

Rápido Descenso de Nivel de varias etapas

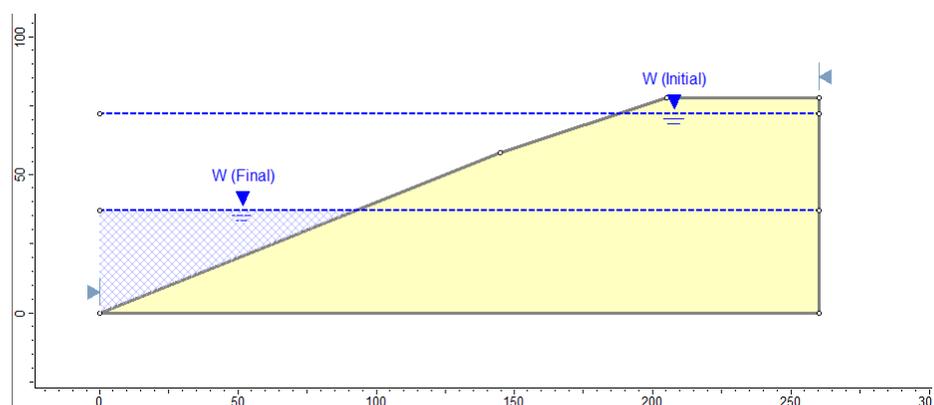
Cuando el nivel del agua en una presa se desborda, la fuerza estabilizadora es eliminada debido al peso del agua. Si el material de presa tiene una permeabilidad baja y el nivel del agua cae rápidamente, entonces el exceso de la presión de poros será más lento de disipar. Esto causa estabilidad reducida en el talud. Este tutorial describe cómo utilizar el *Slide* para modelar el rápido descenso de nivel y examinar el efecto en la estabilidad de la presa y el factor de seguridad.

Se puede encontrar el producto terminado de este tutorial en el archivo de datos **Tutorial 17 Rápido Descenso de nivel.slim** (“**Tutorial 17 Rapid Drawdown.slim**”) Se pueden acceder a todos los archivos del tutorial 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

- Rápido Descenso de nivel: Duncan, Wright y Wong
- Rápido Descenso de nivel: Lowe y Karafiath
- Rápido Descenso de nivel: Army Corps of Engineers (“Cuerpo de Ingenieros de la Armada”)

Geometría



Reservorio Completo Estado Estacionario (“Full Reservoir, Steady State”)

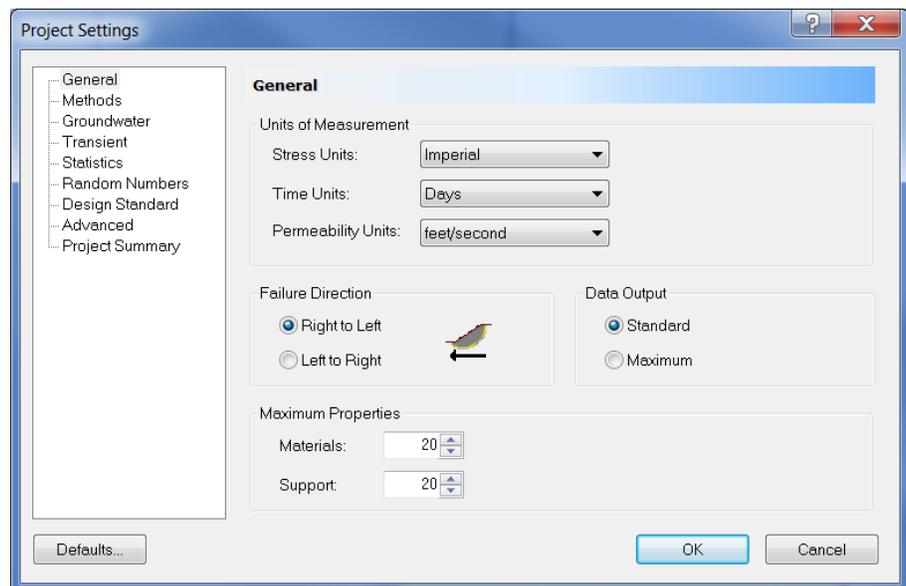
El modelo se basa en el análisis de Presa Pilarcitos, tal como se describe en Duncan, Wright y Wong (1990). La presa falló debido al rápido descenso del nivel del agua en noviembre, 1969.

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** (“**Analysis**”). Configure las Unidades de Tensión (“**Stress Units**”) a Imperial. No es importante el tiempo de las unidades, ya que no estamos haciendo un análisis de agua subterránea de elemento finito transitorio. Asegúrese de que la Dirección de Falla (“**Failure Direction**”) = Derecha (“**Right**”) a Izquierda (“**Left**”). La ventana de diálogo debe lucir como sigue:



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

Límites (“Boundaries”)



