

Cálculo de asentamientos del terreno

Programa: MEF

Archivo: Demo_manual_21.gmk

Este ejemplo contiene la solución para asentamiento del terreno bajo sobrecargas mediante el Método de Elementos Finitos

Especificación de tareas

Determinar el asentamiento del terreno inducido por una sobrecarga franja $q = 250 \text{ kPa}$ a lo largo de una longitud de $4,0 \text{ m}$ y el asentamiento total después descarga siguiente. El perfil geológico es homogéneo; los parámetros del suelo son los siguientes:

- Peso unitario del suelo: $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$
- Módulo de elasticidad: $E = 15.0 \text{ MPa}$
- Coeficiente de Poisson: $\nu = 0.35$
- Cohesión del suelo: $c_{ef} = 8.0 \text{ kPa}$
- Angulo de fricción interna: $\varphi_{ef} = 29.0^\circ$
- Peso unitario del suelo saturado: $\gamma_{sat} = 21.0 \text{ kN/m}^3$

Con respecto al modelo elástico modificado, los parámetros de entrada de los suelos se considerarán de la siguiente manera:

- Módulo de deformación del suelo: $E_{def} = 15.0 \text{ MPa}$
- Módulo de descarga: $E_{ur} = 45.0 \text{ MPa}$

Compare el análisis de asentamiento o el valor de la deformación vertical total $d_z \text{ [mm]}$ con otros modelos de material (no vamos a tener en cuenta el modelo de Clam-Clay y modelo hipoplástico de arcillas debido a que se trata de suelos no cohesivos).

Nota: Los modelos de Mohr-Coulomb y Drucker Prager se utilizan en la praxis de ingeniería incluso para suelos cohesivos, ya que se basan en la falla de corte y el uso común de parámetros de entrada de suelos y rocas φ, c □).

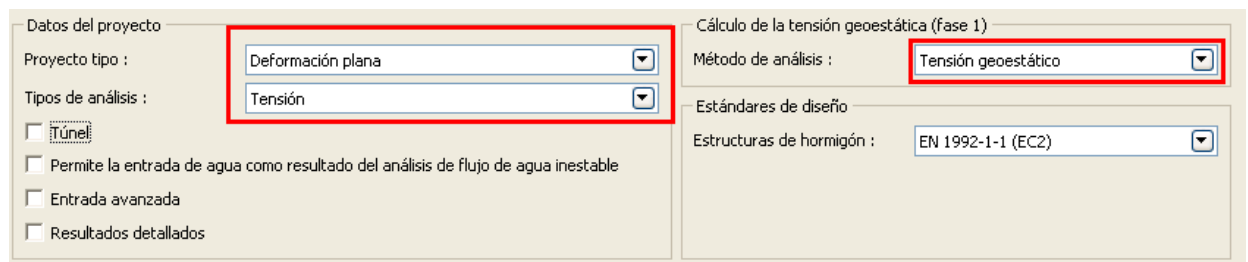
Solución

Usaremos el programa MEF de GEO5 para el análisis. Se describe a continuación la solución de este ejemplo paso a paso:

- Topología: configuración para el modelado del problema,
- Etapa de construcción 1: análisis de tensión geostática,
- Etapa de construcción 2: introducción de la sobrecarga, análisis de asentamiento del terreno,
- Etapa de construcción 3: descarga de la superficie del terreno, cálculo de asentamientos del terreno,
- Evaluación de los resultados (conclusión).

Topología: configuración para el modelado del problema

En primer lugar vamos a ir a la configuración del problema, donde vamos a caracterizar el tipo de problema, tipo de análisis y el método de análisis de tensión primaria.



Configuración del problema - características del problema; análisis de tensión primaria

No vamos a tener en cuenta las siguientes opciones: Túneles, Entrada avanzada y Resultados detallados de opciones – estas opciones están destinadas a usuarios experimentados en elementos finitos o para otro tipo de problemas. Su descripción excede el alcance y el propósito de este manual.

Nota: Deformación plana (se asumen condiciones deformación-plana) es adecuado para soluciones de estructuras lineales (túnel, terraplén, corte abierto, presa, etc.), para los que se aplica que su dimensión longitudinal es de magnitud mayor que el dimensiones laterales del área que está siendo analizada - se supone cero deformaciones en la dirección del eje y. El análisis se lleva a cabo bajo el supuesto de condiciones deformación-plana (para más información, visite la Ayuda - F1). El otro tipo de problemas (simetría axial) se resuelve en el capítulo siguiente.

Nota: el tipo de **tensión** de los análisis se ocupa de las tensiones y deformaciones en el área que está siendo analizada. Es el tipo de análisis básico, otros tipos de análisis y otras opciones (de flujo, estabilidad de taludes) se describirán por separado en otros capítulos.

