



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

**INFLUENCIA DE LA CARGA DE
DISEÑO DE LOS ANCLAJES EN LA
RESPUESTA NO LINEAL DE MARCOS
ARRIOSTRADOS CONCÉNTRICOS -
APLICACIÓN INDUSTRIAL CHILENA**

ANDRÉS VÁSQUEZ PÉREZ

Informe de Actividad de Graduación para optar al Grado de
Magíster en Ingeniería Estructural y Geotécnica

Profesor Supervisor:

MIGUEL MEDALLA RIQUELME

Santiago de Chile, enero, 2022.

Dedicado a mis Padres y a mis
hermanos que sin su apoyo nada de
esto hubiera sido posible.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer en primer lugar a mis padres que hicieron siempre lo posible por darme todas las armas que han podido para esta lucha de la vida, tanto en lo profesional como en lo personal, sin duda me han hecho una mejor persona, los amo mucho y estaré agradecido por tenerlos a mi lado ahora y siempre.

A mis hermanos que desde el fondo de su corazón me han deseado siempre el mejor de los éxitos, me han apoyado y les agradezco infinitamente por eso, los amo también.

A mis amigos que son los que en los momentos difíciles han sabido apoyarme y dar consejos.

A mi familia Chilena, Edith, Felipe, maestro Luis y mis hermanos de la casa, muchas gracias por haberme dado el apoyo y las lindas experiencias de haber vivido en Chile, les mando un fuerte abrazo eterno.

Por último pero no menos importante, agradezco a mi tutor Miguel Medalla quien me ha apoyado incondicionalmente en esta última etapa, me ha brindado un poco de su gran conocimiento y me ha direccionado en mi formación profesional, sin duda alguna un gran ejemplo a seguir, muchas gracias Profesor!

INDICE GENERAL

	Pág.
AGRADECIMIENTOS.....	3
INDICE GENERAL.....	4
INDICE DE TABLAS.....	6
INDICE DE FIGURAS	10
RESUMEN.....	14
ABSTRACT	15
I INTRODUCCIÓN.....	16
I.1 Motivación	16
I.2 Objetivos	16
I.3 Planificación del Trabajo	17
I.4 Antecedentes	17
I.5 Organización de la memoria	19
II DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS.....	20
II.1 Marcos Arriostrados.....	20
II.2 Descripción de los modelos del espacio arquetipo	22
II.3 Cargas de diseño	31
II.4 Combinaciones de carga	34
II.5 Modelación no lineal de los anclajes	35
II.6 Modelación no lineal de los arriostramientos	38
II.7 Amenaza sísmica para análisis de respuesta no lineal	41
II.8 Análisis no lineal dinámico (Tiempo-Historia).....	43
III DISEÑO DE LOS ANCLAJES.....	45
III.1 Diseño de pernos de anclaje.....	45
III.2 Cálculo de longitud de pernos.....	47
III.3 Cálculo de las curvas esfuerzo-deformación.....	53
IV ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	57
IV.1 Deformación de los pernos de anclajes	57
IV.2 Fuerzas en las diagonales	65

IV.3	Deformación de las diagonales	79
IV.4	Criterios de aceptación según ASCE 41-17	92
V	CONCLUSIONES.....	97
V.1	Deformación por tracción en los pernos.	97
V.2	Fuerzas en las diagonales (capacidad a tracción).....	98
V.3	Fuerzas en las diagonales (capacidad a compresión).....	99
V.4	Deformación en las diagonales por tracción	99
V.5	Deformación por compresión en las diagonales	100
V.6	Criterios de aceptación.....	101
BIBLIOGRAFIA		102
A N E X O S.....		104
ANEXO A. FACTORES DE ESCALAMIENTO		105

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros sísmicos	33
Tabla 2. Dimensión y número de pernos necesarios para cada modelo escogido utilizando un factor de Reducción igual a 5	45
Tabla 3. Dimensión y número de pernos necesarios para cada modelo escogido utilizando un factor de Reducción igual a 3.5	46
Tabla 4. Dimensión y número de pernos necesarios para cada modelo escogido utilizando un factor de Reducción igual a 2.5	46
Tabla 5. Dimensiones de placas de anclaje en pedestales	48
Tabla 6. Relación de L/B, momentos en x e y. [Capacitaciones Ara Worley Parson, C. Peña 2012].....	49
Tabla 7. Relación B/L y factores Gamma. [Capacitaciones Ara Worley Parson, C. Peña 2012]	50
Tabla 8. Tabla de dimensiones de placa base para caso $R = 5$	51
Tabla 9. Tabla de dimensiones de placa base para caso $0.7R = 3.5$	52
Tabla 10. Tabla de dimensiones de placa base para caso $0.5R = 2.5$	52
Tabla 11. Valores para la curva monotonica del modelo 7	53
Tabla 12. Deformación de pernos, MCE $R = 5$	58
Tabla 13. Deformación de pernos, MCE $0.7R = 3.5$	59
Tabla 14. Deformación de pernos, MCE $0.5R = 2.5$	60
Tabla 15. Deformación de pernos, DLE $R = 5$	61
Tabla 16. Deformación de pernos, DLE $0.7R = 3.5$	62
Tabla 17. Deformación de pernos, DLE $0.5R = 2.5$	63

Tabla 18. Fuerzas a tracción en las diagonales caso MCE $R = 5$	66
Tabla 19. Fuerzas a tracción en las diagonales caso MCE $0.7R = 3.5$	67
Tabla 20. Fuerzas a tracción en las diagonales caso MCE $0.5R = 2.5$	68
Tabla 21. Fuerzas a tracción en las diagonales caso DLE $R = 5$	69
Tabla 22. Fuerzas a tracción en las diagonales caso DLE $0.7R = 3.5$	70
Tabla 23. Fuerzas a tracción en las diagonales caso DLE $0.5R = 2.5$	71
Tabla 24. Fuerzas de compresión en diagonales, MCE $R = 5$	73
Tabla 25. Fuerzas de compresión en diagonales, MCE $0.7R = 3.5$	74
Tabla 26. Fuerzas de compresión en diagonales, MCE $0.5R = 2.5$	75
Tabla 27. Fuerzas de compresión en diagonales, DLE $R = 5$	76
Tabla 28. Fuerzas de compresión en diagonales, DLE $0.7R = 3.5$	77
Tabla 29. Fuerzas de compresión en diagonales, DLE $0.5R = 2.5$	78
Tabla 30. Deformación de diagonales a tracción, MCE $R = 5$	80
Tabla 31. Deformación de diagonales a tracción, MCE $0.7R = 3.5$	81
Tabla 32. Deformación de diagonales a tracción, MCE $0.5R = 2.5$	82
Tabla 33. Deformación de diagonales a tracción, DLE $R = 5$	83
Tabla 34. Deformación de diagonales a tracción, DLE $0.7R = 3.5$	84
Tabla 35. Deformación de diagonales a tracción, DLE $0.5R = 2.5$	85
Tabla 36. Deformación de diagonales a compresión, MCE $R = 5$	86
Tabla 37. Deformación de diagonales a compresión, MCE $0.7R = 3.5$	87
Tabla 38. Deformación de diagonales a compresión, MCE $0.5R = 2.5$	88
Tabla 39. Deformación de diagonales a compresión, DLE $R = 5$	89
Tabla 40. Deformación de diagonales a compresión, DLE $0.7R = 3.5$	90
Tabla 41. Deformación de diagonales a compresión, DLE $0.5R = 2.5$	91

Tabla 42. “Parámetros de modelación y criterios de aceptación para procedimientos no lineales – Componentes de Acero Estructural – Acciones axiales” (Tabla 9.8 ASCE 41-17)	92
Tabla 43. Criterio de aceptación por deformación a fluencia de las diagonales, MCE $R = 5$	93
Tabla 44. Criterio de aceptación por deformación a fluencia de las diagonales, MCE $0.7R = 3.5$	93
Tabla 45. Criterio de aceptación por deformación a fluencia de las diagonales, MCE $0.5R = 2.5$	93
Tabla 46. Criterio de aceptación por deformación a fluencia de las diagonales, DLE $R = 5$	94
Tabla 47. Criterio de aceptación por deformación a fluencia de las diagonales, DLE $0.7R = 3.5$	94
Tabla 48. Criterio de aceptación por deformación a fluencia de las diagonales, DLE $0.5R = 2.5$	94
Tabla 49. Criterio de aceptación por deformación de pandeo de las diagonales, MCE $R = 5$	95
Tabla 50. Criterio de aceptación por deformación de pandeo de las diagonales, MCE $0.7R = 3.5$	95
Tabla 51. Criterio de aceptación por deformación de pandeo de las diagonales, MCE $0.5R = 2.5$	95
Tabla 52. Criterio de aceptación por deformación de pandeo de las diagonales, DLE $R = 5$	96

Tabla 53. Criterio de aceptación por deformación de pandeo de las diagonales, DLE $0.7R = 3.5$	96
Tabla 54. Criterio de aceptación por deformación de pandeo de las diagonales, DLE $0.5R = 2.5$	96

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. End Length Offsets asignados a elemento diagonal	21
Figura 2. Vista en planta, nivel típico.....	23
Figura 3. Vista en planta, último nivel	23
Figura 4. Modelo 1- Marco con periodo de 0.1 seg	24
Figura 5. Modelo 4- Marco con periodo de 0.25 seg	24
Figura 6. Modelo 6 - Marco con periodo de 0.35 seg	25
Figura 7. Modelo 7 - Marco con periodo de 0.41 seg	25
Figura 8. Modelo 10 - Marco con periodo de 0.55 seg	26
Figura 9. Modelo 12 - Marco con periodo de 0.67 seg	27
Figura 10. Modelo 13 - Marco con periodo de 0.72 seg	28
Figura 11. Modelo 16 - Marco con periodo de 0.85 seg	29
Figura 12. Modelo 18 - Marco con periodo de 0.95 seg	30
Figura 13. Carga de equipo (D_{eq}) aplicada [KN/m]	31
Figura 14. Carga de plataforma D_{pl} aplicada [KN/m]	32
Figura 15. Carga de grating (D_{grt}) aplicada [KN/m].....	32
Figura 16. Carga viva aplicada [KN/m y KN].....	33
Figura 17. Espectros de diseño $R=5$, $R=3.5$ y $R=2.5$	34
Figura 18. Curva envolvente fuerza axial [P] - deformación axial para pernos de anclaje [d]	36
Figura 19. Curva histerética cinemática de pernos de anclaje.....	37

Figura 20. Curva monótonica paramétrica fuerza-deformación para arriostramientos verticales. [J. Alvarez, Cáceres, Venegas, Tesis ‘Análisis de los mecanismos de disipación de energía sísmica en estructuras industriales de acero de marcos arriostrados’].....	38
Figura 21. Curva histerética para el modelo de pivote.....	40
Figura 22. Comparación espectro de diseño, reducido y amenaza probabilística.....	43
Figura 23. Diseño convencional de placa base con silla.....	47
Figura 24. Esquema referencial para bordes de una placa. [Capacitaciones Ara Worley Parson, C. Peña 2012]	49
Figura 25 Esquema referencial para momentos en una placa. [Capacitaciones Ara Worley Parson, C. Peña 2012]	50
Figura 26. Curva monótonica del modelo 7.....	54
Figura 27. Parámetros de elementos tipo Link en software para pernos de anclaje [Tonf y cm]	54
Figura 28. Parámetros de elemento tipo Link en software para arriostramientos [Tonf y cm]	55
Figura 29. Elementos link para anclaje y arriostramiento.....	56
Figura 30. Elongación de pernos de anclaje, caso MCE $R=5$	58
Figura 31. Elongación de pernos de anclaje, caso MCE $0.7R = 3.5$	59
Figura 32. Elongación de pernos de anclaje, caso MCE $0.5R = 2.5$	60
Figura 33. Elongación de pernos de anclaje, caso DLE $R=5$	61
Figura 34. Elongación de pernos de anclaje, caso DLE $0.7R = 3.5$	62
Figura 35. Elongación de pernos de anclaje, caso DLE $0.5R = 5$	63
Figura 36. Comparación de la deformación mediana del perno de anclaje DLE vs MCE...	64
Figura 37. Deformación de perno de anclaje para los tres casos MCE.....	64

Figura 38. Deformación de pernos de anclaje para los tres casos DLE	65
Figura 39. Fuerzas a tracción normalizadas en diagonales. Caso MCE $R=5$	66
Figura 40. Fuerzas a tracción normalizadas en diagonales. Caso MCE $0.7R=3.5$	67
Figura 41. Fuerzas a tracción normalizadas en diagonales. Caso MCE $0.5R=2.5$	68
Figura 42. Fuerzas a tracción normalizadas en diagonales. Caso DLE $R=5$	69
Figura 43. Fuerzas a tracción normalizadas en diagonales. Caso DLE $0.7R=3.5$	70
Figura 44. Fuerzas a tracción normalizadas en diagonales. Caso DLE $0.5R=2.5$	71
Figura 45. Fuerzas normalizadas a compresión en diagonales, MCE $R = 5$	73
Figura 46. Fuerzas normalizadas a compresión en diagonales, MCE $0.7R = 3.5$	74
Figura 47. Fuerzas normalizadas a compresión en diagonales, MCE $0.5R = 2.5$	75
Figura 48. Fuerzas normalizadas a compresión en diagonales, DLE $R = 5$	76
Figura 49. Fuerzas normalizadas a compresión en diagonales, DLE $0.7R = 3.5$	77
Figura 50. Fuerzas normalizadas a compresión en diagonales, DLE $0.5R = 2.5$	78
Figura 51. Deformación en porcentaje de diagonales en tracción, MCE $R = 5$	80
Figura 52. Deformación en porcentaje de diagonales en tracción, MCE $0.7R = 3.5$	81
Figura 53. Deformación en porcentaje de diagonales en tracción, MCE $0.5R = 2.5$	82
Figura 54. Deformación en porcentaje de diagonales en tracción, DLE $R = 5$	83
Figura 55. Deformación en porcentaje de diagonales en tracción, DLE $0.7R = 3.5$	84
Figura 56. Deformación en porcentaje de diagonales en tracción, DLE $0.5R = 2.5$	85
Figura 57. Deformación de las diagonales (en porcentaje) por compresión, caso MCE $R = 5$	86
Figura 58. Deformación de las diagonales (en porcentaje) por compresión, caso MCE $0.7R = 3.5$	87

Figura 59. Deformación de las diagonales (en porcentaje) por compresión, caso MCE 0.5R =2.5	88
Figura 60. Deformación de las diagonales (en porcentaje) por compresión, caso DLE R =5	89
Figura 61. Deformación de las diagonales (en porcentaje) por compresión, caso DLE 0.7R =3.5	90
Figura 62. Deformación de las diagonales (en porcentaje) por compresión, caso DLE 0.5R =2.5	91

RESUMEN

Este documento demuestra a través de un análisis de sensibilidad como cambia el comportamiento inelástico de los pernos de anclajes en estructuras de acero (aplicados a la industria chilena) que tengan una configuración de porticos arriostrados concentricamente.

Este análisis de comportamiento del perno de anclaje se lo realizó a través de una modificación en las cargas de diseño cambiando el factor de reducción R que tiene por definición un valor igual a $R=5$ (para cargas reducidas) a una reducción de $R=3.5$ y $R=2.5$ para un análisis que tiene como criterio encontrar nuevos valores de diseño distintos a los propuestos en la nueva norma PrNCh2369.

En este análisis se observó que a medida que se diseña con más fuerza el anclaje este tiene menos disipación de energía y la demanda se redirecciona hacia las diagonales. Sin embargo, este aumento de demanda en las diagonales no se transformó en una condición no aceptable de acuerdo a ASCE41-17 ya que al estar dentro de un criterio de aceptación de IO (ocupación inmediata) o LS (Life Safety) la estructura mantiene la filosofía de la NCh2369 de una “continuidad de operación” en casi todos los casos.

ABSTRACT

This paper demonstrates through a sensitivity analysis how the inelastic behavior of anchor bolts changes in steel structures (applied to the Chilean industry) having a concentrically braced frames configuration.

This analysis of anchor bolt behavior was carried out through a modification in the design loads by changing the reduction factor R that has by definition a value equal to $R=5$ (for reduced loads) to a reduction of $R=3.5$ and $R=2.5$ for an analysis that has as a criterion to find new design values different from those proposed in the new standard PrNCh2369.

In this analysis it was observed that as the anchorage is designed with more strength it has less energy dissipation and the demand is redirected towards the diagonals. However, this increased demand on the diagonals did not become an unacceptable condition according to ASCE41-17 since being within an acceptance criterion of IO (immediate occupancy) or LS (Life Safety) the structure maintains the NCh2369 philosophy of a "continuity of operation" in almost all cases.

I INTRODUCCIÓN

I.1 Motivación

En Chile, en un diseño convencional de tipo industrial, el comportamiento inelástico de los anclajes en bases de columnas de estructuras industriales de acero es considerado como uno de los principales elementos que disipan las fuerzas de energía ante eventos sísmicos severos. Sin embargo, a la fecha no hay una validación formal que cuantifique el aporte de ductilidad o disipación de estos fusibles (anclajes) ni tampoco el nivel de daños esperado en ellos, por lo que el presente documento trata de dar una mayor validación a través de un análisis de sensibilidad a distintos modelos de estructuras para ver cómo se modifica (o cómo cambia) la respuesta de la base de la columna en la medida que se cambia las fuerzas de diseño de los anclajes.

I.2 Objetivos

I.2.1 Objetivo General

Observar a través de un análisis de sensibilidad el impacto que tiene el diseño de los anclajes y su efecto de disipación de energía a distintas variaciones de solicitaciones de fuerzas para estructuras representativas de sistemas industriales de acero.

I.2.2 Objetivos Específicos

- Diseñar los anclajes por cargas reducidas, cargas modificadas a $0.7R$ y cargas modificadas a $0.5R$
- Realizar un análisis no lineal de los elementos.
- Estudiar la variación de elongación de los pernos de anclaje y de las fuerzas en las diagonales.

I.3 Planificación del Trabajo

- Descripción de las estructuras.
- Descripción de los registros.
- Análisis estructural lineal
- Análisis estructural No lineal
- Análisis de resultados
- Conclusiones

I.4 Antecedentes

El desarrollo principal de este tema de tesis es realizado en base a los documentos de tesis publicados por Caceres P., Alvarez J. y Venegas F. de la Universidad de Concepción que tienen como tema “*Análisis de los mecanismos de Disipación de Energía Sísmica en Estructuras Industriales de Acero de Marcos Arriostrados diseñadas mediante el Anteproyecto de Norma NCh2369 para Estructuras Rígidas, Semirrígidas y Flexibles*”, donde analizaron 18 modelos entre periodos de 0.1 a 0.9 segundos.

En estos documentos se definen dos escenarios de demanda sísmica:

- DLE (Nivel de Diseño)
- MCE (Máximo sismo considerado)

Dentro de las tesis (para las primeras modelaciones) se realizaron los análisis sólo con propiedades no lineales a los anclajes donde observaron que la mayoría de los arriostramientos incursionaban en un rango no lineal, tanto para DLE y MCE. Esto contrastaba bruscamente con la hipótesis considerada como dogma en la práctica ingenieril chilena, donde se esperaba que la estructura se mantenga predominantemente lineal gracias al anclaje. Lo anterior indicó que los arriostramientos también debían ser modelados

considerando comportamiento no lineal, agregando una nueva fuente de disipación de energía histerética a la estructura.

Esto le dió validez a la disposición de diseñar la viga puntal entre arriostramientos para un desbalance plástico considerando capacidades esperadas en tracción y capacidad residual en compresión de las diagonales sísmicas.

Se indicó que, a nivel de diseño, el anclaje de la estructura es el disipador predominante, mientras que, para el nivel de máximo sismo considerado, los arriostramientos equipararon la disipación del anclaje. Las elongaciones de los pernos de anclaje cumplieron en su totalidad, vale decir, en ningún caso dentro del espacio arquetipo se superó el límite de elongación máxima establecida (20 % de la distancia entre tope de pedestal y tope de silla más 8 veces el diámetro embebido en el hormigón), evitando la ruptura, al igual que cumplieron con los límites de drift de techo según disposiciones de la normativa.

El análisis no lineal permitió demostrar que los pernos de anclaje disiparon de manera considerable la energía sísmica impuesta a las estructuras del espacio arquetipo, no obstante, no aseguró un comportamiento esencialmente lineal de las estructuras, acorde a la hipótesis en la práctica de ingeniería estructural nacional. Esto validó la disposición de considerar capacidad esperada en tracción y residual en compresión para el desbalance plástico de elementos arriostrantes.

Tanto a nivel de diseño (DLE) como a nivel de máximo sismo considerado (MCE), el anclaje mostró una tendencia de elongación muy similar incluso cuando se incluyó la no linealidad de los de arriostramientos en la mayoría de las estructuras del espacio arquetipo, habiendo ciertas excepciones donde se obtuvo poca participación del anclaje a presencia de arriostramientos no lineales.

I.5 Organización de la memoria

En el capítulo II se describen los modelos a ser analizados, dentro de ellos se muestran las cargas de diseño y sus combinaciones, las características de la estructura y sus dimensiones, las propiedades no lineales de los anclajes y arriostramientos, la amenaza sísmica para el análisis de respuesta y la descripción del análisis no lineal dinámico.

En el capítulo III se diseñan los pernos de anclaje para las distintas fuerzas obteniendo un diámetro y un largo acorde a la filosofía de desarrollar su máxima capacidad.

En el capítulo IV se muestran los resultados y las comparaciones que existen entre los modelos sometidos a diferentes cargas de sismo.

Por último, en el capítulo V se desarrollan las conclusiones del análisis.

II DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS

Para nuestro estudio se escogieron 9 de estos 18 modelos que fueron mencionados anteriormente en las tesis estudiadas y que son considerados representativos para cubrir un espectro amplio y suficiente de casos industriales. Los modelos son:

- Modelo 1, Modelo 4, Modelo 6, Modelo 7, Modelo 10, Modelo 12, Modelo 13, Modelo 16 y Modelo 18.

Estas estructuras serán modeladas enteramente con características no lineales, es decir, pernos y diagonales de arriostramiento con incursión inelástica al saber que (gracias al estudio de las tesis mencionadas) efectivamente si existe sensibilidad en los mismos.

II.1 Marcos Arriostrados

Un marco arriostrado corresponde a un sistema estructural con elementos diagonales, que en conjunto con vigas y columnas trabajan preponderadamente por esfuerzo axial, es decir, es un sistema compuesto por columnas conectadas por vigas a nivel de piso y arriostrado verticalmente en forma diagonal. Dentro de los tipos de arriostramiento vertical, se distinguen por un lado los marcos arriostrados concéntricamente (MAC), que corresponden a sistemas arriostrados cuyas diagonales se intersectan en algún punto. Por otro lado, los marcos arriostrados excéntricamente (MAE), se caracterizan porque sus arriostramientos no se conectan en un mismo punto, admitiendo una distancia entre ellos, llamada excentricidad o enlace. En el presente documento se estudia en base a los MAC.

Los pórticos arriostrados concéntricamente en sentido vertical proporcionan caminos de carga que transfieren fuerzas horizontales al nivel del suelo otorgando estabilidad lateral, lo que se traduce en un buen comportamiento sísmico dada la rigidez lateral proporcionada por dicha estructuración. Se debe mencionar también, que los MAC diseñados de acuerdo a la

filosofía industrial chilena se configuran para que la disipación de energía ocurra moderadamente a través de la fluencia por tracción y/o pandeo por compresión en las riostras. Los arriostramientos (o riostras) son elementos estructurales que se disponen de forma diagonal dentro de un marco para resistir cargas laterales, ya que rigidizan o estabilizan la estructura limitando parcialmente las deformaciones de ésta. Las riostras poseen la particularidad de trabajar solo ante cargas axiales, es decir, tracción y compresión. Existen diferentes formas de configurar los arriostramientos dentro de una estructura., las más comunes consisten en diagonales en X, en V, en V invertida, entre otras. Su elección se debe principalmente al uso que tenga el marco según las características de la estructura.

El espacio arquetipo en estudio se estructura en base a marcos arriostrados concéntricos con uno o dos vanos configurados en X, donde los perfiles utilizados, serán principalmente L y XL, según lo requiera el diseño.

Finalmente, en cuanto a la modelación, para el análisis lineal se debe considerar en ambos extremos del elemento cierta distancia que representa la conexión al gusset, elemento que otorga rigidez (cacho rígido). Lo anterior, se representa en el modelo asignando dicha distancia a “*End Length Offsets*” al elemento correspondiente, aplicando para este rango del espacio arquetipo una distancia de 350 mm, equivalente al 6 % de los elementos de arriostramientos, como se muestra en la Figura 1.

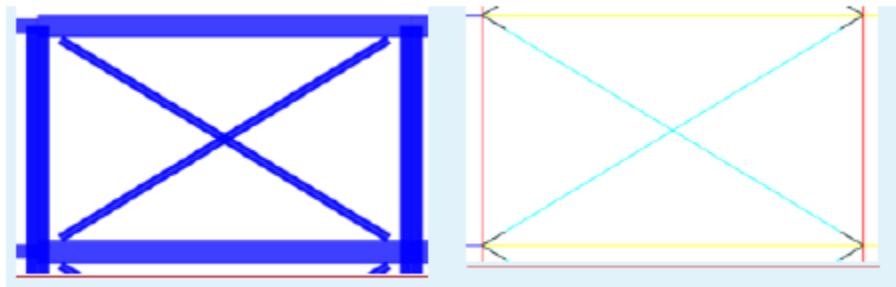


Figura 1. End Length Offsets asignados a elemento diagonal

Se utiliza la herramienta “*Extrude*” en el software, la cual permite visualizar los perfiles utilizados, donde es posible observar las interferencias entre elementos. Entonces a partir de lo mencionado anteriormente se define la distancia de “*End Length Offsets*”, procurando que no exista obstrucción entre la diagonal y la viga.

II.2 Descripción de los modelos del espacio arquetipo

El espacio arquetipo se define como un conjunto de estructuras que se utilizan para estudiar el comportamiento de un sistema estructural. Para efectos de este estudio, los arquetipos están definidos como estructuras uniformes en altura, en dos dimensiones, de cuatro vanos con al menos uno de ellos arriostrado y una altura entre piso regular para todo el sistema.

Dentro de este conjunto de estructuras se presentan marcos rígidos con periodos de 0.1 a 0.35 segundos, marcos semi-rígidos con periodos de 0.40 a 0,65 segundos y marcos flexibles con periodos de 0.7 a 0.95 segundos.

Los arquetipos diseñados en el presente trabajo corresponden a estructuras bidimensionales variables en altura, donde el espaciamiento entre vanos es de cinco metros y la altura de entrepiso es de tres metros para todos los modelos.

Las estructuras representan el marco intermedio de una estructura simétrica y arriostrada en ambos sentidos, en la cual se apoya un equipo en los cuatro vanos centrales del último nivel. La planta típica y planta del último nivel se muestran en la Figura 2 y Figura 3, respectivamente.

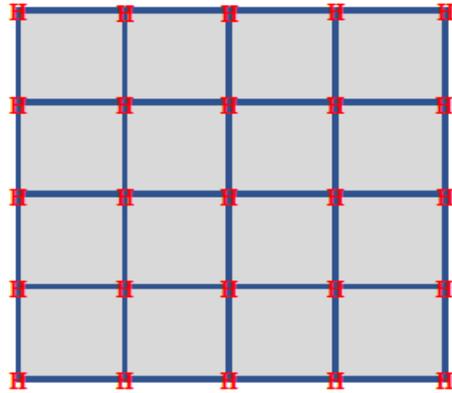


Figura 2. Vista en planta, nivel típico

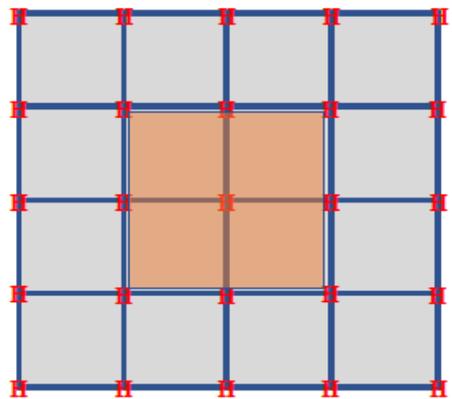


Figura 3. Vista en planta, último nivel

Para la modelación no lineal la estructura se realiza con apoyos articulados en la base, y, donde llegan los arriostramientos el anclaje perno-fundación se modela con dos elementos tipo *Link*; el primer elemento es de tipo *Multilinear Plastic*, representando a los pernos de anclaje traccionados, y para el pedestal en compresión se aplica un elemento tipo *Gap*. Las vigas y arriostramientos se encuentran rotuladas en sus extremos y tienen capacidad para desarrollar cargas axiales de tracción y compresión.

Además, en ambos extremos del marco sísmico estudiado se consideran marcos gravitacionales, el mismo que se representa mediante “*Leaning columns*” con la finalidad de transferir las cargas de dichos marcos gravitacionales al marco sísmico en estudio.

En la modelación de estos marcos gravitacionales, se considera un material rígido sin peso asignado y módulo de elasticidad mil veces mayor al del acero.

Finalmente, para evitar el traspaso de cargas no representativas de la tributación de vigas y columnas se rotula en el punto superior de dicho marco. La calidad de acero utilizada para todos los perfiles es ASTM A36.

A continuación, se indican los nueve modelos estudiados para el análisis, los mismos consideran arriostramientos de tipo no lineal utilizando elementos de tipo multilinear plastic, el desarrollo de estos se encuentra más adelante dentro del apartado II.6.

