

Análisis de estabilidad de taludes con GeoStudio y PLAXIS

Cómo el enfoque integrado les permite a los ingenieros trabajar de manera más eficiente,
obtener conocimientos más sólidos y llevar a cabo proyectos de mayor calidad





Introducción

En la minería, la estabilidad de taludes representa una cuestión que afecta tanto a la seguridad como a la rentabilidad de los proyectos. Cuando se derrumba un talud, las vidas de los trabajadores corren peligro. Además, los eventos catastróficos como este pueden paralizar por completo las operaciones mineras y afectar significativamente la rentabilidad de un proyecto.

Este tipo de incidentes es particularmente preocupante en las grandes minas a cielo abierto, que tienden a ser significativamente menos estables y más propensas a colapsar.

La estabilidad de taludes siempre ha sido motivo de preocupación, sin embargo se ha vuelto un tema aún más apremiante en los últimos años. Las empresas mineras están excavando a mayor profundidad para maximizar la rentabilidad de cada sitio, esto hace que el riesgo de desestabilización sea mucho mayor.

Los problemas relacionados con la estabilidad de taludes también tienen un impacto vital para la **ingeniería civil**, ya que incluso una pequeña “falla” puede tener un gran impacto en la estabilidad de una estructura, y, en esta industria, la estabilidad es sinónimo de seguridad. Los ingenieros geotécnicos deben diseñar estructuras capaces tanto de proteger a las personas y al medio ambiente como de soportar el paso del tiempo.

La estabilidad de taludes es un tema de vital importancia que no se puede pasar por alto ni subestimar. Este tema no siempre representa un proceso sencillo de resolver. Los ingenieros dependen, en gran medida, del modelado numérico para diseñar, evaluar y analizar los problemas relacionados con la estabilidad de taludes. Asimismo, cada método de modelado numérico tiene sus propias particularidades y procesos, y para obtener resultados óptimos se deben aplicar de forma correcta a la tarea adecuada.

Igualmente desafiante es la elección entre un método de análisis 2D o 3D. Los análisis en 2D tienden a simplificar en exceso las estructuras complejas del subsuelo y la topografía, lo que obliga a los ingenieros a realizar estimaciones más conservadoras. También es posible que el uso de un análisis 2D excluya mecanismos clave para el control de la estabilidad de los taludes.

Por otro lado, el análisis en 3D proporciona una representación gráfica mucho más precisa de la geología del sitio, ofrece una mayor precisión geométrica y contempla las condiciones anisotrópicas de manera más realista. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que el análisis 3D requiere una mayor cantidad de datos de campo, especialmente cuando se trata del análisis de modelos geológicos más complejos que requieren una interpretación más profunda de los datos obtenidos.

El mayor desafío de cualquier proyecto de estabilidad de taludes suele ser, por lo tanto, determinar cuáles son las formas adecuadas de análisis para cada caso en particular.

Este libro electrónico nos permitirá profundizar en los beneficios y las desventajas de cada una de las formas de análisis disponibles y, fundamentalmente, explicar cómo cada una de estas técnicas —es decir, el análisis 3D y 2D, el método de elementos finitos (MEF) y el método de equilibrio límite (MEL)— se complementan entre sí. La combinación de estas técnicas puede proporcionarles a los ingenieros la flexibilidad, la precisión y los conocimientos que necesitan para mantener la seguridad de las personas y los proyectos en marcha.

Contenido

En este libro electrónico exploraremos los siguientes temas:

Selección del método: el método de equilibrio límite

- Los beneficios del LEM
- Las limitaciones del LEM
- Cómo poner en práctica el LEM

Selección del método: el método de elementos finitos

- Los beneficios del MEF
- Las limitaciones del MEF
- Principales consideraciones sobre el MEF

Lo mejor de ambos métodos: la combinación del MEL y el MEF

- Cómo interactúan el MEF y el MEL para funcionar en conjunto
- ¿En qué casos es recomendable combinar el MEL y el MEF?
- Una guía paso a paso para combinar el uso del MEL y el MEF

La estabilidad de un proyecto de construcción de carreteras utilizando el MEL y el MEF

- Descripción general de un proyecto de Seequent
- Los desafíos del modelado de diferentes factores de seguridad
- Cómo la combinación del MEL y el MEF permitió obtener nuevas formas de resolver problemas

¿Análisis 2D o 3D?

- Ventajas y desventajas de los modelos 2D
- Ventajas y desventajas de los modelos 3D
- Cómo elegir entre el análisis 2D y 3D para un proyecto de estabilidad de taludes

Un enfoque integrado para el análisis de estabilidad de taludes

- Los beneficios de un enfoque integrado
- El ecosistema de Bentley/Seequent

Selección del método: el Método de equilibrio límite

Los beneficios y la puesta en práctica del LEM



¿Cuál es el método de modelado numérico adecuado para mi análisis de estabilidad de taludes?

Esta es una de las preguntas frecuentes a las que se enfrentan los ingenieros geotécnicos. Sin duda alguna, puede ser complicado determinar cuál método es capaz de proporcionarle el equilibrio perfecto entre eficiencia y precisión para el desarrollo de su proyecto.

Sin embargo, si tiene a su disposición las herramientas adecuadas, se vuelve más fácil alternar el uso de los métodos más relevantes —es decir, el método de equilibrio límite (MEL) y el método de elementos finitos (MEF)—, de acuerdo con las necesidades de su proyecto.

En este capítulo, le mostraremos cómo las capacidades del LEM de GeoStudio pueden aportar beneficios significativos para el desarrollo de sus proyectos.

Cómo (y cuándo) usar el Método de equilibrio límite

El LEM evalúa el equilibrio de una masa de suelo o rocas y, en particular, su tendencia a deslizarse debido a las influencias gravitacionales.

Por medio de este método, un ingeniero geotécnico puede realizar una comparación entre las fuerzas y los momentos de resistencia al movimiento, por un lado, y las fuerzas y momentos que provocan el movimiento, por el otro.

El análisis realizado mediante este método proporciona, como resultado, un factor de seguridad (Factor of Security, FoS). Cuando el FoS es inferior a 1.0, indica inestabilidad.



Los beneficios del LEM

Es eficiente

El LEM permite realizar cálculos de forma rápida. Esto implica más tiempo para investigar un gran número de tipos de fallas, incluidos los diferentes mecanismos que afectan la estabilidad.

Es flexible

Existe una amplia gama de situaciones en las que se puede aplicar el LEM para evaluar la estabilidad de un talud ya sea natural o antropogénico. También se puede utilizar para analizar taludes reforzados, lo que hace posible el modelado de diferentes tipos de refuerzos para prever la resistencia al arrancamiento y las fuerzas de corte.

Permite obtener un análisis integral

Gracias al LEM es posible representar las características de las resistencias para la mayoría de los tipos de roca y suelo, desde el modelo lineal de Mohr-Coulomb hasta las resistencias no lineales, drenadas y no drenadas. Esto incluye las resistencias no saturadas y anisotrópicas.

El LEM también puede modelar la presión intersticial mediante varios métodos diferentes, incluida la integración con el análisis de filtración o consolidación de elementos finitos. Este tipo de análisis es crucial, ya que el agua puede afectar significativamente la estabilidad de un talud. En consecuencia, es fundamental tener en cuenta la presión intersticial.

