

PRÁCTICA S-19

250405 - INGENIERIA DE ESTRUCTURAS

**Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos
(Curso 2014-2015)**



Guillem de José Sorroche

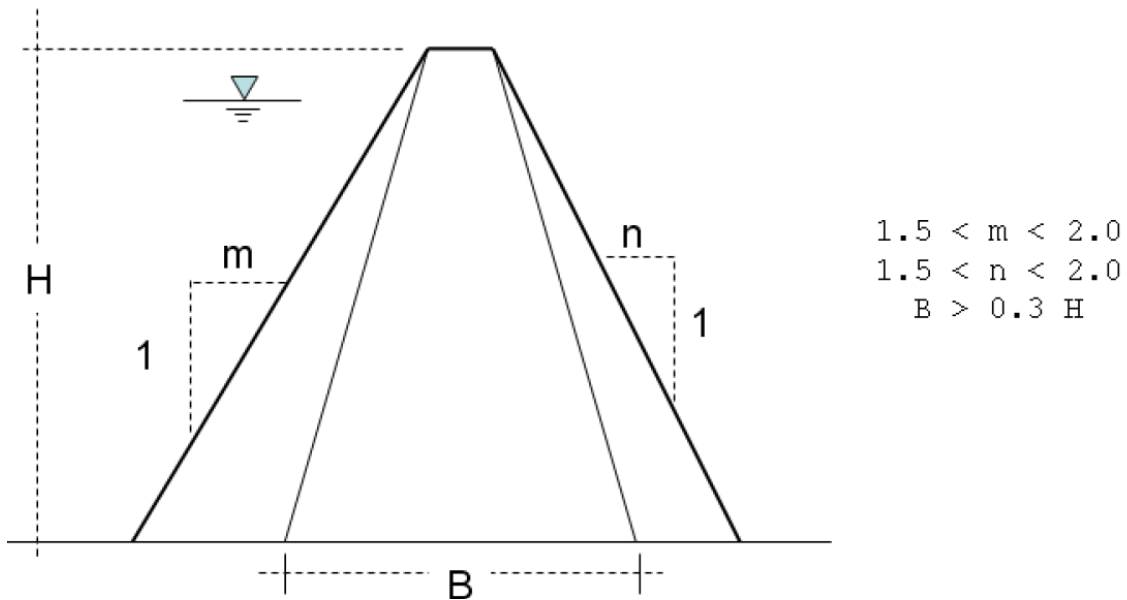
9 de Junio de 2015

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto trata de dimensionar y calcular una presa de materiales sueltos en un valle con un perfil irregular. Para ello se realizará un análisis bidimensional y posteriormente en 3D para verificar que el diseño no está sometido a tensiones de tracción de valor superior a 1 MPa.

GEOMETRIA Y PROPIEDADES

La presa se compone de materiales sueltos y de un núcleo impermeable de arcilla. La presa puede estar sometida únicamente a su peso propio o a su peso propio junto a la presión hidroestática del agua presente en un embalse a cota 77 m. La presa tiene una altura de 80 metros y su geometría viene definida por los siguientes tres parámetros:

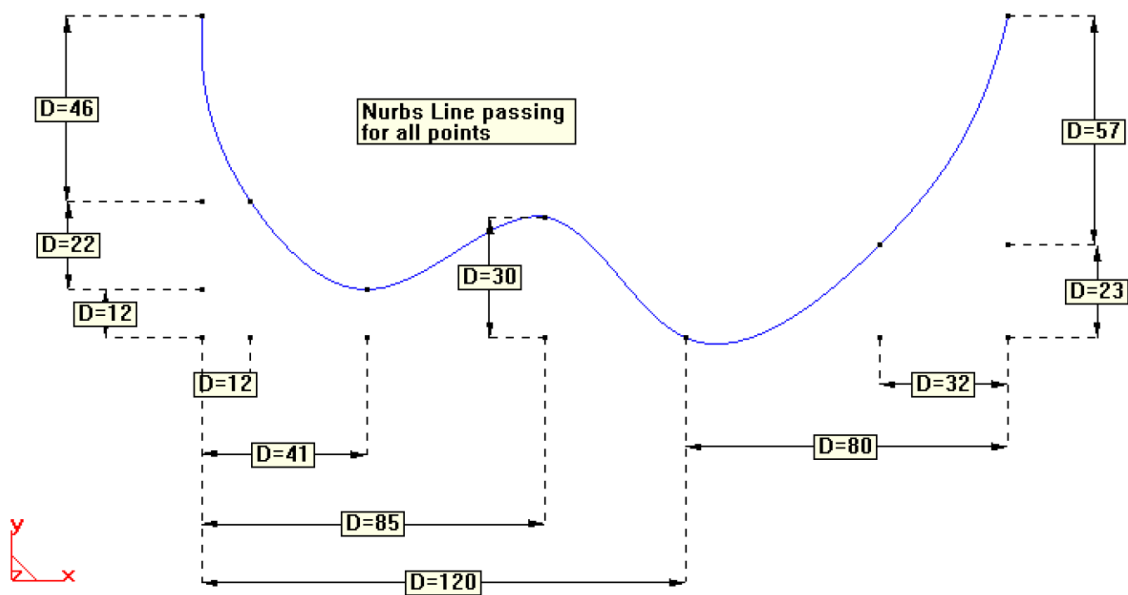


Dónde H es la altura de la presa, 80 metros, B es la anchura de la base del núcleo de arcilla, m es el talud aguas arriba y n es el talud aguas abajo. La coronación de la presa es de 4 metros de ancho.

Se realizará el análisis estructural para una presa con los siguientes parámetros:

| | |
|---|-----------|
| H | 80 metros |
| B | 30 metros |
| m | 1.5 |
| n | 1.5 |

El emplazamiento es un valle que presenta la siguiente geometría:

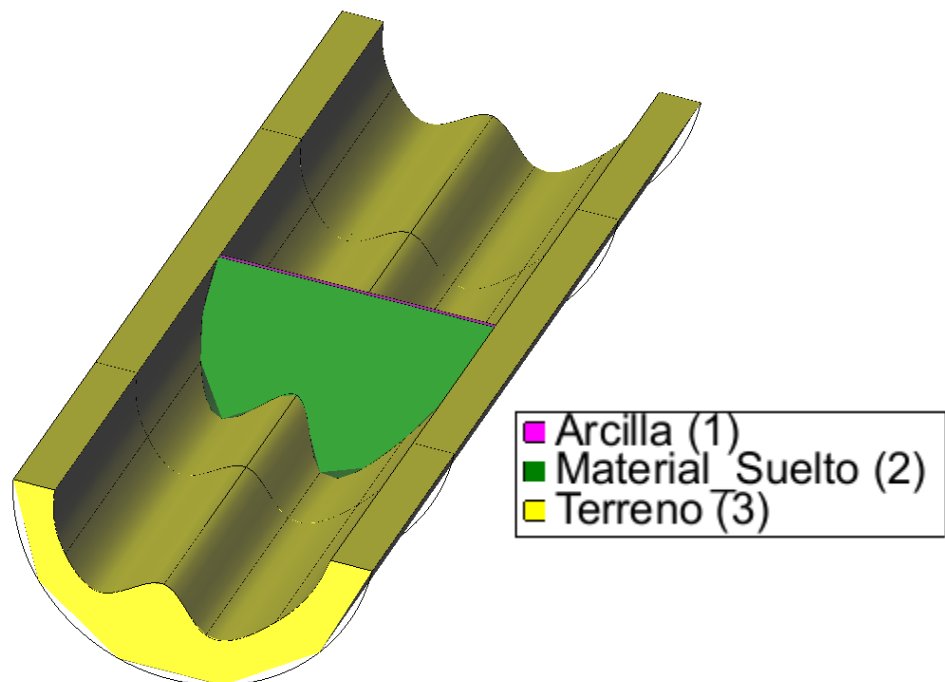


A efectos de cálculo se considerará que el terreno posee un espesor mínimo de 30 metros.

El terreno receptor se considera homogéneo y posee un peso específico de 20 kN/m^3 , un módulo de elasticidad de 35 GN/m^2 y un coeficiente de Poisson de 0,3.

El material suelto se considera homogéneo y posee un peso específico de 20 kN/m^3 , un módulo de elasticidad de $9,9 \text{ MN/m}^2$ y un coeficiente de Poisson de 0,285.

El núcleo de arcilla se considera homogéneo y posee un peso específico de 20 kN/m^3 , un módulo de elasticidad de 8 MN/m^2 y un coeficiente de Poisson de 0,4.

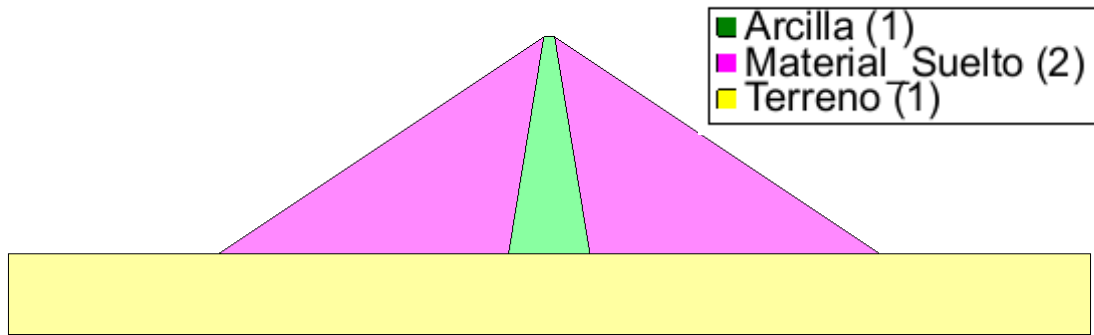


ANÁLISIS BIDIMENSIONAL

Primeramente se realizará una análisis bidimensional de la presa. Dado que el perfil del terreno es irregular no podemos garantizar que la sección de estudio realmente se encuentra en una situación de deformación plana. Sin embargo, se analizará la sección de la presa situada en la parta más profunda del valle (80 metros) como si estuviera en una situación de deformación plana y posteriormente se comparará con los resultados obtenidos en el análisis tridimensional.