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

0 , 0

260 , 0

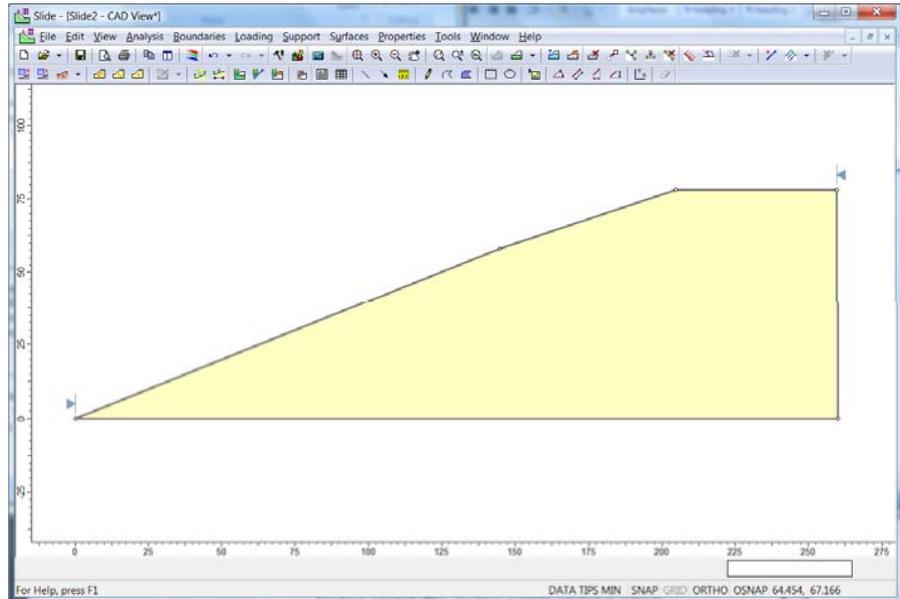
260 , 78

205 , 78

145 , 58

c (para cerrar el límite)

Presione Ingresar (“Enter”) para finalizar la entrada de puntos. Esto define el límite externo, el cual delimita la presa. Se asume que la presa debe asentarse sobre un material de alta resistencia que no esté incluido en el modelo. La presa debe lucir como sigue:



Propiedades del Material (“Material Properties”)



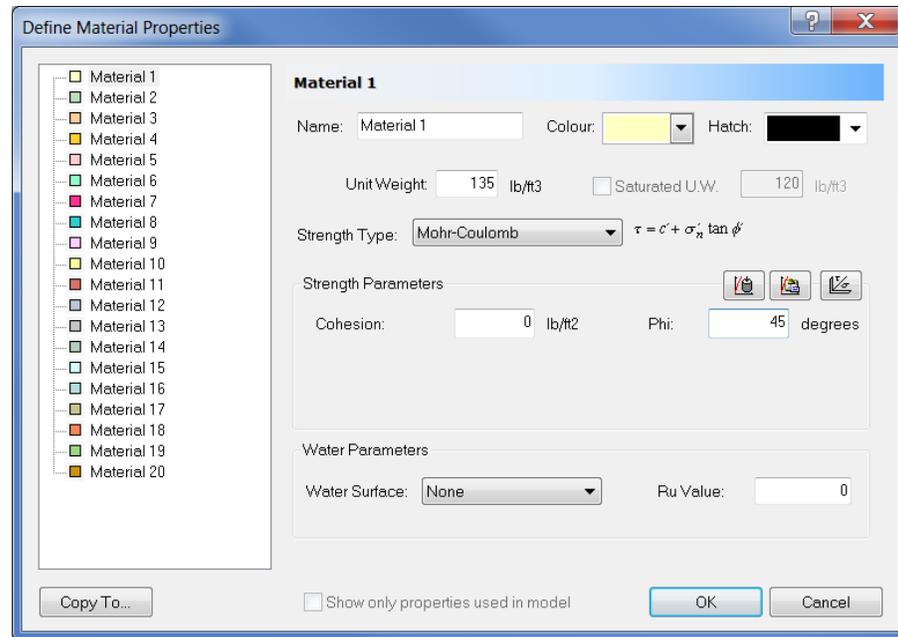
Seleccione **Definir Materiales (“Define Materials”)** desde el menú **Propiedades (“Properties”)**. La presa es un terraplén lleno de tierra laminada con las siguientes propiedades de material drenado.

$$\gamma = 135 \text{ pcf}$$

$$c' = 0 \text{ ksf}$$

$$\phi' = 45^\circ.$$

Entonces, ingrese las propiedades del material para Material 1, tal como se muestra.



Haga clic en OK para cerrar la ventana de diálogo.

Napa Freática (“Water Table”)

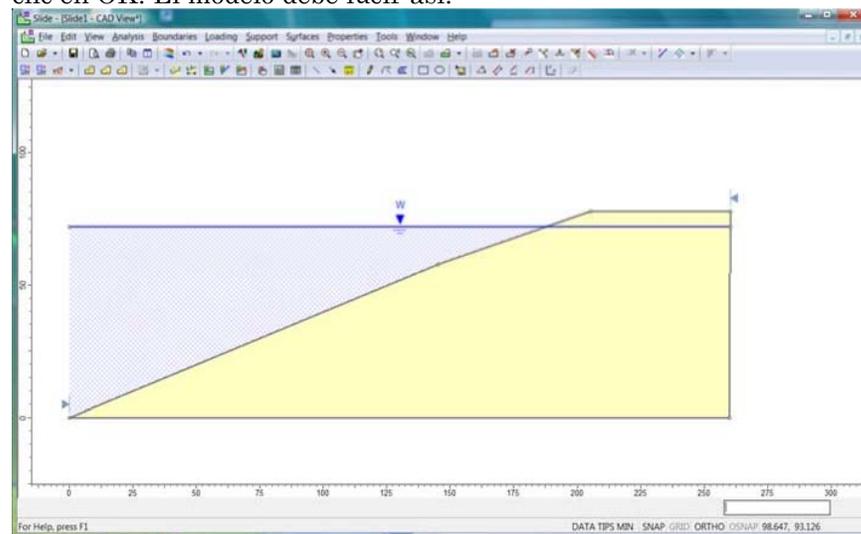


Para añadir la napa freática, seleccione **Límites** → **Añadir Napa Freática** (“**Boundaries** → **Add Water Table**”). Ingrese las siguientes coordenadas:

0 , 72

260 , 72

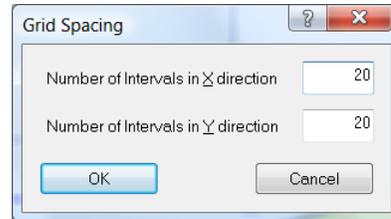
Presione Ingresar (“Enter”) para finalizar la entrada de coordenadas. Cuando aparezca la ventana de diálogo Asignar Napa Freática a Materiales (“Assign Water Table to Materials”), asegúrese de que se seleccione el Material 1 y haga clic en OK. El modelo debe lucir así:



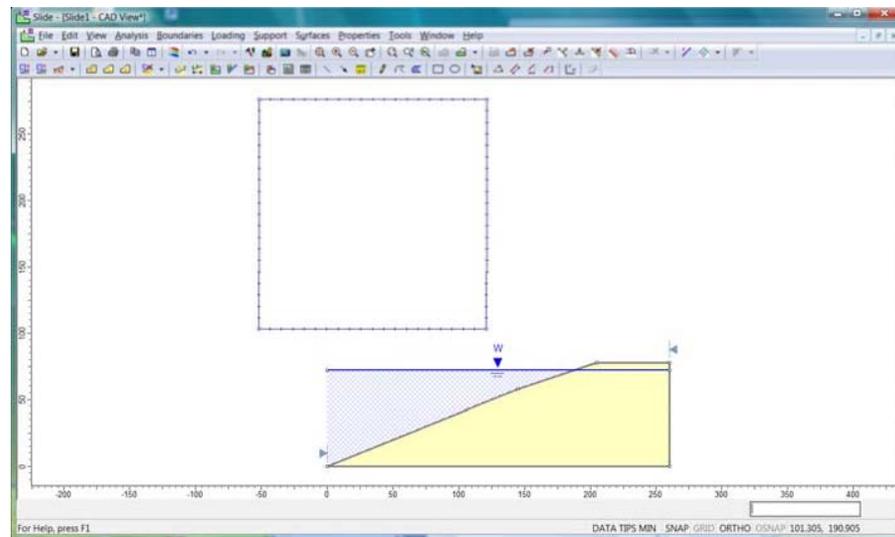
Superficies de falla (“Slip Surfaces”)



Seleccione **Superficies** → **Cuadrículas Autogeneradas** (“**Surfaces** → **Auto Grid**”) para generar automáticamente una cuadrícula de centros de falla. Deje el espaciado de cuadrícula de falla como 20 en la dirección X y 20 en la dirección Y.



Haga clic en OK en la ventana de diálogo y el modelo lucirá como esto:



Ahora, usted está listo para computar los resultados para todo el reservorio.

Computar (“Compute”)

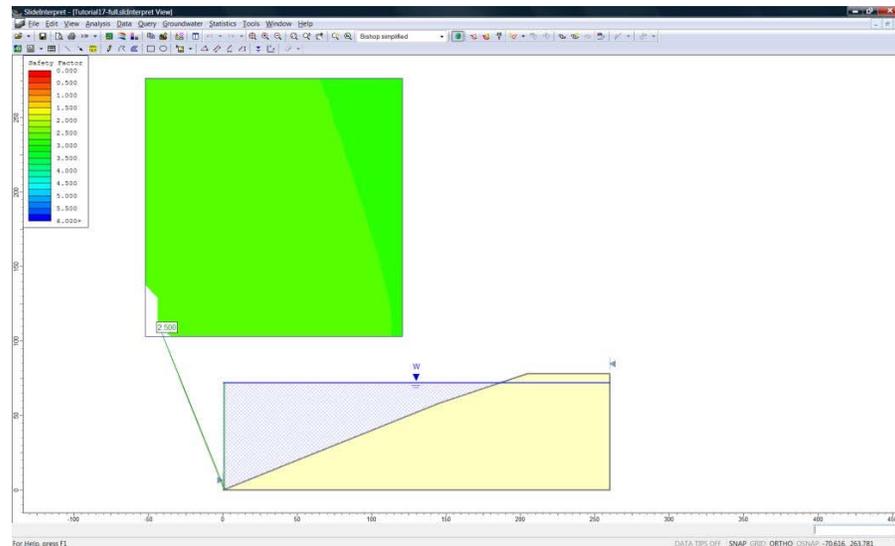


Guarde el modelo, utilice la opción **Guardar Como** (“**Save As**”) en el menú **Archivo** (“**File**”). Elija **Computar** (“**Compute**”) desde el menú de **Análisis** (“**Analysis**”) para llevar a cabo el análisis y elija **Interpretar** (“**Interpret**”) desde el menú de **Análisis** (“**Analysis**”)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

Interpretar (“Interpret”)

El programa Interpretar (“Interpret”) muestra los resultados del análisis Simplificado Bishop por defecto. Usted puede ver que el factor de seguridad es 2.5 y que esto es para una superficie de falla muy pequeña en el pie.

(Usted puede prevenir que el *Slide* genere estas superficies erróneas poco profundas, si se dirige a Superficies→ Opciones de Superficie (“Surfaces → Surface Options”) y selecciona una profundidad mínima mayor que 0. Vea los archivos de ayuda para más detalles). Básicamente, se puede considerar a este modelo como estable.



