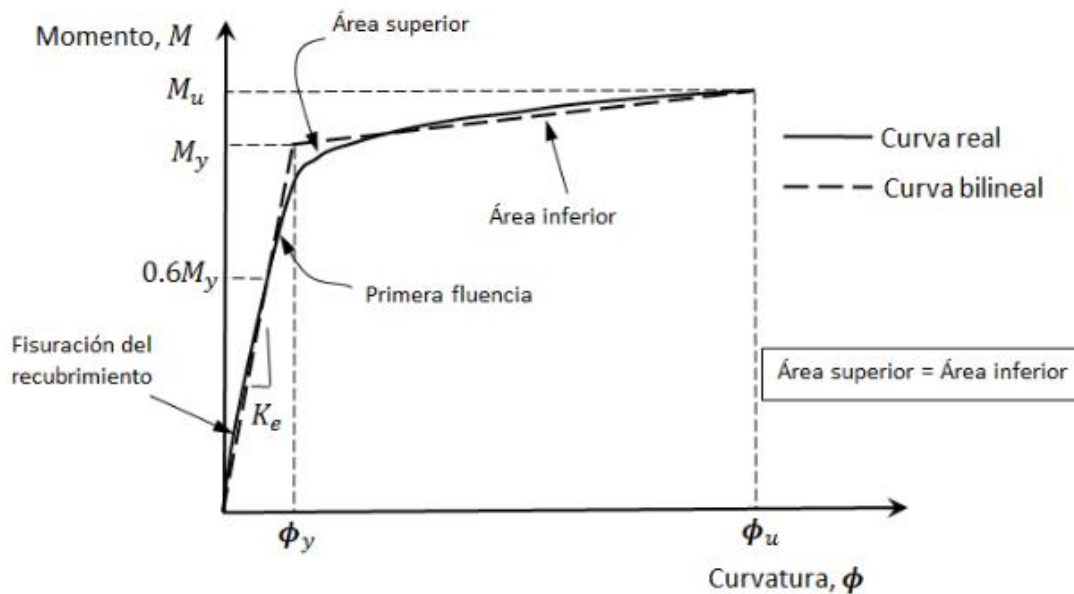


Figura 5. Relación momento-curvatura típica y curva bilineal.

Los parámetros más representativos que se obtienen de la curva bilineal son:

- ϕ_u = curvatura última.
- ϕ_y = curvatura de fluencia.
- M_u = momento último.
- M_y = momento de fluencia.
- $0.6M_y$ = recomendación del ATC-40, en la cual la recta con pendiente k_e debe pasar por este valor de momento.

1.2.4. Ductilidad.

La ductilidad se define como la capacidad de un material para resistir deformaciones más allá del límite elástico. En general, se pueden establecer los siguientes parámetros de ductilidad, en función del parámetro medido, mediante las siguientes relaciones:

- Ductilidad de curvatura: $\mu_{\phi} = \frac{\phi_u}{\phi_y}$ (Ec.1-21)

- Ductilidad de rotación: $\mu_{\theta} = \frac{\theta_u}{\theta_y}$ (Ec.1-21a)

- Ductilidad de desplazamiento: $\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$ (Ec.1-21b)

- Ductilidad de deformación unitaria: $\mu_{\epsilon} = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_y}$ (Ec.1-21c)

1.2.5. Parámetros de análisis plástico.

Los parámetros más relevantes del análisis plástico se definen a continuación.

1.2.5.1. Rótula plástica.

Un elemento sometido a una carga que produce un momento en una sección tendrá la tendencia a rotar proporcionalmente a las propiedades momento-curvatura de la sección. A cargas bajas, la distribución del momento flexionante estará de acuerdo con la distribución de la teoría elástica. Si la carga se aumenta la carga más allá del límite elástico, se forma una articulación plástica (véase la Figura 15), dado que la sección puede asumir cargas adicionales (en función de la capacidad de rotación plástica en las zonas de apoyo) sosteniendo el momento en dicha zona, mientras que la sección gira y la carga adicional se redistribuye a los otros apoyos hasta alcanzar los momentos máximos en las otras zonas de la sección y generar un mecanismo de colapso.

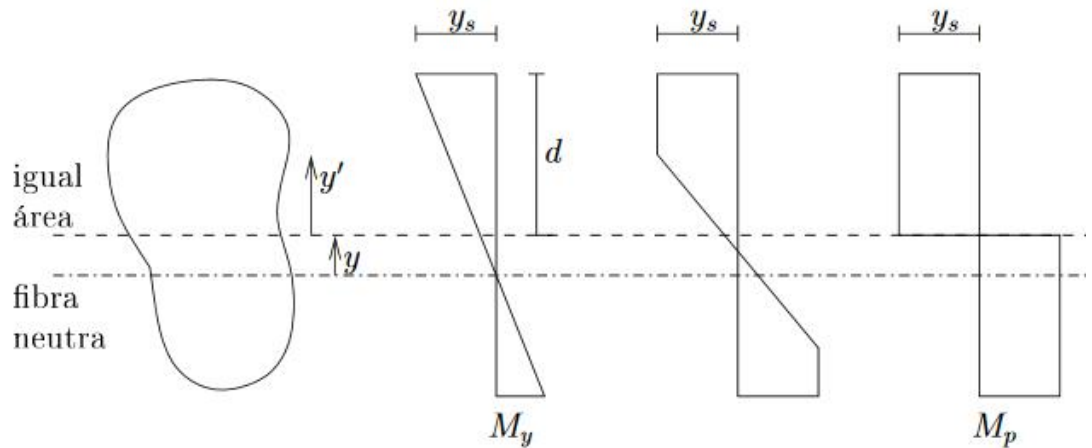


Figura 6. Determinación del momento plástico.

1.2.5.2. Longitud de plastificación.

Es la distancia que abarca en la sección, la rótula plástica, Figura 16. Dicha longitud está influenciada por la resistencia del concreto, la resistencia del acero y la longitud crítica al punto de inflexión, el efecto del esfuerzo cortante y la carga axial.

Para elementos de concreto reforzado puede tomarse dicha longitud (Paulay and Priestley, 1992) como:

$$l_p = 0.08l + 0.022d_b f_y \geq 0.044d_b f_y \rightarrow (f_y e M) \quad (\text{Ec.1-22})$$

Donde:

L: Distancia desde el punto de máximo momento al punto de inflexión.

d_b : Es el diámetro de la barra.

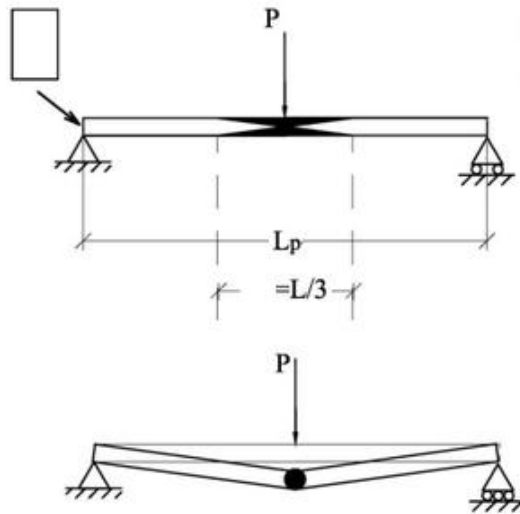


Figura 16. Longitud de plastificación, (Dalmau et al., 2003)

1.2.5.3. Mecanismo de colapso.

Es generado cuando se forman en la estructura, un número tal de rótulas plásticas tales que llevan a la falla del elemento o de la estructura, Figura 17. Se genera progresivamente, comenzando con la zona más exigida, y posteriormente mediante la redistribución de momentos se van generando las otras rótulas plásticas.

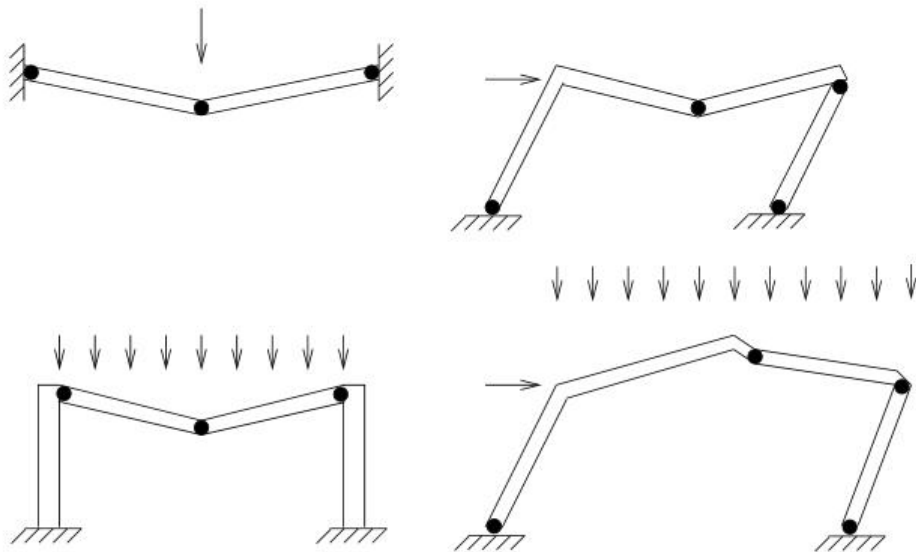


Figura 17. Ejemplos de mecanismos de colapso, (Rus, 2008)

1.2.5.4. Efectos P-Delta.

Los efectos denominados P- δ , son efectos de segundo orden causados por las cargas gravitacionales actuando en la estructura deformada y generando un incremento en los momentos y en los desplazamientos. Estos momentos adicionales son tan importantes que pueden llegar a exceder la capacidad residual de las columnas, generando su inestabilidad. Estos efectos son importantes en columnas altas o esbeltas.

El efecto P- δ reduce la máxima resistencia lateral de la columna sino que también modifica la curva fuerza-desplazamiento de la misma. La rigidez inicial es reducida y la rigidez post-fluencia se convierte en negativa.

1.3. Análisis Inelástico de Edificaciones

De acuerdo con el ATC-40: “Los procedimientos de análisis inelásticos ayudan a demostrar cómo los edificios trabajan realmente identificando modos de falla y un modo de colapso progresivo, lo cual ayudan a entender mejor cómo se comportan las estructura bajo los sismos bajos los cuales la capacidad elástica de la estructura es excedida”.

Dentro de los análisis no lineales se encuentran:

- No lineales simplificados
- Método secante
- Análisis cronológicos (Nonlinear time-history analysis)

1.3.1. Capacidad

Es la habilidad de la estructura para resistir la demanda sísmica, la cual depende de la capacidad de resistencia y deformación de sus miembros estructurales. Se representa mediante una curva de capacidad, la cual se elabora mediante un

análisis de cargas laterales que se van incrementando sobre la estructura dentro de un modelo lineal.

1.3.1.1. Pushover o análisis de plastificación progresiva

Es un procedimiento para determinar la curva de capacidad de la estructura mediante la aplicación progresiva de cargas horizontales que se van incrementando hasta alcanzar un estado límite local o global. En la medida que se realiza el análisis incrementando las cargas, la rigidez de los elementos se va reduciendo hasta alcanzar el punto de fluencia o plastificación de los miembros, hasta que la estructura completa se vuelve inestable o se alcanza cierto nivel de desplazamiento especificado.

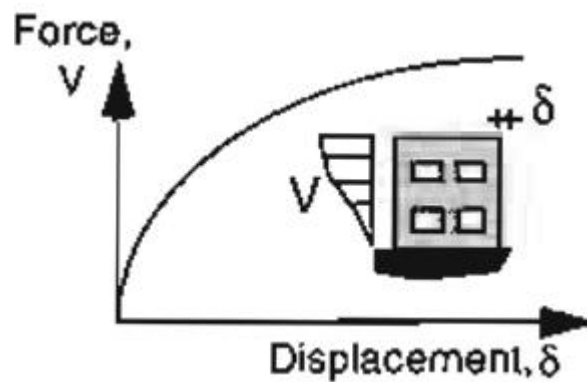


Figura 18. Curva de capacidad, (ATC-40)

El procedimiento para elaborar la curva de capacidad mediante este método consiste en:

- Construir un modelo no lineal representando la no linealidad del material (curvas momento-curvatura) y la no linealidad geométrica (efecto P-delta).
- Calcular los modos de vibración ϕ_n y factores de participación modal Γ_n .
- Definir el perfil de cargas a aplicar, F_n , bien sea siguiendo un patrón uniforme, triangular, de la fuerza horizontal equivalente o modal. Importa la forma de las cargas y no tanto su magnitud.

- Aplicar las cargas permanentes.
- Definir los objetivos de desplazamiento, deformación.
- Definir el lugar donde serán medidos los desplazamientos (ej. En el último nivel) y aplicar las fuerzas horizontales incrementándolas gradualmente hasta alcanzar el objetivo determinado o la inestabilidad de la estructura.
- Construir la curva de capacidad registrando para cada incremento de carga, los cortantes y su correspondiente desplazamiento.

Esta curva representa generalmente la respuesta del primero modo de vibración por lo que éste debe ser predominante en la estructura. Para estructuras más flexibles el análisis se debe hacer considerando el aporte de los otros modos de vibración relevantes y combinar la respuesta.

1.3.2. Demanda.

Se define como el nivel esperado de sollicitación sísmica sobre la estructura y está representada por el espectro de diseño, el cual se convierte a coordenadas de aceleraciones y desplazamientos espectrales.

1.3.3. Desempeño estructural.

El desempeño estructural busca definir un comportamiento deseado en la estructura, con variables como la seguridad y el costo que se pretenda lograr en el diseño. Cada código de diseño sísmico define los grados de desempeño que se debe lograr en las estructuras.

Para edificaciones del grupo de uso I y II, el NSR-10 anota, referente al control de daños lo siguiente para el sismo de diseño: "...deben esperarse,...., daños estructurales y no estructurales reparables, aunque en algunos casos pueda que no sea económicamente factible su reparación", lo cual se entiende aplicable para edificaciones de grupos de uso I y II y podría interpretarse como un nivel de desempeño entre **ocupación inmediata** y **seguridad de la vida** (basado en ATC-

40). Más adelante aclara para las edificaciones de grupos de uso III y IV que “se espera que el daño sea reparable y que permita su **ocupación inmediata**”.

Actualmente existen varios desarrollos de la ingeniería sísmica basada en desempeño, donde la base conceptual de los métodos es la misma aunque sus terminologías lleguen a ser diferentes. Los procedimientos más comunes son el del SEAOC (1995), FEMA273/356 y ATC-40.

En el diseño por desempeño, un objetivo (de desplazamiento) tiene una o más metas, mientras que cada meta consiste en un objetivo principal de desempeño para un nivel de amenaza sísmica. En términos generales, los objetivos de desempeño se utilizan para la rehabilitación de edificaciones existentes, mientras que para analizar estructuras nuevas se pueden utilizar criterios de aceptación en función de deformaciones de elementos (primarios o secundarios) o de pisos.

1.3.3.1. Niveles de amenaza.

Los niveles de amenaza representan el sismo de diseño en función de la su periodo de retorno. El FEMA 356 establece los siguientes niveles de amenaza:

- 50% de excedencia en 50 años, para un periodo de retorno de 72 años.
- 20% de excedencia en 50 años, para un periodo de retorno de 225 años.
- 10% de excedencia en 50 años, para un periodo de retorno de 474 años.
- 2% de excedencia en 50 años, para un periodo de retorno de 2475 años.

Los periodos de retorno se redondean a 75, 225, 500 y 2500 años respectivamente.

En cuanto a la amenaza, el NSR-10 anota dentro de su objeto (Capítulo A.1.2.2) que: "... una edificación diseñada bajo sus requisitos, "debe ser capaz de resistir, además de las fuerzas que le impone su uso, temblores de poca intensidad sin daño, temblores moderados sin daño estructural, pero posiblemente con algún daño a los elementos no estructurales y un temblor fuerte con daños a elementos estructurales y no estructurales pero sin colapso."

Más adelante especifica que "los movimientos sísmicos de diseño prescritos en el presente Reglamento corresponden a los que afectarían las edificaciones de presentarse un **sismo fuerte**."

1.3.3.2. Niveles de desempeño y criterios de aceptación.

Los diferentes niveles de desempeño y criterios de aceptación, de acuerdo con el FEMA 356:

- Operacional
- Ocupación inmediata (IO).
- Seguridad de vida (LS).
- Prevención del colapso (CP).

Para cada nivel de desempeño, se establecen parámetros de deformación aceptables para modelar los elementos "primarios" y "secundarios" en un análisis no-lineal. Para elementos controlados por flexión en pórticos de concreto reforzado, se tienen los siguientes parámetros:

Tabla 5. Criterios de aceptación para rótulas de vigas de concreto reforzado controladas por flexión, ATC-40

Table 11-3. Numerical Acceptance Criteria for Plastic Hinge Rotations in Reinforced Concrete Beams, in radians

Component Type			Performance Level ³				
			Primary			Secondary	
			IO	LS	SS	LS	SS
1. Beams controlled by flexure¹							
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_{bal}}$	Trans. Reinf. ²	$\frac{V'}{b_w d \sqrt{f_c}}$					
≤ 0.0	C	≤ 3	0.005	0.02	0.025	0.02	0.05
≤ 0.0	C	≥ 6	0.005	0.01	0.02	0.02	0.04
≥ 0.5	C	≤ 3	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≥ 0.5	C	≥ 6	0.005	0.005	0.015	0.015	0.02
≤ 0.0	NC	≤ 3	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≤ 0.0	NC	≥ 6	0.0	0.005	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≤ 3	0.005	0.01	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≥ 6	0.0	0.005	0.005	0.005	0.01

Tabla 6. Criterios de aceptación para rótulas de columnas de concreto reforzado controladas por flexión, ATC-40

Table 11-4. Numerical Acceptance Criteria for Plastic Hinge Rotations in Reinforced Concrete Columns, in radians

Component Type			Performance Level ⁴				
			Primary			Secondary	
			IO	LS	SS	LS	SS
1. Columns controlled by flexure¹							
$\frac{p^3}{A_c f_c}$	Trans. Reinf. ²	$\frac{V^4}{b_w d \sqrt{f_c}}$					
≤ 0.1	C	≤ 3	0.005	0.01	0.02	0.015	0.03
≤ 0.1	C	≥ 6	0.005	0.01	0.015	0.01	0.025
≥ 0.4	C	≤ 3	0.0	0.005	0.015	0.010	0.025
≥ 0.4	C	≥ 6	0.0	0.005	0.01	0.01	0.015
≤ 0.1	NC	≤ 3	0.005	0.005	0.01	0.005	0.015
≤ 0.1	NC	≥ 6	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
≥ 0.4	NC	≤ 3	0.0	0.0	0.005	0.0	0.005
≥ 0.4	NC	≥ 6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

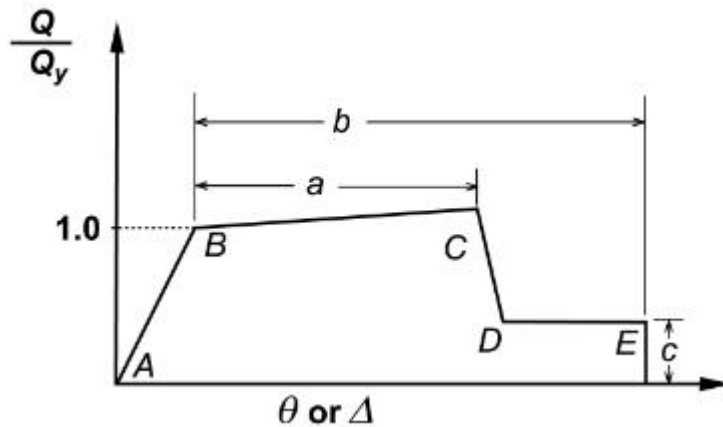


Figura 19. Parámetros de modelamiento fuerza-deformación para un componente estructural, (ATC-40)

1.3.4. Procedimientos de análisis inelásticos simplificados.

El FEMA-440 realiza una mejora a los métodos de espectro-capacidad y del coeficiente de desplazamientos presentados en el ATC-40, a partir de las diferencias encontradas entre ambos métodos al calcular la demanda de desplazamiento cuando se estudiaron algunos sistemas de un grado de libertad. Para ello, se realizaron comparaciones entre los dos métodos con resultados de los análisis no lineales cronológicos para modelos de un grado de libertad (con diferentes rangos de periodos de vibración, resistencia lateral y comportamiento histerético).

1.3.4.1. Método espectro-capacidad (linealización equivalente).

Su objetivo es determinar la respuesta de máximo desplazamiento de un sistema no lineal mediante un sistema lineal “equivalente” usando un periodo y amortiguamiento efectivo (T_{eff} , μ_{eff}) en función de las características de la curva de capacidad, periodos y amortiguamiento iniciales (T_o , μ_o) y la demanda de ductilidad μ .

La determinación del espectro de capacidad se realiza de la misma manera de lo especificado en el ATC-40. La conversión de la curva de capacidad a formato de aceleraciones y desplazamientos espectrales (ADRS por sus

siglas en inglés) se realiza teniendo en cuenta los principios de la dinámica estructura, principalmente entre las relaciones entre el modo fundamental de la estructura y su respuesta:

$$P_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g} \right] \quad (\text{Ec.1-23})$$

$$\alpha_1 = \frac{[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g]^2}{[\sum_{i=1}^N w_i / g][\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g]} \quad (\text{Ec.1-24})$$

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad (\text{Ec.1-25})$$

$$S_d = \frac{\Delta_{t, ho}}{P_1 \phi_{t, ho.1}} \quad (\text{Ec.1-26})$$

Dónde:

P_1 = Factor de participación modal para el primer modo.

α_1 = Coeficiente de masa modal para el primer modo.

w_i/g = Masa asignada al nivel i.

ϕ_{i1} = Amplitud del modo 1 en nivel i.

N = Cantidad de niveles.

V = Cortante en la base.

W = Peso muerto de la estructura.

$\Delta_{t, ho}$ = Desplazamiento a nivel de techo generalmente.

S_a = Aceleración espectral.

S_d = Desplazamiento espectral.

El espectro de demanda sísmica está dado tradicionalmente en coordenadas S_a vs. T, sin embargo también se debe realizar la transformación a formato ADRS, S_a versus S_d .

Para cada punto del espectro sísmico, el valor de S_d se obtiene como:

$$S_d = \frac{S_a T^2}{4\pi^2} \quad (\text{Ec.1-27})$$

Los parámetros de amortiguamiento y periodo efectivo, se calculan en función de la ductilidad de acuerdo con el FEMA-440, para cualquier curva de capacidad (independiente del tipo de modelo histerético usado), para $T_0 = 0.2$ a $2.0s$:

Para $1.0 < \mu < 4.0$,

$$\beta_e = 4.9(\mu - 1)^2 - 1.1(\mu - 1)^3 + \beta_0 \quad (\text{Ec.1-29})$$

$$T_e = \{0.20(\mu - 1)^2 - 0.038(\mu - 1)^3 + 1\}T_0 \quad (\text{Ec.1-30})$$

Para $4.0 \leq \mu \leq 6.5$,

$$\beta_e = 14.0 + 0.32(\mu - 1) + \beta_0 \quad (\text{Ec.1-31})$$

$$T_e = [0.28 + 0.13(\mu - 1) + 1]T_0 \quad (\text{Ec.1-32})$$

Para $\mu > 6.5$,

$$\beta_e = \left[\frac{0.6(\mu-1)-1}{[0.6(\mu-1)-1]^2} \right] \left(\frac{T_e}{T_u} \right)^2 + \beta_0 \quad (\text{Ec.1-33})$$

$$T_e = \left\{ 0.89 \left[\sqrt{\frac{(\mu-1)}{1+0.0(\mu-2)}} - 1 \right] + 1 \right\} T_0 \quad (\text{Ec.1-34})$$

Dónde

$$\mu: \text{Ductilidad, } \mu = \frac{d_p}{d_y} \quad (\text{Ec.1-35})$$

Las ordenadas del espectro de demanda se deben ajustar (reducir) por el coeficiente de amortiguamiento B, en función del amortiguamiento efectivo β_{eff} previamente calculado, de la siguiente manera:

$$B = \frac{4}{5.6 - \beta_e}, \text{ donde } \beta_{eff} (\%). \quad (\text{Ec.1-36})$$

Para determinar el punto de desempeño directamente, como el cruce entre el espectro de demanda y la curva de capacidad, se modifica el espectro de demanda amortiguado (MADRS) y el punto de corte representa el máximo desplazamiento de la estructura bajo el sismo de diseño con su correspondiente periodo equivalente, T_{sec} .

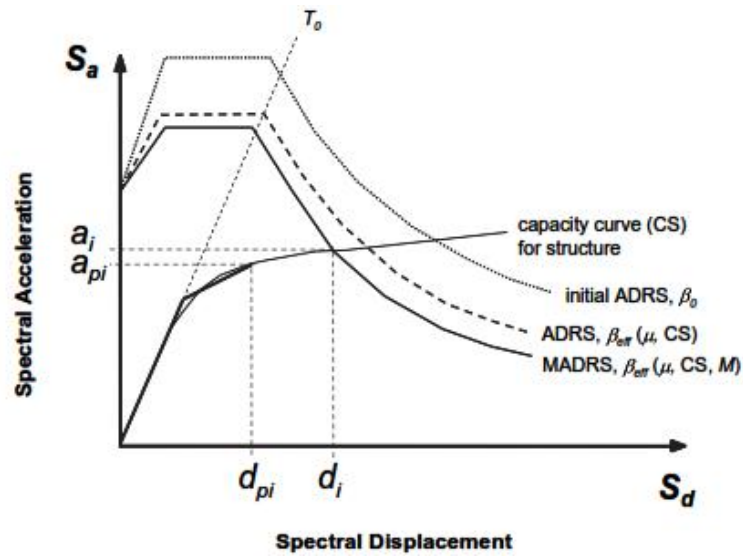


Figura 7. Determinación del máximo desplazamiento usando MADRS (FEMA-440)

El factor de modificación del espectro de demanda se calcula como:

$$M = \left(\frac{T_e}{T}\right)^2 = \left(\frac{T_e}{T_0}\right)^2 \left(\frac{T_0}{T_s}\right)^2 \quad (\text{Ec.1-37})$$

El periodo secante (el ATC-40 utiliza la rigidez secante en el máximo desplazamiento para calcular el periodo efectivo y relaciona el amortiguamiento efectivo al área bajo la curva de histéresis) se calcula como:

$$\left(\frac{T_0}{T_s}\right)^2 = \frac{1+\alpha(\mu-1)}{\mu} \quad (\text{Ec.1-38})$$

Dónde:

$$\alpha = \frac{\left(\frac{a_p - a_y}{d_p - d_y}\right)}{\left(\frac{a_y}{d_y}\right)} \quad (\text{Ec.1-39})$$

: es la rigidez post-elástica,

El proceso para encontrar el punto de comportamiento es iterativo, asumiendo inicialmente una aceleración y desplazamiento máximos (a_i, d_i)

y calculando todos los parámetros para construir las curvas hasta que el punto asumido corte con el espectro de demanda ajustado (MADRS).

1.3.4.2. Método del coeficiente de desplazamientos.

Este método modifica el desplazamiento elástico con coeficientes para calcular el desplazamiento objetivo, el cual representa el desplazamiento en el punto de desempeño de la estructura.

El FEMA-440 realiza mejoras al método del FEMA-356, para el método del coeficiente de desplazamiento. Realiza ajustes a los coeficientes C_1 y C_2 y elimina el coeficiente C_3 .

El desplazamiento se obtiene de:

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (\text{Ec.1-40})$$

Dónde:

C_0 : Es el coeficiente que considera la diferencia entre el desplazamiento en el “techo” de un sistema de varios grados de libertad y un sistema equivalente de un solo grado de libertad.

C_1 : Relación de máximo desplazamiento entre sistemas inelásticos (con comportamiento elasto-plástico) y sistemas elásticos de un grado de libertad.

$$C_1 = 1 + \frac{R-1}{aT_e^2} \quad (\text{Ec.1-41})$$

- Para $T_e > 1.0s$, $C_1 = 1.0$
- Para $T_e < 0.2$, calcular C_1 para $T_e = 0.2s$
- a : Constante = 130, 90 y 60 para clase de sitio B, C y D respectivamente.

C_2 : Coeficiente de ajuste a la degradación cíclica. Solo necesita ser aplicado a estructuras que muestran una degradación de la resistencia o de la rigidez significativa (de lo contrario $C_2 = 1.0$).

$$C_2 = 1 + \frac{1}{8} \left(\frac{R-1}{T} \right)^2 \quad (\text{Ec.1-42})$$

- Para $T_e > 0.7s$, $C_2 = 1.0$
- Para $T_e < 0.2$, calcular C_2 para $T_e = 0.2s$

S_a : Aceleración espectral para el periodo fundamental.

T_e : Periodo fundamental efectivo en la dirección de estudio.

R : Relación de demanda de resistencia elástica y resistencia de fluencia,

$$R = \frac{S_a}{V_y/W} C_m \quad (\text{Ec.1-42a})$$

V_y : Resistencia de fluencia.

W : Peso sísmico efectivo.

C_m : Factor de masa efectiva, o masa efectiva del modo fundamental.

1.4. Progreso del Coeficiente de Capacidad de Disipación de Energía, R

En términos generales se puede decir que inicialmente el diseño estructural se realizaba para cargas verticales y cargas laterales de viento. El análisis para fuerzas sísmicas no era un objetivo en el diseño inicial, sin embargo, se observó que las estructuras diseñadas para cargas laterales de viento, habían tenido un mejor comportamiento ante algunos sismos importantes ocurridos entre 1900 y 1940 en Estados Unidos, Nueva Zelanda y Japón; por lo que se comenzaron a tener en cuenta cargas estimadas, como un porcentaje del peso de la estructura (UBC, 1927) para el diseño sísmico. Durante 1940 y 1990 se empezaron a introducir los conceptos de disipación de energía, inicialmente con factores cualitativos, y posteriormente con la ocurrencia de otros sismos importantes (San Fernando, California, 1971) y el estudio de las características de las edificaciones, se establecieron otras formas para establecer dicho parámetro.

El coeficiente de disipación de energía ha tenido su evolución en los siguientes documentos:

1.4.1. SEAOC's Blue Book, 1959.

El "R" en los códigos comienza a aparecer en 1959 con el "Blue Book del SEAOC", el cual fue el precursor de las provisiones sísmicas del UBC usado a través de la costa Oeste de Estados Unidos y en muchos otros Lugares (Porush and Zacher, 1987).

La Asociación de Ingenieros Estructurales de California en Estados Unidos (SEAOC) publicó en 1959 el código "Recommended Lateral Force Requirements", también conocido como "Blue Book", en el cual se consignaron unas recomendaciones para calcular fuerzas sísmicas como un "porcentaje" del peso de la edificación, teniendo en cuenta el tipo de sistema estructural mediante un parámetro "K", con lo cual se estableció una base para definir más adelante el coeficiente de disipación de energía, R.

Los comentarios del Blue Book clarificaron que las recomendaciones estaban limitadas a los mínimos estándares de provisión de "Seguridad de La Vida" para garantizar la seguridad pública.

El cálculo de los cortantes sísmicos estaba dado por:

$$V_w = (Z \quad)W \quad (\text{Ec.1-43})$$

Donde:

V_w : Cortante sísmico en la base.

Z: Es el factor de zona.

$$C = \frac{0.0}{\sqrt[3]{T}} \quad (\text{Ec.1-43a})$$

T: Periodo natural de la estructura.

K: Factor en función del sistema de resistencia a fuerzas laterales.

W: Peso de la estructura.

Tabla 7. Valores de K en “SEAOC Blue Book”, 1959

Sistema Estructural	K
Muros de carga	1.33
Dual	0.80
Pórtico resistente a momentos	0.67
Otros sistemas estructurales	1.00

1.4.2. ATC 3-06, 1978.

Posterior al sismo de San Fernando en 1971, el SAOC creó el “Applied Technology Council” (ATC), después de observar que las provisiones del UBC requerían de actualizaciones substanciales. El ATC, publicó en 1978 el documento “Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings”, en el cual introdujo por primera vez valores cualitativos del parámetro “ R ” basado en el concepto de diferentes ingenieros. También se establecieron límites de derivas para algunos sistemas estructurales. Igualmente se incluyeron conceptos como grupos de uso, mapas de riesgo sísmico, herramientas para análisis dinámico elástico, requerimientos de diseño sísmico y efectos ortogonales; parámetros utilizados hoy en día en los diseños sísmicos.

El cálculo de los cortantes sísmicos estaba dado por:

$$V = \frac{2.5A_a}{R} W \quad (\text{Ec.1-44})$$

Tabla 8. Primera aparición histórica del R en un código, ATC 3-06 (ATC, 1978)

TABLE 3-B RESPONSE MODIFICATION COEFFICIENTS ¹		
Type of Structural System	Vertical Seismic Resisting System	Coefficients R ⁷ C _d ⁸
BEARING WALL SYSTEM: A structural system with bearing walls providing support for all, or major portions of, the vertical loads. Seismic force resistance is provided by shear walls or braced frames.	Light framed walls with shear panels	6½ 4
	Shear walls	
	Reinforced concrete	4½ 4
	Reinforced masonry	3½ 3
	Braced frames	4 3½
MOMENT RESISTING FRAME SYSTEM: A structural system with an essentially complete Space Frame providing support for vertical loads. Seismic force resistance is provided by Ordinary or Special Moment Frames capable of resisting the total prescribed forces.	Special moment frames	
	Steel ³	8 5½
	Reinforced concrete ⁴	7 6
	Ordinary moment frames	
	Steel ²	4½ 4
DUAL SYSTEM: A structural system with an essentially complete Space Frame providing support for vertical loads. A Special Moment Frame shall be provided which shall be capable of resisting at least 25 percent of the prescribed seismic forces. The total seismic force resistance is provided by the combination of the Special Moment Frame and shear walls or braced frames in proportion to their relative rigidities.	Reinforced concrete	8 6½
	Reinforced masonry	6½ 5½
	Wood sheathed shear panels	8 5
	Braced frames	6 5
	INVERTED PENDULUM STRUCTURES. Structures where the framing resisting the total prescribed seismic forces acts essentially as isolated cantilevers and provides support for vertical load.	Special Moment Frames
Structural steel ³		2½ 2½
Reinforced concrete ⁴		2½ 2½
Ordinary Moment Frames		
Structural steel ²		1½ 1½

¹These values are based on best judgement and data available at time of writing and need to be reviewed periodically.
²As defined in Sec. 10.4.1.
³As defined in Sec. 10.6
⁴As defined in Sec. 11.7.
⁵As defined in Sec. 11.4.1.
⁶Unreinforced masonry is not permitted for portions of buildings assigned to Category B. Unreinforced or partially reinforced masonry is not permitted for buildings assigned to Categories C and D; see Chapter 12.
⁷Coefficient for use in Formula 4-2, 4-3, and 5-3.
⁸Coefficient for use in Formula 4-9.

1.4.3. SEAOC Blue Book, 1988.

Una nueva versión del código conocido como "Blue Book" fue publicado en 1988, partiendo del ATC 3-06, pero sosteniendo la filosofía de diseño por esfuerzos admisibles, para la cual, el coeficiente de capacidad de disipación de energía se denominó R_w . El cortante basal estaba dado por:

$$V_D = \frac{Z}{R_w} \quad (\text{Ec.1-45})$$

Donde:

Z = Coeficiente basado en la probabilidad de riesgo sísmico.

$$C = \frac{1.25S}{T^{0.6}} \quad (\text{Ec.1-45a})$$

I = Factor de importancia de la estructura.

T = Periodo fundamental de la estructura.

W = Carga muerta total tributaria.

R_w = Coeficiente de capacidad de disipación de energía (para esfuerzos de trabajo).

Se adoptaron factores similares, modificados para reflejar el método de diseño por esfuerzos admisibles en el *Uniform Building Code* (UBC) en 1998.

1.4.4. ATC-19, 1995.

En 1995 se publicó el *Structural Response Modification Factors* (ATC,1995), el cual consistió en un estado del arte del coeficiente de capacidad de disipación de energía R, y redefine dicho coeficiente utilizando tres características del sistema estructura a saber: Resistencia, ductilidad y redundancia.

En dicho documento se establecen los resultados de un análisis de plastificación progresiva (ó pushover) como los indicadores de las características claves del comportamiento estructural. Los puntos importantes dentro de dichos resultados son el desplazamiento de fluencia, la resistencia de fluencia y la resistencia en el máximo desplazamiento considerado.

El ATC-19 también comenta la influencia del amortiguamiento inherente al sistema estructural, R_ξ , la cual aunque no fue incluida en el cálculo final del R, si recomienda considerarlo en el diseño estructural.

El cálculo del R, es presentado como:

$$R = R_S R_\mu R_R \quad (\text{Ec.1-46})$$

Donde:

R = Coeficiente de capacidad de disipación de energía a nivel de resistencia.

R_S = Factor de resistencia dependiente del periodo.

R_μ = Factor de ductilidad dependiente del periodo.

R_R = Factor de redundancia.

1.4.5. UBC, 1990 y 1997.

En 1990, y hasta 1994 el *Uniform Building Code* (UBC) adoptó la metodología del R_w por el método de los esfuerzos de trabajo del *Blue Book* de 1988.

En 1997, el UBC publicó la metodología para el cálculo del R por el método de la resistencia. El factor de redundancia recomendado en el ATC-19, fue denominado ρ e incorporado en el cálculo de los efectos de cargas horizontales. Al utilizar el factor de redundancia fuera del R , el UBC proporciona valores de R constantes para todas las estructuras de un mismo sistema estructural, y representa sus efectos en el cálculo de la resistencia requerida de los elementos (Kessler, 2010)

1.5. Valores del R y ρ en pórticos de concreto reforzado.

Los siguientes valores de R en pórticos de concreto reforzado son considerados en diferentes códigos alrededor del mundo y en el Reglamento Colombiano.

En el código Indio (IS 1983) da valores entre 3 y 5 para pórticos resistentes a momento, los cuales deben seguir requerimientos de detallado dúctil. Este código no especifica reducciones por irregularidades ni lo separa los componentes de R en términos de ductilidad y sobrerresistencia (Mondal et al, 2013).

Tabla 9. Valores de R, pórticos de concreto, código Indio (IS 1893)

Values of R for RC framed structures, as per IS 1893.

Structural system	R
Ordinary moment resisting frame (OMRF)	3.0
Special moment resisting frame (SMRF)	5.0

En el código Europeo (EC8) se especifica el factor de comportamiento “q” (equivalente del R) para estructura aporticadas y dos clases de ductilidad: Media y alta. En dicho factor están incorporados la ductilidad y el factor de sobrerresistencia (V_u/V_y). Para pórticos de varios pisos y vanos, esta relación se toma como 1.30, haciendo el factor de comportamiento igual a 3.90 y 5.85. Para edificios irregulares, el factor de comportamiento es reducido en un 20%.

Tabla 10. Valores de R, Eurocódigo (EC8)

Values of the 'behaviour factor' for RC framed structures, as per EC8.

Structural system	Behaviour factor
Medium ductility class (DCM)	$3.0V_u/V_y = 3.90$
High ductility class (DCH)	$4.5V_u/V_y = 5.85$

El código estadounidense (ASCE7) divide los pórticos de concreto reforzado en tres clases de ductilidad. Aunque el R se aplica para obtener el cortante de diseño de la estructura, el diseño de los miembros individuales excluye los componentes de resistencia y redundancia del R. Las fuerzas de diseño de los miembros son obtenidas multiplicando las fuerzas correspondientes a la fuerza cortante de diseño por el factor de sobrerresistencia.

Tabla 11. Valores de R, ASCE 7

Values of R for RC framed structures, as per ASCE7.

Structural system	Response modification coefficient, R	System overstrength factor, Ω_0
Ordinary moment frame	3.0	3.0
Intermediate moment frame	5.0	3.0
Special moment frame	8.0	3.0

En Japón, un factor de ductilidad $1/D_s$ (equivalente al R), es usado para todos los sistemas de edificaciones en un rango desde 1.8 a 4. El estándar requiere que los miembros estructurales se dimensionen para un estado límite de servicio y la resistencia del edificio se revisa para el estado límite último (Zafar, 2009). En México se usa un factor de resistencia dependiente del periodo:

Tabla 12. Comparación factor de modificación de respuesta en Japón y México

Sistema Estructural	Periodo	Japón	México
Porticos de concreto reforzado resistentes a momento	T=0.1 seg	3.3	2.5
	T=1.0 seg	4.0	4.0

Tabla 13. Valores del coeficiente R en diferentes lugares del mundo, (Priestley et al, 2007)

Tipo de estructura	Estados Unidos	Japón	Nueva Zelanda	Europa	Colombia
Pórticos de Concreto Reforzado	8,0	1,8 - 3,3	9,0	5,85	1,5 - 7,0

Tabla 14. Valores del coeficiente R para pórticos en concreto reforzado, (NSR-10)

C. SISTEMA DE PÓRTICO RESISTENTE A MOMENTOS		Valor R_0 (Nota 2)	Valor Ω_0 (Nota 4)	zonas de amenaza sísmica					
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			Alta		Intermedia		baja	
				uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.
1. Pórticos resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)									
a. De concreto (DES)	el mismo	7.0	3.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
2. Pórticos resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)									
a. De concreto (DMO)	el mismo	5.0	3.0	no se permite		si	sin límite	si	sin límite

1.6. Cálculo del coeficiente de capacidad de disipación de energía, R.

Las metodologías más reconocidas para el cálculo del coeficiente de disipación de energía R se mencionan a continuación:

1.6.1. Newmark & Hall, 1973.

Es una referencia para otros planteamientos. Para estructuras con periodo natural mayor al valor pico del espectro elástico de respuesta, T_m , para el sismo en consideración, se observa que el desplazamiento alcanzado por el sistema inelástico Δ_m es muy similar al desplazamiento obtenido del mismo sistema pero si fuese elástico (con la rigidez inicial del sistema inelástico) y de resistencia ilimitada, como se muestra en las siguientes figuras:

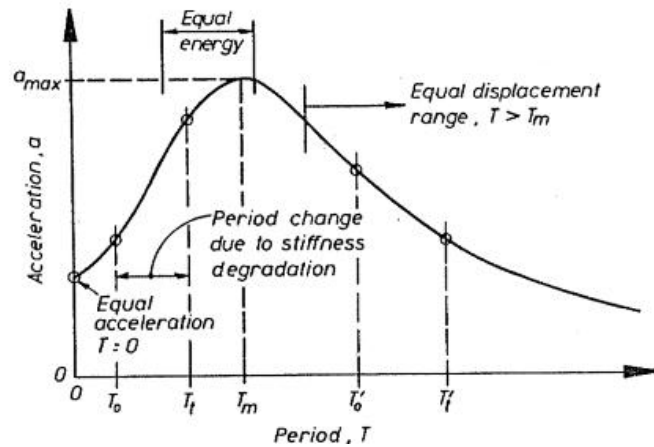


Figura 21. Influencia del periodo en la reducción de fuerza por ductilidad, (Paulay T., 1991)

La geometría de la siguiente figura implica que la ductilidad alcanzada por el sistema inelástico es aproximadamente igual al factor de reducción de fuerza, R.

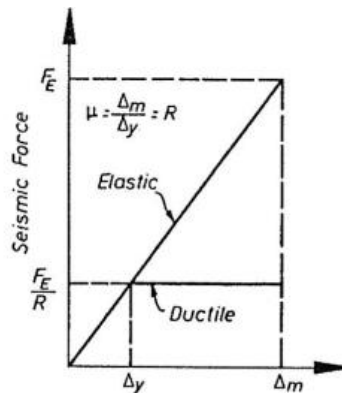


Figura 22. Relación entre ductilidad y R. Principio de iguales desplazamientos. Para estructuras de periodo largo, (Paulay T., 1991)

Lo anterior, Newmark & Hall lo llamaron el principio de desplazamientos iguales e implica que:

$$\mu = \frac{\Delta_m}{\Delta_y} = R \quad (\text{Ec.1-47})$$

Donde:

μ = Ductilidad.

R = Coeficiente de capacidad de disipación de energía.

Δ_y = Desplazamiento de fluencia.

Δ_m = Desplazamiento máximo alcanzado por la estructura.

Para estructuras de periodos cortos, particularmente para aquellas cuyo periodo natural es igual o menor que el periodo pico del espectro de respuesta, T_m , la anterior ecuación es no conservativa. Lo anterior significa que la demanda de la ductilidad de desplazamiento es mayor que el factor de reducción de fuerza. Se ha encontrado que el factor de ductilidad a desplazamiento pico alcanzado puede ser estimado razonablemente bien, igualando el área bajo la curva inelástica fuerza-desplazamiento y el área bajo la curva de relación elástica con igual rigidez inicial como se muestra en la siguiente figura:

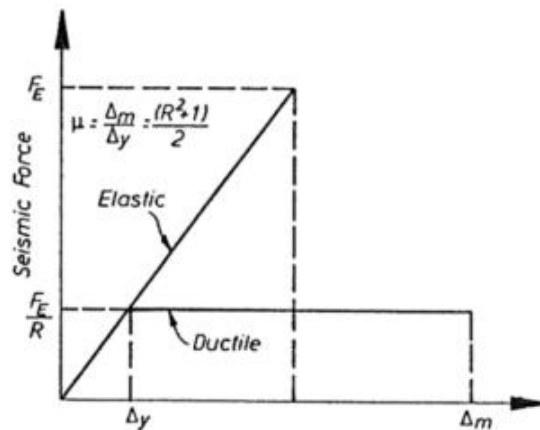


Figura 23. Relación entre ductilidad y R . Principio de iguales energías. Para estructuras de periodo corto, (Paulay T., 1991)

Dado que las áreas representan la energía total absorbida por los dos sistemas bajo carga monótonica hasta el máximo desplazamiento, Δ_m , es llamado principio de las energías iguales. La relación entre el factor de ductilidad a desplazamiento y el factor de reducción de fuerza se puede expresar como:

$$\mu = \frac{\Delta_m}{\Delta_y} = \frac{R^2+1}{2} \quad (\text{Ec.1-48})$$

Para estructuras con periodos muy cortos ($T < 0.2 \text{ seg}$), la anterior ecuación ha demostrado ser no conservativa. El principio de igual energía resulta inadecuado para las estructuras de periodos cortos debido a la tendencia del periodo de alargarse desde T_0 a un rango de periodos de mayor respuesta T_t , como consecuencia de la acción inelástica y de la degradación de la rigidez. Para los periodos cercanos a $T=0$, incluso factores de reducción de fuerza pequeños implican una gran ductilidad, debido a que las deformaciones estructurales se convierten en insignificantes comparadas con las deformaciones por movimiento del suelo. Consecuentemente la estructura experimenta la aceleración del suelo, a menos que haya un desplazamiento relativo. Las estructuras con periodos muy cortos no deberán ser diseñadas para niveles de fuerza menores que la aceleración pico del suelo. El comportamiento es teóricamente consistente y puede ser razonablemente denominado principio de aceleraciones iguales (Paulay T., 1991).

El coeficiente de capacidad de disipación de energía para un valor dado de μ es:

- Para periodos largos, $T > 1.0 \text{ s}$, $R = \mu$ (Ec.1-49)

- Para periodos cortos, $0.12 \text{ s} < T < 0.5 \text{ s}$, $R = \sqrt{2\mu - 1}$ (Ec.1-50)

- Para periodos cortos, $T < 0.03 \text{ s}$, $R = 1$ (Ec.1-51)

1.6.2. Krawmark & Hall, 1973.

Krawinkler y Nassar en 1992 desarrollaron una relación $R - \mu - T$ para un sistema de un grado de libertad en roca o suelo rígido. Ellos utilizaron los resultados de un

estudio estadístico basado en 15 sismos de magnitudes entre 5.5 y 7.7 de la parte occidental de Estados Unidos (ATC, 1995). Las ecuaciones del planteamiento son:

$$R_{\mu} = [c(\mu - 1) + 1]^{1/c} \text{ (Ec.1-52).}$$

Donde:

$$c(T, \mu) = \frac{T^a}{1+T^a} + \frac{b}{T} \text{ (Ec.1-52a)}$$

T = Periodo de la estructura.

a y b = Parámetros tabulados para diferentes relaciones de endurecimiento por deformación.

Krawinkler y Nassar también estudiaron las implicaciones de extender sus relaciones de $R - \mu - T$ a sistemas de múltiples grados de libertad. Para edificaciones con periodo fundamental menor que 0.75s, la demanda de cortante en la base en el sistema de múltiples grados de libertad es aproximadamente igual a la correspondiente demanda de resistencia de un sistema de un grado de libertad, sugiriendo que los efectos de modos más altos no necesitan ser considerados en este rango de periodos. Para edificaciones con periodo fundamental que exceden 0.75s, los efectos por modos superiores necesariamente incrementan la resistencia de diseño lateral si la relación de ductilidad objetivo no es satisfecha (ATC, 1995).

1.6.3. Miranda y Bertero, 1994.

Miranda y Bertero (1994) resumieron y volvieron a retomar las relaciones $R - \mu - T$ desarrolladas en investigaciones anteriores, para desarrollar ecuaciones generales para $R - \mu - T$ en roca, suelo aluvial y suelos blandos. Las ecuaciones de Miranda y Bertero presentadas a continuación fueron desarrolladas utilizando 124 sismos grabados en un amplio rango de condiciones de suelo, y asumiendo un amortiguamiento del 5% del crítico (ATC, 1995).

$$R = \frac{\mu-1}{\phi} + 1 \text{ (Ec.1-53)}$$

Para sitios en roca:

$$\phi = 1 + \frac{1}{1 - \mu} - \frac{1}{2T} e^{-1.5(L(T) - 0.6)^2} \quad (\text{Ec.1-53a})$$

Para sitios en suelo aluvial:

$$\phi = 1 + \frac{1}{1 - \mu} - \frac{2}{5T} e^{-2(L(T) - 0.2)^2} \quad (\text{Ec.1-53b})$$

Para sitios en suelo blando:

$$\phi = 1 + \frac{T_y}{3T} - \frac{3T_y}{4T} e^{-3(L(T/T_y) - 0.2)^2} \quad (\text{Ec.1-53c})$$

1.6.4. NEHRP 2003 y 2009.

La propuesta realizada por el National Earthquake Hazards Reduction Program en las NEHRP Recommended Seismic Provisions de 2003, FEMA 450 (FEMA, 2003) y validada y sostenida nuevamente en el FEMA 750 de 2009 (FEMA, 2009) fue realizada teniendo en cuenta la curva que describe el comportamiento de una estructura ante carga horizontal. El cálculo del valor del R se lleva a cabo comparando el comportamiento elástico de la estructura con el punto donde se presenta la primera articulación plástica:

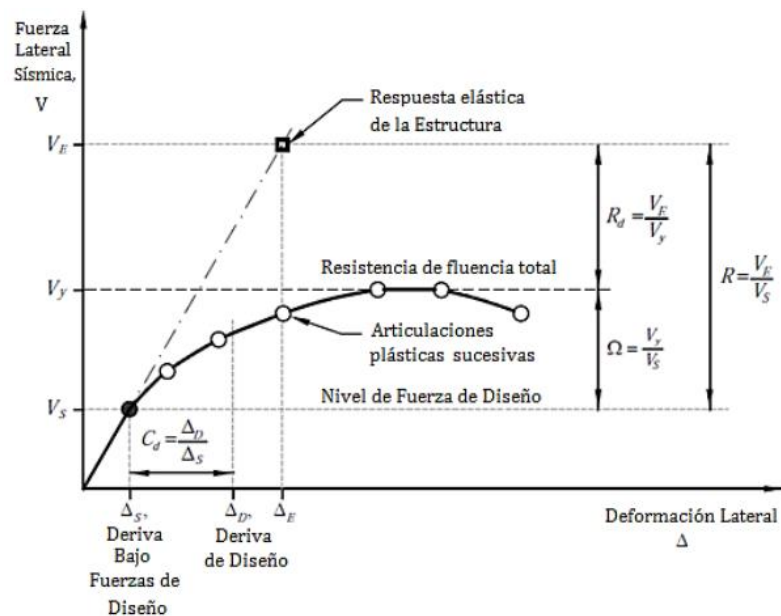


Figura 24. Curva de deformación inelástica y cálculo del R, (FEMA, 2009)

Donde:

$$R = \frac{V_E}{V_S}, \text{ Coeficiente de capacidad de disipación de energía.} \quad (\text{Ec.1-54})$$

Ω = Factor de sobrerresistencia.

C_d = Factor de amplificación de deflexión.

V_E = Demanda de cortante sísmico elástico.

V_S = Cortante de diseño (a nivel de resistencia) en la estructura (primera articulación plástica).

V_y = Cortante a nivel en que se presenta la fluencia total de la estructura.

1.6.5. A partir del punto de desempeño.

A partir de la curva de capacidad de la estructura y del espectro del sismo de diseño se obtiene el punto de desempeño de la estructura. En este proceso se considera el amortiguamiento adicional generado por los ciclos de histéresis de los elementos una vez entran al rango inelástico.

El punto de desempeño representa el desplazamiento y el cortante sísmico solicitados en la estructura durante el sismo de diseño, de modo que se considera el comportamiento inelástico y "real" de la misma. De esta forma se tiene tanto las solicitaciones a nivel de diseño como a nivel "real" para calcular el R de acuerdo con $R = \frac{V_E}{V_y}$ (Ec.1-55).

Donde:

R = Coeficiente de capacidad de disipación de energía.

V_E = Demanda de cortante sísmico elástico.

V_y = Cortante de fluencia de la curva bilineal determinada a partir del punto de desempeño y la rigidez inicial de la estructura.

