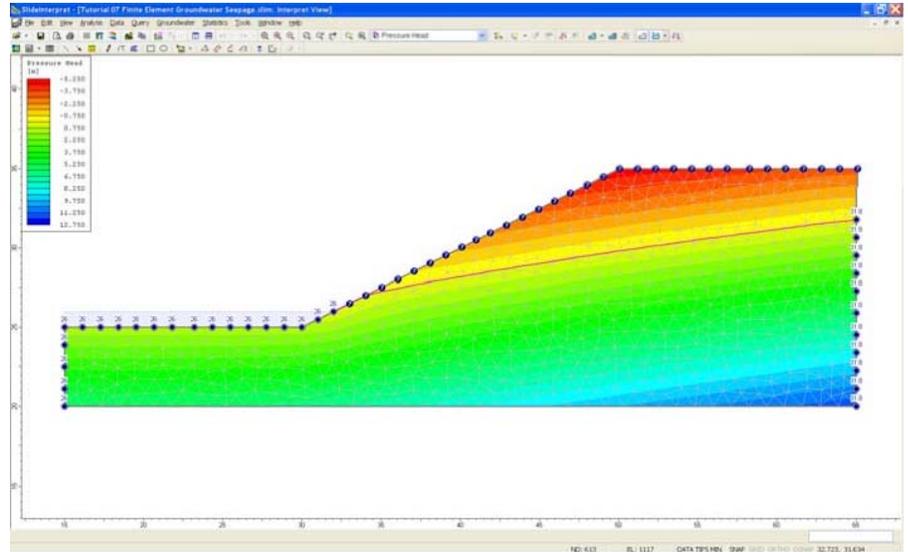


Visión general de análisis de Agua Subterránea



Introducción (“Introduction”)

Dentro del programa *Slide*, el *Slide* tiene la capacidad de llevar a cabo un análisis de filtración de agua subterránea de elemento finito para condiciones de flujo de estado estable o transitorio.

Este tutorial demostrará una filtración de estado estable.

La filtración del agua subterránea transitoria es abordada en tutoriales posteriores.

El análisis de agua subterránea de elementos finitos en el *Slide* le permite definir y analizar un problema de agua subterránea, utilizando el mismo modelo que el utilizado en el problema de estabilidad de taludes. Sólo se necesita que se definan los límites del problema una vez, y sean utilizados en ambos análisis de agua subterránea y en el análisis de estabilidad de taludes.

Después de que se lleva a cabo un análisis de filtración de agua subterránea, se pueden utilizar los resultados de forma automática (presiones de poros) mediante el software del análisis de estabilidad de taludes en el *Slide*.

NOTA:

- La capacidad de análisis de agua subterránea en el *Slide* puede considerarse un programa completo de análisis de agua subterránea y puede ser utilizado de forma independiente de la funcionalidad de estabilidad de taludes del *Slide*.
- Usted podrá llevar a cabo un análisis de agua subterránea en el *Slide*, sin realizar necesariamente un análisis de estabilidad de taludes.

- A pesar de que el análisis de agua subterránea del *Slide* está orientado a calcular las presiones de poros para lidiar con los problemas de estabilidad de poros, este no está restringido a las configuraciones de geometría del talud. Las capacidades de análisis y modelaje de agua subterránea en el *Slide* pueden utilizarse para analizar un problema de agua subterránea bidimensional, arbitrario, para condiciones de flujo saturadas o no saturadas.

Modelado de Aguas Subterráneas (“Groundwater Modeling”)

Las opciones de modelado de aguas subterráneas en el *Slide* están todas contenidas dentro del programa Modelo (“Model”) del *Slide*.

Con el fin de habilitar el modelado de estado estable de agua subterránea, primero es necesario configurar el Método de Agua Subterránea (“Groundwater Method”) en los Parámetros del Proyecto (“Project Settings”) al **Análisis de Elementos Finitos de Estado Estacionario (“Steady State FEA”)**. Cuando usted haga esto:

- Estará disponible una opción de Modo de Análisis en la barra de herramientas, la cual permitirá seleccionar el modo de análisis de Estabilidad de Taludes (“Slope Stability”) o el modo de Estado Estacionario del FEA (“Steady State Groundwater”).
- Cuando usted se encuentre en el modo de análisis de Aguas Subterráneas (“Groundwater”), el menú y la barra de herramientas presentarán todas las opciones de modelado de aguas subterráneas necesarias.

Se requiere el siguiente procedimiento general, con el fin de utilizar el programa *Slide* para un análisis de Agua Subterránea.

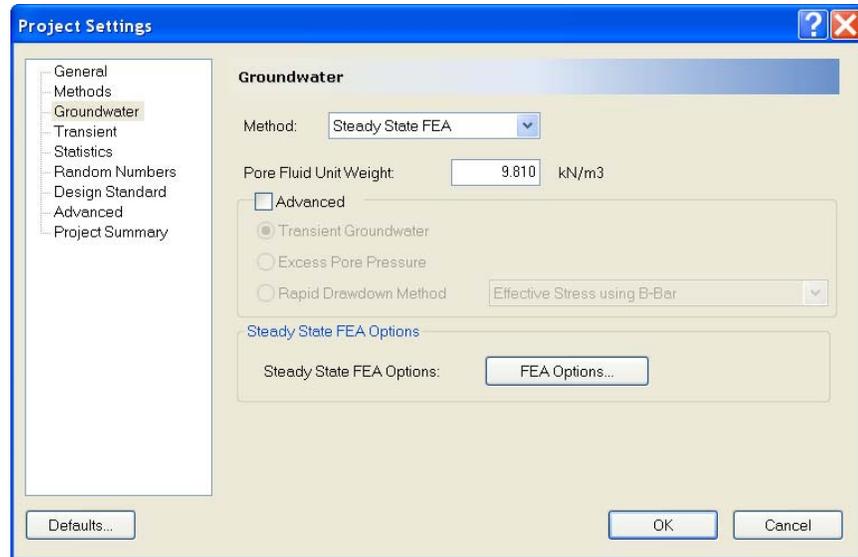
Parámetros del Proyecto (“Project Settings”)

Con el fin de llevar a cabo un análisis de agua subterránea de estado estacionario, lo primero que usted debe hacer es configurar el Método de Agua Subterránea (“Groundwater Method”) en los Parámetros del Proyecto (“Project Settings”):

1. seleccione los Parámetros del Proyecto (“Project Settings”) desde la barra de herramientas o el menú de Análisis (“Analysis menu”).
2. seleccione la página de Agua Subterránea, y configure el Método de Agua Subterránea (“Groundwater Method”) = Análisis de Elementos Finitos de Estado Estacionario (“Steady State FEA”) (nota: FEA equivale a Análisis de Elementos Finitos).
3. configure los parámetros de Análisis de Agua Subterránea (“Groundwater Analysis”) según sea necesario (ej. Tolerancia (“Tolerance”) o Número Máximo de Iteraciones (“Maximum Number of Iterations”)), al seleccionar el botón Opciones FEA (“FEA Options”).

4. seleccione OK.

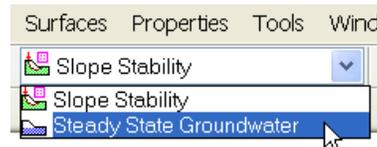
Ahora la barra de herramientas del *Slide* mostrará la opción de Modo Análisis (“Analysis Mode”), como se describe a continuación:



Habilitando del análisis de estado estacionario de agua subterránea con el Slide.

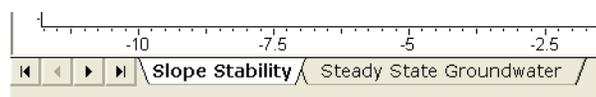
Modo de Análisis de Agua Subterránea (“Groundwater Analysis Mode”)

Cuando usted configure el Método de Agua Subterránea (“Slope Stability”) = Estado Estacionario FEA, usted notará que aparecerá un recuadro de selección desplegable en la barra de herramientas del *Slide*. Esto le permite cambiar entre los dos diferentes modos de análisis del programa del Modelo (“Model”) – Estabilidad de taludes (“Slope Stability”) o Agua Subterránea de Estado Estacionario (“Steady State Groundwater”).



- El modo de análisis de la **Estabilidad de taludes** (“**Slope Stability**”), le permite definir los elementos de su modelo, los cuales son relevantes en el análisis de estabilidad de taludes.
- El modo de análisis de **Agua Subterránea**, le permite definir los elementos de su modelo, los cuales son relevantes en el análisis de estabilidad de taludes.

Como alternativa, usted puede cambiar el modo de análisis, seleccionando los tabuladores, los cuales aparecen a la izquierda inferior de la ventana de aplicación, tal como se muestra a continuación.



Cuando usted intercambia el modo de análisis de Estabilidad de Taludes (“Slope Stability”) con el modo de Agua Subterránea (“Groundwater”), usted notará que los menús y las barras de herramientas se actualizan de forma automática.

Límites (“Boundaries”)

Los MISMOS límites son utilizados en ambos análisis, tanto en el de agua subterránea como en el de estabilidad de taludes. Sin embargo, los límites del modelo pueden definirse cuando el Modo de Análisis (“Analysis Mode”) = Estabilidad de Taludes (“Slope Stability”).

- Usted **DEBE** crear límites del modelo, cuando el Modo de Análisis (“Analysis Mode”) = Estabilidad de Taludes (“Slope Stability”).
- Usted **NO PUEDE** crear o editar los límites de modelo, cuando el Análisis de Modelo (“Analysis Mode”) = Agua Subterránea (“Groundwater”).

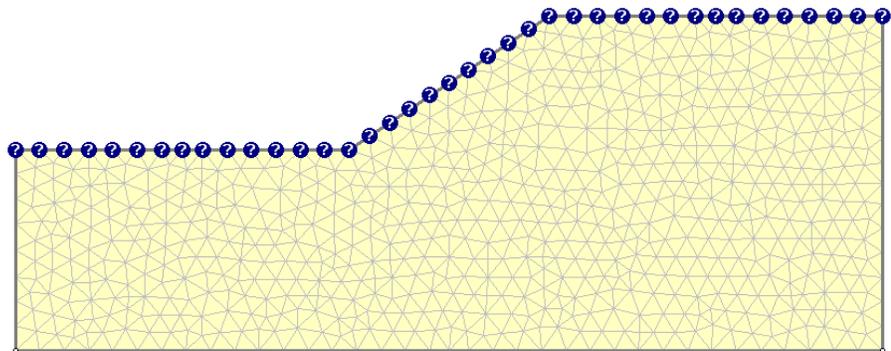
Para obtener más detalles sobre la definición de límites en el *Slide*, vea los tutoriales previos o el sistema de Ayuda del *Slide* (“*Slide Help system*”).

Creando de Malla (“Meshing”)

El análisis de agua subterránea en el *Slide*, es un análisis de elementos finitos, y por lo tanto se requiere de una malla de elementos finitos para resolver el problema.

