

Problema S-29

Ingeniería de Estructuras

Pau Bayona Visiedo

43568550-H

Se debe dimensionar y calcular una presa de gravedad de hormigón de 48m de altura. La anchura de coronación debe ser de 6m.

Realizar el proyecto mediante un análisis bidimensional y posteriormente en 3D para verificar el diseño utilizando en ambos casos las siguientes hipótesis:

- Las tracciones máximas en cualquier punto de la presa no deben superar 0.5MPa.
- El peso específico del hormigón es de 25000N/m^3 y del terreno es de 20000N/m^3 .
- El módulo de elasticidad del hormigón a usar es de 22GN/m^2 y el coeficiente de Poisson es de 0.20.
- La base está empotrada en el terreno.
- Cimentación en terreno homogéneo. El módulo de elasticidad es de 37GN/m^2 y el coeficiente de Poisson de 0.30.
- Cargas actuantes:
 - o Peso propio.
 - o Peso propio + empuje hidrostático en presa y cimentación (altura 46m).

La sección de terreno tiene un ancho de 30 metros y un desarrollo de 200 metros.

El perfil del emplazamiento es el que se muestra:

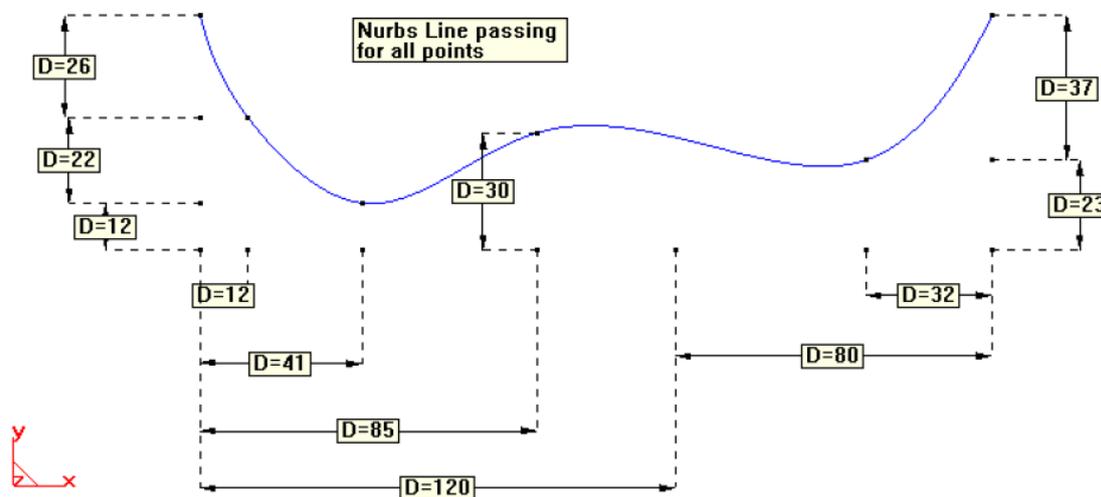


Figura 1. Emplazamiento de la presa

Como se ha comentado anteriormente, se empezará con un diseño bidimensional y con la realización de dos diseños de presa diferentes. Después se elegirá el óptimo y se procederá al cálculo en 3D.

Para el problema bidimensional, se ha calculado mediante la teoría de la deformación plana; y para el análisis en 3D, la de sólido tridimensional.

Problema de deformación plana

Para el problema de deformación plana, la geometría del terreno no tiene incidencia, así pues se elige el caso más desfavorable, que es cuando la presa tenga la mayor altura posible, de 48m.

El espesor de la figura será igual a la unidad, para poder extrapolar bien los resultados.

Las pendientes del trasdós e intradós de la presa vienen definidos por:

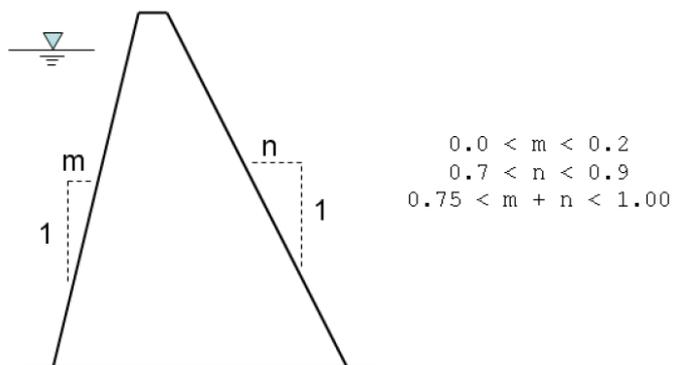


Figura 2. Pendientes de la presa

Los dos diseños propuestos son los siguientes:

- $m=0$ y $n=0.8$
- $m=0.15$ y $n=0.7$

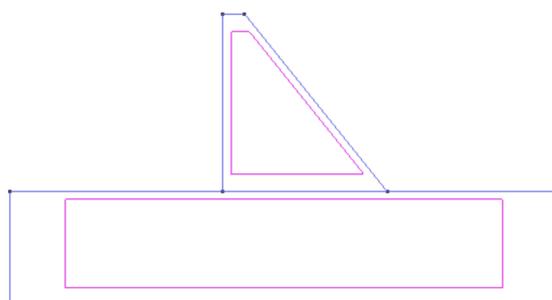


Figura 3.1. Diseño 1 ($m=0$ y $n=0.8$)

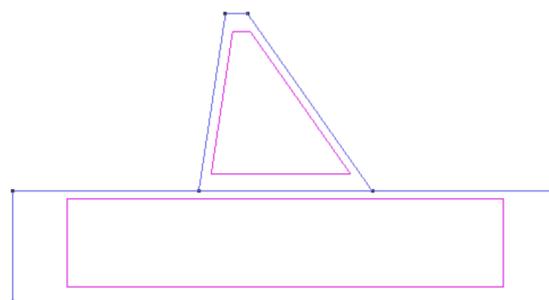


Figura 3.2. Diseño 2 ($m=0.15$ y $n=0.7$)

En este problema existen dos materiales diferentes, concrete y soil:

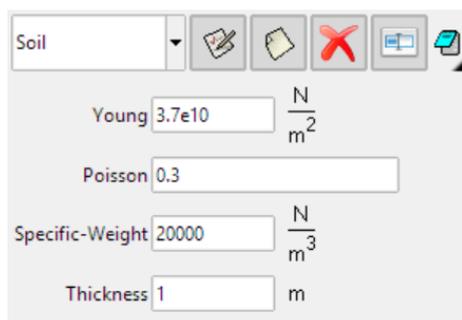


Figura 4.1 Material terreno

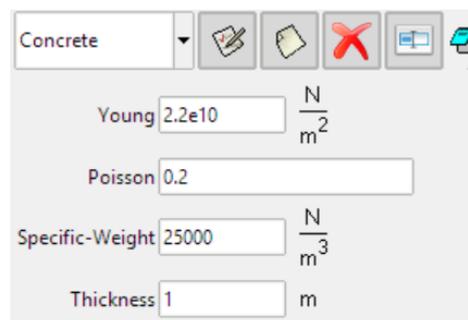


Figura 4.2. Material hormigón

Si se coge como referencia el diseño 1 queda así:

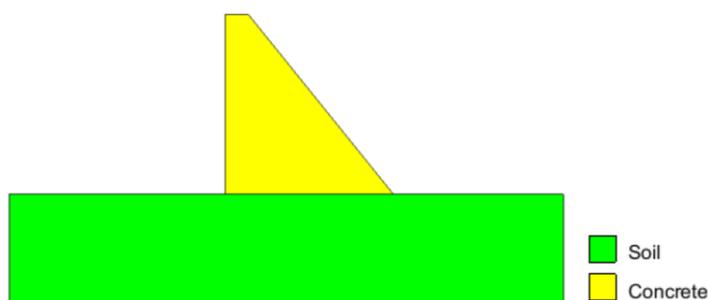


Figura 5. Materiales utilizados

Las restricciones se han asignado sobre las líneas y se deben a la imposibilidad de desplazamiento lateral en las fronteras verticales ya que se supone que el suelo existente lo impide y lo mismo para la frontera horizontal donde está impedido el desplazamiento vertical.

