

Estabilización de pendiente utilizando pilotes anti-deslizantes

Programa: Estabilidad de taludes, Pilote Anti-deslizante

Archivo: Demo_manual_19.gst

Introducción

Los pilotes antideslizantes se utilizan para estabilizar grandes deslizamientos de tierra. Esta estructura es similar a una pantalla pilote, que se realiza totalmente (o casi totalmente) en la pendiente. Esta pantalla de pilotes intersecta una superficie de deslizamiento y ayuda a prevenir el deslizamiento de tierra. Los pilotes suelen tener una sección transversal grande, que es circular o cuadrada.

La pendiente, que queremos estabilizar utilizando pilotes antideslizantes, debe cumplir varias condiciones. En primer lugar, debemos conocer la ubicación de la superficie de deslizamiento (su profundidad debajo del terreno en el lugar del pilote antideslizante). Otra cosa importante es la condición de la roca (tierra) por debajo de la superficie de deslizamiento. No debe estar erosionado o deteriorado, ya que tiene que transferir la sobrecarga a los pilotes.

La solución de los pilotes antideslizantes se puede dividir en dos etapas. En primer lugar, tenemos que resolver la estabilidad global de la pendiente. En este paso utilizaremos el programa *Estabilidad de taludes*. Con este programa, obtenemos las fuerzas, que deben actuar sobre los pilotes para cumplir con el factor de seguridad requerido. Si no se conoce la posición exacta de la superficie de deslizamiento (por ejemplo la investigación geotécnica), podemos determinarla en este programa utilizando Optimización. La optimización puede encontrar la peor posición de la superficie de deslizamiento (crítica con el factor de seguridad más bajo). La segunda parte de la solución se realiza en el programa Pilote Anti-Deslizante. En este programa tenemos que diseñar y verificar los pilotes. El resultado de este análisis es la distribución de las fuerzas internas y el desplazamiento horizontal de los pilotes.

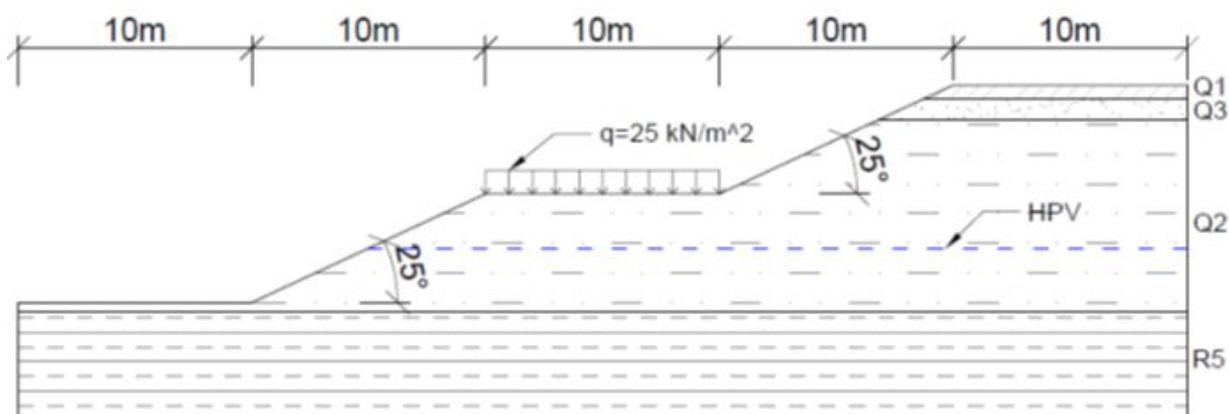
Un ejemplo utilizando pilote antideslizante para estabilizar una pendiente con un carretera se muestra en la siguiente imagen. Una solución paso a paso de un ejemplo similar se mostrará en este manual de ingeniería.



Pilote Anti-Deslizante (todo debajo del terreno)

Especificación de la tarea:

Diseñar una solución de estabilización de pendientes utilizando pilotes anti-deslizantes según el siguiente esquema. El factor de seguridad de la pendiente debe ser al menos $SF = 2,0$. Considere esta estabilización como una situación de diseño permanente.



Esquema de tarea

La sobrecarga desde la carretera tiene el valor de 25 kN/m^2

Los parámetros geológicos en la ubicación resuelta se describen en la tabla siguiente:

Capa	Profundidad d (m)	USN 73 1001	γ / γ_{sat} (kN/m ³)	ϕ_{ef} (°)	C_{ef} (kPa)	E_{def} (Mpa)	ν (-)
Limo con baja plasticidad F5/ML0 (Q1)	0,0 - 0,6	F5/ML	21/22	20	14	4	0,4
Arena arcillosa (Q3)	0,6 - 1,5	S5/SC	18/18,5	22	5	5	0,35
Arcilla arenosa (Q2)	1,5 - 9,72	F4/CS	18,5/19, 5	26	4	8	0,35
Pizarra fuertemente erosionada (R5)	9,72 - 17	R5	24/24,2	29	30	15	0,35

Parámetros geotécnicos

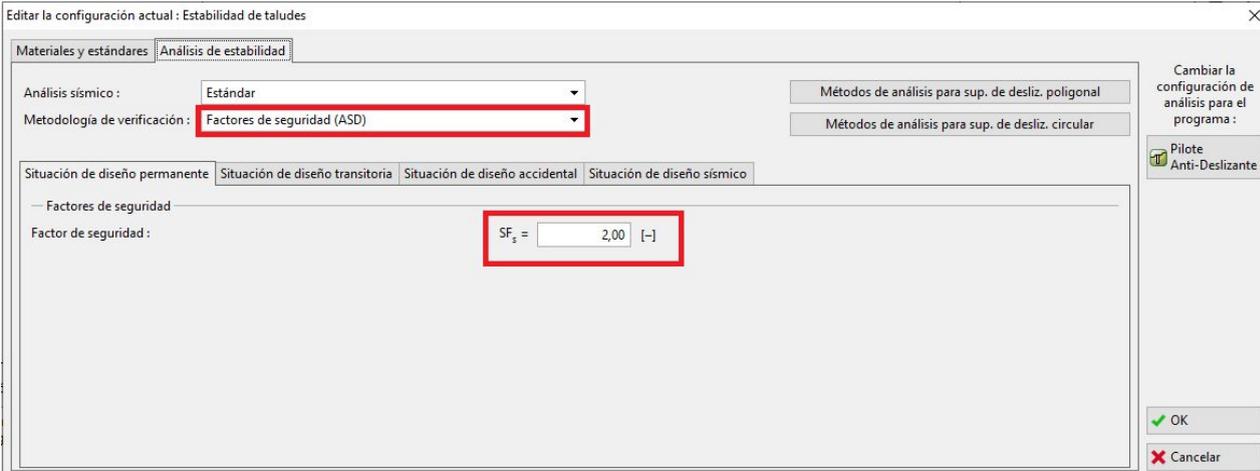
El nivel freático se sitúa a una profundidad de 7m.

Solución

La primera etapa de la solución es el modelado en el programa GEO5 Estabilidad de taludes. El proceso de modelado de la tarea en este programa ya se explicó en el manual de ingeniería [No. 8 \(Análisis de estabilidad de taludes\)](#). Por esta razón, sólo las partes conectadas con el análisis de un pilote anti-deslizante se describen aquí.

Evaluación de la pendiente existente - etapa de construcción 1

En primer lugar, podemos cambiar los ajustes básicos de la tarea utilizando el botón "Editar" en el cuadro de "Configuración". Configuramos el "Factores de seguridad (ASD)" como el método de verificación y aumentamos el valor del factor de seguridad a **SF_s=2,0**.



Editar la configuración actual: Estabilidad de taludes

Materiales y estándares: **Análisis de estabilidad**

Análisis sísmico: Estándar

Metodología de verificación: **Factores de seguridad (ASD)**

Métodos de análisis para sup. de desliz. poligonal

Métodos de análisis para sup. de desliz. circular

Situación de diseño permanente | Situación de diseño transitoria | Situación de diseño accidental | Situación de diseño sísmico

Factores de seguridad

Factor de seguridad: SF_s = 2,00 [-]

Cambiar la configuración de análisis para el programa:

Pilote Anti-Deslizante

OK

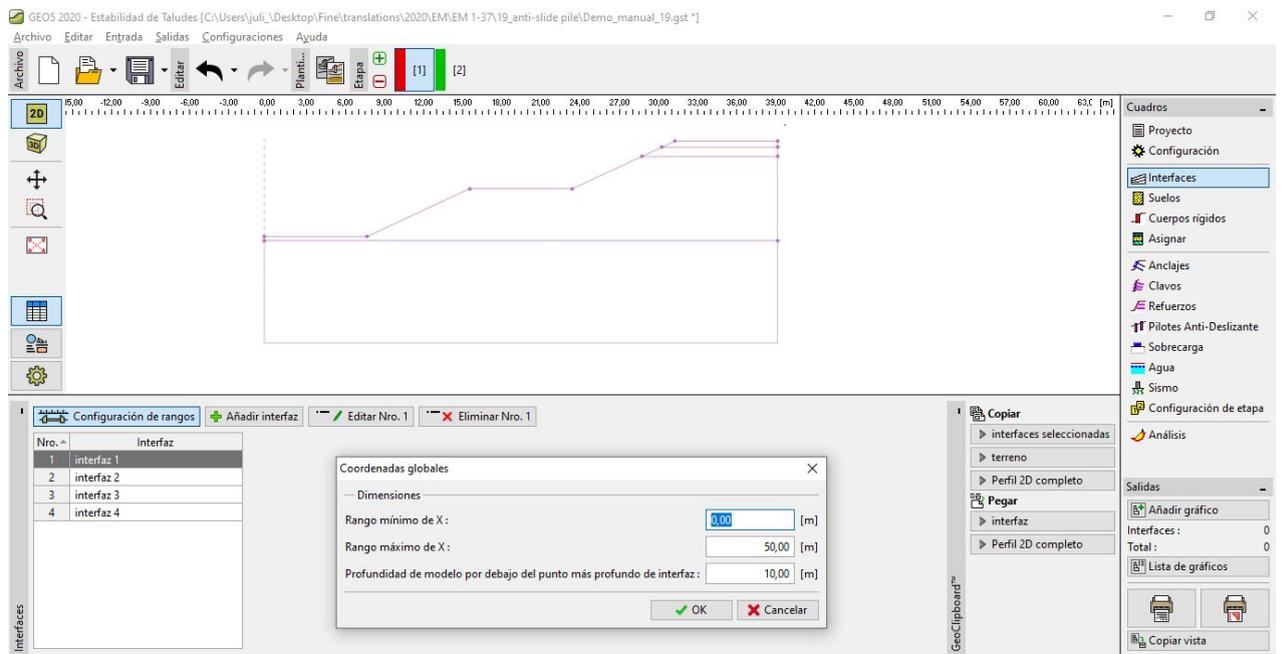
Cancelar

Cuadro "Configuración"

En el cuadro “Interfaz” configuramos los rangos y modelamos la forma del terreno y las interfaces entre las capas geológicas utilizando las coordenadas de cada punto.

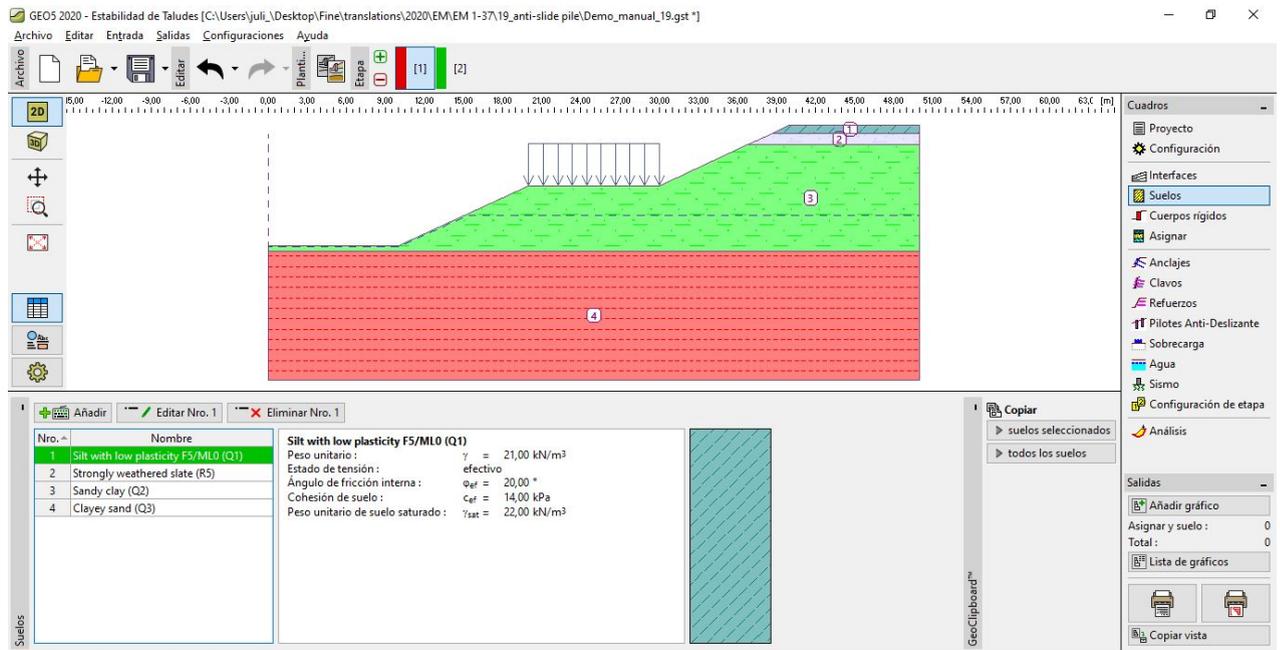
Interface 1			Interface 2			Interface 3			Interface 4						
>	1	0,00	0,00	>	1	38,71	8,72	>	1	36,78	7,82	>	1	0,00	-0,40
	2	10,00	0,00		2	50,00	8,72		2	50,00	7,82		2	50,00	-0,40
	3	20,00	4,66												
	4	30,00	4,66												
	5	36,78	7,82												
	6	38,71	8,72												
	7	40,00	9,32												
	8	50,00	9,32												

Cuadro “Interfaz” – Coordenadas de interfaz



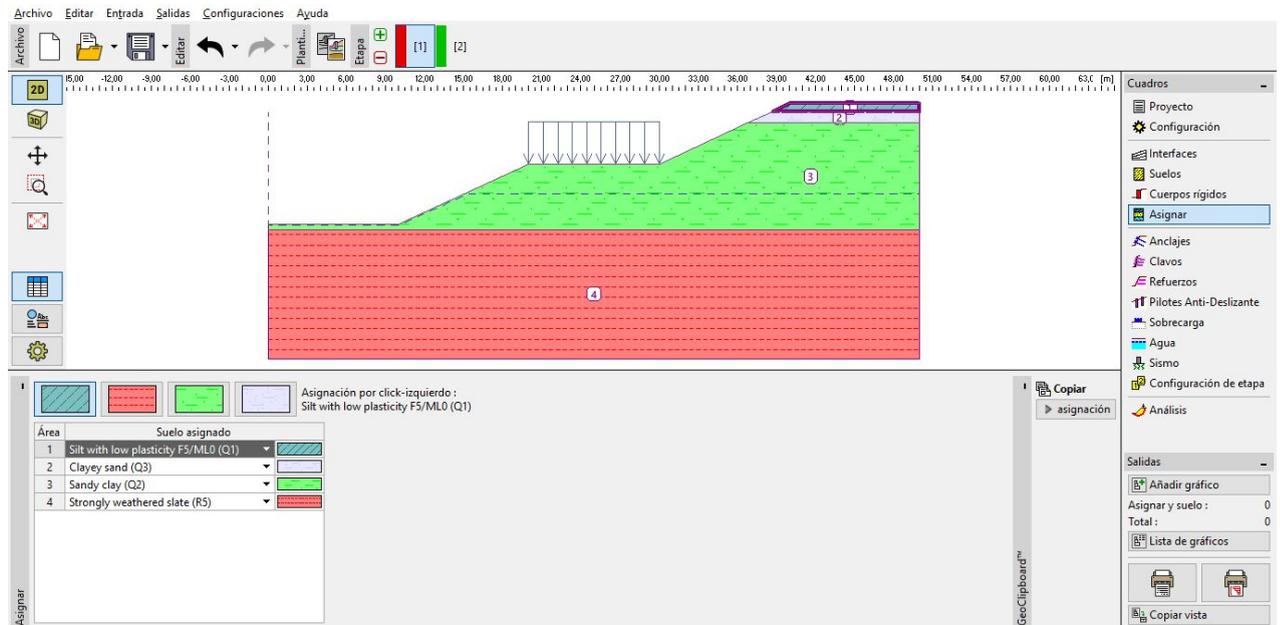
Cuadro “Interfaz” - Configuración de rangos

Luego debemos ingresar los suelos según la especificación de la tarea.



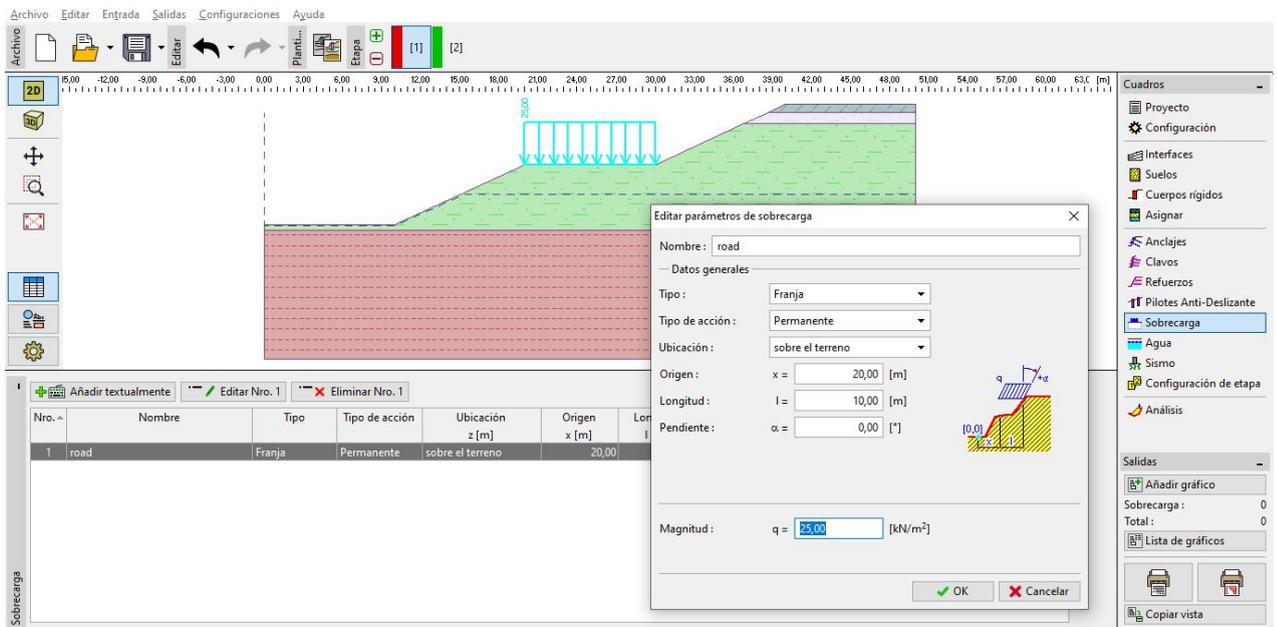
Cuadro "Suelos"