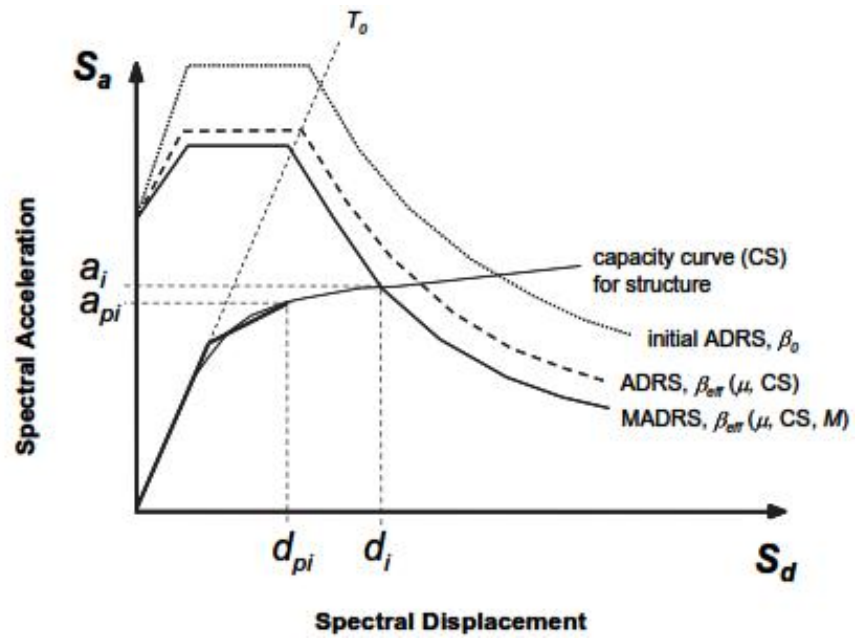


Figura 25. Determinación del máximo desplazamiento usando MADRS (FEMA-440)

Capítulo II

2. Metodología

2.1. Generalidades

La metodología seguida consistió en diseñar un grupo de edificaciones siguiendo los requisitos del Reglamento NSR-10 y luego evaluarlas utilizando métodos de análisis no lineal con el fin de estimar analíticamente tanto el coeficiente de disipación de energía efectivo, como los desplazamientos inelásticos y demás parámetros de respuesta asociados al sismo de diseño. Los análisis inelásticos se realizaron mediante el método del espectro de capacidad de acuerdo con los documentos ATC-40 y FEMA 440.

Con el fin de evaluar los parámetros mencionados antes se diseñaron pórticos genéricos representativos de la tipología de pórticos en concreto reforzado. Esto significa que se trabajó con edificaciones de altura baja e intermedia para las cuales es posible configurar su sistema de resistencia de fuerzas verticales únicamente con un sistema de pórtico.

Se diseñaron en total 24 edificaciones típicas en pórticos de concreto reforzado y con diferentes configuraciones según las consideraciones del NSR-10.

Con los resultados del diseño efectuado, se realizaron los análisis inelásticos sobre pórticos planos representativos de cada edificación, para simplificar los análisis teniendo en cuenta la regularidad de las mismas. Previamente se realizó una calibración entre el modelo completo (3D) y modelo de pórticos planos (ver anexos) para validar los resultados sobre los modelos de pórticos planos analizados inelásticamente.

Finalmente se obtiene los resultados más representativos del análisis inelástico como el coeficiente de disipación, cortante basal y derivas y se comparan contra los parámetros iniciales del diseño elástico de acuerdo con el NSR-10.

Las características de los 24 pórticos se establecen de acuerdo con las siguientes consideraciones:

- Se definen 4 configuraciones geométricas para las edificaciones, combinando dos alturas (5 y 7 pisos de 2.8m entre placas) y dos tipos de luces (5.0m y 7.0m) manteniendo fijos 3 vanos.
- Las edificaciones se estudian para 2 grados de disipación: Especial (DES) y moderada (DMO) y para dos zonas de amenaza sísmica: Alta, representativa de una ciudad como Manizales (diseños DES) e Intermedia, representativa para una ciudad como Medellín (diseños DES y DMO).
- Se definen 2 tipos de derivas (1.0% y 1.5%) asociados a niveles de desempeño diferentes para evaluar el impacto de la deriva sobre el R.

A cada modelo estructural se le asigna un nombre para los respectivos análisis, según la siguiente tabla:

Tabla 15. Nomenclatura modelos estructurales

Modelo	ID	Zona Amenaza Sísmica	Deriva	#Pisos	Luz (m)
1	DES-ZA-D1.0-5P-5L	Alta	1.0%	5	5
2	DES-ZA-D1.0-5P-7L	Alta	1.0%	5	7
3	DES-ZA-D1.0-7P-5L	Alta	1.0%	7	5
4	DES-ZA-D1.0-7P-7L	Alta	1.0%	7	7
5	DES-ZA-D1.5-5P-5L	Alta	1.5%	5	5
6	DES-ZA-D1.5-5P-7L	Alta	1.5%	5	7
7	DES-ZA-D1.5-7P-5L	Alta	1.5%	7	5
8	DES-ZA-D1.5-7P-7L	Alta	1.5%	7	7
9	DES-ZI-D1.0-5P-5L	Alta	1.0%	5	5
10	DES-ZA-D1.0-5P-7L	Alta	1.0%	5	7
11	DES-ZA-D1.0-7P-5L	Alta	1.0%	7	5
12	DES-ZA-D1.0-7P-7L	Alta	1.0%	7	7
13	DES-ZA-D1.5-5P-5L	Alta	1.5%	5	5
14	DES-ZA-D1.5-5P-7L	Alta	1.5%	5	7
15	DES-ZA-D1.5-7P-5L	Alta	1.5%	7	5
16	DES-ZA-D1.5-7P-7L	Alta	1.5%	7	7
17	DMO-ZI-D1.0-5P-5L	Intermedia	1.0%	5	5

Modelo	ID	Zona Amenaza Sísmica	Deriva	#Pisos	Luz (m)
18	DMO-ZI-D1.0-5P-7L	Intermedia	1.0%	5	7
19	DMO-ZI-D1.0-7P-5L	Intermedia	1.0%	7	5
20	DMO-ZI-D1.0-7P-7L	Intermedia	1.0%	7	7
21	DMO-ZI-D1.5-5P-5L	Intermedia	1.5%	5	5
22	DMO-ZI-D1.5-5P-7L	Intermedia	1.5%	5	7
23	DMO-ZI-D1.5-7P-5L	Intermedia	1.5%	7	5
24	DMOZI-D1.5-7P-7L	Intermedia	1.5%	7	7

Las configuraciones geométricas de las edificaciones se presentan a continuación:

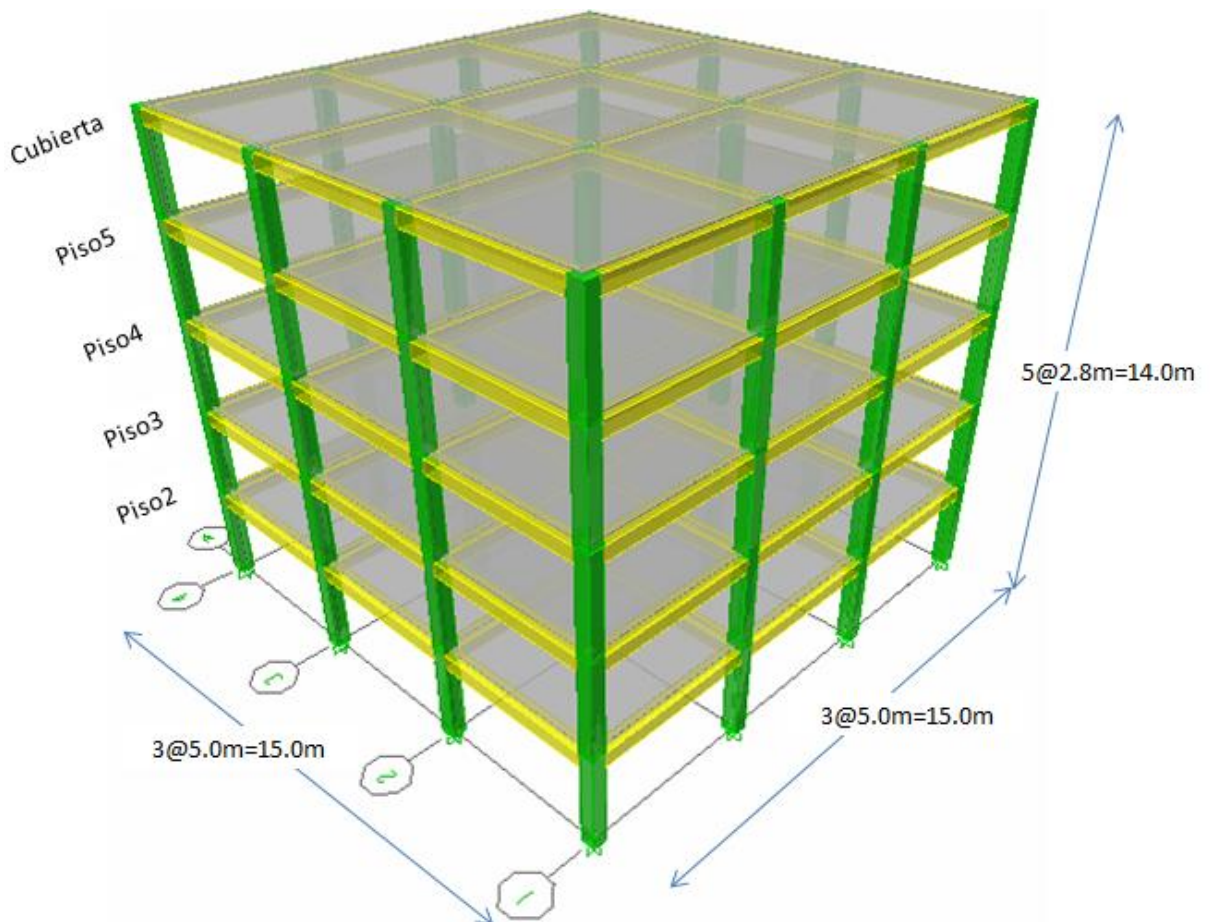


Figura 26. Modelo 5 pisos, luz 5m (5P-5L)

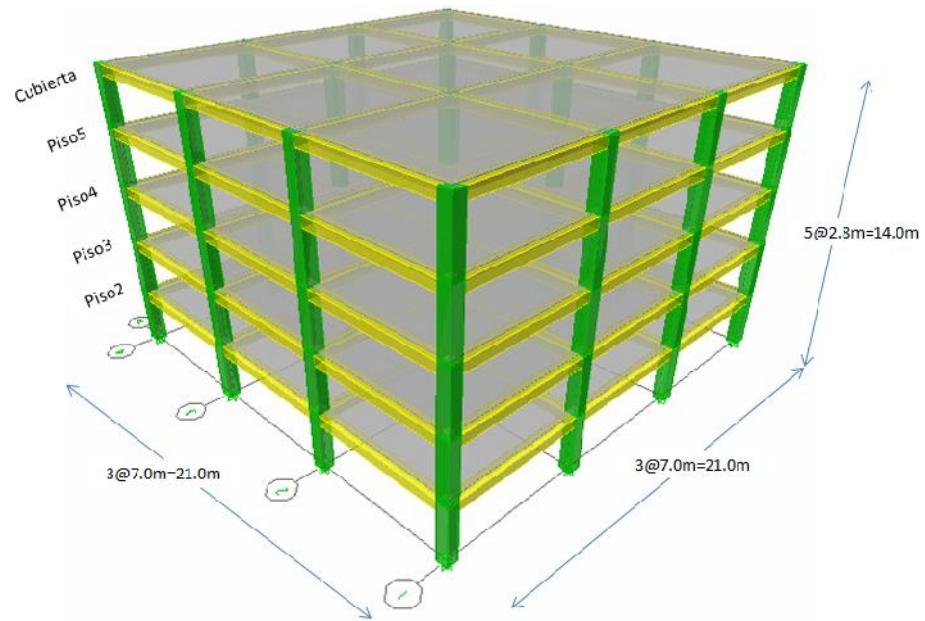


Figura 27. Modelo 5 pisos, luz 7m (5P-7L)

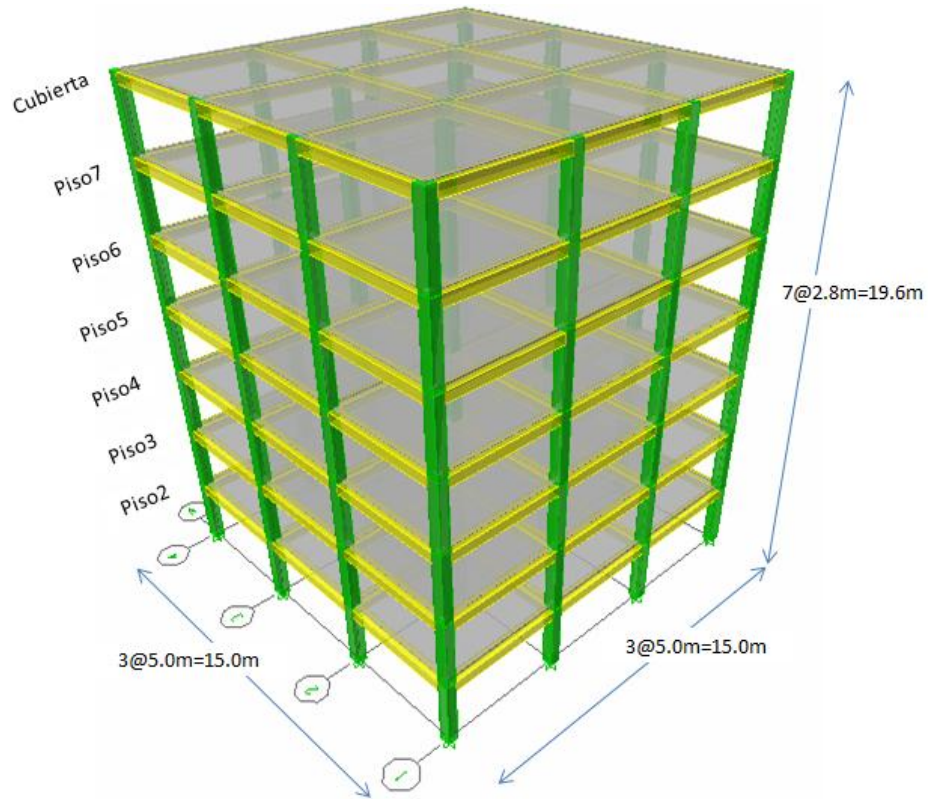


Figura 28. Modelo 7 pisos, luz 5m (7P-5L)

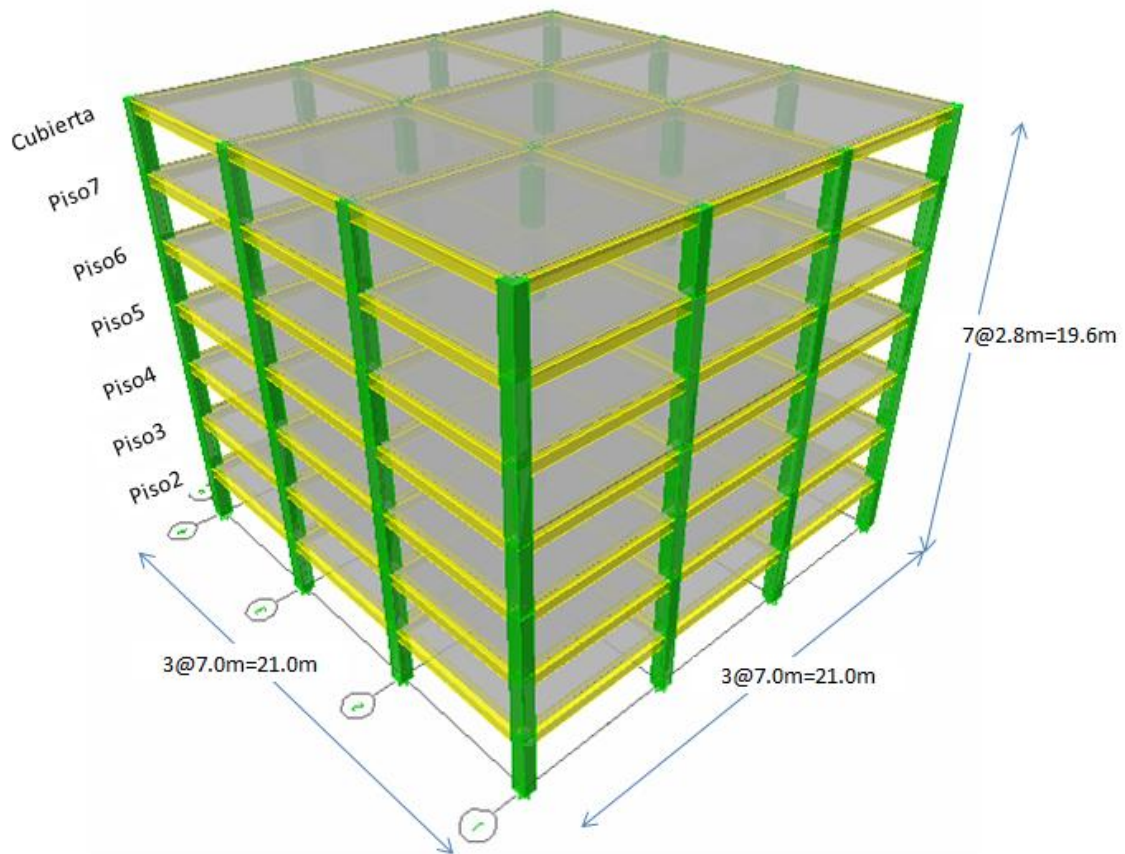


Figura 29. Modelo 7 pisos, luz 7m (7P-7L)

2.2. Alcance del análisis

Para reducir el número de variables involucradas en el desarrollo del presente trabajo, se definen ciertas consideraciones:

- Apoyos empotrados.
- No se tiene en cuenta la interacción suelo-estructura.
- No se tienen en cuenta efectos de torsión por efecto de irregularidades en planta o en altura.
- Se pretende llevar las edificaciones al límite de deriva por lo cual no se considera el límite el periodo $C_u T_a$, adicionalmente que se están utilizando secciones fisuradas.

- Se tienen en cuenta los espectros del NSR-10, por lo que no se consideran espectros de microzonificación.
- Se mantiene el criterio de columna fuerte – viga débil.

2.3. Propiedades de los materiales

Las propiedades de los materiales principales para el diseño de los pórticos a estudiar se definen a continuación.

2.3.1. Concreto.

- Resistencia a la compresión: $f'_c = 28 \text{ MPa}$
- Módulo de elasticidad: $E_c = 24870 \text{ MPa}$
- Densidad: $\rho_c = 24 \text{ kN/m}^3$.

2.3.2. Acero de refuerzo.

- Esfuerzo de fluencia: $f_y = 420 \text{ MPa}$
- Módulo de elasticidad: $E_s = 200000 \text{ MPa}$

2.3.3. Recubrimientos.

- Vigas y columnas: 40 mm, al refuerzo transversal.

2.4. Cargas

Las cargas consideradas para los respectivos análisis corresponden a una edificación típica de uso residencial según las consideraciones del Título B del NSR-10.

2.4.1. Cargas gravitacionales.

Corresponden a las cargas muertas y vivas a las cuales estará expuesta la edificación:

2.4.1.1. Cargas muertas.

Se define una placa típica para todos los modelos, consistente en una losa aligerada en una dirección. Se utiliza una altura de placa de 0.40m para todas las edificaciones. Las cargas sobreimpuestas y vivas se diferencian para los pisos típicos y cubierta.

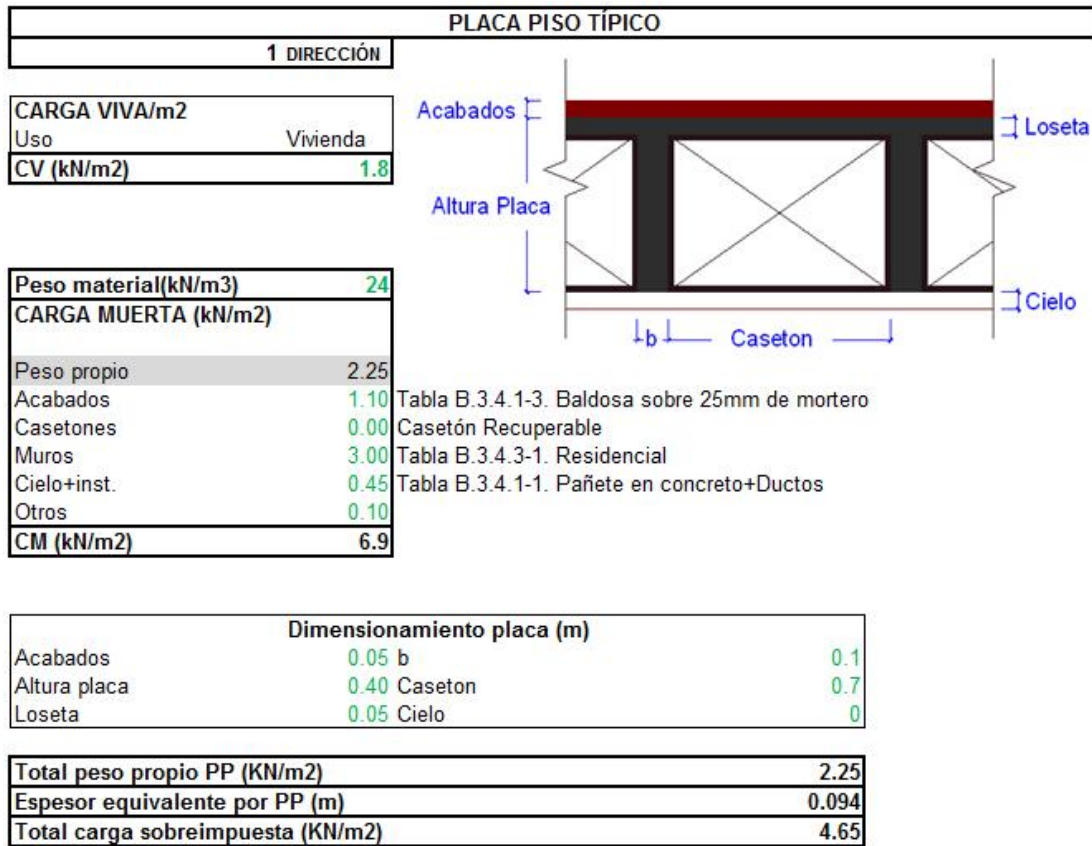


Figura 30. Placa piso típico

PLACA CUBIERTA	
1 DIRECCIÓN	
CARGA VIVA/m ²	
Uso	Cubierta
CV (kN/m ²)	0.5
Peso material(kN/m ³)	24
CARGA MUERTA (kN/m ²)	
Peso propio	2.25
Acabados	0.50
Casetones	0.00
Muros	0.00
Cielo+inst.	0.45
Otros	0.10
CM (kN/m ²)	3.3

Impermeabilización
Casetón Recuperable

Tabla B.3.4.1-1. Pañete en concreto+Ductos

Dimensionamiento placa (m)		
Acabados	0.05 b	0.1
Altura placa	0.40 Caseton	0.7
Loseta	0.05 Cielo	0
Total peso propio PP (KN/m ²)		2.25
Espesor equivalente por PP (m)		0.094
Total carga sobreimpuesta (KN/m ²)		1.05

Figura 31. Placa cubierta

Tabla 16. Cargas muertas totales

MODELO	AREA (M ²)	P.P (KN)	Sobreimp (KN)	Total C.M (KN)	Total C.M (KN/M ²)
DES-ZA-D1-7P-7L	3087	23158	12767	35924	11.6
DES-ZA-D1-7P-5L	1575	10870	6514	17384	11.0
DES-ZA-D1-5P-7L	2205	14097	8666	22763	10.3
DES-ZA-D1-5P-5L	1125	7080	4421	11502	10.2
DES-ZA-D1.5-7P-7L	3087	16730	12767	29497	9.6
DES-ZA-D1.5-7P-5L	1575	8303	6514	14817	9.4
DES-ZA-D1.5-5P-7L	2205	11137	8666	19802	9.0
DES-ZA-D1.5-5P-5L	1125	5702	4421	10123	9.0
DES/DMO-ZI-D1-7P-7L	3087	20248	12767	33015	10.7
DES/DMO-ZI-D1-7P-5L	1575	9971	6514	16485	10.5
DES/DMO-ZI-D1-5P-7L	2205	12286	8666	20951	9.5
DES/DMO-ZI-D1-5P-5L	1125	6474	4421	10895	9.7
DES/DMO-ZI-D1.5-7P-7L	3087	15591	12767	28358	9.2
DES/DMO-ZI-D1.5-7P-5L	1575	7177	6514	13690	8.7
DES/DMO-ZI-D1.5-5P-7L	2205	10854	8666	19520	8.9
DES/DMO-ZI-D1.5-5P-5L	1125	5126	4421	9547	8.5

2.4.1.2. Cargas vivas.

Las cargas vivas se definen de acuerdo con lo siguiente:

- Pisos típicos: 1.8 kN/m²
- Cubierta: 0.5 kN/m²

2.4.2. Parámetros sísmicos.

Las cargas sísmicas se definen en función de los espectros sísmicos para zonas de amenaza sísmica alta e intermedia correspondientes a ciudades como Manizales y Medellín. Los parámetros sísmicos se definen de acuerdo al NSR-10 como sigue:

- Perfil de suelo: Tipo D.
- Zona de amenaza sísmica: Alta (Manizales)
 - $A_a= 0.25$
 - $A_v=0.25$
 - $F_a=1.3$
 - $F_v=1.9$
- Zona de amenaza sísmica: Intermedia (Medellín)
 - $A_a= 0.15$
 - $A_v=0.20$
 - $F_a=1.5$
 - $F_v=2.0$
- Grupo de uso: I
- Coeficiente de importancia: $I=1.0$

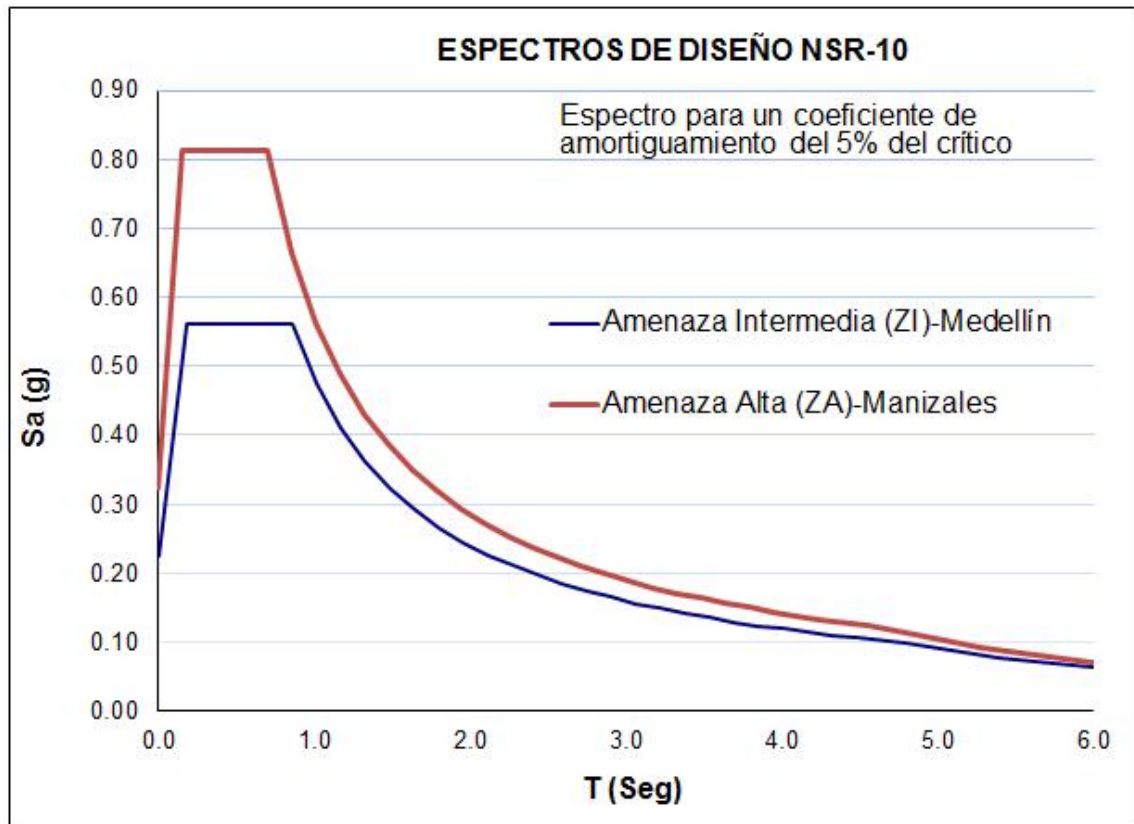


Figura 32. Espectros sísmicos de diseño

2.5. Análisis Estructural

El análisis se realiza mediante lo especificado en el NSR-10, Títulos A, B y C. A continuación se presentan los parámetros considerados en el diseño estructural de las edificaciones y los datos más relevantes. El diseño completo se presenta en los respectivos anexos.

2.5.1. Inercia secciones de pórticos.

Se definen las inercias de acuerdo con lo especificado en el numeral C.10.10.4.1 del NSR-10:

- Columnas (elementos en compresión): $I = 0.70I_g$ (Ec.2-1)
- vigas (elementos a flexión): $I = 0.35I_g$ (Ec.2-2)

2.5.2. Análisis sísmico.

El análisis sísmico se realizó por el método modal espectral según el numeral A.5.4 de la NSR-10 (método dinámico elástico espectral), con un modelo que asegure distribuir la fuerza sísmica entre todos los elementos que la resisten. Dado que las estructuras son regulares, se utilizaron para todas las configuraciones un total de 15 modos de vibración para obtener más del 90% de la masa participante de la estructura, y ajustado los resultados y el cortante basal al 80% del que se obtendría por el método de la fuerza horizontal equivalente.

2.5.3. Coeficientes de disipación de energía.

El coeficiente de disipación de energía se estableció como se presenta a continuación. No se utilizaron factores de reducción porque no se tendrán irregularidades en las edificaciones.

- Capacidad de disipación de energía DES: $R_o=R=7$
- Capacidad de disipación de energía DMO: $R_o=R=5$

2.5.4. Periodos fundamentales.

El primer modo del análisis modal se toma como el periodo fundamental del edificio. El límite $C_u T_a$ no se tiene en cuenta para efectos del presente estudio dado que limitaría los parámetros que se quieren estudiar y adicionalmente se están utilizando secciones fisuradas.

Tabla 17. Periodos fundamentales

MODELO	T (seg)
DES-ZA-D1-7P-7L	0.91
DES-ZA-D1-7P-5L	0.90
DES-ZA-D1-5P-7L	0.69
DES-ZA-D1-5P-5L	0.70
DES-ZA-D1.5-7P-7L	1.32
DES-ZA-D1.5-7P-5L	1.33
DES-ZA-D1.5-5P-7L	1.03
DES-ZA-D1.5-5P-5L	0.97
DES/DMO-ZI-D1-7P-7L	1.08
DES/DMO-ZI-D1-7P-5L	1.05
DES/DMO-ZI-D1-5P-7L	0.84
DES/DMO-ZI-D1-5P-5L	0.82
DES/DMO-ZI-D1.5-7P-7L	1.54
DES/DMO-ZI-D1.5-7P-5L	1.52
DES/DMO-ZI-D1.5-5P-7L	1.09
DES/DMO-ZI-D1.5-5P-5L	1.03

2.5.5. Participación de masa.

Se presentan los modos en los cuales los porcentajes de participación de masa superan el 90% de la masa sísmica:

Tabla 18. Porcentajes de participación de masa

MODELO	MODO	T (Seg)	SUM UX (%)	SUM UX (%)
DES-ZA-D1-5P-5L	5	0.20	91.8	91.8
DES-ZA-D1-5P-7L	5	0.19	90.8	90.8
DES-ZA-D1-7P-5L	5	0.28	91.0	91.0
DES-ZA-D1-7P-7L	8	0.11	94.2	94.2
DES-ZA-D1.5-5P-5L	5	0.30	92.8	92.8
DES-ZA-D1.5-5P-7L	5	0.29	91.3	91.3
DES-ZA-D1.5-7P-5L	5	0.41	90.7	90.7
DES-ZA-D1.5-7P-7L	8	0.20	94.7	94.7
DES/DMO-ZI-D1-5P-5L	5	0.24	91.7	91.7
DES/DMO-ZI-D1-5P-7L	5	0.23	91.0	91.0
DES/DMO-ZI-D1-7P-5L	5	0.33	91.0	91.0
DES/DMO-ZI-D1-7P-7L	8	0.14	94.2	94.2
DES/DMO-ZI-D1.5-5P-5L	5	0.31	92.4	92.4
DES/DMO-ZI-D1.5-5P-7L	5	0.32	91.8	91.8
DES/DMO-ZI-D1.5-7P-5L	5	0.47	91.0	91.0
DES/DMO-ZI-D1.5-7P-7L	8	0.23	94.6	94.6

2.5.6. Cortantes basales y ajustes de resultados.

El cortante de diseño es el mayor entre el obtenido en el análisis modal y el 80% del que se obtendría por medio de la fuerza horizontal equivalente:

Tabla 19. Cortantes basales bajo el NSR-10

MODELO	Sa	CORTANTES BASALES (KN)	
		V=0.8VFHE	Vmodal
DES-ZA-D1-7P-7L	0.63	18106	16639
DES-ZA-D1-7P-5L	0.63	8761	8586
DES-ZA-D1-5P-7L	0.81	14750	13774
DES-ZA-D1-5P-5L	0.81	7453	7166
DES-ZA-D1.5-7P-7L	0.43	10147	10083
DES-ZA-D1.5-7P-5L	0.43	5097	5116
DES-ZA-D1.5-5P-7L	0.55	8713	8615
DES-ZA-D1.5-5P-5L	0.59	4778	4827
DES/DMO-ZI-D1-7P-7L	0.44	11621	10891
DES/DMO-ZI-D1-7P-5L	0.46	6066	5895
DES/DMO-ZI-D1-5P-7L	0.56	9386	8913
DES/DMO-ZI-D1-5P-5L	0.56	4881	4729
DES/DMO-ZI-D1.5-7P-7L	0.31	7033	7020
DES/DMO-ZI-D1.5-7P-5L	0.32	3505	3490
DES/DMO-ZI-D1.5-5P-7L	0.44	6871	6817
DES/DMO-ZI-D1.5-5P-5L	0.47	3590	3534

2.5.7. Derivas.

La revisión de las derivas se obtiene como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los desplazamientos relativos entre pisos y dividiendo entre la altura del mismo.

Se revisan las derivas con los desplazamientos máximos en cada piso, teniendo en cuenta los límites analizados del 1.0% y el 1.5% y la consideración de secciones fisuradas, donde anota el NSR-10: “Cuando se utilicen secciones fisuradas,....., las derivas pueden multiplicarse por 0.7 antes de hacer la comparación con los límites dados en la tabla A.6.1-4”.

Tabla 20. Derivas bajo el NSR-10

MODELO	δ	$\delta_{\text{máx}}$	If
DES-ZA-D1-7P-7L	1.41%	1.41%	1.00
DES-ZA-D1-7P-5L	1.40%	1.40%	1.00
DES-ZA-D1-5P-7L	1.44%	1.44%	1.00
DES-ZA-D1-5P-5L	1.45%	1.45%	1.00
DES-ZA-D1.5-7P-7L	2.06%	2.06%	1.00
DES-ZA-D1.5-7P-5L	2.06%	2.06%	1.00
DES-ZA-D1.5-5P-7L	2.10%	2.10%	1.00
DES-ZA-D1.5-5P-5L	2.07%	2.07%	1.00
DES/DMO-ZI-D1-7P-7L	1.43%	1.43%	1.00
DES/DMO-ZI-D1-7P-5L	1.39%	1.43%	0.97
DES/DMO-ZI-D1-5P-7L	1.46%	1.43%	1.02
DES/DMO-ZI-D1-5P-5L	1.40%	1.43%	0.98
DES/DMO-ZI-D1.5-7P-7L	2.02%	2.14%	0.94
DES/DMO-ZI-D1.5-7P-5L	2.00%	2.14%	0.94
DES/DMO-ZI-D1.5-5P-7L	1.91%	2.14%	0.89
DES/DMO-ZI-D1.5-5P-5L	1.88%	2.14%	0.88

2.6. Diseño de Pórticos Según NSR-10

El diseño estructural de los pórticos se realizó de acuerdo con el análisis descrito anteriormente teniendo en cuenta los límites de deriva establecidos, esfuerzos y adicionalmente se verifica el diseño por capacidad de acuerdo al Capítulo C.21 del NSR-10.

2.6.1. Secciones de pórticos.

Después de los análisis realizados se obtienen las siguientes secciones para su diseño según el NSR-10 y los análisis inelásticos. Las secciones de los pórticos en zona de amenaza intermedia, para grados de disipación DES y DMO, son las mismas, dado que domina en el diseño, el control de la deriva. Para el diseño hay unas pequeñas variaciones al utilizar diferente valor de "R":

Tabla 21. Secciones de pórticos

SECCIONES PÓRTICOS - CON SECCIONES FISURADAS			
DISIPACIÓN	CONFIGURACIÓN	MODELOS DERIVA 1%	MODELOS DERIVA 1.5%
DES-AMENAZA ALTA	DES-ZA-7P-7L	COL 90X90, VIG 65X55	COL 60X60, VIG 50X50
	DES-ZA-7P-5L	COL 55X55, VIG 50X50	COL 45X45, VIG 40X40
	DES-ZA-5P-7L	COL 75X75, VIG 55X55	COL 55X55, VIG 50X50
	DES-ZA-5P-5L	COL 55X55, VIG 45X45	COL 40X40, VIG 40X40
DES/DMO-AMENAZA INTERMEDIA	DES/DMO-ZI-7P-7L	COL 80X80, VIG 60X50	COL 55X55, VIG 50X45
	DES/DMO-ZI-7P-5L	COL 50X50, VIG 50X45	COL 40X40, VIG 30X40
	DES/DMO-ZI-5P-7L	COL 65X65, VIG 50X50	COL 50X50, VIG 50X45
	DES/DMO-ZI-5P-5L	COL 50X50, VIG 45X40	COL 40X40, VIG 30X40

2.6.2. Diseño de vigas.

Se realizó el diseño de las vigas teniendo en cuenta los requisitos del NSR-10, en especial del Capítulo C.21, entre los cuales se destacan los siguientes:

2.6.2.1. Requisitos DES.

- Cuantía longitudinal: Máximo 2.5%.
- Longitud de confinamiento:
 - En una altura igual a dos veces la altura del elemento, medida desde la cara del apoyo.
 - En una altura igual a dos veces la altura del elemento, a ambos lados donde pueda ocurrir fluencia por flexión.
- Separación de los estribos de confinamiento: La menor entre:
 - $d/4$.
 - Ocho veces el diámetro de las barras longitudinales más pequeñas.
 - 24 veces el diámetro de la barra del estribo cerrado de confinamiento.
 - 300mm

Tabla 22. Resumen de refuerzo en vigas disipación DES

REFUERZO EN NUDOS VIGAS - MODELOS DES - AMENAZA ALTA DERIVA 1%								
MODELO	Sección Viga		Refuerzo. Longitud.		Refuerzo transversal nudo			
	b	h	Superior	Inferior	Cantidad		Feje	Sep.
	mm	mm			Flejes	Ramas	#	mm
DES-D1-ZA-7P-7L	650	550	3#8+2#8	5#6	12	4	3	100
DES-D1-ZA-7P-5L	500	500	2#7+2#6	3#6	11	3	3	100
DES-D1-ZA-5P-7L	550	550	2#8+3#8	5#6	12	4	3	100
DES-D1-ZA-5P-5L	450	450	2#7+2#7	4#5	10	3	3	100

REFUERZO EN NUDOS VIGAS - MODELOS DES - AMENAZA ALTA DERIVA 1.5%								
MODELO	Sección Viga		Refuerzo. Longitud.		Refuerzo transversal			
	b	h	Superior	Inferior	Cantidad		Feje	Sep.
	mm	mm			Flejes	Ramas	#	mm
DES-D1.5-ZA-7P-7L	500	500	2#8+3#8	5#6	11	4	3	100
DES-D1.5-ZA-7P-5L	400	400	2#7+2#6	4#5	11	2	3	80
DES-D1.5-ZA-5P-7L	500	500	2#7+4#8	4#7	11	4	3	100
DES-D1.5-ZA-5P-5L	400	400	2#6+2#7	4#5	11	2	3	80

REFUERZO EN NUDOS VIGAS - MODELOS DES - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1%								
MODELO	Sección Viga		Refuerzo. Longitud.		Refuerzo transversal nudo			
	b	h	Superior	Inferior	Cantidad		Feje	Sep.
	mm	mm			Flejes	Ramas	#	mm
DES-D1-ZI-7P-7L	600	500	2#8+3#8	4#7	11	4	3	100
DES-D1-ZI-7P-5L	500	450	2#7+2#7	4#5	10	3	3	100
DES-D1-ZI-5P-7L	500	500	2#8+3#8	3#7	11	4	3	100
DES-D1-ZI-5P-5L	450	400	2#7+2#7	4#5	11	3	3	80

REFUERZO EN NUDOS VIGAS - MODELOS DES - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1.5%								
MODELO	Sección Viga		Refuerzo. Longitud.		Refuerzo transversal nudo			
	b	h	Superior	Inferior	Cantidad		Feje	Sep.
	mm	mm			Flejes	Ramas	#	mm
DES-D1.5-ZI-7P-7L	500	450	2#8+4#8	3#6+2#7	10	4	3	100
DES-D1.5-ZI-7P-5L	300	400	1#8+2#8	3#6	11	2	3	80
DES-D1.5-ZI-5P-7L	500	450	2#8+4#8	4#7	10	4	3	100
DES-D1.5-ZI-5P-5L	300	400	1#8+2#8	3#6	11	2	3	80

2.6.2.2. Requisitos DMO.

- Cuantía longitudinal: Máximo 2.5%.
- Longitud de confinamiento:
 - En una altura igual a dos veces la altura del elemento, medida desde la cara del apoyo.
- Separación de los estribos de confinamiento: La menor entre:
 - $d/4$.

- Ocho veces el diámetro de las barras longitudinales más pequeña.
- 24 veces el diámetro de la barra del estribo cerrado de confinamiento.
- 300mm

Tabla 23. Resumen de refuerzo en vigas disipación DMO

REFUERZO EN NUDOS VIGAS - MODELOS DMO - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1%								
MODELO	Sección Viga		Refuerzo. Longitud.		Refuerzo transversal			
	b	h	Superior	Inferior	Cantidad		Feje	Sep.
	mm	mm			Flejes	Ramas	#	mm
DMO-D1-ZI-7P-7L	600	500	2#8+4#8	4#7	11	4	3	100
DMO-D1-ZI-7P-5L	500	450	2#7+2#7	4#5	10	3	3	100
DMO-D1-ZI-5P-7L	500	500	2#8+4#8	4#7	11	4	3	100
DMO-D1-ZI-5P-5L	450	400	2#7+2#7	4#5	11	3	3	80

REFUERZO EN NUDOS VIGAS - MODELOS DMO - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1.5%								
MODELO	Sección Viga		Refuerzo. Longitud.		Refuerzo transversal			
	b	h	Superior	Inferior	Cantidad		Feje	Sep.
	mm	mm			Flejes	Ramas	#	mm
DMO-D1.5-ZI-7P-7L	500	450	2#8+4#8	3#6+2#7	10	4	3	100
DMO-D1.5-ZI-7P-5L	300	400	1#8+2#8	3#6	11	2	3	80
DMO-D1.5-ZI-5P-7L	500	450	2#8+4#8	4#7	10	4	3	100
DMO-D1.5-ZI-5P-5L	300	400	1#8+2#8	3#6	11	2	3	80

2.6.3. Diseño de columnas.

Se realizó el diseño de las columnas teniendo en cuenta los requisitos del NSR-10, en especial del Capítulo C.21, entre los cuales se destacan los siguientes:

2.6.3.1. Requisitos DES.

- Cuantía longitudinal: Mínimo 1%, máximo 4%.
- Área de refuerzo transversal en la sección: La mayor entre:

$$A_{sh} = 0.3 \frac{s_b c f'_c}{f_y} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad (\text{Ec.2-3})$$

$$A_{sh} = 0.09 \frac{s_b c f'_c}{f_y} \quad (\text{Ec.2-3a})$$

- Longitud de confinamiento, l_o : La mayor entre:
 - Altura del elemento en cara del nudo o sección donde pueda ocurrir fluencia.
 - Un sexto de la luz libre del elemento.
 - 450 mm.
- Separación S_o del refuerzo transversal en l_o : La menor entre (no es necesario tomarlo menor a 100 mm):
 - La cuarta parte de la dimensión mínima del elemento.
 - Seis veces el diámetro de la barra de refuerzo longitudinal menor.
 - $S_o = 100 + \left(\frac{3}{3} - h_x \right)$ (Ec.2-4)
 - 150 mm.

Tabla 24. Resumen de refuerzo en columnas disipación DES

REFUERZO EN NUDOS COLUMNAS - MODELOS DES - AMENAZA ALTA DERIVA 1%								
MODELO	Sección Col.		Ref. Long.	Refuerzo transversal nudo				
	b	h	Cantidad	Cantidad			Feje	Sep.
	mm	mm		Flejes	Ramas-bb	Ramas-hh	#	mm
DES-ZA-D1-7P-7L	900	900	24#7	10	6	6	4	100
DES-ZA-D1-7P-5L	550	550	16#5	7	3	3	4	100
DES-ZA-D1-5P-7L	750	750	20#6	9	4	4	4	100
DES-ZA-D1-5P-5L	550	550	16#5	7	3	3	4	100

REFUERZO EN NUDOS COLUMNAS - MODELOS DES - AMENAZA ALTA DERIVA 1.5%								
MODELO	Sección Col.		Ref. Long.	Refuerzo transversal nudo				
	b	h	Cantidad	Cantidad			Feje	Sep.
	mm	mm		Flejes	Ramas-bb	Ramas-hh	#	mm
DES-ZA-D1.5-7P-7L	600	600	16#6	7	3	3	4	100
DES-ZA-D1.5-7P-5L	450	450	8#6	6	3	3	4	100
DES-ZA-D1.5-5P-7L	550	550	16#5	7	3	3	4	100
DES-ZA-D1.5-5P-5L	400	400	8#5	6	3	3	4	100

REFUERZO EN NUDOS COLUMNAS - MODELOS DES - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1%								
MODELO	Sección Col.		Ref. Long.	Refuerzo transversal nudo				
	b	h	Cantidad	Cantidad			Feje	Sep.
	mm	mm		Flejes	Ramas-bb	Ramas-hh	#	mm
DES-ZI-D1-7P-7L	800	800	20#7	9	5	5	4	100
DES-ZI-D1-7P-5L	500	500	16#5	6	3	3	4	100
DES-ZI-D1-5P-7L	650	650	16#6	8	3	3	4	100
DES-ZI-D1-5P-5L	500	500	16#5	6	3	3	4	100

REFUERZO EN NUDOS COLUMNAS - MODELOS DES - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1.5%								
MODELO	Sección Col.		Ref. Long.	Refuerzo transversal nudo				
	b	h	Cantidad	Cantidad			Feje	Sep.
	mm	mm		Flejes	Ramas-bb	Ramas-hh	#	mm
DES-ZI-D1.5-7P-7L	550	550	16#6	7	3	3	4	100
DES-ZI-D1.5-7P-5L	400	400	8#5	6	3	3	4	100
DES-ZI-D1.5-5P-7L	500	500	12#6	6	3	3	4	100
DES-ZI-D1.5-5P-5L	400	400	8#5	6	3	3	4	100

2.6.3.2. Requisitos DMO.

- Cuantía longitudinal: Mínimo 1%, máximo 4%.
- Área de refuerzo transversal en la sección: La mayor entre:

$$A_{sh} = 0.2 \frac{s_b c f'_c}{f_y} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad (\text{Ec.2-5})$$

$$A_{sh} = 0.06 \frac{s_b c f'_c}{f_y} \quad (\text{Ec.2-5a})$$

- Longitud de confinamiento, l_o : La mayor entre:
 - Una sexta parte de la luz libre de la columna.
 - La mayor dimensión de la sección transversal de la columna.
 - 500 mm.
- Separación S_o del refuerzo transversal en l_o : La menor entre:
 - Ocho veces el diámetro de la barra longitudinal confinada de menor diámetro.
 - 16 veces el diámetro de la barra del estribo cerrado de confinamiento.
 - Un tercio de la menor dimensión de la sección transversal de la columna.
 - 150 mm.

Tabla 25. Resumen de refuerzo en columnas disipación DMO

REFUERZO EN NUDOS COLUMNAS - MODELOS DMO - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1%								
MODELO	Sección Col.		Ref. Long.	Refuerzo transversal nudo				
	b	h	Cantidad	Cantidad			Feje	Sep.
	mm	mm		Flejes	Ramas-bb	Ramas-hh	#	mm
DMO-ZI-D1-7P-7L	800	800	20#7	8	4	4	4	120
DMO-ZI-D1-7P-5L	500	500	16#5	5	3	3	4	120
DMO-ZI-D1-5P-7L	650	650	16#6	6	3	3	4	120
DMO-ZI-D1-5P-5L	500	500	16#5	5	3	3	4	120

REFUERZO EN NUDOS COLUMNAS - MODELOS DMO - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1.5%								
MODELO	Sección Col.		Ref. Long.	Refuerzo transversal nudo				
	b	h	Cantidad	Cantidad			Feje	Sep.
	mm	mm		Flejes	Ramas-bb	Ramas-hh	#	mm
DMO-ZI-D1.5-7P-7L	550	550	20#6	5	4	4	4	150
DMO-ZI-D1.5-7P-5L	400	400	12#6	5	3	3	4	120
DMO-ZI-D1.5-5P-7L	500	500	12#6	4	3	3	4	150
DMO-ZI-D1.5-5P-5L	400	400	8#5	5	3	3	4	120

2.7. Diseño Inelástico

A continuación se presentan las propiedades del concreto y los diagramas momento-curvatura para las columnas y vigas, teniendo en cuenta el Modelo de Mander y las variables principales como el refuerzo longitudinal, la forma de la sección transversal, diámetro de los flejes y separación de los mismos, entre otras. Dichos diagramas se obtuvieron mediante el programa SAP 2000 teniendo en cuenta los parámetros definidos en el presente capítulo.

2.7.1. Parámetros de los materiales.

2.7.1.1. Propiedades del acero.

El acero de refuerzo longitudinal y transversal se define para un $f_y = 420$ MPa y teniendo en cuenta su curva de comportamiento real.

