

Análisis de revestimiento del colector

Programa: MEF

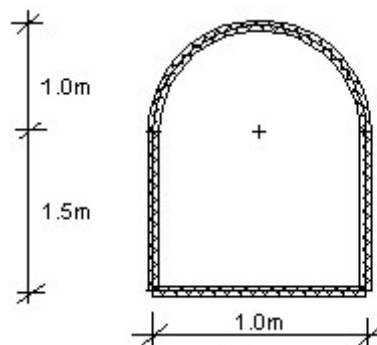
Archivo: Demo_manual_23.gmk

El objetivo de este capítulo es analizar de un colector minado con énfasis en la respuesta del revestimiento utilizando el Método de Elementos Finitos.

Especificación del problema:

Determine la respuesta al revestimiento de un colector minado; sus dimensiones se pueden ver en el siguiente cuadro. Determinar las fuerzas internas que actúan sobre el colector revestido. El revestimiento del colector (0,1 m de espesor) está hecho de hormigón armado, clase C 20/25, la parte inferior está a una profundidad de 12,0 m. El perfil geológico es homogéneo; los parámetros del suelo son los siguientes:

- Peso unitario del suelo: $\gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3$
- Módulo de elasticidad: $E = 12.0 \text{ MPa}$
- Coeficiente de Poisson: $\nu = 0.40$
- Cohesión del suelo: $c_{ef} = 12.0 \text{ kPa}$
- Ángulo de fricción interna: $\phi_{ef} = 21.0^\circ$
- Peso unitario del suelo saturado: $\gamma_{sat} = 22.0 \text{ kN/m}^3$



Características de especificaciones del problema – colector minado

Vamos a determinar los valores de desplazamientos y las fuerzas internas sólo para el modelo elástico porque no esperamos el desarrollo de deformaciones plásticas. Posteriormente vamos a utilizar el modelo de material de Mohr-Coulomb para la verificación de condiciones de rendimiento.

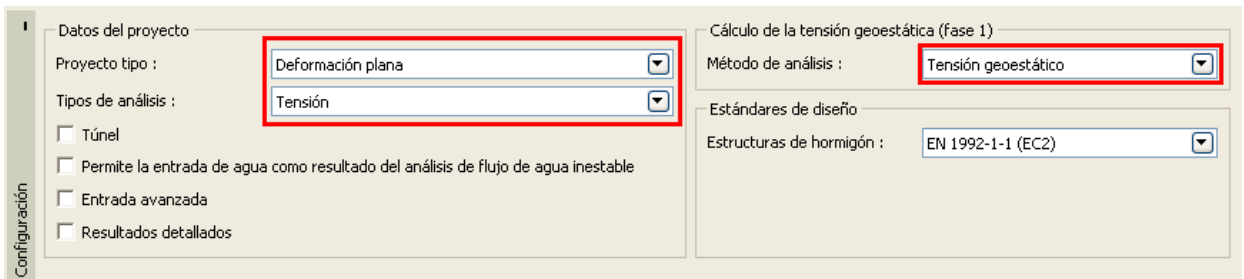
Solución:

El análisis se realizó con el Programa de MEF de GEO5. El siguiente párrafo proporciona la descripción paso a paso del procedimiento:

- Topología: configuración para el modelado del problema, (interfaz, puntos y líneas libres, refinamiento de densidad)
- Etapa de construcción 1: tensión geostática primaria
- Etapa de construcción 2: Modelado de elementos viga, análisis de desplazamiento fuerzas internas.
- Evaluación de los resultados: comparación, conclusión.

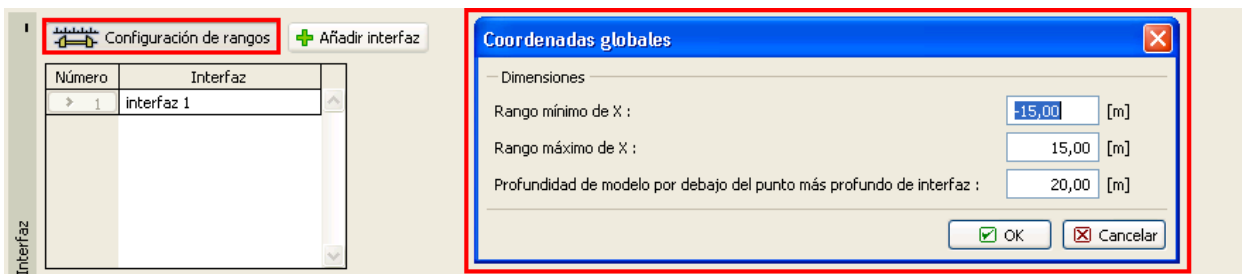
Topología: configuración del problema

En el cuadro “Configuración” seleccionamos la opción tensión geostática para realizar el análisis de la etapa de construcción 1. Consideramos el problema o el tipo de análisis como “Deformación plana”



Cuadro “Configuración”

Además vamos a establecer las coordenadas globales y la interfaz del terreno. Elegiremos dimensiones globales lo suficientemente grandes para que los resultados no se ven afectados por las condiciones en el límite. Para nuestro problema particular vamos a elegir las dimensiones de modelo $\langle -15\text{ m}; 15\text{ m} \rangle$, y ajustamos la profundidad de la capa a examinar a 20,0 m



Cuadro “Interfaz” + Cuadro de diálogo “Coordenadas globales”

Ahora vamos a especificar los parámetros del suelo, incluyendo el modelo de material y posteriormente asignamos el suelo a la región creada (para más información, visita la Ayuda - F1).

Añadir suelos

— Identificación

Nombre :

— Modelo de material

Modelo de material :

— Datos Básicos

Peso unitario : $\gamma =$ [kN/m³]

Módulo de elasticidad : $E =$ [MPa]

Rigidez según la profundidad :

Coefficiente de Poisson : $\nu =$ [-]

— Subpresión

Modo de cálculo de subpresión :

Peso unitario de suelo saturado $\gamma_{sat} =$ [kN/m³]