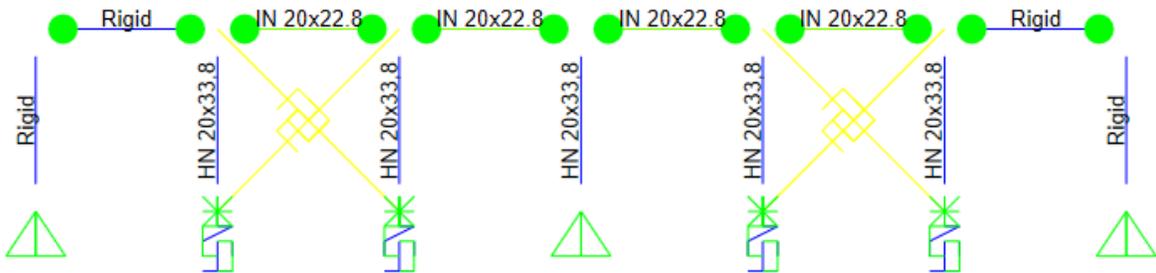


Figura 4. Modelo 1- Marco con periodo de 0.1 seg

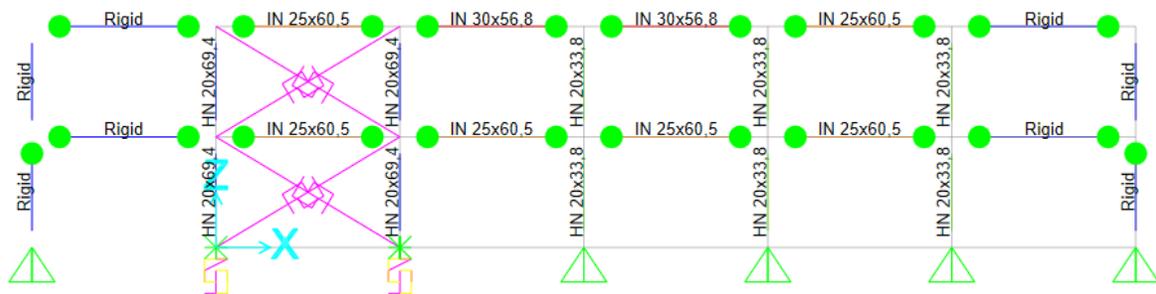


Figura 5. Modelo 4- Marco con periodo de 0.25 seg

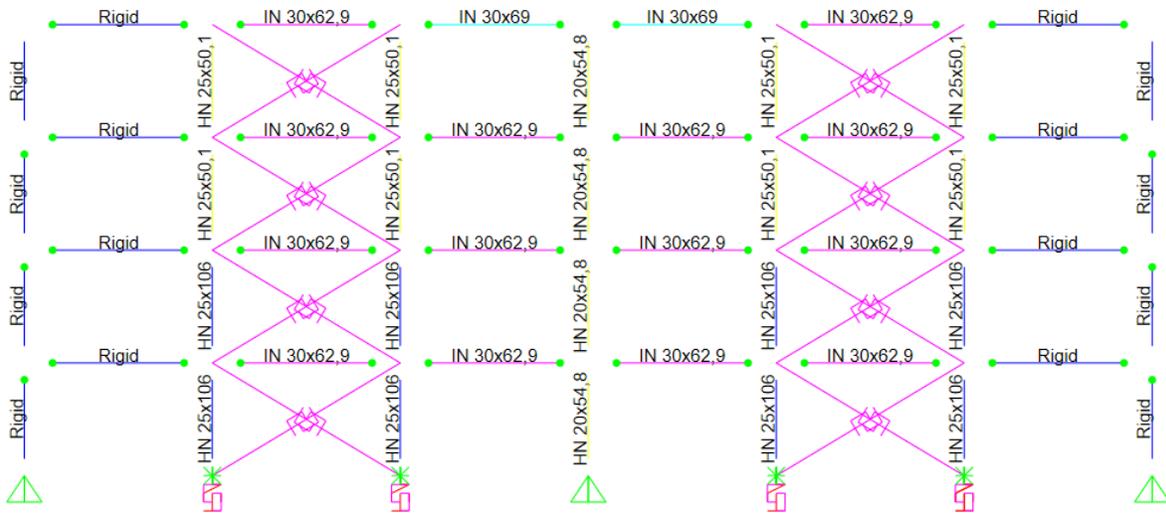


Figura 6. Modelo 6 - Marco con periodo de 0.35 seg

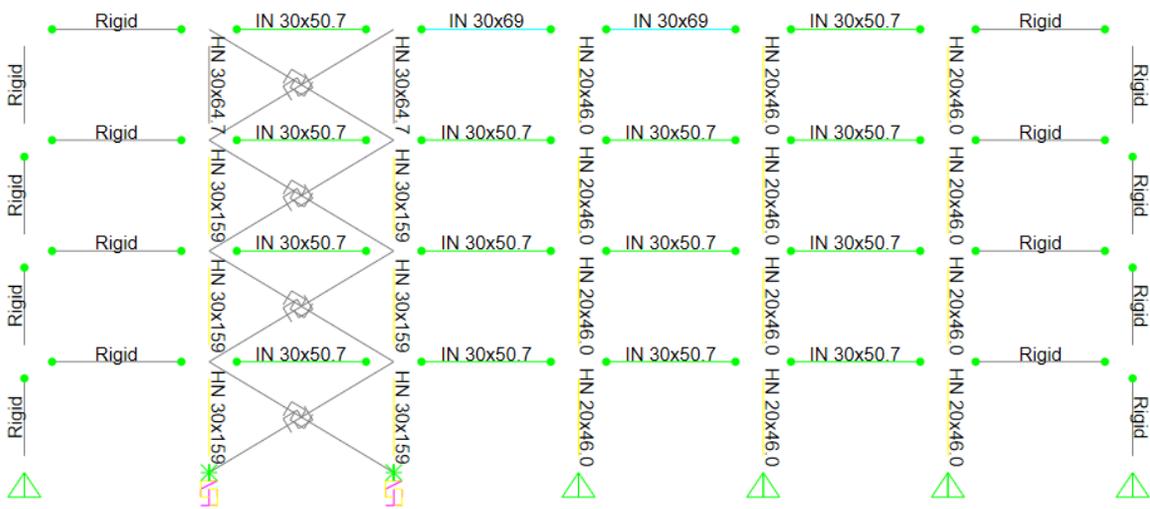


Figura 7. Modelo 7 - Marco con periodo de 0.41 seg

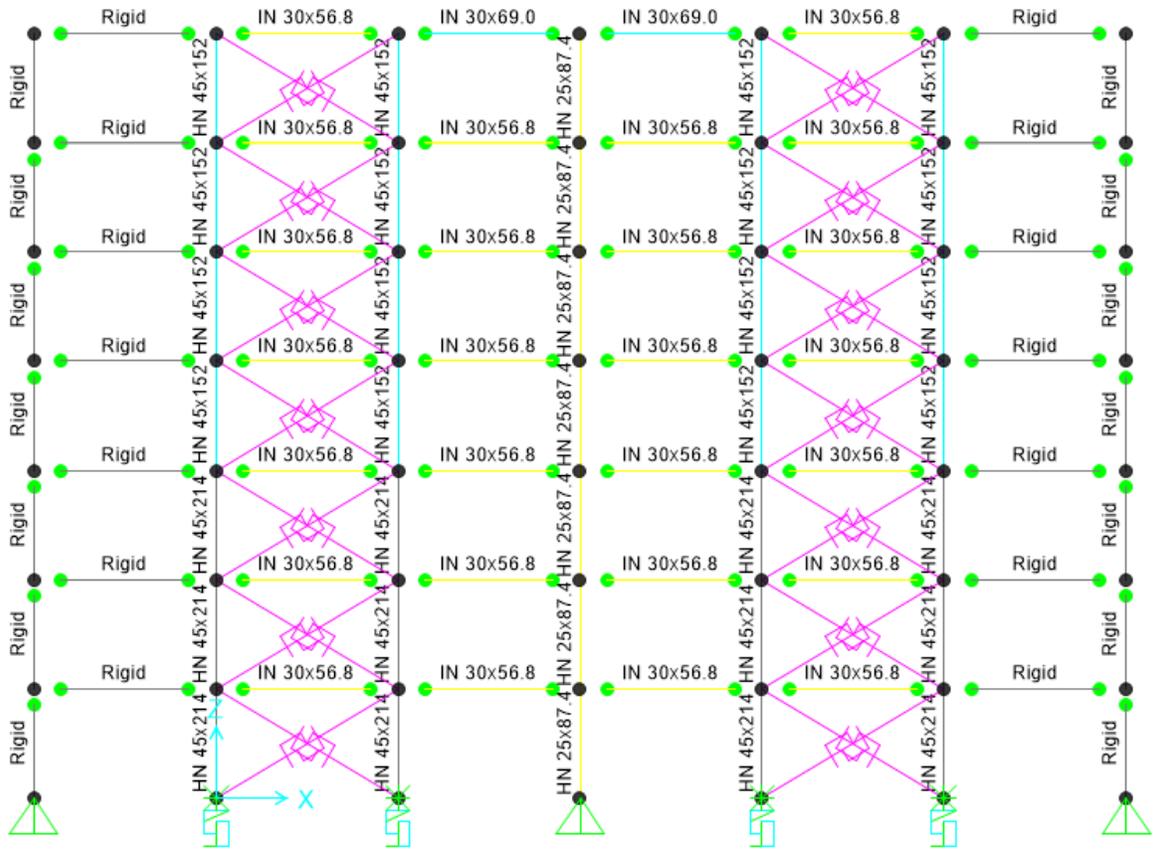


Figura 8. Modelo 10 - Marco con periodo de 0.55 seg

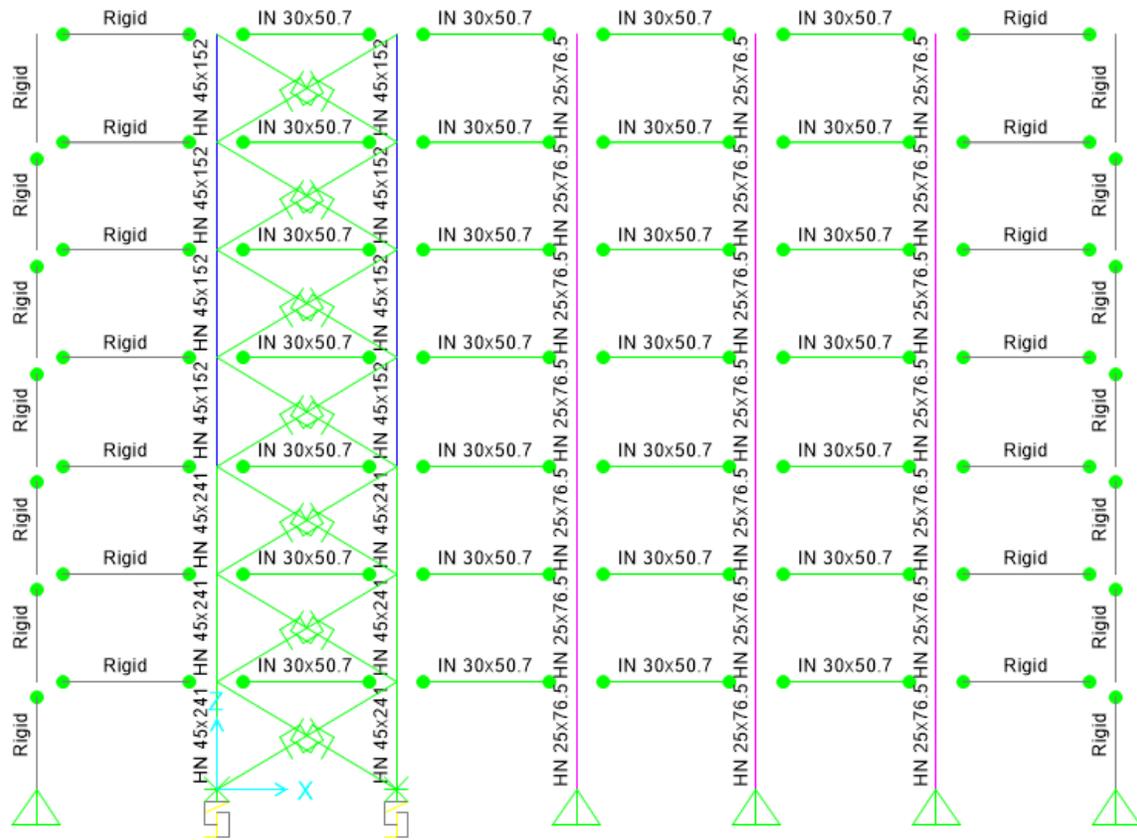


Figura 9. Modelo 12 - Marco con periodo de 0.67 seg



Figura 10. Modelo 13 - Marco con periodo de 0.72 seg

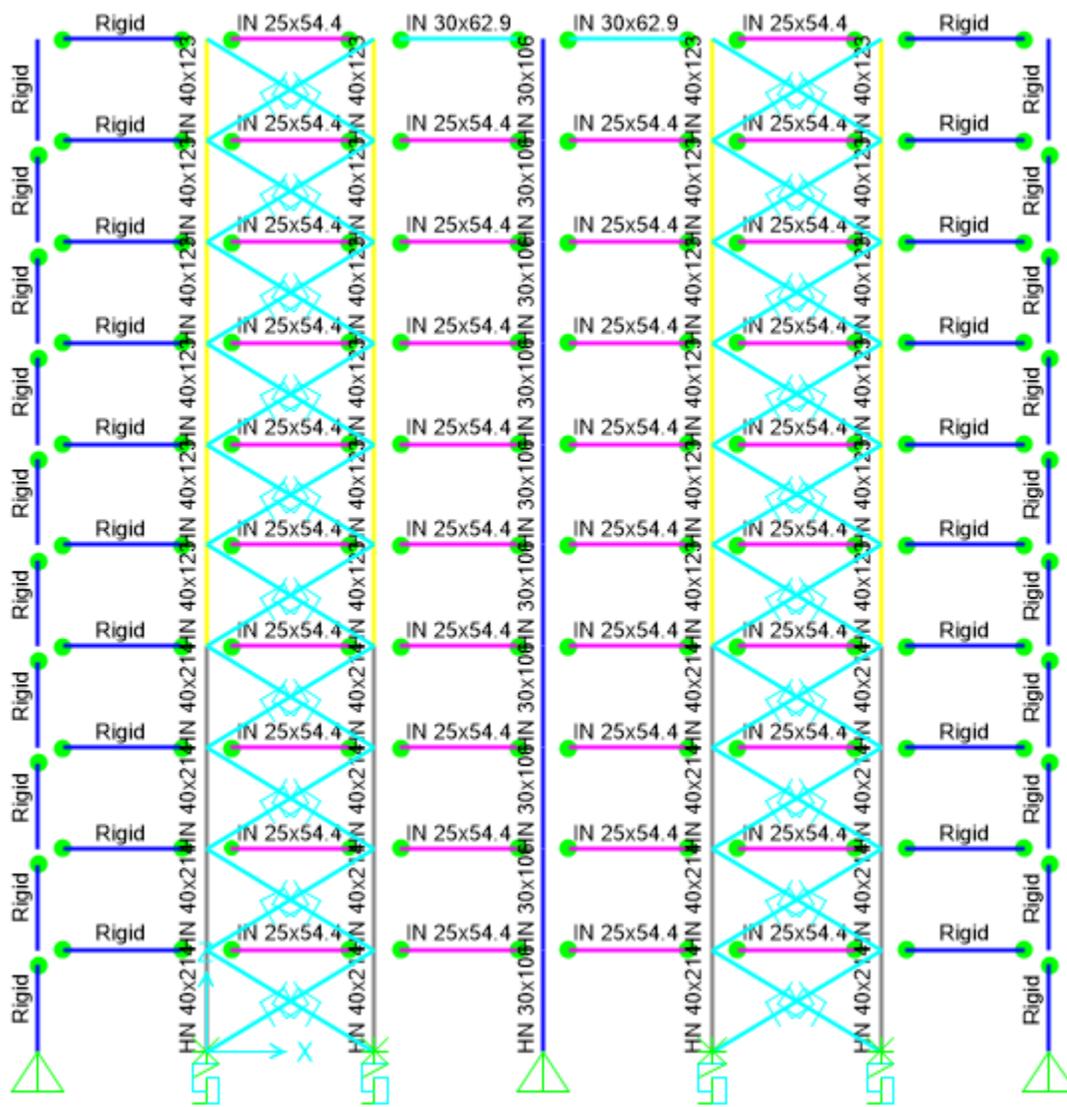


Figura 11. Modelo 16 - Marco con periodo de 0.85 seg



Figura 12. Modelo 18 - Marco con periodo de 0.95 seg

II.3 Cargas de diseño

II.3.1 Cargas Permanentes D

Las cargas muertas corresponden a carga de equipo (D_{eq}), carga de plataforma (D_{pl}) y carga de grating (D_{grt}). El peso propio de los perfiles más las conexiones (20 %) se define como D_{sw} y se calcula internamente por el programa utilizado.

Para la carga de equipo (D_{eq}), los valores utilizados corresponden a 4.91 kN/m^2 (500 kgf/m^2) y 7.36 kN/m^2 (750 kgf/m^2). Para la carga de plataforma (D_{pl}), los valores utilizados corresponden a 0.98 kN/m^2 (100 kgf/m^2) y 1.47 kN/m^2 (150 kgf/m^2). Para la carga de grating (D_{grt}) se consideran 0.49 kN/m^2 (50 kgf/m^2), y no se aplica en los vanos centrales del último piso debido al equipo considerado.

A modo de ejemplo, para el arquetipo 7 ($T = 0.41$ segundos), la carga de equipo aplicada se muestra en la Figura 13, la carga de plataforma se muestra en la Figura 14 y la carga de grating se muestra en la Figura 15.

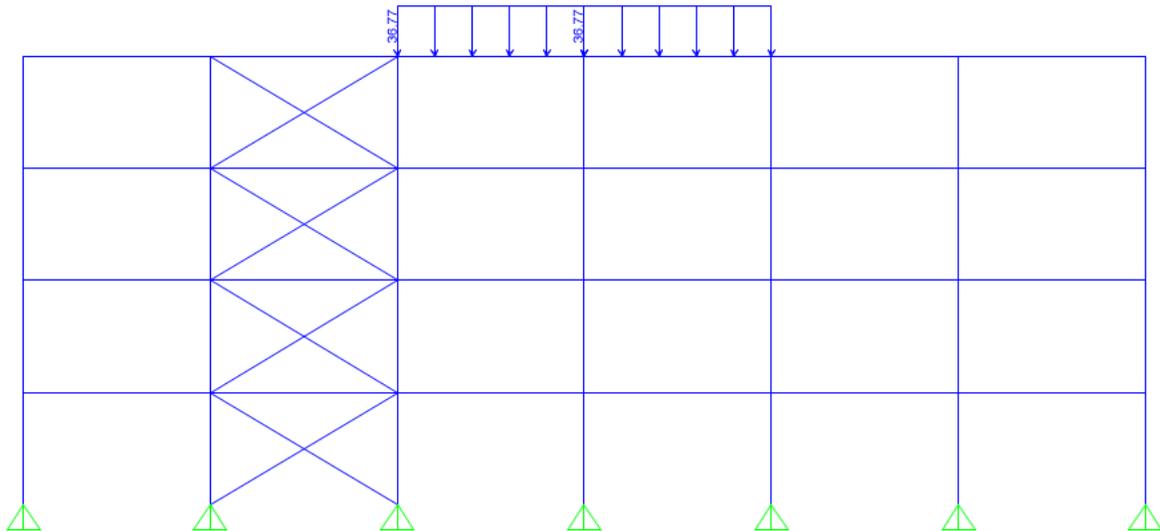


Figura 13. Carga de equipo (D_{eq}) aplicada [kN/m]

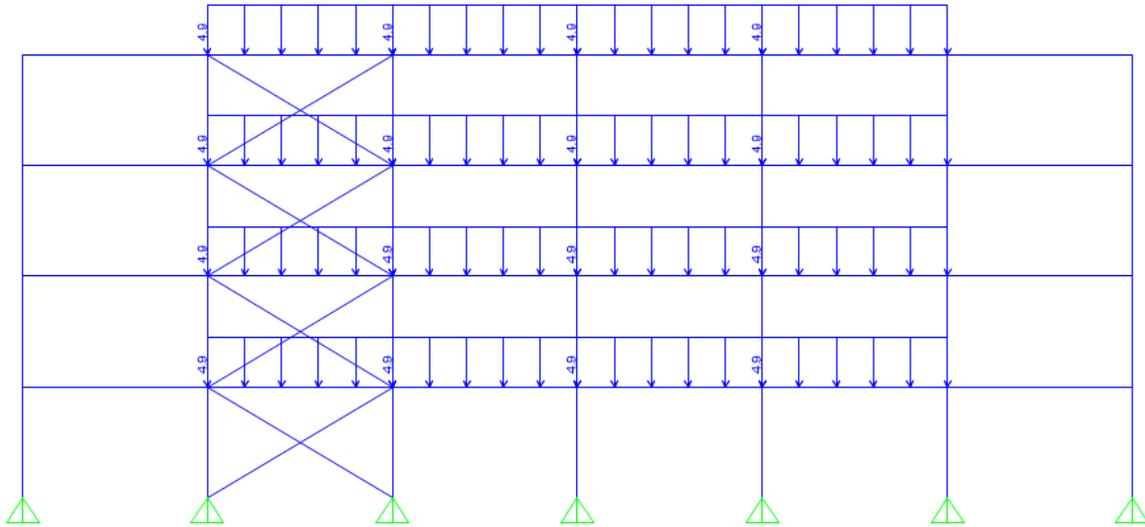


Figura 14. Carga de plataforma D_{pl} aplicada [KN/m]

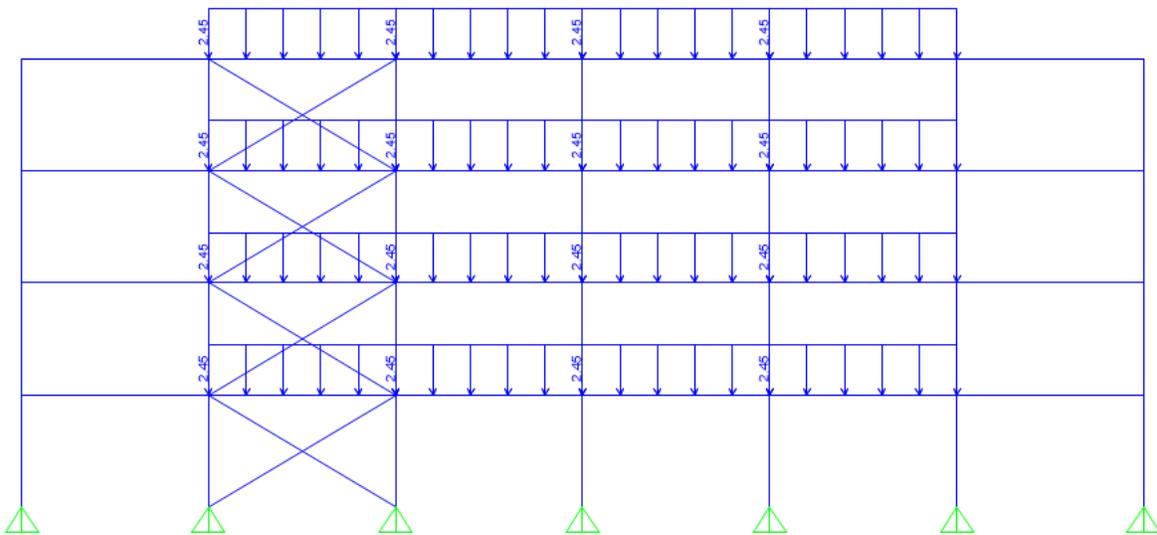


Figura 15. Carga de grating (D_{grt}) aplicada [KN/m]

II.3.2 Carga viva L

Para la carga viva, los valores utilizados corresponden a 3.92 kN/m^2 (400 kgf/m^2) y 4.91 kN/m^2 (500 kgf/m^2), como se muestra en la Figura 16 para el arquetipo 7 ($T = 0.41$ segundos), y no se aplica en el último piso al considerar el equipo.

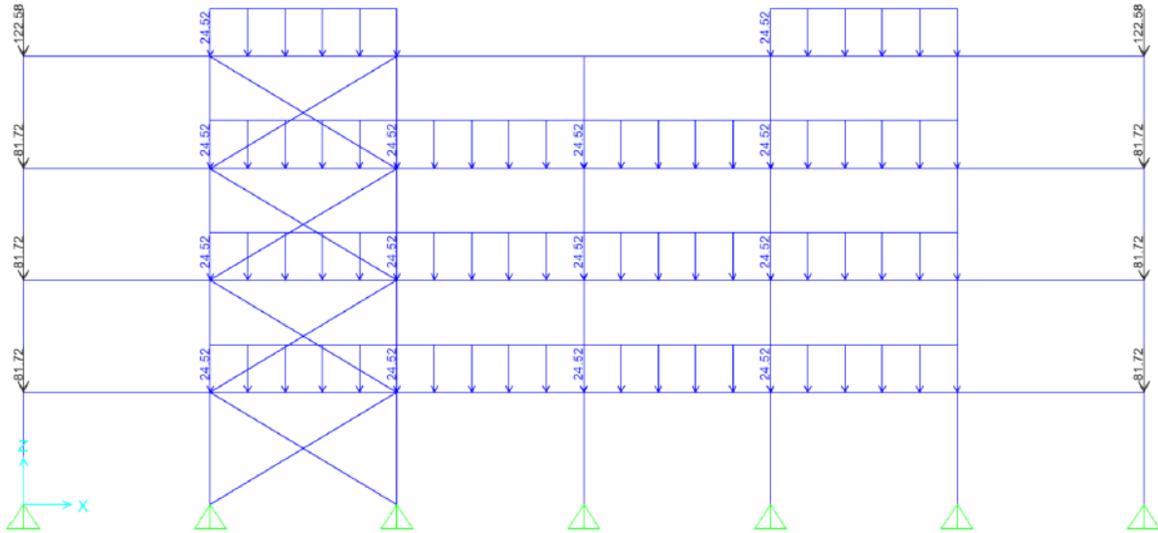


Figura 16. Carga viva aplicada [KN/m y KN]

II.3.3 Carga sísmica

Los parámetros sísmicos se muestran en la Tabla 1. El sismo vertical (E_z) se aplica por medio de un coeficiente estático vertical (C_v) de acuerdo a las disposiciones del anteproyecto prNCh2369 y mostrado en la Ecuación 2.1. El sismo horizontal (E_x o E_y) se ingresa de manera espectral, definido por el mismo documento mencionado y mostrado en la Ecuación 2.2. Se considera un 25 % de la carga viva en la masa sísmica.

Tabla 1. Parámetros sísmicos

Zona sísmica	3
A_o	0.4
Factor de importancia	1
Suelo Tipo	III/C
Amortiguamiento	3%
R	5
Suelo Tipo	1.05
T'	0.45
n	1.4
C_v	0.4956

$$C_v = 1.18 S A_o \quad (2.1)$$

$$S_a = 2.75 S A_o \left(\frac{0.05}{\zeta} \right)^{0.4} \min \left(\frac{1}{R+1}, \frac{\left(\frac{T'}{T} \right)^n}{R} \right) \quad (2.2)$$

Se muestra a continuación los espectros aplicados a los distintos modelos para el diseño:

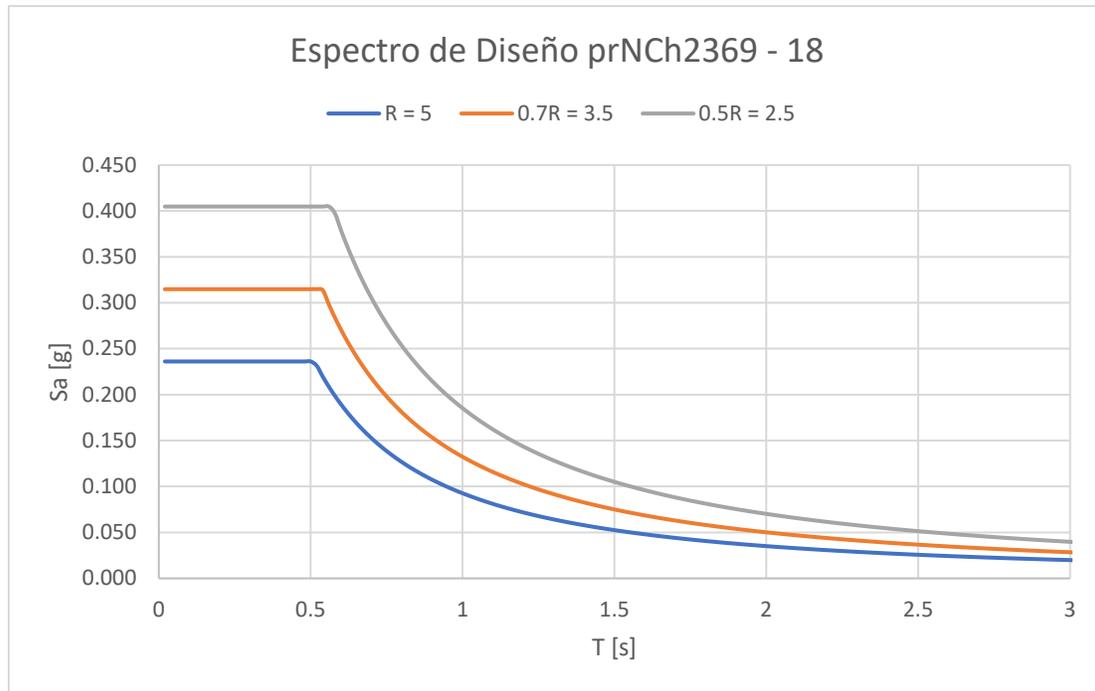


Figura 17. Espectros de diseño R=5, R=3.5 y R=2.5

II.4 Combinaciones de carga

Para el diseño se utiliza el método de factores de carga y resistencia (LRFD), mientras que para las verificaciones de deformaciones laterales y deflexión de vigas se utiliza cargas de servicio. Las combinaciones de carga utilizadas según las disposiciones del anteproyecto prNCh2369 son:

LRFD:

1) 1.2D + 1.6L

2) 1.2D + 0.5L + 1.4E

$$3) 0.9D + 1.4E$$

ASD:

$$1) D + L$$

$$2) D + E$$

$$3) 0.6D + E$$

Donde:

$$D = \text{Carga muerta } (D_{eq} + D_{pl} + D_{grt} + 1.2 D_{sw})$$

$$L = \text{Carga viva}$$

$$E = \pm E_x \pm 0.3E_y \pm 0.6E_z \text{ (Análisis plano, } E_y = 0)$$

II.5 Modelación no lineal de los anclajes

Los pernos de anclaje han presentado plastificación durante eventos de sismos importantes, lo que ha llevado a considerarlos como fusibles sísmicos, según estipula la norma NCh 2369 en su punto C.8.6.

Adoptando una placa de corte (en el mismo punto de la norma), esta última se considera un transmisor del esfuerzo de corte a la fundación como lineal y elástica.

El anclaje de la columna-fundación del vano arriostrado de la estructura se modela mediante elementos fenomenológicos tipo *Link*.

