

# Trabajo de curso L29

Ingeniería de Estructuras

Anna Grassot Guerrero  
9-6-2015

## Índice

<b>1. Introducción.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Preproceso.....</b>	<b>3</b>
<b>3. Cálculos realizados .....</b>	<b>6</b>
3.1. Estudio de convergencia .....	6
3.2. Peso propio .....	8
3.3. Peso propio + máxima carga uniforme .....	10
<b>4. Conclusiones .....</b>	<b>13</b>

## 1. Introducción

Se pide calcular la carga vertical uniformemente repartida máxima que puede soportar la cubierta realizada con láminas planas de acero siguiente:

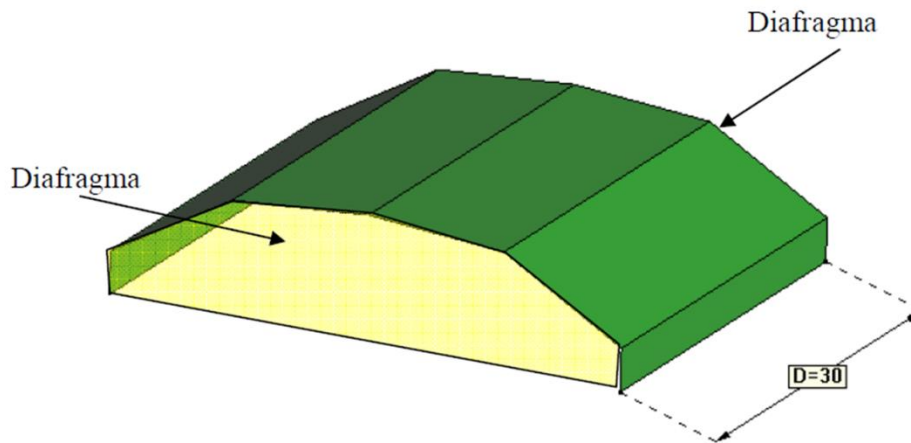


Figura 1: Problema planteado

Las restricciones indicadas en el enunciado son las siguientes:

- La tensión de Von Mises en cualquier punto de la chapa no debe superar los 400 MPa.
- Tomar los valores de E y  $\nu$  de un acero estándar.
- Base empotrada en el terreno.
- Los extremos de la cubierta se encuentran asentados sobre un diafragma.
- La longitud de la cubierta es de 30 metros.

Además, se pide realizar los cálculos para las siguientes cargas actuantes:

- Peso propio
- Peso propio + máxima carga uniforme

Se ha decidido utilizar la teoría estructural de láminas planas, debido a la geometría del problema, en el cual se presentan espesores muy pequeños en comparación con las otras dos dimensiones. Además, se puede observar que por la posición de los distintos elementos de la estructura, es probable que aparezcan esfuerzos de membrana. Entonces, no es posible utilizar la teoría de placas, la cual no permite el estudio de esos esfuerzos.

Entonces, una vez decidida la metodología a seguir, se han realizado los cálculos mediante el *software* Ramseries, el cual hemos utilizado durante este curso y permite el cálculo de láminas planas.

## 2. Preproceso

Para empezar, se ha dibujado la geometría del problema en cuestión. En la Figura 2 se puede observar dicha geometría:

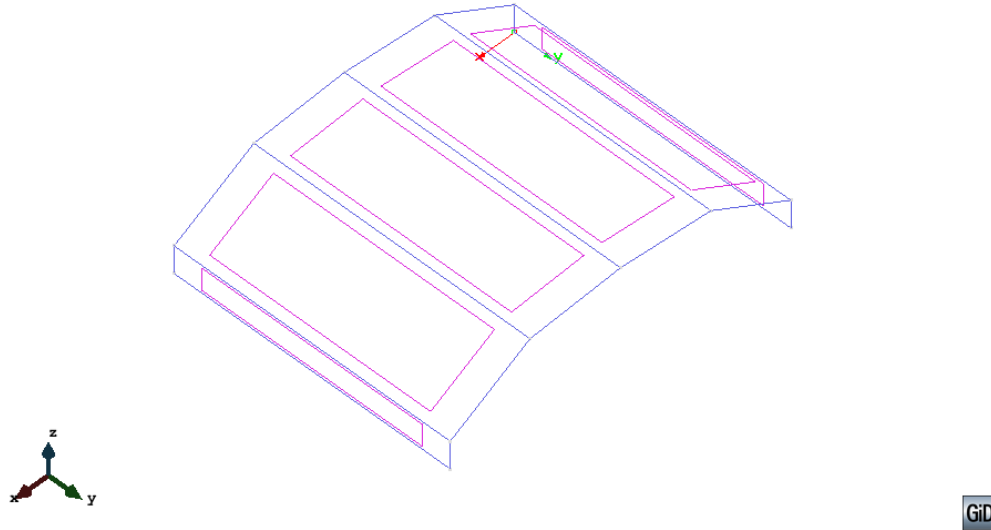


Figura 2: Geometría de la cubierta

Este tipo de geometría, con juntas tan angulosas, da pie a pensar que quizás existirá un problema de concentración de tensiones. Más adelante se profundizará sobre este tema.

