

TRABAJO DE CURSO 1

DP-03

Ingeniería de Estructuras

Jordi Durán García

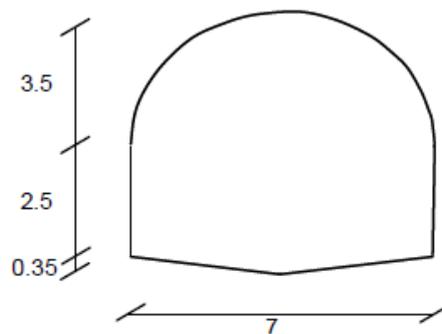
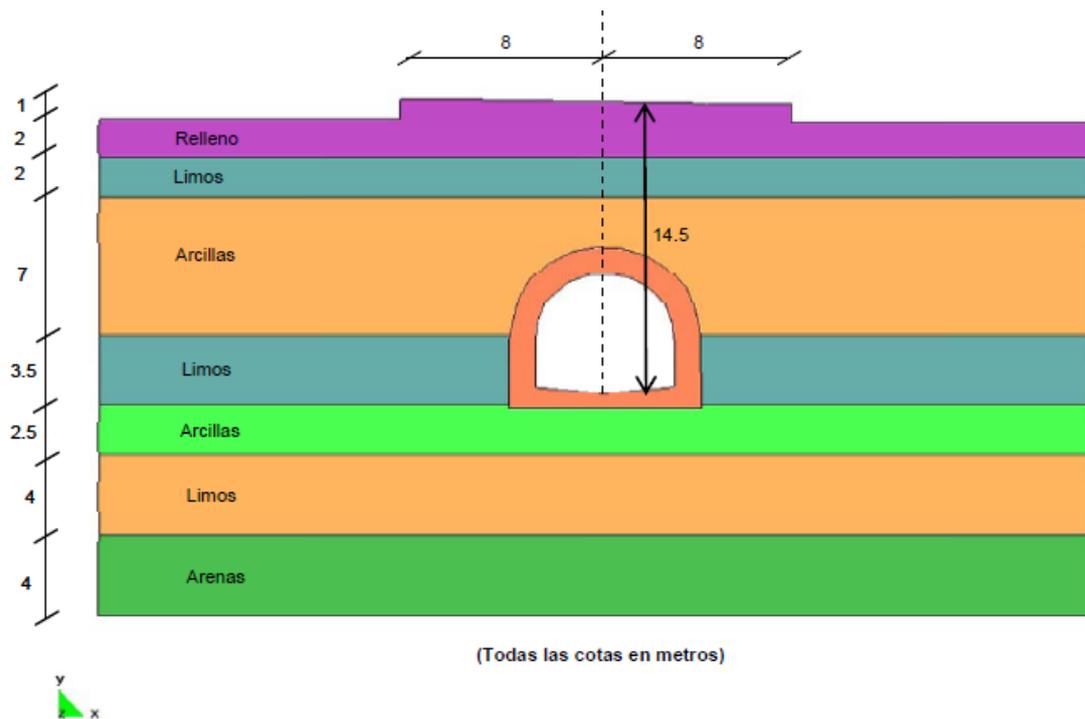
DNI: 47956145-H

05/06/2015

En este trabajo se nos pide dimensionar el espesor del refuerzo de hormigón del túnel para limitar los asentamientos en superficie por culpa del túnel a 1 cm.

El espesor de refuerzo debe ser mayor de 8 cm y las tensiones máximas a compresión/tracción no deben superar los 30/25 MPa.