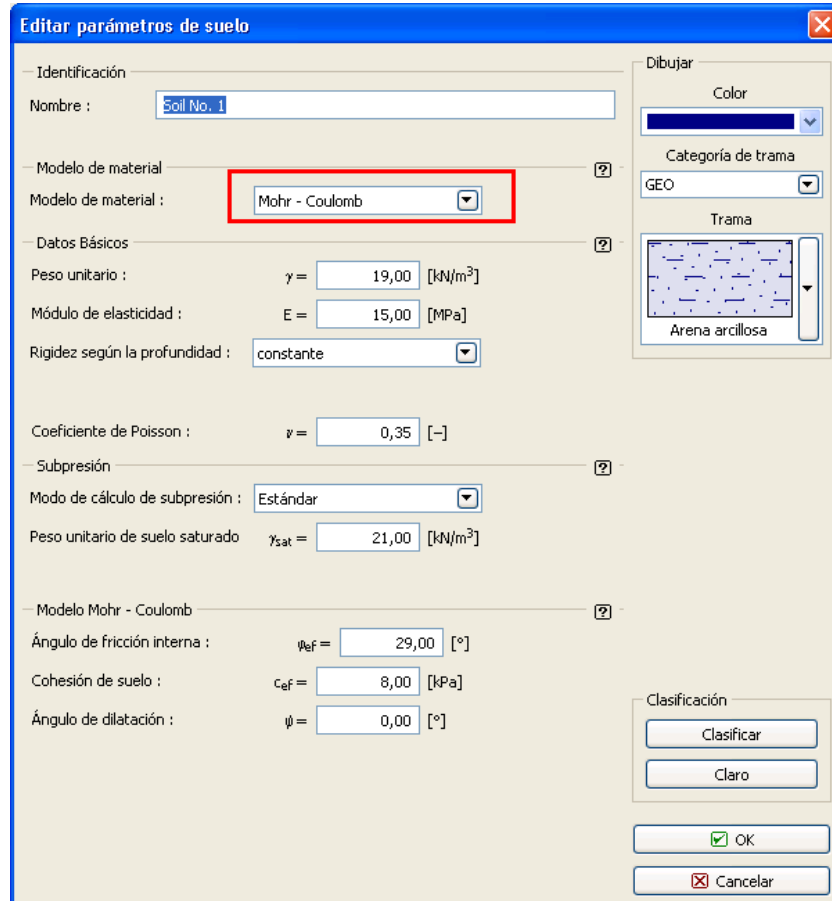
Nota: Hay dos opciones disponibles para el análisis de la **tensión primaria** (para la etapa de construcción 1):

- **Tensión geostática:** Método estándar para el análisis de tensiones geostáticas, teniendo en cuenta el peso propio de los suelos y los esfuerzos horizontales y las tensiones horizontales según la teoría de la elasticidad. El coeficiente de presión lateral, está dada por:

$$K_0 = \frac{\nu}{1-\nu}$$

- **K0 procedimiento** (según Jáky, para suelos sobreconsolidados, etc.).

En cuanto al presente análisis, elegimos el modelo **Mohr-Coulomb** (la comparación con varios modelos se presenta al final de este ejemplo) y especificamos los parámetros particulares de suelo. Este modelo no lineal nos permitirá seguir el desarrollo de deformaciones plásticas o de la distribución de las zonas potenciales de falla.