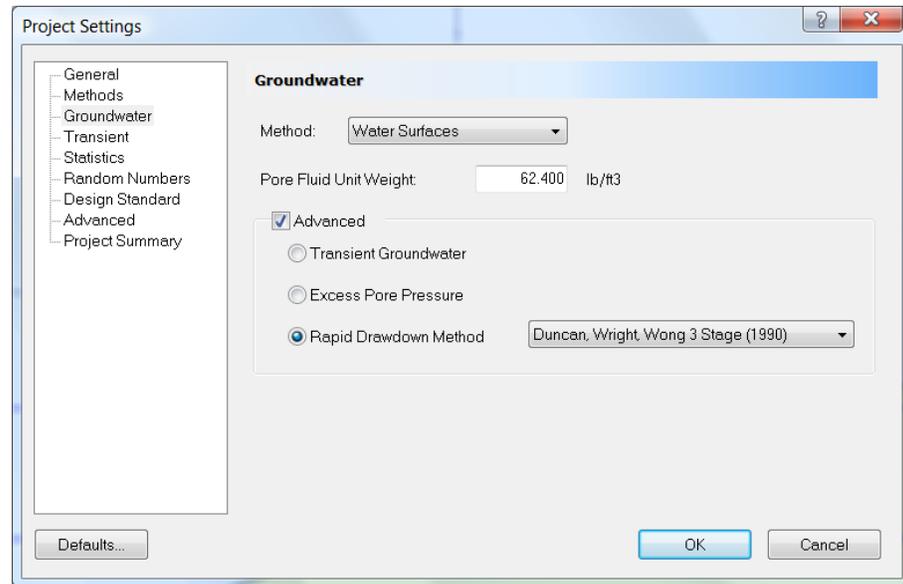
Modelo con Rápido Descenso de nivel



Regrese al programa Modelo (“Model”) del *Slide*. Ahora, simularemos el rápido descenso de la napa freática. Primero, tenemos que habilitar el análisis rápido descenso de nivel.



Abra la ventana de diálogo **Parámetros del Proyecto** (“**Project Settings**”) desde el menú **Análisis** (“**Analysis**”). En el lado izquierdo, haga clic en **Agua Subterránea** (“**Groundwater**”). Haga clic en la casilla de selección **Avanzado** (“**Advanced**”) y seleccione **Método Rápido Descenso de Nivel** (“**Rapid Drawdown Method**”). Observaremos los tres métodos diferentes en este tutorial, pero primero examinaremos el método Duncan, Wright y Wong; por ende, elija este método en el menú desplegable.



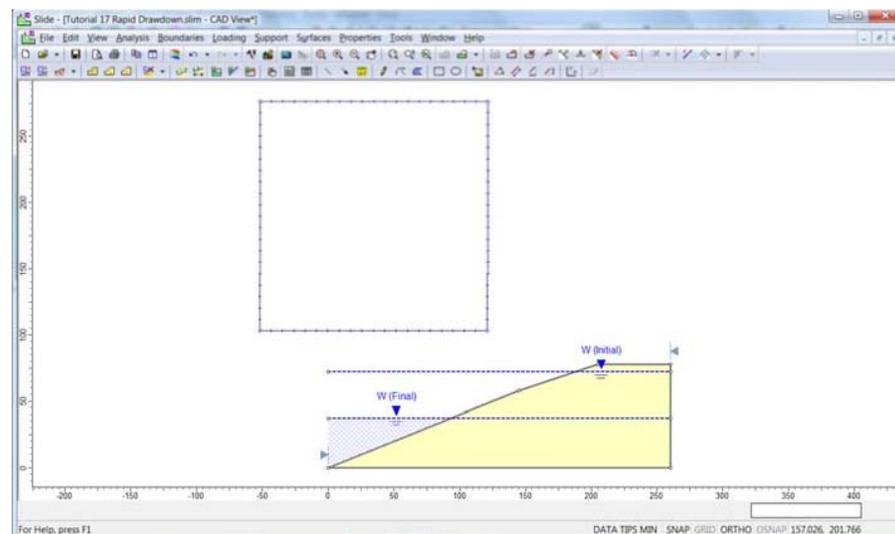
Haga clic en OK para cerrar la ventana de diálogo.

Ahora, usted verá que la napa freática aparece como una línea punteada y se registra con la palabra “Inicial”. Ahora, necesitamos añadir la posición final de la napa freática. Diríjase a **Límites** → **Añadir Línea de Descenso de Niveles** (“**Boundaries** → **Add Drawdown Line**”). Ingrese las siguientes coordenadas:

0 , 37

260 , 37

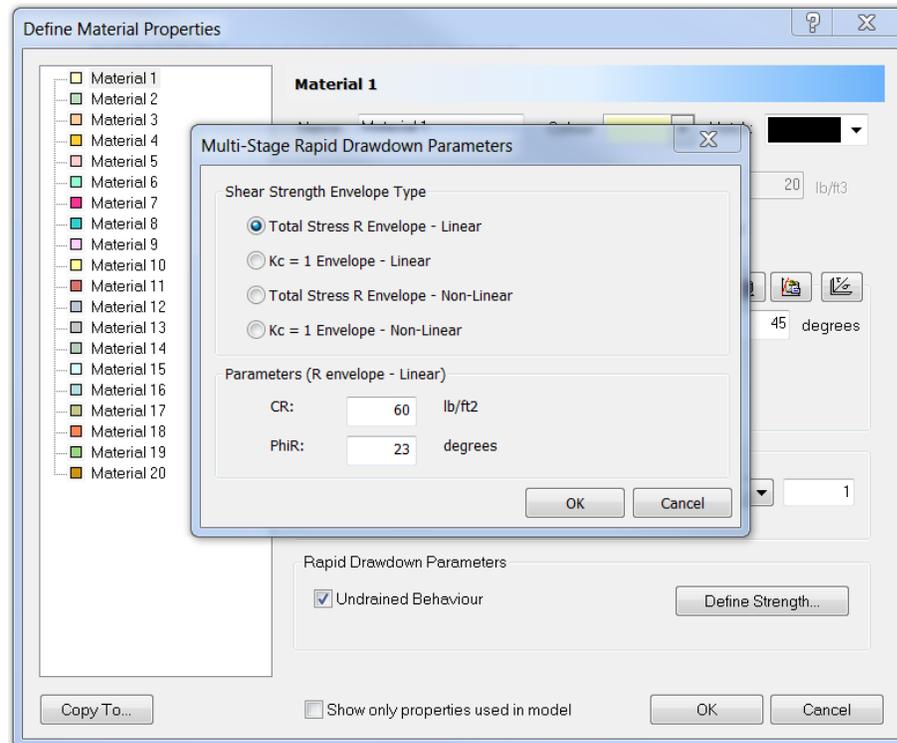
Presione Ingresar (“Enter”) para dejar de ingresar puntos de entrada. El modelo lucirá como sigue:



Hay algo más que debe realizarse antes de ejecutar el análisis de descenso de niveles, y ello es definir las propiedades del material no drenado.



Seleccione **Definir Materiales** (“**Define Materials**”) desde el menú **Propiedades** (“**Properties**”). Bajo los Parámetros de Rápido Descenso de Nivel (“**Rapid Drawdown Parameters**”) revise la casilla para Comportamiento No Drenado (“**Undrained Behaviour**”). Haga clic en el botón Definir Resistencia (“**Define Strength**”). Seleccione la opción la Tensión Total de Envoltura Lineal R (“**Total Stress R Envelope – Linear**”). Ingrese una Cr de 60 psf y un ángulo de 23°.

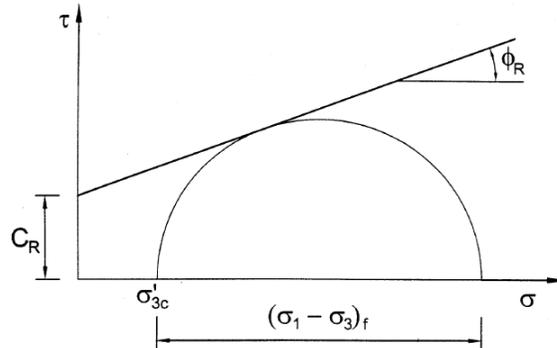


Haga clic en OK para cerrar la ventana de diálogo Definir Propiedades del Material (“**Define Material Properties**”).

La tensión total de envoltura R es una manera de representar la Resistencia no drenada del material. También es posible especificar un valor de $K_c=1$ envoltura. Para obtener más detalles sobre el significado de estas envolturas y sus relaciones con las otras, observe la siguiente información:

Acerca de las envolturas

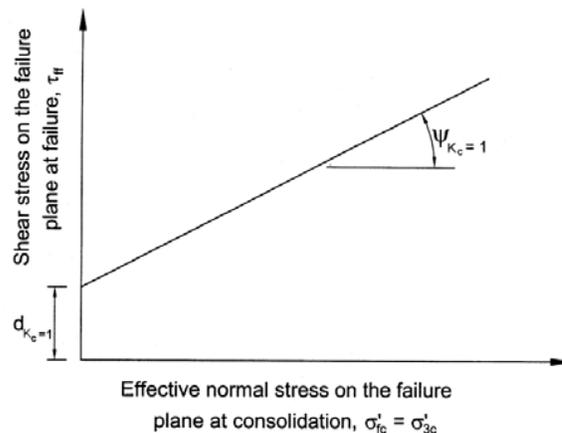
Para el material no drenado, se puede determinar la resistencia al corte de los ensayos de laboratorio isotrópico consolidado sin drenaje (IC-U). Se puede construir la tensión total de envoltura R, tal como se muestra a continuación.



En donde σ'_{3c} es la tensión efectiva durante la consolidación (isotrópica) y $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ es la principal diferencia en la falla.

De los mismos datos de ensayo del laboratorio, se puede construir en cambio un a $K_c = 1$ envoltura, tal como se muestra a continuación.

$$\tau_{ff} = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)_f}{2} \cos \phi'$$



Se relacionan estas dos envolturas mediante las siguientes ecuaciones:

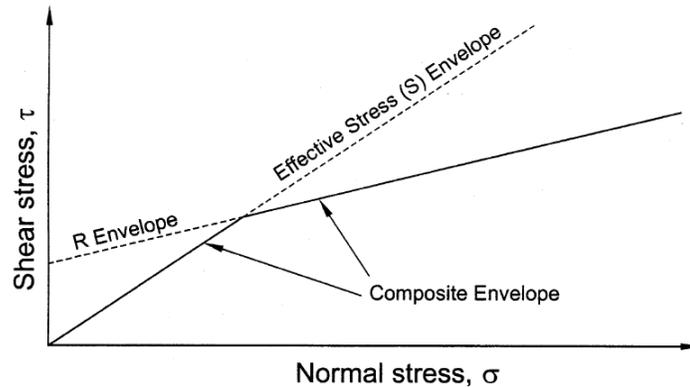
$$d_{K_c=1} = c_r \left(\frac{\cos \phi_r \cos \phi'}{1 - \sin \phi_r} \right)$$

$$\psi_{K_c=1} = \tan^{-1} \left(\frac{\sin \phi_r \cos \phi'}{1 - \sin \phi_r} \right)$$

En donde ϕ' es el ángulo de fricción no drenado.

Método Army Corps

Para desarrollar el análisis de equilibrio límite, el método Army Corps requiere la envoltura R. Si $K_c = 1$ envoltura es ingresada en cambio, entonces esta se convierte al utilizar las siguientes ecuaciones arriba descritas. La envoltura R se combina con la envoltura de tensión efectiva para evitar emplear elevadas resistencias al corte que resulten presiones negativas de poros. A continuación se muestra el compuesto de poros.



