

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
MÁSTER EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL Y DE LA CONSTRUCCIÓN**

ASIGNATURA:

Ingeniería de Estructuras

DOCENTES:

Eugenio Oñate

Francisco Zarate

PROYECTO FINAL: S-21 y L-05

Sustentante:

Janill De la Cruz Romero

MARTES 09 DE JUNIO DE 2015

BARCELONA, ESPAÑA

Indice

1	Introducción.....	2
2	Enunciado S-21.....	3
3	Descripción de la estructura.....	4
4	Preproceso	4
4.1	Geometría	4
4.2	Condiciones de Contorno	6
4.3	Asignación de Material.....	7
4.4	Cargas.....	8
5	Convergencia y Análisis.....	9
6	Resultados	11
7	Conclusiones	18
8	Enunciado L-05.....	19
9	Descripción de la estructura.....	20
10	Preproceso	20
10.1	Geometría	20
10.2	Condiciones de Contorno	21
10.3	Asignación de Material.....	22
10.4	Cargas.....	22
11	Convergencia y Análisis	23
12	Post-Proceso	25
12.1	Carga con peso Propio	25
12.2	Carga con peso Propio + carga uniforme	26
12.3	Resultados.....	28
13	Conclusiones	30

1 Introducción

El Método de Elemento Finito es una herramienta que permite realizar una modelización de las estructuras para conocer su comportamiento bajo distintas condiciones y parámetros que el técnico debe de ir fijando durante el desarrollo del modelo.

Durante el curso se ha aprendido acerca de cómo funcionan los elementos finitos, y así saber cómo analizar e interpretar los resultados obtenidos.

En esta práctica se analizarán para el primer ejercicio una presa la cual la evaluaremos de manera bidimensional y así mismo 3D para ver el comportamiento de la misma. Luego veremos un puente de cuatro carriles realizado mediante cajones formados por láminas planas de acero, la cual se evaluará mediante láminas 3D.

Para el diseño del ejercicio de la presa se evaluará mediante al Software GID con la aplicación Ramseries el cual realizará el dibujo de los modelos 2D Y 3D y para el segundo ejercicio se utilizará el Programa Ramseries Professional.

Luego se obtendrán datos de interés como tensiones, tracciones y deformaciones que revelen el comportamiento de las estructuras diseñadas para elaborar las debidas conclusiones y confirmar las hipótesis establecidas.

2 Enunciado

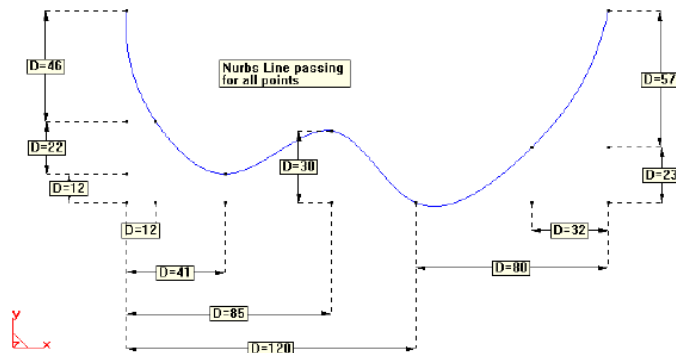
PROBLEMA S-21

Dimensionar y calcular una presa de gravedad de hormigón de 80 m de altura. La anchura en coronación debe ser de 6 m. con las restricciones geométricas que se indican.

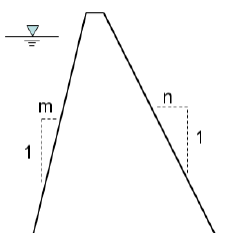
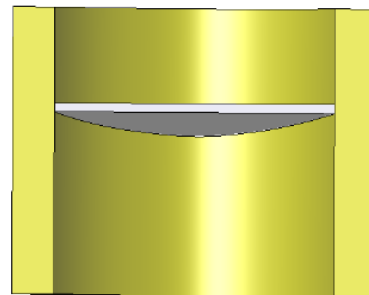
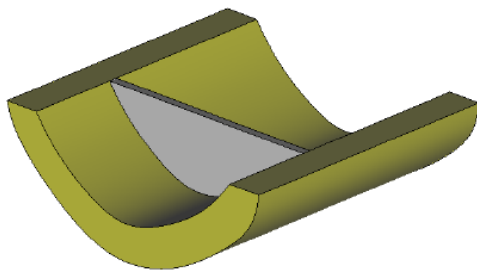
Realizar el proyecto mediante un análisis bidimensional y posteriormente en 3D para verificar el diseño utilizando en ambos casos las siguientes hipótesis:

- 1) Las tracciones máximas en cualquier punto de la presa no deben superar 0.5 MPa
- 2) El peso específico del 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)

El perfil del emplazamiento es el que se muestra:



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



$$\begin{aligned} 0.0 < m < 0.2 \\ 0.7 < n < 0.9 \\ 0.75 < m + n < 1.00 \end{aligned}$$

3 Descripción de la estructura

Como nos muestra el enunciado, consta de realizar el análisis del comportamiento de una presa de hormigón bajo cargas hidrostáticas y peso propio. El ejercicio constará de dos partes, un análisis de la estructura en dos dimensiones modelando la estructura bajo el concepto de deformación plana, y luego se modelará la estructura bajo el criterio tridimensional. Cada una de estas partes se evaluará con peso propio y luego con la combinación del peso propio y la carga hidrostática con una altura de agua de 77 metros.

Como propósito principal se deberá calcular la tracción máxima de la presa no puede superar los 0.5 MPa.

4 Preproceso

Para su cálculo se utilizará el programa GID 12.0.4, donde se definirá el tipo de problema a resolver para este caso en principio se trata de Deformación Plana, debido a que una de las longitudes es mucho mayor que las otras y que las cargas actúan sobre la longitud de la estructura como ya se ha explicado anteriormente, se hará un estudio bidimensional de la presa. En donde el tipo de problema se utilizara Ramseries_Educational_2D, Plane_State. Luego para el caso tridimensional de la misma presa, se realizará mediante a sólidos de 3D.

4.1 Geometría

Se dimensiona de la presa junto con el terreno, como base para nuestro trabajo. Se especifican condiciones explícitas para limitar el talud de la presa, bajo las siguientes ordenes:

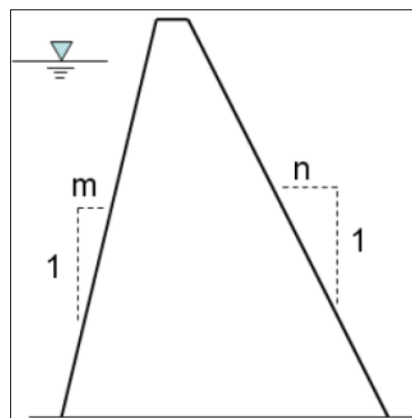


Fig. 1: esquema lateral de la presa

$$\begin{array}{ll}
 0.0 < m < 0.2 & m = 0.08 \\
 0.7 < n < 0.9 & n = 0.87 \\
 0.75 < m+n < 1.0 & m+n = 0.95
 \end{array}$$

Para el presente caso, escogimos valores para $m=0.08$ y $n=0.87$ los cuales cumplen las condiciones propuestas correctamente y un ancho de coronación de 6 m. Para el terreno se dibujó una superficie de 30 cm de ancho y 200 metros de largo.

Bidimensional

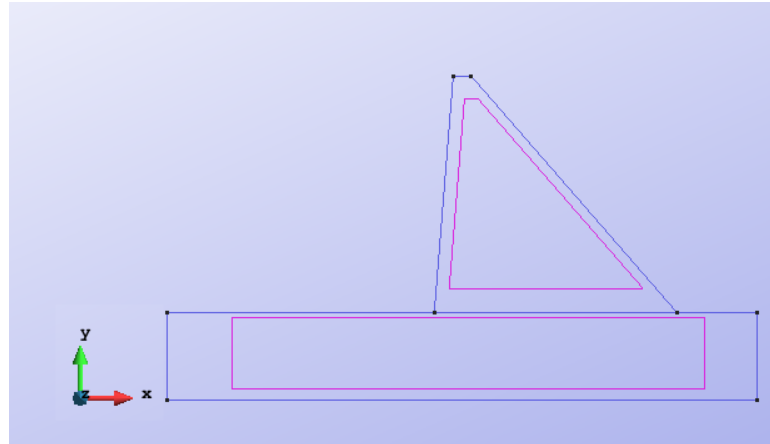


Fig. 2: Vista Bidimensional de la presa

Tridimensional

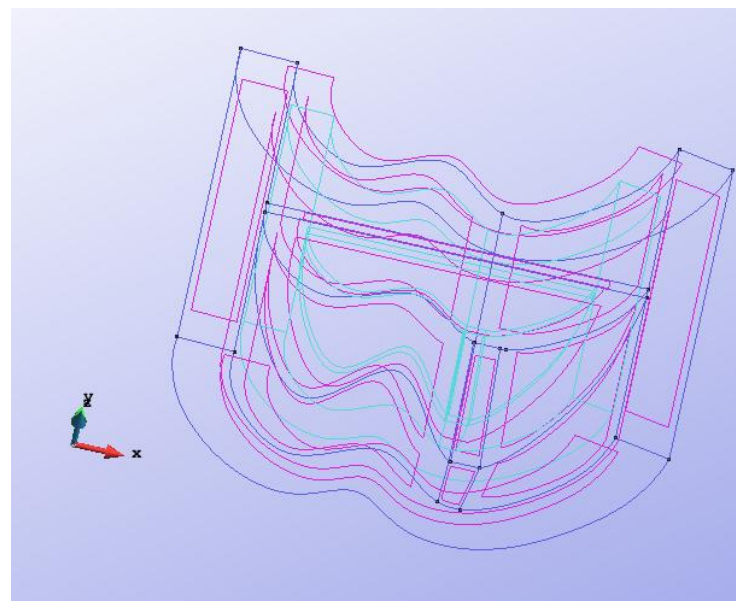


Fig. 3: Vista Tridimensional de la presa

4.2 Condiciones de Contorno

Se definen las condiciones de contorno de la presa, restringiendo el desplazamiento vertical en el eje Y en la parte inferior del terreno y en los laterales se restringió el desplazamiento lateral en el eje X.