Para crear una malla de elementos finitos:

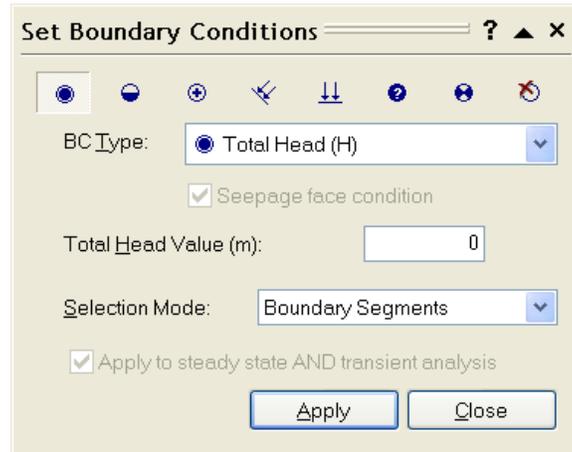
- Usted puede hacer esto con un solo clic en el mouse, seleccionando la opción Discretice (“**D**iscretize”) y Malla (“**M**esh”). Esto creará, de forma automática, una malla de elemento finito graduada dentro de sus límites de modelo.
- Si la malla requiere personalización, hay disponibles diferentes opciones en el menú Malla (“Mesh”), las cuales le permiten personalizar la malla como sea necesario.



Malla de elemento finito para análisis de agua subterránea.

Condiciones de Límite (“Boundary Conditions”)

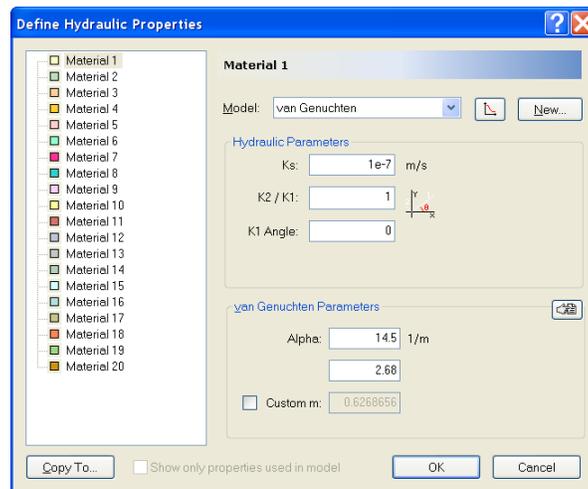
Una vez que la malla de elemento finito sea satisfactoria, el usuario luego debe configurar las condiciones de límite, las cuales definen el problema de agua subterránea. Esto se realiza con la opción **Configurar Condiciones de Límite** (“**Set Boundary Conditions**”), la cual permite al usuario definir todas las condiciones necesarias de límite de presión y flujo a lo largo de los límites de modelo.



Ventana de diálogo para asignar las condiciones de límite.

Propiedades Hidráulicas (“Hydraulic Properties”)

Las características de permeabilidad (conductividad hidráulica) de cada material son definidas en la opción **Definir Propiedades Hidráulicas** (“**Define Hydraulic Properties**”). Usted deberá definir una permeabilidad saturada para cada material. Asimismo, existen varios modelos disponibles para definir la permeabilidad no saturada o el usuario podría crear una función de permeabilidad definida por usuario.



Ventana de diálogo para definir propiedades hidráulicas.

Computo de Agua Subterránea (“Groundwater Compute”)

Cuando todas sus condiciones de límite de agua subterránea y propiedades de material hayan sido definidas, entonces usted estará listo para ejecutar el análisis de agua subterránea.

El software de análisis de agua subterránea en el *Slide* es un programa separado del software de análisis de estabilidad de taludes. Este le permite al usuario ejecutar el análisis de agua subterránea de forma independiente del análisis de estabilidad de taludes. Para ejecutar el análisis:

- seleccione la opción **Computar (“Compute”)** (“**Agua subterránea**”) (“**Groundwater**”), del menú de Análisis (“Analysis menu”) o de la barra de herramientas. Esto ejecutará el software de Análisis de Agua subterránea (“*Slide* Groundwater Analysis”) del *Slide*.



- Usted verá una ventana de diálogo Computar (“Compute”) mientras se ejecuta el análisis. Cuando se haya completado el análisis, usted retornará al programa Modelo del *Slide* (“*Slide* Model program”).

Después que usted haya computado el análisis de agua subterránea, usted debe visualizar los resultados del análisis de agua subterránea, seleccionando la opción **Interpretar (“Interpret”)** (**agua subterránea**) (**groundwater**).

Si los resultados de agua subterránea son satisfactorios, entonces el usuario podrá volver al programa Modelo del *Slide* (“*Slide* Model program”), intercambiar el Modo de Análisis (“Analysis Mode”) = Estabilidad de Taludes (“Slope Stability”) y proceder con su análisis de estabilidad de taludes.

Cuando usted seleccione la opción **Computar (“Compute”)** estabilidad de taludes, el análisis de estabilidad de taludes automáticamente utilizará las presiones de poros calculadas desde el análisis de agua subterránea.

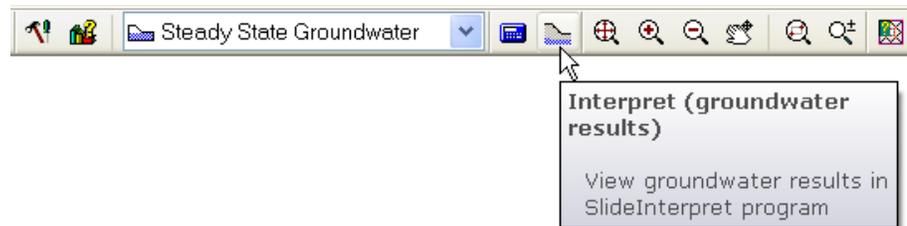
Interpretación de Agua subterránea (“Groundwater Interpret”)

Se pueden visualizar los resultados de análisis de agua subterránea con el programa Interpretar (“Interpret”) del *Slide*, utilizando las opciones en el menú **Agua subterránea (“Groundwater”)**.

NOTA:

- Pueden visualizarse los resultados del análisis de agua subterránea de forma simultánea con los resultados de análisis de estabilidad de taludes. El despliegue de los resultados de agua subterránea (esto es, curvas de presión de poros) y el despliegue de los resultados de estabilidad de taludes (esto es, superficies de falla, factores de seguridad, etc.) están completamente integrados dentro de un programa Interpretar (“Interpret”) del *Slide*.
- Si usted desea ver los resultados de agua subterránea con los resultados de estabilidad de taludes, o viceversa, usted puede luego activar o desactivar fácilmente las opciones de visualización, según sea necesario.

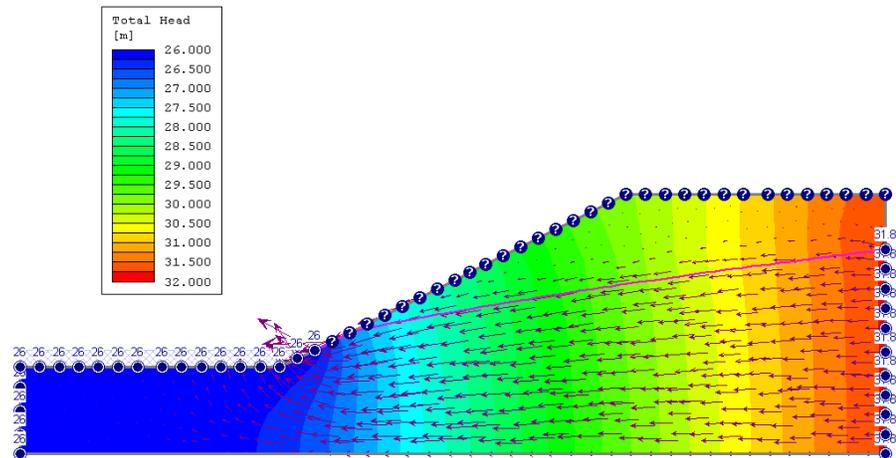
Para ejecutar el programa Interpretar (“Interpret”) del *Slide*, seleccione la opción **Interpretar (“Interpret”) (agua subterránea) (“groundwater”)**, desde el menú de Análisis (“Analysis menu”) o barra de herramientas, después de que haya computado el análisis de agua subterránea con la opción Computar (“Compute”) (Agua subterránea) (“Groundwater”).



Luego de haber llevado a cabo el análisis de agua subterránea con el *Slide*, siempre es una buena idea utilizar primero el programa Interpret (“Interpret”), para revisar que los resultados de análisis sean lógicos. Si no lo fuesen, el usuario debería volver al programa Modelo (“Model”) del *Slide*, y revisar que haya definido su modelo de forma correcta.

En el siguiente tutorial, usted encontrará una introducción breve del modelado de agua subterránea e interpretación de datos, utilizando el *Slide*.

Tutorial de Agua Subterránea de Estado Estacionario



Este tutorial mostrará un análisis simple de filtración de agua subterránea, utilizando el *Slide*.

Comenzaremos con el mismo modelo utilizado en el Tutorial 05 (el tutorial de Cuadrícula de Presión de Agua (“Water Pressure Grid”). Sin embargo, en lugar de ingresar una Cuadrícula de Presión de Agua (“Water Pressure Grid”) desde un archivo, realizaremos un análisis de filtración, con el fin de determinar las presiones de los poros dentro del talud.

Luego, ejecutaremos el análisis de estabilidad de taludes y compararemos los resultados con el Tutorial 05.

CARACTERÍSTICAS DEL MODELO:

- talud homogéneo de material único
- filtración de elemento finito de estado estacionario
- condiciones de límite de altura manométrica total

Se puede encontrar el producto terminado de este tutorial en el archivo de datos **Tutorial 07 Filtración de Agua Subterránea de Elemento Finito.slim** (“**Tutorial 07 Finite Element Groudwater Seepage.slim**”). Se puede acceder a todos los archivos instalados del tutorial con *Slice* 6.0, seleccionando Archivo > Carpetas Recientes > Carpetas de Tutoriales (“File > Recent Folders > Tutorials Folder”) desde el menú principal del *Slide*.

Modelo (“Model”)

Primero, ingresemos el archivo del Tutorial 05. Desde el menú principal del *Slide*, seleccione Archivo > Carpetas Recientes > Carpetas de Tutoriales (“File > Recent Folders > Tutorials Folder”). Usted verá la ventana de diálogo Abrir Archivo (“Open File”).

Abrir el archivo de **Tutorial 05 Cuadrícula de Presión de Agua.slim** (“**Tutorial 05 Water Pressure Grid.slim**”).

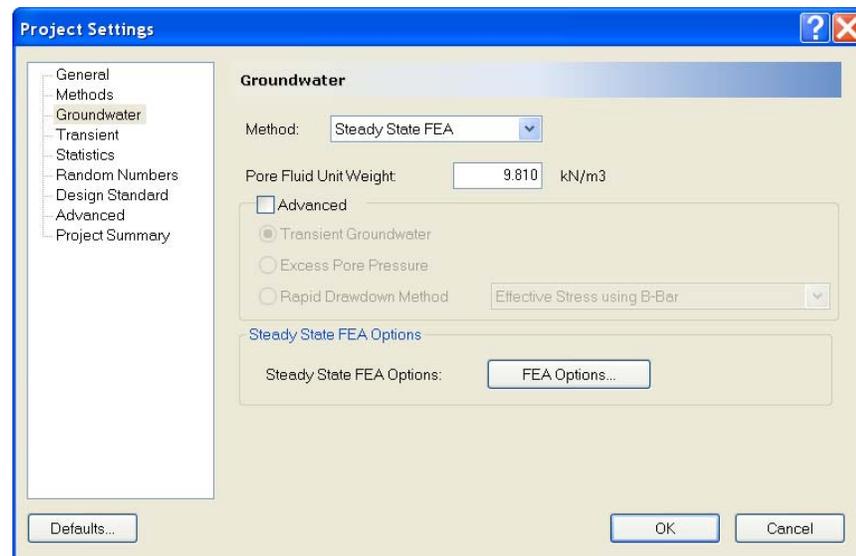
Parámetros del Proyecto (“Project Settings”)

Con el fin de realizar un análisis de agua subterránea de elementos finitos con el *Slide*, la primera cosa que usted siempre debe hacer, es configurar el Método de Agua subterránea (“Groundwater Method”) en los Parámetros de Proyecto.



