

PRÁCTICA L-04

250405 - INGENIERIA DE ESTRUCTURAS

**Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos
(Curso 2014-2015)**



Guillem de José Sorroche

9 de Junio de 2015

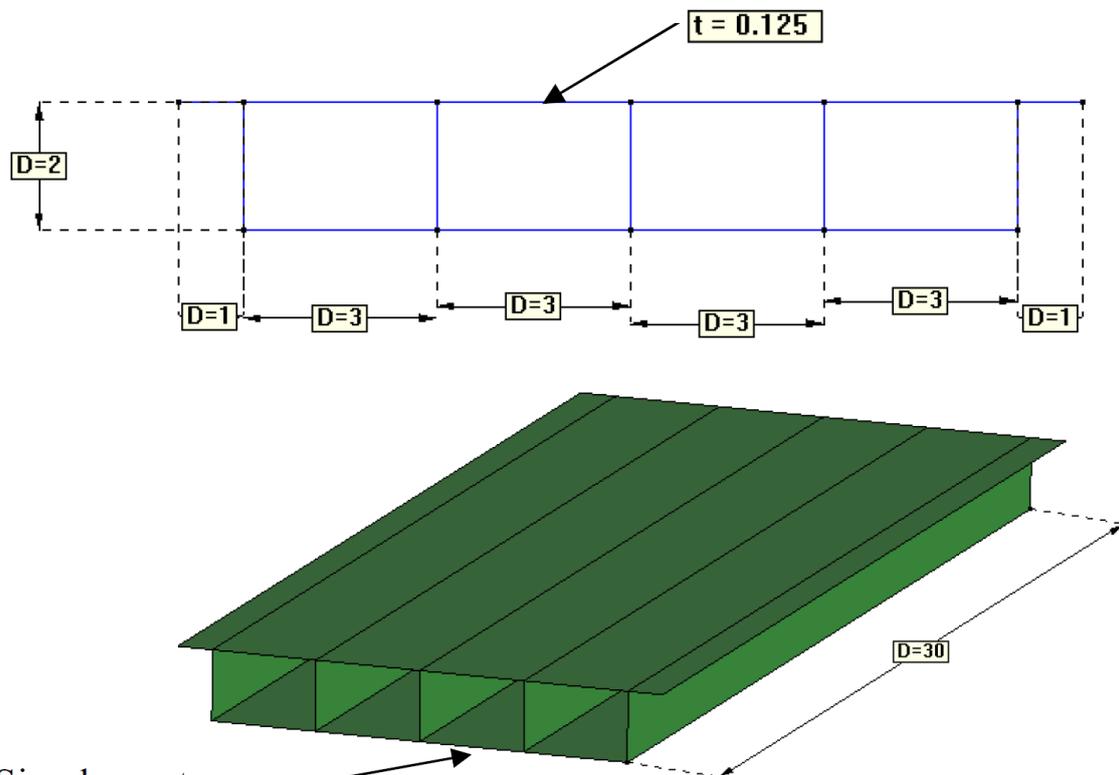
INTRODUCCIÓN

El presente proyecto plantea la situación de un puente de carretera de cuatro carriles formado por láminas planas de acero.

El puente se encuentra simplemente apoyado en sus extremos, y la carga de los vehículos sobre el mismo puede considerarse como una carga repartida sobre la superficie del tablero.

El acero presenta un módulo de *Young* de 210 GPa, un coeficiente de *Poisson* de 0,3 y un peso específico de 76900 N/m^3 . El espesor de todas las láminas es de 0,125 metros.

A continuación se muestran las dimensiones del puente en metros:



Simplemente
apoyado en
ambos extremos

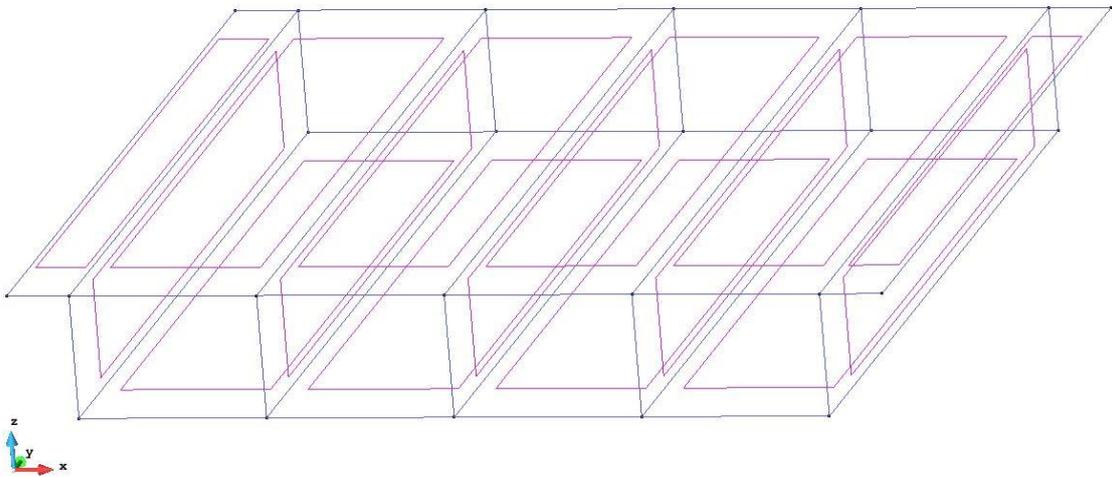
OBJETIVOS

Determinar el valor de la carga máxima capaz de soportar sobre dichos carriles, teniendo en cuenta que en cada carril puede actuar el peso propio o el peso propio más la carga uniforme, sin que la tensión de Von Mises supere el valor de 500 MPa en cualquier punto de la chapa.