Bidimensional

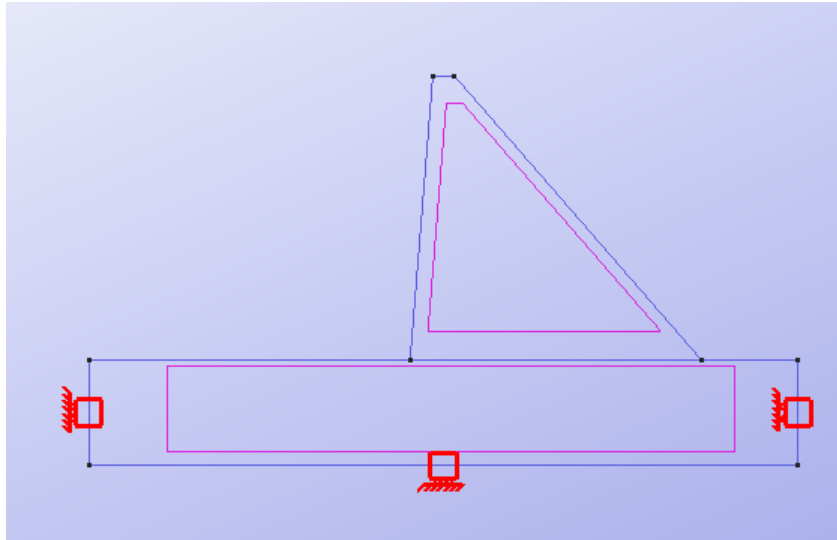


Fig. 4: Vista 2D de los apoyos de la presa

Tridimensional

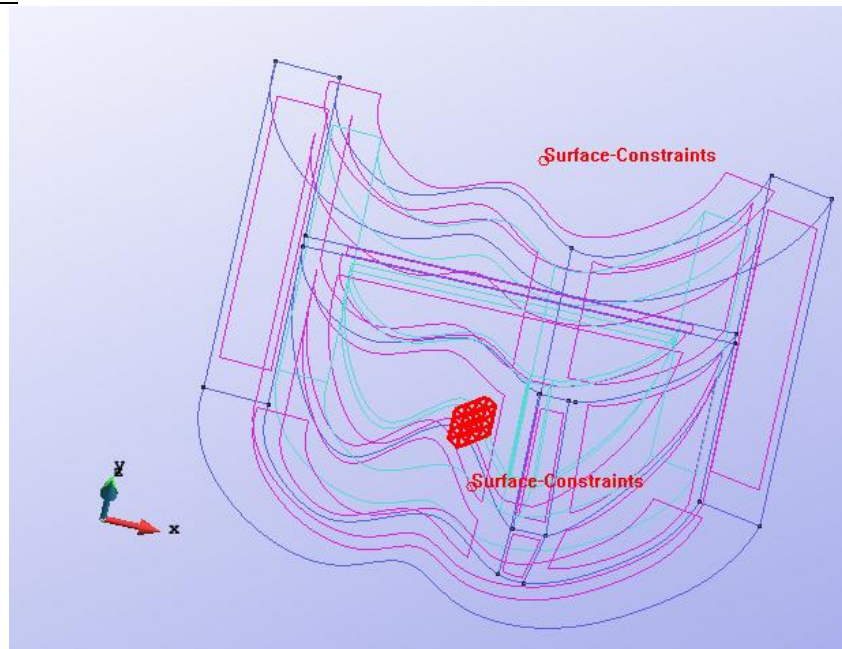


Fig. 5: Vista 3D de los apoyos de la presa

4.3 Asignación de Material

Se definen para los materiales de la presas las condiciones dadas en el problema, para esto se introduce las propiedades del concreto y del terreno del problema.

Bidimensional

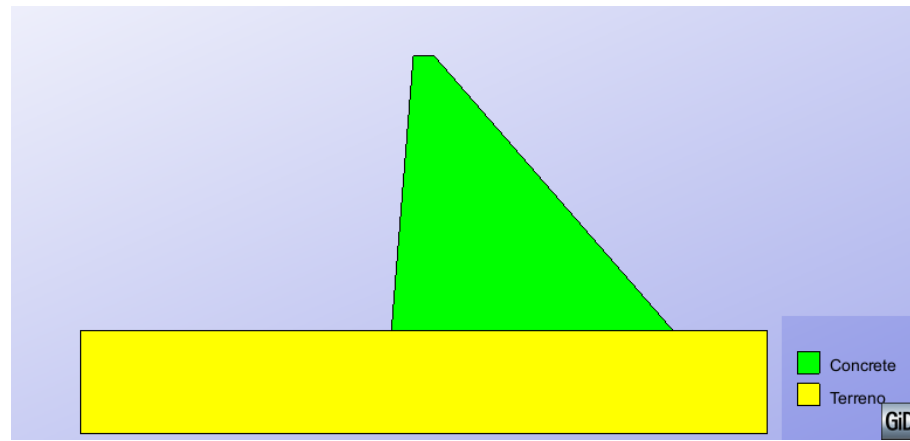


Fig. 6: Vista 2D de los materiales

Tridimensional

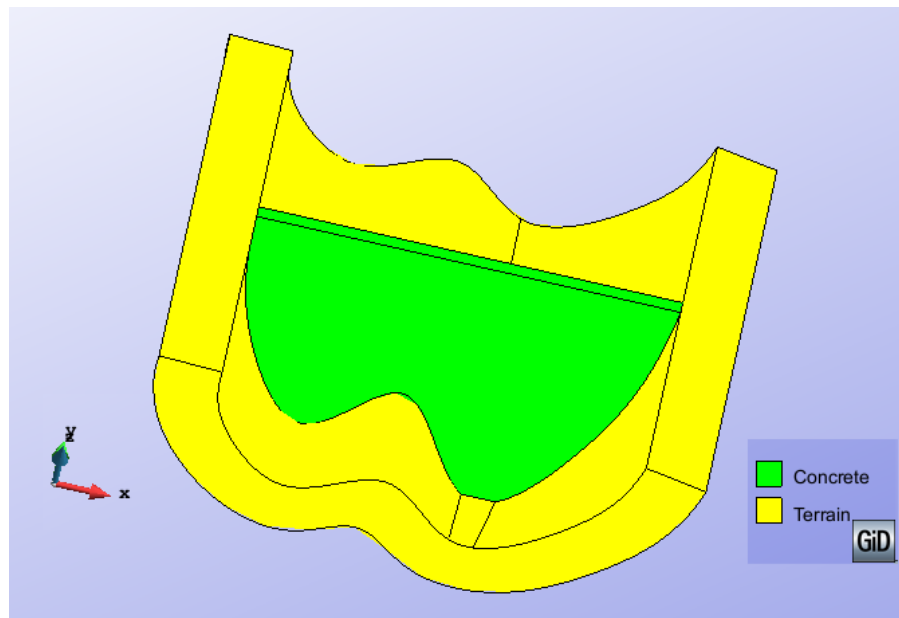


Fig. 7: Vista 3D de los materiales

4.4 Cargas

Después, se procede a la definición de las cargas. Se debe tener en cuenta que el desarrollo del análisis 2D se realizará primero contemplando el peso propio solamente, y luego la combinación del peso propio más la carga hidrostática. En el segundo caso, la carga del agua equivale a una altura de 77 m.

Bidimensional

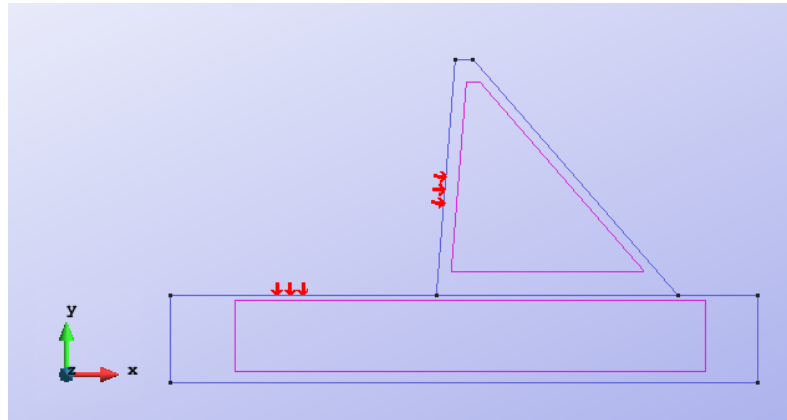


Fig. 8: Carga debido al pp + ch 2D

Tridimensional

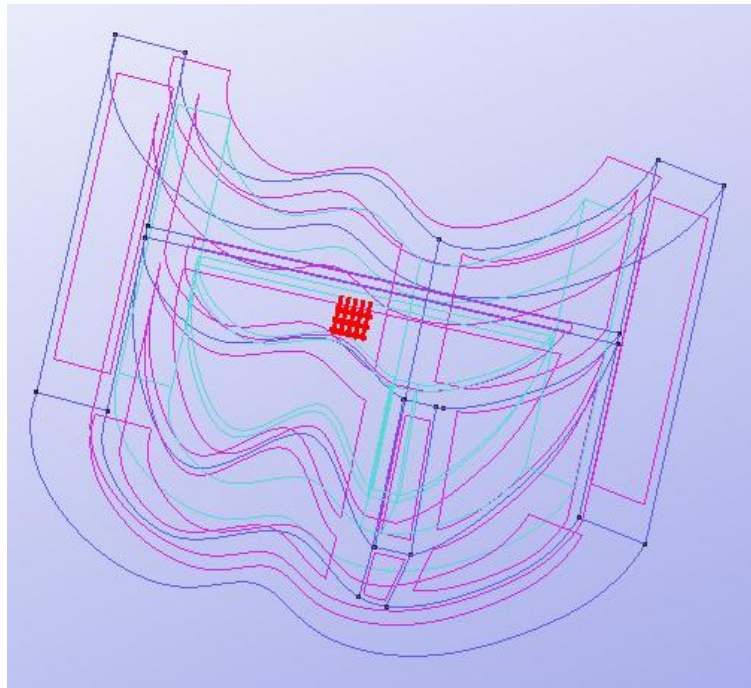


Fig. 9: Carga debido al pp + ch 3D

Con estos parámetros definidos se busca comprobar el comportamiento de la presa solo con la presencia del peso propio, y luego con la combinación del peso propio más la carga hidrostática Y verificar que en ambos casos las tracciones máximas no superen los 0.5 MPA en cualquier punto a lo largo del cuerpo de la presa.

5 Convergencia y Análisis

Es necesario tomar un tipo de tamaño de malla óptima para obtener los mejores resultados de la estructura. No todas las mallas generan resultados confiables, lo cual se debe de hacer un análisis de convergencia para poder visualizar cuando tendremos convergencia en los resultados de una manera rápida y confiable.

Es necesario tomar un tipo de tamaño de malla óptima para obtener los mejores resultados de la estructura. No todas las mallas generan resultados confiables, lo cual se debe de hacer un análisis de convergencia para poder visualizar cuando tendremos convergencia en los resultados de una manera rápida y confiable.

