Ingeniería de estructuras

TRABAJO DE CURSO

L28: CÁLCULO DE LA CARGA MÁXIMA DE UNA CUBIERTA

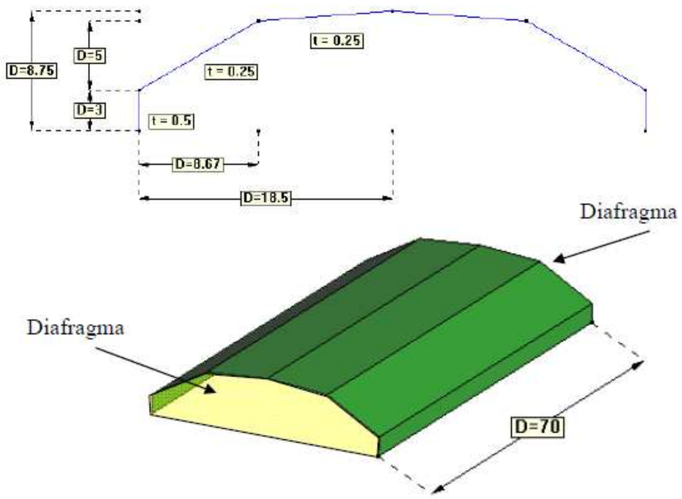
Guillermo Bozzo Fernández

47966310-V

Contenido

1. Introducción

El objetivo de este ejercicio es calcular la carga vertical uniformemente repartida máxima que es capaz de soportar la siguiente cubierta formada por láminas planas de acero dada por el enunciado, junto con las posteriores restricciones a verificar:



NOTA: Un diafragma solo permite giros y desplazamientos normales a su plano

Restricciones y casos de carga a tener en cuenta:

1) La tensión de Von Mises en cualquier punto de la chapa no debe superar los 400 MPa
2) Tomar los valores de E y v de un acero estándar.
3) Base empotrada en el terreno
4) Los extremos de la cubierta se encuentran asentados sobre un diafragma.
5) La longitud de la cubierta es de 70 m

Cargas actuantes:

a) Peso propio

b) Peso propio + máxima carga uniforme.

Ya que los espesores son mucho más pequeños en comparación con las otras dos dimensiones de las láminas de acero se ha decidido utilizar la teoría de láminas planas. Además, se puede observar que por la posición de las láminas aparezcan esfuerzos de membrana, inhabilitando así el uso de la teoría de placas ya que esta no permite el estudio de estos esfuerzos. Cabe destacar que, al igual que a lo largo de las prácticas del curso, este ejercicio se ha resuelto con el software GiD y se han realizado los cálculos mediante el RamSeries.

2. Pre-proceso

Introducción de la geometría y condiciones de contorno

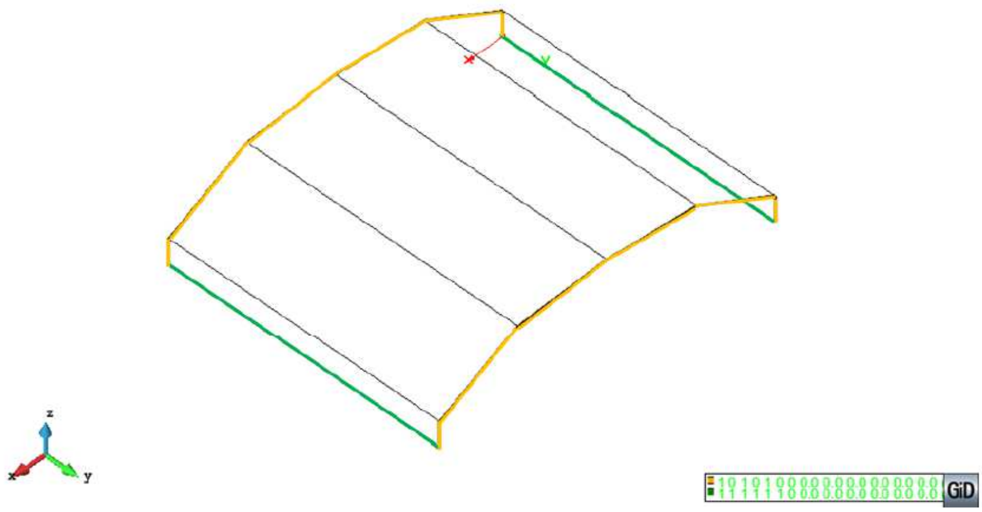
Siguiendo las directrices del enunciado se ha dibujado el modelo de la cubierta. Empotrando la base de la cubierta y modelando dos diafragmas en los extremos de la cubierta que, tal y como explica el enunciado, significa que solamente se permite el giro y el desplazamiento en el eje longitudinal. Además, dado que el enunciado da libertad para escoger el tipo de acero, las características que se han tomado son las siguientes:

$$E=2x10^{11}N/m^2$$

$$v=0.26$$

$$\Upsilon=78000N/m^3$$

Una vez definida toda la geometría y condiciones de contorno, el modelo ha quedado de la siguiente forma:



Cabe destacar que, tal y como se pide en el enunciado las láminas verticales tienen un espesor de 0.5m mientras que el resto de láminas tienen un espesor de 0.25m.

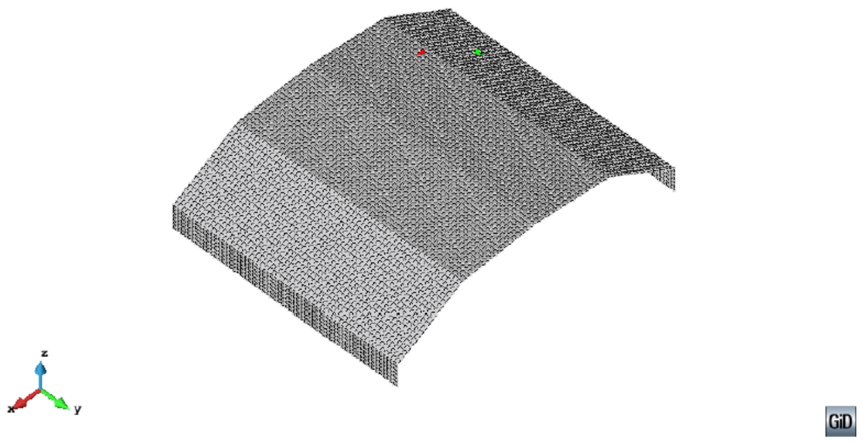
3. Post-proceso

3.1. Análisis de convergencia

Tal y como se ha llevado a cabo a lo largo de todas las prácticas del curso, el primer paso para analizar cualquier modelo es la definición de su mallado pertinente gracias a un análisis de convergencia.

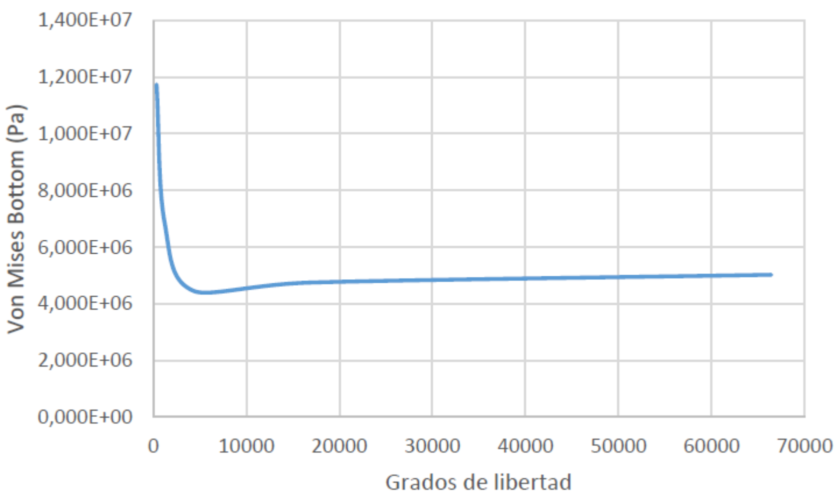
Para ello se ha medido el desplazamiento en Z y la tensión de Von Mises en el punto central de la lámina superior ya que, tal y como se mostrará posteriormente, en ese punto no existen concentraciones de tensiones. Además, cabe destacar que solamente se ha realizado la convergencia de Von Mises Bottom ya que es la que alcanza los valores más grandes.