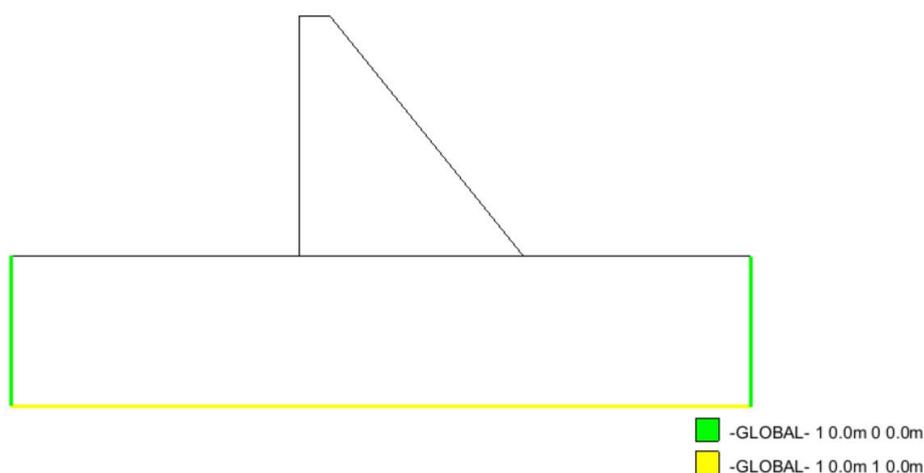


Figura 6. Restricciones

Es importante recordar que se debe activar el peso propio y el cálculo a través de deformación plana en el programa.

Se han utilizado elementos triangulares de tres nodos para realizar los cálculos. La elección de un elemento de interpolación lineal en lugar de cuadrático se debe a su menor coste computacional y por tanto la posibilidad de realizar mallas mucho más finas (aunque tengan una cantidad de grados de libertad equivalente) ya que se ha comprobado que tiene un buen comportamiento para dichas mallas.

Se comprobará el desplazamiento vertical de la presa y en función de cuál es menor, se elegirá el diseño para realizar el cálculo en 3D.

Tamaño del elemento	Grados de libertad	Desplazamiento vertical (m)	Relación u/u_f
4	888	-0.0021072	0.877781
2	3370	-0.0023832	0.992752
1	13062	-0.0023979	0.998875
0.8	20530	-0.0024006	1

Figura 7. Tabla para elementos triangulares de tres nodos para el diseño 1

Tamaño del elemento	Grados de libertad	Desplazamiento vertical (m)	Relación u/u_f
4	936	-0.0016702	0.987992
2	3362	-0.0016843	0.996332
1	13260	-0.0016896	0.999468
0.8	20740	-0.0016905	1

Figura 8. Tabla para elementos triangulares de tres nodos para el diseño 2

Para el caso de la que presa esté llena de agua, hasta una altura máxima de 46m:

Tamaño del elemento	Grados de libertad	Desplazamiento vertical (m)	Relación u/u_f
4	888	-0.0015161	0.992667
2	3370	-0.0015249	0.998429
1	13062	-0.0015272	0.999936
0.8	20530	-0.0015273	1

Figura 9. Tabla para elementos triangulares de tres nodos para el diseño 1

Tamaño del elemento	Grados de libertad	Desplazamiento vertical (m)	Relación u/u_f
4	936	-0.0014315	0.997978
2	3362	-0.0014336	0.999442
1	13260	-0.0014343	0.999930
0.8	20740	-0.0014344	1

Figura 10. Tabla para elementos triangulares de tres nodos para el diseño 2

Como se puede comprobar, el desplazamiento vertical es mayor si la presa está vacía que si tiene 46m de agua. Tanto en el caso de que esté llena como vacía, el diseño 2 tiene unos desplazamientos menores, por lo tanto será el diseño elegido.

Igualmente, se ha hecho el análisis estructural del diseño 1, así como el del diseño 2, que se verá a continuación; pero puesto que los resultados eran peores que el del diseño 2, se ha optado por no ponerlos.

Así pues, el diseño elegido para la presa es el diseño número 2.

Para ver el análisis estructural de los dos horizontes distintos, previamente hay que visualizar dos puntos conflictivos en esta presa: dos puntos singulares.

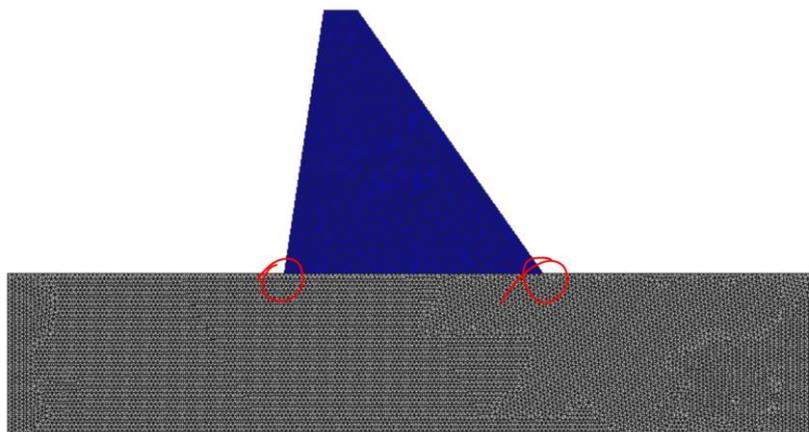


Figura 11. Puntos singulares de la presa

Cabe destacar que estos puntos singulares aparecen por el cambio brusco de la geometría. En los puntos singulares, cuanto más refinada es la malla, más aumentan las tensiones en esos puntos. Existen dos posibles soluciones que son hacer la geometría no tan brusca en el modelo, a través de círculos; o, la que se adopta en este caso, no fijarse en concreto en la tensión en ese punto singular, sino en los de su alrededor.

Dicho esto, se procede al análisis estructural

Análisis estructural de la presa vacía

El comportamiento de la presa vacía a las tensiones S_x es el esperado, ya que el punto donde éstas son las máximas negativas, es el punto donde existe una mayor compresión. Las tracciones en este caso son de un orden de magnitud inferior al máximo permitido. Para las tensiones S_y ocurre lo mismo, son máximas de compresión en el punto singular del intradós.

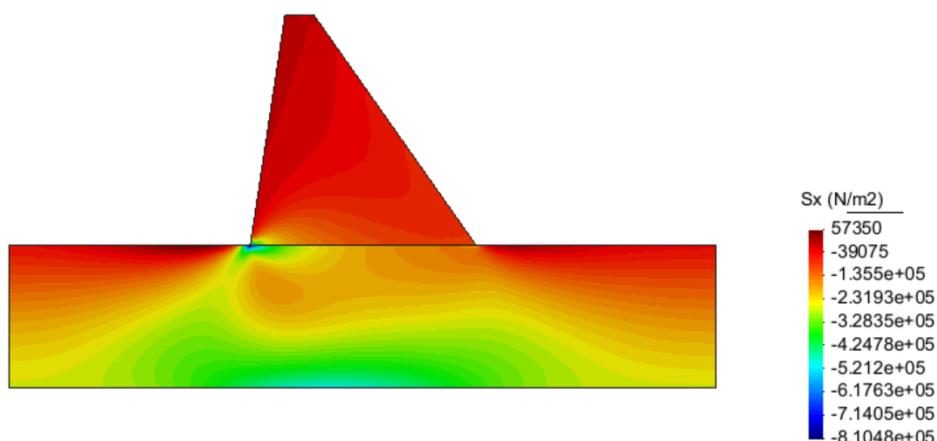


Figura 12. Tensiones S_x

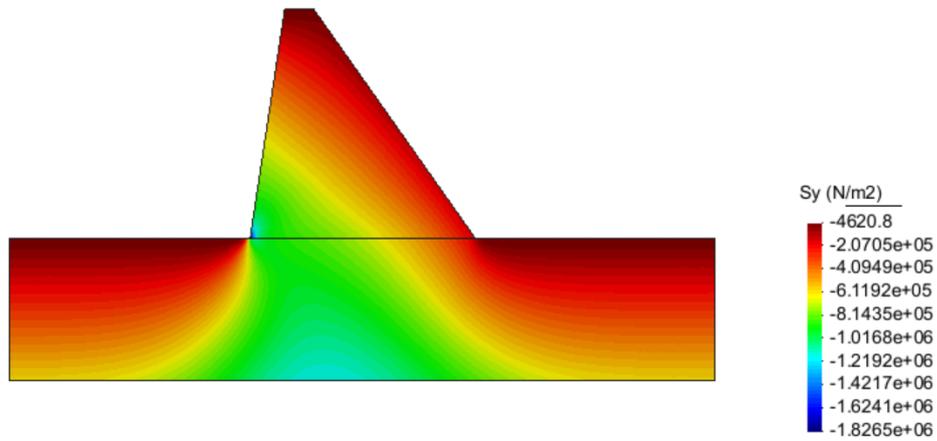


Figura 13. Tensiones S_y

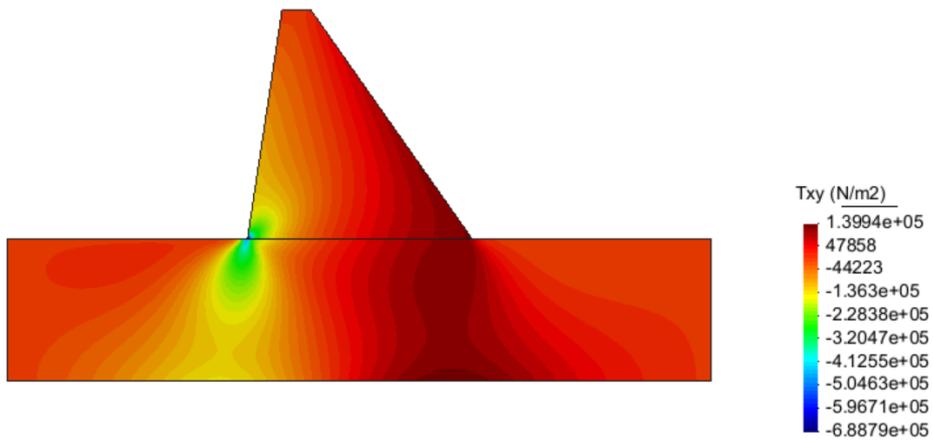


Figura 14. Tensión cortante T_{xy}

A continuación se muestra la deformada con los desplazamientos en x e y juntos.