Bidimensional

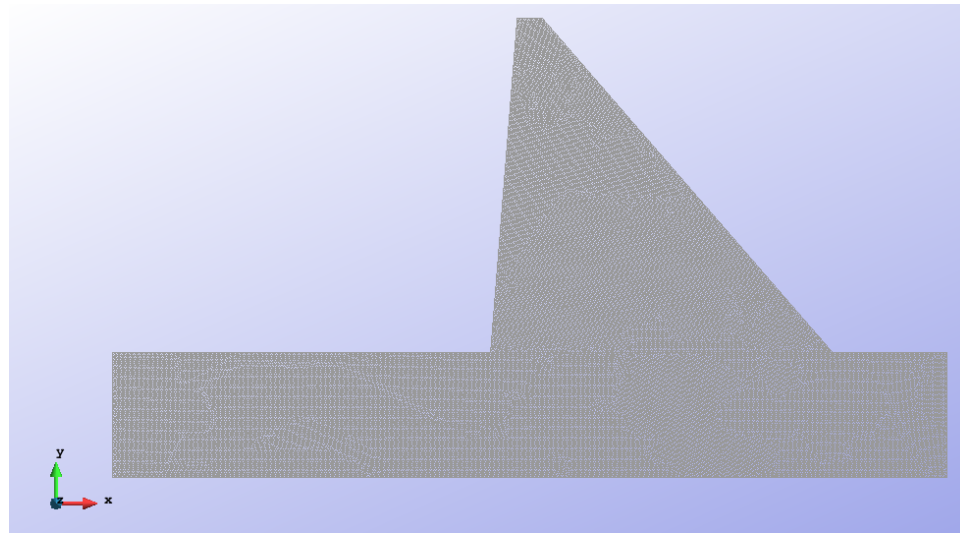


Fig. 10: Malla de 0.6

Tridimensional

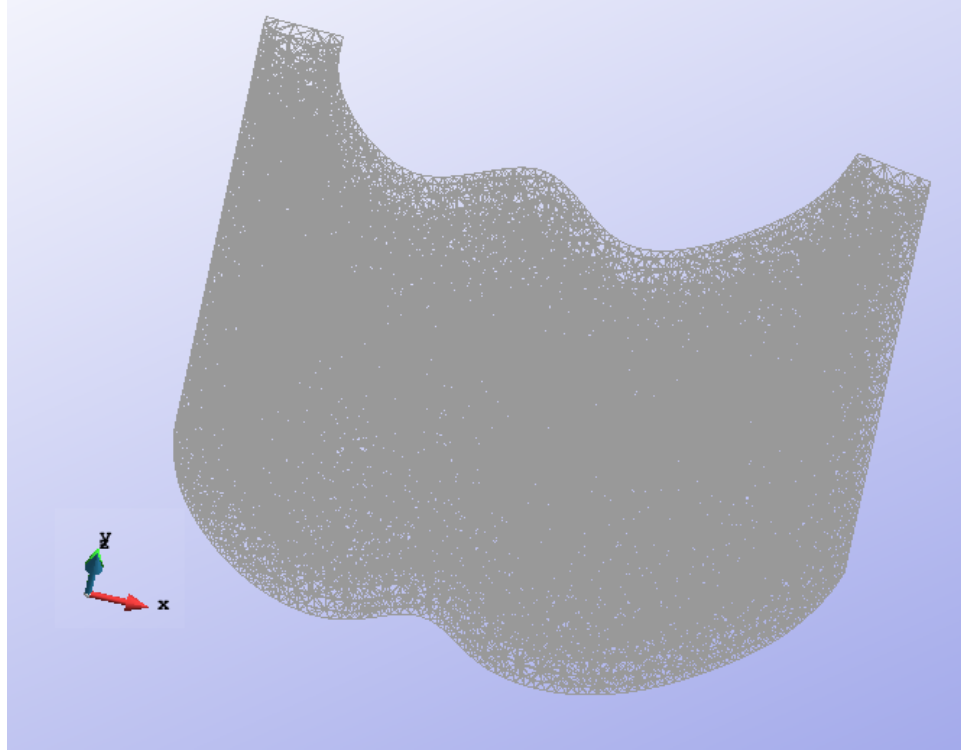


Fig. 11: Malla de 8

Se procederá al cálculo de la estructura para obtener los valores de las tracciones generales en cada combinación de carga y observar el comportamiento hacia la convergencia de los datos obtenidos en un punto que no esté ubicado en la zona más traccionada.

Posteriormente, se presenta el análisis de convergencia del modelo basado en el desplazamiento tomando como referencia la corona de la presa. En donde se tomo el punto mas desfavorable el cual fue la esquina superior izquierda.

6 Resultados

Bidimensional

- CASO PESO PROPIO

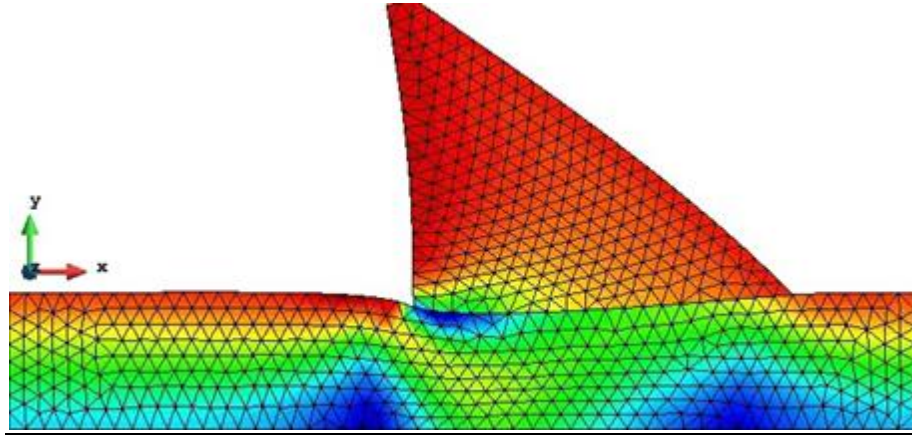


Fig. 12: Presa deformada solo con Peso Propio

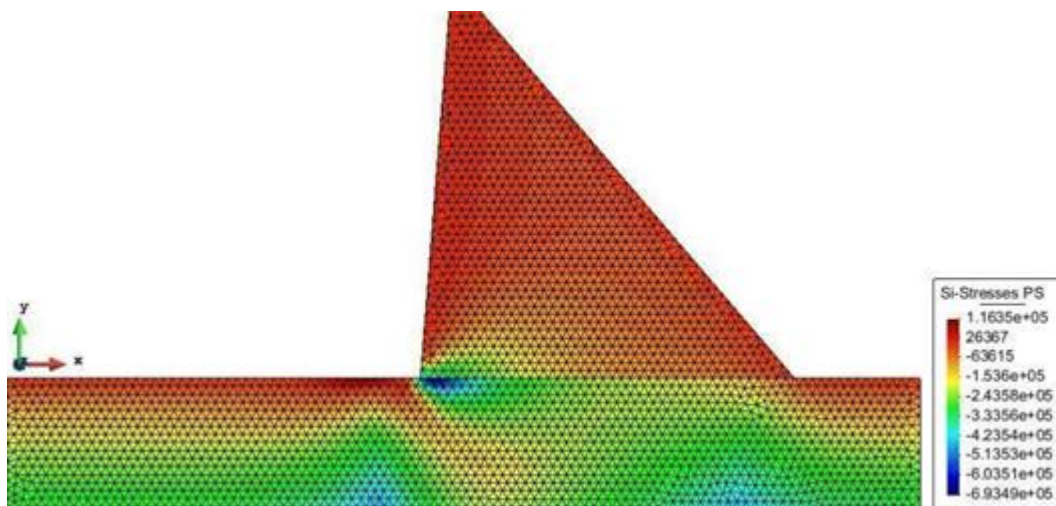
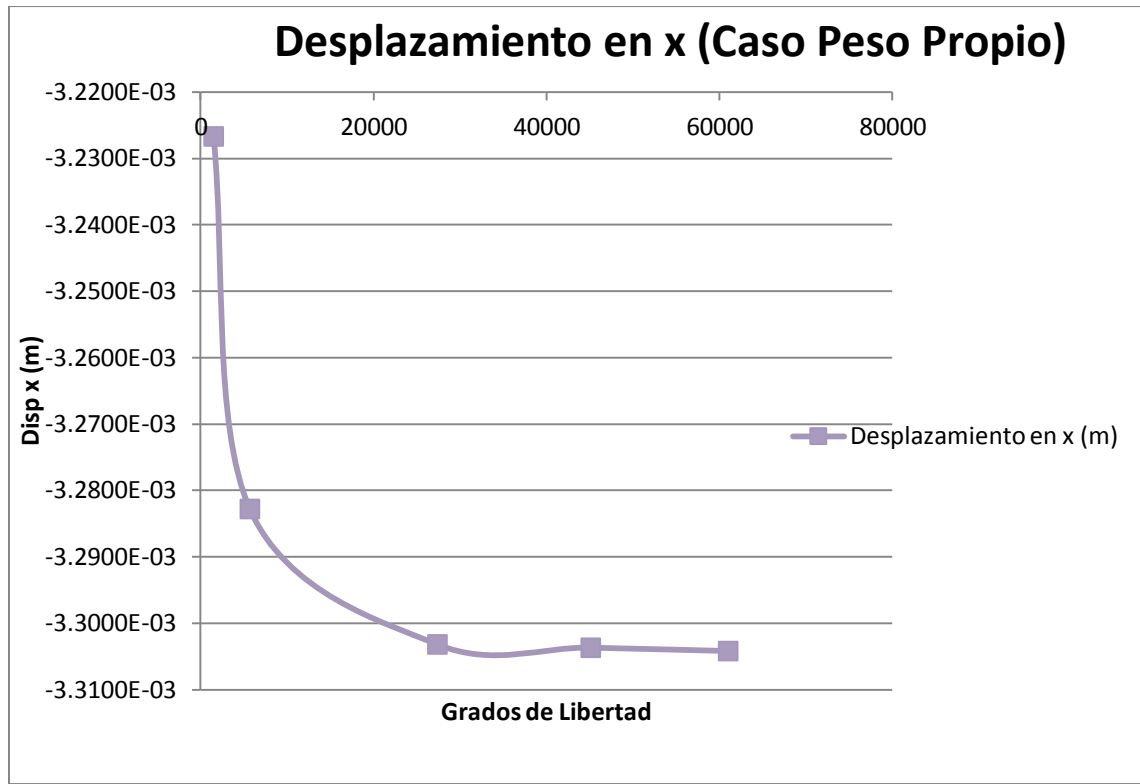


Fig. 13: Tracciones Maximimas con Peso Propio

Caso Peso Propio				
Malla	num. de nodos	Grados de libertad	Tracciones Max. (Mpa)	Desplazamiento en x (m)
4	740	1480	4.1891E-02	-3.2267E-03
2	2834	5668	1.1635E-01	-3.2828E-03
0.8	13678	27356	1.7189E-01	-3.3032E-03
0.7	22544	45088	1.7189E-01	-3.3037E-03
0.6	30490	60980	1.7840E-01	-3.3042E-03



