



Trabajo Fin de Grado

Título del trabajo:

Análisis y optimización del diseño inicial de un pulverizador de barras de 26 metros de pluma.

ANEXOS

Autor/es

Noelia Angosto Játiva

Director/es

Hugo Malón Litago

Escuela de Ingeniería y arquitectura / Universidad de Zaragoza
2018

ANEXO A: PRINCIPALES COMPONENTES DE LA ESTRUCTURA DE BARRAS, GEOMETRÍA Y MALLA

Para designar los componentes de las barras del pulverizador primero se ha dividido la estructura en 5 partes principales, para cada conjunto de componentes: Soporte, C0, C1, C2, C3 y C4, que son las agrupaciones de sólidos que aparecen en la figura A.1 Después para cada grupo creado se le asignará un nombre, primero con el nombre del conjunto al que pertenece seguido del nombre que se haya querido poner para identificarlo, por ejemplo, el grupo *C1-superior*, corresponde al sólido marcado en la figura A.1 con este nombre.

Además, existen piezas de unión para cada conjunto de componentes, a estas se les designará con el nombre de los dos conjuntos que unen más el nombre de identificación de la pieza para diferenciarlo del resto. Por ejemplo, *C2-C3-UnionInferior-Cilindro*, se puede ver también señalado en la figura A.1.

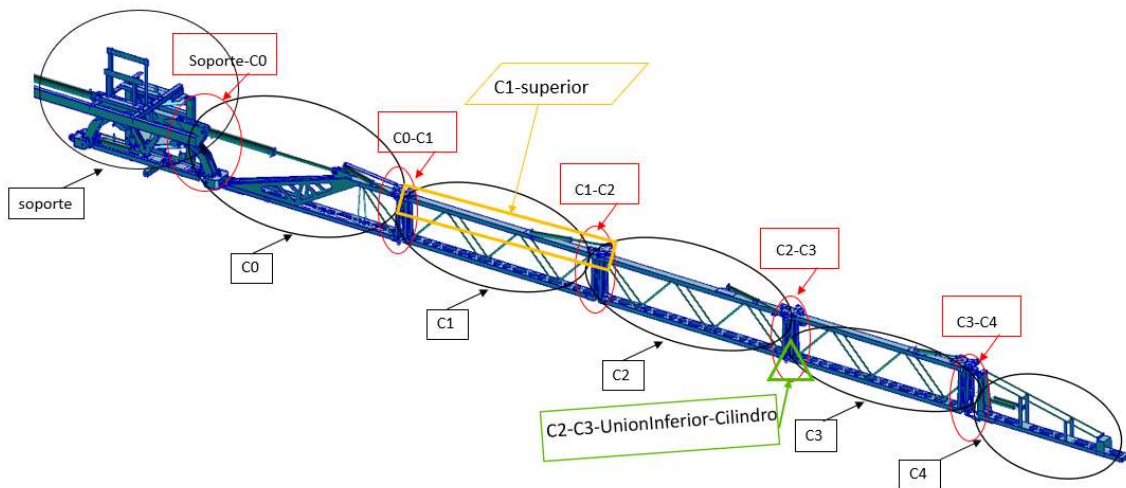


Figura A.1: descripción de los componentes del modelo

De esta manera se facilita la identificación de cada componente y así resulta más sencillo localizarlo dentro del modelo total, en este anexo no se van a mostrar todas las piezas, ya que hay más de 200 y como se puede ver en la imagen A.1 muchas son iguales o muy parecidas, y aunque se encuentren en diferentes conjuntos de componentes, la información sería redundante.

A continuación, se presentan una serie de piezas principales que componen la estructura y el lugar en el que se encuentra.

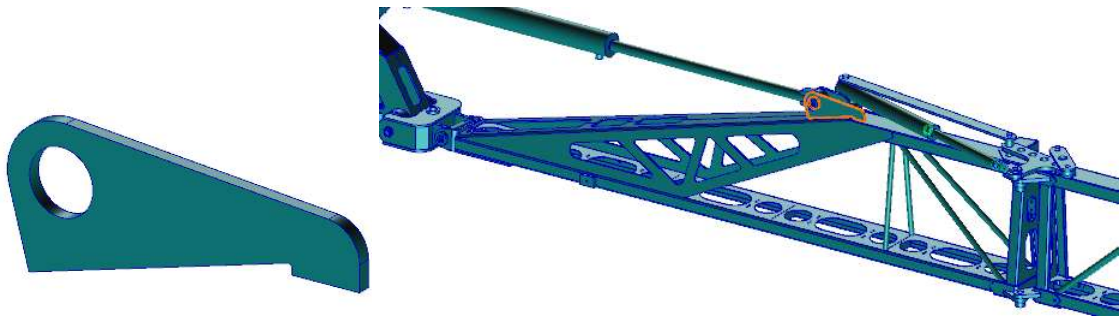
A.1. C0-UnionCilindros-CilDelante



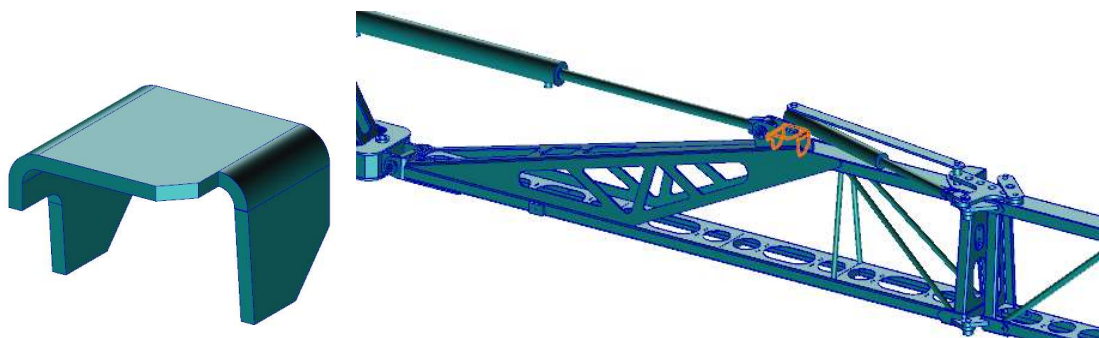
A.2. C0-UnionCilindros-placaDetras



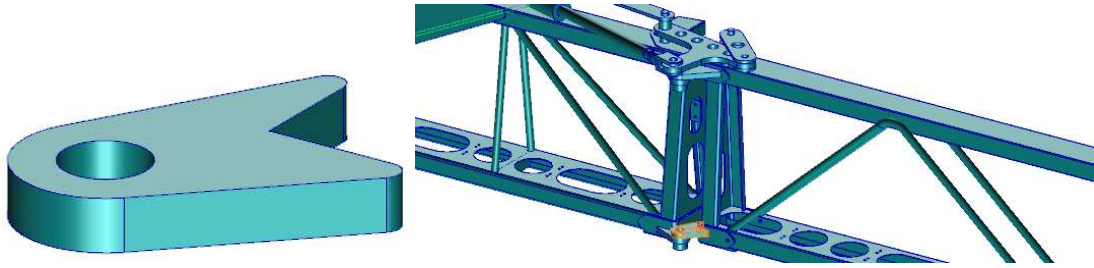
A.3. C0-UnionCilindros-placaDelante



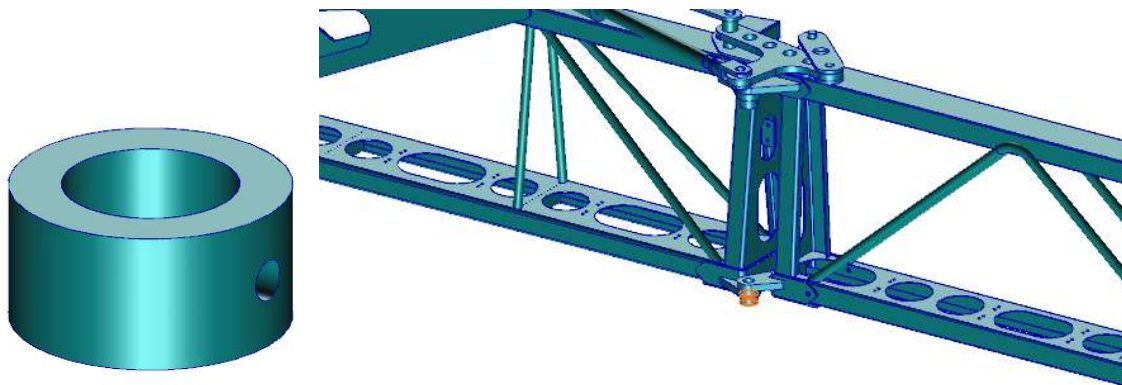
A.4. C0-UnionCilindros-placaDetras



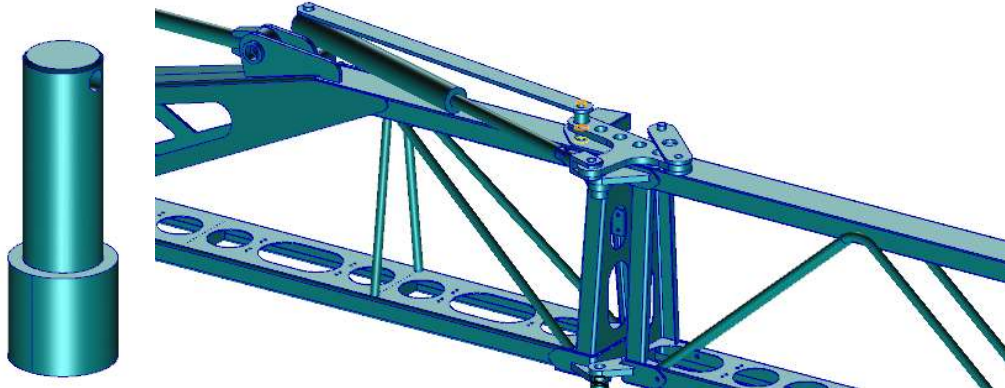
A.5. C0-C1-UnionInferior-parteArriba



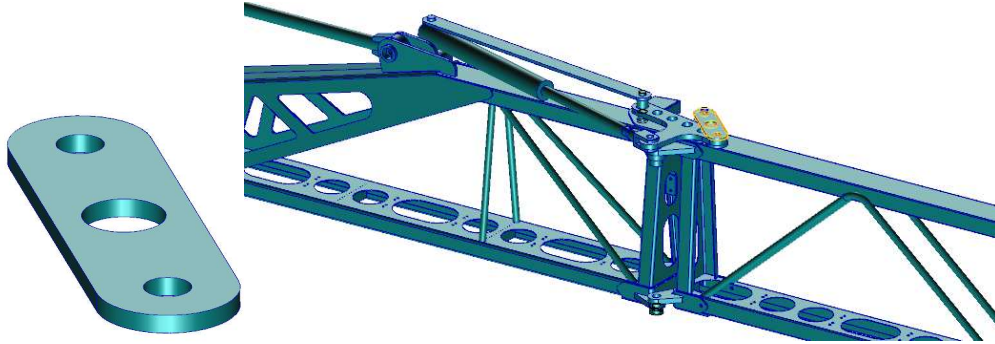
A.6. C0-C1-UnionInferior-cilindro



A.7. C0-C1-superior-pasador-T-cilind



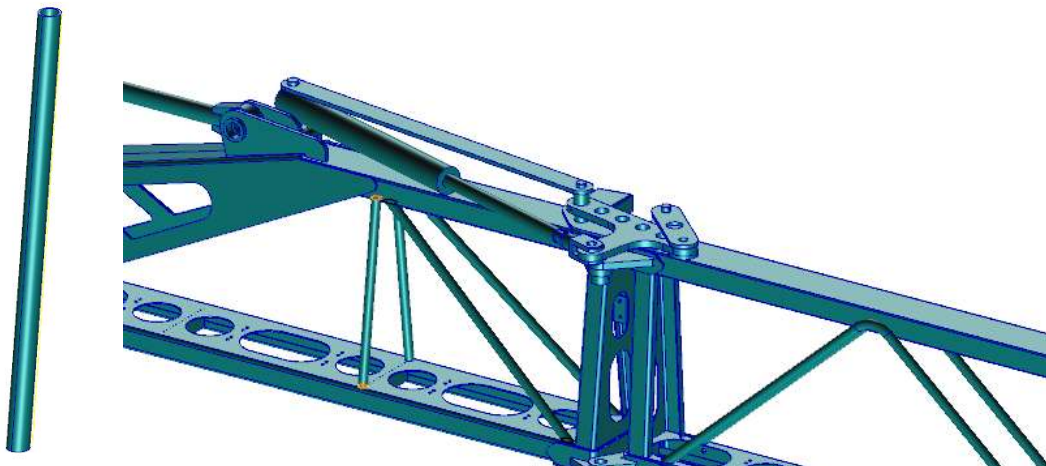
A.8. C0-C1-superior-placaHoriz-arriba



A.9. C0-Barra-diagonal-delante



A.10. C0-barra-veritcal-delante



A.11. C0-cilindroGrande-dcha



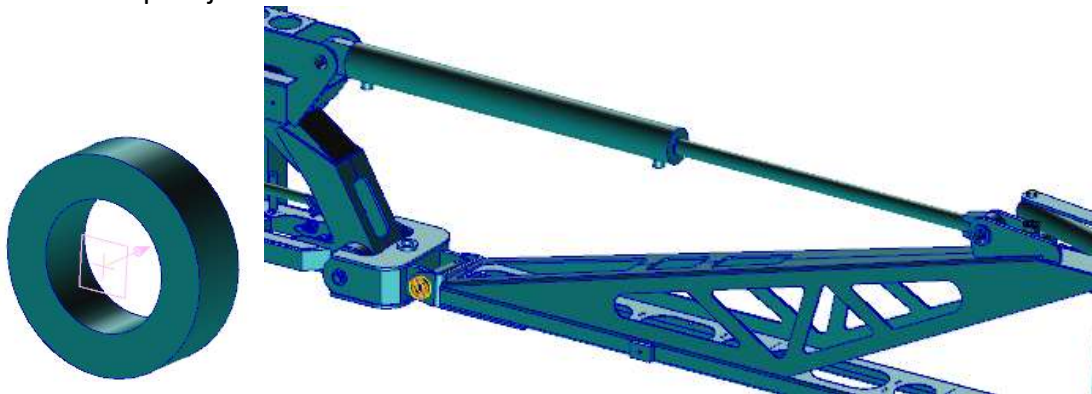
A.12. C0-cilindroGrande-izq



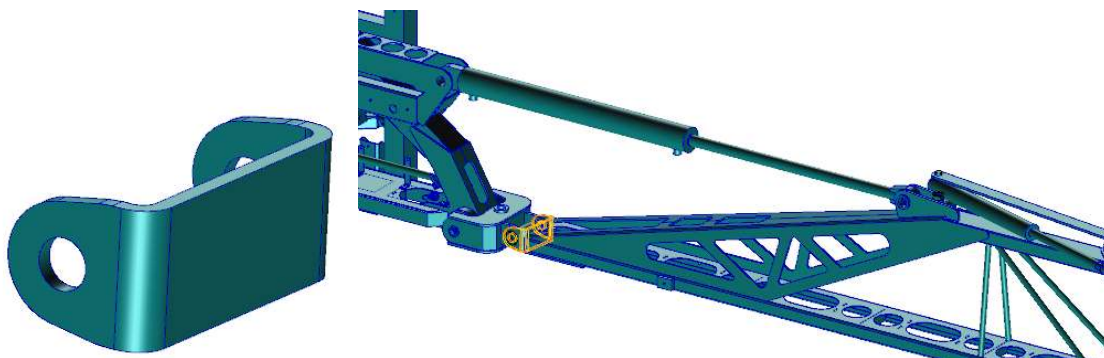
A.13. C0-pasador-cilindro-partelzq



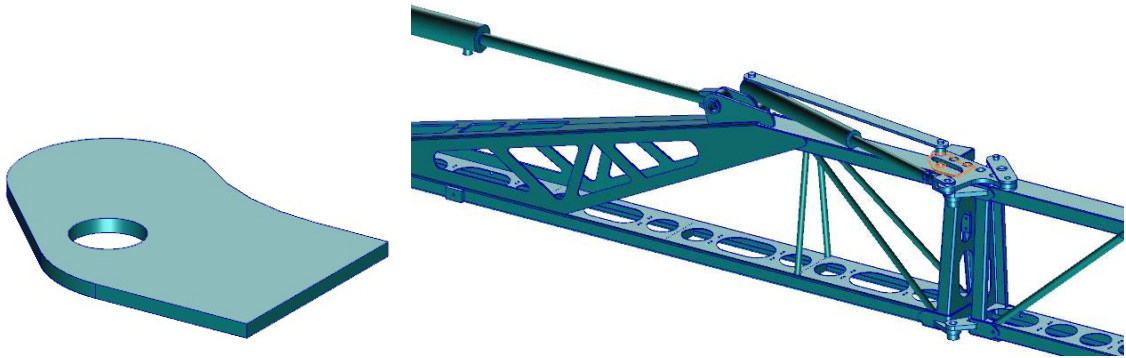
A.14. C0-izq-abajo-arandelaDelante



A.15. C0-izq-abajo-placaC



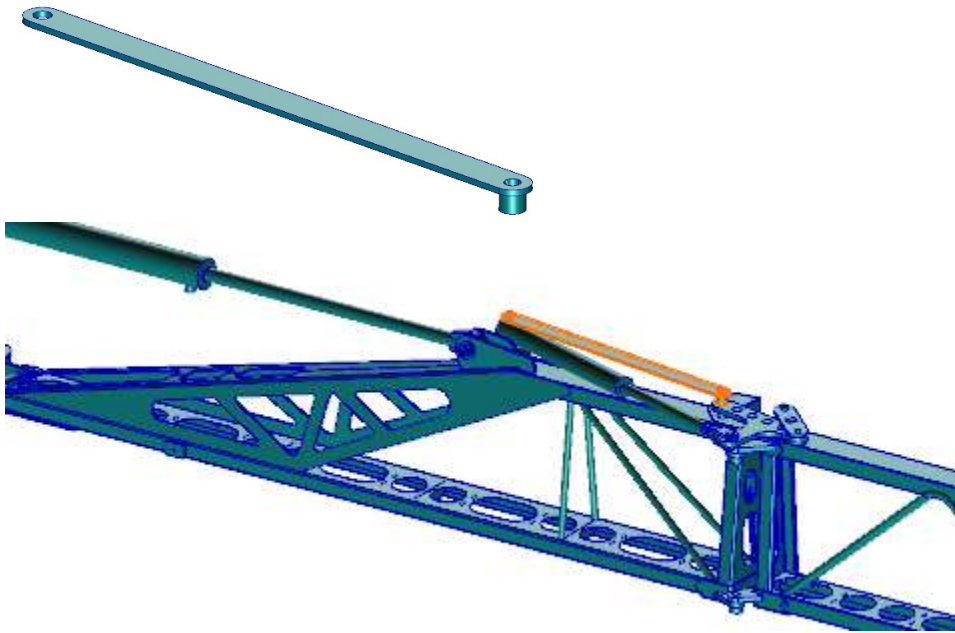
A.16. C0-placa-debajopasadorUnión



A.17. C0-Inferior



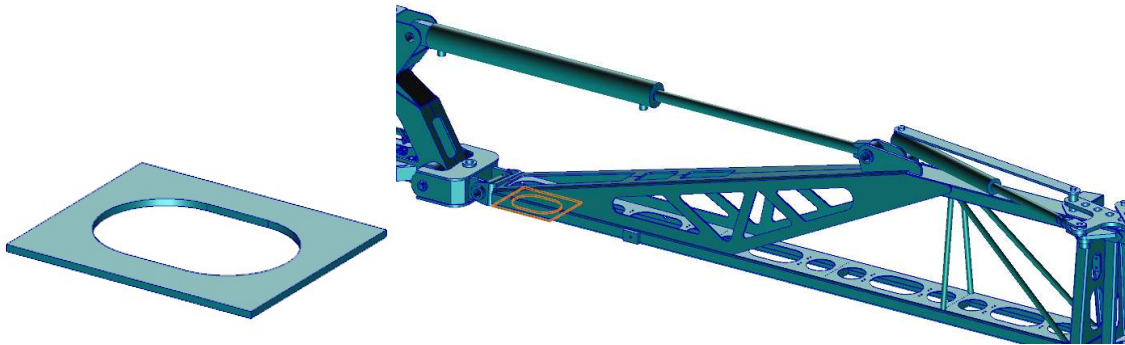
A.18. C0-placa-encima-cilindro



A.19. C0-placaGrande-triang-delante



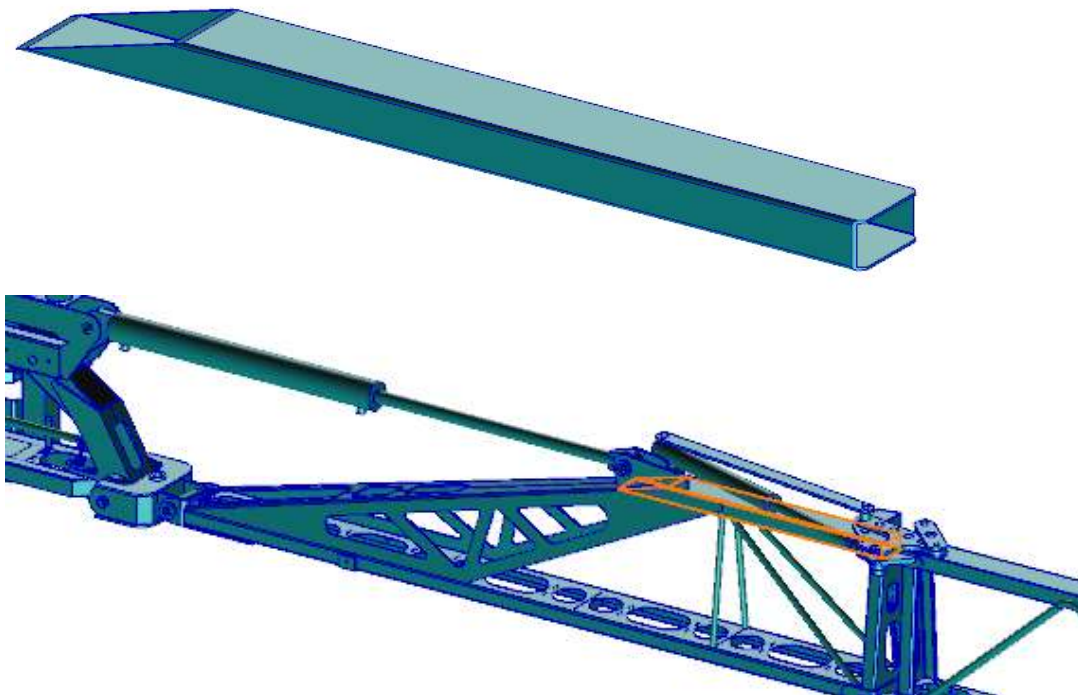
A.20. C0-placaO-izq-abajo



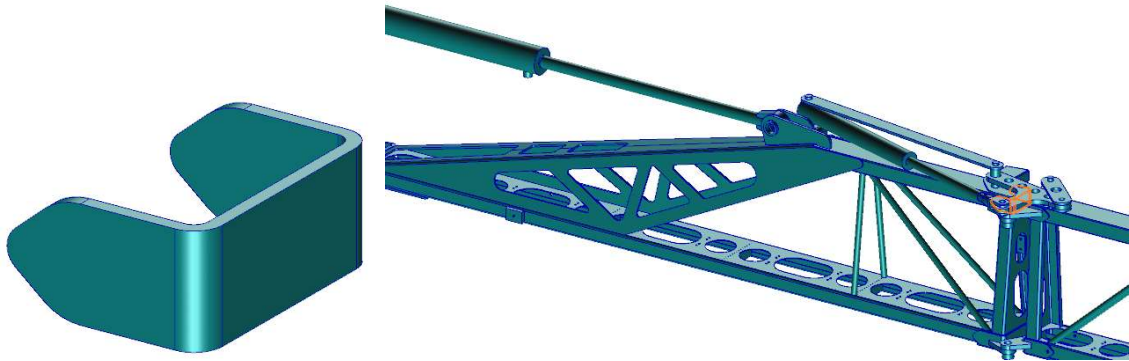
A.21. C0-inferior-plaquica2-izq



A.22. C0-superior



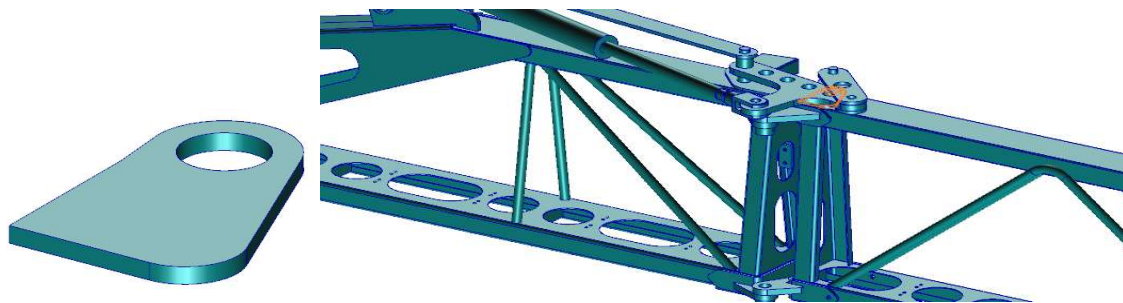
A.23. C0-superior-dcha-placaC



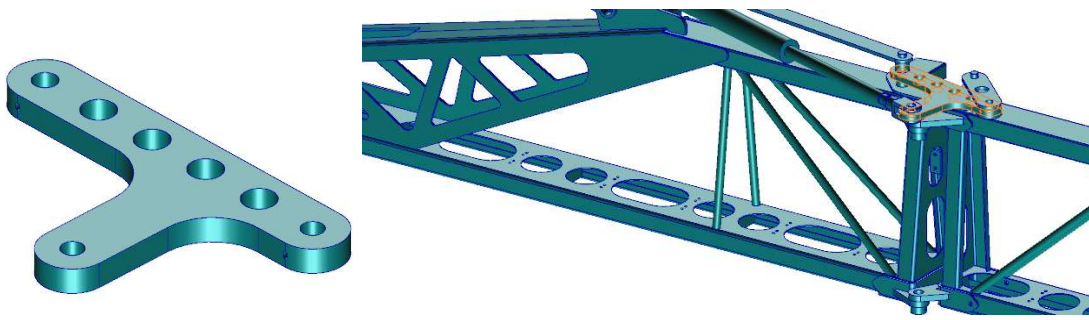
A.24. C0-C1-superior-placaHoriz-abajo



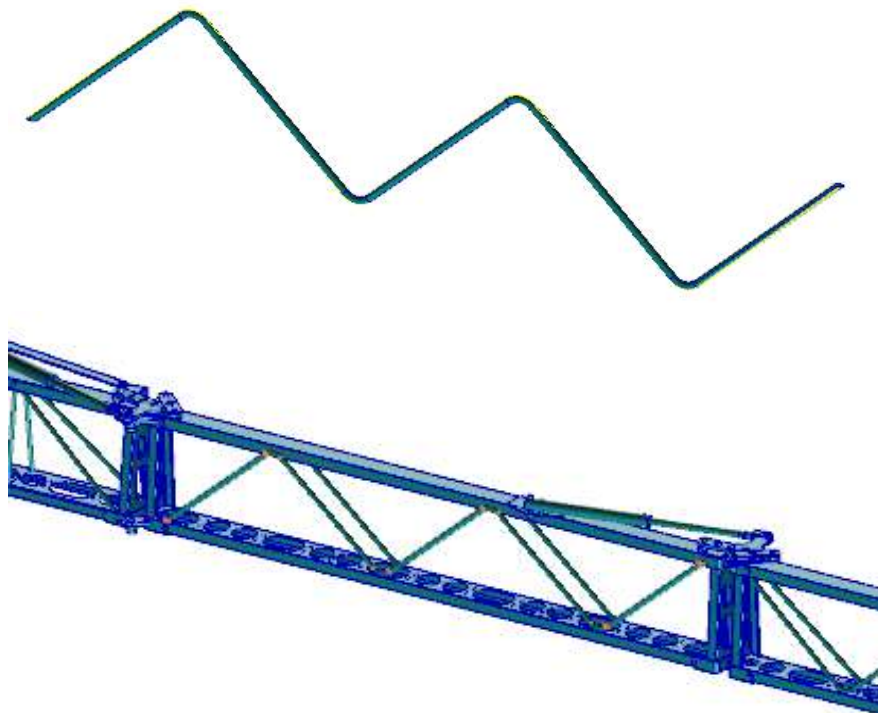
A.25. C0-C1-superior-placa-debajoT



A.26. C0-C1-superior-placaT



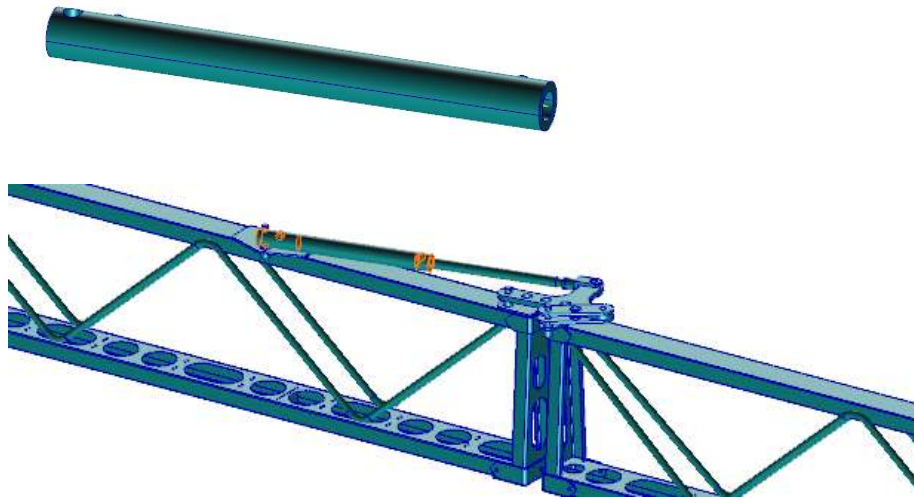
A.27. C1-barratriang_delante



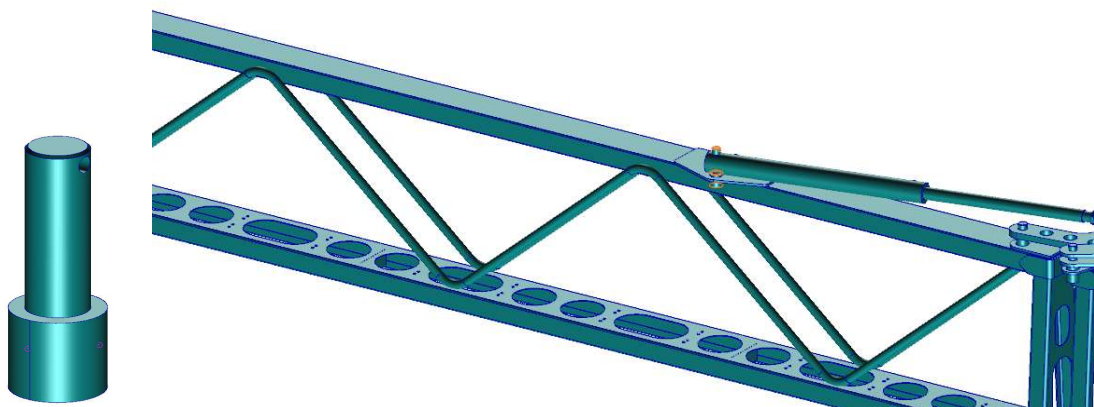
A.28. C1-cilindro-dcha



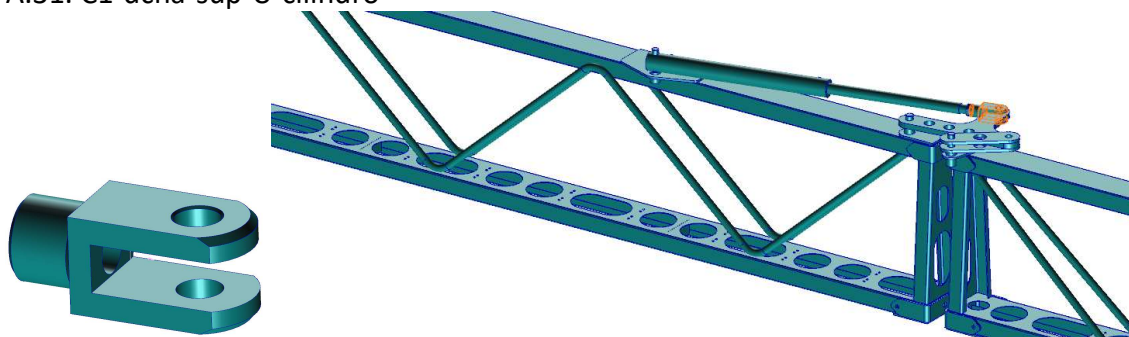
A.29. C1-cilindro-izq



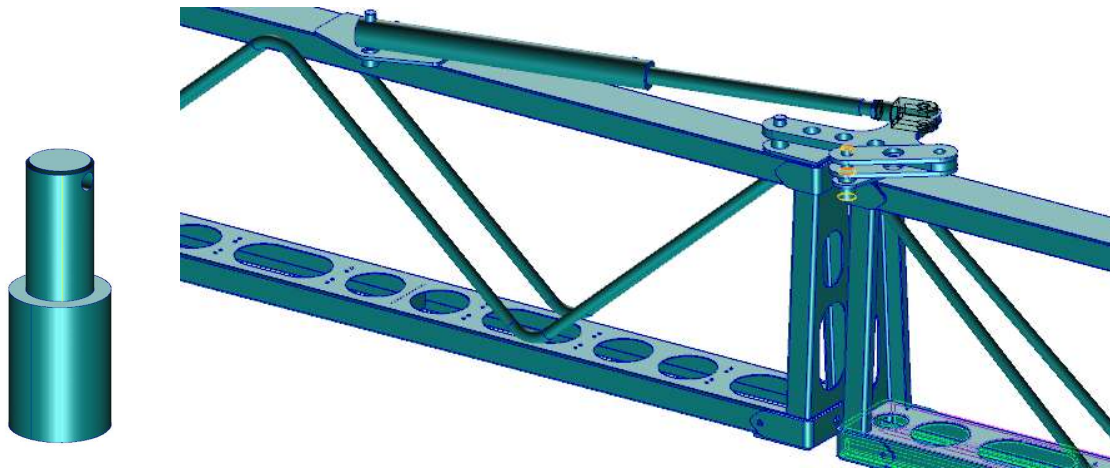
A.30. C1-PasadorCilindroPlacalzq



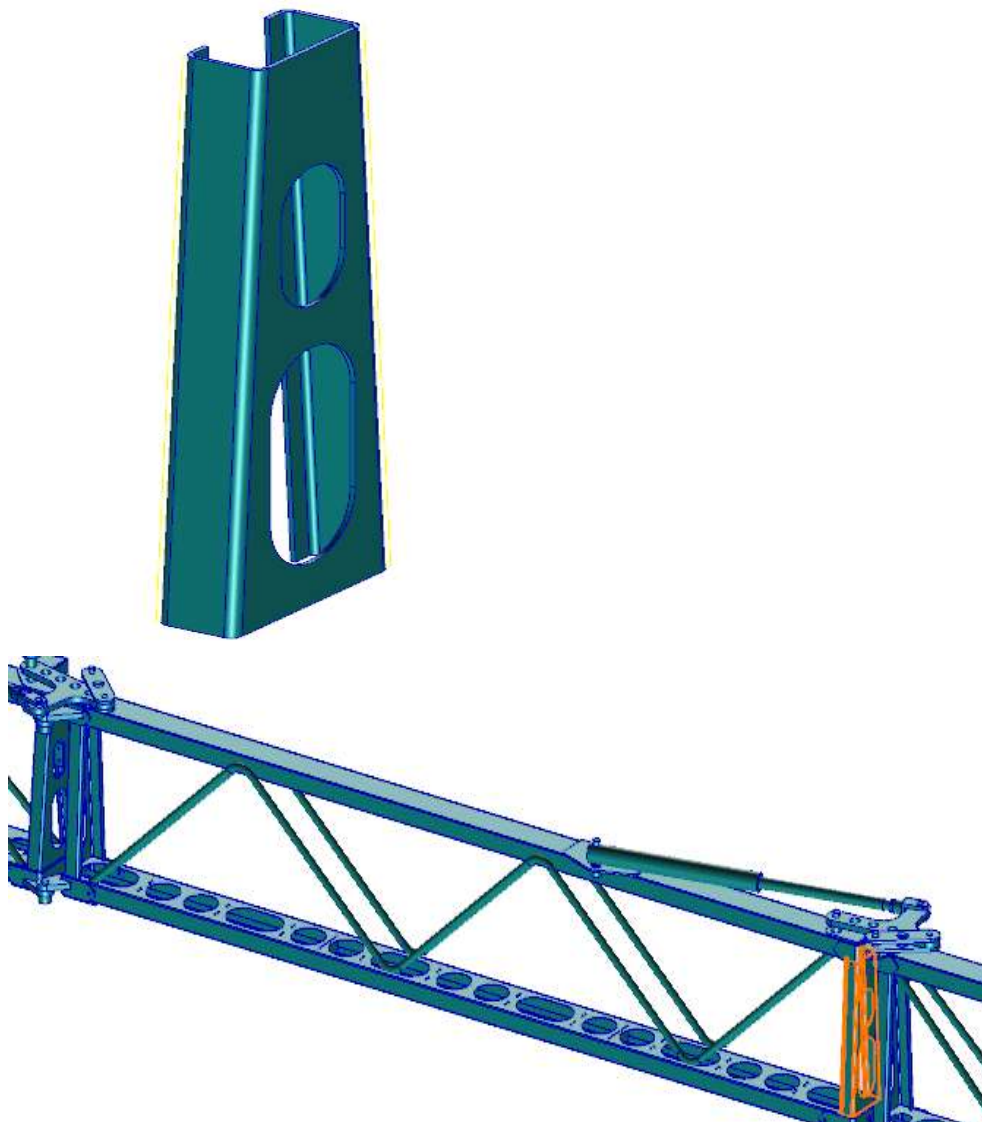
A.31. C1-dcha-sup-U-cilindro



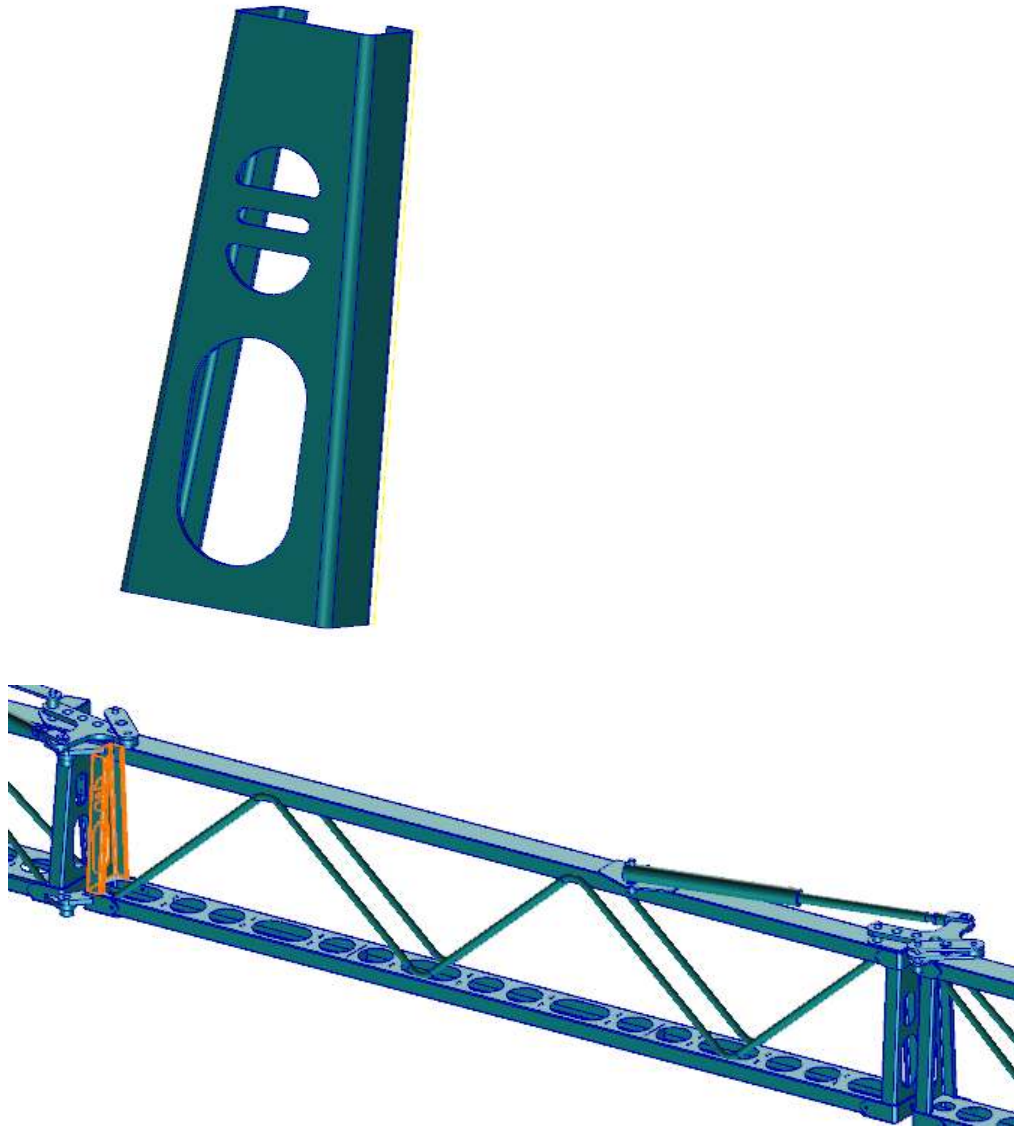
A.32. C1-C2-superior-pasador-placas



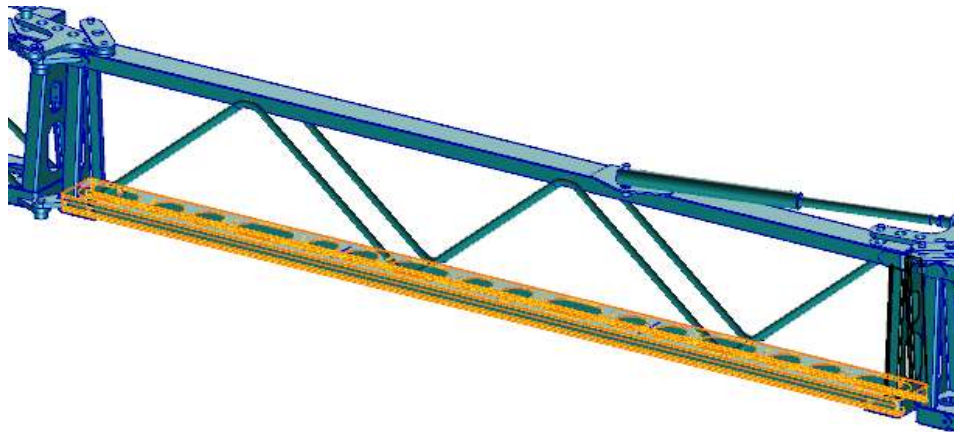
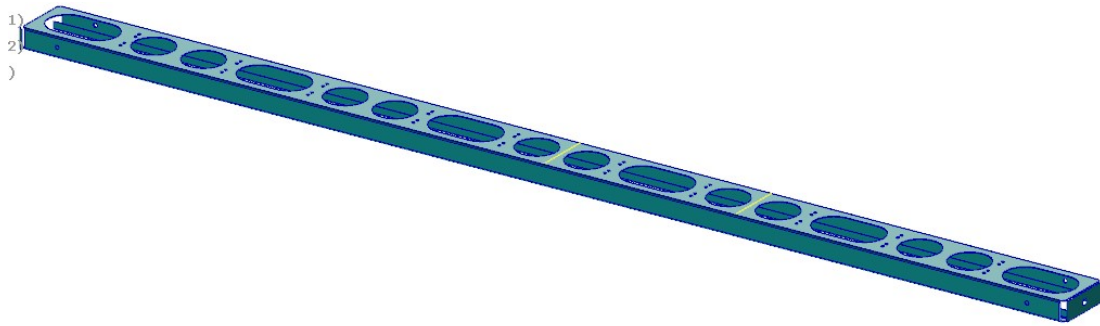
A.33. C1-derecha-vert



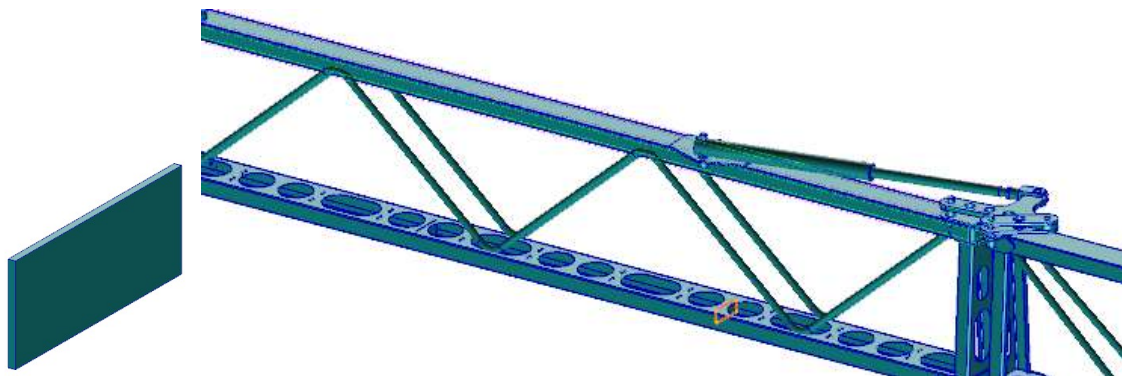
A.34. C1-izquierda-vert



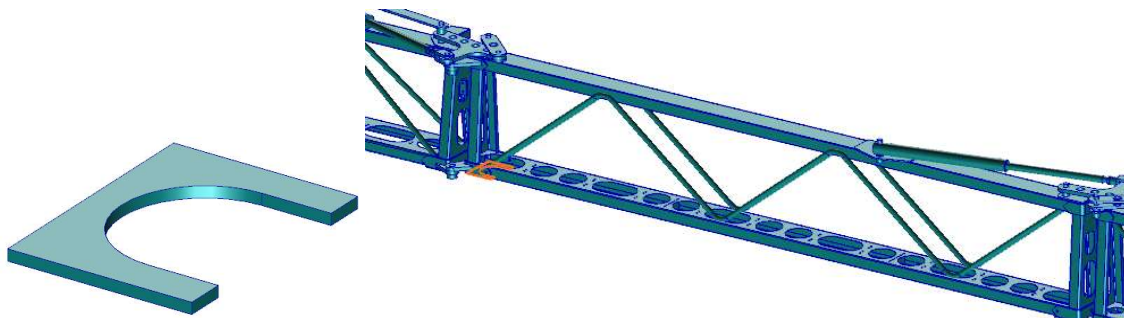
A.35. C1-inferior



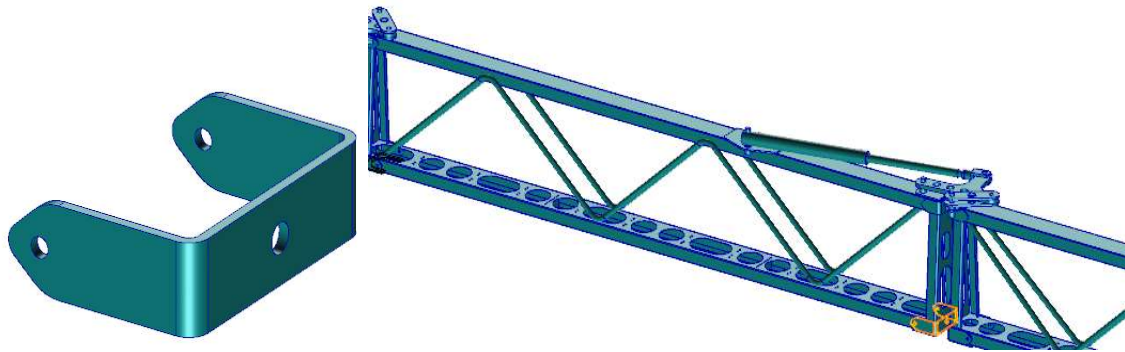
A.36. C1-placa-peque-dcha-abajo



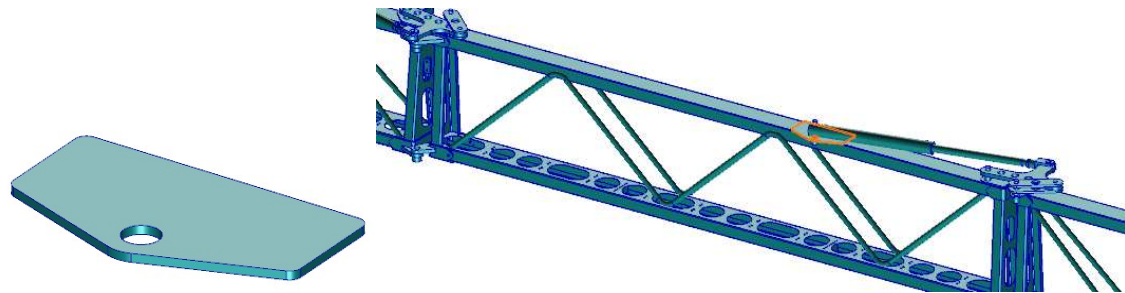
A.37. C1-placaC-inf-izq-finaHorizont



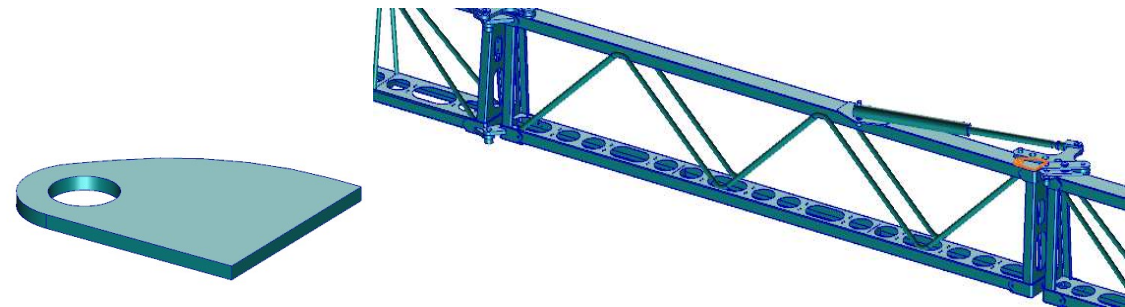
A.38. C1-placaC-inf-derecha



A.39. C1-placaDebajoCilindro-UnionIzq



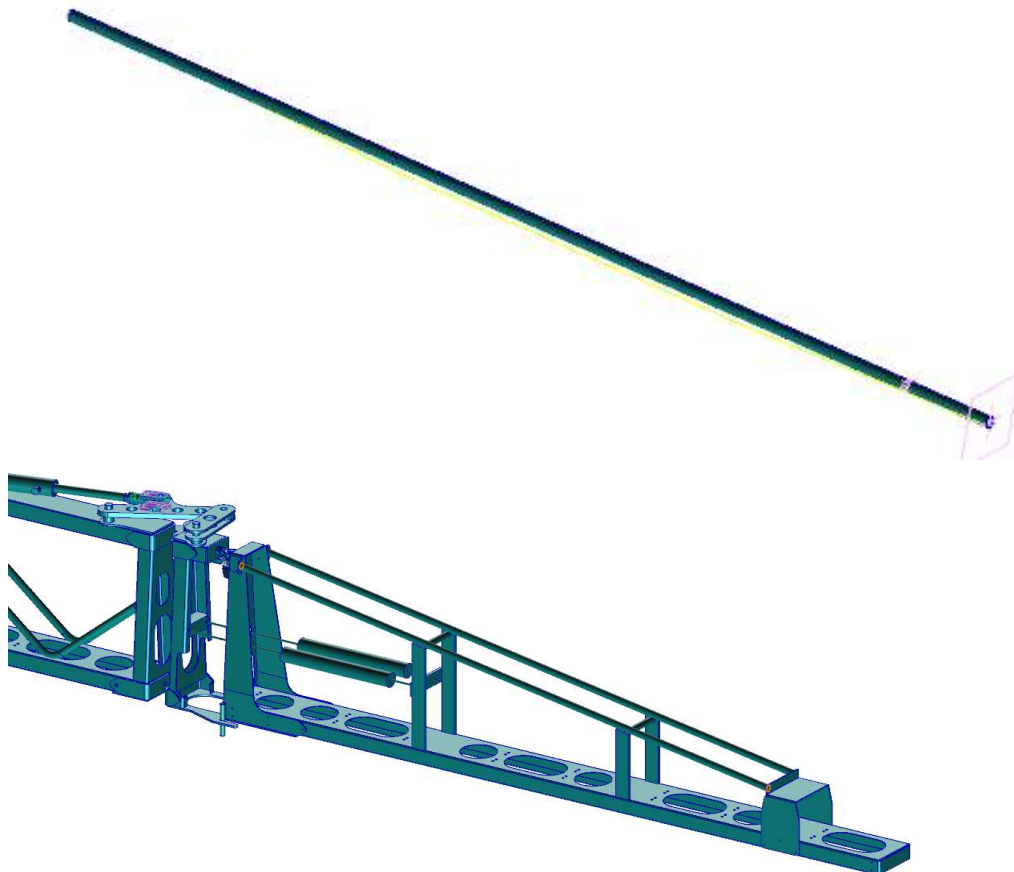
A.40. C1-supDcha-PlacaEncimaSuperior



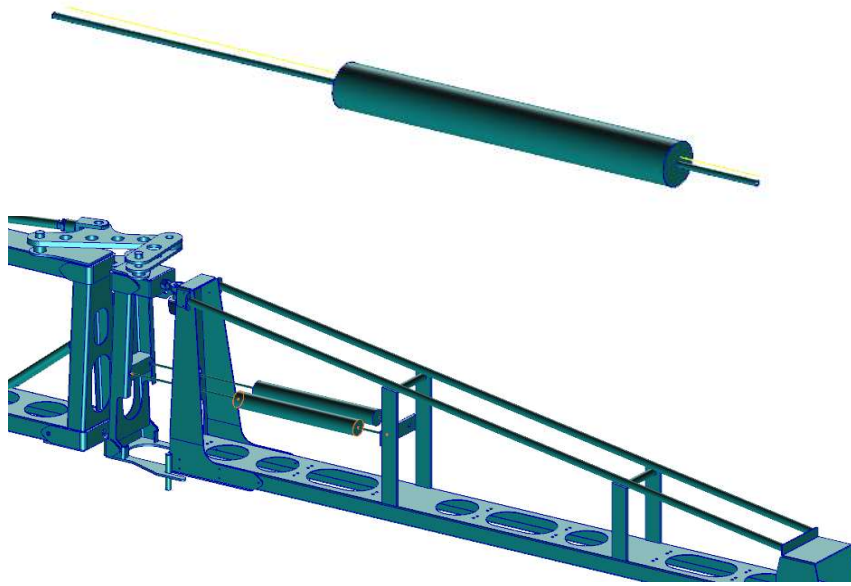
A.41. C1-superior



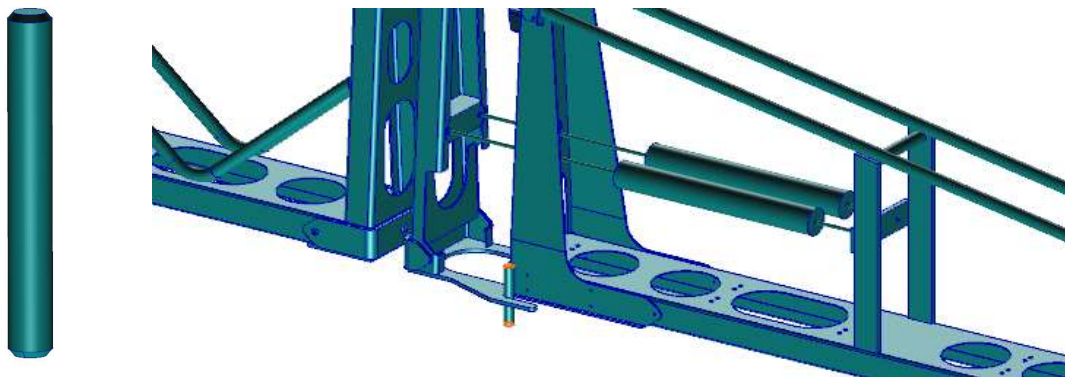
A.42. C4-barradiagonal_delante



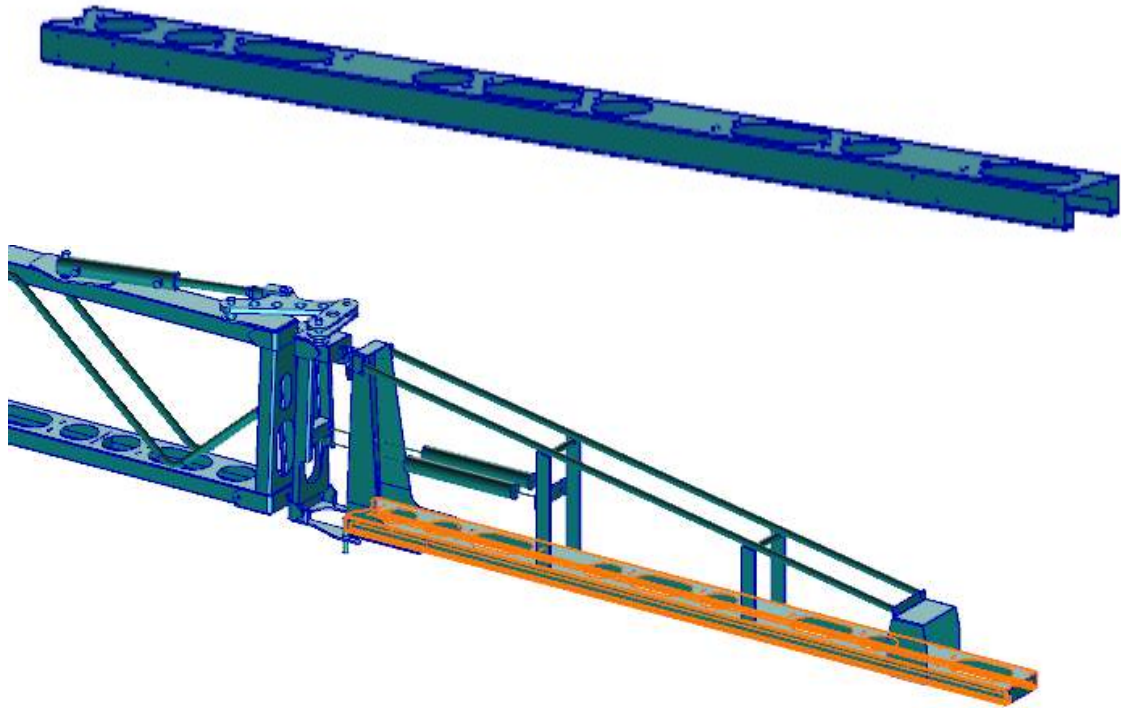
A.43. C4-cilindro-delante



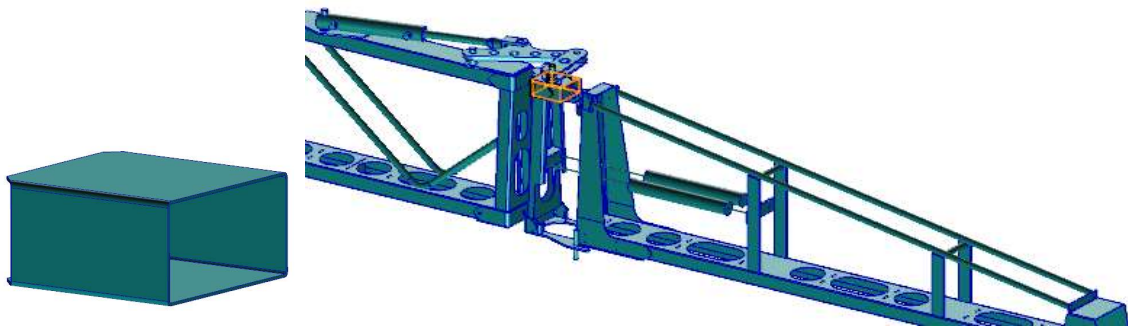
A.44. C4-cilindro-izqVertical-delante



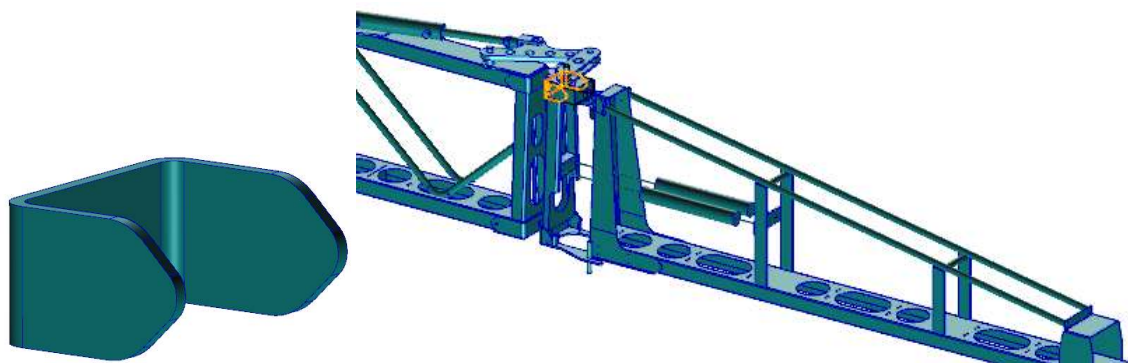
A.45. C4-inferior



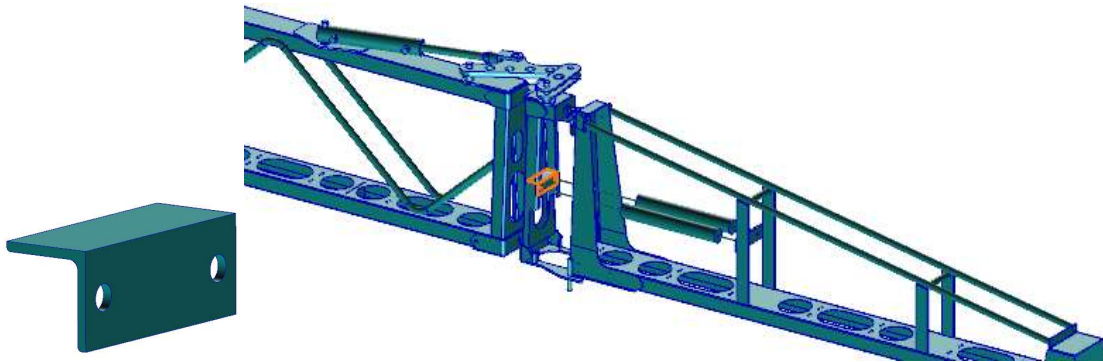
A.46. C4-izq-arriba-cuboUnion



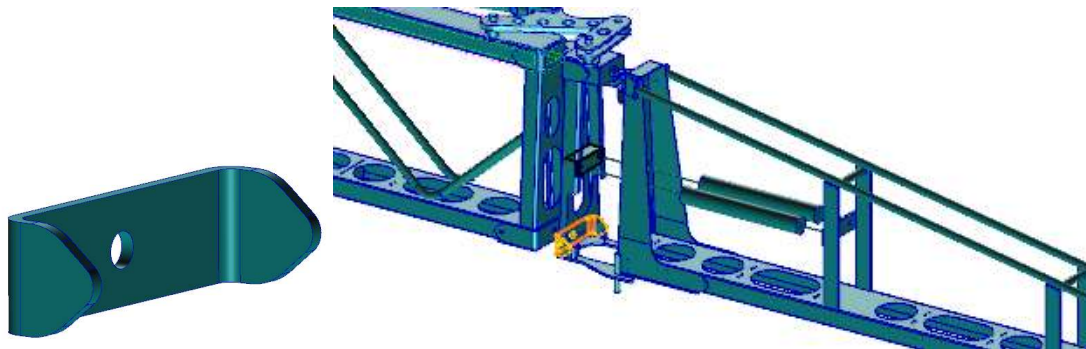
A.47. C4-izq-arriba-placaCJuntoAcubo



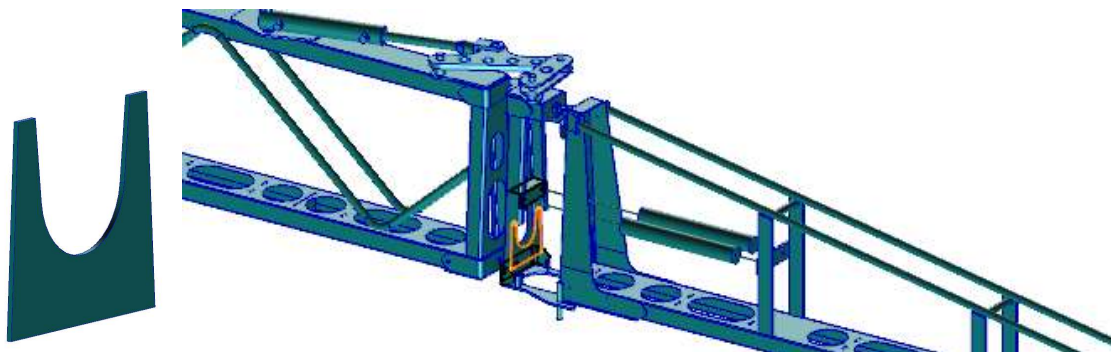
A.48. C4-izq-fin-placaL-mitad-placaVer



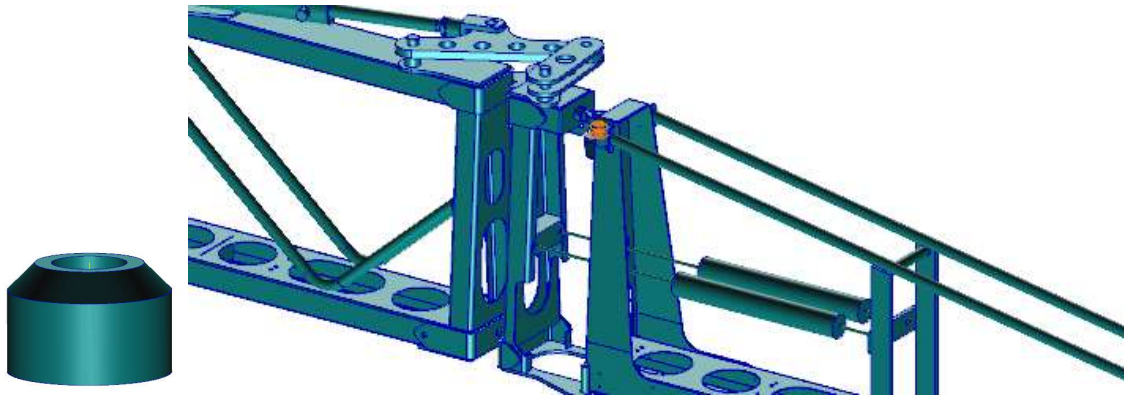
A.49. C4-izq-final-placaC-abajo



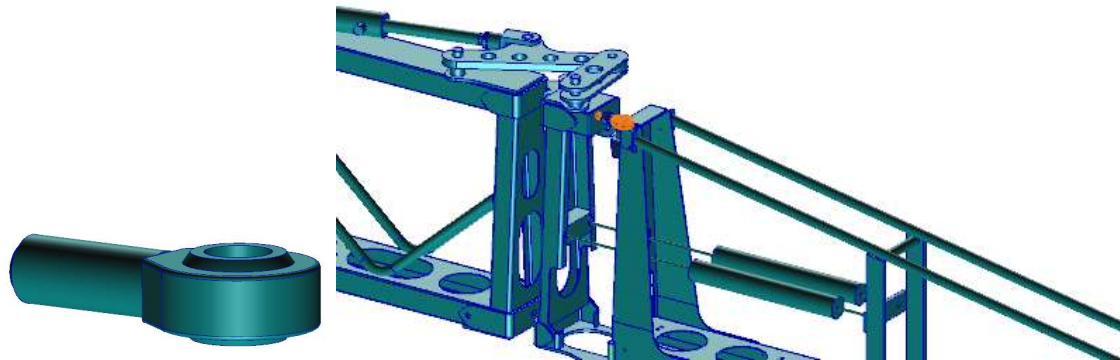
A.50. C4-izq-final-placaC-vertAbajo



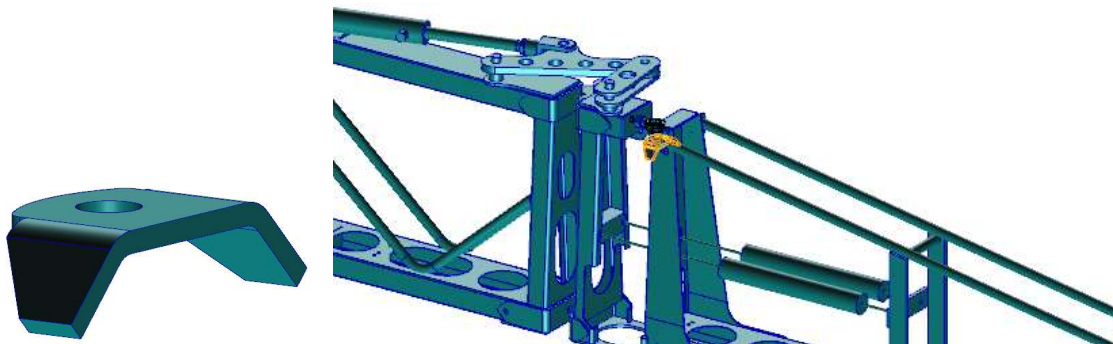
A.51. C4-izq-parteinferior-pasador



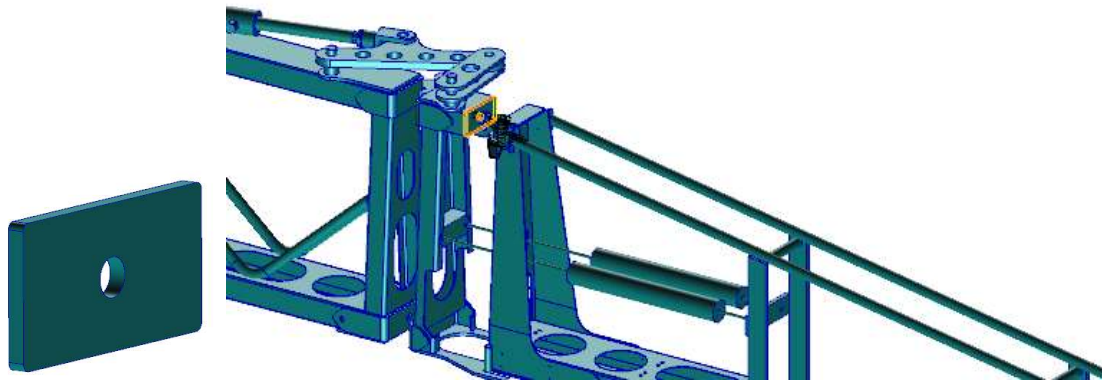
A.52. C4-izq-partesuperior-pasador



A.53. C4-izq-placadebajo-pasador



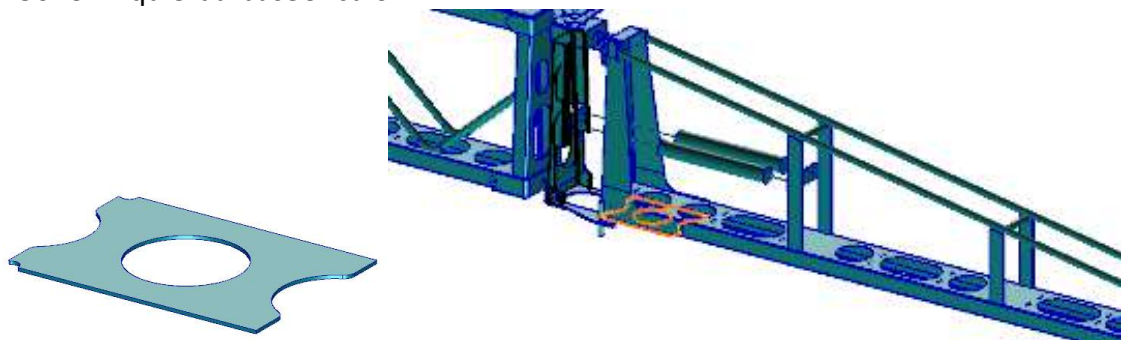
A.54. C4-placa-izq-unionCubo



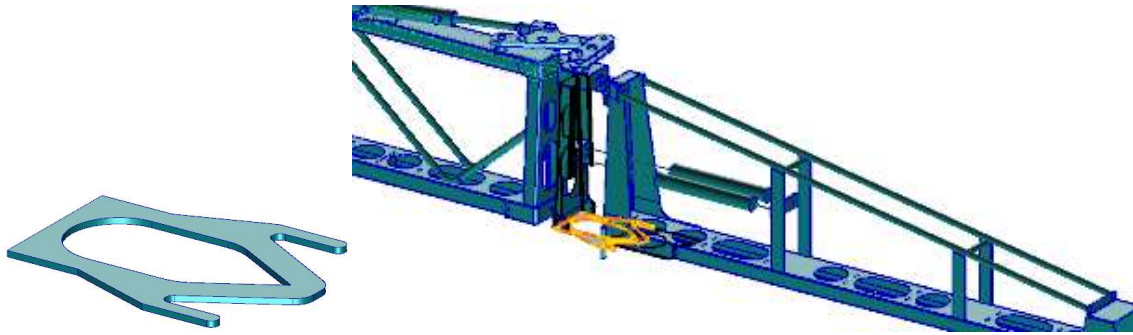
A.55. C4-izq-vertical-final



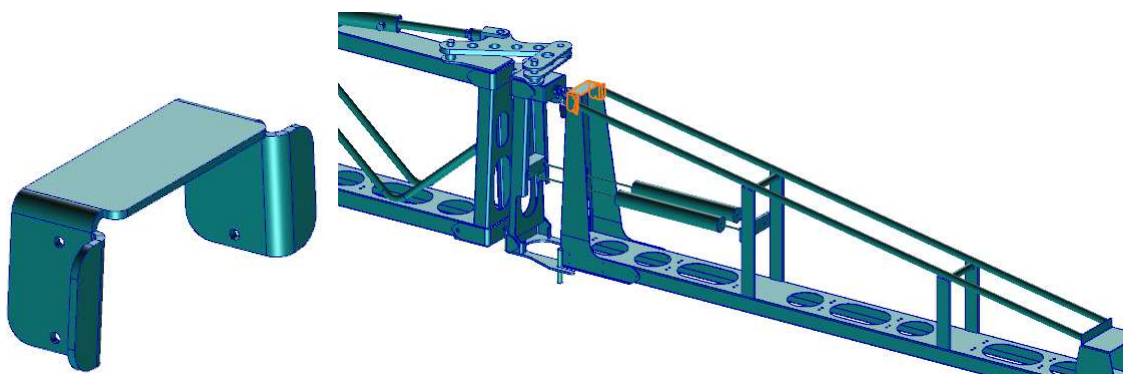
A.56. C4-izquierda-baseCirculo



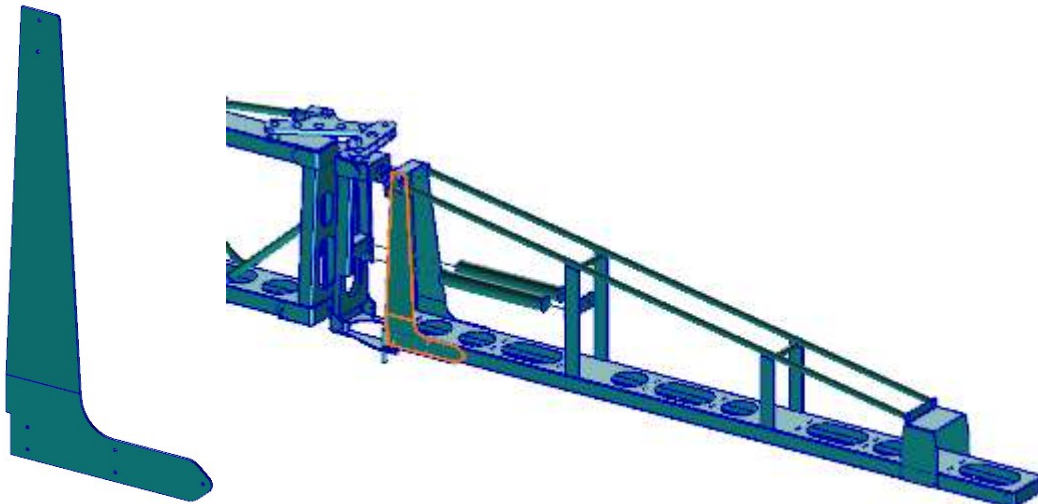
A.57. C4-zquierda-infFina-placa



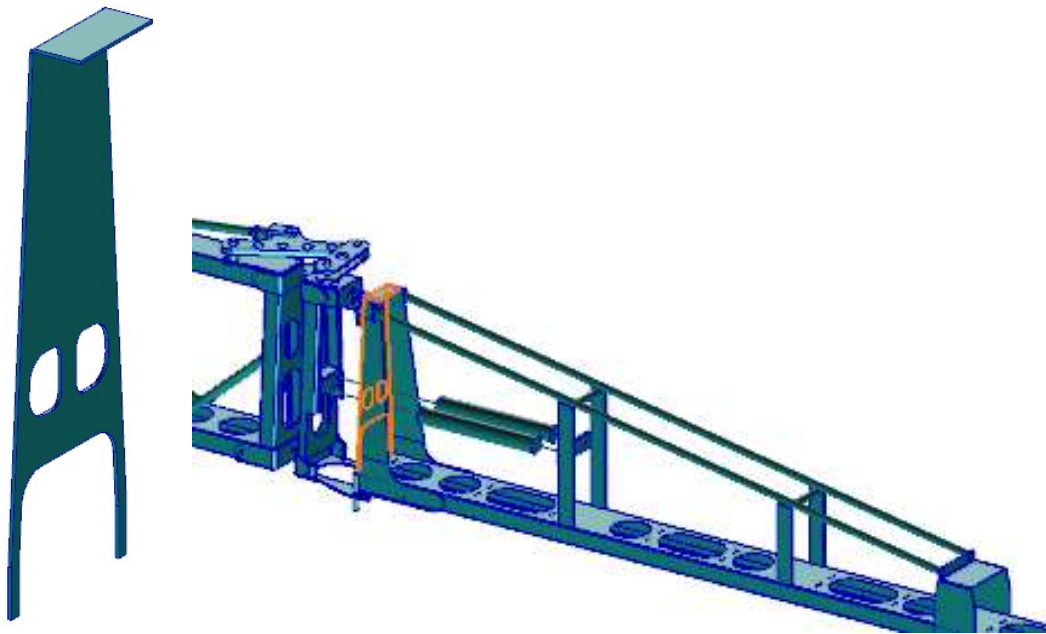
A.58. C4-izquierda-placaC-arriba



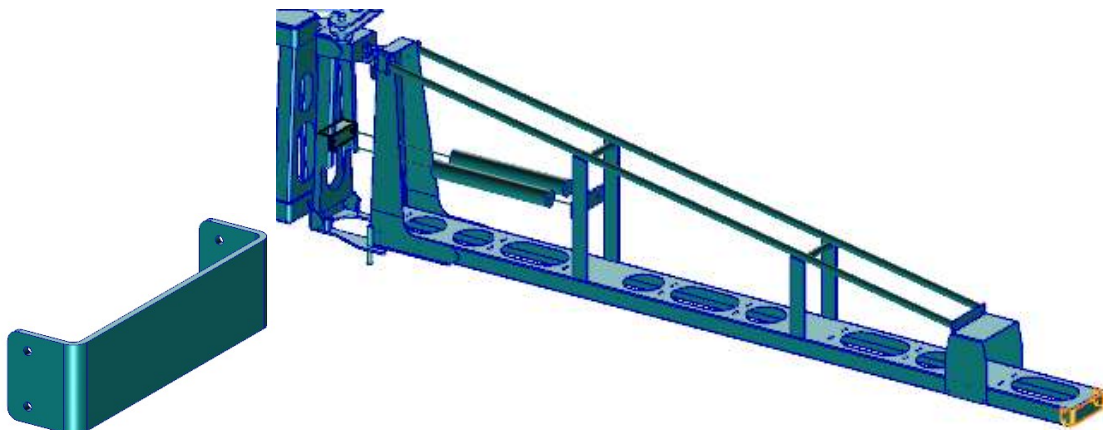
A.59. C4-izquierda-vert-delante



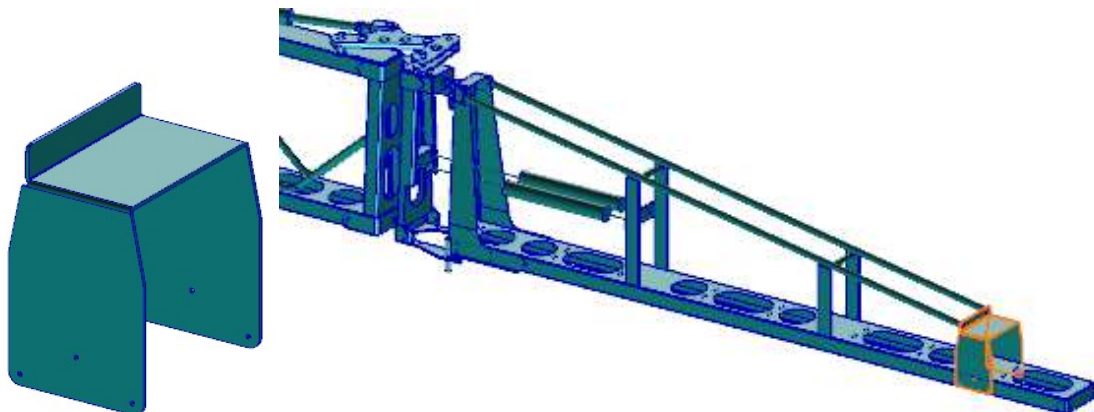
A.60. C4-izquierda-vert-perpendicular



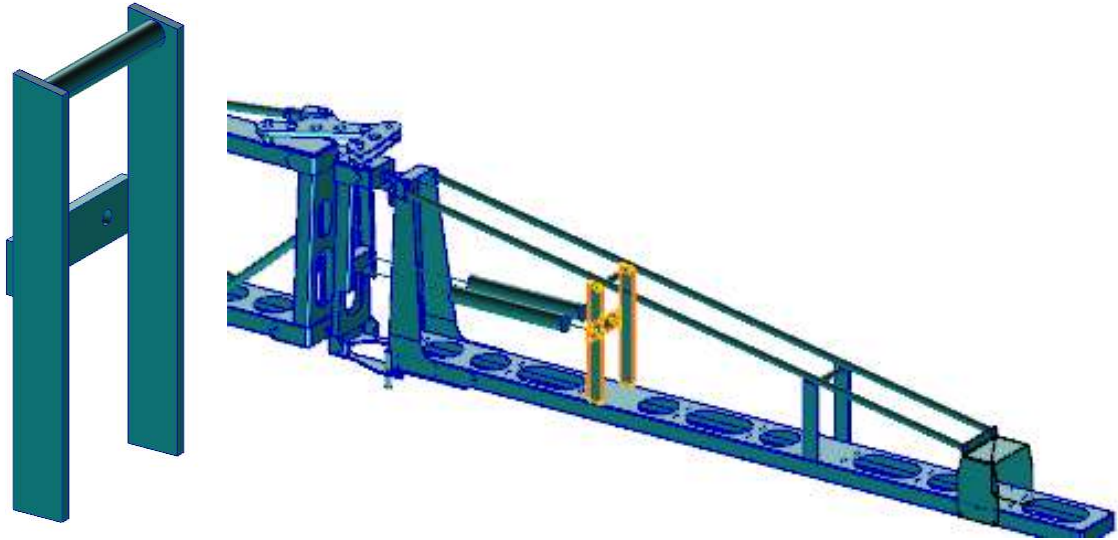
A.61. C4-placaC-fin-derecha



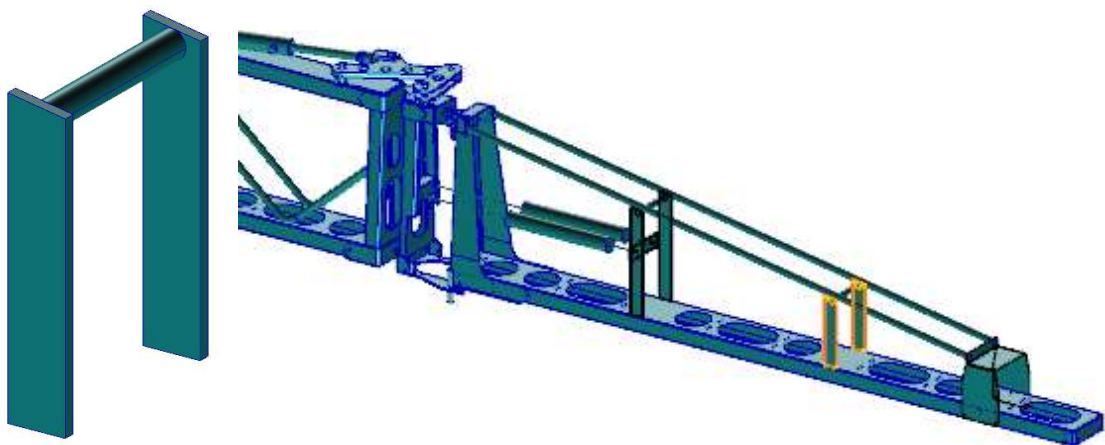
A.62. C4-placaC-vertical-dcha



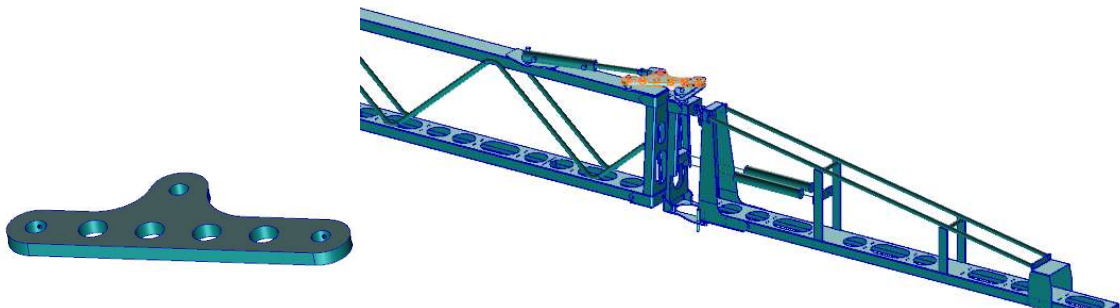
A.63. C4-placas-puenteGrande



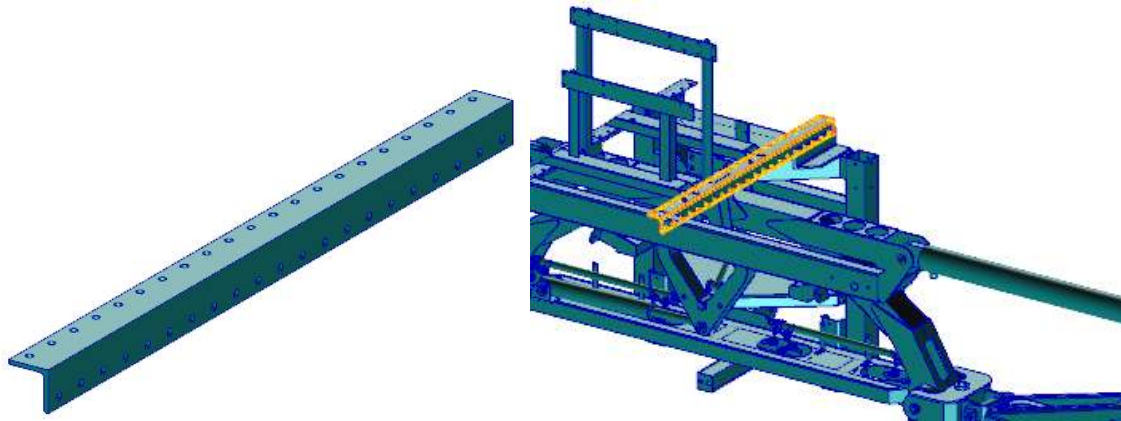
A.64. C4-placas-puentePequeno



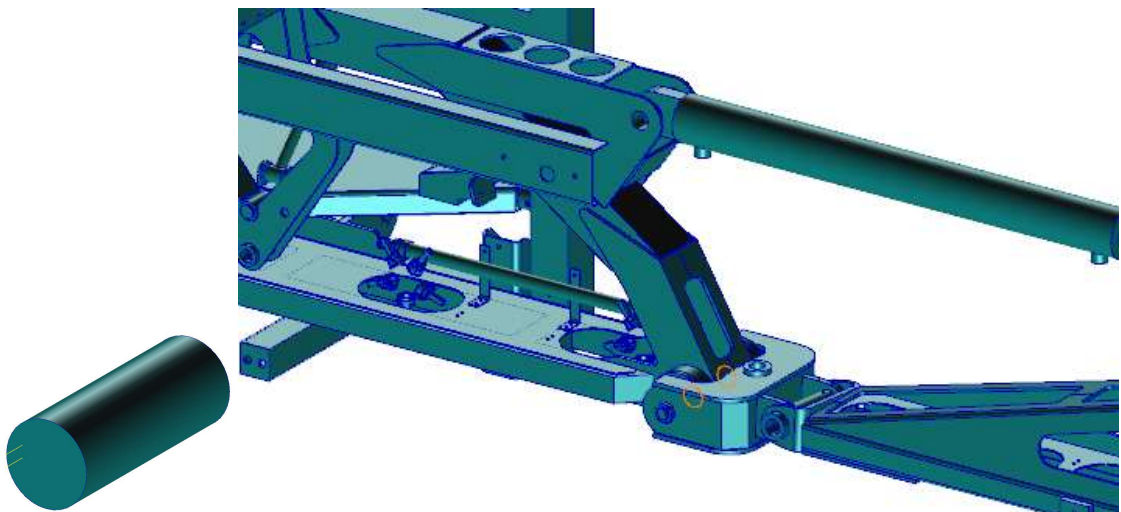
A.65. C3-C4-placaDiagonal



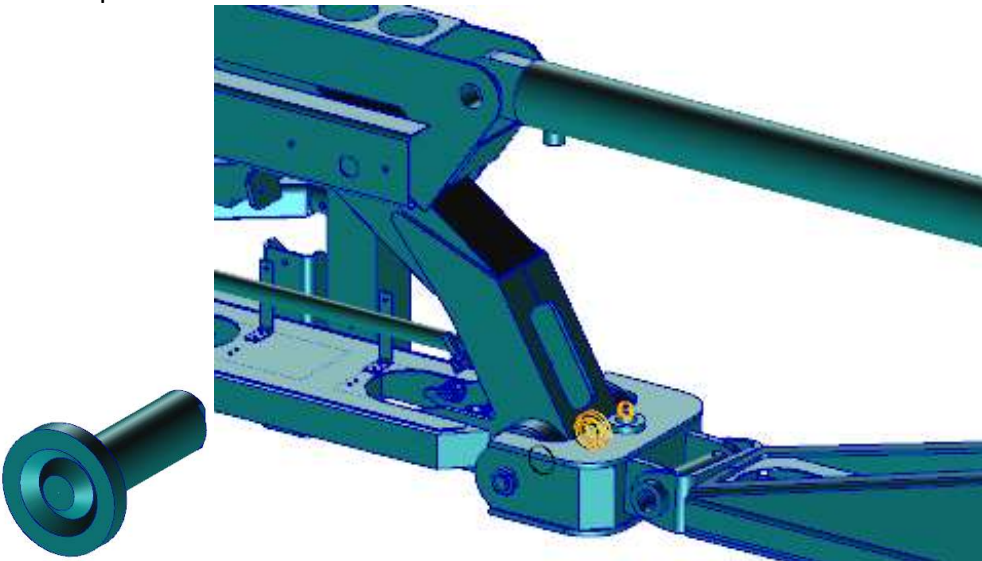
A.66. Soporte-barraTransversal-dcha



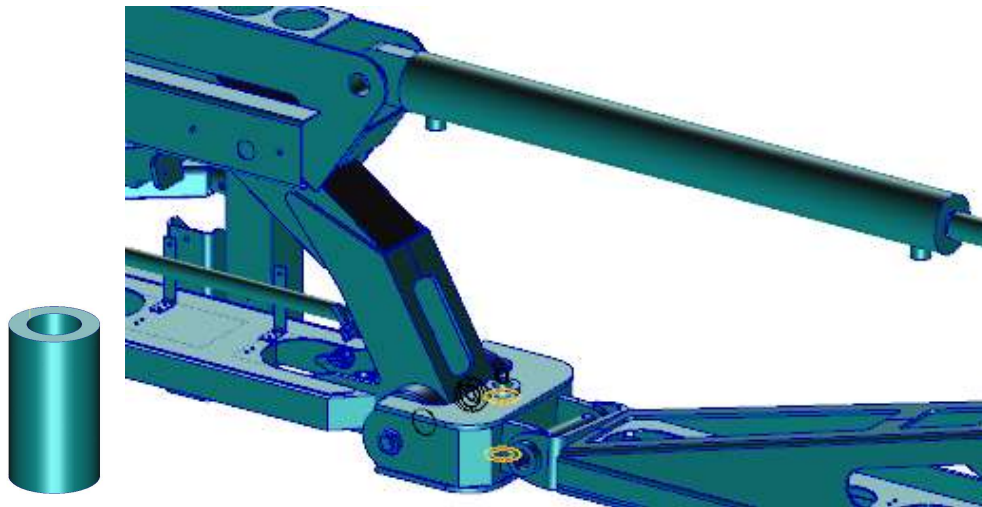
A.67. Soporte-C0-cilindroHoriz-abajo



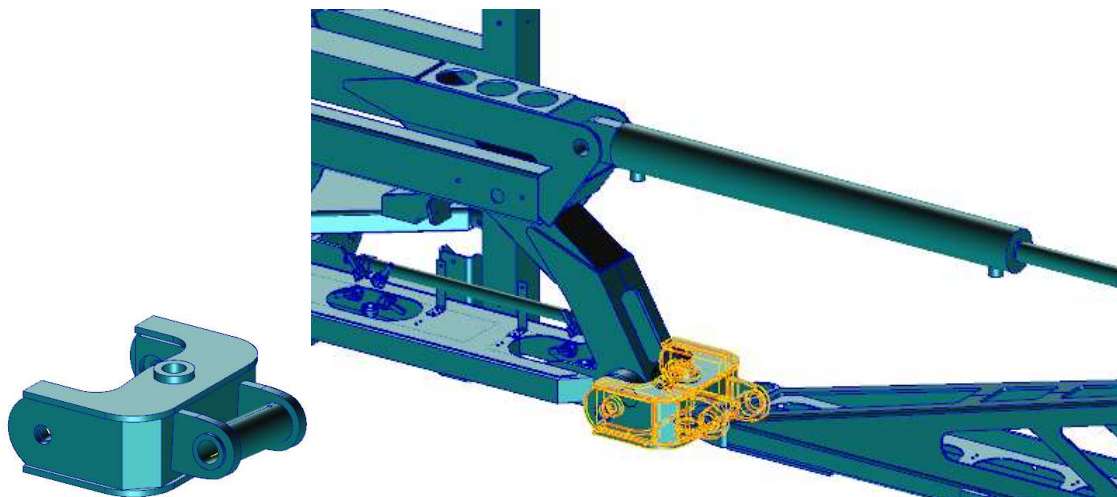
A.68. Soporte-C0-cilindrohorizDetras



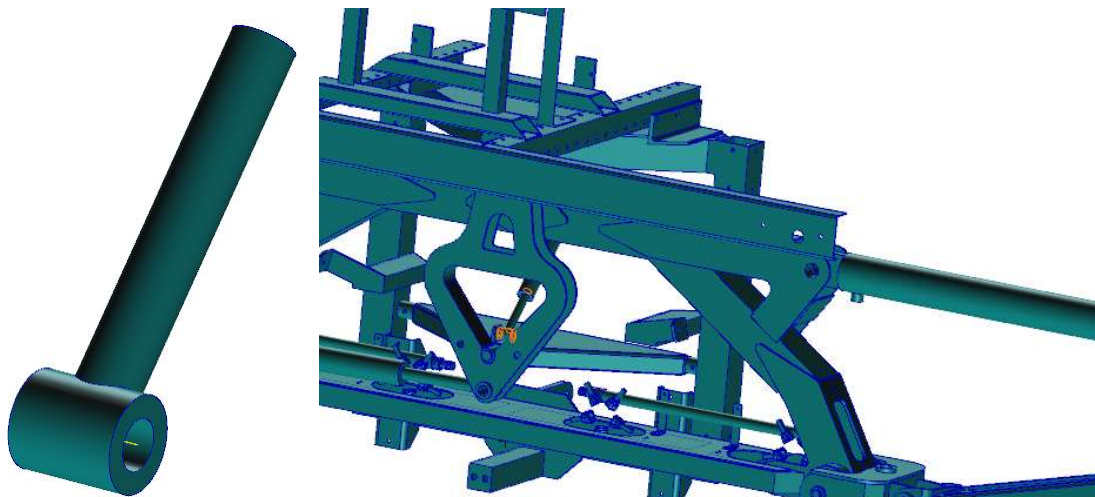
A.69. Soporte-C0-cilindrovert-abajo



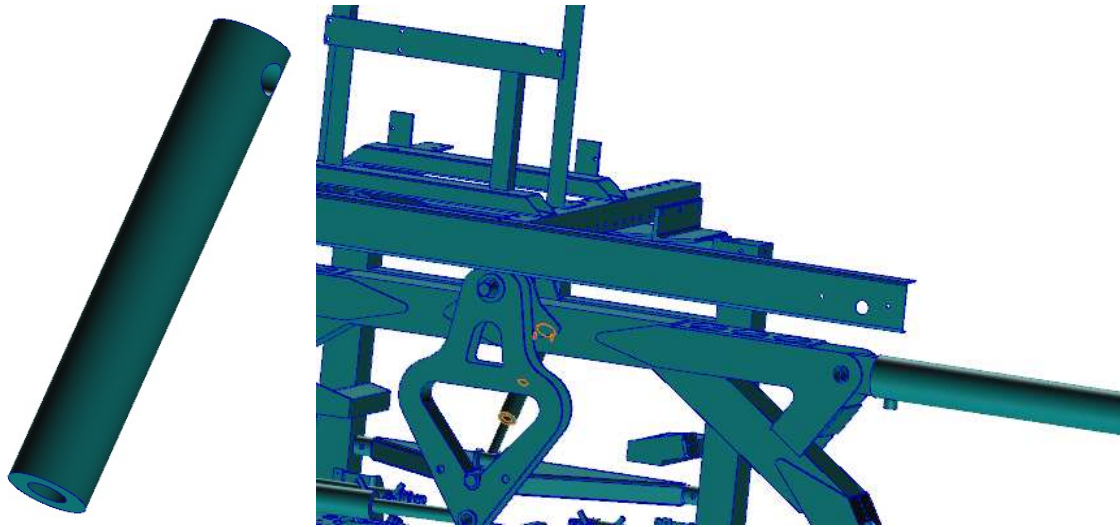
A.70. Soporte-UnionC0-abajo



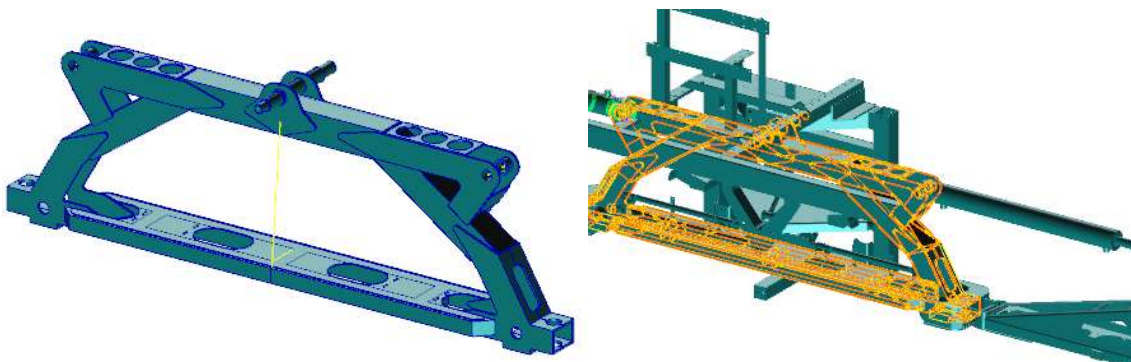
A.71. Soporte-Cil Diagonal-ejeabajo



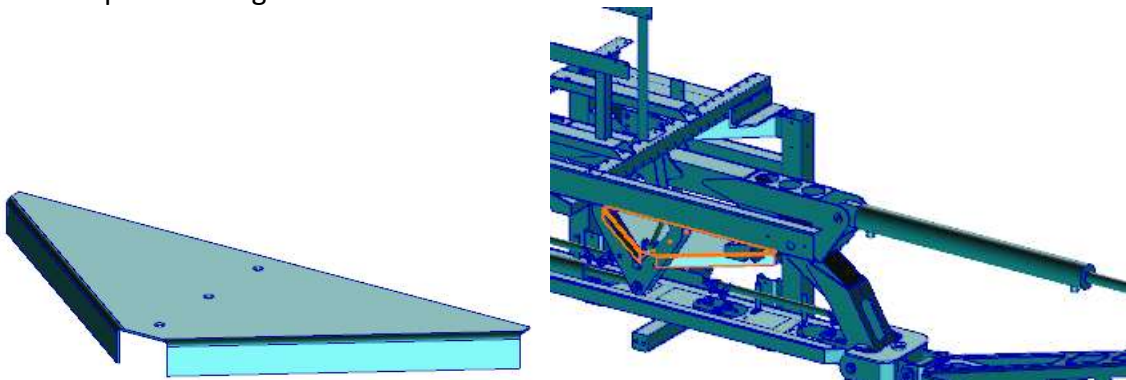
A.72. Soporte-CilDiagonal-ejearriba



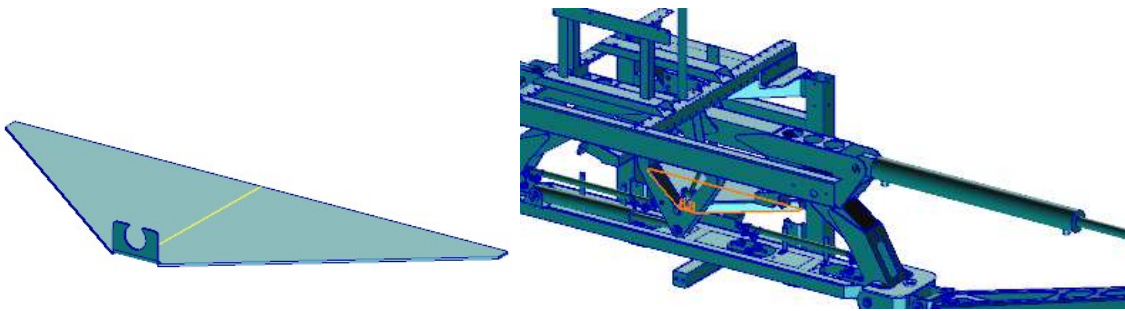
A.73. Soporte-delante



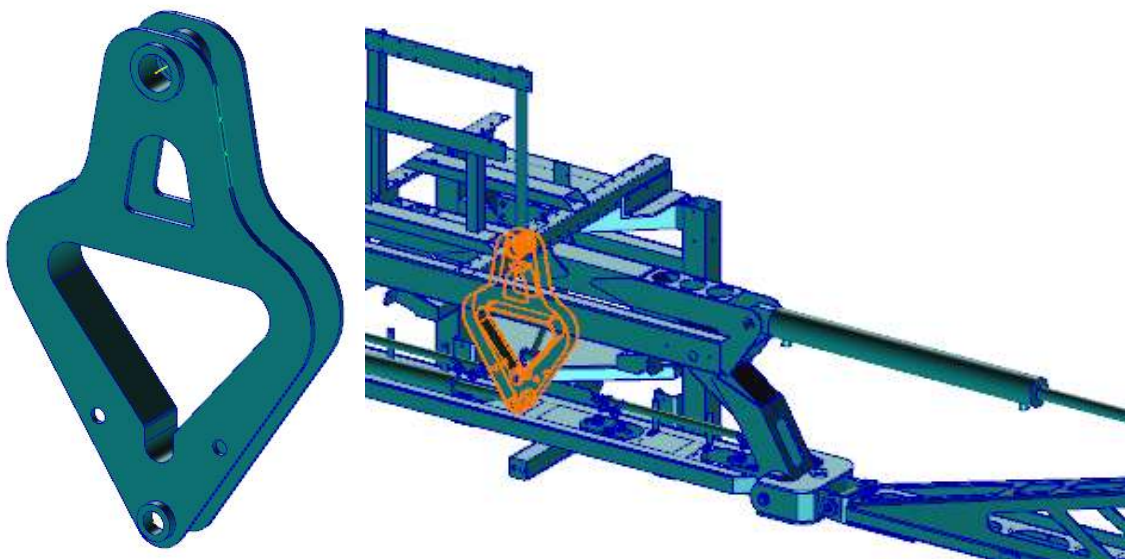
A.74. Soporte-Triangulo-Horizontal



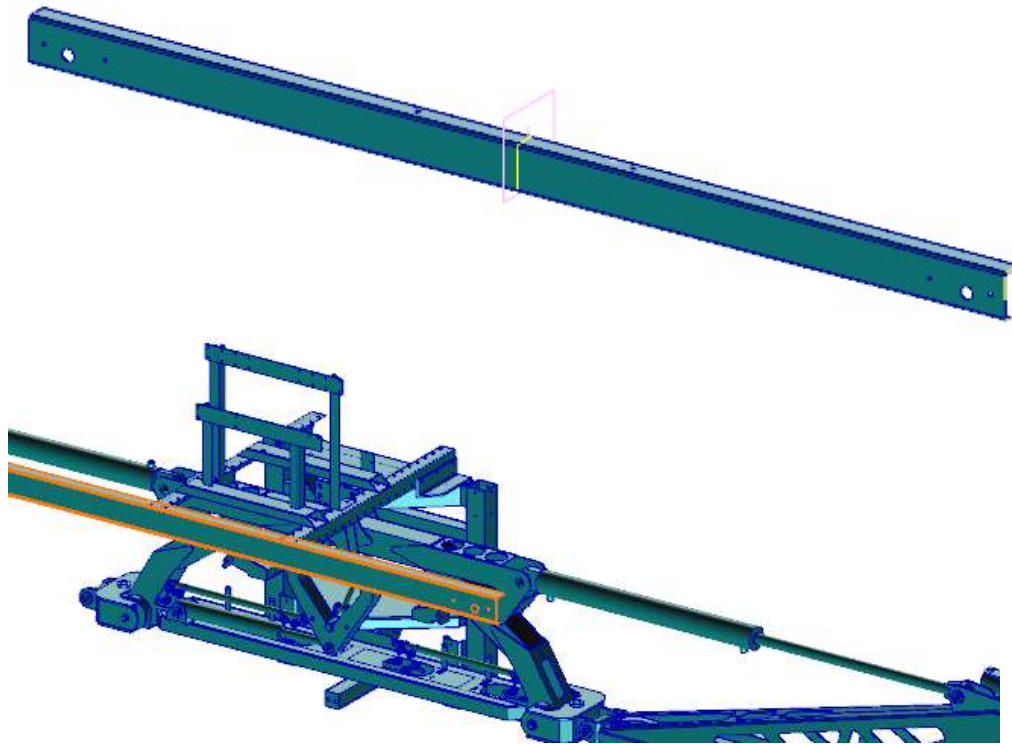
A.75. Soporte-trianghorizontal-base



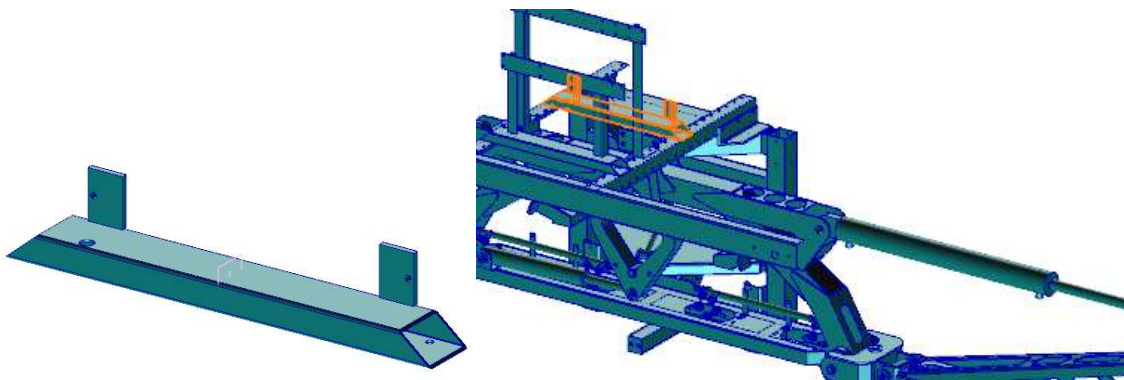
A.76. Soporte-V



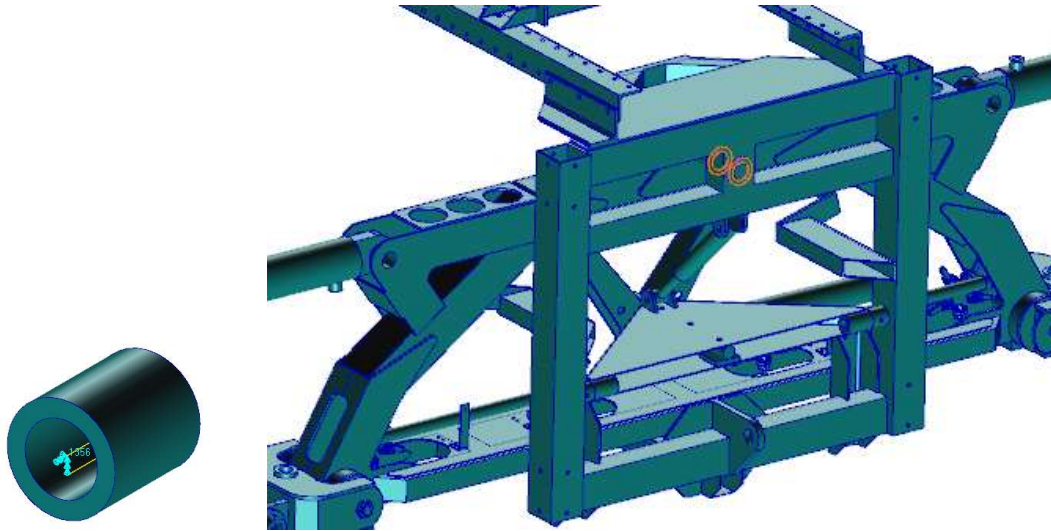
A.77. Soporte-barra-delante



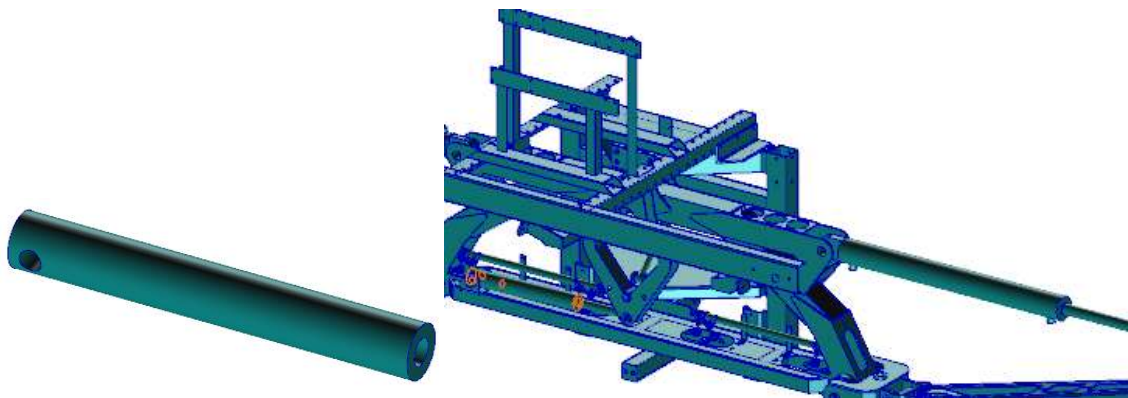
A.78. Soporte-barra-detrás-Placas-Cuadradas