En la Figura 3 se muestran las condiciones de contorno que se han tenido en cuenta para este problema:

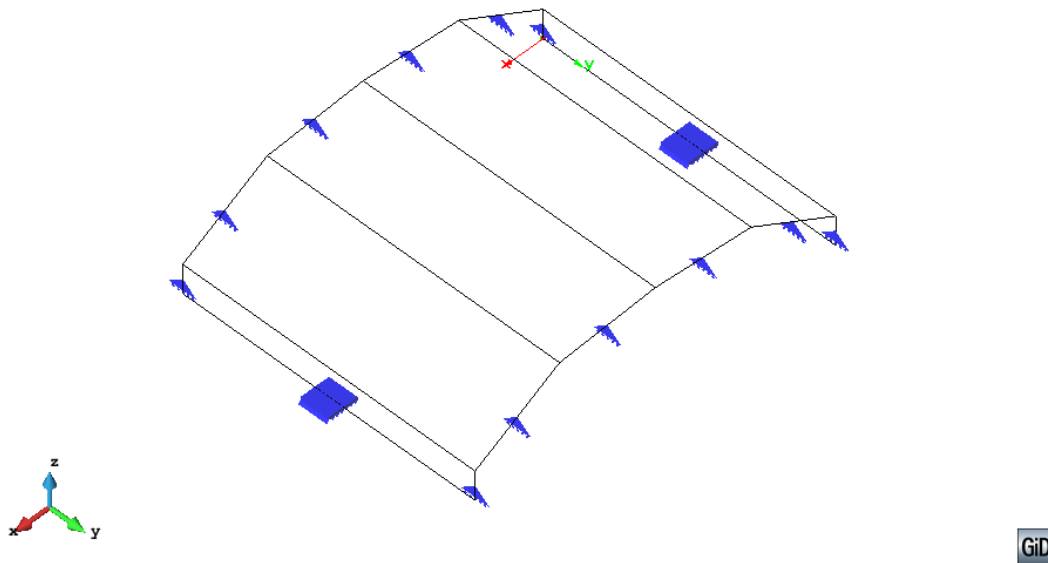


Figura 3: Restricciones consideradas

Tal y como se puede observar en la Figura 3, se ha considerado que en la base está empotrado, y que encima del diafragma está apoyado. A continuación, en la Figura 4, se muestra qué giros y desplazamientos se han restringido (en la leyenda):

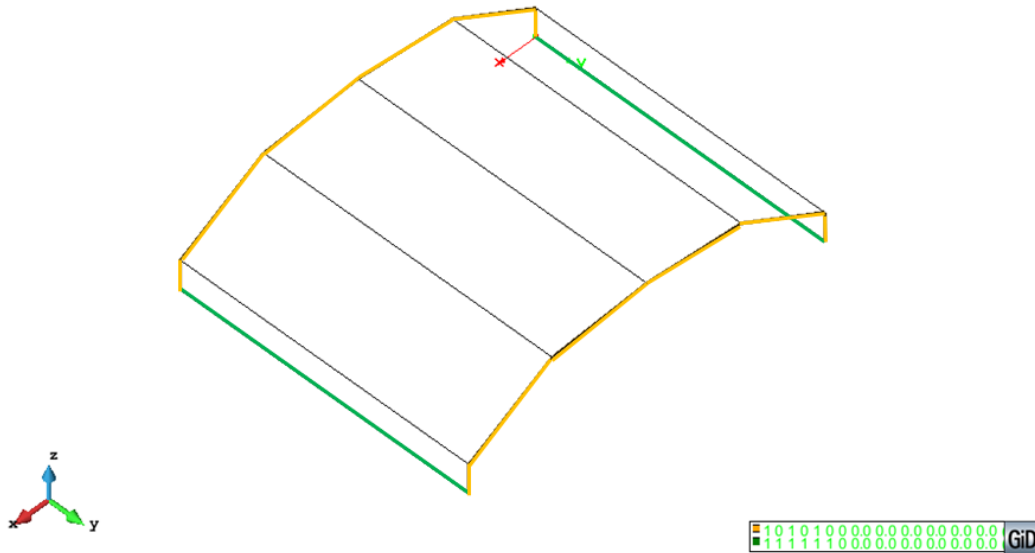


Figura 4: Restricciones consideradas

Entonces, para la base empotrada se han restringido todos los movimientos, y para la zona apoyada al diafragma, se han restringido el movimiento en X, en Z y el giro en Y.

Según el enunciado, las láminas son de acero. Se ha buscado qué características tiene el acero para láminas, y se han obtenido los siguientes datos:

$$E = 2 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$$

$$\nu = 0,26$$

$$\gamma = 78000 \text{ N/m}^3$$

Además, se ha utilizado un espesor de 0,50 metros en las láminas donde se apoya la estructura, y de 0,25 metros en el resto de láminas. En la figura siguiente se puede observar mejor esta diferencia de grosor:

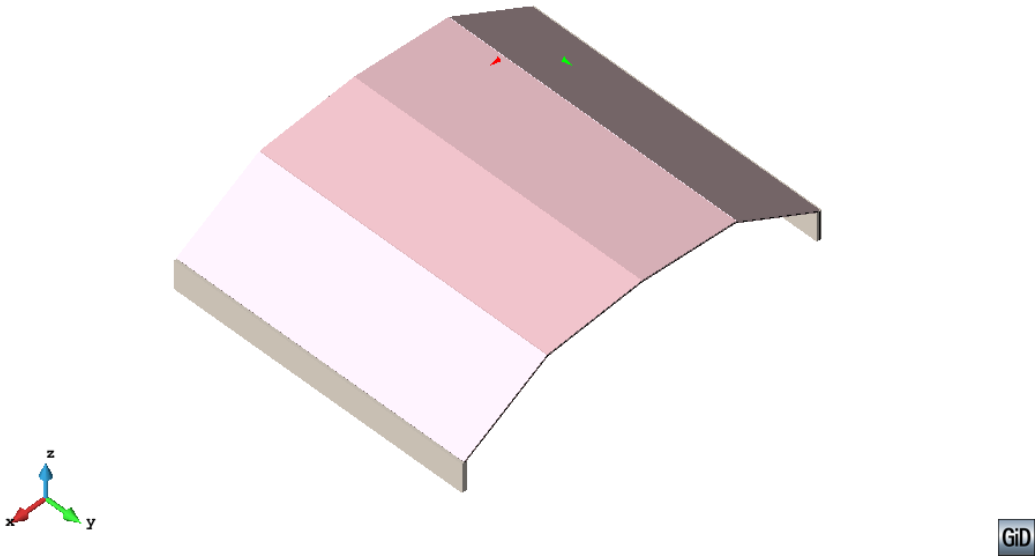


Figura 5: Espesores utilizados

Además, para empezar a calcular, se ha considerado la carga del peso propio de la estructura. En la Figura 6 se muestra cómo se ha asignado dicha carga.

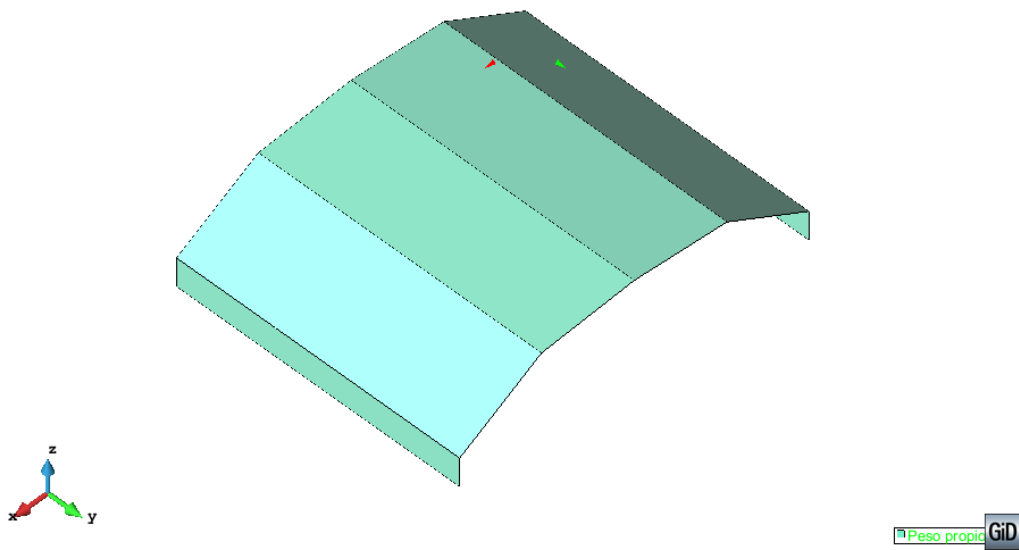


Figura 6: Carga considerada

Una vez introducidos todos los datos anteriormente mencionados, se procede a calcular, y se muestran los resultados obtenidos en el apartado siguiente.

### 3. Cálculos realizados y resultados obtenidos

#### 3.1. Estudio de convergencia

El primer paso será realizar un estudio de convergencia para saber qué malla utilizar para realizar todos los cálculos.

Se han medido el desplazamiento en z y la tensión de Von Mises Bottom en el punto central de la lámina superior. Más adelante se mostrará que en ese punto no existen concentraciones de tensiones, y por eso se ha elegido para la convergencia. Además, se ha hecho convergencia de Von Mises Bottom sólo porque, tal y como se demostrará más adelante, es la tensión de Von Mises que alcanza valores mayores.

Se han utilizado elementos cuadriláteros de cuatro nodos, dada a la geometría rectangular perfecta de la estructura. Se han elegido elementos lineales porque son los más sencillos, tienen un coste computacional pequeño y dan buenos resultados.

