

Material Anisótropo Generalizado

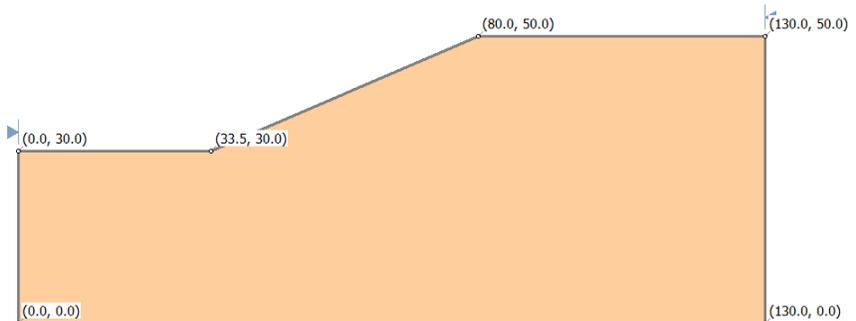
Este tutorial describe como simular un material anisótropo en el *Slide*. En realidad, existen cuatro maneras distintas de lograrlo, pero este tutorial enfatizará el uso de la opción Anisótropo Generalizado (“Anisótropo Generalizado”), la cual le permite especificar diferentes **tipos de materiales** en diferentes direcciones. El tutorial también explicará cómo llevar a cabo un análisis probabilístico con este tipo de material.

Se puede encontrar el producto finalizado de este tutorial en el archivo de datos **Tutorial 20 Anisótropo Generalizado .slim** (“**Tutorial 20 Generalized Anisotropic.slim**”). Se puede acceder a todos los archivos de los tutoriales instalados con el *Slide* 6.0, al seleccionar Archivo> Carpetas Recientes> Carpeta de Tutoriales (“File > Recent Folders > Tutorials Folder”) desde el menú principal del *Slide*.

Temas desarrollados

- Material Anisótropo Generalizado
- Búsqueda Avanzada no circular
- Análisis Probabilístico

Geometría



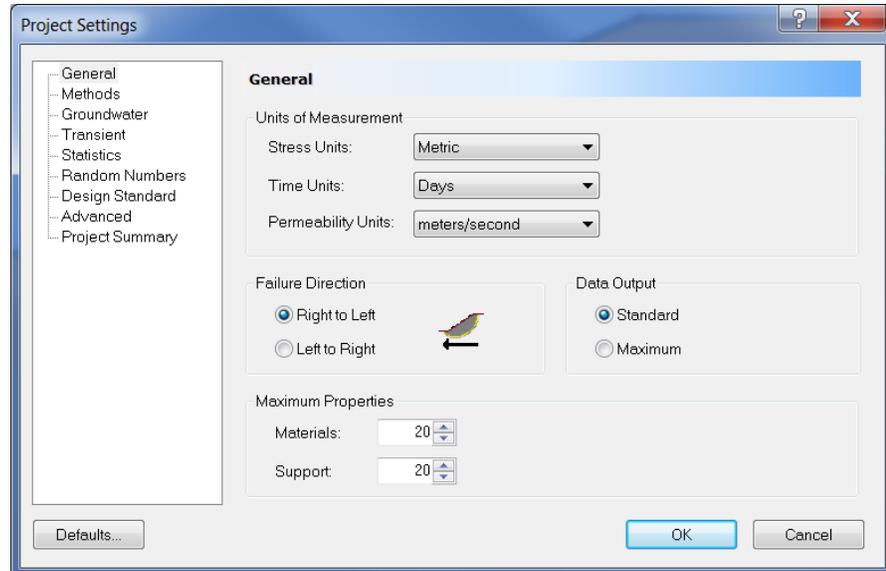
Modelo (“Model”)

Inicie el programa Modelo (“Model”) del *Slide*.

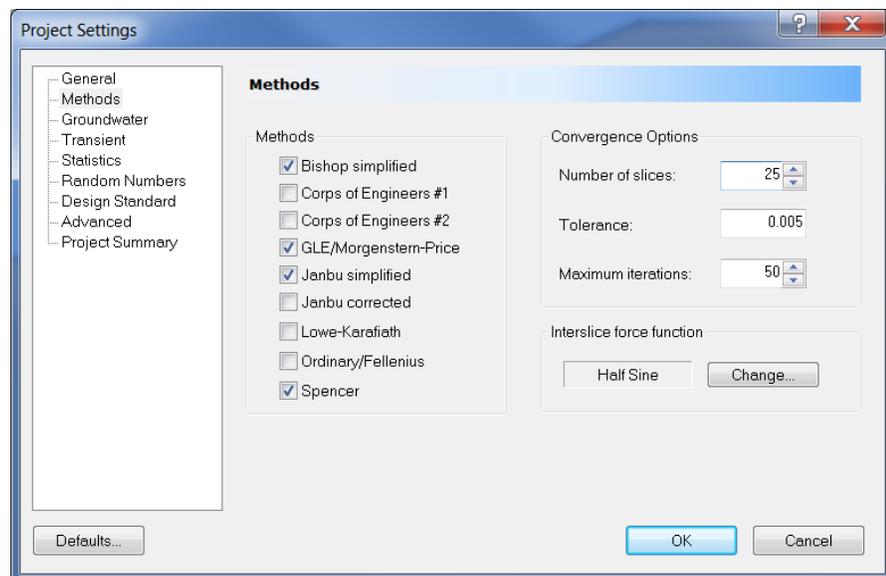
Parámetros del Proyecto (“Project Settings”)



Abra la ventana de diálogo **Parámetros del Proyecto** (“**Project Settings**”) desde el menú **Análisis** (“**Analyses**”). Configure las Unidades de Tensión (“**Stress Units**”) a Métrico (“**Metric**”). Deje los otros valores por defecto:



Haga clic en **Métodos** (“**Methods**”) en el lado izquierdo. Haga check en las casillas para **GLE/Morgenstern- Price** y **Spencer**.



Haga clic en **OK** para cerrar la ventana de diálogo **Parámetros del Proyecto** (“**Project Settings**”).

