



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

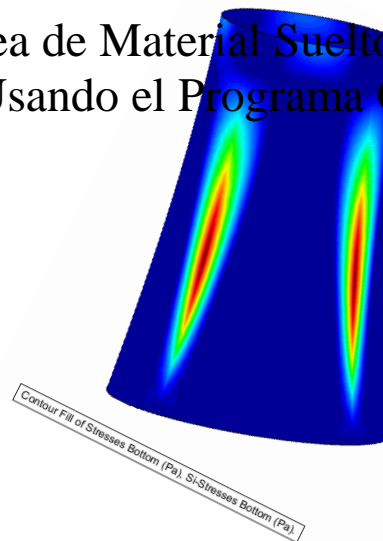
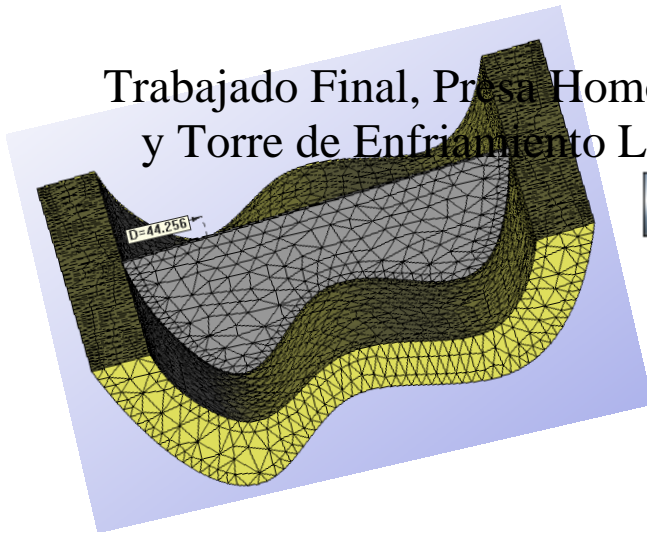
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUNYA

MASTER EN INGENIERIA ESTRUCTURAL Y DE LA CONSTRUCCION

PROFESOR DOCENTES: Eugenio Oñate Y Francisco Zarate

MATERIA METODO DE ELEMENTOS FINITOS

Trabaja Final, Presa Homogénea de Material Suelto S-26
y Torre de Enfriamiento L-35 Usando el Programa GiD



Barboza Baamonde Marcos Eduardo

Barcelona 09 de Junio del 2015

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVO	5
2.1. Objetivos específicos.....	5
3. DISEÑO DE UNA PRESA DE MATERIALES SUELTOS(S-26).....	6
3.1. AFRONTAMIENTO DEL PROBLEMA	7
3.2. PREPROCESO	7
3.2.1. DATOS DE ANALISIS.....	7
3.2.2. GEOMETRIA.....	7
3.2.3. CONDICIONES DE CONTORNO	8
3.2.4. ASIGNACIÓN DE LAS CARGAS ACTUANTES	9
3.2.5. DEFINICIÓN DE MATERIAL.....	10
3.2.6. Otros datos del problema	10
3.3. ANALISIS DE CONVERGENCIA.....	11
3.4. POSTPROCESO.....	13
3.4.1. ANALISIS BIDIMENSIONAL.....	13
3.5. IMÁGENES DE LOS RESULTADOS RELEVANTE	15
3.6. CONCLUSIONES PARA EL CASO 2D.....	17
3.7. ANALISIS TRIDIMENSIONAL 3D	17
3.7.1. Geometría	17
3.7.2. Condiciones de contorno	18
3.7.3. Cargas.....	18
3.7.4. Materiales del Terreno y del la Presa.....	19
3.8. Análisis de convergencia de modelo 3D.....	19
3.8.1. Esfuerzos en elemento de presa	22
3.9. IMÁGENES DE LOS RESULTADOS RELEVANTE	23
4.0. DISEÑO TORRE DE ENFRIAMIENTO (L-35).....	25
4.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	25
4.2. AFRONTAMIENTO DEL PROBLEMA	26
4.3. PREPROCESO	26
4.3.1. DATOS DE ANALISIS.....	26
4.3.2. GEOMETRIA.....	27

4.3.3 CONDICIONES DE CONTORNO	27
4.3.4. DEFINICIÓN DE MATERIAL.....	28
4.3.4. CARGAS.....	29
4.3.5 ANALISIS DE CONVERGENCIA.....	29
4.3.6. PROCESO	31
4.3.7. POST-PROCESO.....	31
5. CONCLUSIONES DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO L-35.....	33
6. HIPOTESIS DOS (REV –SHELL) A TRAVES DE EL PROGRAMA GID	33

1. INTRODUCCIÓN

El método de los Elementos Finitos es una herramienta que permite realizar una modelización de las estructuras para conocer su comportamiento bajo distintas condiciones y parámetros. Durante el curso de Métodos de los Elementos Finitos del 2015 se ha aprendido acerca de cómo funcionan los elementos finitos y su aplicación en la vida y las teorías que abarcan e inclusive algunos grandes personajes que han intervenido en su desarrollo.

Los Métodos de Elementos Finitos (MEF), es una importante metodología, la cual permite simular con altos grados de precisión el comportamiento de las estructuras sometidas a cargas de diseño, dándonos a conocer desplazamientos, esfuerzos y deformaciones en el interior de los elementos estructurales.

Los métodos de elementos finitos con ayuda de las altas tecnologías en computación que se viven en la actualidad, se unen para crear gran variedad de software de análisis de estructuras, estos se convierten en una valiosa herramienta de fácil aplicación que permite recrear casi cualquier tipo de estructura aplicada para el uso civil.

Es por esto que el presente trabajo tiene como objetivo en la enseñanza y práctica de las herramientas de diseño basadas en la utilización de elementos finitos, para los estudiantes de la asignatura de Ingeniería de Estructuras.

En este presente trabajo se analizarán dos casos de estructuras, primero una presa de materiales sueltos tomando una hipótesis como punto de partida con el fin de simplificar su modelización en dos dimensiones para obtener unos resultados preliminares. Luego se realizará una modelización en tres dimensiones para lograr tener una mejor visión del problema en situaciones más "reales". Para el segundo caso diseño de una torre de enfriamiento que se desarrollara las cuales usaremos $\frac{1}{4}$ de la estructura para simplificar la geometría y gastos económicos y de cálculos.

Como medio de diseño, pre-proceso y post-proceso utilizaremos el software GID versión 12.0.4 junto con la aplicación Rammseries 13.5.0 en el cual se realizará el dibujo de los modelos, junto con sus respectivas condiciones de apoyos y cargas. 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. Además se escogió este programa por ciertas razones

- Su instalación es sencilla, ya que con una sola instalación se incluye el Programa para el pre y post-proceso (GID) y además los problemstypes requeridos para la realización de este trabajo.
- Era el programa más actualizado y por lo tanto más compatible con el ordenador donde se realizó este trabajo, el cual tiene sistema operativo Windows 8

Ver información básica acerca del equipo

Edición de Windows

Windows 8
© 2012 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.
[Obtener más características con una nueva edición de Windows](#)

Sistema

Evaluación: **5,7** Evaluación de la experiencia en Windows

Procesador: Intel(R) Core(TM) i5-4200U CPU @ 1.60GHz 2.30 GHz

Memoria instalada (RAM): 8,00 GB (7,72 GB utilizable)

Tipo de sistema: Sistema operativo de 64 bits, procesador x64

Lápiz y entrada táctil: La entrada táctil o manuscrita no está disponible para esta pantalla

Configuración de nombre, dominio y grupo de trabajo del equipo

Nombre de equipo: Marcos




Nombre completo de equipo: Marcos

Descripción del equipo:


Grupo de trabajo: WORKGROUP

Activación de Windows

Id. del producto: No disponible



Información de soporte técnico



Por último es importante tener un buen ordenador con características importantes y buen procesador ya que los cálculos de problemas de estructuras reales son mucho más complejo y estos podrían durar horas en su solución

2. OBJETIVO

Desarrollar el conocimiento y la práctica en el análisis y diseño de estructuras utilizando Métodos de elementos Finitos.

2.1. Objetivos específicos

- Analizar el estado tensional de las estructuras típicas de la ingeniería civil.
- Diseñar el espesor de una torre de enfriamiento de concreto, teniendo como limitante las tensiones.
- Diseñar y dimensionar una presa en tierra armada, teniendo como limitante las dimensiones geométricas y las tensiones desarrolladas en el interior de la presa.

3. DISEÑO DE UNA PRESA DE MATERIALES SUELTOS(S-26)

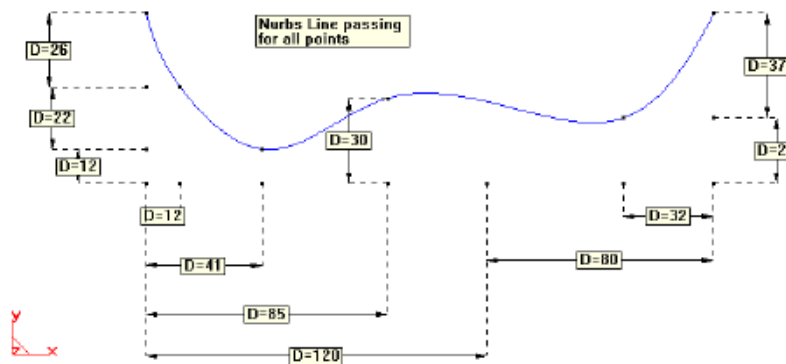
PROBLEMA S-26

Dimensionar y calcular una presa homogénea de materiales sueltos de 48 m de altura. La anchura en coronación debe ser de 4 m. con las restricciones geométricas que se indican.

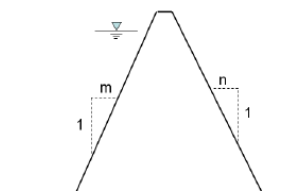
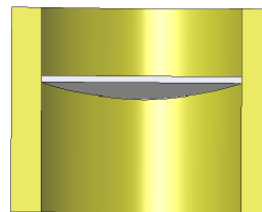
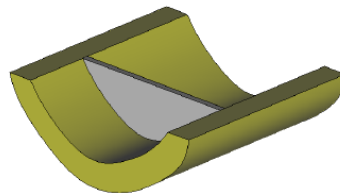
Realizar el proyecto mediante un análisis bidimensional y posteriormente en 3D para verificar el diseño utilizando en ambos casos las siguientes hipótesis:

- 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 20000 N/m^3
- 3) El Modulo de elasticidad del material a usar es de 9900 K N/m^2 y el coeficiente de poisson es de 0,285
- 4) Base empotrada en el terreno
- 5) Cimentación en terreno homogéneo. Modulo de elasticidad: 35 G N/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 46 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.



$$2.0 < m < 3.5$$

$$2.0 < n < 3.5$$

3.1. AFRONTAMIENTO DEL PROBLEMA

El siguiente problema consta de realizar el análisis del comportamiento de una presa de material suelto bajo cargas hidrostáticas y peso propio. El proceso se dividirá en 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 46 metros.

Con esto, se podrá confirmar bien la hipótesis de que las tracciones máximas (S_i) a lo largo del cuerpo de la presa no sobrepasen los 0.5 MPA

3.2. PREPROCESO

3.2.1. DATOS DE ANALISIS

Inicialmente se define el tipo de problema a resolver. En este caso inicialmente se trata de un problema de deformación plana, por lo que se especifica en el programa de cálculo GID aplicando "RamSeries educacional 2D" Figura 1, tipo de simulación, dimensión de la simulación, tipo de análisis, y tipo de elementos analizar y los demás parámetros de análisis

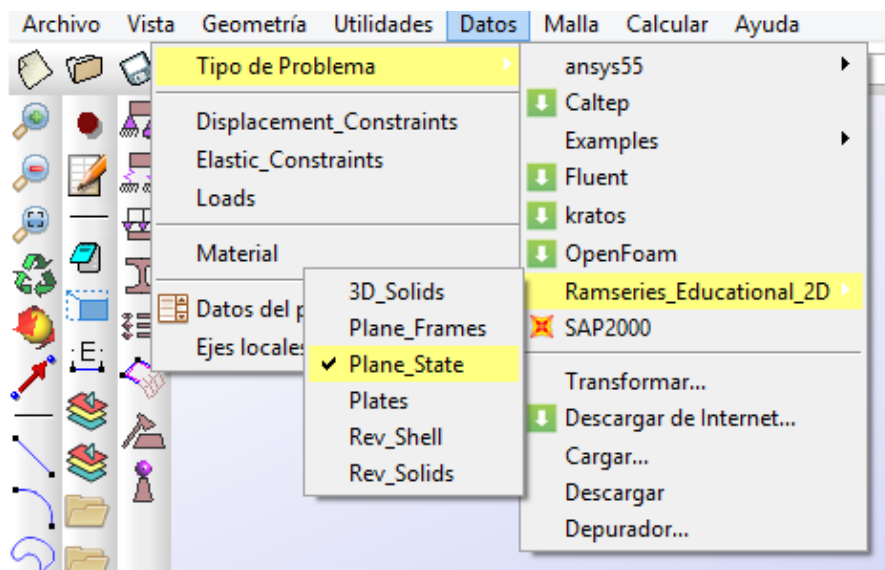
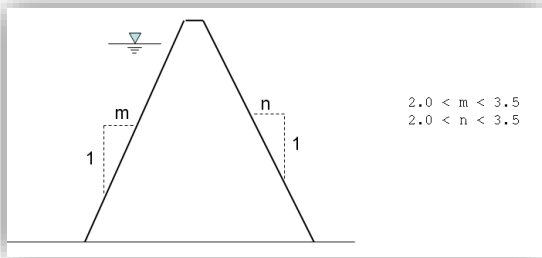


Ilustración 1. Definición de tipo de análisis problema S-26.