— Modelo Elástico

Dibujar

Color

Categoría de trama

GEO

Trama

Lino

Clasificación

Clasificar

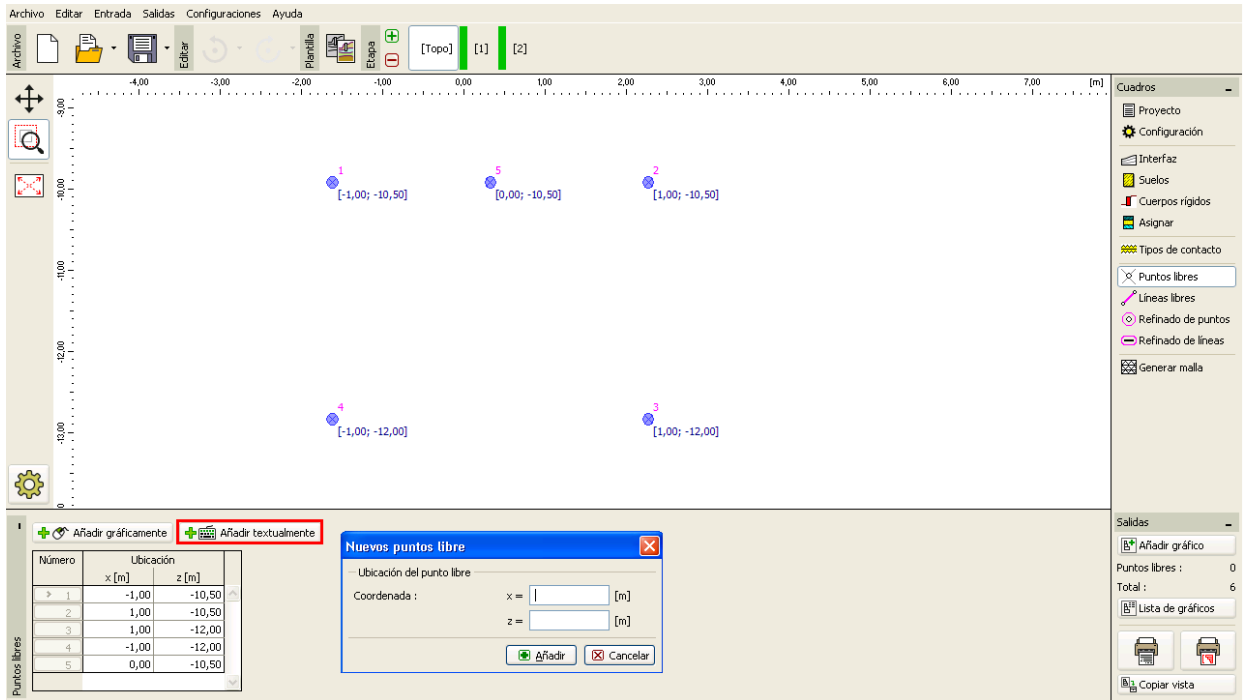
Claro

Añadir

Cancelar

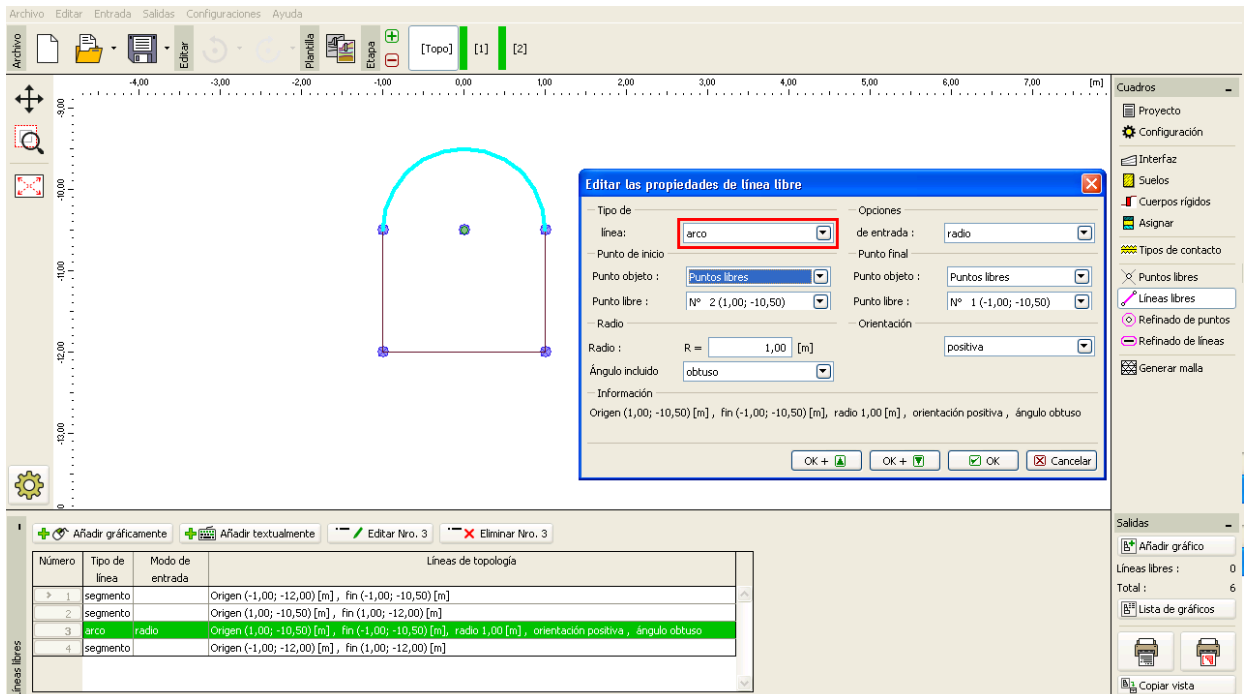
Cuadro "Añadir suelos"

El paso siguiente es establecer la geometría de la estructura. En primer lugar se definen las coordenadas de los puntos libres (botón "Añadir"), formando las esquinas del colector (para más información, visite la Ayuda - F1).



Cuadro "Puntos libres" + "Nuevos puntos libres"

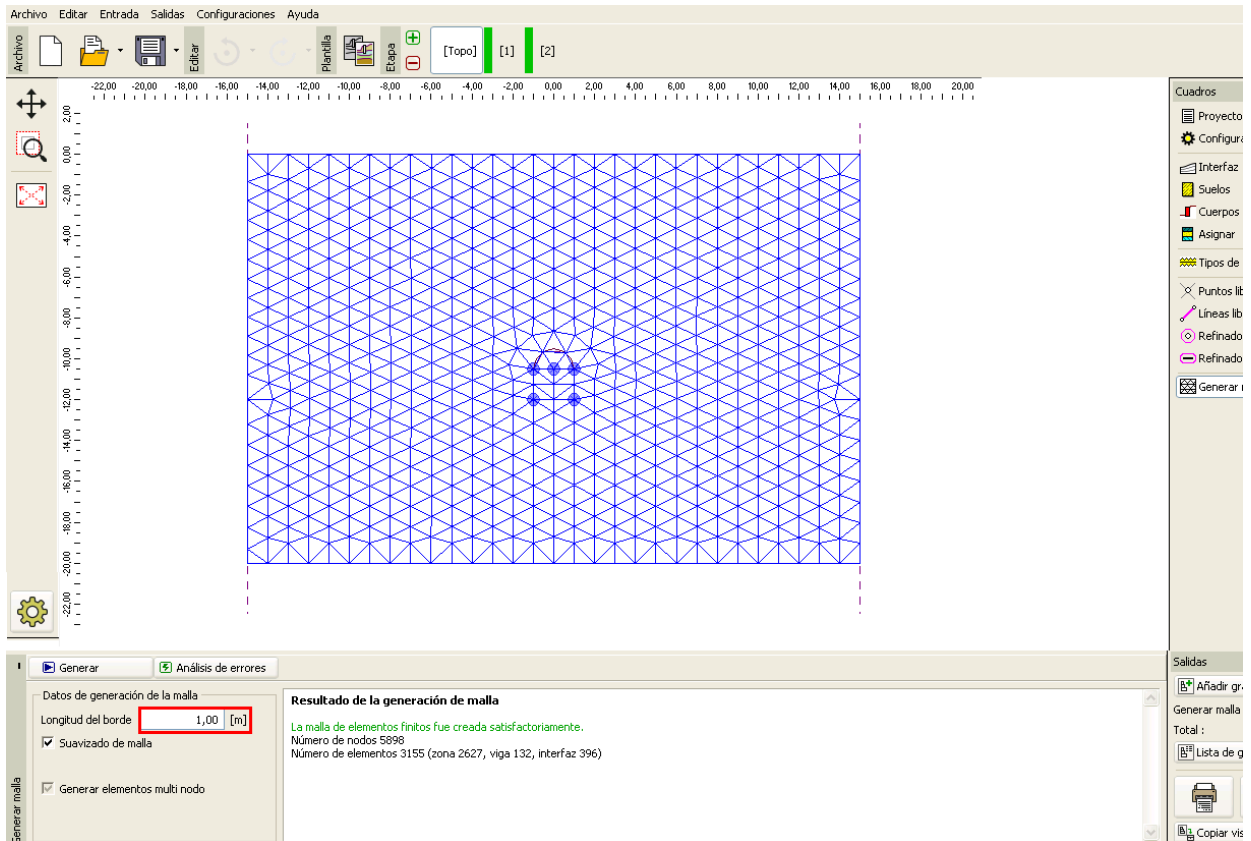
Luego, seleccionamos el botón "Añadir" en el cuadro "líneas libres" y conectaremos los puntos con líneas, con la ayuda del mouse (para más información, visite la Ayuda - F1). Para configurar el arco con el radio $R = 1.0\text{ m}$, tenemos que cambiar el tipo de línea (mediante el botón "Editar").



