

TRABAJO DE CURSO

INGENIERÍA DE ESTRUCTURAS

ALBERTO PEÑA HERNANDO

16632124 L

CURSO 2014/2015

ÍNDICE

PROBLEMA S-14.....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. DEFORMACIÓN PLANA.....	3
2.1. PREVIO.....	3
2.2. PRE-PROCESO.....	3
2.3. CÁLCULO.....	5
2.4. POST-PROCESO.....	7
3. ANÁLISIS TRIDIMENSIONAL.....	10
3.1. PREVIO.....	10
3.2. PRE-PROCESO.....	10
3.3. CÁLCULO.....	11
3.4. POST-PROCESO.....	14
4. CONCLUSIONES.....	15
PROBLEMA L-69.....	17
1. PREVIO.....	17
2. PRE-PROCESO.....	18
3. CÁLCULO.....	19
4. POST-PROCESO.....	21
5. CONCLUSIONES.....	24

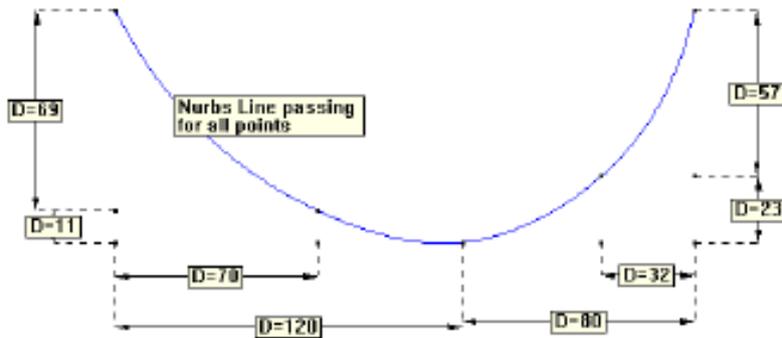
PROBLEMA S-14

Dimensionar y calcular una presa homogénea de materiales sueltos de 80 m de altura. La anchura en coronación debe ser de 4 m con las restricciones geométricas que se indican.

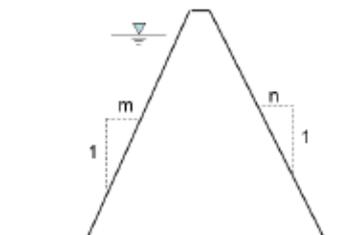
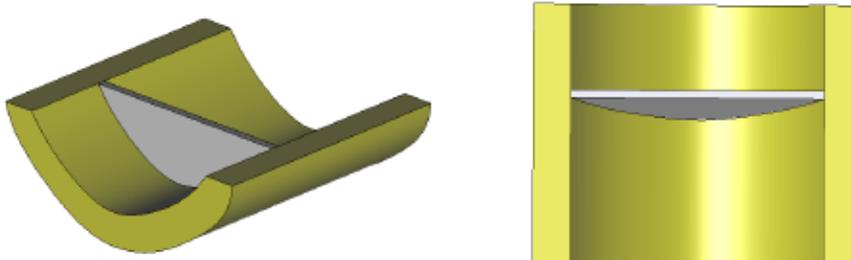
Realizar el proyecto mediante un análisis bidimensional y posteriormente en 3D para verificar el diseño utilizando en ambos casos las siguientes hipótesis:

- 1) Las tracciones máximas en cualquier punto de la presa no deben superar 0.5 MPa.
- 2) El peso específico del terreno y el material de construcción es de $20\,000\text{ N/m}^3$.
- 3) El módulo de elasticidad del material a usar es de $9\,900\text{ kN/m}^2$ y el coeficiente de Poisson es de 0.285.
- 4) Base empotrada en el terreno.
- 5) Cimentación en terreno homogéneo. Módulo de elasticidad: 35 GN/m^2 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)

El perfil del emplazamiento es el que se muestra:



La sección de terreno tiene un ancho de 30 metros y un desarrollo de 400 metros.



$$\begin{aligned} 2.0 < m < 3.5 \\ 2.0 < n < 3.5 \end{aligned}$$

1. INTRODUCCIÓN

El problema S-14 es una presa de materiales sueltos; para estudiar su comportamiento se ha procedido de dos formas distintas: deformación plana y análisis tridimensional.

2. DEFORMACIÓN PLANA

2.1. PREVIO

En una presa de materiales sueltos una dimensión de la presa es mucho mayor que las otras dos, por lo tanto se puede realizar esta aproximación y tratar la presa como un problema de deformación plana. La ventaja es que es un análisis 2D y por tanto, más sencilla de estudiar que una 3D. En un problema de deformación plana la deformación en la longitud mayor es cero, (en nuestro caso en z la deformación es cero).

El objetivo del problema es dimensionar una presa de materiales sueltos de 80 metros de altura sujeta a unas restricciones geométricas (taludes) de tal forma que no existan tracciones mayores a 0.5 MPa en ningún lugar de la presa. Se estudia la presa en dos situaciones:

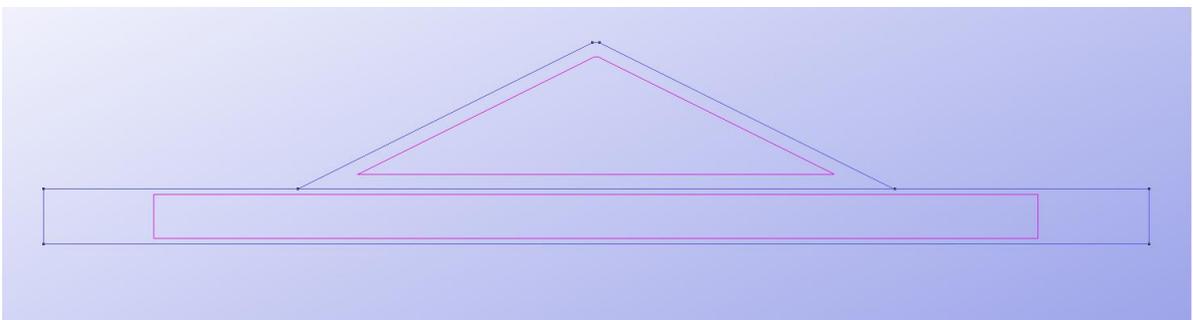
- a) Presa con embalse vacío.
- b) Lámina de agua de 77 metros.

Las restricciones geométricas dicen que los taludes (tanto aguas arriba como aguas abajo) deben ser como mínimo 2 Horizontal : 1 Vertical y como máximo 3.5 Horizontal : 1 Vertical. Como primera tentativa, se coge la más restrictiva (para ver si cumple con la restricción de las tracciones

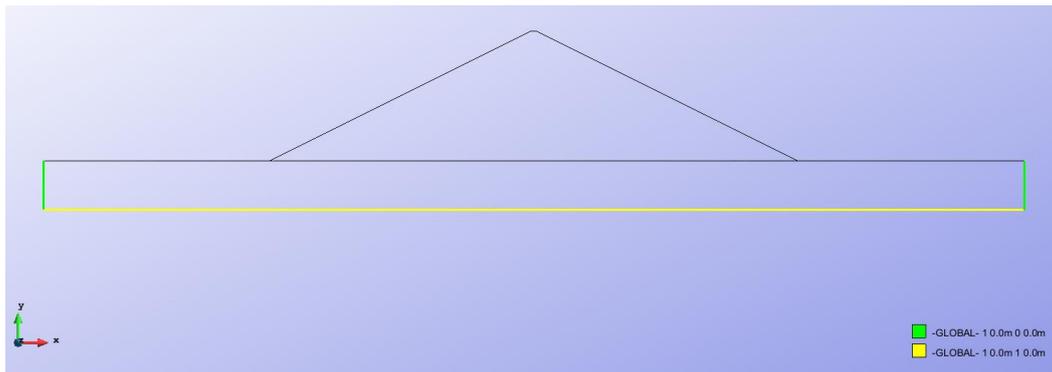
Se ha cogido la sección más crítica, en la que el terreno está en la cota más baja y por tanto la lámina de agua es mayor. Se considera la presa apoyada sobre un terreno de 30 metros de ancho.

2.2. PRE-PROCESO

Se introduce en el programa GiD la geometría del problema:



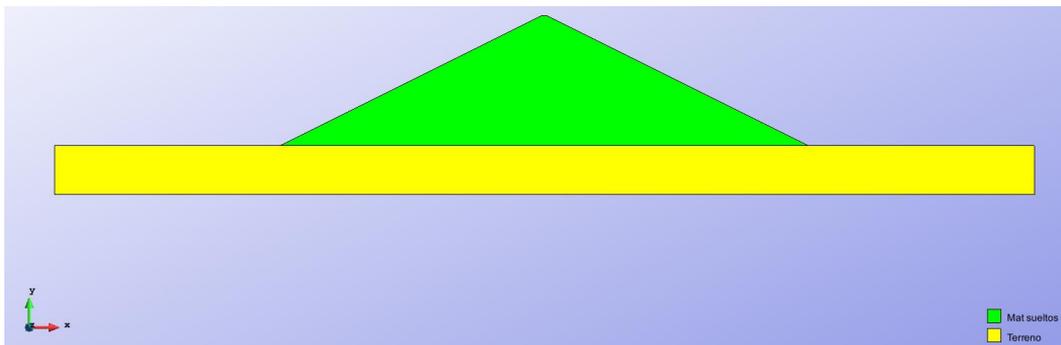
Condiciones de contorno: se anulan todos los desplazamientos en la parte inferior del terreno y en las paredes laterales del terreno se anulan únicamente los desplazamientos horizontales.



