

# TRABAJO DE CURSO 2

## L-08

---

Ingeniería de Estructuras

**Jordi Durán García**

**DNI: 47956145-H**

**05/06/2015**

La figura representa un puente de dos carriles formado mediante una losa sobre dos vigas de gran canto de hormigón armado sometida a una carga vertical uniformemente repartida.

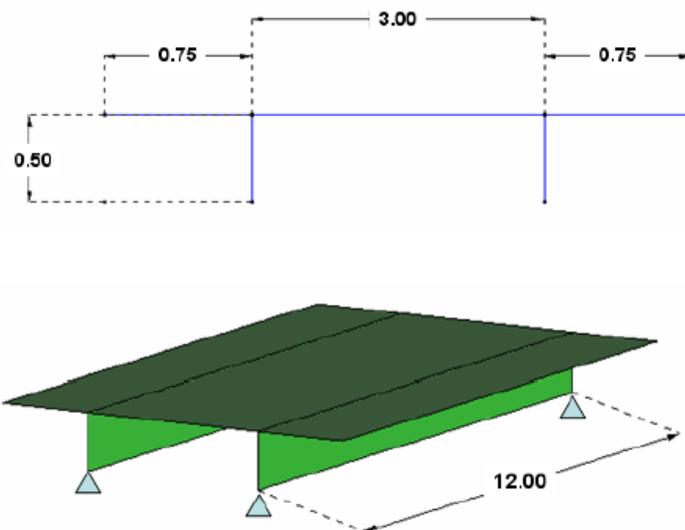
Calcular la carga máxima que es capaz de soportar la estructura con las restricciones que se indican a continuación:

1. Las tracciones máximas en cualquier punto de la chapa no deben superar los 200 MPa.
2. Las compresiones máximas en cualquier punto de la chapa no deben superar los 120 MPa.
3. Ambos extremos del puente se encuentran simplemente apoyados.
4. Las propiedades del tablero son  $E=19.8 \text{ kN/mm}^2$ ,  $\nu=0.18$  y espesor de 0.38 m.
5. Las propiedades de las vigas son  $E=27.6 \text{ kN/mm}^2$ ,  $\nu=0.20$  y espesor de 0.25 m.

Cargas actuantes:

1. Peso propio.
2. Peso propio + carga uniforme.

Las dimensiones del puente en m son:



En primer lugar, decidimos qué teoría estructural vamos a aplicar en el cálculo del puente. Debido a su geometría y condiciones de apoyo se decide utilizar la teoría de sólidos tridimensionales, aplicando un análisis en 3D. Al estar solamente apoyado en los extremos no se puede realizar un análisis de deformación plana, y al no ser una lámina, descartaremos directamente la teoría de láminas planas.

Se ha utilizado un elemento tetraédrico de 4 nodos para mallar debido a la forma rectangular del tablero y vigas, por lo que este elemento se adapta a la perfección. La utilización de funciones lineales se debe a su menor coste computacional respecto al de 8 nodos, y podemos saber que

los resultados son bastantes buenos para mallas suficientemente finas. El menor coste computacional nos permitirá refinar más y llegar a un resultado suficientemente bueno.

A continuación se procede a dibujar la geometría del puente. Al realizar un análisis en 3D necesitaremos poner espesores a nuestras dimensiones. Por lo tanto, se decide utilizar la geometría dada como eje neutro de las vigas y tablero y ponemos mitad del espesor a la derecha del eje y la otra mitad a la izquierda para cada sección. Hay que darse cuenta que la unión entre tablero y viga es de ángulo recto, por lo que pueden dar lugar a concentración de tensiones.