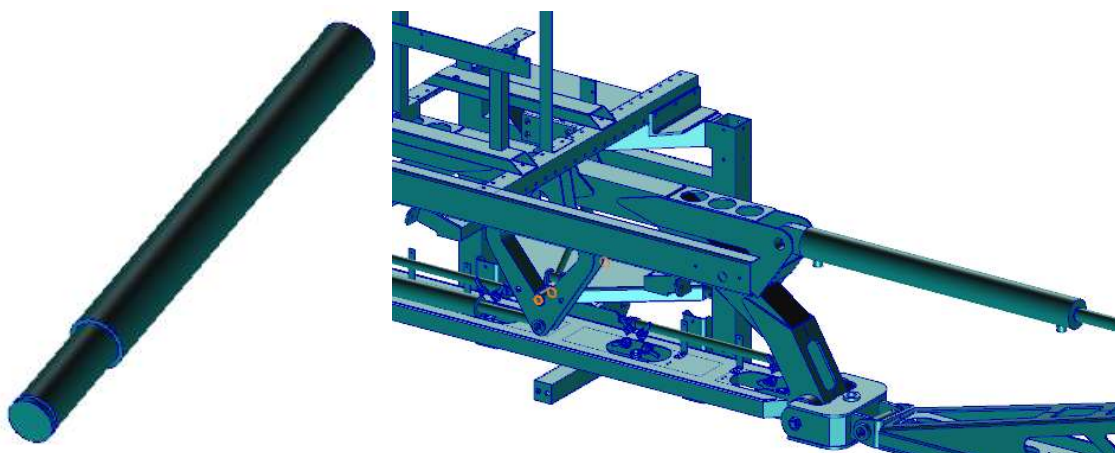
A.79. Soporte-cilindroCorto-ejeArriba



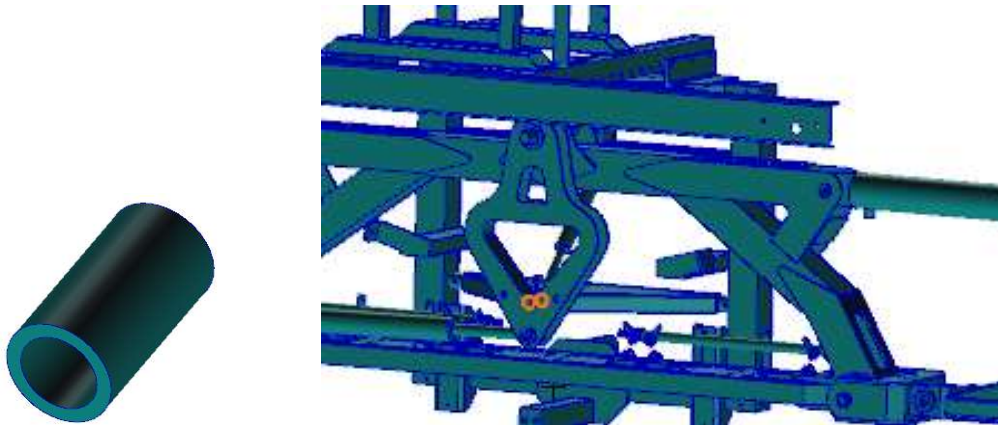
A.80. Soporte-cilindroGrande-izqAbajo



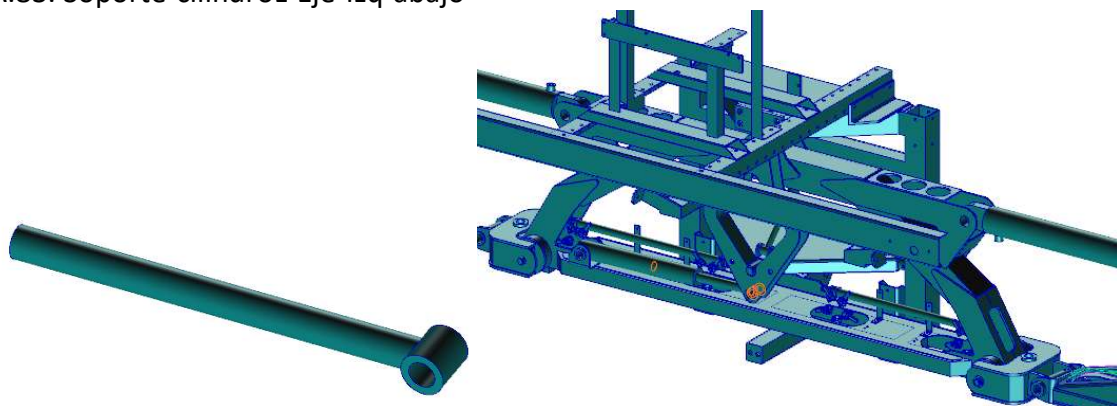
A.81. Soporte-cilindroHoriz-eje-abajo



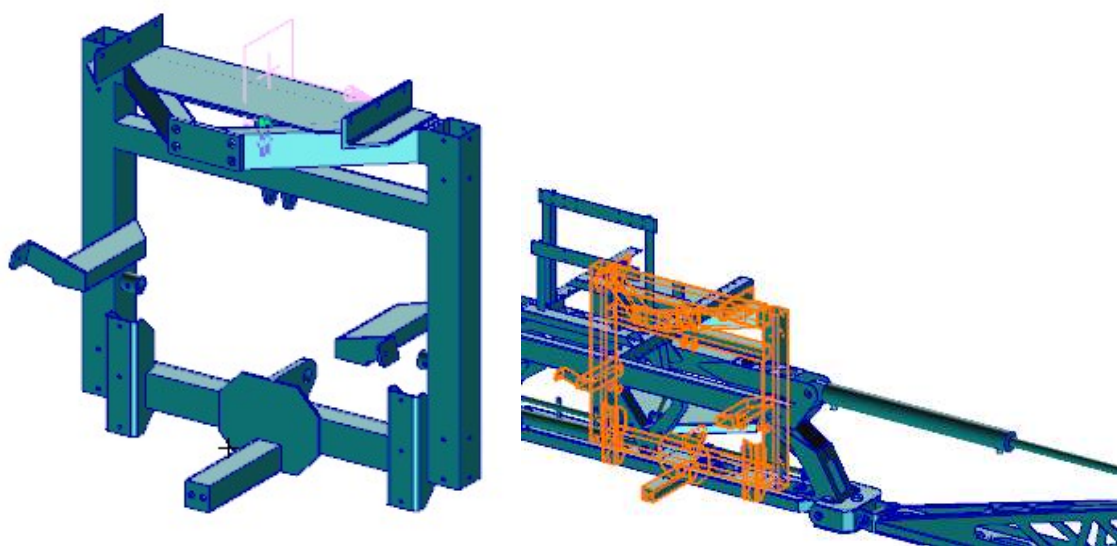
A.82. Soporte-cilindroHoriz-eje-peque



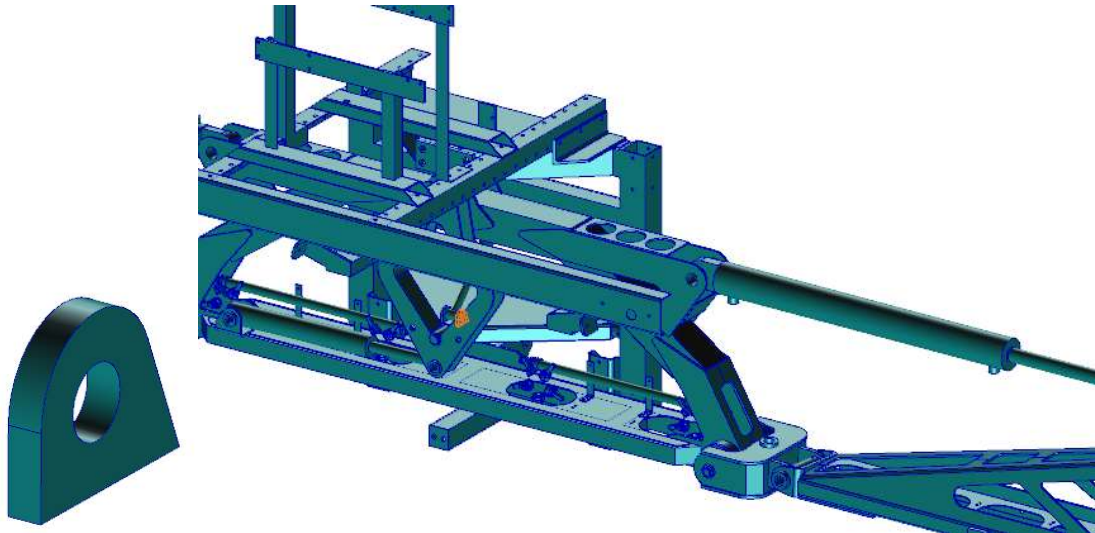
A.83. Soporte-cilindroL-Eje-Izq-abajo



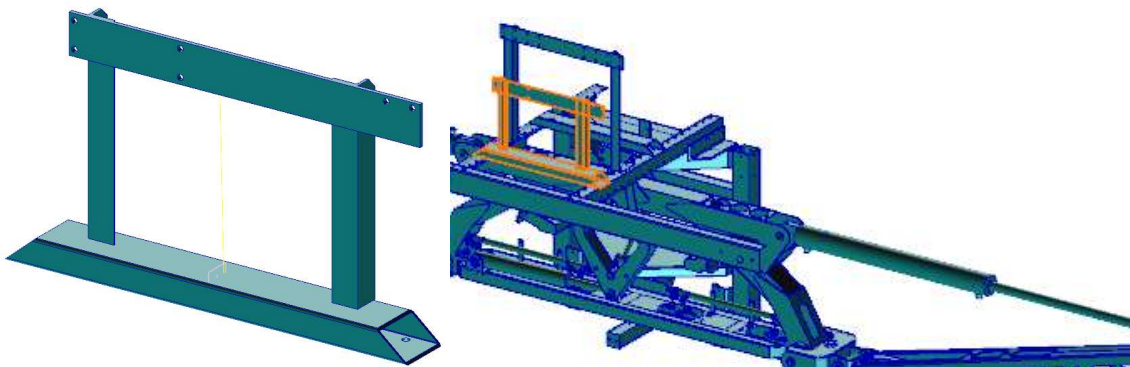
A.84. Soporte-detrás



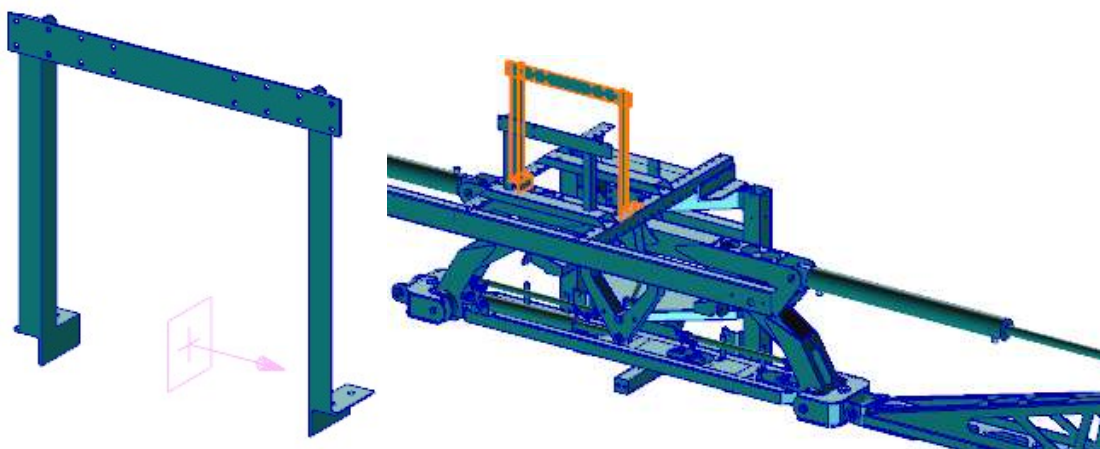
A.85. Soporte-placa-Cil-diagonal-dcha



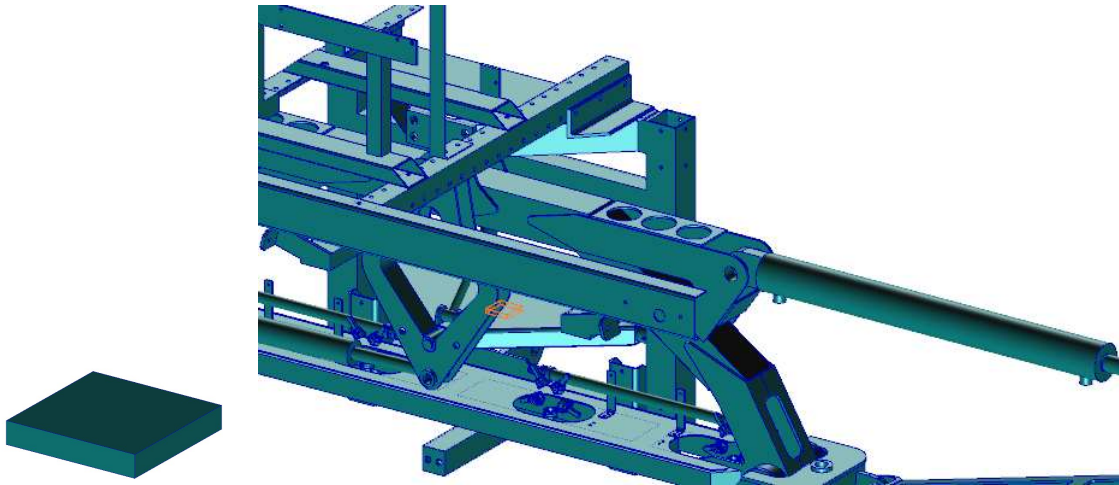
A.86. Soporte-placaCuadrada-delante



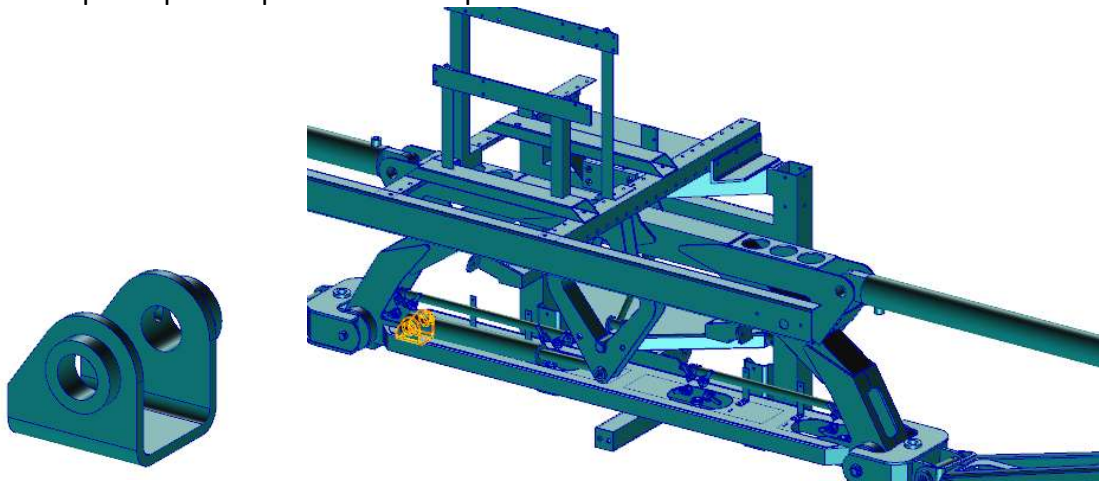
A.87. Soporte-placaCuadrada-detrás



A.88. Soporte-placaDebajoCilindro eje



A.89. Soporte-placasoportecilGran-Izq



ANEXO B: DETALLES GEOMETRÍA Y MODELO DISCRETIZADO DE LAS BARRAS DEL PULVERIZADOR

Para facilitar la visualización del pulverizador de barras, se exponen en este anexo imágenes del modelo en tamaño mayor además de detalles de alguna de las partes del mismo que se han considerado interesantes. De esta forma se podrá apreciar mejor la forma de la malla que se ha utilizado para discretizar diferentes partes de la geometría.

GEOMETRÍA

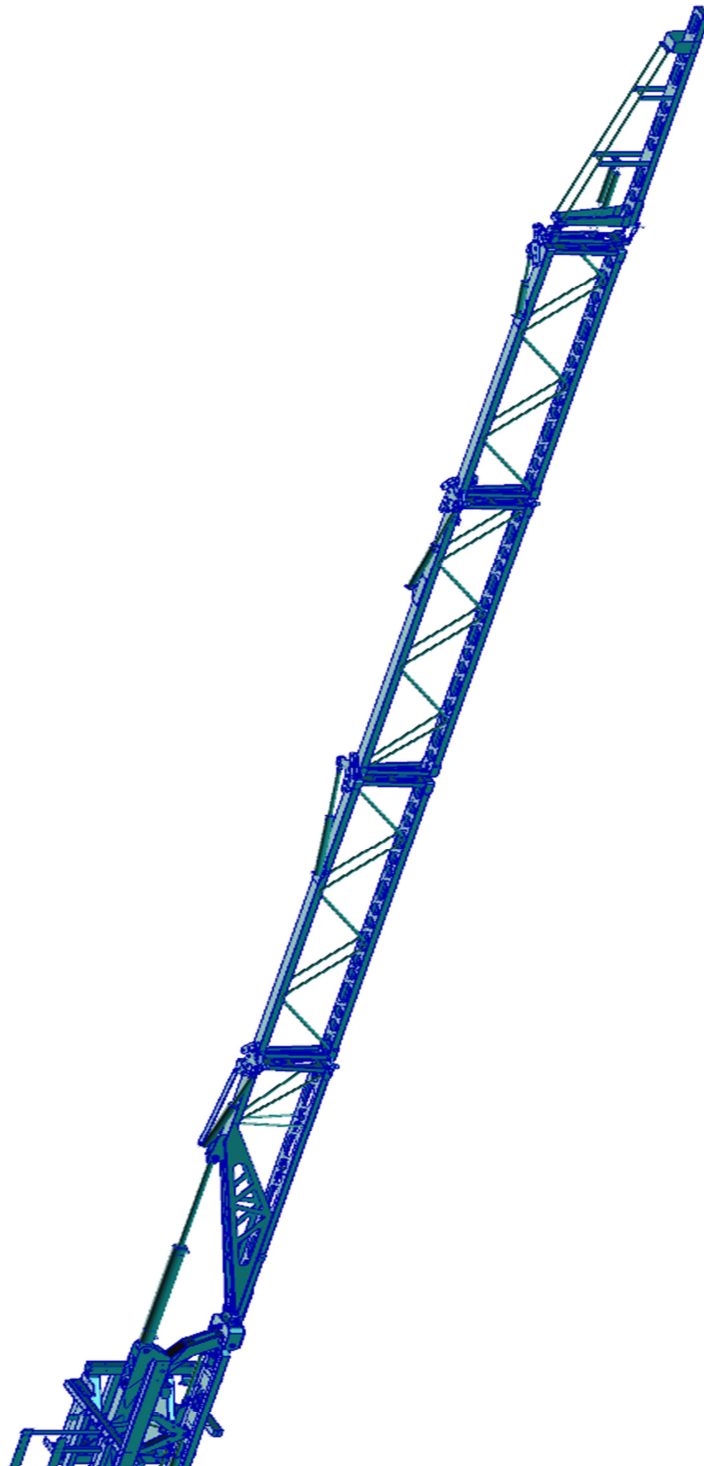


Figura B.18: geometría total

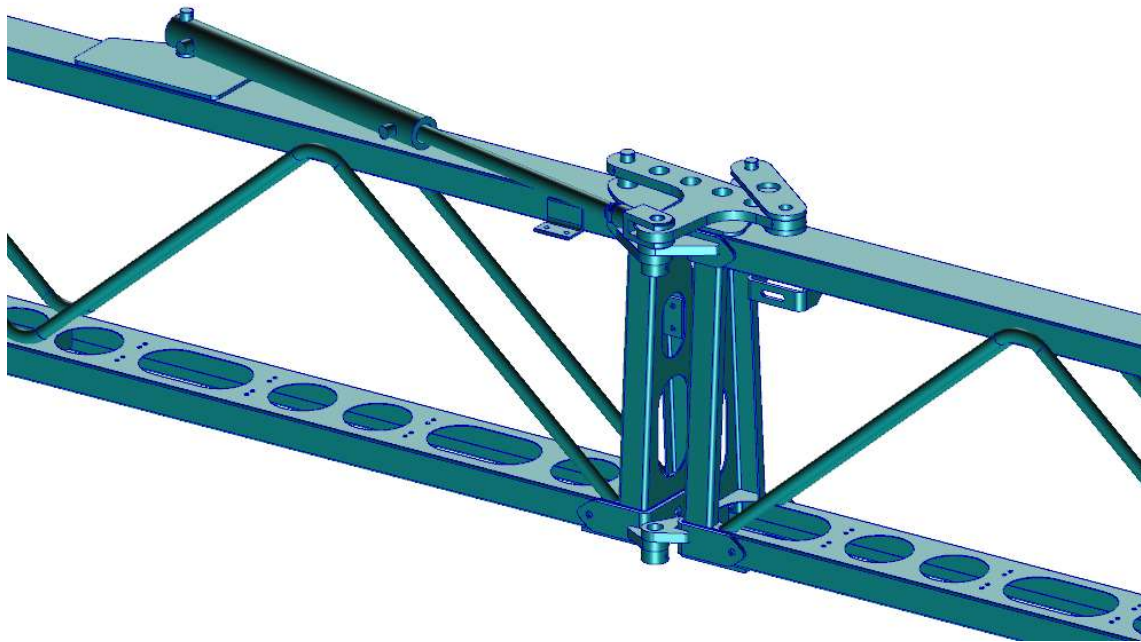


Figura B.2: Conjuntos C2, C3 y su unión

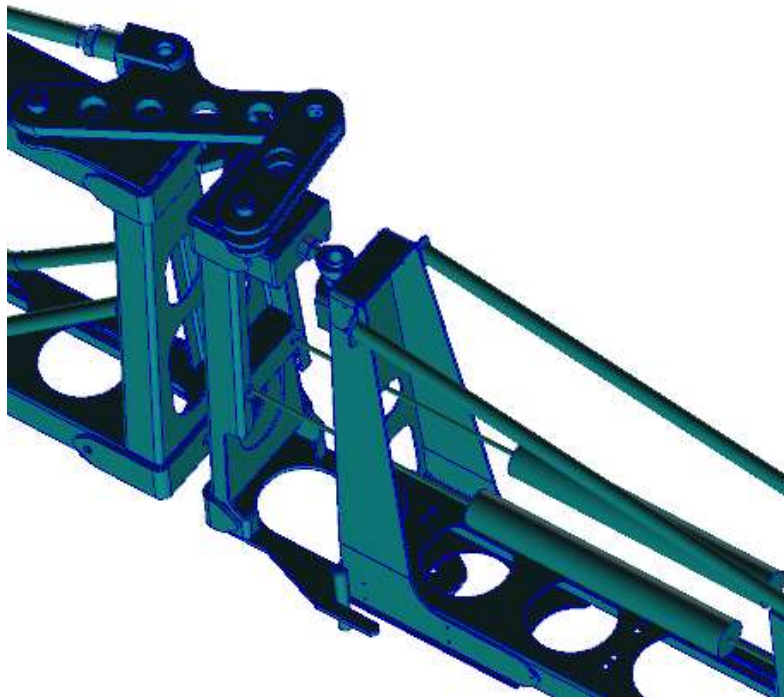


Figura B.3: Unión C3-C4

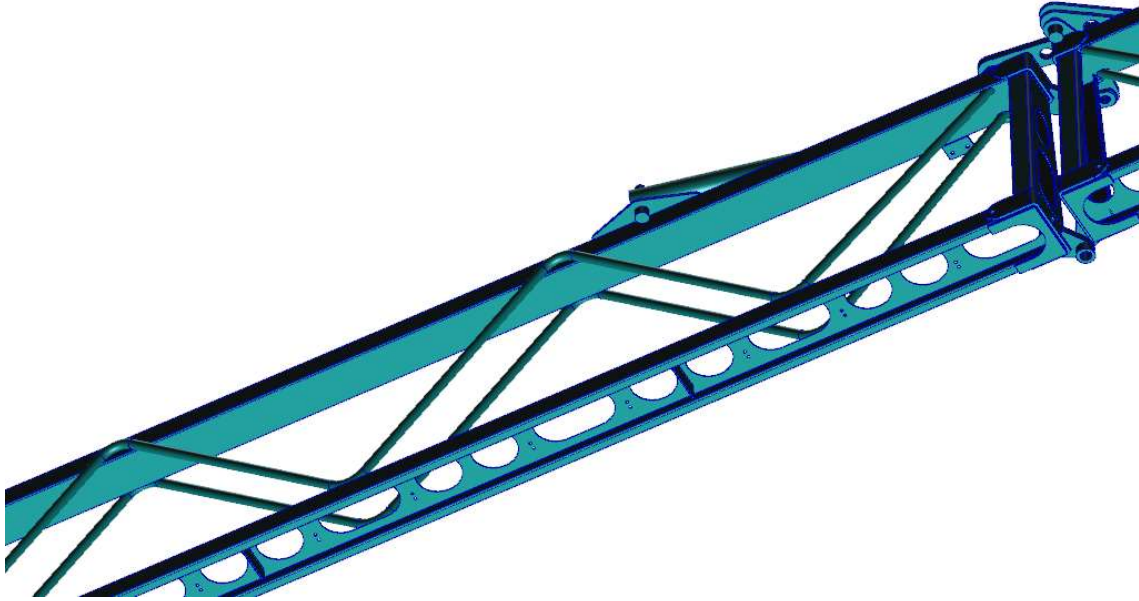


Figura B.4: C2 visto desde abajo

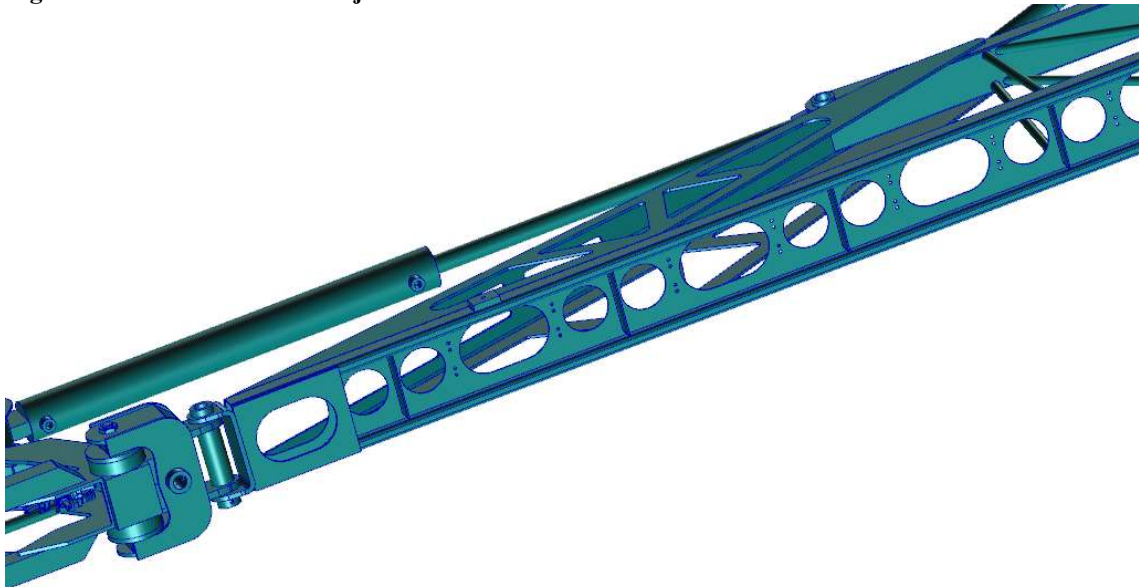


Figura 9: C0 visto desde abajo

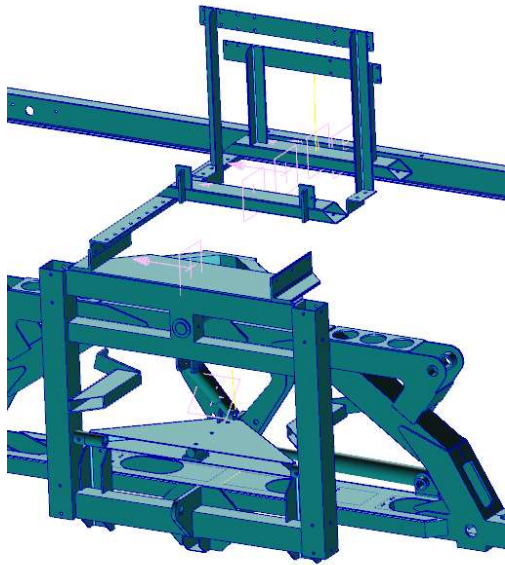


Figura B.6: parte trasera soporte

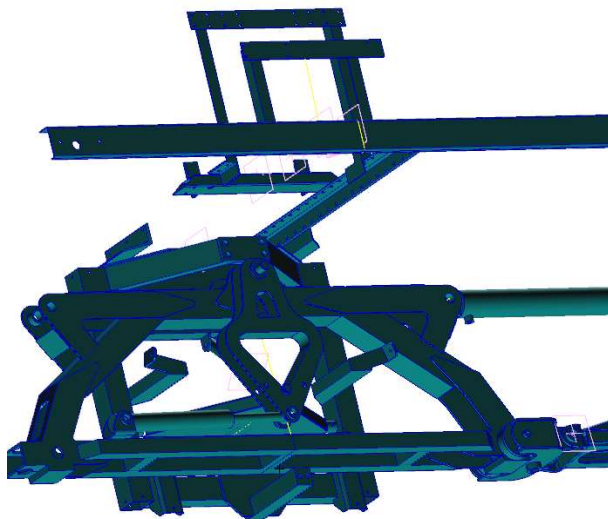


Figura B.7: Parte delantera-inferior soporte

MODELO DE ELEMENTOS FINITOS



Figura B.8: vista general modelo

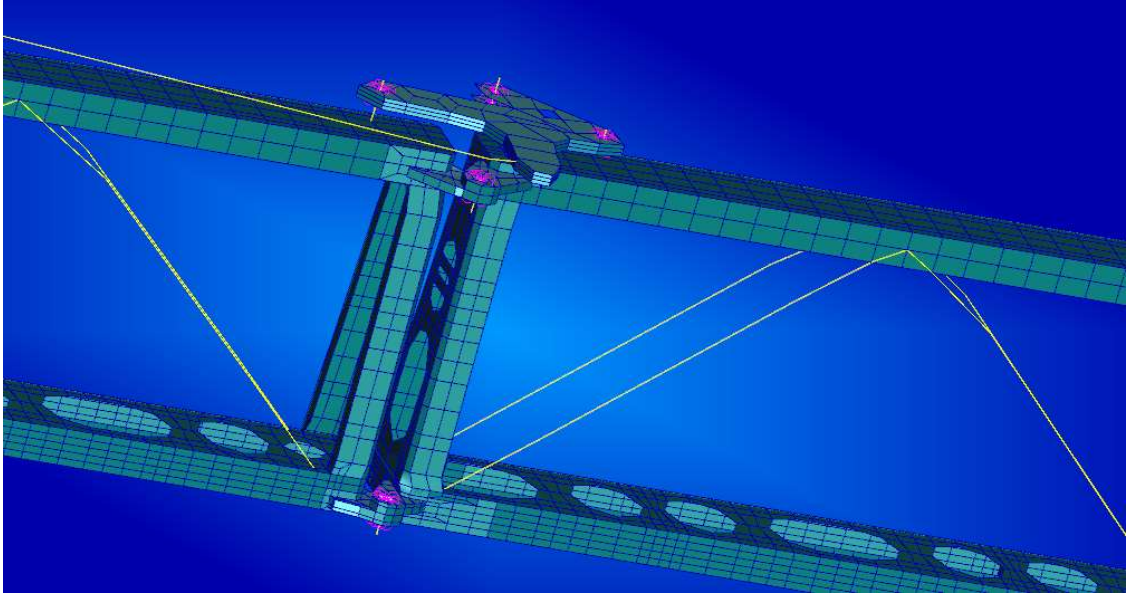


Figura B.9: Unión conjuntos C2 y C3

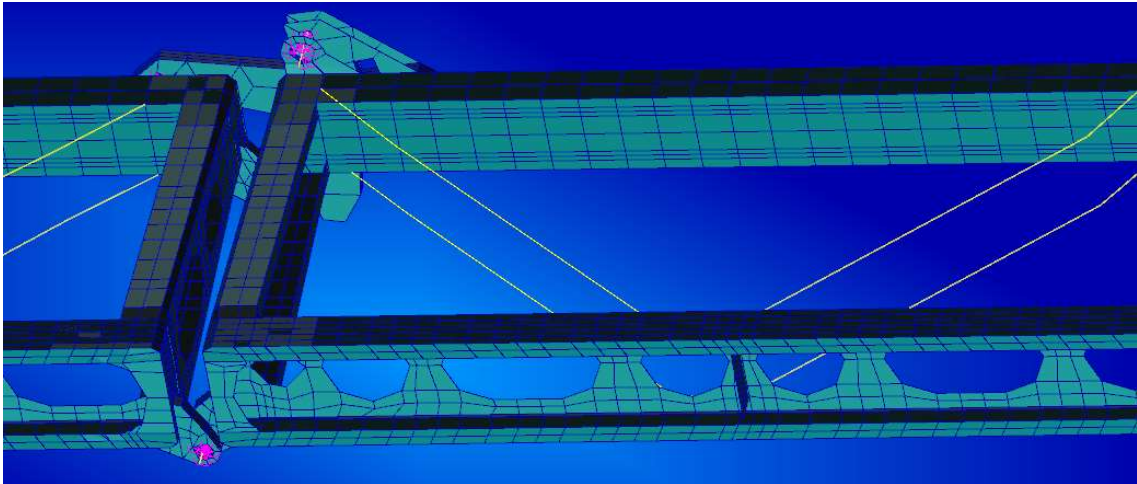


Figura B.10: Vista inferior C1 y unión C1-C2

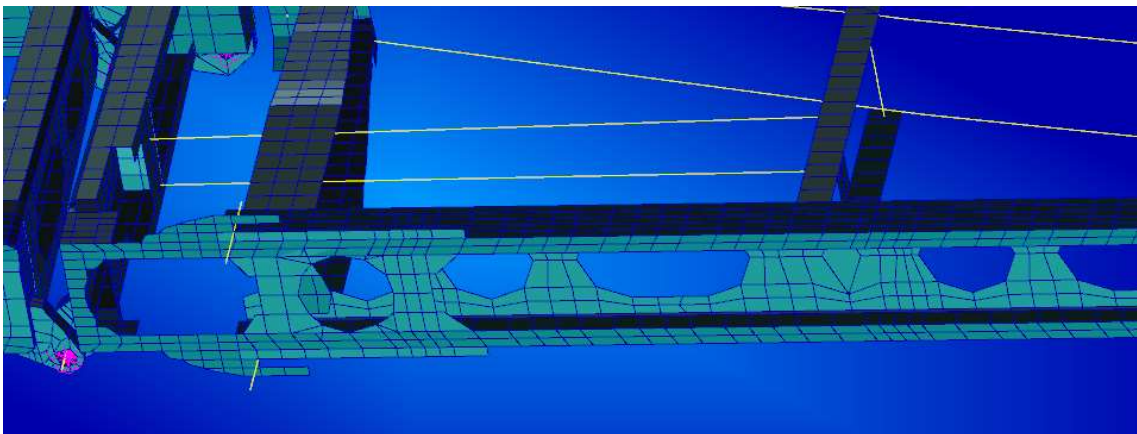


Figura B.11: vista inferior C4

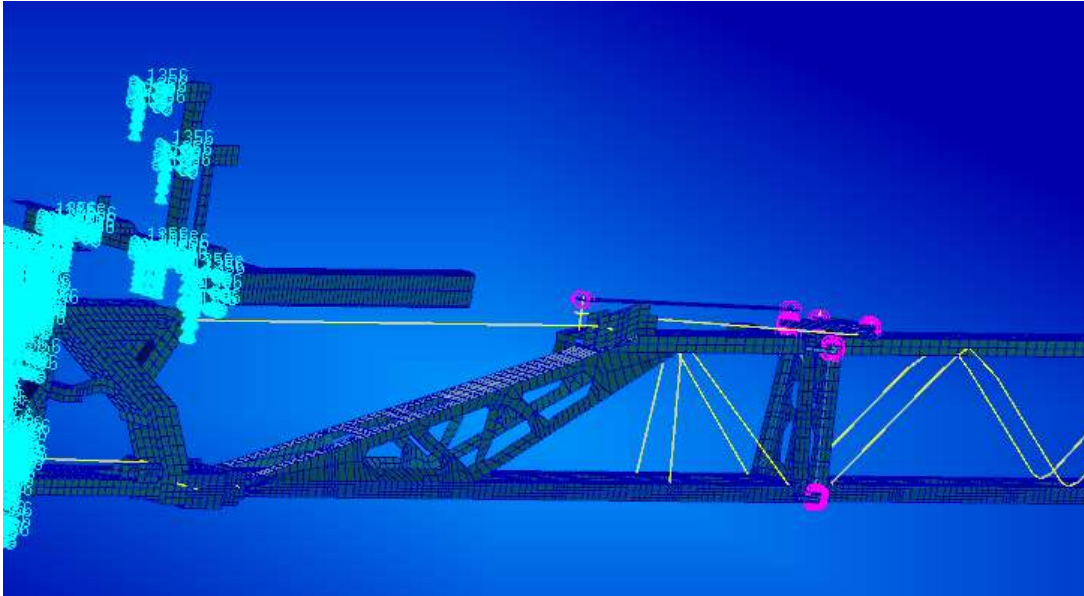


Figura B.12: C0, soporte y unión entre ambos

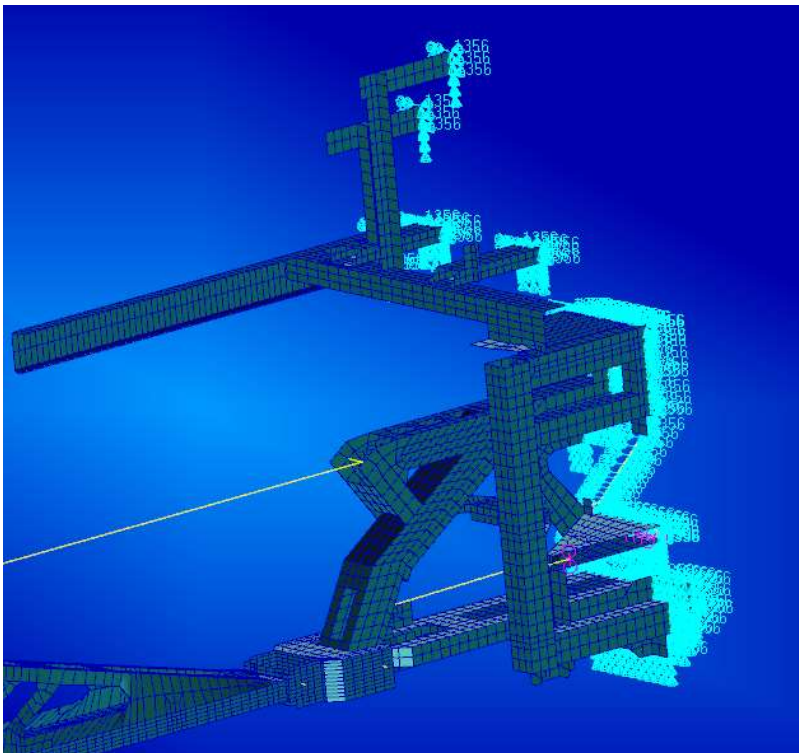


Figura B.13: Vista trasera soporte y unión C0-soporte

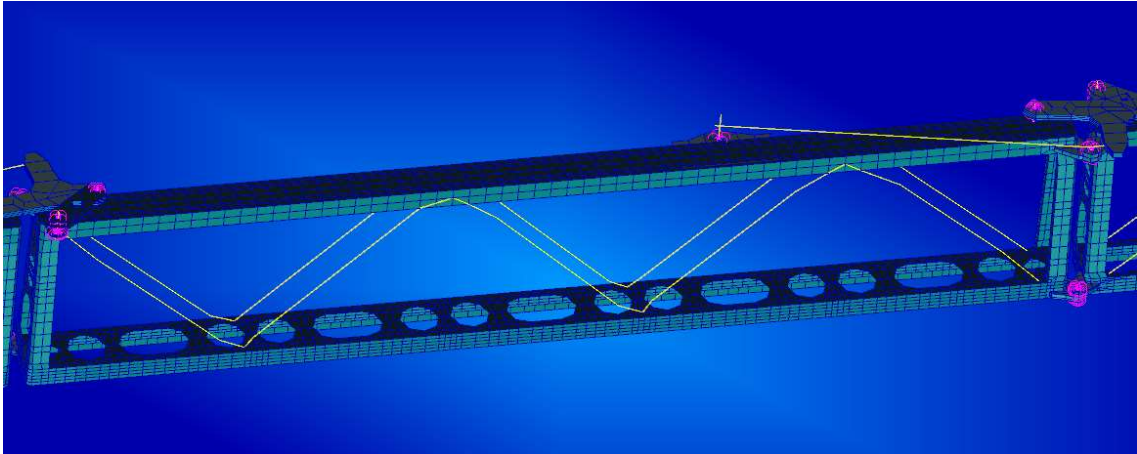


Figura B.14: Conjunto C1

ANEXO C: RESULTADOS

A continuación, se muestran las imágenes, con mayor detalle, del mapa de tensiones a las que están sometidas las barras del pulverizador. También aparecen imágenes de cada uno de los componentes que soportan mayores tensiones para cada caso de carga, ya que son las partes más críticas modelo y, por lo tanto, estos resultados serán los que se tengan en cuenta para el proceso posterior de optimización de las barras del pulverizador. Finalmente se recogen en una tabla los datos de los componentes más solicitados a modo resumen.

En este anexo solo se han incluido imágenes de los sólidos más cargados para los tres casos de estudio, sin embargo, el resto que también soportan tensiones, no aparecen aquí con una ilustración ya que no se consideran componentes críticos porque la tensión que soportan es bastante más pequeña a su límite elástico, dando lugar a coeficientes de seguridad mayores que 3 (ver ecuación 1), que es el mínimo admitido para trabajar en condiciones de seguridad que se ha establecido para este trabajo. Además, el número de componentes es muy elevado, y todos estos sólidos que no tienen cargas críticas aparecen recogidos en el anexo siguiente (D), en una tabla en la que se detalla el espesor que tiene cada uno, el material, límite elástico, tensión y coeficiente de seguridad.

$$CS = \frac{\text{límite elástico}}{\sigma_{\text{máx}}}$$

Ecuación 1: coeficiente de seguridad

A la hora de visualizar los resultados en Abaqus hay que tener en cuenta que como la malla está compuesta con elementos de tipo Shell, éstos poseen dos tensiones a la que están solicitados, una por cada cara, por lo tanto, hay que establecer previamente que los resultados de valores numéricos que se quieren obtener sea el mayor de los dos valores que aparecen por cada elemento. Esto se realiza a través del menú, en Field Output → Section Points → se selecciona la opción Envelope, como muestra la figura C.1.

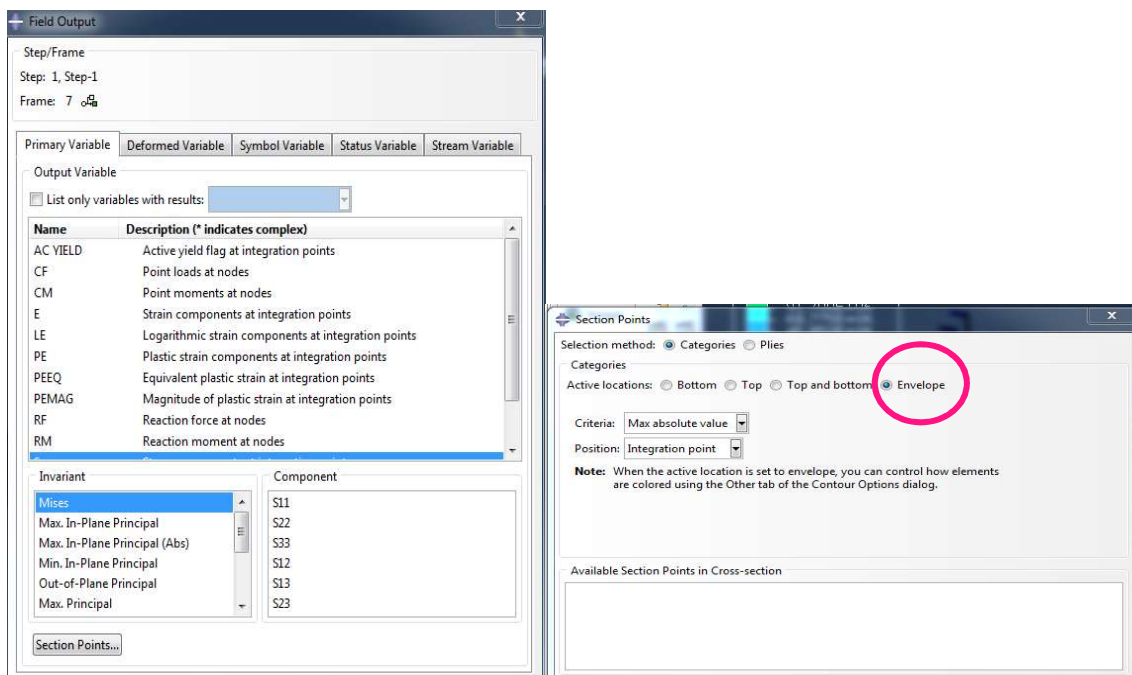


Figura C.1: obtención de los mayores valores de resultados en Abaqus

CASO 1: CARGA ESTÁTICA, GRAVEDAD

ESTRUCTURA TOTAL

En este apartado se han analizado las tensiones y desplazamientos que presentan las barras del pulverizador bajo la carga de la gravedad, es decir, soportando su propio peso y usando como materiales el acero estructural S275JR y un acero con comportamiento elástico lineal para el caso de las uniones.

En las figuras C2, C3 y C4 aparecen reflejadas la tensión máxima de Von Mises, un detalle de las tensiones en la zona donde éstas son mayores y el desplazamiento máximo respectivamente.

Como se puede ver en las figuras C3 y C4, las mayores tensiones aparecen entre el conjunto de componentes C0 y el C1, ésta es una zona donde se concentran los mayores esfuerzos de la estructura, sobre todo en la parte superior y conforme se aleja de esta zona, las tensiones disminuyen, hasta el extremo (C4) donde son mucho menores. La zona del empotramiento también presenta valores más pequeños que en C0 y C1.

La máxima tensión para los componentes fabricados con acero S275JR aparece en el componente C1-superior tomando un valor de 243,112 MPa.

En cuanto a los desplazamientos (ver figura C2), los mayores valores se dan, como era de esperar, en el extremo final del conjunto de componentes C4, es decir, el extremo opuesto al empotramiento, con un valor de -0.188m.

1. DESPLAZAMIENTOS

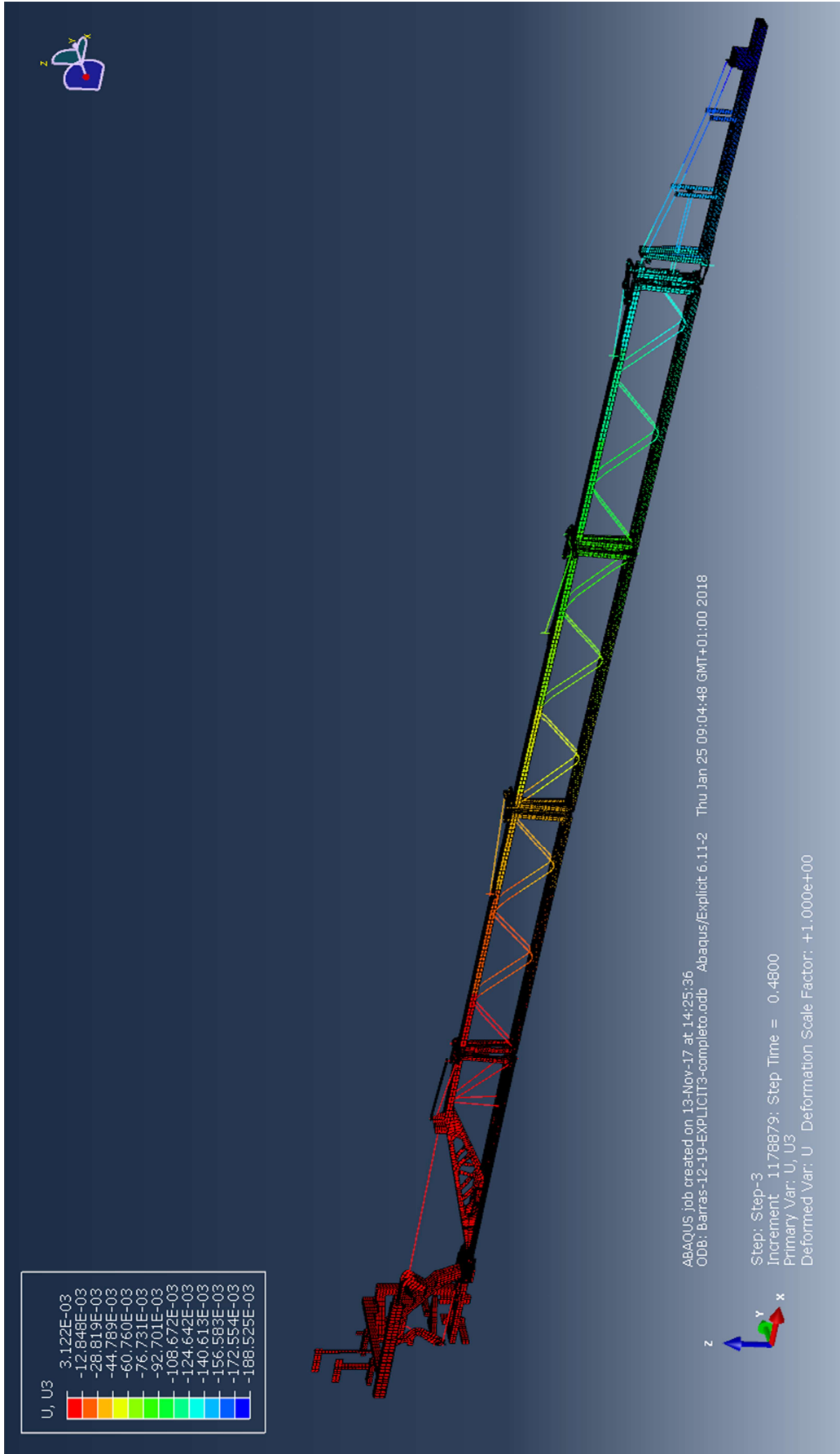


Figura C.2: Desplazamientos globales generados, actuando la carga de gravedad

2. TENSIONES

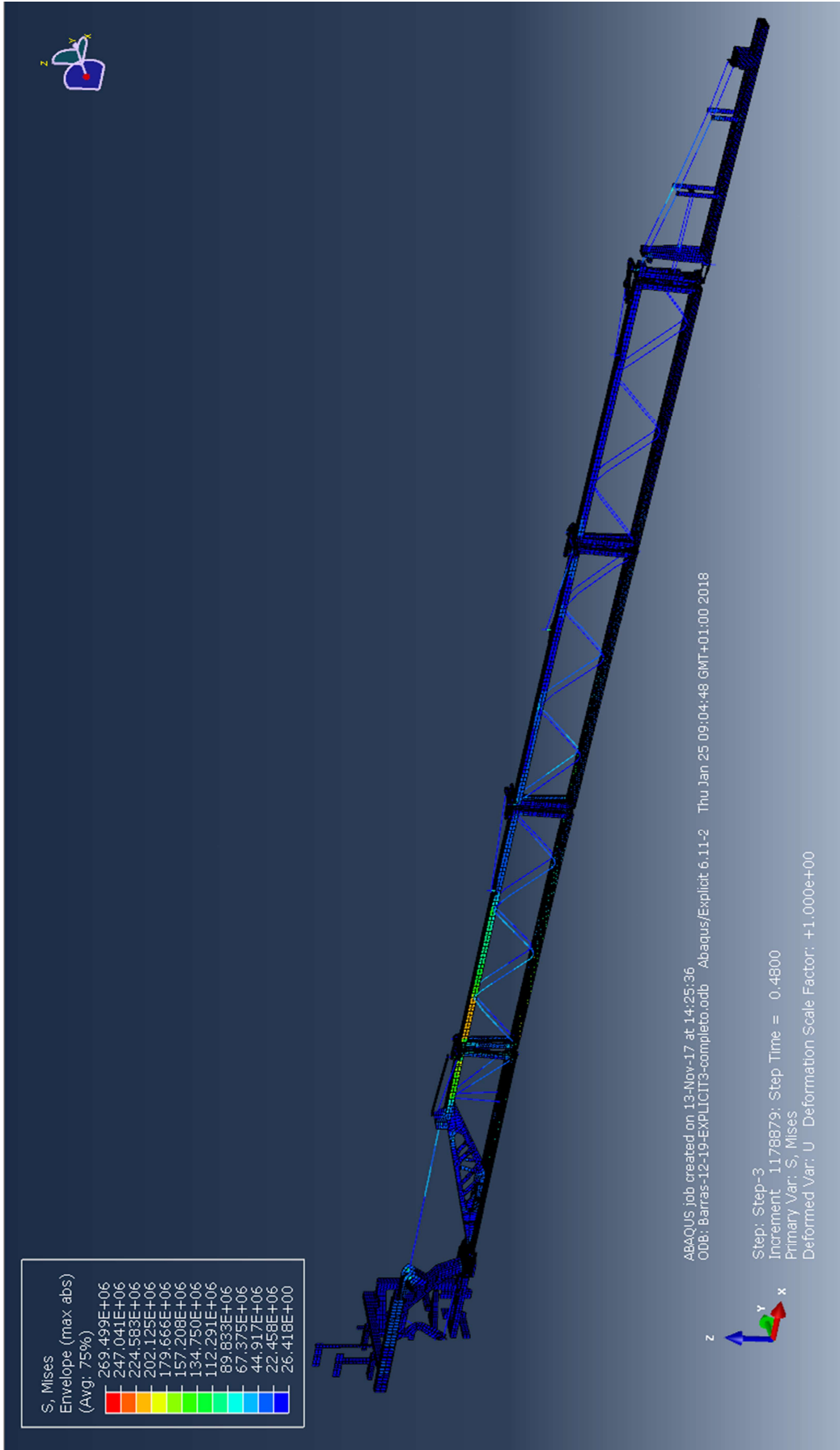


Figura C.3: Distribución de tensiones de Von Mises, actuando carga de la gravedad

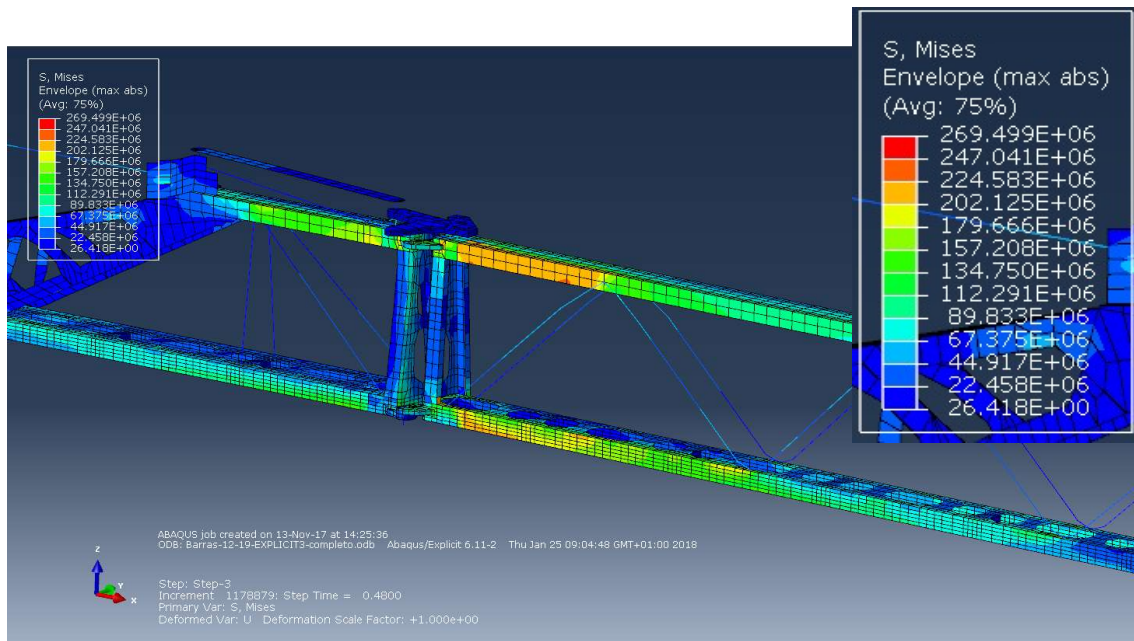
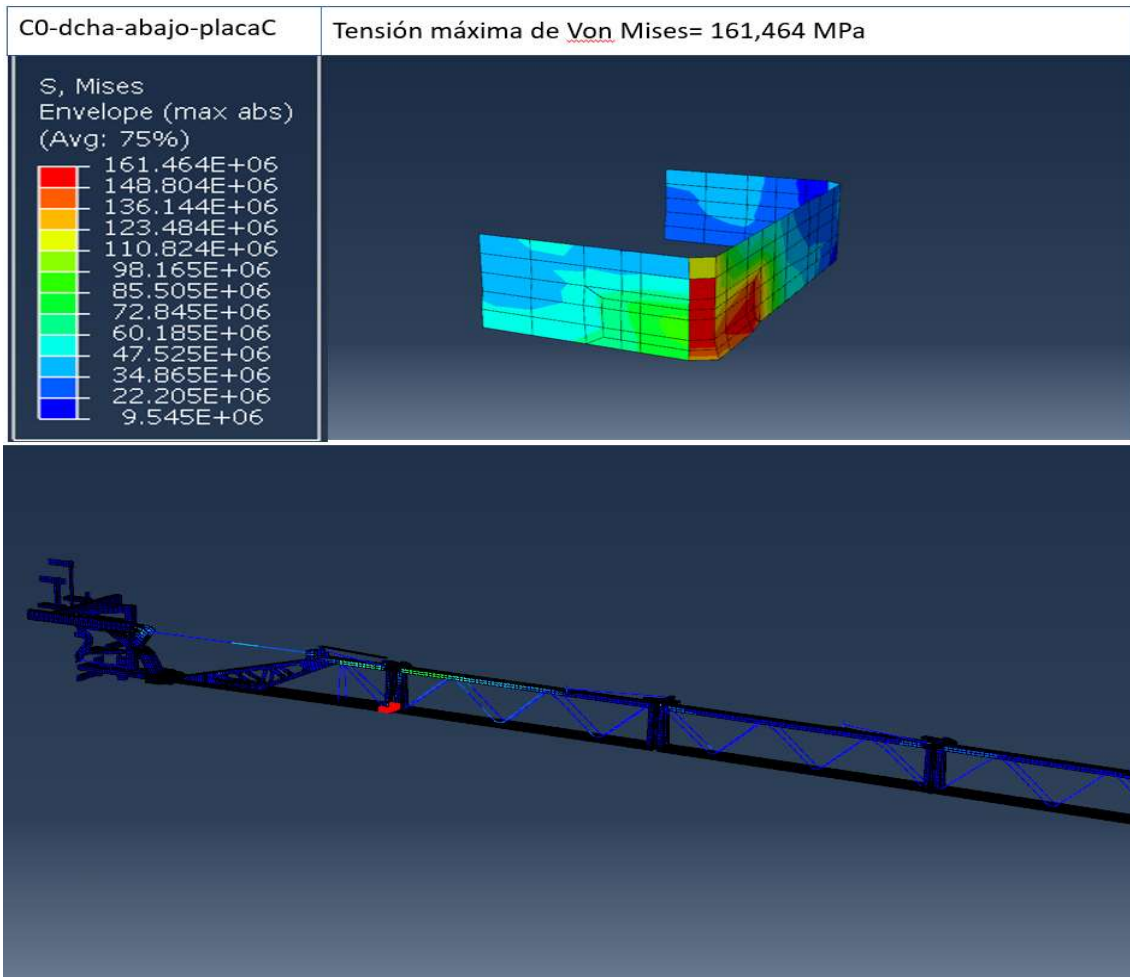
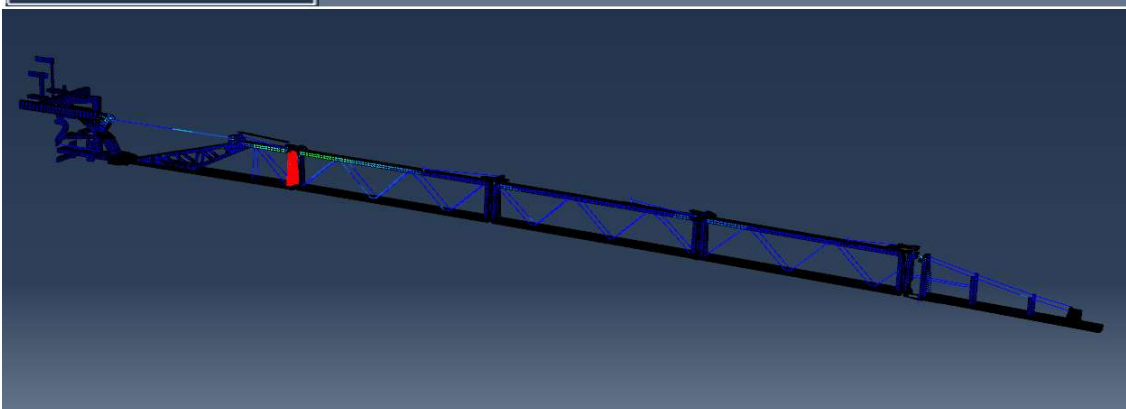
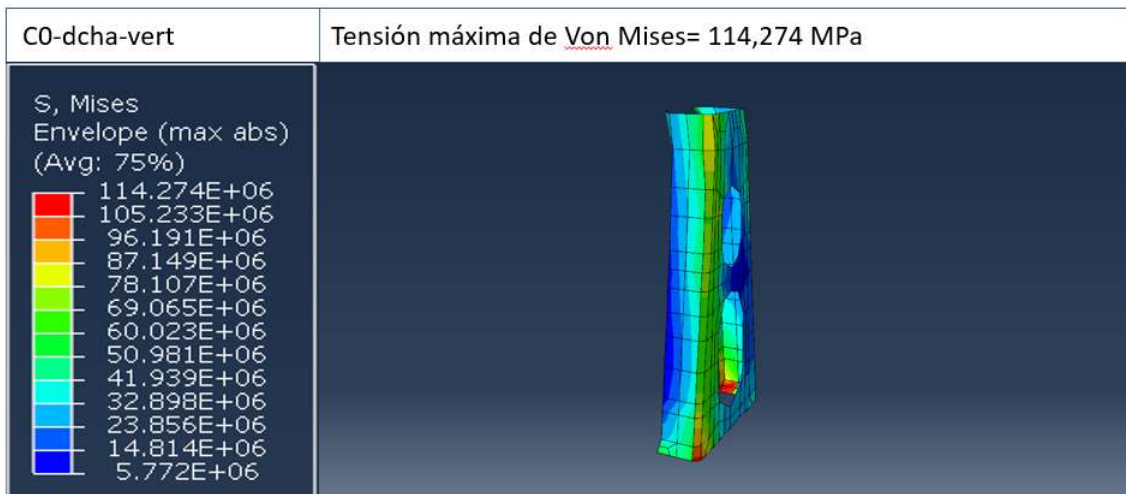
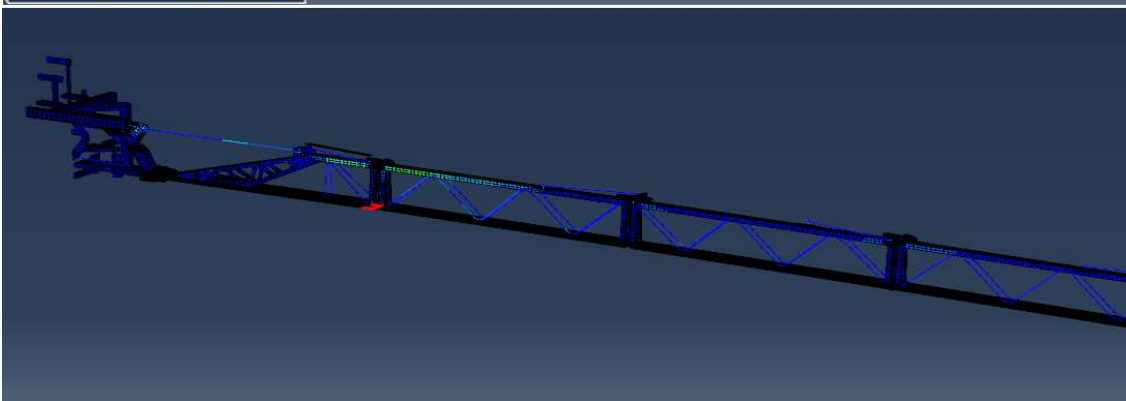
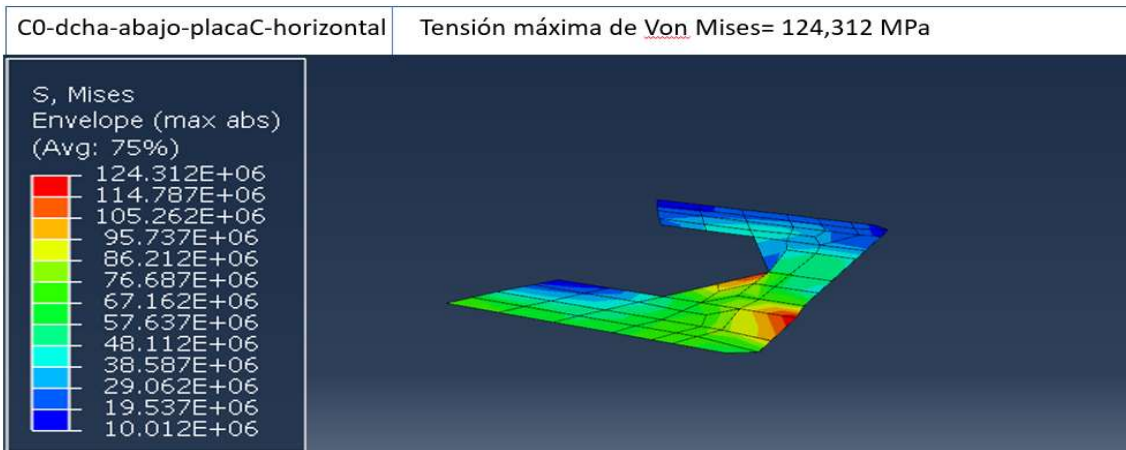


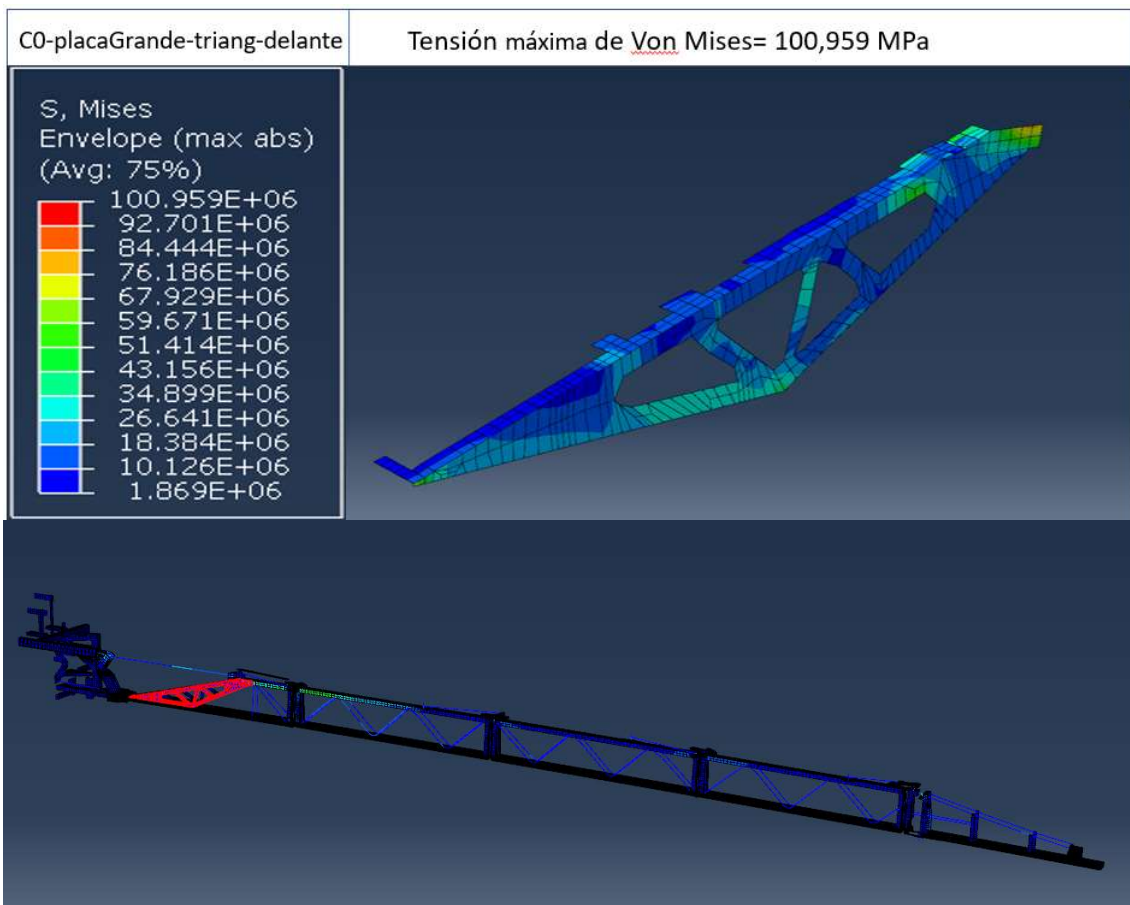
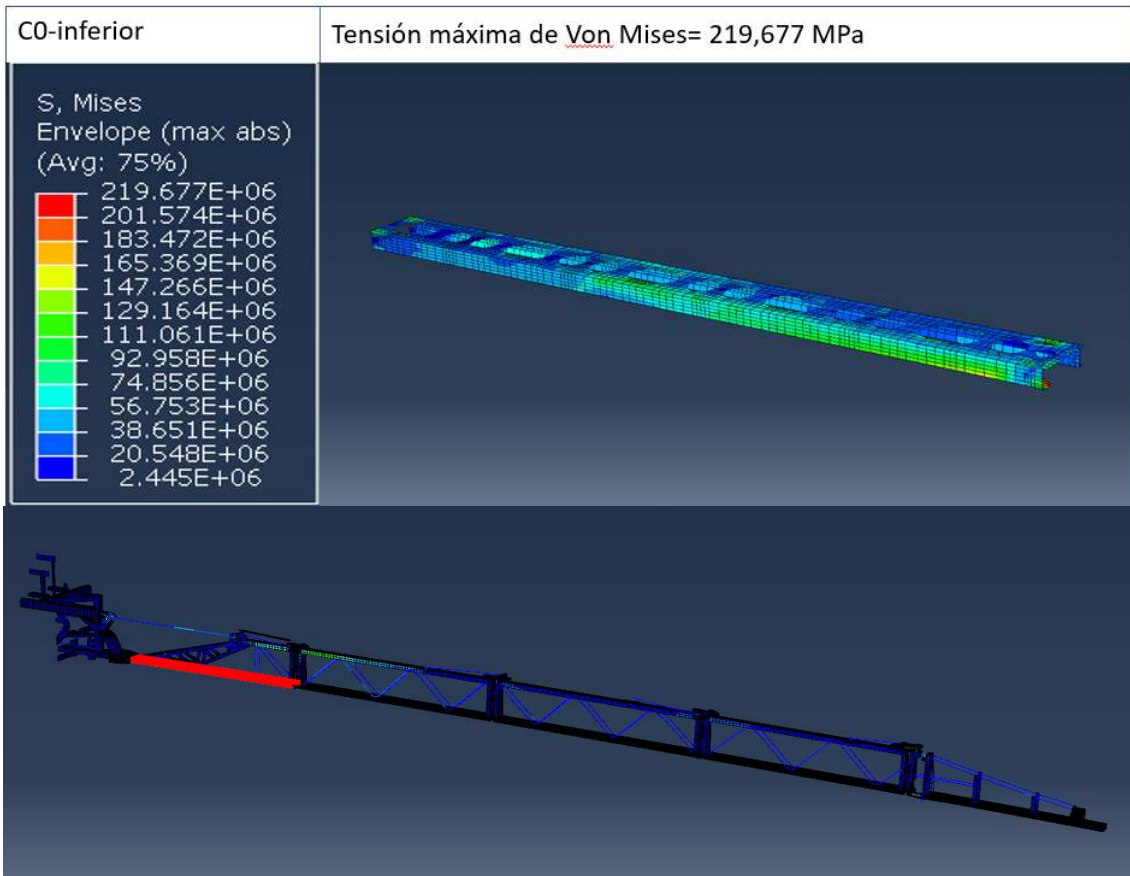
Figura C.4: Detalle de tensiones de Von Mises en la zona más cargada

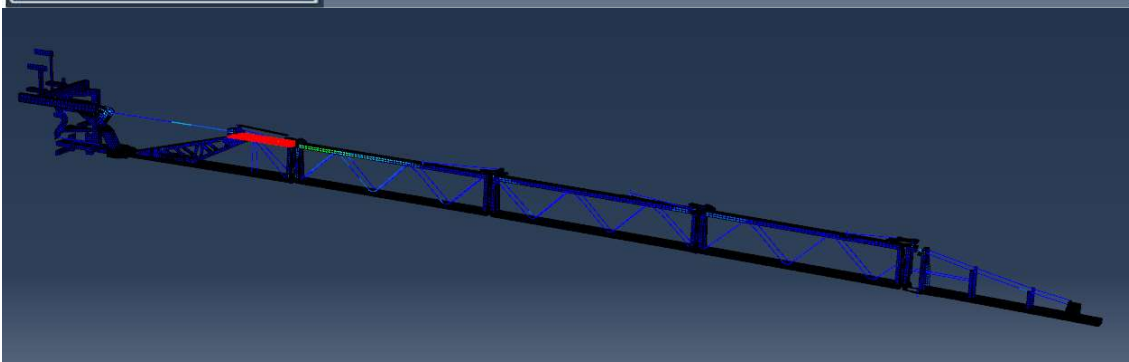
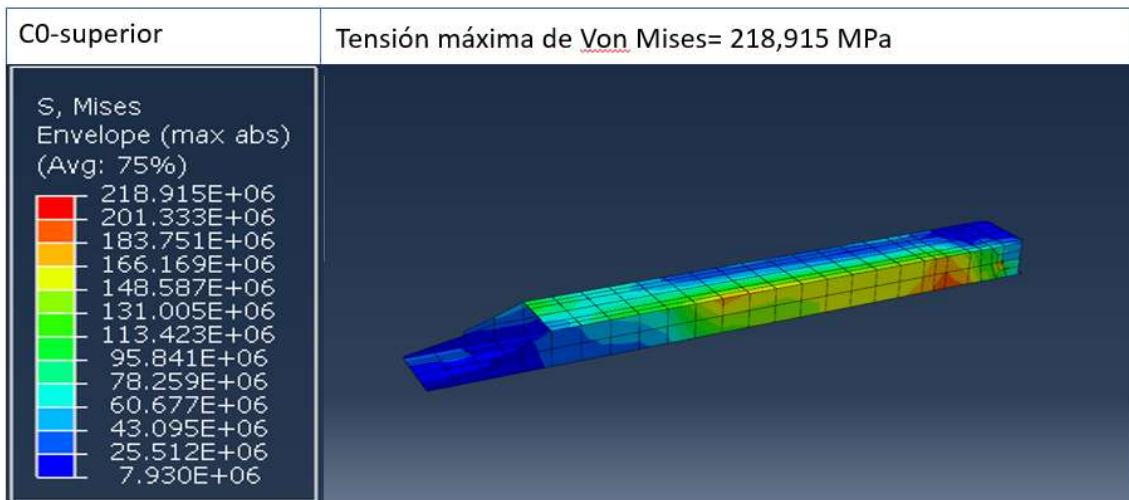
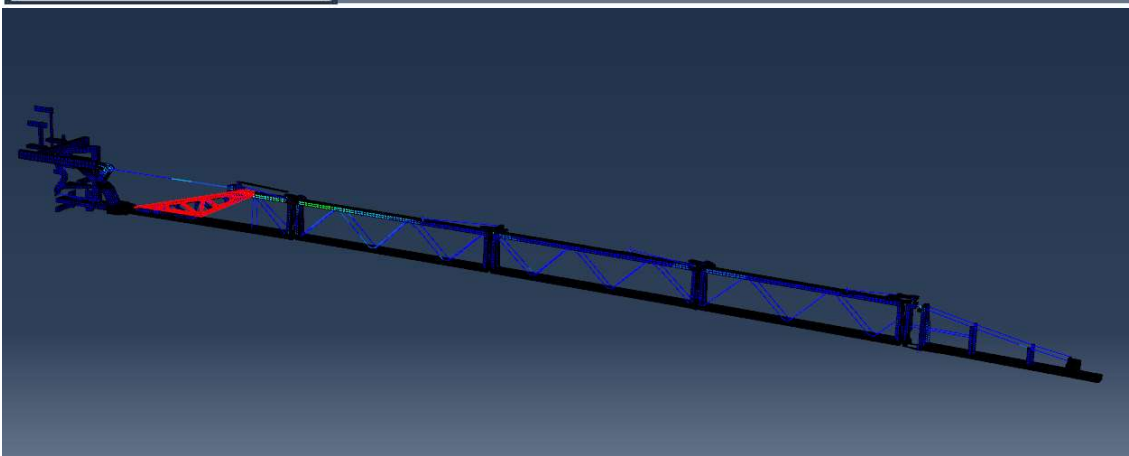
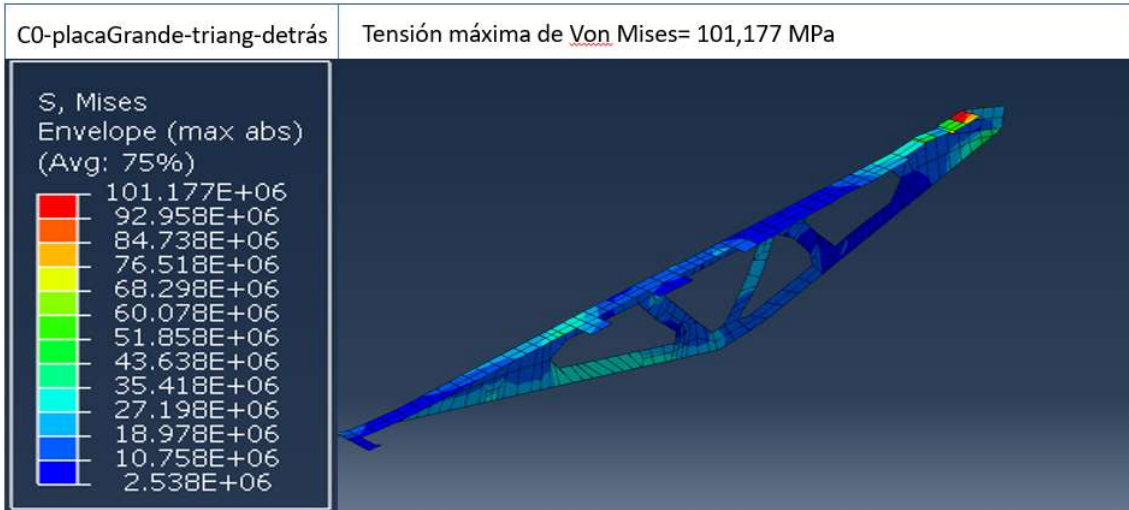
COMPONENTES CRÍTICOS

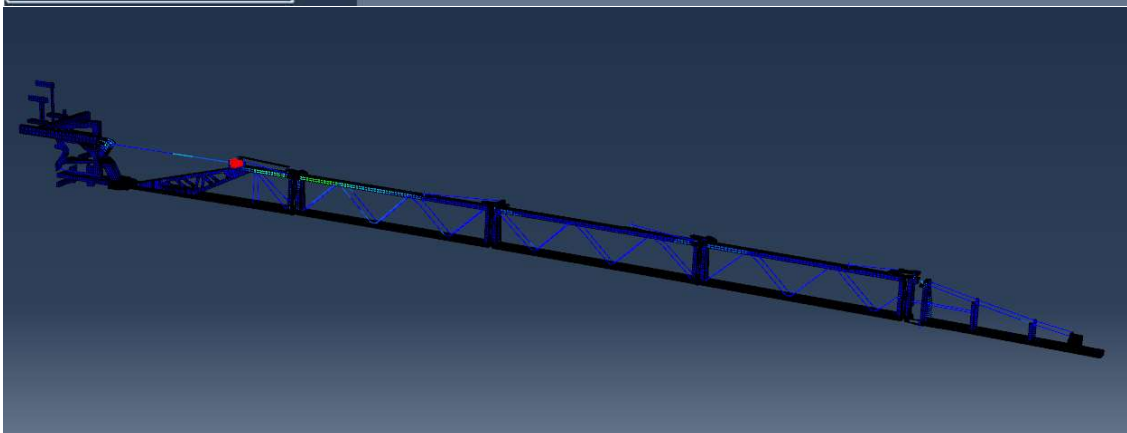
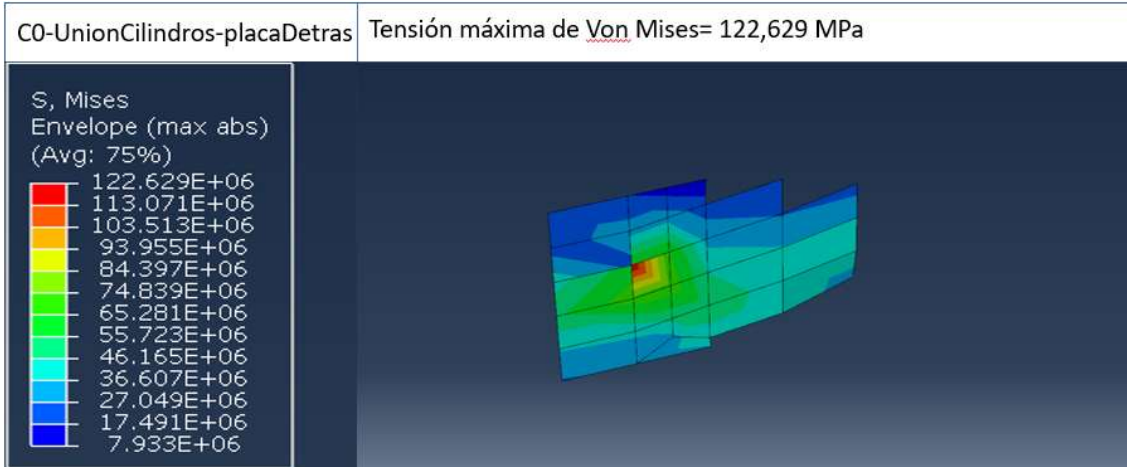
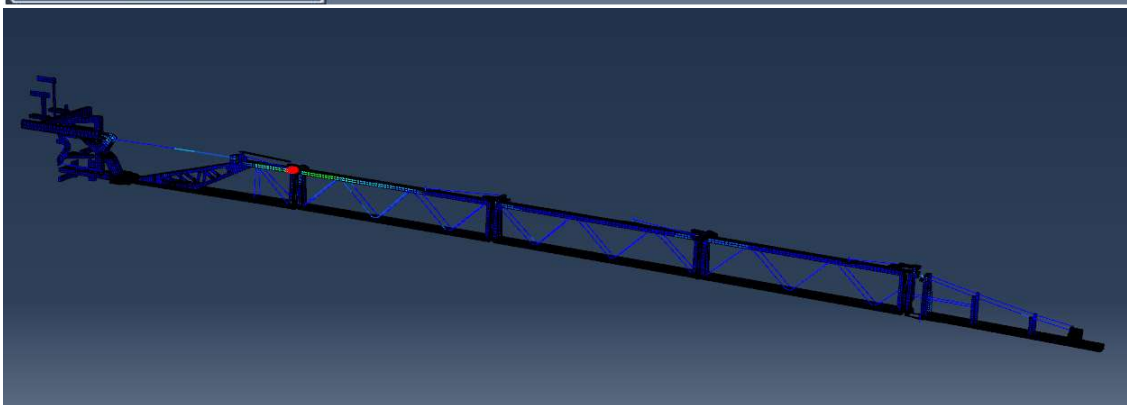
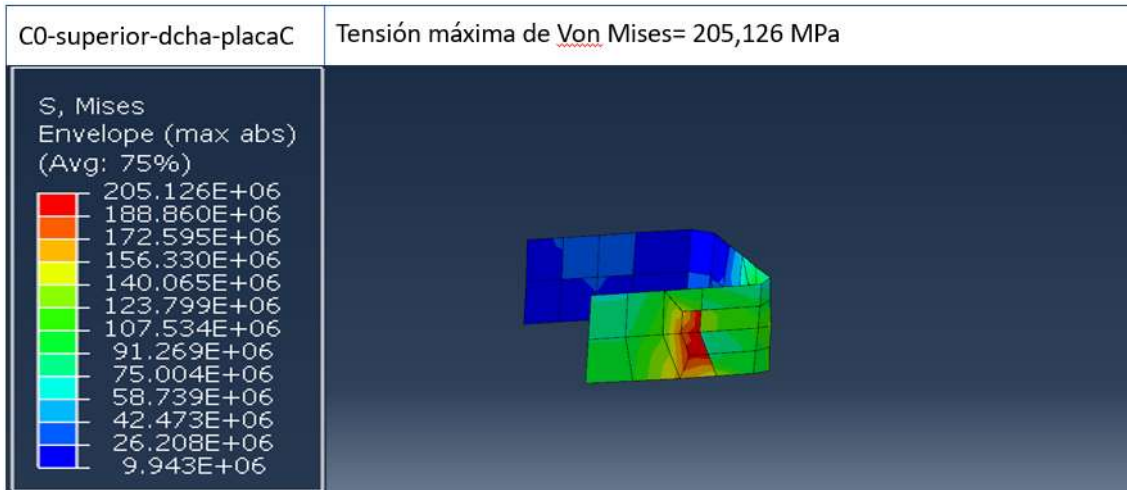
En este apartado aparecen las imágenes de cada uno de los componentes que soportan mayores tensiones, hay un total de 26 componentes, (los que presentan un coeficiente de seguridad menor que 3) y el lugar de las barras del pulverizador donde se encuentra, ya que son las partes más críticas modelo y, por lo tanto, estos resultados serán los que se tengan en cuenta para el proceso posterior de optimización de las barras del pulverizador. Finalmente se recoge en la tabla C.1 a modo resumen, los resultados de material con el que se ha fabricado, el espesor que posee, el límite elástico, la tensión equivalente de Von Mises y el coeficiente de seguridad para estos componentes. En el anexo D aparece una tabla similar a la C.1 pero con la información de todos los sólidos que forman la estructura para este caso de estudio.