Cuadro "Modificar propiedades de línea libre"

Vamos a examinar la estructura resultante del contorno. A través de este paso, la configuración de la geometría del colector finalizará y vamos a ir a la generación de malla de EF (para más información, visite la Ayuda - F1).

Para los parámetros de generación de malla vamos a elegir como longitud de borde:1,0m y presionamos el botón "**Generar**". El programa generará de forma automática y sin problemas la malla de EF.



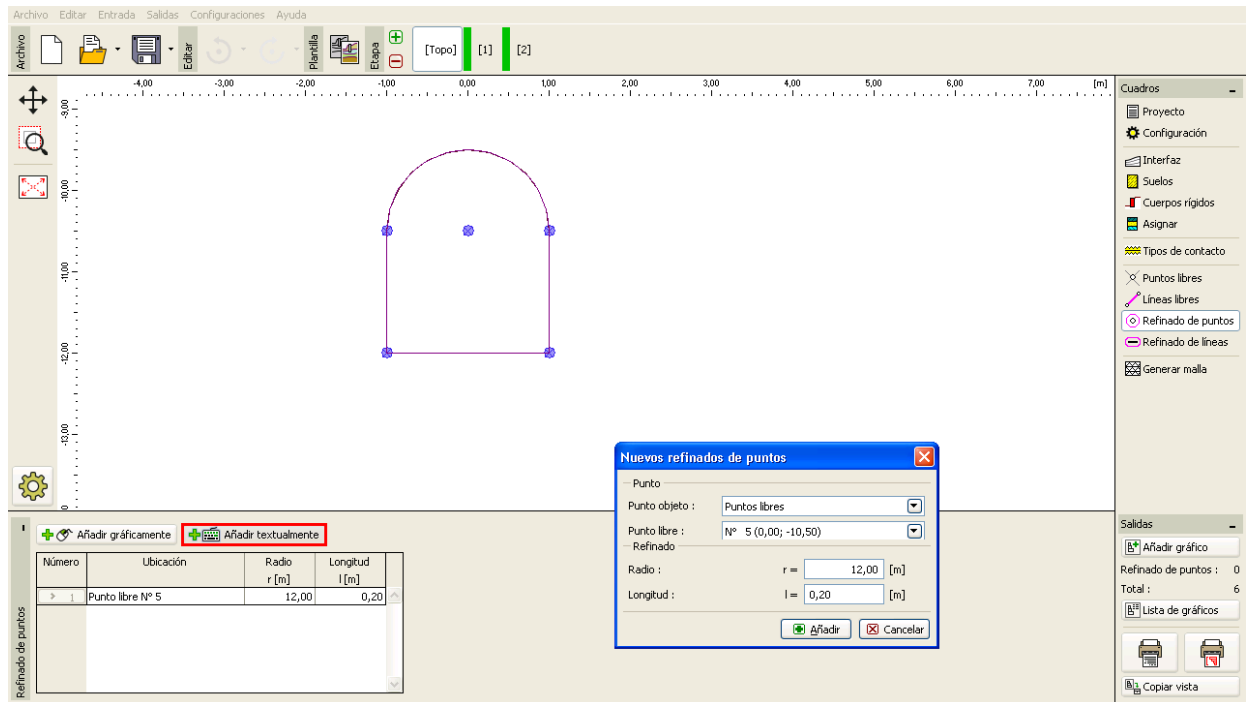
Cuadro "generación de malla longitud del borde 1.0 m (sin refinamiento local)"

Es evidente a primera vista que la malla que se genera alrededor del colector es muy gruesa. Por lo tanto, vamos a aumentar la densidad. Podemos refinar la densidad de la malla, ya sea alrededor de las líneas o alrededor de puntos libres. El siguiente procedimiento es adecuado para el refinamiento de la densidad de alrededor del revestimiento del colector (la excavación en general):

- Vamos a especificar un punto en las proximidades del centro de excavación
- Vamos a refinar la densidad en torno a este punto.

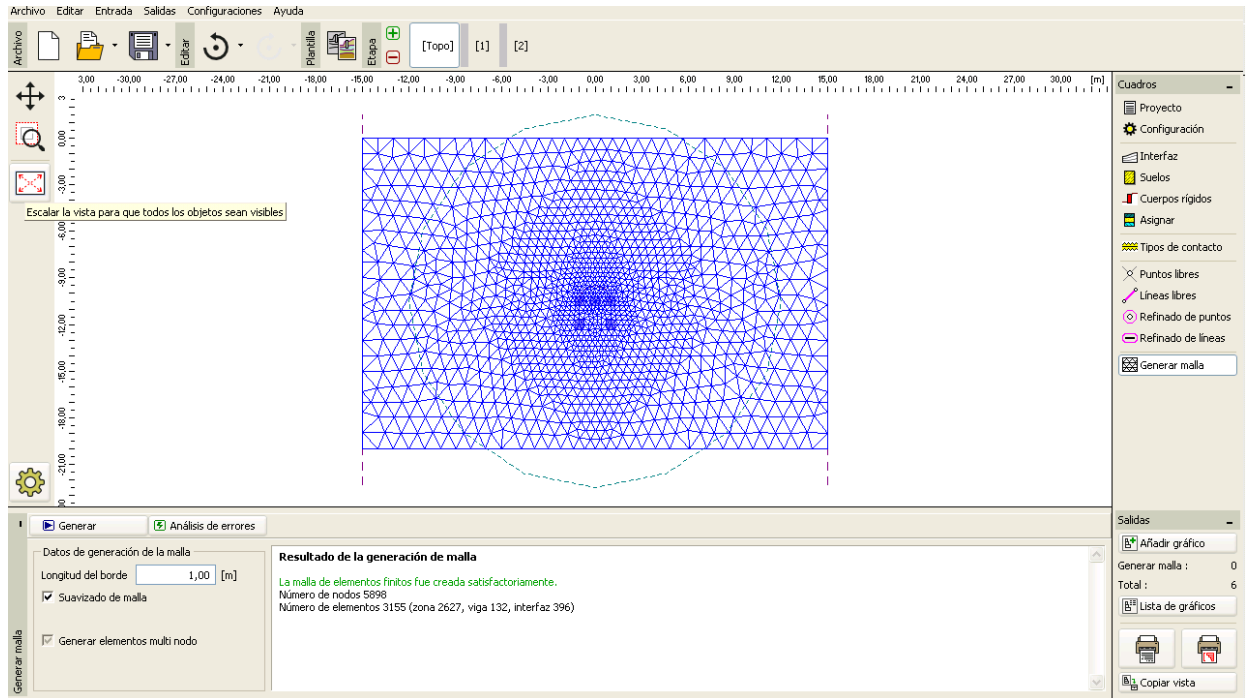
Nota: Las fuerzas internas en las vigas se analizan en los puntos individuales de la malla y por lo tanto es necesario refinar lo suficiente las líneas y puntos libres de la malla de EF (para más información, visita Ayuda - F1).