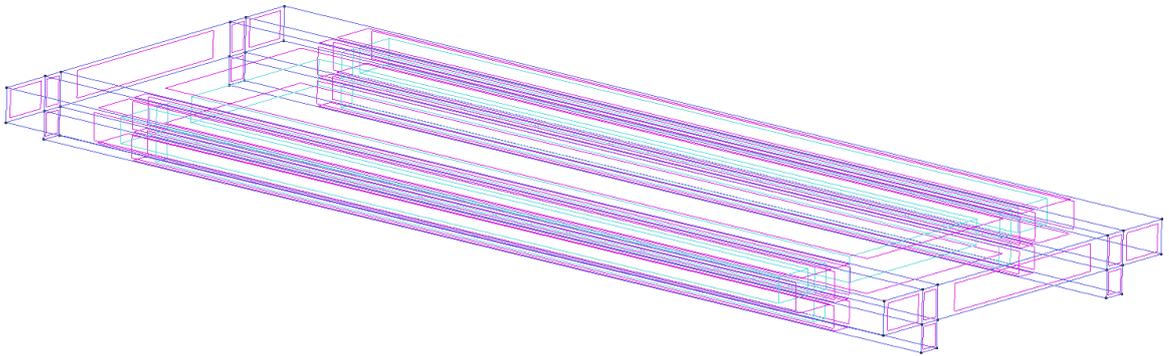


Figura 1. Geometría

Una vez dibujada, se procede a la asignación de las condiciones de contorno, que como indica el enunciado, es simplemente apoyada en ambos extremos del puente. Utilizamos entonces una restricción elástica elevada ( $1e11 \text{ N/m}^2$ ) en cada extremo de las dos vigas para simular el apoyo del puente.

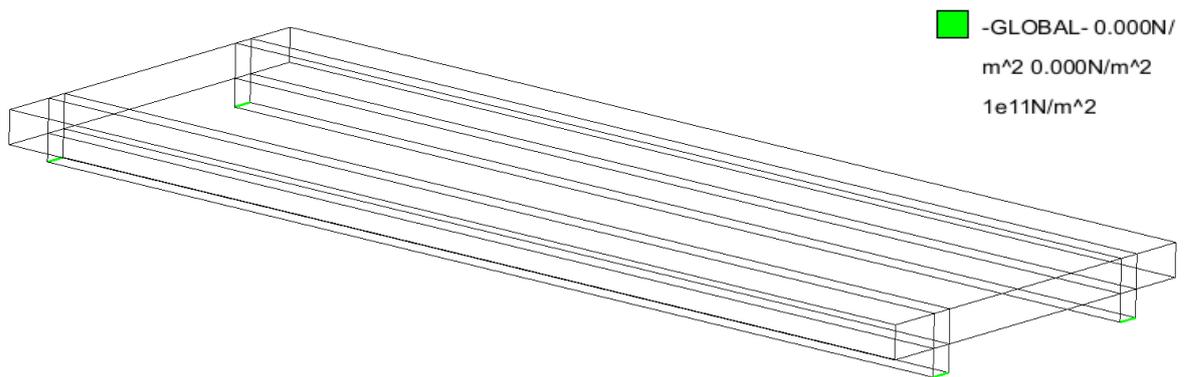


Figura 2. Condiciones de apoyo

A continuación asignamos los materiales a cada superficie. Creamos dos materiales, ambos hormigón con un peso específico de  $25000 \text{ N/m}^3$  pero el del tablero con  $E=19.8 \text{ kN/mm}^2$ ,  $\nu=0.18$  y el de las vigas con  $E=27.6 \text{ kN/mm}^2$   $\nu=0.20$ .