La geometría dada es la siguiente:



Los datos mecánicos del problema son:

- Relleno: $E = 5 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$; $\nu = 0.2$; $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
- Arcillas: $E = 5 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2$; $\nu = 0.2$; $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Limos: $E = 4.5 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2$; $\nu = 0.25$; $\gamma = 20.5 \text{ kN/m}^3$
- Arenas: $E = 4 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2$; $\nu = 0.3$; $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Hormigón: $E = 2 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$; $\nu = 0.2$; $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$

El problema se ha calculado con la teoría de deformación plana. Ésta se puede aplicar porque el túnel presenta una gran longitud (en dirección del túnel) de sección, teniendo siempre la misma geometría y el mismo espesor de hormigón. Considerando el origen de coordenadas en la simetría del túnel, se ha alargado el terreno 50 m para así poder disipar bien los asientos impuestos por la creación del túnel. Para considerar estos desplazamientos, se han calculado primero los asientos en la cota más alta (por donde se supone que pasa una carretera) sin el túnel, y a continuación los que habría con la existencia del túnel. Se ha considerado la diferencia entre ellos los asientos generados por dicho túnel.

En nuestro caso, se ha escogido los límites de terreno de 50 m para que las condiciones de contorno no influyeran en el resultado. Pero al tener como capa superficial un relleno, ésta no disipará las deformaciones sino que se mantendrán en todo su ancho. Por lo tanto, si hubiera escogido un límite de 100 m, hubiera dado el mismo resultado. Se escoge el de 50 m ya que así el coste computacional es menor y aseguramos también una distancia de seguridad.

Deformación plana

Se ha utilizado un elemento triangular de tres nodos para realizar los cálculos. Escogemos forma triangular debido a la presencia de geometrías circulares (el túnel), ya que este elemento se adapta a ellas mucho mejor que los cuadriláteros. Estos últimos no funcionan bien en geometrías no rectangulares.

La elección de un elemento de interpolación lineal (3 nodos) en lugar de uno cuadrático (6 nodos) se debe a su menor coste computacional y por lo tanto la posibilidad de realizar mallas mucho más finas.

Para calcular el asiento producido sin la existencia del túnel, realizaremos una convergencia de malla. En cambio, para calcular los asentamientos con túnel, utilizaremos una malla para el terreno y otra malla distinta más fina para el recubrimiento de hormigón, ya que tendremos elementos de tamaño muy pequeño.

A continuación se procede a dibujar la geometría del terreno. Es importante destacar que aplicando las condiciones de contorno necesarias, se puede dibujar la geometría con simetría.



Figura 1. Geometría

Una vez dibujada, se procede a la asignación de las condiciones de contorno. Las restricciones son asignadas sobre líneas y se componen por la imposibilidad de desplazamiento vertical en las fronteras verticales, ya que se suponen que el suelo allí existente lo impide, y lo mismo para el límite horizontal donde está impedido el desplazamiento vertical.



Figura 2. Condiciones de Contorno

Luego, asignamos los materiales de nuestro terreno. Cada capa se compondrá de su respectivo material.