Se debe definir el material con sus propiedades:

Material	Módulo de Young	Coef. De Poisson	Peso específico
Materiales sueltos	9,9e6 N/m ²	0.285	20000 N/m ³
Terreno	3,5e10 N/m ²	0.3	20000 N/m ³

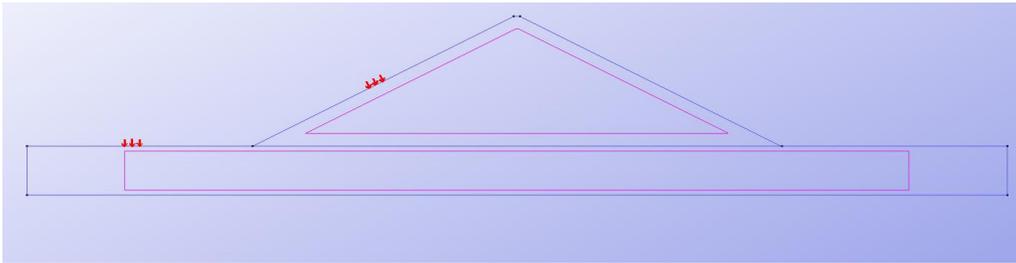
Quedan pues, dos tipos de materiales.



En la parte de tipo de problema se debe poner deformación plana (ya se ha explicado porqué) y se debe considerar el peso propio.

Para definir cargas:

- Situación embalse vacío: únicamente el peso propio.
- Situación lámina de agua a 77 metros: se define una carga lineal desde el punto donde comienza la presa aguas arriba con un valor de 754.600 N/m² hasta el punto del talud de aguas arriba al que le corresponde una cota de 77 metros. También se define una carga uniforme sobre el terreno de aguas arriba de la presa con el valor de 754.600 N/m².

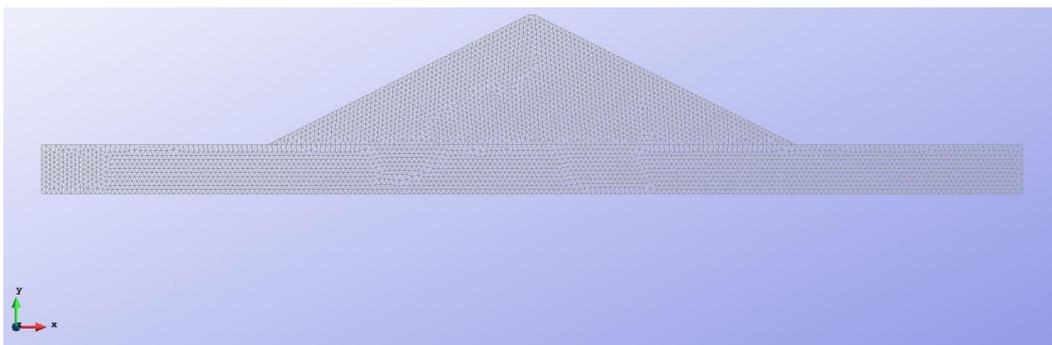


Los resultados se deben obtener en las dos situaciones.

La malla se explica en el siguiente apartado.

2.3. CÁLCULO

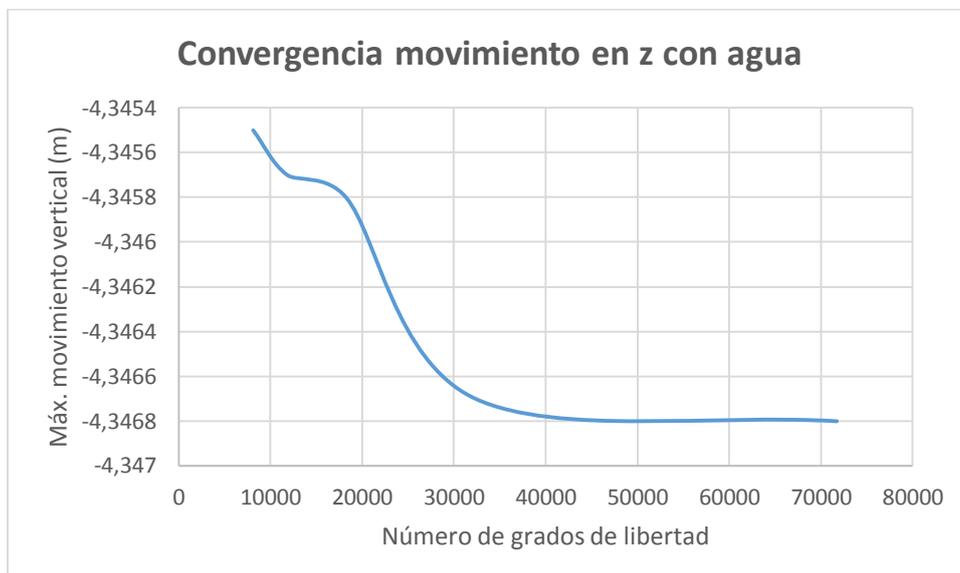
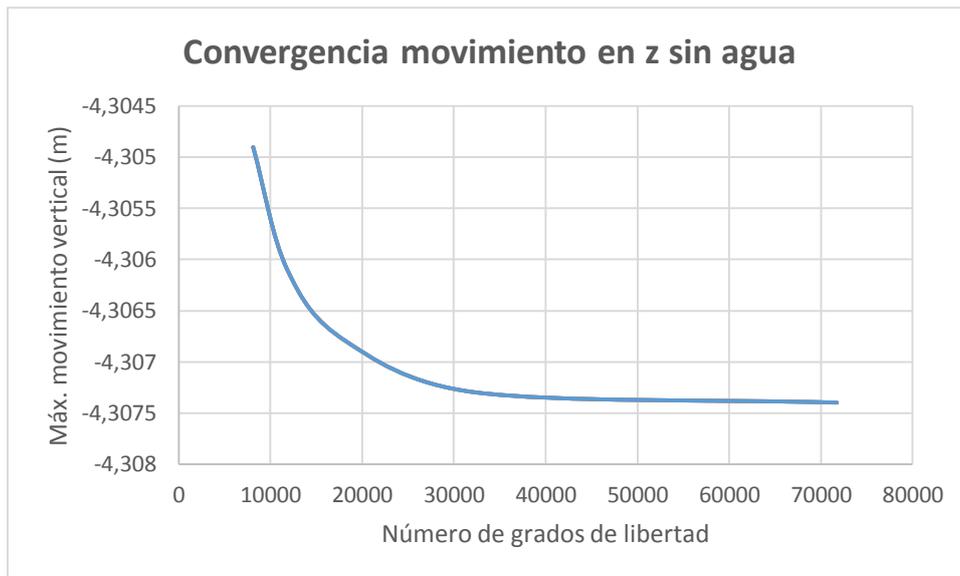
En primer lugar se ha utilizado una malla de elementos triangulares de 3 nodos para tener un coste computacional menor y tener una aproximación de la solución.



Se ha ido refinando hasta obtener la convergencia.

Tamaño elementos	Nodos	GDL	Sin agua		Con agua	
			Tracc. Máx (Mpa)	Mov. Vertical (m)	Tracc. Máx (Mpa)	Mov. Vertical (m)
3	4057	8114	2370,6	-4,3049	2832,1	-4,3455
2,5	5919	11838	2462,1	-4,3061	64051	-4,3457
2	9122	18244	2,3648E+03	-4,3068	7,5756E+04	-4,3458
1,5	16185	32370	2,1740E+03	-4,3073	1,3277E+05	-4,3467
1	35877	71754	2130,4	-4,3074	1,8630E+05	-4,3467

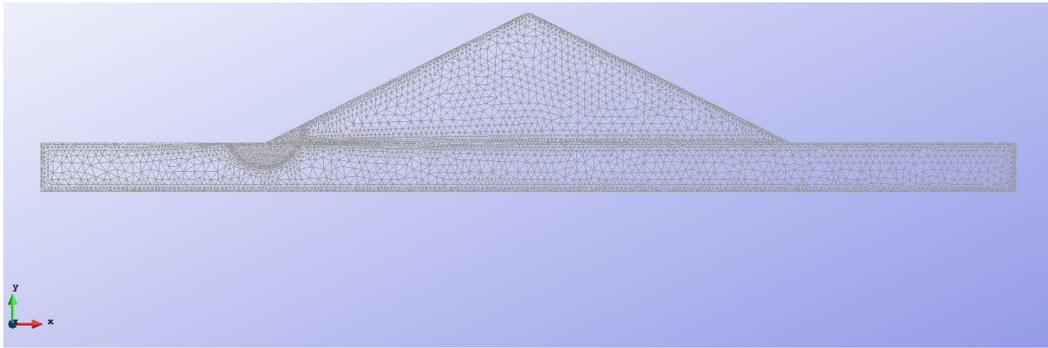
En las siguientes gráficas se observa mejor la convergencia del movimiento vertical en el caso con agua y sin agua.