En el cuadro "Asignar" asignamos los suelos a las capas Geológicas



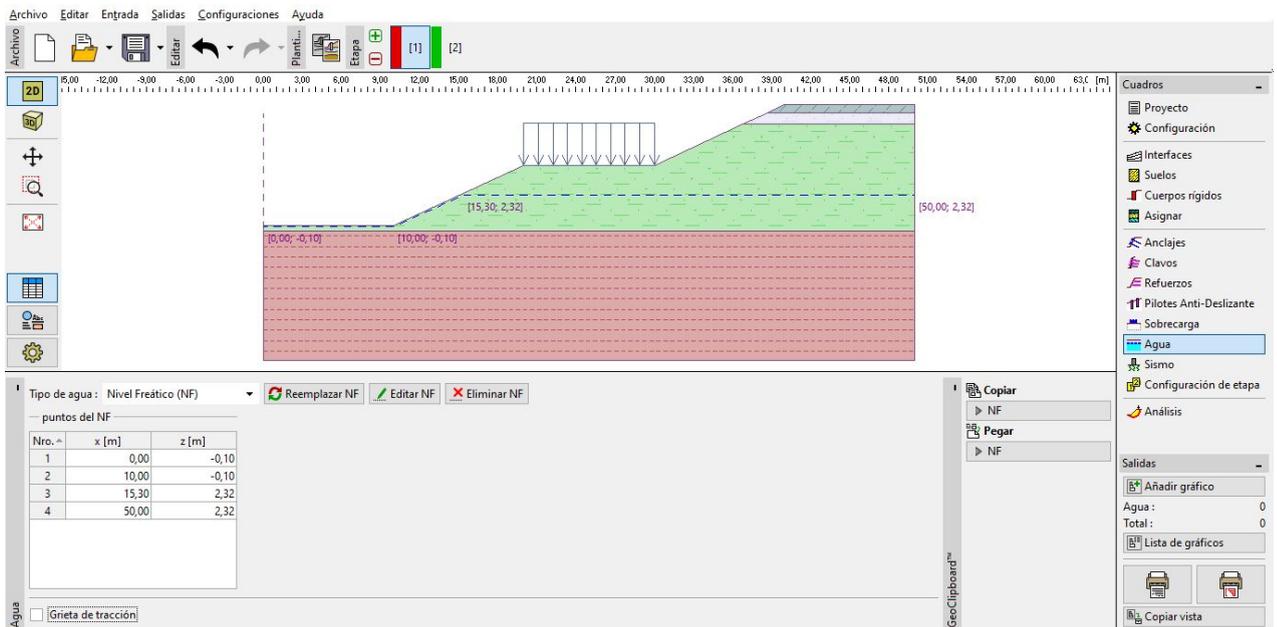
Cuadro "Asignar"

En el próximo paso, definimos las sobrecargas sobre la carretera. Ésta actúa como sobrecarga permanente tipo franja y su valor es de 25 kPa.



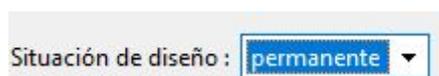
Cuadro "Sobrecarga"

En el cuadro "Agua" añadir las coordenadas de los puntos del nivel freático.



Cuadro "Agua"

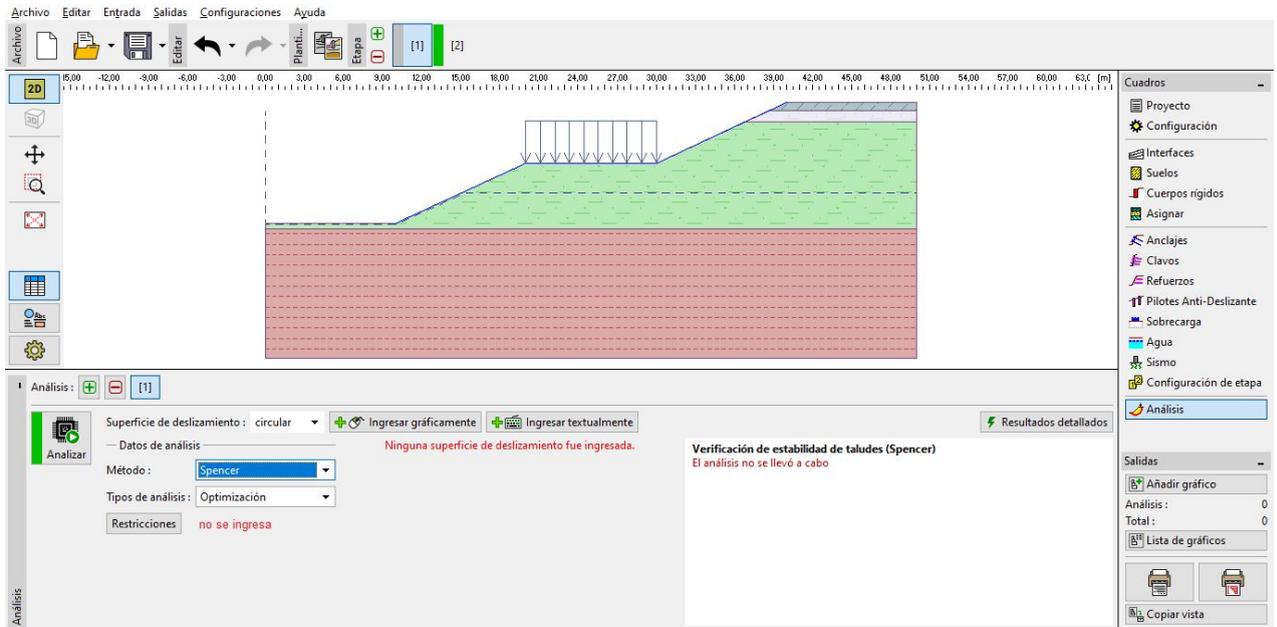
Estamos buscando una solución a largo plazo, por lo que configuramos la situación de diseños como "permanente"



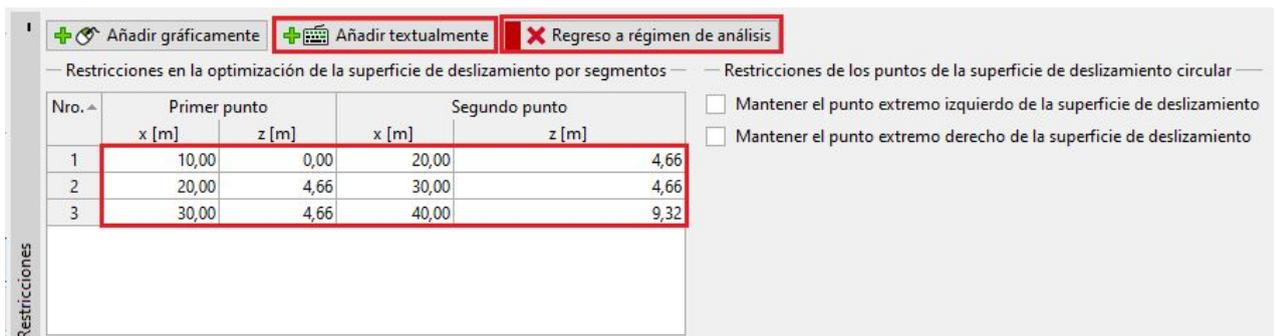
Cuadro "Configuración de etapa"

A continuación, pasamos al cuadro "Análisis". Podemos utilizar varios métodos de análisis diferentes para la estabilidad del talud. Puede encontrar comparaciones y más información sobre los diferentes métodos en el manual de ingeniería No. 8 ([Análisis de estabilidad de taludes](#)).

Vamos a resolver la estabilidad general de la pendiente. No queremos analizar la pendiente parcial superior o inferior. Por esta razón, definiremos líneas de restricción en el terreno de la pendiente. Esto significa que la superficie de deslizamiento global se encontrará durante la optimización.