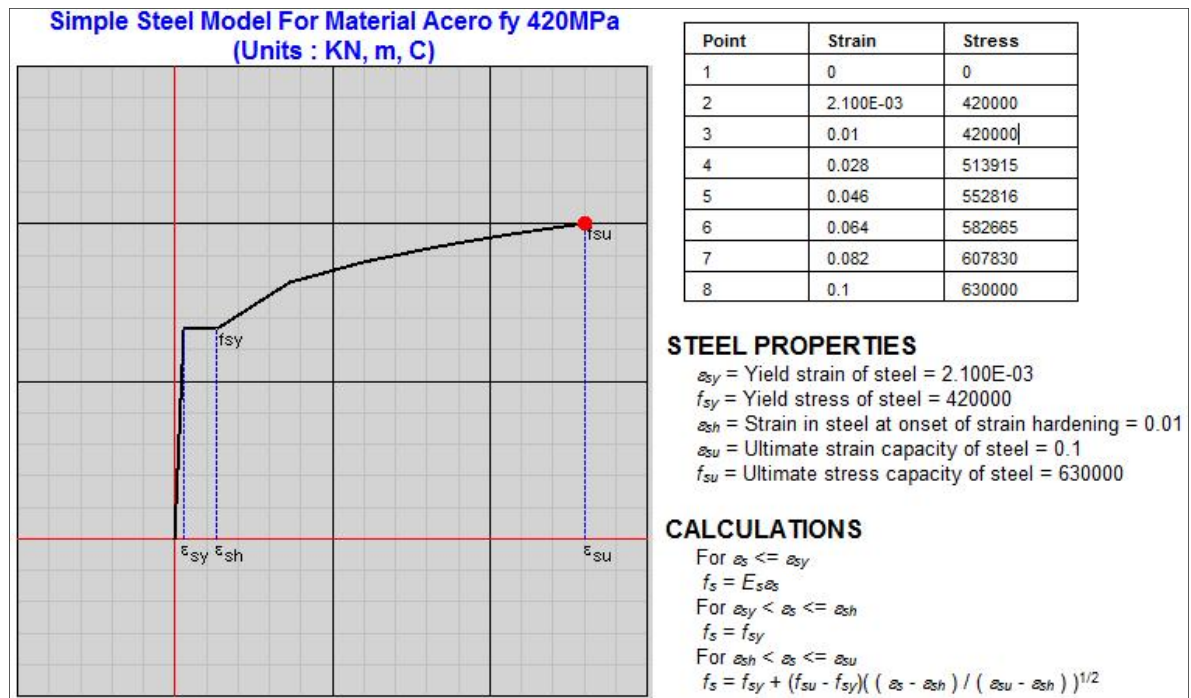


Figura 33. Modelo del acero de refuerzo

2.7.1.2. Propiedades del concreto en columnas.

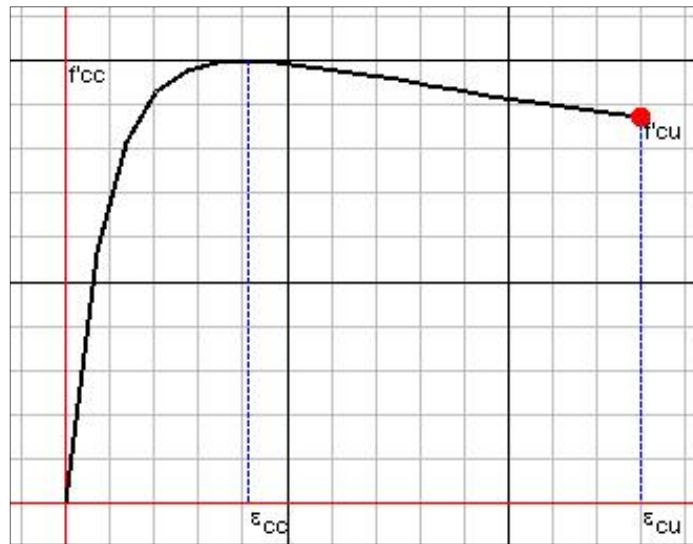


Figura 34. Curva típica concreto confinado columnas – Modelo Mander

Tabla 26. Parámetros concreto confinado en columnas

MODELO	PARÁMETRO CONCRETO CONFINADO COLUMNAS						
	f'c (Mpa)	f'cc (MPa)	Ke = f'cc/f'c	εcc	f'cu (MPa)	f'cu/f'c	εcu
DES-ZA-D1-5P-5L/ COL 55x55	28.0	41.0	1.47	0.0061	32.3	1.15	0.0288
DES-ZA-D1-5P-7L/ COL 75x75	28.0	41.9	1.50	0.0068	34.5	1.23	0.0259
DES-ZA-D1-7P-5L/ COL 55x55	28.0	41.0	1.47	0.0061	32.3	1.15	0.0288
DES-ZA-D1-7P-7L/ COL 90x90	28.0	46.4	1.66	0.0072	40.4	1.44	0.0274
DES-ZI-D1.5-5P-5L/ COL 40x40	28.0	45.4	1.62	0.0078	36.5	1.31	0.0372
DES-ZI-D1.5-5P-7L/ COL 50x50	28.0	42.3	1.51	0.0081	33.6	1.20	0.0309
DES-ZI-D1.5-7P-5L/ COL 40x40	28.0	45.4	1.62	0.0078	36.5	1.31	0.0372
DES-ZI-D1.5-7P-7L/ COL 55x55	28.0	41.2	1.47	0.0075	32.7	1.17	0.0286
DES-ZI-D1-5P-5L/ COL 50x50	28.0	42.1	1.50	0.0066	33.2	1.19	0.0312
DES-ZI-D1-5P-7L/ COL 65x65	28.0	38.4	1.37	0.0069	28.6	1.02	0.0264
DES-ZI-D1-7P-5L/ COL 50x50	28.0	42.1	1.50	0.0066	33.2	1.19	0.0312
DES-ZI-D1-7P-7L/ COL 80x80	28.0	45.0	1.61	0.0071	38.7	1.38	0.0271
DES-ZI-D1.5-5P-5L/ COL 40x40	28.0	45.4	1.62	0.0078	36.5	1.31	0.0372
DES-ZI-D1.5-5P-7L/ COL 50x50	28.0	42.3	1.51	0.0081	33.6	1.20	0.0309
DES-ZI-D1.5-7P-5L/ COL 40x40	28.0	45.4	1.62	0.0078	36.5	1.31	0.0372
DES-ZI-D1.5-7P-7L/ COL 55x55	28.0	41.2	1.47	0.0075	32.7	1.17	0.0286
DMO-ZI-D1-5P-5L/ COL 50x50	28.0	38.8	1.39	0.0062	28.4	1.01	0.0296
DMO-ZI-D1-5P-7L/ COL 65x65	28.0	36.4	1.30	0.0064	25.7	0.92	0.0244
DMO-ZI-D1-7P-5L/ COL 50x50	28.0	38.9	1.39	0.0063	28.5	1.02	0.0297
DMO-ZI-D1-7P-7L/ COL 80x80	28.0	38.2	1.36	0.0061	29.5	1.05	0.0233
DMO-ZI-D1.5-5P-5L/ COL 40x40	28.0	41.9	1.50	0.0074	31.8	1.14	0.0353
DMO-ZI-D1.5-5P-7L/ COL 50x50	28.0	36.1	1.29	0.0072	24.3	0.87	0.0273
DMO-ZI-D1.5-7P-5L/ COL 40x40	28.0	42.4	1.52	0.0073	32.8	1.17	0.0345
DMO-ZI-D1.5-7P-7L/ COL 55x55	28.0	39.4	1.41	0.0073	30.0	1.07	0.0276

2.7.1.3. Propiedades del concreto en vigas.

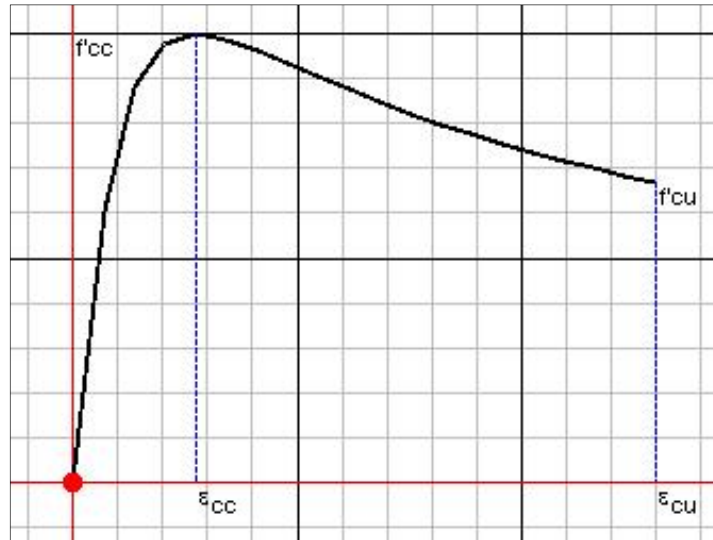


Figura 35. Curva típica concreto confinado vigas – Modelo Mander

Tabla 27. Parámetros concreto confinado en vigas

MODELO	PARÁMETRO CONCRETO CONFINADO VIGAS						
	f'c (Mpa)	f'cc (MPa)	Ke = f'cc/f'c	εcc	f'cu (MPa)	f'cu/f'c	εcu
DES-ZA-D1-5P-5L-VG 45x45	28.0	34.2	1.22	0.0038	21.4	0.76	0.0242
DES-ZA-D1-5P-7L-VG 55x55	28.0	34.2	1.22	0.0047	22.1	0.79	0.0225
DES-ZA-D1-7P-5L-VG 50x50	28.0	33.5	1.20	0.0047	20.8	0.74	0.0222
DES-ZA-D1-7P-7L-VG 65x55	28.0	34.2	1.22	0.0042	22.9	0.82	0.0200
DES-ZA-D1.5-5P-5L-VG 40x40	28.0	33.8	1.21	0.0047	18.8	0.67	0.0297
DES-ZA-D1.5-5P-7L-VG 50x50	28.0	34.7	1.24	0.0052	22.4	0.80	0.0245
DES-ZA-D1.5-7P-5L-VG 40x40	28.0	33.8	1.21	0.0063	18.8	0.67	0.0297
DES-ZA-D1.5-7P-7L-VG 50x50	28.0	34.7	1.24	0.0052	22.5	0.80	0.0245
DES-ZI-D1-5P-5L-VG 45x40	28.0	36.5	1.30	0.0044	24.9	0.89	0.0279
DES-ZI-D1-5P-7L-VG 50x50	28.0	34.7	1.24	0.0051	22.6	0.81	0.0244
DES-ZI-D1-7P-5L-VG 50x45	28.0	33.9	1.21	0.0048	21.4	0.77	0.0228
DES-ZI-D1-7P-7L-VG 60x50	28.0	34.7	1.24	0.0045	23.3	0.83	0.0214
DES-ZI-D1.5-5P-5L-VG 30x40	28.0	35.0	1.25	0.0054	20.3	0.72	0.0342
DES-ZI-D1.5-5P-7L-VG 50x45	28.0	35.4	1.27	0.0052	23.8	0.85	0.0246
DES-ZI-D1.5-7P-5L-VG 30x40	28.0	35.0	1.25	0.0072	20.3	0.72	0.0342
DES-ZI-D1.5-7P-7L-VG 50x45	28.0	35.4	1.27	0.0052	23.8	0.85	0.0246
DMO-ZI-D1-5P-5L-VG 45x40	28.0	36.5	1.30	0.0044	24.9	0.89	0.0279
DMO-ZI-D1-5P-7L-VG 50x50	28.0	34.7	1.24	0.0051	22.6	0.81	0.0244
DMO-ZI-D1-7P-5L-VG 50x45	28.0	33.9	1.21	0.0048	21.4	0.77	0.0228
DMO-ZI-D1-7P-7L-VG 60x50	28.0	34.7	1.24	0.0045	23.3	0.83	0.0214
DMO-ZI-D1.5-5P-5L-VG 30x40	28.0	35.0	1.25	0.0054	20.3	0.72	0.0342
DMO-ZI-D1.5-5P-7L-VG 50x45	28.0	35.4	1.27	0.0052	23.8	0.85	0.0246
DMO-ZI-D1.5-7P-5L-VG 30x40	28.0	35.0	1.25	0.0072	20.3	0.72	0.0342
DMO-ZI-D1.5-7P-7L-VG 50x45	28.0	35.4	1.27	0.0052	23.8	0.85	0.0246

2.7.2. Diagramas momento – curvatura.

Se presentan los diagramas momento-curvatura con sus correspondientes bilinealizaciones, teniendo en cuenta que el área bajo la curva bilinealizada sea igual a la de la curva real.

2.7.2.1. Columnas.

Para las columnas, se definen dos curvas momento-curvatura teniendo en cuenta la carga axial. La primera curva se determina para los pisos 1 y 2 y la segunda curva para los pisos 3 a cubierta. Dichas rótulas se aplican tanto a las columnas internas como externas. Para definir lo anterior, se realizó una evaluación de un pórtico, definiendo unas rótulas para las columnas centrales y otras rótulas para las columnas laterales donde se concluyó que la variación de este parámetro no era significativo en los resultados finales.

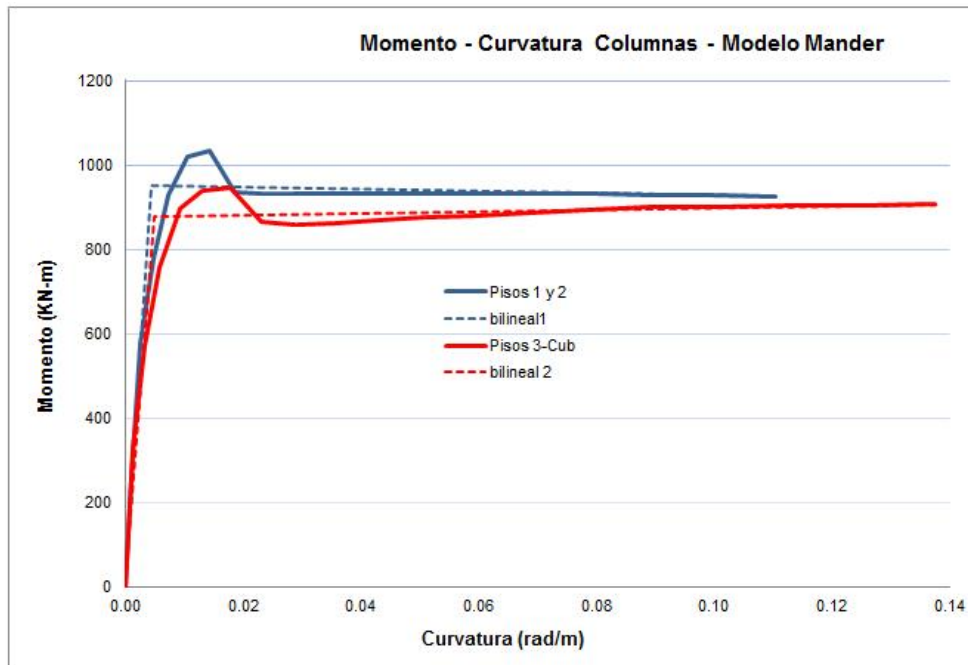


Figura 36. Momento-curvatura columnas - modelo Mander.

2.7.2.2. Vigas.

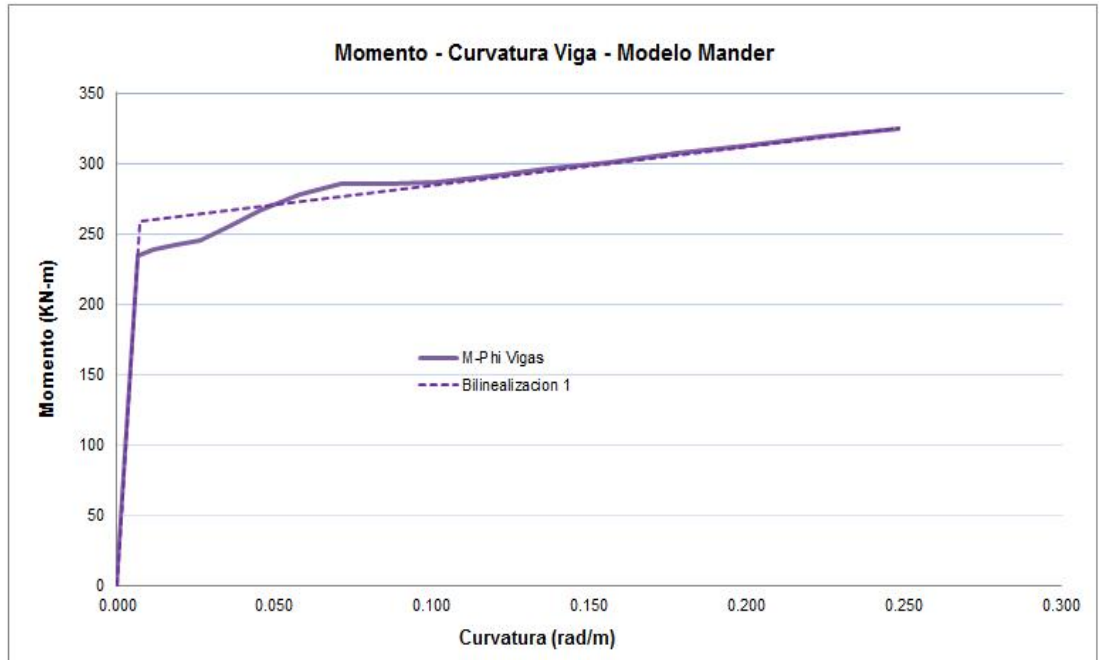


Figura 37. Momento-curvatura vigas modelo Mander.

2.7.3. Rótulas plásticas.

Para definir las rótulas plásticas y los límites de rotación, se extraen los parámetros de las curvas bilinealizadas de las gráficas momento - curvatura y se aplican los límites del ATC-40 para miembros de concreto reforzado.

2.7.3.1. Columnas.

Los parámetros de las rótulas de las columnas se presentan a continuación. En este caso, las columnas diseñadas para zona de amenaza intermedia, y grados de disipación DES y DMO (iguales secciones y carga axial) presentan diferencia en la cuantía de acero a cortante, por lo que aumenta la separación al ser considerada como disipación DES y por lo tanto las rotaciones son diferentes a los modelos DMO.

Tabla 28. Parámetros rótulas plásticas en columnas

MODELO	ROTACIONES LÍMITE EN COLUMNAS									
	Carga axial: P/Agf'c		V/(bd(f'c) ^{0.5})		Rotaciones Límite Pisos 1 a 2			Rotaciones Límite Pisos 3 a Cub		
	Pisos 1 y 2	Pisos 3 a cub	Pisos 1 y 2	Pisos 3 a cub	IO	LS	CP	IO	LS	CP
DES-ZA-D1-7P-7L	0.20	0.14	0.048	0.046	0.0043	0.0140	0.0183	0.0047	0.0146	0.0193
DES-ZA-D1-7P-5L	0.27	0.18	0.071	0.067	0.0039	0.0133	0.0172	0.0044	0.0142	0.0186
DES-ZA-D1-5P-7L	0.19	0.11	0.055	0.050	0.0044	0.0141	0.0185	0.0049	0.0149	0.0199
DES-ZA-D1-5P-5L	0.18	0.10	0.055	0.049	0.0045	0.0142	0.0187	0.0050	0.0150	0.0200
DES-ZA-D1.5-7P-7L	0.40	0.28	0.066	0.062	0.0030	0.0120	0.0149	0.0038	0.0132	0.0170
DES-ZA-D1.5-7P-5L	0.36	0.19	0.062	0.058	0.0033	0.0124	0.0157	0.0044	0.0141	0.0184
DES-ZA-D1.5-5P-7L	0.33	0.18	0.065	0.056	0.0035	0.0127	0.0162	0.0044	0.0142	0.0186
DES-ZA-D1.5-5P-5L	0.32	0.18	0.074	0.061	0.0036	0.0128	0.0164	0.0045	0.0142	0.0187
DES/DMO-ZI-D1-7P-7L	0.24	0.17	0.065	0.063	0.0040	0.0136	0.0176	0.0045	0.0143	0.0188
DES/DMO-ZI-D1-7P-5L	0.31	0.22	0.084	0.079	0.0036	0.0129	0.0165	0.0042	0.0138	0.0181
DES/DMO-ZI-D1-5P-7L	0.24	0.14	0.068	0.060	0.0041	0.0136	0.0176	0.0048	0.0146	0.0194
DES/DMO-ZI-D1-5P-5L	0.21	0.12	0.064	0.055	0.0043	0.0139	0.0182	0.0049	0.0148	0.0197
DES/DMO-ZI-D1.5-7P-7L	0.47	0.33	0.076	0.072	0.0025	0.0113	0.0138	0.0035	0.0127	0.0162
DES/DMO-ZI-D1.5-7P-5L	0.43	0.30	0.078	0.072	0.0028	0.0117	0.0144	0.0037	0.0130	0.0167
DES/DMO-ZI-D1.5-5P-7L	0.39	0.22	0.090	0.076	0.0030	0.0121	0.0151	0.0042	0.0138	0.0180
DES/DMO-ZI-D1.5-5P-5L	0.30	0.17	0.076	0.064	0.0036	0.0130	0.0166	0.0045	0.0143	0.0189

PARÁMETROS RÓTULAS PLÁSTICAS COLUMNAS - DES-ZA												
MODELO	Pisos	ϕ_y	ϕ_u	ϕ_u/ϕ_y	M_y (kN-m)	M_u (kN-m)	M_u/M_y	L_p (m)	IO: ϕ_{lim}/ϕ_y	LS: ϕ_{lim}/ϕ_y	CP: ϕ_{lim}/ϕ_y	
DES-ZA-D1-7P-7L/ COL 90x90	Pisos 3 a cub	0.0048	0.1555	32.4	2558	2995	1.17	0.43	2.29	7.08	9.37	
	Pisos 1 y 2	0.0045	0.1405	31.0	2866	3282	1.14	0.43	2.21	7.16	9.37	
DES-ZA-D1-7P-5L/ COL 55x55	Pisos 3 a cub	0.0068	0.2295	34.0	534	589	1.10	0.37	1.77	5.66	7.43	
	Pisos 1 y 2	0.0057	0.1765	31.0	606	635	1.05	0.37	1.84	6.32	8.16	
DES-ZA-D1-5P-7L/ COL 75x75	Pisos 3 a cub	0.0056	0.1915	34.0	1231	1422	1.16	0.40	2.19	6.61	8.81	
	Pisos 1 y 2	0.0050	0.1599	31.7	1469	1630	1.11	0.40	2.17	6.97	9.14	
DES-ZA-D1-5P-5L/ COL 55x55	Pisos 3 a cub	0.0078	0.2781	35.7	464	524	1.13	0.37	1.73	5.18	6.91	
	Pisos 1 y 2	0.0070	0.2321	33.2	546	586	1.07	0.37	1.72	5.47	7.20	
DES-ZA-D1.5-7P-7L/ COL 60x60	Pisos 3 a cub	0.0050	0.1377	27.3	876	906	1.03	0.43	1.76	6.10	7.86	
	Pisos 1 y 2	0.0044	0.1105	25.3	952	925	0.97	0.43	1.59	6.39	7.98	
DES-ZA-D1.5-7P-5L/ COL 45x45	Pisos 3 a cub	0.0087	0.3107	35.7	300	328	1.09	0.37	1.36	4.36	5.71	
	Pisos 1 y 2	0.0062	0.1973	31.7	351	353	1.01	0.37	1.41	5.36	6.77	
DES-ZA-D1.5-5P-7L/ COL 55x55	Pisos 3 a cub	0.0069	0.2301	33.2	547	588	1.08	0.40	1.60	5.11	6.71	
	Pisos 1 y 2	0.0051	0.1501	29.6	642	655	1.02	0.40	1.72	6.28	8.00	
DES-ZA-D1.5-5P-5L/ COL 40x40	Pisos 3 a cub	0.0105	0.4173	39.7	189	205	1.08	0.37	1.15	3.66	4.81	
	Pisos 1 y 2	0.0077	0.2753	35.7	222	222	1.00	0.37	1.24	4.48	5.72	

PARÁMETROS RÓTULAS PLÁSTICAS COLUMNAS - DES-ZI												
MODELO	Pisos	ϕ_y	ϕ_u	ϕ_u/ϕ_y	M_y (kN-m)	M_u (kN-m)	M_u/M_y	L_p (m)	IO: ϕ_{lim}/ϕ_y	LS: ϕ_{lim}/ϕ_y	CP: ϕ_{lim}/ϕ_y	
DES-ZI-D1-7P-7L/ COL 80x80	Pisos 3 a cub	0.0053	0.1708	32.4	1895	2194	1.16	0.43	2.00	6.32	8.33	
	Pisos 1 y 2	0.0046	0.1317	28.4	2152	2376	1.10	0.43	2.03	6.82	8.85	
DES-ZI-D1-7P-5L/ COL 50x50	Pisos 3 a cub	0.0073	0.2362	32.3	450	490	1.09	0.37	1.56	5.11	6.67	
	Pisos 1 y 2	0.0060	0.2362	32.3	497	515	1.04	0.37	1.61	5.78	7.39	
DES-ZI-D1-5P-7L/ COL 65x65	Pisos 3 a cub	0.0059	0.1881	31.7	843	937	1.10	0.40	1.61	6.16	8.17	
	Pisos 1 y 2	0.0049	0.1422	29.0	1020	1057	1.04	0.40	2.07	6.93	9.00	
DES-ZI-D1-5P-5L/ COL 50x50	Pisos 3 a cub	0.0087	0.3038	34.8	395	442	1.12	0.37	1.51	4.58	6.08	
	Pisos 1 y 2	0.0074	0.2389	32.4	443	438	1.09	0.37	1.56	5.08	6.63	
DES-ZI-D1.5-7P-7L/ COL 55x55	Pisos 3 a cub	0.0056	0.1490	26.8	739	751	1.03	0.40	1.57	5.73	7.31	
	Pisos 1 y 2	0.0047	0.1196	25.3	753	757	1.00	0.40	1.34	5.99	7.33	
DES-ZI-D1.5-7P-5L/ COL 40x40	Pisos 3 a cub	0.0079	0.2816	35.8	213	221	1.01	0.40	1.17	4.14	5.30	
	Pisos 1 y 2	0.0065	0.2816	35.8	223	223	0.98	0.40	1.08	4.52	5.59	
DES-ZI-D1.5-5P-7L/ COL 50x50	Pisos 3 a cub	0.0071	0.2263	31.7	461	504	1.09	0.40	1.08	4.83	6.30	
	Pisos 1 y 2	0.0055	0.1576	28.4	533	542	1.02	0.40	1.37	5.44	6.82	
DES-ZI-D1.5-5P-5L/ COL 40x40	Pisos 3 a cub	0.0106	0.4213	39.9	185	203	1.09	0.37	1.16	3.66	4.82	
	Pisos 1 y 2	0.0079	0.2802	35.6	220	222	1.01	0.37	1.25	4.45	5.70	

PARÁMETROS RÓTULAS PLÁSTICAS COLUMNAS - DMO-ZI											
DMO-ZI-D1-7P-7L/ COL 80x80	Pisos 3 a cub	0.0042	0.1265	30.3	1715	2049	1.19	0.43	2.53	7.98	10.51
	Pisos 1 y 2	0.0035	0.0966	27.3	1926	2188	1.14	0.43	2.66	8.93	11.60
DMO-ZI-D1-7P-5L/ COL 50x50	Pisos 3 a cub	0.0068	0.2047	30.3	448	469	1.05	0.37	1.69	5.53	7.22
	Pisos 1 y 2	0.0056	0.1594	28.4	492	484	0.98	0.37	1.73	6.20	7.93
DMO-ZI-D1-5P-7L/ COL 65x65	Pisos 3 a cub	0.0057	0.1688	29.6	854	911	1.07	0.40	2.09	6.43	8.52
	Pisos 1 y 2	0.0045	0.1214	26.8	1028	1019	0.99	0.40	2.24	7.49	9.73
DMO-ZI-D1-5P-5L/ COL 50x50	Pisos 3 a cub	0.0083	0.2759	33.1	391	427	1.09	0.37	1.58	4.80	6.38
	Pisos 1 y 2	0.0068	0.2069	30.3	446	467	1.05	0.37	1.68	5.49	7.17
DMO-ZI-D1.5-7P-7L/ COL 55x55	Pisos 3 a cub	0.0055	0.1392	25.3	783	821	1.05	0.40	1.59	5.80	7.39
	Pisos 1 y 2	0.0047	0.1059	22.5	814	799	0.98	0.40	1.35	6.00	7.35
DMO-ZI-D1.5-7P-5L/ COL 40x40	Pisos 3 a cub	0.0087	0.2569	29.5	286	304	1.06	0.40	1.06	3.74	4.80
	Pisos 1 y 2	0.0069	0.1966	28.4	288	294	1.02	0.40	1.01	4.22	5.22
DMO-ZI-D1.5-5P-7L/ COL 50x50	Pisos 3 a cub	0.0063	0.1839	29.0	455	460	1.01	0.40	1.66	5.45	7.10
	Pisos 1 y 2	0.0047	0.1172	24.9	517	452	0.87	0.40	1.62	6.40	8.02
DMO-ZI-D1.5-5P-5L/ COL 40x40	Pisos 3 a cub	0.0095	0.3683	38.6	180	195	1.08	0.37	1.28	4.05	5.33
	Pisos 1 y 2	0.0071	0.2467	34.9	214	207	0.97	0.37	1.39	4.95	6.34

2.7.3.2. Vigas.

Los parámetros de las rótulas de las vigas se presentan a continuación. En este caso, las vigas diseñadas para zona de amenaza intermedia, y grados de disipación DES y DMO (iguales secciones) a pesar que los diseños presentan pequeñas diferencias en cantidad de barras, se dejan los mismos parámetros para ambos casos porque la diferencia no es representativa en el cálculo de los parámetros considerados.

Tabla 29. Parámetros rótulas plásticas en vigas

PARÁMETROS RÓTULAS PLÁSTICAS VIGAS										
MODELO	ϕ_y	ϕ_u	ϕ_u/ϕ_y	My (kN-m)	Mu (kN-m)	Mu/My	Lp (m)	IO: ϕ_{lim}/ϕ_y	LS: ϕ_{lim}/ϕ_y	CP: ϕ_{lim}/ϕ_y
DES-ZA-D1-7P-7L-VG 65x55	0.0064	0.2184	34.1	295	369	1.25	0.79	1.73	3.43	4.67
DES-ZA-D1-7P-5L-VG 50x50	0.0075	0.2468	33.0	164	196	1.19	0.61	2.03	4.07	5.35
DES-ZA-D1-5P-7L-VG 55x55	0.0066	0.2411	36.6	243	301	1.24	0.79	1.62	3.27	4.49
DES-ZA-D1-5P-5L-VG 45x45	0.0086	0.2840	33.2	135	160	1.18	0.61	1.64	3.27	4.54
DES-ZA-D1.5-7P-7L-VG 50x50	0.0073	0.2484	34.1	259	325	1.25	0.79	1.42	2.84	4.01
DES-ZA-D1.5-7P-5L-VG 40x40	0.0096	0.3362	35.0	111	136	1.23	0.61	1.48	2.94	4.06
DES-ZA-D1.5-5P-7L-VG 50x50	0.0073	0.2494	34.0	282	353	1.25	0.79	1.37	2.74	3.94
DES-ZA-D1.5-5P-5L-VG 40x40	0.0096	0.3362	35.0	111	136	1.23	0.61	1.48	2.94	4.06
DES/DMO-ZI-D1-7P-7L-VG 60x45	0.0073	0.2493	34.0	284	353	1.24	0.79	1.37	2.74	3.94
DES/DMO-ZI-D1-7P-5L-VG 50x45	0.0086	0.2838	33.2	136	161	1.18	0.61	1.66	3.32	4.56
DES/DMO-ZI-D1-5P-7L-VG 50x50	0.0073	0.2495	34.0	281	353	1.25	0.79	1.30	2.61	3.88
DES/DMO-ZI-D1-5P-5L-VG 45x40	0.0099	0.3362	34.1	114	136	1.19	0.61	1.37	2.76	3.88
DES/DMO-ZI-D1.5-7P-7L-VG 50x45	0.0082	0.2875	35.0	251	321	1.28	0.79	1.13	2.28	3.43
DES/DMO-ZI-D1.5-7P-5L-VG 30x40	0.0095	0.3412	36.1	111	142	1.28	0.61	1.35	2.69	3.97
DES/DMO-ZI-D1.5-5P-7L-VG 50x45	0.0083	0.2889	34.9	240	305	1.27	0.79	1.11	2.22	3.39
DES/DMO-ZI-D1.5-5P-5L-VG 30x40	0.0095	0.3412	36.1	111	142	1.28	0.61	1.35	2.69	3.97

2.7.4. Cargas permanentes.

Las cargas permanentes se aplican como $Q_y = 1.1(Q_D + 0.25Q_L)$ de acuerdo con el ATC-40 con el objeto de representar las cargas gravitacionales esperadas al momento que se presentan las cargas laterales, ya que la respuesta no lineal de la estructura depende en buena medida de la simultaneidad de dichas cargas. Aunque documentos como el ASCE 41-13 han revaluado esta combinación para estructuras existentes eliminando el factor de mayoración de 1.1, se mantiene aquí dado que el análisis se hace para una estructura nueva, es decir, con base en cargas estimadas o especificadas y no medidas.

Estas cargas se aplican como una condición inicial del análisis de pushover y a partir de allí se aplican las fuerzas horizontales hasta alcanzar el desplazamiento objetivo

A diferencia del análisis elástico, en el análisis no lineal se considera entonces el 25% de la carga viva como masa sísmica participante.

2.7.5. Perfil de cargas horizontales y desplazamiento objetivo.

Las cargas a aplicar se determinan de acuerdo con la forma del primer modo de vibración, donde la fuerza en cada piso F_i está dada por $F_i = W_i \chi \varphi_i$ (Ec.2-6), en la cual W_i es el peso de cada piso y φ_i es la amplitud del primer modo en el piso respectivo.

El desplazamiento objetivo se define alrededor del 5% de la altura del edificio. Para las configuraciones de estudio, dicho valor da como resultado un desplazamiento objetivo de 0.78m y 0.70m para 7 y 5 pisos respectivamente.

2.7.6. Parámetros de los pórticos planos

Se presentan los principales parámetros elásticos e inelásticos para su respectivo análisis.

Tabla 30. Parámetros rótulas plásticas en columnas

PARÁMETROS ELÁSTICOS PÓRTICOS PLANOS					
Modelo	W	Tm	Sa	Vel	Vs/R
	kN	Seg		kN	kN
DES-ZA-D1-7P-7L	9772	0.96	0.59	4643	663
DES-ZA-D1-7P-5L	4764	0.96	0.59	2318	331
DES-ZA-D1-5P-7L	6344	0.74	0.77	3908	558
DES-ZA-D1-5P-5L	3233	0.75	0.76	1995	285
DES-ZA-D1.5-7P-7L	8546	1.44	0.40	2802	400
DES-ZA-D1.5-7P-5L	4349	1.46	0.39	1426	204
DES-ZA-D1.5-5P-7L	5862	1.01	0.56	2707	387
DES-ZA-D1.5-5P-5L	2965	1.07	0.53	1338	191
DES-ZI-D1-7P-7L	9249	1.16	0.41	3063	438
DES-ZI-D1-7P-5L	4602	1.13	0.43	1602	229
DES-ZI-D1-5P-7L	6023	0.91	0.53	2539	363
DES-ZI-D1-5P-5L	2893	1.16	0.41	994	142
DES-ZI-D1.5-7P-7L	8349	1.69	0.28	1959	280
DES-ZI-D1.5-7P-5L	4602	1.13	0.43	1602	229
DES-ZI-D1.5-5P-7L	6023	0.91	0.53	2539	363
DES-ZI-D1.5-5P-5L	2893	1.16	0.41	994	142
DMO-ZI-D1-7P-7L	9249	1.16	0.41	3063	613
DMO-ZI-D1-7P-5L	4602	1.13	0.43	1602	320
DMO-ZI-D1-5P-7L	6023	0.91	0.53	2539	508
DMO-ZI-D1-5P-5L	3122	0.89	0.54	1358	272
DMO-ZI-D1.5-7P-7L	8349	1.69	0.28	1959	392
DMO-ZI-D1.5-7P-5L	4168	1.70	0.28	987	197
DMO-ZI-D1.5-5P-7L	5728	1.20	0.40	1892	378
DMO-ZI-D1.5-5P-5L	2893	1.16	0.41	994	199

Tabla 31. Parámetros rótulas plásticas en columnas

PARÁMETROS INELÁSTICOS PÓRTICOS PLANOS						
Modelo	Tsec	Sa	Sd	Vinel	Δ techo	M,βeff
	Seg	g	m	kN	(m)	(%)
DES-ZA-D1-7P-7L	1.82	0.24	0.20	1805	0.28	6.2
DES-ZA-D1-7P-5L	2.33	0.18	0.24	694	0.32	14.7
DES-ZA-D1-5P-7L	1.56	0.28	0.17	1386	0.24	8.1
DES-ZA-D1-5P-5L	1.64	0.26	0.17	671	0.23	15.6
DES-ZA-D1.5-7P-7L	2.95	0.15	0.32	988	0.42	6.9
DES-ZA-D1.5-7P-5L	2.25	0.11	0.14	387	0.18	6.0
DES-ZA-D1.5-5P-7L	1.35	0.17	0.08	788	0.10	5.0
DES-ZA-D1.5-5P-5L	1.47	0.14	0.07	332	0.10	4.4
DES-ZI-D1-7P-7L	1.93	0.22	0.20	1534	0.28	4.6
DES-ZI-D1-7P-5L	2.41	0.14	0.21	538	0.27	9.7
DES-ZI-D1-5P-7L	1.50	0.26	0.15	1244	0.21	5.8
DES-ZI-D1-5P-5L	1.65	0.22	0.15	553	0.20	5.7
DES-ZI-D1.5-7P-7L	3.01	0.13	0.30	864	0.40	5.0
DES-ZI-D1.5-7P-5L	2.56	0.10	0.17	347	0.22	6.8
DES-ZI-D1.5-5P-7L	2.14	0.18	0.20	819	0.27	7.5
DES-ZI-D1.5-5P-5L	1.83	0.16	0.13	372	0.17	9.2
DMO-ZI-D1-7P-7L	1.90	0.21	0.19	1486	0.26	4.6
DMO-ZI-D1-7P-5L	2.41	0.14	0.21	538	0.27	9.7
DMO-ZI-D1-5P-7L	1.50	0.26	0.15	1244	0.21	5.8
DMO-ZI-D1-5P-5L	1.66	0.22	0.15	552	0.20	5.8
DMO-ZI-D1.5-7P-7L	3.01	0.13	0.30	864	0.40	5.0
DMO-ZI-D1.5-7P-5L	2.56	0.10	0.17	347	0.22	6.8
DMO-ZI-D1.5-5P-7L	2.14	0.18	0.20	819	0.27	7.5
DMO-ZI-D1.5-5P-5L	1.83	0.16	0.13	372	0.17	9.2

Capítulo III

3. Resultados y Contribución

3.1. Diseño elástico

El diseño elástico de las edificaciones bajo el NSR-10 estuvo condicionado al control de las derivas cuando se limitó al 1% inclusive para el límite de 1.5% para pórticos DES. Para el límite de 1.5% y disipación DMO el diseño estuvo controlado por el criterio columna fuerte viga débil.

Las secciones de los pórticos de las edificaciones en la zona de amenaza sísmica intermedia fue el mismo para los grados de disipación especial DES y moderada DMO dado que el parámetro de diseño fue la deriva. Para el diseño, aunque el valor del “R” se aumenta para el grado de disipación DES y las fuerzas de diseño son menores, la diferencia con el diseño para DMO es menor separación de flejes en columnas (mayores requisitos para DES) y una reducción de acero longitudinal en las vigas.

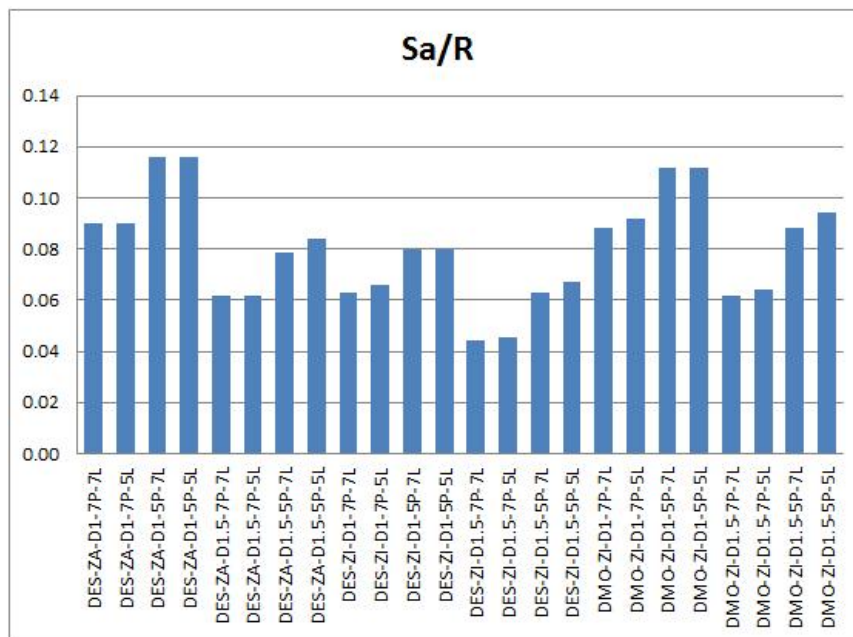


Figura 38. Aceleraciones de diseño para el análisis elástico.

El diseño por cortante en general está regido por los requisitos de diseño del Capítulo C.21 y no por las solicitaciones de diseño.

En cuanto a las columnas, el requisito de diseño a cortante que predominó fue el de cuantía para refuerzo transversal con valores entre 2.0 y 4.5 veces el área requerida por las solicitaciones de diseño. Para las luces de 7.0m y derivas de 1.0% (3 modelos) el requisito de diseño a cortante que predominó fue el del momento nominal o probable con relaciones entre 2.8 y 5.3 veces el refuerzo calculado por las solicitaciones de diseño.

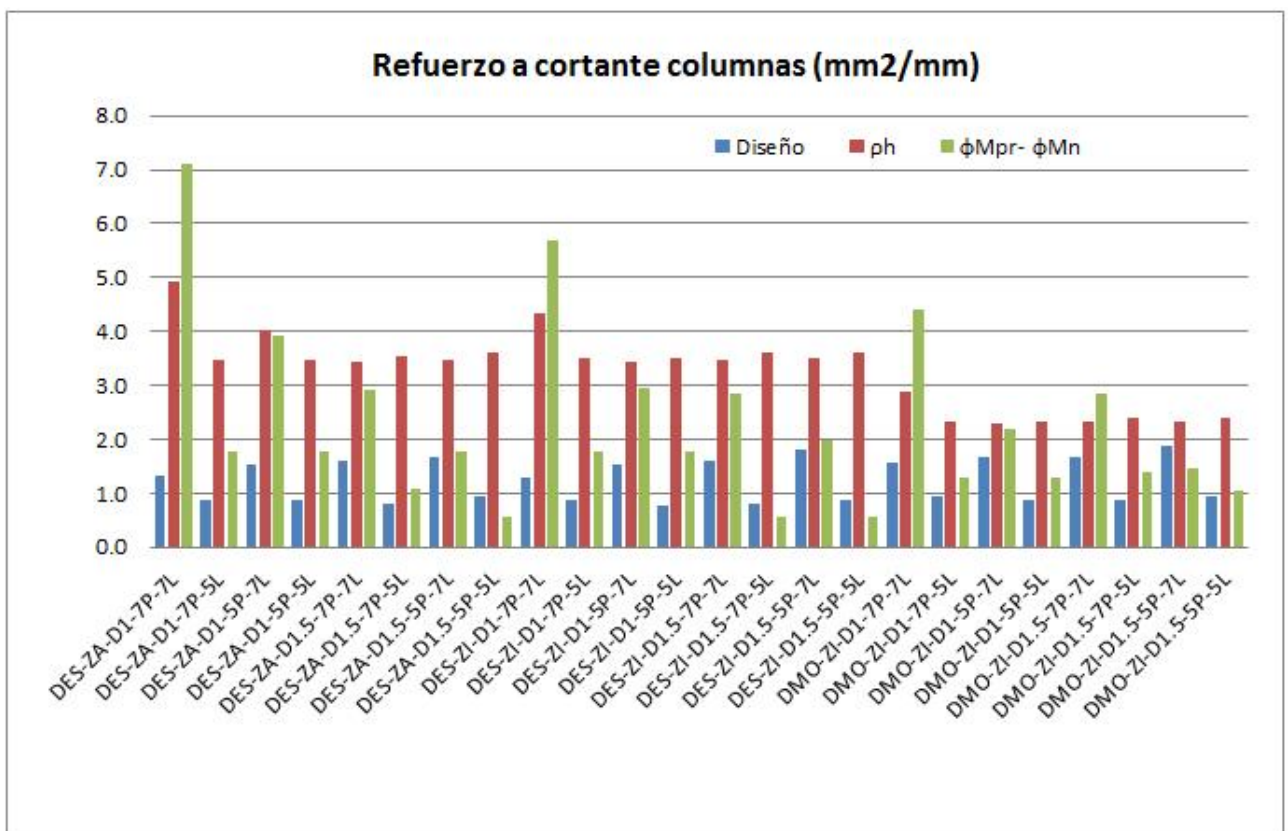


Figura 39. Refuerzo a cortante en columnas.

En cuanto a las vigas, el requisito de diseño a cortante que predominó fue el de calculado por diseño el cual fue mayor (en promedio 1.4 veces), que el requerido para desarrollar el momento nominal o probable según el C.21. La separación de los estribos de diseño fue muy similar al comparar la requerida por diseño y la de requisitos de separación máxima de acuerdo al C.21

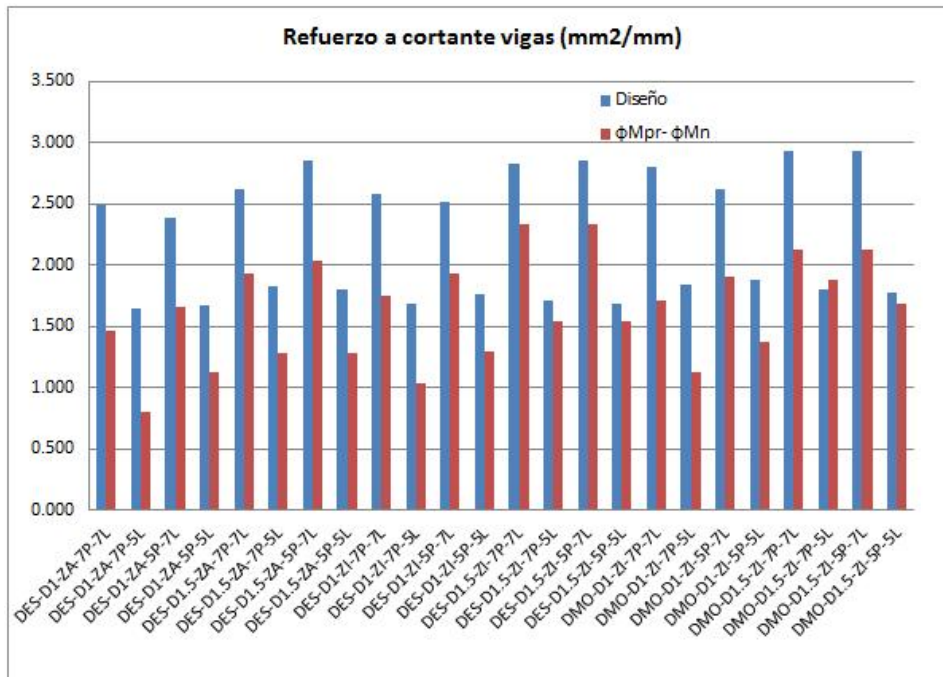


Figura 40. Refuerzo a cortante en vigas.

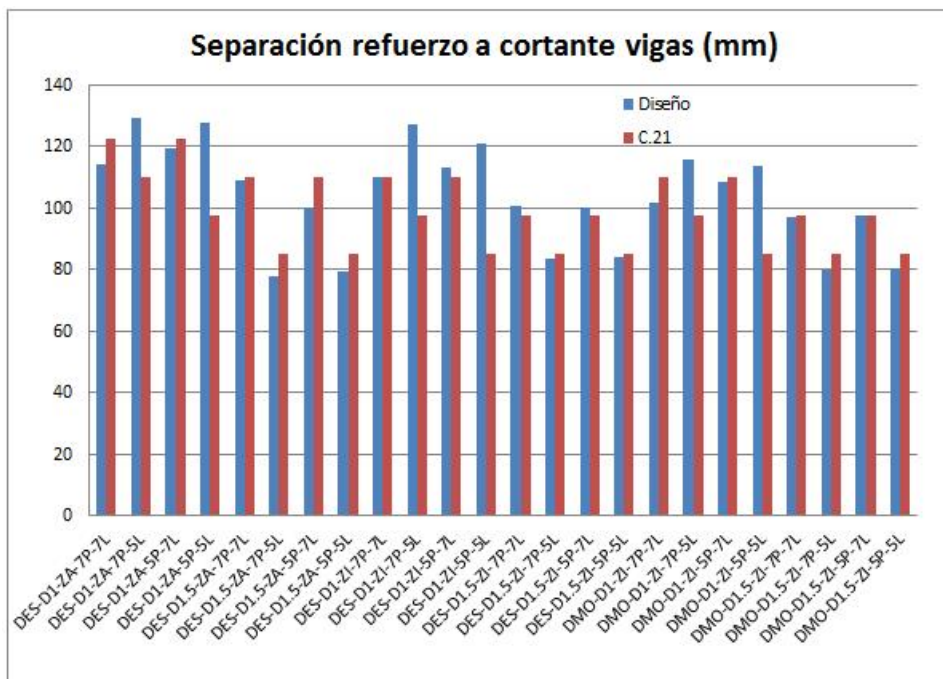


Figura 41. Separación refuerzo a cortante en vigas.

3.2. Comportamiento inelástico

3.2.1. Mecanismos de falla

En general, todos los modelos que alcanzaron adecuadamente el punto de comportamiento, es decir, para todos los modelos de deriva del 1.0% y modelos de deriva del 1.5% para modelos DES y luces de 7.0m, presentaron un mecanismo de falla deseado descrito brevemente así:

- Rotulación inicial en vigas, en zona de piso con mayores derivas.
- Rotulación en base de columnas.
- Rotulación consiguiente de vigas, sin alcanzar los límites establecidos ($< CP$)

A continuación, se muestran dos mecanismos de falla progresiva en el punto de comportamiento (IO=Ocupación Inmediata, LS=Seguridad de la Vida, CP=Prevención de Colapso):

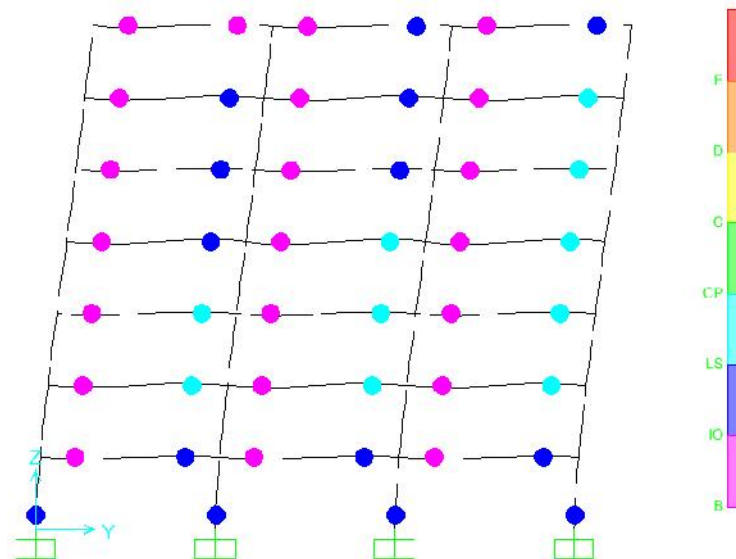


Figura 42. Mecanismo de falla en punto de comportamiento DES-ZA-D1-7P-7L

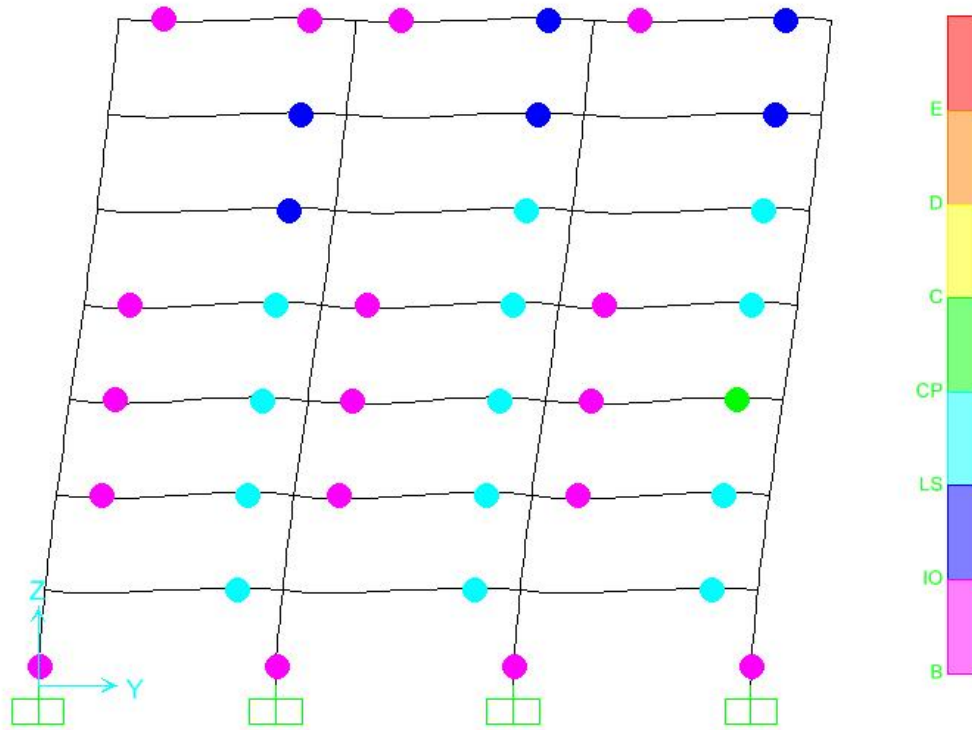


Figura 43. Mecanismo de falla en punto de comportamiento DMO-ZI-D1-7P-7L

Para los modelos de deriva del 1.5% que no alcanzaron su punto de comportamiento, se observó que antes de finalizar el análisis, se presentaron rótulas iniciales en vigas, luego en la base de columnas hasta que súbitamente se alcanza el límite de rotación en las vigas del piso de derivas máximas.

A continuación se muestra un mecanismo de falla progresivo para el caso descrito anteriormente:

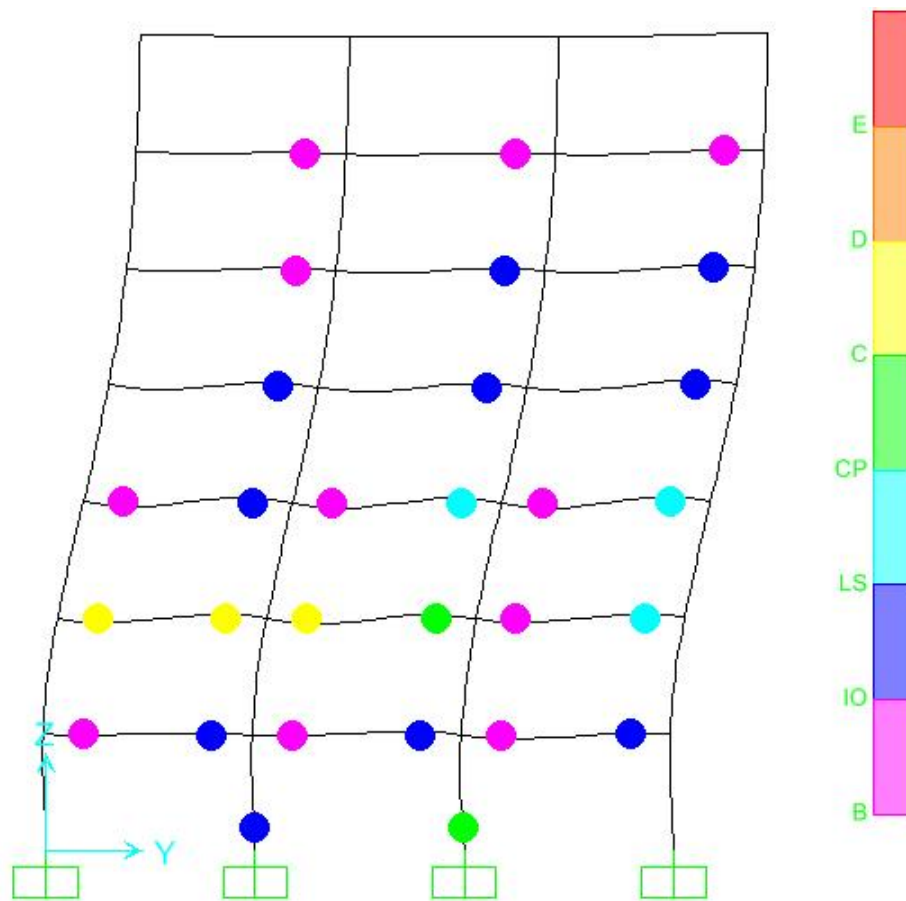


Figura 44. Modo de falla pórtico DES-ZA-D1.5-7P-5L

3.2.2. Límites de rotación

Al revisar los límites de rotación para prevención del colapso (CP) respecto al límite de rotación última, en columnas de los primeros pisos, se pueden apreciar valores de:

- En modelos DES, en promedio 0.21 para luces de 5.0m y 0.29 para luces de 7.0m.
- En modelos DMO, en promedio 0.22 para luces de 5.0m y 0.36 para luces de 7.0m.