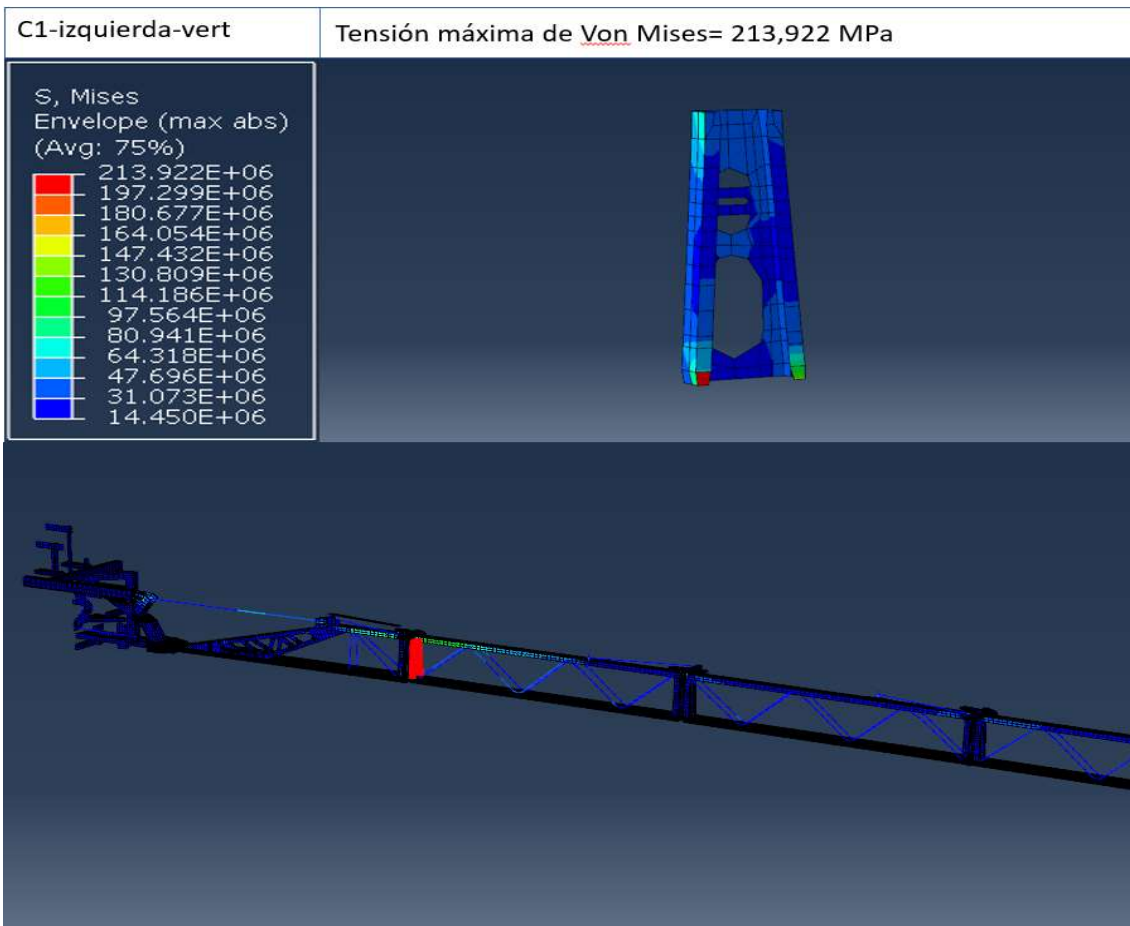
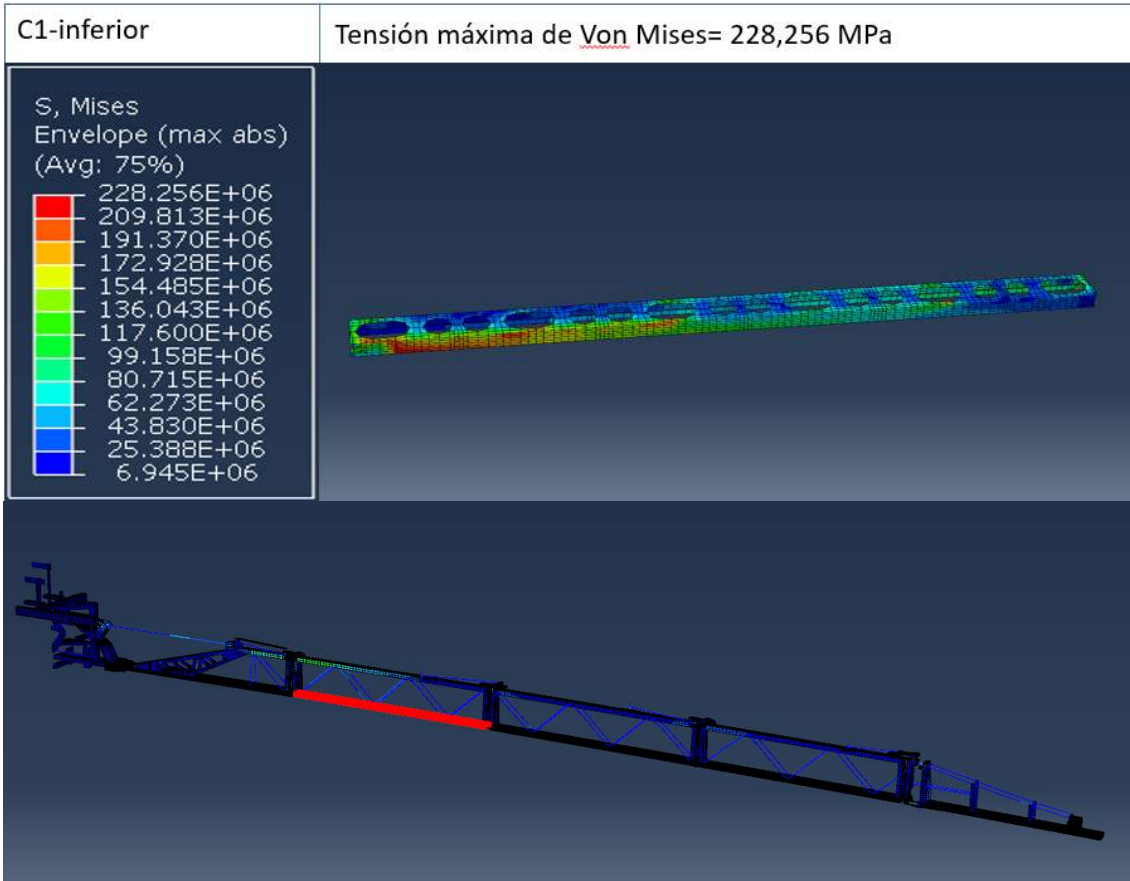


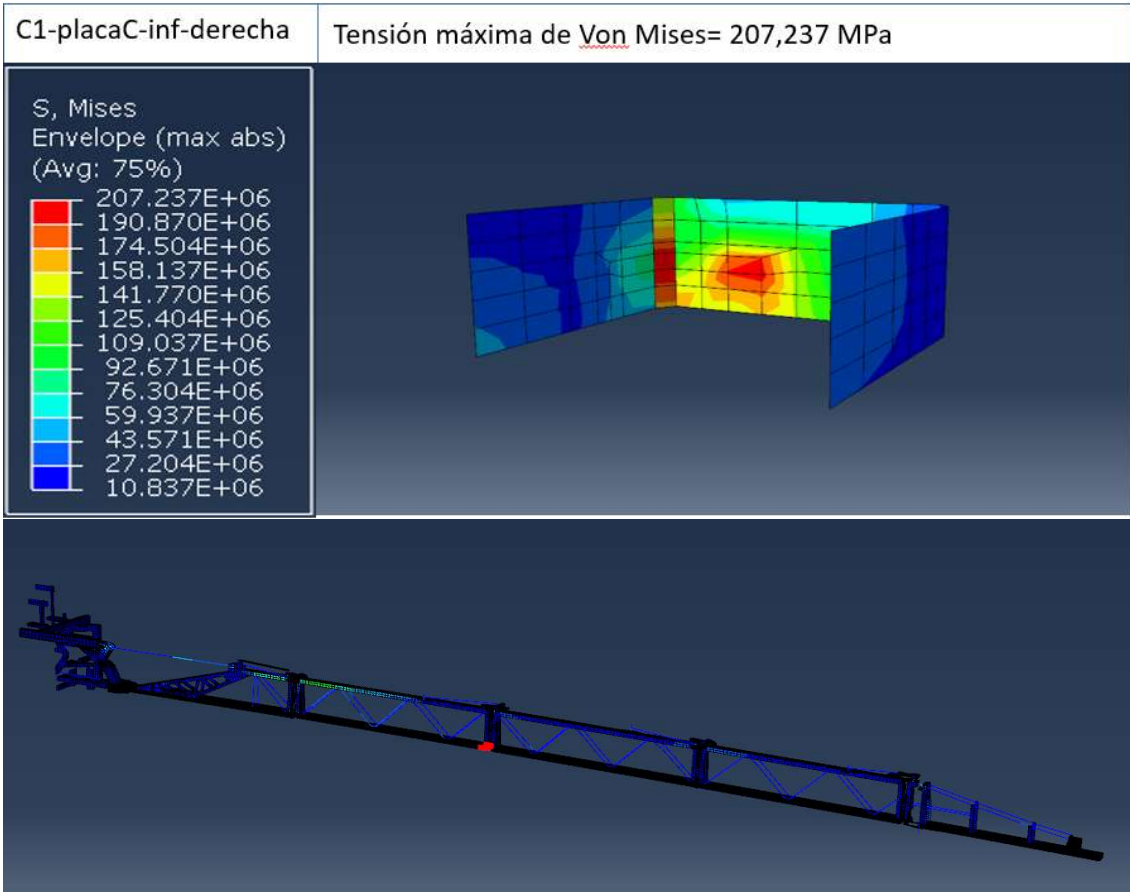
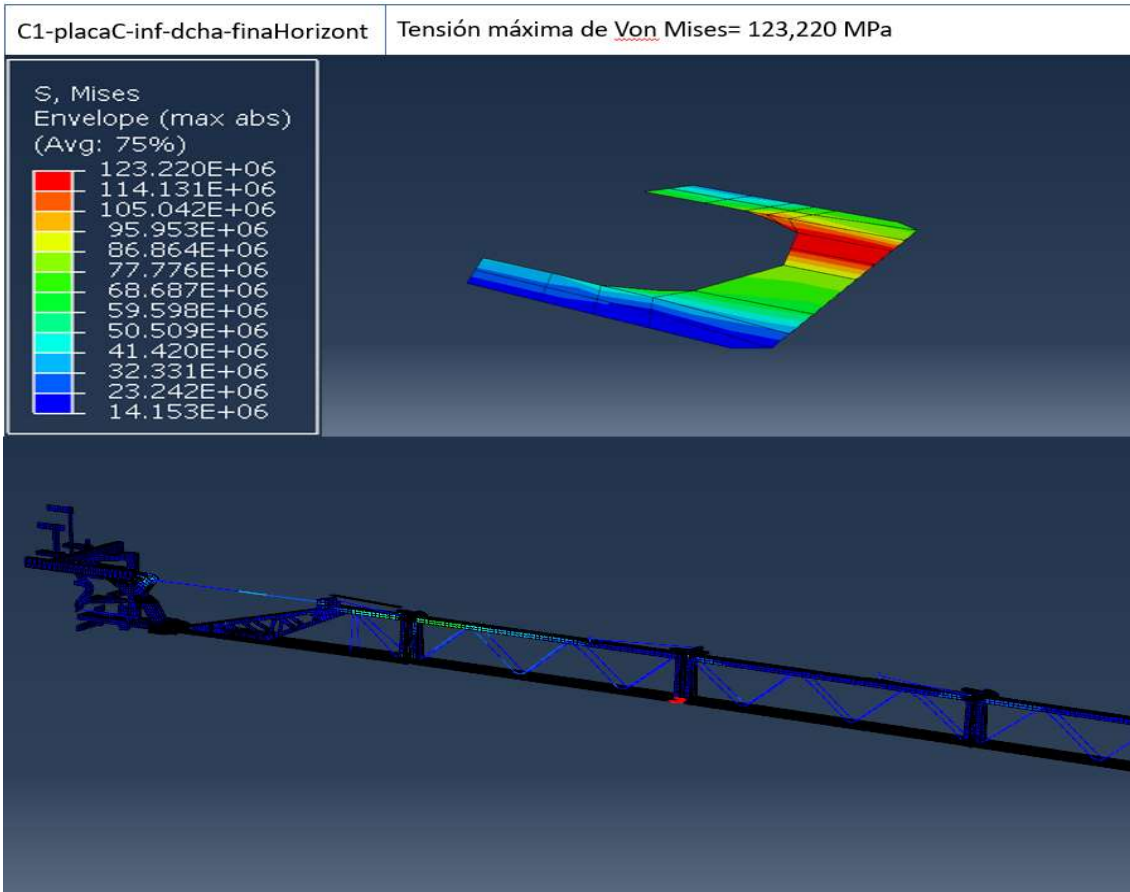


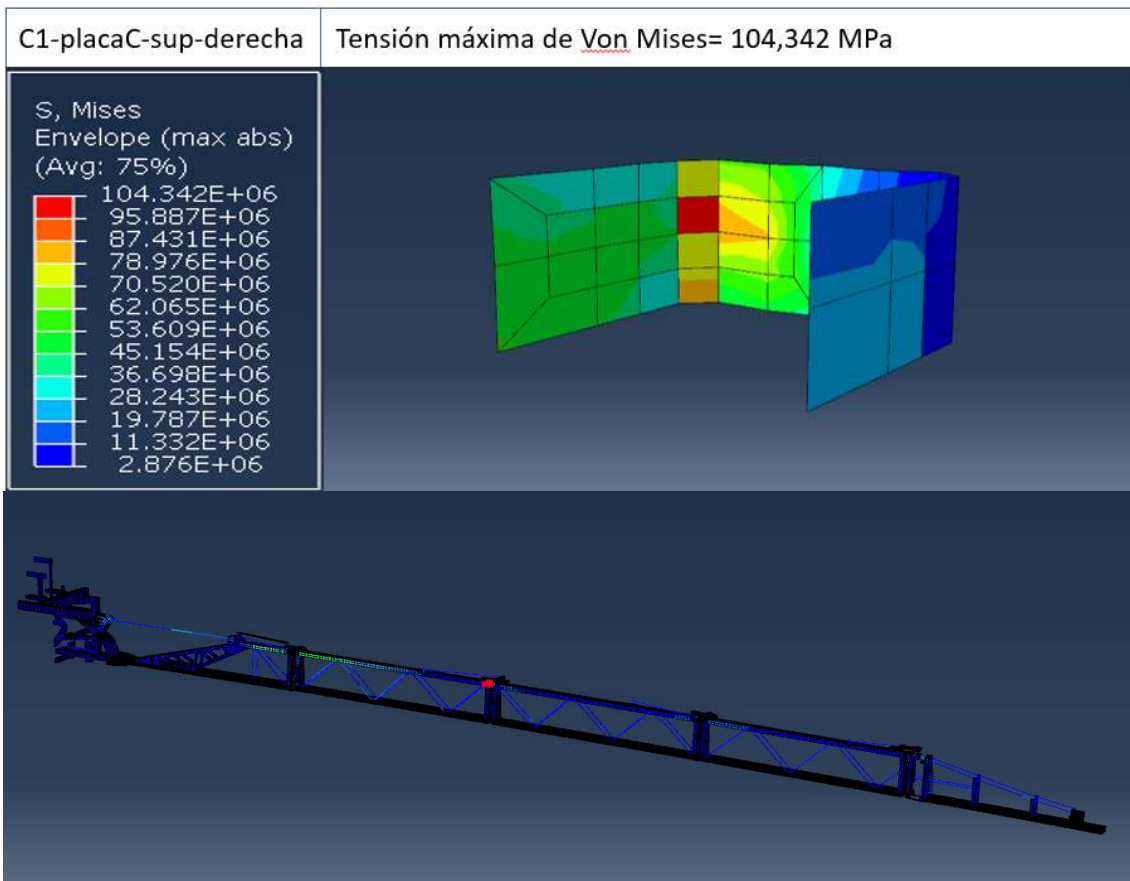
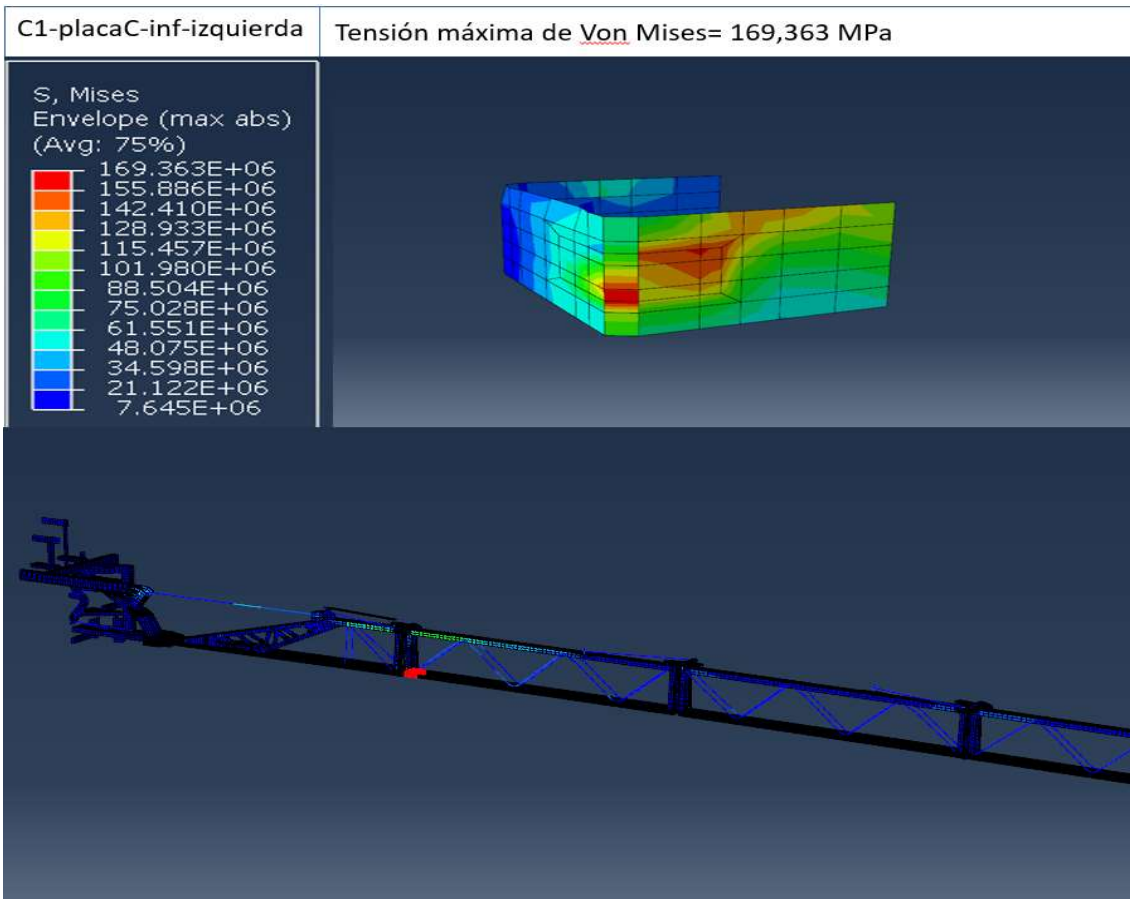


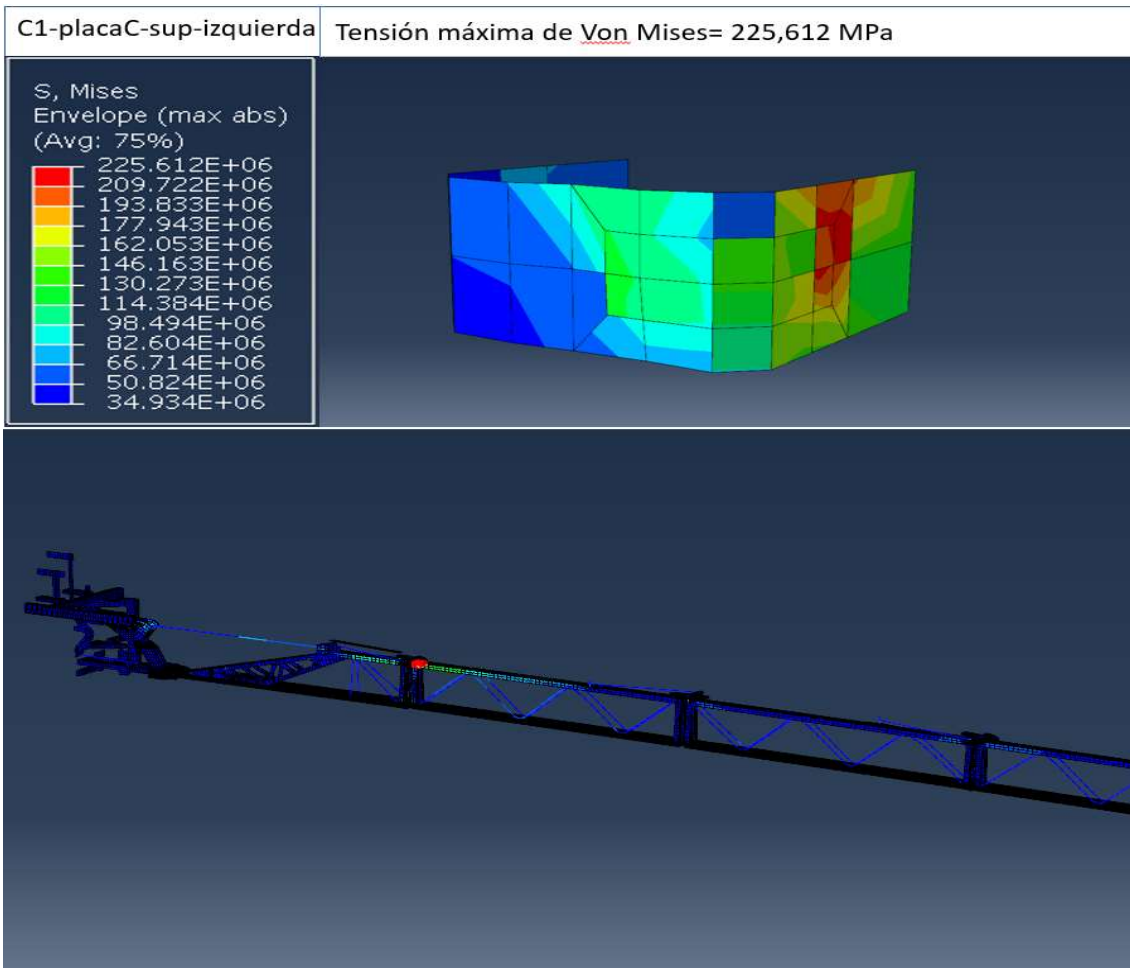


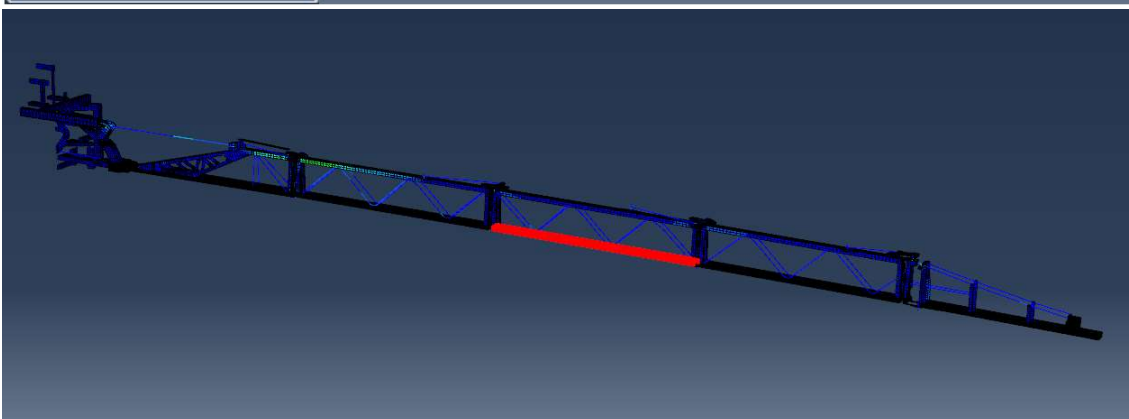
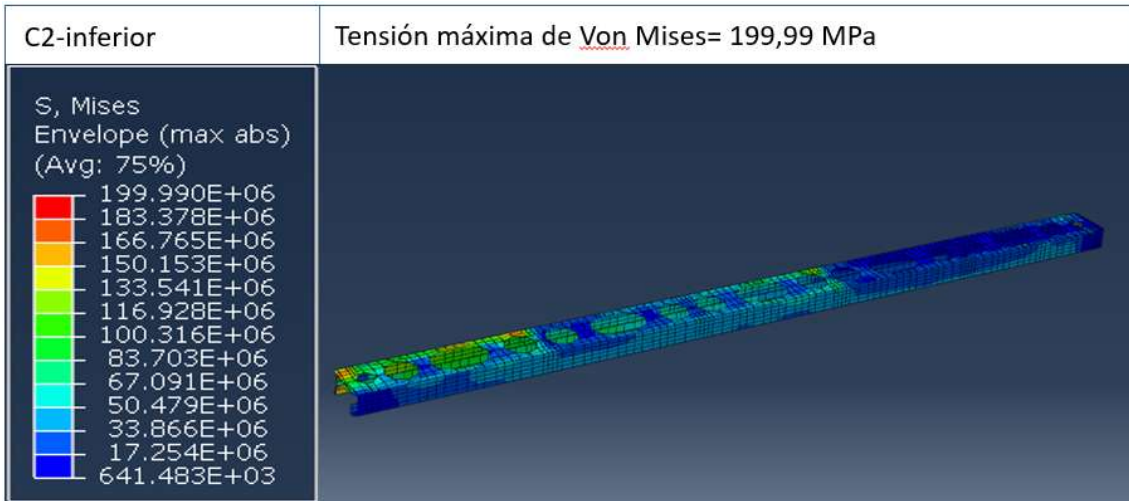
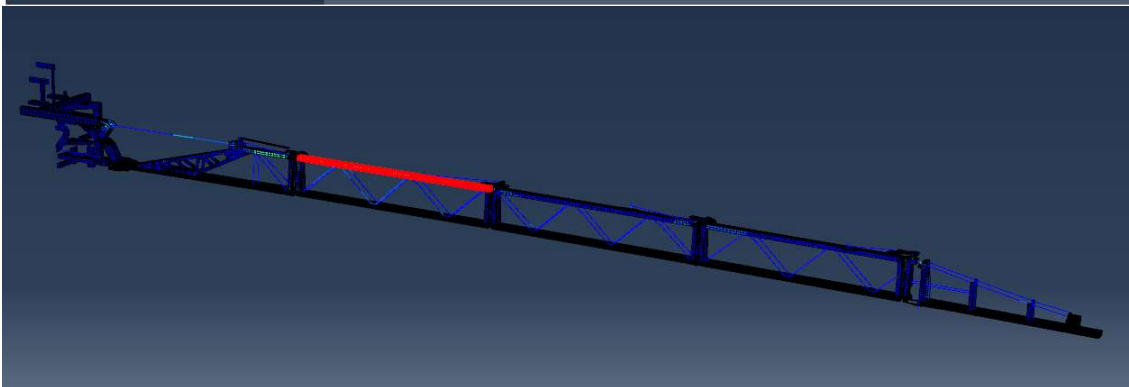
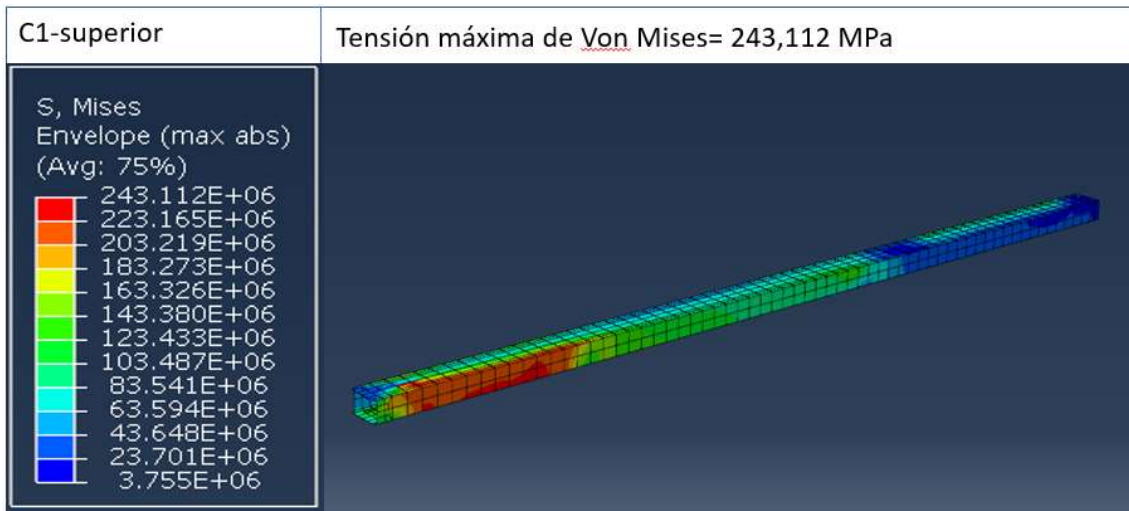


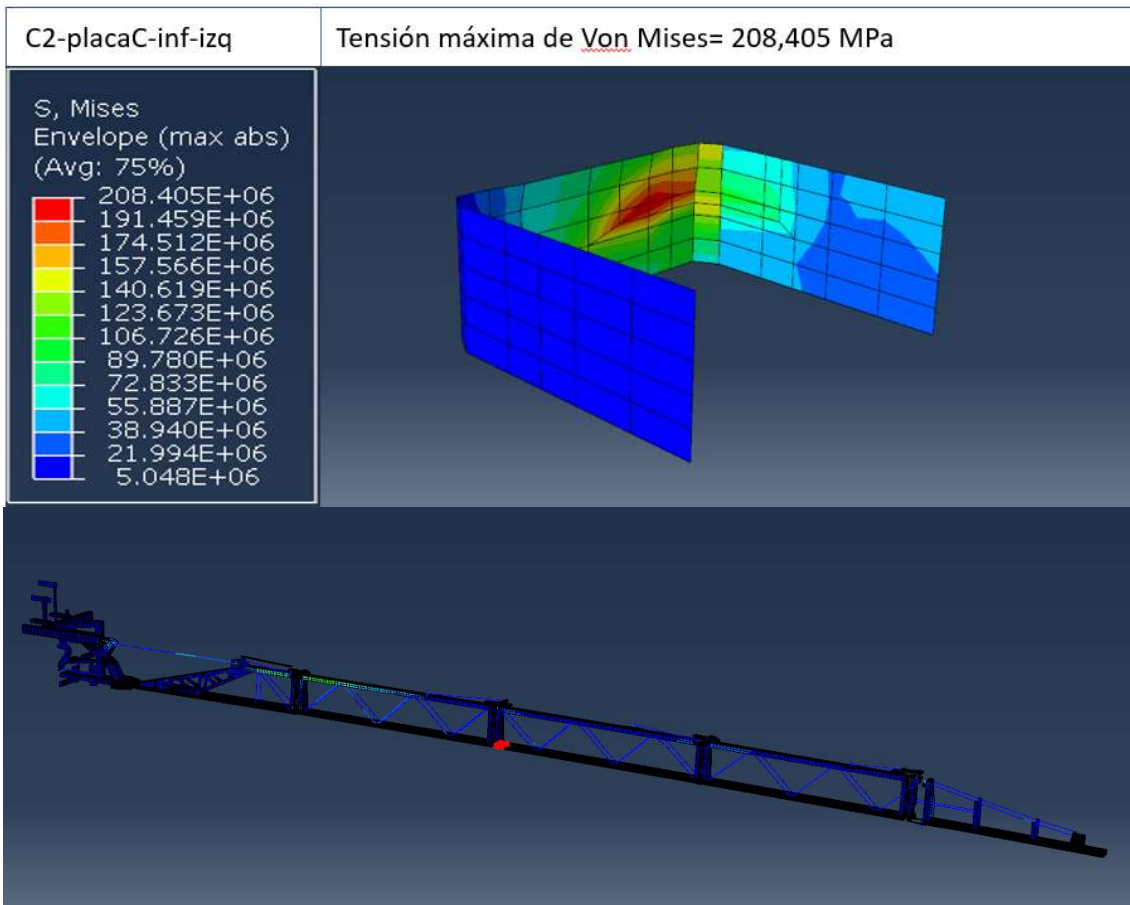
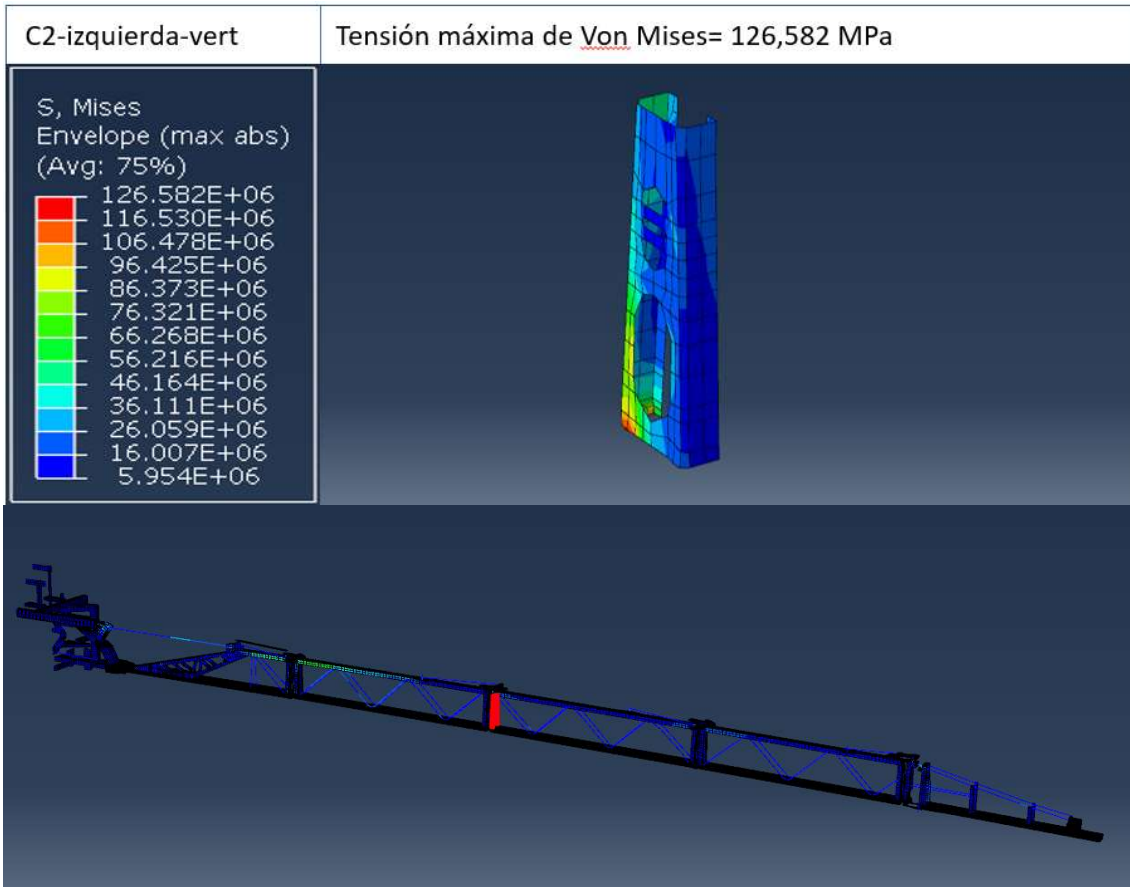


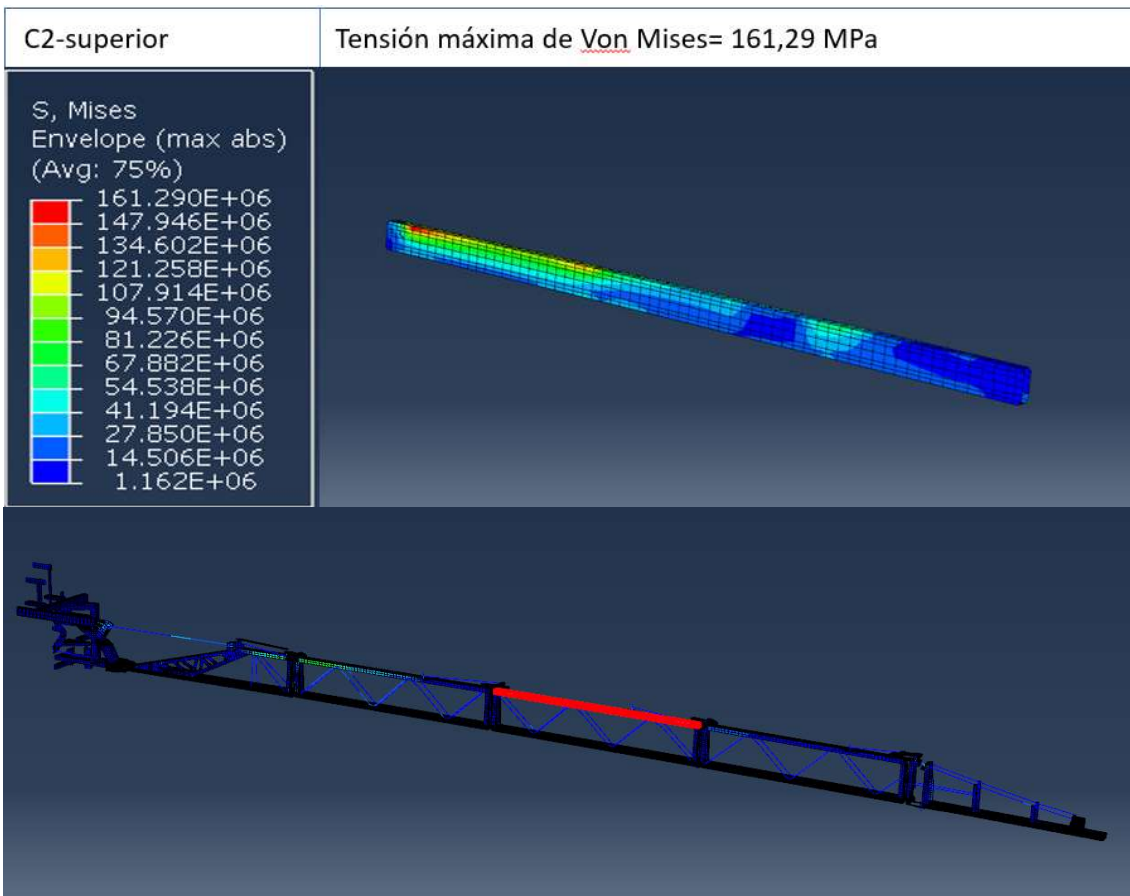
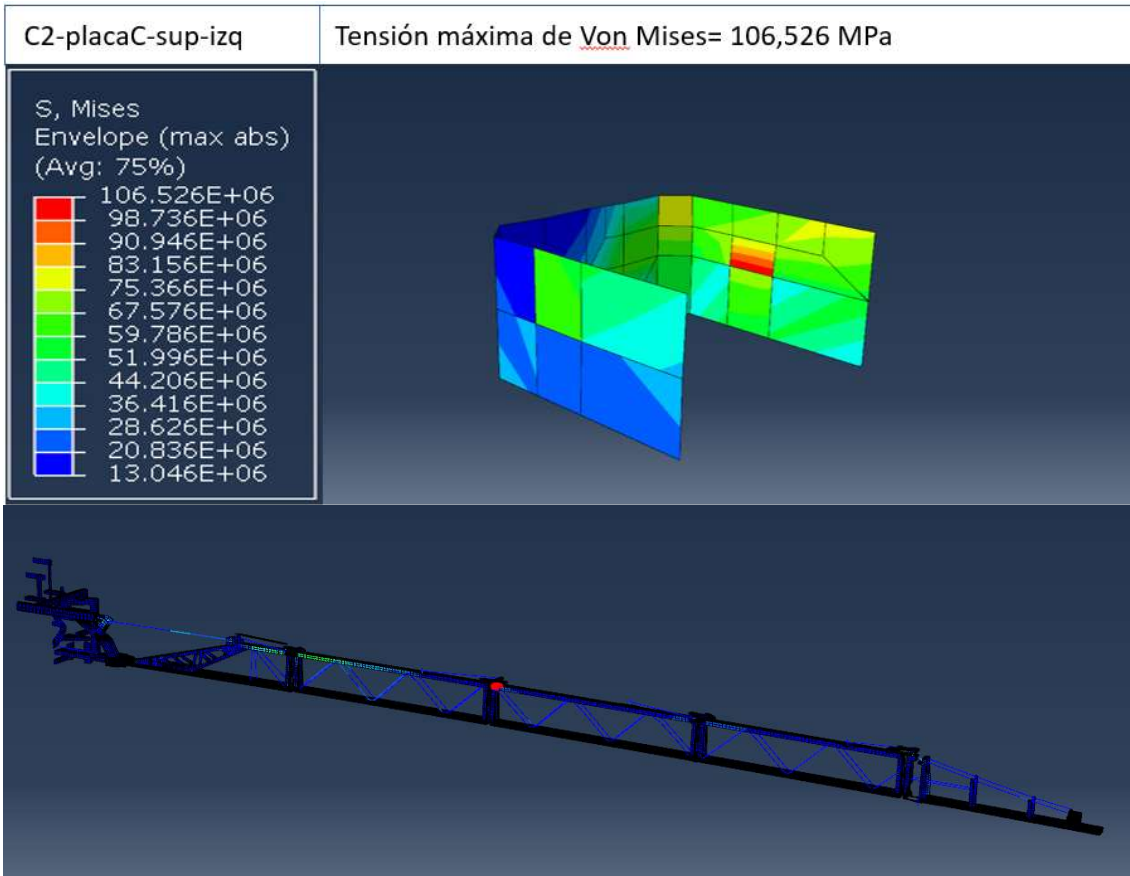


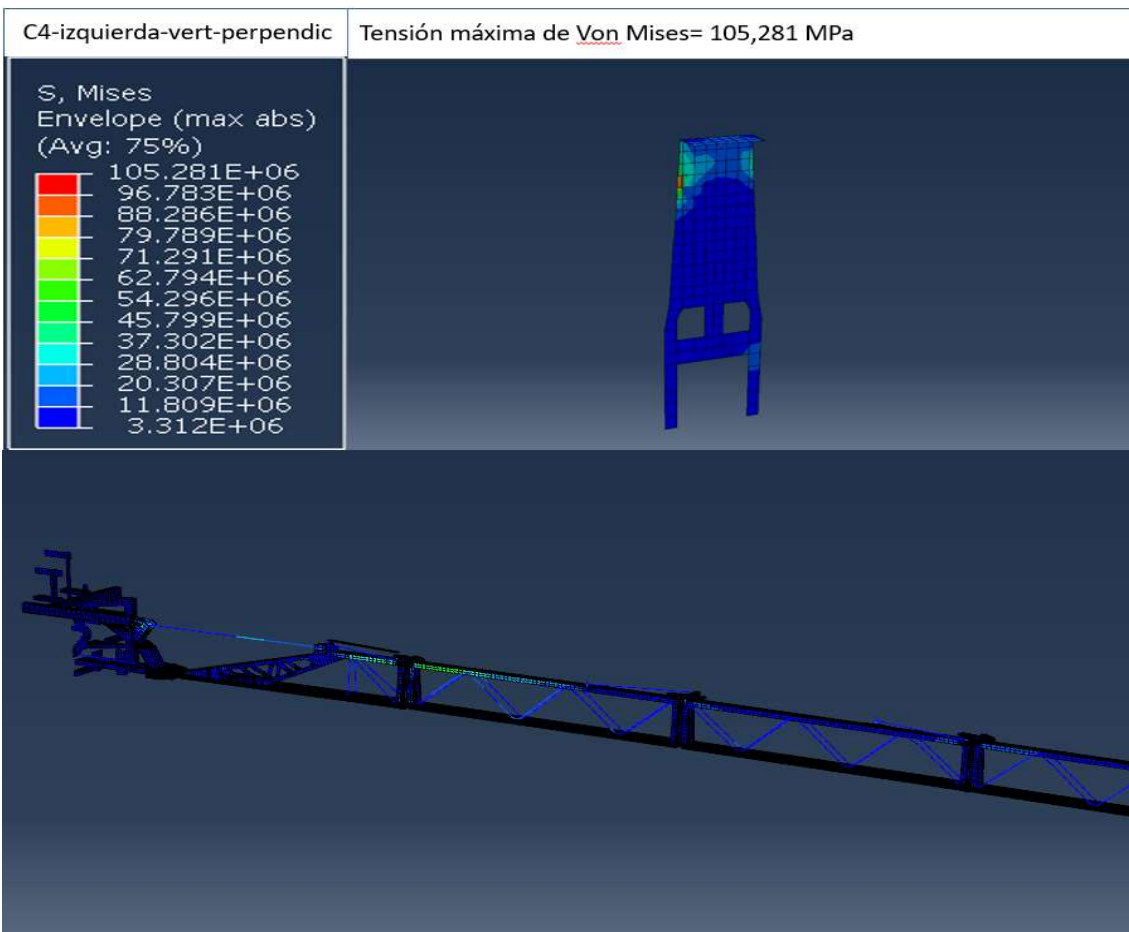
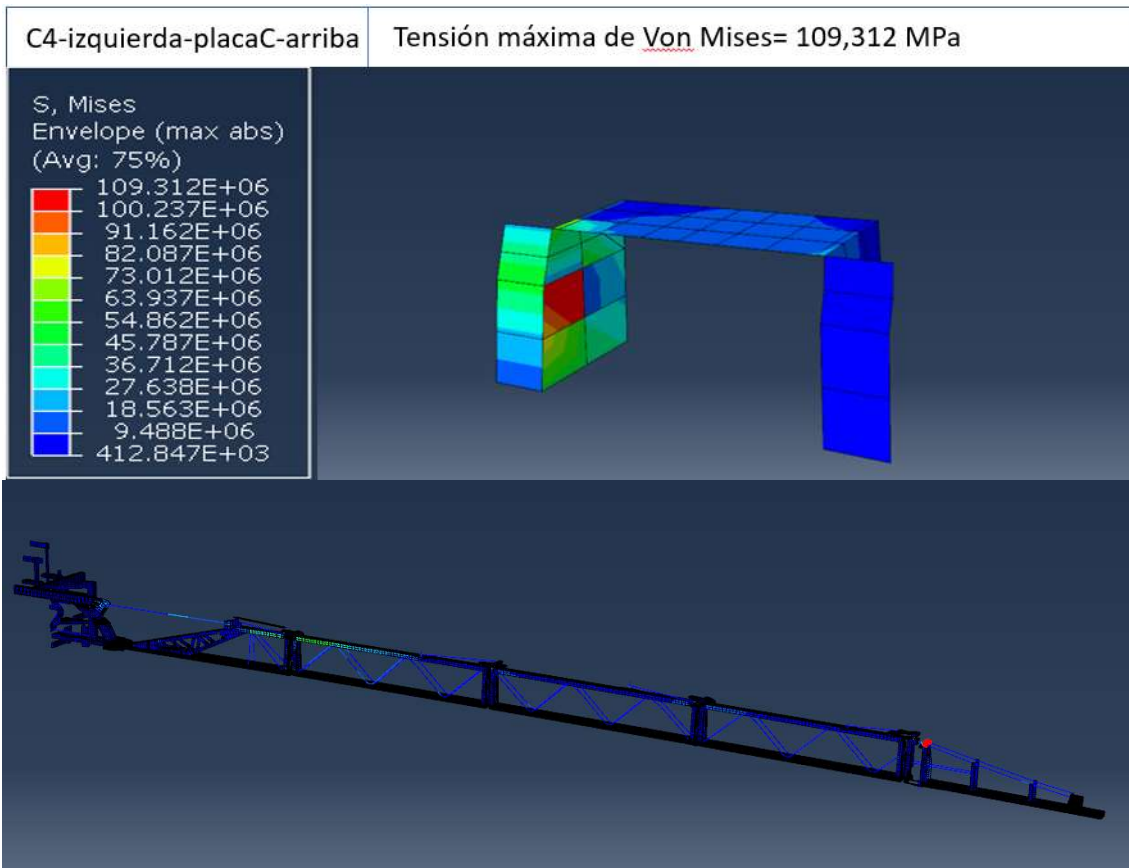


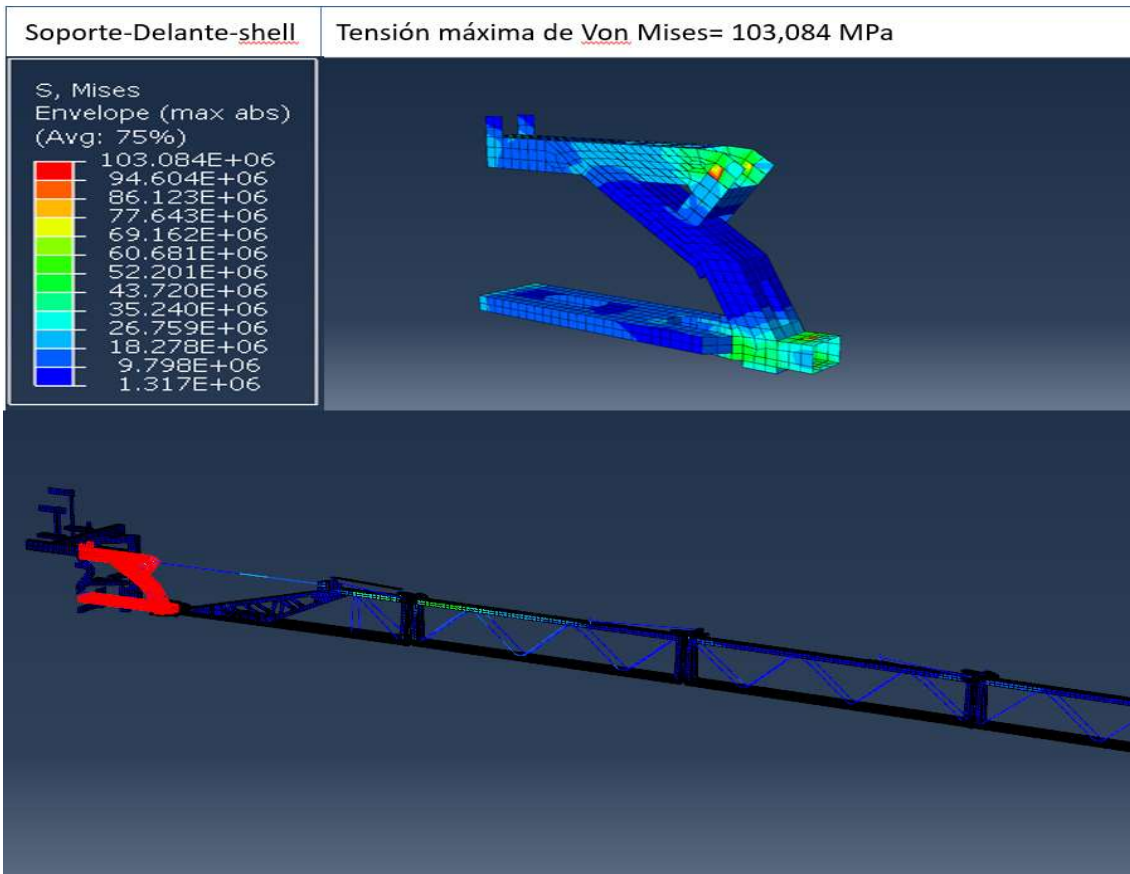
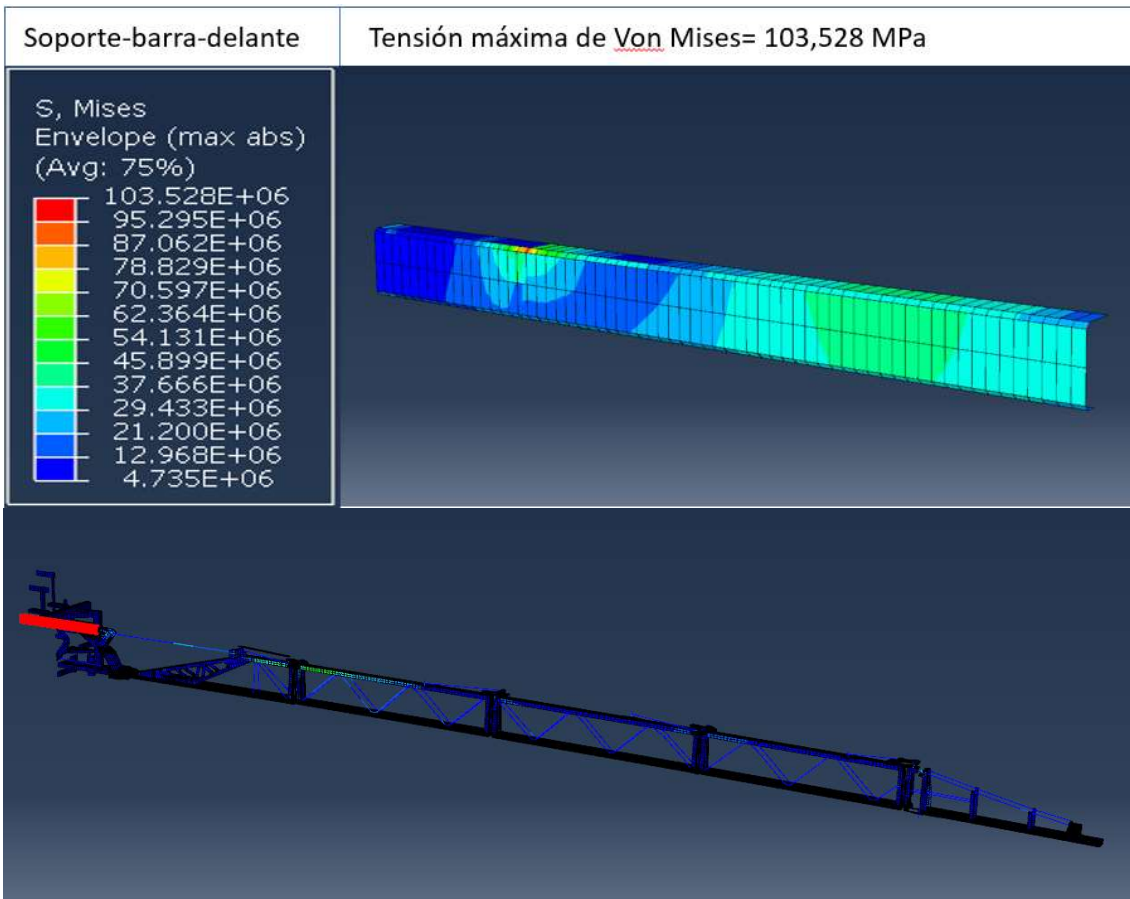












| NOMBRE | MATERIAL | LÍMITE ELÁSTICO (MPa) | ESPESOR (mm) | TENSIÓN (MPa) | CS |
|---------------------------------|----------|-----------------------|--------------|---------------|-------------|
| C0-dcha-abajo-placaC | S275JR | 275 | 6 | 161,46 | 1,703166031 |
| C0-dcha-abajo-placaC-horizontal | S275JR | 275 | 6 | 124,31 | 2,212175816 |
| C0-dcha-vert | S275JR | 275 | 3 | 114,27 | 2,406496666 |
| C0-inferior | S275JR | 275 | 3 | 219,68 | 1,251837926 |
| C0-placaGrande-triang-delante | S275JR | 275 | 6 | 100,96 | 2,72387801 |
| C0-placaGrande-triang-detrás | S275JR | 275 | 6 | 101,18 | 2,718009034 |
| C0-superior | S275JR | 275 | 3 | 218,92 | 1,256195327 |
| C0-superior-dcha-placaC | S275JR | 275 | 6 | 205,13 | 1,340639412 |
| C0-UnionCilindros-placaDetras | S275JR | 275 | 10 | 122,63 | 2,242536431 |
| C1-inferior | S275JR | 275 | 2 | 228,26 | 1,204787607 |
| C1-izquierda-vert | S275JR | 275 | 3 | 213,92 | 1,285515281 |
| C1-placaC-inf-dcha-finaHorizont | S275JR | 275 | 6 | 123,22 | 2,231780555 |
| C1-placaC-inf-derecha | S275JR | 275 | 6 | 207,24 | 1,326983116 |
| C1-placaC-inf-izquierda | S275JR | 275 | 6 | 169,36 | 1,623731275 |
| C1-placaC-sup-derecha | S275JR | 275 | 6 | 104,34 | 2,635563819 |
| C1-placaC-sup-izquierda | S275JR | 275 | 6 | 225,61 | 1,218906796 |
| C1-superior | S275JR | 275 | 2 | 243,11 | 1,131165882 |
| C2-inferior | S275JR | 275 | 1,5 | 199,99 | 1,375068753 |
| C2-izquierda-vert | S275JR | 275 | 3 | 126,58 | 2,17250478 |
| C2-placaC-inf-izq | S275JR | 275 | 6 | 208,41 | 1,319546076 |
| C2-placaC-sup-izq | S275JR | 275 | 6 | 106,53 | 2,581529392 |
| C2-superior | S275JR | 275 | 1,5 | 161,29 | 1,70500341 |
| C4-izquierda-placaC-arriba | S275JR | 275 | 3 | 109,31 | 2,515734778 |
| C4-izquierda-vert-perpendic | S275JR | 275 | 3 | 105,28 | 2,612057256 |
| Soporte-barra-delante | S275JR | 275 | 6 | 103,53 | 2,656286222 |
| Soporte-Delante-shell | S275JR | 275 | 8 | 103,08 | 2,66772729 |

Tabla C.1: Resumen de los resultados para los componentes más cargados de la estructura de barras. Caso 1, carga gravedad, materiales S275JR y acero convencional.

CASO 2: CARGA DINÁMICA 5g

A continuación, se presentan los resultados del análisis de tensiones y desplazamientos a los que están sometidos las barras del pulverizador bajo la acción de una carga dinámica, es decir, obteniendo tensiones y desplazamientos en función del tiempo y usando como materiales el acero estructural S275JR y un acero elástico lineal para el caso de las uniones.

En la carga dinámica actuante se introduce una aceleración de magnitud cinco veces mayor a la carga de la gravedad (5-g), que correspondería a un uso excesivamente brusco del apero, es decir el peor de los casos de uso al que podría someterse, sobrepasando con creces la carga de su uso cotidiano.

Se evaluarán los resultados a lo largo de un tiempo de 4 segundos, con 600 incrementos, por lo que, se calcularán los resultados para intervalos de 0.005 segundos.

1. DESPLAZAMIENTOS

En este apartado del Anexo C se estudiarán los desplazamientos que se producen a lo largo de las barras del pulverizador a través del análisis de seis puntos representativos, uno al final de cada grupo de componentes como se describe en la figura C5, de esta forma se obtendrán los desplazamientos en función del tiempo de cada uno de ellos además de poder comparar los desplazamientos producidos entre los diferentes puntos para cada instante de tiempo. Para ello se generarán tablas y a partir de ellas gráficas de cada uno de estos nodos del modelo.

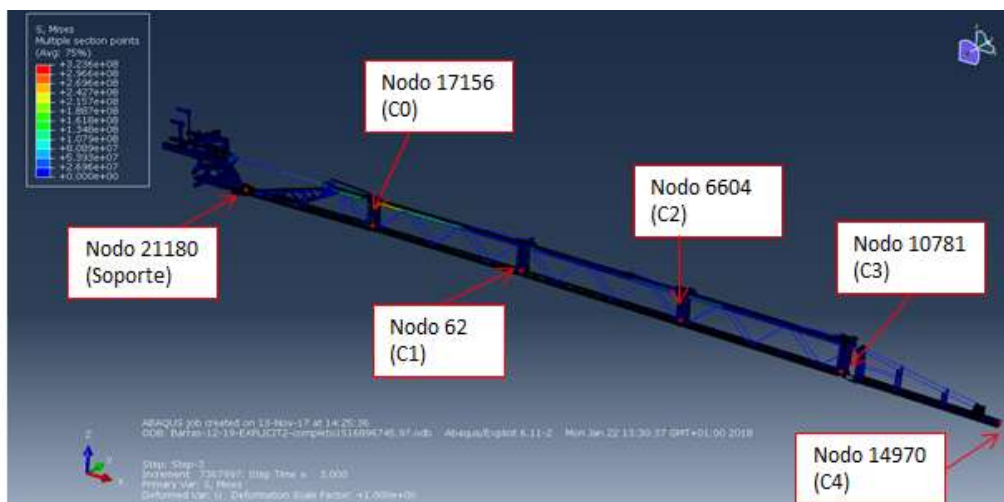


Figura C5: ubicación en el modelo de los nodos con los que se van a graficar los desplazamientos

Se evaluarán los desplazamientos de estos nodos a lo largo de un intervalo de tiempo de 3 segundos, con 600 incrementos, es decir, se calcularán los resultados para intervalos de 0.005 segundos.

Las siguientes gráficas (figuras C6 a C12) describen los desplazamientos de los nodos en función del tiempo representados en la figura C5. En la figura C6 se observa una

representación de todos ellos juntos de forma que se puede comparar lo que se desplaza cada nodo para un mismo instante de tiempo.

El movimiento que realizan los seis nodos representativos es en todos los casos sinusoidal. Además, se ve que la onda que describen se va amortiguando con el tiempo, disminuyendo su amplitud con el paso de los segundos. Si el intervalo de tiempo que se representa fuera mayor, al final aparecería completamente amortiguado para los seis nodos (cuando el tiempo tiende a infinito el desplazamiento tiende a cero).

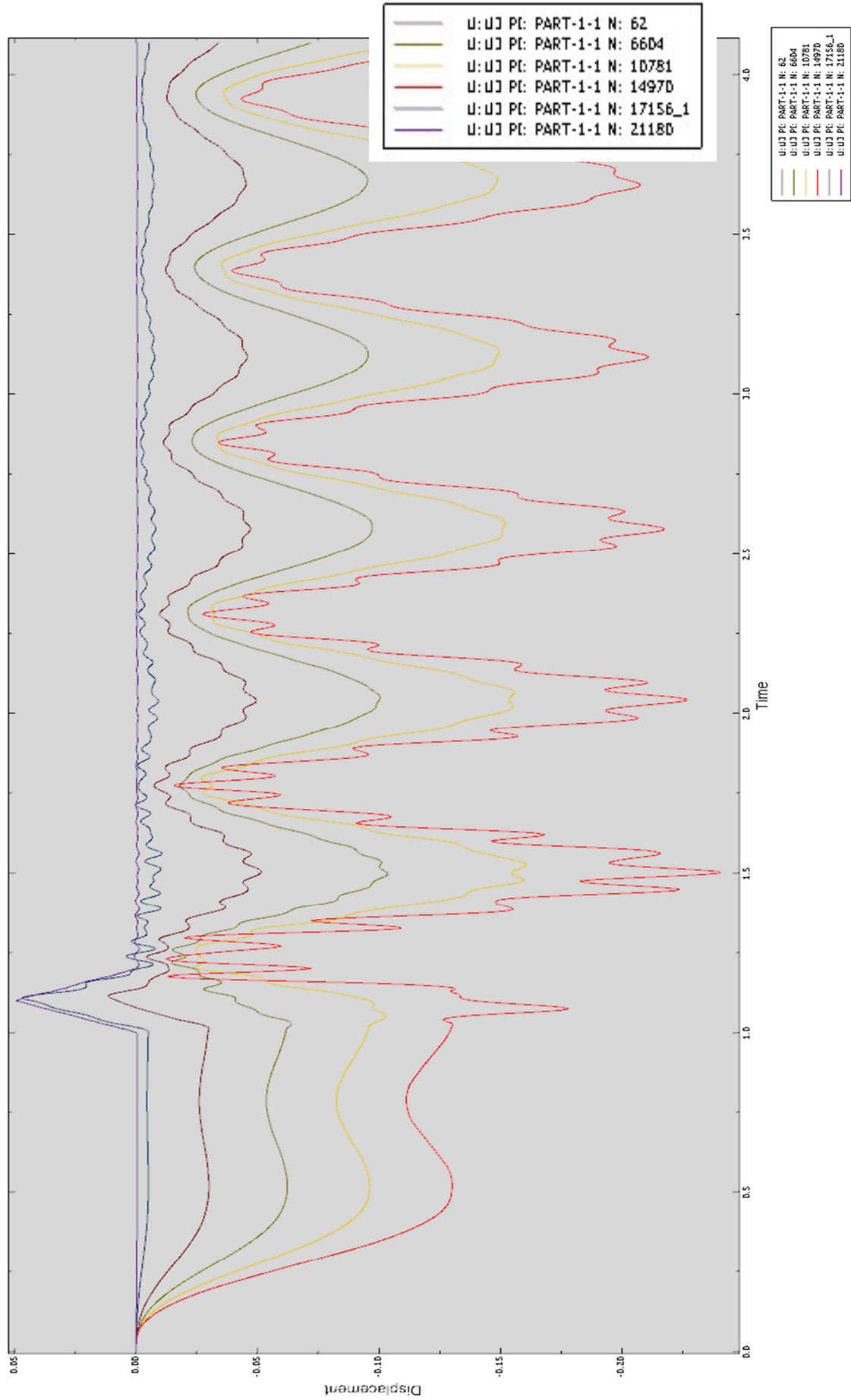


Figura C6: Distribución del desplazamiento en función del tiempo de los nodos seleccionados.10

NODO 21180 (ubicado en Soporte)

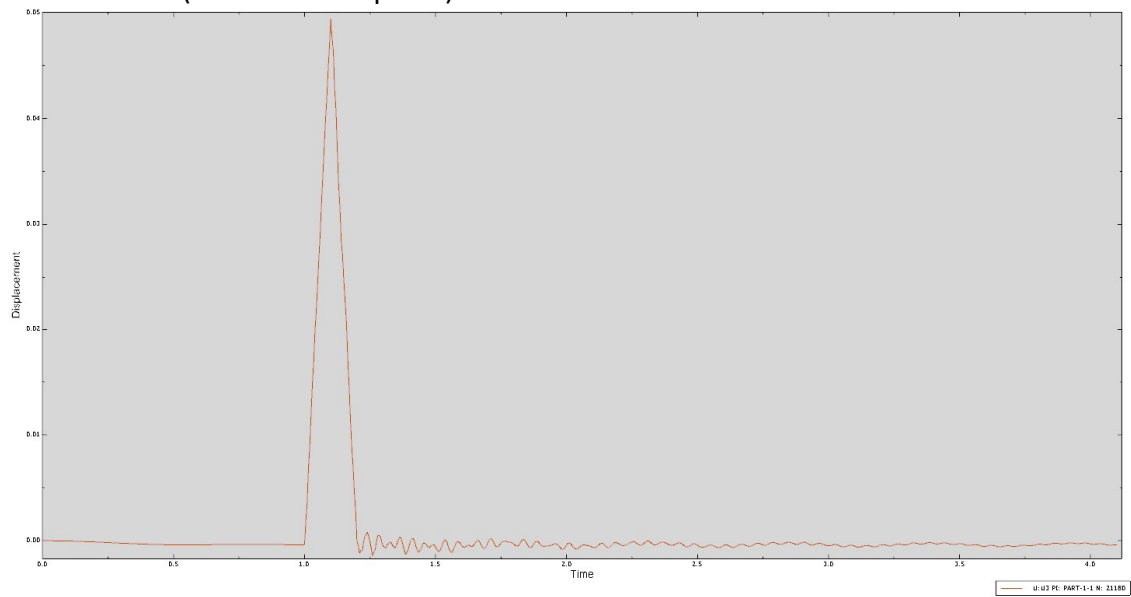


Figura C7: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 21180

NODO 17156 (ubicado en C0)

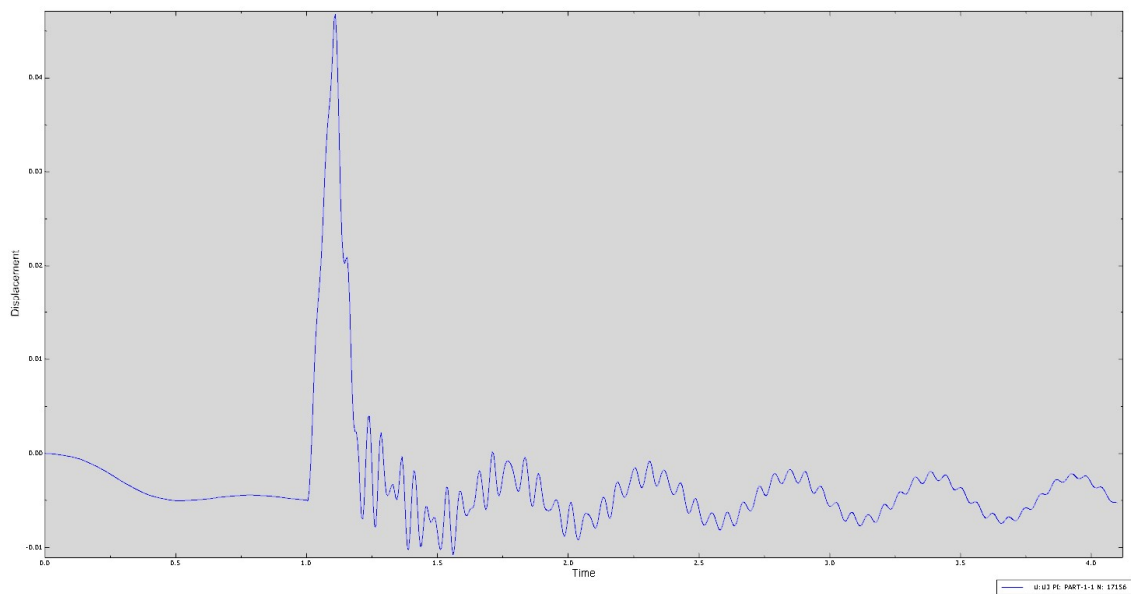


Figura C8: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 17156

NODO 62 (ubicado en C1)

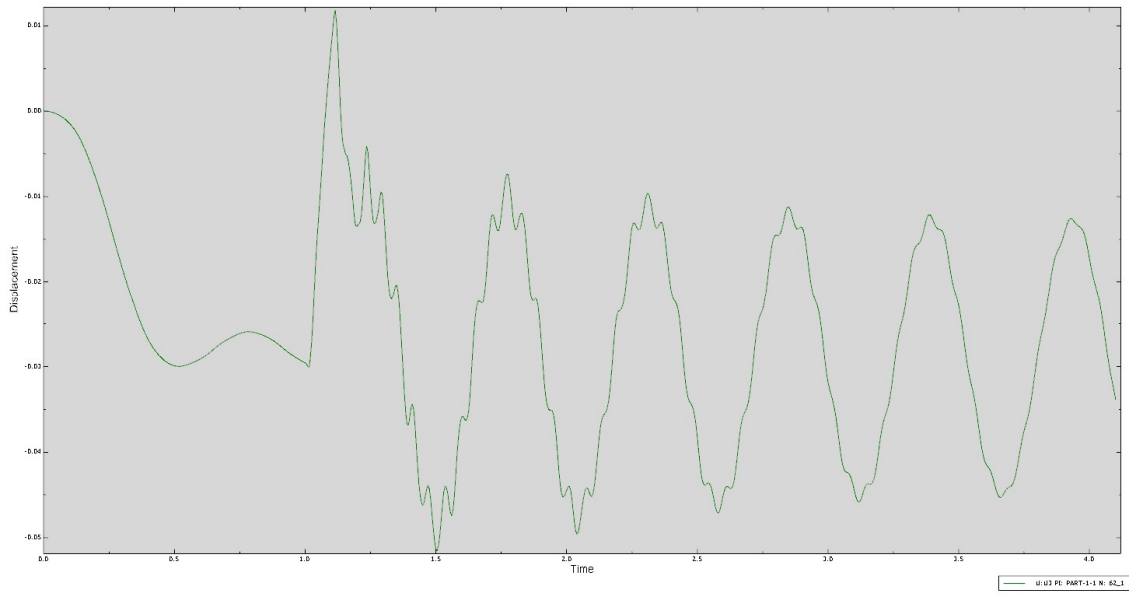


Figura C9: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 62

NODO 6604 (ubicado en C2)

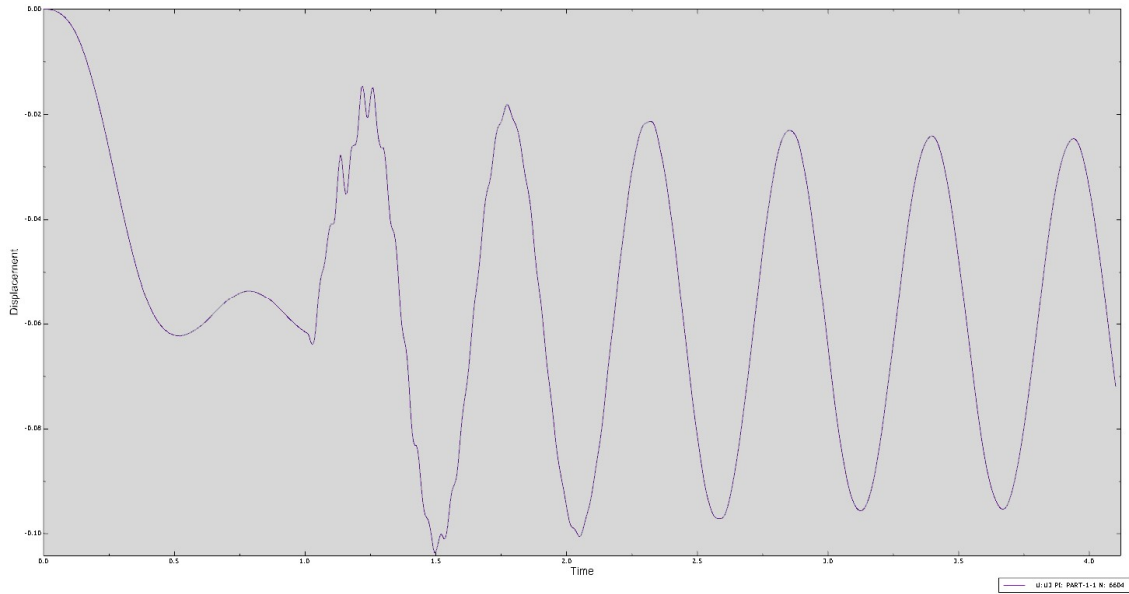


Figura C1011: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 6604

NODO 10781 (ubicado en C3)

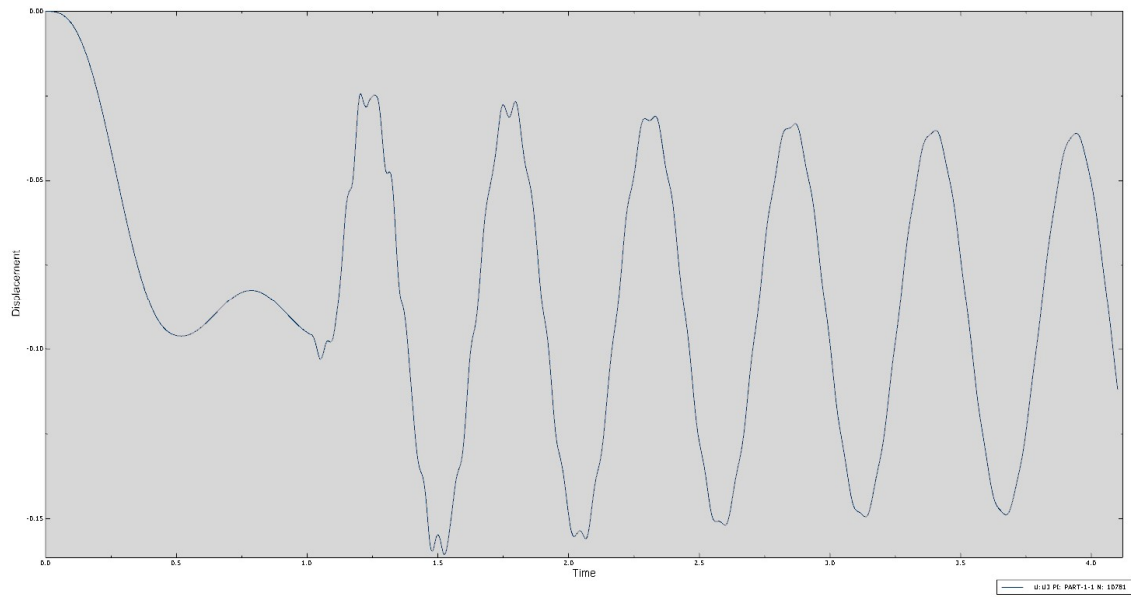


Figura C11: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 10781

NODO 14970 (ubicado en C4)

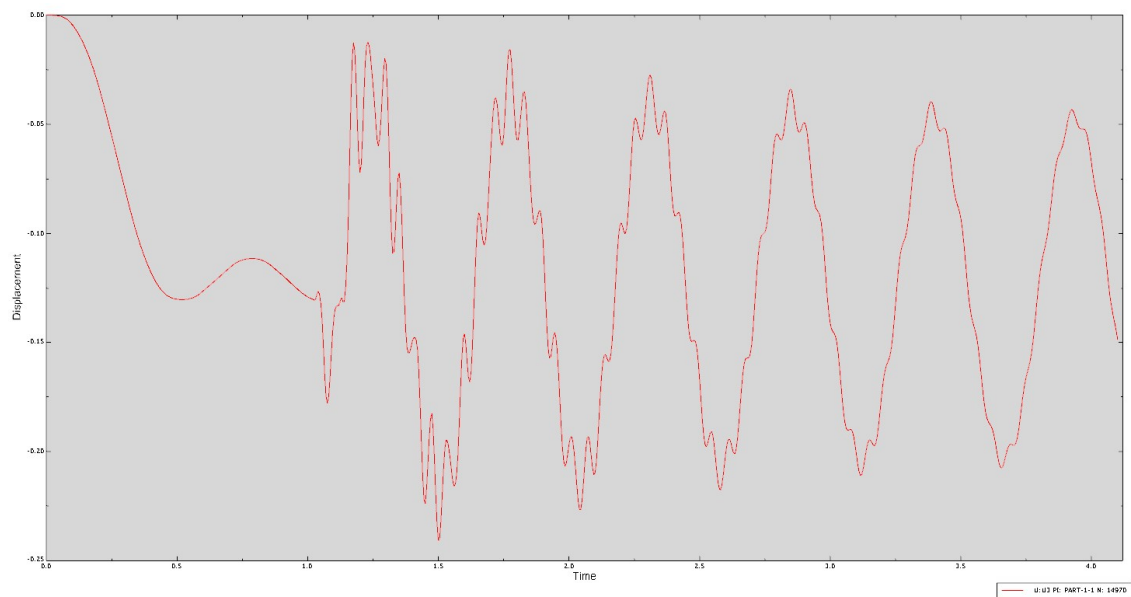


Figura C12: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 14970

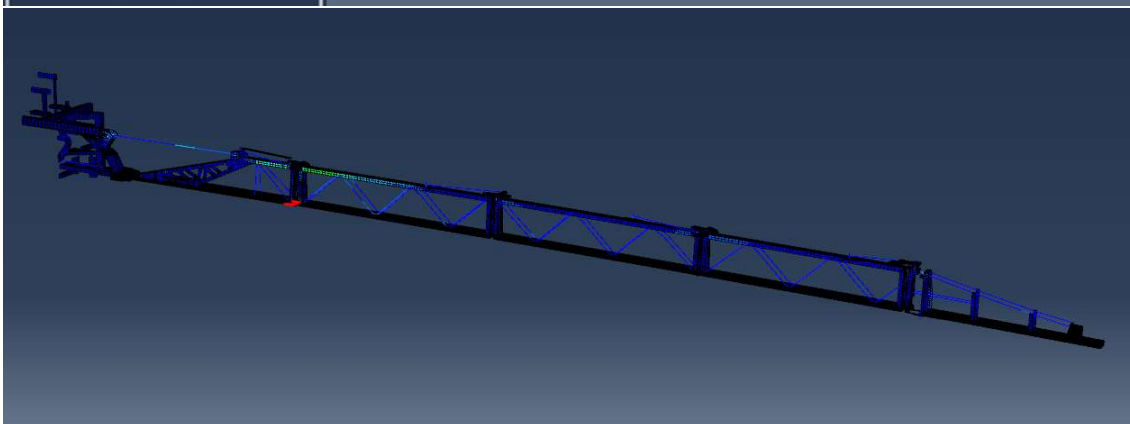
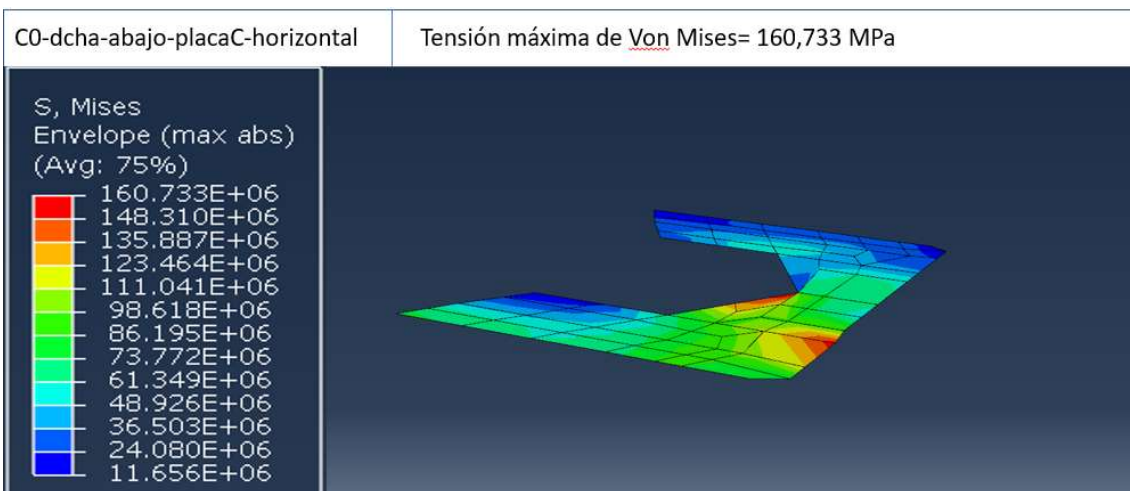
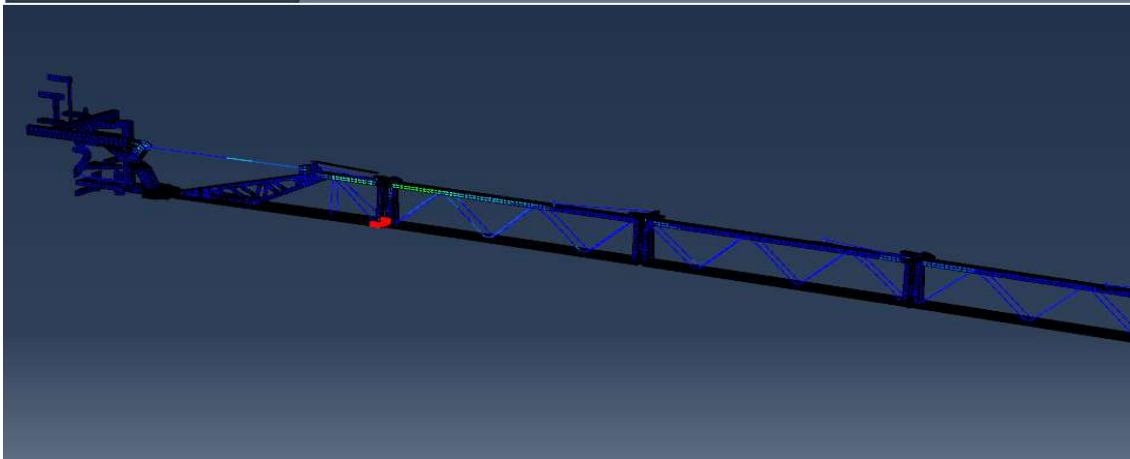
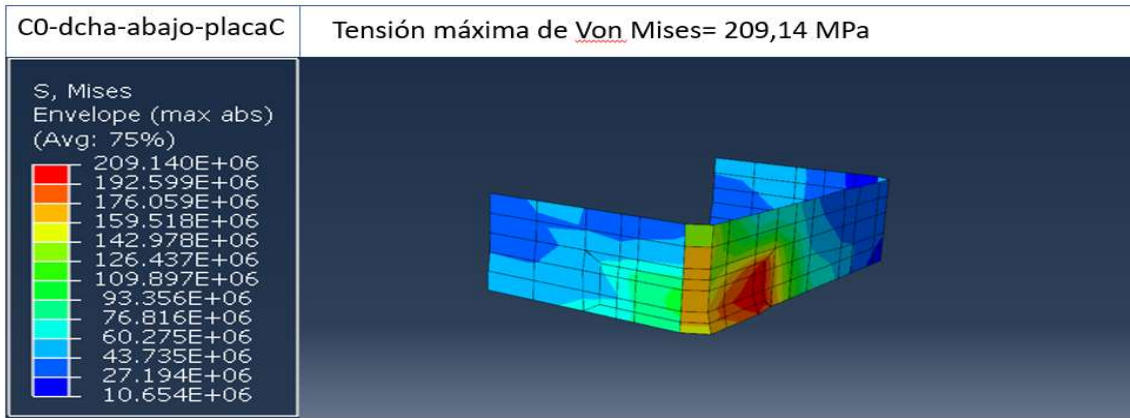
2. TENSIONES

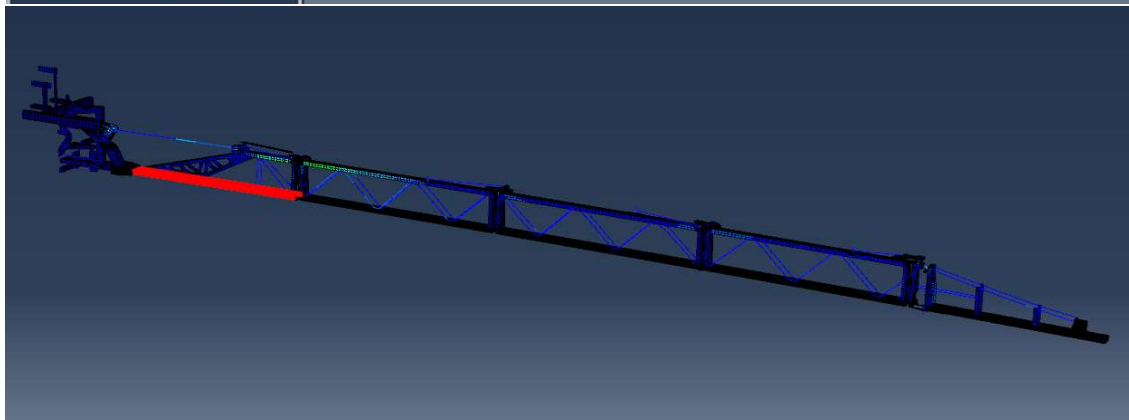
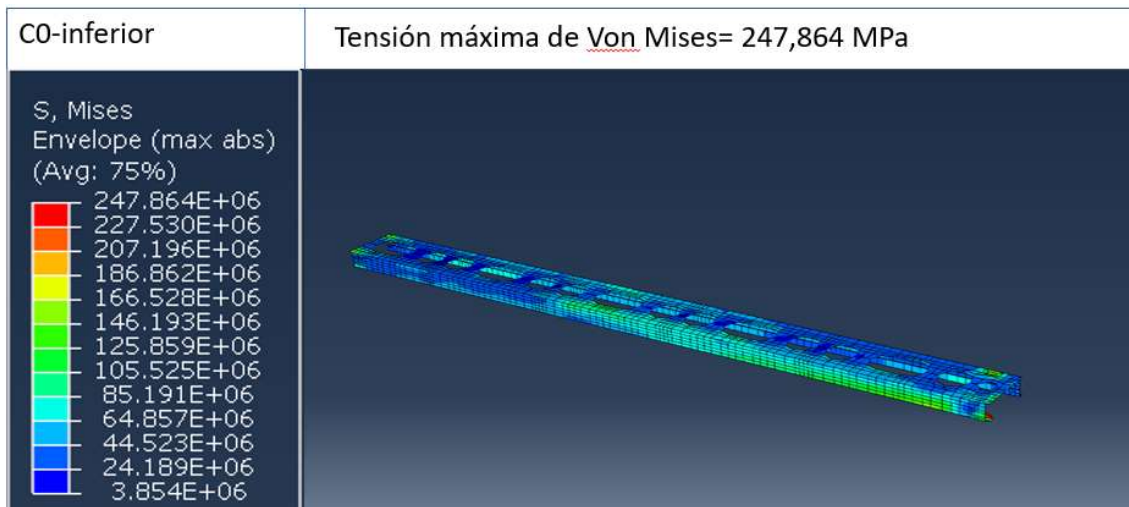
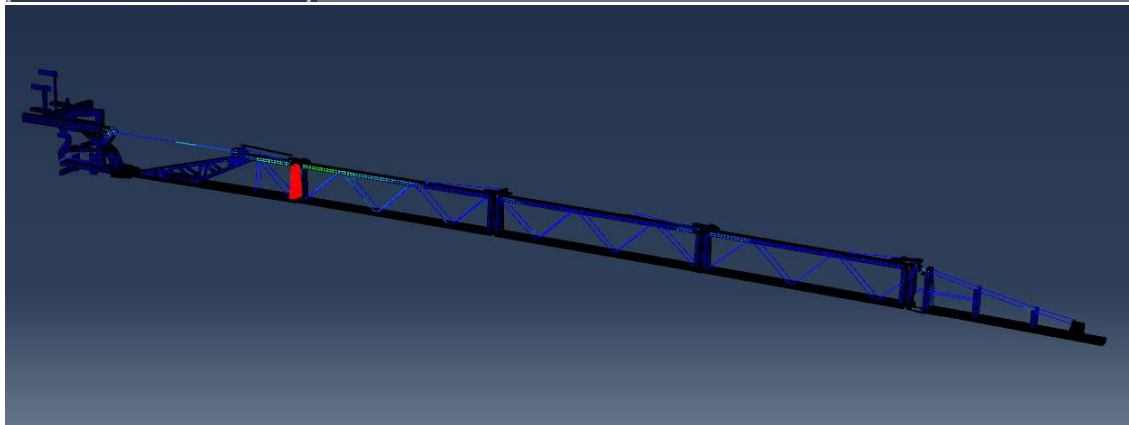
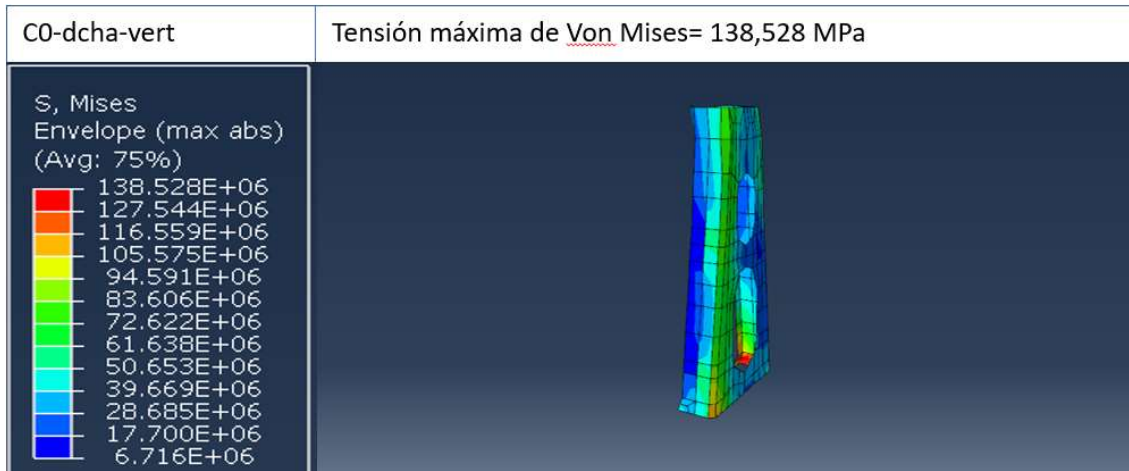
Para cada instante de tiempo, las mayores tensiones estarán situadas en diferentes puntos de la estructura, por lo que en vez de mirar los resultados de cada componente del modelo para el mismo instante habrá que buscar dentro de un intervalo de tiempo la máxima tensión que soporta cada uno de los elementos estructurales.

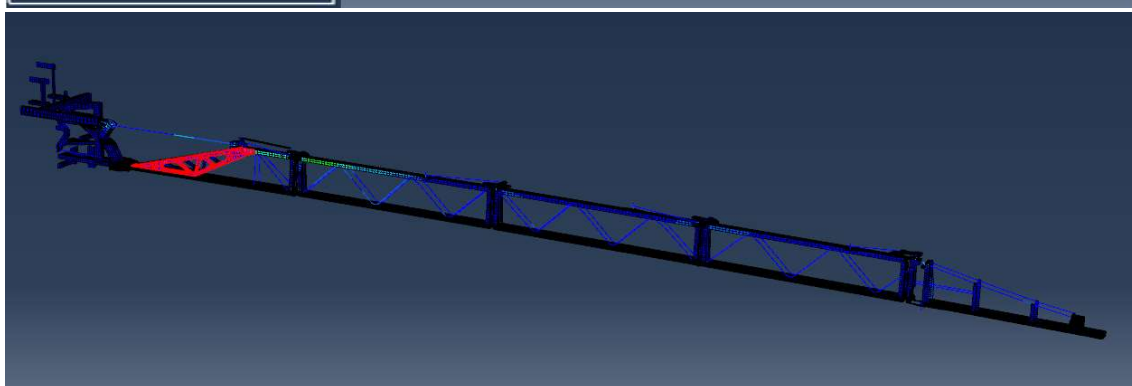
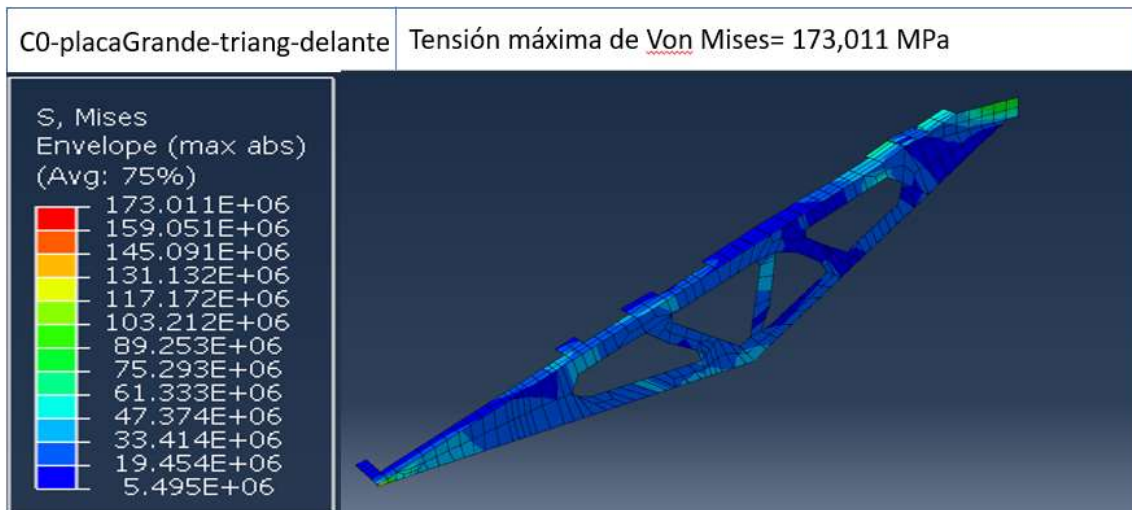
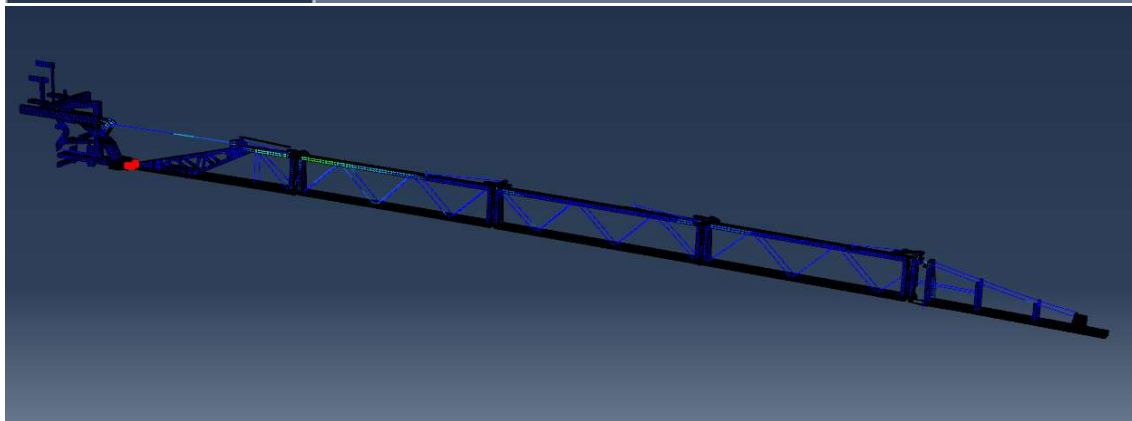
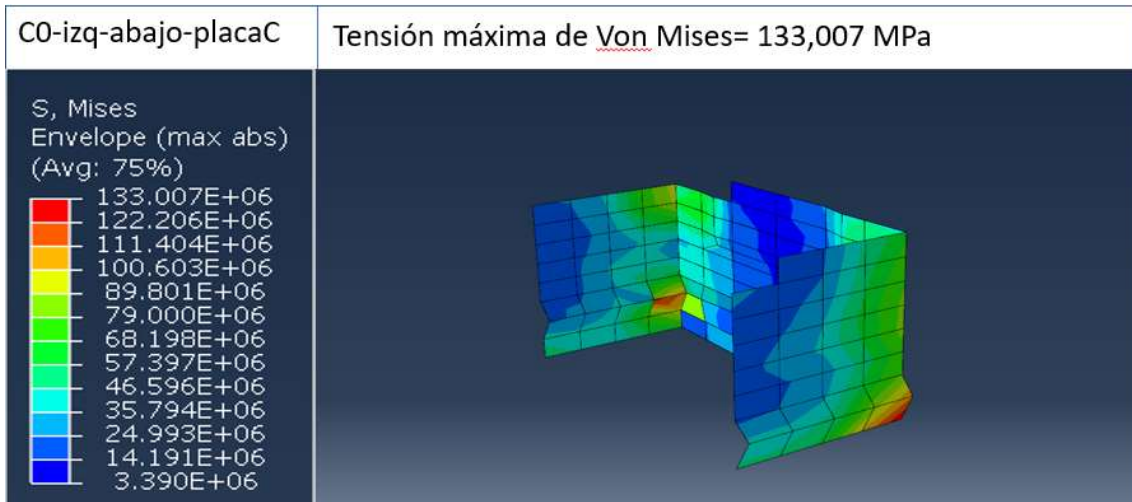
A través de las gráficas de los desplazamientos para este caso de estudio se observa que los picos más altos de desplazamiento aparecen en torno a 1.5s desde que el pulverizador empieza a oscilar para los puntos seleccionados en el apartado anterior, por lo que se darán las mayores tensiones cerca de ese intervalo de tiempo. Aunque el punto de máximo desplazamiento no tiene por qué ser el de máxima tensión para un mismo elemento, pero sí estará cerca ya que, también las deformaciones en ese entorno serán mayores que en otro instante en el que se desplace menos.

Así, se va a proceder a buscar para cada uno de los componentes la mayor tensión en el intervalo de 1.2s a 1.7s, de esta manera se acota la búsqueda de tensiones en el rango donde serán mayores.

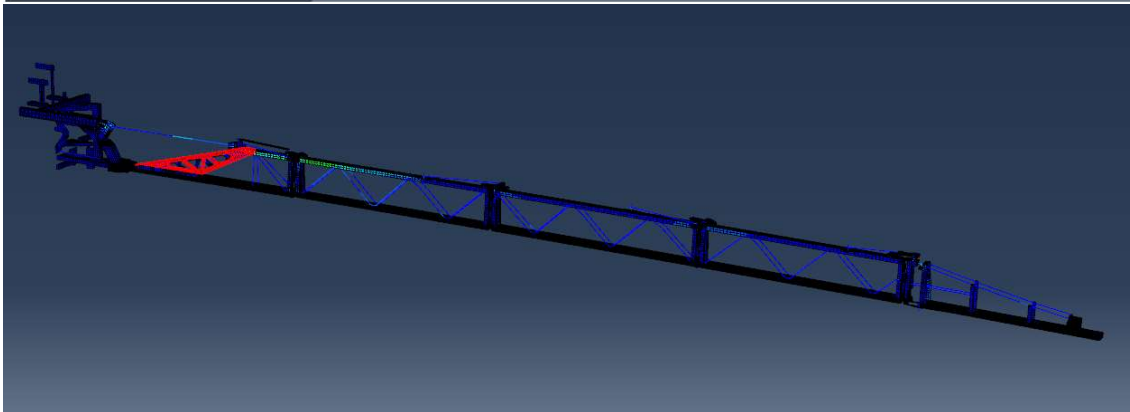
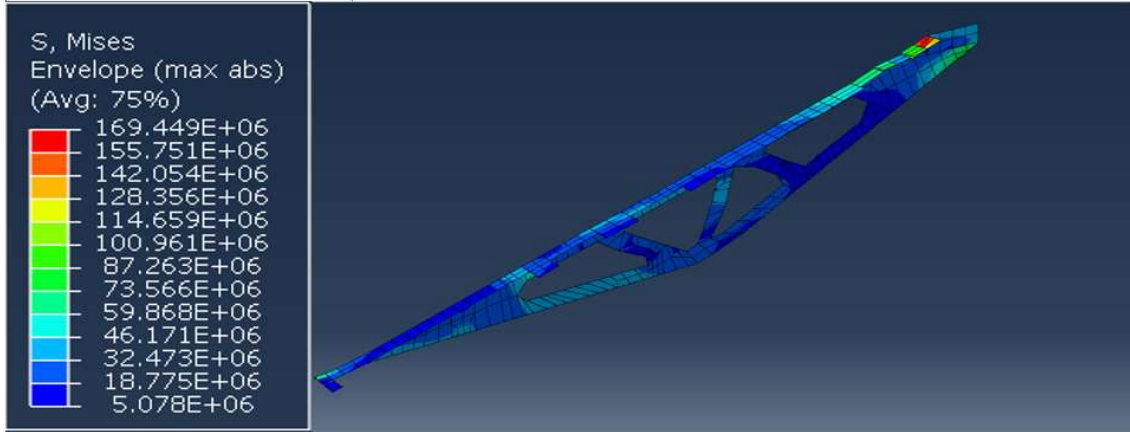
A continuación, se presenta igual que se ha hecho para el caso de carga estática, las imágenes de cada uno de los componentes que soportan mayores tensiones (los que presentan un coeficiente de seguridad menor que 3, que hay 35 en total) y el lugar de las barras del pulverizador donde se encuentra, ya que son las partes más críticas del modelo y, por lo tanto, estos resultados serán los que se tengan en cuenta para el proceso posterior de optimización de las barras del pulverizador. También se exponen en la tabla C.2, para cada uno de los componentes más cargados los datos de material con el que se ha fabricado, el espesor que posee, el límite elástico, la tensión equivalente de Von Mises, el coeficiente de seguridad y el instante de tiempo en el que se da la máxima tensión. En el anexo D aparece una tabla similar a la C.2 (la tabla D.2) pero con la información de todos los sólidos que forman la estructura para este caso de estudio.



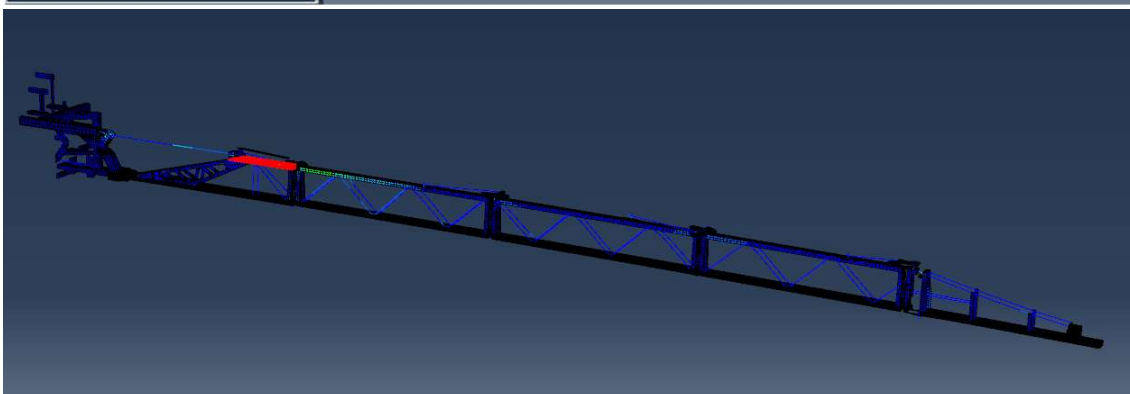
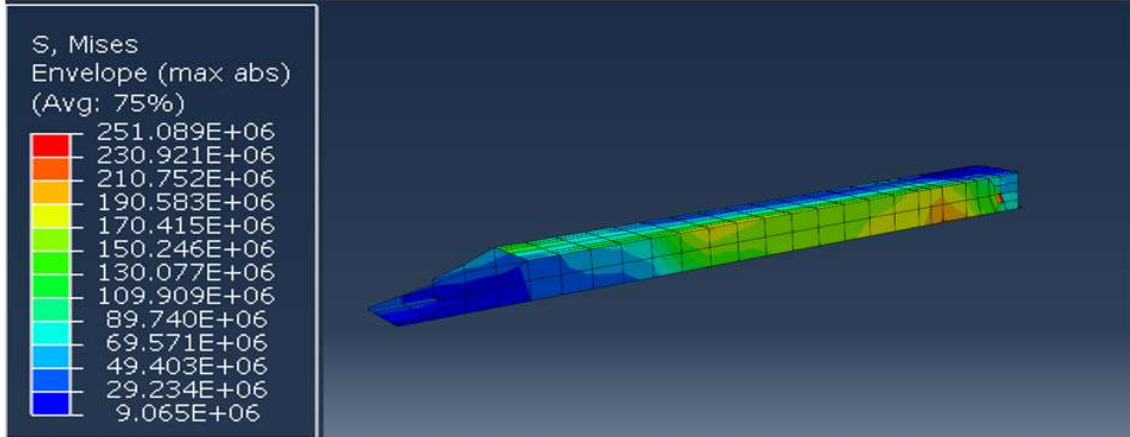


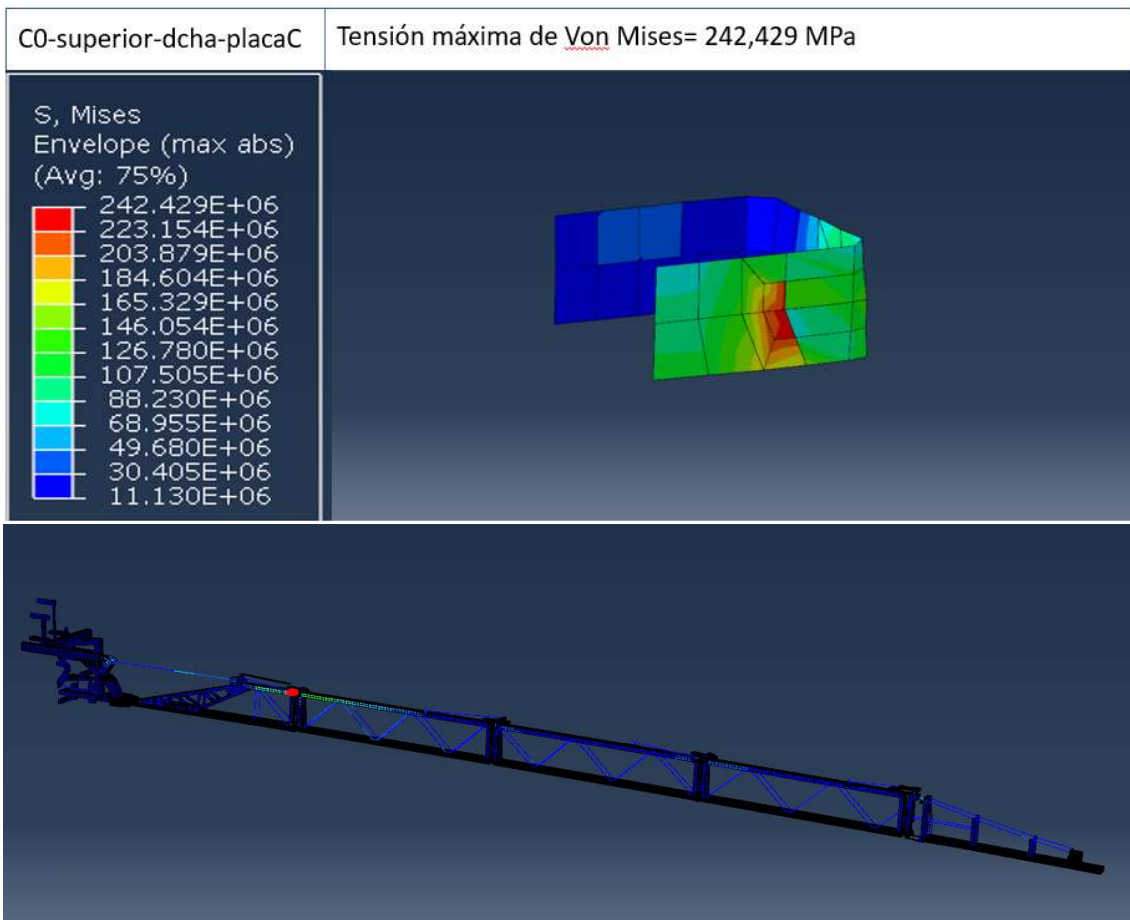


C0-placaGrande-triang-detrás Tensión máxima de Von Mises= 169,449 MPa

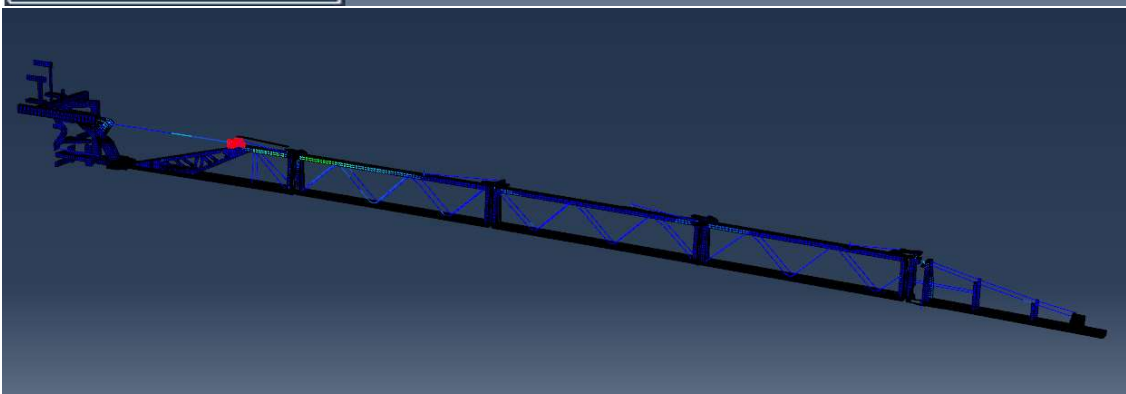
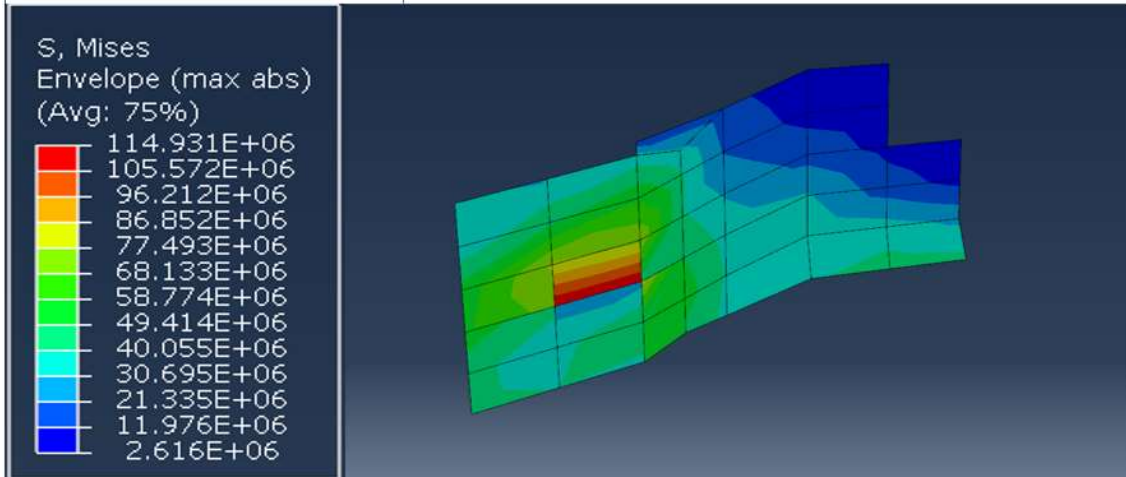


C0-superior Tensión máxima de Von Mises= 251,089 MPa

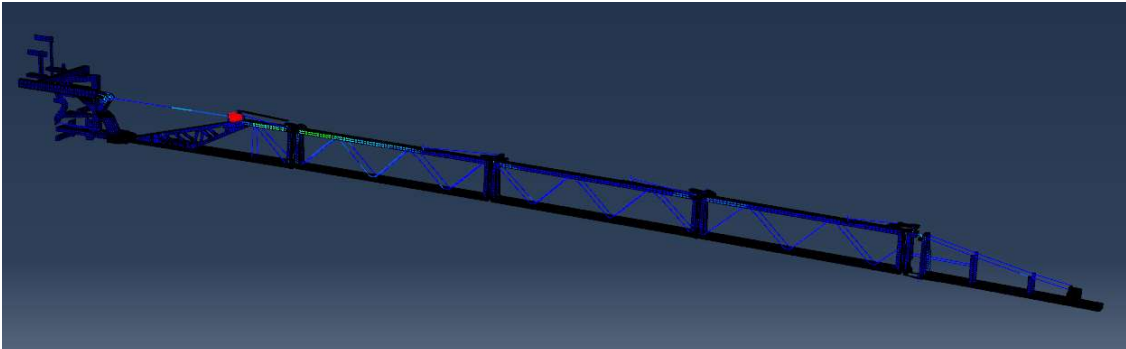
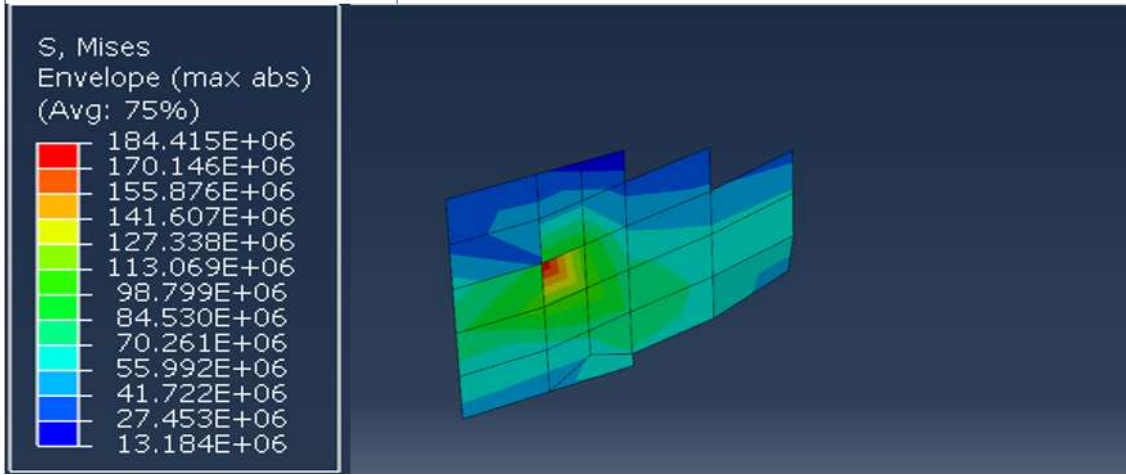


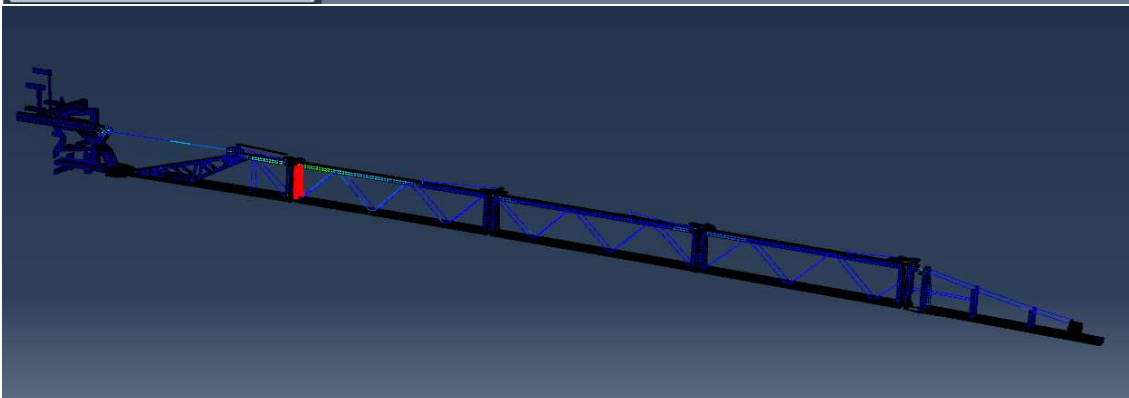
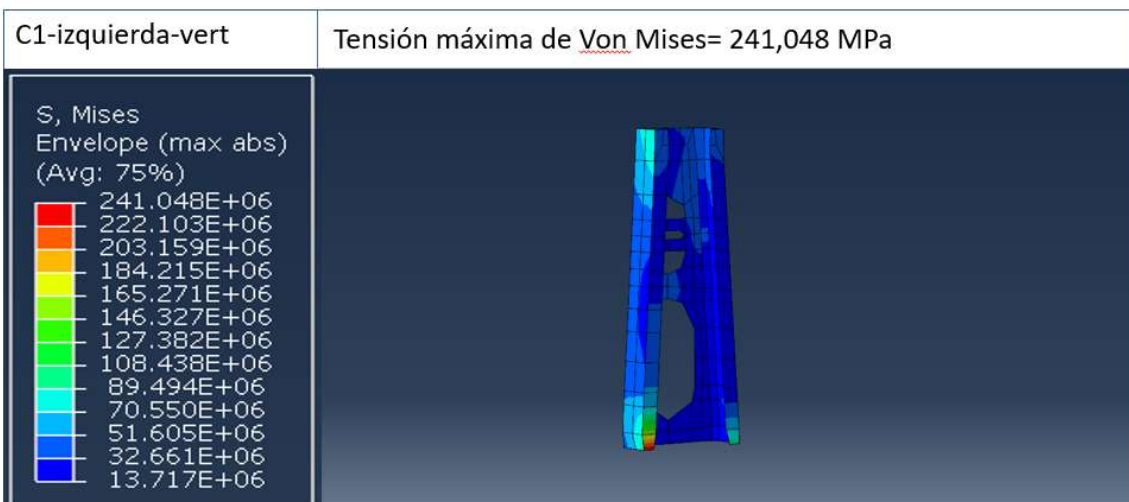
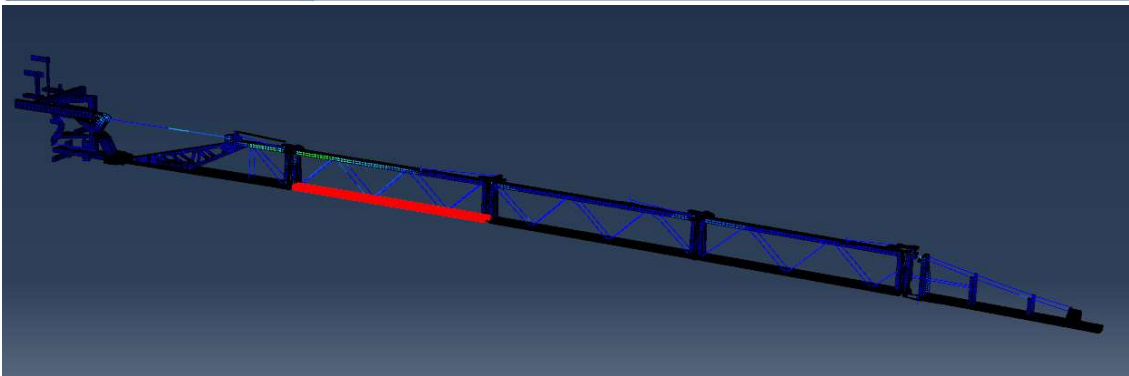
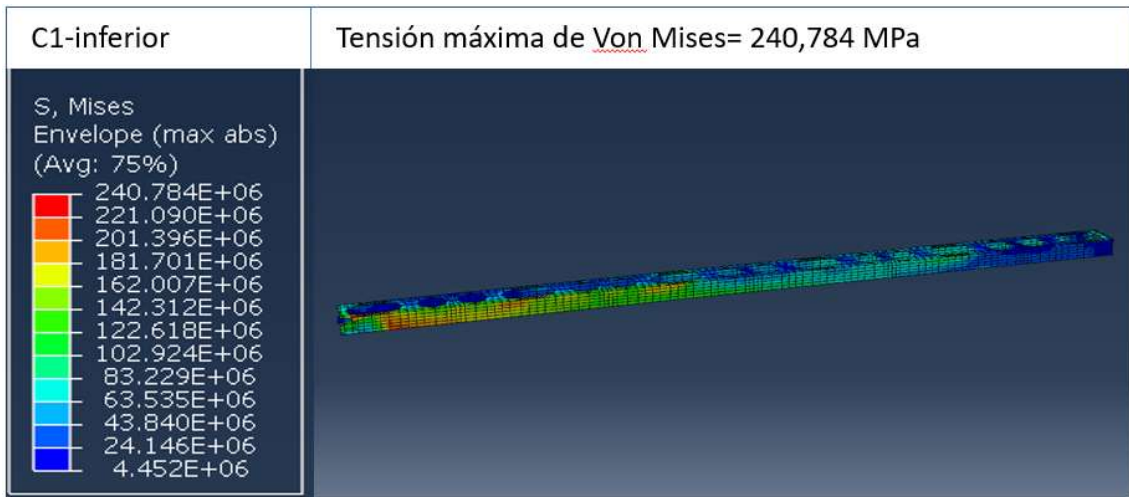


