

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Civil

Respuesta Dinámica de Estructuras de Acero. Influencia de la Rigidez de las Uniones

Autor: Lorenzo Marín Vilches

Tutor: Luis Rodríguez de Tembleque Solano

**Dpto. Mecánica de Medio Continuos y
Teoría de Estructuras
Escuela Técnica Superior de Ingeniería**

Sevilla, 2018



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería Civil

Respuesta Dinámica de Estructuras de Acero. Influencia de la Rigidez de las Uniones

Autor:
Lorenzo Marín Vilches

Tutor:
Luis Rodríguez de Tembleque Solano
Profesor titular de la Universidad

Dpto. de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2018

Trabajo Fin de Grado: Respuesta Dinámica de Estructuras de Acero. Influencia de la Rigidez de las Uniones

Autor: Lorenzo Marín Vilches

Tutor: Luis Rodríguez de Tembleque Solano

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis amigos

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a mi tutor Luis Rodríguez de Tembleque Solano por la ayuda y conocimiento que he adquirido gracias a este trabajo, además de su paciencia y orientación cuando no sabía cómo avanzar. También agradecer a parte de mis profesores del grado por enseñarme cuanto podían de sus campos y mostrarme todo el conocimiento que antes de empezar el grado desconocía y ahora me apasiona.

A mis amigos de toda la vida, por compartir incontables horas de estudio, esfuerzo y crecimiento tanto académico como personal; y que, gracias a vuestro apoyo, habéis hecho que pudiera pasar de etapa en etapa.

A mis compañeros de clase que pasaron de amigos a formar parte de mi familia, porque sin vosotros esto no hubiera sido posible, por aportar ánimos, risas y por confiar en mí más que yo mismo.

Y por último, mis más especiales agradecimiento a mi familia, a mis abuelos, a mi hermana Piluca, por aguantarme y por apoyarme en cada paso que doy en mi vida; y especialmente a mis padres, Piluca y Lorenzo, por el trabajo y sacrificio que han hecho para traerme hasta aquí y enseñarme a ser quién soy.

Lorenzo Marín Vilches

Sevilla, 2018

El presente Trabajo de Fin de Grado se centra en el estudio de la respuesta dinámica de estructuras porticadas y de la influencia de las tipologías de uniones en el comportamiento de estas estructuras, especialmente el caso de uniones semi-rígidas. Este tipo de conexión permite un grado de rotación, que equivaldría a un caso intermedio entre tipología rígida y articulada. Se modelizarán las diferentes tipologías de conexiones entre elementos, centrándose en la tipología semi-rígida por su complejidad. Para ello, se utilizará el programa de elementos finitos ANSYS y posteriormente se procederá a validar dicha modelización de las uniones mediante ejemplos de referencia presentados en la bibliografía [12]. Tras esto, se pasará al estudio de una serie de sistemas estructurales porticados sometidos a una sollicitación dinámica descrita por el Reglamento Nacional de Construcción de Nicaragua [13], y se comparará los resultados para ver la influencia que la elección de las diferentes tipologías de uniones tiene a la hora de estudiar el comportamiento de estas estructuras.

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Índice	xiii
Índice de Tablas	xv
Índice de Figuras	xvii
1 Introducción - motivación	1
1.1. <i>Importancia de las uniones en las Estructuras Metálicas</i>	1
1.2. <i>Motivación del proyecto</i>	1
1.3. <i>Objetivos del estudio</i>	2
1.4. <i>Organización del documento</i>	2
2 Uniones Semi-rígidas	5
2.1 <i>Introducción</i>	5
2.2 <i>Tipos de modelos de unión</i>	5
2.3 <i>Clasificación de las uniones</i>	6
2.4 <i>Uniones Semi-rígidas</i>	9
3 Modelización de las uniones semi-rígidas en ANSYS	11
3.1 <i>Modelo de unión semi-rígida</i>	11
3.2 <i>Elementos de ANSYS usados</i>	11
3.3 <i>Modelo ANSYS</i>	13
3.4 <i>Validación del modelo</i>	13
4 Análisis Dinámico	17
4.1 <i>Planteamiento</i>	17
4.2 <i>Modelo de cargas distribuidas</i>	17
4.3 <i>Modelo sísmico</i>	18
4.4 <i>Casos de Estudio</i>	22
5 Resultados	23
5.1 <i>Resultados del estudio</i>	23
5.1.1 <i>Desplazamientos</i>	23
5.1.2 <i>Cortante en Apoyos</i>	24
5.2 <i>Comparación de resultados</i>	25
5.2.1 <i>Comparación de resultados: Desplazamientos</i>	26
5.2.2 <i>Comparación de resultados: Cortantes en la base</i>	30
6 Resumen y Conclusiones	35
6.1 <i>Resumen</i>	35
6.2 <i>Conclusiones</i>	36
6.3 <i>Trabajos futuros</i>	36
Referencias	37

Anexos	39
<i>ANEXO A: Modelos de validación de pórtico – Estudio estático</i>	<i>39</i>
<i>ANEXO B: Modelo espectro sísmico en código MATLAB</i>	<i>45</i>
<i>ANEXO C: Sistemas estructurales</i>	<i>47</i>
<i>ANEXO D: Deformaciones de los sistemas estructurales</i>	<i>55</i>
<i>ANEXO E: Cortante en base de los sistemas estructurales</i>	<i>65</i>
<i>ANEXO F: Códigos ANSYS de los sistemas estructurales</i>	<i>75</i>

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Tipos de modelos de uniones [8]	6
Tabla 2-2: Modelo de uniones respecto al tipo de análisis [8]	6
Tabla 3-1: Resultados del modelo numérico de comprobación [12]	14
Tabla 3-2: Resultados del modelo en ANSYS de comprobación	14
Tabla 4-1: Modelo de cargas distribuidas para forjado de entrepiso [13]	18
Tabla 4-2: Modelo de cargas distribuidas para forjado de techo [13]	18
Tabla 4-3: Valores del coeficiente S según Zona sísmica y Tipología de suelo [14]	19
Tabla 5-1: Clasificación de tipologías del estudio	23
Tabla 5-2: Desplazamientos máximos	23
Tabla 5-3: Desplazamientos máximos graduado	24
Tabla 5-4: Cortante en base	24
Tabla 5-5: Cortante en base graduado	25
Tabla 5-6: Comparación 1 de desplazamientos por proporcionalidad	26
Tabla 5-7: Comparación 1 de desplazamientos por proporcionalidad en base graduada	26
Tabla 5-8: Errores de comparación 1 de desplazamientos por proporcionalidad	28
Tabla 5-9: Comparación 2 de desplazamientos por proporcionalidad	28
Tabla 5-10: Comparación 2 de desplazamientos por proporcionalidad en base graduada	28
Tabla 5-11: Errores de comparación 2 de desplazamientos por proporcionalidad	30
Tabla 5-12: Comparación 1 de cortantes por proporcionalidad	30
Tabla 5-13: Comparación 1 de cortantes por proporcionalidad en base graduada	30
Tabla 5-14: Errores de comparación 1 de cortantes por proporcionalidad	32
Tabla 5-15: Comparación 2 de cortantes por proporcionalidad	32
Tabla 5-16: Comparación 2 de cortantes por proporcionalidad en base graduada	32
Tabla 5-17: Errores de comparación 2 de cortantes por proporcionalidad	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Clasificación de las uniones por rigidez y por resistencia [9]	7
Figura 2-2: Clasificación de diferentes tipos de uniones [9]	8
Figura 2-3: Curva de momento-rotación de uniones viga-columna (Chen, 2000)	9
Figura 3-1: Modelización de uniones flexibles al giro [10]	11
Figura 3-2: Modelo BEAM3 2-D de ANSYS [11]	12
Figura 3-3: Modelo LINK1 2-D de ANSYS [11]	12
Figura 3-4: Modelo COMBIN14 de ANSYS [11]	13
Figura 3-5: Modelo de unión semi-rígida en ANSYS	13
Figura 3-6: Modelo del estudio estático [12]	14
Figura 3-7: Modelo en ANSYS de la Validación	15
Figura 4-1: Mapa de zonificación sísmica de Nicaragua (RNC-2007) [14]	19
Figura 4-2: Mapa de isoaceleraciones (RNC-2007) [14]	20
Figura 4-3: Gráfico tipo del espectro de diseño (RNC-2007) [14]	20
Figura 4-4: Gráfico: Espectro de respuesta frente a Período	21
Figura 4-5: Gráfico: Espectro de respuesta frente a Frecuencia	21
Figura 4-6: Gráfico: Espectro de diseño elástico	21
Figura 4-7: Sistemas estructurales: dos, seis y doce pisos; tres, cinco y diez metros de luz [13]	22
Figura 5-1: Representación del desplazamiento horizontal máximo de cada estructura en función de la rigidez de la unión y relativo al caso de uniones rígidas 1, para los siguientes casos: edificio de 2, 6 y 12 plantas	27
Figura 5-2: Representación del desplazamiento horizontal máximo de cada estructura en función de la rigidez de la unión y relativo al caso de uniones rígidas 2, para los siguientes casos: edificio de 2, 6 y 12 plantas	29
Figura 5-3: Representación del cortante en base máximo de cada estructura en función de la rigidez de la unión y relativo al caso de uniones rígidas 1, para los siguientes casos: edificio de 2, 6 y 12 plantas	31
Figura 5-4: Representación del cortante en base máximo de cada estructura en función de la rigidez de la unión y relativo al caso de uniones rígidas 2, para los siguientes casos: edificio de 2, 6 y 12 plantas	33
Figura AC-1: Sistema estructural 2P-3L	47
Figura AC-2: Sistema estructural 2P-7L	47
Figura AC-3: Sistema estructural 2P-10L	47
Figura AC-4: Sistema estructural 6P-3L	48
Figura AC-5: Sistema estructural 6P-7L	49
Figura AC-6: Sistema estructural 6P-10L	50
Figura AC-7: Sistema estructural 12P-3L	51
Figura AC-8: Sistema estructural 12P-7L	52
Figura AC-9: Sistema estructural 12P-10	53
Figura AD-1: Deformación del sistema estructural 2P-3L (Articulado 1 y 2)	55

Figura AD-2: Deformación del sistema estructural 2P-3L (Rígido 1 y 2)	55
Figura AD-3: Deformación del sistema estructural 2P-3L (Semi-Rígido 1 y 2)	55
Figura AD-4: Deformación del sistema estructural 2P-7L (Articulado 1 y 2)	56
Figura AD-5: Deformación del sistema estructural 2P-7L (Rígido 1 y 2)	56
Figura AD-6: Deformación del sistema estructural 2P-7L (Semi-Rígido 1 y 2)	56
Figura AD-7: Deformación del sistema estructural 2P-10L (Articulado 1 y 2)	57
Figura AD-8: Deformación del sistema estructural 2P-10L (Rígido 1 y 2)	57
Figura AD-9: Deformación del sistema estructural 2P-10L (Semi-Rígido 1 y 2)	57
Figura AD-10: Deformación del sistema estructural 6P-3L (Articulado 1 y 2)	58
Figura AD-11: Deformación del sistema estructural 6P-3L (Rígido 1 y 2)	58
Figura AD-12: Deformación del sistema estructural 6P-3L (Semi-Rígido 1 y 2)	58
Figura AD-13: Deformación del sistema estructural 6P-7L (Articulado 1 y 2)	59
Figura AD-14: Deformación del sistema estructural 6P-7L (Rígido 1 y 2)	59
Figura AD-15: Deformación del sistema estructural 6P-7L (Semi-Rígido 1 y 2)	59
Figura AD-16: Deformación del sistema estructural 6P-10L (Articulado 1 y 2)	60
Figura AD-17: Deformación del sistema estructural 6P-10L (Rígido 1 y 2)	60
Figura AD-18: Deformación del sistema estructural 6P-10L (Semi-Rígido 1 y 2)	60
Figura AD-19: Deformación del sistema estructural 12P-3L (Articulado 1 y 2)	61
Figura AD-20: Deformación del sistema estructural 12P-3L (Rígido 1 y 2)	61
Figura AD-21: Deformación del sistema estructural 12P-3L (Semi-Rígido 1 y 2)	61
Figura AD-22: Deformación del sistema estructural 12P-7L (Articulado 1 y 2)	62
Figura AD-23: Deformación del sistema estructural 12P-7L (Rígido 1 y 2)	62
Figura AD-24: Deformación del sistema estructural 12P-7L (Semi-Rígido 1 y 2)	62
Figura AD-25: Deformación del sistema estructural 12P-10L (Articulado 1 y 2)	63
Figura AD-26: Deformación del sistema estructural 12P-10L (Rígido 1 y 2)	63
Figura AD-27: Deformación del sistema estructural 12P-10L (Semi-Rígido 1 y 2)	63
Figura AE-1: Cortante en base del sistema estructural 2P-3L (Articulado 1 y 2)	65
Figura AE-2: Cortante en base del sistema estructural 2P-3L (Rígido 1 y 2)	65
Figura AE-3: Cortante en base del sistema estructural 2P-3L (Semi-Rígido 1 y 2)	65
Figura AE-4: Cortante en base del sistema estructural 2P-7L (Articulado 1 y 2)	66
Figura AE-5: Cortante en base del sistema estructural 2P-7L (Rígido 1 y 2)	66
Figura AE-6: Cortante en base del sistema estructural 2P-7L (Semi-Rígido 1 y 2)	66
Figura AE-7: Cortante en base del sistema estructural 2P-10L (Articulado 1 y 2)	67
Figura AE-8: Cortante en base del sistema estructural 2P-10L (Rígido 1 y 2)	67
Figura AE-9: Cortante en base del sistema estructural 2P-10L (Semi-Rígido 1 y 2)	67
Figura AE-10: Cortante en base del sistema estructural 6P-3L (Articulado 1 y 2)	68
Figura AE-11: Cortante en base del sistema estructural 6P-3L (Rígido 1 y 2)	68
Figura AE-12: Cortante en base del sistema estructural 6P-3L (Semi-Rígido 1 y 2)	68
Figura AE-13: Cortante en base del sistema estructural 6P-7L (Articulado 1 y 2)	69

Figura AE-14: Cortante en base del sistema estructural 6P-7L (Rígido 1 y 2)	69
Figura AE-15: Cortante en base del sistema estructural 6P-7L (Semi-Rígido 1 y 2)	69
Figura AE-16: Cortante en base del sistema estructural 6P-10L (Articulado 1 y 2)	70
Figura AE-17: Cortante en base del sistema estructural 6P-10L (Rígido 1 y 2)	70
Figura AE-18: Cortante en base del sistema estructural 6P-10L (Semi-Rígido 1 y 2)	70
Figura AE-19: Cortante en base del sistema estructural 12P-3L (Articulado 1 y 2)	71
Figura AE-20: Cortante en base del sistema estructural 12P-3L (Rígido 1 y 2)	71
Figura AE-21: Cortante en base del sistema estructural 12P-3L (Semi-Rígido 1 y 2)	71
Figura AE-22: Cortante en base del sistema estructural 12P-7L (Articulado 1 y 2)	72
Figura AE-23: Cortante en base del sistema estructural 12P-7L (Rígido 1 y 2)	72
Figura AE-24: Cortante en base del sistema estructural 12P-7L (Semi-Rígido 1 y 2)	72
Figura AE-25: Cortante en base del sistema estructural 12P-10L (Articulado 1 y 2)	73
Figura AE-26: Cortante en base del sistema estructural 12P-10L (Rígido 1 y 2)	73
Figura AE-27: Cortante en base del sistema estructural 12P-10L (Semi-Rígido 1 y 2)	73

1 INTRODUCCIÓN - MOTIVACIÓN

1.1. Importancia de las uniones en las Estructuras Metálicas

Uno de los puntos singulares más importantes que podemos encontrar en las estructuras metálicas es la unión entre los diferentes elementos que la compone. El comportamiento de la unión afecta al comportamiento del total de la estructura, llegando a ser esta cuestión la más importante en cuanto al diseño de las secciones de un pórtico.

El estudio y diseño de una estructura principalmente se condiciona con la forma en la que la unión real, que puede ser soldada o atornillada, se modeliza. Esta modelización debe ser de gran importancia ya que las uniones son zonas de discontinuidad, susceptibles al fallo, pudiendo llevar este al colapso de la estructura completa.

Al ser una discontinuidad, hay que tener cuidado con las características con las que dotemos a la unión ya que de estas dependerá la transmisión de esfuerzos entre los diferentes elementos de la estructura. El comportamiento real de la estructura es difícil de conocer, por lo que normalmente se simplifican las uniones tomándolas con un comportamiento totalmente rígido o totalmente articulado. Esto nos permitirá conocer los comportamientos extremos de las uniones, pero serán totalmente ideales debido a que las conexiones reales no tienen normalmente estas características.

Para el diseño se requiere conocer completamente las diferentes partes que forma el pórtico, sus componentes a compresión, a tracción y a cortante para que, en base a todos estos esfuerzos, tener en cuenta los comportamientos de los elementos (en cuanto a sus características de rotación y rigidez real).

Todas estas complejidades hacen que la mayoría de los reglamentos no tengan en cuenta otras opciones diferentes a las uniones rígidas y articuladas. En cambio, en el Eurocódigo 3 se detalla otro tipo de unión como es la unión semirrígida que permite, a diferencia de las otras, tener en cuenta una redistribución de esfuerzos como consecuencia de una rotación limitada.

Por toda la complejidad que estos puntos singulares entran, en cuanto al factor económico, llegan a representar una parte importante del coste total de una estructura. Este último aspecto, junto con la búsqueda del comportamiento real de las uniones, hace que las uniones semirrígidas cobren mayor importancia.

1.2. Motivación del proyecto

Como todos los elementos de cualquier estructura, las uniones deben cumplir equilibrio y compatibilidad, es decir, transmitir los esfuerzos entre los elementos que unen y compatibilizar los movimientos de los extremos de los elementos que concuerdan en el punto de la unión.

En cuanto a las uniones semi-rígidas, la influencia de la rigidez de esta unión hace que los esfuerzos se transmitan de forma diferente a las rígidas y articuladas, haciendo que el comportamiento sea también diferente (desplazamientos en x , y y z , y giros en x , y y z), especialmente al giro.

La respuesta dinámica de una estructura depende de las rigideces de las uniones. Por este motivo y por los anteriormente citados, la respuesta dinámica provocada por la sollicitación sísmica se ve influenciada por la rigidez que la tipología de unión en cuestión aporta. La importancia de la rigidez en la respuesta dinámica se pone de manifiesto en los siguientes artículos citados en la bibliografía: "Vibration and modal analysis of steel frames with semi-rigid connections" [1], "Analysis of Frames with Semi-Rigid Joints" [2], "Dynamic analysis and response of semirigid flames" [3], "Matrix Formulation of Dynamic Design of Structures with Semi-Rigid Connections" [4], "Seismic Analysis of Steel Frames with a Viscoelastic Model of Semi-Rigid Connections" [5] y "Seismic Analysis of Framed Steel Structure with Semirigid Joints" [6].

1.3. Objetivos del estudio

Para el estudio y diseño de las uniones de las estructuras se deben realizar diferentes tipos de análisis: elásticos, térmico, a fatiga, dinámicos, a impactos, etc. Entre ellos, este trabajo de fin de grado se centrará en el comportamiento de unas estructuras a una sollicitación dinámica, que se caracterizan por la actuación de cargas variables con el tiempo, donde tiene gran importancia las fuerzas de inercia en la estimación de la respuesta de la estructura. Este estudio surge del interés que provoca el comportamiento de las estructuras a una respuesta dinámica donde las uniones que se estudian no son las uniones rígidas ni articuladas, sino uniones semi-rígidas.

El interés también viene promovido por la suma del complejo estudio de las uniones semi-rígidas con la complejidad de su modelización y del comportamiento desconocido de estas a respuestas dinámicas. Este último aspecto es debido a que se conoce como se comporta en un análisis estático debido a las diferentes rigideces que podemos obtener de los diferentes diseños de uniones semi-rígidas que existen, pero en cambio no se conoce el cambio que este tipo de unión puede producir en el comportamiento de la estructura a una respuesta dinámica, principalmente fomentado por su comportamiento frente al giro.

El objeto del presente trabajo es el extraer conclusiones de las diferencias de los comportamientos de unas estructuras producidas por la modelización de las uniones como uniones rígidas, articuladas y semi-rígidas, frente a una sollicitación dinámica producida por un sismo, definido por su espectro. De esta forma, se conocerá la importancia de la modelización de las uniones frente al comportamiento de las estructuras las cuales componen.

1.4. Organización del documento

El siguiente estudio se dividirá en los siguientes capítulos:

- Capítulo 2: Uniones Semi-rígidas:

En este capítulo se describirán las diferentes clasificaciones de uniones que se pueden encontrar según la rigidez, resistencia o capacidad de rotación de estas, dándole mayor importancia a las definiciones de uniones semi-rígidas.

- Capítulo 3: Modelización de las uniones semi-rígidas en ANSYS

Se definirá el modelo que se ha optado para las uniones semi-rígidas según el comportamiento definido en el apartado 2. Este modelo se introducirá en el software comercial de elementos finitos ANSYS, definiendo los elementos que lo componen, y se comprobará para un caso definido en artículo [12].

- Capítulo 4: Análisis dinámico

En este apartado se definirá la sollicitación dinámica por el espectro de un sismo, los casos estructurales porticados que se estudiarán, variando sus números de pisos y las luces de los vanos, y las rigideces que se van a aplicar en las conexiones de los elementos de los diferentes sistemas estructurales según la tipología de uniones que se consideren.

- Capítulo 5: Resultados.

Tras realizar el estudio de todos los casos de sistema estructurales con sus respectivas tipologías de uniones, se obtendrán unos resultados de desplazamientos en el último piso y cortantes en la base de las estructuras. Estos resultados se comparan según dos procesos y se obtendrán una serie de conclusiones en cuanto a la relación Rígido-Semirrígido y Articulado- Semirrígido.

- Capítulo 6: Resumen y Conclusiones

Una vez obtenido los resultados y haber realizado varias comparaciones entre ellos, se van a obtener una serie de conclusiones que llevarán a conocer la influencia de la elección de la tipología de las uniones en una estructura.

También existirán los siguientes Anexos:

- Anexo A: Modelo de validación del pórtico en el estudio estático, en la aplicación ANSYS.
- Anexo B: Modelización del espectro sísmico, en la aplicación MATLAB.
- Anexo C: Sistemas estructurales estudiados con los perfiles que se han aplicado.
- Anexo D: Deformadas de las estructuras porticadas.
- Anexo E: Cortantes en base de las estructuras porticadas.
- Anexo F: Códigos de ANSYS de los casos de estructuras porticadas estudiadas.

2 UNIONES SEMI-RÍGIDAS

2.1 Introducción

Las uniones de los elementos que forma una estructura metálica se caracterizan por la gran multitud de subelementos que la componen. Esta es la principal diferencia entre las uniones en estructuras metálicas y las estructuras de hormigón, cuyas uniones se caracterizan por su monolitismo.

Ambas uniones deben soportar los esfuerzos que las cargas exteriores generan sobre la estructura. Estos esfuerzos se transmiten por las uniones, por lo que en estos elementos deben existir esfuerzos internos que contrarresten los externos. Por lo tanto, será fundamental el diseño de la unión para que los efectos que los esfuerzos crean en este punto característico sean adecuados para que cumplan su función, es decir, que su resistencia y rigidez sean las adecuadas.

Las uniones de elementos metálicos, en la práctica, son uniones flexibles, es decir, no ideales: se permite el movimiento relativo entre las piezas a unir donde las deformaciones difieren entre ambas piezas. Estas diferencias se deben a la deformación que se produce en los elementos de unión (tornillos, chapas, etc.). Esto hace que el giro entre los elementos sea diferente teniéndose que tener en cuenta la capacidad de rotación de la unión.

De todas formas, en función del grado de rigidez, resistencia y capacidad rotacional podemos encontrar varios tipos de uniones, como veremos a continuación.

2.2 Tipos de modelos de unión

Las tres variables de las cuales depende el tipo de unión que exista en un punto de la estructura dependerá de la rigidez, la resistencia y la capacidad rotacional. De esta forma tenemos uniones rígidas, semi-rígidas y articuladas, principalmente.

Tradicionalmente, se han considerado los siguientes tipos de modelos de uniones:

- Según rigidez:
 - o Rígido
 - o Articulado
- Según resistencia:
 - o Resistencia Completa
 - o Resistencia Parcial
 - o Articulado (Nominalmente articulado)

Cuando la rigidez de la unión nos preocupa, el término rígido significa que no se produce rotación relativa entre los miembros conectados sea cual sea el momento aplicado. El término articulado postula la existencia de una articulación (es decir, sin fricción) entre los miembros. Las definiciones pueden ser más leves (en cuanto a rigideces se refiere). De hecho, las uniones articuladas pero no completamente articuladas y las uniones rígidas pero no completamente rígidas, pueden considerarse bastante articuladas y bastante rígidas, respectivamente.

En cuanto a la resistencia de la unión, la unión de resistencia completa es más fuerte que la de resistencia parcial, ambas transfiriendo momentos; mientras una unión articulada no transfiere ningún momento.

De esta forma, al considerar la rigidez y la resistencia de la unión, existirán tres modelos de uniones:

- Rígido/Resistencia Completa
- Rígido/Resistencia Parcial
- Articulado

Sin embargo, en cuanto a la capacidad de rotación (rigidez rotacional), nos encontramos con otra posibilidad, las uniones semi-rígidas, teniendo así dos nuevas posibilidades de modelado de la unión.

- Semi-rígido/Resistencia Completa
- Semi-rígido/Resistencia Parcial

En la norma EN 1993-1-8 [7] se simplifican las posibilidades de modelos según 3 modelos de uniones:

- Continuo: Caso de Rígido/Resistencia Completa. Asegura continuidad rotacional completa entre miembros conectados.
- Semi-continuo: Casos de Rígido/Resistencia Parcial y Semi-Rígido/Resistencia Completa y Parcial. Asegura una continuidad parcial entre los miembros conectados.
- Simple: Caso de Articulado. Impide cualquier continuidad rotacional entre los miembros conectados.

Rigidez/Resistencia	Máxima	Parcial	Articulado
Rígido	Continuo	Semi-Continuo	-
Semi-Rígido	Semi-Continuo	Semi-Continuo	-
Articulado	-	-	Simple

Tabla 2-1: Tipos de modelos de uniones [8]

El elegir una u otra forma de clasificar la unión depende del tipo de análisis. Para un análisis elástico de la estructura, solo tendremos en cuenta las rigideces de la unión. En el caso de un análisis rígido-plástico, tendremos que tener en cuenta la resistencia de la unión. Y para el resto de los casos, ambas propiedades son las que tendremos que tener en cuenta.

Modelo/Análisis	Elástico	Rígido-Plástico	Elástico-perfectamente Plástico y Elasto-Plástico
Continuo	Rígido	Resistencia Máxima	Rígido/Resistencia Completa
Semi-Continuo	Semi-Rígido	Resistencia Parcial	Rígido/Resistencia Parcial Semi-rígido/Resistencia Completa Semi-rígido/Resistencia Parcial
Simple	Articulado	Articulado	Articulado

Tabla 2-2: Modelo de uniones respecto al tipo de análisis [8]

Para nuestro estudio, tendremos en cuenta un análisis elástico, albergando uniones de tipo Rígido, Semi-rígido y Articulado (uniones según su rigidez).

2.3 Clasificación de las uniones

Con los criterios de clasificación se puede clasificar la clase de rigidez y de resistencia a la que pertenece la unión para más tarde en el análisis oportuno adoptar el tipo de modelado de unión.

La clasificación de rigidez se realiza comparando simplemente la rigidez de la unión diseñada con dos límites de rigidez, como se puede ver en la siguiente gráfica. En la gráfica se simplifica los límites de rigidez con la finalidad de poder comparar cualquiera de las idealizaciones de uniones que se analicen posteriormente.

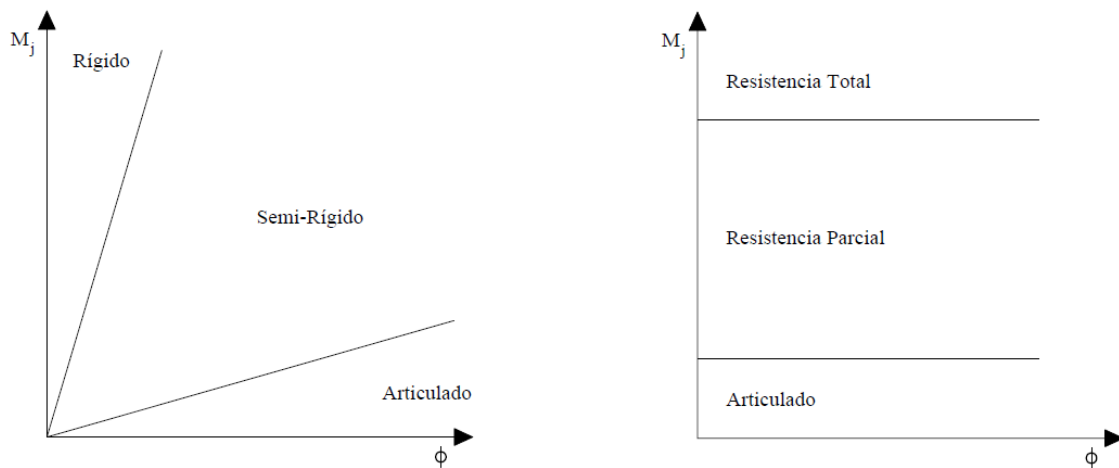


Figura 2-1: Clasificación de las uniones por rigidez y por resistencia [9]

La clasificación de resistencia consiste en comparar la resistencia al momento de la unión diseñada con los casos de Resistencia Máxima y Articulada.

A continuación se muestra la tabla de clasificación de uniones para acero y para uniones con materiales compuestos. Para la clasificación de uniones rígidas y articuladas se muestra que la rigidez no es igual a infinito o a cero respectivamente. Este aspecto se basa en el reconocimiento de que la respuesta de la estructura real no difiera más del 5% de la respuesta evaluada por el diseñador sobre la base de la estructura con articulaciones rígidas o articuladas.

- Clasificación por rigidez [8]

Unión Viga-Columna en Pórticos no arriostrada*:

Articulado: $S_{j,ini} \leq 0.5EI_b/L_b$

Semi-Rígido: $0.5EI_b/L_b < S_{j,ini} \leq 25EI_b/L_b$

Rígido: $S_{j,ini} \geq 25EI_b/L_b$

Unión Viga-Columna en Pórticos arriostrada**:

Articulado: $S_{j,ini} \leq 0.5EI_b/L_b$

Semi-Rígido: $0.5EI_b/L_b < S_{j,ini} < 8EI_b/L_b$

Rígido: $S_{j,ini} \geq 8EI_b/L_b$

Empalmes de Vigas***:

Articulado: $S_{j,ini} \leq 0.5EI_b/L_b$

Semi-Rígido: $0.5EI_b/L_b < S_{j,ini} \leq 25EI_b/L_b$

Rígido: $S_{j,ini} \geq 25EI_b/L_b$

Observación Importante: la validez de la clasificación de rigidez para las uniones viga-columna está restringida a las estructuras donde los empalmes de viga son clasificados como rígidos. Afortunadamente, esta limitación no es muy restrictiva para aplicaciones prácticas.

* Pórticos que no cumplan***, siempre que en cada piso $K_b/K_c \geq 0.1$, donde:

K_b es el valor medio de I_b/L_b para todas las vigas en la parte superior de esa planta

K_c es el valor de I_c/L_c para todas las columnas en esa planta

Para pórticos con $K_b/K_c < 0.1$, las uniones deben ser clasificadas como Semi-Rígidas

** Pórticos donde el sistema de arriostramiento reduce los desplazamientos horizontales en al menos 80%

*** Limite no especificado en la EN 1993-1-8

- Clasificación por Resistencia [8]

Unión – Resistencia Completa: Unión que posee una resistencia más alta que la más débil de las partes conectadas.

Unión – Resistencia Parcial: unión con la resistencia de diseño inferior a la Resistencia Máxima y que no se ha clasificado como fija.

Unión – Articulada: Unión con resistencia de diseño inferior al 25% de la resistencia total.

Según la capacidad rotacional, y como recoge el Eurocódigo 3 como nivel cualitativo, se establece que a la hora de diseñar y calcular una unión dentro de una estructura, esta debe tener una capacidad de rotación suficiente. En la siguiente gráfica se relaciona la rotación de la unión respecto a la relación del momento resistente de cálculo con la resistencia plástica de cálculo de los elementos que conforman la unión.

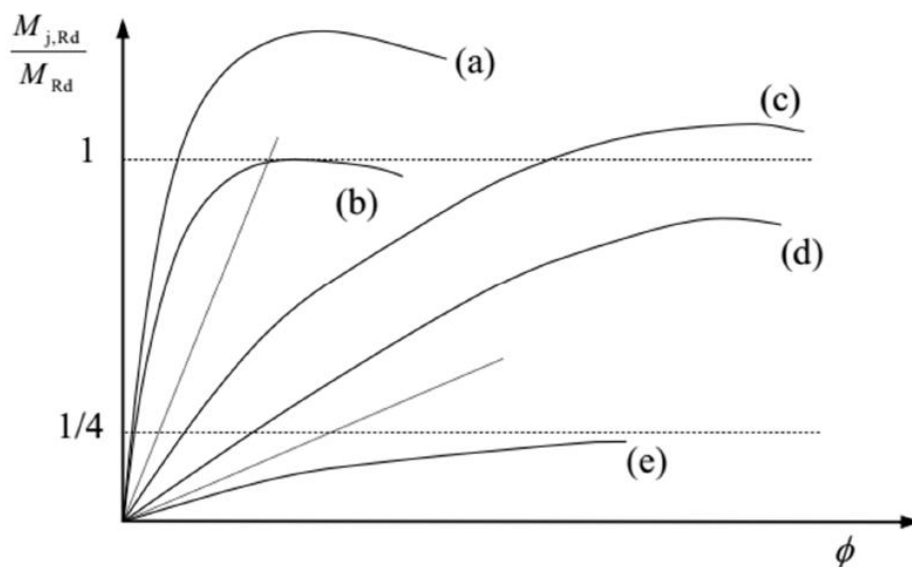


Figura 2-2: Clasificación de diferentes tipos de uniones [9]

En la gráfica, el tipo (a) es unión rígida de resistencia total, el (b) es unión rígida de resistencia parcial, el (c) es unión semi-rígida de resistencia total, el (d) es unión semi-rígida de resistencia parcial y el (e) es unión articulada.

Como se aprecia en la gráfica, el comportamiento de la unión es difícil de definir, aunque se puede apreciar que en la parte inicial tiene comportamiento semi-rígido, terminándose el comportamiento como comportamiento rígido.

En nuestro estudio consideraremos un análisis elástico, siendo nuestro caso el de una “Unión Viga-Columna en Pórticos arriostrada” en el caso de uniones semi-rígidas. Esto hace que la rigidez de la unión comprenda los valores

$$0.5EI_b/L_b < S_{j,ini} \leq 8EI_b/L_b \quad (2-1)$$

donde a partir de $0.5EI_b/L_b$ hacia abajo será el caso de conexión Articulada; y a partir de $8EI_b/L_b$ hacia arriba el caso de conexión Rígida.

2.4 Uniones Semi-rígidas

La introducción de las uniones semi-rígidas hace que podamos modelizar las uniones lo más parecidas a la realidad debido a que en todas las situaciones existirán posiciones intermedias entre los casos rígido y articulado. La problemática de su introducción al cálculo estructural es la dificultad de su cálculo, ya que no es tan sencillo como los casos rígido y articulado (el coste computacional es muy elevado).

Por lo tanto se puede definir la unión semi-rígida como una conexión donde la rigidez está limitada, se transmiten esfuerzos axiales, cortantes y por lo tanto flectores, generándose una distribución total de los esfuerzos, donde la unión tiene capacidad de rotación según un giro relativo. Es decir, no se cumple que la rotación relativa sea cero ni que el momento flector transmitido sea nulo.

Para el estudio del comportamiento de las uniones semi-rígidas, estas se estudian según la curva momento – rotación, que relaciona el momento transmitido con el giro relativo entre los elementos. Se relacionan estos ítems debido a que el momento es el esfuerzo transmitido de mayor relevancia, superior al axial y al cortante; y el giro porque es el desplazamiento que caracteriza a las uniones semi-rígidas en cuanto a la diferencia respecto al resto de tipologías de unión.

Uno de los estudios de referencia es el de Chen (2000), donde se clasifican diferentes tipologías de uniones en el gráfico momento – rotación. Esta gráfica sirve como modo resumen para la clasificación de tipologías y como primer cálculo estructural.

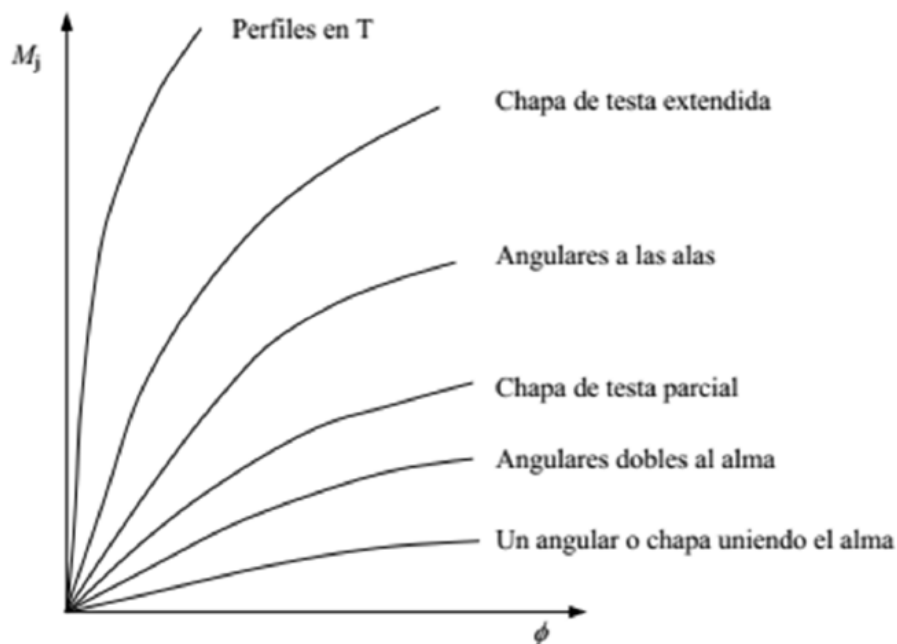


Figura 2-3: Curva de momento-rotación de uniones viga-columna (Chen, 2000)

Como modelización de la unión semi-rígida, esta se definirá como un resorte al giro que conecta las piezas de la conexión, y que produce un momento que será proporcional al giro relativo. La rigidez de este resorte estará comprendida entre los valores antes citados.

La unión semi-rígida permitirá transmitir perfectamente los esfuerzos axiales y cortantes, y hará que los desplazamientos cumplan comportamiento, diferenciándose exclusivamente el giro relativo.

3 MODELIZACIÓN DE LAS UNIONES SEMI-RÍGIDAS EN ANSYS

3.1 Modelo de unión semi-rígida

Las uniones semi-rígidas permiten una rotación relativa en la conexión proporcional al giro que aparece en la pieza contigua. Esto hace que su modelización sea compleja al tener que evaluar esa proporcionalidad en función de varios factores más, como son la robustez de los perfiles de la conexión, los elementos de la unión, el tipo de conexión, etc.

Para modelizar este tipo de unión, se utiliza un resorte al giro. Este resorte lo que hace es conectar las dos piezas que concluyen en la unión y permite un momento proporcional al giro relativo. De esta forma se transmiten axiles y cortantes, existirán desplazamientos compatibles y se permitirá la diferencia de rotación de la unión.

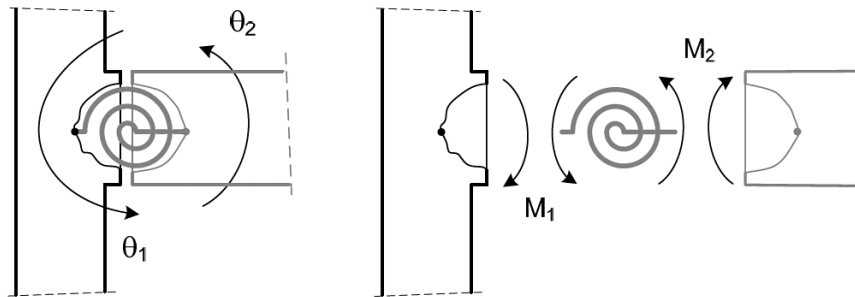


Figura 3-1: Modelización de uniones flexibles al giro [10]

En nuestro caso solamente nos centraremos en el giro perteneciente al plano. En la realidad existen varias deformaciones en un mismo nudo (varios giros). Esto hace que haya modelos mucho más complejos teniendo que introducir en cada grado de libertad de giro un resorte que evalúa la proporcionalidad a este desplazamiento.

3.2 Elementos de ANSYS usados

Una vez explicado el modelo a seguir para configurar la unión semi-rígida, se busca el implantar este modelo en la aplicación ANSYS. Para ello se han utilizado los siguientes elementos. Hay que indicar que el modelo que se va a proponer será para el caso en 2D.