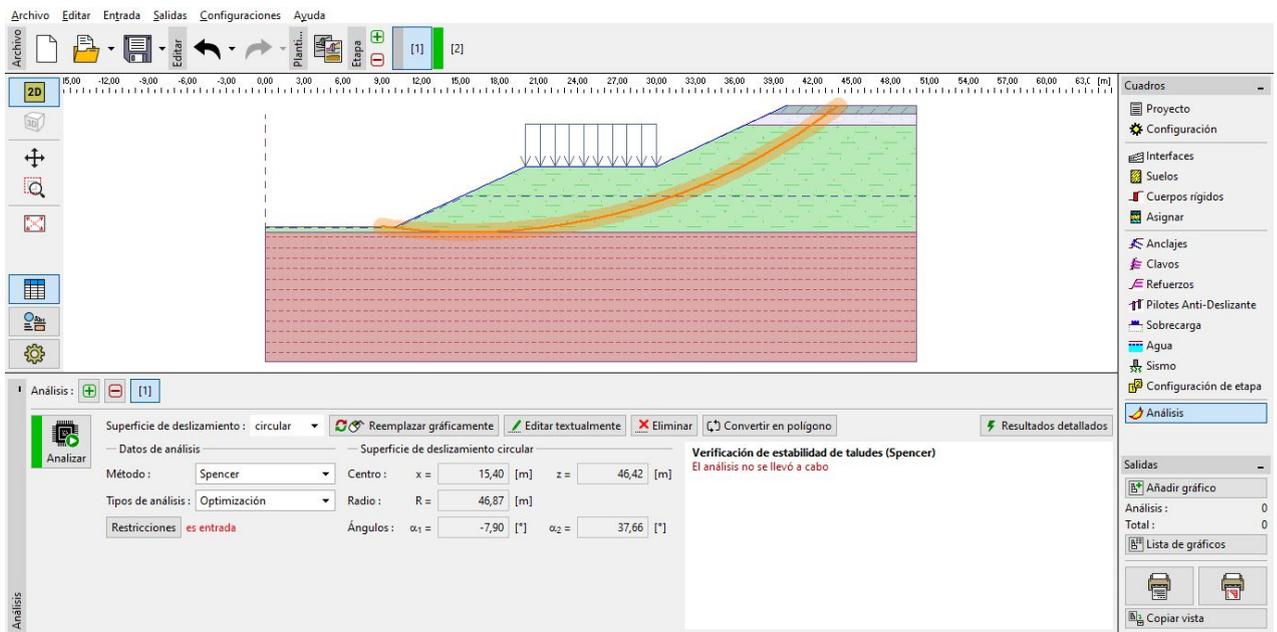


Cuadro "Análisis" - Restricciones



Entrada de Restricciones

Seleccionamos el método de análisis de Spencer para una superficie de deslizamiento circular optimizada. Podemos ingresar una forma inicial aleatoria de la superficie de deslizamiento. La optimización encuentra el peor estado.



Cuadro "Análisis"

Nota: Para el siguiente cálculo es necesario conocer las fuerzas que actúan sobre los pilotes. No todos los métodos se pueden utilizar para analizar estas fuerzas en el programa Estabilidad de taludes. El usuario debe utilizar uno de estos métodos: Spencer, Janbu, Morgenstern-Price or ITFM.

Nota: La elección del método de análisis y la forma de la superficie de deslizamiento es siempre Decisión del diseñador y depende de su experiencia y conocimiento. En ingeniería, es bueno llevar a cabo varios análisis utilizando diferentes métodos y comparar los resultados.

Nota: Si se conoce la posición exacta de la superficie de deslizamiento, no utilizamos la opción optimización. Seleccionamos la opción "estándar" y el "tipo de análisis" e ingresamos la superficie de deslizamiento de forma manual.

Diseño de pilotes anti-deslizantes

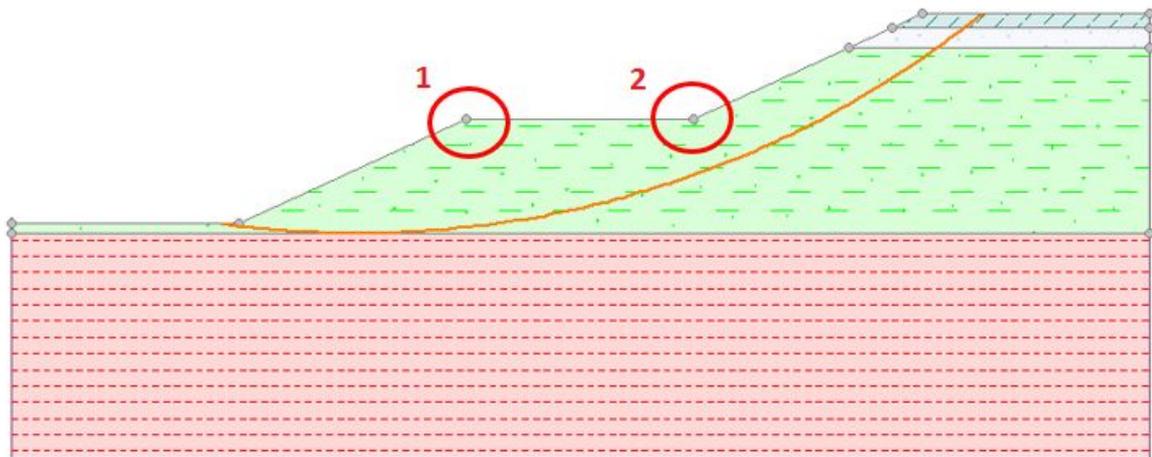
Antes de diseñar, nos movemos a la siguiente etapa de construcción. Nos permitirá comparar los resultados con y sin pilotes.

En el cuadro "Pilotes Anti-Deslizantes" tenemos dos formas diferentes para añadir los pilotes. Es posible añadirlos gráficamente con el mouse o textualmente ingresando las coordenadas de la cabecera del pilote y su longitud. Además es posible combinar estas dos formas – ingresando un grafico aproximado y luego editando la posición textualmente.

Nota: Por lo general, no sabemos la posición ideal para la inserción de un pilote anti-deslizante. El pilote siempre debe intersectar una superficie de deslizamiento y debe llegar hasta el final en las capas

geológicas con una capacidad portante mayor. Es además importante considerar las posibilidades tecnológicas o un pilote o un anclaje. Un pilote en medio de una pendiente pronunciada puede mejorar su estabilidad, pero la pregunta es cómo hacerlo.

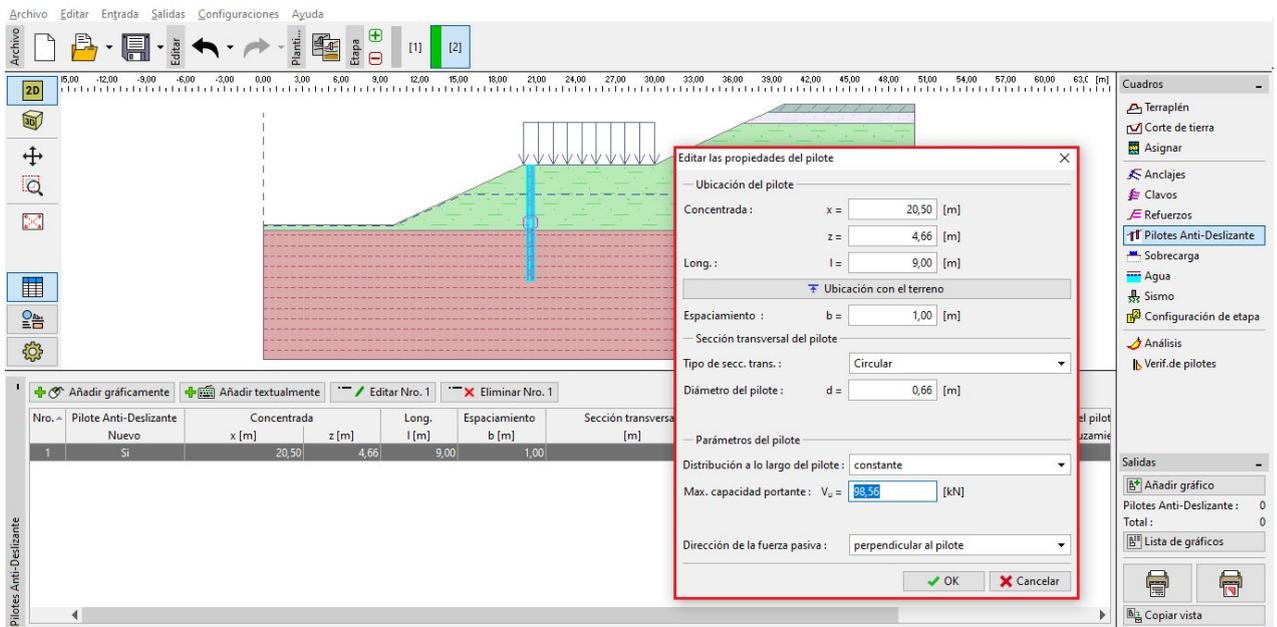
En nuestro ejemplo tenemos dos formas de insertar pilotes anti-deslizantes. Se muestra en la siguiente imagen.



Posibilidad de ubicar pilotes anti-deslizantes

Vamos a mostrar una solución para el primer punto. La decisión respecto a la ubicación de un pilote anti-deslizante depende siempre en el diseñador.

Nota: En el caso de pilotes sobrecargados, o si queremos hacer que la sección transversal del pilote sea más pequeña, también es posible realizar dos filas de pilotes (en ambos puntos).