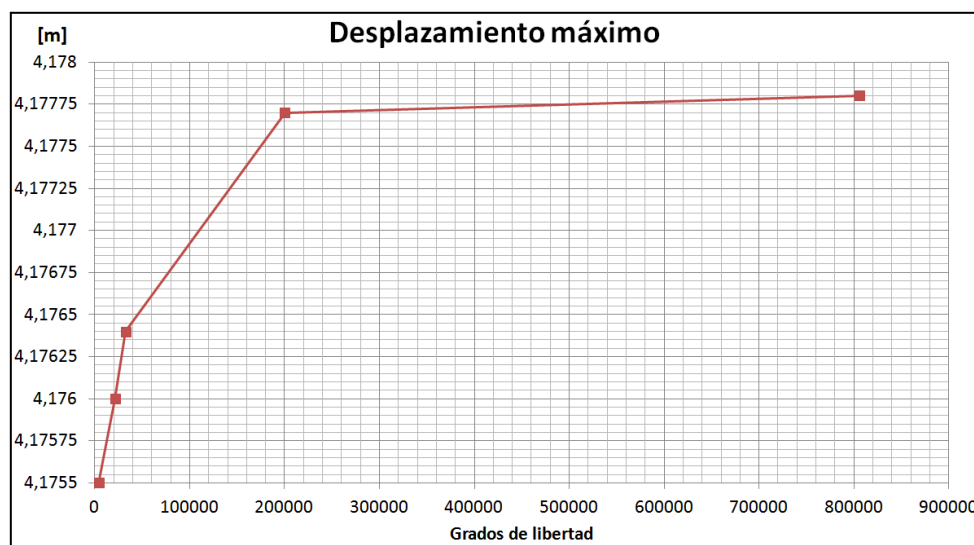
Aunque la geometría presenta simetría, esta no puede imponerse en el esquema ya que la acción del agua consiste en una carga no simétrica.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, se considera que el terreno tiene un espesor de 30 metros y un desarrollo de 400 metros, 200 metros aguas arriba y 200 metros aguas abajo:

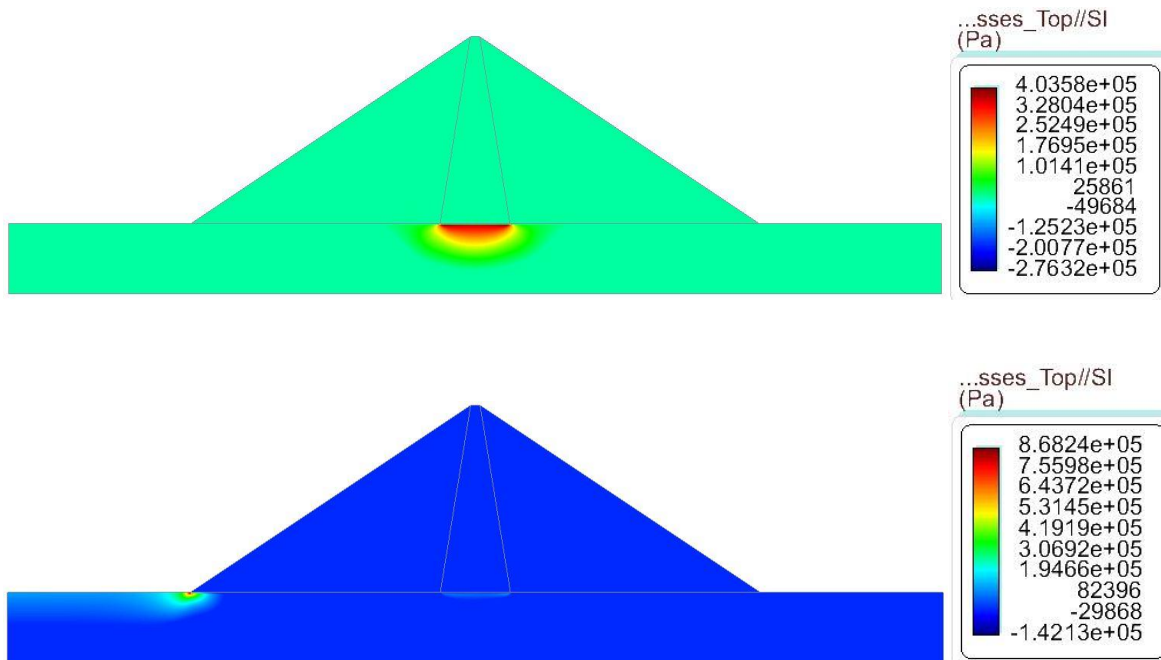


Las condiciones de contorno consisten en la restricción del movimiento vertical en el lecho del terreno y la restricción del movimiento horizontal en los extremos del terreno.

Para el cálculo bidimensional se han utilizado elementos triangulares de 6 nodos. A continuación se muestra en análisis de convergencia del método representando el desplazamiento máximo bajo peso propio más el empuje hidrostático en función del número de grados de libertad de la malla, que adoptó un valor final de 4,1778 metros:



Dado que el parámetro de interés es la tracción máxima, nos fijaremos en las tensiones principales. La tensión principal mayor, S_1 o S_i , es la que adoptará las mayores tracciones, si las hubiera. A continuación se muestra la tensión principal mayor para el caso bajo peso propio y para el caso bajo peso propio más presión hidroestática, respectivamente.



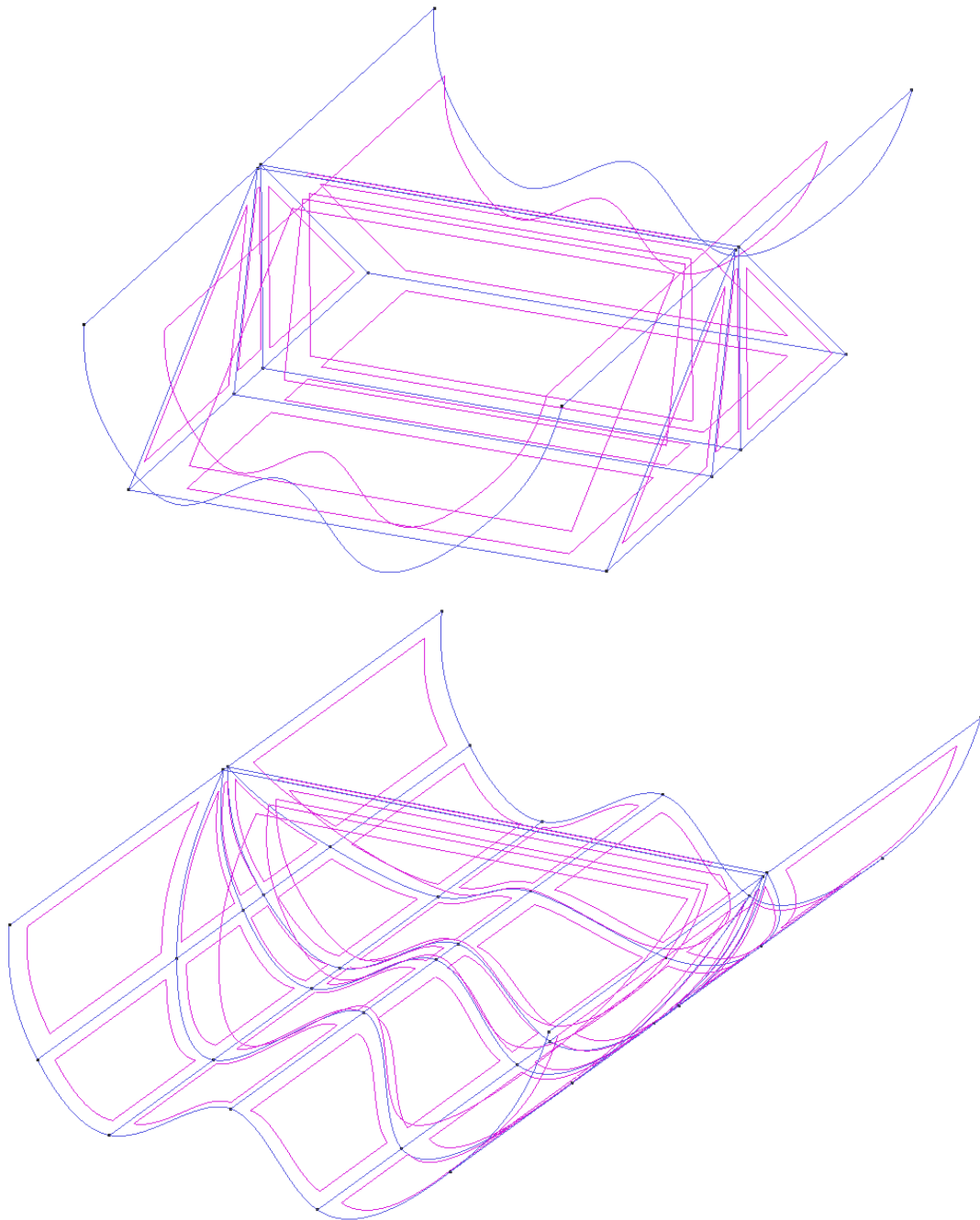
Podemos observar que la máxima tracción aparece en el caso bajo peso propio más presión hidroestática y adopta un valor de 0,86824 MPa, valor inferior al 1 MPa objetivo, por lo que decidimos mantener esta configuración geométrica y seguir con el cálculo.