Se configura con facilidad

El LEM es relativamente fácil de configurar e interpretar. A través de este método, puede evaluar rápidamente las diferentes partes del talud por medio de varios métodos de búsqueda de superficies de deslizamiento. Esto le proporciona un conocimiento más fiable de los puntos críticos en los que podría producirse un potencial mecanismo de falla.



Cómo ejecutar el LEM en GeoStudio: evaluación de seguridad de una mina a cielo abierto

¿Cómo se realiza un análisis por medio del LEM en GeoStudio? Utilicemos el ejemplo de una mina a cielo abierto que requiere una evaluación de seguridad.

1. Cree el modelo geológico en 3D o la geometría de la sección en 2D en GeoStudio

En esta etapa, debe agregar la geometría y los detalles de las propiedades de los materiales, incluida la selección del modelo de material de resistencia al corte más representativo de cada capa. También debe asignar las condiciones de todas las zonas débiles, como, por ejemplo, las fallas presentes en la geometría.

2. Defina los parámetros del análisis del LEM

Después de seleccionar el tipo de LEM, puede definir la masa deslizante utilizando uno de los diferentes métodos de búsqueda de superficies de deslizamiento. Además, se pueden incluir en el análisis componentes adicionales como la presión intersticial.

3. Inicie el análisis

Una vez completada la configuración inicial, GeoStudio le permite analizar todo el dominio de la mina a cielo abierto o un subdominio determinado para ubicar la parte del dominio donde es más probable que ocurra el fallo.

4. Evalúe los resultados

El módulo de resultados le permite examinar la superficie de deslizamiento de prueba con las masas deslizantes categorizadas de acuerdo con su factor de seguridad. De esta manera, puede analizar el riesgo relativo en diferentes zonas de interés. A continuación, puede identificar las áreas de interés que requieren más atención para echar un vistazo más de cerca en 3D a la masa estimada de la falla y a la superficie de deslizamiento crítica no circular en las zonas débiles.

5. Compare los factores de seguridad (FoS) en 2D y 3D

GeoStudio le permite evaluar los factores de seguridad en 2D y en 3D para obtener resultados más confiables. Así podrá reducir el riesgo de probabilidades de que ocurra una falla mediante el análisis del impacto de la variación de la geometría y de los parámetros de los materiales.

Ahora, veamos este proceso en acción en el caso de una mina a cielo abierto.

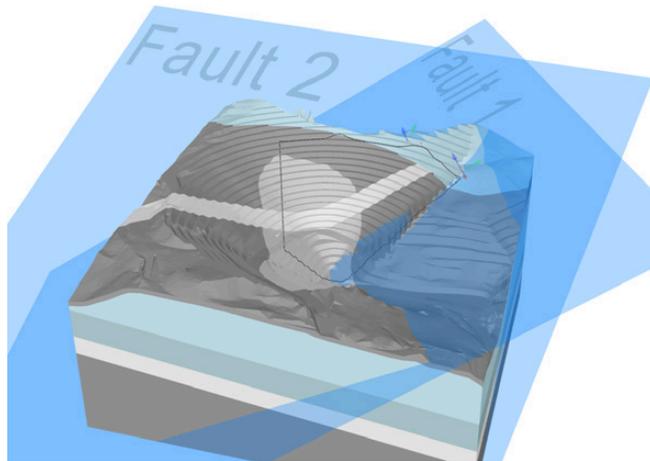
CASO PRÁCTICO

Estabilidad controlada estructuralmente de una mina a cielo abierto

El desafío

Las características estructurales, como las fallas y discontinuidades controlan el comportamiento de una masa rocosa. Esto los convierte en factores determinantes para el control de la estabilidad de taludes de roca. En muchos casos, la estructura determina la complejidad del mecanismo de falla, que podría variar desde una falla de traslación hasta una falla que implique múltiples mecanismos complejos.

En las rocas sedimentarias, pueden producirse planos de poca resistencia en el lecho, lo que podría provocar deslizamientos si el lecho queda expuesto a la superficie. De la misma manera, los planos de falla a menudo generan superficies de deslizamiento o superficies de desprendimiento. Es fundamental tener en cuenta el impacto de estas estructuras geológicas durante el cálculo del FoS para garantizar que el diseño de una mina a cielo abierto sea seguro y óptimo.



Geometría de la mina a cielo abierto, incluida la posición de las dos fallas principales.

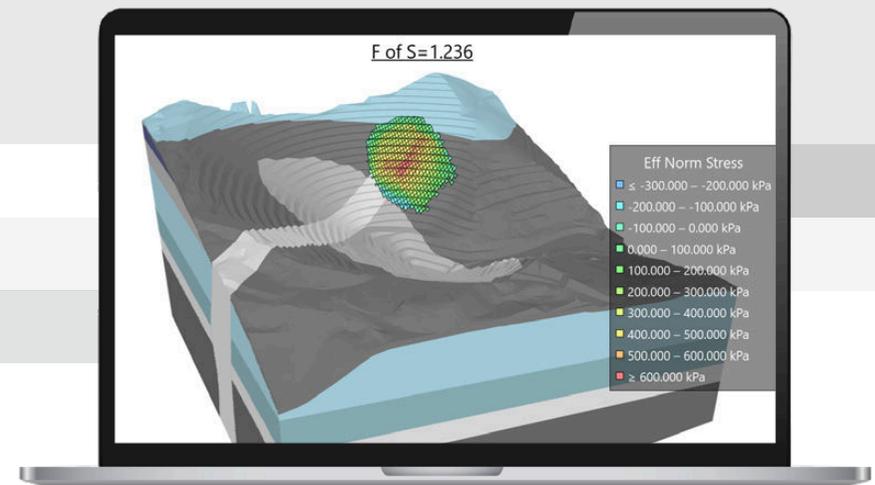
La solución

El primer paso es crear una geometría que capture el nivel requerido de complejidad en la geología del sitio. Para esto se construyó un modelo geológico en el software Leapfrog de Seequent, mediante el uso de datos de perforaciones y superficies con mallas.

A través de Central, la solución de gestión de modelos en la nube de Seequent, el ingeniero pudo conectar dinámicamente GeoStudio con el modelo geológico en Leapfrog y utilizarlo para definir la geometría 3D.

Una vez definida la geometría y los materiales, el siguiente paso fue definir la geometría de las fallas de interés. En este caso, el buzamiento y la dirección del buzamiento de las dos estructuras se midieron directamente en el campo. Estos datos se utilizaron en GeoStudio para definir los planos, que posteriormente se convertirían en mallas de fondo. El último paso consiste simplemente en asociar un modelo de material de baja resistencia a cada falla para representar la resistencia de un material de falla.

Tanto la forma como la resistencia al corte de la masa de deslizamiento se alteran en las superficies de deslizamiento de prueba que atraviesan las fallas. El análisis demostró que el FoS disminuyó por debajo del valor aceptable cuando se activaban ambas fallas. Y lo que es más importante, la rapidez con que se realizaron los cálculos y con que se configuró GeoStudio le permitieron al ingeniero explorar la ubicación de la superficie crítica de deslizamiento en distintos escenarios y con distintas propiedades de resistencia.