3.2.2. GEOMETRIA

Se define la geometría para la condición más crítica de la presa, la cual es cargada con presión hidrostática, con el objetivo de realizar el análisis de convergencia que nos brinde un tipo y tamaño de malla adecuada para el problema en cuestión, para esto se introduce la geometría del modelo cargado trabajado como deformación plana, por tanto se define como plano de trabajo XY y la dirección z como dirección prismática para la presa.

Se hace uso de las herramientas de puntos, líneas y superficies para el montaje de una geometría. Se realizaron 3 geometrías con diferentes pendientes que se mostraran sus cálculos más adelante, y se escogió los taludes izquierdo y derecho de 1:2 y 1:2 respectivamente, que es la condición inicial de menos peso para la presa y genera menos tensiones, también podemos analizar que es una presa más económica ya que se usa menos material para su construcción y puede ser la justificación con más peso e importante para el promotor



$2.0 < m < 3.5$ Valor escogido $m=2.0$, 1:2
 $2.0 < n < 3.5$ Valor escogido $n=2.0$, 1:2

Ilustración 2. Definición de los taludes escogidos.

Se empieza la realización de la geometría, para el terreno, se dibujó una superficie de 30 metros de ancho y 400 metros de desarrollo. Para la presa se toman pendientes $m=2.0$ y $n=2.0$ altura de 48m y en la pendiente "m" encontramos un punto que está definida la altura de agua a 46m, la coronación de la presa de materiales sueltos es de 4m. Por otra parte se dibujó la presa en el medio de la superficie del terreno.

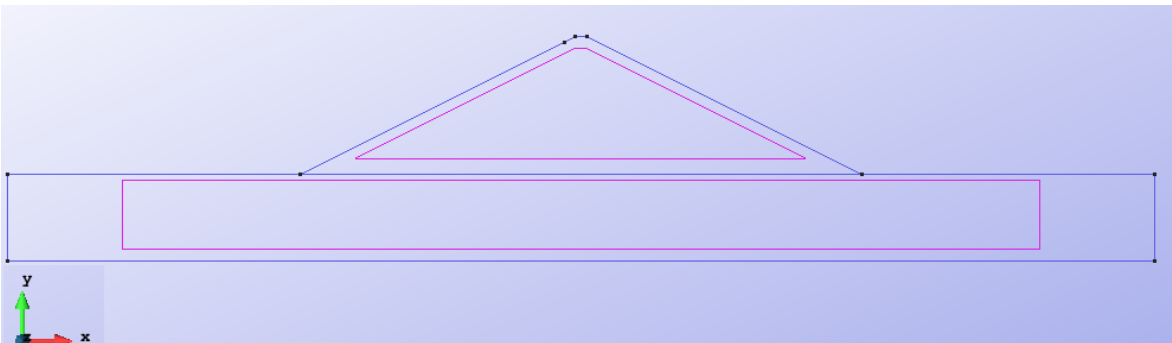


Ilustración 3. Geometría inicial con Taludes izquierdo 1:2 y derecho 1:2

3.2.3. CONDICIONES DE CONTORNO

Se definen las condiciones de contorno de la presa, las cuales serán las restricciones en la base del suelo en la dirección X y Y, e igualmente de los laterales del en la dirección X.

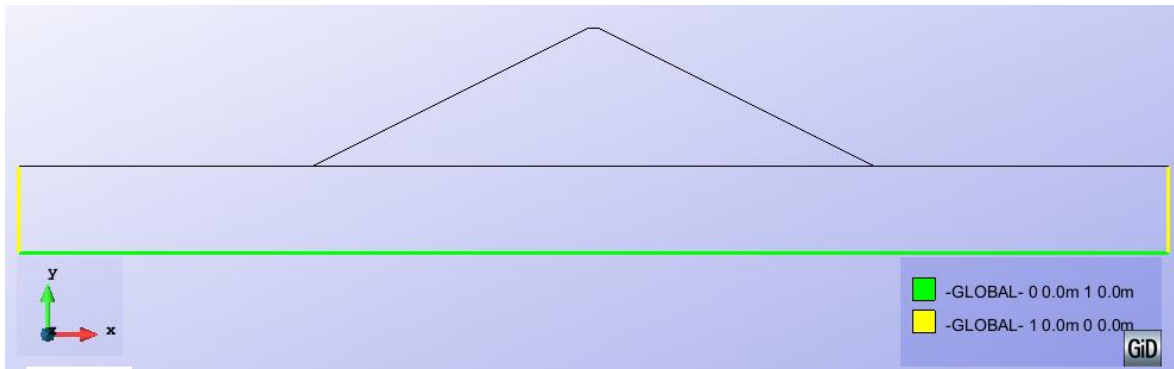


Ilustración 4. Geometría que muestra las condiciones de contorno usadas

3.2.4. ASIGNACIÓN DE LAS CARGAS ACTUANTES

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, luego la combinación del peso propio más la carga hidrostática. Aquí se enseñarán las cargas hidrostáticas impuestas con una altura de agua de 46m.



Ilustración 5. Geometrías que muestran las cargas hidrostáticas en el terreno y la presa

3.2.5. DEFINICIÓN DE MATERIAL

Luego se plantea las especificaciones del terreno y del material usado en la presa en las unidades correspondientes en el programa GID

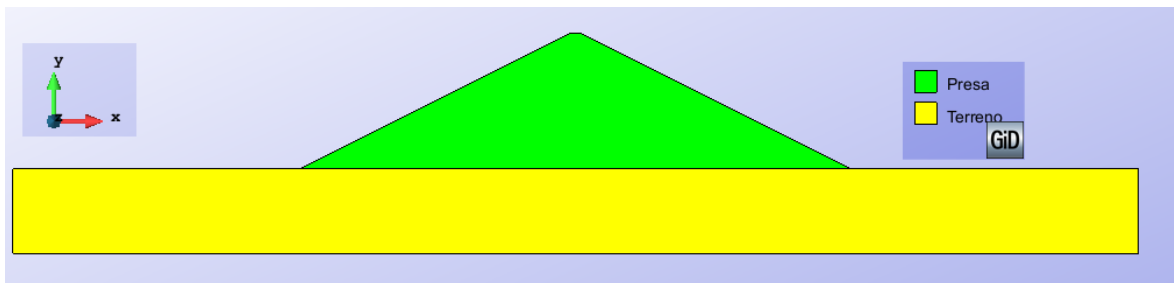
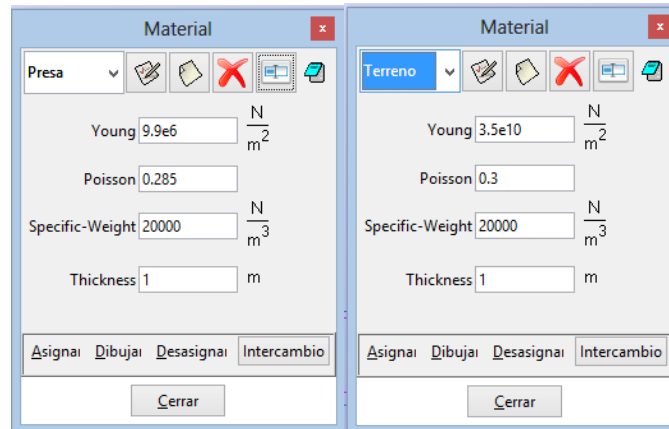
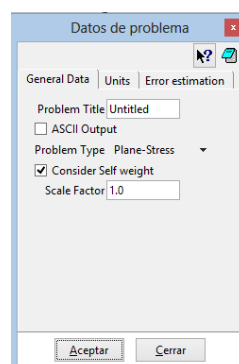


Ilustración 6. Tablas usadas en para ingresar los datos materiales impuestos y la ilustración inferior muestra los materiales del terreno y de la presa

3.2.6. Otros datos del problema

Aquí en esta ventana se define el peso propio PP por lo tanto hay que marcar la casilla correspondiente para que el programa GID tome en cuenta este factor



3.3. ANALISIS DE CONVERGENCIA

De igual forma como se viene haciendo las practicas del cursos de elementos finitos MEF, se hace necesario la escogencia de un tipo un tamaño de malla óptima para garantizar buenos resultados. Esto es debido a que en MEF no todos los tipos de malla generan resultados confiables, se busca con el análisis de convergencia la escogencia de una malla óptima donde se visualice la convergencia de los resultados de una manera rápida y homogénea.

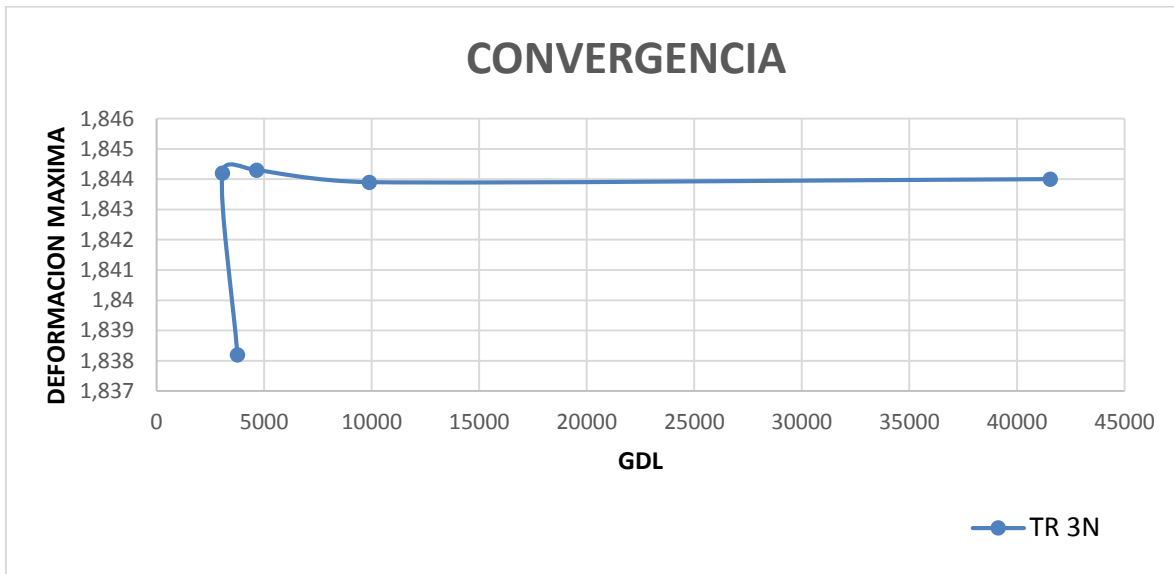
Basta con realizar un análisis de convergencia a un punto aleatorio del modelo, el cual presente desplazamientos inducidos por las cargas actuantes, esto es debido a que los demás parámetros como esfuerzos y deformaciones dependen de la solución de la matriz global del sistema, específicamente del vector de desplazamientos, generando menos errores en la solución en los resultados

Para este caso, se realiza un análisis de convergencia asignando varios tipos de mallas para el total del modelo, se obtienen los desplazamientos del punto P1 con coordenadas (198,78,0) ubicado en la parte superior de la presa donde está el empuje del agua

En el análisis de convergencia se estudiaron tipologías de mallas no estructuradas con variación del tamaño de los elementos, y es importante mencionar que se usó dos tipos de malla una gruesa y una más fina en el nodo de la unión entre el terreno y la presa el resultado del proceso se indica a continuación en la tabla 1:

Elemento	Malla	Nodos Generados por la malla	GDL	Deformación Máxima
TR 3N	5	1881	3762	1,8382
TR 3N	4	1530	3060	1,8442
TR 3N	3	2328	4656	1,8443
TR 3N	2	4945	9890	1,8439
TR 3N	1	20777	41554	1,844

Tabla 1. Tabla de resultados de convergencia problema 1



Se analiza la convergencia de la cual se aprecia que la malla de triángulos de 3N converge rápidamente al valor del desplazamiento del punto P1 descrito anteriormente y después de varios tamaños de malla, el desplazamiento permanecía constante en las tres primeros decimales, por tanto se aprecia este tipo de malla y el tamaño de 2 m, es la más indicadas para el dimensionamiento de la presa en 2D, de tal forma que se generen resultados confiables.

Una vez obtenido el tamaño de malla este será el tamaño a usar en todo los cálculos a analizar en el ejercicio de la presa de materiales sueltos, recordando que el grosor es de 2m y en el punto crítico entre la unión de la presa y el terreno tiene una malla más refinada de 1 m.