En la Figura 7 se muestra la malla utilizada:

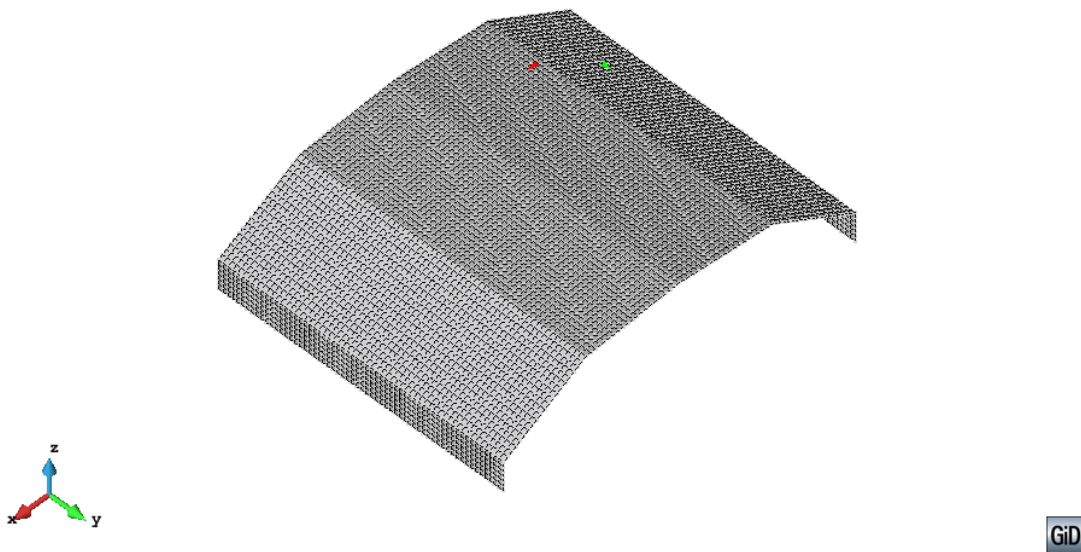


Figura 7: Malla utilizada de 0,5 metros

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos con dicha malla en el punto central de la lámina superior de la cubierta.

Tamaño malla	Nº nodos	Grados de libertad	Desplazamiento Z (m)	Von Mises Bottom (Pa)
4	117	351	-8,8029E-03	1,174E+07
2	400	1200	-9,6396E-03	6,900E+06
1	1457	4371	-9,8002E-03	4,450E+06
0,5	5673	17019	-9,8298E-03	4,749E+06
0,25	22143	66429	-9,8394E-03	5,023E+06

Tabla 1: Resultados obtenidos para el análisis de convergencia

Las gráficas de convergencia son las siguientes:

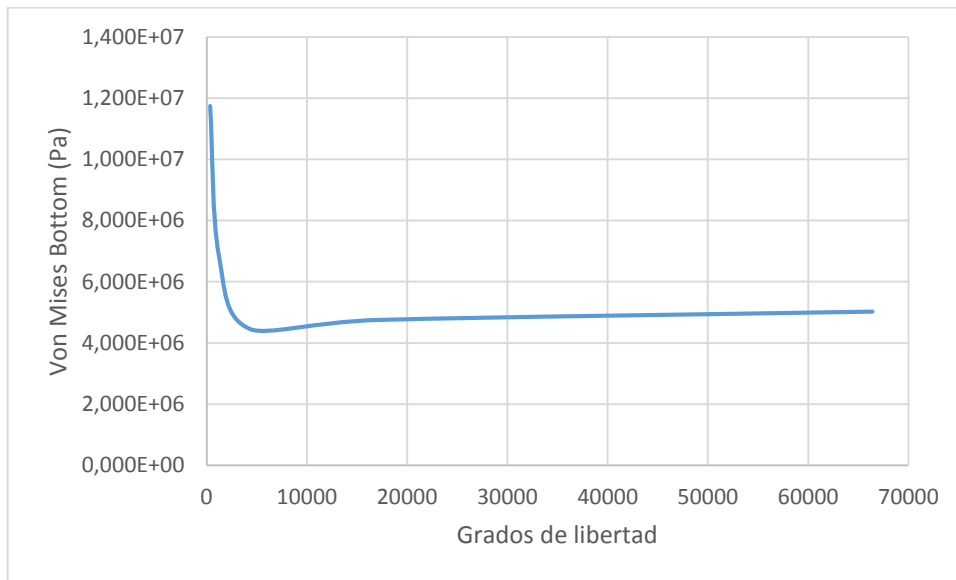


Figura 7: Gráfica de convergencia de la tensión de Von Mises Bottom

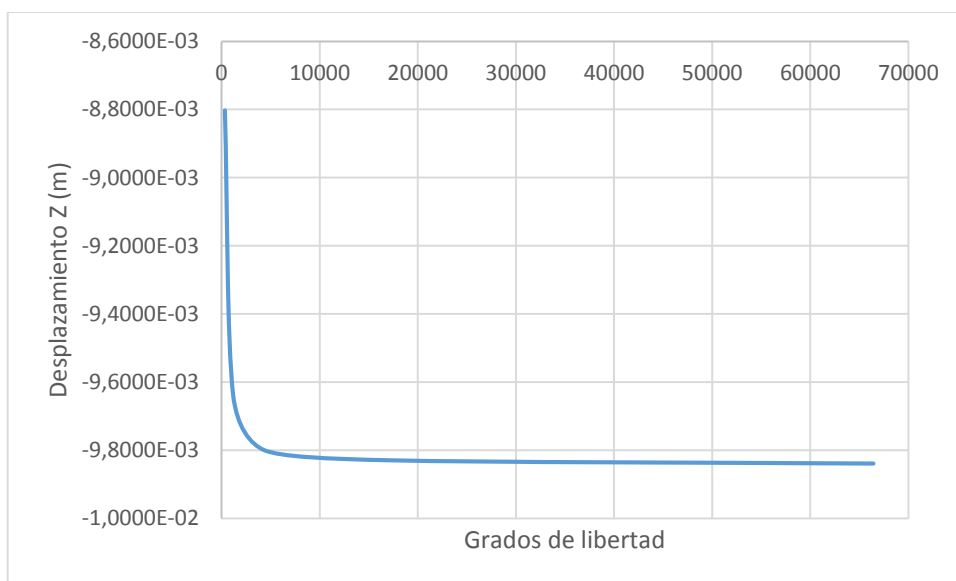


Figura 8: Gráfica de convergencia del desplazamiento en Z



Tal y como se puede observar, se llega a convergencia rápidamente a medida que se va refinando la malla. Se ha decidido utilizar la malla de 0,5 metros, ya que para esa medida ya ha convergido tanto para desplazamientos como para tensión de Von Mises.

A continuación, en la Figura 9, se muestra cómo se comporta la tensión de Von Mises Bottom con la malla de 0,5 metros utilizada:

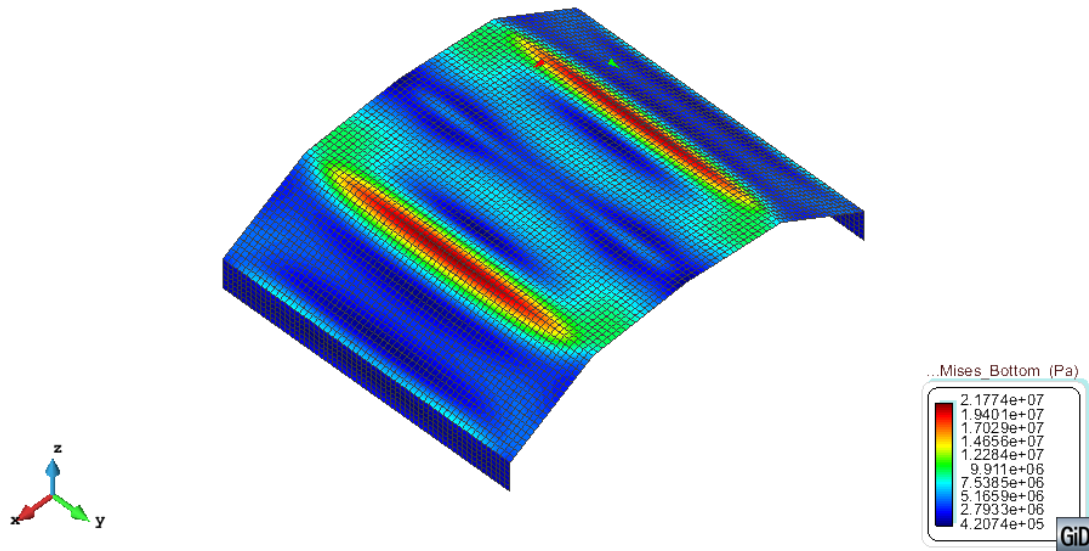


Figura 9: Distribución de las tensiones de Von Mises Bottom en la estructura

Se puede observar fácilmente que las mayores tensiones se encuentran en la segunda arista, las marcadas en rojo. Estas zonas son delicadas, ya que podría haber concentración de tensiones. Más adelante se descubrirá que no las hay.

### 3.2. Peso propio

El primer caso de estudio es para una única carga: el peso propio de la estructura. La carga se aplica a toda la estructura, tal y como se ha mostrado anteriormente en la Figura 6.

Para saber si en el caso del peso propio la estructura cumple con el máximo de 400 MPa que pide el enunciado se realizará un corte en la sección del centro para ver dónde se producen las tensiones de Von Mises máximas, y para descubrir su valor. Si ese valor no supera los 400 MPa, entonces la estructura con sólo el peso propio cumplirá.

A continuación, en la Figura 10, se muestra la distribución de tensiones Von Mises Bottom a lo largo de las aristas. En la Figura 11 se muestran dichas aristas.