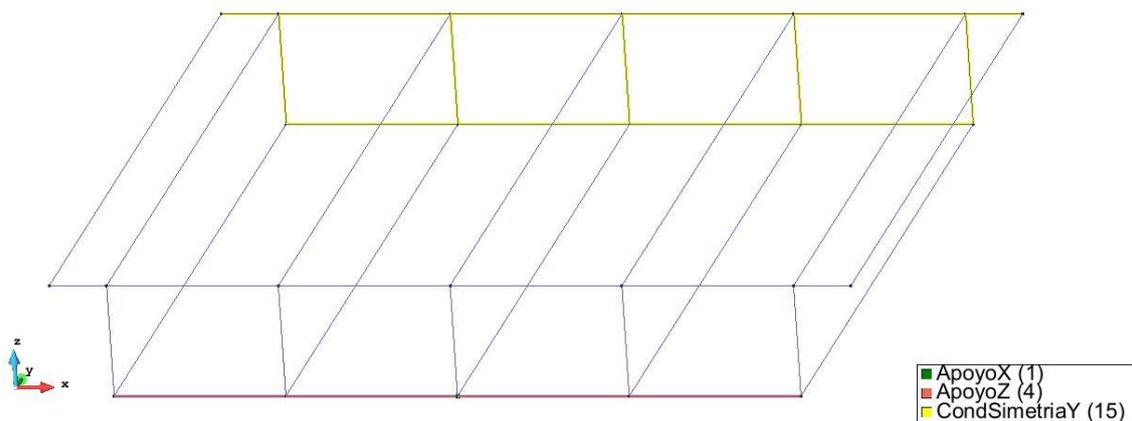
PREPROCESO

Al interesarnos la distribución de tensiones en la sección del puente, y al tener cargas distribuidas de manera transversal sobre el tablero, éste no puede modelizarse y analizarse con elementos de viga. En consecuencia, se utilizarán elementos de lámina en 3D para modelizar el puente y se utilizarán elementos cuadriláteros de 8 nodos.

Dado que el puente y las cargas presentan simetría en ambos lados de la rebanada central, éste puede dividirse por la mitad. Sin embargo, no se puede realizar lo mismo alrededor del eje longitudinal del puente ya que la carga puede no ser simétrica para los cuatro carriles.



La sección del puente es la planteada anteriormente, mientras que la longitud considerada es de 15 metros. Con ello es necesario imponer las siguientes condiciones de contorno:



El punto perteneciente a ApoyoX tiene restringido el movimiento en dirección X. Es el único punto de la estructura que tiene esta restricción a fin de garantizar el equilibrio en las tres direcciones.

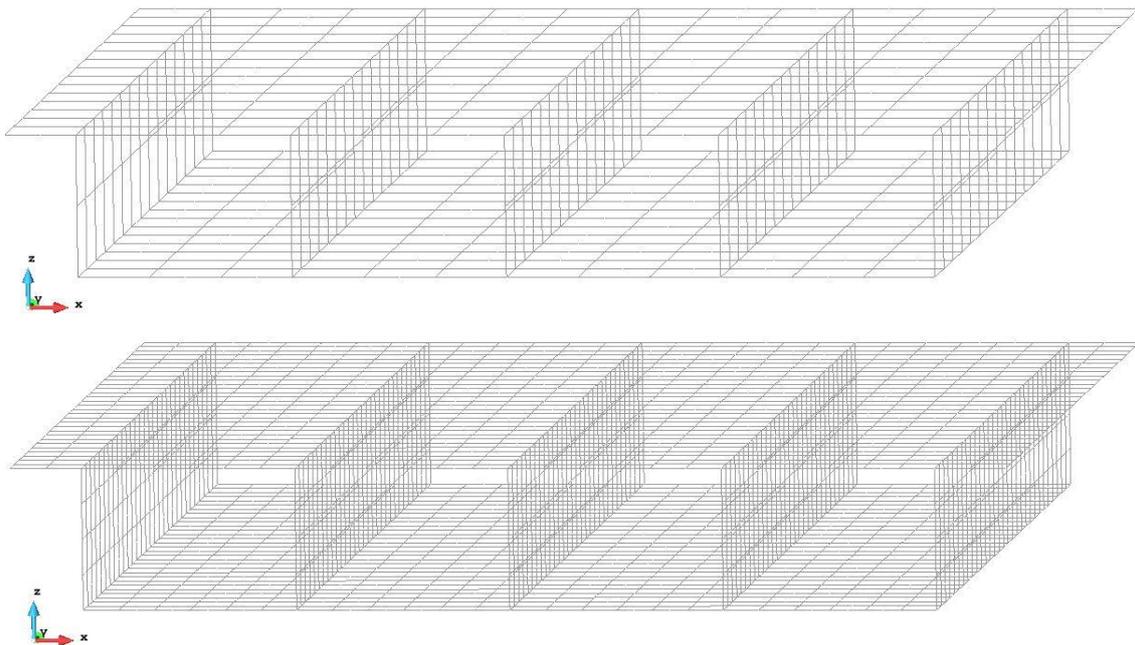
Las líneas pertenecientes a ApoyoZ Tienen el movimiento restringido en dirección Z de tal manera que se impone la condición de contorno de apoyo simple.

