

Pendiente Rocosa - Estabilidad de cuña de roca

Programa: Estabilidad de Roca

Archivo: Demo_manual_28.gsk

El objetivo de éste capítulo del manual de ingeniería es explicar una estabilidad de taludes de roca situado en una semirroca o roca dura tectónicamente afectado por una excavación seleccionada.

El afloramiento de excavación evaluado está formado por un sistema de fallas tectónicas y las juntas dispuestas en una cuña de roca 3D en su mayoría inestables.

Descripción de la tarea

La historia del afloramiento fue a través de los trabajos de excavación relacionados con la construcción del túnel Votice de dos vía de ferrocarril. Hay juntas estructurales rellenas por micro granitos, aplita parte granito anfibolita biotítica (los tipos de rocas más comunes).

El afloramiento evaluado es uno típico con orientación no factible de los planos de corte, esos planos afecta a la estabilidad de la cara de la roca y la forma del deslizamiento de la cuña de roca (figura 1).



Figura 1: Pendiente occidental del pozo de excavación, fotografía L. Marik

En la investigación geológica se descubrió, que la estabilidad se ve afectada por la excavación de tres a cuatro sistemas de fallas y juntas. La masa de roca se fragmenta en una amplia gama de piedras y bloques de rocas y amplios bloques, con un tamaño mayor a varios metros.

La dirección de inclinación de los fallos de la roca forman un ángulo agudo menor de 45 grados con una pendiente de excavación y una caída de la pendiente de 65 a 80 grados, ángulo hacia el este (Fig. 2).

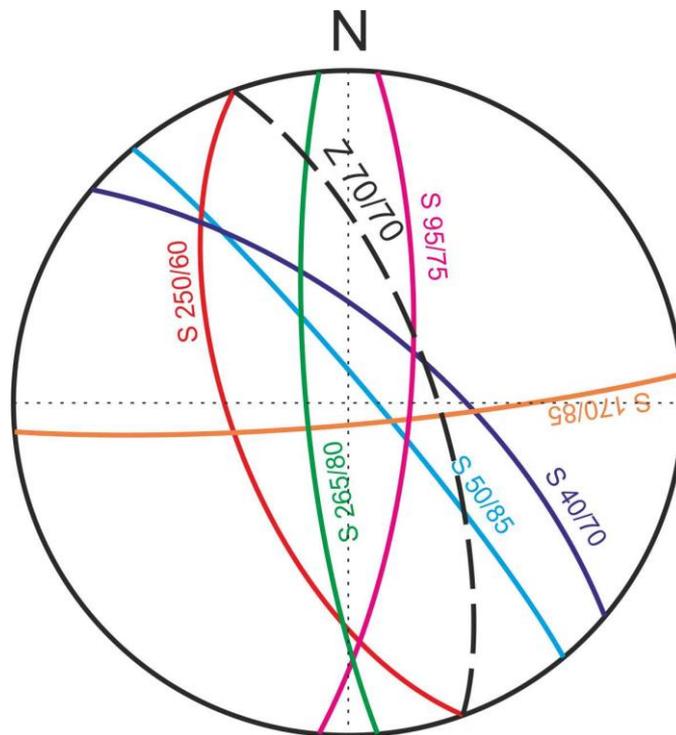


Figura 2: Diagrama Lambert de proyección ortogonal con las discontinuidades más comunes, Z 70/70 (dirección de inclinación / buzamiento) es la orientación de la excavación de la cara de roca

Estas orientaciones no factibles de discontinuidades que afecta el diseño de excavación funcionan debido a las inestables cuñas de roca que se deslizan por la pendiente (Fig. 3). Estas orientaciones no factibles fueron inesperadas antes de la excavación.