Límites (“Boundaries”)



Primero, añada un límite externo. Seleccione la opción **Añadir Límite Externo** (“**Add External Boundary**”) en el menú **Límites** (“**Boundaries**”) e ingrese las siguientes coordenadas:

0 , 0

130 , 0

130 , 50

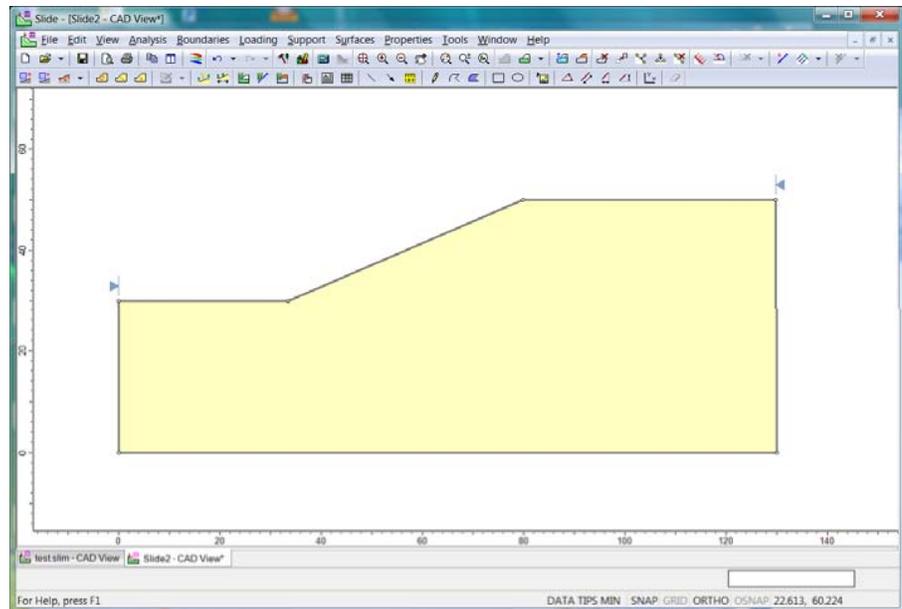
80 , 50

33.5 , 30

0 , 30

c (para cerrar el límite)

Presione Ingresar (“Enter”) para finalizar los puntos de entrada. El talud debe lucir así:



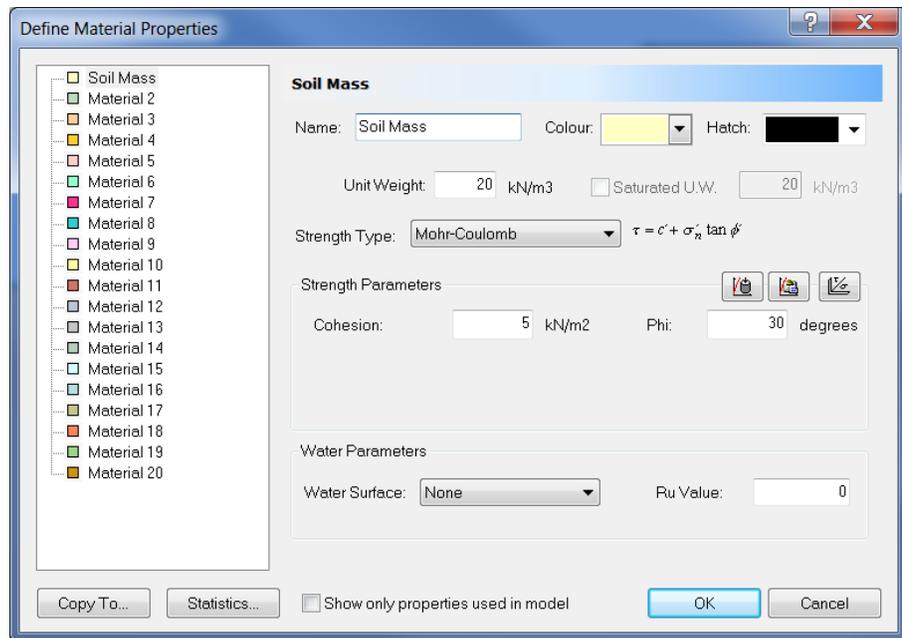
Propiedades del Material (“Material Properties”)

Para el material del talud, utilizaremos la opción **Anisótropo Generalizado (“Generalized Anisotropic”)**. Esto le permite especificar los diferentes tipos de materiales en diferentes direcciones. (Nota: Existen otros materiales anisótropos en el *Slide*, vea la siguiente sección para obtener más información).

Antes que configuremos el material Anisótropo Generalizado (“Generalized Anisotropic”), primero tenemos que configurar los materiales secundarios que constituirán el material generalizado. Para este ejemplo, asumiremos que el suelo tiene una estratificación sub-horizontal débil. Constituiremos dos materiales: uno que representa la dirección paralela a la estratificación y otra que representa todas las otras orientaciones.

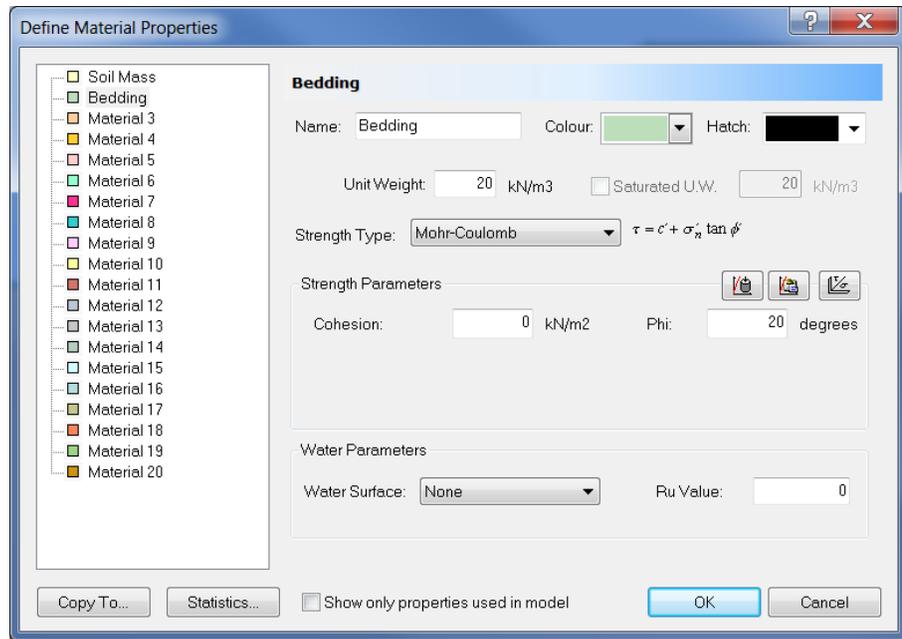


Seleccione **Definir Materiales (“Define Materials”)** desde el menú **Propiedades (“Properties”)**. Para el Material 1, configure el Nombre (“Name”) a “Masa de Suelo” (“Soil Mass”). Deje el tipo de Resistencia (“Strength”) como Mohr-Coulomb y configure la cohesión a 5 kN/m² y el ángulo de fricción a 30°.

