

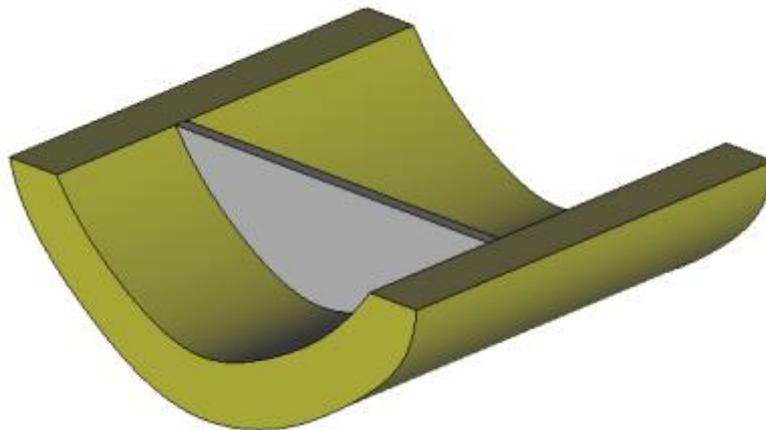
E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona



Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

INGENIERÍA DE LAS ESTRUCTURAS

PROBLEMA S-16



JORGE PERTIERRA BRASA

ÍNDICE:

1.- MEMORIA:	2
1.1 Introducción:	2
1.2 Datos y geometría del problema:	2
1.3. Modelizado y análisis tensional	4
1.3.1. Análisis en 2D.	4
1.3.2. Análisis en 3D.	9
1.4. Comparación y conclusiones	15

1.-MEMORIA:

1.1 Introducción:

El objeto de esta práctica es el aprender a manejar un software de cálculo de estructuras mediante el uso del Método de los Elementos Finitos. El software en cuestión es un programa llamado GiD que ha sido desarrollado en el CIMNE. Por todo lo anterior, se propone la resolución de un ejercicio de cálculo mediante el MEF para una presa comparando los resultados obtenidos en un análisis en 2D con los obtenidos en un análisis en 3D.

En esta memoria, en primer lugar se planteará el ejercicio objeto de la práctica, posteriormente se mostrarán los resultados obtenidos con las aclaraciones que fuesen necesarias en forma gráfica o en tablas y finalmente se presentarán unas conclusiones.

1.2 Datos y geometría del problema:

Se pide el dimensionamiento y posterior cálculo de una presa de hormigón de 80m de altura.

Además se pide la realización del proyecto primeramente mediante un análisis bidimensional y posteriormente en 3D para verificar el diseño utilizando en ambos casos las siguientes hipótesis:

- 1) *Las tracciones máximas en cualquier punto de la presa no deben superar 2 MPa.*
- 2) *El peso específico del hormigón es de 25000 N/m³ y del terreno es de 20000 N/m³*
- 3) *El Modulo de elasticidad del hormigón a usar es de 22 G N/m² y el coeficiente de poisson es de 0,20.*
- 4) *Base empotrada en el terreno.*
- 5) *Cimentación en terreno homogéneo. Modulo de elasticidad: 37 G N/m² y coeficiente de poisson 0,30.*
- 6) *Cargas actuantes:*
 - a) *Peso propio.*
 - b) *Peso propio + empuje hidrostático en presa y cimentación (altura del agua 77 metros)*

Para el análisis se realizará primero un estudio de convergencia con elementos triangulares tanto para el caso 2D como para el 3D.

A continuación se muestra primero la geometría del terreno en el que se ha emplazado la presa y posteriormente la sección de la presa en cuestión.

En la siguiente figura (figura 1) se muestra el perfil del emplazamiento de la presa:

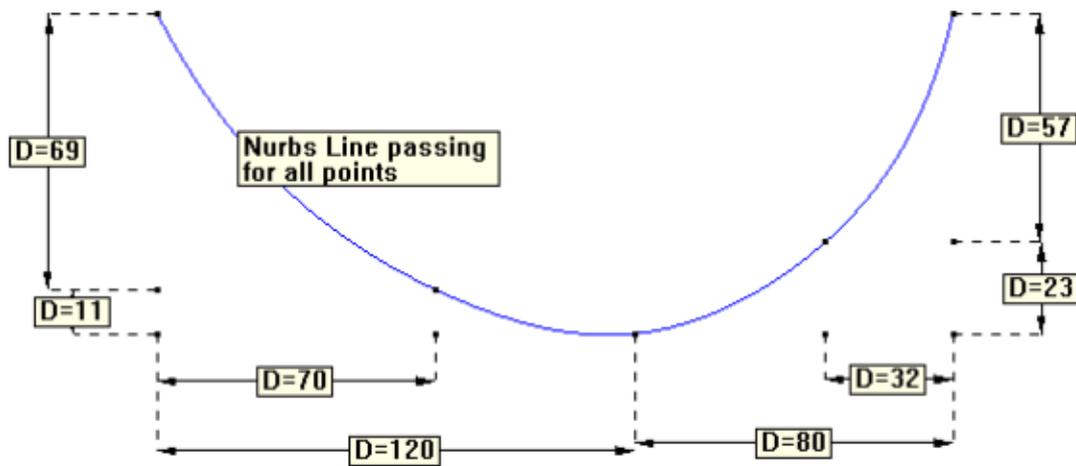


Figura 1: Perfil del emplazamiento.

La sección del terreno tiene un ancho de 30m y un desarrollo de 200m, aunque debido a las dimensiones de la presa se ha aumentado el desarrollo del terreno a 400m. A continuación en la figura 2 se muestra una perspectiva del conjunto presa-terreno.

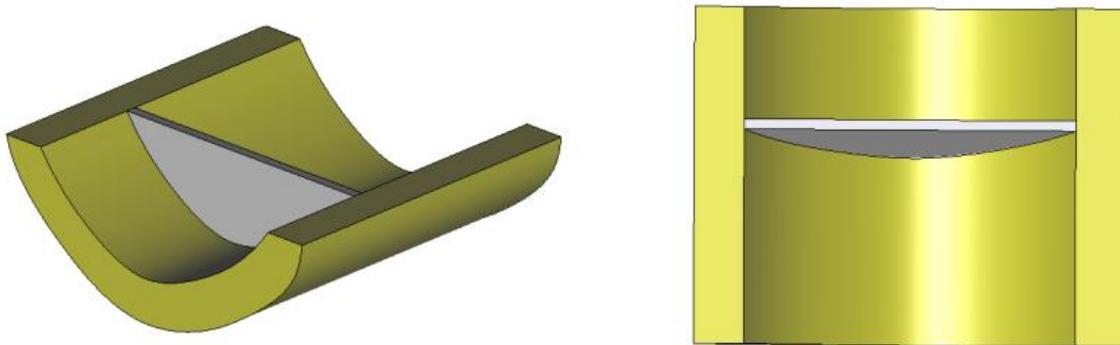


Figura 2: Perspectiva del conjunto

Por último la sección de nuestra presa tiene las siguientes dimensiones que deberán de ser optimizadas en el dimensionamiento (figura 3):

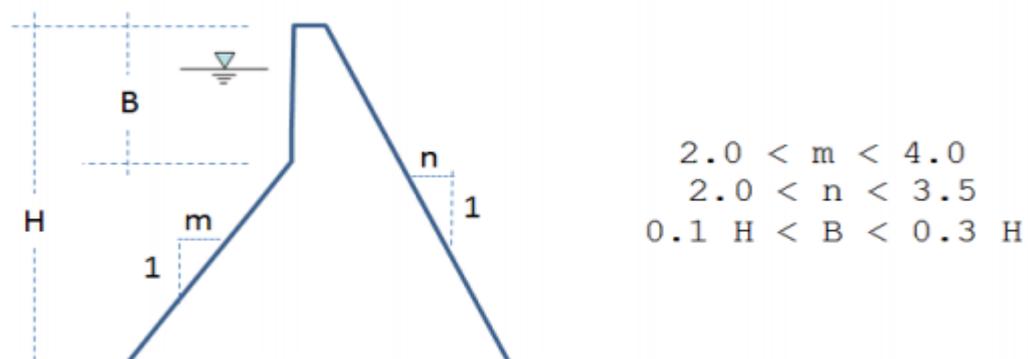


Figura 3: Sección de la presa

1.3. Modelizado y análisis tensional

En primer lugar hay que determinar la sección de presa que se va a utilizar de acuerdo a lo expuesto anteriormente en la figura 2.