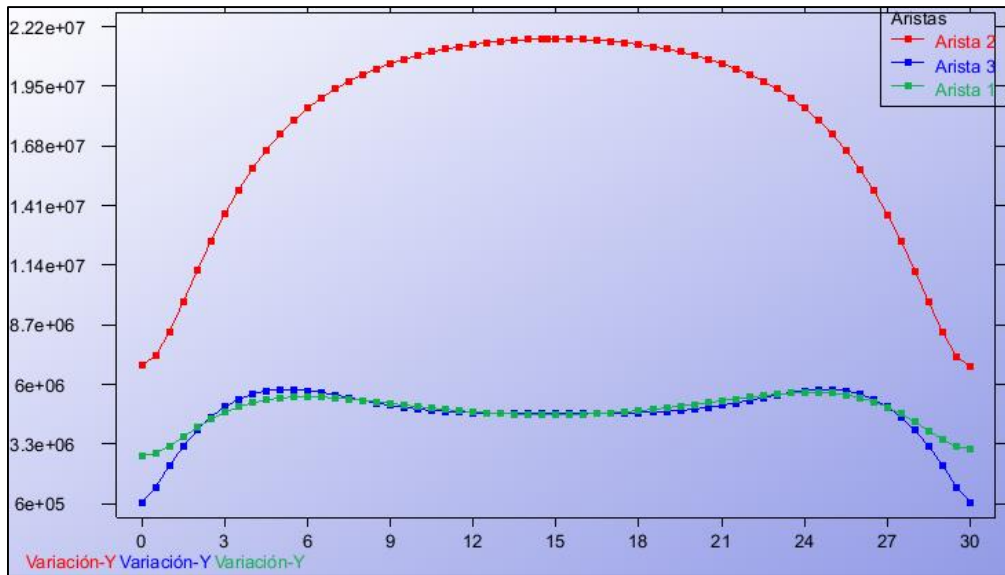


Figura 10: Distribución de las tensiones de Von Mises Bottom en las aristas de la estructura

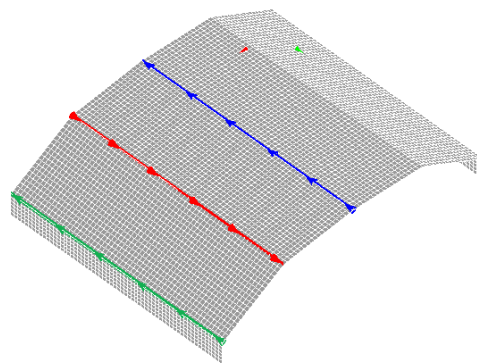


Figura 11: Aristas consideradas en la gráfica de la Figura 10

No se observan a simple vista concentración de tensiones en la Figura 10, ya que no se pueden observar anomalías. La conclusión a la que se llega a partir de ese gráfico es que las mayores tensiones ocurren en la arista 2 (en rojo), tal y como ya se había visto en la Figura 9 anteriormente.

En la Figura 12 se puede observar cómo evolucionan las tensiones de Von Mises a lo ancho de la estructura.

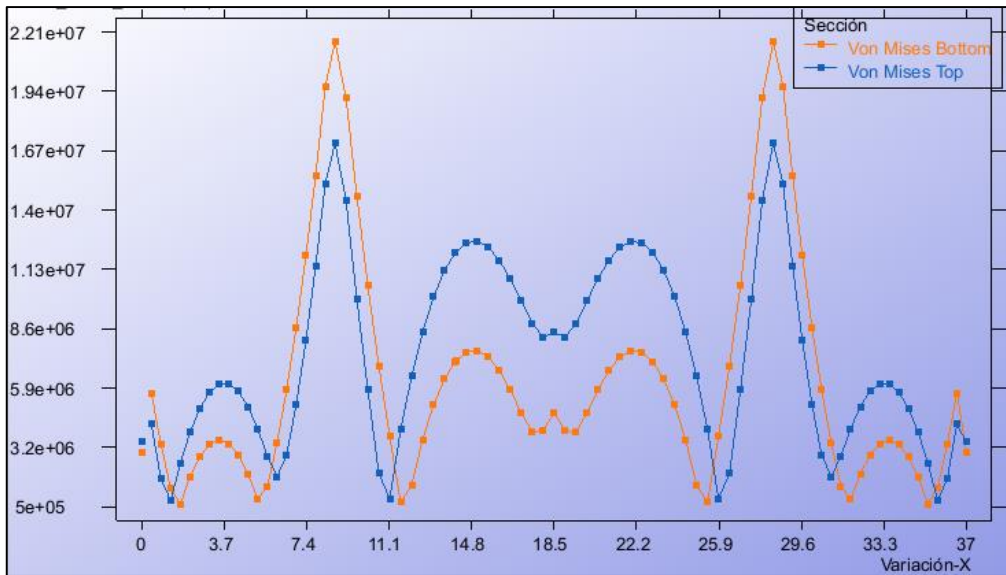


Figura 12: Distribución de las tensiones de Von Mises en la estructura

Aquí se demuestra lo que ya se había mencionado anteriormente: pese a que en algunos puntos la tensión de Von Mises Top es mayor que la de Von Mises Bottom, el valor mayor lo alcanza la tensión de Von Mises Bottom en la arista 2 (y en su equivalente al otro lado, dada la simetría de la estructura).

Entonces, los cálculos que se harán a partir de ahora se realizarán sólo con Von Mises Bottom, ya que así estaremos del lado de la seguridad, y se considerará la arista 2 como la más cargada.

La tensión máxima de Von Mises a la que se llega con el peso propio de la estructura es de  $2,16 \cdot 10^7$  Pa, es decir, de 21,6 MPa. Entonces, para el caso del peso propio, se cumple sobradamente con la tensión máxima que establecía el enunciado (400 MPa).

### 3.3. Peso propio + máxima carga uniforme

Para el caso de peso propio + máxima carga uniforme, se deberá probar con distintas cargas y hacer finalmente una interpolación para encontrar la carga máxima que la estructura puede soportar.

Para empezar la iteración se ha considerado una carga de 100 KPa. En la Figura 13 se puede observar cómo se ha añadido dicha carga repartida a la estructura.