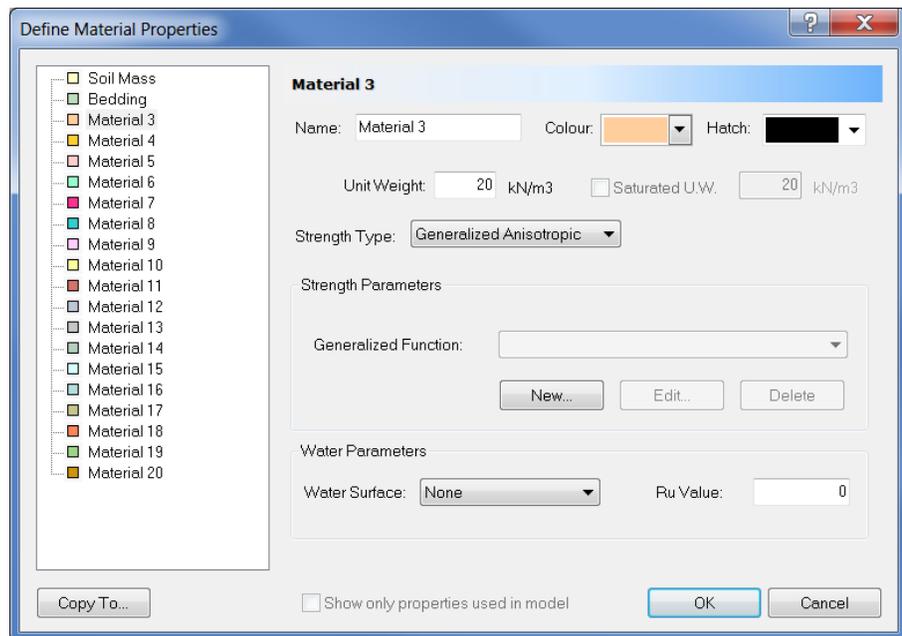


Ahora, haga clic en el enlace para Material 2. Cambie el Nombre (“Name”) a “Estratificación”. Configure la cohesión a 0 y el ángulo de fricción a 20°.

En este caso, ambos sub-materiales utilizan la resistencia Mohr-Coulomb, pero tienen diferentes valores de cohesión y ángulo de fricción. Se asignarán estos dos materiales al material Anisótropo Generalizado (“Generalized Anisotropic”), tal como se describe a continuación.

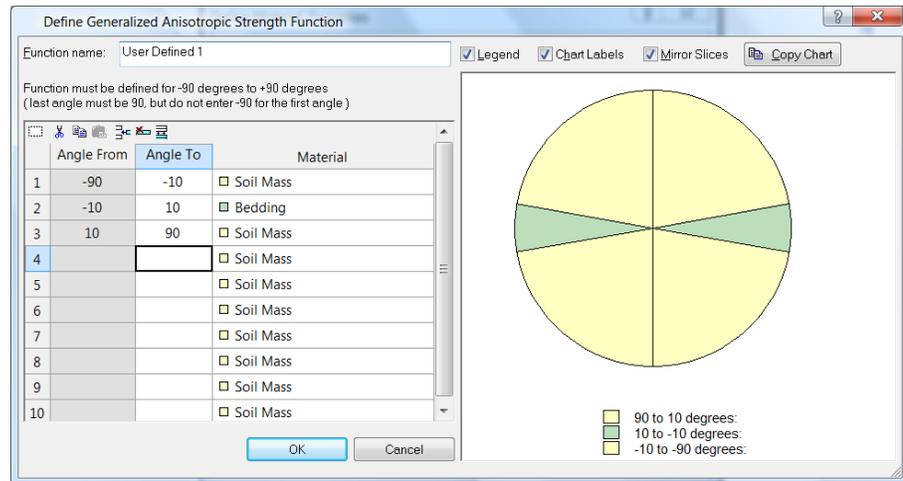


Haga clic en el enlace para Material 3. Cambie el Tipo de Resistencia (“Strength Type”) a Anisótropo Generalizado (“Generalized Anisotropic”).

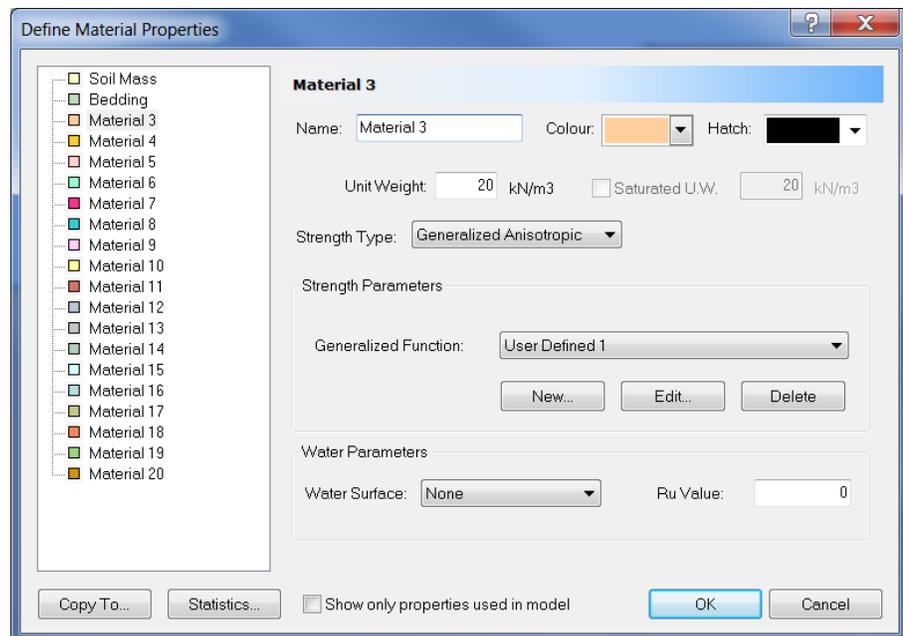


Mediante los Parámetros de Resistencia (“Strength Parameters”), haga clic en el botón Nuevo (“New”). Ahora, usted verá una ventana de diálogo, en la cual usted puede especificar los diferentes materiales sobre los diferentes rangos angulares. Deseamos que el material de Estratificación (“Bedding”) esté activo dentro de 20° del plano horizontal y que la Masa de Suelo (“Soil Mass”) esté activa en todas las otras direcciones. En la ventana de diálogo se miden los ángulos desde el plano horizontal; por ende, el 90° representa el plano vertical.

Ingrese -10 en la columna Ángulo Hasta (“Angle To”). Deje el Material como Masa de Suelo (“Soil Mass”). En la próxima fila, ingrese 10 en la columna Ángulo Hasta (“Angle To”) y cambie el Material a Estratificación (“Bedding”). Finalmente, en la siguiente columna, configure el Ángulo Hasta (“Angle To”) = 90 y deje el Material como Masa de Suelo (“Soil Mass”). Haga clic en algún lado de la fila y la ventana de diálogo debe lucir así:



Haga clic en OK para cerrar la ventana de diálogo. Ahora, se asignó el Material 3 a Función Generalizada (“Generalized Funcion”) “Usuario Definido 1” (“User Defined 1”).



Haga clic en OK para cerrar la ventana de diálogo Definir Propiedades del Material (“Define Material Properties”).