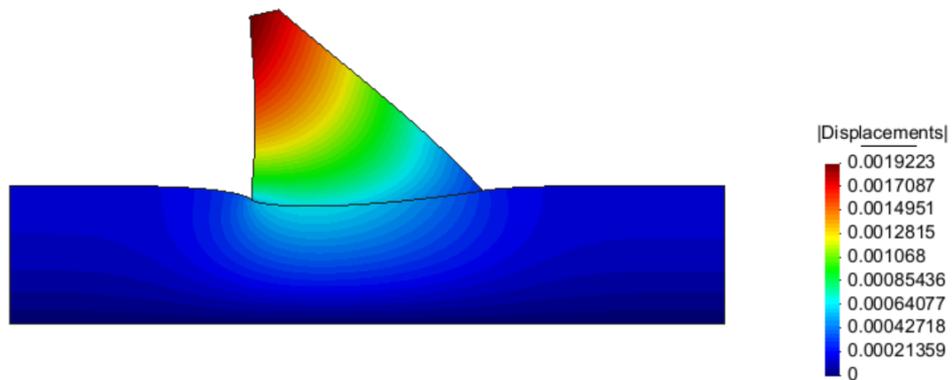


Figura 15. Deformada

Análisis estructural de la presa llena

Como se puede comprobar en las siguientes figuras, para el caso de las tensiones S_x , tanto de tracción como de compresión, los máximos se dan en los dos puntos singulares. Así pues, se deberá valorar los valores de los puntos adyacentes a estos puntos singulares.

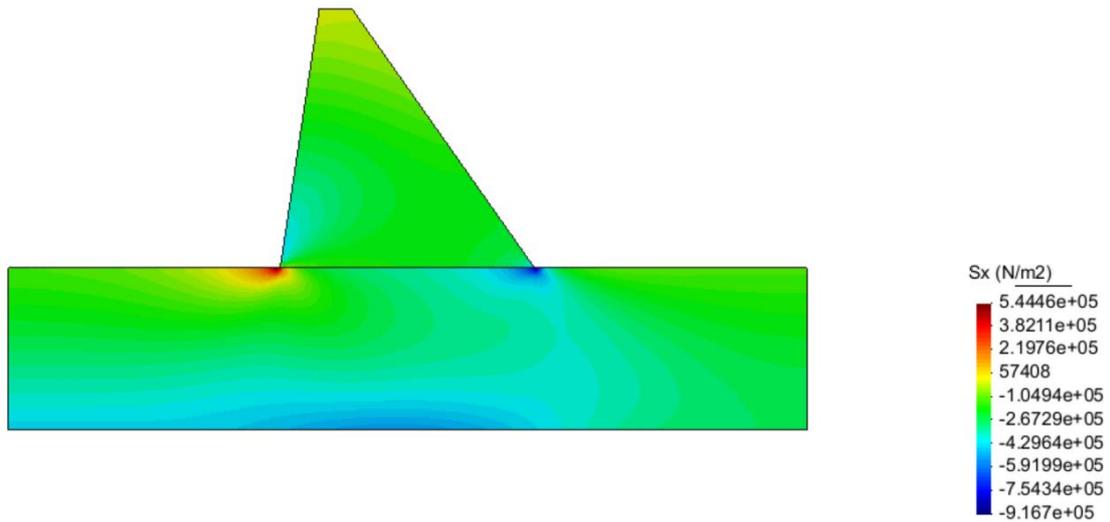


Figura 16. Tensiones S_x

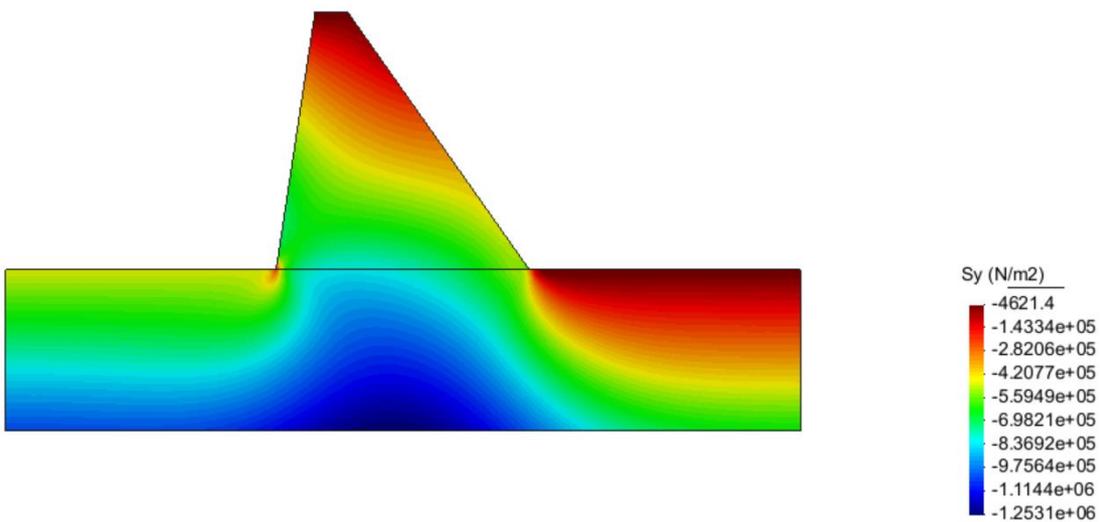


Figura 17. Tensiones S_y

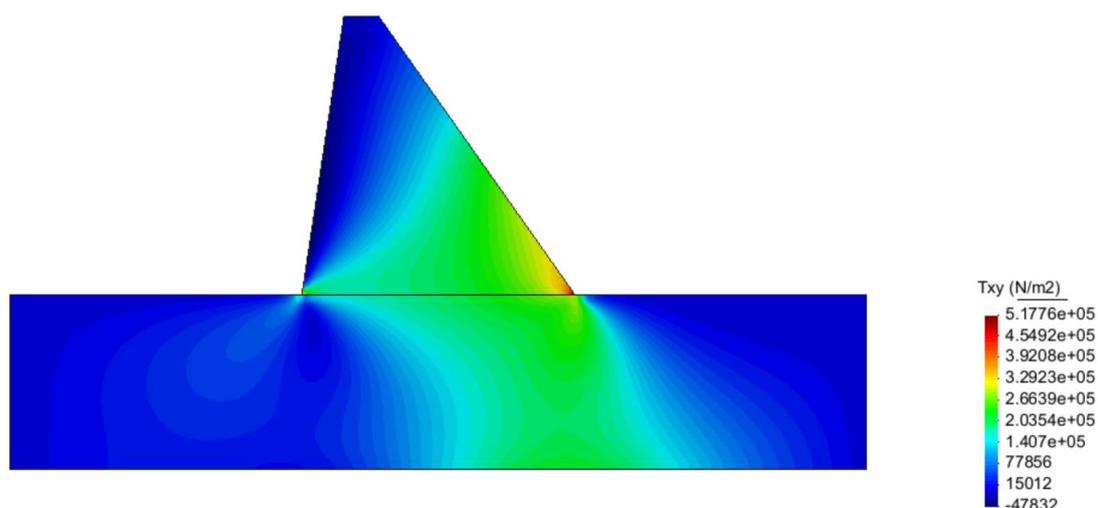


Figura 18. Tensión cortante T_{xy}

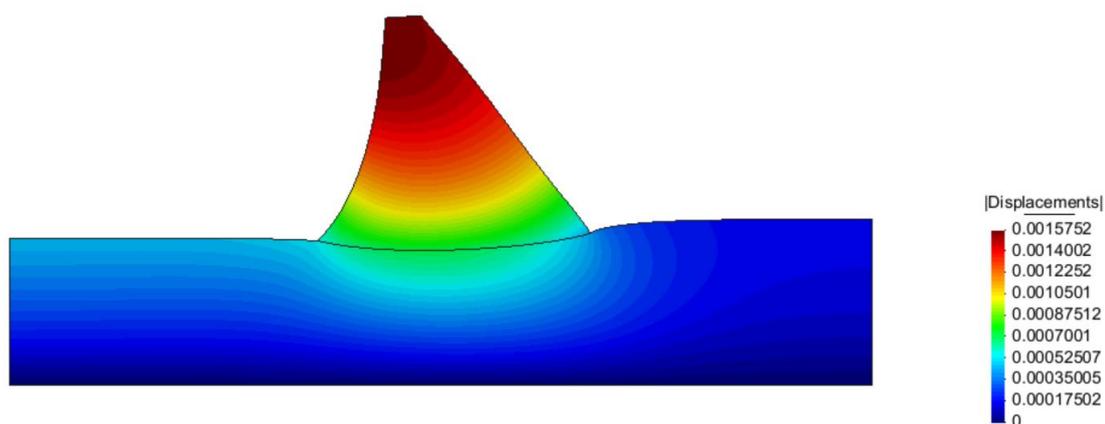


Figura 19. Deformada

Problema de sólido tridimensional

A continuación, después de escoger entre los diseños iniciales y hacer un primer cálculo bidimensional, se pasa al cálculo en 3D.