Seleccione: Análisis → Parámetros del Proyecto (“Select: Analysis → Project Settings”)

En la ventana de diálogo Parámetros del Proyecto (“Project Settings”), seleccione la página Agua Subterránea (“Groundwater”) y establezca el Método de Agua subterránea (“Groundwater Method”) = Estado Estacionario FEA (“Steady State FEA”). Seleccione OK.



Usted verá un mensaje de advertencia que la cuadrícula de presión de agua y la napa freática serán eliminadas. Seleccione Sí. Nota:

- La Cuadrícula de Presión de Agua (“Water Pressure Grid”) (la cuadrícula de los triángulos azules) ha desaparecido del modelo. Debido a que obtendremos presiones de poros desde el análisis de elementos finitos, la Cuadrícula de Presión del Agua (“Water Pressure Grid”) no será utilizada y ha sido eliminada.
- La Napa Freática (“Water Table”) que fue utilizada para delimitar el agua estancada en el Tutorial 5, también ha sido eliminado. Cuando definamos las condiciones de los límites de agua subterránea, se creará automáticamente el agua estancada en base a las condiciones de límites de altura manométrica total.

- La opción de Modo de Análisis (“Analysis Mode”) aparece ahora en la barra de herramientas del *Slide*. El Modo de Análisis permite al usuario intercalar el Modo de Análisis de Estabilidad de Taludes (“Slope Stability Analysis Mode”) y el Modo de Análisis de Agua Subterránea (“Groundwater Analysis Mode”).

Para comenzar, utilizaremos el modo de Análisis de Estabilidad de Taludes (“Slope Stability Analysis”), ya que tenemos que hacer un poco de edición de los límites. (la definición y edición de límites sólo puede ser realizada en el Modo de Análisis de Estabilidad de Taludes (“Slope Stability Analysis Mode”).

Edición de Límites (“Boundary Editing”)

Antes de proceder con el modelado de agua subterránea, tenemos que hacer una pequeña modificación al límite externo.

Para definir correctamente las condiciones de límite para el problema de agua subterránea, necesitamos añadir dos vértices al límite externo. Seleccione la opción Añadir Vértices (“Add Vertices”) desde la barra de herramientas.



Seleccione: Límites → Editar → Añadir Vértices (“Select: Boundaries → Edit → Add Vertices”)

Ingrese las coordenadas para los siguientes dos vértices:

```
Enter vertex on boundary [esc=done]: 32 26
Enter vertex on boundary [esc=done]: 65 31.8
Enter vertex on boundary [esc=done]: press Enter or right-click
and select Done
```

Los dos vértices que el usuario ha añadido, definen el nivel de la napa freática (superficie freática) en el frente del talud, y en el margen derecho del modelo.

Estos vértices serán necesarios para asignar de forma correcta las condiciones de límite de altura manométrica total.

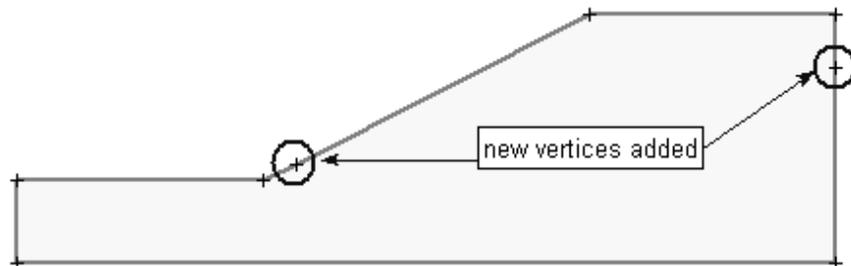
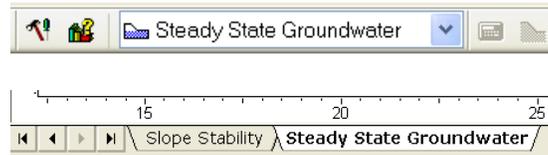


Figura 7-1: Nuevas vértices añadidas al límite externo.

Modo de Análisis de Agua Subterránea (“Groundwater Analysis Mode”)

Ahora estamos listos para definir el problema de agua subterránea. Las opciones de modelado de agua subterránea en el *Slide* sólo están habilitadas, cuando usted establece el Modo de Análisis (“Analysis Mode”)=Agua Subterránea (“Groundwater”). Seleccione el modo de análisis de Agua Subterránea desde la barra de herramientas o el tabulador, en la parte inferior izquierda de la pantalla.



Cuando el Modo de Análisis (Analysis Mode) = Agua subterránea (“Groundwater”), usted notará que los menús y la barra de herramientas han sido actualizados:

- Ahora, están disponibles las opciones de modelado relevantes para el Análisis de Agua Subterránea (“Groundwater Analysis”).
- Ahora, están ocultas las opciones de modelado, las cuales son relevantes para el análisis de estabilidad de taludes.

Asimismo, note que la Cuadrícula de Búsqueda (“Search Grid”) (para la Búsqueda por Cuadrícula de superficie circular (“Grid Search”)) y los símbolos de Límites de Talud (“Slope Limits”) no son desplegados, cuando usted está en el Modo de Análisis de Agua Subterránea (“Groundwater Analysis Mode”).

En general:

- Las entidades de modelado que son aplicables para el ANÁLISIS de ESTABILIDAD DE TALUDES (SLOPE STABILITY ANALYSIS) NO son desplegadas cuando el MODO ANÁLISIS (“ANALYSIS MODE”) = AGUA SUBTERRÁNEA (“GROUNDWATER”).
- Las entidades de modelado que son aplicables para realizar el ANÁLISIS DE AGUA SUBTERRÁNEA NO son desplegadas cuando el MODO DE ANÁLISIS (“ANALYSIS MODE”) = ESTABILIDAD DEL TALUD (“SLOPE STABILITY”).

Generación de mallas (“Meshing”)

El análisis de agua subterránea en el *Slide* es un análisis de elemento finito y por lo tanto, se requiere de una malla de elemento finito con el fin de resolver el problema.

Usted puede generar una malla de elemento finito, haciendo un solo clic en el mouse, seleccionando la opción Discretice y Malla. En un solo paso, esto hará que de forma automática:

1. Discretice los límites del modelo (la discretización de los límites

forman el marco de la malla de elemento finito)

2. Genere una malla de elemento finito graduada dentro del modelo de límites.



Seleccione: Malla → Discretice y Malla (“Select: Mesh → Discretize and Mesh”)

Su modelo debe lucir como a continuación:

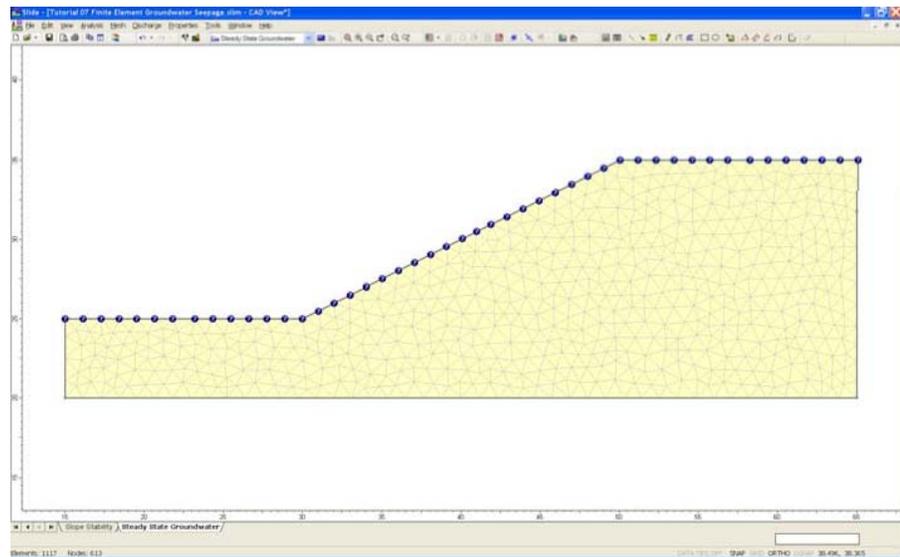


Figura 7-2: Malla de elemento finito.

NOTA

- La malla es generada en base a los parámetros especificados de Configuración de Malla (“Mesh Setup”) especificado en la ventana de diálogo Configuración de Malla (“Mesh Setup”) (utilizamos los valores por defecto: 3 elementos Triangulares de Nodo (“Noded Triangular elements”) y un Número Aproximado de Elementos (“Approximate Number of Elements”) =1500).
- Para este modelo simple, la malla por defecto generada por la opción Discretice y Malla (“Discretize and Mesh”) es adecuada.
- Sin embargo, note que el *Slide* permite que el usuario tenga control total de la generación y personalización de la malla. Hay muchas opciones disponibles, si se necesita personalizar la malla, en el menú Malla (“Mesh menu”), el cual permite al usuario personalizar la malla según sea necesario.
- El experimentar va mucho más allá del alcance de este tutorial. El usuario está motivado a experimentar con las opciones de la malla, después de haber completado este tutorial. Para más detalles sobre el uso de las opciones de la malla, remítase al sistema de Ayuda del *Slide* (“*Slide* Help system”).

Condiciones de límites (“Boundary Conditions”)

Después de haber generado la malla de elemento finito, usted debe definir las condiciones de los límites, las cuales determinan el problema de agua subterránea que usted desea resolver.

Esto se realiza con la opción de **Configurar Condiciones de Límites (“Set Boundary Conditions”)**, la cual le permite definir todas las condiciones necesarias de presión y límite de flujo, a lo largo de los límites del modelo.

Note que por defecto, cuando se genera una malla:

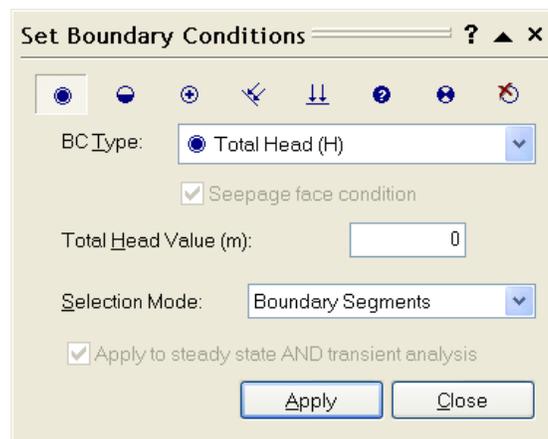
- se le da una condición de límite Desconocida (“Unkown”) a la superficie del talud ($P=0$ o $Q=0$)
- los márgenes de fondo y laterales del límite externo le dan la condición de límite de Flujo Nodal Cero (“Zero Nodal Flow”) (no se muestra ningún símbolo).



Tendremos que especificar las condiciones de límite, como sigue:

Seleccione: Malla → Configurar Condiciones de Límite (“Select: Mesh → Set Boundary Conditions”)

Usted verá la ventana de diálogo Configurar Condiciones de Límite (“Set Boundary Condition”).



