



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado
CURSO 2017/18

*ANÁLISIS AVANZADO DEL COMPORTAMIENTO
ESTRUCTURAL DE LA UNIÓN VIGA-PILAR
MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNA/O

Sandra Sanmartín Fernández

TUTORAS/ES

Ruth Gutiérrez Fernández

FECHA

JULIO 2018

Índice general

- TÍTULO Y RESUMEN
- DOCUMENTO I: MEMORIA
- DOCUMENTO II: PLANOS

TÍTULO Y RESUMEN

ANÁLISIS AVANZADO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA UNIÓN VIGA-PILAR MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.

En el presente proyecto se realizará un estudio del comportamiento estructural de diversas uniones soldadas viga pilar con distintos rigidizadores en la zona central del pilar.

Este estudio se llevará a cabo mediante el método de elementos finitos con el programa comercial ABAQUS. Para ello se realizarán distintos modelos de sólidos de los que se obtendrán las curvas momento rotación de las uniones.

Posteriormente se compararán los resultados obtenidos a partir del modelo de sólidos con dos modelos de vigas, uno de ellos en el que la unión será totalmente rígida y otro en el que la unión será un muelle rotacional.

Estos modelos apoyan el desarrollo de los ensayos experimentales que se van a realizar en el Laboratorio de Analisis Estructural, LAE, de la Universidade da Coruña.

ANÁLISE AVANZADA DO COMPORTAMENTO ESTRUCTURAL DA UNIÓN VIGA-PILAR MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.

No presente proxecto realizarase un estudo do comportamento estrutural de diversas unións soldadas viga-pilar con distintos rixidizadores na zona central do pilar.

Este estudo levarase a cabo mediante o método de elementos finitos co programa comercial ABAQUS. Para iso realizaranse distintos modelos de sólidos dos que se obterán curvas momento-rotación das unións.

Posteriormente compararanse os resultados obtidos a partir do modelo de sólidos con dous modelos de vigas, nun deles a unión será totalmente ríxida e noutro a unión será un muelle rotacional.

Estes modelos apoian o desenvolvemento dos ensaios experimentales que vanse a realizar no Laboratorio de Análise Estructural, LAE, da Universidade da Coruña.

ADVANCED ANALYSIS OF THE STRUCTURAL BEHAVIOR OF THE BEAM-COLUMN JOINT BY FINITE ELEMENTS METHOD.

Within the following project, a study of the structural behaviour of several beam-column welded joints with different stiffeners in the central area of the column will be developed.

This essay will be implemented by finite elements method with the commercial program ABAQUS. For this purpose, different models of solids will be realized in order to obtain the moment-rotation curves of the joints.

Subsequently, the results obtained from the model of solids will be compared with two models of beams, one of them in which the joint will be totally rigid and in the other the joint will have a rotational spring.

These models support the development of the experimental tests that will be carried out in the Structural Analysis Laboratory, LAE, of Universidade da Coruña.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2017/18**

*ANÁLISIS AVANZADA DEL COMPORTAMIENTO
ESTRUCTURAL DE LA UNIÓN VIGA-PILAR
MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS*

Grado en Ingeniería Mecánica

Documento I

MEMORIA

Índice

TÍTULO Y RESUMEN	3
1 ANTECEDENTES	9
2 OBJETIVOS.....	10
3 ALCANCE	11
4 INTRODUCCIÓN	12
4.1 Caracterización del comportamiento de las uniones semirrígidas	12
4.1.1 Clasificación de las uniones.....	13
4.2 Normativa	14
4.3 El método de los componentes.....	14
4.4 Métodos numéricos: método de los elementos finitos.	14
4.5 Análisis globales	15
5 VALIDACIÓN DEL MODELO DE ELEMENTOS FINITOS.....	17
5.1 Modelado con Abaqus y análisis del experimento E1B del panel superior	17
5.2 Comparativa de resultados.	23
6 ANÁLISIS NUMÉRICO DE UNIONES VIGA PILAR	28
6.1 Descripción de los modelos. Planos. Cartelas. Rigidizadores.	28
6.2 ANÁLISIS Y RESULTADOS	30
6.2.1 Método de análisis.....	30
6.2.2 Resultados.....	37
6.3 Caracterización del comportamiento uniones viga-pilar	44
7 ANÁLISIS POSTERIORES	58
7.1.1 Modelo con elementos viga comportamiento semirrígido.....	58
7.1.2 Modelo de vigas comportamiento rígido	61
7.1.3 Resultados y comparación.....	61
8 CONCLUSIONES	70
9 BIBLIOGRAFÍA	71

Índice de Figuras

Figura 1. Distribución elástica de momentos flectores en un pórtico simple. (Fuente: <i>Design of Joints in Steel and Composite Structures</i>).....	9
Figura 2. Unión y sus parámetros característicos.....	13
Figura 3. Curvas momento-rotación análisis global elástico a) Rígida, b) Articulada, c) Semirrígida.....	16
Figura 4. Diseño 3D viga, modelo para validación. (Fuente: elaboración propia).....	17
Figura 5. Definición del material de uno de los elementos. (Fuente: elaboración propia).....	18
Figura 6. Ensamblaje del modelo, destacando en colores las distintas secciones. (Fuente: elaboración propia).....	18
Figura 7. Detalle de la malla en la zona de unión. (Fuente: elaboración propia).....	19
Figura 8. Definición del Step. (Fuente: elaboración propia).....	19
Figura 9. Superficie marcada como sólido rígido para la colocación de la carga. (Fuente: elaboración propia).....	20
Figura 10. Superficie definida como sólido rígido para la condición del apoyo. (Fuente: elaboración propia).....	20
Figura 11. Condición de apoyo de los extremos del pilar, donde se impiden los desplazamientos. (Fuente: elaboración propia).....	21
Figura 12. Superficie a raíz de la cual se hace la simetría del modelo. (Fuente: elaboración propia).....	21
Figura 13. Definición de la carga (Fuente: elaboración propia).....	22
Figura 14. Sets implementados para obtener los desplazamientos que nos interesan (Fuente: elaboración propia).....	22
Figura 15. Curva momento-rotación correspondiente al panel superior del modelo de elementos finitos para validarla. (Fuente: elaboración propia).....	23
Figura 16. Diagrama momento rotación correspondiente al panel superior del modelo de validación. (Fuente: artículo "Shear behaviour of stiffened double rectangular column panels").....	24
Figura 17. Detalle del modelo de validación antes de que plastificase el panel. (Fuente: elaboración propia).....	24
Figura 18. Detalle del modelo de validación después de haberse producido la plastificación. (Fuente: elaboración propia).....	25
Figura 19. Tensiones cortantes elásticas. (Fuente: artículo "Shear ehavior of stiffened double rectangular column panels").....	25
Figura 20. Tensiones elásticas en el modelo de validación. (Fuente: elaboración propia).....	26
Figura 21. Tensiones cortantes inelásticas modelo de validación. (Fuente: artículo "Shear behavior of stiffened double rectangular column panels").....	27
Figura 22. Tensiones cortantes inelásticas modelo de validación. (Fuente: elaboración propia).....	27
Figura 23. Modelo 1. Unión viga-pilar con cartela (Fuente: elaboración propia).....	28
Figura 24. Modelo 2. Unión viga-pilar con dos rigidizadores. (Fuente: elaboración propia).....	29
Figura 25. Modelo 3. Unión viga-pilar con tres rigidizadores. (Fuente: elaboración propia).....	29
Figura 26. Modelo 4. Unión viga-pilar con rigidizador en diagonal. (Fuente: elaboración propia).....	30
Figura 27. Cortes realizados en el pilar para el caso del Modelo 1. (Fuente: elaboración propia).....	31
Figura 28. Mallado del modelo 1, una vez ensamblado el modelo. (Fuente: elaboración propia).....	32
Figura 29. Detalle puntos escogidos para el cálculo de desplazamientos modelo 1. (Fuente: elaboración propia).....	32
Figura 30. Malla modelo 2 una vez ensamblado. (Fuente: elaboración propia).....	33
Figura 31 Detalle puntos escogidos para el cálculo de desplazamientos modelo 2. (Fuente: elaboración propia).....	34
Figura 32. Malla modelo 3 una vez ensamblado. (Fuente: elaboración propia).....	34
Figura 33. Detalle puntos escogidos para el cálculo de desplazamientos modelo 3. (Fuente: elaboración propia).....	35
Figura 34. Rigidizador diagonal que irá colocado en el pilar en el modelo 4. (Fuente: elaboración propia).....	35
Figura 35. Malla modelo 4 una vez ensamblado. (Fuente: elaboración propia).....	36
Figura 36. Detalle puntos escogidos para el cálculo de desplazamientos modelo 4. (Fuente: elaboración propia).....	36
Figura 37. Comparación de los diagramas momento-rotación de las 4 uniones.....	37
Figura 38. Detalle del modelo 1 antes de producirse la plastificación, se muestra la unión desde dos perspectivas. (Fuente: elaboración propia).....	38
Figura 39. Detalle del modelo 1 al producirse la plastificación del panel. (Fuente: elaboración propia).....	39
Figura 40. Detalle del modelo 2, antes de producirse la plastificación. (Fuente: elaboración propia).....	40
Figura 41. Detalle del modelo 2, después de producirse la plastificación. (Fuente: elaboración propia).....	41
Figura 42. Detalle del modelo 3 antes de producirse la plastificación del panel superior. (Fuente: elaboración propia).....	42

Índice de figuras

Sandra Sanmartín Fernández

Figura 43. Detalle del modelo 3 después de producirse la plastificación del panel superior.....	42
Figura 44. Detalle del modelo 4, antes de producirse la plastificación. (Fuente: elaboración propia)	43
Figura 45. Detalle del modelo 4, después de producirse la plastificación. (Fuente: elaboración propia)	44
Figura 46. Desplazamientos verticales del modelo 1 antes de plastificar. (Fuente: elaboración propia).....	46
Figura 47. Desplazamientos horizontales en el extremo de la viga antes de plastificar modelo 1. (Fuente: elaboración propia) 46	
Figura 48. Desplazamientos verticales modelo 1 después de plastificar. (Fuente: elaboración propia).....	47
Figura 49. Desplazamientos horizontales extremo de la viga modelo 1 después de plastificar. (Fuente: elaboración propia)	47
Figura 50. Desplazamientos verticales modelo 2 antes de plastificar. (Fuente: elaboración propia)	48
Figura 51. Desplazamientos horizontales extremo de la viga modelo 2 antes de plastificar. (Fuente: elaboración propia).....	48
Figura 52. Desplazamientos verticales modelo 2 después de plastificar. (Fuente: elaboración propia).....	49
Figura 53. Desplazamientos horizontales extremo viga modelo 2 después de plastificar. (Fuente: elaboración propia)	49
Figura 54. Desplazamientos verticales modelo 3 antes de plastificar. (Fuente: elaboración propia)	50
Figura 55. Desplazamientos horizontales extremo viga modelo 3 antes de plastificar. (Fuente: elaboración propia)	50
Figura 56. Desplazamientos verticales modelo 3 después de plastificar (Fuente: elaboración propia).....	51
Figura 57. Desplazamientos horizontales extremo viga modelo 3 después de plastificar. (Fuente: elaboración propia)	51
Figura 58. Desplazamientos verticales modelo 4 antes de plastificar. (Fuente: elaboración propia)	52
Figura 59. Desplazamientos horizontales en el extremo de la viga antes de producirse la plastificación. (Fuente: elaboración propia).....	52
Figura 60. Desplazamientos verticales modelo 4 después de producirse la plastificación. (Fuente: elaboración propia)	53
Figura 61. Desplazamientos horizontales extremo viga modelo 4 después de plastificar. (Fuente: elaboración propia)	53
Figura 62. Tensiones cortantes régimen elástico modelo 1. (Fuente: elaboración propia)	54
Figura 63. Tensiones cortantes régimen plástico modelo 1. (Fuente: elaboración propia)	54
Figura 64. Tensiones cortantes régimen elástico modelo 2. (Fuente: elaboración propia)	55
Figura 65. Tensiones cortantes régimen plástico modelo 2. (Fuente: elaboración propia)	55
Figura 66. Tensiones cortantes régimen elástico modelo 3. (Fuente: elaboración propia)	56
Figura 67. Tensiones cortantes régimen plástico modelo 3. (Fuente: elaboración propia)	56
Figura 68. Tensiones cortantes régimen elástico modelo 4. (Fuente: elaboración propia)	57
Figura 69. Tensiones cortantes régimen plástico modelo 4. (Fuente: elaboración propia)	57
Figura 70. Boceto pilar (izquierda) y boceto viga (derecha). (Fuente: elaboración propia)	58
Figura 71. Perfiles utilizados para las secciones. (Fuente: elaboración propia)	59
Figura 72. Definiendo el conector entre viga y pilar	59
Figura 73. Comportamiento del conector.....	60
Figura 74. Implementación de la carga.....	60
Figura 75. Condición de atado.	61
Figura 76. Desplazamientos verticales modelo semirrígido deformada exagerada. (Fuente: elaboración propia).....	62
Figura 77. Giros modelo semirrígido deformada exagerada. (Fuente: elaboración propia)	62
Figura 78. Desplazamientos verticales modelo de vigas rígido. (Fuente: elaboración propia).....	63
Figura 79. Giros modelo de vigas rígido, deformada exagerada. (Fuente: elaboración propia).....	63
Figura 80. Distribución de axiles en la viga y en el pilar en el modelo de vigas con nudo semirrígido (Fuente: elaboración propia)	64
Figura 81. Distribución de cortantes en la viga y en el pilar en el modelo de vigas con nudo semirrígido (Fuente: elaboración propia).....	65
Figura 82. Distribución de momentos en la viga y en el pilar en el modelo de vigas con nudo semirrígido (Fuente: elaboración propia).....	66
Figura 83. Equilibrio en la unión del modelo de vigas con nudo semirrígido. (Fuente: elaboración propia)	66
Figura 84. Distribución de axiles en la viga y en el pilar en el modelo de vigas con nudo rígido (Fuente: elaboración propia) ...	67
Figura 85. Distribución de cortantes en la viga y en el pilar en el modelo de vigas con nudo rígido (Fuente: elaboración propia).....	68
Figura 86. Distribución de momento en la viga y en el pilar en el modelo de vigas con nudo rígido (Fuente: elaboración propia).....	69
Figura 87. Equilibrio en la unión de vigas rígida. (Fuente: elaboración propia)	69

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de las uniones (Fuente: traducida de "Eurocode 3").....	12
Tabla 2. Rigideces iniciales y momentos últimos de las uniones	44
Tabla 3. Comparativa de desplazamientos y giros entre modelo de sólidos y de vigas.	64

1 ANTECEDENTES

Frecuentemente las estructuras de acero son diseñadas suponiéndose como articuladas o rígidas ya que de esta forma se simplifica considerablemente el análisis y el diseño estructural, pero se obvia el comportamiento real de las uniones. En las normas europeas actuales Eurocódigo 3 (EC3-1-8:2005) se contempla además de estos dos tipos, un tercer tipo que es la unión semirrígida.

El comportamiento semirrígido de las uniones en estructuras metálicas ha ganado mucho interés en estos años puesto que considerarlo nos permite reducir las secciones de las vigas con respecto a las uniones rígidas o articuladas.

Para ilustrar esta idea se muestra a continuación un ejemplo de la distribución elástica de momentos flectores en un pórtico simple que se encuentra bajo una carga distribuida. Como se puede ver en la figura en el caso del pórtico a) que consta de uniones articuladas el momento en el centro es muy elevado, mientras que en la unión b) que consta de uniones semirrígidas se observa un mejor aprovechamiento de la sección de la viga. De esta forma en estructuras con este tipo de uniones semirrígidas se podrían utilizar secciones más pequeñas que en el caso de las uniones articuladas.

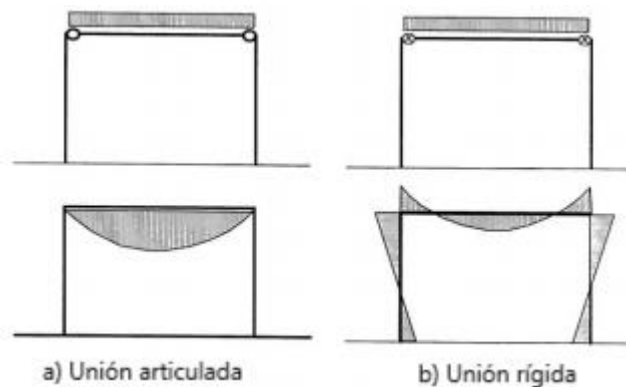


Figura 1. Distribución elástica de momentos flectores en un pórtico simple. (Fuente: *Design of Joints in Steel and Composite Structures*)

Las uniones pueden llegar a suponer hasta un 40% del coste en una estructura. De este modo para que una unión sea económica debe ser lo más sencilla posible, aunque normalmente necesitará el uso de rigidizadores ya que carecer de ellos implicaría un aumento de perfiles para soportar los esfuerzos. De esta forma una unión ha de ser sencilla de realizar en taller (normalmente si es soldada) permitiendo la fácil aplicación de los cordones de soldadura o en obra (normalmente atornillada).

2 OBJETIVOS

El presente proyecto trata de analizar distintas uniones viga-pilar a través del método numérico de elementos finitos con objeto de contribuir a un mayor entendimiento del comportamiento semirrígido de dichas uniones.

De esta forma se pretende caracterizar lo mejor posible la unión gracias al trabajo previo de validación de un modelo de las mismas características, permitiendo así en un futuro reducir los costes de la unión, utilizando perfiles más pequeños.

A partir de este trabajo se podrán realizar los experimentos en el laboratorio para observar como efectivamente los resultados del MEF se aproxima bastante a la realidad.

3 ALCANCE

El alcance de este proyecto es la obtención de las curvas momento-rotación de distintas uniones viga-pilar mediante el software ABAQUS para poder caracterizarlas, conociendo su rigidez y resistencia.

De esta forma se predecirá el comportamiento de la unión de una forma muy aproximada para la posterior realización de los experimentos de las uniones en el laboratorio de análisis estructural, LAE, de la UDC.

También se comparará la precisión del modelo de elementos sólidos con dos modelos de vigas, uno de ellos con comportamiento semirrígido y el otro con comportamiento de la unión totalmente rígida. Estos modelos de vigas son del tipo que se utilizan en los modelos de cálculo globales de las estructuras.

El modelo de cálculo global de la unión tiene que responder a la rigidez real de la unión montada. Esto permite, en la fase de cálculo, la posibilidad de optimización de la unión para minimizar el coste. Los modelos numéricos y los desarrollos experimentales posteriores a este trabajo inciden en el desarrollo de herramientas que permitan estos procesos de diseño optimizados.

4 INTRODUCCIÓN

4.1 Caracterización del comportamiento de las uniones semirrígidas

Es importante considerar los efectos en el comportamiento de las uniones a la hora de caracterizar las fuerzas internas y externas, los momentos y las deformaciones en una estructura.

Según el tipo de unión que se esté a considerar esta tendrá más o menos influencia en el análisis de la estructura. Para caracterizar el tipo de unión y consecuentemente el análisis a utilizar el Eurocodigo 3 presenta la siguiente tabla:

Tabla 1. Clasificación de las uniones (Fuente: traducida de "Eurocode 3")

Métodos de análisis global	Clasificación de la uniones		
Elástico	Articulado	Rígido	Semirrígido
Rígido-Plástico	Articulado	Resistencia total	Resistencia parcial
Elasto-Plástico	Articulado	Rígido y resistencia total	Semirrígido y resistencia parcial Semirrígido y resistencia total Rígido y resistencia parcial
Tipo de modelo de unión	Simple	Continuo	Semi-continuo

Por lo que según el tipo de modelo de unión se presentan:

- Simple: uniones en las cuales se toma la consideración de que no transmiten momentos flectores
- Continuo: se considera que el comportamiento de la unión no tiene efectos en el análisis
- Semicontinuo: el comportamiento de la unión debe de ser tomado en cuenta en el análisis.

Las uniones están caracterizadas por una serie de parámetros que son los que aparecen mostrados en la siguiente figura:

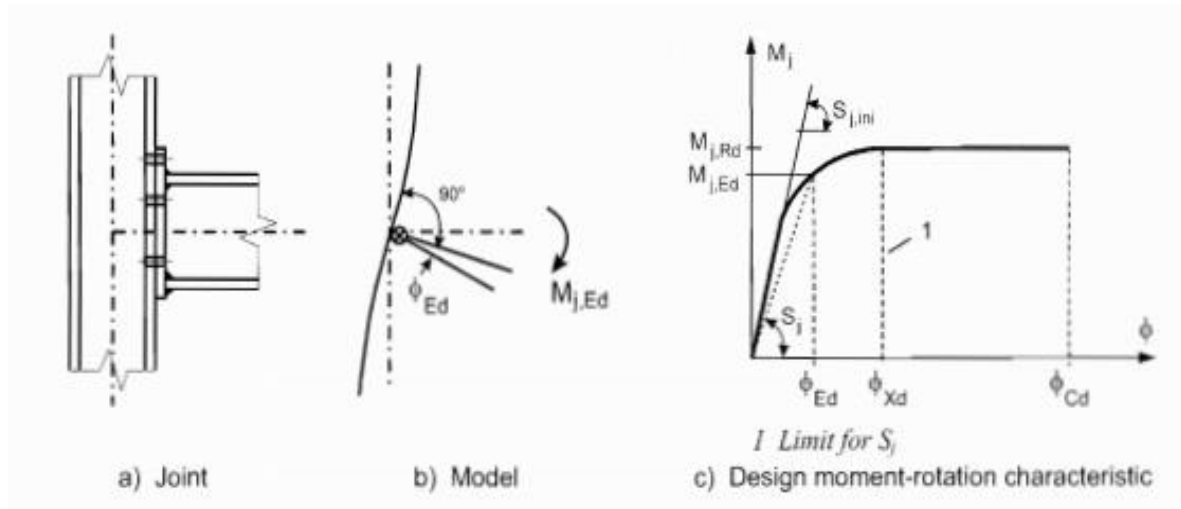


Figura 2. Unión y sus parámetros característicos

El diseño de la curva momento-rotación c) puede ser simplificado siguiendo los procedimientos adecuados para la obtención de una curva bilineal o trilineal.

Y se encuentra definida por los siguientes parámetros:

- Resistencia a la flexión, $M_{j,Rd}$: Máximo momento de la curva.
- Rigidez rotacional: S_j : Es la pendiente de la curva en el tramo elástico.
- Capacidad de rotación ϕ_{cd} : Máxima rotación de la curva.

4.1.1 Clasificación de las uniones

En función de su resistencia relativa con respecto a las piezas a unir se pueden clasificar en:

- Articulaciones: aquellas que no son capaces de transmitir momentos apreciables que puedan afectar negativamente al comportamiento de alguna pieza de la estructura. Tendrán que soportar los giros resultantes del análisis global.
- Resistencia completa: aquellas uniones cuyo momento último es igual o mayor que las piezas a unir, $M_{Rd} \geq M_{pl,Rd}$
- Resistencia parcial: aquellas que no son ni articuladas ni de resistencia completa. Su momento último no podrá ser menor que el determinado en el análisis, $M_{Rd} \geq M_{Ed}$

En función de su rigidez las uniones se pueden clasificar en:

- Articulaciones: aquellas uniones cuya rigidez cumple la siguiente condición:

$$S_{j,ini} \leq \frac{EI_b}{2L_b}$$

En donde E , I_b , L_b son las propiedades de la viga conectada.

- Uniones rígidas: son aquellas uniones en las que su deformación no tiene influencia apreciable en las leyes de esfuerzos de la estructura, así como en la deformabilidad general. Serán aquellas en donde se cumpla que:

$$S_{j,ini} \geq k \frac{EI_b}{2L_b}$$

En donde k será igual a 8 para pórticos intraslacionales y 25 para pórticos trasnacionales.

- Uniones semirrígidas: aquellas que no pueden ser clasificadas en las categorías anteriores.

4.2 Normativa

4.3 El método de los componentes

El modelo de los componentes es un método del tipo mecánico-analítico que consiste en dividir la unión en componentes básicos individuales, muelles que poseen una resistencia y rigidez a tracción, compresión o cortante.

Para utilizar este método primero se debe definir el tipo de unión que se quiere resolver, así como la geometría y los componentes que van a intervenir en dicha unión, después calcular las fuerzas en la unión y las dimensiones en las soldaduras seguido de evaluar la resistencia y rigidez axial de los componentes implicados.

Una vez hecho esto se ha de calcular la resistencia o momento equivalente ($M_{j,Rd}$) así como la rigidez inicial de la unión ($S_{j,ini}$). El componente que tenga la menor resistencia será el que determine la resistencia de la unión.

Se deberá determinar también la capacidad de deformación de cada uno de los componentes a partir de la cual se obtiene la ductilidad de la unión.

Por último, se comprobará el esfuerzo cortante máximo que soporta la unión y se comprobarán las soldaduras anteriormente calculadas.

4.4 Métodos numéricos: método de los elementos finitos.

El método de elementos finitos consiste en la división de un continuo en una serie de pequeños elementos que están interconectados entre sí por unos nodos. Dicho de otro modo, consiste en la discretización de un dominio de estudio.

De esta forma, se supone que el campo de desplazamientos en el interior de los elementos se puede expresar en función de los desplazamientos que sufren los nodos del elemento.

Se pueden obtener las matrices de rigidez de los elementos, las cuales al ensamblarlas permiten la obtención de los desplazamientos en los nodos de los elementos finitos. Con ello se pueden determinar de una forma aproximada las tensiones y deformaciones en el interior de los elementos. Cabe decir que los resultados serán más aproximados a los reales cuanto más se refine la malla (mayor número de nodos).

Este método alberga muchas posibilidades puesto que se puede analizar cualquier geometría tanto bidimensional como tridimensional. De forma general al resolver un problema por este método se conocerán las fuerzas exteriores aplicadas en algunos nodos y los valores de los desplazamientos en otros. Tras su aplicación se obtendrá una expresión del tipo:

$$F = [K] \cdot \hat{u}$$

Donde:

- F , conocido como vector de cargas, es un vector columna que refleja las fuerzas exteriores que actúan en el dominio de estudio.
- $[K]$, es una matriz conocida como matriz de rigidez del sistema estructural.
- \hat{u} , es un vector de los desplazamientos nodales que representa todos los desplazamientos de los nudos del modelo.

Como en este trabajo el uso de este método se realiza mediante un software, no se incluirá mayor información sobre la descripción teórica del método. Por otra parte, sí es importante conocer desde el punto de vista computacional las fases necesarias para llevar a cabo el proceso mediante este método:

- Preproceso y generación de la malla: aquí se define la geometría a estudiar, se genera la malla de forma que sea lo más precisa posible pero que no suponga tiempos computacionales muy altos, se definen las condiciones de contorno, propiedades de los materiales, cargas o demás propiedades. A los nodos de la malla se les asigna una densidad por todo el material, pero generalmente se pretende que en las regiones donde haya una mayor concentración de tensiones haya mayor número de nodos, esto también es aplicable en las regiones de mayor interés y también en las zonas con geometrías complejas.
- Cálculo y resolución de sistemas de ecuaciones: en esta etapa tienen lugar las operaciones necesarias para la obtención de resultados.
Si se trata de un problema simple no dependiente del tiempo, el cálculo consiste básicamente en obtener los desplazamientos de los nodos y con ello definir de forma aproximada el campo de desplazamientos de cada uno de los elementos finitos.
Para el caso de problemas no lineales o dependientes del tiempo se requerirá una aplicación incremental de la fuerza considerando incrementos numéricos y calculando en cada incremento magnitudes referidas a los nodos. Este tipo de cálculo requeriría mayor tiempo de procesamiento que en el caso anterior.
- Postproceso: como a veces los problemas a resolver por este método son bastante complejos es necesario procesarlos de alguna forma para conseguir hacerlos comprensibles. En esta etapa, por lo tanto, se busca obtener representaciones gráficas u otros resultados que permitan extraer conclusiones derivadas de la solución al problema

4.5 Análisis globales

Para modelizar el comportamiento de la unión se tendrá que tener en cuenta las características de análisis global de la estructura. Dependiendo del tipo de análisis existen distintas idealizaciones de la curva momento rotación.

Recordando lo mencionado en la tabla 1 se sabe que los tipos de análisis globales están relacionados con los tipos de unión que presenta la estructura.

De esta forma cuando se realiza un análisis global elástico de la estructura las uniones se clasifican en función de su rigidez, y como ya se ha mencionado en el apartado anterior pueden ser rígidas, semirrígidas o articulaciones, a continuación, se muestra una figura con las leyes de comportamiento de estos tres tipos de uniones para la idealización elástica:

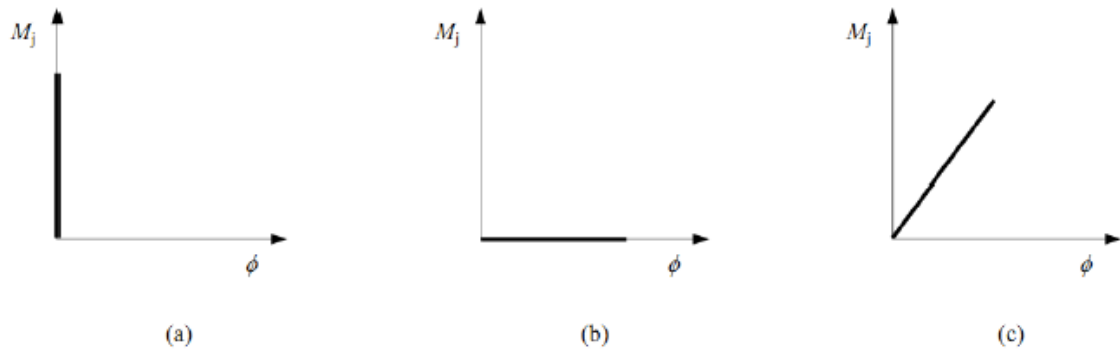


Figura 3. Curvas momento-rotación análisis global elástico a) Rígida, b) Articulada, c) Semirrígida

Si el análisis sigue el método rígido plástico se toma una rigidez infinita y los giros son nulos hasta llegar a $M_{j,Rd}$, y las uniones poseerán la capacidad rotación suficiente para llegar a formar rótulas plásticas. De esta manera para modelizar el comportamiento bastará con conocer el valor del momento resistente y la capacidad de giro.

5 VALIDACIÓN DEL MODELO DE ELEMENTOS FINITOS

Para comprobar que los cálculos realizados posteriormente con el programa de elementos finitos ABAQUS son muy aproximados a los resultados que se obtienen de un ensayo real, se utilizará un artículo llamado: *Shear behaviour of stiffened double rectangular column panels: Characterization and cruciform element* [1] realizado en el Laboratorio de Analisis Estructural de la Universidade da Coruña donde se realiza un experimento del comportamiento del doble panel en el caso de una unión de un pilar a dos vigas de distinto canto.

Se ha escogido dicho artículo debido a que trata sobre el comportamiento de las uniones viga pilar con rigidizadores en el panel del pilar y en el presente trabajo se van a estudiar diversas uniones de este tipo.

El estudio se centrará más concretamente en el experimento E1B del panel superior.

5.1 Modelado con Abaqus y análisis del experimento E1B del panel superior

Para proceder a la validación del modelo, se diseñan las 3 piezas distintas que lo conforman: pilar incluyendo los rigidizadores, y ambas vigas de distinta sección. Todas las piezas serán elementos sólidos en 3D del tipo deformables. En la siguiente figura (Figura 4) se puede ver un ejemplo del diseño de una de las vigas. Cabe decir que se realiza la mitad de la sección de los distintos elementos para posteriormente usar simetría, ya que de esta forma se economizan los cálculos al solo considerar en el análisis la mitad del modelo.

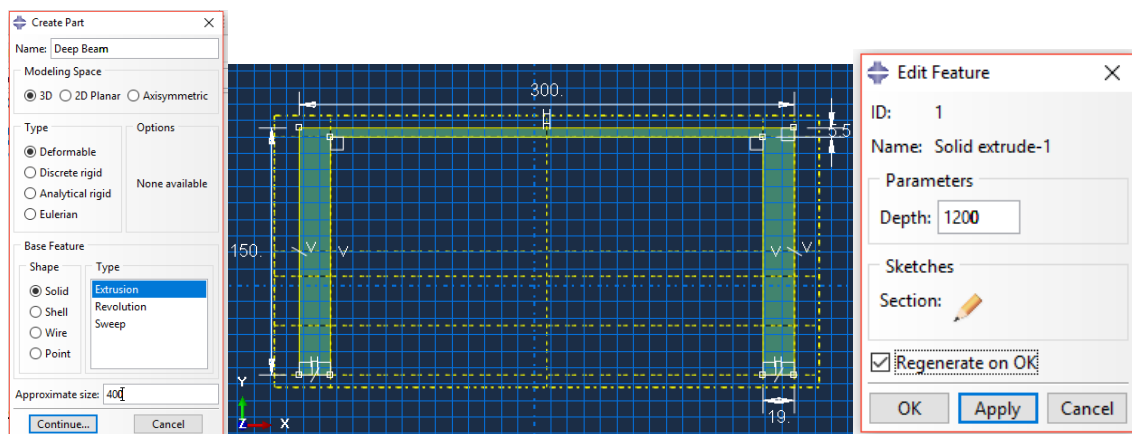
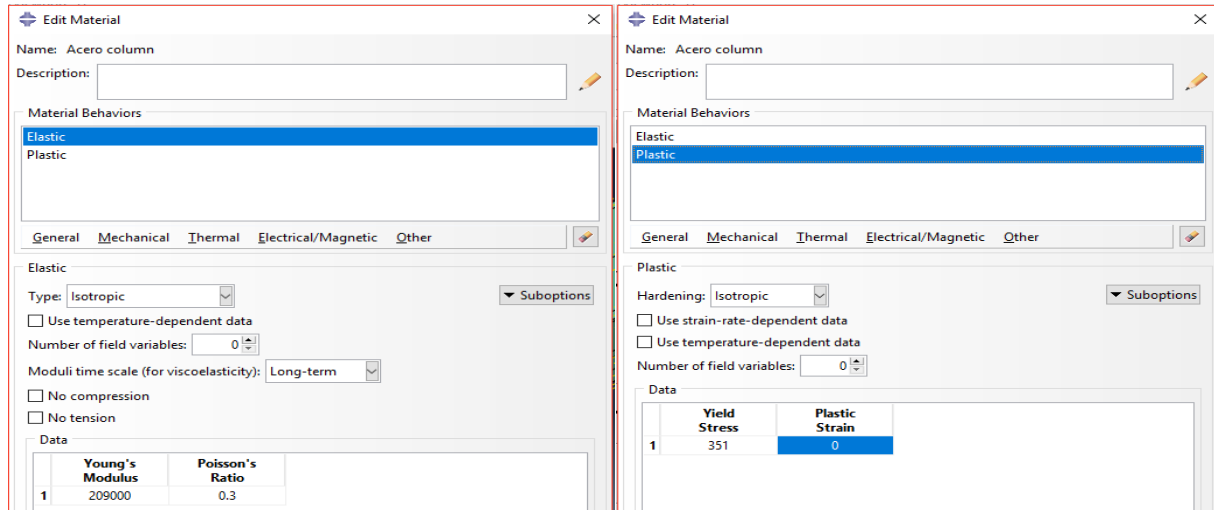


Figura 4. Diseño 3D viga, modelo para validación. (Fuente: elaboración propia)

Una vez que se han diseñado las 3 diferentes partes que conforman el modelo se introducirán los distintos tipos de materiales, que fueron los utilizados en el estudio citado anteriormente, que conforman la estructura, añadiendo en la ficha las propiedades elásticas y plásticas como se muestra en la Figura 5 y posteriormente se crean las distintas secciones que llevarán los materiales que corresponden al pilar, a la viga X, a la viga Y y a los rigidizadores; todas las secciones serán del tipo sólido homogéneo. Y se las asigna a dichos elementos.



Cuando ya se han asignado las correspondientes secciones a sus elementos se ensamblarán en el módulo "Assembly".

Figura 5. Definición del material de uno de los elementos. (Fuente: elaboración propia)

Se crearán tres instancias correspondientes a cada elemento que serán del tipo dependiente ya que se pretende mallar por separado cada una de las partes. En la siguiente figura (Figura 6) se puede ver el modelo ya ensamblado con cada sección de diferente material de un color distinto.

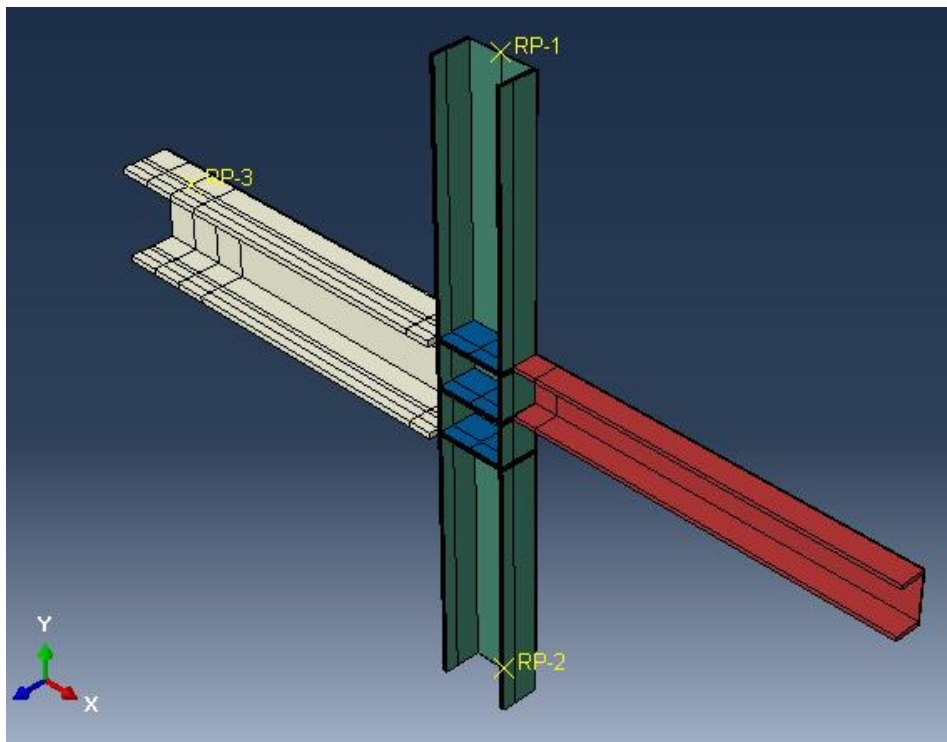


Figura 6. Ensamblaje del modelo, destacando en colores las distintas secciones. (Fuente: elaboración propia)

Una vez ensambladas las tres instancias procederemos a mallar cada una de las partes del modelo.