Ubicación crítica de la masa deslizante y el factor de seguridad asociado con las fallas analizadas.

Selección del método: el método de elementos finitos

Las ventajas del uso del MEF y una guía paso a paso para aprovechar sus beneficios



El método de elementos finitos (MEF) permite que los ingenieros realicen uno o más análisis de seguridad después de haber realizado análisis de deformación o consolidación.

El mayor beneficio del MEF es que permite evaluar si se han cumplido los requisitos de seguridad de un diseño, durante el proyecto y después de su finalización.

Al igual que el MEL, el resultado del MEF es un FoS, en este caso, el factor de reducción de resistencia a partir del cual falla el talud.



Los beneficios del MEF

Es automático

Mediante el uso del MEF, el modelo formará automáticamente el mecanismo de falla más prevalente en áreas donde la resistencia al corte movilizada no es suficiente para la tensión de corte.

Permite obtener un análisis integral

El MEF se puede utilizar para modelar tanto el suelo como la roca, así como una variedad de condiciones hidrogeológicas. Esto les permite a los ingenieros construir una imagen más detallada y completa de la estabilidad del talud en una gama mucho más amplia de escenarios, a la vez que aumenta la confianza del ingeniero en los resultados de su análisis.

Es adaptable

MEF proporciona información sobre la deformación y permite que la superficie de deslizamiento evolucione según las características de resistencia y rigidez del suelo o la roca. También estima el esfuerzo resultante y la presión intersticial. En conjunto, estos análisis proporcionan a los ingenieros información importante sobre la seguridad del talud, los riesgos potenciales y las medidas de estabilización que deben implementarse.

Cómo ejecutar el MEF en PLAXIS

Cuando realice un análisis de estabilidad de taludes en PLAXIS, deberá tener en cuenta varios aspectos prácticos que pueden aumentar o disminuir la certeza del valor FoS resultante:

1. Asegúrese de refinar la malla adecuadamente

Una malla demasiado gruesa producirá una valoración excesiva del FoS. También debe asegurarse de que el análisis de seguridad incluya todos los pasos de cálculo necesarios para permitir que el mecanismo de falla se desarrolle por completo, tal como se menciona a continuación.

2. Tenga en cuenta la influencia de la succión

Vuelva a realizar los cálculos anteriores teniendo en cuenta la succión. Normalmente, esto significa que su análisis de seguridad proporciona un FoS más alto. Estos factores de seguridad serán menos conservadores, aunque más realistas.

3. Elija dónde y cómo evaluar su FoS

Puede ver el FoS directamente desde la tabla de Información de Cálculo (Calculation Information table) de PLAXIS. No obstante, en general se debe evaluar el FoS mediante un gráfico de curvas. Para esto debe seleccionarse un punto de seguimiento en el área general donde se espera que se produzca el fallo del talud. El gráfico de curva se genera después de que se completa el cálculo del análisis de seguridad y muestra los desplazamientos del punto de seguimiento en contraste con el factor de reducción de resistencia del modelo. Teóricamente, la curva debe alcanzar una asíntota que coincida con el FoS.

4. Verifique que dispone de los pasos de cálculo necesarios

Un pequeño paso o aumento en el FoS puede provocar cambios significativos en el desplazamiento. Puede verificar si esto se aplica a su análisis mediante el gráfico de curvas. Si no es así, deberá ejecutar el análisis de seguridad con un mayor número de pasos de cálculo. La inspección de los gráficos de sombreado de los desplazamientos incrementales (que muestran los desplazamientos en el último paso de cálculo) o de las deformaciones por corte le ayudará a identificar el mecanismo de fallo que se produce.

PLAXIS 3D resuelve un desafiante y complejo problema de construcción de túneles en carreteras

El desafío

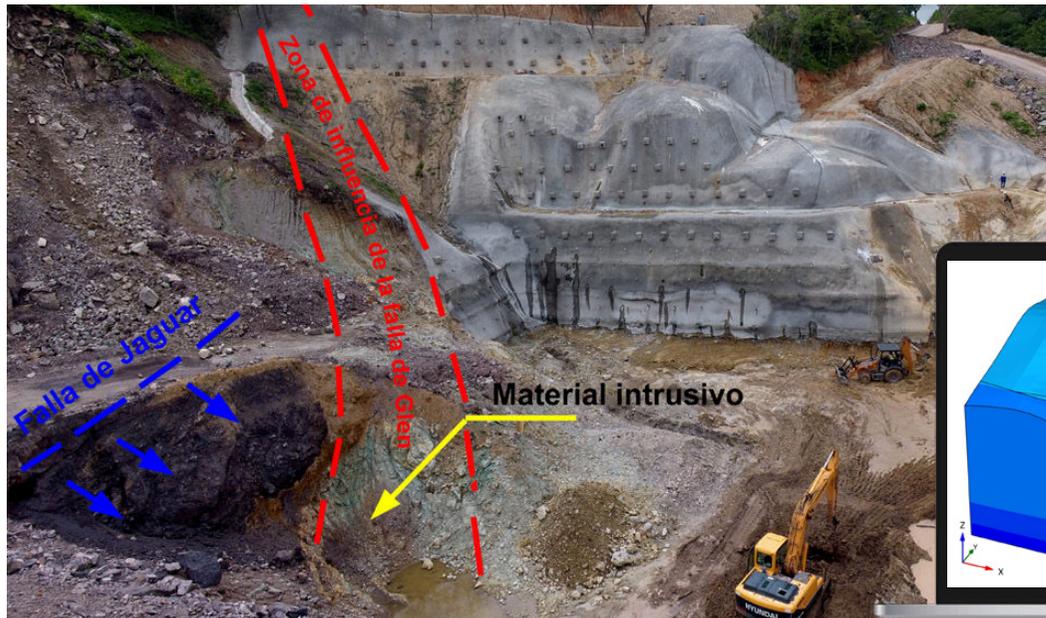
Mientras construían una carretera desde la ciudad de Tepic hasta la ciudad de Puerto Vallarta en la costa oeste de México, un equipo de especialistas en construcción subterránea descubrió que una gran masa de roca se estaba deslizando cerca de un portal de un túnel. La causa era un corte abierto, provocado por la reactivación de una falla geológica. Era época de lluvias en la región, lo que significaba que el talud se movía más rápido de lo que normalmente se espera.

El portal del túnel también había comenzado a fallar y ponía en alto riesgo el sitio de construcción.

En conjunto, estos factores indicaban que no sería posible estabilizar el deslizamiento y la falla del portal mediante los métodos convencionales.

Asimismo, los trabajos de excavación para abrir la boca del túnel también se vieron afectados por el desequilibrio de la masa rocosa. Existía un alto riesgo de que las obras desencadenaran un enorme mecanismo de fallo.

En resumen, el equipo se enfrentaba a un problema geotécnico complejo. Este problema debía resolverse rápidamente para garantizar la seguridad de los equipos en el lugar y el éxito del proyecto.



Solución

El equipo decidió conectar el túnel, la excavación a cielo abierto del portal y la zona del deslizamiento con un túnel rígido de corte y cubierta, protegido por un gran muro pilotado de concreto y anclajes activos.