Configuraremos las condiciones de límite de ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL (“TOTAL HEAD”), como sigue:

1. primero, seleccione Acercar Todo (“Zoom All”) (usted puede utilizar la tecla de función F2), para asegurarse que el modelo sea completamente visto en detalle en la vista
2. ahora, asegúrese que sea seleccionada la opción condición de límite de Altura Manométrica Total (“Total Head”) en la ventana de diálogo Configurar Condiciones de Límite (“Set Boundary Conditions”), como se muestra posteriormente

3. en la ventana de diálogo, ingrese el Valor de Altura Manométrica Total (“Total Head Value”) = 26 metros. Asimismo, asegúrese que el Modo de Selección (“Selection Mode”) = Segmentos del Límite (“Boundary Segments”)
4. ahora, usted debe seleccionar los segmentos de límite determinado, haciendo clic en ellos con el mouse
5. haga clic en los TRES segmentos del límite externo indicado en la Figura 7-3 (esto es, el margen izquierdo del límite externo, y los dos segmentos en el pie del talud)

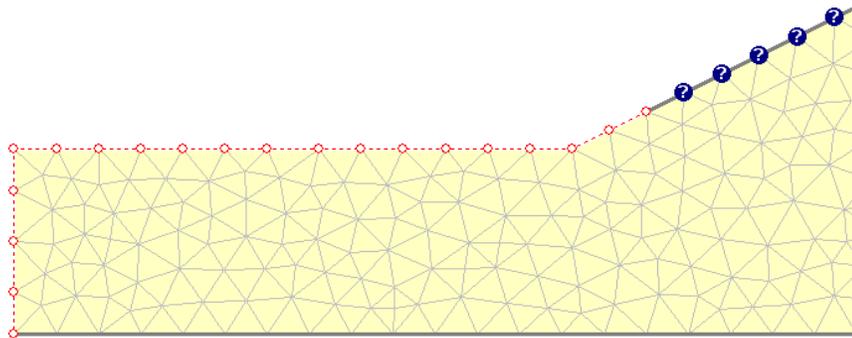


Figura 7-3: Asignando las condiciones de límites (segmentos seleccionados).

6. cuando se seleccionan los segmentos, haga clic en el botón derecho del mouse y seleccione Asignar (“Assign”). Ahora se ha asignado una condición de límite de Altura Manométrica Total (“Total Head”) = 26 metros a estos segmentos de línea
7. ahora, ingrese el Valor de Altura Manométrica Total (“Total Head Value”) = 31.8 metros en la ventana de diálogo. Seleccione el segmento inferior derecho del límite externo. Haga clic derecho y seleccione Asignar (“Assign”)
8. ahora, se han asignado las condiciones de límite necesarias

Las condiciones de límite de la Altura Manométrica Total (“Total Head”) representan la elevación de la superficie freática (“agua estancada”) en la izquierda del modelo (26 m), y la elevación de la superficie freática a la derecha del margen del modelo (31.8 m).

Recuerde que los dos vértices adicionales que añadimos al modelo. Ahora, es evidente que estos fueron necesarios para asignar las condiciones del límite de la altura manométrica total, para corregir los segmentos del límite externo.

Seleccione Cerrar (“Close”) en la ventana de diálogo Configurar Condiciones de Límite (“Set Boundary Conditions”).

CREACIÓN AUTOMÁTICA DEL AGUA ESTANCADA

Note que el programa crea de forma automática el agua estancada (“patrón sombreada de rayas azules”), que corresponde a la condición total de la Altura Manométrica Total (“Total Head”) de 26 metros.

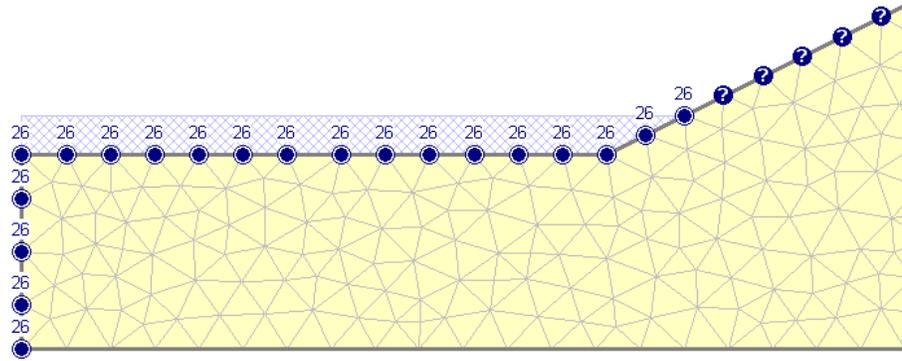


Figura 7-4: Agua estancada que corresponde a la condición de límite de Altura Manométrica Total (“Total Head”).

Siempre que las condiciones de límite de Altura Manométrica Total (“Total Head”) indiquen que existe agua estancada sobre el talud, el *Slide* creará de forma automática agua estancada.

(Esto ocurre cuando el valor de la Altura Manométrica Total (“Total Head”) es mayor que la coordenada $-y$, a lo largo del límite).

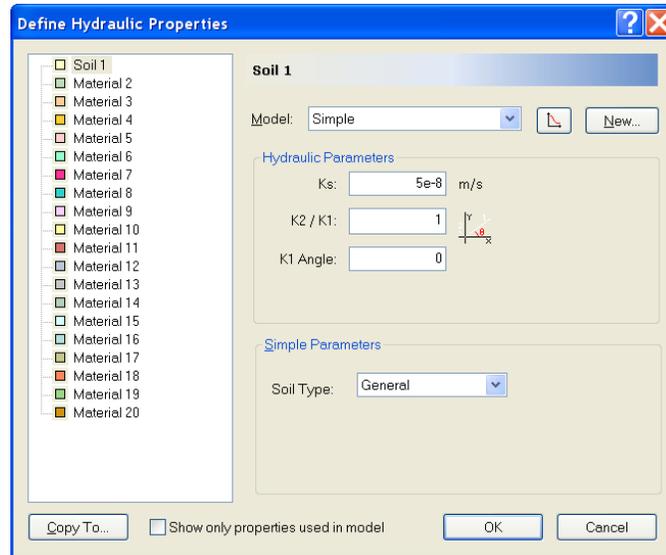
- Para el análisis de agua subterránea, el agua estancada, es simplemente una opción de despliegue, que le permite revisar que usted haya ingresado la condición de límite de Altura Manométrica Total (“Total Head”) correcta. En realidad, no se utiliza ésta para el análisis de agua subterránea.
- Sin embargo, para el análisis de estabilidad del talud se utilizará el agua estancada (esto es, el peso y fuerza hidrostática del agua estancada serán tomados en cuenta en el análisis de estabilidad de talud). Esta agua estancada tendrá el mismo efecto que el agua estancada definida por el Tutorial 5 Napa Freática.

Propiedades Hidráulicas (“Hydraulic Properties”)

La última cosa que debemos hacer para completar el modelo de agua subterránea, es definir las propiedades hidráulicas (permeabilidad) del material del talud.



Seleccione: Propiedades → Definir Propiedades Hidráulicas (“Select: Properties → Define Hydraulic Properties”)



En la ventana de diálogo Definir Propiedades Hidráulicas (“Define Hydraulic Properties”), ingrese una permeabilidad saturada $K_s = 5e-8$. Seleccione OK.

NOTA: el modelo utilizado para este tutorial y el tutorial de Cuadrícula de Presión de Agua (“Water Pressure Grid”) está basado en un modelo de la revisión de programas de estabilidad de taludes de tierra de ACADS 1989. (Giam, P.S.K & I.B. Donald 1989, Problemas de ejemplo para analizar los programas de estabilidad del talud de suelo, Informe de Investigación de Ingeniería Civil No. 8/ 1989, Monash University, Australia). El valor de K_s proviene de esta referencia.

TAMBIEN NOTE: Dado que estamos tratando con un modelo de material único, y debido a que usted ingreso las propiedades con el primer material seleccionado (“por defecto”), usted no tiene que Asignar (“Assign”) estas propiedades al modelo. El *Slide* asignará de forma automática las propiedades por defecto (“esto es, las propiedades del primer material en la ventana de diálogo Definir Propiedades Hidráulicas (“Define Hydraulic Properties”)) para usted.

Ahora, hemos terminado con el modelado de agua subterránea y podemos proceder a ejecutar el análisis de agua subterránea.

Computar (“Compute”) (agua subterránea)

Antes que usted analice su modelo, guárdelo como un archivo con nombre **gw1.slim** (los archivos de modelo del *Slide* tienen una extensión de nombre de archivo **.slim**).

Seleccione: Archivo → Guardar como (“Select: File → Save As”)

Utilice la ventana de diálogo Guardar Como (“Save As”) para guardar el archivo. Ahora usted está listo para ejecutar el análisis.



Seleccione: Análisis → Computar (agua subterránea) (“Select: Analysis → Compute (groundwater)”)

El software de COMPUTAR AGUA SUBTERRÁNEA (“COMPUTE GROUNDWATER”) procederá a ejecutar el análisis de agua subterránea de elemento finito. Esto debe tomar sólo unos segundos. Cuando se haya completado, usted estará listo para visualizar los resultados. NOTA:

- Cuando usted esté haciendo un análisis de agua subterránea con el programa del *Slide* y cuando usted guarde el archivo, en realidad se guardarán DOS archivos: un archivo **.SLI**, que contiene información del modelado de agua subterránea, y un archivo **.SLW**, que contiene información sobre el modelado de agua subterránea.
- De forma similar, cuando usted COMPUTE (“COMPUTE”) el análisis de agua subterránea, los resultados serán almacenados en un archivo **.W01**. Cuando usted COMPUTE (“COMPUTE”) el análisis de estabilidad de taludes, los resultados serán almacenados en un archivo **.S01**.
- Todos estos archivos están contenidos dentro del archivo comprimido **.SLIM**.

Interpretar (“Interpret”) (agua subterránea)

Ahora, podemos visualizar los resultados del análisis de agua subterránea en el programa Interpretar (“Interpret”) del *Slide*.



Seleccione: Análisis → Interpretar (agua subterránea) (“Select: Analysis → Interpret (groundwater)”)

Su pantalla debe aparecer como sigue.

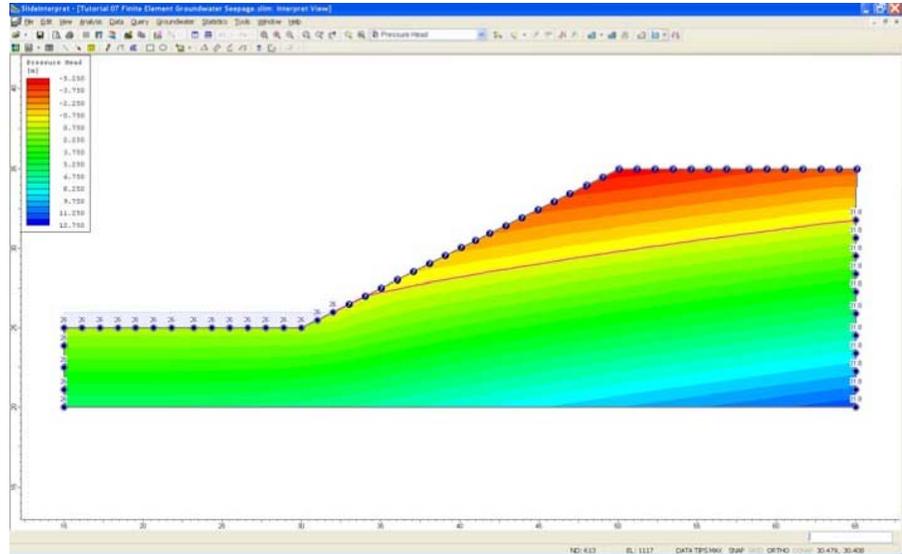


Figura 7-5: Contornos de Presión de Cabeza (“Pressure Head”).