Antes de esto se realizarán cortes en las piezas que permitan que el mallado quede más preciso en las zonas que nos interesan, esto es, en las vigas cerca de la unión con el pilar y en los rigidizadores. Se dispondrán también de otros cortes que ayuden a colocar la carga donde interesa, y cortes por el alma y las alas de todas las piezas para que posteriormente sea más fácil colocar las ecuaciones de atado, de las cuales se hablará posteriormente.

Ahora se procede a decidir el tamaño de malla, de forma que los resultados sean adecuados pero el gasto computacional no sea muy grande. De esta forma, se ha decidido que los tamaños de malla sean: en el caso de ambas vigas 10 en la parte más cercana a la unión con el pilar y 80 en el resto de la viga; en el caso del pilar, el tamaño de malla es de 90 en todo el pilar excepto en el panel central, incluyendo rigidizadores, que es de 10. En la Figura 7 se puede observar como la malla es más fina cerca de la unión.

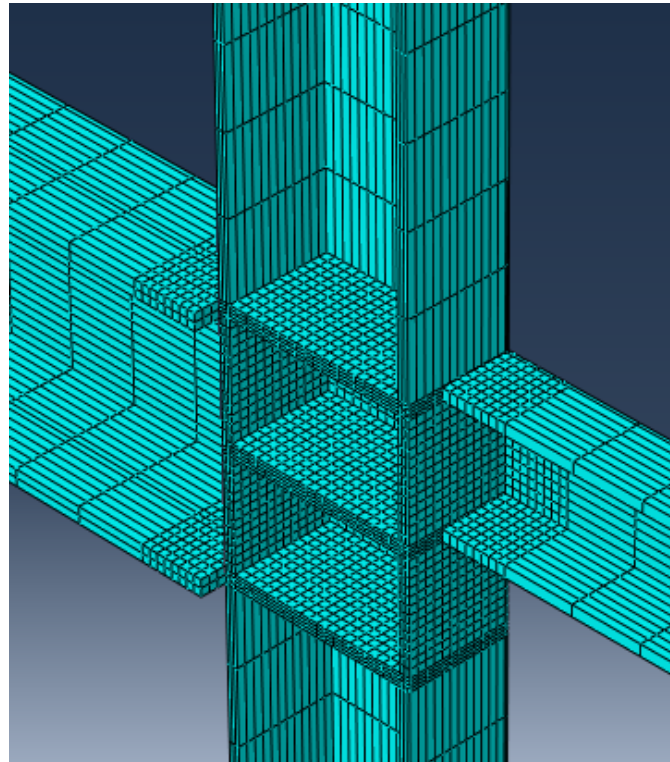


Figura 7. Detalle de la malla en la zona de unión. (Fuente: elaboración propia)

Y el tipo de malla utilizado en todas las partes es 3D estándar lineal.

Lo próximo a realizar será crear un Step donde aplicaremos la carga, este “Step” será un análisis del tipo estático, general y activamos la no linealidad geométrica. Por otra parte el número de incrementos máximo será 100, con un tamaño de incremento de 0.05 (Figura 8)

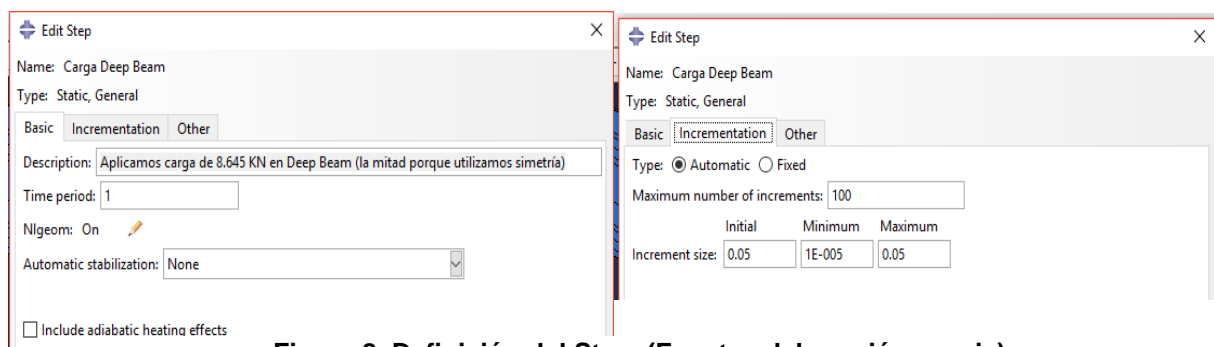


Figura 8. Definición del Step. (Fuente: elaboración propia)

Ahora se definen las ecuaciones de restricción, primero las de atado de ambas vigas con el pilar. Para ello se han utilizado los cortes realizados anteriormente.

Una vez establecidos dichos atados se definen superficies de sólido rígido, que habrá tres diferentes: la primera es la utilizada para colocar posteriormente la carga a aplicar (Figura 9), y las otras dos servirán para establecer posteriormente las condiciones de contorno. (Figura 10)

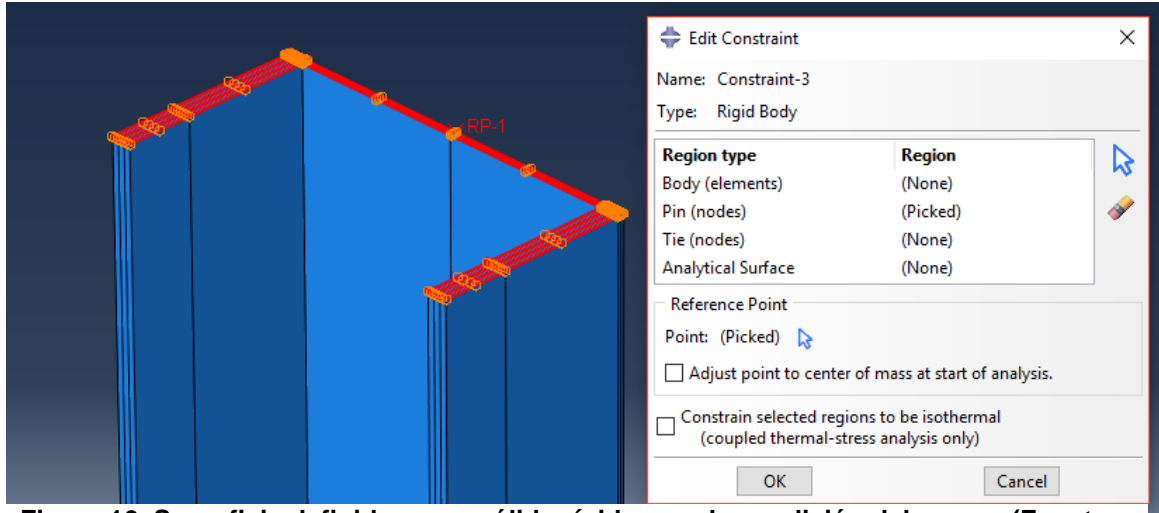


Figura 10. Superficie definida como sólido rígido para la condición del apoyo. (Fuente: elaboración propia)

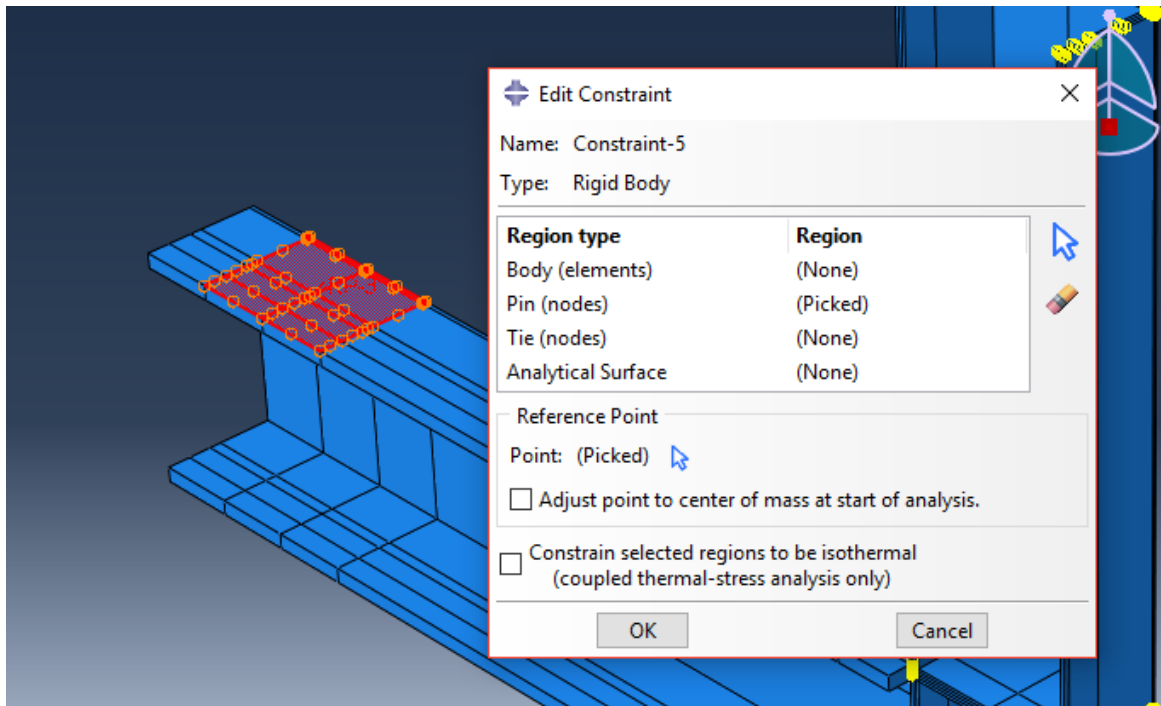


Figura 9. Superficie marcada como sólido rígido para la colocación de la carga. (Fuente: elaboración propia)

Ahora que ya se han establecido todos los contactos se pasa a designar los apoyos y la carga. Como solo se ha diseñado la mitad del modelo tendremos que establecer una condición de simetría para esto seleccionamos las caras del modelo que se encuentran en el plano de simetría y se aplica la condición de simetría en el plano Z, como se puede ver en la Figura 12

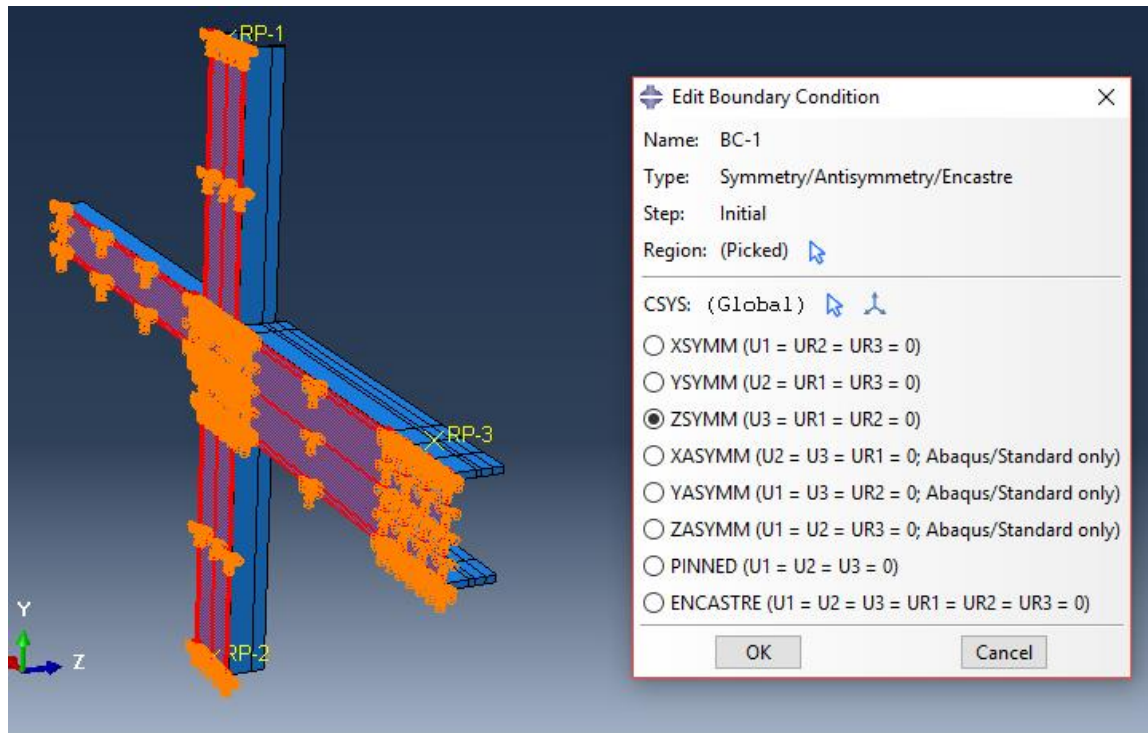


Figura 12. Superficie a raíz de la cual se hace la simetría del modelo. (Fuente: elaboración propia)

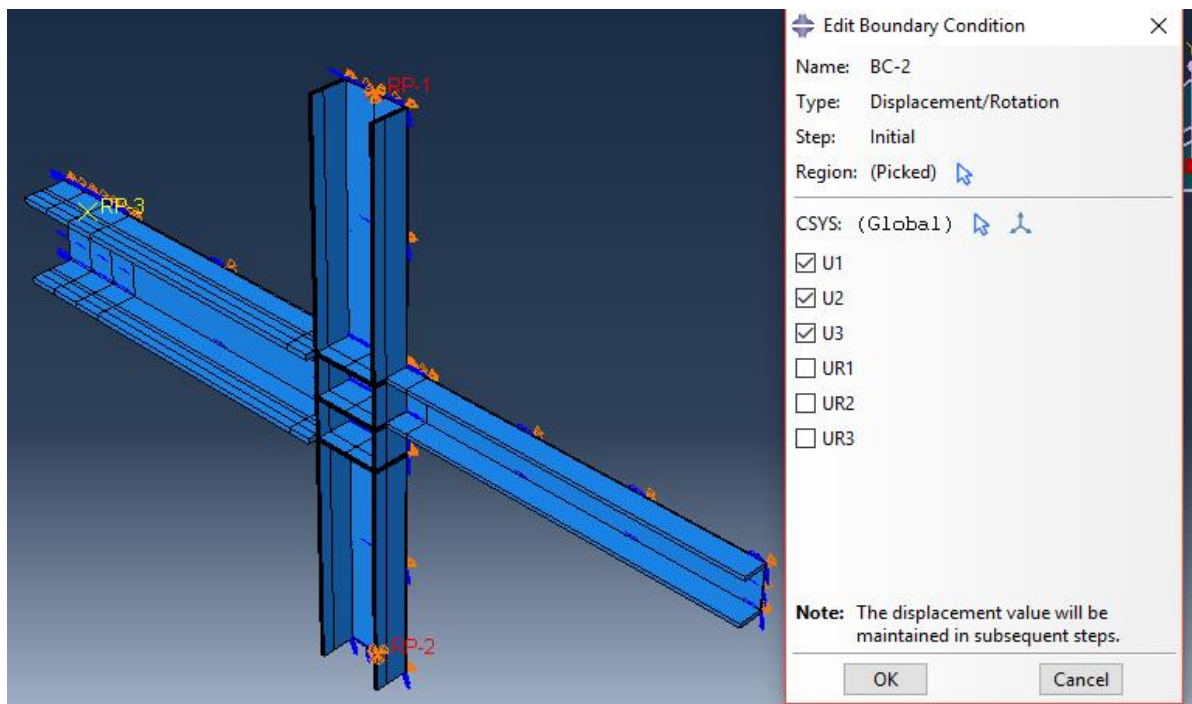


Figura 11. Condición de apoyo de los extremos del pilar, donde se impiden los desplazamientos. (Fuente: elaboración propia)

También se establecen los otros dos apoyos sirviéndonos en los puntos de referencia del pilar antes designados, en dichos puntos se restringirán los movimientos en las tres direcciones, pero no los giros.

Se sitúa la carga en el punto central de la región que de la viga que se designó como sólido rígido. La carga a utilizar será 86450N porque se está considerando solo la mitad del modelo. El valor escogido es con el que se pretende que la unión alcance la plastificación completa (Figura 13)

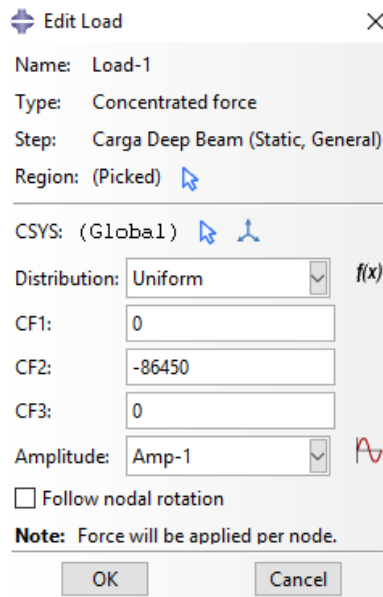


Figura 13. Definición de la carga (Fuente: elaboración propia)

Una vez realizados todos estos pasos tendremos que definir unos sets para posteriormente sacar los resultados que interesan, estos serán los puntos que se muestran en la imagen, y de los cuales se obtendrán sus desplazamientos, en el caso del punto A y B los desplazamientos horizontales y en el C y D los desplazamientos verticales. En la siguiente imagen (Figura 14) se pueden observar resaltados en rojo dichos puntos.

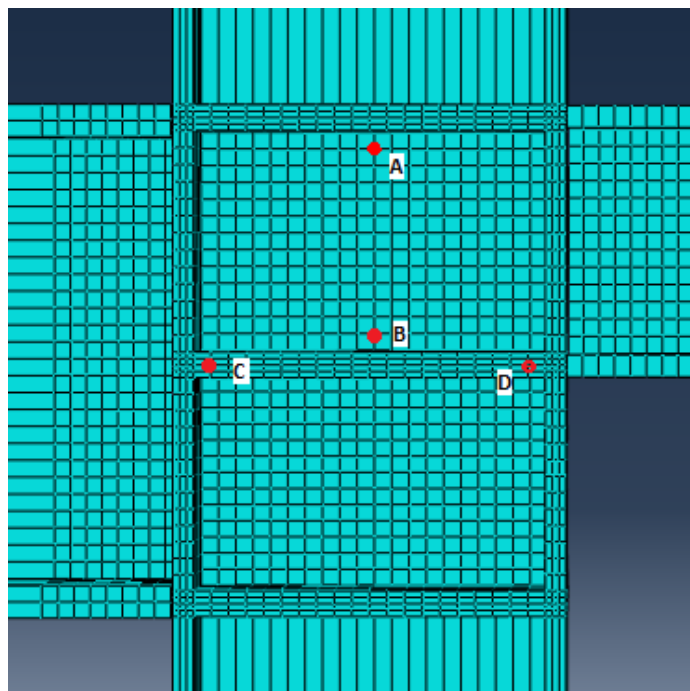


Figura 14. Sets implementados para obtener los desplazamientos que nos interesan (Fuente: elaboración propia)

Posteriormente se crea el trabajo y se extraen los resultados

5.2 Comparativa de resultados.

Con los sets que se han definido se procederá a sacar la gráfica de momento rotación del panel superior del pilar, esto se hará utilizando la ecuación de la tangente:

$$\tan\theta_t = \frac{u_A - u_B}{d_{A,B}} \approx \theta_t ; \quad \tan\theta_c = \frac{v_c - v_D}{d_{C,D}} \approx \theta_c$$

Entendiéndose que “u” son los desplazamientos horizontales, “v” los verticales y “d” la distancia entre los puntos

Para obtener el giro total sabemos que: $\theta = \theta_t - \theta_c$. Una vez obtenidos estos datos ya se obtiene la gráfica:

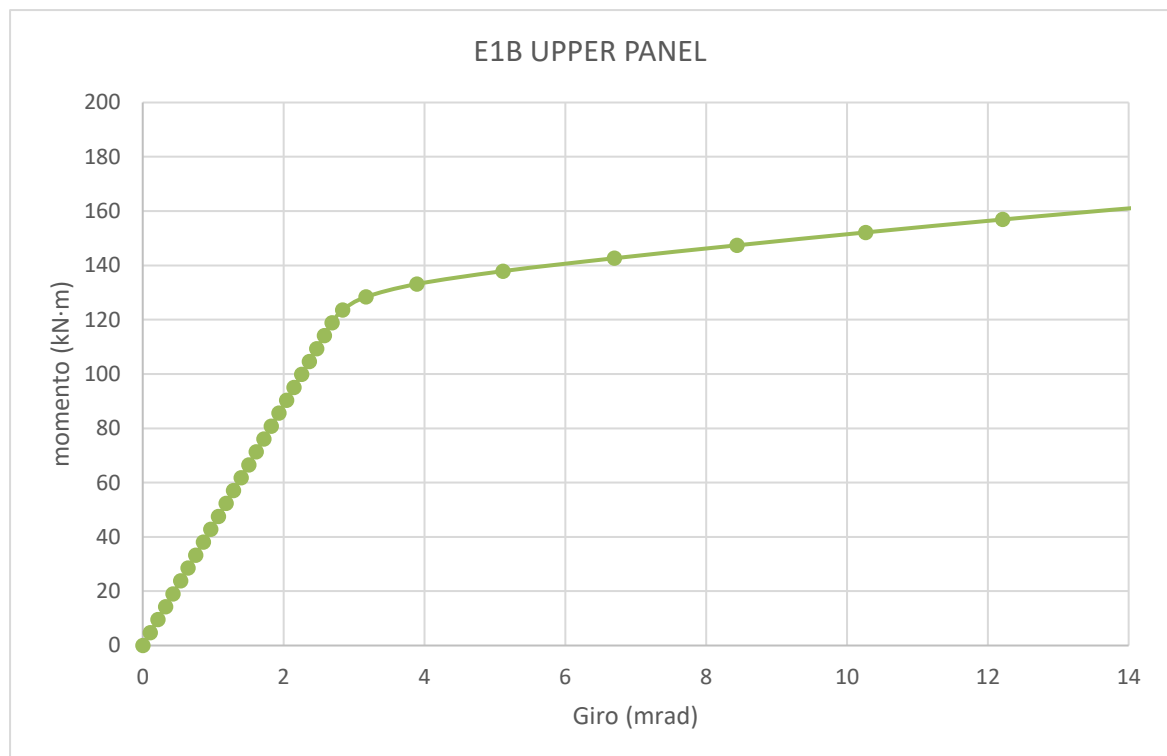


Figura 15. Curva momento-rotación correspondiente al panel superior del modelo de elementos finitos para validarla. (Fuente: elaboración propia).

Dicha gráfica se comparará con la del ensayo experimental que aparece en la siguiente figura, y de ello se puede extraer que los resultados son bastante aproximados a los obtenidos mediante el ensayo por elementos finitos. Pudiendo haber mínimas diferencias que pueden ser debidas a los puntos escogidos para obtener los desplazamientos en el caso del modelo de elementos finitos.

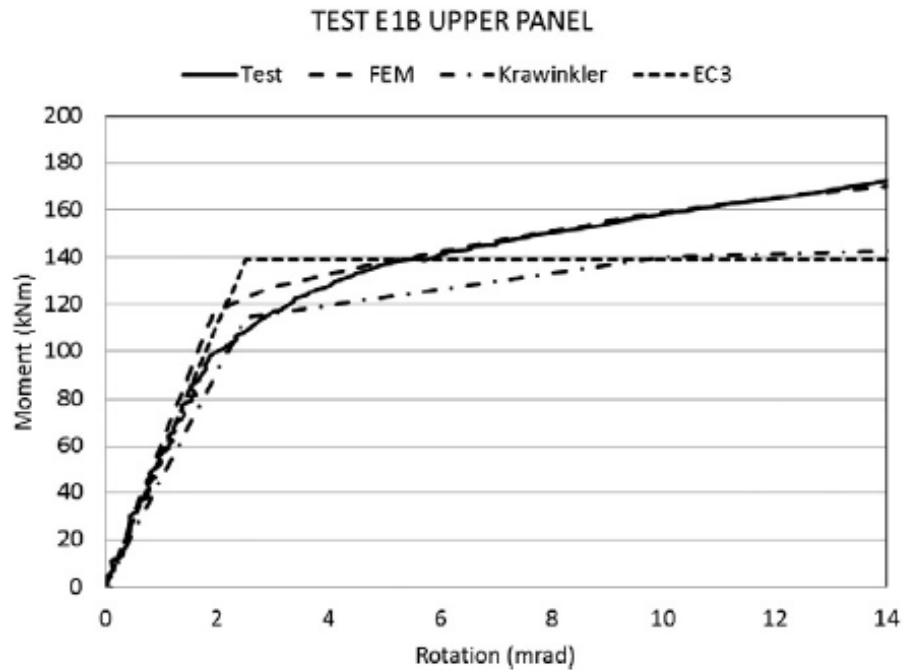


Figura 16. Diagrama momento rotación correspondiente al panel superior del modelo de validación. (Fuente: artículo "Shear behaviour of stiffened double rectangular column panels")

También se muestra a continuación las imágenes del momento antes y después de la plastificación del panel:

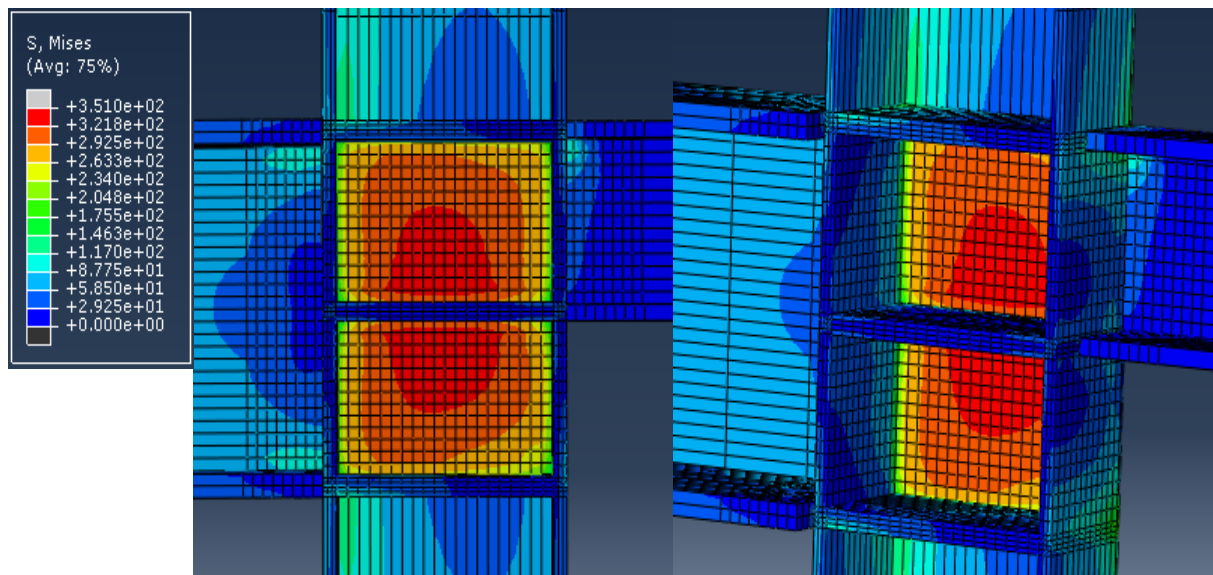


Figura 17. Detalle del modelo de validación antes de que se plastifique el panel. (Fuente: elaboración propia)

Como se puede ver la zona con mayor concentración de tensiones es la central, más cercana al rigidizador.

Ahora se muestran las imágenes cuando ya ha plastificado el panel:

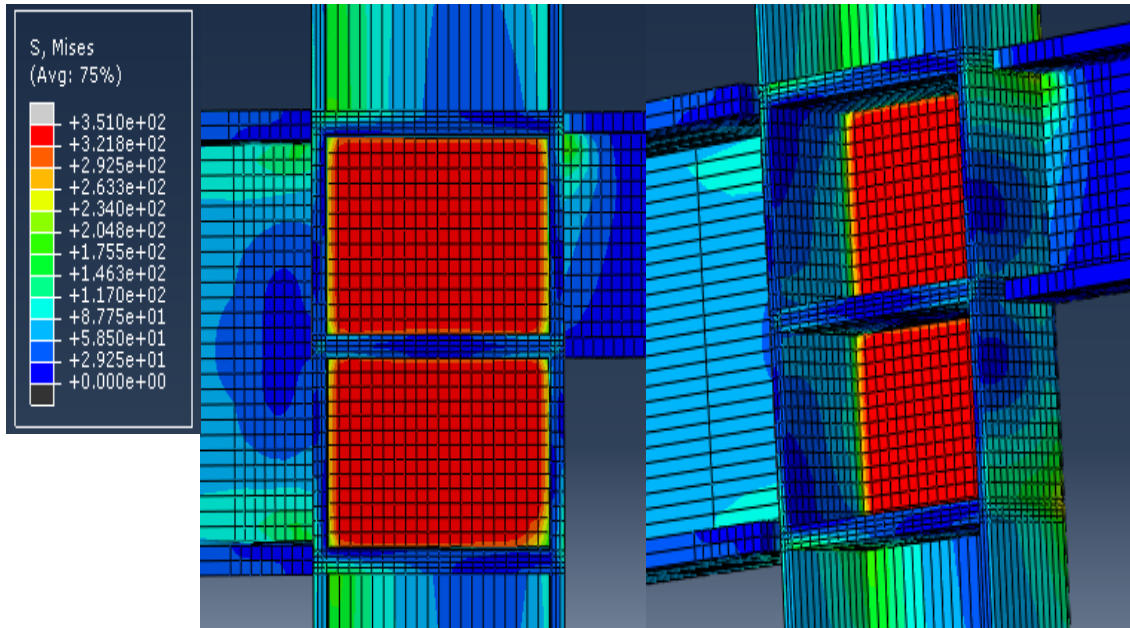


Figura 18. Detalle del modelo de validación después de haberse producido la plastificación. (Fuente: elaboración propia)

Aquí se observa que plastifican los dos paneles del alma del pilar, no llegando a haber tensiones importantes en la unión con ambas vigas ni en los rigidizadores.

Se compararán ahora las tensiones cortantes obtenidas, con las del artículo:

Antes de producirse la plastificación en el artículo se obtiene la siguiente distribución de tensiones cortantes:

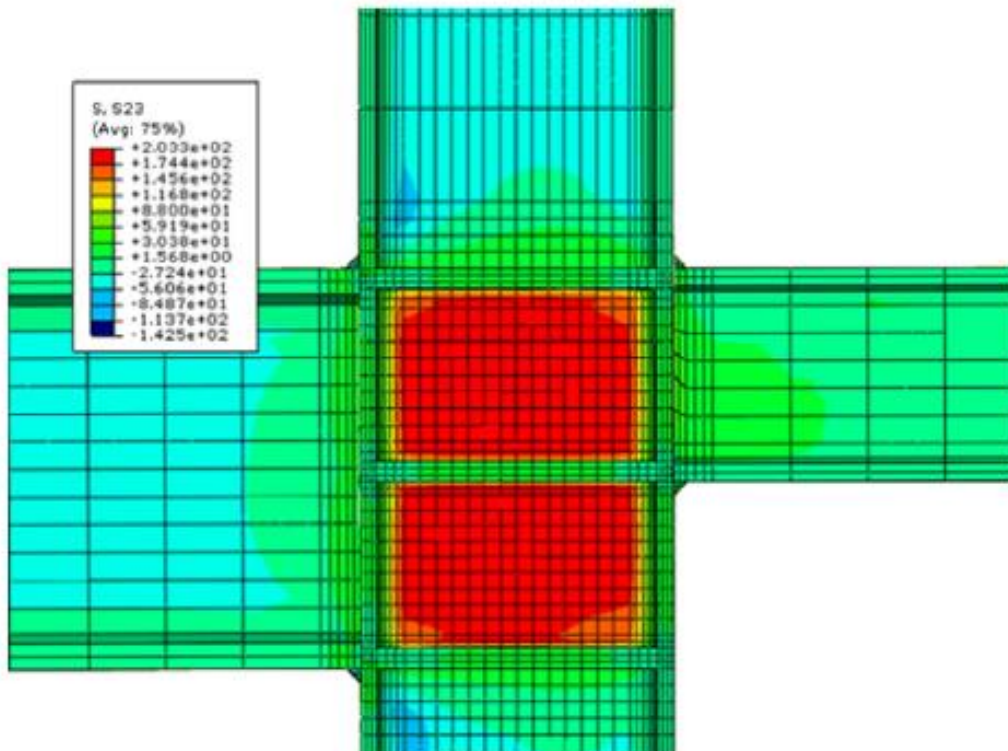


Figura 19. Tensiones cortantes elásticas. (Fuente: artículo "Shear behavior of stiffened double rectangular column panels")

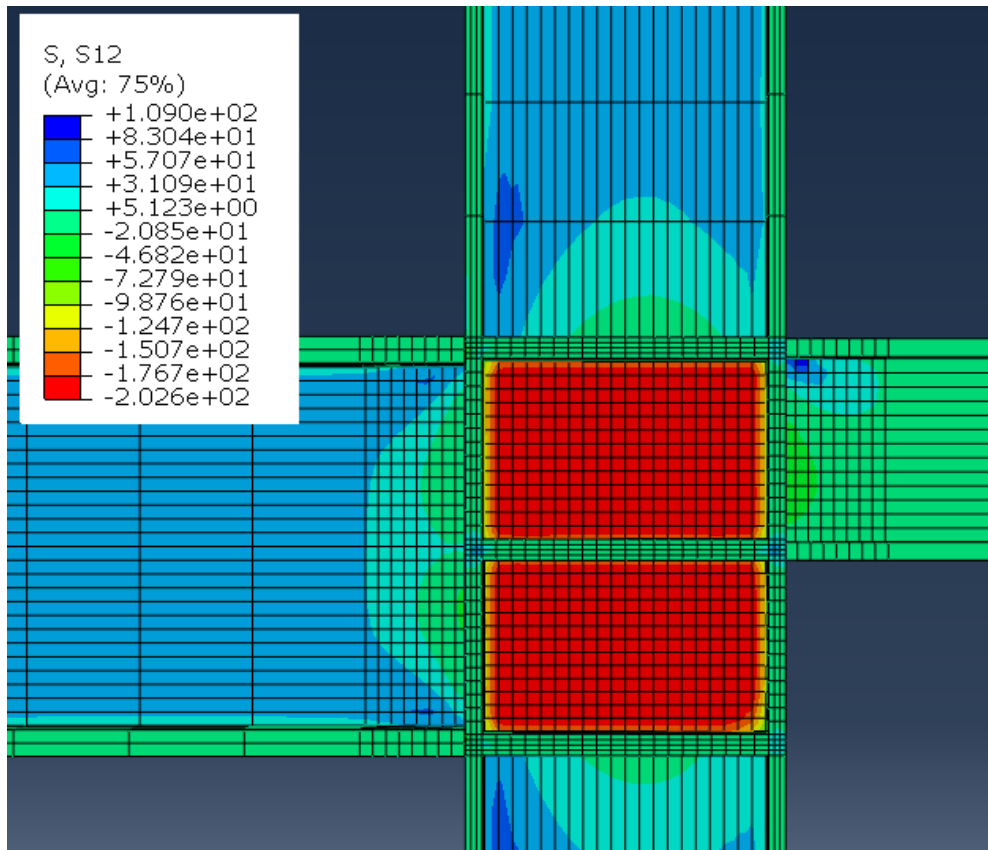


Figura 20. Tensiones elásticas en el modelo de validación. (Fuente: elaboración propia)

Primero aclarar que los valores del modelo realizado para la validación siguen el criterio de signos inverso al del artículo debido a la forma en la que se han escogido los ejes.

Si comparamos ambas figuras podemos ver que el valor máximo en el panel del pilar es muy aproximado al que se encuentra en la literatura, así como también el resto de la distribución de tensiones es toda la unión. Que si bien no es exacta esto puede ser debido al tamaño de malla o al punto que se toma de la curva momento-rotación como punto anterior a producirse la plastificación.