El objetivo es optimizar el dimensionamiento de la presa en función de los rangos dados para los parámetros m , n y B .

El mínimo valor del rango aportado para la pendiente de los paramentos de aguas arriba (m) y aguas abajo (n) de la presa es ya suficientemente alto. Aumentar estos valores no es necesario y sólo provocaría un gran sobredimensionamiento de la misma, por lo que se tomarán los valores mínimos de $m, n=2$.

Por la misma razón y debido a que los valores de las pendientes son ya suficientemente elevados se ha decidido maximizar el valor de B para que de esta manera la longitud total de la base de la presa disminuya. ($B=0.3H$).

Aún así la base de la presa sigue siendo demasiado grande y ha sido necesario aumentar el desarrollo del terreno de 200 a 400 m para realizar el análisis tensional.

A continuación se realizará primero un análisis en 2D seguido de un análisis en 3D, haciendo en cada uno un estudio de convergencia para elegir el tipo de elementos más adecuado para realizar la discretización.

1.3.1. Análisis en 2D.

1.3.1.1. Estudio de convergencia

Para la elección del tipo de elementos y tamaño de la malla con los que realizar el análisis tensional de la presa, se realiza un estudio de convergencia del valor de la deflexión máxima según el eje Z frente al nº de grados de libertad. Este estudio de convergencia se realiza con 2 situaciones: La primera es utilizando elementos triangulares DKT en presa y terreno. La segunda es utilizando una malla estructurada con elementos cuadriláteros de tamaño 5 en el terreno y elementos triangulares DKT en la presa..

Los resultados obtenidos se expresan en forma de tabla y posteriormente en forma de gráfica para apreciar mejor la convergencia.

	TAMAÑO	Nº NODOS	NºGDL	Desp Z (m)
TRIÁNGULOS DKT	30	69	207	0,0039346
	25	74	222	0,0039259
	20	108	324	0,0039332
	15	174	522	0,0040024
	12,5	213	639	0,0040019
	10	366	1098	0,0040043
	5	1239	3717	0,0040796
	3	3390	10170	0,0041033
	1	30051	90153	0,0041232

TRIÁNGULOS DKT + CUADRILATEROS	TAMAÑO	Nº NODOS	NºGDL	Desp Z (m)
	30	866	2598	0,0037847
	25	865	2595	0,0037557
	20	871	2613	0,0037851
	15	876	2628	0,0037569
	12,5	888	2664	0,003764
	10	912	2736	0,0037756
	5	1191	3573	0,0038475
	4	1469	4407	0,0038456
	2	3593	10779	0,0038876
1	12028	36084	0,0038963	

Tabla 1: Estudio de Convergencia

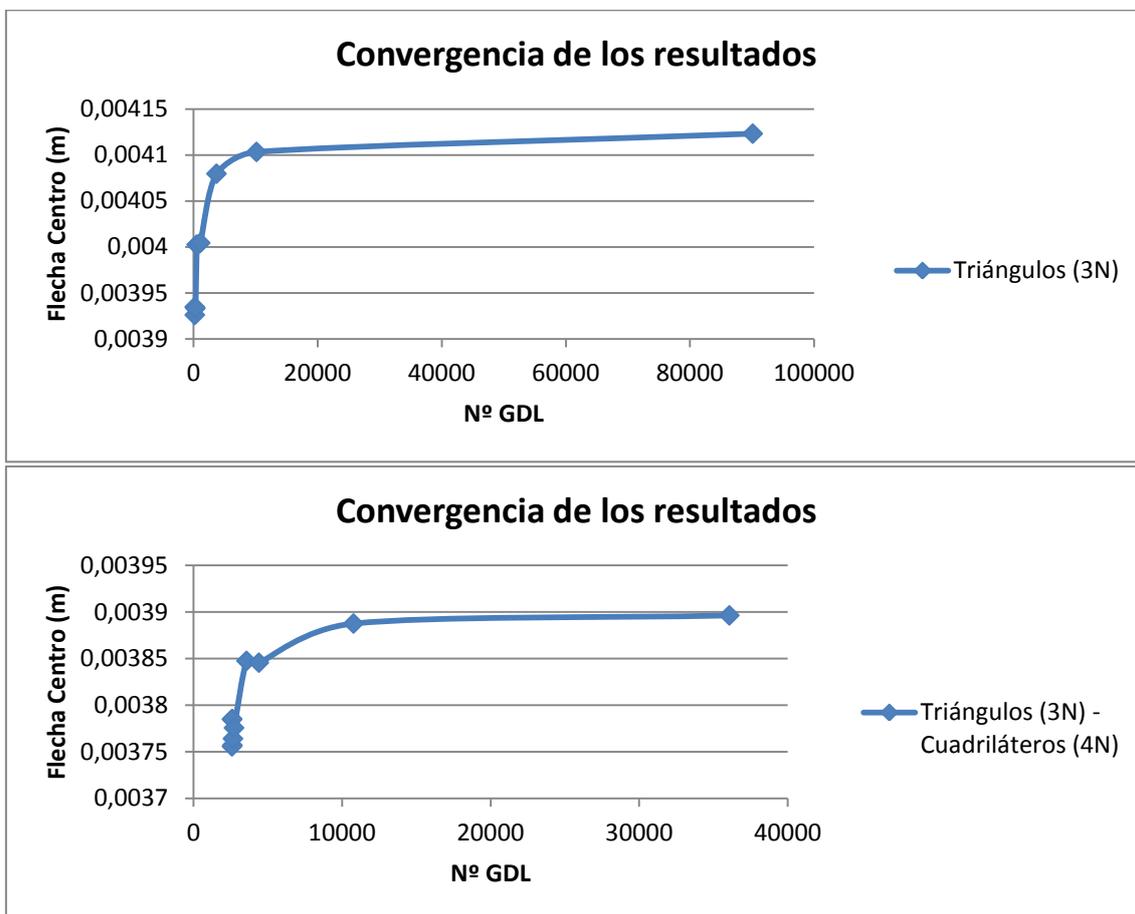


Figura 4: Estudio de convergencia

Podemos comprobar en la figura 4 que los resultados obtenidos con ambas situaciones son bastante similares, difieren del orden de 0,2mm.

Pero el coste computacional de usar una malla no estructurada de elementos triangulares en la presa y una malla estructurada de elementos cuadriláteros de tamaño mayor en el terreno es mucho menor que el usar elementos triangulares de igual tamaño en terreno y presa.

Por ello para el análisis del estado tensional de la presa utilizaremos una malla estructurada de elementos cuadriláteros en el terreno y una malla no estructurada de **elementos triangulares DKT con tamaño 1**.