A comparación de las diagonales que incorporan la degradación de rigidez y resistencia de sus elementos a medida que incursiona en ciclos de carga y descarga gracias a una curva fuerza-deformación envolvente y una ley de degradación histerética, el modelo de los pernos no capta la degradación al ser elastoplástico, por lo tanto, no existe lazos de histéresis.

Dado que la conexión de los pernos de anclaje a las sillas adosadas en las columnas es solo por medio de placas golillas, la columna no transmite esfuerzos de compresión en los pernos

de anclaje. Por lo tanto, el anclaje perno-fundación se modela con 2 elementos tipo *Link*. El primer elemento es de tipo *Multilinear Plastic*, representando a los pernos de anclaje traccionados, y para el pedestal en compresión se aplica un elemento tipo *Gap*.

La curva envolvente referente a los pernos de anclaje se puede apreciar en la figura 18. Considerando este comportamiento monótonico en tracción, se utiliza una deformación de rotura de elongación estipulada para el acero ASTM A36, traducido a una deformación de rotura del 20 % de la distancia entre tope de pedestal y tope de silla, más ocho veces su diámetro embebido en el hormigón.

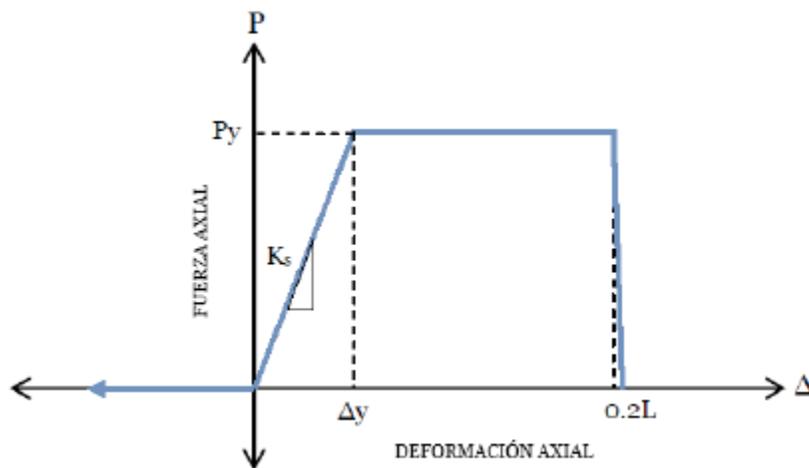


Figura 18. Curva envolvente fuerza axial [P] - deformación axial para pernos de anclaje [d]

Donde los parámetros son:

$P_y =$ Fuerza esperada de fluencia en pernos de anclaje, $P_y = F_{ye} A_s$

$F_{ye} =$ Tensión de fluencia esperada para el acero, $F_{ye} = F_y R_y$

$F_y =$ Tensión específica del acero, $F_y = 248 \text{ MPa}$ para acero calidad ASTM A36

$R_y =$ Razón entre fluencia esperada y fluencia especificada F_y , $R_y = 1.5$ para barras de acero calidad ASTM A36 según Tabla I-6-1 AISC 341-10

$A_s =$ Área bruta de la sección total de pernos de anclaje

$E_s =$ módulo de elasticidad del acero, $E_s = 200000 \text{ MPa}$ según AISC 360-10

$K_{se} =$ Rigidez axial de los pernos, $K = E_s A_s / L$

L = Largo libre de pernos de anclaje entre tope del pedestal y tope de la placa de apoyo de la silla más 8 veces el diámetro embebido en el hormigón.

Δ_y = Deformación de fluencia, $\Delta_y = P_y/K$

La curva envolvente se modela con una rigidez muy baja en compresión de manera que los pernos transmitan la carga rápidamente al pedestal, el cual se modela con comportamiento lineal y elástico. Teniendo en cuenta lo previamente mencionado, con el fin de evitar fluctuación numérica, se considera un mayor valor de rigidez del pedestal con un orden magnitud mayor a la rigidez de las columnas.

Es importante mencionar que en el software utilizado se considera una rigidez alta de los pernos de anclaje para los análisis lineales, con el fin que representen apoyos fijos. Por otra parte, al pedestal tipo Gap se le asigna rigidez solo para análisis no lineales, cuyo valor corresponde a 9810000 kN/m (10000 Tonf/cm), como valor máximo permisible en el software con el fin evitar inestabilidades numéricas.

Finalmente, dado el comportamiento de los pernos de anclaje que sólo trabajan en tracción, se define un modelo con curva histerética del tipo cinemática, como se muestra en la Figura 19, el cual está incorporado en el software utilizado para elementos tipo Link.

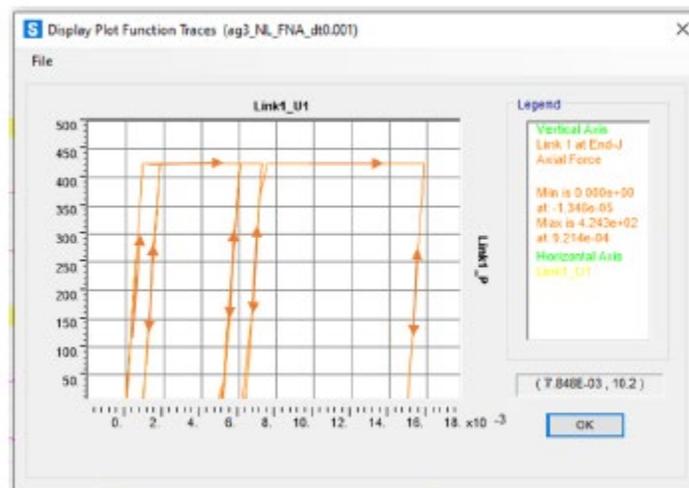


Figura 19. Curva histerética cinemática de pernos de anclaje

II.6 Modelación no lineal de los arriostramientos

Los arriostramientos verticales se modelan utilizando elementos tipo *Link Multilinear Plastic*. Para estos elementos se define la respuesta por medio de la curva envolvente fuerza-deformación y una ley de degradación histerética de la rigidez. Lo anterior, permite incorporar la degradación de resistencia y rigidez a medida que el elemento incursiona en ciclos de carga-descarga.

Por un lado, en el tramo en tracción de dicha envolvente post plastificación se presenta primeramente degradación de resistencia, y luego fractura. Por otro lado, en compresión, se considera que la rigidez se mantiene lineal y elástica alcanzando la capacidad nominal de pandeo, definida según lo especificado en el Capítulo E de AISC 360-10, mientras que la transición desde carga de pandeo a residual se modela como un decaimiento exponencial (Black *et al.*, 1980).

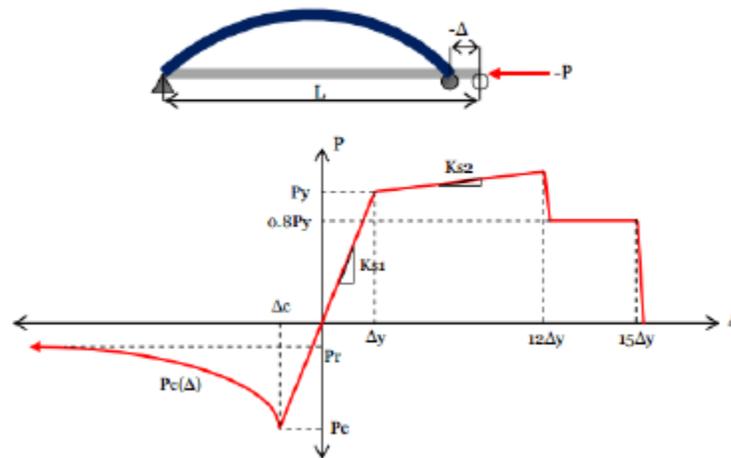


Figura 20. Curva monotónica paramétrica fuerza-deformación para arriostramientos verticales. [J. Alvarez, Cáceres, Venegas, Tesis ‘Análisis de los mecanismos de disipación de energía sísmica en estructuras industriales de acero de marcos arriostrados’]

Donde:

$P_c(\Delta)$ = Fuerza post pandeo, donde n se obtiene de la calibración de los modelos no lineales, n = 1.4, 1.1 y 0.75 para secciones H, TL o XL y Cajón, respectivamente.

$$P_c(\Delta) = \min \left(P_r, P_c \left[\frac{\Delta_c}{\Delta} \right]^n \right)$$

P_r = Fuerza residual, $P_r = 0.2 P_c$

P_c = Fuerza de pandeo inelástico, $P_c = F_{cr} A_g$

F_{cr} = Tensión de pandeo flexural para secciones compactas según ecuaciones (E3-2) y (E3-3) AISC 360-10.

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_{ye}}{F_e} \right] F_{ye} \quad \text{si} \quad \frac{K L_e}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E_s}{F_{ye}}}$$

$$F_{cr} = 0.877 F_{ye} \quad \text{si} \quad \frac{K L_e}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E_s}{F_{ye}}}$$

F_e = Tensión crítica de pandeo elástico según ecuación (E3-4) AISC 360-10.

$$F_e = \frac{\pi^2 E_s}{\left(\frac{K L_e}{r} \right)^2}, \text{ considerando radio de giro } r \text{ en v-v.}$$

F_{ye} = Tensión de fluencia esperada para el acero, $F_{ye} = F_y R_y$, $F_{ye} = 322$ y 272 MPa para planchas de acero y perfiles laminados calidad ASTM A36, respectivamente.

F_y = Tensión de fluencia especificada para el acero, $F_y = 248$ MPa para acero calidad ASTM A36.

R_y = Razón entre fluencia esperada y fluencia especificada F_y , $R_y = 1.3$ y 1.5 para planchas de acero y perfiles laminados de calidad ASTM A36, respectivamente según tabla I-6-1 AISC 341-10.

A_g = Área bruta de la sección transversal del arriostramiento.

E_s = módulo de elasticidad del acero, $E_s = 200000$ MPa según AISC 360-10.

L_e = Largo efectivo del arriostramiento, equivalente al 94% de la longitud del elemento.

K = factor de longitud efectiva, $K=0.8$ para arriostramientos individuales y 0.5 para arriostramientos que se cruzan y unen en su punto medio, según punto 5.6.2.3.2 de FEMA 356.

$$\Delta_c = \text{Deformación de pandeo}, \Delta_c = \frac{P_c}{K}$$

$$\Delta_y = \text{Deformación de fluencia}, \Delta_y = \frac{P_y}{K_{s1}}$$

F_u = Tensión de rotura especificada para el acero, $F_u = 400$ MPa para acero de calidad ASTM A36.

F_{ue} = Tensión de rotura esperada para el acero, $F_{ue} = F_u R_t$, $F_{ye} = 400$ MPa para acero de calidad ASTM A36.

R_t = Razón entre la rotura esperada y la rotura especificada, $R_t = 1.2$ para planchas de acero y perfiles laminados calidad ASTM A36 según tabla I-6-1 AISC 341-10.

K_{s1} = Rigidez axial elástica del arriostramiento, $K_{s1} = \frac{E_s A_g}{L_e}$

K_{s2} = Rigidez axial post fluencia del arriostramiento, $K_{s2} = \frac{P_u - P_y}{\Delta_u - \Delta_y}$

P_y = Fuerza esperada de fluencia, $P_y = F_{ye} A_g$

P_u = Fuerza esperada de rotura, $P_u = F_{ue} A_g$

La degradación histerética de resistencia y rigidez de los elementos tipo Link que representan los arriostramientos se define por medio de un modelo de pivote, el cual está incorporado en el software utilizado. Se utiliza este modelo dada la amplia gama de parámetros de control de la curva histerética que presenta. Se muestra dicha curva en la figura 21.

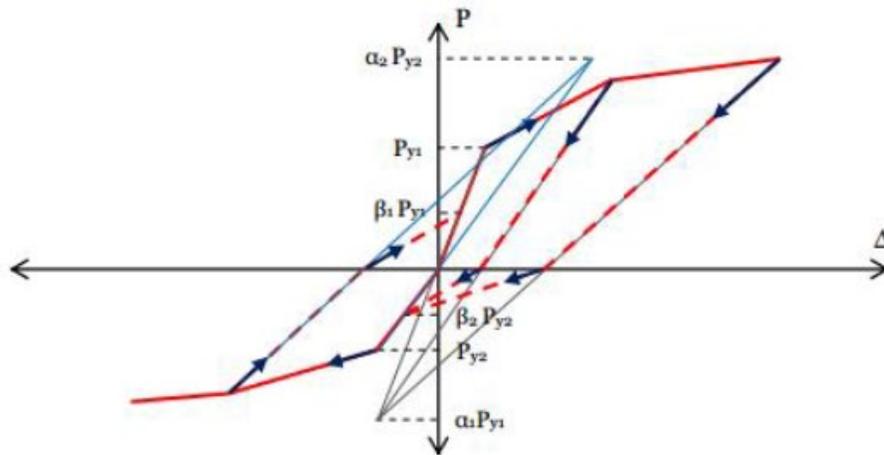


Figura 21. Curva histerética para el modelo de pivote.

Los parámetros de control de la curva histerética (según tesis de magister de Urzua, 2015) para el modelo de pivote son:

α_1 = Coeficiente que define el punto de pivote para la descarga a cero desde el tramo positivo de la curva monotónica.

α_2 = Coeficiente que define el punto de pivote para la descarga a cero desde el tramo negativo de la curva monotónica.

β_1 = Coeficiente que define el punto de pivote en un nuevo ciclo de carga desde cero a carga positiva.

β_2 = Coeficiente que define el punto de pivote en un nuevo ciclo de carga desde cero a carga negativa.

Los parámetros que se utilizan para definir la ley de histéresis se establecen con el fin de producir un comportamiento análogo al característico de arriostramientos bajo cargas cíclicas. Así, los parámetros utilizados son:

$$\alpha_1 = 100 \quad \alpha_2 = 0.5 \quad \beta_1 = 0.1 \quad \beta_2 = 1$$

II.7 Amenaza sísmica para análisis de respuesta no lineal

Si bien los sistemas estructurales han sido diseñados en base a las demandas espectrales indicadas en prNCh2369, equivalentes a las existentes en la normativa actual NCh2369, es de amplio conocimiento que dichas demandas representan demandas de diseño que han sido definidas como “adecuadas” por la práctica, pero no representan niveles de intensidad definidos en base a análisis probabilísticos rigurosos, así como tampoco representan la demanda esperada en un lugar en particular.

En base a lo anterior, se estima un nivel de demanda sísmica probabilística para la zona de emplazamiento de los sistemas estructurales, el cual se ha definido como la ubicación de la Siderúrgica de Huachipato, VIII Región de Chile. El nivel de amenaza se ha definido como 10 % de probabilidad de excedencia en 50 años para nivel de diseño (DLE) en la normativa industrial el mismo que significa un periodo de retorno de 475 años y se define también el

Máximo sísmo considerado (MCE) que representa el 5% de probabilidad de excedencia en 50 años definido en el estado del arte y que significa un periodo de retorno de 970 años.

La selección de registros considera la metodología de escalamiento espectral de American Society of Civil Engineers (ASCE, 2017), considerando un espectro objetivo de tipo media condicionada para una intensidad de 5% de probabilidad de excedencia en 50 años.

Considerando la base de datos de Siber-Risk (Castro *et al.*, 2020) se seleccionan los 30 registros de mejor ajuste espectral luego de una selección previa en base a parámetros causales y de intensidad definidos.

Para la evaluación de la amenaza sísmica se consideran:

- Ubicación y condición de sitio
- Modelos de movimiento de suelo
- Leyes de recurrencia y modelación de fuentes
- Evaluación de amenaza probabilística
- Espectro de amenaza uniforme
- Modelos de desagregación
- Espectros medio condicionados (CMS)

UHS.- Uniform Hazard Spectrum- Envolverte de los espectros de muchos registros

CMS.- Conditional Medium Spectrum- Relacionado a la demanda probabilística deseada.

- Relación espectro de amenaza con espectro de diseño

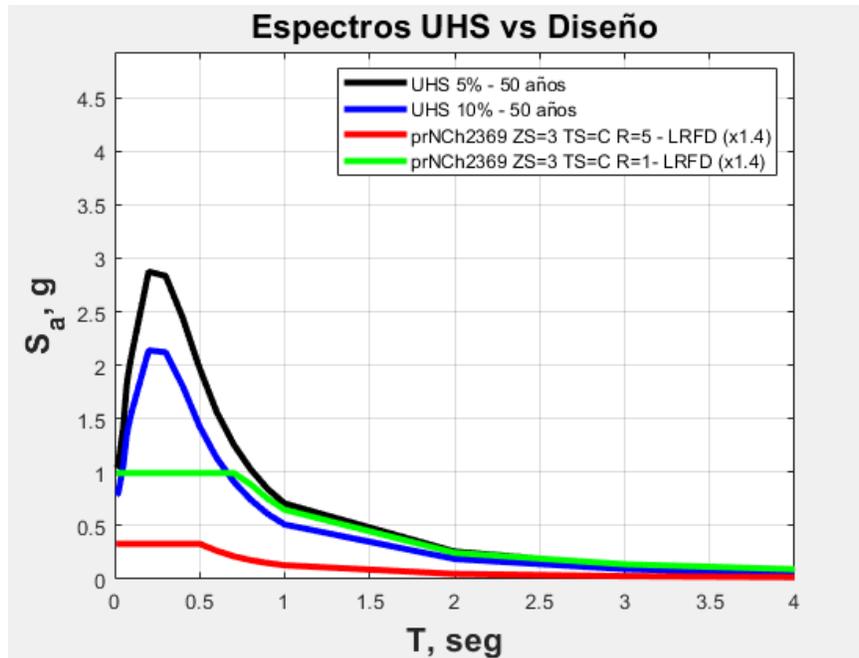


Figura 22. Comparación espectro de diseño, reducido y amenaza probabilística

II.8 Análisis no lineal dinámico (Tiempo-Historia)

Para evaluar tanto el comportamiento de las estructuras como de elementos no lineales (pernos y arriostramientos) se realizó un análisis no lineal dinámico Tiempo-Historia (TH) en base a los registros seleccionados de acuerdo a la sección anterior.

Dentro de los métodos de integración más utilizados se pueden destacar dos: *Fast Non-Linear Analysis* (FNA) y *Direct Integration* (DI). Mientras que el FNA converge considerablemente más rápido que el DI, pueden existir errores dentro del método, obteniendo resultados no congruentes con lo modelado, pero si se define bien el paso de tiempo y el patrón de deformación para la activación de los elementos no lineales los análisis son muy parecidos al DI. El análisis en nuestro caso se realiza con el método de integración FNA.

A continuación, se presenta una breve descripción del procedimiento para el análisis no lineal dinámico:

Primero, se debe considerar que, en rango no lineal, los elementos estructurales trabajan con capacidad esperada, con factor de minoración de capacidad nominal $\phi=1$. Para planchas de acero se deben considerar los factores $R_y = 1.3$ y $R_t = 1.2$, mientras que para perfiles laminados XL y L se deben considerar los factores $R_y = 1.5$ y $R_t = 1.2$, según AISC 341-10. Así, para perfiles HN e IN de acero ASTM A36 las capacidades esperadas corresponden a $R_y F_y = 322.4$ MPa y $R_t F_u = 480$ MPa, mientras que para perfiles XL y L, del mismo material, las capacidades esperadas corresponden a $R_y F_y = 372$ MPa y $R_t F_u = 480$ MPa.

Luego, se define el análisis modal con el método Ritz, lo cual permite segregarse la energía disipada por la estructura en comparación con los elementos definidos con comportamiento no lineal.

Por otro lado, se debe considerar que el peso sísmico se aplica gradualmente en la estructura, por lo cual se ingresa mediante una función rampa, generando un punto de inicio para la aplicación de la demanda sísmica previamente seleccionada. Cabe destacar que el peso sísmico corresponde a $W_s = 1.2D + 0.25L$, considerando el aporte del peso de las conexiones. Luego, se ingresan los registros sísmicos previamente seleccionados en su dirección correspondiente, para un rango de tiempo de 100 segundos.

La demanda vertical corresponde a la componente vertical de los registros seleccionados horizontales, es decir, una vez seleccionados los registros horizontales, se considera la componente vertical de dicho registro y se amplifica por el mismo factor de escala definido para el ajuste de las componentes horizontales. En base a estos registros se generan los distintos casos no lineales, los cuales deben iniciar cuando el peso sísmico ha sido aplicado completamente, de acuerdo a la función rampa.

El factor de amortiguamiento inherente se ha considerado el 3 % para suelo tipo C dado las observaciones realizadas por Cruz y Miranda (2020) para suelos blandos.

III DISEÑO DE LOS ANCLAJES

III.1 Diseño de pernos de anclaje

La demanda a tensión para los pernos de anclaje se obtiene directamente del análisis estructural, mientras que la capacidad se calcula según el manual “Base Plate and Anchor Rod Design” – Steel Design Guide 1.

La calidad de acero para este elemento es ASTM A36, con tensión de rotura $F_u = 400$ MPa, mientras que la resistencia nominal en tensión F_{nt} del elemento se considera un 75 % de F_u .

$$R_n = 0.75 F_{nt} A_b$$

De esta forma, la resistencia de diseño de los pernos en tensión se calcula con la Ecuación:

$$\phi R_n = \phi 0.75 F_u A_b$$

Donde A_b corresponde al área bruta del perno, y el factor ϕ es 0.75

A continuación, se muestra el número y tamaños de pernos necesarios para cada modelo escogido:

Tabla 2. Dimensión y número de pernos necesarios para cada modelo escogido utilizando un factor de Reducción igual a 5

Modelo R=5 (Base fija + elementos frame)							
Modelo	Periodo [seg]	P (SAP2000) [tonf]	Nro de Pernos	Fuerza por Perno [tonf]	Tamaño de Perno [in]	Resistencia del perno ϕR_n [tonf]	FU
1	0.1	-3.37	4	0.84	3/4"	4.55	0.19
4	0.25	-33.36	4	8.34	7/8"	8.90	0.94
6	0.35	-56.97	6	9.50	1"	11.62	0.82
7	0.41	-93.34	6	15.56	1 1/4"	18.17	0.86
10	0.55	-121.21	6	20.20	1 3/8"	21.99	0.92
12	0.67	-145.62	6	24.27	1 1/2"	26.21	0.93
13	0.72	-111.61	6	18.60	1 3/8"	21.99	0.85
16	0.85	-105.08	6	17.51	1 1/4"	18.17	0.96
18	0.95	-117.00	6	19.50	1 3/8"	21.99	0.89

Tabla 3. Dimensión y número de pernos necesarios para cada modelo escogido utilizando un factor de Reducción igual a 3.5

Modelo R=3.5 (Base fija + elementos frame)

Modelo	Periodo [seg]	P (SAP2000) [tonf]	Nro de Pernos	Fuerza por Perno [tonf]	Tamaño de Perno [in]	Resistencia del perno ϕR_n [tonf]	FU
1	0.1	-4.64	4	1.16	3/4"	4.55	0.26
4	0.25	-45.24	4	11.31	1"	11.62	0.97
6	0.35	-77.99	6	13.00	1 1/8"	14.72	0.88
7	0.41	-125.29	6	20.88	1 3/8"	21.99	0.95
10	0.55	-175.93	6	29.32	1 3/4"	35.68	0.82
12	0.67	-210.59	6	35.10	1 3/4"	35.68	0.98
13	0.72	-163.30	6	27.22	1 3/4"	35.68	0.76
16	0.85	-156.42	6	26.07	1 1/2"	26.21	0.99
18	0.95	-173.49	6	28.92	1 3/4"	35.68	0.81

Tabla 4. Dimensión y número de pernos necesarios para cada modelo escogido utilizando un factor de Reducción igual a 2.5

Modelo R=2.5 (Base fija + elementos frame)

Modelo	Periodo [seg]	P (SAP2000) [tonf]	Nro de Pernos	Fuerza por Perno [tonf]	Tamaño de Perno [in]	Resistencia del perno ϕR_n [tonf]	FU
1	0.1	-6.10	4	1.52	3/4"	4.55	0.34
4	0.25	-58.81	4	14.70	1 1/8"	14.72	1.00
6	0.35	-102.01	6	17.00	1 1/4"	18.17	0.94
7	0.41	-161.81	6	26.97	1 3/4"	35.68	0.76
10	0.55	-233.80	6	38.97	2"	46.49	0.84
12	0.67	-297.23	6	49.54	2 1/4"	58.93	0.84
13	0.72	-232.21	6	38.70	2"	46.49	0.83
16	0.85	-224.84	6	37.47	2"	46.49	0.81
18	0.95	-248.77	6	41.46	2"	46.49	0.89

III.2 Cálculo de longitud de pernos

La longitud total del perno se obtiene de la suma de los espesores de placa de silla (e_1), longitud libre (l_1), placa base (e_2), grout (mortero) y la distancia que se empotra el perno al hormigón (l_2), las mismas se aprecian en la figura 23.

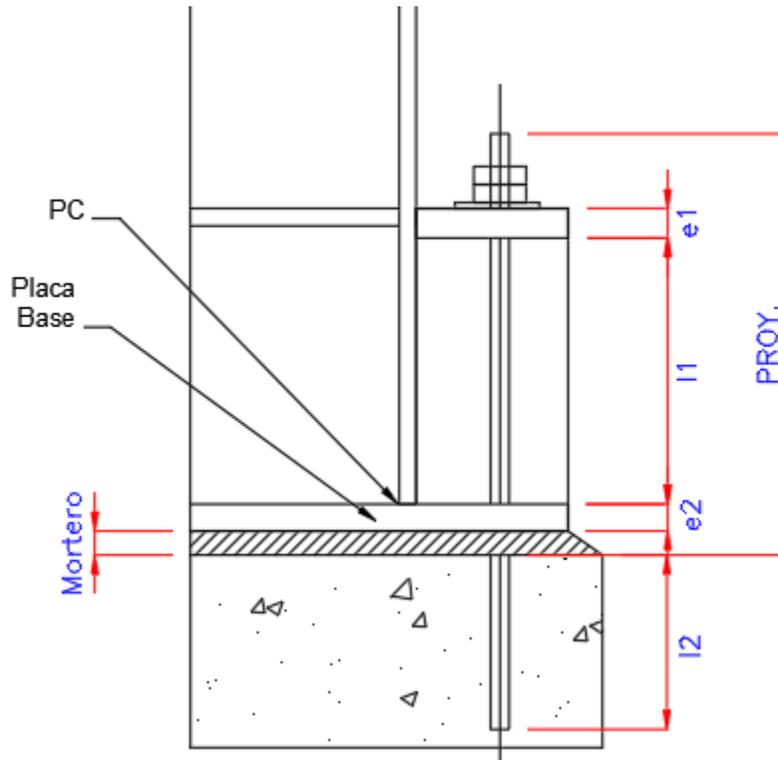


Figura 23. Diseño convencional de placa base con silla

Al seguir la filosofía de los pernos como principal disipador de energía del sistema, todos los demás elementos se diseñan para resistir la máxima capacidad del perno, es decir, se diseñan para soportar la resistencia última del perno y por tanto se desprecia su comportamiento no lineal y se estima que su eventual aporte de flexibilidad es menor dada la configuración del anclaje.

En la siguiente tabla se puede observar las dimensiones de los elementos de la placa base para resistir la fuerza de resistencia última de los diferentes tamaños de pernos utilizados en el mercado y que tienen correlación con la figura 23 mostrada anteriormente.

Tabla 5. Dimensiones de placas de anclaje en pedestales

DIMENSIONES PLACAS DE ANCLAJES EN PEDESTALES													
ϕ Perno	A mm	CON SILLA							SIN SILLA				
		ϕ Perforaciones		B mm	Espesores			I.A mm	ϕ Perforac Placa base	esp e2 mm	Espesor Mortero mm	m1 mm	m2 mm
		SILLA	PL BASE		e1 mm	e2 mm	e3 mm						
5/8"	80	15/16"	1 3/16"	80	14	16	6	250	1 3/16"	22	25	65	200
3/4"	100	1 1/16"	1 5/16"	100	16	18	8	250	1 5/16"	25	25	80	200
7/8"	100	1 1/4"	1 9/16"	100	18	18	8	250	1 9/16"	32	25	90	200
1"	100	1 7/16"	1 13/16"	100	20	18	10	250	1 13/16"	35	25	100	200
1 1/8"	125	1 9/16"	1 15/16"	115	22	20	10	250			25		
1 1/4"	125	1 11/16"	2 1/16"	125	25	25	12	250	2 1/16"	40	30	130	
1 3/8"	125	1 13/16"	2 3/16"	125	27	26	13	250			33		
1 1/2"	150	1 15/16"	2 5/16"	150	32	28	14	300	2 5/16"	50	35	150	
1 3/4"	175	2 1/4"	2 3/4"	175	35	32	16	350	--	-	40	180	
2"	200	2 5/8"	3 1/4"	200	40	35	18	400	--	-	40	200	
2 1/4"	225	2 7/8"	3 1/2"	225	50	40	20	450	--	-	50	230	350
2 1/2"	250	3 1/8"	3 3/4"	250	50	50	22	500	--	-	50		400

Donde:

A = Separación de pernos

e₁ = Espesor placa silla

e₂ = Espesor placa base

e₃ = Espesor atiesadores

m₁ = mínima distancia al borde para pernos

m₂ = máxima distancia al borde para pernos

La obtención de estas dimensiones de espesores de placa base y placa silla fueron obtenidas a través de un cálculo en base al criterio de Brownell y Young, el cual nos dice que si se quiere considerar el apoyo de los atiesadores, la placa base se transforma en una serie de

losas apoyadas entre ellos, cuyo comportamiento podría aproximarse conservadoramente de la siguiente manera:

Tabla 6. Relación de L/B, momentos en x e y. [Capacitaciones Ara Worley Parson, C. Peña 2012]

L/B	M_x	M_y
0	0	-0.500 f _c L ²
1/3	0.008 f _c B ²	-0.428 f _c L ²
1/2	0.029 f _c B ²	-0.319 f _c L ²
2/3	0.056 f _c B ²	-0.227 f _c L ²
1	0.097 f _c B ²	-0.119 f _c L ²
1 1/2	0.123 f _c B ²	-0.124 f _c L ²
2	0.131 f _c B ²	-0.125 f _c L ²
3	0.133 f _c B ²	-0.125 f _c L ²

$$M_{pl} = \gamma f_c L^2$$



Figura 24. Esquema referencial para bordes de una placa. [Capacitaciones Ara Worley Parson, C. Peña 2012]

Para las placas silla un criterio es reconocer que los momentos máximos en la placa de silla son cercanos a los que se producen en una placa simplemente apoyada en sus cuatro bordes, sometida a una carga uniformemente distribuida en una superficie circular.