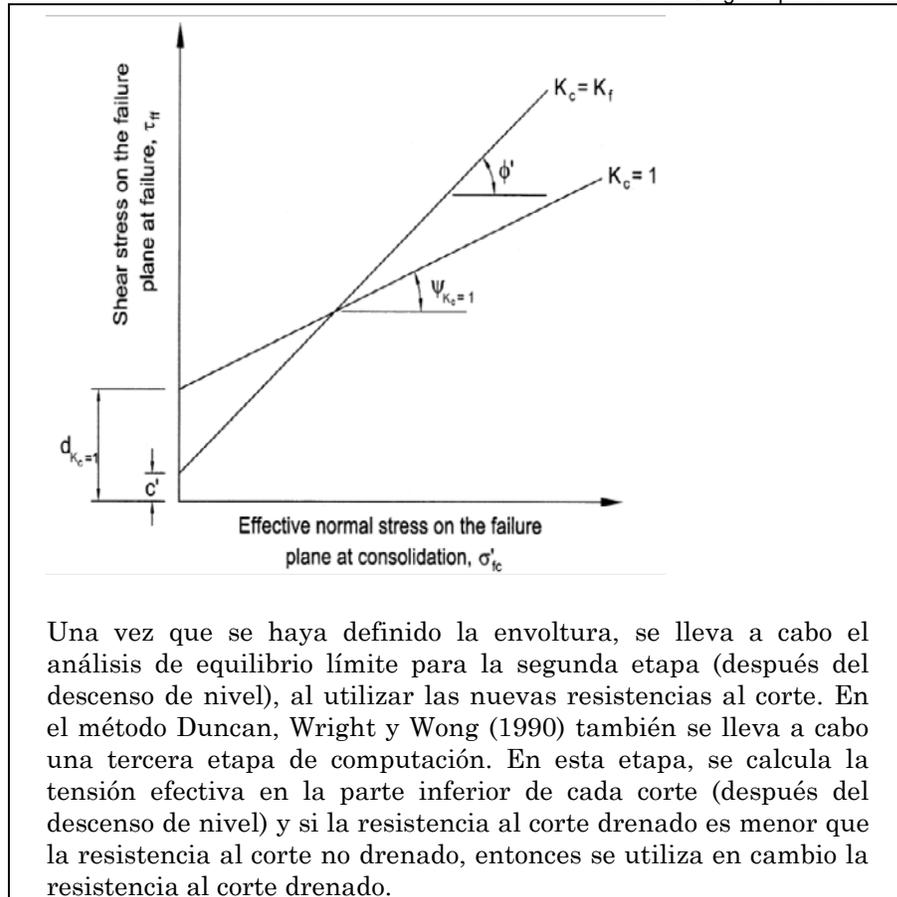
Otros métodos

El método de Lowe y Karafiath (1960) y Duncan Wright y Wong (1990) requieren que $K_c = 1$ envoltura.

Si se ingresa en cambio la envoltura R, esta es convertida, utilizando las ecuaciones anteriores.

$K_c = 1$ se refiere a un estado consolidado de forma isotrópica.

Para obtener que la envoltura sea de un material consolidado de forma isotrópica (donde $K_c \neq 1$) se debe graficar en el mismo gráfico la envoltura de falla drenada. Se asume que la envoltura drenada representa la resistencia al corte no drenado del suelo en un K_c máximo permitido (esto es, el valor K_c que resulta en falla durante la consolidación). La envoltura que se utilizará en el análisis posteriormente será interpolada entre los dos, utilizando el valor K_c para cada corte en el análisis de equilibrio límite del talud previo al descenso de nivel.



Computar (“Compute”)

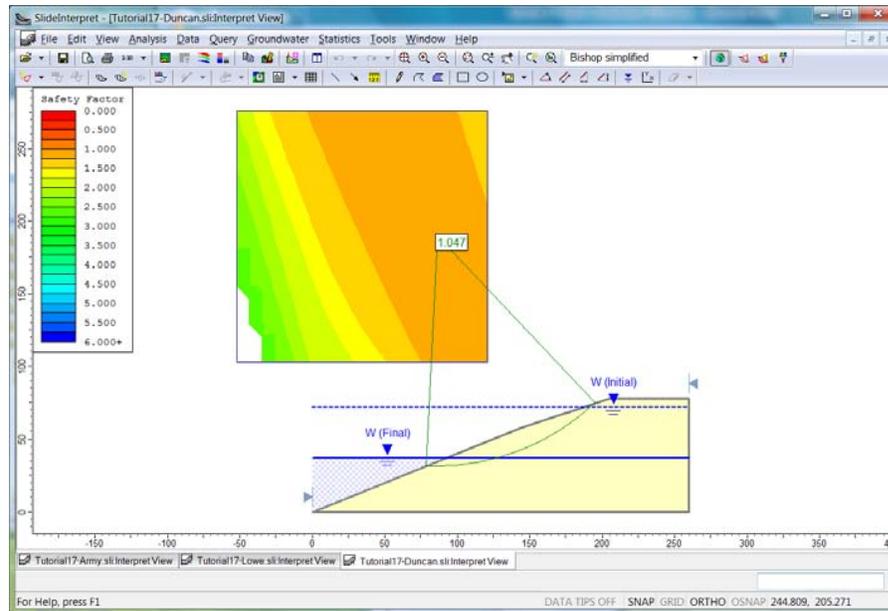
Guarda el modelo, utilice la opción **Guardar** (“Save”) en el menú **Archivo** (“File”).



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”)

Como antes, el programa Interpretar (“Interpret”) muestra los resultados del análisis Bishop Simplificado (“Bishop Simplified”).