- BEAM3 2-D Elastic Beam [11]

BEAM3 es un elemento uniaxial que permite tensión, compresión y flexión. Tiene tres grados de libertad en cada nodo: translaciones en las direcciones x e y, y rotación alrededor del eje nodal z.

Este elemento se define a partir de dos nodos, el área de su sección transversal, el momento de inercia de la sección, la altura de esta y las propiedades del material del que esté hecho el perfil en cuestión. De esta forma, este elemento permitirá introducir en el modelo los pilares y dinteles de nuestra estructura.

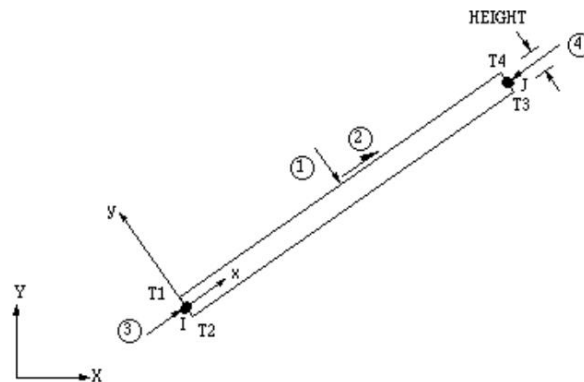


Figura 3-2: Modelo BEAM3 2-D de ANSYS [11]

- LINK1 2-D Spar [11]

LINK1, para este caso, será un elemento uniaxial de tensión axial, con dos grados de libertad por nodo: traslaciones en las direcciones x e y . Hace que las uniones en los nudos de la estructura se comporten con este elemento como si existiera una unión articulada, no permitiendo la flexión del elemento.

Este elemento se define a partir de dos nodos, el área de la sección transversal, una deformación inicial (opcional, que no es nuestro caso) y las propiedades del material del que esté hecho el perfil en cuestión. Con este elemento se introducirá las cruces de San Andrés que forman el núcleo central de la estructura.

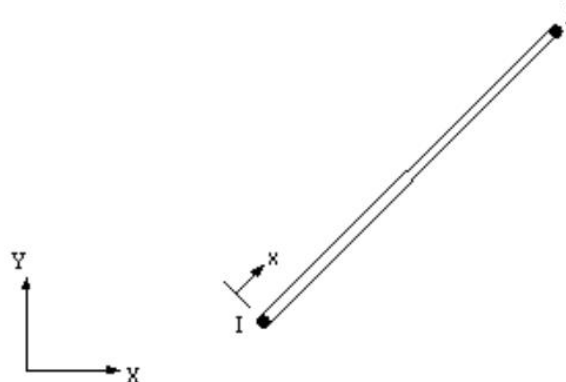


Figura 3-3: Modelo LINK1 2-D de ANSYS [11]

- COMBIN14 Spring-Damper [11]

COMBIN14, para este caso, tendrá la capacidad de torsión con aplicación en una dimensión. Esta opción de resorte es un elemento puramente giratorio con tres grados de libertad por nodo como traslaciones en x , y y z (traslaciones impedidas en nuestro modelo). En este elemento no se consideran cargas axiales ni de flexión. A diferencia de los elementos anteriores, este no tiene masa.

Este elemento está definido a partir de dos nodos, una constante de resorte k y unos coeficientes de amortiguación (opcionales, que no es nuestro caso). Para poder utilizarlo con la finalidad que se desea, habrá que definir unas "Keyoptions". De esta forma, se define que el elemento tenga una solución lineal, que se defina como amortiguador de muelle longitudinal en una dirección en cuanto al grado de libertad de giro, es decir, que funcione como un resorte de torsión.

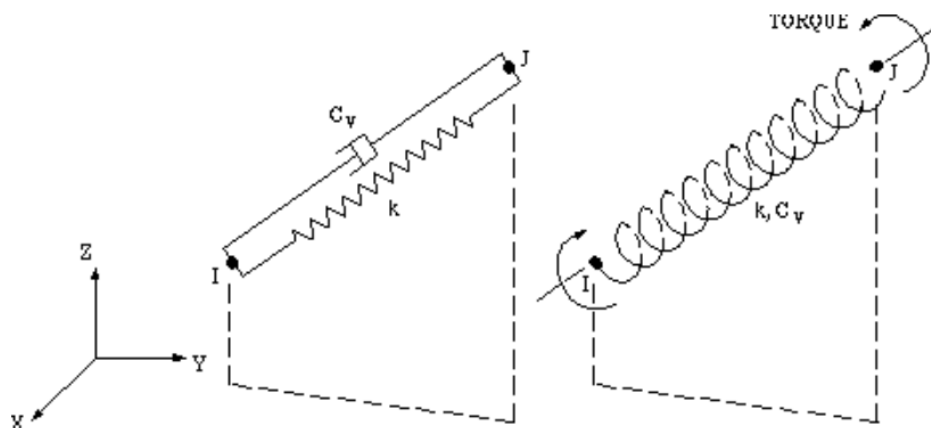


Figura 3-4: Modelo COMBIN14 de ANSYS [11]

3.3 Modelo ANSYS

Por lo tanto, el modelo que tenemos que seguir para introducir la rotación relativa sería el siguiente.

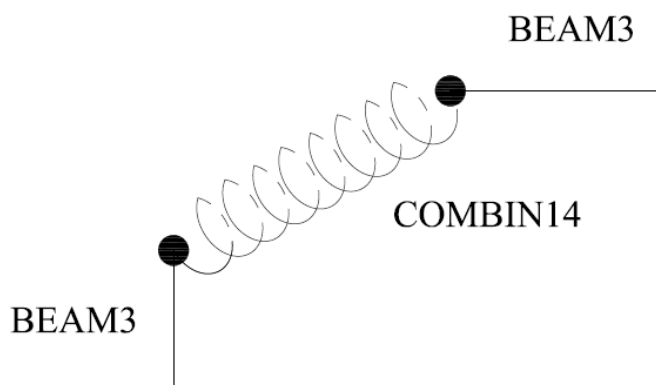


Figura 3-5: Modelo de unión semi-rígida en ANSYS

Como se aprecia en el esquema anterior, tendremos la unión entre un pilar y un dintel (formado con elementos BEAM3) conectado por un resorte (formado por un elemento COMBIN14). Para poder definir la dirección del resorte, habrá que definir los nodos de inicio y final de este elemento tal que la dirección que los une sea la dirección del giro que se quiere regular con el resorte. De esta forma, se obtiene la proporcionalidad al giro y por lo tanto la rotación relativa de la conexión.

3.4 Validación del modelo

Para comprobar que el modelo elegido para configurar la unión semi-rígida es el correcto, se ha estudiado el caso de estudio del artículo “*Mechanical model for the analysis of Steel frames with semi rigid joints*” [12]. En este artículo se estudia el comportamiento estático de un pórtico cuyas uniones base-pilar y pilar-dintel están configuradas con el tipo de unión en cuestión.

Concretamente se va a hacer la comprobación con el caso en estudio del apartado 2.4.

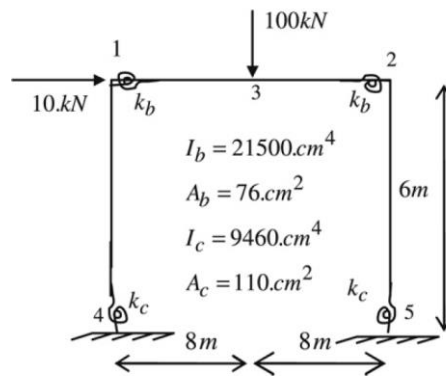


Figura 3-6: Modelo del estudio estático [12]

Como se ha indicado anteriormente, este caso será un caso estático donde se han aplicado una carga puntual horizontal en uno de los nudos de la estructura de 10 kN y otra carga puntual vertical en el centro del dintel. Para el estudio, se modificará la rigidez de las uniones tanto en las uniones base-pilar como en las uniones pilar-dintel, siendo las rigideces los siguientes tres casos:

- Caso 1: $k_b = k_c = 0$
- Caso 2: $k_b = 4 \frac{EI_b}{L_b}$; $k_c = 0$
- Caso 3: $k_b = 4 \frac{EI_b}{L_b}$; $k_c = \frac{EI_c}{L_c}$

donde los valores del área y la inercia de las secciones serán los indicados en el esquema.

Del estudio se van a comparar los resultados obtenidos numéricamente que el artículo muestra en cuanto a momentos absolutos máximos, comparándose con los resultados obtenidos mediante el mismo modelo en ANSYS con las especificaciones anteriormente nombradas y utilizando el modelo de unión citado en el apartado anterior.

De esta forma, el artículo nos devuelve los siguientes resultados:

	$k_b = k_c = 0$	$k_b = 4 \frac{EI_b}{L_b}$; $k_c = 0$	$k_b = 4 \frac{EI_b}{L_b}$; $k_c = \frac{EI_c}{L_c}$
M_{41}	52.2	31.9 (31.7)	0.3392 (0.3)
M_{14}	127.6	93.7 (93.6)	80.2715 (80.3)
M_{52}	87.1	71.8 (71.5)	24.1813 (24.2)
M_{25}	152.7	113.9 (113.8)	116.4294 (116.4)
M_{32}	260	296.4 (296.3)	301.6495 (301.7)
	kN·m	kN·m	kN·m

Tabla 3-1: Resultados del modelo numérico de comprobación [12]

En cuanto al modelo en ANSYS del mismo estudio, los resultados obtenidos serán los siguientes:

	$k_b = k_c = 0$	$k_b = 4 \frac{EI_b}{L_b}$; $k_c = 0$	$k_b = 4 \frac{EI_b}{L_b}$; $k_c = \frac{EI_c}{L_c}$
M_{41}	52.2	31.68	0.32
M_{14}	127.6	93.65	80.25
M_{52}	87.1	71.53	24.16
M_{25}	152.7	113.795	116.41
M_{32}	260	296.28	301.67
	kN·m	kN·m	kN·m

Tabla 3-2: Resultados del modelo en ANSYS de comprobación

De los resultados obtenidos en nuestro modelo reflejados en la tabla 3-2 con respecto a los resultados del artículo de la tabla 3-1, se puede ver que el grado de acuerdo es muy alto. Los errores que se pueden apreciar son en la centésima, es decir, errores en el redondeo en cuanto a la comparación con el estudio, que no llega a profundizar hasta ese orden.

Los códigos desde los cuales se han obtenido estos resultados se encuentran en el ANEXO A al final de este documento.

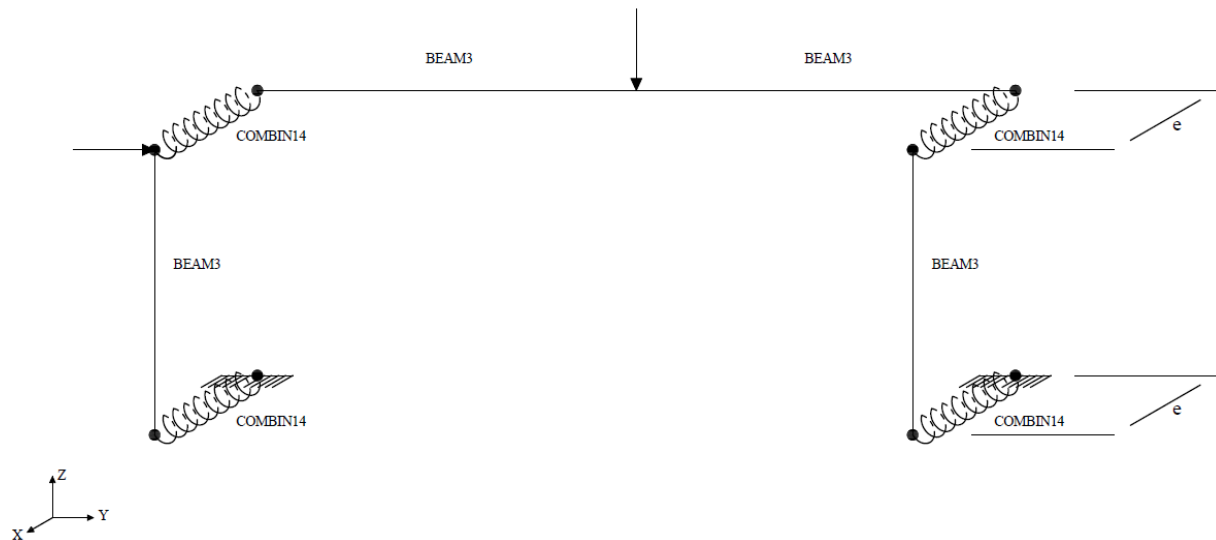


Figura 3-7: Modelo en ANSYS de la Validación

La excentricidad e que se aprecia en el modelo nos sirve, como se indicó en el modelo de la unión, para indicar la dirección del resorte y toma un valor de 0.001 veces la longitud característica o el canto de la viga. Además en el modelo se acoplarán todos los grados de libertad, excepto el giro en la dirección del resorte, entre los nodos del pilar y el dintel que conforman la unión, en este caso, semi-rígida.

Viendo los resultados, se puede validar el modelo de la unión semi-rígida que se ha profundizado en este capítulo.

4 ANÁLISIS DINÁMICO

4.1 Planteamiento

El estudio que forma la parte central de este trabajo es el conocimiento del comportamiento de un sistema estructural tipo edificio al modificar las rigideces de las uniones de los elementos que lo componen, y a las cuales se les aplica un sismo y se les realiza un análisis dinámico.

Las estructuras que se proponen son las obtenidas en el trabajo de fin de máster de L. Montoya [13]. En dicho trabajo se han obtenido diferentes estructuras que son válidas para el caso de un estudio estático. De esta forma, se van a tomar los perfiles estudiados en este trabajo para este estudio.

Las estructuras en cuestión son regulares en planta y elevación y son simétricas en cuanto a las direcciones X e Y. Esto hace que las estructuras no presenten problemas de torsión en planta. El sistema de entrepisos está formado por forjados macizos reticulares, que aunque aporten rigidez en su plano, no interaccionan con las vigas metálicas.

El sistema estructural de edificio metálico estará formado por pórticos con una separación entre ellos de cuatro metros, con una variación de alturas de dos, seis y doce pisos, y variando las luces de tres, siete y diez metros. En todas estas situaciones se variará también la tipología de las uniones, pasando por uniones rígidas, semi-rígidas y articuladas.

Las uniones se diseñarán según el rango de rigidez que se explicó en el apartado 2. Se tomará de esta forma estas rigideces para los siguientes casos:

- Rígido: $k_{R_2} = 100 \frac{EI}{L}$; $k_{R_1} = 8 \frac{EI}{L}$
- Semi-rígido: $k_{SR_1} = 6 \frac{EI}{L}$; $k_{SR_2} = 3 \frac{EI}{L}$
- Articulado: $k_{A_1} = 0.5 \frac{EI}{L}$; $k_{A_2} = 0 \frac{EI}{L}$

En el análisis se utilizarán las cargas gravitacionales que propone el Código Técnico de la Edificación (CTE) y el espectro sísmico propuesto por el Reglamento Nacional de la Construcción de la República de Nicaragua (RNC-07).

En el estudio se realizará una comparativa de los comportamientos que muestran todo este abanico de posibilidades estructurales.

4.2 Modelo de cargas distribuidas

Debido a la simetría de las edificaciones del estudio, se realizará un análisis en 2D. Esto hace que necesitemos un coste computacional menor obteniendo resultados con una misma precisión que realizando un análisis en 3D (debido a la no existencia de efectos torsionales).

En las siguientes tablas se muestran los valores de las cargas gravitacionales que se van a considerar en el estudio para los entrepisos y el techo.

Forjado de Entrepiso	
Forjado uni o bidireccional (grueso total < 0.30m)	4.00 KN/m ²
Baldosa hidráulica incluyendo material de agarre	1.10 KN/m ²
Tabiquería	1.00 KN/m ²
Enfoscado de cemento	0.20 KN/m ²
Total carga permanente	6.30 KN/m ²

Tabla 4-1: Modelo de cargas distribuidas para forjado de entrepiso [13]

Forjado de Techo	
Peso propio de forjado estructural	3.00 KN/m ²
Cubierta plana, recrecido, con imp.	1.50 KN/m ²
Enfoscado de cemento	0.20 KN/m ²
Total carga permanente	4.70 KN/m ²

Tabla 4-2: Modelo de cargas distribuidas para forjado de techo [13]

4.3 Modelo sísmico

Como se ha comentado anteriormente, el espectro utilizado se ha obtenido del Reglamento Nacional de la Construcción de la República de Nicaragua (RNC-07) [14]. Este propone un espectro para sismos de gran magnitud.

En el artículo 27 del RNC-07 se especifica el espectro que se aplica en el reglamento para los casos de análisis estático y dinámico. De esta forma encontramos que la aceleración de la gravedad se define de la siguiente forma:

$$a = \begin{cases} S \left[a_0 + (d - a_0) \frac{T}{T_a} \right] & \text{si } T < T_a \\ S \cdot d & \text{si } T_a \leq T < T_b \\ S \cdot d \left(\frac{T_b}{T} \right) & \text{si } T_b \leq T < T_c \\ S \cdot d \left(\frac{T_b}{T} \right) \left(\frac{T_c}{T} \right)^2 & \text{si } T > T_c \end{cases} \quad (4-1)$$

; donde:

- S : es el factor de amplificación por tipo de suelo
- a_0 : es el coeficiente de zonificación sísmica
- $d = 2.7 a_0$
- $T_a = 0.1 \text{ seg}$
- $T_b = 0.6 \text{ seg}$
- $T_c = 2 \text{ seg}$
- T : es el período estructural en segundos

El factor de amplificación por tipo de suelos S se obtiene del artículo 25 de este mismo reglamento donde se habla de la influencia del suelo y del período del edificio. Se especifican diferentes tipos de suelos con la finalidad de contar con los efectos de amplificación sísmica debidos al terreno. Los suelos se dividirán en cuatro tipos:

- Tipo I: Afloramiento rocoso con $V_s > 750 \text{ m/s}$
- Tipo II: Suelo firme con $360 < V_s \leq 750 \text{ m/s}$
- Tipo III: Suelo moderadamente blando, con $180 < V_s \leq 360 \text{ m/s}$
- Tipo IV: Suelo muy blando, con $V_s \leq 180 \text{ m/s}$

; donde V_s es la velocidad promedio de ondas cortante según una profundidad que no puede ser menor de 10 m.

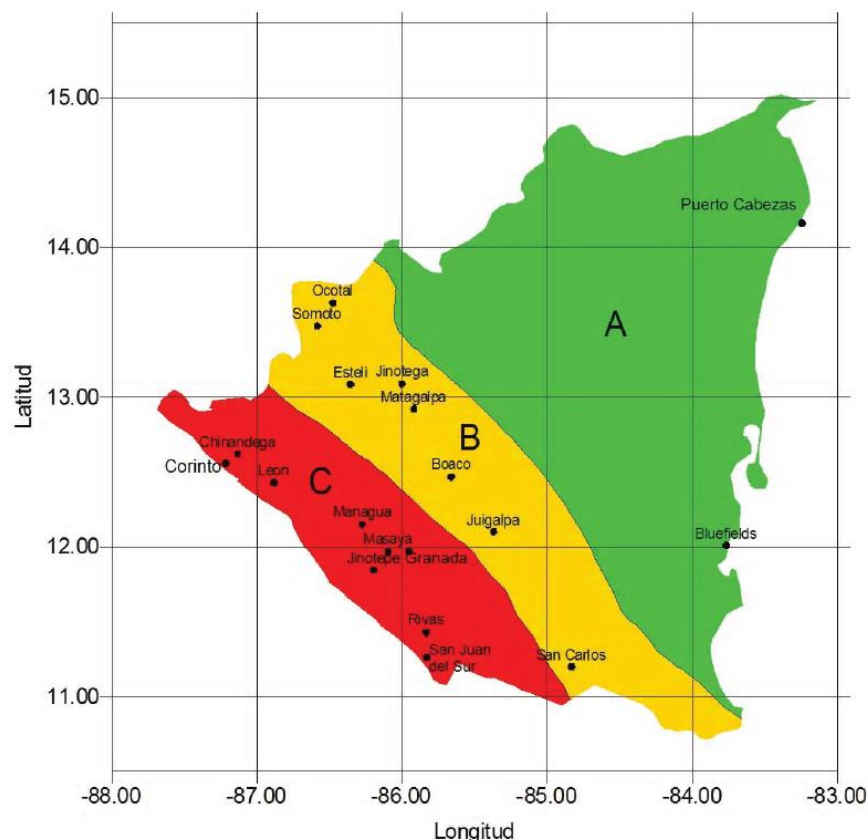


Figura 4-1: Mapa de zonificación sísmica de Nicaragua (RNC-2007) [14]

También se puede obtener según el mapa de zonificación de Nicaragua, donde según la localización por latitud y longitud se diferencian tres zonas. Así se encuentran los diferentes valores de S :

Zona Sísmica	Tipos de suelo		
	I	II	III
A	1.0	1.8	2.4
B	1.0	1.7	2.2
C	1.0	1.5	2.0

Tabla 4-3: Valores del coeficiente S según Zona sísmica y Tipología de suelo [14]

En el caso de tener suelos de tipo IV, es decir, suelos muy blandos, se tienen que hacer un estudio específico para obtener este coeficiente.

El coeficiente de zonificación sísmica se puede obtener por dos gráficos. El primer gráfico de donde se puede extraer este coeficiente es el diagrama anteriormente expuesto para el caso del factor de amplificación, aunque este valor será orientativo. Para un resultado con mayor precisión está el segundo gráfico que se encuentra en el Anexo C del mismo reglamento. En este gráfico se obtiene a_0 según la latitud y longitud de la zona en cuestión; donde el coeficiente se encuentra representado según un mapa de isoaceleraciones.

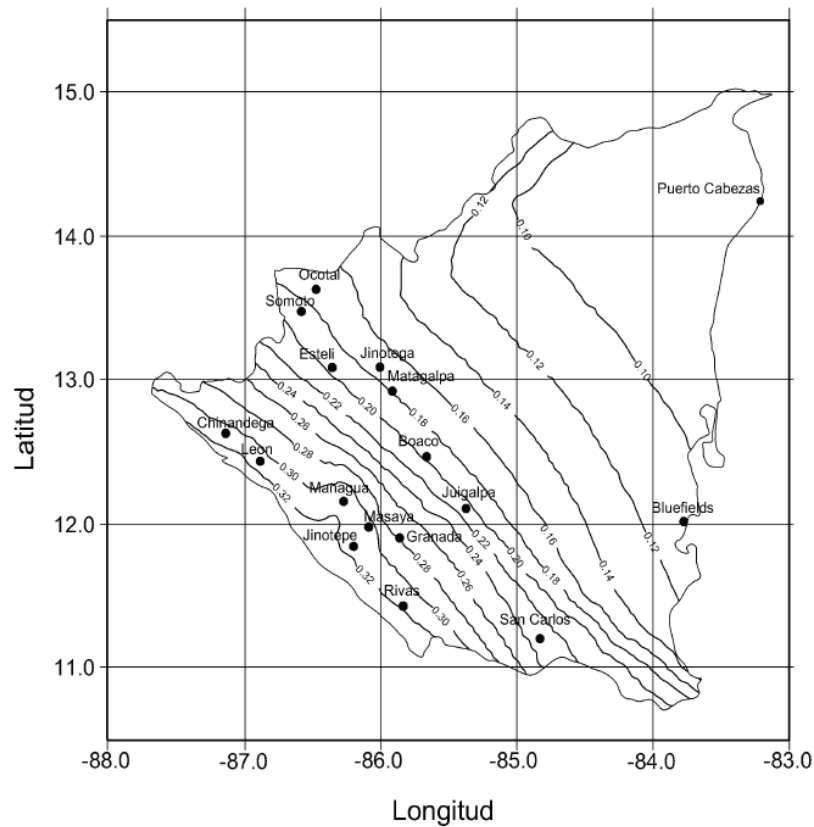


Figura 4-2: Mapa de isoaceleraciones (RNC-2007) [14]

Hay que indicar que para poder hacer este análisis descrito, las estructuras estudiadas tienen que considerarse de normal importancia. En el reglamento se identifican tres tipos de estructuras: esenciales (Grupo A: hospitales, edificios de gobierno, escuelas, etc.), de normal importancia (Grupo B: viviendas, edificios de oficinas, locales, etc.) y de menor importancia (Grupo C). Las estructuras de este estudio en cuestión se han considerado del grupo B, debido a que son las estructuras esenciales de estos tipos de edificios.

Con todos estos datos se obtiene el espectro de diseño que se puede ver en el siguiente gráfico:

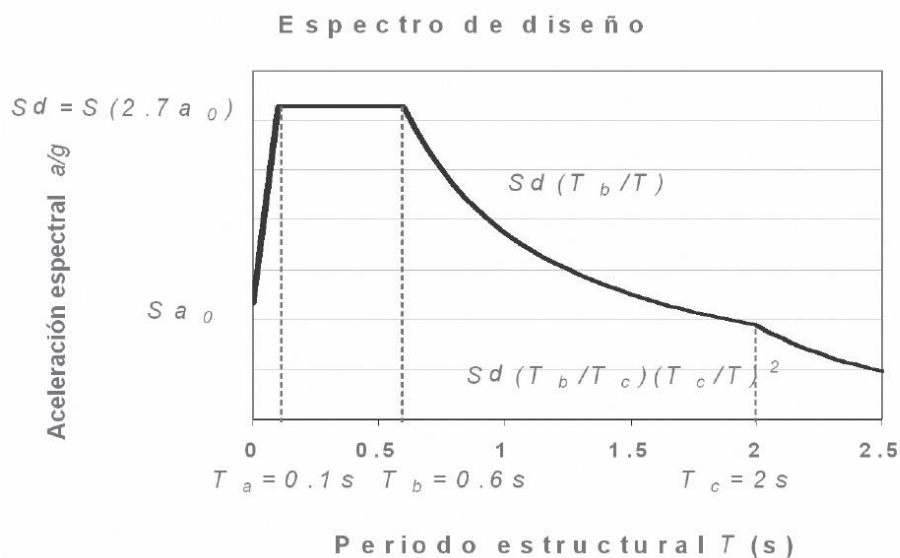


Figura 4-3: Gráfico tipo del espectro de diseño (RNC-2007) [14]

En concreto, nuestro caso de estudio toma un sismo con una aceleración pico del suelo de 0.4g, con características de un suelo de depósitos profundos de arenas de densidad media y gravas (suelo tipo III) con un S de valor considerado de 2.3. Con estos valores se obtiene el siguiente espectro:

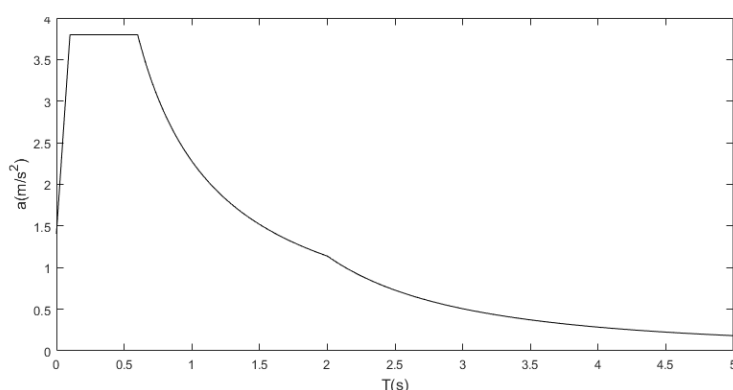


Figura 4-4: Gráfico: Espectro de respuesta frente a Período

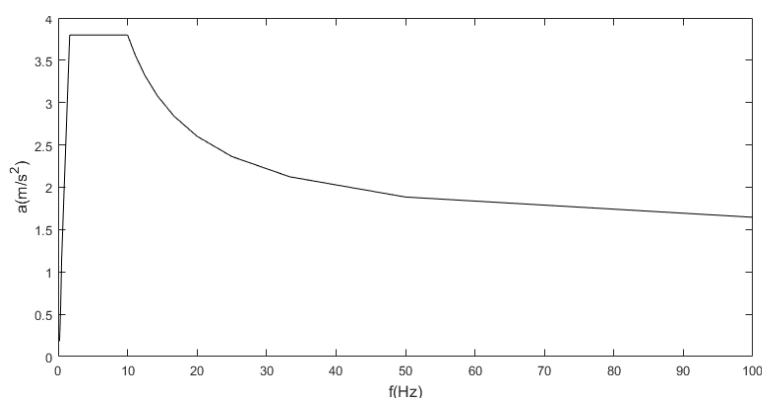


Figura 4-5: Gráfico: Espectro de respuesta frente a Frecuencia

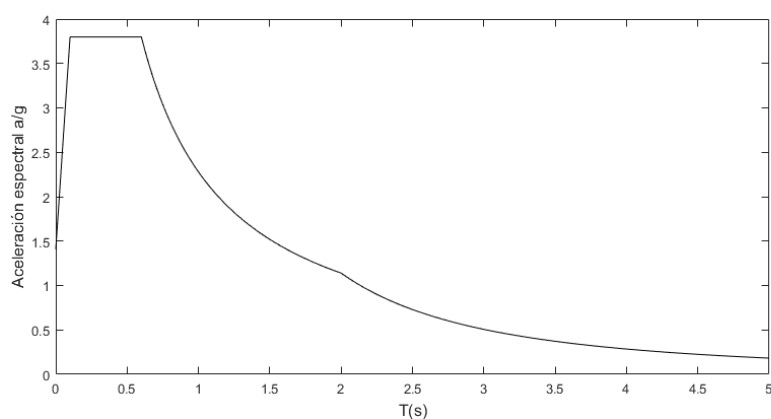


Figura 4-6: Gráfico: Espectro de diseño elástico

De este último gráfico se obtendrá los datos que se aplicarán en el modelo de ANSYS de la estructura en el estudio dinámico de estas.

El código de donde se ha obtenido estas gráficas se adjunta en el ANEXO B en el último capítulo de este documento.

A las estructuras del estudio se les ha aplicado un análisis sísmico espectral. En código ANSYS implica que anteriormente se haya realizado un análisis modal. Además habrá que definir la dirección de excitación del espectro de respuesta, la cual se ha tomado en dirección X (dirección paralela a la base de la estructura 2D); el tipo de respuesta del espectro, que en este caso lo hemos tomado, como se ha indicado anteriormente, una aceleración sísmica por medio del espectro; y la amortiguación de un 5%. Para finalizar se ha indicado que el método de combinación será la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados.

4.4 Casos de Estudio

Como se indicó en el primer apartado de este capítulo, los casos de estudios serán sistemas estructurales 2D, en los que se varían sus alturas y luces. Estas estructuras variarán sus alturas entre dos, seis y doce pisos; y sus luces entre tres, siete y diez metros. Los sistemas estructurales serán los siguientes:

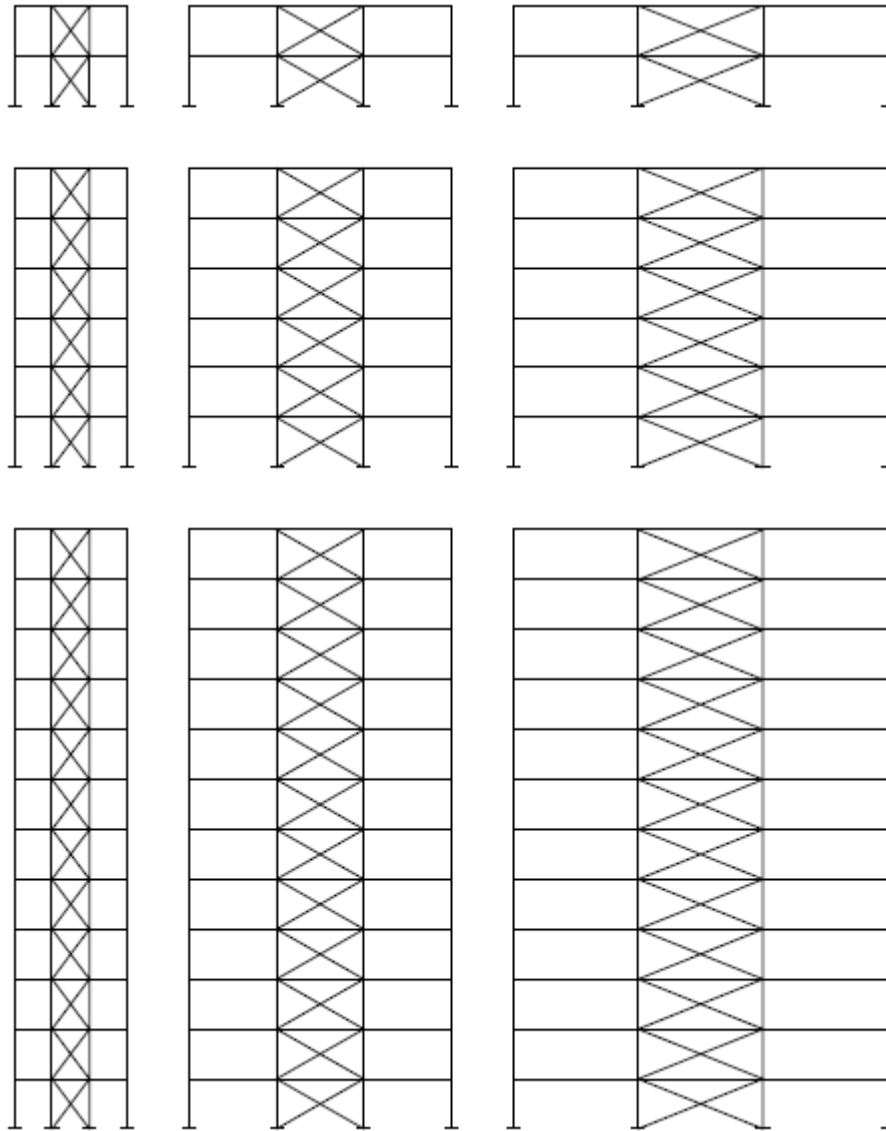


Figura 4-7: Sistemas estructurales: dos, seis y doce pisos; tres, cinco y diez metros de luz [13]

Los perfiles que componen las estructuras en cuestión se obtendrán de [13]. En este se toma como base de estudio unas estructuras válidas para el caso del estudio estático, tomándose sus perfiles como los perfiles que componen los dinteles y pilares de cada sistema estructural.

Los diferentes sistemas estructurales estudiados serán los descritos en el ANEXO C en el último capítulo de este documento. También se adjuntan en el ANEXO F los códigos de ANSYS correspondientes con cada sistema estructural, mostrándose solamente el caso de la tipología rígida (coeficiente 100). Para utilizar estos códigos con las diferentes tipologías de uniones, solamente habrá que modificar el valor del ítem “RIG”, que se encuentra en el subapartado del código “ELEMENTOS COMBIN14”.

5 RESULTADOS

Una vez analizadas las estructuras porticadas que se van a estudiar y la solicitud dinámica en forma de espectro que se va a aplicar y la forma en la que se aplicará, se procede a la obtención de la respuesta dinámica de cada uno de los sistemas estructurales. Este análisis dinámico nos permitirá conocer de qué manera modifica las uniones semi-rígidas algunos aspectos del comportamiento de las estructuras, como son los desplazamientos y las tensiones transmitidas.

El estudio se centrará en las estructuras que se obtienen de las combinaciones de dos, seis y doce plantas y vanos de tres, siete y diez metros de luz; modificándose los coeficientes de sus rigideces entre los valores:

Tipologías de unión	Definición	k_j/k_o
Rígido 1	R1	100
Rígido 2	R2	8
Semi-rígido 1	SR1	6
Semi-rígido 2	SR2	3
Articulado 1	A1	0.5
Articulado 2	A2	0

Tabla 5-1: Clasificación de tipologías del estudio

donde k_j es la rigidez de la tipología de la unión en cuestión y k_o tiene el valor de EI/L

5.1 Resultados del estudio

5.1.1 Desplazamientos

Como resultado del análisis dinámico, en este apartado se va a tomar el obtenido como desplazamiento máximo de cada una de las combinaciones; que se provoca en el último piso de la estructura. En su mayoría se producirá en la primera unión del pilar con el dintel en la última planta (en el sentido positivo del eje X).

En el ANEXO D se muestran las deformadas de los sistemas estructurales con todas sus combinaciones. Como resultado del estudio dinámico en desplazamientos, se obtienen los siguientes datos:

		R1 (100)	R2 (8)	SR1 (6)	SR2 (3)	A1 (0.5)	A2 (0)	
		7.70	7.77	7.79	7.84	7.96	8.00	
P L A N T A S	2P	9.40	9.43	9.43	9.40	9.48	10.02	7L
		13.84	13.92	13.95	14.06	10.97	15.73	10L
		58.72	59.50	59.67	60.12	60.98	61.30	3L
	6P	61.73	62.51	62.74	63.45	65.66	67.03	7L
		66.31	67.10	67.36	68.29	71.82	74.84	10L
		108.55	110.45	110.90	112.12	114.64	115.65	3L
	12P	102.44	103.83	104.25	105.57	109.99	113.04	7L
		97.14	98.33	98.70	99.98	105.07	109.53	10L
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	

Tabla 5-2: Desplazamientos máximos

Para una mejor comprensión, se ha optado por introducir una gama de colores que nos muestre como varían los desplazamientos de mayor a menor, siendo la gama verde los menores y la roja los mayores. Se han aplicado para cada conjunto de pisos. De esta forma se obtiene:

		R1 (100)	R2 (8)	SR1 (6)	SR2 (3)	A1 (0.5)	A2 (0)		
		mm	mm	mm	mm	mm	mm		
P L A N T A S	2P	7.70	7.77	7.79	7.84	7.96	8.00	3L	L U C E S
		9.40	9.43	9.43	9.40	9.48	10.02	7L	
		13.84	13.92	13.95	14.06	10.97	15.73	10L	
	6P	58.72	59.50	59.67	60.12	60.98	61.30	3L	
		61.73	62.51	62.74	63.45	65.66	67.03	7L	
		66.31	67.10	67.36	68.29	71.82	74.84	10L	
	12P	108.55	110.45	110.90	112.12	114.64	115.65	3L	
		102.44	103.83	104.25	105.57	109.99	113.04	7L	
		97.14	98.33	98.70	99.98	105.07	109.53	10L	

Tabla 5-3: Desplazamientos máximos graduado

De este último gráfico se puede obtener mucha información de cada grupo. En primer lugar, tanto para el grupo de dos como para el grupo de seis y doce plantas, si se disminuye la rigidez de la unión (tendiendo a una unión articulada) los desplazamientos aumentan. Este fenómeno también se produce si aumenta la luz de los vanos en los casos de dos y seis planta. Sin embargo, en el caso de doce plantas, al aumentar la luz de los vanos, disminuyen los desplazamientos.

5.1.2 Cortante en Apoyos

En este apartado se va a analizar los esfuerzos cortantes que trasmite la estructura en su base para todos los casos que salen de la combinación de pisos y vanos. Se hace un estudio particular de este esfuerzo debida a la gran variabilidad que se produce al modificar las rigideces para una misma estructura, que se verá más adelante.

En el ANEXO E, se muestran los cortantes que se producen para todos los sistemas estructurales obtenidos, obteniéndose de estos resultados los siguientes datos:

		R1 (100)	R2 (8)	SR1 (6)	SR2 (3)	A1 (0.5)	A2 (0)		
		kN	kN	kN	kN	kN	kN		
P L A N T A S	2P	1728.41	1539.65	1494.47	1351.86	924.18	684.13	3L	L U C E S
		7527.11	7345.79	7280.37	7015.70	5285.98	3125.20	7L	
		17689.80	17445.40	17359.10	17027.30	11358.90	9033.82	10L	
	6P	12918.60	11463.10	11151.60	10376.70	9074.04	8631.38	3L	
		56567.60	53156.60	52127.90	49160.00	40588.50	36012.20	7L	
		127016.00	121135.00	119629.00	115421.00	98550.20	85913.70	10L	
	12P	16134.60	14612.40	14300.90	13548.00	12310.20	11967.70	3L	
		86999.90	83116.30	82090.40	78984.70	71330.70	68305.00	7L	
		151588.00	145215.00	143275.00	137239.00	116649.00	105091.00	10L	

Tabla 5-4: Cortante en base

Al igual que en el caso anterior, se ha optado por introducir una gama de colores para una mejor comprensión de los resultados. Así, y al igual que en el caso anterior, la gama verde representa a los resultados menores y la gama roja a los mayores; y se han aplicado para cada conjunto de pisos, obteniéndose:

		R1 (100)	R2 (8)	SR1 (6)	SR2 (3)	A1 (0.5)	A2 (0)	
P L A N T A S	2P	1728.41	1539.65	1494.47	1351.86	924.18	684.13	3L
		7527.11	7345.79	7280.37	7015.70	5285.98	3125.20	7L
		17689.80	17445.40	17359.10	17027.30	11358.90	9033.82	10L
	6P	12918.60	11463.10	11151.60	10376.70	9074.04	8631.38	3L
		56567.60	53156.60	52127.90	49160.00	40588.50	36012.20	7L
		127016.00	121135.00	119629.00	115421.00	98550.20	85913.70	10L
	12P	16134.60	14612.40	14300.90	13548.00	12310.20	11967.70	3L
		86999.90	83116.30	82090.40	78984.70	71330.70	68305.00	7L
		151588.00	145215.00	143275.00	137239.00	116649.00	105091.00	10L
		kN	kN	kN	kN	kN	kN	

Tabla 5-5: Cortante en base graduado

Al estudiar el cortante en la base, los resultados se comportan algo diferente al caso de los desplazamientos. Si se disminuye la rigidez de la unión, los esfuerzos cortantes disminuyen, y si aumentamos la luz de los vanos, los esfuerzos cortantes también aumentan, en todos los casos de todos los pisos.