Se procederá ahora al mismo procedimiento en el punto posterior a la plastificación, es decir cuando el comportamiento ya es totalmente plástico

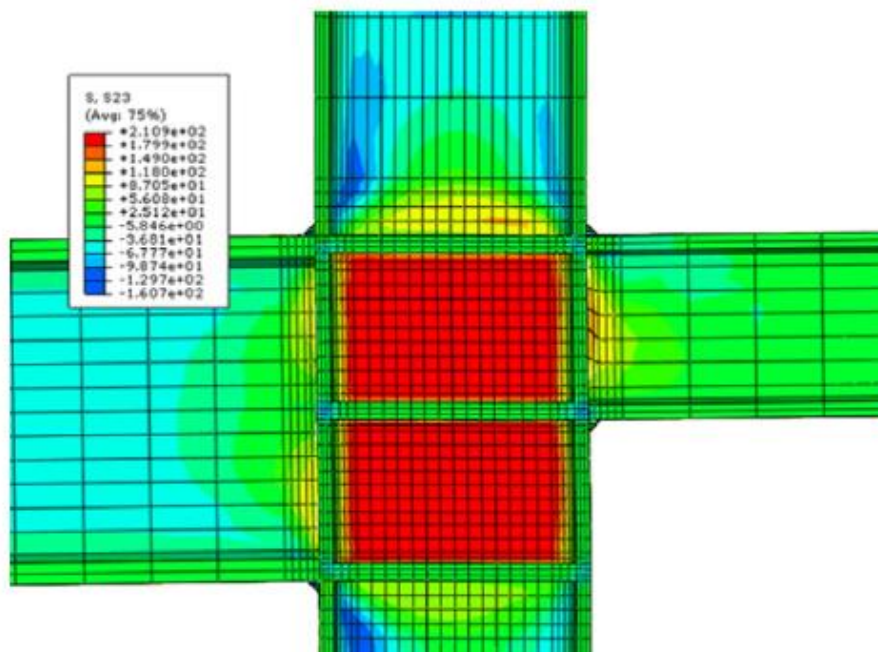


Figura 21. Tensiones cortantes inelásticas modelo de validación. (Fuente: artículo “Shear behavior of stiffened double rectangular column panels”)

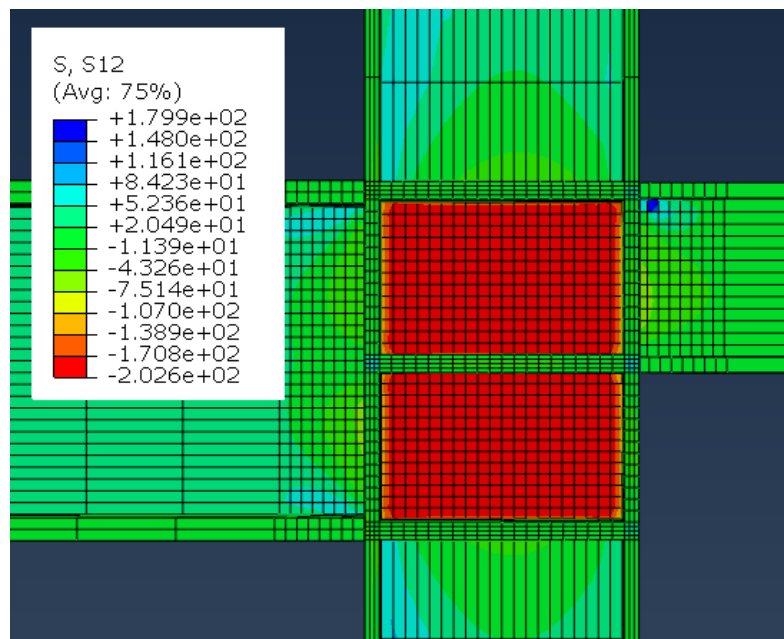


Figura 22. Tensiones cortantes inelásticas modelo de validación. (Fuente: elaboración propia)

Comprobamos que en el modelo creado con el propósito de la validación los valores en el pilar son prácticamente los mismos que antes de haberse producido la plastificación. Aun así el campo de tensiones cortantes es muy aproximado al de la literatura.

6 ANÁLISIS NUMÉRICO DE UNIONES VIGA PILAR

6.1 Descripción de los modelos. Planos. Cartelas. Rigidizadores.

Se realizarán 4 ensayos de distintos, todos ellos están formados por la unión de una viga IPE300 unida a un pilar HEA200. La diferencia entre ellos radica en los elementos a introducir con el propósito de hacer la unión más rígida.

Los materiales a utilizar a la hora de realizar estos modelos serán los nominales del acero S275 puesto que aún no se dispone de las características reales de los materiales con los que se realizará el análisis experimental.

El primer modelo llevará una cartela como se puede ver en la siguiente figura (Figura 23):

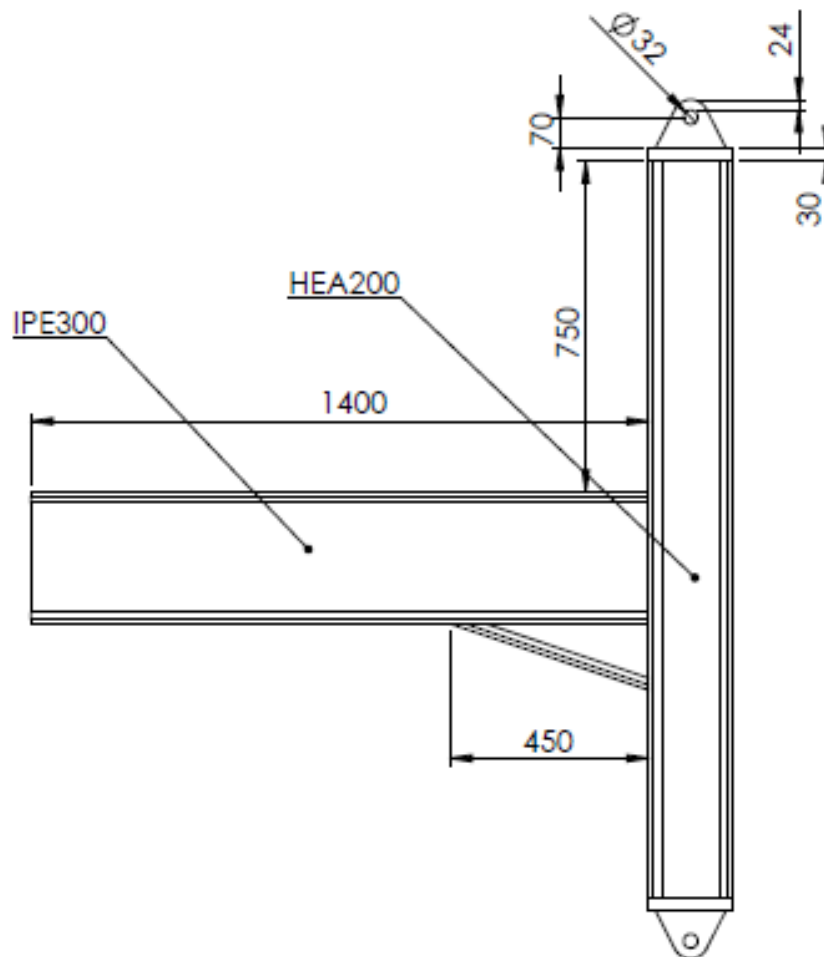


Figura 23. Modelo 1. Unión viga-pilar con cartela (Fuente: elaboración propia)

En el segundo modelo (Figura 24) se le incluyen además, dos rigidizadores en el panel central del pilar, coincidiendo con el ala superior de la viga y el extremo inferior de la cartela:

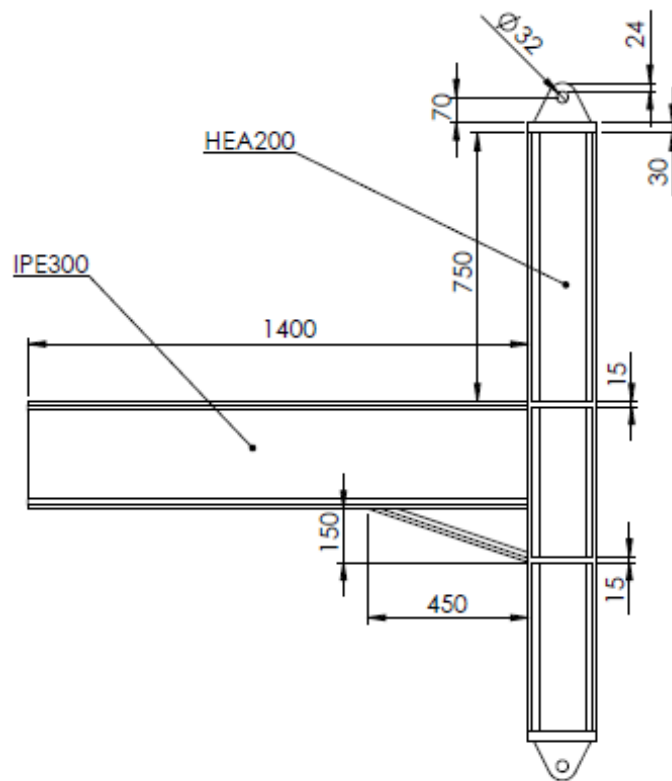


Figura 24. Modelo 2. Unión viga-pilar con dos rigidizadores. (Fuente: elaboración propia)

En el tercer modelo (Figura 25) hay 3 rigidizadores coincidentes con las alas del pilar y el extremo final de la cartela:

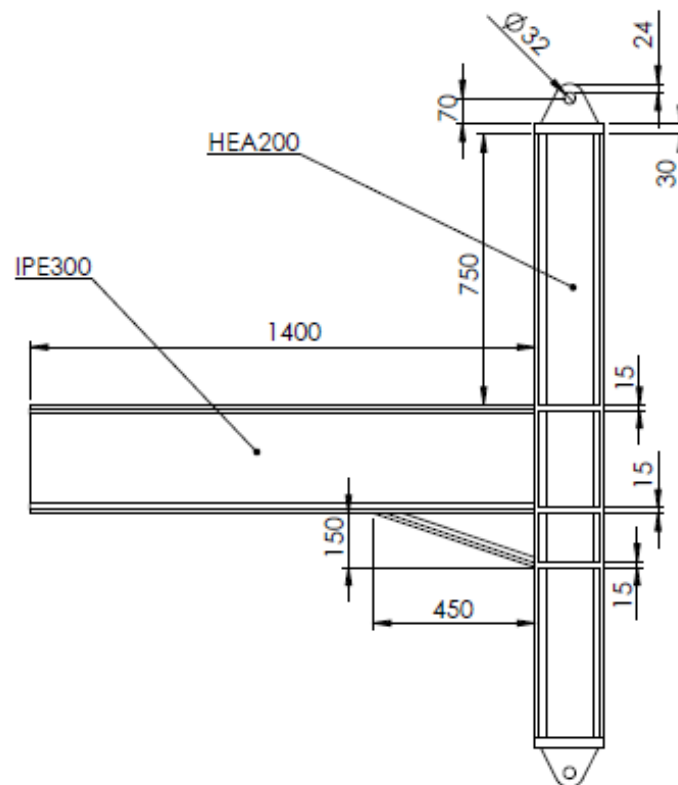


Figura 25. Modelo 3. Unión viga-pilar con tres rigidizadores. (Fuente: elaboración propia)

Por último el cuarto modelo, lleva colocados dos rigidizadores y además un rigidizador en diagonal, dispuestos como en la Figura 26

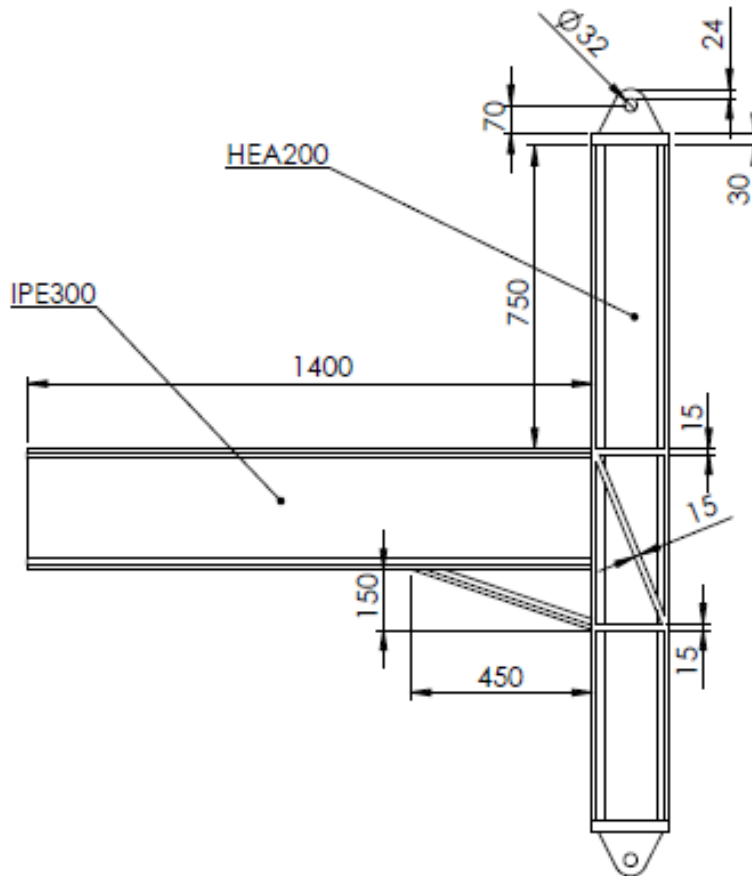


Figura 26. Modelo 4. Unión viga-pilar con rigidizador en diagonal. (Fuente: elaboración propia)

6.2 ANÁLISIS Y RESULTADOS

6.2.1 Método de análisis

Los modelos de los futuros ensayos se realizan mediante el mismo procedimiento que el modelo del capítulo anterior de esta forma se garantiza que la simulación de estos modelos sea precisa.

En estos análisis, como en el anterior, se realizará tan solo la mitad del modelo con la mitad de carga y se aplicará simetría.

Modelo 1.

Este modelo estará formado por 3 partes distintas que son las correspondientes al pilar, a la viga y la cartela, como ya se ha dicho que la forma de implementarlo es la misma que para el modelo explicado anteriormente por lo que la siguiente explicación se centrará en resaltar las diferencias.

Se dispusieron cortes de forma que sea más fácil realizar los contactos en las piezas, además por la geometría del apoyo (agujero circular) se han realizado otros cortes que permitan un mallado más preciso alrededor (Figura 27). En la viga se han dispuesto cortes con el fin de colocar la carga.

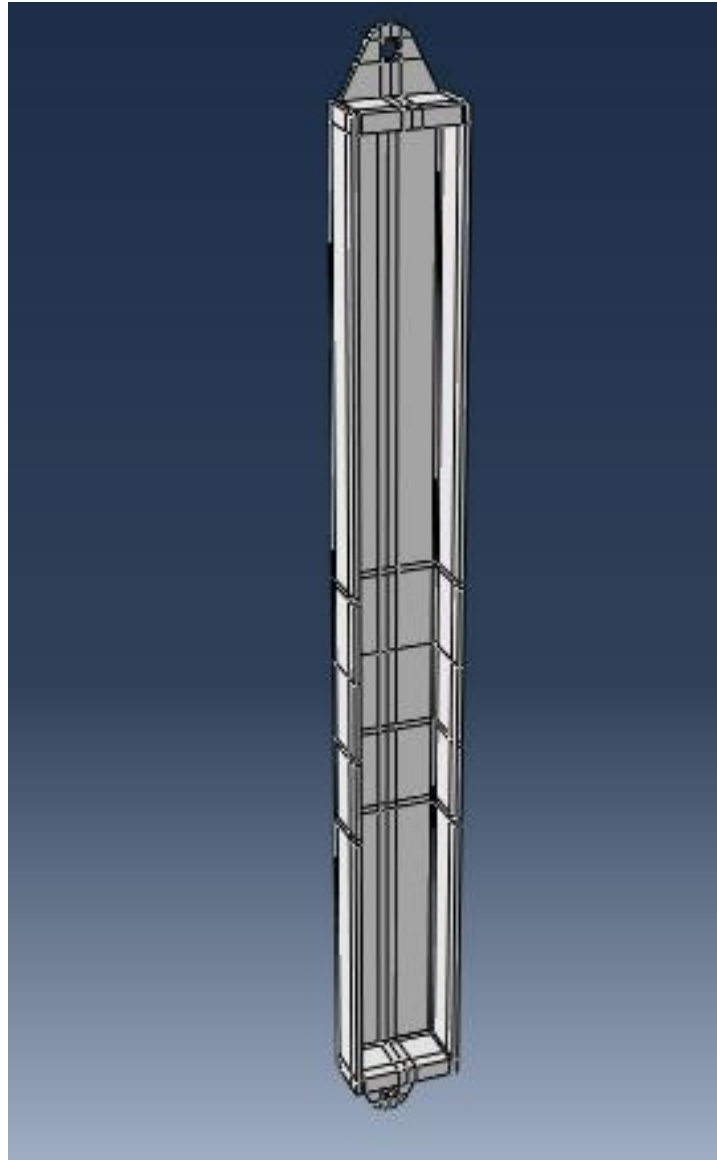


Figura 27. Cortes realizados en el pilar para el caso del Modelo 1. (Fuente: elaboración propia)

En el tamaño de malla también habrá diferencias con respecto al modelo de validación, pero como en ese modelo la malla se hará más densa en la zona de la unión lo que permitirá capturar de forma más precisa las tensiones sufridas a lo largo del proceso de carga. El tipo de elementos a utilizar será C3D ya que permiten obtener la deformación por cortante y flexión del sistema.

Para el pilar se ha introducido un tamaño de malla de 15 para el panel central, 12 para la zona de los apoyos y 38 para el resto del pilar; para la viga el tamaño de malla es de 20 para la zona más próxima a la unión y 55 para el resto; por último para la cartela el tamaño de malla es de 50.

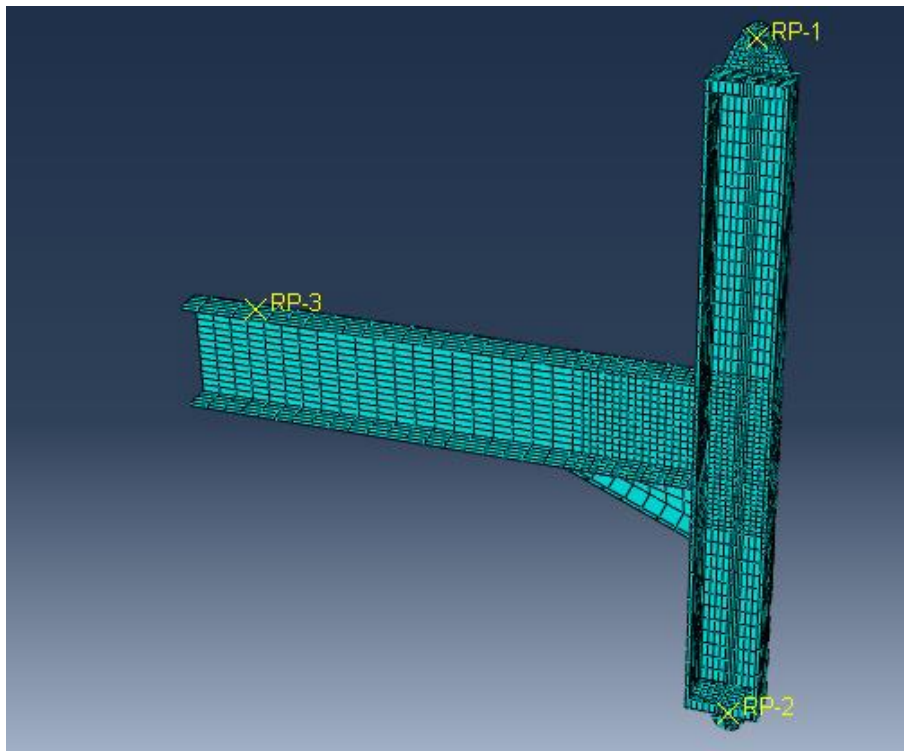


Figura 28. Mallado del modelo 1, una vez ensamblado el modelo. (Fuente: elaboración propia)

Para el ensamblaje habrá tres contactos del tipo sólido rígido que son necesarios uno para la colocación de la carga y los otros dos para poder definir los apoyos.

La carga a aplicar es de 41420 N aplicada 200mm del extremo libre. Y los apoyos serán como en el modelo de validación, es decir, se impiden las traslaciones pero no las rotaciones y se tomará como puntos los centros de los círculos de los apoyos del pilar.

Los puntos que se han definido para obtener el diagrama momento-rotación aparecen reflejados en la siguiente figura:

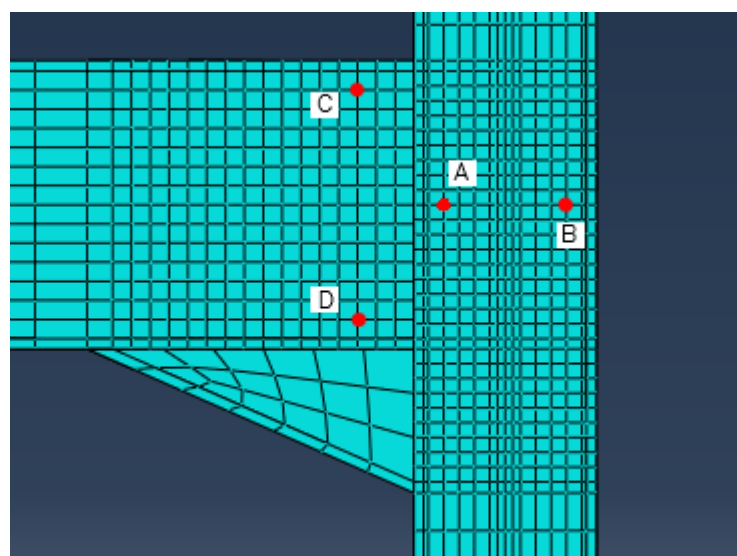


Figura 29. Detalle puntos escogidos para el cálculo de desplazamientos modelo 1. (Fuente: elaboración propia)

De los puntos A y B se obtendrán los desplazamientos verticales y de los puntos C y D los desplazamientos horizontales.

Modelo 2.

En el caso de este modelo también estará formado por 3 partes distintas, como el anterior, con la única variación de que dentro del pilar se hará dos extrusiones correspondientes con los rigidizadores.

Los cortes realizados en el pilar, serán distintos al caso anterior para colocar los rigidizadores y permitir un mejor mallado de los mismos.

La malla en el caso del pilar tendrá un tamaño de 10 para el panel central, es decir desde un rigidizador al otro, 5 para el caso de los apoyos y 38 para el resto; en el caso de la viga 20 para la parte más cercana a la unión y 55 para el resto; y en el caso de la cartela 50 como en el modelo anterior.

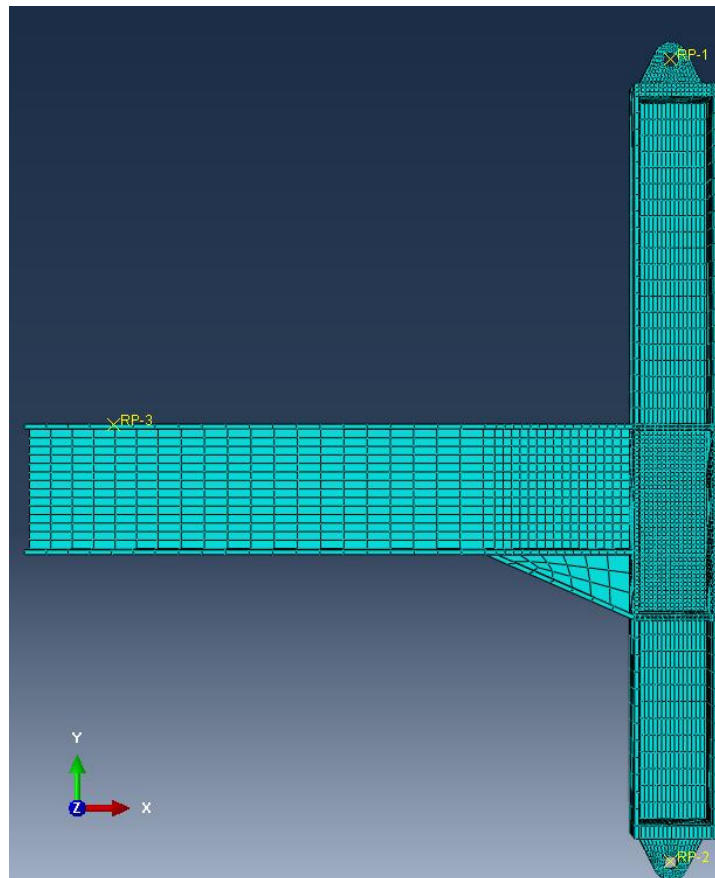


Figura 30. Malla modelo 2 una vez ensamblado. (Fuente: elaboración propia).

Los contactos por tanto serán los mismos que los del modelo 1. Y solo variará la carga que en este caso será de: 46920 N.

El resto de especificaciones es el mismo que en el caso del modelo anterior.

Para obtener los giros necesarios para la elaboración del diagrama momento-rotación, se han utilizado los puntos reflejados en la Figura, donde para el caso de los puntos A y B se quieren obtener los desplazamientos verticales y para los puntos C y D los desplazamientos horizontales:

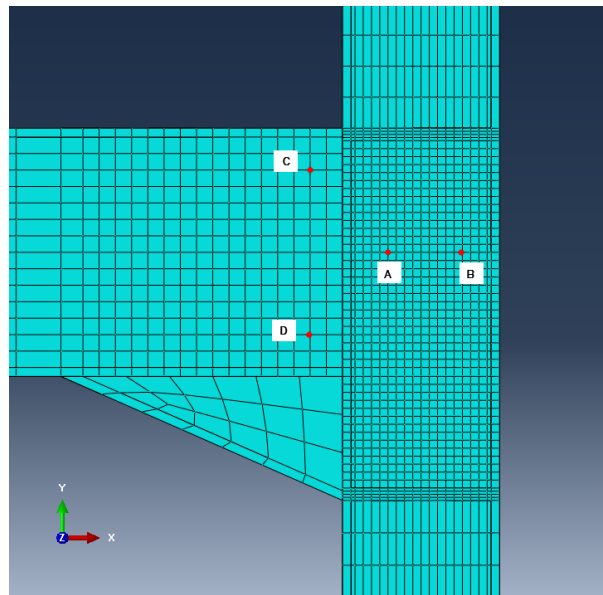


Figura 31 Detalle puntos escogidos para el cálculo de desplazamientos modelo 2. (Fuente: elaboración propia)

Modelo 3

Como en ambos casos anteriores, también habrá 3 partes distintas; en el pilar se harán 3 extrusiones que serán los 3 rigidizadores que lleva este modelo. Los cortes realizados en el pilar son muy parecidos a los del caso anterior, con la distinción de que este tiene un rigidizador más.

El tamaño de malla a utilizar en el pilar es 10 para el panel central, 5 para los apoyos y 38 para el resto y el de la viga y la cartela es igual al del caso anterior.

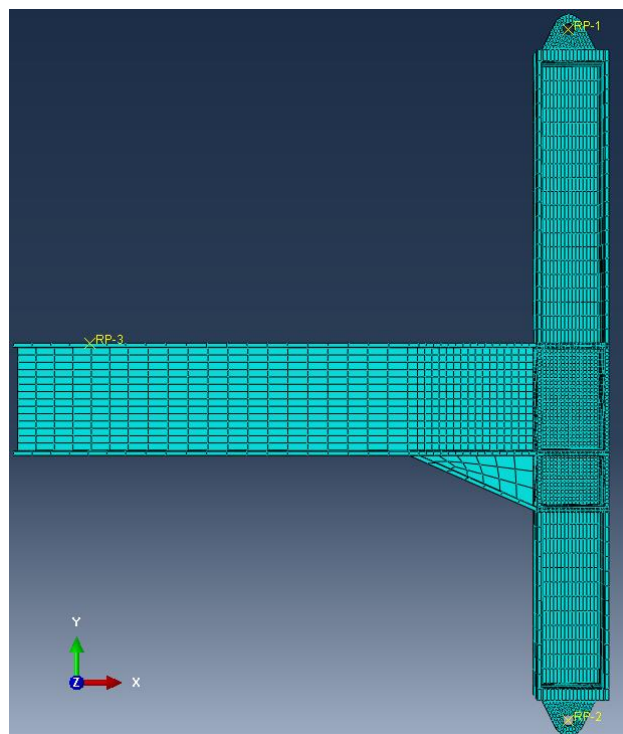


Figura 32. Malla modelo 3 una vez ensamblado. (Fuente: elaboración propia)

La carga a aplicar será de: 49050 N.

El resto de especificaciones es el mismo que en el modelo 2.

En este caso, se obtendrán dos diagramas momento-rotación correspondientes a ambos paneles del pilar, los puntos a utilizar se encuentran reflejados en la siguiente figura, donde los puntos A, B y E, F sirven para obtener los desplazamientos horizontales y los puntos C, D los verticales.

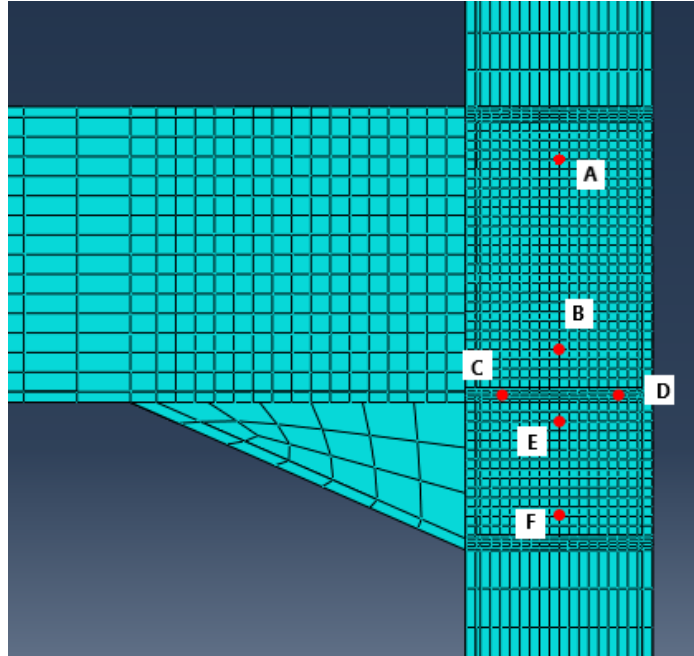


Figura 33. Detalle puntos escogidos para el cálculo de desplazamientos modelo 3. (Fuente: elaboración propia)

Usaremos un promedio de ambas curvas obtenidas para compararlas con el resto de las uniones.

Modelo 4

En este modelo habrá cuatro partes, tres de ellas serán las mismas que las del modelo de 2 rigidizadores, pero habrá que añadirle una cuarta que será el rigidizador diagonal. Dicho rigidizador se ha creado como una parte más en lugar de una extrusión del pilar para facilitar el mallado ya que por la geometría de la pieza, quedaría una malla distorsionada en caso de hacerlo como una extrusión.

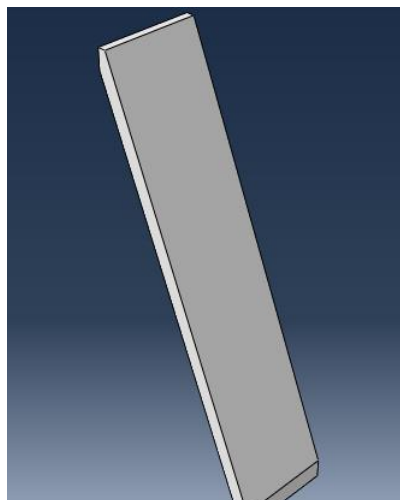


Figura 34. Rigidizador diagonal que irá colocado en el pilar en el modelo 4. (Fuente: elaboración propia)

Por tanto, la malla de las tres partes coincidentes con las del modelo 2 será exactamente la misma. Pero para este nuevo elemento la malla no será estructurada ya que por su forma es complicado que quede una malla estructurada precisa.

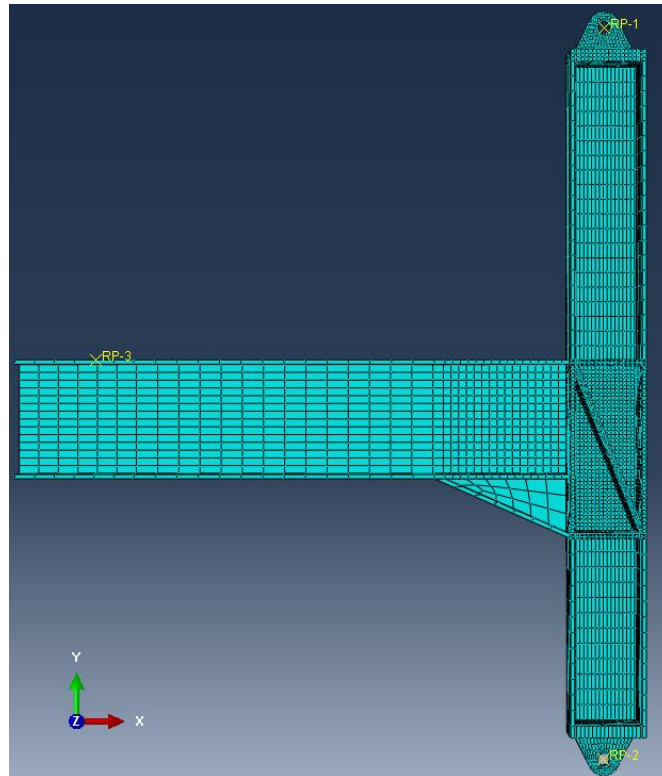


Figura 35. Malla modelo 4 una vez ensamblado. (Fuente: elaboración propia)

Los contactos serán los mismos que en el resto de modelos, pero se incluirán otros dos que serán los necesarios para unir el rigidizador diagonal con el pilar.

La carga aplicada en este caso será de 90910 N.

Para este modelo los puntos seleccionados para obtener los giros son los que se muestran en la imagen, a partir de A y B se obtendrán los desplazamientos verticales y C, D los horizontales.

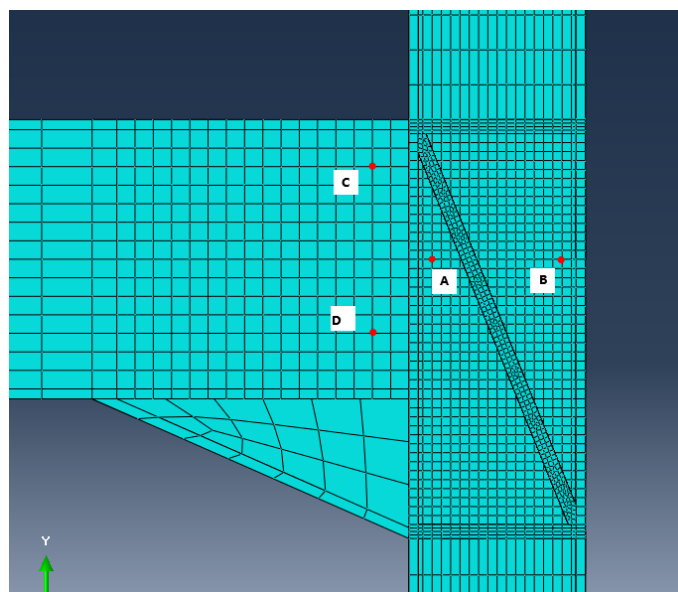


Figura 36. Detalle puntos escogidos para el cálculo de desplazamientos modelo 4. (Fuente: elaboración propia)

6.2.2 Resultados

Se procederá a estudiar la rigidez, el momento resistente y el proceso de fallo de la unión de todos los modelos, esto se hará gracias a las curvas momento-rotación obtenidas gracias a los Sets definidos en cada uno de los modelos. Para la realización de este estudio habrá que centrarse en dos puntos, el momento antes de que empiece a plastificar la unión, es decir el punto ante de que la curva momento rotación empiece a curvarse; y el momento después a la rodilla plástica, que corresponde con el máximo momento que se produce en la unión.

Se muestran a continuación las curvas momento-rotación de todos los modelos:

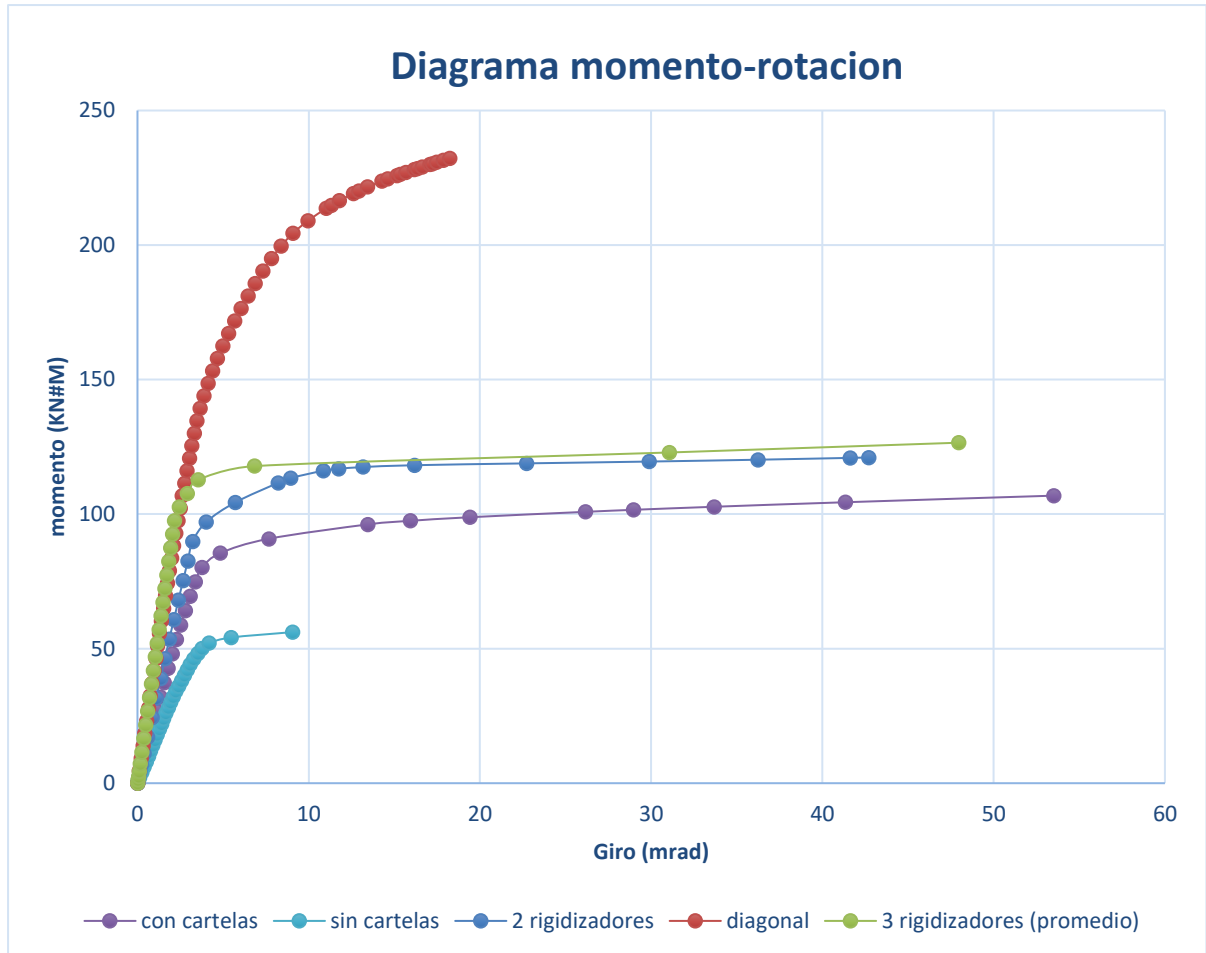


Figura 37. Comparación de los diagramas momento-rotación de las 4 uniones

Se puede comprobar como conforme más rigidizadores se le añadan, más momento resiste la unión, de esta forma se observa como el modelo con el rigidizador en diagonal y el de los 3 rigidizadores soportan un momento mayor que el resto de las uniones.