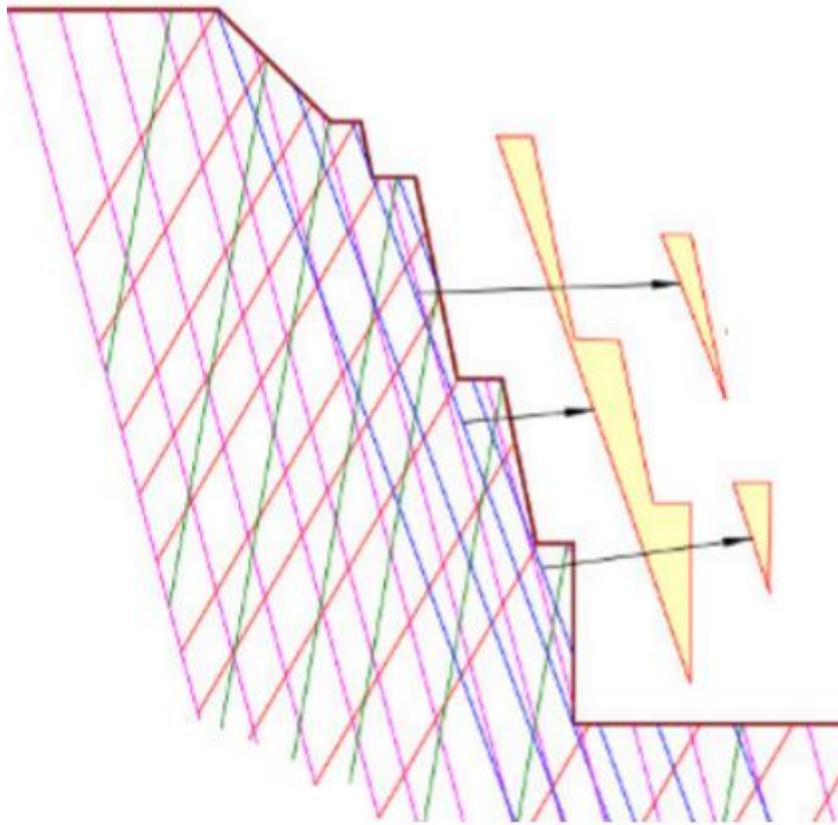


Figura 3: Corte principal y planos de juntas con la sección transversal del pozo de excavación

Esta situación no factible de la pendiente de excavación obliga a diseñar algunas estructuras de estabilización - el diseño de la estabilización de cuñas de roca activas. La estabilización de cuña roca deslizante se describe en este manual de ingeniería.

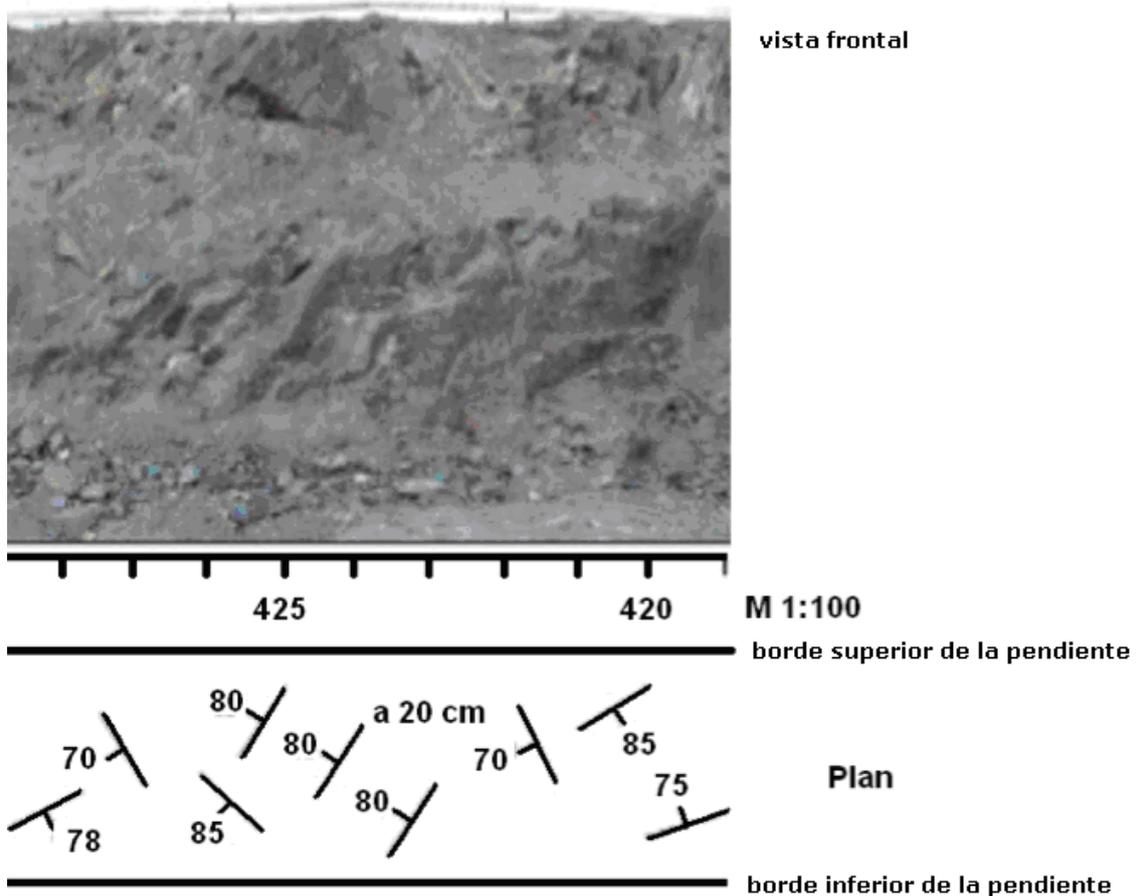
Nota: Cada masa de roca natural (por intervención humana) contiene al menos dos sistemas principales de discontinuidades que afectan la prueba de estabilidad de la pendiente. Sin embargo, cuando una masa de roca se fractura por la baja cantidad de sistema de discontinuidades, el sistema es la clave para la evaluación de estabilidad global de un mecanismo de fallas y una situación de inestabilidad.