A continuación se muestra el mallado de la presa en 2D:

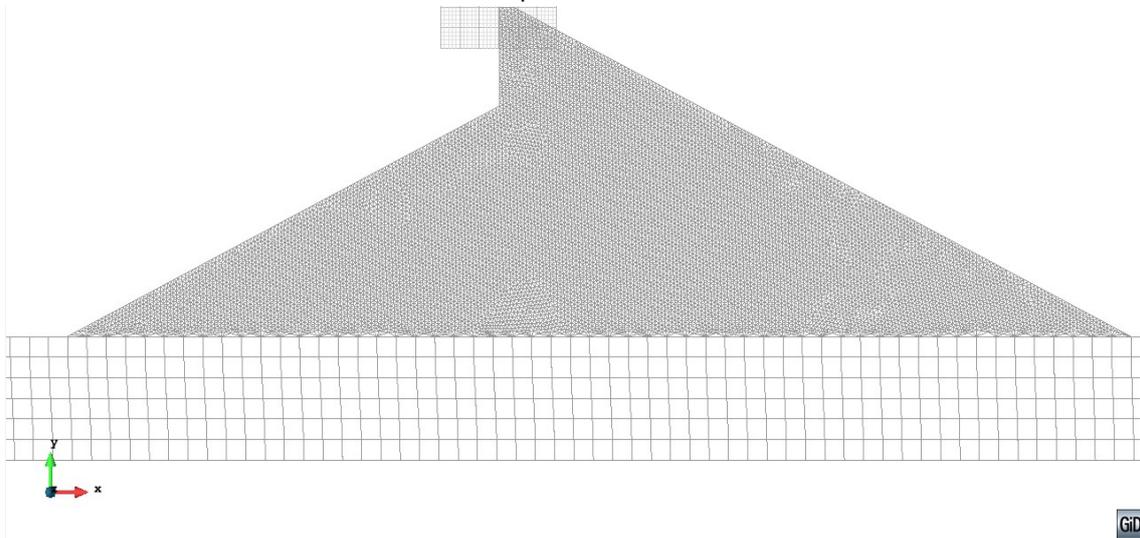


Figura 5: Mallado de la presa.

1.3.1.2. Análisis del estado tensional.

1ª SITUACIÓN: PESO PROPIO

En las siguientes figuras se muestran los resultados gráficos del estado tensional utilizando el mallado que se ha determinado con el estudio de convergencia anterior.