En el caso de las vigas, se puede apreciar que los límites de rotación para prevención del colapso (CP) respecto al límite de rotación última, están en promedio, con valores de 0.13.

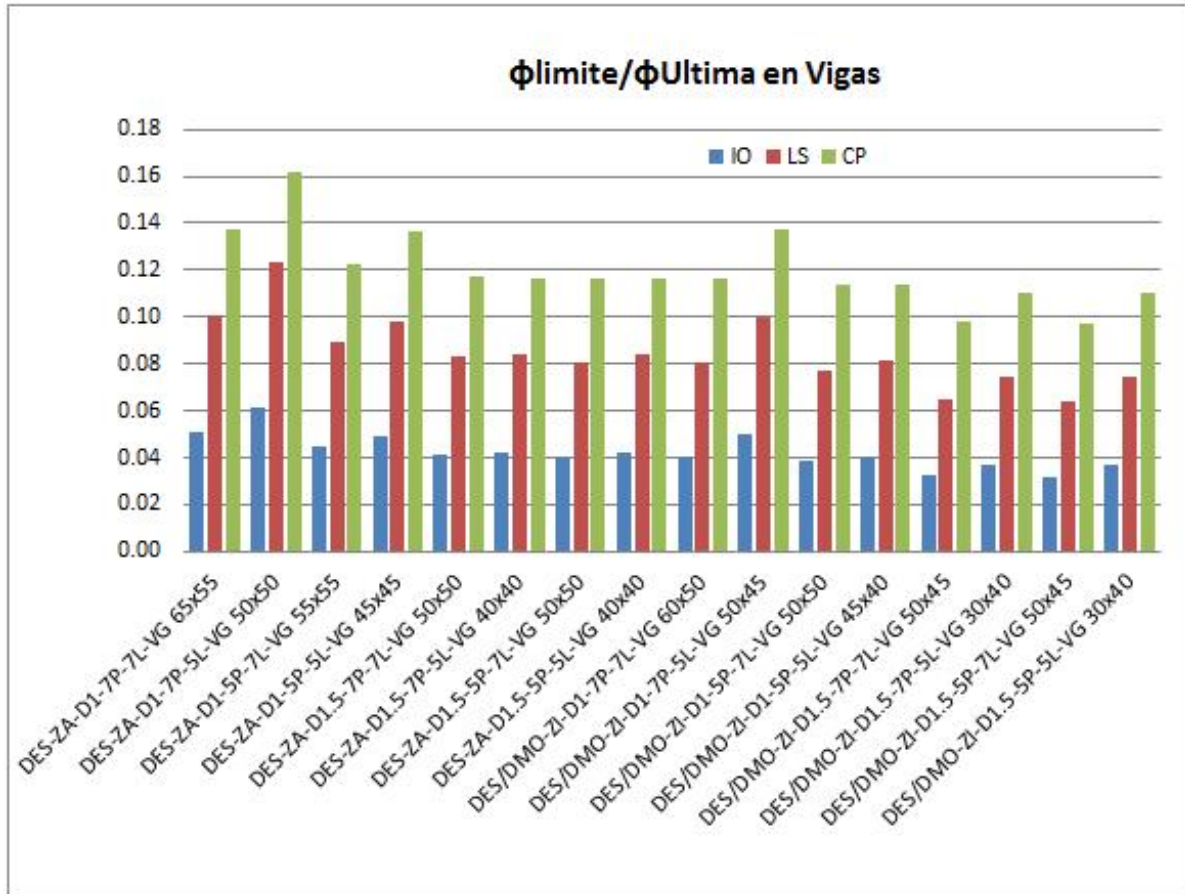


Figura 45. Límites de rotaciones en vigas respecto a rotación de fluencia

3.2.3. Curvas de capacidad

Las curvas de capacidad muestran en general un buen comportamiento, es decir, se aprecia una pendiente inicial donde se presenta la primera rótula pero no hay pérdida significativa de la rigidez, y una vez se alcanza su máxima capacidad a cortante comienza a disminuir lentamente dicha capacidad a medida que aumentan los desplazamientos.

El desplazamiento objetivo se definió principalmente para obtener un panorama completo de las curvas de capacidad, esto es para poder apreciar si dichas curvas alcanzaban a cortar el espectro de demanda amortiguado. Se aprecia que todos los modelos de derivas del 1.0% alcanzaron dicho desplazamiento objetivo mientras que los modelos de derivas del 1.5% no alcanzaron el desplazamiento objetivo.

A continuación, se presentan las curvas de capacidad para los pórticos estudiados. Las curvas para los pórticos en zona de amenaza intermedia DES-ZI y DMO-ZI se presentan como las mismas, ya que aunque en cuanto al diseño, las columnas de ambos modelos presentan alguna diferencia en los límites de rotación de las rótulas, dicha diferencia no es significativa en el cálculo final del R.

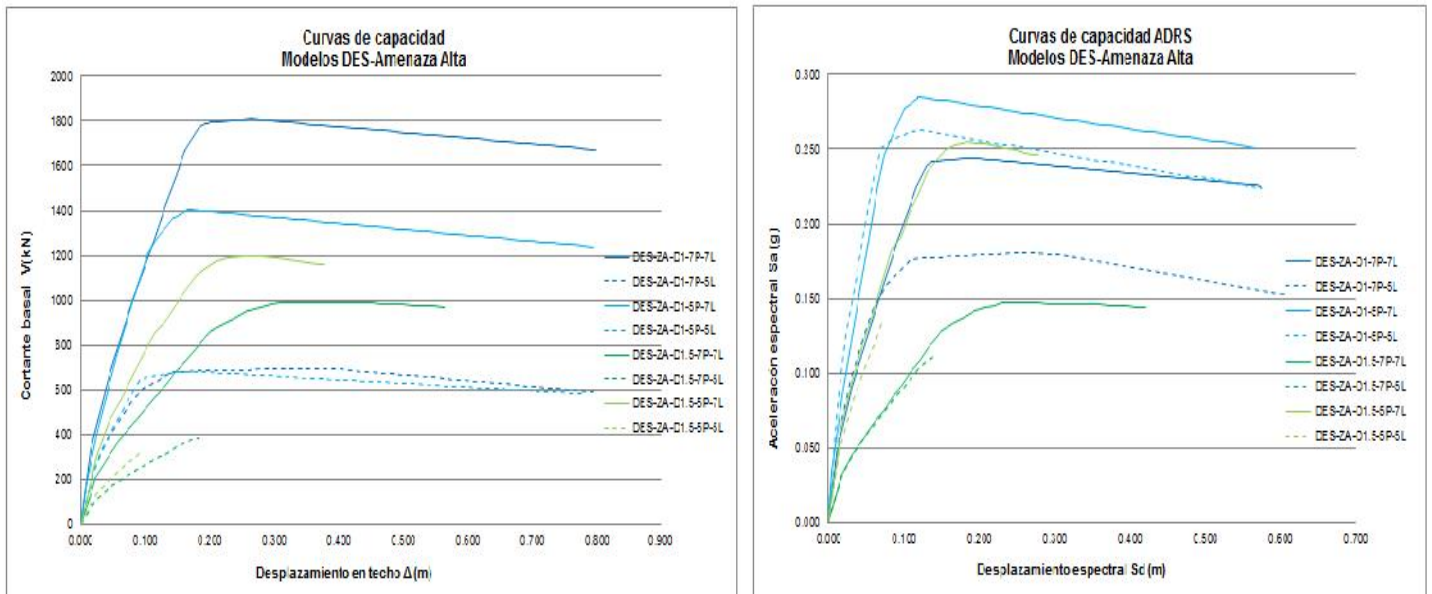


Figura 46. Curvas de capacidad pórticos DES-Amenaza Alta

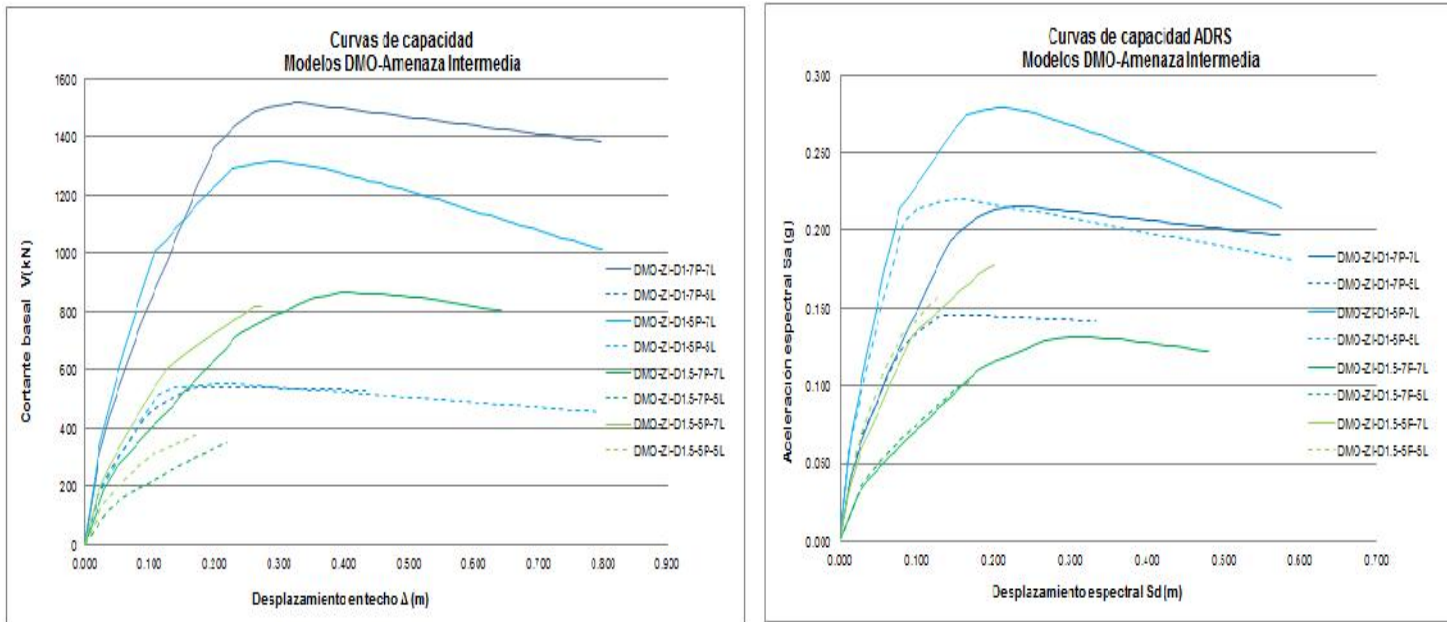


Figura 47. Curvas de capacidad pórticos DMO-Amenaza Intermedia

3.2.4. Puntos de comportamiento

Todos los modelos de derivas del 1.0% cortaron el espectro de demanda, mientras que los únicos modelos de derivas del 1.5% que cortaron el espectro de demanda fueron los modelos DES para pórticos de 7 luces.

Las curvas bilineales se realizaron con la filosofía de conservar el área total de dicha curva respecto a la curva de capacidad original hasta el punto de corte con el espectro de demanda y se observa que el cálculo final del R es muy sensible al punto de fluencia de la curva bilineal.

Si se proyecta una línea vertical, donde el periodo inicial corta el espectro elástico hasta la curva bilinealizada de capacidad, se observa que no confluye en el punto de comportamiento, sino que éste último está más hacia la derecha de la curva. Por lo anterior, se puede decir que el principio de los desplazamientos iguales no se reflejó claramente en los modelos estudiados aunque la diferencia va disminuyendo a medida que los pórticos requieren menor rigidez, esto es, en los pórticos DMO y en los límites del 1.5%.

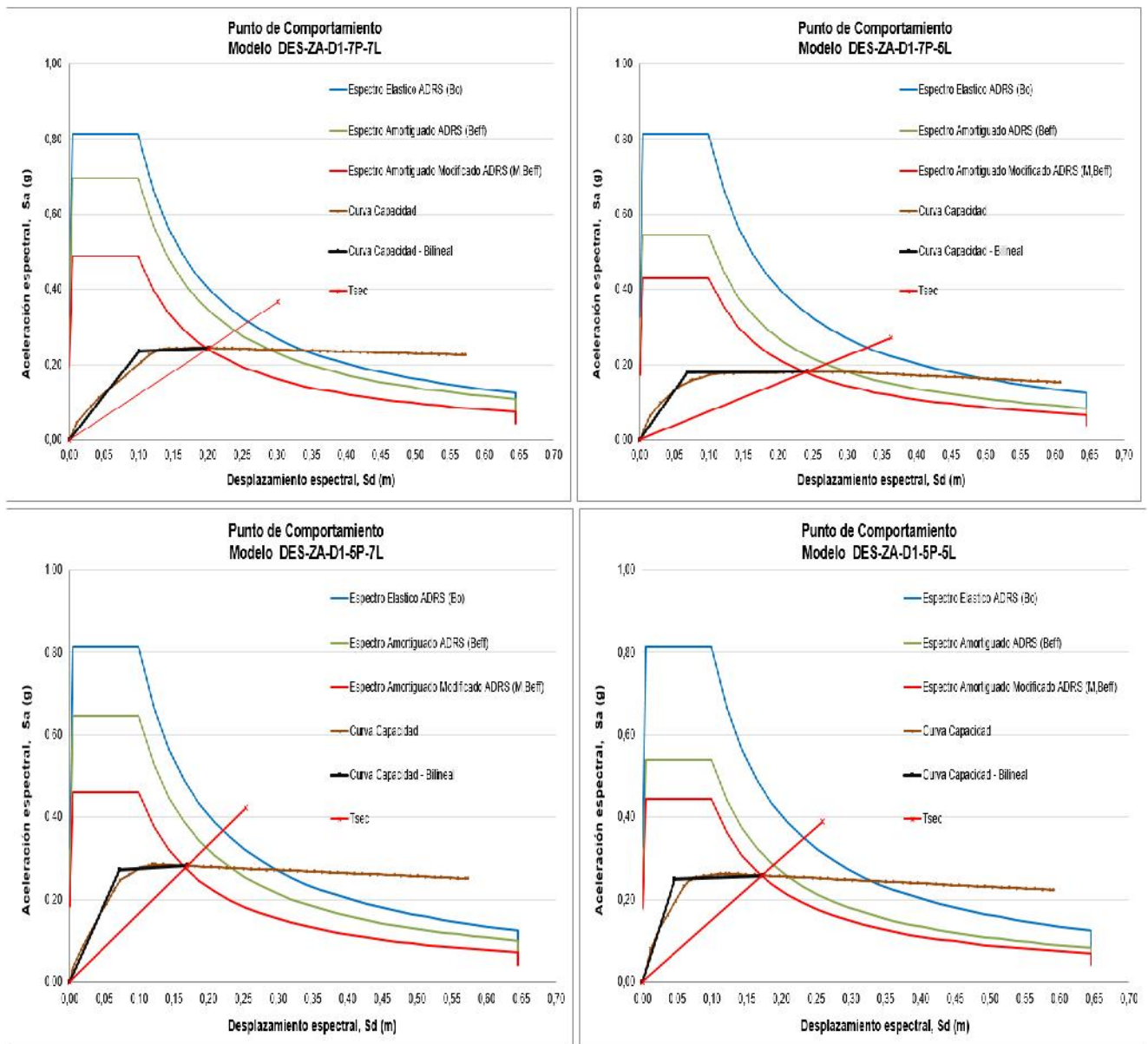


Figura 48. Puntos de comportamiento modelos DES-ZA-D1.0

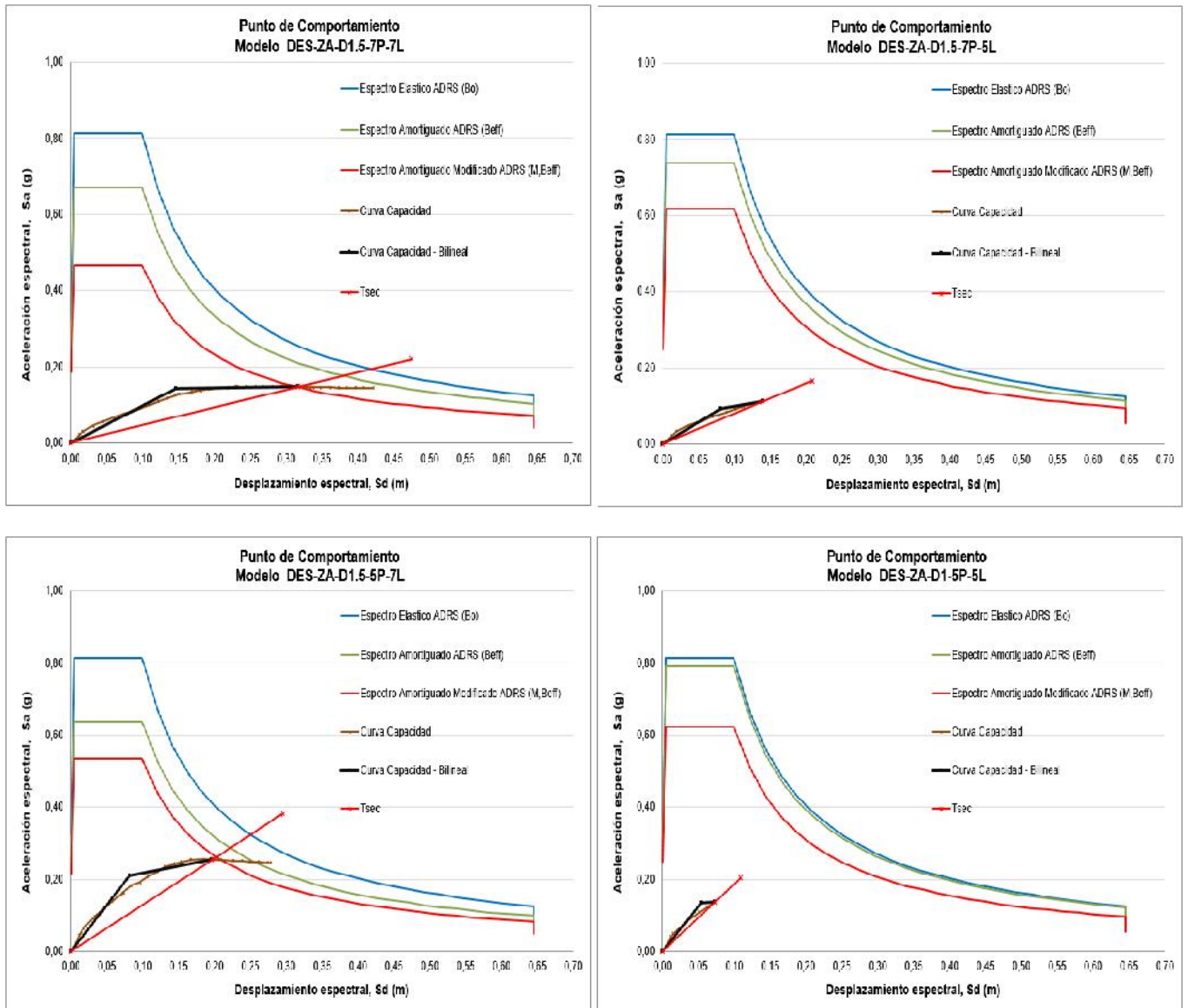


Figura 49. Puntos de comportamiento modelos DES-ZA-D1.5

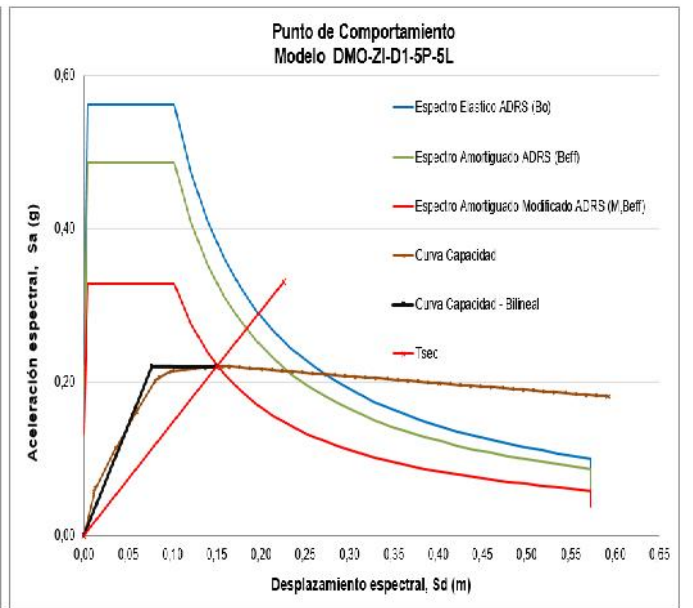
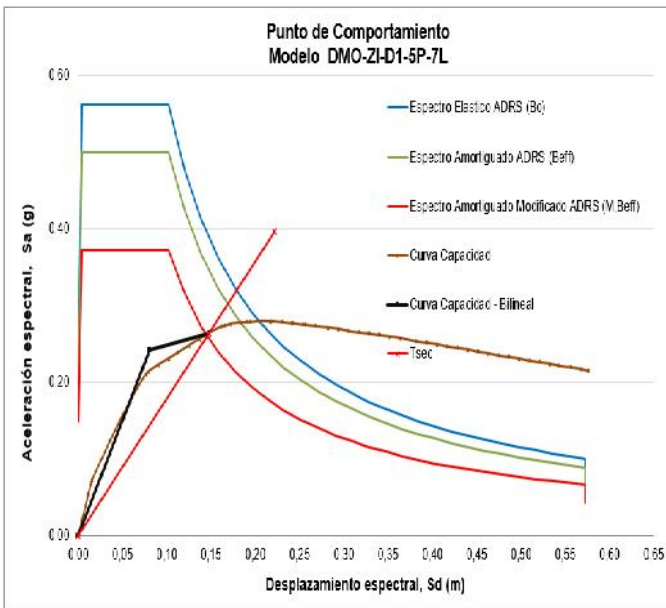
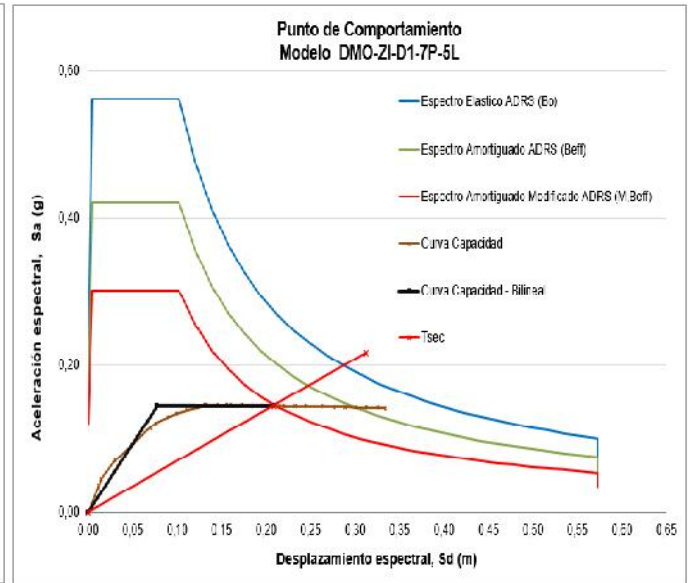
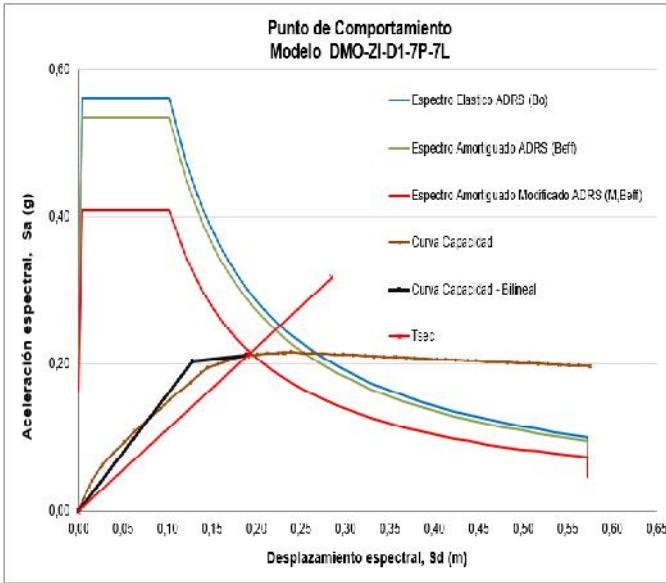


Figura 50. Puntos de comportamiento modelos DMO-ZI-D1.0

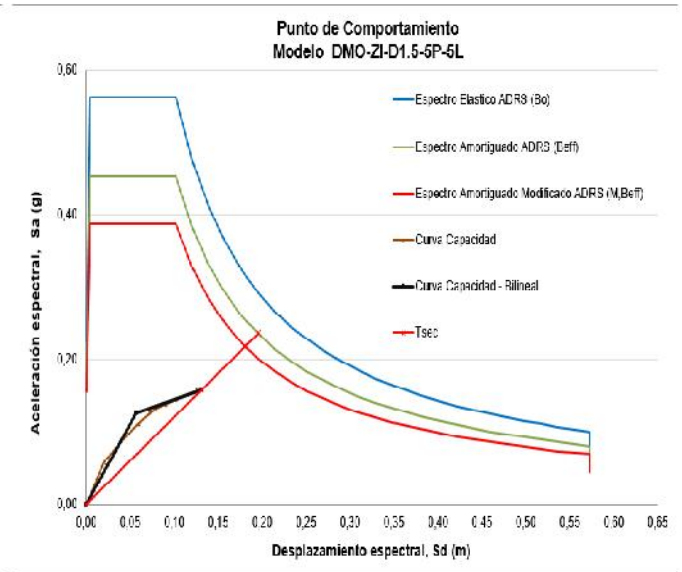
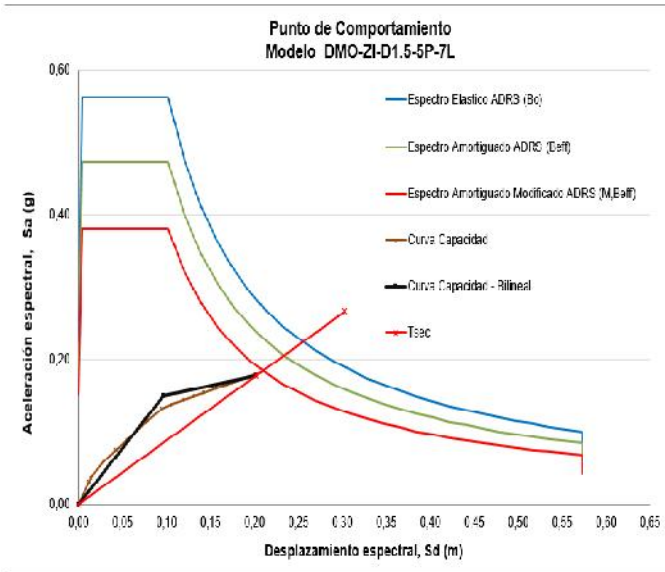
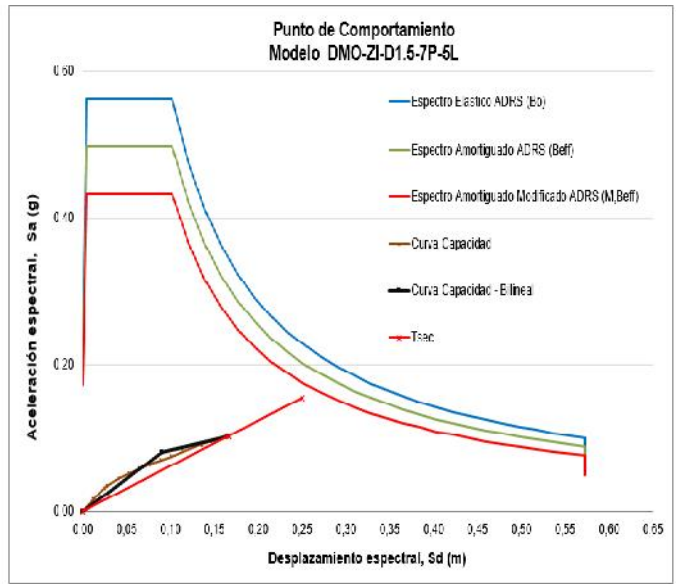
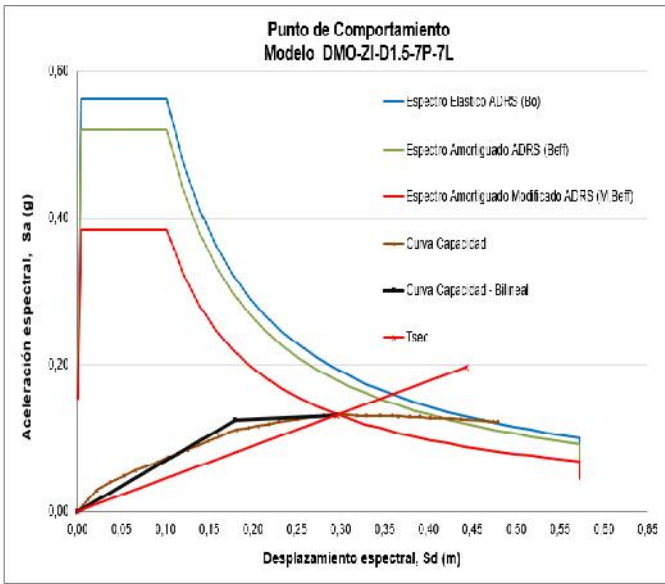


Figura 51. Puntos de comportamiento modelos DMO-ZI-D1.5

3.3. Evaluación del coeficiente de disipación de energía “R”

A continuación, se presentan los resultados de los coeficientes de disipación de energía obtenidos mediante los análisis inelásticos realizados (método del espectro de capacidad) y mediante el método de Newmark.

Los resultados se presentan en función de diferentes variables, como el grado de disipación, la deriva, el periodo, la luz y la altura para identificar tendencias o correlaciones entre diferentes parámetros. Los valores del coeficiente de disipación están graficados en proporción al valor especificado en el NSR-10.

Se observa en todos los casos, que el valor de R calculado mediante los dos métodos considerados, es siempre menor que el especificado en el NSR-10 por lo cual, los cortantes de diseño son mayores a los especificados en el mismo Reglamento. Adicional a lo anterior, se observa igualmente que el R calculado mediante el método de Newmark, es siempre menor que el calculado por el método del espectro de capacidad, esto debido a lo observado anteriormente, donde no se cumple claramente el principio de los desplazamientos iguales.

3.3.1. R en función del grado de disipación

Los valores encontrados del coeficiente de disipación se resumen en las siguientes tablas y se presentan los respectivos gráficos:

Tabla 32. Valores de R – Modelos DES

RANGO DE VALORES DE R (CSM) - MODELOS DES		
AMENAZA	DERIVA 1.0%	DERIVA 1.5%
ALTA	3.3 - 4.1	3.3 - 3.5
INTERMEDIA	2.6 - 3.6	2.9 - 2.9

RANGO DE VALORES DE R (Newmark) - MODELOS DES		
AMENAZA	DERIVA 1.0%	DERIVA 1.5%
ALTA	2 - 3.7	2.2 - 2.4
INTERMEDIA	1.4 - 2.6	1.6 - 1.6

Tabla 33. Valores de R – Modelos DMO

RANGO DE VALORES DE R (CSM) - MODELOS DMO		
AMENAZA	DERIVA 1.0%	DERIVA 1.5%
INTERMEDIA	2.7 - 3.6	2.9 - 2.9

RANGO DE VALORES DE R (Nermark) - MODELOS DMO		
AMENAZA	DERIVA 1.0%	DERIVA 1.5%
INTERMEDIA	1.5 - 2.7	1.6 - 1.6

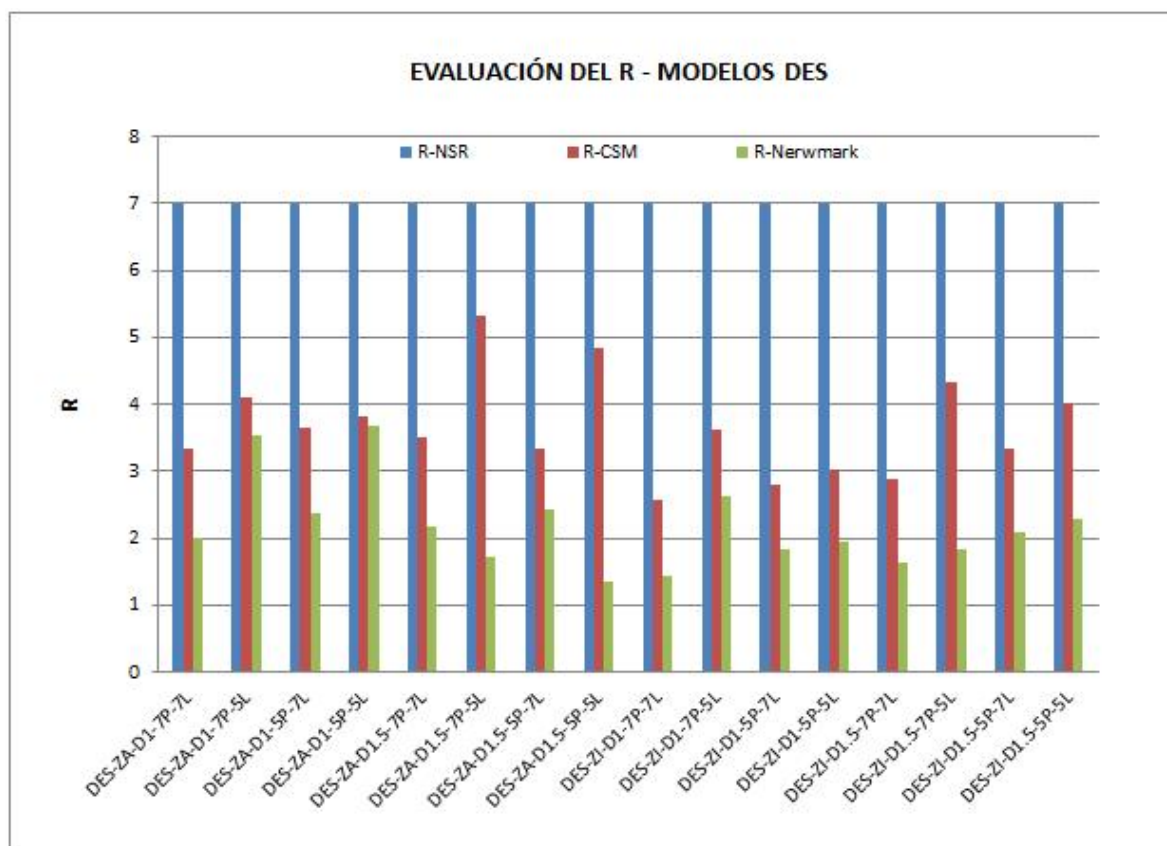


Figura 52. Valor de R – Modelos DES

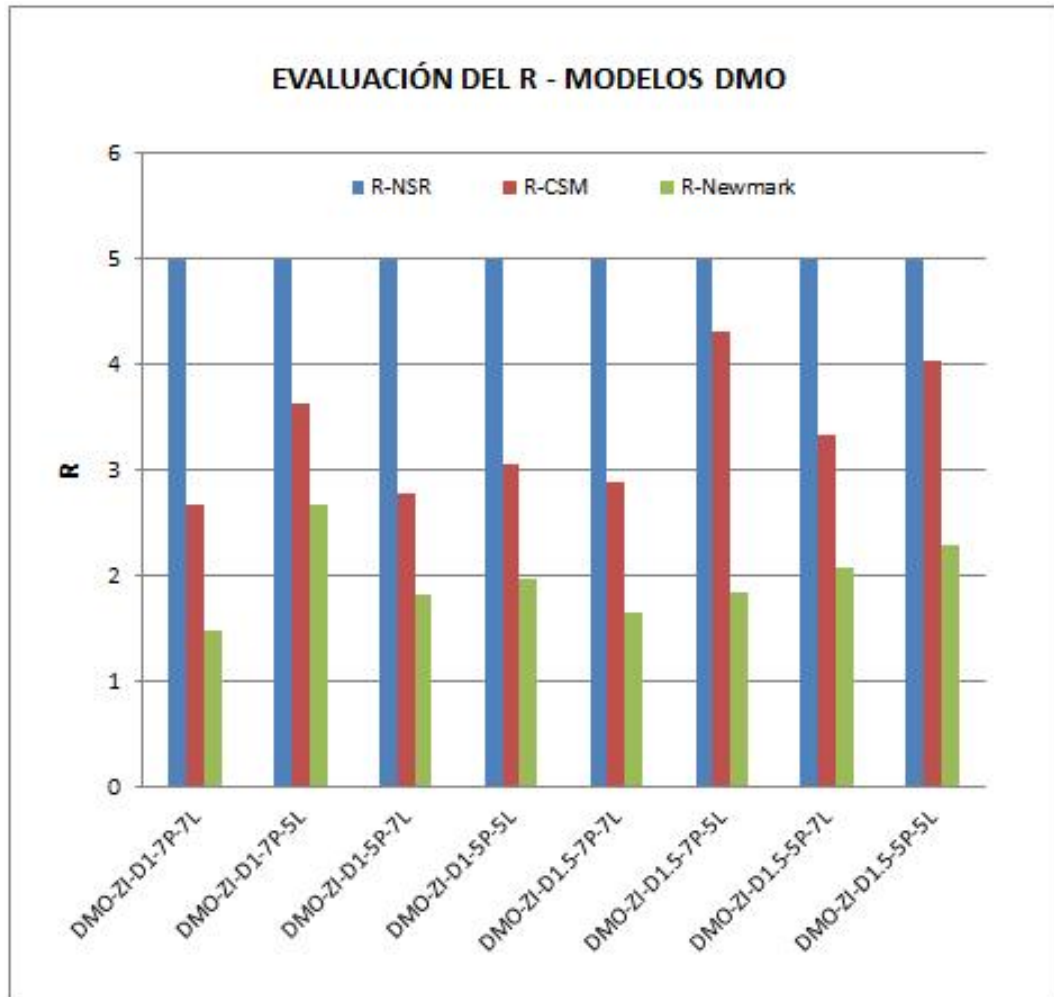


Figura 53. Valor de R – Modelos DMO

3.3.2. R en función de la deriva

Comparando los modelos con límite de deriva del 1.5% contra sus respectivos modelos con límite de 1.0% no se observó una clara tendencia de disminución del R cuando se aumentó el límite de deriva.

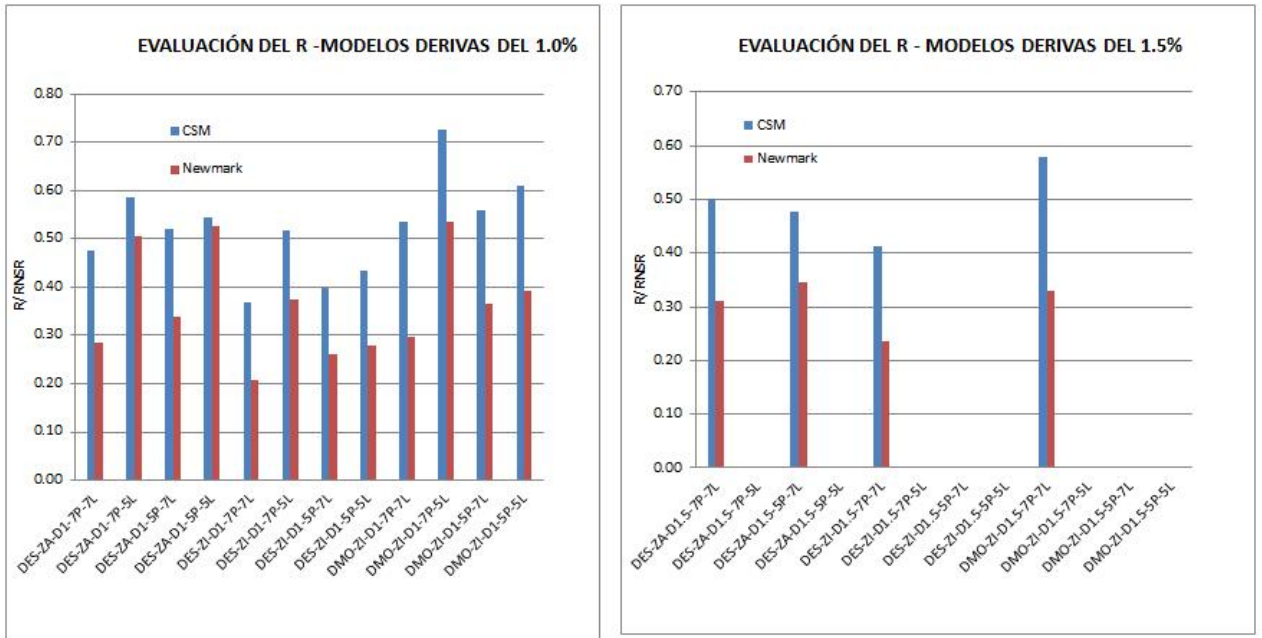


Figura 54. Valor de R versus deriva

3.3.3. R en función del número de pisos

Comparando los modelos de 5 y 7 pisos no observó una clara tendencia de disminución del R cuando se aumentó el límite de deriva.

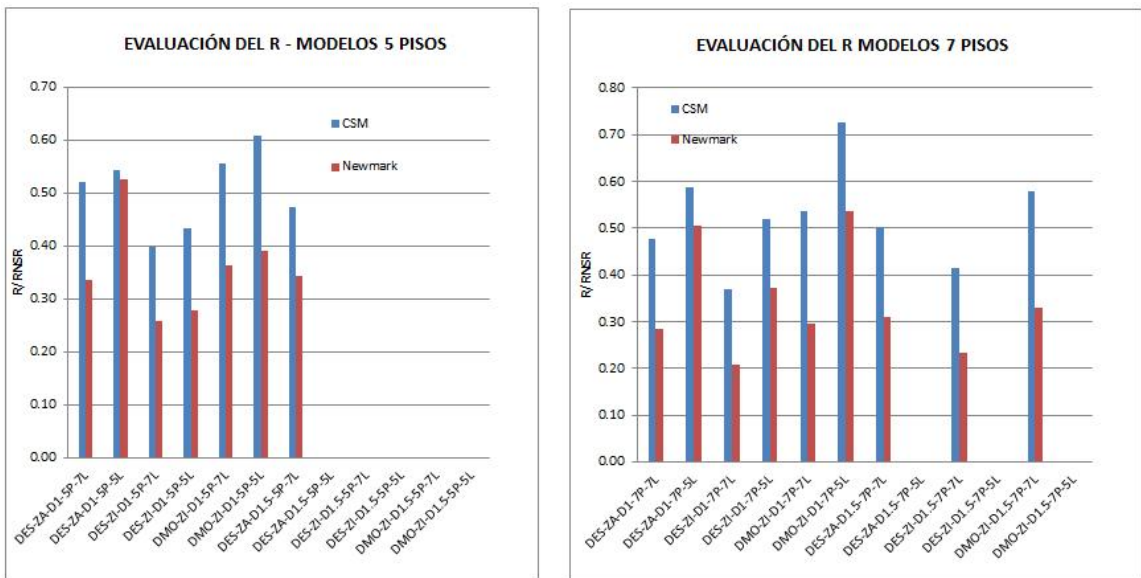


Figura 55. Valor de R en función del número de pisos

3.3.4. R en función de la luz de los vanos

Comparando el coeficiente de disipación en función de la luz de los vanos, se observa una tendencia en aumentar dicho valor para los edificios de 5 pisos.

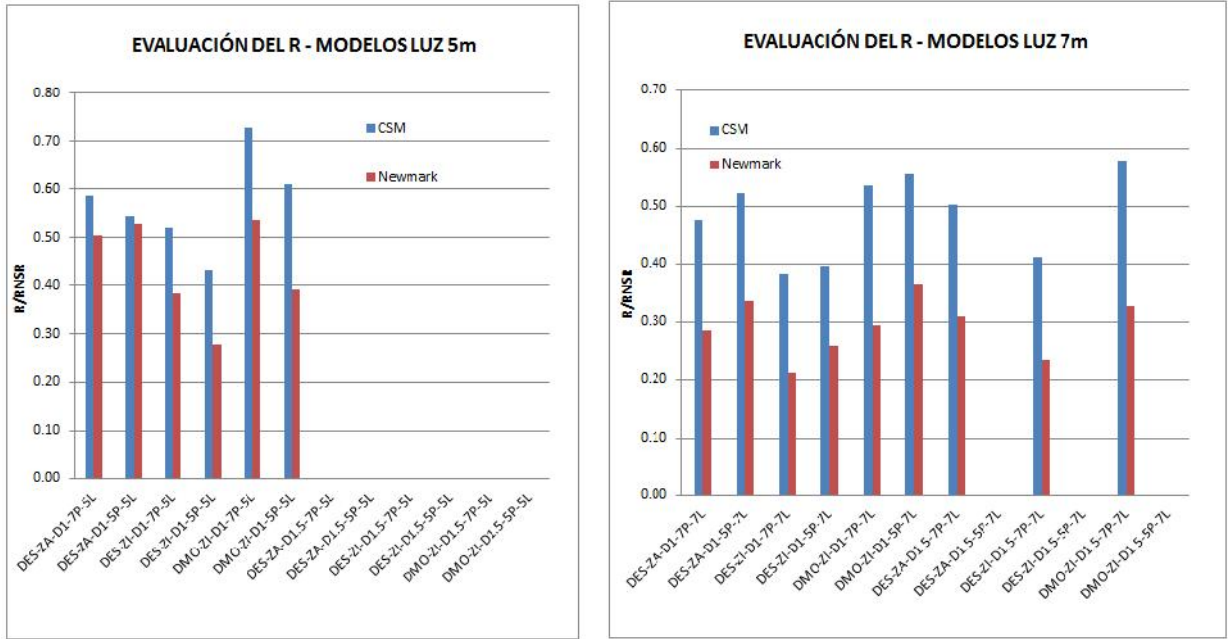


Figura 56. Valor de R en función de la luz

3.3.5. R en función del periodo

Comparando el coeficiente de disipación en función del periodo, no se observa una tendencia clara de variación a medida que se aumenta el periodo, pero se ve con mayor claridad que para los periodos estudiados, el valor del coeficiente de disipación se centra en un rango entre 2.0 y 3.6 (para la mayoría de los datos).

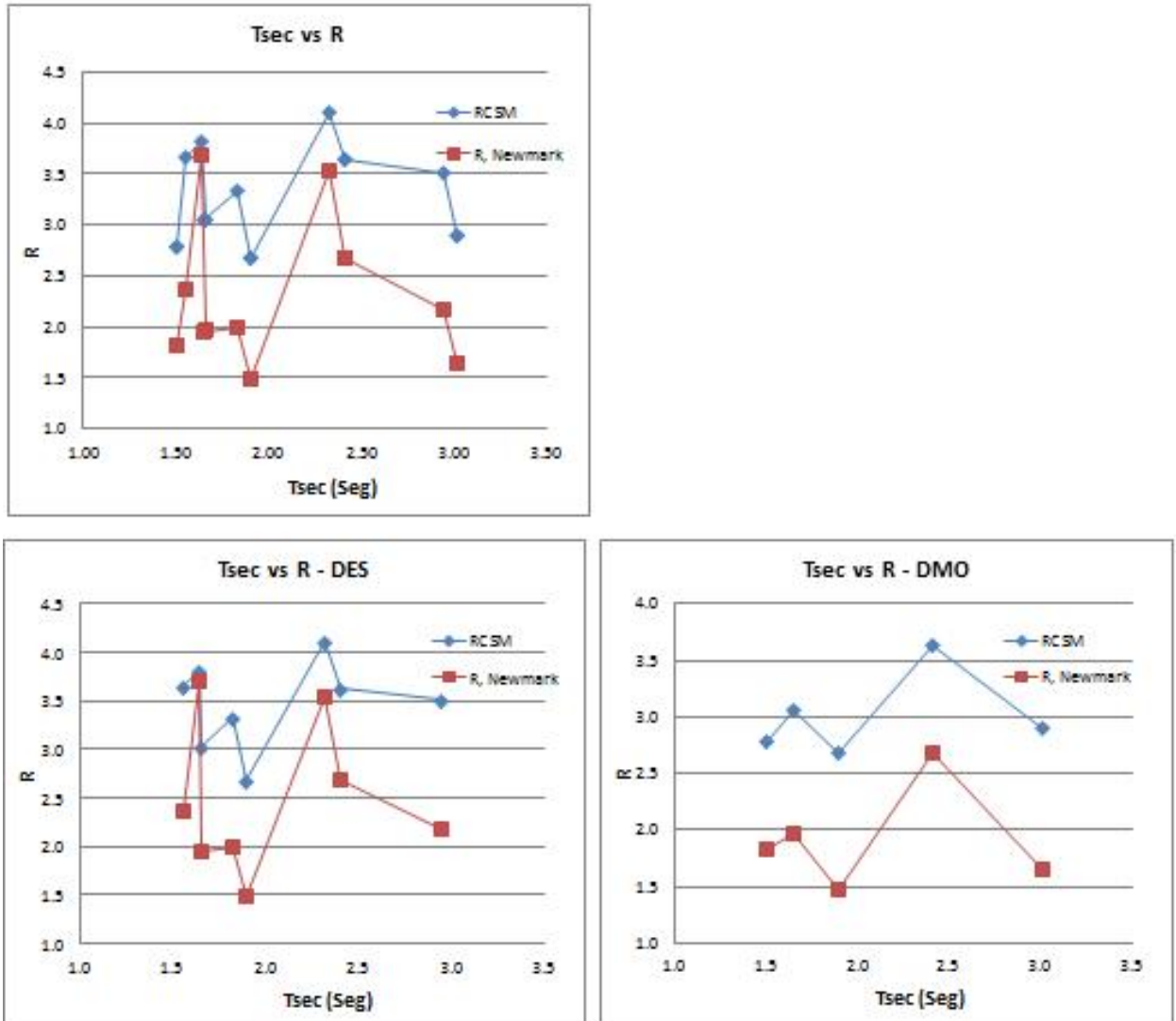


Figura 57. Valor de R en función del periodo

3.4. Cortantes de diseño

Los cortantes de diseño inelásticos, fueron mucho menores que los cortantes de diseño de acuerdo al NSR-10. Lo anterior debido a que el coeficiente de disipación determinado mediante el análisis inelástico fue también mucho menor (entre el 40 y 60% del especificado en el Reglamento).

Para los modelos con límite de deriva del 1.0%, los valores de cortante inelástico fueron en promedio de 2.2 veces el de diseño elástico para los modelos DES-ZA y DMO-ZI. Para los modelos DES en zona de amenaza intermedia (DES-ZI), dicho promedio se encontró en 3.3 veces el de diseño, esto porque en esos casos puede usarse un R mayor respecto a los modelos DMO para la misma zona de amenaza, por lo que las fuerzas de diseño del Reglamento son menores, siendo el cortante inelástico prácticamente igual, entonces el incremento de cortantes de 2.2 a 3.3 se asocia a la relación de R ($7/5=1.4$).