Tabla 7. Relación B/L y factores Gamma. [Capacitaciones Ara Worley Parson, C. Peña 2012]

B/L	Υ_1	Υ_2	Υ_3
1	0.565	0.135	0.203
1.2	0.35	0.115	0.22
1.4	0.211	0.085	0.231
1.6	0.125	0.057	0.238
1.8	0.073	0.037	0.242
2	0.042	0.023	0.246

$$M_y = \frac{P}{4\pi} \left[(1 + \mu) \ln \left(\frac{2L \sin \left(\frac{\pi a}{L} \right)}{\pi e} \right) + (1 - \gamma_1) \right]$$

$$M_x = \frac{P}{4\pi} \left[(1 + \mu) \ln \left(\frac{2L \sin \left(\frac{\pi a}{L} \right)}{\pi e} \right) + (1 + \gamma_2) \right]$$



Figura 25 Esquema referencial para momentos en una placa. [Capacitaciones Ara Worley Parson, C. Peña 2012]

P = resultante carga distribuida (carga en el perno)

e = radio superficie circular (radio de la tuerca)

μ = módulo de poisson

Para $a = L/2$ y $\mu = 0.3$:

$$M_{pl} = M_y = \frac{P}{4\pi} \left[1.3 \ln \left(\frac{2L}{\pi e} \right) + (1 - \gamma_1) \right]$$

Suponiendo $L/e = 8$:

$$M_{pl} = P \gamma_3$$

*Nota: Para $L/e < 8$ el resultado es conservador.

Con esa información se obtienen las dimensiones de las placas para cada modelo estudiado según el tamaño de perno, la tabla 5 muestra el resumen.

Se define entonces los tamaños y espesores para cada caso analizado:

Tabla 8. Tabla de dimensiones de placa base para caso $R = 5$

R = 5							
modelo	tamaño de perno	e1 [mm]	l1 [mm]	e2 [mm]	grout [mm]	l2 [mm]	LT [mm]
1	3/4"	16	250	18	25	152.4	461.4
4	7/8"	18	250	18	25	177.8	488.8
6	1"	20	250	18	25	203.2	516.2
7	1 1/4"	25	250	25	30	254	584
10	1 3/8"	27	250	26	33	279.4	615.4
12	1 1/2"	32	300	28	35	304.8	699.8
13	1 3/8"	27	250	26	33	279.4	615.4
16	1 1/4"	25	250	25	30	254	584
18	1 3/8"	27	250	26	33	279.4	615.4

Tabla 9. Tabla de dimensiones de placa base para caso $0.7R = 3.5$

0.7R = 3.5							
modelo	tamaño de perno	e1 [mm]	l1 [mm]	e2 [mm]	grout [mm]	l2 [mm]	LT [mm]
1	3/4"	16	250	18	25	152.4	461.4
4	1"	20	250	18	25	203.2	516.2
6	1 1/8"	22	250	20	25	228.6	545.6
7	1 3/8"	27	250	26	33	279.4	615.4
10	1 3/4"	35	350	32	40	355.6	812.6
12	1 3/4"	35	350	32	40	355.6	812.6
13	1 3/4"	35	350	32	40	355.6	812.6
16	1 1/2"	32	300	28	35	304.8	699.8
18	1 3/4"	35	350	32	40	355.6	812.6

Tabla 10. Tabla de dimensiones de placa base para caso $0.5R = 2.5$

0.5R = 2.5							
modelo	tamaño de perno	e1 [mm]	l1 [mm]	e2 [mm]	grout [mm]	l2 [mm]	LT [mm]
1	3/4"	16	250	18	25	152.4	461.4
4	1 1/8"	22	250	20	25	228.6	545.6
6	1 1/4"	25	250	25	30	254	584
7	1 3/4"	35	350	32	40	355.6	812.6
10	2"	40	400	35	40	406.4	921.4
12	2 1/4"	50	450	40	50	457.2	1047.2
13	2"	40	400	35	40	406.4	921.4
16	2"	40	400	35	40	406.4	921.4
18	2"	40	400	35	40	406.4	921.4

III.3 Cálculo de las curvas esfuerzo-deformación

III.3.1 Pernos de anclaje

A partir de la definición que se hizo en el apartado II.5 para la modelación no lineal de anclajes se desarrollan las curvas monotónicas para cada uno de los modelos estudiados en base al número y tamaño de pernos utilizados. Se muestra como ejemplo el cálculo de los valores de la curva monotónica para el modelo 7.

CURVA MONOTÓNICA PARA PERNOS					
Diámetro de perno		1 1/4"			
Diámetro de perno en cm	$d_b =$	3.175	cm		
Número de pernos	$\# =$	6	pernos		
Módulo de elasticidad del acero	$E_s =$	200,000	MPa	(AISC 360-10)	
Área bruta de la sección total de pernos de anclaje	$A_s =$	47.50	cm ²		
Tensión de fluencia especificada para el acero	$F_y =$	248	MPa	(ASTM A36)	
Razón entre fluencia esperada y fluencia especificada F_y	$R_y =$	1.50		(ASTM A36) Tabla I-6-1 AISC 341-1	
Tensión de fluencia esperada para el acero	$F_{ye} =$	372	MPa	$F_{ye} = R_y F_y$	
Fuerza esperada de fluencia en pernos de anclaje	$P_y =$	179.88	Tonf	$P_y = F_{ye} A_s$	
Rigidez axial de los pernos	$K_{se} =$	1,656.0	Tonf/cm	$K = \frac{E_s A_s}{L}$	
Largo libre de pernos de anclaje entre tope del pedestal y	$L =$	58.40	cm		
Deformación de fluencia	$\Delta_y =$	0.109	cm	$\Delta = \frac{P_y}{K}$	

Con los datos del modelo 7 de periodo 0.41 segundos mostrados anteriormente y a partir de la figura 18 mostrada en el apartado II.5 se forma la curva monotónica en el cual se adoptan 6 pernos de tamaño 1 1/4". Se tiene entonces:

Tabla 11. Valores para la curva monotónica del modelo 7

tamaño Largo perno (cm):	R=5 1 1/4"		R=3.5 1 3/8"		R=2.5 1 3/4"	
	58.4		61.54		81.26	
	Disp (cm)	F (tonf)	Disp (cm)	F (tonf)	Disp (cm)	F (tonf)
	-11.680	0.00	-12.308	0.000	-16.252	0.00
	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00
	0.109	179.88	0.114	217.65	0.151	352.56
	11.680	179.88	12.308	217.65	16.252	352.56
	12.848	0.00	13.539	0.000	17.877	0.00

Estos mismos datos que forman la siguiente curva:

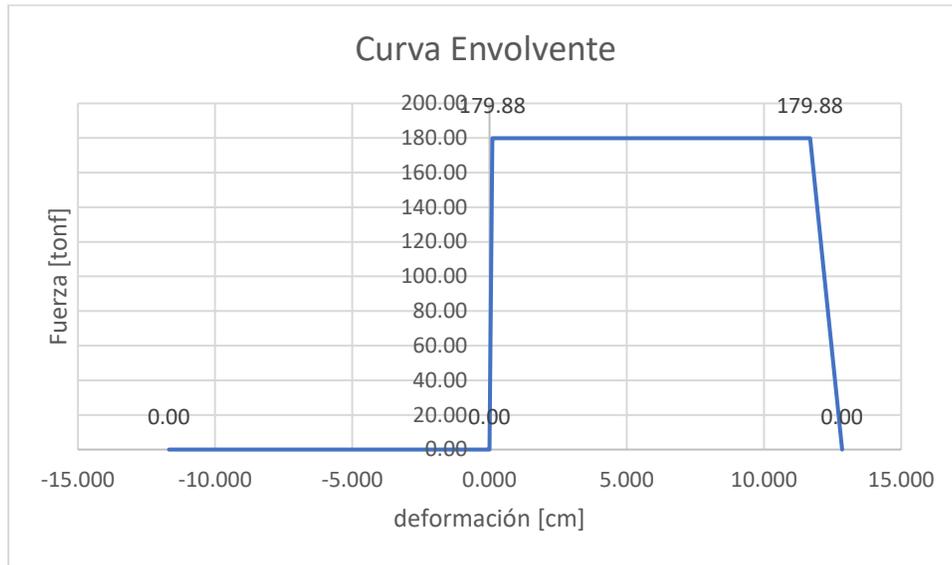


Figura 26. Curva monotónica del modelo 7

Estos datos se ingresan en los parámetros del elemento tipo Link, como se muestra en la Figura 27. Además, se define un elemento tipo Gap para representar el pedestal, como se menciona en el marco conceptual.

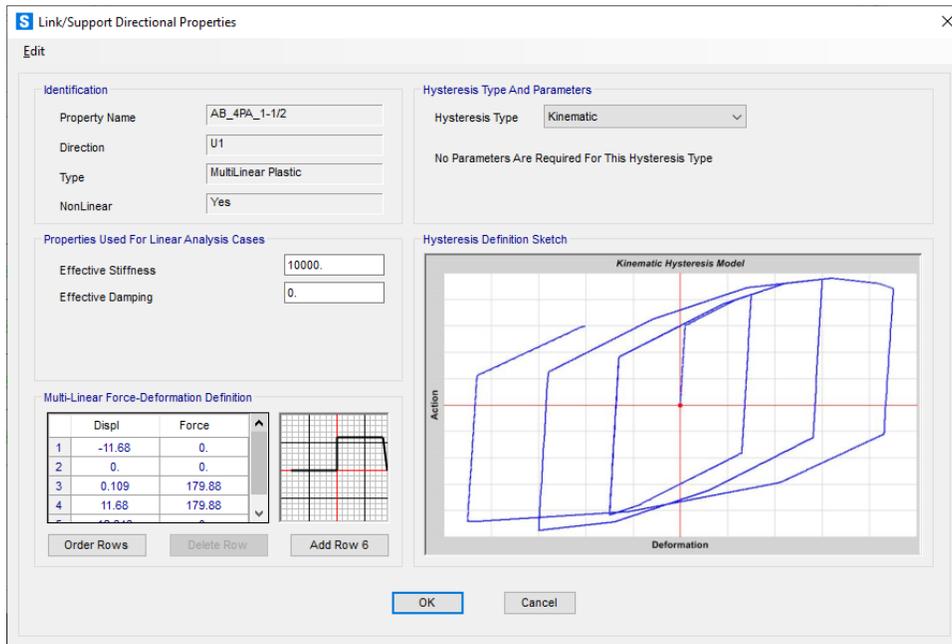


Figura 27. Parámetros de elementos tipo Link en software para pernos de anclaje [Tonf y cm]

III.3.2 Diagonales de arriostramiento

Para representar el comportamiento no lineal de los arriostramientos, se utiliza el procedimiento explicado en el apartado II.6 del presente documento. En base a los arriostramientos diseñados, se define la curva de esfuerzo-deformación y se ingresan los parámetros del elemento tipo Link, como se muestra en la Figura 28. Cabe destacar que se estima el peso y masa del elemento, y se ingresa al software para evitar incongruencias en el peso de la estructura. Luego, se asignan los elementos definidos anteriormente, como se muestra en la Figura 29, en los arriostramientos de todos los niveles. Finalmente, utilizando los mismos casos no lineales definidos en el subcapítulo II.7, se realiza el análisis en el software.

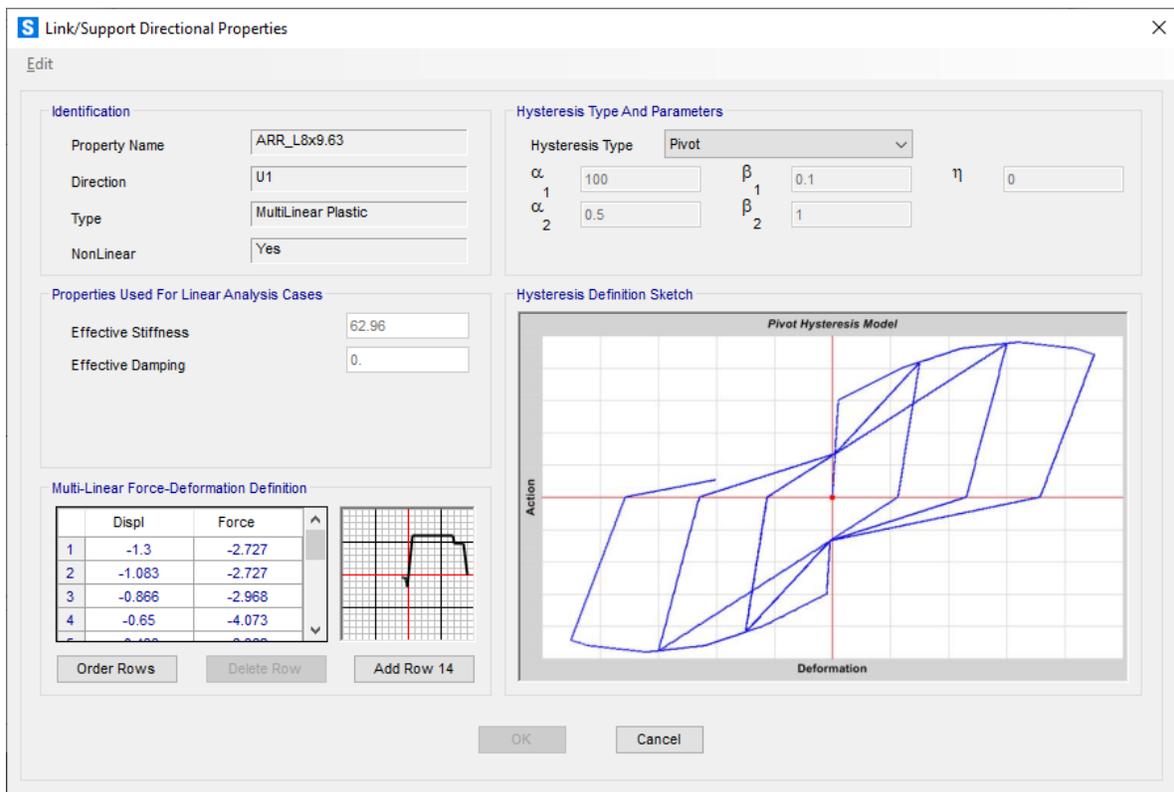


Figura 28. Parámetros de elemento tipo Link en software para arriostramientos [Tonf y cm]

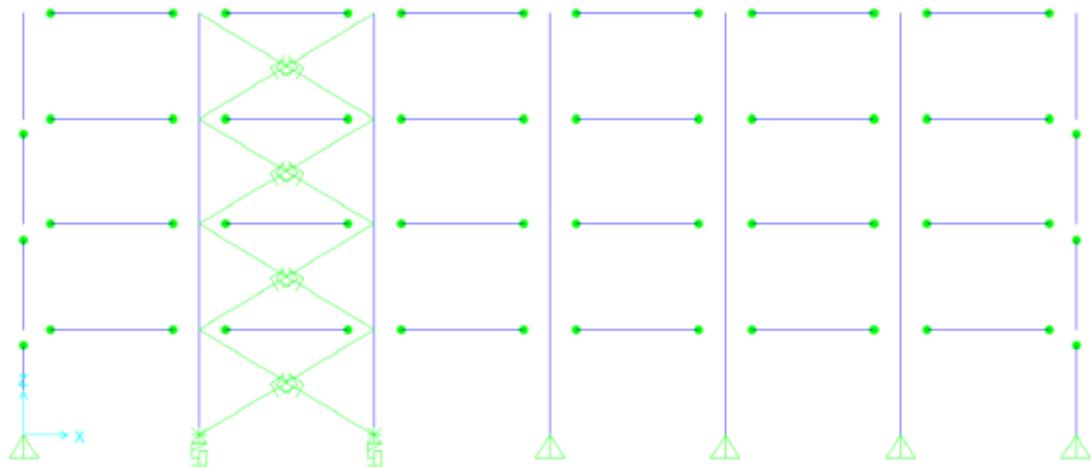


Figura 29. Elementos link para anclaje y arriostramiento

IV ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez ingresado a los modelos los datos de las curvas monotónicas y los registros sísmicos escalados para el sismo a nivel de diseño y máximo sismo considerado, mismo que será el de 970 años (definición propia de Chile), se puede realizar el análisis no lineal del sistema y de los elementos estudiando las deformaciones y fuerzas para los tres casos de análisis definidos en el apartado I.2.

IV.1 Deformación de los pernos de anclajes

Se presenta para cada caso una tabla mostrando el valor de la mediana de las deformaciones (en milímetros) que genera el perno de anclaje junto a la **deformación de fluencia esperada** según la curva esfuerzo-deformación **precaracterizada** que es definida para la modelación en el apartado II.5 y que se tiene como ejemplo en la tabla 11; esto para realizar una comparación de ambos casos y saber cuántas veces más se deformó el perno en relación a la deformación que se esperaba (deformación de fluencia) a las cargas de diseño aplicadas, esta comparación se los muestra a través de la demanda de ductilidad.

Junto a estas tablas se acompaña un gráfico en el cual indica la deformación mediana en porcentaje que tuvo el perno de anclaje en relación a su longitud total. También se muestra en el gráfico el valor de la mediana y los puntos que representan la deformación para cada registro en cada modelo.

Tabla 12. Deformación de pernos, MCE R = 5

mod	tamaño de perno	longitud	deformación de fluencia	Def mediana del perno	Ductilidad
		[mm]	[mm]	MCE R5 [mm]	
1	3/4"	461.4	0.90	0.38	0.42
4	7/8"	488.8	0.91	39.75	43.68
6	1"	516.2	0.96	36.44	37.96
7	1 1/4"	584.0	1.09	3.56	3.27
10	1 3/8"	615.4	1.14	20.55	18.03
12	1 1/2"	699.8	1.30	16.93	13.02
13	1 3/8"	615.4	1.14	23.21	20.36
16	1 1/4"	584.0	1.09	21.98	20.17
18	1 3/8"	615.4	1.14	20.21	17.73

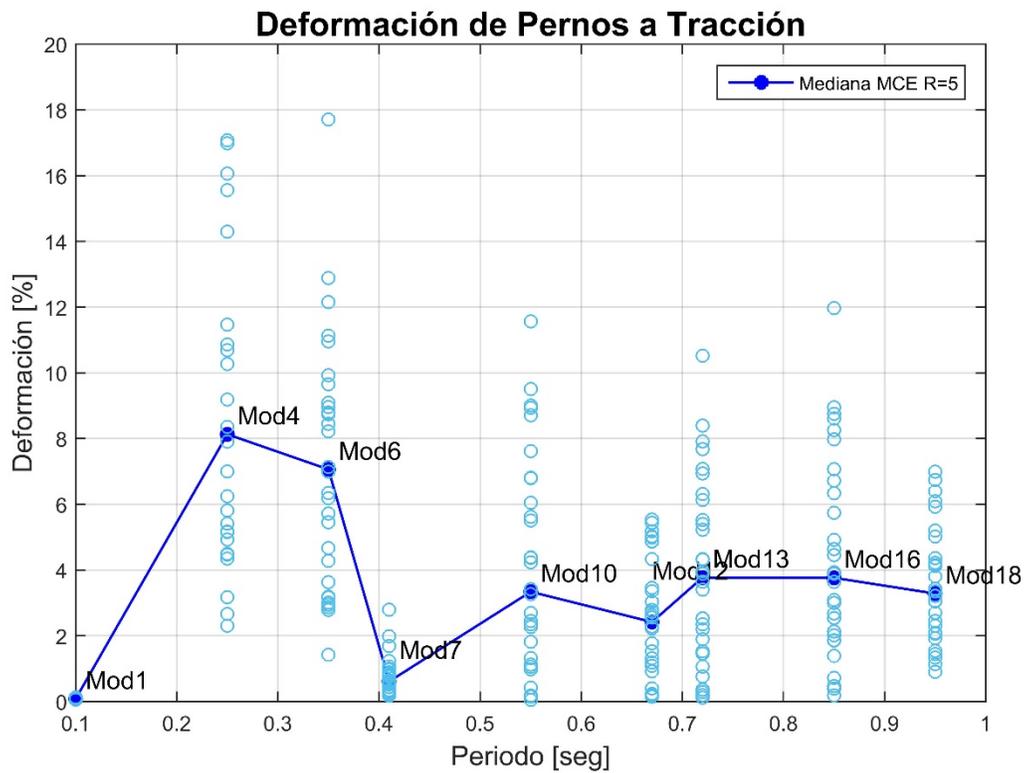


Figura 30. Elongación de pernos de anclaje, caso MCE R=5

Tabla 13. Deformación de pernos, MCE 0.7R = 3.5

mod	tamaño de perno	longitud	deformación de fluencia	Def mediana del perno	Ductilidad
		[mm]	[mm]	MCE 0.7R = 3.5 [mm]	
1	3/4"	461.4	0.90	0.38	0.42
4	1"	516.2	0.96	29.30	30.52
6	1 1/8"	545.6	1.01	15.96	15.80
7	1 3/8"	615.4	1.14	1.02	0.89
10	1 3/4"	812.6	1.51	1.31	0.87
12	1 3/4"	812.6	1.51	1.36	0.90
13	1 3/4"	812.6	1.51	0.26	0.17
16	1 1/2"	699.8	1.30	19.02	14.63
18	1 3/4"	812.6	1.51	7.37	4.88

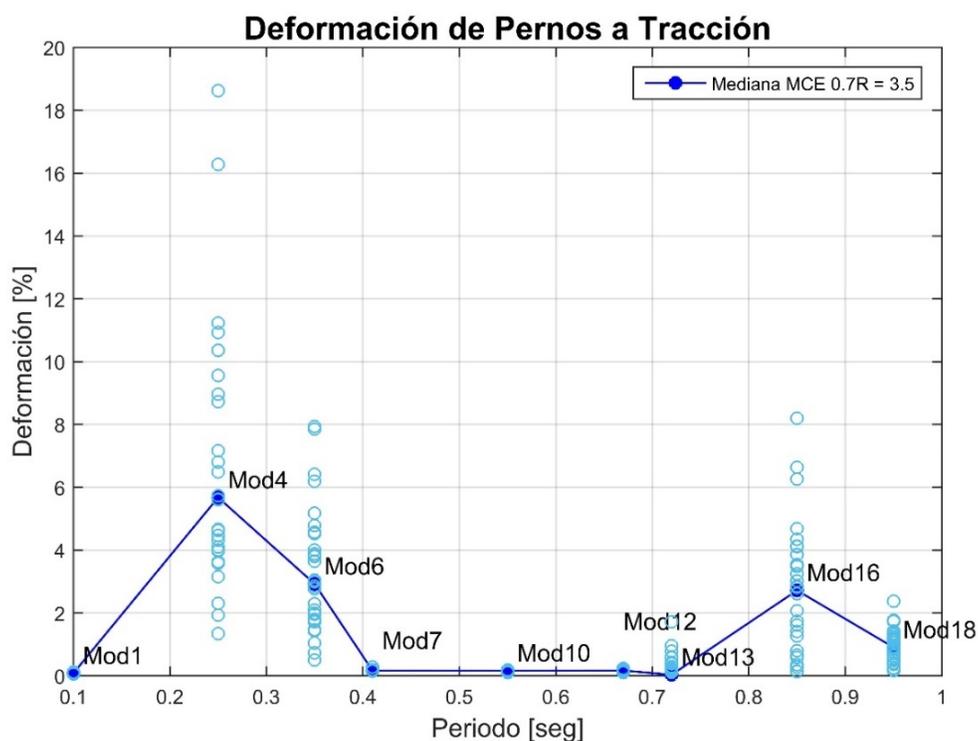


Figura 31. Elongación de pernos de anclaje, caso MCE 0.7R = 3.5

Tabla 14. Deformación de pernos, MCE 0.5R = 2.5

mod	tamaño de perno	longitud	deformación de fluencia	Def mediana del perno	Ductilidad
		[mm]	[mm]	MCE 0.5R = 2.5 [mm]	
1	3/4"	461.4	0.90	0.38	0.42
4	1 1/8"	545.6	1.01	1.69	1.67
6	1 1/4"	584	1.09	1.33	1.22
7	1 3/4"	812.6	1.51	0.83	0.55
10	2"	921.4	1.71	1.30	0.76
12	2 1/4"	1047.2	1.95	1.06	0.54
13	2"	921.4	1.71	1.31	0.76
16	2"	921.4	1.71	1.57	0.92
18	2"	921.4	1.71	1.60	0.94

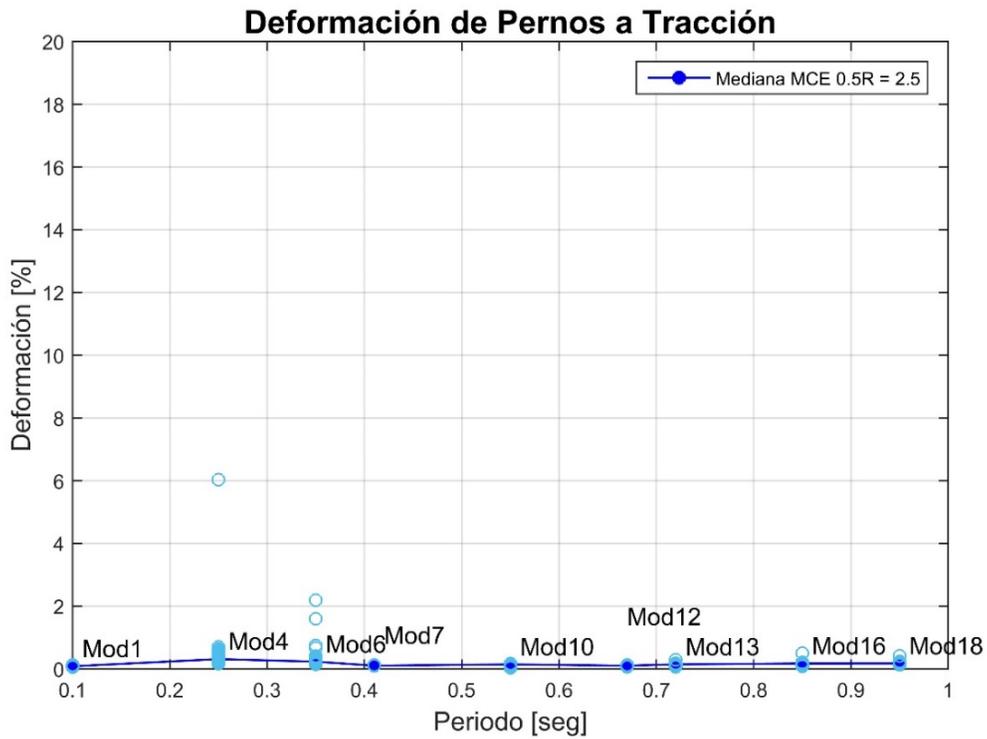


Figura 32. Elongación de pernos de anclaje, caso MCE 0.5R = 2.5

Tabla 15. Deformación de pernos, DLE R = 5

mod	tipo de arriostramiento	longitud	deformación de fluencia	Def mediana del perno	Ductilidad
		[mm]	[mm]	DLE R5 [mm]	
1	3/4"	461.4	0.90	0.31	0.35
4	7/8"	488.8	0.91	24.47	26.89
6	1"	516.2	0.96	19.21	20.01
7	1 1/4"	584.0	1.09	2.40	2.20
10	1 3/8"	615.4	1.14	8.88	7.79
12	1 1/2"	699.8	1.30	5.89	4.53
13	1 3/8"	615.4	1.14	13.47	11.82
16	1 1/4"	584.0	1.09	16.17	14.83
18	1 3/8"	615.4	1.14	14.60	12.81

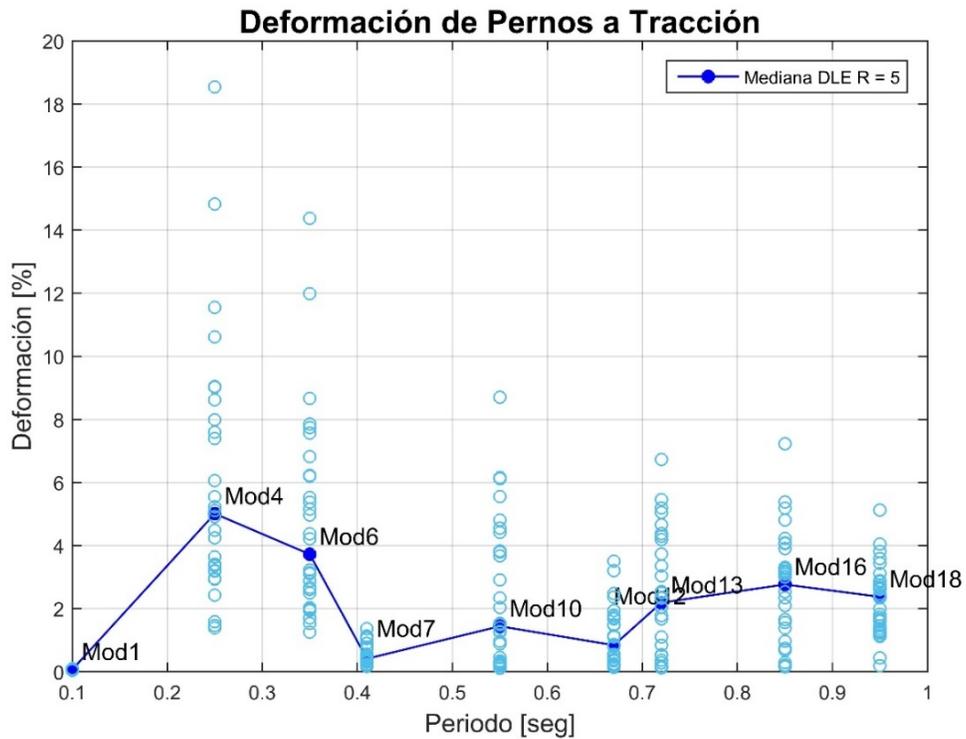


Figura 33. Elongación de pernos de anclaje, caso DLE R=5

Tabla 16. Deformación de pernos, DLE 0.7R = 3.5

mod	tipo de arriostramiento	longitud	deformación de fluencia	Def mediana del perno	Ductilidad
		[mm]	[mm]	DLE 0.7R = 3.5 [mm]	
1	3/4"	461.4	0.90	0.31	0.35
4	1"	516.2	0.96	22.39	23.32
6	1 1/8"	545.6	1.01	7.49	7.41
7	1 3/8"	615.4	1.14	0.90	0.79
10	1 3/4"	812.6	1.51	1.17	0.77
12	1 3/4"	812.6	1.51	1.25	0.83
13	1 3/4"	812.6	1.51	1.43	0.95
16	1 1/2"	699.8	1.30	4.01	3.08
18	1 3/4"	812.6	1.51	2.24	1.49