Aquí se muestran las imágenes centrándonos en la parte central del pilar antes y después de que se produzca la plastificación, podemos ver que los esfuerzos máximos se producen en el centro del panel del pilar y también el pilar en las zonas de la unión con las alas de la viga y con el extremo de la cartela.

El momento antes de plastificar que se observa en la figura siguiente se produce a un nivel de carga de: 28,99kN y se puede ver que las regiones más afectadas son la parte central del pilar, donde el alma está trabajando a cortante, y las zonas del alma del pilar donde se une con la cartela y con las alas de las vigas, donde el alma trabaja a compresión).

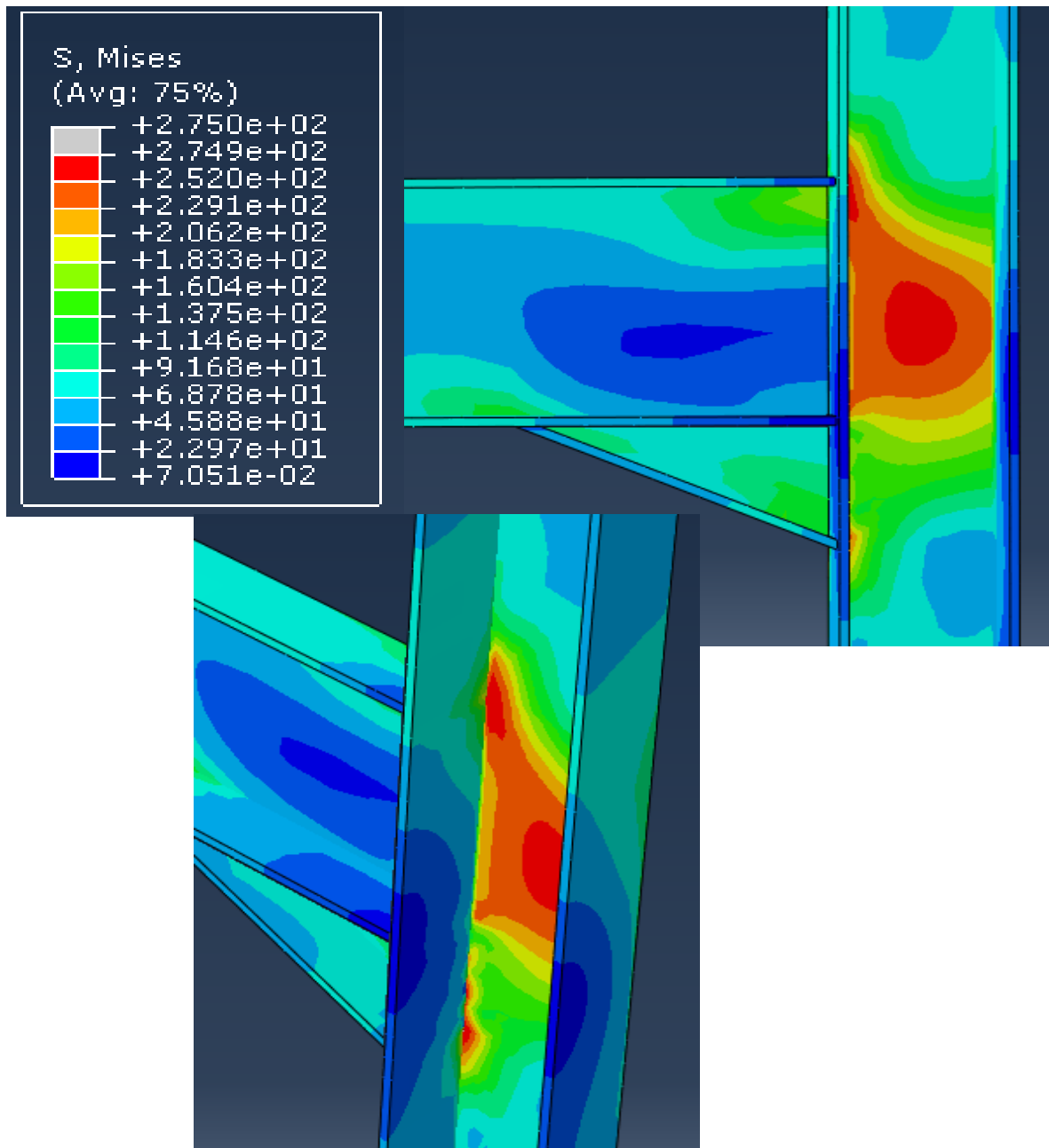


Figura 38. Detalle del modelo 1 antes de producirse la plastificación, se muestra la unión desde dos perspectivas. (Fuente: elaboración propia)

Por otra parte en la siguiente imagen, se muestra cuando la unión ya ha plastificado completamente, se pueden ver que los esfuerzos más importantes están en el centro de alma del pilar y en la parte donde el pilar se une con las alas inferior y superior de la viga, así como también hay una concentración de tensiones importante en la unión del extremo inferior de la cartela, esta situación se da cuando la carga es de 39,09 kN.

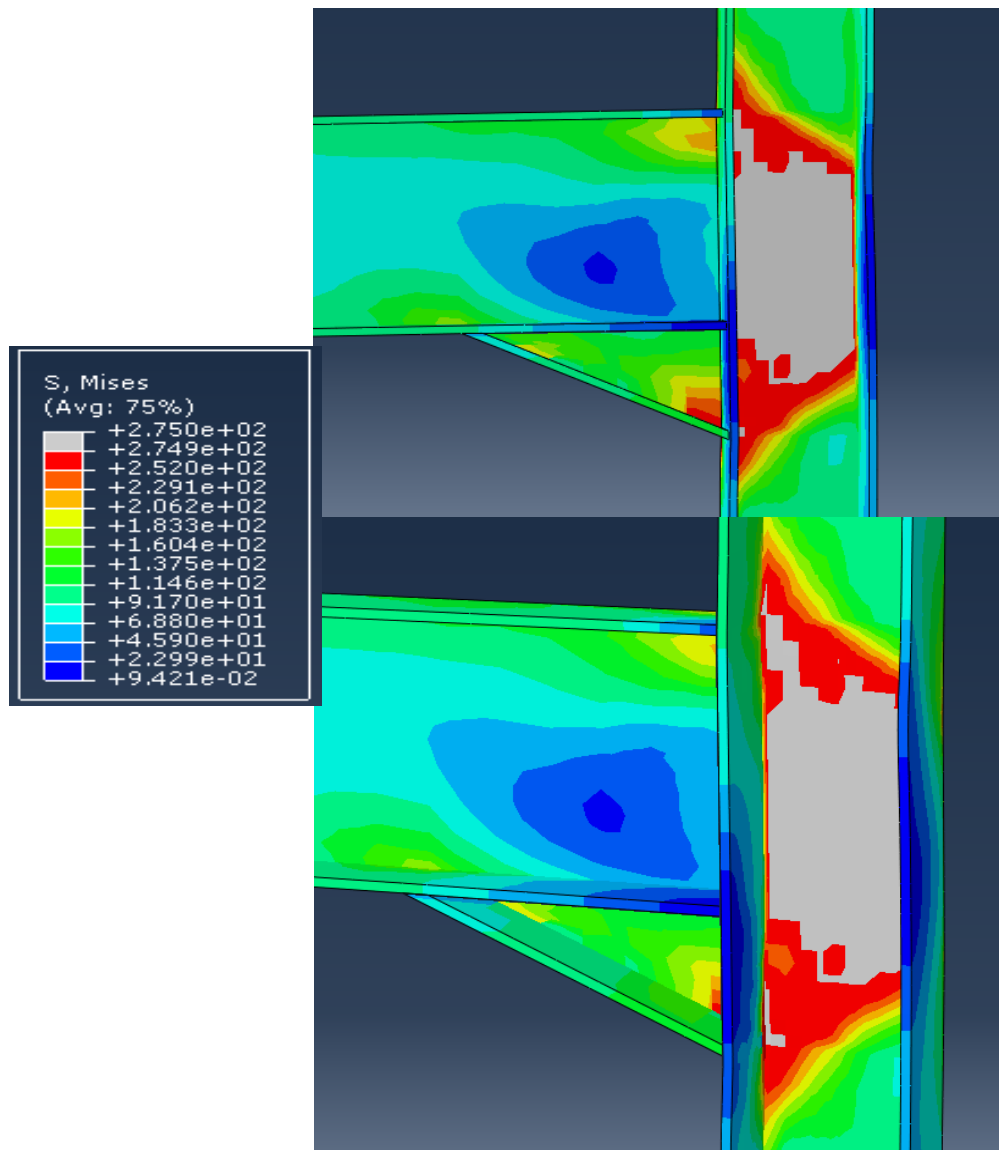


Figura 39. Detalle del modelo 1 al producirse la plastificación del panel. (Fuente: elaboración propia)

Para el modelo 2 (con 2 rigidizadores):

Se muestra en la siguiente figura como antes de haberse producido la plastificación la concentración más grande de esfuerzos se produce en el alma del pilar en el área correspondiente al canto de la viga. Cuando la estructura soporta una carga de 34,81kN.

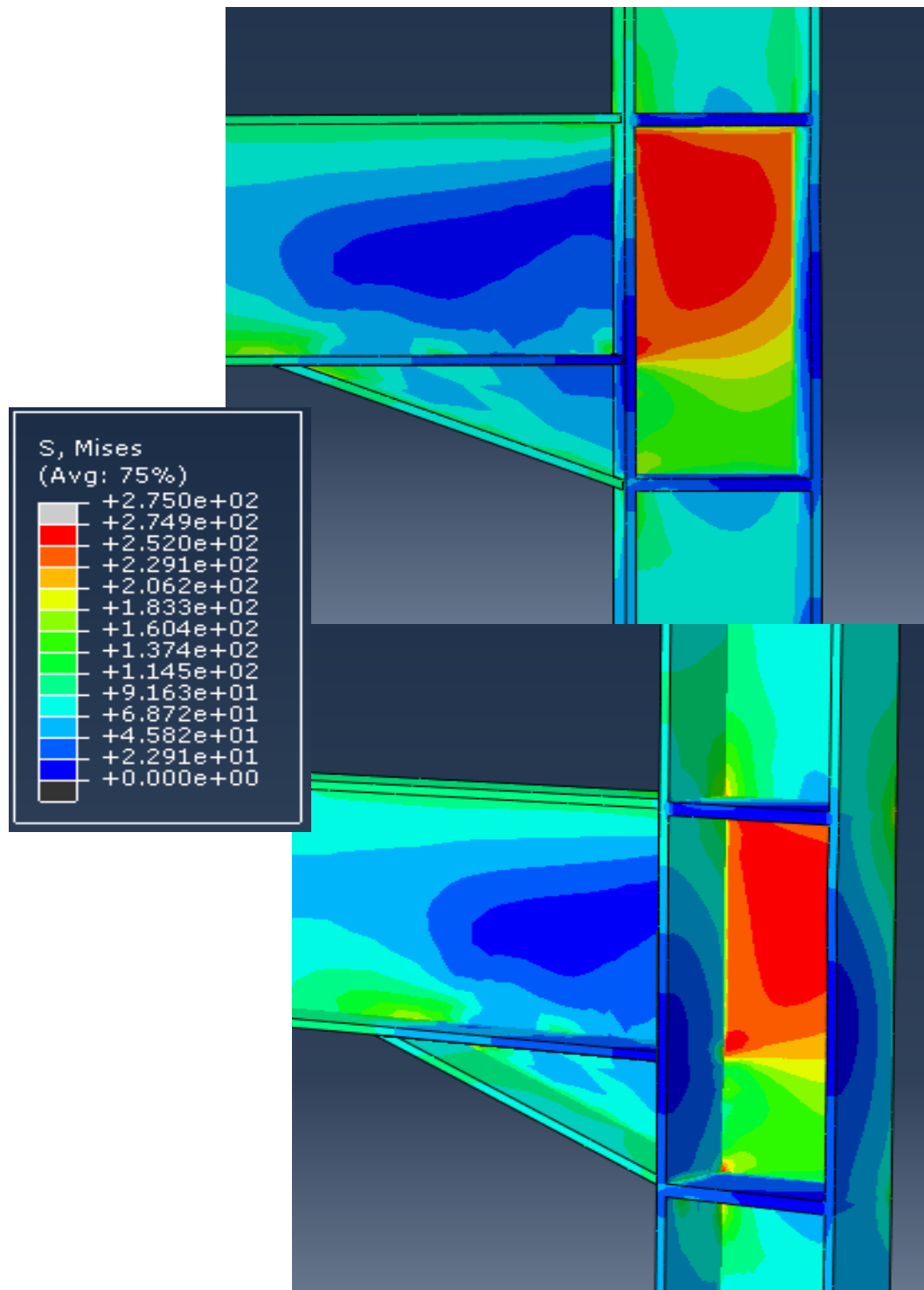


Figura 40. Detalle del modelo 2, antes de producirse la plastificación. (Fuente: elaboración propia)

Después de haber plastificado la unión, a una carga de 45,8kN, se puede observar como el área afectada es prácticamente la totalidad del panel central del pilar.

En el caso del modelo 3 (con 3 rigidizadores), la zona central del pilar se divide en dos paneles que corresponden con el espacio entre rigidizadores, por lo cual se estudiarán por separado.

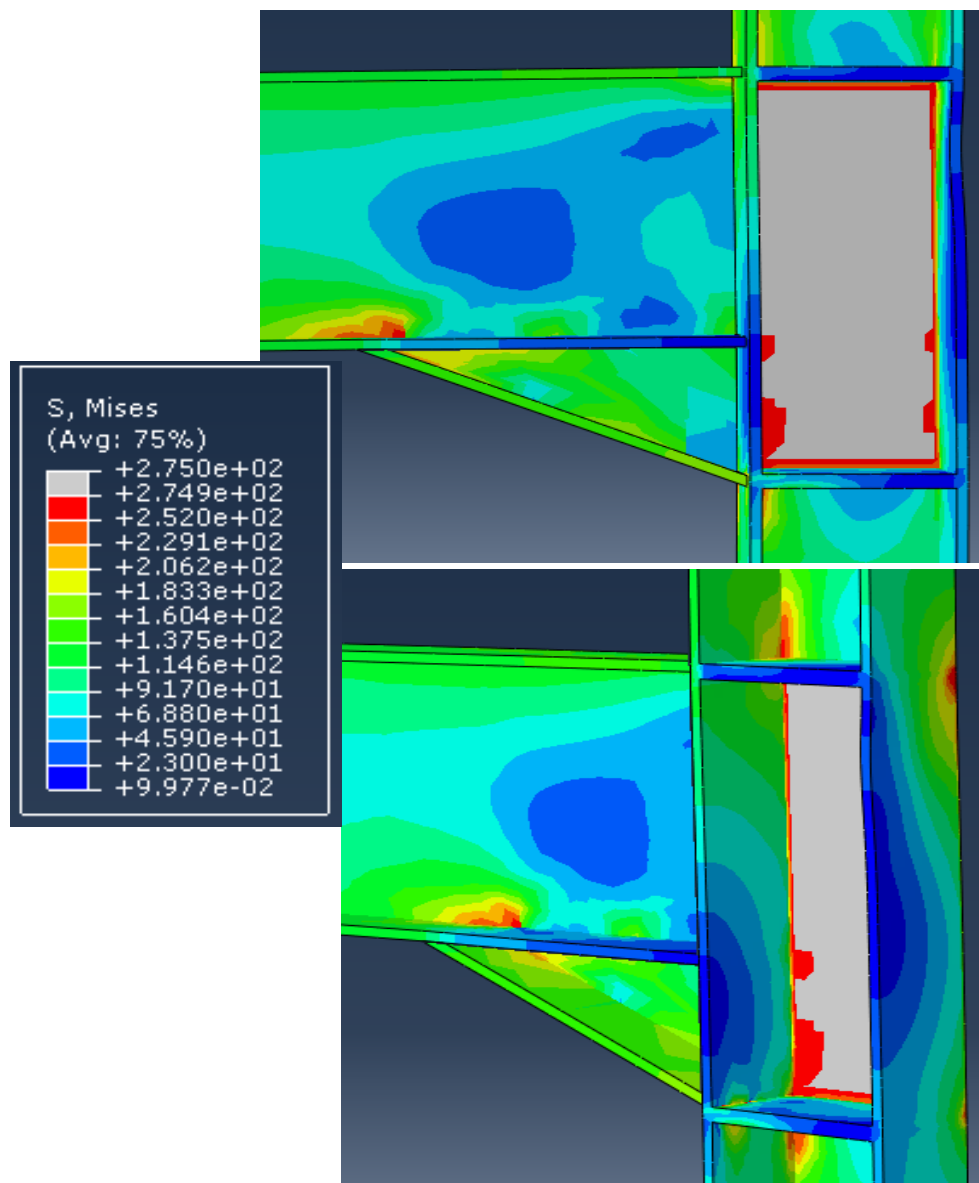


Figura 41. Detalle del modelo 2, después de producirse la plastificación. (Fuente: elaboración propia)

Para el caso del panel superior del pilar el momento antes de la plastificación se produce con una carga de: 35,87kN, se observa como la parte más afectada es el centro del panel.

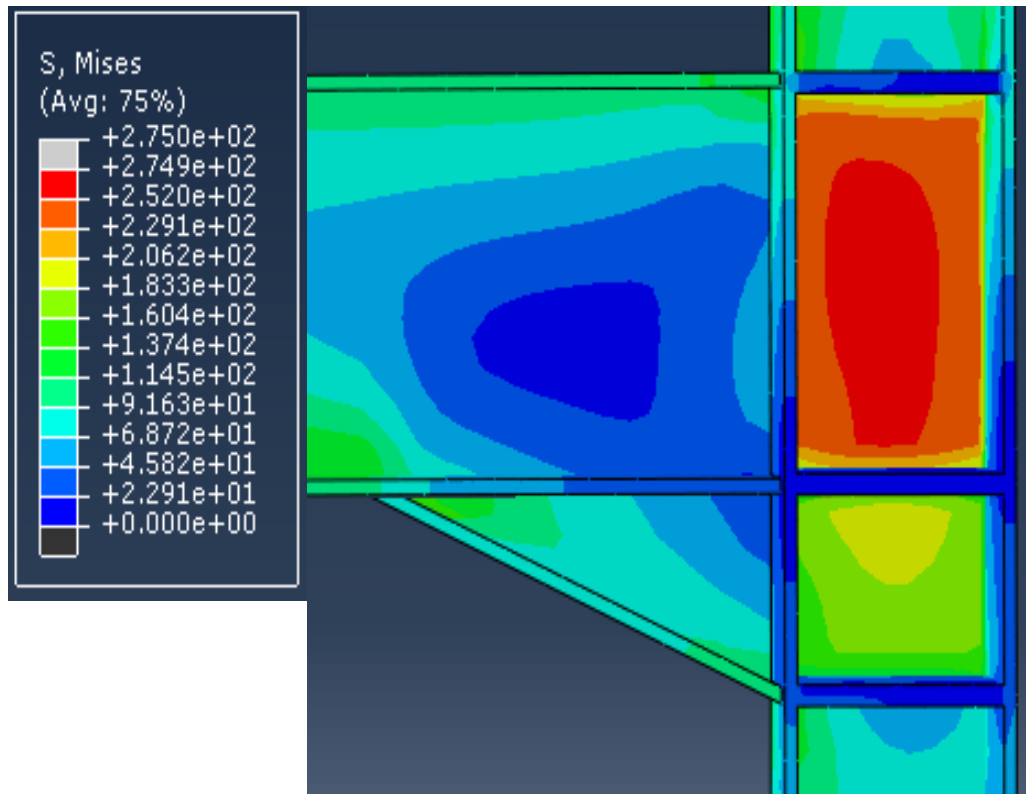


Figura 42. Detalle del modelo 3 antes de producirse la plastificación del panel superior. (Fuente: elaboración propia)

En el momento posterior a la plastificación del panel superior, que se produce con una carga de 45,68kN, se observa cómo ha plastificado todo el panel:

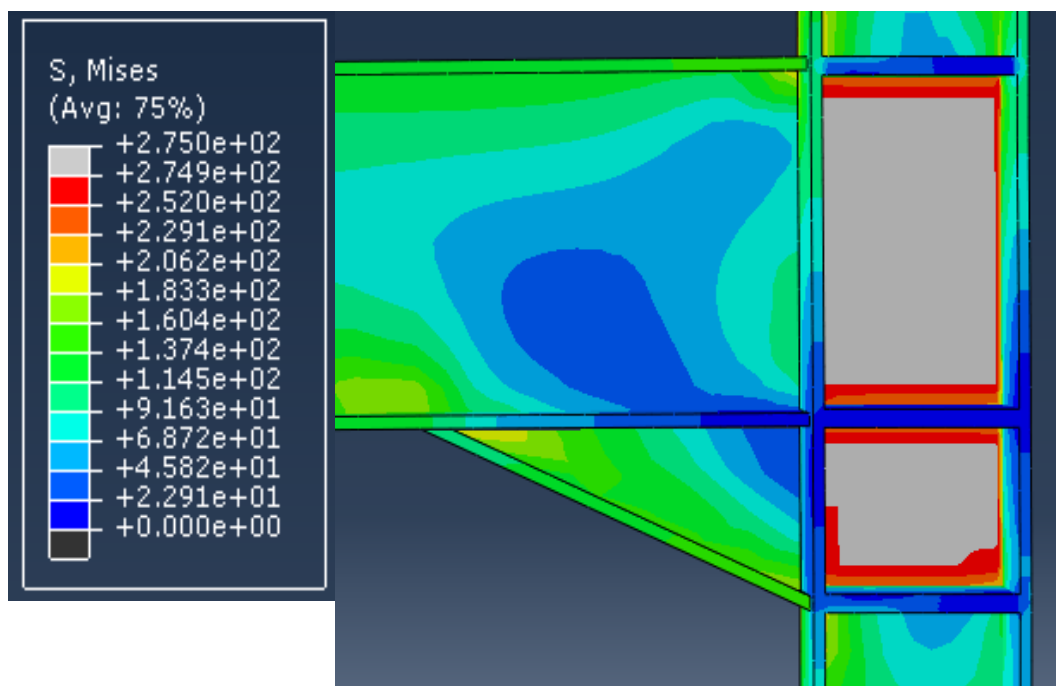


Figura 43. Detalle del modelo 3 después de producirse la plastificación del panel superior.

Por último para el modelo 4 (con el rigidizador diagonal), se puede observar en la figura que antes de plastificar y con una carga de 50,4kN; que las zonas que más esfuerzos soportan son el panel del pilar por encima del rigidizador diagonal, también la parte del alma del pilar donde se une el ala inferior de la viga y la unión de la viga con la cartela.

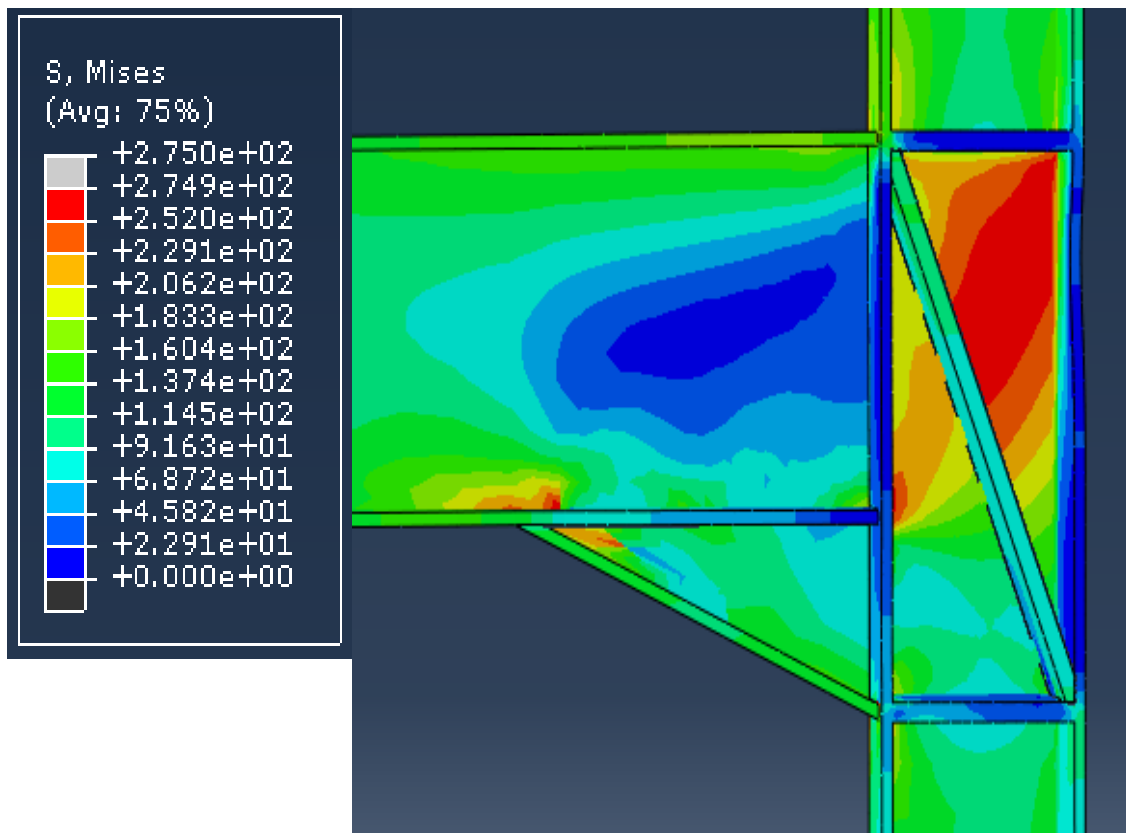


Figura 44. Detalle del modelo 4, antes de producirse la plastificación. (Fuente: elaboración propia)

Después de producirse la plastificación con una carga de 81kN, observando la figura se puede ver como la zona que más sufre es la parte del panel del pilar que queda por encima del rigidizador diagonal, así como la zona del ala del pilar superior a la unión con la viga, también hay grandes esfuerzos en el ala superior de la viga más próxima al pilar y en la unión de la viga con la cartela.

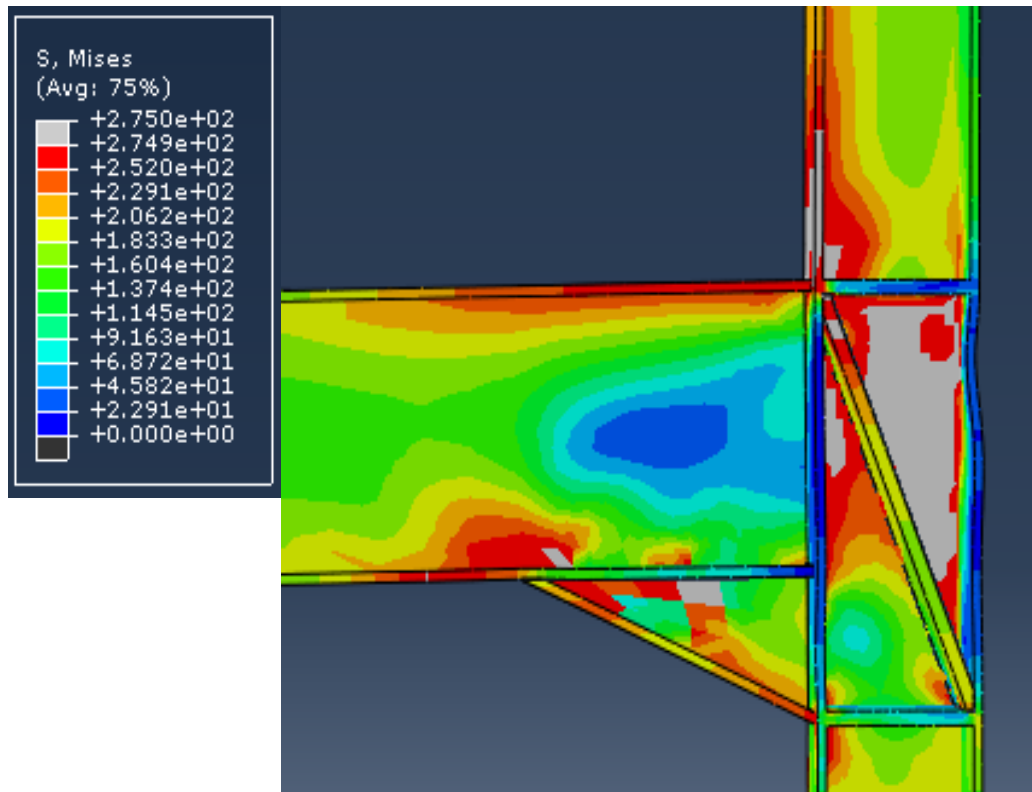


Figura 45. Detalle del modelo 4, después de producirse la plastificación. (Fuente: elaboración propia)

6.3 Caracterización del comportamiento uniones viga-pilar

A continuación se muestra una tabla con los parámetros que definen a la curva momento-rotación para la posterior clasificación de las uniones.

Tabla 2. Rigideces iniciales y momentos últimos de las uniones

	Modelo1 (cartela)	Modelo 2 (2 rigidizadores)	Modelo 3 (3 rigidizadores)	Modelo 4 (rigidizador diagonal)
$S_{j,ini}$ (N·mm/rad)	$2.31 \cdot 10^{10}$	$2.83 \cdot 10^{10}$	$4.6575 \cdot 10^{10}$ (promedio)	$4.097 \cdot 10^{10}$
M_{Rd} (N·mm)	$9.518 \cdot 10^7$	$1.1665 \cdot 10^8$	$1.1685 \cdot 10^8$ (promedio)	$1.9766 \cdot 10^8$

A partir de estos datos se procederá a clasificar la unión.

6.3.1.1 Clasificación de las uniones según su rigidez

Se ha explicado el criterio de clasificación en la introducción, con lo cual con los datos de la viga a utilizar en los modelos se obtienen los siguientes resultados:

$$\frac{EI_b}{2L_b} = 7.3115 \cdot 10^9 N \cdot mm$$
$$k \frac{EI_b}{2L_b} = 1.8279 \cdot 10^{11} N \cdot mm$$

Se han presentado las uniones conforme su rigidez es creciente, una vez hecho el promedio entre ambos paneles en el modelo 3 se observa que la rigidez de esta unión es mayor pero aun así muy similar a la del modelo 4, se concluye que todas las uniones son semirrígidas.

6.3.1.2 Clasificación de las uniones según su resistencia

Para clasificar las uniones según su resistencia habrá que comparar el momento último de cada modelo obtenido mediante el diagrama momento rotación, con el momento último de la viga y del pilar.

$$M_{pl,Rd}^{pilar} = 1,181 \cdot 10^8 N \cdot mm$$
$$M_{pl,Rd}^{viga} = 1,728 \cdot 10^8 N \cdot mm$$

Comparando estos resultados con los obtenidos mediante la curva de momento-rotación, las uniones quedan clasificadas de manera que solo la del modelo 4 es de resistencia total, mientras que las del resto son todas de resistencia parcial. Siendo la del modelo uno la que tiene la menor resistencia de todas.

6.3.1.3 Desplazamientos y giros de los diferentes modelos

En este apartado se incluyen los desplazamientos y giros que se producen cuando la unión trabaja en régimen lineal y cuando se produce la plastificación y el fallo.

En caso del modelo 1, se puede ver en la siguiente figura los desplazamientos cuando la unión todavía no ha plastificado (carga: 28,99kN), si nos centramos en el punto donde se aplica la carga vemos que el desplazamiento vertical es de 6,28mm

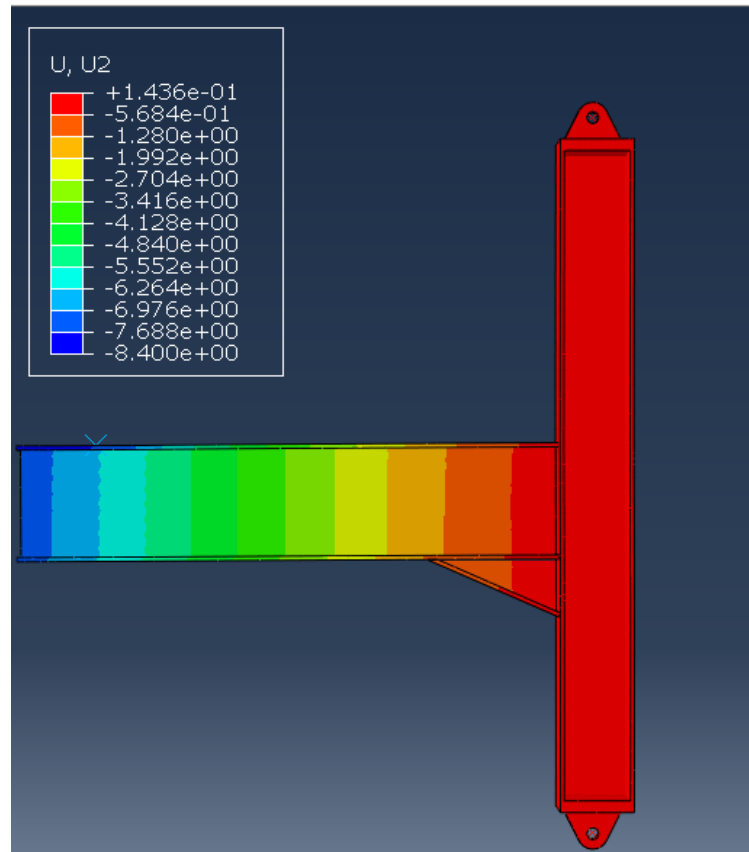


Figura 46. Desplazamientos verticales del modelo 1 antes de plastificar. (Fuente: elaboración propia).