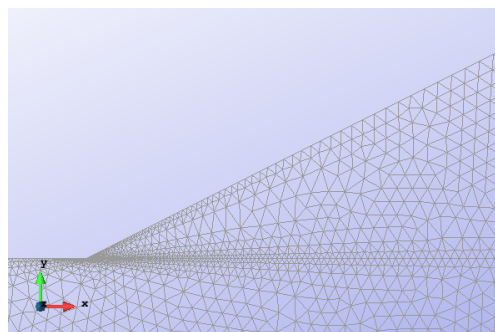
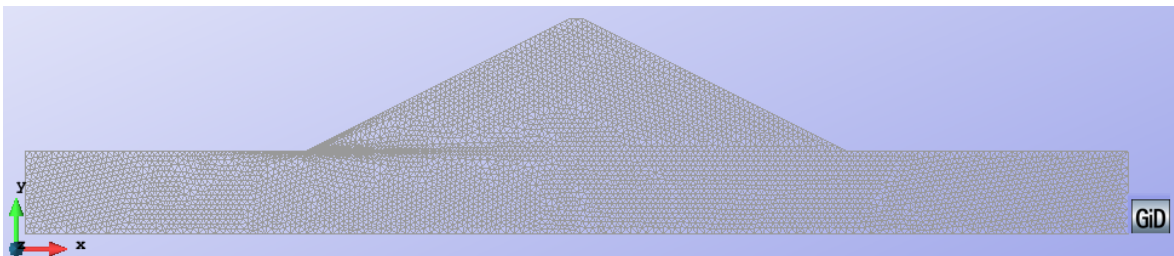


Ilustración 7. Malla usada

3.4. POSTPROCESO

3.4.1. ANALISIS BIDIMENSIONAL

Conociendo mediante al análisis de convergencia el tipo y tamaño de malla a utilizar, se procede al cálculo del pre-dimensionamiento óptimo de la presa, para el cual se cumplan las condiciones dadas en el problema.

Para esto se realiza un análisis tentativo aumentando gradualmente las inclinaciones de los taludes y obteniendo los esfuerzos principales para cada inclinación, se inicia el proceso con un con una relación de talud mínima de 1:2 en ambos lados y será aumentado cada 0.5 unidades aguas arribas hasta encontrar la tracciones en cada caso menores a 0,5 MPa, de esta forma con el tipo y tamaño de malla, los resultados de dicho análisis se presentan a continuación

	Tracciones principales Presa cargada caso PP (a)	Tracciones principales Presa cargada caso (b)
Valores para m	Tensión Si (MPa)	Tensión Si(MPa)
2	18010	0,3836
2.5	13023	0,3661
3	10767	0,3453
3.5	x	x

Tabla 2. Análisis tentativo de pendiente de taludes óptimos

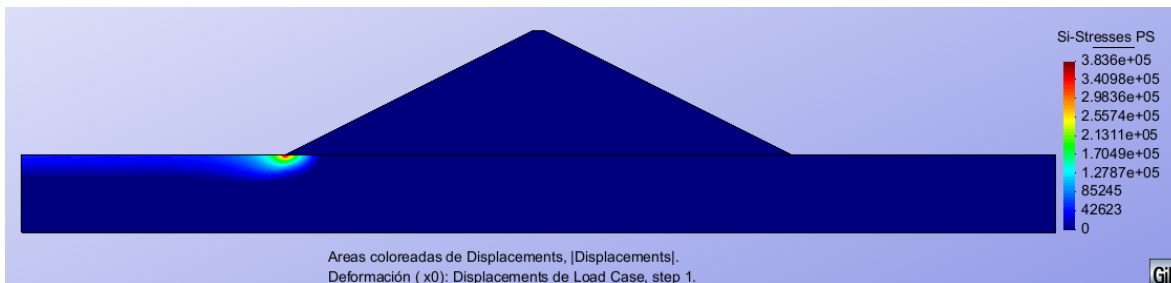


Ilustración 8. Tensiones principales Si (MPa) de la presa caso (b) con cargas hidrostáticas, y taludes 1:2

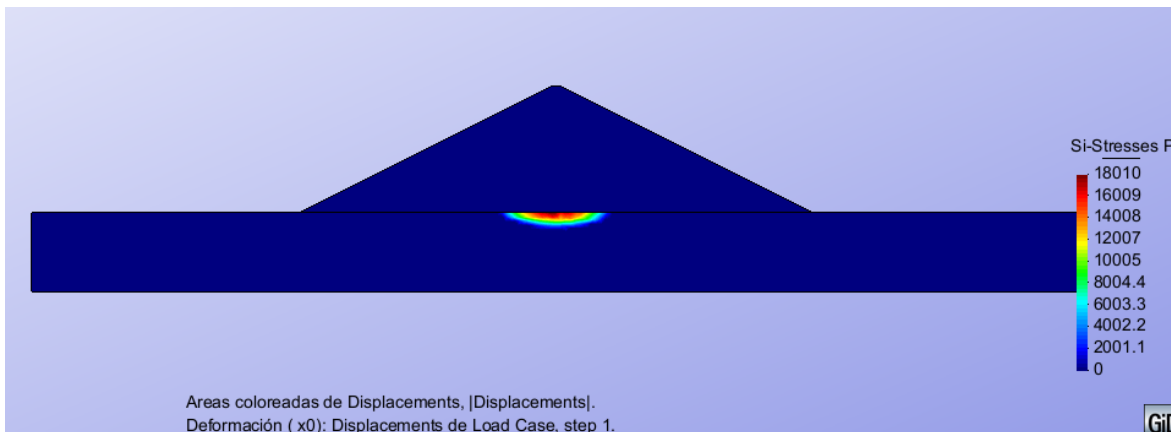


Ilustración 9. Tensiones principales Si (MPa) de la presa caso (a) solo peso propio, y taludes 1:2

Caso con pendiente $m=2,5$

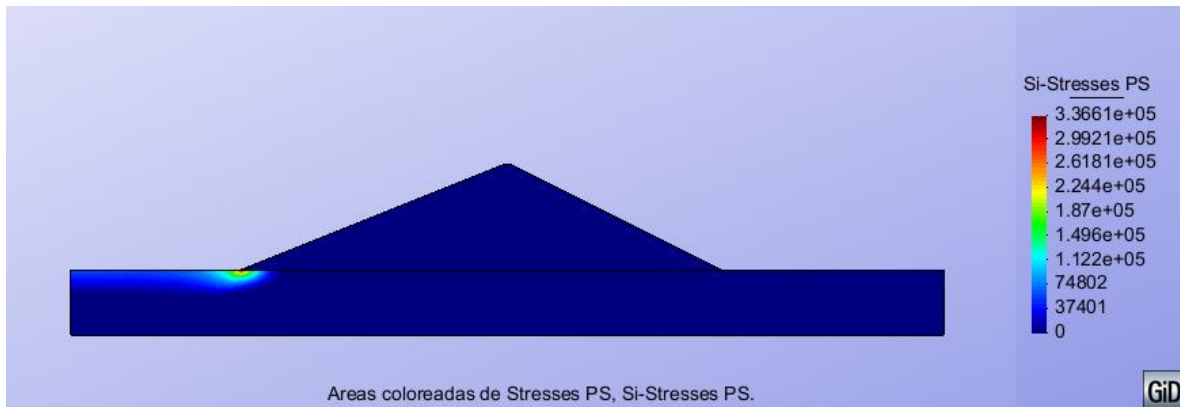


Ilustración 10. Tensiones principales Si (MPa) de la presa caso (b) peso propio y CH, taludes 1:2.5

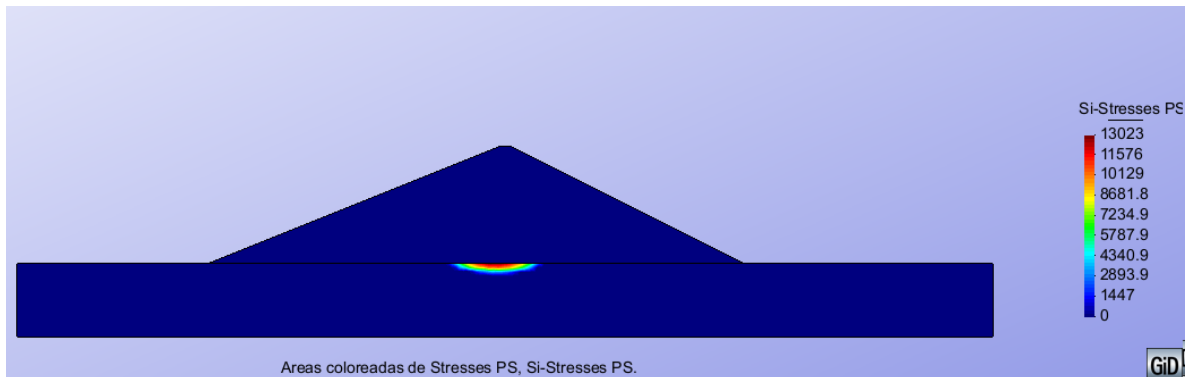


Ilustración 11. Tensiones principales Si (MPa) de la presa caso (a) peso propio PP, taludes 1:2.5

Se puede ver claramente que entre más suave es la pendiente menor fuerza de tracciones máximas tendré en la presa en los dos casos estudiados, el caso a es para peso propio y el caso b de peso propio con cargas hidrostática, esto es debido a que tengo mayor volumen de material y por ende mis concentraciones son menores, podemos definir que en los 3 casos estudiados cumplen con los requisitos pero en este ejercicio tomaremos la pendiente $m=1:2$ debido que es la que se necesita menos volumen de material que se traduce a menor coste de construcción y que cumple con los requisitos exigidos.

3.5. IMÁGENES DE LOS RESULTADOS RELEVANTE

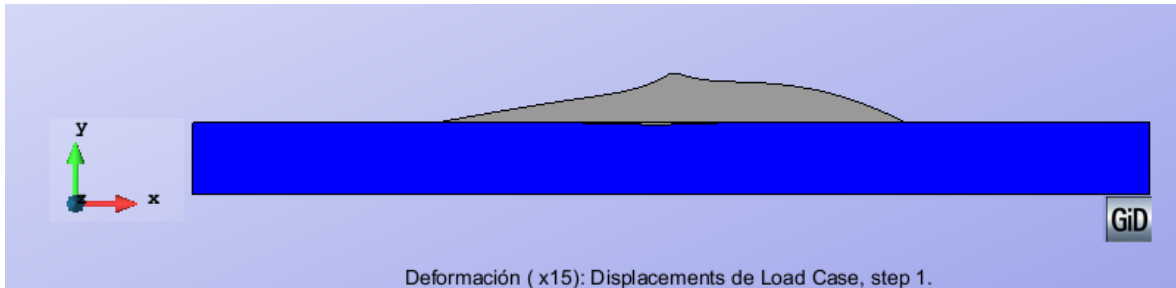


Ilustración 12. Deformación con PP + Carga Hidrostática

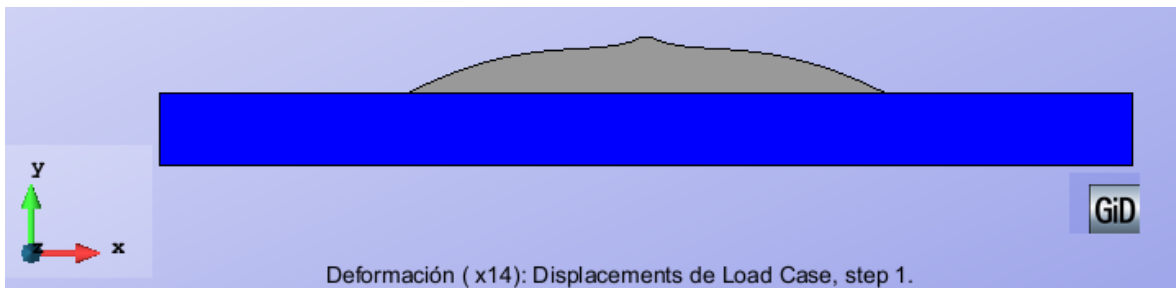


Ilustración 13. Deformación con PP

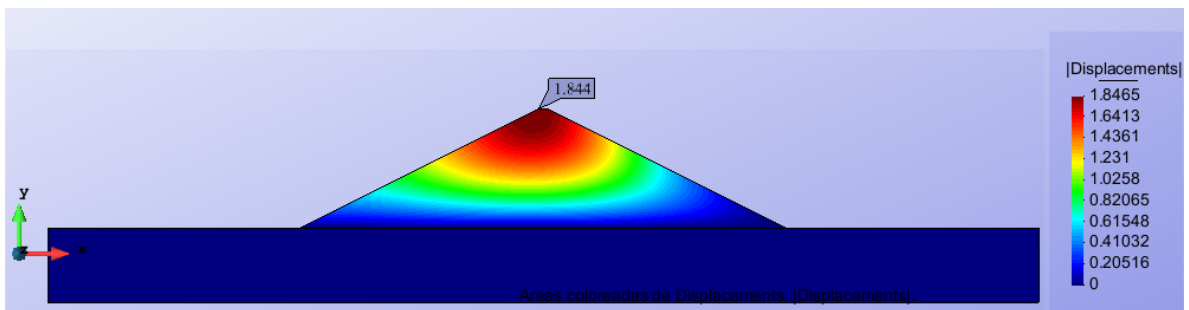


Ilustración 1. Datos de la Deformación, se muestra el punto P1 donde se tomaron los cálculos para la realización de la convergencia