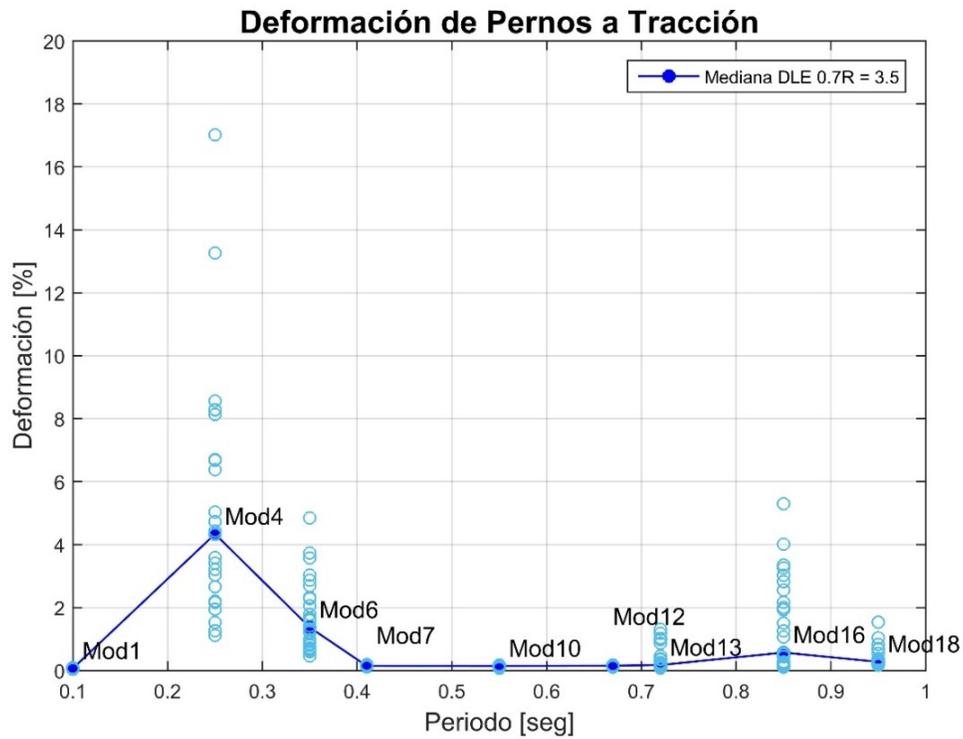


Figura 34. Elongación de pernos de anclaje, caso DLE 0.7R = 3.5

Tabla 17. Deformación de pernos, DLE 0.5R = 2.5

mod	tipo de arriostramiento	longitud	deformación de fluencia	Def mediana del perno	Ductilidad
		[mm]	[mm]	DLE 0.5R = 2.5 [mm]	
1	3/4"	461.4	0.90	0.31	0.35
4	1 1/8"	545.6	1.01	0.97	0.96
6	1 1/4"	584	1.09	1.06	0.97
7	1 3/4"	812.6	1.51	0.74	0.49
10	2"	921.4	1.71	1.17	0.68
12	2 1/4"	1047.2	1.95	0.99	0.51
13	2"	921.4	1.71	1.29	0.76
16	2"	921.4	1.71	1.34	0.78
18	2"	921.4	1.71	1.51	0.89

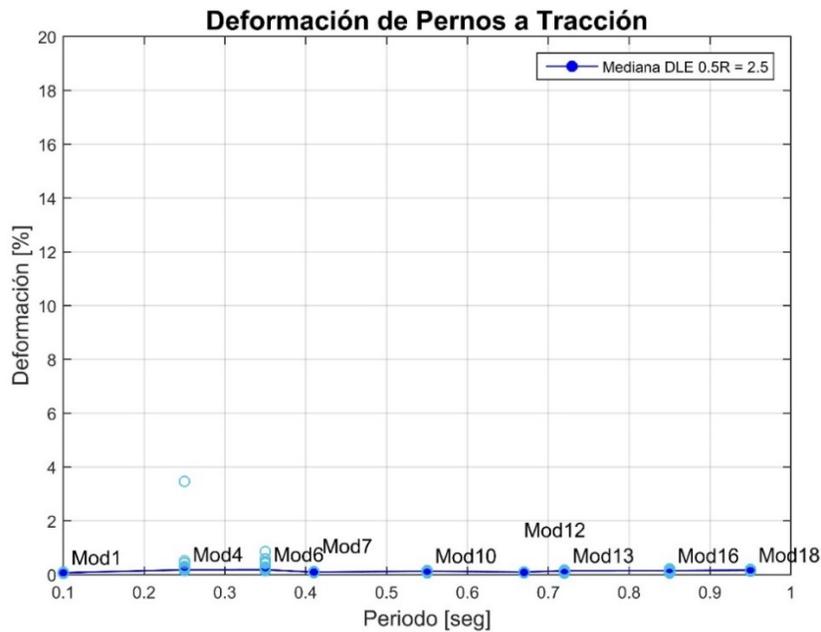


Figura 35. Elongación de pernos de anclaje, caso DLE 0.5R = 5

De forma ilustrativa se muestra también en la figura 36 las deformaciones con los valores de la mediana para los dos niveles de demanda: nivel de diseño (DLE) y máximo sismo considerado (MCE):

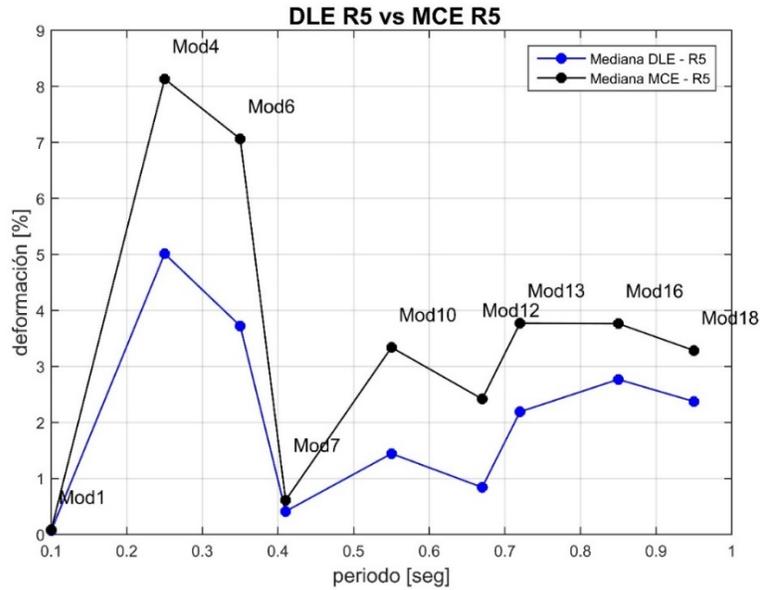


Figura 36. Comparación de la deformación mediana del perno de anclaje DLE vs MCE

Se muestran también los tres casos para nivel máximo considerado y el nivel de diseño respectivamente:

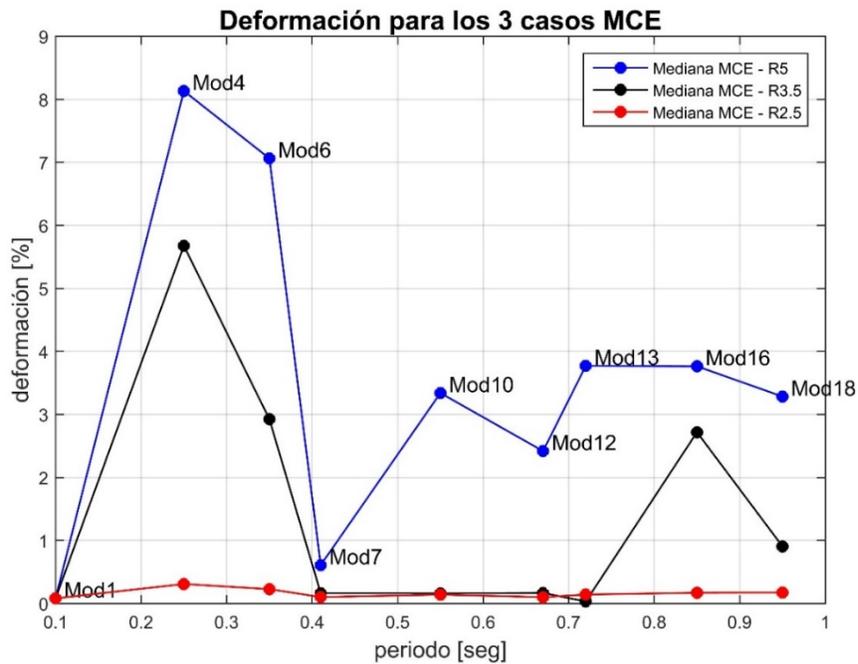


Figura 37. Deformación de perno de anclaje para los tres casos MCE

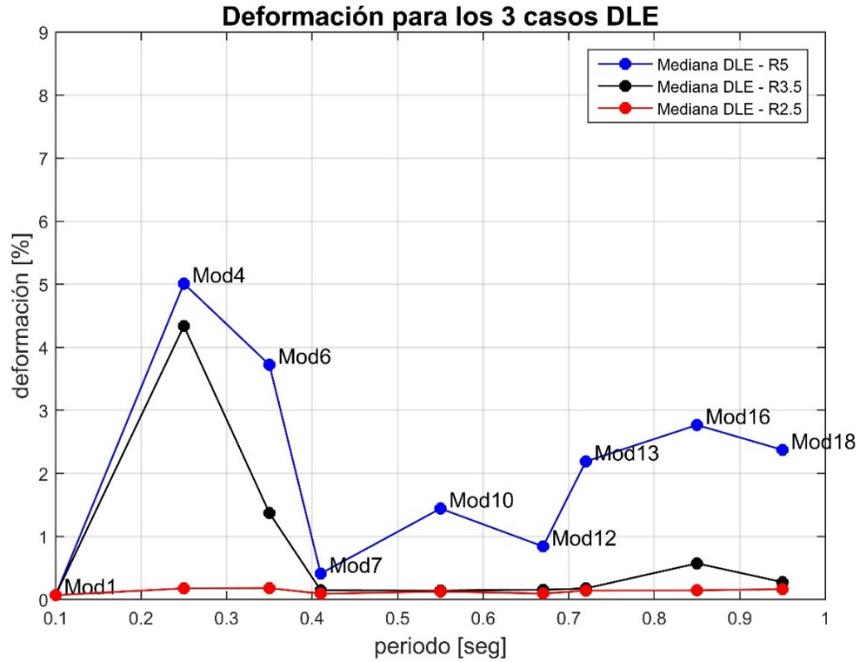


Figura 38. Deformación de pernos de anclaje para los tres casos DLE

IV.2 Fuerzas en las diagonales

IV.2.1 Fuerzas a tracción.

El análisis de las fuerzas a tracción en las diagonales se compara con la capacidad esperada del elemento, tal cual como se indica en la figura 20 del apartado II.6.

Se muestra a continuación las tablas para cada caso de análisis (R=5, R=3.5 y R=2.5) mostrando las fuerzas generadas para cada modelo sometidas a los 30 registros sísmicos, se muestran también las fuerzas esperadas precharacterizadas que fueron aplicadas al modelo y el factor de utilización (FU).

Posterior a eso se muestran en gráficos los análisis de las fuerzas que demandan los arriostramientos normalizando los valores con la capacidad esperada.

Tabla 18. Fuerzas a tracción en las diagonales caso MCE R = 5

mod	tipo de arriostamiento	Área [cm2]	Fuerza esperada [tonf]	Fuerza mediana diagonales a tracción MCE R5 [tonf]	FU
1	L8x9.63	12.3	45.75	17.58	0.38
4	XL8x19.3	24.32	96.69	61.32	0.63
6	XL8x19.3	24.32	96.69	81.20	0.84
7	XL8x19.3	24.32	96.69	94.22	0.97
10	XL8x19.3	24.32	96.69	93.13	0.96
12	XL8x19.3	24.32	96.69	93.67	0.97
13	XL8x19.3	24.32	96.69	92.98	0.96
16	XL8x19.3	24.32	96.69	93.00	0.96
18	XL8x19.3	24.32	96.69	93.04	0.96

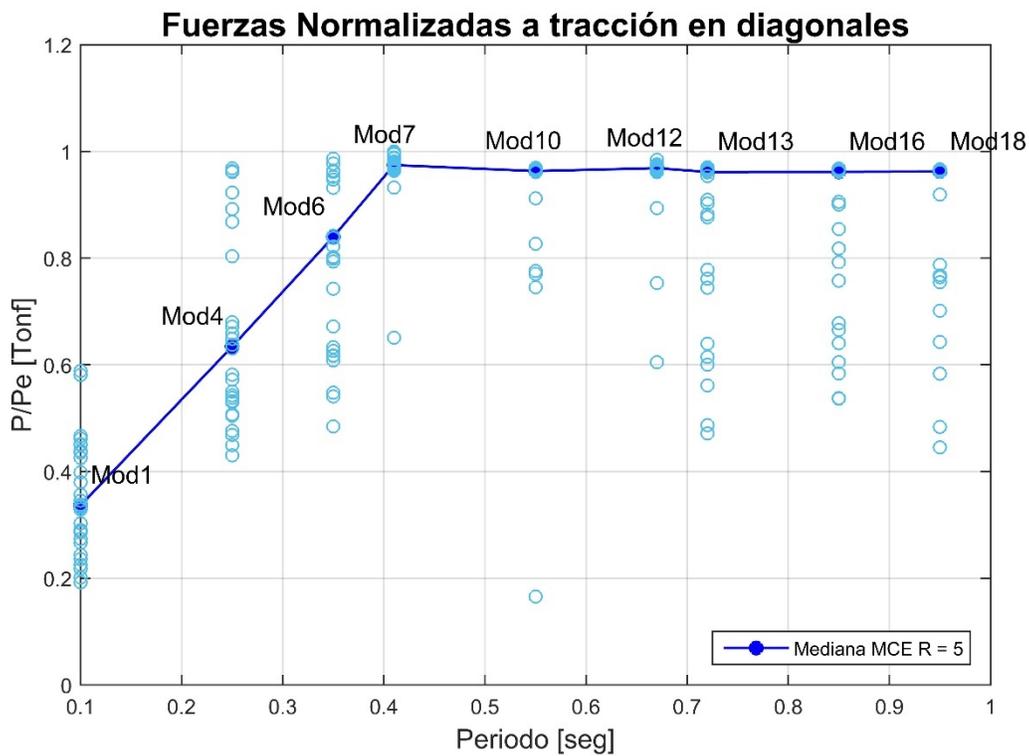


Figura 39. Fuerzas a tracción normalizadas en diagonales. Caso MCE R=5

Tabla 19. Fuerzas a tracción en las diagonales caso MCE 0.7R = 3.5

tipo de arriostramiento	Área	Fuerza esperada	Fuerza mediana diagonales	FU
	[cm ²]	[tonf]	a tracción MCE 0.7R=3.5 [tonf]	
L8x9.63	12.3	45.75	17.58	0.38
XL8x19.3	24.32	96.69	93.01	0.96
XL8x19.3	24.32	96.69	93.22	0.96
XL8x19.3	24.32	96.69	94.32	0.98
XL8x19.3	24.32	96.69	93.80	0.97
XL8x19.3	24.32	96.69	93.70	0.97
XL8x19.3	24.32	96.69	93.49	0.97
XL8x19.3	24.32	96.69	93.26	0.96
XL8x19.3	24.32	96.69	93.38	0.97

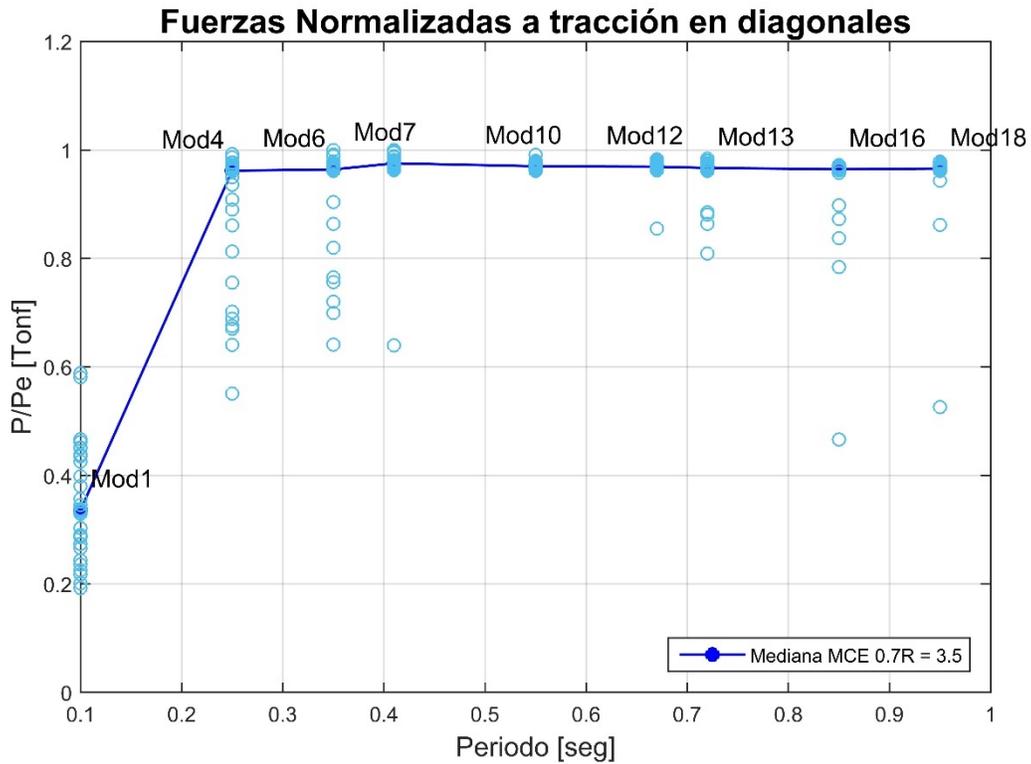


Figura 40. Fuerzas a tracción normalizadas en diagonales. Caso MCE 0.7R=3.5

Tabla 20. Fuerzas a tracción en las diagonales caso MCE 0.5R = 2.5

tipo de arriostramiento	Área	Fuerza esperada	Fuerza mediana diagonales	FU
	[cm ²]	[tonf]	a tracción MCE 0.5R=2.5 [tonf]	
L8x9.63	12.3	45.75	17.58	0.38
XL8x19.3	24.32	96.69	93.66	0.97
XL8x19.3	24.32	96.69	93.94	0.97
XL8x19.3	24.32	96.69	94.32	0.98
XL8x19.3	24.32	96.69	93.80	0.97
XL8x19.3	24.32	96.69	93.70	0.97
XL8x19.3	24.32	96.69	93.62	0.97
XL8x19.3	24.32	96.69	93.64	0.97
XL8x19.3	24.32	96.69	93.57	0.97

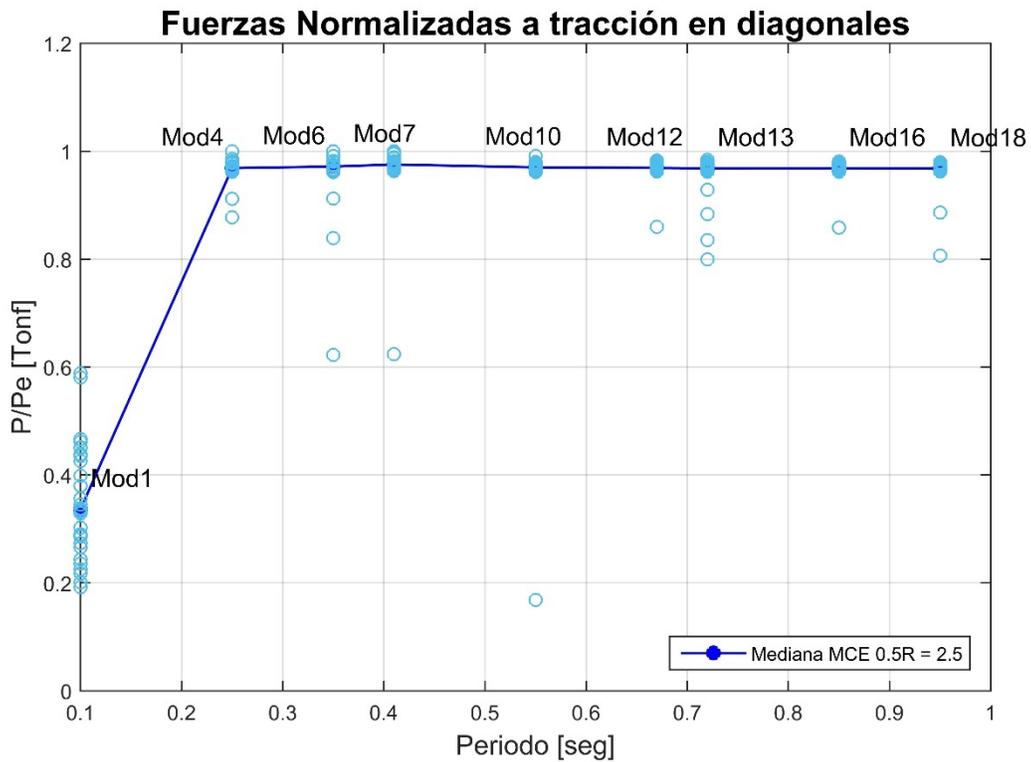


Figura 41. Fuerzas a tracción normalizadas en diagonales. Caso MCE 0.5R=2.5

Tabla 21. Fuerzas a tracción en las diagonales caso DLE R = 5

mod	tipo de arriostramiento	Área	Fuerza esperada	Fuerza mediana diagonales	FU
		[cm ²]	[tonf]	a tracción DLE R5 [tonf]	
1	L8x9.63	12.3	45.75	12.10	0.26
4	XL8x19.3	24.32	96.69	51.59	0.53
6	XL8x19.3	24.32	96.69	78.47	0.81
7	XL8x19.3	24.32	96.69	93.64	0.97
10	XL8x19.3	24.32	96.69	88.91	0.92
12	XL8x19.3	24.32	96.69	93.40	0.97
13	XL8x19.3	24.32	96.69	72.80	0.75
16	XL8x19.3	24.32	96.69	73.32	0.76
18	XL8x19.3	24.32	96.69	74.97	0.78

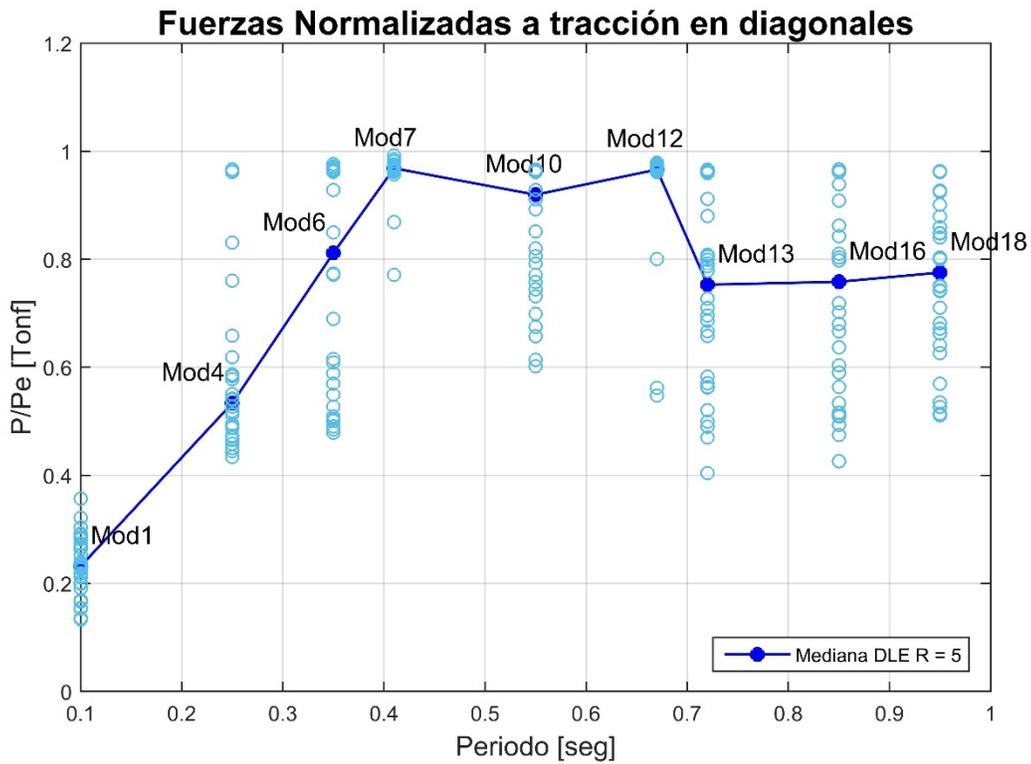


Figura 42. Fuerzas a tracción normalizadas en diagonales. Caso DLE R=5

Tabla 22. Fuerzas a tracción en las diagonales caso DLE 0.7R = 3.5

mod	tipo de arriostramiento	Área	Fuerza esperada	Fuerza mediana diagonales	FU
		[cm ²]	[tonf]	a tracción DLE 0.7R=3.5 [tonf]	
1	L8x9.63	12.3	45.75	12.10	0.26
4	XL8x19.3	24.32	96.69	88.84	0.92
6	XL8x19.3	24.32	96.69	93.01	0.96
7	XL8x19.3	24.32	96.69	93.69	0.97
10	XL8x19.3	24.32	96.69	93.33	0.97
12	XL8x19.3	24.32	96.69	93.30	0.96
13	XL8x19.3	24.32	96.69	93.14	0.96
16	XL8x19.3	24.32	96.69	84.66	0.88
18	XL8x19.3	24.32	96.69	93.10	0.96

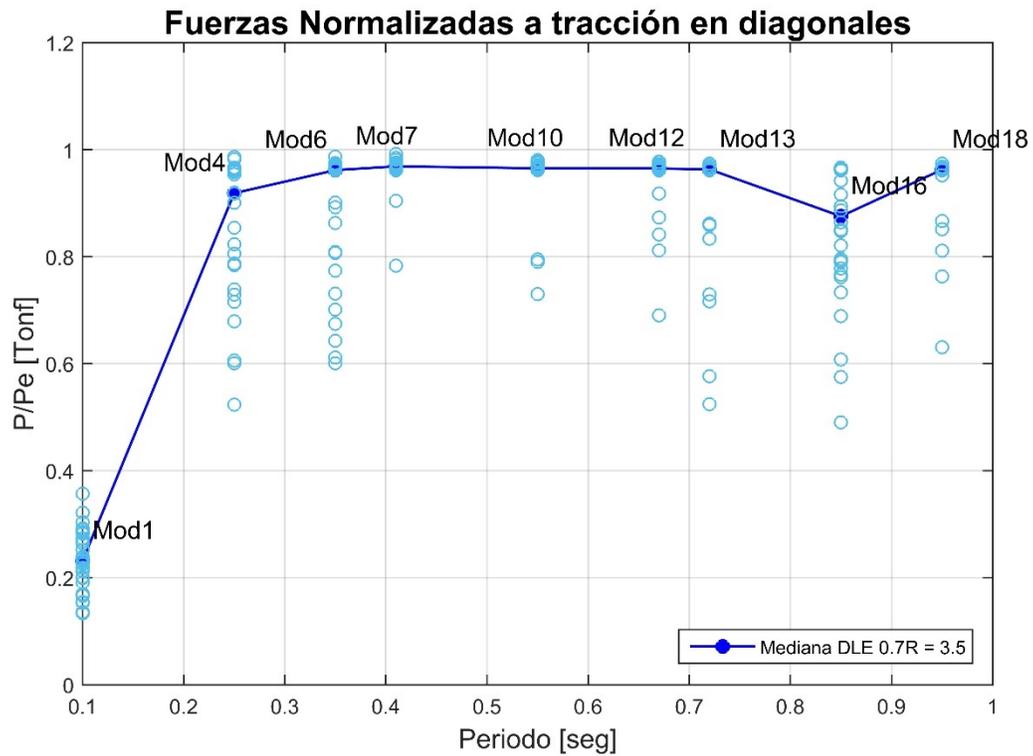


Figura 43. Fuerzas a tracción normalizadas en diagonales. Caso DLE 0.7R=3.5

Tabla 23. Fuerzas a tracción en las diagonales caso DLE 0.5R = 2.5

mod	tipo de arriostramiento	Área	Fuerza esperada	Fuerza mediana diagonales	FU
		[cm ²]	[tonf]	a tracción DLE 0.5R=2.5 [tonf]	
1	L8x9.63	12.3	45.75	12.10	0.26
4	XL8x19.3	24.32	96.69	93.34	0.97
6	XL8x19.3	24.32	96.69	93.17	0.96
7	XL8x19.3	24.32	96.69	93.69	0.97
10	XL8x19.3	24.32	96.69	93.33	0.97
12	XL8x19.3	24.32	96.69	93.30	0.96
13	XL8x19.3	24.32	96.69	93.14	0.96
16	XL8x19.3	24.32	96.69	93.20	0.96
18	XL8x19.3	24.32	96.69	93.26	0.96

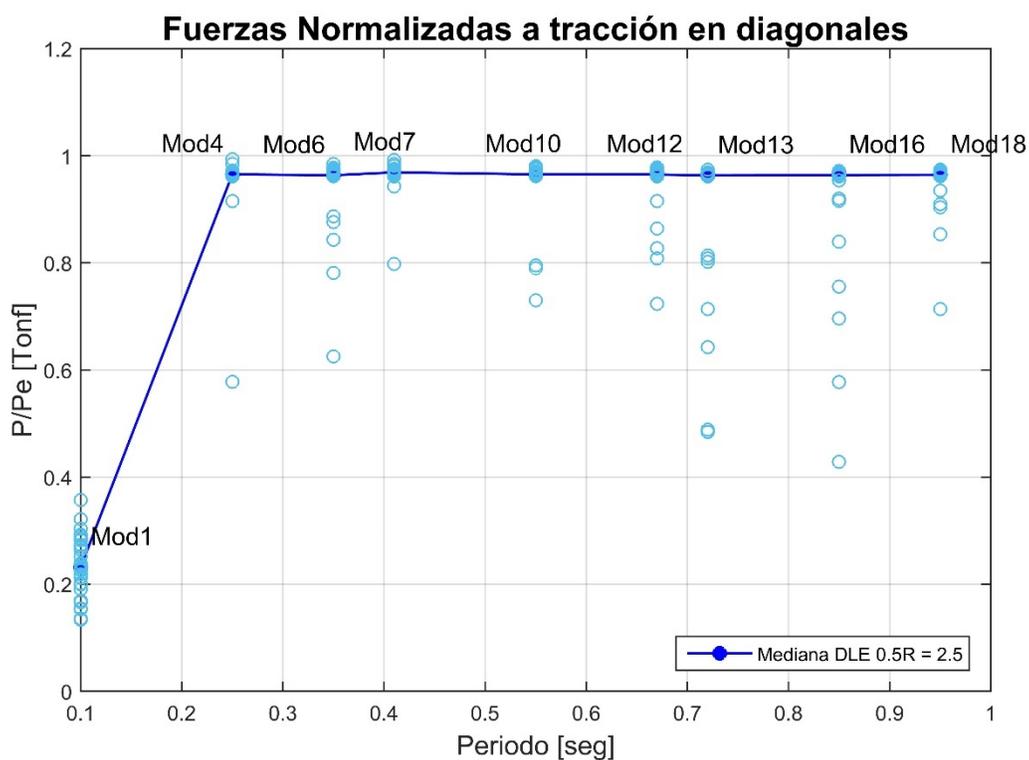


Figura 44. Fuerzas a tracción normalizadas en diagonales. Caso DLE 0.5R=2.5

IV.2.2 Fuerzas a compresión

De la misma forma, el análisis de las fuerzas a compresión en las diagonales se compara con la capacidad esperada crítica de pandeo del elemento, tal cual como se indica en la figura 20 del apartado II.6.