Modelos de Material Anisótropo (“Anisotropic Material Models”) en el Slide

Existen en realidad **cuatro** diferentes modelos de resistencia de material anisótropo disponibles en el *Slide*. Estos son:

- Resistencia Anisótropa (“Anisotropic Strength”)
- Función Anisótropa (“Anisotropic Function”)
- Línea Anisótropa (“Anisotropic Linear”)
- Anisótropo Generalizado (“Generalized Anisotropic”)

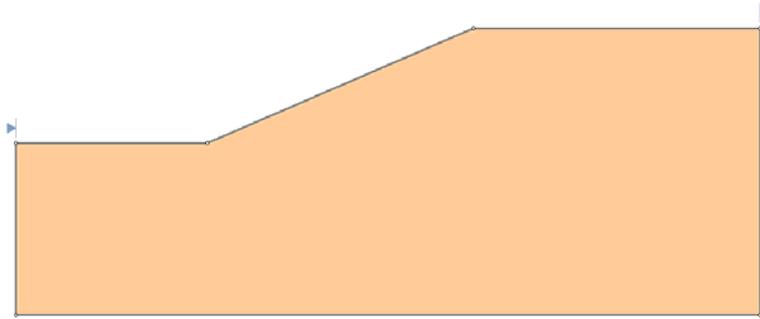
Para este tutorial, usted puede crear el mismo modelo, al utilizar el tipo de resistencia **Función Anisótropa** (“**Anisotropic Function**”), la cual le permite delimitar los rangos angulares discretos con las propiedades Mohr-Coulomb. Sin embargo, el tipo de resistencia **Anisótropa Generalizada** (“**Generalized Anisotropic**”) ofrece las siguientes ventajas:

- Cualquier tipo de material puede asignarse a cada rango angular. Todos no tienen que tener un criterio de fallo Mohr-Coulomb. Usted puede combinar y hacer coincidir cualquiera de los tipos de materiales que desee (ej. Hoek-Brown y Mohr-Coulomb).
- El tipo de resistencia Anisótropa Generalizada (“Generalized Anisotropic”) le permite utilizar un análisis probabilístico, mientras que el tipo de resistencia de Función Anisótropa (“Anisotropic Function”) no. Esto se analizará más a fondo posteriormente en el tutorial.

Vea el sistema de Ayuda del *Slide* (“*Slide Help system*”) para obtener más detalles sobre cuáles de los diferentes modelos de resistencia anisótropa están disponibles.

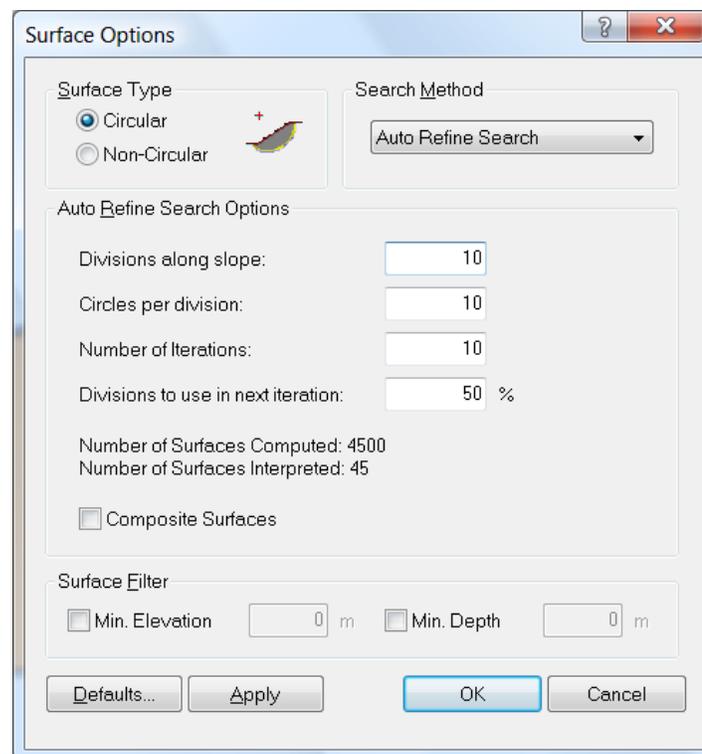
Asignar Materiales (“Assign Materials”)

Por defecto, se asigna al talud el Material 1 (Masa de Suelo (“Soil Mass”). Necesitamos configurar el material del talud al material Anisótropo Generalizado (“Generalized Anisotropic”) que usted definió anteriormente (“Material 3”). Haga clic derecho en el modelo y seleccione **Asignar Material → Material 3** (“**Assign Material → Material 3**”). El modelo lucirá así:



Superficies de Falla (“Slip Surfaces”)

Seleccione **Superficies** → **Opciones de Superficies** (“**Surfaces** → **Surface Options**”). Mediante el Método de Búsqueda (“**Search Method**”), elija la Búsqueda Avanzada (“**Auto Refine Search**”).



Haga clic en OK.

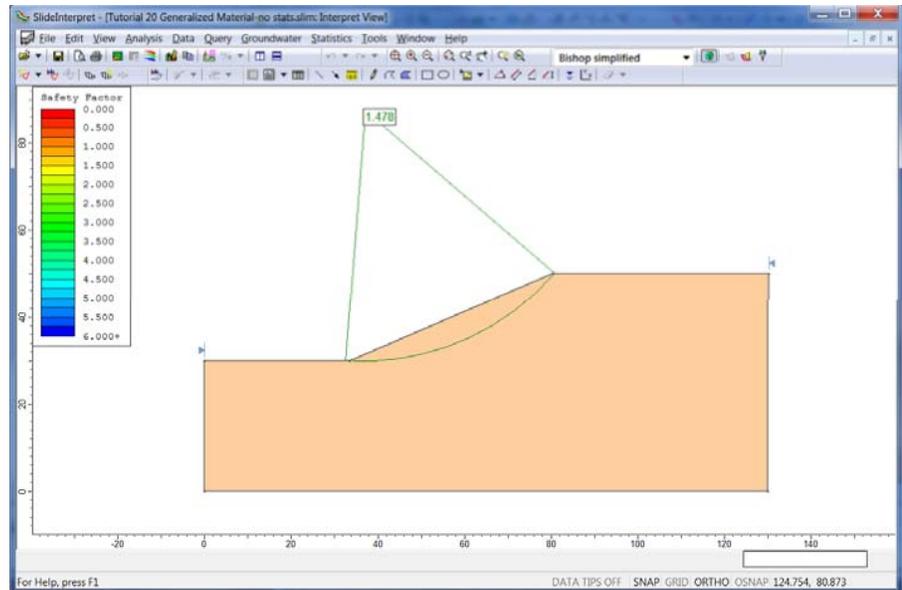
Computar (“Compute”)



Guarde el modelo, utilice la opción **Guardar Como** (“**Save As**”) en el menú **Archivo** (“**File**”). Elija **Computar** (“**Compute**”) desde el menú **Análisis** (“**Analysis**”) para llevar a cabo el análisis y elija **Interpretar** (“**Interpret**”) desde el menú **Análisis** (“**Analysis**”) para visualizar los resultados.