Configuración

Un proceso del diseño de estabilización cuña roca inestable 3D se describe más adelante con el ejemplo de una sección transversal seleccionada de una excavación de un túnel. La estabilización está diseñada para una durabilidad de 100 años y el factor de seguridad requerido es 1,5.

En base a la investigación geológica, las muestras de granito y roca aplita clasifican como tipos de roca dura R2 y R3 (CSN 73 6133), tienen las siguientes propiedades mecánicas: $\sigma_c = 15 - 60$ MPa, unidad de peso 27 kN/m^3 , ángulo de fricción efectivo $\varphi' = 32 - 42^\circ$, la cohesión efectiva $c' = 100 - 150$ kPa, coeficiente de Poisson $\nu = 0,20$, módulo de deformación $100 - 200$ MPa. Por lo tanto, aquí hay varios parámetros mecánicos que muestran altas características de deformación de la masa de roca medida en una pequeña muestras de rocas, la fuerza total de la masa es más baja debido a la alta fractura por fallas de corte (efecto tamaño). La resistencia al corte en los planos puede converger a cero.

Los antecedentes hidrogeológicos muestran sólo las condiciones simples y no hay presencia de juntas de amortiguación de agua en la cara frontal de la roca. Las primaveras húmedas aleatorias están relacionadas con una alta actividad de lluvia y nieve derretida. No hay nivel freático en relación con la superficie de la roca. Las orientaciones de las juntas de roca se midieron por el diseño de un geólogo estructural. Se evaluó la orientación de la pendiente de la excavación rocosa en Z 180/15 (dirección de inclinación / buzamiento) y se investigaron las orientaciones de las fallas típicas en 20/80 y 225/70. La resistencia al corte medida en los planos de corte es $\varphi' = 15^\circ$ y la cohesión $c' = 5$ kPa.



Solución

Para la evaluación de estabilidad del talud de la cuña de roca deslizante en la sección transversal seleccionada utilizamos factores de seguridad (la razón principal es una comparación con cálculos manuales). Cada etapa de cálculo del diseño se describe en el siguiente texto.

Configuración de tareas

Configuración del cálculo requerido relacionados con el factor de seguridad y un derrumbe de taludes rocoso

En el cuadro "Configuración" presione el botón "Lista de configuraciones" y seleccione "Estándar - Factores de seguridad" y confirme presionando "OK".