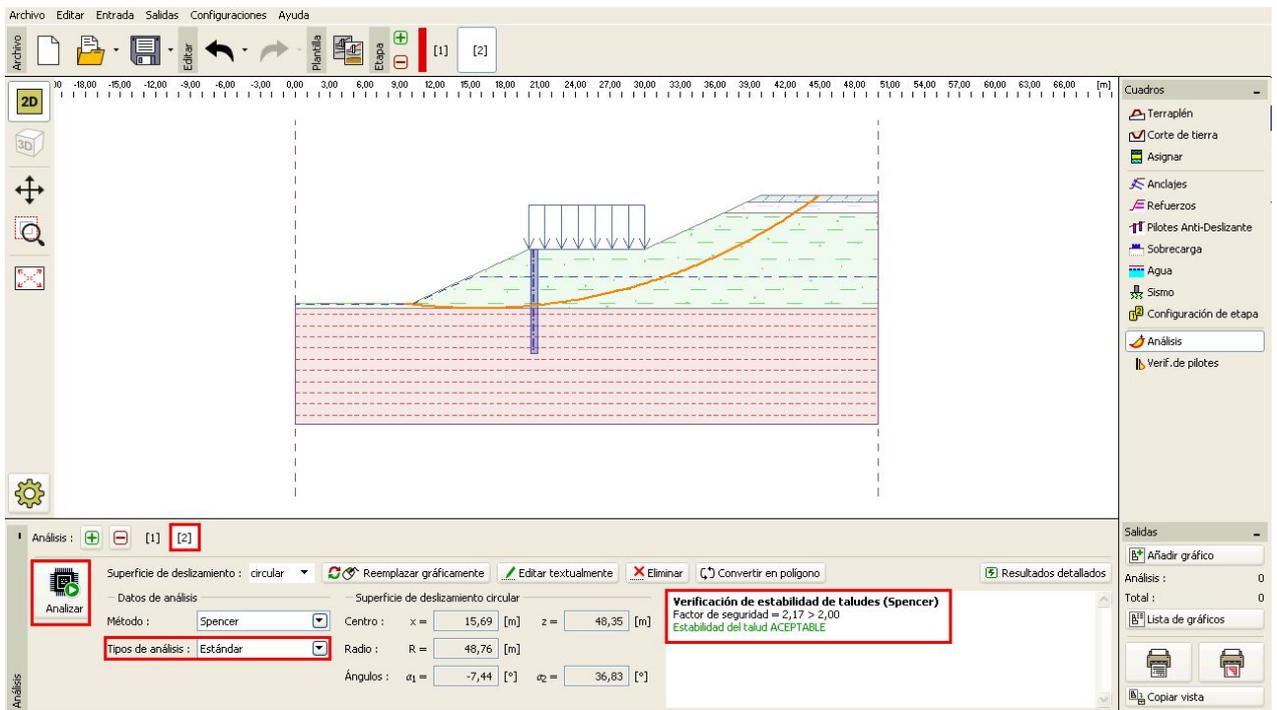


Cuadro "Pilotes Anti-Deslizante" – Añadir nuevo pilote

Nota: Además de la posición, el espaciamiento y el diámetro de cada pilote también debemos ingresar los parámetros adicionales. La fuerza es la capacidad portante máxima de un pilote, que actúa en contra del deslizamiento terrestre. Vamos a verificar este valor en la próxima evaluación con el programa "Pilote anti-deslizante". La capacidad portante se puede especificar como una constante o como linealmente creciente de la punta del pilote hacia arriba. La fuerza pasiva actúa en el pilote horizontalmente o en la dirección de la superficie de deslizamiento. Es posible encontrar más información en la Ayuda (F1).

Utilizamos pilotes circulares con un diámetro de 0,66 m y una longitud de 9 m. La separación entre pilotes es de 1 m y su capacidad portante se presume (V_u) 80 kN.

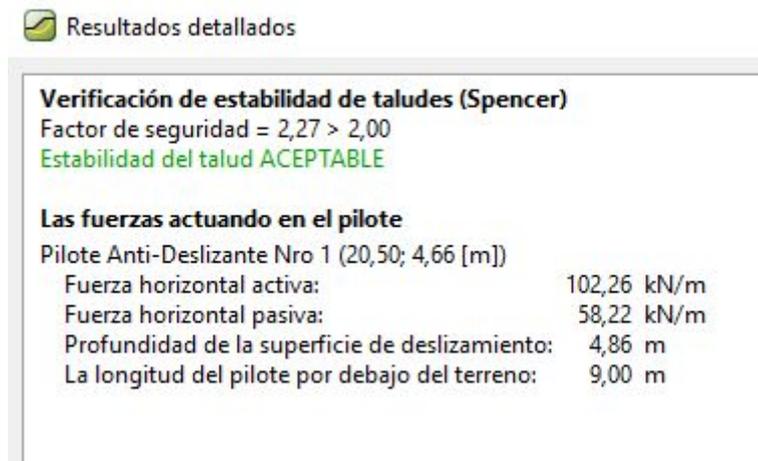
Después de añadir los pilotes, nos movemos al cuadro "Análisis". Seleccionamos "Estándar" como el tipo de análisis. En este tipo de análisis, el programa no está buscando una nueva superficie de deslizamiento. Simplemente calcula el factor de seguridad para la superficie de deslizamiento insertada (en nuestro caso tomado de la etapa de construcción anterior). El resto de la configuración se mantiene sin cambios.



Cuadro "Análisis" – Influencia de pilotes anti-deslizantes

Es obvio, que el uso de pilotes anti-deslizantes mejora la estabilidad del talud y ahora es aceptable para el factor de seguridad requerido.

Al presionar el botón "Resultados detallados" vemos un cuadro de diálogo con información del análisis de estabilidad de taludes.



Cuadro "Resultados detallados"

Nota: se obtiene la profundidad de la superficie de deslizamiento en la ubicación del pilote y los valores de las dos fuerzas que actúan sobre el pilote.

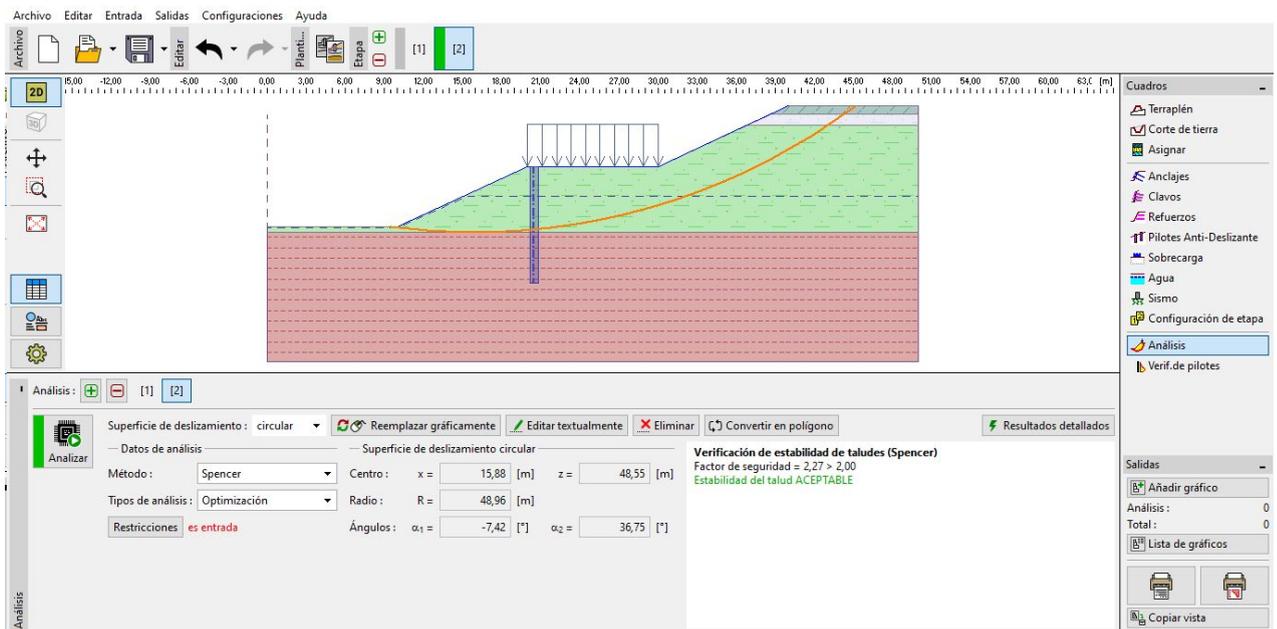
La Fuerza Activa actúa sobre el pilote de la parte superior de la pendiente. Desestabiliza la pendiente.

La Fuerza Pasiva actúa contra el deslizamiento y ayuda a los pilotes a estabilizar el talud. (Cuando la fuerza pasiva es igual a cero, significa que la pendiente frente al pilote no es estable y es necesario resolver la estabilidad por separado).

La diferencia entre la fuerza activa y pasiva es, la fuerza que el pilote debe transferir para alcanzar el factor de seguridad requerido por la pendiente. De una manera más simple, es la capacidad portante mínima, que el pilote debe llevar a cabo.