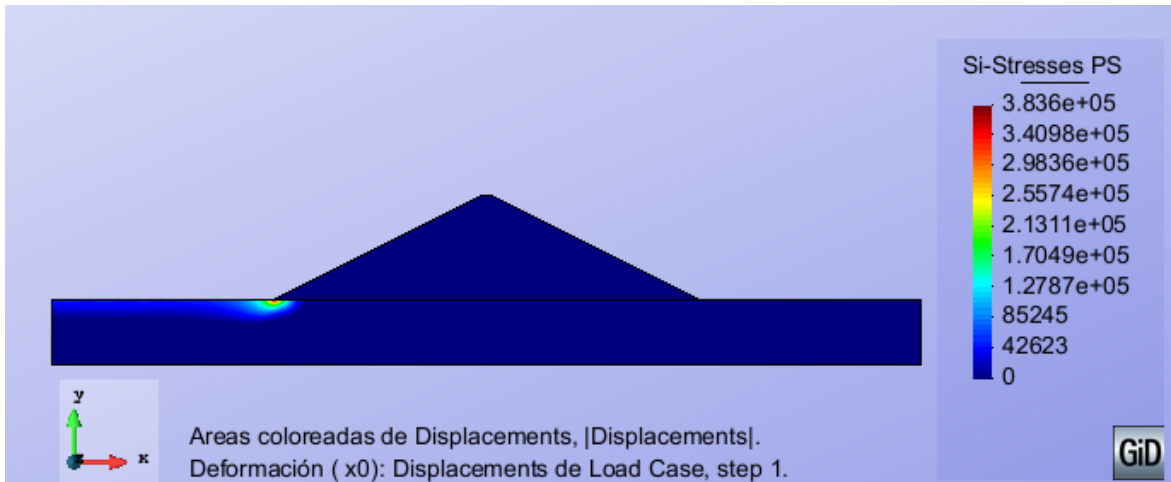


Ilustración 15. Tensiones Máximas Si (0,3836 MPA) no supera el 0,5MPa caso b malla 2 y talud 1:2

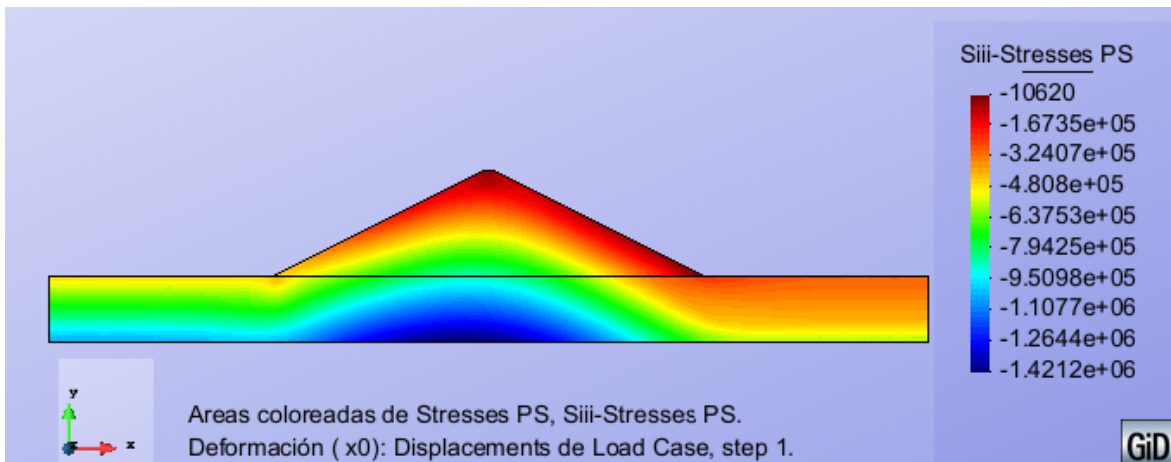


Ilustración 16. Tensiones Máximas Siii (-10620 PA) no supera el 0,5MPA

Estos resultados se ven ratificados en el diagrama de esfuerzos a compresión de la presa, en los cuales para el caso (a), presenta solo esfuerzos negativos de compresión

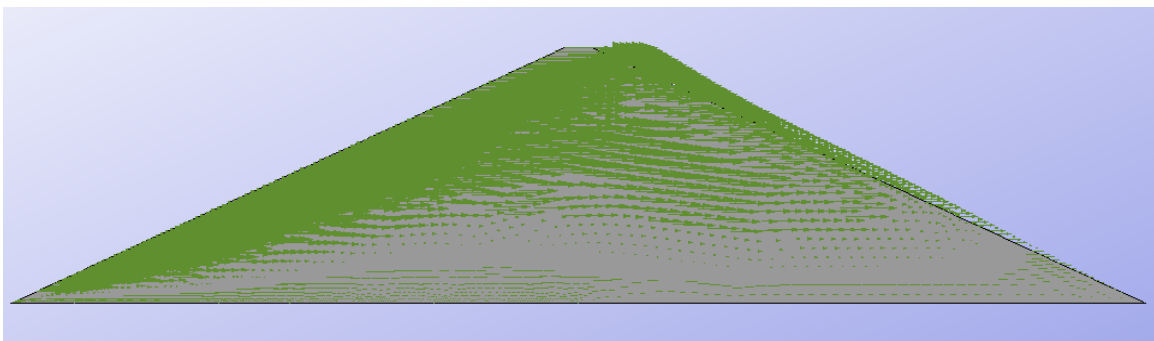


Ilustración 2. Diagrama de vectores de desplazamientos en la dirección X, para caso b, con relación 1:2

3.6. CONCLUSIONES PARA EL CASO 2D

Con estos parámetros definidos se busca comprobar las siguientes conclusiones:

1-Observar el comportamiento de la presa solo con la presencia del peso propio, y luego con la combinación del peso propio más la carga hidrostática.

2-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.

3- Verificar como afecta diferentes pendientes a mis tensiones máximas y si superan los 0.5 MPA en cualquier punto a lo largo del cuerpo de la presa

3.7. ANALISIS TRIDIMENSIONAL 3D

Para comparar los resultados obtenidos en la modelación bidimensional, ahora se desarrolla la misma metodología, pero aplicadas a sólidos en 3D:

3.7.1. Geometría

Se realiza la geometría de la presa dimensionada inicialmente, para esto creamos una nueva geometría en el programa GiD Rams serie educacional la opción 3D luego utilizando las herramientas de dibujo, y haciendo cortes de superficies, luego de extruir e intersectar el terreno con la presa se convierte las superficies en volúmenes, se realiza un proceso de cortado y acomodación de la nueva geometría para convertir dos cuerpos separados en un solo volumen, sobre el cual realizaremos los cálculos concernientes a tracciones y convergencia

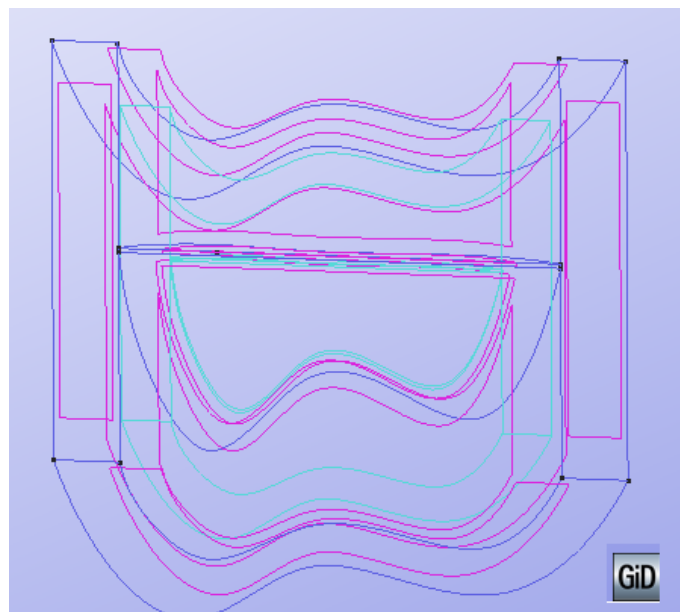


Ilustración 19. Geometría de la presa, modelo 3D

3.7.2. Condiciones de contorno

Se asignan condiciones de contorno al modelo 3D, de la misma forma como se restringieron los desplazamientos en el modelo bidimensional, pero con la diferencia que en este caso se restringen los movimientos de la superficie de la base del suelo y los extremos del suelo en sus respectivas superficies NURBS.

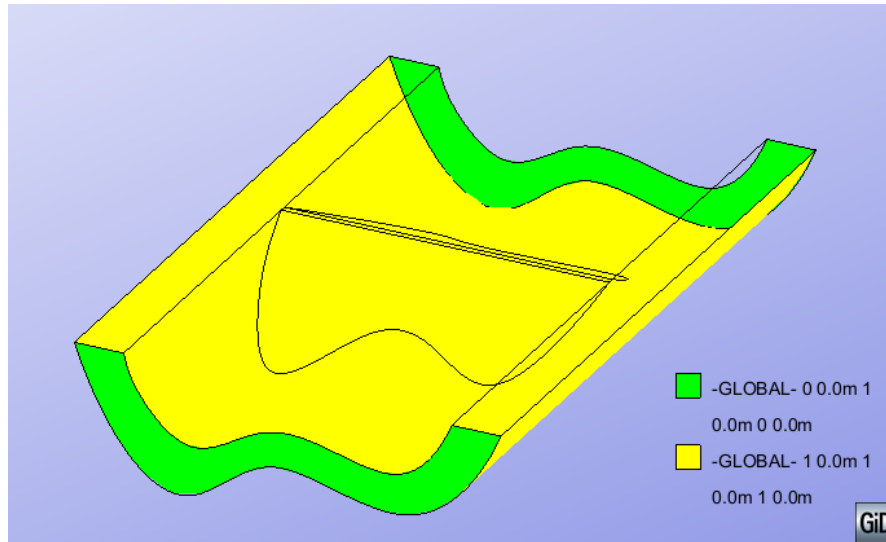


Ilustración 20. Condiciones de contorno solido 3D.

3.7.3. Cargas

Se introducen las cargas al modelo, tanto las cargas por peso propio, como las presiones hidrostáticas, a la presa y al mismo suelo tal como en el modelo bidimensional:

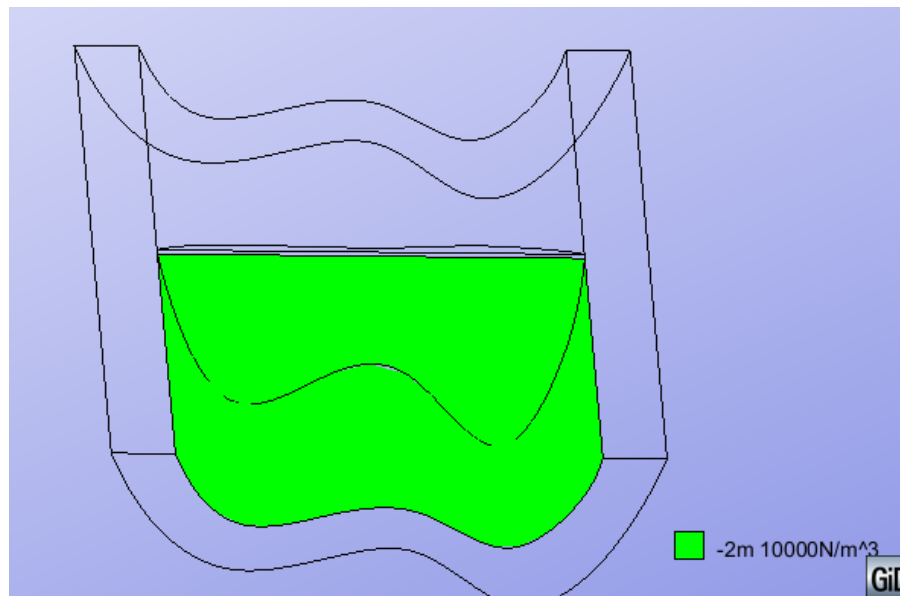


Ilustración 21. Condiciones de cargas impuestas (sólido 3D).

3.7.4. Materiales del Terreno y de la Presa

Se coloca los materiales propuesto en el ejercicio. Y por último y no menos importante asignar la casilla de peso propio para que el programa GiD asuma el peso propio.