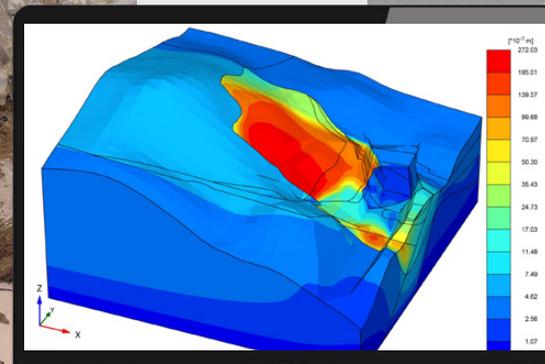
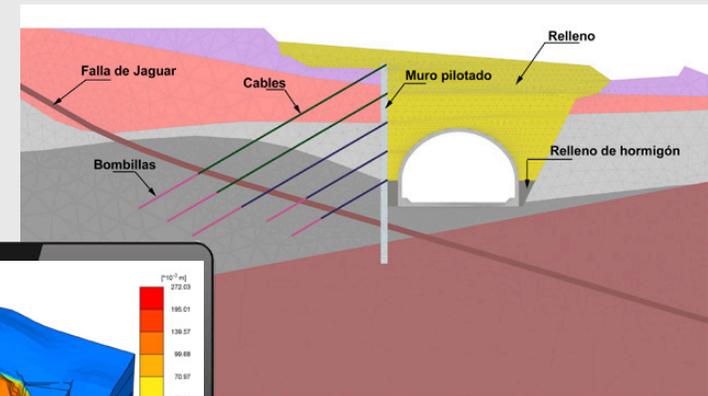
Para ejecutar esta solución, el equipo necesitaba recrear un modelo geotécnico en 3D lo más parecido posible a la realidad, para poder modelar con precisión la solución que tenían en mente.

Comenzaron con un estudio exhaustivo del terreno durante ocho meses, que incluyó la instalación de piezómetros, el monitoreo de la superficie, perforaciones y el mapeo geológico y geotécnico del área de estudio.

Una vez que la investigación de resultados de campo estuvo en orden, crearon un modelo PLAXIS en 3D para representar el movimiento de la masa de roca de la manera más precisa posible. También utilizaron un conjunto de secciones transversales de PLAXIS en 2D, que se calibraron y utilizaron para complementar la información del modelo 3D con un mayor grado de refinamiento.

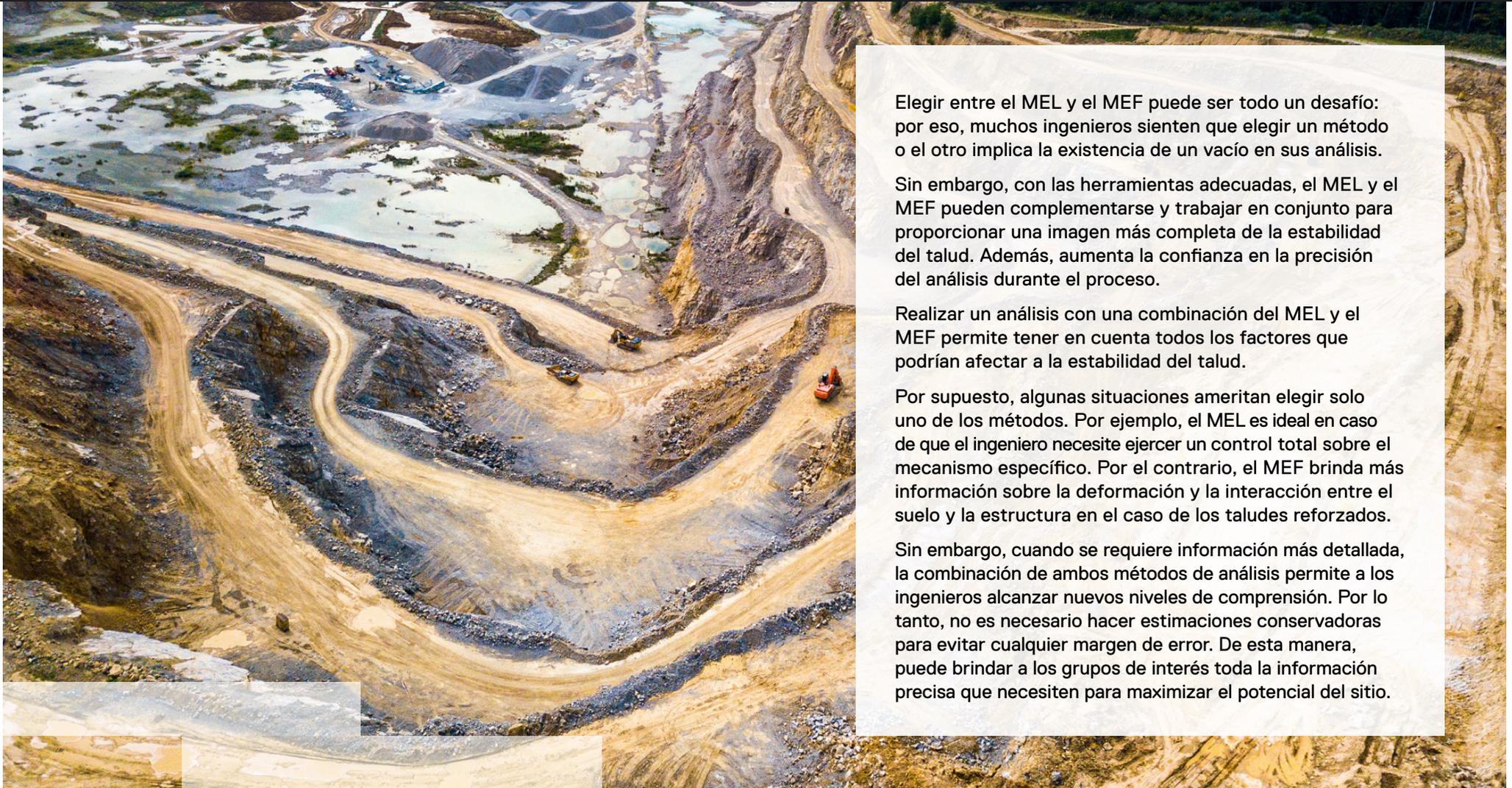
Finalmente, estos modelos se utilizaron para calcular las nuevas excavaciones, estructuras y rellenos compactados del proyecto.

“Si bien la solución propuesta no fue la más económica”, dijo el Dr. Fermín Sánchez Reyes, uno de los ingenieros geotécnicos principales del proyecto, “es la mejor solución a largo plazo y la más rentable, porque pudimos calcular y modelar la solución más segura para el problema de estabilidad, así como recuperar la tierra afectada por la excavación a cielo abierto”.



Lo mejor de ambos métodos: la combinación del MEL y el MEF

Cómo la combinación de dos formas de modelado numérico puede favorecer la realización de un análisis en profundidad y ahorrarle dolores de cabeza



Elegir entre el MEL y el MEF puede ser todo un desafío: por eso, muchos ingenieros sienten que elegir un método o el otro implica la existencia de un vacío en sus análisis.