El factor de seguridad siempre depende de la posición y la forma de la superficie de deslizamiento. La superficie de deslizamiento crítica, que se encuentra en la pendiente sin pilotes, tiene un factor de seguridad **FS = 1,8**. La misma superficie de deslizamiento en la pendiente con pilotes anti-deslizantes tiene **SF = 2,20**. Pero también es posible, que haya otra superficie de deslizamiento, la cual no era crítica antes de instalar los pilotes, pero se convirtió en crítica después de esta estabilización. Esta superficie de deslizamiento tiene un **SF > 1,8** antes de la instalación del pilote, y después de la estabilización **SF < 2.20**.

Podemos controlar esta posibilidad en la próxima etapa del análisis utilizando optimización en la pendiente con pilotes.



Cuadro "Análisis" – Optimización de superficie de deslizamiento después de la instalación de pilotes anti-deslizantes

Podemos ver, que la estabilidad del talud es aceptable para el factor de seguridad requerido incluso con la nueva superficie de deslizamiento. La diferencia entre la antigua superficie de deslizamiento y la

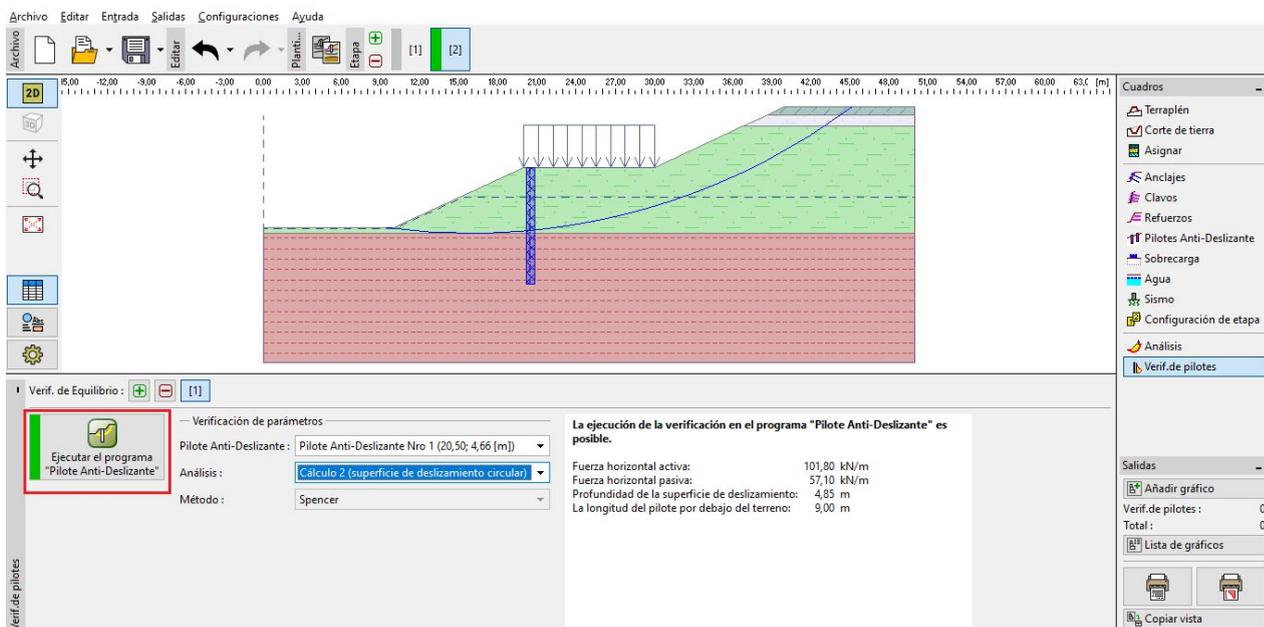
nueva es mínima en nuestro caso, pero no siempre tiene que ser así. Siempre es bueno comprobar la nueva superficie de deslizamiento crítica incluso después de instalar los pilotes.

Después de la instalación de los pilotes el estado es crítico. Por esta razón, lo vamos a utilizar para el próximo dimensionamiento y análisis de pilotes.

Análisis y dimensionamiento de pilotes

En el cuadro "Verificación de pilotes" seleccionamos el tipo de Análisis Nro. 2" y presionamos el botón "Ejecutar el programa Pilote Anti-Deslizante".

Nota: En el caso de más de una fila de pilotes, es necesario especificar, sobre qué fila estamos realizando el análisis.



Cuadro "Verificación de pilotes"

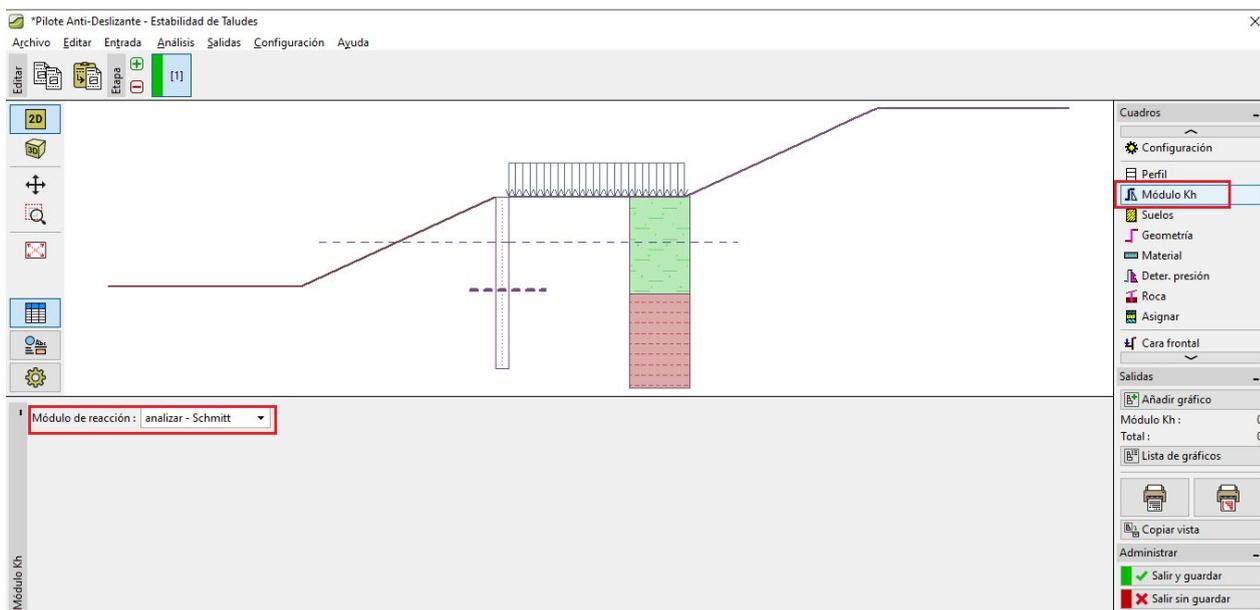
El pilote Anti-Deslizante se utiliza para determinar las deformaciones y fuerzas internas en el pilote. Este programa es similar al programa GEO5 – Verificación de Muros Pantalla. La principal diferencia entre ellos es la forma en la que se determina una carga en una pantalla de pilotes. En el programa Verificación de Muros Pantalla, la estructura se carga por presión de tierra en toda la longitud del pilote. En el programa Pilote Anti-Deslizante, la carga se divide en dos partes. En la sección por encima de la superficie de deslizamiento, el pilote se carga según la diferencia entre la fuerza activa y pasiva. Por debajo de la superficie de deslizamiento, la carga se determina por la presión de la tierra.

Todos los datos del programa *Estabilidad de Taludes* se transfieren automáticamente al programa *Pilote Anti-Deslizante*.

Nota: El ingreso de la mayor parte de los datos básicos del Pilote Anti-Deslizante es el mismo que en el programa de Verificación de muros pantalla. Se describe en detalle en los manuales de ingeniería (Capítulo [Nº 6](#) y [Nº 7](#)).

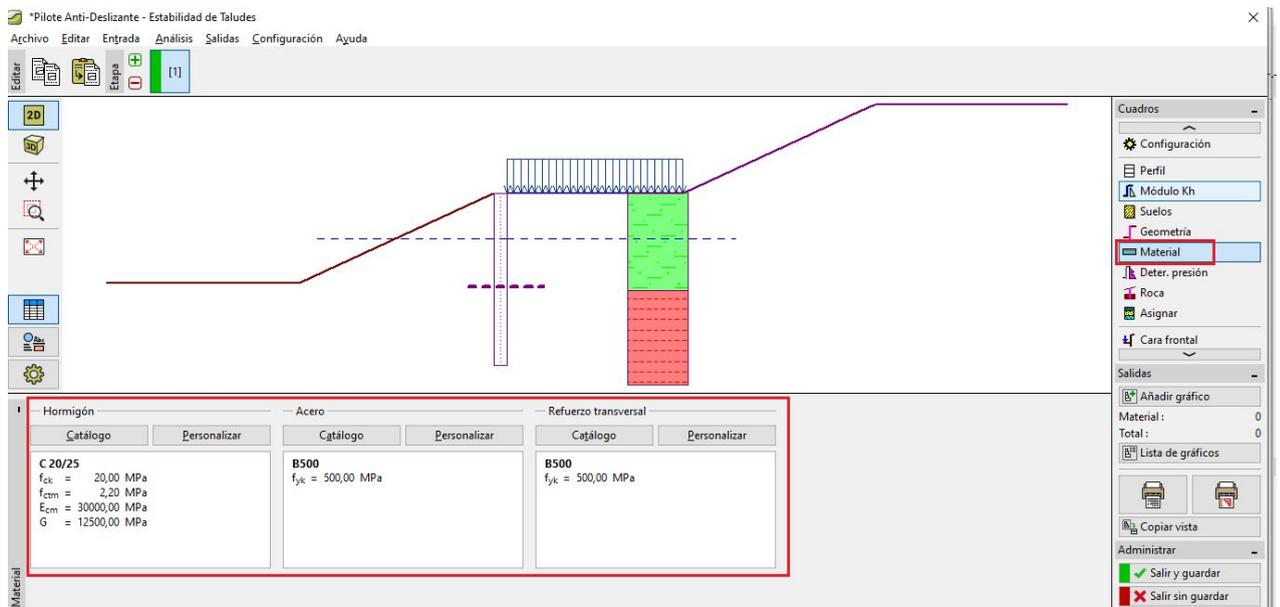
Nota: Si queremos cambiar algunos parámetros del análisis del Pilote Anti-Deslizante (El método de análisis de presión de tierra, las normas para materiales, etc.) tenemos que hacer los cambios en el cuadro "Configuración" en el programa de estabilidad de taludes.