- CASO PESO PROPIO + EMPUJE HIDROSTATICO

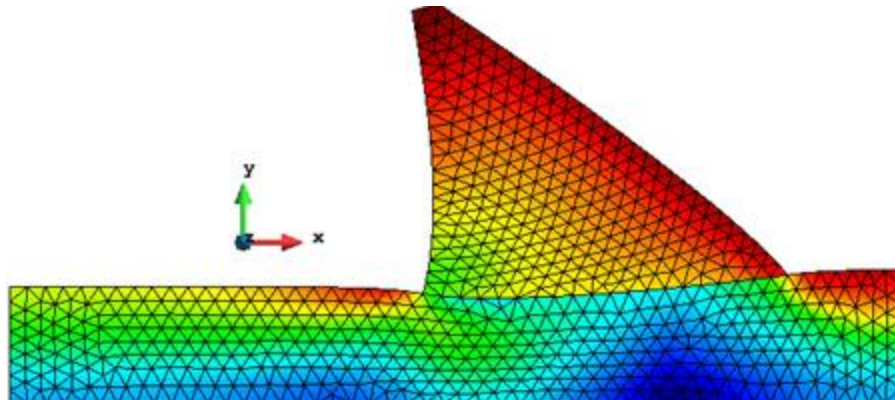


Fig. 14: Presa Deformada con la Comb. De Peso propio +Empuje Hidrostático

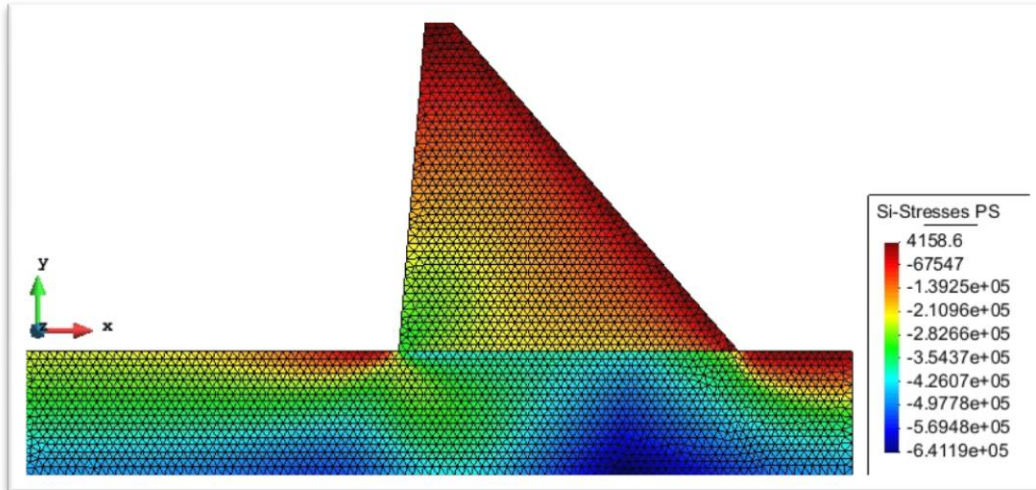
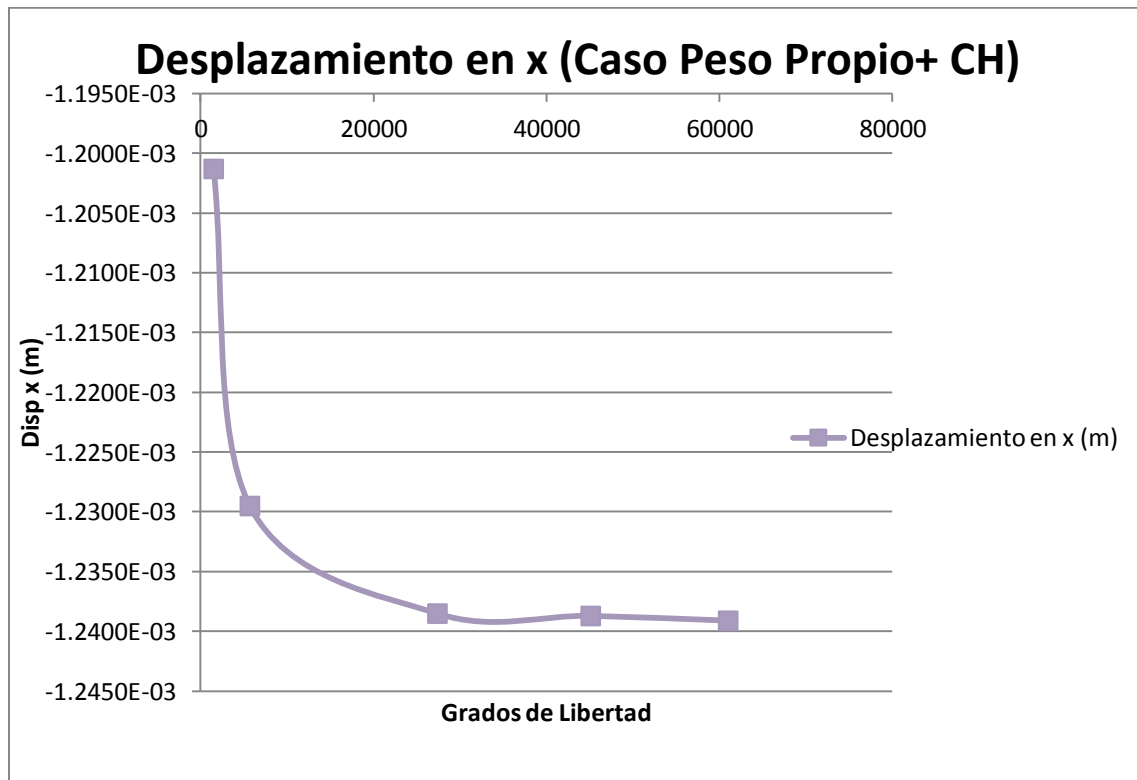


Fig. 15: Tracciones Máximas con Peso Propio +Empuje Hidrostatico

Caso Peso Propio + Empuje Hidrostatico				
Malla	num. de nodos	Grados de libertad	Tracciones Max. (Mpa)	Desplazamiento en x (m)
4	740	1480	2.9233E-04	-1.2013E-03
2	2834	5668	4.1586E-03	-1.2295E-03
0.8	13678	27356	1.8550E-02	-1.2385E-03
0.7	22544	45088	2.1565E-02	-1.2387E-03
0.6	30490	60980	2.6544E-02	-1.2391E-03



Como se puede apreciar, fue de esperarse que las tracciones máximas aumentan en presencia del peso propio, el comportamiento entre los dos casos es muy similar y se logra el objetivo de que las tracciones máximas en ningún punto de la pesa superen los 0.5 MPa.

En el análisis de convergencia se aprecia que mientras más tupida la malla, más consistente es el resultado de los desplazamientos, pero requiere de mucho tiempo de cálculo para obtener los resultados

Tridimensional

Luego de haber realizado el análisis en dos dimensiones haciendo las simplificaciones con la hipótesis de deformación plana, procedemos al análisis más cercano a la realidad a través de un modelo en 3 dimensiones.

En este al igual que el bidimensional veremos el comportamiento de la estructura específicamente las tracciones máximas en la esquina superior izquierda que es el punto más desfavorable de la pesa para poder lograr buscar el resultado que no supere los 0.5 MPa.

- CASO PESO PROPIO

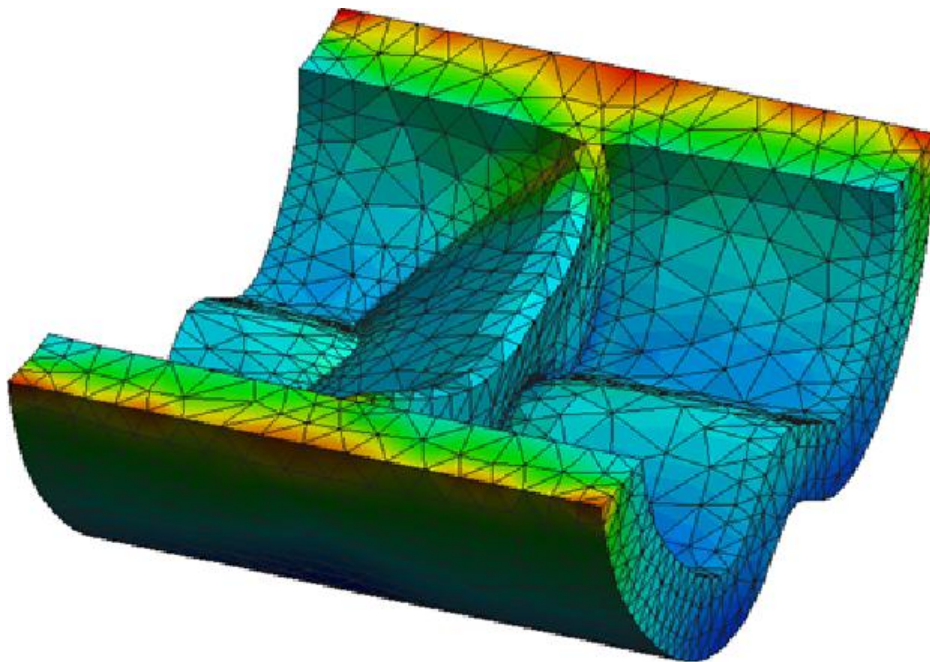


Fig. 16: Deformada con Peso Propio

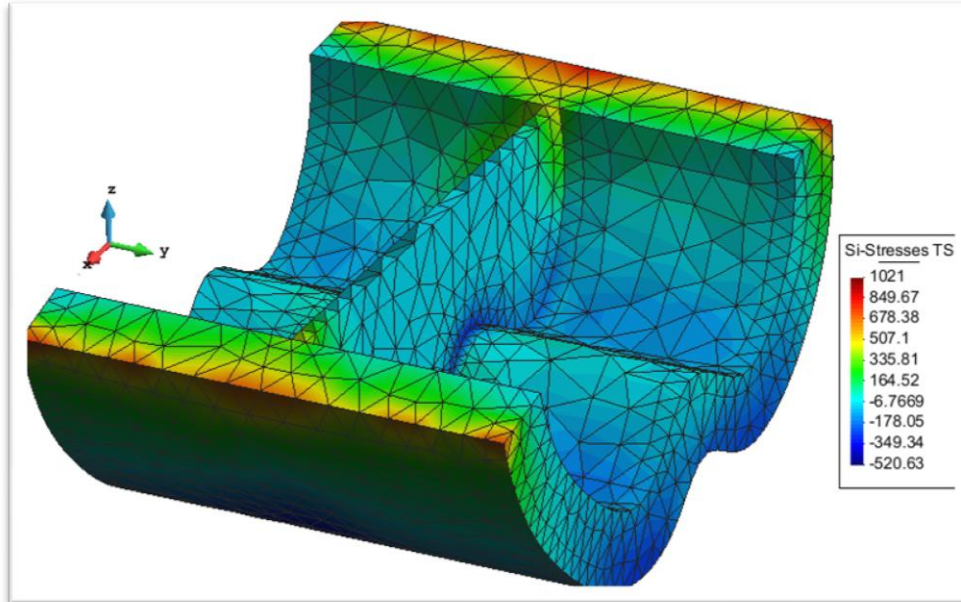


Fig. 17: Tracciones Maximias con Peso Propio

Caso Peso Propio			
Malla	num. de nodos	Grados de libertad	Tensión Generalizada (Mpa)
15	3417	10251	0.001021
12	5137	15411	0.00092402
10	7531	22593	0.0011144
9	9541	28623	0.0011829
8	12445	37335	0.0012109