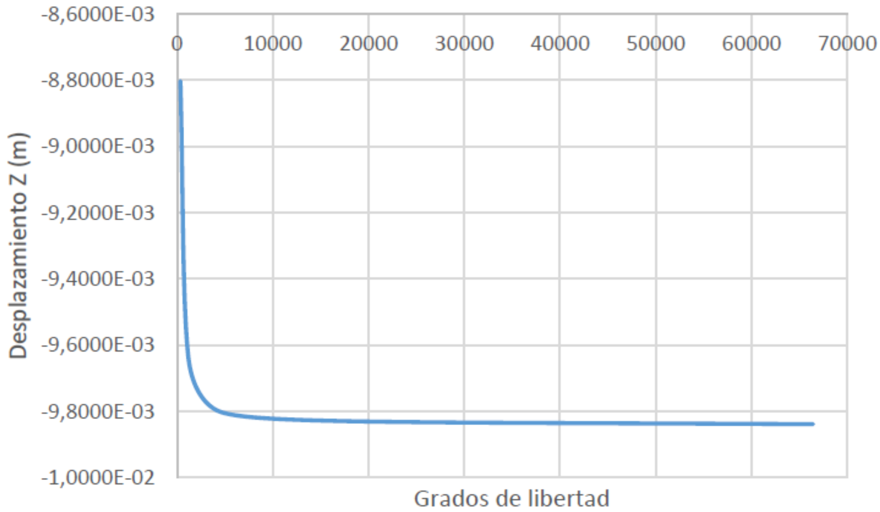
El mallado se ha realizado mediante elementos cuadriláteros de cuatro nodos dado que la geometría es rectangular y estos elementos se adaptan perfectamente a ella. Además, se han elegido elementos lineales ya que son los más sencillos, tienen un coste computacional bajo y dan buenos resultados. La siguiente imagen muestra el modelo ya discretizdo con este mallado:



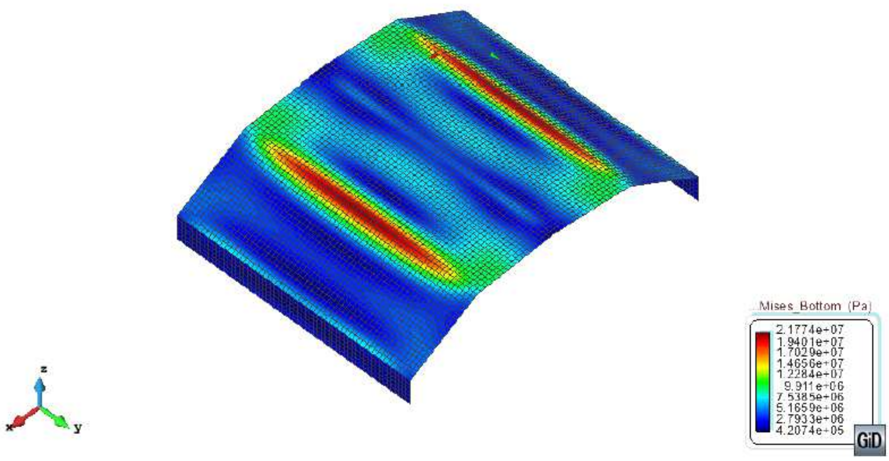
La siguiente tabla muestra los resultados del análisis de convergencia para el punto central de la lámina superior de la cubierta:

Tamaño	GL	Desplz. Z (mm)	Von Mises Bottom (Pa)
4	351	-8.8029	1.174E+07
2	1200	-9.6396	6.9E+06
1	4371	-9.8002	4.45E+06
0.5	17019	-9.8298	4.749E+06
0.25	66429	-9.8394	5.023E+06