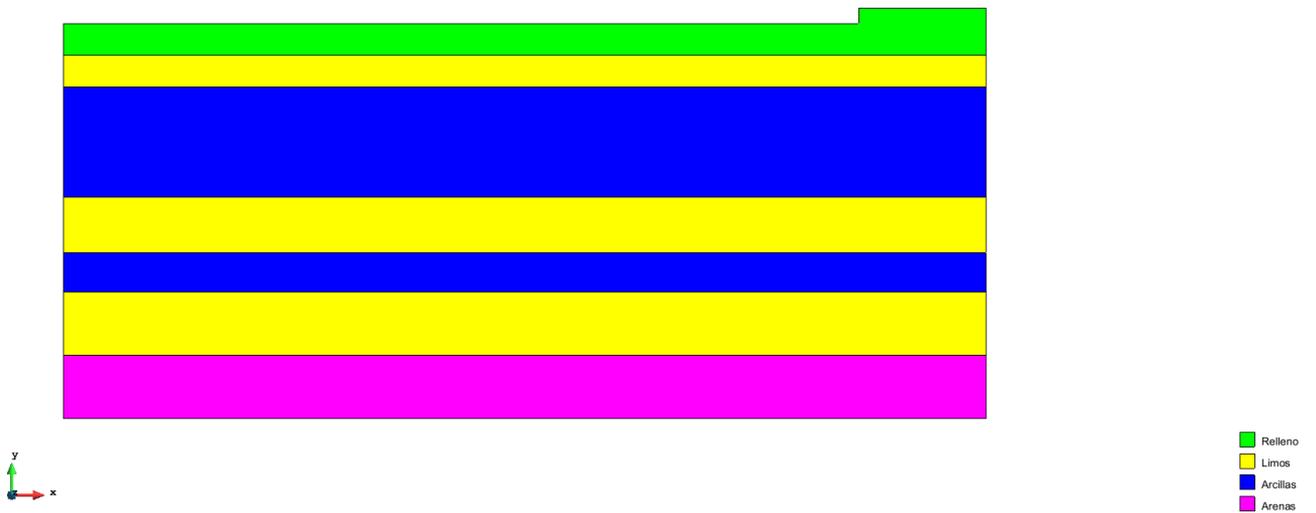


Figura 3. Materiales sin túnel

A continuación veremos la convergencia de la malla utilizada para obtener los asientos sin la existencia del túnel:

Tamaño (m)	Nodos	GdL	Desplaz. Y (m)
5	136	272	0,13461
3	187	374	0,13498
1	1640	3280	0,13438
0,5	6610	13220	0,13408
0,35	13407	26814	0,13407

Tabla 1. Valores asentamientos sin túnel

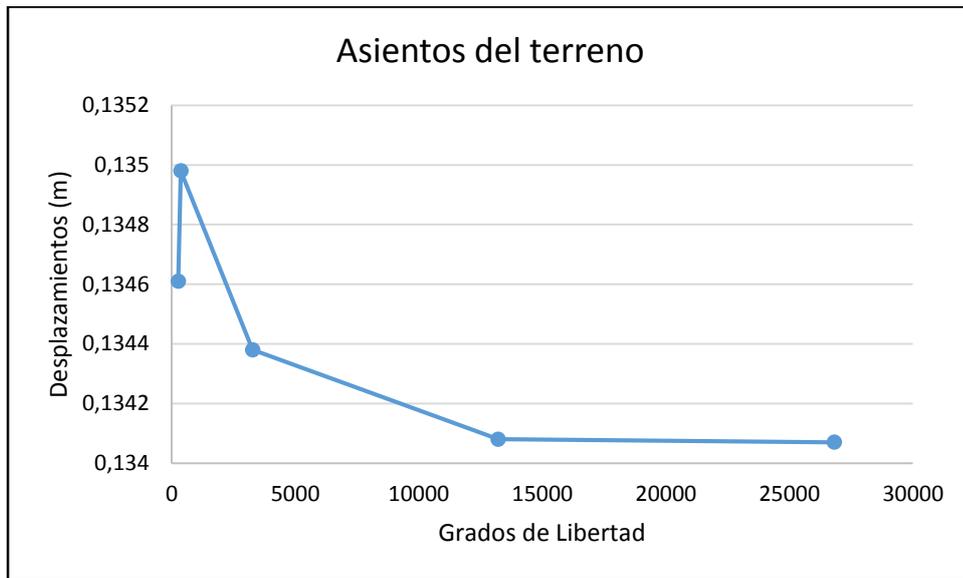


Figura 4. Convergencia malla sin túnel

Observamos como a partir de la malla de 0.5 m el asiento es muy similar, por lo tanto, cogeremos como valor de referencia 0.13407 m de asentamiento para el caso de que no haya túnel.