- CASO PESO PROPIO + EMPUJE HIDROSTATICO

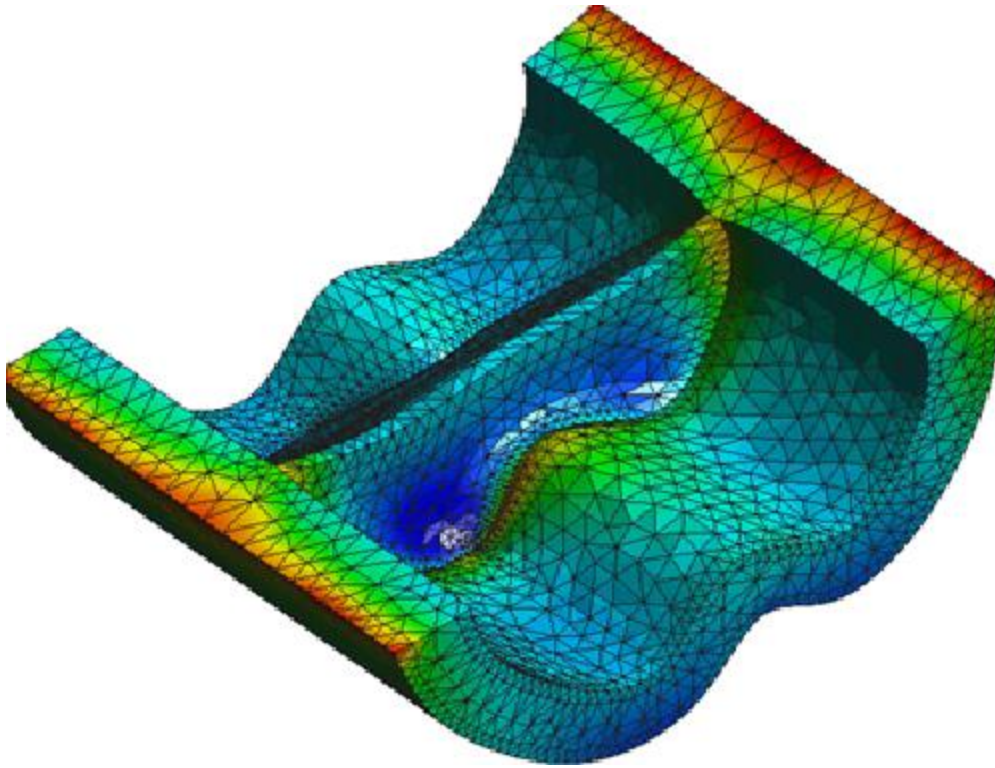


Fig. 18: Presa deformada bajo a peso Propio + Empuje Hidroestatico

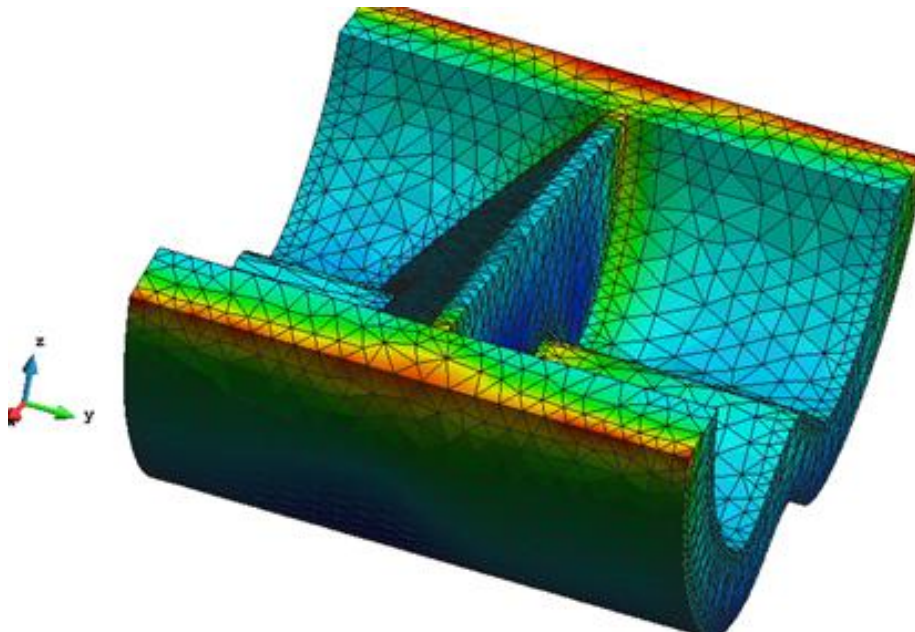
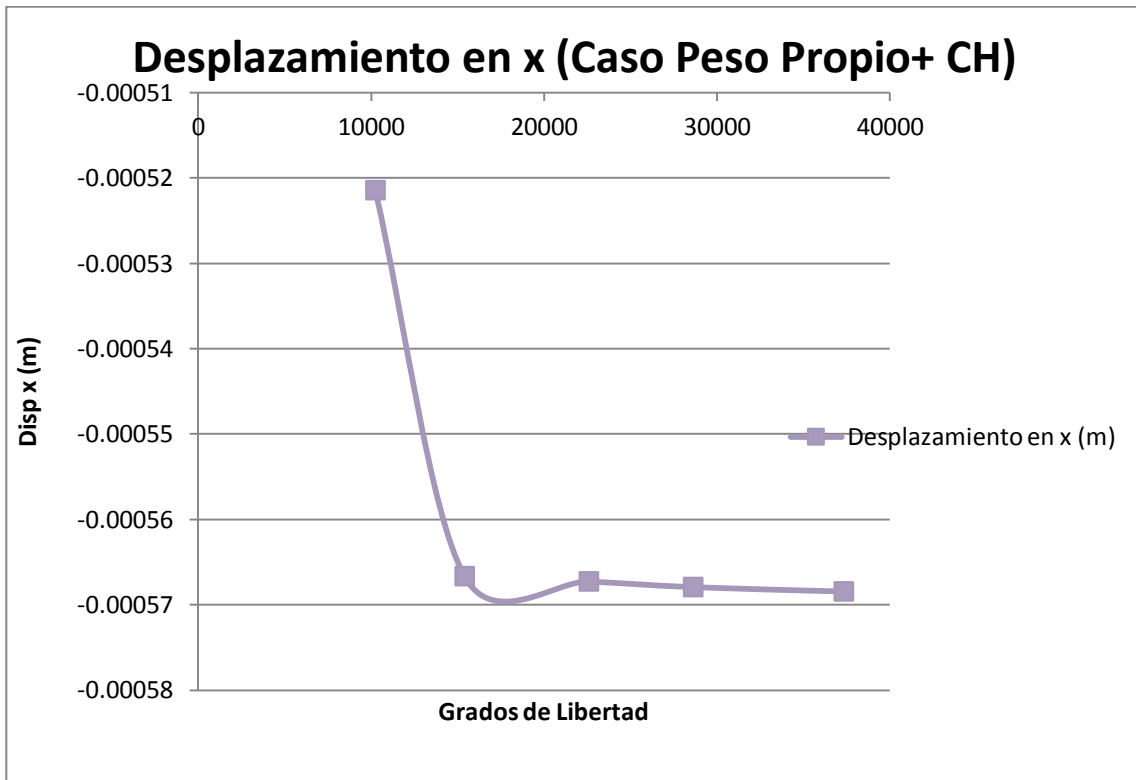


Fig. 19: Tracciones Máximas con Peso Propio + Empuje Hidroestático

Caso Peso Propio + Empuje Hidrostático				
Malla	núm. de nodos	Grados de libertad	Tensión Generalizada . (Mpa)	Desplazamiento en x (m)
15	3417	10251	0.001021	-0.00052142
12	5137	15411	0.00092402	-0.000566639
10	7531	22593	0.0011144	-0.00056725
9	9541	28623	0.0011829	-0.00056791
8	12445	37335	0.0012109	-0.00056842



7 Conclusiones

Al igual que ocurría en el análisis bidimensional, no se llegó a superar la tensiones máximas de tracción fijada en el problema ni en la presa ni en el terreno, y solo se observan una zona de concentración de tracciones en el bode horizontal superior del terreno que son producto de las condiciones de vinculación del elemento suelo y en la interface entre la zona posterior de la presa y el suelo.

A partir de los resultados obtenidos se puede observar que los valores de los desplazamientos son de magnitud similar en el modelo de 3 y de 2 dimensiones. Sin embargo, los desplazamientos de la combinación 1 muestran signo distinto, lo cual podría deberse a que, al ser un desplazamiento tan pequeño, se pierda precisión al realizar las operaciones.

Por medio a los resultados obtenidos se puede concluir que, si bien es cierto que un análisis tridimensional nos permite realizar un diseño más económico al poder aproximar en ciertos parámetros, como los materiales, un análisis bidimensional brinda una idea bastante precisa de la solución del problema y consume mucho menos tiempo y esfuerzo, siempre y cuando se pueda aplicar una teoría para simplificar las condiciones y reducir la dificultad.

8 Enunciado

PROBLEMA L5

La figura representa un puente de cuatro carriles realizado mediante cajones formados por láminas planas de acero bajo una carga vertical uniformemente repartida.

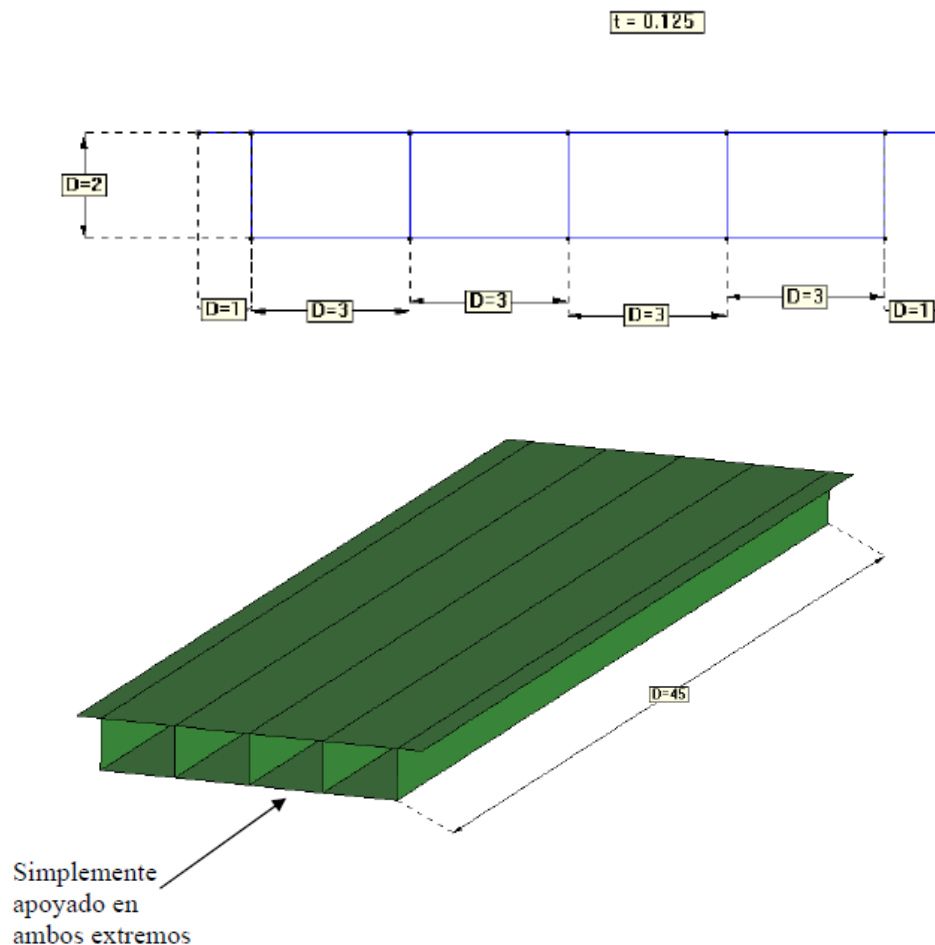
Calcular la carga máxima que es capaz de soportar sobre dichos carriles con las restricciones que se indican.