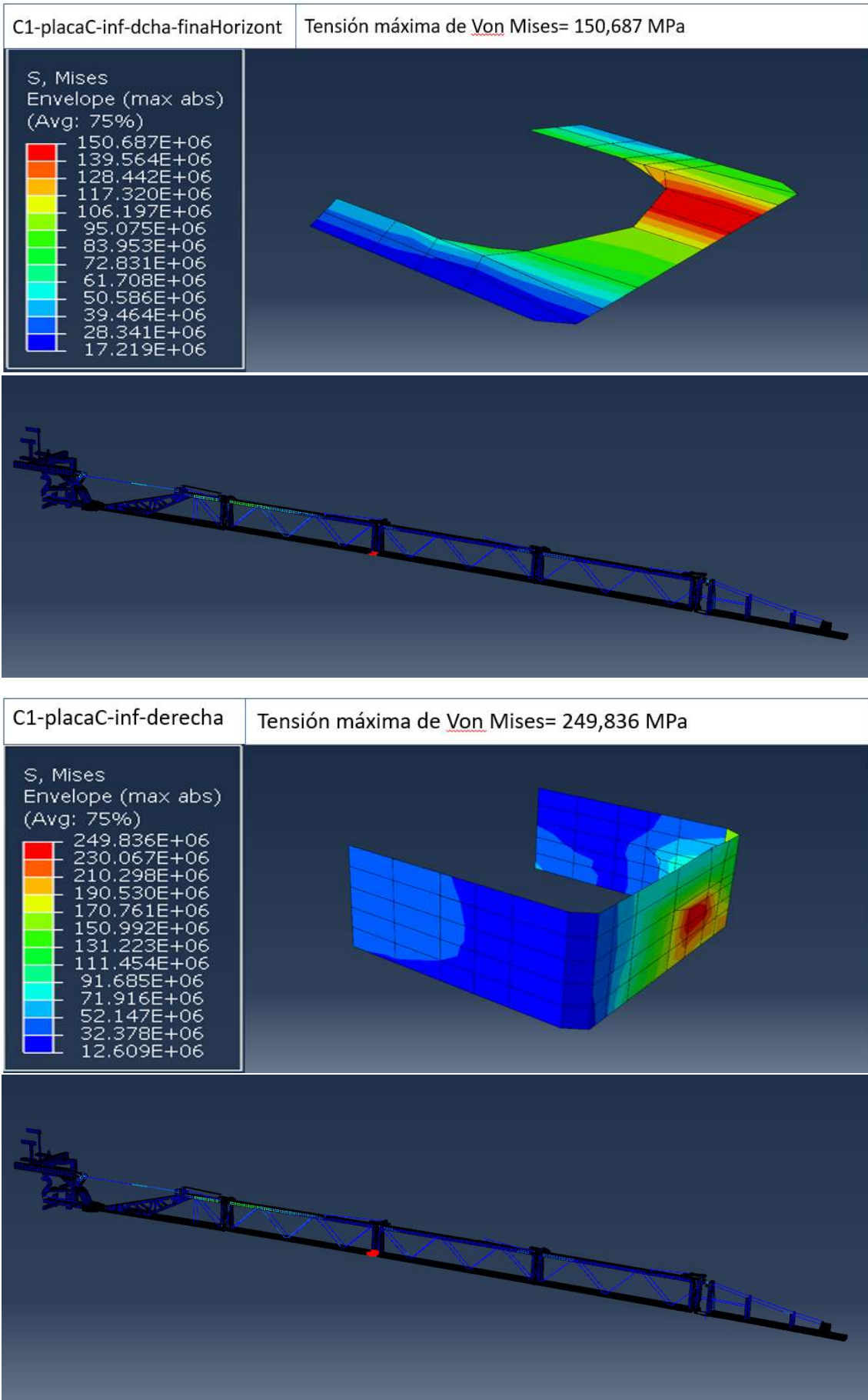
C0-UnionCilindros-placaDelante Tensión máxima de Von Mises= 114,931 MPa

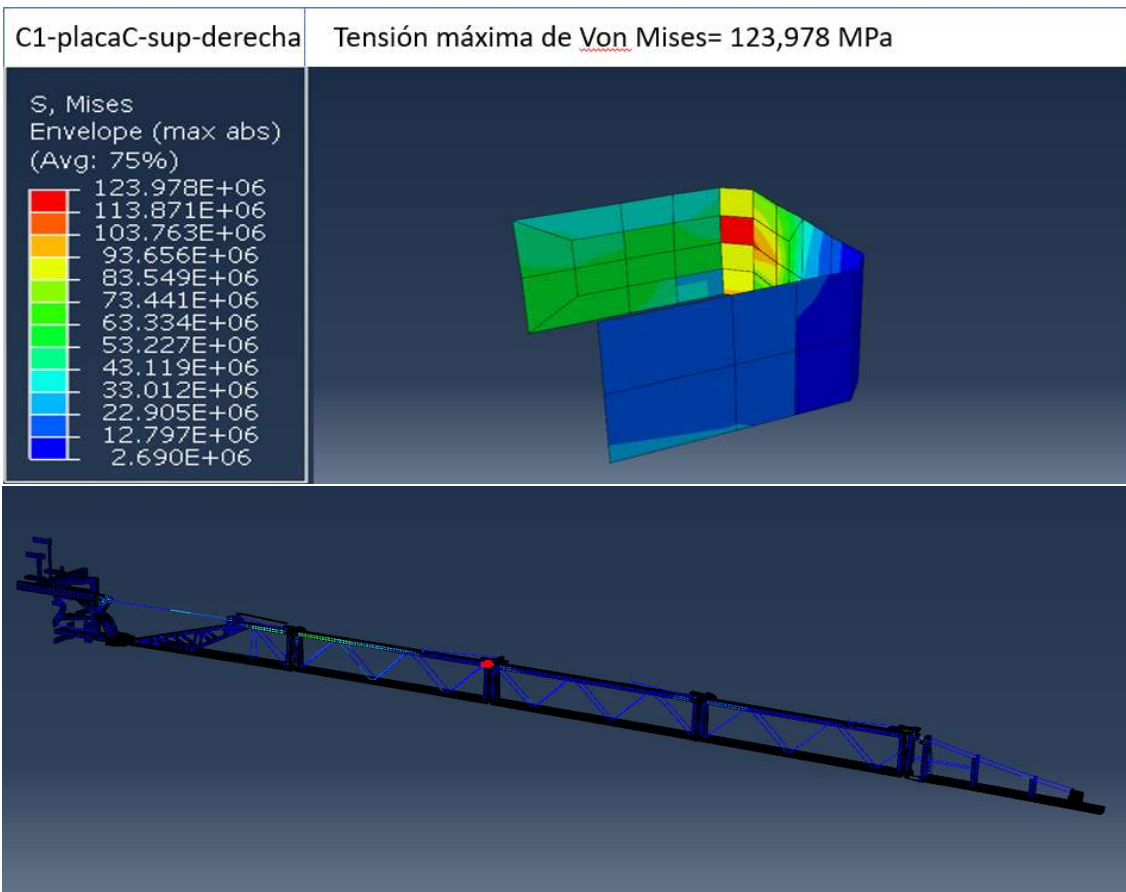
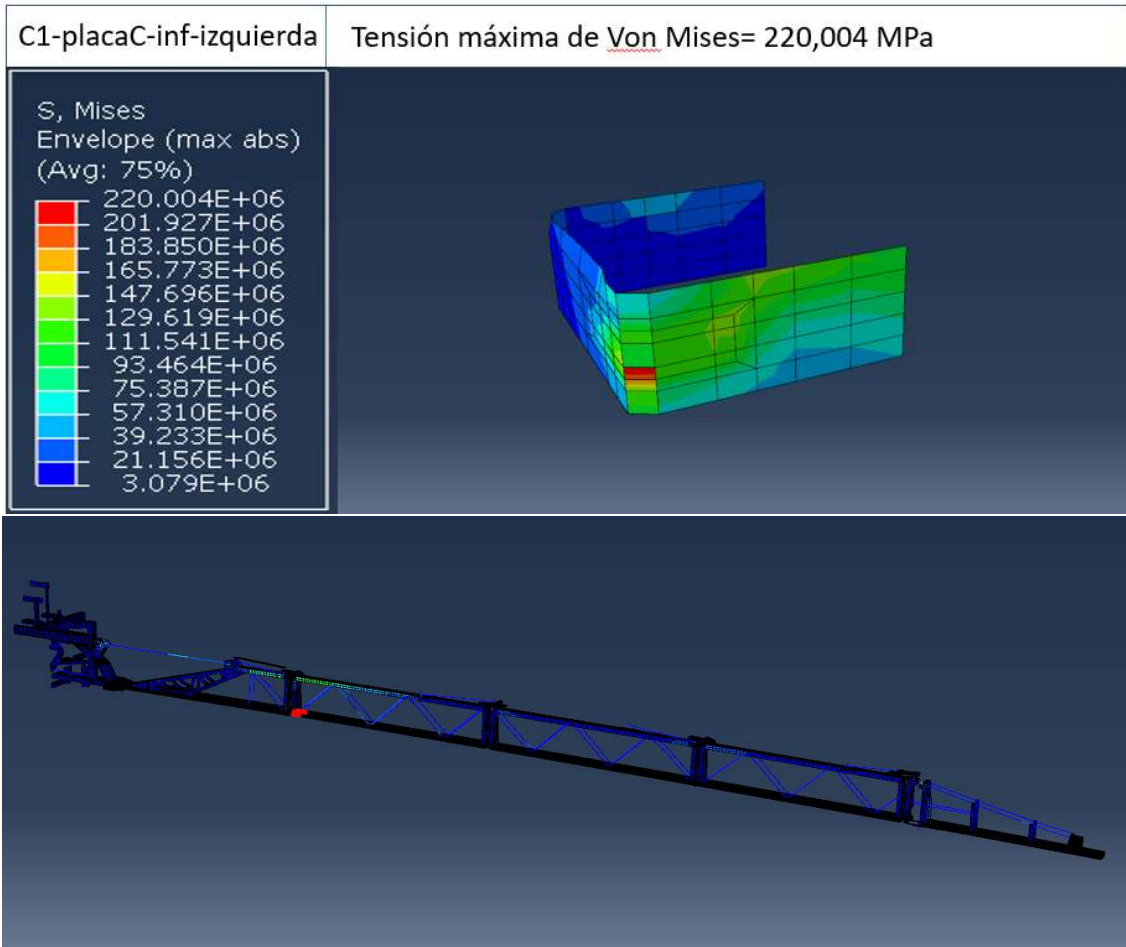


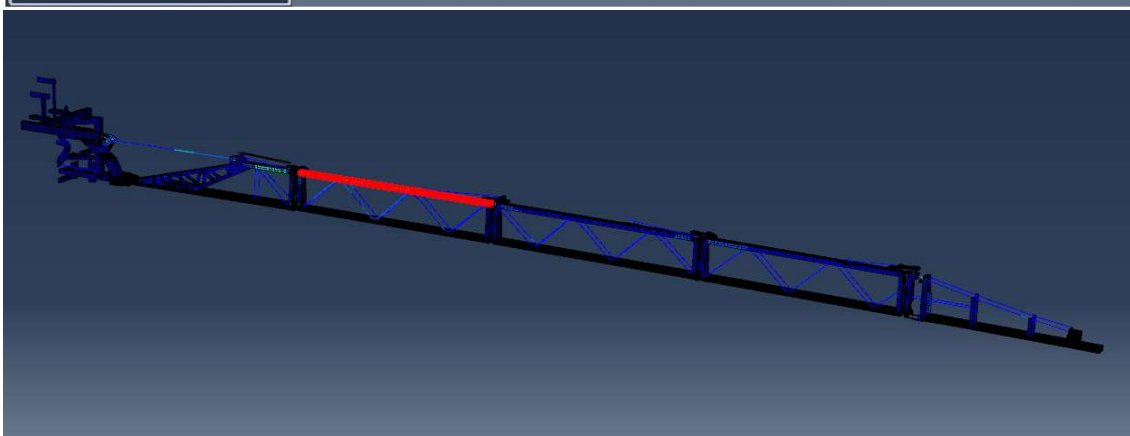
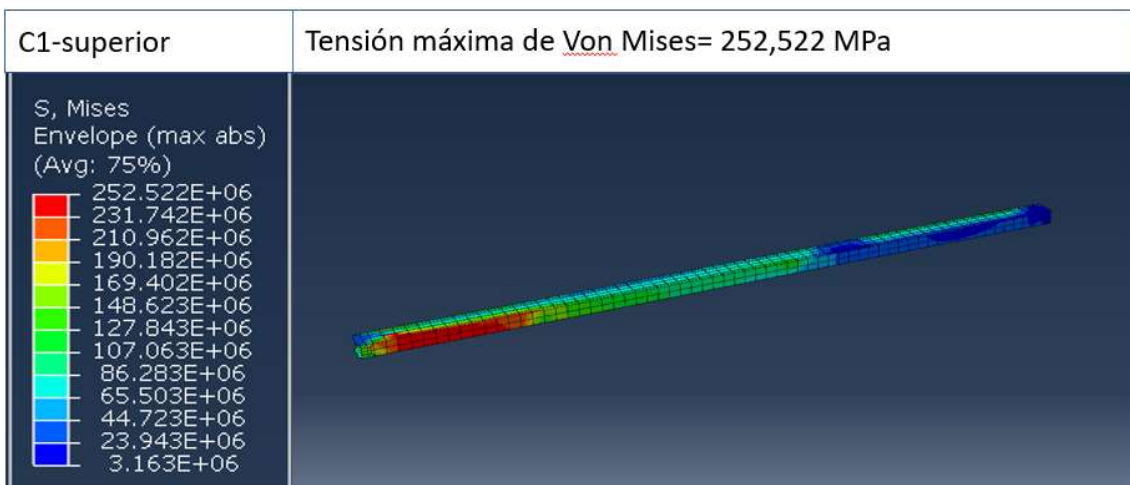
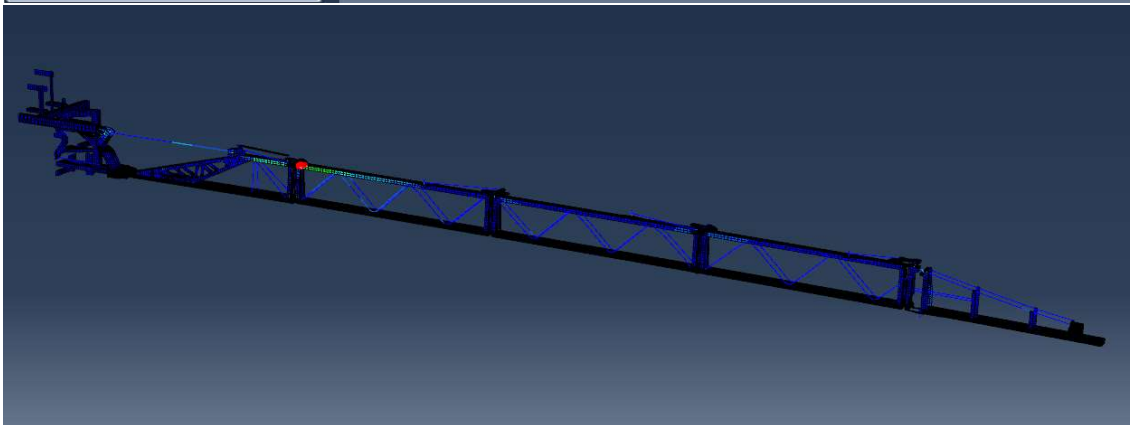
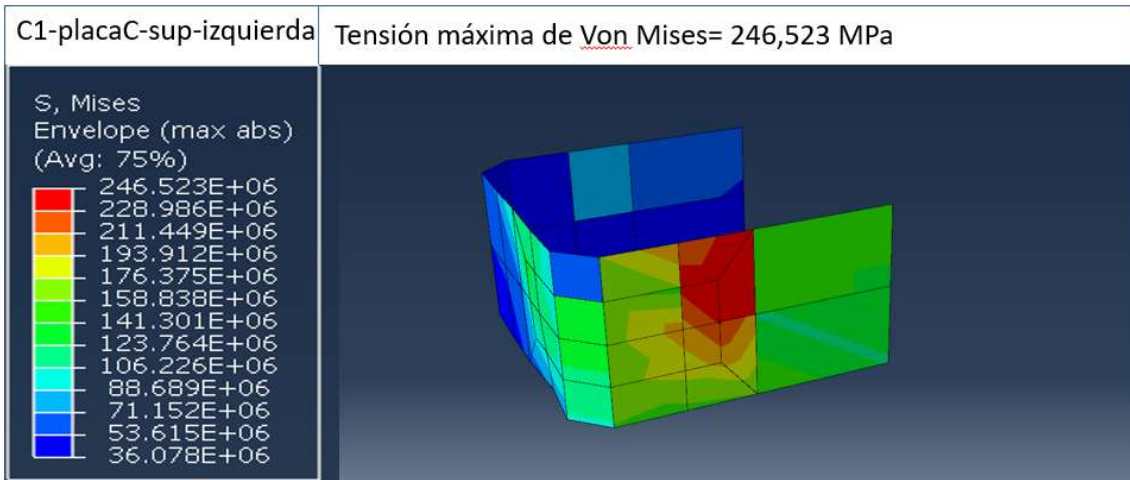
C0-UnionCilindros-placaDetras Tensión máxima de Von Mises= 184,415 MPa

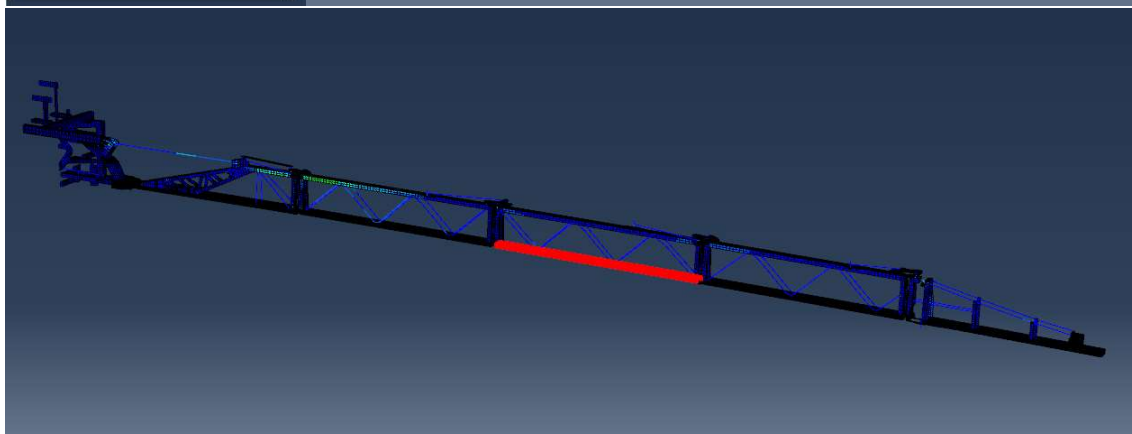
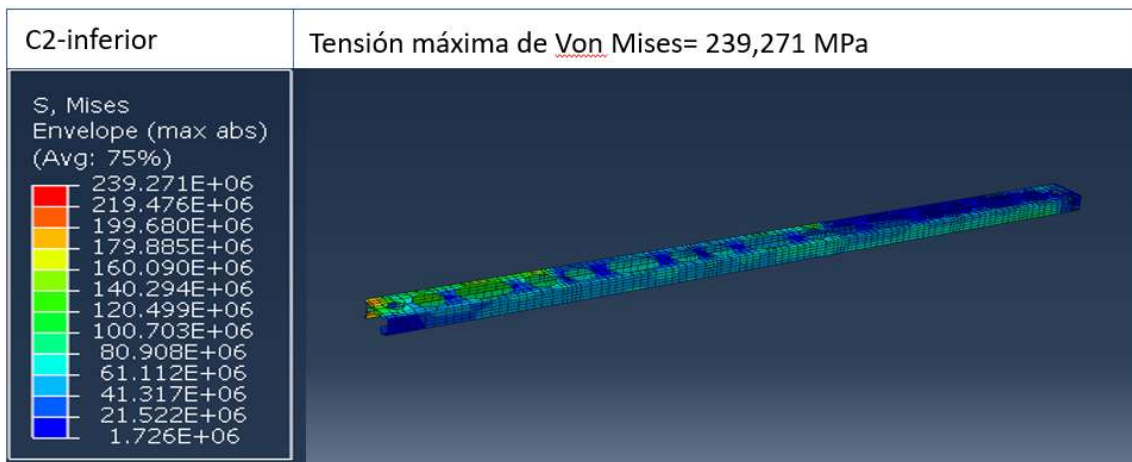
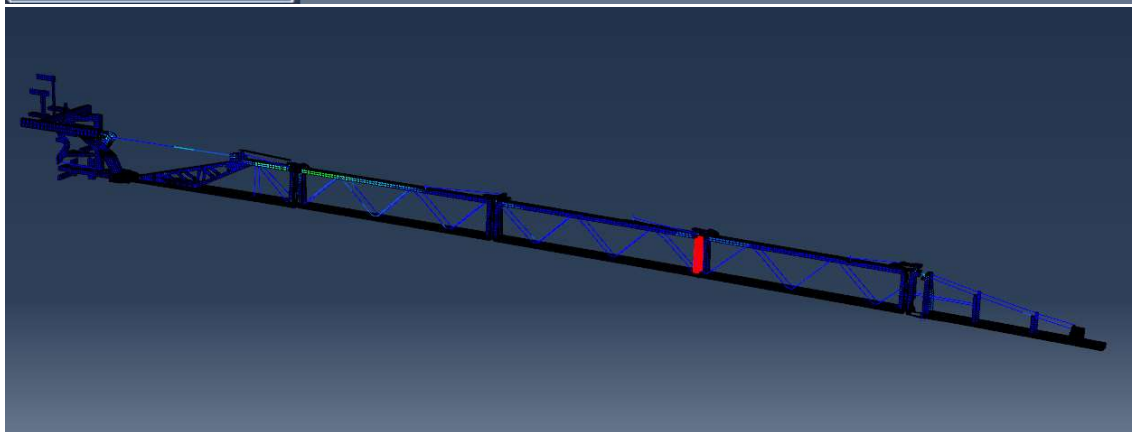
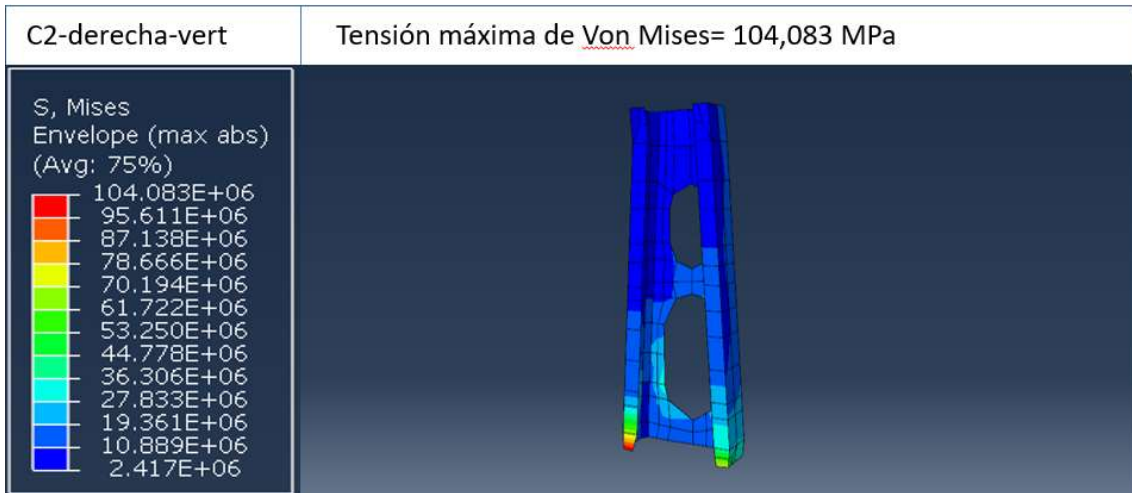


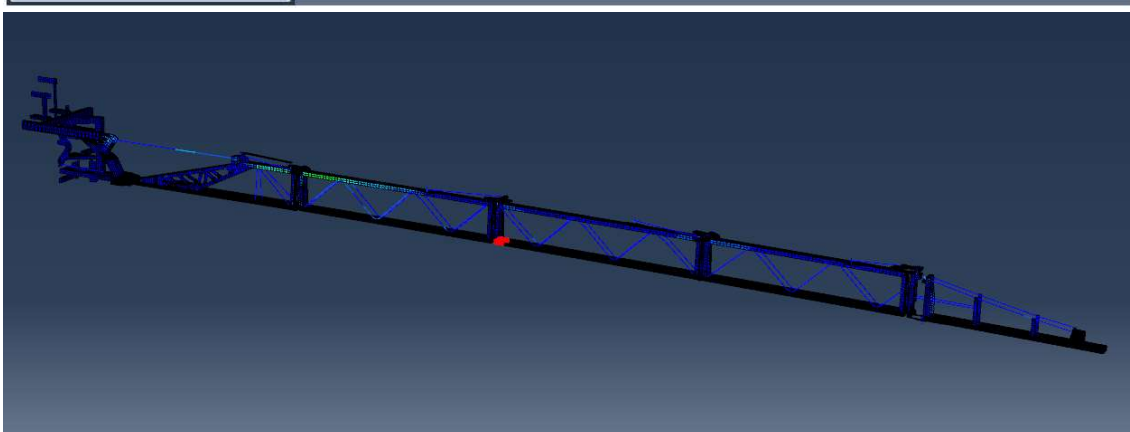
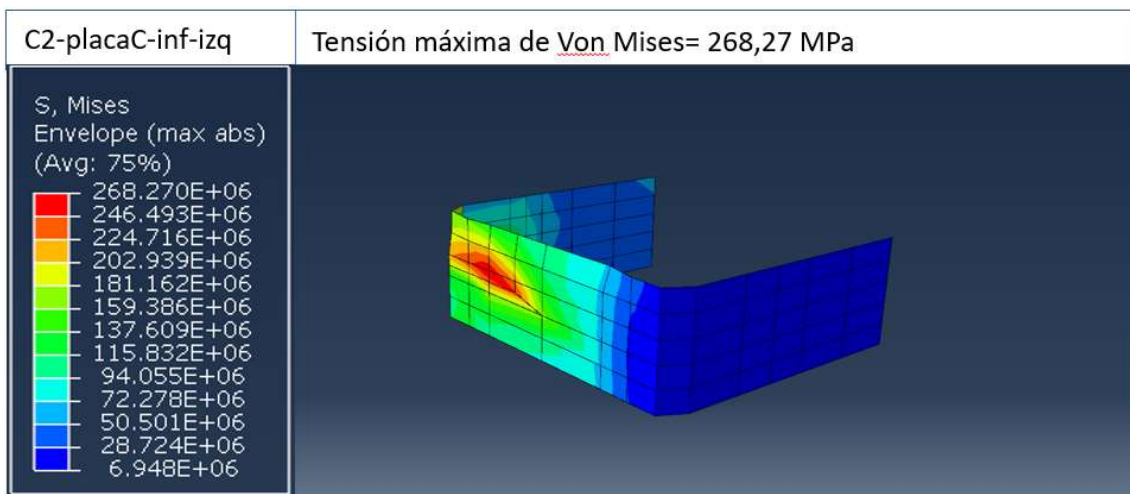
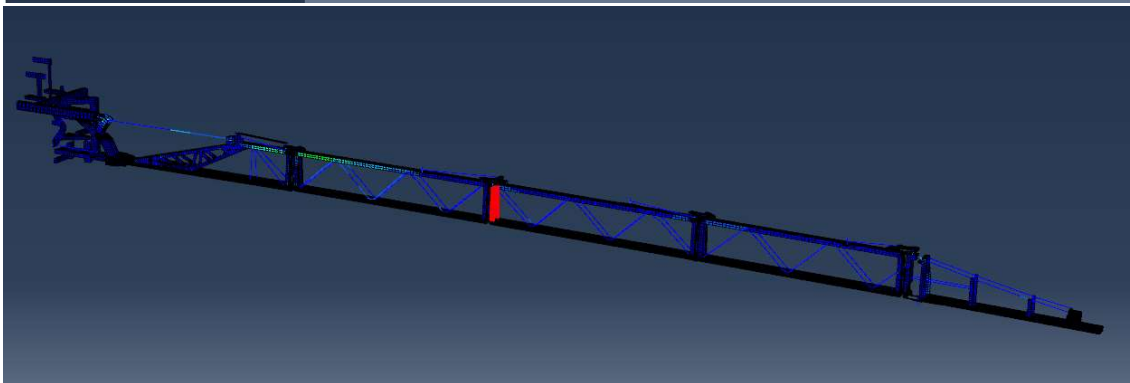
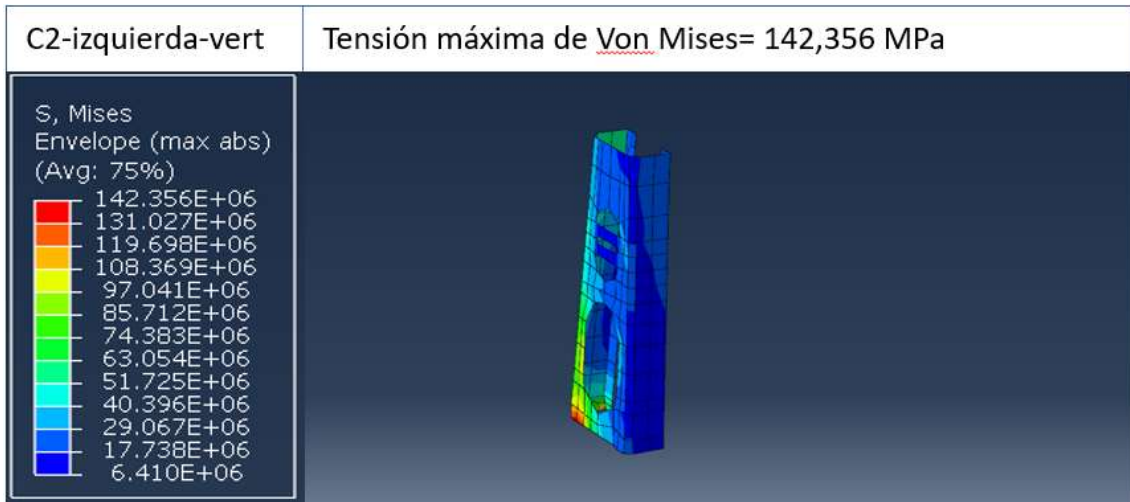


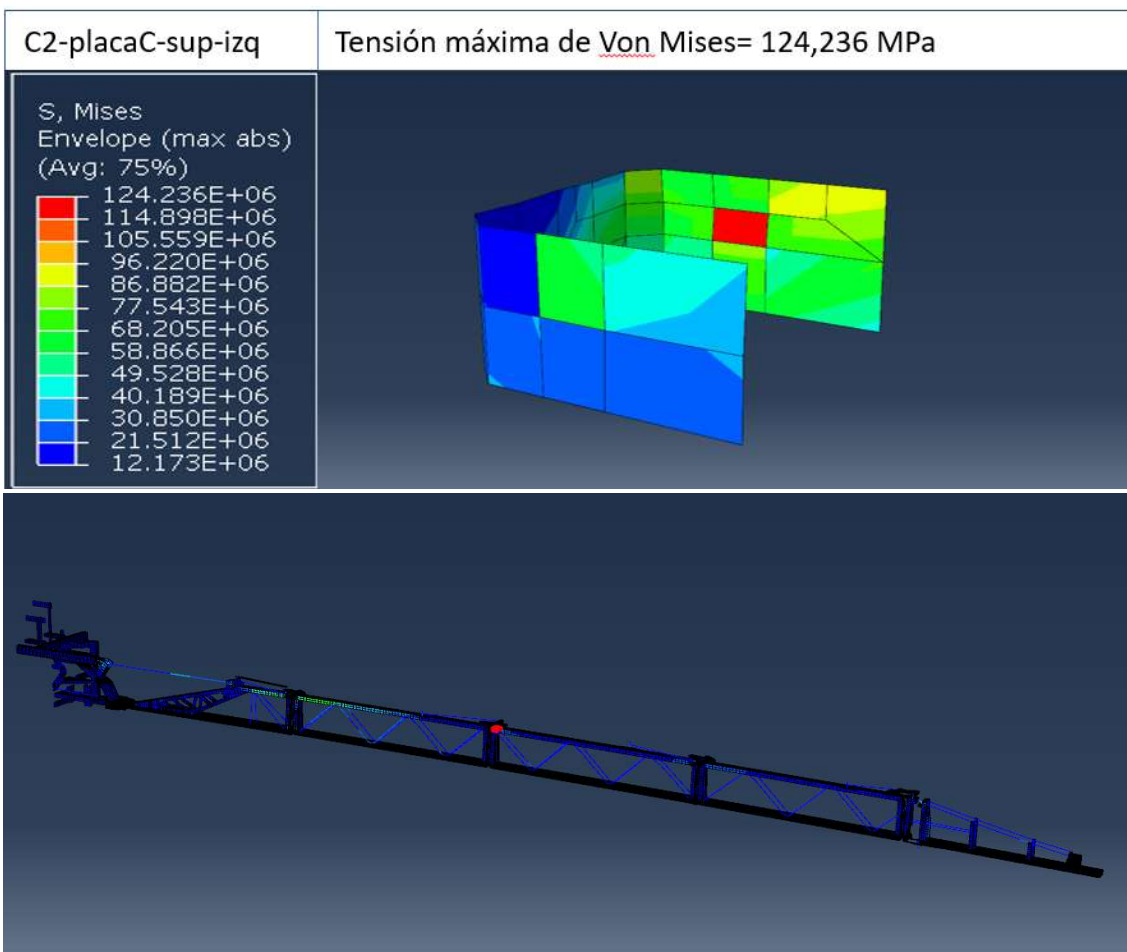
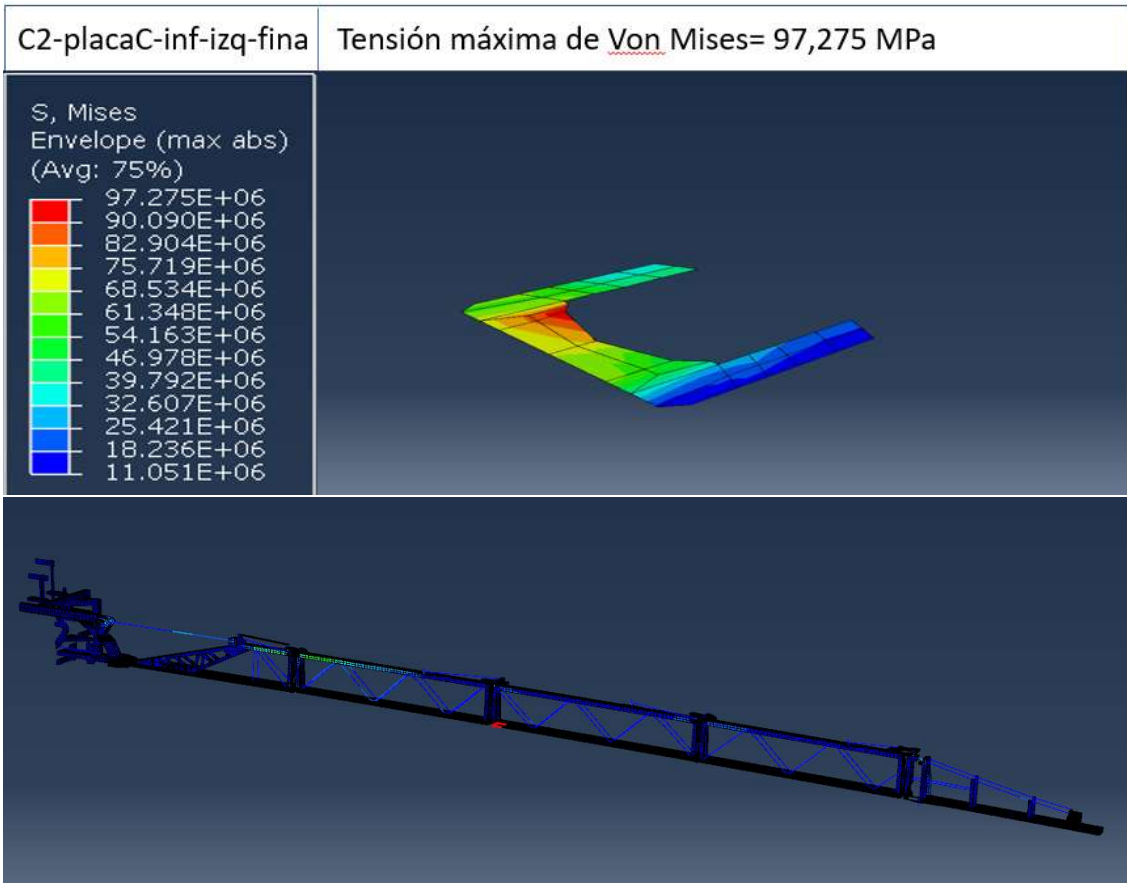


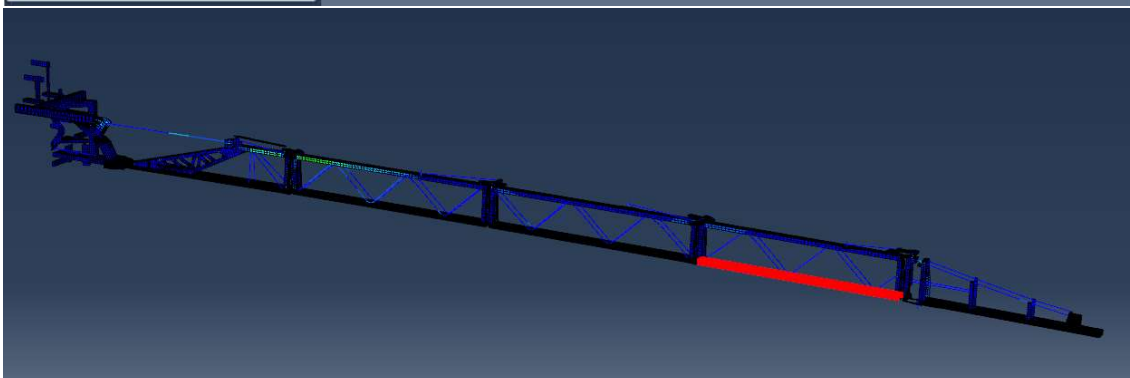
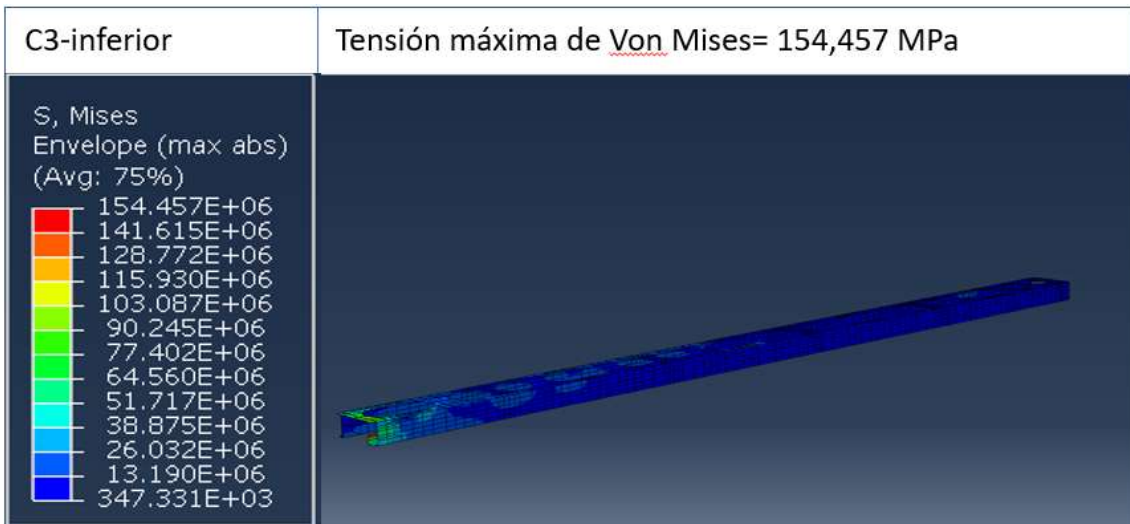
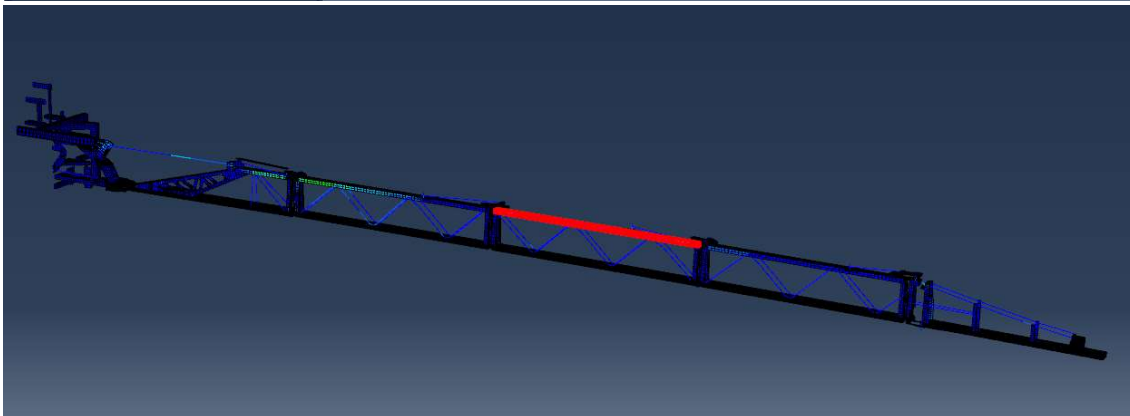
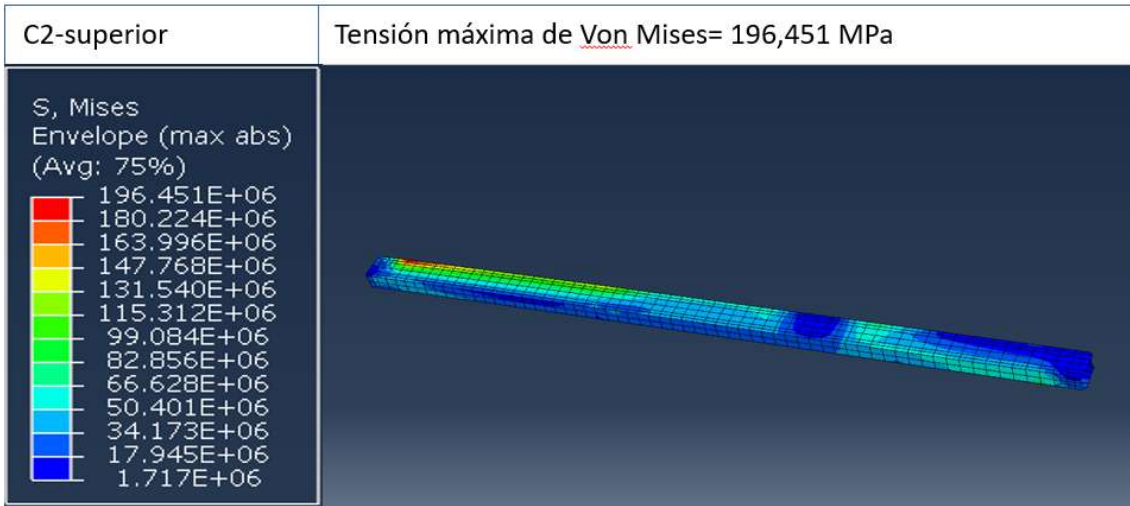


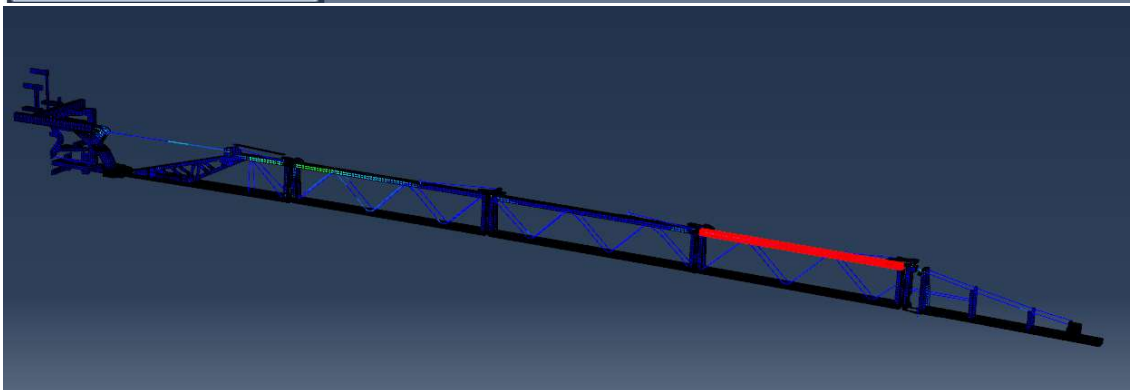
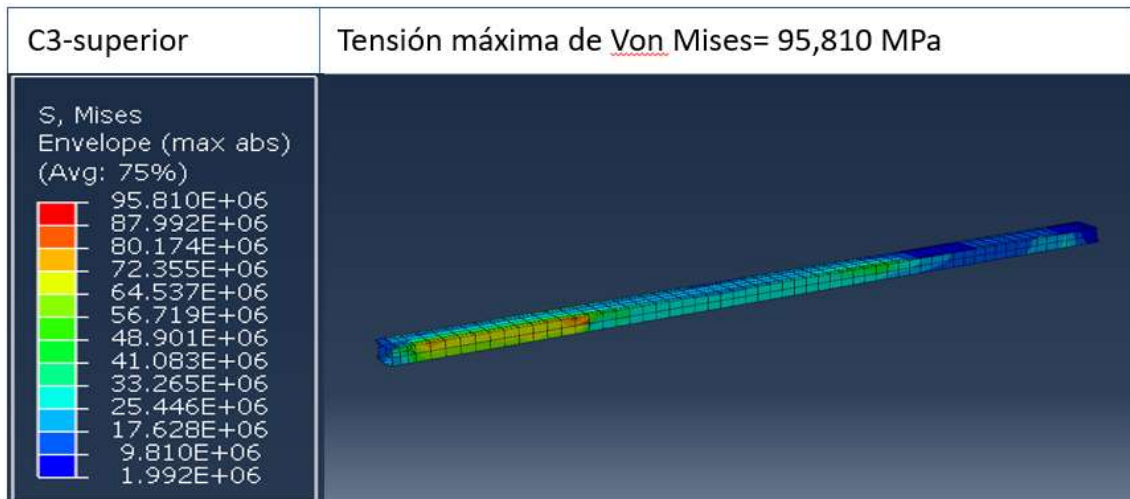
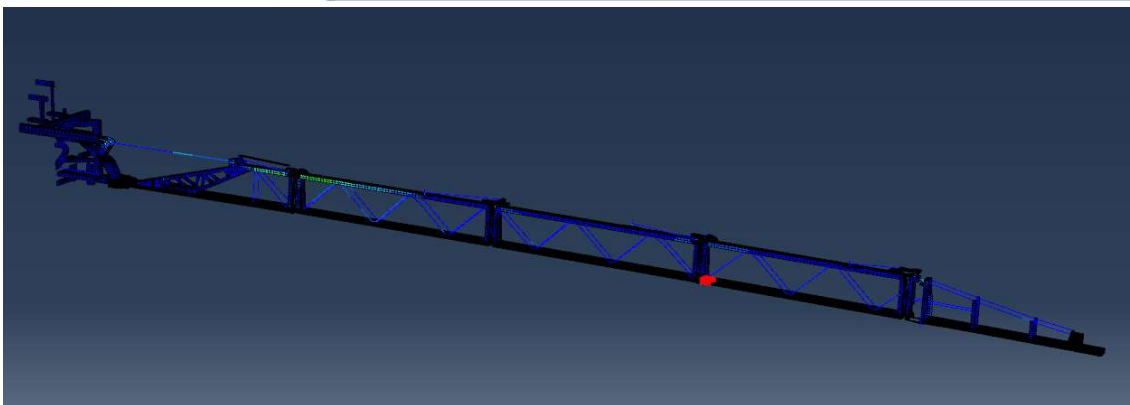
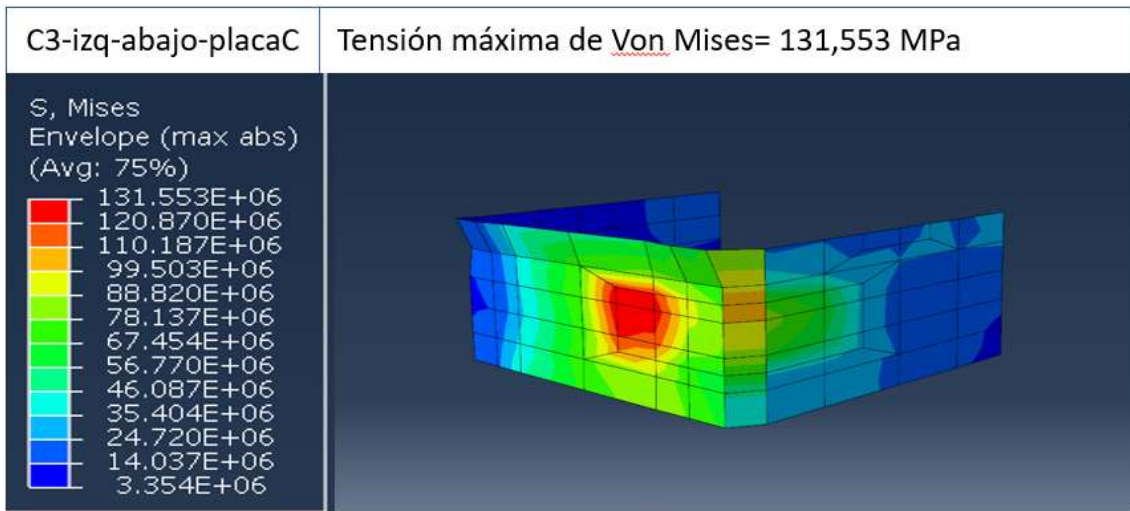


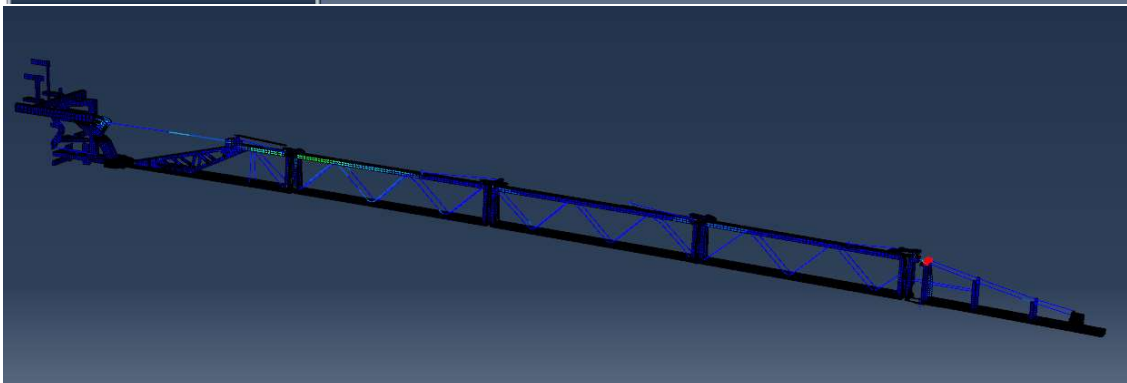
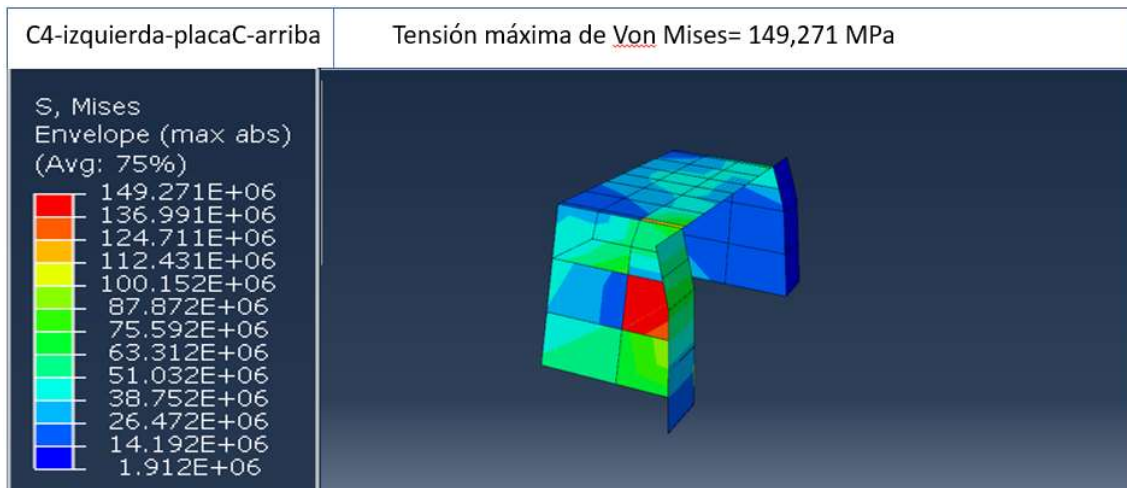
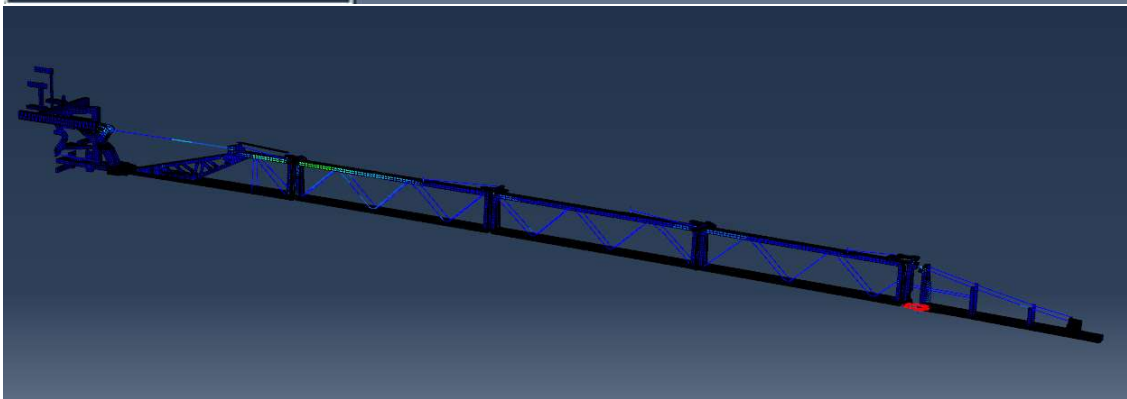
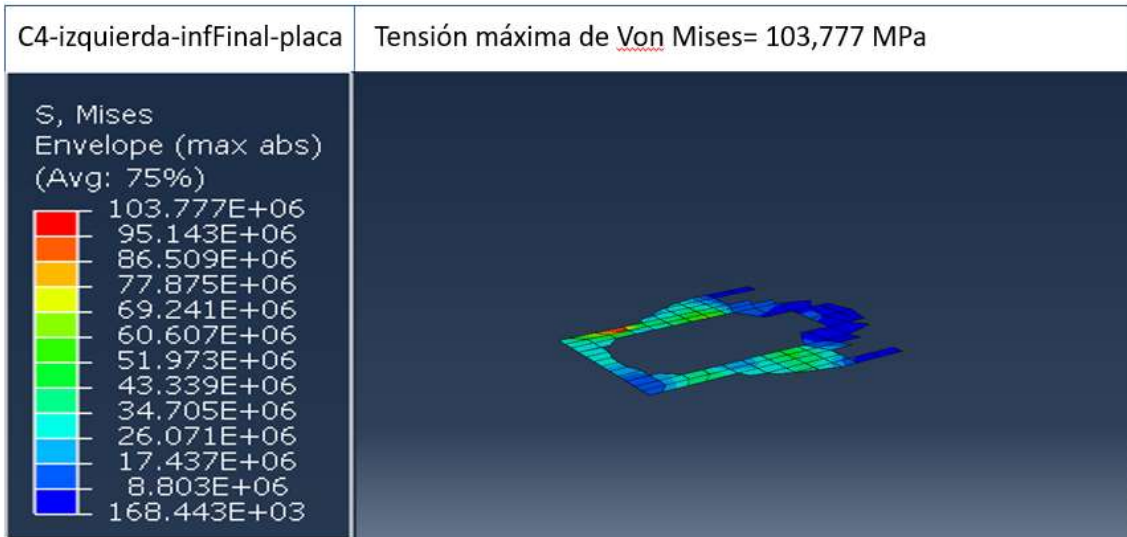


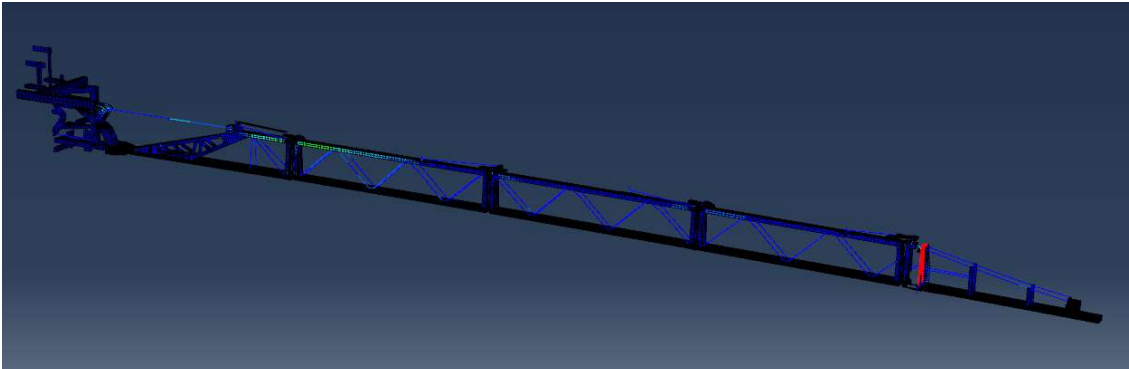
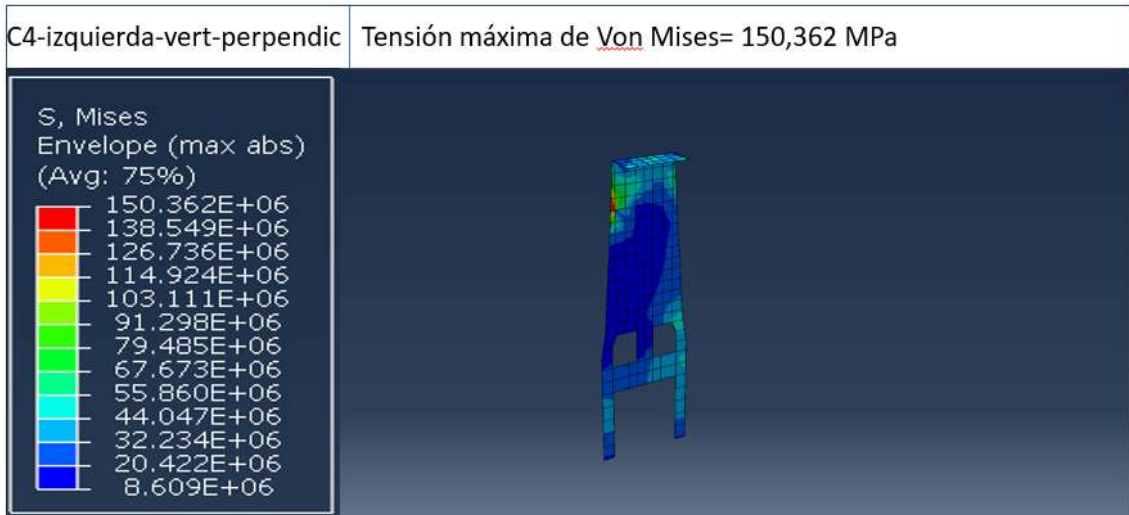
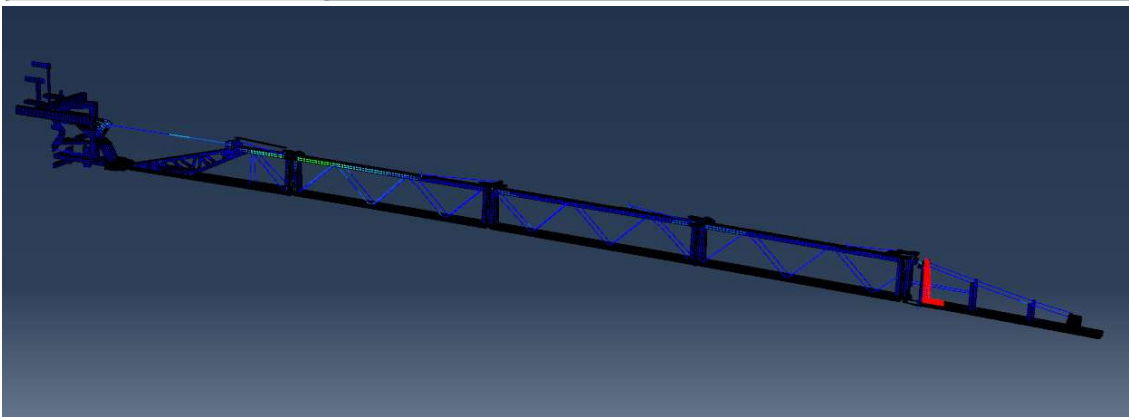
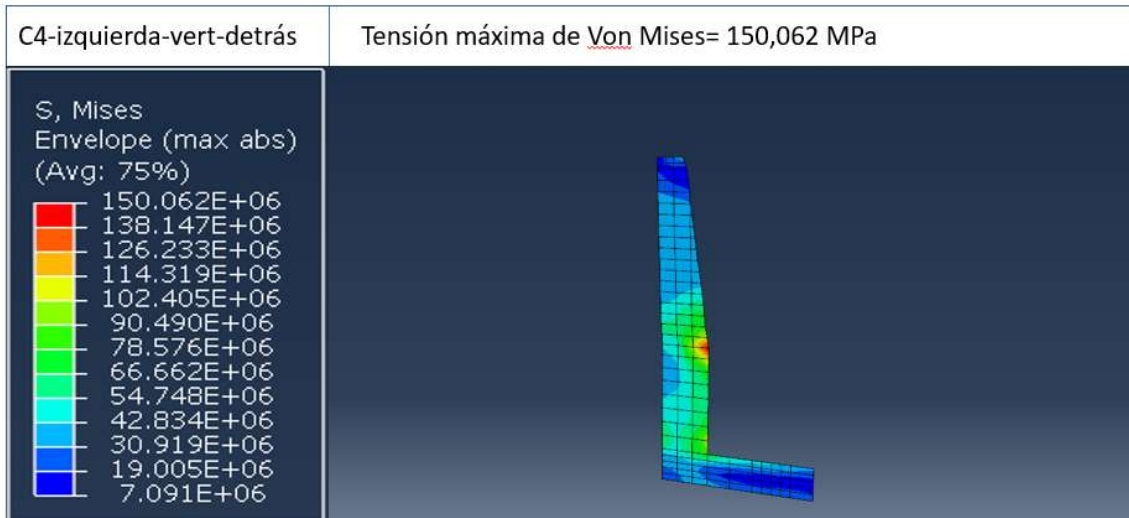


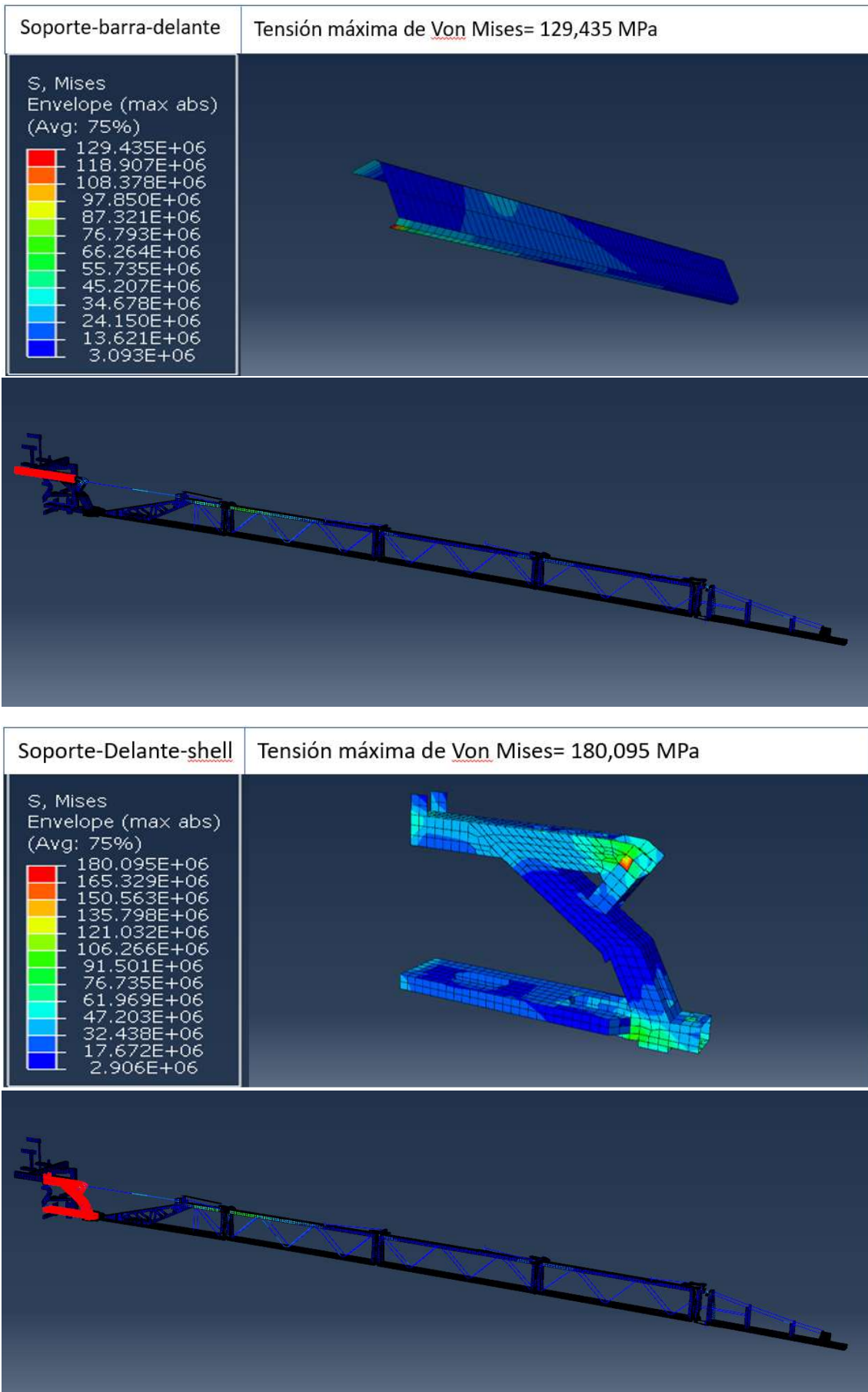












| NOMBRE | MATERIAL | LÍMITE ELÁSTICO (MPa) | ESPESOR (mm) | TENSIÓN (MPa) | CS | tiempo (s) |
|---------------------------------|----------|-----------------------|--------------|---------------|------------|------------|
| C0-dcha-abajo-placaC | S275JR | 275 | 6 | 209,14 | 1,31490867 | 1,51 |
| C0-dcha-abajo-placaC-horizontal | S275JR | 275 | 6 | 160,73 | 1,71091188 | 1,51 |
| C0-dcha-vert | S275JR | 275 | 3 | 138,53 | 1,98515824 | 1,48 |
| C0-inferior | S275JR | 275 | 3 | 247,86 | 1,10947939 | 1,5 |
| C0-izq-abajo-placaC | S275JR | 275 | 10 | 133,01 | 2,06756035 | 1,48 |
| C0-placaGrande-triang-delante | S275JR | 275 | 6 | 173,01 | 1,58949431 | 1,48 |
| C0-placaGrande-triang-detrás | S275JR | 275 | 6 | 169,45 | 1,62290719 | 1,48 |
| C0-superior | S275JR | 275 | 3 | 251,09 | 1,09522918 | 1,505 |
| C0-superior-dcha-placaC | S275JR | 275 | 6 | 242,43 | 1,13435274 | 1,505 |
| C0-UnionCilindros-placaDelante | S275JR | 275 | 10 | 114,93 | 2,39273999 | 1,48 |
| C0-UnionCilindros-placaDetras | S275JR | 275 | 10 | 184,42 | 1,49120191 | 1,48 |
| C1-inferior | S275JR | 275 | 2 | 240,78 | 1,14210247 | 1,48 |
| C1-izquierda-vert | S275JR | 275 | 3 | 241,05 | 1,14085161 | 1,48 |
| C1-placaC-inf-dcha-finaHorizont | S275JR | 275 | 6 | 150,69 | 1,82497495 | 1,505 |
| C1-placaC-inf-derecha | S275JR | 275 | 6 | 249,84 | 1,10072207 | 1,51 |
| C1-placaC-inf-izquierda | S275JR | 275 | 6 | 220,00 | 1,24997727 | 1,495 |
| C1-placaC-sup-derecha | S275JR | 275 | 6 | 123,98 | 2,21813548 | 1,45 |
| C1-placaC-sup-izquierda | S275JR | 275 | 6 | 246,52 | 1,11551458 | 1,505 |
| C1-superior | S275JR | 275 | 2 | 252,52 | 1,08901403 | 1,5 |
| C2-derecha-vert | S275JR | 275 | 3 | 104,08 | 2,64212215 | 1,51 |
| C2-inferior | S275JR | 275 | 1,5 | 239,27 | 1,14932441 | 1,51 |
| C2-izquierda-vert | S275JR | 275 | 3 | 142,36 | 1,93177667 | 1,51 |
| C2-placaC-inf-izq | S275JR | 275 | 6 | 268,27 | 1,02508667 | 1,51 |
| C2-placaC-inf-izq-fina | S275JR | 275 | 6 | 97,28 | 2,82703675 | 1,51 |
| C2-placaC-sup-izq | S275JR | 275 | 6 | 124,24 | 2,21352909 | 1,51 |
| C2-superior | S275JR | 275 | 1,5 | 196,45 | 1,39984016 | 1,505 |
| C3-inferior | S275JR | 275 | 1,5 | 154,46 | 1,7804308 | 1,275 |
| C3-izq-abajo-placaC | S275JR | 275 | 6 | 131,55 | 2,09041223 | 1,275 |
| C3-superior | S275JR | 275 | 1,5 | 95,81 | 2,87026406 | 1,485 |
| C4-izquierda-infFinal-placa | S275JR | 275 | 6 | 103,78 | 2,64991279 | 1,3 |
| C4-izquierda-placaC-arriba | S275JR | 275 | 3 | 149,27 | 1,84228685 | 1,42 |
| C4-izquierda-vert-detrás | S275JR | 275 | 3 | 150,06 | 1,83257587 | 1,48 |
| C4-izquierda-vert-perpendic | S275JR | 275 | 3 | 150,36 | 1,82891954 | 1,42 |
| Soporte-barra-delante | S275JR | 275 | 6 | 129,44 | 2,12461853 | 1,34 |
| Soporte-Delante-Shell | S275JR | 275 | 8 | 180,10 | 1,52697188 | 1,48 |

Tabla C.2: Resumen de los resultados para los componentes más cargados de la estructura de barras. Caso 2, carga dinámica + carga de gravedad (5g)

Se puede observar que todos los componentes presentan su máxima tensión entre 1.275 y 1.6 segundos. En el anexo D aparecen el resto de los elementos que forman el modelo y también cumplen que la mayor tensión que soportan está en este intervalo de tiempo.

CASO 3: CARGA DINÁMICA 2g

En este caso aparecen los resultados del análisis de tensiones y desplazamientos a los que están sometidos las barras del pulverizador bajo la acción de una carga dinámica, es decir, en función del tiempo.

En la carga dinámica actuante se introduce una aceleración de magnitud dos veces mayor que la carga de la gravedad (2·g), correspondería a un uso estándar del apero, es decir, un caso habitual de cualquier día de trabajo al que podría someterse, de forma que esta carga sea típica de un uso cotidiano.

Se evaluarán los resultados a lo largo de un intervalo de tiempo de 4 segundos, con 600 incrementos, por lo que, se calcularán los resultados para intervalos de 0.005 segundos.

1. DESPLAZAMIENTOS

Tal y como se ha hecho en el caso de la carga dinámica de 5g, en este apartado se estudiarán los desplazamientos que se producen a lo largo de las barras del pulverizador a través del análisis de los mismos seis puntos representativos que antes, aparecen en la figura C5. Se obtendrán los desplazamientos en función del tiempo de cada uno de ellos además de poder comparar los desplazamientos producidos entre los diferentes puntos para cada instante de tiempo en una gráfica general en la que se recogen todos ellos.

Las figuras C13 a C20 son gráficas que describen los desplazamientos de los nodos en función del tiempo representados en la figura C5. En la figura C13 se observa una representación de todos los nodos juntos.

El movimiento que realizan los seis nodos representativos es en todos los casos sinusoidal. Además, se ve que la onda que describen se va amortiguando con el tiempo, disminuyendo su amplitud con el paso de los segundos.

Además, en este caso el instante en el que empieza a actuar la carga dinámica se ha adelantado de 1s (como estaba inicialmente) a 0.6s, estando ahora más cerca del momento en el que aparece la gravedad. Esto se debe a que en el intervalo que pasaba entre la gravedad y la carga dinámica, antes era muy grande y no ocurría nada importante que diera lugar a grandes tensiones. Por ello, para disminuir tiempo de cálculo computacional se ha quitado ese intervalo que no daba información relevante y así la simulación se obtiene antes.

Este cambio puede apreciarse muy bien en las gráficas de los desplazamientos de los nodos, ya que se ve el primer salto y el rebote que éste supone al actuar la gravedad y justo después la carga dinámica, unos instantes de tiempo antes del que había anteriormente.

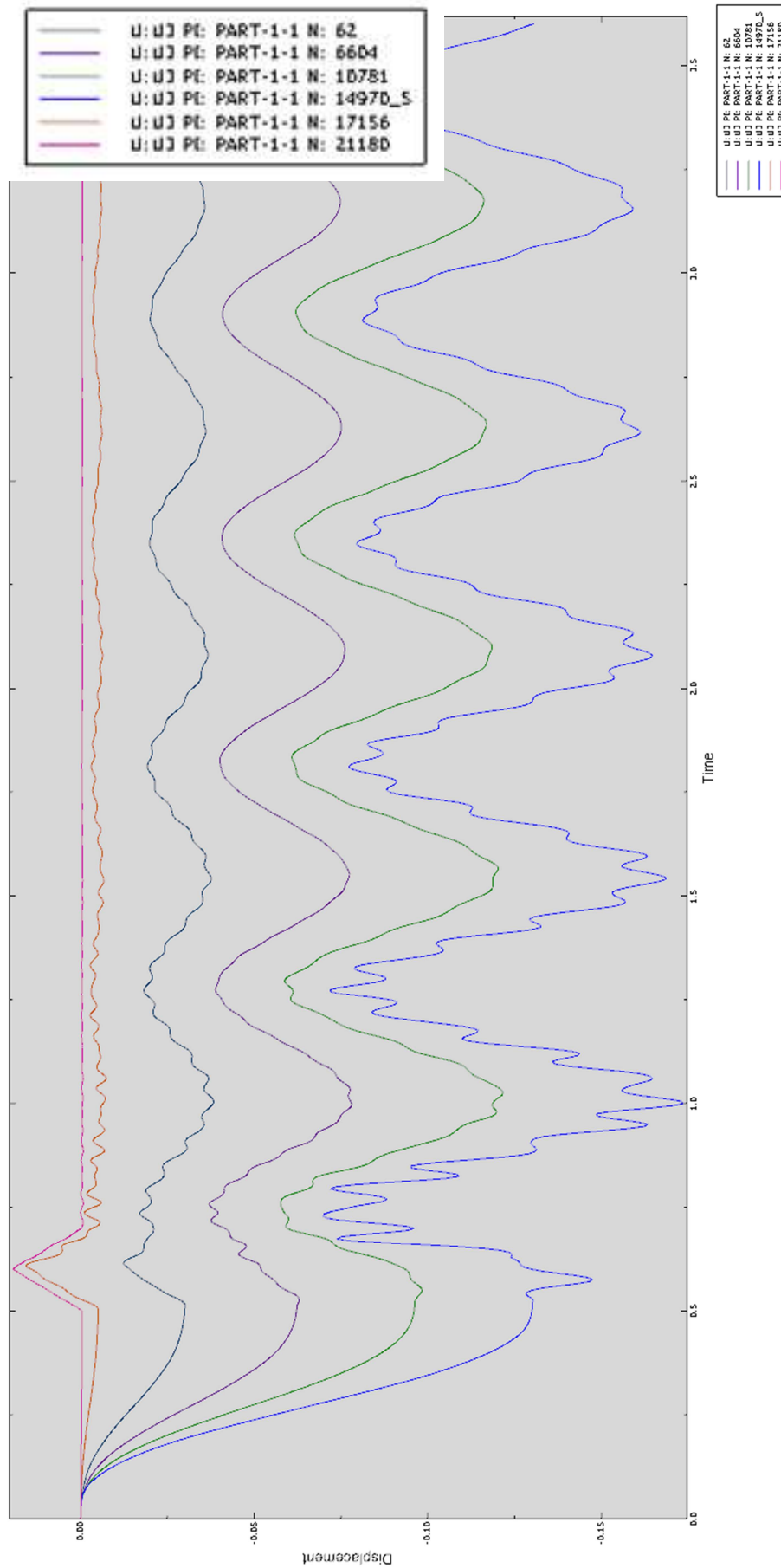


Figura C13: Distribución del desplazamiento en función del tiempo de los nodos seleccionados.12

NODO 21180 (ubicado en Soporte)

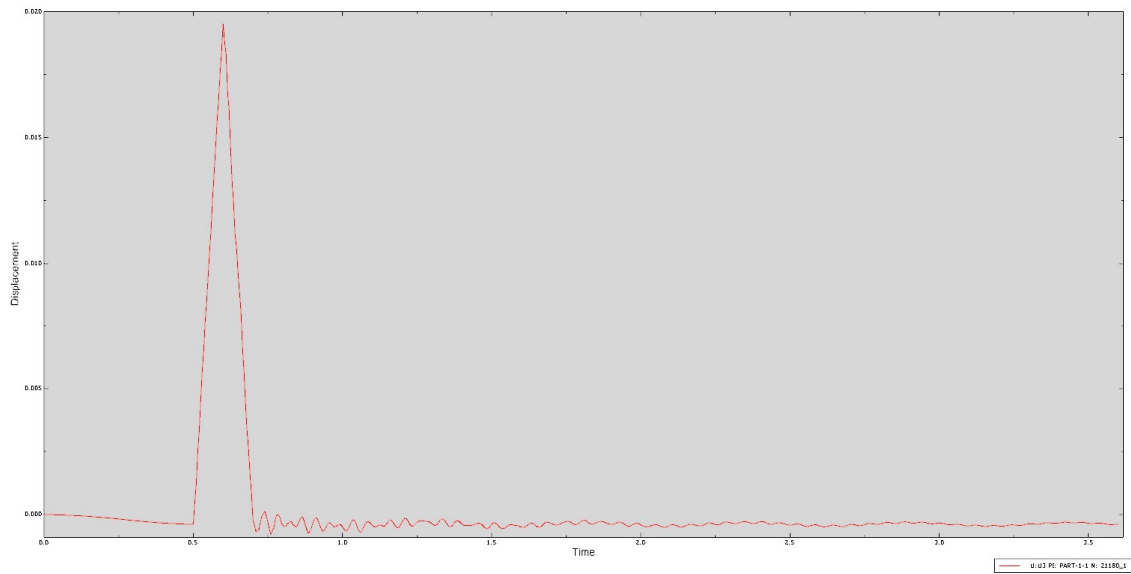


Figura C14: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 21180

NODO 17156 (ubicado en C0)

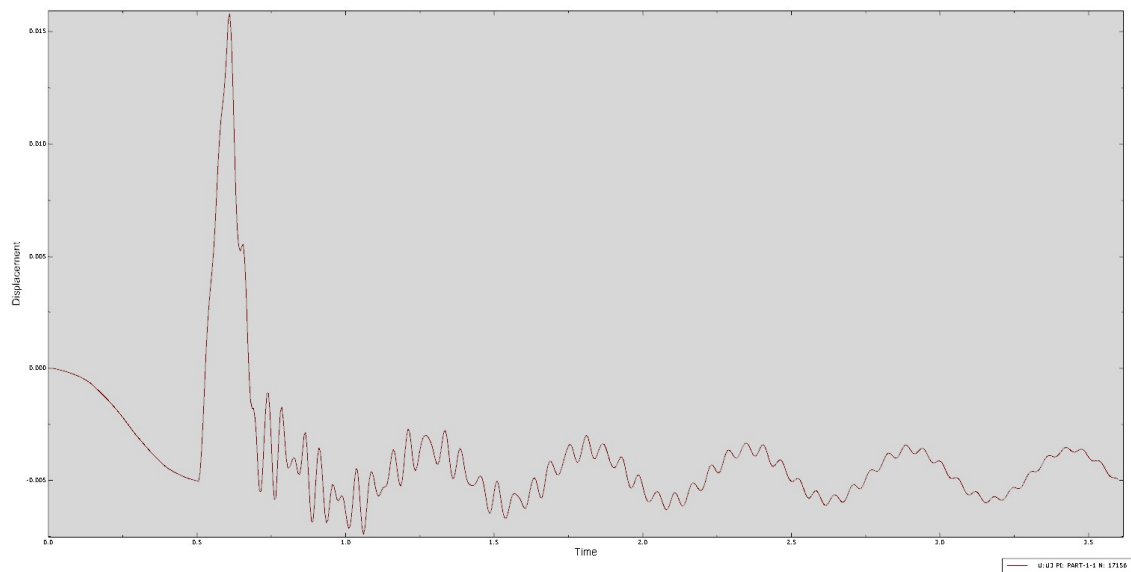


Figura C15: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 17156

NODO 62 (ubicado en C1)

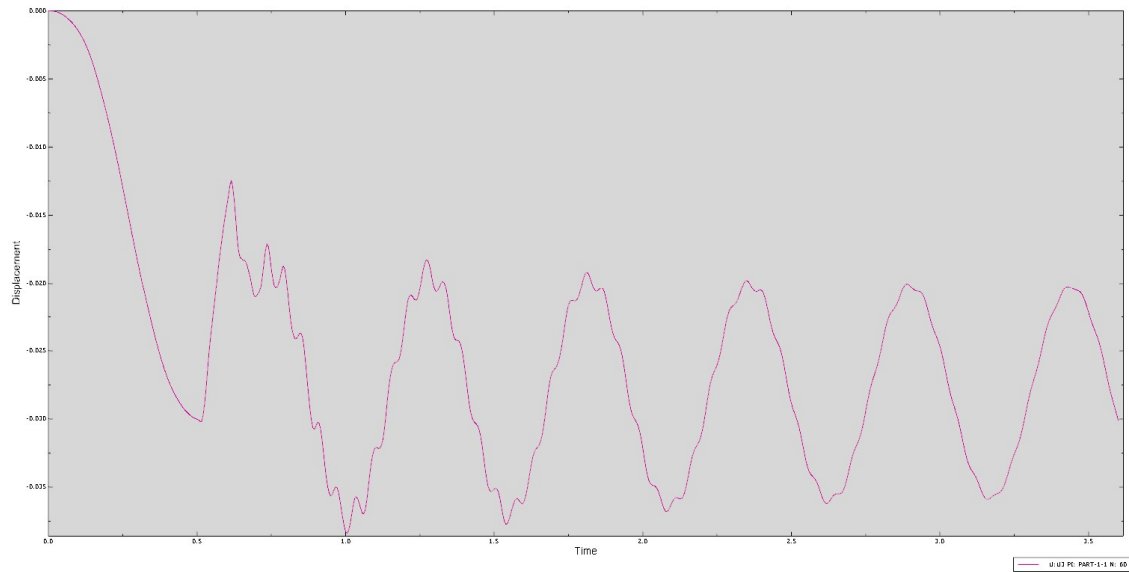


Figura C16: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 62

NODO 6604 (ubicado en C2)

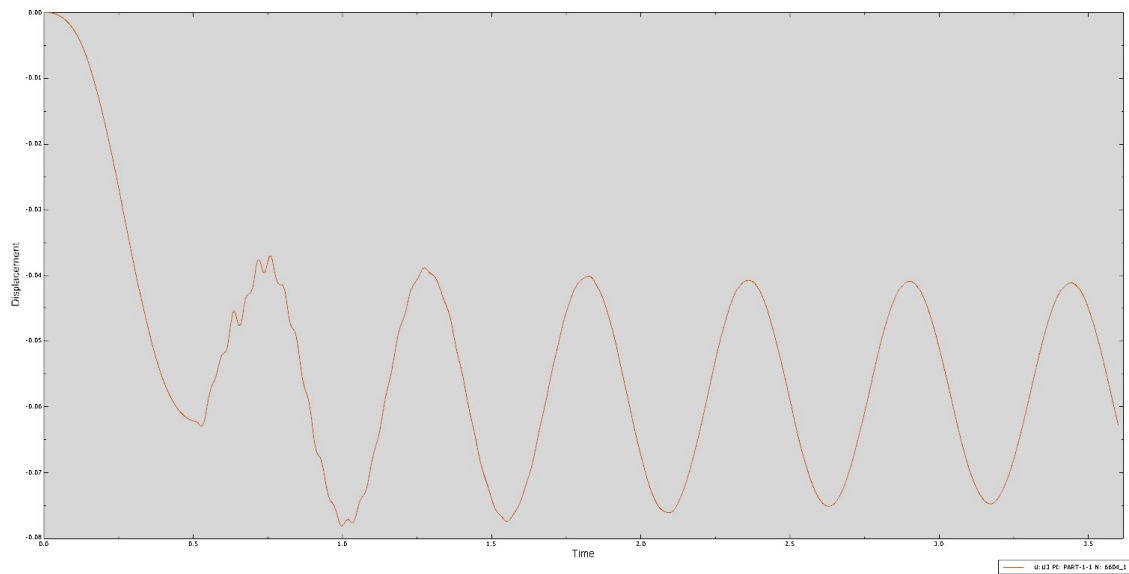


Figura C1713: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 6604

NODO 10781 (ubicado en C3)

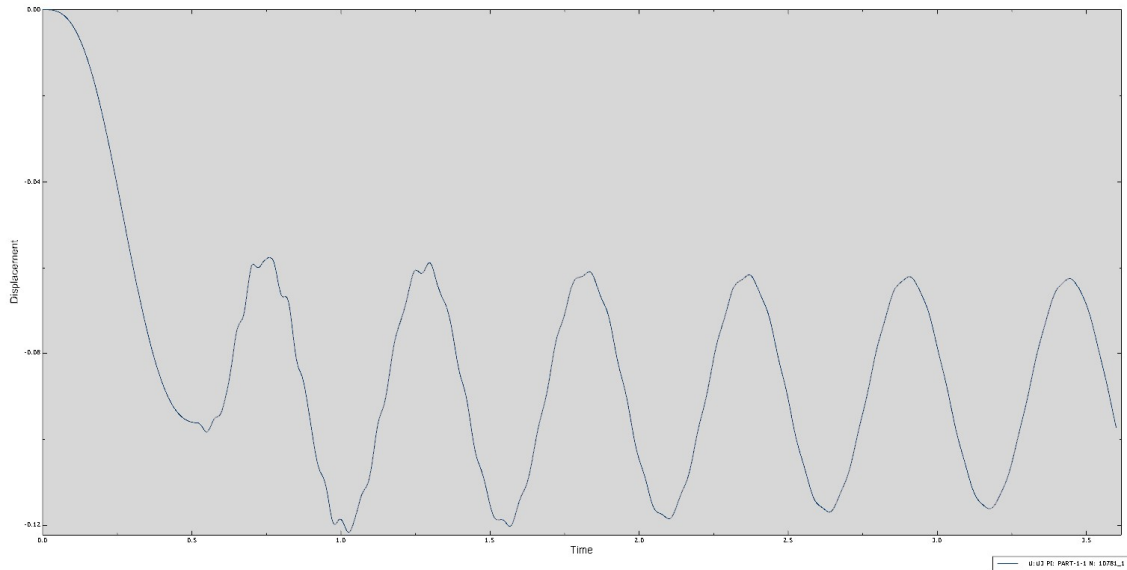


Figura C18: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 10781

NODO 14970 (ubicado en C4)

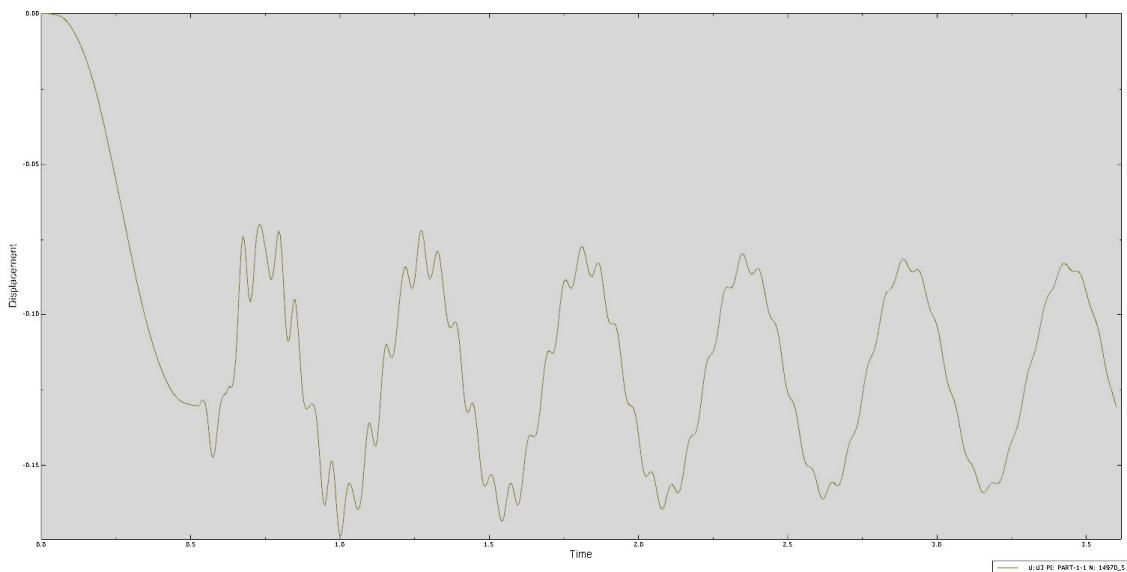


Figura C19: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 14970

Si se comparan estas gráficas con las del caso de carga dinámica 5g, aparte de ver que el instante en el que aparece la carga con aceleración de 2g se da un poco antes, se ve que los desplazamientos son menores debido a que la aceleración también lo es (2g en vez de 5g) y las tensiones generadas serán más pequeñas al ser de menor magnitud esta aceleración.

Se puede ver fácilmente comparando por ejemplo la gráfica C10 con la C17, las dos corresponden al nodo 6604 ubicado en C2, la primera para el caso de 5g y la segunda para el de 2g. En éste, para el caso de aceleración=5g, el nodo experimenta un desplazamiento máximo de unos 0.15m aproximadamente mientras que en el caso de $a=2g$ el desplazamiento es de 0.075m. De manera que se reduce a la mitad para 2g.

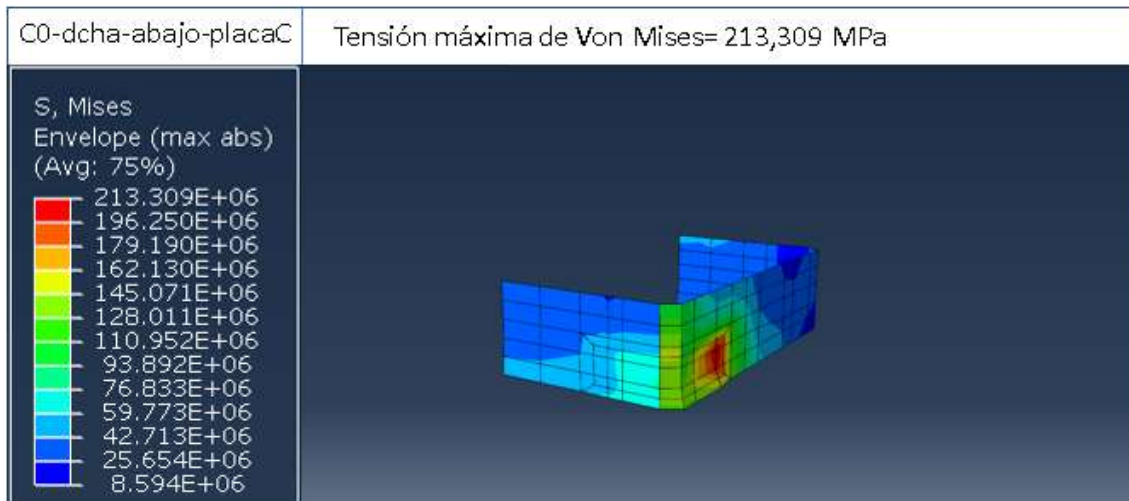
2. TENSIONES

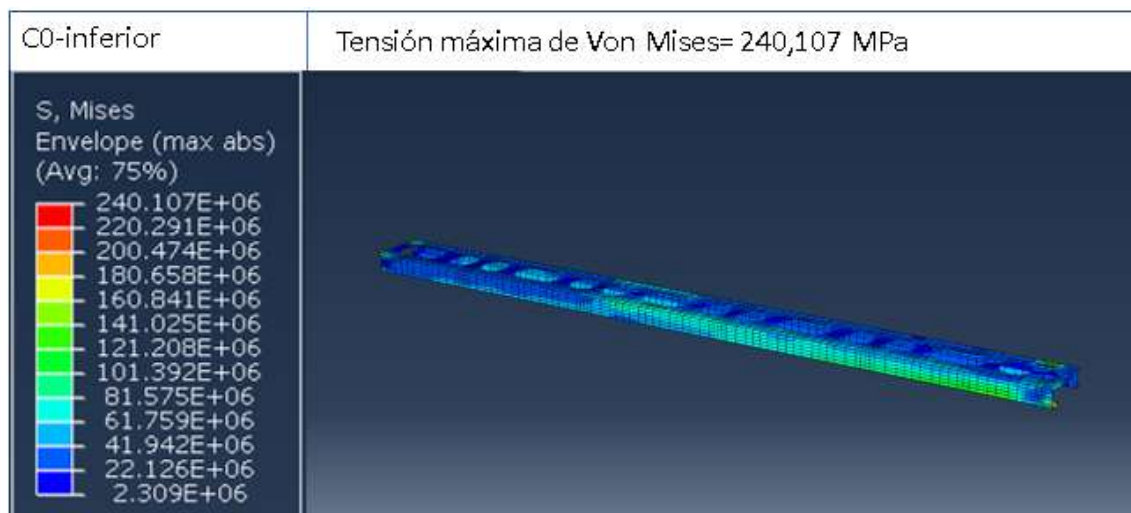
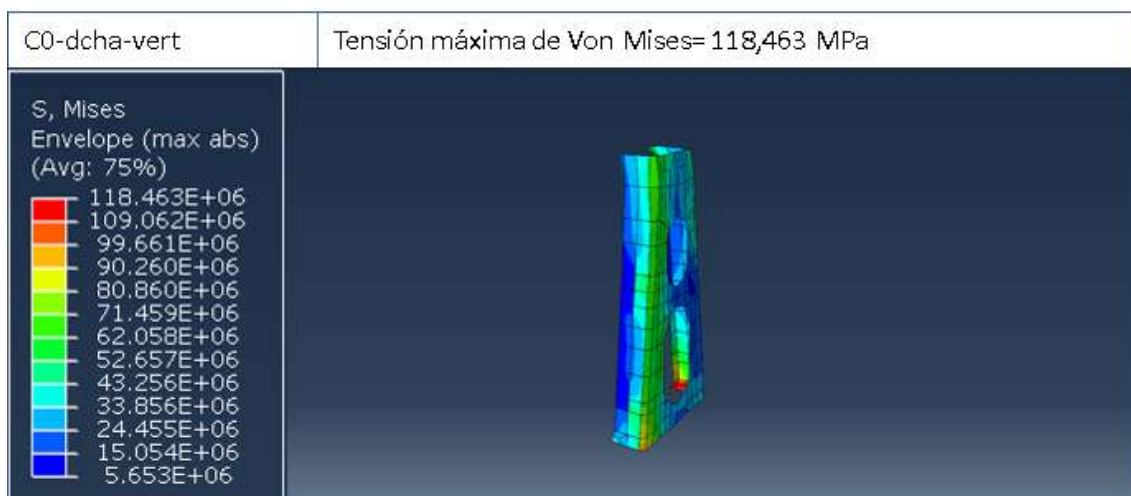
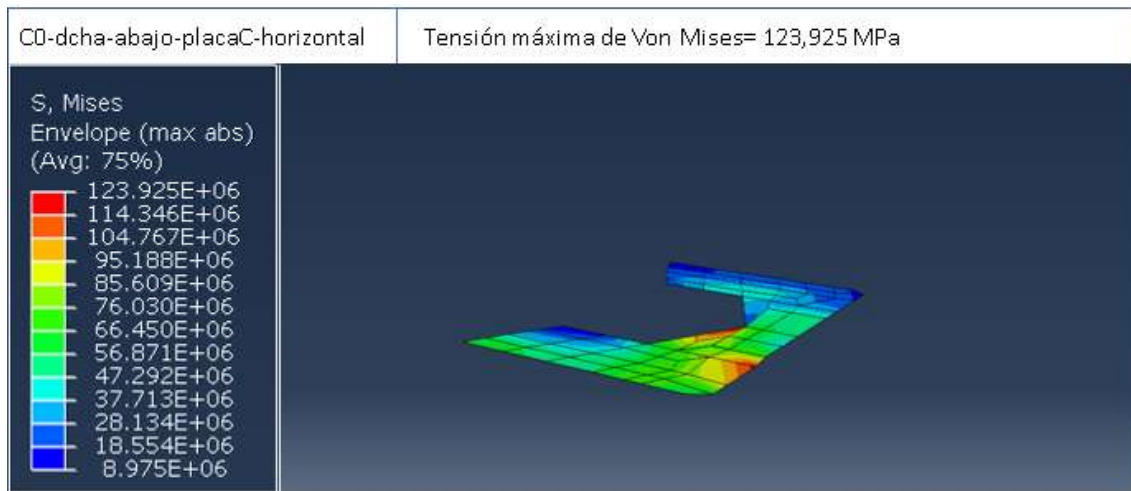
De la misma forma que ocurre en el caso 2, habrá que buscar dentro de un intervalo de tiempo la máxima tensión que soporta cada uno de los elementos estructurales.

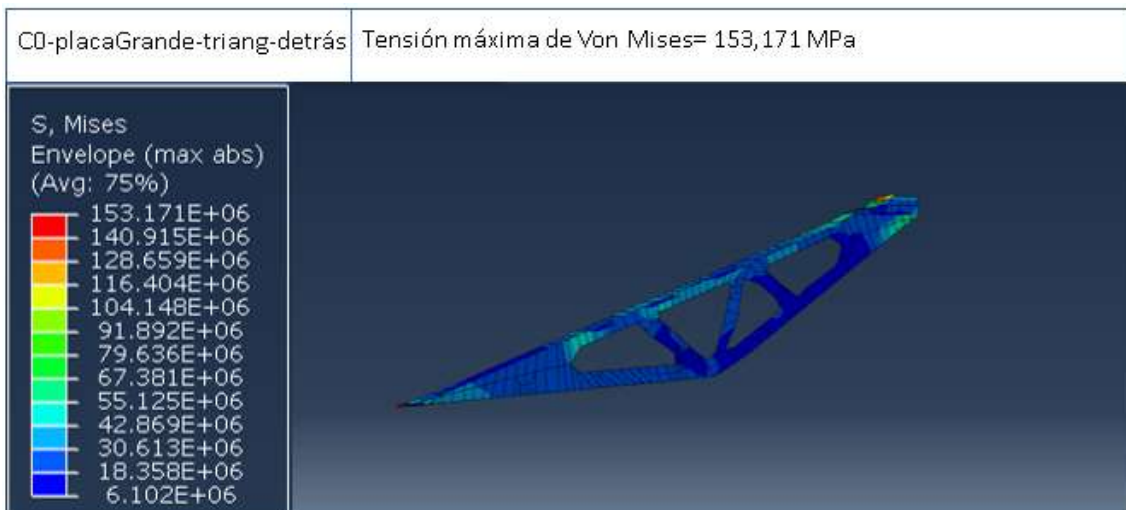
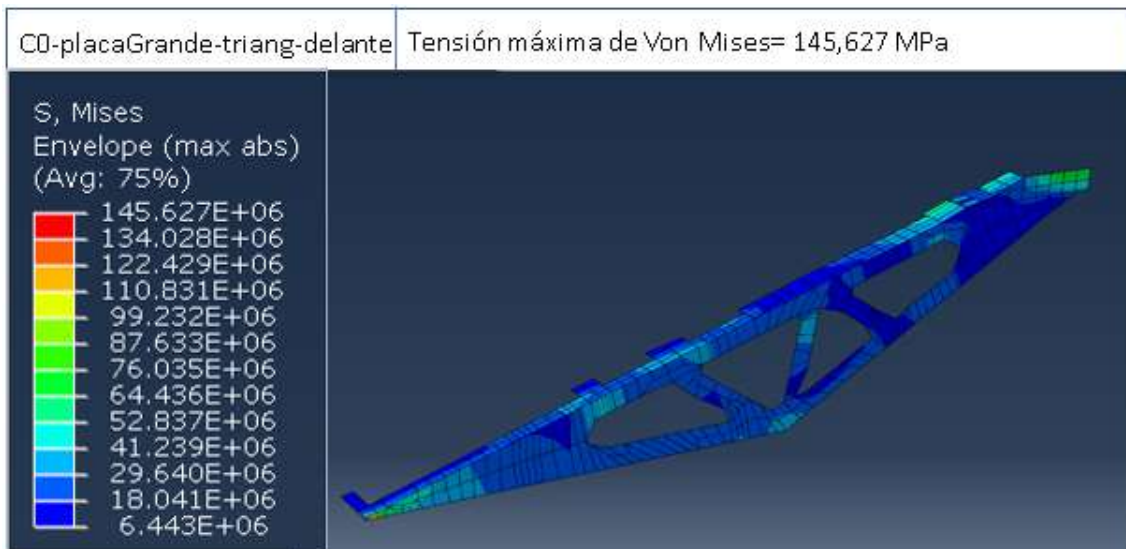
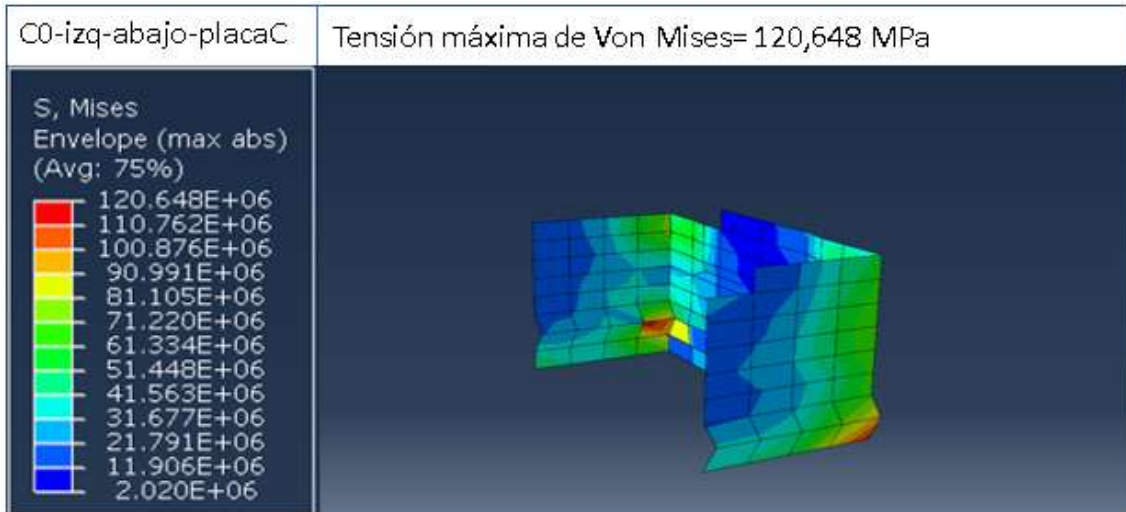
A través de las gráficas de los desplazamientos para este caso de estudio se observa que los picos más altos de desplazamiento aparecen en torno a 0.6s y 1s desde que el pulverizador empieza a oscilar, por lo que se darán las mayores tensiones cerca de ese intervalo de tiempo. Aunque el punto de máximo desplazamiento no tiene por qué ser el de máxima tensión para un mismo elemento, pero sí estará cerca ya que, también las deformaciones en ese entorno serán mayores que en otro instante en el que se desplace menos.

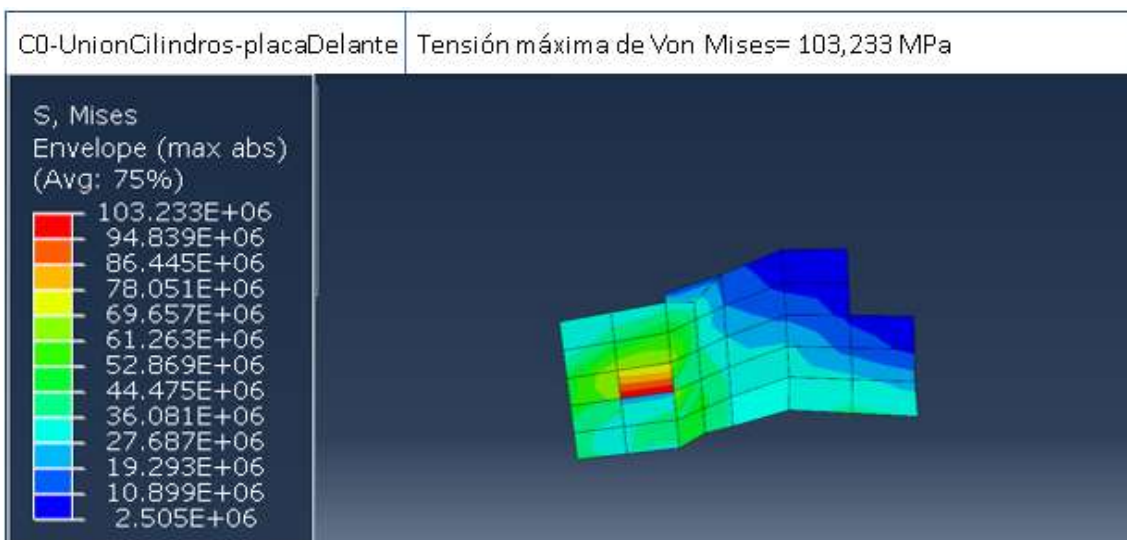
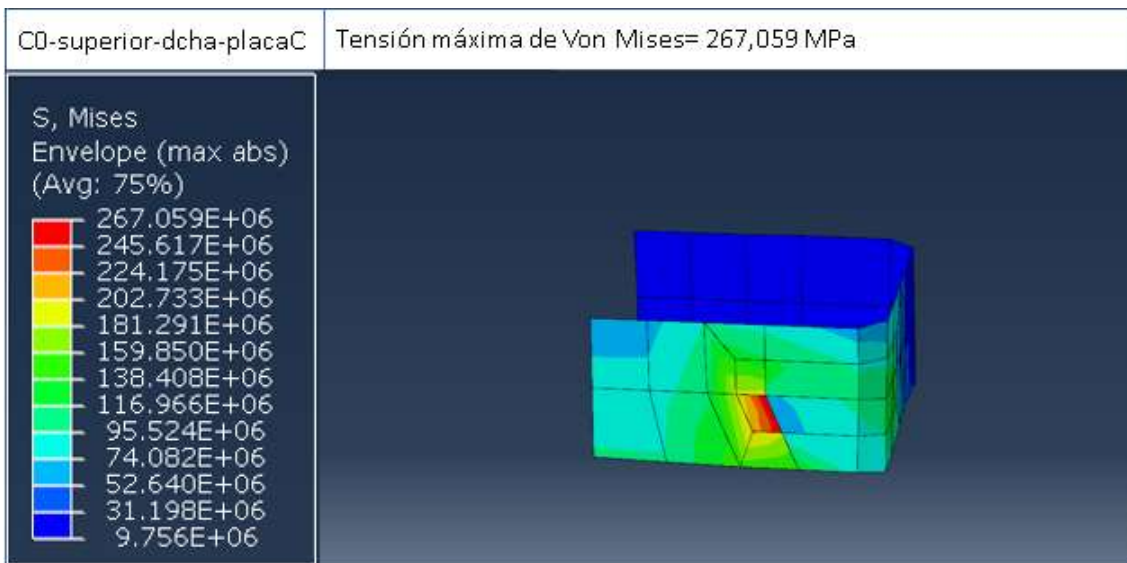
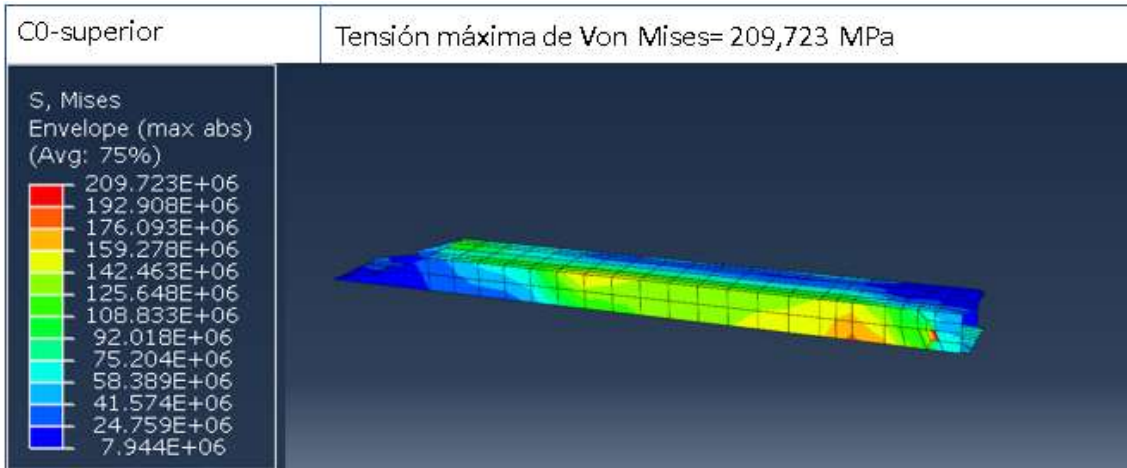
Así, se va a proceder a buscar para cada uno de los componentes la mayor tensión en el intervalo de 0.3s a 1.2s, de esta manera se acota la búsqueda de tensiones en el rango donde serán mayores.