En la siguiente figura observamos cómo se deforma el terreno:

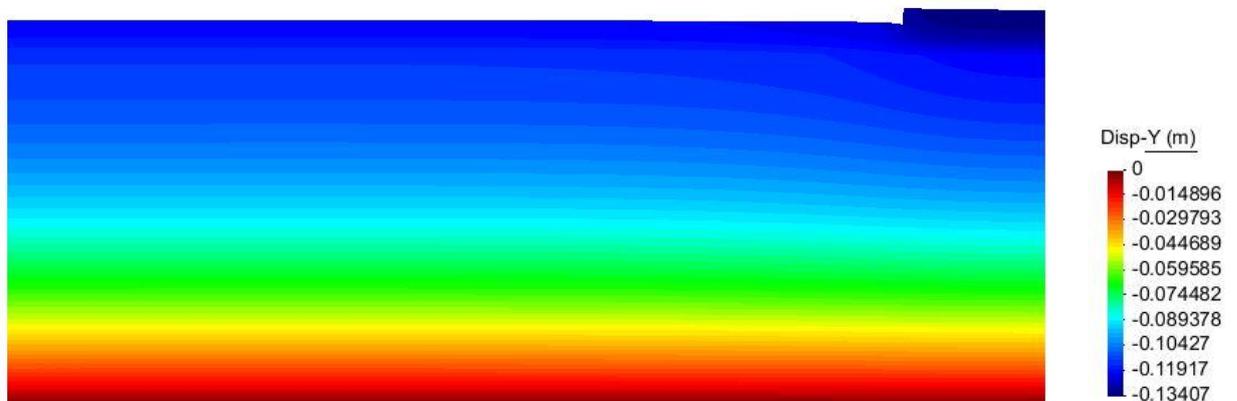


Figura 5. Deformación terreno

Una vez tenemos el asentamiento máximo sin el túnel, pasamos al cálculo del asentamiento máximo con túnel. El enunciado indica que el espesor mínimo de hormigón debe ser de 8 cm, por lo tanto haremos una primera prueba con este espesor para tener un primer tanteo de los asentamientos y esfuerzos.