Se observa como el resultado converge y con una malla de elementos triangulares de 3 nodos de tamaño 1 se obtiene una solución que se puede considerar suficientemente buena. Se ve como en ningún caso se supera la restricción de 0.5 MPa de tracción en cualquier punto de la presa ya que las tracciones máximas son:

- a) Sin agua: Tracción máxima de 2130,4 N/mm²
- b) Con agua: Tracción máxima de 0.186 MPa

Además, se ha propuesto un mallado con un refinamiento únicamente en la zona donde se producen las tracciones máximas. Este punto es el contacto suelo-paramento aguas arriba de la presa. Así, quedará una malla del siguiente tipo.



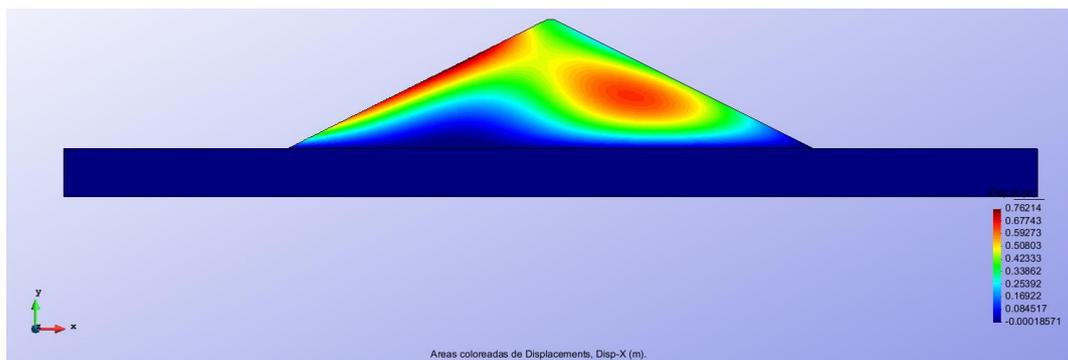
En esta malla se han utilizado elementos triangulares cuadráticos ya que, al refinar solo en la zona de interés, en la mayor parte de la presa la malla no será demasiado fina y por tanto se puede asumir el incremento de coste computacional que conlleva utilizar elementos cuadráticos.

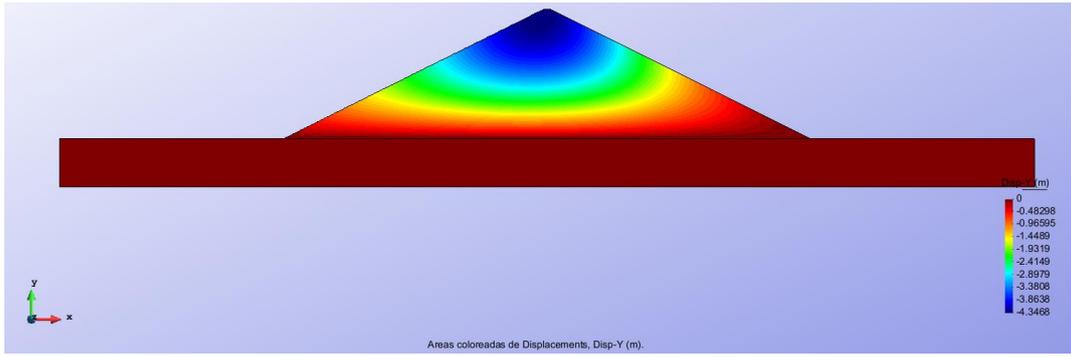
Con esta malla de elementos triangulares cuadráticos de 1,5 metros en la zona de interés y 6 en el resto. Se obtiene un desplazamiento vertical de -4,3468 metros y una tracción máxima de $1,8630E5 \text{ N/m}^2$, que es menor que la que restricción que se tiene.

2.4. POST-PROCESO

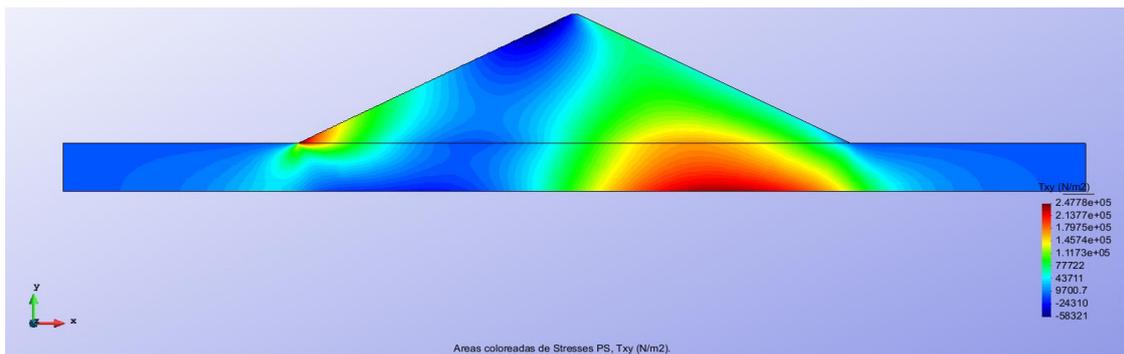
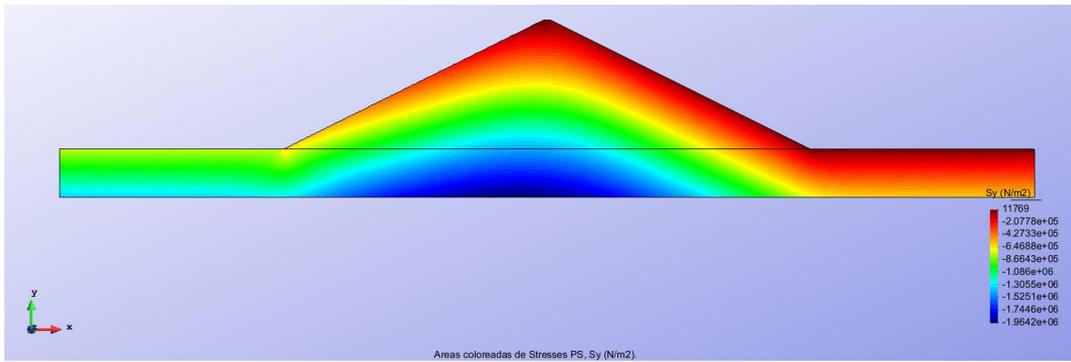
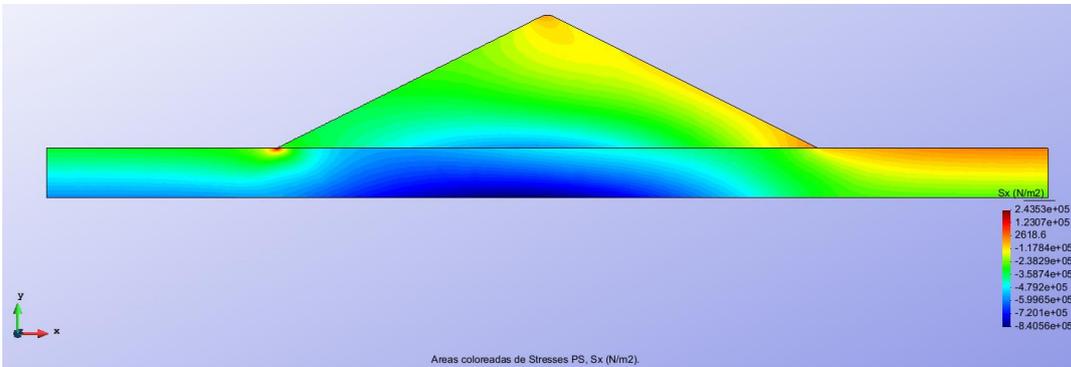
Los resultados que se dan a continuación han sido obtenidos con la malla comentada anteriormente, refinada sólo en la parte en la que interesa estudiar las tracciones. Las figuras dadas se han obtenido cuando se tiene una lámina de agua de 77 metros ya que es la situación más restrictiva.