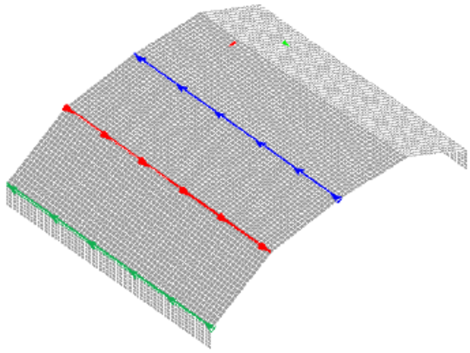
Se puede observar con facilidad que tanto el desplazamiento como la tensión de Von Mises convergen rápidamente a partir de un tamaño de malla de 1m. Aún así, dado que este es un ejercicio académico y buscamos la máxima precisión en el resultado se ha decidió tomar un tamaño de malla de 0.5m. A continuación se muestra cómo se comporta la tensión de Von Mises Bottom para este tamaño de malla.

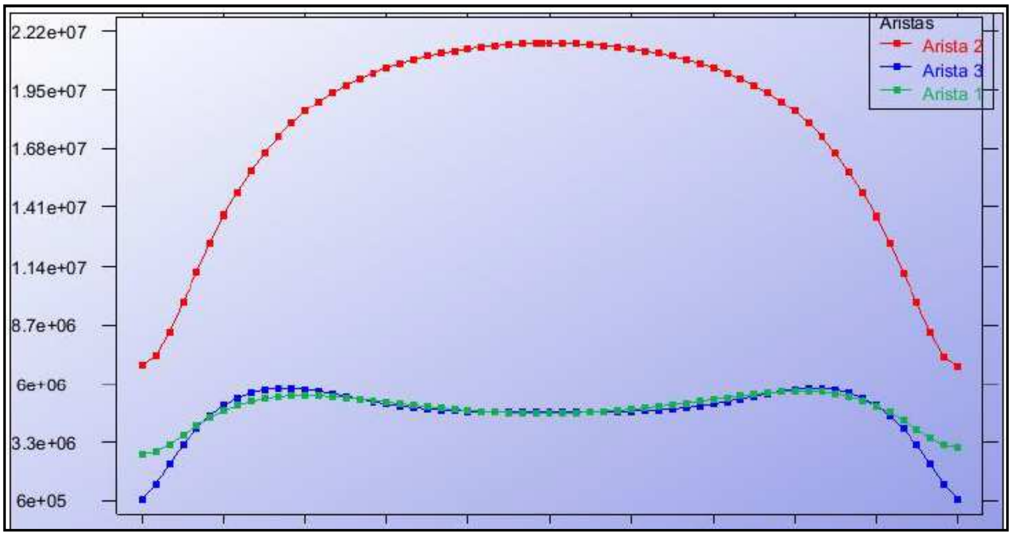


Se puede observar con facilidad que las máximas tensiones se hallan en la segunda arista, mrcadas en rojo. Estas zonas, debido a a la falta de suavidad en el cambio de planos, son delicadas a tratar ya que podría tratarse de fenómenos locales de concentración de tensiones. Posteriormente se va a ver que no las hay.

3.2. Primer caso de carga: Peso propio

En este caso de carga solamente se considera la acción del peso propio y, obviamente, este actúa uniformemente sobre toda la estructura. Para verificar que este caso de carga cumple con la restricción de no superar los 400MPa de tensión de Von Mises se realiza un corte en la sección central para así, encontrar la zona dónde se concentran las tensiones máximas. Si ese valor no supera los 400MPa quedará demostrado que la estructura cumple con la restricción impuesta. Las siguientes imágenes muestran la distribución de tensiones de Von Mises Bottom a lo largo de las aristas:



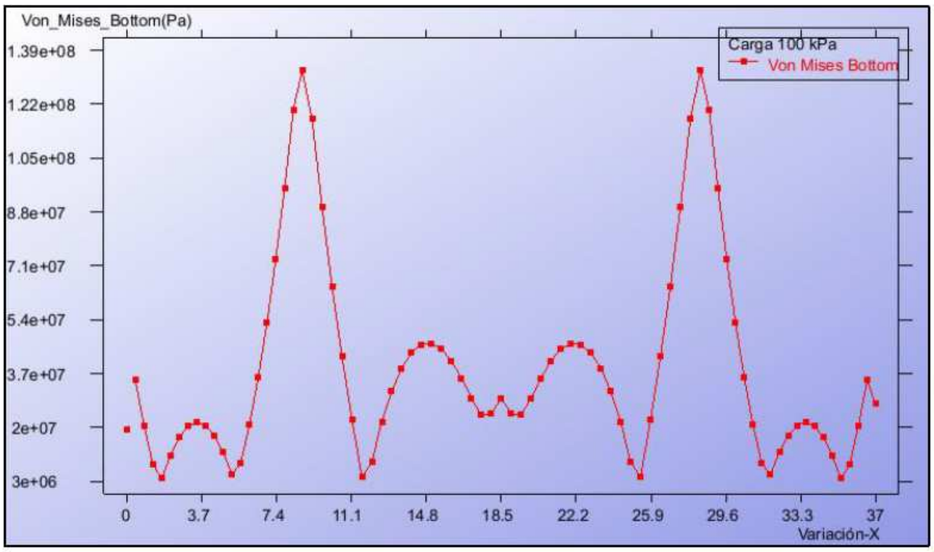


Tal y como se ve, en la arista 2 ocurren las máximas tensiones, confirmando así los resultados obtenidos en el apartado anterior. Esta tensión máxima tiene un valor de casi $22x10^7$Pa, es decir, 22MPa. Entonces, para el caso del peso propio se puede confirmar que la tensión máxima es inferior a la restricción del enunciado de 400MPa.

3.3. Segundo caso de carga: Peso propio + carga máxima

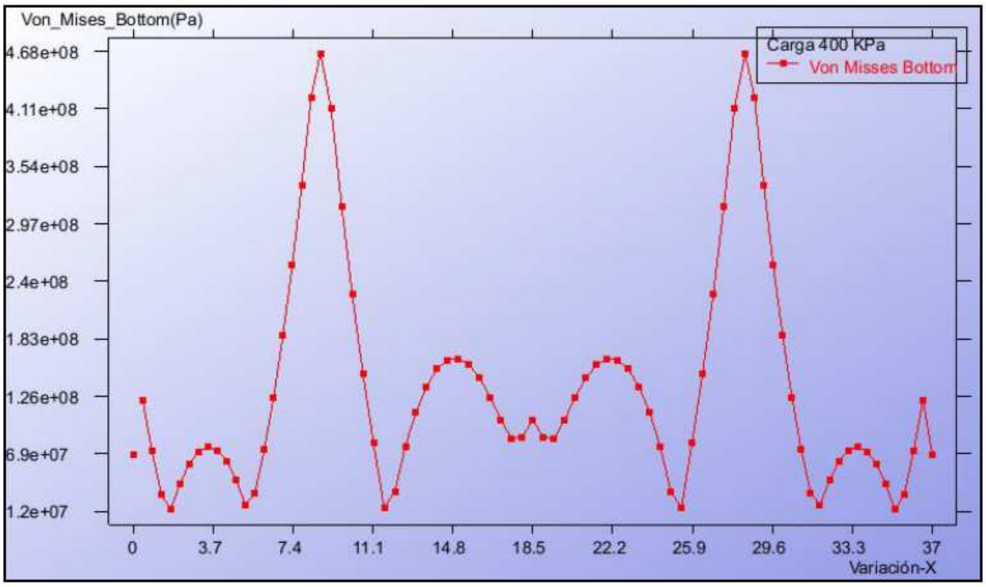
En este segundo caso de carga el objetivo es buscar la carga máxima que soporta la cubierta sin sobrepasar la restricción del enunciado de 400MPa de máxima tensión de Von Mises. Para llevarlo a cabo se han probado distintas cargas para, posteriormente, mediante una interpolación lineal, hallar la carga máxima que cumple con la restricción.

En primer lugar se ha considerado una carga uniformemente repartida de 100kPa. La siguiente imagen muestra las tensiones de Von Mises Bottom de una sección transversal de la estructura:



Ya que lo único que se ha hecho respecto al primer caso de carga es aumentar la carga distribuida, la arista 2 sigue siendo la que presenta las tensiones máximas. En este caso de carga podemos ver que la máxima tensión es de casi $1.39x10^8$Pa, es decir, 139 MPa. Por lo tanto, los 100kPa son una carga inferior a la carga máxima que buscamos ya que los 139MPa son inferiores a los 400MPa.