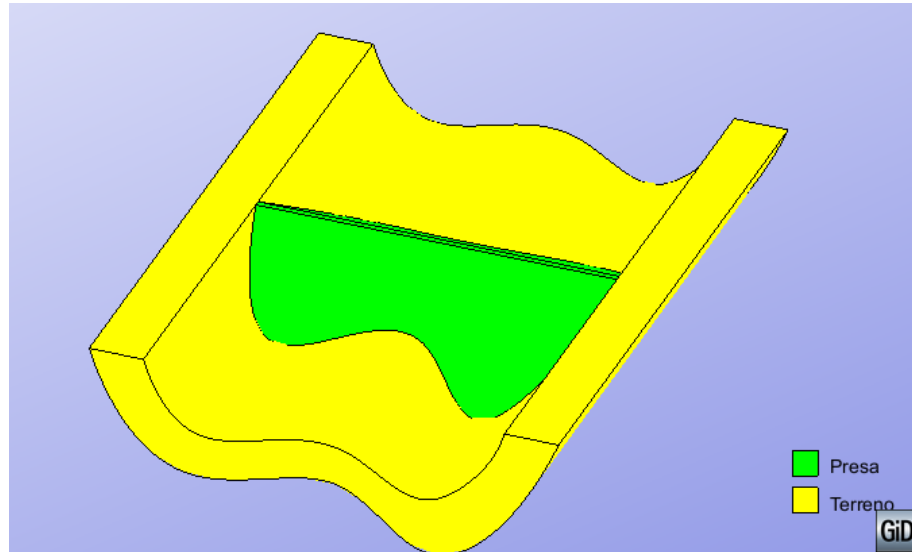


Ilustración 22. Se Visualiza los materiales de los dos elementos la presa y el terreno (sólido 3D).

3.8. Análisis de convergencia de modelo 3D

De igual forma al problema en 2D, se hace necesario la escogencia de un tipo y un tamaño de malla óptima para garantizar buenos resultados. Esto es debido a que en MEF no todos los tipos de malla generan resultados confiables, se busca con el análisis de convergencia la escogencia de una malla óptima donde se visualice la convergencia de los resultados de una manera rápida y homogénea.

Basta con realizar un análisis de convergencia a un punto aleatorio del modelo, el cual presente desplazamientos inducidos por las cargas actuantes, esto es debido a que los demás parámetros como esfuerzos y deformaciones dependen de la solución de la matriz global del sistema, específicamente del vector de desplazamientos, generando menos errores en la solución en los resultados.

Para este caso, se realiza un análisis de convergencia asignando varios tipos de mallas para el total del modelo, se obtienen los desplazamientos del punto P1 con coordenadas (0, 44.256, 0) ubicado en la parte superior de la presa en la parte de más altura de la presa y obtener datos más confiables.

En el análisis de convergencia se estudiaron tres tipologías de mallas no estructuradas con variación del tamaño de los elementos.

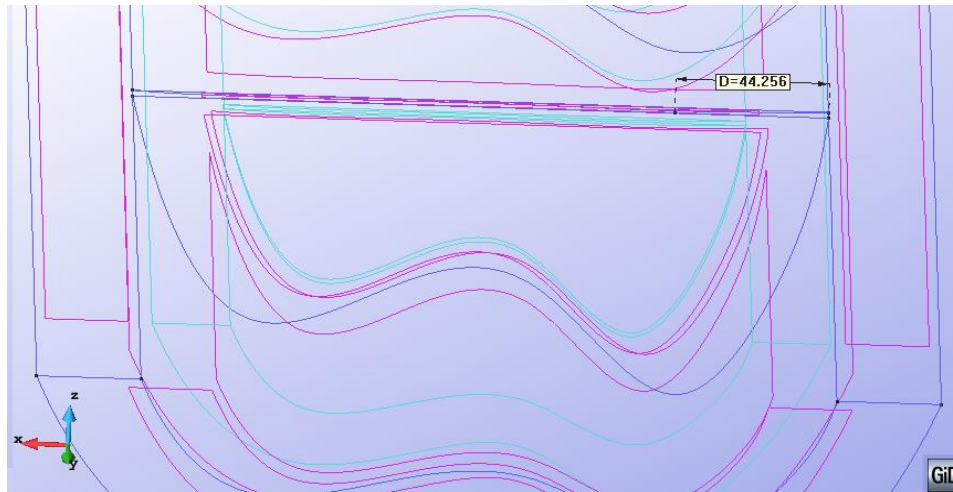


Ilustración 23. Geometría que se especifica el punto P1 usados para obtener los datos de convergencia. Es el punto más alto de la presa

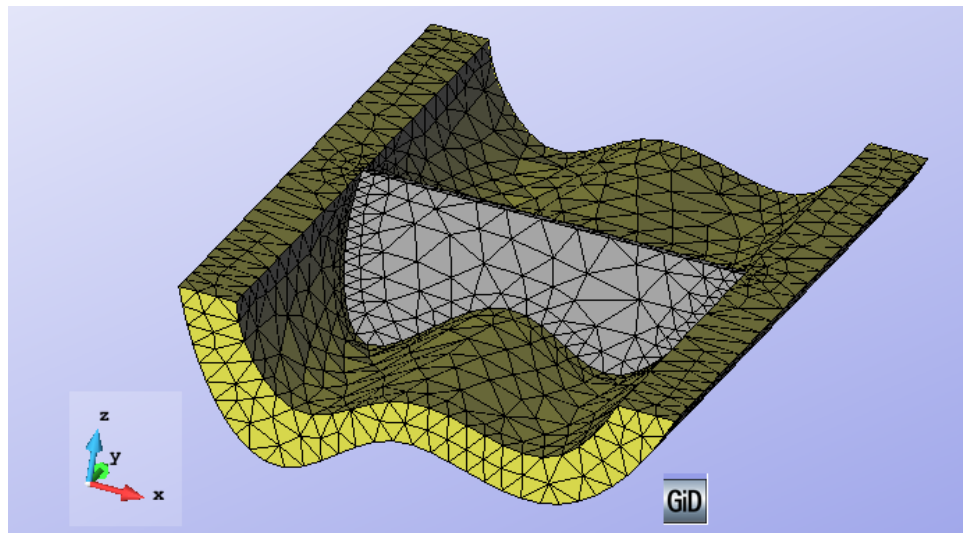
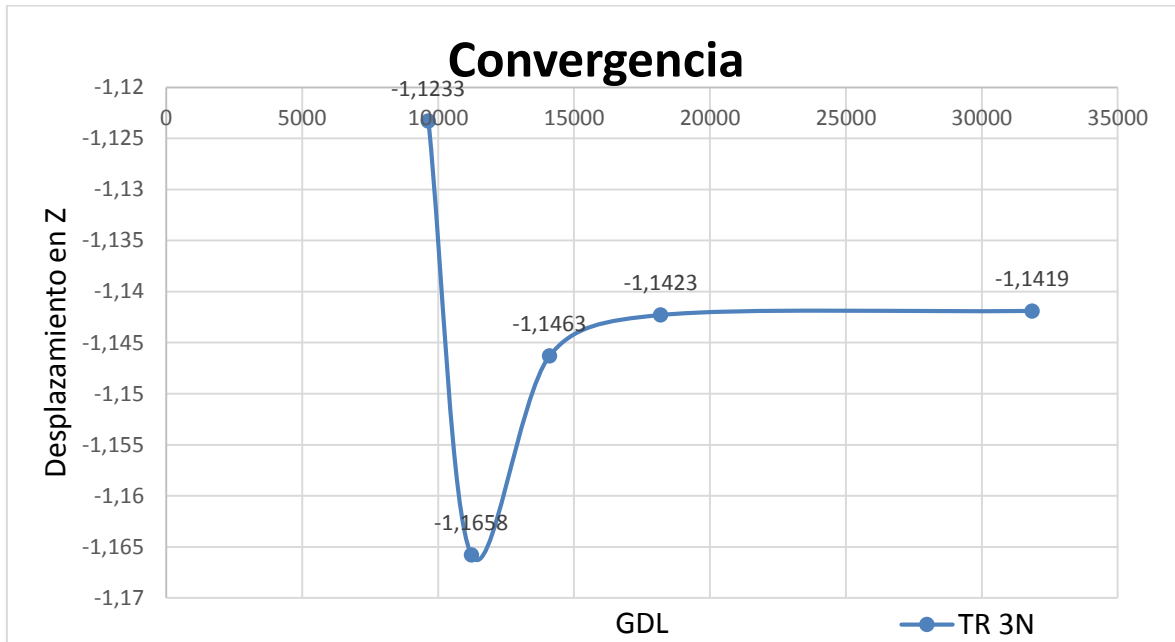


Ilustración 24. Geometría de unas de las mallas usadas para los cálculos de convergencia en 3D

Elemento Geométrico utilizado	Tamaño de Malla	Nodos Generados por la malla	GDL	Desplazamiento Z en el punto P1
TR	13	4820	9640	-1,1233
TR	12	5611	11222	-1,1658
TR	11	7048	14096	-1,1463
TR	10	9095	18190	-1,1423
TR	8	15926	31852	-1,1419

Tabla 3. Datos usados para la Convergencia de la Malla GDL vs Desplazamiento Z



En el análisis de convergencia se logra evidencia el buen comportamiento del mallado con tetraedros triangulares, por la gran demanda de procesador que hace que el la maquina trabaje al casi 100%. En mi caso se me hizo imposible seguir bajando de un tamaño de malla de 7 simplemente no me generaba la malla.

De igual forma se aprecia que los desplazamientos que se registran son muy superiores a los obtenidos por la metodología bidimensional, la malla de Tetrahedos I converge 1.1463m, esto es un desplazamiento considerable.

Por lo anterior el mallado a ser utilizado en el dimensionamiento cheque de los esfuerzos será el de Tetrahedos , con un tamaño de malla de 10m

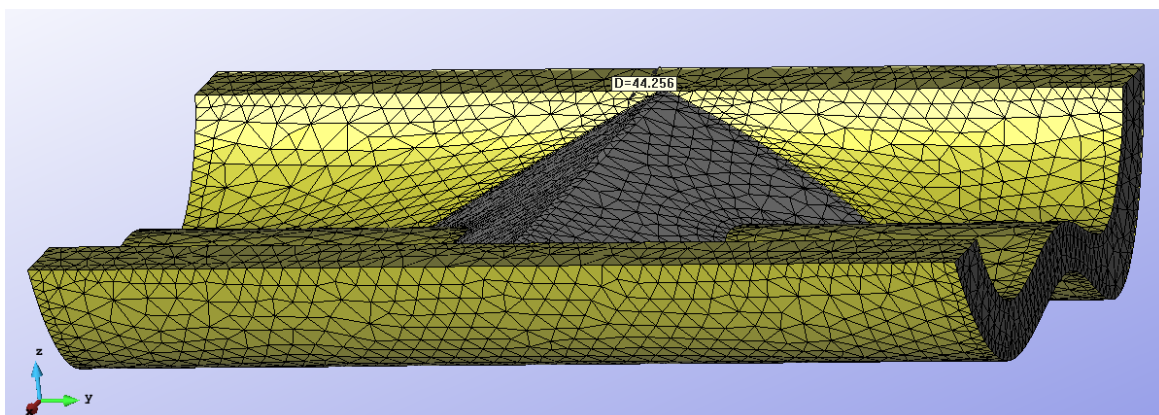


Ilustración 25. Geometría la mallas usada para los cálculos de convergencia en 3D (malla grosor 10).

3.8.1. Esfuerzos en elemento de presa

Después del análisis de convergencia, se procede a determinar los esfuerzos en la presa producto de las fuerzas hidrostáticas.

Pendiente usada en la presa	Esfuerzos principales Presa cargada caso a (PP)	Esfuerzos principales Presa cargada caso b (PP+ CH)
Valores para m y n	Tensión Si (MPa)	Tensión Si (MPa)
1:2	0,44352	0.42053