5.2 Comparación de resultados

Una vez obtenidos los resultados numéricos de desplazamientos y cortantes en la base de todos los sistemas estructurales, en este apartado se van a enfatizar en las diferencias que existen entre los resultados con la tipología de unión semi-rígida y los casos extremos de rígido y articulado.

Para ello se van a realizar dos comparaciones:

- En la primera se tomará una estructura de “n” número de plantas (donde n es uno de los números de plantas exclusivamente) y se compararán todos los resultados obtenidos de esa estructura con todas las rigideces estudiadas con el resultado obtenido en el caso rígido 1 (de coeficiente de rigidez 100) para un vano de luz tres.
- Para la segunda comparación, se realizará la misma comparación que la anterior pero comparándose con el caso de rígido 2 (de coeficiente de rigidez 8) para el vano correspondiente al que se esté comparando en ese momento. No se considerará la tipología de rigidez 1 (de valor 100) debido a que este valor disparará las relaciones y no se verá claramente la diferencia.

Para finalizar, se compararán los resultados para ver los errores que se cometerían si se eligieran uniones rígidas, siendo la fórmula del error la siguiente:

$$Error = |\phi - \phi_0| / \phi_0 \cdot 100 \quad (5-1)$$

Donde ϕ es el valor del caso de tipología que se quiere comparar y ϕ_0 es el valor raíz de la comparación (en la primera comparación es el caso de rígido 1 para vano con luz de tres metros y “n” número de plantas y para la segunda comparación es el caso de rígido 2 para vano con luz correspondiente con el que se va a comparar y “n” número de plantas).

5.2.1 Comparación de resultados: Desplazamientos

De la primera comparación anteriormente descrita se obtiene los siguientes datos:

P L A N T A S	2P	R1 (100)	R2 (8)	SR1 (6)	SR2 (3)	A1 (0.5)	A2 (0)	L U C E S
		1.00	1.01	1.01	1.02	1.03	1.04	
		1.22	1.22	1.22	1.22	1.23	1.30	
		1.80	1.81	1.81	1.83	1.43	2.04	
	6P	1.00	1.01	1.02	1.02	1.04	1.04	
		1.05	1.06	1.07	1.08	1.12	1.14	
		1.13	1.14	1.15	1.16	1.22	1.27	
	12P	1.00	1.02	1.02	1.03	1.06	1.07	
		0.94	0.96	0.96	0.97	1.01	1.04	
		0.89	0.91	0.91	0.92	0.97	1.01	

Tabla 5-6: Comparación 1 de desplazamientos por proporcionalidad

Al igual que en las anteriores ocasiones, para una mejor claridad de los resultados se ha optado por introducir una gama de colores: la gama verde representa a los resultados menores y la gama roja a los mayores, siendo la comparación de mayor o menor en cuanto al conjunto de luces con un mismo número de pisos. Así se obtiene:

P L A N T A S	2P	R1 (100)	R2 (8)	SR1 (6)	SR2 (3)	A1 (0.5)	A2 (0)	L U C E S
		1.00	1.01	1.01	1.02	1.03	1.04	
		1.22	1.22	1.22	1.22	1.23	1.30	
		1.80	1.81	1.81	1.83	1.43	2.04	
	6P	1.00	1.01	1.02	1.02	1.04	1.04	
		1.05	1.06	1.07	1.08	1.12	1.14	
		1.13	1.14	1.15	1.16	1.22	1.27	
	12P	1.00	1.02	1.02	1.03	1.06	1.07	
		0.94	0.96	0.96	0.97	1.01	1.04	
		0.89	0.91	0.91	0.92	0.97	1.01	

Tabla 5-7: Comparación 1 de desplazamientos por proporcionalidad en base graduada

A continuación, se presentan los resultados de las tablas 5-6 y 5-7 según tres representaciones, una para cada uno de los números de pisos.

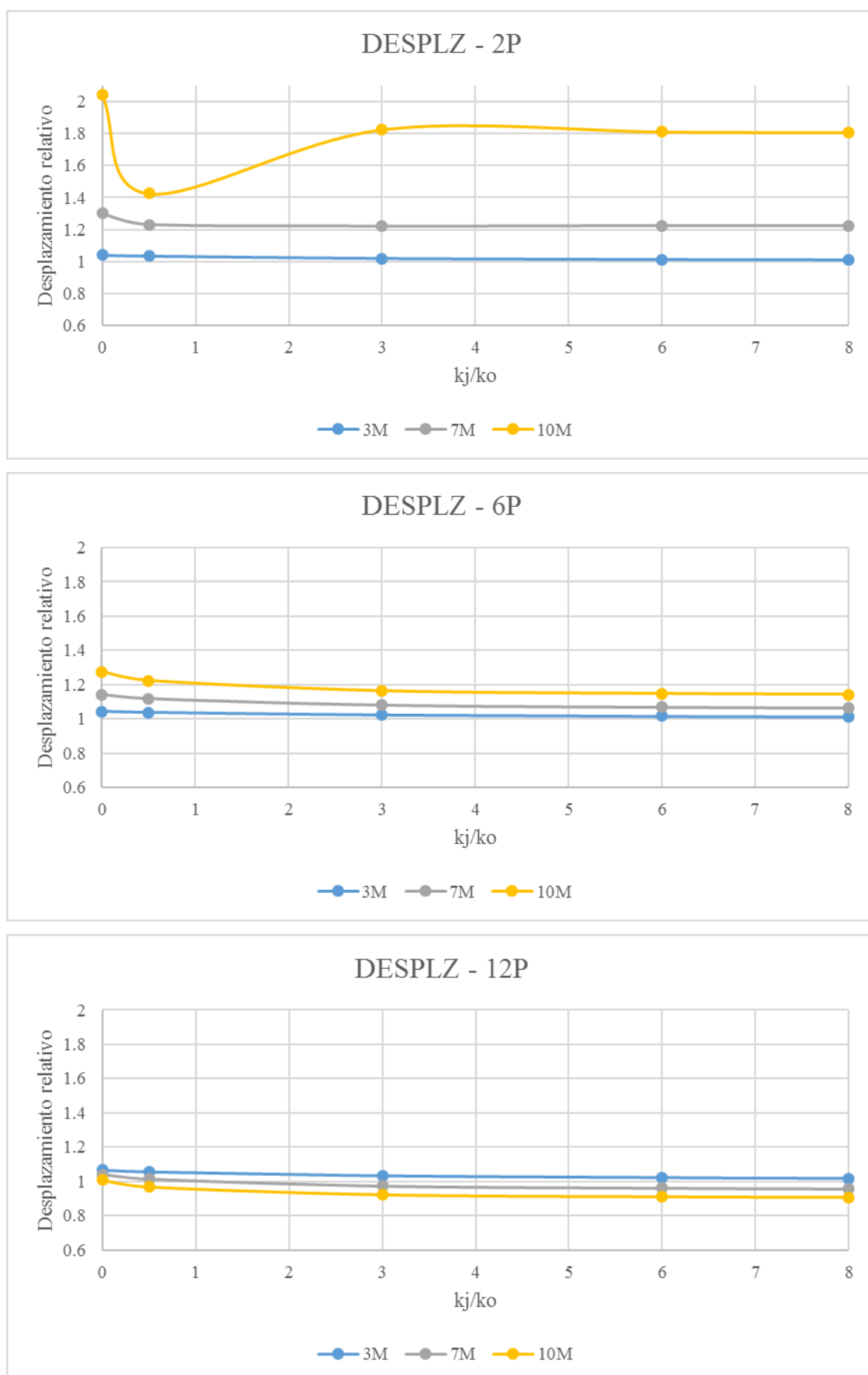


Figura 5-1: Representación del desplazamiento horizontal máximo de cada estructura en función de la rigidez de la unión y relativo al caso de uniones rígidas 1, para los siguientes casos: edificio de 2, 6 y 12 plantas

Se van a obtener a continuación los errores que se obtienen al comparar la proporcionalidad de los casos de siete y diez metros de vano con los del caso de tres metros de vano para la estructura de su “n” número de plantas respectivo:

P L A N T A S		E R R O R			L U C E S
		R2 (8)	SR2 (3)	A2 (0)	
P L A N T A S	2P	21%	20%	25%	7L
		79%	79%	97%	10L
	6P	5%	6%	9%	7L
		13%	14%	22%	10L
	12P	6%	6%	2%	7L
		11%	11%	5%	10L

Tabla 5-8: Errores de comparación 1 de desplazamientos por proporcionalidad

En esta primera comparación de desplazamientos se puede apreciar que la mayor diferencia de desplazamientos del último piso se encuentra en el caso de dos pisos, principalmente entre el caso rígido de dos pisos con tres metros de vano y articulado de dos pisos con diez metros de vano. Esta diferencia se encuentra debido a que se están comparando dos estructuras cuyos comportamientos son muy diferentes, por lo que se podría despreciar este resultado. En cuanto a las diferencias que se encuentran entre los comportamientos con la tipología de unión rígida y la semi-rígida, el error es mínimo, variando en un centesimal los resultados. Se concluye que el comportamiento de desplazamientos entre estas dos uniones es prácticamente el mismo.

En cuanto a la segunda comparación se obtienen los siguientes resultados:

P L A N T A S		R1 (100)	R2 (8)	SR1 (6)	SR2 (3)	A1 (0.5)	A2 (0)	L U C E S
P L A N T A S	2P	0.99	1.00	1.00	1.01	1.02	1.03	3L
		1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.06	7L
		0.99	1.00	1.00	1.01	0.79	1.13	10L
	6P	0.99	1.00	1.00	1.01	1.03	1.03	3L
		0.99	1.00	1.00	1.02	1.05	1.07	7L
		0.99	1.00	1.00	1.02	1.07	1.12	10L
	12P	0.98	1.00	1.00	1.02	1.04	1.05	3L
		0.99	1.00	1.00	1.02	1.06	1.09	7L
		0.99	1.00	1.00	1.02	1.07	1.11	10L

Tabla 5-9: Comparación 2 de desplazamientos por proporcionalidad

P L A N T A S		R1 (100)	R2 (8)	SR1 (6)	SR2 (3)	A1 (0.5)	A2 (0)	L U C E S
P L A N T A S	2P	0.99	1.00	1.00	1.01	1.02	1.03	3L
		1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.06	7L
		0.99	1.00	1.00	1.01	0.79	1.13	10L
	6P	0.99	1.00	1.00	1.01	1.03	1.03	3L
		0.99	1.00	1.00	1.02	1.05	1.07	7L
		0.99	1.00	1.00	1.02	1.07	1.12	10L
	12P	0.98	1.00	1.00	1.02	1.04	1.05	3L
		0.99	1.00	1.00	1.02	1.06	1.09	7L
		0.99	1.00	1.00	1.02	1.07	1.11	10L

Tabla 5-10: Comparación 2 de desplazamientos por proporcionalidad en base graduada

A continuación, se presentan los resultados de las tablas 5-9 y 5-10 según tres representaciones, una para cada una de las luces de los vanos.

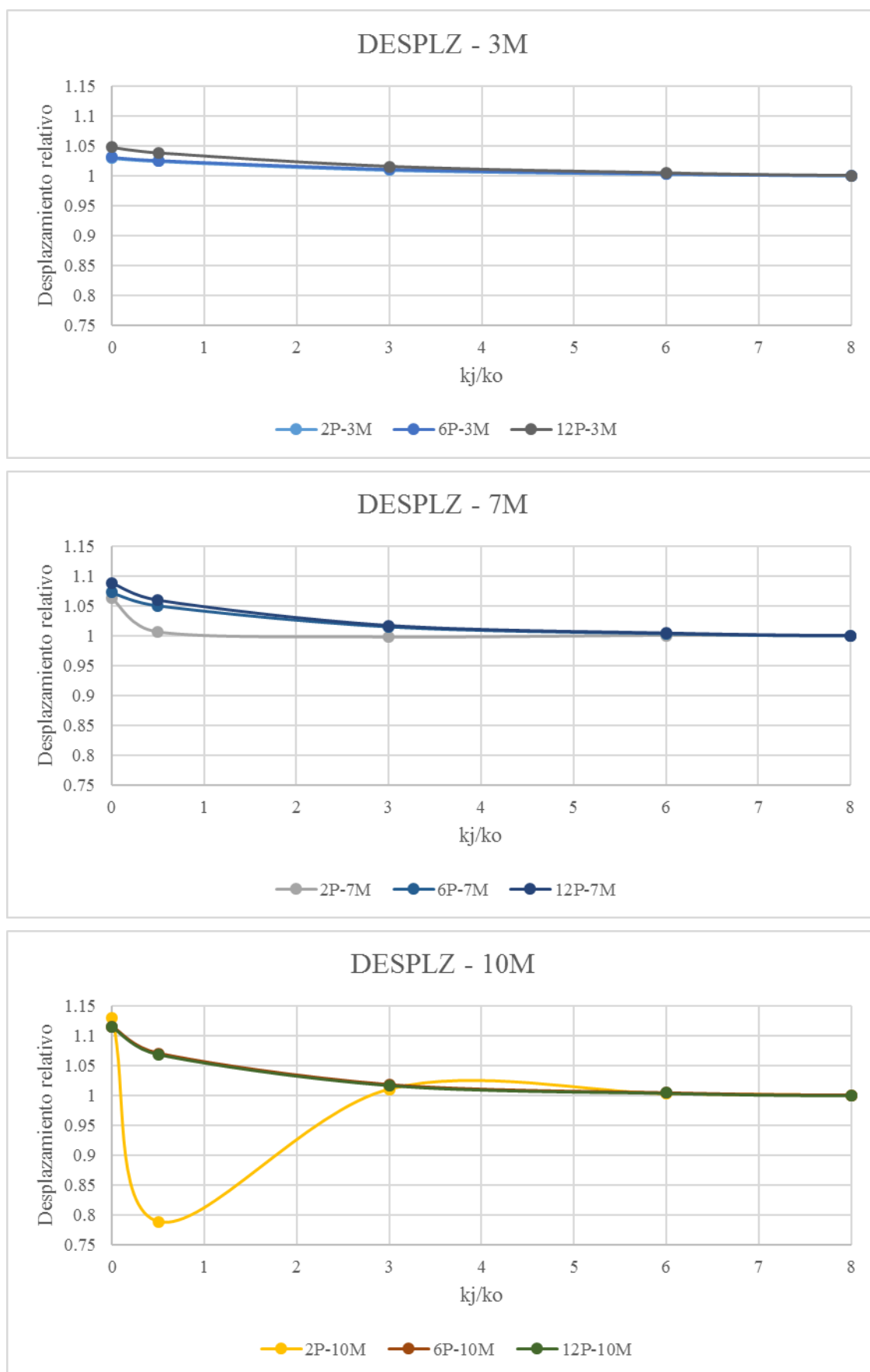


Figura 5-2: Representación del desplazamiento horizontal máximo de cada estructura en función de la rigidez de la unión y relativo al caso de uniones rígidas 2, para los siguientes casos: edificio de 2, 6 y 12 plantas

En este caso se van a obtener los errores de una estructura (combinación piso-vano) al comparar las proporcionalidades obtenidas para cada rigidez, introduciéndose también la tipología semi-rígida 1 (de coeficiente 6):

		E R R O R				
		R2 (8)	SR1 (6)	SR2 (3)	A2 (0)	
P L A N T A S	2P	0%	0%	1%	3%	3L
		0%	0%	0%	6%	7L
		0%	0%	1%	13%	10L
	6P	0%	0%	1%	3%	3L
		0%	0%	2%	7%	7L
		0%	0%	2%	12%	10L
	12P	0%	0%	2%	5%	3L
		0%	0%	2%	9%	7L
		0%	0%	2%	11%	10L

Tabla 5-11: Errores de comparación 2 de desplazamientos por proporcionalidad

En esta segunda comparación, se aprecia que las proporcionalidades son mucho menores que en la comparación anterior. Esto es debido a que estamos comparando desplazamientos de una misma estructura solamente variando la rigidez de la unión de sus elementos. Se aprecia una clara diferencia en el caso de una estructura de dos plantas y vano de diez metros de luz con uniones articuladas, en la que el desplazamiento es muy diferente al caso de uniones rígidas. En cuanto a la diferencia entre las tipologías rígida y semi-rígida, se aprecia que el error que se cometerá será como máximo del 2% (en los casos estudiados), lo que supondría una variación de como máximo 1,5 mm (comparación del caso de doce plantas con vanos de diez metros de luz entre las tipologías rígido 2 y semi-rígido 2).

5.2.2 Comparación de resultados: Cortantes en la base

De la primera comparación anteriormente descrita se obtiene los siguientes datos:

		R1 (100)	R2 (8)	SR1 (6)	SR2 (3)	A1 (0.5)	A2 (0)	
P L A N T A S	2P	1.00	0.89	0.86	0.78	0.53	0.40	3L
		4.35	4.25	4.21	4.06	3.06	1.81	7L
		10.23	10.09	10.04	9.85	6.57	5.23	10L
	6P	1.00	0.89	0.86	0.80	0.70	0.67	3L
		4.38	4.11	4.04	3.81	3.14	2.79	7L
		9.83	9.38	9.26	8.93	7.63	6.65	10L
	12P	1.00	0.91	0.89	0.84	0.76	0.74	3L
		5.39	5.15	5.09	4.90	4.42	4.23	7L
		9.40	9.00	8.88	8.51	7.23	6.51	10L

Tabla 5-12: Comparación 1 de cortantes por proporcionalidad

		R1 (100)	R2 (8)	SR1 (6)	SR2 (3)	A1 (0.5)	A2 (0)	
P L A N T A S	2P	1.00	0.89	0.86	0.78	0.53	0.40	3L
		4.35	4.25	4.21	4.06	3.06	1.81	7L
		10.23	10.09	10.04	9.85	6.57	5.23	10L
	6P	1.00	0.89	0.86	0.80	0.70	0.67	3L
		4.38	4.11	4.04	3.81	3.14	2.79	7L
		9.83	9.38	9.26	8.93	7.63	6.65	10L
	12P	1.00	0.91	0.89	0.84	0.76	0.74	3L
		5.39	5.15	5.09	4.90	4.42	4.23	7L
		9.40	9.00	8.88	8.51	7.23	6.51	10L

Tabla 5-13: Comparación 1 de cortantes por proporcionalidad en base graduada

A continuación, se presentan los resultados de las tablas 5-12 y 5-13 según tres representaciones, una para cada uno de los números de pisos.

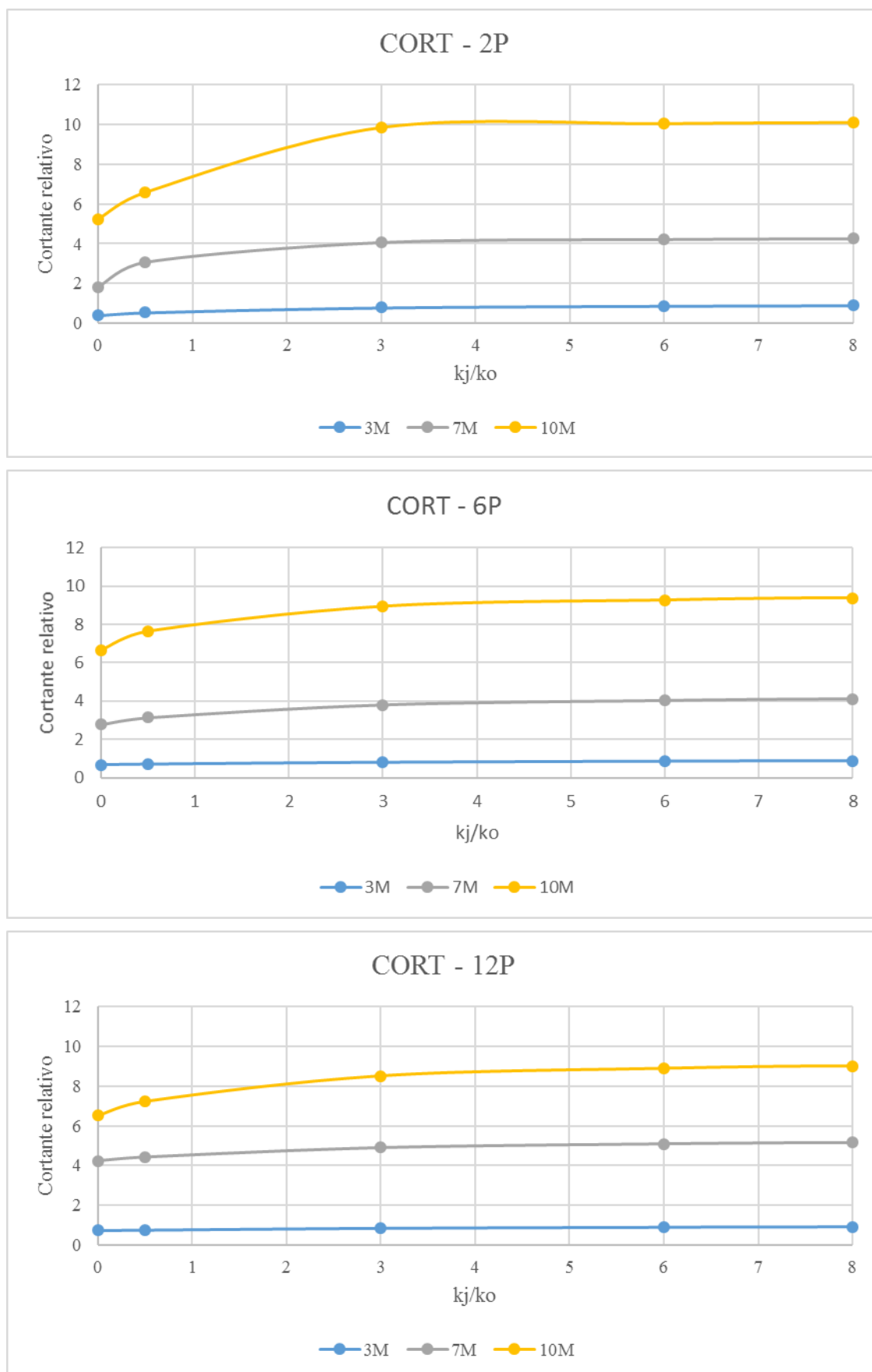


Figura 5-3: Representación del cortante en base máximo de cada estructura en función de la rigidez de la unión y relativo al caso de uniones rígidas 1, para los siguientes casos: edificio de 2, 6 y 12 plantas

Se van a obtener a continuación los errores que se obtienen al comparar la proporcionalidad de los casos de siete y diez metros de vano con los del caso de tres metros de vano para la estructura de su “n” número de plantas respectivo:

		E R R O R			
		R2 (8)	SR2 (3)	A2 (0)	
P L A N T A S	2P	377%	419%	357%	7L
		1033%	1160%	1220%	10L
	6P	364%	374%	317%	7L
		957%	1012%	895%	10L
	12P	469%	483%	471%	7L
		894%	913%	778%	10L

Tabla 5-14: Errores de comparación 1 de cortantes por proporcionalidad

En la primera comparación para los cortantes se aprecia una enorme diferencia en los esfuerzos que se crean en la base, cuya diferencia se va aliviando al elevar el número de plantas, pero levemente. Para vanos de siete metros de luz, el cortante llega a ser un 400% del valor del cortante en el caso de tres metros de luz. Se observa que la diferencia de proporcionalidad aumenta al aumentar la rigidez de las conexiones, no cumpliéndose esta proporción en los errores, que son más elevados en los casos de uniones semi-rígidas. De este primer estudio no se obtendrían claras evidencias de la diferencia de afección entre las uniones rígidas y semi-rígidas, debido a que se están comparando estructuras con comportamientos completamente diferentes.

En cuanto a la segunda comparación se obtienen los siguientes resultados:

		R1 (100)	R2 (8)	SR1 (6)	SR2 (3)	A1 (0.5)	A2 (0)	
P L A N T A S	2P	1.12	1.00	0.97	0.88	0.60	0.44	3L
		1.02	1.00	0.99	0.96	0.72	0.43	7L
		1.01	1.00	1.00	0.98	0.65	0.52	10L
	6P	1.13	1.00	0.97	0.91	0.79	0.75	3L
		1.06	1.00	0.98	0.92	0.76	0.68	7L
		1.05	1.00	0.99	0.95	0.81	0.71	10L
	12P	1.10	1.00	0.98	0.93	0.84	0.82	3L
		1.05	1.00	0.99	0.95	0.86	0.82	7L
		1.04	1.00	0.99	0.95	0.80	0.72	10L

Tabla 5-15: Comparación 2 de cortantes por proporcionalidad

		R1 (100)	R2 (8)	SR1 (6)	SR2 (3)	A1 (0.5)	A2 (0)	
P L A N T A S	2P	1.12	1.00	0.97	0.88	0.60	0.44	3L
		1.02	1.00	0.99	0.96	0.72	0.43	7L
		1.01	1.00	1.00	0.98	0.65	0.52	10L
	6P	1.13	1.00	0.97	0.91	0.79	0.75	3L
		1.06	1.00	0.98	0.92	0.76	0.68	7L
		1.05	1.00	0.99	0.95	0.81	0.71	10L
	12P	1.10	1.00	0.98	0.93	0.84	0.82	3L
		1.05	1.00	0.99	0.95	0.86	0.82	7L
		1.04	1.00	0.99	0.95	0.80	0.72	10L

Tabla 5-16: Comparación 2 de cortantes por proporcionalidad en base graduada

A continuación, se presentan los resultados de las tablas 5-15 y 5-16 según tres representaciones, una para cada una de las luces de los vanos.

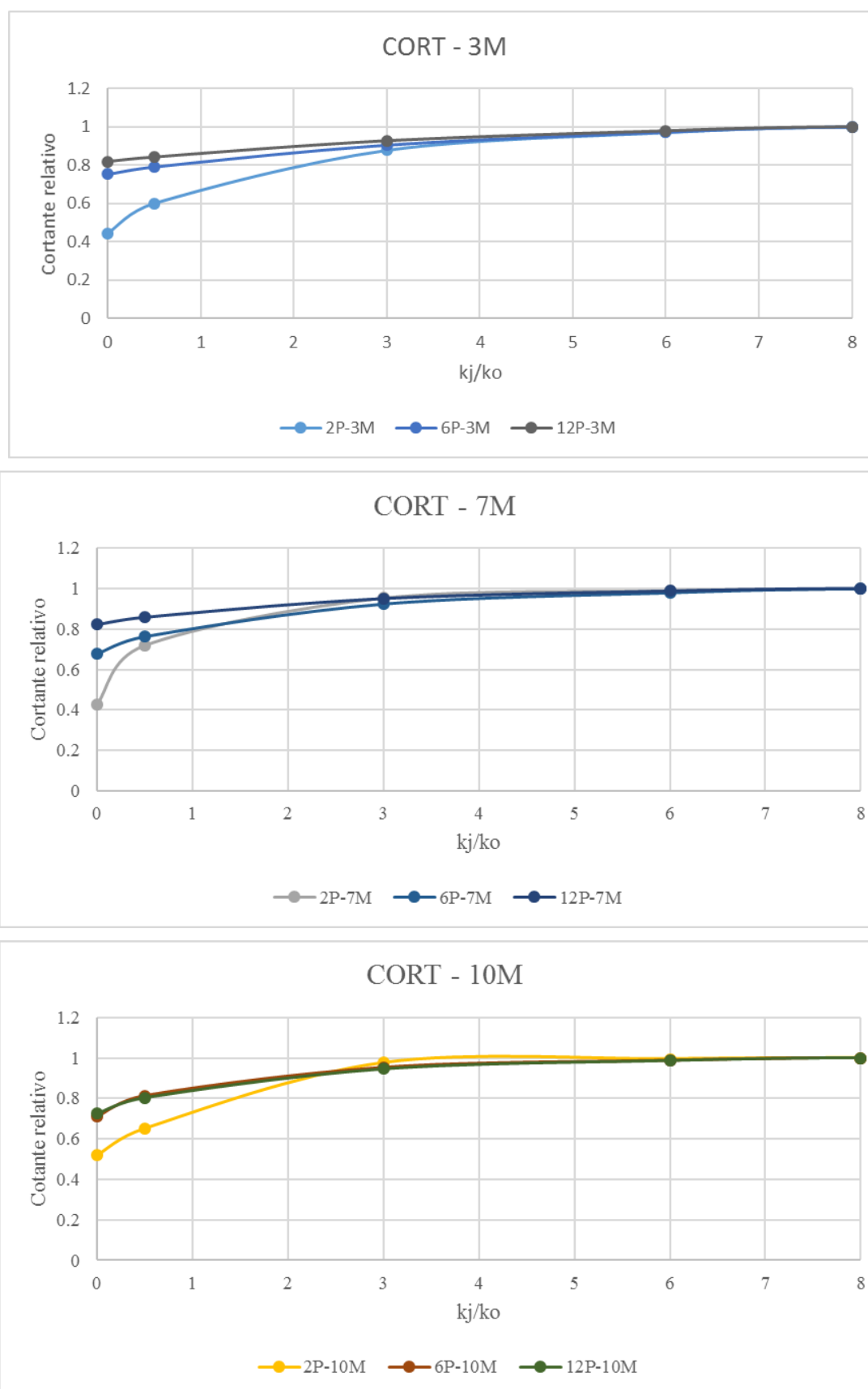


Figura 5-4: Representación del cortante en base máximo de cada estructura en función de la rigidez de la unión y relativo al caso de uniones rígidas 2, para los siguientes casos: edificio de 2, 6 y 12 plantas

Al igual que en la comparación de los desplazamientos, se van a obtener los errores de una estructura (combinación piso-vano) del comparar las proporcionalidades obtenidas para cada rigidez, introduciéndose también la tipología semi-rígida 1 (de coeficiente 6):

		E R R O R				
		R2 (8)	SR1 (6)	SR2 (3)	A2 (0)	
P L A N T A S	2P	0%	3%	12%	56%	3L
		0%	1%	4%	57%	7L
		0%	0%	2%	48%	10L
	6P	0%	3%	9%	25%	3L
		0%	2%	8%	32%	7L
		0%	1%	5%	29%	10L
	12P	0%	2%	7%	18%	3L
		0%	1%	5%	18%	7L
		0%	1%	5%	28%	10L

Tabla 5-17: Errores de comparación 2 de cortantes por proporcionalidad

En este caso, la segunda comparación si muestra información de la variación de los cortantes al modificar las rigideces de las conexiones, gracias a que el estudio es independiente para estructura con “n” pisos y vano de luz determinada. Se puede apreciar una diferencia mucho mayor en el caso de uniones articuladas que llega a superar el 50% en el caso de dos plantas con vanos de tres metros de luz, y superando el 20% o acercándose ligeramente a él en el resto de los casos con esta misma tipología de unión. A la hora de comparar el error de proporcionalidad que se obtiene en cuanto a cortantes, se observa que de media el error rondará el 9% para el caso de dos pisos, el 8% para el caso de seis pisos y el 6% en el caso de doce pisos. La diferencia de cortantes en estos casos no permite dar una cifra aproximada del error como en el caso de los desplazamientos debido a que, aunque el error sea pequeño, el cortante en cada combinación es diferente y hace que, por ejemplo, la diferencia entre la tipología rígida y semi-rígida para dos pisos con vanos de siete metros de luz sea de 400 kN, mientras que para los de doce pisos con vanos de siete metros de luz sea de 5000 kN.

6 RESUMEN Y CONCLUSIONES

6.1 Resumen

Las conexiones entre los elementos que componen una estructura son fundamentales para conocer el comportamiento que esta tendrá ante una sollicitación dinámica. Además de por su importancia, también cabe destacar que el conocer como es la unión entre los elementos de un sistema estructural hace que se pueda ahorrar en cuanto a los perfiles utilizados en este, gracias a que hace que el estudio sea lo más exacto posible. Este ahorro no solamente será en cuanto a lo económico, sino que también recaerá en un ahorro del peso del total de la estructura.

Las conexiones de los elementos que conforman una estructura son fundamentales para conocer el comportamiento que esta tendrá frente a una sollicitación dinámica. El modelar esta unión de la forma más parecida a la realidad hace que aumentemos la seguridad, debido a que al reproducir de manera más exacta el comportamiento dinámico de la estructura se está conociendo lo más parecido posible el comportamiento real; hace que en algunos casos, como es el caso de la tipología semi-rígida, se obtenga perfiles menores que disminuirán el peso del total de la estructura y además aumentarán el ahorro económico.

Debido a esta importancia, se han estudiado las diferentes tipologías de uniones que se encuentra en una estructura de forma teórica. Primeramente, se ha estudiado las tipologías clásicas en cuanto a rigidez (rígido y articulado) y resistencia (resistencia completa, resistencia parcial y articulado); para después introducir una nueva clase debido a que en la realidad las uniones no se comportan de ninguna de las maneras exactamente, introduciéndose la unión semi-rígida. Esta unión semi-rígida permite estudiar una rigidez rotacional que modeliza correctamente el comportamiento de las conexiones de una forma más realista. Según las estructuras a estudiar, se encontrarán diferentes rigideces por las que se clasificarán las tres tipologías de uniones. El mejor estudio de los diferentes comportamientos que se pueden encontrar en las conexiones será el gráfico de momento – rotación.

Una vez conocidas las diferentes tipologías, el estudio se centra en la modelización numérica mediante elementos finitos de la rotación relativa que permite esta tipología de unión. De esta forma se ha modelizado la unión semi-rígida mediante el programa comercial de elementos finitos ANSYS, definiéndose los elementos que se utilizan y el modelo de la unión que se lleva a cabo. Para ver si el modelo propuesto cumple, se ha comparado con caso de estudio del artículo [12], obteniéndose los mismos resultados que con este modelo numérico.

Tras conocer el modelo de la unión semi-rígida, se procede al análisis sísmico (espectral), punto central del estudio, con el que se conocerá el comportamiento de una estructura con nudos semi-rígidos frente a esta sollicitación dinámica. Se definen las cargas que conforman los forjados y el modelo sísmico, que será el del Reglamento Nacional de la Construcción de la República de Nicaragua (RNC-07) [14]. Además se definen las diferentes estructuras que se van a estudiar en el análisis sísmico. Estas serán la combinación de los casos de dos, seis y doce pisos, con vanos de tres, siete y diez metros de luz, en los diferentes casos de tipologías

Para el estudio se ha obtenido los desplazamientos que se producen en el último piso y los esfuerzos cortantes que se producen en la base de la estructura. Con estos datos se ha relacionado el comportamiento de las estructuras con conexiones con tipología semi-rígida con las que tengan conexiones tipo rígida y articulada y se ve la influencia que las rigideces de las uniones tienen en la respuesta ante un sismo de una estructura.

6.2 Conclusiones

A la vista de los resultados presentados en el capítulo 5, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- En cuanto a desplazamientos se refiere, se aprecia una gran diferencia entre el comportamiento de la tipología de uniones semi-rígida y la tipología articulada, aumentando esta diferencia al aumentar el número de pisos y las luces de los vanos. Sin embargo, a la hora de comparar la tipología de uniones semi-rígidas con la de uniones rígidas, se aprecia que la diferencia es mínima (de 1 o 2 mm), haciendo que el comportamiento en movimientos horizontales sea muy parecido.
- Para el caso de los cortantes en la base, también es de considerar la gran diferencia que se encuentra entre el caso de tipología semi-rígida y articulada, llegando a un error cercano al 40%. En cambio la diferencia que se comete con respecto a las conexiones con tipologías rígidas está entre el 9% y el 6%. Hay que destacar que aunque este último error sea bajo, en los casos donde el número de plantas es elevado y los vanos tengan luces elevadas, puede llegar a una diferencia de 10000 kN.
- Se puede apreciar de los resultados obtenidos en el estudio que al aumentar el número de plantas, la diferencia que se comete en la elección entre los diferentes tipos de uniones para modelizar las conexiones reales, tanto para el caso de desplazamientos como para el caso de cortantes en la base, va disminuyendo, es decir, los resultados cada vez se parecen más entre sí. Por este motivo, se concluye que es más importante la correcta modelización de las uniones en estructuras con bajo número de plantas, principalmente debido a que los esfuerzos cortantes son mayores. Por el contrario, al aumentar el número de plantas, la diferencia es cada vez menor (se aprecia una disminución de las diferencias en todos los casos de tipología de uniones).

En resumen, las conexiones semi-rígidas tendrán un comportamiento a solicitaciones dinámicas más parecido a las uniones rígidas. Por lo tanto la utilización de un modelo con uniones rígidas servirá para realizar una primera aproximación de una estructura de nudos semi-rígidos, con el inconveniente de que se tendrá una estructura sobredimensionada aunque segura para la misma con tipología semi-rígida.

6.3 Trabajos futuros

Para finalizar, se proponen las siguientes líneas de trabajos futuros como continuación de este proyecto:

- Repetir el mismo análisis sobre estructuras puramente traslacionales.
- Realizar un análisis dinámico en el dominio de tiempo
- Incorporación de no linealidades: plasticidad, fenómenos de histéresis, etc. de tal forma que se aprecie como la solicitud dinámica del sismo no se transforma solamente en deformación elástica.
- Ampliación al estudio de las respuestas ante sismos de otras tipologías de estructuras o modelos en función de las tipologías de uniones, también pudiéndose realizar con modelos 3D.

REFERENCIAS

- [1] S. L. Chan, «Vibration and modal analysis of steel frames with semi-rigid connections», Engineering Structures, Vol. 16, No 1, pp. 25/31, 1994
- [2] O. A. Abu-yaseint y G. R. Frederick, «Analysis of Frames with Semi-Rigid Joints», Computers.& Structures, Vol. 52, No. 6, pp. 1161-1168, 1994
- [3] E. M. Lui y A. Lopes, «Dynamic analysis and response of semirigid flames», Engineering Structures, Vol. 19, No 8, pp. 644/654, 1997
- [4] D. Zlatkov, S. Zdravkovic, B. Mladenovic y R. Stojic, «Matrix Formulation of Dynamic Design of Structures with Semi-Rigid Connections», Architecture and Civil Engineering Vol. 9, No 1, pp. 89/104, 2011
- [5] G. Muscolino, A. Palmeri y A. Recupero, «Seismic Analysis of Steel Frames with a Viscoelastic Model of Semi-Rigid Connections», 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver (Canada), 2004
- [6] P. Krolo, M. Causevic y M. Bulic, «SEISMIC ANALYSIS OF FRAMED STEEL STRUCTURE WITH SEMIRIGID JOINTS», University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering, Croacia, 2014
- [7] EN 1993-1-8:2003, «Eurocode 3: Design of steel structures- Part1-8: Design of joints», European Standard, Brussels, 2003.
- [8] J.P. Jaspart y K. Weynard, «Design of joints in Steel and composite structures», Wiley (ECCS), 2016.
- [9] EN. 1993-1-1, «Eurocódigo 3: Proyecto de Estructuras de Acero. Parte 1-8: Uniones», AENOR, 2008.
- [10] J. T. Celigüeta, «Uniones flexibles entre los elementos estructurales», Universidad de Navarra, Navarra, 2006.
- [11] «ANSYS Online Manual Release 5.5». Available: <http://www.ansys.stuba.sk/html/realtoc.html>
- [12] A.N.T. Ihaddoudène, M. Saidani y M. Chemrouk, «Mechanical model for the analysis of steel frames with semi rigid joints», Journal of Constructional Steel Research, Vol. 65, pp. 631-640, 2009.
- [13] L. Montoya, «Influencia de flexibilidad de las conexiones en el comportamiento sísmico de edificios metálicos», UPC, Barcelona, 2013.
- [14] Ministerio de Transporte e Infraestructura de Nicaragua, «Reglamento Nacional de construcción RNC-07», Dirección General de Normas de Construcción y Desarrollo Urbano, Nicaragua, 2007.