Sin embargo, con las herramientas adecuadas, el MEL y el MEF pueden complementarse y trabajar en conjunto para proporcionar una imagen más completa de la estabilidad del talud. Además, aumenta la confianza en la precisión del análisis durante el proceso.

Realizar un análisis con una combinación del MEL y el MEF permite tener en cuenta todos los factores que podrían afectar a la estabilidad del talud.

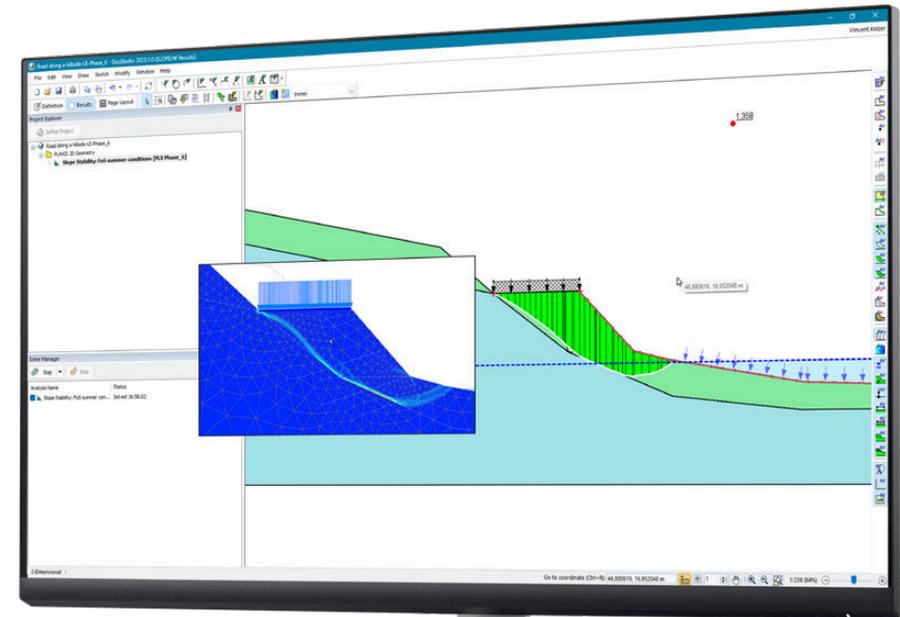
Por supuesto, algunas situaciones ameritan elegir solo uno de los métodos. Por ejemplo, el MEL es ideal en caso de que el ingeniero necesite ejercer un control total sobre el mecanismo específico. Por el contrario, el MEF brinda más información sobre la deformación y la interacción entre el suelo y la estructura en el caso de los taludes reforzados.

Sin embargo, cuando se requiere información más detallada, la combinación de ambos métodos de análisis permite a los ingenieros alcanzar nuevos niveles de comprensión. Por lo tanto, no es necesario hacer estimaciones conservadoras para evitar cualquier margen de error. De esta manera, puede brindar a los grupos de interés toda la información precisa que necesiten para maximizar el potencial del sitio.

¿Cómo sería la estabilidad del talud si se combinan el MEL y el MEF?

Para determinar un factor de seguridad, el método de reducción de la resistencia constituye una herramienta muy poderosa para calcular la superficie de deslizamiento más crítica, que puede ser circular o de cualquier otra forma. Sin embargo, pueden surgir algunas circunstancias en las que se requiera más información que solo la relacionada con la superficie de deslizamiento más crítica o con el momento en el que dicha superficie es de menor importancia desde el punto de vista de la ingeniería.

En estos casos, la solución sería determinar un FoS mediante el método del equilibrio límite. De esta manera, se puede especificar exactamente en qué parte del modelo se debe determinar el FoS, mientras que el método aún permitiría determinar la superficie de deslizamiento no circular y más crítica posible en esa área. Además, se podrían determinar diferentes factores de seguridad para distintas partes del mismo modelo.



01.

Inicie el análisis de estabilidad de taludes mediante el MEL en GeoStudio.

02.

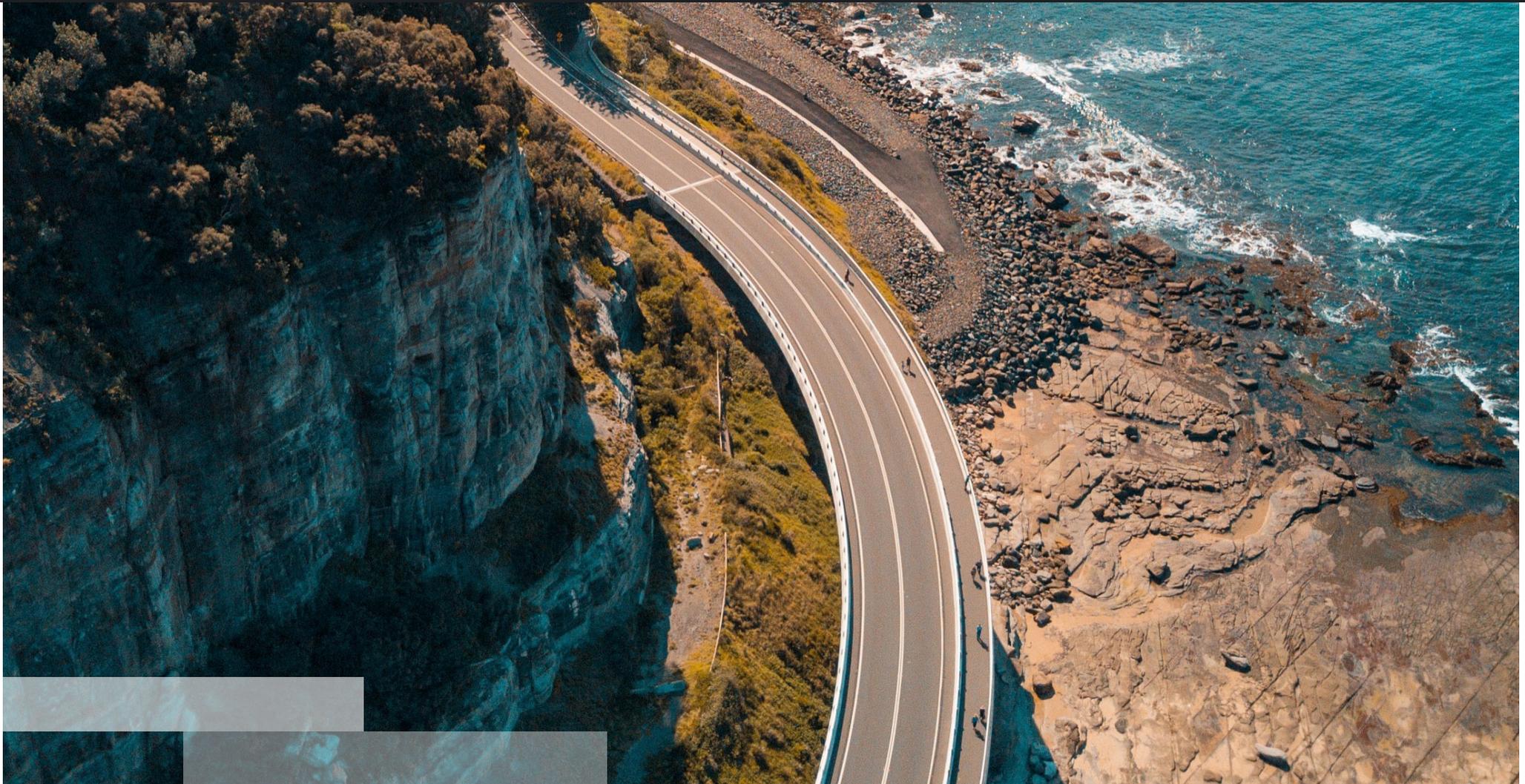
Una vez que obtenga el modelo del MEL, podrá perfeccionarlo al integrar los cálculos que el MEF genera.