Se muestra entonces las tablas para cada caso de análisis ($R=5$, $R=3.5$ y $R=2.5$) mostrando las fuerzas generadas para cada modelo sometidas a los 30 registros sísmicos, se muestran también las fuerzas esperadas precharacterizadas que fueron aplicadas al modelo y el factor de utilización (FU).

Posterior a eso se muestran en gráficos los análisis de las fuerzas que demandan los arriostramientos normalizando los valores con la capacidad crítica de pandeo.

Tabla 24. Fuerzas de compresión en diagonales, MCE R =5

mod	tipo de arriostramiento	Área [cm ²]	Fuerza de pandeo [tonf]	Fuerza mediana diagonales a compresión MCE R5 [tonf]	FU
1	L8x9.63	12.3	52.25	13.57	0.26
4	XL8x19.3	24.32	53.40	52.10	0.98
6	XL8x19.3	24.32	53.40	52.13	0.98
7	XL8x19.3	24.32	53.40	53.32	1.00
10	XL8x19.3	24.32	53.40	53.31	1.00
12	XL8x19.3	24.32	53.40	53.31	1.00
13	XL8x19.3	24.32	53.40	53.31	1.00
16	XL8x19.3	24.32	53.40	53.29	1.00
18	XL8x19.3	24.32	53.40	53.29	1.00

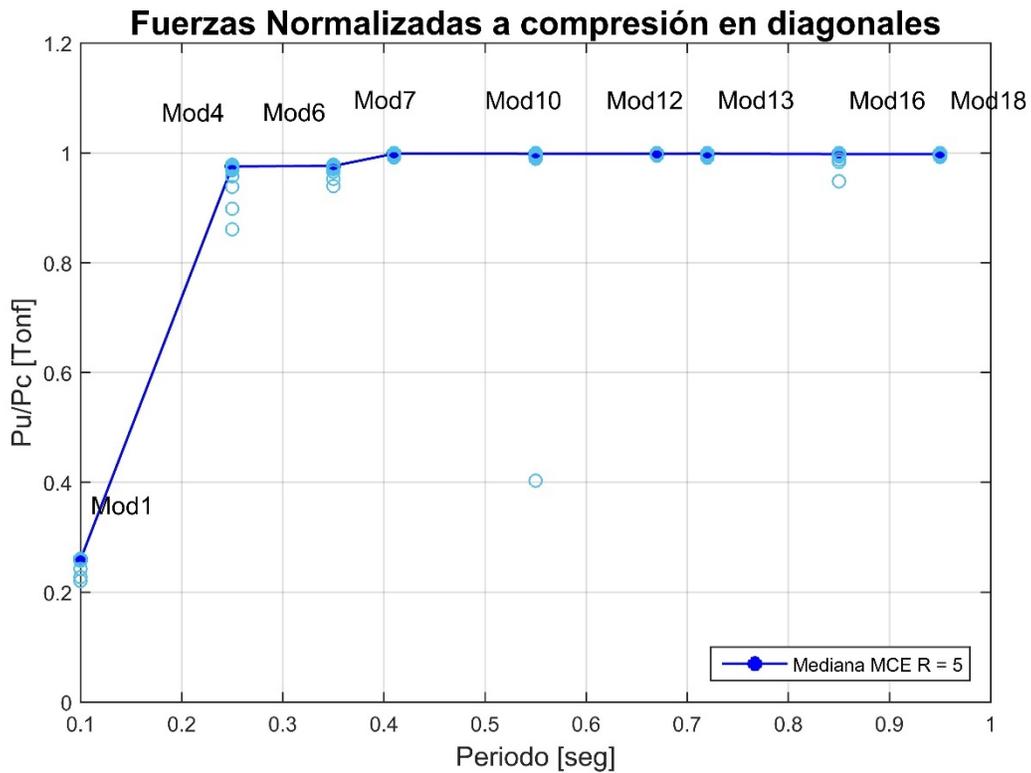


Figura 45. Fuerzas normalizadas a compresión en diagonales, MCE R = 5

Tabla 25. Fuerzas de compresión en diagonales, MCE 0.7R =3.5

mod	tipo de arriostramiento	Área [cm ²]	Fuerza de pandeo [tonf]	Fuerza mediana diagonales	FU
				a compresión MCE 0.7R=3.5 [tonf]	
1	L8x9.63	12.3	52.25	13.57	0.26
4	XL8x19.3	24.32	53.40	52.13	0.98
6	XL8x19.3	24.32	53.40	52.10	0.98
7	XL8x19.3	24.32	53.40	53.31	1.00
10	XL8x19.3	24.32	53.40	53.28	1.00
12	XL8x19.3	24.32	53.40	53.33	1.00
13	XL8x19.3	24.32	53.40	53.32	1.00
16	XL8x19.3	24.32	53.40	53.33	1.00
18	XL8x19.3	24.32	53.40	53.31	1.00

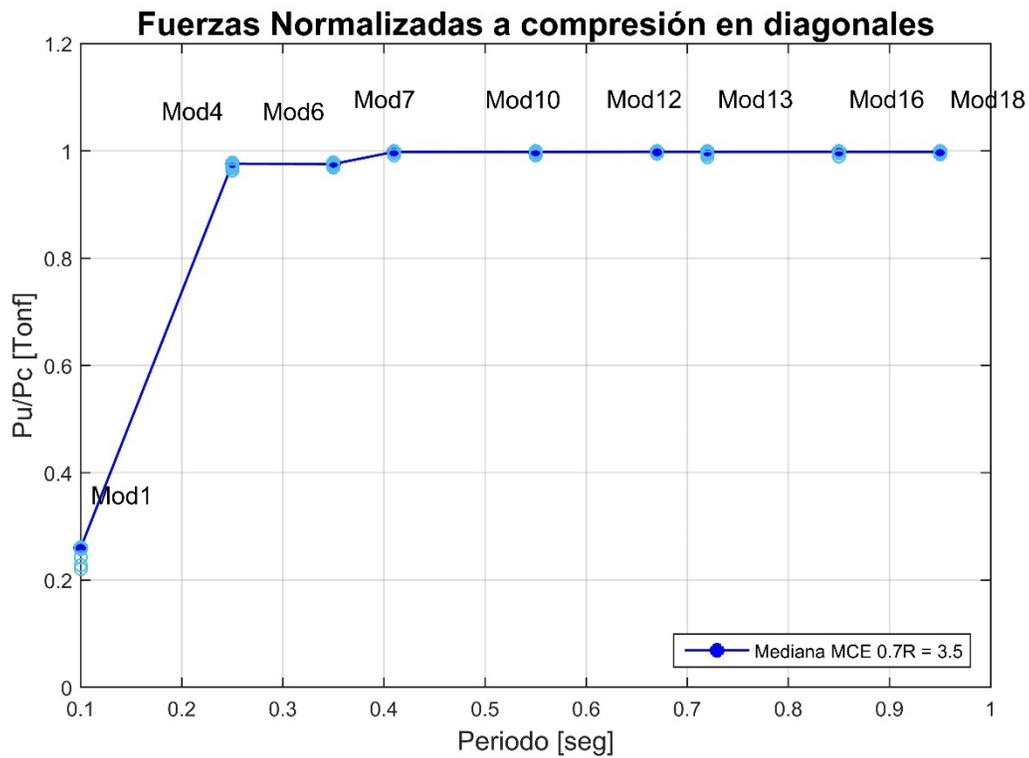


Figura 46. Fuerzas normalizadas a compresión en diagonales, MCE 0.7R =3.5

Tabla 26. Fuerzas de compresión en diagonales, MCE 0.5R =2.5

mod	tipo de arriostramiento	Área [cm2]	Fuerza de pandeo [tonf]	Fuerza mediana diagonales	FU
				a compresión MCE 0.5R=2.5 [tonf]	
1	L8x9.63	12.3	52.25	13.57	0.26
4	XL8x19.3	24.32	53.40	52.07	0.98
6	XL8x19.3	24.32	53.40	52.12	0.98
7	XL8x19.3	24.32	53.40	53.32	1.00
10	XL8x19.3	24.32	53.40	53.27	1.00
12	XL8x19.3	24.32	53.40	53.31	1.00
13	XL8x19.3	24.32	53.40	53.29	1.00
16	XL8x19.3	24.32	53.40	53.32	1.00
18	XL8x19.3	24.32	53.40	53.32	1.00

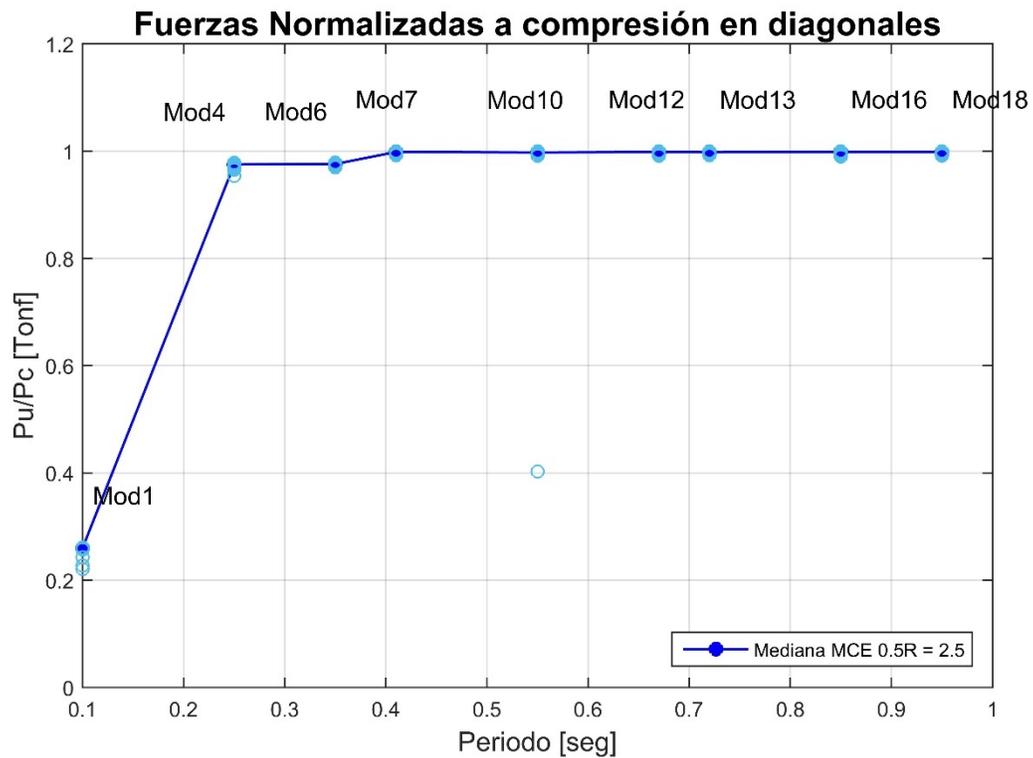


Figura 47. Fuerzas normalizadas a compresión en diagonales, MCE 0.5R = 2.5

Tabla 27. Fuerzas de compresión en diagonales, DLE R =5

mod	tipo de arriostramiento	Área [cm ²]	Fuerza de pandeo [tonf]	Fuerza mediana diagonales a compresión DLE R5 [tonf]	FU
1	L8x9.63	12.3	52.25	13.14	0.25
4	XL8x19.3	24.32	53.40	51.99	0.97
6	XL8x19.3	24.32	53.40	52.07	0.98
7	XL8x19.3	24.32	53.40	53.27	1.00
10	XL8x19.3	24.32	53.40	53.29	1.00
12	XL8x19.3	24.32	53.40	53.29	1.00
13	XL8x19.3	24.32	53.40	53.27	1.00
16	XL8x19.3	24.32	53.40	53.28	1.00
18	XL8x19.3	24.32	53.40	53.31	1.00

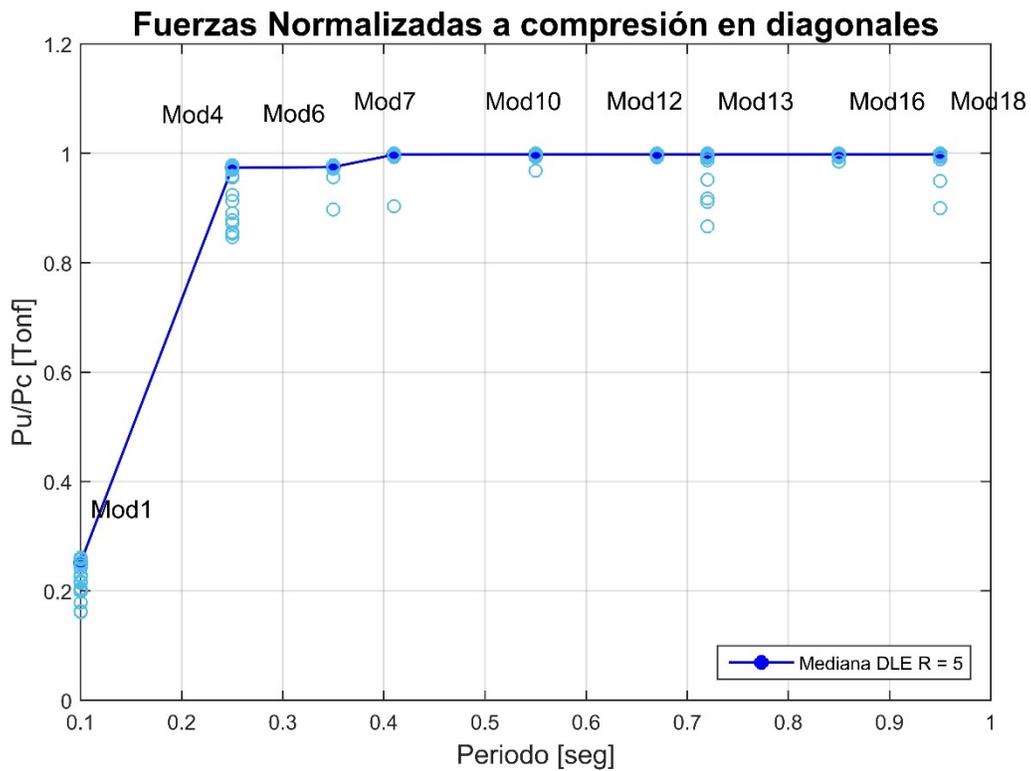


Figura 48. Fuerzas normalizadas a compresión en diagonales, DLE R = 5

Tabla 28. Fuerzas de compresión en diagonales, DLE 0.7R =3.5

mod	tipo de arriostramiento	Área [cm2]	Fuerza de pandeo [tonf]	Fuerza mediana diagonales	FU
				a compresión DLE 0.7R=3.5 [tonf]	
1	L8x9.63	12.3	52.25	13.14	0.25
4	XL8x19.3	24.32	53.40	52.04	0.97
6	XL8x19.3	24.32	53.40	52.15	0.98
7	XL8x19.3	24.32	53.40	53.29	1.00
10	XL8x19.3	24.32	53.40	53.30	1.00
12	XL8x19.3	24.32	53.40	53.29	1.00
13	XL8x19.3	24.32	53.40	53.31	1.00
16	XL8x19.3	24.32	53.40	53.32	1.00
18	XL8x19.3	24.32	53.40	53.31	1.00

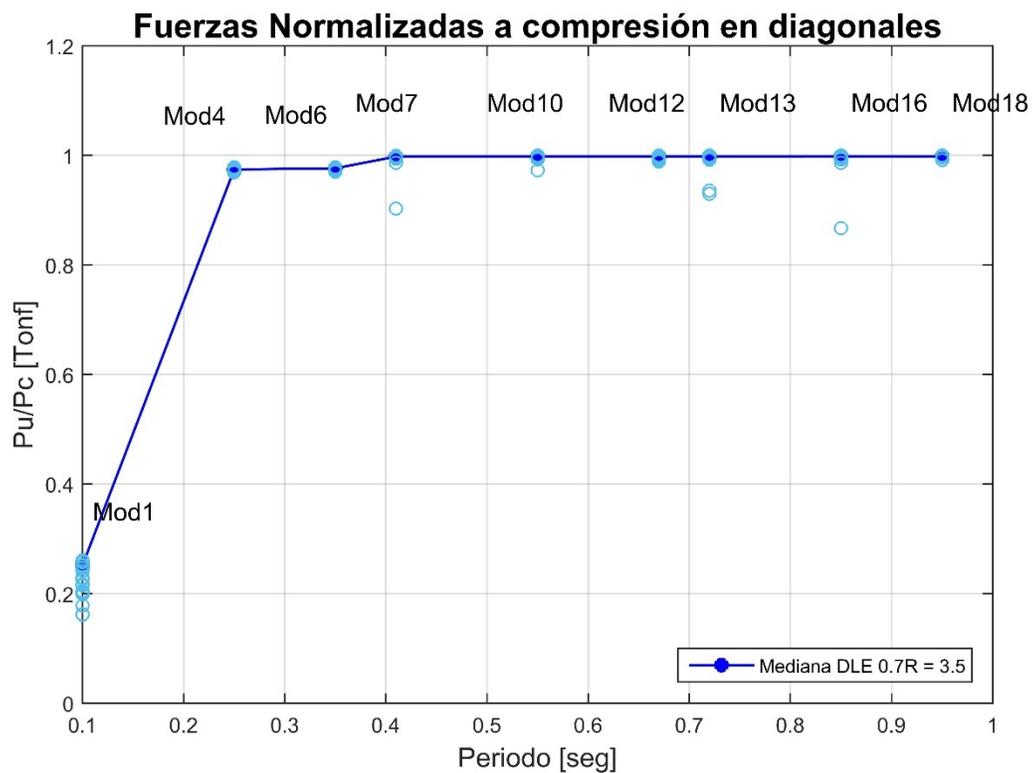


Figura 49. Fuerzas normalizadas a compresión en diagonales, DLE 0.7R = 3.5

Tabla 29. Fuerzas de compresión en diagonales, DLE 0.5R =2.5

mod	tipo de arriostramiento	Área [cm ²]	Fuerza de pandeo [tonf]	Fuerza mediana diagonales	FU
				a compresión DLE 0.5R=2.5 [tonf]	
1	L8x9.63	12.3	52.25	13.14	0.25
4	XL8x19.3	24.32	53.40	52.08	0.98
6	XL8x19.3	24.32	53.40	52.14	0.98
7	XL8x19.3	24.32	53.40	53.30	1.00
10	XL8x19.3	24.32	53.40	53.30	1.00
12	XL8x19.3	24.32	53.40	53.31	1.00
13	XL8x19.3	24.32	53.40	53.30	1.00
16	XL8x19.3	24.32	53.40	53.34	1.00
18	XL8x19.3	24.32	53.40	53.30	1.00

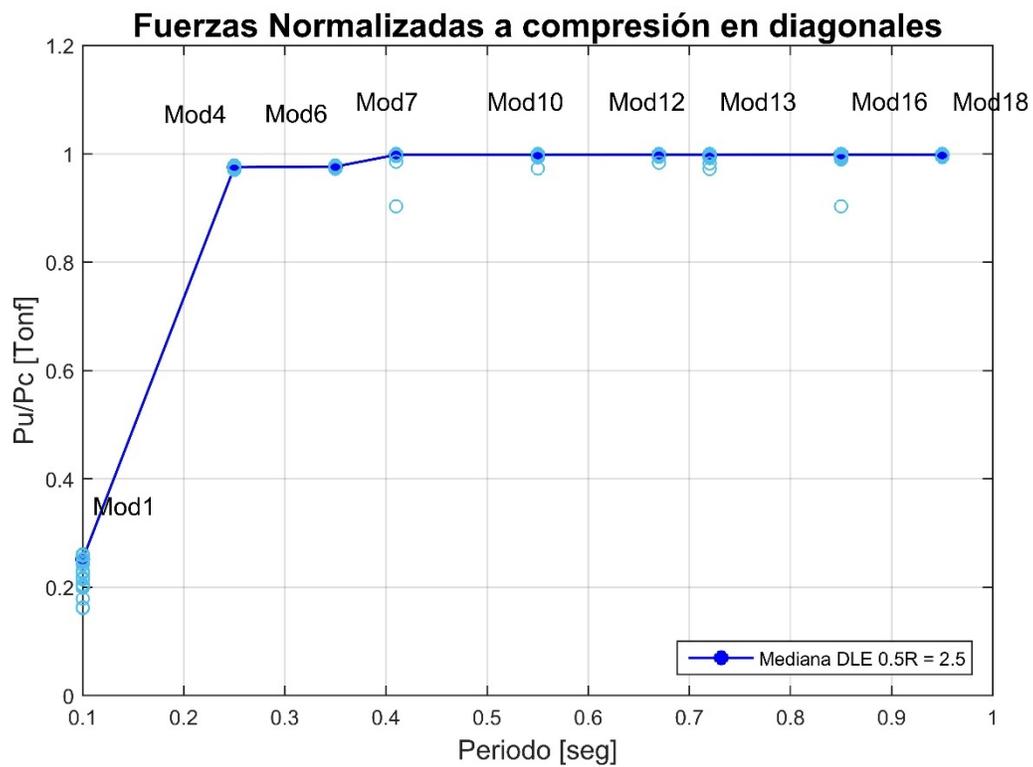


Figura 50. Fuerzas normalizadas a compresión en diagonales, DLE 0.5R = 2.5

IV.3 Deformación de las diagonales

IV.3.1 Deformación por tracción

Al igual que el análisis de deformación de los anclajes se realiza la comparación de las deformaciones de las diagonales de arriostramiento versus la deformación de fluencia precaracterizada que fueron utilizados para los modelos. Se muestran en una tabla los valores mencionados anteriormente y una gráfica que indica el porcentaje de deformación que tiene la diagonal con respecto a su longitud total.

Tabla 30. Deformación de diagonales a tracción, MCE R =5

mod	tipo de arriostramiento	longitud	de formación de fluencia	Def mediana diagonales	Ductilidad
		[cm]	[mm]	MCE R5 [mm]	
1	L8x9.63	424	9.73	2.79	0.29
4	XL8x19.3	583.1	9.54	6.42	0.67
6	XL8x19.3	583.1	9.54	8.50	0.89
7	XL8x19.3	583.1	9.54	44.98	4.71
10	XL8x19.3	583.1	9.54	14.28	1.50
12	XL8x19.3	583.1	9.54	29.37	3.08
13	XL8x19.3	583.1	9.54	9.97	1.04
16	XL8x19.3	583.1	9.54	10.47	1.10
18	XL8x19.3	583.1	9.54	11.66	1.22

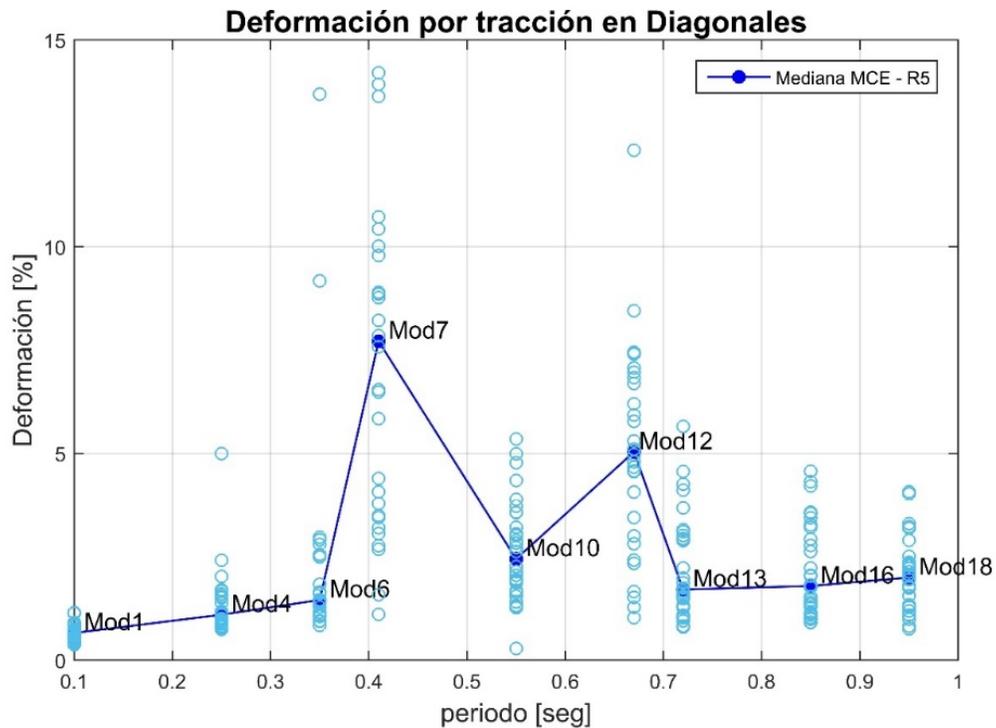


Figura 51. Deformación en porcentaje de diagonales en tracción, MCE R =5

Tabla 31. Deformación de diagonales a tracción, MCE 0.7R =3.5

mod	tipo de arriostramiento	longitud [cm]	de formación de fluencia [mm]	Def mediana diagonales MCE 0.7R = 3.5 [mm]	Ductilidad
1	L8x9.63	424	9.73	2.79	0.29
4	XL8x19.3	583.1	9.54	11.00	1.15
6	XL8x19.3	583.1	9.54	17.18	1.80
7	XL8x19.3	583.1	9.54	47.81	5.01
10	XL8x19.3	583.1	9.54	33.06	3.46
12	XL8x19.3	583.1	9.54	30.22	3.17
13	XL8x19.3	583.1	9.54	24.49	2.57
16	XL8x19.3	583.1	9.54	17.86	1.87
18	XL8x19.3	583.1	9.54	21.20	2.22

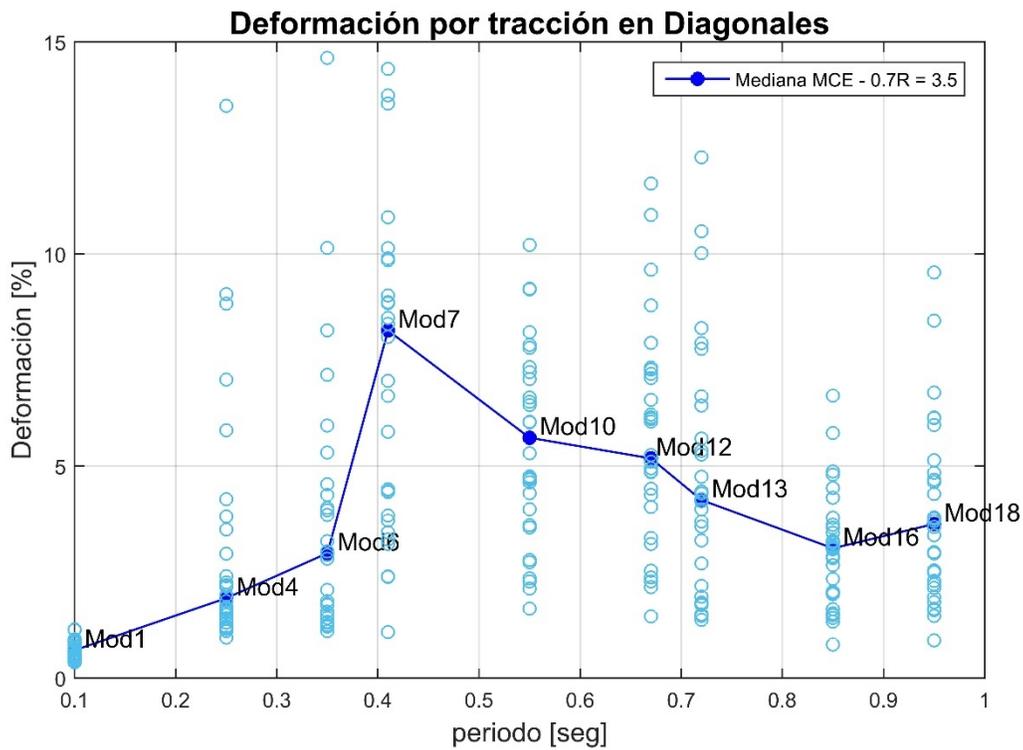


Figura 52. Deformación en porcentaje de diagonales en tracción, MCE 0.7R =3.5

Tabla 32. Deformación de diagonales a tracción, MCE 0.5R =2.5

mod	tipo de arriostramiento	longitud [cm]	de formación de fluencia [mm]	Def mediana diagonales MCE 0.5R = 2.5 [mm]	Ductilidad
1	L8x9.63	424	9.73	2.79	0.29
4	XL8x19.3	583.1	9.54	29.84	3.13
6	XL8x19.3	583.1	9.54	37.82	3.96
7	XL8x19.3	583.1	9.54	47.70	5.00
10	XL8x19.3	583.1	9.54	33.06	3.46
12	XL8x19.3	583.1	9.54	30.16	3.16
13	XL8x19.3	583.1	9.54	28.10	2.95
16	XL8x19.3	583.1	9.54	28.65	3.00
18	XL8x19.3	583.1	9.54	26.64	2.79