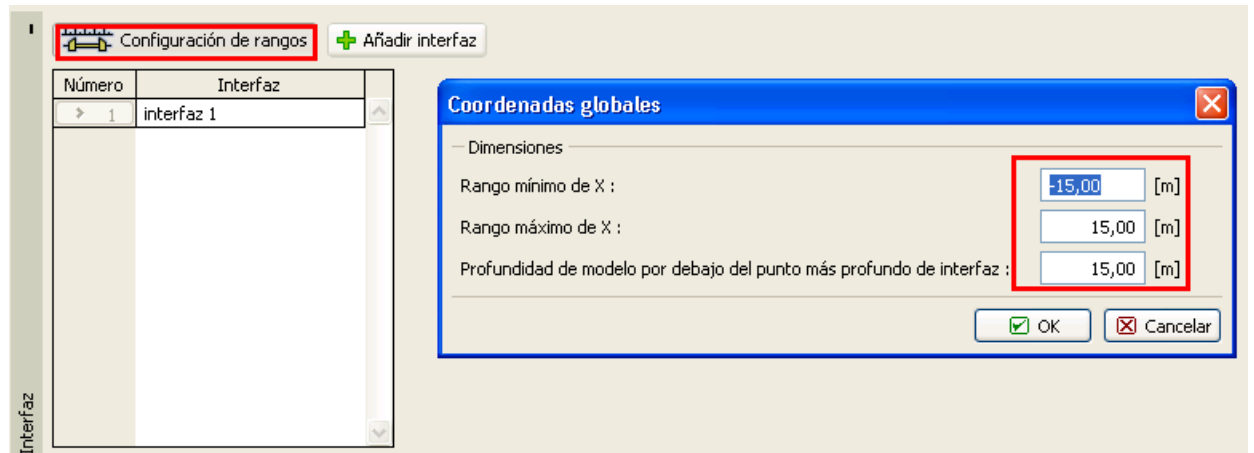
Ajuste de los parámetros del suelo

Nota: El modelo elástico asume el comportamiento del suelo según la ley de Hooke (materiales idealmente elásticos). La principal ventaja de este modelo es que siempre se analizan los resultados hasta el final. La desventaja es que el suelo se comporta de esta manera sólo cuando la magnitud de carga es pequeña - por lo tanto es inadecuado para estructuras reales. Por otro lado, es conveniente para modelado de áreas en donde no se esperan fallos de material plásticos (por ejemplo, muros gavión, plataforma rígida, etc) o para la verificación de un modelo numérico básico.

Nota: El modelo elástico modificado permite diferencias en el comportamiento de los suelos en virtud de la carga y descarga, sin embargo, los resultados más realistas se obtienen utilizando relaciones más avanzadas (Mohr-Coulomb, Drucker-Prager), que toman en cuenta la plasticidad.

A continuación vamos a establecer las coordenadas globales (la magnitud del modelo numérico del problema a resolver) y la interfaz de terreno. Elegiremos coordenadas mundiales que serán suficiente para que los resultados no se vean afectados por las condiciones límites. Para nuestro problema particular vamos a elegir el modelo de dimensiones $\langle -15\text{ m}; 15\text{ m} \rangle$, y establecemos el espesor de

15,0m para la capa a ser examinada. Estableceremos las coordenadas del terreno - un punto con las coordenadas [0,0] será suficiente, el programa agregará la interfaz automáticamente.



Especificación de la forma del terreno - puntos de interfaz actuales, coordenadas globales

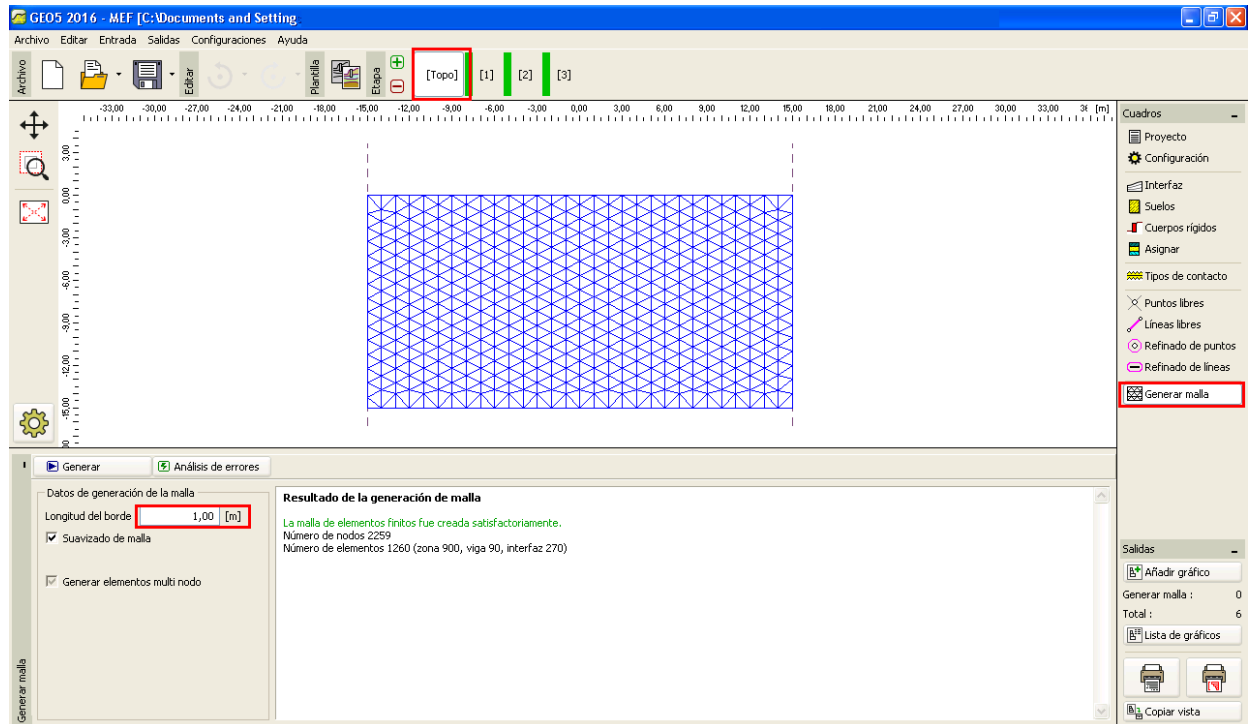
Nota: Los valores de referencia de las dimensiones recomendadas para establecer las fronteras del modelo para los casos de soluciones individuales se presentan y se describen con más detalle en la ayuda del programa (para más información, visite la Ayuda - F1).