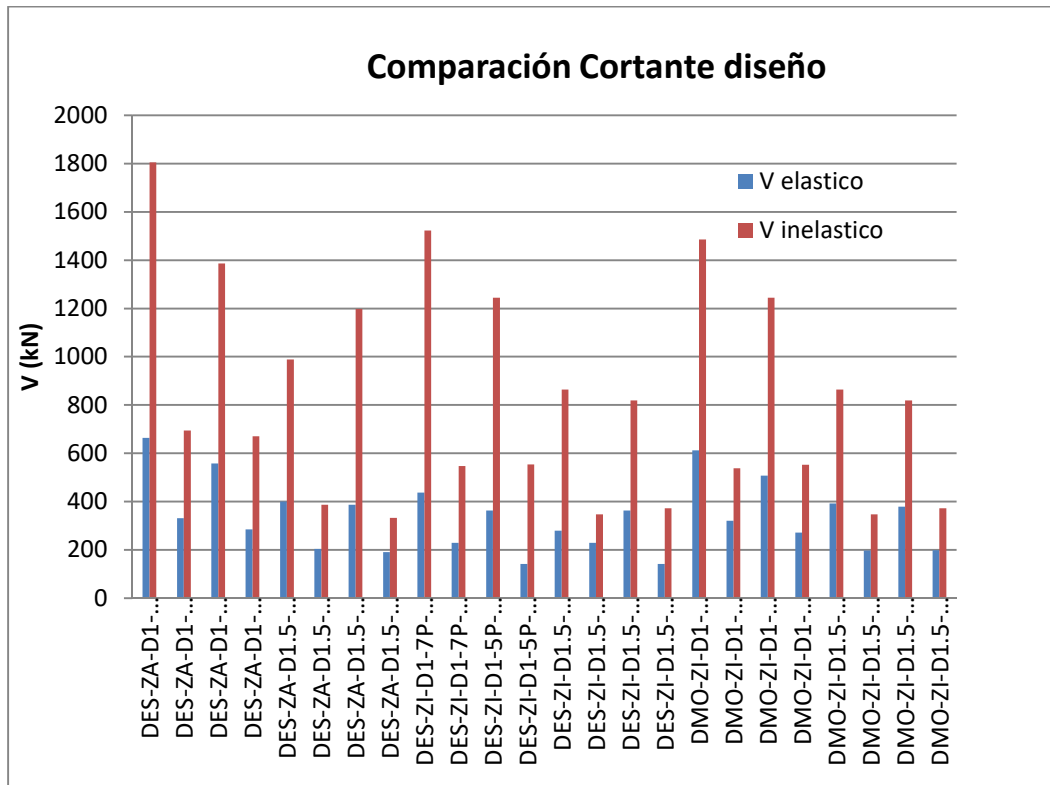


Figura 58. Comparación de cortantes de diseño análisis elástico e inelástico

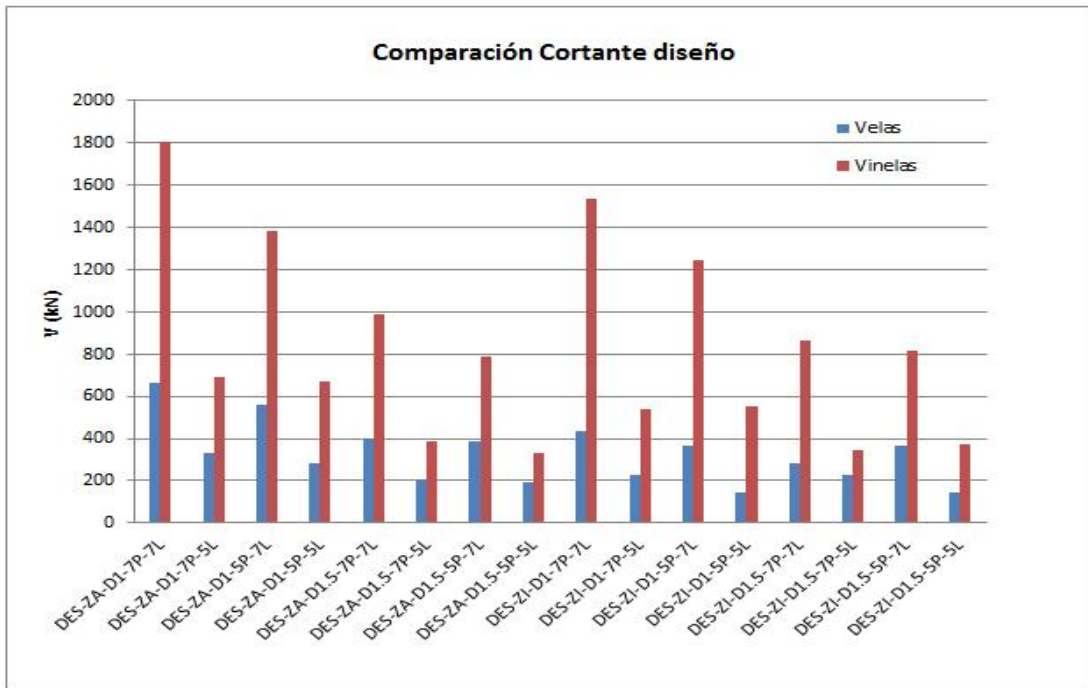


Figura 59. Comparación de cortantes de diseño análisis elástico e inelástico modelos DES

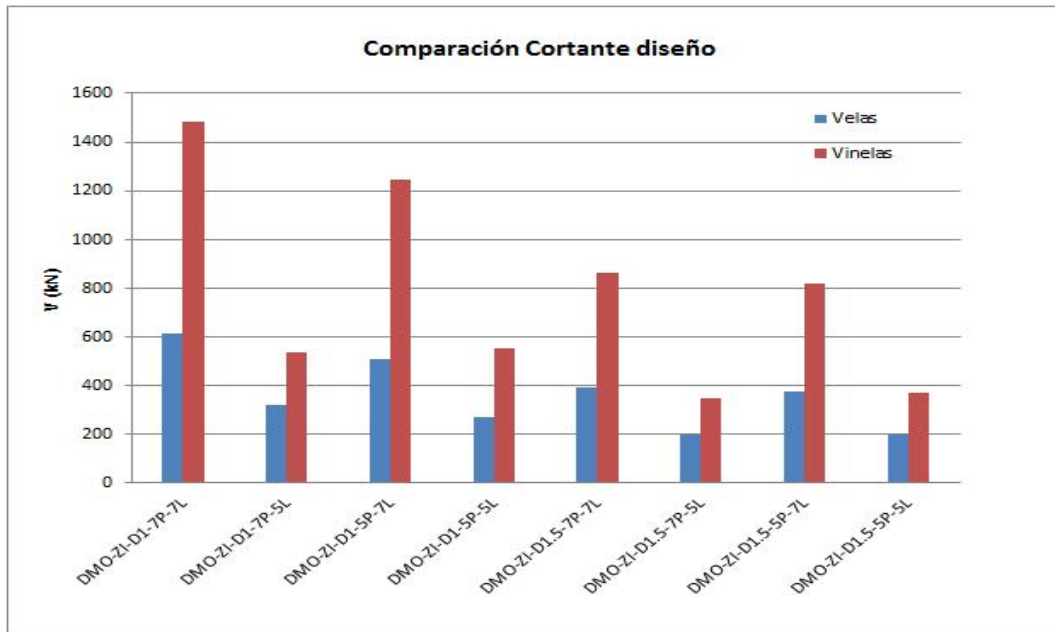


Figura 60. Comparación de cortantes de diseño análisis elástico e inelástico modelos DMO

3.5. Derivas para sismo de diseño

Las derivas encontradas por medio del análisis inelástico fueron siempre mayores, en promedio 36% más, que en los modelos de análisis elástico.

Para los modelos de deriva del 1.0% se observó que en los modelos de 7.0m de luz, que requirieron de mayor rigidez, el promedio de derivas inelásticas en relación con las derivas del análisis elástico fue un 28% mayor, mientras que para los modelos de 5.0m de luz dicho valor fue un 43% mayor.

Para los límites de deriva del 1.5% la deriva inelástica fue en promedio un 50% mayor que la del análisis elástico.

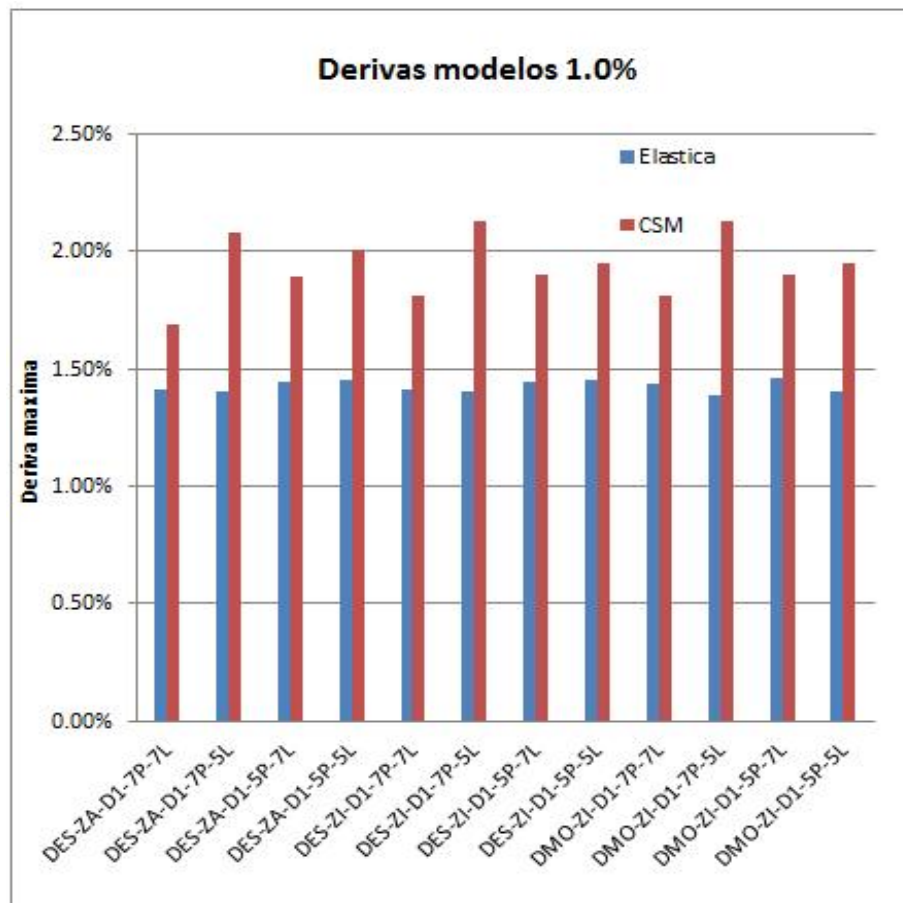


Figura 61. Comparación de derivas análisis elástico e inelástico límite 1.0%

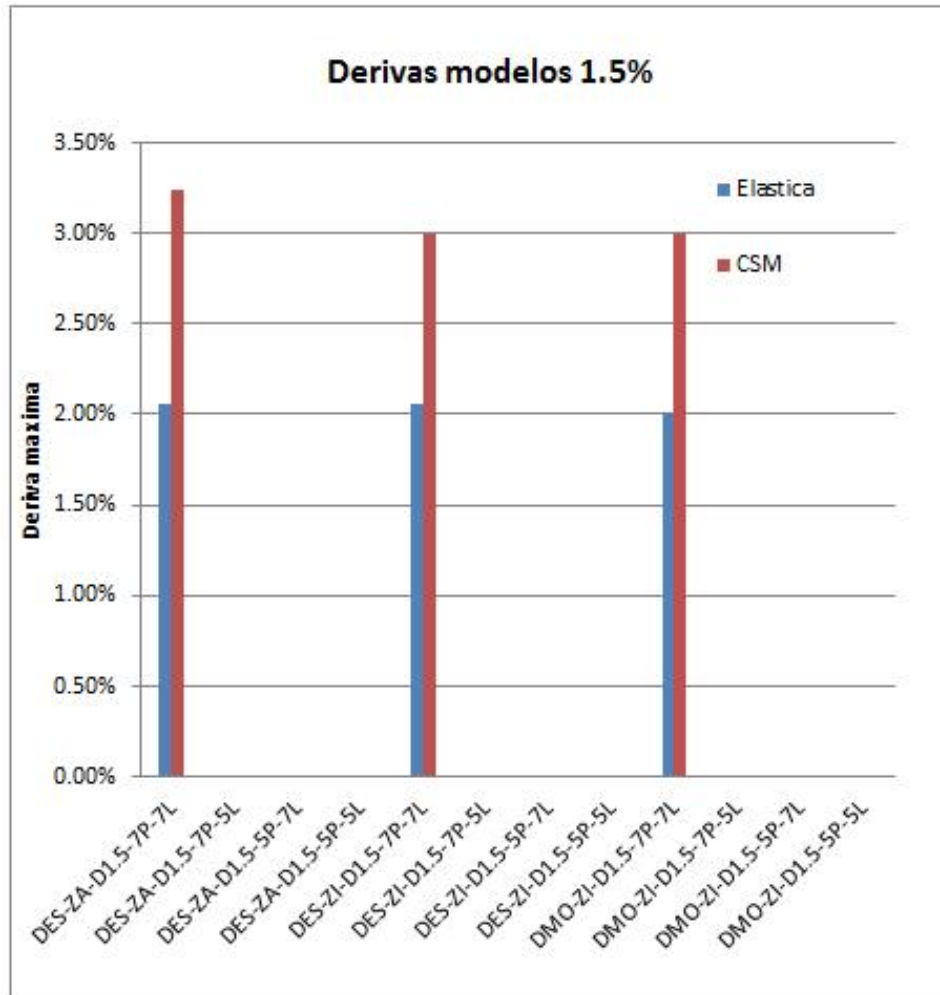


Figura 62. Comparación de derivas análisis elástico e inelástico límite 1.5%

Conclusiones

De los análisis realizados en el presente trabajo para los pórticos en concreto reforzado, bajo las geometrías analizadas, límites de derivas (1.0 y 1.5%), grados de disipación (DES y DMO), zonas de amenaza (intermedia y alta), altura (5 y 7 pisos) y luces, (5m y 7 m) se concluyen lo siguiente:

- Los valores del coeficiente de disipación de energía “R” evaluados mediante el método inelástico del espectro de capacidad fueron menores que los especificados en el Reglamento NSR-10 entre un 40 y un 60%. Sin embargo se observó que las estructuras diseñadas bajo los lineamientos del NSR-10, específicamente para el límite de deriva del 1% y siguiendo los requisitos del Capítulo C.21 presentan un adecuado comportamiento bajo el sismo de diseño, dado que los pórticos desarrollaron una ductilidad tal que permitió sostener la carga mucho más allá del punto de comportamiento, lo cual evidenció la importancia de la ductilidad más que de la resistencia, en el adecuado comportamiento sísmico de los pórticos.
- El valor del coeficiente R, determinado mediante el análisis inelástico del espectro de capacidad, se encontró entre un rango de 2.6 y 4.1 para los modelos de disipación especial y entre 2.6 y 3.6 para los modelos de disipación moderada de energía. Al estudiar la relación entre el valor del coeficiente R respecto a otras variables, no se encontró una tendencia clara entre dicho coeficiente y variables como la deriva, el número de pisos, la longitud de los vanos o el mismo grado de disipación de energía para los cuales se diseñaron los pórticos. Determinar el valor del coeficiente R dentro de los rangos establecidos anteriormente, tiene cierta similitud con lo especificado en códigos como el Mexicano o el Japonés que relacionan R con el Periodo.
- Las derivas encontradas en el análisis inelástico fueron siempre mayores que las derivas exigidas en el NSR-10. El promedio de derivas inelásticas fue un 36% y 50% mayor en relación con el de las derivas del análisis elástico para los modelos con límite de deriva del 1.0% y 1.5% respetivamente. Lo anterior reflejó que el principio de los desplazamientos iguales no se cumplió en los modelos estudiados, por lo cual, los valores del coeficiente R, determinados mediante el método de Newmark fueron muy inferiores a los especificados en el NSR-10.

- Los cortantes del análisis inelástico fueron mayores entre un 40 y 60% que los cortantes del análisis elástico. Sin embargo, para las columnas, el área requerida por cortante de acuerdo al NSR-10 fue alrededor de 2.0 y 4.5 veces el área requerida por las solicitaciones de diseño, mientras que para las vigas el refuerzo de diseño a cortante estuvo dominado por las solicitaciones de diseño y no por los requisitos de refuerzo especificado en el C.21 aunque los límites de separación de refuerzo transversal fueron muy similares en ambos casos. De acuerdo con lo anterior, se observa que el refuerzo a cortante en las columnas es suficiente para desarrollar los cortantes inelásticos encontrados, mientras que para las vigas se aprecia que son necesarias mayores cuantías de acero transversal en los extremos para resistir los cortantes que se pueden presentar bajo el sismo de diseño.
- Para los pórticos estudiados, el límite de deriva del 1% es el que controla el diseño y no los esfuerzos, mientras que para los análisis para la deriva del 1.5% estuvo controlado principalmente por criterios como columna fuerte – viga débil. Para éstos últimos modelos se evidenció la necesidad de controlar las derivas, ya que para la mayoría de los pórticos estudiados bajo el límite de deriva del 1.5%, la curva de capacidad no logró cortar el espectro de demanda, lo cual se dio por falta de ductilidad y rigidez en dichos pórticos.
- Todos los modelos diseñados bajo las consideraciones del NSR-10 presentaron un mecanismo de falla adecuado, con comportamientos de columna fuerte-viga débil, donde se generó la rótula en las columnas del primero piso, sin rótulas en columnas de pisos intermedios. En el punto de comportamiento, ningún elemento alcanzó el límite de rotación de prevención de colapso establecido. Para la mayoría de los modelos de deriva del 1.5% se alcanzaron límites de rotación o resistencia en las vigas, antes que la capacidad de la estructura cortara el espectro de demanda. Se debe tener en cuenta que dicho límite no necesariamente representó la falla de los pórticos, ya que el análisis se detuvo al alcanzar dicho límite, teniendo en cuenta que el límite de rotación en vigas para prevención de colapso fue de un 13% de la rotación última.
- Teniendo en cuenta los resultados del presente estudio y las variables bajo las cuales se hicieron los análisis, se requiere hacer más investigaciones, estudiando las

diferentes variables que influyen en la evaluación del coeficiente R (como secciones fisuradas, el límite $C_u T_a$ para el período, microzonificación, pórticos de periodos cortos, diferentes sistemas estructurales, interacción suelo-estructura, etc), con el fin de establecer unos valores del coeficiente R más adecuados para el diseño actual basado en fuerzas establecido en el NSR-10. Empezar a relacionar dentro del Reglamento el coeficiente R más con la ductilidad que con la resistencia de la estructura, permitiría asociar mejor el comportamiento adecuado que deben tener las edificaciones respecto a la demanda sísmica y puede ser un punto de transición hacia los métodos actuales de diseño basado en desplazamientos.

- Finalmente se sugiere actualizar los apéndices de los análisis inelásticos considerados en el NSR-10, con las nuevas consideraciones del FEMA 440, así como también incluir el método del espectro de capacidad.

Bibliografía

American Society of Civil Engineers. *Seismic rehabilitation of existing buildings*. ASCE/SEI 41-06. Reston (USA): ASCE, 2005.

Applied Technology Council. *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings*. ATC-40. California (USA): Report No. SSC 96-01, 1996.

ARROYAVE FRANCO, Humberto. "Evaluación del coeficiente de capacidad de disipación de energía dado por el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes de 1995, para columnas y pórtico en puentes típicos" [Tesis de Maestría]. Director: Carlos Ramiro Vallecilla Bahena. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, 2013.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. *Reglamento Colombiano de Construcción Sísmo Resistente*. NSR-10. 47.663. Bogotá (Colombia): AIS, 2010.

CHOPRA, Anil K. *DYNAMICS OF STRUCTURES. Theory and Applications to Earthquake Engineering*. New Jersey: Prentice-Hall, 2001. 794 p. ISBN 0-13-855214-2.

DEL RE RUIZ, Gianina. "Evaluación de los métodos de análisis estático no-lineal para determinar el desempeño sísmico en estructuras aporticadas de concreto armado" [Tesis de Maestría]. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, 2006.

Federal Emergency Management Agency. *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*. FEMA 356. Washington D.C (USA): FEMA, 2000.

Federal Emergency Management Agency. *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*. FEMA 440. Washington D.C (USA): FEMA, 2005.

IZADINIA, Mohssen et al. "Response modification factor for steel moment-resisting frames by different pushover analysis methods". *Journal of Constructional Steel Research*. 2012, vol 79, p. 83-90.

JEREZ, Sandra. "Evaluación y Reforzamiento Sísmico de Edificaciones". [Apuntes de clase]. Escuela Colombiana de Ingeniería, Departamento de Ingeniería, 2014.

MONDAL, Apurba et al. "Performance-based evaluation of the response reduction factor for ductile RC frames". *Engineering Structures*. 2013, vol 56, p. 1808-1819.

PÉREZ VARGAS, Francisco. *Diseño sísmico basado en desplazamientos, comparado con la norma NSR-10*. Medellín: Respuestas Estructurales LTDA, 2012. 300 p.

PRIESTLEY, Nigel et al. *Displacement - Based Seismic Design of Structures*. Pavia, Italia: IUSS Press, 2007. 597 p. ISBN: 978-88-6198-000-6

URREGO, Hector. "Aplicación de un método basado en el desempeño para el análisis y diseño sismo resistente de puentes de concreto reforzado. Ingeniería y Ciencia". *Ingeniería y Ciencia*. 2013, vol. 9 (17), p. 209-236.

VALENCIA CLEMENT, Gabriel; VALENCIA RESTREPO, Doralba. "Evaluación del coeficiente de disipación de energía R, para algunos tipos de estructuras de acero". *Revista Ingeniería e Investigación*. 2008, vol. 28 (1), p. 41-49.

ZAFAR, Adeel. "Response modification factor of reinforced concrete moment resisting frames in developing countries", Thesis, University of Illinois, 2009, 102, p.

Anexos

ANEXO 1. ANÁLISIS SÍSMICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL

- AJUSTE DE CORTANTES

DES-ZA-D1-5P-5L

Parámetros de Ajuste de cortantes

Tx	0.70
Ty	0.70

Sx	0.81
Sy	0.81

W	11501	KN
---	-------	----

Factor ajuste FHE	0.8	A.5.4.5 Para estructuras regulares
-------------------	-----	------------------------------------

Factor ajuste para diseño

0.8Vx	7453	KN
0.8Vy	7453	KN

Vx modal	7166	KN
Vy modal	7166	KN

F.Ax	1.04
F.Ay	1.04

Factor escala para espectro diseño en el programa

R	7
---	---

F.Ex	1.46
F.Ey	1.46

Factor ajuste para deriva en el programa

F.Ex	10.20
F.Ey	10.20

DES-ZA-D1-5P-7L

Parámetros de Ajuste de cortantes

Tx	0.69
Ty	0.69

Sx	0.81
Sy	0.81

W	22763	KN
---	-------	----

Factor ajuste FHE	0.8	A.5.4.5 Para estructuras regulares
-------------------	-----	------------------------------------

Factor ajuste para diseño

0.8Vx	14750	KN
0.8Vy	14750	KN

Vx modal	13774	KN
Vy modal	13774	KN

F.Ax	1.07
F.Ay	1.07

Factor escala para espectro diseño en el programa

R	7
---	---

F.Ex	1.50
F.Ey	1.50

Factor ajuste para deriva en el programa

F.Ex	10.51
F.Ey	10.51

DES-ZA-D1-7P-5L

Parámetros de Ajuste de cortantes

Tx	0.90
Ty	0.90

Sx	0.63
Sy	0.63

W	17384	KN
---	-------	----

Factor ajuste FHE	0.8	A.5.4.5 Para estructuras regulares
-------------------	-----	------------------------------------

Factor ajuste para diseño

0.8Vx	8761	KN
0.8Vy	8761	KN

Vx modal	8586	KN
Vy modal	8586	KN

F.Ax	1.02
F.Ay	1.02

Factor escala para espectro diseño en el programa

R	7
---	---

F.Ex	1.43
F.Ey	1.43

Factor ajuste para deriva en el programa

F.Ex	10.01
F.Ey	10.01

DES-ZA-D1-7P-7L

Parámetros de Ajuste de cortantes

Tx	0.91
Ty	0.91

Sx	0.63
Sy	0.63

W	35924 KN
---	----------

Factor ajuste FHE	0.8	A.5.4.5 Para estructuras regulares
-------------------	-----	------------------------------------

Factor ajuste para diseño

0.8Vx	18106 KN
0.8Vy	18106 KN

Vx modal	16639 KN
Vy modal	16633 KN

F.Ax	1.09
F.Ay	1.09

Factor escala para espectro diseño en el programa

R	7
---	---

F.Ex	1.52
F.Ey	1.53

Factor ajuste para deriva en el programa

F.Ex	10.67
F.Ey	10.68

DES-ZA-D1.5-5P-5L

Parámetros de Ajuste de cortantes

Tx	0.97
Ty	0.97

Sx	0.59
Sy	0.59

W	10123	KN
---	-------	----

Factor ajuste FHE	0.8	A.5.4.5 Para estructuras regulares
-------------------	-----	------------------------------------

Factor ajuste para diseño

0.8Vx	4778	KN
0.8Vy	4778	KN

Vx modal	4827	KN
Vy modal	4827	KN

F.Ax	1.00
F.Ay	1.00

Factor escala para espectro diseño en el programa

R	7
---	---

F.Ex	1.40
F.Ey	1.40

Factor ajuste para deriva en el programa

F.Ex	9.81
F.Ey	9.81

DES-ZA-D1.5-5P-7L

Parámetros de Ajuste de cortantes

Tx	1.03
Ty	1.03

Sx	0.55
Sy	0.55

W	19802 KN
---	----------

Factor ajuste FHE	0.8	A.5.4.5 Para estructuras regulares
-------------------	-----	------------------------------------

Factor ajuste para diseño

0.8Vx	8713 KN
0.8Vy	8713 KN

Vx modal	8615 KN
Vy modal	8615 KN

F.Ax	1.01
F.Ay	1.01

Factor escala para espectro diseño en el programa

R	7
---	---

F.Ex	1.42
F.Ey	1.42

Factor ajuste para deriva en el programa

F.Ex	9.92
F.Ey	9.92

DES-ZA-D1.5-7P-5L

Parámetros de Ajuste de cortantes

Tx	1.33
Ty	1.33

Sx	0.43
Sy	0.43

W	14817	KN
---	-------	----

Factor ajuste FHE	0.8	A.5.4.5 Para estructuras regulares
-------------------	-----	------------------------------------

Factor ajuste para diseño

0.8Vx	5097	KN
0.8Vy	5097	KN

Vx modal	5116	KN
Vy modal	5116	KN

F.Ax	1.00
F.Ay	1.00

Factor escala para espectro diseño en el programa

R	7
---	---

F.Ex	1.40
F.Ey	1.40

Factor ajuste para deriva en el programa

F.Ex	9.81
F.Ey	9.81

DES-ZA-D1.5-7P-7L

Parámetros de Ajuste de cortantes

Tx	1.32
Ty	1.32

Sx	0.43
Sy	0.43

W	29497	KN
---	-------	----

Factor ajuste FHE	0.8	A.5.4.5 Para estructuras regulares
-------------------	-----	------------------------------------

Factor ajuste para diseño

0.8Vx	10147	KN
0.8Vy	10147	KN

Vx modal	10083	KN
Vy modal	10083	KN

F.Ax	1.01
F.Ay	1.01

Factor escala para espectro diseño en el programa

R	7
---	---

F.Ex	1.41
F.Ey	1.41

Factor ajuste para deriva en el programa

F.Ex	9.87
F.Ey	9.87

DES-ZI-D1-5P-5L

Parámetros de Ajuste de cortantes

Tx	0.82
Ty	0.82

Sx	0.56
Sy	0.56

W	10895	KN
---	-------	----

Factor ajuste FHE	0.8	A.5.4.5 Para estructuras regulares
-------------------	-----	------------------------------------

Factor ajuste para diseño

0.8Vx	4881	KN
0.8Vy	4881	KN

Vx modal	4729	KN
Vy modal	4729	KN

F.Ax	1.03
F.Ay	1.03

Factor escala para espectro diseño en el programa

R	7
---	---

F.Ex	1.45
F.Ey	1.45

Factor ajuste para deriva en el programa

F.Ex	10.12
F.Ey	10.12

DES-ZI-D1-5P-7L

Parámetros de Ajuste de cortantes

Tx	0.84
Ty	0.84

Sx	0.56
Sy	0.56

W	20951	KN
---	-------	----

Factor ajuste FHE	0.8	A.5.4.5 Para estructuras regulares
-------------------	-----	------------------------------------

Factor ajuste para diseño

0.8Vx	9386	KN
0.8Vy	9386	KN

Vx modal	8913	KN
Vy modal	8913	KN

F.Ax	1.05
F.Ay	1.05

Factor escala para espectro diseño en el programa

R	7
---	---

F.Ex	1.48
F.Ey	1.48

Factor ajuste para deriva en el programa

F.Ex	10.33
F.Ey	10.33

DES-ZI-D1-7P-5L

Parámetros de Ajuste de cortantes

Tx	1.05
Ty	1.05

Sx	0.46
Sy	0.46

W	16485 KN
---	----------

Factor ajuste FHE	0.8	A.5.4.5 Para estructuras regulares
-------------------	-----	------------------------------------

Factor ajuste para diseño

0.8Vx	6066 KN
0.8Vy	6066 KN

Vx modal	5895 KN
Vy modal	5895 KN

F.Ax	1.03
F.Ay	1.03

Factor escala para espectro diseño en el programa

R	7
---	---

F.Ex	1.44
F.Ey	1.44

Factor ajuste para deriva en el programa

F.Ex	10.09
F.Ey	10.09

DES-ZI-D1-7P-7L

Parámetros de Ajuste de cortantes

Tx	1.08
Ty	1.08

Sx	0.44
Sy	0.44

W	33015 KN
---	----------

Factor ajuste FHE	0.8	A.5.4.5 Para estructuras regulares
-------------------	-----	------------------------------------

Factor ajuste para diseño

0.8Vx	11621 KN
0.8Vy	11621 KN

Vx modal	10891 KN
Vy modal	10891 KN

F.Ax	1.07
F.Ay	1.07

Factor escala para espectro diseño en el programa

R	7
---	---

F.Ex	1.50
F.Ey	1.50

Factor ajuste para deriva en el programa

F.Ex	10.47
F.Ey	10.47

DES-ZI-D1.5-5P-5L

Parámetros de Ajuste de cortantes

Tx	1.03
Ty	1.03

Sx	0.47
Sy	0.47

W	9547	KN
---	------	----

Factor ajuste FHE	0.8	A.5.4.5 Para estructuras regulares
-------------------	-----	------------------------------------

Factor ajuste para diseño

0.8Vx	3590	KN
0.8Vy	3590	KN

Vx modal	3534	KN
Vy modal	3534	KN

F.Ax	1.02
F.Ay	1.02

Factor escala para espectro diseño en el programa

R	7
---	---

F.Ex	1.42
F.Ey	1.42

Factor ajuste para deriva en el programa

F.Ex	9.96
F.Ey	9.96

DES-ZI-D1.5-5P-7L

Parámetros de Ajuste de cortantes

Tx	1.09
Ty	1.00

Sx	0.44
Sy	0.44

W	19520	KN
---	-------	----

Factor ajuste FHE	0.8	A.5.4.5 Para estructuras regulares
-------------------	-----	------------------------------------

Factor ajuste para diseño

0.8Vx	6871	KN
0.8Vy	6871	KN

Vx modal	6817	KN
Vy modal	6817	KN

F.Ax	1.01
F.Ay	1.01

Factor escala para espectro diseño en el programa

R	7
---	---

F.Ex	1.41
F.Ey	1.41

Factor ajuste para deriva en el programa

F.Ex	9.89
F.Ey	9.89

DES-ZI-D1.5-7P-5L

Parámetros de Ajuste de cortantes

Tx	1.52
Ty	1.52

Sx	0.32
Sy	0.32

W	13690	KN
---	-------	----

Factor ajuste FHE	0.8	A.5.4.5 Para estructuras regulares
-------------------	-----	------------------------------------

Factor ajuste para diseño

0.8Vx	3505	KN
0.8Vy	3505	KN

Vx modal	3490	KN
Vy modal	3490	KN

F.A x	1.00
F.A y	1.00

Factor escala para espectro diseño en el programa

R	7
---	---

F.Ex	1.41
F.Ey	1.41

Factor ajuste para deriva en el programa

F.Ex	9.85
F.Ey	9.85

DES-ZI-D1.5-7P-7L

Parámetros de Ajuste de cortantes

Tx	1.54
Ty	1.54

Sx	0.31
Sy	0.31

W	28358	KN
---	-------	----

Factor ajuste FHE	0.8	A.5.4.5 Para estructuras regulares
-------------------	-----	------------------------------------

Factor ajuste para diseño

0.8Vx	7033	KN
0.8Vy	7033	KN

Vx modal	7020	KN
Vy modal	7020	KN

F.Ax	1.00
F.Ay	1.00

Factor escala para espectro diseño en el programa

R	7
---	---

F.Ex	1.40
F.Ey	1.40

Factor ajuste para deriva en el programa

F.Ex	9.83
F.Ey	9.83

DMO-ZI-D1-5P-5L

Parámetros de Ajuste de cortantes

Tx	0.69
Ty	0.69

Sx	0.56
Sy	0.56

W	11502	KN
---	-------	----

Factor ajuste FHE	0.8	A.5.4.5 Para estructuras regulares
-------------------	-----	------------------------------------

Factor ajuste para diseño

0.8Vx	5153	KN
0.8Vy	5153	KN

Vx modal	4960	KN
Vy modal	4960	KN

F.A x	1.04
F.A y	1.04

Factor escala para espectro diseño en el programa

R	5
---	---

F.Ex	2.04
F.Ey	2.04

Factor ajuste para deriva en el programa

F.Ex	10.19
F.Ey	10.19

DMO-ZI-D1-5P-7L

Parámetros de Ajuste de cortantes

Tx	0.84
Ty	0.84

Sx	0.56
Sy	0.56

W	20951	KN
---	-------	----

Factor ajuste FHE	0.8	A.5.4.5 Para estructuras regulares
-------------------	-----	------------------------------------

Factor ajuste para diseño

0.8Vx	9386	KN
0.8Vy	9386	KN

Vx modal	8913	KN
Vy modal	8913	KN

F.A x	1.05
F.A y	1.05

Factor escala para espectro diseño en el programa

R	5
---	---

F.Ex	2.07
F.Ey	2.07

Factor ajuste para deriva en el programa

F.Ex	10.33
F.Ey	10.33

DMO-ZI-D1-7P-5L

Parámetros de Ajuste de cortantes

Tx	1.05
Ty	1.05

Sx	0.46
Sy	0.46

W	16485 KN
---	----------

Factor ajuste FHE	0.8	A.5.4.5 Para estructuras regulares
-------------------	-----	------------------------------------

Factor ajuste para diseño

0.8Vx	6066 KN
0.8Vy	6066 KN

Vx modal	5895 KN
Vy modal	5895 KN

F.Ax	1.03
F.Ay	1.03

Factor escala para espectro diseño en el programa

R	5
---	---

F.Ex	2.02
F.Ey	2.02

Factor ajuste para deriva en el programa

F.Ex	10.09
F.Ey	10.09

DMO-ZI-D1-7P-7L

Parámetros de Ajuste de cortantes

Tx	1.08
Ty	1.08

Sx	0.44
Sy	0.44

W	33015	KN
---	-------	----

Factor ajuste FHE	0.8	A.5.4.5 Para estructuras regulares
-------------------	-----	------------------------------------

Factor ajuste para diseño

0.8Vx	11621	KN
0.8Vy	11621	KN

Vx modal	10891	KN
Vy modal	10891	KN

F.Ax	1.07
F.Ay	1.07

Factor escala para espectro diseño en el programa

R	5
---	---

F.Ex	2.09
F.Ey	2.09

Factor ajuste para deriva en el programa

F.Ex	10.47
F.Ey	10.47

DMO-ZI-D1.5-5P-5L

Parámetros de Ajuste de cortantes

Tx	1.03
Ty	1.03

Sx	0.47
Sy	0.47

W	9547 KN
---	---------

Factor ajuste FHE	0.8	A.5.4.5 Para estructuras regulares
-------------------	-----	------------------------------------

Factor ajuste para diseño

0.8Vx	3590 KN
0.8Vy	3590 KN

Vx modal	3534 KN
Vy modal	3534 KN

F.Ax	1.02
F.Ay	1.02

Factor escala para espectro diseño en el programa

R	5
---	---

F.Ex	1.99
F.Ey	1.99

Factor ajuste para deriva en el programa

F.Ex	9.96
F.Ey	9.96

DMO-ZI-D1.5-5P-7L

Parámetros de Ajuste de cortantes

Tx	1.09
Ty	1.00

Sx	0.44
Sy	0.44

W	19520 KN
---	----------

Factor ajuste FHE	0.8	A.5.4.5 Para estructuras regulares
-------------------	-----	------------------------------------

Factor ajuste para diseño

0.8Vx	6871 KN
0.8Vy	6871 KN

Vx modal	6817 KN
Vy modal	6817 KN

F.Ax	1.01
F.Ay	1.01

Factor escala para espectro diseño en el programa

R	5
---	---

F.Ex	1.98
F.Ey	1.98

Factor ajuste para deriva en el programa

F.Ex	9.89
F.Ey	9.89

DMO-ZI-D1.5-7P-5L

Parámetros de Ajuste de cortantes

Tx	1.52
Ty	1.52

Sx	0.32
Sy	0.32

W	13690	KN
---	-------	----

Factor ajuste FHE	0.8	A.5.4.5 Para estructuras regulares
-------------------	-----	------------------------------------

Factor ajuste para diseño

0.8Vx	3505	KN
0.8Vy	3505	KN

Vx modal	3490	KN
Vy modal	3490	KN

F.Ax	1.00
F.Ay	1.00

Factor escala para espectro diseño en el programa

R	5
---	---

F.Ex	1.97
F.Ey	1.97

Factor ajuste para deriva en el programa

F.Ex	9.85
F.Ey	9.85

DMO-ZI-D1.5-7P-7L

Parámetros de Ajuste de cortantes

Tx	1.54
Ty	1.54

Sx	0.31
Sy	0.31

W	28358	KN
---	-------	----

Factor ajuste FHE	0.8	A.5.4.5 Para estructuras regulares
-------------------	-----	------------------------------------

Factor ajuste para diseño

0.8Vx	7033	KN
0.8Vy	7033	KN

Vx modal	7020	KN
Vy modal	7020	KN

F.A.x	1.00
F.A.y	1.00

Factor escala para espectro diseño en el programa

R	5
---	---

F.Ex	1.97
F.Ey	1.97

Factor ajuste para deriva en el programa

F.Ex	9.83
F.Ey	9.83

- DERIVAS

DES-ZA-D1-5P-5L

Story	Item	Load	Point	X	Y	Z	DriftX	DriftY
CUBIERTA	Max Drift X	DERX1	33	15	0	0	14	0.006814
CUBIERTA	Max Drift Y	DERX1	24	0	15	15	14	0.002479
CUBIERTA	Max Drift X	DERY1	33	15	0	0	14	0.002479
CUBIERTA	Max Drift Y	DERY1	24	0	15	15	14	0.006814
PISO5	Max Drift X	DERX1	33	15	0	0	11.2	0.010691
PISO5	Max Drift Y	DERX1	36	15	15	15	11.2	0.003919
PISO5	Max Drift X	DERY1	33	15	0	0	11.2	0.003919
PISO5	Max Drift Y	DERY1	36	15	15	15	11.2	0.010691
PISO4	Max Drift X	DERX1	36	15	15	15	8.4	0.013996
PISO4	Max Drift Y	DERX1	24	0	15	15	8.4	0.005163
PISO4	Max Drift X	DERY1	36	15	15	15	8.4	0.005163
PISO4	Max Drift Y	DERY1	24	0	15	15	8.4	0.013996
PISO3	Max Drift X	DERX1	33	15	0	0	5.6	0.014518
PISO3	Max Drift Y	DERX1	36	15	15	15	5.6	0.005392
PISO3	Max Drift X	DERY1	33	15	0	0	5.6	0.005392
PISO3	Max Drift Y	DERY1	36	15	15	15	5.6	0.014518
PISO2	Max Drift X	DERX1	36	15	15	15	2.8	0.008507
PISO2	Max Drift Y	DERX1	24	0	15	15	2.8	0.003182
PISO2	Max Drift X	DERY1	36	15	15	15	2.8	0.003182
PISO2	Max Drift Y	DERY1	24	0	15	15	2.8	0.008507
							1.45%	1.45%

DES-ZA-D1-5P-7L

Story	Item	Load	Point	X	Y	Z	DriftX	DriftY
CUBIERTA	Max Drift X	DERX1	33	21	0	0	14	0.009284
CUBIERTA	Max Drift Y	DERX1	36	21	21	21	14	0.003396
CUBIERTA	Max Drift X	DERY1	33	21	0	0	14	0.003396
CUBIERTA	Max Drift Y	DERY1	36	21	21	21	14	0.009284
PISO5	Max Drift X	DERX1	33	21	0	0	11.2	0.012237
PISO5	Max Drift Y	DERX1	24	0	21	21	11.2	0.004505
PISO5	Max Drift X	DERY1	33	21	0	0	11.2	0.004505
PISO5	Max Drift Y	DERY1	24	0	21	21	11.2	0.012237
PISO4	Max Drift X	DERX1	36	21	21	21	8.4	0.014417
PISO4	Max Drift Y	DERX1	36	21	21	21	8.4	0.005342
PISO4	Max Drift X	DERY1	36	21	21	21	8.4	0.005342
PISO4	Max Drift Y	DERY1	36	21	21	21	8.4	0.014417
PISO3	Max Drift X	DERX1	36	21	21	21	5.6	0.013702
PISO3	Max Drift Y	DERX1	36	21	21	21	5.6	0.00511
PISO3	Max Drift X	DERY1	36	21	21	21	5.6	0.00511
PISO3	Max Drift Y	DERY1	36	21	21	21	5.6	0.013702
PISO2	Max Drift X	DERX1	36	21	21	21	2.8	0.007426
PISO2	Max Drift Y	DERX1	24	0	21	21	2.8	0.002787
PISO2	Max Drift X	DERY1	36	21	21	21	2.8	0.002787
PISO2	Max Drift Y	DERY1	36	21	21	21	2.8	0.007426
							1.44%	1.44%

DES-ZA-D1-7P-5L

Story	Item	Load	Point	X	Y	Z	DriftX	DriftY
CUBIERTA	Max Drift X	DERX1	36	15	15	15	19.6	0.004096
CUBIERTA	Max Drift Y	DERX1	36	15	15	15	19.6	0.001484
CUBIERTA	Max Drift X	DERY1	36	15	15	15	19.6	0.001484
CUBIERTA	Max Drift Y	DERY1	24	0	15	15	19.6	0.004096
PISO7	Max Drift X	DERX1	33	15	0	15	16.8	0.006936
PISO7	Max Drift Y	DERX1	36	15	15	15	16.8	0.002537
PISO7	Max Drift X	DERY1	33	15	0	15	16.8	0.002537
PISO7	Max Drift Y	DERY1	36	15	15	15	16.8	0.006936
PISO6	Max Drift X	DERX1	36	15	15	15	14	0.009902
PISO6	Max Drift Y	DERX1	36	15	15	15	14	0.003645
PISO6	Max Drift X	DERY1	36	15	15	15	14	0.003645
PISO6	Max Drift Y	DERY1	24	0	15	15	14	0.009902
PISO5	Max Drift X	DERX1	33	15	0	15	11.2	0.012392
PISO5	Max Drift Y	DERX1	36	15	15	15	11.2	0.00459
PISO5	Max Drift X	DERY1	33	15	0	15	11.2	0.00459
PISO5	Max Drift Y	DERY1	36	15	15	15	11.2	0.012392
PISO4	Max Drift X	DERX1	33	15	0	15	8.4	0.014002
PISO4	Max Drift Y	DERX1	36	15	15	15	8.4	0.005222
PISO4	Max Drift X	DERY1	33	15	0	15	8.4	0.005222
PISO4	Max Drift Y	DERY1	36	15	15	15	8.4	0.014002
PISO3	Max Drift X	DERX1	36	15	15	15	5.6	0.013746
PISO3	Max Drift Y	DERX1	24	0	15	15	5.6	0.005167
PISO3	Max Drift X	DERY1	36	15	15	15	5.6	0.005167
PISO3	Max Drift Y	DERY1	24	0	15	15	5.6	0.013746
PISO2	Max Drift X	DERX1	33	15	0	15	2.8	0.008214
PISO2	Max Drift Y	DERX1	36	15	15	15	2.8	0.003113
PISO2	Max Drift X	DERY1	33	15	0	15	2.8	0.003113
PISO2	Max Drift Y	DERY1	36	15	15	15	2.8	0.008214
							1.40%	1.40%

DES-ZA-D1-7P-7L

Story	Item	Load	Point	X	Y	Z	DriftX	DriftY
CUBIERTA	Max Drift X	DERIVAX	33	21	0	21	19.6	0.008083
CUBIERTA	Max Drift Y	DERIVAX	24	0	21	21	19.6	0.000573
CUBIERTA	Max Drift X	DERIVAY	33	21	0	21	19.6	0.000573
CUBIERTA	Max Drift Y	DERIVAY	24	0	21	21	19.6	0.008083
PISO7	Max Drift X	DERIVAX	36	21	21	21	16.8	0.010138
PISO7	Max Drift Y	DERIVAX	21	0	0	21	16.8	0.000745
PISO7	Max Drift X	DERIVAY	33	21	0	21	16.8	0.000745
PISO7	Max Drift Y	DERIVAY	36	21	21	21	16.8	0.010138
PISO6	Max Drift X	DERIVAX	33	21	0	21	14	0.01235
PISO6	Max Drift Y	DERIVAX	24	0	21	21	14	0.000943
PISO6	Max Drift X	DERIVAY	36	21	21	21	14	0.000943
PISO6	Max Drift Y	DERIVAY	24	0	21	21	14	0.01235
PISO5	Max Drift X	DERIVAX	33	21	0	21	11.2	0.013905
PISO5	Max Drift Y	DERIVAX	33	21	0	21	11.2	0.001102
PISO5	Max Drift X	DERIVAY	36	21	21	21	11.2	0.001102
PISO5	Max Drift Y	DERIVAY	24	0	21	21	11.2	0.013906
PISO4	Max Drift X	DERIVAX	36	21	21	21	8.4	0.014071
PISO4	Max Drift Y	DERIVAX	36	21	21	21	8.4	0.001158
PISO4	Max Drift X	DERIVAY	36	21	21	21	8.4	0.001158
PISO4	Max Drift Y	DERIVAY	36	21	21	21	8.4	0.014072
PISO3	Max Drift X	DERIVAX	36	21	21	21	5.6	0.011904
PISO3	Max Drift Y	DERIVAX	24	0	21	21	5.6	0.001017
PISO3	Max Drift X	DERIVAY	36	21	21	21	5.6	0.001017
PISO3	Max Drift Y	DERIVAY	24	0	21	21	5.6	0.011905
PISO2	Max Drift X	DERIVAX	33	21	0	21	2.8	0.005934
PISO2	Max Drift Y	DERIVAX	36	21	21	21	2.8	0.000524
PISO2	Max Drift X	DERIVAY	36	21	21	21	2.8	0.000524
PISO2	Max Drift Y	DERIVAY	36	21	21	21	2.8	0.005934
							1.41%	1.41%

DES-ZA-D1.5-5P-5L

Story	Item	Load	Point	X	Y	Z	DriftX	DriftY
CUBIERTA	Max Drift X	DERX1	36	15	15	15	14	0.00753
CUBIERTA	Max Drift Y	DERX1	24	0	15	15	14	0.002761
CUBIERTA	Max Drift X	DERY1	36	15	15	15	14	0.002761
CUBIERTA	Max Drift Y	DERY1	24	0	15	15	14	0.00753
PISO5	Max Drift X	DERX1	33	15	0	0	11.2	0.013407
PISO5	Max Drift Y	DERX1	21	0	0	0	11.2	0.00496
PISO5	Max Drift X	DERY1	33	15	0	0	11.2	0.00496
PISO5	Max Drift Y	DERY1	24	0	15	15	11.2	0.013407
PISO4	Max Drift X	DERX1	33	15	0	0	8.4	0.018616
PISO4	Max Drift Y	DERX1	24	0	15	15	8.4	0.006942
PISO4	Max Drift X	DERY1	33	15	0	0	8.4	0.006942
PISO4	Max Drift Y	DERY1	24	0	15	15	8.4	0.018616
PISO3	Max Drift X	DERX1	36	15	15	15	5.6	0.020695
PISO3	Max Drift Y	DERX1	24	0	15	15	5.6	0.00779
PISO3	Max Drift X	DERY1	36	15	15	15	5.6	0.00779
PISO3	Max Drift Y	DERY1	24	0	15	15	5.6	0.020695
PISO2	Max Drift X	DERX1	33	15	0	0	2.8	0.013378
PISO2	Max Drift Y	DERX1	24	0	15	15	2.8	0.005087
PISO2	Max Drift X	DERY1	33	15	0	0	2.8	0.005087
PISO2	Max Drift Y	DERY1	24	0	15	15	2.8	0.013378
							2.07%	2.07%

DES-ZA-D1.5-5P-7L

Story	Item	Load	Point	X	Y	Z	DriftX	DriftY
CUBIERTA	Max Drift X	DERX1	36	21	21	21	14	0.011443
CUBIERTA	Max Drift Y	DERX1	24	0	21	21	14	0.004222
CUBIERTA	Max Drift X	DERY1	36	21	21	21	14	0.004222
CUBIERTA	Max Drift Y	DERY1	24	0	21	21	14	0.011443
PISO5	Max Drift X	DERX1	33	21	0	0	11.2	0.016625
PISO5	Max Drift Y	DERX1	24	0	21	21	11.2	0.006189
PISO5	Max Drift X	DERY1	33	21	0	0	11.2	0.006189
PISO5	Max Drift Y	DERY1	24	0	21	21	11.2	0.016625
PISO4	Max Drift X	DERX1	36	21	21	21	8.4	0.020878
PISO4	Max Drift Y	DERX1	36	21	21	21	8.4	0.007844
PISO4	Max Drift X	DERY1	36	21	21	21	8.4	0.007844
PISO4	Max Drift Y	DERY1	36	21	21	21	8.4	0.020878
PISO3	Max Drift X	DERX1	33	21	0	0	5.6	0.021002
PISO3	Max Drift Y	DERX1	24	0	21	21	5.6	0.007967
PISO3	Max Drift X	DERY1	33	21	0	0	5.6	0.007967
PISO3	Max Drift Y	DERY1	24	0	21	21	5.6	0.021002
PISO2	Max Drift X	DERX1	36	21	21	21	2.8	0.011885
PISO2	Max Drift Y	DERX1	36	21	21	21	2.8	0.00455
PISO2	Max Drift X	DERY1	36	21	21	21	2.8	0.00455
PISO2	Max Drift Y	DERY1	36	21	21	21	2.8	0.011885
							2.10%	2.10%

DES-ZA-D1.5-7P-5L

Story	Item	Load	Point	X	Y	Z	DriftX	DriftY
CUBIERTA	Max Drift X	DERX1	36	15	15	15	19.6	0.006311
CUBIERTA	Max Drift Y	DERX1	36	15	15	15	19.6	0.002308
CUBIERTA	Max Drift X	DERY1	36	15	15	15	19.6	0.002308
CUBIERTA	Max Drift Y	DERY1	24	0	15	15	19.6	0.006311
PISO7	Max Drift X	DERX1	33	15	0	15	16.8	0.010481
PISO7	Max Drift Y	DERX1	36	15	15	15	16.8	0.003874
PISO7	Max Drift X	DERY1	33	15	0	15	16.8	0.003874
PISO7	Max Drift Y	DERY1	36	15	15	15	16.8	0.010481
PISO6	Max Drift X	DERX1	36	15	15	15	14	0.014717
PISO6	Max Drift Y	DERX1	36	15	15	15	14	0.005492
PISO6	Max Drift X	DERY1	36	15	15	15	14	0.005492
PISO6	Max Drift Y	DERY1	24	0	15	15	14	0.014717
PISO5	Max Drift X	DERX1	33	15	0	15	11.2	0.018247
PISO5	Max Drift Y	DERX1	36	15	15	15	11.2	0.00688
PISO5	Max Drift X	DERY1	33	15	0	15	11.2	0.00688
PISO5	Max Drift Y	DERY1	36	15	15	15	11.2	0.018247
PISO4	Max Drift X	DERX1	33	15	0	15	8.4	0.020582
PISO4	Max Drift Y	DERX1	24	0	15	15	8.4	0.007845
PISO4	Max Drift X	DERY1	33	15	0	15	8.4	0.007845
PISO4	Max Drift Y	DERY1	36	15	15	15	8.4	0.020582
PISO3	Max Drift X	DERX1	36	15	15	15	5.6	0.020172
PISO3	Max Drift Y	DERX1	24	0	15	15	5.6	0.007775
PISO3	Max Drift X	DERY1	36	15	15	15	5.6	0.007775
PISO3	Max Drift Y	DERY1	24	0	15	15	5.6	0.020172
PISO2	Max Drift X	DERX1	33	15	0	15	2.8	0.011794
PISO2	Max Drift Y	DERX1	36	15	15	15	2.8	0.004594
PISO2	Max Drift X	DERY1	33	15	0	15	2.8	0.004594
PISO2	Max Drift Y	DERY1	36	15	15	15	2.8	0.011794
							2.06%	2.06%

DES-ZA-D1.5-7P-7L

Story	Item	Load	Point	X	Y	Z	DriftX	DriftY
CUBIERTA	Max Drift X	DERX1	36	21	21	21	19.6	0.007886
CUBIERTA	Max Drift Y	DERX1	24	0	21	21	19.6	0.00291
CUBIERTA	Max Drift X	DERY1	36	21	21	21	19.6	0.00291
CUBIERTA	Max Drift Y	DERY1	24	0	21	21	19.6	0.007886
PISO7	Max Drift X	DERX1	33	21	0	21	16.8	0.01164
PISO7	Max Drift Y	DERX1	24	0	21	21	16.8	0.004335
PISO7	Max Drift X	DERY1	33	21	0	21	16.8	0.004335
PISO7	Max Drift Y	DERY1	36	21	21	21	16.8	0.01164
PISO6	Max Drift X	DERX1	36	21	21	21	14	0.015623
PISO6	Max Drift Y	DERX1	24	0	21	21	14	0.005874
PISO6	Max Drift X	DERY1	36	21	21	21	14	0.005874
PISO6	Max Drift Y	DERY1	24	0	21	21	14	0.015623
PISO5	Max Drift X	DERX1	33	21	0	21	11.2	0.018877
PISO5	Max Drift Y	DERX1	24	0	21	21	11.2	0.007167
PISO5	Max Drift X	DERY1	33	21	0	21	11.2	0.007167
PISO5	Max Drift Y	DERY1	36	21	21	21	11.2	0.018877
PISO4	Max Drift X	DERX1	33	21	0	21	8.4	0.02059
PISO4	Max Drift Y	DERX1	36	21	21	21	8.4	0.007897
PISO4	Max Drift X	DERY1	33	21	0	21	8.4	0.007897
PISO4	Max Drift Y	DERY1	36	21	21	21	8.4	0.02059
PISO3	Max Drift X	DERX1	36	21	21	21	5.6	0.0191
PISO3	Max Drift Y	DERX1	24	0	21	21	5.6	0.007399
PISO3	Max Drift X	DERY1	36	21	21	21	5.6	0.007399
PISO3	Max Drift Y	DERY1	24	0	21	21	5.6	0.0191
PISO2	Max Drift X	DERX1	33	21	0	21	2.8	0.010448
PISO2	Max Drift Y	DERX1	24	0	21	21	2.8	0.004083
PISO2	Max Drift X	DERY1	33	21	0	21	2.8	0.004083
PISO2	Max Drift Y	DERY1	36	21	21	21	2.8	0.010448
							2.06%	2.06%