Para obtener el giro en el punto de carga será necesario aplicar la siguiente ecuación:

$$\tan\theta_2 = \frac{u^{sup} + u^{inf}}{h} \approx \theta_2$$

Es decir habrá que obtener los desplazamientos horizontales en el punto superior e inferior de la viga, en la línea de aplicación de la carga, se muestran en la siguiente imagen los desplazamientos horizontales del extremo de la viga:

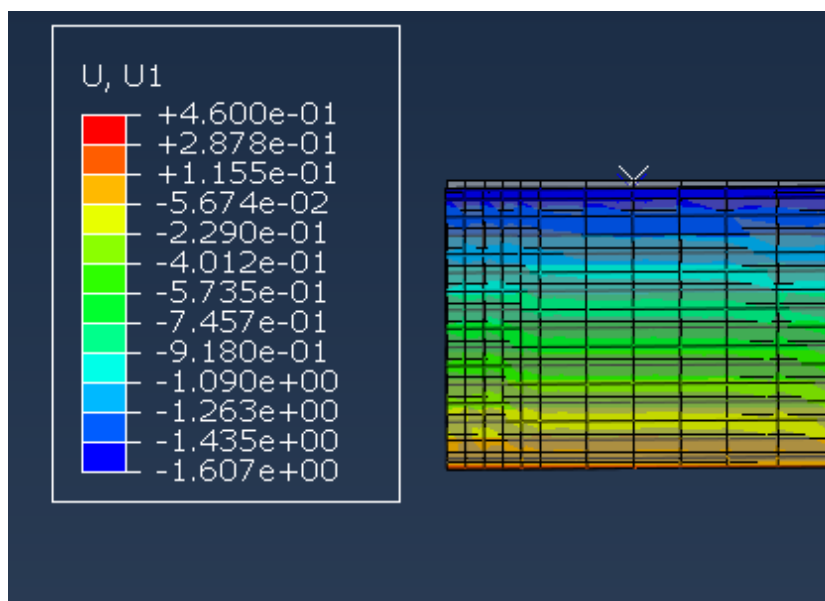


Figura 47. Desplazamientos horizontales en el extremo de la viga antes de plastificar modelo 1. (Fuente: elaboración propia)

Se obtiene que el giro es: $\theta_1 = 5,63\text{mrad}$

Para el caso de después de la plastificación (carga: 39,09kN) se tienen los desplazamientos verticales que se muestran en la siguiente figura, que en el caso de la línea de carga son de: 23,25mm

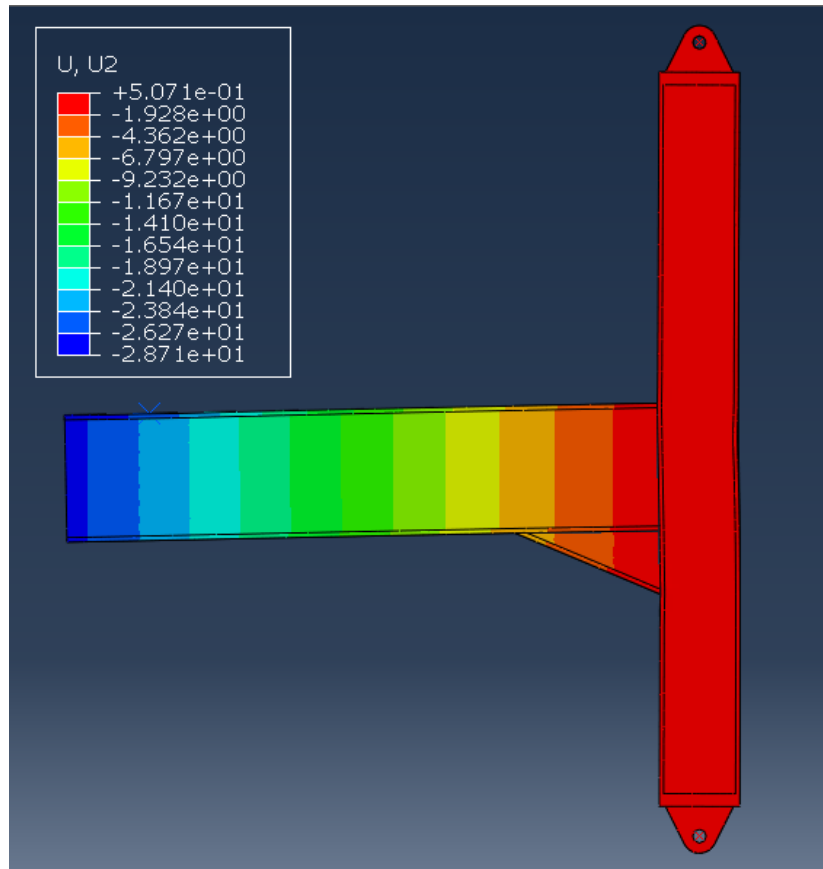


Figura 48. Desplazamientos verticales modelo 1 después de plastificar. (Fuente: elaboración propia)

Para obtener los giros, se realiza lo mismo que en el caso anterior, se obtiene que:

$$\theta'_1 = 19,94\text{mrad}$$

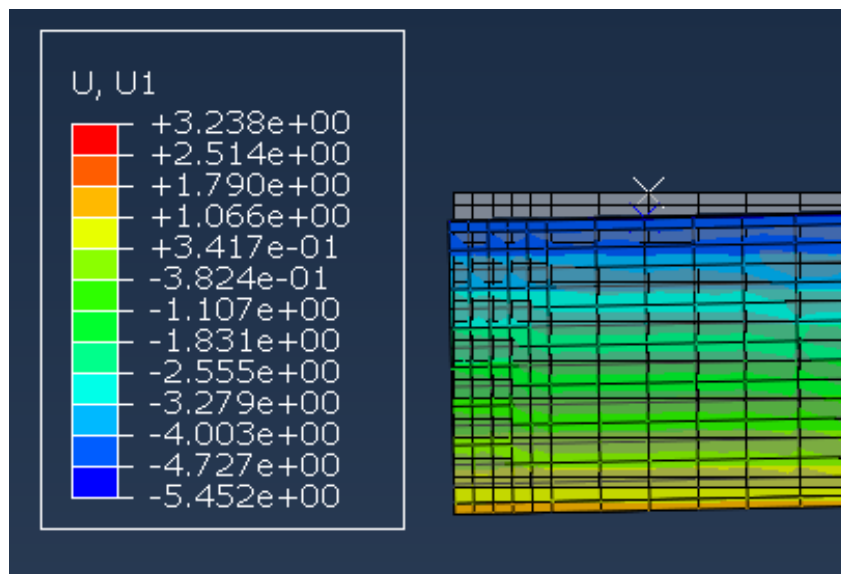


Figura 49. Desplazamientos horizontales extremo de la viga modelo 1 después de plastificar. (Fuente: elaboración propia)

Para el caso del modelo 2, los desplazamientos verticales en la estructura antes de plastificar (con una carga de 34,81kN) se muestran en la siguiente imagen y centrándonos en el que se produce en la línea de carga será de: 6,69mm

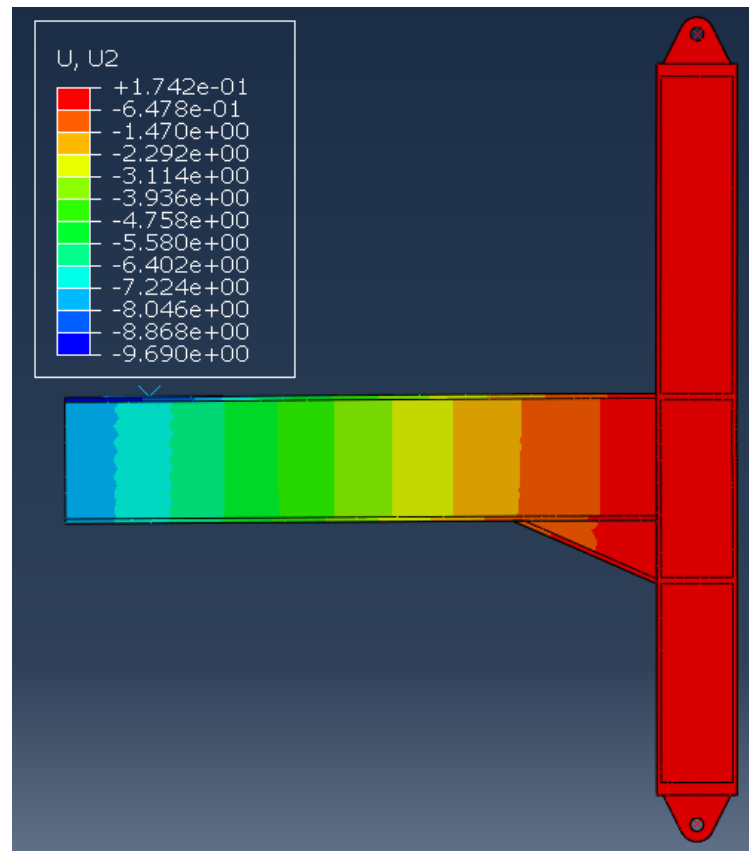


Figura 50. Desplazamientos verticales modelo 2 antes de plastificar. (Fuente: elaboración propia)

El giro obtenido en este caso es: $\theta_2 = 6,06mrad$

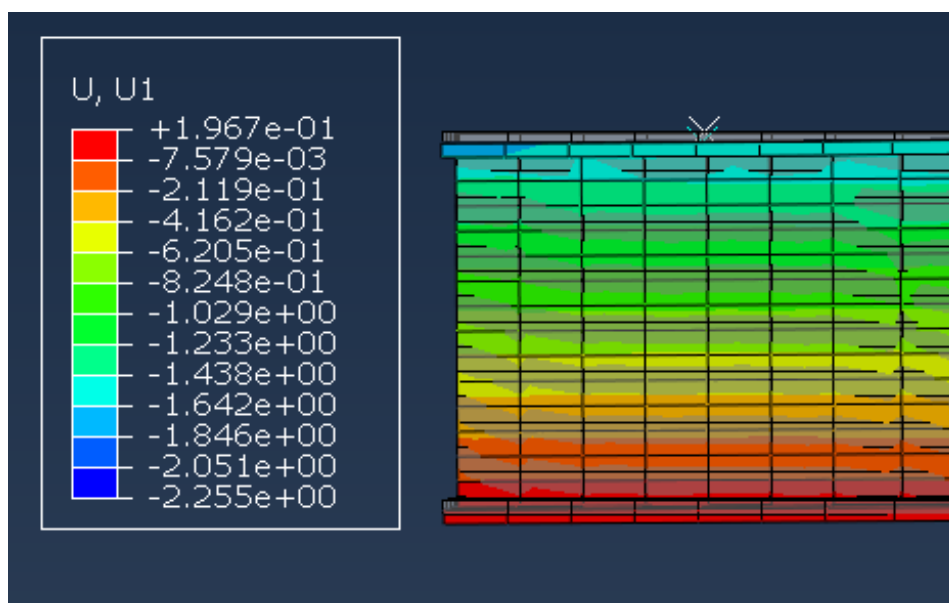


Figura 51. Desplazamientos horizontales extremo de la viga modelo 2 antes de plastificar. (Fuente: elaboración propia)

Después de plastificar, es decir, con un nivel de carga de 45,8kN los desplazamientos verticales que se obtienen son los que aparecen en la siguiente figura, centrándonos en el que se obtiene en la línea de carga que es de 16,21mm:

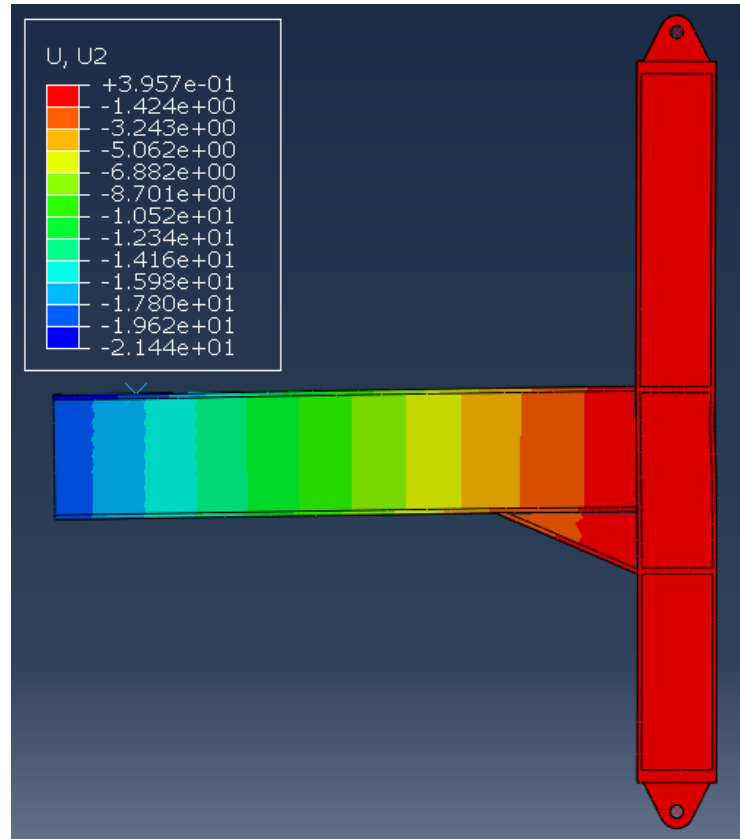


Figura 52. Desplazamientos verticales modelo 2 después de plastificar. (Fuente: elaboración propia)

Para el caso de los giros, se obtiene. $\theta'_2 = 14,73\text{mrad}$

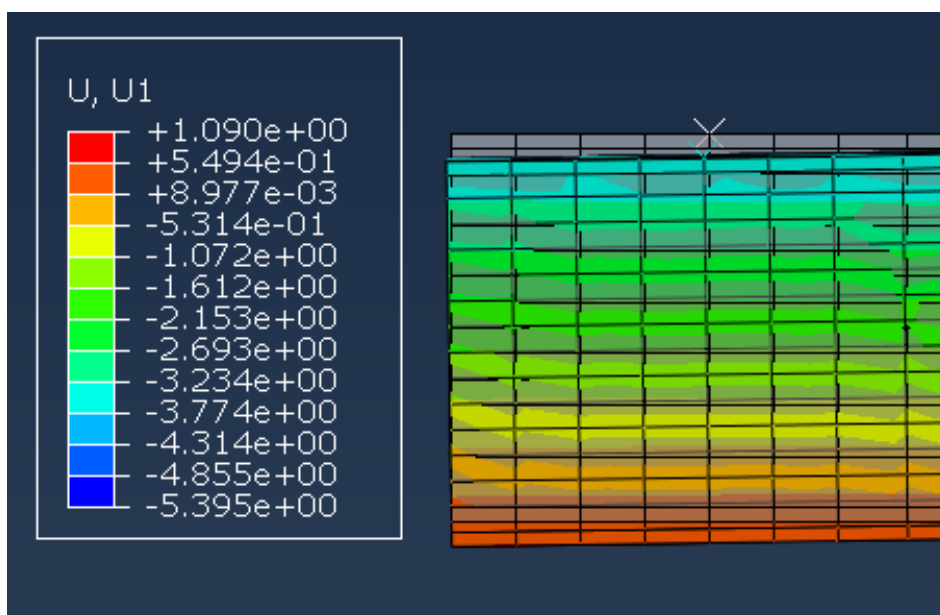


Figura 53. Desplazamientos horizontales extremo viga modelo 2 después de plastificar. (Fuente: elaboración propia)

En el modelo 3, antes de plastificar (carga: 35,87kN) los desplazamientos verticales de la estructura se ven reflejados en la siguiente figura, siendo en la línea de carga de 6,14mm

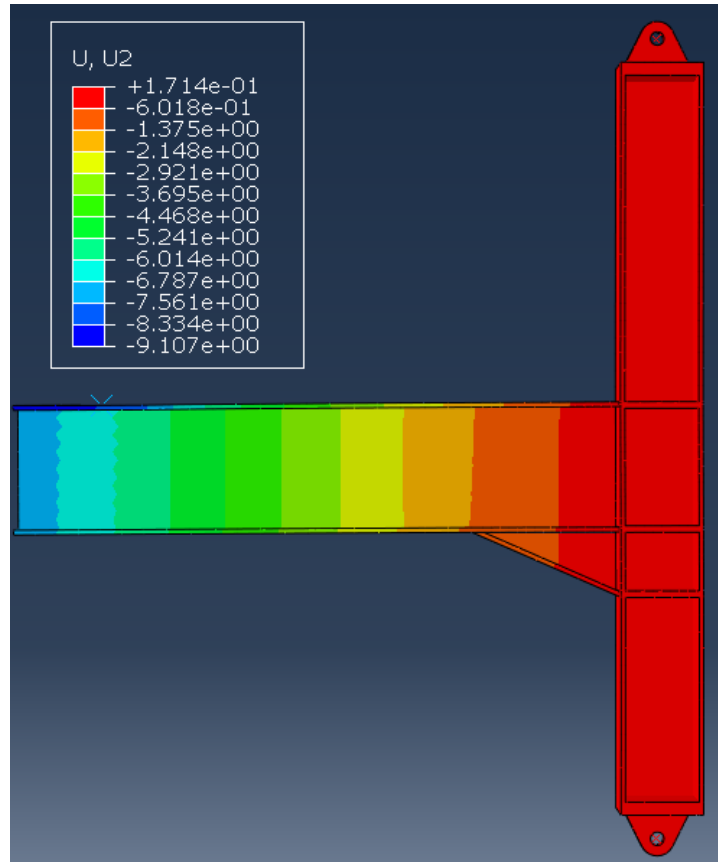


Figura 54. Desplazamientos verticales modelo 3 antes de plastificar. (Fuente: elaboración propia)

Para los giros, se obtiene que $\theta_3 = 5,62mrad$

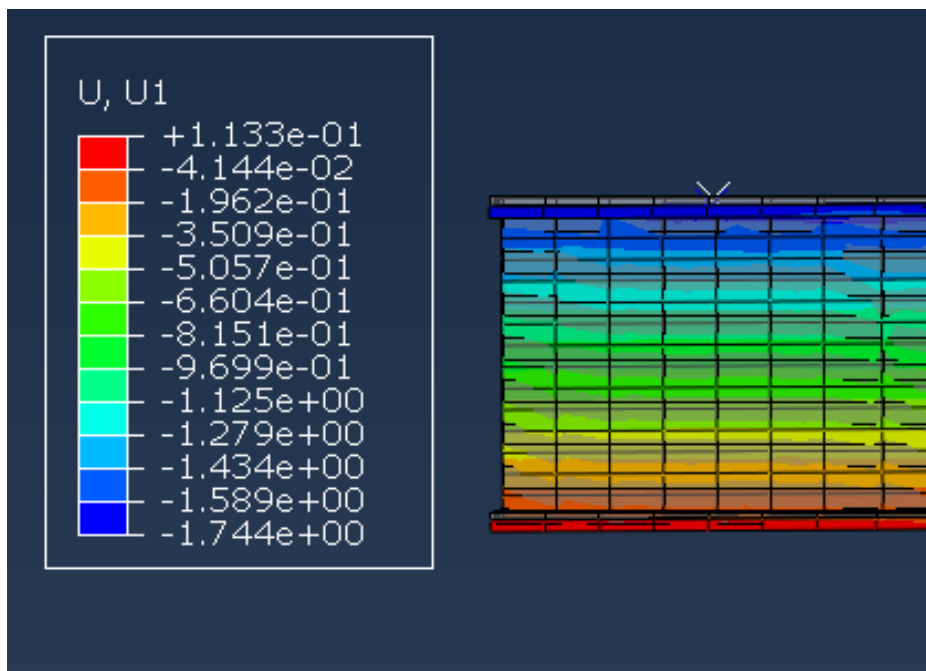


Figura 55. Desplazamientos horizontales extremo viga modelo 3 antes de plastificar. (Fuente: elaboración propia)

Después de producirse la plastificación, con una carga de 45,68kN los desplazamientos verticales se muestran en la figura, siendo de la línea de carga de: 10,84mm

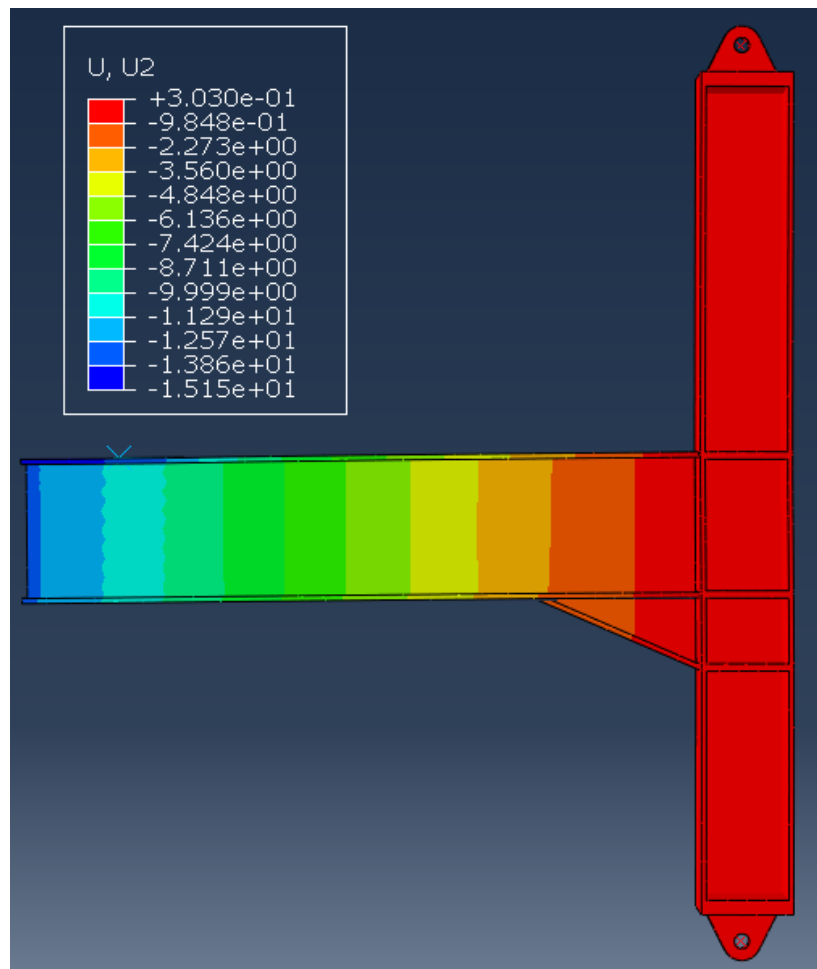


Figura 56. Desplazamientos verticales modelo 3 después de plastificar (Fuente: elaboración propia)

Para los giros, se obtiene que $\theta'_3 = 9,73mrad$

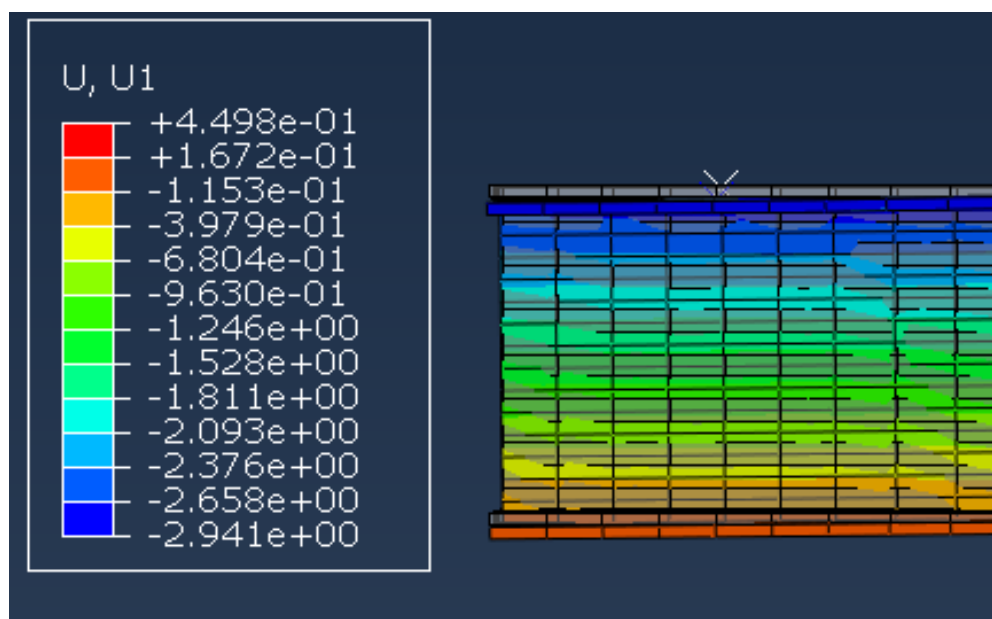


Figura 57. Desplazamientos horizontales extremo viga modelo 3 después de plastificar. (Fuente: elaboración propia)

Por último para el modelo 4, antes de plastificar con una carga de 50,4 kN los desplazamientos verticales se muestran en la figura, siendo en la línea de carga de: 8,81mm

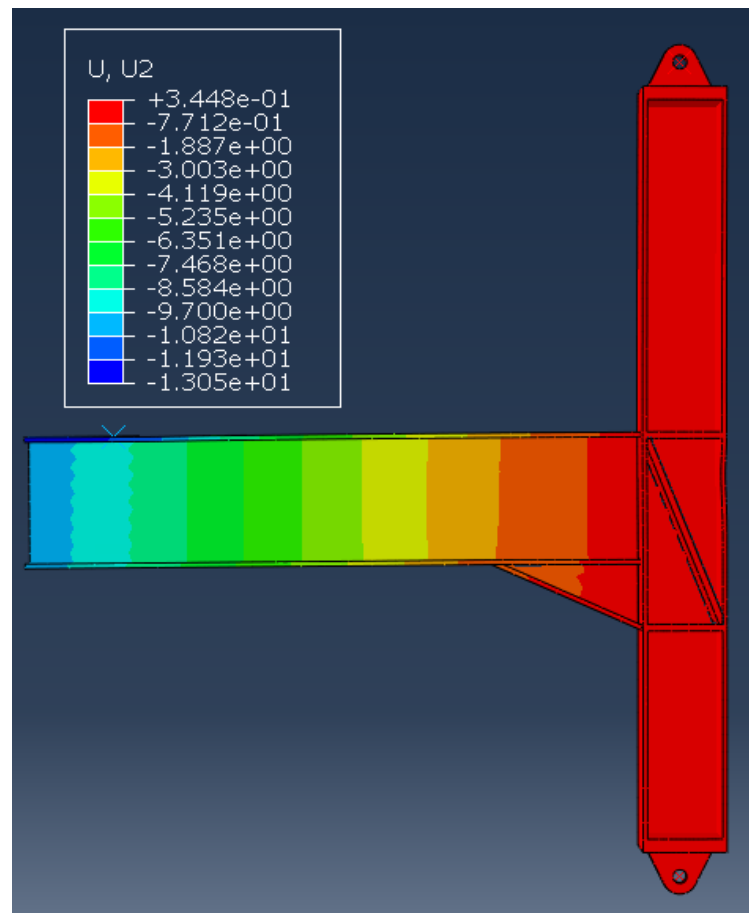


Figura 58. Desplazamientos verticales modelo 4 antes de plastificar. (Fuente: elaboración propia)

Siendo el giro obtenido de $\theta_4 = 7,97\text{mrad}$

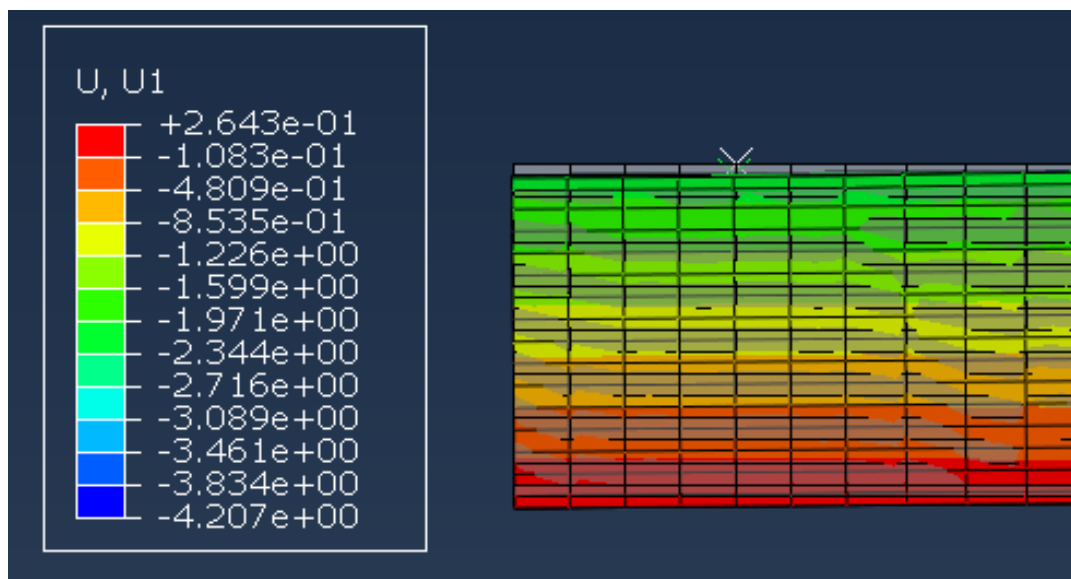


Figura 59. Desplazamientos horizontales en el extremo de la viga antes de producirse la plastificación. (Fuente: elaboración propia)

Después de plastificar (carga 81kN), los desplazamientos verticales son los de la figura siendo de 20,1724mm el de la línea de carga

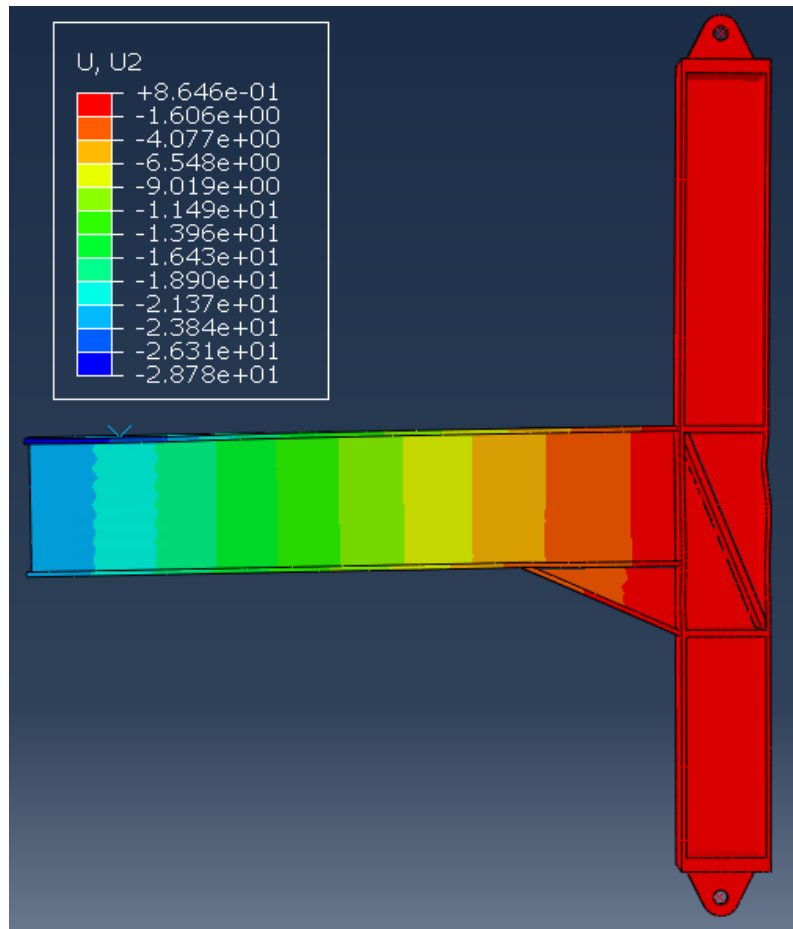


Figura 60. Desplazamientos verticales modelo 4 después de producirse la plastificación.
(Fuente: elaboración propia)

Y el giro obtenido en este caso es $\theta'_4 = 19,36\text{mrad}$

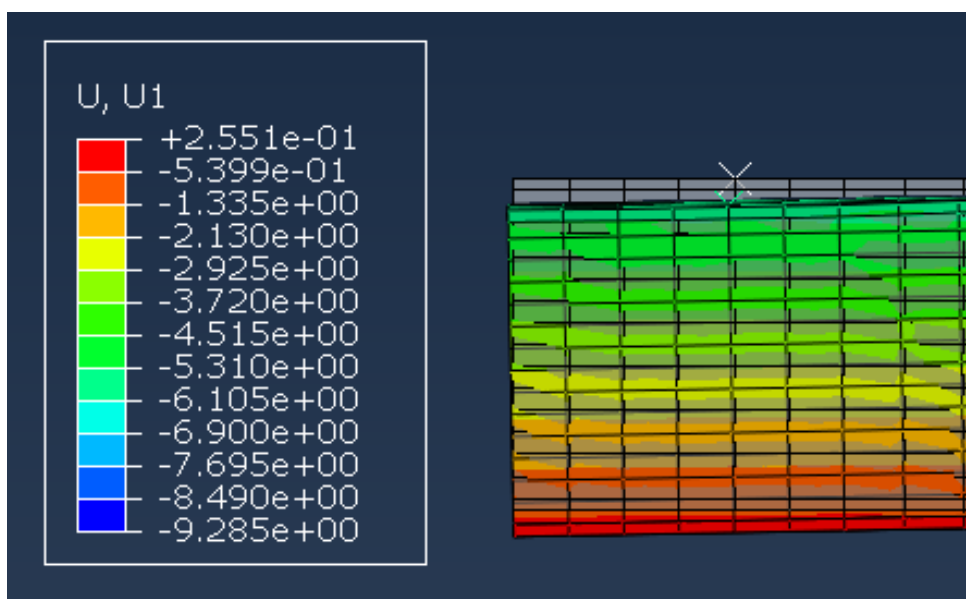


Figura 61. Desplazamientos horizontales extremo viga modelo 4 después de plastificar.
(Fuente: elaboración propia)

6.3.1.4 Tensiones cortantes

A continuación se muestran las figuras con las tensiones cortantes que se producen en las uniones de los distintos modelos, antes y después de la plastificación.

Para el modelo 1:

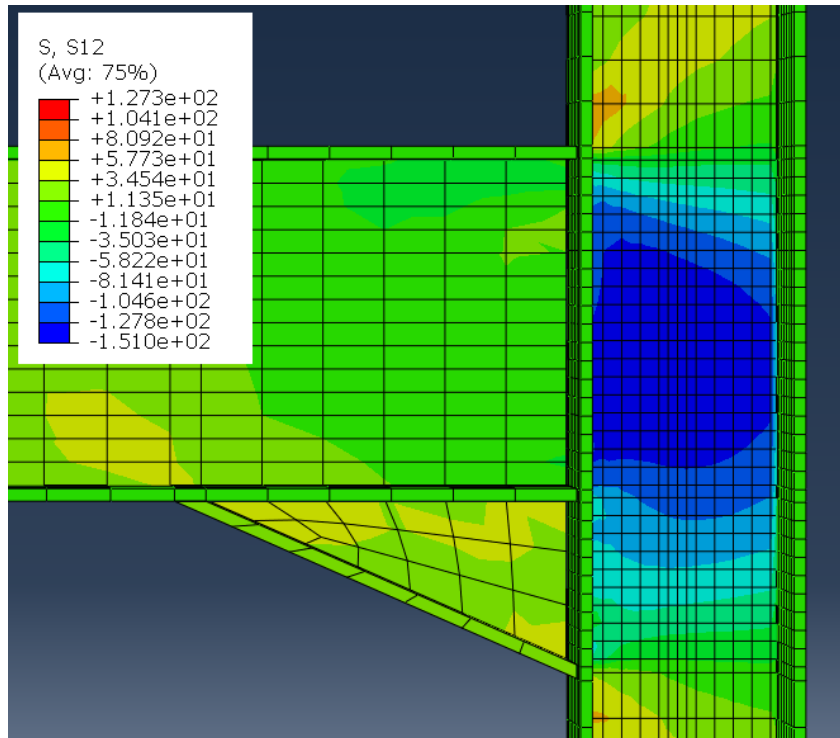


Figura 62. Tensiones cortantes régimen elástico modelo 1. (Fuente: elaboración propia)

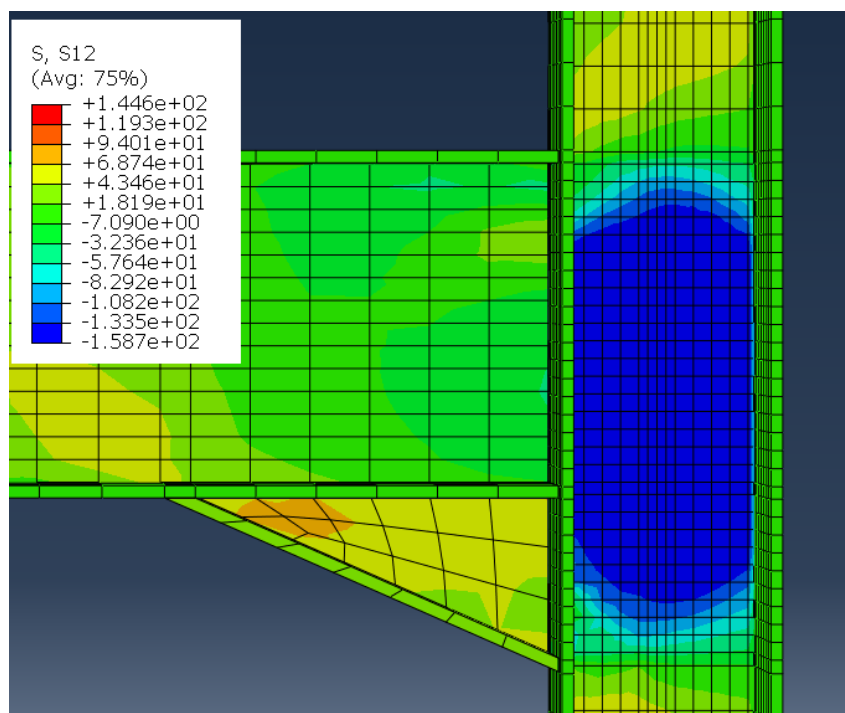


Figura 63. Tensiones cortantes régimen plástico modelo 1. (Fuente: elaboración propia)

Como se puede observar vemos que antes de producirse la plastificación las mayores tensiones cortantes se producen en el centro de la unión en el alma del pilar, tras producirse la plastificación las tensiones máximas ocupan prácticamente toda el alma del pilar que forma parte de la unión.