Interpretar (“Interpret”)

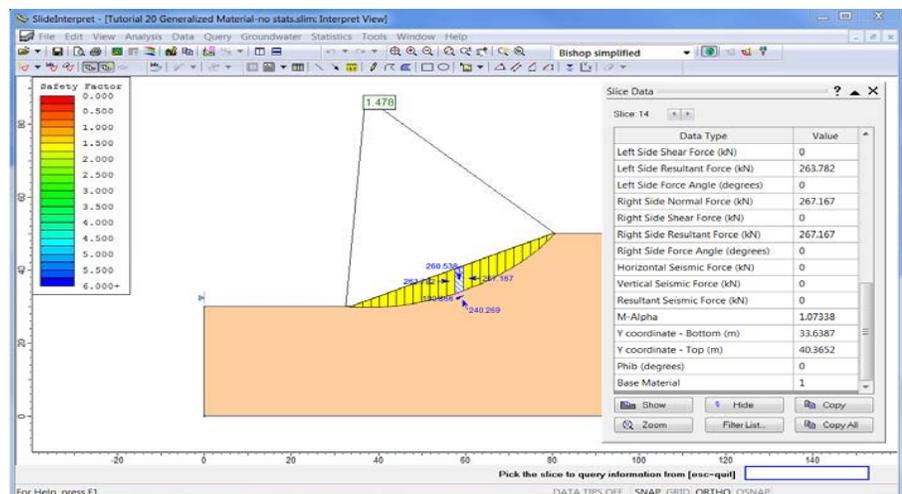
El programa Interpretar (“Interpret”) muestra los resultados del análisis Simplificado Bishop (“Bishop Simplified”) por defecto. Usted puede ver que el factor de seguridad es 1.478.



El método de equilibrio límite calcula la estabilidad de cada posible superficie de falla, al dividir el área circular dentro de los cortes y al comparar la tensión al corte y resistencia en la base de cada corte. Con el modelo del material Anisótropo Generalizado (“Generalized Anisotropic”), el ángulo de base de cada corte determina que material es utilizado para calcular la resistencia.



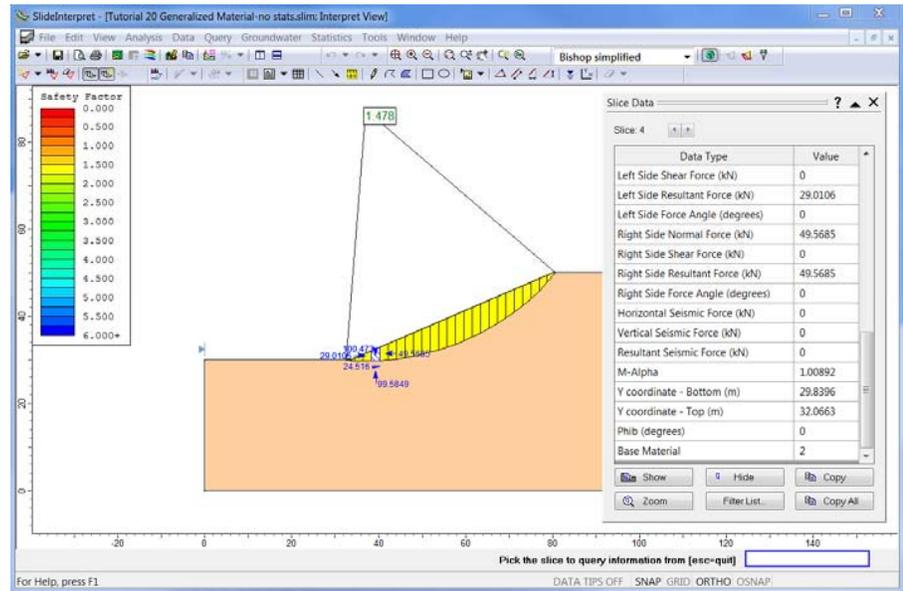
Diríjase a **Búsqueda** → **Búsqueda de Datos de Corte (“Query → Query Slice Data”)**. Haga clic en un corte que se encuentre cerca de la mitad del talud. En la ventana de diálogo Datos de Corte (“Slice Data”), desplace el cursor hacia abajo, para que pueda ver el Material de Base (“Base Material”). Para este corte, este debe ser 1 (Masa de Suelo (“Soil Mass”)).



Ahora, haga clic en un corte cerca del pie del talud.

En esta región, la base de cada corte es casi horizontal, por lo tanto el material base es el Material 2 (Estratificación (“Bedding”)).

Esto demuestra la dependencia del modelo de resistencia aplicada a la orientación de la base del talud, para el modelo Anisótropo Generalizado (“Generalized Anisotropic”).



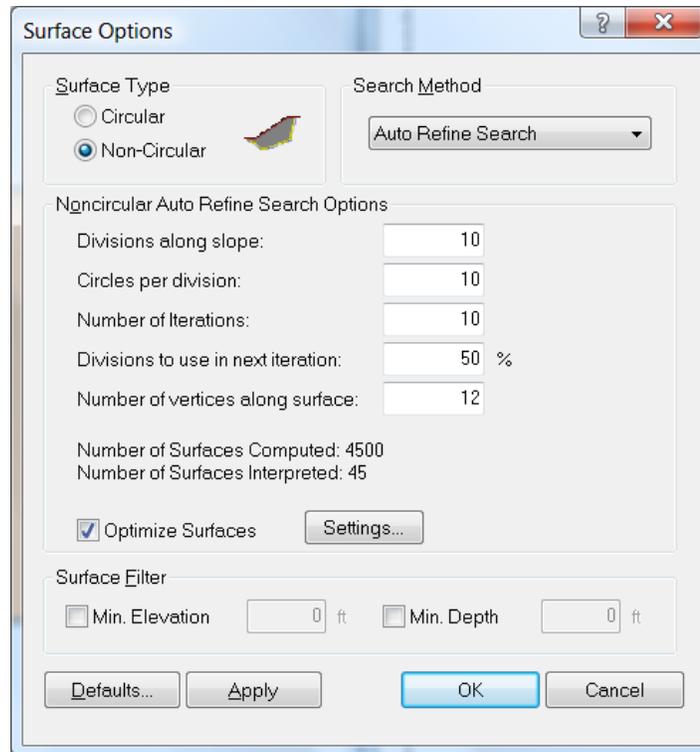
Si usted desplaza el cursor hacia atrás hasta la ventana de diálogo Datos de Corte (“Slice Data”), usted verá que la base de fricción y la cohesión reflejan los valores ingresados para el Material 2 ($c = 0$ and $\phi = 20^\circ$).

Superficie de Falla no circular (“Non-circular Failure Surface”)

Debido al plano de estratificación débil, es probable que las partes de la superficie de falla tiendan a seguir la estratificación en una dirección sub horizontal. Probablemente, estamos sobrevalorando el factor de seguridad, al forzar la superficie de falla circular. Podemos probar esto fácilmente, al especificar una superficie de falla no circular y al observar los resultados.