Por defecto, usted verá contornos de Presión de Cabeza (“Pressure Head”) en el modelo. La leyenda en la esquina izquierda de la vista, indica los valores de los contornos.

El despliegue de contorno puede personalizarse con la ventana de diálogo Opciones de Contorno (“Contour Options”), la cual está disponible en el menú de Vista (“View menu”), o haciendo clic derecho en el menú. Se deja esto en manos del usuario, a fin de que explore después de haber completado este tutorial.

Napa Freática (“Water Table”)

Usted notará en el gráfico, una línea rosada, que está desplegada en el modelo. Esta línea destaca la ubicación de Presión de Cabeza (“Pressure Head”) = límite de contorno 0.

Por definición, una Napa Freática (“Water Table”) es definida por la ubicación de Presión de Cabeza (“Pressure Head”) = límite de contorno 0. Por lo tanto, para un modelo de talud como este, esta línea representa la posición de la Napa Freática (“Water Table”) (superficie freática) determinada del análisis de elemento finito.



El despliegue de la Napa Freática puede ser activado o desactivado, utilizando el atajo de la barra de herramientas, la ventana de diálogo Despliegue de Opciones (“Display Options”) o el atajo, al hacer clic en el botón derecho del mouse (clic derecho SOBRE la Napa Freática (“Water Table”) y al seleccionar Ocultar Napa Freática (“Hide Water Table”).

Como un ejercicio opcional, usted puede comparar.

- La Napa Freática (Water Table) determinada del análisis de agua subterránea (en este tutorial).
- Con la Napa Freática, que ingresamos en el Tutorial 5, para el análisis de estabilidad del talud.

Usted verá que la ubicación de la Napa Freática es similar en ambos modelos.

Asimismo, note que los contornos de Presión de Cabeza, sobre la Napa Freática tienen valores negativos. Se refiere comúnmente a la presión de cabeza negativo calculado sobre la napa freática como la “succión matricial” en la zona no saturada. Esto es tratado más adelante en el tutorial.

Para visualizar los contornos de otros datos (Altura Manométrica Total, Presión o Velocidad de Eyección), simplemente utilice el mouse para seleccionar desde la lista desplegable o la barra de herramientas.

Seleccione los contornos de la Altura Manométrica Total desde la lista desplegable.

Vector de flujo (“Flow Vector”)

Haga clic derecho en el botón del mouse y seleccione Opciones de Visualización (“Display Options”). Seleccione el tabulador de agua subterránea. ACTIVE la opción Vectores de Flujo (“Flow Vectors”). DESACTIVE todas las opciones de Condición de Límites (“Boundary Condition”). Seleccione Hecho (“Done”). (Pueden activarse o desactivarse los Vectores de Flujo (“Flow Vectors”) y otras Opciones de Visualización (“Display Options”) con los botones de atajo en la barra de herramientas).

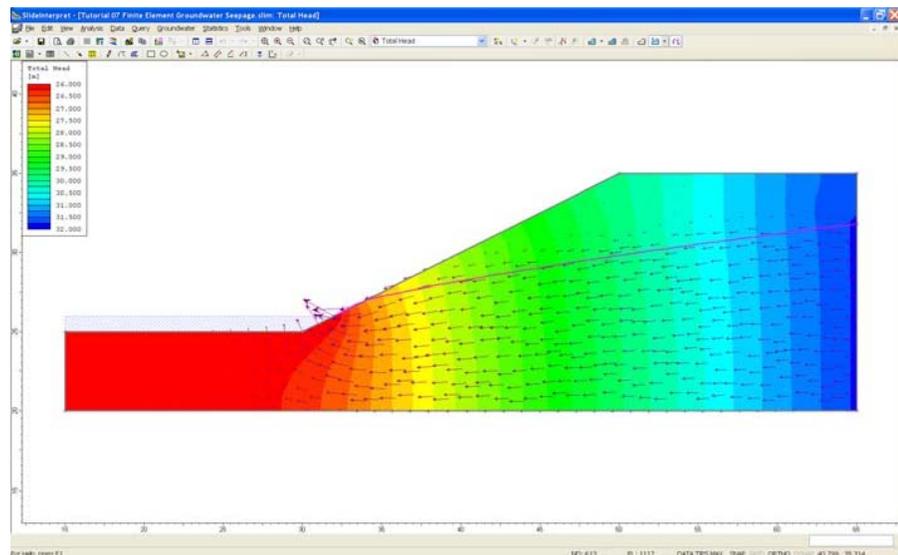


Figura 7-6: contornos de Altura Manométrica Total (“Total Head”) y vectores de flujo.

Como es previsto, la dirección de los vectores de flujo corresponde a los valores descendientes de los contornos de altura manométrica total.

NOTA: el tamaño relativo de los vectores de flujo (como se muestra en la pantalla), corresponde a la magnitud de la velocidad de flujo. Seleccione los contornos de Velocidad de Eyección Total (“Total Discharge Velocity”) (desde la lista de la barra de herramientas) y verifique esto. El tamaño de los vectores de flujo puede graduarse en la ventana de diálogo Despliegue de Opciones (“Display Options”). Se deja esto como un ejercicio opcional. Ahora, desactive los vectores de flujo, volviendo a seleccionar la opción de vectores de flujo desde la barra de herramientas.

Líneas de Flujo (“Flow Lines”)

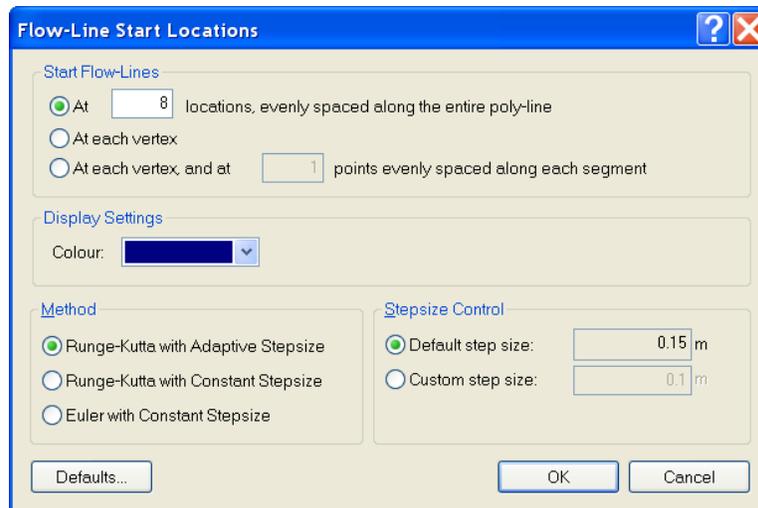
Seleccione de nuevo, los contornos de Altura Manométrica Total (“Total Head”):

Asimismo, podemos añadir al gráfico las Líneas de Flujo (“Flow Lines”). Pueden añadirse individualmente las Líneas de Flujo (“Flow Lines”) con la opción Añadir Línea de Flujo (“Add Flow Line”). De otro modo, se pueden generar de forma automática las líneas de flujo con la opción Añadir Múltiple Líneas de Flujo (“Add Multiple Flow Lines”).



Seleccione: Agua subterránea → Líneas → Añadir Múltiples Líneas de Flujo (“Select: Groundwater → Lines → Add Multiple Flow Lines”)

1. Primero, asegúrese que la opción Capturar (“Snap”) esté habilitada en la Barra de Estado (“Status Bar”). Si no es así, entonces haga clic en la opción Capturar (“Snap”) en la Barra de Estado (o puede hacer clic en el botón derecho del mouse y habilite Capturar (“Snap”) desde el menú desplegable).
2. Haga clic en el mouse en la ESQUINA SUPERIOR DERECHA del límite externo.
3. Haga clic en el mouse en la ESQUINA INFERIOR DERECHA del límite exterior.
4. Haga clic en el botón derecho del mouse y seleccione Hecho (“Done”).
5. Luego, usted verá una ventana de diálogo. Ingrese un valor de 8 y seleccione OK.



La generación de las líneas de flujo puede tomar algunos segundos. Su pantalla debe lucir como sigue:

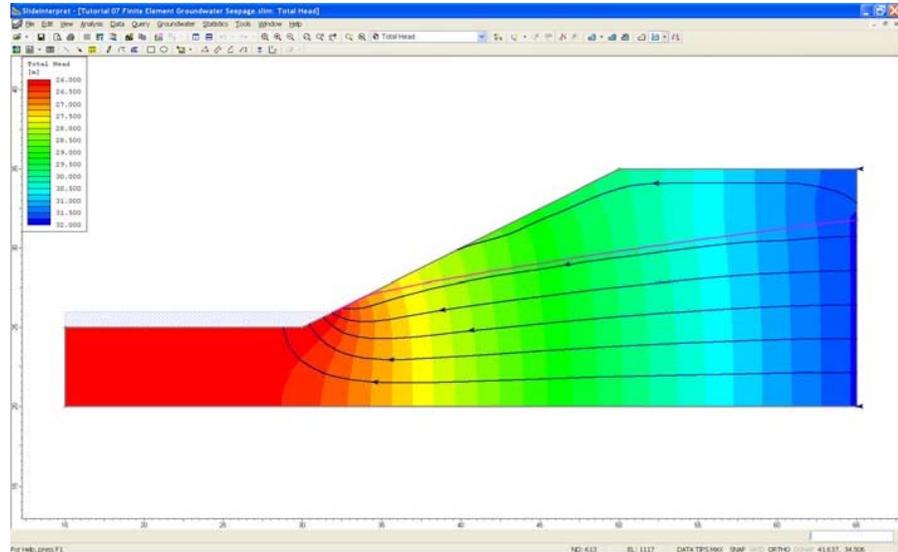


Figura 7-7: Contornos de Altura Manométrica Total (“Total Head”) y líneas de flujo.

Note que las líneas de flujo son perpendiculares a los contornos de Altura Manométrica Total (“Total Head”). (Nota: sólo seis líneas de flujo son mostradas, a pesar de hemos ingresado un valor de 8, ya que la primera y última línea de flujo están exactamente en el límite y no son mostradas).

Ahora elimine las líneas de flujo (seleccione Eliminar Líneas de Flujo (“Delete Flow Lines”) desde la barra de herramientas, haga clic en el botón derecho del mouse y seleccione Eliminar Todo (“Delete All”) y seleccione OK en la ventana de diálogo que aparece).

Isolíneas (“Iso-Lines”)

Una isolínea es una línea de valor de contorno constante, desplegada en un gráfico de contorno.