03.

Posteriormente, evalúe las situaciones más críticas del diagrama de resultados junto con los análisis detallados del MEF a través de PLAXIS para poder optimizarlos al máximo y reducir los costos.

La estabilidad de un proyecto de construcción de carreteras utilizando el MEL y el MEF

Vea la combinación del MEL y el MEF en acción



Analicemos un caso en el que se implementó el MEL y el MEF en conjunto para obtener un análisis más profundo e integral.

CASO PRÁCTICO

Resumen de la situación de la carretera recientemente construida

El desafío

Se estaba construyendo un nuevo tramo de la carretera a lo largo de la costa de una bahía mareal en la Isla Norte de Nueva Zelanda.

Lo ideal habría sido construir la carretera más lejos de la bahía para reducir la probabilidad de inestabilidad. Sin embargo, según se muestra en la imagen anterior, el terreno era de propiedad privada. Por lo tanto, la nueva carretera se tuvo que construir a lo largo de la pendiente más pronunciada, junto a la costa de la bahía mareal.

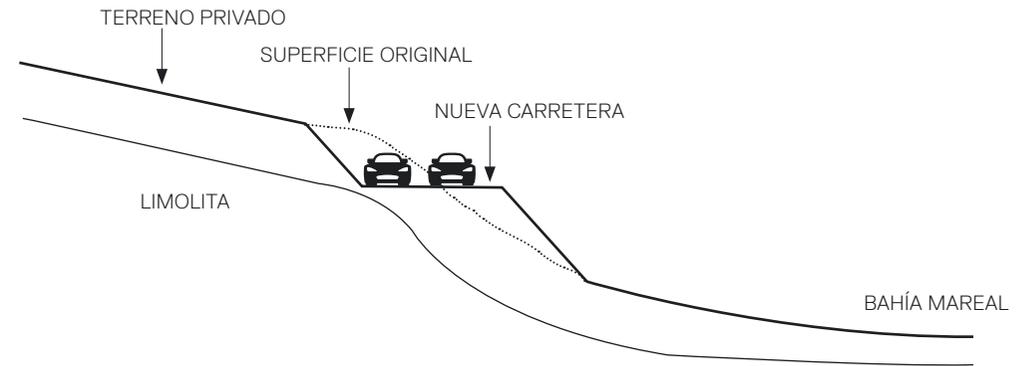
Durante el primer invierno posterior a la construcción, la carretera empezó a inclinarse hacia la bahía mareal. Además, surgieron preocupaciones en torno a los desprendimientos de roca y tierra sobre la carretera.

Para abordar el problema, el equipo decidió realizar un análisis adicional de la estabilidad del talud por encima de la carretera.

Sin embargo, debido a la complejidad de la situación, implementar una única forma de modelado numérico no permitió obtener el detalle y la precisión que el equipo necesitaba. El método de reducción de la resistencia del MEF habría permitido obtener la superficie de deslizamiento más crítica, pero no habría sido muy eficaz para determinar un FoS en un área específica. En consecuencia, el equipo decidió combinar el MEF con el MEL para determinar la estabilidad del talud por encima de la carretera.

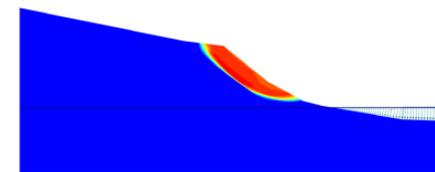
Los principales objetivos del proyecto:

- Determinar el FoS de la ladera original.
- Crear un modelo de la nueva carretera en condiciones secas (verano) y calcular el FoS.
- Simular condiciones húmedas (invierno) y calcular el FoS.
- Aplicar clavos estabilizadores del suelo y calcular el FoS en condiciones húmedas.
- Calcular la estabilidad del talud por encima de la carretera a través del MEL.

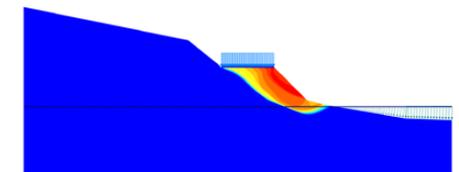


La solución

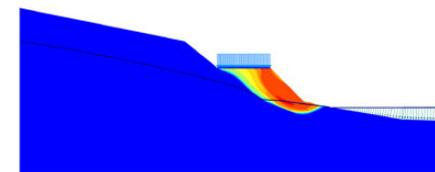
Los resultados del análisis mediante el MEF demostraron que, una vez colocados todos los clavos, el área más crítica del talud variaría mucho en función de las condiciones meteorológicas. En el invierno, el talud por encima de la carretera es el que requiere más atención, mientras que, en otras condiciones, el que se ubica por debajo es el más crítico.



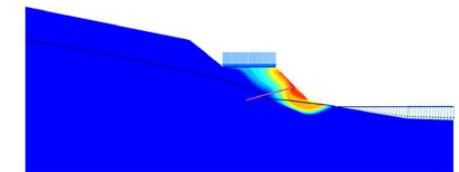
Antes de la construcción



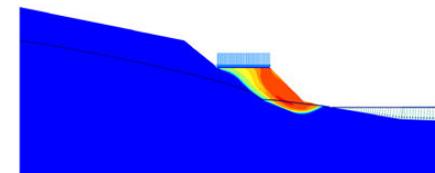
En verano



En invierno (sin clavos)



En invierno (clavos superiores)



En invierno (sin clavos)

Análisis del MEF: Desplazamientos incrementales que muestran mecanismos de falla



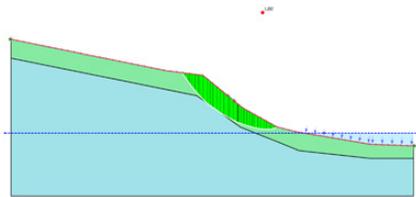
Sin embargo, la Autoridad de Carreteras solicitó información más detallada que solo la que indicaba la falla más crítica. Para cumplir con las normas de la entidad, el equipo tendría que determinar el FoS frente a las dos situaciones que se detallan a continuación.

1. Pérdida total de la carretera:

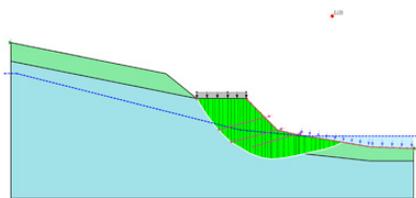
sucede cuando se produce una falla en el talud debajo de la carretera o en toda la ladera. El FoS mínimo requerido frente a la pérdida total es de 1,8.