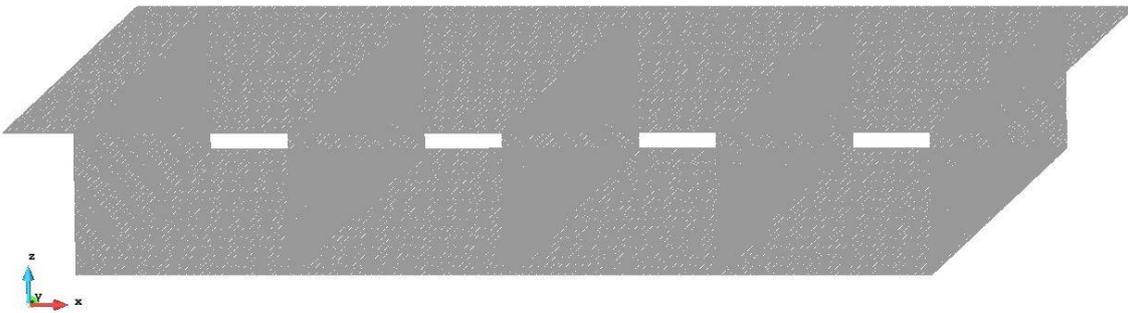
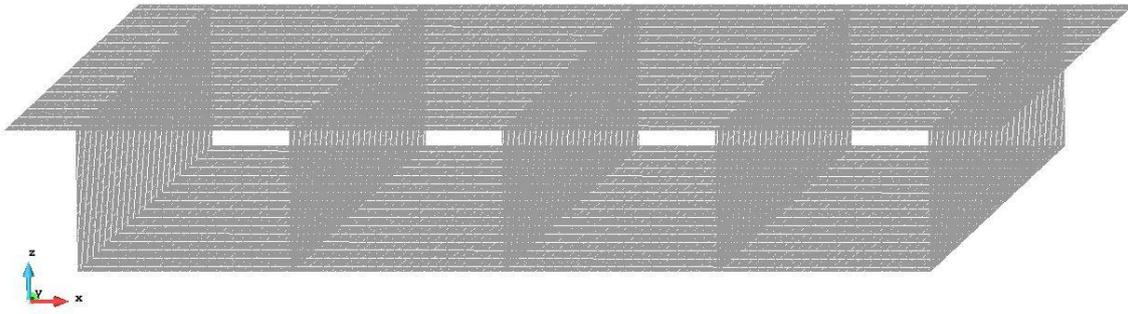
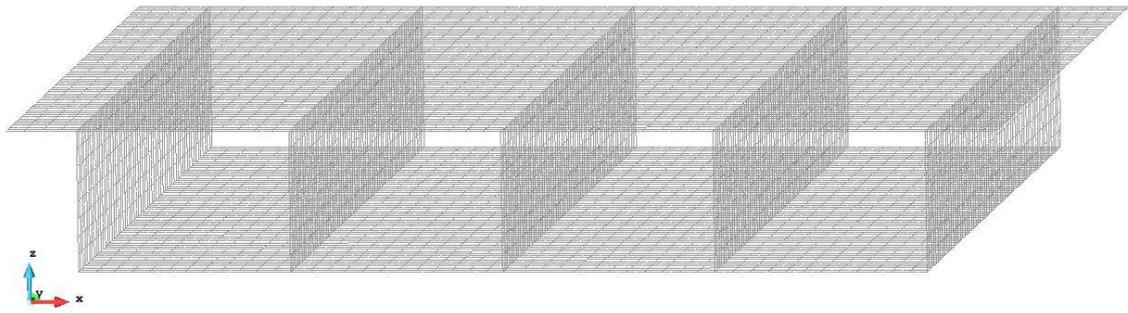
La sección perteneciente a $Y=15\text{m}$ tiene restringido el movimiento en dirección Y para imponer la condición de simetría en esa sección. Mediante las tres condiciones los movimientos de toda la estructura en las tres direcciones X, Y, Z están restringidos de tal forma que se garantiza el equilibrio.

CÁLCULO

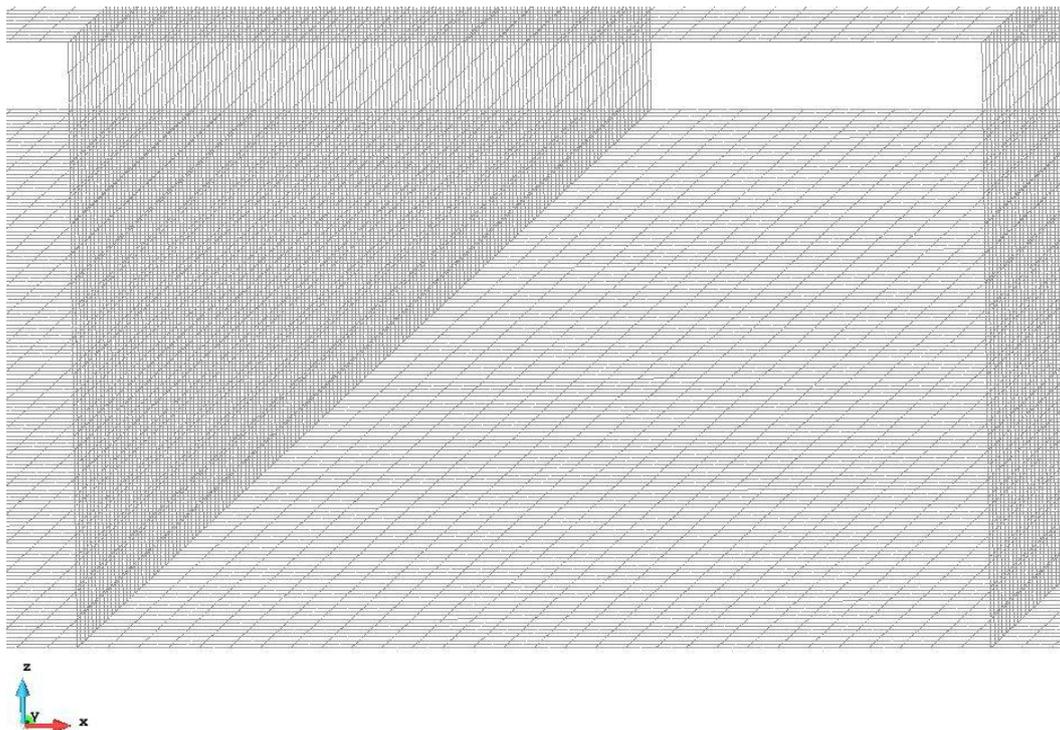
Tal y como se ha mencionado anteriormente se han utilizado elementos cuadriláteros de ocho nodos para realizar el mallado. Este se ha realizado de manera estructurada y se ha analizado al convergencia de los resultados obtenidos a medida que se ha refinado la malla. Dado que el valor de la sobrecarga no está determinado, y la respuesta obtenida depende del mallado utilizado, se ha utilizado el desplazamiento vertical máximo bajo peso propio de la estructura para analizar la convergencia del método, y luego, con la malla más fina utilizada se ha realizado en análisis estructural.

A continuación se muestran las mallas obtenidas utilizando elementos cuadrados de 1, 0.5, 0.25, 0.125 y 0.1 metros de lado:

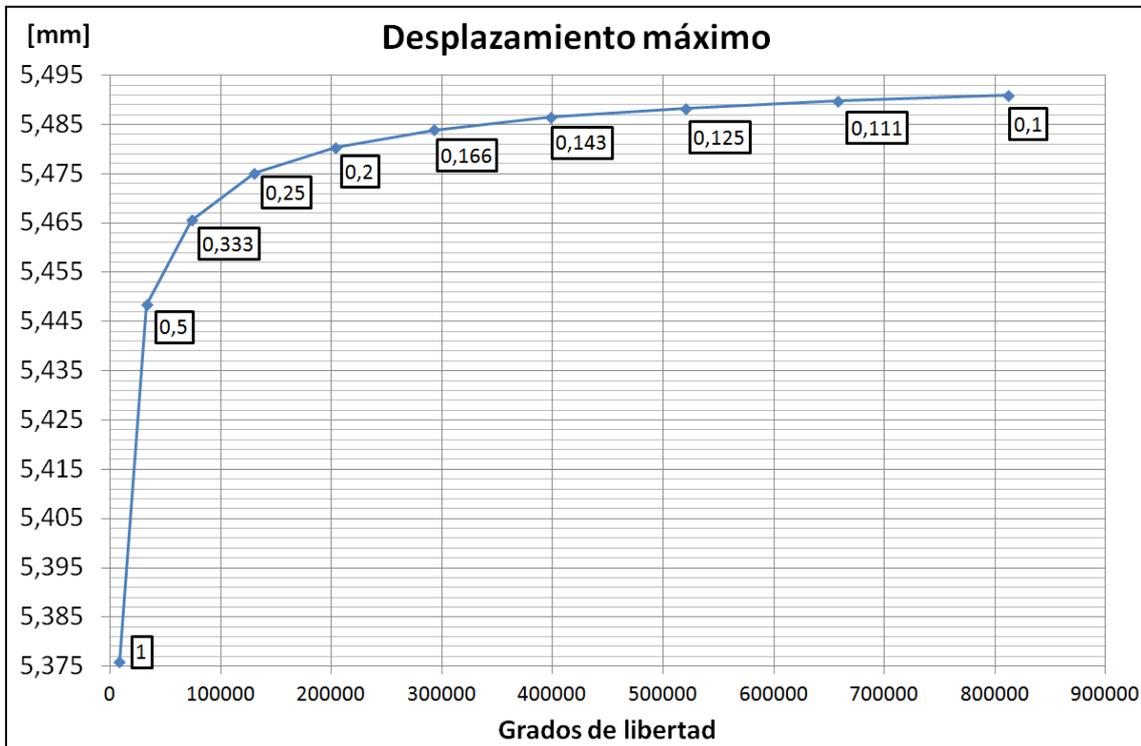




Si observamos en detalle la malla de elementos de 0.1 metros:



A continuación se muestra la evolución del desplazamiento máximo bajo peso propio en función del número de grados de libertad de la malla. También puede observarse el tamaño de elemento correspondiente a cada punto del gráfico:



El desplazamiento máximo bajo peso propio con la malla más fina utilizada fue de 5,4909 milímetros. Puede considerarse que la malla ha convergido ya que la diferencia entre los dos últimos resultados fue del 0,02%.

Una vez determinada la malla a utilizar se realiza en análisis estructural para hallar el valor de la carga máxima que es capaz de soportar el puente sin sobrepasar los 500 MPa de tensión de Von Mises. Dado que hay cuatro carriles la carga puede presentarse de diversas formas, y no necesariamente tener los cuatro carriles cargados causa la mayor tensión en todos los puntos de la estructura. Por ello se plantean los siguientes estados de carga que tienen en cuenta posibles cortes de carriles que obliguen al tráfico a circular por algunos determinados o incluso el arcén como combinación de los cuatro carriles cargados individualmente:





--	--	--	--



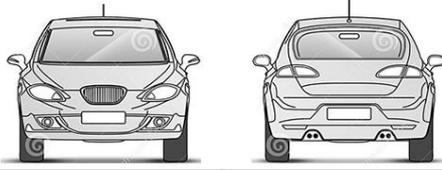
--	--	--	--



--	--	--	--



--	--	--	--



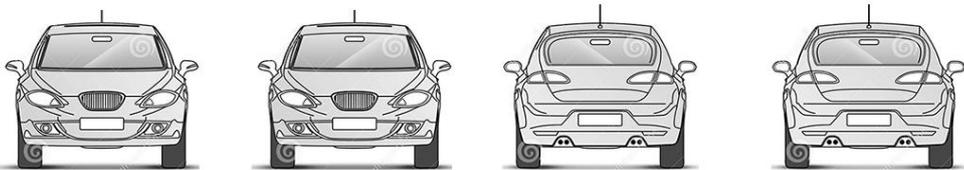
--	--	--	--



--	--	--	--



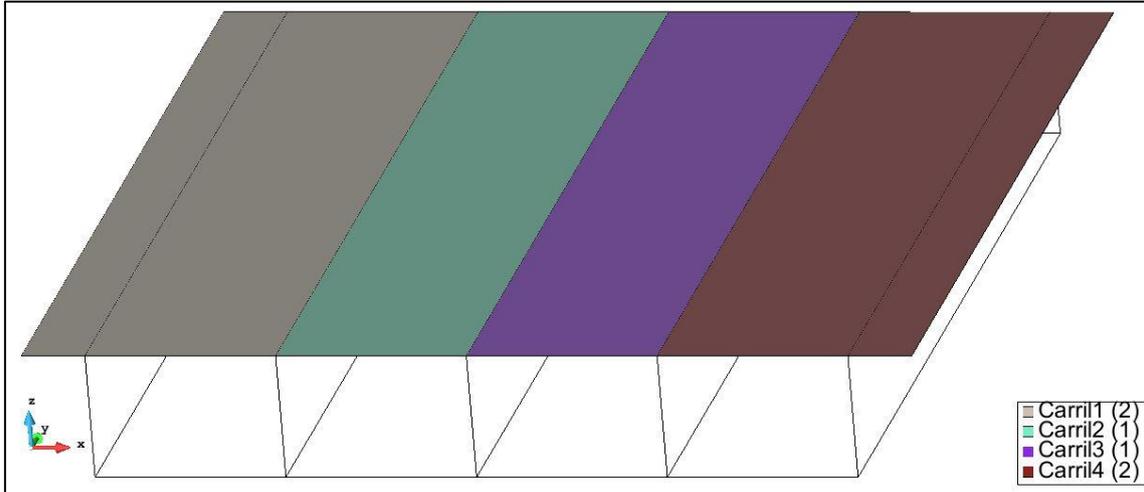
--	--	--	--



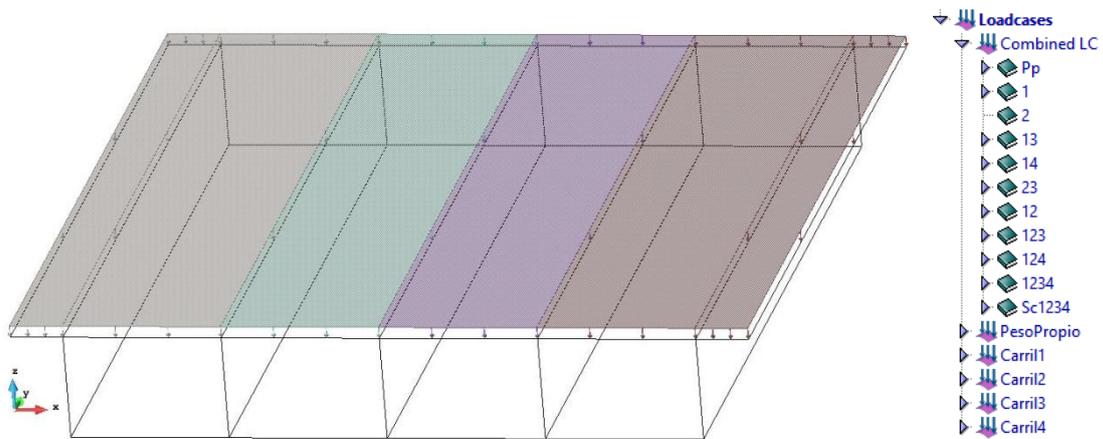
--	--	--	--

Nótese que las configuraciones simétricas a las planteadas no se consideran ya que producirán una distribución de tensiones simétricas a las obtenidas dado que la geometría y propiedades materiales presentan simetría en la sección.

Los carriles se han definido de la siguiente forma:



Los carriles exteriores (1 y 4) incluyen el voladizo ya que puede incorporar el arcén de la calzada. La carga será introducida como una carga superficial sobre la parte del tablero correspondiente a los carriles cargados:



La nomenclatura utilizada para cada caso de carga es el número de los carriles cargados en esa configuración, o en el caso del peso propio, Pp . La combinación Sc1234 no incluye el peso propio y se ha utilizado para determinar la contribución real de la sobrecarga a los esfuerzos de la estructura en el proceso de determinación de la carga máxima.



Para determinar el valor de la sobrecarga máxima que se puede aplicar nos fijaremos en la distribución de tensiones de Von Mises de los valores máximos en cada punto de entre todas las combinaciones de carga, y despreciaremos los resultados presentes en los elementos pertenecientes a la zona de concentración de tensiones. Este tipo de visualización de datos puede no proporcionar resultados continuos en todo el dominio ya que se trata de una envolvente superior o inferior. En cualquier caso, como el parámetro de interés es la tensión máxima, resulta útil para asegurarnos que ninguna combinación de acciones genera una tensión superior a 500 MPa.

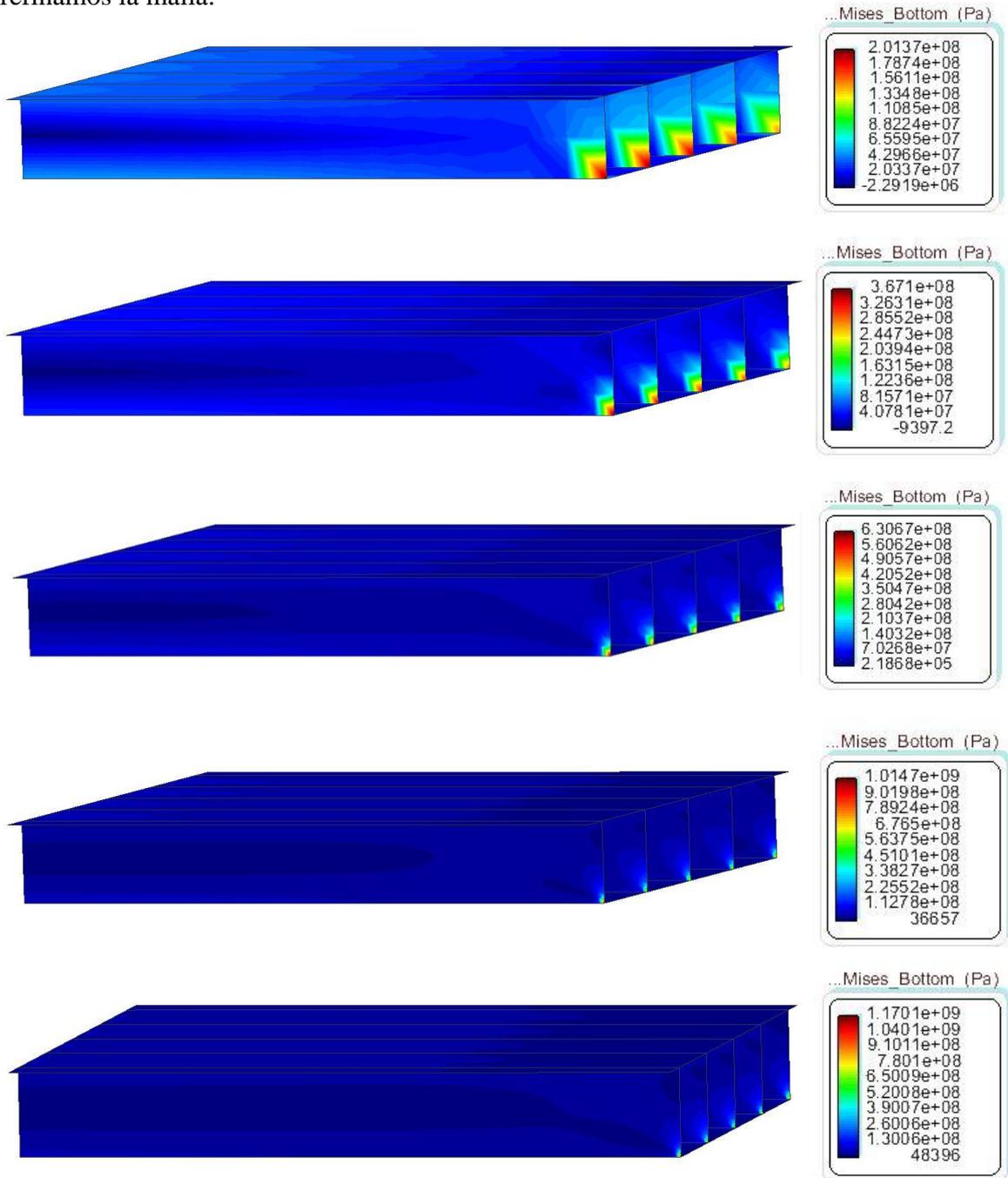
Dado que la localización de la tensión máxima coincide con una región de concentración de tensiones tendremos que ignorar el valor de la solución en el elemento donde se producen dichas concentraciones. El objetivo es hallar el valor de la carga de sobrecarga de tal forma que no se supere el valor de la tensión máxima fuera de los elementos pertenecientes a la región de concentración de tensiones.

Tras iterar con diversos valores se ha obtenido como sobrecarga máxima una presión de 75 kPa, es decir, 75 kN/m^2 .