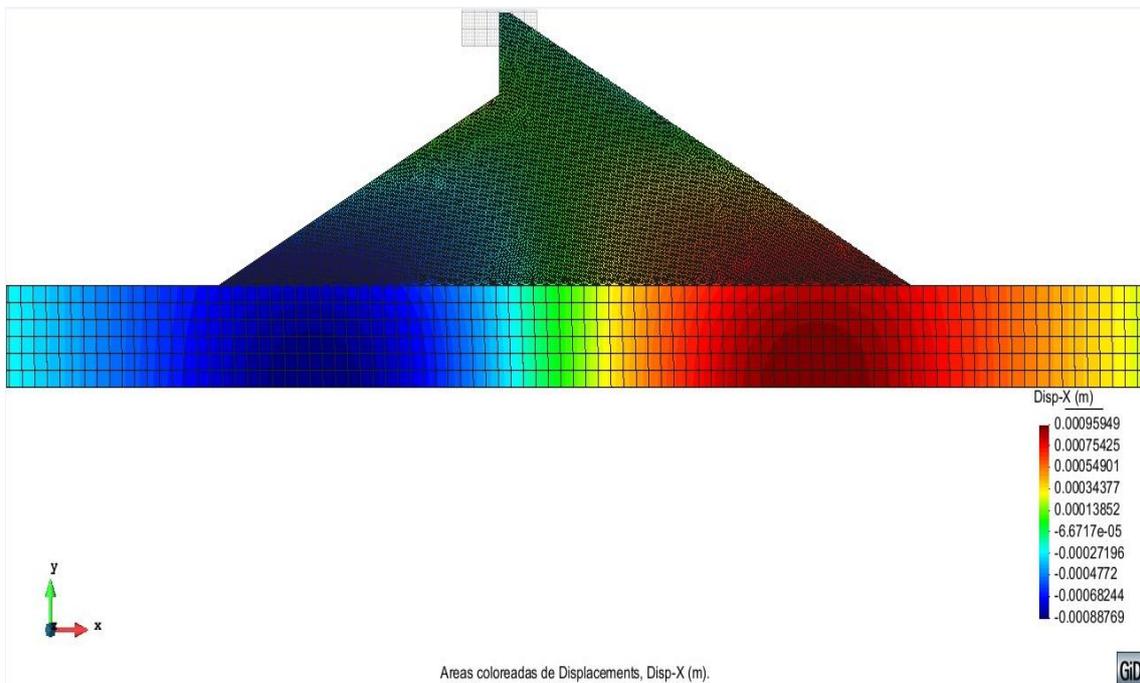


Figura 6. Mapa de isoáreas de desplazamientos en X

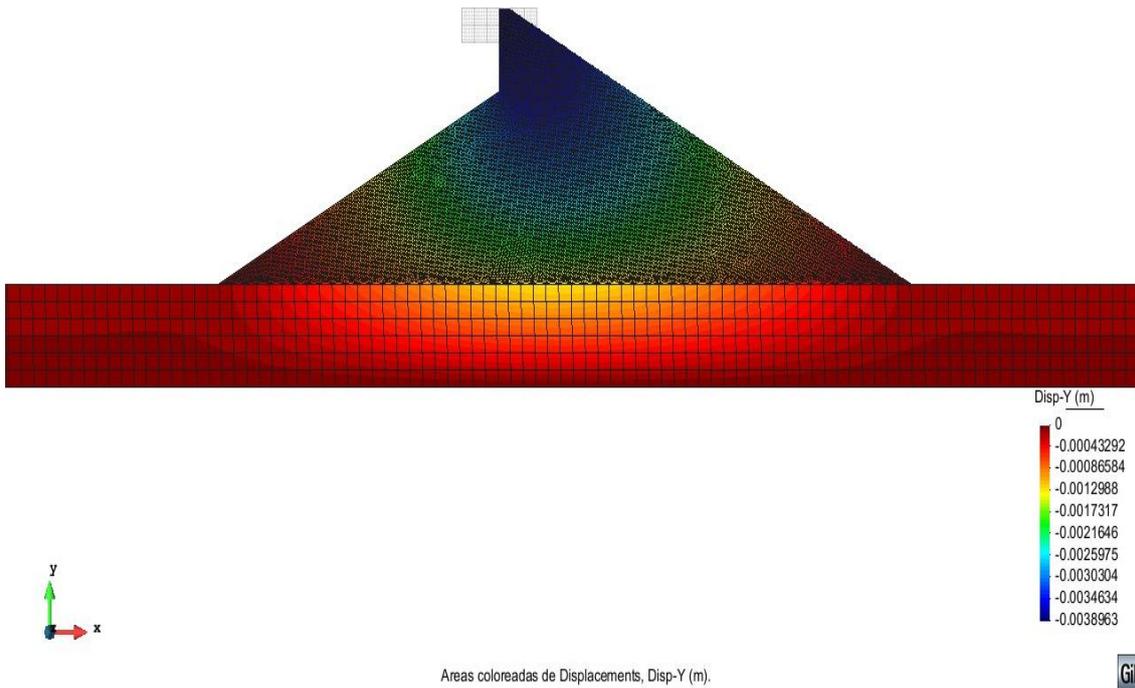


Figura 7. Mapa de isoáreas de desplazamientos en Y

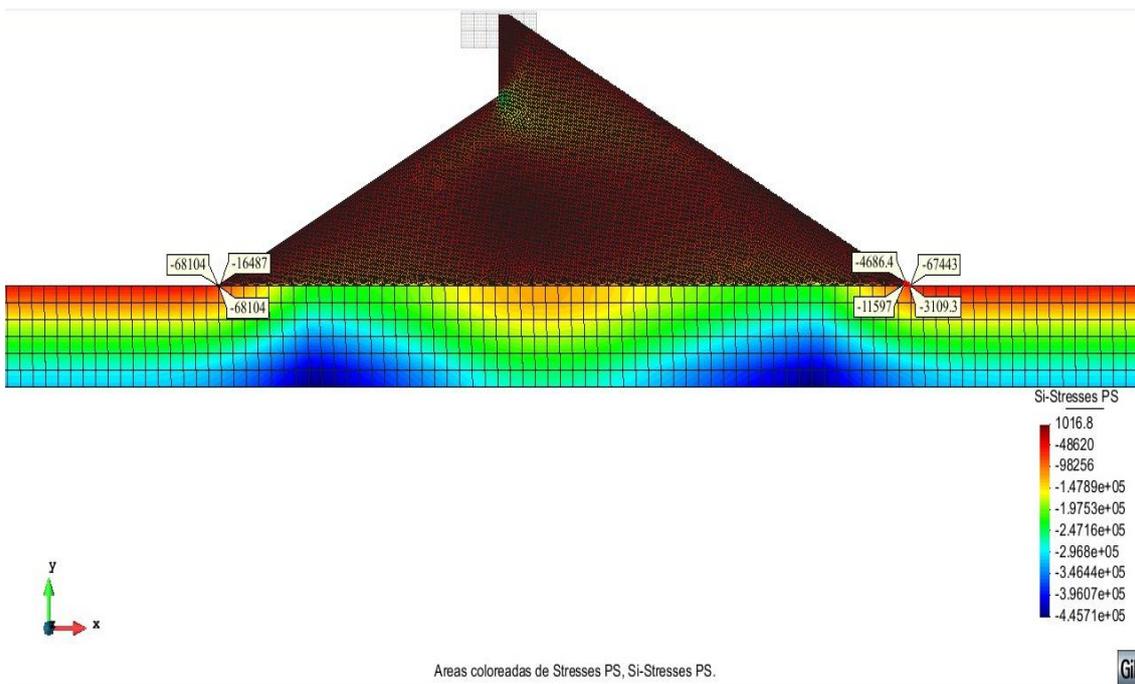


Figura 8. Mapa de isoáreas de tensiones principales 1 (N/m^2)

En la figura 6 se observa el comportamiento esperado de la presa que al comprimirse por el peso propio se desplaza en diferente sentido horizontal de manera más o menos simétrica en toda la presa.

En la figura 7 el desplazamiento vertical es mayor en la zona alta de la presa y va disminuyendo a medida que nos acercamos al terreno.

En la figura 8 se observa que como era de esperar casi no hay tracciones en la presa y donde las hay están muy por debajo de los 2Mpa que se establecieron como límite.

2ª SITUACIÓN: PESO PROPIO + PRESIÓN HIDROSTÁTICA

En las siguientes figuras se muestran los resultados gráficos del estado tensional utilizando el mallado que se ha determinado con el estudio de convergencia anterior.