2. Pérdida temporal del servicio:

sucede cuando se produce una falla en el talud por encima de la carretera y la tierra o las rocas bloquean el tráfico temporalmente. La gravedad de la falla es menor, por lo que el FoS mínimo requerido frente a la pérdida del servicio es de 1,6.



Antes de la construcción



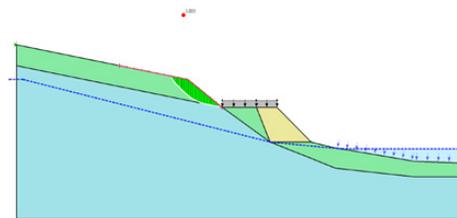
Superficie de deslizamiento bajo la carretera en caso de que esta sea resistente



Superficie de deslizamiento para la estabilidad de todo el talud



Superficie de deslizamiento bajo la carretera en caso de que esta sea débil



Superficie de deslizamiento del talud superior

Aún así, era difícil determinar con precisión el factor de seguridad de los mecanismos locales de falla en el talud solamente mediante el MEF. El método permite conocer únicamente el mecanismo más crítico en lugar de los factores de seguridad tanto para la pérdida total de la carretera como para la pérdida temporal del servicio.

Por lo tanto, el equipo decidió implementar el MEL para determinar todos los factores pertinentes de seguridad. Se realizó un análisis mediante el MEL luego de la construcción de la carretera, donde se instalaron los clavos superiores en verano e invierno para determinar los respectivos FoS.



Conclusiones

La combinación de los análisis mediante el MEL y el MEF permitió al equipo desarrollar diseños geotécnicos con información mucho más detallada. De este modo, el equipo pudo obtener resultados mucho más completos y verificar de manera exhaustiva las conclusiones del análisis del MEF al comparar con los resultados del MEL.

Se elaboraron las siguientes conclusiones:

- En invierno y verano, el FoS requerido frente a la pérdida total de la carretera no podría cumplirse sin tomar medidas adicionales.
- En invierno y verano, se cumpliría el FoS requerido frente a la pérdida temporal del servicio, por lo que no se requieren medidas estabilizadoras adicionales para el talud por encima de la carretera.

Cuando se coloca una fila de clavos en el suelo, se puede lograr el FoS requerido en función del análisis con el MEL, pero depende de la influencia (incierto) del refuerzo de la carretera.

- Cuando se colocan todos los clavos en el suelo, se cumple el factor de seguridad requerido tanto frente a la pérdida total como frente a la pérdida del servicio, aunque puede surgir cierta preocupación por la falla local justo debajo del borde de la carretera.
- Instalar todos los clavos en el suelo es, probablemente, la mejor manera de garantizar la estabilidad de la carretera.

El equipo descubrió que la combinación del MEF y el MEL facilitó el abordaje de los distintos requisitos de los factores de seguridad sin perjudicar la eficacia ni la precisión. En este caso, la implementación del MEF permitió calcular la superficie de deslizamiento más crítica en cualquier fase del proyecto, mientras que, mediante el MEL, el equipo pudo descubrir los FoS frente a otras contingencias graves, tales como la pérdida total de la carretera y la pérdida temporal del servicio. Un aspecto fundamental fue que el análisis del MEL pudo validarse con los resultados del análisis del MEF, por lo que ambos métodos resultaron esenciales para el éxito del proyecto.

¿Análisis 2D o 3D?

Cómo elegir entre el análisis 2D y 3D para un proyecto de estabilidad de taludes

Otra dicotomía que suele poner en aprietos a los ingenieros: ¿Debe realizar el análisis 2D o 3D?

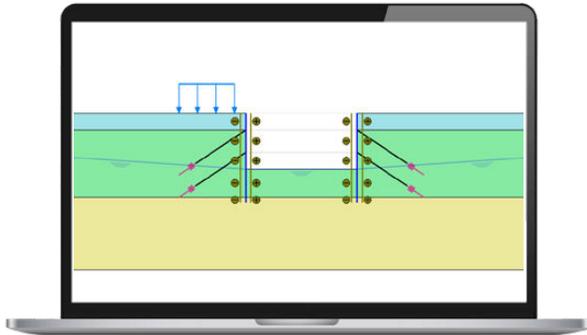
Ambos métodos suponen ventajas indiscutibles, pero también inconvenientes.

Una vez más, la decisión se reduce a determinar qué método es el más adecuado para el proyecto. En algunos casos, se debe encontrar la manera de combinar ambos tipos de análisis para obtener más información.

Para simplificar, hágalo 2D

Puede que el análisis 2D brinde menos información, pero tiene un par de ventajas que lo hacen el más adecuado para muchos proyectos: la rapidez de la configuración y los tiempos de resolución.

El análisis 2D suele ser más fácil de configurar que el 3D, por lo que permite completar tareas como determinar la geometría en mucho menos tiempo. Ya que el modelo resultante es mucho más pequeño, el análisis 2D suele ofrecer tiempos de resolución mucho más rápidos que su homólogo 3D.



¿Cuándo se debe utilizar?

El análisis 2D es perfecto para aplicaciones que no cuenten con mecanismos 3D que controlen la estabilidad. Utilícelo en proyectos con geometrías casi lineales y uniformes, en condiciones de presión intersticial relativamente sencillas y en propiedades de materiales isotropos.

¿Prefiere aumentar los detalles con el análisis 3D?

El análisis 3D es mucho más detallado que el 2D en cuanto a la geometría.

El principal inconveniente es que, para obtener este alto nivel de detalle, la configuración y el análisis tardan más tiempo en realizarse en 3D que en 2D. Sin embargo, ese tiempo adicional se ve recompensado con más información: en 3D, es posible explorar mecanismos que no se pueden captar en 2D, por lo que se obtiene una mejor representación de algunos sistemas físicos.

Una vez creada la geometría, puede analizarla en 3D o mediante numerosas secciones transversales en 2D. De este modo, se obtiene una imagen espacialmente más representativa de la estabilidad del sitio que, a la larga, reduce el tiempo necesario para elaborar el diseño técnico y mejora la calidad del producto final.

Debido a que el modelado 3D es más detallado, tiende a representar con mayor fidelidad la realidad del sitio. Esto permite capturar lugares más grandes y complejos en modelos más precisos. Además, facilita el uso de datos multidisciplinarios para interconectar modelos a lo largo del ciclo de vida del proyecto y tomar decisiones bien fundamentadas. De esta manera, se pueden combinar los datos y análisis para obtener una imagen aún más precisa del talud.

Aunque el modelado 3D lleva más tiempo, la herramienta adecuada puede reducir bastante el tiempo necesario para preparar un modelo. Busque soluciones, tales como PLAXIS y GeoStudio, que dispongan de herramientas de modelización sencillas que faciliten la adición de fracturas locales, discontinuidades y planicies débiles, así como cargas, desplazamientos, elementos estructurales y refuerzos.