DMO-ZI-D1-5P-5L

Story	Item	Load	Point	X	Y	Z	DriftX	DriftY
CUBIERTA	Max Drift X	DERX1	36	15	15	14	0.006487	
CUBIERTA	Max Drift Y	DERX1	24	0	15	14		0.002356
CUBIERTA	Max Drift X	DERY1	36	15	15	14	0.002356	
CUBIERTA	Max Drift Y	DERY1	24	0	15	14		0.006487
PISO5	Max Drift X	DERX1	36	15	15	11.2	0.010268	
PISO5	Max Drift Y	DERX1	35	15	10	11.2		0.003758
PISO5	Max Drift X	DERY1	36	15	15	11.2	0.003758	
PISO5	Max Drift Y	DERY1	36	15	15	11.2		0.010268
PISO4	Max Drift X	DERX1	33	15	0	8.4	0.013493	
PISO4	Max Drift Y	DERX1	24	0	15	8.4		0.00497
PISO4	Max Drift X	DERY1	33	15	0	8.4	0.00497	
PISO4	Max Drift Y	DERY1	24	0	15	8.4		0.013493
PISO3	Max Drift X	DERX1	33	15	0	5.6	0.014017	
PISO3	Max Drift Y	DERX1	36	15	15	5.6		0.005198
PISO3	Max Drift X	DERY1	33	15	0	5.6	0.005198	
PISO3	Max Drift Y	DERY1	36	15	15	5.6		0.014017
PISO2	Max Drift X	DERX1	33	15	0	2.8	0.008166	
PISO2	Max Drift Y	DERX1	36	15	15	2.8		0.003052
PISO2	Max Drift X	DERY1	33	15	0	2.8	0.003052	
PISO2	Max Drift Y	DERY1	36	15	15	2.8		0.008166
							1.40%	1.40%

DMO-ZI-D1-5P-7L

Story	Item	Load	Point	X	Y	Z	DriftX	DriftY
CUBIERTA	Max Drift X	DERX1	36	21	21	14	0.008843	
CUBIERTA	Max Drift Y	DERX1	24	0	21	14		0.003234
CUBIERTA	Max Drift X	DERY1	36	21	21	14	0.003234	
CUBIERTA	Max Drift Y	DERY1	24	0	21	14		0.008843
PISO5	Max Drift X	DERX1	33	21	0	11.2	0.012105	
PISO5	Max Drift Y	DERX1	36	21	21	11.2		0.004456
PISO5	Max Drift X	DERY1	33	21	0	11.2	0.004456	
PISO5	Max Drift Y	DERY1	36	21	21	11.2		0.012105
PISO4	Max Drift X	DERX1	36	21	21	8.4	0.014622	
PISO4	Max Drift Y	DERX1	24	0	21	8.4		0.005417
PISO4	Max Drift X	DERY1	36	21	21	8.4	0.005417	
PISO4	Max Drift Y	DERY1	24	0	21	8.4		0.014622
PISO3	Max Drift X	DERX1	36	21	21	5.6	0.014153	
PISO3	Max Drift Y	DERX1	24	0	21	5.6		0.005278
PISO3	Max Drift X	DERY1	36	21	21	5.6	0.005278	
PISO3	Max Drift Y	DERY1	24	0	21	5.6		0.014153
PISO2	Max Drift X	DERX1	36	21	21	2.8	0.007734	
PISO2	Max Drift Y	DERX1	36	21	21	2.8		0.002902
PISO2	Max Drift X	DERY1	36	21	21	2.8	0.002902	
PISO2	Max Drift Y	DERY1	36	21	21	2.8		0.007734
							1.46%	1.46%

DMO-ZI-D1-7P-5L

Story	Item	Load	Point	X	Y	Z	DriftX	DriftY
CUBIERTA	Max Drift X	DERX1	36	15	15	15	19.6	0.003919
CUBIERTA	Max Drift Y	DERX1	36	15	15	15	19.6	0.001418
CUBIERTA	Max Drift X	DERY1	36	15	15	15	19.6	0.001418
CUBIERTA	Max Drift Y	DERY1	23	0	10	10	19.6	0.003919
PISO7	Max Drift X	DERX1	33	15	0	0	16.8	0.006764
PISO7	Max Drift Y	DERX1	36	15	15	15	16.8	0.002471
PISO7	Max Drift X	DERY1	33	15	0	0	16.8	0.002471
PISO7	Max Drift Y	DERY1	36	15	15	15	16.8	0.006764
PISO6	Max Drift X	DERX1	36	15	15	15	14	0.009733
PISO6	Max Drift Y	DERX1	36	15	15	15	14	0.003576
PISO6	Max Drift X	DERY1	36	15	15	15	14	0.003576
PISO6	Max Drift Y	DERY1	24	0	15	15	14	0.009733
PISO5	Max Drift X	DERX1	33	15	0	0	11.2	0.012229
PISO5	Max Drift Y	DERX1	36	15	15	15	11.2	0.004519
PISO5	Max Drift X	DERY1	33	15	0	0	11.2	0.004519
PISO5	Max Drift Y	DERY1	36	15	15	15	11.2	0.012229
PISO4	Max Drift X	DERX1	33	15	0	0	8.4	0.013861
PISO4	Max Drift Y	DERX1	24	0	15	15	8.4	0.005155
PISO4	Max Drift X	DERY1	36	15	15	15	8.4	0.005155
PISO4	Max Drift Y	DERY1	36	15	15	15	8.4	0.013861
PISO3	Max Drift X	DERX1	36	15	15	15	5.6	0.013658
PISO3	Max Drift Y	DERX1	24	0	15	15	5.6	0.005118
PISO3	Max Drift X	DERY1	36	15	15	15	5.6	0.005118
PISO3	Max Drift Y	DERY1	24	0	15	15	5.6	0.013658
PISO2	Max Drift X	DERX1	33	15	0	0	2.8	0.008162
PISO2	Max Drift Y	DERX1	36	15	15	15	2.8	0.003084
PISO2	Max Drift X	DERY1	33	15	0	0	2.8	0.003084
PISO2	Max Drift Y	DERY1	36	15	15	15	2.8	0.008162
							1.39%	1.39%

DMO-ZI-D1-7P-7L

Story	Item	Load	Point	X	Y	Z	DriftX	DriftY
CUBIERTA	Max Drift X	DERX1	36	21	21	21	19.6	0.007834
CUBIERTA	Max Drift Y	DERX1	33	21	0	0	19.6	0.002843
CUBIERTA	Max Drift X	DERY1	36	21	21	21	19.6	0.002843
CUBIERTA	Max Drift Y	DERY1	35	21	14	14	19.6	0.007834
PISO7	Max Drift X	DERX1	33	21	0	0	16.8	0.01
PISO7	Max Drift Y	DERX1	36	21	21	21	16.8	0.003653
PISO7	Max Drift X	DERY1	33	21	0	0	16.8	0.003653
PISO7	Max Drift Y	DERY1	36	21	21	21	16.8	0.01
PISO6	Max Drift X	DERX1	36	21	21	21	14	0.012347
PISO6	Max Drift Y	DERX1	36	21	21	21	14	0.004542
PISO6	Max Drift X	DERY1	36	21	21	21	14	0.004542
PISO6	Max Drift Y	DERY1	36	21	21	21	14	0.012347
PISO5	Max Drift X	DERX1	33	21	0	0	11.2	0.014036
PISO5	Max Drift Y	DERX1	24	0	21	21	11.2	0.005198
PISO5	Max Drift X	DERY1	33	21	0	0	11.2	0.005198
PISO5	Max Drift Y	DERY1	24	0	21	21	11.2	0.014036
PISO4	Max Drift X	DERX1	33	21	0	0	8.4	0.014311
PISO4	Max Drift Y	DERX1	36	21	21	21	8.4	0.005337
PISO4	Max Drift X	DERY1	33	21	0	0	8.4	0.005337
PISO4	Max Drift Y	DERY1	36	21	21	21	8.4	0.014311
PISO3	Max Drift X	DERX1	36	21	21	21	5.6	0.012181
PISO3	Max Drift Y	DERX1	24	0	21	21	5.6	0.004576
PISO3	Max Drift X	DERY1	36	21	21	21	5.6	0.004576
PISO3	Max Drift Y	DERY1	24	0	21	21	5.6	0.012181
PISO2	Max Drift X	DERX1	33	21	0	0	2.8	0.006056
PISO2	Max Drift Y	DERX1	24	0	21	21	2.8	0.002291
PISO2	Max Drift X	DERY1	33	21	0	0	2.8	0.002291
PISO2	Max Drift Y	DERY1	24	0	21	21	2.8	0.006056
							1.43%	1.43%

DMO-ZI-D1.5-5P-5L

Story	Item	Load	Point	X	Y	Z	DriftX	DriftY
CUBIERTA	Max Drift X	DERX1	36	15	15	15	14	0.007327
CUBIERTA	Max Drift Y	DERX1	21	0	0	0	14	0.002691
CUBIERTA	Max Drift X	DERY1	36	15	15	15	14	0.002691
CUBIERTA	Max Drift Y	DERY1	24	0	0	0	14	0.007327
PISO5	Max Drift X	DERX1	33	15	15	15	11.2	0.012616
PISO5	Max Drift Y	DERX1	24	0	0	0	11.2	0.004668
PISO5	Max Drift X	DERY1	33	15	15	15	11.2	0.004668
PISO5	Max Drift Y	DERY1	24	0	0	0	11.2	0.012616
PISO4	Max Drift X	DERX1	33	15	15	15	8.4	0.017294
PISO4	Max Drift Y	DERX1	24	0	0	0	8.4	0.006442
PISO4	Max Drift X	DERY1	33	15	15	15	8.4	0.006442
PISO4	Max Drift Y	DERY1	24	0	0	0	8.4	0.017294
PISO3	Max Drift X	DERX1	33	15	15	15	5.6	0.018777
PISO3	Max Drift Y	DERX1	24	0	0	0	5.6	0.007049
PISO3	Max Drift X	DERY1	33	15	15	15	5.6	0.007049
PISO3	Max Drift Y	DERY1	24	0	0	0	5.6	0.018777
PISO2	Max Drift X	DERX1	36	15	15	15	2.8	0.011609
PISO2	Max Drift Y	DERX1	24	0	0	0	2.8	0.004394
PISO2	Max Drift X	DERY1	36	15	15	15	2.8	0.004394
PISO2	Max Drift Y	DERY1	24	0	0	0	2.8	0.011609
							1.88%	1.88%

DMO-ZI-D1.5-5P-7L

Story	Item	Load	Point	X	Y	Z	DriftX	DriftY
CUBIERTA	Max Drift X	DERX1	33	21	21	21	14	0.008872
CUBIERTA	Max Drift Y	DERX1	36	21	21	21	14	0.003258
CUBIERTA	Max Drift X	DERY1	33	21	21	21	14	0.003258
CUBIERTA	Max Drift Y	DERY1	36	21	21	21	14	0.008872
PISO5	Max Drift X	DERX1	36	21	21	21	11.2	0.013963
PISO5	Max Drift Y	DERX1	24	0	0	0	11.2	0.005168
PISO5	Max Drift X	DERY1	36	21	21	21	11.2	0.005168
PISO5	Max Drift Y	DERY1	24	0	0	0	11.2	0.013963
PISO4	Max Drift X	DERX1	36	21	21	21	8.4	0.018329
PISO4	Max Drift Y	DERX1	24	0	0	0	8.4	0.006835
PISO4	Max Drift X	DERY1	33	21	21	21	8.4	0.006835
PISO4	Max Drift Y	DERY1	24	0	0	0	8.4	0.018329
PISO3	Max Drift X	DERX1	33	21	21	21	5.6	0.019126
PISO3	Max Drift Y	DERX1	24	0	0	0	5.6	0.007191
PISO3	Max Drift X	DERY1	33	21	21	21	5.6	0.007191
PISO3	Max Drift Y	DERY1	24	0	0	0	5.6	0.019126
PISO2	Max Drift X	DERX1	33	21	21	21	2.8	0.011282
PISO2	Max Drift Y	DERX1	24	0	0	0	2.8	0.004277
PISO2	Max Drift X	DERY1	33	21	21	21	2.8	0.004277
PISO2	Max Drift Y	DERY1	24	0	0	0	2.8	0.011282
							1.91%	1.91%

DMO-ZI-D1.5-7P-5L

Story	Item	Load	Point	X	Y	Z	DriftX	DriftY
CUBIERTA	Max Drift X	DERX1	36	15	15	15	19.6	0.00573
CUBIERTA	Max Drift Y	DERX1	36	15	15	15	19.6	0.002103
CUBIERTA	Max Drift X	DERY1	36	15	15	15	19.6	0.002103
CUBIERTA	Max Drift Y	DERY1	24	0	15	15	19.6	0.00573
PISO7	Max Drift X	DERX1	33	15	0	15	16.8	0.009882
PISO7	Max Drift Y	DERX1	24	0	15	15	16.8	0.003661
PISO7	Max Drift X	DERY1	33	15	0	15	16.8	0.003661
PISO7	Max Drift Y	DERY1	36	15	15	15	16.8	0.009882
PISO6	Max Drift X	DERX1	36	15	15	15	14	0.0141
PISO6	Max Drift Y	DERX1	24	0	15	15	14	0.005269
PISO6	Max Drift X	DERY1	36	15	15	15	14	0.005269
PISO6	Max Drift Y	DERY1	24	0	15	15	14	0.0141
PISO5	Max Drift X	DERX1	33	15	0	15	11.2	0.017634
PISO5	Max Drift Y	DERX1	24	0	15	15	11.2	0.006652
PISO5	Max Drift X	DERY1	33	15	0	15	11.2	0.006652
PISO5	Max Drift Y	DERY1	36	15	15	15	11.2	0.017634
PISO4	Max Drift X	DERX1	33	15	0	15	8.4	0.02004
PISO4	Max Drift Y	DERX1	36	15	15	15	8.4	0.007636
PISO4	Max Drift X	DERY1	33	15	0	15	8.4	0.007636
PISO4	Max Drift Y	DERY1	36	15	15	15	8.4	0.02004
PISO3	Max Drift X	DERX1	36	15	15	15	5.6	0.019873
PISO3	Max Drift Y	DERX1	24	0	15	15	5.6	0.00765
PISO3	Max Drift X	DERY1	36	15	15	15	5.6	0.00765
PISO3	Max Drift Y	DERY1	24	0	15	15	5.6	0.019873
PISO2	Max Drift X	DERX1	33	15	0	15	2.8	0.011841
PISO2	Max Drift Y	DERX1	24	0	15	15	2.8	0.004602
PISO2	Max Drift X	DERY1	33	15	0	15	2.8	0.004602
PISO2	Max Drift Y	DERY1	36	15	15	15	2.8	0.011841
							2.00%	2.00%

DMO-ZI-D1.5-7P-7L

Story	Item	Load	Point	X	Y	Z	DriftX	DriftY
CUBIERTA	Max Drift X	DERX1	36	21	21	21	19.6	0.00752
CUBIERTA	Max Drift Y	DERX1	24	0	21	21	19.6	0.002766
CUBIERTA	Max Drift X	DERY1	36	21	21	21	19.6	0.002766
CUBIERTA	Max Drift Y	DERY1	24	0	21	21	19.6	0.00752
PISO7	Max Drift X	DERX1	33	21	0	21	16.8	0.011249
PISO7	Max Drift Y	DERX1	24	0	21	21	16.8	0.004175
PISO7	Max Drift X	DERY1	33	21	0	21	16.8	0.004175
PISO7	Max Drift Y	DERY1	36	21	21	21	16.8	0.011249
PISO6	Max Drift X	DERX1	36	21	21	21	14	0.015213
PISO6	Max Drift Y	DERX1	24	0	21	21	14	0.005696
PISO6	Max Drift X	DERY1	36	21	21	21	14	0.005696
PISO6	Max Drift Y	DERY1	24	0	21	21	14	0.015213
PISO5	Max Drift X	DERX1	33	21	0	21	11.2	0.018454
PISO5	Max Drift Y	DERX1	24	0	21	21	11.2	0.006974
PISO5	Max Drift X	DERY1	33	21	0	21	11.2	0.006974
PISO5	Max Drift Y	DERY1	36	21	21	21	11.2	0.018454
PISO4	Max Drift X	DERX1	33	21	0	21	8.4	0.020169
PISO4	Max Drift Y	DERX1	24	0	21	21	8.4	0.007696
PISO4	Max Drift X	DERY1	33	21	0	21	8.4	0.007696
PISO4	Max Drift Y	DERY1	36	21	21	21	8.4	0.020169
PISO3	Max Drift X	DERX1	36	21	21	21	5.6	0.018722
PISO3	Max Drift Y	DERX1	23	0	14	14	5.6	0.007215
PISO3	Max Drift X	DERY1	36	21	21	21	5.6	0.007215
PISO3	Max Drift Y	DERY1	23	0	14	14	5.6	0.018722
PISO2	Max Drift X	DERX1	33	21	0	21	2.8	0.010179
PISO2	Max Drift Y	DERX1	24	0	21	21	2.8	0.003958
PISO2	Max Drift X	DERY1	33	21	0	21	2.8	0.003958
PISO2	Max Drift Y	DERY1	36	21	21	21	2.8	0.010179
							2.02%	2.02%

• DISEÑO ESTRUCTURAL COLUMNAS

REFUERZO LONGITUDINAL COLUMNAS - MODELOS DES - AMENAZA ALTA DERIVA 1%														
MODELO	b	h	rec	ρ diseño	As diseño	Barra	Minimo	Barras/	Barras/	Cant.	Sep. b	Sep. h	ρ real	Check
	mm	mm	mm		mm ²	#	Barras	Lado b	Lado h	Barras	mm	mm		
DES-ZA-D1-7P-7L	900	900	40	1.0%	8100	7	22	7	7	24	133	133	1.1%	OK
DES-ZA-D1-7P-5L	550	550	40	1.0%	3025	5	16	5	5	16	113	113	1.0%	OK
DES-ZA-D1-5P-7L	750	750	40	1.0%	5625	6	20	6	6	20	130	130	1.0%	OK
DES-ZA-D1-5P-5L	550	550	40	1.0%	3025	5	16	5	5	16	113	113	1.0%	OK

CORTANTES DE DISEÑO C.21 - DES						
MODELO AMENAZA ALTA - DERIVA 1%						
L	ρ	φMpr	Vpr	φVc	φVs	As/S
m		kN-m	kN	kN	kN	mm ² /mm
2.8	0.0115	3345	2389	510	1879	7.102
2.8	0.0105	642	458	182	277	1.792
2.8	0.0101	1687	1205	349	856	3.937
2.8	0.0105	642	458	182	277	1.792

REFUERZO TRANSVERSAL COLUMNAS - I																					
MODELO	Materiales		Propiedades Columna										Area minima refuerzo transversal								
	fc	fy fleje	Sep flejes	L. Libre	b	h	rec	bc	hc	Ag	Ach	#	As	Ash1	Ash2	Cant.	Asv-hh	Ash1	Ash2	Cant.	
	MPa	MPa	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	Ramas	mm ² /fleje	mm ²	mm ²	Ramas
DES ZA D1 7P 7L	28	420	100	2300	900	900	40	820	820	810000	672400	4	127	336	492	4	507	336	492	4	
DES-ZA-D1-7P-5L	28	420	100	2300	550	550	40	470	470	302500	220900	4	127	347	282	3	380	347	282	3	
DES-ZA-D1-5P-7L	28	420	100	2300	750	750	40	670	670	562500	448900	4	127	339	402	4	507	339	402	4	
DES-ZA-D1-5P-5L	28	420	100	2300	550	550	40	470	470	302500	220900	4	127	347	282	3	380	347	282	3	

MODELOS DES - AMENAZA ALTA DERIVA 1%

h	Sep. Max. Flejes					Long. Confina.			Refuerzo diseño												
	Asv-bb	S1	S2	S3	Sc	L1	L2	Lc	Asv C.21	Asv-bb diseño	Fleje	Cant.	Asv-bb	Asv C.21	Asv-hh diseño	Fleje	Cant.	Asv-hh	Sep.Dls.	Sep. Disp	Check
	mm ² /fleje	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ² /mm	mm ² /mm	#	Ramas	mm ² /fleje	mm ² /mm	mm ² /mm	#	Ramas	mm ² /fleje	mm	mm	
507	225	133	126	126	383	900	900	7.102	1.328	4	6	6	760	7.102	0.942	4	6	750	107	100	OK
380	138	95	138	95	383	550	550	1.792	0.881	4	3	3	380	1.792	0.514	4	3	330	212	100	OK
507	130	114	142	114	303	750	750	3.937	1.548	4	4	4	507	3.937	0.975	4	4	507	129	100	OK
380	138	95	138	95	383	550	550	1.792	0.860	4	3	3	380	1.792	0.547	4	3	330	212	100	OK

REFUERZO LONGITUDINAL COLUMNAS - MODELOS DES - AMENAZA ALTA DERIVA 1.5%														
MODELO	b	h	rec	ρ diseño	As diseño	Barra	Minimo	Barras/	Barras/	Cant.	Sep. b	Sep. h	ρ real	Check
	mm	mm	mm		mm ²	#	Barras	Lado b	Lado h	Barras	mm	mm		
DES-ZA-D1.5-7P-7L	600	600	40	1.0%	3600	6	14	5	5	16	125	125	1.3%	OK
DES-ZA-D1.5-7P-5L	450	450	40	1.0%	2025	6	8	3	3	8	175	175	1.1%	OK
DES-ZA-D1.5-5P-7L	550	550	40	1.0%	3025	5	16	5	5	16	113	113	1.0%	OK
DES-ZA-D1.5-5P-5L	400	400	40	1.0%	1600	5	10	3	3	8	150	150	1.0%	Aumentar As

CORTANTES DE DISEÑO C.21 - DES						
MODELO AMENAZA ALTA - DERIVA 1.5%						
L	ρ	ϕM_{pr}	V_{pr}	ϕV_c	ϕV_s	As/S
m		kN-m	kN	kN	kN	mm ² /mm
2.8	0.0127	1001	715	219	496	2.916
2.8	0.0113	354	253	118	135	1.096
2.8	0.0105	642	458	182	277	1.792
2.8	0.0099	214	153	92	61	0.570

REFUERZO TRANSVERSAL COLUMNAS - M																							
Area minima refuerzo transversal																							
MODELO	Materiales		Propiedades Columna										Fleje		Perpendicular a b						Perpendicular a		
	F_c	f_y fleje	Sep flejes	L. Libre	b	h	rec	bc	hc	A_g	A_{ch}	#	A_s	Ash1	Ash2	Cant.	A_{sv} hh	Ash1	Ash2	Cant.			
	MPa	MPa	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	Ramas	mm ² /fleje	mm ²	mm ²	Ramas			
DES-ZA-D1.5-7P-7L	28	420	100	2300	600	600	40	520	520	360000	270400	4	127	345	312	3	380	345	312	3			
DES-ZA-D1.5-7P-5L	28	420	100	2300	450	450	40	370	370	202500	136900	4	127	355	222	3	380	355	222	3			
DES-ZA-D1.5-5P-7L	28	420	100	2300	550	550	40	470	470	302500	220900	4	127	347	202	3	380	347	202	3			
DES-ZA-D1.5-5P-5L	28	420	100	2300	400	400	40	320	320	160000	102400	4	127	360	102	3	380	360	102	3			

MODELOS DES - AMENAZA ALTA DERIVA 1.5%

a h	Sep. Max. Flejes					Long. Confina.			Refuerzo diseño												
	A_{sv} bb	S1	S2	S3	So	L1	L2	Lo	A_{sv} C.21	A_{sv} bb diseño	Fleje	Cant.	A_{sv} bb	A_{sv} C.21	A_{sv} hh diseño	Fleje	Cant.	A_{sv} hh	Sep. Dis.	Sep. Disp	Check
	mm ² /fleje	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ² /mm	mm ² /mm	#	Ramas	mm ² /fleje	mm ² /mm	mm ² /mm	#	Ramas	mm ² /fleje	mm	mm	
3	380	150	114	130	114	383	600	500	2.916	1.609	4	3	380	2.916	0.692	4	3	380	130	100	OK
3	380	113	114	155	113	383	450	450	1.096	0.792	4	3	380	1.096	0.398	4	3	380	347	100	OK
3	380	138	95	133	95	383	550	550	1.792	1.686	4	3	380	1.792	0.776	4	3	380	212	100	OK
3	380	100	95	163	95	383	400	450	0.570	0.568	4	3	380	0.570	0.436	4	3	380	397	100	OK

REFUERZO LONGITUDINAL COLUMNAS - MODELOS DES - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1%														
MODELO	b	h	rec	ρ diseño	As diseño	Barra	Minimo	Barras/	Barras/	Cant.	Sep. b	Sep. h	ρ real	Check
	mm	mm	mm		mm ²	#	Barras	Lado b	Lado h	Barras	mm	mm		
DES-ZI-D1-7P-7L	800	800	40	1.0%	6400	7	18	6	6	20	140	140	1.2%	OK
DES-ZI-D1-7P-5L	500	500	40	1.0%	2500	5	14	5	5	16	100	100	1.3%	OK
DES-ZI-D1-5P-7L	650	650	40	1.0%	4225	6	16	5	5	16	138	138	1.1%	OK
DES-ZI-D1-5P-5L	500	500	40	1.0%	2500	5	14	5	5	16	100	100	1.3%	OK

CORTANTES DE DISEÑO C.21 - DES						
MODELO AMENAZA INTERMEDIA - DERIVA 1%						
L	ρ	φMpr	Vpr	φVc	φVs	As/S
m		kN-m	kN	kN	kN	mm ² /mm
2.8	0.0121	2414	1725	399	1325	5.685
2.8	0.0127	554	395	148	247	1.782
2.8	0.0108	1129	806	259	548	2.947
2.8	0.0127	554	395	148	247	1.782

REFUERZO TRANSVERSAL COLUMNAS																					
Area minima refuerzo transversal																					
MODELO	Materiales		Sep flejes	L. Libre	Propiedades Columna								Fleje		Perpendicular a b					Perpendic	
	Fc	fy fleje			b	h	rec	bc	lc	Ag	Ach	#	As	Ash1	Ash2	Ash2	Ramas	Asv-hh	Ash1	Ash2	C
	MPa	MPa	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ² /fleje	mm ²	mm ²	mm ²	Re	
DES-ZI-D1-7P-7L	28	420	100	2300	800	800	40	720	720	640000	518400	4	127	338	432	4	507	338	432		
DES-ZI-D1-7P-5L	28	420	100	2300	500	500	40	420	420	250000	176400	4	127	350	252	3	380	350	252		
DES-ZI-D1-5P-7L	28	420	100	2300	650	650	40	570	570	422500	324900	4	127	342	342	3	380	342	342		
DES-ZI-D1-5P-5L	28	420	100	2300	500	500	40	420	420	250000	176400	4	127	350	252	3	380	350	252		

MODELOS DES - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1%																					
Var a h	Asv-bb	Sep. Max. Flejes				Long. Confina.			Refuerzo diseño												
		S1	S2	S3	So	L1	L2	Lo	Asv C.21	Asv-bb diseñ	Fleje	Cant.	Asv-bb	Asv C.21	Asv-hh diseñ	Fleje	Cant.	Asv-hh	Sep.Dis.	Sep. Disp	Check
mm	mm ² /fleje	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ² /mm	mm ² /mm	#	Ramas	mm ² /fleje	mm ² /mm	mm ² /mm	#	Ramas	mm ² /fleje	mm	mm	
4	507	200	133	137	133	383	300	300	5.685	1.276	4	5	633	5.585	0.694	4	5	633	111	100	OK
3	330	125	95	117	95	383	500	500	1.782	0.875	4	3	380	1.782	0.717	4	3	380	213	100	OK
3	330	163	114	122	114	383	550	550	2.947	1.548	4	3	380	2.947	0.732	4	3	380	129	100	OK
3	330	125	95	117	95	383	500	500	1.782	0.875	4	3	380	1.782	0.717	4	3	380	213	100	OK

REFUERZO LONGITUDINAL COLUMNAS - MODELOS DES - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1.5%														
MODELO	b	h	rec	ρ diseño	As diseño	Barra	Minimo	Barras/	Barras/	Cant.	Sep. b	Sep. h	ρ real	Check
	mm	mm	mm		mm ²	#	Barras	Lado b	Lado h	Barras	mm	mm		
DES-ZI-D1.5-7P-7L	550	550	40	1.3%	3887	6	14	5	5	16	113	113	1.5%	OK
DES-ZI-D1.5-7P-5L	400	400	40	1.0%	1600	5	10	3	3	8	150	150	1.0%	Aumentar As
DES-ZI-D1.5-5P-7L	500	500	40	1.0%	2500	6	10	4	4	12	133	133	1.4%	OK
DES-ZI-D1.5-5P-5L	400	400	40	1.0%	1600	5	10	3	3	8	150	150	1.0%	Aumentar As

CORTANTES DE DISEÑO C.21 - DES						
MODELO AMENAZA INTERMEDIA - DERIVA 1.5%						
L	ρ	φMpr	Vpr	φVc	φVs	As/S
m		kN-m	kN	kN	kN	mm ² /mm
2.8	0.0151	871	622	182	440	2.852
2.8	0.0099	214	153	92	61	0.570
2.8	0.0137	590	421	148	273	1.970
2.8	0.0099	214	153	92	61	0.570

REFUERZO TRANSVERSAL COLUMNAS																					
Area mínima refuerzo transversal																					
MODELO	Materiales				Propiedades Columna								Fleje		Perpendicular a b				Perpendi		
	Fc	fy fleje	Sep flejes	L. Libre	b	h	rec	bc	hc	Λg	Λch	#	Λs	Λsh1	Λsh2	Cant.	Λsv hh	Λsh1	Λsh2	C	
	MPa	MPa	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ² /fleje	mm ²	mm ²	R	
DES-ZI-D1.5-7P-7L	28	420	100	2300	550	550	40	470	470	302500	220900	4	127	347	282	3	380	347	282		
DES-ZI-D1.5-7P-5L	28	420	100	2300	400	400	40	320	320	160000	102400	4	127	350	192	3	380	360	192		
DES-ZI-D1.5-5P-7L	28	420	100	2300	500	500	40	420	420	250000	176400	4	127	350	252	3	380	350	252		
DES-ZI-D1.5-5P-5L	28	420	100	2300	400	400	40	320	320	160000	102400	4	127	350	192	3	380	360	192		

MODELOS DES AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1.5%																						
Columna a h	Cant.	Asv-bb	Sep. Max. Flejes				Long. Contina.			Refuerzo diseño												
			S1	S2	S3	So	L1	L2	Lo	Asv C.21	Asv-bb diseño	Fleje	Cant.	Asv-bb	Asv C.21	Asv-hh diseño	Fleje	Cant.	Asv-hh	Sep.Dis.	Sep. Disp	Check
mm ² /fleje	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ² /mm	mm ² /mm	#	Ramas	mm ² /fleje	mm ² /mm	mm ² /mm	#	Ramas	mm ² /fleje	mm	mm		
3	380	138	114	138	114	383	550	550	2.852	1.599	4	3	380	2.852	0.570	4	3	380	133	100	OK	
3	380	100	95	163	95	383	400	450	0.570	0.815	4	3	380	0.570	0.333	4	3	380	466	100	OK	
3	380	125	114	147	114	383	500	500	1.970	1.810	4	3	380	1.970	0.700	4	3	380	193	100	OK	
3	380	100	95	163	95	383	400	450	0.570	0.879	4	3	380	0.570	0.345	4	3	380	432	100	OK	

REFUERZO LONGITUDINAL COLUMNAS - MODELOS DMO - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1%														
MODELO	b	h	rec	ρ diseño	As diseño	Barra	Minimo	Barras/	Barras/	Cant.	Sep. b	Sep. h	ρ real	Check
	mm	mm	mm		mm ²	#	Barras	Lado b	Lado h	Barras	mm	mm		
DMO-ZI-D1-7P-7L	800	800	40	1.0%	6400	7	18	6	6	20	140	140	1.2%	OK
DMO-ZI-D1-7P-5L	500	500	40	1.0%	2500	5	14	5	5	16	100	100	1.3%	OK
DMO-ZI-D1-5P-7L	650	650	40	1.0%	4225	6	16	5	5	16	138	138	1.1%	OK
DMO-ZI-D1-5P-5L	500	500	40	1.0%	2500	5	14	5	5	16	100	100	1.3%	OK
DMO-ZI-D1-5P-5L-CuTa	550	550	40	1.0%	3025	5	16	5	5	16	113	113	1.0%	OK

CORTANTES DE DISEÑO C.21 - DMO								
MODELO AMENAZA INTERMEDIA - DERIVA 1%								
L	ρ	φMn	Vn	V(2E)	Vdiseño	φVc	φVs	As/S
m		kN-m	kN	kN	kN	kN	kN	mm ² /mm
2.8	0.0121	1991	1422	400	1422	399	1023	4.388
2.8	0.0127	457	327	200	327	148	178	1.286
2.8	0.0108	928	663	400	663	259	404	2.174
2.8	0.0127	457	327	200	327	148	178	1.286
2.8	0.0105	527	376	200	376	182	195	1.260

REFUERZO TRANSVERSAL COLUMNAS																				
MODELO	Materiales		Propiedades Columna										Area minima refuerzo transversal							
	f _c	f _y fleje	Sep flejes	L. Libre	b	h	rec	bc	hc	Ag	Ach	#	As	Ash1	Ash2	Cant.	Asv-hh	Ash1	Ash2	Ci
	MPa	MPa	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	Ramas	mm ² /fleje	mm ²	mm ²	Ra
DMO-ZI-D1-7P-7L	28	420	120	2300	800	800	40	720	720	640000	518400	4	127	270	345	3	380	270	346	
DMO-ZI-D1-7P-5L	28	420	120	2300	500	500	40	420	420	250000	176400	4	127	280	202	3	380	280	202	
DMO-ZI-D1-5P-7L	28	420	120	2300	650	650	40	570	570	422500	324900	4	127	274	274	3	380	274	274	
DMO-ZI-D1-5P-5L	28	420	120	2300	500	500	40	420	420	250000	176400	4	127	280	202	3	380	280	202	
DMO-ZI-D1-5P-5L-CuTa	28	420	120	2300	550	550	40	470	470	302500	220900	4	127	278	225	3	380	278	226	

MODELOS DMO - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1%

Int.	Asv bb	Sep. Max. Flejes				Long. Confina.			Refuerzo diseño												
		S1	S2	S3	So	L1	L2	Lo	Asv C.21	Asv bb diseño	Fleje	Cant.	Asv bb	Asv C.21	Asv hh diseño	Fleje	Cant.	Asv hh	Sep. Dis.	Sep. Disp.	Check
mas	mm ² /fleje	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ² /mm	mm ² /mm	#	Ramas	mm ² /fleje	mm ² /mm	mm ² /mm	#	Ramas	mm ² /fleje	mm	mm	
3	380	178	203	257	150	383	300	800	4.388	1.552	4	4	507	4.388	1.023	4	4	507	175	120	OK
3	380	127	203	157	127	383	500	500	1.286	0.949	4	3	380	1.286	0.625	4	3	380	296	120	OK
3	380	152	203	217	150	383	350	650	2.174	1.660	4	3	380	2.174	0.979	4	3	380	175	120	OK
3	380	127	203	157	127	383	500	500	1.286	0.850	4	3	380	1.286	0.547	4	3	380	296	120	OK
3	380	127	203	183	127	383	550	550	1.260	0.856	4	3	380	1.260	0.630	4	3	380	302	120	OK

REFUERZO LONGITUDINAL COLUMNAS - MODELOS DMO - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1.5%														
MODELO	b	h	rec	ρ diseño	As diseño	Barra	Minimo	Barras/	Barras/	Cant.	Sep. b	Sep. h	ρ real	Check
	mm	mm	mm		mm ²	#	Barras	Lado b	Lado h	Barras	mm	mm		
DMO-ZI-D1.5-7P-7L	550	550	40	1.7%	5233.25	6	20	6	6	20	90	90	1.9%	OK
DMO-ZI-D1.5-7P-5L	400	400	40	1.9%	2992	6	12	4	4	12	100	100	2.1%	OK
DMO-ZI-D1.5-5P-7L	500	500	40	1.4%	3400	6	12	4	4	12	133	133	1.4%	OK
DMO-ZI-D1.5-5P-5L	400	400	40	1.0%	1600	5	10	3	3	8	150	150	1.0%	Aumentar As

CORTANTES DE DISEÑO C.21 - DMO								
MODELO AMENAZA INTERMEDIA - DERIVA 1.5%								
L	ρ	φMn	Vn	V(2E)	Vdiseño	φVc	φVs	As/S
m		kN-m	kN	kN	kN	kN	kN	mm ² /mm
2.8	0.0188	871	622	200	622	182	440	2.852
2.8	0.0214	337	240	201	240	92	149	1.388
2.8	0.0137	489	349	202	349	148	201	1.449
2.8	0.0099	175	125	203	203	92	111	1.039

REFUERZO TRANSVERSAL COLUMNAS																				
Area mínima refuerzo transversal																				
MODELO	Materiales		Propiedades Columna										Fleje		Perpendicular a b					Perpend
	f'c	fy fleje	Sep flejes	L. Libre	b	h	rec	bc	hc	Ag	Ach	#	As	Ash1	Ash2	Cant.	Ramas	Asv-hh	Ash1	Ash2
	MPa	MPa	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ² /fleje	mm ²	mm ²
DMO-ZI-D1.5-7P-7L	28	420	150	2300	550	550	40	470	470	302500	220900	4	127	347	282	3	380	347	282	
DMO-ZI-D1.5-7P-5L	28	420	120	2300	400	400	40	320	320	160000	102400	4	127	288	154	3	380	288	154	
DMO-ZI-D1.5-5P-7L	28	420	150	2300	500	500	40	420	420	250000	176400	4	127	350	252	3	380	350	252	
DMO-ZI-D1.5-5P-5L	28	420	120	2300	400	400	40	320	320	160000	102400	4	127	288	154	3	380	288	154	

MODELOS DMO - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1.5%

Modelo	L	Asv-hh	Sep. Max. Flejes				Long. Confina.			Refuerzo diseño											Check
			S1	S2	S3	S0	I1	I2	I0	Asv C.21	Asv-hh diseño	Fleje	Cant.	Asv-hh	Asv C.21	Asv-hh diseño	Fleje	Cant.	Asv-hh	Sep. Dis.	
mm ² /fleje	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ² /mm	mm ² /mm	#	Ramas	mm ² /fleje	mm ² /mm	mm ² /mm	#	Ramas	mm ² /fleje	mm	mm	
330	330	152	203	183	160	383	550	550	2.852	1.665	4	4	407	2.852	0.715	4	4	507	173	150	OK
330	330	152	203	183	133	383	600	500	1.388	0.872	4	3	380	1.388	0.407	4	3	380	271	120	OK
330	330	152	203	167	160	383	600	500	1.449	1.888	4	3	380	1.449	0.855	4	3	380	201	150	OK
330	330	127	203	183	127	383	400	500	1.039	0.965	4	3	380	1.039	0.467	4	3	380	365	120	OK

- DISEÑO ESTRUCTURAL VIGAS

REFUERZO LONGITUDINAL VIGAS - MODELOS DES - AMENAZA ALTA DERIVA 1%																					
MODELO	Seccion				Ref Superior Nudos								Ref inferior Nudos								
	b	h	As min	Barra	Cantidad	As. sup nudo	Barra	Cantidad	As total	Total	Dist. Barras	As min	Barra	Cantidad	As. inf nudo	As. inf min	Barra	Cantidad	As total	Total	Dist Barras
	mm	mm	mm ²	#	Barras	mm ²	#	Barras	mm ²	Barras	mm	mm ²	#	Barras	mm ²	mm ²	#	Barras	mm ²	Barras	mm
DES-D1-ZA-7P-7L	550	550	1051	6	3	2444	8	2	2534	5	105.8	1051	6	4	1178	1222	6	1	1425	5	113.7
DES-D1-ZA-7P-5L	500	500	726	7	2	1275	6	2	1346	4	105.8	726	6	3	722	722	6	0	855	3	171.4
DES-D1-ZA-5P-7L	550	550	889	6	2	2282	8	3	2534	5	80.8	889	6	4	1055	1141	6	1	1425	5	88.7
DES-D1-ZA-5P-5L	450	450	579	7	2	1267	7	2	1552	4	87.0	579	5	3	612	634	5	1	792	4	95.5

CORTANTES DE DISEÑO C.21 - DES									
MODELO AMENAZA ALTA - DERIVA 1%									
L	As	ρ	ϕMpr	Vpr	Vg	Vpr+Vg	ϕVc	ϕVs	As/S
m	mm ²		kN-m	kN	kN	kN	kN	kN	mm ² /mm
7	2533.5	0.0080	594	170	271	441	215	226	1.464
5	1345.9	0.0061	290	116	143	259	148	111	0.797
7	2533.5	0.0094	584	167	271	438	182	256	1.659
5	1551.8	0.0088	287	115	143	258	118	139	1.134

REFUERZO TRANSVERSAL VIGAS - MODELOS DES - AMENAZA ALTA DERIVA 1%																			
MODELO	Seccion				Refuerzo		Sep. Max. Flejes (mm)				Long. Confina. mm	Refuerzo diseño							
	b	h	rec	d	Var. Long. Min #	Fleje #	S1	S2	S3	So		Asv C.21 mm ² /mm	Asv diseño mm ² /mm	Fleje #	Cant. Ramas	Asv mm ² /fleje	Sep. Dis. mm	Sep. Disp mm	Check
DES-D1-ZA-7P-7L	650	550	60	490	6	3	122.5	152.4	228.6	123	1100	1.464	2.491	3	4	285	114	100	OK
DES-D1-ZA-7P-5L	500	500	60	440	6	3	110	152.4	228.6	110	1000	0.797	1.653	3	3	214	129	100	OK
DES-D1-ZA-5P-7L	550	550	60	490	6	3	122.5	152.4	228.6	123	1100	1.659	2.389	3	4	285	119	100	OK
DES-D1-ZA-5P-5L	450	450	60	390	5	3	97.5	127.0	228.6	98	900	1.134	1.675	3	3	214	128	100	OK

REFUERZO LONGITUDINAL VIGAS - MODELOS DES - AMENAZA ALTA DERIVA 1.5%																							
MODELO	Seccion		Refuerzo minimo			Ref Superior Nudos						Refuerzo minimo						Ref Inferior Nudos					
	b	h	As min	Barra	Cantidad	As. sup nudo	Barra	Cantidad	As total	Total	Dist. Barras	As min	Barra	Cantidad	As. inf nudo	As. inf min	Barra	Cantidad	As total	Total	Dist. Barras		
	mm	mm	mm ²	#	Barras	mm ²	#	Barras	mm ²	Barras	mm	mm ²	#	Barras	mm ²	mm ²	#	Barras	mm ²	Barras	mm		
DES-D1.5-ZA-7P-7L	500	500	723	8	2	2472	8	3	2534	5	68.3	726	6	3	1168	1236	6	2	1425	5	76.2		
DES-D1.5-ZA-7P-5L	400	400	449	7	2	1273	6	2	1346	4	72.5	449	5	3	608	637	5	1	792	4	78.8		
DES-D1.5-ZA-5P-7L	500	500	723	7	2	2750	8	4	2803	6	50.3	726	7	2	1278	1375	7	2	1552	4	103.7		
DES-D1.5-ZA-5P-5L	400	400	449	6	2	1314	7	2	1346	4	72.5	449	5	3	626	657	5	1	792	4	78.8		

CORTANTES DE DISEÑO C.21 - DES									
MODELO AMENAZA ALTA - DERIVA 1.5%									
L	As	ρ	φMpr	Vpr	Vg	Vpr+Vg	φVc	φVs	As/S
m	mm ²		kN-m	kN	kN	kN	kN	kN	mm ² /mm
7	2533.5	0.0115	511	146	271	417	148	268	1.937
5	1345.9	0.0099	214	86	143	229	92	137	1.278
7	2802.7	0.0127	556	159	271	430	148	281	2.031
5	1345.9	0.0099	214	86	143	229	92	137	1.278

REFUERZO TRANSVERSAL VIGAS - MODELOS DES - AMENAZA ALTA DERIVA 1.5%																			
MODELO	Seccion				Refuerzo					Long. Confina.	Refuerzo diseño								
	b	h	rec	d	Var. Long. Min	Fleje	S1	S2	S3		So	Asv C.21	Asv diseño	Fleje	Cant.	Asv	Sep. Dis.	Sep. Disp	Check
	mm	mm	mm	mm	#	#					mm	mm ² /mm	mm ² /mm	#	Ramas	mm ² /fleje	mm	mm	
DES-D1.5-ZA-7P-7L	500	500	60	440	6	3	110	152	229	110	1000	1.937	2.618	3	4	285	109	100	OK
DES-D1.5-ZA-7P-5L	400	400	60	340	5	3	85	127	229	85	800	1.278	1.829	3	2	143	78	80	OK
DES-D1.5-ZA-5P-7L	500	500	60	440	7	3	110	178	229	110	1000	2.031	2.853	3	4	285	100	100	OK
DES-D1.5-ZA-5P-5L	400	400	60	340	5	3	85	127	229	85	800	1.278	1.800	3	2	143	79	80	OK

REFUERZO EN NUDOS VIGAS - MODELOS DES - AMENAZA ALTA DERIVA 1.5%									
MODELO	Sección Viga		Refuerzo. Longitud.		Refuerzo transversal				
	b	h	Superior	Inferior	Cantidad		Feje	Sep.	
	mm	mm			Flejes	Ramas	#	mm	
DES-D1.5-ZA-7P-7L	500	500	2#8+3#8	5#6	11	4	3	100	
DES-D1.5-ZA-7P-5L	400	400	2#7+2#6	4#5	11	2	3	80	
DES-D1.5-ZA-5P-7L	500	500	2#7+4#8	4#7	11	4	3	100	
DES-D1.5-ZA-5P-5L	400	400	2#6+2#7	4#5	11	2	3	80	

REFUERZO LONGITUDINAL VIGAS - MODELOS DES - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1%																							
MODELO	Seccion		Refuerzo minimo			Ref Superior Nudos						Refuerzo minimo						Ref inferior Nudos					
	b	h	As min	Barra	Cantidad	As. sup nudo	Barra	Cantidad	As total	Total	Dist.Barras	As min	Barra	Cantidad	As. inf nudo	As. inf min	Barra	Cantidad	As total	Total	Dist.Barras		
	mm	mm	mm ²	#	Barras	mm ²	#	Barras	mm ²	Barras	mm	mm ²	#	Barras	mm ²	mm ²	#	Barras	mm ²	Barras	mm		
DES-D1-ZI-7P-7L	600	500	67	8	2	2404	8	3	2534	5	93.3	371	7	3	1124	1202	7	1	1552	4	137.0		
DES-D1-ZI-7P-5L	500	450	644	7	2	1277	7	2	1552	4	103.7	344	5	4	640	640	5	0	792	4	112.2		
DES-D1-ZI-5P-7L	500	500	726	8	2	2322	8	3	2534	5	68.3	723	7	2	1102	1161	7	1	1164	3	166.7		
DES-D1-ZI-5P-5L	450	400	605	7	2	1236	7	2	1552	4	87.0	505	5	3	591	618	5	1	792	4	95.5		

CORTANTES DE DISEÑO C.21 - DES										
MODELO AMENAZA INTERMEDIA - DERIVA 1%										
L	As	ρ	ϕMpr	Vpr	Vg	Vpr+Vg	ϕVc	ϕVs	As/S	
m	mm ²		kN-m	kN	kN	kN	kN	kN	mm ² /mm	
7	2533.5	0.0096	523	149	271	420	178	242	1.749	
5	1551.8	0.0080	290	116	143	259	132	127	1.037	
7	2533.5	0.0115	511	146	271	417	148	268	1.937	
5	1551.8	0.0101	246	98	143	241	103	138	1.290	

REFUERZO TRANSVERSAL VIGAS - MODELOS DES - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1%																				
MODELO	Seccion				Refuerzo		Sep. Max. Flejes (mm)				Long.	Refuerzo diseño								
	b	h	rec	d	Var.Long.Min	Fleje	S1	S2	S3	So		Confin.	Asv C.21	Asv diseño	Fleje	Cant.	Asv	Sep.Dis.	Sep. Disp	Check
	mm	mm	mm	mm	#	#						mm	mm ² /mm	mm ² /mm	#	Ramas	mm ² /fleje	mm	mm	
DES-D1-ZI-7P-7L	600	500	60	440	7	3	110	178	229	110	1000	1.749	2.588	3	4	285	110	100	OK	
DES-D1-ZI-7P-5L	500	450	60	390	5	3	98	127	229	98	900	1.037	1.684	3	3	214	127	100	OK	
DES-D1-ZI-5P-7L	500	500	60	440	7	3	110	178	229	110	1000	1.937	2.523	3	4	285	113	100	OK	
DES-D1-ZI-5P-5L	450	400	60	340	5	3	85	127	229	85	800	1.290	1.768	3	3	214	121	80	OK	

REFUERZO EN NUDOS VIGAS - MODELOS DES - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1%								
MODELO	Sección Viga		Refuerzo. Longitud.		Refuerzo transversal nudo			
	b	h	Superior	Inferior	Cantidad	Feje	Sep.	
	mm	mm			Flejes	Ramas	#	mm
DES-D1-ZI-7P-7L	600	500	2#8+3#8	4#7	11	4	3	100
DES-D1-ZI-7P-5L	500	450	2#7+2#7	4#5	10	3	3	100
DES-D1-ZI-5P-7L	500	500	2#8+3#8	3#7	11	4	3	100
DES-D1-ZI-5P-5L	450	400	2#7+2#7	4#5	11	3	3	80

REFUERZO LONGITUDINAL VIGAS - MODELOS DES - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1.5%																					
MODELO	Seccion		Refuerzo minimo			Ref Superior Nudos					Refuerzo minimo				Ref Inferior Nudos						
	b	h	As min	Barra	Cantidad	As. sup nudo	Barra	Cantidad	As total	Total	Dist.Barras	As min	Barra	Cantidad	As. inf nudo	As. inf min	Barra	Cantidad	As total	Total	Dist.Barras
	mm	mm	mm ²	#	Barras	mm ²	#	Barras	mm ²	Barras	mm	mm ²	#	Barras	mm ²	mm ²	#	Barras	mm ²	Barras	mm
DES-D1.5-ZI-7P-7L	500	450	344	8	2	2682	8	4	3040	6	49.5	644	6	3	1249	341	7	2	1531	5	74.6
DES-D1.5-ZI-7P-5L	300	400	337	8	1	1217	8	2	1520	3	61.9	337	6	2	573	609	6	1	355	3	71.4
DES-D1.5-ZI-5P-7L	500	450	344	8	2	2707	8	4	3040	6	49.5	644	7	2	1259	354	7	2	1552	4	103.7
DES-D1.5-ZI-5P-5L	300	400	337	8	1	1196	8	2	1520	3	61.9	337	6	2	564	598	6	1	355	3	71.4

CORTANTES DE DISEÑO C.21 - DES									
MODELO AMENAZA INTERMEDIA - DERIVA 1.5%									
L	As	ρ	ϕM_{pr}	V _{pr}	V _g	V _{pr} +V _g	ϕV_c	ϕV_s	As/S
m	mm ²		kN-m	kN	kN	kN	kN	kN	mm ² /mm
7	3040.2	0.0156	515	147	271	418	132	287	2.333
5	1520.1	0.0149	227	91	143	234	69	165	1.539
7	3040.2	0.0156	515	147	271	418	132	287	2.333
5	1520.1	0.0149	227	91	143	234	69	165	1.539

REFUERZO TRANSVERSAL VIGAS - MODELOS DES - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1.5%																				
MODELO	Seccion				Refuerzo		Sep. Max. Flejes (mm)				Long.	Refuerzo diseño								
	b	h	rec	d	Var.Long.Min	Fleje	S1	S2	S3	So		Confin.	Asv C.21	Asv diseño	Fleje	Cant.	Asv	Sep.Dis.	Sep. Disp	Check
	mm	mm	mm	mm	#	#						mm	mm ² /mm	mm ² /mm	#	Ramas	mm ² /fleje	mm	mm	
DES-D1.5-ZI-7P-7L	500	450	60	390	6	3	97.5	152	229	98	900	2.333	2.832	3	4	285	101	100	OK	
DES-D1.5-ZI-7P-5L	300	400	60	340	6	3	85.0	152	229	85	800	1.539	1.710	3	2	143	83	80	OK	
DES-D1.5-ZI-5P-7L	500	450	60	390	7	3	97.5	178	229	98	900	2.333	2.849	3	4	285	100	100	OK	
DES-D1.5-ZI-5P-5L	300	400	60	340	6	3	85.0	152	229	85	800	1.539	1.691	3	2	143	84	80	OK	

REFUERZO EN NUDOS VIGAS - MODELOS DES - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1.5%											
MODELO	Sección Viga		Refuerzo. Longitud.		Refuerzo transversal nudo						
	b	h	Superior	Inferior	Cantidad	Feje	Sep.				
	mm	mm			Flejes	Ramas	#	mm			
DES-D1.5-ZI-7P-7L	500	450	2#8+4#8	3#6+2#7	10	4	3	100			
DES-D1.5-ZI-7P-5L	300	400	1#8+2#8	3#6	11	2	3	80			
DES-D1.5-ZI-5P-7L	500	450	2#8+4#8	4#7	10	4	3	100			
DES-D1.5-ZI-5P-5L	300	400	1#8+2#8	3#6	11	2	3	80			