Para refinar la densidad de la malla de elementos finitos, vamos a especificar el radio respectivo $r = 12.0\text{ m}$ y el elemento de borde de longitud $l = 0.2\text{ m}$. Luego regresaremos al cuadro "Generar malla" y generamos la nueva malla de EF.



Cuadro "Nuevos refinados de puntos"

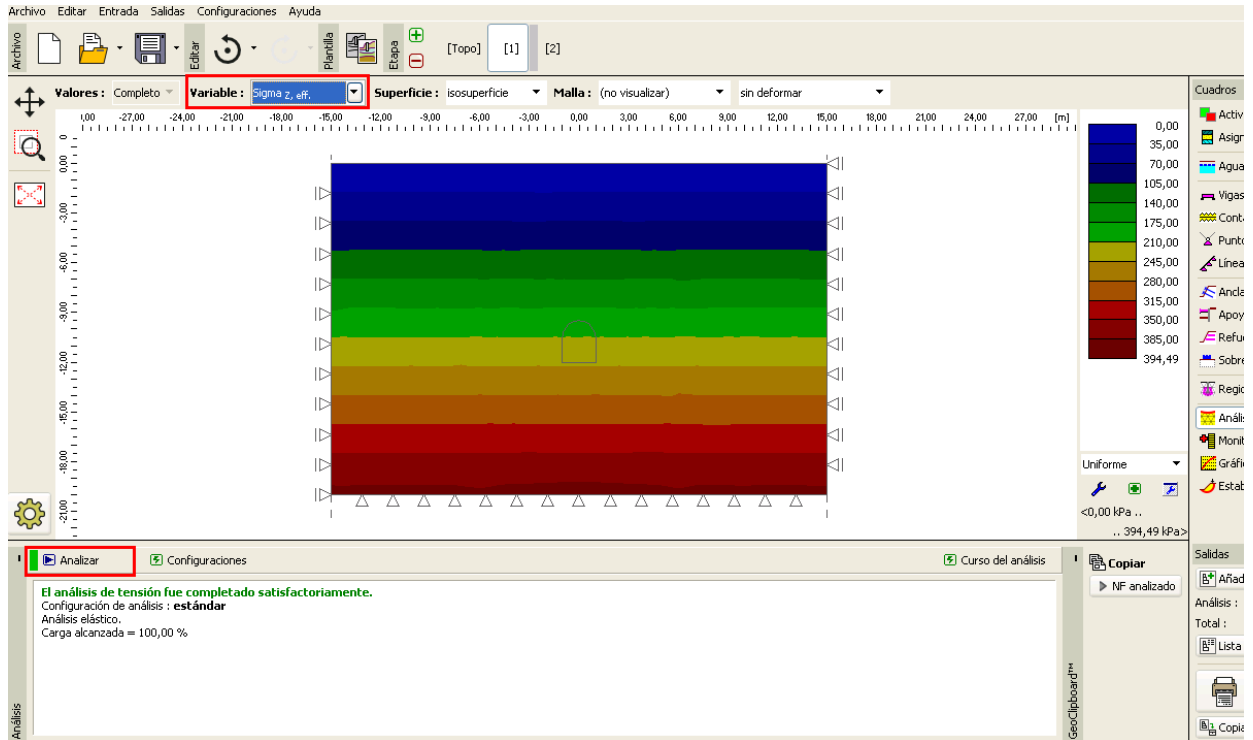
Nota: Los elementos de malla debe ser lo suficientemente densos, especialmente en la región donde se pueden esperar grandes gradientes de tensión (Punto de Apoyo, esquinas afiladas, excavaciones subterráneas, etc.) Es necesario que este radio de densidad-refinado sea al menos de 3 a 5 veces más grande que la densidad en el centro de refinado densidad y ambos valores (densidad y radio) en los puntos deben estar a una proporción razonable de la densidad de la malla prescrita para la región circundante. De esta forma la transición entre las regiones con diferentes densidades estará asegurada (para más información, visite la Ayuda - F1).



Cuadro “Generar Malla”– longitud de borde de EF 1.0m (con una densidad de malla mayor al colector que rodea)

Etapa de construcción 1: Tensión geostática primaria

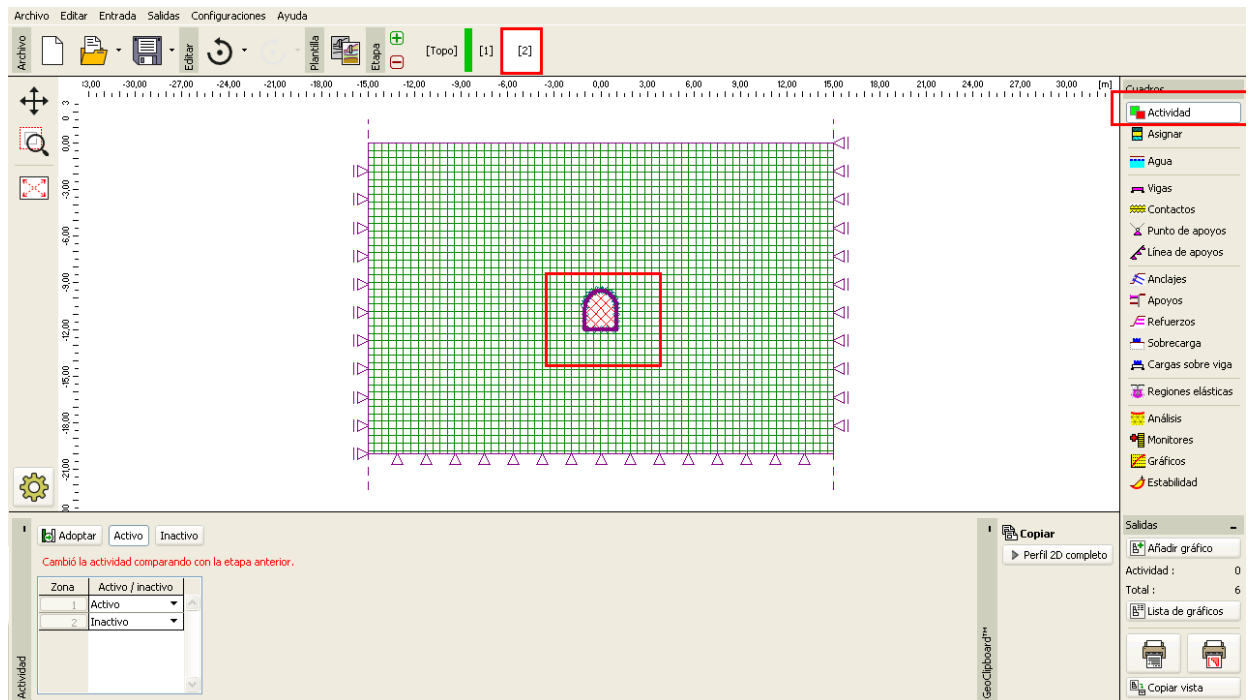
Después de la generación, la malla en las proximidades del colector se ve significativamente mejor. Ahora vamos a pasar a la etapa de construcción 1 y llevaremos a cabo el análisis de la tensión geostática primaria. Vamos a mantener el entorno de análisis "Estándar" (para más información, visite Ayuda - F1).



Cuadro "Análisis" – Etapa de construcción 1

Etapa de construcción 2: Modelado de elementos viga

En el cuadro "Actividad", primero modelamos la excavación del suelo desde la sección transversal del colector - fijaremos la zona afectada como inactiva (para más información, visite la Ayuda - F1).



Cuadro "Actividad" – Etapa de construcción 2

Luego nos dirigiremos al cuadro "Viga" y vamos a modelar el revestimiento del colector minado. Vamos a definir los siguientes parámetros - localización de viga (tomamos todas las líneas libres en consideración), material y clase de hormigón, altura de sección (0,1 m) y los soportes de extremos de la viga (para más información, visite la Ayuda - F1).