Diríjase al programa Modelo (“Model”). Seleccione **Superficies** → **Opciones de Superficie** (“**Surfaces** → **Surface Options**”). Mediante Tipo de Superficie (“Surface Type”), elija la No Circular (“Non-Circular”). Mediante el Método de Búsqueda (“Search Method”), elija la Búsqueda Avanzada (“Auto Refine Search”). Este método buscará de forma automática la superficie crítica no circular. Vea el sistema de Ayuda (“Help system”) para obtener más información.



Haga clic en OK para cerrar la ventana de diálogo.

Computar (“Compute”)



Guarde este modelo, utilice la opción **Guardar Como** (“**Save As**”) en el menú de **Archivo** (“**File**”). Elija **Computar** (“**Compute**”) desde el menú **Análisis** (“**Analysis**”) para llevar a cabo el análisis. Este cálculo será más largo que el anterior, ya que el programa busca más posibles superficies.



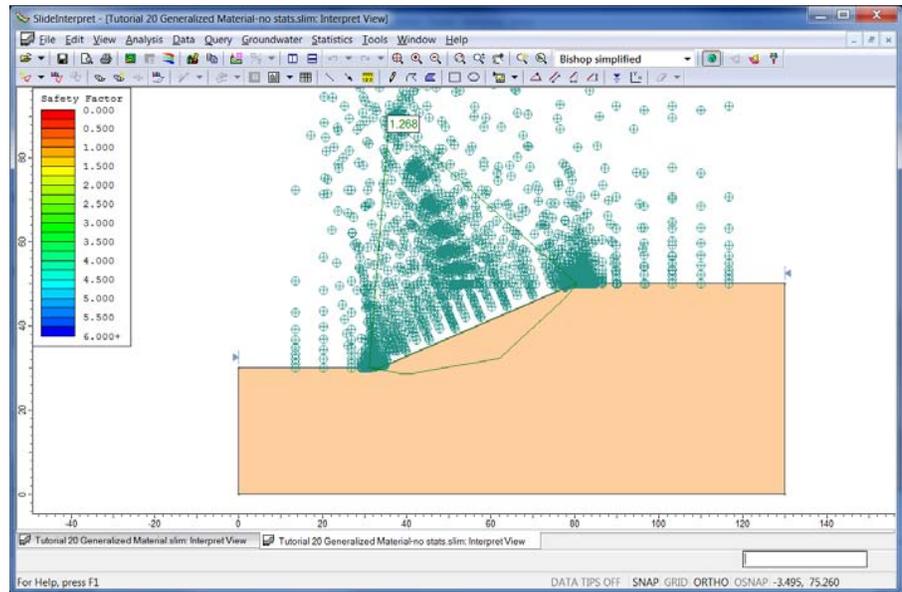
Elija **Interpretar** (“**Interpret**”) desde el menú **Análisis** (“**Analysis**”) para visualizar los resultados.

Interpretar (“Interpret”)

Sin superficies circulares, se muestran todos los centros de rotación por defecto. Usted necesita acercarse al talud para visualizar la superficie de falla crítica.

Usted puede visualizar que el factor de seguridad es de 1.268. Notablemente menor que el valor 1.478 calculado suponiendo una superficie circular. Asimismo, también es interesante observar la forma de la superficie crítica, una sección de falla sub horizontal conectada a la superficie por una pendiente pronunciada. Si usted busca los cortes que constituyen la sección sub horizontal, usted verá que el material base para cada corte es el Material 2 (Estratificación).

Esto muestra la importancia de utilizar una superficie de falla no circular en los modelos anisótropos, ya que la superficie de falla “busca” la orientación de la estratificación débil para producir un factor de seguridad menor.



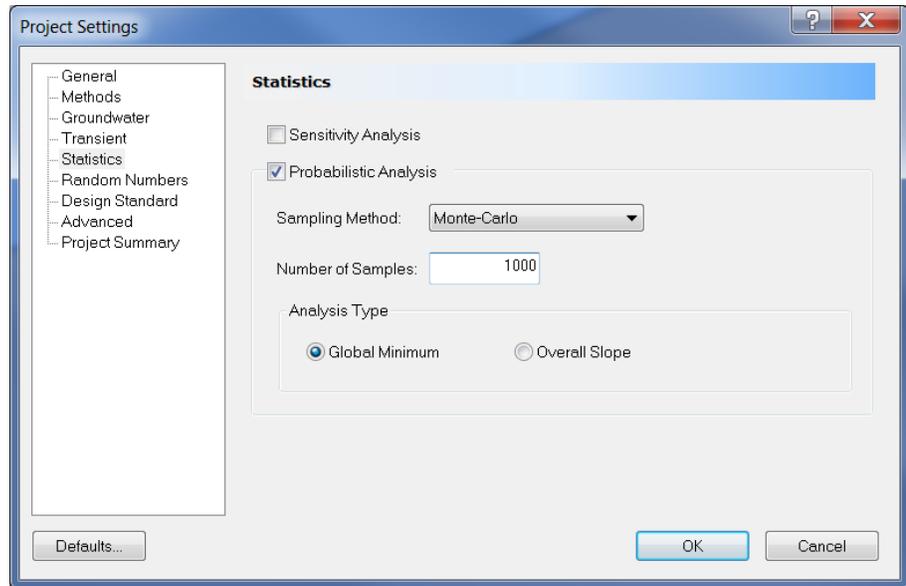
Análisis Probabilístico (“Probabilistic Analysis”)



Regrese al programa Modelo (“Model”) del *Slide*. Ahora, asumiremos que el ángulo de fricción de la orientación de estratificación no es conocido y determinaremos la probabilidad de falla para una distribución determinada de ángulos de fricción para la estratificación.