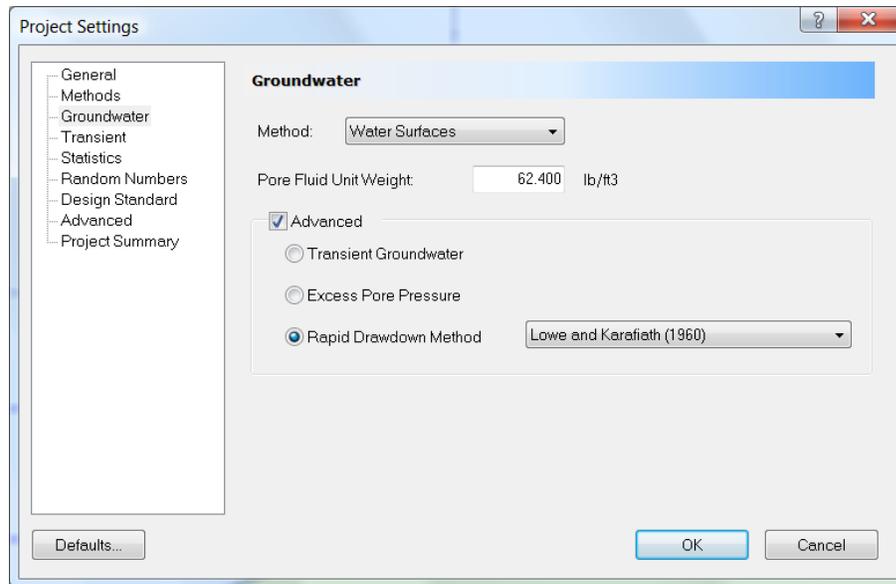


Usted puede observar que el factor de seguridad es de ahora 1 aproximadamente, correspondiendo al talud de falla, tal como se observa actualmente en la Presa Pilarcitos.

Método Lowe y Karafiath



Regrese al programa Modelo (“Model”) del *Slide*. Abra los **Parámetros del Proyecto (“Project Settings”)** desde el menú **Análisis (“Analysis”)**. Haga clic en el enlace de la parte izquierda de Agua Subterránea (“Groundwater”). Al costado del Método de Rápido Descenso de Nivel (“Rapid Drawdown Method”), seleccione Lowe y Karafiath (1960). El método Lowe y Karafiath es en esencia el mismo que el método Duncan, Wright y Wong. La diferencia es que el método Duncan, Wright y Wong se lleva a cabo en la tercera etapa del cálculo en la cual se revisa si la tensión efectiva después del descenso de nivel produce una resistencia drenada que sea menor que la resistencia no drenada. Si se encuentran cualquiera de los cortes como sucede en este caso, entonces la resistencia drenada es sustituida y se vuelve a ejecutar el análisis.



Haga clic en OK para cerrar la ventana de diálogo.

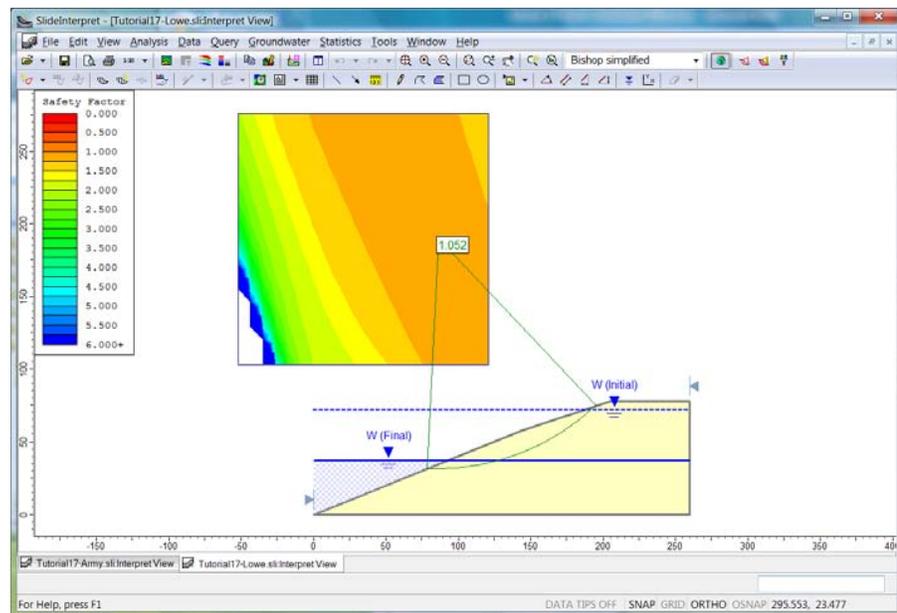
Computar (“Compute”)



Guarde el modelo, utilice la opción **Guardar Como** (“**Save as**”) en el menú Archivo (“**File**”). Usted puede elegir un nombre diferente, para que pueda comparar los resultados de este modelo con los resultados del modelo Duncan, Wright y Wong. Elija Computar (“**Computar**”) desde el menú de Análisis (“**Análisis**”) para llevar a cabo el análisis y elija Interpretar (“**Interpret**”) desde el menú de **Análisis** (“**Analysis**”) para visualizar los resultados.