REFUERZO LONGITUDINAL VIGAS - MODELOS DMO - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1%																							
MODELO	Seccion		Refuerzo minimo			Ref Superior Nudos						Refuerzo minimo						Ref Inferior Nudos					
	b	h	As min	Barra	Cantidad	As. sup nudo	Barra	Cantidad	As total	Total	Dist.Barras	As min	Barra	Cantidad	As. inf nudo	As. inf min	Barra	Cantidad	As total	Total	Dist.Barras		
	mm	mm	mm2	#	Barras	mm2	#	Barras	mm2	Barras	mm	mm2	#	Barras	mm2	mm2	#	Barras	mm2	Barras	mm		
DMO-D1-ZI-7P-7L	600	500	871	8	2	2924	8	4	3040	6	69.5	371	7	3	1383	1383	7	1	1552	4	137.0		
DMO-D1-ZI-7P-5L	500	450	644	7	2	1530	7	2	1552	4	103.7	544	5	4	736	736	5	0	792	4	112.2		
DMO-D1-ZI-5P-7L	500	500	726	8	2	2593	8	4	3040	6	49.5	726	7	2	1221	1221	7	2	1552	4	103.7		
DMO-D1-ZI-5P-5L	450	400	505	7	2	1433	7	2	1552	4	87.0	505	5	3	684	684	5	1	792	4	95.5		
DMO-D1-ZI-5P-5L-CuTa	450	450	579	7	2	1246	7	2	1552	4	87.0	579	5	3	602	602	5	1	792	4	95.5		

CORTANTES DE DISEÑO C.21 - DMO											
MODELO AMENAZA INTERMEDIA - DERIVA 1%											
L	As	ρ	ϕMn	Vn	Vg	Vn+Vg	V(2E)	Vdiseño	ϕVc	ϕVs	As/S
m	mm2		kN-m	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	mm2/mm
7	3040.2	0.0115	505	144	271	415	320	415	178	237	1.710
5	1551.8	0.0080	236	95	143	238	270	270	132	138	1.127
7	3040.2	0.0138	493	141	271	412	300	412	148	263	1.901
5	1551.8	0.0101	202	81	143	224	250	250	103	147	1.370
5	1551.8	0.0088	234	94	123	217	250	250	118	132	1.071

REFUERZO TRANSVERSAL VIGAS - MODELOS DMO - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1%																			
MODELO	Seccion				Refuerzo		Sep. Max. Flejes (mm)				Long.	Refuerzo diseño							
	b	h	rec	d	Var.Long.Min	Fleje	S1	S2	S3	So		Confin.	Asv C.21	Asv diseño	Fleje	Cant.	Asv	Sep.Dis.	Sep. Disp
	mm	mm	mm	mm	#	#					mm	mm2/mm	mm2/mm	#	Ramas	mm2/fleje	mm	mm	
DMO-D1-ZI-7P-7L	600	500	60	440	7	3	110	177.8	228.6	110	1000	1.710	2.797	3	4	285	102	100	OK
DMO-D1-ZI-7P-5L	500	450	60	390	5	3	97.5	127.0	228.6	98	900	1.127	1.845	3	3	214	116	100	OK
DMO-D1-ZI-5P-7L	500	500	60	440	7	3	110	177.8	228.6	110	1000	1.901	2.624	3	4	285	109	100	OK
DMO-D1-ZI-5P-5L	450	400	60	340	5	3	85	127.0	228.6	85	800	1.370	1.880	3	3	214	114	80	OK
DMO-D1-ZI-5P-5L-CuTa	450	450	60	390	5	3	97.5	127.0	228.6	98	900	1.071	1.663	3	3	214	129	100	OK

REFUERZO EN NUDOS VIGAS - MODELOS DMO - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1%									
MODELO	Sección Viga		Refuerzo. Longitud.		Refuerzo transversal				
	b	h	Superior	Inferior	Cantidad		Feje	Sep.	
	mm	mm			Flejes	Ramas	#	mm	
DMO-D1-ZI-7P-7L	600	500	2#8+4#8	4#7	11	4	3	100	
DMO-D1-ZI-7P-5L	500	450	2#7+2#7	4#5	10	3	3	100	
DMO-D1-ZI-5P-7L	500	500	2#8+4#8	4#7	11	4	3	100	
DMO-D1-ZI-5P-5L	450	400	2#7+2#7	4#5	11	3	3	80	
DMO-D1-ZI-5P-5L-CuT	450	450	2#7+2#7	4#5	10	3	3	100	

REFUERZO LONGITUDINAL VIGAS - MODELOS DMO - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1.5%																								
MODELO	Seccion				Refuerzo minimo						Ref Superior Nudos					Refuerzo minimo				Ref Inferior Nudos				
	b	h	As min	Barra	Cantidad	As. sup. nudo	Barra	Cantidad	As total	Total	Dist. Barras	As min	Barra	Cantidad	As. inf nudo	As. inf min	Barra	Cantidad	As total	Total	Dist. Barras			
	mm	mm	mm ²	#	Barras	mm ²	#	Barras	mm ²	Barras	mm	mm ²	#	Barras	mm ²	mm ²	#	Barras	mm ²	Barras	mm			
DMO-D1.5-ZI-7P-7L	500	450	644	8	2	2993	3	4	3040	€	49.5	644	€	3	1380	1380	7	2	1631	5	74.3			
DMO-D1.5-ZI-7P-5L	300	400	337	8	1	1415	3	2	1520	€	61.9	337	€	2	858	858	6	1	855	3	71.4			
DMO-D1.5-ZI-5P-7L	500	450	644	8	2	2944	3	4	3040	€	49.5	644	€	2	1359	1359	7	2	1552	4	103.7			
DMO-D1.5-ZI-5P-5L	300	400	337	8	1	1356	3	2	1520	€	61.9	337	€	2	833	833	6	1	855	3	71.4			

CORTANTES DE DISEÑO C.21 - DMO											
MODELO AMENAZA INTERMEDIA - DERIVA 1.5%											
L	As	ρ	φMn	Vn	Vg	Vn+Vg	V(2E)	Vdiseño	φVc	φVs	As/S
m	mm ²		kN-m	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	mm ² /mm
7	3040.2	0.0156	429	123	271	394	320	394	132	262	2.133
5	1520.1	0.0149	188	75	143	218	270	270	69	201	1.878
7	3040.2	0.0156	429	123	271	394	300	394	132	262	2.133
5	1520.1	0.0149	188	75	143	218	250	250	69	181	1.692

REFUERZO TRANSVERSAL VIGAS - MODELOS DMO - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1.5%																			
MODELO	Seccion				Refuerzo		Sep. Max. Flejes (mm)				Long.	Refuerzo diseño							
	b	h	rec	d	Var. Long. Min	Fleje	S1	S2	S3	So		Confin.	Asv C.21	Asv diseño	Fleje	Cant.	Asv	Sep. Dis.	Sep. Disp
	mm	mm	mm	mm	#	#					mm	mm ² /mm	mm ² /mm	#	Ramas	mm ² /fleje	mm	mm	
DMO-D1.5-ZI-7P-7L	500	450	60	390	6	3	97.5	152.4	228.6	98	900	2.133	2.938	3	4	285	97	100	OK
DMO-D1.5-ZI-7P-5L	300	400	60	340	6	3	85	152.4	228.6	85	800	1.878	1.804	3	2	150	80	80	OK
DMO-D1.5-ZI-5P-7L	500	450	60	390	7	3	97.5	177.8	228.6	98	900	2.133	2.926	3	4	285	97	100	OK
DMO-D1.5-ZI-5P-5L	300	400	60	340	6	3	85	152.4	228.6	85	800	1.692	1.775	3	2	143	80	80	OK

REFUERZO EN NUDOS VIGAS - MODELOS DMO - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1.5%								
MODELO	Sección Viga		Refuerzo. Longitud.		Refuerzo transversal			
	b	h	Superior	Inferior	Cantidad		Feje	Sep.
	mm	mm			Flejes	Ramas	#	mm
DMO-D1.5-ZI-7P-7L	500	450	2#8+4#8	3#6+2#7	10	4	3	100
DMO-D1.5-ZI-7P-5L	300	400	1#8+2#8	3#6	11	2	3	80
DMO-D1.5-ZI-5P-7L	500	450	2#8+4#8	4#7	10	4	3	100
DMO-D1.5-ZI-5P-5L	300	400	1#8+2#8	3#6	11	2	3	80

ANEXO 2. DIAGRAMAS MOMENTO - CURVATURA

• CARGAS AXIALES EN COLUMNAS

AXIAL Y CORTANTE EN COLUMNAS - MODELOS DES - AMENAZA ALTA DERIVA 1%																			
MODELO	Panial Columna					Cortantes Columna				Rotaciones Límite Pisos 1 a 2			Rotaciones Límite Pisos 3 a Cub						
	b	h	rec	f'c	Pmax=Agf'c	Pisos 1 a 2		Pisos 3 a Cub		Pisos 1 a 2		Pisos 3 a Cub		ID	LS	CP	ID	LS	CP
	mm	mm	mm	MPa	kN	P (kN)	P/Agf'c	P (kN)	P/Agf'c	V (kN)	V/(bd(f'c) ^{0.5})	V (kN)	V/(bd(f'c) ^{0.5})	φ	φ	φ	φ	φ	φ
DES-2A-C1-7P-7L	500	500	60	28	22680	4619	0.20	2220	0.14	94	0.35	136	0.05	0.043	0.040	0.043	0.047	0.046	0.043
DES-2A-C1-7P-5L	550	550	60	28	8470	2247	0.27	1557	0.16	101	0.37	35	0.07	0.033	0.033	0.032	0.044	0.042	0.036
DES-2A-C1-5P-7L	750	750	60	28	15750	3024	0.19	1702	0.17	53	0.35	136	0.05	0.044	0.041	0.045	0.043	0.049	0.039
DES-2A-C1-5P-5L	550	550	60	28	8470	1526	0.18	356	0.10	73	0.35	70	0.05	0.045	0.042	0.047	0.050	0.050	0.020

AXIAL Y CORTANTE EN COLUMNAS - MODELOS DES - AMENAZA ALTA DERIVA 1.5%																			
MODELO	Panial Columna					Cortantes Columna				Rotaciones Límite Pisos 1 a 2			Rotaciones Límite Pisos 3 a Cub						
	b	h	rec	f'c	Pmax=Agf'c	Pisos 1 a 2		Pisos 3 a Cub		Pisos 1 a 2		Pisos 3 a Cub		ID	LS	CP	ID	LS	CP
	mm	mm	mm	MPa	kN	P (kN)	P/Agf'c	P (kN)	P/Agf'c	V (kN)	V/(bd(f'c) ^{0.5})	V (kN)	V/(bd(f'c) ^{0.5})	φ	φ	φ	φ	φ	φ
DES-2A-C15-7F-7L	600	600	60	28	10080	4069	0.40	2320	0.28	113	0.37	106	0.05	0.030	0.020	0.043	0.038	0.032	0.070
DES-2A-C15-7F-5L	450	450	60	28	5670	2038	0.36	1397	0.18	53	0.36	34	0.05	0.033	0.024	0.051	0.044	0.041	0.034
DES-2A-C15-5F-7L	550	550	60	28	8470	2771	0.33	1550	0.16	92	0.36	30	0.05	0.035	0.027	0.042	0.044	0.042	0.036
DES-2A-C15-5F-5L	400	400	60	28	4480	1416	0.32	730	0.16	53	0.37	44	0.05	0.033	0.028	0.042	0.045	0.042	0.037

AXIAL Y CORTANTE EN COLUMNAS - MODELO DES - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1%																			
MODELO	Panial Columna					Cortantes Columna				Rotaciones Límite Pisos 1 a 2			Rotaciones Límite Pisos 3 a Cub						
	b	h	rec	f'c	Pmax=Agf'c	Pisos 1 a 2		Pisos 3 a Cub		Pisos 1 a 2		Pisos 3 a Cub		ID	LS	CP	ID	LS	CP
	mm	mm	mm	MPa	kN	P (kN)	P/Agf'c	P (kN)	P/Agf'c	V (kN)	V/(bd(f'c) ^{0.5})	V (kN)	V/(bd(f'c) ^{0.5})	φ	φ	φ	φ	φ	φ
DES-2I-C1-7P-7L	800	800	60	28	17920	4368	0.24	3037	0.17	204	0.07	197	0.06	0.040	0.036	0.076	0.045	0.043	0.038
DES-2I-C1-7P-5L	500	500	60	28	7000	2181	0.37	1507	0.22	98	0.06	92	0.08	0.030	0.023	0.065	0.042	0.038	0.031
DES-2I-C1-5P-7L	650	650	60	28	11830	2867	0.24	1507	0.14	139	0.07	127	0.06	0.047	0.036	0.076	0.043	0.046	0.034
DES-2I-C1-5P-5L	500	500	60	28	7000	1476	0.27	827	0.12	74	0.06	64	0.05	0.043	0.039	0.082	0.043	0.048	0.037

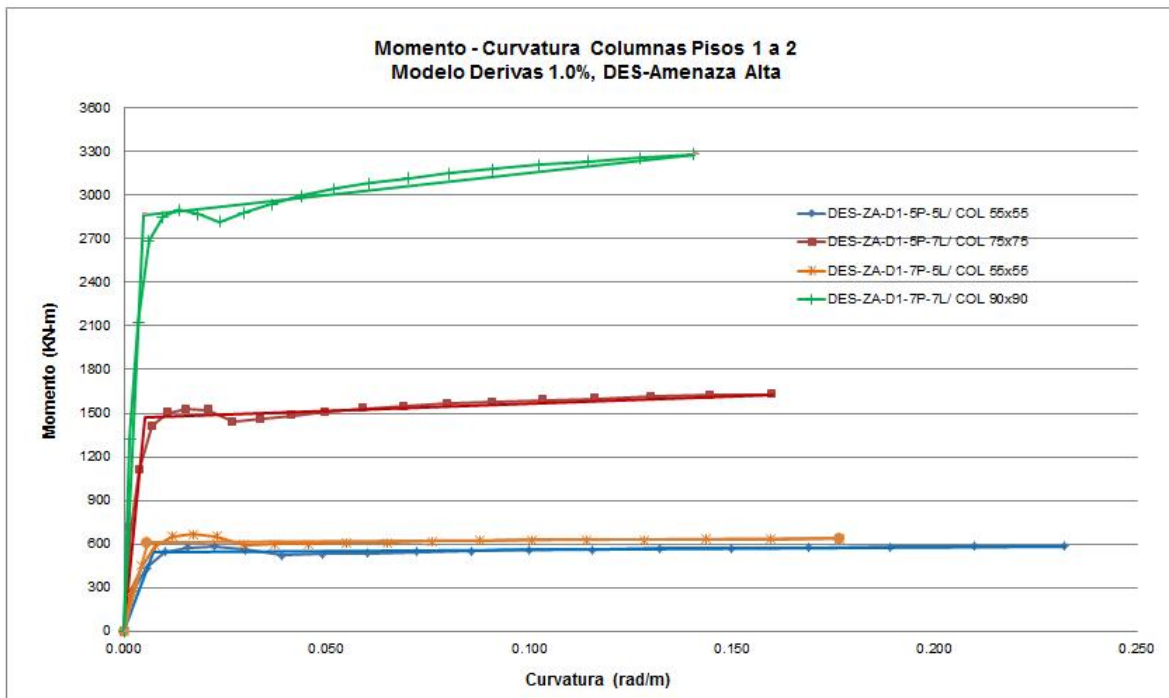
AXIAL Y CORTANTE EN COLUMNAS - MODELOS DES - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1.5%																			
MODELO	Panial Columna					Cortantes Columna				Rotaciones Límite Pisos 1 a 2			Rotaciones Límite Pisos 3 a Cub						
	b	h	rec	f'c	Pmax=Agf'c	Pisos 1 a 2		Pisos 3 a Cub		Pisos 1 a 2		Pisos 3 a Cub		ID	LS	CP	ID	LS	CP
	mm	mm	mm	MPa	kN	P (kN)	P/Agf'c	P (kN)	P/Agf'c	V (kN)	V/(bd(f'c) ^{0.5})	V (kN)	V/(bd(f'c) ^{0.5})	φ	φ	φ	φ	φ	φ
DES-2I-C15-7F-7L	550	550	60	28	8470	3973	0.47	2753	0.32	109	0.06	100	0.07	0.025	0.013	0.038	0.035	0.027	0.032
DES-2I-C15-7F-5L	400	400	60	28	4480	1940	0.43	1339	0.30	56	0.06	52	0.07	0.022	0.017	0.044	0.037	0.030	0.037
DES-2I-C15-5F-7L	500	500	60	28	7000	2753	0.39	1539	0.22	105	0.06	86	0.08	0.030	0.021	0.051	0.042	0.038	0.030
DES-2I-C15-5F-5L	400	400	60	28	4480	1359	0.30	756	0.17	55	0.06	46	0.06	0.030	0.020	0.066	0.045	0.043	0.039

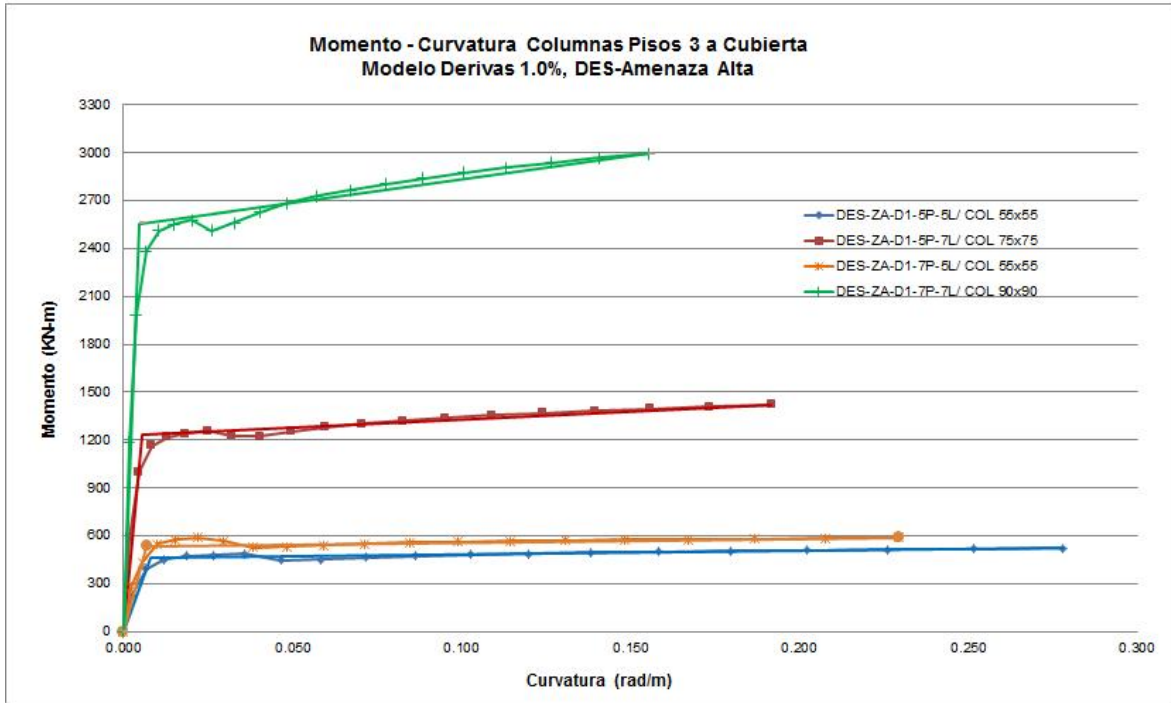
AXIAL Y CORTANTE EN COLUMNAS - MODELO DMO - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1%																			
MODELO	Panial Columna					Cortantes Columna				Rotaciones Límite Pisos 1 a 2			Rotaciones Límite Pisos 3 a Cub						
	b	h	rec	f'c	Pmax=Agf'c	Pisos 1 a 2		Pisos 3 a Cub		Pisos 1 a 2		Pisos 3 a Cub		ID	LS	CP	ID	LS	CP
	mm	mm	mm	MPa	kN	P (kN)	P/Agf'c	P (kN)	P/Agf'c	V (kN)	V/(bd(f'c) ^{0.5})	V (kN)	V/(bd(f'c) ^{0.5})	φ	φ	φ	φ	φ	φ
DMO-2I-D1-7P-7L	800	800	60	28	17920	4368	0.24	3037	0.17	204	0.07	197	0.06	0.040	0.036	0.075	0.045	0.043	0.038
DMO-2I-D1-7P-5L	500	500	60	28	7000	2181	0.37	1507	0.22	98	0.06	92	0.08	0.030	0.023	0.065	0.042	0.038	0.031
DMO-2I-D1-5P-7L	650	650	60	28	11830	2867	0.24	1507	0.14	139	0.07	121	0.06	0.047	0.036	0.075	0.048	0.046	0.034
DMO-2I-D1-5P-5L	500	500	60	28	7000	1476	0.27	827	0.12	74	0.06	64	0.05	0.043	0.039	0.082	0.049	0.046	0.037

AXIAL Y CORTANTE EN COLUMNAS - MODELOS DMO - AMENAZA INTERMEDIA DERIVA 1.5%																			
MODELO	Panial Columna					Cortantes Columna				Rotaciones Límite Pisos 1 a 2			Rotaciones Límite Pisos 3 a Cub						
	b	h	rec	f'c	Pmax=Agf'c	Pisos 1 a 2		Pisos 3 a Cub		Pisos 1 a 2		Pisos 3 a Cub		ID	LS	CP	ID	LS	CP
	mm	mm	mm	MPa	kN	P (kN)	P/Agf'c	P (kN)	P/Agf'c	V (kN)	V/(bd(f'c) ^{0.5})	V (kN)	V/(bd(f'c) ^{0.5})	φ	φ	φ	φ	φ	φ
DMO-2I-D1.5-7P-7L	550	550	60	28	3470	3973	0.47	2753	0.39	109	0.06	103	0.07	0.025	0.013	0.033	0.035	0.027	0.032
DMO-2I-D1.5-7P-5L	400	400	60	28	4480	1940	0.43	1339	0.30	56	0.06	52	0.07	0.022	0.017	0.044	0.037	0.030	0.037
DMO-2I-D1.5-5P-7L	500	500	60	28	7000	2753	0.39	1539	0.22	105	0.06	88	0.08	0.030	0.021	0.051	0.042	0.038	0.030
DMO-2I-D1.5-5P-5L	400	400	60	28	4480	1359	0.30	756	0.17	55	0.06	46	0.06	0.030	0.020	0.066	0.045	0.043	0.039

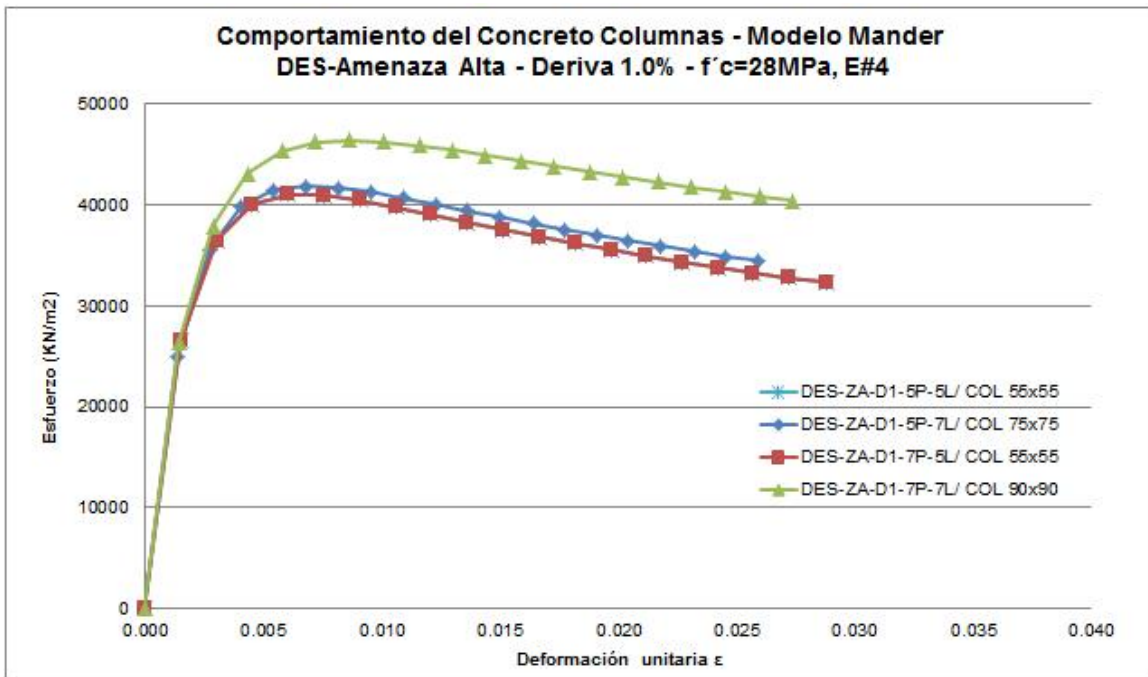
- **MOMENTO – CURVATURA COLUMNAS**

PARÁMETROS CURVAS BILINEALES COLUMNAS - MODELOS DES AMENAZA ALTA - DERIVA 1%								
Parámetro	DES-ZA-D1-5P-5L/ COL 55x55		DES-ZA-D1-5P-7L/ COL 75x75		DES-ZA-D1-7P-5L/ COL 55x55		DES-ZA-D1-7P-7L/ COL 90x90	
	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB
ϕ_y	0.00700	0.00780	0.00505	0.00564	0.00570	0.00675	0.00454	0.00480
ϕ_u	0.23210	0.27810	0.15990	0.19160	0.17650	0.22950	0.14060	0.15550
ϕ_u/ϕ_y	33.2	35.7	31.7	34.0	31.0	34.0	31.0	32.4
My	546.2	463.9	1468.9	1231.3	606.4	534.5	2866.1	2558.2
Mu	586.3	524.4	1630.0	1422.5	635.4	588.9	3281.5	2995.5
Mu/My	1.07	1.13	1.11	1.16	1.05	1.10	1.14	1.17

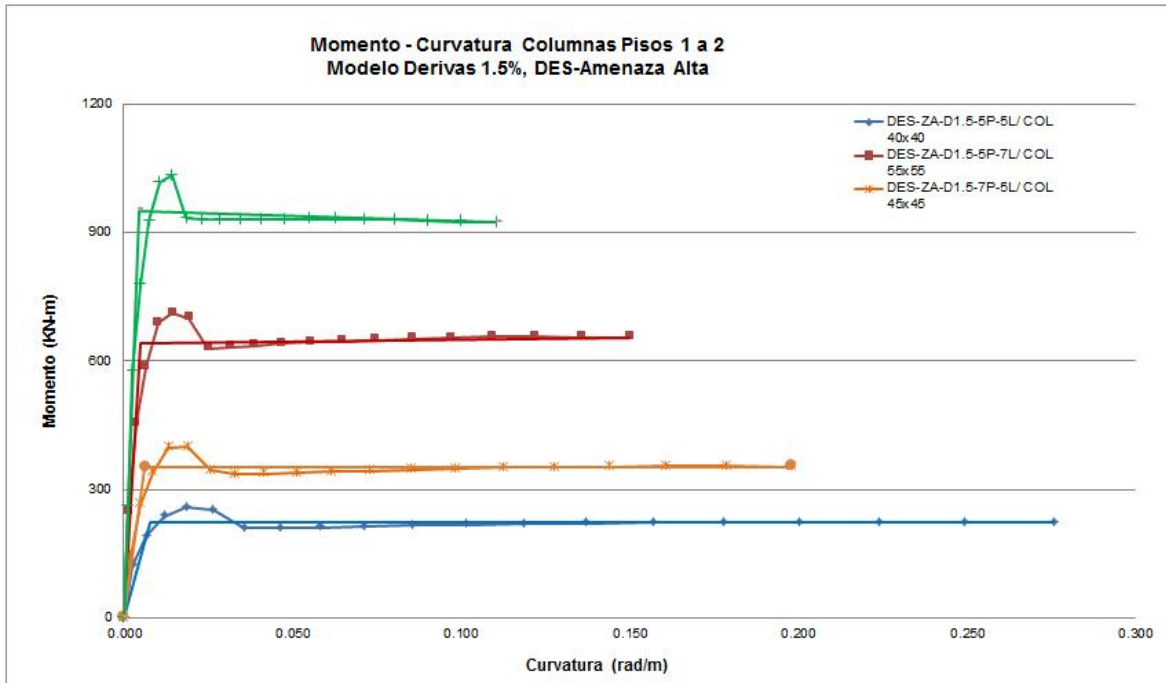


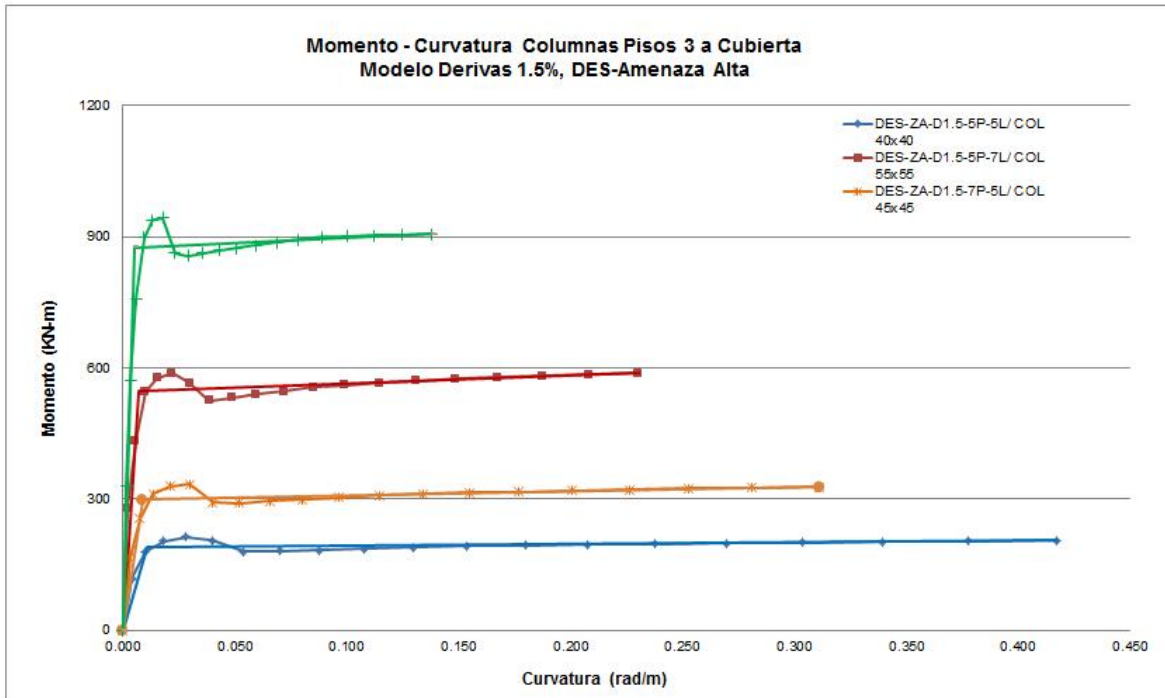


Rótulas Plásticas Columnas - Modelos DES-Amenaza Alta - Deriva 1%								
	DES-ZA-D1-5P-5L/ COL 55x55		DES-ZA-D1-5P-7L/ COL 75x75		DES-ZA-D1-7P-5L/ COL 55x55		DES-ZA-D1-7P-7L/ COL 90x90	
	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB
Lp (m)	0.37	0.37	0.40	0.40	0.37	0.37	0.43	0.43
ϕ_y	0.0070	0.0078	0.0050	0.0056	0.0057	0.0068	0.0045	0.0048
Ocupación Inmediata (IO)								
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0045	0.0050	0.0044	0.0049	0.0039	0.0044	0.0043	0.0047
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0120	0.0135	0.0110	0.0124	0.0105	0.0120	0.0100	0.0110
ϕ_{lim}/ϕ_y	1.72	1.73	2.17	2.19	1.84	1.77	2.21	2.29
Preservación de la vida (LS)								
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0142	0.0150	0.0141	0.0149	0.0133	0.0142	0.0140	0.0146
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0383	0.0404	0.0352	0.0373	0.0360	0.0382	0.0325	0.0340
ϕ_{lim}/ϕ_y	5.47	5.18	6.97	6.61	6.32	5.66	7.16	7.08
Prevención del colapso (CP)								
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0187	0.0200	0.0185	0.0199	0.0172	0.0186	0.0183	0.0193
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0503	0.0539	0.0462	0.0497	0.0465	0.0502	0.0426	0.0450
ϕ_{lim}/ϕ_y	7.20	6.91	9.14	8.81	8.16	7.43	9.37	9.37

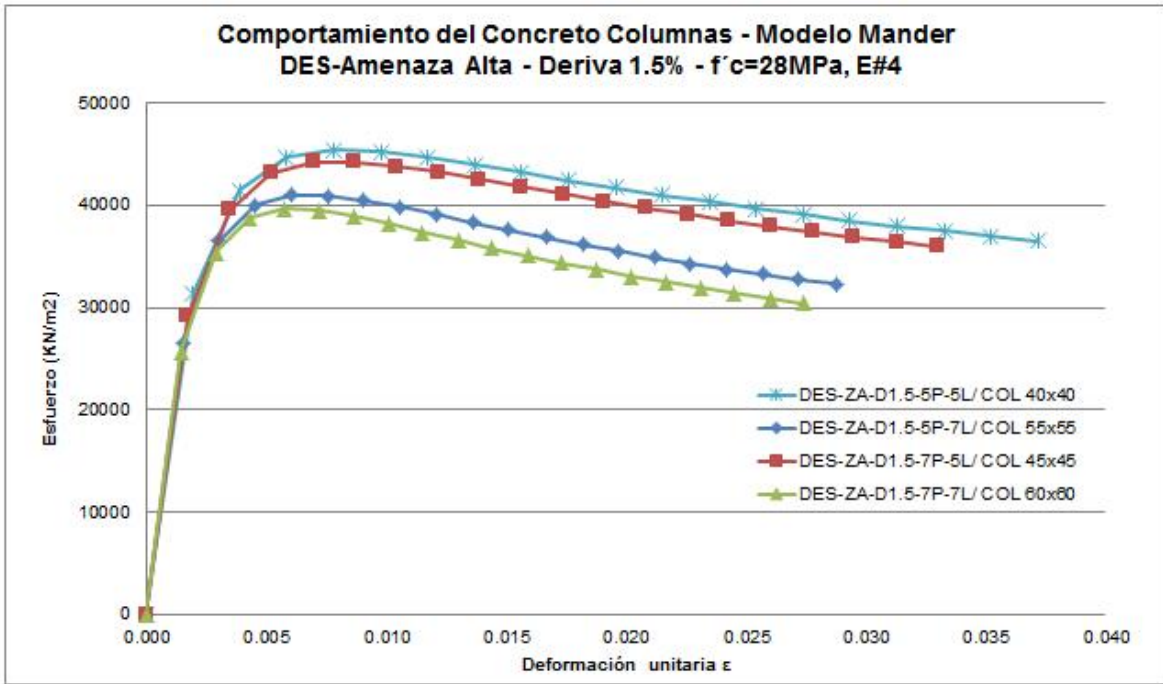


PARÁMETROS CURVAS BILINEALES COLUMNAS - MODELOS DES - AMENAZA ALTA - DERIVA 1.5%								
Parámetro	DES-ZA-D1.5-5P-5L/ COL 40x40		DES-ZA-D1.5-5P-7L/ COL 55x55		DES-ZA-D1.5-7P-5L/ COL 45x45		DES-ZA-D1.5-7P-7L/ COL 60x60	
	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB
ϕ_y	0.00774	0.01050	0.00506	0.00694	0.00625	0.00871	0.00436	0.00504
ϕ_u	0.27580	0.41730	0.15010	0.23010	0.19780	0.31070	0.11050	0.13770
ϕ_u/ϕ_y	35.7	39.7	29.6	33.2	31.7	35.7	25.3	27.3
My	222.4	189.2	641.7	547.2	350.9	299.6	952.0	875.8
Mu	222.3	204.7	655.1	588.3	353.2	327.9	925.1	906.4
Mu/My	1.00	1.08	1.02	1.08	1.01	1.09	0.97	1.03

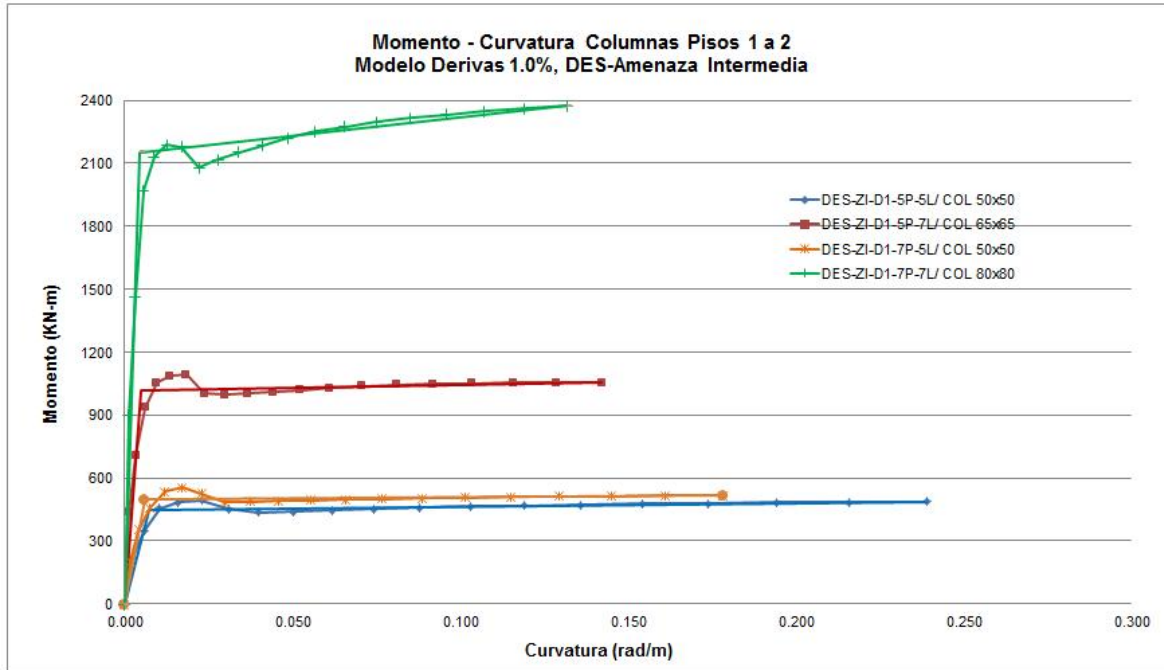


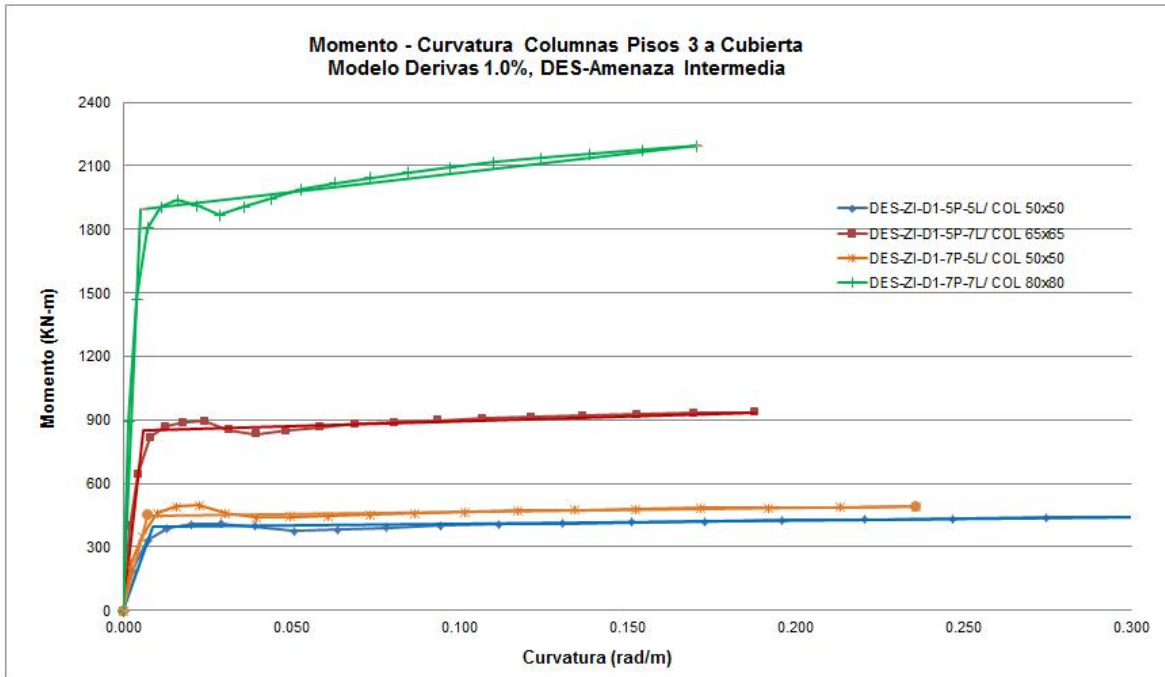


Rótulas Plásticas Columnas - Modelos DES-Amenaza Alta - Deriva 1.5%									
	DES-ZA-D1.5-5P-5L/ COL 40x40		DES-ZA-D1.5-5P-7L/ COL 55x55		DES-ZA-D1.5-7P-5L/ COL 45x45		DES-ZA-D1.5-7P-7L/ COL 60x60		
	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	
Lp (m)	0.37	0.37	0.40	0.40	0.37	0.37	0.43	0.43	0.43
ϕ_y	0.0077	0.0105	0.0051	0.0069	0.0062	0.0087	0.0044	0.0050	0.0050
Ocupación Inmediata (IO)									
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0036	0.0045	0.0035	0.0044	0.0033	0.0044	0.0030	0.0038	0.0038
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0096	0.0121	0.0087	0.0111	0.0088	0.0118	0.0069	0.0089	0.0089
ϕ_{lim}/ϕ_y	1.24	1.15	1.72	1.60	1.41	1.36	1.59	1.76	1.76
Preservación de la vida (LS)									
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0128	0.0142	0.0127	0.0142	0.0124	0.0141	0.0120	0.0132	0.0132
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0346	0.0384	0.0318	0.0354	0.0335	0.0379	0.0279	0.0307	0.0307
ϕ_{lim}/ϕ_y	4.48	3.66	6.28	5.11	5.36	4.36	6.39	6.10	6.10
Prevención del colapso (CP)									
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0164	0.0187	0.0162	0.0186	0.0157	0.0184	0.0149	0.0170	0.0170
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0442	0.0505	0.0405	0.0465	0.0423	0.0498	0.0346	0.0396	0.0396
ϕ_{lim}/ϕ_y	5.72	4.81	8.00	6.71	6.77	5.71	7.98	7.86	7.86

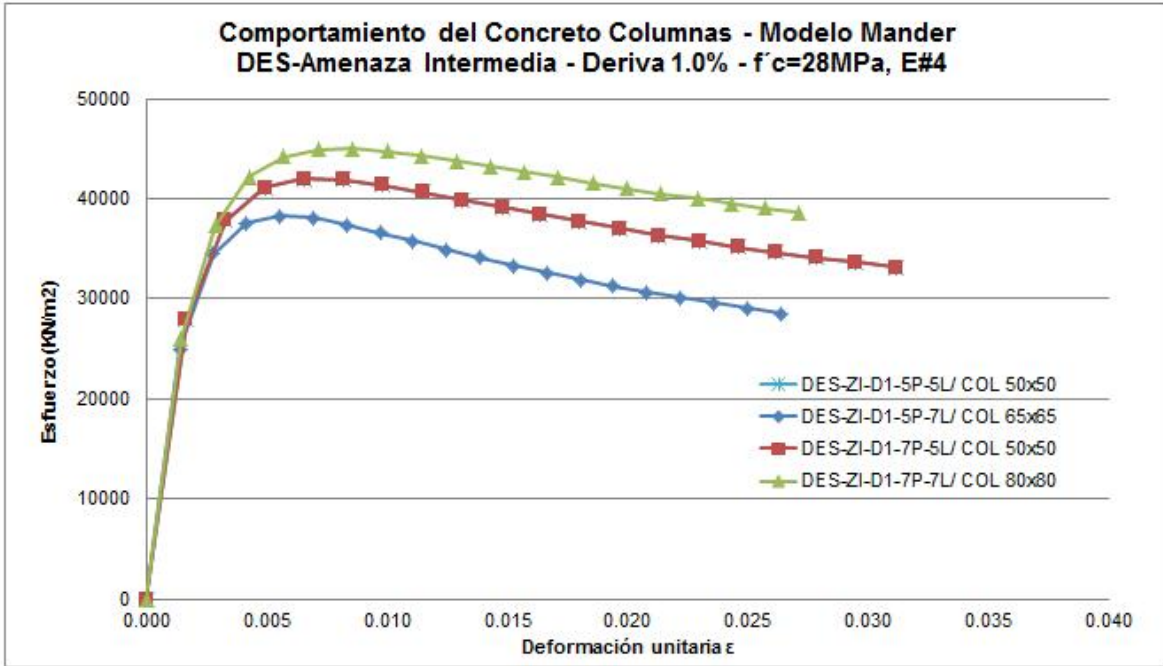


PARÁMETROS CURVAS BILINEALES COLUMNAS - MODELOS DES - AMENAZA INTERMEDIA - DERIVA 1%								
Parámetro	DES-ZI-D1-5P-5L/ COL 50x50		DES-ZI-D1-5P-7L/ COL 65x65		DES-ZI-D1-7P-5L/ COL 50x50		DES-ZI-D1-7P-7L/ COL 80x80	
	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB
ϕ_y	0.00738	0.00873	0.00490	0.00594	0.00601	0.00731	0.00463	0.00527
ϕ_u	0.23890	0.30380	0.14220	0.18810	0.17820	0.23620	0.13170	0.17080
ϕ_u/ϕ_y	32.4	34.8	29.0	31.7	29.6	32.3	28.4	32.4
My	448.4	396.0	1019.7	848.6	497.2	450.1	2152.3	1895.1
Mu	488.5	442.0	1056.8	936.8	515.2	490.1	2376.2	2193.8
Mu/My	1.09	1.12	1.04	1.10	1.04	1.09	1.10	1.16

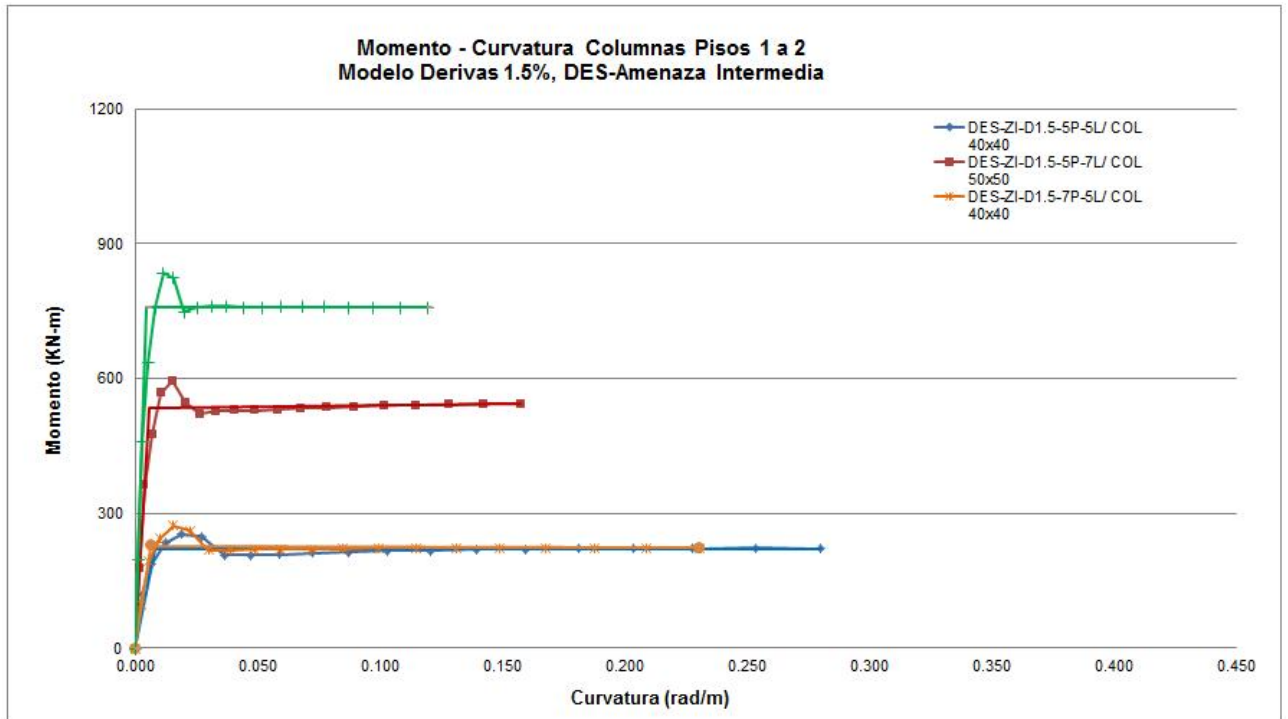


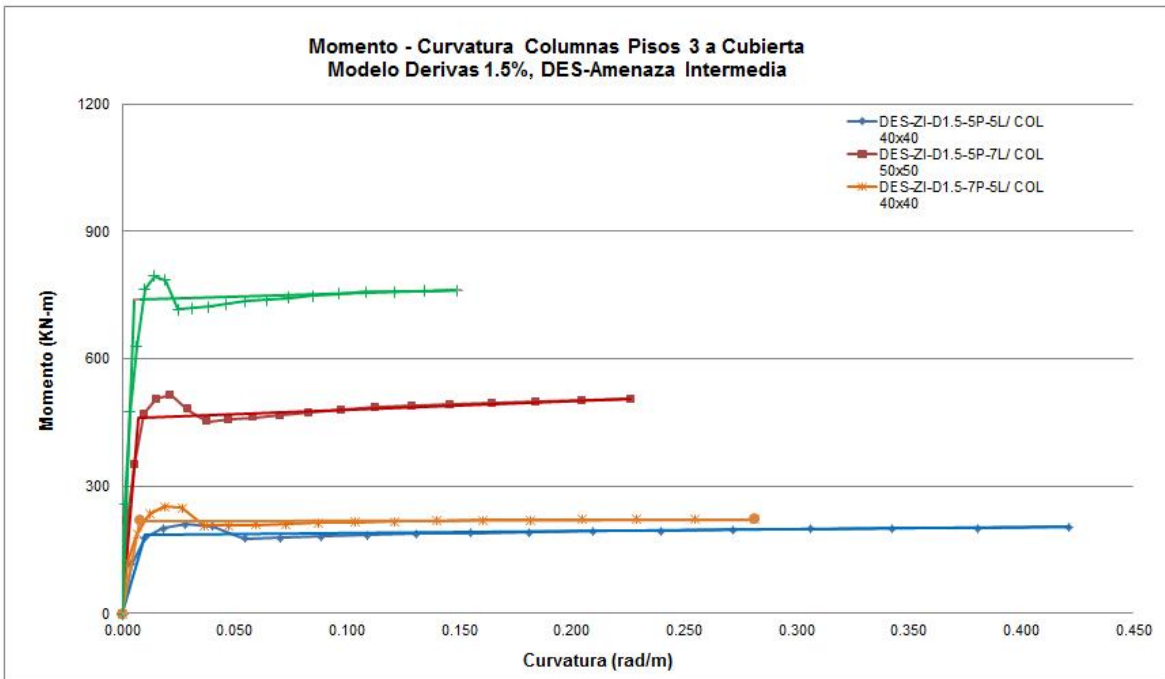


Rótulas Plásticas Columnas - Modelos DES-Amenaza Intermedia - Deriva 1%								
	DES-ZI-D1-5P-5L/ COL 50x50		DES-ZI-D1-5P-7L/ COL 65x65		DES-ZI-D1-7P-5L/ COL 50x50		DES-ZI-D1-7P-7L/ COL 80x80	
	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB
Lp (m)	0.37	0.37	0.40	0.40	0.37	0.37	0.43	0.43
ϕ_y	0.0074	0.0087	0.0049	0.0059	0.0060	0.0073	0.0046	0.0053
Ocupación Inmediata (IO)								
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0043	0.0049	0.0041	0.0048	0.0036	0.0042	0.0040	0.0045
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0115	0.0132	0.0101	0.0119	0.0097	0.0114	0.0094	0.0106
ϕ_{lim}/ϕ_y	1.56	1.51	2.07	2.00	1.61	1.56	2.03	2.00
Preservación de la vida (LS)								
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0139	0.0148	0.0136	0.0146	0.0129	0.0138	0.0136	0.0143
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0375	0.0400	0.0339	0.0366	0.0348	0.0374	0.0316	0.0333
ϕ_{lim}/ϕ_y	5.08	4.58	6.93	6.16	5.78	5.11	6.82	6.32
Prevención del colapso (CP)								
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0182	0.0197	0.0176	0.0194	0.0165	0.0181	0.0176	0.0188
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0490	0.0531	0.0441	0.0485	0.0444	0.0488	0.0410	0.0439
ϕ_{lim}/ϕ_y	6.63	6.08	9.00	8.17	7.39	6.67	8.85	8.33