A continuación se realizará el análisis tridimensional y se compararán los demás resultados de ambos análisis.

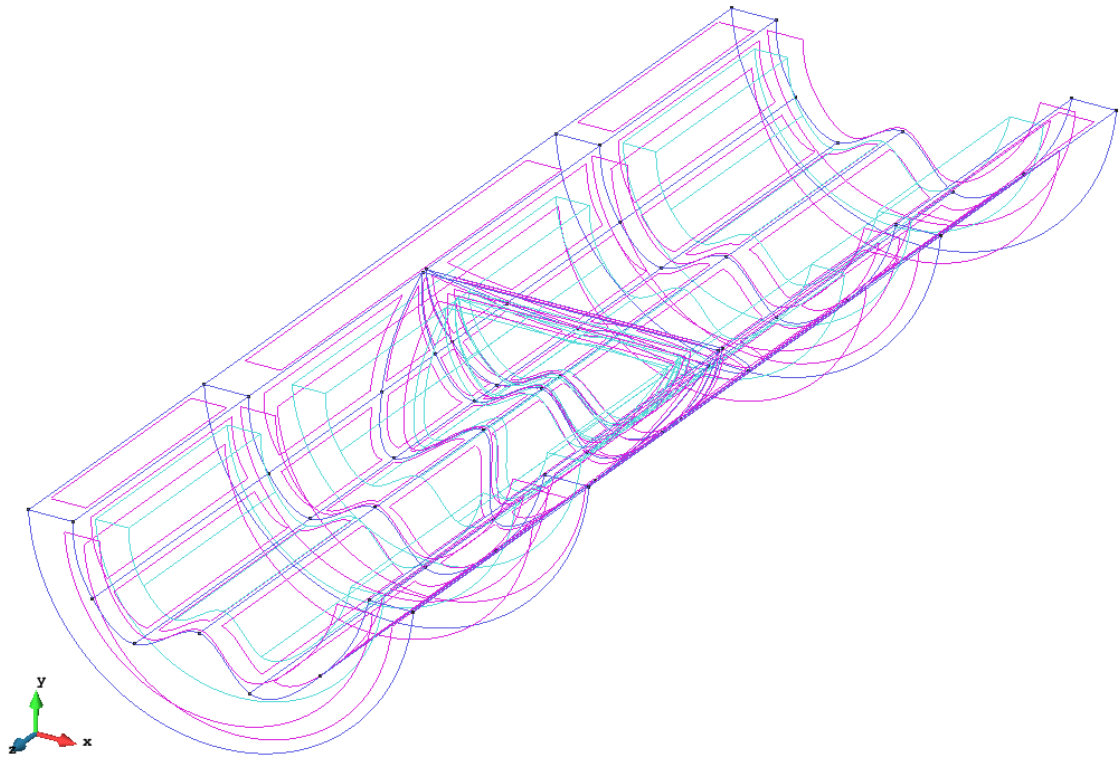
ANÁLISIS TRIDIMENSIONAL

De la misma manera que sucedía con el análisis bidimensional no podemos imponer ningún tipo de simetría debido a que las cargas no lo son. Para garantizar que las condiciones de contorno impuestas no influyen en el comportamiento de la presa, se extenderá el dominio aguas arriba y aguas abajo hasta alcanzar una extensión de 400 metros por ambos lados.

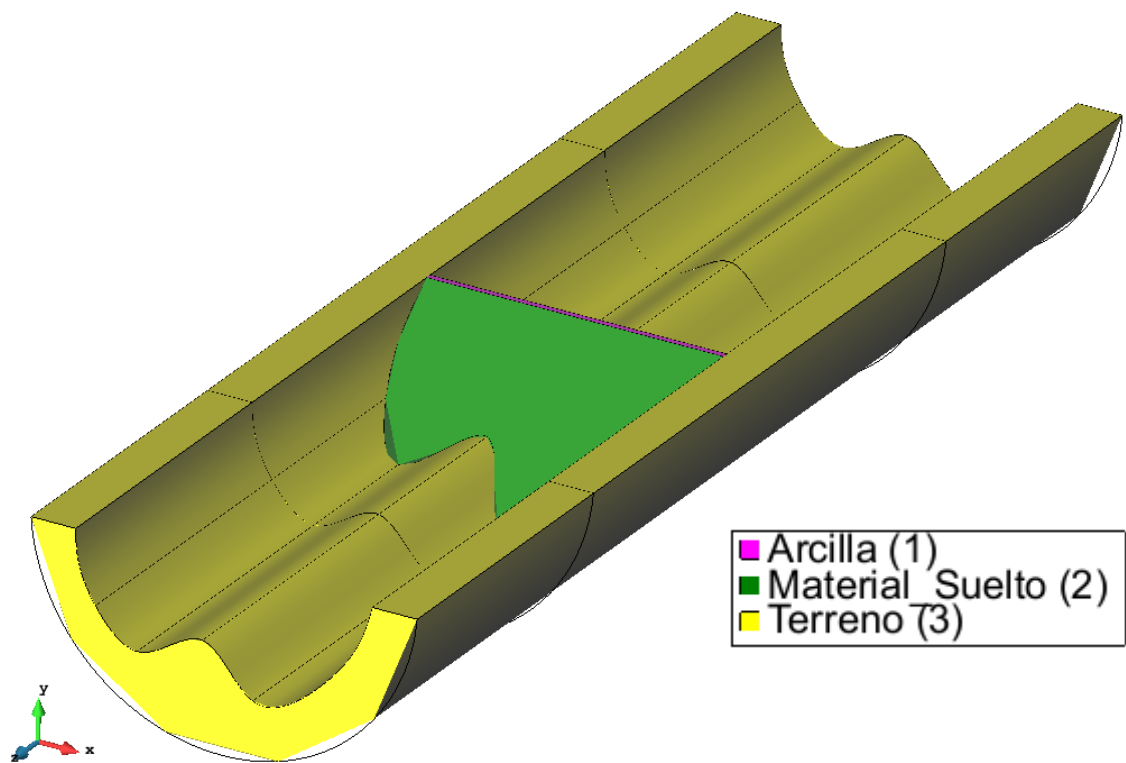
El proceso de definición geométrica consiste en interseccionar la presa completa con el perfil de terreno presente en el valle.



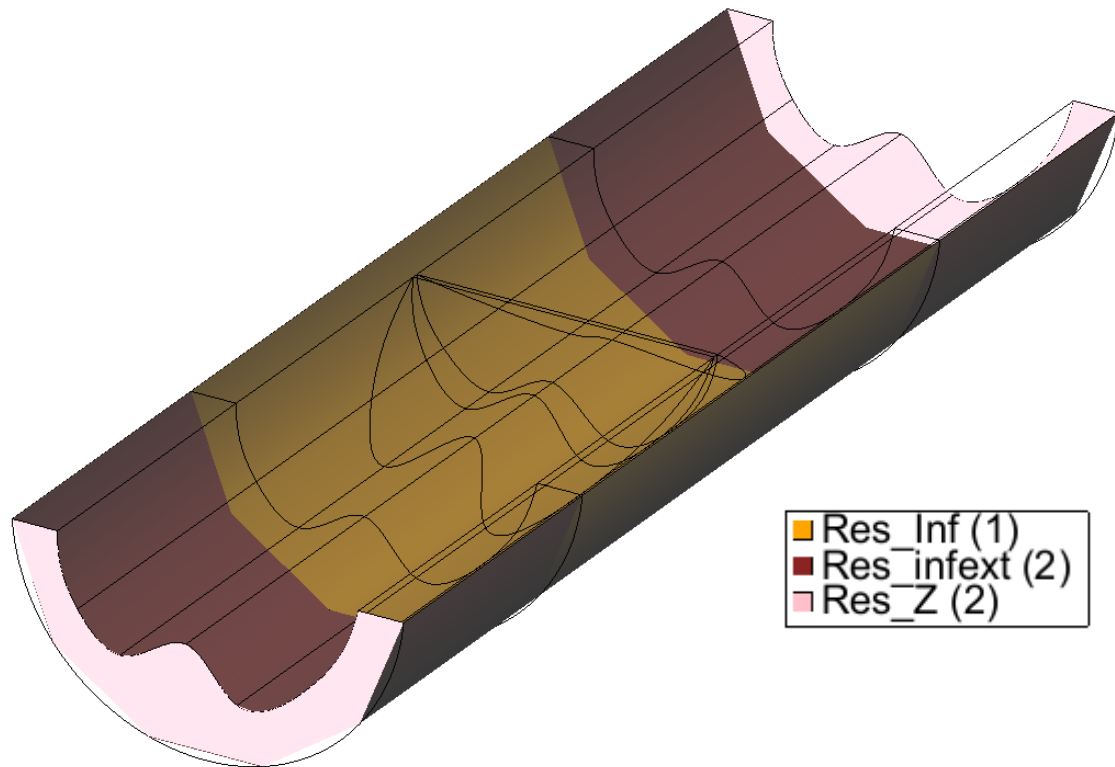
Una vez interseccionada la presa con el valle, se le asigna el espesor al terreno y se generan los volúmenes correspondientes:



A continuación se introducen las propiedades materiales a cada uno de los volúmenes:

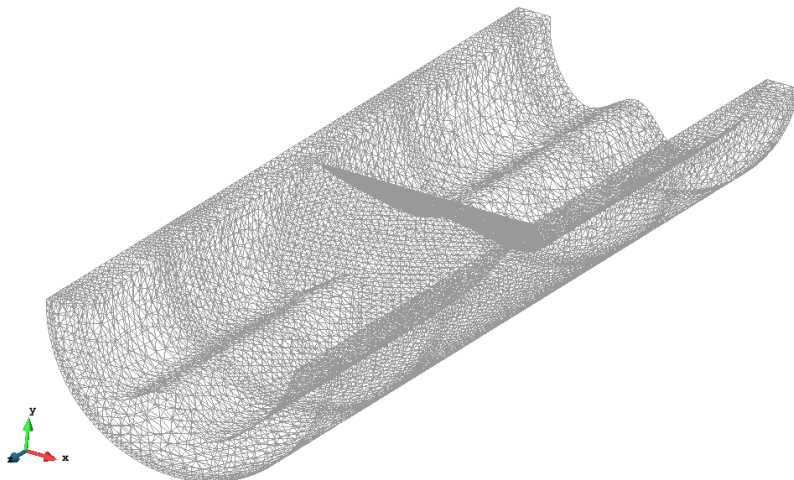


Las condiciones de contorno restringen el movimiento en dirección Z en las secciones de terreno circulares (Res_Z) y se ha impuesto un apoyo elástico en toda la base del terreno (Res_Inf y Res_infext).