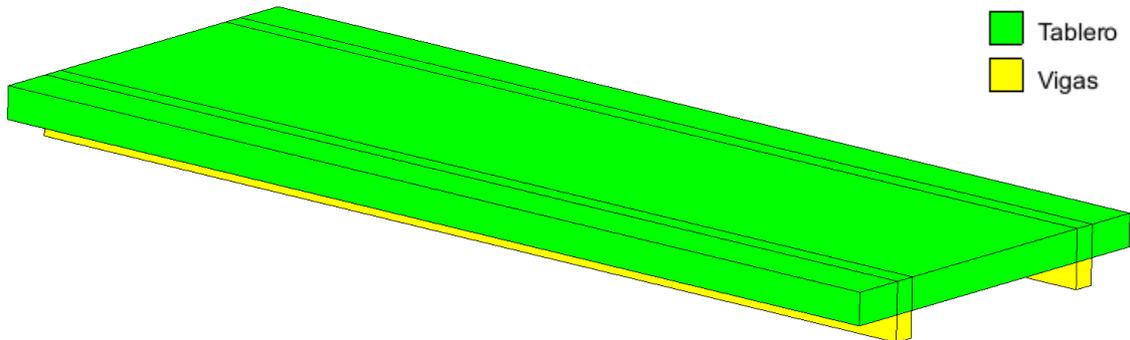


Figura 3. Materiales

Para empezar, calculamos el puente únicamente para el peso propio, por lo que la única carga que asignaremos es la siguiente:

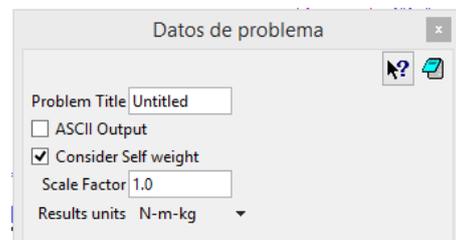
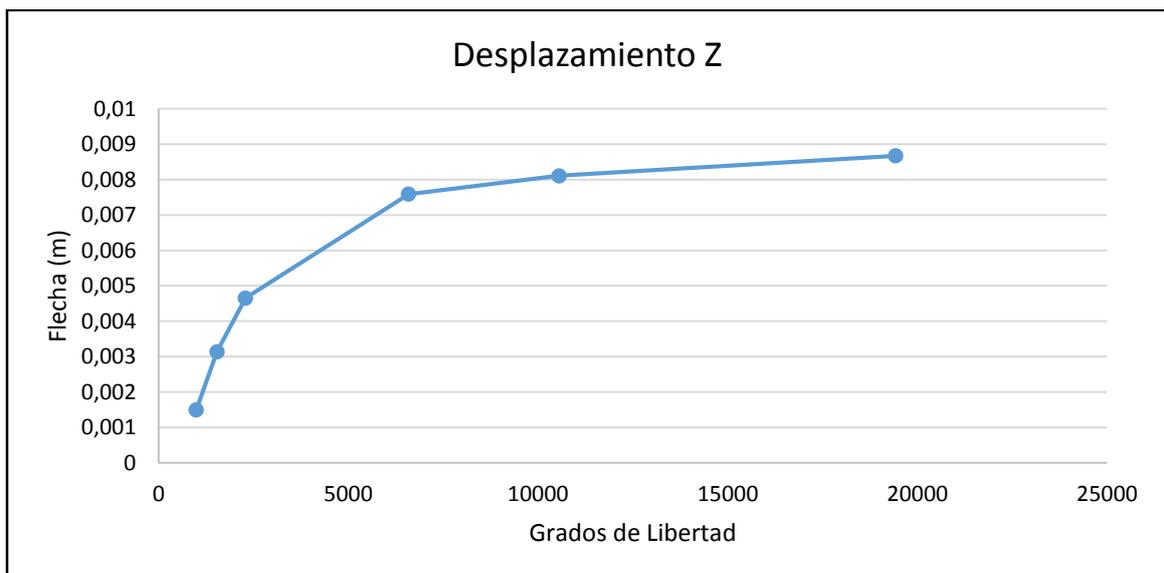