The screenshot shows the 'Vigas nuevas' dialog box in the GE05 software. The dialog is configured with the following parameters:

- Topología: Línea libre
- Nombre: Nosnik čs. 3
- Ubicación: Línea libre
- Línea libre: Línea libre N° 3
- Soporte: (empty)
- Parámetros: Punto de inicio and Punto de fin (empty)
- Incluir el peso propio:
- Sección transversal y material: Tipo de secc. trans.: muro rectangular; Tipo de material: hormigón
- Altura de la sección transversal: h = 0,10 [m]
- Ancho de la sección transversal: b = 1,00 [m]
- Nombre de material: C 20/25
- Propiedades de material: $I_y = 0,33E-05 \text{ m}^4/\text{m}$; $A = 1,00E-01 \text{ m}^2/\text{m}$; $E = 30000,00 \text{ MPa}$; $G = 12500,00 \text{ MPa}$
- Contactos: Introducir contacto a la izquierda; Introducir contacto a la derecha

Below the dialog, a table lists the beams defined in the model:

Número	nuevo	modificado	Ubicación	Soporte [m]	Punto de inicio	Punto de fin	Incluir peso propio	Sección transversal	Material	Cont	Izquierdo
1	Si		Línea libre N° 4				<input checked="" type="checkbox"/>	1,00 (b) x 0,10 (h) m	C 20/25		(no ingresado)
2	Si		Línea libre N° 1				<input checked="" type="checkbox"/>	1,00 (b) x 0,10 (h) m	C 20/25		(no ingresado)
3	Si		Línea libre N° 3				<input checked="" type="checkbox"/>	1,00 (b) x 0,10 (h) m	C 20/25		(no ingresado)
4	Si		Línea libre N° 2				<input checked="" type="checkbox"/>	1,00 (b) x 0,10 (h) m	C 20/25		(no ingresado)

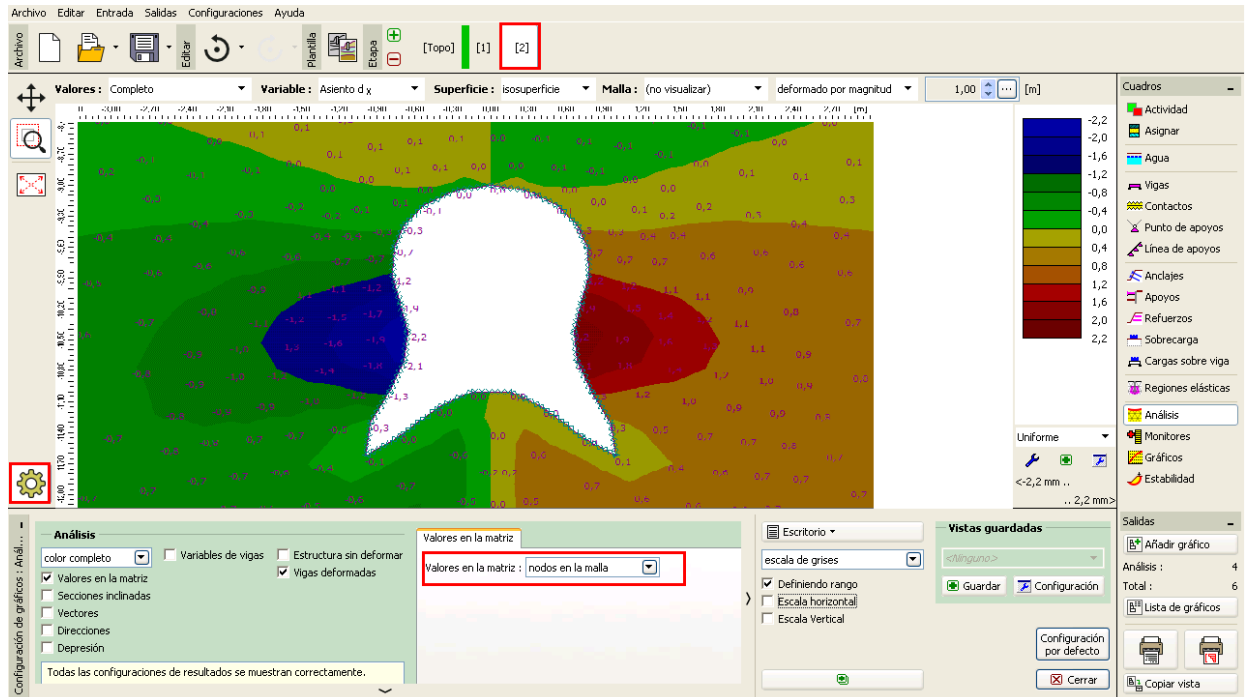
Cuadro "Nueva viga" – Etapa de construcción 2

Ahora vamos a llevar a cabo el análisis y vamos a visualizar los resultados de la Tensión geostática vertical $\sigma_{z,ef}$ [kPa] el desplazamiento lateral d_x [mm] y las fuerzas internas en el revestimiento del colector.

The screenshot shows the results of a geostatic analysis in the GE05 software. The 'Análisis' panel is active, and the results are displayed as a color-coded stress distribution on a cross-section of the collector lining. The vertical axis represents depth in meters, ranging from 0,00 to -21,00. The horizontal axis represents distance in meters, ranging from -30,00 to 30,00. The stress distribution is shown as a series of horizontal bands of different colors, with a central white area representing the collector lining. The legend on the right indicates the stress values in kPa, ranging from 0,00 to 392,57. The 'Variable' is set to 'Sigma z, ef' and the 'Superficie' is 'Isosuperficie'. The 'Malla' is set to '(no visualizar)' and the 'deformación' is 'sin deformar'. The status bar at the bottom indicates that the analysis is complete and satisfactory.

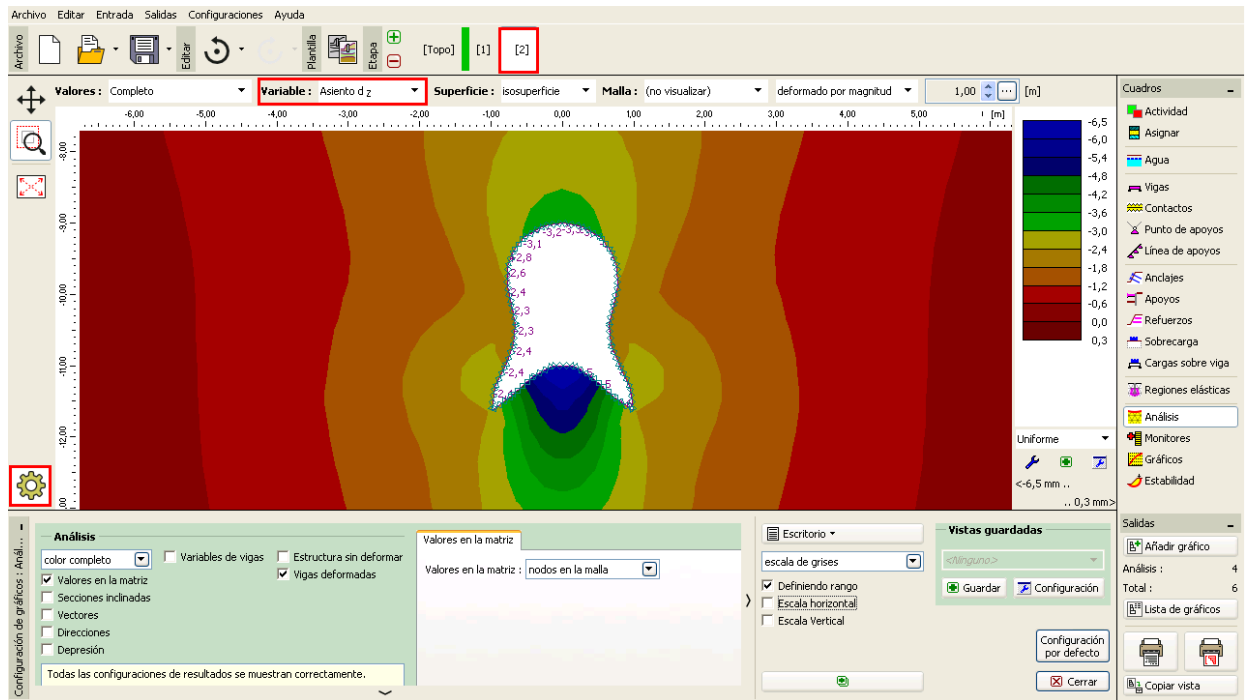
Cuadro "Análisis" - Etapa de construcción 2 (Tensión geoestática vertical $\sigma_{z,ef}$)