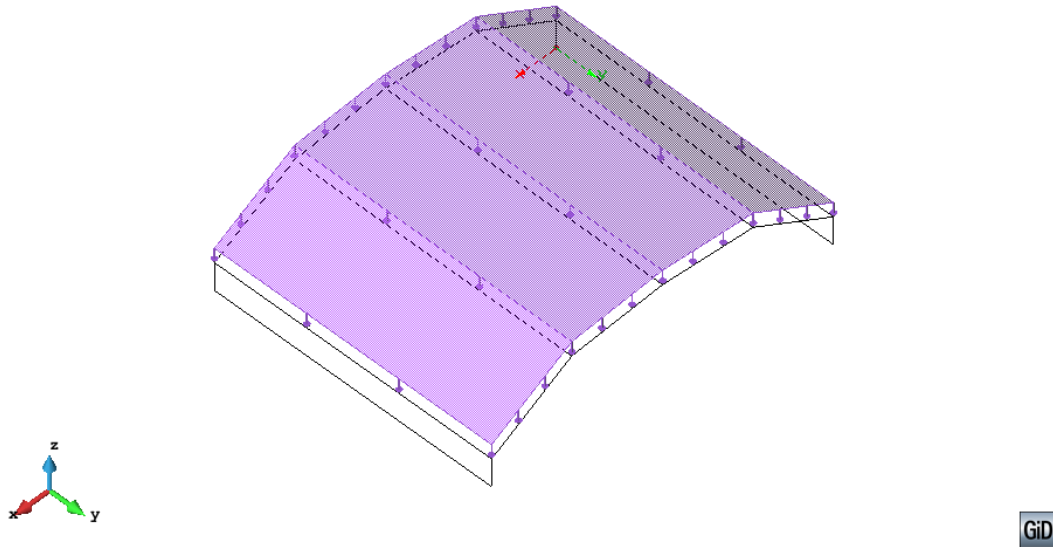


Figura 13: Carga repartida de 100 KPa considerada

A continuación, se ha procedido a mallar con el tamaño de malla de 0,5 metros que se ha considerado para el caso con sólo peso propio, y se ha calculado la tensión de Von Mises Bottom a lo largo de la sección transversal de la estructura.

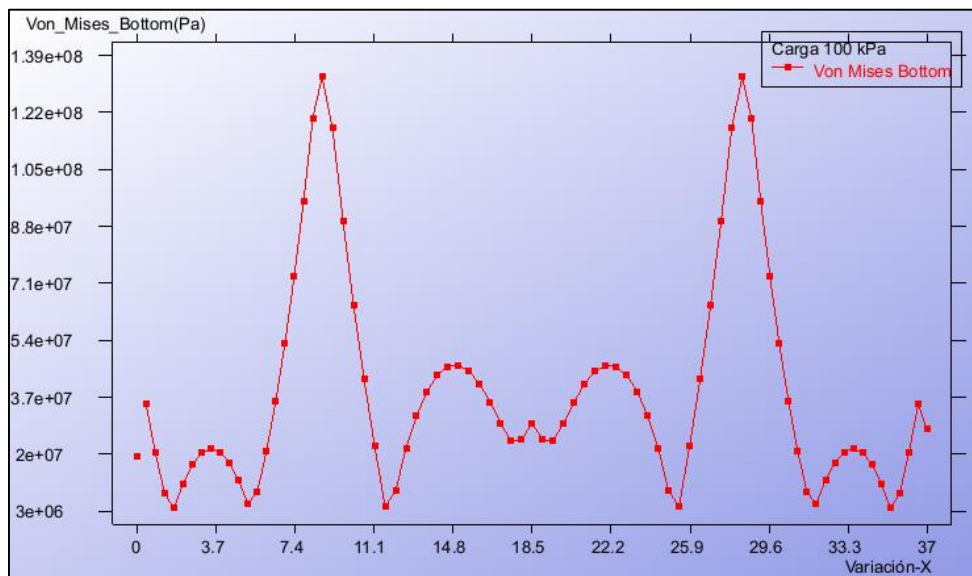


Figura 14: Von Mises Bottom para 100 kPa de carga repartida

Se puede observar que, de nuevo y como cabía esperar, la arista 2 vuelve a ser donde las tensiones de Von Mises son mayores.

En este caso, el valor de la tensión de Von Mises Bottom es de  $1,38 \cdot 10^8$  Pa, es decir, 138 MPa. Aún dista mucho del máximo dado por el enunciado.

A continuación se procede a hacer exactamente lo mismo pero con una carga de 400 kPa. Los resultados obtenidos son los siguientes:

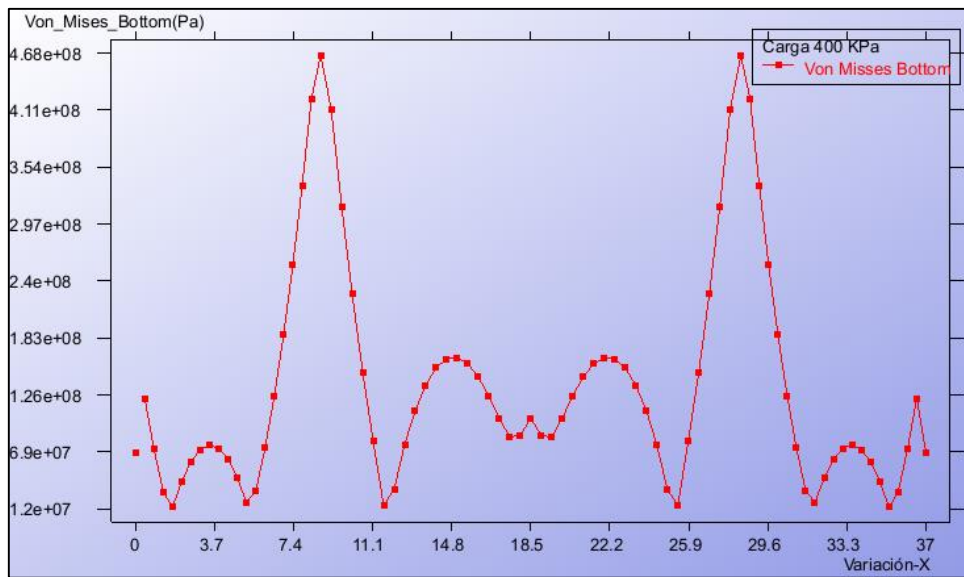


Figura 15: Von Mises Bottom para 400 kPa de carga repartida

La carga máxima obtenida es de  $4,65 \cdot 10^8$  Pa, es decir, 465 MPa. La carga de 400 kPa aplicada, por lo tanto, sobrepasa el límite de Von Mises que pedía el enunciado.

Entonces, para obtener la carga máxima que se puede aplicar a la cubierta sin sobrepasar los 400 MPa de Von Mises se calcula de la siguiente forma, interpolando:

$$\frac{(100 - 400)}{(138 - 468)} \cdot (400 - 468) + 400 = \mathbf{338,2 \text{ KPa}}$$

Para comprobar si la carga obtenida mediante interpolación es la máxima, se ha realizado el mismo procedimiento que las dos veces anteriores, pero con la carga de 338,2 kPa.

Una vez se ha introducido la carga, se ha mallado y se ha vuelto a calcular, se han obtenido los resultados que se muestran en la Figura 16.

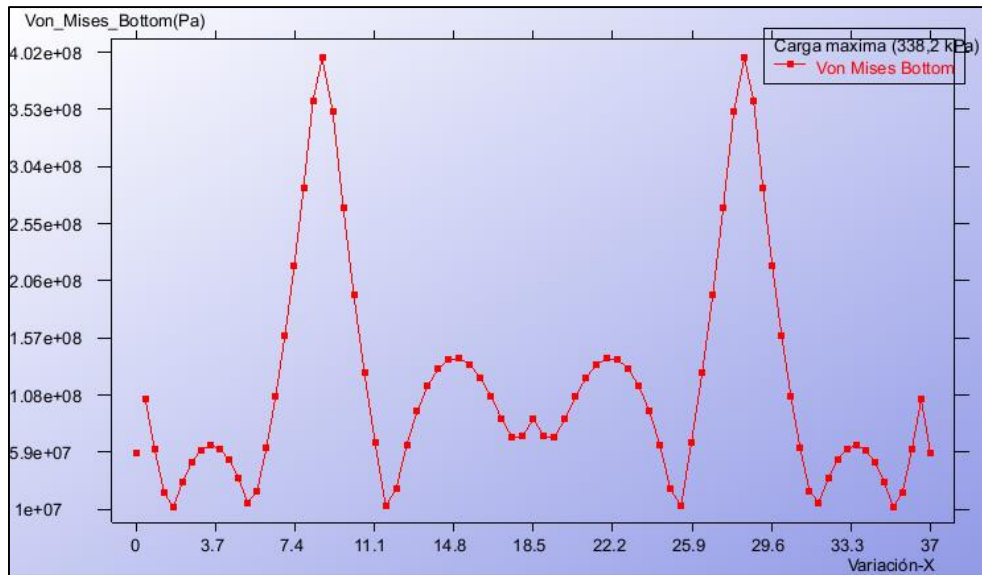


Figura 16: Von Mises Bottom la carga máxima de 338,2 KPa

Tal y como se puede observar en la Figura 16, con la tensión obtenida mediante interpolación se obtiene un máximo de 397 MPa, un valor que se encuentra casi en el límite establecido.

Por lo tanto, aunque se podría cargar un poco más, se puede considerar que la carga máxima que se puede aplicar a la cubierta es de, aproximadamente, 338 KPa.

## 4. Conclusiones

Para concluir, se podría decir que para el caso de sólo peso propio, la cubierta cumple con las restricciones que pedía el enunciado sin problemas, ya que el resultado obtenido de la tensión de Von Mises distaba mucho del valor máximo de 400 MPa.

Para el caso de peso propio + carga máxima repartida, se ha obtenido un resultado mediante interpolación, el cual cumple con las restricciones que pedía el enunciado.

Entonces, se concluye que el resultado de 338 kPa obtenido es coherente, ya que al realizar la comprobación se ha obtenido una carga de Von Mises Bottom de 397 MPa, la cual se acerca mucho a los 400 MPa máximos. Además, al escoger una carga que crea una presión de Von Mises un poco menor al límite, estamos del lado de la seguridad.