En el cuadro "Módulo Kh" se elige un método de análisis del módulo de reacción. Elegimos el cálculo según Schmitt. Es posible encontrar más información sobre el módulo de Kh en los manuales de ingeniería para el programa Verificación de muros pantalla o en la ayuda del programa (F1).



Programa "Pilote Anti-Deslizante" Cuadro "Módulo de Kh"

Configuramos el tipo de hormigón y de acero en el cuadro "Material". Es posible elegir los parámetros desde el catálogo de materiales o ingresarlos manualmente. Seleccionamos hormigón C20/25 y refuerzo longitudinal B500



Programa "Pilote Anti-Deslizante" Cuadro "Material"

El siguiente cuadro importante es el de "Determinación de la presión". En este cuadro encontraremos automáticamente los valores insertados de las fuerzas activas y pasivas y la profundidad de la superficie de deslizamiento. Se obtuvieron estos datos a partir del análisis de estabilidad de taludes.

Existen tres diferentes formas de cómo se distribuyen las presiones que actúan sobre el pilote en la sección por encima de la superficie de deslizamiento. La fuerza activa puede ser distribuida según tres formas básicas (triángulo, rectángulo, trapecio), la fuerza pasiva puede ser distribuida de la misma manera que la presión activa o según una parábola simplificada. La distribución de la presión se explica en detalle en la ayuda de GEO5 (F1).

Nota: En general, la distribución de presión depende del tipo de suelo por encima de la superficie de deslizamiento. En nuestro caso, el suelo principal es arcilla arenosa - para suelos de grano fino, se recomienda utilizar una distribución según un rectángulo. La distribución de la fuerza pasiva es decisión del diseñador de la estructura.

Profundidad de superficie de deslizamiento : $h_1 = 4.84$ [m]

Entrada de fuerza horizontal activa : fuerza activa residual

Entrada de fuerza horizontal pasiva : fuerza pasiva residual

Fuerza horizontal activa : $T = 102.32$ [kN/m]

Fuerza horizontal pasiva : $P = 56.63$ [kN/m]

Distribución de la fuerza activa : Rectangular

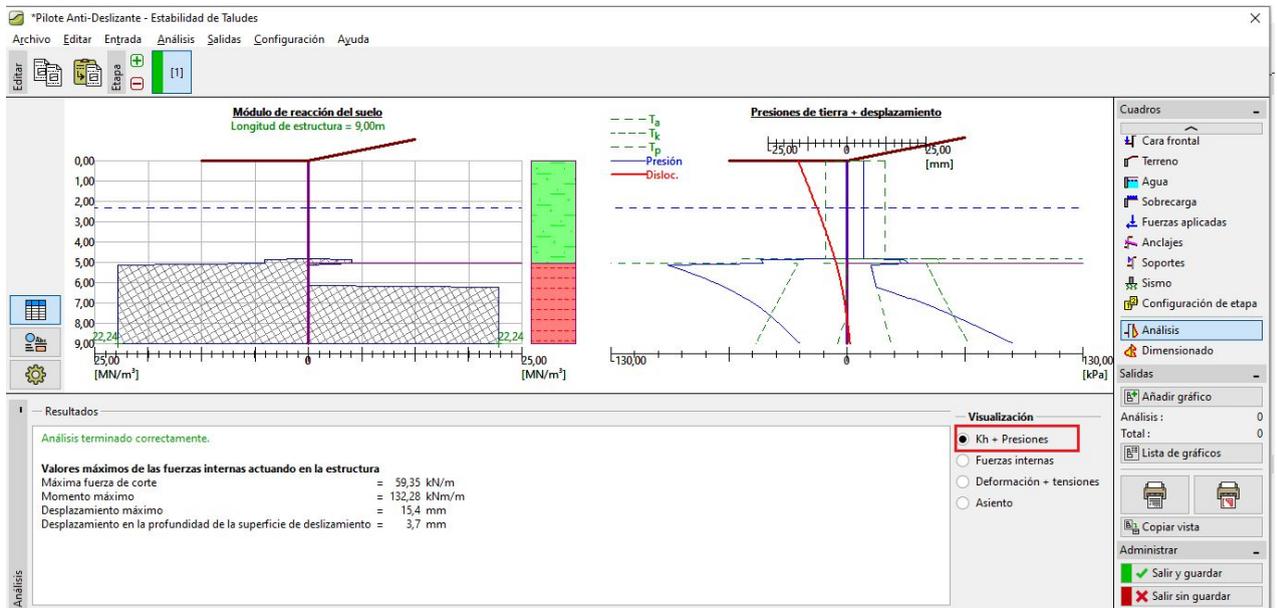
Distribución de la fuerza pasiva : Rectangular

Programa "Pilote Anti-Deslizante" Cuadro "Deter. presión"

Nota: Además es posible determinar la presión activa por encima de la superficie de deslizamiento de forma manual. Es posible utilizarla, cuando no se desea calcular la carga en el pilote según con la diferencia entre la fuerza activa y pasiva.

Nota: Si consideramos un voladizo en una capa rocosa, tendríamos que establecerlo en el cuadro "Roca". En este caso, es necesario introducir la longitud del pilote en la roca y la capacidad portante de la roca. Luego, el esfuerzo máximo no sería considerado como la presión pasiva de la tierra; En su lugar, podría tomar cualquier valor. Este valor de la tensión podría ser comparado con la capacidad portante de la roca en el cuadro "Análisis". No utilizamos este cuadro en nuestro ejemplo.

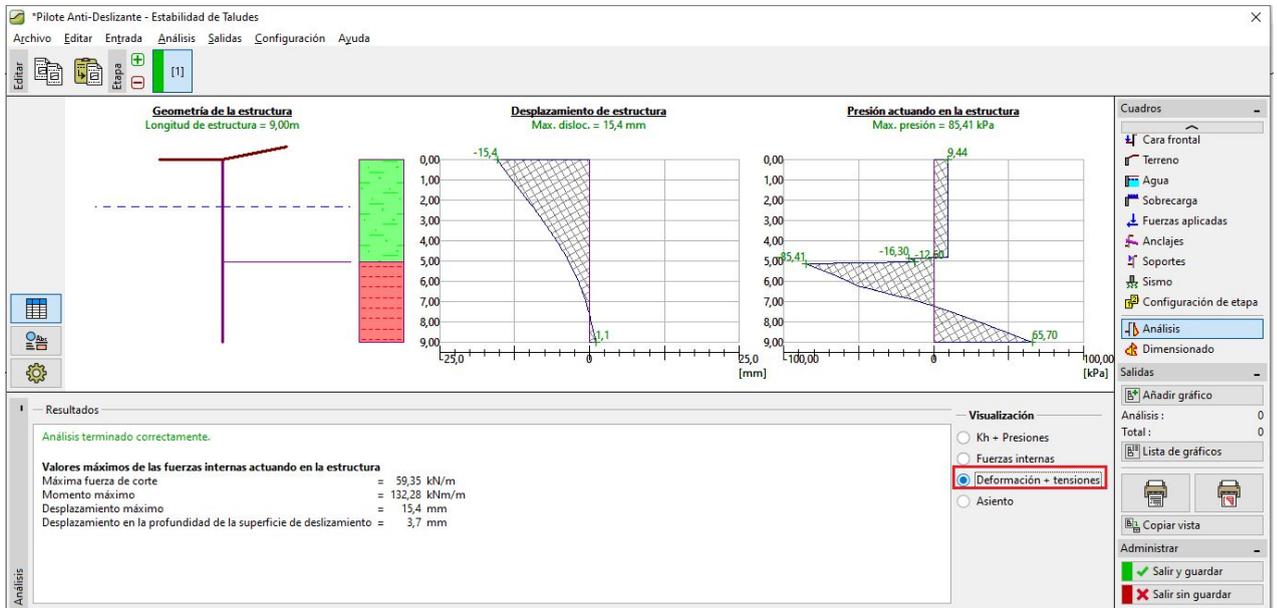
Ahora vamos al cuadro "Análisis"