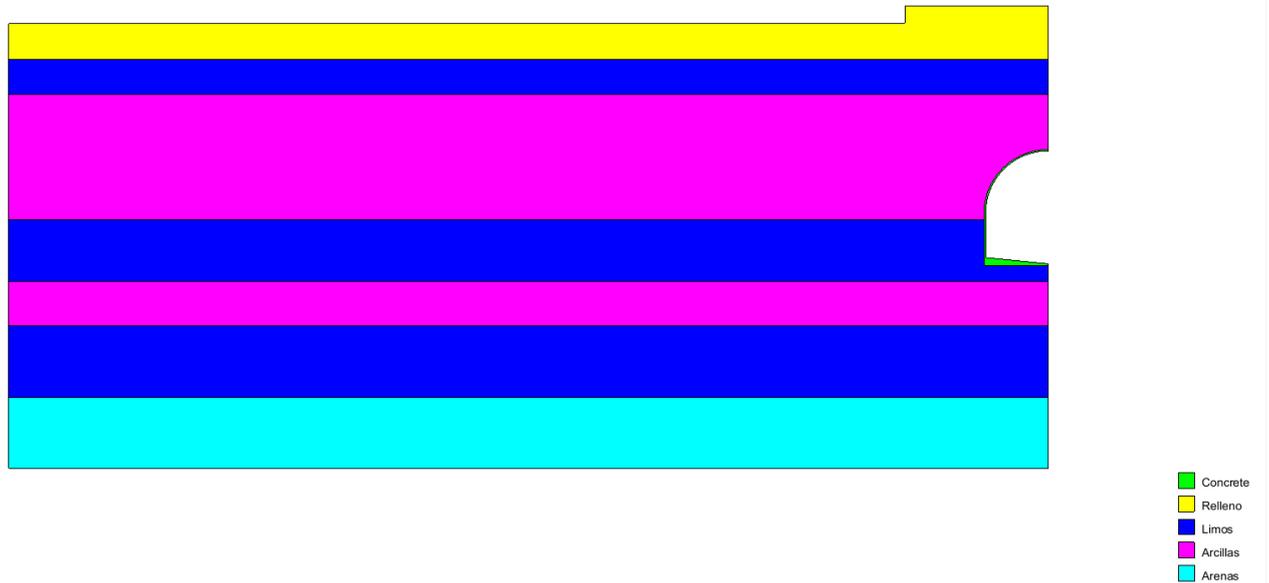


Figura 6. Materiales con túnel

A la hora de realizar la malla, los espesores de terreno tienen la malla que hemos obtenido anteriormente (0.5 m), y el espesor del hormigón se ha procedido a ponerle una malla no estructurada de tamaño 0.05 m. Se realiza esta configuración porque necesitamos una precisión mayor en el refuerzo de hormigón del túnel que en el resto del terreno. En la siguiente figura podemos ver este tipo de mallado:

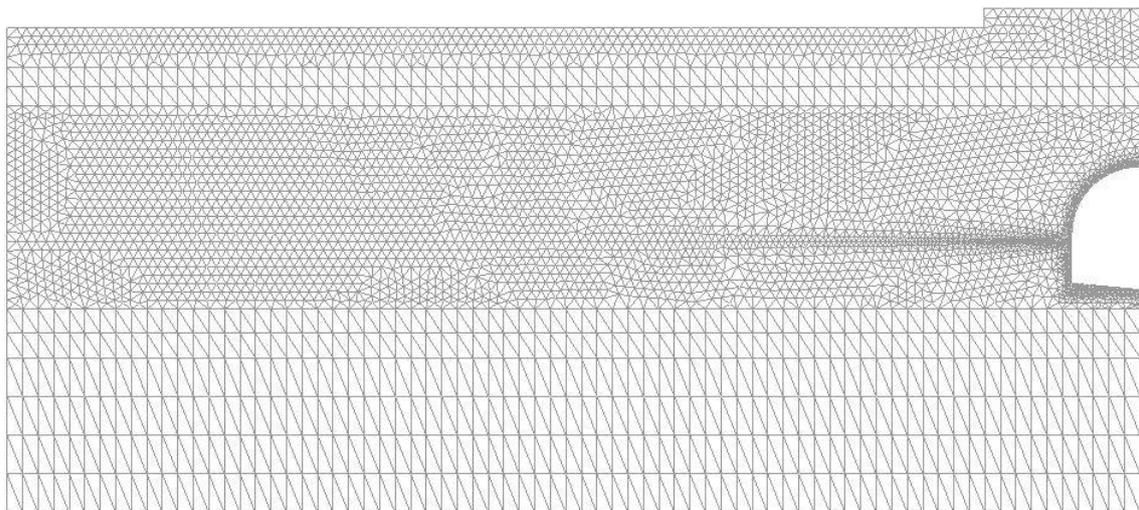


Figura 7. Malla con túnel

Después de realizar el cálculo hemos obtenido un asentamiento menor que en el terreno sin túnel. Esto puede ser debido a que el refuerzo de hormigón introducido haga que los asentamientos sean menores en la superficie. La diferencia entre asentamientos es de 9.64 mm (menor que 1 cm), por lo tanto, nuestro factor delimitador serán las tensiones producidas en el refuerzo de hormigón.