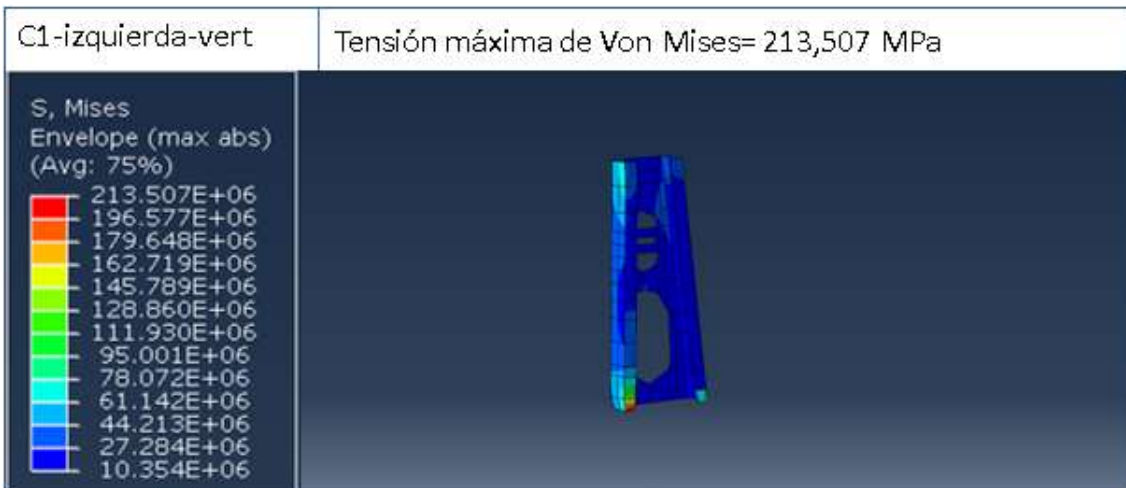
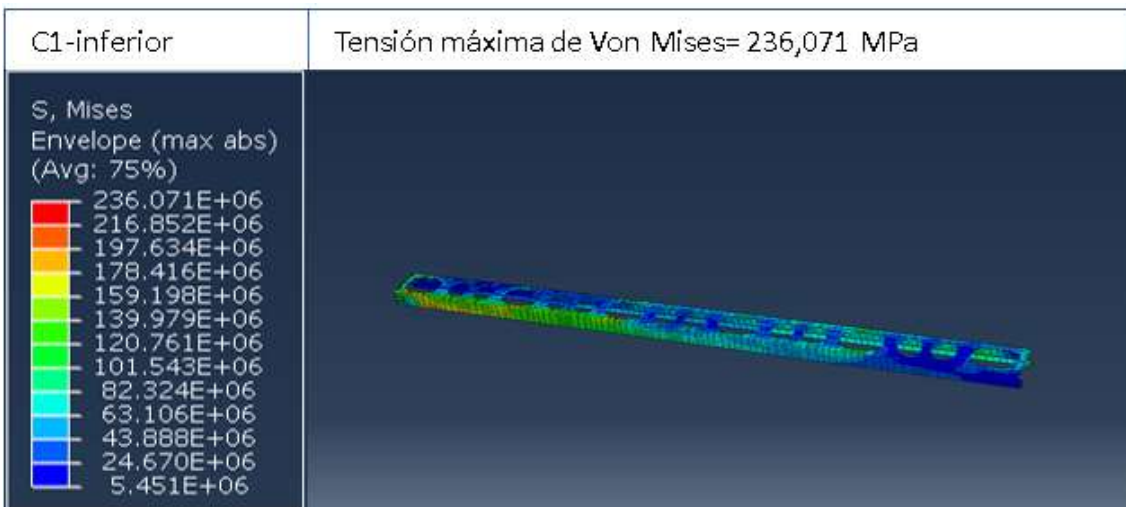
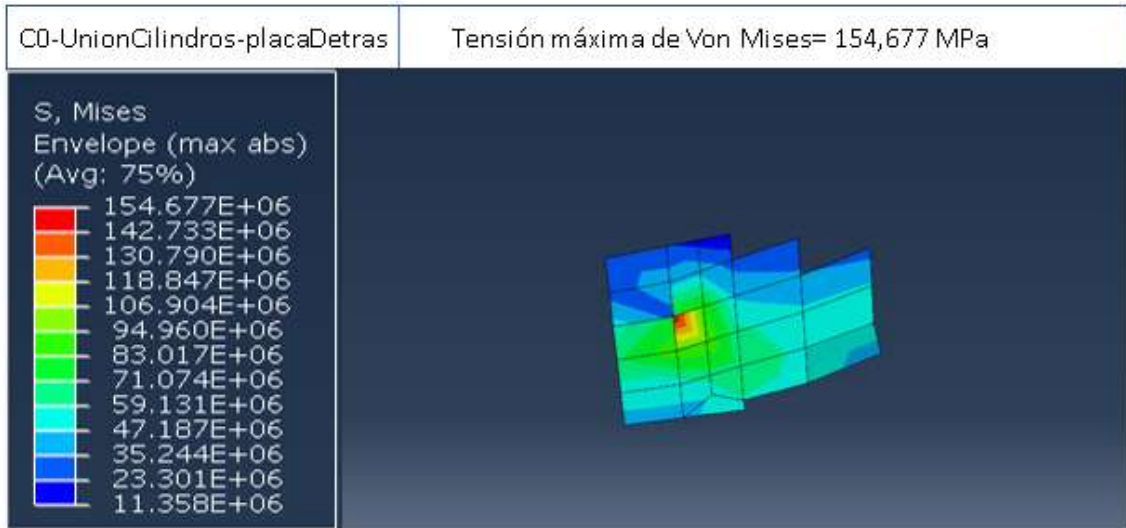
A continuación, se presenta igual que se ha hecho para el caso 2, las imágenes de cada uno de los componentes que soportan mayores tensiones (en total aparecen 27 para este caso) ya que son las partes más críticas modelo y, por lo tanto, estos resultados serán los que se tengan en cuenta para el proceso posterior de optimización de las barras del pulverizador en el caso de aceleración de 2g. También se exponen en una tabla, para cada uno de los componentes más cargados los datos todas las características que lo definen. En el anexo D aparece la tabla D.3 similar a la C.3 pero con la información de todos los sólidos que forman la estructura para este caso de estudio.

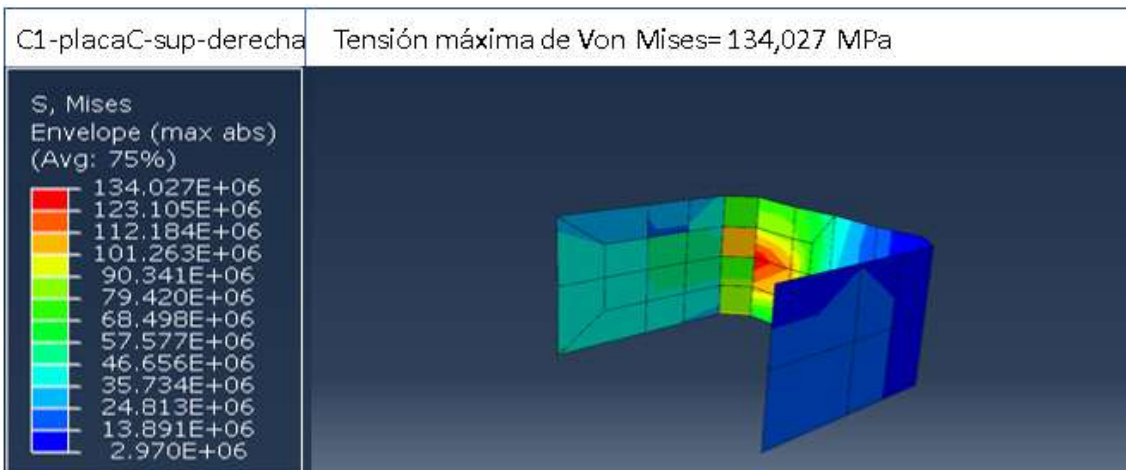
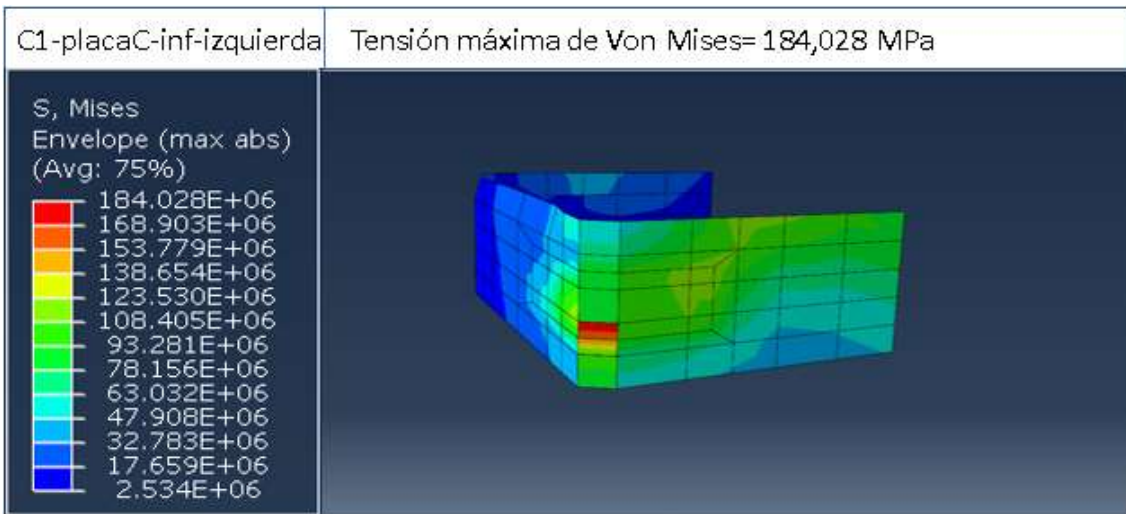
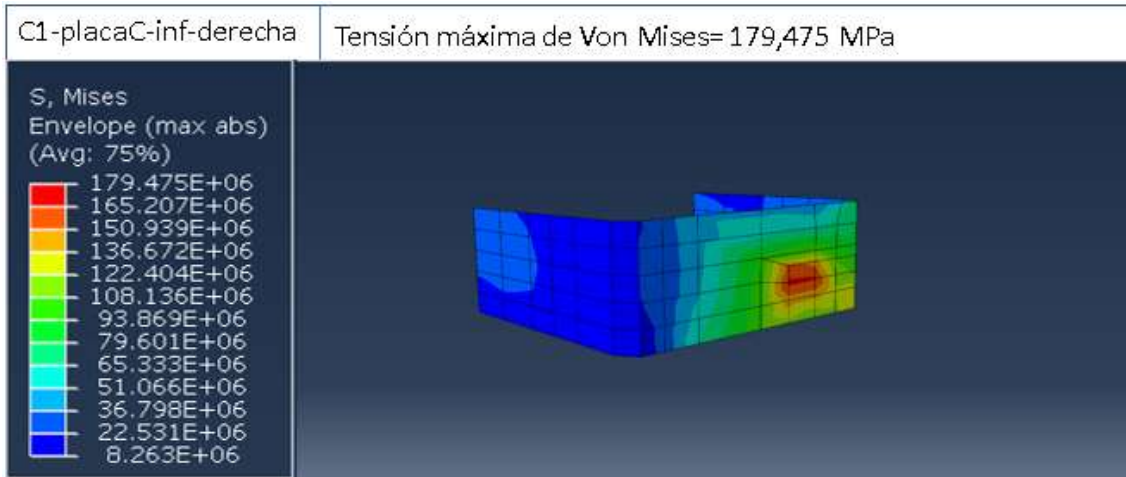


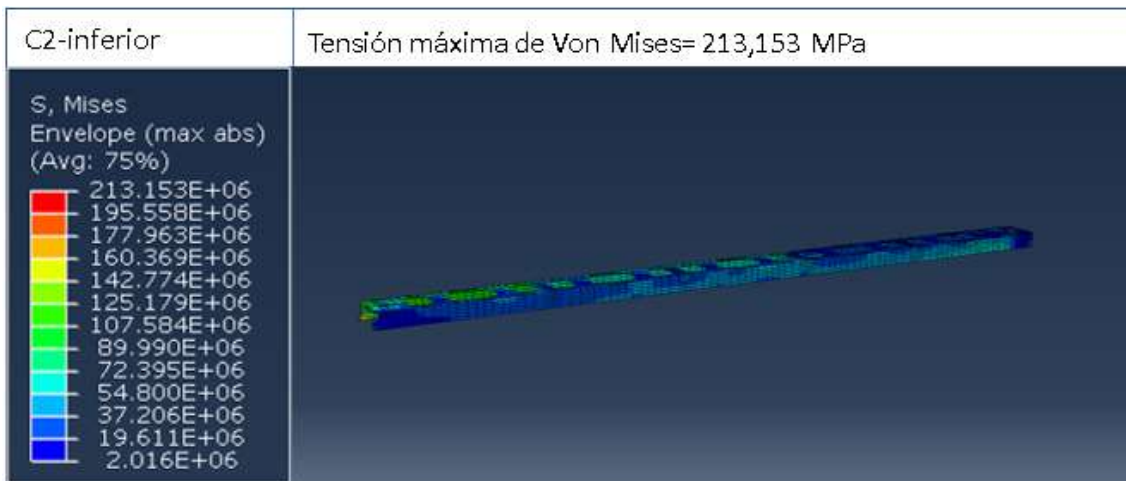
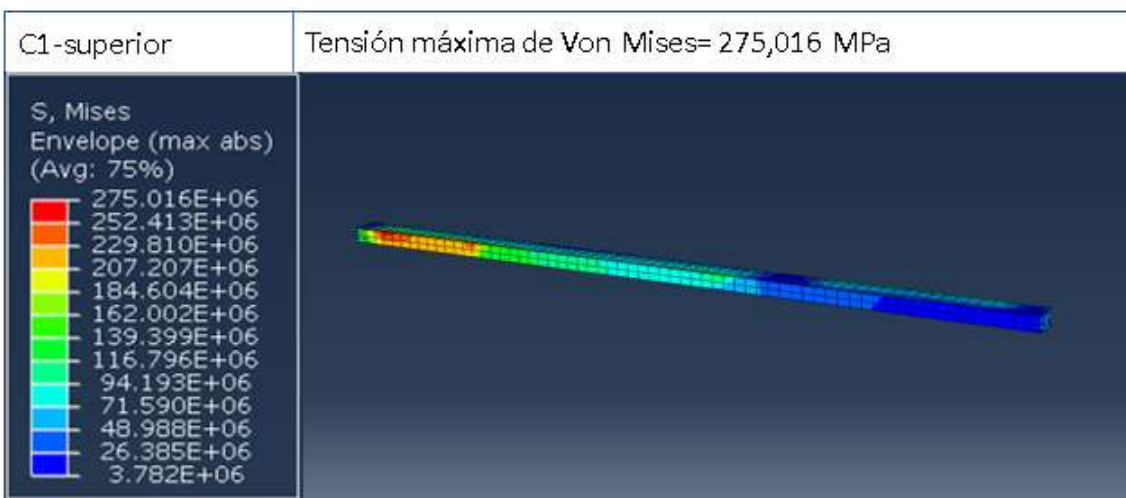
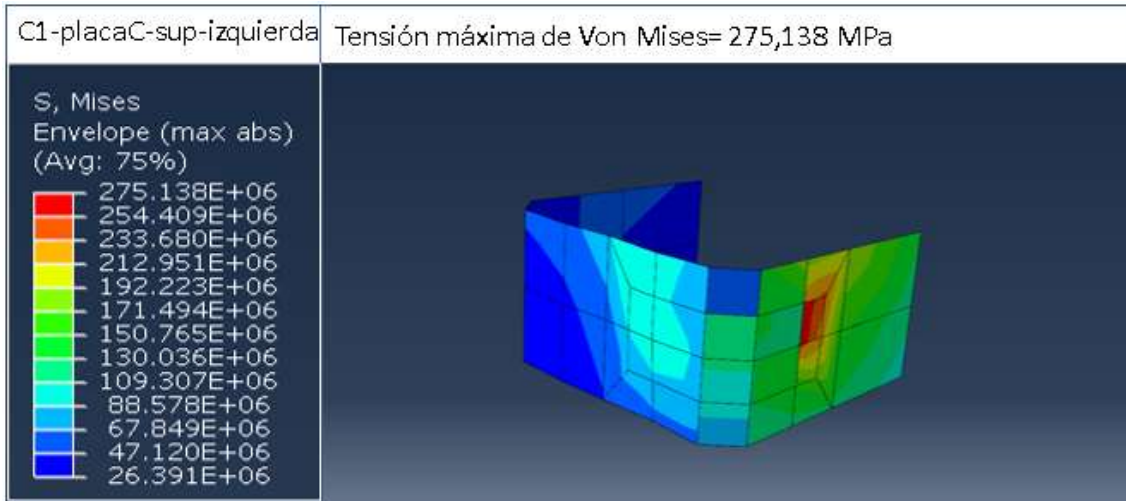


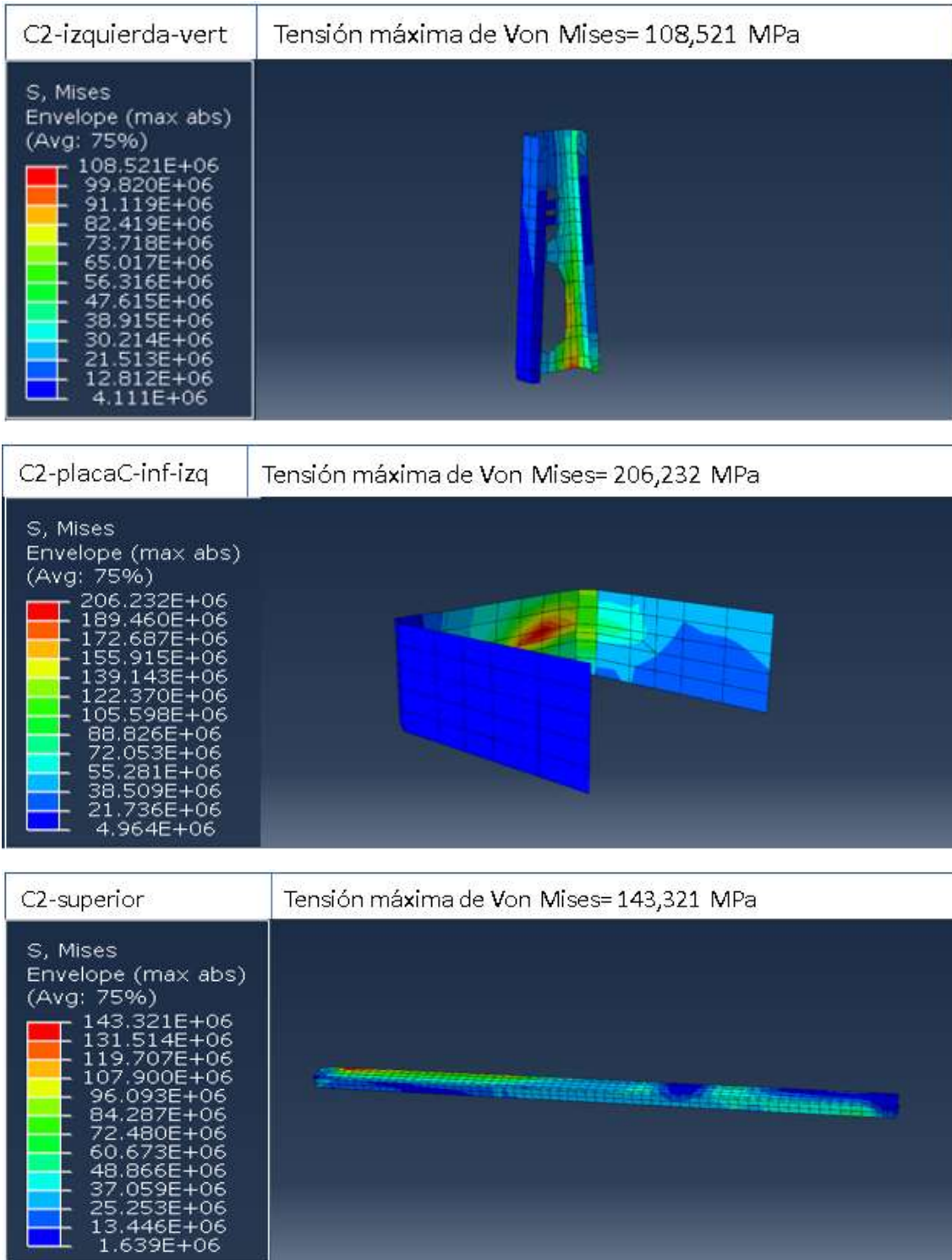


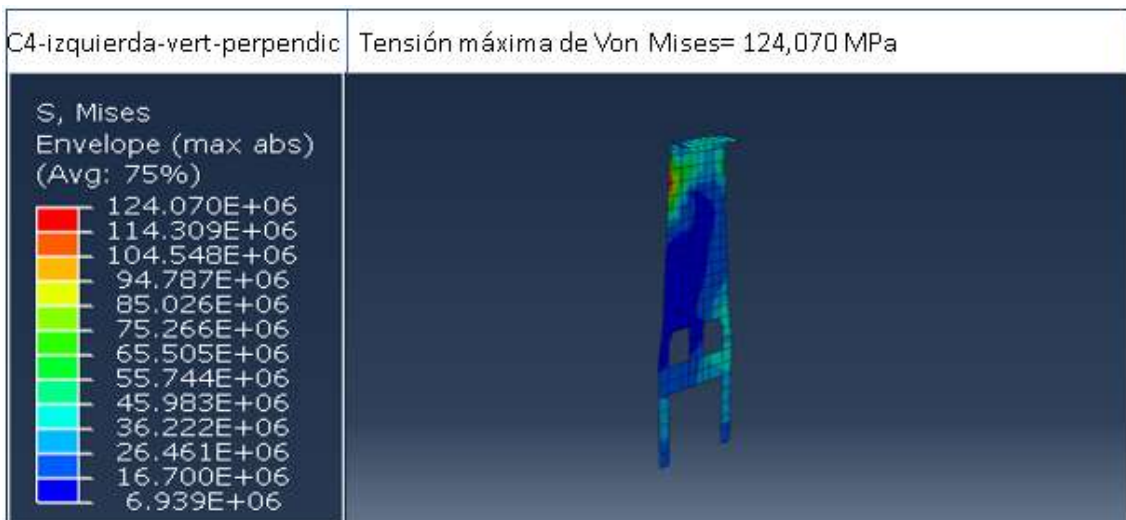
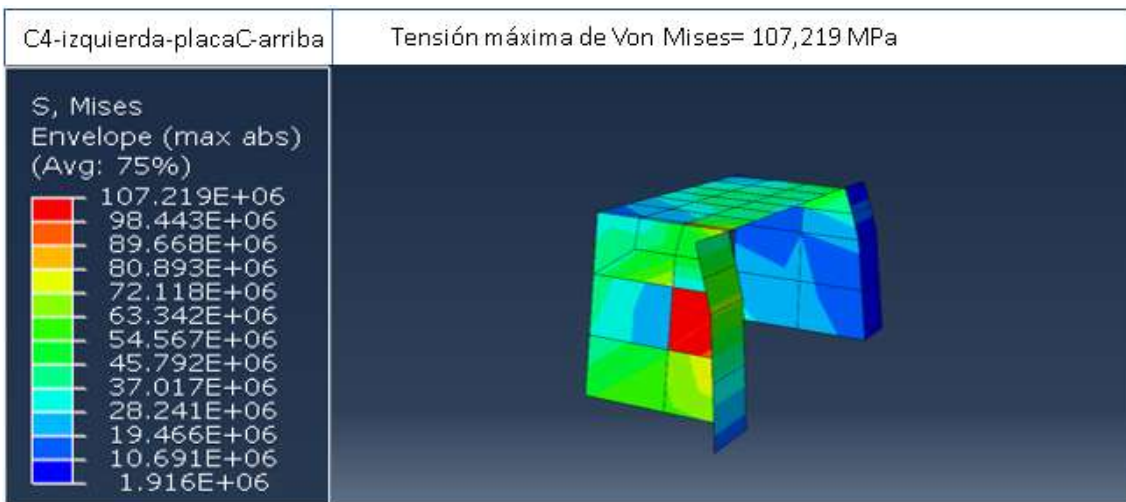
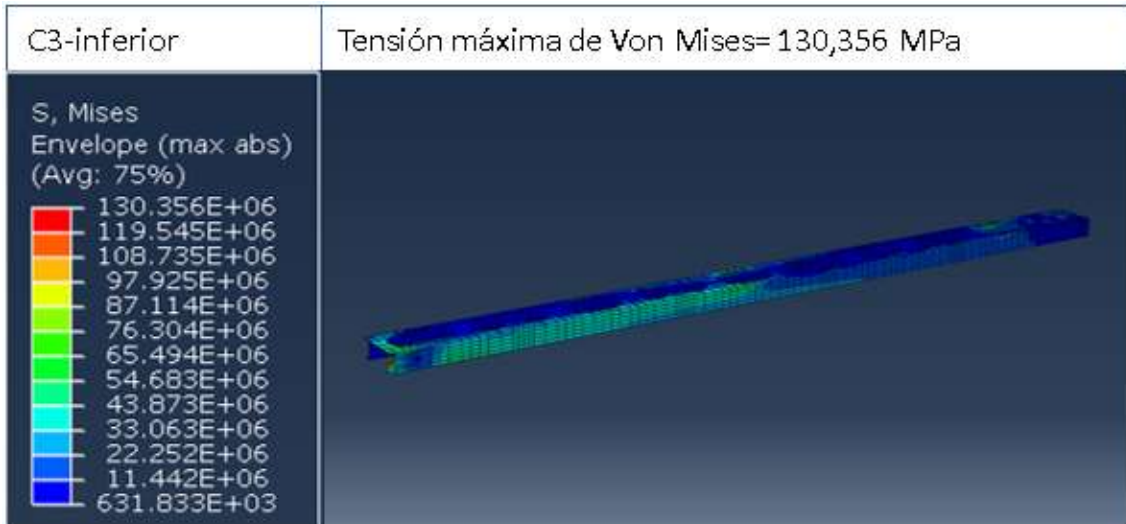


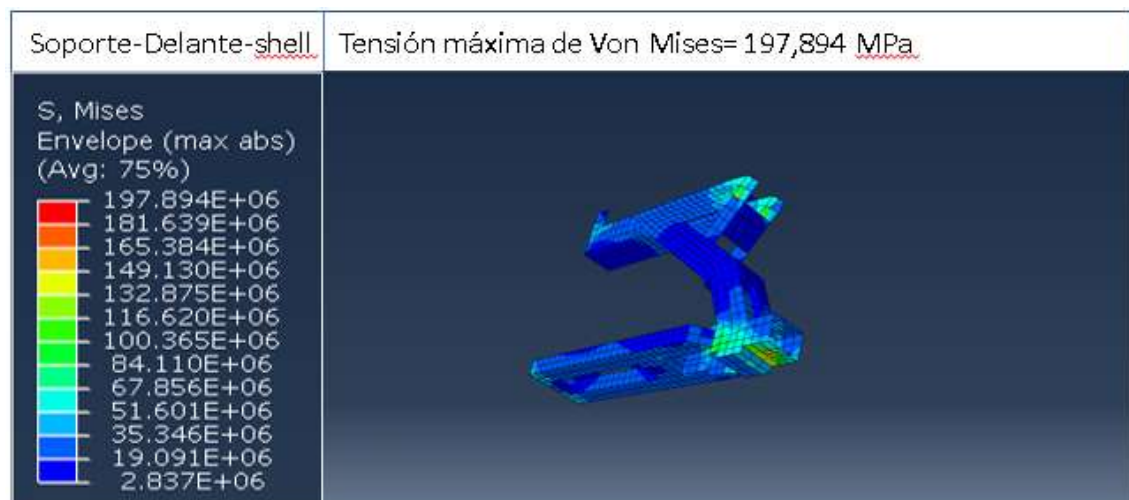
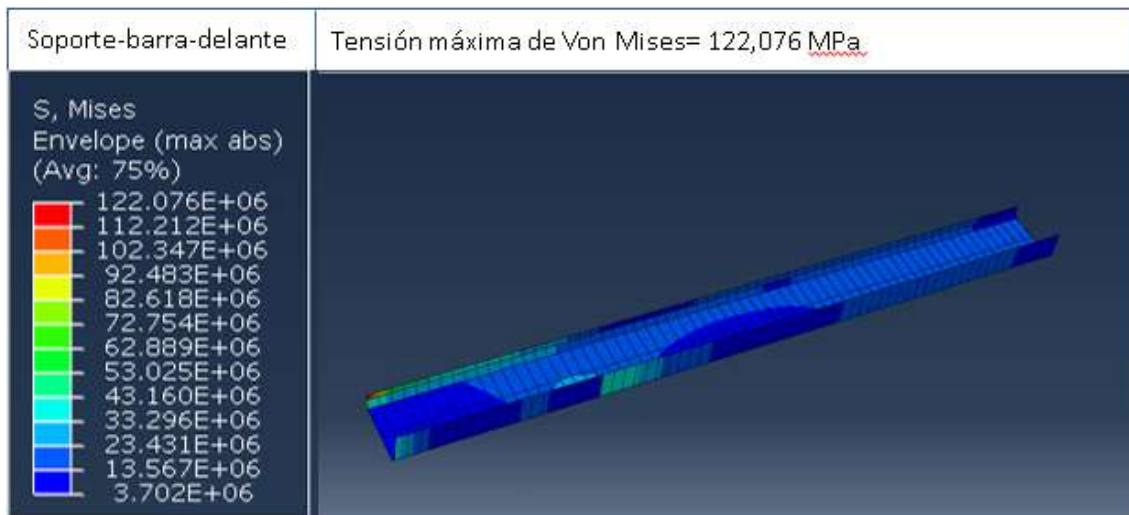












| NOMBRE | MATERIAL | LÍMITE ELÁSTICO (MPa) | ESPESOR (mm) | TENSION (MPa) | CS | tiempo (s) |
|--------------------------------|----------|-----------------------|--------------|---------------|------------|------------|
| C0-dcha-abajo-placaC | S275JR | 275 | 6 | 213,31 | 1,28920955 | 0,39 |
| C0-dcha-abajo-placaC-horiz | S275JR | 275 | 6 | 123,93 | 2,21908412 | 0,39 |
| C0-dcha-vert | S275JR | 275 | 3 | 118,46 | 2,32139993 | 0,4 |
| C0-inferior | S275JR | 275 | 3 | 240,11 | 1,14532271 | 0,44 |
| C0-izq-abajo-placaC | S275JR | 275 | 10 | 120,65 | 2,27935813 | 0,46 |
| C0-placaGrande-triang-delante | S275JR | 275 | 6 | 145,63 | 1,88838608 | 0,46 |
| C0-placaGrande-triang-detrás | S275JR | 275 | 6 | 153,17 | 1,79537902 | 0,46 |
| C0-superior | S275JR | 275 | 3 | 209,72 | 1,31125342 | 0,395 |
| C0-superior-dcha-placaC | S275JR | 275 | 6 | 267,06 | 1,029735 | 0,395 |
| C0-UnionCilindros-placaDelante | S275JR | 275 | 10 | 103,23 | 2,66387686 | 0,46 |
| C0-UnionCilindros-placaDetras | S275JR | 275 | 10 | 154,68 | 1,77789846 | 0,46 |
| C1-inferior | S275JR | 275 | 2 | 236,07 | 1,16490378 | 0,44 |
| C1-izquierda-vert | S275JR | 275 | 3 | 213,51 | 1,28801398 | 0,405 |
| C1-placaC-inf-derecha | S275JR | 275 | 6 | 179,48 | 1,53224683 | 0,375 |
| C1-placaC-inf-izquierda | S275JR | 275 | 6 | 184,03 | 1,49433782 | 0,39 |
| C1-placaC-sup-derecha | S275JR | 275 | 6 | 134,03 | 2,05182538 | 0,43 |
| C1-placaC-sup-izquierda | S275JR | 275 | 6 | 275,14 | 0,99949843 | 0,435 |
| C1-superior | S275JR | 275 | 2 | 275,02 | 0,99994182 | 0,435 |
| C2-inferior | S275JR | 275 | 1,5 | 213,15 | 1,29015308 | 0,375 |
| C2-izquierda-vert | S275JR | 275 | 3 | 108,52 | 2,53407175 | 0,435 |
| C2-placaC-inf-izq | S275JR | 275 | 6 | 206,23 | 1,33344971 | 0,375 |
| C2-superior | S275JR | 275 | 1,5 | 143,32 | 1,91876975 | 0,43 |
| C3-inferior | S275JR | 275 | 1,5 | 130,36 | 2,10960754 | 0,375 |
| C4-izquierda-placaC-arriba | S275JR | 275 | 3 | 107,22 | 2,56484392 | 0,4 |
| C4-izquierda-vert-perpendic | S275JR | 275 | 3 | 124,07 | 2,21649069 | 0,345 |
| Soporte-barra-delante | S275JR | 275 | 6 | 122,08 | 2,25269504 | 0,425 |
| Soporte-Delante-shell | S275JR | 275 | 8 | 197,89 | 1,38963283 | 0,46 |

Tabla C.3: Resumen de los resultados para los componentes más cargados de la estructura de barras. Caso 3, carga dinámica + carga de gravedad (2g)

Se puede observar que todos los componentes presentan su máxima tensión entre 0.375 y 0.46 segundos. Además, si se compara con el caso anterior, se puede ver que en este aparecen menos elementos con $CS < 3$ que en el caso anterior (en concreto 8 menos) como era de esperar ya que la carga dinámica a la que está sometido es más pequeña. En el anexo D aparecen el resto de los elementos que forman el modelo y también cumplen que la mayor tensión que soportan está en este intervalo de tiempo.

ANEXO D: RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE TENSIONES Y COEFICIENTE DE SEGURIDAD DE TODOS LOS COMPONENTES QUE FORMAN LAS BARRAS DEL PULVERIZADOR PARA LOS CASOS DE ESTUDIO INICIALES.

Como no se ha incluido una imagen de cada sólido para cada caso de estudio con su mapa de tensiones, ya que no se considera información relevante poner las tensiones a las que se someten los 206 componentes de las barras del pulverizador, se ha añadido en este anexo una tabla con todos los componentes que forman el modelo para cada caso de carga con sus materiales, espesor, límite elástico, tensión que soportan y coeficiente de seguridad. De esta forma se puede ver de manera resumida los resultados de tensiones y coeficientes de seguridad obtenidos para todos los componentes en ambos casos de estudio.

CASO 1: CARGA ESTÁTICA, GRAVEDAD

Para este caso de estudio aparecen un total de 26 componentes cuyo límite elástico es inferior a 3, aparecen en la tabla D.1 resaltados en amarillo. Estos componentes son los que se nombran a modo resumen, ya que son los más solicitados, en el apartado de *6.RESULTADOS DEL MODELO INICIAL* y también en el ANEXO C con imágenes del mapa de tensiones.

También se pueden observar en esta tabla materiales cuya tensión es pequeña y por tanto el coeficiente de seguridad es elevado. Esto es debido al hecho de que esas piezas son elementos que aparecen en la estructura, pero no soportan grandes cargas para la condición de actuación de la carga de gravedad únicamente. Algunas de estas piezas son de acero S275JR, pero soportan pequeñas tensiones y otras son piezas como cilindros, bulones, orejas, pasadores...que no soportan cargas estructurales.

| NOMBRE | MATERIAL | LÍMITE ELÁSTICO (MPa) | ESPESOR (mm) | TENSIÓN (MPa) | CS |
|---------------------------------|----------|-----------------------|--------------|---------------|------------|
| C0-barra-diagonal-delante | S275JR | 275 | 10,5 | 27,43 | 10,0262505 |
| C0-barra-diagonal-detrás | S275JR | 275 | 10,5 | 27,89 | 9,86016493 |
| C0-barra-vert-delante | S275JR | 275 | 10,5 | 1,37 | 200,291333 |
| C0-barra-vert-detrás | S275JR | 275 | 10,5 | 6,14 | 44,8101678 |
| C0-C1-pasador-placaT-placas | acero | | 10 | 0,58 | |
| C0-C1-superior-cuadrado | S275JR | 275 | 3 | 54,40 | 5,05533292 |
| C0-C1-superior-pasador-placas | acero | | 10 | 0,20 | |
| C0-C1-superior-pasador-T-cilind | acero | | 10 | 143,91 | |
| C0-C1-superior-placa-debajoT | acero | | 6 | 126,03 | |
| C0-C1-superior-placaHoriz-abajo | acero | | 8 | 0,57 | |
| C0-C1-superior-placaHoriz-arrib | acero | | 8 | 0,46 | |
| C0-C1-superior-placaT | acero | | 16 | 21,29 | |
| C0-C1-UnionInferior-Cilindro | acero | | 12,5 | 30,65 | |
| C0-C1-UnionInferior-ParteAbajo | acero | | 15 | 122,66 | |
| C0-C1-UnionInferior-ParteArriba | acero | | 15 | 184,02 | |
| C0-C1-UnionSuperior-cilindro | acero | | 12,5 | 430,24 | |
| C0-C1-UnionSuperior-ParteAbajo | acero | | 12,5 | 349,43 | |
| C0-C1-UnionSuperior-PARteArriba | acero | | 12,4 | 178,96 | |

Análisis y optimización del diseño inicial de un pulverizador de barras de 26 metros de pluma.

| | | | | | |
|---------------------------------|--------|-----|------|--------|------------|
| C0-cilindroderecha | acero | | 15 | 10,48 | |
| C0-cilindroGrande-dcha | acero | | 20 | 60,66 | |
| C0-cilindroGrande-izq | acero | | 45 | 10,23 | |
| C0-cilindroizquierda | acero | | 30 | 2,76 | |
| C0-dcha-abajo-placaC | S275JR | 275 | 6 | 161,46 | 1,70316603 |
| C0-dcha-abajo-placaC-horizontal | S275JR | 275 | 6 | 124,31 | 2,21217582 |
| C0-dcha-sup-U-cilindro-bar | acero | | 9 | 25,92 | |
| C0-dcha-supU-cilindro-shell | S275JR | 275 | 10 | 16,85 | 16,32435 |
| C0-dcha-vert | S275JR | 275 | 3 | 114,27 | 2,40649667 |
| C0-inferior | S275JR | 275 | 3 | 219,68 | 1,25183793 |
| C0-inferior-plaquica1-izq | S275JR | 275 | 3 | 6,41 | 42,9151061 |
| C0-inferior-plaquica2-izq | S275JR | 275 | 3 | 9,43 | 29,1715286 |
| C0-inferior-plaquica3-dcha | S275JR | 275 | 3 | 8,67 | 31,7185698 |
| C0-inferior-plaquica4-dcha | S275JR | 275 | 3 | 9,69 | 28,3914929 |
| C0-izq-abajo-arandelaDelante | acero | | 15 | 0,00 | |
| C0-izq-abajo-arandelaDetrás | acero | | 15 | 0,00 | |
| C0-izq-abajo-placaC | S275JR | 275 | 10 | 85,72 | 3,20819431 |
| C0-pasador-cilGrandeDcha-placas | acero | | 17,8 | 83,55 | |
| C0-pasador-Cilindro-parteizq | acero | | 12,5 | 18,47 | |
| C0-placa-debajo-pasadorUnion | S275JR | 275 | 6 | 59,66 | 4,60953083 |
| C0-placa-encima-cilindro | S275JR | 275 | 8 | 30,53 | 9,00900901 |
| C0-placaGrande-triang-delante | S275JR | 275 | 6 | 100,96 | 2,72387801 |
| C0-placaGrande-triang-detrás | S275JR | 275 | 6 | 101,18 | 2,71800903 |
| C0-placaO-izq-abajo | S275JR | 275 | 6 | 60,16 | 4,57106764 |
| C0-superior | S275JR | 275 | 3 | 218,92 | 1,25619533 |
| C0-superior-dcha-placaC | S275JR | 275 | 6 | 205,13 | 1,34063941 |
| C0-UnionCilindros-CilDelante | acero | | 17,5 | 0,00 | |
| C0-UnionCilindros-CilDetras | acero | | 17,5 | 0,01 | |
| C0-UnionCilindros-placaCDetras | S275JR | 275 | 8 | 42,21 | 6,51442649 |
| C0-UnionCilindros-placaDelante | S275JR | 275 | 10 | 79,23 | 3,47077607 |
| C0-UnionCilindros-placaDetras | S275JR | 275 | 10 | 122,63 | 2,24253643 |
| C1-barratriang-delante | S275JR | 275 | 12 | 71,34 | 3,85461783 |
| C1-barratriang-detrás | S275JR | 275 | 12 | 50,43 | 5,45321145 |
| C1-C2-pasador-placaT-placas | acero | | 10 | 1,27 | |
| C1-C2-superior-pasador-placas | acero | | 10 | 66,53 | |
| C1-C2-superior-placaHoriz-abajo | acero | | 6 | 72,06 | |
| C1-C2-superior-placaHoriz-arrib | acero | | 8 | 3,39 | |
| C1-C2-superior-placaHoriz-centr | acero | | 8 | 10,49 | |
| C1-C2-superior-placaT | acero | | 16 | 3,53 | |
| C1-C2-UnionInferior-cilindro | acero | | 12,5 | 15,91 | |
| C1-C2-UnionInferior-ParteAbajo | acero | | 15 | 111,88 | |
| C1-C2-UnionInferior-ParteArriba | acero | | 15 | 140,24 | |
| C1-C2-UnionSuperior-cilindro | acero | | 12,5 | 30,24 | |
| C1-C2-UnionSuperior-ParteAbajo | acero | | 12,5 | 94,01 | |
| C1-C2-UnionSuperior-ParteArriba | acero | | 12,4 | 76,39 | |
| C1-cilindro-dcha | acero | | 15 | 8,59 | |
| C1-cilindro-izq | acero | | 25 | 4,40 | |
| C1-dcha-sup-U-cilindro-bar | acero | | 9 | 38,48 | |
| C1-dcha-sup-U-cilindro-shell | acero | | 10 | 37,50 | |
| C1-derecha-vert | S275JR | 275 | 3 | 78,40 | 3,50756358 |
| C1-inferior | S275JR | 275 | 2 | 228,26 | 1,20478761 |
| C1-izquierda-vert | S275JR | 275 | 3 | 213,92 | 1,28551528 |
| C1-PasadorCilindroPlacalzq | acero | | 10 | 67,56 | |

Análisis y optimización del diseño inicial de un pulverizador de barras de 26 metros de pluma.

| | | | | | |
|---------------------------------|--------|-----|------|--------|------------|
| C1-placaC-inf-dcha-finaHorizont | S275JR | 275 | 6 | 123,22 | 2,23178056 |
| C1-placaC-inf-derecha | S275JR | 275 | 6 | 207,24 | 1,32698312 |
| C1-placaC-inf-izq-finaHorizont | S275JR | 275 | 6 | 82,73 | 3,32422697 |
| C1-placaC-inf-izquierda | S275JR | 275 | 6 | 169,36 | 1,62373128 |
| C1-placaC-sup-derecha | S275JR | 275 | 6 | 104,34 | 2,63556382 |
| C1-placaC-sup-izquierda | S275JR | 275 | 6 | 225,61 | 1,2189068 |
| C1-placaDebajoCilindro-UnionIzq | S275JR | 275 | 6 | 37,86 | 7,26456215 |
| C1-placa-peque-dcha-abajo | S275JR | 275 | 3 | 8,03 | 34,2636432 |
| C1-placa-peque-izq-abajo | S275JR | 275 | 3 | 10,22 | 26,9159244 |
| C1-supDcha-pasador-T-placa | S275JR | | 11 | 0,23 | |
| C1-supDcha-PlacaEncimaSuperior | S275JR | 275 | 6 | 24,41 | 11,2663362 |
| C1-superior | S275JR | 275 | 2 | 243,11 | 1,13116588 |
| C2-barras-triangDelante | S275JR | 275 | 12 | 24,29 | 11,3205994 |
| C2-barras-triangDetras | S275JR | 275 | 12 | 63,01 | 4,36445587 |
| C2-C3-pasador-placaT-placas | acero | | 10 | 13,33 | |
| C2-C3-superior-pasador-placas | acero | | 10 | 92,12 | |
| C2-C3-superior-placaHoriz-abajo | acero | | 6 | 180,57 | |
| C2-C3-superior-placaHoriz-arrib | acero | | 8 | 37,77 | |
| C2-C3-superior-placaHoriz-centr | acero | | 8 | 21,73 | |
| C2-C3-superior-placaT | acero | | 16 | 8,61 | |
| C2-C3-UnionInferior-cilindro | acero | | 12,5 | 1,88 | |
| C2-C3-UnionInferior-ParteAbajo | acero | | 15 | 18,73 | |
| C2-C3-UnionInferior-ParteAriba | acero | | 15 | 12,38 | |
| C2-C3-UnionSuperior-cilindro | acero | | 12,5 | 53,08 | |
| C2-C3-UnionSuperior-ParteAbajo | acero | | 12,5 | 24,60 | |
| C2-C3-UnionSuperior-ParteArriba | acero | | 12,4 | 16,55 | |
| C2-cilindro-grande | acero | | 25 | 5,03 | |
| C2-cilindro-pasador | acero | | 9 | 95,32 | |
| C2-cilindro-pequeño | acero | | 12,5 | 37,43 | |
| C2-dcha-sup-pasador-Tplaca | acero | | 11 | 0,94 | |
| C2-dcha-sup-placaUnionC3 | S275JR | 275 | 6 | 7,79 | 35,288079 |
| C2-dcha-sup-U-cilindro-bar | acero | | 9 | 33,97 | |
| C2-dcha-supU-cilindro-shell | acero | | 10 | 22,40 | |
| C2-derecha-vert | S275JR | 275 | 3 | 78,85 | 3,48745783 |
| C2-inferior | S275JR | 275 | 1,5 | 199,99 | 1,37506875 |
| C2-izquierda-vert | S275JR | 275 | 3 | 126,58 | 2,17250478 |
| C2-placaC-inf-dcha | S275JR | 275 | 6 | 23,26 | 11,8218554 |
| C2-placaC-inf-dcha-fina | S275JR | 275 | 6 | 13,16 | 20,8998328 |
| C2-placaC-inf-izq | S275JR | 275 | 6 | 208,41 | 1,31954608 |
| C2-placaC-inf-izq-fina | S275JR | 275 | 6 | 76,86 | 3,57807357 |
| C2-placaC-sup-dcha | S275JR | 275 | 6 | 16,87 | 16,2991939 |
| C2-placaC-sup-izq | S275JR | 275 | 6 | 106,53 | 2,58152939 |
| C2-placa-debajo-cilindro | S275JR | 275 | 6 | 35,57 | 7,7318863 |
| C2-placa-peque-dcha-abajo | S275JR | 275 | 3 | 28,57 | 9,62548127 |
| C2-placa-peque-izq-abajo | S275JR | 275 | 3 | 21,81 | 12,6065829 |
| C2-superior | S275JR | 275 | 1,5 | 161,29 | 1,70500341 |
| C3-barratriang-delante | S275JR | 275 | 12 | 5,26 | 52,3211568 |
| C3-barratriang-detrás | S275JR | 275 | 12 | 9,08 | 30,2996915 |
| C3-C4-UnionSuperior-cilindro | acero | | 12,5 | 0,19 | |
| C3-C4-pasador-placadiagonal-pla | acero | | 10 | 2,22 | |
| C3-C4--superior-pasador-placas | acero | | 10 | 59,34 | |
| C3-C4-superior-placaHoriz-abajo | acero | | 6 | 9,71 | |
| C3-C4-superior-placaHoriz-Arrib | acero | | 8 | 6,59 | |

Análisis y optimización del diseño inicial de un pulverizador de barras de 26 metros de pluma.

| | | | | | |
|---------------------------------|--------|-----|------|--------|------------|
| C3-C4-superior-placaHoriz-centr | acero | | 8 | 2,25 | |
| C3-C4-UnionInferior-cilindro | acero | | 12,5 | 9,64 | |
| C3-C4-UnionInferior-ParteAbajo | acero | | 15 | 31,26 | |
| C3-C4-UnionInferior-ParteAriba | acero | | 15 | 52,82 | |
| C3-C4-UnionSuperior-ParteAbajo | acero | | 12,5 | 0,50 | |
| C3-C4-UnionSuperior-ParteArriba | acero | | 12,4 | 0,08 | |
| C3-C4-UnionSup-placaDiagonal | acero | | 16 | 3,50 | |
| C3-cilindro-dcha | acero | | 12,5 | 7,23 | |
| C3-cilindro-izq | acero | | 25 | 1,49 | |
| C3-cilindro-pasador | acero | | 9 | 5,04 | |
| C3-dcha-inferior-placaC | S275JR | 275 | 6 | 47,33 | 5,81002282 |
| C3-dcha-inferior-placaC-horizon | S275JR | 275 | 6 | 21,72 | 12,6599761 |
| C3-dcha-superior-placaC | S275JR | 275 | 6 | 5,27 | 52,1920668 |
| C3-dcha-superior-placaEncimaC | S275JR | 275 | 6 | 3,88 | 70,8945605 |
| C3-dcha-sup-pasadorU-diagonalC3 | acero | | 11 | 9,61 | |
| C3-dcha-sup-U-cilindro-bar | acero | | 9 | 7,22 | |
| C3-dcha-supU-cilindro-shell | acero | | 10 | 7,48 | |
| C3-dcha-vert | S275JR | 275 | 3 | 22,04 | 12,4784463 |
| C3-inferior | S275JR | 275 | 1,5 | 52,92 | 5,19691587 |
| C3-izq-abajo-placaC | S275JR | 275 | 6 | 23,97 | 11,4712385 |
| C3-izq-abajo-placaC-horizontal | S275JR | 275 | 6 | 7,75 | 35,483871 |
| C3-izq-sup-placaC | S275JR | 275 | 6 | 30,89 | 8,90284567 |
| C3-izquierda-vert | S275JR | 275 | 3 | 22,54 | 12,2021565 |
| C3-placa-debajo-cilindro | S275JR | 275 | 6 | 10,30 | 26,691255 |
| C3-placa-peque-dcha-abajo | S275JR | 275 | 3 | 0,66 | 416,666667 |
| C3-placa-pequeizquierda-abajo | S275JR | 275 | 3 | 1,10 | 250,455373 |
| C3-superior | S275JR | 275 | 1,5 | 32,57 | 8,44387128 |
| C4-barradiagonal-delante | S275JR | 275 | 10 | 42,37 | 6,49044135 |
| C4-barradiagonal-detrás | S275JR | 275 | 10 | 72,23 | 3,80707146 |
| C4-cilindro-delante | acero | | 22 | 2,50 | |
| C4-cilindro-detrás | acero | | 22 | 2,62 | |
| C4-cilindro-izqVertical-delante | acero | | 7,5 | 79,41 | |
| C4-cilindro-izqVertical-detrás | acero | | 7,5 | 75,51 | |
| C4-inferior | S275JR | 275 | 2 | 50,43 | 5,45299518 |
| C4-izq-arriba-cuboUnion | S275JR | 275 | 3 | 11,50 | 23,9068069 |
| C4-izq-arriba-placaCJuntoAcubo | S275JR | 275 | 6 | 10,71 | 25,6817333 |
| C4-izq-final-placaC-abajo | S275JR | 275 | 6 | 80,78 | 3,40439229 |
| C4-izq-final-placaC-vertAbajo | S275JR | 275 | 3 | 50,75 | 5,41829215 |
| C4-izq-fin-placaL-mitadplacaVer | S275JR | 275 | 6 | 30,81 | 8,92451483 |
| C4-izq-parteinferior-pasador | acero | | 7 | 31,74 | |
| C4-izq-partesuperior-pasador | acero | | 8 | 39,89 | |
| C4-izq-placadebajo-pasador | S275JR | 275 | 6 | 30,14 | 9,12469308 |
| C4-izq-placaunion-tuerca | S275JR | 275 | 6 | 19,22 | 14,3065238 |
| C4-izquierda-baseCirculo | S275JR | 275 | 3 | 23,35 | 11,7752847 |
| C4-izquierda-infFinal-placa | S275JR | 275 | 6 | 42,18 | 6,51998672 |
| C4-izquierda-placaC-arriba | S275JR | 275 | 3 | 109,31 | 2,51573478 |
| C4-izquierda-vert-delante | S275JR | 275 | 3 | 59,00 | 4,66077996 |
| C4-izquierda-vert-detrás | S275JR | 275 | 3 | 64,33 | 4,27476644 |
| C4-izquierda-vert-perpendic | S275JR | 275 | 3 | 105,28 | 2,61205726 |
| C4-izq-vertical-final | S275JR | 275 | 3 | 46,85 | 5,87029842 |
| C4-placaC-fin-derecha | S275JR | 275 | 3 | 25,52 | 10,7775513 |
| C4-placaC-vertical-dcha | S275JR | 275 | 3 | 24,54 | 11,206194 |
| C4-placas-PuenteGrande-bar | S275JR | 275 | 10 | 39,71 | 6,92485898 |

Análisis y optimización del diseño inicial de un pulverizador de barras de 26 metros de pluma.

| | | | | | |
|---------------------------------|--------|-----|------|--------|------------|
| C4-placas-PuenteGrande-shell | S275JR | 275 | 8 | 33,50 | 8,20920027 |
| C4-placas-puentePeque-bar | S275JR | 275 | 10 | 36,07 | 7,62321894 |
| C4-placas-puentePeque-shell | S275JR | 275 | 8 | 48,34 | 5,6883998 |
| Soporte-barra-delante | S275JR | 275 | 6 | 103,53 | 2,65628622 |
| Soporte-barra-detrás-Cuadr-fino | S275JR | 275 | 3 | 5,03 | 54,6828395 |
| Soporte-barra-detrás-Cuadr-gord | S275JR | 275 | 8 | 0,25 | 1113,36032 |
| Soporte-BarraTransversal-dcha | S275JR | 275 | 6 | 14,60 | 18,8317469 |
| Soporte-C0-cilindroHoriz-abajo | acero | | 20 | 2,28 | |
| Soporte-C0-cilindrohorizDelante | acero | | 12 | 7,52 | |
| Soporte-C0-cilindrohorizDetras | acero | | 12 | 8,20 | |
| Soporte-C0-cilindrovert-abajo | acero | | 25 | 46,77 | |
| Soporte-C0-pasadorSupCilindroC0 | acero | | 17,5 | 269,50 | |
| Soporte-CilDiag-ejeabajo-corto | acero | | 8 | 0,14 | |
| Soporte-CilDiag-ejeabajo-largo | acero | | 10 | 0,05 | |
| Soporte-CilDiagonal-ejearriba | acero | | 10 | 0,04 | |
| Soporte-cilindroCorto-ejeArriba | acero | | 20 | 0,16 | |
| Soporte-cilindroGrande-Abajo | acero | | 15 | 5,99 | |
| Soporte-cilindroHoriz-eje-abajo | acero | | 15 | 20,88 | |
| Soporte-cilindroHoriz-eje-peque | acero | | 15 | 11,90 | |
| Soporte-cilinL-ejelzqAbajoCorto | acero | | 12,5 | 0,16 | |
| Soporte-cilinL-ejelzqAbajo-larg | acero | | 15 | 3,06 | |
| Soporte-cilPeque-Horiz-detrás | S275JR | 275 | 20 | 0,11 | 2546,2963 |
| Soporte-Delante-cilindroEje | acero | | 20 | 0,37 | |
| Soporte-Delante-shell | S275JR | 275 | 8 | 103,08 | 2,66772729 |
| Soporte-detrás-bar | acero | | 20 | 0,07 | |
| Soporte-detrás-shell | S275JR | 275 | 4 | 2,78 | 98,8142292 |
| Soporte-Pasador-CilGrande-Placa | acero | | 12,5 | 6,22 | |
| Soporte-placaCilDiagonal-dcha | S275JR | 275 | 8 | 0,19 | 1462,76596 |
| Soporte-placaCuadrada-delante | S275JR | 275 | 4 | 8,75 | 31,4177996 |
| Soporte-placaCuadrada-detrás | S275JR | 275 | 4 | 4,23 | 65,0887574 |
| Soporte-placaDebajoCilindro-eje | S275JR | 275 | 10 | 0,07 | 4166,66667 |
| Soporte-placaSoporteCilGranAbaj | S275JR | 275 | 6 | 0,01 | 22916,6667 |
| Soporte-triangHorizontal-base | S275JR | 275 | 3 | 0,75 | 366,666667 |
| Soporte-Triangulo-horizontal | S275JR | 275 | 3 | 0,86 | 321,261682 |
| Soporte-UnionC0-abajo3D | acero | | 15 | 9,15 | |
| Soporte-UnionC0-abajo-bar | acero | | 22,5 | 4,79 | |
| Soporte-UnionC0-abajo-shell | acero | | 8 | 158,39 | |
| SoporteV-abajo-bar | acero | | 12,5 | 0,16 | |
| SoporteV-arriba-delante-bar | acero | | 20 | 0,08 | |
| SoporteV-arriba-detrás-bar | acero | | 20 | 0,17 | |
| Soporte-V-shell | S275JR | 275 | 6 | 0,24 | 1127,04918 |

Tabla D.1: Resumen de los resultados para cada componente que forma la estructura de barras. Caso 1, carga gravedad, materiales S275JR y acero convencional

CASO 2: CARGA DINÁMICA 5g

Cuando se aplica una carga dinámica, aparecen 35 componentes cuyo límite elástico es inferior a 3, aparecen en la tabla D.2 resaltados en amarillo. Estos componentes son los que se nombran a modo resumen, ya que son los más solicitados, en el apartado 6.RESULTADOS DEL MODELO INICIAL y también en el ANEXO C con imágenes del mapa de tensiones.

A diferencia del caso de carga estática, en este no se han incluido todos los componentes que forman la estructura, no se han tenido en cuenta los de acero genérico, solo los de acero estructural S275JR, ya que éstos son en los que más se centra el estudio al presentar más puntos débiles. También se ha añadido una nueva columna de tiempo que indica el instante en el que se da la máxima tensión de cada componente.

Se puede observar que todos los componentes presentan su máxima tensión entre 1.275 y 1.6 segundos.

| NOMBRE | MATERIAL | LÍMITE ELÁSTICO (MPa) | ESPESOR (mm) | TENSIÓN (MPa) | CS | tiempo (s) |
|---------------------------------|----------|-----------------------|--------------|---------------|-------------|------------|
| C0-barra-diagonal-delante | S275JR | 275 | 10,5 | 24,50 | 11,22403167 | 1,505 |
| C0-barra-diagonal-detrás | S275JR | 275 | 10,5 | 41,38 | 6,64652568 | 1,485 |
| C0-barra-vert-delante | S275JR | 275 | 10,5 | 1,88 | 145,9660297 | 1,385 |
| C0-barra-vert-detrás | S275JR | 275 | 10,5 | 2,07 | 133,0430576 | 1,355 |
| C0-C1-superior-cuadrado | S275JR | 275 | 3 | 58,11 | 4,732404061 | 1,505 |
| C0-dcha-abajo-placaC | S275JR | 275 | 6 | 209,14 | 1,314908674 | 1,51 |
| C0-dcha-abajo-placaC-horizontal | S275JR | 275 | 6 | 160,73 | 1,710911885 | 1,51 |
| C0-dcha-supU-cilindro-shell | S275JR | 275 | 10 | 18,60 | 14,78892175 | 1,355 |
| C0-dcha-vert | S275JR | 275 | 3 | 138,53 | 1,985158235 | 1,48 |
| C0-inferior | S275JR | 275 | 3 | 247,86 | 1,109479392 | 1,5 |
| C0-inferior-plaquica1-izq | S275JR | 275 | 3 | 8,49 | 32,39104829 | 1,48 |
| C0-inferior-plaquica2-izq | S275JR | 275 | 3 | 10,87 | 25,31063046 | 1,48 |
| C0-inferior-plaquica3-dcha | S275JR | 275 | 3 | 10,75 | 25,59329921 | 1,48 |
| C0-inferior-plaquica4-dcha | S275JR | 275 | 3 | 9,63 | 28,55955966 | 1,465 |
| C0-izq-abajo-placaC | S275JR | 275 | 10 | 133,01 | 2,067560354 | 1,48 |
| C0-placa-debajo-pasadorUnion | S275JR | 275 | 6 | 63,98 | 4,298554123 | 1,505 |
| C0-placa-encima-cilindro | S275JR | 275 | 8 | 28,33 | 9,707709687 | 1,39 |
| C0-placaGrande-triang-delante | S275JR | 275 | 6 | 173,01 | 1,58949431 | 1,48 |
| C0-placaGrande-triang-detrás | S275JR | 275 | 6 | 169,45 | 1,622907187 | 1,48 |
| C0-placaO-izq-abajo | S275JR | 275 | 6 | 83,54 | 3,291915057 | 1,48 |
| C0-superior | S275JR | 275 | 3 | 251,09 | 1,095229182 | 1,505 |
| C0-superior-dcha-placaC | S275JR | 275 | 6 | 242,43 | 1,134352738 | 1,505 |
| C0-UnionCilindros-placaCDetras | S275JR | 275 | 8 | 65,47 | 4,200461287 | 1,48 |
| C0-UnionCilindros-placaDelante | S275JR | 275 | 10 | 114,93 | 2,392739992 | 1,48 |
| C0-UnionCilindros-placaDetras | S275JR | 275 | 10 | 184,42 | 1,491201909 | 1,48 |
| C1-barrastriang-delante | S275JR | 275 | 12 | 73,13 | 3,76027238 | 1,475 |
| C1-barrastriang-detrás | S275JR | 275 | 12 | 47,72 | 5,762420636 | 1,455 |
| C1-derecha-vert | S275JR | 275 | 3 | 81,18 | 3,387700798 | 1,51 |
| C1-inferior | S275JR | 275 | 2 | 240,78 | 1,142102465 | 1,48 |
| C1-izquierda-vert | S275JR | 275 | 3 | 241,05 | 1,140851615 | 1,48 |

Análisis y optimización del diseño inicial de un pulverizador de barras de 26 metros de pluma.

| | | | | | | |
|---------------------------------|--------|-----|-----|--------|-------------|-------|
| C1-placaC-inf-dcha-finaHorizont | S275JR | 275 | 6 | 150,69 | 1,824974948 | 1,505 |
| C1-placaC-inf-derecha | S275JR | 275 | 6 | 249,84 | 1,100722074 | 1,51 |
| C1-placaC-inf-izq-finaHorizont | S275JR | 275 | 6 | 81,71 | 3,365767089 | 1,505 |
| C1-placaC-inf-izquierda | S275JR | 275 | 6 | 220,00 | 1,249977273 | 1,495 |
| C1-placaC-sup-derecha | S275JR | 275 | 6 | 123,98 | 2,218135476 | 1,45 |
| C1-placaC-sup-izquierda | S275JR | 275 | 6 | 246,52 | 1,115514577 | 1,505 |
| C1-placaDebajoCilindro-UnionIzq | S275JR | 275 | 6 | 46,43 | 5,922512007 | 1,505 |
| C1-placa-peque-dcha-abajo | S275JR | 275 | 3 | 8,08 | 34,04729479 | 1,485 |
| C1-placa-peque-izq-abajo | S275JR | 275 | 3 | 9,08 | 30,29635342 | 1,505 |
| C1-supDcha-PlacaEncimaSuperior | S275JR | 275 | 6 | 33,87 | 8,118320836 | 1,505 |
| C1-superior | S275JR | 275 | 2 | 252,52 | 1,089014027 | 1,5 |
| C2-barras-triangDelante | S275JR | 275 | 12 | 22,02 | 12,48807956 | 1,51 |
| C2-barras-triangDetras | S275JR | 275 | 12 | 58,83 | 4,674565265 | 1,51 |
| C2-dcha-sup-placaUnionC3 | S275JR | 275 | 6 | 12,56 | 21,90013538 | 1,45 |
| C2-derecha-vert | S275JR | 275 | 3 | 104,08 | 2,642122153 | 1,51 |
| C2-inferior | S275JR | 275 | 1,5 | 239,27 | 1,149324406 | 1,51 |
| C2-izquierda-vert | S275JR | 275 | 3 | 142,36 | 1,931776673 | 1,51 |
| C2-placaC-inf-dcha | S275JR | 275 | 6 | 82,86 | 3,318730917 | 1,555 |
| C2-placaC-inf-dcha-fina | S275JR | 275 | 6 | 49,06 | 5,605495424 | 1,335 |
| C2-placaC-inf-izq | S275JR | 275 | 6 | 268,27 | 1,025086666 | 1,51 |
| C2-placaC-inf-izq-fina | S275JR | 275 | 6 | 97,28 | 2,827036751 | 1,51 |
| C2-placaC-sup-dcha | S275JR | 275 | 6 | 58,05 | 4,737295435 | 1,485 |
| C2-placaC-sup-izq | S275JR | 275 | 6 | 124,24 | 2,21352909 | 1,51 |
| C2-placa-debajo-cilindro | S275JR | 275 | 6 | 23,65 | 11,62594064 | 1,445 |
| C2-placa-peque-dcha-abajo | S275JR | 275 | 3 | 25,12 | 10,94570928 | 1,51 |
| C2-placa-peque-izq-abajo | S275JR | 275 | 3 | 19,05 | 14,43645336 | 1,51 |
| C2-superior | S275JR | 275 | 1,5 | 196,45 | 1,399840164 | 1,505 |
| C3-barratriang-delante | S275JR | 275 | 12 | 21,39 | 12,85707607 | 1,485 |
| C3-barratriang-detrás | S275JR | 275 | 12 | 20,74 | 13,25748445 | 1,45 |
| C3-dcha-inferior-placaC | S275JR | 275 | 6 | 56,46 | 4,870532393 | 1,525 |
| C3-dcha-inferior-placaC-horizon | S275JR | 275 | 6 | 27,44 | 10,02150067 | 1,53 |
| C3-dcha-superior-placaC | S275JR | 275 | 6 | 12,27 | 22,41969672 | 1,515 |
| C3-dcha-superior-placaEncimaC | S275JR | 275 | 6 | 16,73 | 16,43360822 | 1,48 |
| C3-dcha-vert | S275JR | 275 | 3 | 69,40 | 3,962593121 | 1,45 |
| C3-inferior | S275JR | 275 | 1,5 | 154,46 | 1,7804308 | 1,275 |
| C3-izq-abajo-placaC | S275JR | 275 | 6 | 131,55 | 2,090412229 | 1,275 |
| C3-izq-abajo-placaC-horizonta | S275JR | 275 | 6 | 74,31 | 3,700862637 | 1,275 |
| C3-izq-sup-placaC | S275JR | 275 | 6 | 45,12 | 6,09445294 | 1,48 |
| C3-izquierda-vert | S275JR | 275 | 3 | 68,91 | 3,990712524 | 1,485 |
| C3-placa-debajo-cilindro | S275JR | 275 | 6 | 12,02 | 22,8861518 | 1,535 |
| C3-placa-peque-dcha-abajo | S275JR | 275 | 3 | 2,03 | 135,2680767 | 1,48 |
| C3-placa-pequeizquierda-abajo | S275JR | 275 | 3 | 2,67 | 103,1894934 | 1,51 |
| C3-superior | S275JR | 275 | 1,5 | 95,81 | 2,870264064 | 1,485 |
| C4-barradiagonal-delante | S275JR | 275 | 10 | 59,64 | 4,611076644 | 1,42 |
| C4-barradiagonal-detrás | S275JR | 275 | 10 | 43,46 | 6,327220855 | 1,355 |
| C4-inferior | S275JR | 275 | 2 | 88,30 | 3,114559148 | 1,48 |
| C4-izq-arriba-cuboUnion | S275JR | 275 | 3 | 25,21 | 10,90880241 | 1,48 |
| C4-izq-arriba-placaJuntoAcubo | S275JR | 275 | 6 | 19,53 | 14,08090118 | 1,48 |

Análisis y optimización del diseño inicial de un pulverizador de barras de 26 metros de pluma.

| | | | | | | |
|---------------------------------|--------|-----|----|--------|-------------|-------|
| C4-izq-final-placaC-abajo | S275JR | 275 | 6 | 51,85 | 5,30365856 | 1,48 |
| C4-izq-final-placaC-vertAbajo | S275JR | 275 | 3 | 60,59 | 4,538627849 | 1,445 |
| C4-izq-fin-placaL-mitadplacaVer | S275JR | 275 | 6 | 56,13 | 4,899078973 | 1,3 |
| C4-izq-placadebajo-pasador | S275JR | 275 | 6 | 65,18 | 4,219085609 | 1,42 |
| C4-izq-placaunion-tuerca | S275JR | 275 | 6 | 43,68 | 6,296219978 | 1,3 |
| C4-izquierda-baseCirculo | S275JR | 275 | 3 | 47,91 | 5,740528129 | 1,48 |
| C4-izquierda-infFinal-placa | S275JR | 275 | 6 | 103,78 | 2,649912794 | 1,3 |
| C4-izquierda-placaC-arriba | S275JR | 275 | 3 | 149,27 | 1,842286847 | 1,42 |
| C4-izquierda-vert-delante | S275JR | 275 | 3 | 82,95 | 3,315090291 | 1,42 |
| C4-izquierda-vert-detrás | S275JR | 275 | 3 | 150,06 | 1,832575869 | 1,48 |
| C4-izquierda-vert-perpentic | S275JR | 275 | 3 | 150,36 | 1,828919541 | 1,42 |
| C4-izq-vertical-final | S275JR | 275 | 3 | 63,49 | 4,331663674 | 1,3 |
| C4-placaC-fin-derecha | S275JR | 275 | 3 | 16,29 | 16,88670556 | 1,375 |
| C4-placaC-vertical-dcha | S275JR | 275 | 3 | 16,11 | 17,06908324 | 1,395 |
| C4-placas-PuenteGrande-bar | S275JR | 275 | 10 | 41,34 | 6,651509288 | 1,3 |
| C4-placas-PuenteGrande-shell | S275JR | 275 | 8 | 53,43 | 5,146921205 | 1,475 |
| C4-placas-puentePeque-bar | S275JR | 275 | 10 | 71,10 | 3,868063858 | 1,42 |
| C4-placas-puentePeque-shell | S275JR | 275 | 8 | 43,33 | 6,347227992 | 1,475 |
| Soporte-barra-delante | S275JR | 275 | 6 | 129,44 | 2,124618534 | 1,34 |
| Soporte-barra-detrás-Cuadr-fino | S275JR | 275 | 3 | 4,48 | 61,35653726 | 1,335 |
| Soporte-barra-detrás-Cuadr-gord | S275JR | 275 | 8 | 0,26 | 1045,627376 | 1,335 |
| Soporte-BarraTransversal-dcha | S275JR | 275 | 6 | 17,54 | 15,67934318 | 1,445 |
| Soporte-Delante-shell | S275JR | 275 | 8 | 180,10 | 1,526971876 | 1,48 |
| Soporte-detrás-shell | S275JR | 275 | 4 | 3,34 | 82,26144182 | 1,56 |
| Soporte-placaCilDiagonal-dcha | S275JR | 275 | 8 | 0,21 | 1303,317536 | 1,43 |
| Soporte-placaCuadrada-delante | S275JR | 275 | 4 | 18,24 | 15,0808884 | 1,265 |
| Soporte-placaCuadrada-detrás | S275JR | 275 | 4 | 8,16 | 33,70098039 | 1,445 |
| Soporte-placaDebajoCilindro-eje | S275JR | 275 | 10 | 0,10 | 2835,051546 | 1,39 |
| Soporte-placaSoporteCilGranAbaj | S275JR | 275 | 6 | 14,93 | 18,42052381 | 1,42 |
| Soporte-triangHorizontal-base | S275JR | 275 | 3 | 0,81 | 341,6149068 | 1,6 |
| Soporte-Triangulo-horizontal | S275JR | 275 | 3 | 0,65 | 425,6965944 | 1,37 |
| Soporte-V-shell | S275JR | 275 | 6 | 0,23 | 1175,213675 | 1,4 |

Tabla D.2: Resumen de los resultados para cada componente que forma la estructura de barras en función del tiempo. Caso 2, carga dinámica 5g.

CASO 3: CARGA DINÁMICA 2g

Cuando se aplica esta carga, aparecen 26 componentes cuyo límite elástico es inferior a 3, aparecen en la tabla D.3 resaltados en amarillo. Estos componentes son los que se nombran a modo resumen, ya que son los más solicitados, en el apartado 6.RESULTADOS DEL MODELO INICIAL y también en el ANEXO C con imágenes del mapa de tensiones. Además, aparecen resaltados en verde las piezas que en los resultados del caso anterior tenían un CS pequeño y que ahora ha aumentado al aplicar una carga mayor.

A diferencia del caso de carga estática, en este no se han incluido todos los componentes que forman la estructura, no se han tenido en cuenta los de acero genérico, solo los de acero estructural S275JR, ya que éstos son en los que más se centra el estudio al presentar más puntos débiles. También se ha añadido una nueva columna de tiempo que indica el instante en el que se da la máxima tensión de cada componente.

Se puede observar que todos los componentes presentan su máxima tensión entre 0.375 y 0.46 segundos.

| NOMBRE | MATERIAL | LÍMITE ELÁSTICO (MPa) | ESPESOR (mm) | TENSION (MPa) | CS | tiempo (s) |
|---------------------------------|----------|-----------------------|--------------|---------------|------------|------------|
| C0-barra-diagonal-delante | S275JR | 275 | 10,5 | 23,86 | 11,5250828 | 0,435 |
| C0-barra-diagonal-detrás | S275JR | 275 | 10,5 | 35,49 | 7,74909829 | 0,405 |
| C0-barra-vert-delante | S275JR | 275 | 10,5 | 2,11 | 130,085147 | 0,275 |
| C0-barra-vert-detrás | S275JR | 275 | 10,5 | 10,26 | 26,8135725 | 0,225 |
| C0-C1-superior-cuadrado | S275JR | 275 | 3 | 49,04 | 5,60720985 | 0,395 |
| C0-dcha-abajo-placaC | S275JR | 275 | 6 | 213,31 | 1,28920955 | 0,39 |
| C0-dcha-abajo-placaC-horizontal | S275JR | 275 | 6 | 123,93 | 2,21908412 | 0,39 |
| C0-dcha-supU-cilindro-shell | S275JR | 275 | 10 | 34,06 | 8,07446121 | 0,165 |
| C0-dcha-vert | S275JR | 275 | 3 | 118,46 | 2,32139993 | 0,4 |
| C0-inferior | S275JR | 275 | 3 | 240,11 | 1,14532271 | 0,44 |
| C0-inferior-plaquica1-izq | S275JR | 275 | 3 | 7,85 | 35,0318471 | 0,41 |
| C0-inferior-plaquica2-izq | S275JR | 275 | 3 | 9,29 | 29,6017223 | 0,405 |
| C0-inferior-plaquica3-dcha | S275JR | 275 | 3 | 9,06 | 30,349851 | 0,415 |
| C0-inferior-plaquica4-dcha | S275JR | 275 | 3 | 13,27 | 20,7171915 | 0,22 |
| C0-izq-abajo-placaC | S275JR | 275 | 10 | 120,65 | 2,27935813 | 0,46 |
| C0-placa-debajo-pasadorUnion | S275JR | 275 | 6 | 53,35 | 5,15434933 | 0,435 |
| C0-placa-encima-cilindro | S275JR | 275 | 8 | 35,80 | 7,68092059 | 0,14 |
| C0-placaGrande-triang-delante | S275JR | 275 | 6 | 145,63 | 1,88838608 | 0,46 |
| C0-placaGrande-triang-detrás | S275JR | 275 | 6 | 153,17 | 1,79537902 | 0,46 |
| C0-placaO-izq-abajo | S275JR | 275 | 6 | 74,59 | 3,68662359 | 0,46 |
| C0-superior | S275JR | 275 | 3 | 209,72 | 1,31125342 | 0,395 |
| C0-superior-dcha-placaC | S275JR | 275 | 6 | 267,06 | 1,029735 | 0,395 |
| C0-UnionCilindros-placaCDetras | S275JR | 275 | 8 | 54,64 | 5,03312713 | 0,41 |
| C0-UnionCilindros-placaDelante | S275JR | 275 | 10 | 103,23 | 2,66387686 | 0,46 |
| C0-UnionCilindros-placaDetras | S275JR | 275 | 10 | 154,68 | 1,77789846 | 0,46 |
| C1-barratriang-delante | S275JR | 275 | 12 | 61,14 | 4,49787373 | 0,44 |
| C1-barratriang-detrás | S275JR | 275 | 12 | 40,63 | 6,76923077 | 0,625 |

Análisis y optimización del diseño inicial de un pulverizador de barras de 26 metros de pluma.

| | | | | | | |
|---------------------------------|--------|-----|-----|--------|------------|-------|
| C1-derecha-vert | S275JR | 275 | 3 | 65,55 | 4,19514279 | 0,435 |
| C1-inferior | S275JR | 275 | 2 | 236,07 | 1,16490378 | 0,44 |
| C1-izquierda-vert | S275JR | 275 | 3 | 213,51 | 1,28801398 | 0,405 |
| C1-placaC-inf-dcha-finaHorizont | S275JR | 275 | 6 | 90,78 | 3,02940172 | 0,425 |
| C1-placaC-inf-derecha | S275JR | 275 | 6 | 179,48 | 1,53224683 | 0,375 |
| C1-placaC-inf-izq-finaHorizont | S275JR | 275 | 6 | 65,84 | 4,17653848 | 0,435 |
| C1-placaC-inf-izquierda | S275JR | 275 | 6 | 184,03 | 1,49433782 | 0,39 |
| C1-placaC-sup-derecha | S275JR | 275 | 6 | 134,03 | 2,05182538 | 0,43 |
| C1-placaC-sup-izquierda | S275JR | 275 | 6 | 275,14 | 0,99949843 | 0,435 |
| C1-placaDebajoCilindro-UnionIzq | S275JR | 275 | 6 | 34,28 | 8,02240439 | 0,435 |
| C1-placa-peque-dcha-abajo | S275JR | 275 | 3 | 7,30 | 37,691886 | 0,42 |
| C1-placa-peque-izq-abajo | S275JR | 275 | 3 | 9,16 | 30,0120048 | 0,435 |
| C1-supDcha-PlacaEncimaSuperior | S275JR | 275 | 6 | 27,06 | 10,1622261 | 0,43 |
| C1-superior | S275JR | 275 | 2 | 275,02 | 0,99994182 | 0,435 |
| C2-barras-triangDelante | S275JR | 275 | 12 | 16,89 | 16,2779685 | 0,395 |
| C2-barras-triangDetras | S275JR | 275 | 12 | 17,54 | 15,6802372 | 0,43 |
| C2-dcha-sup-placaUnionC3 | S275JR | 275 | 6 | 49,98 | 5,50176056 | 0,435 |
| C2-derecha-vert | S275JR | 275 | 3 | 82,99 | 3,31369218 | 0,435 |
| C2-inferior | S275JR | 275 | 1,5 | 213,15 | 1,29015308 | 0,375 |
| C2-izquierda-vert | S275JR | 275 | 3 | 108,52 | 2,53407175 | 0,435 |
| C2-placaC-inf-dcha | S275JR | 275 | 6 | 65,56 | 4,19475884 | 0,375 |
| C2-placaC-inf-dcha-fina | S275JR | 275 | 6 | 45,55 | 6,03758672 | 0,375 |
| C2-placaC-inf-izq | S275JR | 275 | 6 | 206,23 | 1,33344971 | 0,375 |
| C2-placaC-inf-izq-fina | S275JR | 275 | 6 | 57,06 | 4,81915043 | 0,375 |
| C2-placaC-sup-dcha | S275JR | 275 | 6 | 53,59 | 5,13165015 | 0,42 |
| C2-placaC-sup-izq | S275JR | 275 | 6 | 87,74 | 3,13443894 | 0,43 |
| C2-placa-debajo-cilindro | S275JR | 275 | 6 | 27,95 | 9,84005439 | 0,44 |
| C2-placa-peque-dcha-abajo | S275JR | 275 | 3 | 18,75 | 14,6690137 | 0,44 |
| C2-placa-peque-izq-abajo | S275JR | 275 | 3 | 17,40 | 15,8036894 | 0,435 |
| C2-superior | S275JR | 275 | 1,5 | 143,32 | 1,91876975 | 0,43 |
| C3-barratriang-delante | S275JR | 275 | 12 | 22,00 | 12,5011365 | 0,42 |
| C3-barratriang-detras | S275JR | 275 | 12 | 20,56 | 13,3741854 | 0,375 |
| C3-dcha-inferior-placaC | S275JR | 275 | 6 | 36,54 | 7,52579294 | 0,47 |
| C3-dcha-inferior-placaC-horizon | S275JR | 275 | 6 | 19,17 | 14,3460796 | 0,465 |
| C3-dcha-superior-placaC | S275JR | 275 | 6 | 12,51 | 21,9771438 | 0,46 |
| C3-dcha-superior-placaEncimaC | S275JR | 275 | 6 | 13,83 | 19,8814344 | 0,405 |
| C3-dcha-vert | S275JR | 275 | 3 | 69,13 | 3,97783982 | 0,375 |
| C3-inferior | S275JR | 275 | 1,5 | 130,36 | 2,10960754 | 0,375 |
| C3-izq-abajo-placaC | S275JR | 275 | 6 | 87,84 | 3,13076345 | 0,375 |
| C3-izq-abajo-placaC-horizont | S275JR | 275 | 6 | 36,52 | 7,52929581 | 0,375 |
| C3-izq-sup-placaC | S275JR | 275 | 6 | 40,65 | 6,76556695 | 0,375 |
| C3-izquierda-vert | S275JR | 275 | 3 | 63,75 | 4,31345484 | 0,42 |
| C3-placa-debajo-cilindro | S275JR | 275 | 6 | 9,88 | 27,8283748 | 0,47 |
| C3-placa-peque-dcha-abajo | S275JR | 275 | 3 | 1,67 | 164,967007 | 0,415 |
| C3-placa-pequeizquierda-abajo | S275JR | 275 | 3 | 2,04 | 134,67189 | 0,43 |
| C3-superior | S275JR | 275 | 1,5 | 92,20 | 2,98277583 | 0,42 |

Análisis y optimización del diseño inicial de un pulverizador de barras de 26 metros de pluma.

| | | | | | | |
|---------------------------------|--------|-----|----|--------|------------|-------|
| C4-barradiagonal-delante | S275JR | 275 | 10 | 57,27 | 4,8014806 | 0,4 |
| C4-barradiagonal-detrás | S275JR | 275 | 10 | 52,07 | 5,28145346 | 0,5 |
| C4-inferior | S275JR | 275 | 2 | 83,76 | 3,28311167 | 0,345 |
| C4-izq-arriba-cuboUnion | S275JR | 275 | 3 | 20,91 | 13,1547477 | 0,465 |
| C4-izq-arriba-placaC JuntoAcubo | S275JR | 275 | 6 | 16,37 | 16,8000489 | 0,46 |
| C4-izq-final-placaC-abajo | S275JR | 275 | 6 | 45,01 | 6,11002488 | 0,345 |
| C4-izq-final-placaC-vertAbajo | S275JR | 275 | 3 | 71,55 | 3,84325125 | 0,465 |
| C4-izq-fin-placaL-mitadplacaVer | S275JR | 275 | 6 | 41,76 | 6,58572215 | 0,47 |
| C4-izq-placadebajo-pasador | S275JR | 275 | 6 | 63,93 | 4,30137801 | 0,4 |
| C4-izq-placaunion-tuerca | S275JR | 275 | 6 | 43,50 | 6,32256581 | 0,345 |
| C4-izquierda-baseCirculo | S275JR | 275 | 3 | 41,91 | 6,56136667 | 0,345 |
| C4-izquierda-infFinal-placa | S275JR | 275 | 6 | 78,27 | 3,51356876 | 0,375 |
| C4-izquierda-placaC-arriba | S275JR | 275 | 3 | 107,22 | 2,56484392 | 0,4 |
| C4-izquierda-vert-delante | S275JR | 275 | 3 | 78,21 | 3,51635424 | 0,4 |
| C4-izquierda-vert-detrás | S275JR | 275 | 3 | 94,24 | 2,9179886 | 0,465 |
| C4-izquierda-vert-perpentic | S275JR | 275 | 3 | 124,07 | 2,21649069 | 0,345 |
| C4-izq-vertical-final | S275JR | 275 | 3 | 53,13 | 5,1757886 | 0,345 |
| C4-placaC-fin-derecha | S275JR | 275 | 3 | 23,53 | 11,6877045 | 0,35 |
| C4-placaC-vertical-dcha | S275JR | 275 | 3 | 20,48 | 13,4277344 | 0,35 |
| C4-placas-PuenteGrande-bar | S275JR | 275 | 10 | 37,98 | 7,24122495 | 0,4 |
| C4-placas-PuenteGrande-shell | S275JR | 275 | 8 | 47,93 | 5,73801277 | 0,345 |
| C4-placas-puentePeque-bar | S275JR | 275 | 10 | 73,66 | 3,73362297 | 0,345 |
| C4-placas-puentePeque-shell | S275JR | 275 | 8 | 51,56 | 5,33348849 | 0,35 |
| Soporte-barra-delante | S275JR | 275 | 6 | 122,08 | 2,25269504 | 0,425 |
| Soporte-barra-detrás-Cuadr-fino | S275JR | 275 | 3 | 4,30 | 63,9089008 | 0,385 |
| Soporte-barra-detrás-Cuadr-gord | S275JR | 275 | 8 | 0,25 | 1100 | 0,385 |
| Soporte-BarraTransversal-dcha | S275JR | 275 | 6 | 16,18 | 16,9952413 | 0,455 |
| Soporte-Delante-shell | S275JR | 275 | 8 | 197,89 | 1,38963283 | 0,46 |
| Soporte-detrás-shell | S275JR | 275 | 4 | 3,49 | 78,8191459 | 0,395 |
| Soporte-placaCilDiagonal-dcha | S275JR | 275 | 8 | 0,22 | 1273,14815 | 0,3 |
| Soporte-placaCuadrada-delante | S275JR | 275 | 4 | 15,32 | 17,9457061 | 0,455 |
| Soporte-placaCuadrada-detrás | S275JR | 275 | 4 | 7,59 | 36,2271111 | 0,47 |
| Soporte-placaDebajoCilindro-eje | S275JR | 275 | 10 | 0,14 | 1964,28571 | 0,35 |
| Soporte-placaSoporteCilGranAbaj | S275JR | 275 | 6 | 13,70 | 20,0729927 | 0,39 |
| Soporte-triangHorizontal-base | S275JR | 275 | 3 | 1,49 | 184,563758 | 0,4 |
| Soporte-Triangulo-horizontal | S275JR | 275 | 3 | 1,86 | 148,168103 | 0,325 |
| Soporte-V-shell | S275JR | 275 | 6 | 0,25 | 1082,67717 | 0,355 |

Tabla D.3: Resumen de los resultados para cada componente que forma la estructura de barras en función del tiempo. Caso 2, carga dinámica 5g.

ANEXO E: PROCESO DE OPTIMIZACIÓN

Como se puede ver en el apartado de resultados del modelo inicial (apartado 6. De la memoria), para los casos de estudio realizados hay componentes cuyo coeficiente de seguridad es menor al mínimo establecido para trabajar en condiciones de seguridad, por lo que las barras del pulverizador empezarán a fallar a través de estos componentes críticos.

Para que esto no ocurra y consigan tener un coeficiente de seguridad mayor que 3, se procede a hacer un proceso de optimización del modelo, en el que se mejoraran las propiedades de los componentes críticos, como el material con el que se fabrican y/o el espesor.

Si se comparan los resultados del caso estático con los dinámicos, realizados anteriormente (ver tabla E1), se observa que en los casos dinámicos los resultados son más desfavorables, por lo que se procederá a realizar la optimización del modelo partiendo de los resultados obtenidos en el segundo y tercer caso de estudio.

| NOMBRE | CS estático | CS dinámico 5g | CS dinámico 2g |
|---------------------------------|-------------|----------------|----------------|
| C0-dcha-abajo-placaC | 1,703166031 | 1,314908674 | 1,28920955 |
| C0-dcha-abajo-placaC-horizontal | 2,212175816 | 1,710911885 | 2,219084123 |
| C0-dcha-vert | 2,406496666 | 1,985158235 | 2,321399931 |
| C0-inferior | 1,251837926 | 1,109479392 | 1,14532271 |
| C0-izq-abajo-placaC | | 2,067560354 | 2,279358133 |
| C0-placaGrande-triang-delante | 2,72387801 | 1,58949431 | 1,888386082 |
| C0-placaGrande-triang-detrás | 2,718009034 | 1,622907187 | 1,795379021 |
| C0-superior | 1,256195327 | 1,095229182 | 1,311253415 |
| C0-superior-dcha-placaC | 1,340639412 | 1,134352738 | 1,029735002 |
| C0-UnionCilindros-placaDelante | | 2,392739992 | 2,663876861 |
| C0-UnionCilindros-placaDetras | 2,242536431 | 1,491201909 | 1,777898459 |
| C1-inferior | 1,204787607 | 1,142102465 | 1,164903779 |
| C1-izquierda-vert | 1,285515281 | 1,140851615 | 1,288013976 |
| C1-placaC-inf-dcha-finaHorizont | 2,231780555 | 1,824974948 | |
| C1-placaC-inf-derecha | 1,326983116 | 1,100722074 | 1,532246831 |
| C1-placaC-inf-izquierda | 1,623731275 | 1,249977273 | 1,494337818 |
| C1-placaC-sup-derecha | 2,635563819 | 2,218135476 | 2,051825378 |
| C1-placaC-sup-izquierda | 1,218906796 | 1,115514577 | 0,999498434 |
| C1-superior | 1,131165882 | 1,089014027 | 0,999941822 |
| C2-derecha-vert | | 2,642122153 | |
| C2-inferior | 1,375068753 | 1,149324406 | 1,290153083 |
| C2-izquierda-vert | 2,17250478 | 1,931776673 | 2,534071746 |
| C2-placaC-inf-izq | 1,319546076 | 1,025086666 | 1,333449707 |
| C2-placaC-inf-izq-fina | | 2,827036751 | |
| C2-placaC-sup-izq | 2,581529392 | 2,21352909 | |
| C2-superior | 1,70500341 | 1,399840164 | 1,918769755 |
| C3-inferior | | 1,7804308 | 2,109607536 |
| C3-izq-abajo-placaC | | 2,090412229 | |
| C3-superior | | 2,870264064 | |
| C4-izquierda-infFinal-placa | | 2,649912794 | |
| C4-izquierda-placaC-arriba | 2,515734778 | 1,842286847 | 2,564843918 |
| C4-izquierda-vert-detrás | | 1,832575869 | |
| C4-izquierda-vert-perpentic | 2,612057256 | 1,828919541 | 2,216490691 |
| Soporte-barra-delante | 2,656286222 | 2,124618534 | 2,252695042 |
| Soporte-Delante-Shell | 2,66772729 | 1,526971876 | 1,389632834 |

Tabla E1: Comparación de los coeficientes de seguridad en los tres casos de estudio

PRIMERA OPTIMIZACIÓN, MODELO 5g

Para mejorar el modelo en el que la aceleración introducida es de 5g, se ha cambiado el material de los componentes que presentaban un coeficiente de seguridad menor que 3 por el acero S355, que presenta un mayor límite elástico que el anterior, en la tabla E2 se pueden ver las propiedades de este nuevo material y compararse con el que se había usado antes.

| Propiedades | MATERIALES OPTIMIZACIÓN | |
|--------------------------|-------------------------|--------|
| | S275JR | S355 |
| Módulo de Young (MPa) | 210000 | 210000 |
| Coefficiente de Poisson | 0,3 | 0,3 |
| Densidad (Kg/m^3) | 7800 | 7800 |
| Límite de tracción (MPa) | 410 | 500 |
| Límite elástico (MPa) | 275 | 355 |

Tabla E2: propiedades del acero S355 en comparación con el acero S275JR

Además, en el caso de los componentes que tenían anteriormente un coeficiente de seguridad menor que 2.3 en el caso de estudio con resultados más desfavorables, se les ha modificado el espesor por otro más grueso, de unos 2 mm más en todos los casos, con el fin de que las piezas sean lo suficientemente gruesas como para soportar las tensiones que aparecen, pero sin que sean demasiado grandes para que no pesen demasiado ya que podría perjudicar a otras zonas de las barras del pulverizador.

En la tabla E3 se presenta un resumen de todo lo mencionado anteriormente en este apartado, donde aparecen el CS del primer caso dinámico de aceleración=5g, el nuevo material utilizado y su límite elástico, el espesor que tenía cada componente en el modelo inicial y el nuevo espesor que se usará en el proceso de optimización.

| NOMBRE | CS dinámico 5g | NUEVO MATERIAL | LÍMITE ELÁSTICO (MPa) | ESPESOR ANTERIOR (mm) | ESPESOR NUEVO (mm) |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| C0-dcha-abajo-placaC | 1,314908674 | S355 | 355 | 6 | 8 |
| C0-dcha-abajo-placaC-horizontal | 1,710911885 | S355 | 355 | 6 | 8 |
| C0-dcha-vert | 1,985158235 | S355 | 355 | 3 | 5 |
| C0-inferior | 1,109479392 | S355 | 355 | 3 | 5 |
| C0-izq-abajo-placaC | 2,067560354 | S355 | 355 | 10 | 12 |
| C0-placaGrande-triang-delante | 1,58949431 | S355 | 355 | 6 | 8 |
| C0-placaGrande-triang-detrás | 1,622907187 | S355 | 355 | 6 | 8 |
| C0-superior | 1,095229182 | S355 | 355 | 3 | 5 |
| C0-superior-dcha-placaC | 1,134352738 | S355 | 355 | 6 | 8 |
| C0-UnionCilindros-placaDelante | 2,392739992 | S355 | 355 | 10 | 10 |
| C0-UnionCilindros-placaDetras | 1,491201909 | S355 | 355 | 10 | 12 |
| C1-inferior | 1,142102465 | S355 | 355 | 2 | 4 |
| C1-izquierda-vert | 1,140851615 | S355 | 355 | 3 | 5 |
| C1-placaC-inf-dcha-finaHorizont | 1,824974948 | S355 | 355 | 6 | 8 |
| C1-placaC-inf-derecha | 1,100722074 | S355 | 355 | 6 | 8 |
| C1-placaC-inf-izquierda | 1,249977273 | S355 | 355 | 6 | 8 |
| C1-placaC-sup-derecha | 2,218135476 | S355 | 355 | 6 | 8 |
| C1-placaC-sup-izquierda | 1,115514577 | S355 | 355 | 6 | 8 |
| C1-superior | 1,089014027 | S355 | 355 | 2 | 4 |
| C2-derecha-vert | 2,642122153 | S355 | 355 | 3 | 3 |
| C2-inferior | 1,149324406 | S355 | 355 | 1,5 | 3 |
| C2-izquierda-vert | 1,931776673 | S355 | 355 | 3 | 5 |
| C2-placaC-inf-izq | 1,025086666 | S355 | 355 | 6 | 8 |
| C2-placaC-inf-izq-fina | 2,827036751 | S355 | 355 | 6 | 6 |
| C2-placaC-sup-izq | 2,21352909 | S355 | 355 | 6 | 8 |
| C2-superior | 1,399840164 | S355 | 355 | 1,5 | 3 |
| C3-inferior | 1,7804308 | S355 | 355 | 1,5 | 3 |
| C3-izq-abajo-placaC | 2,090412229 | S355 | 355 | 6 | 8 |
| C3-superior | 2,870264064 | S355 | 355 | 1,5 | 1,5 |
| C4-izquierda-infFinal-placa | 2,649912794 | S355 | 355 | 6 | 6 |
| C4-izquierda-placaC-arriba | 1,842286847 | S355 | 355 | 3 | 5 |
| C4-izquierda-vert-detrás | 1,832575869 | S355 | 355 | 3 | 5 |
| C4-izquierda-vert-perpentic | 1,828919541 | S355 | 355 | 3 | 5 |
| Soporte-barra-delante | 2,124618534 | S355 | 355 | 6 | 5 |
| Soporte-Delante-Shell | 1,526971876 | S355 | 355 | 8 | 10 |

Tabla E3: Resumen de los cambios efectuados en material y espesor en la primera optimización para los componentes seleccionados.

En el anexo F aparecen los resultados obtenidos de este proceso de optimización, tanto tensiones como desplazamientos.

SEGUNDA OPTIMIZACIÓN, MODELO 5g

En este caso se ha partido de la primera optimización realizada y se ha hecho una pequeña mejora, con los mismos datos de materiales y espesor que se han cambiado con respecto al modelo inicial, se ha cambiado el instante en el que empieza a actuar la carga dinámica, que se ha adelantado de 1s (como estaba inicialmente) a 0.6s, estando ahora más cerca del momento en el que aparece la gravedad. Esto se debe a que en el intervalo que pasaba entre la gravedad y la carga dinámica, antes era muy grande y no ocurría nada importante que diera lugar a grandes tensiones. Por ello, para disminuir tiempo de cálculo computacional se ha quitado ese intervalo que no daba información relevante y así la simulación se obtiene antes.

Este cambio de la segunda optimización puede apreciarse muy bien en las gráficas de los desplazamientos de los nodos, ya que se ve el primer salto y el rebote que éste de la gravedad y las oscilaciones de la carga dinámica más próximos que el modelo que había anteriormente.

TERCERA OPTOMIZACIÓN, MODELO 2g

Con el fin de optimizar el modelo de 2g, se ha cambiado el material de los componentes más desfavorables por un acero de mayo límite elástico, el S355, tal y como se ha hecho en los casos anteriores, que presenta un mayor límite elástico que el anterior, en la tabla E2 se pueden ver las propiedades de este nuevo material y compararse con el que se había usado anteriormente.

También se ha llevado a cabo el proceso de aumentar 2mm el espesor de los componentes con un coeficiente de seguridad menor que 2.3 para aportarles rigidez a éstos, igual que en los modelos de 5g optimizados. En la tabla E3 aparecen estas nuevas características para cada parte de la estructura que ha sido modificada.

Además, para este caso, a diferencia con la primera optimización de 5g se ha modificado el tiempo en el que empieza a actuar la carga dinámica, de 1s a 0.6 s (para disminuir el tiempo de cálculo computacional).

En el anexo F se presentan los resultados obtenidos de este proceso de optimización, tanto tensiones como desplazamientos.

CUARTA OPTIMIZACIÓN, MODELO 2g

En este caso se ha partido del modelo inicial 2g y de la tercera optimización realizada, se ha hecho una mejora ya que el anterior seguía sin cumplir los requerimientos exigidos.

Para ello, se ha cambiado el material de los componentes que presentaban un coeficiente de seguridad menor que 3 por el acero STREX700MC, que presenta un mayor límite elástico que el S355, además para elevar el límite elástico de algunos componentes que cumplían con el requisito, pero era muy cercano a 3, se ha puesto como material el S355 por si aumentaba en estos las tensiones al hacer el nuevo cálculo y se quedaba con un $CS < 3$. Para el resto que presentaban tensiones menores se ha dejado el S275JR, ya que se considera que es más que suficiente con este material para

determinadas piezas. En la tabla E4 se pueden ver las propiedades de todos los materiales empleados en este apartado.

Por otro lado, el espesor de las piezas es el mismo que en el resto de los procesos de optimización anteriores, rigidizándose respecto del primer modelo añadiendo 2mm a los componentes más críticos del modelo inicial, con el fin de que las piezas sean lo suficientemente gruesas como para soportar las tensiones que aparecen, pero sin que sean demasiado grandes para que no pesen demasiado ya que podría perjudicar a otras zonas de las barras del pulverizador.

| | MATERIALES OPTIMIZACIÓN 2 | | |
|--------------------------|---------------------------|--------|------------|
| Propiedades | S275JR | S355 | STREX700MC |
| Módulo de Young (MPa) | 210000 | 210000 | 210000 |
| Coefficiente de Poisson | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Densidad (Kg/m^3) | 7800 | 7800 | 7800 |
| Límite de tracción (MPa) | 410 | 500 | 700 |
| Límite elástico (MPa) | 275 | 355 | 750 |

Tabla E4: propiedades de los aceros empleados

En la tabla E5 se presenta un resumen de todo lo mencionado anteriormente en este apartado, donde aparece el material utilizado para cada componente y su límite elástico, el espesor (el mismo que en el resto de optimizaciones) y la pieza a la que corresponden estas propiedades. La elección de los distintos materiales para cada componente depende del coeficiente de seguridad que se ha obtenido para el primer caso de estudio del modelo optimizado con una aceleración de valor 2g, es decir, la tercera optimización. Así, se ha usado el material STREX700MC para componentes que presentaban un $CS \leq 3$, el S355 para los que tenían un coeficiente dentro del rango $3 < CS \leq 10$ y el S275JR para los que tenían un $CS > 10$ en el modelo optimizado anterior de 2g.

| NOMBRE | MATERIAL | LÍMITE ELÁSTICO | ESPESOR |
|---------------------------------|------------|-----------------|---------|
| C0-barra-diagonal-delante | S355 | 355 | 10,5 |
| C0-barra-diagonal-detrás | S355 | 355 | 10,5 |
| C0-barra-vert-delante | S275JR | 275 | 10,5 |
| C0-barra-vert-detrás | S275JR | 275 | 10,5 |
| C0-C1-superior-cuadrado | S355 | 355 | 5 |
| C0-dcha-abajo-placaC | STREX700MC | 700 | 8 |
| C0-dcha-abajo-placaC-horizontal | STREX700MC | 700 | 8 |
| C0-dcha-supU-cilindro-shell | S355 | 355 | 10 |
| C0-dcha-vert | STREX700MC | 700 | 5 |
| C0-inferior | STREX700MC | 700 | 5 |
| C0-inferior-plaquica1-izq | S275JR | 275 | 3 |
| C0-inferior-plaquica2-izq | S275JR | 275 | 3 |
| C0-inferior-plaquica3-dcha | S275JR | 275 | 3 |
| C0-inferior-plaquica4-dcha | S275JR | 275 | 3 |
| C0-izq-abajo-placaC | STREX700MC | 700 | 12 |
| C0-placa-debajo-pasadorUnion | S355 | 355 | 8 |
| C0-placa-encima-cilindro | S355 | 355 | 8 |
| C0-placaGrande-triang-delante | STREX700MC | 700 | 8 |

Análisis y optimización del diseño inicial de un pulverizador de barras de 26 metros de pluma.

| | | | |
|---------------------------------|-------------|-----|----|
| C0-placaGrande-triang-detrás | STRENX700MC | 700 | 8 |
| C0-placaO-izq-abajo | S355 | 355 | 8 |
| C0-superior | STRENX700MC | 700 | 5 |
| C0-superior-dcha-placaC | STRENX700MC | 700 | 8 |
| C0-UnionCilindros-placaCDetras | S355 | 355 | 10 |
| C0-UnionCilindros-placaDelante | STRENX700MC | 700 | 12 |
| C0-UnionCilindros-placaDetras | STRENX700MC | 700 | 12 |
| C1-barratriang-delante | S355 | 355 | 14 |
| C1-barratriang-detrás | S355 | 355 | 14 |
| C1-derecha-vert | S355 | 355 | 5 |
| C1-inferior | STRENX700MC | 700 | 4 |
| C1-izquierda-vert | STRENX700MC | 700 | 5 |
| C1-placaC-inf-dcha-finaHorizont | S355 | 355 | 8 |
| C1-placaC-inf-derecha | STRENX700MC | 700 | 8 |
| C1-placaC-inf-izq-finaHorizont | S355 | 355 | 8 |
| C1-placaC-inf-izquierda | STRENX700MC | 700 | 8 |
| C1-placaC-sup-derecha | STRENX700MC | 700 | 8 |
| C1-placaC-sup-izquierda | STRENX700MC | 700 | 8 |
| C1-placaDebajoCilindro-UnionIzq | S355 | 355 | 6 |
| C1-placa-peque-dcha-abajo | S275JR | 275 | 3 |
| C1-placa-peque-izq-abajo | S275JR | 275 | 3 |
| C1-supDcha-PlacaEncimaSuperior | S275JR | 275 | 6 |
| C1-superior | STRENX700MC | 700 | 4 |
| C2-barras-triangDelante | S275JR | 275 | 12 |
| C2-barras-triangDetras | S275JR | 275 | 12 |
| C2-dcha-sup-placaUnionC3 | S355 | 355 | 8 |
| C2-derecha-vert | S355 | 355 | 5 |
| C2-inferior | STRENX700MC | 700 | 3 |
| C2-izquierda-vert | STRENX700MC | 700 | 5 |
| C2-placaC-inf-dcha | S355 | 355 | 8 |
| C2-placaC-inf-dcha-fina | S355 | 355 | 8 |
| C2-placaC-inf-izq | STRENX700MC | 700 | 8 |
| C2-placaC-inf-izq-fina | S355 | 355 | 8 |
| C2-placaC-sup-dcha | S355 | 355 | 8 |
| C2-placaC-sup-izq | S355 | 355 | 8 |
| C2-placa-debajo-cilindro | S355 | 355 | 6 |
| C2-placa-peque-dcha-abajo | S275JR | 275 | 3 |
| C2-placa-peque-izq-abajo | S275JR | 275 | 3 |
| C2-superior | STRENX700MC | 700 | 3 |
| C3-barratriang-delante | S275JR | 275 | 12 |
| C3-barratriang-detrás | S275JR | 275 | 12 |
| C3-dcha-inferior-placaC | S355 | 355 | 6 |
| C3-dcha-inferior-placaC-horizon | S275JR | 275 | 6 |
| C3-dcha-superior-placaC | S275JR | 275 | 6 |
| C3-dcha-superior-placaEncimaC | S275JR | 275 | 6 |
| C3-dcha-vert | S355 | 355 | 5 |
| C3-inferior | STRENX700MC | 700 | 3 |
| C3-izq-abajo-placaC | S355 | 355 | 8 |

Análisis y optimización del diseño inicial de un pulverizador de barras de 26 metros de pluma.

| | | | |
|---------------------------------|-------------|-----|----|
| C3-izq-abajo-placaC-horizontal | S355 | 355 | 8 |
| C3-izq-sup-placaC | S355 | 355 | 6 |
| C3-izquierda-vert | S355 | 355 | 5 |
| C3-placa-debajo-cilindro | S275JR | 275 | 6 |
| C3-placa-peque-dcha-abajo | S275JR | 275 | 3 |
| C3-placa-pequeizquierda-abajo | S275JR | 275 | 3 |
| C3-superior | S355 | 355 | 3 |
| C4-barradiagonal-delante | S355 | 355 | 12 |
| C4-barradiagonal-detrás | S355 | 355 | 12 |
| C4-inferior | S355 | 355 | 4 |
| C4-izq-arriba-cuboUnion | S275JR | 275 | 3 |
| C4-izq-arriba-placaCJuntoAcubo | S275JR | 275 | 6 |
| C4-izq-final-placaC-abajo | S355 | 355 | 8 |
| C4-izq-final-placaC-vertAbajo | S355 | 355 | 5 |
| C4-izq-fin-placaL-mitadplacaVer | S355 | 355 | 6 |
| C4-izq-placadebajo-pasador | S355 | 355 | 8 |
| C4-izq-placaunion-tuerca | S355 | 355 | 8 |
| C4-izquierda-baseCirculo | S355 | 355 | 5 |
| C4-izquierda-infFinal-placa | S355 | 355 | 6 |
| C4-izquierda-placaC-arriba | STRENX700MC | 700 | 5 |
| C4-izquierda-vert-delante | S355 | 355 | 5 |
| C4-izquierda-vert-detrás | S355 | 355 | 5 |
| C4-izquierda-vert-perpendic | STRENX700MC | 700 | 5 |
| C4-izq-vertical-final | S355 | 355 | 5 |
| C4-placaC-fin-derecha | S275JR | 275 | 3 |
| C4-placaC-vertical-dcha | S275JR | 275 | 3 |
| C4-placas-PuenteGrande-bar | S355 | 355 | 10 |
| C4-placas-PuenteGrande-shell | S355 | 355 | 10 |
| C4-placas-puentePeque-bar | S355 | 355 | 12 |
| C4-placas-puentePeque-shell | S355 | 355 | 10 |
| Soporte-barra-delante | STRENX700MC | 700 | 7 |
| Soporte-barra-detrás-Cuadr-fino | S275JR | 275 | 3 |
| Soporte-barra-detrás-Cuadr-gord | S275JR | 275 | 8 |
| Soporte-BarraTransversal-dcha | S275JR | 275 | 6 |
| Soporte-Delante-shell | STRENX700MC | 700 | 10 |
| Soporte-detrás-shell | S275JR | 275 | 4 |
| Soporte-placaCilDiagonal-dcha | S275JR | 275 | 8 |
| Soporte-placaCuadrada-delante | S275JR | 275 | 4 |
| Soporte-placaCuadrada-detrás | S275JR | 275 | 4 |
| Soporte-placaDebajoCilindro-eje | S275JR | 275 | 10 |
| Soporte-placaSoporteCilGranAbaj | S275JR | 275 | 6 |
| Soporte-triangHorizontal-base | S275JR | 275 | 3 |
| Soporte-Triangulo-horizontal | S275JR | 275 | 3 |
| Soporte-V-shell | S275JR | 275 | 6 |

Tabla E5: Resumen de los cambios efectuados en material y valores del espesor en la cuarta optimización.