Figura 4. Asignación de Peso Propio

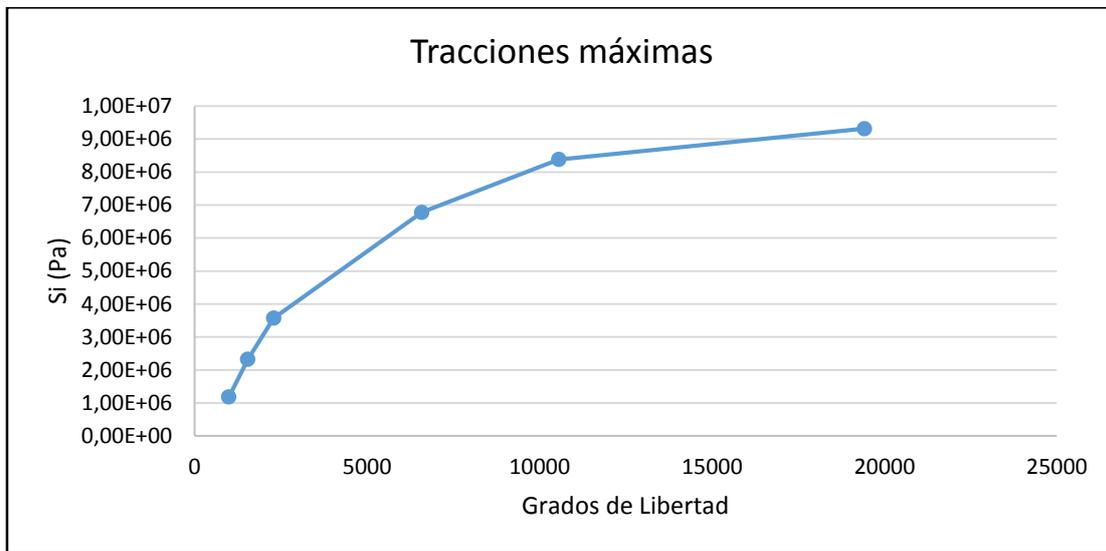
Una vez asignamos todas las propiedades mallamos y calculamos. La malla realizada es estructurada para que así se reparta uniformemente a lo largo de toda su geometría. Hemos ido refinando la malla hasta que vemos que converge tanto en deformaciones como en tensiones.

Los puntos pertenecen a tamaños de malla de: 3 m, 1 m, 0.5 m, 0.3 m, 0.25 m y 0.2 m.

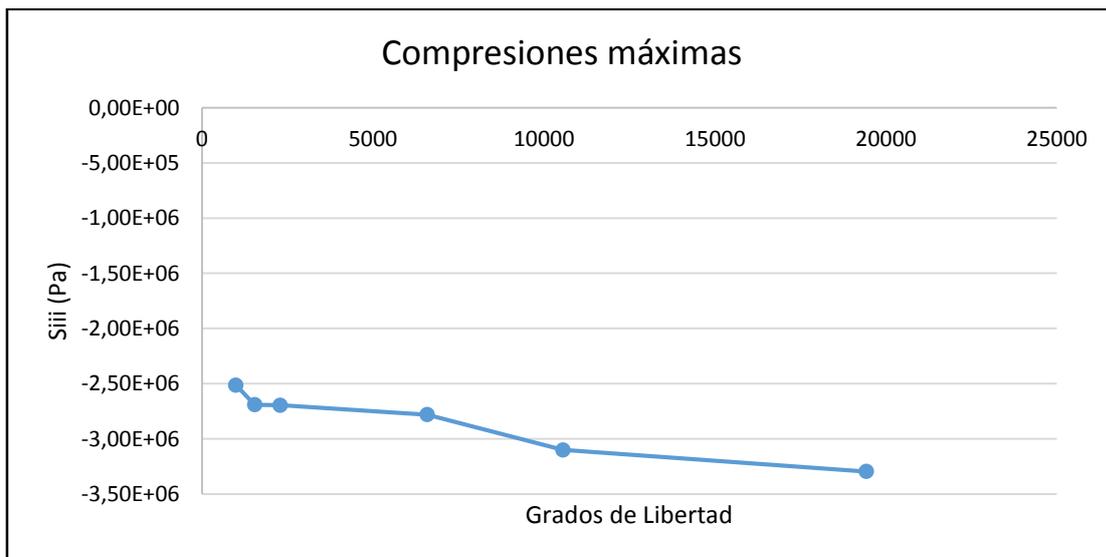


Gráfica 1. Convergencia desplazamiento en Z (valor absoluto)

En la gráfica anterior, vemos como la flecha va convergiendo hacia 0.00867459 m para un tamaño de malla de 0.2 m. La diferencia entre el anterior punto (malla de 0.25 m) es de décimas de milímetro, por lo que damos este valor como suficientemente bueno.