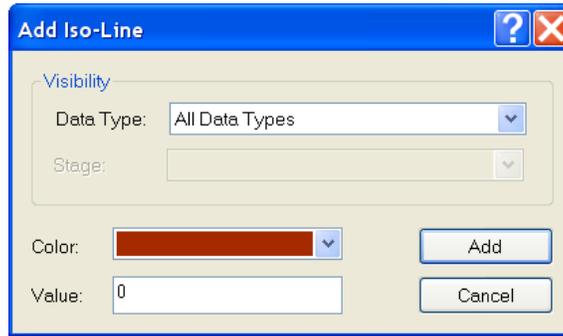
Como tratábamos anteriormente, la línea rosada que se despliega en el modelo, representa la Napa Freática (“Water Table”) determinada por el análisis de agua subterránea. Por definición, la Napa Freática (“Water Table”) representa una isolínea de presión de cabeza cero. Verifiquemos que la Napa Freática desplegada (“Water Table”) representa realmente una línea de presión cero ($P=0$ isolínea), al añadir una isolínea al gráfico.



Primero, asegúrese que usted seleccione los contornos de Presión de Cabeza (“Pressure Head”).

Seleccione: Agua subterránea → Líneas → Añadir Isolínea (“Select: Groundwater → Lines → Add Iso Line”)

Hacer clic en el mouse, en la línea de la Napa Freática (“Water Table”) (si la opción Capturar está disponible, el cursor capturará exactamente sobre la Napa Freática (“Water Table”). Luego, usted verá la ventana de diálogo Añadir Isolínea (“Add Iso-Line”).



La ventana de diálogo desplegará el valor exacto (Presión de Cabeza (“Pressure Head”)) de la ubicación a la cual usted hizo clic. No será exactamente cero; por lo tanto, ingrese cero en la ventana de diálogo y seleccione el botón Añadir (“Add”).

Se añadirá una Isolínea (“Iso-Line”) de presión cero al modelo. Este superpone la Napa Freática desplegada exactamente, verificando que la Napa Freática es el P= línea 0. (Si usted oculta el despliegue de la Napa Freática, usted verá la isolínea en la misma ubicación).

Búsquedas (“Queries”)

Otra característica útil del programa de Interpretar (“Interpret”) es que tiene la capacidad de crear una Búsqueda (“Query”), para obtener resultados detallados del análisis.

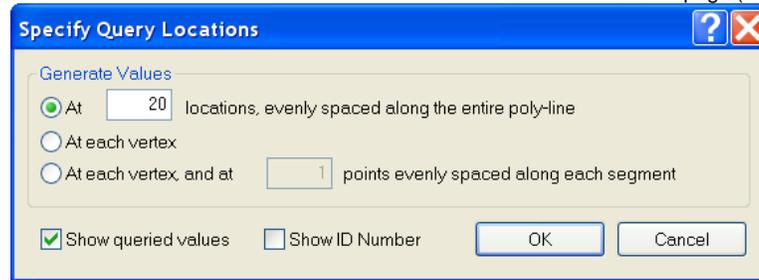
Para obtener más resultados de agua subterránea, una Búsqueda (“Query”) permite al usuario añadir una línea o polilínea, en cualquier lugar de los contornos del modelo. Puede utilizarse una Búsqueda (“Query”) para graficar los valores de la información de contorno a lo largo de la línea de Búsqueda (“Query”) o polilínea.

Ahora, demostremos esto. Crearemos una búsqueda que consiste en un segmento de línea vertical único, desde el vértice en la cresta del talud, al fondo del límite externo.



Seleccione: Agua subterránea → Búsqueda → Añadir Búsqueda de Material (“Select: Groundwater → Query → Add Material Query”)

1. Debe habilitarse la opción Capturar (“Snap”). Haga clic en el mouse, en el vértice en la cresta del talud, en las coordenadas (50, 35).
2. Ingrese las coordenadas (50, 20) en la línea de comando, como un segundo punto (o si tiene habilitada la opción Ortho Snap, puede ingresar esto gráficamente).
3. Haga clic en el botón derecho y seleccione Hecho (“Done”) o presione la tecla Ingresar (“Enter”). Usted verá la siguiente ventana de diálogo.



4. Ingrese un valor de 20 en el recuadro de edición. Seleccione OK.
5. Se creará la búsqueda, tal como usted por el segmento de línea vertical y el despliegue de valores interpolados en los 20 puntos a lo largo del segmento de línea.
6. Haga un acercamiento a la búsqueda, para que usted pueda introducir los valores.
7. Ahora, podemos graficar estos datos con la opción Gráfico de Búsquedas de Material (“Graph Material Queries”) (en el Agua Freática (“Groundwater”) > menú de Búsqueda (“Query”) o barra de herramientas).
8. Un atajo para graficar datos para una búsqueda única, es hacer clic en el botón derecho del mouse SOBRE la línea de Búsqueda. Haga esto ahora y seleccione Grafico de Datos (“Graph Data”) desde el menú emergente. Se generará de inmediato un gráfico, tal como se muestra en la Figura 7-8.

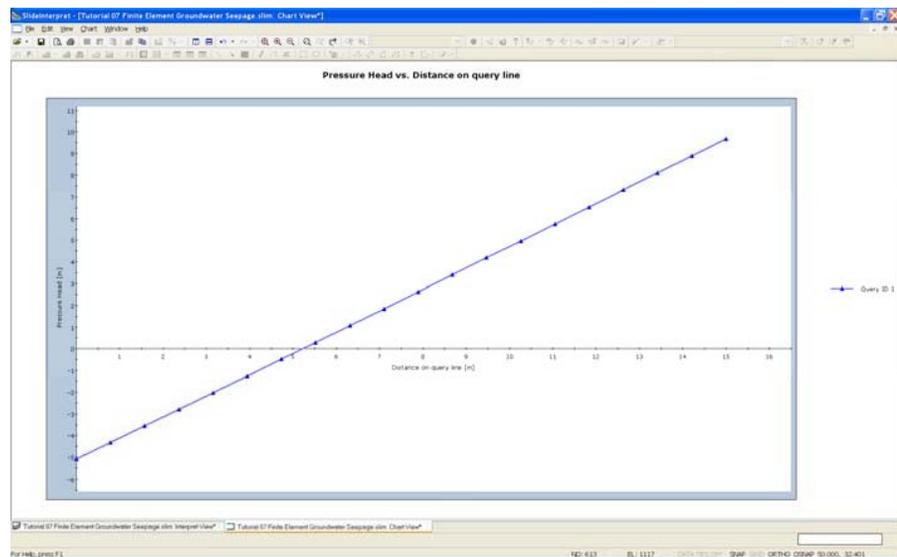


Figura 7-8: Búsqueda de Datos de Presión de Cabeza (“Pressure Head”).

La búsqueda que hemos creado nos brinda la presión de cabeza a lo largo de una línea vertical desde la cresta del talud hasta el fondo del límite externo. Los datos obtenidos mediante la interpolación desde los contornos de la presión de cabeza.

NOTE que a pesar que hemos utilizado un único segmento de línea para definir esta Búsqueda (“Query”), en general, una Búsqueda (“Query”) puede ser una polilínea arbitraria, con cualquier número de segmentos, añadidos en cualquier lugar o dentro del límite externo.

Búsqueda de Consejos de Base de Datos (“Data Tips Query”)

Finalmente, demostraremos una o más características de búsqueda, la opción de Búsqueda de Consejos de Base de Datos (“Data Tips Query”), la cual le permite obtener gráficamente valores interpolados en cualquier punto en los contornos de datos.

1. Primero, cierre el gráfico de Presión de Cabeza (“Pressure Head”), el cual creamos (seleccione la X en la esquina de la vista).
2. Haga clic en el recuadro de Consejos de Datos (“Data Tips”) en la barra de estado (en la parte inferior de la ventana de aplicación), hasta que la opción de Búsqueda de Consejos de Base de Datos (“Data Tips Query”) esté habilitada.

DATA TIPS QUERY SNAP GRID ORTHO OSNAP

3. Ahora desplace el mouse sobre los contornos en el modelo. A medida que usted mueva el mouse sobre los contornos, el valor exacto de contorno interpolado y ubicación X – Y, es desplegado en un consejo de datos instantáneos.
4. Esta es una manera apropiada, interactiva y gráfica de examinar los valores de contorno en cualquier punto en el modelo.

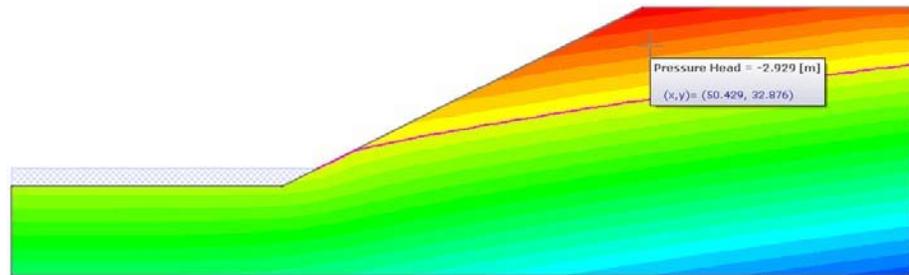


Figura 7-9: opción de Búsqueda de Consejos de Base de Datos (“Data Tips Query”)

Por ejemplo, en la figura previa, la Búsqueda de Consejos de Base de Datos (“Data Tips Query”) muestra una presión de cabezal negativo (succión) en la zona no saturada encima del nivel freático.

Nota: en la figura previa, hemos eliminado el segmento de línea de búsqueda.

- Pueden eliminarse las búsquedas con la opción Eliminar Búsqueda de Material (“Delete Material Query”) (barra de herramientas o Agua subterránea (“Groundwater”) > menú de Búsqueda (“Query menu”).
- Un atajo para eliminar búsquedas individuales es hacer clic en el botón derecho del mouse en la entidad y seleccionar Eliminar (“Delete”) desde el menú emergente.

Eso finaliza nuestra demostración de vista de los resultados del análisis de agua subterránea con el programa Interpretar (“Interpret”) del *Slide*.

Ahora, volvamos al análisis de estabilidad de talud, para que podamos ejecutar el análisis, utilizando las presiones de poros generadas por el análisis de agua subterránea.

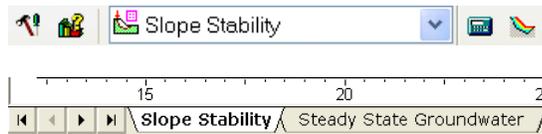


Seleccionar: Análisis → Modelar (“Select: Analysis → Modeler”)

Usted debe volver al programa Modelo (“Model”) *Slide*.

Modelar (“Model”)

En el Programa Modelo (“Model”) del *Slide*, cambie el Modo Análisis (“Analysis Mode”) desde Agua Subterránea (“Groundwater”) a Estabilidad de taludes (“Slope Stability”), seleccionando desde la barra de herramientas o tabulador en la parte inferior izquierda de la pantalla.



Note que las entidades de modelo, que son aplicables al análisis de estabilidad del talud son una vez más desplegadas (esto es la Cuadrícula de Búsqueda (“Grid Search”) Límites de Talud (“Slope Limits”), etc). Las entidades de modelo que son aplicables al análisis de agua subterránea (ej. condiciones de malla y límite) ahora están ocultas.

Computar (“Compute”)



Ahora, ejecutemos el análisis de estabilidad de taludes.

Seleccione: Análisis → Computar (“Select: Analysis → Compute”)

Se ejecutará el análisis de estabilidad de taludes. Puesto que ya hemos llevado a cabo el análisis de agua subterránea, el análisis de estabilidad de taludes utilizará de forma automática las presiones de los poros calculadas por el análisis de agua subterránea.