En el anexo F aparecen los resultados obtenidos de este proceso de optimización, tanto tensiones como desplazamientos.

ANEXO F: RESULTADOS DE LOS PROCESOS DE OPTIMIZACIÓN

PRIMERA OPTIMIZACIÓN

A partir de las nuevas condiciones establecidas en el modelo, citadas en el apartado 7. *Proceso de optimización* y explicadas en el apartado de PRIMERA OPTIMIZACIÓN en el anexo E, se obtienen los siguientes resultados de desplazamientos y de tensiones.

1. DESPLAZAMIENTOS

Para extraer los resultados de los desplazamientos se han cogido los mismos nodos representativos que en el modelo inicial. (Ver *Figura C5: ubicación en el modelo de los nodos con los que se van a graficar los desplazamientos*, situada en el anexo C).

Las siguientes gráficas (figuras F1 a F7) describen los desplazamientos de los nodos en función del tiempo representados en la figura C5. En la figura F1 se observa una representación de todos ellos juntos de forma que se puede comparar lo que se desplaza cada nodo para un mismo instante de tiempo.

El movimiento que realizan los seis nodos representativos es en todos los casos sinusoidal, como en el caso anterior. Además, se ve que la onda que describen se va amortiguando con el tiempo, disminuyendo su amplitud con el paso de los segundos.

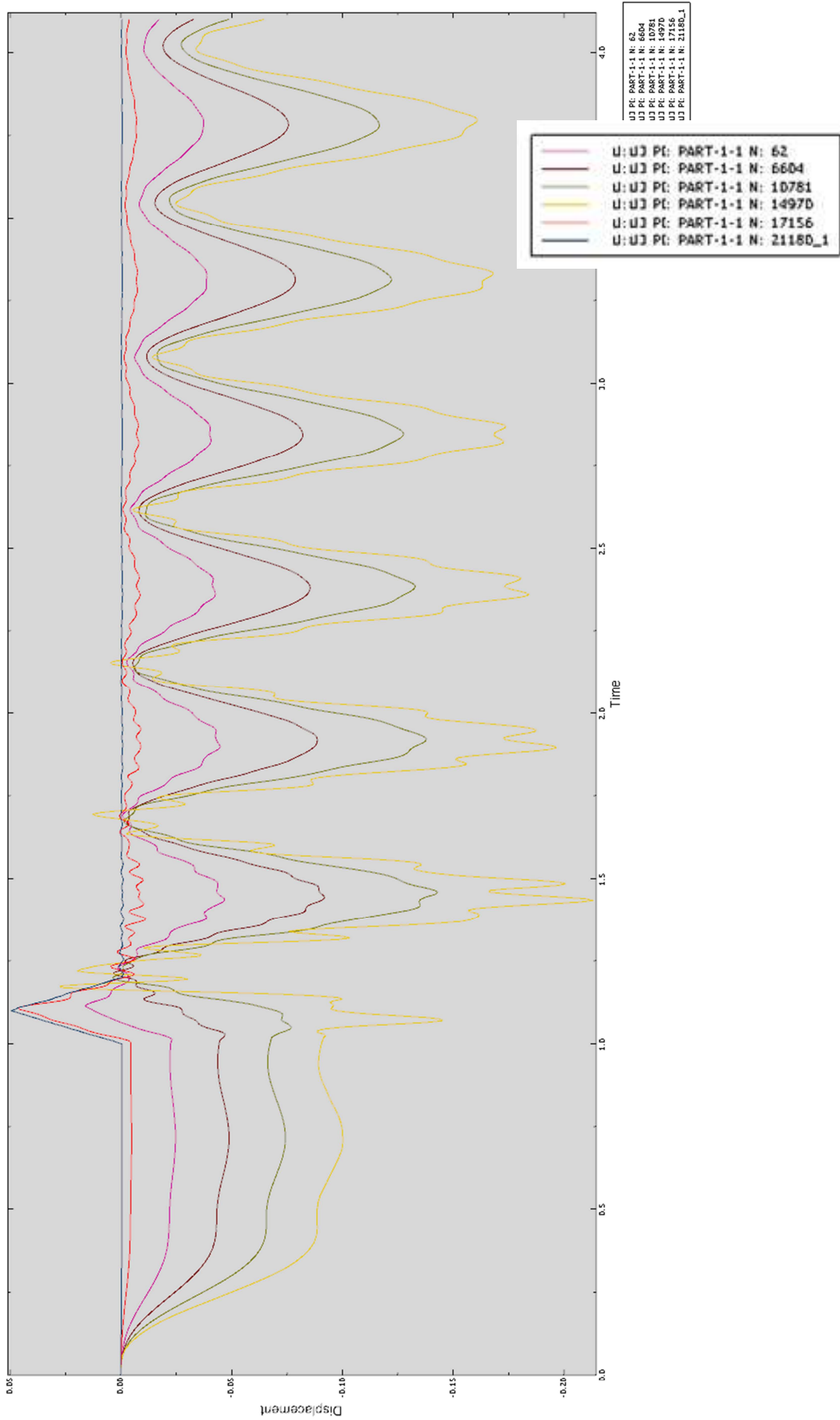


Figura F1: Distribución del desplazamiento en función del tiempo de los nodos seleccionados.14

NODO 21180 (ubicado en Soporte)

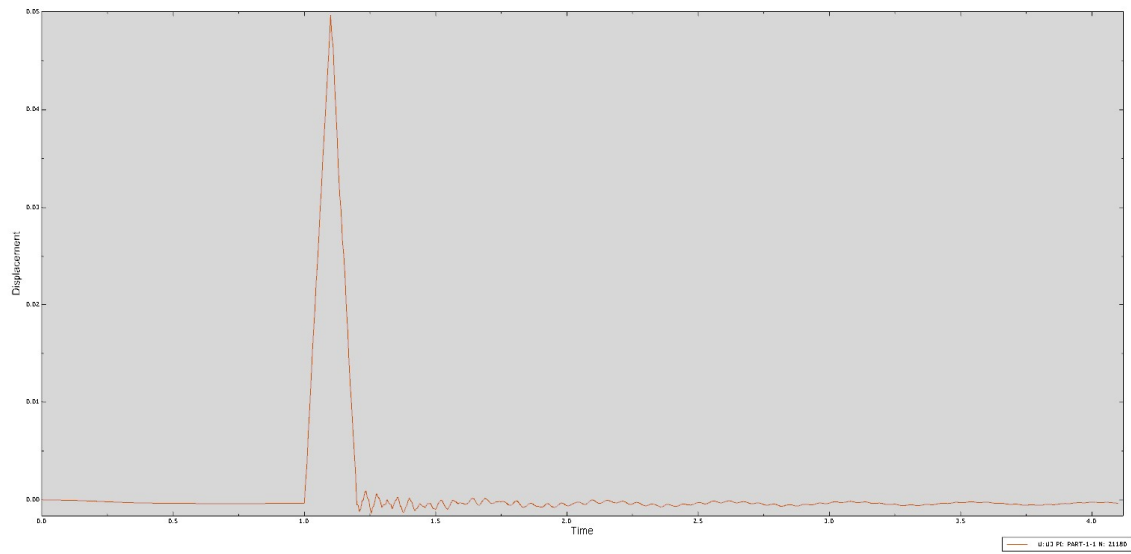


Figura F2: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 21180

NODO 17156 (ubicado en C0)

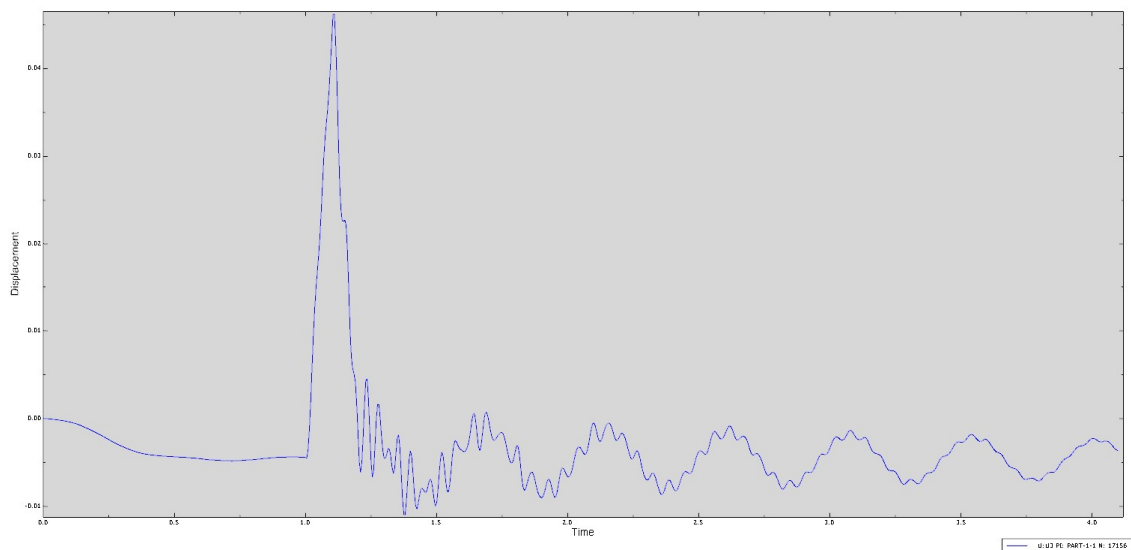


Figura F3: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 17156

NODO 62 (ubicado en C1)

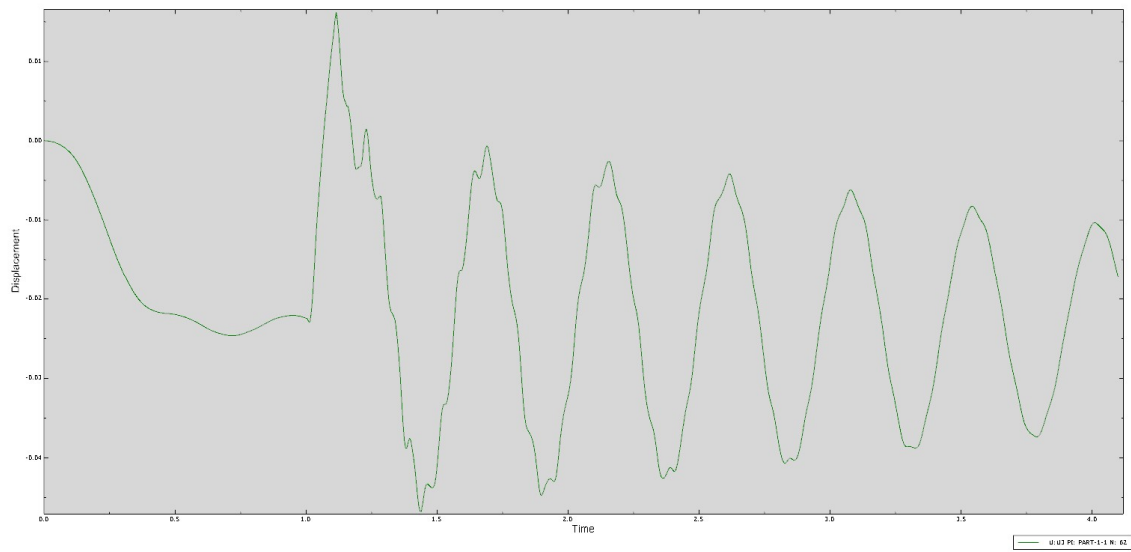


Figura F4: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 62

NODO 6604 (ubicado en C2)

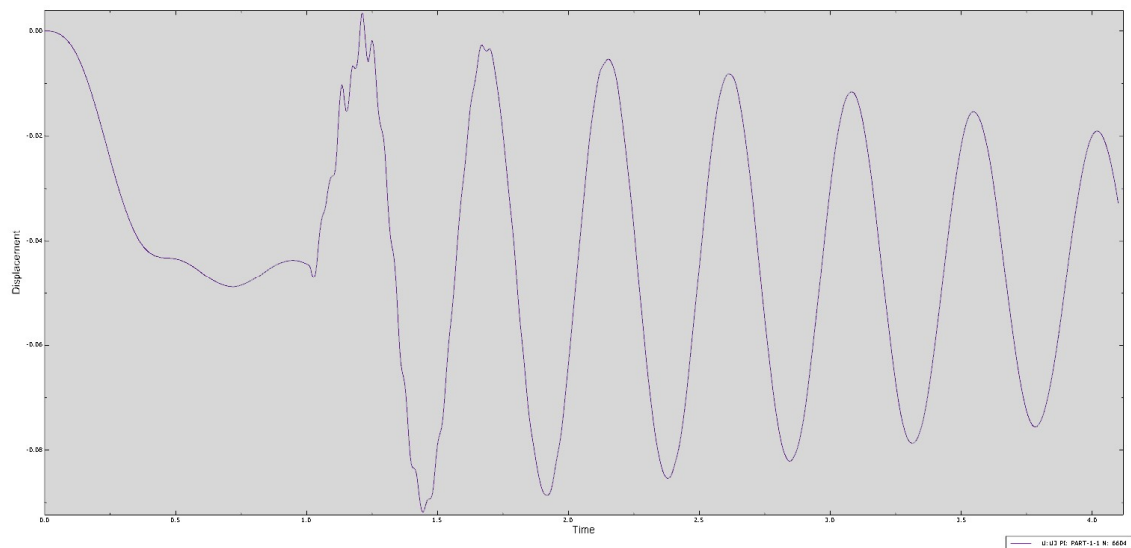


Figura F5: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 6604

NODO 10781 (ubicado en C3)

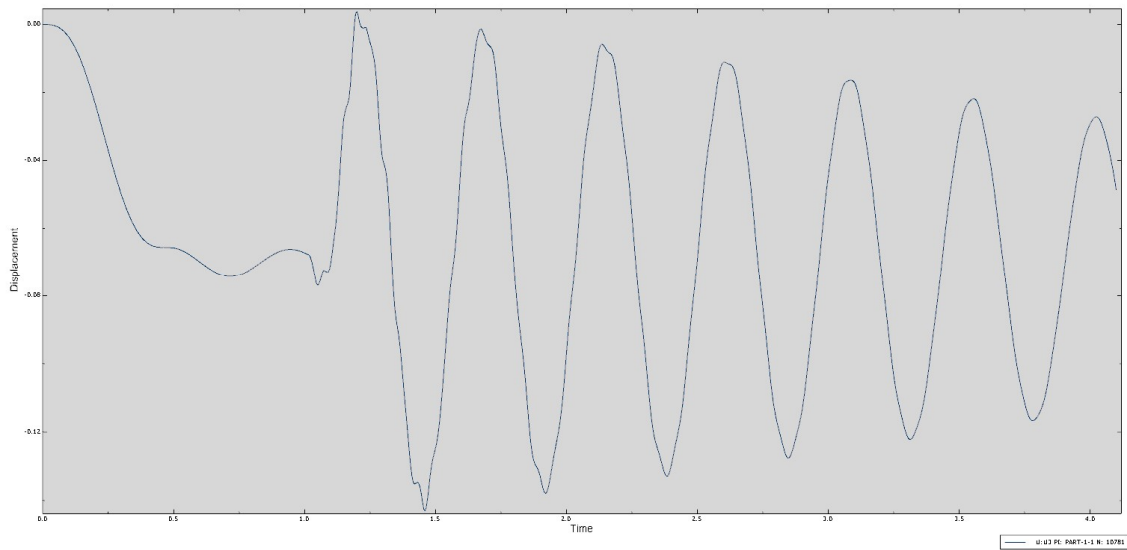


Figura F6: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 10781

NODO 14970 (ubicado en C4)

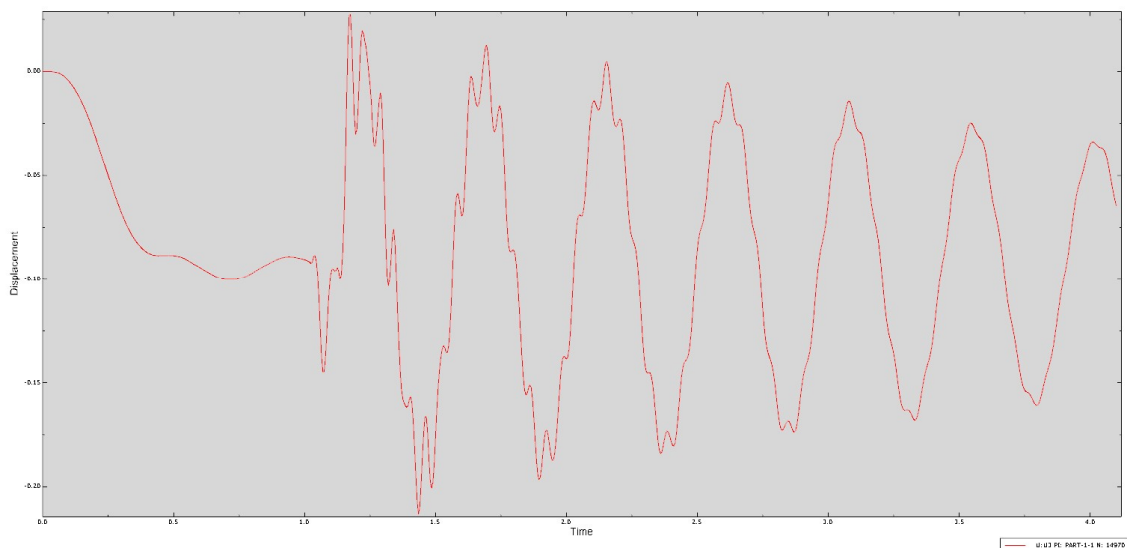


Figura F7: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 14970

Si se comparan estos desplazamientos con los del modelo inicial, se ve que son muy parecidos, sobre todo el de los nodos situados más hacia la izquierda (soporte, C0), en los que el desplazamiento que describen es prácticamente el mismo que en el caso inicial. Pero conforme nos desplazamos hacia la derecha (C1, C2, C3, C4) se percibe un cambio en las gráficas de desplazamientos en torno al punto en el que empieza a actuar la gravedad (en el intervalo de 0.5 a 1 aproximadamente), y es que en este caso la onda que aparece en todos los puntos en ese intervalo es menor que en el caso anterior, ya que al poner algunos componentes con un material de mayor límite elástico y aumentar el espesor, se rigidiza más la estructura y el impacto inicial que sufre por la carga aplicada se atenúa. El resto de la gráfica que describe un movimiento sinusoidal es similar al primer caso en todo el pulverizador (pero con menor amplitud), tal y como se observa en la similitud de esa parte de las gráficas de este caso de optimización con el original.

2. TENSIONES

Igual que se ha hecho en el primer caso dinámico, para sacar los resultados de cada componente del modelo habrá que buscar dentro de un intervalo de tiempo la máxima tensión que soporta cada uno de los elementos estructurales.

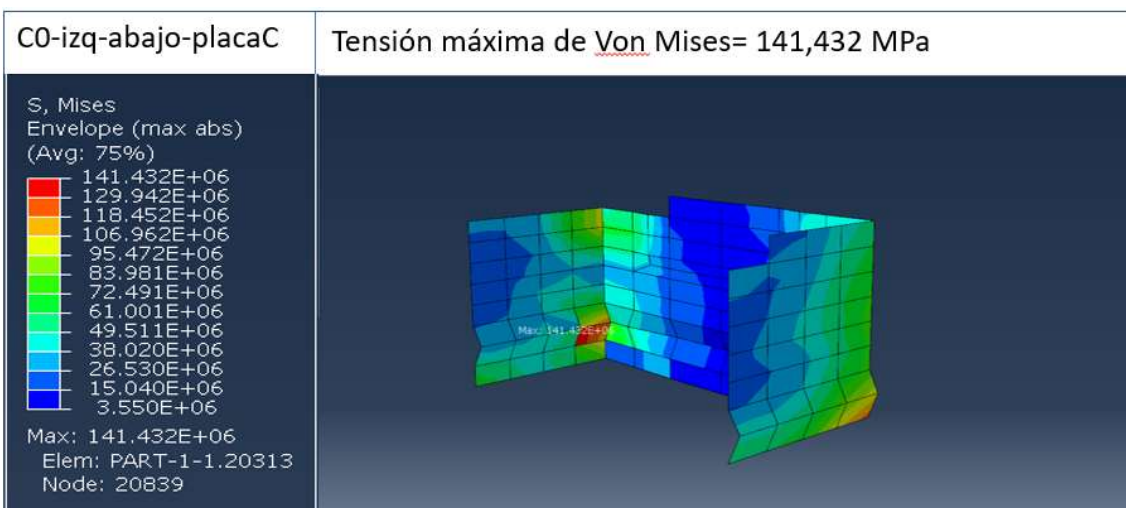
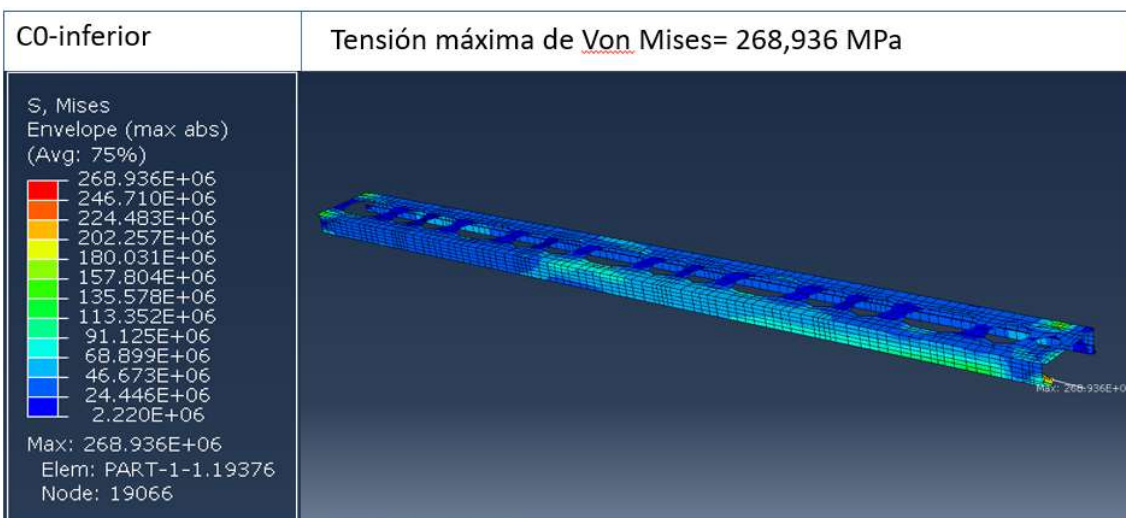
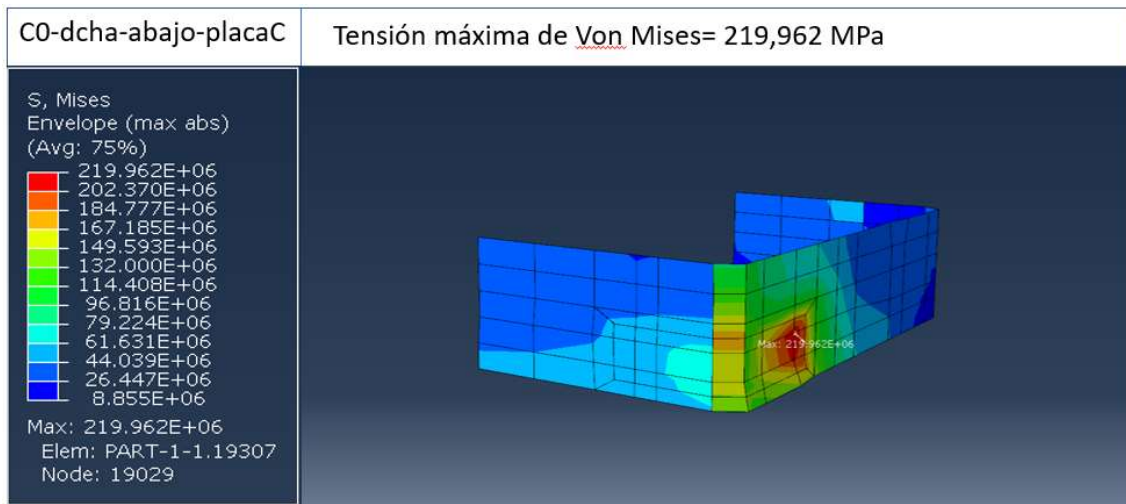
A través de las gráficas de los desplazamientos para este caso de estudio se observa que los picos más altos de desplazamiento aparecen en torno a 1.3s desde que el pulverizador empieza a oscilar para los puntos seleccionados en el apartado anterior, por lo que se darán las mayores tensiones cerca de ese intervalo de tiempo. Aunque el punto de máximo desplazamiento no tiene por qué ser el de máxima tensión para un mismo elemento, pero sí estará cerca ya que, también las deformaciones en ese entorno serán mayores que en otro instante en el que se desplace menos.

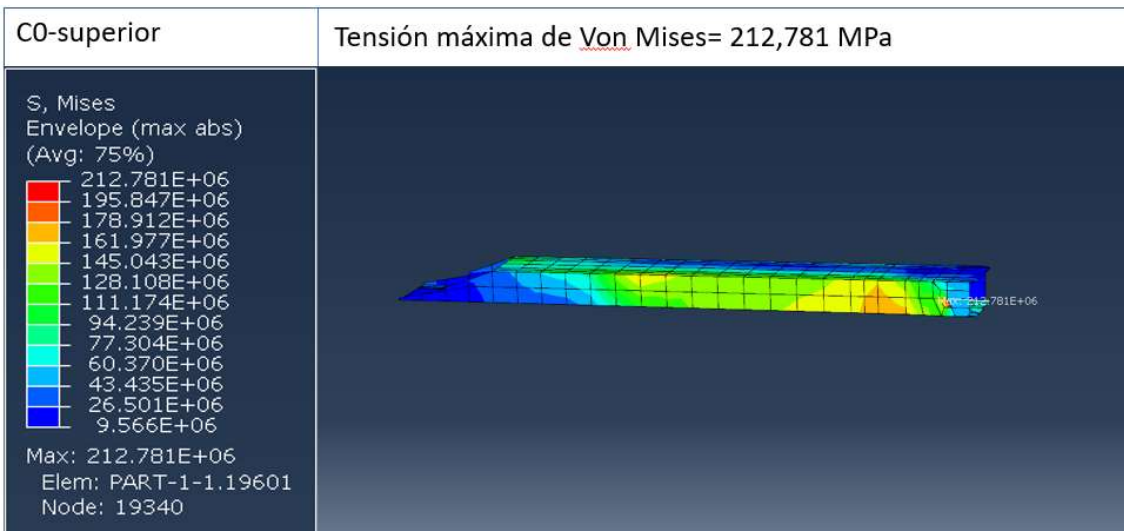
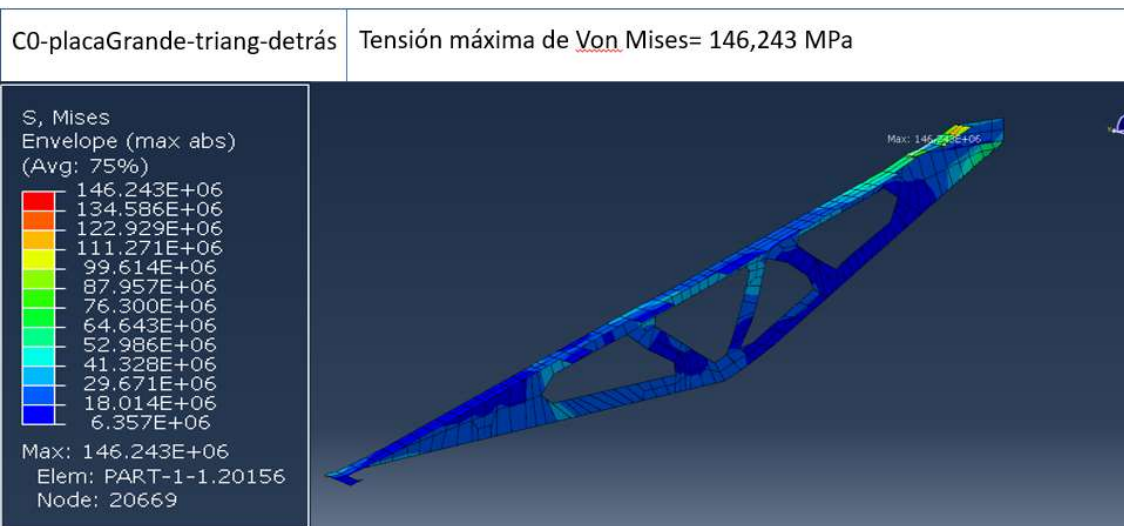
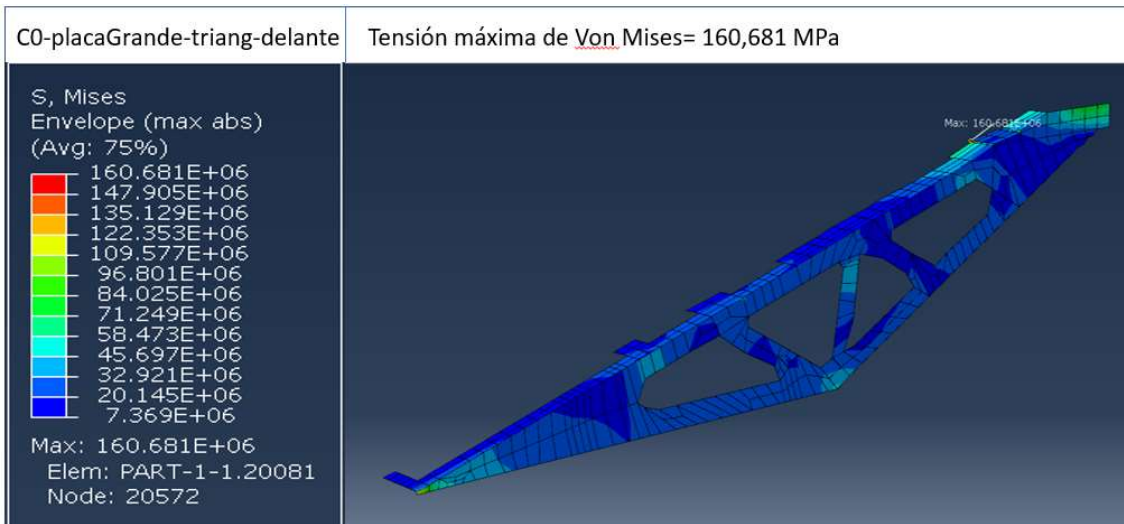
Así, se va a proceder a buscar para cada uno de los componentes la mayor tensión en el intervalo de 1s a 1.6s, de esta manera se acota la búsqueda de tensiones en el rango donde serán mayores.

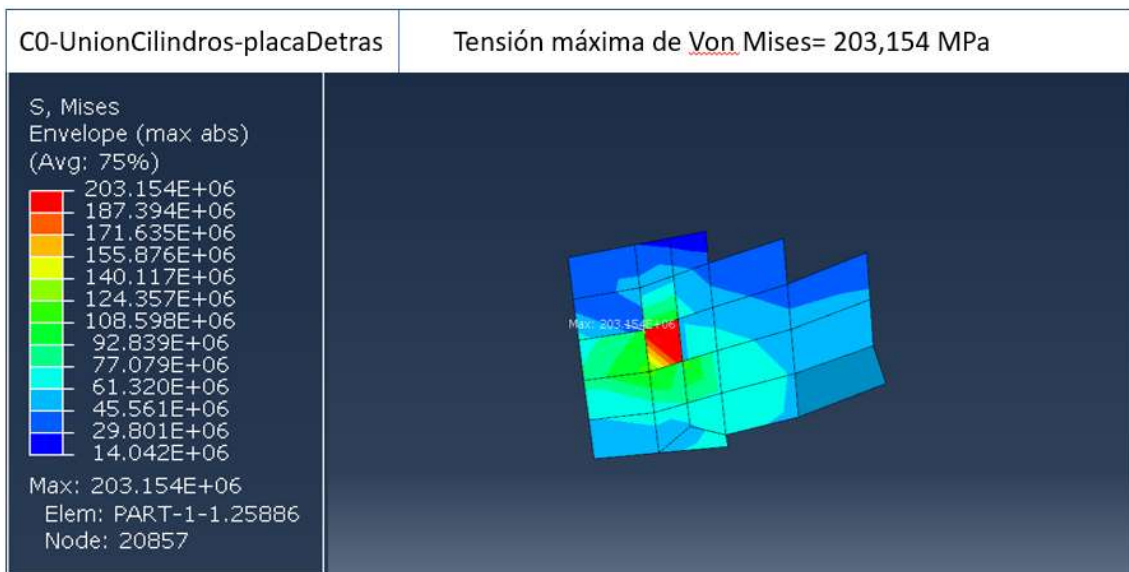
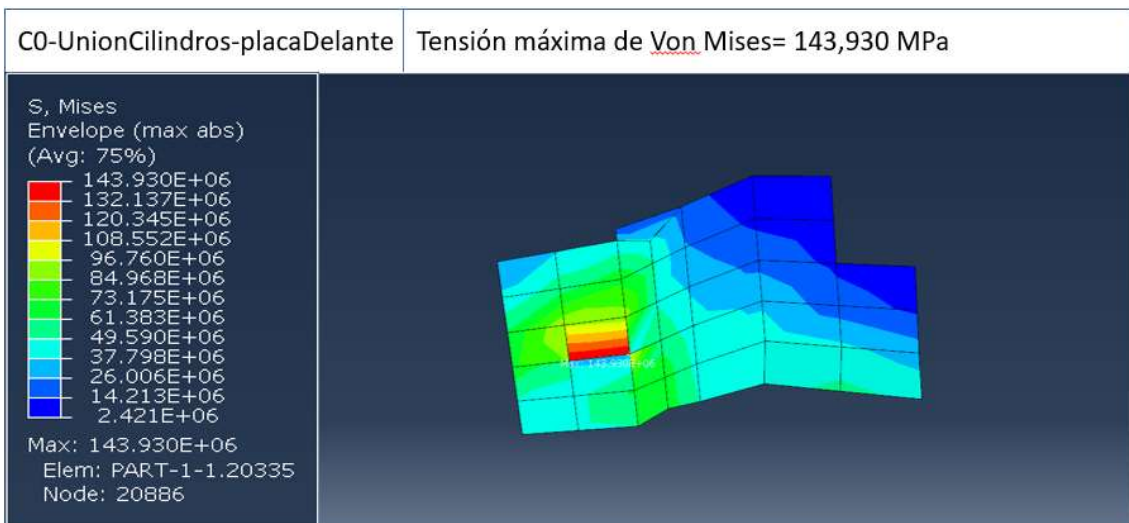
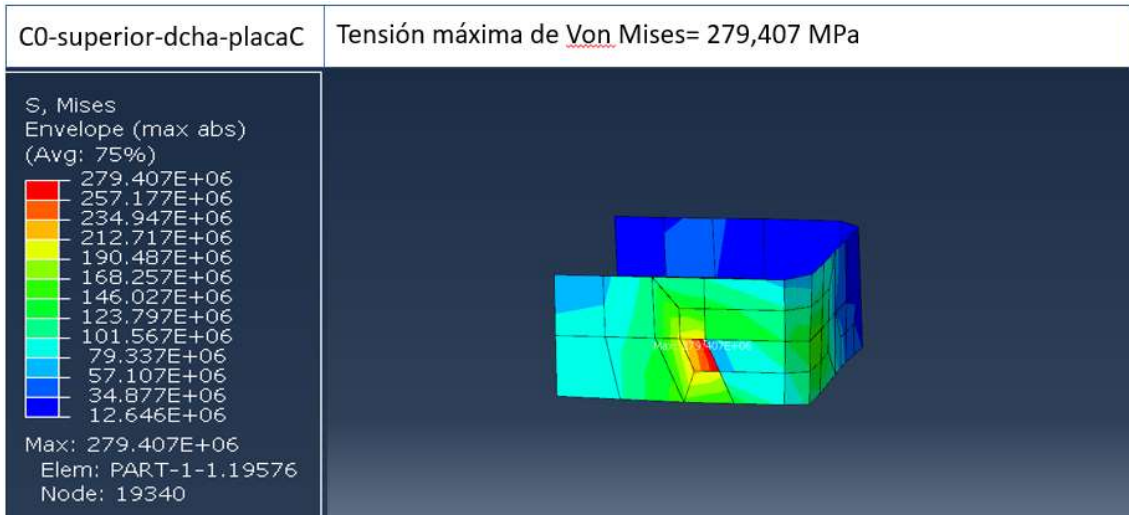
Pese a haberse realizado una optimización, sigue habiendo componentes que no cumplen con el coeficiente de seguridad mínimo permitido, aunque éste haya aumentado algo (aparecen las imágenes del mapa de tensiones y su tensión máxima a continuación) por lo que se deberán estudiar nuevos casos hasta obtener uno que sea óptimo.

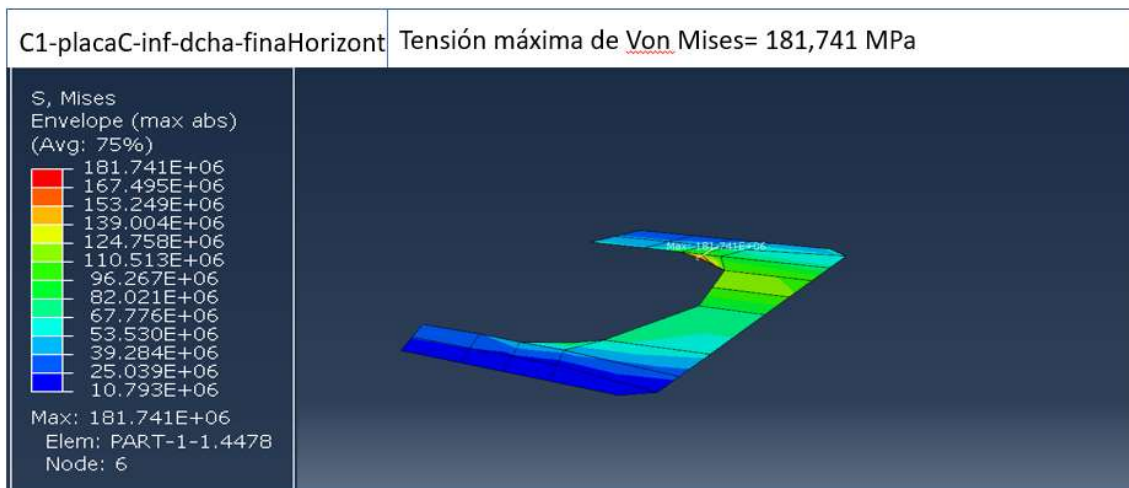
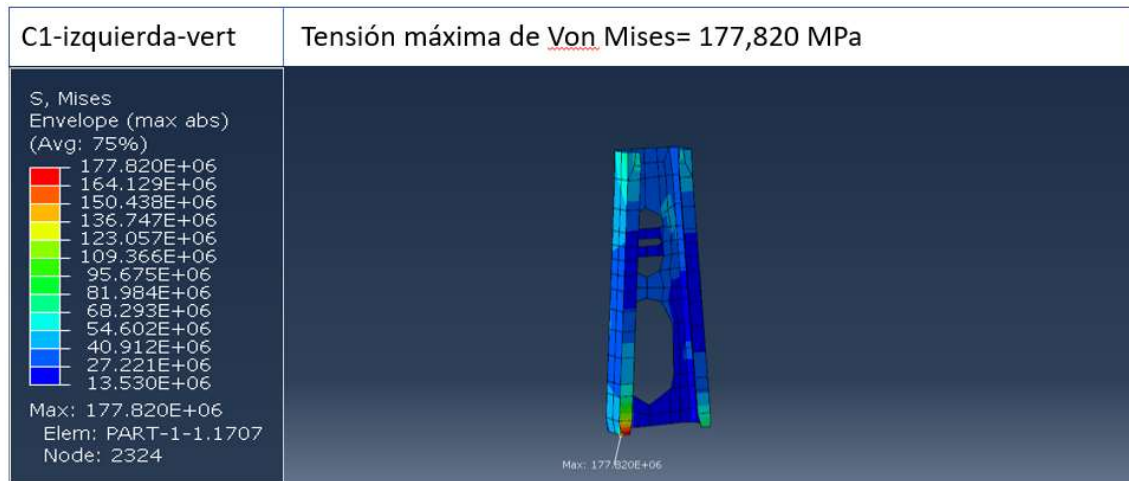
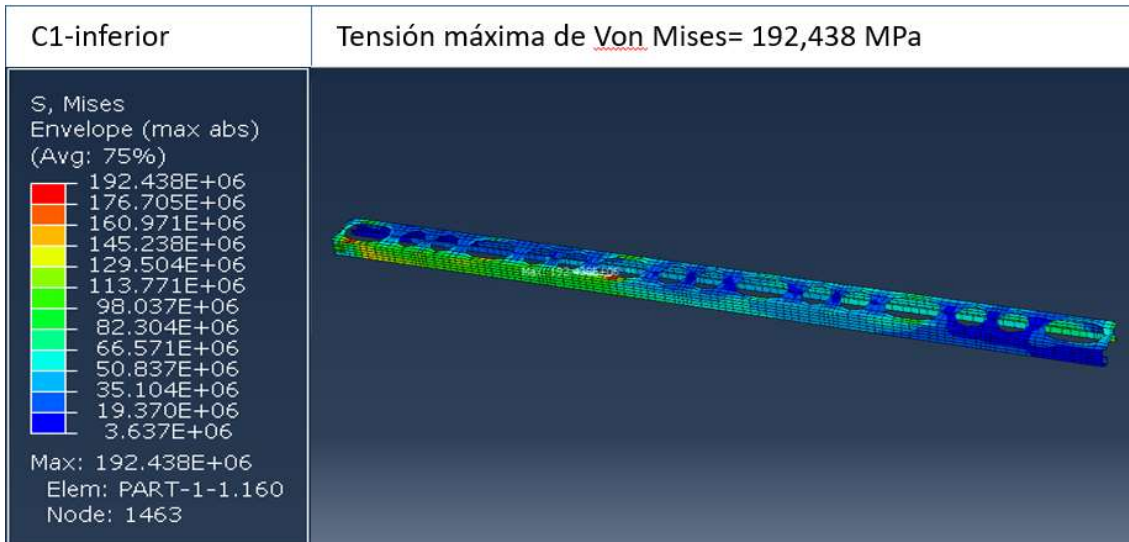
Sin embargo, en el anexo G donde aparece la tabla G.1, se puede destacar que en muchos componentes que antes ya cumplían con el requisito de $CS < 3$, ha aumentado la tensión a la que se someten sin sobrepasar este límite establecido, por ello se deduce que en estas piezas también se ha optimizado el material ya que ahora cada pieza está más cerca del necesario para no sobrepasar el $CS = 3$ sin tener coeficientes de seguridad muy grandes que indican cierto grado de derroche de material.

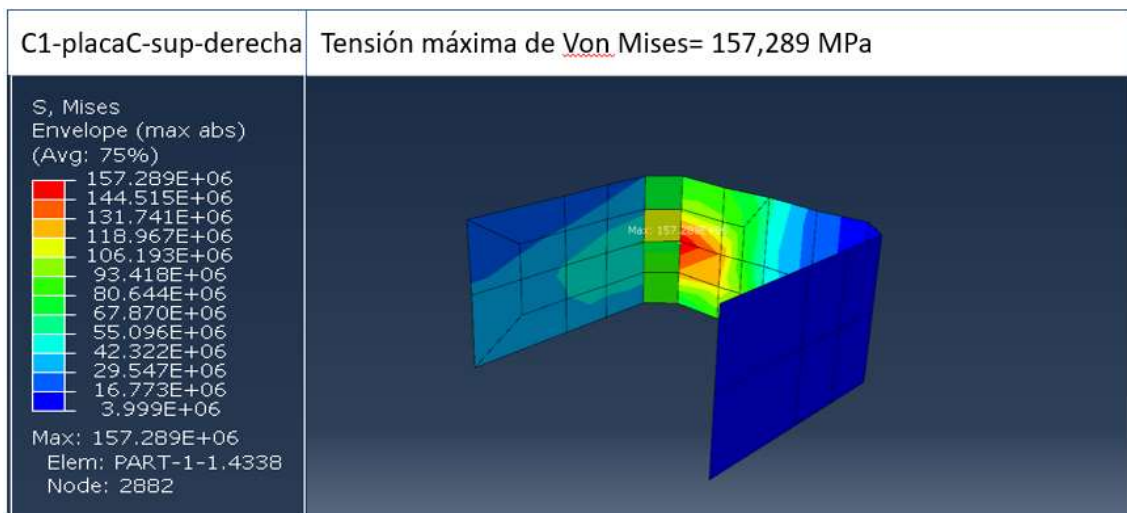
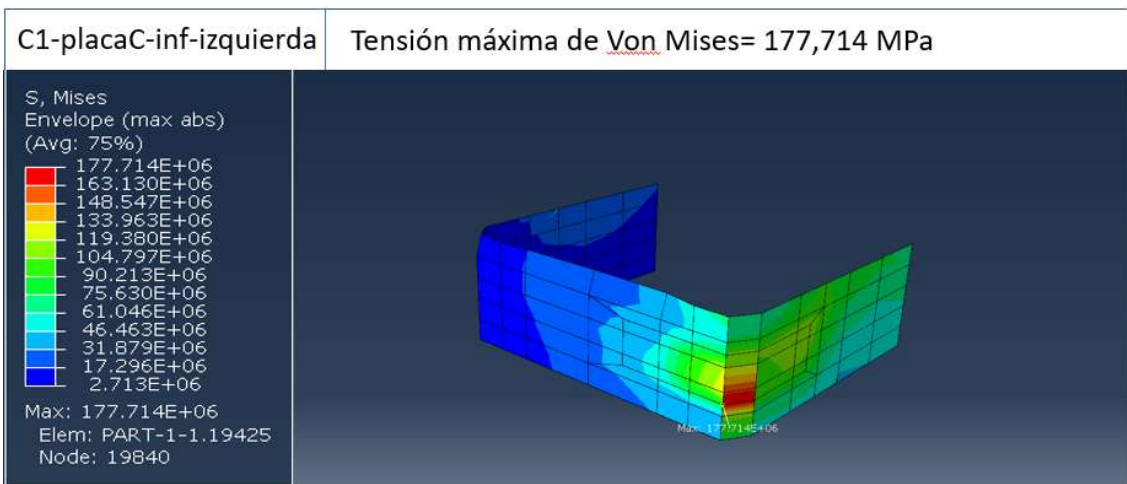
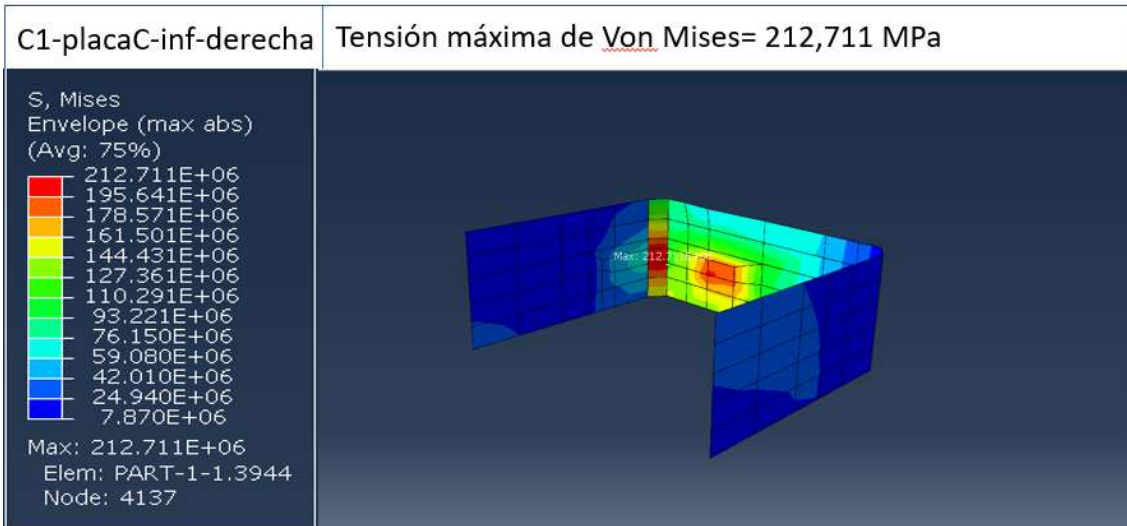
A continuación, se presentan igual que se ha hecho para el caso de carga dinámica, las imágenes de cada uno de los componentes que soportan mayores tensiones (los que presentan un coeficiente de seguridad menor que 3), ya que son las partes más críticas modelo. También se exponen en la tabla F.1, para cada uno de los componentes más cargados, los datos de material con el que se ha fabricado, el espesor que posee, el límite elástico, la tensión equivalente de Von Mises, el coeficiente de seguridad y el instante de tiempo en el que se da la máxima tensión. En el anexo G aparece una tabla similar a la F.1 pero con la información de todos los sólidos que forman la estructura para este caso de estudio.

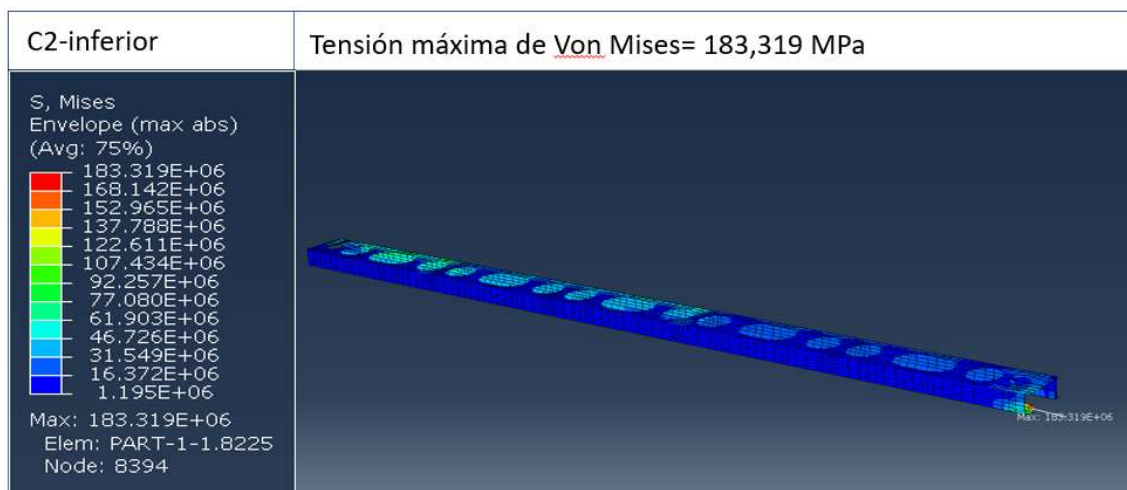
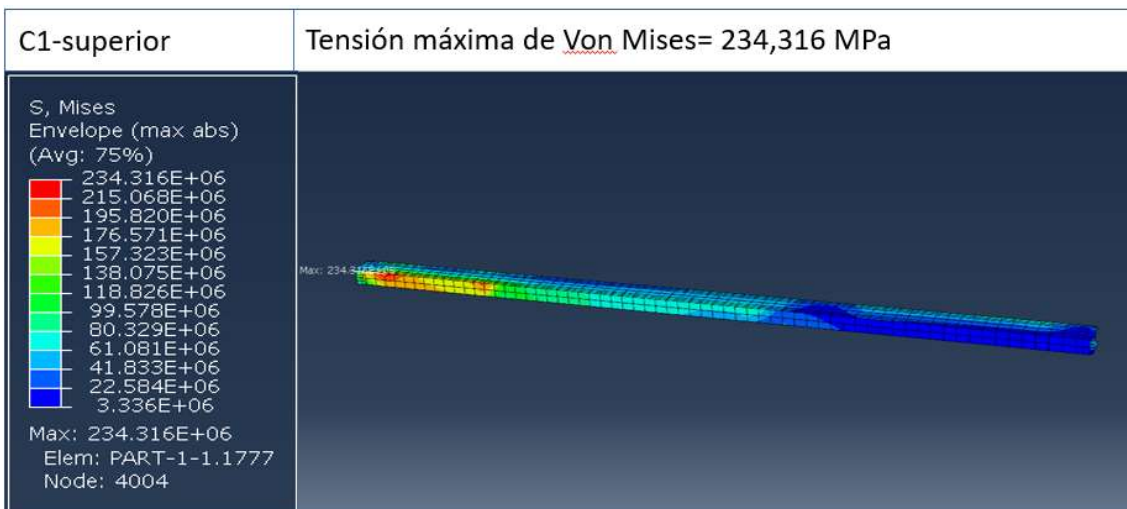
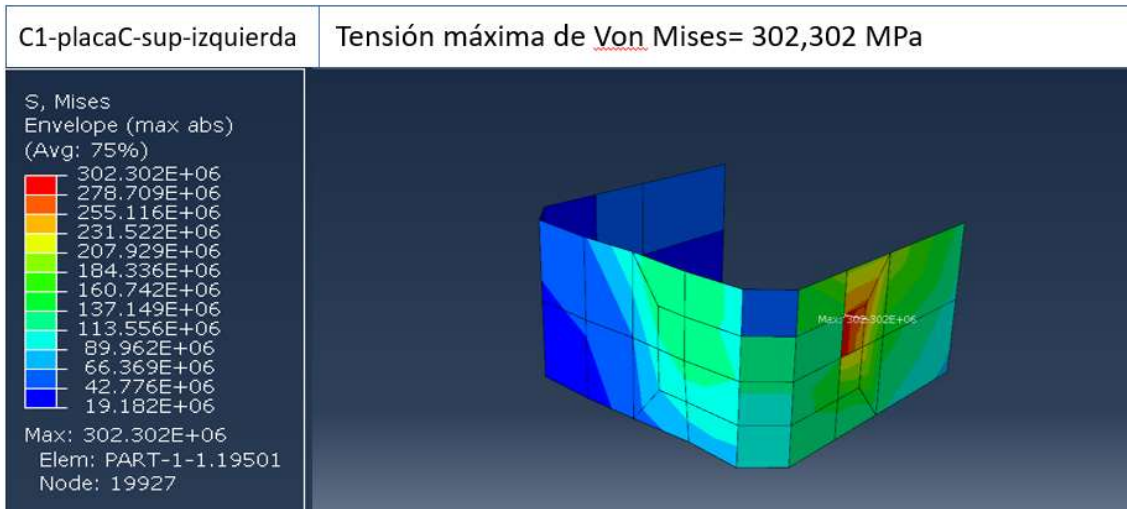


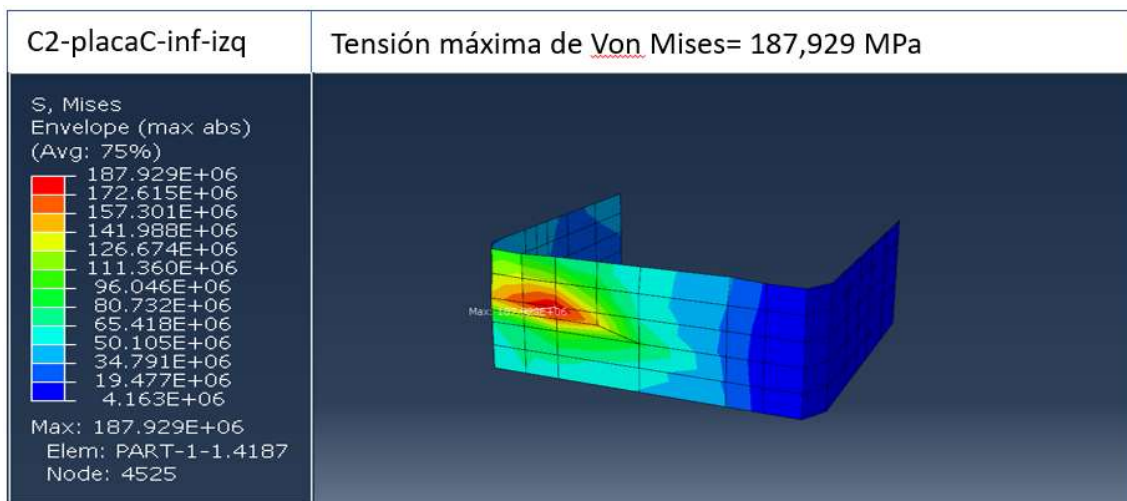
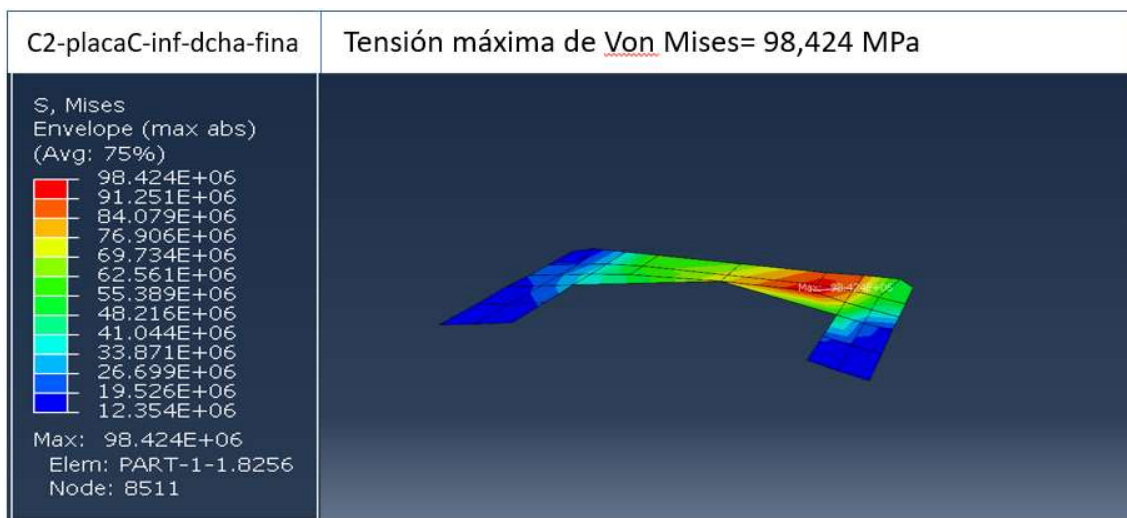
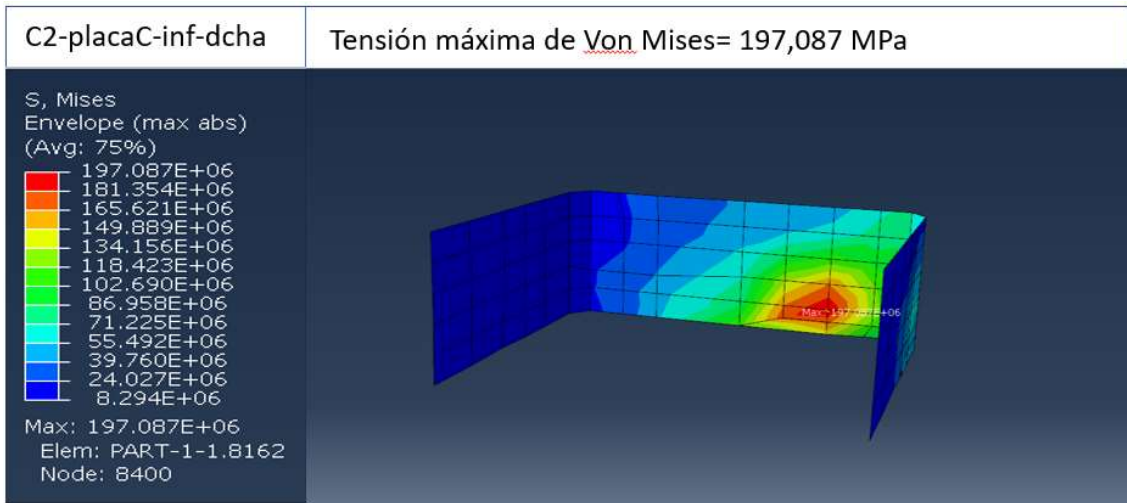


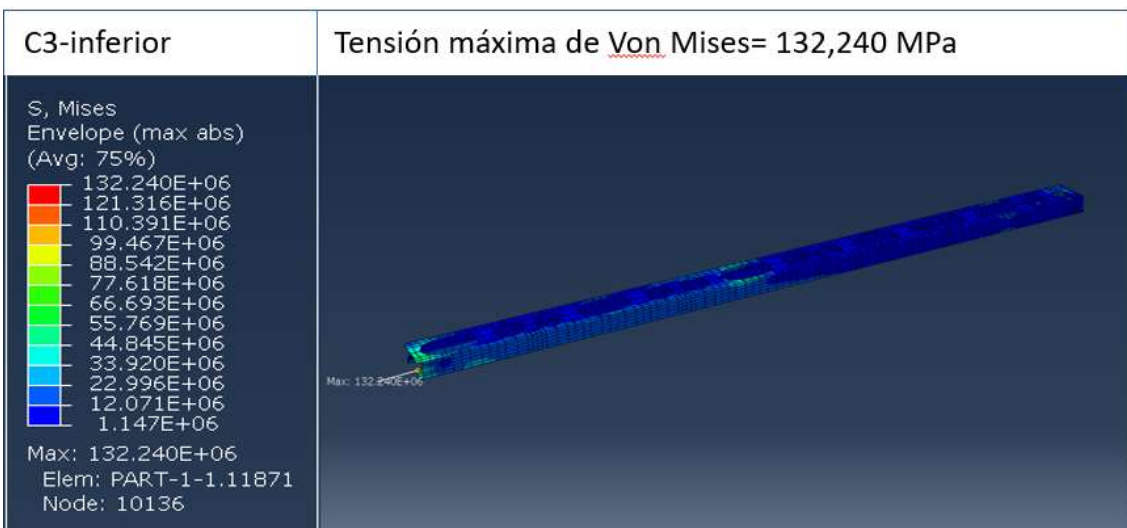
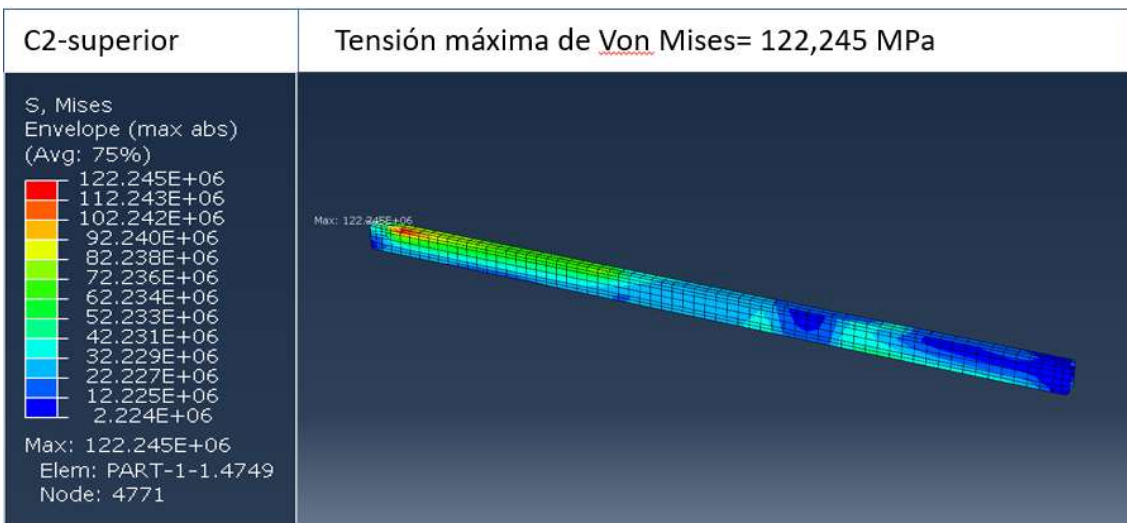
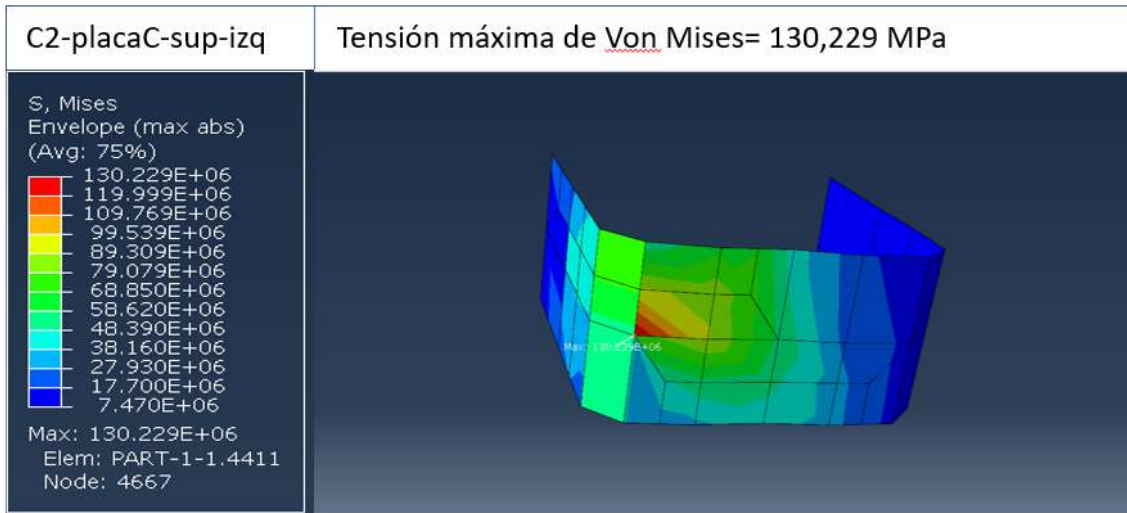


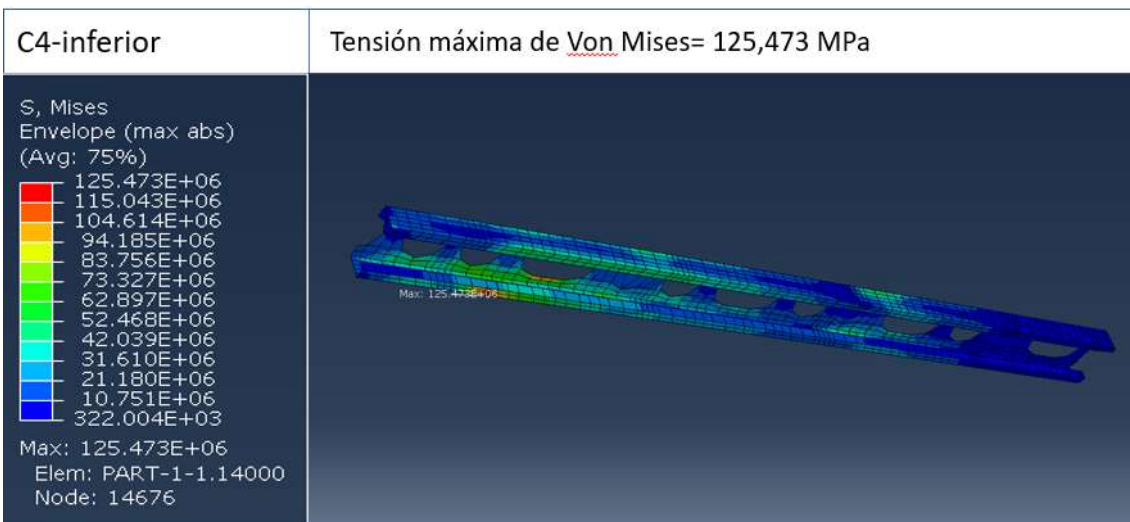
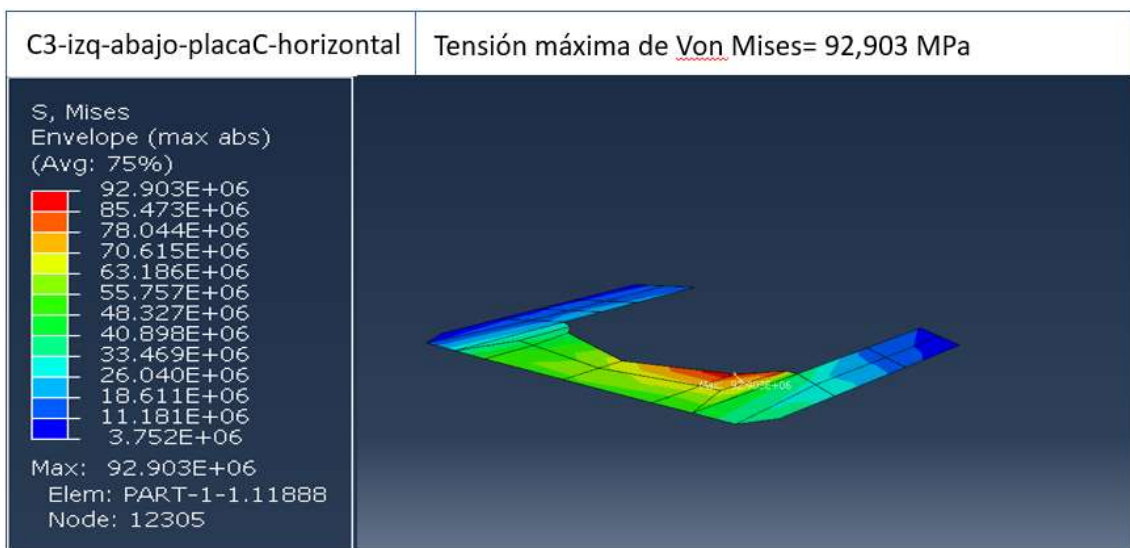
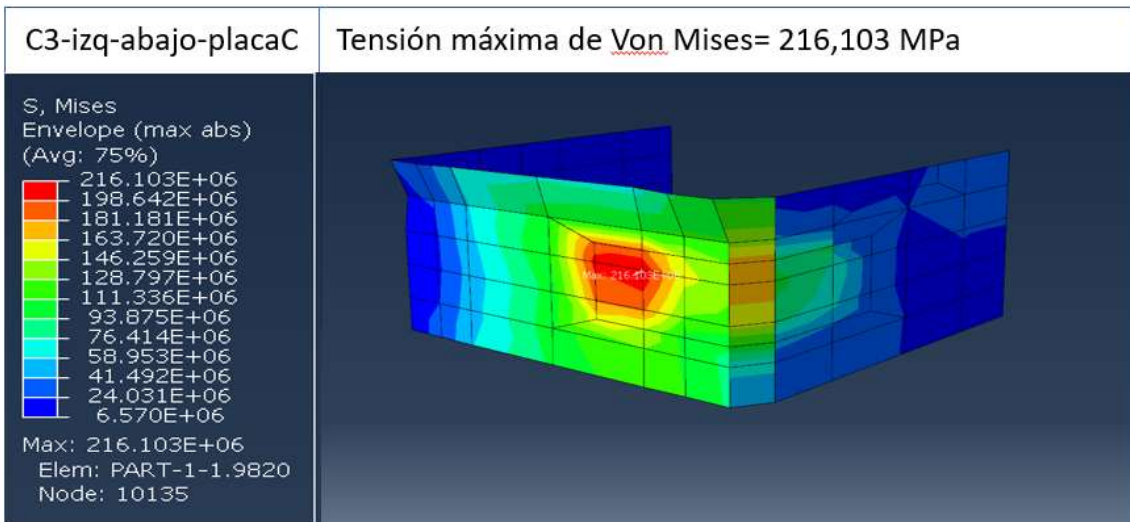


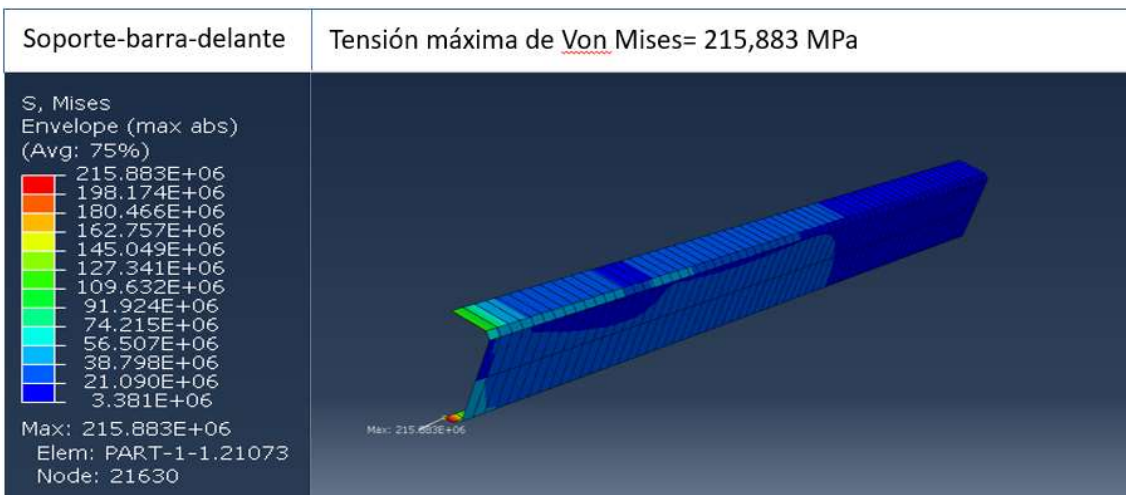
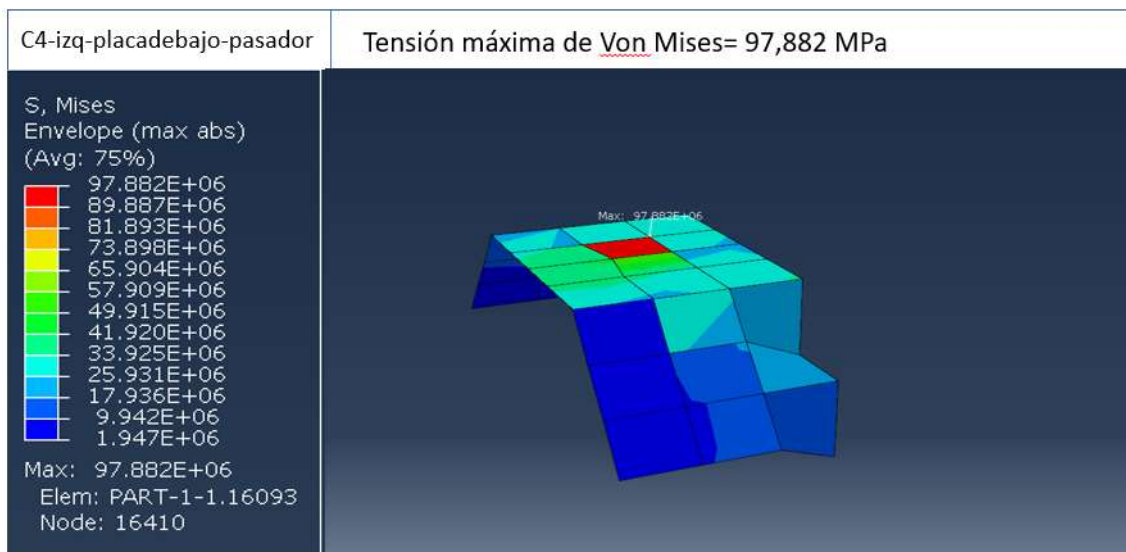
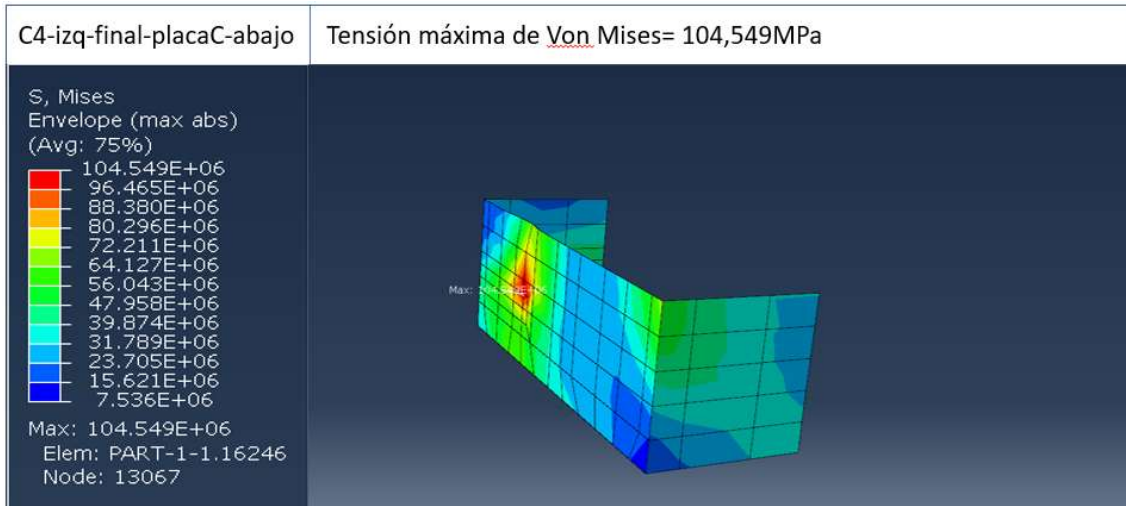


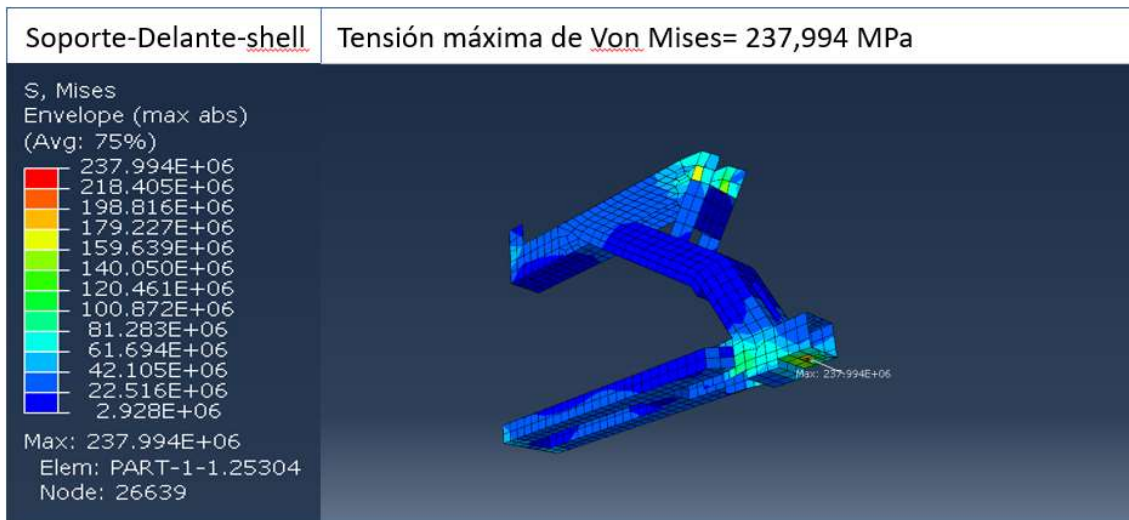












| NOMBRE | MATERIAL | LÍMITE ELÁSTICO (MPa) | ESPESOR (mm) | TENSIÓN opt(MPa) | CS opt | TIEMPO (s) |
|---------------------------------|----------|-----------------------|--------------|------------------|---------|------------|
| C0-dcha-abajo-placaC | S355 | 355 | 8 | 219,96 | 1,61392 | 1,27 |
| C0-inferior | S355 | 355 | 5 | 268,94 | 1,32002 | 1,27 |
| C0-izq-abajo-placaC | S355 | 355 | 12 | 141,43 | 2,51004 | 1,26 |
| C0-placaGrande-triang-delante | S355 | 355 | 8 | 160,68 | 2,20935 | 1,26 |
| C0-placaGrande-triang-detrás | S355 | 355 | 8 | 146,24 | 2,42747 | 1,315 |
| C0-superior | S355 | 355 | 5 | 212,78 | 1,66838 | 1,28 |
| C0-superior-dcha-placaC | S355 | 355 | 8 | 279,41 | 1,27055 | 1,28 |
| C0-UnionCilindros-placaDelante | S355 | 355 | 10 | 143,93 | 2,46648 | 1,26 |
| C0-UnionCilindros-placaDetras | S355 | 355 | 12 | 203,15 | 1,74744 | 1,26 |
| C1-inferior | S355 | 355 | 4 | 192,44 | 1,84475 | 1,275 |
| C1-izquierda-vert | S355 | 355 | 5 | 177,82 | 1,9964 | 1,27 |
| C1-placaC-inf-dcha-finaHorizont | S355 | 355 | 8 | 181,74 | 1,95333 | 1,34 |
| C1-placaC-inf-derecha | S355 | 355 | 8 | 212,71 | 1,66893 | 1,34 |
| C1-placaC-inf-izquierda | S355 | 355 | 8 | 177,71 | 1,99759 | 1,275 |
| C1-placaC-sup-derecha | S355 | 355 | 8 | 157,29 | 2,25699 | 1,23 |
| C1-placaC-sup-izquierda | S355 | 355 | 8 | 302,30 | 1,17432 | 1,28 |
| C1-superior | S355 | 355 | 4 | 234,32 | 1,51505 | 1,28 |
| C2-inferior | S355 | 355 | 3 | 183,32 | 1,93652 | 1,2 |
| C2-placaC-inf-dcha | S355 | 355 | 6 | 197,09 | 1,39532 | 1,185 |
| C2-placaC-inf-dcha-fina | S355 | 355 | 6 | 98,42 | 2,79403 | 1,185 |
| C2-placaC-inf-izq | S355 | 355 | 8 | 187,93 | 1,88901 | 1,275 |
| C2-placaC-sup-izq | S355 | 355 | 8 | 130,23 | 2,72597 | 1,165 |
| C2-superior | S355 | 355 | 3 | 122,25 | 2,904 | 1,285 |
| C3-inferior | S355 | 355 | 3 | 132,24 | 2,68451 | 1,265 |
| C3-izq-abajo-placaC | S355 | 355 | 8 | 216,10 | 1,64274 | 1,185 |
| C3-izq-abajo-placaC-horizontal | S355 | 355 | 6 | 92,90 | 2,96008 | 1,185 |
| C4-inferior | S355 | 355 | 2 | 125,47 | 2,82929 | 1,255 |
| C4-izq-final-placaC-abajo | S275JR | 275 | 6 | 104,55 | 2,63035 | 1,27 |
| C4-izq-placadebajo-pasador | S275JR | 275 | 6 | 97,88 | 2,80951 | 1,255 |
| Soporte-barra-delante | S355 | 355 | 6 | 215,88 | 1,64441 | 1,18 |
| Soporte-Delante-shell | S355 | 355 | 10 | 237,99 | 1,49163 | 1,26 |

Tabla F.1: Resumen de los resultados para los componentes más cargados de la estructura de barras. Optimización 1.

Se puede observar que todos los componentes presentan su máxima tensión entre 1.2 y 1.4 segundos. En el anexo G aparecen el resto de los elementos que forman el modelo, en la tabla G.1, también cumplen que la mayor tensión que soportan está en este intervalo de tiempo.

SEGUNDA OPTIMIZACIÓN

A partir de las nuevas condiciones establecidas en el modelo, citadas en el apartado de Proceso de optimización y explicadas en el apartado de SEGUNDA OPTIMIZACIÓN en el anexo E, se obtienen los siguientes resultados de desplazamientos y de tensiones.

1. DESPLAZAMIENTOS

Para extraer los resultados de los desplazamientos se han cogido los mismos nodos representativos que en el modelo inicial. (Ver *Figura C5: ubicación en el modelo de los nodos con los que se van a graficar los desplazamientos*, situada en el anexo C).

De la misma forma que en el apartado anterior, las gráficas (figuras F8 a F14) describen los desplazamientos de los nodos en función del tiempo representados en la figura C5. En la figura F8 se observa una representación de todos ellos juntos de forma que se puede comparar lo que se desplaza cada nodo para un mismo instante de tiempo. El movimiento que realizan los seis nodos representativos es en todos los casos sinusoidal, como en los casos anteriores. Además, se ve que la onda que describen se va amortiguando con el tiempo, disminuyendo su amplitud con el paso de los segundos.

Se puede percibir también el efecto de cambiar el instante en el que actúa la gravedad, ya que todas las gráficas presentan su curva desplazada más a la izquierda que en casos anteriores, tal y como se ha explicado en el anexo E.

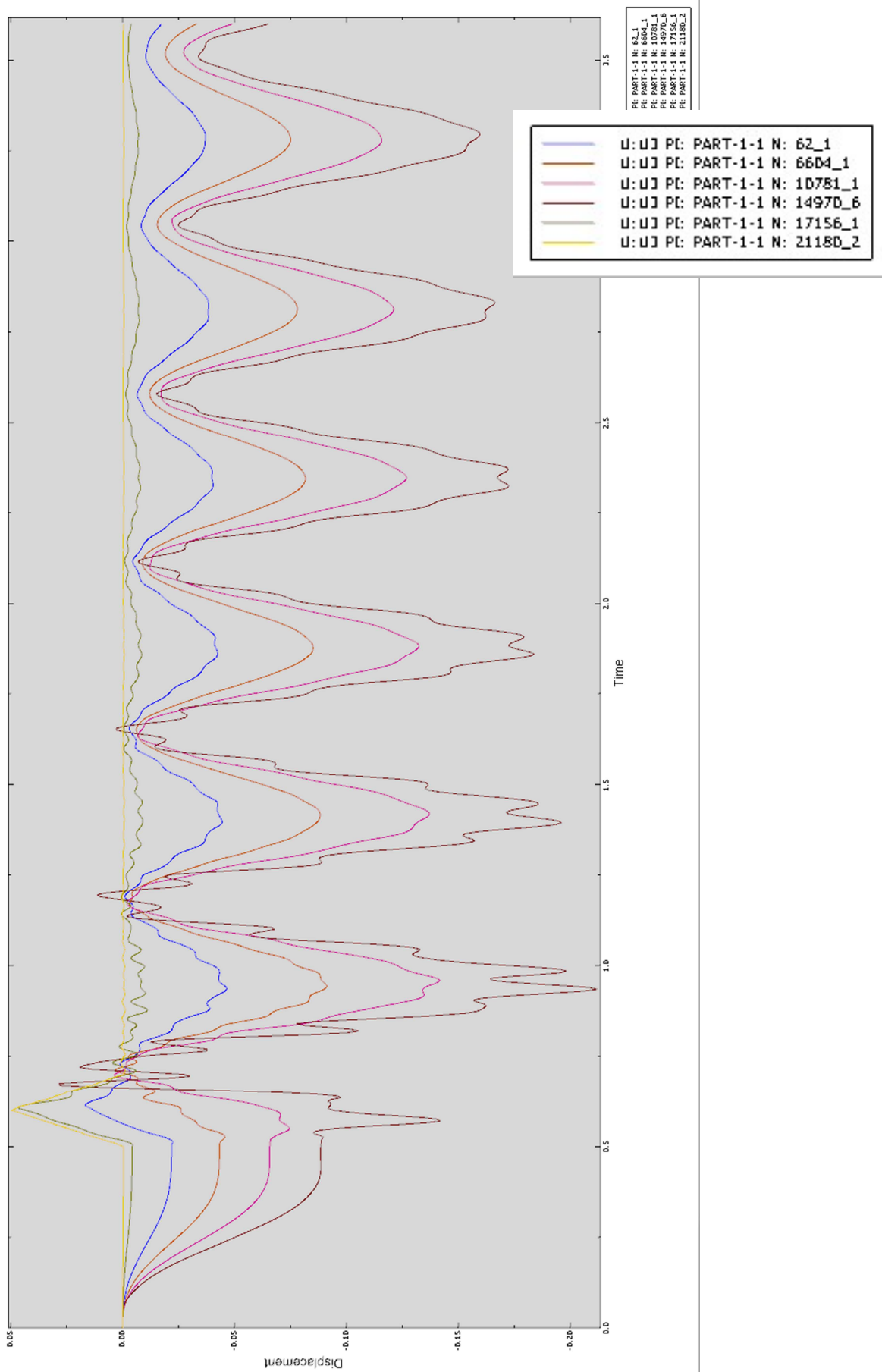


Figura F8: Distribución del desplazamiento en función del tiempo de los nodos seleccionados.15

NODO 21180 (ubicado en Soporte)

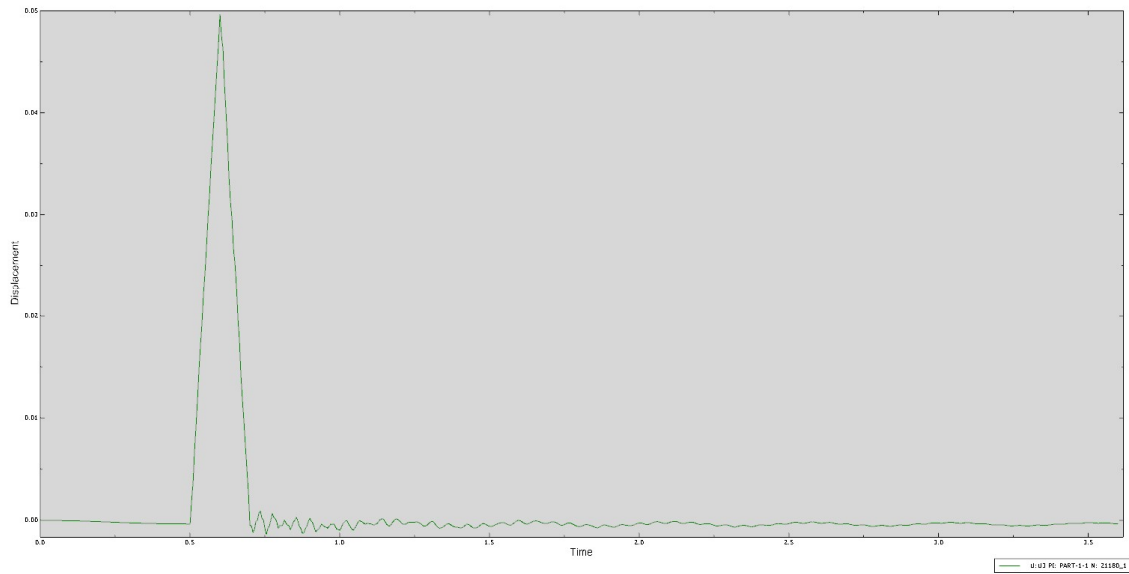


Figura F9: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 21180

NODO 17156 (ubicado en C0)

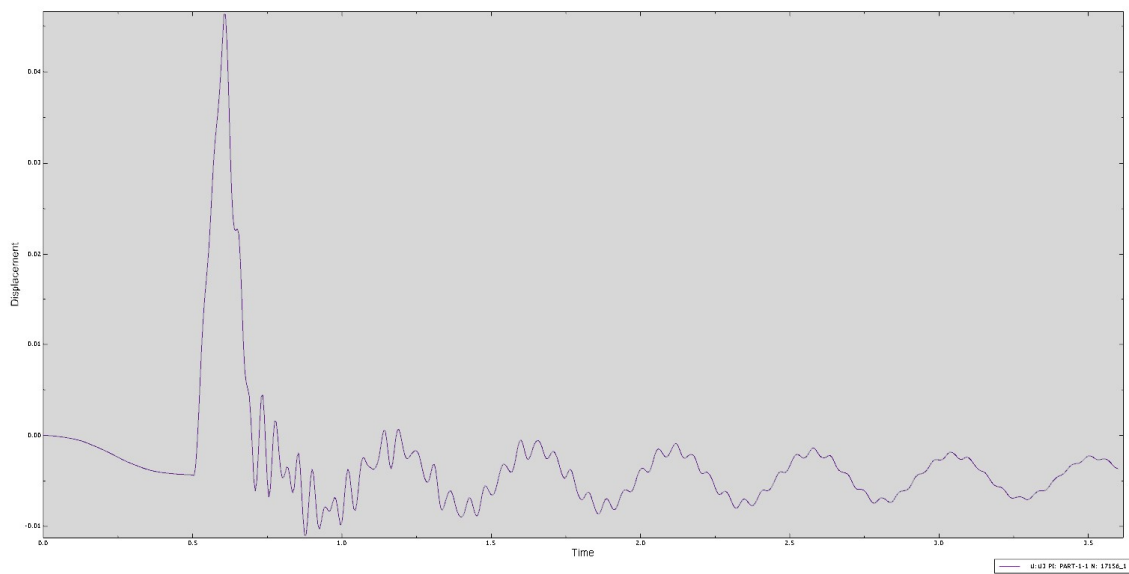


Figura F10: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 17156

NODO 62 (ubicado en C1)

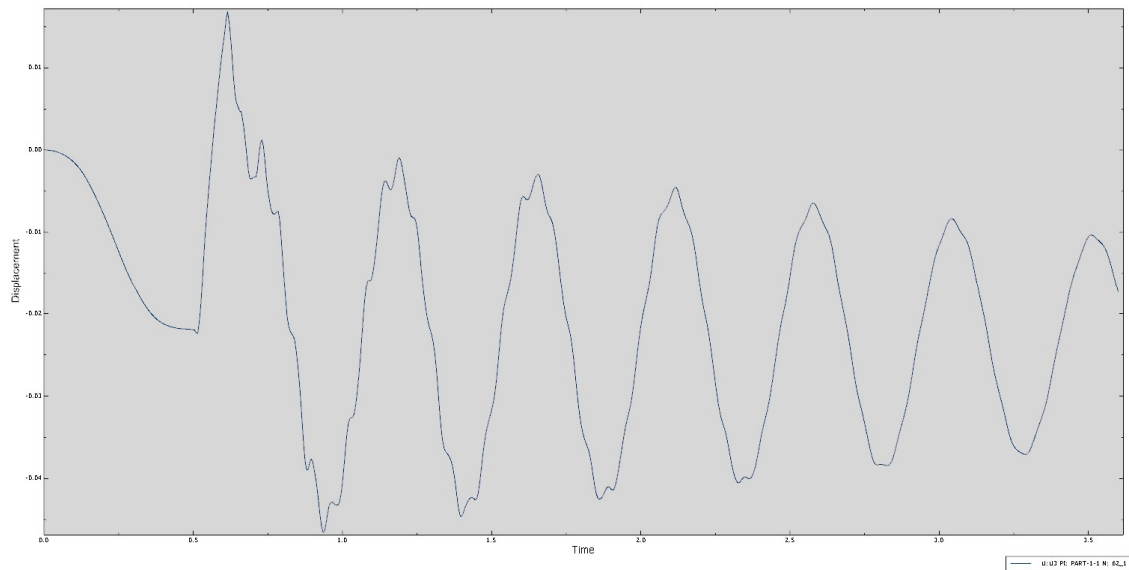


Figura F11: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 62

NODO 6604 (ubicado en C2)

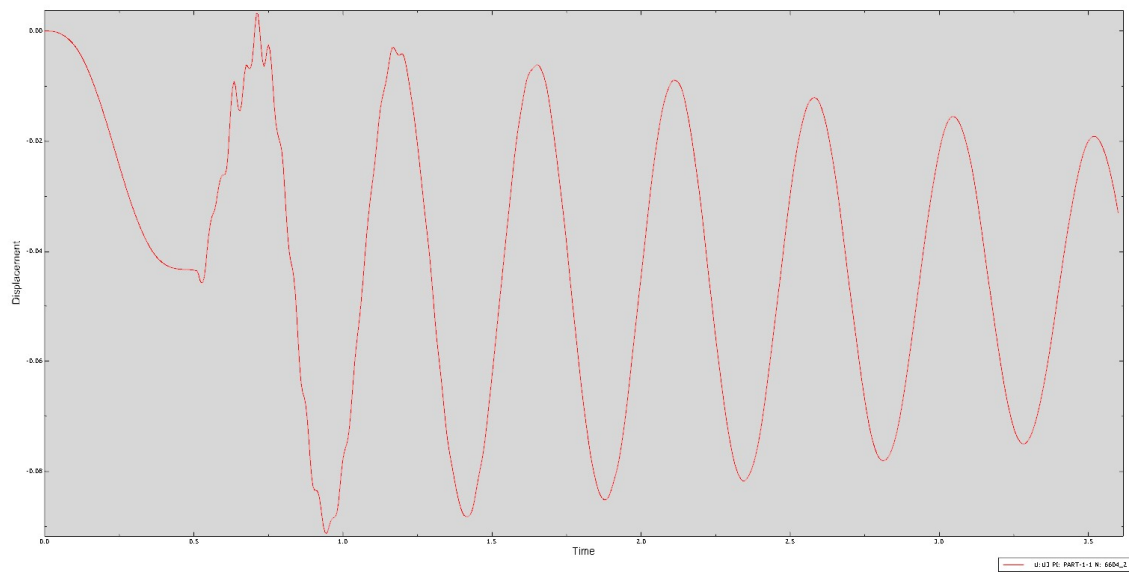


Figura F12: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 6604

NODO 10781 (ubicado en C3)

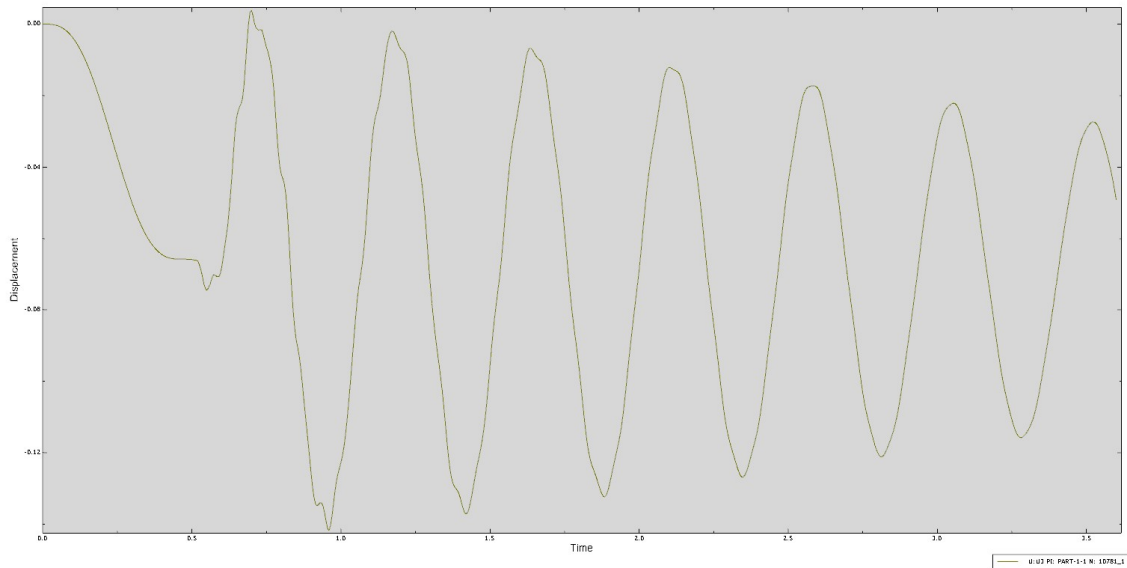


Figura F13: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 10781

NODO 14970 (ubicado en C4)

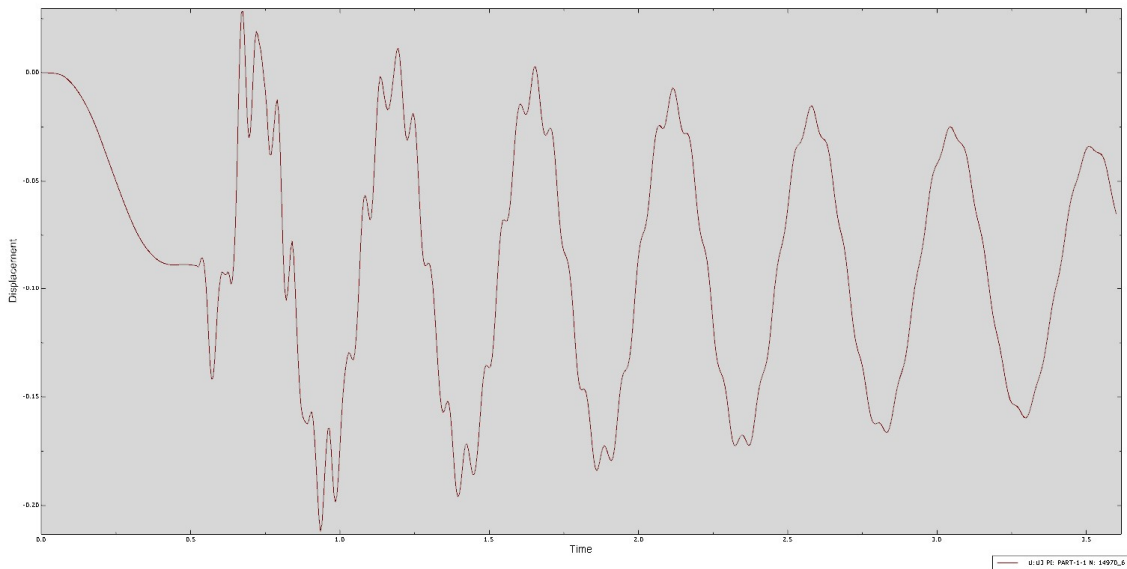


Figura F14: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 14970

Si se comparan estos desplazamientos con los del modelo anterior, se ve claramente que las gráficas siguen teniendo una forma similar al de la primera optimización ya que las condiciones geométricas y de materiales son las mismas. También sigue describiendo un movimiento sinusoidal que se va amortiguando poco a poco después del primer rebote, pero la acción de la carga de aceleración=5g se da ahora en torno a 0.6s en vez de en 1s que aparecía en casos previos.