Ventana de configuración "Lista de configuraciones"

Seleccionar además Tipo de análisis:

Método de análisis

Tipo de análisis :

Nota: la aplicación Estabilidad de Roca, puede evaluar un muro de roca quebrado por una falla de corte (deslizamientos de rocas) usando un plano y/o un plano de corte poligonal y una cuña de roca

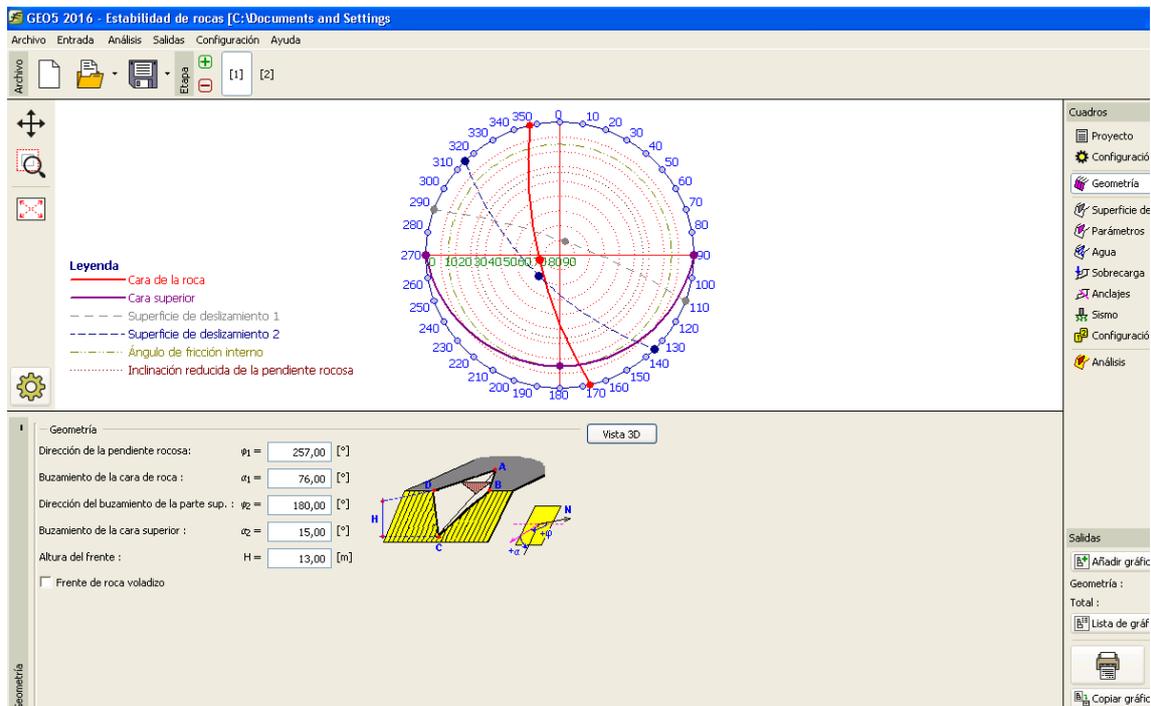
Geometría básica de una superficie y un muro rocoso

La geometría en 3D de la pendiente rocosa evaluada (terreno) y el pozo de excavación (cara frontal de roca) debe ingresarse en el cuadro "Geometría". La entrada de la pendiente o la superficie de la orientación del terreno es a través de la forma buzamiento / dirección de inclinación, se midieron los datos durante la investigación geológica estructural - y los datos se colocan en una tabla. La altura de la cara frontal de la roca es de 13 m. los planos ingresados se muestran en la proyección ortogonal Lambert y un arco representa la proyección (un corte transversal) de un plano de corte con hemisferio inferior Lambert.

Nota: En una situación en la que no tenemos una investigación geológica estructural, la orientación de la cara frontal de la roca 3D podría estar dada por un estudio geodésico de los tres puntos de cada plano (por ejemplo 2x pie de la pendiente, parte superior de la pendiente). Otra posibilidad es el uso de una cinta de medición o un fotogrametría. En una condición difícil, existe la opción de evaluar la altura del talud por una relación hombre - cara frontal de la pendiente.