Desplazamientos

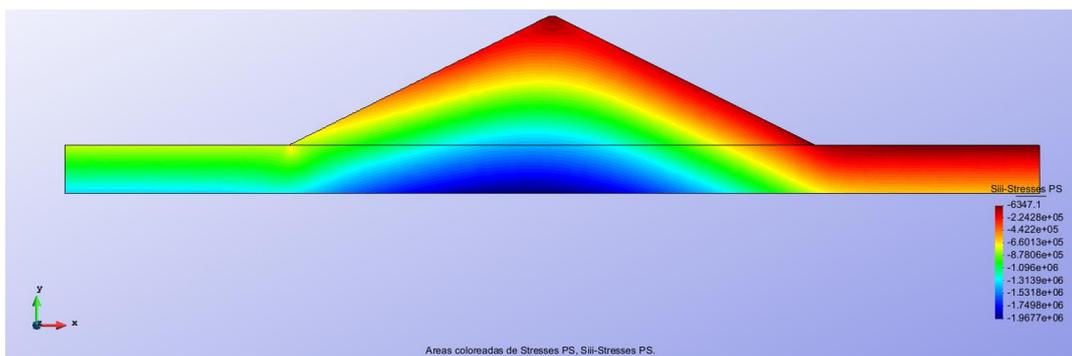
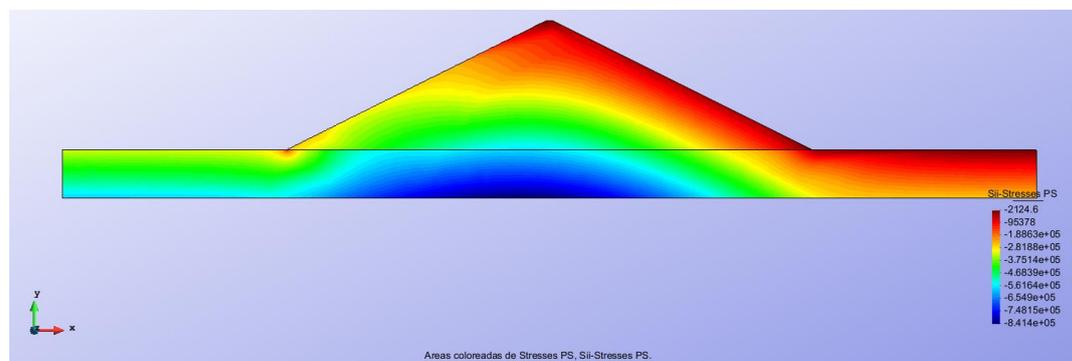
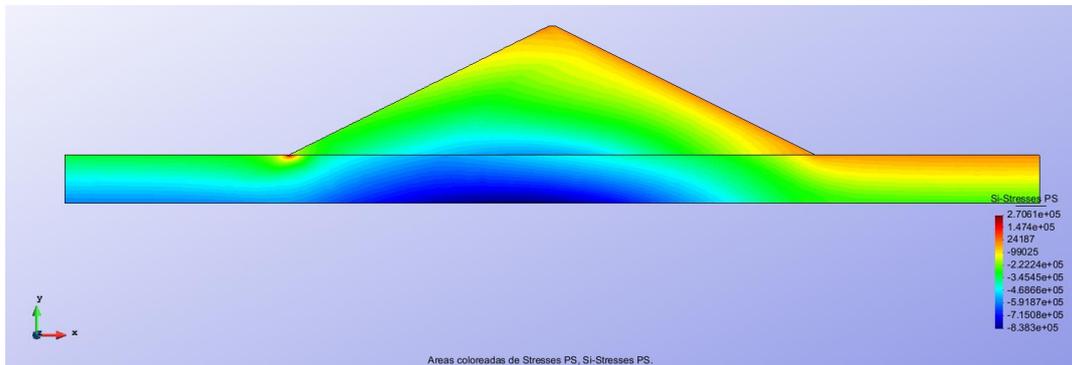




Tensiones



Tensiones principales



Parámetros de interés

El objetivo era dimensionar la presa de tal forma que las tracciones fueran menores que 0.5 MPa. Se ha comprobado que con los taludes menos tendidos que se permiten ($m = n = 2$) ya se cumple esta restricción; por tanto se toman estos dos valores.

3. ANÁLISIS TRIDIMENSIONAL

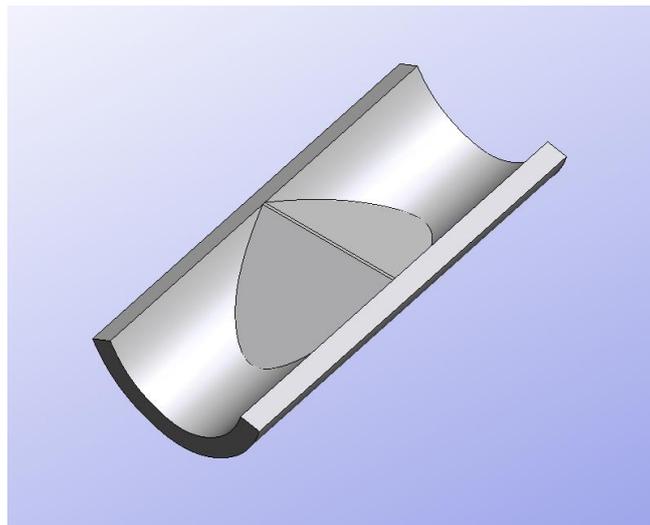
3.1. PREVIO

Aquí se ha decidido no tener en cuenta una simplificación como la de deformación plana y resolver el problema mediante un análisis tridimensional. Los mayores problemas son una dificultad mayor para introducir la geometría, condiciones de contorno, etc. y que además, el coste computacional es mayor ya que las dimensiones de la estructura son mucho mayores. Pero, a favor, se obtiene una visión de cómo funciona la estructura en su conjunto, sin simplificaciones de ningún tipo.

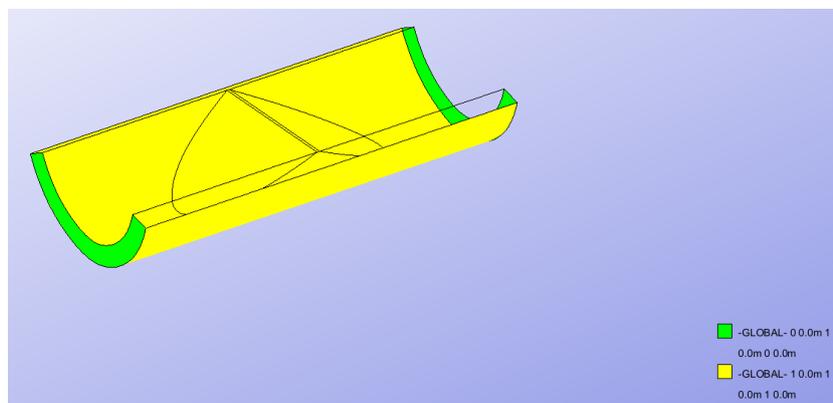
El objetivo es exactamente el mismo que antes: dimensionar los taludes para que la tracción máxima en cualquier punto de la presa no supere 0.5MPa. Como antes, se toma la situación más desfavorable ($m = n = 2$) para comenzar.

3.2. PRE-PROCESO

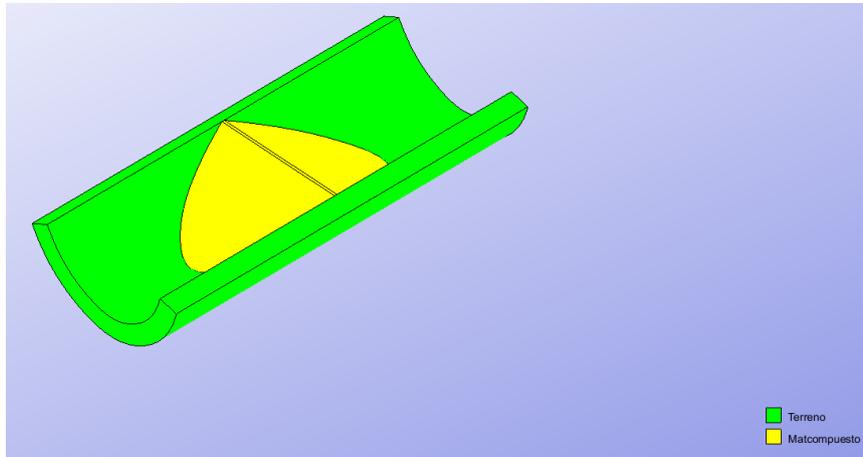
Se comienza introduciendo en el programa la geometría. Para ello, se comienza definiendo el terreno, después la presa y se intersectan ambas superficies quedando la siguiente figura:



Se definen las condiciones de contorno; en la parte inferior del terreno se restringen todos los movimientos y en los laterales sólo el movimiento a lo largo del eje del terreno.



De la misma forma que antes se definen dos materiales distintos: materiales sueltos en la presa y el material del terreno. Los datos geotécnicos ya se han puestos antes.



Una vez definido todo esto sólo queda determinar la malla (de la que se hablará en el siguiente apartado) y las cargas. En las cargas, al igual que antes, se tienen dos situaciones:

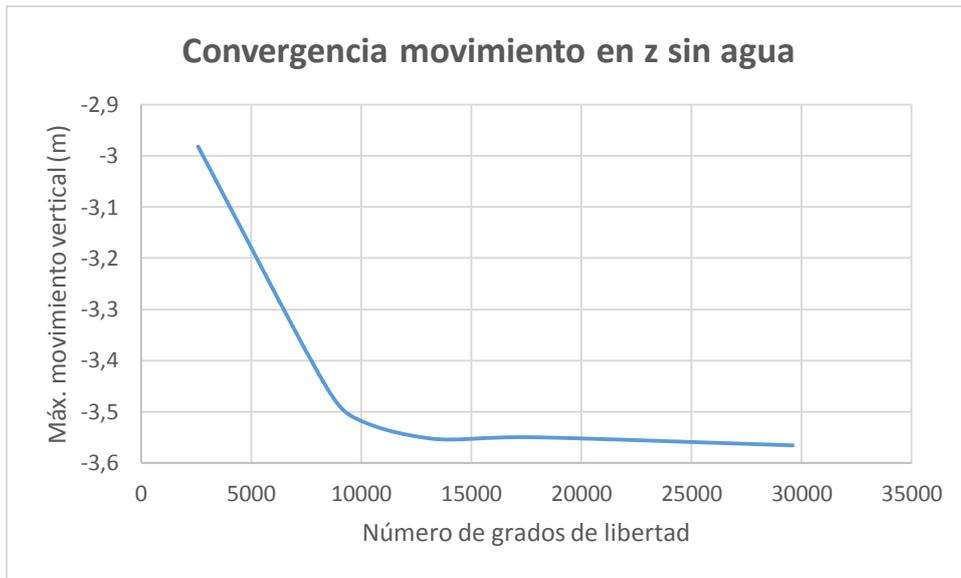
- a) Sin lámina de agua. Sólo hay que tener en cuenta el peso propio
- b) Con lámina de agua de 77 metros. Carga hidrostática (lineal) que actúa en el paramento aguas arriba de la presa y carga uniforme sobre el terreno de aguas arriba.