ANEXO A: Modelos de validación de pórtico – Estudio estático

- Caso 1: $k_b = k_c = 0$

```
FINISH
/CLEAR
/REPLOT, RESIZE
/PREP7
```

```
/GO
/COM,
/COM, Preferences for GUI filtering
have been set to display:
/COM, Structural
```

```
!-----
!MATERIAL
!-----
```

```
ET, 1, BEAM3
MP, EX, 1, 210e6
MP, PRXY, 1, 0.3
MP, DENS, 1, 7850
```

```
!-----
!SECCIONES
!-----
```

```
!B
R, 2, 76e-4, 21500e-8, 10
!C
R, 1, 110e-4, 9460e-8, 10
```

```
!-----
!GEOMETRIA
!-----
```

```
K, 1, 0, 6, ,
K, 2, 16, 6, ,
K, 3, 8, 6, ,
K, 4, 0, 0, ,
K, 5, 16, 0, ,
LSTR, 4, 1, ,
LSTR, 1, 3, ,
LSTR, 3, 2, ,
LSTR, 2, 5, ,
```

```
!-----
!CONDICIONES DE CONTORNO
!-----
```

```
*DO, I, 4, 5
DK, I, UX, 0
DK, I, UY, 0
DK, I, ROTZ, 0
*ENDDO
```

```
!-----
!ASIGNACION DE CADA ELEMENTO
!-----
```

```
LSEL, , , , 1, 4, 3
LATT, 1, 1, 1, , , , 1
LSEL, , , , 2, 3, 1
LATT, 1, 2, 1, , , , 2
ALLSEL
```

```
!-----
!MALLADO
!-----
```

```
DIV=100
LESIZE, 1, , , DIV
LESIZE, 2, , , DIV
LESIZE, 3, , , DIV
LESIZE, 4, , , DIV
lmesh, all
```

```
!-----
!APP CARGAS
!-----
```

```
FK, 1, FX, 10
FK, 3, FY, -100
ALLSELL
FINISH
```

```
!-----
!RESOLUCION
!-----
```

```
/SOLU
SOLVE
FINISH
/post1
```

```
ETABLE, MZI, SMISC, 6
ETABLE, MZJ, SMISC, 12
PLLS, MZI, MZJ, 0.5, ,
```

- Caso 2: $k_b = 4 \frac{EI_b}{L_b}$; $k_c = 0$

```

FINISH
/CLEAR
/REPLOT,RESIZE
/PREP7

/GO
/COM,
/COM,Preferences for GUI filtering
have been set to display:
/COM, Structural

!-----
!MATERIAL
!-----
ET,1,BEAM3
ET,2,COMBIN14
MP,EX,1,210e6
MP,PRXY,1,0.3

KEYOPT,2,3,1 ! Torsional spring

!-----
!REAL CONSTANT (S.I.:N,m)
!-----

!SECCIONES
R,22,110e-4,9460e-8,10
R,11,76e-4,21500e-8,10

!RESORTES
R,1,(4*(210e6)*(21500e-
8)/16),,,,0,0

!-----
!ELEMENTOS BEAM3
!-----
L=-1 !long elemento combin14

K,1,0,0
K,2,0,6

K,3,0,6,L
K,4,8,6,L
K,5,16,6,L

K,6,16,6
K,7,16,0

L,1,2
L,3,4
L,4,5
L,6,7

```

```

LSEL,,,,1,4,3
LATT,1,22,1,,,,
LSEL,,,,2,3,1
LATT,1,11,1,,,,

```

```
ALLSEL
```

```
DIV=100
```

```

LESIZE,1,,,DIV
LESIZE,2,,,DIV
LESIZE,3,,,DIV
LESIZE,4,,,DIV

```

```
lmesh,all
```

```

DK,1,ALL,0
DK,7,ALL,0

```

```

CP,1,UX,2,102
CP,2,UY,2,102

```

```

CP,3,UX,203,303
CP,4,UY,203,303

```

```

!-----
!ELEMENTOS COMBIN14
!-----

```

```
KEYOPT,2,3,1 ! Torsional spring
```

```

TYPE,2
REAL,1
E,2,102
E,203,303

```

```

!-----
!APP CARGAS
!-----

```

```

FK,2,FX,10
FK,4,FY,-100

```

```
ALLSELL
```

```
FINISH
```

```

!-----
!RESOLUCION
!-----

```

```

/SOLU
SOLVE

```

FINISH
/post1

ETABLE,MZI,SMISC,6
ETABLE,MZJ,SMISC,12
PLLS,MZI,MZJ,0.5,,

```

• Caso 3:  $k_b = 4 \frac{EI_b}{L_b}$ ;  $k_c = \frac{EI_c}{L_c}$ 

FINISH
/CLEAR
/REPLOT,RESIZE
/PREP7

/GO
/COM,
/COM,Preferences for GUI filtering
have been set to display:
/COM, Structural

!-----
!MATERIAL
!-----
ET,1,BEAM3
ET,2,COMBIN14
MP,EX,1,210e6
MP,PRXY,1,0.3

KEYOPT,2,3,1 ! Torsional spring

!-----
!REAL CONSTANT (S.I.:N,m)
!-----

!SECCIONES
R,22,110e-4,9460e-8,10
R,11,76e-4,21500e-8,10

!RESORTES
R,1,(4*(210e6)*(21500e-
8)/16),,,,0,0
R,2,((210e6)*(9460e-8)/6),,,,0,0

!-----
!ELEMENTOS BEAM3
!-----

L=-1 !long elemento combin14

K,1,0,0,L
K,2,0,6,L

K,3,0,6
K,4,8,6
K,5,16,6

K,6,16,6,L
K,7,16,0,L

L,1,2
L,3,4

L,4,5
L,6,7
LSEL,,,,1,4,3
LATT,1,22,1,,,,

LSEL,,,,2,3,1
LATT,1,11,1,,,,

ALLSEL

DIV=100

LESIZE,1,,,DIV
LESIZE,2,,,DIV
LESIZE,3,,,DIV
LESIZE,4,,,DIV

lmesh,all

DK,1,UX,0
DK,1,UY,0
DK,1,ROTX,0
DK,1,ROTY,0

DK,7,UX,0
DK,7,UY,0
DK,7,ROTX,0
DK,7,ROTY,0

CP,1,UX,2,102
CP,2,UY,2,102

CP,3,UX,203,303
CP,4,UY,203,303

!-----
!ELEMENTOS COMBIN14
!-----

KEYOPT,2,3,1 ! Torsional spring

TYPE,2
REAL,1
E,2,102
E,203,303

!-----
!APP CARGAS
!-----

F,2,FX,10
F,103,FY,-100

ALLSELL

```

!!BASE COMBIN14

N,500,0,0

N,501,16,0

D,500,,,,,ALL

D,501,,,,,ALL

TYPE,2

REAL,2

E,1,500

E,304,501

FINISH

!-----
!RESOLUCION
!-----

/SOLU

SOLVE

FINISH

/post1

ETABLE,MZI,SMISC,6

ETABLE,MZJ,SMISC,12

PLLS,MZI,MZJ,0.5,,

ANEXO B: Modelo espectro sísmico en código MATLAB

```

clc; clear

a0=0.4/9.81; %Coeficiente a0 de zonificación sísmica
S=2.3; %Factor de amplificación por tipo de suelo

d=2.7*a0; Ta=0.1; fa=1/Ta; Tb=0.6; fb=1/Tb; Tc=2; fc=1/Tc;

T=0:0.01:5;
aT=zeros(length(T),1);

f=fliplr(1./T);
af=zeros(length(f),1);

for i=1:length(T)
    if T(i)<Ta
        aT(i)=S*(a0+(d-a0)*T(i)/Ta);
    elseif T(i)>=Ta && T(i)<Tb
        aT(i)=S*d;
    elseif T(i)>=Tb && T(i)<Tc
        aT(i)=S*d*(Tb/T(i));
    elseif T(i)>=Tc
        aT(i)=S*d*(Tb/Tc)*(Tc/T(i))^2;
    end
end

for i=1:length(f)
    if f(i)<fc
        af(i)=S*d*(fc/fb)*(f(i)/fc)^2;
    elseif f(i)>=fc && f(i)<fb
        af(i)=S*d*(f(i)/fb);
    elseif f(i)>=fb && f(i)<fa
        af(i)=S*d;
    elseif f(i)>=fa
        af(i)=S*(a0+(d-a0)*fa/f(i));
    end
end

```

```
aT=aT.*1.5*10;
af=af.*1.5*10;

f1=figure
plot(T,aT,'-k')
xlabel('T(s)', 'FontSize',12)
ylabel('a(m/s^2)', 'FontSize',12)
title('Espectro de respuesta frente a periodo')
set(f1,'color',[1,1,1])

f2=figure
plot(f,af,'-k')
xlabel('f(Hz)', 'FontSize',12)
ylabel('a(m/s^2)', 'FontSize',12)
title('Espectro de respuesta frente a frecuencia')
set(f2,'color',[1,1,1])

f3=figure
plot(T,aT,'-k')
xlabel('T(s)', 'FontSize',12)
ylabel('Aceleración espectral a/g', 'FontSize',12)
title('ESPECTRO DE DISEÑO ELASTICO')
set(f3,'color',[1,1,1])
```

ANEXO C: Sistemas estructurales

- Caso 2 plantas con vanos de 3 metros de luz

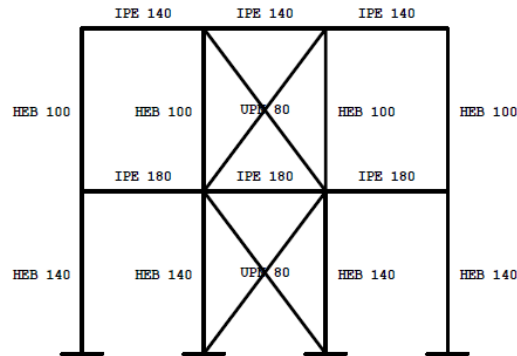


Figura AC-1: Sistema estructural 2P-3L

- Caso 2 plantas con vanos de 7 metros de luz

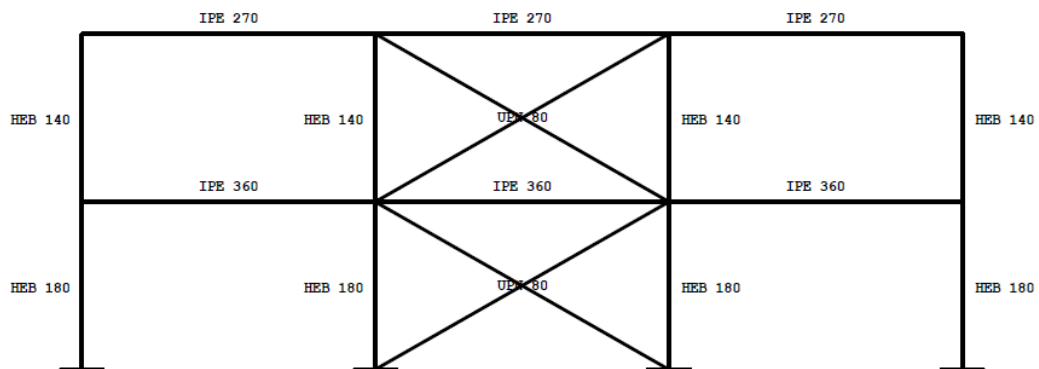


Figura AC-2: Sistema estructural 2P-7L

- Caso 2 plantas con vanos de 10 metros de luz

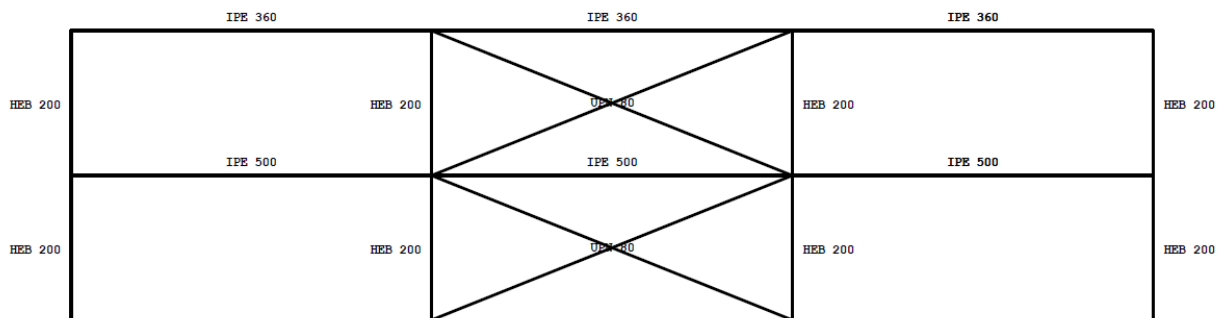


Figura AC-3: Sistema estructural 2P-10L

- Caso 6 plantas con vanos de 3 metros de luz

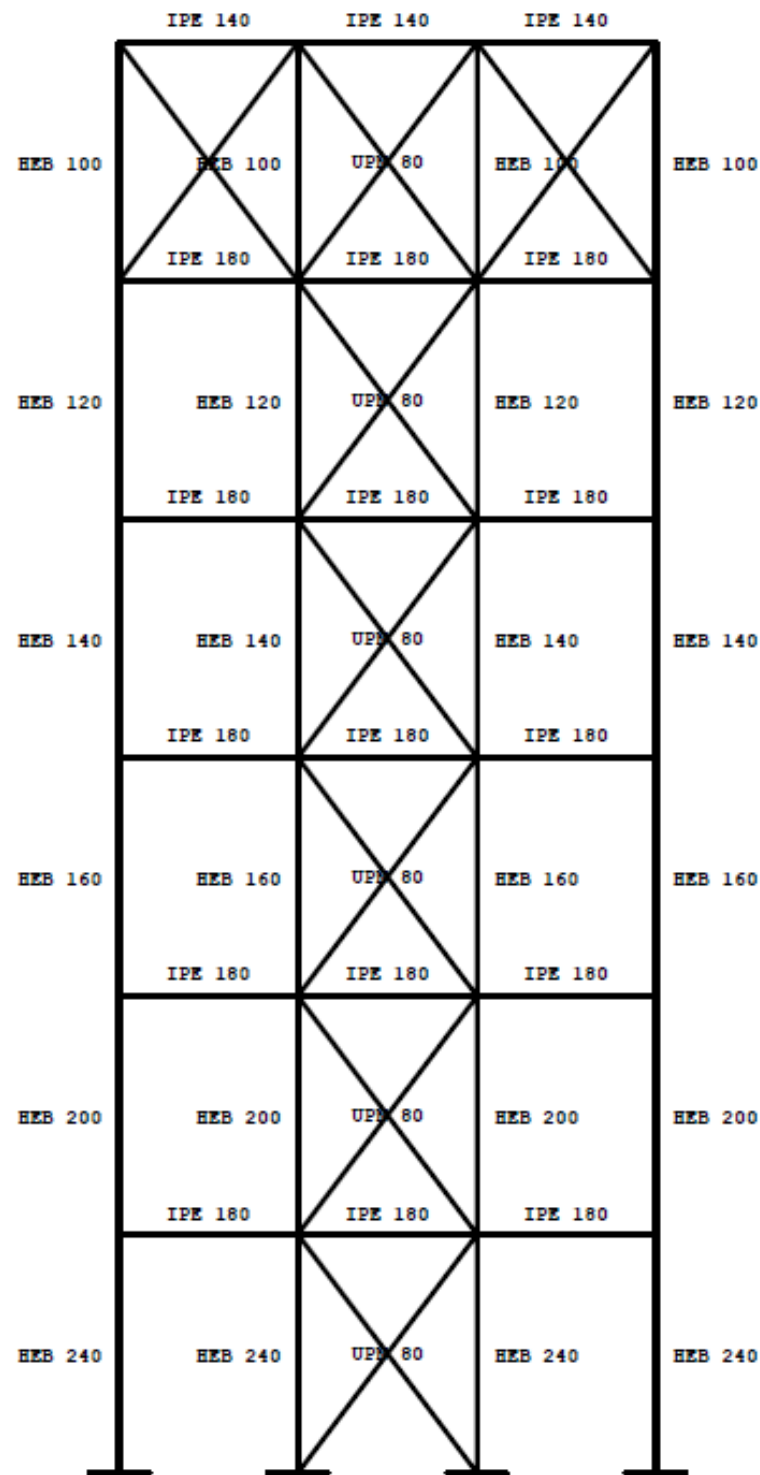


Figura AC-4: Sistema estructural 6P-3L

- Caso 6 plantas con vanos de 7 metros de luz

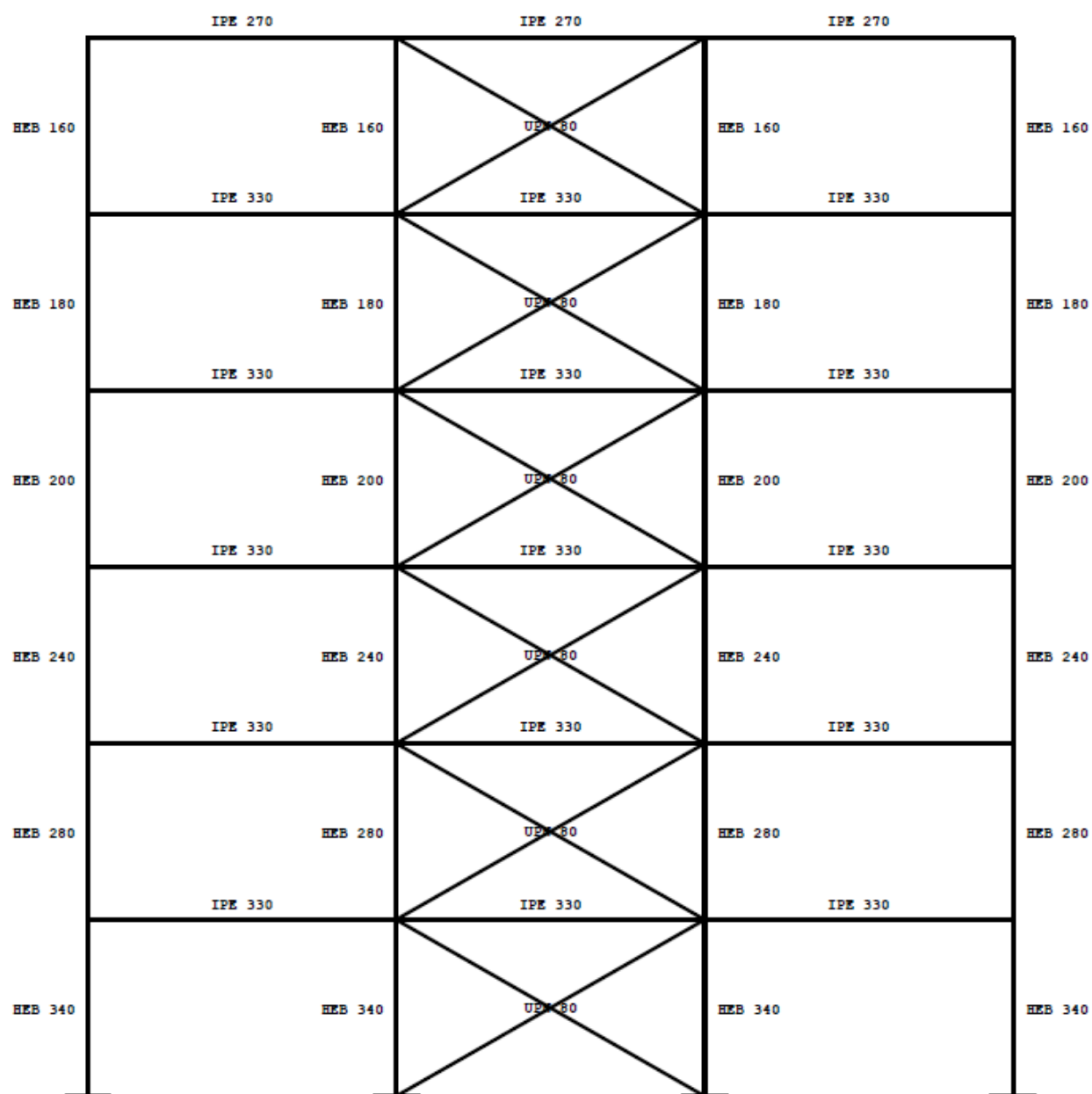


Figura AC-5: Sistema estructural 6P-7L

- Caso 6 plantas con vanos de 10 metros de luz

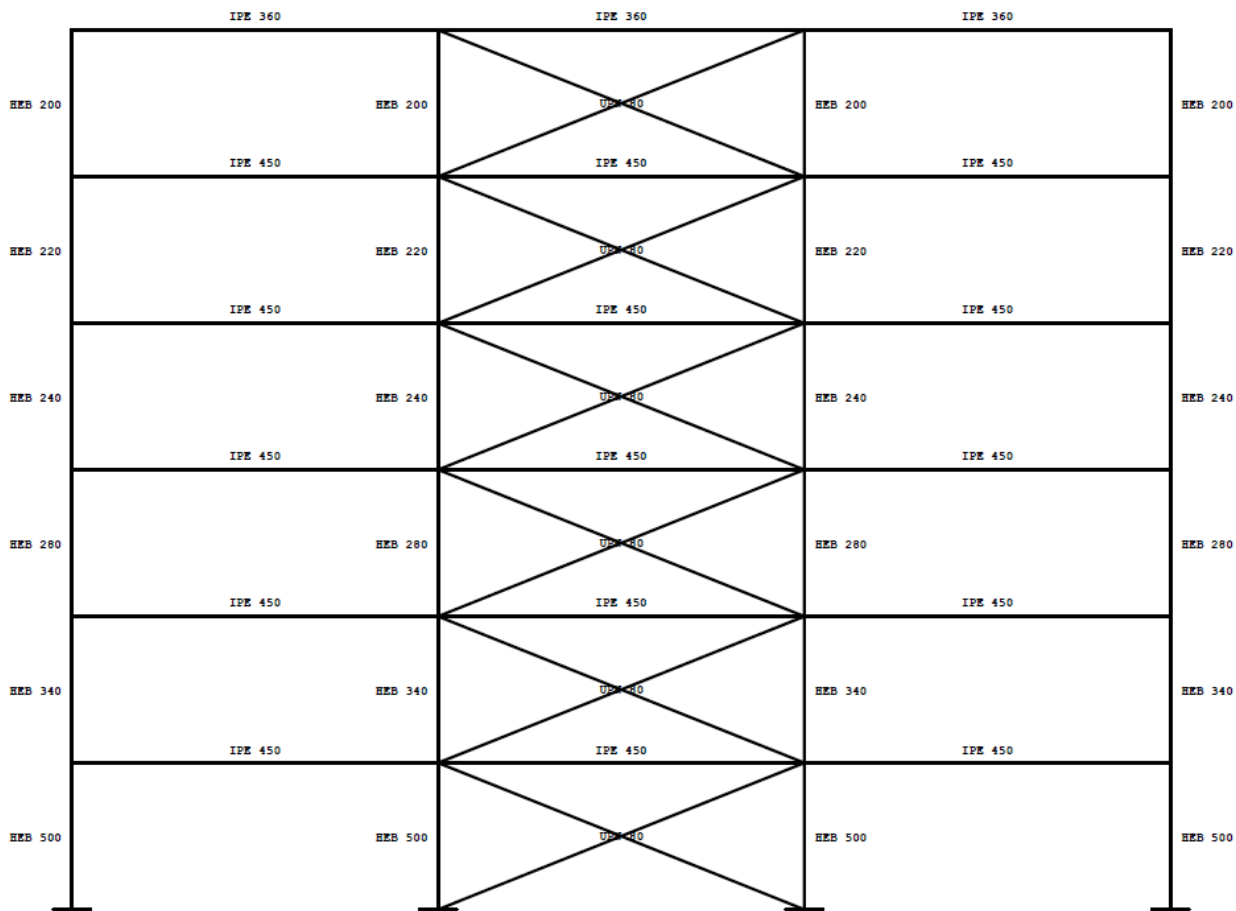


Figura AC-6: Sistema estructural 6P-10L

- Caso 12 plantas con vanos de 3 metros de luz

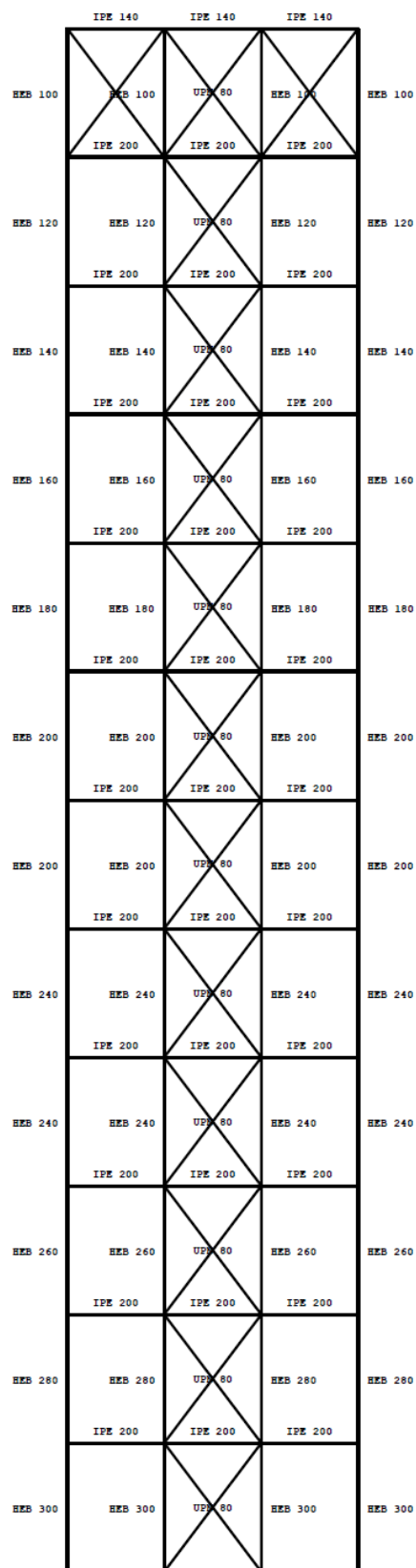


Figura AC-7: Sistema estructural 12P-3L

- Caso 12 plantas con vanos de 7 metros de luz

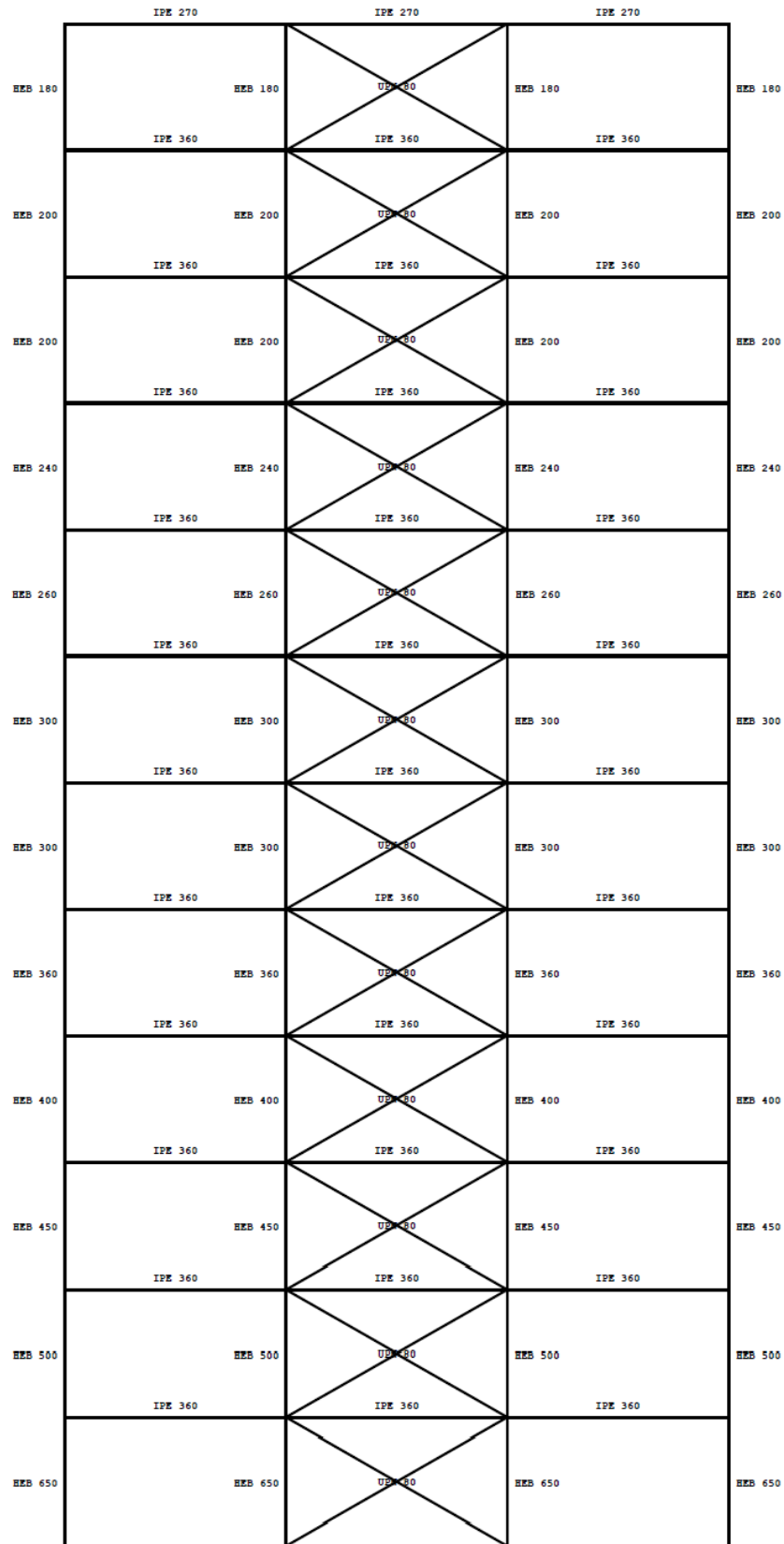


Figura AC-8: Sistema estructural 12P-7L

- Caso 12 plantas con vanos de 10 metros de luz

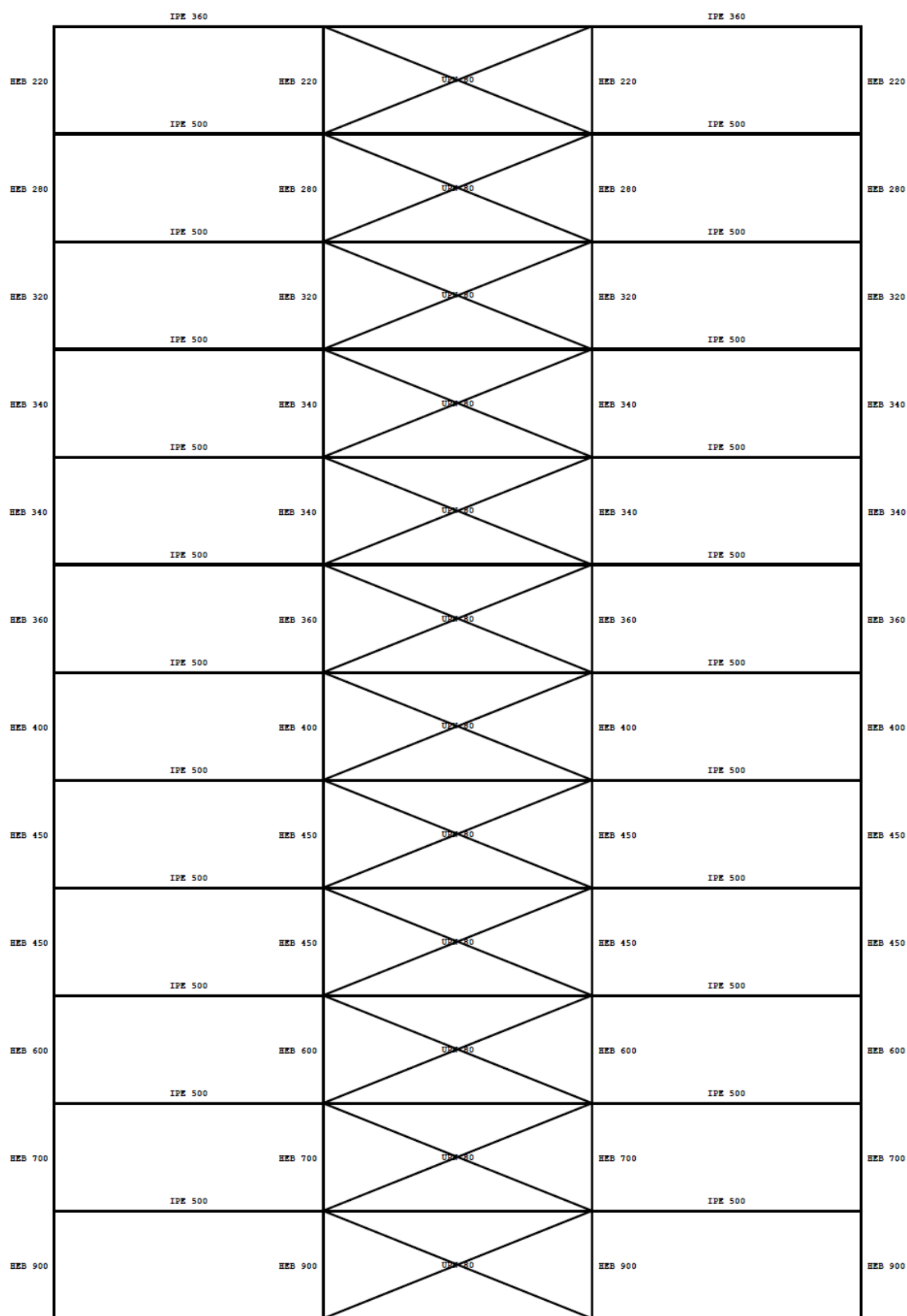


Figura AC-9: Sistema estructural 12P-10

ANEXO D: Deformaciones de los sistemas estructurales

- Caso 2 plantas con vanos de 3 metros de luz

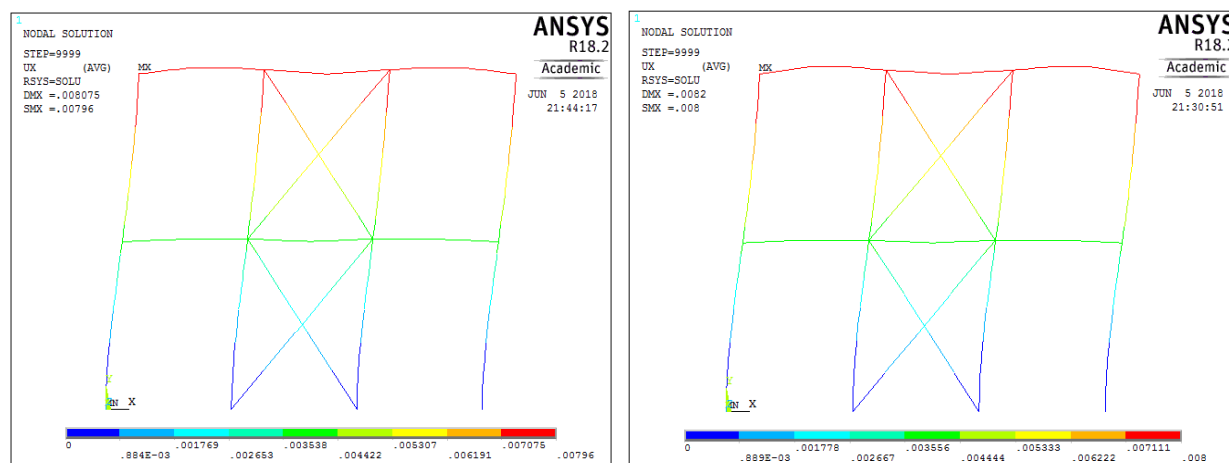


Figura AD-1: Deformación del sistema estructural 2P-3L (Articulado 1 y 2)

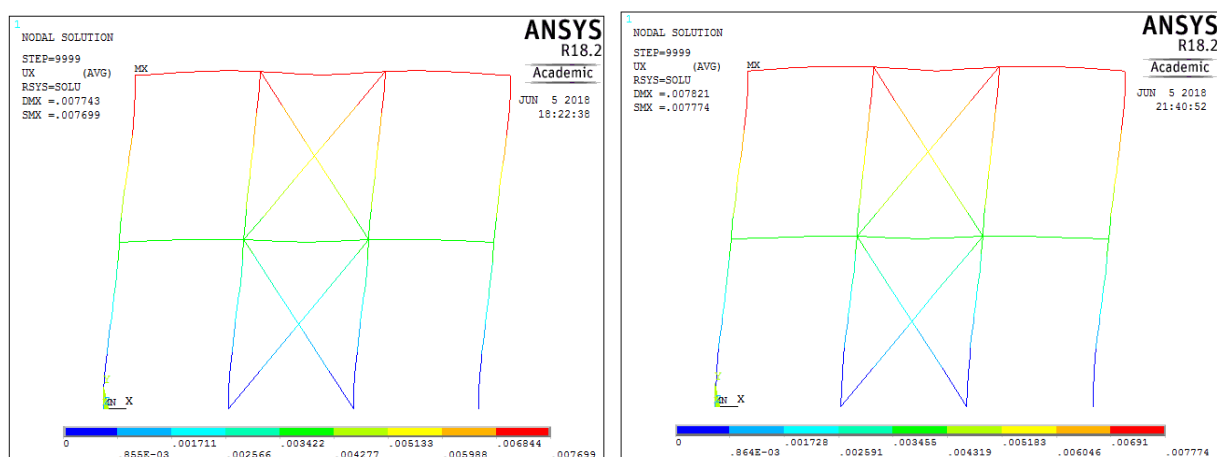


Figura AD-2: Deformación del sistema estructural 2P-3L (Rígido 1 y 2)

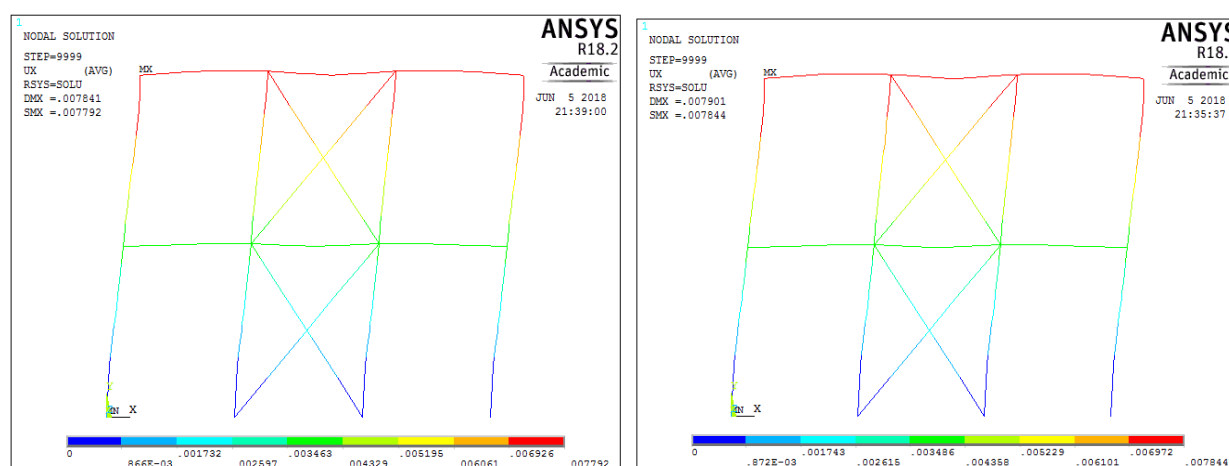


Figura AD-3: Deformación del sistema estructural 2P-3L (Semi-Rígido 1 y 2)

- Caso 2 plantas con vanos de 7 metros de luz

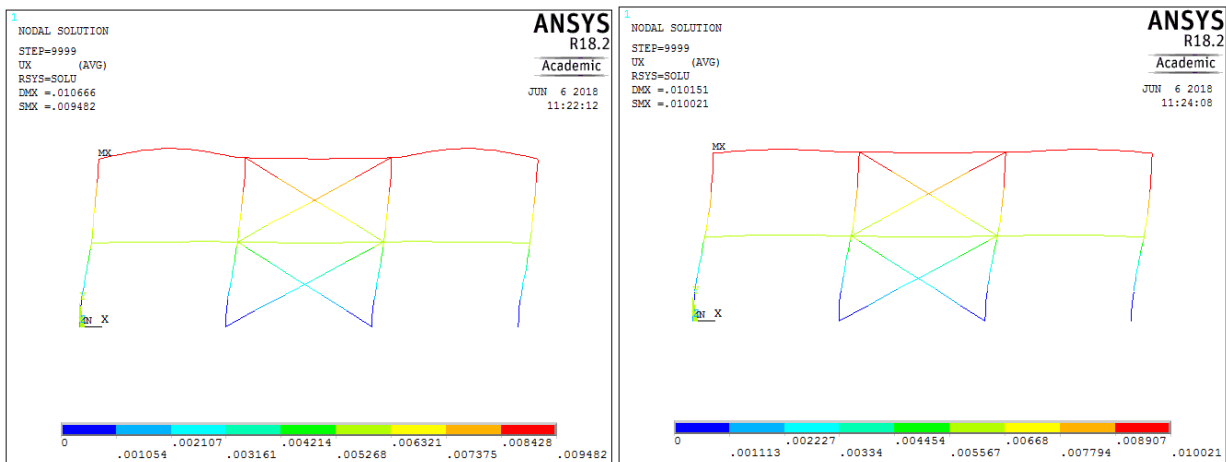


Figura AD-4: Deformación del sistema estructural 2P-7L (Articulado 1 y 2)