Configuración de orientación (terreno – frente de roca)

	Dirección de inclinación [°]	Buzamiento [°]
Cara frontal de la roca	257	76
Terreno (línea de la cara superior)	180	15



Cuadro de Orientación de los planos de cara frontal y fallo de corte

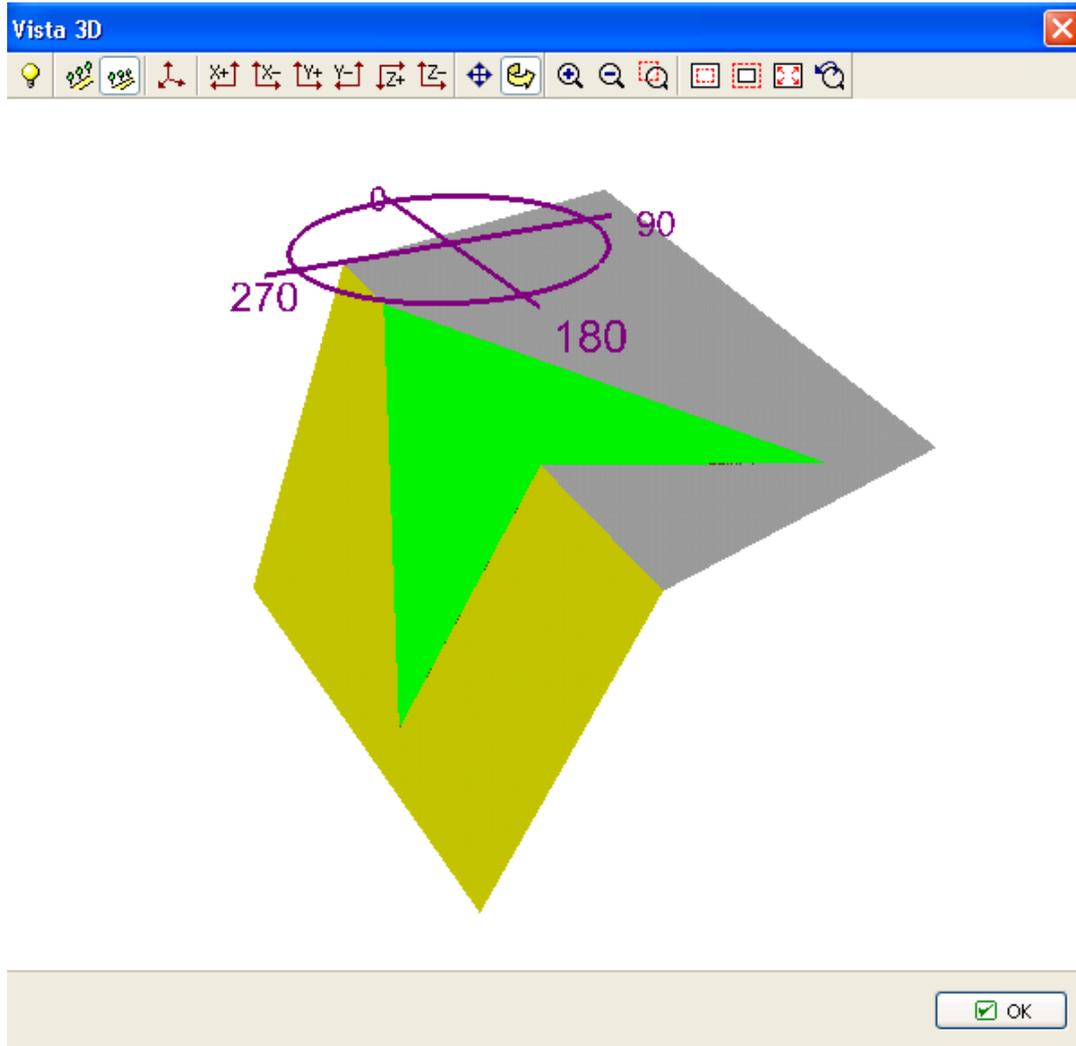
Entrada de orientación de falla de corte

La orientación de la falla de corte en 3D (geometría) se configura en la ventana de "Superficie de deslizamiento". La entrada de la orientación de las fallas de corte se realiza mediante la dirección de inclinación / buzamiento que fue medido en una investigación geológica estructural – se introducen los datos en la tabla. La entrada se hace a través de una ventana gráfica que muestra los datos de orientación en proyección ortogonal Lambert .Un arco muestra un corte transversal de un plano en el hemisferio inferior Lambert.