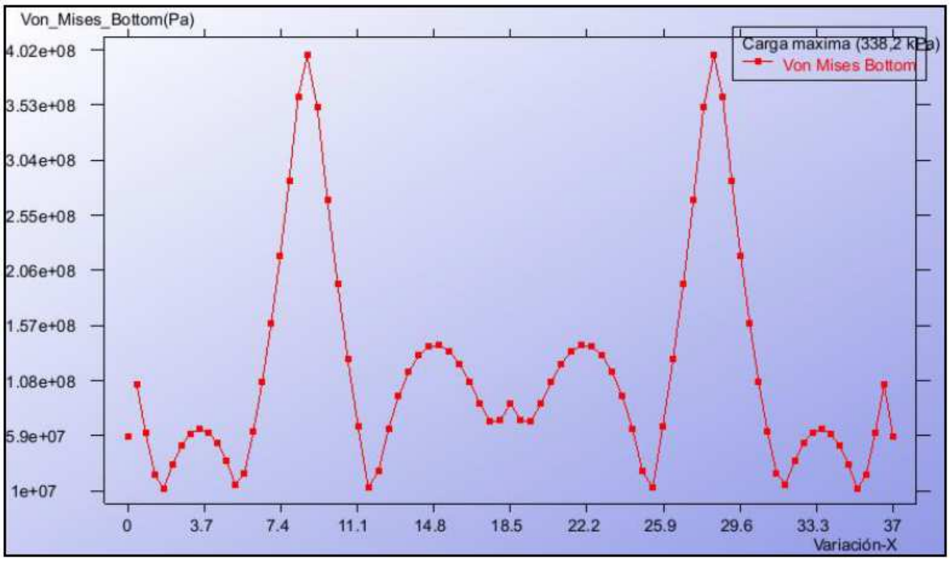
En segundo lugar, se ha aumentado dicha carga distribuida a 400kPa obteniendo los siguientes resultados:



En este caso podemos ver que la tensión obtenida es de casi 468MPa. Por lo tanto, sabiendo que el aumento de tensiones respecto a la carga sigue una distribución lineal, mediante la siguiente ecuación podemos encontrar el valor de carga que nos dará la tensión máxima:

$$\frac{(100-400)}{(139-468)} * (400-468) + 400 = 338kPa$$

Finalmente, se ha comprobado que la sobrecarga de 338kPa sea la que de las tensiones máximas admisibles para dicho problema. Siguiendo el mismo procedimiento de introducción de carga, mallada y cálculo, se han obtenido los siguientes resultados:



Tal y como se puede ver en el gráfico anterior la tensión máxima obtenida es la de 400MPa que requería el enunciado y, por lo tanto, queda demostrado que la sobrecarga máxima que la cubierta puede soportar sin superar los 400MPa de tensión de Von Mises es la de 338kPa.

4. Conclusiones

Por un lado, se ha podido comprobar que, para el primer caso de carga, es decir, en el que solamente se tiene en cuenta el peso propio, la estructura no excede las restricciones del enunciado. Obteniendo unas tensiones de Von Mises muy inferiores al límite prefijado de 400MPa.

Por otro lado, dado que el caso de carga que únicamente consideraba el peso propio no excedía los 400MPa, se ha podido calcular un nuevo caso de carga, añadiéndole al peso propio una sobrecarga con tal de llegar a conocer cuál es la carga máxima a la que se puede someter la cubierta sin sobrepasar los 400MPa.

Finalmente comentar que, la sobrecarga de 338kPa es un valor muy grande para una cubierta de laminas de acero y esto se debe al gran espesor de las láminas, tanto los 0.5m de las verticales cómo los 0.25m de las demás láminas dándole así una gran resistencia a la cubierta.

Referencias

- Cálculo de estructuras por el método de elementos finitos. Eugenio Oñate. CIMNE, Barcelona 2016
- GiD reference manual (Online Version). "https://www.gidhome.com/documents/referencemanual/Tabla%20de%20Contenidos"