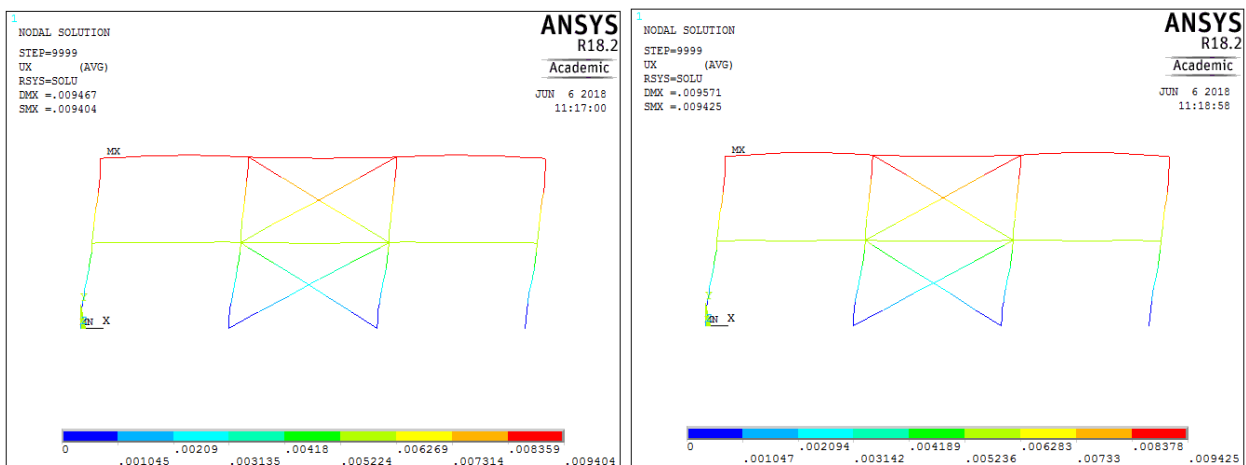


Figura AD-5: Deformación del sistema estructural 2P-7L (Rígido 1 y 2)

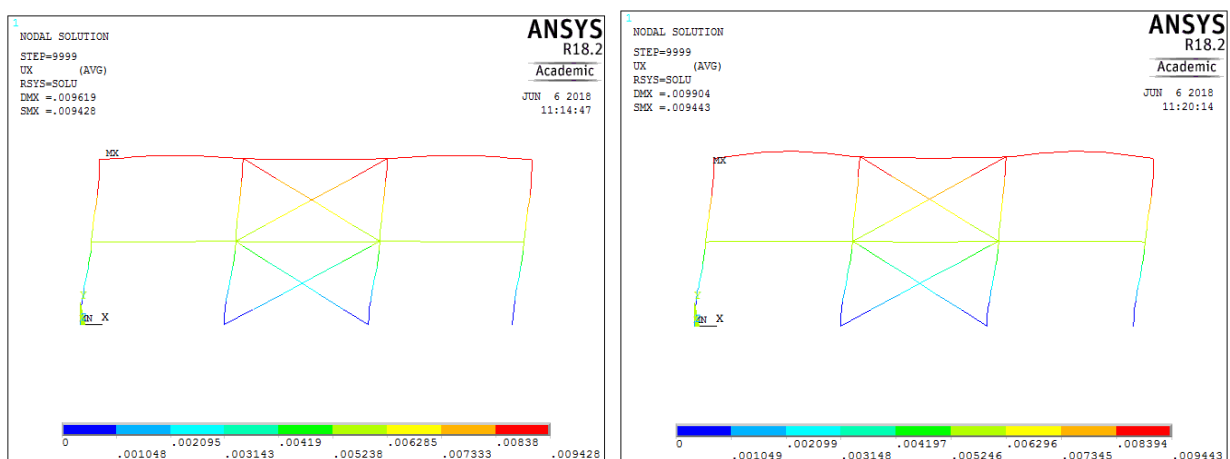


Figura AD-6: Deformación del sistema estructural 2P-7L (Semi-Rígido 1 y 2)

- Caso 2 plantas con vanos de 10 metros de luz

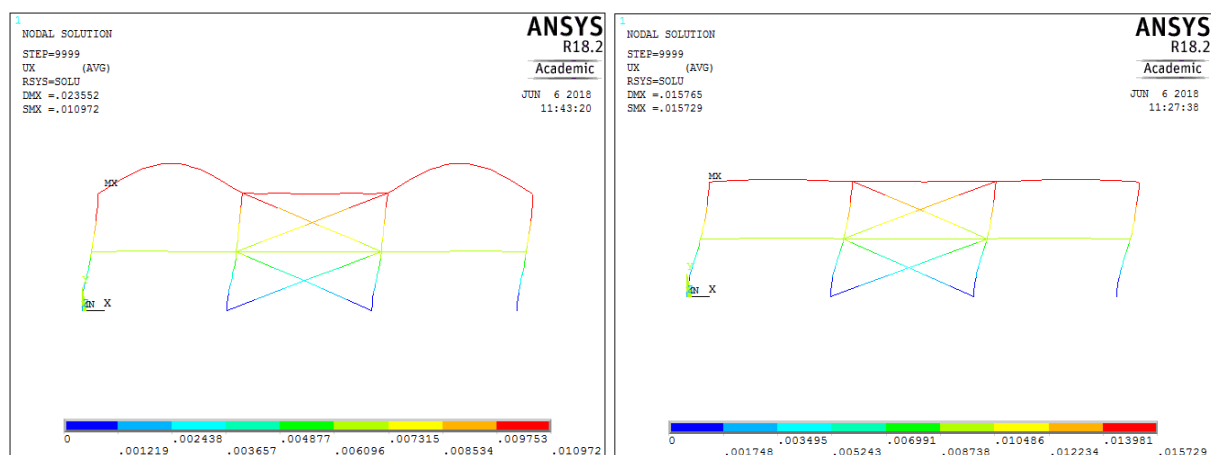


Figura AD-7: Deformación del sistema estructural 2P-10L (Articulado 1 y 2)

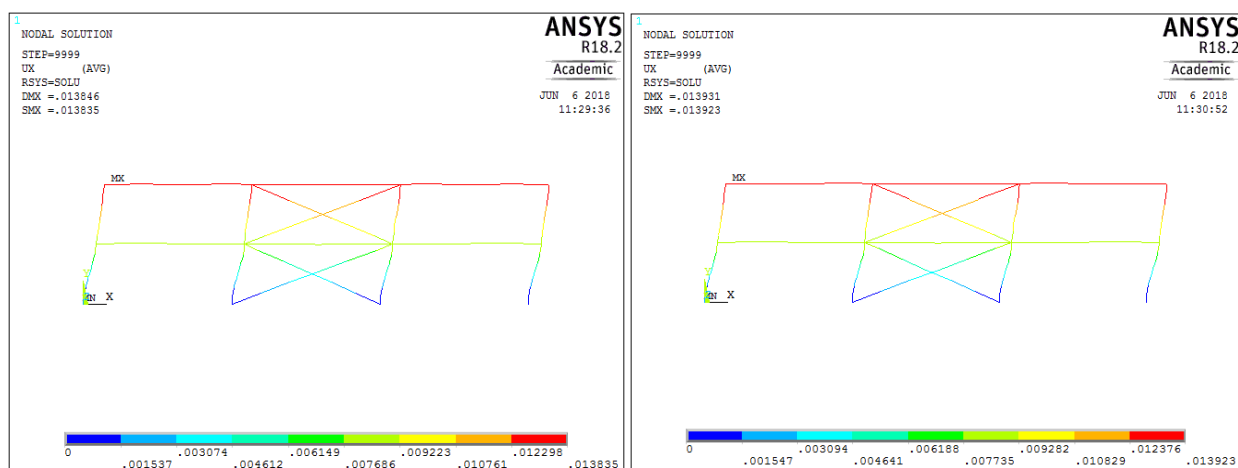


Figura AD-8: Deformación del sistema estructural 2P-10L (Rígido 1 y 2)

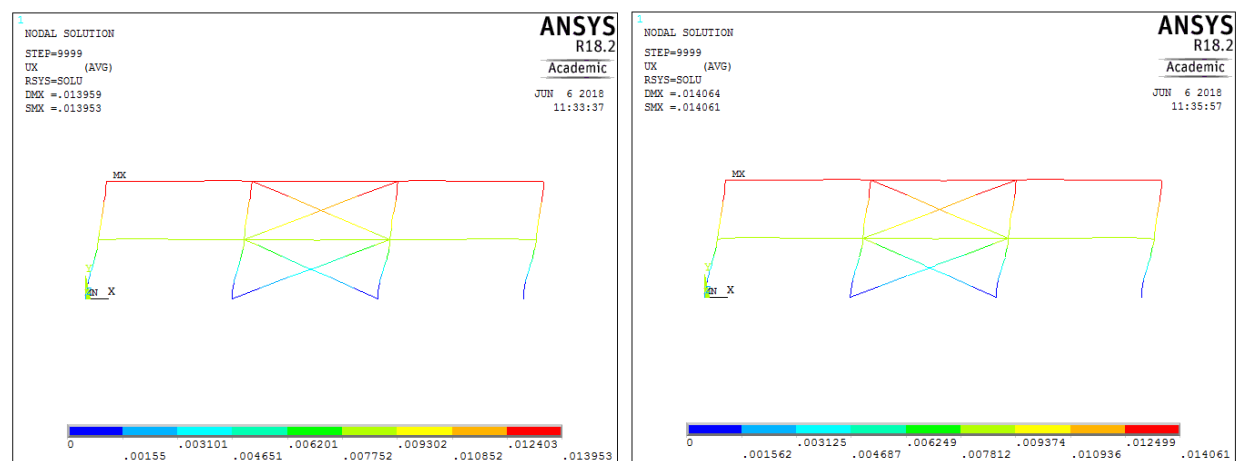


Figura AD-9: Deformación del sistema estructural 2P-10L (Semi-Rígido 1 y 2)

- Caso 6 plantas con vanos de 3 metros de luz

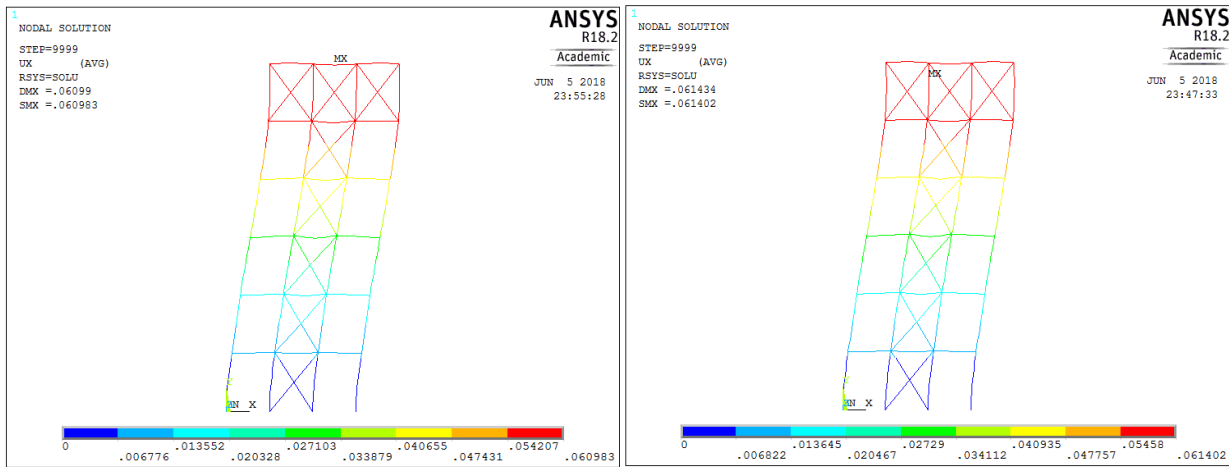


Figura AD-10: Deformación del sistema estructural 6P-3L (Articulado 1 y 2)

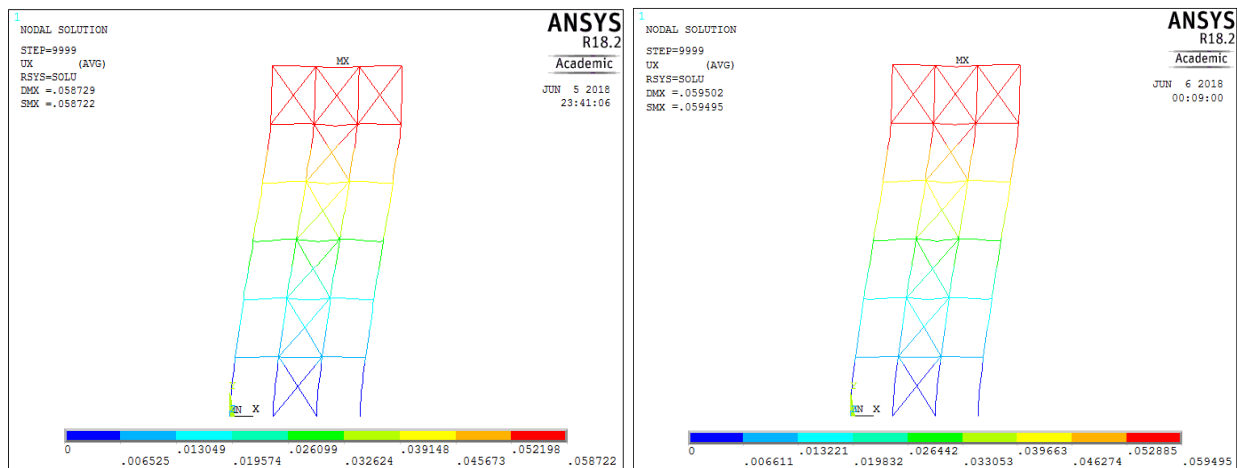


Figura AD-11: Deformación del sistema estructural 6P-3L (Rígido 1 y 2)

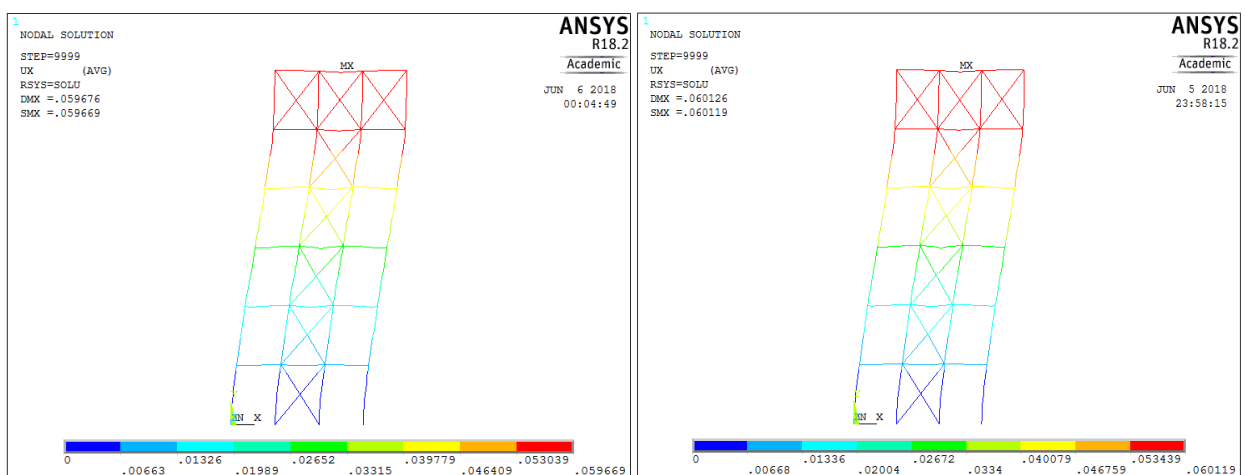


Figura AD-12: Deformación del sistema estructural 6P-3L (Semi-Rígido 1 y 2)

- Caso 6 plantas con vanos de 7 metros de luz

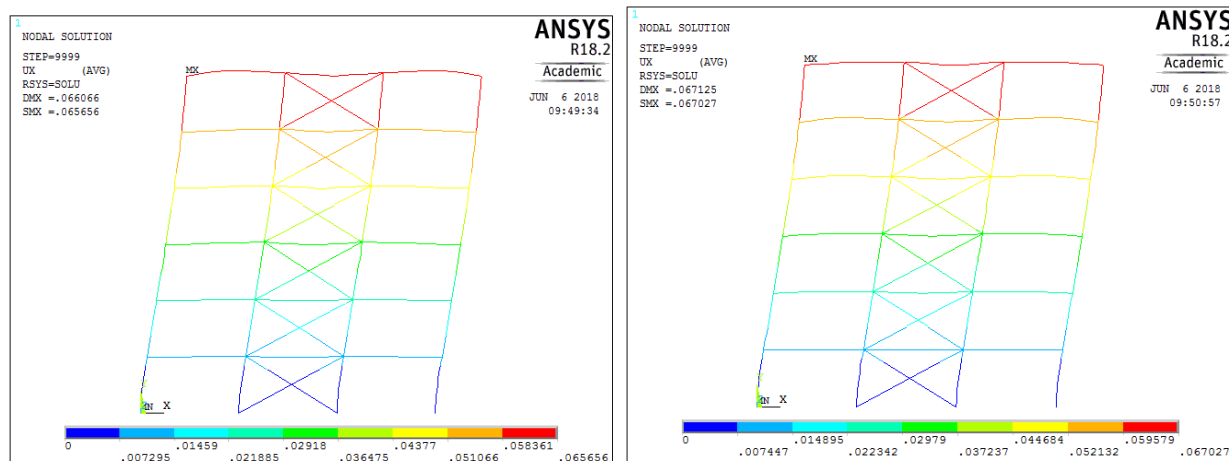


Figura AD-13: Deformación del sistema estructural 6P-7L (Articulado 1 y 2)

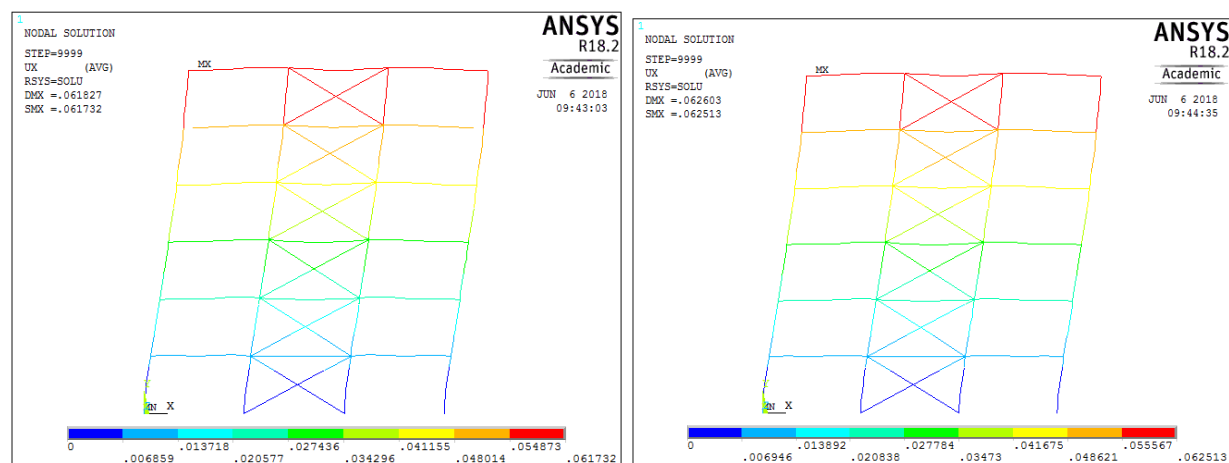


Figura AD-14: Deformación del sistema estructural 6P-7L (Rígido 1 y 2)

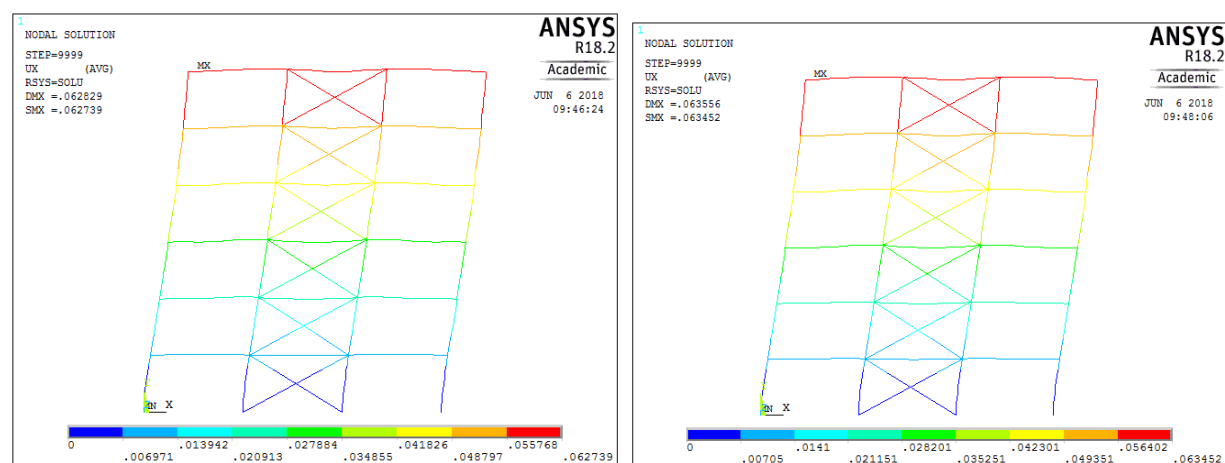


Figura AD-15: Deformación del sistema estructural 6P-7L (Semi-Rígido 1 y 2)

- Caso 6 plantas con vanos de 10 metros de luz

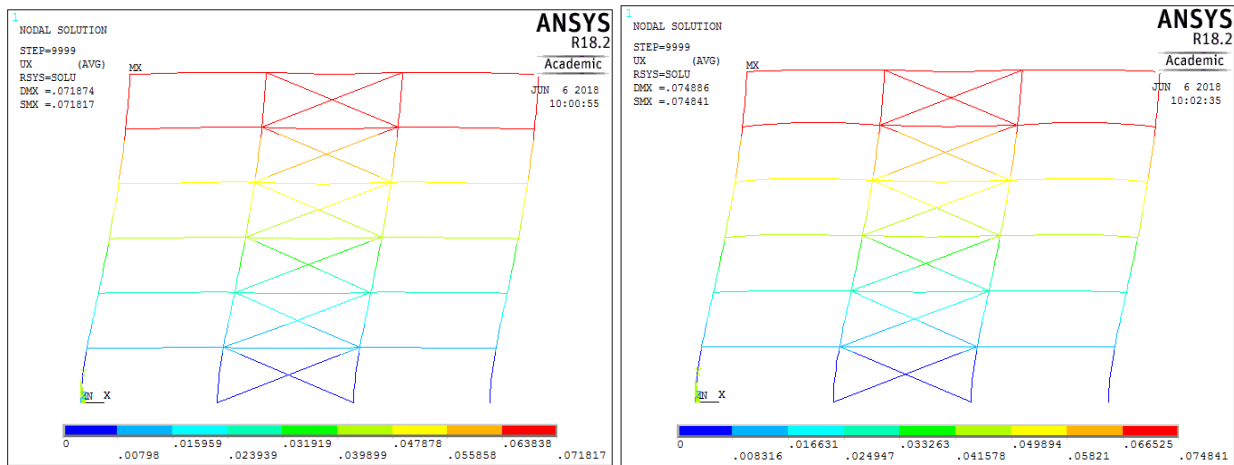


Figura AD-16: Deformación del sistema estructural 6P-10L (Articulado 1 y 2)

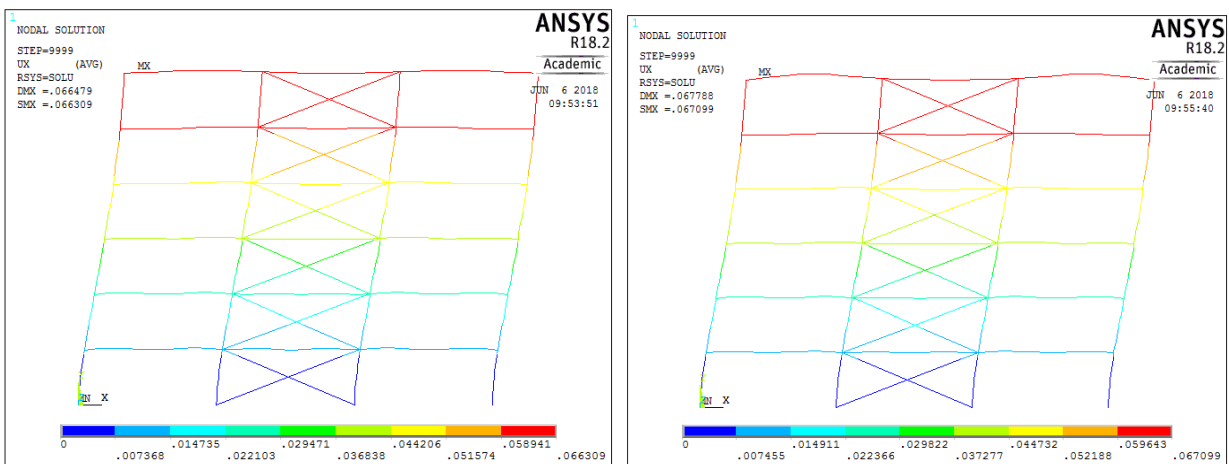


Figura AD-17: Deformación del sistema estructural 6P-10L (Rígido 1 y 2)

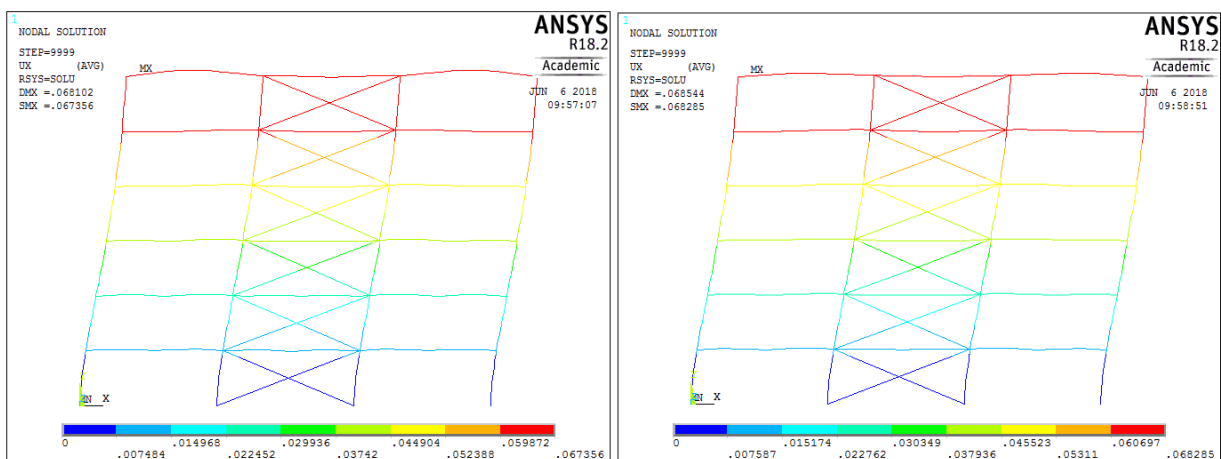


Figura AD-18: Deformación del sistema estructural 6P-10L (Semi-Rígido 1 y 2)

- Caso 12 plantas con vanos de 3 metros de luz

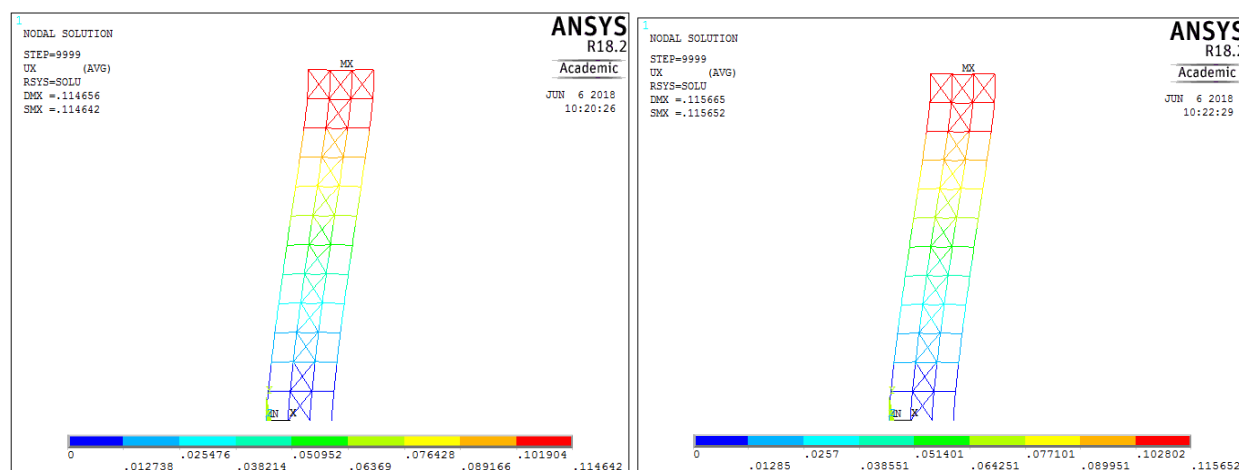


Figura AD-19: Deformación del sistema estructural 12P-3L (Articulado 1 y 2)

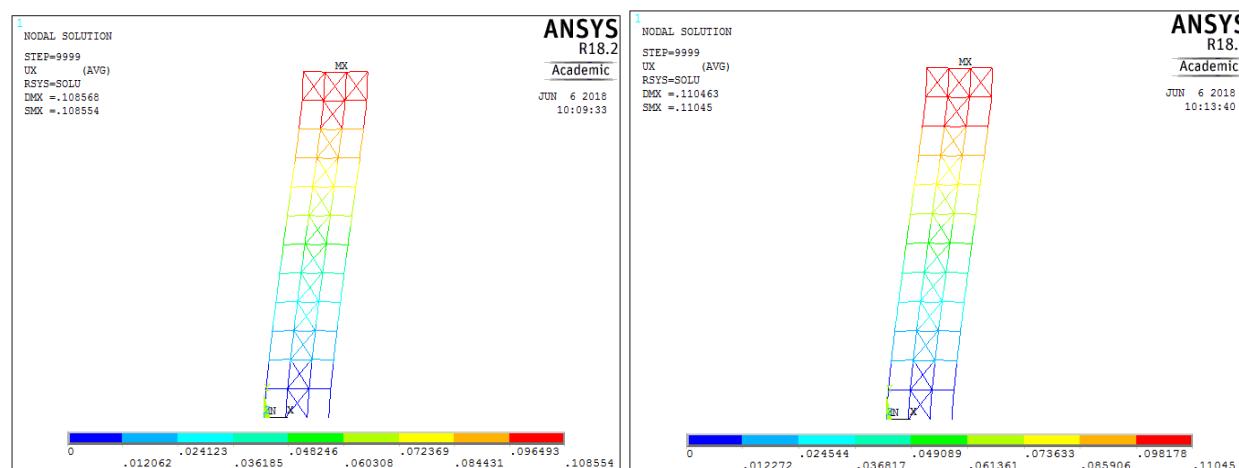


Figura AD-20: Deformación del sistema estructural 12P-3L (Rígido 1 y 2)

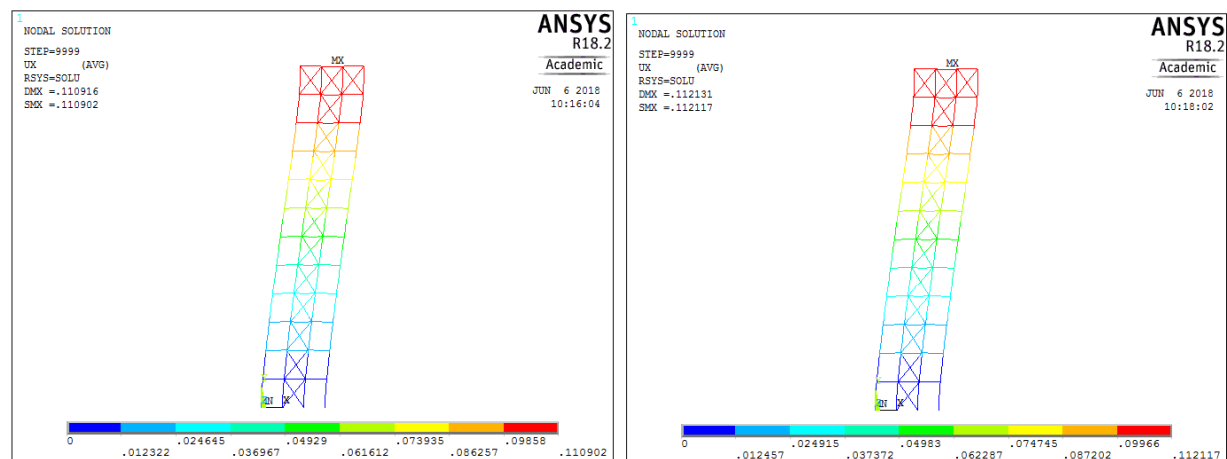


Figura AD-21: Deformación del sistema estructural 12P-3L (Semi-Rígido 1 y 2)

- Caso 12 plantas con vanos de 7 metros de luz

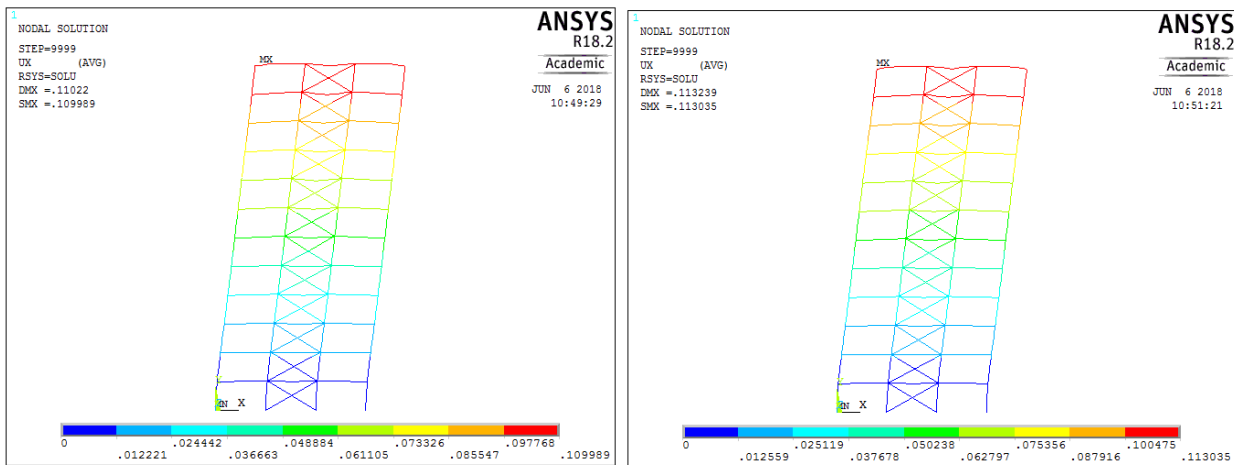


Figura AD-22: Deformación del sistema estructural 12P-7L (Articulado 1 y 2)

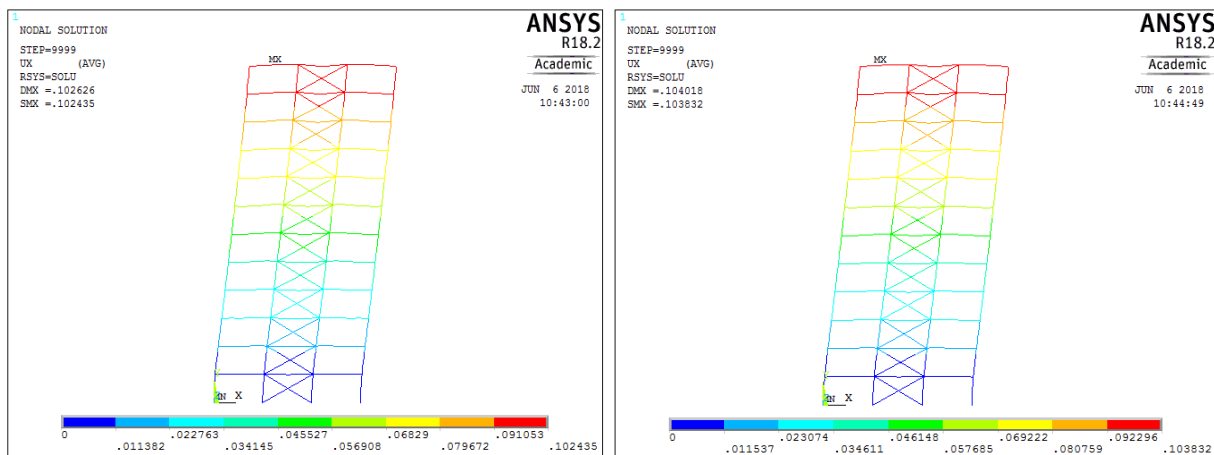


Figura AD-23: Deformación del sistema estructural 12P-7L (Rígido 1 y 2)

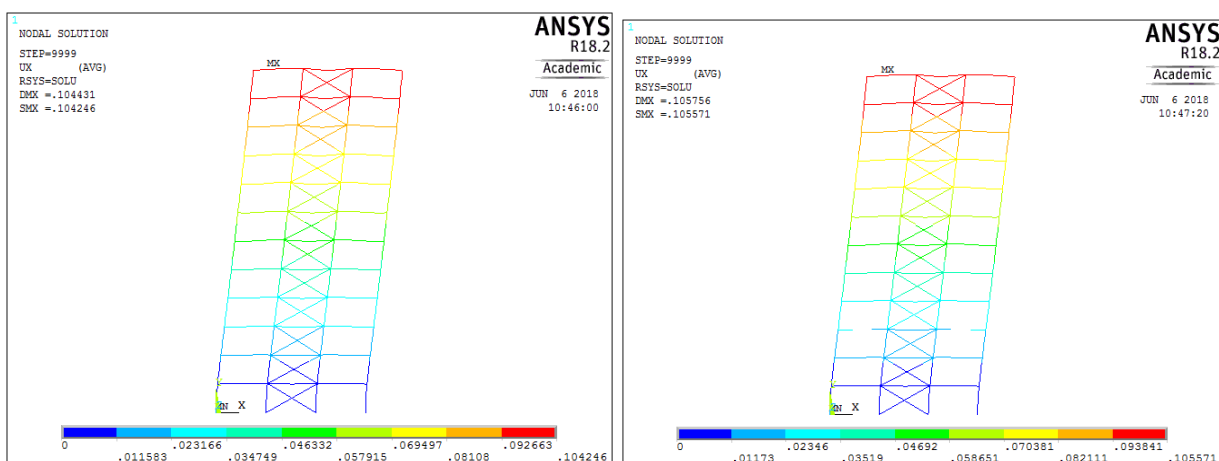


Figura AD-24: Deformación del sistema estructural 12P-7L (Semi-Rígido 1 y 2)

- Caso 12 plantas con vanos de 10 metros de luz

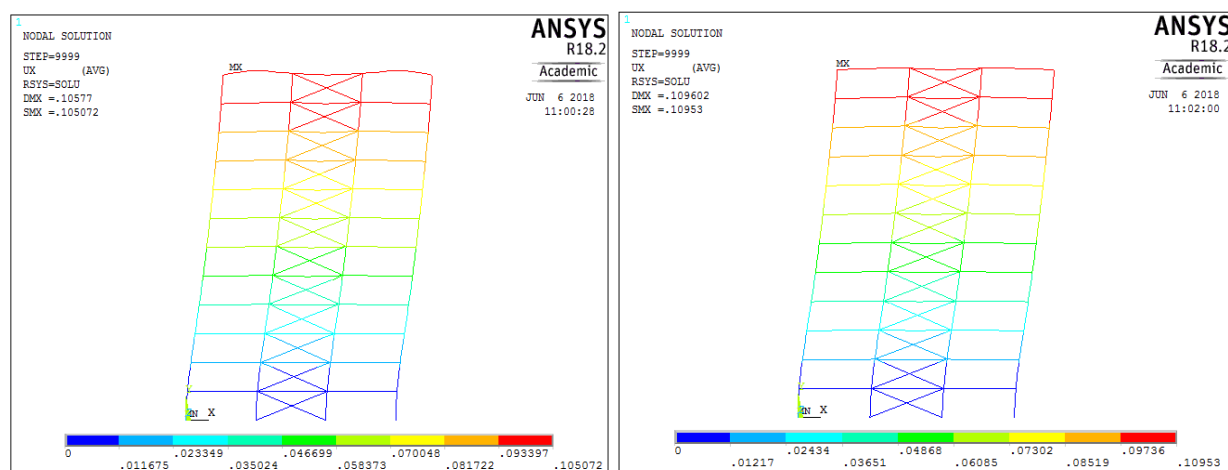


Figura AD-25: Deformación del sistema estructural 12P-10L (Articulado 1 y 2)