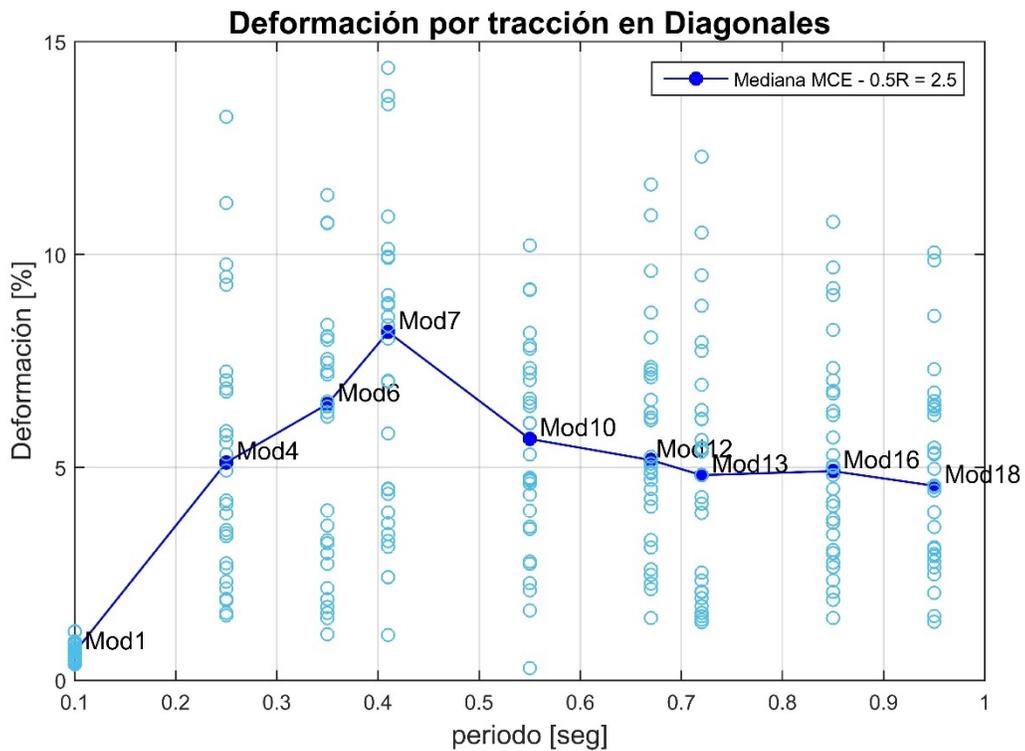


Figura 53. Deformación en porcentaje de diagonales en tracción, MCE 0.5R =2.5

Tabla 33. Deformación de diagonales a tracción, DLE R =5

mod	tipo de arriostramiento	longitud [cm]	de formación de fluencia	Def mediana diagonales	Ductilidad
			[mm]	DLE R5 [mm]	
1	L8x9.63	424	9.73	1.92	0.20
4	XL8x19.3	583.1	9.54	5.40	0.57
6	XL8x19.3	583.1	9.54	8.21	0.86
7	XL8x19.3	583.1	9.54	28.60	3.00
10	XL8x19.3	583.1	9.54	9.12	0.96
12	XL8x19.3	583.1	9.54	21.85	2.29
13	XL8x19.3	583.1	9.54	7.76	0.81
16	XL8x19.3	583.1	9.54	7.56	0.79
18	XL8x19.3	583.1	9.54	7.69	0.81

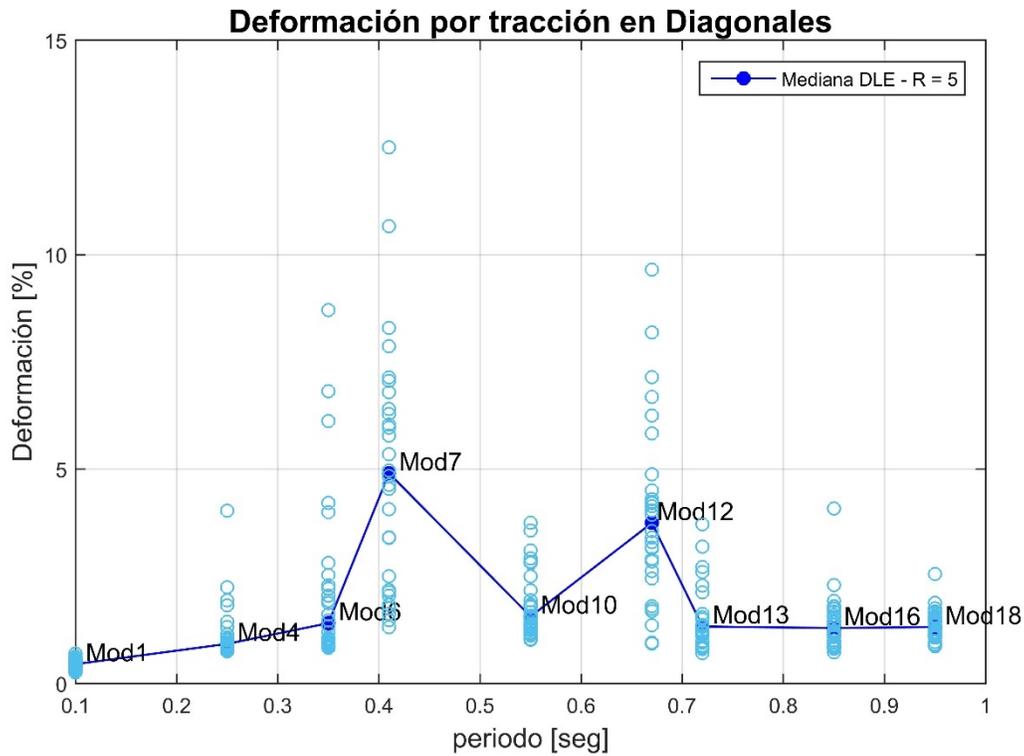


Figura 54. Deformación en porcentaje de diagonales en tracción, DLE R =5

Tabla 34. Deformación de diagonales a tracción, DLE 0.7R =3.5

mod	tipo de arriostramiento	longitud [cm]	de formación de fluencia [mm]	Def mediana diagonales DLE 0.7R = 3.5 [mm]	Ductilidad
1	L8x9.63	424	9.73	1.92	0.20
4	XL8x19.3	583.1	9.54	9.30	0.97
6	XL8x19.3	583.1	9.54	10.94	1.15
7	XL8x19.3	583.1	9.54	29.90	3.13
10	XL8x19.3	583.1	9.54	20.00	2.10
12	XL8x19.3	583.1	9.54	19.07	2.00
13	XL8x19.3	583.1	9.54	14.56	1.53
16	XL8x19.3	583.1	9.54	8.69	0.91
18	XL8x19.3	583.1	9.54	13.48	1.41

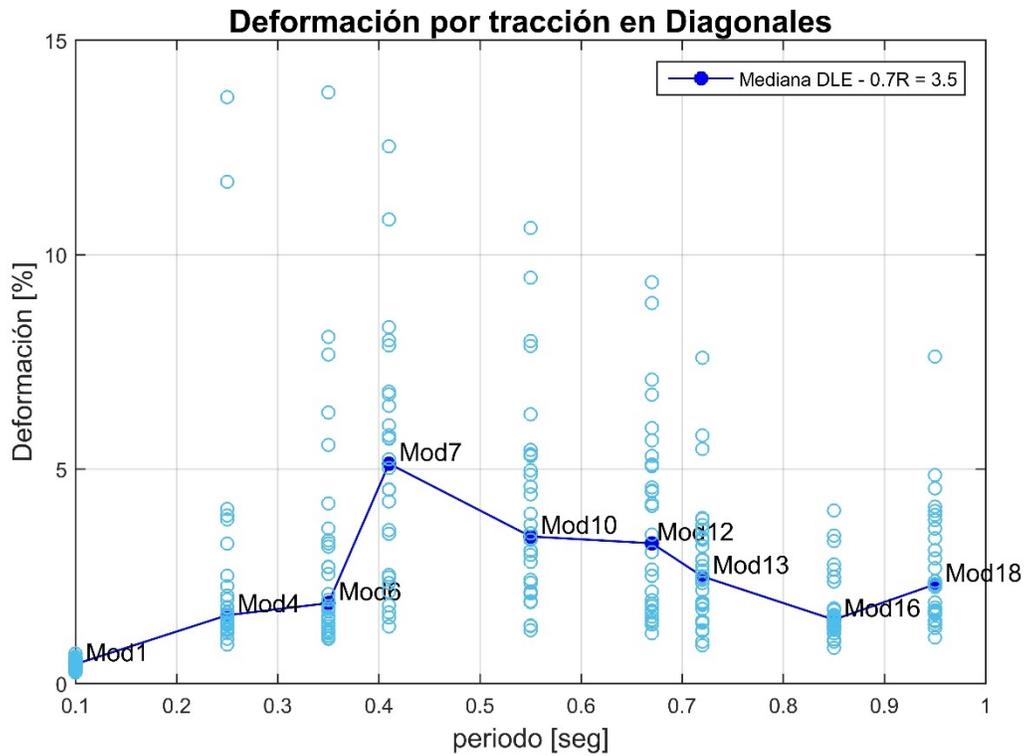


Figura 55. Deformación en porcentaje de diagonales en tracción, DLE 0.7R =3.5

Tabla 35. Deformación de diagonales a tracción, DLE 0.5R =2.5

mod	tipo de arriostramiento	longitud [cm]	de formación de fluencia [mm]	Def mediana diagonales DLE 0.5R = 2.5 [mm]	Ductilidad
1	L8x9.63	424	9.73	1.92	0.20
4	XL8x19.3	583.1	9.54	20.58	2.16
6	XL8x19.3	583.1	9.54	15.62	1.64
7	XL8x19.3	583.1	9.54	30.15	3.16
10	XL8x19.3	583.1	9.54	19.33	2.03
12	XL8x19.3	583.1	9.54	19.11	2.00
13	XL8x19.3	583.1	9.54	14.42	1.51
16	XL8x19.3	583.1	9.54	16.35	1.71
18	XL8x19.3	583.1	9.54	17.98	1.88

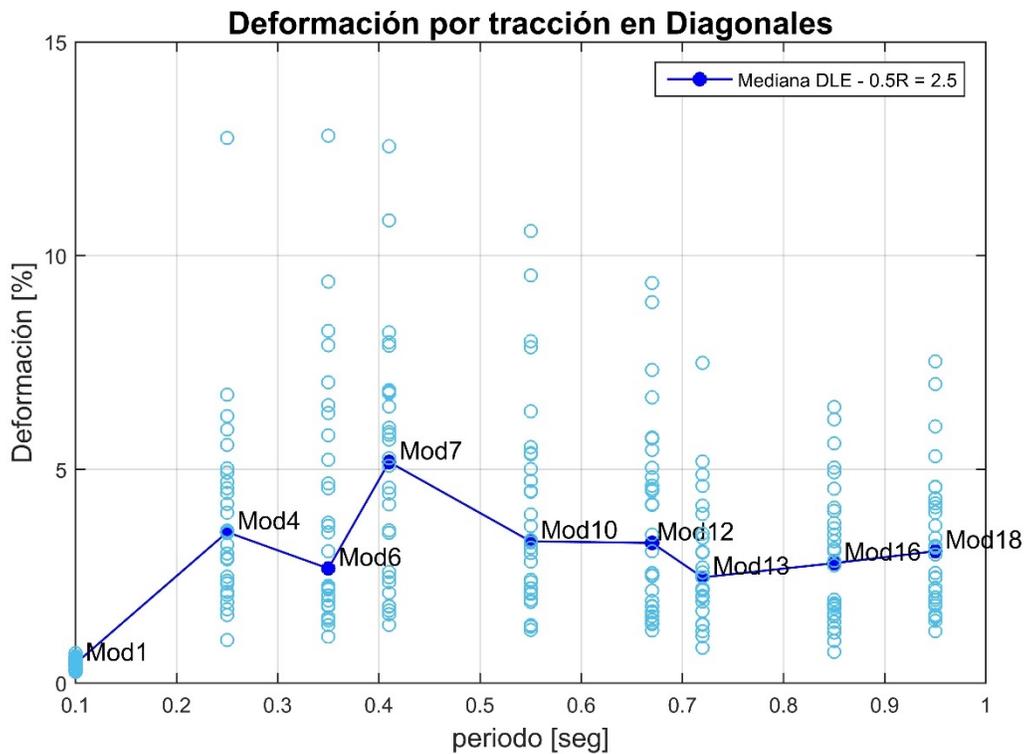


Figura 56. Deformación en porcentaje de diagonales en tracción, DLE 0.5R =2.5

IV.3.2 Deformación por compresión en las diagonales

Al igual que en el análisis por tracción de deformación de los anclajes se realiza la comparación de las deformaciones de las diagonales de arriostramiento con la deformación de pandeo precaracterizada que fueron utilizados para los modelos. Se muestran en una tabla

los valores mencionados anteriormente y una gráfica que indica el porcentaje de deformación que tiene la diagonal con respecto a su longitud total.

Tabla 36. Deformación de diagonales a compresión, MCE R =5

mod	tipo de arriostramiento	longitud [cm]	deformación de pando [mm]	Def mediana diagonales MCE R5 [mm]	Ductilidad
1	L8x9.63	424	-5.48	-3.41	0.62
4	XL8x19.3	583.1	-5.48	-7.61	1.39
6	XL8x19.3	583.1	-5.48	-10.86	1.98
7	XL8x19.3	583.1	-5.48	-41.40	7.55
10	XL8x19.3	583.1	-5.48	-14.16	2.58
12	XL8x19.3	583.1	-5.48	-29.76	5.43
13	XL8x19.3	583.1	-5.48	-11.73	2.14
16	XL8x19.3	583.1	-5.48	-11.95	2.18
18	XL8x19.3	583.1	-5.48	-11.07	2.02

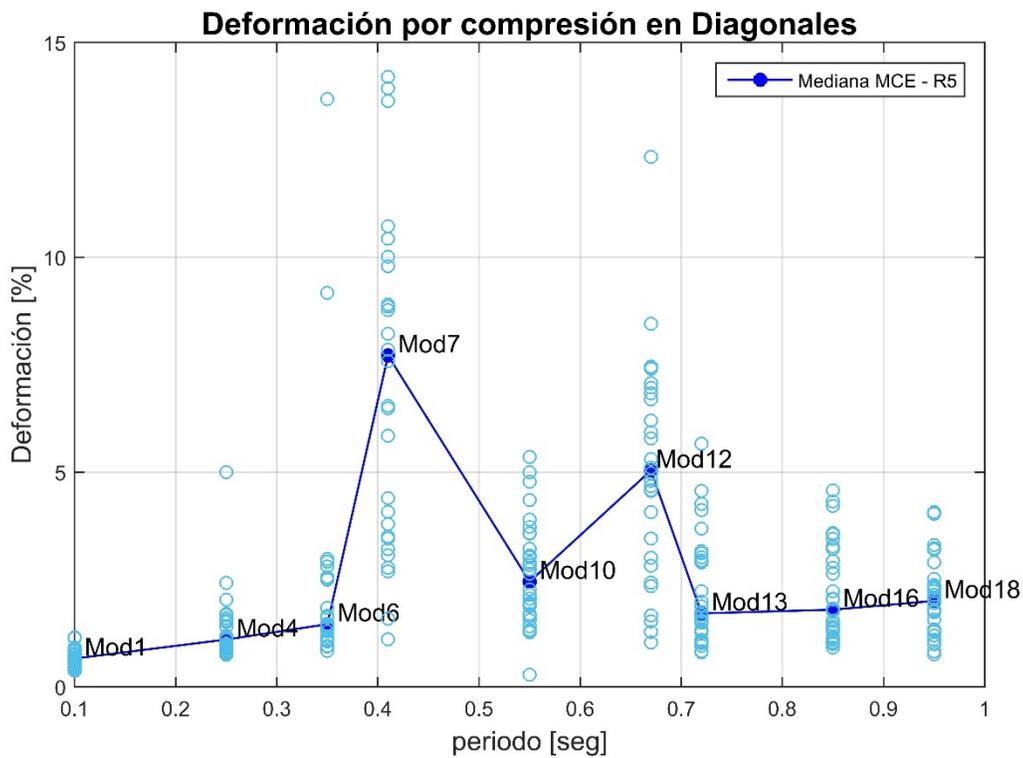


Figura 57. Deformación de las diagonales (en porcentaje) por compresión, caso MCE R =5

Tabla 37. Deformación de diagonales a compresión, MCE 0.7R = 3.5

mod	tipo de arriostramiento	longitud [cm]	deformación de pandeo [mm]	Def mediana diagonales MCE 0.7R = 3.5 [mm]	Ductilidad
1	L8x9.63	424	-5.48	-3.41	0.62
4	XL8x19.3	583.1	-5.48	-12.28	2.24
6	XL8x19.3	583.1	-5.48	-21.34	3.89
7	XL8x19.3	583.1	-5.48	-41.89	7.64
10	XL8x19.3	583.1	-5.48	-34.77	6.34
12	XL8x19.3	583.1	-5.48	-33.53	6.12
13	XL8x19.3	583.1	-5.48	-23.39	4.27
16	XL8x19.3	583.1	-5.48	-19.09	3.48
18	XL8x19.3	583.1	-5.48	-28.00	5.11

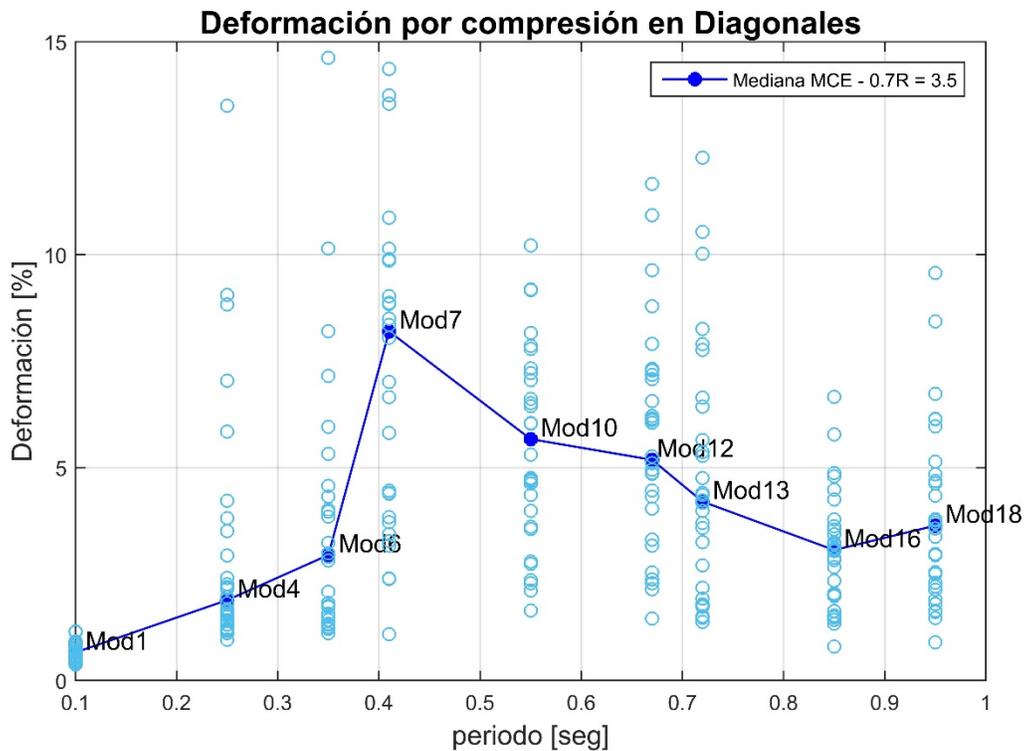


Figura 58. Deformación de las diagonales (en porcentaje) por compresión, caso MCE 0.7R = 3.5

Tabla 38. Deformación de diagonales a compresión, MCE 0.5R =2.5

mod	tipo de arriostramiento	longitud [cm]	deformación de pandeo [mm]	Def mediana diagonales MCE 0.5R = 2.5 [mm]	Ductilidad
1	L8x9.63	424	-5.48	-3.41	0.62
4	XL8x19.3	583.1	-5.48	-30.69	5.60
6	XL8x19.3	583.1	-5.48	-38.34	7.00
7	XL8x19.3	583.1	-5.48	-42.18	7.70
10	XL8x19.3	583.1	-5.48	-34.77	6.34
12	XL8x19.3	583.1	-5.48	-33.41	6.10
13	XL8x19.3	583.1	-5.48	-24.53	4.48
16	XL8x19.3	583.1	-5.48	-25.84	4.72
18	XL8x19.3	583.1	-5.48	-27.78	5.07

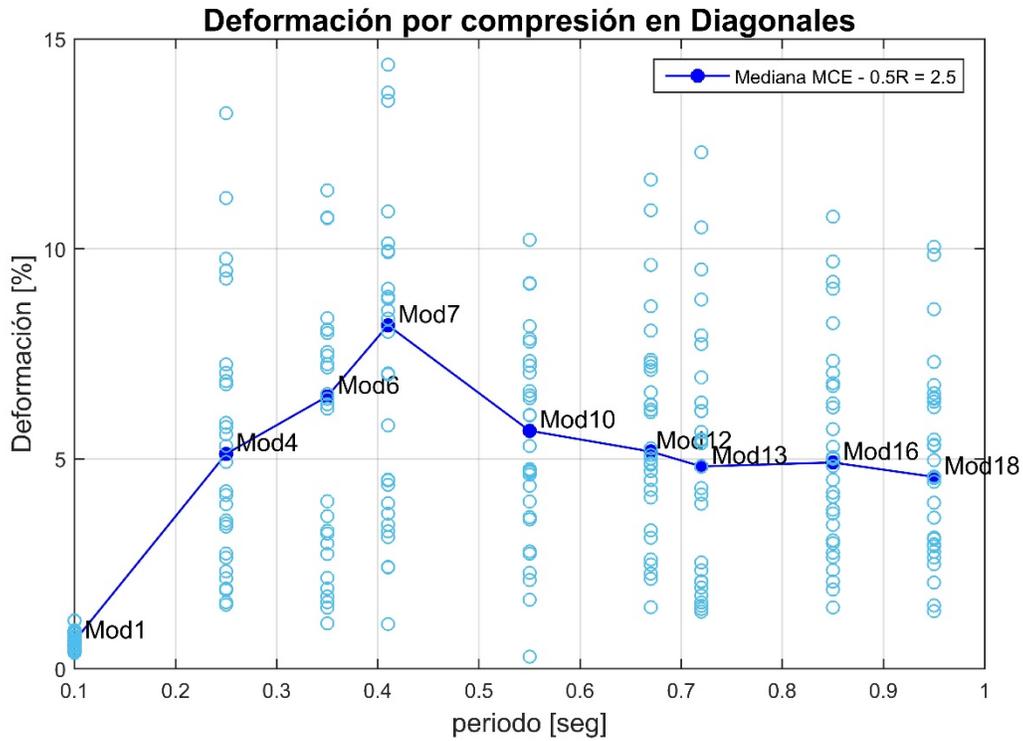


Figura 59. Deformación de las diagonales (en porcentaje) por compresión, caso MCE 0.5R

=2.5

Tabla 39. Deformación de diagonales a compresión, DLE R =5

mod	tipo de arriostramiento	longitud [cm]	deformación de pandeo [mm]	Def mediana diagonales DLE R5 [mm]	Ductilidad
1	L8x9.63	424	-5.48	-2.09	0.38
4	XL8x19.3	583.1	-5.48	-5.83	1.06
6	XL8x19.3	583.1	-5.48	-7.37	1.35
7	XL8x19.3	583.1	-5.48	-26.93	4.91
10	XL8x19.3	583.1	-5.48	-11.31	2.06
12	XL8x19.3	583.1	-5.48	-18.57	3.39
13	XL8x19.3	583.1	-5.48	-10.02	1.83
16	XL8x19.3	583.1	-5.48	-8.57	1.56
18	XL8x19.3	583.1	-5.48	-7.76	1.42

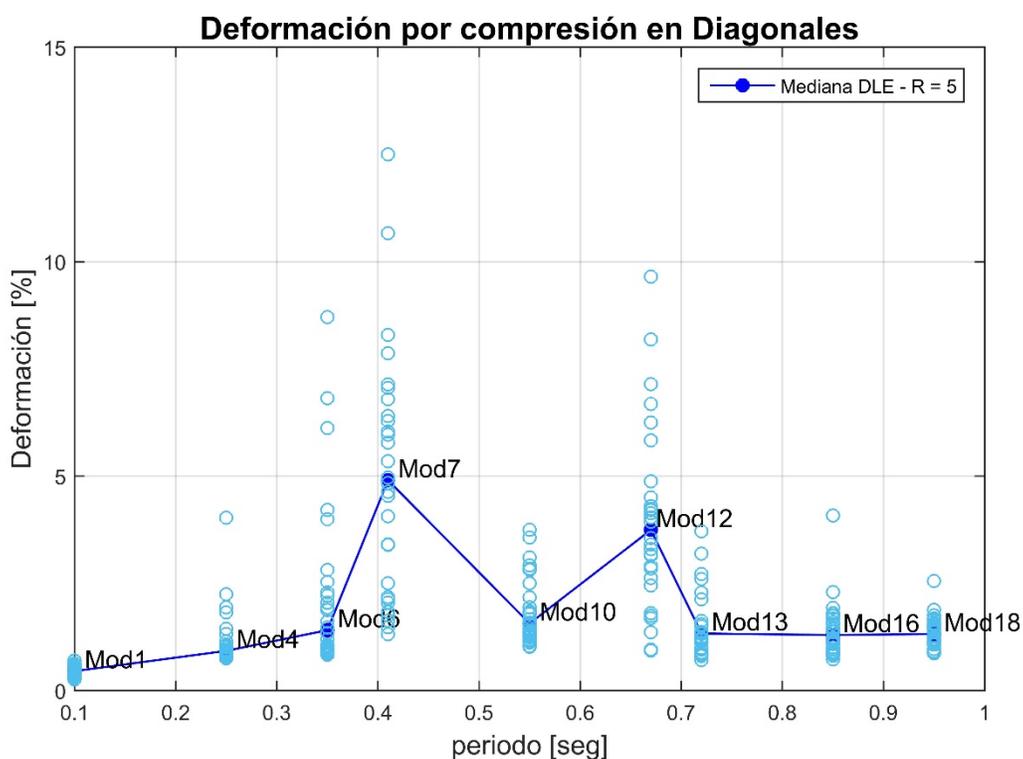


Figura 60. Deformación de las diagonales (en porcentaje) por compresión, caso DLE R =5

Tabla 40. Deformación de diagonales a compresión, DLE 0.7R =3.5

mod	tipo de arriostramiento	longitud [cm]	deformación de pandeo [mm]	Def mediana diagonales DLE 0.7R = 3.5 [mm]	Ductilidad
1	L8x9.63	424	-5.48	-2.09	0.38
4	XL8x19.3	583.1	-5.48	-9.11	1.66
6	XL8x19.3	583.1	-5.48	-15.37	2.80
7	XL8x19.3	583.1	-5.48	-27.00	4.93
10	XL8x19.3	583.1	-5.48	-16.66	3.04
12	XL8x19.3	583.1	-5.48	-26.30	4.80
13	XL8x19.3	583.1	-5.48	-16.24	2.96
16	XL8x19.3	583.1	-5.48	-10.82	1.98
18	XL8x19.3	583.1	-5.48	-15.52	2.83

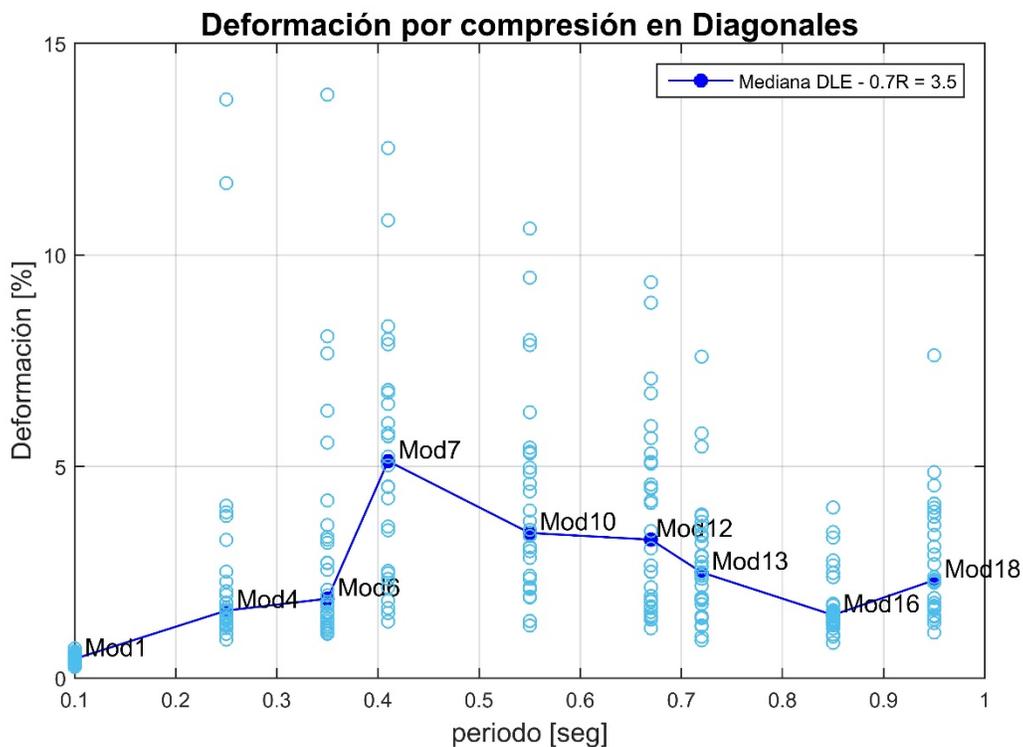


Figura 61. Deformación de las diagonales (en porcentaje) por compresión, caso DLE 0.7R =3.5

Tabla 41. Deformación de diagonales a compresión, DLE 0.5R =2.5

mod	tipo de arriostramiento	longitud [cm]	deformación de pandeo [mm]	Def mediana diagonales DLE 0.5R = 2.5 [mm]	Ductilidad
1	L8x9.63	424	-5.48	-2.09	0.38
4	XL8x19.3	583.1	-5.48	-20.42	3.73
6	XL8x19.3	583.1	-5.48	-24.26	4.43
7	XL8x19.3	583.1	-5.48	-27.15	4.95
10	XL8x19.3	583.1	-5.48	-16.41	2.99
12	XL8x19.3	583.1	-5.48	-26.76	4.88
13	XL8x19.3	583.1	-5.48	-15.79	2.88
16	XL8x19.3	583.1	-5.48	-15.42	2.81
18	XL8x19.3	583.1	-5.48	-19.54	3.57

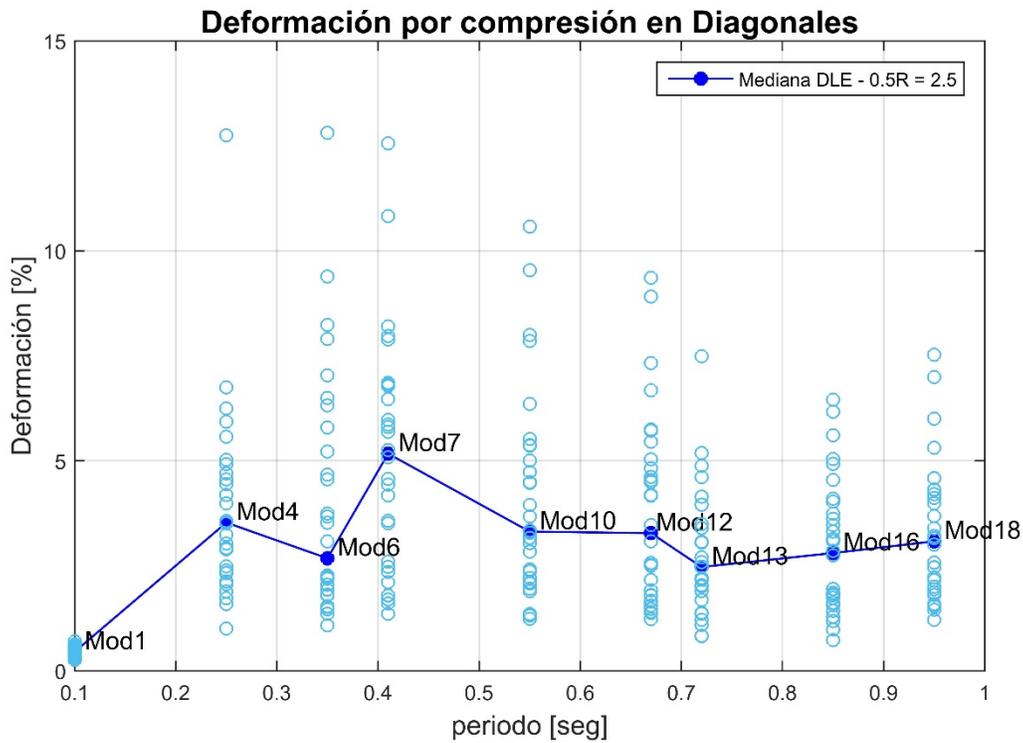


Figura 62. Deformación de las diagonales (en porcentaje) por compresión, caso DLE 0.5R

=2.5

IV.4 Criterios de aceptación según ASCE 41-17

Para realizar un control más riguroso y formal en el análisis no lineal de las estructuras se utiliza la norma ASCE 41-17 “Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings” para controlar la deformación que se genera en las diagonales por tracción y por compresión.