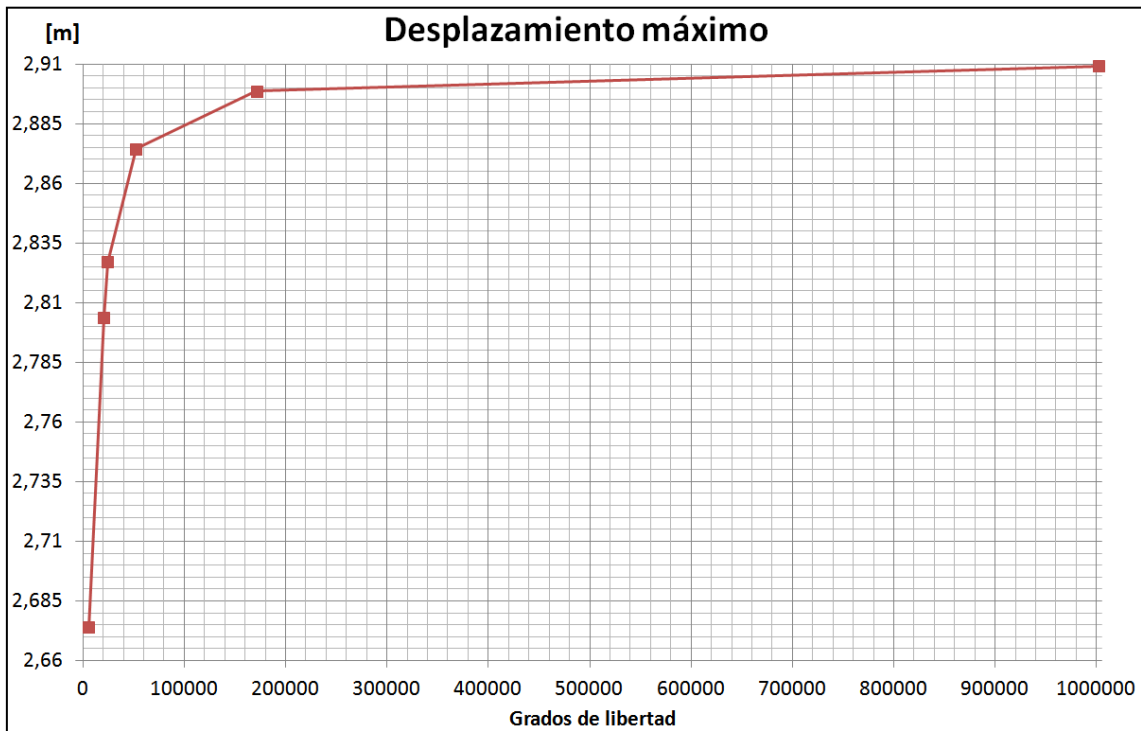


Dado que la geometría está dividida en distintas regiones, puede realizarse un mallado por zonas. Se utilizan tres tamaños de elementos distintos, uno para la presa, otro para el terreno en la región central y otro para el terreno en las regiones exteriores. Se ha utilizado una relación 1:2:4 en el tamaño de los elementos de estas zonas, respectivamente. Se han utilizado elementos tetraédricos de 4 nodos para el mallado.

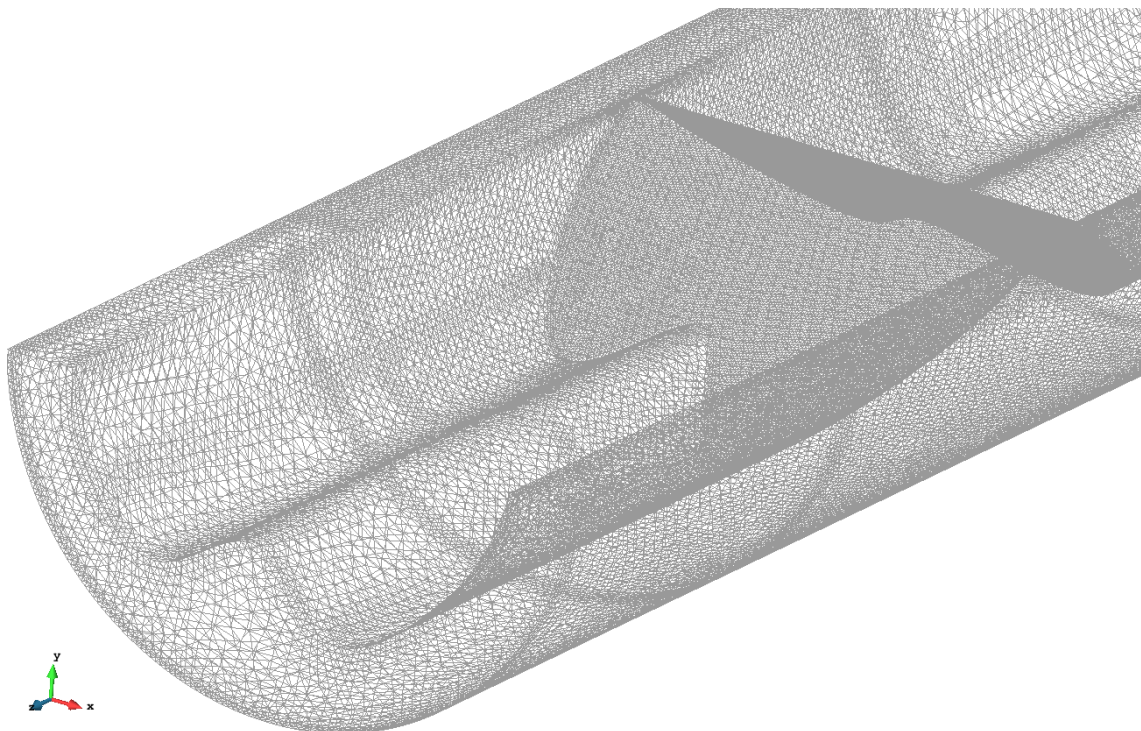
A continuación se muestra el contorno exterior de la malla resultante de utilizar esta relación de tamaños con elementos de tamaño 5:10:20:



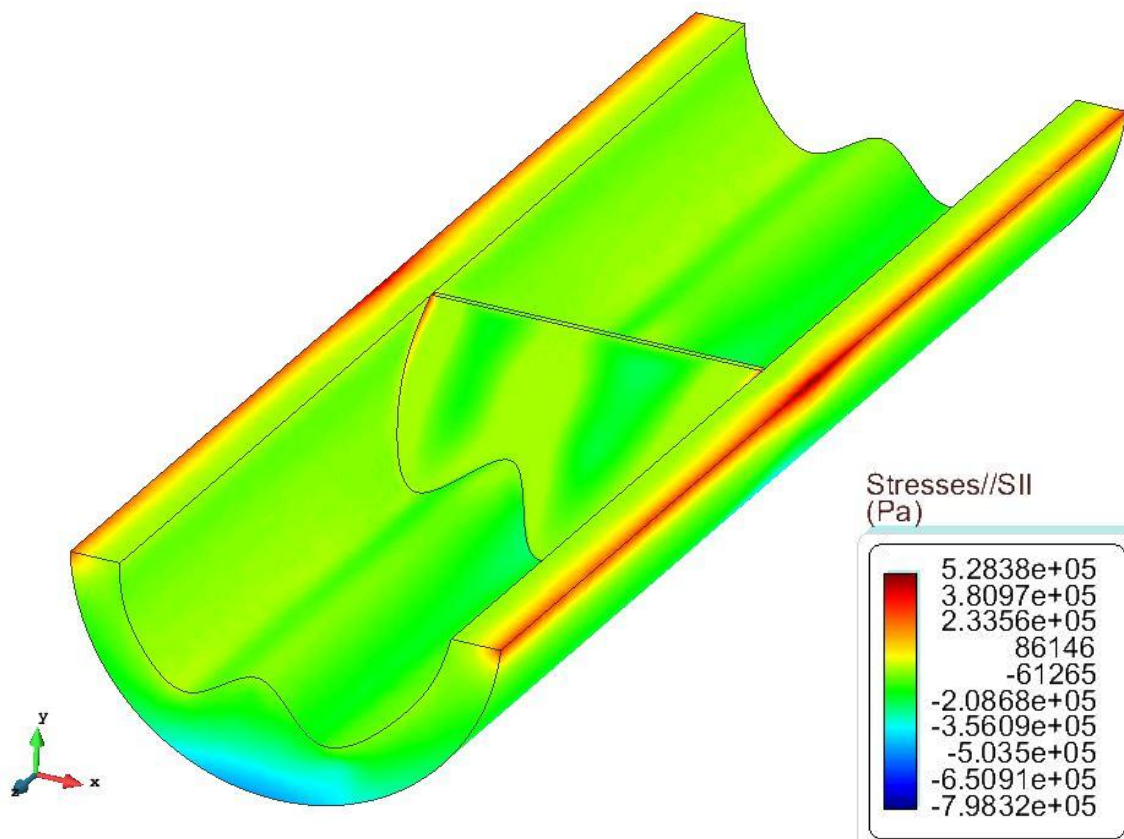
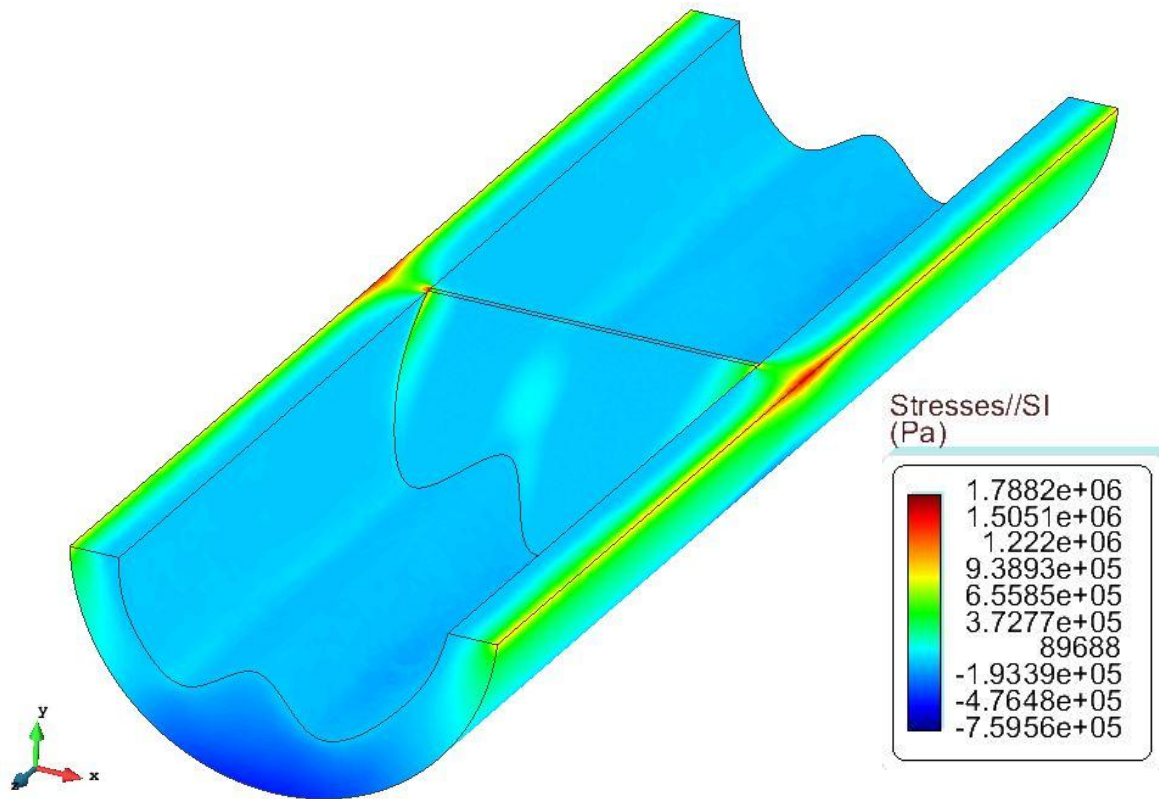
Se realiza un análisis de convergencia refinando la malla manteniendo la relación entre tamaño de elementos. A continuación se muestra la evolución del desplazamiento máximo en el caso de carga de peso propio más la presión hidroestática:

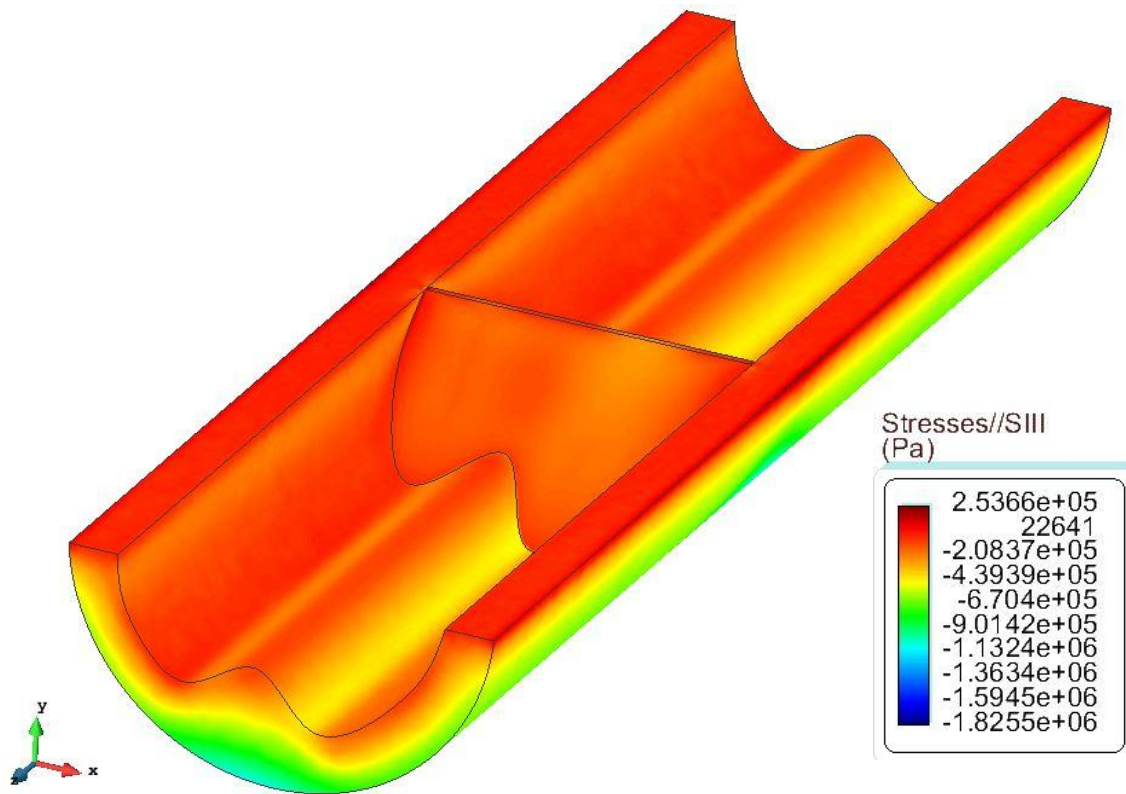


La malla más fina utilizada utilizó elementos de 1 metro en la presa, 2 metros en el terreno central y 4 metros en el terreno exterior y proporcionó un desplazamiento máximo de 2,9082 metros. El contorno de la malla presenta la siguiente configuración:

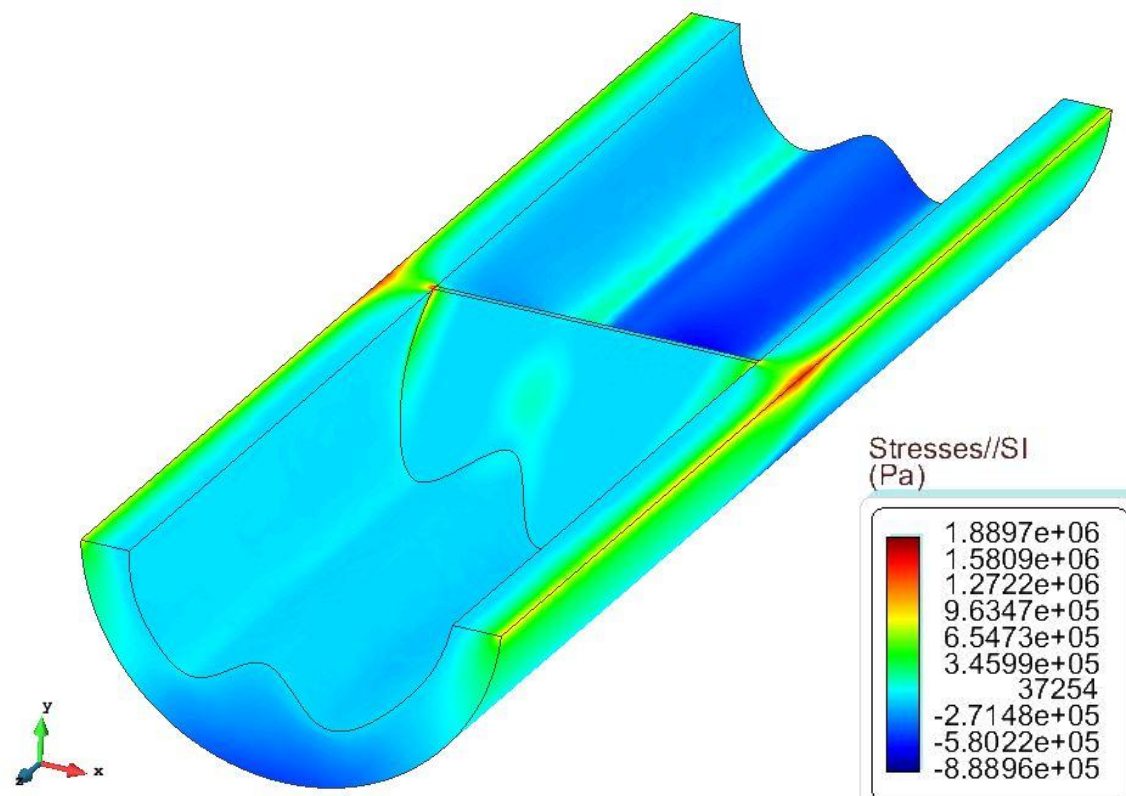


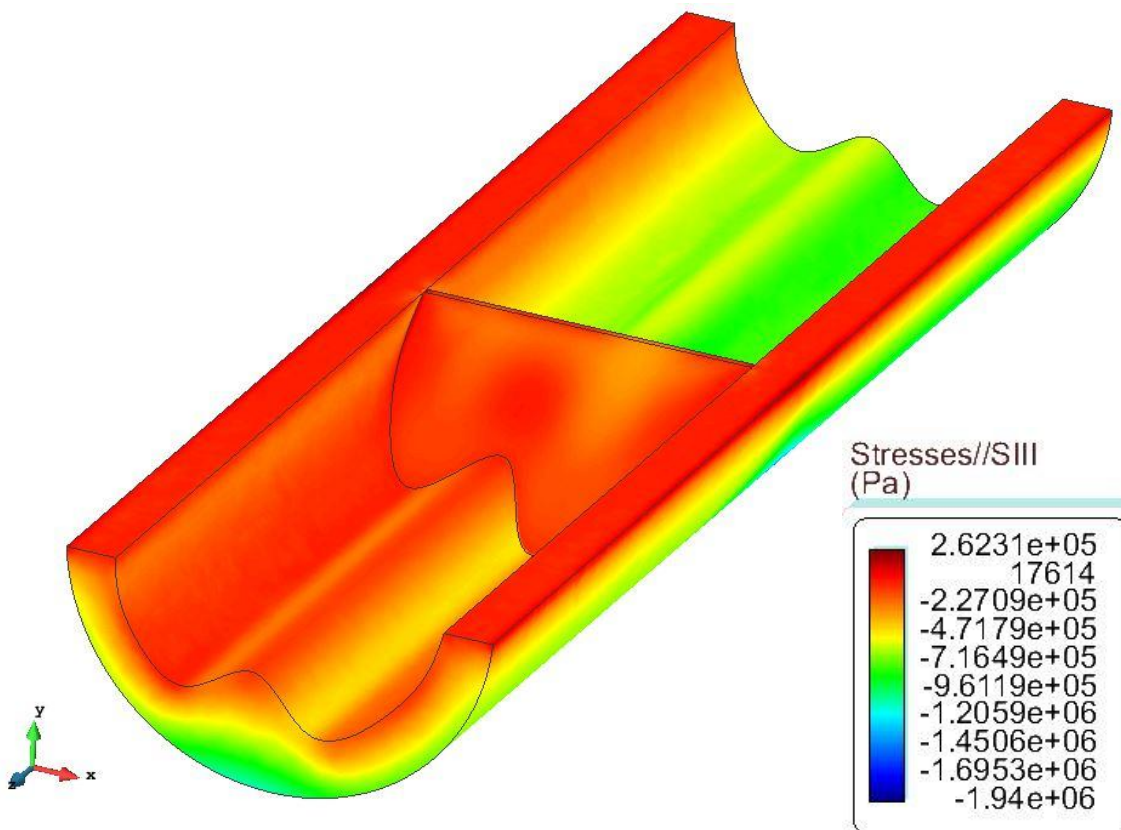
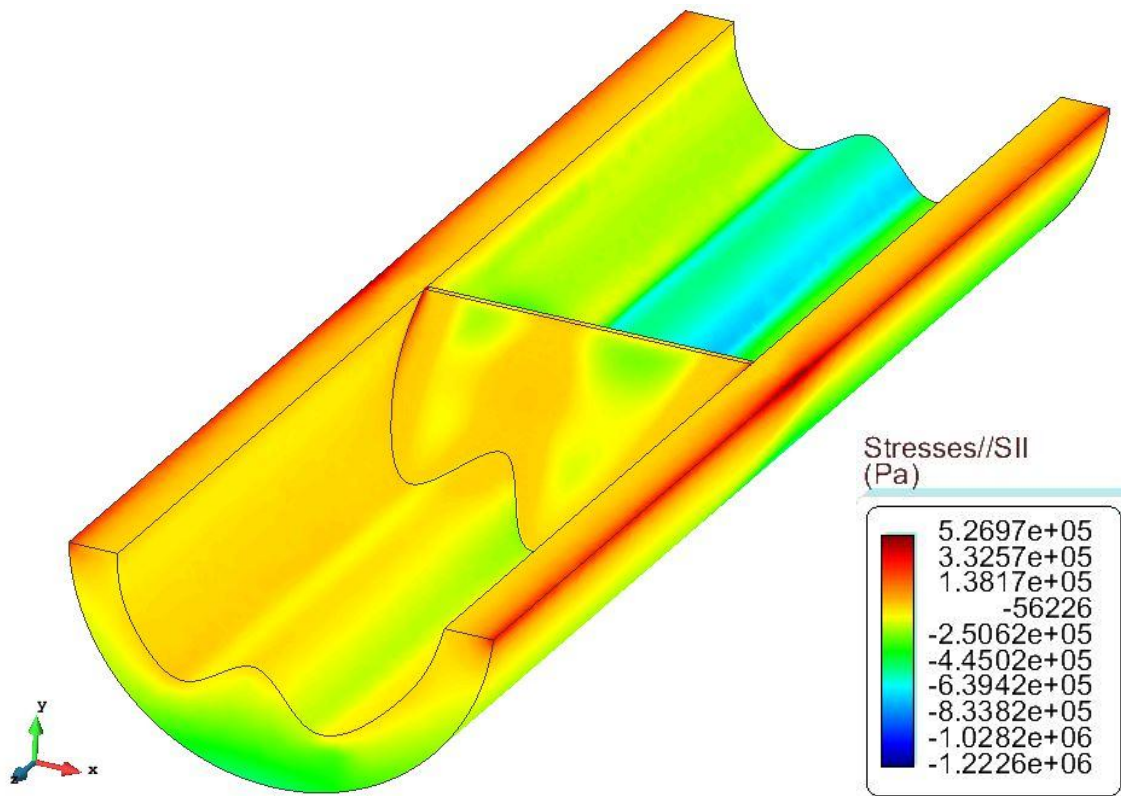
A continuación se muestran los resultados obtenidos mediante el uso de la malla más fina. Primeramente se muestran las tres tensiones principales bajo el estado de carga de peso propio:



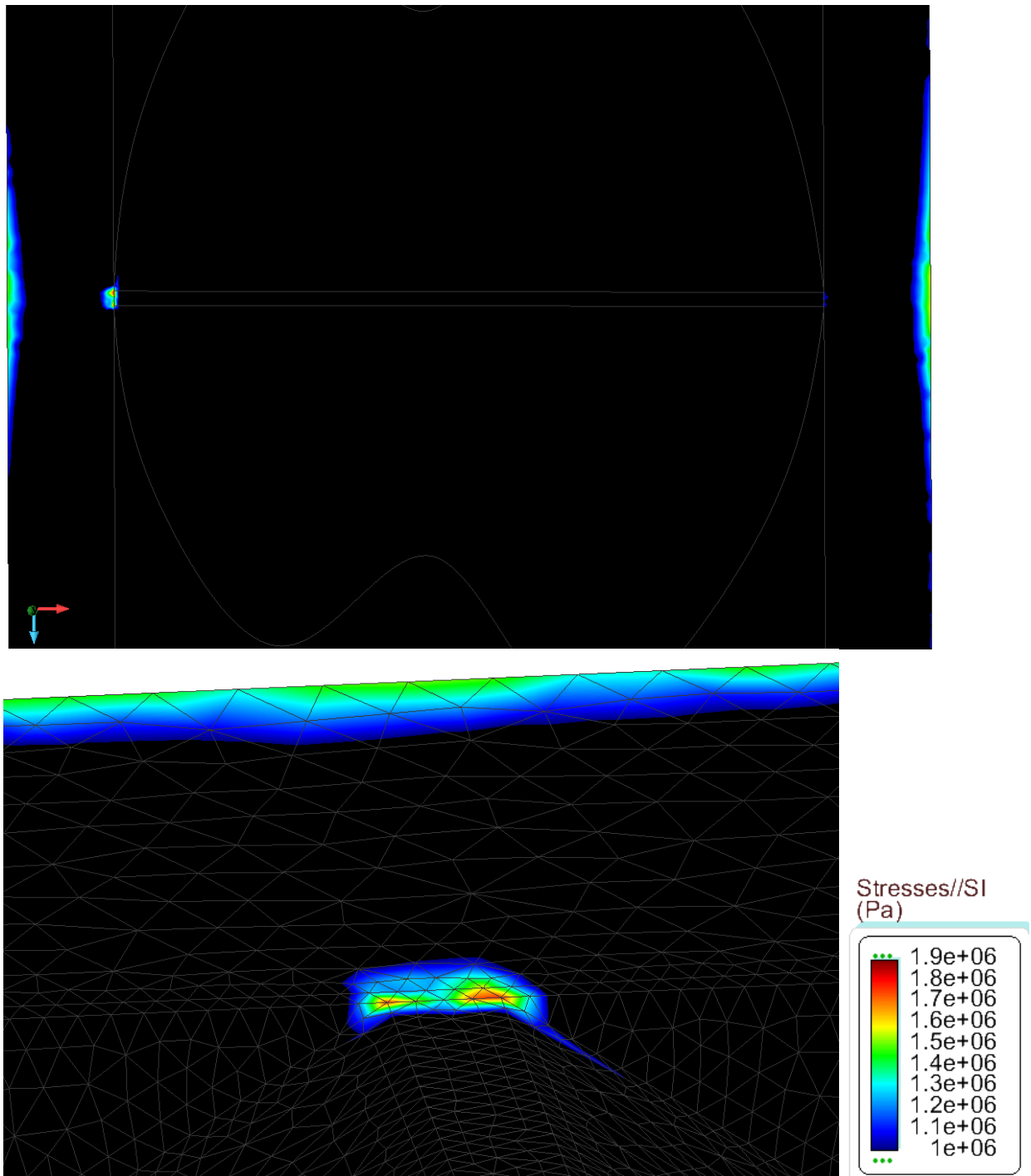


Podemos observar que la tensión principal mayor, S1, presenta regiones que superan el 1MPa de tracción. A continuación se muestran las tres tensiones bajo el estado de carga de peso propio más la presión hidrostática aguas arriba:





Podemos observar que en ambos estados de carga, únicamente la tensión principal mayor supera el 1 MPa de tracción. Si filtramos los resultados para ver únicamente las regiones que superan este valor vemos lo siguiente:



Podemos ver que hay dos regiones diferenciadas donde aparecen estas tensiones. La primera es en el contorno superior de terreno. La condición de contorno impuesta allí es demasiado rígida y no permite que el terreno se deforme como debería. Este fenómeno desaparecería si aumentamos el espesor del terreno.