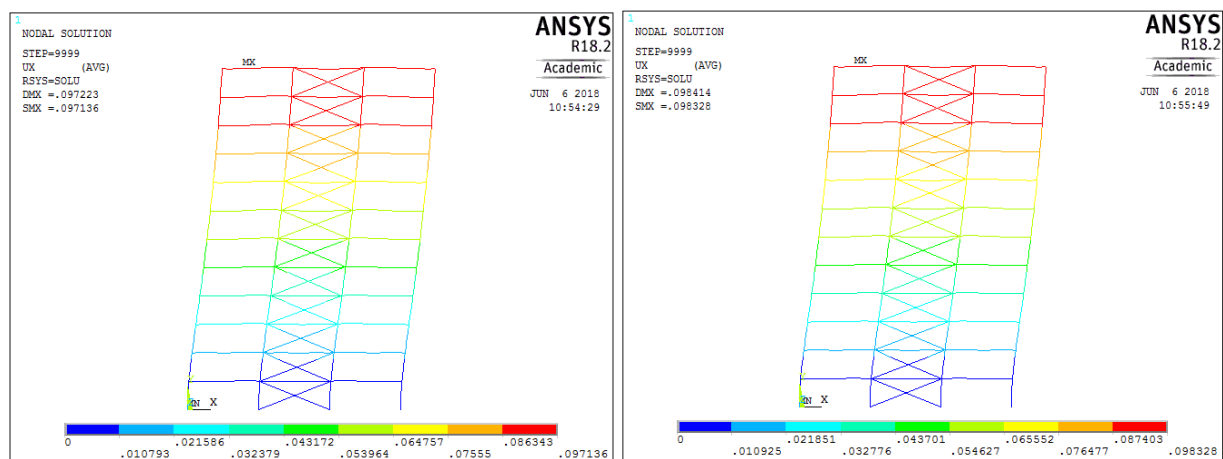


Figura AD-26: Deformación del sistema estructural 12P-10L (Rígido 1 y 2)

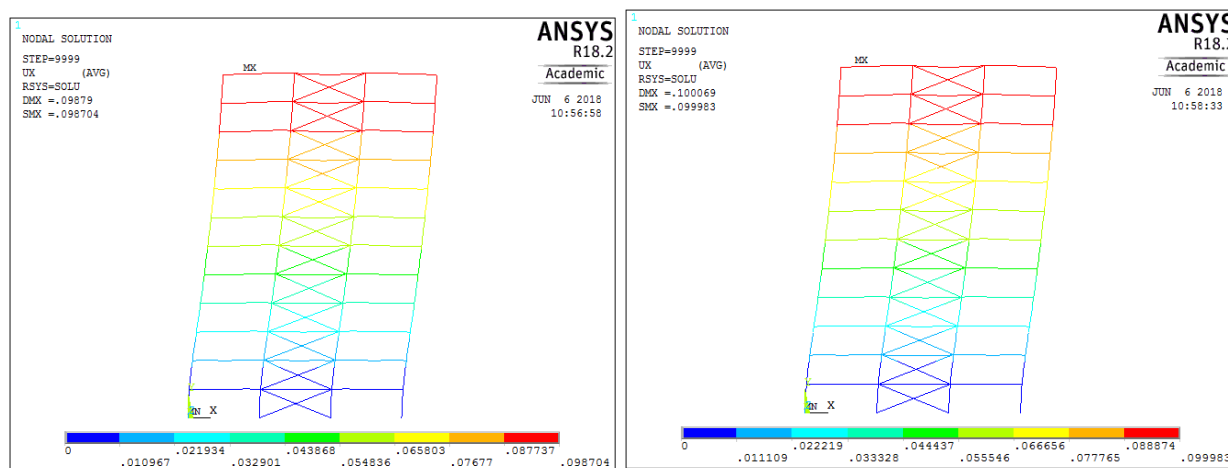


Figura AD-27: Deformación del sistema estructural 12P-10L (Semi-Rígido 1 y 2)

ANEXO E: Cortante en base de los sistemas estructurales

- Caso 2 plantas con vanos de 3 metros de luz

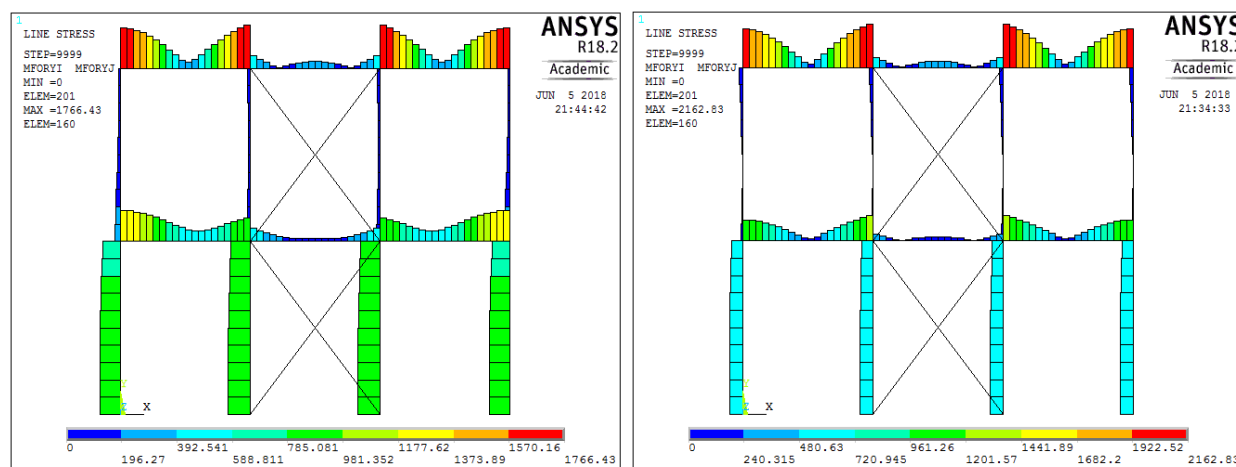


Figura AE-1: Cortante en base del sistema estructural 2P-3L (Articulado 1 y 2)

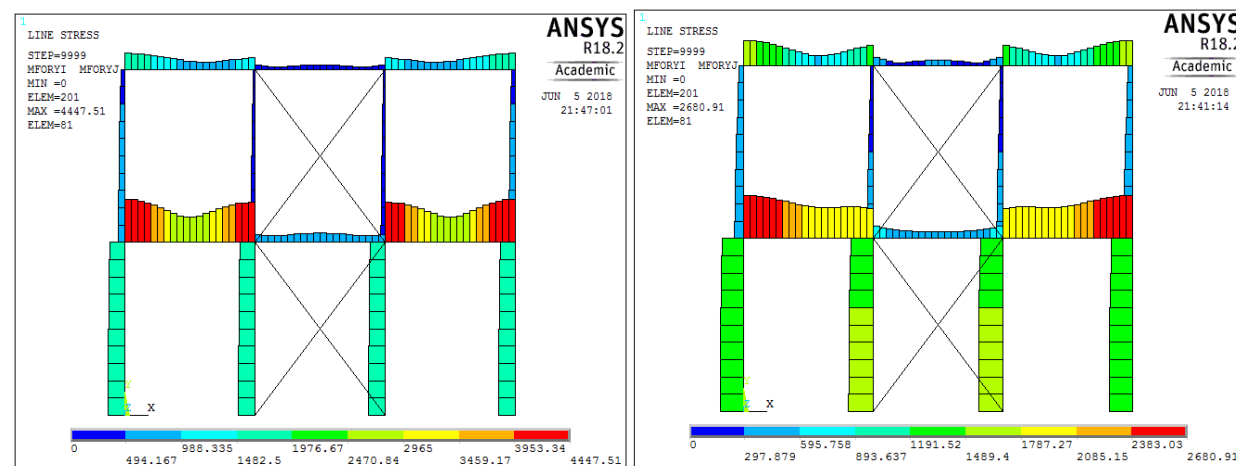


Figura AE-2: Cortante en base del sistema estructural 2P-3L (Rígido 1 y 2)

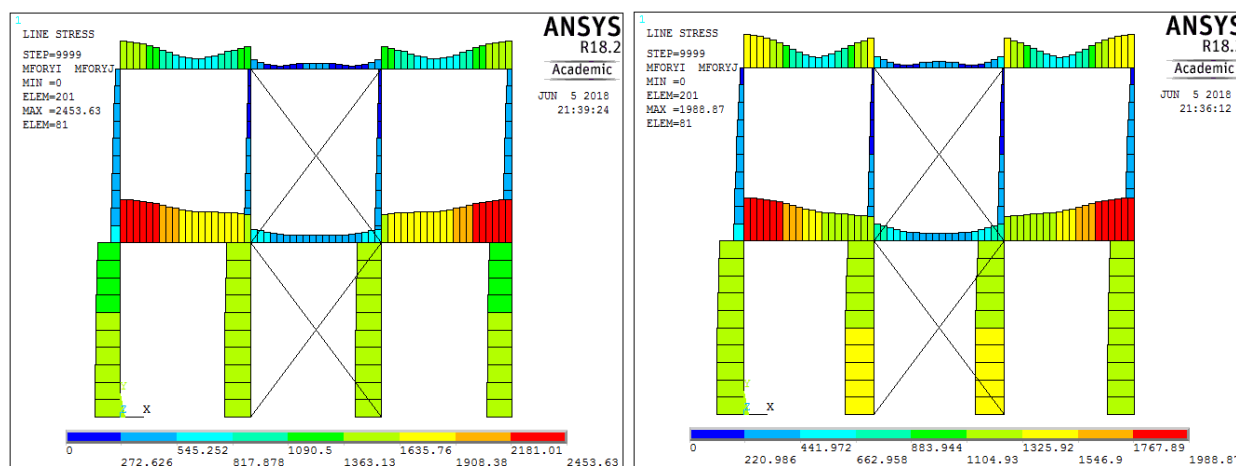


Figura AE-3: Cortante en base del sistema estructural 2P-3L (Semi-Rígido 1 y 2)

- Caso 2 plantas con vanos de 7 metros de luz

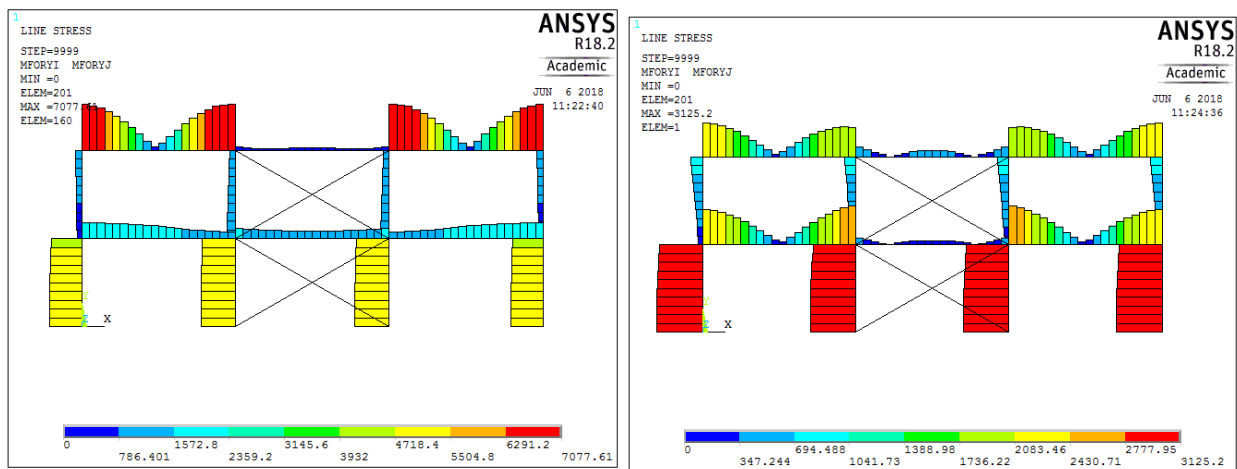


Figura AE-4: Cortante en base del sistema estructural 2P-7L (Articulado 1 y 2)

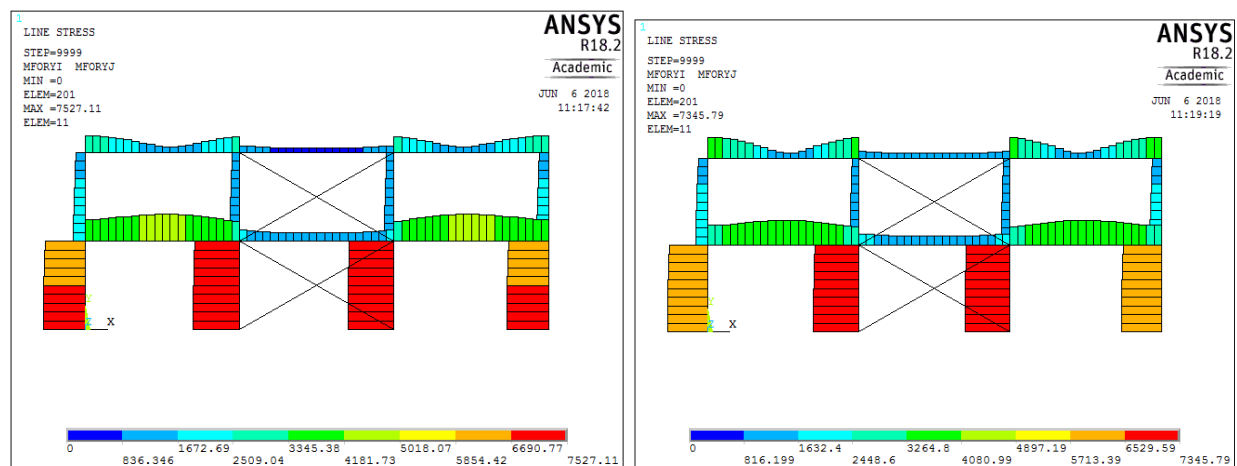


Figura AE-5: Cortante en base del sistema estructural 2P-7L (Rígido 1 y 2)

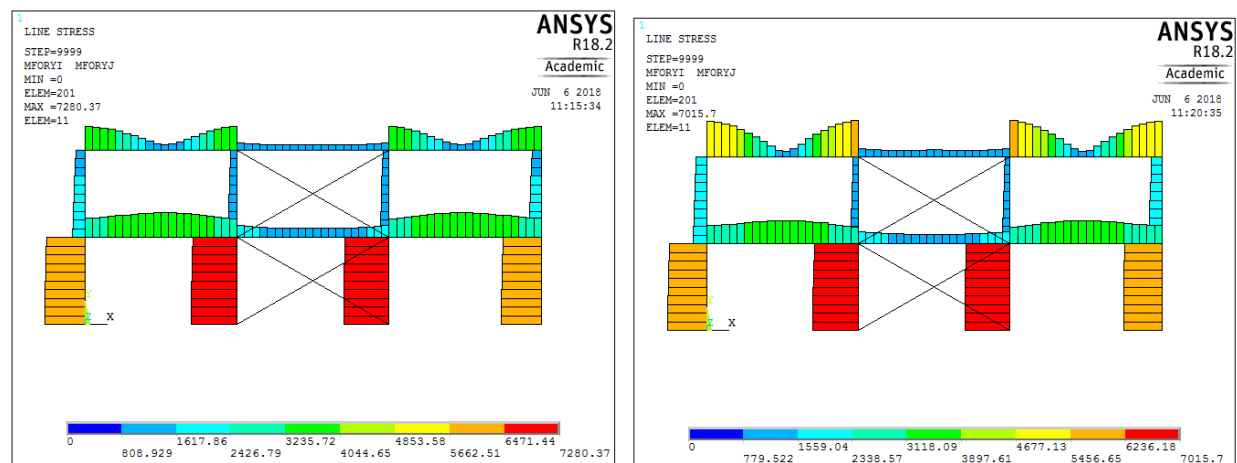


Figura AE-6: Cortante en base del sistema estructural 2P-7L (Semi-Rígido 1 y 2)

- Caso 2 plantas con vanos de 10 metros de luz

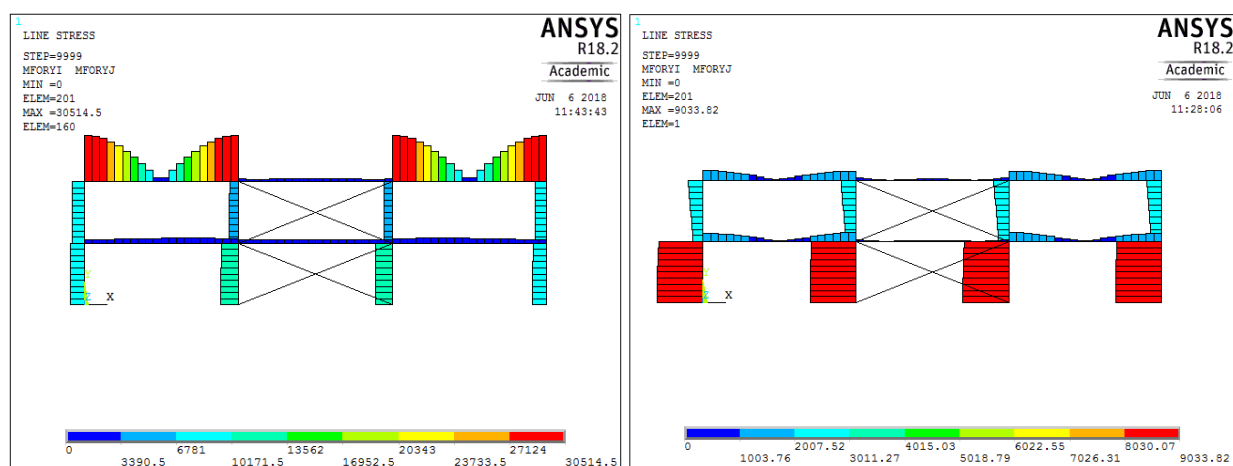


Figura AE-7: Cortante en base del sistema estructural 2P-10L (Articulado 1 y 2)

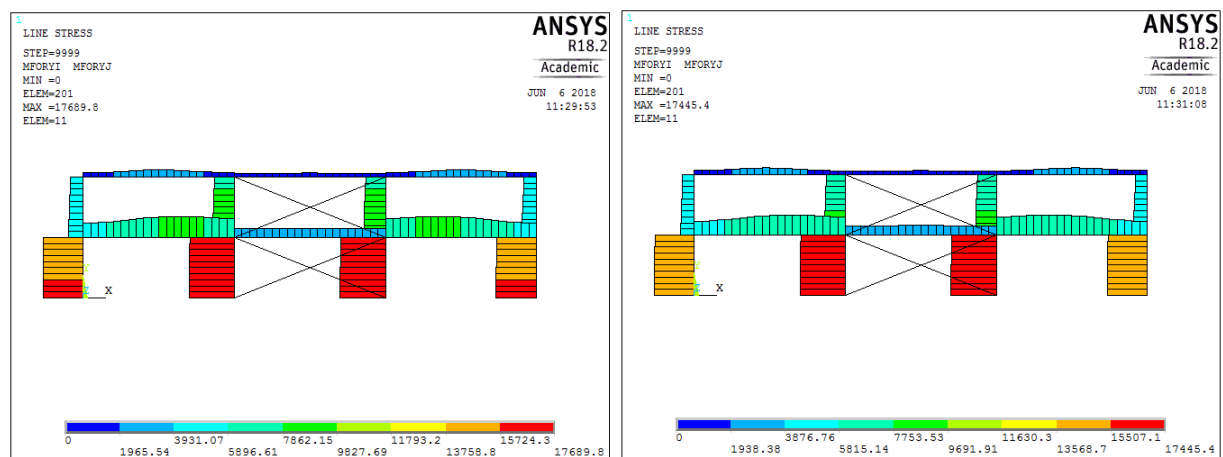


Figura AE-8: Cortante en base del sistema estructural 2P-10L (Rígido 1 y 2)

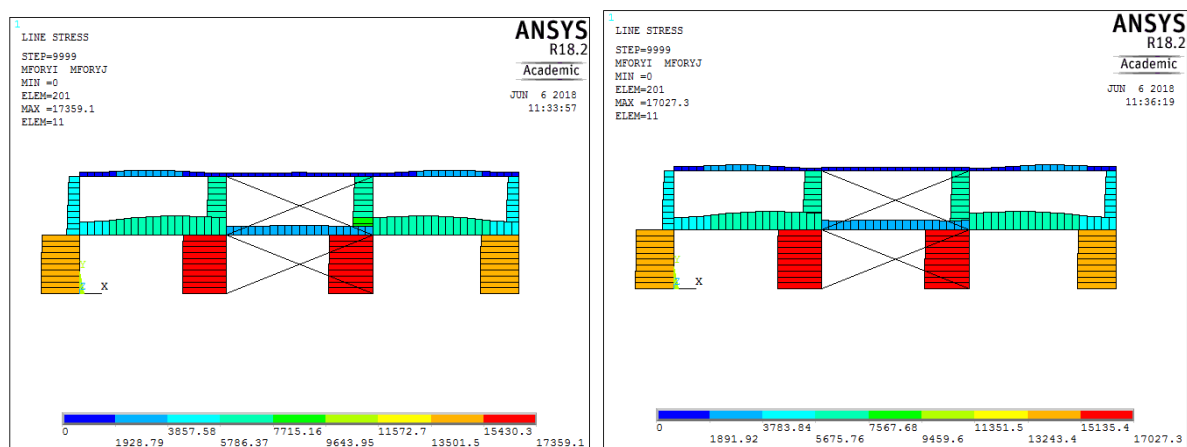


Figura AE-9: Cortante en base del sistema estructural 2P-10L (Semi-Rígido 1 y 2)

- Caso 6 plantas con vanos de 3 metros de luz

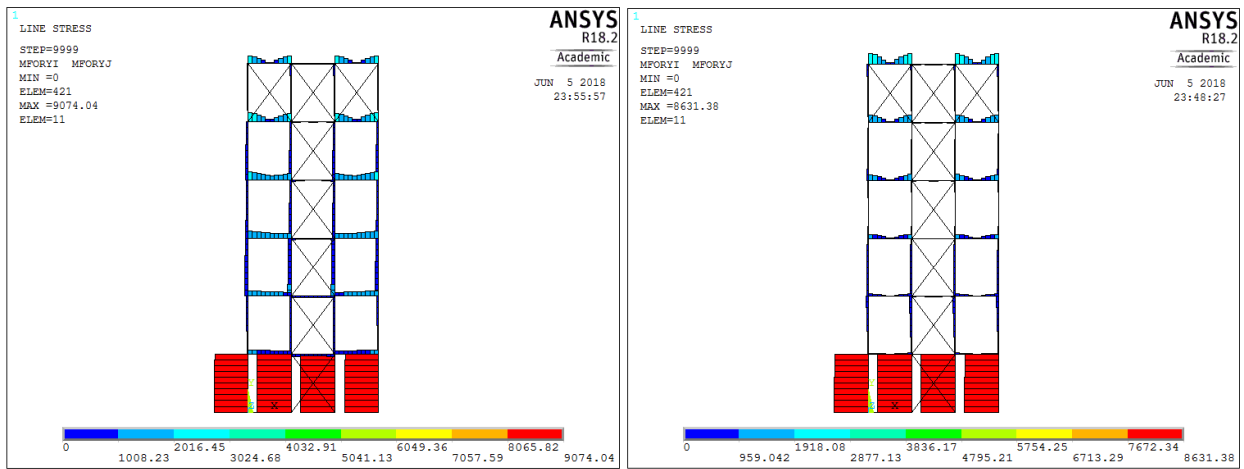


Figura AE-10: Cortante en base del sistema estructural 6P-3L (Articulado 1 y 2)

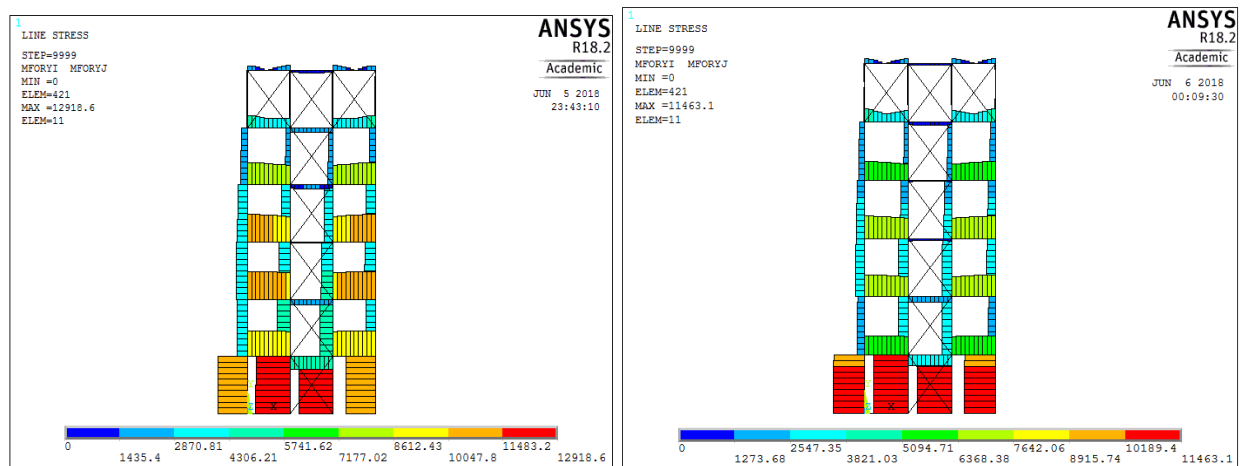


Figura AE-11: Cortante en base del sistema estructural 6P-3L (Rígido 1 y 2)

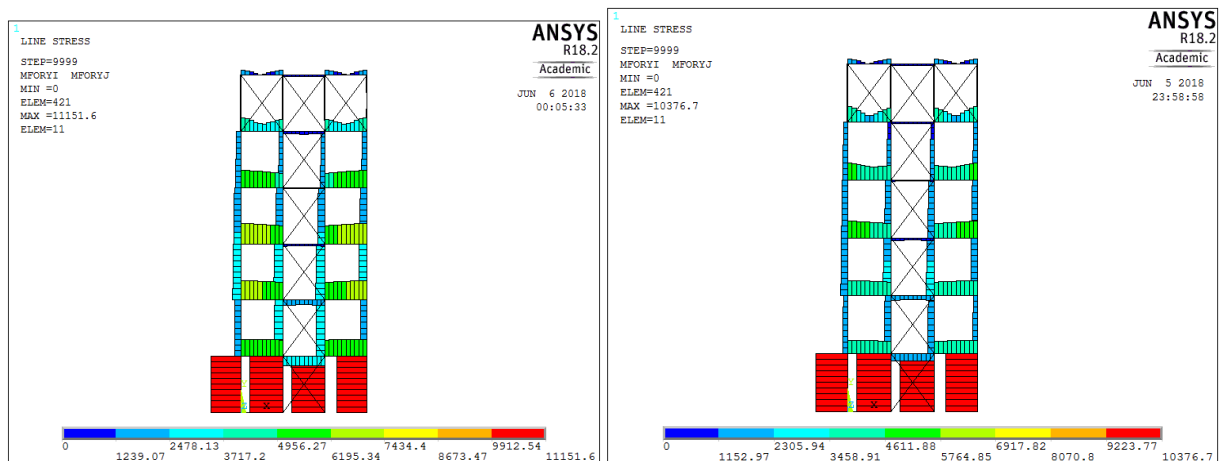


Figura AE-12: Cortante en base del sistema estructural 6P-3L (Semi-Rígido 1 y 2)

- Caso 6 plantas con vanos de 7 metros de luz

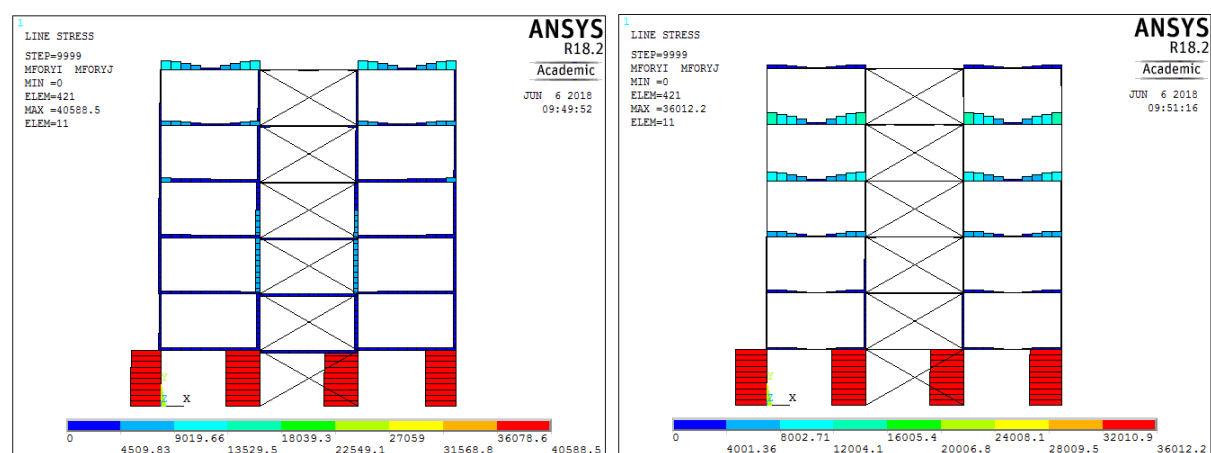


Figura AE-13: Cortante en base del sistema estructural 6P-7L (Articulado 1 y 2)

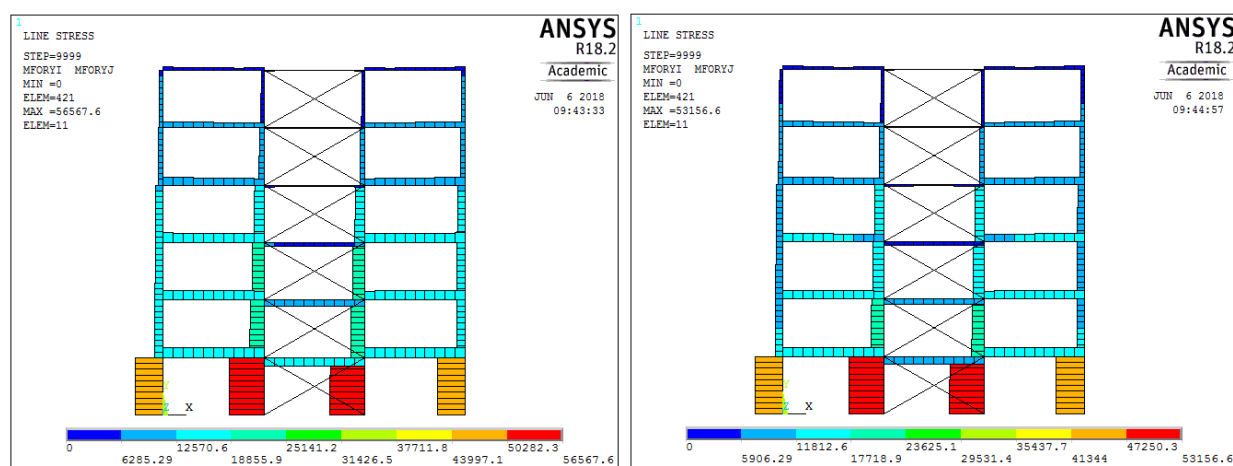


Figura AE-14: Cortante en base del sistema estructural 6P-7L (Rígido 1 y 2)

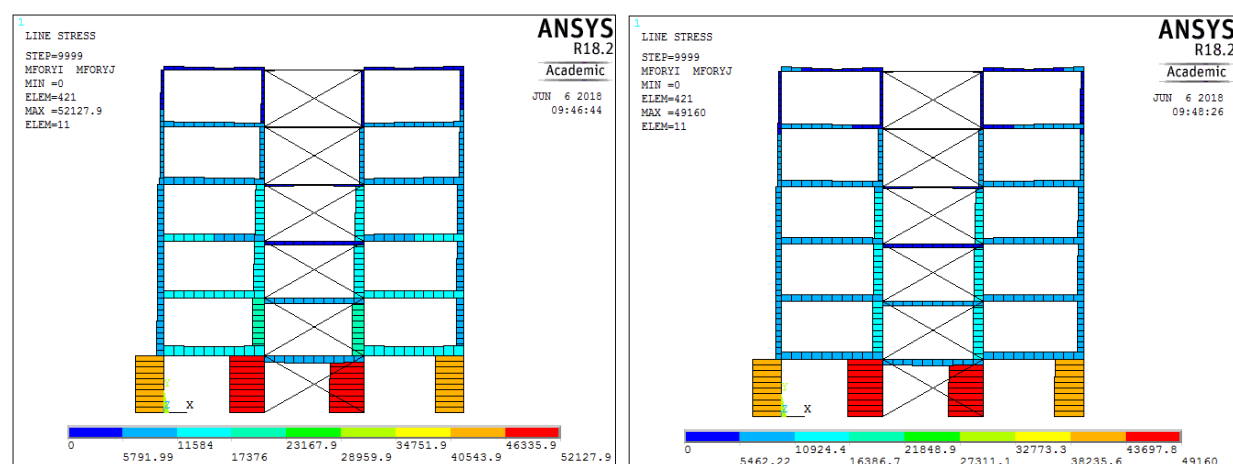


Figura AE-15: Cortante en base del sistema estructural 6P-7L (Semi-Rígido 1 y 2)

- Caso 6 plantas con vanos de 10 metros de luz

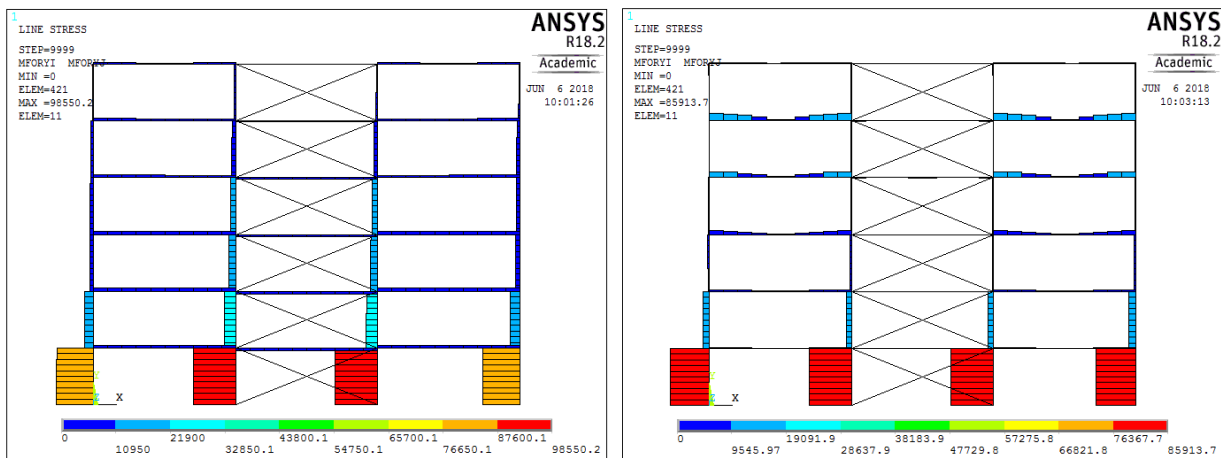


Figura AE-16: Cortante en base del sistema estructural 6P-10L (Articulado 1 y 2)

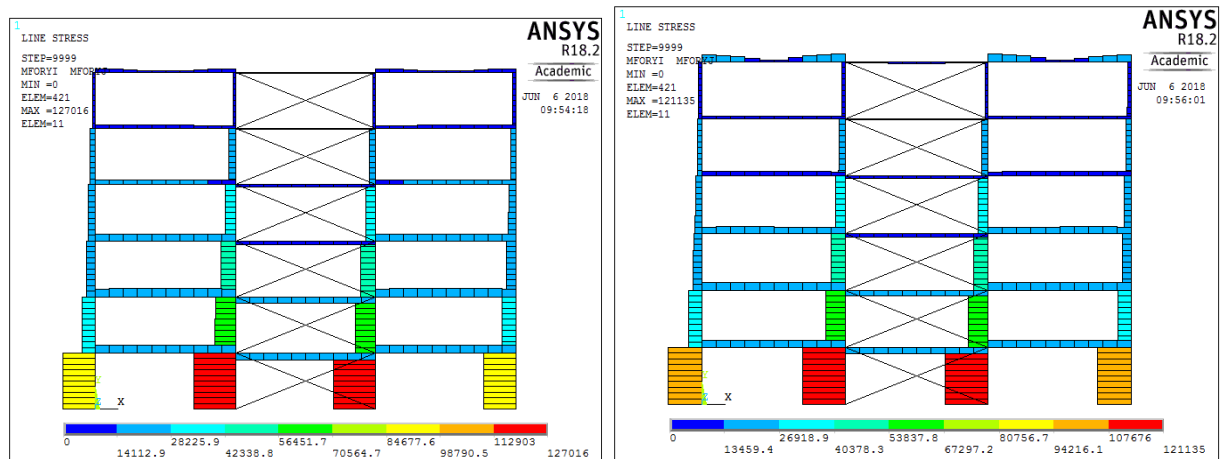


Figura AE-17: Cortante en base del sistema estructural 6P-10L (Rígido 1 y 2)

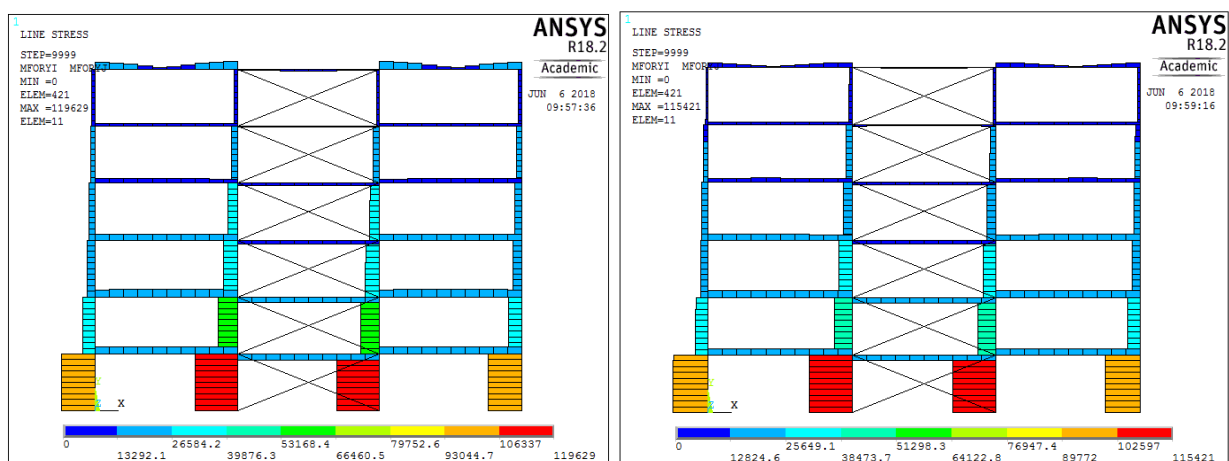


Figura AE-18: Cortante en base del sistema estructural 6P-10L (Semi-Rígido 1 y 2)

- Caso 12 plantas con vanos de 3 metros de luz

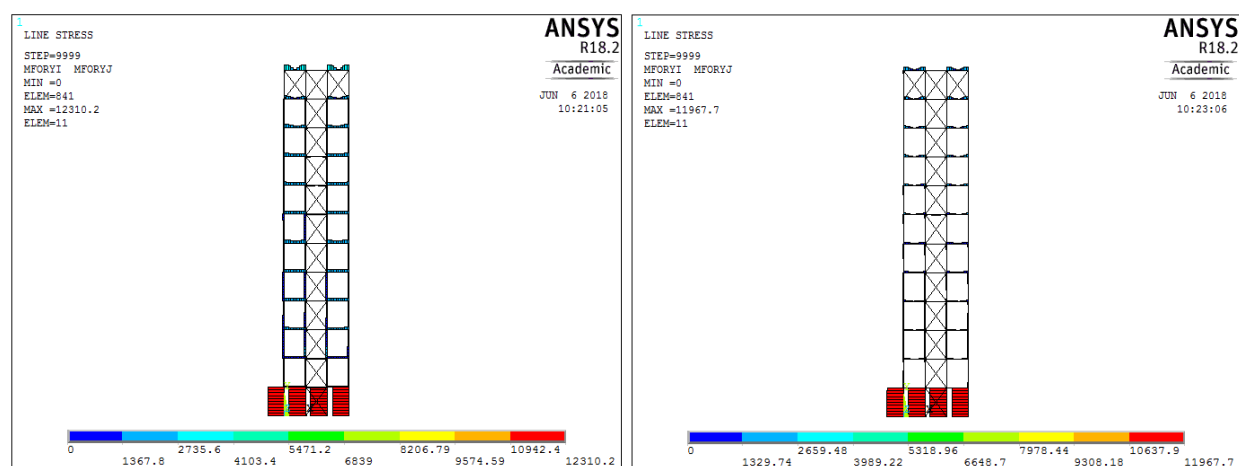


Figura AE-19: Cortante en base del sistema estructural 12P-3L (Articulado 1 y 2)