3.3. CÁLCULO

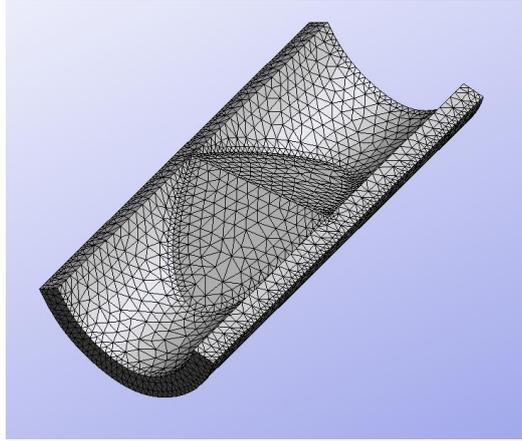
En primer lugar decir que, como antes, se han utilizado triángulos de 3 nodos para comenzar a calcular. En el análisis 3D el tamaño de elemento es mucho mayor que en la deformación plana ya que las dimensiones de la estructura a analizar son mucho mayores. Por tanto se ha ido obteniendo los resultados de la tracción máxima y del movimiento vertical máximo.

Tamaño elemento	Nodos	GDL	Sin agua		Con agua	
			Tracc. Máx (Mpa)	Mov. Vertical (m)	Tracc. Máx (Mpa)	Mov. Vertical (m)
50	869	2607	1,0739E+06	-2,9815	1,0548E+06	-3,3413
22	2635	7905	9,1091E+05	-3,4127	9,0069E+05	-3,5059
20	3158	9474	8,3789E+05	-3,5062	8,6213E+05	-3,5585
17	4393	13179	1,0152E+06	-3,5526	1,0088E+06	-3,6177
15	5951	17853	1,0878E+06	-3,5501	1,0770E+06	-3,6201
12	9864	29592	1,1468E+06	-3,5659	1,1320E+06	-3,625

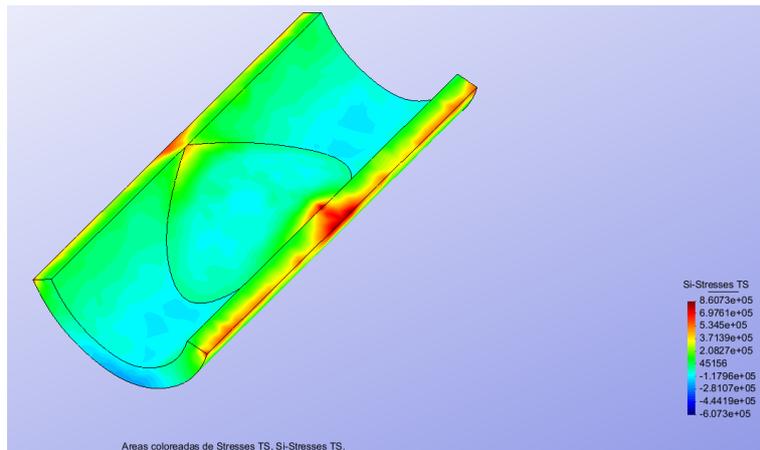
En las siguientes gráficas se observa mejor la gráfica del movimiento vertical máximo.

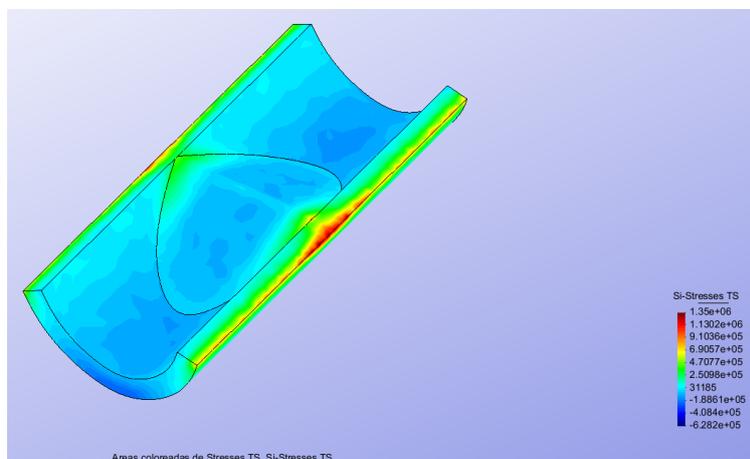
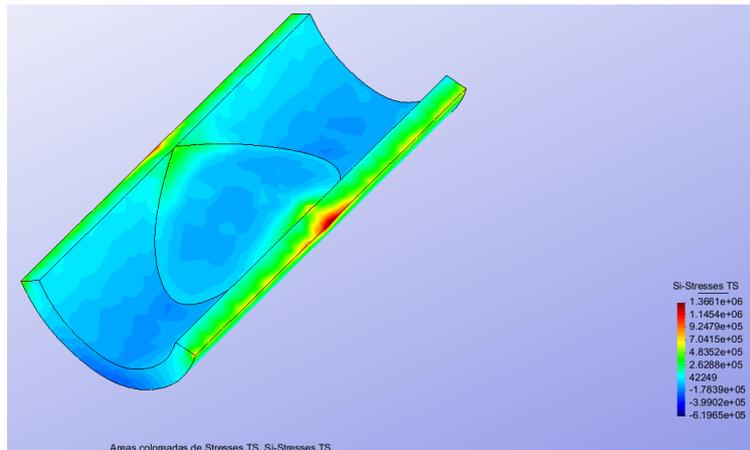


Se ve perfectamente como el movimiento vertical converge para un elemento de malla de tamaño 12 metros.



Se observa que las tracciones máximas que se han obtenido son mayores que las permitidas por el enunciado. No obstante, al ir refinando la malla se ha visto cómo las tensiones se desplazan más hacia el contorno de la presa en cada refinamiento y que, además, los valores se incrementaban. Así pues, se puede deducir que las tracciones que se obtienen máximas son concentraciones de tensiones y por tanto, las tracciones máximas que se dan en la presa cumplen con lo especificado en el enunciado.





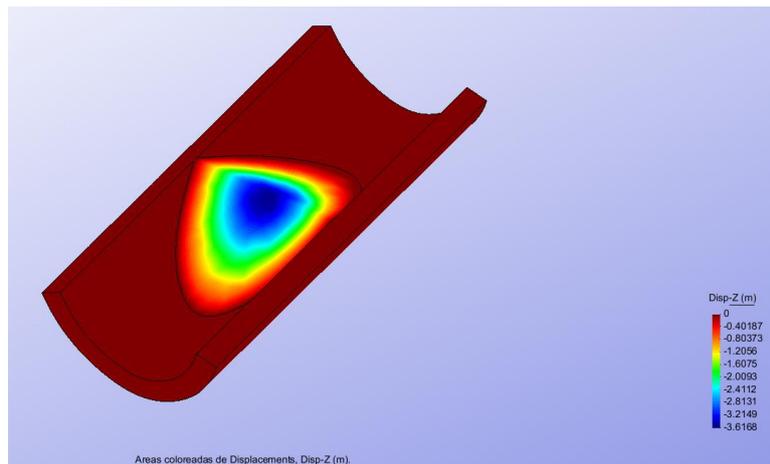
Las anteriores imágenes son capturas de las tensiones principales máximas a medida que se refina la malla. Se observa cómo las tracciones máximas (en rojo) se van desplazando hacia la derecha y haciéndose mayores en cada refinamiento. Por lo tanto se puede concluir que son concentraciones de tensiones. A parte de eso, las tensiones máximas que se observan en el cuerpo de la presa son del orden de $4E05 \text{ N/m}^2$, unos 0.4 MPa , por lo tanto, cumplen con las restricciones del enunciado.

También se ha realizado un refinado en los contornos donde se acumulan las concentraciones de tensiones para realizar un mallado más fino en esta zona. Así se utiliza un tamaño de elemento de 7 metros en la zona más fina y un tamaño de 17 metros en el resto. Los resultados que se exponen en el último apartado se han conseguido con esta malla.