Subsecuentemente asignaremos el suelo en el área desarrollada de esta manera.

Dejaremos las ventanas para la especificación de tipos de contacto, puntos y líneas libres, ya que no tienen sentido en nuestro problema

El siguiente paso es la generación de la malla de Elementos Finitos (denominado a partir de ahora EF). Para los parámetros de generación de malla, vamos a elegir como longitud del borde de los elementos 1,0 m (la longitud del borde se elige en función de las dimensiones del problema y variabilidad).

Seleccionamos la opción "Suavizar Malla" y presionamos el botón **Generar**. El programa genera automáticamente la malla de EF y la suaviza. Nosotros verificaremos si la densidad de la malla es adecuada, teniendo en cuenta la magnitud problema.



Generación de la malla de elementos finitos - Topología (malla triangular)

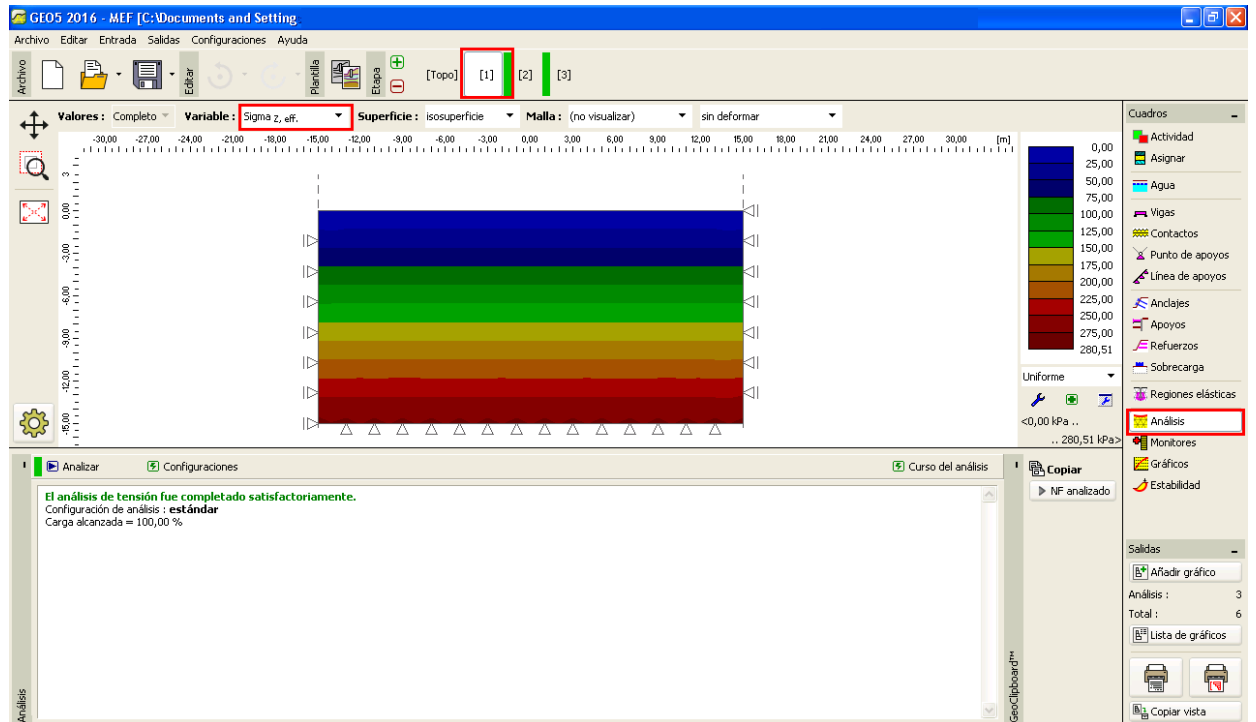
Nota: La malla triangular estándar con elementos de seis nodo es adecuado para la mayoría de los problemas geotécnicos. En el modo de entrada avanzada, el programa permite que se generen otros tipos de malla (mixta, triangulares) - Esto está pensado para los usuarios experimentados en MEF

Nota: La correcta generación de la malla de elementos finitos es la condición básica para alcanzar resultados que representen razonablemente el comportamiento real de la estructura. La malla de EF afecta significativamente a los valores obtenidos debido a que el análisis MEF determina principalmente los valores de desplazamientos nodales. El resto de variables (tensiones, distensiones) se determinan posteriormente a partir de estos valores.