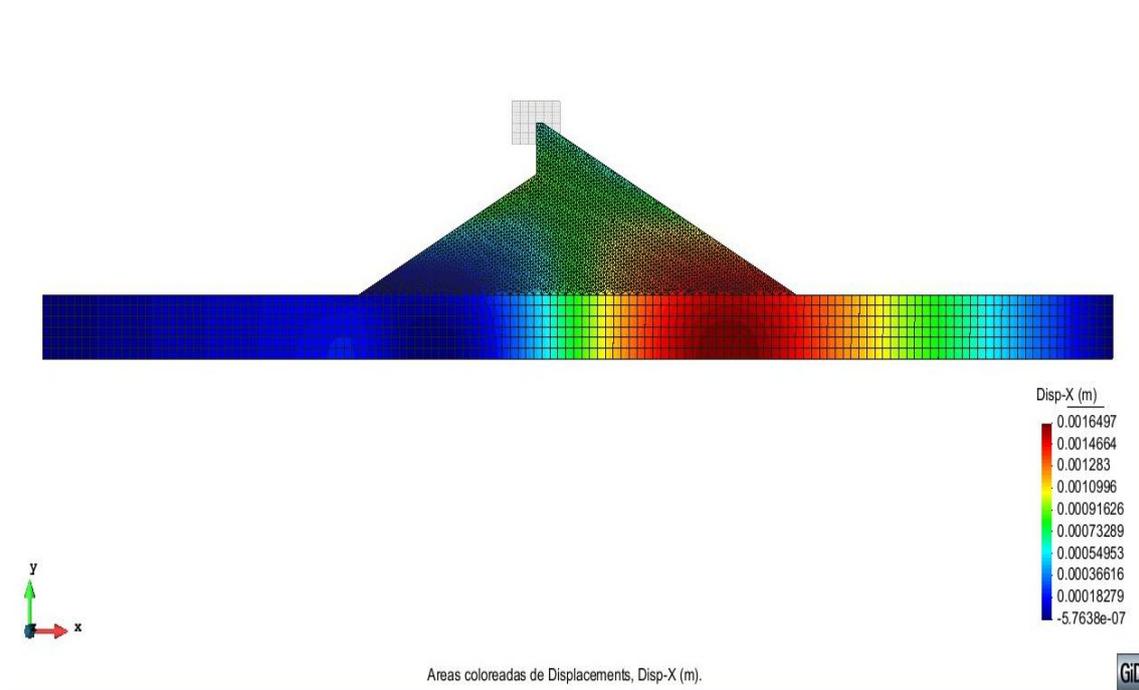


Figura 9. Mapa de isoáreas de desplazamientos en X

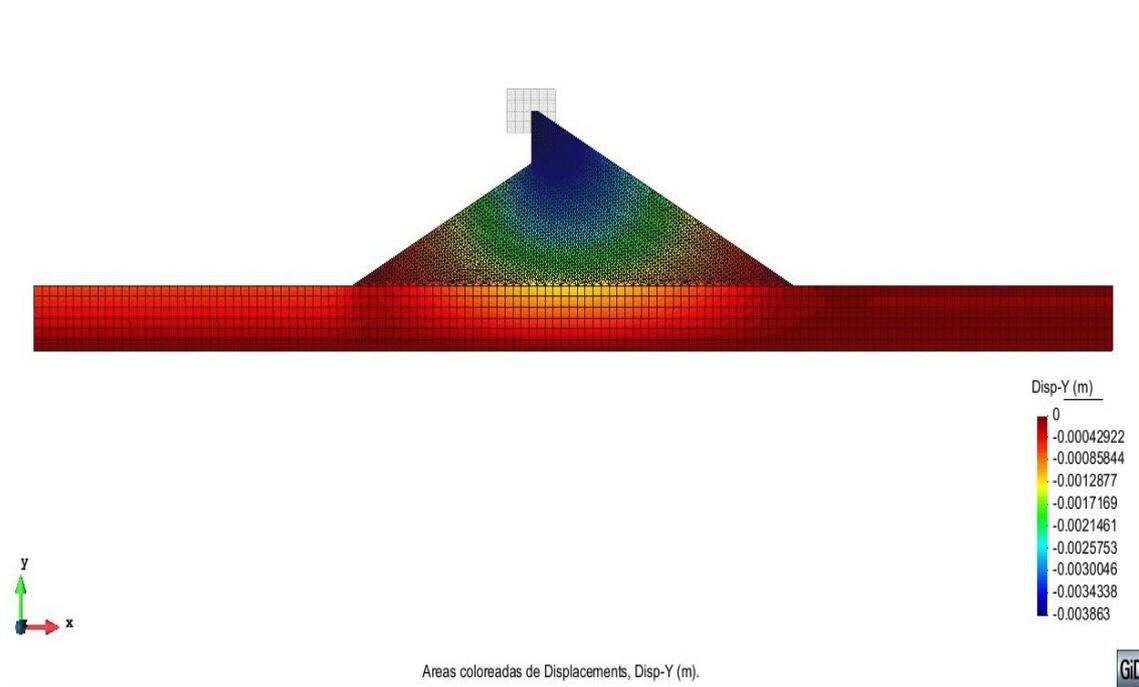


Figura 10. Mapa de isoáreas de desplazamientos en Y

Al incorporar la presión hidrostática se observa un cambio importante en la distribución de los desplazamientos según el eje X. Ya no aparecen desplazamientos positivos a un lado de la presa y negativos al otro lado, sino que todos los desplazamientos son positivos y la dirección de la presión hidrostática ejercida. Los valores negativos que se observan en la gráfica son mínimos y solo aparecen en los bordes del modelo por causa de las condiciones de contorno.

Los desplazamientos según la vertical (asientos) varían al incorporar la presión hidrostática pero la distribución de los mismos sigue un patrón similar a la situación anterior.

1.3.2. Análisis en 3D.

1.3.2.1. Estudio de convergencia

Para la elección del tipo de elementos y tamaño de la malla con los que realizar el análisis tensional de la presa, se realiza un estudio de convergencia del valor de la deflexión máxima según el eje Z frente al nº de grados de libertad. Este estudio de convergencia se realiza con elementos de tetraedros de 4 N.

Los resultados obtenidos se expresan en forma de tabla y posteriormente en forma de gráfica para apreciar mejor la convergencia.

	TAMAÑO	Nº NODOS	NºGDL	Desp Z (m)
TETRAEDROS 4N	30	1286	7716	0,003665
	25	1618	9708	0,0035307
	20	2184	13104	0,0037068
	15	4570	27420	0,0037847
	12,5	6974	41844	0,0038346
	10	11521	69126	0,0038537

Tabla 2: Estudio de Convergencia

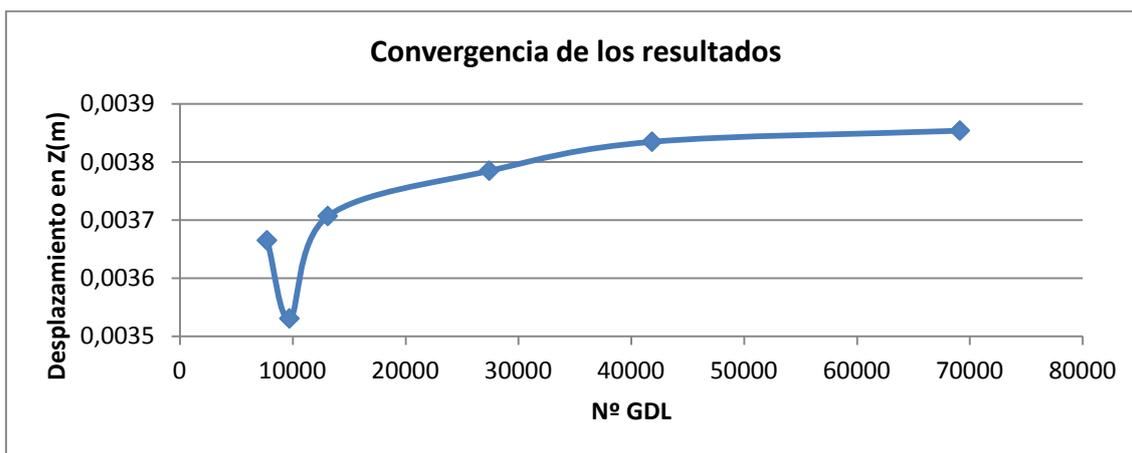
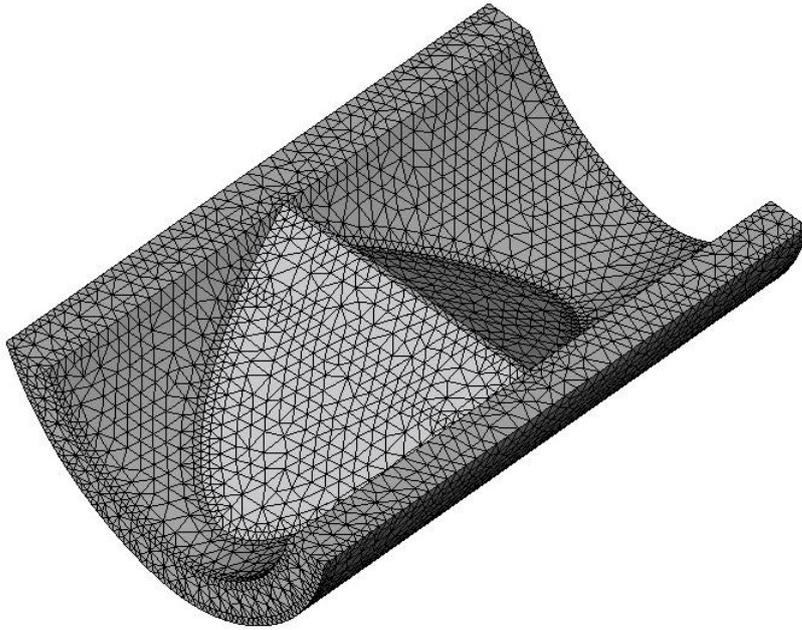


Figura 12: Estudio de convergencia

Se observa que la gráfica parece que converge para un valor de la flecha cercano a 0,0038537m, y esto se consigue con elementos de tamaño 10.

Por ello para el análisis del estado tensional de la presa utilizaremos una malla no estructurada de **elementos tetraédricos de tamaño 10**.



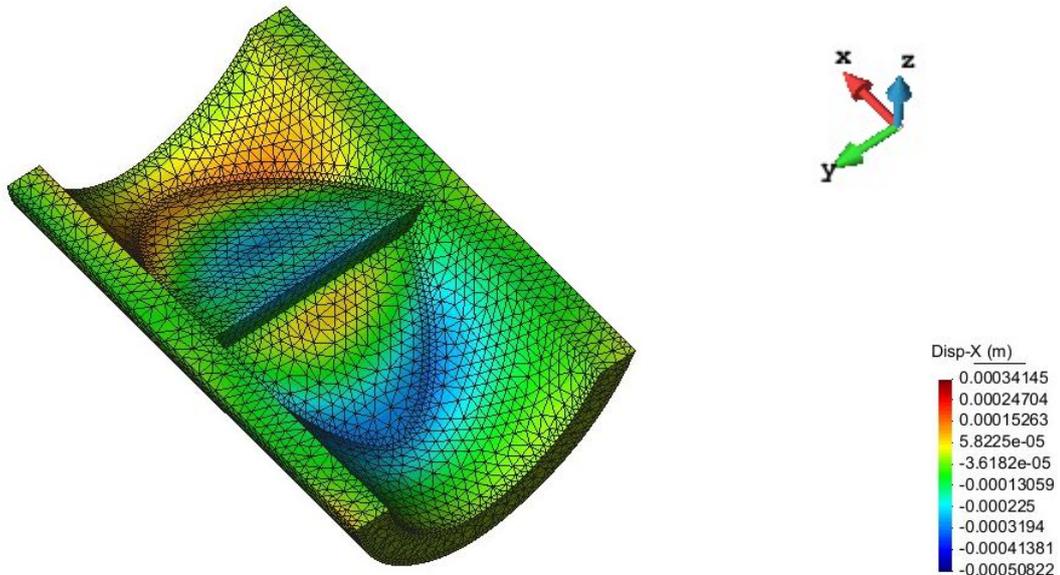
GiD

Figura. Mallado de la presa.