Datos geométricos de la Cara frontal de la roca y del terreno

	Dirección de inclinación [°]	Buzamiento [°]
Cara frontal de la roca	20	80
Terreno (línea de la cara superior)	225	70

La vista en 3D muestra la configuración de los datos del plano de corte. El cuadro muestra una opción arbitraria para seleccionar la cuña de roca.



Vista en 3D de la cuña de roca en la ventana 3D

Nota: En los planos de corte en 3D las orientaciones están relacionadas con las coordenadas geográficas. Estas coordenadas están relacionadas con la orientación de norte en dirección horizontal y al centro de gravedad en dirección vertical. La orientación se midió con la ayuda de una brújula geológica. Los principales fallos podrían ser descritos por mediciones geofísicas.

Entrada de Propiedades de Planos de corte y Roca

Las propiedades mecánicas de la masa de roca se describen en la ventana de "Parámetros". Aquí el peso unitario del material que forma la masa de roca y la forma del plano de corte de roca se establecen en el modelo de Mohr-Coulomb. La unidad de peso del granito es $\gamma = 27 \text{ kN/m}^3$ y las propiedades de corte obtenidos por ensayos de corte en ambos planos de corte son discutidos entre $\phi' = 15^\circ$ y $c' = 5 \text{ kPa}$.

Nota: La prueba más fácil de resistencia al corte en un plano de corte es un movimiento de dos bloques de roca tomada de una masa de roca (separados por un plano de corte). Esta medida es factible sólo para planos llanos, sin picos o agujeros (unidades de dilatación). Si el plano de corte no es llano, las propiedades se deben obtener por cálculo en la ventana seleccionada o por una prueba difícil in situ.

Agua subterránea

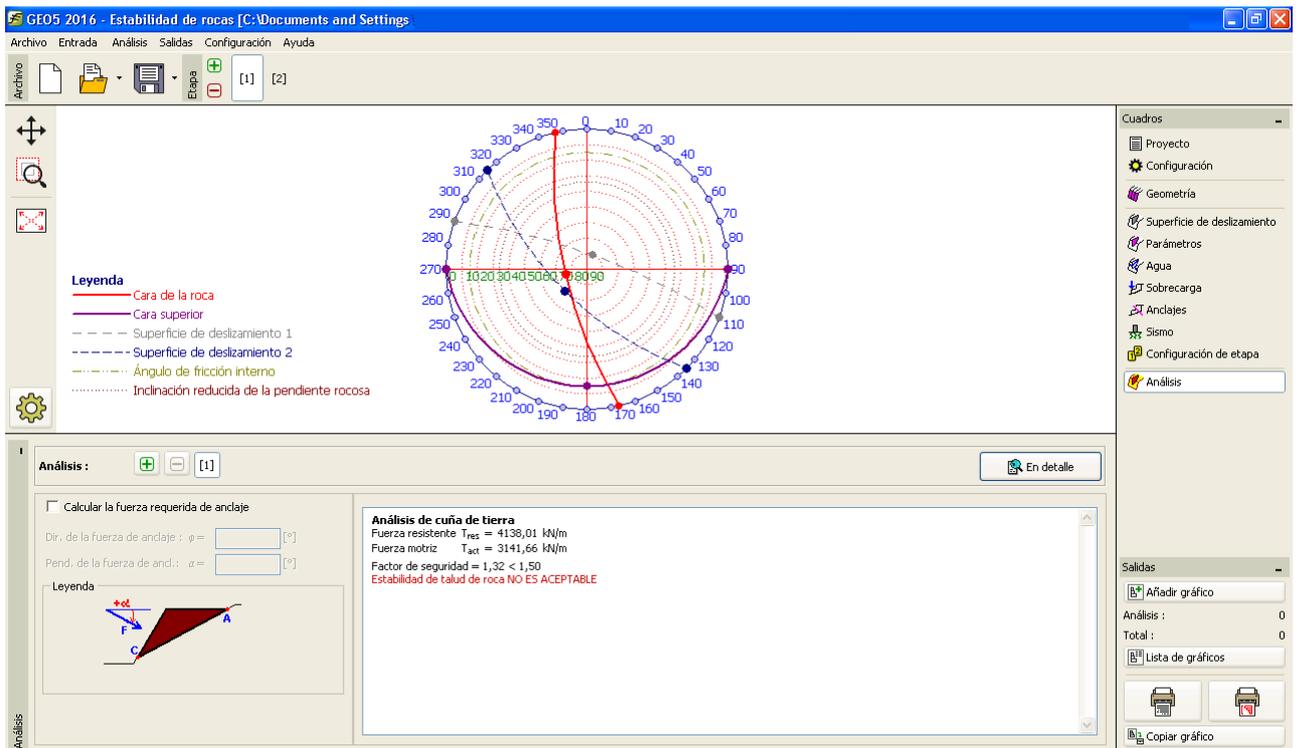
La napa freática se configura en el cuadro "Agua". En base a la investigación hidrogeológica no existe presencia de agua.