NOTE:

- Si usted NO ha computado el análisis de agua subterránea primero, este se computará de forma automática ANTES que se lleve a cabo el análisis de estabilidad de taludes, cuando usted seleccione la opción computar estabilidad de taludes.

- Sin embargo, en general, siempre es una buena idea computar el análisis de agua subterránea por separado y visualizar los resultados del análisis de agua subterránea (como lo hemos hecho en este tutorial), ANTES de que usted proceda al análisis de estabilidad de taludes.

Interpretar (“Interpret”)



Para visualizar los resultados del análisis:

Seleccione: Análisis → Interpretar (“ Select: Analysis → Interpret”)

Usted verá la siguiente figura.

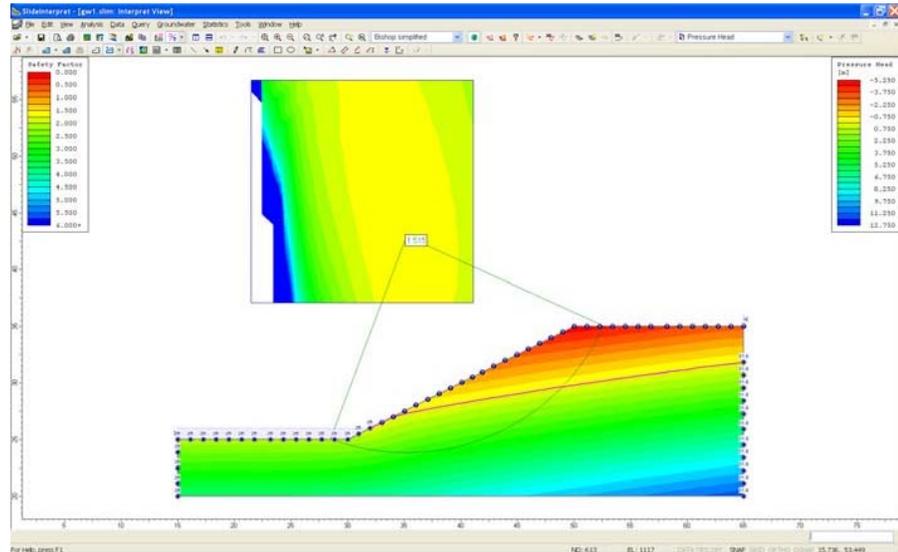


Figura 7-10: Análisis de estabilidad de taludes, utilizando presiones de poros desde el análisis de agua subterránea.

Como usted puede ver, después de haber llevado a cabo AMBOS:

- Un análisis de agua subterránea de elemento finito y
- Un análisis de estabilidad de taludes

Con el *Slide*, los resultados de AMBOS análisis pueden ser desplegados en el programa de Interpretar (“Interpret”) del *Slide*. Usted puede visualizar los resultados del análisis de los contornos de agua subterránea en el modelo y también puede visualizar los resultados de estabilidad de taludes (superficies de falla, etc).

Note que se muestran las DOS leyendas, una leyenda es para los resultados de estabilidad de taludes (factor de seguridad) y otra es para los contornos de agua subterránea.

Debido a que ya hemos visualizado y tratado sobre los resultados del análisis de agua subterránea, DESACTIVEMOS las opciones de visualización de agua subterránea, a fin de que visualicemos los resultados del análisis de estabilidad de taludes.

Utilice la opción Modo ("Mode") en el menú Vista ("View") para activar o desactivar el despliegue de los resultados de los análisis de Estabilidad de Taludes ("Slope Stability") o Agua Subterránea ("Groundwater")

CONSEJO: se hace uso de un atajo adecuado para ACTIVAR o DESACTIVAR de forma rápida el despliegue de TODOS los resultados de agua subterránea (o estabilidad de taludes) para utilizar las opciones de Modo ("Mode") en el menú de Vista ("View"). Sin embargo, aún deseamos desplegar la Napa Freática ("Water Table") del análisis de agua subterránea, de modo que haremos lo siguiente.

1. Haga clic en el botón derecho del mouse y seleccione las Opciones de Visualización ("Display Options"). Seleccione el tabulador Agua subterránea ("Groundwater"), y deje libre TODAS las casillas de selección para las opciones de visualización de agua subterránea, A EXCEPCIÓN de la Napa Freática ("Water Table") de la FEA y las casillas de selección (sombreadas con rayas) del Agua Estancada ("Ponded Water"). Seleccione Hecho ("Done").
2. Haga clic en el botón derecho del mouse y seleccione Opciones de Contorno ("Contour Options") (agua subterránea). Configure el modo de contorno= Materiales ("Materials"). Seleccione Hecho ("Done").
3. Haga clic en el botón derecho en Leyenda ("Legend"). Seleccione Ocultar Leyenda ("Hide Legend") desde el menú emergente.

Ahora, sólo estamos visualizando los resultados de estabilidad de taludes en el programa Interpretar ("Interpret") del *Slide*.

Comparemos los resultados con los resultados del Tutorial 5.



Seleccione: Archivo → Abrir ("Select: File → Open")

Abra el archivo **Tutorial 05 Cuadrícula de Presión de AGUA.slim** desde la carpeta Tutoriales. NOTA: si no lo ha hecho anteriormente, usted necesitará computar este archivo. Si usted ve un mensaje de diálogo, siga las instrucciones para que se compute el análisis de estabilidad de taludes para el archivo del Tutorial 5 ("Tutorial 5").

Ahora, en el programa Interpretar ("Interpret") del *Slide*, coloque en mosaicos las dos vistas, del archivo del Tutorial 05 **Cuadrícula de Presión de Agua.slim** ("**Water Pressure Grid.slim**") y el archivo **gw1.slim**.



Seleccione: Ventana → Colocar Como Mosaico Verticalmente ("Select: Window → Tile Vertically")

Seleccione Acercar Todo ("Zoom All") en cada vista y oculte la leyenda en cada vista. Usted debe ver lo siguiente.

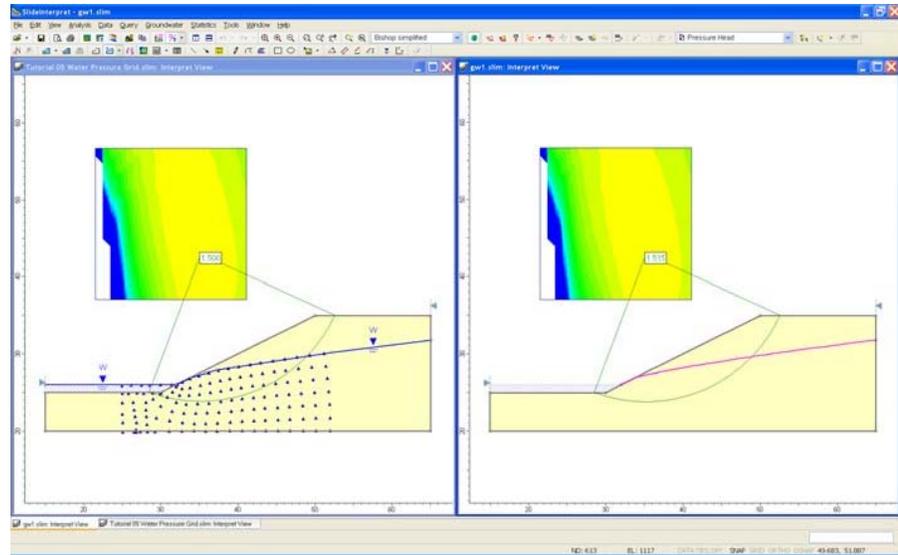


Figura 7-11: Tutorial 5 comparado con Tutorial 7 (factor de seguridad).

Finalmente, podemos comparar los resultados. Como puede ver, el factor de seguridad Mínimo Global (“Global Minimum”), para el método de análisis Bishop, es casi igual, para cada archivo (“Tutorial 5= 1.500 y Tutorial 7= 1.515”).

Se puede notar la pequeña diferencia, por el hecho de que en el Tutorial 5, las presiones de poros fueron derivadas desde el archivo de cuadrícula de presión de agua (la cual fue digitada desde una red de flujo). En el Tutorial 7, las presiones de poros fueron determinadas desde el análisis de filtración de agua subterránea de elemento finito.

NOTA: debemos revisar que las superficies Mínimas Globales (“Global Minimum”), en cada archivo, sean en realidad la MISMA superficie. Podemos hacer esto fácilmente, como sigue:

1. En cada vista, seleccione la opción Consejos de Base de Datos Mínimo (o Máximo) desde la barra de estado.
2. Ahora desplace el cursor del mouse sobre el centro de falla de la superficie Mínima Global (“Global Minimum”), en cada vista. Compare las coordenadas de centro y el radio desplegado en el consejo de base de datos emergente.
3. Usted deberá encontrar que los círculos de falla son exactamente la misma superficie.

Este es un consejo importante que recordar: cuando usted este comparando los diferentes archivos o diferentes métodos de análisis, usted no puede asumir que las superficies de falla críticas sean la misma superficie. Si ellas parecen ser la misma superficie, usted debe revisar siempre las coordenadas de superficie de falla reales, si usted planea hacer comparaciones detalladas de los resultados del análisis entre los diferentes archivos, etc.

Ahora, comparemos las presiones de poros a través de la superficie de falla Mínima Global (“Global Minimum”) para cada archivo.

De esta manera, podemos comparar las presiones de poros calculadas desde la cuadrícula de presión de poros (Tutorial 5) y el análisis de agua subterránea (Tutorial 7).

Un atajo rápido para graficar datos para una superficie de falla, es hacer clic en el botón derecho del mouse en la superficie de falla (NOTA: usted puede hacer clic sobre la superficie, o sobre las líneas radiales uniendo el centro de falla a los extremos de la superficie de falla).

En cada vista:

1. Haga clic derecho en la Mínima Global (“Global Minimum”) y seleccione Añadir Búsqueda (“Add Query”) y Gráfico (“Graph”) desde el menú emergente.
2. En la ventana de diálogo Gráfico de los Datos de Sección (“Graph Slice Data”), seleccione Presión de Poros (“Pore Pressure”) desde la lista de Datos Primarios (“Primary Data”) y seleccione el botón Crear Gráfico (“Create Plot”).
3. Ahora, minimice las vistas del modelo de cada archivo y seleccione la opción crear Mosaico de Forma Vertical (“Tile Vertically”). Usted debe ver los siguientes gráficos.

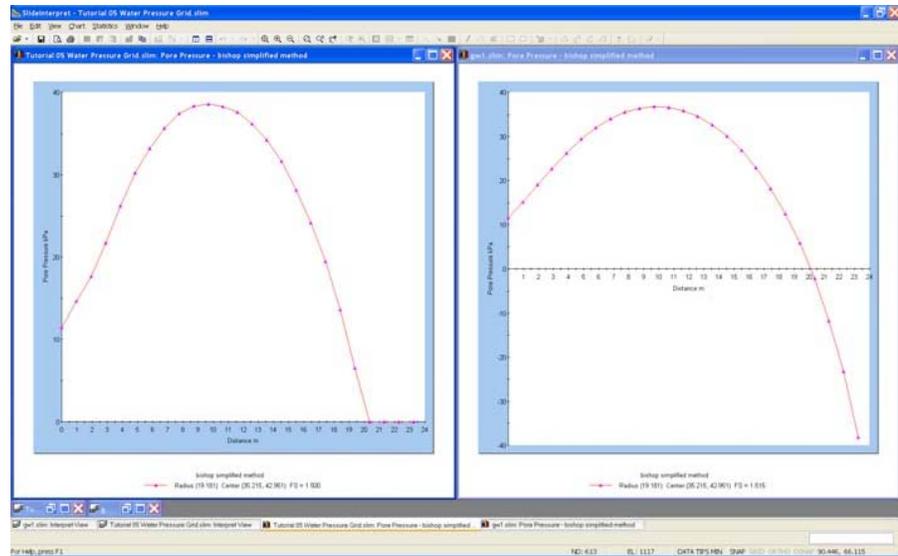


Figura 7-12: Tutorial 5 comparado con Tutorial 7 (presión de poros).