Desafortunadamente, es imposible proporcionar una regla general para la correcta densidad de la malla por el hecho de que todos los problemas son diferentes. Para principiantes al análisis de MEF se recomienda primero seleccionar una malla gruesa, el análisis del problema puede llevarse a cabo y luego tratarse las otras variantes que contienen el suavizado de la malla o sus partes. (También es posible refinar la densidad de la malla alrededor de los puntos o líneas - más detalles están contenidos en los otros capítulos de MEF). Se aplica, en general, que a más gruesa sea la malla más rígido es el comportamiento del modelo (el valor del asentamiento resultante es menor).

Etapas de construcción 1: análisis de tensión primaria

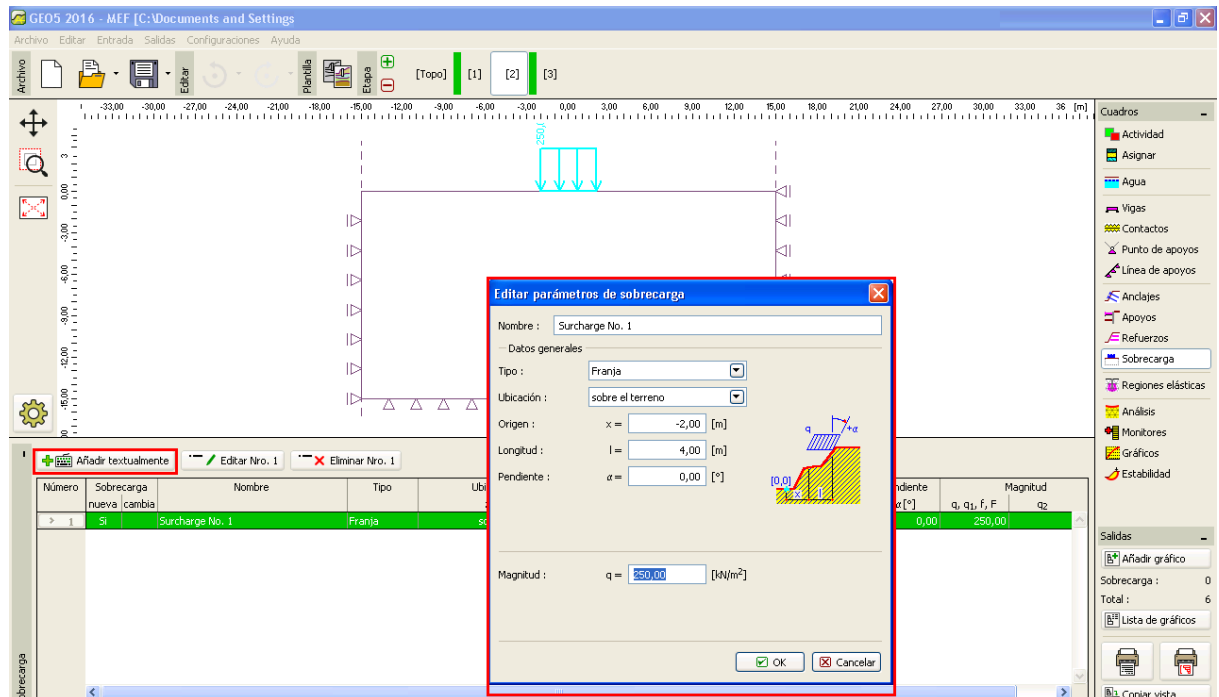
Cuando la generación de la malla de EF ha terminado, vamos a pasar a la etapa 1 (utilizando la barra de herramientas en la parte superior izquierda de la pantalla) y luego vamos a llevar a cabo el análisis de tensión geostática pulsando el botón "**Analizar**". Posteriormente vamos a examinar los resultados del estrés geostática $\sigma_{z,eff}$ [kPa]