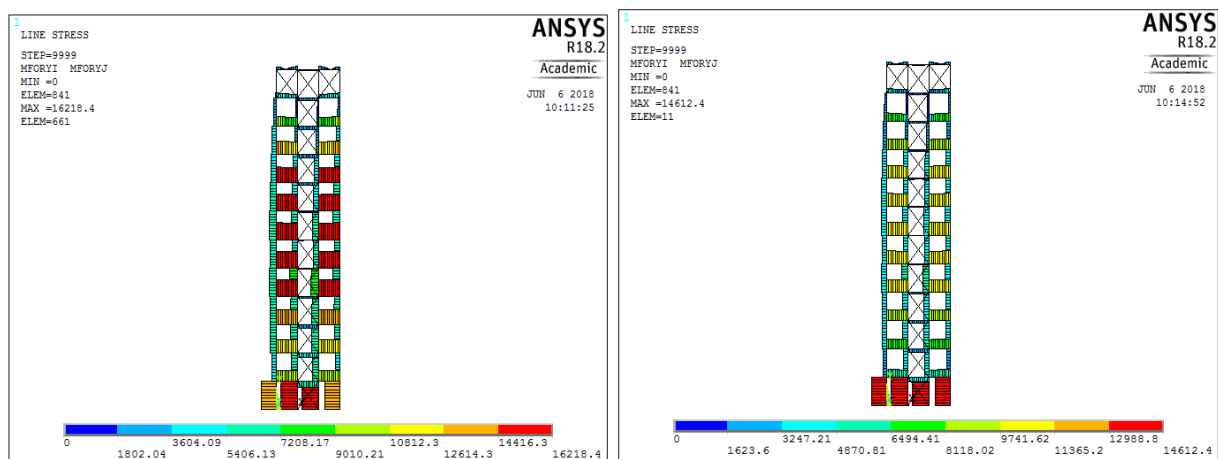


Figura AE-20: Cortante en base del sistema estructural 12P-3L (Rígido 1 y 2)

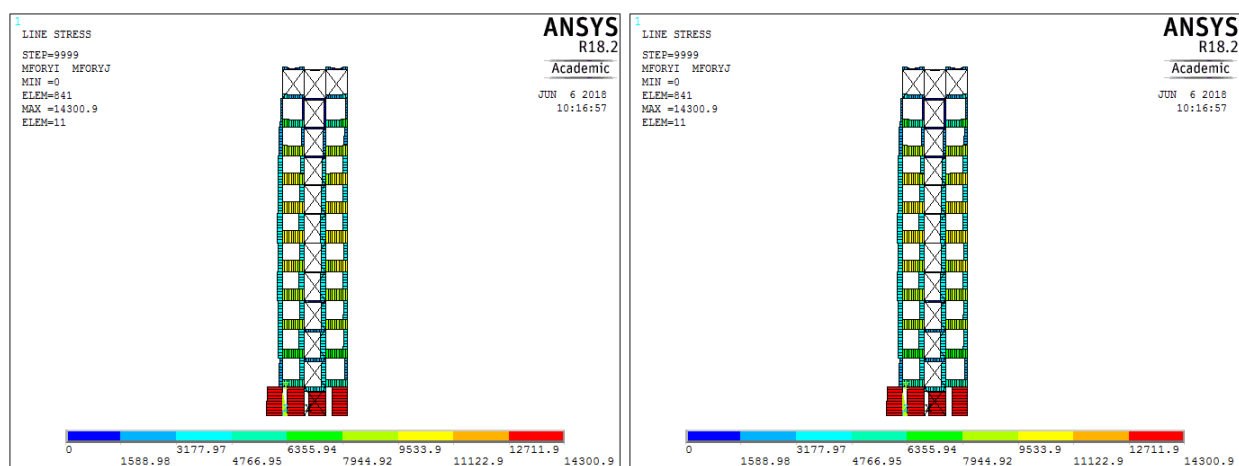


Figura AE-21: Cortante en base del sistema estructural 12P-3L (Semi-Rígido 1 y 2)

- Caso 12 plantas con vanos de 7 metros de luz

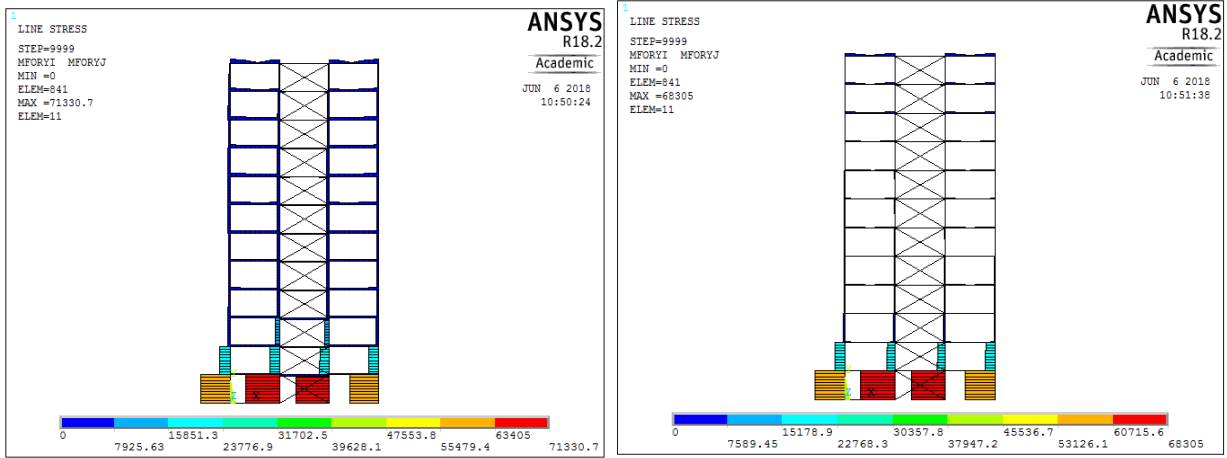


Figura AE-22: Cortante en base del sistema estructural 12P-7L (Articulado 1 y 2)

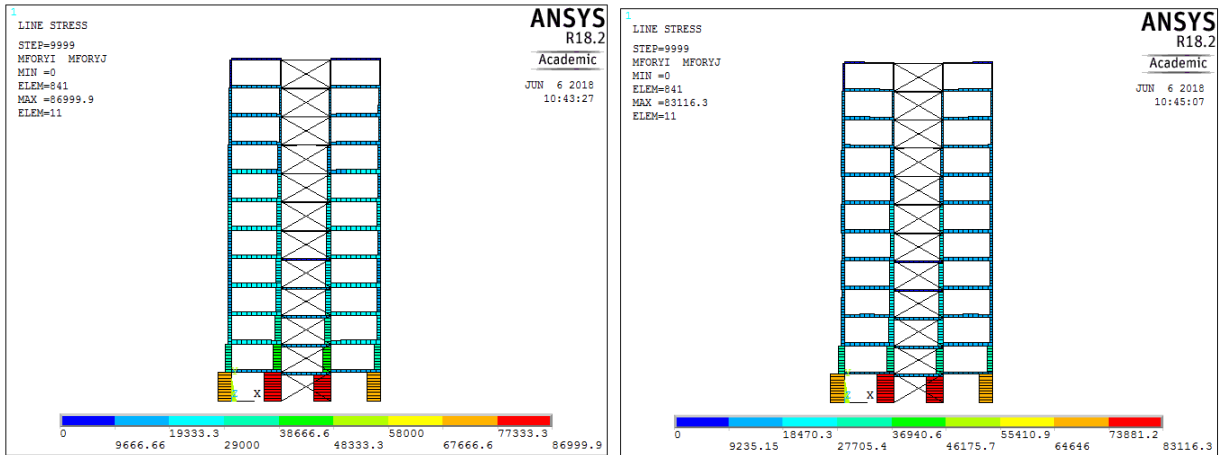


Figura AE-23: Cortante en base del sistema estructural 12P-7L (Rígido 1 y 2)

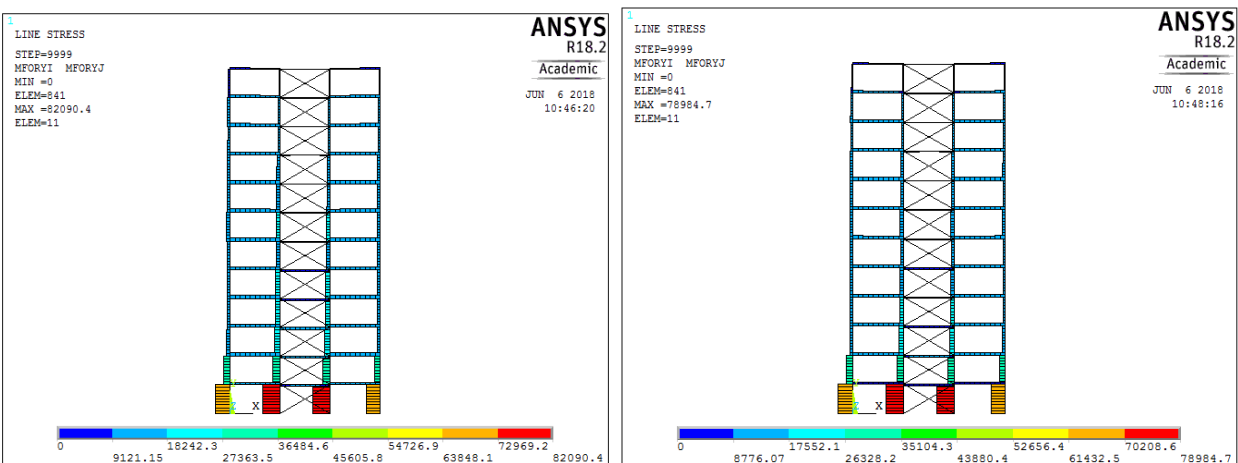


Figura AE-24: Cortante en base del sistema estructural 12P-7L (Semi-Rígido 1 y 2)

- Caso 12 plantas con vanos de 10 metros de luz

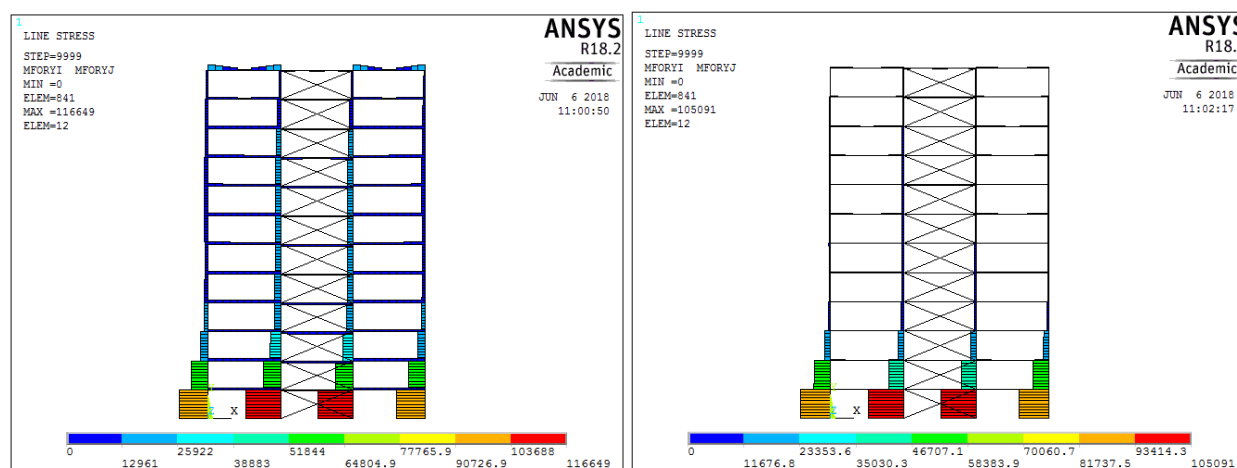


Figura AE-25: Cortante en base del sistema estructural 12P-10L (Articulado 1 y 2)

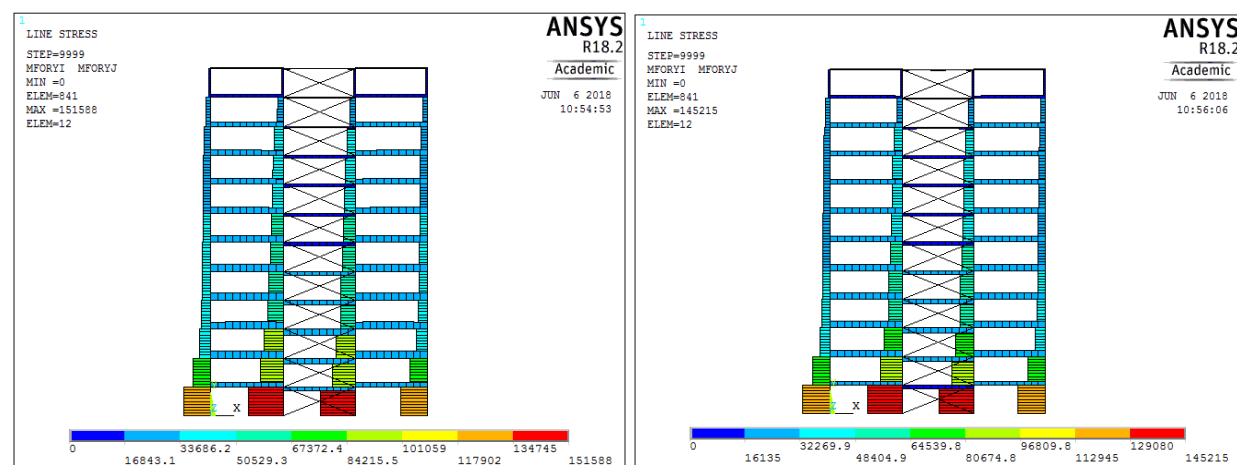


Figura AE-26: Cortante en base del sistema estructural 12P-10L (Rígido 1 y 2)

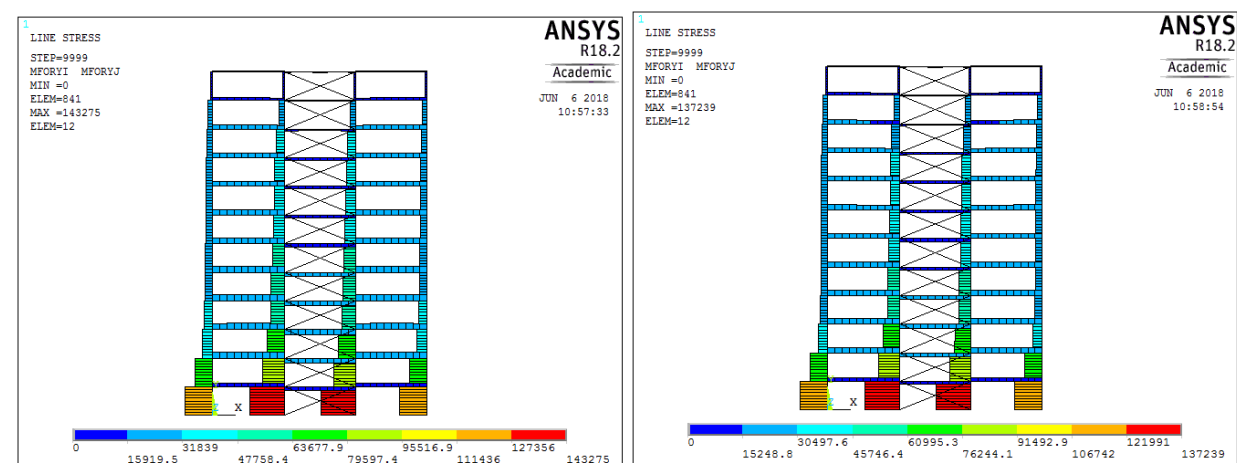


Figura AE-27: Cortante en base del sistema estructural 12P-10L (Semi-Rígido 1 y 2)

ANEXO F: Códigos ANSYS de los sistemas estructurales

• Caso 2 plantas con vanos de 3 metros de luz	!-----
finish	!SECCIONES
/CLEAR	!-----
/REPLOT, RESIZE	
/PREP7	!MASAS kg/m
	MT=(4.7)*(3)*1000/10
	ME=(6.3)*(3)*1000/10
/RGB, INDEX, 100, 100, 100, 0	
/RGB, INDEX, 80, 80, 80, 13	
/RGB, INDEX, 60, 60, 60, 14	!HEB140
/RGB, INDEX, 0, 0, 0, 15	A1=43e-4
	I1=1509e-8
/GO	h1=0.140
/COM,	R, 1, A1, I1, h1
/COM, Preferences for GUI filtering have been set to display:	
/COM, Structural	!HEB100
	A2=26e-4
	I2=449.5e-8
!VARIABLES	h2=0.100
N=2	R, 2, A2, I2, h2
!NUMERO DE PISOS	
H=4	!IPE180
!Altura	A3=23.9e-4
L=3	I3=1317e-8
!Luz	h3=0.180
!-----	R, 3, A3, I3, h3, , , ME
!MATERIAL	
!-----	!IPE140
	A4=16.4e-4
ET, 1, BEAM3	I4=541e-8
ET, 2, LINK1	h4=0.140
MP, EX, 1, 210e9	R, 4, A4, I4, h4, , , MT
MP, PRXY, 1, 0.3	
MP, DENS, 1, 7850	A5=11e-4
	R, 5, A5,
MP, EX, 2, 210e9	
MP, DENS, 2, 7850	

```

!-----
!GEOMETRIA
!-----
R=5

*DO, J, 0, N-1
K, 1+4*J, 0, H*J,
K, 2+4*J, L, H*J,
K, 3+4*J, 2*L, H*J,
K, 4+4*J, 3*L, H*J,
*ENDDO

K, 9, 0, H*2, -R
K, 10, L, H*2, -R
K, 11, 2*L, H*2, -R
K, 12, 3*L, H*2, -R

K, 105, 0, H, -R
K, 106, L, H, -R,
K, 107, 2*L, H, -R
K, 108, 3*L, H, -R

K, 309, 0, H*2,
K, 310, L, H*2,
K, 311, 2*L, H*2,
K, 312, 3*L, H*2,

K, 406, L, H, R
K, 407, 2*L, H, R
K, 410, L, 2*H, R,
K, 411, 2*L, 2*H, R

K, 205, 1.5, H, -R,
K, 206, 4.5, H, R,
K, 207, 7.5, H, -R,
K, 209, 1.5, 2*H, -R,
K, 210, 4.5, 2*H, R,

K, 211, 7.5, 2*H, -R,

!VERTICALES
LSTR, 1, 5
LSTR, 2, 6
LSTR, 3, 7
LSTR, 4, 8

LSTR, 5, 309
LSTR, 6, 310

LSTR, 7, 311
LSTR, 8, 312

!HORIZONTALES
LSTR, 105, 205
LSTR, 205, 106
LSTR, 406, 206
LSTR, 206, 407
LSTR, 107, 207
LSTR, 207, 108

LSTR, 9, 209
LSTR, 209, 10
LSTR, 410, 210
LSTR, 210, 411
LSTR, 11, 211
LSTR, 211, 12

!-----
!ASIGNACION DE CADA ELEMENTO
!-----

!Verticales 1-4
LSEL, , , , 1, 4
LATT, 1, 1, 1, , , , 1

```

```

!Verticales 5-8
LSEL, , , ,5,8
LATT,1,2,1, , , ,2
!Horizontales 9-14
LSEL, , , ,9,14
LATT,1,3,1, , , ,3
!Horizontales 15-20
LSEL, , , ,15,20
LATT,1,4,1, , , ,4
allsel

!-----
!MALLADO
!-----

DIV=10
LESIZE,ALL,, ,DIV
lmesh,all

!-----
!CRUCES SA
!-----

LSTR,2,7
LSTR,6,3
LSTR,6,311
LSTR,310,7

!Horizontales 21-24
LSEL, , , ,21,24
LATT,2,5,2, , , ,5
LESIZE,ALL,, ,1
LMESH,ALL
LSEL,ALL

!-----
!CONDICIONES DE CONTORNO
!-----

*DO,I,1,34,11
D,I,UX,0
D,I,UY,0
D,I,ROTZ,0
*ENDDO

!-----
!ELEMENTOS COMBIN14
!-----

ET,3,COMBIN14
KEYOPT,3,3,1 ! Torsional spring

RIG=100

!IPE140 TECHO
R,11,(RIG*(210e9)*(I4)/3),,,,0,0

TYPE,3
REAL,11

E,45,148
E,55,159
E,55,169
E,65,180
E,65,190
E,75,201

!IPE180 ENTREPLANTA
R,12,(RIG*(210e9)*(I3)/3),,,,0,0

TYPE,3
REAL,12
E,2,85
E,13,96
E,13,106
E,24,117
E,24,127
E,35,138

```

```

CERIG,2,85,UX,UY      !.....
CERIG,45,148,UX,UY    !ANALISIS SISMICO X
CERIG,13,96,UX,UY     !.....
CERIG,96,106,UX,UY
CERIG,55,159,UX,UY    /SOLU
CERIG,159,169,UX,UY   /OUTPUT,SISMO_X,txt
CERIG,24,117,UX,UY    ANTYPE,SPECTR
CERIG,117,127,UX,UY   SED,1,0,0
CERIG,65,180,UX,UY    SVTYP,2
CERIG,180,190,UX,UY
CERIG,35,138,UX,UY    !ESPECTRO DE DISEÑO
CERIG,75,201,UX,UY    FREQ,0.2,1,1.667,6.25,10,12.5,20,
                      33.33,100
!MODOS DE VIBRACION  SV,0.05,0.1823,2.279,3.798,3.798,
                      3.798,3.32,2.602,2.124,1.646

FINISH
/SOL
ANTYPE,2
MODEOPT,LANB,100
EQSLV,SPAR
MXPAND,100,, ,1
LUMPM,0
PSTRES,0
MODEOPT,LANB,100,0,100,,OFF

/STATUS,SOLU
SOLVE
FINISH

/POST1
SET,LIST

/DSCALE,1,500

```

```

• Caso 2 plantas con vanos de 7 metros de luz
finish
/CLEAR
/REPLOT, RESIZE
/PREP7

/RGB, INDEX, 100, 100, 100, 0
/RGB, INDEX, 80, 80, 80, 13
/RGB, INDEX, 60, 60, 60, 14
/RGB, INDEX, 0, 0, 0, 15

/GO
/COM,
/COM, Preferences for GUI filtering
have been set to display:
/COM, Structural

!VARIABLES
N=2
!NUMERO DE PISOS
H=4
!Altura
L=7
!Luz

!-----
!MATERIAL
!-----

ET, 1, BEAM3
ET, 2, LINK1
MP, EX, 1, 210e9
MP, PRXY, 1, 0.3
MP, DENS, 1, 7850

MP, EX, 2, 210e9
MP, DENS, 2, 7850

!-----
!SECCIONES
!-----

!MASAS kg/m
MT=(4.7)*(3)*1000/10
ME=(6.3)*(3)*1000/10

!HEB180
A1=65.3e-4
I1=3831e-8
h1=0.180
R, 1, A1, I1, h1

!HEB140
A2=43e-4
I2=1509e-8
h2=0.140
R, 2, A2, I2, h2

!IPE360
A3=72.7e-4
I3=16270e-8
h3=0.360
R, 3, A3, I3, h3, , , ME

!IPE270
A4=45.9e-4
I4=5790e-8
h4=0.270
R, 4, A4, I4, h4, , , MT

A5=11e-4
R, 5, A5,

```

```

!-----
!GEOMETRIA
!-----
R=5

*DO, J, 0, N-1
K, 1+4*J, 0, H*J,
K, 2+4*J, L, H*J,
K, 3+4*J, 2*L, H*J,
K, 4+4*J, 3*L, H*J,
*ENDDO

K, 9, 0, H*2, -R
K, 10, L, H*2, -R
K, 11, 2*L, H*2, -R
K, 12, 3*L, H*2, -R

K, 105, 0, H, -R
K, 106, L, H, -R,
K, 107, 2*L, H, -R
K, 108, 3*L, H, -R

K, 309, 0, H*2,
K, 310, L, H*2,
K, 311, 2*L, H*2,
K, 312, 3*L, H*2,

K, 406, L, H, R
K, 407, 2*L, H, R
K, 410, L, 2*H, R,
K, 411, 2*L, 2*H, R

K, 205, L/2, H, -R,
K, 206, L+L/2, H, R,
K, 207, 2*L+L/2, H, -R,
K, 209, L/2, 2*H, -R,
K, 210, L+L/2, 2*H, R,

K, 211, 2*L+L/2, 2*H, -R,

!VERTICALES
LSTR, 1, 5
LSTR, 2, 6
LSTR, 3, 7
LSTR, 4, 8
LSTR, 5, 309
LSTR, 6, 310
LSTR, 7, 311
LSTR, 8, 312

!HORIZONTALES
LSTR, 105, 205
LSTR, 205, 106
LSTR, 406, 206
LSTR, 206, 407
LSTR, 107, 207
LSTR, 207, 108

LSTR, 9, 209
LSTR, 209, 10
LSTR, 410, 210
LSTR, 210, 411
LSTR, 11, 211
LSTR, 211, 12

!-----
!ASIGNACION DE CADA ELEMENTO
!-----

!Verticales 1-4
LSEL, , , , 1, 4
LATT, 1, 1, 1, , , , 1

!Verticales 5-8
LSEL, , , , 5, 8
LATT, 1, 2, 1, , , , 2

```

```

!Horizontales 9-14
LSEL, , , , 9,14
LATT,1,3,1, , , , 3

!Horizontales 15-20
LSEL, , , , 15,20
LATT,1,4,1, , , , 4
allsel

!-----
!MALLADO
!-----

DIV=10
LESIZE,ALL,, , DIV
lmesh,all

!-----
!CRUCES SA
!-----

LSTR,2,7
LSTR,6,3
LSTR,6,311
LSTR,310,7

!Horizontales 21-24
LSEL, , , , 21,24
LATT,2,5,2, , , , 5
LESIZE,ALL,, , 1
LMESH,ALL
LSEL,ALL

!-----
!CONDICIONES DE CONTORNO
!-----

*DO,I,1,34,11
D,I,UX,0
D,I,UY,0
D,I,ROTZ,0
*ENDDO

!-----
!ELEMENTOS COMBIN14
!-----

ET,3,COMBIN14
KEYOPT,3,3,1 ! Torsional spring

RIG=0

!IPE140 TECHO
R,11,(RIG*(210e9)*(I4)/3),,,,0,0

TYPE,3
REAL,11

E,45,148
E,55,159
E,55,169
E,65,180
E,65,190
E,75,201

!IPE180 ENTREPLANTA
R,12,(RIG*(210e9)*(I3)/3),,,,0,0

TYPE,3
REAL,12

E,2,85
E,13,96
E,13,106
E,24,117
E,24,127
E,35,138

```

```

CERIG,2,85,UX,UY      !.....
CERIG,45,148,UX,UY    !ANALISIS SISMICO X
CERIG,13,96,UX,UY     !.....
CERIG,96,106,UX,UY
CERIG,55,159,UX,UY    /SOLU
CERIG,159,169,UX,UY   /OUTPUT,SISMO_X,txt
CERIG,24,117,UX,UY    ANTYPE,SPECTR
CERIG,117,127,UX,UY   SED,1,0,0
CERIG,65,180,UX,UY    SVTYP,2
CERIG,180,190,UX,UY
CERIG,35,138,UX,UY    !ESPECTRO DE DISEÑO
CERIG,75,201,UX,UY    FREQ,0.2,1,1.667,6.25,10,12.5,20,
                        33.33,100
!MODOS DE VIBRACION   SV,0.05,0.1823,2.279,3.798,3.798,
                        3.798,3.32,2.602,2.124,1.646

FINISH
/SOL
ANTYPE,2
MODEOPT,LANB,100
EQSLV,SPAR
MXPAND,100,, ,1
LUMPM,0
PSTRES,0
MODEOPT,LANB,100,0,100,,OFF

/STATUS,SOLU
SOLVE
FINISH

/POST1
SET,LIST

/DSCALE,1,500
DMPRAT,0.05
SRSS
SOLVE
FINISH
/POST1
/INP,,mcom

/EFACET,1
PLNSOL,U,X,0,1.0
/DSCALE,1,100
/REPLOT
ALLSEL,ALL
ESEL,S,REAL,,4
/REPLOT

```

```

• Caso 2 plantas con vanos de 10 metros de luz
finish
/CLEAR
/REPLOT, RESIZE
/PREP7

/RGB, INDEX, 100, 100, 100, 0
/RGB, INDEX, 80, 80, 80, 13
/RGB, INDEX, 60, 60, 60, 14
/RGB, INDEX, 0, 0, 0, 15

/GO
/COM,
/COM, Preferences for GUI filtering
have been set to display:
/COM, Structural

!VARIABLES
N=2
!NUMERO DE PISOS
H=4
!Altura
L=10
!Luz

!-----
!MATERIAL
!-----

ET, 1, BEAM3
ET, 2, LINK1
MP, EX, 1, 210e9
MP, PRXY, 1, 0.3
MP, DENS, 1, 7850

MP, EX, 2, 210e9
MP, DENS, 2, 7850

!-----
!SECCIONES
!-----

!MASAS kg/m
MT=(4.7)*(3)*1000/10
ME=(6.3)*(3)*1000/10

!HEB200
A1=78.1e-4
I1=5696e-8
h1=0.200
R, 1, A1, I1, h1

!HEB200
A2=78.1e-4
I2=5696e-8
h2=0.200
R, 2, A2, I2, h2

!IPE500
A3=116e-4
I3=48200e-8
h3=0.500
R, 3, A3, I3, h3, , , ME

!IPE360
A4=72.7e-4
I4=16270e-8
h4=0.360
R, 4, A4, I4, h4, , , MT

A5=11e-4
R, 5, A5,

```

```

!-----
!GEOMETRIA
!-----
R=5

*DO, J, 0, N-1
K, 1+4*J, 0, H*J,
K, 2+4*J, L, H*J,
K, 3+4*J, 2*L, H*J,
K, 4+4*J, 3*L, H*J,
*ENDDO

K, 9, 0, H*2, -R
K, 10, L, H*2, -R
K, 11, 2*L, H*2, -R
K, 12, 3*L, H*2, -R

K, 105, 0, H, -R
K, 106, L, H, -R,
K, 107, 2*L, H, -R
K, 108, 3*L, H, -R

K, 309, 0, H*2,
K, 310, L, H*2,
K, 311, 2*L, H*2,
K, 312, 3*L, H*2,

K, 406, L, H, R
K, 407, 2*L, H, R
K, 410, L, 2*H, R,
K, 411, 2*L, 2*H, R

K, 205, L/2, H, -R,
K, 206, L+L/2, H, R,
K, 207, 2*L+L/2, H, -R,
K, 209, L/2, 2*H, -R,
K, 210, L+L/2, 2*H, R,

K, 211, 2*L+L/2, 2*H, -R,

!VERTICALES
LSTR, 1, 5
LSTR, 2, 6
LSTR, 3, 7
LSTR, 4, 8

LSTR, 5, 309
LSTR, 6, 310

LSTR, 7, 311
LSTR, 8, 312

!HORIZONTALES
LSTR, 105, 205
LSTR, 205, 106
LSTR, 406, 206
LSTR, 206, 407
LSTR, 107, 207
LSTR, 207, 108

LSTR, 9, 209
LSTR, 209, 10
LSTR, 410, 210
LSTR, 210, 411
LSTR, 11, 211
LSTR, 211, 12

!-----
!ASIGNACION DE CADA ELEMENTO
!-----

!Verticales 1-4
LSEL, , , , 1, 4
LATT, 1, 1, 1, , , , 1

```

```

!Verticales 5-8
LSEL, , , ,5,8
LATT,1,2,1, , , ,2

!Horizontales 9-14
LSEL, , , ,9,14
LATT,1,3,1, , , ,3

!Horizontales 15-20
LSEL, , , ,15,20
LATT,1,4,1, , , ,4

allsel

!-----
!MALLADO
!-----

DIV=10
LESIZE,ALL,,,DIV
lmesh,all

!-----
!CRUCES SA
!-----

LSTR,2,7
LSTR,6,3
LSTR,6,311
LSTR,310,7

!Horizontales 21-24
LSEL, , , ,21,24
LATT,2,5,2, , , ,5
LESIZE,ALL,,,1
LMESH,ALL
LSEL,ALL

!-----
!CONDICIONES DE CONTORNO
!-----
*DO,I,1,34,11
D,I,UX,0
D,I,UY,0
D,I,ROTZ,0
*ENDDO

!-----
!ELEMENTOS COMBIN14
!-----

ET,3,COMBIN14
KEYOPT,3,3,1 ! Torsional spring

RIG=0.5

!IPE140 TECHO
R,11,(RIG*(210e9)*(I4)/3),,,,0,0

TYPE,3
REAL,11

E,45,148
E,55,159
E,55,169
E,65,180
E,65,190
E,75,201

!IPE180 ENTREPLANTA
R,12,(RIG*(210e9)*(I3)/3),,,,0,0

TYPE,3
REAL,12

```

```

E,2,85
E,13,96
E,13,106
E,24,117
E,24,127
E,35,138

CERIG,2,85,UX,UY
CERIG,45,148,UX,UY
CERIG,13,96,UX,UY
CERIG,96,106,UX,UY
CERIG,55,159,UX,UY
CERIG,159,169,UX,UY
CERIG,24,117,UX,UY
CERIG,117,127,UX,UY
CERIG,65,180,UX,UY
CERIG,180,190,UX,UY
CERIG,35,138,UX,UY
CERIG,75,201,UX,UY

!MODOS DE VIBRACION

FINISH

/SOL
ANTYPE,2
MODOPT,LANB,100
EQSLV,SPAR
MXPAND,100,, ,1
LUMPM,0
PSTRES,0
MODOPT,LANB,100,0,100,,OFF
/STATUS,SOLU
SOLVE
FINISH
/POST1
SET,LIST
/DSCALE,1,500

!.....
!ANALISIS SISMICO X
!.....

/SOLU
/OUTPUT,SISMO_X,txt
ANTYPE,SPECTR
SED,1,0,0
SVTYP,2

!ESPECTRO DE DISEÑO
FREQ,0.2,1,1.667,6.25,10,12.5,20,
33.33,100
SV,0.05,0.1823,2.279,3.798,3.798,
3.798,3.32,2.602,2.124,1.646

DMPRAT,0.05

SRSS

SOLVE
FINISH

/POST1
/INP,,mcom

/EFACET,1
PLNSOL,U,X,0,1.0
/DSCALE,1,100
/REPLOT
ALLSEL,ALL
ESEL,S,REAL,,4
/REPLOT

```

```

• Caso 6 plantas con vanos de 3 metros de luz
finish
/CLEAR
/REPLOT, RESIZE
/PREP7

/RGB, INDEX, 100, 100, 100, 0
/RGB, INDEX, 80, 80, 80, 13
/RGB, INDEX, 60, 60, 60, 14
/RGB, INDEX, 0, 0, 0, 15

/GO
/COM,
/COM, Preferences for GUI filtering
have been set to display:
/COM, Structural

!VARIABLES
N=6
!NUMERO DE PISOS
H=4
!Altura
L=3
!Luz

!-----
!MATERIAL
!-----
ET, 4, BEAM3
ET, 2, LINK1
MP, EX, 1, 210e9
MP, DENS, 1, 1

MP, EX, 2, 210e9
MP, DENS, 2, 7850

MP, EX, 4, 210E9
MP, PRXY, 4, 0.3
MP, DENS, 4, 7850

!-----
!SECCIONES
!-----

!MASAS kg/m
MT=(4.7)*(3)*1000/10
ME=(6.3)*(3)*1000/10

!HEB240
A1=106e-4
I1=11260e-8
h1=0.240
R, 1, A1, I1, h1

!HEB200
A2=78.1e-4
I2=5696e-8
h2=0.200
R, 2, A2, I2, h2

!HEB160
A3=54.3e-4
I3=2492e-8
h3=0.160
R, 3, A3, I3, h3

!HEB140
A4=43e-4
I4=1509e-8
h4=0.140
R, 4, A4, I4, h4

!HEB120
A5=34e-4
I5=864.4e-8
h5=0.120
R, 5, A5, I5, h5

```

```
!HEB100
A6=26e-4
I6=449.5e-8
h6=0.100
R,6,A6,I6,h6
```

```
!IPE180
A7=23.9e-4
I7=1317e-8
h7=0.180
R,7,A7,I7,h7,,,ME
```

```
!IPE140
A8=16.4e-4
I8=541e-8
h8=0.140
R,8,A8,I8,h8,,,MT
```

```
A9=11e-4
R,9,A9,
```

```
!-----
!GEOMETRIA
!-----
R=5
```

```
*DO,J,0,N
K,1+4*J,0,H*J,
K,2+4*J,L,H*J,
K,3+4*J,2*L,H*J,
K,4+4*J,3*L,H*J,
*ENDDO
```

```
*DO,J,1,N
K,106+4*(J-1),L,H*J,R
K,107+4*(J-1),2*L,H*J,R
*ENDDO
```

```
*DO,J,1,N
K,55+4*(J-1),0,H*J,-R
K,56+4*(J-1),L,H*J,-R
K,57+4*(J-1),2*L,H*J,-R
K,58+4*(J-1),3*L,H*J,-R
*ENDDO
```

```
!VERTICALES
*DO,J,0,N-1
LSTR,1+4*J,5+4*J
LSTR,2+4*J,6+4*J
LSTR,3+4*J,7+4*J
LSTR,4+4*J,8+4*J
*ENDDO
```

```
!HORIZONTALES
*DO,J,1,N
LSTR,55+4*(J-1),56+4*(J-1)
LSTR,57+4*(J-1),58+4*(J-1)
LSTR,107+4*(J-1),106+4*(J-1)
*ENDDO
```

```
!-----
!ASIGNACION DE CADA ELEMENTO
!-----
```

```
!Verticales 1-24
*DO,J,0,N-1
LSEL, , , ,1+4*J,4+4*J
LATT,4,J+1,4, , , ,J+1
*ENDDO
```

```
!Horizontales 25-39
*DO,J,0,N-2
LSEL, , , ,25+3*J,27+3*J
LATT,4,7,4, , , ,7
*ENDDO
```

```

!Horizontales 40-42
LSEL, , , , 40, 42
LATT, 4, 8, 4, , , , 8

allsel
!-----
!MALLADO
!-----

DIV=10
LESIZE, ALL, , , DIV
lmesh, all
!-----

!CRUCES SA
!-----

*DO, J, 0, N-1
LSTR, 2+4*J, 7+4*J
LSTR, 6+4*J, 3+4*J
*ENDDO

LSTR, 21, 26
LSTR, 22, 25
LSTR, 23, 28
LSTR, 27, 24

!Horizontales 43-54
LSEL, , , , 43, 58
LATT, 2, 9, 2, , , , 9
LESIZE, ALL, , , 1
LMESH, ALL
LSEL, ALL

!-----
!CONDICIONES DE CONTORNO
!-----

*DO, I, 1, 34, 11
D, I, UX, 0
D, I, UY, 0
D, I, ROTZ, 0
*ENDDO

!-----
!ELEMENTOS COMBIN14
!-----

ET, 3, COMBIN14
KEYOPT, 3, 3, 1 ! Torsional spring

RIG=8

!IPE140 TECHO
R, 11, (RIG*(210e9)*(I8)/3), , , , 0, 0

TYPE, 3
REAL, 11

E, 205, 410
E, 411, 215
E, 215, 433
E, 432, 225
E, 225, 421
E, 422, 235

!IPE180 ENTREPLANTA
R, 12, (RIG*(210e9)*(I7)/3), , , , 0, 0

TYPE, 3
REAL, 12

```

E, 165, 377	CERIG, 215, 433, UX, UY
E, 378, 175	CERIG, 432, 225, UX, UY
E, 175, 400	CERIG, 225, 421, UX, UY
E, 399, 185	CERIG, 422, 235, UX, UY
E, 185, 388	
E, 389, 195	CERIG, 165, 377, UX, UY
	CERIG, 378, 175, UX, UY
E, 125, 344	CERIG, 175, 400, UX, UY
E, 345, 135	CERIG, 399, 185, UX, UY
E, 135, 367	CERIG, 185, 388, UX, UY
E, 366, 145	CERIG, 389, 195, UX, UY
E, 145, 355	
E, 356, 155	CERIG, 125, 344, UX, UY
	CERIG, 345, 135, UX, UY
E, 85, 311	CERIG, 135, 367, UX, UY
E, 312, 95	CERIG, 366, 145, UX, UY
E, 95, 334	CERIG, 145, 355, UX, UY
E, 333, 105	CERIG, 356, 155, UX, UY
E, 105, 322	
E, 323, 115	CERIG, 85, 311, UX, UY
	CERIG, 312, 95, UX, UY
E, 45, 278	CERIG, 95, 334, UX, UY
E, 279, 55	CERIG, 333, 105, UX, UY
E, 55, 301	CERIG, 105, 322, UX, UY
E, 300, 65	CERIG, 323, 115, UX, UY
E, 65, 289	
E, 290, 75	CERIG, 45, 278, UX, UY
	CERIG, 279, 55, UX, UY
E, 2, 245	CERIG, 55, 301, UX, UY
E, 246, 13	CERIG, 300, 65, UX, UY
E, 13, 268	CERIG, 65, 289, UX, UY
E, 267, 24	CERIG, 290, 75, UX, UY
E, 24, 256	
E, 257, 35	CERIG, 2, 245, UX, UY
	CERIG, 246, 13, UX, UY
CERIG, 205, 410, UX, UY	CERIG, 13, 268, UX, UY
CERIG, 411, 215, UX, UY	CERIG, 267, 24, UX, UY

```

CERIG,24,256,UX,UY
CERIG,257,35,UX,UY                                DMPRAT,0.05

!..... SRSS
!MODOS DE VIBRACION
!..... SOLVE
                                           FINISH

FINISH
/SOL                                           /POST1
ANTYPE,2                                       /INP,,mcom
MODEOPT,LANB,100                             SET,LIST
EQSLV,SPARSE                                PRNSOL,DOF
MXPAND,100,, ,1                             PLNSOL,U,X,1,10
LUMPM,0                                       PLDISP,0
PSTRES,0
MODEOPT,LANB,100,0,100,,OFF                 !60 PISO
                                           /EFACET,1
/STATUS,SOLU                                PLNSOL, U,X, 0,1.0
SOLVE                                       /DSCALE,1,50
FINISH                                     /REPLOT
/POST1                                    ESEL,S,REAL,,8
SET,LIST                                  /REPLOT
                                           /REP,FAST

/DSCALE,1,500

!.....
!ANALISIS SISMICO X
!.....

/SOLU
/OUTPUT,SISMO_X.txt
ANTYPE,SPECTR
SED,1,0,0
SVTYP,2

!ESPECTRO DE DISEÑO
FREQ,0.2,1,1.667,6.25,10,12.5,20,
33.33,100
SV,0.05,0.1823,2.279,3.798,3.798,
3.798,3.32,2.602,2.124,1.646