- 1) La tensión de Von Mises en cualquier punto de la chapa no debe superar los 500 MPa
- 2) Tomar los valores de E y ν de un acero estándar.
- 3) Ambos extremos del puente se encuentran simplemente apoyados
- 4) La longitud del puente es de 45 m
- 5) El espesor de todas las chapas es de 0.125 m

Cargas actuantes:

- a) Peso propio
- b) Peso propio + carga uniforme.

Las dimensiones en metros del puente:



9 Descripción de la estructura

Como nos muestra el enunciado, representa un puente de cuatro carriles mediante a cajones formado por láminas planas de acero con una carga uniformemente repartida con una luz de 45 metros. La sección consta de 14 metros divididos en 4 carriles de 3 metros y dos voladizos a los extremos de 1 metro de ancho, con una altura de 2 metros y un espesor de chapa de 0.125 metros. Se considerará la carga tanto para el peso propio como el peso propio + carga uniforme.

Como propósito principal se deberá calcular la carga máxima que soporta la estructura, la cual no podrá superar los 500 MPa de la tensión de Von Mises en cualquier punto de la chapa.

10 Preproceso

Para su cálculo se utilizará el programa GID en su modulo Ram Series FULL PROFESSIONAL versión para obtener los resultados deseados ya que se calcularan láminas planas de acero.

10.1 Geometría

Para el dibujo de la sección del puente se deberá de primera instancia dibujar la sección plana con las dimensiones antes mencionadas como se muestra la figura 1.

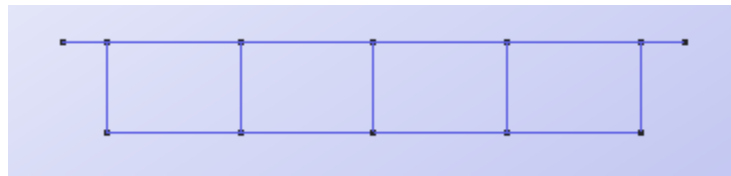


Figura 1. Sección Transversal de la geometría del problema

Luego se extruye la sección a los 45 m de luz dando una forma como se muestra en la figura 2. Y en esta parte no se toma en cuenta el espesor de la chapa ya que se deberaa introducir a la hora de definir la sección del problema.

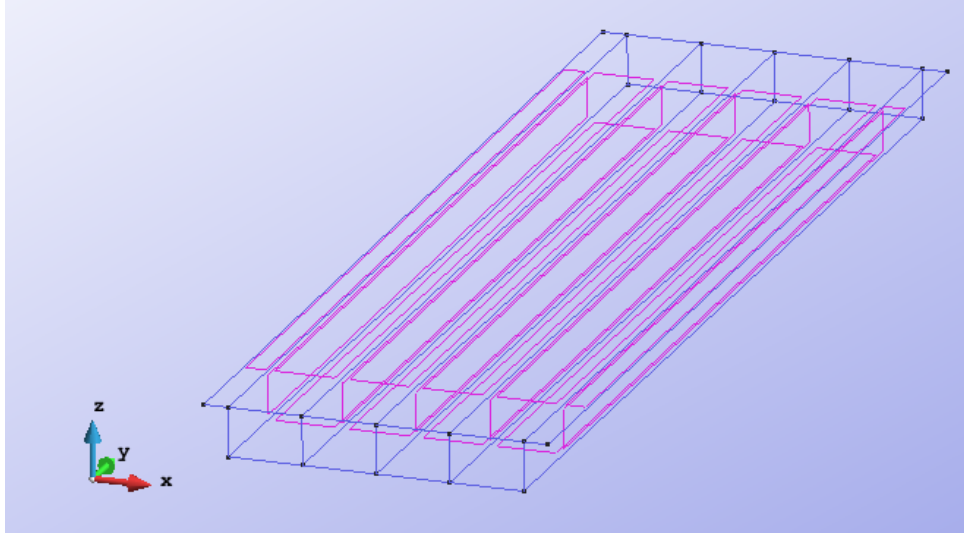


Figura 2. Vista 3D de la geometría del problema

10.2 Condiciones de Contorno

La estructura deberá estar en los extremos de la lámina donde serán simplemente apoyados, así como se muestra en la figura 3.

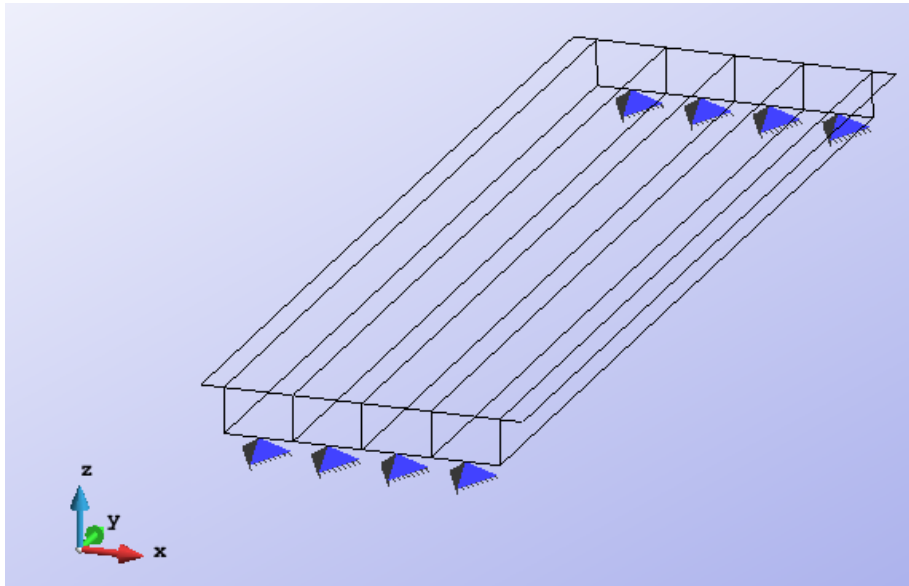


Figura 3. Vista 3D de los Apoyos Simples de la lámina

10.3 Asignación de Material

Se utilizará un acero estándar para puentes, como lo requiere en este caso, el cual fue un “Steel A42” como se muestra en la tabla 1 el cual el programa nos da los datos del Modulo de Young y el del coeficiente de poisson.

Group	Thickn...	Material	E	nu	Specific_weight
acero usado	0.125	Steel A42	2.1e11	0.3	76900
Isotropic shell ...	0.125	Steel A42	2.1e11	0.3	76900

Tabla 1. Especificaciones del Material.

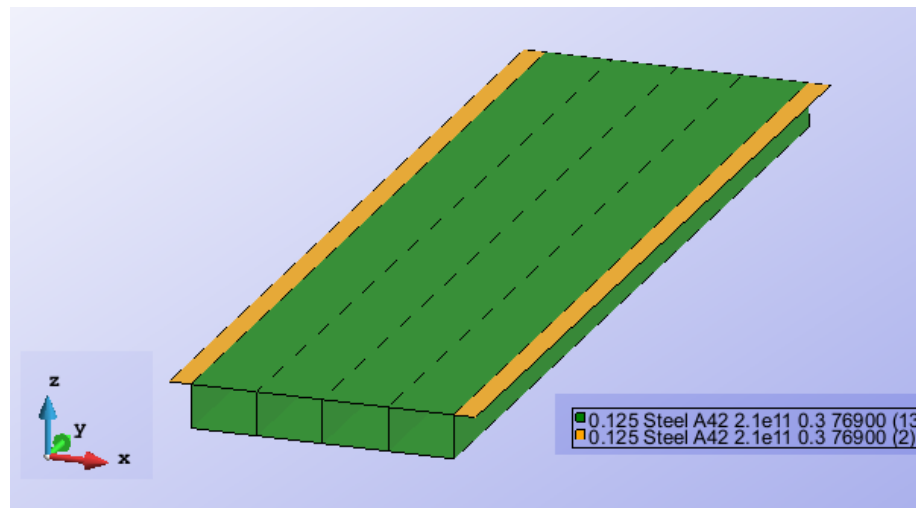
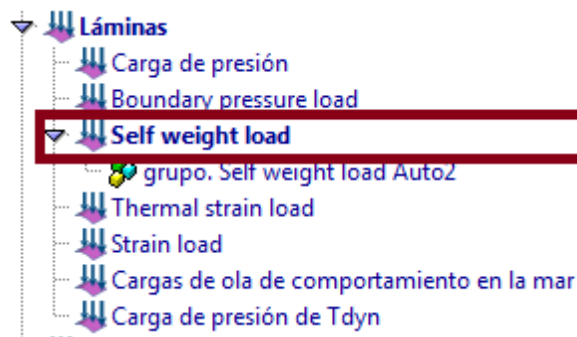


Figura 4. Steel A42

10.4 Cargas

Para la carga del puente, se evaluarán dos combinaciones de carga por separado. En primera instancia, la carga debida a peso propio de la estructura que será constante en todos los casos de cálculo



. Figura 5.1 Carga debido al peso propio

Se debe activar la carga propia del elemento para los 2 tipos ya sea para el puente bajo peso propio como para peso propio + carga uniforme.

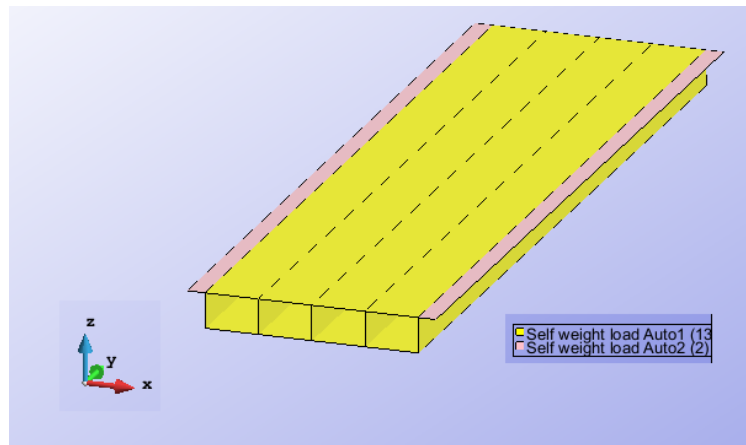


Figura 5.2 Carga debido al peso propio

Luego, introduciremos una nueva combinación en la que se sumen el peso propio de la estructura más la carga uniforme repartida como se muestra en la figura 6. Con esta combinación se procederán a hacer los cálculos requeridos en el mandato el cual es que la carga máxima que pueda soportar la estructura no podrá sobre pasar la tensión de Von Mises de 500 MPa.