Gráfica 2. Convergencia de tracciones máximas



Gráfica 3. Convergencia de compresiones máximas

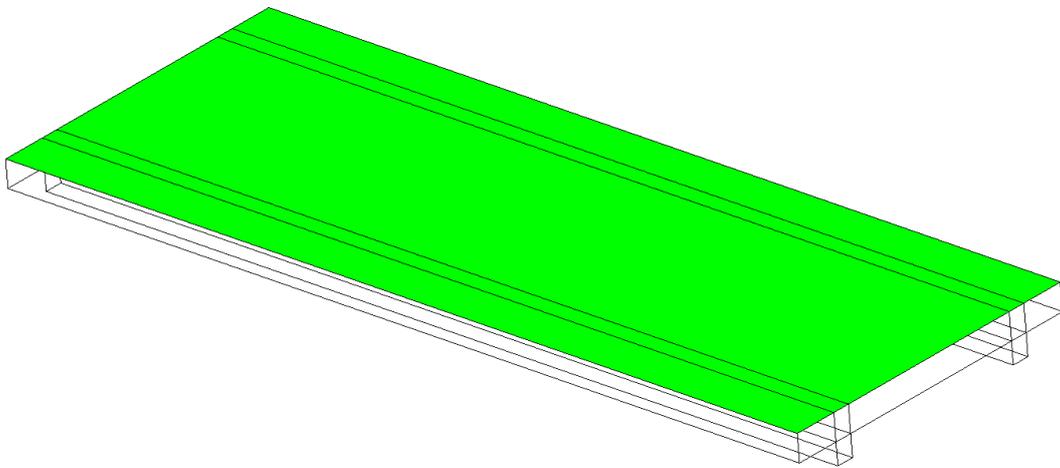
En la gráfica 2, se observa una peor convergencia pero a partir de la malla 0.3 m se ve una cierta estabilidad. En el caso de la gráfica 3, observamos una estabilidad casi desde el primer tamaño de malla. Esto nos asegura que el resultado de compresión máxima es relativamente bueno.

Se ha acabado utilizando la malla de tamaño 0.2 m, aunque el coste computacional sea un poco mayor al de los otros tamaños, nos asegura tener convergencia de la flecha y tener unas tensiones en una zona bastante estable. Éste hecho nos indica que estamos del lado de la seguridad ya que las tensiones reales serán menores.

Conforme se ha ido realizando el estudio, hemos visto que los esfuerzos máximos no se encontraban en ninguna de las uniones de la viga y tablero, sino que estaban en el centro del vano en el caso de tracciones máximas y en los extremos de las vigas para el caso de compresiones máximas. Por lo tanto, descartamos la idea de la existencia de concentraciones de tensiones en algunos puntos del puente.

Tras estudiar el caso del peso propio y ver que el puente resiste perfectamente, es decir, que está correctamente diseñado, procedemos a realizar el estudio de la carga vertical máxima que es capaz de aguantar. Para ello se ha procedido al cálculo de diferentes cargas y ver cuál es aquella que nos limita a 200 MPa en tracciones y a 120 MPa en compresiones.

La carga se aplica sobre la geometría ya realizada con todas las propiedades mencionadas anteriormente, incluyendo el peso propio.