A continuación se detalla el fenómeno de concentración de tensiones presente en esta estructura.

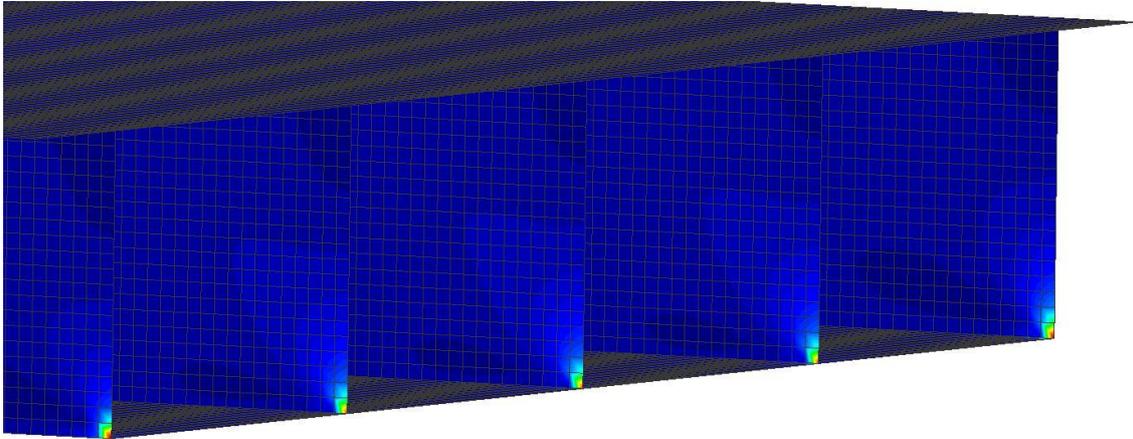
Concentración de tensiones:

Existen unas regiones de la estructura que presentan concentración de tensiones. Estas concentraciones están presentes por dos motivos. El primero es el mecanismo estructural por el que se transmite el cortante por el alma de la sección, que al acercarse al apoyo concentra las tensiones en el mismo. El segundo es la aparición de tensiones ficticias en la región de los apoyos debido a que se trata de un apoyo rígido aplicado en una línea. Este fenómeno puede verse si observamos la evolución de la tensión de Von Mises máxima para todas las combinaciones de sobrecarga de 75 kPa a medida que refinamos la malla.



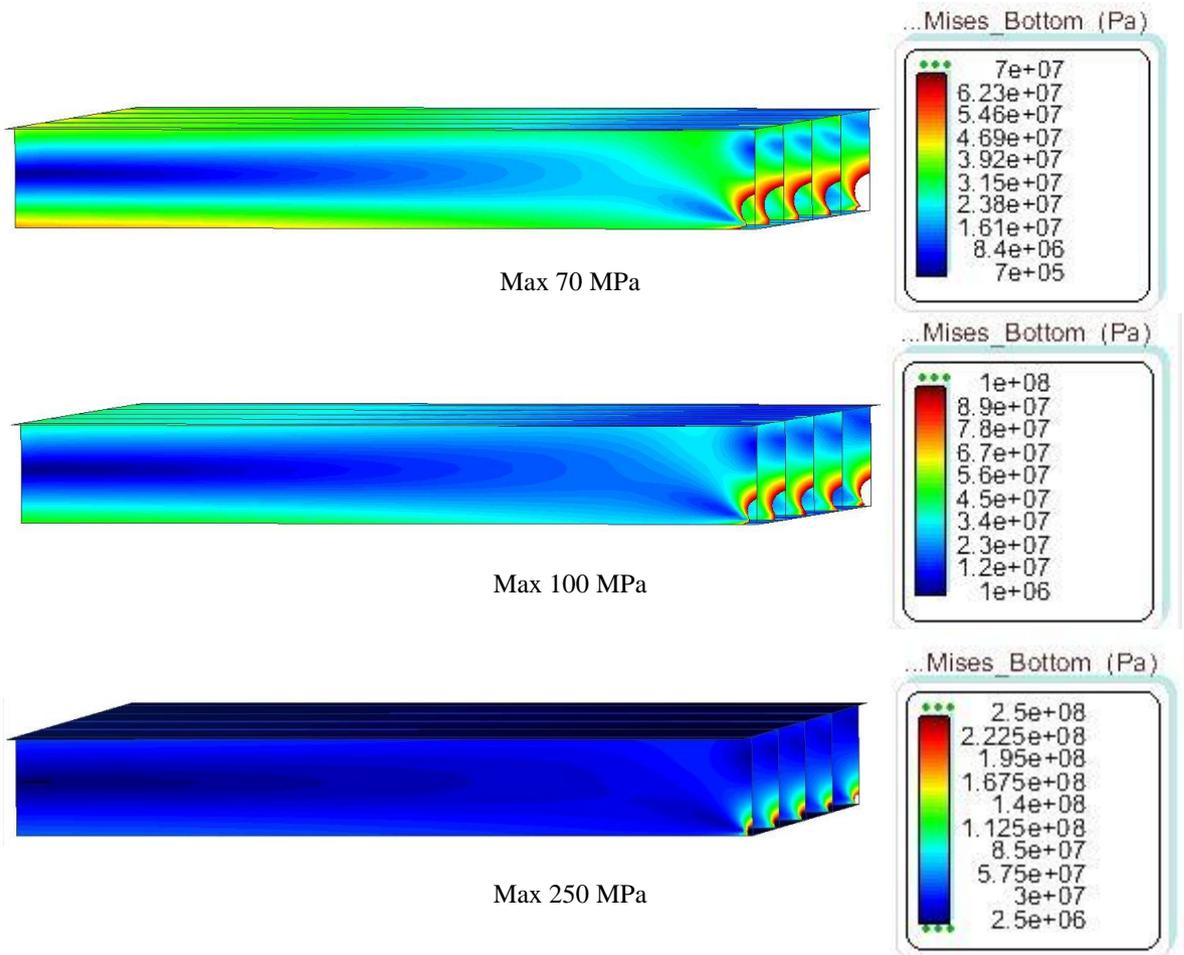
Tensiones de Von Mises para mallas de elementos de tamaño 1, 0.5, 0.25, 0.125 y 0.1 metros, respectivamente.