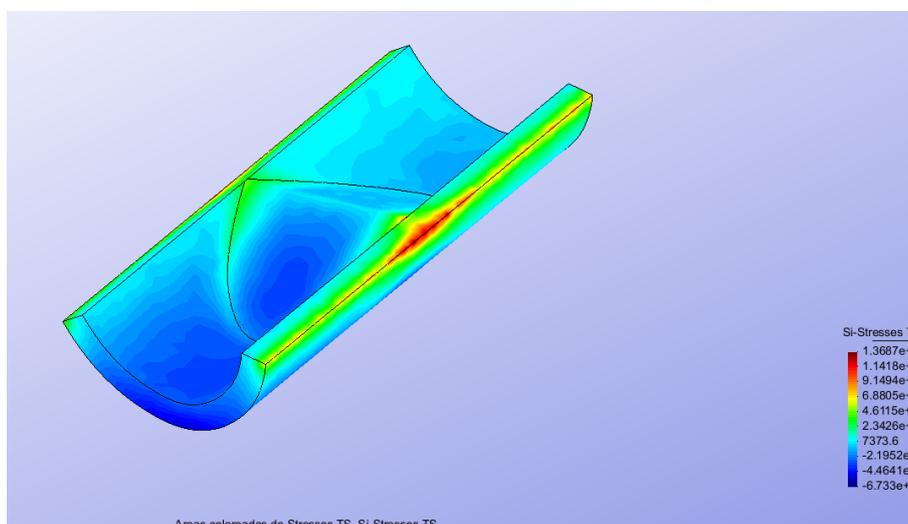
3.4. POST-PROCESO

Resultados, aquí se muestran los resultados obtenidos con la malla comentada anteriormente. Se muestra el movimiento vertical y las tensiones principales.

Deformación vertical



Tensión principal mayor



Como se ve, con los taludes de $m = n = 2$ se cumplen las restricciones de 0.5 MPa de tracción máxima en la presa si se obvian las concentraciones de tensiones.

4. CONCLUSIONES

En primer lugar cabe destacar que las soluciones obtenidas (lugares de tracciones máximas, cómo evolucionan las tensiones con las cargas, etc.) son razonables y concuerdan con lo esperado.

Se ha realizado primero el análisis con deformación plana y después el análisis tridimensional se ha tomado como una reafirmación de que los taludes propuestos cumplían las restricciones. Sin embargo, se le da más importancia y confianza a los resultados obtenidos utilizando la simplificación de deformación plana ya que, si bien es una simplificación y no se analiza la estructura en su conjunto, se puede refinar mucho más ya que en 3D se obtiene una estructura muy grande y no es factible utilizar elementos de malla muy pequeños. Por tanto, en el análisis en deformación plana se ha estudiado la sección crítica con elementos de tamaño 1 metros y en

el análisis tridimensional se han usado elementos de tamaño de unos 10 metros. Si se dispusiesen de los medios adecuados para realizar un refinamiento de la malla en 3D sí que se utilizarían esos resultados. Pero, en este caso, se le dará más confianza a los resultados obtenidos con el análisis de deformación plana. Aunque hay que decir que los resultados obtenidos mediante los dos análisis son muy parecidos, aunque el valor de las tensiones difiere un poco en los métodos, los resultados son similares.

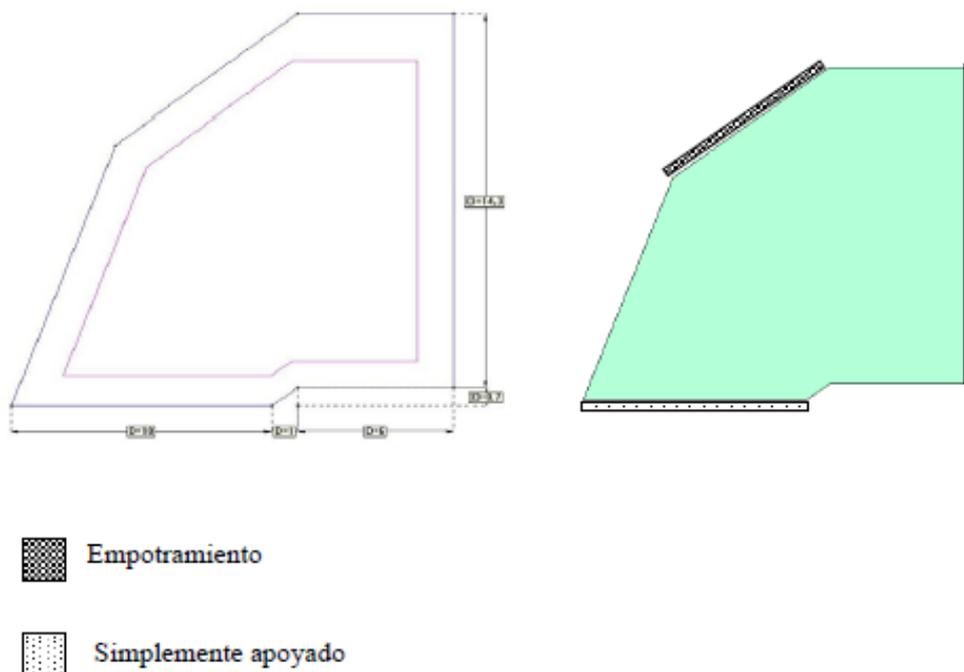
PROBLEMA L-69

La figura muestra una placa plana de hormigón armado sujeta a una carga uniformemente repartida y con las condiciones de apoyo indicadas.

Calcule el valor máximo de la carga que satisface las restricciones que se indican.

- 1) Las tracciones máximas en cualquier punto no deben superar los 30 Mpa.
- 2) Las compresiones máximas en cualquier punto no deben superar los 30 Mpa.
- 3) Tomar los valores de E y ν de un hormigón estándar.
- 4) El espesor de la placa es de 0.20 m.

Cargas actuantes: el peso propio + carga uniforme.



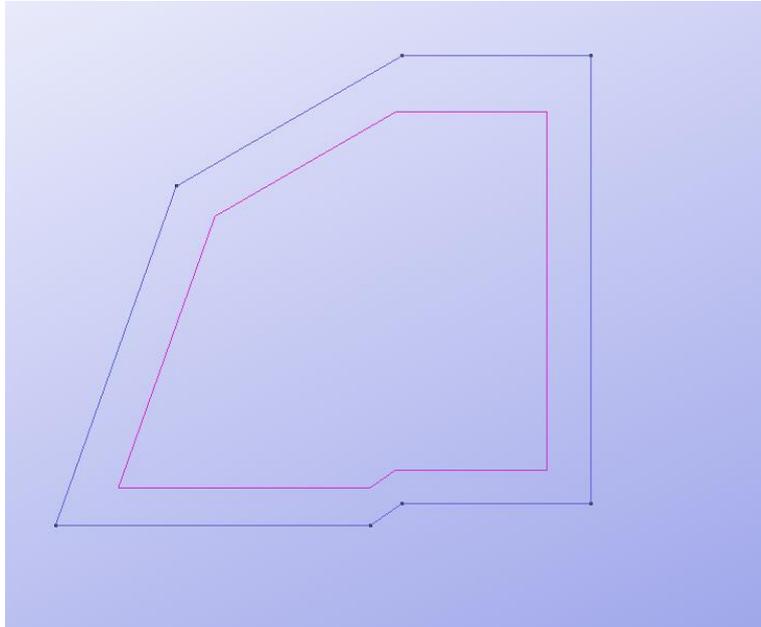
1. PREVIO

El objetivo del problema es calcular la máxima carga uniforme que se puede aplicar a la placa para que ni las tracciones ni las compresiones superen el valor de 30 MPa. La placa tiene una geometría irregular pero sus dimensiones son del orden de 15x17 metros. El espesor de la placa es de 20 cm, por lo que se está hablando de una placa delgada. Para estudiar este tipo de placa lo mejor es utilizar elementos DKT (triángulos lineales de Kirchhoff).

Lo primero que se ha realizado es un análisis de convergencia del movimiento máximo vertical con distintos tamaños de elemento de la malla. Así, una vez ha convergido el movimiento vertical, se tomará esa malla para realizar el cálculo de la carga máxima que puede aceptar la placa sin superar las tensiones de 30 MPa, la restricción que se daba. Cabe decir que además de la carga uniforme, la placa está sometida a su peso propio.

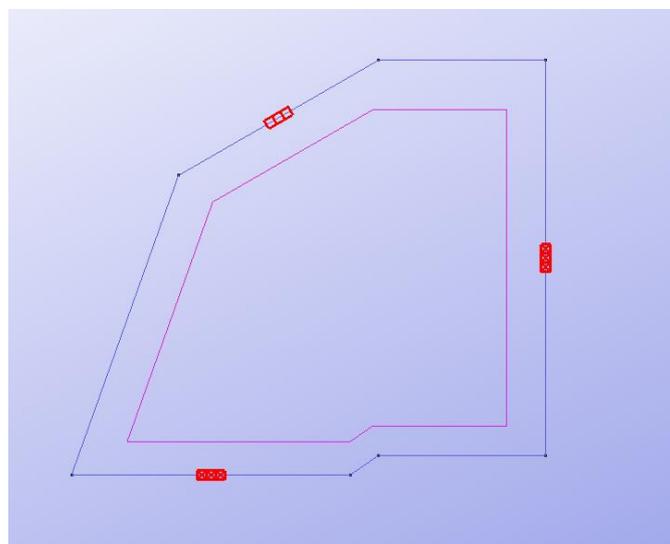
2. PRE-PROCESO

Una vez que se tiene claro cómo se va a actuar, lo primero que se hace es seleccionar el tipo de problema en el programa: "Plates (placas)". Después, se define la geometría.