NOTA:

- Para el archivo de cuadrícula de presión de agua (Tutorial 5), la presión de poros anterior a la napa freática son cero.
- Sin embargo, para el archivo de agua subterránea de elemento finito, las presiones de poros NEGATIVOS son calculadas, encima de la napa freática. Esto representa las presiones de SUCCIÓN Matricial, calculadas en la zona no saturada encima de la napa freática.

(La influencia de SUCCIÓN MATRICIAL en el factor de seguridad, es tratada en la última parte de este tutorial).

Para comparar mejor las presiones de poros positivas, calculadas bajo el nivel freático, haga lo siguiente:

1. Haga clic derecho sobre el gráfico de presión de poros, para el archivo de análisis de agua subterránea y seleccione Propiedades de de Cuadro (“Chart Properties”) desde el menú emergente.
2. Ingrese un Mínimo valor de Eje Vertical (“Minimum Vertical Axis”) = 0.

Seleccione OK.

Su vista debe aparecer como sigue:

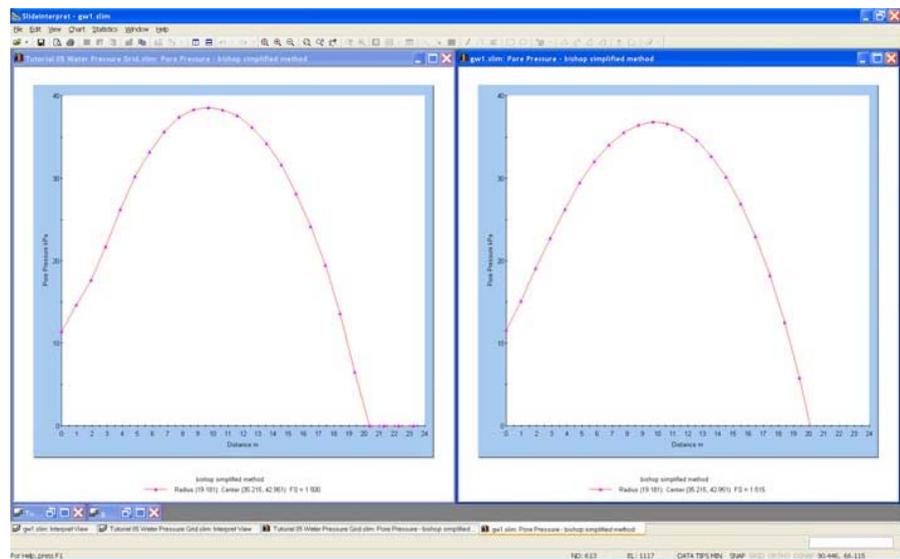


Figura 7-13: El Tutorial 5 comparado con el Tutorial 7 (presión de poros).

Ahora, Usted puede ver que las presiones de poros (positivas) calculadas para la superficie de falla Mínima Global (“Global Minimum”), para los dos archivos, son casi las mismas.

Las ligeras diferencias en los dos gráficos se representan por los diferentes métodos utilizados para determinar la distribución de presión de poros dentro del talud.

- Para el archivo de cuadrícula de presión de agua, fueron interpoladas las presiones de poros desde los valores de cuadrícula.
- Para el archivo de análisis de agua subterránea, se interpolaron las presiones de poros desde los contornos de presión y malla de elemento finito.

Resistencia al Corte no Saturado (“Unsaturated Shear Strength”)

Para concluir este tutorial, demostraremos una característica adicional del *Slide*, la cual está disponible cuando se haya realizado un análisis de agua subterránea de elemento finito. Esto es, la contribución de succión matricial a la estabilidad del talud, especificando un ángulo de resistencia al corte no saturado.

Tal como se muestra en la Figura 7-12, el análisis de agua subterránea del *Slide* puede resultar en presión de poros NEGATIVOS. En la zona no saturada encima del nivel freático. Estas presiones negativas son en realidad presiones de succión matricial en la zona no saturada.

Se sabe que la succión matricial puede contribuir a la resistencia al corte de un talud. Especificando un Ángulo de Resistencia al Corte No Saturado (“Unsaturated Shear Strength Angle”) para un material, la resistencia al corte del material en la zona no saturada, será AUMENTADA por la cantidad:

$$\psi \tan \phi^b$$

en donde : ψ =succión matricial (valor POSITIVO) y ϕ^b =ángulo de resistencia al corte no saturado. (NOTA: por convención, el término “succión” implica el POSITIVO, valor absoluto de presiones de poros negativos calculados en la zona no saturada).

Para demostrar esto, tratemos lo siguiente:



1. Vuelva al programa Modelo (“Model”) del *Slide*.
2. Seleccione el archivo de análisis de agua subterránea (GW1.slim).
3. Seleccione Definir Propiedades de Material (“Define Material Properties”). Note que, para un archivo de análisis de agua subterránea en el *Slide*, usted podría especificar el Ángulo de Resistencia al Corte No Saturado (“Unsaturated Shear Strength Angle”).
4. Por defecto, el Ángulo de Resistencia al Corte No Saturado (“Unsaturated Shear Strength Angle”) = 0. Esto significa que la succión matricial en la zona no saturada NO tendrá ningún efecto en la resistencia al corte o factor de seguridad.
5. Sin embargo, si usted ingresa un valor diferente a cero para la Resistencia al Corte No Saturado (“Unsaturated Shear Strength”), luego las superficies de falla, las cuales pasan a través de un material en la zona no saturada, INCREMENTARÁN la resistencia al corte y factor de seguridad
6. Por ejemplo, ingrese Ángulo de Resistencia al Corte No Saturado (“Unsaturated Shear Strength Angle”) = 15 grados. Seleccione OK.
7. Ahora, vuelva a ejecutar el análisis de estabilidad de talud.
8. Examine la superficie de falla Mínima Global (“Global Minimum”). Debería tener ahora un factor de seguridad = 1.556 (análisis Bishop).
9. Al especificar un Ángulo de Resistencia al Corte No Saturado

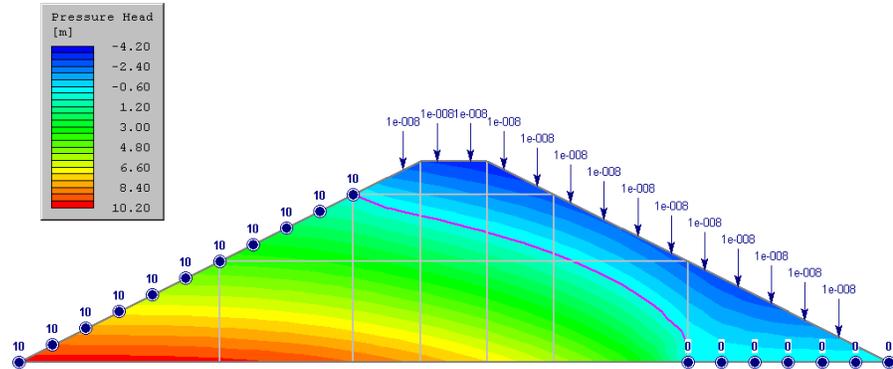
(“Unsaturated Shear Strength Angle”), se ha incrementado el factor de seguridad de la Mínima Global (“Global Minimum”).

El Ángulo de Resistencia al Corte No Saturado (“Unsaturated Shear Strength Angle”) no es usualmente una cantidad conocida. Para obtener una apreciación de su importancia, se llevará a cabo un estudio paramétrico, en el cual el Ángulo de Resistencia al Corte No Saturado (“Unsaturated Shear Strength Angle”) varía entre 0 y el material de Ángulo de Fricción (“Friction Angle”). Se puede realizar esto fácilmente, utilizando la opción de Análisis de Sensibilidad (“Sensitivity Analysis”) en el *Slide*. Vea el sistema de Ayuda del *Slide* (“*Slide Help system*”) o el Tutorial 09 para más información sobre el Análisis de Sensibilidad (“Sensitivity Analysis”).

La resistencia al corte no saturado puede, en algunos casos, ser un factor crítico en el análisis de estabilidad de taludes. Se ha observado, en muchos casos, que los taludes, los cuales están cerca del equilibrio crítico (factor de seguridad sólo sobre 1), no será estable sin incluir el efecto de la succión matricial en la resistencia al corte.

Eso incluye esta introducción hasta el análisis de agua subterránea de elemento finito, utilizando el *Slide*. Se abordarán más ejemplos acerca del agua subterránea en la próxima sección.

Más ejemplos de agua subterránea



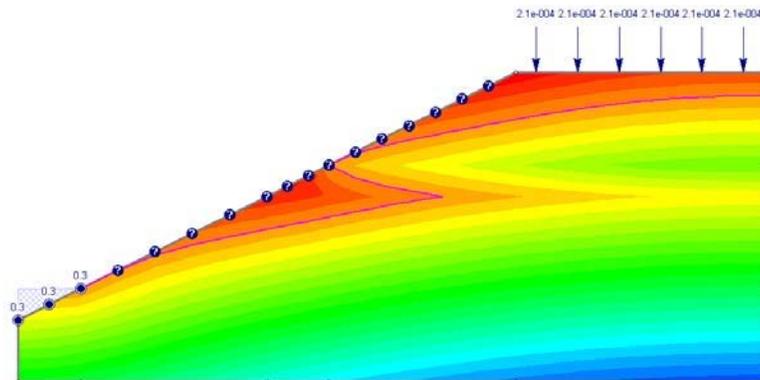
Ejemplos de Verificación de Agua subterránea

Se pueden encontrar ejemplos adicionales de modelado de agua subterránea y análisis, utilizando el *Slide*, en el Manual de Verificación de Agua Subterránea del *Slide* (“*Slide* Groundwater Verification Manual”).

El Manual de Verificación de Agua Subterránea del *Slide* (“*Slide* Groundwater Verification Manual”) está disponible como documento PDF, en la sección de Verificación (“Verification”) del sistema de Ayuda del *Slide* (“*Slide* Help System”). También es accesible a través del menú de Inicio de Windows (“Windows Start”) ((seleccione Inicio → Programas → Rocscience → *Slide* 6.0 → Documentación → Verificación) (“Start → Programs → Rocscience → *Slide* 6.0 → Documentation → Verification”).

Pueden accederse a los archivos de verificación de agua subterránea instalados, seleccionando Archivo > Carpetas Recientes > Carpeta de Ejemplos (“File > Recent Folders > Examples Folder”) desde el menú principal del *Slide* y abriendo la carpeta de Verificación de Agua Subterránea (“Groundwater Verification”).

Estos ejemplos demuestran más características avanzadas del análisis de agua subterránea del *Slide*, incluyendo las funciones de permeabilidad del material, condiciones de límite de infiltración, generación de malla mapeada y otras características.



Modelo de dos materiales, con diferentes permeabilidades