La metodología a seguir para el caso en 3D es muy similar a la utilizada anteriormente para el sólido bidimensional, simplemente se le añade la variable del espesor, que en el caso anterior se ha supuesto de 1m.

El espesor total será de 200m y no todas las secciones serán las mismas que la estudiada anteriormente, sino que la altura de la presa variará con el terreno. El estudio anterior es el caso más desfavorable, en el cual la presa tiene una altitud de 48m.

El terreno tiene la siguiente forma:

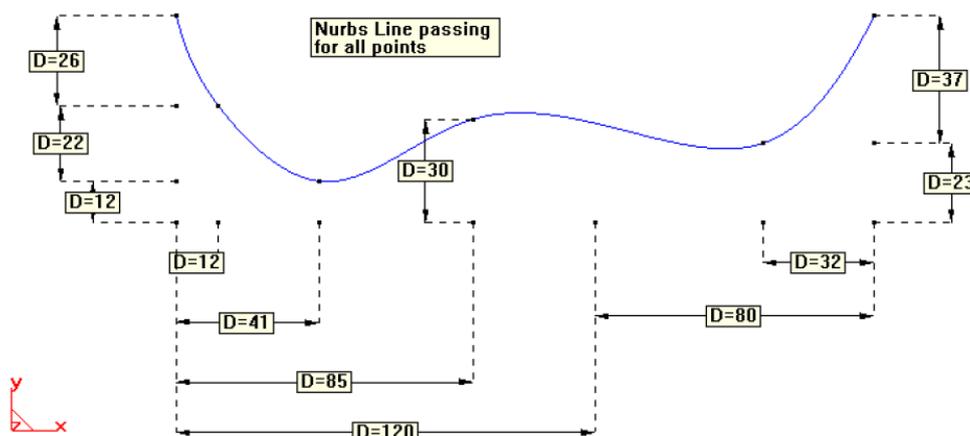


Figura 20. Geometría del terreno

Una vez introducido en el programa queda tal que así siendo la parte que se visualiza de la presa el trasdós.

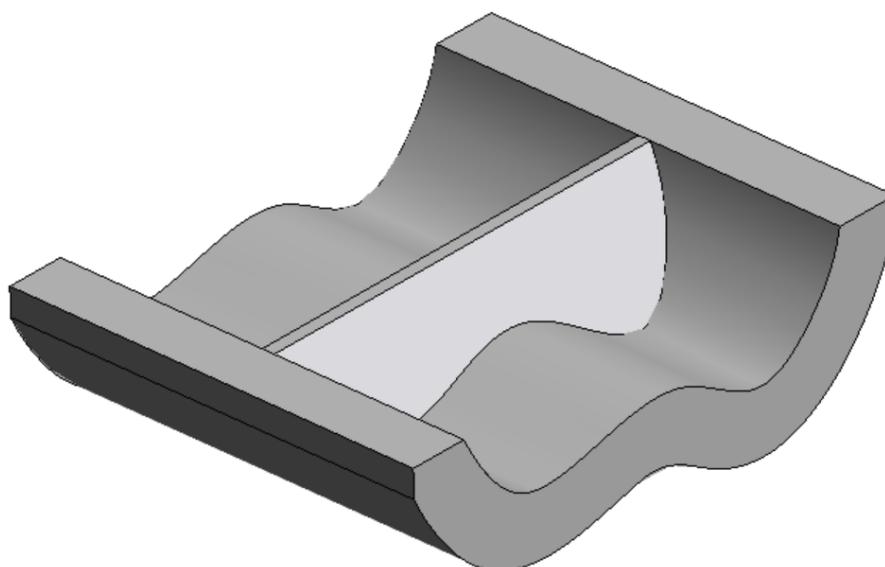


Figura 21. Geometría del terreno y la presa en 3D

Así pues se disponen las restricciones de movimiento en el terreno tal y como se ha hecho en el análisis bidimensional, pero en este caso aplicado sobre superficies.

En el caso de las superficies laterales se impide el movimiento en su dirección, y ; y en la superficie inferior se impiden todos los movimientos, aunque con solo impedir el movimiento vertical ya sería suficiente.

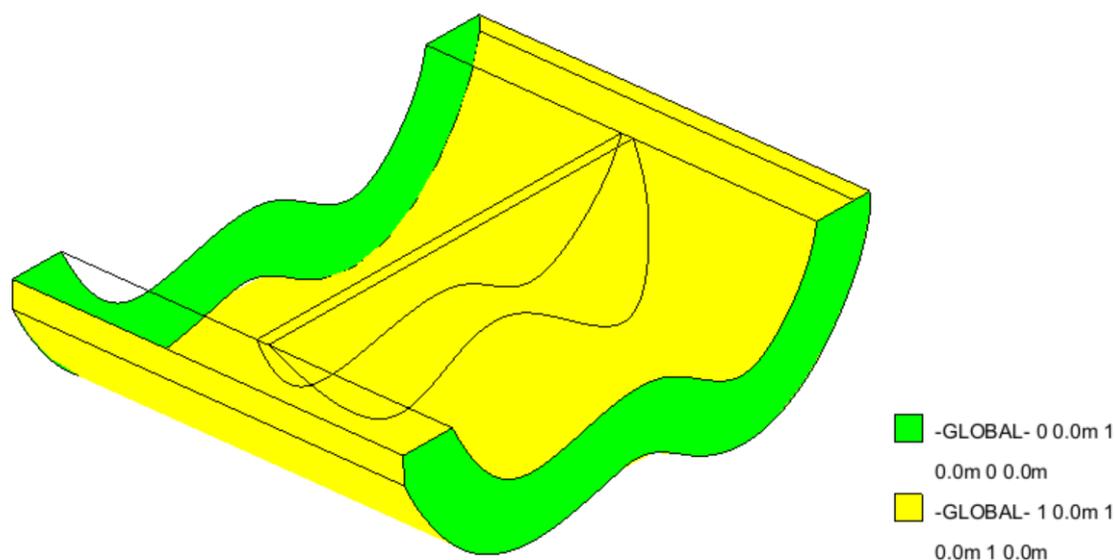


Figura 22. Restricciones impuestas

La siguiente parte es el mallado. Se ha optado por hacer una malla con elementos tetraédricos con interpolación lineal, por los mismos motivos que en el análisis bidimensional, ya que el coste computacional es más bajo y se pueden hacer mallas más refinadas.

En este caso la malla más refinada que se ha podido calcular ha sido con un tamaño de elemento de 8. De ahí salen 42750 nodos y un total de 22221 grados de libertad. No se puede refinar aún más la malla ya que este proceso duró unos 25-30min. Con ordenadores más potentes se podría reducir este tiempo e incluso hacer los elementos más pequeños.

A continuación se muestran los resultados obtenidos.

Análisis estructural de la presa vacía

Para tanto el caso de que la presa esté vacía como llena, los desplazamientos verticales son menores en el caso de 3D que en el caso bidimensional. Esto es debido a la interacción con el terreno ya que en el 2D el terreno solo interactuaba con la base de la presa y en este caso el terreno en los extremos de la presa interactúa hasta la cota de coronación (como es habitual en una presa).

Por otro lado, los desplazamientos horizontales en X y en Y son muy pequeños, de un orden de magnitud más pequeños que los verticales.