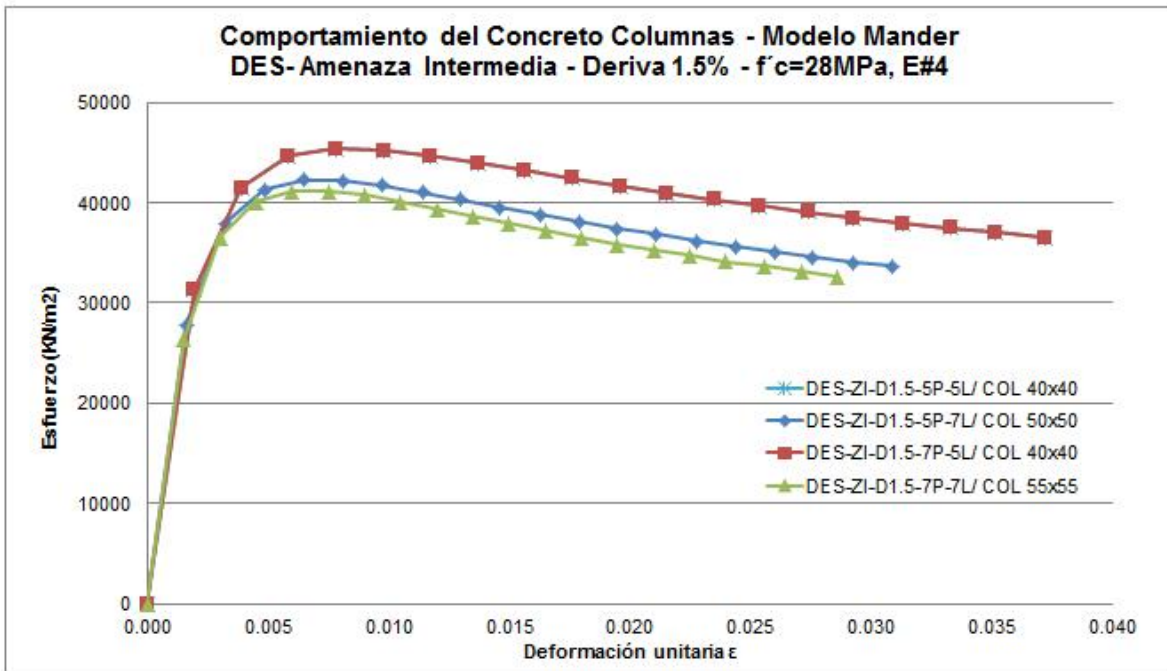


PARÁMETROS CURVAS BILINEALES COLUMNAS - MODELOS DES - AMENAZA INTERMEDIA 1.5%								
Parámetro	DES-ZI-D1.5-5P-5L/ COL 40x40		DES-ZI-D1.5-5P-7L/ COL 50x50		DES-ZI-D1.5-7P-5L/ COL 40x40		DES-ZI-D1.5-7P-7L/ COL 55x55	
	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB
ϕ_y	0.00787	0.01056	0.00554	0.00715	0.00646	0.00787	0.00472	0.00556
ϕ_u	0.28020	0.42130	0.15760	0.22630	0.23080	0.28160	0.11960	0.14900
ϕ_u/ϕ_y	35.6	39.9	28.4	31.7	35.7	35.8	25.3	26.8
M_y	220.3	186.1	533.1	461.4	228.1	218.3	757.8	739.4
M_u	221.7	203.0	542.4	504.0	222.5	221.5	757.2	761.0
M_u/M_y	1.01	1.09	1.02	1.09	0.98	1.01	1.00	1.03

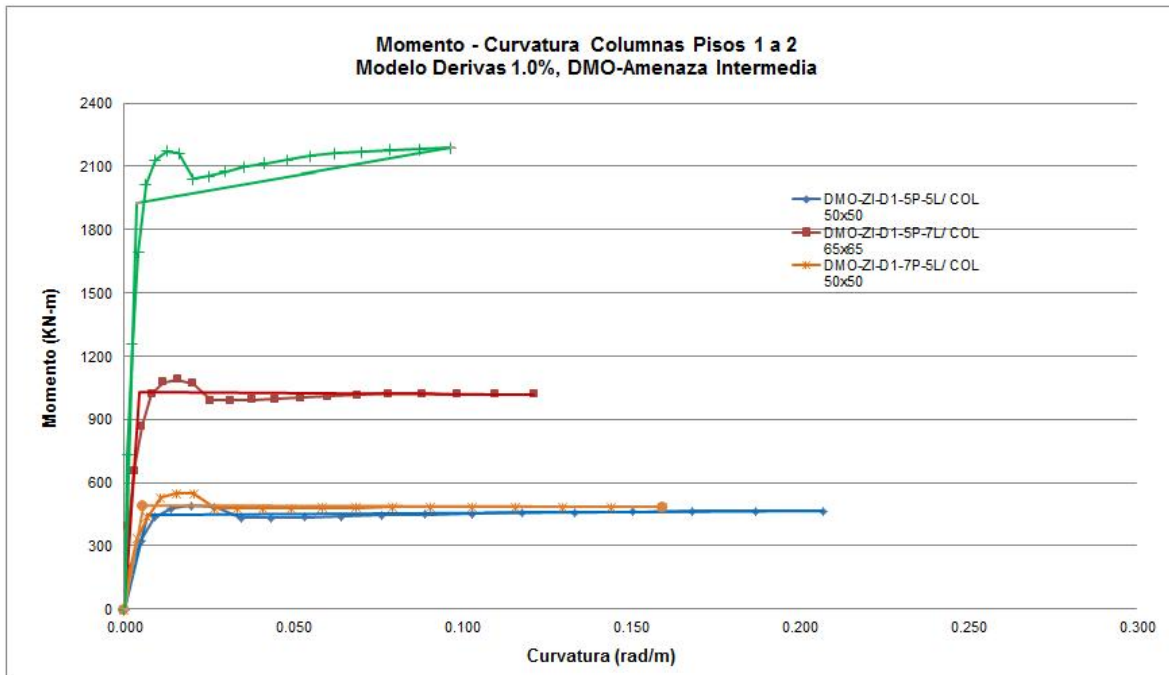


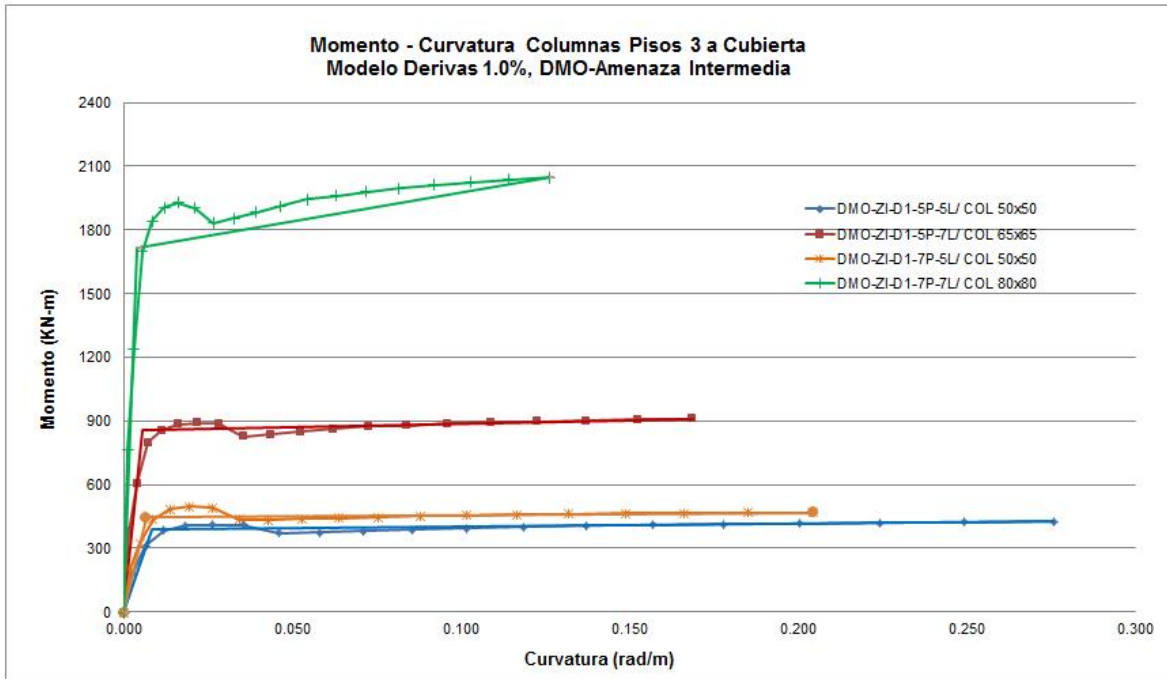


Rótulas Plásticas Columnas - Modelos DES-Amenaza Intermedia - Deriva 1.5%								
	DES-ZI-D1.5-5P-5L/ COL 40x40		DES-ZI-D1.5-5P-7L/ COL 50x50		DES-ZI-D1.5-7P-5L/ COL 40x40		DES-ZI-D1.5-7P-7L/ COL 55x55	
	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB
Lp (m)	0.37	0.37	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
ϕ_y	0.0079	0.0106	0.0055	0.0071	0.0065	0.0079	0.0047	0.0056
Ocupación Inmediata (IO)								
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0036	0.0045	0.0030	0.0042	0.0028	0.0037	0.0025	0.0035
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0098	0.0123	0.0076	0.0105	0.0069	0.0092	0.0063	0.0087
ϕ_{lim}/ϕ_y	1.25	1.16	1.37	1.47	1.08	1.17	1.34	1.57
Preservación de la vida (LS)								
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0130	0.0143	0.0121	0.0138	0.0117	0.0130	0.0113	0.0127
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0350	0.0386	0.0302	0.0345	0.0292	0.0325	0.0283	0.0319
ϕ_{lim}/ϕ_y	4.45	3.66	5.44	4.83	4.52	4.14	5.99	5.73
Prevencción del colapso (CP)								
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0166	0.0189	0.0151	0.0180	0.0144	0.0167	0.0138	0.0162
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0448	0.0509	0.0378	0.0450	0.0361	0.0417	0.0346	0.0406
ϕ_{lim}/ϕ_y	5.70	4.82	6.82	6.30	5.59	5.30	7.33	7.31

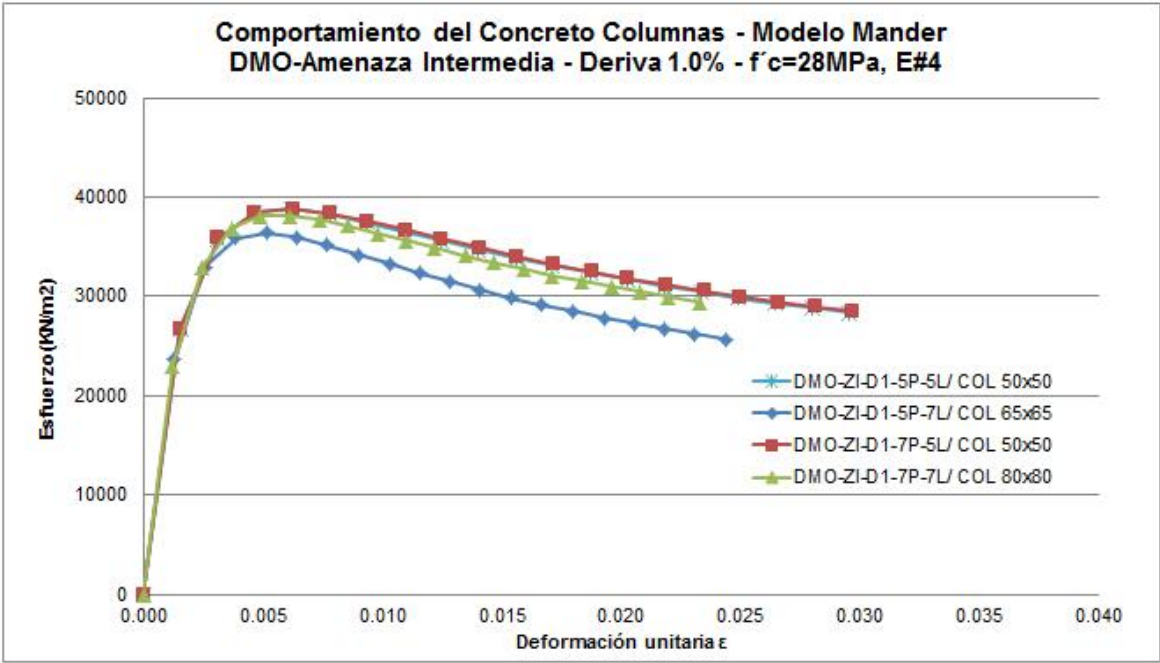


PARÁMETROS CURVAS BILINEALES COLUMNAS - MODELOS DMO - AMENAZA INTERMEDIA - DERIVA 1%								
Parámetro	DMO-ZI-D1-5P-5L/ COL 50x50		DMO-ZI-D1-5P-7L/ COL 65x65		DMO-ZI-D1-7P-5L/ COL 50x50		DMO-ZI-D1-7P-7L/ COL 80x80	
	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB
ϕ_y	0.00683	0.00833	0.00453	0.00569	0.00561	0.00676	0.00354	0.00418
ϕ_u	0.20690	0.27590	0.12140	0.16880	0.15940	0.20470	0.09660	0.12650
ϕ_u/ϕ_y	30.3	33.1	26.8	29.6	28.4	30.3	27.3	30.3
M_y	446.4	391.2	1028.3	854.1	492.4	447.8	1926.3	1714.8
M_u	467.0	427.1	1018.9	911.3	484.2	469.0	2187.9	2048.7
M_u/M_y	1.05	1.09	0.99	1.07	0.98	1.05	1.14	1.19

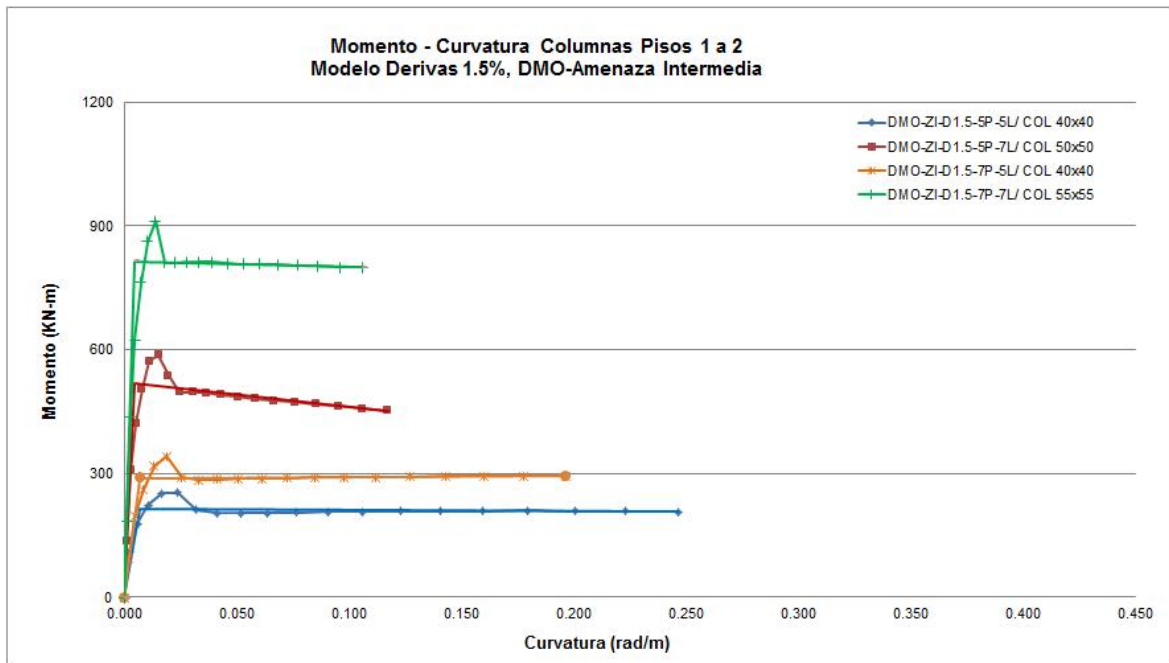


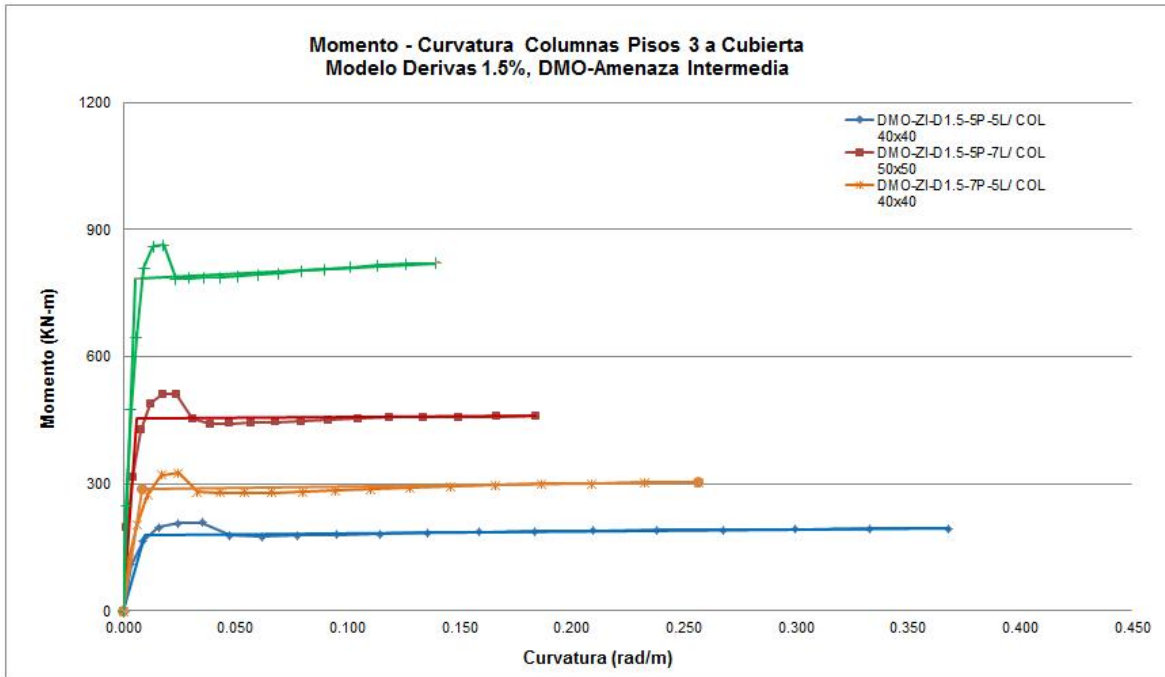


Rótulas Plásticas Columnas - Modelos DMO-Amenaza Intermedia - Deriva 1%								
	DMO-ZI-D1-5P-5L/ COL 50x50		DMO-ZI-D1-5P-7L/ COL 65x65		DMO-ZI-D1-7P-5L/ COL 50x50		DMO-ZI-D1-7P-7L/ COL 80x80	
	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB
Lp (m)	0.37	0.37	0.40	0.40	0.37	0.37	0.43	0.43
ϕ_y	0.0068	0.0083	0.0045	0.0057	0.0056	0.0068	0.0035	0.0042
Ocupación Inmediata (IO)								
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0043	0.0049	0.0041	0.0048	0.0036	0.0042	0.0040	0.0045
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0115	0.0132	0.0101	0.0119	0.0097	0.0114	0.0094	0.0106
ϕ_{lim}/ϕ_y	1.68	1.58	2.24	2.09	1.73	1.69	2.66	2.53
Preservación de la vida (LS)								
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0139	0.0148	0.0136	0.0146	0.0129	0.0138	0.0136	0.0143
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0375	0.0400	0.0339	0.0366	0.0348	0.0374	0.0316	0.0333
ϕ_{lim}/ϕ_y	5.49	4.80	7.49	6.43	6.20	5.53	8.93	7.98
Prevención del colapso (CP)								
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0182	0.0197	0.0176	0.0194	0.0165	0.0181	0.0176	0.0188
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0490	0.0531	0.0441	0.0485	0.0444	0.0488	0.0410	0.0439
ϕ_{lim}/ϕ_y	7.17	6.38	9.73	8.52	7.93	7.22	11.60	10.51

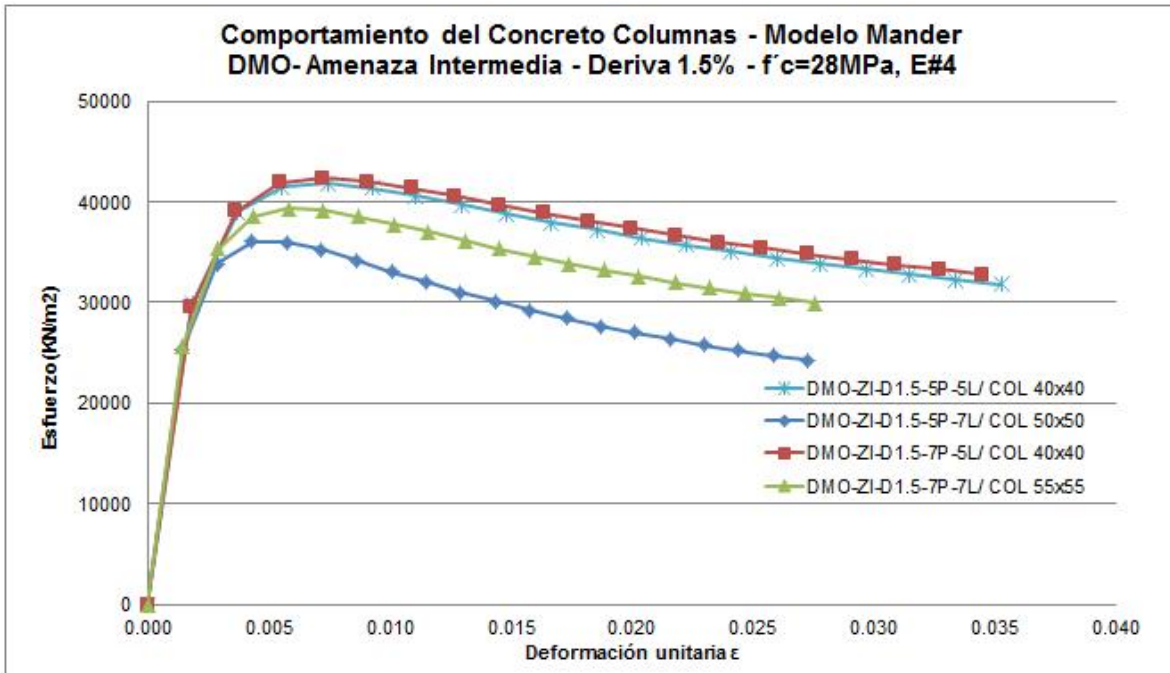


PARÁMETROS CURVAS BILINEALES COLUMNAS - MODELOS DMO - AMENAZA INTERMEDIA 1.5%								
Parámetro	DMO-ZI-D1.5-5P-5L/ COL 40x40		DMO-ZI-D1.5-5P-7L/ COL 50x50		DMO-ZI-D1.5-7P-5L/ COL 40x40		DMO-ZI-D1.5-7P-7L/ COL 55x55	
	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB
ϕ_y	0.00707	0.00954	0.00471	0.00634	0.00691	0.00870	0.00471	0.00549
ϕ_u	0.24670	0.36830	0.11720	0.18390	0.19660	0.25690	0.10590	0.13920
ϕ_u/ϕ_y	34.9	38.6	24.9	29.0	28.4	29.5	22.5	25.3
M_y	213.9	180.2	517.3	454.6	288.3	286.0	813.8	783.4
M_u	207.5	194.9	452.2	459.8	294.0	304.2	798.8	820.5
M_u/M_y	0.97	1.08	0.87	1.01	1.02	1.06	0.98	1.05



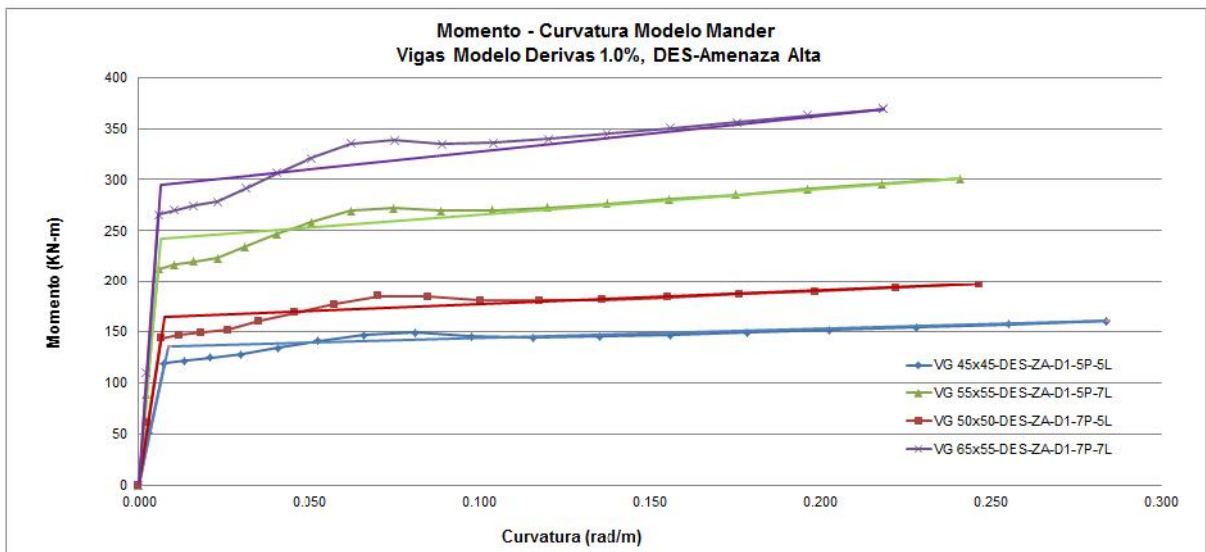


Rótulas Plásticas Columnas - Modelos DMO-Amenaza Intermedia - Deriva 1.5%								
	DMO-ZI-D1.5-5P-5L/ COL 40x40		DMO-ZI-D1.5-5P-7L/ COL 50x50		DMO-ZI-D1.5-7P-5L/ COL 40x40		DMO-ZI-D1.5-7P-7L/ COL 55x55	
	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB	PISOS 1 a 2	PISOS 3 a CUB
Lp (m)	0.37	0.37	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
ϕ_y	0.0071	0.0095	0.0047	0.0063	0.0069	0.0087	0.0047	0.0055
Ocupación Inmediata (IO)								
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0036	0.0045	0.0030	0.0042	0.0028	0.0037	0.0025	0.0035
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0098	0.0123	0.0076	0.0105	0.0069	0.0092	0.0063	0.0087
ϕ_{lim}/ϕ_y	1.39	1.28	1.62	1.66	1.01	1.06	1.35	1.59
Preservación de la vida (LS)								
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0130	0.0143	0.0121	0.0138	0.0117	0.0130	0.0113	0.0127
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0350	0.0386	0.0302	0.0345	0.0292	0.0325	0.0283	0.0319
ϕ_{lim}/ϕ_y	4.95	4.05	6.40	5.45	4.22	3.74	6.00	5.80
Prevención del colapso (CP)								
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0166	0.0189	0.0151	0.0180	0.0144	0.0167	0.0138	0.0162
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0448	0.0509	0.0378	0.0450	0.0361	0.0417	0.0346	0.0406
ϕ_{lim}/ϕ_y	6.34	5.33	8.02	7.10	5.22	4.80	7.35	7.39



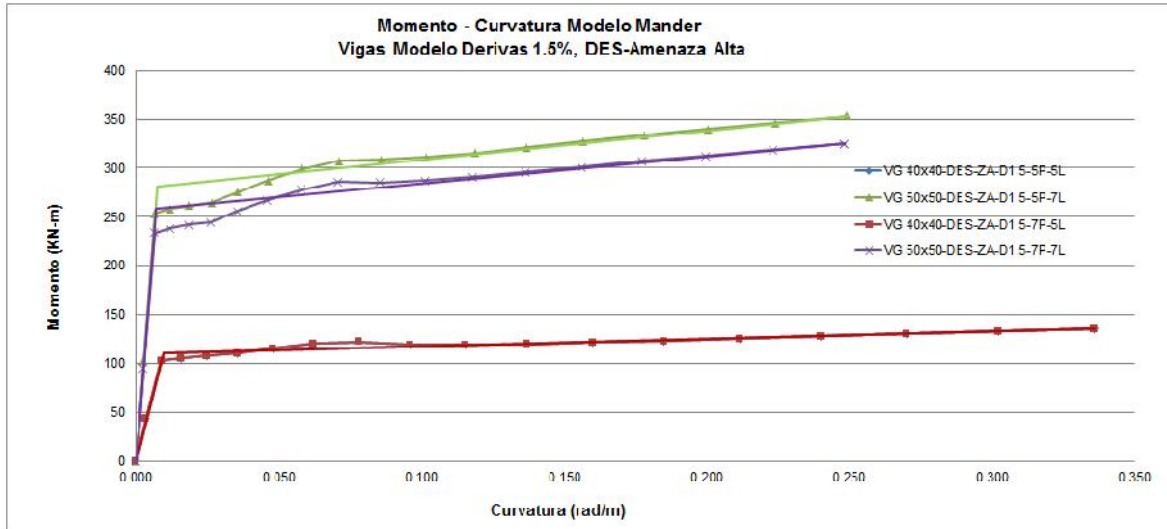
- MOMENTO – CURVATURA VIGAS

PARÁMETROS CURVAS BILINEALES VIGAS - MODELOS DES-AMENAZA ALTA - DERIVA 1%				
Parámetro	VG 45x45-DES-ZA-D1-5P-5	VG 55x55-DES-ZA-D1-5P-7	VG 50x50-DES-ZA-D1-7P-5L	VG 65x55-DES-ZA-D1-7P-7L
ϕ_y	0.00855	0.00659	0.00747	0.00641
ϕ_u	0.28400	0.24110	0.24680	0.21840
ϕ_u/ϕ_y	33.2	36.6	33.0	34.1
My	135.4	242.7	164.5	294.6
Mu	160.4	301.1	196.4	369.4
Mu/My	1.18	1.24	1.19	1.25



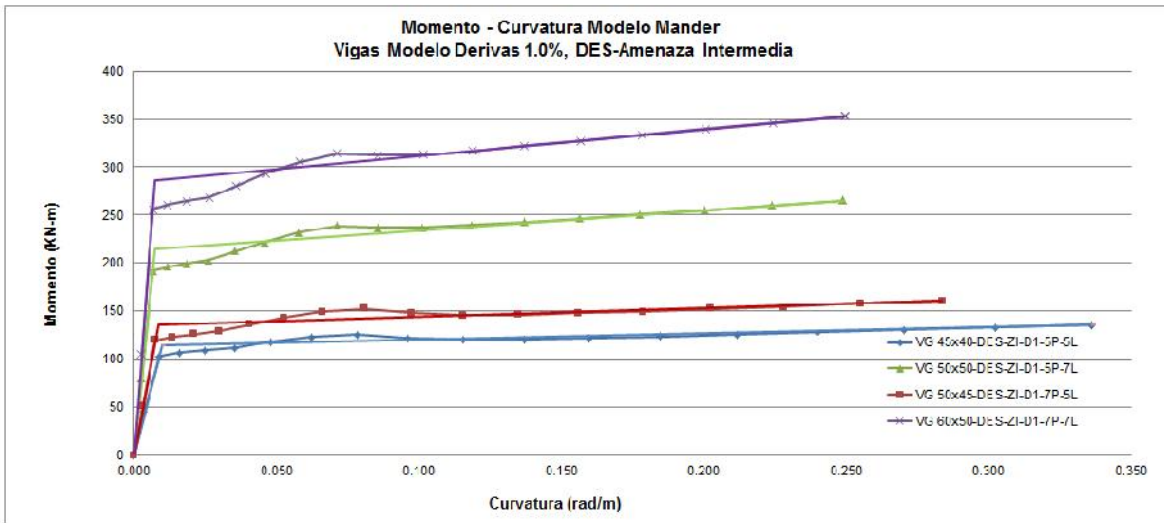
Rótulas Plásticas Vigas - Modelos DES-Amenaza Alta - Deriva 1%				
	VG 45x45-DES-ZA-D1-5P-5	VG 55x55-DES-ZA-D1-5P-7	VG 50x50-DES-ZA-D1-7P-5L	VG 65x55-DES-ZA-D1-7P-7L
Lp (m)	0.61	0.79	0.61	0.79
ϕ_y	0.0086	0.0066	0.0075	0.0064
Ocupación Inmediata (IO)				
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0085	0.0085	0.0092	0.0088
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0140	0.0107	0.0152	0.0111
ϕ_{lim}/ϕ_y	1.64	1.62	2.03	1.73
Preservación de la vida (LS)				
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0169	0.0171	0.0184	0.0175
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0279	0.0215	0.0304	0.0220
ϕ_{lim}/ϕ_y	3.27	3.27	4.07	3.43
Prevención del colapso (CP)				
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0235	0.0235	0.0242	0.0238
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0388	0.0296	0.0400	0.0299
ϕ_{lim}/ϕ_y	4.54	4.49	5.35	4.67

PARÁMETROS CURVAS BILINEALES VIGAS - MODELOS DES-AMENAZA ALTA - DERIVA 1.5%				
Parámetro	G 40x40-DES-ZA-D1.5-5P-5	G 50x50-DES-ZA-D1.5-5P-7	G 40x40-DES-ZA-D1.5-7P-5	G 50x50-DES-ZA-D1.5-7P-7L
ϕ_y	0.00960	0.00734	0.00960	0.00728
ϕ_u	0.33620	0.24940	0.33620	0.24840
ϕ_u/ϕ_y	35.0	34.0	35.0	34.1
My	110.5	281.7	110.5	259.0
Mu	135.5	352.9	135.5	324.7
Mu/My	1.23	1.25	1.23	1.25

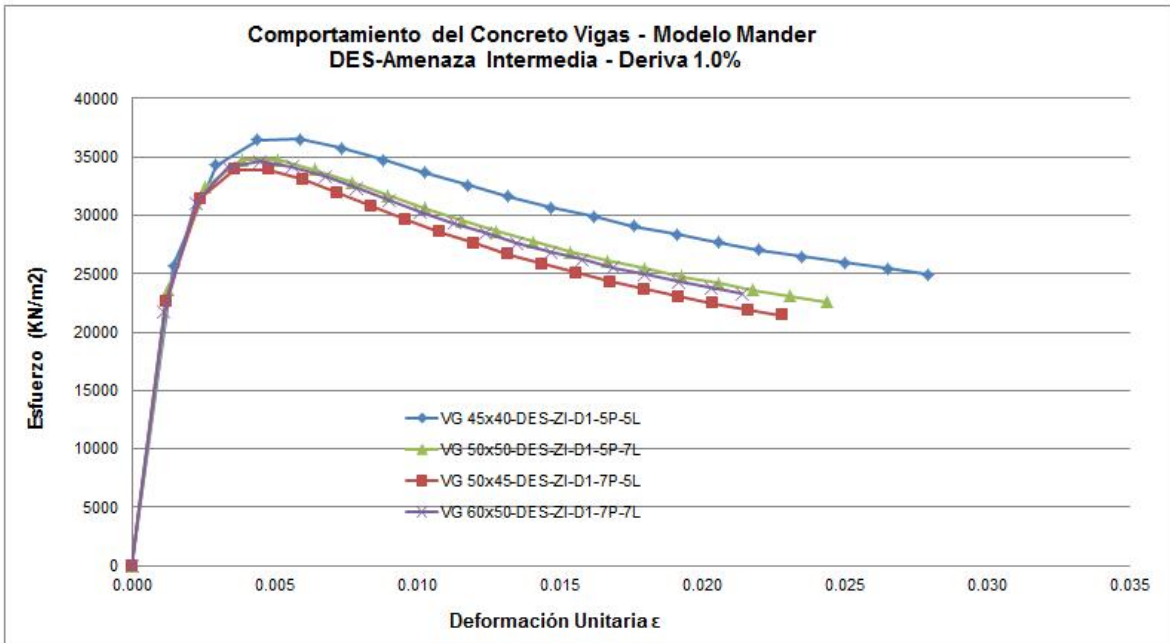


Rótulas Plásticas Vigas - Modelos DES-Amenaza Alta - Deriva 1.5%				
	VG 40x40-DES-ZA-D1.5-5P-5	G 50x50-DES-ZA-D1.5-5P-7	G 40x40-DES-ZA-D1.5-7P-5	G 50x50-DES-ZA-D1.5-7P-7L
Lp (m)	0.61	0.79	0.61	0.79
ϕ_y	0.0096	0.0073	0.0096	0.0073
Ocupación Inmediata (IO)				
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0086	0.008	0.0086	0.0082
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0142	0.0101	0.0142	0.0103
ϕ_{lim}/ϕ_y	1.48	1.37	1.48	1.42
Preservación de la vida (LS)				
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0171	0.016	0.0171	0.0164
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0282	0.0201	0.0282	0.0206
ϕ_{lim}/ϕ_y	2.94	2.74	2.94	2.84
Prevención del colapso (CP)				
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0236	0.023	0.0236	0.0232
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0390	0.0289	0.0390	0.0292
ϕ_{lim}/ϕ_y	4.06	3.94	4.06	4.01

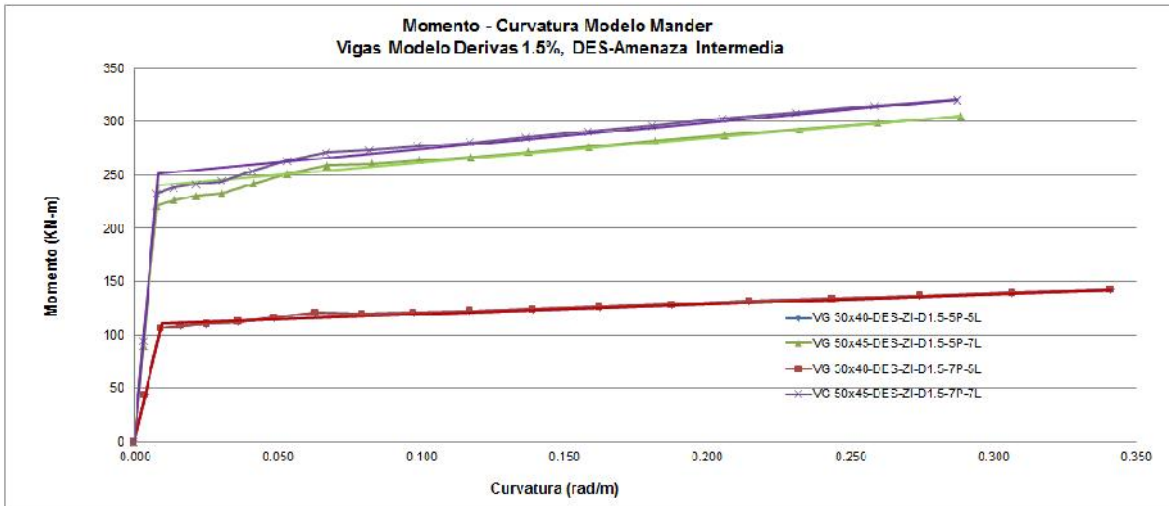
PARÁMETROS CURVAS BILINEALES VIGAS - MODELOS DES-AMENAZA INTERMEDIA - DERIVA 1%				
Parámetro	VG 45x40-DES-ZI-D1-5P-5L	VG 50x50-DES-ZI-D1-5P-7L	VG 50x45-DES-ZI-D1-7P-5L	VG 60x50-DES-ZI-D1-7P-7L
ϕ_y	0.00987	0.00736	0.00855	0.00740
ϕ_u	0.33620	0.24900	0.28380	0.24960
ϕ_u/ϕ_y	34.1	33.8	33.2	33.7
My	114.2	214.7	136.2	286.2
Mu	135.6	265.0	160.5	353.0
Mu/My	1.19	1.23	1.18	1.23



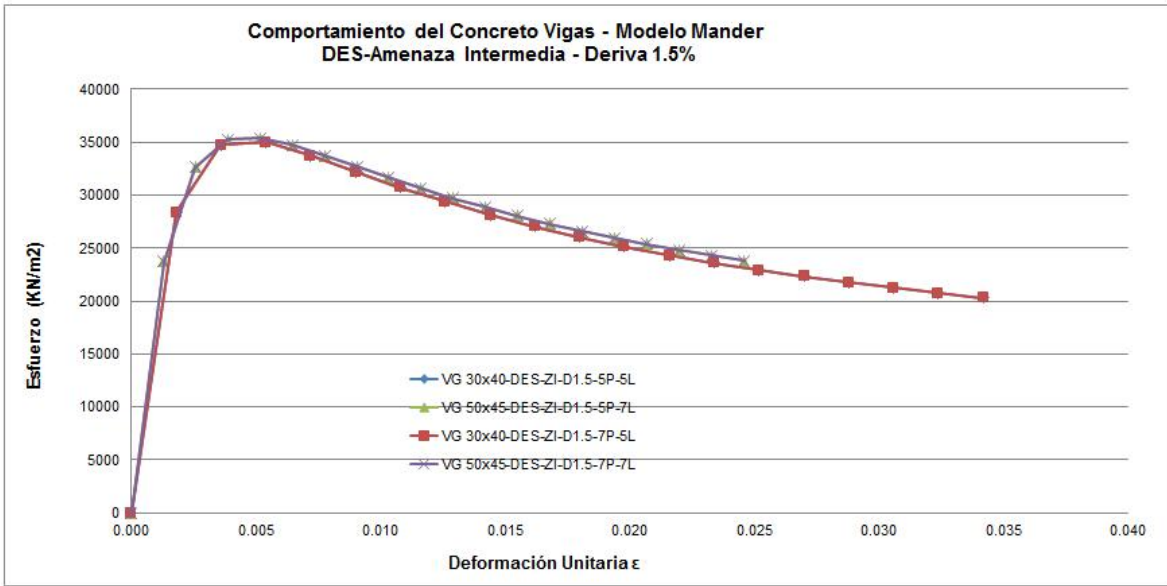
Rótulas Plásticas Vigas - Modelos DES-Amenaza Intermedia - Deriva 1%				
	VG 45x40-DES-ZI-D1-5P-5L	VG 50x50-DES-ZI-D1-5P-7L	VG 50x45-DES-ZI-D1-7P-5L	VG 60x50-DES-ZI-D1-7P-7L
Lp (m)	0.61	0.79	0.61	0.79
ϕ_y	0.0099	0.0074	0.0086	0.0074
Ocupación Inmediata (IO)				
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0082	0.0076	0.0086	0.008
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0135	0.0096	0.0142	0.0101
ϕ_{lim}/ϕ_y	1.37	1.30	1.66	1.36
Preservación de la vida (LS)				
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0165	0.0152	0.0172	0.016
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0273	0.0191	0.0284	0.0201
ϕ_{lim}/ϕ_y	2.76	2.60	3.32	2.72
Prevención del colapso (CP)				
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0232	0.0226	0.0236	0.023
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0383	0.0284	0.0390	0.0289
ϕ_{lim}/ϕ_y	3.88	3.87	4.56	3.91



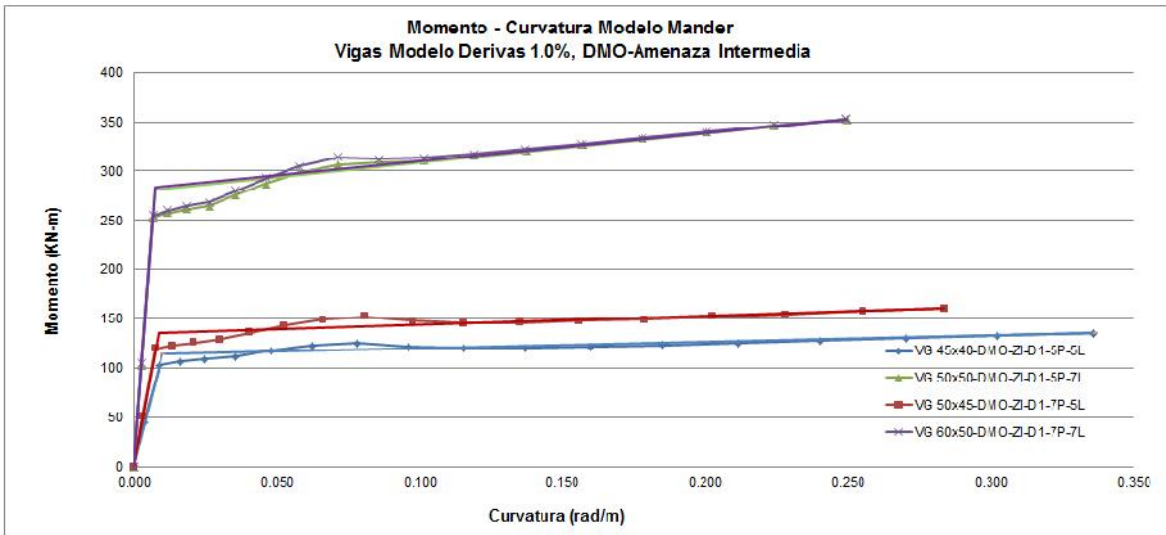
PARÁMETROS CURVAS BILINEALES VIGAS - MODELOS DES- AMENAZA INTERMEDIA - DERIVA 1.5%				
Parámetro	/G 30x40-DES-ZI-D1.5-5P-5L	/G 50x45-DES-ZI-D1.5-5P-7L	/G 30x40-DES-ZI-D1.5-7P-5L	/G 50x45-DES-ZI-D1.5-7P-7L
ϕ_y	0.00945	0.00828	0.00945	0.00822
ϕ_u	0.34120	0.28890	0.34120	0.28750
ϕ_u/ϕ_y	36.1	34.9	36.1	35.0
My	111.1	240.3	111.1	251.1
Mu	142.0	304.7	142.0	320.5
Mu/My	1.28	1.27	1.28	1.28



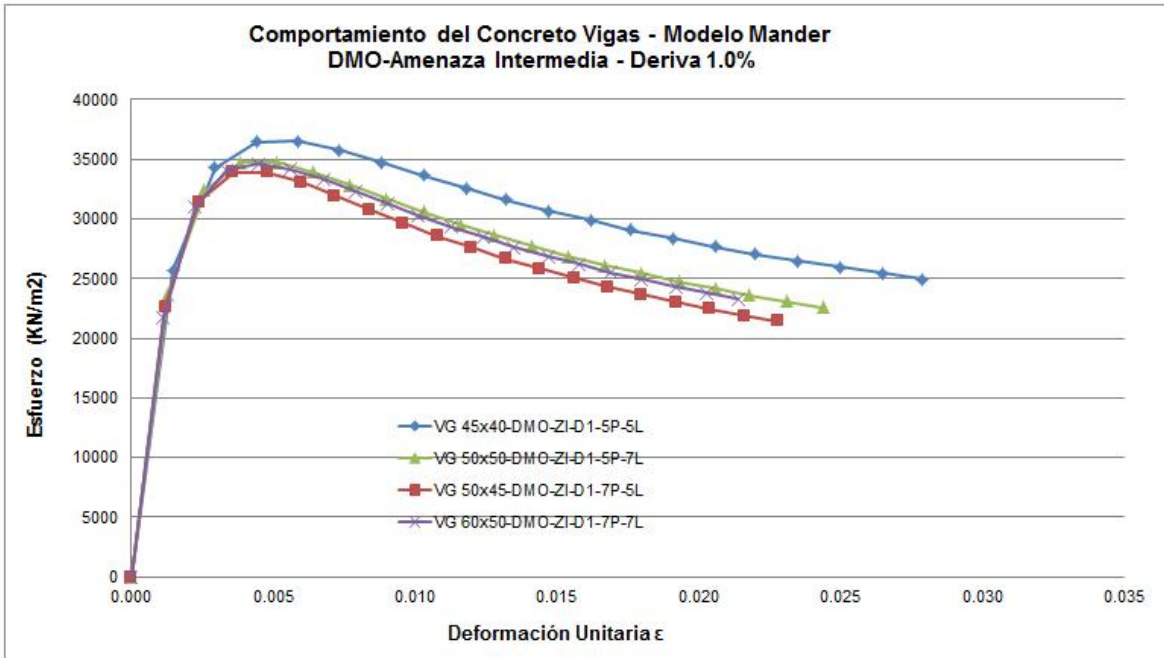
Rótulas Plásticas Vigas - Modelos DES-Amenaza Intermedia - Deriva 1.5%				
	VG 30x40-DES-ZI-D1.5-5P-5L	VG 50x45-DES-ZI-D1.5-5P-7L	VG 30x40-DES-ZI-D1.5-7P-5L	VG 50x45-DES-ZI-D1.5-7P-7L
Lp (m)	0.61	0.79	0.61	0.79
ϕ_y	0.0095	0.0083	0.0095	0.0082
Ocupación Inmediata (IO)				
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0077	0.0073	0.0077	0.0074
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0127	0.0092	0.0127	0.0093
ϕ_{lim}/ϕ_y	1.35	1.11	1.35	1.13
Preservación de la vida (LS)				
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0154	0.0146	0.0154	0.0149
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0254	0.0184	0.0254	0.0187
ϕ_{lim}/ϕ_y	2.69	2.22	2.69	2.28
Prevención del colapso (CP)				
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0227	0.0223	0.0227	0.0224
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0375	0.0281	0.0375	0.0282
ϕ_{lim}/ϕ_y	3.97	3.39	3.97	3.43



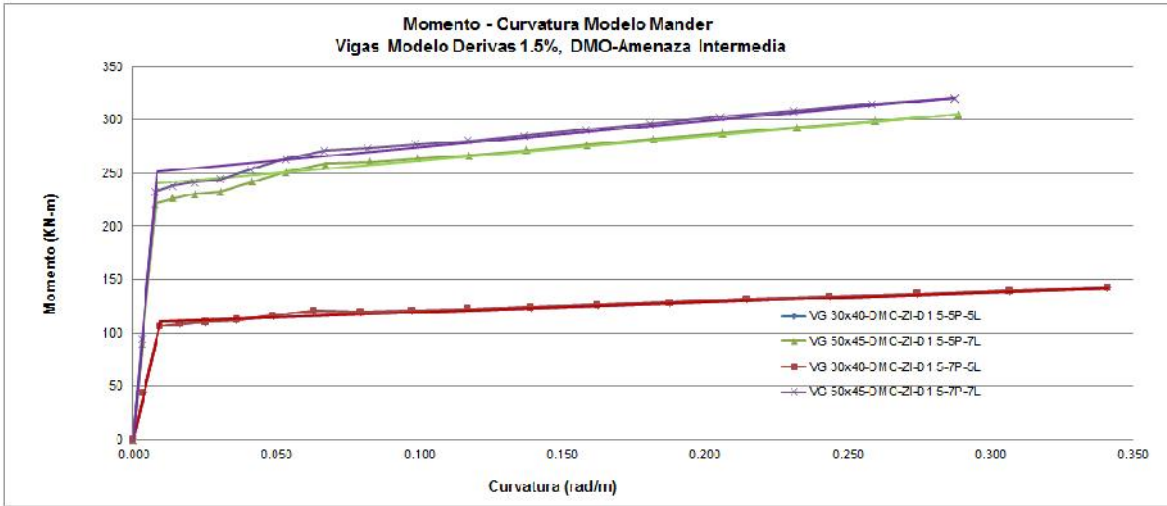
PARÁMETROS CURVAS BILINEALES VIGAS - MODELOS DMO-AMENAZA INTERMEDIA - DERIVA 1%				
Parámetro	VG 45x40-DMO-ZI-D1-5P-5L	VG 50x50-DMO-ZI-D1-5P-7L	VG 50x45-DMO-ZI-D1-7P-5L	VG 60x50-DMO-ZI-D1-7P-7L
ϕ_y	0.00987	0.00734	0.00855	0.00734
ϕ_u	0.33620	0.24950	0.28380	0.24930
ϕ_u/ϕ_y	34.1	34.0	33.2	34.0
M_y	114.2	281.4	136.2	283.8
M_u	135.6	352.6	160.5	353.1
M_u/M_y	1.19	1.25	1.18	1.24



Rótulas Plásticas Vigas - Modelos DMO-Amenaza Intermedia - Deriva 1%				
	VG 45x40-DMO-ZI-D1-5P-5L	VG 50x50-DMO-ZI-D1-5P-7L	VG 50x45-DMO-ZI-D1-7P-5L	VG 60x50-DMO-ZI-D1-7P-7L
L_p (m)	0.61	0.79	0.61	0.79
ϕ_y	0.0099	0.0073	0.0086	0.0073
Ocupación Inmediata (IO)				
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0082	0.0076	0.0086	0.008
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0135	0.0096	0.0142	0.0101
ϕ_{lim}/ϕ_y	1.37	1.30	1.66	1.37
Preservación de la vida (LS)				
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0165	0.0152	0.0172	0.016
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0273	0.0191	0.0284	0.0201
ϕ_{lim}/ϕ_y	2.76	2.61	3.32	2.74
Prevención del colapso (CP)				
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0232	0.0226	0.0236	0.023
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0383	0.0284	0.0390	0.0289
ϕ_{lim}/ϕ_y	3.88	3.88	4.56	3.94



PARÁMETROS CURVAS BILINEALES VIGAS - MODELOS DMO- AMENAZA INTERMEDIA - DERIVA 1.5%				
Parámetro	G 30x40-DMO-ZI-D1.5-5P-5	G 50x45-DMO-ZI-D1.5-5P-7	G 30x40-DMO-ZI-D1.5-7P-5	G 50x45-DMO-ZI-D1.5-7P-7
ϕ_y	0.00945	0.00828	0.00945	0.00822
ϕ_u	0.34120	0.28890	0.34120	0.28750
ϕ_u/ϕ_y	36.1	34.9	36.1	35.0
M_y	111.1	240.3	111.1	251.1
M_u	142.0	304.7	142.0	320.5
M_u/M_y	1.28	1.27	1.28	1.28



Rótulas Plásticas Vigas - Modelos DMO-Amenaza Intermedia - Deriva 1.5%				
	VG 30x40-DMO-ZI-D1.5-5P-5	VG 50x45-DMO-ZI-D1.5-5P-7	VG 30x40-DMO-ZI-D1.5-7P-5	VG 50x45-DMO-ZI-D1.5-7P-7
L_p (m)	0.61	0.79	0.61	0.79
ϕ_y	0.0095	0.0083	0.0095	0.0082
Ocupación Inmediata (IO)				
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0077	0.0073	0.0077	0.0074
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0127	0.0092	0.0127	0.0093
ϕ_{lim}/ϕ_y	1.35	1.11	1.35	1.13
Preservación de la vida (LS)				
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0154	0.0146	0.0154	0.0149
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0254	0.0184	0.0254	0.0187
ϕ_{lim}/ϕ_y	2.69	2.22	2.69	2.28
Prevención del colapso (CP)				
Rot.Lim. θ_{lim}	0.0227	0.0223	0.0227	0.0224
Curv.Lim ϕ_{lim}	0.0375	0.0281	0.0375	0.0282
ϕ_{lim}/ϕ_y	3.97	3.39	3.97	3.43