Tabla 4. Datos comparativos PP vs PP+CH

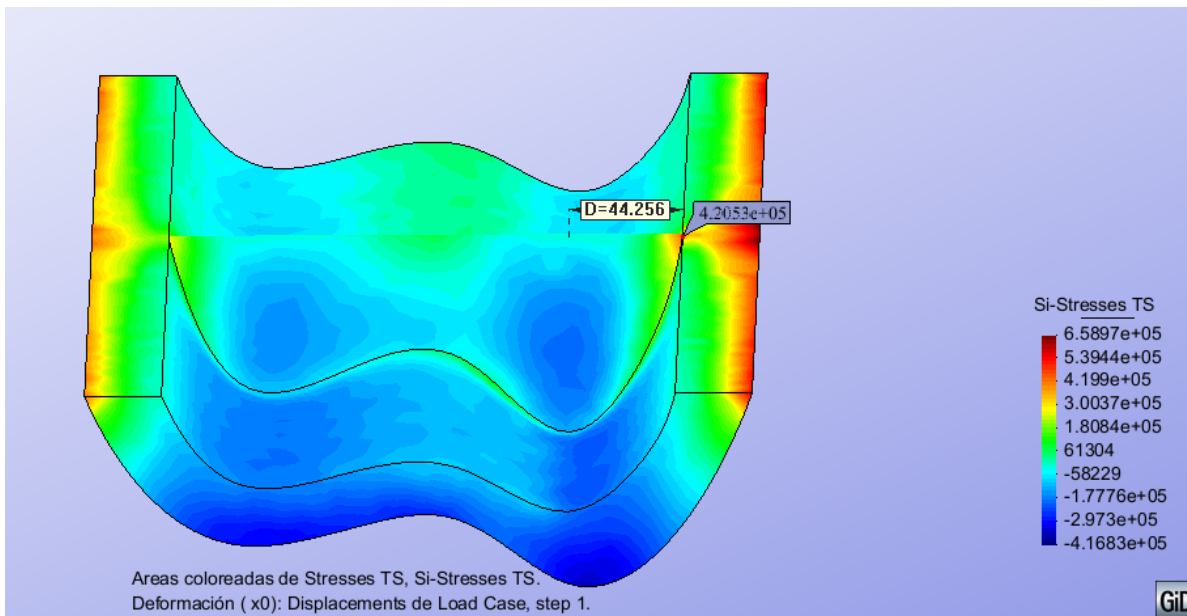


Ilustración 25. Tensiones máximas en Tracción Si generadas en la presa PP + CH

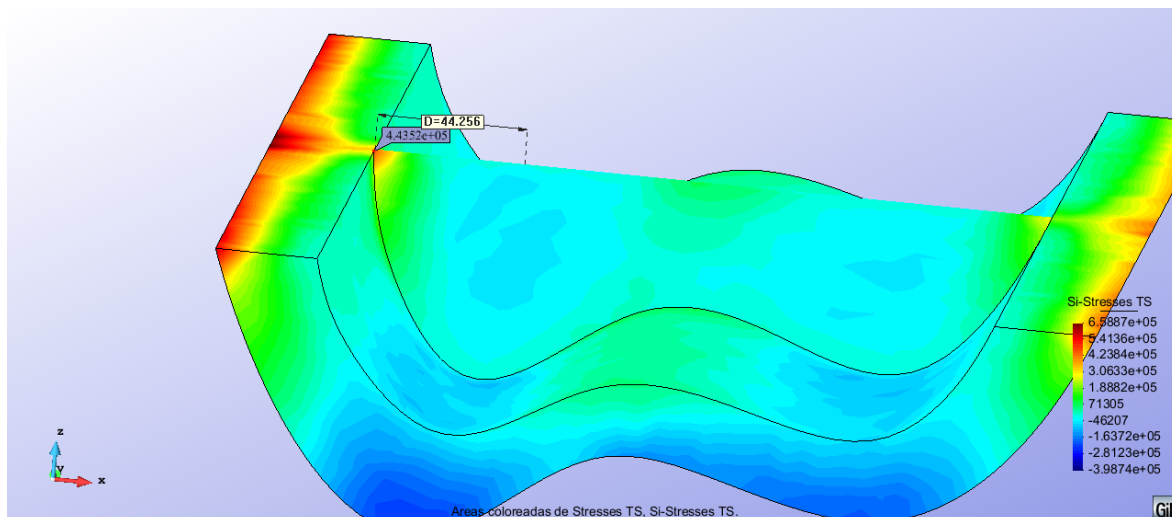


Ilustración 26. Tensiones máximas en Tracción Si generadas en la presa con PP

Las mayores tensiones ocurren en el borde del terreno como se aprecian en la ilustración 25 y 26 dentro de la presa que son los cálculos que nos interesa cumplimos con lo establecido de no superar los 0,5MPa escogiendo un punto más crítico de la presa obtuvimos los resultados. Las principales tensiones de tracción para este tipo de presa son originadas por el peso propio y los materiales que se impongan en el programa

3.9. IMÁGENES DE LOS RESULTADOS RELEVANTE

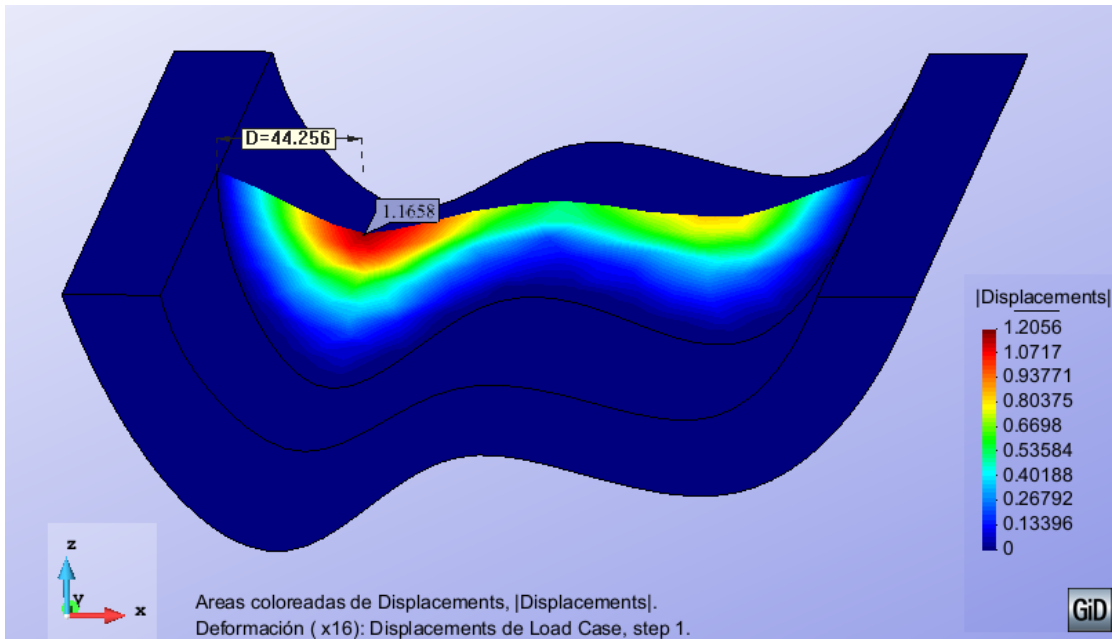


Ilustración 27. Deformación Presa con (x16)

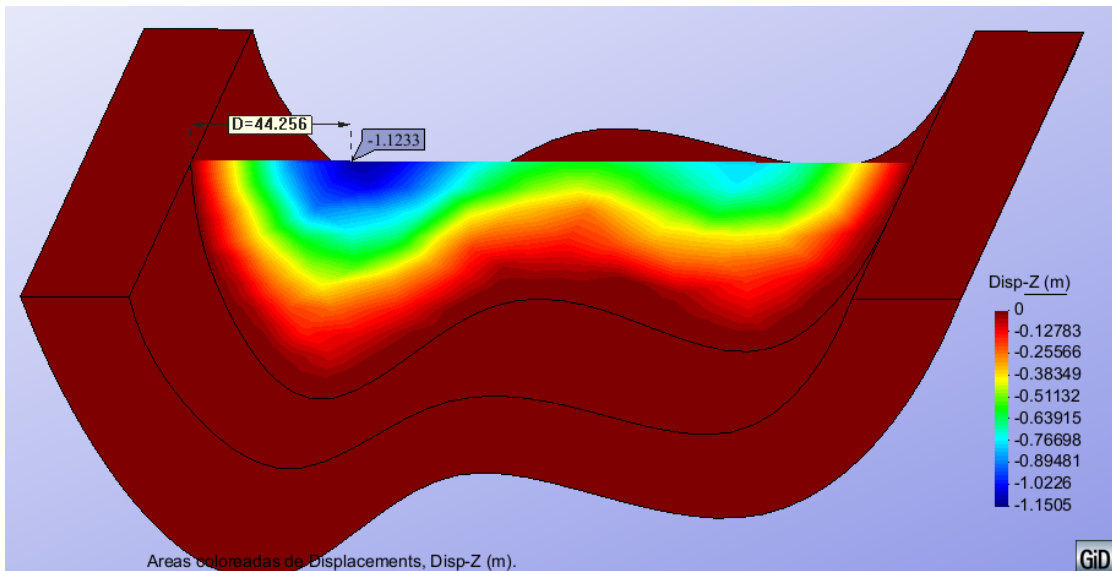


Ilustración 28. Desplazamiento en Z Presa caso a (PP)

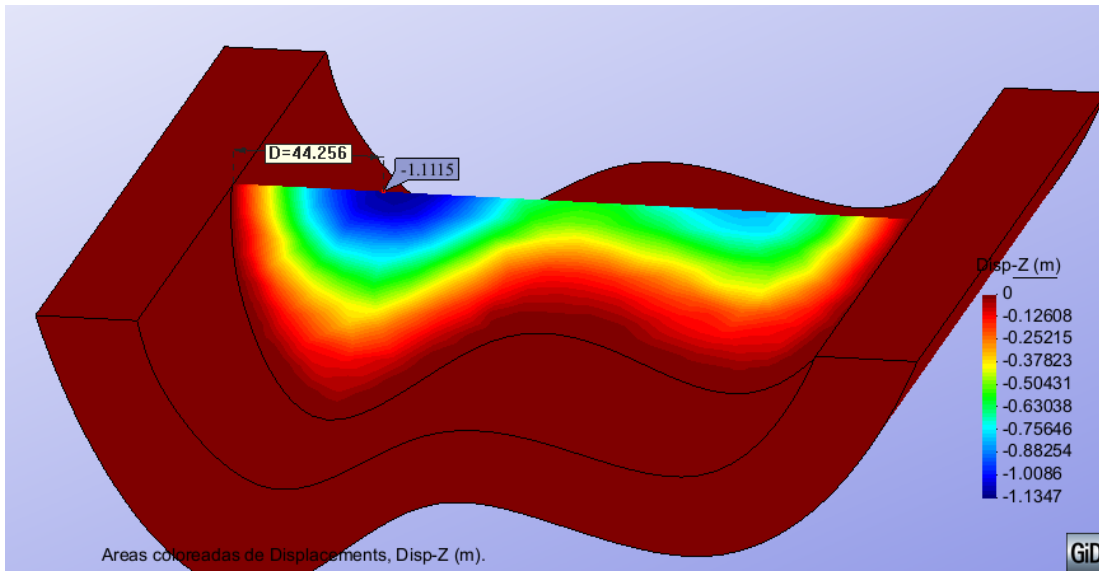


Ilustración 29. . Desplazamiento en Z para el caso b PP+CH Se puede observar lo que baja en el punto seleccionado - 1,1233m

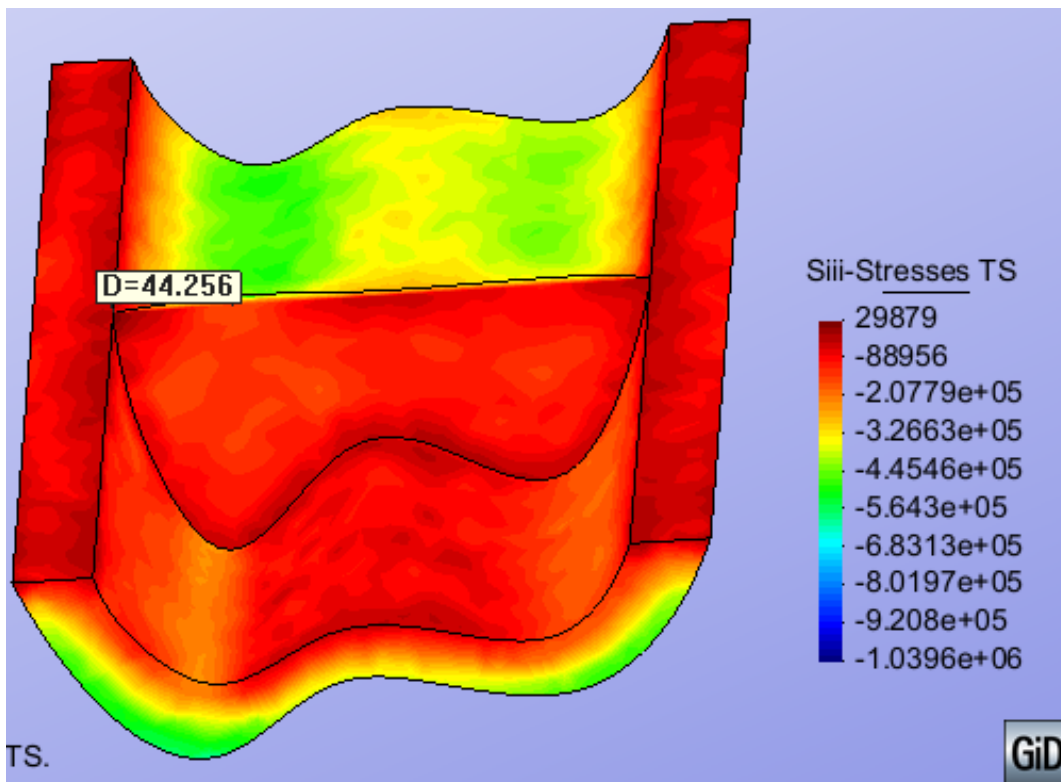


Ilustración 30. . Compresiones Siii de la presa para el caso b

4.0. DISEÑO TORRE DE ENFRIAMIENTO (L-35)

4.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ilustración 1, representa una torre de enfriamiento formada por una lámina de hormigón armado. Calcular el espesor mínimo de la torre capaz de soportar el peso propio de la estructura con las restricciones que se indican.

- 1) Las tracciones máximas en cualquier punto de la de estructura no deben superar los 40 MPa
- 2) Las compresiones máximas en cualquier punto de la estructura no deben superar los 60 MPa
- 3) Las propiedades mecánicas del hormigón son: $E = 19.8 \text{ KN/mm}^2$ $\nu = 0.18$
- 4) El apoyo proporcionado por las columnas se puede suponer como simplemente apoyado.