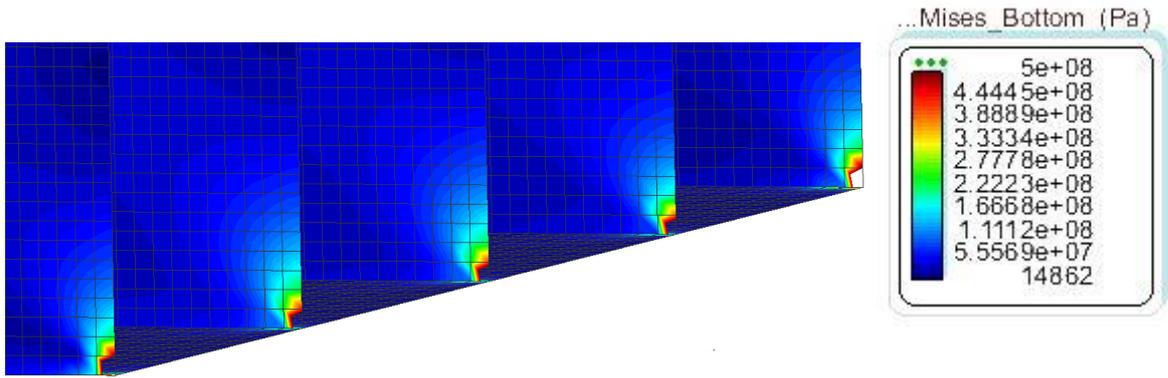
Este fenómeno genera dificultades para determinar el valor de la tensión real. Se puede observar que las tensiones aumentan mucho su valor en los elementos adyacentes al apoyo.



Este fenómeno genera dificultades para determinar el valor de la tensión real. Se puede observar que las tensiones aumentan su valor en los elementos adyacentes al apoyo.

Si visualizamos los resultados de la malla fina, sin considerar los valores superiores a un determinado umbral obtenemos lo siguiente (las regiones sin colorear tienen una tensión superior a la máxima de la leyenda, mientras que las regiones de color negro tienen una tensión inferior a la mínima de la leyenda):



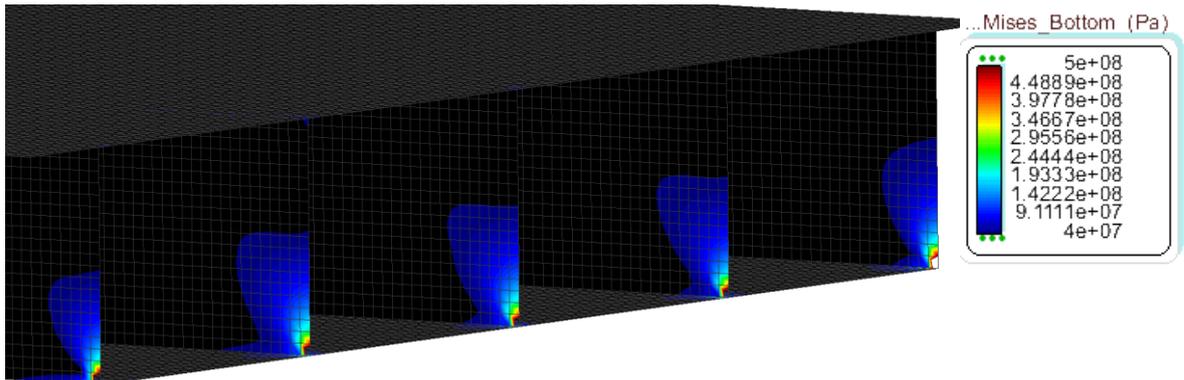


Max 500 MPa

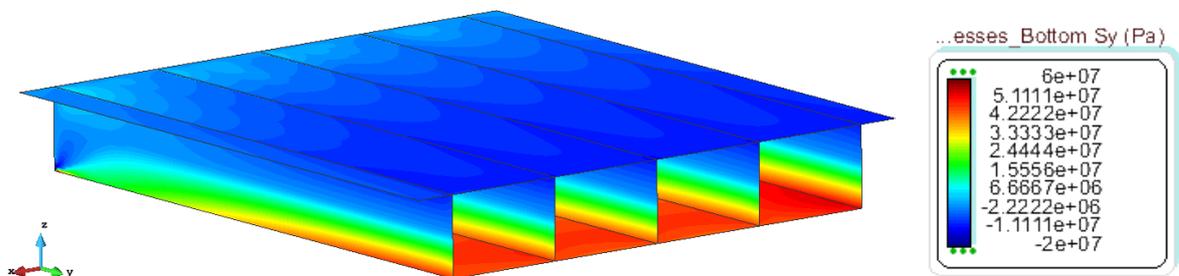
Podemos observar que la tensión de Von Mises en el resto de la estructura, para las combinaciones de carga de peso propio más la sobrecarga de 75 kPa, no supera el valor de 70 MPa, y a medida que nos acercamos al apoyo, la tensión aumenta en gran medida. Puede observarse que únicamente en el interior de los elementos adyacentes al apoyo llegan a superarse los 500 MPa.

RESULTADOS

A continuación se muestra la concentración de tensiones producida por el mecanismo estructural de transmisión del esfuerzo cortante a lo largo de la estructura. Podemos ver la evolución de las tensiones de Von Mises desde los 40 MPa (azul oscuro) hasta los 500 MPa (Rojo). Las regiones negras tienen una tensión inferior a los 40 MPa, mientras que las transparentes una superior a los 500 MPa (tal y como se ha demostrado anteriormente éstas son producidas por el fenómeno de concentración de tensiones numérico).