Para el modelo 2:

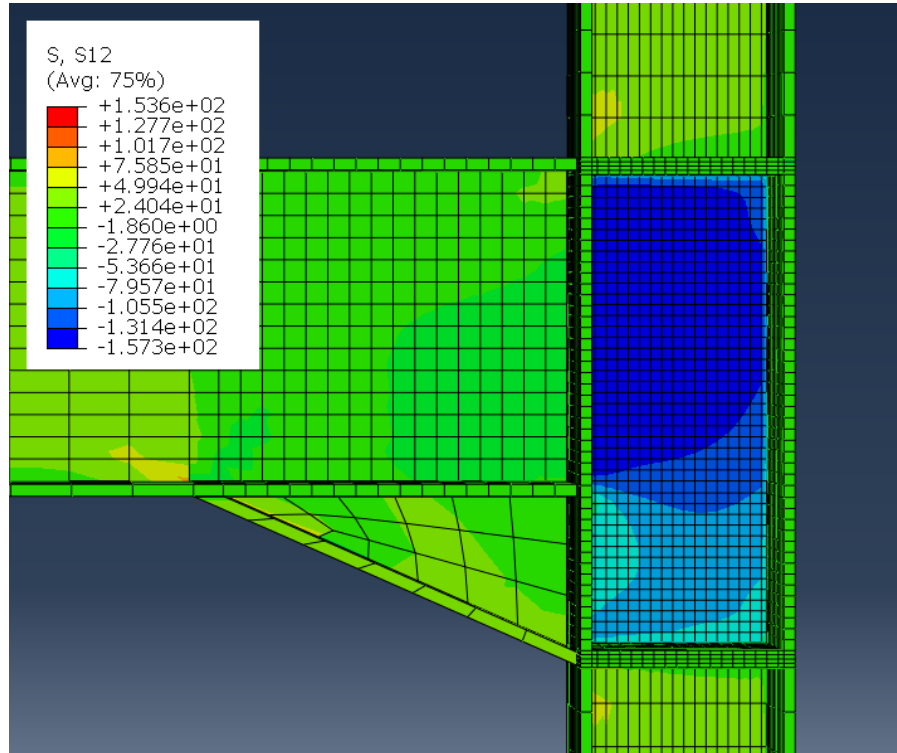


Figura 64. Tensiones cortantes régimen elástico modelo 2. (Fuente: elaboración propia)

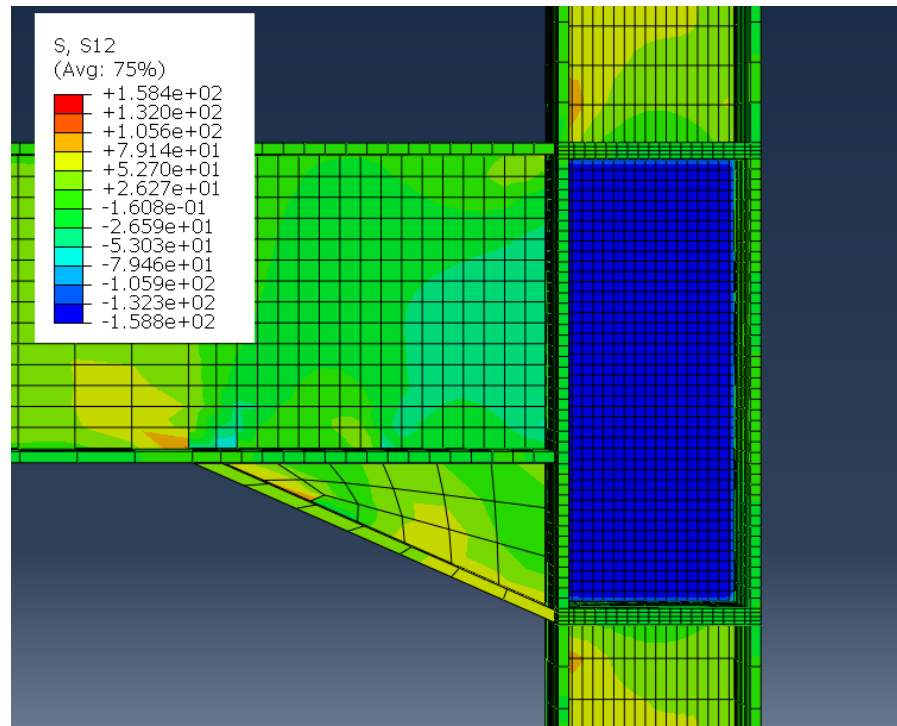


Figura 65. Tensiones cortantes régimen plástico modelo 2. (Fuente: elaboración propia)

Antes de plastificar los valores máximos de las tensiones cortantes en la unión se encuentran en el alma del pilar en la zona que corresponde al área de la viga, luego se observa que toda el área entre rigidizadores tiene el mismo valor. Que además es muy parecido al obtenido en el modelo anterior.

Para el modelo 3:

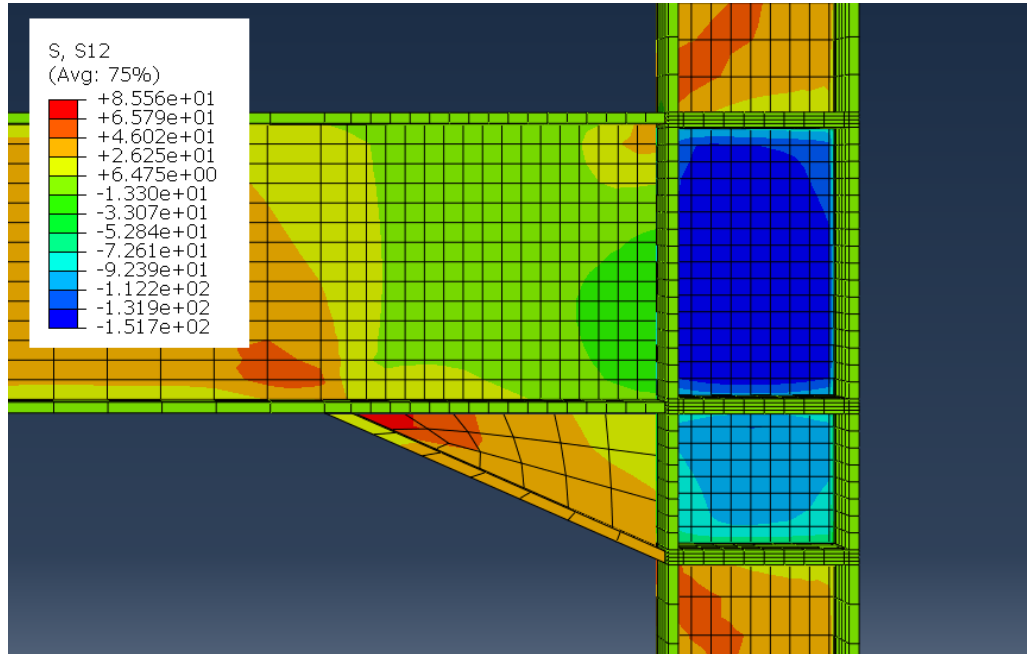


Figura 66. Tensiones cortantes régimen elástico modelo 3. (Fuente: elaboración propia)

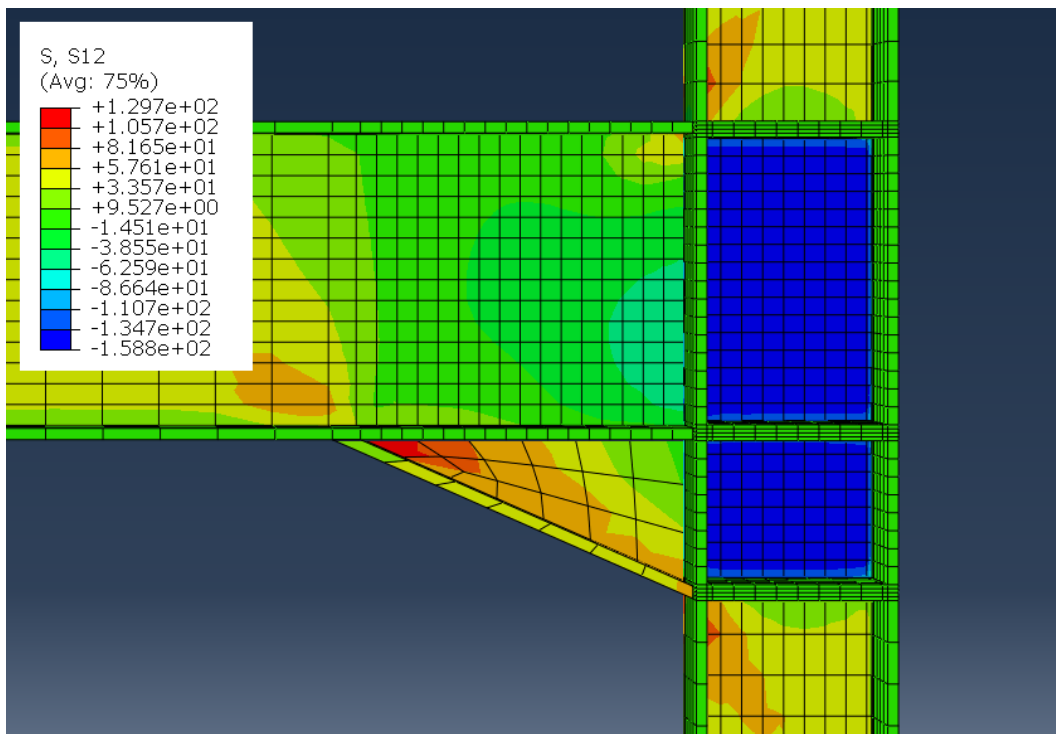


Figura 67. Tensiones cortantes régimen plástico modelo 3. (Fuente: elaboración propia)

En este modelo se puede observar como en el régimen elástico las tensiones son mayores en el panel superior.

Para el modelo 4:

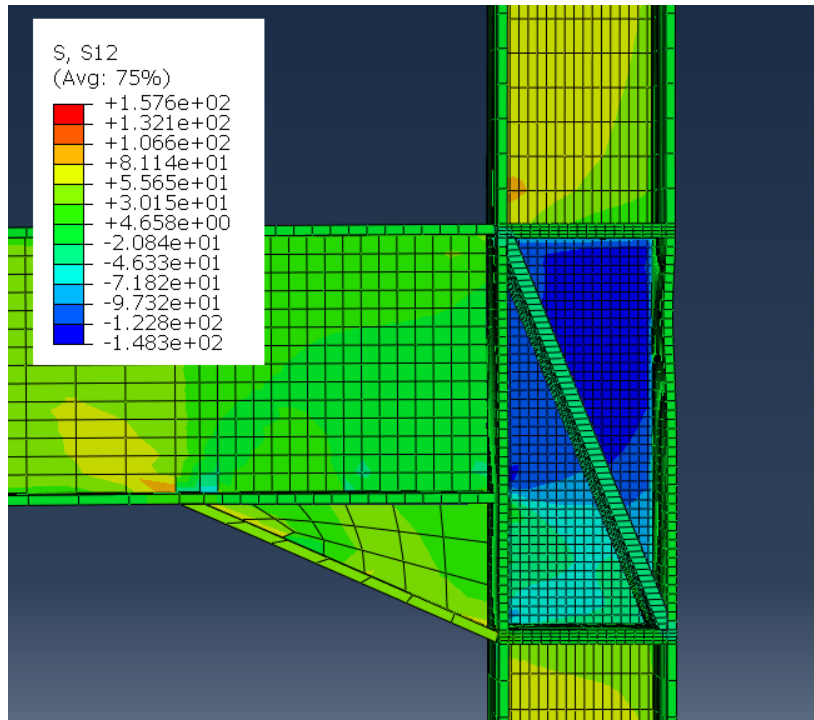


Figura 68. Tensiones cortantes régimen elástico modelo 4. (Fuente: elaboración propia)

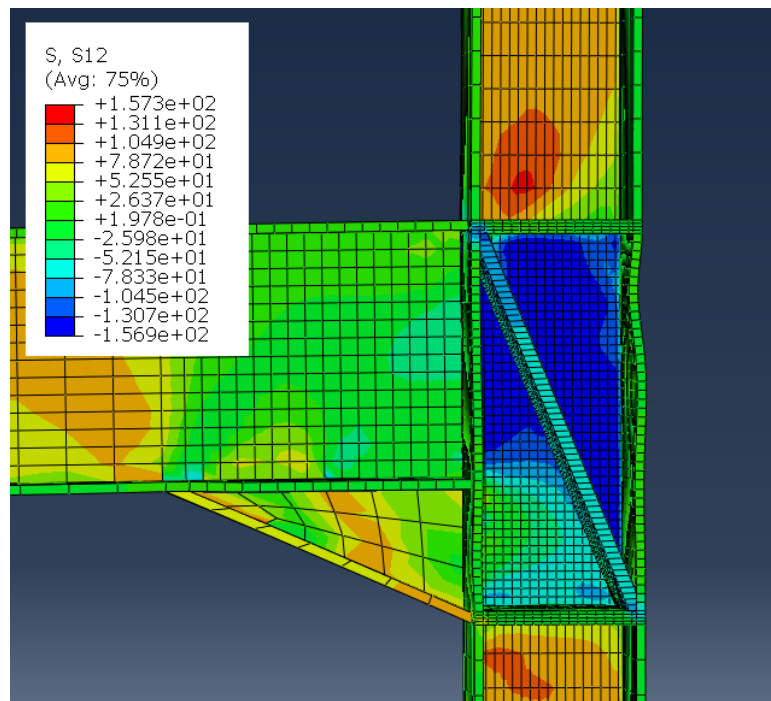


Figura 69. Tensiones cortantes régimen plástico modelo 4. (Fuente: elaboración propia)

En este caso como se puede ver hay poca diferencia entre los valores del régimen lineal y del régimen plástico. Esto puede ser debido a la rigidez de la unión.

7 ANÁLISIS POSTERIORES

En este capítulo se procederá a comparar el modelo 1, por ser el menos rígido, con dos nuevos modelos que se implementaran con el tipo de elementos viga, en lugar de sólido como los modelos descritos hasta ahora.

Uno de ellos tendrá un comportamiento semirrígido para ello se definirá un conector que actúa como un muelle rotacional.

El segundo de ellos tendrá un comportamiento rígido.

La implementación de ambos modelos se explicará en los siguientes apartados.

7.1.1 Modelo con elementos viga comportamiento semirrígido.

Este nuevo modelo se implementará de la siguiente forma:

Se crean dos partes distintas, pilar y viga que serán del tipo “3D-Deformable-Wire-Planar”

En el modo Sketch se realizará un esbozo de la parte como se muestra en la figura:

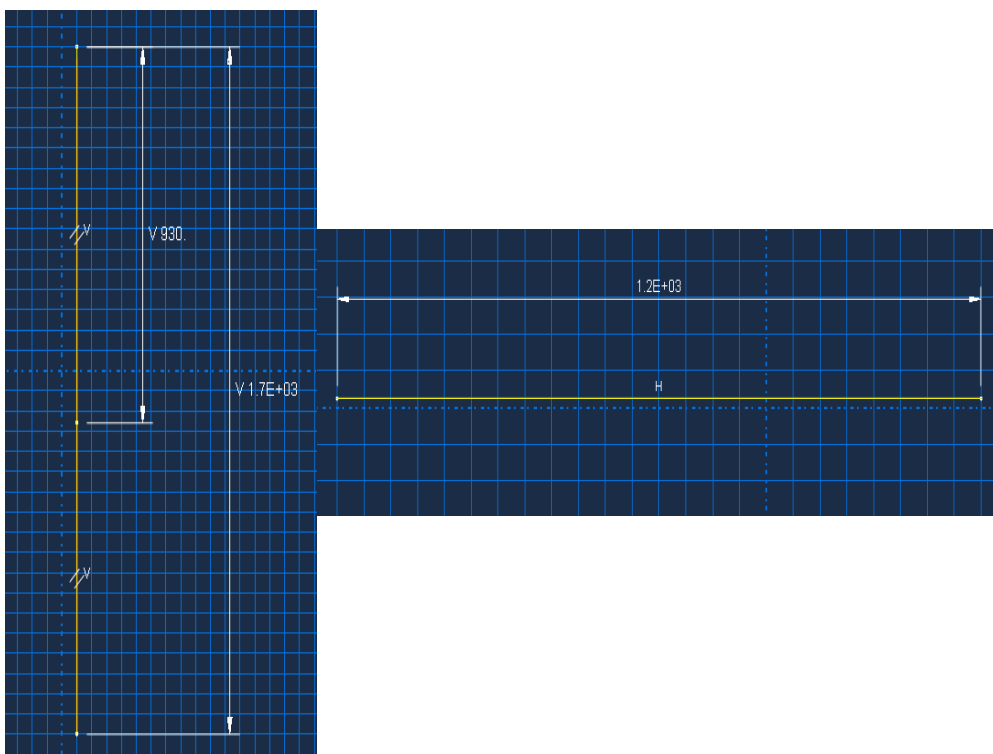


Figura 70. Boceto pilar (izquierda) y boceto viga (derecha). (Fuente: elaboración propia).

Se definen los dos perfiles (viga y pilar) con los datos dimensionales de los perfiles HEA200 e IPE300

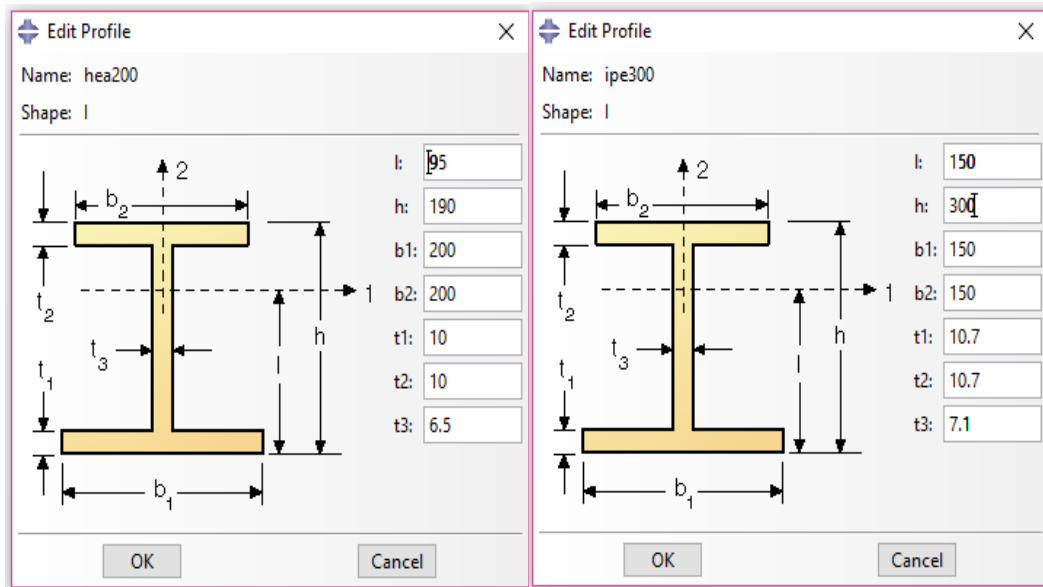


Figura 71. Perfiles utilizados para las secciones. (Fuente: elaboración propia)

Después se generan dos secciones a las que se le aplican los perfiles anteriormente creados y se le asignan a cada una de las partes.

Posteriormente en el módulo Property-Assign se define la orientación de las secciones, seleccionando por separado viga y pilar, en este caso se han dejado predefinidas.

Se realiza una malla que tendrá de tamaño de 25 en cada una de las partes. Y el tipo de elemento a usar será 3D con aproximación cuadrática, ya que en los modelos de viga son los que captan mejor la flexión.

Se crean las instancias en el módulo de ensamblaje y se establecerá un conector entre la viga y el pilar para ello se define un conector como se muestra en la siguiente figura

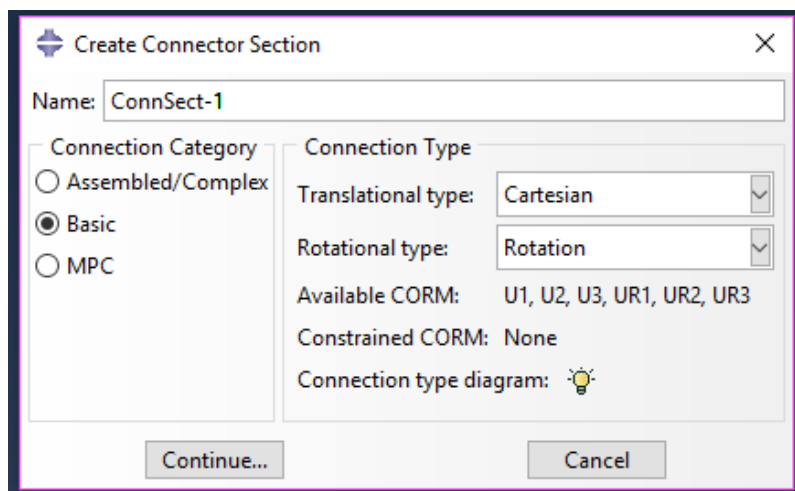


Figura 72. Definiendo el conector entre viga y pilar

Un vez realizado este paso se definen dos comportamientos elásticos, uno de ellos en los que se definirá un momento que de valor tendrá el momento último del modelo a comparar (modelo 1) y el otro comportamiento que se define será de tipo rígido.

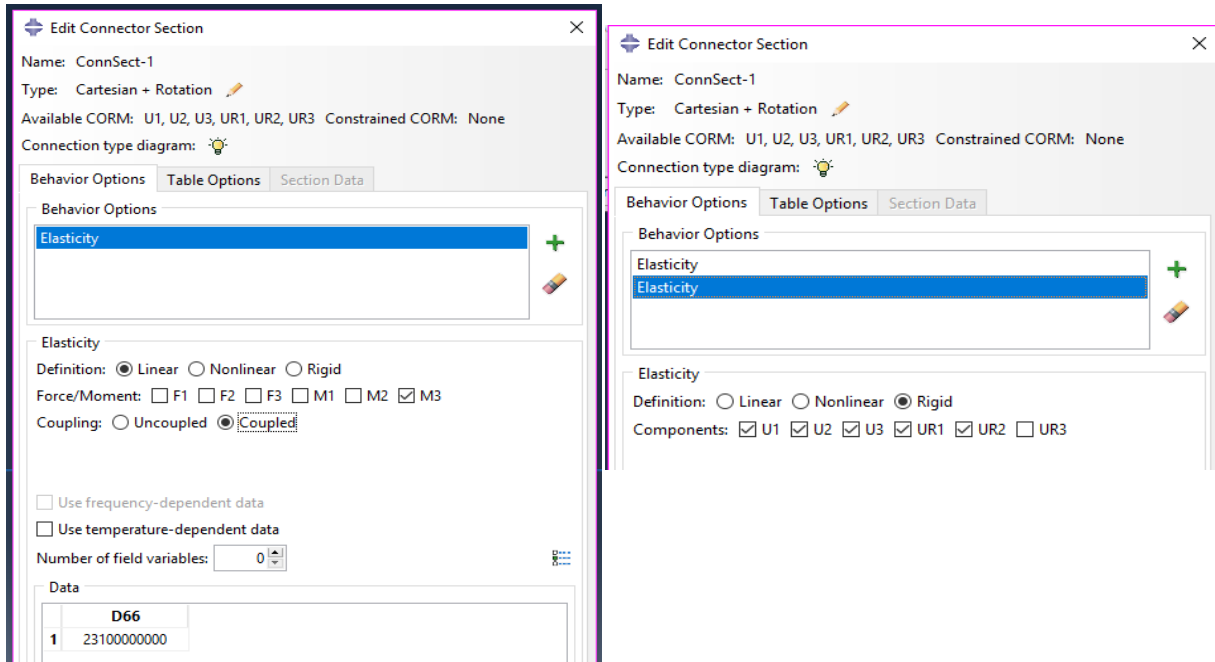


Figura 73. Comportamiento del conector

Después de crear este conector se utiliza la opción “Coincident Builder” y se seleccionan los puntos donde se unirán viga y pilar y se selecciona el conector anteriormente creado.

Se generará un Step de tipo Static-General.

El siguiente paso será la creación de la carga, que será la carga que soporta el modelo 1 antes de producirse la plastificación. Se situará en el extremo de la viga.

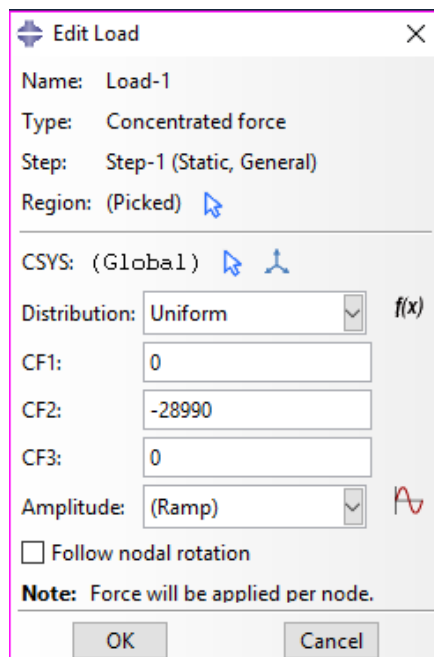


Figura 74. Implementación de la carga

Por último se realizarán las condiciones de apoyo donde se impedirán los desplazamientos pero no los giros.

Y se creará un nuevo trabajo para obtener los resultados.

7.1.2 Modelo de vigas comportamiento rígido

Este modelo se implementará de igual forma que el anterior modelo, la única diferencia entre ambos es que en lugar de utilizar un conector se utilizará una interacción entre ambas partes de tipo "Tie" entre el punto de la viga y el del pilar que se quieren unir.

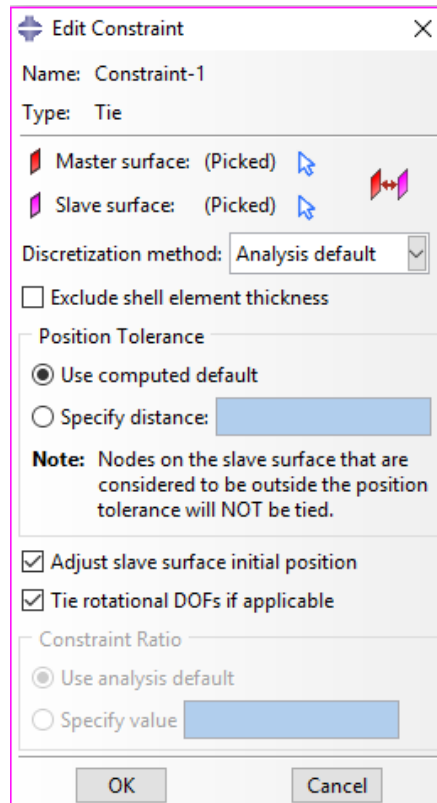


Figura 75. Condición de atado.

7.1.3 Resultados y comparación

Ahora se obtendrán los desplazamientos verticales de ambos modelos nuevos y se compararán con los del modelo de sólidos. En las figuras que se muestran a continuación se ha exagerado la deformada hasta 10 veces para que se pueda ver con mayor claridad los resultados mostrados.

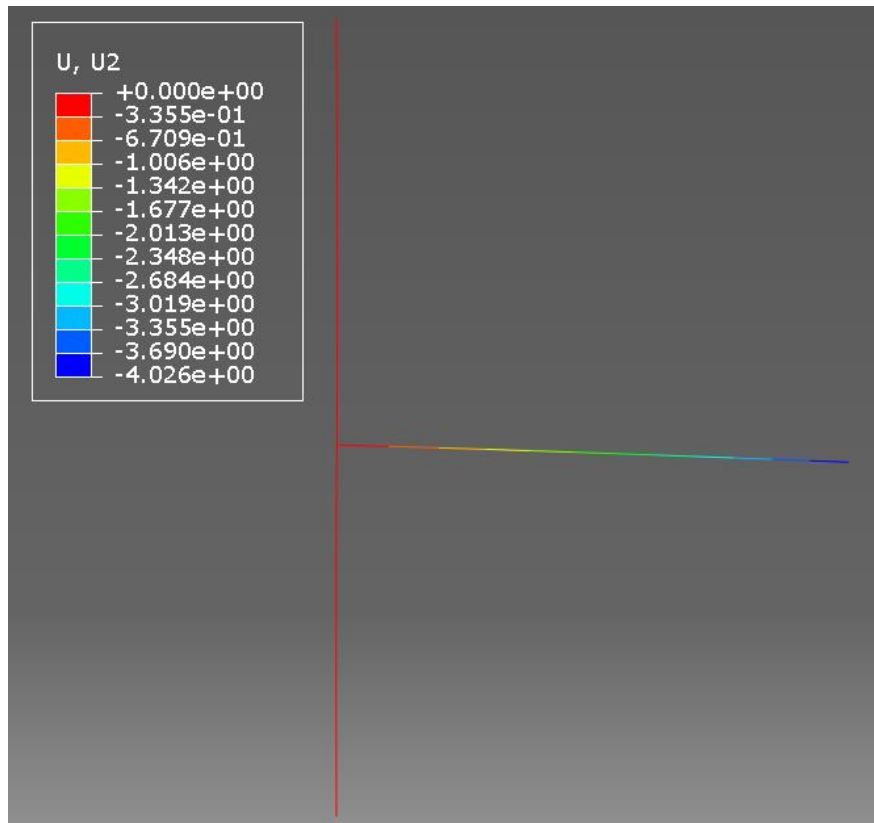


Figura 76. Desplazamientos verticales modelo semirrígido deformada exagerada. (Fuente: elaboración propia)

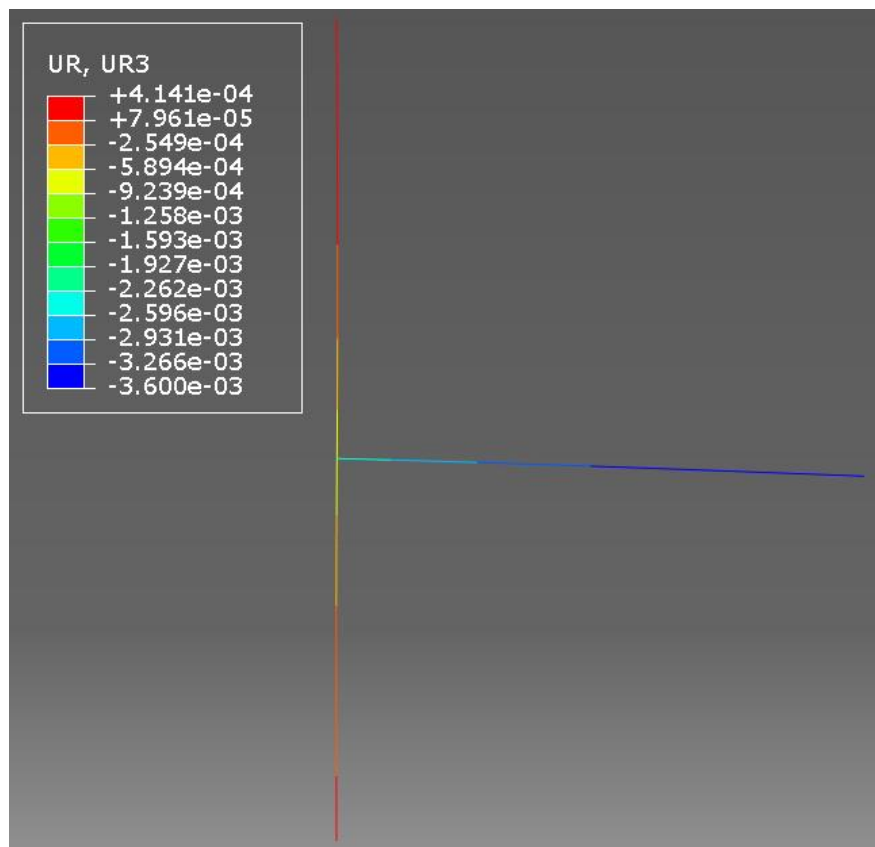


Figura 77. Giros modelo semirrígido deformada exagerada. (Fuente: elaboración propia)

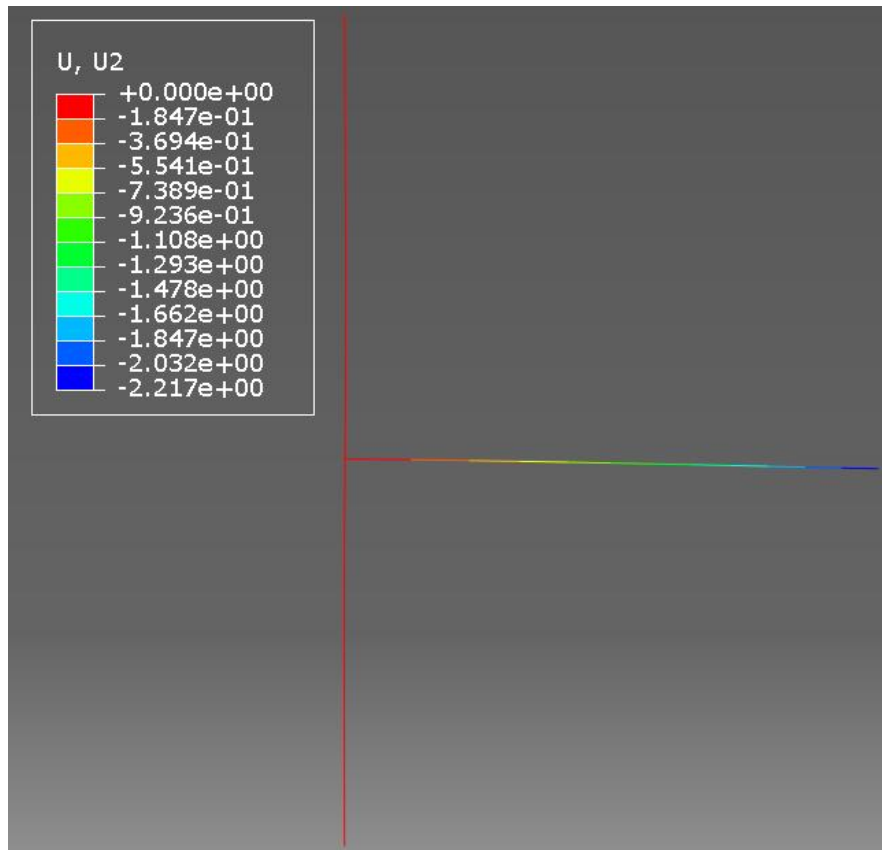


Figura 78. Desplazamientos verticales modelo de vigas rígido. (Fuente: elaboración propia)

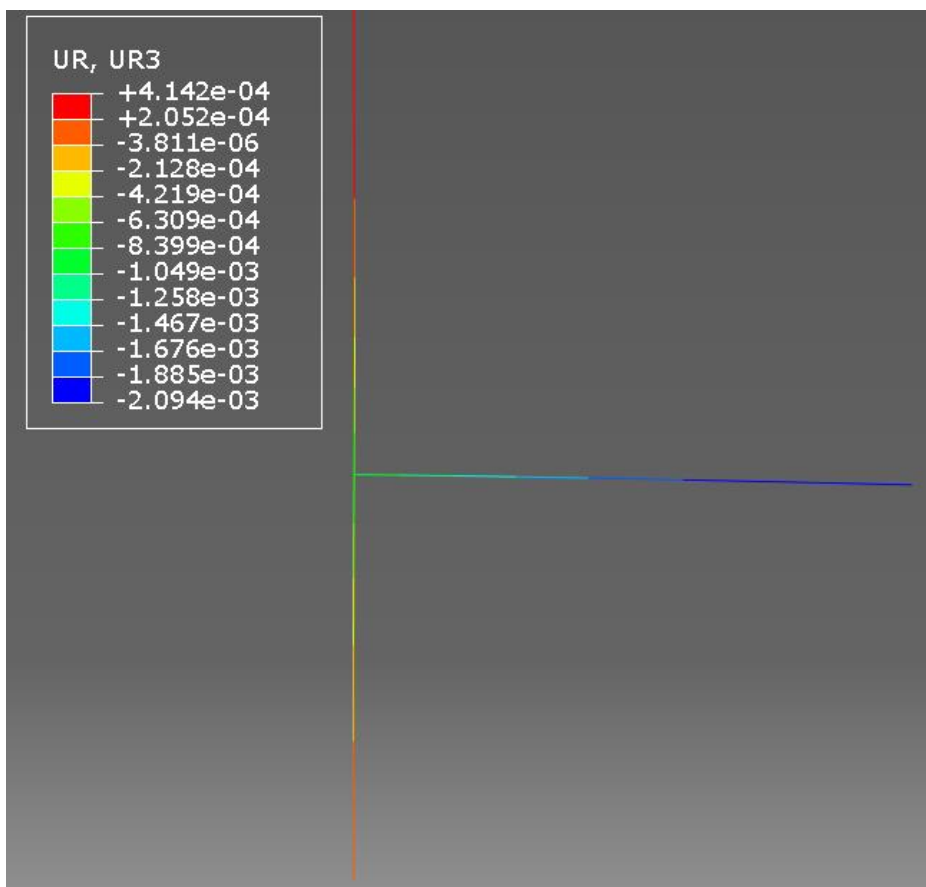


Figura 79. Giros modelo de vigas rígido, deformada exagerada. (Fuente: elaboración propia)

Tabla 3. Comparativa de desplazamientos y giros entre modelo de sólidos y de vigas.

	Modelo de sólidos (modelo 1)	Modelo de vigas unión semirrígida	Modelo de vigas rígida
Desplazamientos verticales en la línea de carga (mm)	6,28	4,026	2,217
Giro (mrad)	5,63	3,6	2,094

Según los datos que se muestran en la tabla podemos comprobar como hay una diferencia de 2 mm de desplazamiento vertical y 2 mrad entre el modelo de sólidos y el modelo de vigas con el nudo semirrígido dichas diferencias podrían estar explicadas por la geometría 3D que tiene el nudo, además en el modelo de vigas no se tiene en cuenta que existe una cartela.

Por otra parte, como era de esperar, el modelo de vigas con el nudo completamente rígido muestra unos desplazamientos y giros más pequeños de los tres modelos a comparar.