Una vez que se tiene la geometría se definen las condiciones de contorno:

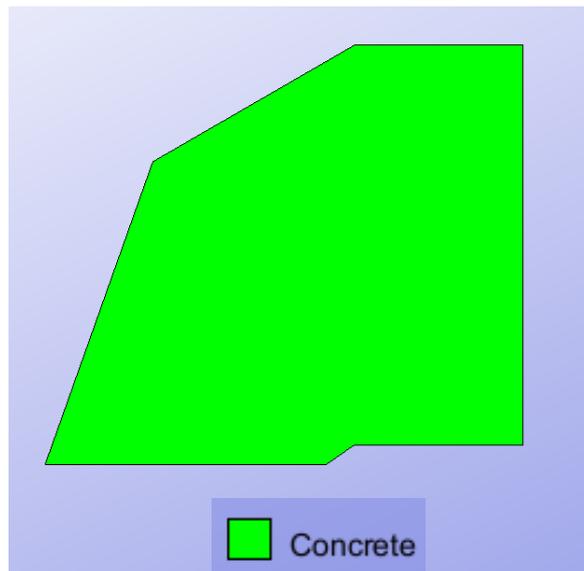
- Borde superior izquierdo (inclinado): empotrado
- Borde inferior izquierdo: simplemente apoyado
- Borde derecho: simplemente apoyado



También hay que asignar el material. El enunciado propone escoger un hormigón estándar.

Hormigón:

- Módulo de Young. $E=3.0e10 \text{ N/m}^2$
- Coeficiente de Poisson. $\nu=0.2$
- Peso específico. $\gamma=25000 \text{ N/m}^3$



En “problem data” se activa la casilla de considerar el peso propio.

De la malla se habla en el apartado de cálculo.

3. CÁLCULO

Como se ha explicado al principio, se utilizarán triángulos DKT (triángulos de tres nodos) ya que es una placa delgada.

Se introduce una carga uniforme de 50 kN/m^2 para estudiar la convergencia. (La carga se introduce con signo negativo, del mismo signo que el peso propio).

Con esta carga se van usando diferentes tamaños de elemento de malla para estudiar la convergencia del movimiento vertical.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la convergencia.

Tamaño de elemento	Nodos	GDL	Movimiento máximo
5	25	75	-0,26497
3	38	114	-0,30519
2	68	204	-0,32159
1,5	116	348	-0,31997
1	243	729	-0,32593
0,5	966	2898	-0,32871
0,25	3750	11250	-0,32963
0,2	5858	17574	-0,32974

En la siguiente gráfica se ve de manera más visual la convergencia.

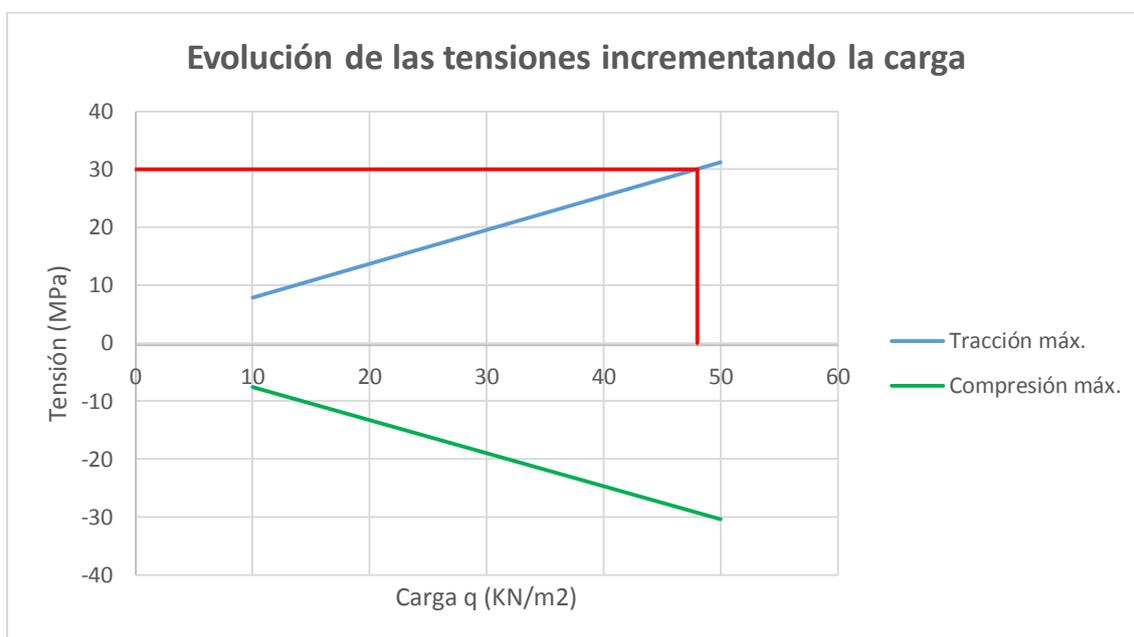


Se observa cómo con triángulos lineales de tamaño 0,2 la solución ha convergido perfectamente. Por lo tanto, para buscar la carga máxima que se puede aplicar a la placa sin que ésta sufra tensiones mayores a 30 MPa se usará esta malla.

Trabajando con la malla descrita anteriormente se prueban distintos valores de la carga uniforme y se va comprobando la tracción y la compresión máxima a la que está sometida la placa. Se obtiene la siguiente tabla.

q (kN/m ²)	Tracción máx. (MPa)	Compresión máx. (Mpa)
10	7,7885	-7,6011
40	25,31	-24,701
45	28,231	-27,551
47	29,399	-28,692
48	29,983	-29,262
49	30,567	-29,832
50	31,151	-30,402

El valor de q que se puede aplicar a la placa sin que se superen tracciones o compresiones mayores que 30 MPa es de 48 kN/m².

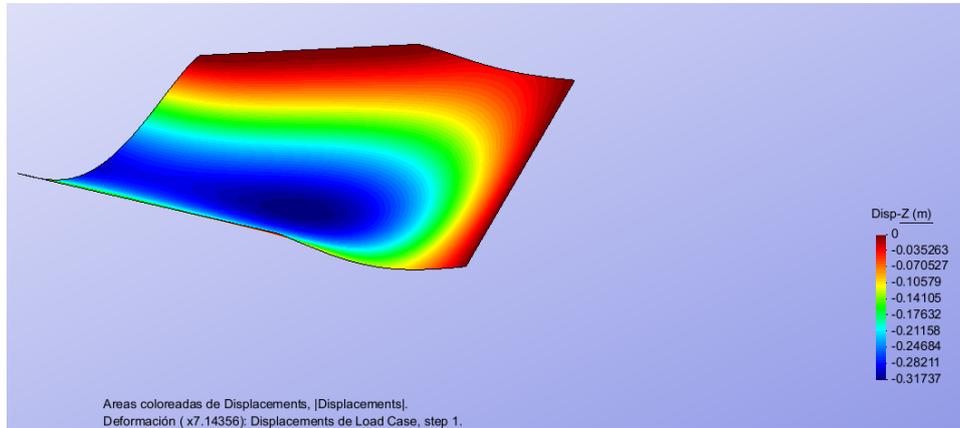


Tanto en el gráfico como en la tabla se observa que las tracciones son un poco mayores (y, por tanto, más restrictivas) que las compresiones.

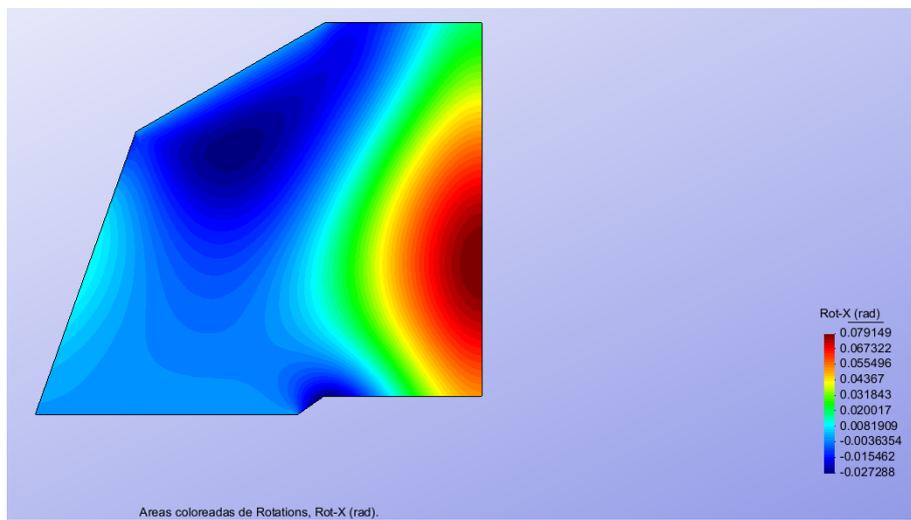
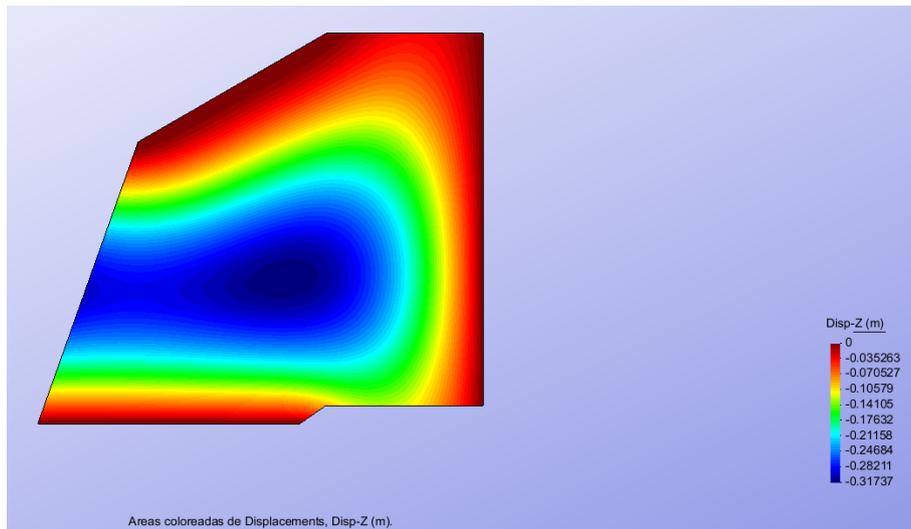
4. POST-PROCESO