Para esto se utiliza la siguiente tabla:

Tabla 42. “Parámetros de modelación y criterios de aceptación para procedimientos no lineales – Componentes de Acero Estructural – Acciones axiales” (Tabla 9.8 ASCE 41-17)

Component/Action	Modeling Parameters			Acceptance Criteria		
	Plastic Deformation	Residual Strength Ratio		Plastic Deformation		
		a	B	c	IO	LS
Braces in Compression (except EBF braces)^{a,b}						
a. Slender $\frac{Kl}{r} \geq 4.2\sqrt{E/F_y}$						
1. W, I, 2L in-plane ^c , 2C in-plane ^c	0.5Δ _c	10Δ _c	0.3	0.5Δ _c	8Δ _c	10Δ _c
2. 2L out-of-plane ^c , 2C out-of-plane ^c	0.5Δ _c	9Δ _c	0.3	0.5Δ _c	7Δ _c	9Δ _c
3. HSS, pipes, tubes	0.5Δ _c	9Δ _c	0.3	0.5Δ _c	7Δ _c	9Δ _c
4. Single angle	0.5Δ _c	12Δ _c	0.3	0.5Δ _c	9Δ _c	12Δ _c
b. Stocky ^d $\frac{Kl}{r} \leq 2.1\sqrt{E/F_y}$						
1. W, I, 2L in-plane ^c , 2C in-plane ^c	1Δ _c	8Δ _c	0.5	0.5Δ _c	7Δ _c	8Δ _c
2. 2L out-of-plane ^c , 2C out-of-plane ^c	1Δ _c	7Δ _c	0.5	0.5Δ _c	6Δ _c	7Δ _c
3. HSS, pipes, tubes	1Δ _c	7Δ _c	0.5	0.5Δ _c	6Δ _c	7Δ _c
c. Intermediate	Linear interpolation between the values for slender and stocky braces (after application of all applicable modifiers) shall be used.					
Braces in Tension (except EBF braces)^{e-g}						
1. W	10Δ _T	13Δ _T	0.6	0.5Δ _T	10Δ _T	13Δ _T
2. 2L	9Δ _T	12Δ _T	0.6	0.5Δ _T	9Δ _T	12Δ _T
3. HSS	9Δ _T	11Δ _T	0.6	0.5Δ _T	8Δ _T	11Δ _T
4. Pipe	8Δ _T	9Δ _T	0.6	0.5Δ _T	7Δ _T	9Δ _T
5. Single angle	10Δ _T	11Δ _T	0.6	0.5Δ _T	8Δ _T	10Δ _T
Columns in tension (except EBF Columns) ^e	5Δ _T	7Δ _T	1.0	0.5Δ _T	6Δ _T	7Δ _T
Buckling-Restrained Braces ^{h-j}	13.3Δ _y	13.3Δ _y	1.0	3.0Δ _y	10Δ _y	13.3Δ _y

Donde :

Δ_c = Deformación axial al esfuerzo de pandeo esperado.

IO = Ocupación inmediata (Immediate Occupancy)

LS = Seguridad de vida (Life Safety)

CP = Prevención de Colapso (Collapse Prevention)

En la tabla anterior se señala con una línea naranja los valores de criterios de aceptación para deformación para los dos casos (tracción y compresión) de nuestras diagonales.

Entonces a partir de esa información se realiza la verificación en primer lugar para la deformación por tracción en diagonales:

Tabla 43. Criterio de aceptación por deformación a fluencia de las diagonales, MCE R = 5

mod	tipo de arriostramiento	longitud [cm]	deformación de fluencia esperada [mm]	IO	LS	CP	Def mediana diagonales	Criterio de
				$0.5\Delta_T$ [mm]	$9\Delta_T$ [mm]	$12\Delta_T$ [mm]	MCE R5 [mm]	Aceptación
1	L8x9.63	424	9.73	4.87	87.57	116.76	2.79	IO
4	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	6.42	LS
6	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	8.50	LS
7	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	44.98	LS
10	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	14.28	LS
12	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	29.37	LS
13	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	9.97	LS
16	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	10.47	LS
18	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	11.66	LS

Tabla 44. Criterio de aceptación por deformación a fluencia de las diagonales, MCE 0.7R = 3.5

mod	tipo de arriostramiento	longitud [cm]	deformación de fluencia esperada [mm]	IO	LS	CP	Def mediana diagonales	Criterio de
				$0.5\Delta_T$ [mm]	$9\Delta_T$ [mm]	$12\Delta_T$ [mm]	MCE 0.7R = 3.5 [mm]	Aceptación
1	L8x9.63	424	9.73	4.87	87.57	116.76	2.79	IO
4	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	11.00	LS
6	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	17.18	LS
7	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	47.81	LS
10	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	33.06	LS
12	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	30.22	LS
13	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	24.49	LS
16	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	17.86	LS
18	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	21.20	LS

Tabla 45. Criterio de aceptación por deformación a fluencia de las diagonales, MCE 0.5R = 2.5

mod	tipo de arriostramiento	longitud [cm]	deformación de fluencia [mm]	IO	LS	CP	Def mediana diagonales	Criterio de
				$0.5\Delta_T$ [mm]	$9\Delta_T$ [mm]	$12\Delta_T$ [mm]	MCE 0.5R = 2.5 [mm]	Aceptación
1	L8x9.63	424	9.73	4.87	87.57	116.76	2.79	IO
4	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	29.84	LS
6	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	37.82	LS
7	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	47.70	LS
10	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	33.06	LS
12	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	30.16	LS
13	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	28.10	LS
16	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	28.65	LS
18	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	26.64	LS

Tabla 46. Criterio de aceptación por deformación a fluencia de las diagonales, DLE R = 5

mod	tipo de arriostramiento	longitud [cm]	deformación de fluencia esperada [mm]	IO	LS	CP	Def mediana diagonales	Criterio de
				$0.5\Delta_T$ [mm]	$9\Delta_T$ [mm]	$12\Delta_T$ [mm]	DLE R5 [mm]	Aceptación
1	L8x9.63	424	9.73	4.87	87.57	116.76	1.92	IO
4	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	5.40	LS
6	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	8.21	LS
7	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	28.60	LS
10	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	9.12	LS
12	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	21.85	LS
13	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	7.76	LS
16	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	7.56	LS
18	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	7.69	LS

Tabla 47. Criterio de aceptación por deformación a fluencia de las diagonales, DLE 0.7R = 3.5

mod	tipo de arriostramiento	longitud [cm]	deformación de fluencia esperada [mm]	IO	LS	CP	Def mediana diagonales	Criterio de
				$0.5\Delta_T$ [mm]	$9\Delta_T$ [mm]	$12\Delta_T$ [mm]	DLE 0.7R = 3.5 [mm]	Aceptación
1	L8x9.63	424	9.73	4.87	87.57	116.76	1.92	IO
4	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	9.30	LS
6	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	10.94	LS
7	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	29.90	LS
10	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	20.00	LS
12	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	19.07	LS
13	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	14.56	LS
16	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	8.69	LS
18	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	13.48	LS

Tabla 48. Criterio de aceptación por deformación a fluencia de las diagonales, DLE 0.5R = 2.5

mod	tipo de arriostramiento	longitud [cm]	deformación de fluencia [mm]	IO	LS	CP	Def mediana diagonales	Criterio de
				$0.5\Delta_T$ [mm]	$9\Delta_T$ [mm]	$12\Delta_T$ [mm]	DLE 0.5R = 2.5 [mm]	Aceptación
1	L8x9.63	424	9.73	4.87	87.57	116.76	1.92	IO
4	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	20.58	LS
6	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	15.62	LS
7	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	30.15	LS
10	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	19.33	LS
12	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	19.11	LS
13	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	14.42	LS
16	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	16.35	LS
18	XL8x19.3	583.1	9.54	4.77	85.86	114.48	17.98	LS

Se hace la verificación también para la condición de pandeo en las diagonales:

Tabla 49. Criterio de aceptación por deformación de pandeo de las diagonales, MCE R = 5

mod	tipo de arriostramiento	longitud [cm]	deformación de pandeo esperada [mm]	IO	LS	CP	Def mediana diagonales	Criterio de
				0.5Δc [mm]	7Δc [mm]	9Δc [mm]	MCE R5 [mm]	Aceptación
1	L8x9.63	424	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-3.41	LS
4	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-7.61	LS
6	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-10.86	LS
7	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-41.40	CP
10	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-14.16	LS
12	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-29.76	LS
13	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-11.73	LS
16	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-11.95	LS
18	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-11.07	LS

Tabla 50. Criterio de aceptación por deformación de pandeo de las diagonales, MCE 0.7R = 3.5

mod	tipo de arriostramiento	longitud [cm]	deformación de pandeo esperada [mm]	IO	LS	CP	Def mediana diagonales	Criterio de
				0.5Δc [mm]	7Δc [mm]	9Δc [mm]	MCE 0.7R = 3.5 [mm]	Aceptación
1	L8x9.63	424	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-3.41	LS
4	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-12.28	LS
6	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-21.34	LS
7	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-41.89	CP
10	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-34.77	LS
12	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-33.53	LS
13	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-23.39	LS
16	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-19.09	LS
18	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-28.00	LS

Tabla 51. Criterio de aceptación por deformación de pandeo de las diagonales, MCE 0.5R = 2.5

mod	tipo de arriostramiento	longitud [cm]	deformación de pandeo esperada [mm]	IO	LS	CP	Def mediana diagonales	Criterio de
				0.5Δc [mm]	7Δc [mm]	9Δc [mm]	MCE 0.5R = 2.5 [mm]	Aceptación
1	L8x9.63	424	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-3.41	LS
4	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-30.69	LS
6	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-38.34	LS
7	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-42.18	CP
10	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-34.77	LS
12	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-33.41	LS
13	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-24.53	LS
16	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-25.84	LS
18	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-27.78	LS

Tabla 52. Criterio de aceptación por deformación de pandeo de las diagonales, DLE R = 5

mod	tipo de	longitud [cm]	deformación de pandeo esperada [mm]	IO		LS		CP		Def mediana diagonales DLE R5 [mm]	Criterio de Aceptación
	arriostramiento			0.5Δc [mm]	7Δc [mm]	9Δc [mm]					
1	L8x9.63	424	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-2.09	IO			
4	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-5.83	LS			
6	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-7.37	LS			
7	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-26.93	LS			
10	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-11.31	LS			
12	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-18.57	LS			
13	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-10.02	LS			
16	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-8.57	LS			
18	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-7.76	LS			

Tabla 53. Criterio de aceptación por deformación de pandeo de las diagonales, DLE 0.7R = 3.5

mod	tipo de	longitud [cm]	deformación de pandeo esperada [mm]	IO		LS		CP		Def mediana diagonales DLE 0.7R = 3.5 [mm]	Criterio de Aceptación
	arriostramiento			0.5Δc [mm]	7Δc [mm]	9Δc [mm]					
1	L8x9.63	424	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-2.09	IO			
4	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-9.11	LS			
6	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-15.37	LS			
7	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-27.00	LS			
10	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-16.66	LS			
12	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-26.30	LS			
13	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-16.24	LS			
16	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-10.82	LS			
18	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-15.52	LS			

Tabla 54. Criterio de aceptación por deformación de pandeo de las diagonales, DLE 0.5R = 2.5

mod	tipo de	longitud [cm]	deformación de pandeo esperada [mm]	IO		LS		CP		Def mediana diagonales DLE 0.5R = 2.5 [mm]	Criterio de Aceptación
	arriostramiento			0.5Δc [mm]	7Δc [mm]	9Δc [mm]					
1	L8x9.63	424	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-2.09	IO			
4	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-20.42	LS			
6	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-24.26	LS			
7	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-27.15	LS			
10	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-16.41	LS			
12	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-26.76	LS			
13	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-15.79	LS			
16	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-15.42	LS			
18	XL8x19.3	583.1	-5.48	-2.74	-38.36	-49.32	-19.54	LS			

V CONCLUSIONES

V.1 Deformación por tracción en los pernos.

En el primer análisis MCE $R=5$ se observa que las deformaciones de los pernos se elevan con una demanda de ductilidad hasta 19 veces (en promedio) la deformación de fluencia predefinida. En cuanto a la deformación en relación al tamaño se observa que la mayor deformación alcanza el 8% de su longitud propia como el mayor caso, después existe una tendencia promedio de deformarse entre 2 y 4 % en los demás modelos.

Al incrementar la demanda sísmica para un factor de $R=3.5$ el perno crece en tamaño y se deforma esta vez 8 veces más (en promedio) que la deformación de fluencia predefinida. También disminuye su deformación en relación a su longitud a un promedio de 2% en la mayoría de los casos.

Para el último caso ($R=2.5$) se observa que la demanda de ductilidad (en promedio) no llega a sobrepasar su capacidad total de deformación predefinida en el modelo. Las deformaciones en porcentaje en relación a su longitud son prácticamente nulas, por lo tanto para $R=2.5$ los pernos se comportan prácticamente elásticos.

En cuanto a la comparación de intensidad de sismo, la demanda de ductilidad al igual que las deformaciones en porcentaje para el máximo sismo considerado (MCE) disminuyen prácticamente a la mitad cuando se utiliza el nivel de diseño (DLE).

Se debe notar que para estos cambios el perno crece en diámetro y en longitud, pero los cambios no son mayores, en su mayoría el cambio es del tamaño siguiente en fabricación y en longitud el aumento es como máximo de 20 cm en algunos casos.

Por lo tanto, podemos concluir que a partir de las gráficas mostradas en la sección IV.1 se observa que la deformación va disminuyendo a medida que también disminuye el factor de

reducción R. Esto indica que a medida que el factor de reducción disminuye la demanda sísmica aumenta, y con eso también aumenta el tamaño de los pernos que al final hace que se deformen cada vez menos, por lo tanto la demanda de ductilidad también baja.

V.2 Fuerzas en las diagonales (capacidad a tracción)

Se observa en el caso MCE R=5 que a partir del modelo 7 las fuerzas llegan casi a la máxima capacidad del elemento.

En el caso MCE R=3.5 se observa que todas las diagonales de tipo XL llegaron a su capacidad máxima al igual que para el caso R=2.5, todas mantuvieron su capacidad máxima.

Para el caso DLE R=5 las diagonales todavía no desarrollaron la capacidad máxima con excepción de las diagonales en dos modelos (modelo 7 y 12), de todas maneras el factor de utilización indicó una tendencia del 80% de su utilización que quiere decir que las diagonales en su mayoría están trabajando a una intensidad moderada.

Para el caso DLE R=3.5 casi todas las diagonales llegan a su capacidad máxima.

Por último, en el caso DLE R=2.5 todas las diagonales con excepción de la primera que tiene un diferente diseño alcanzan a sobrepasar su capacidad máxima.

Se puede concluir entonces que el comportamiento para los dos casos sísmicos son muy similares y que a medida que el factor de reducción R disminuye o bien dicho que la demanda sísmica aumenta se observa que las diagonales van tomando más las cargas aplicadas a la estructura.

Se observa también que para las reducciones de R en R=3.5 y R=2.5 las diagonales fluyen casi en todos los casos, es decir, llegan al valor de la fuerza esperada para el tipo de arriostramiento.

V.3 Fuerzas en las diagonales (capacidad a compresión)

Para el caso MCE R=5 las fuerzas alcanzan la capacidad de la fuerza crítica de pandeo pre definida en todos los modelos con diagonales XL 8x19.3

Para el caso MCE R=3.5 y MCE R=2.5 se observa que las diagonales toman la misma fuerza, que es la máxima que pueden tomar.

A pesar que la demanda sísmica es menor en el caso DLE se observa que el comportamiento para los 3 casos son exactamente que el mismo para MCE.

V.4 Deformación en las diagonales por tracción

Para el caso MCE R=5 se observa que la mayoría de los modelos sobrepasan la deformación de fluencia pre establecida en el modelo, y, en relación a su longitud la tendencia de deformación ronda el 2%.

Al incrementar la demanda sísmica a MCE R=3.5 se observa que las deformaciones sobrepasan la deformación de fluencia en todos los modelos y aumenta también la deformación del elemento respecto a su longitud con una tendencia del 5%.

Incrementando aún más las fuerzas sísmicas a MCE R=2.5 se observa que el comportamiento de las diagonales a deformación son similares que para MCE R=3.5 por lo que se establecería un cierto límite de deformación a tracción por parte de las diagonales a una demanda de ductilidad de 3 veces en la mayoría de los casos.

En el caso DLE R=5 tan solo 2 modelos sobrepasan la deformación de fluencia y se observa también una tendencia de deformación del 2% como máximo con respecto a su longitud total. para el caso DLE R=3.5 al igual que en MCE las diagonales sobrepasan en su mayoría la deformación de fluencia, la misma con una tendencia deformación de 2%.

Para el caso $R=2.5$ la demanda de ductilidad sube en todos los modelos pero no significativamente y la deformación en porcentaje se limita al 2.5%.

V.5 Deformación por compresión en las diagonales

Para MCE $R=5$ todas las diagonales sobrepasan la deformación de pandeo, la mayoría en 3 veces más (en promedio) la deformación precharacterizada como deformación de pandeo. La deformación respecto a su longitud indica un valor promedio entre 1.5 y 2.5% para la mayoría de los modelos.

Para MCE $R=3.5$ las deformaciones respecto a la definida sobrepasan en su mayoría con un poco más de 4 veces. Se tornan más uniformes las deformaciones en cuanto a la demanda de ductilidad.

El tercer caso (MCE $R=2.5$) es muy similar al segundo con deformaciones 5 veces más que la definida y respecto a su longitud la deformación media en porcentaje ronda el 5%

Para el caso DLE las diagonales también sobrepasan la deformación de pandeo pero en menor rango que MCE llegando a 2 veces más la demanda de ductilidad como promedio y en deformación entre 1 a 2 %.

Para DLE $R=3.5$ la deformación promedio es de 3 veces más y la deformación alrededor del 2.5%, para DLE $R=2.5$ la deformación promedio de utilización es de 3 veces más y la deformación es de 2.5 a 3%

Con esto se puede concluir que a medida que se incrementa la demanda sísmica las diagonales se van deformando cada vez más, es decir que van tomando más carga.

En la medida que el perno empieza ser menos flexible por que le subimos las cargas de diseño las fuerzas comenzaron a irse a las diagonales.

V.6 Criterios de aceptación

Dentro los criterios de aceptación se observa que para el comportamiento de las deformaciones generadas por tracción todas las diagonales con intensidad de máximo sismo considerado e intensidad de diseño entran en el rango salvamento de vida (LS) y los modelos 1 en ocupación inmediata (IO).

De la misma forma en el análisis de aceptación para deformaciones por pandeo se observa que todas las diagonales entran dentro del rango de life safety (LS) para los dos casos de intensidad de sismo a excepción del modelo 7 para el caso de sismo máximo considerado donde indica que las diagonales entran en un riesgo de posible colapso (CP).

Por lo que se concluye que en los dos casos de fuerzas axiales (e.i. tracción y compresión) los arriostramientos muestran un buen comportamiento ante las demandas sísmicas.

Finalmente podemos decir que a medida que se diseña a los pernos con cargas mayores, su comportamiento no lineal disminuye y el daño se empieza a distribuir en las diagonales. Sin embargo, este aumento de demanda en las diagonales no se transforma en una condición no aceptable de acuerdo a ASCE41-17.

BIBLIOGRAFIA

ÁLVAREZ, J. (2021). *Análisis de los mecanismos de Disipación de Energía Sísmica en Estructuras Industriales de Acero de Marcos Arriostrados diseñadas mediante el Anteproyecto de Norma NCh2369 para Estructuras Rígidas*. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción, Chile.

CÁCERES, P. (2021). *Análisis de los Mecanismos de Disipación de Energía Sísmica en Estructuras Industriales de Acero de Marcos Arriostrados Diseñados mediante el Anteproyecto de Norma NCh 2369 para Estructuras Semi Rígidas*. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

VENEGAS, F. (2021). *Análisis de los Mecanismos de Disipación de Energía Sísmica en Estructuras Industriales de Acero de Marcos Arriostrados Diseñados mediante el Anteproyecto de Norma NCh 2369 para Estructuras Semi Rígidas*. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil no publicada. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (2018). *Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales*. (PrNCh2369.Of 2018). Santiago, Chile.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (2010). *Diseño Estructural – Disposiciones generales y combinaciones de cargas*. (NCh 3171.Of2010). Santiago, Chile.

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. (2006). *Base Plate and Anchor Rod Design*. EE.UU.

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. (2010). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. (AISC 341-10). Chicago, Illinois, EE.UU.

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. (2010). *Specification for Structural Steel Buildings*. (AISC 360-10). Chicago, Illinois, EE.UU: Autor.

CRUZ, C., Y MIRANDA, E. (2020). *Insights into damping ratios in building*. Earthquake Engng Struct Dyn.

MONTALVA, G., BASTÍAS, Y N., RODRIGUEZ-MAREK, A. (2017). *Ground-Motion Prediction Equation for the Chilean Subduction Zone*. Bulletin of Seismological Society of America.

CASTRO, S., BENAVENTE, R., CREMPIEN, J., CANDIA, G., Y DE LA LLERA, J. C. (2020). *A Consistently Processed Strong Motion Database for Chilean Earthquakes*. Submitted.

URZÚA, C. (2015). *Comparación del Desempeño de Dos Estructuras Industriales de Acero Diseñadas Según la Práctica Nacional y Disposiciones Baker* (Tesis para optar al Grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería, Mención Ingeniería Sísmica). Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Santiago, Chile

A N E X O S

ANEXO A. FACTORES DE ESCALAMIENTO

Registro	Modelo 1 0.1 [seg]		Modelo 4 0.25 [seg]		Modelo 6 0.35 [seg]		Modelo 7 0.41 [seg]		Modelo 10 0.55 [seg]	
	DLE	MCE	DLE	MCE	DLE	MCE	DLE	MCE	DLE	MCE
1	7.970	11.158	8.689	12.165	9.565	13.391	9.611	13.456	9.293	13.010
2	8.381	11.734	9.304	13.025	9.451	13.231	9.571	13.399	9.499	13.298
3	8.886	12.440	9.886	13.840	10.070	14.098	10.277	14.388	10.069	14.096
4	9.035	12.650	9.587	13.422	11.206	15.688	11.813	16.538	12.214	17.099
5	9.238	12.933	9.855	13.796	12.667	17.733	12.957	18.139	12.936	18.110
6	8.261	11.565	11.083	15.516	11.862	16.606	13.758	19.261	13.239	18.534
7	9.849	13.789	12.127	16.978	13.676	19.147	13.893	19.450	13.281	18.593
8	10.950	15.329	11.812	16.537	14.125	19.775	12.434	17.407	12.467	17.454
9	10.852	15.193	12.705	17.787	14.486	20.281	15.134	21.187	11.787	16.502
10	10.080	14.111	12.257	17.160	14.396	20.155	15.276	21.387	12.369	17.317
11	10.377	14.527	12.655	17.717	14.663	20.528	14.948	20.927	14.782	20.695
12	11.302	15.823	12.467	17.453	13.972	19.561	14.931	20.903	15.573	21.803
13	12.040	16.856	14.551	20.372	16.428	22.999	15.502	21.702	14.932	20.904
14	13.259	18.562	16.617	23.263	18.644	26.102	18.907	26.470	15.635	21.888
15	13.409	18.773	15.872	22.221	16.651	23.312	18.483	25.876	17.044	23.862
16	11.350	15.890	17.240	24.137	18.828	26.359	18.104	25.346	15.353	21.494
17	12.121	16.969	17.869	25.016	17.617	24.664	15.208	21.291	16.833	23.567
18	14.072	19.701	16.952	23.733	18.263	25.568	19.099	26.738	17.863	25.008
19	12.812	17.937	17.876	25.027	18.849	26.389	18.854	26.396	15.951	22.332
20	12.995	18.192	18.320	25.648	18.556	25.978	18.744	26.242	17.233	24.126
21	13.767	19.273	17.218	24.105	21.810	30.534	19.147	26.806	18.714	26.199
22	15.297	21.415	20.278	28.389	21.141	29.597	19.911	27.876	19.667	27.533
23	14.872	20.821	20.275	28.385	20.272	28.381	19.665	27.531	18.849	26.389
24	13.396	18.754	21.427	29.997	21.153	29.615	23.517	32.923	19.131	26.784
25	14.979	20.970	21.706	30.388	20.614	28.859	21.788	30.504	16.070	22.498
26	14.279	19.990	20.238	28.333	22.674	31.743	22.041	30.858	20.279	28.390
27	15.512	21.716	22.455	31.437	25.905	36.267	23.973	33.562	23.496	32.895
28	14.314	20.039	21.727	30.418	26.830	37.562	26.506	37.109	24.505	34.306
29	16.342	22.879	22.723	31.812	26.036	36.450	26.973	37.763	23.374	32.723
30	16.743	23.440	22.657	31.720	25.643	35.900	26.064	36.489	24.464	34.250

Registro	Modelo 12 0.67 [seg]		Modelo 13 0.72 [seg]		Modelo 16 0.85 [seg]		Modelo 18 0.95 [seg]	
	DLE	MCE	DLE	MCE	DLE	MCE	DLE	MCE
1	8.557	11.980	8.634	12.088	8.734	12.228	8.337	11.672
2	8.931	12.503	9.141	12.797	9.242	12.939	8.837	12.372
3	9.313	13.038	9.382	13.135	9.468	13.255	8.993	12.591
4	10.702	14.982	10.810	15.133	10.695	14.973	10.143	14.200
5	11.389	15.944	11.403	15.964	11.993	16.790	11.095	15.533
6	12.207	17.090	12.419	17.386	11.046	15.464	10.172	14.241
7	11.129	15.581	11.228	15.719	11.390	15.946	10.765	15.071
8	11.700	16.381	11.669	16.336	11.366	15.912	10.510	14.714
9	10.758	15.061	10.936	15.310	10.935	15.309	10.306	14.429
10	11.959	16.742	11.862	16.606	11.085	15.519	10.228	14.319
11	13.750	19.250	13.720	19.207	13.326	18.657	12.318	17.245
12	13.132	18.385	13.115	18.362	13.652	19.112	12.440	17.416
13	11.576	16.206	11.832	16.565	12.606	17.649	11.705	16.387
14	14.591	20.427	14.505	20.307	13.862	19.406	12.388	17.343
15	13.487	18.882	13.701	19.182	13.469	18.857	12.719	17.807
16	14.698	20.577	14.694	20.572	12.011	16.816	11.605	16.246
17	15.839	22.175	15.884	22.238	12.945	18.123	11.505	16.107
18	14.328	20.060	14.306	20.028	15.439	21.614	14.353	20.095
19	14.521	20.330	14.997	20.996	15.026	21.037	14.476	20.266
20	16.417	22.984	16.506	23.109	16.464	23.050	15.689	21.964
21	15.262	21.366	15.799	22.119	16.156	22.618	15.625	21.875
22	16.941	23.718	16.873	23.622	16.178	22.649	14.807	20.730
23	15.018	21.025	14.848	20.788	14.120	19.768	13.086	18.321
24	17.110	23.954	17.381	24.334	17.296	24.214	16.381	22.934
25	17.976	25.166	18.394	25.751	18.300	25.620	17.134	23.987
26	19.498	27.297	19.505	27.306	17.638	24.694	16.385	22.939
27	20.527	28.737	20.420	28.588	18.651	26.111	17.296	24.215
28	20.283	28.396	19.300	27.020	19.002	26.603	17.908	25.071
29	19.460	27.244	20.182	28.255	19.348	27.088	18.739	26.235
30	21.910	30.674	21.905	30.667	20.726	29.016	17.604	24.645