Configuración y Diseño de etapas.

En el cuadro "Configuración de etapa" se selecciona la situación de diseño. En nuestra situación con los 100 años de durabilidad de la estabilidad de la cara frontal de la roca de la sección del túnel se elige una situación de estabilidad permanente.

Cálculos

El proceso de cálculo se ejecuta en el cuadro "Análisis". Los resultados básicos y otros resultados posibles se seleccionan en esta ventana. Los resultados detallados aparecen al precionar el botón "En detalle". En nuestra situación se obtuvo un factor de seguridad de 1,32. Según los requisitos de seguridad ($F \geq 1,5$) no hay estabilidad de la cuña de roca. En una gran escala de tiempo la posibilidad de inestabilidades superficiales locales podría afectar la masa de roca. Con respecto a este hecho se diseñan algunas soluciones técnicas para aumentar la estabilidad.



Análisis – Etapa 1

Diseño de solución para incremento de estabilidad

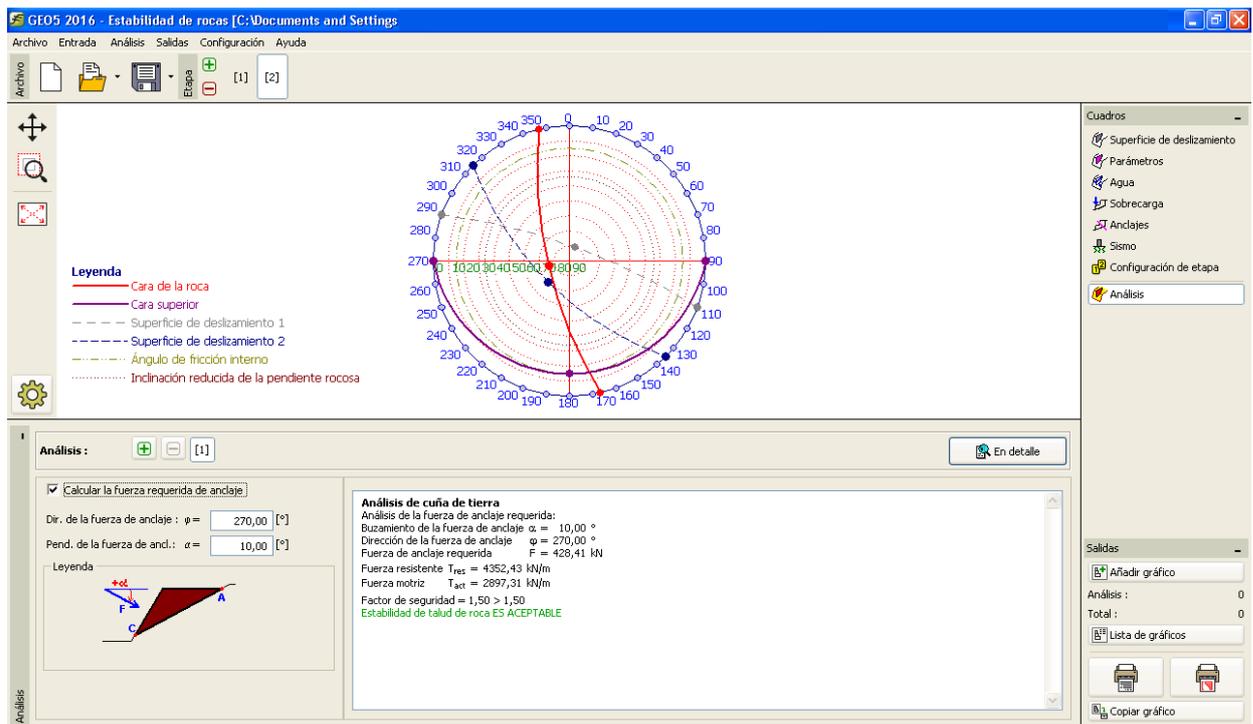
El aumento de la estabilidad de la cuña de roca es posible a través de un cambio de la forma pendiente a una caída de menor pendiente o por una excavación de pequeños bancos que disminuye el buzamiento total. Esta solución aporta un gran trabajo de excavación y se requiere mayor ocupación de la zona, debido a estos argumentos la solución es costosa. Una segunda opción es mantener la forma real de la pendiente rocosa y fijar la estabilidad de la pendiente de cuña de roca mediante pernos de anclaje (anclajes) o clavos. La segunda opción se describe en el siguiente texto.