Etapa de construcción 1: tensión primaria geostática

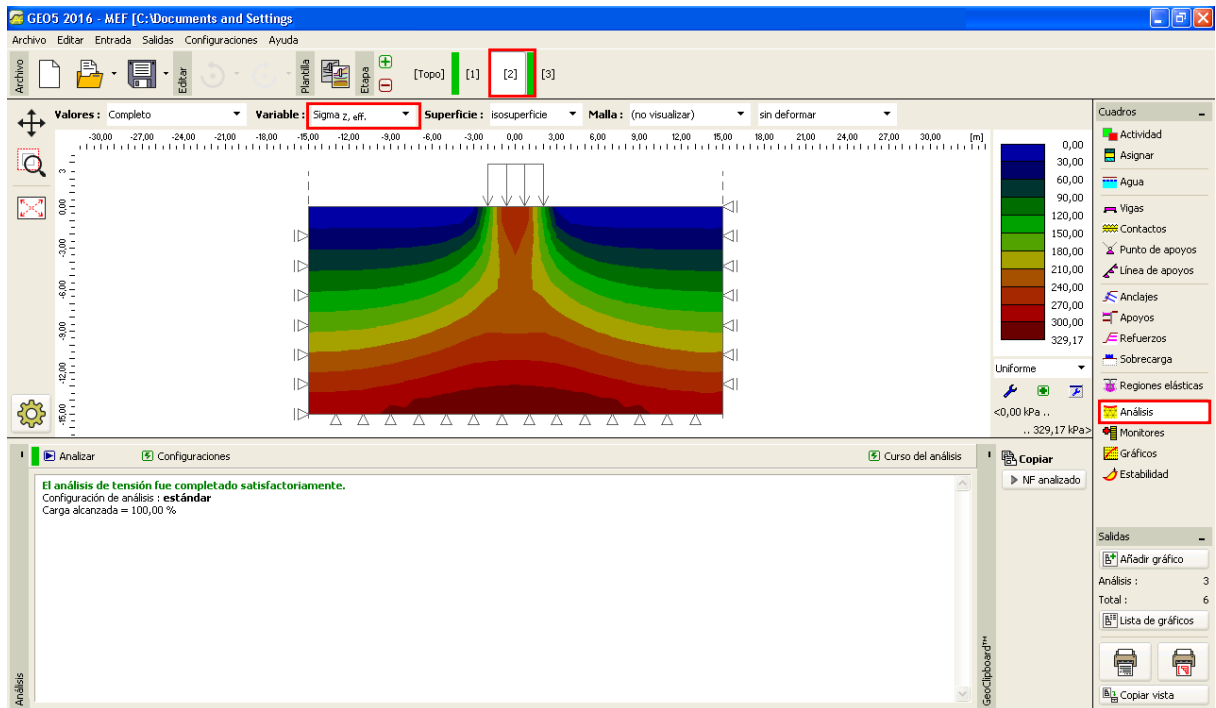
Etapa de construcción 2: Introducción de ingreso de sobrecarga

En el siguiente paso vamos a añadir etapa de construcción 2. Posteriormente definiremos el ingreso de sobrecarga que actúa sobre la superficie del terreno y estableceremos las características pertinentes, presionando el botón "Añadir".



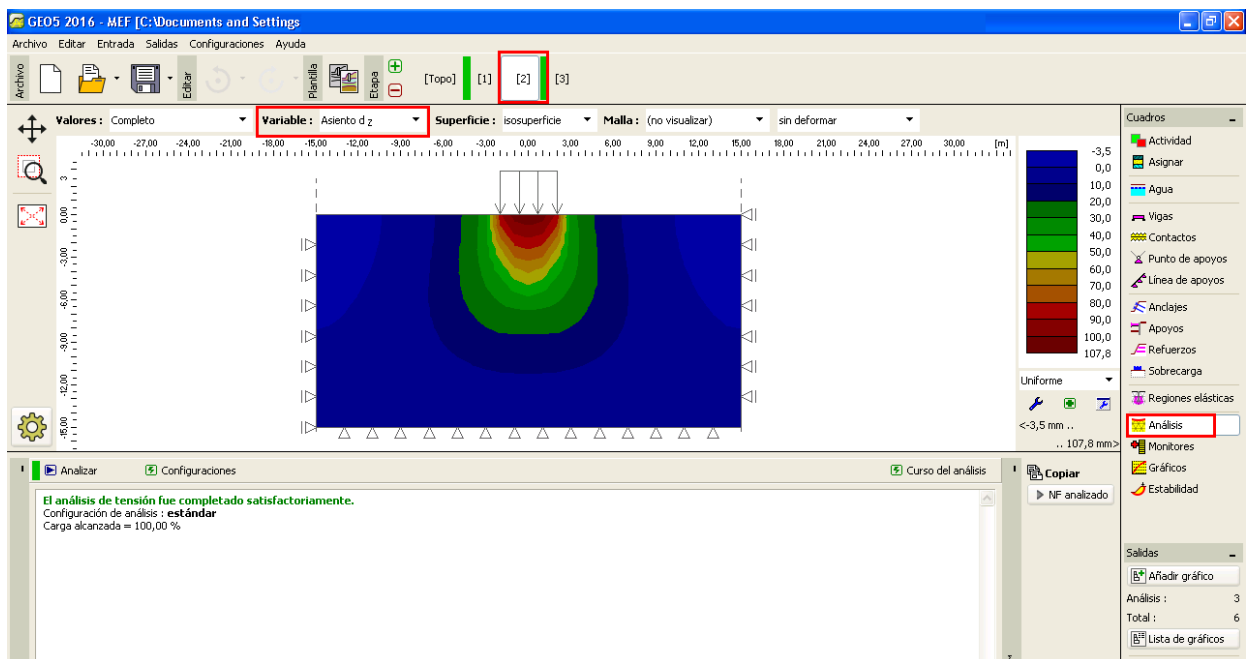
Configuración de nueva sobrecarga

En esta etapa de la construcción volveremos a llevar a cabo el análisis, seleccionando el módulo “Verificación” de la barra de herramientas horizontal y examinar los resultados, primero por la tensión normal vertical $\sigma_{z,eff}$ [kPa]