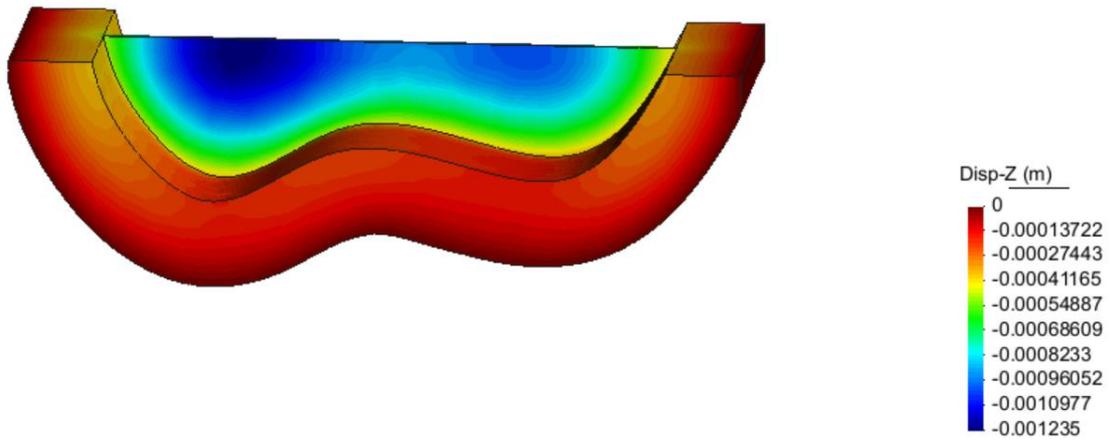


Figura 24. Desplazamientos en Z

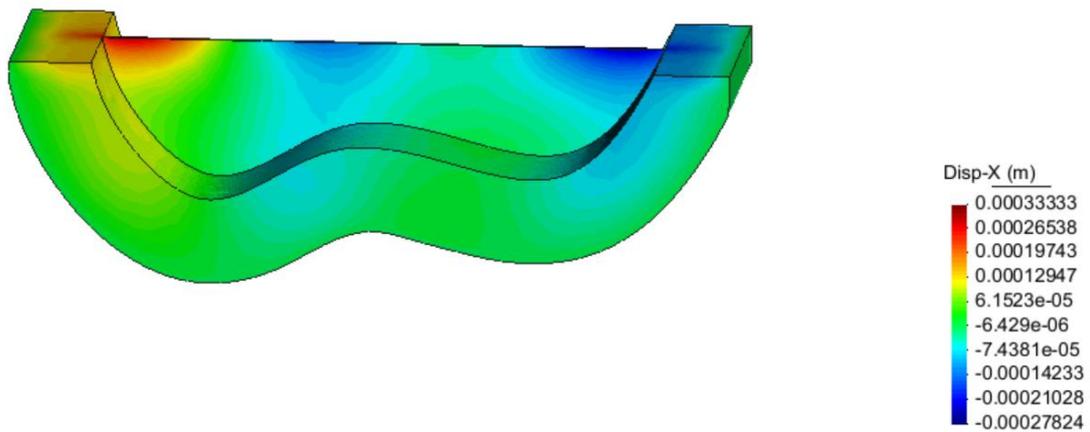


Figura 25. Desplazamientos en X

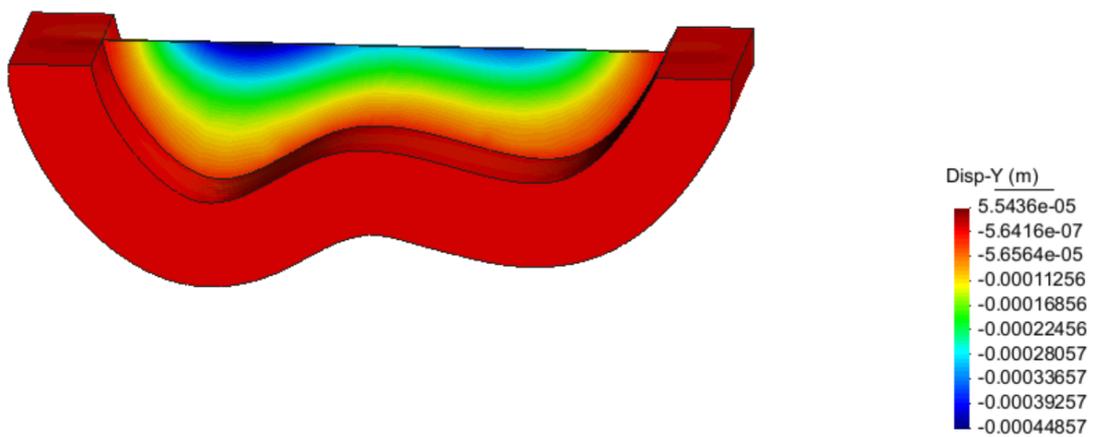


Figura 26. Desplazamientos en Y

Para el caso de las tensiones, se ve que las tensiones de compresión máximas se dan en el contacto del intradós de la presa con el terreno. Para el caso de tracciones, ninguna supera el máximo permitido.