Se desprende de la imagen que el desplazamiento horizontal máximo es de 2,2 mm (el colector se comporta como un cuerpo rígido). Para entender mejor el comportamiento de la estructura, vamos a visualizar la malla deformada (botón en la parte superior de la pantalla)



Cuadro "Análisis" - Etapa de construcción 2 (desplazamiento horizontal d_x después de la excavación del suelo)

Nota: Las vistas actuales presentadas en pantalla también se pueden descargar como objetos independientes (utilizando el botón rojo en la parte superior izquierda del escritorio, en la barra de herramientas horizontal). Desde allí también se pueden administrar después. De este modo la visualización de los resultados se acelera de forma significativa (para más información, visite la Ayuda - F1).

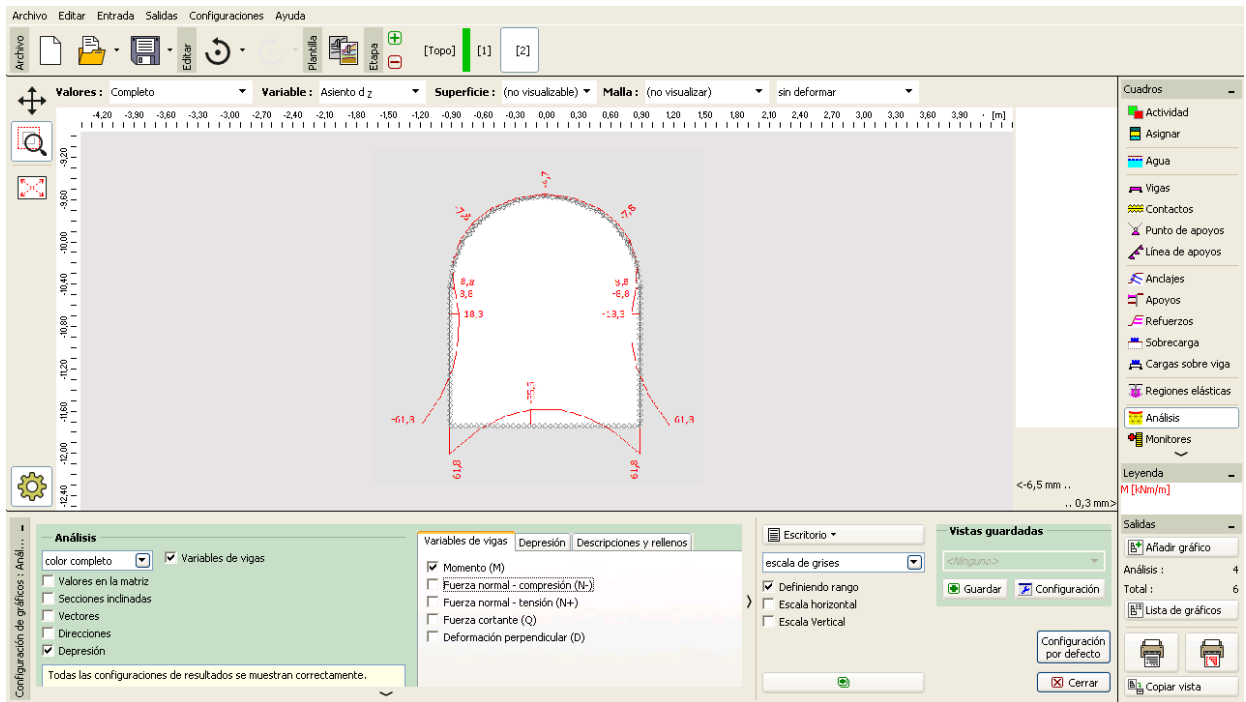


Barra de herramientas horizontal + cuadro "Nuevo dibujo"

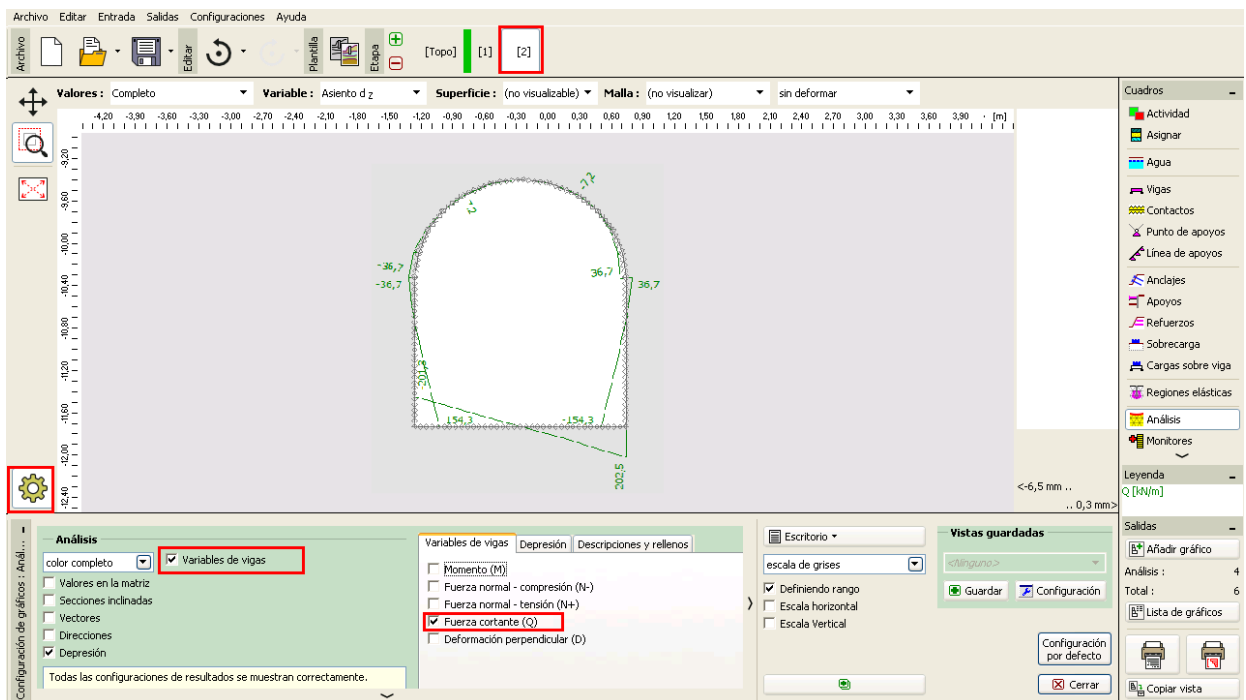
Ahora vamos a examinar los diagramas para momentos de flexión M [kNm/m] fuerzas de corte Q [kN/m] y fuerzas normales de compresión N^- [kN/m] para la etapa de construcción 2 (con el botón "Muestra" en la solapa "Distribuciones").