1.3.2.2. Análisis del estado tensional.

1ª SITUACIÓN: PESO PROPIO

En las siguientes figuras se muestran los resultados gráficos del estado tensional utilizando el mallado que se ha determinado con el estudio de convergencia anterior.



Areas coloreadas de Displacements, Disp-X (m).

GiD

Figura 12. Mapa de isoáreas de desplazamientos en X

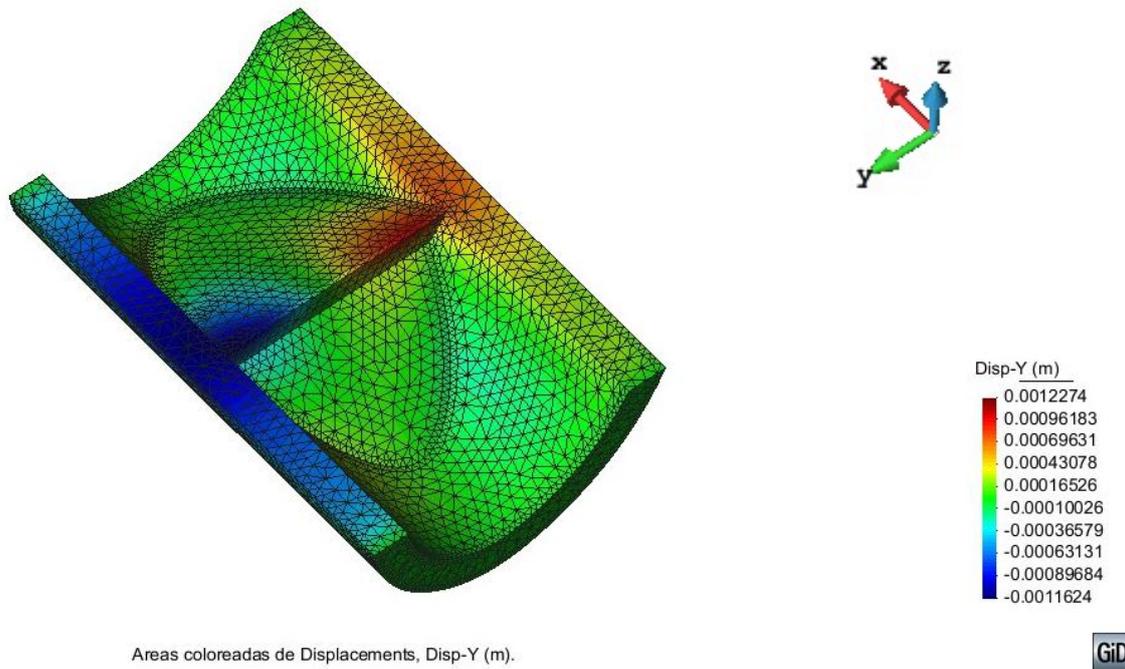


Figura 13. Mapa de isoáreas de desplazamientos en Y

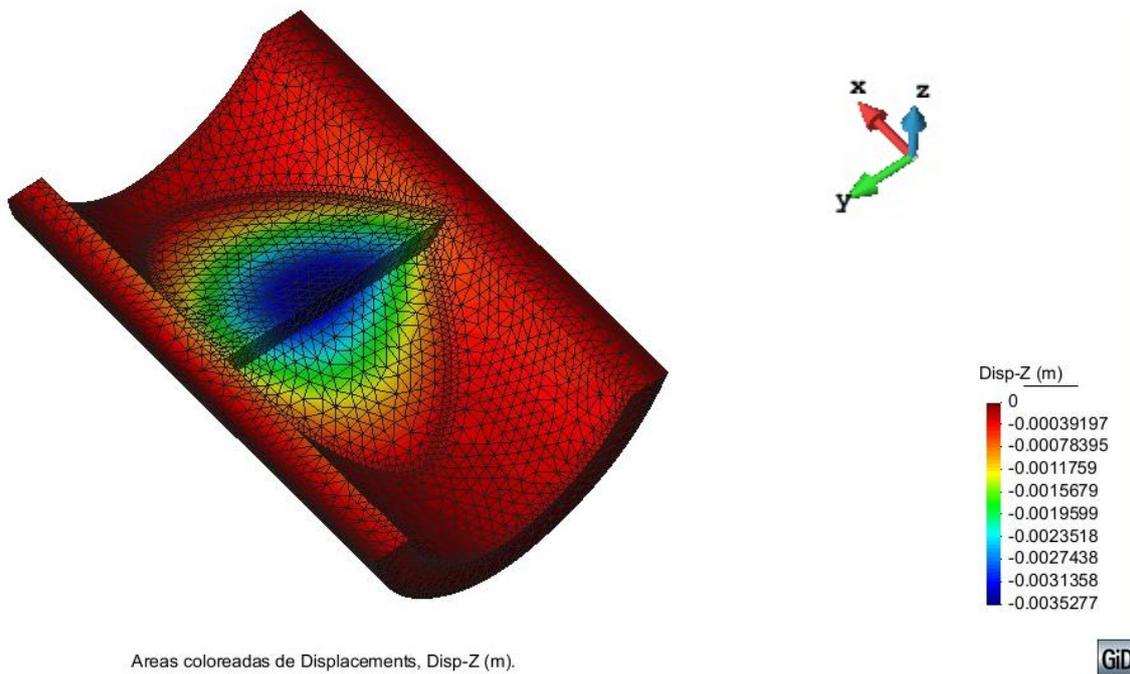


Figura 14. Mapa de isoáreas de desplazamientos en Z

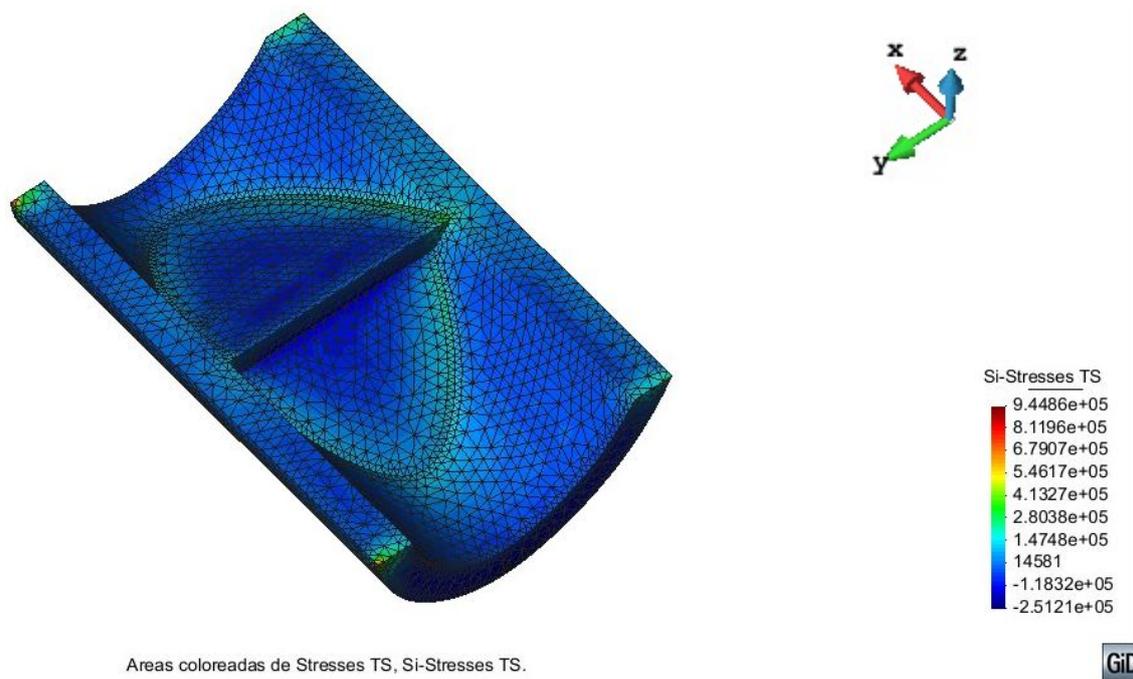


Figura 15. Mapa de isoáreas de Tensiones principales 1 (N/m^2)