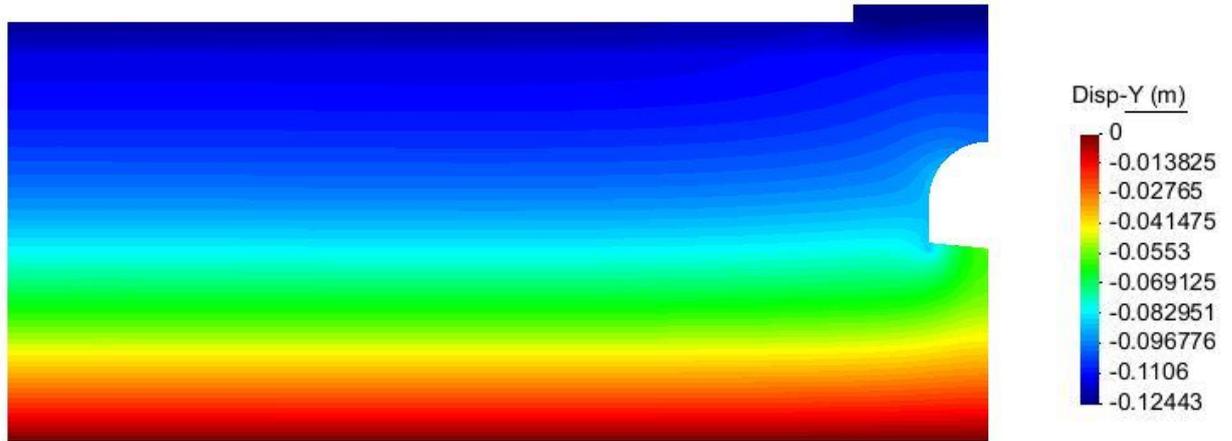


Figura 8. Deformación terreno con espesor de 8 cm

A continuación, presentamos los esfuerzos obtenidos:

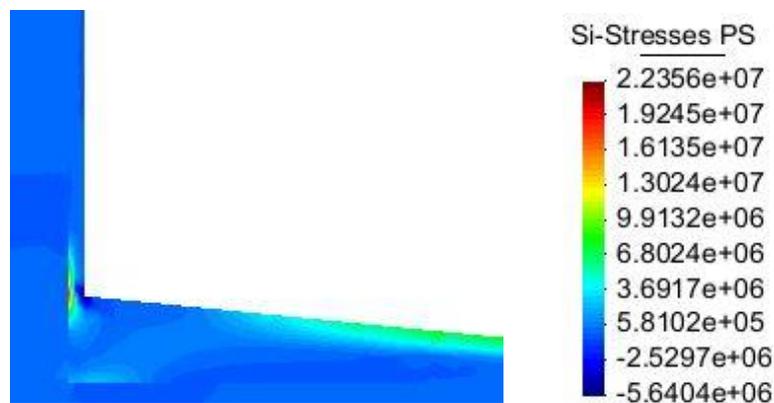


Figura 9. Tensiones máximas con espesor de 8 cm

En la figura anterior vemos las tensiones máximas para un espesor de refuerzo de 8 cm. Observamos que la zona donde hay más tracción es la zona exterior inferior (en contacto con el terreno) del túnel. Nos da un resultado lógico debido a cómo se deforma el túnel por la presión del terreno. La tracción máxima es de 22.36 MPa y estaríamos dentro del límite establecido de 25 MPa.



Figura 10. Compresiones máximas con espesor de 8 cm

En la figura 9 observamos las compresiones máximas para un espesor de refuerzo de 8 cm. Vemos que la zona donde tenemos más compresión es la interior inferior (no hay contacto con el terreno). Igual que en el caso de las tracciones, las compresiones dadas son lógicas debido a la deformación del túnel. La compresión máxima es de -41.45 MPa, por lo tanto no estaríamos dentro del límite establecido de 30 MPa. Debemos entonces aumentar el espesor para intentar reducir esta compresión.