A continuación se muestran los axiles, esfuerzos cortantes y flectores en viga y pilar en ambos modelos de elemento viga:

Donde Part 1-1 corresponde al pilar y Part 2-1 a la viga

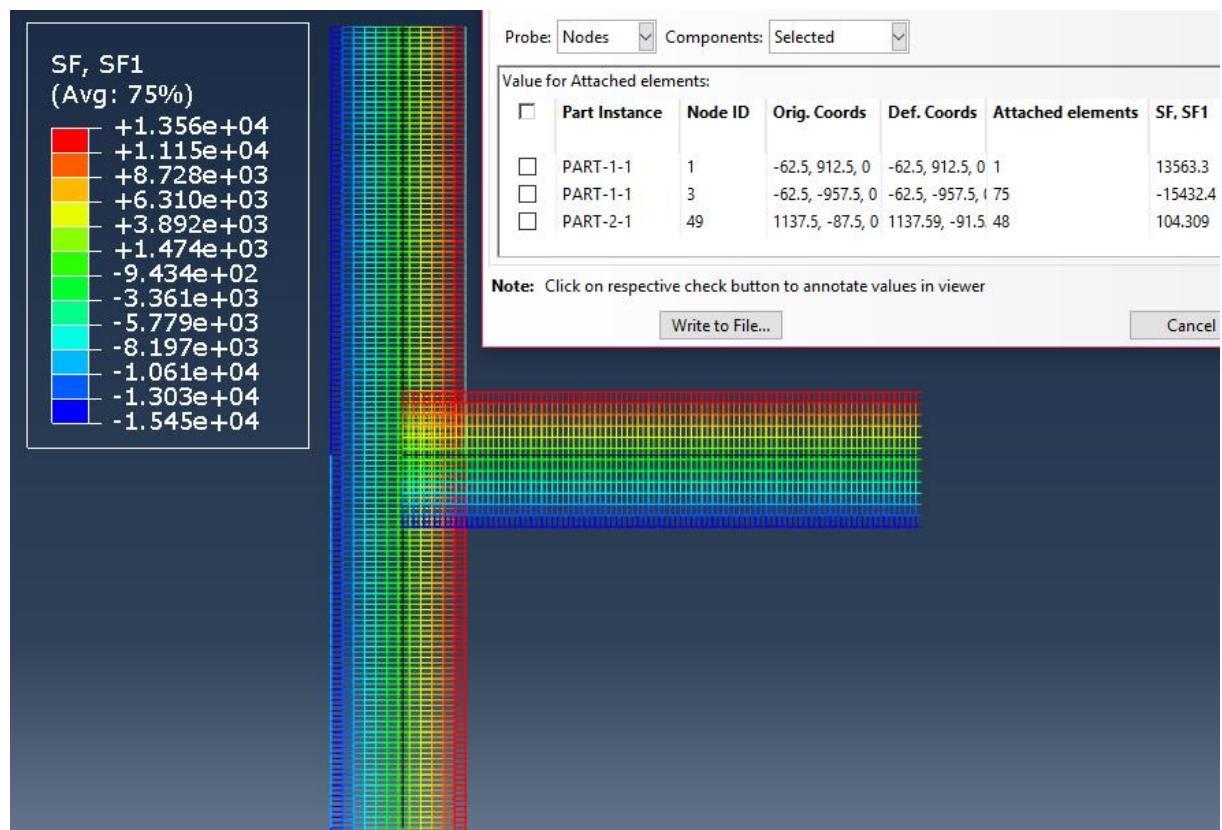


Figura 80. Distribución de axiles en la viga y en el pilar en el modelo de vigas con nudo semirrígido (Fuente: elaboración propia)

En la imagen superior se muestra como los axiles en la parte superior del pilar son de 13563,3N (tracción) y en la parte inferior -15432,4N (compresión). Mientras que los valores en el extremo libre de la viga como se puede ver son mucho más pequeños siendo su valor 105,31N

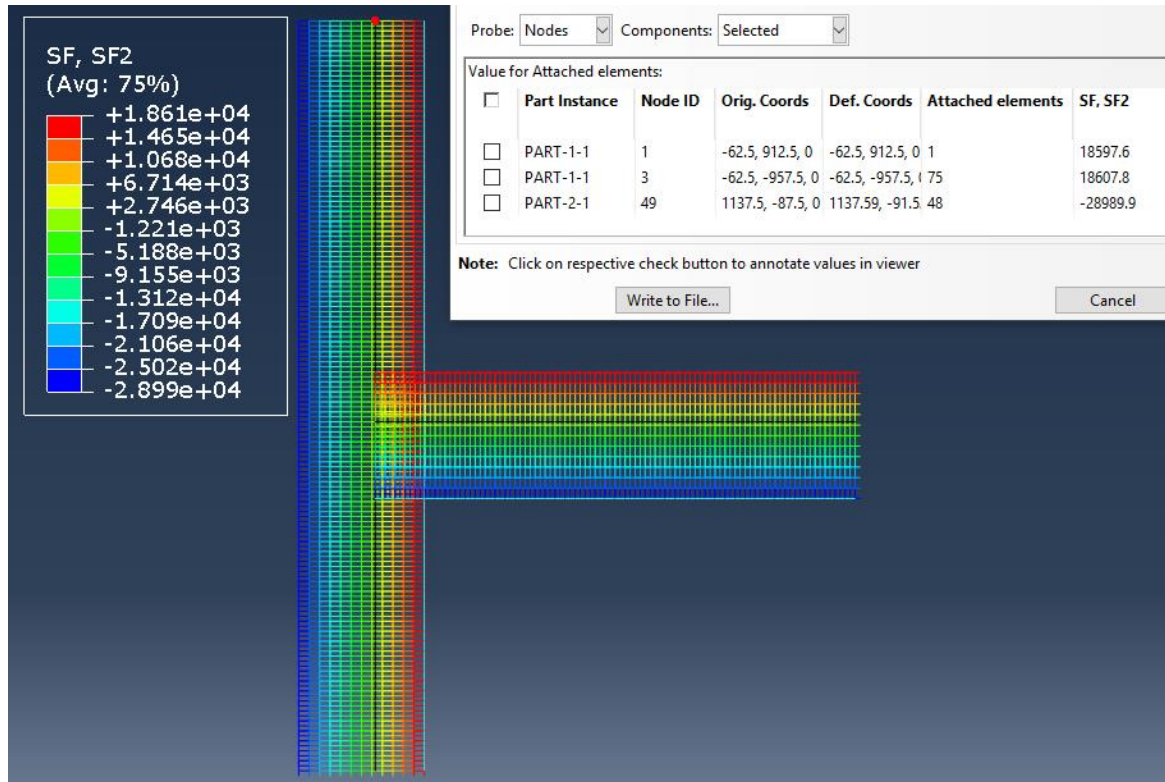


Figura 81. Distribución de cortantes en la viga y en el pilar en el modelo de vigas con nudo semirrígido (Fuente: elaboración propia)

La distribución de cortantes en la viga y pilar como se puede observar es constante en ambas secciones siendo en el pilar de aproximadamente 18600N y en la viga de 28990N (coincidente con el valor de la carga)

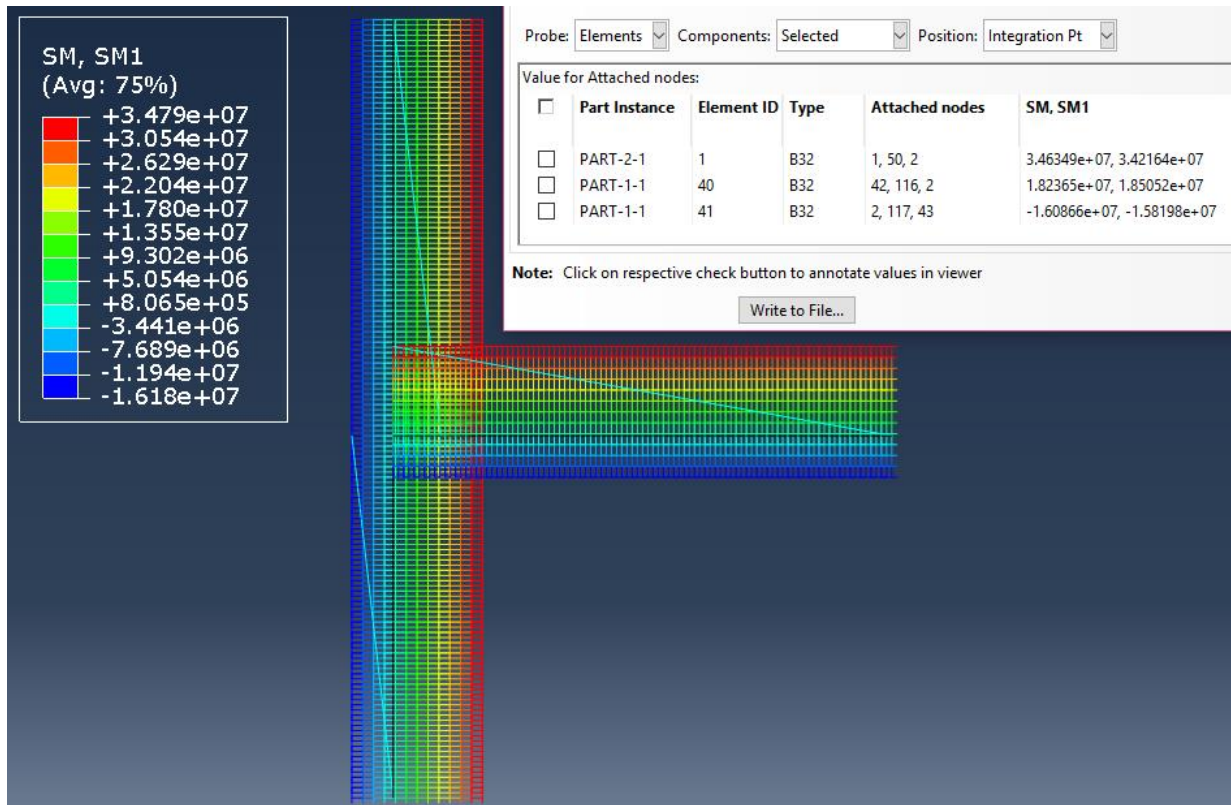


Figura 82. Distribución de momentos en la viga y en el pilar en el modelo de vigas con nudo semirrígido (Fuente: elaboración propia)

Recordando que este modelo tiene implementado un conector y es complicado sacar el momento en el nudo de unión viga y pilar debido a dicho conector; en la imagen se obtienen los momentos de los elementos más próximos a dicha unión siendo el elemento 1 el elemento más próximo a la unión por parte de la viga, el elemento 40 el de la parte superior del pilar y el 41 el de la parte inferior del pilar.

El equilibrio de la estructura con el nudo semirrígido quedaría entonces de la siguiente forma:

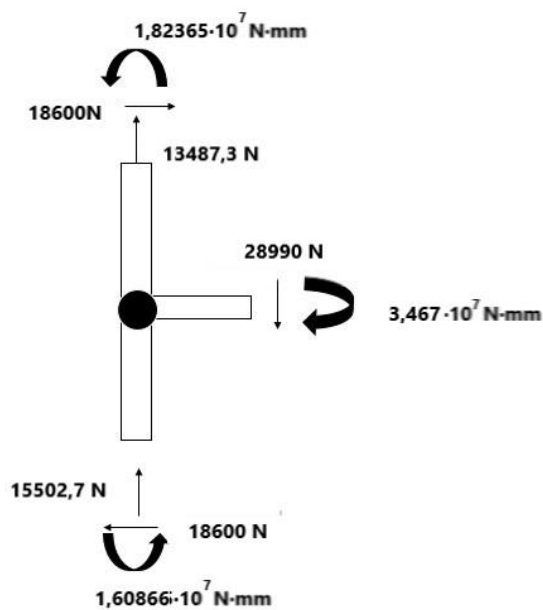


Figura 83. Equilibrio en la unión del modelo de vigas con nudo semirrígido. (Fuente: elaboración propia)

Para el modelo de vigas con el nudo rígido, que como en el caso anterior la Part 1-1 corresponde con el pilar y la Part 2-1 con la viga, se tiene que:

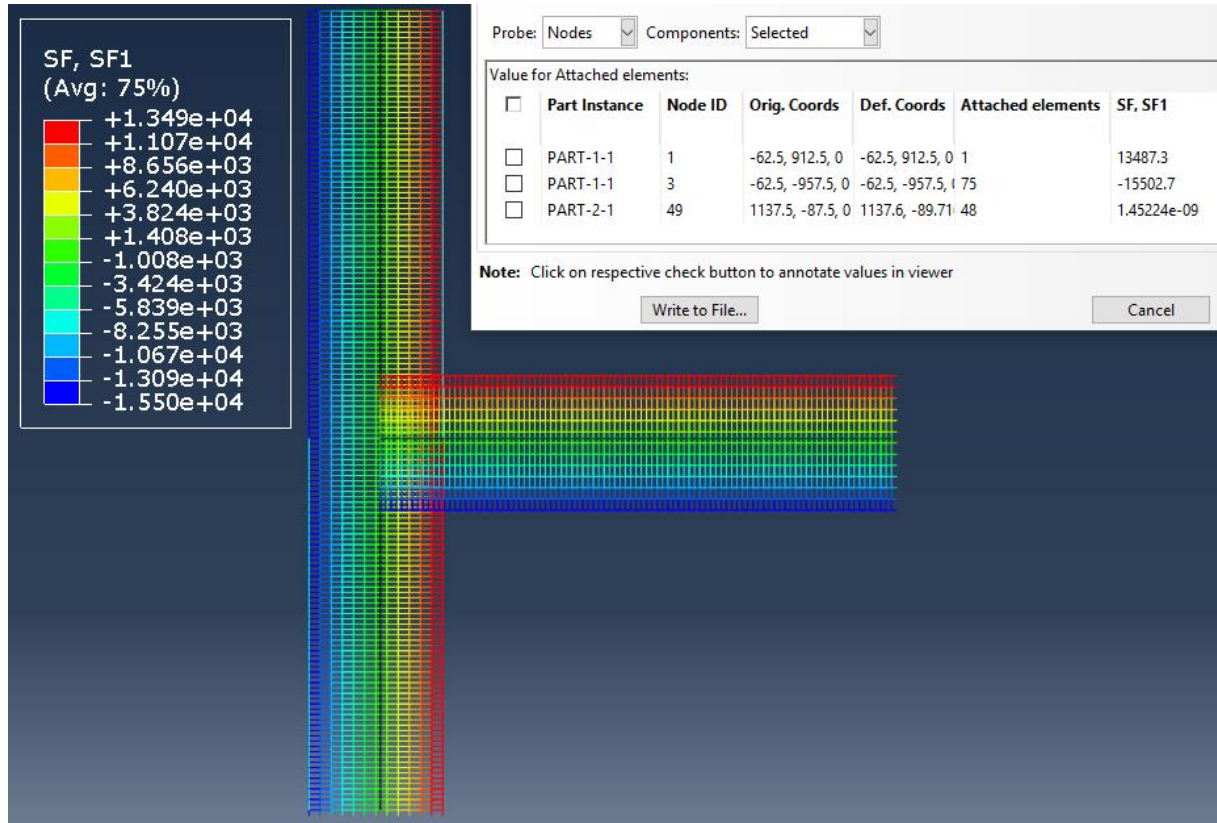


Figura 84. Distribución de axiles en la viga y en el pilar en el modelo de vigas con nudo rígido (Fuente: elaboración propia)

En la Figura 84 se muestra la distribución de axiles en viga y pilar, como se puede ver el valor del axil en la parte superior del pilar es de 13487,3 N y en la parte inferior -15502,7 N (compresión) por otro lado el axil en la viga es 0.

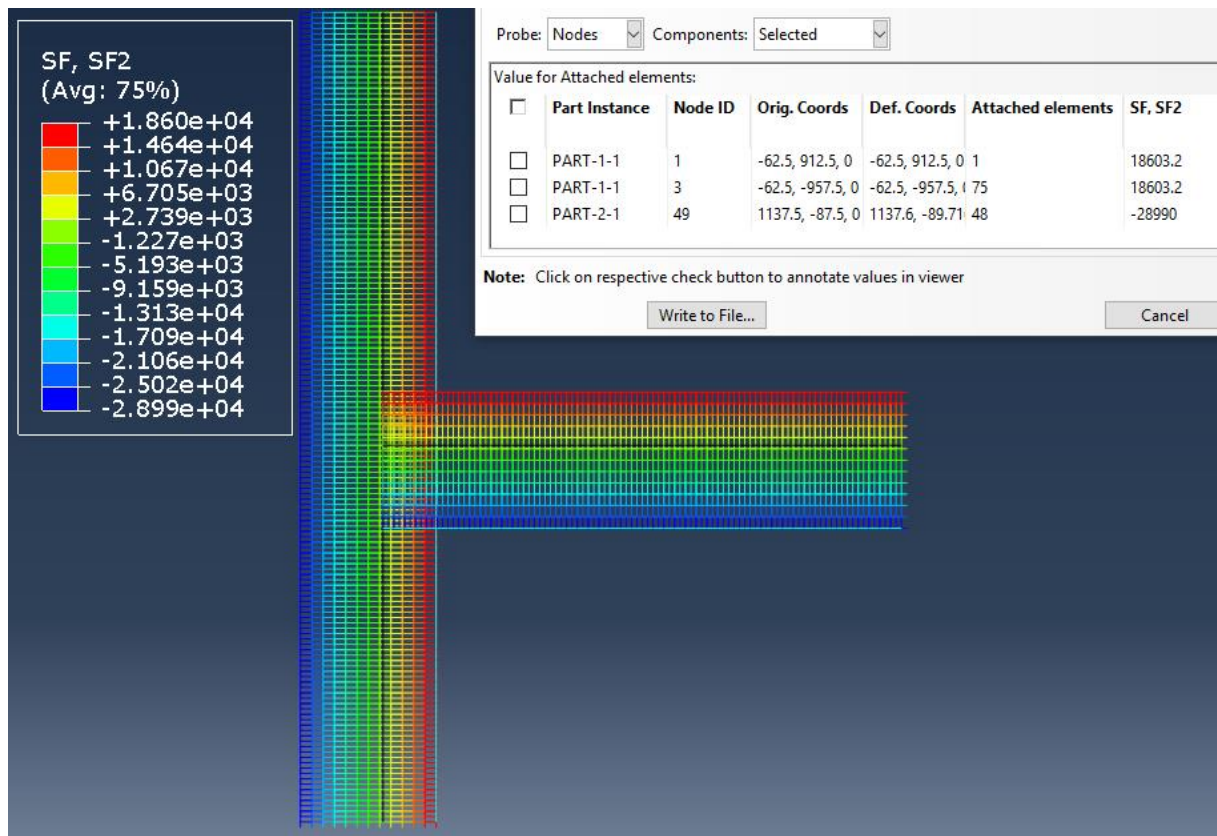


Figura 85. Distribución de cortantes en la viga y en el pilar en el modelo de vigas con nudo rígido (Fuente: elaboración propia)

La distribución de cortantes como se puede ver es constante en ambos elementos, siendo el valor del cortante en el pilar de 1603,2N y en la viga de 28990 N

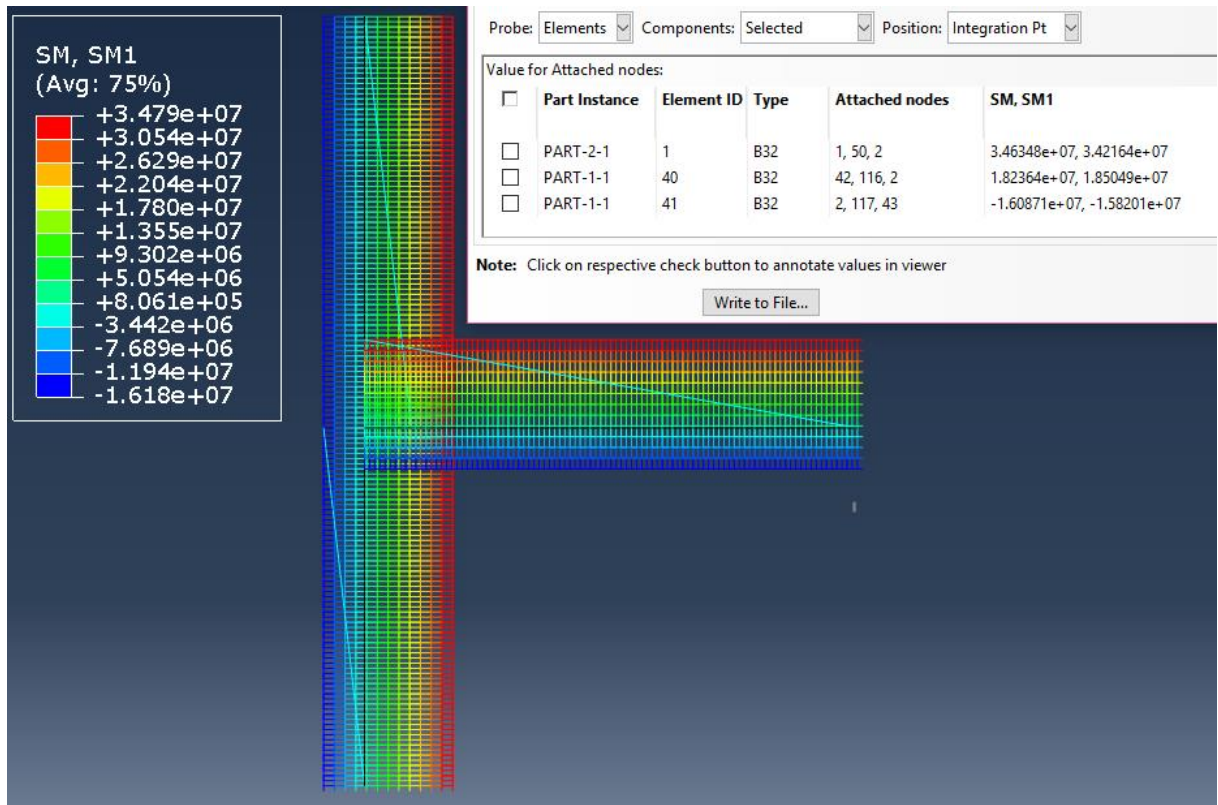


Figura 86. Distribución de momento en la viga y en el pilar en el modelo de vigas con nudo rígido (Fuente: elaboración propia)

En la figura superior se muestran los valores del momento, que como en el caso del modelo anterior se obtendrán gracias a los elementos que se encuentran alrededor del nudo.

Con estas figuras se obtiene el equilibrio en el nudo rígido:

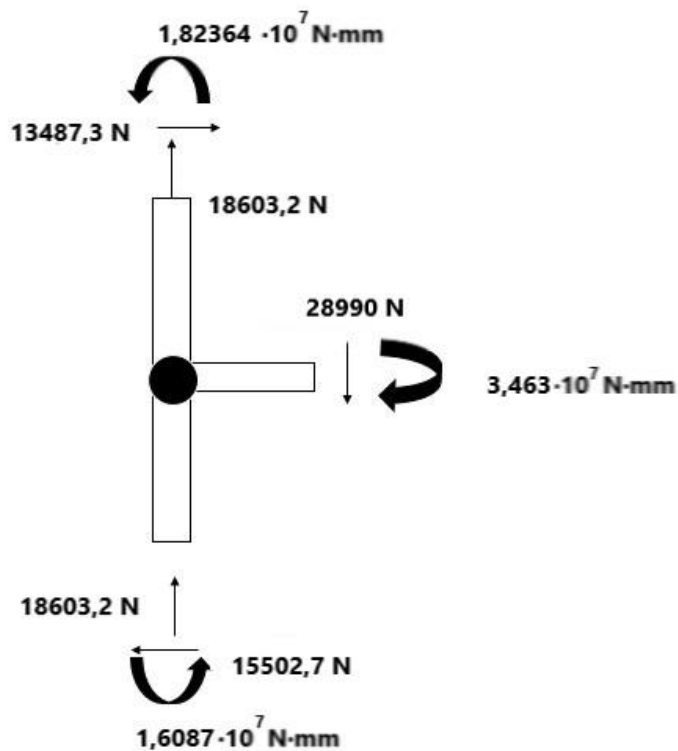


Figura 87. Equilibrio en la unión de vigas rígida. (Fuente: elaboración propia)

8 CONCLUSIONES

Se ha conseguido realizar un modelo mediante el método de elementos finitos con tipo de elementos sólidos el cual se ha comparado con un análisis estructural realizado en el laboratorio LAE, de la Universidade da Coruña, y se ha comprobado consigue captar de forma bastante precisa el comportamiento real de la unión

A partir de dicho modelo se han podido realizar una serie de modelos que estudian el comportamiento de distintas uniones viga-pilar para estructuras de acero soldadas, para ello se han obtenido sus respectivas curvas momento-rotación y se ha procedido a clasificarlas según su rigidez y según su resistencia. Se sabe además que el comportamiento de estos modelos simularán de forma muy aproximada el comportamiento real de dichas uniones puesto que para la implementación de dichos modelos se ha seguido el mismo procedimiento que en el caso anterior.

A partir de uno de estos modelos se han realizado dos nuevos modelos con tipo de elementos viga, uno de ellos en el que la unión es de tipo rígido y en el otro se tiene en cuenta la rigidez que se ha obtenido mediante el modelo de sólidos. Estos análisis permiten que a la hora de diseñar una estructura se pueda tener en cuenta de forma bastante sencilla la semirrigidez de la unión en lugar de lo más habitual que es que se considere la unión como totalmente rígida.

Se ha comprobado como si bien no hay una diferencia muy grande entre el comportamiento de la unión con el nudo rígido y semirrígido si es notable la variación entre ambos casos. Así, el tener en cuenta un comportamiento semirrígido de las uniones cuando se diseña una estructura completa tiene ventajas como la ejecución de uniones con perfiles más pequeños y resistiendo igualmente a los esfuerzos a los que se encuentran sometidos, de esta forma se conseguiría un ahorro notable de costes.

Este trabajo apoya el desarrollo de los análisis experimentales que se realizarán en el laboratorio de Análisis Estructural, LAE, de la UDC; en el marco del estudio del comportamiento de las uniones viga-pilar en estructuras de acero

9 BIBLIOGRAFÍA

[1] [Loureiro, A., López M., y Bayo, E. \(2016\). Shear behaviour of stiffened double rectangular column panels: Characterization and cruciform element. *Journal of Constructional Steel Research*, 117, 126-138.](#)

[2] EN 1993-1-8:2005 (EC3-1-8:2005), *Eurocode 3. Design of Steel Structures. Part 1.8: Design of Joints*, CEN, European Committee for Standardization, Brussels, 2005.

[3] Jaspart, J. P., Weynand, K., (2016), *Design of Joints in Steel and Composite Structures*, ECCS- European Convention for Constructional Steelwork.

[4] EAE, Instrucción de Acero Estructural

[5] https://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_de_elementos_finitos

[6] Abaqus CAE/ User Guide. Disponible en:
<https://www.sharcnet.ca/Software/Abaqus/6.14.2/v6.14/books/usi/default.htm>

[7] <https://www.frbb.utn.edu.ar/utec/utec/9/n03.html>



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

TRABAJO FIN DE GRADO

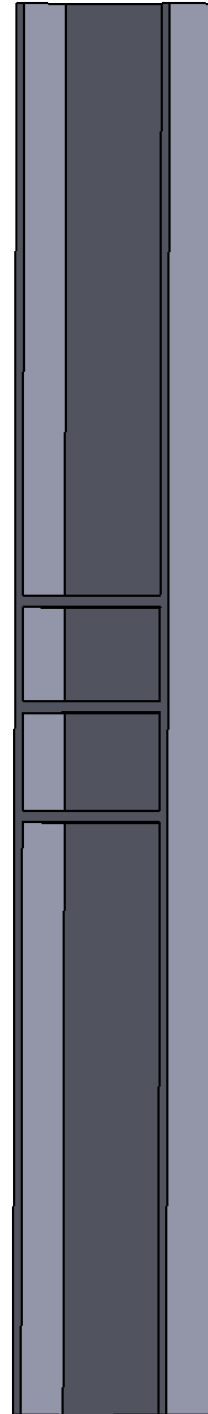
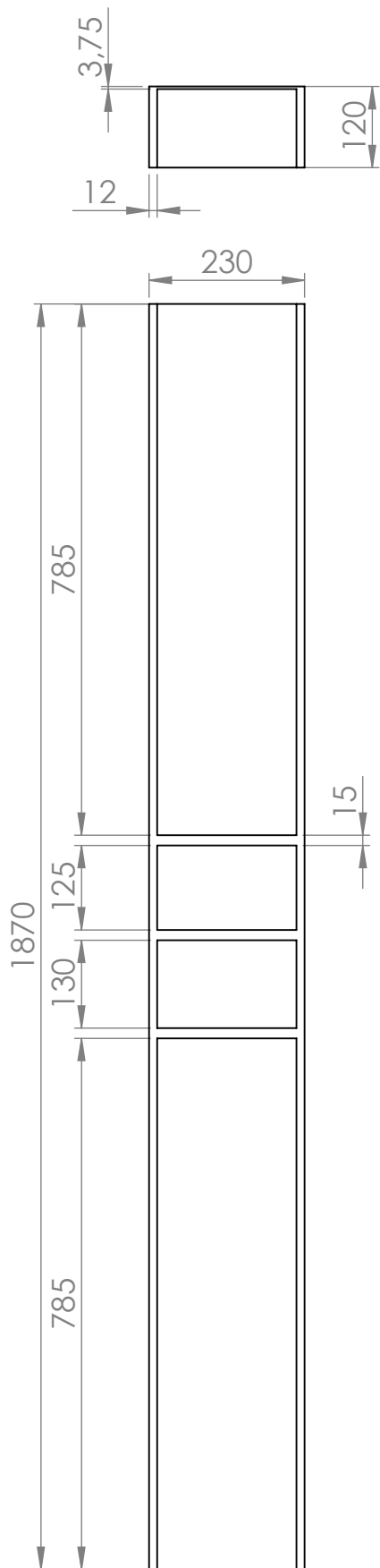
CURSO 2017/18

*ANÁLISIS AVANZADA DEL COMPORTAMIENTO
ESTRUCTURAL DE LA UNIÓN VIGA-PILAR
MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS*

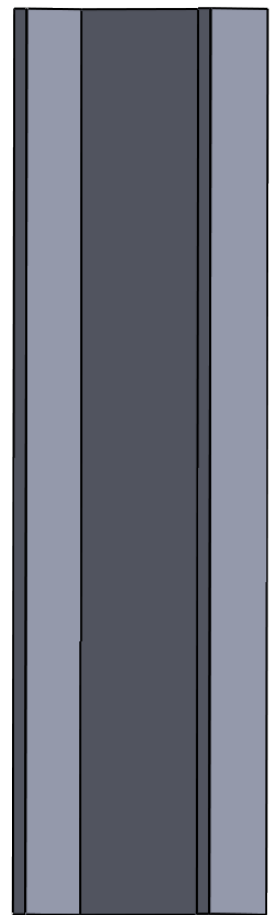
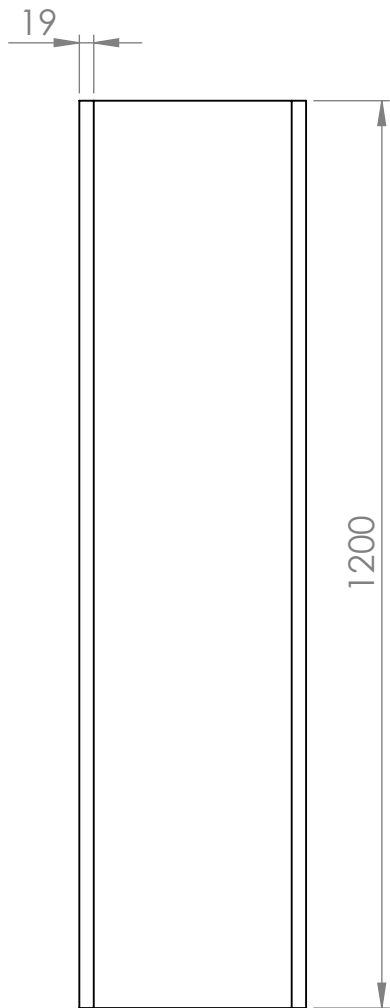
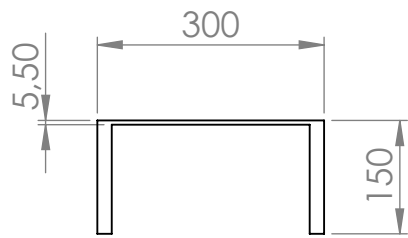
Grado en Ingeniería Mecánica

Documento II

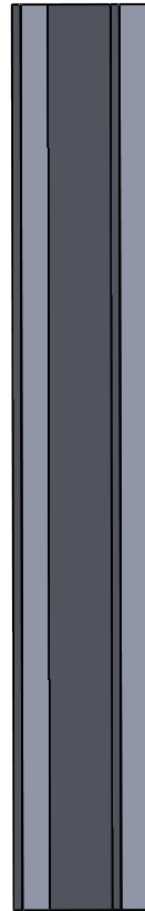
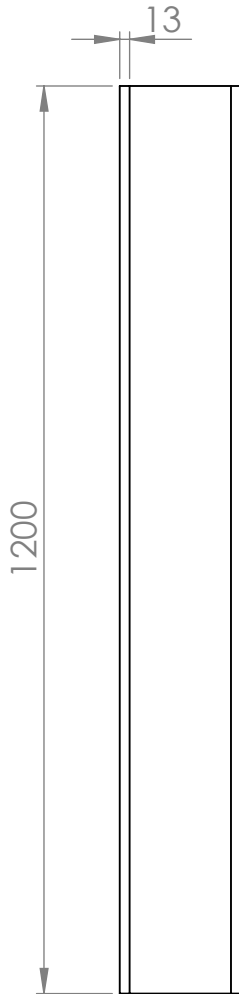
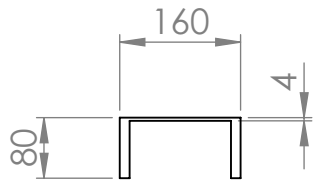
PLANOS



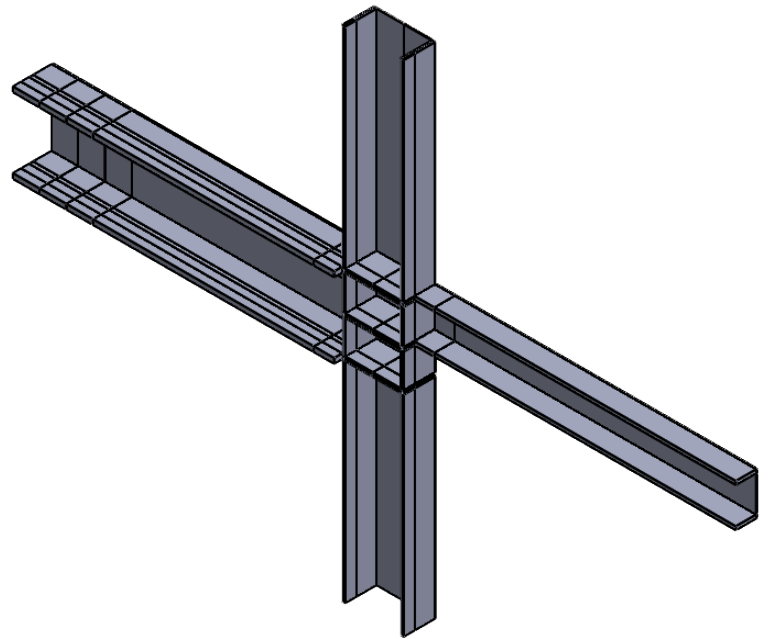
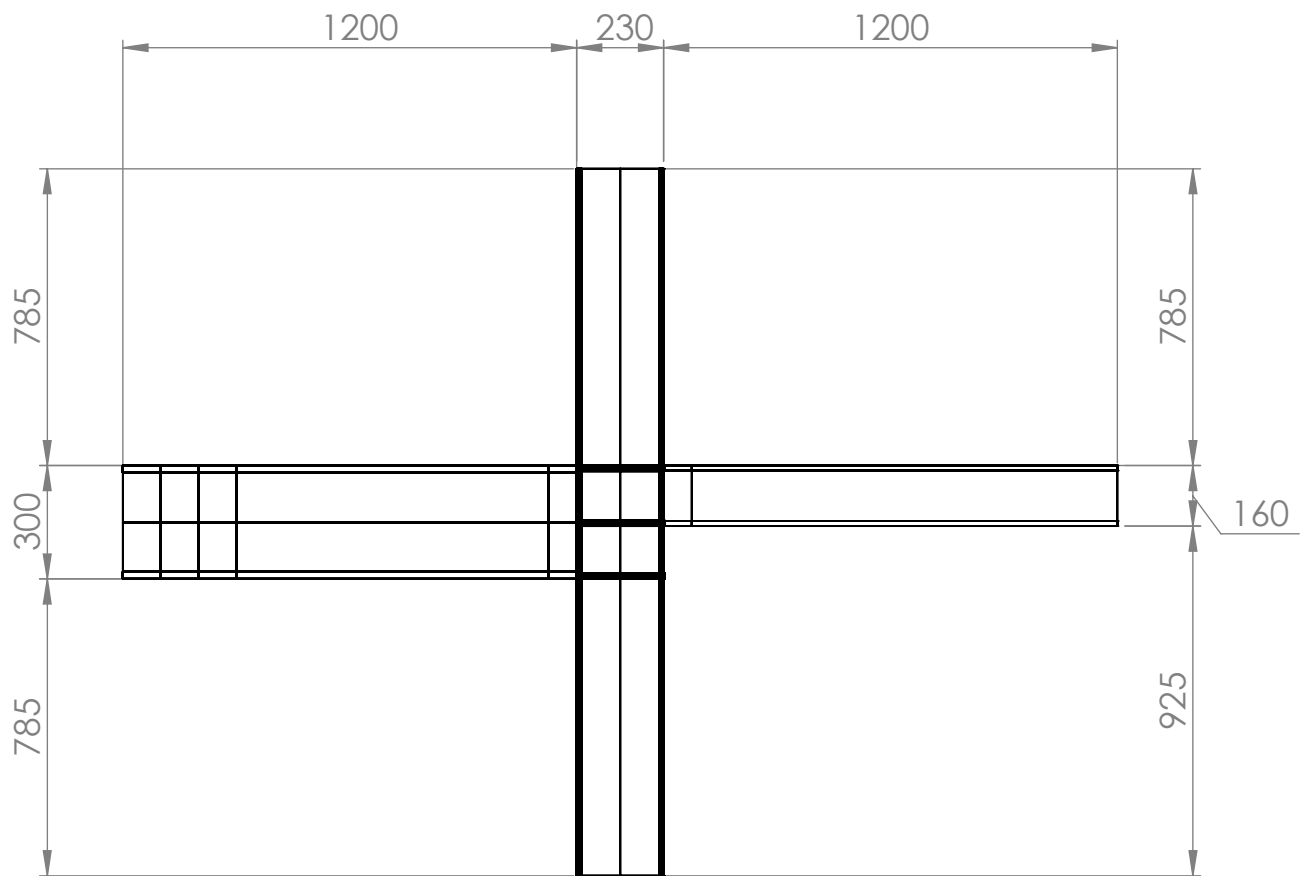
	NOMBRE	FIRMA:	FECHA:	TÍTULO DE PLANO:
DIBUJADO:	Sandra Sanmarfín		10/06/2018	PILAR HEA 240 CON DOS RIGIDIZADORES
REVISADO:				
ESCALA:	Nº DE DIBUJO:	Dibujo 1		TÍTULO DEL PROYECTO:
1:10	cotas en mm.			ANÁLISIS AVANZADA DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA UNIÓN VIGA-PILAR MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.