En la figura 12 se observa el comportamiento esperado de la presa que al comprimirse por el peso propio se desplaza en sentidos opuestos respecto al eje X de manera más o menos simétrica en toda la presa.

En la figura 13 se observa el desplazamiento opuesto respecto al eje Y en cada lado de la presa debido a que la curva que forma el terreno no es simétrica y provoca que los desplazamientos tampoco sean simétricos.

En la figura 14, vemos los asientos de la presa y como éstos siguen el patrón esperado siendo mayores en coronación y mucho menores en el contacto con el terreno.

En la figura 15 se observa como las tensiones principales de tracción son menores al límite impuesto de 2Mpa y además sólo aparecen en zonas puntuales, siendo las tensiones de compresión las que se encuentran en la mayor parte de la presa.

2ª SITUACIÓN: PESO PROPIO + PRESIÓN HIDROSTÁTICA

En las siguientes figuras se muestran los resultados gráficos del estado tensional utilizando el mallado que se ha determinado con el estudio de convergencia anterior.

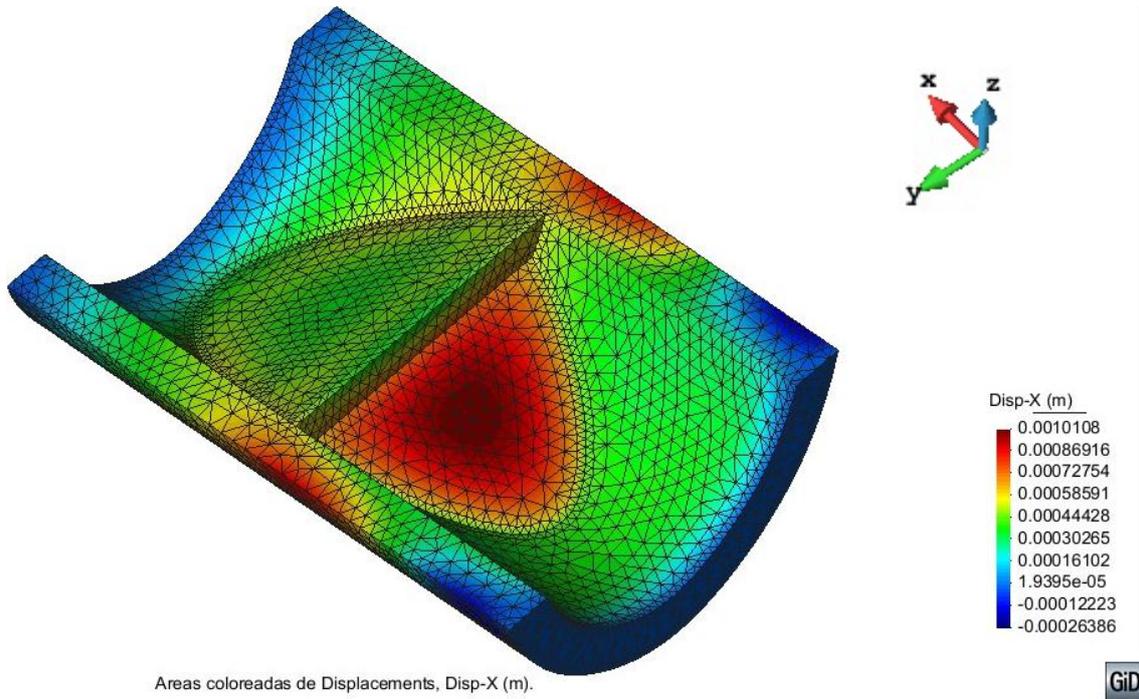


Figura 16. Mapa de isoáreas de desplazamientos en X

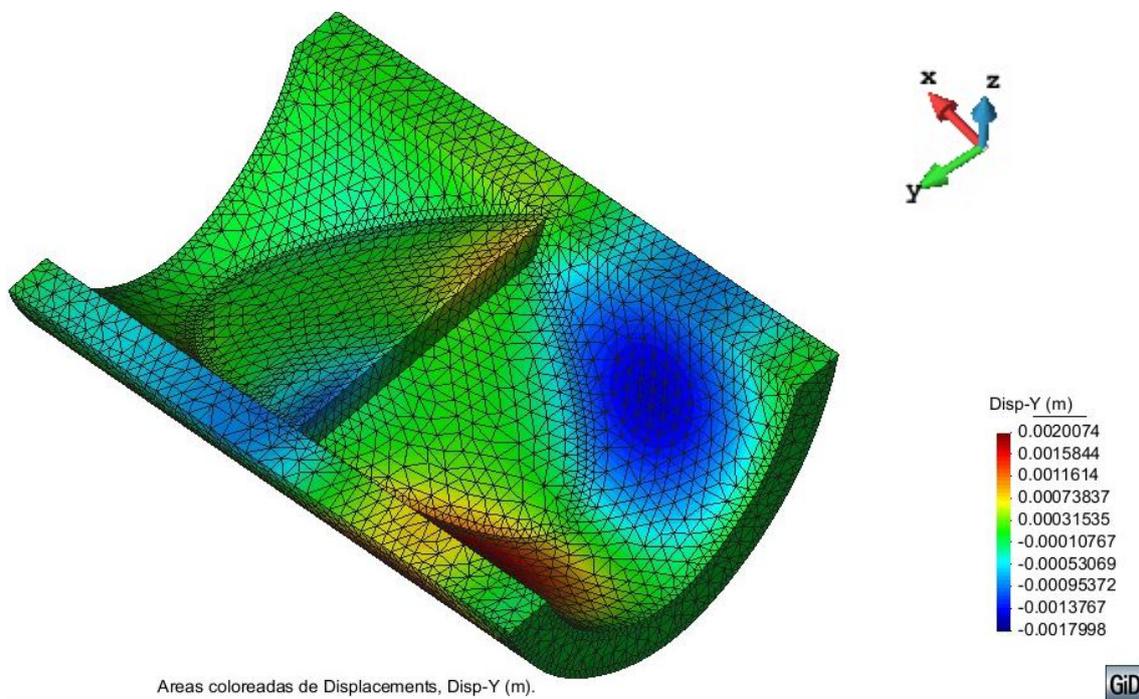


Figura 17. Mapa de isoáreas de desplazamientos en Y

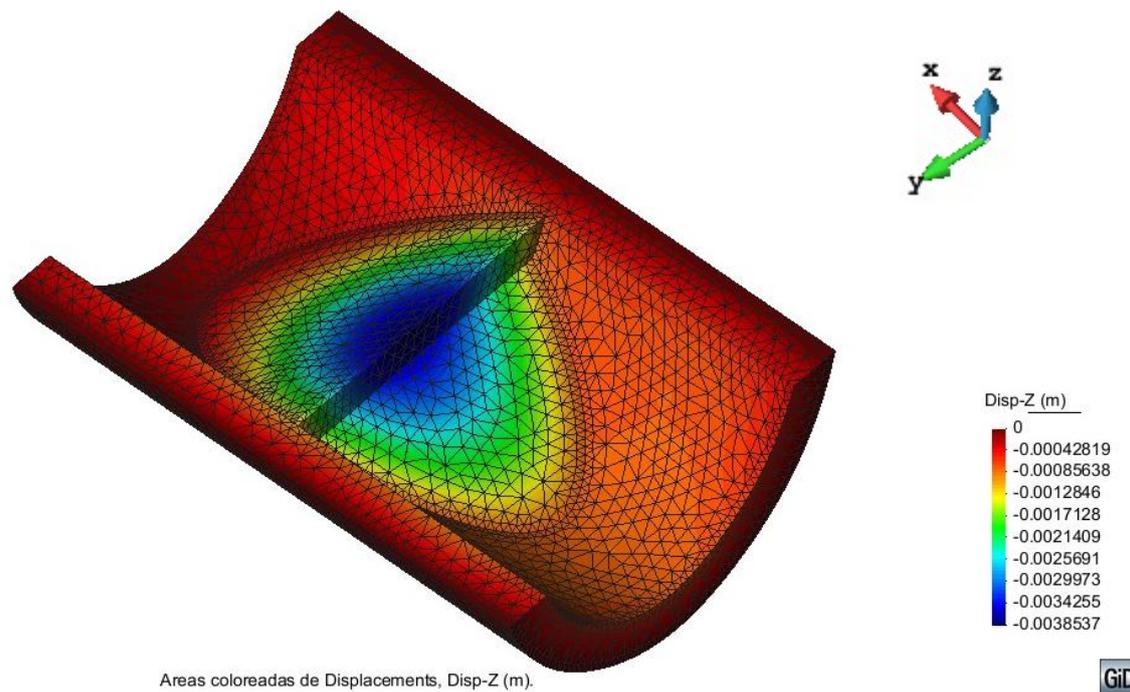


Figura 18. Mapa de isoáreas de desplazamientos en Z

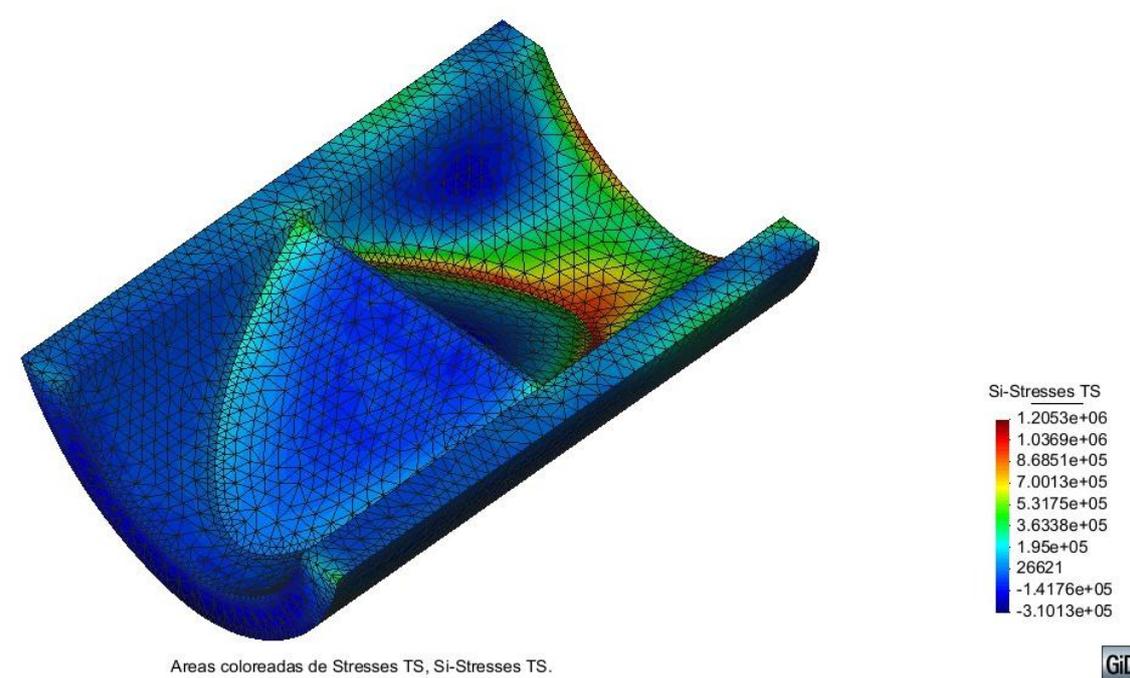


Figura 19. Mapa de isoáreas de Tensiones principales 1 (N/m^2)

En la figura 16 se puede observar como los mayores desplazamientos según el eje X se producen lógicamente en la zona en la que se aplica la presión hidrostática existiendo unos desplazamientos en los límites del modelo como consecuencia de las condiciones de contorno, son puntos alejados de la zona de afección así que no importa su comportamiento en nuestro análisis.

En la figura 16 se observa como los desplazamientos no tienen tanta simetría como en el caso anterior debido a la afección de la presión hidrostática.