Cargas actuantes:

a) Peso propio

Las dimensiones de la torre en m:

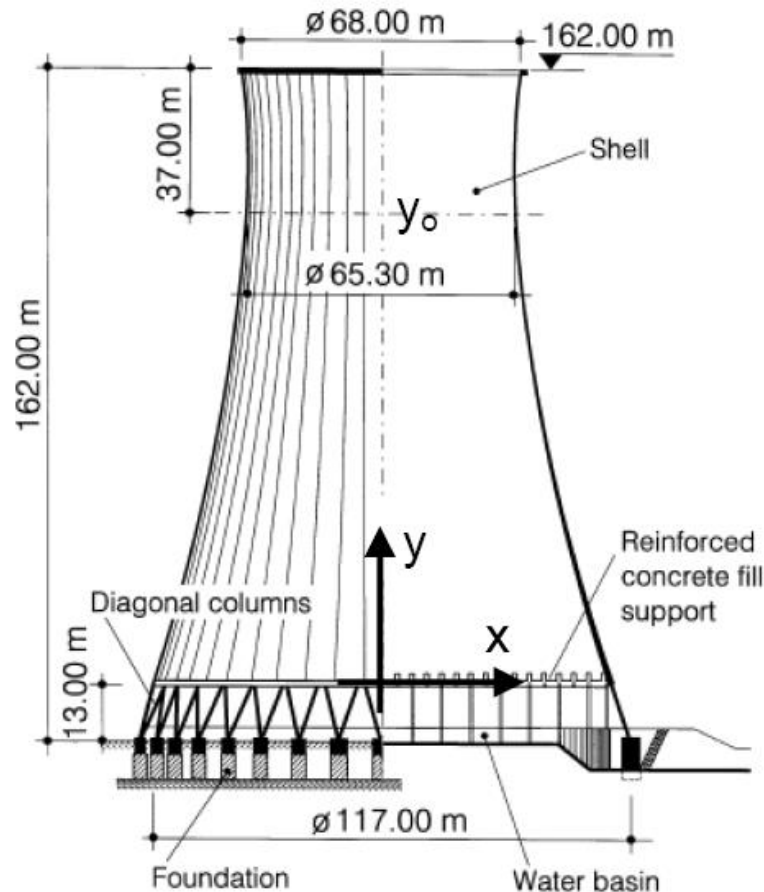


Ilustración 3. Diagrama de Cuerpo rígido Torre de Enfriamiento.

4.2. AFRONTAMIENTO DEL PROBLEMA

La metodología de los elementos finitos permite abordar de varias maneras los problemas de estructuras, pero al final los resultados deberán ser similares al obtenido por cualquiera de las opciones que se planteen.

En este caso para el presente problema se puede dar solución con varias alternativas, aplicando siempre láminas de revolución ya que este cumple con 4 de los requerimientos para la solución por este tipo de metodología. Las cuatro condiciones son: 1) La geometría del elemento debe ser siempre de revolución, 2) las propiedades de los materiales pueden ser recreadas por revolución 3) las condiciones de contorno deben ser siempre de revolución. 4. las cargas deben ser siempre de revolución. De esta manera podemos afirmar que el problema puede ser abordado con métodos de elementos finitos tipo *láminas de revolución*.

Una de las soluciones como puede ser analizar el modelo con elementos troncocónicos, es una manera rápida y sencilla de llegar a los resultados. Otra manera puede ser creando parte de la geometría de revolución y se resuelve el problema por geometría restringiendo las condiciones de contorno en dicho elemento, y por último de igual forma puede ser analizado con su geometría completa.

Para el presente caso se escogió la alternativa 2, modelando solo un cuarto de la geometría de revolución, con el objetivo de visualizar mejor el comportamiento de la estructura y no gastar mucho tiempo en cálculo, en comparación de la geometría completa, además se realizó un ensayo inicial de la geometría completa, pero las mallas estudiadas nunca convergieron, y el proceso se cancelaba cuando se sumaban demasiados puntos al análisis de convergencia.

4.3. PREPROCESO

4.3.1. DATOS DE ANALISIS

Inicialmente se define el tipo de problema a resolver. En este caso se trata de un problema de láminas, por lo que se especifica en el programa de cálculo "Ramseries", tipo de simulación, dimensión de la simulación, tipo de análisis, y tipo de elementos analizar y los demás parámetros de análisis:

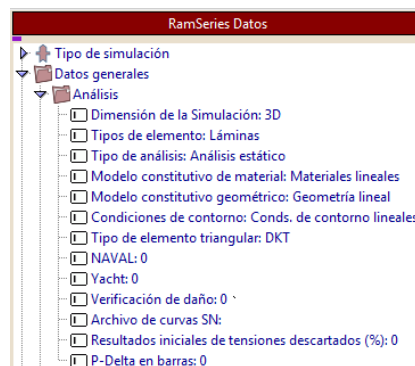


Ilustración 4. Definición de tipo de análisis problema 1

En esta etapa definimos variables importantes para el análisis como la asignación de tipo de elementos a utilizar en la etapa de proceso.

4.3.2. GEOMETRIA

Se introduce la geometría en el preproceso del programa RamSeries profesional, por medio de las herramientas de dibujo, inicialmente se generan los puntos obligados para el trazado del arco en el plano de trabajo XY, posteriormente se genera un cuarto de la superficie de la torre por medio de revolución a 90° , de esta forma trabajamos el modelo de forma simétrica.

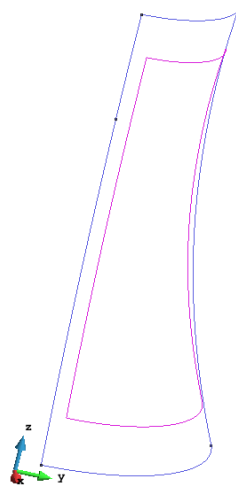


Ilustración 5. Geometría RamSeries, Modelo Torre de enfriamiento

4.3.3 CONDICIONES DE CONTORNO

Se dan las condiciones de contorno al modelo, partiendo de la realidad de la estructura, la cual se encuentra apoyada sobre columnas distribuidas en toda su longitud circunferencial, se realizó una modelación rápida para simular los apoyos de las columnas distribuidos cada 10° como se aprecia en el esquema inicial dado (Ilustración 1), generando puntos de apoyo en la base, pero se observó que se generaban sobre esfuerzos que conllevaban a determinar espesores de más de 60cm, lo cual no es aplicado a la realidad de estas torres, las cuales tienen espesores delgados.

Por lo anterior, se realizó la condición de simplemente apoyada en toda la línea circunferencial de la base (0,0,1), de igual manera de las líneas de simetría restringiendo el giro respecto al eje Z y su desplazamiento perpendiculares al origen.

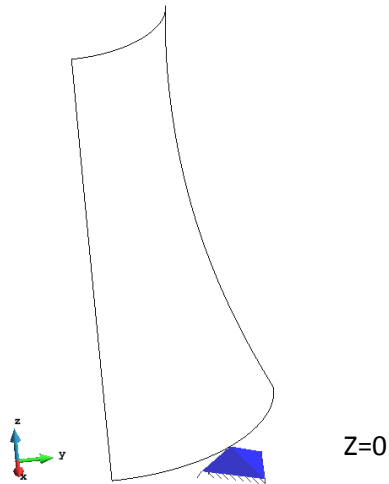


Ilustración 6. Restricción de base del modelo Z=1

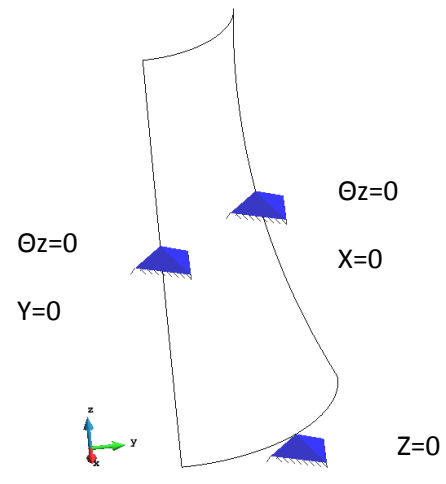


Ilustración 7. Restricción de líneas de simetría

4.3.4. DEFINICIÓN DE MATERIAL

Se define para el modelo las propiedades asignadas en la formulación del problema, para este caso toda la estructura es en concreto con las siguientes propiedades, las cuales son definidas en el programa, creando un nuevo material con propiedades de lámina Isotrópica:

$E=19.8\text{kN/mm}^2$ Modulo de elasticidad

$\nu= 0.18$ coeficiente de Poisson

$\gamma=23544\text{N/m}^3$ Peso específico del concreto.

$e= 5\text{cm}$ Espesor inicial para realizar análisis de convergencia.

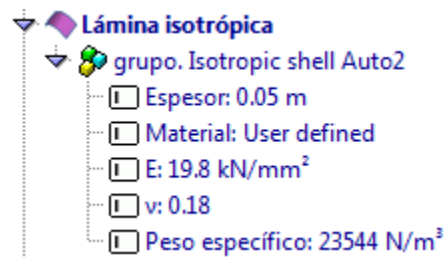


Ilustración 8. Asignación de propiedades del material a modelar RamSeries.

4.3.4. CARGAS

Se asignan cargas al modelo computacional, para este caso las únicas cargas actuantes en el planteamiento del problema es el peso propio, se introduce la carga de diseño en el programa RamSeries:

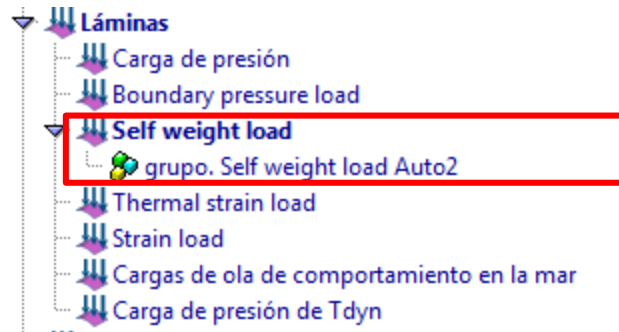


Ilustración 9. Asignación de carga a modelo, Peso propio.

4.3.5 ANALISIS DE CONVERGENCIA

Para un adecuado obtención de resultados confiables y optimización de tiempo en el cálculo del post-proceso, se hace necesario la escogencia de un tipo un tamaño de malla óptima para garantizar buenos resultados. Esto es debido a que en MEF no todos los tipos de malla generan resultados confiables, se busca con el análisis de convergencia la escogencia de una malla óptima donde se visualice la convergencia de los resultados de una manera rápida y homogénea.

Basta con realizar un análisis de convergencia a un punto aleatorio del modelo, el cual presente desplazamientos inducidos por las cargas actuantes, esto es debido a que los demás parámetros como esfuerzos y deformaciones dependen de la solución de la matriz global del sistema, específicamente del vector de desplazamientos, generando menos errores en la solución en los resultados.

Para este caso, se realiza un análisis de convergencia asignando varios tipos de mallas y asumiendo un espesor de 15 cm, para el total del modelo, se obtienen los desplazamientos del punto P3 con coordenadas (34,0,149) ubicado en la parte superior de la torre y sobre la línea revolucionada inicial de generación del modelo, respecto a los diferentes tipos de malla.

En el análisis de convergencia se estudiaron tres tipologías de mallas estructuradas (ver Ilustraciones 8,9,10), con variación del tamaño de los elementos, el resultado del proceso se indican a continuación en la tabla 1:

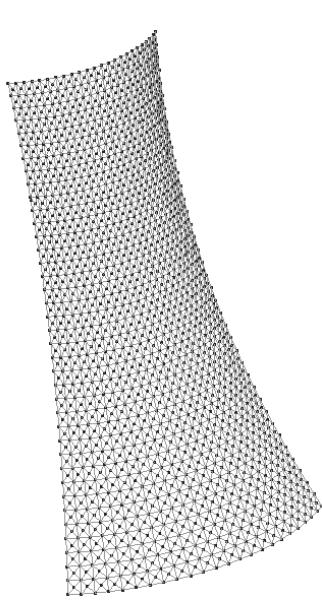


Ilustración 10. Malla DKT 3N 4m.