*Figura 5. Carga aplicada*

Cabe destacar que se define con los ejes globales, por lo tanto ponemos signo negativo a las cargas para indicar que es una carga vertical en dirección hacia abajo. Las cargas aplicadas son las siguientes:

<b>Carga (MPa)</b>	<b>Tracción máx. (MPa)</b>	<b>Compresión máx. (MPa)</b>
1	907.62	-593.18
0.4	368.90	-240.90
0.2	188.97	-123.47
0.15	62.06	-44.73

*Tabla 1. Cargas y esfuerzos*

Como vemos, la carga máxima la limita la compresión máxima. Después de aplicar 4 cargas, creemos oportuno hacer una interpolación entre la de 0.2 MPa y 0.15 MPa y encontrar así la carga que me da -120 MPa en compresión.

$$Q_{max} = \frac{(0.15 - 0.2)}{(44.73 - 123.47)} \cdot (120 - 123.47) + 0.2 = \mathbf{0.1978 \text{ MPa}}$$

Para asegurarnos se comprueba para la carga obtenida aplicando la misma metodología que en las anteriores. Con esta carga se llega a los siguientes resultados:

$$\text{Tracción máx.} = 182.71 \text{ MPa} < 200 \text{ MPa}$$

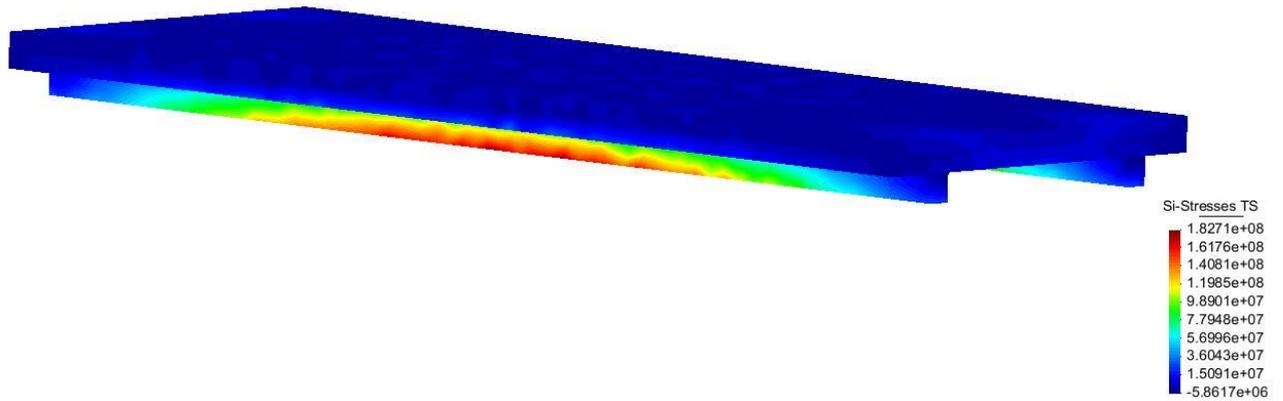


Figura 6a. Tracciones

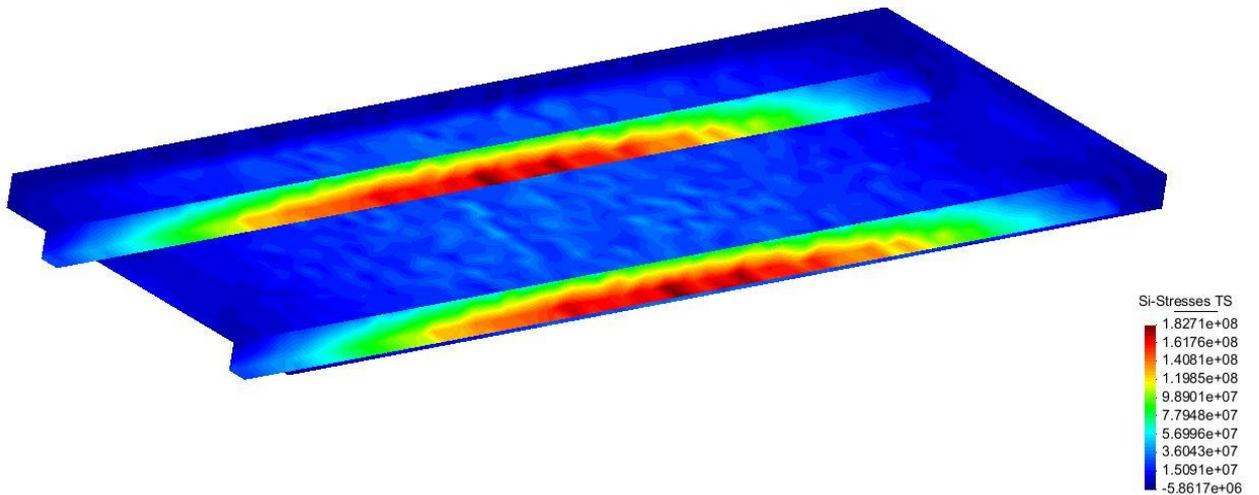
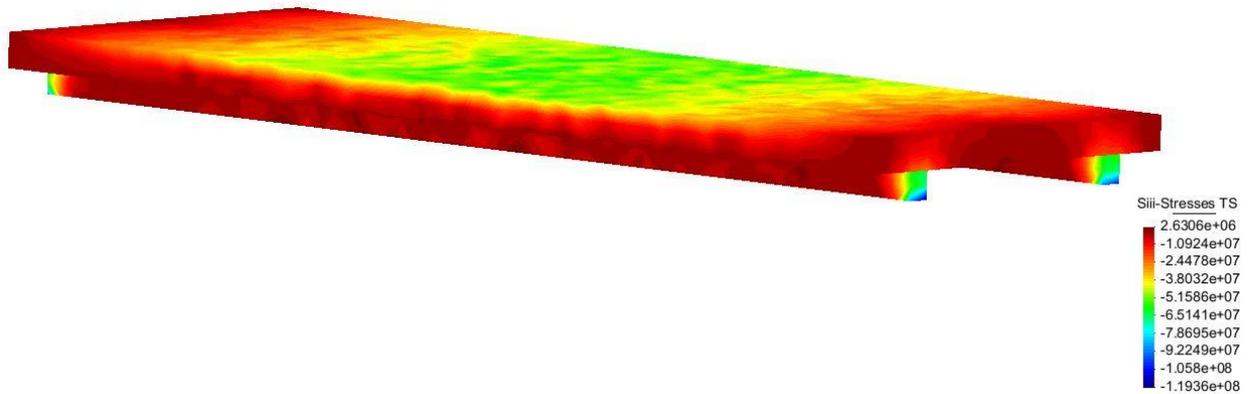


Figura 6b. Tracciones

*Compresión máx. = -119.36 MPa < -120 MPa*



*Figura 7a. Compresiones*



*Figura 7b. Compresiones*

Las figuras anteriores representan como están repartidos los esfuerzos de tracción y compresión a lo largo del puente. Como podemos ver antes de cada figura, se expresa el valor máximo de tracción/compresión y validamos que éstos son menores a los límites establecidos.

Para el resultado de las tracciones, vemos que nos da algo lógico, ya que debido al peso propio y las cargas actuantes el puente se deforma hacia abajo creando tracciones máximas en el centro de las dos vigas, y mínimos en el tablero, ya que todo ello está comprimido.

Y para las compresiones, vemos que también nos da algo lógico a nuestro entender, ya que las compresiones se encuentran en la zona del tablero y en los extremos de las vigas. Cabe destacar que la compresión máxima se encuentra en el extremo de la viga (justo donde se encuentra el apoyo) y no en el centro, donde las compresiones serán elevadas pero no máximas.

Por lo tanto, como resumen final, se deberá colocar una carga máxima de 197.8 kPa para respetar los valores máximos de tracciones y compresiones, siendo este último el limitante de la carga.