Nota: Para mantener la claridad y comprensión, algunos resultados no se pueden mostrar simultáneamente. Por ejemplo, es imposible trazar una estructura deformada simultáneamente con diagramas de fuerzas internas a lo largo de la viga, sino que siempre es necesario elegir sólo una variante. El programa da aviso en la parte inferior de la ventana de diálogo en el caso de combinaciones de valores inadmisibles de salidas (para más información, visite la Ayuda - F1).

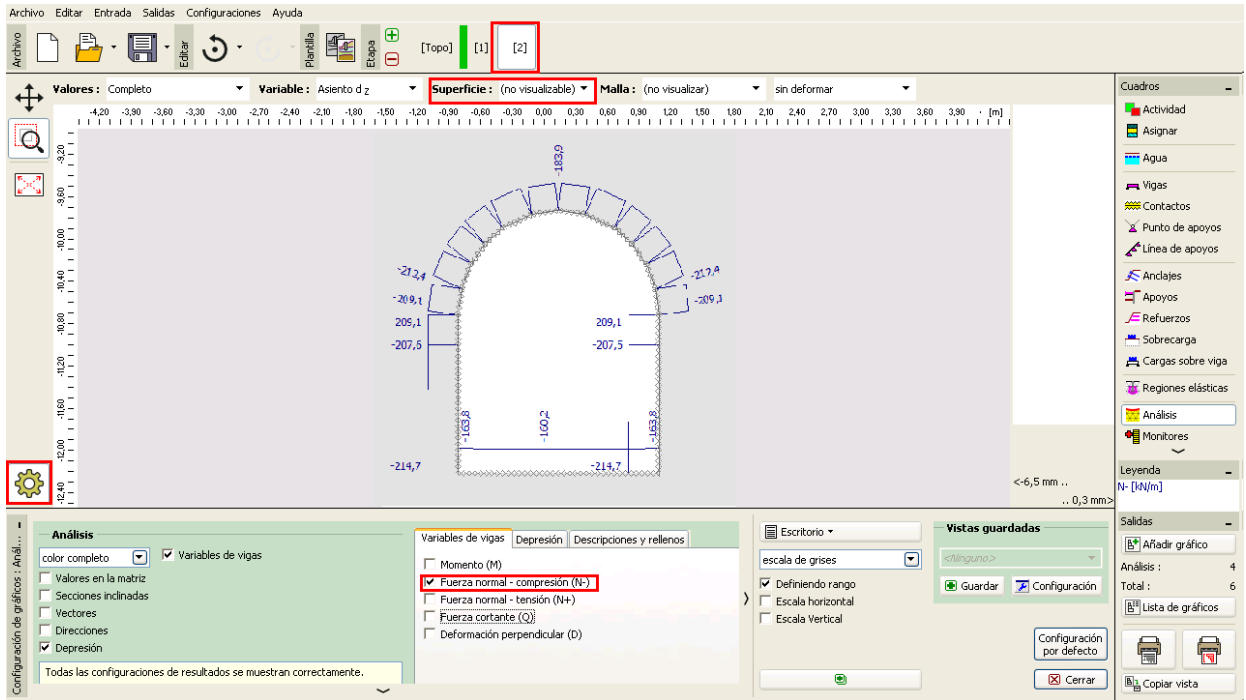
El revestimiento de colector puede ser diseñado y evaluado para estos valores en cualquier programa estático arbitrario (por ejemplo FIN EC - 2D CONCRETO). Vamos a registrar los resultados en una tabla resumen.



Cuadro "Análisis"– Etapa de construcción 2 (variación del momento de flexión M)



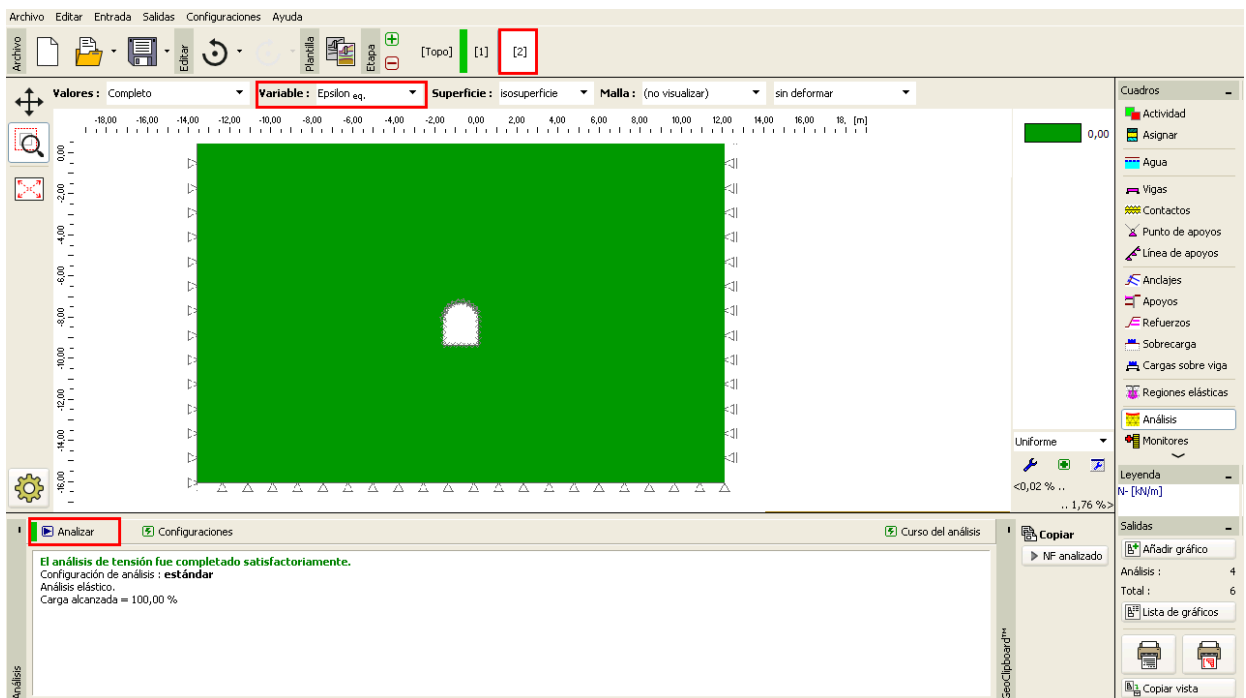
Cuadro "Análisis"– Etapa de construcción 2 (variación de la fuerza de corte Q)



Cuadro "Análisis" – Etapa de construcción 2 (variación de la fuerza de compresión normal $\square N$)

Verificación de la condición de rendimiento: modelo de material Mohr-Coulomb

Ahora vamos a verificar si las deformaciones plásticas se desarrollan al adoptar modelos no lineales. Volveremos al modo "Topología" y cambiamos el modelo de material a "Mohr-Coulomb" en "Suelos". Después de completar el análisis, vamos a examinar las deformaciones plásticas equivalentes.



Cuadro “Verificación” – Etapa de construcción 2 (deformación plástica equivalente $\varepsilon_{eq.,pl.}$ según el modelo MC)

Se desprende del diagrama anterior que la condición de rendimiento para el modelo Mohr-Coulomb no se excede – las deformaciones plásticas equivalentes $\varepsilon_{eq.,pl.}$ son cero, correspondiente a la estructura de comportamiento determinada según el modelo de material elástico. Los valores resultantes de los desplazamientos, la tensión geostática y fuerzas internas son idénticos.