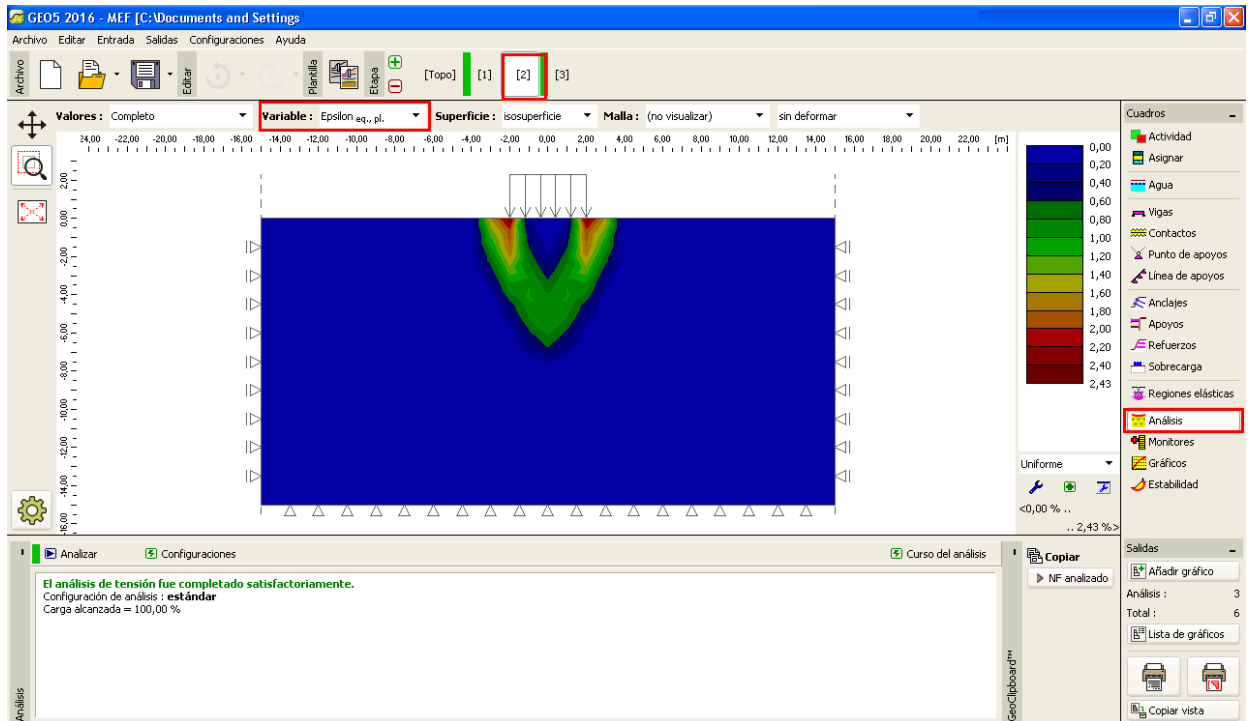
Etapa de construcción 2: Análisis – Tensión normal vertical $\sigma_{z,eff}$ [kPa]

A continuación vamos a cambiar a la visualización del gráfico de asentamiento vertical d_z [mm]. Se desprende de las imágenes que la deformación vertical máxima aumenta a 107,8 mm.



Etapa de construcción 2 - Verificación – sobrecarga inducida por deformación vertical d_z [mm]