```

```

• Caso 6 plantas con vanos de 7 metros de luz
finish
/CLEAR
/REPLOT,RESIZE
/PREP7

/RGB,INDEX,100,100,100, 0
/RGB,INDEX, 80, 80, 80,13
/RGB,INDEX, 60, 60, 60,14
/RGB,INDEX, 0, 0, 0,15

/GO
/COM,
/COM,Preferences for GUI filtering
have been set to display:
/COM, Structural

!VARIABLES
N=6
!NUMERO DE PISOS
H=4
!Altura
L=7
!Luz

!-----
!MATERIAL
!-----

ET,4,BEAM3
ET,2,LINK1
MP,EX,1,210e9
MP,DENS,1,1

MP,EX,2,210e9
MP,DENS,2,7850

MP,EX,4,210E9
MP,PRXY,4,0.3
MP,DENS,4,7850

!-----
!SECCIONES
!-----

!MASAS kg/m
MT=(4.7)*(3)*1000/10
ME=(6.3)*(3)*1000/10

!HEB340
A1=170.9e-4
I1=36660e-8
h1=0.340
R,1,A1,I1,h1

!HEB280
A2=131.4e-4
I2=19270e-8
h2=0.280
R,2,A2,I2,h2

!HEB240
A3=106e-4
I3=11260e-8
h3=0.240
R,3,A3,I3,h3

!HEB220
A4=91e-4
I4=8091e-8
h4=0.220
R,4,A4,I4,h4

```

```

!HEB180
A5=65.3e-4
I5=3831e-8
h5=0.180
R, 5, A5, I5, h5

!HEB180
A6=65.3e-4
I6=3831e-8
h6=0.180
R, 6, A6, I6, h6

!IPE330
A7=62.6e-4
I7=11770e-8
h7=0.330
R, 7, A7, I7, h7, , , ME

!IPE270
A8=45.9e-4
I8=5790e-8
h8=0.270
R, 8, A8, I8, h8, , , MT

A9=11e-4
R, 9, A9,

!-----
!GEOMETRIA
!-----
R=5

*DO, J, 0, N
K, 1+4*J, 0, H*J,
K, 2+4*J, L, H*J,
K, 3+4*J, 2*L, H*J,
K, 4+4*J, 3*L, H*J,
*ENDDO

*DO, J, 1, N
K, 106+4*(J-1), L, H*J, R
K, 107+4*(J-1), 2*L, H*J, R
*ENDDO

*DO, J, 1, N
K, 55+4*(J-1), 0, H*J, -R
K, 56+4*(J-1), L, H*J, -R
K, 57+4*(J-1), 2*L, H*J, -R
K, 58+4*(J-1), 3*L, H*J, -R
*ENDDO

!VERTICALES
*DO, J, 0, N-1
LSTR, 1+4*J, 5+4*J
LSTR, 2+4*J, 6+4*J
LSTR, 3+4*J, 7+4*J
LSTR, 4+4*J, 8+4*J
*ENDDO

!HORIZONTALES
*DO, J, 1, N
LSTR, 55+4*(J-1), 56+4*(J-1)
LSTR, 57+4*(J-1), 58+4*(J-1)
LSTR, 107+4*(J-1), 106+4*(J-1)
*ENDDO

!-----
!ASIGNACION DE CADA ELEMENTO
!-----

!Verticales 1-24
*DO, J, 0, N-1
LSEL, , , , 1+4*J, 4+4*J
LATT, 4, J+1, 4, , , , J+1
*ENDDO

```

```

!Horizontales 25-39
*DO,J,0,N-2
LSEL,, , ,25+3*J,27+3*J
LATT,4,7,4, , , ,7
*ENDDO

!Horizontales 40-42
LSEL,, , ,40,42
LATT,4,8,4, , , ,8

allsel

!-----
!MALLADO
!-----

DIV=10
LESIZE,ALL,, ,DIV
lmesh,all

!-----
!CRUCES SA
!-----

*DO,J,0,N-1
LSTR,2+4*J,7+4*J
LSTR,6+4*J,3+4*J
*ENDDO

!Horizontales 43-54
LSEL,, , ,43,54
LATT,2,9,2, , , ,9
LESIZE,ALL,, ,1
LMESH,ALL
LSEL,ALL

!-----
!ELEMENTOS COMBIN14
!-----

ET,3,COMBIN14
KEYOPT,3,3,1 ! Torsional spring

RIG=0

!IPE140 TECHO
R,11,(RIG*(210e9)*(I8)/3), , , ,0,0

TYPE,3
REAL,11

E,205,410
E,411,215
E,215,433
E,432,225
E,225,421
E,422,235

!IPE180 ENTREPLANTA
R,12,(RIG*(210e9)*(I7)/3), , , ,0,0

TYPE,3
REAL,12

```

E, 165, 377	CERIG, 225, 421, UX, UY
E, 378, 175	CERIG, 422, 235, UX, UY
E, 175, 400	
E, 399, 185	CERIG, 165, 377, UX, UY
E, 185, 388	CERIG, 378, 175, UX, UY
E, 389, 195	CERIG, 175, 400, UX, UY
	CERIG, 399, 185, UX, UY
E, 125, 344	CERIG, 185, 388, UX, UY
E, 345, 135	CERIG, 389, 195, UX, UY
E, 135, 367	
E, 366, 145	CERIG, 125, 344, UX, UY
E, 145, 355	CERIG, 345, 135, UX, UY
E, 356, 155	CERIG, 135, 367, UX, UY
	CERIG, 366, 145, UX, UY
E, 85, 311	CERIG, 145, 355, UX, UY
E, 312, 95	CERIG, 356, 155, UX, UY
E, 95, 334	
E, 333, 105	CERIG, 85, 311, UX, UY
E, 105, 322	CERIG, 312, 95, UX, UY
E, 323, 115	CERIG, 95, 334, UX, UY
	CERIG, 333, 105, UX, UY
E, 45, 278	CERIG, 105, 322, UX, UY
E, 279, 55	CERIG, 323, 115, UX, UY
E, 55, 301	
E, 300, 65	CERIG, 45, 278, UX, UY
E, 65, 289	CERIG, 279, 55, UX, UY
E, 290, 75	CERIG, 55, 301, UX, UY
	CERIG, 300, 65, UX, UY
E, 2, 245	CERIG, 65, 289, UX, UY
E, 246, 13	CERIG, 290, 75, UX, UY
E, 13, 268	
E, 267, 24	CERIG, 2, 245, UX, UY
E, 24, 256	CERIG, 246, 13, UX, UY
E, 257, 35	CERIG, 13, 268, UX, UY
	CERIG, 267, 24, UX, UY
CERIG, 205, 410, UX, UY	CERIG, 24, 256, UX, UY
CERIG, 411, 215, UX, UY	CERIG, 257, 35, UX, UY
CERIG, 215, 433, UX, UY	
CERIG, 432, 225, UX, UY	

```

!.....
!MODOS DE VIBRACION                                DMPRAT,0.05
!.....

SRSS

FINISH
/SOL                                SOLVE
ANTYPE,2                            FINISH
MODEOPT,LANB,100
EQSLV,SPARSE                        /POST1
MXPAND,100,, ,1                    /INP,,mcom
LUMPM,0
PSTRES,0                            !60 PISO
MODEOPT,LANB,100,0,100,,OFF        /EFACET,1
PLNSOL, U,X, 0,1.0
/STATUS,SOLU                        /DSCALE,1,50
SOLVE                               /REPLOT
FINISH                              ESEL,S,REAL,,8
/POST1                              /REPLOT
SET,LIST                            /REP,FAST

/DSCALE,1,500

!.....
!ANALISIS SISMICO X
!.....

/SOLU
/OUTPUT,SISMO_X,txt
ANTYPE,SPECTR
SED,1,0,0
SVTYP,2

!ESPECTRO DE DISEÑO
FREQ,0.2,1,1.667,6.25,10,12.5,20,
33.33,100
SV,0.05,0.1823,2.279,3.798,3.798,
3.798,3.32,2.602,2.124,1.646

```

```

• Caso 6 plantas con vanos de 10 metros de luz
finish
/CLEAR
/REPLOT,RESIZE
/PREP7

/RGB,INDEX,100,100,100, 0
/RGB,INDEX, 80, 80, 80,13
/RGB,INDEX, 60, 60, 60,14
/RGB,INDEX, 0, 0, 0,15

/GO
/COM,
/COM,Preferences for GUI filtering
have been set to display:
/COM, Structural

!VARIABLES
N=6
!NUMERO DE PISOS
H=4
!Altura
L=10
!Luz

!-----
!MATERIAL
!-----

ET,4,BEAM3
ET,2,LINK1
MP,EX,1,210e9
MP,DENS,1,1

MP,EX,2,210e9
MP,DENS,2,7850

MP,EX,4,210E9
MP,PRXY,4,0.3

MP,DENS,4,7850

!MASAS kg/m
MT=(4.7)*(3)*1000/10
ME=(6.3)*(3)*1000/10

!HEB500
A1=238.6e-4
I1=107200e-8
h1=0.500
R,1,A1,I1,h1

!HEB340
A2=170.9e-4
I2=36660e-8
h2=0.340
R,2,A2,I2,h2

!HEB280
A3=131.4e-4
I3=19270e-8
h3=0.280
R,3,A3,I3,h3

!HEB240
A4=106e-4
I4=11260e-8
h4=0.240
R,4,A4,I4,h4

!HEB220
A5=91e-4
I5=8091e-8
h5=0.220
R,5,A5,I5,h5

```

!HEB200
 A6=78.1e-4
 I6=5696e-8
 h6=0.200
 R,6,A6,I6,h6

!IPE450
 A7=98.8e-4
 I7=33740e-8
 h7=0.450
 R,7,A7,I7,h7,,,ME

!IPE360
 A8=334.6e-4
 I8=16270e-8
 h8=0.360
 R,8,A8,I8,h8,,,MT

A9=11e-4
 R,9,A9,

!-----
 !GEOMETRIA
 !-----
 R=5

*DO,J,0,N
 K,1+4*J,0,H*J,
 K,2+4*J,L,H*J,
 K,3+4*J,2*L,H*J,
 K,4+4*J,3*L,H*J,
 *ENDDO

*DO,J,1,N
 K,106+4*(J-1),L,H*J,R
 K,107+4*(J-1),2*L,H*J,R
 *ENDDO

*DO,J,1,N
 K,55+4*(J-1),0,H*J,-R
 K,56+4*(J-1),L,H*J,-R
 K,57+4*(J-1),2*L,H*J,-R
 K,58+4*(J-1),3*L,H*J,-R
 *ENDDO

!VERTICALES
 *DO,J,0,N-1
 LSTR,1+4*J,5+4*J
 LSTR,2+4*J,6+4*J
 LSTR,3+4*J,7+4*J
 LSTR,4+4*J,8+4*J
 *ENDDO

!HORIZONTALES
 *DO,J,1,N
 LSTR,55+4*(J-1),56+4*(J-1)
 LSTR,57+4*(J-1),58+4*(J-1)
 LSTR,107+4*(J-1),106+4*(J-1)
 *ENDDO

!-----
 !ASIGNACION DE CADA ELEMENTO
 !-----

!Verticales 1-24
 *DO,J,0,N-1
 LSEL, , , ,1+4*J,4+4*J
 LATT,4,J+1,4, , , ,J+1
 *ENDDO

!Horizontales 25-39
 *DO,J,0,N-2
 LSEL, , , ,25+3*J,27+3*J
 LATT,4,7,4, , , ,7
 *ENDDO

```

!Horizontales 40-42
LSEL, , , , 40, 42
LATT, 4, 8, 4, , , , 8

allsel

!-----
!MALLADO
!-----

DIV=10
LESIZE, ALL, , , DIV
lmesh, all

!-----
!CRUCES SA
!-----

*DO, J, 0, N-1
LSTR, 2+4*J, 7+4*J
LSTR, 6+4*J, 3+4*J
*ENDDO

!Horizontales 43-54
LSEL, , , , 43, 54
LATT, 2, 9, 2, , , , 9
LESIZE, ALL, , , 1
LMESH, ALL
LSEL, ALL

!-----
!CONDICIONES DE CONTORNO
!-----

*DO, I, 1, 34, 11
D, I, UX, 0
D, I, UY, 0
D, I, ROTZ, 0
*ENDDO

```

```

!-----
!ELEMENTOS COMBIN14
!-----

ET, 3, COMBIN14
KEYOPT, 3, 3, 1 ! Torsional spring

RIG=0

!IPE140 TECHO
R, 11, (RIG*(210e9)*(I8)/3), , , , 0, 0

TYPE, 3
REAL, 11

E, 205, 410
E, 411, 215
E, 215, 433
E, 432, 225
E, 225, 421
E, 422, 235

!IPE180 ENTREPLANTA
R, 12, (RIG*(210e9)*(I7)/3), , , , 0, 0

TYPE, 3
REAL, 12

E, 165, 377
E, 378, 175
E, 175, 400
E, 399, 185
E, 185, 388
E, 389, 195

E, 125, 344
E, 345, 135
E, 135, 367
E, 366, 145

```

E, 145, 355	
E, 356, 155	CERIG, 125, 344, UX, UY
	CERIG, 345, 135, UX, UY
E, 85, 311	CERIG, 135, 367, UX, UY
E, 312, 95	CERIG, 366, 145, UX, UY
E, 95, 334	CERIG, 145, 355, UX, UY
E, 333, 105	CERIG, 356, 155, UX, UY
E, 105, 322	
E, 323, 115	CERIG, 85, 311, UX, UY
	CERIG, 312, 95, UX, UY
E, 45, 278	CERIG, 95, 334, UX, UY
E, 279, 55	CERIG, 333, 105, UX, UY
E, 55, 301	CERIG, 105, 322, UX, UY
E, 300, 65	CERIG, 323, 115, UX, UY
E, 65, 289	
E, 290, 75	CERIG, 45, 278, UX, UY
	CERIG, 279, 55, UX, UY
E, 2, 245	CERIG, 55, 301, UX, UY
E, 246, 13	CERIG, 300, 65, UX, UY
E, 13, 268	CERIG, 65, 289, UX, UY
E, 267, 24	CERIG, 290, 75, UX, UY
E, 24, 256	
E, 257, 35	CERIG, 2, 245, UX, UY
	CERIG, 246, 13, UX, UY
CERIG, 205, 410, UX, UY	CERIG, 13, 268, UX, UY
CERIG, 411, 215, UX, UY	CERIG, 267, 24, UX, UY
CERIG, 215, 433, UX, UY	CERIG, 24, 256, UX, UY
CERIG, 432, 225, UX, UY	CERIG, 257, 35, UX, UY
CERIG, 225, 421, UX, UY	
CERIG, 422, 235, UX, UY	!.....
	!MODOS DE VIBRACION
CERIG, 165, 377, UX, UY	!.....
CERIG, 378, 175, UX, UY	
CERIG, 175, 400, UX, UY	FINISH
CERIG, 399, 185, UX, UY	/SOL
CERIG, 185, 388, UX, UY	ANTYPE, 2
CERIG, 389, 195, UX, UY	MODOPT, LANB, 100

```

EQSLV,SPARSE                                /INP,,mcom
MXPAND,100,, ,1
LUMPM,0                                     !60 PISO
PSTRES,0                                    /EFACET,1
MODEOPT,LANB,100,0,100,,OFF                PLNSOL, U,X, 0,1.0
                                           /DSCALE,1,50
/STATUS,SOLU                                /REPLOT
SOLVE                                       ESEL,S,REAL,,8
FINISH                                     /REPLOT
/POST1                                    /REP,FAST
SET,LIST

/DSCALE,1,500

!.....
!ANALISIS SISMICO X
!.....

/SOLU
/OUTPUT,SISMO_X.txt
ANTYPE,SPECTR
SED,1,0,0
SVTYP,2

!ESPECTRO DE DISEÑO
FREQ,0.2,1,1.667,6.25,10,12.5,20,
33.33,100
SV,0.05,0.1823,2.279,3.798,3.798,
3.798,3.32,2.602,2.124,1.646

DMPRAT,0.05

SRSS

SOLVE
FINISH

/POST1

```

- Caso 12 plantas con vanos de 3 metros de luz

finish

/CLEAR

/REPLOT, RESIZE

/PREP7

/RGB, INDEX, 100, 100, 100, 0

/RGB, INDEX, 80, 80, 80, 13

/RGB, INDEX, 60, 60, 60, 14

/RGB, INDEX, 0, 0, 0, 15

/GO

/COM,

/COM, Preferences for GUI filtering
have been set to display:

/COM, Structural

!VARIABLES

N=12

!NUMERO DE PISOS

H=4

!Altura

L=3

!Luz

!-----

!MATERIAL

!-----

ET, 4, BEAM3

ET, 2, LINK1

MP, EX, 1, 210e9

MP, DENS, 1, 1

MP, EX, 2, 210e9

MP, DENS, 2, 7850

MP, EX, 4, 210E9

MP, PRXY, 4, 0.3

MP, DENS, 4, 7850

!-----

!SECCIONES

!-----

!MASAS kg/m

MT=(4.7)*(3)*1000/10

ME=(6.3)*(3)*1000/10

!HEB300

A1=149.1e-4

I1=25170e-8

h1=0.300

R, 1, A1, I1, h1

!HEB280

A2=131.4e-4

I2=19270e-8

h2=0.280

R, 2, A2, I2, h2

!HEB260

A3=118.4e-4

I3=14920e-8

h3=0.260

R, 3, A3, I3, h3

!HEB240

A4=106e-4

I4=11260e-8

h4=0.240

R, 4, A4, I4, h4

```

!HEB240
A5=106e-4
I5=11260e-8
h5=0.240
R, 5, A5, I5, h5
    
```

```

!HEB120
A11=34e-4
I11=864.4e-8
h11=0.120
R, 11, A11, I11, h11
    
```

```

!HEB200
A6=78.1e-4
I6=5696e-8
h6=0.200
R, 6, A6, I6, h6
    
```

```

!HEB100
A12=26e-4
I12=449.5e-8
h12=0.100
R, 12, A12, I12, h12
    
```

```

!HEB200
A7=78.1e-4
I7=5696e-8
h7=0.200
R, 7, A7, I7, h7
    
```

```

!IPE200
A13=28.5e-4
I13=1943e-8
h13=0.200
R, 13, A13, I13, h13, , , ME
    
```

```

!HEB180
A8=65.3e-4
I8=3831e-8
h8=0.180
R, 8, A8, I8, h8
    
```

```

!IPE140
A14=16.4e-4
I14=541e-8
h14=0.140
R, 14, A14, I14, h14, , , MT
    
```

```

!HEB160
A9=54.3e-4
I9=2492e-8
h9=0.160
R, 9, A9, I9, h9
    
```

```

A15=11e-4
R, 15, A15,
    
```

```

!-----
!GEOMETRIA
!-----
    
```

```

!HEB140
A10=43e-4
I10=1509e-8
h10=0.140
R, 10, A10, I10, h10
    
```

```

R=5
*DO, J, 0, N
K, 1+4*J, 0, H*J,
K, 2+4*J, L, H*J,
K, 3+4*J, 2*L, H*J,
K, 4+4*J, 3*L, H*J,
*ENDDO
    
```

```
*DO, J, 1, N
K, 106+4* (J-1) , L, H*J, R
K, 107+4* (J-1) , 2*L, H*J, R
*ENDDO
*DO, J, 1, N
K, 55+4* (J-1) , 0, H*J, -R
K, 56+4* (J-1) , L, H*J, -R
K, 57+4* (J-1) , 2*L, H*J, -R
K, 58+4* (J-1) , 3*L, H*J, -R
*ENDDO
```

```
!VERTICALES
```

```
*DO, J, 0, N-1
LSTR, 1+4*J, 5+4*J
LSTR, 2+4*J, 6+4*J
LSTR, 3+4*J, 7+4*J
LSTR, 4+4*J, 8+4*J
*ENDDO
```

```
!HORIZONTALES
```

```
*DO, J, 1, N
LSTR, 55+4* (J-1) , 56+4* (J-1)
LSTR, 57+4* (J-1) , 58+4* (J-1)
LSTR, 107+4* (J-1) , 106+4* (J-1)
*ENDDO
```

```
!-----
!ASIGNACION DE CADA ELEMENTO
!-----
```

```
!Verticales 1-24
```

```
*DO, J, 0, N-1
LSEL, , , , 1+4*J, 4+4*J
LATT, 4, J+1, 4, , , , J+1
*ENDDO
```

```
!Horizontales 49-81
```

```
*DO, J, 0, N-2
LSEL, , , , 49+3*J, 51+3*J
LATT, 4, 13, 4, , , , 13
*ENDDO
!Horizontales 82-84
LSEL, , , , 82, 84
LATT, 4, 14, 4, , , , 14
allsel
```

```
!-----
!MALLADO
!-----
```

```
DIV=10
LESIZE, ALL, , , DIV
lmesh, all
```

```
!-----
!CRUCES SA
!-----
```

```
*DO, J, 0, N-1
LSTR, 2+4*J, 7+4*J
LSTR, 6+4*J, 3+4*J
*ENDDO
```

```
LSTR, 45, 50
LSTR, 46, 49
LSTR, 47, 52
LSTR, 48, 51
```

```
!Horizontales 85-108
```

```
LSEL, , , , 85, 112
LATT, 2, 15, 2, , , , 15
LESIZE, ALL, , , 1
LMESH, ALL
LSEL, ALL
```

```

!-----
!CONDICIONES DE CONTORNO
!-----

*DO, I, 1, 34, 11
D, I, UX, 0
D, I, UY, 0
D, I, ROTZ, 0
*ENDDO

E, 2, 485
E, 486, 13
E, 13, 508
E, 507, 24
E, 24, 496
E, 497, 35

ET, 3, COMBIN14
KEYOPT, 3, 3, 1 ! Torsional spring

RIG=0

!IPE140 TECHO
R, 16, (RIG*(210e9)*(I14)/3), , , , 0, 0

TYPE, 3
REAL, 16

E, 445, 848
E, 849, 455
E, 455, 871
E, 870, 465
E, 465, 859
E, 860, 475

*DO, I, 0, 9, 1
CERIG, 405-40*I, 815-33*I, UX, UY
CERIG, 816-33*I, 415-40*I, UX, UY
CERIG, 415-40*I, 838-33*I, UX, UY
CERIG, 837-33*I, 425-40*I, UX, UY
CERIG, 425-40*I, 826-33*I, UX, UY
CERIG, 827-33*I, 435-40*I, UX, UY
*ENDDO

!IPE180 ENTREPLANTA
R, 17, (RIG*(210e9)*(I13)/3), , , , 0, 0

TYPE, 3
REAL, 17

CERIG, 2, 485, UX, UY
CERIG, 486, 13, UX, UY
CERIG, 13, 508, UX, UY
CERIG, 507, 24, UX, UY
CERIG, 24, 496, UX, UY
CERIG, 497, 35, UX, UY

```

```

!.....
!MODOS DE VIBRACION                                DMPRAT,0.05
!.....

SRSS

FINISH
/SOL                                         SOLVE
ANTYPE,2                                     FINISH
MODEOPT,LANB,100
EQSLV,SPARSE                                /POST1
MXPAND,100,, ,1                             /INP,,mcom
LUMPM,0
PSTRES,0                                    !120 PISO
MODEOPT,LANB,100,0,100,,OFF                /EFACET,1
                                           PLNSOL, U,X, 0,1.0
                                           /DSCALE,1,50
/SOLU                                       /REPLOT
SOLVE                                       ESEL,S,REAL,,14
FINISH                                     /REPLOT
/POST1                                    /REP,FAST
SET,LIST

/DSCALE,1,500

!.....
!ANALISIS SISMICO X
!.....

/SOLU
/OUTPUT,SISMO_X,txt
ANTYPE,SPECTR
SED,1,0,0
SVTYP,2

!ESPECTRO DE DISEÑO
FREQ,0.2,1,1.667,6.25,10,12.5,20,
33.33,100
SV,0.05,0.1823,2.279,3.798,3.798,
3.798,3.32,2.602,2.124,1.646

```

- Caso 12 plantas con vanos de 7 metros de luz

```

finish                                !-----
/CLEAR                                !SECCIONES
/REPLOT,RESIZE                         !-----
/PREP7

                                         !MASAS kg/m
/RGB,INDEX,100,100,100, 0             MT=(4.7)*(3)*1000/10
/RGB,INDEX, 80, 80, 80,13             ME=(6.3)*(3)*1000/10
/RGB,INDEX, 60, 60, 60,14
/RGB,INDEX, 0, 0, 0,15                !HEB650
                                         A1=286.3e-4
/GO                                    I1=210600e-8
/COM,                                  h1=0.650
/COM,Preferences for GUI filtering     R,1,A1,I1,h1
have been set to display:
/COM,  Structural                      !HEB500
                                         A2=238.6e-4
!VARIABLES                            I2=107200e-8
N=12                                   h2=0.500
!NUMERO DE PISOS                      R,2,A2,I2,h2
H=4
!Altura                               !HEB450
L=7                                    A3=218e-4
!Luz                                  I3=79890e-8
                                         h3=0.450
!-----                              R,3,A3,I3,h3
!MATERIAL
!-----

ET,4,BEAM3                            !HEB400
ET,2,LINK1                             A4=197.8e-4
MP,EX,1,210e9                          I4=57680e-8
MP,DENS,1,1                            h4=0.400
                                         R,4,A4,I4,h4

                                         !HEB360
MP,EX,2,210e9                          A5=180.6e-4
MP,DENS,2,7850                         I5=43190e-8
MP,EX,4,210E9                         h5=0.360
MP,PRXY,4,0.3                         R,5,A5,I5,h5
MP,DENS,4,7850

```

```

!HEB300
A6=149.1e-4
I6=25170e-8
h6=0.300
R,6,A6,I6,h6

```

```

!HEB300
A7=149.1e-4
I7=25170e-8
h7=0.300
R,7,A7,I7,h7

```

```

!HEB260
A8=118.4e-4
I8=14920e-8
h8=0.260
R,8,A8,I8,h8

```

```

!HEB240
A9=106e-4
I9=11260e-8
h9=0.240
R,9,A9,I9,h9

```

```

!HEB200
A10=78.1e-4
I10=5696e-8
h10=0.200
R,10,A10,I10,h10

```

```

!HEB200
A11=78.1e-4
I11=5696e-8
h11=0.200
R,11,A11,I11,h11

```

```

!HEB180
A12=65.3e-4
I12=3831e-8
h12=0.180
R,12,A12,I12,h12

```

```

!IPE360
A13=72.7e-4
I13=16270e-8
h13=0.360
R,13,A13,I13,h13,,,ME

```

```

!IPE270
A14=45.9e-4
I14=5790e-8
h14=0.270
R,14,A14,I14,h14,,,MT

```

```

A15=11e-4
R,15,A15,

```

```

!-----
!GEOMETRIA
!-----
R=5

```

```

*DO,J,0,N
K,1+4*J,0,H*J,
K,2+4*J,L,H*J,
K,3+4*J,2*L,H*J,
K,4+4*J,3*L,H*J,
*ENDDO

*DO,J,1,N
K,106+4*(J-1),L,H*J,R
K,107+4*(J-1),2*L,H*J,R
*ENDDO

```

```

*DO,J,1,N                                !Horizontales 82-84
K,55+4*(J-1),0,H*J,-R                    LSEL, , , ,82,84
K,56+4*(J-1),L,H*J,-R                    LATT,4,14,4, , , ,14
K,57+4*(J-1),2*L,H*J,-R
K,58+4*(J-1),3*L,H*J,-R                    allsel
*ENDDO

!-----
!VERTICALES                               !MALLADO
*DO,J,0,N-1                               !-----
LSTR,1+4*J,5+4*J
LSTR,2+4*J,6+4*J                          DIV=10
LSTR,3+4*J,7+4*J                          LESIZE,ALL, , ,DIV
LSTR,4+4*J,8+4*J                          lmesh,all
*ENDDO

!-----
!HORIZONTALES                             !CRUCES SA
*DO,J,1,N                               !-----
LSTR,55+4*(J-1),56+4*(J-1)
LSTR,57+4*(J-1),58+4*(J-1)                *DO,J,0,N-1
LSTR,107+4*(J-1),106+4*(J-1)              LSTR,2+4*J,7+4*J
*ENDDO                                      LSTR,6+4*J,3+4*J
*ENDDO                                      *ENDDO

!-----
!ASIGNACION DE CADA ELEMENTO              !Horizontales 85-108
!-----                                  LSEL, , , ,85,108
                                           LATT,2,15,2, , , ,15
                                           LESIZE,ALL, , ,1
                                           LMESH,ALL
                                           LSEL,ALL

!-----
!Verticales 1-24                          !CONDICIONES DE CONTORNO
*DO,J,0,N-1                               !-----
LSEL, , , ,1+4*J,4+4*J
LATT,4,J+1,4, , , ,J+1
*ENDDO

!Horizontales 49-81                       *DO,I,1,34,11
*DO,J,0,N-2                               D,I,UX,0
LSEL, , , ,49+3*J,51+3*J                 D,I,UY,0
LATT,4,13,4, , , ,13                     D,I,ROTZ,0
*ENDDO                                     *ENDDO

```

```

!-----
!ELEMENTOS COMBIN14
!-----
E, 2, 485
E, 486, 13
E, 13, 508
ET, 3, COMBIN14
E, 507, 24
KEYOPT, 3, 3, 1 ! Torsional spring
E, 24, 496
E, 497, 35

RIG=0

CERIG, 445, 848, UX, UY
!IPE140 TECHO
CERIG, 849, 455, UX, UY
R, 16, (RIG*(210e9)*(I14)/3),,,,0,0
CERIG, 455, 871, UX, UY
CERIG, 870, 465, UX, UY
TYPE, 3
CERIG, 465, 859, UX, UY
REAL, 16
CERIG, 860, 475, UX, UY

E, 445, 848
*DO, I, 0, 9, 1
E, 849, 455
CERIG, 405-40*I, 815-33*I, UX, UY
E, 455, 871
CERIG, 816-33*I, 415-40*I, UX, UY
E, 870, 465
CERIG, 415-40*I, 838-33*I, UX, UY
E, 465, 859
CERIG, 837-33*I, 425-40*I, UX, UY
E, 860, 475
CERIG, 425-40*I, 826-33*I, UX, UY
CERIG, 827-33*I, 435-40*I, UX, UY

!IPE180 ENTREPLANTA
*ENDDO
R, 17, (RIG*(210e9)*(I13)/3),,,,0,0

CERIG, 2, 485, UX, UY
TYPE, 3
CERIG, 486, 13, UX, UY
REAL, 17
CERIG, 13, 508, UX, UY
CERIG, 507, 24, UX, UY
CERIG, 24, 496, UX, UY
*DO, I, 0, 9, 1
CERIG, 497, 35, UX, UY
E, 405-40*I, 815-33*I
E, 816-33*I, 415-40*I
E, 415-40*I, 838-33*I
E, 837-33*I, 425-40*I
E, 425-40*I, 826-33*I
E, 827-33*I, 435-40*I
*ENDDO

```

```

!..... DMPRAT,0.05
!MODOS DE VIBRACION
!..... SRSS

SOLVE
FINISH
/SOL
ANTYPE,2 /POST1
MODOPT,LANB,100 /INP,,mcom
EQSLV,SPARSE
MXPAND,100,, ,1 !120 PISO
LUMPM,0 /EFACET,1
PSTRES,0 PLNSOL, U,X, 0,1.0
MODOPT,LANB,100,0,100,,OFF /DSCALE,1,50
/REPLOT
/STATUS,SOLU ESEL,S,REAL,,14
SOLVE /REPLOT
FINISH /REP,FAST

/POST1
SET,LIST

/DSCALE,1,500

!.....
!ANALISIS SISMICO X
!.....

/SOLU
/OUTPUT,SISMO_X.txt
ANTYPE,SPECTR
SED,1,0,0
SVTYP,2

!ESPECTRO DE DISEÑO
FREQ,0.2,1,1.667,6.25,10,12.5,20,
33.33,100
SV,0.05,0.1823,2.279,3.798,3.798,
3.798,3.32,2.602,2.124,1.646

```

```

• Caso 12 plantas con vanos de 10 metros de luz
finish
/CLEAR
/REPLOT,RESIZE
/PREP7

/RGB,INDEX,100,100,100, 0
/RGB,INDEX, 80, 80, 80,13
/RGB,INDEX, 60, 60, 60,14
/RGB,INDEX, 0, 0, 0,15

/GO
/COM,
/COM,Preferences for GUI filtering
have been set to display:
/COM, Structural

!VARIABLES
N=12
!NUMERO DE PISOS
H=4
!Altura
L=10
!Luz

!-----
!MATERIAL
!-----

ET,4,BEAM3
ET,2,LINK1
MP,EX,1,210e9
MP,DENS,1,1

MP,EX,2,210e9
MP,DENS,2,7850

MP,EX,4,210E9
MP,PRXY,4,0.3
MP,DENS,4,7850

!-----
!SECCIONES
!-----

!MASAS kg/m
MT=(4.7)*(3)*1000/10
ME=(6.3)*(3)*1000/10

!HEB900
A1=371.3e-4
I1=494100e-8
h1=0.900
R,1,A1,I1,h1

!HEB700
A2=306.4e-4
I2=256900e-8
h2=0.700
R,2,A2,I2,h2

!HEB600
A3=270e-4
I3=171000e-8
h3=0.600
R,3,A3,I3,h3

!HEB450
A4=218e-4
I4=79890e-8
h4=0.450
R,4,A4,I4,h4

```

!HEB450
A5=218e-4
I5=79890e-8
h5=0.450
R, 5, A5, I5, h5

!HEB280
A11=131.4e-4
I11=19270e-8
h11=0.280
R, 11, A11, I11, h11

!HEB400
A6=197.8e-4
I6=57680e-8
h6=0.400
R, 6, A6, I6, h6

!HEB220
A12=91e-4
I12=8091e-8
h12=0.220
R, 12, A12, I12, h12

!HEB360
A7=180.6e-4
I7=43190e-8
h7=0.360
R, 7, A7, I7, h7

!IPE500
A13=116e-4
I13=48200e-8
h13=0.500
R, 13, A13, I13, h13, , , ME

!HEB340
A8=170.9e-4
I8=36660e-8
h8=0.340
R, 8, A8, I8, h8

!IPE360
A14=72.7e-4
I14=16270e-8
h14=0.360
R, 14, A14, I14, h14, , , MT

!HEB340
A9=170.9e-4
I9=36660e-8
h9=0.340
R, 9, A9, I9, h9

A15=11e-4
R, 15, A15,
!-----
!GEOMETRIA
!-----
R=5

!HEB320
A10=161.3e-4
I10=30820e-8
h10=0.320
R, 10, A10, I10, h10

*DO, J, 0, N
K, 1+4*J, 0, H*J,
K, 2+4*J, L, H*J,
K, 3+4*J, 2*L, H*J,
K, 4+4*J, 3*L, H*J,
*ENDDO

```
*DO, J, 1, N
K, 106+4* (J-1) , L, H*J, R
K, 107+4* (J-1) , 2*L, H*J, R
*ENDDO
*DO, J, 1, N
K, 55+4* (J-1) , 0, H*J, -R
K, 56+4* (J-1) , L, H*J, -R
K, 57+4* (J-1) , 2*L, H*J, -R
K, 58+4* (J-1) , 3*L, H*J, -R
*ENDDO
```

```
!VERTICALES
```

```
*DO, J, 0, N-1
LSTR, 1+4*J, 5+4*J
LSTR, 2+4*J, 6+4*J
LSTR, 3+4*J, 7+4*J
LSTR, 4+4*J, 8+4*J
*ENDDO
```

```
!HORIZONTALES
```

```
*DO, J, 1, N
LSTR, 55+4* (J-1) , 56+4* (J-1)
LSTR, 57+4* (J-1) , 58+4* (J-1)
LSTR, 107+4* (J-1) , 106+4* (J-1)
*ENDDO
```

```
!-----
!ASIGNACION DE CADA ELEMENTO
!-----
```

```
!Verticales 1-24
```

```
*DO, J, 0, N-1
LSEL, , , , 1+4*J, 4+4*J
LATT, 4, J+1, 4, , , , J+1
*ENDDO
```

```
!Horizontales 49-81
```

```
*DO, J, 0, N-2
LSEL, , , , 49+3*J, 51+3*J
LATT, 4, 13, 4, , , , 13
*ENDDO
```

```
!Horizontales 82-84
```

```
LSEL, , , , 82, 84
LATT, 4, 14, 4, , , , 14
```

```
allsel
```

```
!-----
```

```
!MALLADO
```

```
!-----
```

```
DIV=10
```

```
LESIZE, ALL, , , DIV
```

```
lmesh, all
```

```
!-----
```

```
!CRUCES SA
```

```
!-----
```

```
*DO, J, 0, N-1
```

```
LSTR, 2+4*J, 7+4*J
```

```
LSTR, 6+4*J, 3+4*J
```

```
*ENDDO
```

```
!Horizontales 85-108
```

```
LSEL, , , , 85, 108
```

```
LATT, 2, 15, 2, , , , 15
```

```
LESIZE, ALL, , , 1
```

```
LMESH, ALL
```

```
LSEL, ALL
```

```

!-----
!CONDICIONES DE CONTORNO
!-----

*DO, I, 1, 34, 11
D, I, UX, 0
D, I, UY, 0
D, I, ROTZ, 0
*ENDDO

E, 2, 485

!-----
!ELEMENTOS COMBIN14
!-----

ET, 3, COMBIN14
KEYOPT, 3, 3, 1 ! Torsional spring

RIG=0

!IPE140 TECHO
R, 16, (RIG*(210e9)*(I14)/3), , , , 0, 0

TYPE, 3
REAL, 16

E, 445, 848
E, 849, 455
E, 455, 871
E, 870, 465
E, 465, 859
E, 860, 475

!IPE180 ENTREPLANTA
R, 17, (RIG*(210e9)*(I13)/3), , , , 0, 0

TYPE, 3
REAL, 17

*DO, I, 0, 9, 1
E, 405-40*I, 815-33*I
E, 816-33*I, 415-40*I
E, 415-40*I, 838-33*I
E, 837-33*I, 425-40*I
E, 425-40*I, 826-33*I
E, 827-33*I, 435-40*I
*ENDDO

CERIG, 445, 848, UX, UY
CERIG, 849, 455, UX, UY
CERIG, 455, 871, UX, UY
CERIG, 870, 465, UX, UY
CERIG, 465, 859, UX, UY
CERIG, 860, 475, UX, UY

*DO, I, 0, 9, 1
CERIG, 405-40*I, 815-33*I, UX, UY
CERIG, 816-33*I, 415-40*I, UX, UY
CERIG, 415-40*I, 838-33*I, UX, UY
CERIG, 837-33*I, 425-40*I, UX, UY
CERIG, 425-40*I, 826-33*I, UX, UY
CERIG, 827-33*I, 435-40*I, UX, UY
*ENDDO

CERIG, 2, 485, UX, UY
CERIG, 486, 13, UX, UY
CERIG, 13, 508, UX, UY
CERIG, 507, 24, UX, UY
CERIG, 24, 496, UX, UY
CERIG, 497, 35, UX, UY

```

```

!..... DMPRAT,0.05
!MODOS DE VIBRACION
!..... SRSS

FINISH SOLVE
/SOL FINISH
ANTYPE,2
MODEOPT,LANB,100 /POST1
EQSLV,SPARSE /INP,,mcom
MXPAND,100,, ,1
LUMPM,0 !120 PISO
PSTRES,0 /EFACET,1
MODEOPT,LANB,100,0,100,,OFF PLNSOL, U,X, 0,1.0
/DSCALE,1,50
/STATUS,SOLU /REPLOT
SOLVE ESEL,S,REAL,,14
FINISH /REPLOT
/REP,FAST

/POST1
SET,LIST
/DSCALE,1,500

!.....
!ANALISIS SISMICO X
!.....

/SOLU
/OUTPUT,SISMO_X.txt
ANTYPE,SPECTR
SED,1,0,0
SVTYP,2

!ESPECTRO DE DISEÑO
FREQ,0.2,1,1.667,6.25,10,12.5,20,
33.33,100
SV,0.05,0.1823,2.279,3.798,3.798,
3.798,3.32,2.602,2.124,1.646

```