Resultados de la evaluación:

La siguiente tabla muestra los valores de fuerzas internas extremas a lo largo de las vigas (el revestimiento del colector) para la etapa de construcción 2 (los valores de los momentos, las fuerzas de corte y las fuerzas normales de flexión). Hemos llevado a cabo este análisis de un modelo de material elástico con un aumento de densidad local de elementos triangulares.

Modelo de Material	Etapa de construcción 2		
	$N^- [kN/m]$	$M [kNm/m]$	$Q [kN/m]$
Elástico	- 160.2	+ 61.8	+ 202.5
	- 214.7	- 61.8	- 201.3

Curvas para fuerzas internas a lo largo de las vigas (extremos) – Etapa de construcción 2

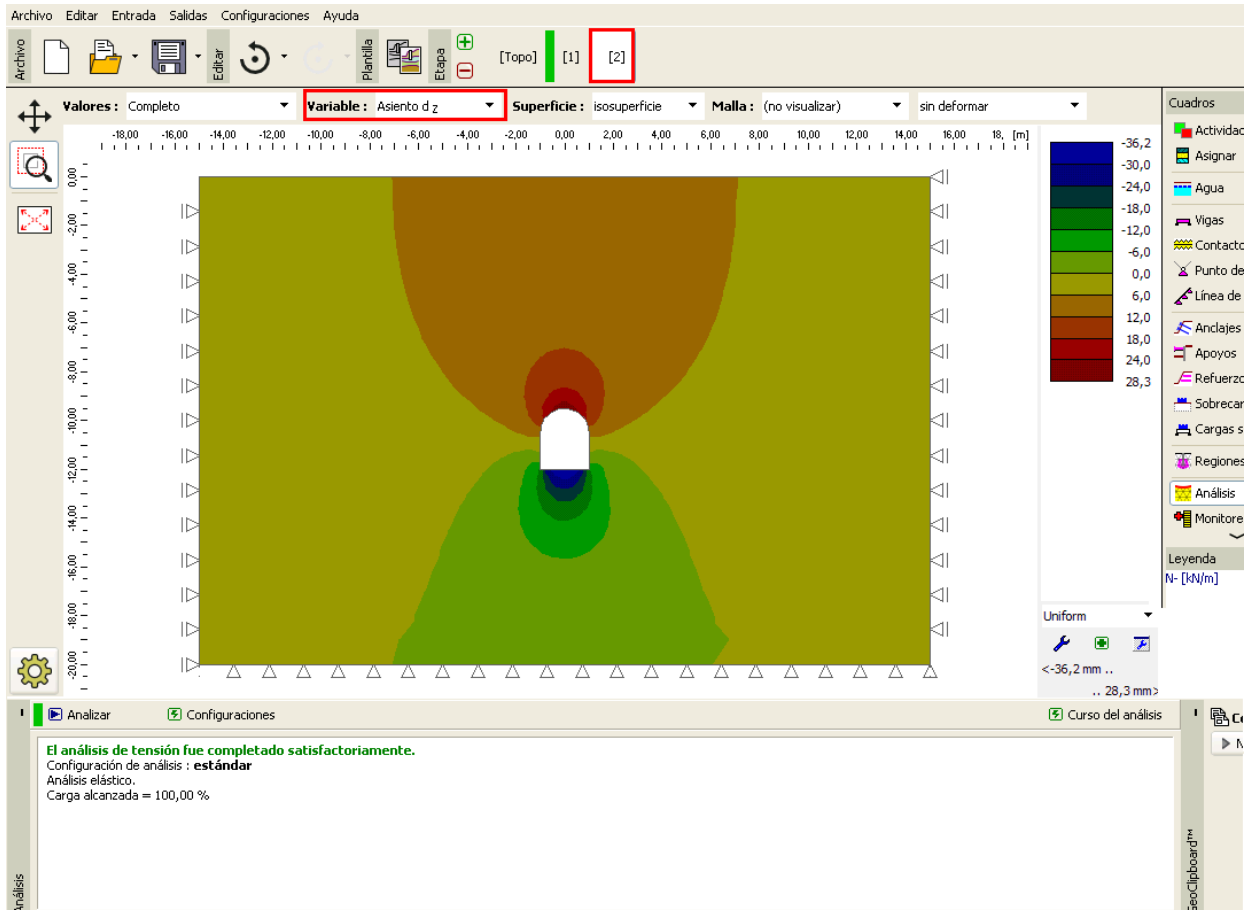
Conclusión:

Las siguientes conclusiones se pueden extraer de los resultados del análisis numérico

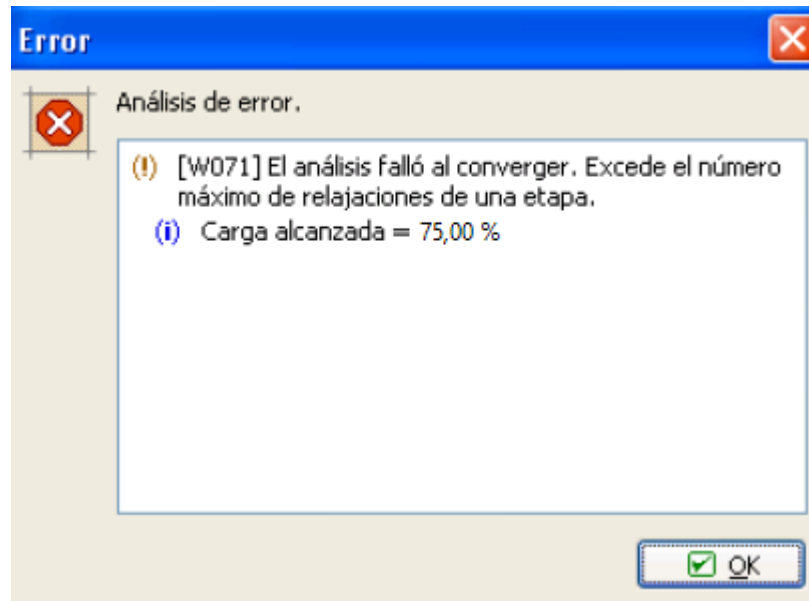
- El refinamiento de densidad local de la malla de elementos finitos conduce a resultados más precisos.
- Si los modelos de materiales no lineales (por ejemplo, Mohr-Coulomb) conducen a valores cero de deformaciones plásticas equivalentes $\varepsilon_{eq.,pl.}$, la estructura se comporta elásticamente y los resultados de las fuerzas internas, desplazamientos y tensiones son idénticos para ambos tipos de modelo.

Nota: El análisis que hemos llevado a cabo está basado en una suposición poco realista de que el revestimiento actúa simultáneamente con la excavación del suelo. Este procedimiento sería adecuado para estructuras llevadas a cabo por elevación a través de suelos blandos (elevación de estructuras completas en el suelo). En realidad se descarga la masa de tierra y deforma en la dirección del espacio excavado cuando se está excavando el suelo. Un verdadero ejemplo de modelado de túnel se describe en el Capítulo 26. Modelado numérico de la excavación del túnel según el método NATM.

Si, en nuestro caso particular, el revestimiento no se había activado de inmediato (puede ser modelado como otra etapa sin especificar los elementos de viga), la excavación se habría derrumbado, por el modelo elástico esto se presenta por grandes deformaciones, mientras que el programa no encontrará la solución en el caso de modelo no lineal.



Análisis sin elementos de viga (Asiento d_z según el modelo elástico)



Cuadro "Error" – análisis sin necesidad de utilizar elementos de viga (según el modelo MC)