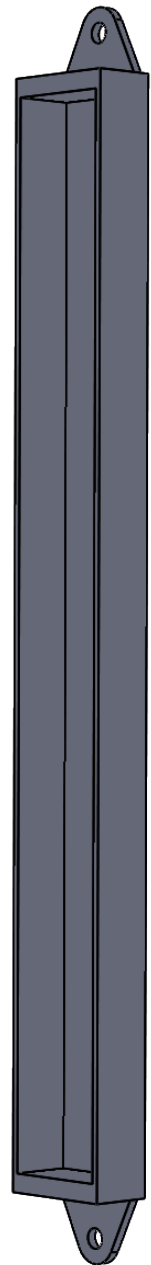
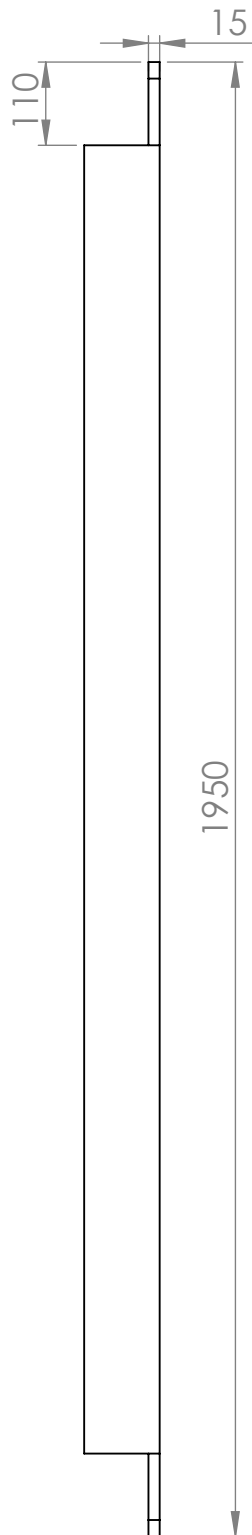
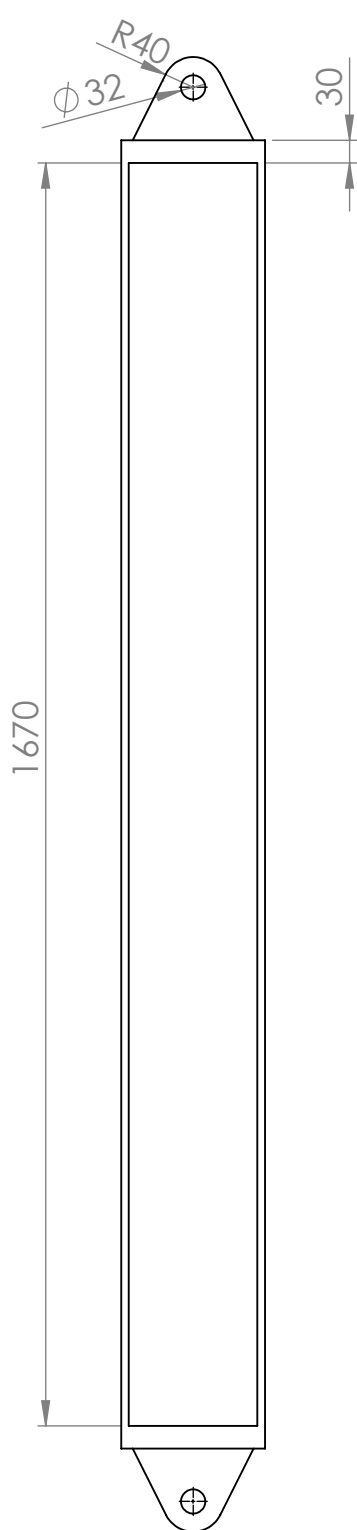
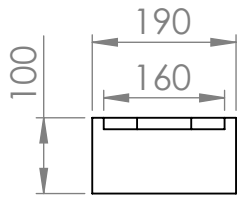
	NOMBRE	FIRMA:	FECHA:	TÍTULO DE PLANO:
DIBUJADO:	Sandra Sanmarfín		10/06/2018	VIGA HEB 300
REVISADO:				
ESCALA:	Nº DE DIBUJO:	Dibujo 2		TÍTULO DEL PROYECTO:
1:10	cotas en mm.			ANÁLISIS AVANZADA DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA UNIÓN VIGA-PILAR MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.



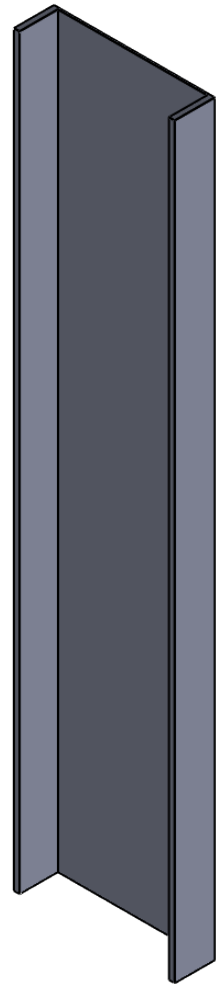
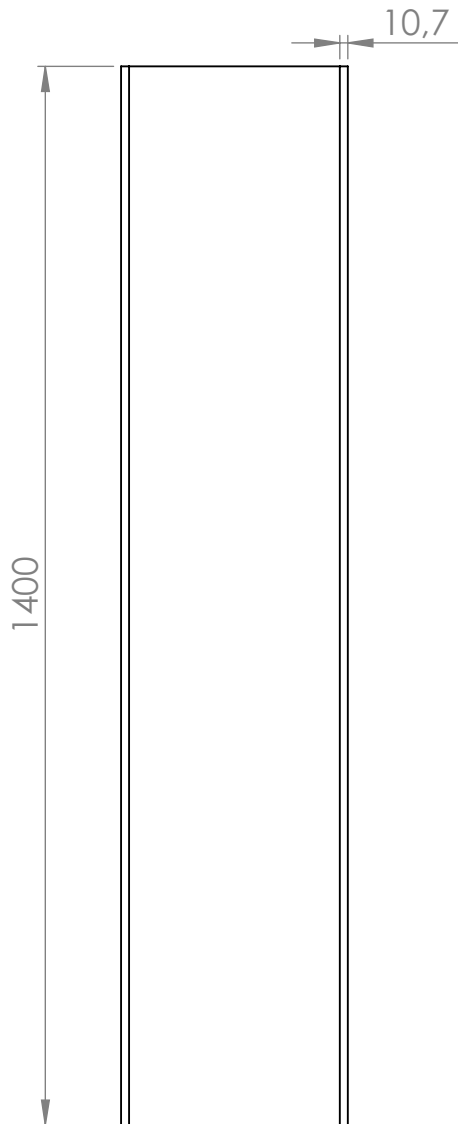
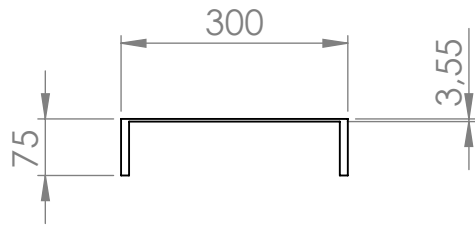
	NOMBRE	FIRMA:	FECHA:	TÍTULO DE PLANO:
DIBUJADO:	Sandra Sanmarfín		10/06/2018	VIGA HEB 160
REVISADO:				
ESCALA:	Nº DE DIBUJO:	Dibujo 3		TÍTULO DEL PROYECTO:
1:10	cotas en mm.			ANÁLISIS AVANZADA DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA UNIÓN VIGA-PILAR MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.



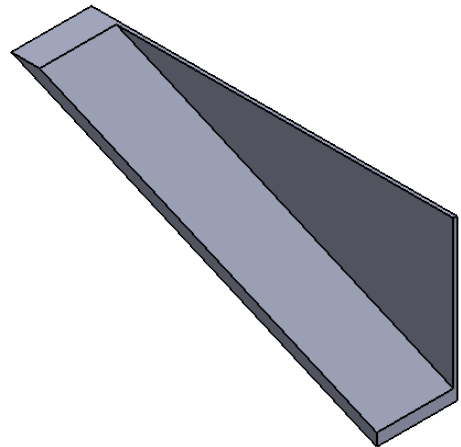
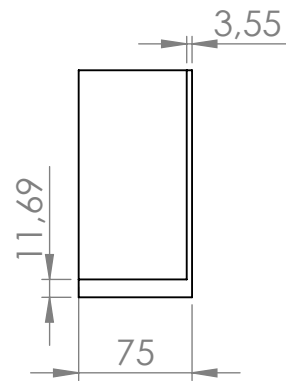
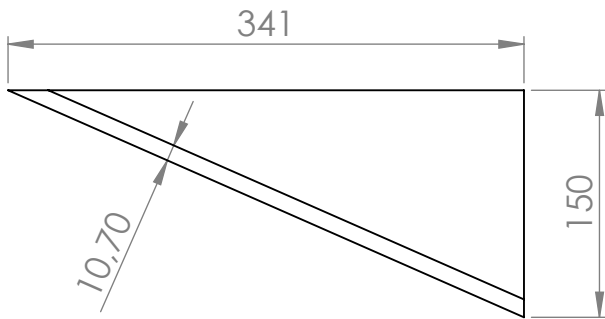
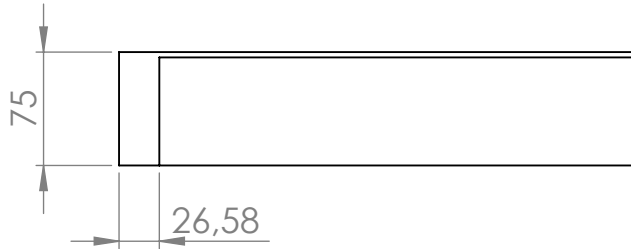
	NOMBRE	FIRMA:	FECHA:	TÍTULO DE PLANO:
DIBUJADO:	Sandra Sanmarfín		10/06/2018	MODELO PARA VALIDACIÓN ENSAMBLAJE
REVISADO:				
ESCALA:	Nº DE DIBUJO:	Dibujo 4		TÍTULO DEL PROYECTO:
1:20	cotas en mm.			ANÁLISIS AVANZADA DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA UNIÓN VIGA-PILAR MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.



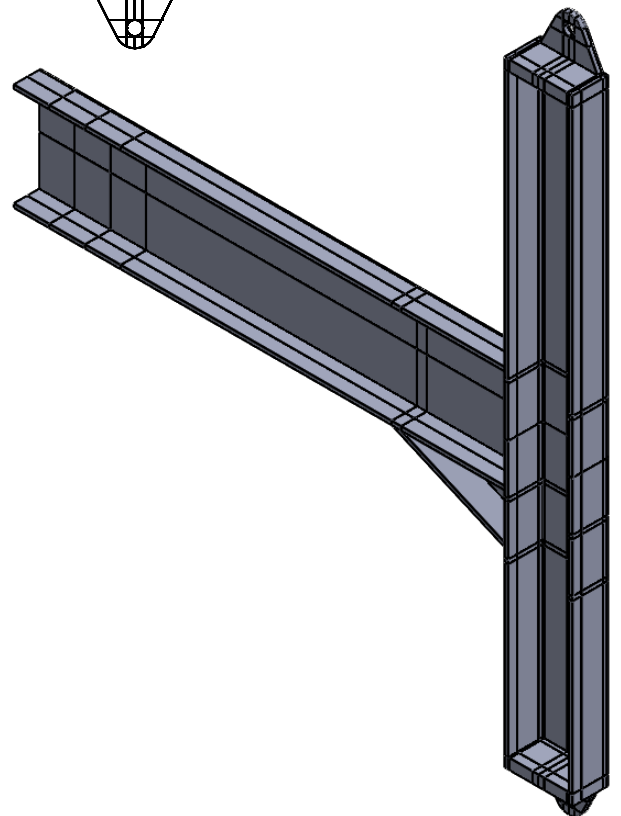
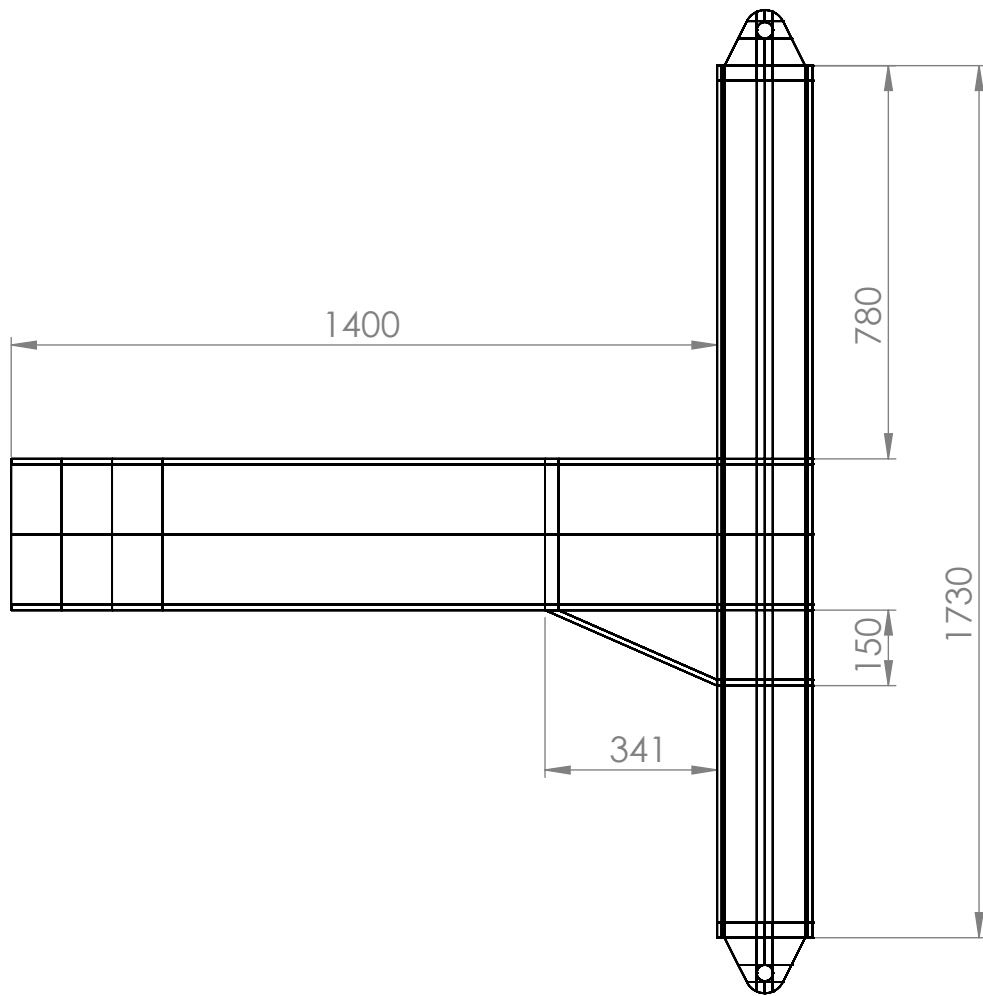
	NOMBRE	FIRMA:	FECHA:	TÍTULO DE PLANO:
DIBUJADO:	Sandra Sanmarfín		10/06/2018	PILAR HEA 200
REVISADO:				
ESCALA:	Nº DE DIBUJO:	Dibujo 5		TÍTULO DEL PROYECTO:
1:10	cotas en mm.			ANÁLISIS AVANZADA DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA UNIÓN VIGA-PILAR MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.



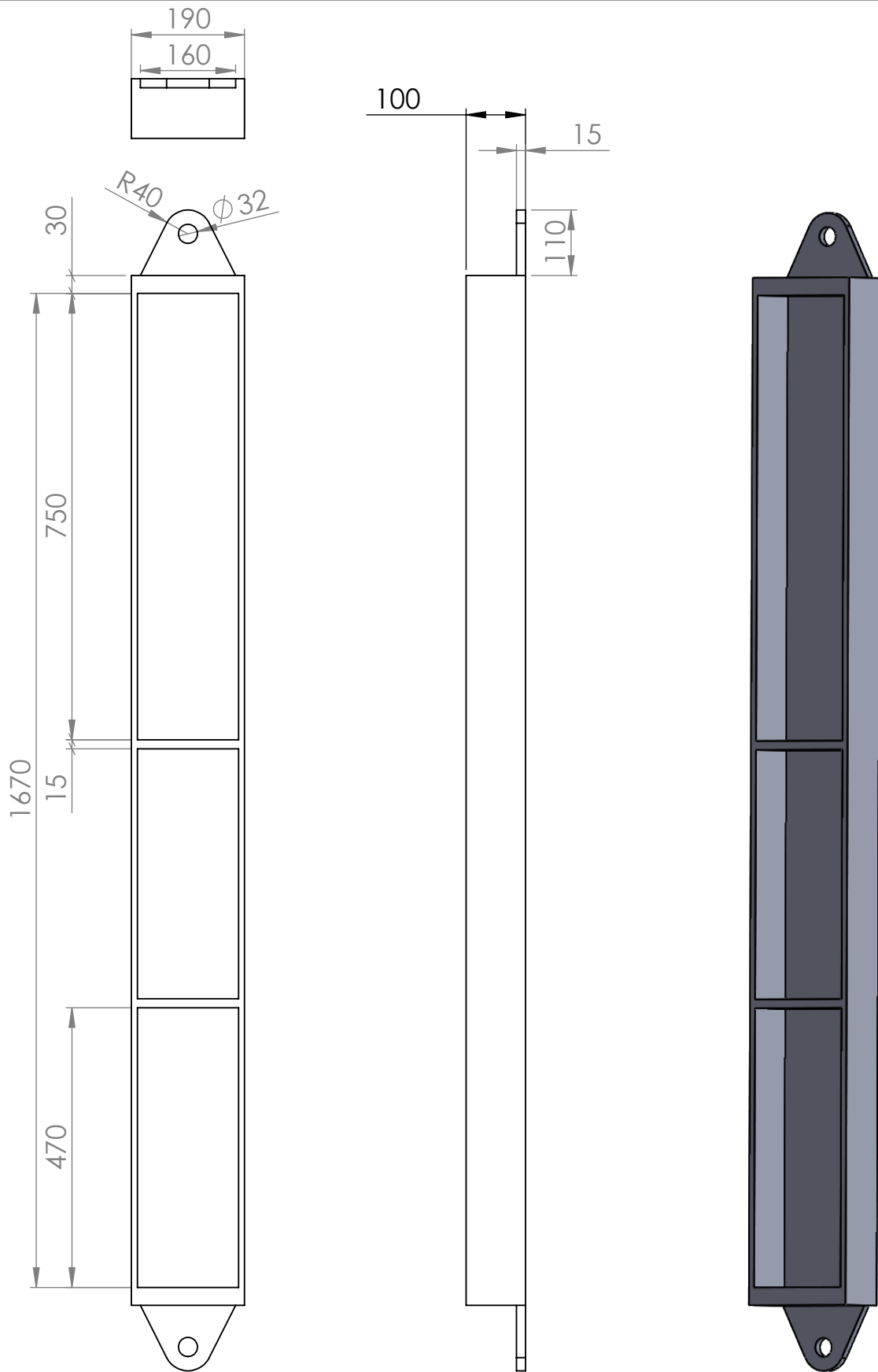
	NOMBRE	FIRMA:	FECHA:	TÍTULO DE PLANO:
DIBUJADO:	Sandra Sanmarfín		10/06/2018	VIGA IPE 300
REVISADO:				
ESCALA:	Nº DE DIBUJO:	Dibujo 6		TÍTULO DEL PROYECTO:
1:10	cotas en mm.			ANÁLISIS AVANZADA DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA UNIÓN VIGA-PILAR MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.



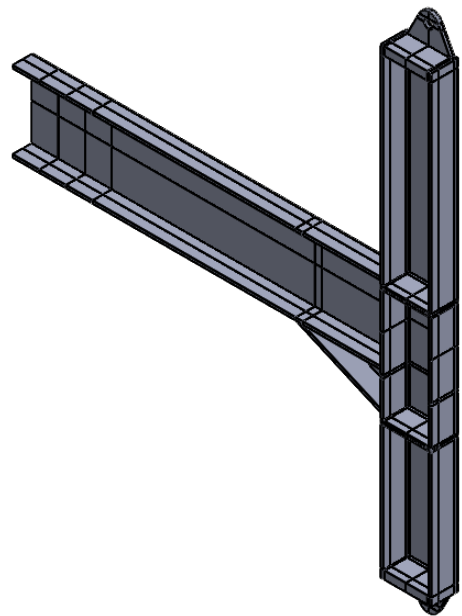
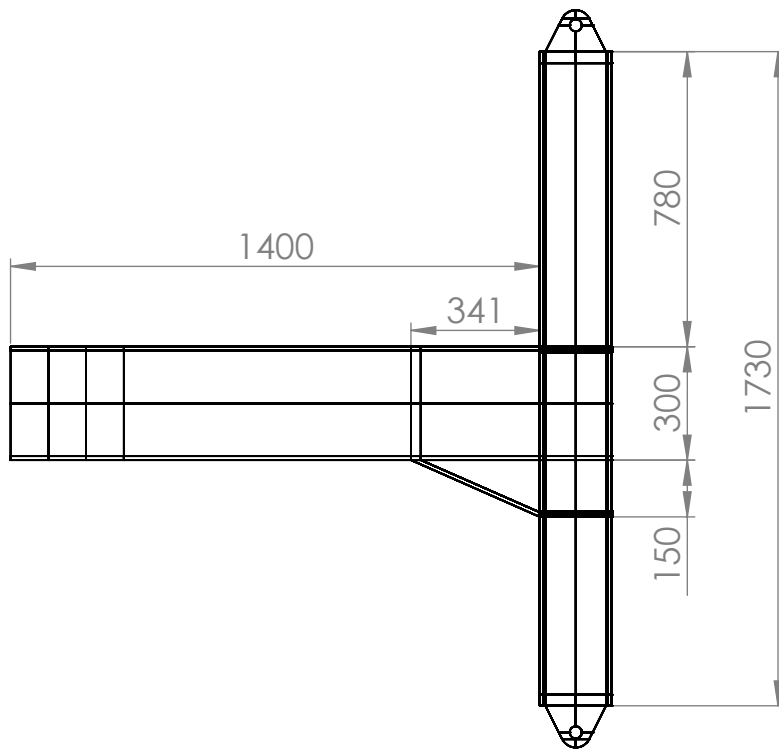
	NOMBRE	FIRMA:	FECHA:	TÍTULO DE PLANO:
DIBUJADO:	Sandra Sanmarfín		10/06/2018	CARTELA
REVISADO:				
ESCALA:	Nº DE DIBUJO:	Dibujo 7		TÍTULO DEL PROYECTO:
1:5	cotas en mm.			ANÁLISIS AVANZADA DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA UNIÓN VIGA-PILAR MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.



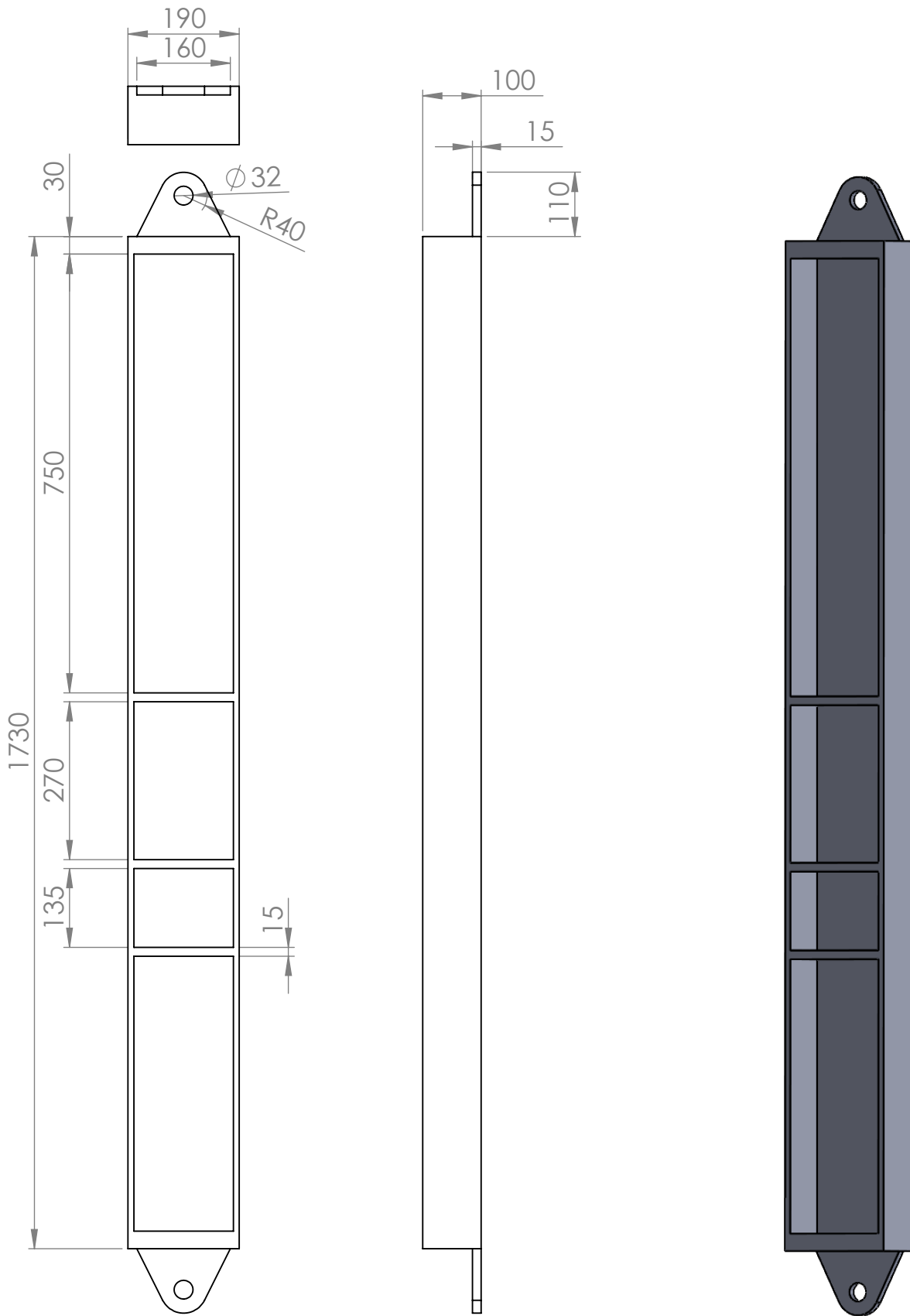
	NOMBRE	FIRMA:	FECHA:	TÍTULO DE PLANO:
DIBUJADO:	Sandra Sanmarfín		10/06/2018	MODELO 1 (CON CARTELA)
REVISADO:				
ESCALA:	Nº DE DIBUJO:	Dibujo 8		TÍTULO DEL PROYECTO:
1:15	cotas en mm.			ANÁLISIS AVANZADA DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA UNIÓN VIGA-PILAR MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.



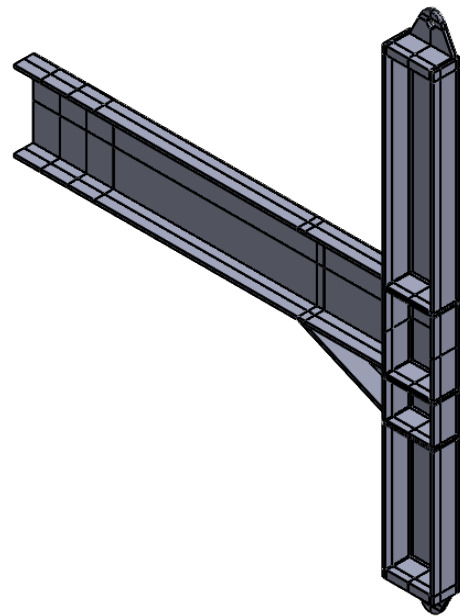
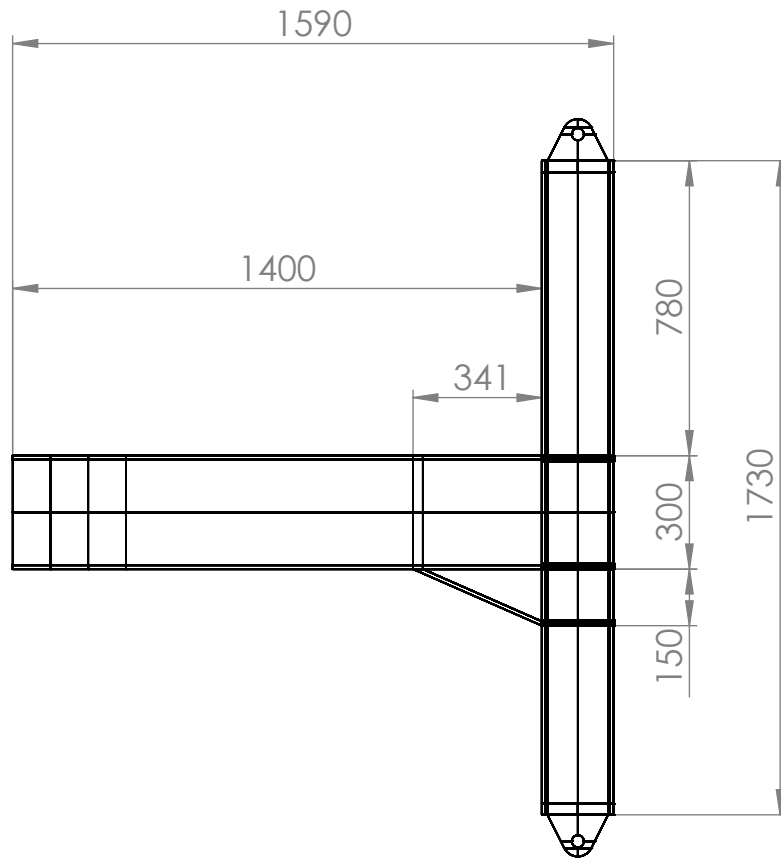
	NOMBRE	FIRMA:	FECHA:	TÍTULO DE PLANO:
DIBUJADO:	Sandra Sanmarfín		10/06/2018	PILAR HEA200 CON 2 RIGIDIZADORES
REVISADO:				
ESCALA:	Nº DE DIBUJO:	Dibujo 9		TÍTULO DEL PROYECTO:
1:10	cotas en mm.			ANÁLISIS AVANZADA DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA UNIÓN VIGA-PILAR MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.



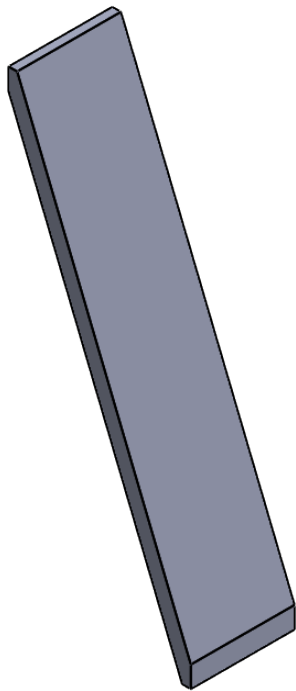
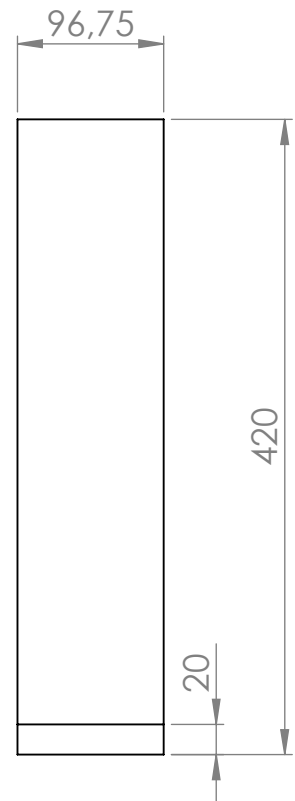
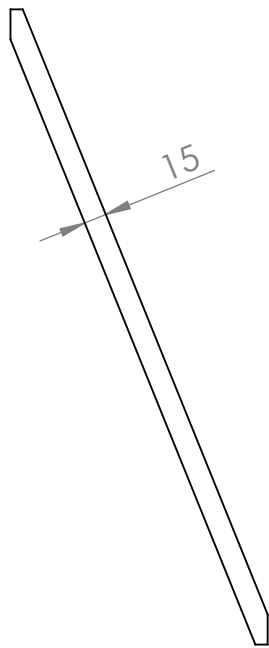
	NOMBRE	FIRMA:	FECHA:	TÍTULO DE PLANO:
DIBUJADO:	Sandra Sanmarfín		10/06/2018	MODELO 2 (2 RIGIDIZADORES)
REVISADO:				
ESCALA:	Nº DE DIBUJO:	Dibujo 10		TÍTULO DEL PROYECTO:
1:20	cotas en mm.			ANÁLISIS AVANZADA DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA UNIÓN VIGA-PILAR MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.



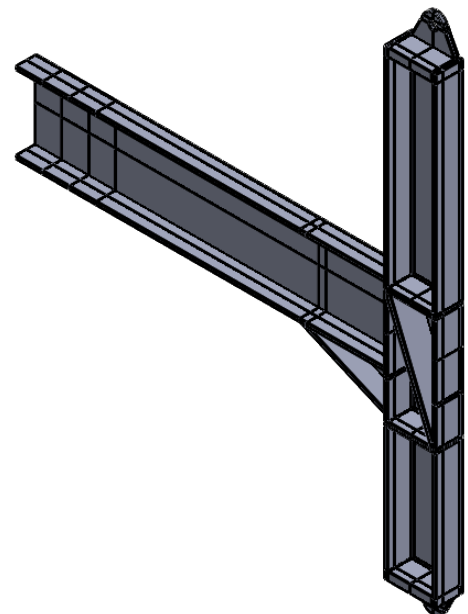
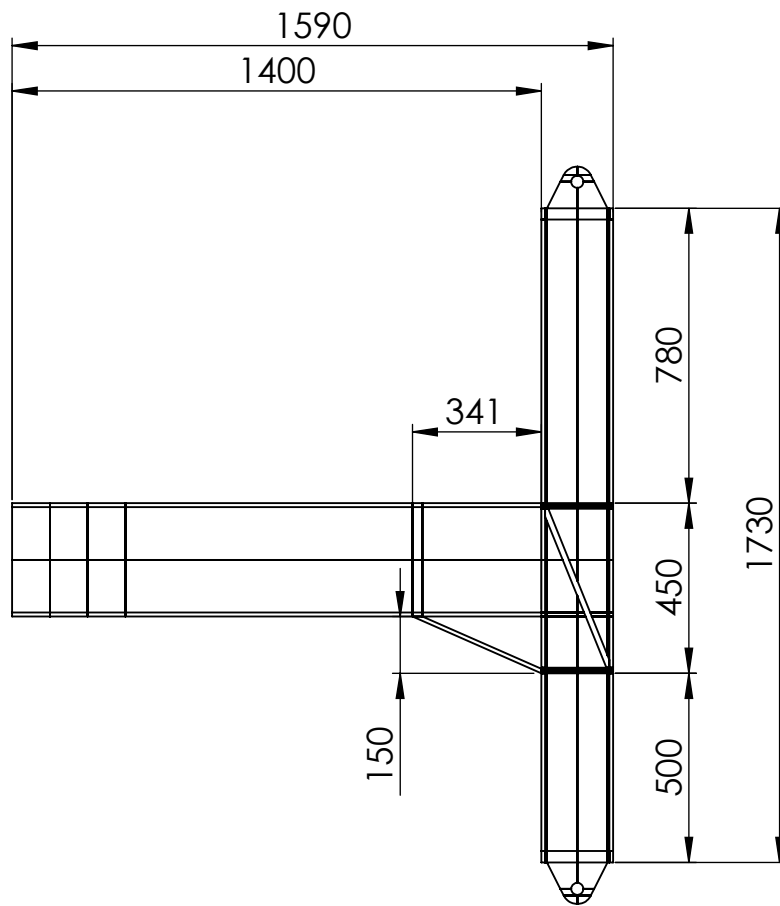
	NOMBRE	FIRMA:	FECHA:	TÍTULO DE PLANO:
DIBUJADO:	Sandra Sanmarfín		10/06/2018	PILAR HEA200 3 RIGIDIZADORES
REVISADO:				
ESCALA:	Nº DE DIBUJO:	Dibujo 11		TÍTULO DEL PROYECTO:
1:10	cotas en mm.			ANÁLISIS AVANZADA DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA UNIÓN VIGA-PILAR MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.



	NOMBRE	FIRMA:	FECHA:	TÍTULO DE PLANO:
DIBUJADO:	Sandra Sanmarfín		10/06/2018	MODELO 3 (CON 3 RIGIDIZADORES)
REVISADO:				
ESCALA:	Nº DE DIBUJO:	Dibujo 12		TÍTULO DEL PROYECTO:
1:20	cotas en mm.			ANÁLISIS AVANZADA DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA UNIÓN VIGA-PILAR MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.



	NOMBRE	FIRMA:	FECHA:	TÍTULO DE PLANO:
DIBUJADO:	Sandra Sanmarfín		10/06/2018	RIGIDIZADOR DIAGONAL
REVISADO:				
ESCALA:	Nº DE DIBUJO:	Dibujo 13		TÍTULO DEL PROYECTO:
1:5	cotas en mm.			ANÁLISIS AVANZADA DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA UNIÓN VIGA-PILAR MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.



	NOMBRE	FIRMA:	FECHA:	TÍTULO DE PLANO:
DIBUJADO:	Sandra Sanmarfín		10/06/2018	MODELO 4 (RIGIDIZADOR DIAGONAL)
REVISADO:				
ESCALA:	Nº DE DIBUJO:	Dibujo 14		TÍTULO DEL PROYECTO:
1:20	cotas en mm.			ANÁLISIS AVANZADA DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA UNIÓN VIGA-PILAR MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.