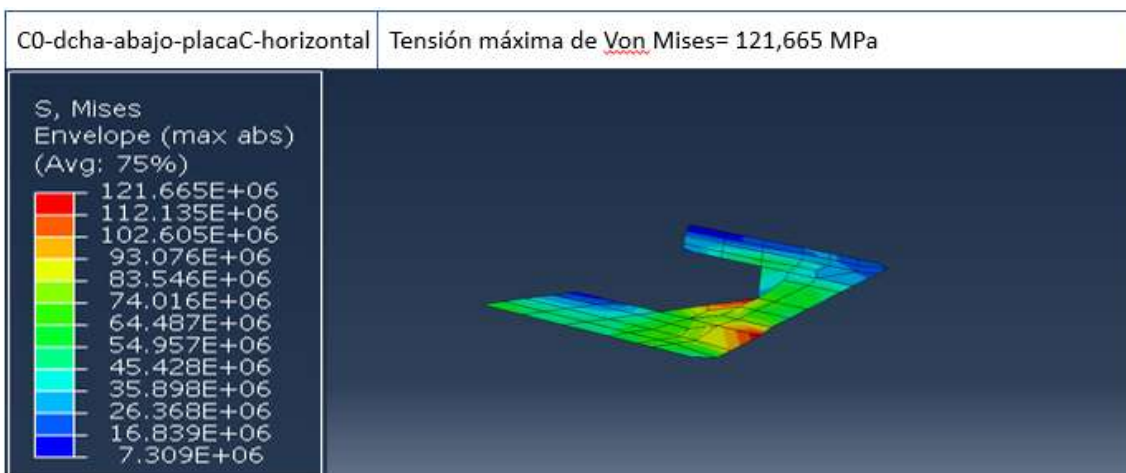
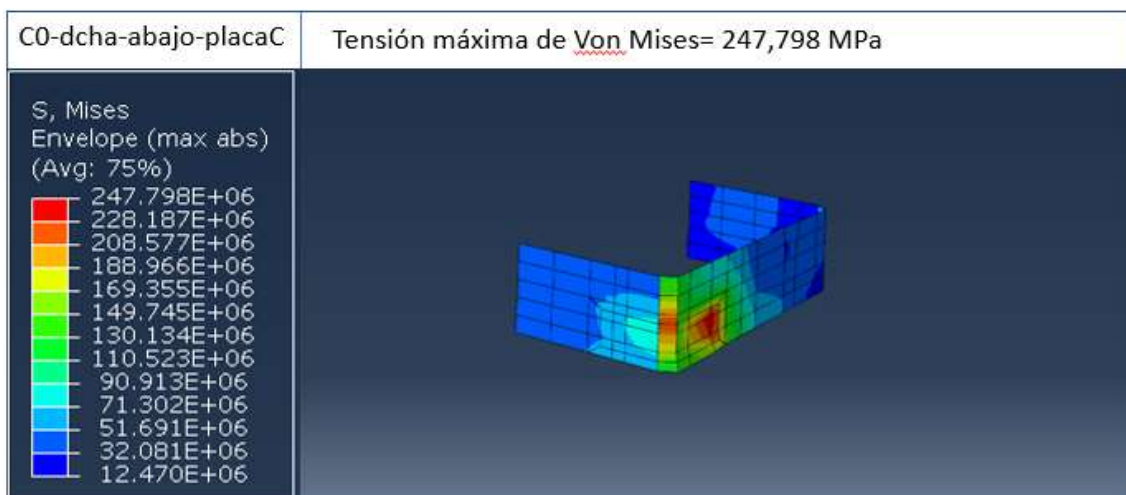
2. TENSIONES

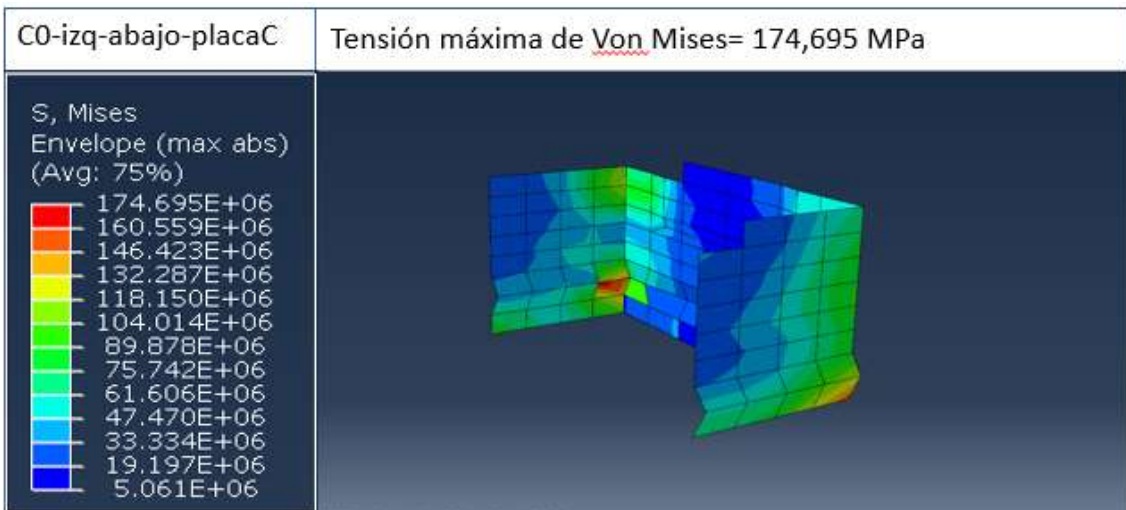
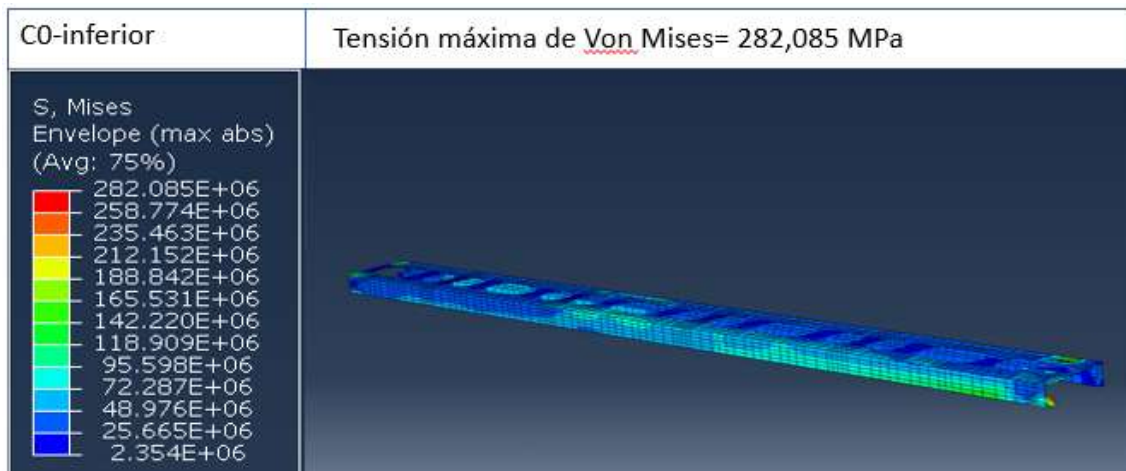
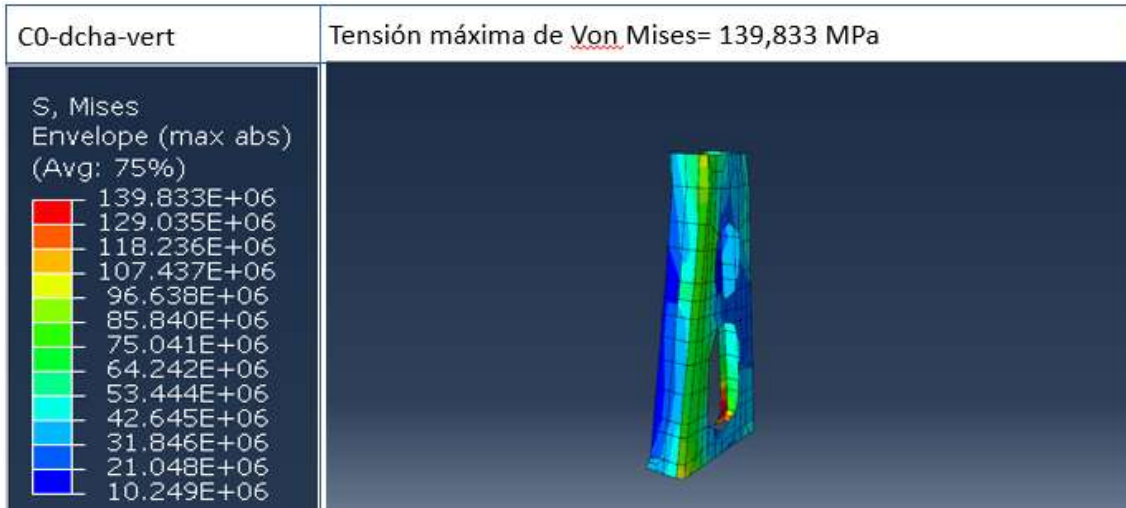
En este caso de estudio se va a proceder a buscar para cada uno de los componentes la mayor tensión en el intervalo entre 0.1 y 1 segundos para acotar la búsqueda.

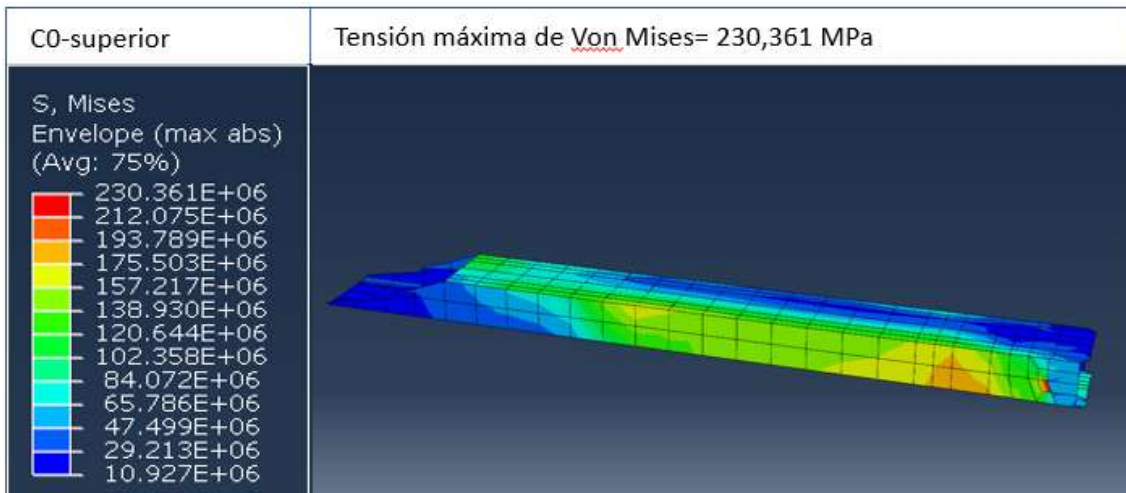
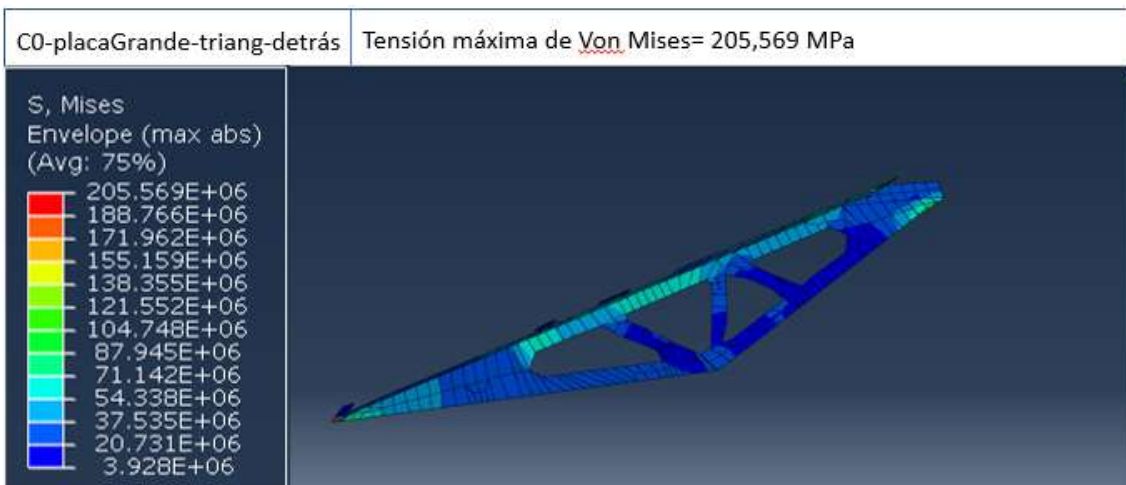
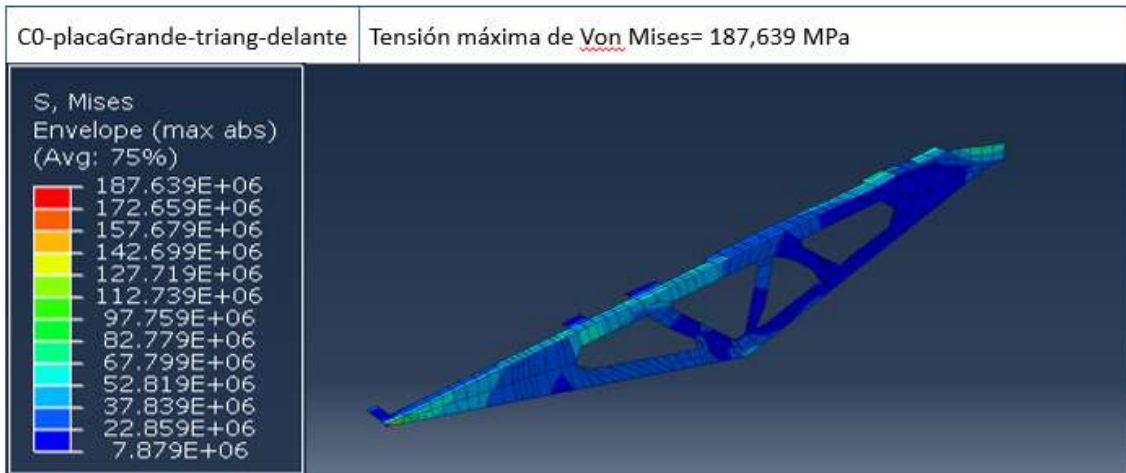
En este caso se ve a continuación y en la tabla G.2 del anexo G, que la influencia de la gravedad es mayor ya que es en torno al punto donde empieza a actuar ésta, donde aparecen las tensiones más altas a diferencia de los otros casos que se daba en el momento en el que el modelo empezaba a oscilar.

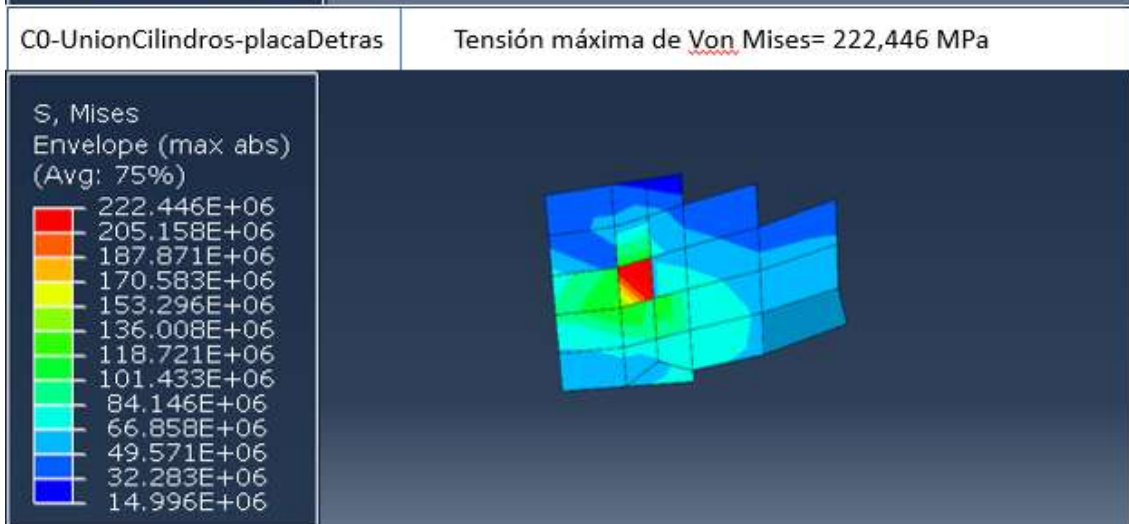
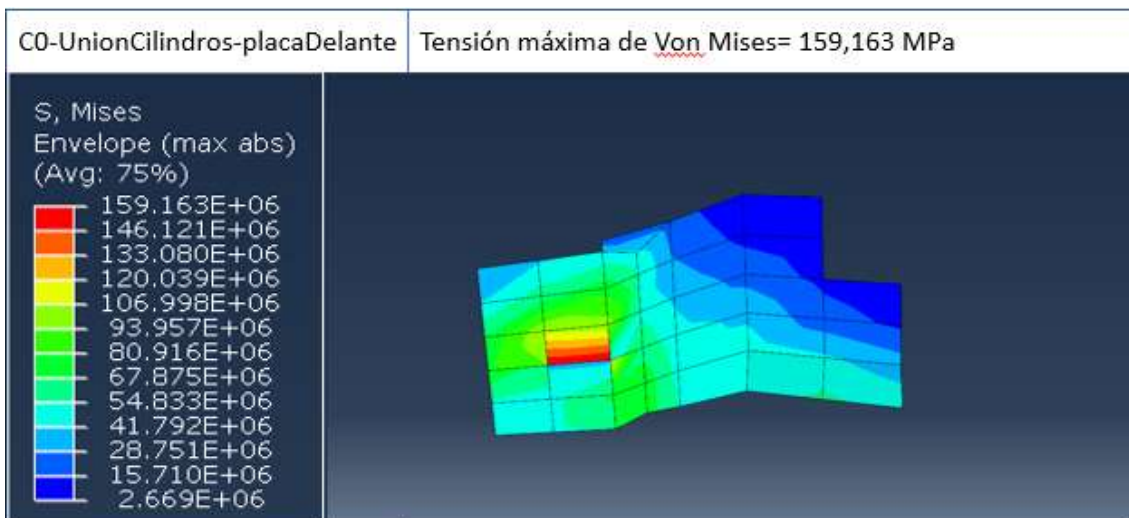
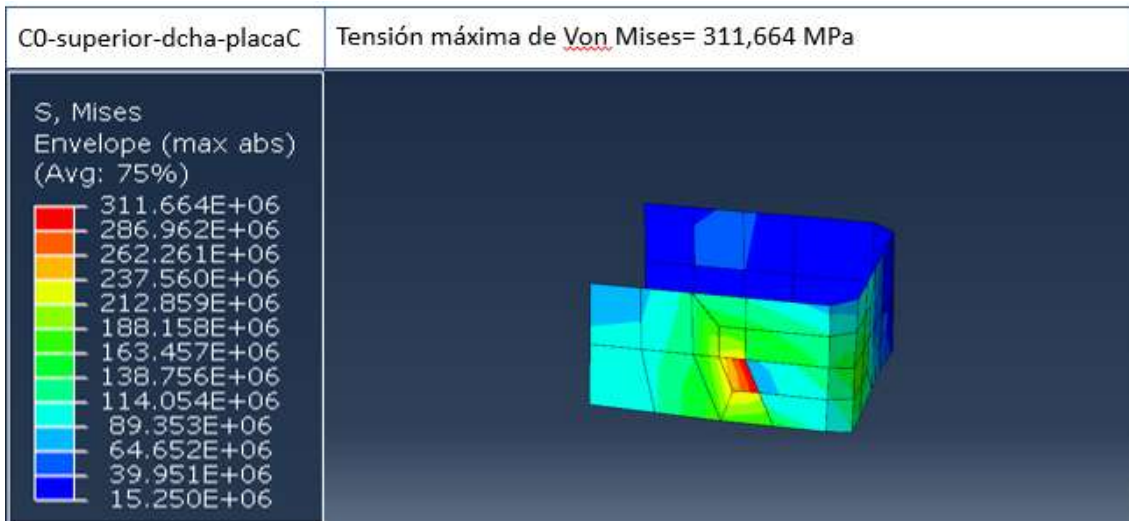
Cabe destacar que este hecho hace que muchos componentes que antes cumplían la condición de que el coeficiente de seguridad fuera mayor que tres ya no la cumplen, pasando a ser partes desfavorables de la estructura.

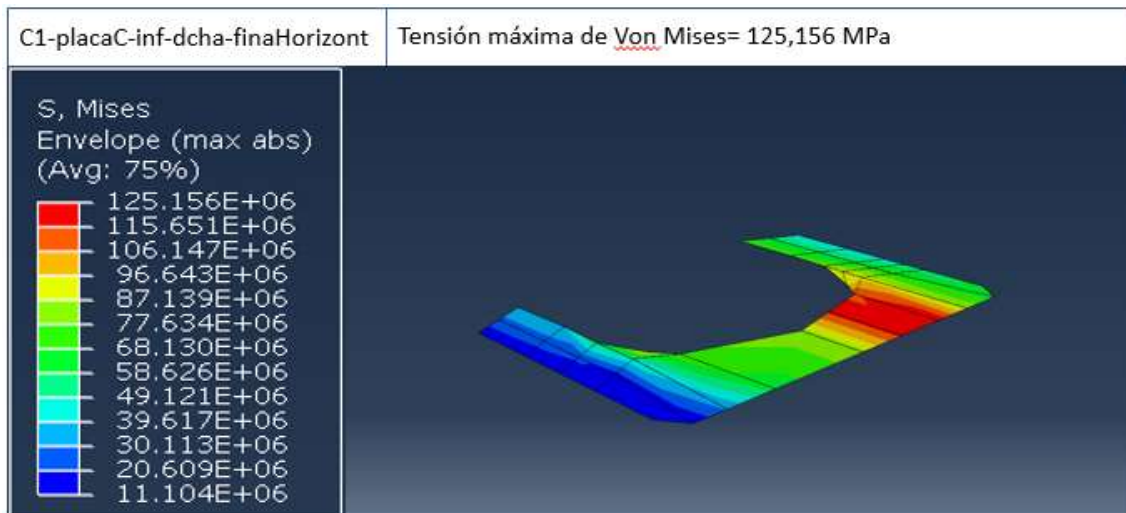
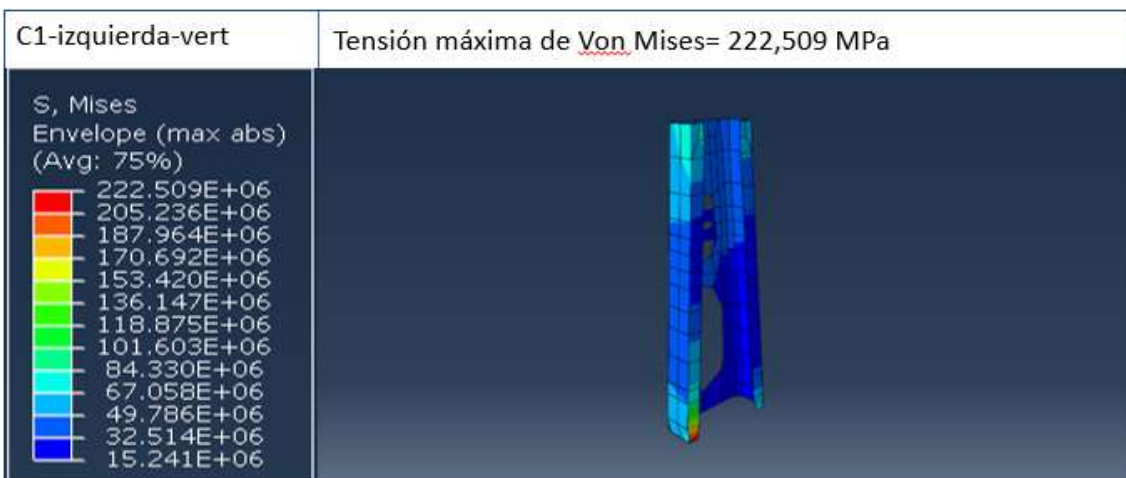
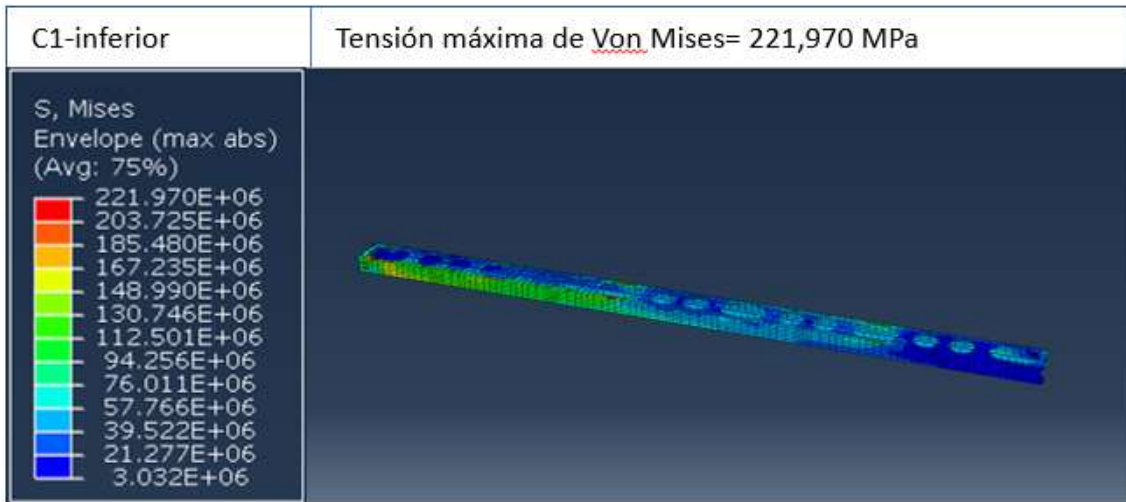
A continuación, se presenta igual que se ha hecho anteriormente, las imágenes de cada uno de los componentes que soportan mayores tensiones. También se exponen en la tabla F.2, para cada uno de los componentes más cargados, los datos de material con el que se ha fabricado, el espesor que posee, el límite elástico, la tensión equivalente de Von Mises, el coeficiente de seguridad y el instante de tiempo en el que se da la máxima tensión. En el anexo G aparece la tabla G.2, similar a la F.2 pero con la información de todos los sólidos que forman la estructura para este caso de estudio.

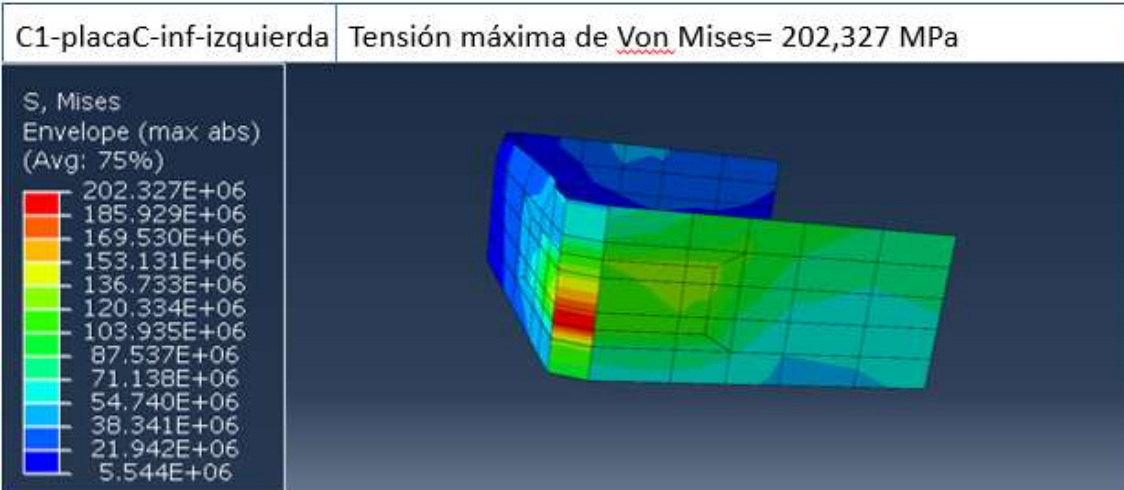
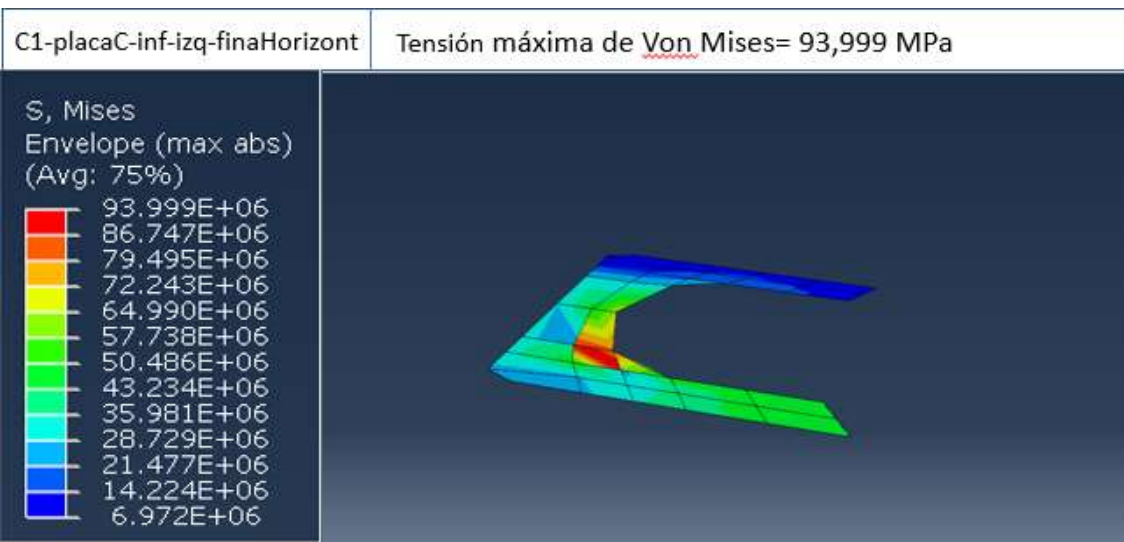
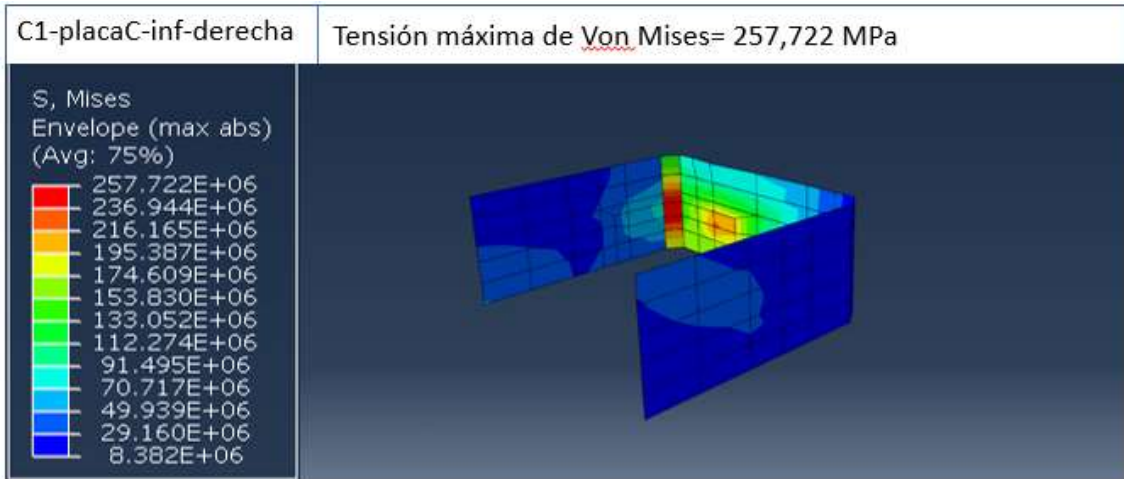


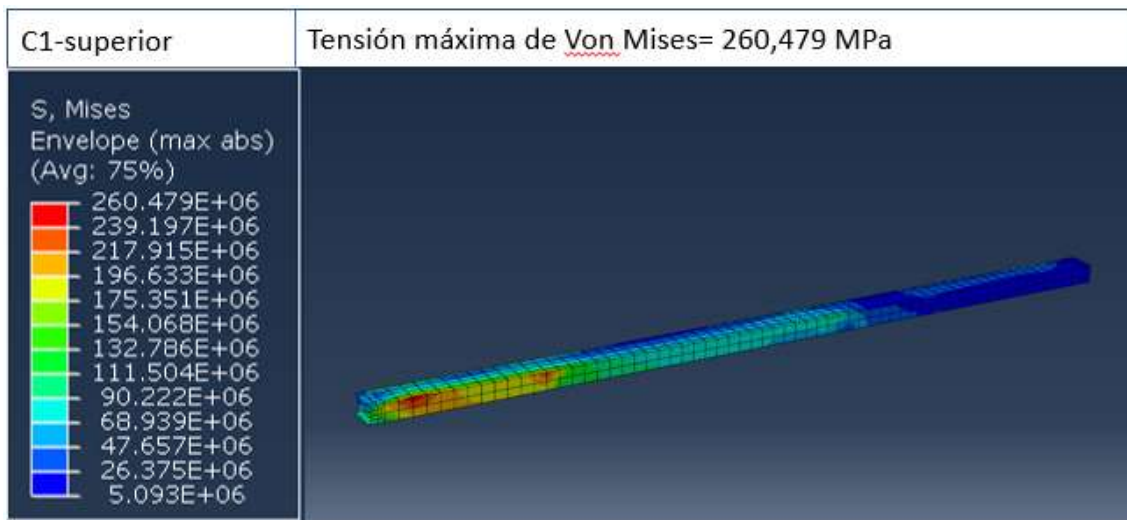
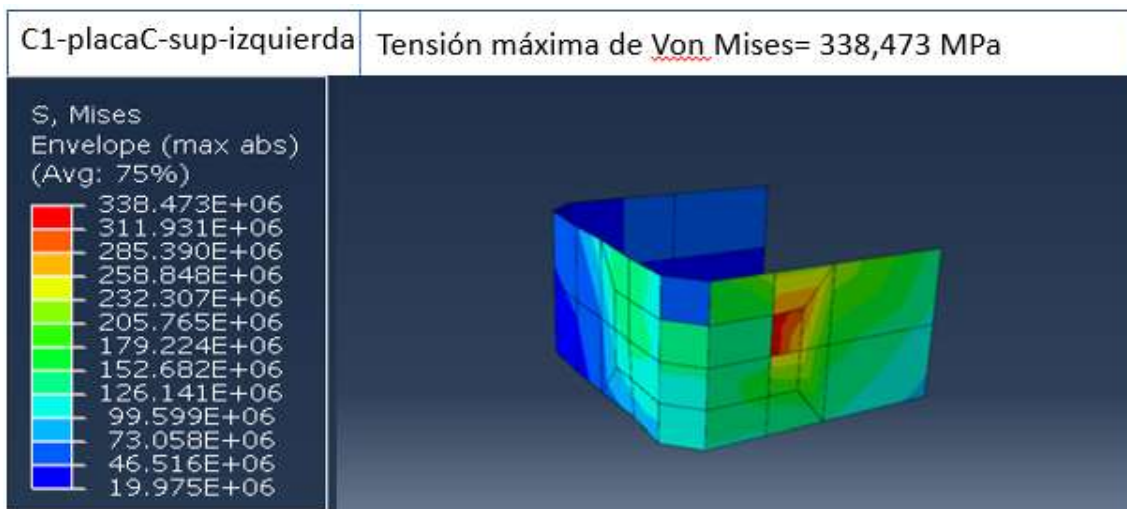
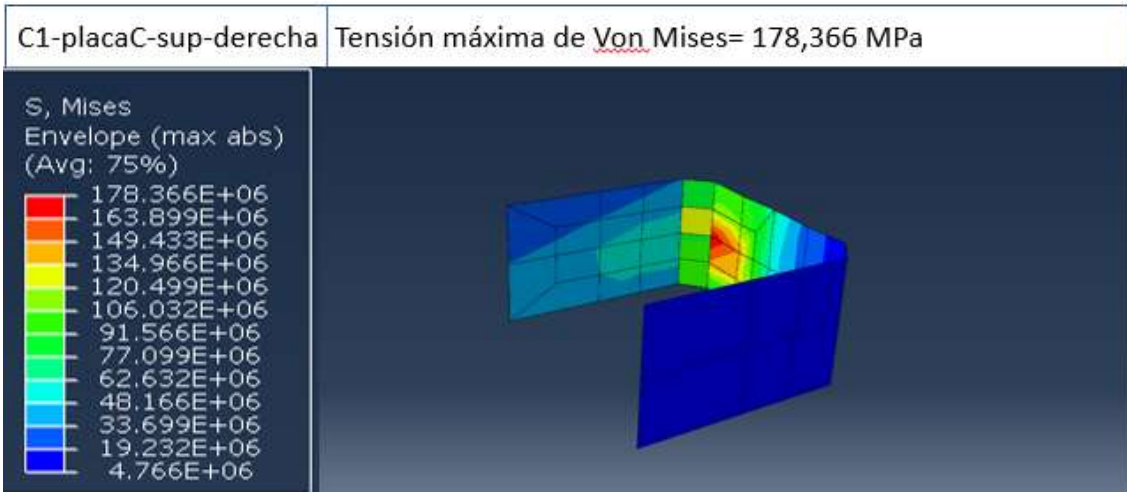


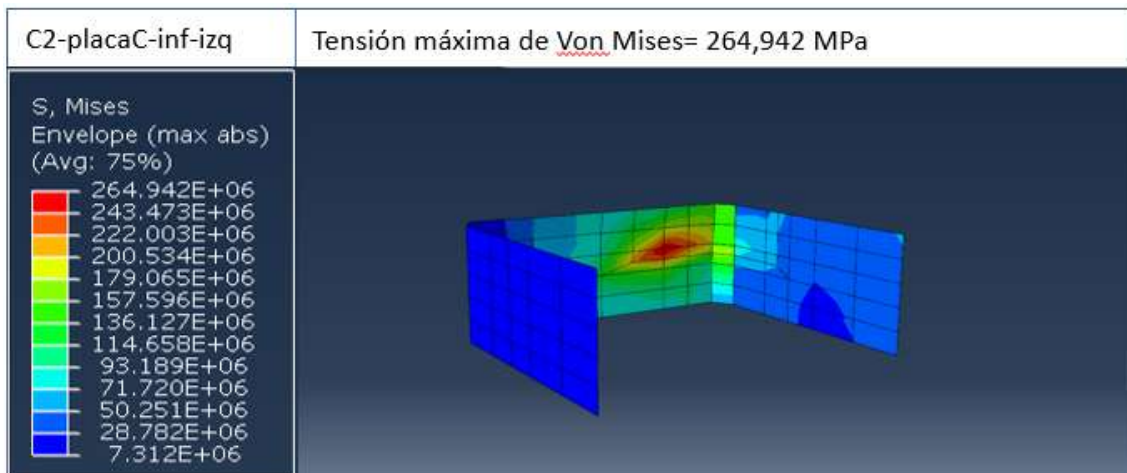
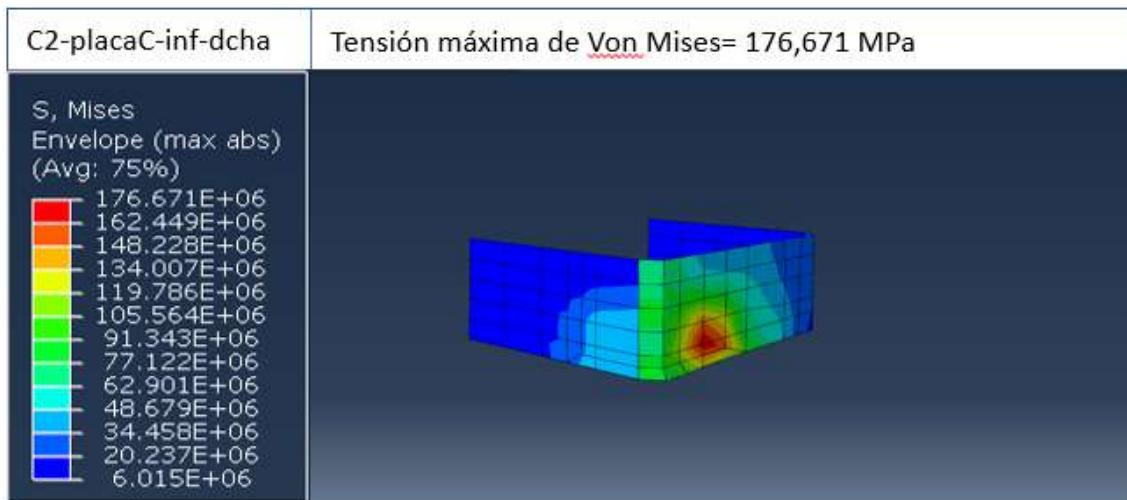
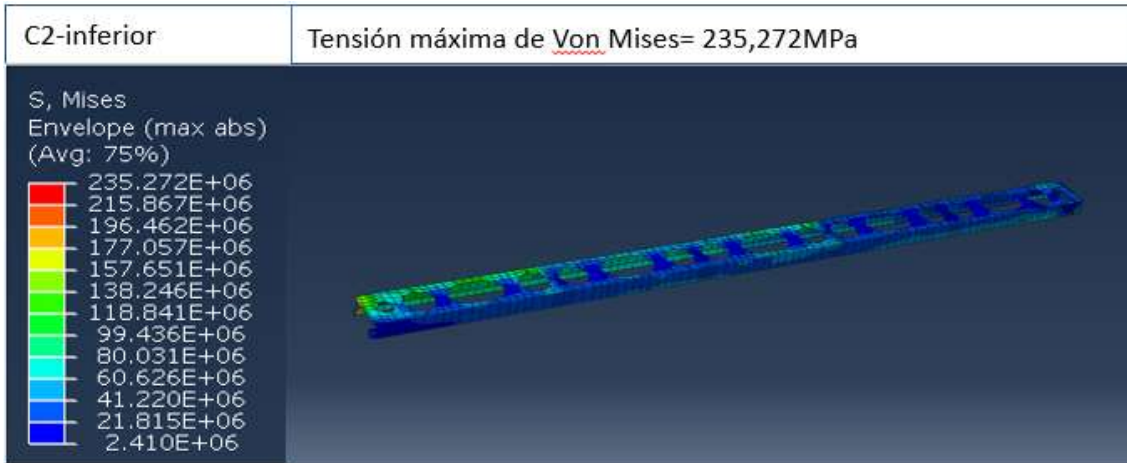


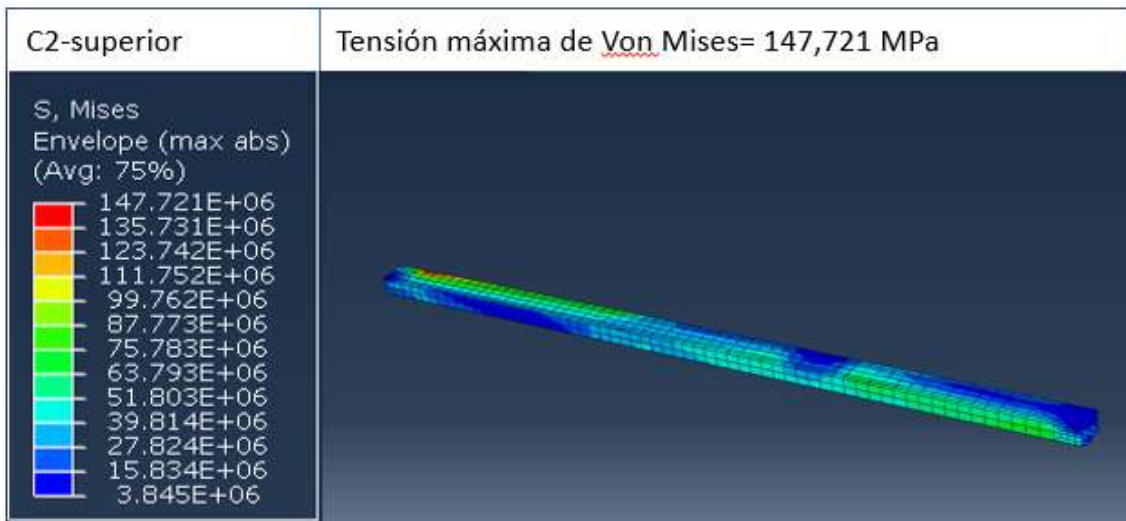
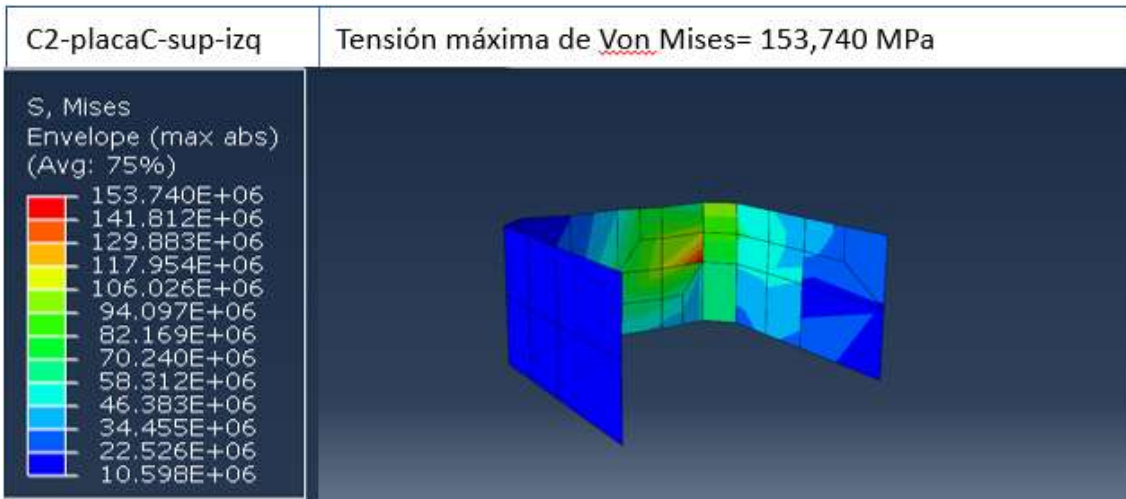
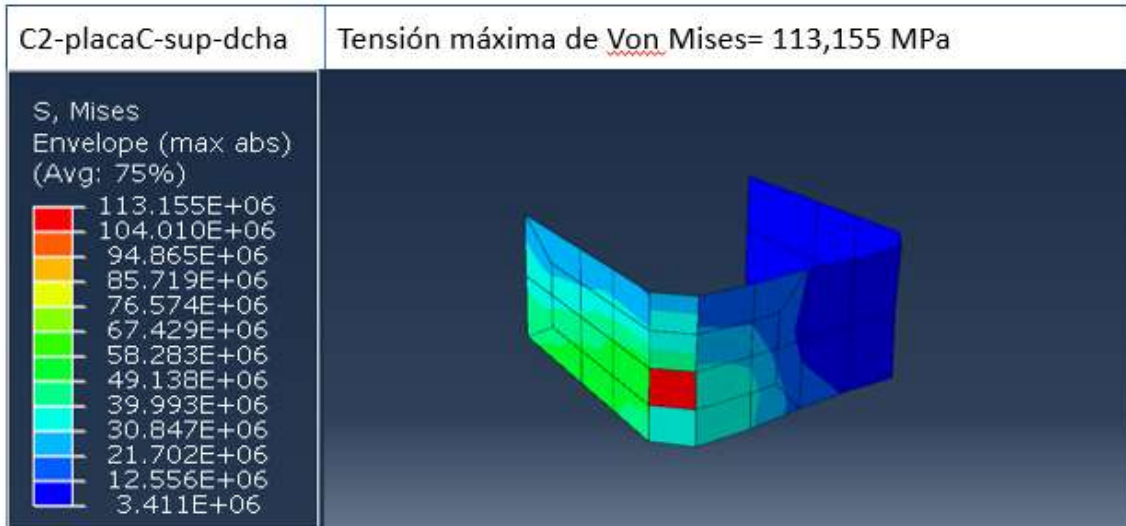


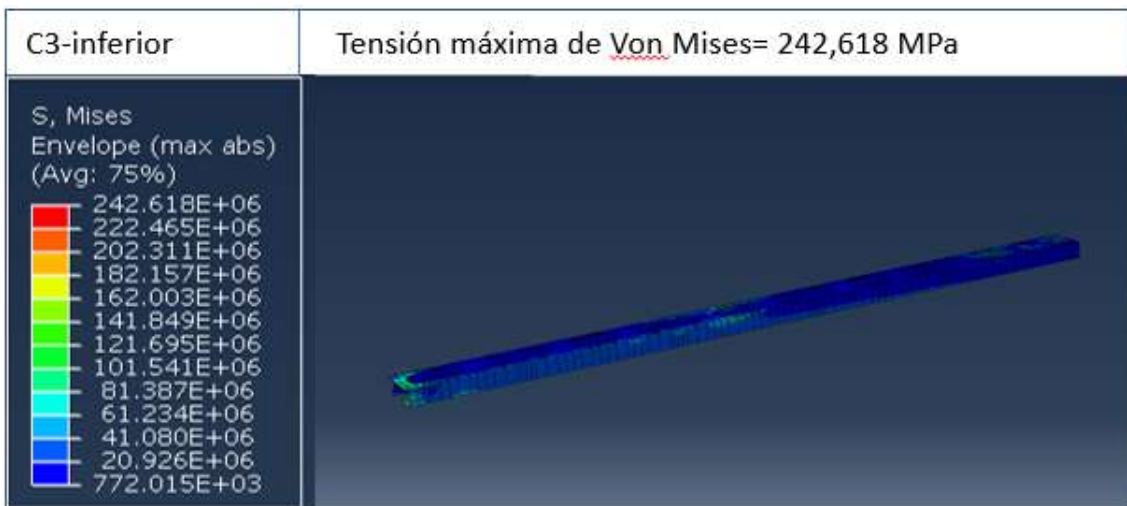
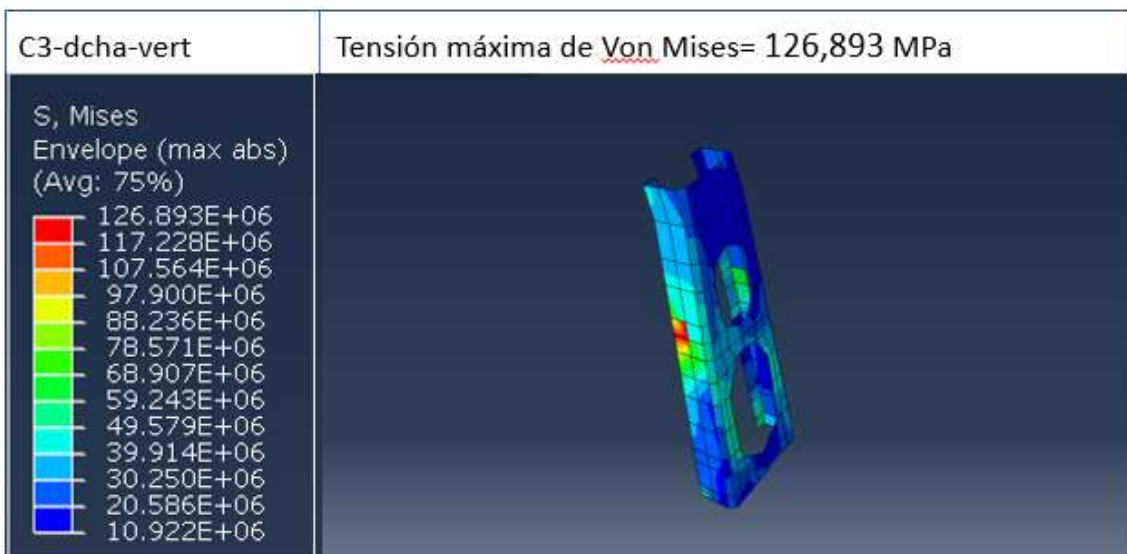
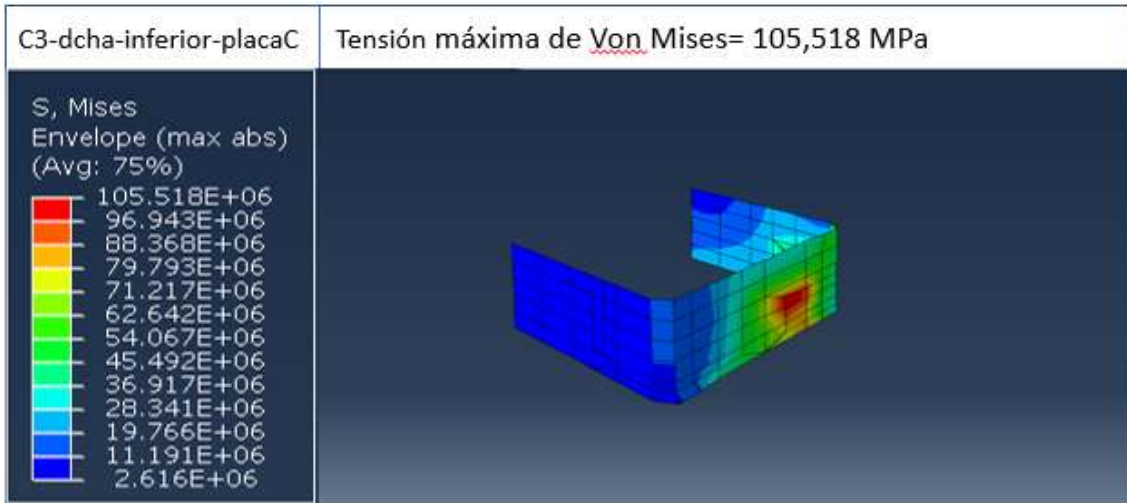


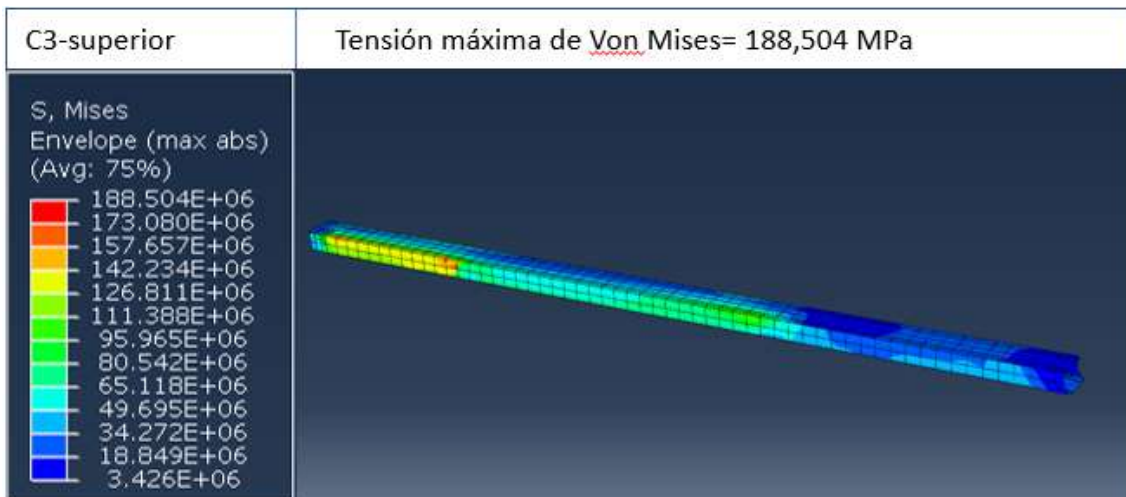
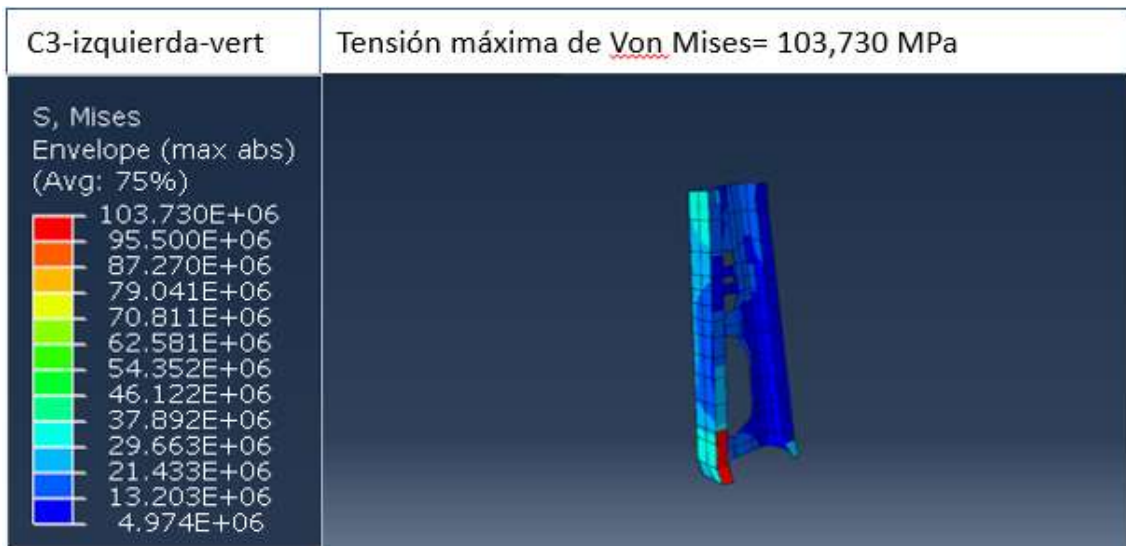
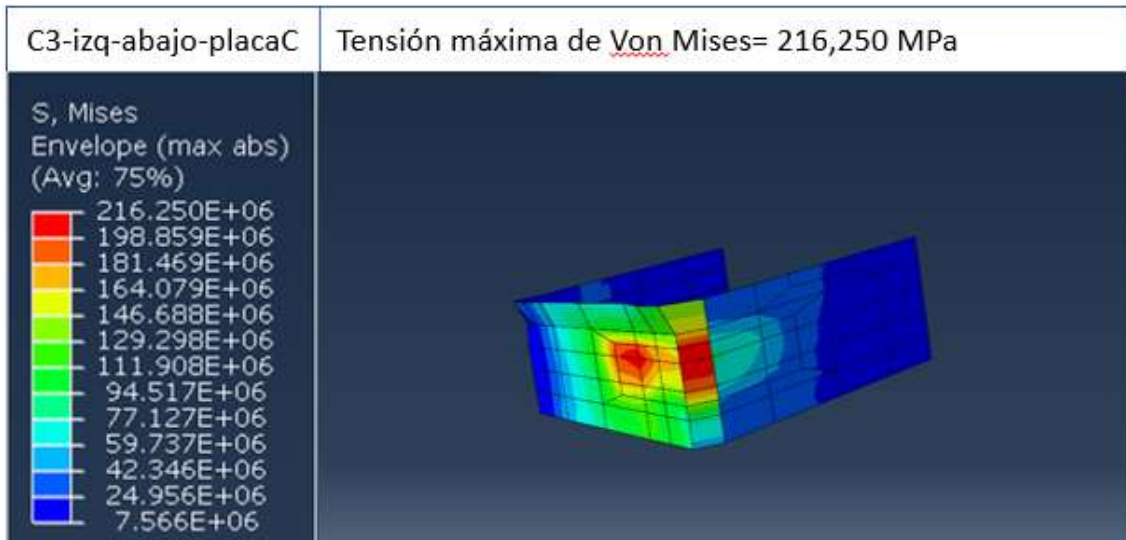


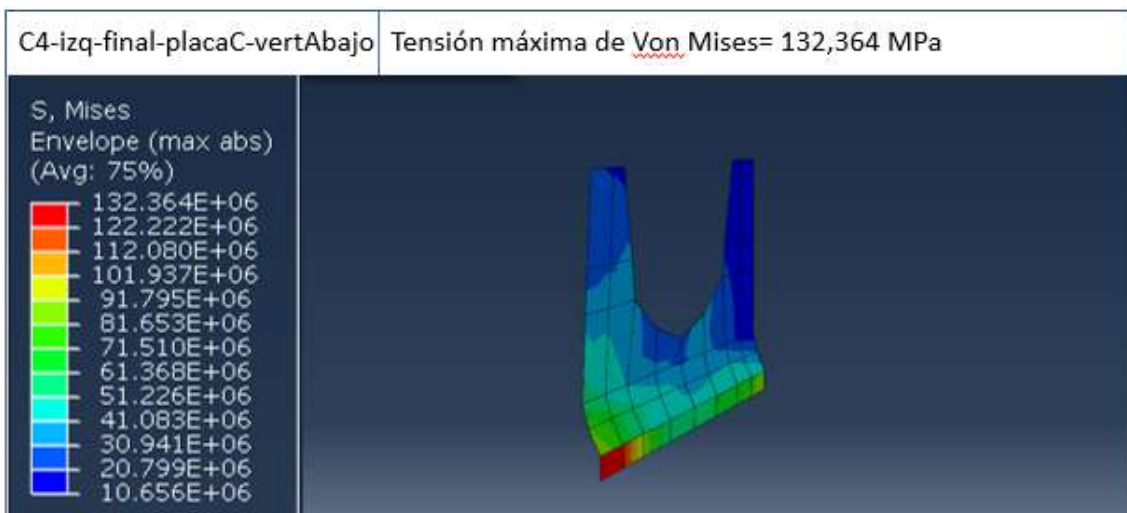
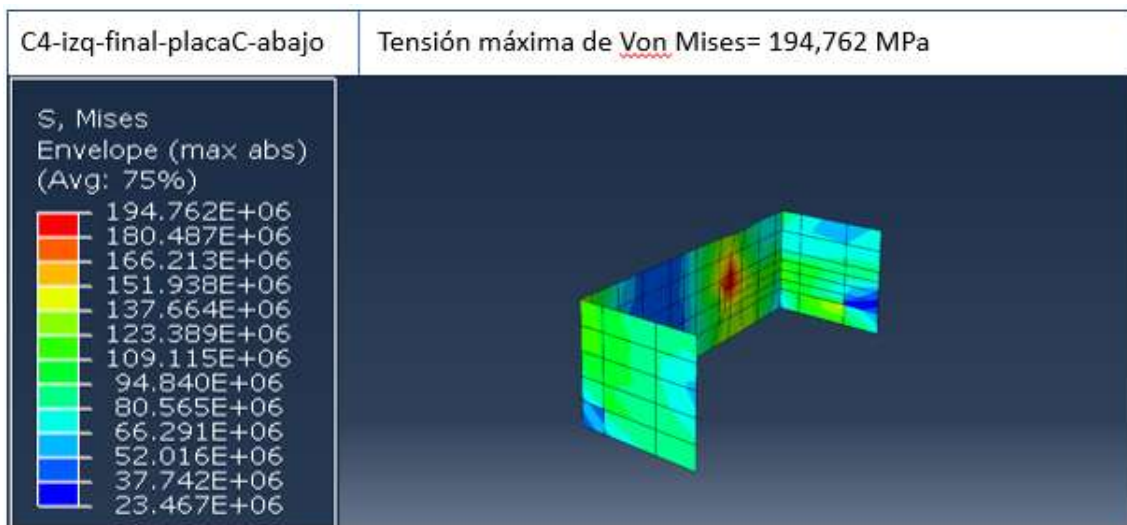
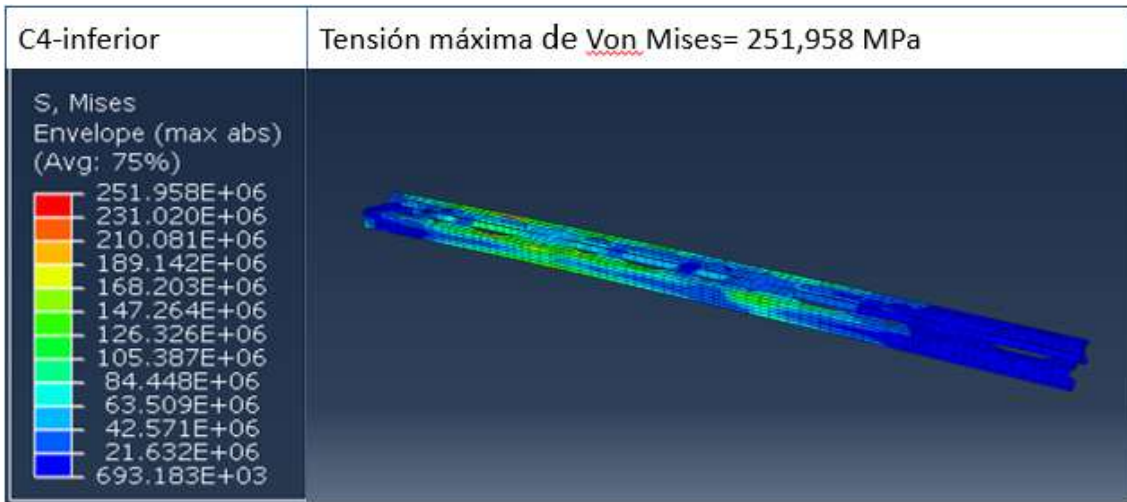


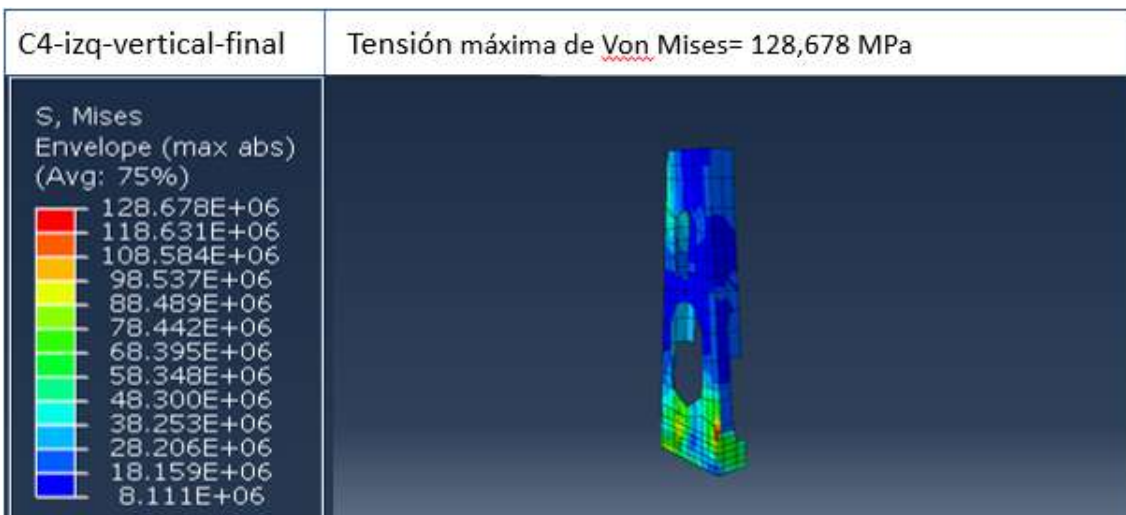
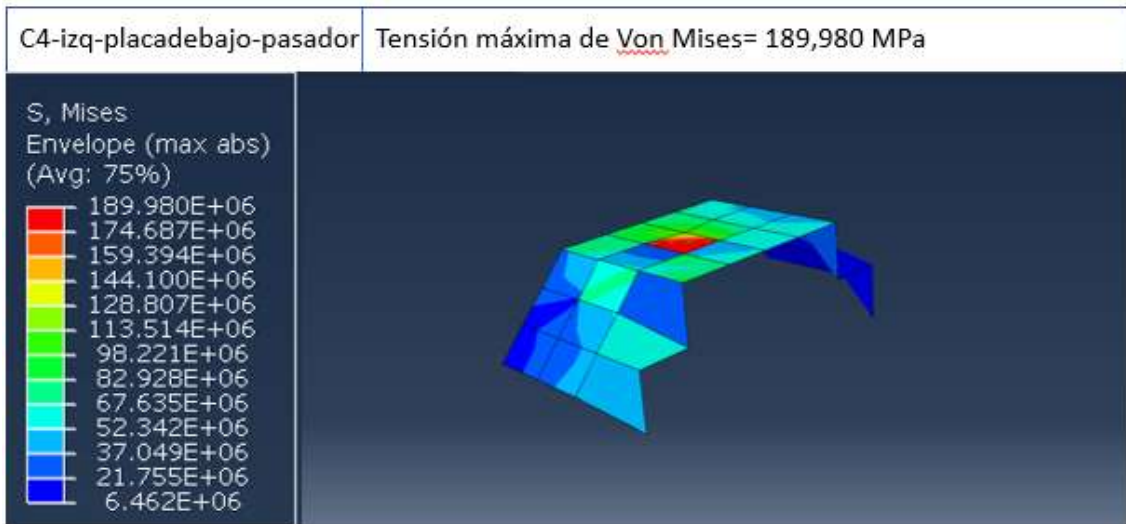


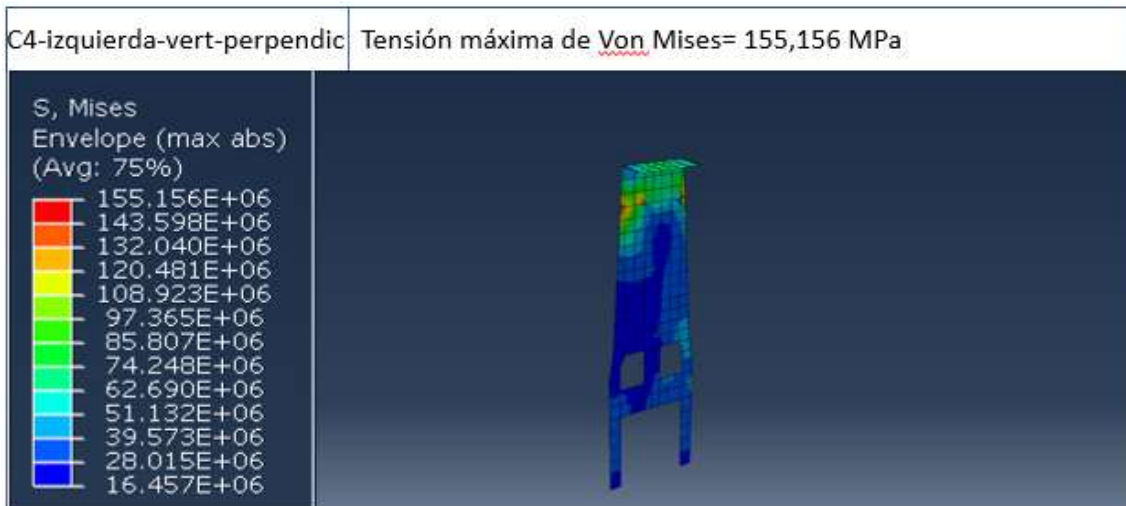
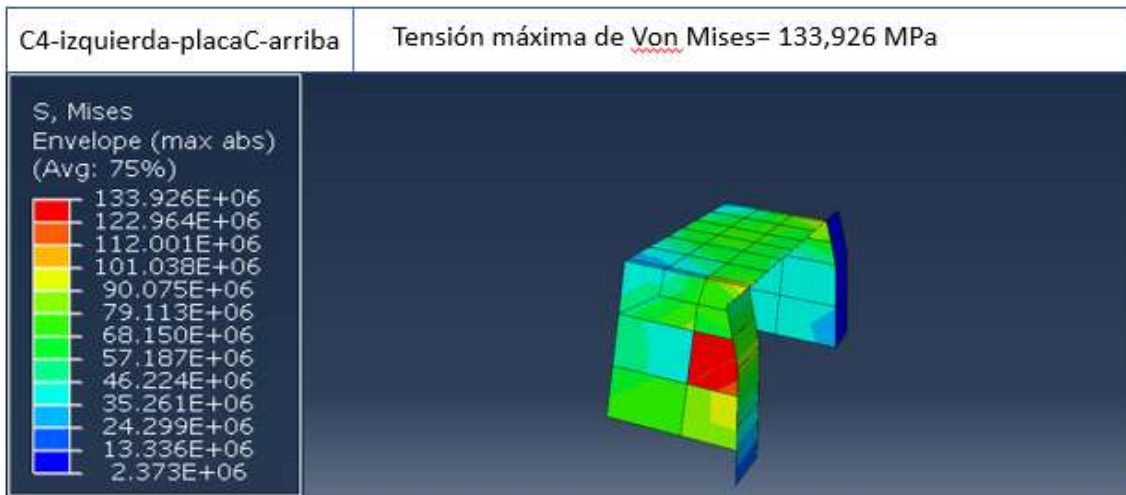
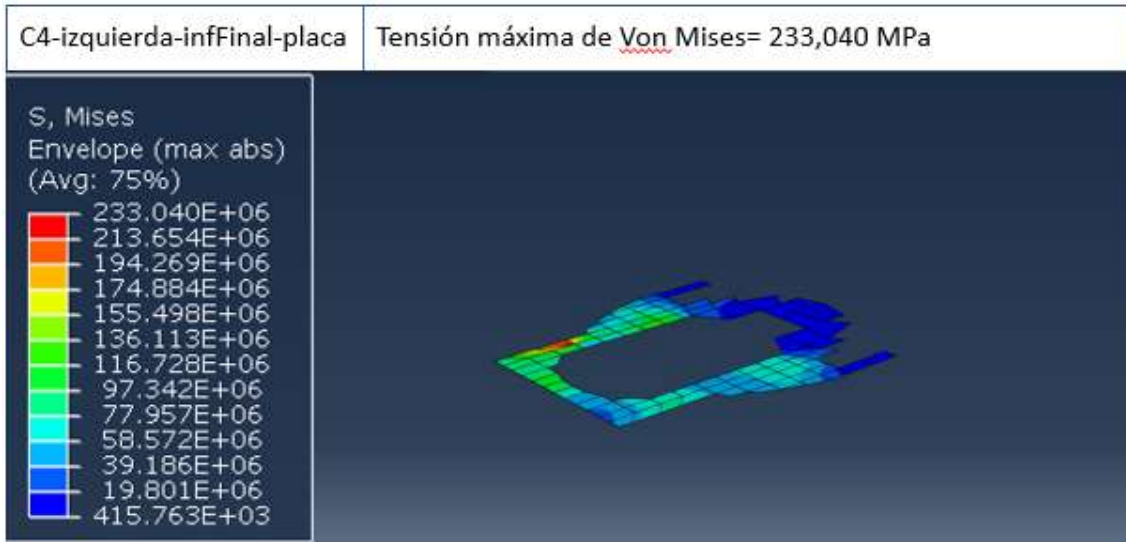


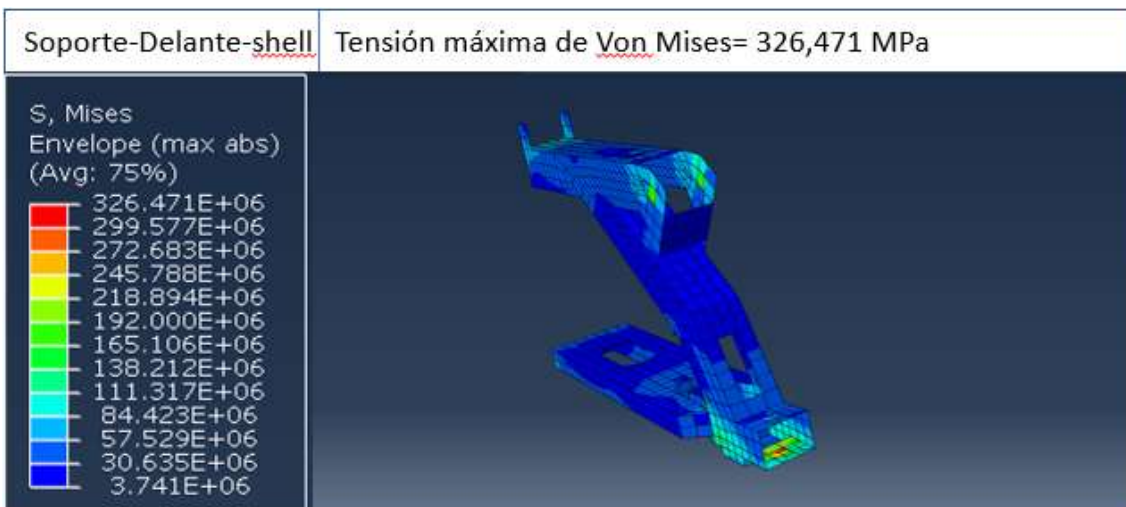
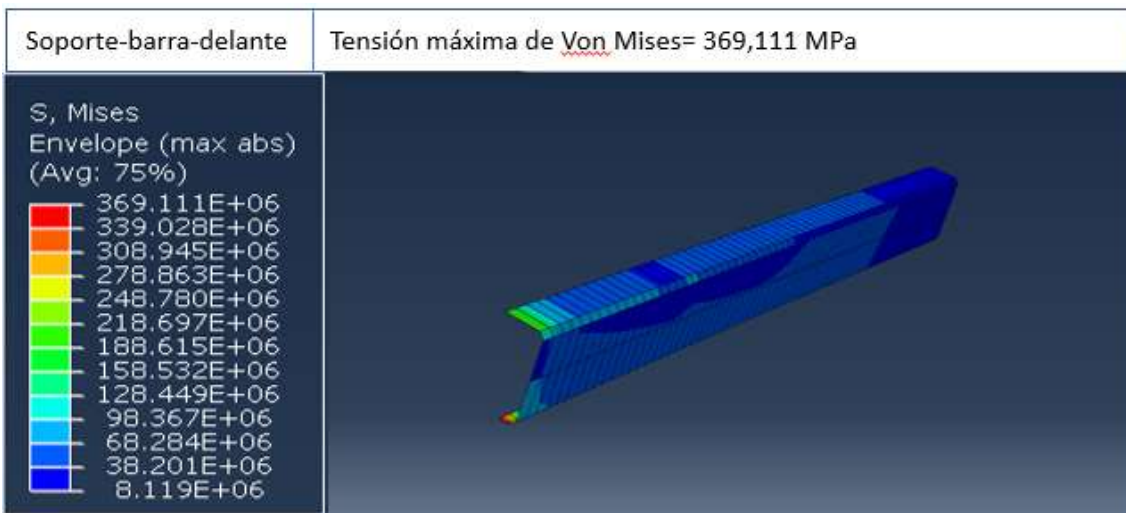
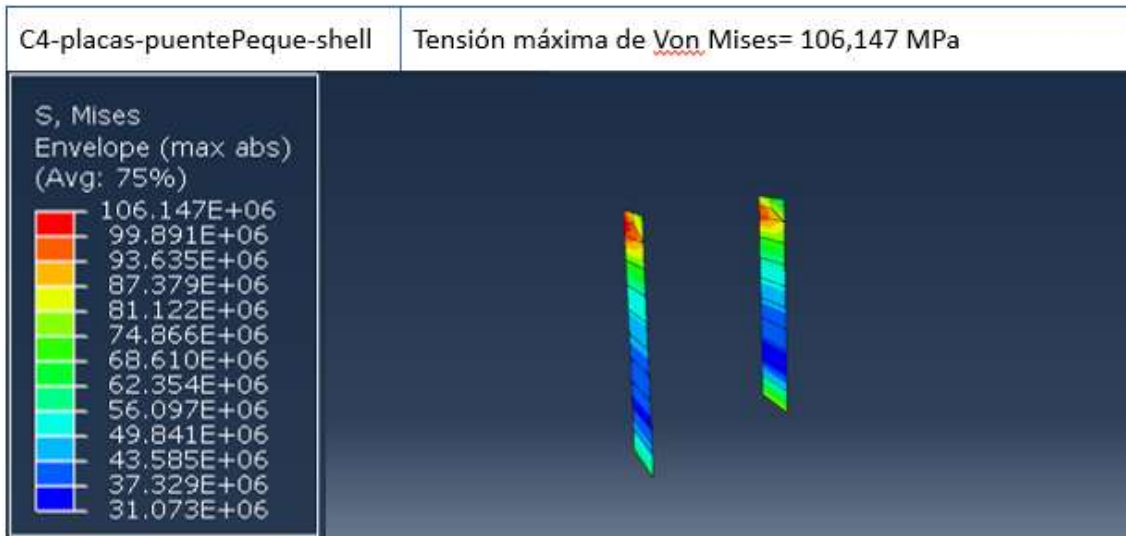












| NOMBRE | PROPIEDADES OPTIMIZACIÓN | | MODELO OPTIMIZADO CORTO, 5G | | | |
|---------------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------|------------|------------|
| | MATERIAL | LÍMITE ELÁSTICO (MPa) | ESPESOR (mm) | TENSIÓN (MPa) | CS | tiempo (s) |
| C0-dcha-abajo-placaC | S355 | 355 | 8 | 247,79 | 1,43267054 | 0,3 |
| C0-dcha-abajo-placaC-horizontal | S355 | 355 | 8 | 121,67 | 2,91784819 | 0,295 |
| C0-dcha-vert | S355 | 355 | 5 | 139,83 | 2,53874264 | 0,34 |
| C0-inferior | S355 | 355 | 5 | 282,09 | 1,25848592 | 0,345 |
| C0-izq-abajo-placaC | S355 | 355 | 12 | 174,70 | 2,03211311 | 0,275 |
| C0-placaGrande-triang-delante | S355 | 355 | 8 | 187,64 | 1,89193078 | 0,275 |
| C0-placaGrande-triang-detrás | S355 | 355 | 8 | 205,57 | 1,72691408 | 0,275 |
| C0-superior | S355 | 355 | 5 | 230,36 | 1,54105947 | 0,345 |
| C0-superior-dcha-placaC | S355 | 355 | 8 | 311,66 | 1,13904718 | 0,34 |
| C0-UnionCilindros-placaDelante | S355 | 355 | 10 | 159,16 | 2,23041787 | 0,33 |
| C0-UnionCilindros-placaDetras | S355 | 355 | 12 | 222,45 | 1,59589294 | 0,33 |
| C1-barratriang-delante | S275JR | 275 | 12 | 96,25 | 2,85711317 | 0,385 |
| C1-inferior | S355 | 355 | 4 | 221,97 | 1,59931522 | 0,34 |
| C1-izquierda-vert | S355 | 355 | 5 | 222,51 | 1,59544108 | 0,335 |
| C1-placaC-inf-dcha-finaHorizont | S355 | 355 | 8 | 125,16 | 2,8364601 | 0,355 |
| C1-placaC-inf-derecha | S355 | 355 | 8 | 257,72 | 1,37745322 | 0,36 |
| C1-placaC-inf-izq-finaHorizont | S275JR | 275 | 6 | 94,00 | 2,92556304 | 0,855 |
| C1-placaC-inf-izquierda | S355 | 355 | 8 | 202,33 | 1,7545854 | 0,3 |
| C1-placaC-sup-derecha | S355 | 355 | 8 | 178,37 | 1,99028963 | 0,315 |
| C1-placaC-sup-izquierda | S355 | 355 | 8 | 338,44 | 1,04893968 | 0,34 |
| C1-superior | S355 | 355 | 4 | 260,48 | 1,36287378 | 0,34 |
| C2-derecha-vert | S355 | 355 | 3 | 102,13 | 3,47603008 | 0,36 |
| C2-inferior | S355 | 355 | 3 | 235,27 | 1,50889184 | 0,36 |
| C2-izquierda-vert | S355 | 355 | 5 | 110,88 | 3,20174608 | 0,355 |
| C2-placaC-inf-dcha-fina | S275JR | 275 | 6 | 91,06 | 3,02011949 | 0,36 |
| C2-placaC-inf-izq | S355 | 355 | 8 | 264,94 | 1,33991591 | 0,36 |
| C2-placaC-inf-izq-fina | S355 | 355 | 6 | 74,82 | 4,74453043 | 0,88 |
| C2-placaC-sup-dcha | S275JR | 275 | 6 | 113,16 | 2,43029473 | 0,32 |
| C2-placaC-sup-izq | S355 | 355 | 8 | 153,74 | 2,30909327 | 0,25 |
| C2-superior | S355 | 355 | 3 | 147,72 | 2,40317897 | 0,355 |
| C3-dcha-inferior-placaC | S275JR | 275 | 6 | 105,52 | 2,60619041 | 0,36 |
| C3-inferior | S355 | 355 | 3 | 242,62 | 1,46320553 | 0,36 |
| C3-izq-abajo-placaC | S355 | 355 | 8 | 216,25 | 1,6416185 | 0,36 |
| C3-izq-sup-placaC | S275JR | 275 | 6 | 98,50 | 2,79196321 | 0,24 |
| C3-izquierda-vert | S275JR | 275 | 3 | 103,73 | 2,65111347 | 0,315 |
| C3-superior | S355 | 355 | 1,5 | 188,50 | 1,88324916 | 0,4 |
| C4-barradiagonal-delante | S275JR | 275 | 10 | 144,59 | 1,90187698 | 0,215 |
| C4-barradiagonal-detrás | S275JR | 275 | 10 | 169,38 | 1,62354914 | 0,22 |
| C4-inferior | S275JR | 275 | 2 | 251,96 | 1,40896499 | 0,22 |
| C4-izq-final-placaC-abajo | S275JR | 275 | 6 | 194,76 | 1,82273749 | 0,36 |
| C4-izq-final-placaC-vertAbajo | S275JR | 275 | 3 | 132,36 | 2,07760418 | 0,36 |
| C4-izq-fin-placaL-mitadplacaVer | S275JR | 275 | 6 | 98,29 | 2,79775772 | 0,195 |

| | | | | | | |
|------------------------------|--------|-----|----|--------|------------|-------|
| C4-izq-placadebajo-pasador | S275JR | 275 | 6 | 189,98 | 1,86861775 | 0,36 |
| C4-izq-placaunion-tuerca | S275JR | 275 | 6 | 130,59 | 2,10587578 | 0,195 |
| C4-izquierda-infFinal-placa | S355 | 355 | 6 | 233,04 | 1,52334363 | 0,36 |
| C4-izquierda-placaC-arriba | S355 | 355 | 5 | 133,93 | 2,65071756 | 0,215 |
| C4-izquierda-vert-detrás | S355 | 355 | 5 | 87,63 | 4,05117027 | 0,215 |
| C4-izquierda-vert-perpendic | S355 | 355 | 5 | 155,16 | 2,2880198 | 0,215 |
| C4-izq-vertical-final | S275JR | 275 | 3 | 128,68 | 2,13711746 | 0,36 |
| C4-placas-PuenteGrande-bar | S275JR | 275 | 10 | 154,42 | 1,78081127 | 0,22 |
| C4-placas-PuenteGrande-shell | S275JR | 275 | 8 | 98,34 | 2,79644902 | 0,215 |
| C4-placas-puentePeque-bar | S275JR | 275 | 10 | 172,20 | 1,59697098 | 0,19 |
| C4-placas-puentePeque-shell | S275JR | 275 | 8 | 106,15 | 2,59074679 | 0,215 |
| Soporte-barra-delante | S355 | 355 | 6 | 369,11 | 0,96177031 | 0,37 |
| Soporte-Delante-shell | S355 | 355 | 10 | 326,47 | 1,08738602 | 0,275 |

Tabla F.2: Resumen de los resultados para los componentes más cargados de la estructura de barras. Optimización 2.

Se puede observar que todos los componentes presentan su máxima tensión entre 0.19 y 0.855 segundos. A diferencia de los casos anteriores tanto del modelo inicial como el de la primera optimización en los que las máximas tensiones se daban cuando empezaba a oscilar, para este caso, que se ha adelantado el tiempo en el que se dan las cargas, el impacto que genera la gravedad es mucho más fuerte que antes y por ello las mayores tensiones aparecen para casi todos los componentes en instantes de tiempo cercanos al momento en el que ésta aparece. Además, aparecen componentes con un $CS < 3$ que antes no presentaban problemas debido al aumento de las tensiones en este punto.

En la tabla G.2 del anexo G aparecen el resto de los elementos que forman el modelo y también cumplen que la mayor tensión que soportan está en este intervalo de tiempo.

TERCERA OPTIMIZACIÓN

Con las condiciones establecidas en el modelo para este caso, citadas en el apartado 7. *Proceso de optimización* y explicadas en el apartado de TERCERA OPTIMIZACIÓN en el anexo E, se obtienen los siguientes resultados de desplazamientos y de tensiones.

1. DESPLAZAMIENTOS

Para extraer los resultados de los desplazamientos se han cogido los mismos nodos representativos que en el modelo inicial. (Ver *Figura C5: ubicación en el modelo de los nodos con los que se van a graficar los desplazamientos*, situada en el anexo C).

Las siguientes gráficas (figuras F15 a F21) describen los desplazamientos de los nodos en función del tiempo representados en la figura C5 para esta optimización. En la figura F15 se observa una representación de todos ellos juntos de forma que se puede comparar lo que se desplaza cada nodo para un mismo instante de tiempo.

El movimiento que realizan los seis nodos representativos es en todos los casos sinusoidal, como en los casos anteriores. Además, se ve que la onda que describen se va amortiguando con el tiempo, disminuyendo su amplitud con el paso de los segundos. Si la gráfica llegara hasta un tiempo de valor infinito, se podría ver que la amplitud de las ondas de desplazamientos llegaría a cero.

Se puede percibir también el efecto de cambiar el instante en el que actúa la carga dinámica, ya que todas las gráficas presentan su curva desplazada más a la izquierda que en casos anteriores, tal y como se ha explicado en el apartado *SEGUNDA OPTIMIZACIÓN, MODELO 5G* del anexo E.

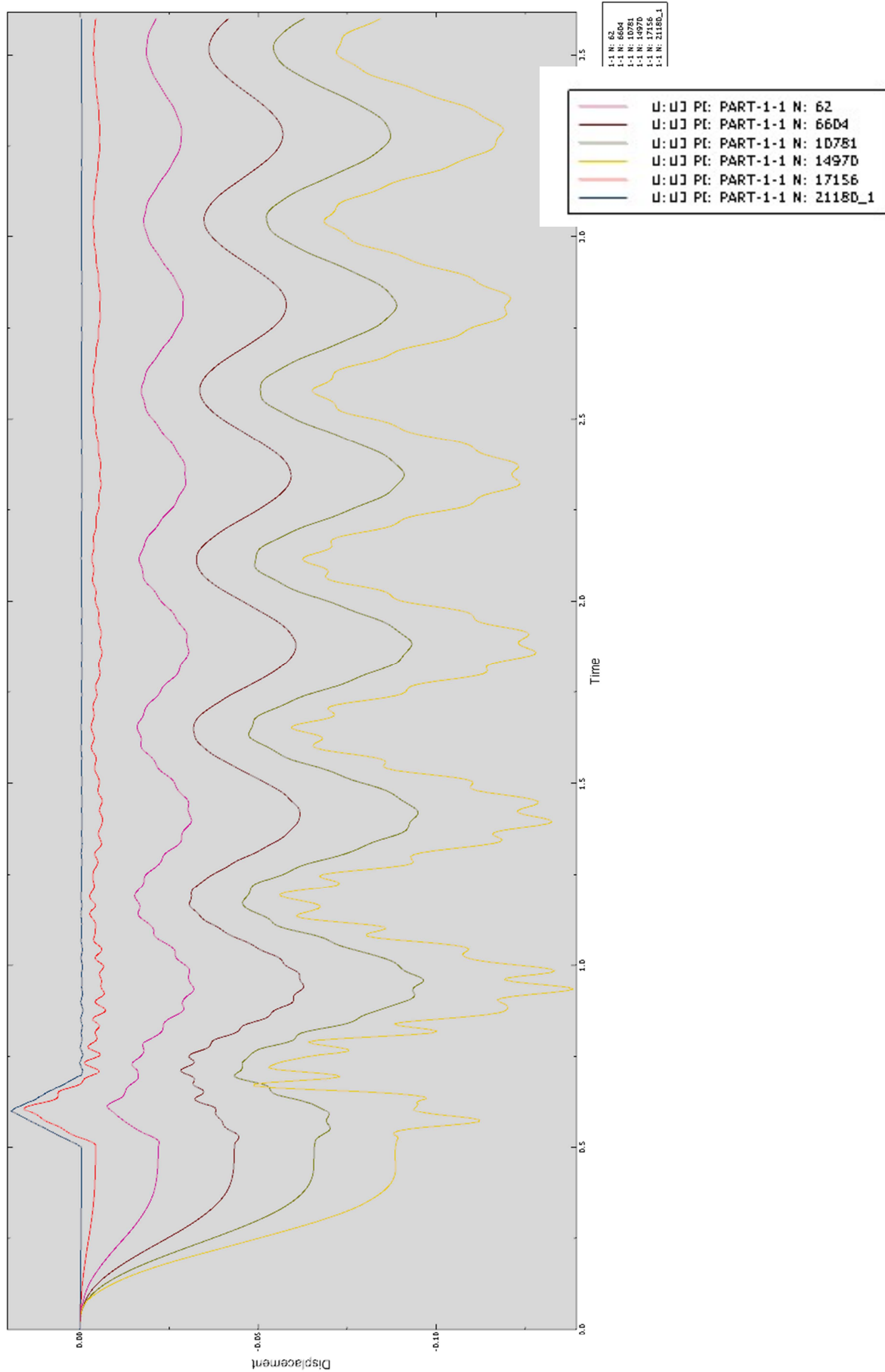


Figura F15: Distribución del desplazamiento en función del tiempo de los nodos seleccionados.16

NODO 21180 (ubicado en Soporte)

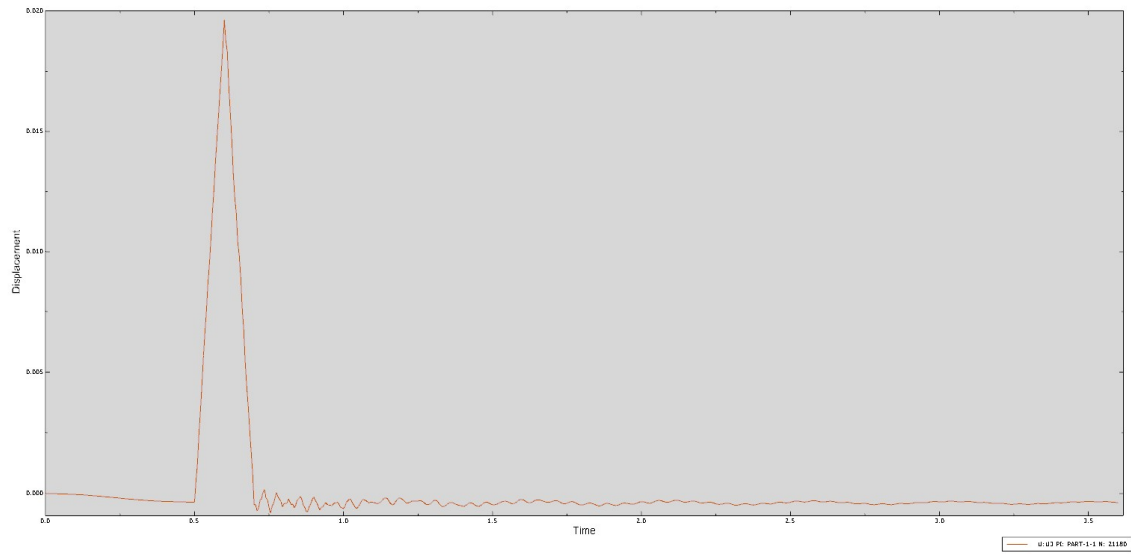


Figura F16: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 21180

NODO 17156 (ubicado en C0)

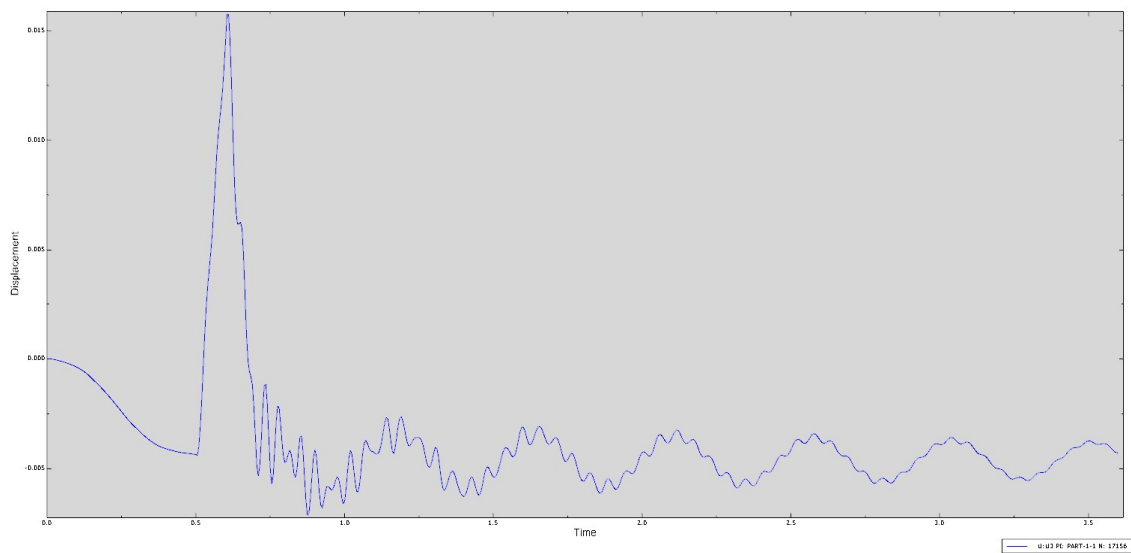


Figura F17: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 17156

NODO 62 (ubicado en C1)

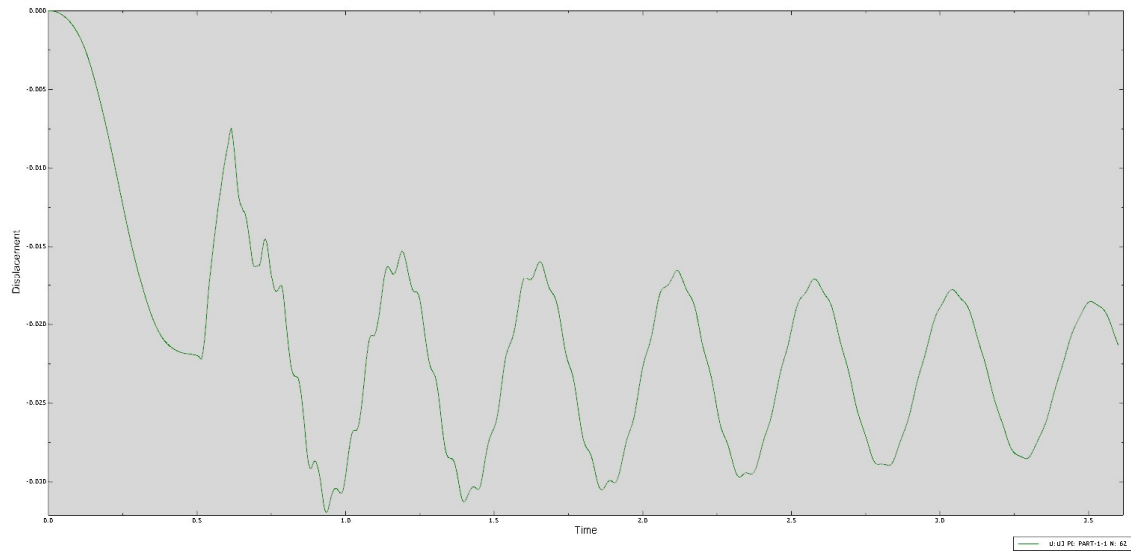


Figura F18: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 62

NODO 6604 (ubicado en C2)

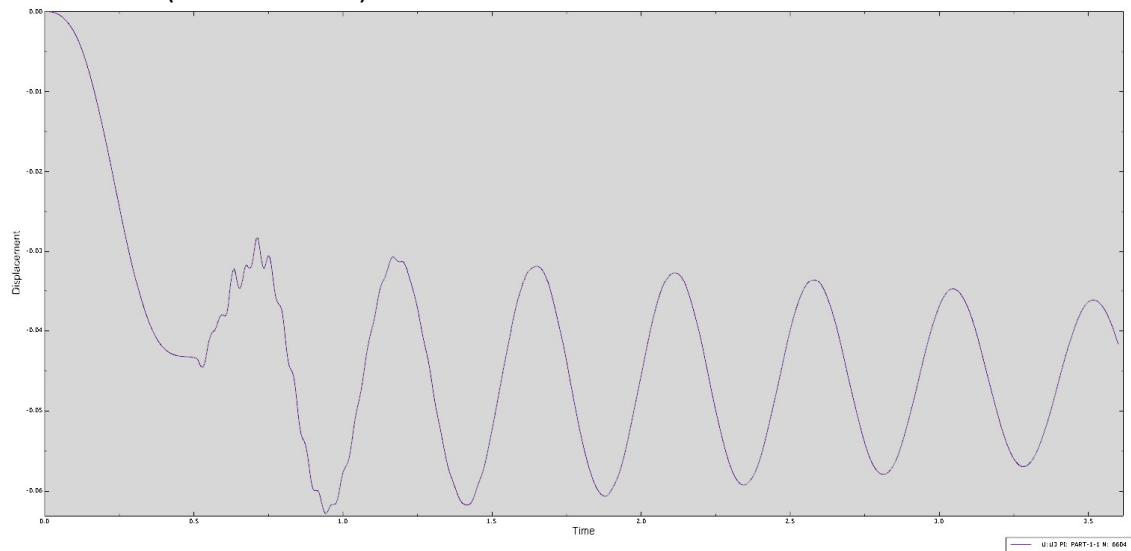


Figura F19: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 6604

NODO 10781 (ubicado en C3)

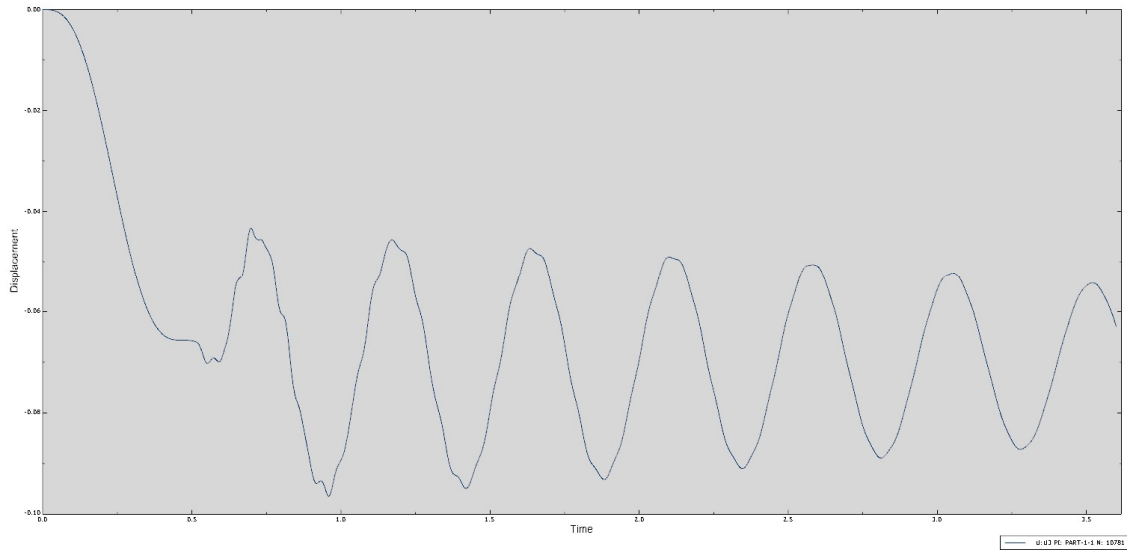


Figura F20: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 10781

NODO 14970 (ubicado en C4)

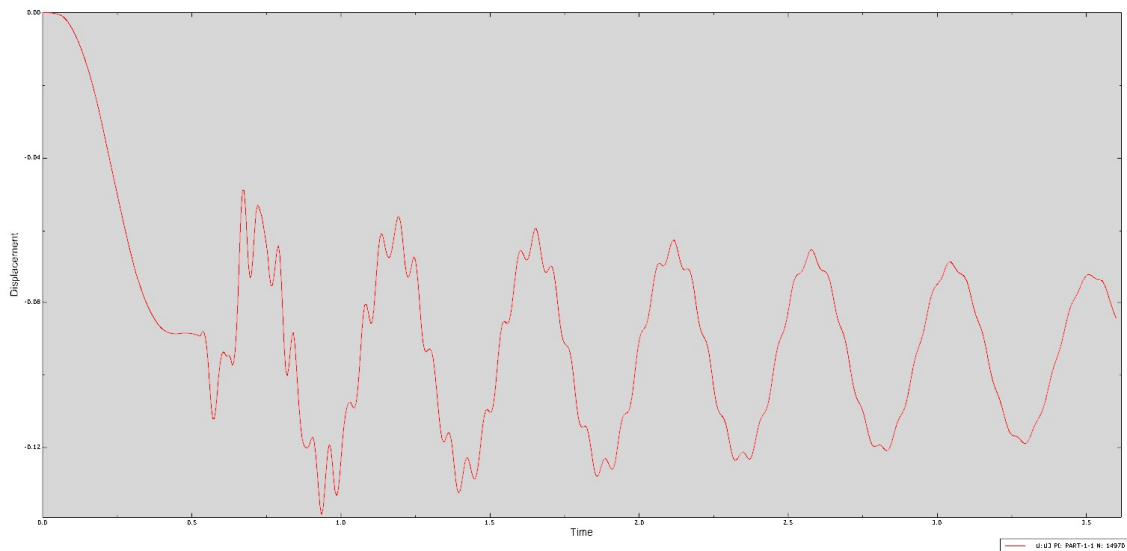


Figura F21: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 14970

Si se comparan estos desplazamientos con los de los modelos de 5g optimizados, se ve claramente que las gráficas siguen teniendo una forma sinusoidal amortiguada similar ya que las condiciones geométricas y de materiales son las mismas, pero los desplazamientos son mucho menores, por ejemplo, el máximo desplazamiento que tiene el nodo 10781 en este caso es de -0.095m mientras que en la primera optimización era de -0.14m. Y si se compara con el modelo original 2g, éste presentaba un máximo de -0.125. Por lo que se aprecia notablemente que tanto cambiar el espesor de algunas piezas e introducir una carga menor hace que los desplazamientos sean más pequeños y por tanto las tensiones que se generen como se verá en el siguiente apartado, tendrán también un valor menor.

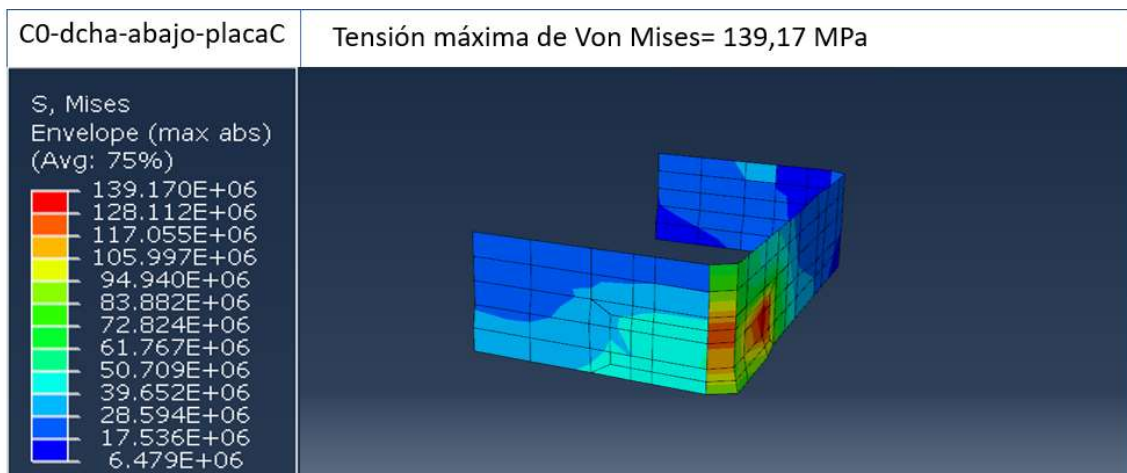
2. TENSIONES

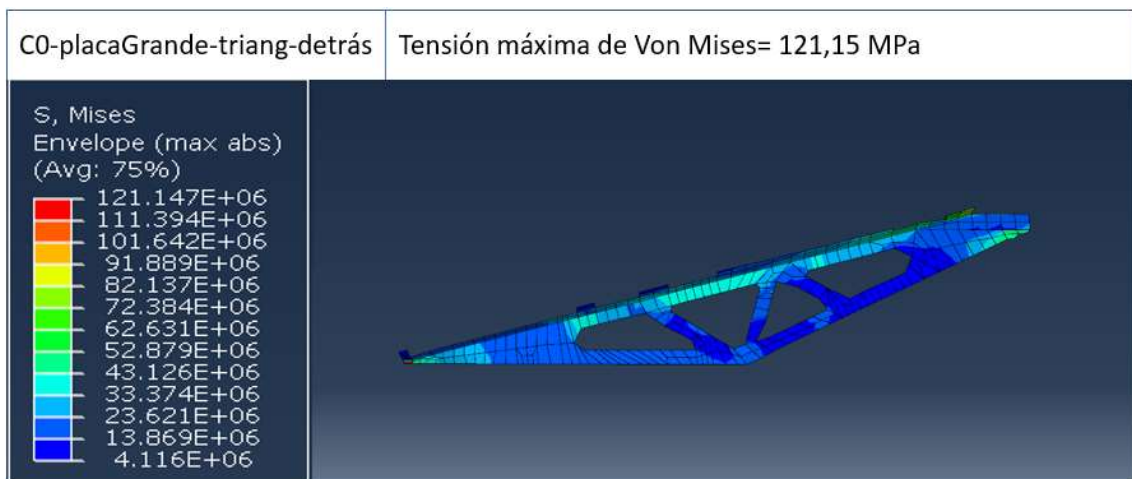
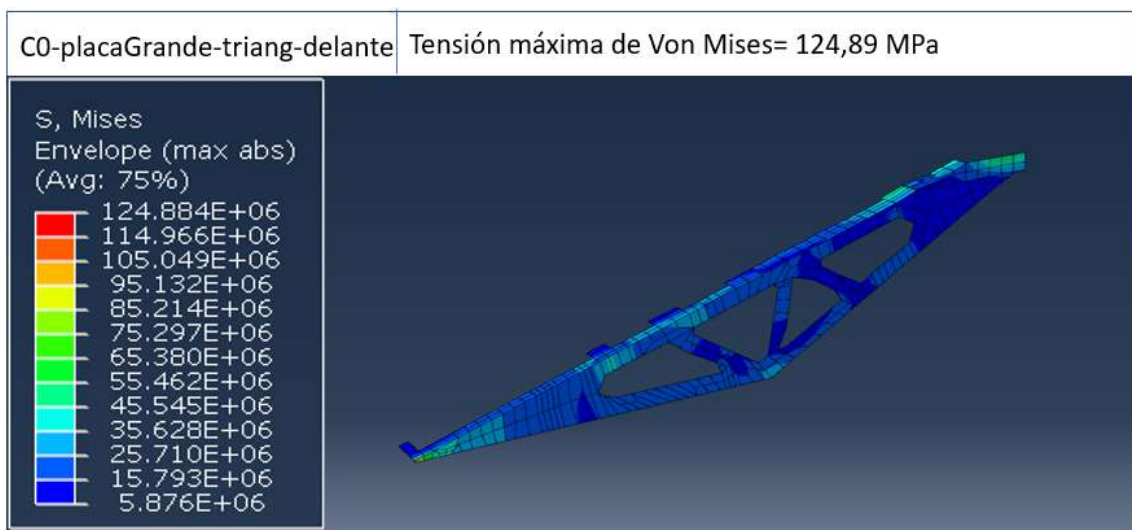
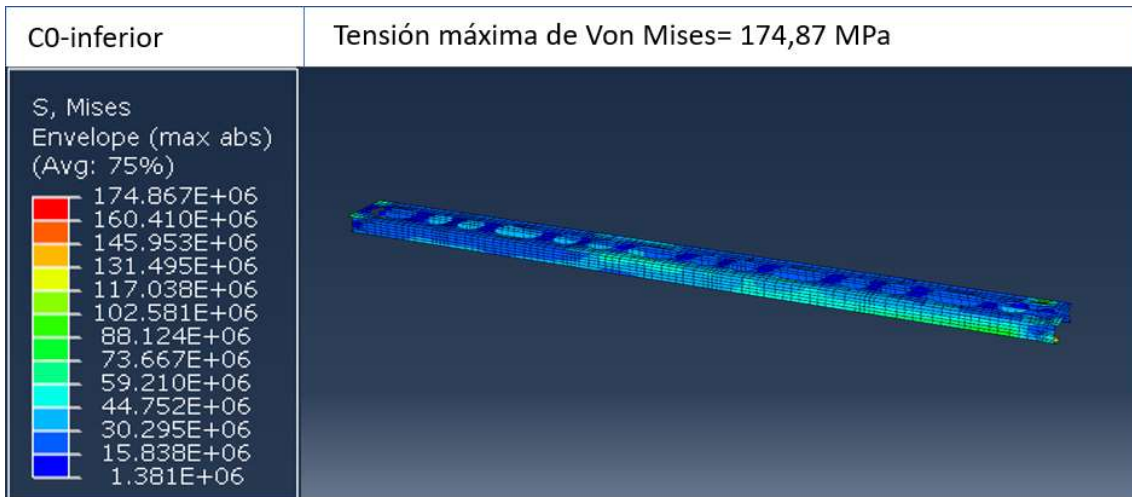
En el tercer caso de optimización se va a buscar para cada componente la mayor tensión en el intervalo de 0.1 a 1 segundos, así se acota la búsqueda de tensiones en el rango donde serán mayores, de la misma forma que se ha hecho en los apartados anteriores.