Programa "Pilote Anti-Deslizante" Cuadro "Análisis" – Kh + Presiones

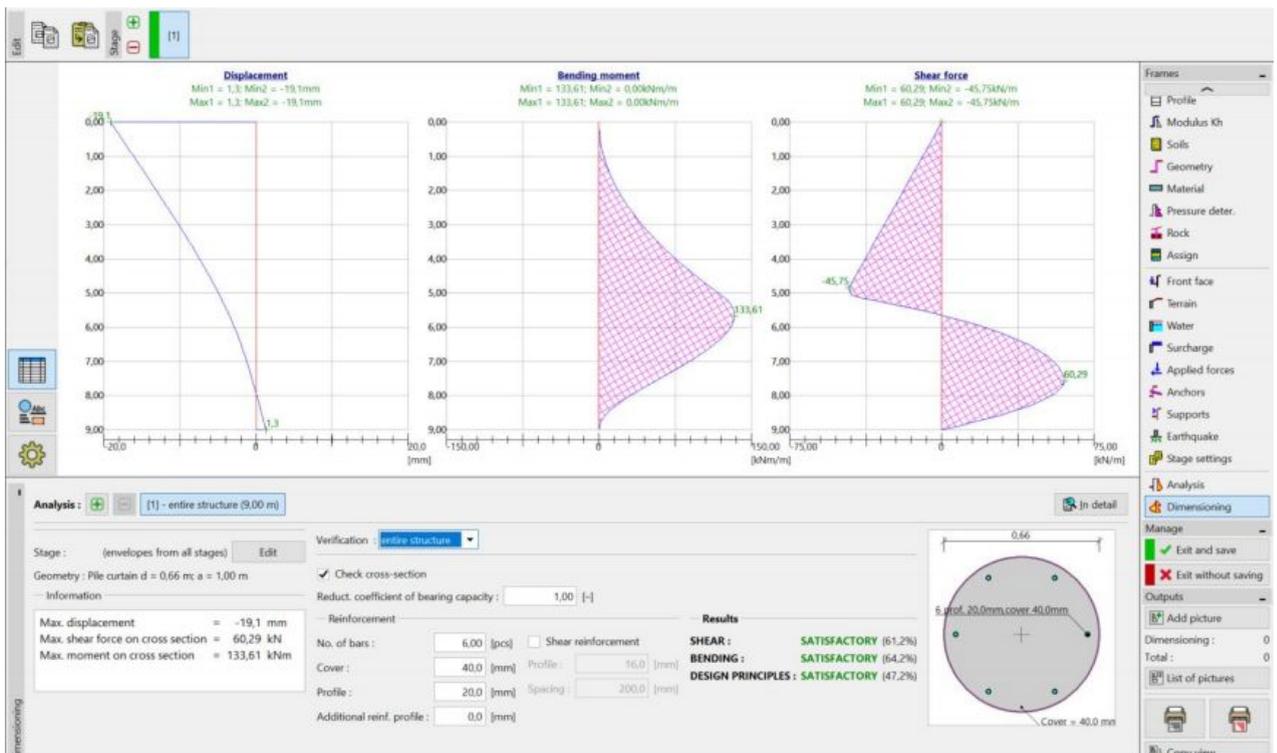


Programa "Pilote Anti-Deslizante" Cuadro "Análisis" – Fuerzas internas



Programa "Pilote Anti-Deslizante" Cuadro "Análisis" – Deformación + Tensiones

En el cuadro "Dimensionado" diseñamos el refinado del pilote



Programa "Pilote Anti-Deslizante" Cuadro "Dimensionado"

El diseño del pilote es satisfactorio para todas las verificaciones. Si queremos conocer la capacidad portante máxima del pilote en corte, se puede abrir la ventana de diálogo "En detalle".

Dimensionado

Verificación de sección transversal RC (Telón del pilote $d = 0,66$ m; $a = 1,00$ m)

Todas las etapas de construcción están incluidas en el análisis.
Coef. de reducción de cap. portante = 1,00

Verificación de la sección transversal en la flexión:

Refuerzo - 6 barras pc 20,0 mm; recubrimiento 40,0 mm
Tipo de estructura (índice de refuerzo) : viga
Coeficiente de refuerzo $\rho = 0,275 \% > 0,130 \% = \rho_{\min}$
Carga : $M_{Ed} = 133,61$ kNm
Capacidad portante : $M_{Rd} = 207,99$ kNm
Diseño del refuerzo del pilote ES SATISFATORIA

Verificación de la sección transversal de esfuerzo cortante:

Fuerza de corte última: $V_{Rd} = 98,56$ kN $> 60,29$ kN = V_{Ed}
La sección transversal es SATISFATORIA.

Verificación global: Sección transversal ES SATISFATORIA

Programa "Pilote Anti-Deslizante" Cuadro "Dimensionado"- cuadro "En detalle"

Consideramos una capacidad portante máxima del pilote como $V_u = 80$ kN en el programa Estabilidad de taludes. Ahora verificamos y vemos que la capacidad portante real es más grande (98,56 kN). Si queremos saber factor de seguridad real de la pendiente, tenemos que volver al programa Estabilidad de Taludes y cambiar el valor de V_u de 80 kN a 98,56 kN.

Editar las propiedades del pilote

Ubicación del pilote

Concentrada : $x = 20,50$ [m]
 $z = 4,66$ [m]
Long. : $l = 9,00$ [m]

Ubicación con el terreno

Espaciamento : $b = 1,00$ [m]

Sección transversal del pilote

Tipo de secc. trans. : Circular

Diámetro del pilote : $d = 0,66$ [m]

Parámetros del pilote

Distribución a lo largo del pilote : constante

Max. capacidad portante : $V_u = 98,56$ [kN]

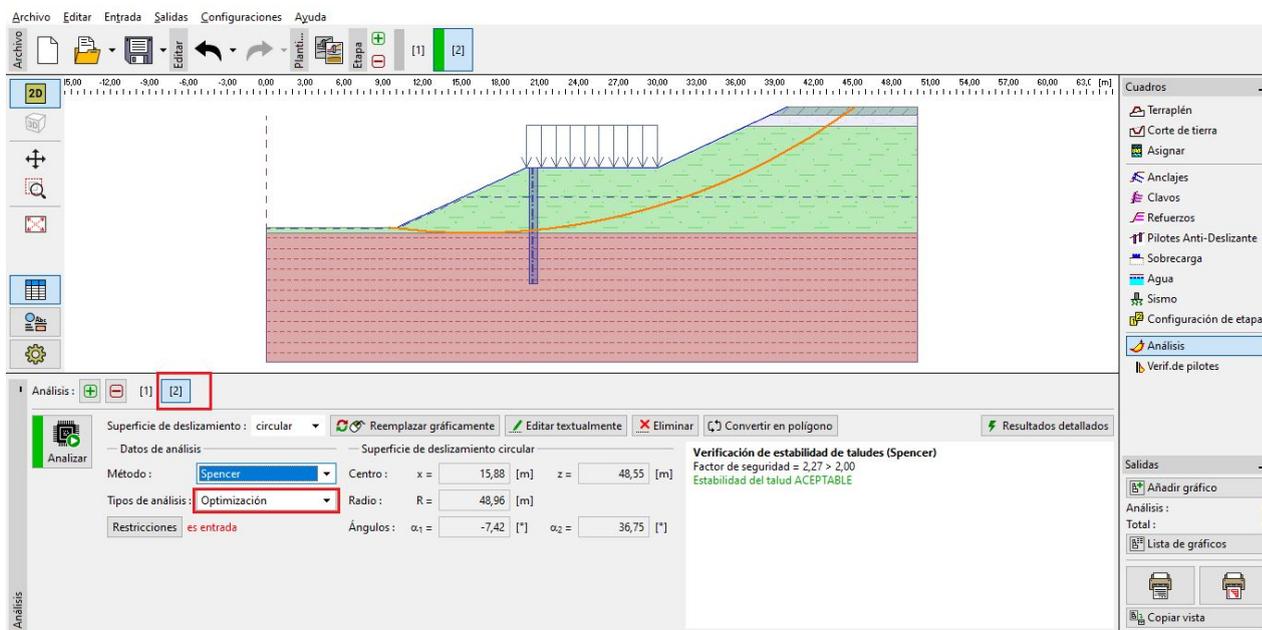
Dirección de la fuerza pasiva : perpendicular al pilote

OK Cancelar

Nro.	Pilote Anti-Deslizante	Concentrada	Long.	Espaciamento	Sección transversal
	Nuevo	x [m]	l [m]	b [m]	[m]
1	Si	20,50	9,00	1,00	

Programa "Estabilidad de taludes" Cuadro "Pilote Anti-Deslizante"

Ahora si ejecutamos el Análisis con esta modificación



Programa “Estabilidad de taludes” Cuadro “Análisis” con la capacidad portante real de los pilotes

Nota: La forma y la posición de la superficie de deslizamiento crítica puede cambiar cuando se modifica la capacidad portante de los pilotes. Los valores de las fuerzas que actúan sobre los pilotes son diferentes. En nuestro ejemplo, los cambios son mínimos y las fuerzas son casi las mismas. Si los cambios son más grandes, un nuevo análisis de Pilote Anti-Deslizante tendría que llevarse a cabo.

Conclusión:

El factor de seguridad requerido de la pendiente era **SF = 2,0**. Mejoramos factor de estabilidad de taludes mediante pilotes anti-deslizantes de **SF=1.8 a SF=2.27**.

El diseño del pilote es satisfactorio (en términos de corte y flexión) y el desplazamiento máximo del pilote es de 19,1 mm. Este valor de desplazamiento es aceptable.