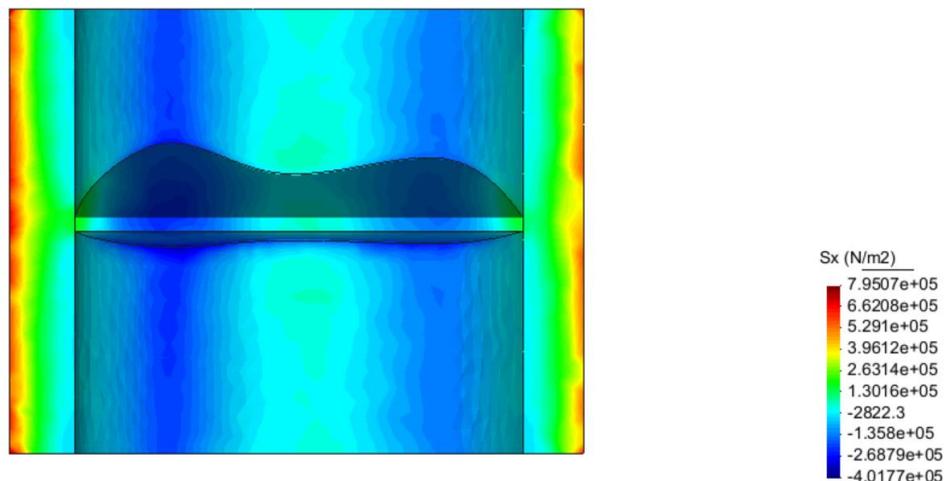


Figura 27. Tensiones S_x

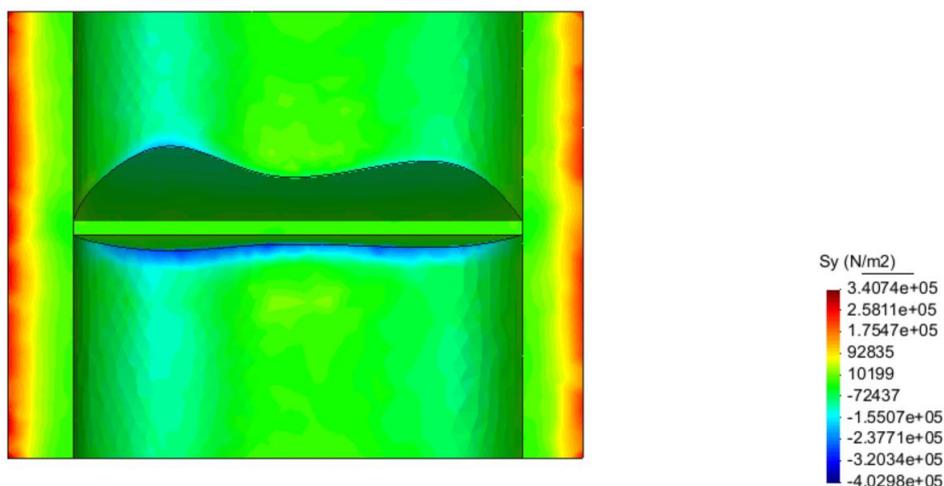


Figura 28. Tensiones S_y

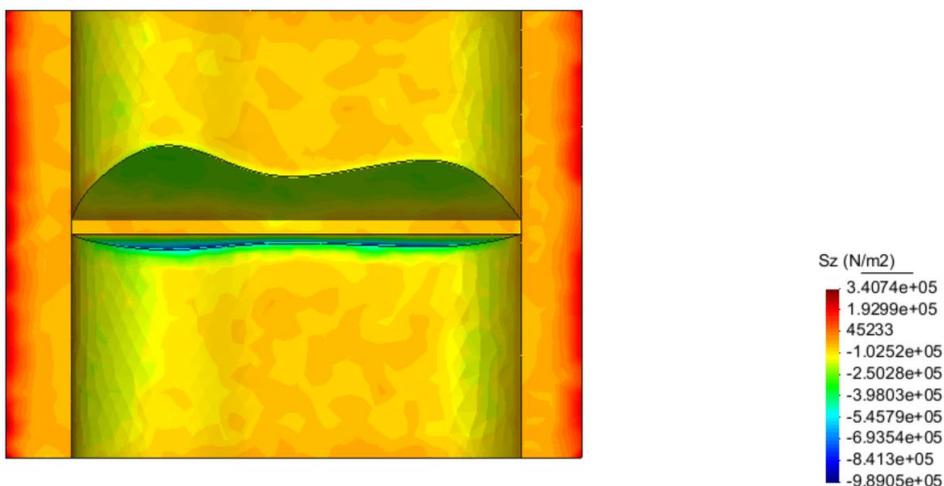


Figura 29. Tensiones S_z

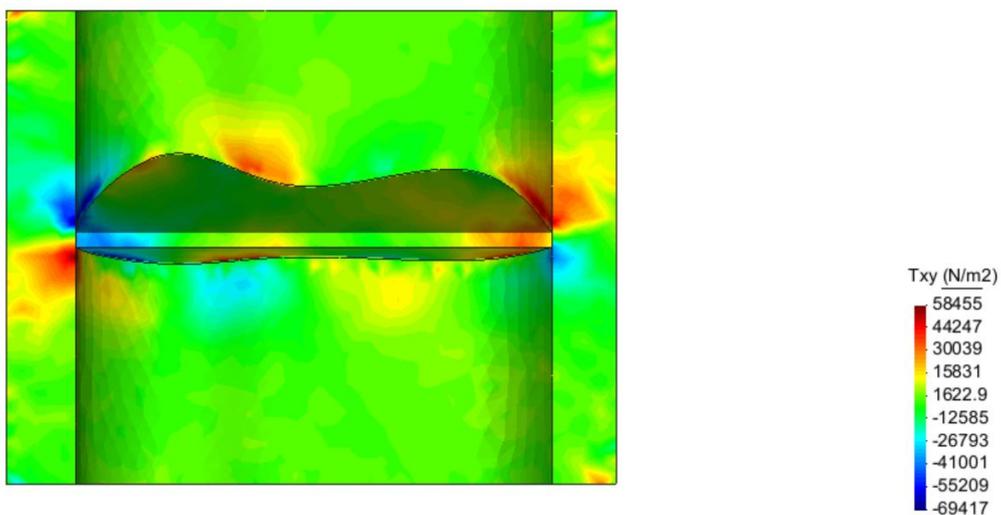


Figura 30. Tensiones cortantes T_{xy}

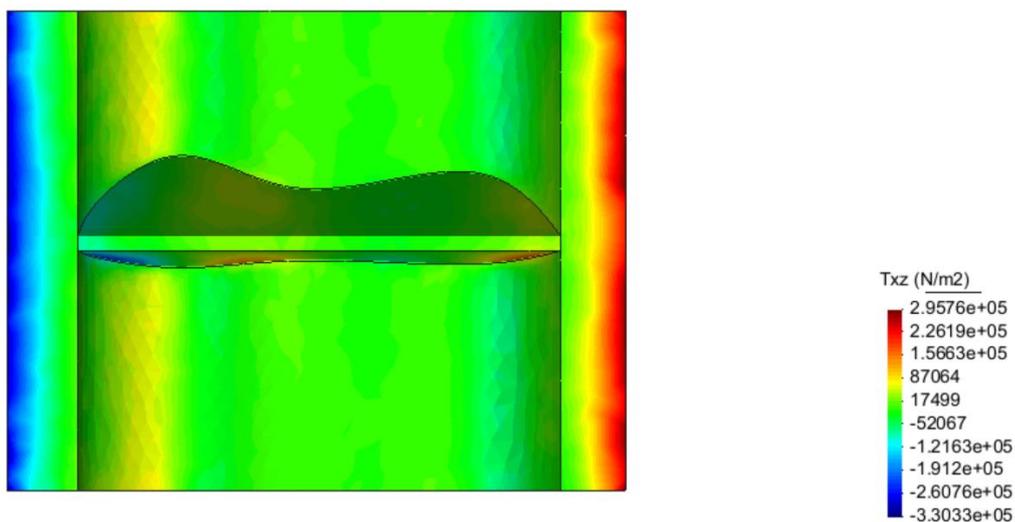


Figura 31. Tensiones cortantes T_{xz}

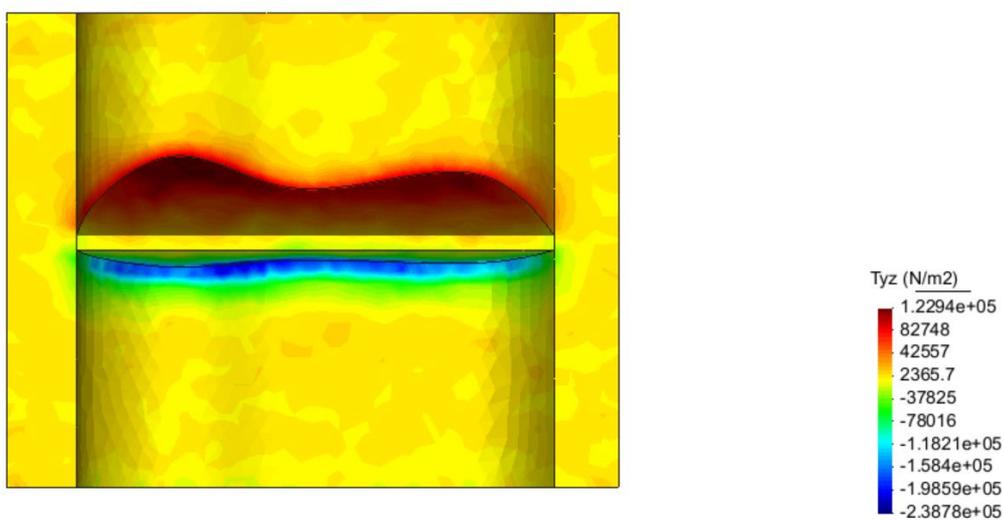


Figura 32. Tensiones cortantes T_{yz}

A continuación se adjunta una figura de la deformada en función de los desplazamientos totales.

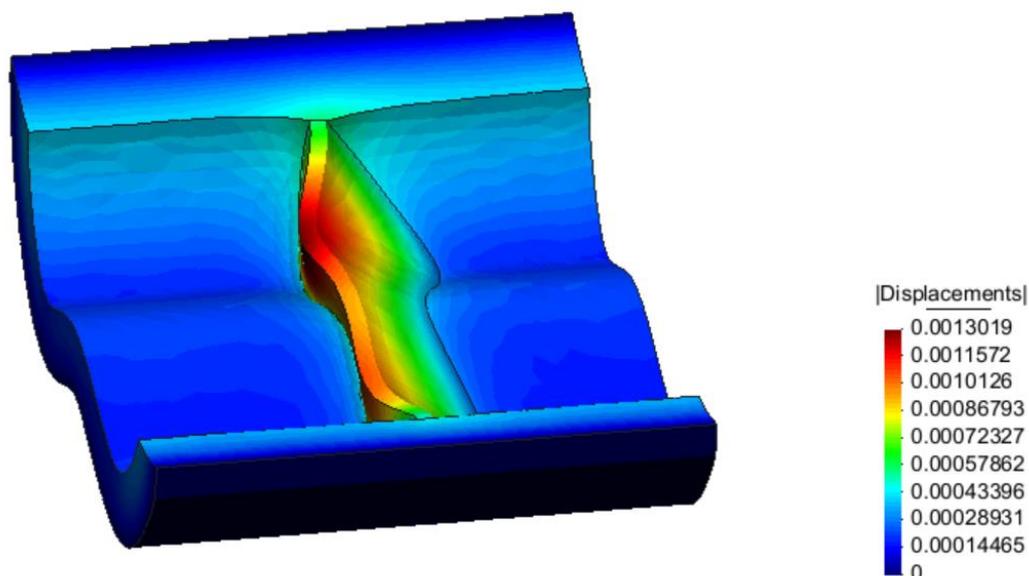


Figura 33. Deformada

Análisis estructural de la presa llena

Como se ha comentado anteriormente, para el caso tridimensional, los desplazamientos verticales son menores que para el caso bidimensional. Aparte, cuando la presa está llena, los desplazamientos verticales son menores que para el caso de la presa vacía.