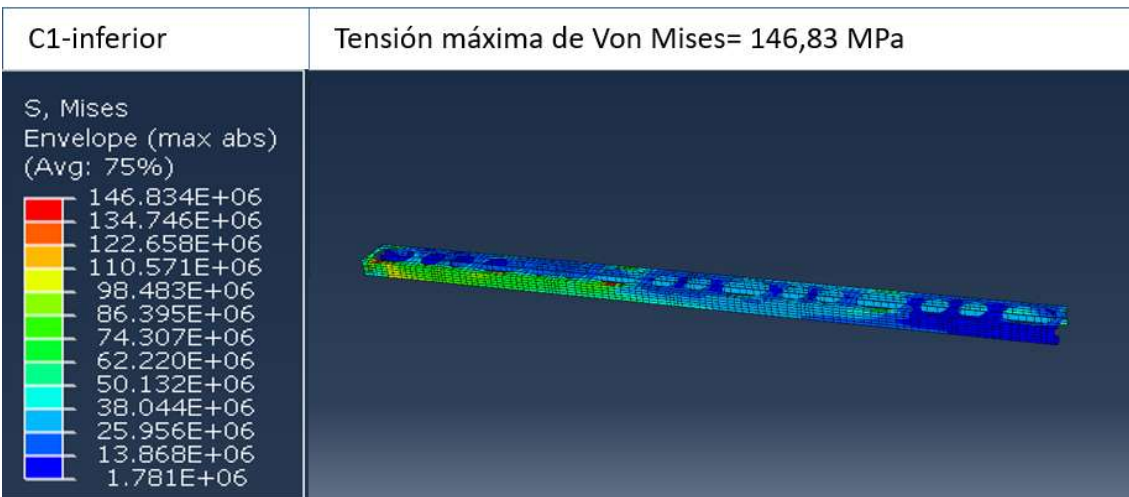
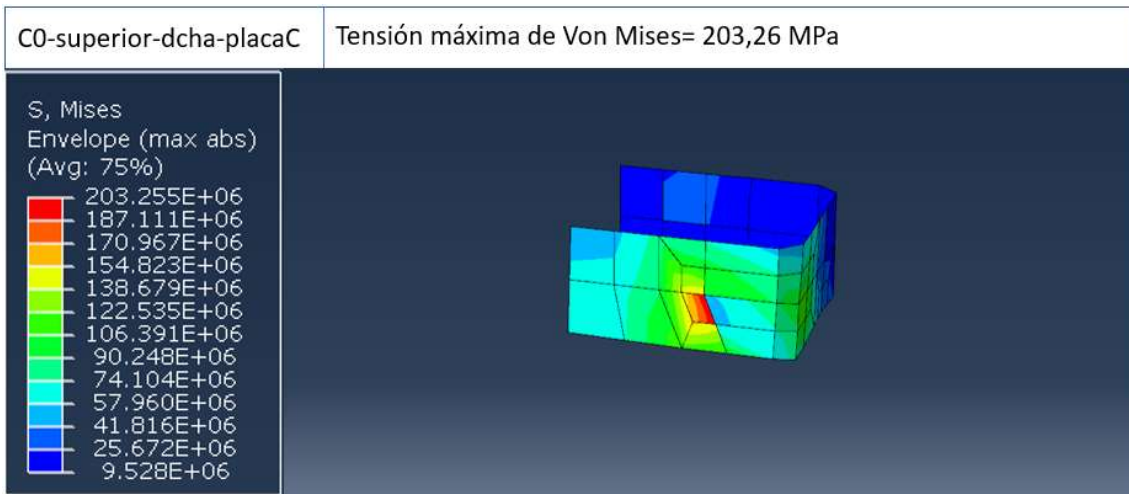
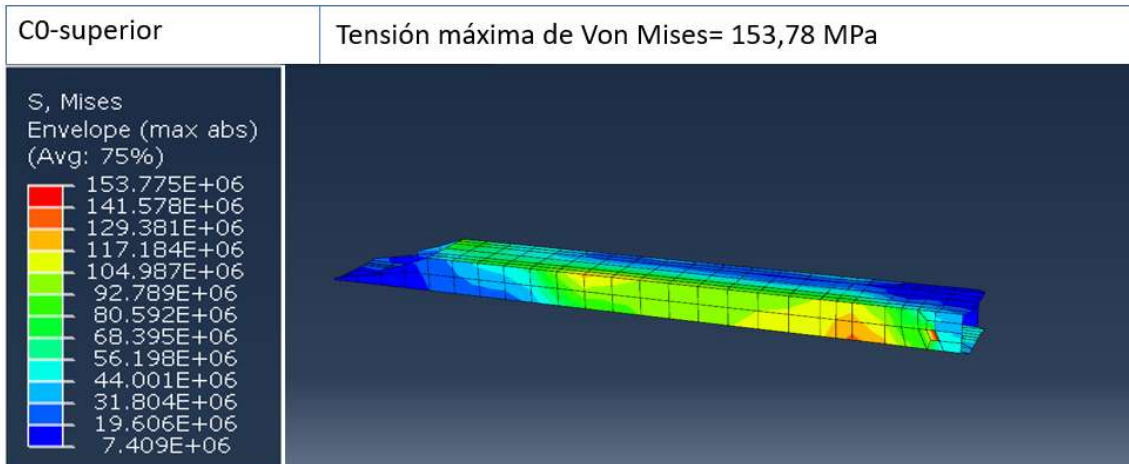
Después de este proceso sigue habiendo componentes que no tienen un coeficiente de seguridad superior al mínimo ($CS=3$), aunque muchos de los que antes no cumplían este requisito han mejorado notablemente. Además, en otros que antes ya tenían un coeficiente de seguridad mayor que 3 ha aumentado la tensión a la que se someten sin sobrepasar este límite establecido, por ello se deduce que en estas piezas también se ha optimizado el material ya que ahora no sobrepasa el $CS=3$ y sin tener coeficientes de seguridad excesivamente grandes.

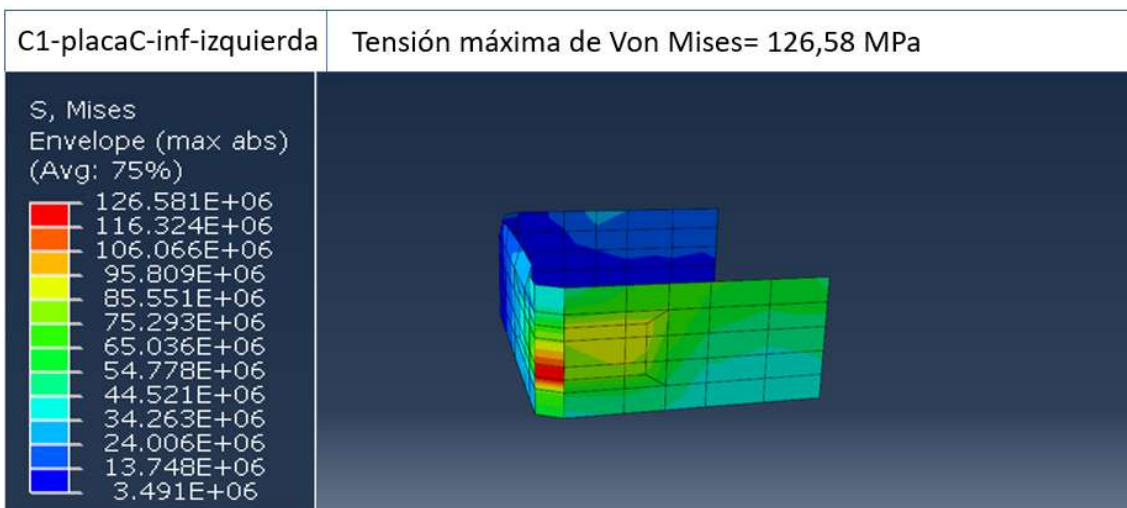
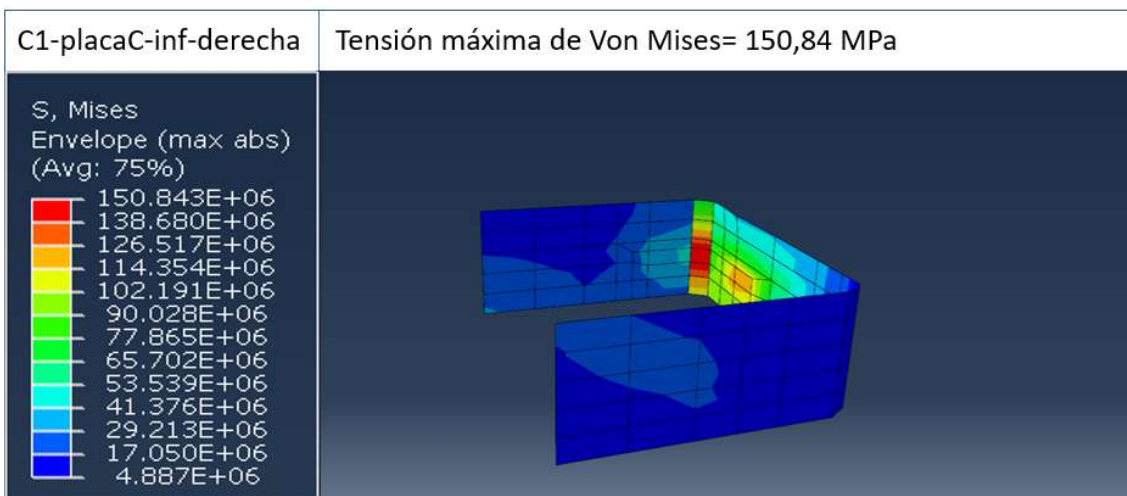
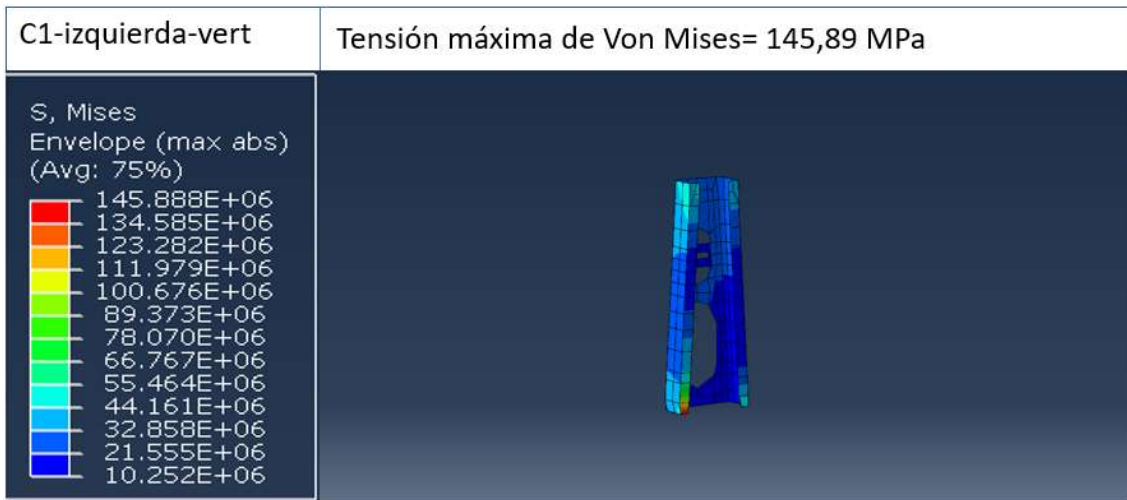
Por consiguiente, habrá que seguir mejorando las propiedades de los componentes que todavía son desfavorables para obtener un modelo en el que todas sus partes tengan un $CS>3$.

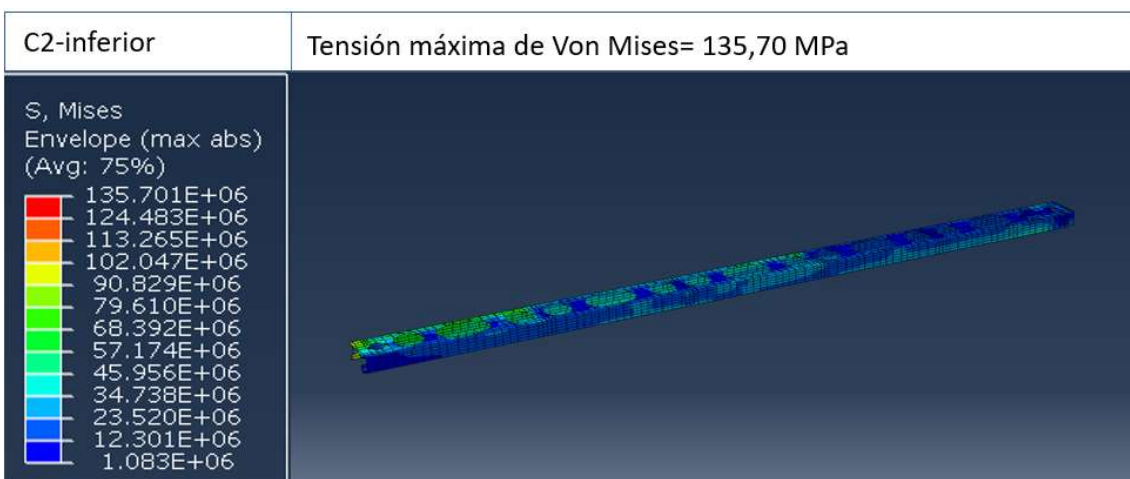
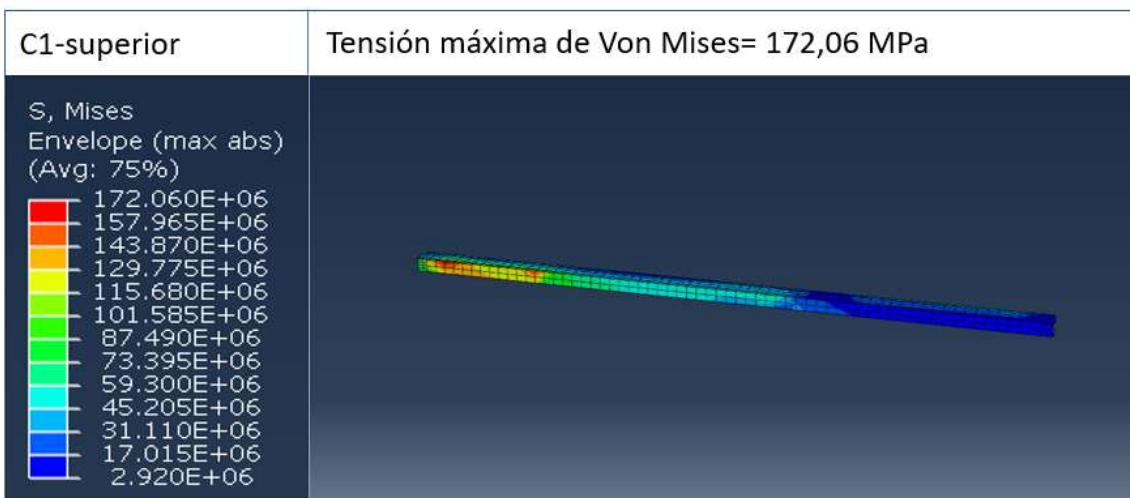
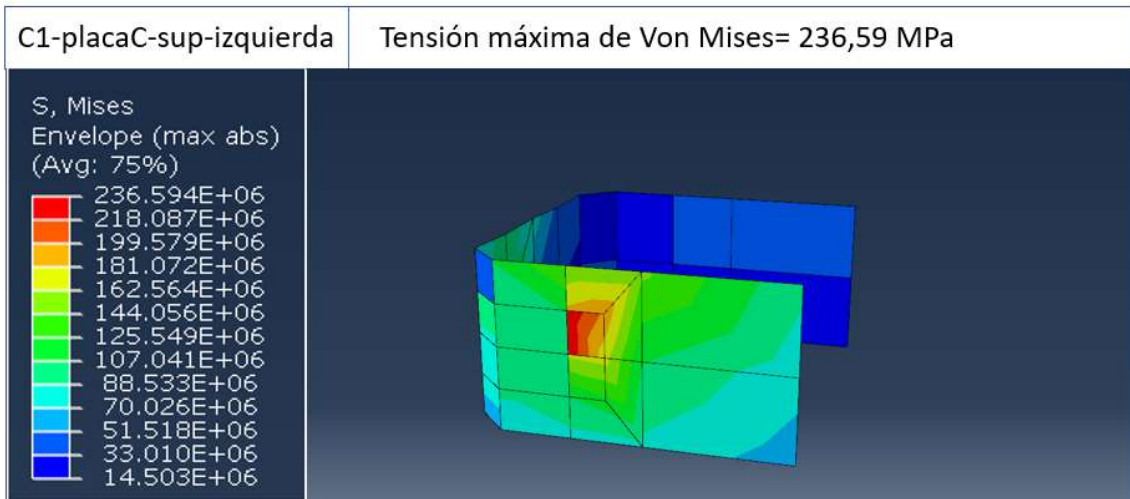
A continuación, se presentan las imágenes de los componentes que soportan mayores tensiones, ya que son las partes más críticas modelo. También se exponen en la tabla F.3, para cada uno de los componentes más cargados los datos de material con el que se ha fabricado, el espesor que posee, el límite elástico, la tensión equivalente de Von Mises, el coeficiente de seguridad y el instante de tiempo en el que se da la máxima tensión. En el anexo G aparece una tabla similar a la F.3 (la tabla G.3) pero con la información de todos los sólidos que forman la estructura para este caso de estudio.

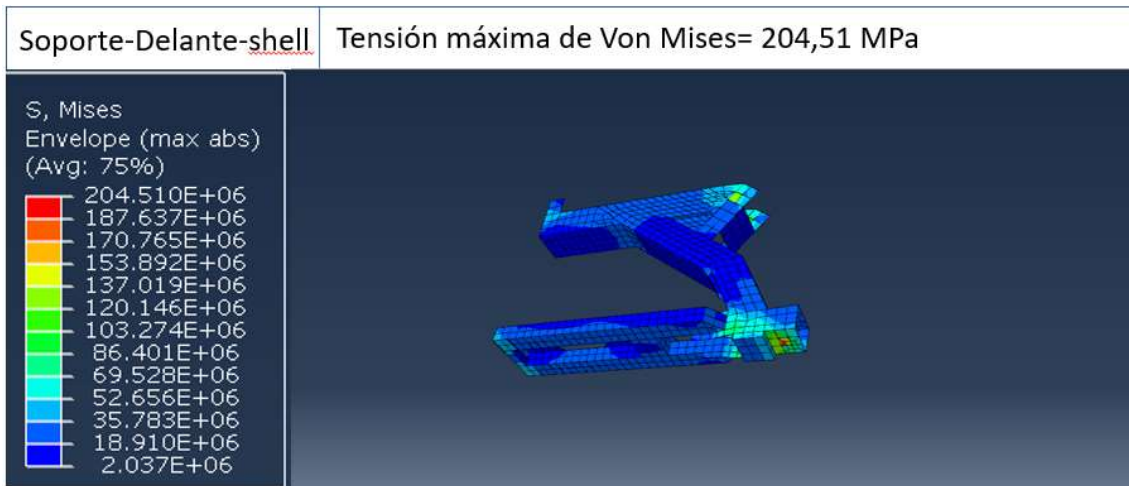
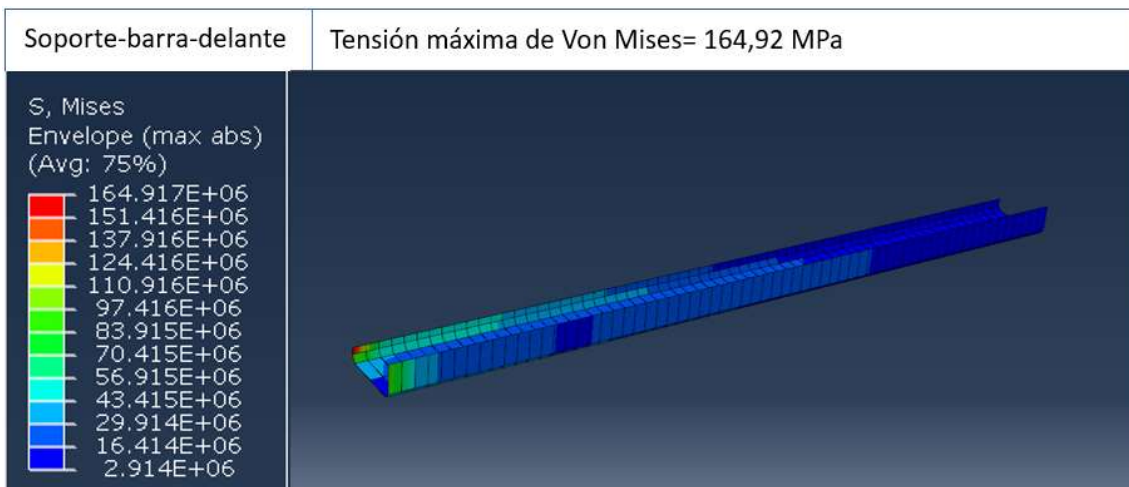
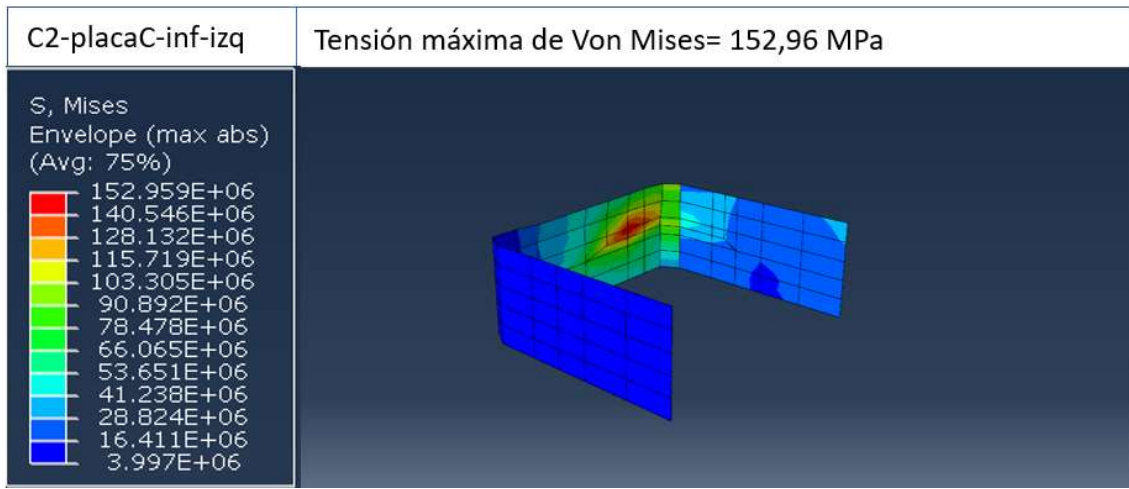












| NOMBRE | MATERIAL | LÍMITE ELÁSTICO (MPa) | ESPESOR (mm) | TENSION (MPa) | CS | TIEMPO (s) |
|-------------------------------|----------|-----------------------|--------------|---------------|------------|------------|
| C0-dcha-abajo-placaC | S355 | 355 | 8 | 139,17 | 2,55083711 | 0,295 |
| C0-inferior | S355 | 355 | 5 | 174,87 | 2,03011432 | 0,295 |
| C0-placaGrande-triang-delante | S355 | 355 | 8 | 124,88 | 2,84263797 | 0,275 |
| C0-placaGrande-triang-detrás | S355 | 355 | 8 | 121,15 | 2,93032432 | 0,275 |
| C0-superior | S355 | 355 | 5 | 153,78 | 2,30856771 | 0,34 |
| C0-superior-dcha-placaC | S355 | 355 | 8 | 203,26 | 1,7465745 | 0,34 |
| C1-inferior | S355 | 355 | 4 | 146,83 | 2,41769617 | 0,335 |
| C1-izquierda-vert | S355 | 355 | 5 | 145,89 | 2,43337355 | 0,335 |
| C1-placaC-inf-derecha | S355 | 355 | 8 | 150,84 | 2,35344033 | 0,36 |
| C1-placaC-inf-izquierda | S355 | 355 | 8 | 126,58 | 2,80452833 | 0,3 |
| C1-placaC-sup-izquierda | S355 | 355 | 8 | 236,59 | 1,5004607 | 0,3 |
| C1-superior | S355 | 355 | 4 | 172,06 | 2,06323376 | 0,34 |
| C2-inferior | S355 | 355 | 3 | 135,70 | 2,61604557 | 0,36 |
| C2-placaC-inf-izq | S355 | 355 | 8 | 152,96 | 2,32088337 | 0,36 |
| Soporte-barra-delante | S355 | 355 | 6 | 164,92 | 2,15259797 | 0,37 |
| Soporte-Delante-shell | S355 | 355 | 10 | 204,51 | 1,73585644 | 0,275 |

Tabla F.3: Resumen de los resultados para los componentes más cargados de la estructura de barras. Optimización 3.

Se puede observar que todos los componentes presentan su máxima tensión entre 0.19 y 0.855 segundos. A diferencia de los casos anteriores tanto del modelo inicial como el de la primera optimización en los que las máximas tensiones se daban en el momento en el que empezaba a oscilar, para este caso en el que se ha adelantado el tiempo en el que se dan las cargas, ocurre que las mayores tensiones aparecen para casi todos los componentes en instantes de tiempo cercanos al momento en el que aparece la gravedad y la carga dinámica de aceleración 2g.

En el anexo G aparecen el resto de los elementos que forman el modelo y también cumplen que la mayor tensión que soportan está en este intervalo de tiempo.

CUARTA OPTIMIZACIÓN

Con las nuevas condiciones establecidas para este caso, citadas en el apartado de Proceso de optimización y explicadas en el apartado de CUARTA OPTIMIZACIÓN en el anexo E, se obtienen los siguientes resultados de desplazamientos y de tensiones.

1. DESPLAZAMIENTOS

Para extraer los resultados de los desplazamientos se han cogido los mismos nodos representativos que en el modelo inicial. (Ver *Figura C5: ubicación en el modelo de los nodos con los que se van a graficar los desplazamientos*, situada en el anexo C).

Las siguientes gráficas (figuras F22 a F28) describen los desplazamientos de los nodos en función del tiempo representados en la figura C5 para este proceso de optimización. En la figura F22 se observa una representación de todos ellos juntos de forma que se puede comparar lo que se desplaza cada nodo para un mismo instante de tiempo.

Todos los nodos realizan un movimiento sinusoidal. Además, se ve que la onda que describen se va amortiguando con el tiempo, disminuyendo su amplitud con el paso de los segundos. Si la gráfica llegara hasta un tiempo de valor infinito, se podría ver que la amplitud de las ondas de desplazamientos llegaría a cero.

Se puede percibir también el efecto de cambiar el instante en el que actúa la carga dinámica, (quitando los instantes de tiempo iniciales en los que no ocurría nada) ya que todas las gráficas presentan su curva desplazada más a la izquierda, tal y como se ha explicado en el apartado *SEGUNDA OPTIMIZACIÓN, MODELO 5G* del anexo E.

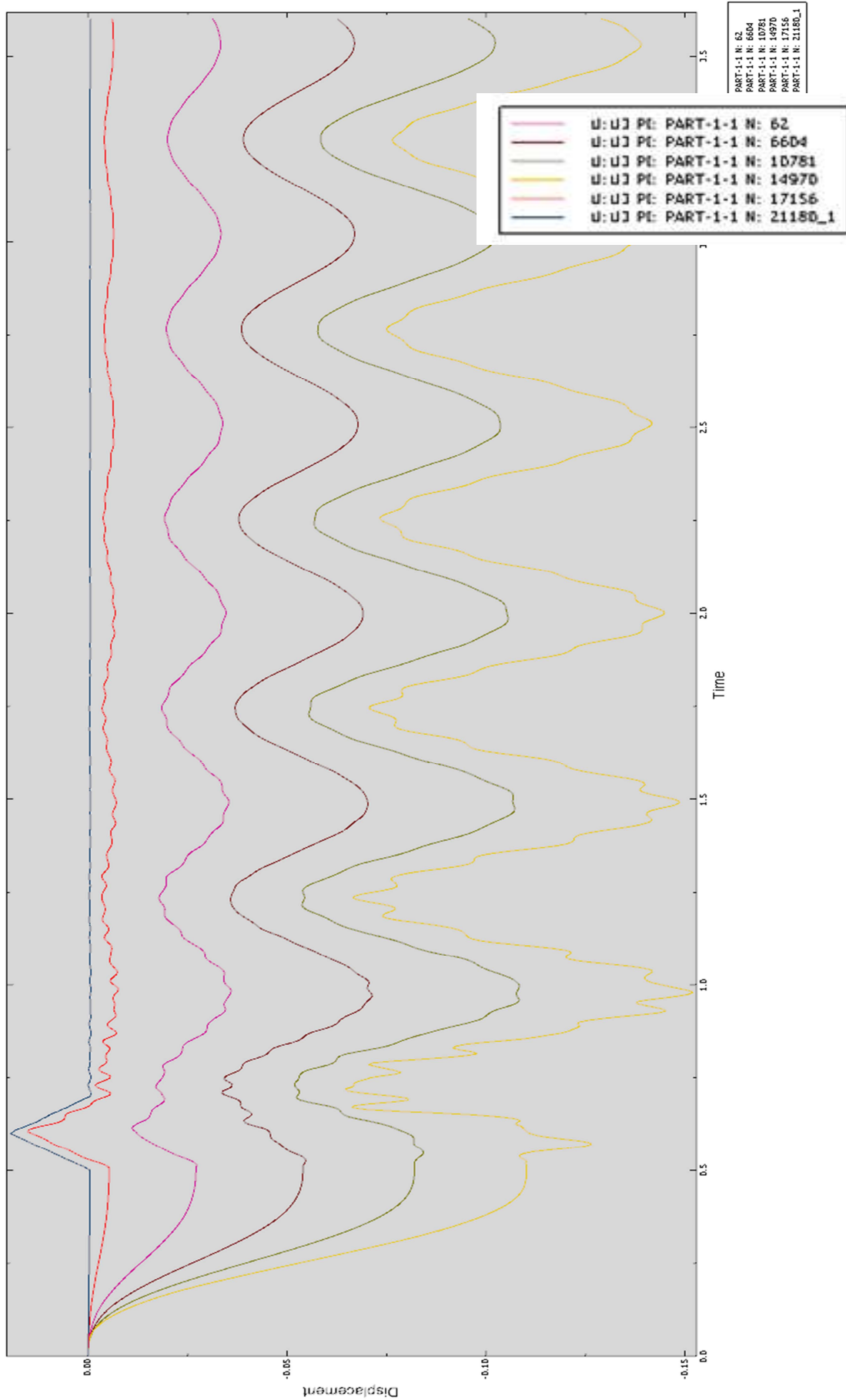


Figura F22: Distribución del desplazamiento en función del tiempo de los nodos seleccionados.17

NODO 21180 (ubicado en Soporte)

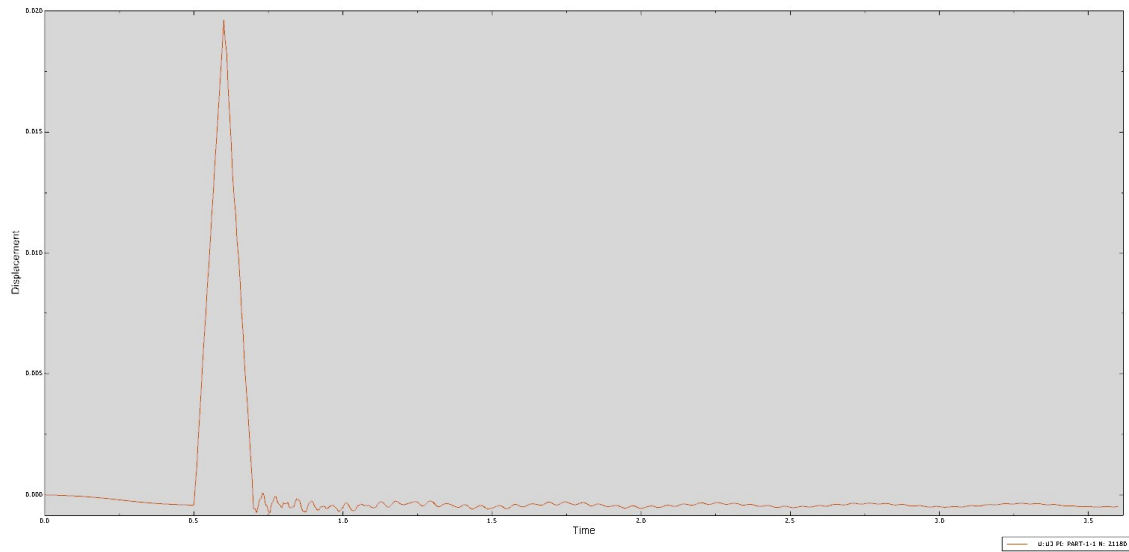


Figura F23: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 21180

NODO 17156 (ubicado en C0)

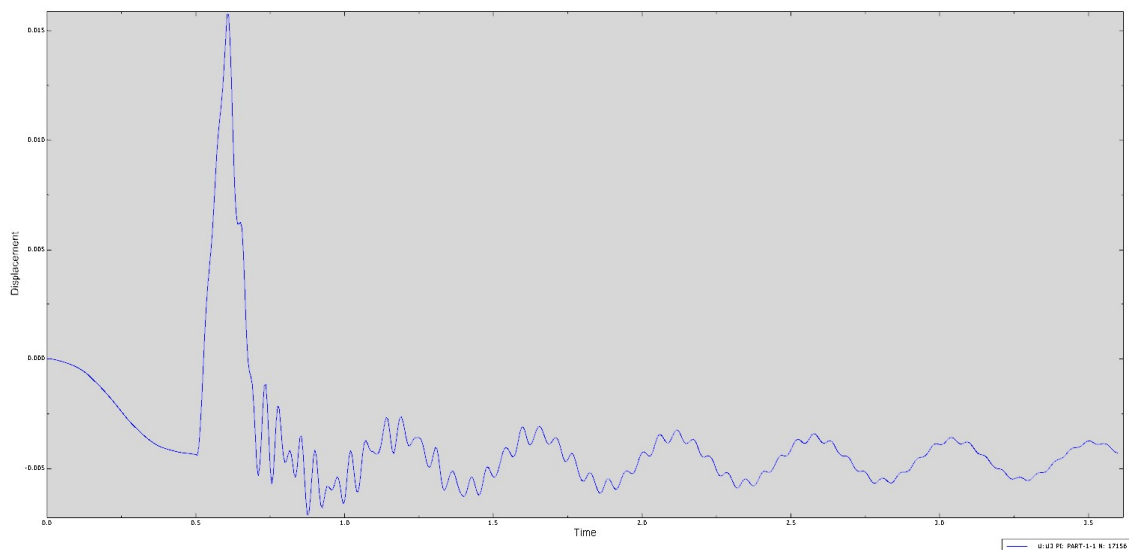


Figura F24: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 17156

NODO 62 (ubicado en C1)

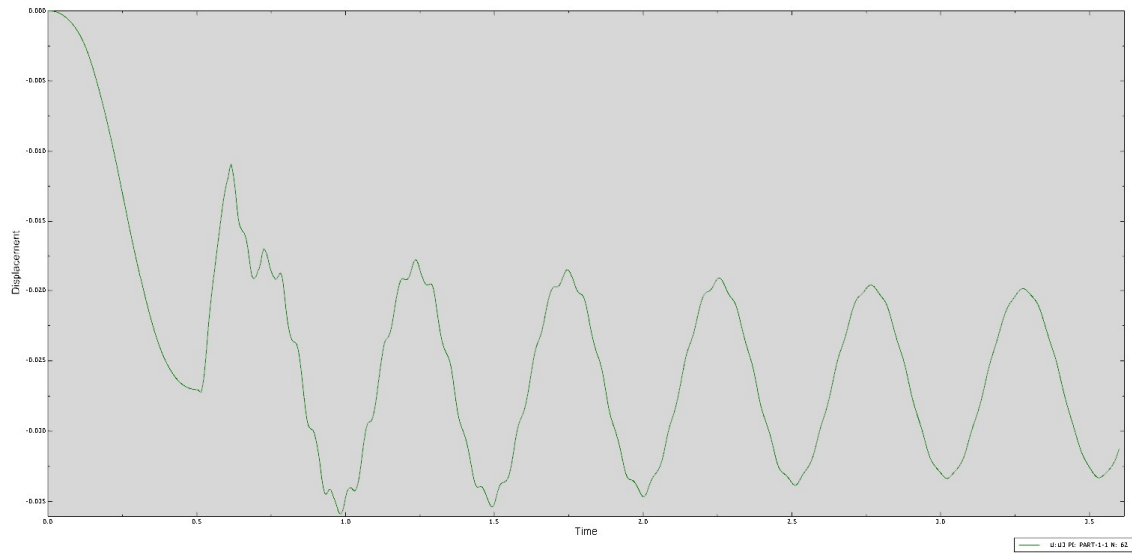


Figura F25: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 62

NODO 6604 (ubicado en C2)

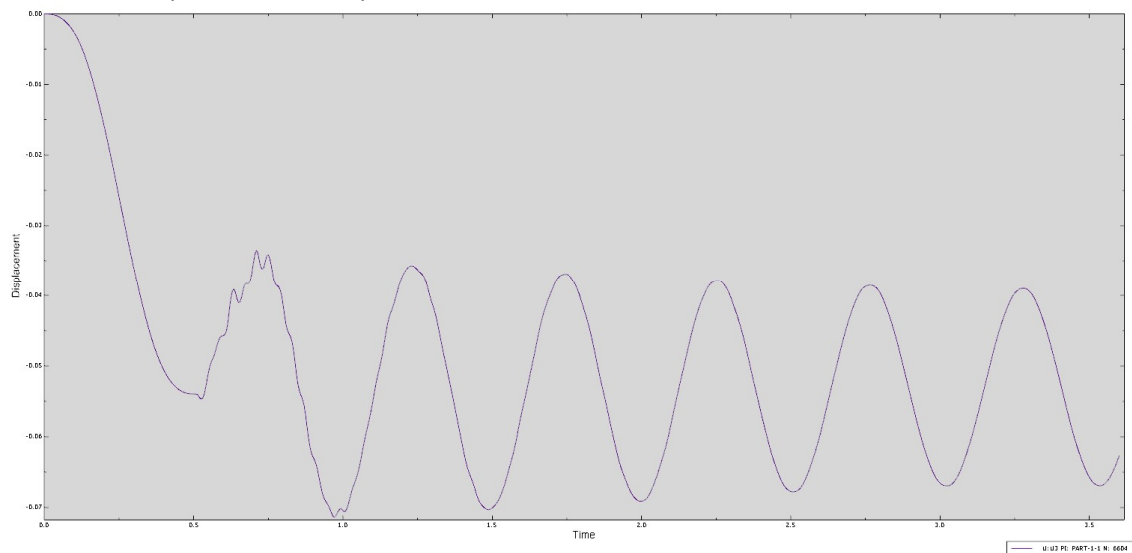


Figura F26: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 6604

NODO 10781 (ubicado en C3)

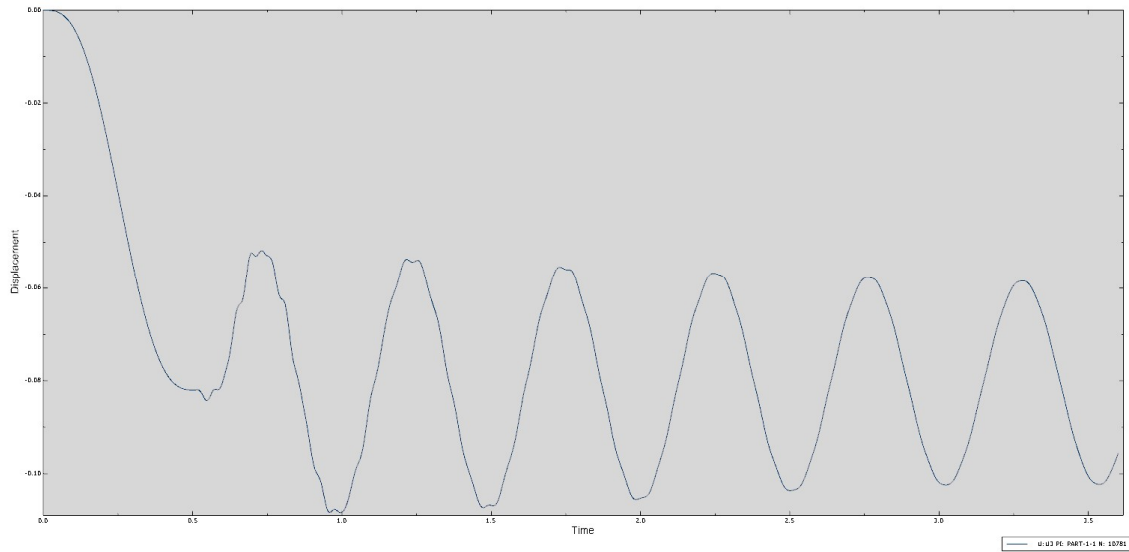


Figura F27: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 10781

NODO 14970 (ubicado en C4)

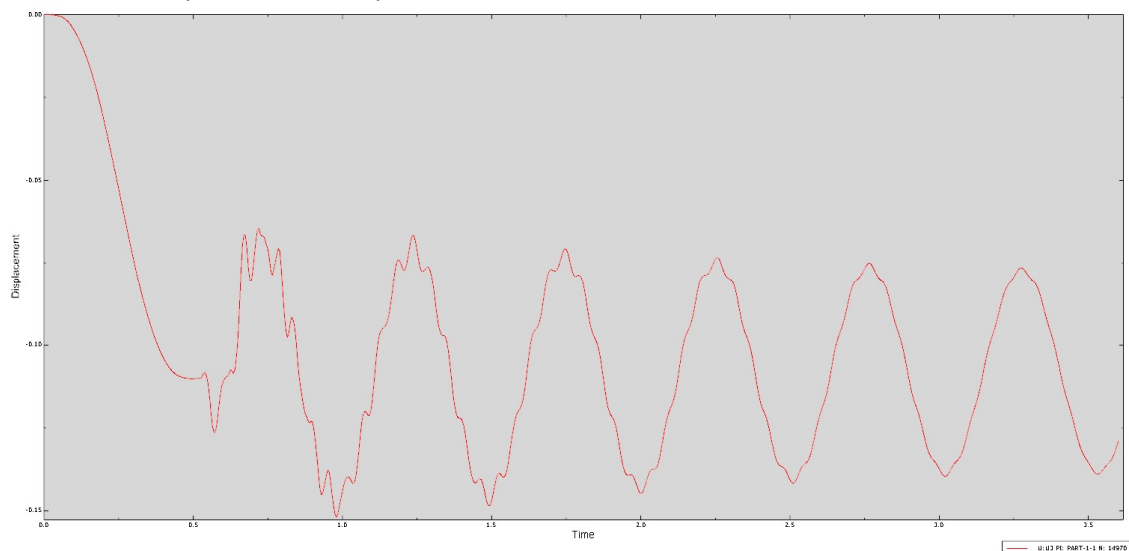


Figura F28: Distribución del desplazamiento en función del tiempo del nodo 14970

Si se comparan estos desplazamientos con los de la optimización anterior de 2g, se ve que las gráficas siguen teniendo una forma sinusoidal amortiguada, además los desplazamientos también son similares, por ejemplo, el máximo desplazamiento que tiene el nodo 62 en este caso es de -0.036m mientras que en la optimización anterior era de -0.035m. Esto se debe a que, aunque se hayan cambiado los materiales, las cargas que soporta siguen siendo parecidas y los espesores permanecen también igual entonces la estructura se desplaza lo mismo. Pero al obtener el coeficiente de seguridad sí que se verá mejora, ya que, aunque los resultados de tensiones vayan a ser parecidos, como se han usado materiales con límite elástico mayor, será más fácil que los componentes cumplan con el CS mínimo.

2. TENSIONES

En el cuarto caso de optimización, 2g con nuevos materiales, se va a buscar para cada componente la mayor tensión en el intervalo de 0.1 a 1 segundos, acotando la búsqueda de tensiones en el rango donde serán mayores.

Después de esta optimización ya no aparecen componentes con el $CS < 3$, es decir, todos ellos cumplen con la condición de tener un coeficiente de seguridad superior al mínimo permitido.

Por lo tanto, se considera que, en esta situación, el pulverizador de barras podrá trabajar en condiciones de seguridad sin que se produzcan fallos en el mismo. Se podrían seguir haciendo más mejoras hasta encontrar el material y medida idóneos para cada uno de los componentes, pero como se puede ver en la tabla G.4 del anexo G, la mayoría de ellos no tienen coeficientes de seguridad excesivamente grandes (que indicarían que se podría usar otro material de menor límite elástico o menor grosor de la pieza).

De acuerdo con los resultados obtenidos, se cree conveniente elegir los datos de características de cada componente, tanto material como espesor, de esta última optimización (ver tabla E.5, anexo E) ya que cumple con los requisitos establecidos de partida en este trabajo.

En el anexo G aparece la tabla G.4 con los datos de material con el que se ha fabricado, el espesor que posee, el límite elástico, la tensión equivalente de Von Mises, el coeficiente de seguridad y el instante de tiempo en el que se da la máxima tensión de todos los sólidos que forman la estructura para este caso de estudio.

ANEXO G: RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE TENSIONES Y COEFICIENTE DE SEGURIDAD DE TODOS LOS COMPONENTES QUE FORMAN LAS BARRAS DEL PULVERIZADOR PARA LOS CASOS DE ESTUDIO OBTENIDOS A PARTIR DE LAS OPTIMIZACIONES.

De la misma forma que se ha hecho en el anexo D para los resultados de los modelos iniciales, se ha añadido en este anexo una tabla con todos los componentes que forman el modelo para cada caso de carga con sus materiales, espesor, límite elástico, tensión que soportan y coeficiente de seguridad. De esta forma se puede ver de manera resumida los resultados de tensiones y coeficientes de seguridad obtenidos para todos los componentes en ambos casos de estudio.

PRIMERA OPTIMIZACIÓN

En este caso del modelo optimizado con aceleración de 5g, aparecen 31 componentes cuyo coeficiente de seguridad es inferior a 3. Están en la tabla G.1 resaltados en amarillo los que siguen teniendo un coeficiente de seguridad bajo después de la optimización, naranja los que antes tenían un $CS > 3$ pero ahora ha disminuido y verde los que antes tenían un $CS < 3$ y con la optimización ha superado este límite. Estos componentes son los que se nombran a modo resumen, ya que son los más solicitados, en el apartado 7. PROCESO DE OPTIMIZACIÓN y también en el ANEXO F con imágenes del mapa de tensiones.

Se puede observar que todos los componentes presentan su máxima tensión entre 1.2 y 1.4 segundos aproximadamente.

| NOMBRE | PROPIEDADES OPTIMIZACIÓN | | | MODELO OPTIMIZADO | | |
|--------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------|-------------------|------------|------------|
| | MATERIAL | LÍMITE ELÁSTICO (MPa) | ESPESOR (mm) | TENSIÓN (MPa) | CS | TIEMPO (s) |
| C0-barra-diagonal-delante | S275JR | 275 | 10,5 | 43,19 | 6,36795184 | 1,285 |
| C0-barra-diagonal-detrás | S275JR | 275 | 10,5 | 56,24 | 4,88967124 | 1,31 |
| C0-barra-vert-delante | S275JR | 275 | 10,5 | 1,84 | 149,132321 | 1,375 |
| C0-barra-vert-detrás | S275JR | 275 | 10,5 | 1,85 | 148,890092 | 1,265 |
| C0-C1-superior-cuadrado | S275JR | 275 | 3 | 70,74 | 3,88769509 | 1,28 |
| C0-dcha-abajo-placaC | S355 | 355 | 8 | 219,96 | 1,61391513 | 1,27 |
| C0-dcha-abajo-placaC-horizonta | S355 | 355 | 8 | 115,91 | 3,06280035 | 1,27 |
| C0-dcha-supU-cilindro-shell | S275JR | 275 | 10 | 19,09 | 14,4069573 | 1,255 |
| C0-dcha-vert | S355 | 355 | 5 | 108,86 | 3,26115914 | 1,28 |
| C0-inferior | S355 | 355 | 5 | 268,94 | 1,32001666 | 1,27 |
| C0-inferior-plaquica1-izq | S275JR | 275 | 3 | 9,11 | 30,1832949 | 1,26 |
| C0-inferior-plaquica2-izq | S275JR | 275 | 3 | 11,51 | 23,8984966 | 1,255 |
| C0-inferior-plaquica3-dcha | S275JR | 275 | 3 | 8,89 | 30,9336333 | 1,265 |
| C0-inferior-plaquica4-dcha | S275JR | 275 | 3 | 6,09 | 45,1782487 | 1,245 |
| C0-izq-abajo-placaC | S355 | 355 | 12 | 141,43 | 2,51004016 | 1,26 |

Análisis y optimización del diseño inicial de un pulverizador de barras de 26 metros de pluma.

| | | | | | | |
|---------------------------------|--------|-----|----|--------|------------|-------|
| C0-placa-debajo-pasadorUnion | S275JR | 275 | 6 | 60,47 | 4,5476344 | 1,285 |
| C0-placa-encima-cilindro | S275JR | 275 | 8 | 30,01 | 9,16330679 | 1,35 |
| C0-placaGrande-triang-delante | S355 | 355 | 8 | 160,68 | 2,20934647 | 1,26 |
| C0-placaGrande-triang-detrás | S355 | 355 | 8 | 146,24 | 2,42746661 | 1,315 |
| C0-placaO-izq-abajo | S275JR | 275 | 6 | 75,59 | 3,63809549 | 1,26 |
| C0-superior | S355 | 355 | 5 | 212,78 | 1,66838205 | 1,28 |
| C0-superior-dcha-placaC | S355r | 355 | 8 | 279,41 | 1,27054798 | 1,28 |
| C0-UnionCilindros-placaCDetrás | S275JR | 275 | 8 | 52,29 | 5,25963469 | 1,26 |
| C0-UnionCilindros-placaDelante | S355 | 355 | 10 | 143,93 | 2,46647676 | 1,26 |
| C0-UnionCilindros-placaDetras | S355 | 355 | 12 | 203,15 | 1,74744283 | 1,26 |
| C1-barratriang-delante | S275JR | 275 | 12 | 88,54 | 3,10611623 | 1,3 |
| C1-barratriang-detrás | S275JR | 275 | 12 | 57,09 | 4,81704006 | 1,295 |
| C1-derecha-vert | S275JR | 275 | 3 | 74,93 | 3,67004311 | 1,29 |
| C1-inferior | S355 | 355 | 4 | 192,44 | 1,84475 | 1,275 |
| C1-izquierda-vert | S355 | 355 | 5 | 177,82 | 1,99640085 | 1,27 |
| C1-placaC-inf-dcha-finaHorizont | S355 | 355 | 8 | 181,74 | 1,95332919 | 1,34 |
| C1-placaC-inf-derecha | S355 | 355 | 8 | 212,71 | 1,66893108 | 1,34 |
| C1-placaC-inf-izq-finaHorizont | S275JR | 275 | 6 | 61,33 | 4,48423181 | 1,28 |
| C1-placaC-inf-izquierda | S355 | 355 | 8 | 177,71 | 1,99759164 | 1,275 |
| C1-placaC-sup-derecha | S355 | 355 | 8 | 157,29 | 2,25699191 | 1,23 |
| C1-placaC-sup-izquierda | S355 | 355 | 8 | 302,30 | 1,17432237 | 1,28 |
| C1-placaDebajoCilindro-UnionIzq | S275JR | 275 | 6 | 32,19 | 8,5435566 | 1,34 |
| C1-placa-peque-dcha-abajo | S275JR | 275 | 3 | 4,73 | 58,0904098 | 1,27 |
| C1-placa-peque-izq-abajo | S275JR | 275 | 3 | 8,10 | 33,9506173 | 1,285 |
| C1-supDcha-PlacaEncimaSuperior | S275JR | 275 | 6 | 23,25 | 11,8269396 | 1,23 |
| C1-superior | S355 | 355 | 4 | 234,32 | 1,51504805 | 1,28 |
| C2-barras-triangDelante | S275JR | 275 | 12 | 21,92 | 12,5461928 | 1,23 |
| C2-barras-triangDetras | S275JR | 275 | 12 | 68,16 | 4,03462441 | 1,29 |
| C2-dcha-sup-placaUnionC3 | S275JR | 275 | 6 | 11,26 | 24,4205666 | 1,28 |
| C2-derecha-vert | S355 | 355 | 3 | 75,46 | 4,70466623 | 1,29 |
| C2-inferior | S355 | 355 | 3 | 183,32 | 1,93651504 | 1,2 |
| C2-izquierda-vert | S355 | 355 | 5 | 93,35 | 3,80309604 | 1,34 |
| C2-placaC-inf-dcha | S275JR | 275 | 6 | 197,09 | 1,39532288 | 1,185 |
| C2-placaC-inf-dcha-fina | S275JR | 275 | 6 | 98,42 | 2,79403398 | 1,185 |
| C2-placaC-inf-izq | S275JR | 355 | 8 | 187,93 | 1,88901128 | 1,275 |
| C2-placaC-inf-izq-fina | S355 | 355 | 6 | 73,34 | 4,84040305 | 1,345 |
| C2-placaC-sup-dcha | S275JR | 275 | 6 | 70,02 | 3,92728104 | 1,3 |
| C2-placaC-sup-izq | S355 | 355 | 8 | 130,23 | 2,72596733 | 1,165 |
| C2-placa-debajo-cilindro | S275JR | 275 | 6 | 25,39 | 10,8297562 | 1,325 |
| C2-placa-peque-dcha-abajo | S275JR | 275 | 3 | 27,34 | 10,0603622 | 1,285 |

Análisis y optimización del diseño inicial de un pulverizador de barras de 26 metros de pluma.

| | | | | | | |
|---------------------------------|--------|-----|-----|--------|------------|-------|
| C2-placa-peque-izq-abajo | S275JR | 275 | 3 | 12,38 | 22,2096592 | 1,285 |
| C2-superior | S355 | 355 | 3 | 122,25 | 2,90400425 | 1,285 |
| C3-barratriang-delante | S275JR | 275 | 12 | 26,86 | 10,2401787 | 1,225 |
| C3-barratriang-detrás | S275JR | 275 | 12 | 18,59 | 14,7936952 | 1,275 |
| C3-dcha-inferior-placaC | S275JR | 275 | 6 | 67,21 | 4,0914704 | 1,41 |
| C3-dcha-inferior-placaC-horizon | S275JR | 275 | 6 | 27,68 | 9,93604798 | 1,34 |
| C3-dcha-superior-placaC | S275JR | 275 | 6 | 13,97 | 19,6794046 | 1,27 |
| C3-dcha-superior-placaEncimaC | S275JR | 275 | 6 | 15,61 | 17,6157837 | 1,255 |
| C3-dcha-vert | S275JR | 275 | 3 | 66,06 | 4,16294525 | 1,31 |
| C3-inferior | S355 | 355 | 3 | 132,24 | 2,68451301 | 1,265 |
| C3-izq-abajo-placaC | S355 | 355 | 8 | 216,10 | 1,64273518 | 1,185 |
| C3-izq-abajo-placaC-horizonta | S275JR | 275 | 6 | 92,90 | 2,96007664 | 1,185 |
| C3-izq-sup-placaC | S275JR | 275 | 6 | 54,23 | 5,07099391 | 1,28 |
| C3-izquierda-vert | S275JR | 275 | 3 | 65,22 | 4,21682128 | 1,285 |
| C3-placa-debajo-cilindro | S275JR | 275 | 6 | 11,79 | 23,318918 | 1,315 |
| C3-placa-peque-dcha-abajo | S275JR | 275 | 3 | 2,25 | 122,276567 | 1,31 |
| C3-placa-pequeizquierda-abajo | S275JR | 275 | 3 | 2,24 | 122,987478 | 1,275 |
| C3-superior | S355 | 355 | 1,5 | 113,54 | 3,12667894 | 1,28 |
| C4-barradiagonal-delante | S275JR | 275 | 10 | 50,44 | 5,45191412 | 1,315 |
| C4-barradiagonal-detrás | S275JR | 275 | 10 | 43,59 | 6,30922064 | 1,255 |
| C4-inferior | S275JR | 275 | 2 | 125,47 | 2,19170658 | 1,255 |
| C4-izq-arriba-cuboUnion | S275JR | 275 | 3 | 25,40 | 10,8254931 | 1,31 |
| C4-izq-arriba-placaCJuntoAcubo | S275JR | 275 | 6 | 19,74 | 13,928282 | 1,26 |
| C4-izq-final-placaC-abajo | S275JR | 275 | 6 | 104,55 | 2,63034558 | 1,27 |
| C4-izq-final-placaC-vertAbajo | S275JR | 275 | 3 | 76,78 | 3,58152195 | 1,34 |
| C4-izq-fin-placaL-mitadplacaVer | S275JR | 275 | 6 | 43,95 | 6,25711035 | 1,255 |
| C4-izq-placadebajo-pasador | S275JR | 275 | 6 | 97,88 | 2,80950532 | 1,255 |
| C4-izq-placaunion-tuerca | S275JR | 275 | 6 | 36,18 | 7,60088447 | 1,2 |
| C4-izquierda-baseCirculo | S275JR | 275 | 3 | 43,99 | 6,25142078 | 1,255 |
| C4-izquierda-infFinal-placa | S355 | 355 | 6 | 84,69 | 4,19175818 | 1,405 |
| C4-izquierda-placaC-arriba | S355 | 355 | 5 | 50,42 | 7,04141542 | 1,32 |
| C4-izquierda-vert-delante | S275JR | 275 | 3 | 39,78 | 6,91250031 | 1,31 |
| C4-izquierda-vert-detrás | S355 | 355 | 5 | 52,98 | 6,70127419 | 1,255 |
| C4-izquierda-vert-perpendic | S355 | 355 | 5 | 55,80 | 6,36177915 | 1,255 |
| C4-izq-vertical-final | S275JR | 275 | 3 | 77,10 | 3,56702769 | 1,34 |
| C4-placaC-fin-derecha | S275JR | 275 | 3 | 16,42 | 16,7448091 | 1,345 |
| C4-placaC-vertical-dcha | S275JR | 275 | 3 | 13,07 | 21,0453815 | 1,345 |
| C4-placas-PuenteGrande-bar | S275JR | 275 | 10 | 38,89 | 7,07104471 | 1,26 |
| C4-placas-PuenteGrande-shell | S275JR | 275 | 8 | 58,54 | 4,69796365 | 1,26 |
| C4-placas-puentePeque-bar | S275JR | 275 | 10 | 61,97 | 4,4374879 | 1,255 |

Análisis y optimización del diseño inicial de un pulverizador de barras de 26 metros de pluma.

| | | | | | | |
|---------------------------------|--------|-----|----|--------|---------------|-------|
| C4-placas-puentePeque-shell | S275JR | 275 | 8 | 33,51 | 8,20650552 | 1,375 |
| Soporte-barra-delante | S355 | 355 | 6 | 215,88 | 1,64440924 | 1,18 |
| Soporte-barra-detrás-Cuadr-fino | S275JR | 275 | 3 | 11,09 | 24,7948787 | 1,21 |
| Soporte-barra-detrás-Cuadr-gord | S275JR | 275 | 8 | 0,54 | 513,059701 | 1,36 |
| Soporte-BarraTransversal-dcha | S275JR | 275 | 6 | 37,87 | 7,26091778 | 1,175 |
| Soporte-Delante-shell | S355 | 355 | 10 | 237,99 | 1,49163424 | 1,26 |
| Soporte-detrás-shell | S275JR | 275 | 4 | 7,60 | 36,1937352 | 1,18 |
| Soporte-placaCilDiagonal-dcha | S275JR | 275 | 8 | 0,21 | 1309,52381 | 1,365 |
| Soporte-placaCuadrada-delante | S275JR | 275 | 4 | 39,91 | 6,89033099 | 1,21 |
| Soporte-placaCuadrada-detrás | S275JR | 275 | 4 | 26,75 | 10,279221 | 1,275 |
| Soporte-placaDebajoCilindro-eje | S275JR | 275 | 10 | 0,10 | 2644,23077 | 1,18 |
| Soporte-placaSoporteCilGranAbaj | S275JR | 275 | 6 | 20,48 | 13,4303575 | 1,255 |
| Soporte-triangHorizontal-base | S275JR | 275 | 3 | 0,85 | 324,675325 | 1,25 |
| Soporte-Triangulo-horizontal | S275JR | 275 | 3 | 0,68 | 402,046784 | 1,275 |
| Soporte-V-shell | S275JR | 275 | 6 | 0,36 | 768,156425 | 1,255 |
| | | | | | 10 mejoran | |
| | | | | | 6 empeoran | |
| | | | | | 25 siguen mal | |

Tabla G.1: Resumen de los resultados para cada componente que forma la estructura de barras en función del tiempo. Optimización 1, modelo 5g optimizado.

SEGUNDA OPTIMIZACIÓN

Para la optimización del modelo con aceleración 5g y tiempo acortado aparecen 55 componentes cuyo coeficiente de seguridad es inferior a 3. En la tabla G.2 están resaltados en amarillo los que siguen teniendo un coeficiente de seguridad bajo después de la optimización, naranja los que antes tenían un $CS > 3$ pero ahora ha disminuido hasta tener un $CS < 3$ y verde los que antes tenían un $CS < 3$ y con la optimización ha superado este límite. Los que presentan un $CS < 3$ son los que se nombran a modo resumen, ya que son los más solicitados, en el apartado 7. PROCESO DE OPTIMIZACIÓN y también en el ANEXO F con imágenes del mapa de tensiones.

Se puede observar que todos los componentes presentan su máxima tensión entre 0.14 y 0.435 segundos.

| NOMBRE | MATERIAL | LÍMITE ELÁSTICO (MPa) | ESPESOR (mm) | TENSIÓN (MPa) | CS | tiempo (s) |
|--------------------------------|----------|-----------------------|--------------|---------------|------------|------------|
| C0-barra-diagonal-delante | S275JR | 275 | 10,5 | 47,86 | 5,74652596 | 0,42 |
| C0-barra-diagonal-detrás | S275JR | 275 | 10,5 | 60,97 | 4,51071089 | 0,795 |
| C0-barra-vert-delante | S275JR | 275 | 10,5 | 16,54 | 16,6293765 | 0,31 |
| C0-barra-vert-detrás | S275JR | 275 | 10,5 | 17,65 | 15,5789712 | 0,17 |
| C0-C1-superior-cuadrado | S275JR | 275 | 3 | 79,88 | 3,4428795 | 0,34 |
| C0-dcha-abajo-placaC | S355 | 355 | 8 | 247,79 | 1,43267054 | 0,3 |
| C0-dcha-abajo-placaC-horizonta | S355r | 355 | 8 | 121,67 | 2,91784819 | 0,295 |
| C0-dcha-supU-cilindro-shell | S275JR | 275 | 10 | 59,83 | 4,5962027 | 0,275 |
| C0-dcha-vert | S355 | 355 | 5 | 139,83 | 2,53874264 | 0,34 |
| C0-inferior | S355 | 355 | 5 | 282,09 | 1,25848592 | 0,345 |
| C0-inferior-plaquica1-izq | S275JR | 275 | 3 | 10,85 | 25,3526321 | 0,275 |
| C0-inferior-plaquica2-izq | S275JR | 275 | 3 | 14,70 | 18,7100286 | 0,335 |
| C0-inferior-plaquica3-dcha | S275JR | 275 | 3 | 11,95 | 23,0202578 | 0,155 |
| C0-inferior-plaquica4-dcha | S275JR | 275 | 3 | 22,03 | 12,4807116 | 0,4 |
| C0-izq-abajo-placaC | S355 | 355 | 12 | 174,70 | 2,03211311 | 0,275 |
| C0-placa-debajo-pasadorUnion | S275JR | 275 | 6 | 67,85 | 4,05329717 | 0,305 |
| C0-placa-encima-cilindro | S275JR | 275 | 8 | 44,48 | 6,18297097 | 0,42 |
| C0-placaGrande-triang-delante | S355 | 355 | 8 | 187,64 | 1,89193078 | 0,275 |
| C0-placaGrande-triang-detrás | S355 | 355 | 8 | 205,57 | 1,72691408 | 0,275 |
| C0-placaO-izq-abajo | S275JR | 275 | 6 | 81,39 | 3,37875195 | 0,79 |
| C0-superior | S355 | 355 | 5 | 230,36 | 1,54105947 | 0,345 |
| C0-superior-dcha-placaC | S355 | 355 | 8 | 311,66 | 1,13904718 | 0,34 |
| C0-UnionCilindros-placaCDetras | S275JR | 275 | 8 | 56,07 | 4,90502096 | 0,33 |
| C0-UnionCilindros-placaDelante | S355 | 355 | 10 | 159,16 | 2,23041787 | 0,33 |
| C0-UnionCilindros-placaDetras | S355 | 355 | 12 | 222,45 | 1,59589294 | 0,33 |
| C1-barratriang-delante | S275JR | 275 | 12 | 96,25 | 2,85711317 | 0,385 |
| C1-barratriang-detrás | S275JR | 275 | 12 | 65,41 | 4,20399303 | 0,345 |
| C1-derecha-vert | S275JR | 275 | 3 | 93,79 | 2,93220737 | 0,3 |
| C1-inferior | S355 | 355 | 4 | 221,97 | 1,59931522 | 0,34 |

Análisis y optimización del diseño inicial de un pulverizador de barras de 26 metros de pluma.

| | | | | | | |
|---------------------------------|--------|-----|----|--------|------------|-------|
| C1-izquierda-vert | S355 | 355 | 5 | 222,51 | 1,59544108 | 0,335 |
| C1-placaC-inf-dcha-finaHorizont | S355 | 355 | 8 | 125,16 | 2,8364601 | 0,355 |
| C1-placaC-inf-derecha | S355 | 355 | 8 | 257,72 | 1,37745322 | 0,36 |
| C1-placaC-inf-izq-finaHorizont | S275JR | 275 | 6 | 94,00 | 2,92556304 | 0,855 |
| C1-placaC-inf-izquierda | S355 | 355 | 8 | 202,33 | 1,7545854 | 0,3 |
| C1-placaC-sup-derecha | S355 | 355 | 8 | 178,37 | 1,99028963 | 0,315 |
| C1-placaC-sup-izquierda | S355 | 355 | 8 | 338,44 | 1,04893968 | 0,34 |
| C1-placaDebajoCilindro-UnionIzq | S275JR | 275 | 6 | 74,18 | 3,70724868 | 0,275 |
| C1-placa-peque-dcha-abajo | S275JR | 275 | 3 | 5,32 | 51,7208952 | 0,36 |
| C1-placa-peque-izq-abajo | S275JR | 275 | 3 | 10,19 | 26,9766529 | 0,3 |
| C1-supDcha-PlacaEncimaSuperior | S275JR | 275 | 6 | 26,50 | 10,3761838 | 0,36 |
| C1-superior | S355 | 355 | 4 | 260,48 | 1,36287378 | 0,34 |
| C2-barras-triangDelante | S275JR | 275 | 12 | 35,30 | 7,78948561 | 0,295 |
| C2-barras-triangDetras | S275JR | 275 | 12 | 87,40 | 3,14656109 | 0,295 |
| C2-dcha-sup-placaUnionC3 | S275JR | 275 | 6 | 18,25 | 15,0660165 | 0,36 |
| C2-derecha-vert | S275JR | 355 | 3 | 102,13 | 3,47603008 | 0,36 |
| C2-inferior | S355 | 355 | 3 | 235,27 | 1,50889184 | 0,36 |
| C2-izquierda-vert | S355 | 355 | 5 | 110,88 | 3,20174608 | 0,355 |
| C2-placaC-inf-dcha | S275JR | 275 | 6 | 176,67 | 1,55656559 | 0,28 |
| C2-placaC-inf-dcha-fina | S275JR | 275 | 6 | 91,06 | 3,02011949 | 0,36 |
| C2-placaC-inf-izq | S355 | 355 | 8 | 264,94 | 1,33991591 | 0,36 |
| C2-placaC-inf-izq-fina | S355 | 355 | 6 | 74,82 | 4,74453043 | 0,88 |
| C2-placaC-sup-dcha | S275JR | 275 | 6 | 113,16 | 2,43029473 | 0,32 |
| C2-placaC-sup-izq | S355 | 355 | 8 | 153,74 | 2,30909327 | 0,25 |
| C2-placa-debajo-cilindro | S275JR | 275 | 6 | 84,03 | 3,27271862 | 0,295 |
| C2-placa-peque-dcha-abajo | S275JR | 275 | 3 | 53,16 | 5,17306245 | 0,295 |
| C2-placa-peque-izq-abajo | S275JR | 275 | 3 | 18,39 | 14,9545924 | 0,295 |
| C2-superior | S355 | 355 | 3 | 147,72 | 2,40317897 | 0,355 |
| C3-barratriang-delante | S275JR | 275 | 12 | 46,95 | 5,85741975 | 0,315 |
| C3-barratriang-detrás | S275JR | 275 | 12 | 42,16 | 6,52246098 | 0,36 |
| C3-dcha-inferior-placaC | S275JR | 275 | 6 | 105,52 | 2,60619041 | 0,36 |
| C3-dcha-inferior-placaC-horizon | S275JR | 275 | 6 | 47,70 | 5,76532003 | 0,355 |
| C3-dcha-superior-placaC | S275JR | 275 | 6 | 22,83 | 12,043444 | 0,275 |
| C3-dcha-superior-placaEncimaC | S275JR | 275 | 6 | 39,13 | 7,02767627 | 0,24 |
| C3-dcha-vert | S275JR | 275 | 3 | 126,89 | 2,16718022 | 0,4 |
| C3-inferior | S355 | 355 | 3 | 242,62 | 1,46320553 | 0,36 |
| C3-izq-abajo-placaC | S355 | 355 | 8 | 216,25 | 1,6416185 | 0,36 |
| C3-izq-abajo-placaC-horizonta | S275JR | 275 | 6 | 86,02 | 3,19696811 | 0,28 |
| C3-izq-sup-placaC | S275JR | 275 | 6 | 98,50 | 2,79196321 | 0,24 |
| C3-izquierda-vert | S275JR | 275 | 3 | 103,73 | 2,65111347 | 0,315 |
| C3-placa-debajo-cilindro | S275JR | 275 | 6 | 21,64 | 12,7108851 | 0,4 |
| C3-placa-peque-dcha-abajo | S275JR | 275 | 3 | 7,29 | 37,7384383 | 0,16 |
| C3-placa-pequeizquierda-abajo | S275JR | 275 | 3 | 6,44 | 42,688606 | 0,195 |

Análisis y optimización del diseño inicial de un pulverizador de barras de 26 metros de pluma.

| | | | | | | |
|----------------------------------|--------|-----|-----|--------|------------|-------|
| C3-superior | S355 | 355 | 1,5 | 188,50 | 1,88324916 | 0,4 |
| C4-barradiagonal-delante | S275JR | 275 | 10 | 144,59 | 1,90187698 | 0,215 |
| C4-barradiagonal-detrás | S275JR | 275 | 10 | 169,38 | 1,62354914 | 0,22 |
| C4-inferior | S275JR | 275 | 2 | 251,96 | 1,40896499 | 0,22 |
| C4-izq-arriba-cuboUnion | S275JR | 275 | 3 | 70,25 | 3,9147022 | 0,195 |
| C4-izq-arriba-placaC Junto Acubo | S275JR | 275 | 6 | 34,30 | 8,01702525 | 0,325 |
| C4-izq-final-placaC-abajo | S275JR | 275 | 6 | 194,76 | 1,82273749 | 0,36 |
| C4-izq-final-placaC-vertAbajo | S275JR | 275 | 3 | 132,36 | 2,07760418 | 0,36 |
| C4-izq-fin-placaL-mitadplacaVer | S275JR | 275 | 6 | 98,29 | 2,79775772 | 0,195 |
| C4-izq-placadebajo-pasador | S275JR | 275 | 6 | 189,98 | 1,86861775 | 0,36 |
| C4-izq-placaunion-tuerca | S275JR | 275 | 6 | 130,59 | 2,10587578 | 0,195 |
| C4-izquierda-baseCirculo | S275JR | 275 | 3 | 83,48 | 3,29428113 | 0,215 |
| C4-izquierda-infFinal-placa | S355 | 355 | 6 | 233,04 | 1,52334363 | 0,36 |
| C4-izquierda-placaC-arriba | S355 | 355 | 5 | 133,93 | 2,65071756 | 0,215 |
| C4-izquierda-vert-delante | S275JR | 275 | 3 | 85,38 | 3,2208571 | 0,155 |
| C4-izquierda-vert-detrás | S275JR | 355 | 5 | 87,63 | 4,05117027 | 0,215 |
| C4-izquierda-vert-perpentic | S355 | 355 | 5 | 155,16 | 2,2880198 | 0,215 |
| C4-izq-vertical-final | S275JR | 275 | 3 | 128,68 | 2,13711746 | 0,36 |
| C4-placaC-fin-derecha | S275JR | 275 | 3 | 44,72 | 6,14909888 | 0,36 |
| C4-placaC-vertical-dcha | S275JR | 275 | 3 | 58,97 | 4,66338816 | 0,165 |
| C4-placas-PuenteGrande-bar | S275JR | 275 | 10 | 154,42 | 1,78081127 | 0,22 |
| C4-placas-PuenteGrande-shell | S275JR | 275 | 8 | 98,34 | 2,79644902 | 0,215 |
| C4-placas-puentePeque-bar | S275JR | 275 | 10 | 172,20 | 1,59697098 | 0,19 |
| C4-placas-puentePeque-shell | S275JR | 275 | 8 | 106,15 | 2,59074679 | 0,215 |
| Soporte-barra-delante | S355 | 355 | 6 | 369,11 | 0,96177031 | 0,37 |
| Soporte-barra-detrás-Cuadr-fino | S275JR | 275 | 3 | 20,31 | 13,5421283 | 0,185 |
| Soporte-barra-detrás-Cuadr-gord | S275JR | 275 | 8 | 1,36 | 202,057311 | 0,13 |
| Soporte-BarraTransversal-dcha | S275JR | 275 | 6 | 63,13 | 4,35595261 | 0,435 |
| Soporte-Delante-shell | S355 | 355 | 10 | 326,47 | 1,08738602 | 0,275 |
| Soporte-detrás-shell | S275JR | 275 | 4 | 71,24 | 3,86013672 | 0,14 |
| Soporte-placaCilDiagonal-dcha | S275JR | 275 | 8 | 1,00 | 276,104418 | 0,155 |
| Soporte-placaCuadrada-delante | S275JR | 275 | 4 | 70,65 | 3,89237237 | 0,19 |
| Soporte-placaCuadrada-detrás | S275JR | 275 | 4 | 50,23 | 5,4743799 | 0,175 |
| Soporte-placaDebajoCilindro-eje | S275JR | 275 | 10 | 1,07 | 256,769374 | 0,19 |
| Soporte-placaSoporteCilGranAbaj | S275JR | 275 | 6 | 28,38 | 9,69162996 | 0,34 |
| Soporte-triangHorizontal-base | S275JR | 275 | 3 | 16,07 | 17,1083738 | 0,19 |
| Soporte-Triangulo-horizontal | S275JR | 275 | 3 | 14,69 | 18,7227669 | 0,135 |
| Soporte-V-shell | S275JR | 275 | 6 | 1,86 | 148,247978 | 0,14 |

Tabla G.2: Resumen de los resultados para cada componente que forma la estructura de barras en función del tiempo. Optimización 2, modelo 5g optimizado, acortando tiempo.

TERCERA OPTIMIZACIÓN

Para la optimización del modelo con aceleración de 2g y tiempo acortado aparecen 16 componentes cuyo coeficiente de seguridad es inferior a 3, están en la tabla G.3 resaltados en amarillo los que siguen teniendo un coeficiente de seguridad bajo después de la optimización con respecto al modelo inicial de 2g y verde los que antes tenían un $CS < 3$ y con la optimización ha superado este límite. Los que presentan un $CS < 3$ se nombran a modo resumen, ya que son los más solicitados, en el apartado 7. PROCESO DE OPTIMIZACIÓN y también en el ANEXO F con imágenes del mapa de tensiones. Se puede observar que todos los componentes presentan su máxima tensión entre 0.19 y 0.885 segundos.

| NOMBRE | MATERIAL | LÍMITE ELÁSTICO (MPa) | ESPESOR (mm) | TENSION (MPa) | CS | tiempo (s) |
|---------------------------------|----------|-----------------------|--------------|---------------|------------|------------|
| CO-barra-diagonal-delante | S275JR | 275 | 10,5 | 32,71 | 8,40644392 | 0,255 |
| CO-barra-diagonal-detrás | S275JR | 275 | 10,5 | 43,58 | 6,31008926 | 0,335 |
| CO-barra-vert-delante | S275JR | 275 | 10,5 | 8,32 | 33,0370014 | 0,21 |
| CO-barra-vert-detrás | S275JR | 275 | 10,5 | 5,13 | 53,6585366 | 0,305 |
| CO-C1-superior-cuadrado | S275JR | 275 | 3 | 51,96 | 5,29294018 | 0,34 |
| CO-dcha-abajo-placaC | S355 | 355 | 8 | 139,17 | 2,55083711 | 0,295 |
| CO-dcha-abajo-placaC-horizontal | S355 | 355 | 8 | 73,01 | 4,86254743 | 0,295 |
| CO-dcha-supU-cilindro-shell | S275JR | 275 | 10 | 26,13 | 10,5230934 | 0,275 |
| CO-dcha-vert | S355 | 355 | 5 | 86,34 | 4,11155637 | 0,34 |
| CO-inferior | S355 | 355 | 5 | 174,87 | 2,03011432 | 0,295 |
| CO-inferior-plaquica1-izq | S275JR | 275 | 3 | 7,25 | 37,9519735 | 0,28 |
| CO-inferior-plaquica2-izq | S275JR | 275 | 3 | 9,47 | 29,0452049 | 0,335 |
| CO-inferior-plaquica3-dcha | S275JR | 275 | 3 | 6,84 | 40,1988013 | 0,32 |
| CO-inferior-plaquica4-dcha | S275JR | 275 | 3 | 9,91 | 27,7385515 | 0,35 |
| CO-izq-abajo-placaC | S355 | 355 | 12 | 115,83 | 3,06478348 | 0,28 |
| CO-placa-debajo-pasadorUnion | S275JR | 275 | 6 | 44,17 | 6,22566332 | 0,3 |
| CO-placa-encima-cilindro | S275JR | 275 | 8 | 33,61 | 8,18257558 | 0,3 |
| CO-placaGrande-triang-delante | S355 | 355 | 8 | 124,88 | 2,84263797 | 0,275 |
| CO-placaGrande-triang-detrás | S355 | 355 | 8 | 121,15 | 2,93032432 | 0,275 |
| CO-placaO-izq-abajo | S275JR | 275 | 6 | 57,05 | 4,81999509 | 0,39 |
| CO-superior | S355 | 355 | 5 | 153,78 | 2,30856771 | 0,34 |
| CO-superior-dcha-placaC | S355 | 355 | 8 | 203,26 | 1,7465745 | 0,34 |
| CO-UnionCilindros-placaCDetras | S275JR | 275 | 8 | 40,18 | 6,84471215 | 0,325 |
| CO-UnionCilindros-placaDelante | S355 | 355 | 10 | 107,34 | 3,30721719 | 0,33 |
| CO-UnionCilindros-placaDetras | S355 | 355 | 12 | 95,64 | 3,71171962 | 0,325 |
| C1-barrastriang-delante | S275JR | 275 | 12 | 70,36 | 3,90874849 | 0,335 |
| C1-barrastriang-detrás | S275JR | 275 | 12 | 46,90 | 5,86341443 | 0,335 |
| C1-derecha-vert | S275JR | 275 | 3 | 57,62 | 4,77231709 | 0,3 |
| C1-inferior | S355 | 355 | 4 | 146,83 | 2,41769617 | 0,335 |
| C1-izquierda-vert | S355 | 355 | 5 | 145,89 | 2,43337355 | 0,335 |
| C1-placaC-inf-dcha-finaHorizont | S355 | 355 | 8 | 108,22 | 3,28047608 | 0,625 |
| C1-placaC-inf-derecha | S355 | 355 | 8 | 150,84 | 2,35344033 | 0,36 |
| C1-placaC-inf-izq-finaHorizont | S275JR | 275 | 6 | 54,88 | 5,01056774 | 0,465 |

Análisis y optimización del diseño inicial de un pulverizador de barras de 26 metros de pluma.

| | | | | | | |
|---------------------------------|--------|-----|-----|--------|------------|-------|
| C1-placaC-inf-izquierda | S355 | 355 | 8 | 126,58 | 2,80452833 | 0,3 |
| C1-placaC-sup-derecha | S355 | 355 | 8 | 99,71 | 3,56036065 | 0,315 |
| C1-placaC-sup-izquierda | S355 | 355 | 8 | 236,59 | 1,5004607 | 0,3 |
| C1-placaDebajoCilindro-UnionIzq | S275JR | 275 | 6 | 24,76 | 11,1079695 | 0,36 |
| C1-placa-peque-dcha-abajo | S275JR | 275 | 3 | 3,42 | 80,3154206 | 0,36 |
| C1-placa-peque-izq-abajo | S275JR | 275 | 3 | 6,61 | 41,6162228 | 0,34 |
| C1-supDcha-PlacaEncimaSuperior | S275JR | 275 | 6 | 16,34 | 16,8257465 | 0,36 |
| C1-superior | S355 | 355 | 4 | 172,06 | 2,06323376 | 0,34 |
| C2-barras-triangDelante | S275JR | 275 | 12 | 18,37 | 14,9708748 | 0,3 |
| C2-barras-triangDetras | S275JR | 275 | 12 | 50,84 | 5,40923307 | 0,3 |
| C2-dcha-sup-placaUnionC3 | S275JR | 275 | 6 | 9,85 | 27,9272875 | 0,36 |
| C2-derecha-vert | S355 | 355 | 3 | 54,48 | 6,5167508 | 0,36 |
| C2-inferior | S355 | 355 | 3 | 135,70 | 2,61604557 | 0,36 |
| C2-izquierda-vert | S355 | 355 | 5 | 65,67 | 5,40589928 | 0,355 |
| C2-placaC-inf-dcha | S275JR | 275 | 6 | 72,83 | 3,77581283 | 0,36 |
| C2-placaC-inf-dcha-fina | S275JR | 275 | 6 | 42,41 | 6,48447264 | 0,36 |
| C2-placaC-inf-izq | S355 | 355 | 8 | 152,96 | 2,32088337 | 0,36 |
| C2-placaC-inf-izq-fina | S355 | 355 | 6 | 43,18 | 8,22082764 | 0,885 |
| C2-placaC-sup-dcha | S275JR | 275 | 6 | 59,85 | 4,59482038 | 0,32 |
| C2-placaC-sup-izq | S355 | 355 | 8 | 77,84 | 4,5606958 | 0,315 |
| C2-placa-debajo-cilindro | S275JR | 275 | 6 | 32,69 | 8,41235852 | 0,295 |
| C2-placa-peque-dcha-abajo | S275JR | 275 | 3 | 26,43 | 10,4036621 | 0,3 |
| C2-placa-peque-izq-abajo | S275JR | 275 | 3 | 10,40 | 26,4423077 | 0,295 |
| C2-superior | S355 | 355 | 3 | 90,29 | 3,93194958 | 0,36 |
| C3-barratriang-delante | S275JR | 275 | 12 | 24,17 | 11,3786826 | 0,315 |
| C3-barratriang-detrás | S275JR | 275 | 12 | 20,56 | 13,3748359 | 0,36 |
| C3-dcha-inferior-placaC | S275JR | 275 | 6 | 45,69 | 6,01895423 | 0,355 |
| C3-dcha-inferior-placaC-horizon | S275JR | 275 | 6 | 18,93 | 14,5295081 | 0,355 |
| C3-dcha-superior-placaC | S275JR | 275 | 6 | 12,28 | 22,3904901 | 0,36 |
| C3-dcha-superior-placaEncimaC | S275JR | 275 | 6 | 17,78 | 15,4659468 | 0,24 |
| C3-dcha-vert | S275JR | 275 | 3 | 63,24 | 4,34830732 | 0,36 |
| C3-inferior | S355 | 355 | 3 | 115,58 | 3,0714125 | 0,36 |
| C3-izq-abajo-placaC | S355 | 355 | 8 | 103,12 | 3,44262454 | 0,36 |
| C3-izq-abajo-placaC-horizontal | S275JR | 275 | 6 | 35,86 | 7,66849781 | 0,36 |
| C3-izq-sup-placaC | S275JR | 275 | 6 | 46,32 | 5,93670394 | 0,36 |
| C3-izquierda-vert | S275JR | 275 | 3 | 55,29 | 4,97341484 | 0,315 |
| C3-placa-debajo-cilindro | S275JR | 275 | 6 | 11,73 | 23,4501578 | 0,235 |
| C3-placa-peque-dcha-abajo | S275JR | 275 | 3 | 2,12 | 130,023641 | 0,245 |
| C3-placa-pequeizquierda-abajo | S275JR | 275 | 3 | 2,61 | 105,404369 | 0,36 |
| C3-superior | S355 | 355 | 1,5 | 104,41 | 3,40009003 | 0,32 |
| C4-barradiagonal-delante | S275JR | 275 | 10 | 64,69 | 4,25124059 | 0,215 |
| C4-barradiagonal-detrás | S275JR | 275 | 10 | 68,28 | 4,02729776 | 0,22 |
| C4-inferior | S275jr | 355 | 2 | 100,32 | 3,53867624 | 0,215 |
| C4-izq-arriba-cuboUnion | S275JR | 275 | 3 | 27,34 | 10,0581544 | 0,215 |
| C4-izq-arriba-placaCJuntoAcubo | S275JR | 275 | 6 | 17,42 | 15,7828283 | 0,27 |
| C4-izq-final-placaC-abajo | S275JR | 275 | 6 | 88,04 | 3,12343828 | 0,36 |
| C4-izq-final-placaC-vertAbajo | S275JR | 275 | 3 | 58,15 | 4,72890479 | 0,36 |
| C4-izq-fin-placaL-mitadplacaVer | S275JR | 275 | 6 | 39,04 | 7,04333572 | 0,33 |

Análisis y optimización del diseño inicial de un pulverizador de barras de 26 metros de pluma.

| | | | | | | |
|---------------------------------|--------|-----|----|--------|-----------------|-------|
| C4-izq-placadebajo-pasador | S355 | 355 | 6 | 101,04 | 3,51346002 | 0,215 |
| C4-izq-placaunion-tuerca | S275JR | 275 | 6 | 51,67 | 5,32264932 | 0,215 |
| C4-izquierda-baseCirculo | S275JR | 275 | 3 | 38,75 | 7,09640793 | 0,215 |
| C4-izquierda-infFinal-placa | S355 | 355 | 6 | 80,45 | 4,41278839 | 0,36 |
| C4-izquierda-placaC-arriba | S355 | 355 | 5 | 61,37 | 5,78496236 | 0,215 |
| C4-izquierda-vert-delante | S275JR | 275 | 3 | 35,00 | 7,85646945 | 0,325 |
| C4-izquierda-vert-detrás | S355 | 355 | 5 | 41,93 | 8,46750149 | 0,215 |
| C4-izquierda-vert-perpentic | S355 | 355 | 5 | 69,63 | 5,09830392 | 0,215 |
| C4-izq-vertical-final | S275JR | 275 | 3 | 57,32 | 4,79737627 | 0,36 |
| C4-placaC-fin-derecha | S275JR | 275 | 3 | 12,84 | 21,4107755 | 0,36 |
| C4-placaC-vertical-dcha | S275JR | 275 | 3 | 14,64 | 18,7867195 | 0,36 |
| C4-placas-PuenteGrande-bar | S275JR | 275 | 10 | 64,72 | 4,24920424 | 0,22 |
| C4-placas-PuenteGrande-shell | S275JR | 275 | 8 | 60,08 | 4,57730655 | 0,215 |
| C4-placas-puentePeque-bar | S275JR | 275 | 10 | 77,74 | 3,53766 | 0,215 |
| C4-placas-puentePeque-shell | S275JR | 275 | 8 | 47,45 | 5,79606289 | 0,215 |
| Soporte-barra-delante | S355 | 355 | 6 | 164,92 | 2,15259797 | 0,37 |
| Soporte-barra-detrás-Cuadr-fino | S275jr | 275 | 3 | 9,51 | 28,932141 | 0,225 |
| Soporte-barra-detrás-Cuadr-gord | S275JR | 275 | 8 | 0,46 | 600,436681 | 0,225 |
| Soporte-BarraTransversal-dcha | S275JR | 275 | 6 | 30,32 | 9,07051916 | 0,19 |
| Soporte-Delante-shell | S355 | 355 | 10 | 204,51 | 1,73585644 | 0,275 |
| Soporte-detrás-shell | S275JR | 275 | 4 | 22,37 | 12,2954484 | 0,19 |
| Soporte-placaCilDiagonal-dcha | S275JR | 275 | 8 | 0,28 | 989,208633 | 0,26 |
| Soporte-placaCuadrada-delante | S275JR | 275 | 4 | 28,19 | 9,75696292 | 0,19 |
| Soporte-placaCuadrada-detrás | S275JR | 275 | 4 | 17,95 | 15,3228952 | 0,21 |
| Soporte-placaDebajoCilindro-eje | S275JR | 275 | 10 | 0,43 | 645,539906 | 0,21 |
| Soporte-placaSoporteCilGranAbaj | S275JR | 275 | 6 | 16,16 | 17,0173267 | 0,34 |
| Soporte-triangHorizontal-base | S275JR | 275 | 3 | 5,49 | 50,1275975 | 0,21 |
| Soporte-Triangulo-horizontal | S275JR | 275 | 3 | 4,36 | 63,0878642 | 0,19 |
| Soporte-V-shell | S275JR | 275 | 6 | 0,34 | 820,895522 | 0,26 |
| | | | | | 11 Mejoran | |
| | | | | | 16 siguen igual | |

Tabla G.3: Resumen de los resultados para cada componente que forma la estructura de barras en función del tiempo. Optimización 3, modelo 2g optimizado, acortando tiempo.

CUARTA OPTIMIZACIÓN

Para la optimización del modelo con aceleración de 2g, tiempo acortado y nuevos materiales no aparecen componentes con límite elástico inferior a 3, se puede observar en la tabla G.4.

Los resultados para este caso cumplen el requisito principal del trabajo de que todos los componentes estructurales del modelo posean un coeficiente de seguridad mayor que tres.

Se puede observar que todos los componentes presentan su máxima tensión entre 0.3 y 0.965 segundos.

| NOMBRE | MATERIAL | LÍMITE ELÁSTICO (MPa) | ESPESOR (mm) | TENSION (MPa) | CS | tiempo (s) |
|---------------------------------|------------|-----------------------|--------------|---------------|------------|------------|
| CO-barra-diagonal-delante | S355 | 355 | 10,5 | 38,21 | 9,29124791 | 0,41 |
| CO-barra-diagonal-detrás | S355 | 355 | 10,5 | 46,91 | 7,56719886 | 0,33 |
| CO-barra-vert-delante | S275JR | 275 | 10,5 | 2,48 | 111,111111 | 0,61 |
| CO-barra-vert-detrás | S275JR | 275 | 10,5 | 3,91 | 70,3144976 | 0,33 |
| CO-C1-superior-cuadrado | S355 | 355 | 5 | 61,33 | 5,78835806 | 0,365 |
| CO-dcha-abajo-placaC | STREX700MC | 700 | 8 | 155,26 | 4,5085082 | 0,36 |
| CO-dcha-abajo-placaC-horizontal | STREX700MC | 700 | 8 | 83,91 | 8,34187382 | 0,36 |
| CO-dcha-supU-cilindro-shell | S355 | 355 | 10 | 24,89 | 14,2633292 | 0,43 |
| CO-dcha-vert | STREX700MC | 700 | 5 | 91,90 | 7,61672633 | 0,375 |
| CO-inferior | STREX700MC | 700 | 5 | 202,87 | 3,45051955 | 0,36 |
| CO-inferior-plaquica1-izq | S275JR | 275 | 3 | 8,05 | 34,1657349 | 0,385 |
| CO-inferior-plaquica2-izq | S275JR | 275 | 3 | 10,18 | 27,005794 | 0,33 |
| CO-inferior-plaquica3-dcha | S275JR | 275 | 3 | 7,68 | 35,8119547 | 0,385 |
| CO-inferior-plaquica4-dcha | S275JR | 275 | 3 | 7,47 | 36,8336459 | 0,315 |
| CO-izq-abajo-placaC | STREX700MC | 700 | 12 | 126,57 | 5,53071125 | 0,385 |
| CO-placa-debajo-pasadorUnion | S355 | 355 | 8 | 47,52 | 7,47022432 | 0,41 |
| CO-placa-encima-cilindro | S355 | 355 | 8 | 30,52 | 11,6305737 | 0,3 |
| CO-placaGrande-triang-delante | STREX700MC | 700 | 8 | 129,00 | 5,42631452 | 0,435 |
| CO-placaGrande-triang-detrás | STREX700MC | 700 | 8 | 119,39 | 5,8630394 | 0,435 |
| CO-placaO-izq-abajo | S355 | 355 | 8 | 59,59 | 5,95767533 | 0,39 |
| CO-superior | STREX700MC | 700 | 5 | 174,78 | 4,00514948 | 0,41 |
| CO-superior-dcha-placaC | STREX700MC | 700 | 8 | 230,42 | 3,0379571 | 0,41 |
| CO-UnionCilindros-placaCDetras | S355 | 355 | 10 | 46,82 | 7,58255372 | 0,38 |
| CO-UnionCilindros-placaDelante | STREX700MC | 700 | 12 | 112,64 | 6,21426796 | 0,39 |
| CO-UnionCilindros-placaDetras | STREX700MC | 700 | 12 | 172,97 | 4,04703815 | 0,39 |
| C1-barrastriang-delante | S355 | 355 | 14 | 60,31 | 5,88625435 | 0,33 |
| C1-barrastriang-detrás | S355 | 355 | 14 | 42,50 | 8,35215509 | 0,41 |
| C1-derecha-vert | S355 | 355 | 5 | 54,48 | 6,51663118 | 0,41 |
| C1-inferior | STREX700MC | 700 | 4 | 160,85 | 4,35198886 | 0,365 |
| C1-izquierda-vert | STREX700MC | 700 | 5 | 158,51 | 4,41601373 | 0,33 |
| C1-placaC-inf-dcha-finaHorizont | S355 | 355 | 8 | 106,66 | 3,32839543 | 0,615 |
| C1-placaC-inf-derecha | STREX700MC | 700 | 8 | 171,17 | 4,08957334 | 0,35 |
| C1-placaC-inf-izq-finaHorizont | S355 | 355 | 8 | 71,71 | 4,95063312 | 0,92 |

Análisis y optimización del diseño inicial de un pulverizador de barras de 26 metros de pluma.

| | | | | | | |
|---------------------------------|-------------|-----|----|--------|------------|-------|
| C1-placaC-inf-izquierda | STRENX700MC | 700 | 8 | 141,91 | 4,93280811 | 0,41 |
| C1-placaC-sup-derecha | STRENX700MC | 700 | 8 | 107,05 | 6,53924481 | 0,4 |
| C1-placaC-sup-izquierda | STRENX700MC | 700 | 8 | 232,11 | 3,01581146 | 0,41 |
| C1-placaDebajoCilindro-UnionIzq | S355 | 355 | 6 | 28,05 | 12,6559715 | 0,36 |
| C1-placa-peque-dcha-abajo | S275JR | 275 | 3 | 4,01 | 68,561456 | 0,375 |
| C1-placa-peque-izq-abajo | S275JR | 275 | 3 | 6,76 | 40,7105848 | 0,41 |
| C1-supDcha-PlacaEncimaSuperior | S275JR | 275 | 6 | 19,14 | 14,3715704 | 0,355 |
| C1-superior | STRENX700MC | 700 | 4 | 196,78 | 3,55727208 | 0,41 |
| C2-barras-triangDelante | S275JR | 275 | 12 | 22,34 | 12,3108604 | 0,41 |
| C2-barras-triangDetras | S275JR | 275 | 12 | 55,46 | 4,95826046 | 0,405 |
| C2-dcha-sup-placaUnionC3 | S355 | 355 | 8 | 10,93 | 32,4675325 | 0,39 |
| C2-derecha-vert | S355 | 355 | 5 | 49,95 | 7,10739169 | 0,47 |
| C2-inferior | STRENX700MC | 700 | 3 | 152,17 | 4,6000276 | 0,35 |
| C2-izquierda-vert | STRENX700MC | 700 | 5 | 74,80 | 9,35866412 | 0,35 |
| C2-placaC-inf-dcha | S355 | 355 | 8 | 65,20 | 5,44470177 | 0,355 |
| C2-placaC-inf-dcha-fina | S355 | 355 | 8 | 39,06 | 9,08858167 | 0,355 |
| C2-placaC-inf-izq | STRENX700MC | 700 | 8 | 169,30 | 4,13476987 | 0,35 |
| C2-placaC-inf-izq-fina | S355 | 355 | 8 | 45,90 | 7,73454181 | 0,965 |
| C2-placaC-sup-dcha | S355 | 355 | 8 | 59,75 | 5,94182037 | 0,39 |
| C2-placaC-sup-izq | S355 | 355 | 8 | 88,69 | 4,00261579 | 0,405 |
| C2-placa-debajo-cilindro | S355 | 355 | 6 | 32,35 | 10,9733857 | 0,37 |
| C2-placa-peque-dcha-abajo | S275JR | 275 | 3 | 26,19 | 10,5013938 | 0,37 |
| C2-placa-peque-izq-abajo | S275JR | 275 | 3 | 11,82 | 23,2656514 | 0,41 |
| C2-superior | STRENX700MC | 700 | 3 | 102,93 | 6,80047409 | 0,35 |
| C3-barratriang-delante | S275JR | 275 | 12 | 23,23 | 11,8366117 | 0,395 |
| C3-barratriang-detrás | S275JR | 275 | 12 | 18,64 | 14,7571774 | 0,355 |
| C3-dcha-inferior-placaC | S355 | 355 | 6 | 58,48 | 6,07065905 | 0,355 |
| C3-dcha-inferior-placaC-horizon | S275JR | 275 | 6 | 25,58 | 10,7505864 | 0,355 |
| C3-dcha-superior-placaC | S275JR | 275 | 6 | 11,42 | 24,0721289 | 0,355 |
| C3-dcha-superior-placaEncimaC | S275JR | 275 | 6 | 14,43 | 19,054878 | 0,33 |
| C3-dcha-vert | S355 | 355 | 5 | 36,06 | 9,84388431 | 0,355 |
| C3-inferior | STRENX700MC | 700 | 3 | 96,68 | 7,24068021 | 0,355 |
| C3-izq-abajo-placaC | S355 | 355 | 8 | 84,57 | 4,19795424 | 0,355 |
| C3-izq-abajo-placaC-horizonta | S355 | 355 | 8 | 84,57 | 4,19795424 | 0,355 |
| C3-izq-sup-placaC | S355 | 355 | 6 | 41,76 | 8,5017722 | 0,35 |
| C3-izquierda-vert | S355 | 355 | 5 | 43,59 | 8,14388291 | 0,395 |
| C3-placa-debajo-cilindro | S275JR | 275 | 6 | 12,63 | 21,7701077 | 0,435 |
| C3-placa-peque-dcha-abajo | S275JR | 275 | 3 | 1,72 | 160,25641 | 0,39 |
| C3-placa-pequeizquierda-abajo | S275JR | 275 | 3 | 1,51 | 182,724252 | 0,47 |
| C3-superior | S355 | 355 | 3 | 66,53 | 5,33625951 | 0,39 |
| C4-barradiagonal-delante | S355 | 355 | 12 | 43,87 | 8,09227473 | 0,325 |
| C4-barradiagonal-detrás | S355 | 355 | 12 | 37,64 | 9,43170647 | 0,325 |
| C4-inferior | S355 | 355 | 4 | 58,49 | 6,0697249 | 0,33 |
| C4-izq-arriba-cuboUnion | S275JR | 275 | 3 | 24,27 | 11,3322619 | 0,385 |
| C4-izq-arriba-placaCJuntoAcubo | S275JR | 275 | 6 | 16,13 | 17,0479202 | 0,39 |
| C4-izq-final-placaC-abajo | S355 | 355 | 8 | 67,53 | 5,25723425 | 0,355 |
| C4-izq-final-placaC-vertAbajo | S355 | 355 | 5 | 44,27 | 8,01951793 | 0,435 |

Análisis y optimización del diseño inicial de un pulverizador de barras de 26 metros de pluma.

| | | | | | | |
|---------------------------------|------------|-----|----|--------|------------|-------|
| C4-izq-fin-placaL-mitadplacaVer | S355 | 355 | 6 | 47,15 | 7,52868322 | 0,33 |
| C4-izq-placadebajo-pasador | S355 | 355 | 8 | 73,74 | 4,81395097 | 0,33 |
| C4-izq-placaunion-tuerca | S355 | 355 | 8 | 28,82 | 12,3191172 | 0,38 |
| C4-izquierda-baseCirculo | S355 | 355 | 5 | 32,92 | 10,7840457 | 0,33 |
| C4-izquierda-infFinal-placa | S355 | 355 | 6 | 77,63 | 4,57273875 | 0,355 |
| C4-izquierda-placaC-arriba | STREX700MC | 700 | 5 | 61,57 | 11,3700966 | 0,325 |
| C4-izquierda-vert-delante | S355 | 355 | 5 | 40,62 | 8,74039787 | 0,325 |
| C4-izquierda-vert-detrás | S355 | 355 | 5 | 54,23 | 6,54643358 | 0,33 |
| C4-izquierda-vert-perpentic | STREX700MC | 700 | 5 | 79,94 | 8,75689606 | 0,33 |
| C4-izq-vertical-final | S355 | 355 | 5 | 48,18 | 7,36896731 | 0,33 |
| C4-placaC-fin-derecha | S275JR | 275 | 3 | 23,22 | 11,8447689 | 0,315 |
| C4-placaC-vertical-dcha | S275JR | 275 | 3 | 17,10 | 16,0799906 | 0,435 |
| C4-placas-PuenteGrande-bar | S355 | 355 | 10 | 39,52 | 8,98188442 | 0,335 |
| C4-placas-PuenteGrande-shell | S355 | 355 | 10 | 38,84 | 9,14029712 | 0,44 |
| C4-placas-puentePeque-bar | S355 | 355 | 12 | 69,50 | 5,10761971 | 0,33 |
| C4-placas-puentePeque-shell | S355 | 355 | 10 | 29,48 | 12,0416539 | 0,32 |
| Soporte-barra-delante | STREX700MC | 700 | 7 | 144,19 | 4,85473927 | 0,385 |
| Soporte-barra-detrás-Cuadr-fino | S275JR | 275 | 3 | 5,33 | 51,5753938 | 0,385 |
| Soporte-barra-detrás-Cuadr-gord | S275JR | 275 | 8 | 0,36 | 755,494505 | 0,425 |
| Soporte-BarraTransversal-dcha | S275JR | 275 | 6 | 29,84 | 9,21674431 | 0,37 |
| Soporte-Delante-shell | STREX700MC | 700 | 10 | 208,96 | 3,34989137 | 0,39 |
| Soporte-detrás-shell | S275JR | 275 | 4 | 8,11 | 33,9087546 | 0,305 |
| Soporte-placaCilDiagonal-dcha | S275JR | 275 | 8 | 0,24 | 1141,07884 | 0,3 |
| Soporte-placaCuadrada-delante | S275JR | 275 | 4 | 27,40 | 10,0375954 | 0,385 |
| Soporte-placaCuadrada-detrás | S275JR | 275 | 4 | 15,38 | 17,8850156 | 0,385 |
| Soporte-placaDebajoCilindro-eje | S275JR | 275 | 10 | 0,19 | 1462,76596 | 0,31 |
| Soporte-placaSoporteCilGranAbaj | S275JR | 275 | 6 | 18,47 | 14,8898154 | 0,365 |
| Soporte-triangHorizontal-base | S275JR | 275 | 3 | 2,98 | 92,1890714 | 0,305 |
| Soporte-Triangulo-horizontal | S275JR | 275 | 3 | 1,95 | 140,809012 | 0,325 |
| Soporte-V-shell | S275JR | 275 | 6 | 0,28 | 992,779783 | 0,35 |

Tabla G.4: Resumen de los resultados para cada componente que forma la estructura de barras en función del tiempo. Optimización 4, modelo 2g optimizado con nuevos materiales, acortando tiempo.