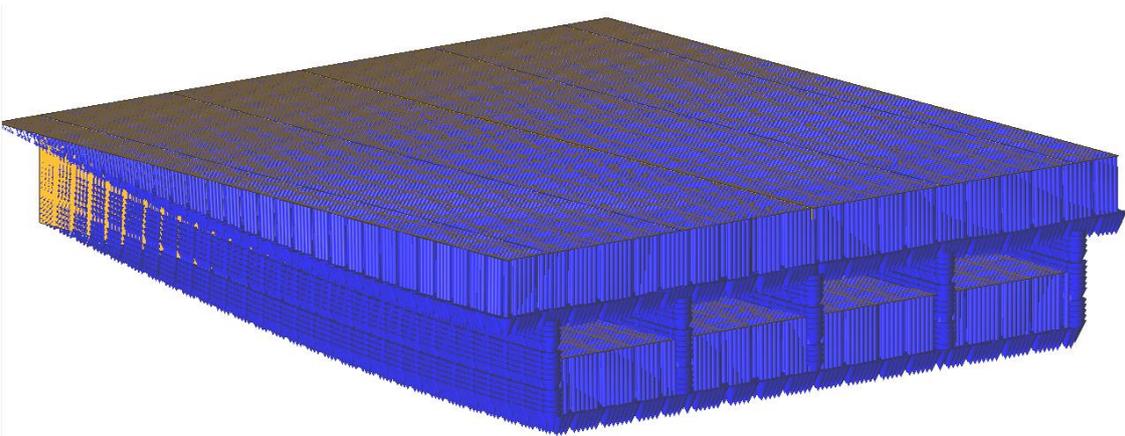
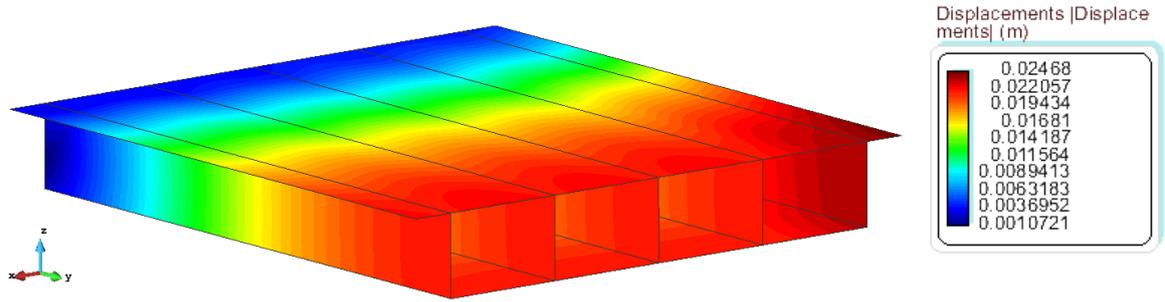


Si observamos la tensión normal en dirección y (σ_y) podemos observar el comportamiento esperado de viga bajo flexión:

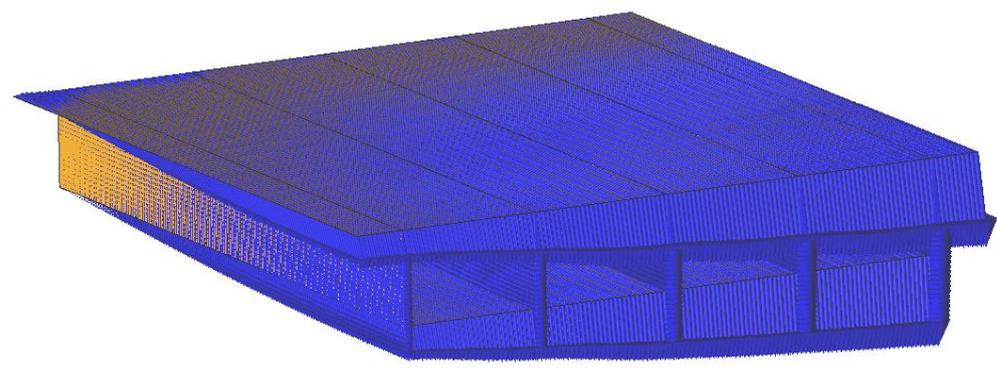
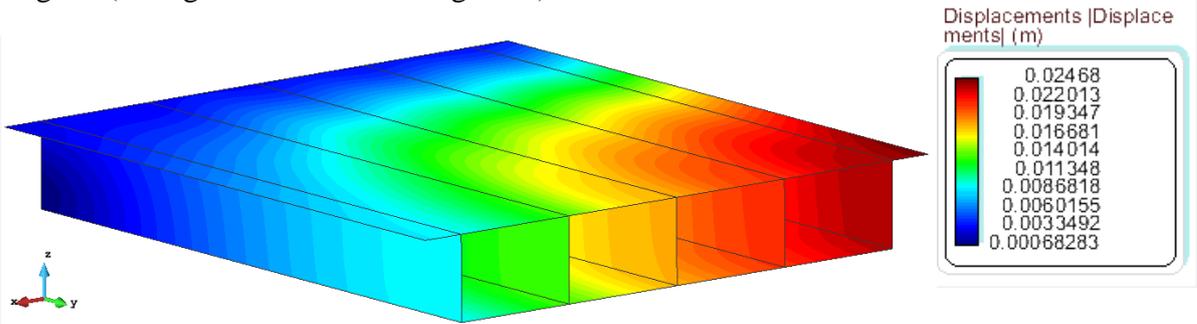


El punto de vista de esta figura es desde la región central del puente. Podemos observar que la tensión en las fibras inferiores es cercana a los 60 MPa, mientras que en las superiores es cercana a -20MPa. Estos resultados son coherentes ya que las fibras superiores se encuentran en compresión mientras que las inferiores se encuentran traccionadas. Además, al no tratarse de una sección simétrica alrededor del eje X, la fibra neutra se encuentra ligeramente por encima de la cota central de la sección, produciendo una distribución de tensiones en la parte superior inferior en módulo que en la parte inferior. Al acercarnos a los apoyos, estas tensiones tienden a disminuir.

El desplazamiento de cada punto de la estructura bajo las condiciones más desfavorables es el siguiente:



Podemos observar que el desplazamiento máximo se encuentra en un lateral de la estructura en el centro del puente y adopta un valor de 2,468 centímetros. Este desplazamiento máximo corresponde a la situación en la que los dos carriles de un lateral están cargados pero de los dos del otro lateral, únicamente el interior está cargado (configuración de sobrecarga 123):



CONCLUSIONES

La máxima flecha obtenida, 2.468 centímetros, corresponde a una relación con la luz del puente de $L/1200$. Aunque esta relación pueda ser aceptable en función del uso que se le dé al puente, la sobrecarga considerada, 75 kPa, es significativamente superior a lo que usualmente se utiliza para estructuras de este tipo.

Desde un punto de vista resistente, podemos considerar que el puente se encuentra sobredimensionado. Sin embargo, la región cercana a los puntos de apoyos necesita la disposición de elementos rigidizadores, como por ejemplo unas laminas transversales que rigidicen la sección, para garantizar que las láminas no sufran abolladuras y ayuden a disipar las tensiones que allí se concentren.

Es importante materializar los apoyos mediante una filera de aparatos de neopreno para evitar la aparición de tensiones localizadas, tal y como se ha detectado. Además, esta medida junto con la implementación de los elementos rigidizadores, suavizará la distribución de tensiones en las regiones de apoyo.