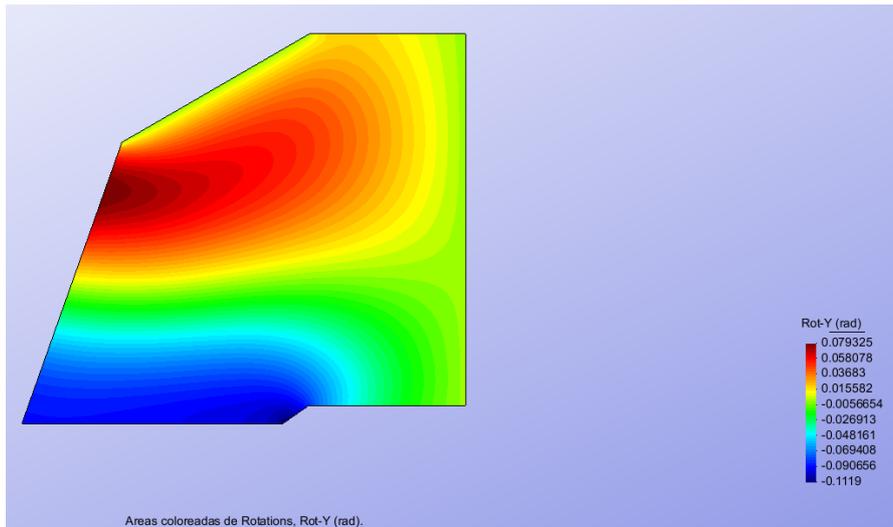
A continuación se muestra el análisis tensional de la placa cuando actúa una carga de 48 kN/m² además del peso propio.

Deformada

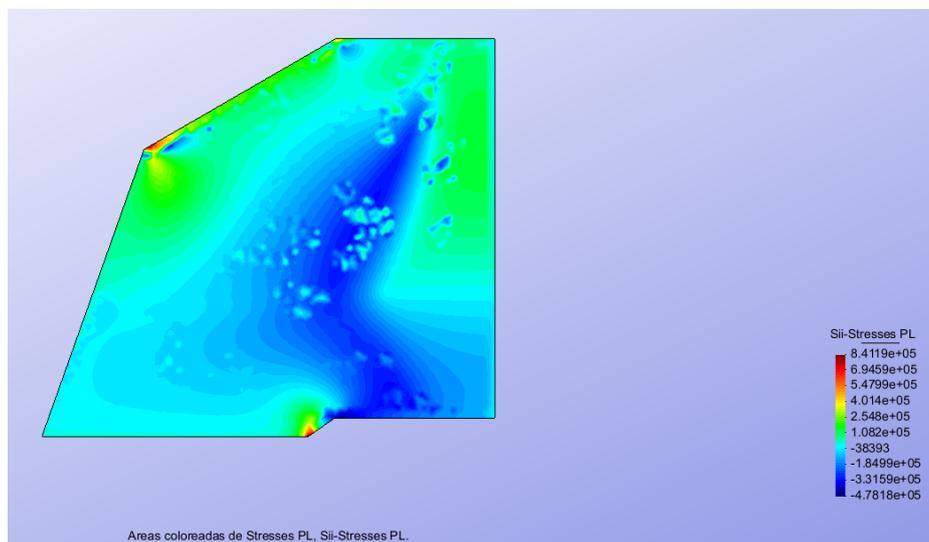
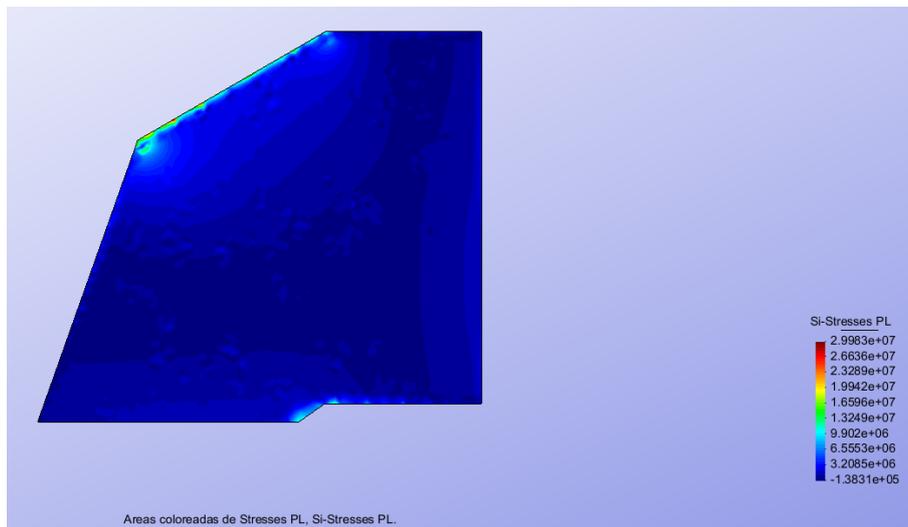


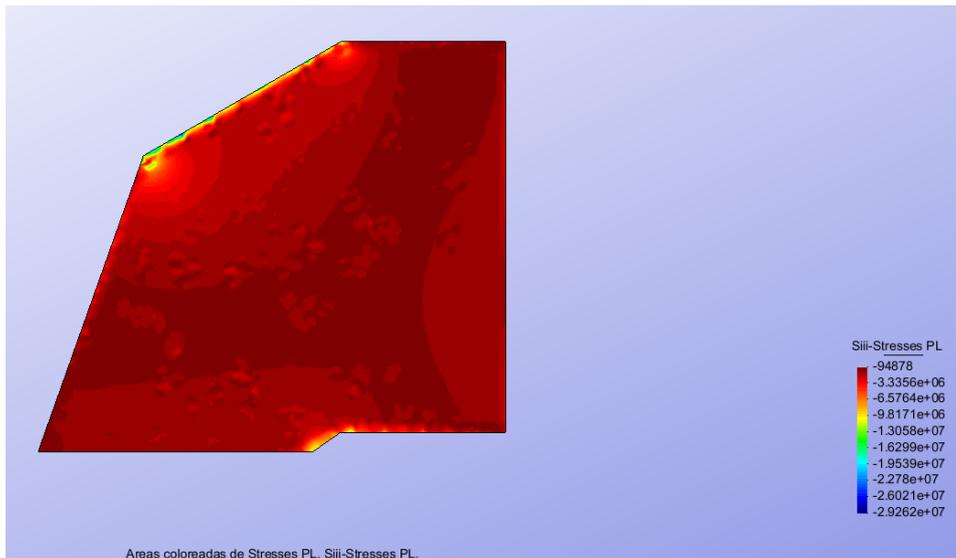
Desplazamientos





Tensiones principales





5. CONCLUSIONES

El resultado obtenido (la placa soporta una carga de 48 kN sin que las tensiones sean mayores que 30 MPa) es un resultado bastante razonable ya que, como las tensiones máximas eran de un valor alto, la carga a la que se puede someter la placa sin que sobrepase estas tensiones también es de un valor alto.

También son razonables los lugares donde se encuentran las tensiones mayores en la placa. Éstas se manifiestan en los apoyos como no podía ser de otra manera. En el centro se dan las tensiones menores y en los apoyos las mayores. En el centro también se da la flecha máxima. La flecha en los tres apoyos lineales es cero ya que así se ha impuesto al introducir las condiciones de contorno y los rotacionales x e y son cero en el empotramiento, no así en los otros dos apoyos ya que están simplemente apoyados.

Por último, se ha calculado el factor de seguridad de cada carga para que no se alcancen las tensiones de 30 MPa, por si se desea tener cierta seguridad de que la placa no esté sometida a estas tensiones de 30 MPa.

q (en KN)	Tracción máx.	Compresión máx.	FS tracción	FS comp.
10	7,7885	-7,6011	3,85183283	3,946797174
40	25,31	-24,701	1,185302252	1,214525728
45	28,231	-27,551	1,062661613	1,088889695
47	29,399	-28,692	1,020442872	1,04558762
48	29,983	-29,262	1,000566988	1,025220422