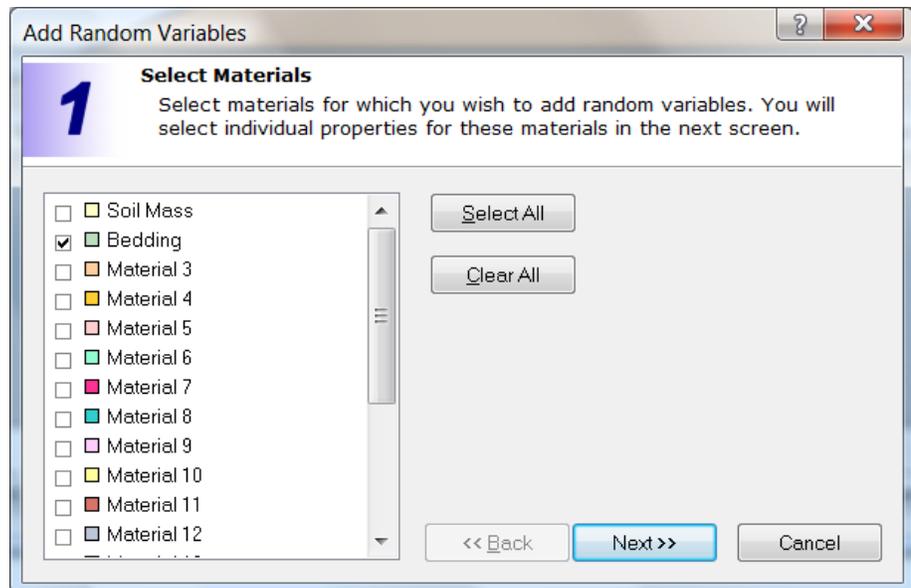
Abra la ventana de diálogo **Parámetros del Proyecto (“Project Settings”)** desde el menú **Análisis (“Analysis”)**. En la parte izquierda, haga clic en **Estadísticas (“Statistics”)**. Coloque check en la casilla para Análisis Probabilístico (“Probabilistic Analysis”). Deje el tipo de análisis como Mínimo Global (“Global Minimum”). Este encontrará una superficie crítica determinísticamente y luego calculará el factor de seguridad, al utilizar esta superficie con las distintas propiedades del material. Para volver a computarizar la superficie de falla crítica para cada aleatorización de propiedades del material, usted podrá elegir la Pendiente Total (“Overall Slope”). Esto se dejará como un ejercicio adicional, puesto que esto toma mucho tiempo para computarizar.



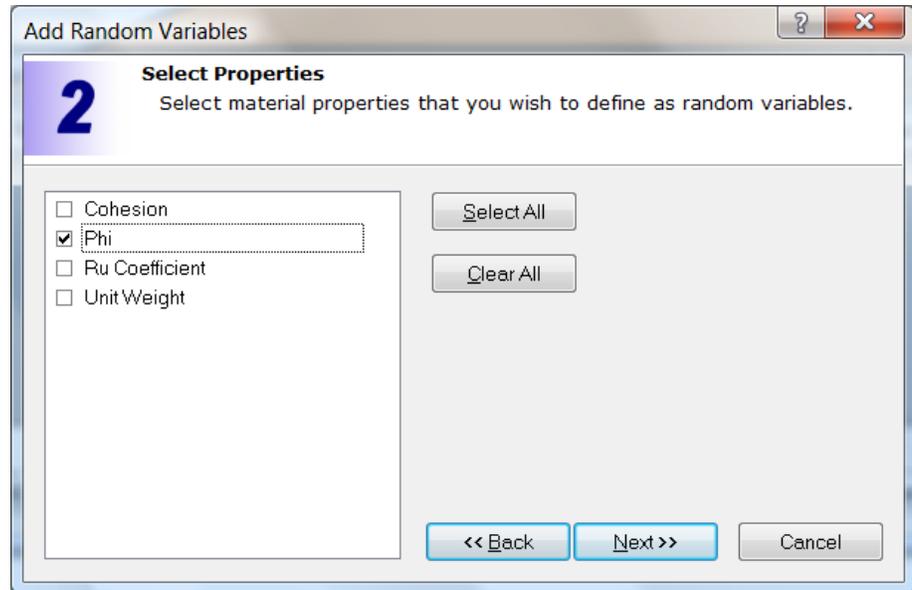
Haga clic en Ok para cerrar la ventana de diálogo.



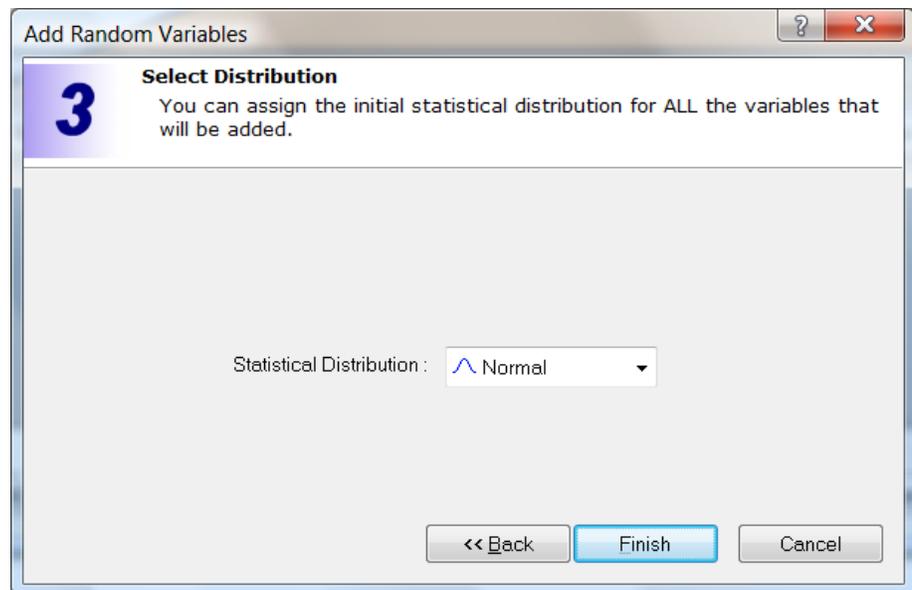
Ahora, vamos a definir la distribución estadística de la resistencia de la capa de estratificación. Diríjase a **Estadísticas** → **Materiales** (“**Statistics** → **Materials**”). En la ventana de diálogo Estadísticas (“**Statistics**”), haga clic en el botón Añadir (“**Add**”). Sólo variaremos la resistencia de Estratificación (“**Bedding**”); por lo tanto haga clic en Estratificación (“**Bedding**”).



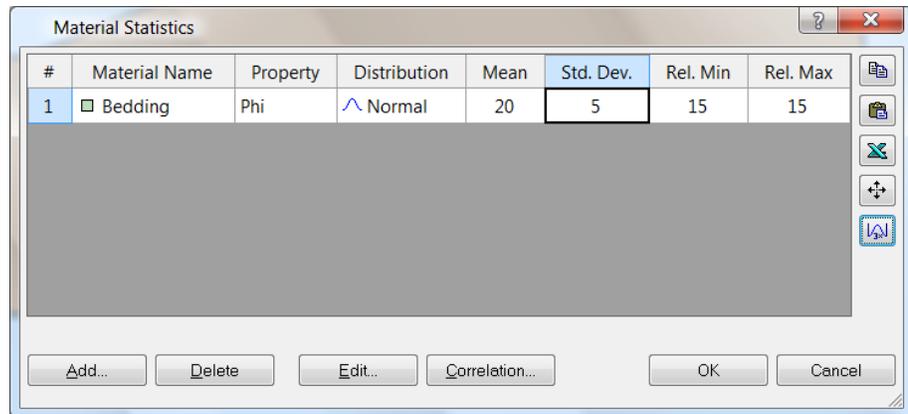
Haga clic en Siguiente (“**Next**”). La cohesión de la estratificación es 0, por lo que sólo cambiaremos el ángulo de fricción. Coloque check en la casilla para Φ (“**Phi**”).