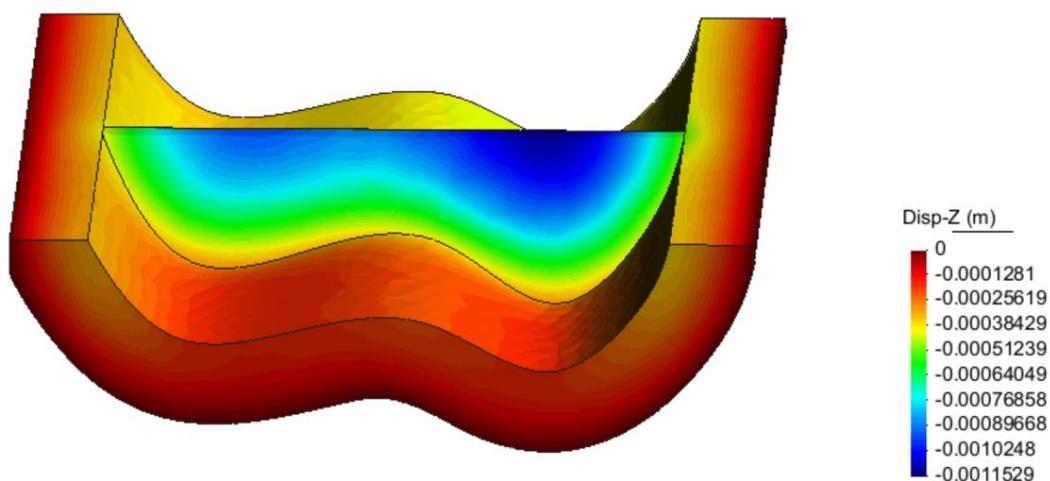


Figura 34. Desplazamientos en Z

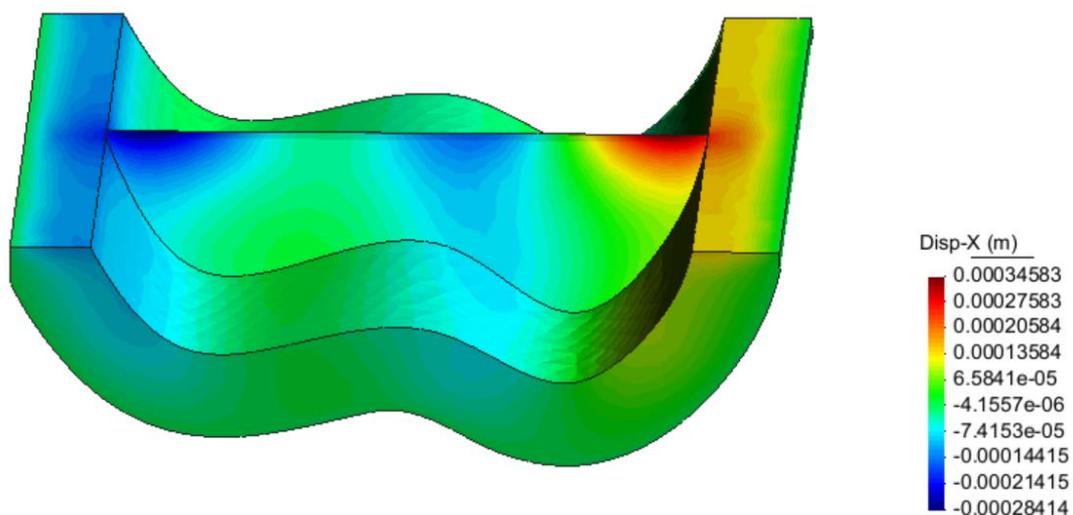


Figura 35. Desplazamientos en X

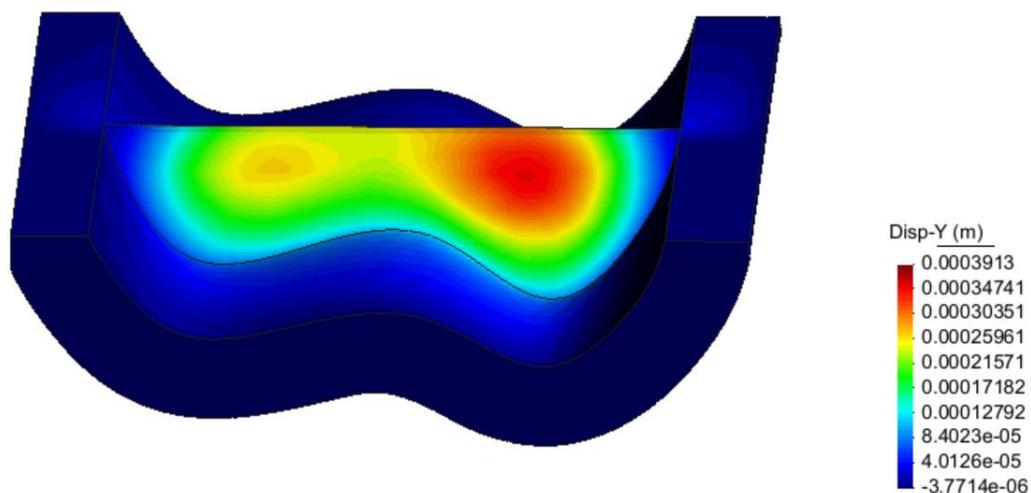


Figura 36. Desplazamientos en Y

Para el caso de las tensiones, los máximos tanto negativos como positivos se dan en el contacto de la presa con el terreno. En ninguno de los casos se supera el máximo permitido.

Las figuras son las siguientes:

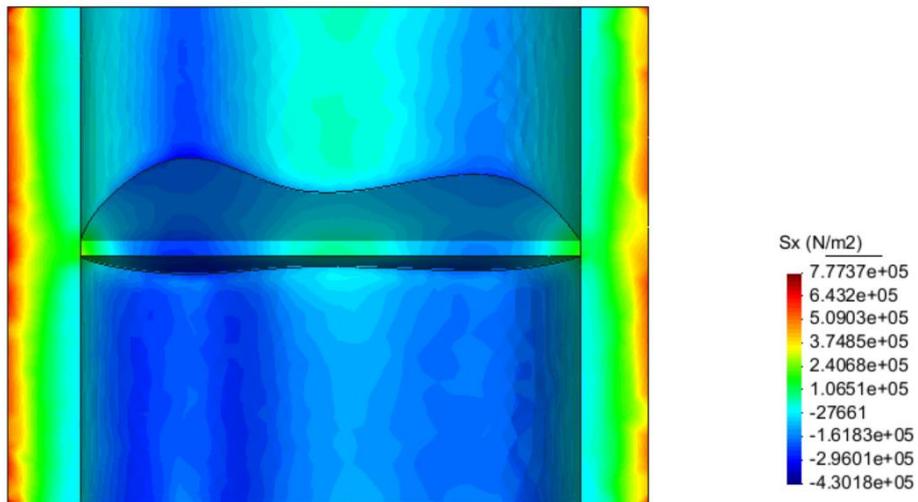


Figura 37. Tensiones S_x

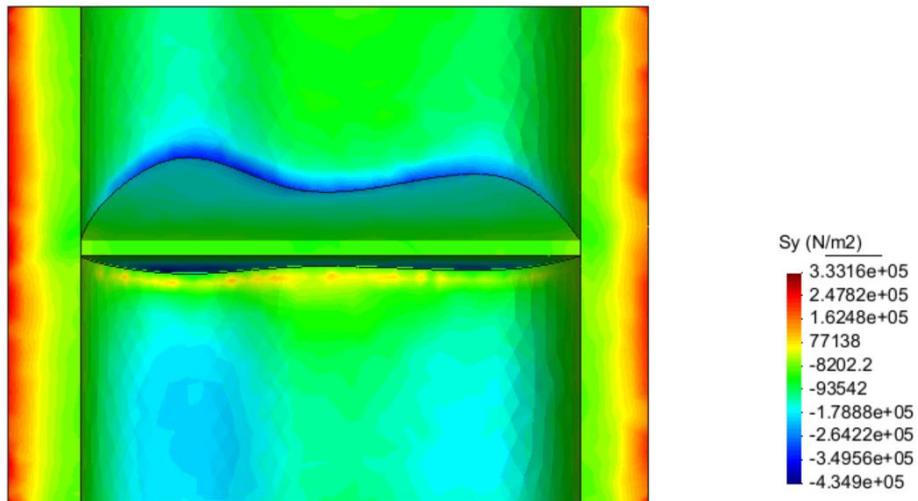


Figura 38. Tensiones S_y

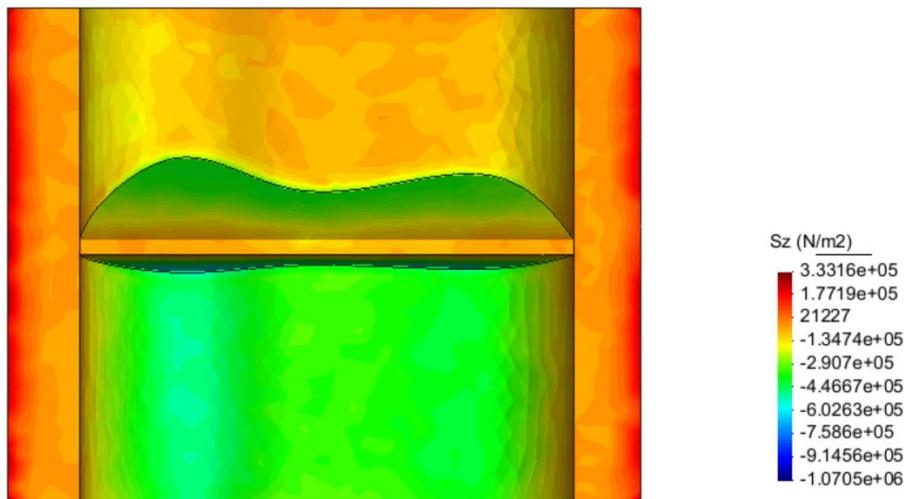


Figura 39. Tensiones S_z

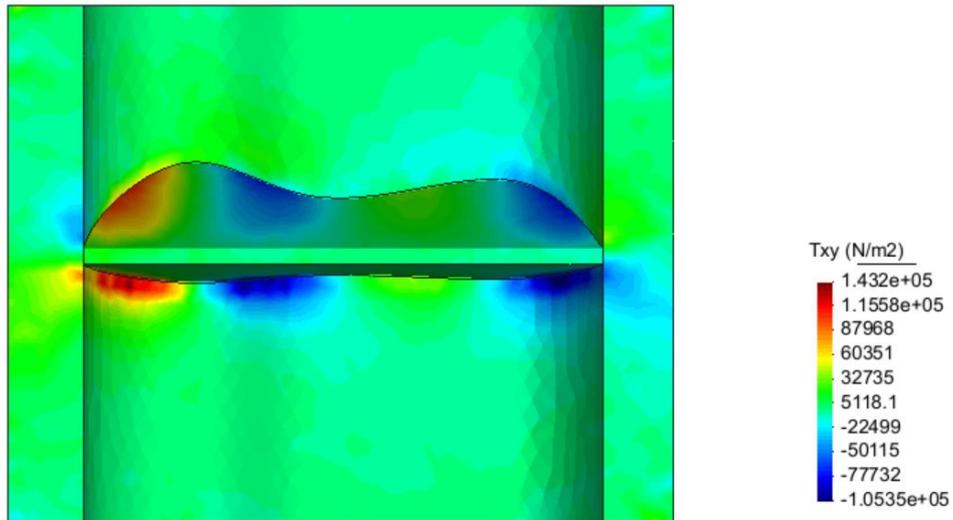


Figura 40. Tensiones cortantes T_{xy}

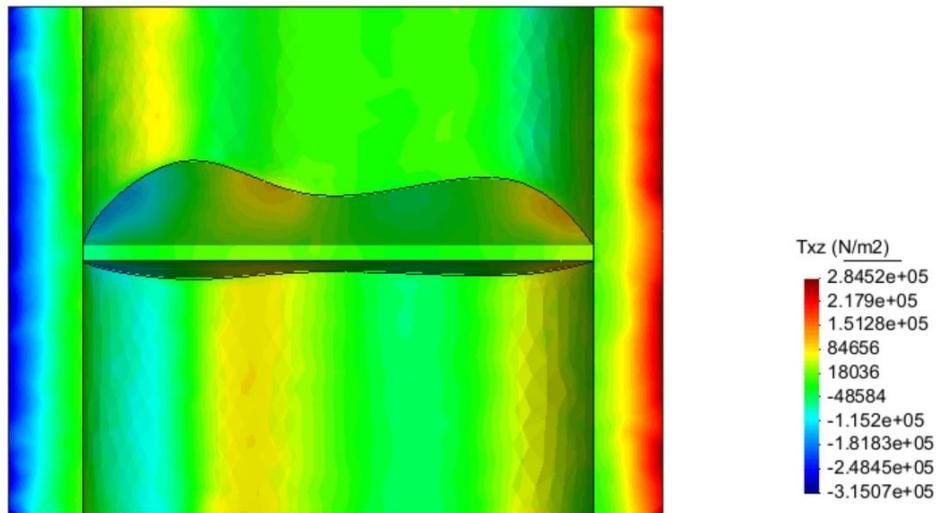


Figura 41. Tensiones cortantes T_{xz}

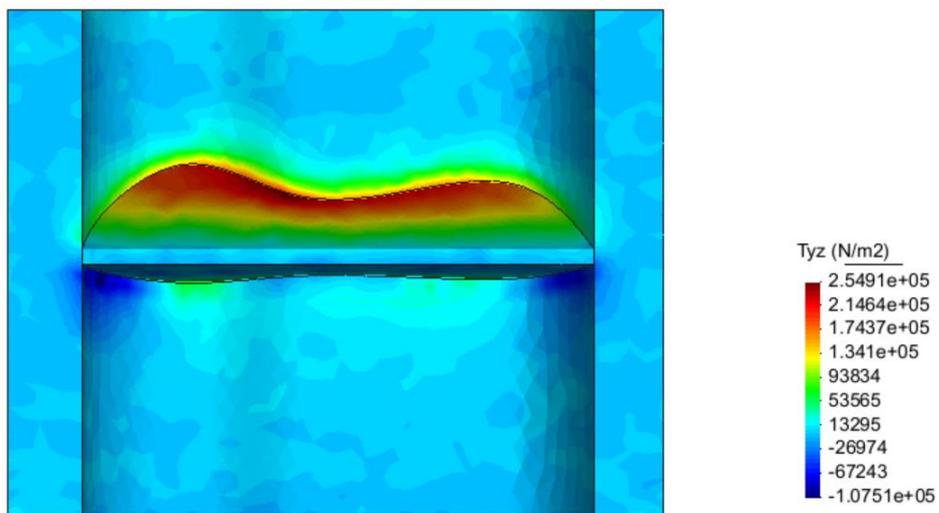


Figura 42. Tensiones cortantes T_{yz}

Por último, se incluye la deformada de la presa cuando ésta está llena hasta una altura de 46m.

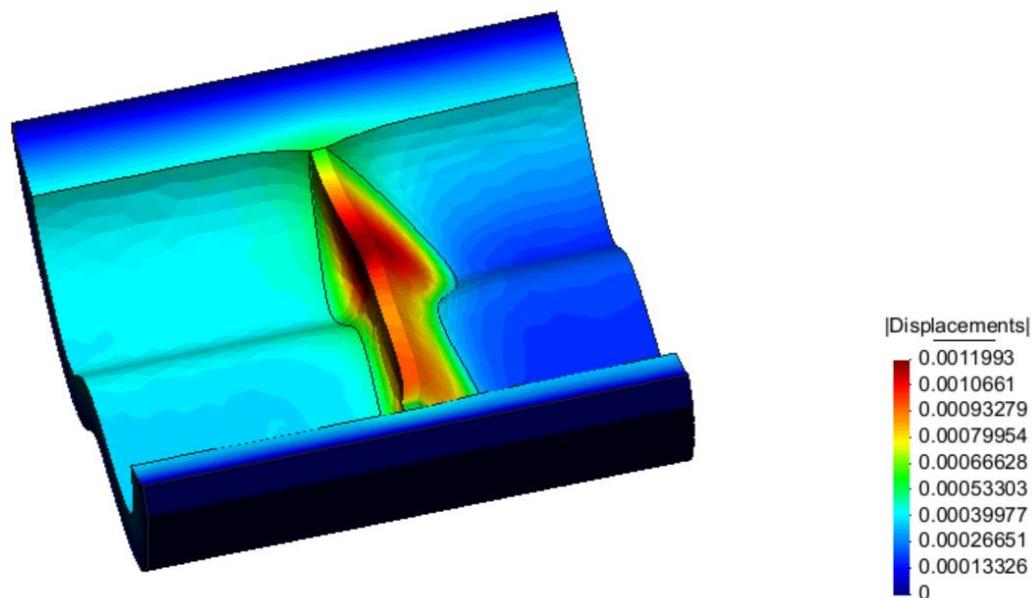


Figura 43. Deformada

Conclusiones

Como se ha podido ver a lo largo de todo el documento, se ha escogido el diseño que provocaba unos desplazamientos menores y en consecuencia unas tensiones menores.

También se ha podido comprobar, que para hacer una primera estimación, el diseño bidimensional ya es suficiente, ya que, por ejemplo, los desplazamientos que da el 2D son mayores a los reales, por lo se estaría del lado de la seguridad.

En el caso de que la presa esté llena o no, se puede comprobar que los desplazamientos son menores cuando más agua hay, ya que el empuje hidrostático contrarresta el peso propio.

En cuanto a las tensiones, se puede ver que de un extremo a otro (desde que la presa está vacía hasta la altura de agua máxima) no se supera el límite de tracciones estipulado de 0.5MPa.

Así pues, se concluye que el diseño elegido funciona correctamente bajo los condicionantes establecidos.