Interpretar (“Interpret”)

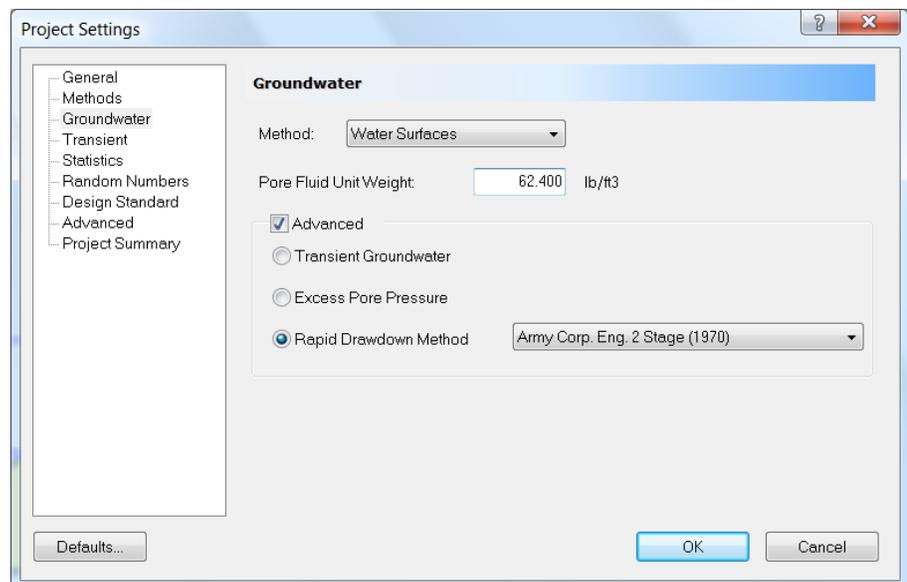
Usted podrá ver que el factor de seguridad para el método Lowe y Karafiath es 1.052. Este es ligeramente más elevado que el valor de 1.047 obtenido con el método Duncan, Wright y Wong. Esto indica que algunos de los cortes deben haber tenido resistencias menores de drenaje que las resistencias de no drenaje. Por lo tanto, la tercera etapa de análisis en el método Duncan, Wright y Wong resultó en un factor de seguridad ligeramente menor.



Método Army Corps



Regrese al programa Modelo (“Model”) del *Slide*. Abra los **Parámetros del Proyecto** (“**Project Settings**”) desde el menú **Análisis** (“**Analysis**”). Haga clic en el enlace del lado izquierdo de Agua Subterránea (“**Groundwater**”). Al costado del Método de Descenso de Nivel Rápido (“**rapid Drawdown Method**”), seleccione Army Corps. Eng. 2 Etapa (1970).



Tal como se describió anteriormente, el método Army Corps utiliza una cubierta de falla diferente a la de otros métodos. Sin embargo, no necesitamos cambiar las propiedades del material, ya que el *Slide* desarrolla de forma automática cualquier conversión solicitada.

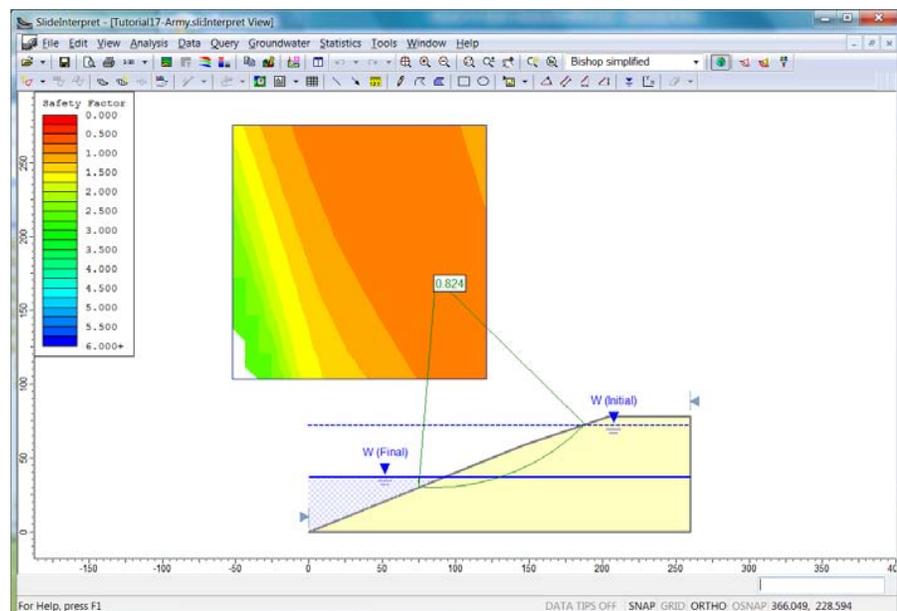
Computar (“Compute”)



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

Interpretar (“Interpret”)

Para el método Army Corps, el factor de seguridad es de 0.824, significativamente más bajo que otros métodos. Esto concuerda con la creencia general que el método Army Corps proporciona los resultados que son muy conservadores.



Esto concluye este tutorial.

Ejercicio Adicional

En lugar de utilizar la envoltura R, trate de ingresar en cambio un $K_c = 1$ envoltura. Si usted especifica que $d = 64 \text{ lb/ft}^2$ y $\psi = 24.4^\circ$, luego usted debe obtener los mismos resultados.

Referencias

Corps of Engineers, 1970. Engineering and Design – Stability of Earth and Rock Fill Dams, Engineering Manual, EM 1110-2-1902. Department of the U.S. Army, Corps of Engineers, Office of the Chief of Engineers (Departamento de los Estados Unidos, Cuerpo de Ingenieros del Ejercito, Oficina del Jefe de Ingenieros).

Duncan, J.M., Wright, S.G. and Wong, K.A., 1990. Slope Stability during Rapid Drawdown, Proceedings of H. Bolton Seed Memorial Symposium. Vol. 2.

Lowe, J and Karafiath, L., 1960. Stability of Earth Dams Upon Drawdown, Proceedings of 1st PanAm Conference on Soil Mechanic and Foundation Engineering. Mexico City, Vol 2.