Haga clic en Siguiente (“Next”). Para la Distribución Estadística (“Statistical Distribution”), elija Normal.



Haga clic en Finalizar (“Finish”). Ahora necesita ingresar la Media (“Mean”) y Deviación Estándar (“Standard Deviation”) para la distribución. El Medio (“Mean”) está automáticamente configurado al valor determinístico del análisis previo (20°); de modo que sólo necesitamos configurar la desviación estándar. Ingrese 5. Ahora, usted puede configurar automáticamente el máximo y mínimo a 3 desviaciones estándar, al hacer clic en el botón inferior en la parte derecha . La ventana de diálogo debe lucir así:



Haga clic en OK para cerrar la ventana de diálogo.

Computar (“Compute”)

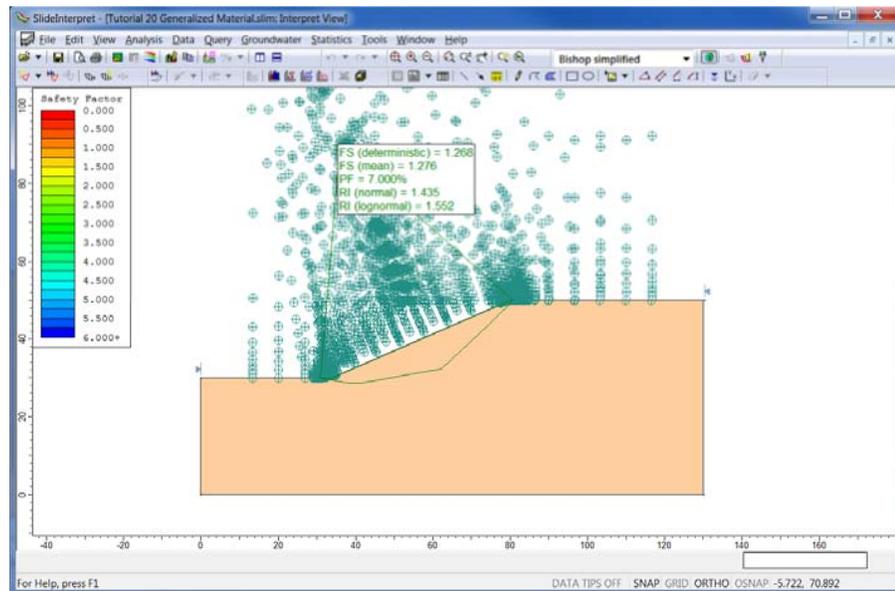
Guarde el modelo, utilice la opción **Guardar (“Save”)** en el menú **Archivo (“File”)**.



Elija **Computar (“Compute”)** desde el menú **Análisis (“Analysis”)** para llevar a cabo el análisis y elija **Interpretar (“Interpret”)** desde el menú **Análisis (“Analysis”)** para visualizar los resultados.

Interpretar (“Interpret”)

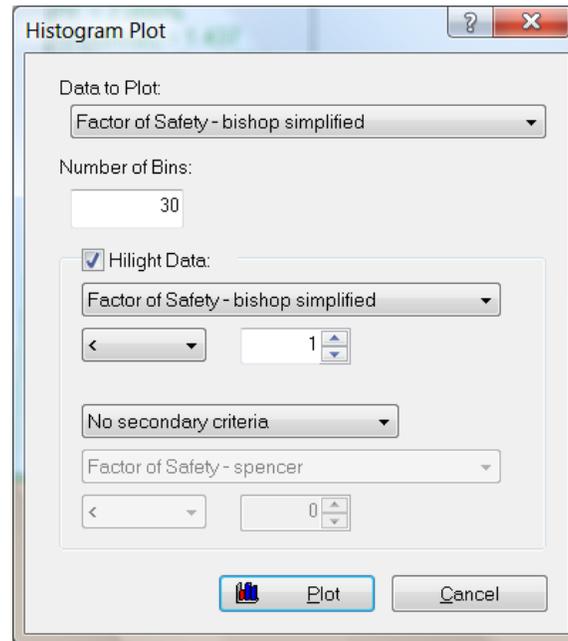
Ahora, usted observará los centros de rotación determinísticos y la superficie de falla mínima global, junto con algunos datos estadísticos (usted necesitará acercarse a la imagen).



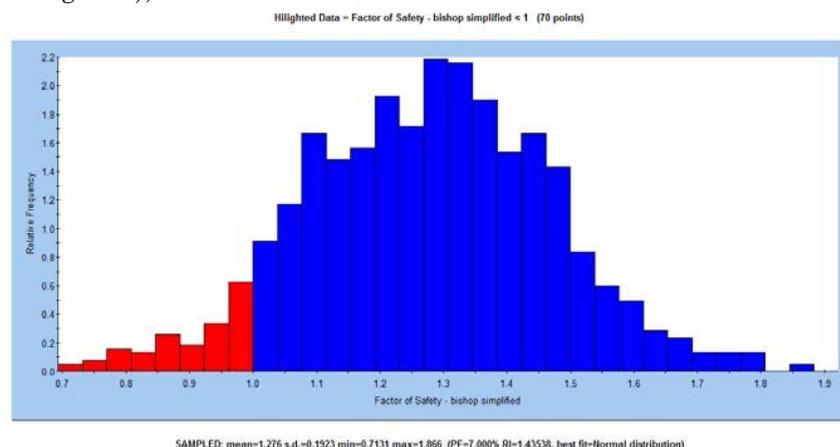
Usted puede observar el factor de seguridad medio (1.276) se encuentra cerca del factor de seguridad determinístico (1.268) y que la probabilidad de falla es de (PF) 7%.



Usted puede observar la distribución de factores de seguridad, al dirigirse a **Estadísticas** → **Gráfico de Histograma** (“**Statistics** → **Histogram Plot**”). Configure los Datos (“Datos”) para Graficar (Plot) = Factor de Seguridad (“Factor of Safety”) - Bishop Simplificado (“Bishop Simplified”). Seleccione la casilla de selección Resaltar Datos (“Highlight Data”). En cuanto al criterio de destaque, seleccione “Factor de Seguridad (Factor of Safety)- Bishop Simplificado (“Bishop Simplified”)” y configure el criterio a < 1 .



Seleccione el botón Gráfico (“Plot”) y se generará el Histograma (“Histogram”), tal como se muestra.



Usted puede observar una distribución normal esencialmente de factores de seguridad con un 7% aproximadamente del área mostrada en rojo (factor de seguridad menor de 1). Usted podrá obtener un gráfico más preciso, al utilizar más muestras en el análisis Monte-Carlo (ej. 10,000 en lugar de 1,000) o al elegir el método de muestra Latin-Hypercube. Vea el sistema de ayuda para obtener más detalles. Esto concluye este tutorial.