Se ha procedido a realizar el cálculo con un espesor de 20 cm de hormigón. El asentamiento es menor al de 8 cm (-0.12252 m) y por lo tanto cumplimos que la diferencia de asentamientos es menor a 1 cm y eso revalida nuestra teoría de que al existir un refuerzo de hormigón en el terreno, el asiento es menor. Los esfuerzos son los comentados a continuación:

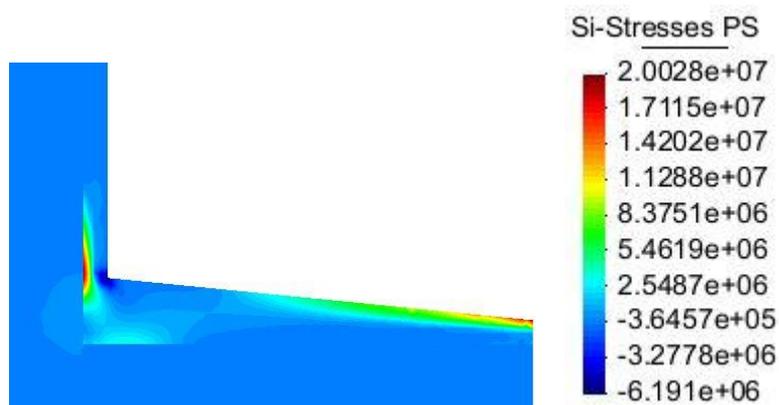


Figura 11. Tracciones máximas con espesor de 20 cm

Las tracciones máximas son de 20 MPa (inferiores al refuerzo de 8 cm) y cumplen el límite establecido por el enunciado de 25 MPa.



Figura 12. Compresiones máximas con espesor de 20 cm

Las compresiones máximas, -30.76 MPa, son mayores a las que establece como límite el enunciado, -30 MPa. Al haber tan poca diferencia entre ellas, realizaremos el cálculo de nuevo con un espesor de refuerzo de 22 cm.

Como podemos comprobar en la figura que viene a continuación, el asiento ha disminuido respecto al caso de tener un espesor de 20 cm. Por lo tanto, cumplimos con la primera limitación de que los asientos en superficie se deben limitar a 1 cm por culpa del túnel.

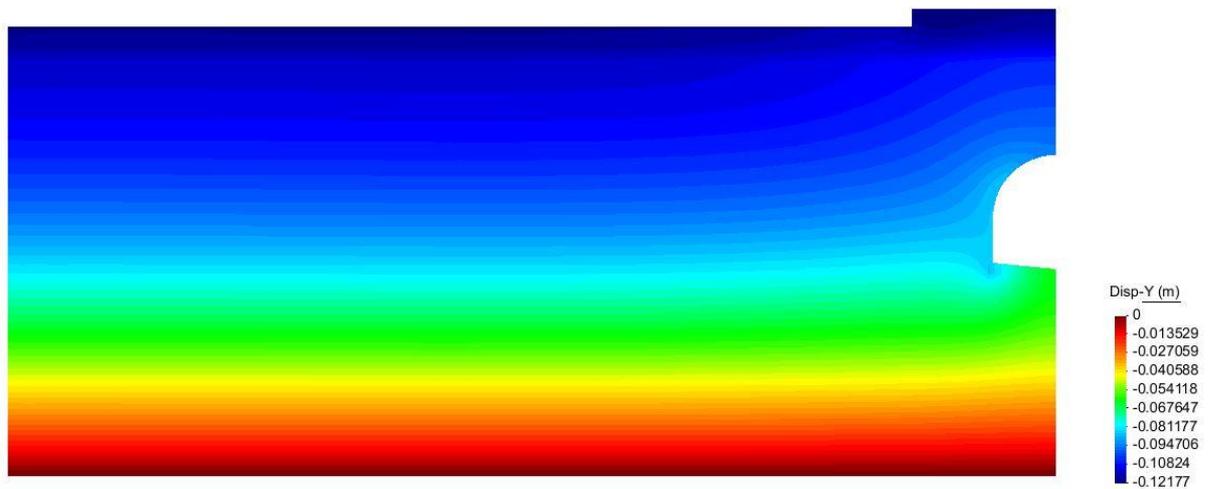


Figura 13. Deformación terreno con espesor de 22 cm

En referencia a las tensiones, la tracción máxima es de 20.03 MPa, siendo el límite establecido de 25 MPa, por lo tanto cumplimos con la restricción.