En la figura 18 se comprueba que la distribución de los asientos en la presa es similar al caso anterior, lo que demuestra que en los asientos el peso propio tiene una influencia muchísimo mayor que la presión hidrostática. En caso de habernos pedido también incluir la subpresión los resultados habrían variado en este aspecto.

Por último en la figura 19 se puede observar como la inclusión de la presión hidrostática en el análisis ha provocado la aparición de tensiones de tracción en el paramento de aguas arriba que antes no existían aunque siguen dentro del límite permitido de 2Mpa.

1.4. Comparación y conclusiones

En primer lugar es importante destacar que en los desplazamientos verticales de la presa el peso propio tiene una importancia muchísimo mayor de tal manera que la inclusión de la presión hidrostática en el análisis no varía la distribución de los desplazamientos aunque sí varía su valor.

La presión hidrostática tiene mayor influencia en los desplazamientos respecto a los otros 2 ejes (en 2D no se estudia el movimiento en la dirección perpendicular al papel) haciendo que éstos no se presenten ya una estructura más o menos simétrica.

A la hora de comparar los resultados obtenidos con el análisis en 2D frente a los obtenidos con el análisis en 3D hay que tener en cuenta que debido a que el modelo en 3D tiene unas dimensiones mucho mayores el tamaño de elementos que usado es mucho mayor por el coste computacional. Por ello la comparación entre ambos análisis no es del todo exacta al utilizar elementos de distinto tamaño en los 2 análisis.

De todas maneras se puede observar como para el caso de los desplazamientos en la dirección del cauce tenemos:

	2D	3D
Max	0,0009594 m	0,0003414 m
Min	-0,0008876 m	-0,0005082 m

Y para el caso del análisis de los desplazamientos verticales (asientos):

	2D	3D
Max	0	0
Min	-0,0038963 m	-0,0035277 m

**Los valores utilizados en la comparación de los resultados de ambos análisis pertenecen a los análisis realizados considerando sólo el peso propio

En definitiva se observa que existe diferencias entre ambos tipos de análisis y esto se debe a que el análisis en 2D es una aproximación por lo que los resultados obtenidos con el análisis en 3D se consideran más correctos.