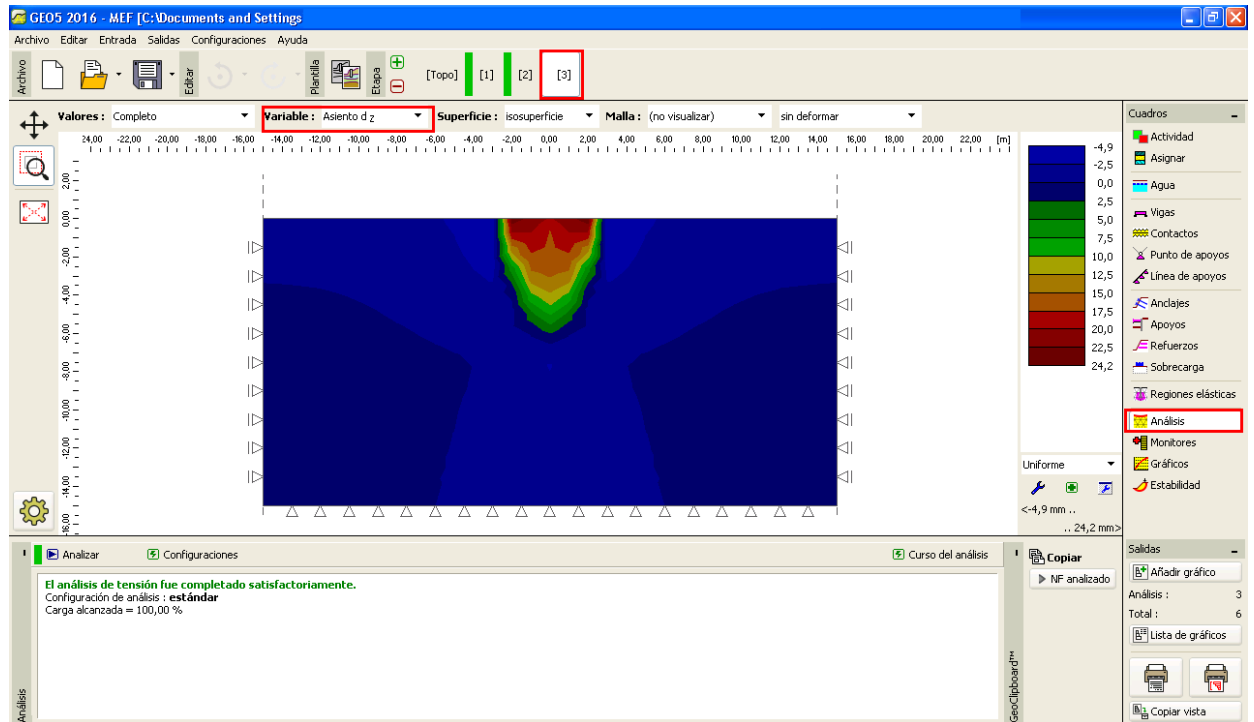
Cuando se examina un problema de EF, se le da un parámetro de salida importante por deformaciones plásticas equivalentes (para modelos no lineales). Estos representan las ubicaciones donde se ha superado la condición de rendimiento, es decir, el suelo está en el estado de deformación plástica, presentando deformaciones plásticas permanentes.



Etapa de construcción 2 - Verificación – relación de deformación plástica equivalente $\varepsilon_{eq.,pl.}$ [%]

Etapa de construcción 3: descarga de superficie de terreno

En el siguiente paso vamos a añadir la etapa de construcción 3. En esta etapa de la construcción no consideramos la sobrecarga del terreno. Luego volveremos a llevar a cabo el análisis y determinaremos los valores de tensión y deformaciones. El asentamiento total después de la descarga de la superficial del terreno asciende a 24,1 mm (para una malla de EF triangular).



Etapa de construcción 3 - Verificación – deformación vertical inducido por el sobrecarga d_z [mm]

Con esto se completa el análisis básico. Llevaremos a cabo también otros análisis comparativos para otra densidad de malla (con longitud de los bordes de los elementos de 1,5 m y 2,0 m) y otros modelos de materiales.

Resultados de evaluación:

En la siguiente tabla se presentan los resultados para asentamiento total d_z [mm] el mismo ejemplo, pero con diferentes modelos de materiales, y con diversas longitudes del borde de malla de elementos triangulares

Material modelo / programa	Espacio de malla [m]	Etapa 2 d_z [mm]	Etapa 3 d_z [mm]	Nota
Elástico	1.0	88.3	0	---
Elástico	1.5	88.4	0	---
Elástico	2.0	83.1	0	---
ELM	1.0	88.2	58.8	---
ELM	1.5	88.3	58.9	---
ELM	2.0	83.1	55.4	---

DP	1.0	123.0	36.9	---
DP	1.5	120.7	32.5	---
DP	2.0	120.5	42.2	---
MC	1.0	107.8	24.1	---
MC	1.5	106.9	19.7	---
MC	2.0	106.7	28.3	---
MCM	1.0	97.5	11.1	---
MCM	1.5	96.3	7.8	---
MCM	2.0	96.0	16.4	---
Asentamiento	---	153.6	---	CSN 73 1001

Resultados de la asentamiento total - Resumen

*Nota: A los efectos de la solución analítica en **GEO5 - Programa Asentamiento** tenemos en cuenta el análisis de solución según el módulo edométrico (según el estándar CSN 73 1001). Definimos el módulo de deformación del suelo como $E_{def} = 5.0 \text{ MPa}$ y el coeficiente de resistencia estructural como $m = 0.2$.*

Conclusión:

Es posible llegar a varias conclusiones a partir de la tabla resumen:

- Una malla más densa conduce a deformaciones plásticas más grandes y a valores de asentamiento más grandes.
- El modelo de Drucker-Prager es en este caso en particular un poco más compatible que el modelo clásico de Mohr-Coulomb o que el modelo de material de Mohr-Coulomb modificado