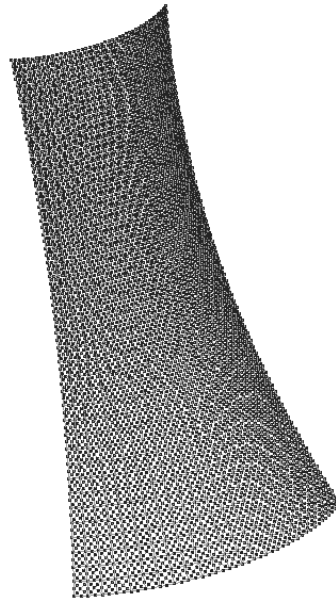


Ilustración 11. Malla DKT 6N 5m

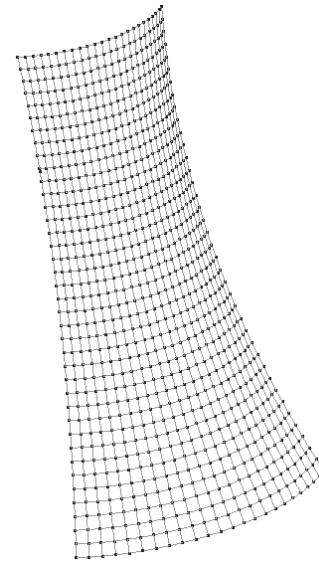


Ilustración 12. Malla CLLL 3N 5m

DESPLAZAMIENTO P3 VS NUMERO DE NODOS						
	5m	4m	3m	2m	1m	0.5m
	$\frac{\Delta Z_a (m)}{\#Nodos}$	$\frac{\Delta Z_a (m)}{\#Nodos}$	$\frac{\Delta Z_a (m)}{\#Nodos}$	$\frac{\Delta Z_a (m)}{\#Nodos}$	$\frac{\Delta Z_a (m)}{\#Nodos}$	$\frac{\Delta Z_a (m)}{\#Nodos}$
DKT 3N	-0.0530951	-0.0594618	-0.0669275	-0.0736634	-0.0786948	-0.0782244
	1167	1811	3246	7116	28399	113100
DKT 6N	-0.0784905	-0.0792318	-0.0793783	-0.0798085	-0.0804234	-0.080156
	4564	7116	12814	28214	78642	176334
CLLL	-0.0526934	-0.0587123	-0.0659223	-0.0728377	-0.0784408	-0.0800297
	609	937	1665	3620	14323	56796

Tabla 1. Análisis de convergencia

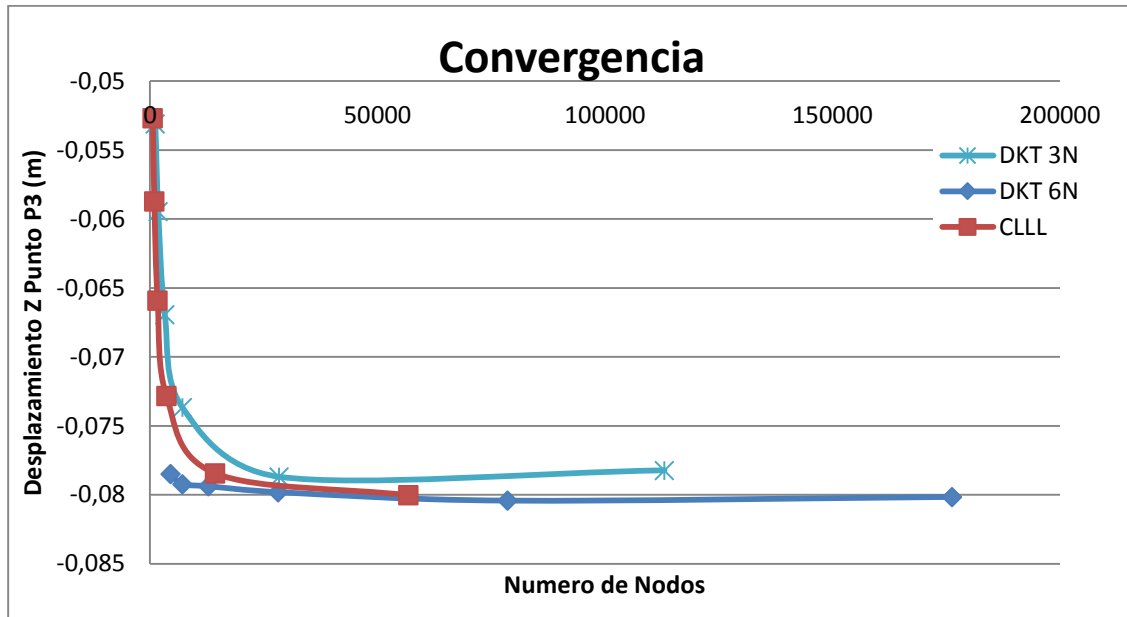


Ilustración 13. Gráfica de análisis de convergencia

Se analiza la convergencia de la cual se aprecia que la malla tipo DKT de 6N converge rápidamente al valor del desplazamiento en la dirección z del punto P3, con un valor de -0.801m, por tanto se aprecia este tipo de malla y el tamaño de 0.5m, es la más indicada para el cálculo del espesor de la torre, de tal forma que se generen resultados confiables.

4.3.6. PROCESO

Después de asignación de cada una de las mallas para el análisis de convergencia, se procede al cálculo de cada uno de los desplazamientos dando como resultado los datos de la tabla 1, a esta etapa de estudio se le llama Proceso, esta función la elabora internamente en programa "RamSeries Professional".

4.3.7. POST-PROCESO

Conociendo mediante al análisis de convergencia el tipo y tamaño de malla a utilizar, se procede al cálculo del espesor más óptimo, para el cual se cumplan las condiciones dadas en el problema.

Para esto se realiza un análisis tentativo aumentando los espesores y obteniendo los esfuerzos principales para cada espesor, se inicia el proceso con un espesor inicial de 5 cm y será aumentado cada 5 cm hasta encontrar los esfuerzos óptimos, con el tipo y tamaño de malla optima, los resultados de dicho análisis se presentan a continuación:

Espesor (m)	Esfuerzos principales			
	Superior de la losa		Inferior de la losa	
	Tensión Si (Mpa)	Compresión Siii (Mpa)	Tensión Si (Mpa)	Compresión Siii (Mpa)
0.1	71.27	-5.21	57.173	-40.58
0.15	57.01	-4.1	46.5	-33.87
0.2	49.12	-3.83	40.94	-29.11
0.25	44.71	-3.80	34.66	-25.92
0.3	40.78	-3.64	32.02	-24.34
0.32	39.44	-3.63	31.13	-23.75

Tabla 2. Tanteo de espesores para la torre de enfriamiento.

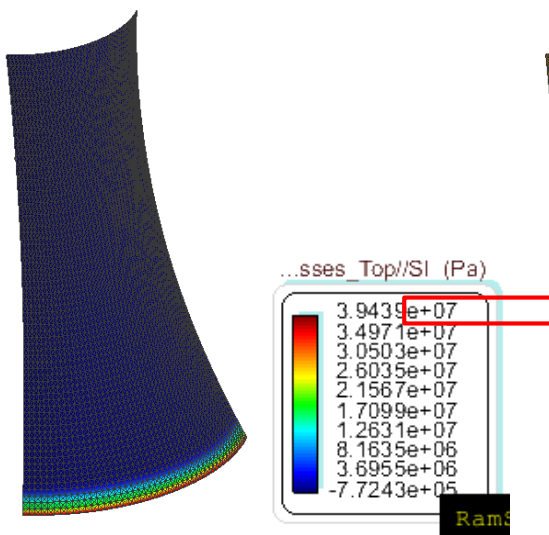


Ilustración 14. Esfuerzo superior a tensión, t=32cm

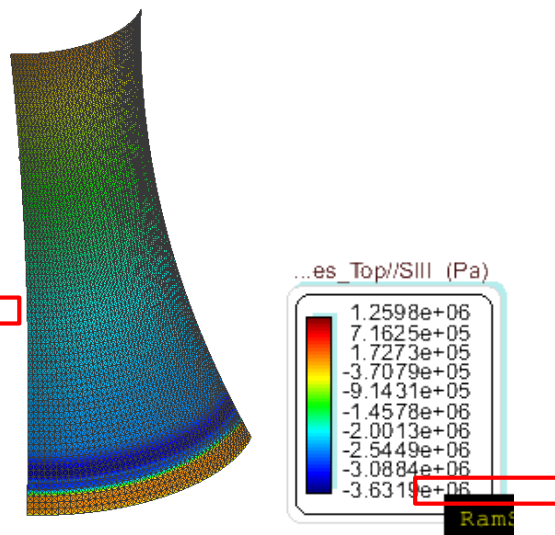


Ilustración 15. Esfuerzo superior a compresión t=32cm

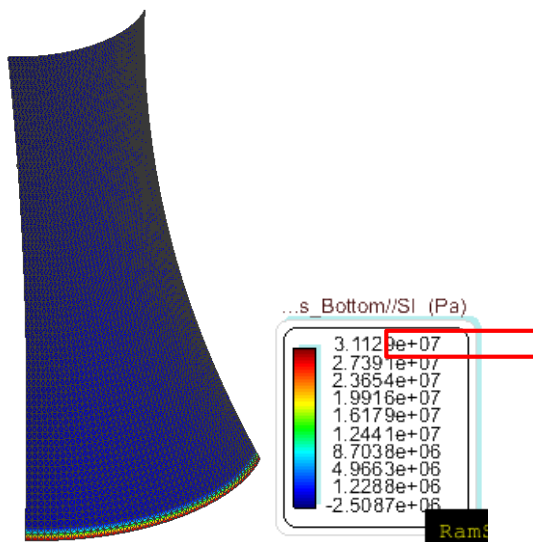


Ilustración 16. Esfuerzo inferior max. a tensión, t=32cm

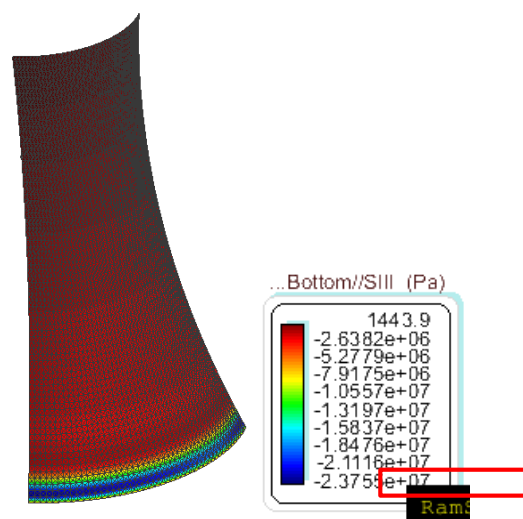


Ilustración 17. Esfuerzo inferior max. a compresión t=32cm

5. CONCLUSIONES DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO L-35

Como un resumen se hizo una simetría de la geometría de 90 grados de la estructura L-35 torre de enfriamiento ya que es un cálculo más rápido y que saldría por mucho menos dinero y tiempo. Luego se escogió el tipo de malla a utilizar a través de la metodología de la convergencia que nos enseñó de manera gráfica que tipo de malla y grosor escoger. Se estudiaron las concentraciones de tensiones y compresiones con diferentes espesores de hormigon. Al final pudimos determinar que el espesor óptimo para la cual la torre no sobrepasa las tensiones requeridas es de 32cm.

6. HIPOTESIS DOS (REV -SHELL) A TRAVES DE EL PROGRAMA GID

También podemos agregar que se empezó el cálculo en el programa GID Ram- series y usando la hipótesis de Rev_Shell, este es aplicable y muy fácil de hacer geoméricamente hablando ya que es colocar las coordenadas correcta a la línea, pero al momento del post proceso este no generaba los valores de tensiones ni de compresiones las cuales eran importante evaluar para esta estructura y así no sobrepasara a los valores exigidos en el problema.

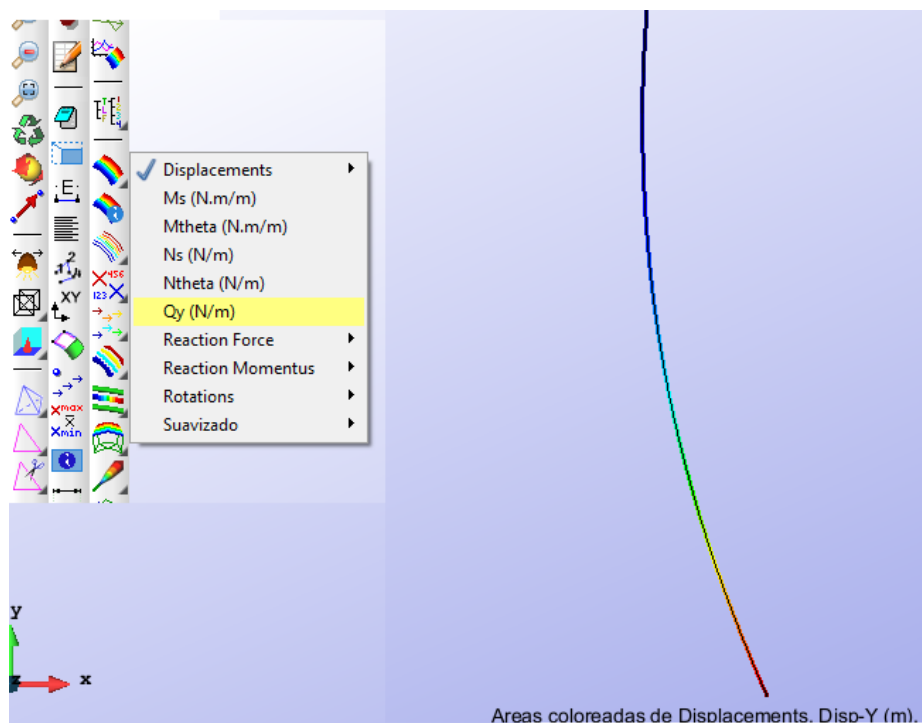


Ilustración 16. Post Proceso Rev_shell donde podemos obtener otros valores como desplazamientos momentos reacciones pero no las tensiones en tracción ni compresión