$$20.03 \text{ MPa} < 25 \text{ MPa} \quad \text{OK!}$$

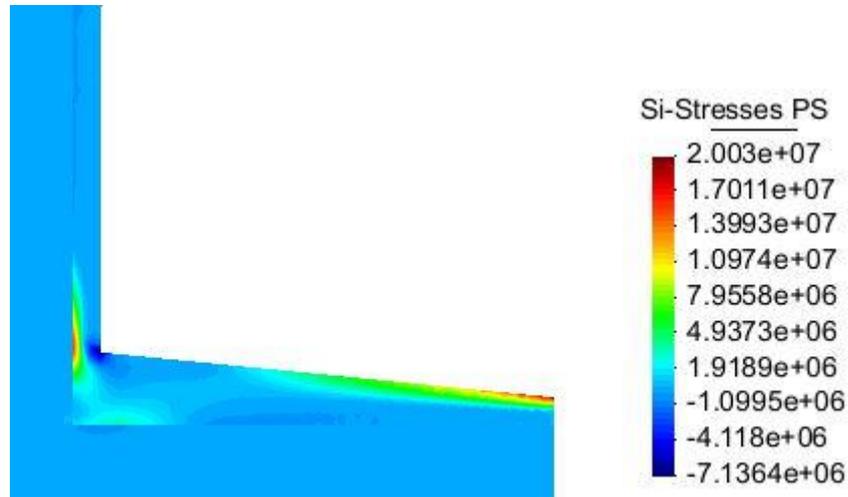


Figura 14. Tracciones máximas con espesor de 22 cm

En el caso de la compresión máxima, vemos como ahora sí que estamos dentro de los límites:

$$-28.99 \text{ MPa} < -30 \text{ MPa} \quad \text{OK!}$$

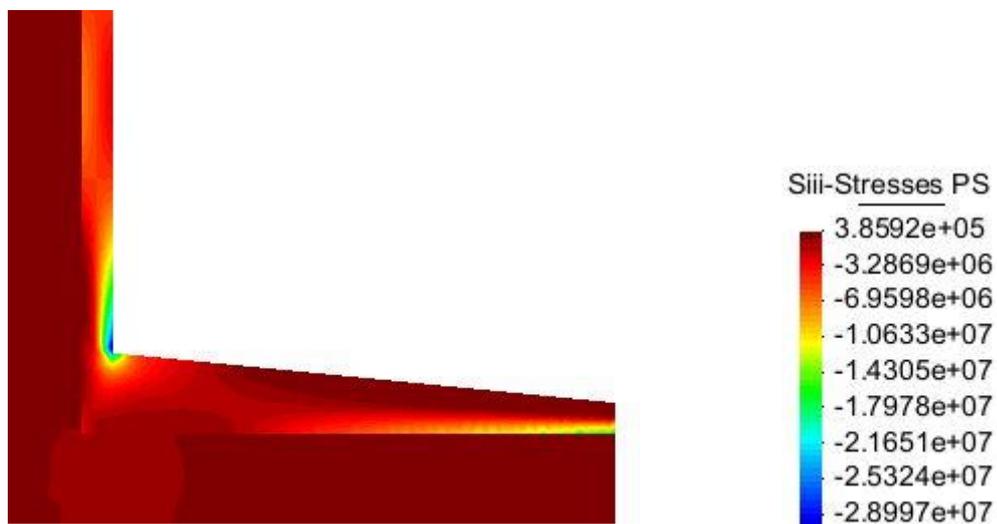


Figura 12. Compresiones máximas con espesor de 22 cm

Por lo tanto, la solución a nuestro problema es dimensionar el refuerzo de hormigón del túnel con un **espesor de 22 cm** para limitar los asentamientos en superficie a 1 cm y tener tensiones máximas a compresión/tracción menores a 30/25 MPa