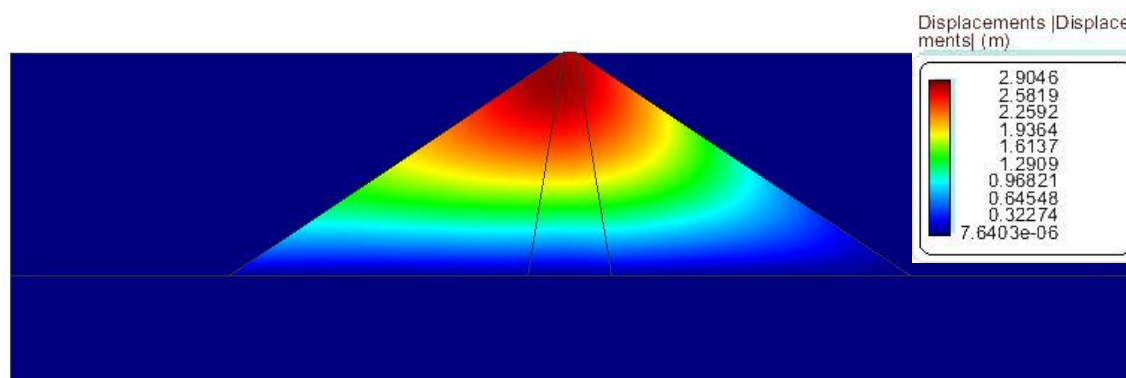
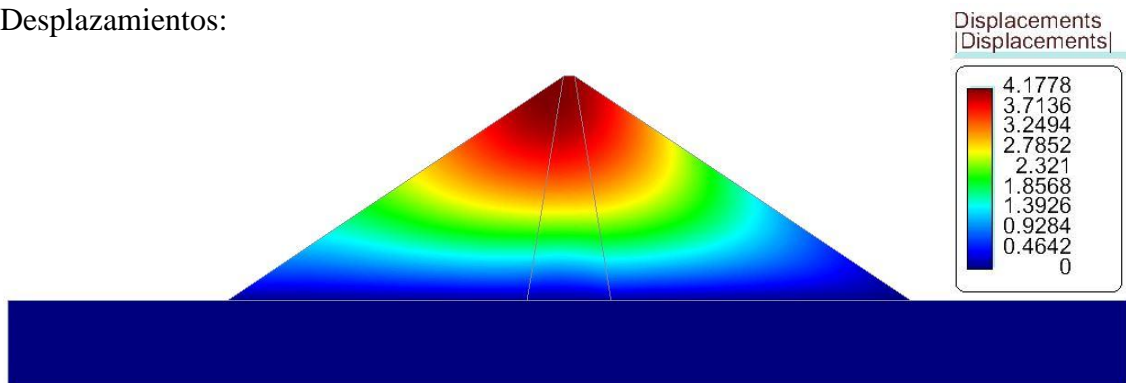
La segunda región dónde aparecen las tensiones es en la unión de la coronación de la presa con el terreno. Este fenómeno se trata de una concentración de tensiones numérica debido a la variación de geometría y propiedades materiales brusca que tiene lugar en esa zona.

El resto de la estructura está significativamente lejos de adoptar valores de tracción cercanos al límite planteado.

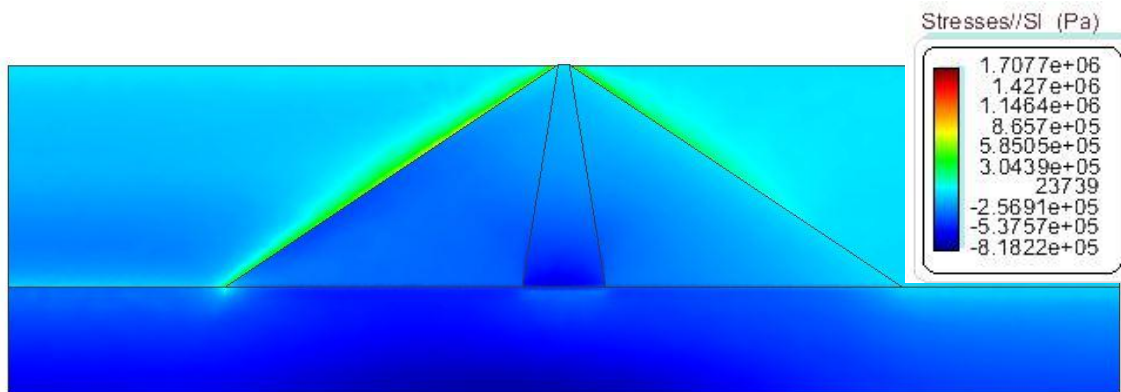
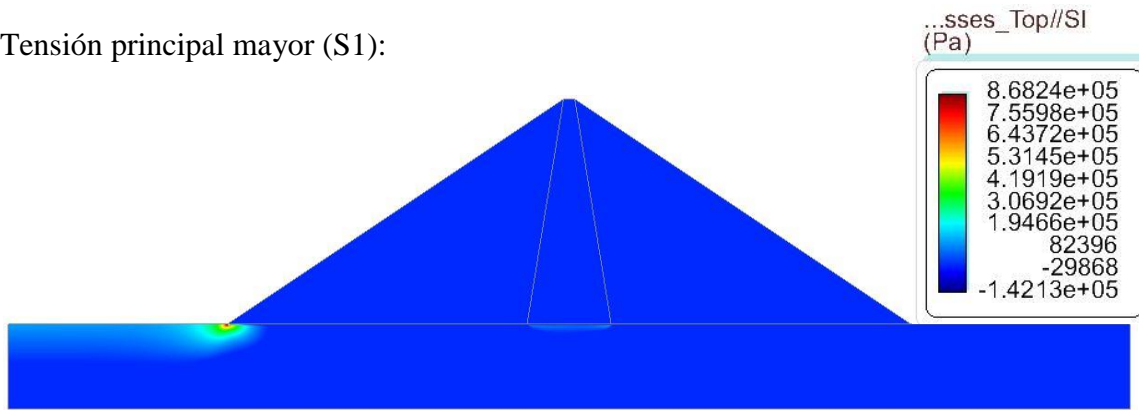
COMPRACIÓN 2D-3D

A continuación se compararán los resultados obtenidos del análisis bidimensional con los obtenidos en el análisis tridimensional en la sección de referencia estudiada bajo peso propio más la presión hidroestática. Se presentarán las mismas imágenes primero para el estudio 2D seguidas del resultado en 3D.

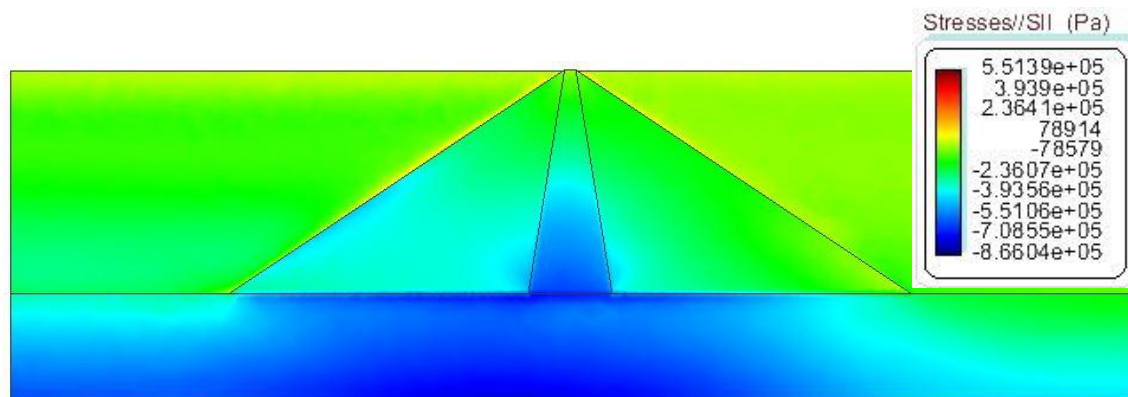
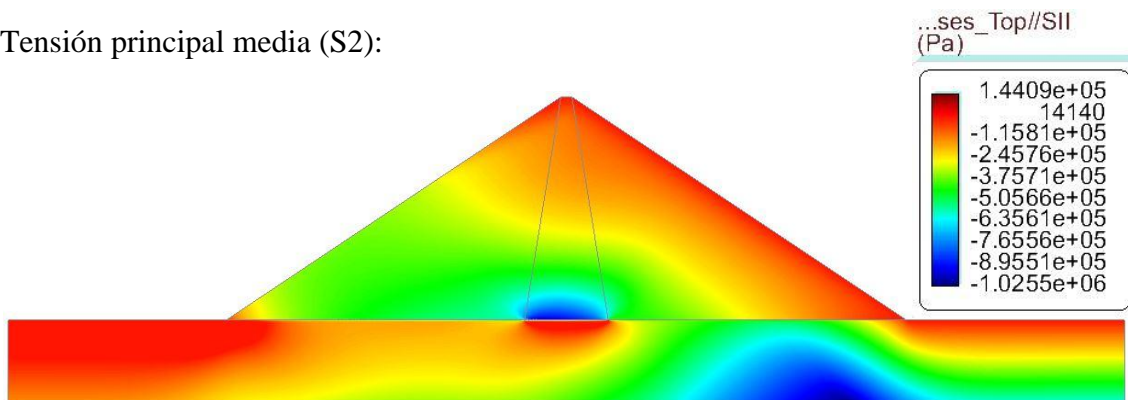
Desplazamientos:



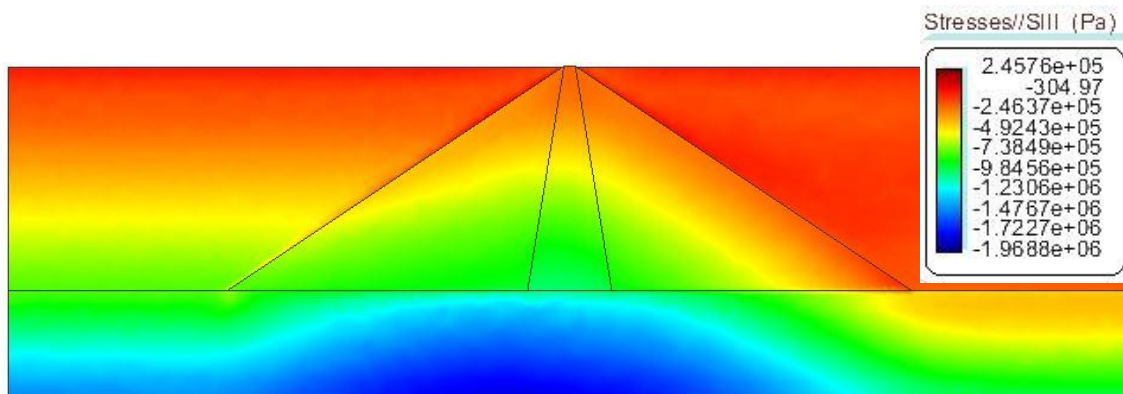
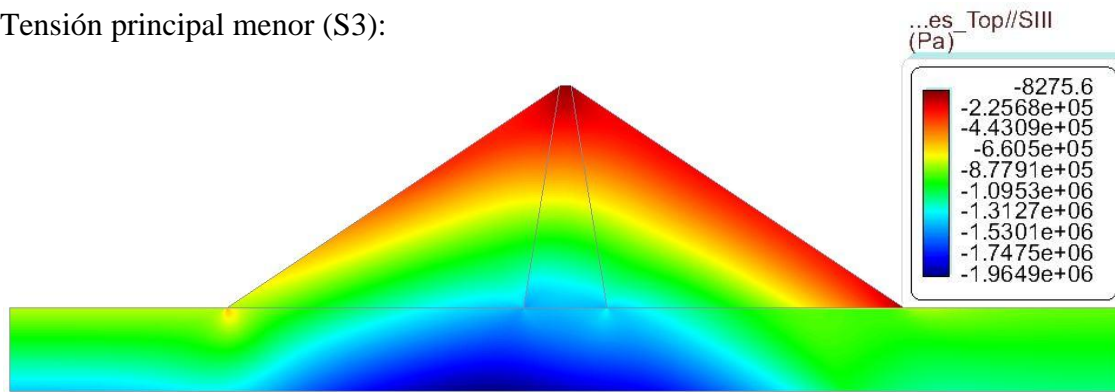
Tensión principal mayor (S1):



Tensión principal media (S2):



Tensión principal menor (S3):



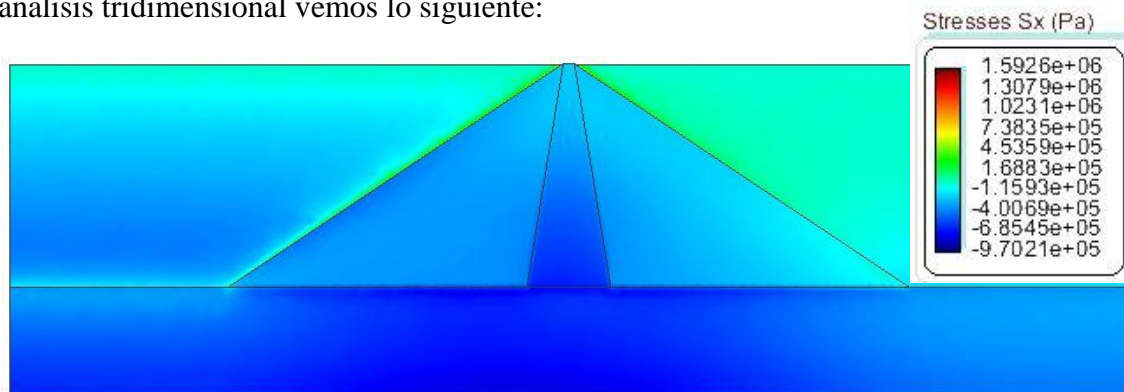
Podemos observar que el comportamiento del desplazamiento es similar, aunque el valor obtenido es significativamente distinto (en 2D se obtiene un desplazamiento máximo de 4,1778 metros mientras que en 3D se obtiene 2,9046 metros).

Podemos ver que la tensión principal mayor, en 2D, genera unas concentraciones de tensiones en la base de la presa, que en 3D son mucho menores, además, el valor de las tensiones en el interior es distinto en los dos análisis.

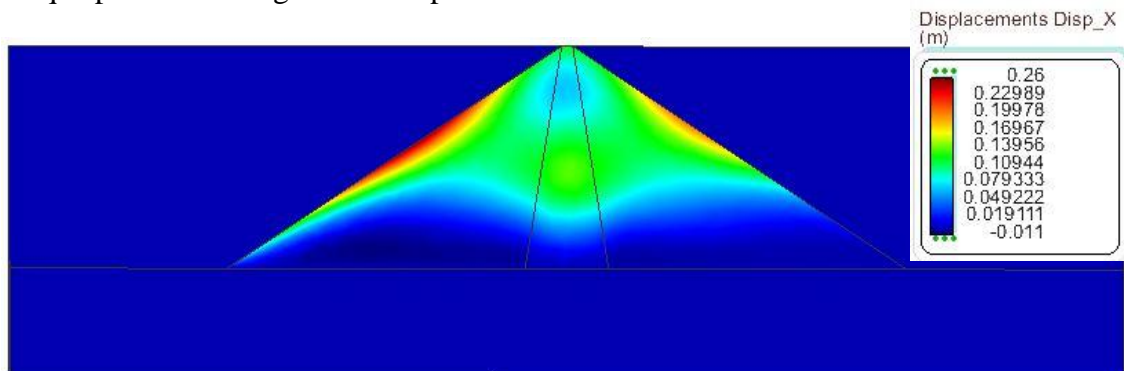
La tensión principal media presenta un comportamiento totalmente distinto en los dos casos.

La tensión principal menor es la única que presenta un comportamiento y unos valores similares. Sin embargo podemos apreciar que en el análisis bidimensional, la presencia de la presa afecta al terreno a una distancia menor que en el análisis tridimensional.

Esta diferencia de comportamiento esta causada por la suposición del comportamiento de deformación plana. Si observamos la tensión en la dirección normal a la sección en el analisis tridimensional vemos lo siguiente:



Lo que produce los siguientes desplazamientos en esta dirección normal:



Se puede apreciar que diferentes áreas de la sección presentan desplazamientos en dirección normal no negligibles, y en ningún caso iguales en toda la sección. Este comportamiento no es compatible con una hipótesis de deformación plana, por lo que los resultados del análisis bidimensional no pueden considerarse como correctos.

CONCLUSIONES

La geometría planteada de mantener ambos taludes con m y n con valor de 1,5 y la base del núcleo de arcilla de 30 metros no genera tracciones en la presa de manera global. Sin embargo, se debe prestar especial atención a la unión de la coronación con el terreno receptor, ya que podrían aparecer ciertas tracciones en esa zona. Hay que destacar que estas tensiones no pueden solucionarse modificando los parámetros de diseño planteados, sino que se debería modificar la geometría de manera significativa en esa zona para remover la discontinuidad geométrica.

El comportamiento de la presa no puede simplificarse a un comportamiento de deformación plana, ya que cada sección de la presa no se comporta de la misma manera que su adyacente, debido principalmente a la no regularidad del perfil del terreno.

Este perfil, al reducir la altura de la presa en determinadas secciones, la rigidiza de manera global, reduciendo los desplazamientos máximos, que son significativamente inferiores a los obtenidos considerando la hipótesis de deformación plana.

Podemos concluir que el uso de los elementos finitos en un escenario tridimensional complejo permite realizar un análisis mucho más preciso que con técnicas convencionales y simplificaciones.

El coste computacional requerido, aún utilizando una malla con más de un millón de grados de libertad, no fue especialmente elevado. Sin embargo, la visualización de resultados por parte del programa, es decir, la gestión gráfica de los resultados, si que presentó ciertos problemas de fluidez.