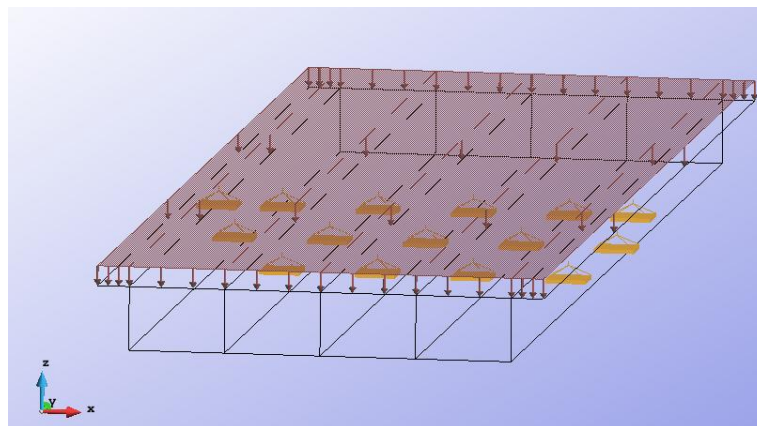


Figura 6. Carga debido al peso propio más la carga uniforme repartida.

11 Convergencia y Análisis

Es necesario tomar un tipo de tamaño de malla óptima para obtener los mejores resultados de la estructura. No todas las mallas generan resultados confiables, lo cual se debe de hacer un análisis de convergencia para poder visualizar cuando tendremos convergencia en los resultados de una manera rápida y confiable.

Para nuestro caso se realizará un análisis de convergencia para el Desplazamiento Z Max. (Centro del puente), donde utilizaremos malla estructurada, con triángulos de 3 nodos, numero: 3,2,1,0.6,0.4 y 0.2.

Este análisis se determinará para la estructura bajo a una carga de peso propio, luego de que tengamos la malla refinada, procederemos a buscar los resultados pedidos con la malla refinada para el peso propio + carga uniforme.

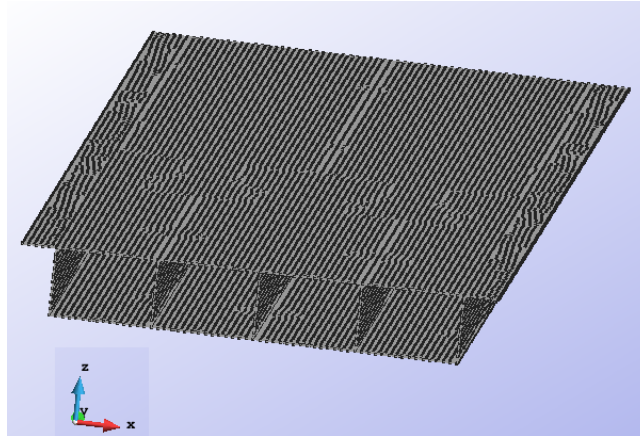
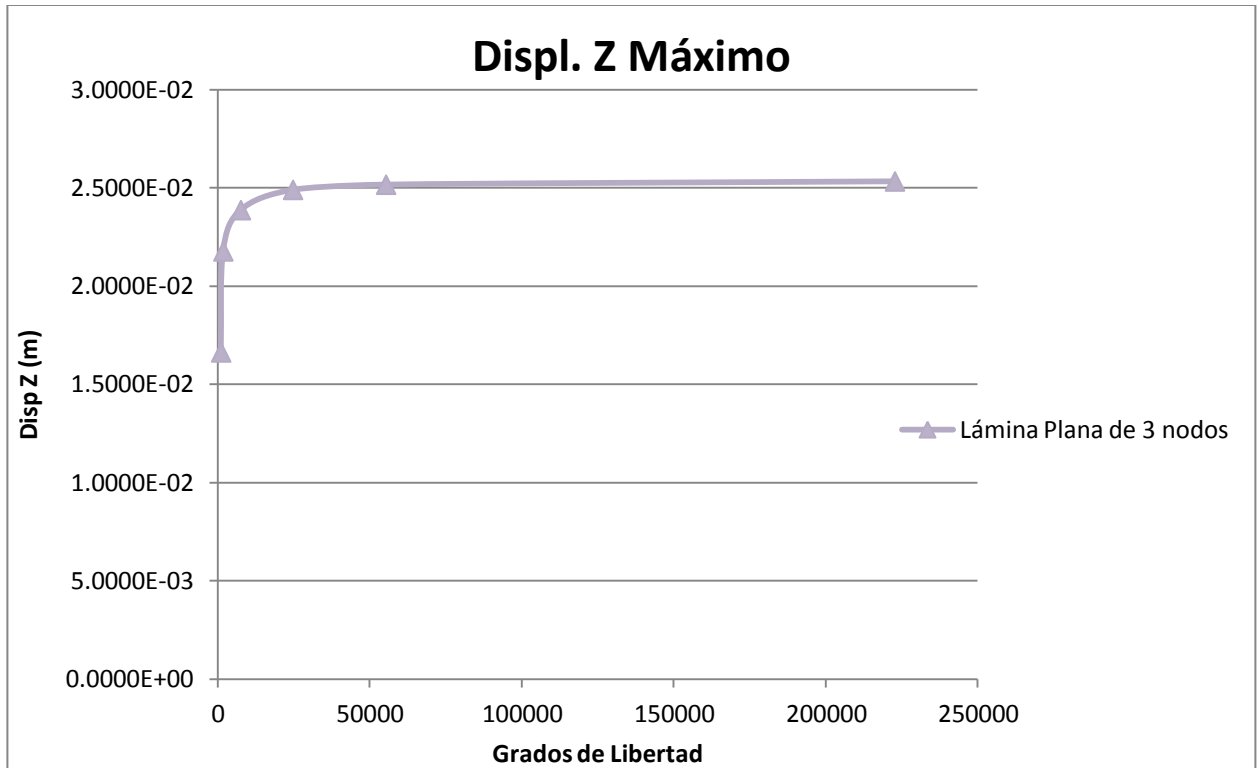


Figura 7. Malla Generada para un tamaño de 0.2

Lámina Plana de 3 nodos			
Malla	num. de nodos	Grados de libertad	Disp. (Z) máx (m)
3	196	980	1.6627E-02
2	340	1700	2.1769E-02
1	1497	7485	2.3869E-02
0.6	4925	24625	2.4901E-02
0.4	11047	55235	2.5164E-02
0.2	44530	222650	2.5330E-02

Tabla 2. Análisis de Convergencia de Lamina Plana 3 nodos.



12 Post-Proceso

Después de conocer el tamaño de la malla adecuada, para obtener los resultados más precisos, procederemos a correr el programa para que nos arroje los resultados los cuales necesitaremos las tensiones Von Mises ya que nuestra limitante es que no pase de 500 MPa. Se realizarán iteraciones a la hora de cálculo para ver con cual carga uniforme aguanta la estructura

12.1 Carga con peso Propio

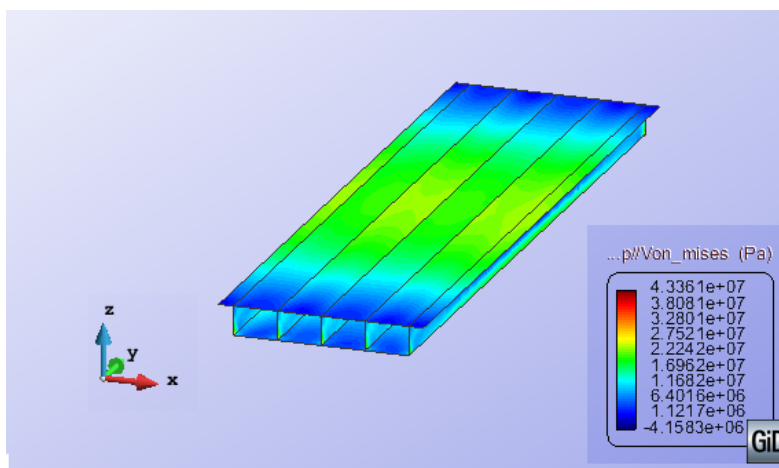


Figura 7. Tensión Von Mises Top

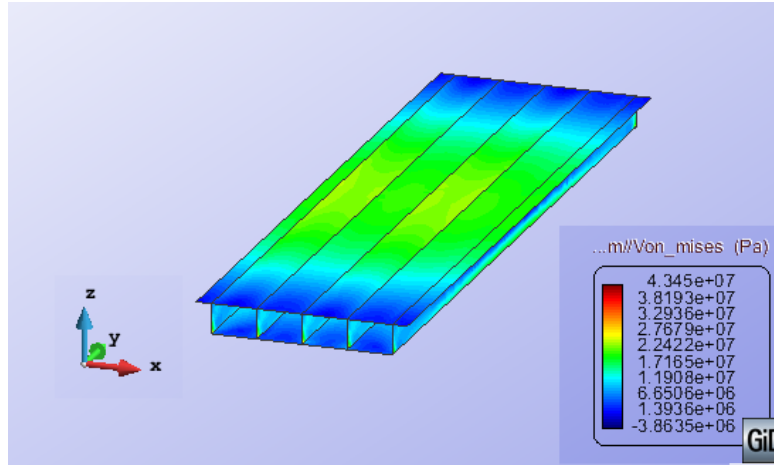


Figura 8. Tensión Von Mises Bottom

Como se pueden observar en las figuras 7 y 8 vemos el comportamiento tensional máximo del puente con su peso propio, donde no sobre pasa los 44 MPa.

12.2 Carga con peso Propio + carga uniforme

Se realizaron unas iteraciones sobre la carga uniforme de la estructura hasta que llegamos al valor deseado el cual es el que no debe pasar los 500 MPa en el estado tensional de Von Mises.