El diseño del anclaje se realiza en una segunda etapa de análisis, para agregar esta etapa presionamos el botón "+". La segunda fase se denomina 2.



Añadir una nueva etapa

En el cuadro "Análisis" seleccionar "Calcular la fuerza requerida de anclaje" y se configura la dirección de inclinación y buzamiento de una fuerza de anclaje: la orientación de la inclinación de la pendiente $\varphi = 270$ grados, y el buzamiento de la fuerza de anclaje es $\alpha = 10$ °. Tras el ajuste de los datos requeridos, continúa un cálculo automático y la aplicación muestra el resultado. Para el anclaje calculado de 428 kN se obtuvo un valor de factor de seguridad del 1,5.



Cuadro "Análisis" Resultados detallados del cálculo

La geometría de la pendiente permite una dirección monótona y el buzamiento de todos los anclajes de roca, por lo que el siguiente paso es una evaluación de una tecnología adecuada de anclajes de roca con una capacidad de carga declarada y el cálculo del número requerido de anclajes colocados (densidad de la colocación). En nuestra situación preferimos pernos de anclaje estándar no tensados (los tornillos seleccionados son cementados durante los trabajos de perforación). Los pernos seleccionados produce una fuerza de 50 kN inmediatamente después de la instalación y horas más tarde una min. la capacidad portante de 150 kN 24. El simple cálculo muestra que para la estabilización de cuña de roca 5 pernos son necesarios; la escala de los pernos diseñados es de 2,5 x 2,5 m. En lo que respecta a la falla de masa de roca se recomienda una red cableada de sorporte

Nota: En una situación de una masa de roca con un lecho mayor o con planos paralelos tectónicamente afectados, se deberá perforar un anclaje a una dirección perpendicular a los planos (el ángulo mínimo entre el plano de la roca y el perno será de 45 °).

Conclusión

Nuestro resultado preliminar del discutido análisis de la cuña de roca muestra un factor de seguridad de $F = 1,32$ lo que no es un valor satisfactorio. Este resultado obligó a la elección de una solución técnica del aumento de la estabilidad del talud. Decidimos seleccionar la opción de anclaje para la estabilización de la cuña debido a la viabilidad económica. Durante la segunda etapa del diseño se establecieron la fuerza y el buzamiento del anclaje. Debido a la necesidad de buzamiento de pernos monótonos en la masa total de la roca, se seleccionó el tipo de perno de anclaje adecuado en la densidad calculada.