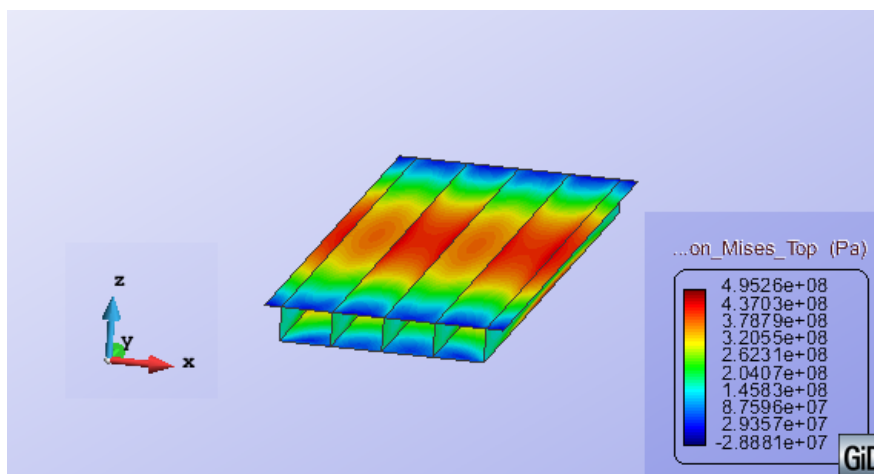


Figura 9. Tensión Von Mises Top

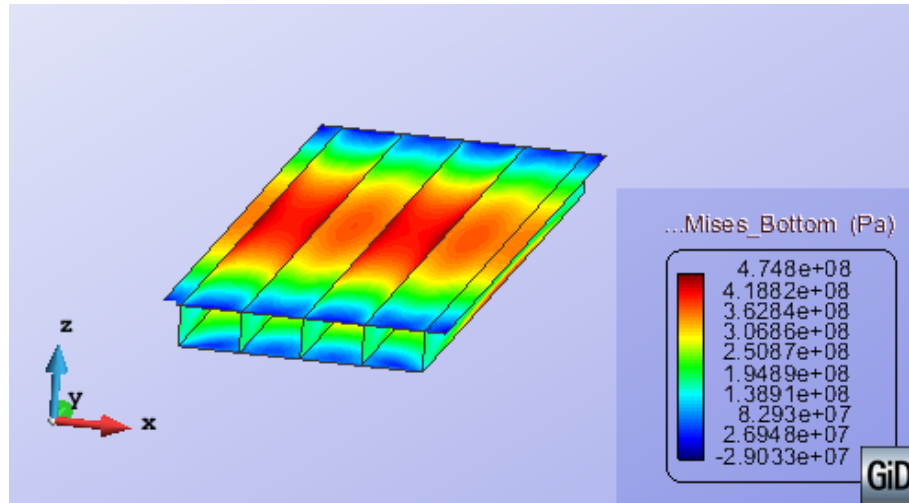
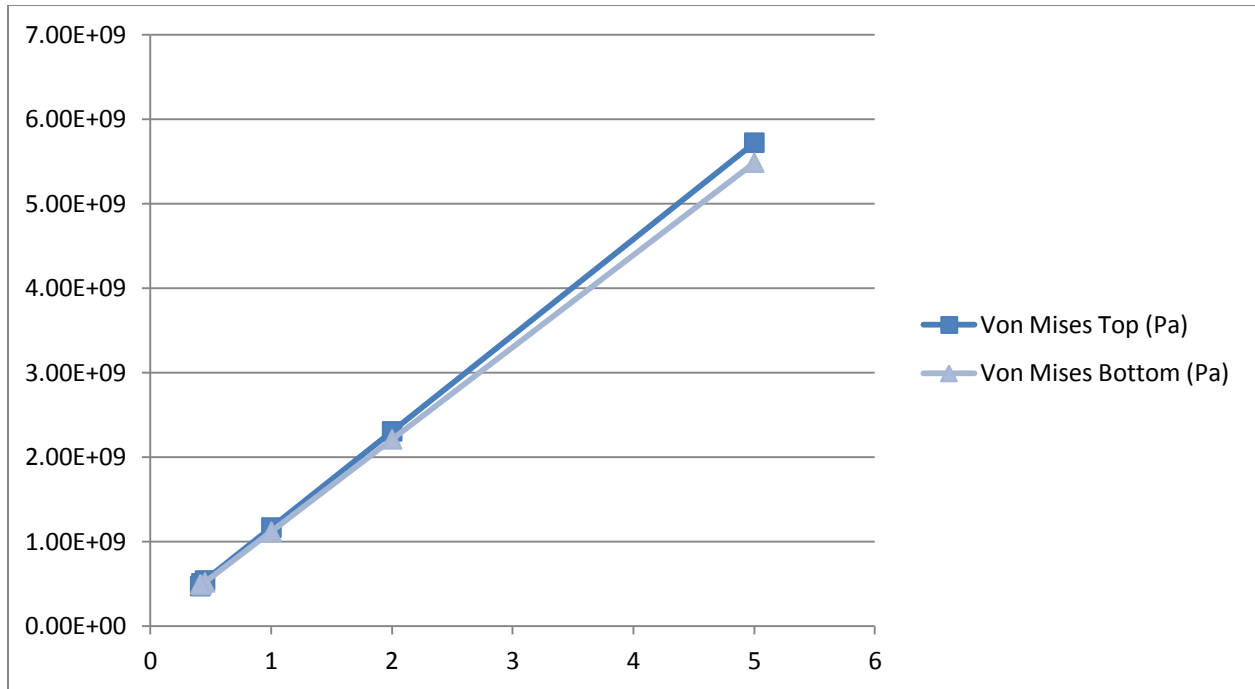


Figura 10. Tensión Von Mises Bottom

Carga uniforme Vs. Tension Von Mises			
Carga (Mpa)	Von Mises Top (Pa)	Von Mises Bottom (Pa)	Tension Von Mises Max (MPa)
5	5.72E+09	5.49E+09	500
2	2.31E+09	2.21E+09	500
1	1.17E+09	1.12E+09	500
0.45	5.41E+08	5.18E+08	500
0.42	5.07E+08	4.86E+08	500
0.41	4.74E+08	4.95E+08	500

Tabla 3. Iteraciones de carga uniforme



Como se puede observar en la Tabla 3 se realizó esta tabla en donde se itero los valores de la carga para el puente con la finalidad de que a la hora de calcularla las tensiones de Von Mises no sobre pasen los 500 MPa, y esa carga uniforme fue de 0.41 MPa la cual nos da una tensión de Von Mises Top de 474 Mpa y de Von Mises Bottom de 495 Mpa.

12.3 Resultados

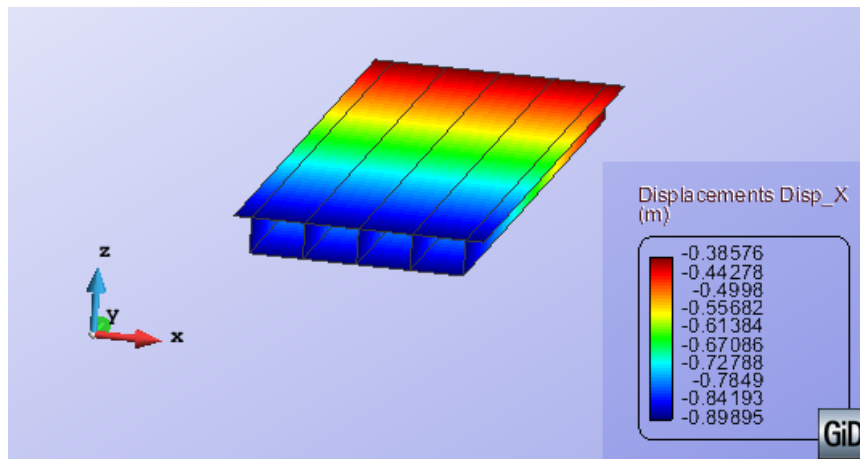


Figura 11. Desplazamiento en X

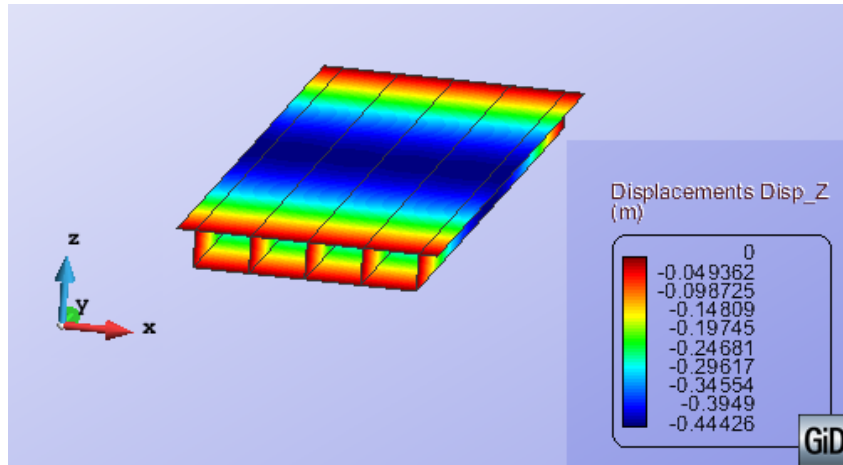


Figura 12. Desplazamiento en Z

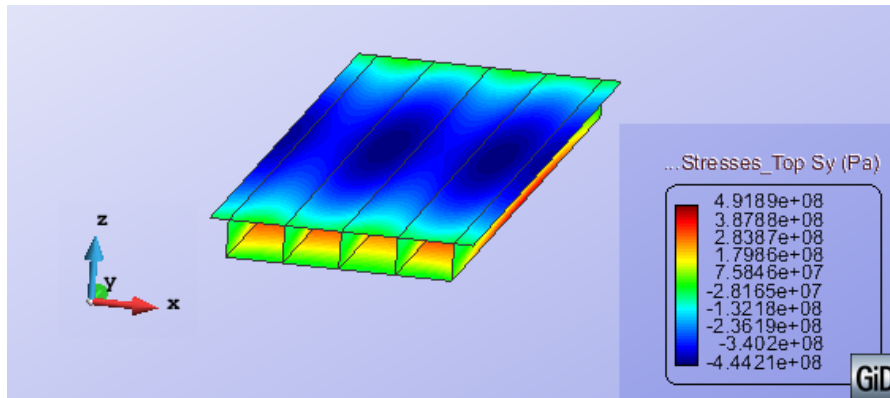


Figura 13. Esfuerzo Superior

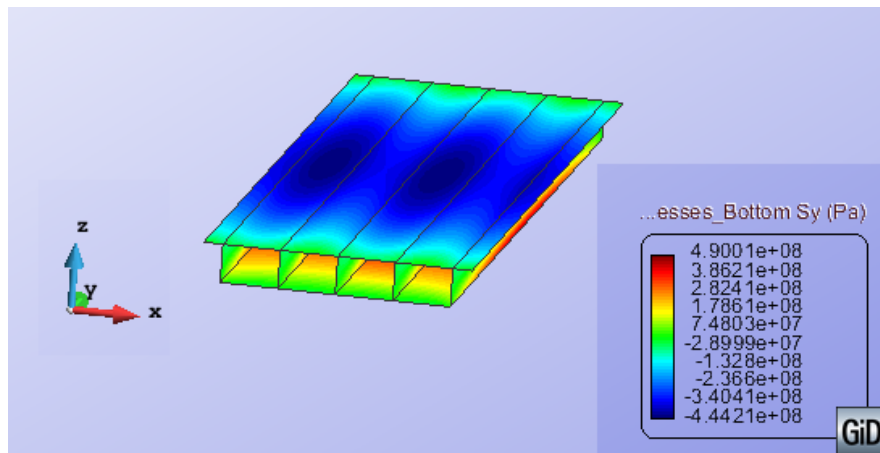


Figura 14. Esfuerzo Inferior

13 Conclusiones

Se puede analizar el comportamiento con los elementos de lámina plana de 3 nodos a medida que se refina la malla, el desplazamiento disminuye hasta que converge de una manera satisfactoria. Se considera factible y eficiente la utilización del cálculo puentes formados por láminas Planas.

Luego de haber obtenido los cálculos correspondientes para un puente simplemente apoyado tomando en cuenta su peso propio mas su carga uniforme, se concluye que con una carga uniforme de de 0.41 MPa cumplimos con el condicionante del problema el cual era que la tensión de Von Mises no sobre pasara los 500 MPa, con la carga de 0.41 Mpa obtenemos una tensión de Von Mises Top de 474 Mpa y de Von Mises Bottom de 495 Mpa.

En cuanto a los esfuerzos, se observan las máximas compresiones en el centro del puente, esto se debe al largo de la sección y su condición de apoyo.