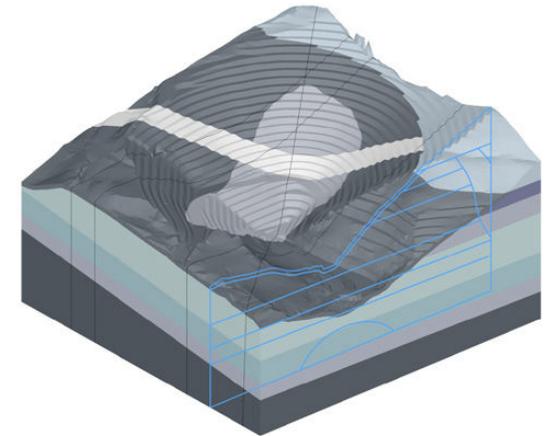
¿Cuándo se debe utilizar?

En aplicaciones que impliquen complejidades en cuanto a la geología, las aguas subterráneas, las estructuras geológicas y la topografía. En cualquier aspecto en el que diversos factores puedan perjudicar la estabilidad del talud, donde se necesita un alto grado de certeza para avanzar.

Si ya ha realizado un análisis 2D, pero cree que podría necesitar un modelo 3D, responda las siguientes preguntas:

- ¿Puede la naturaleza de la geometría 3D real influir negativamente en el valor del FoS 2D?
- ¿Puede tener un efecto positivo para reducir los costos de diseño y construcción?

Si la respuesta a cualquiera de las preguntas es afirmativa, probablemente sea hora de pensar en crear un modelo 3D.

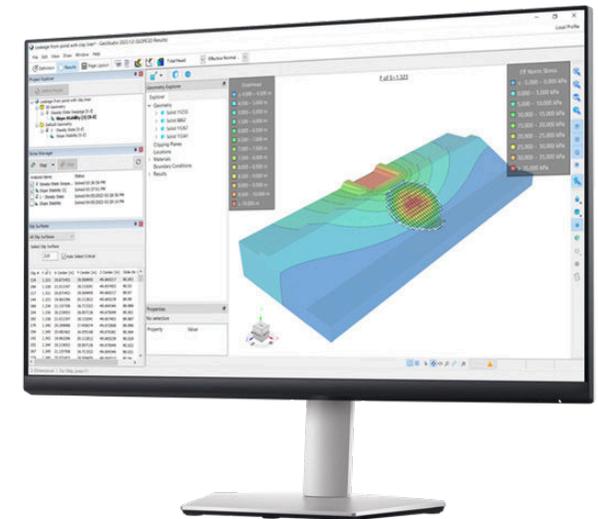


Encontrar el equilibrio

Tanto el análisis 2D como 3D presentan ventajas e inconvenientes, por lo que son ideales para algunas situaciones y no se recomiendan en otras.

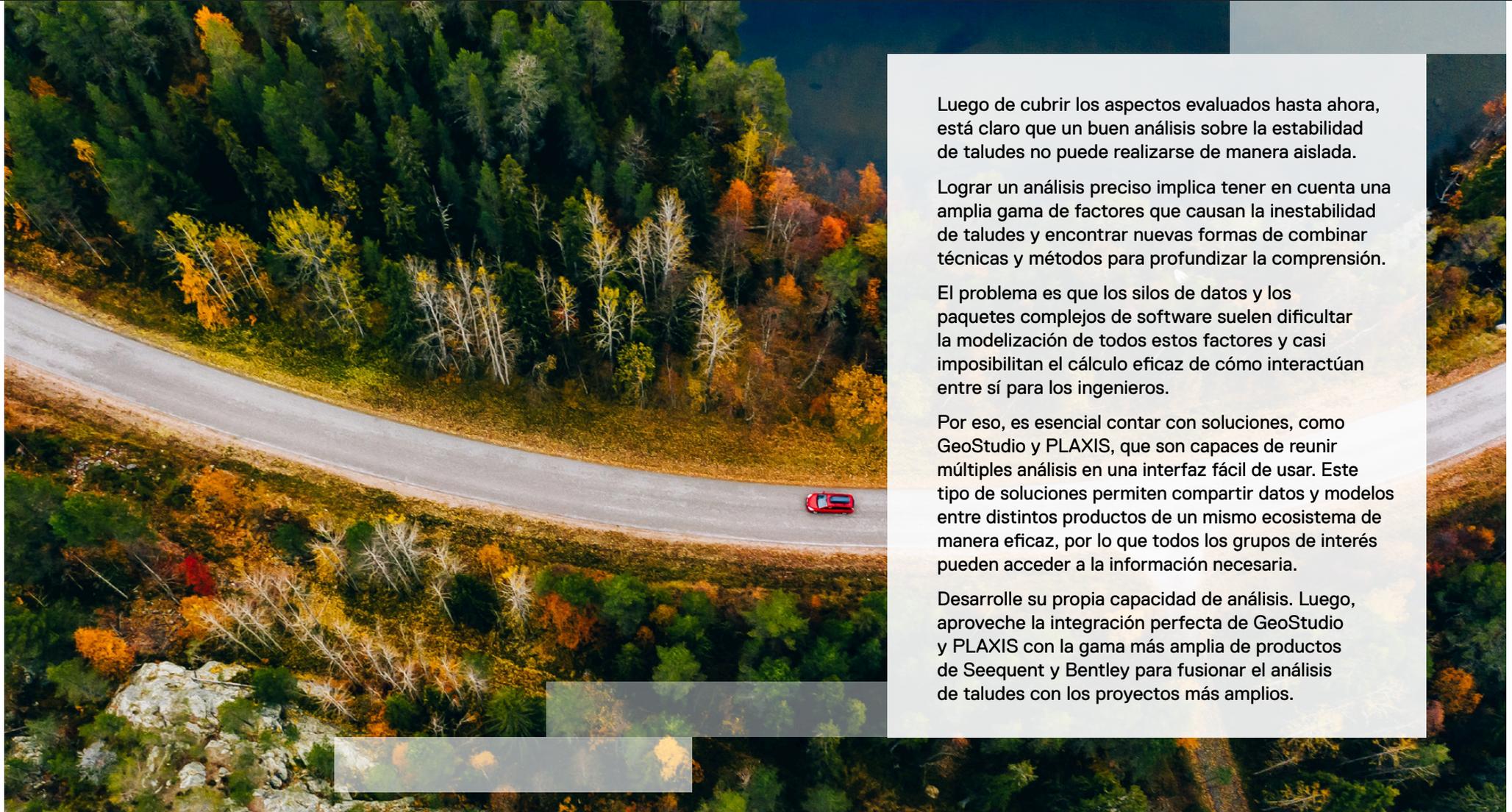
Para encontrar el equilibrio perfecto entre precisión y eficacia, la mayoría de los equipos geocientíficos implementan ambas herramientas. Deben ser capaces de alternar sin esfuerzo entre el análisis 2D y el 3D, y de alimentar el uno con el otro, a medida que asumen nuevos proyectos y exploran otras posibilidades.

En este punto es donde PLAXIS y GeoStudio entran en escena: Se crearon para trabajar en conjunto al integrarse a la perfección a fin de garantizar que los ingenieros puedan acceder al análisis que necesitan en cualquier momento.



Un enfoque integrado para el análisis de estabilidad de taludes

Obtenga un panorama completo con métodos combinados y modelos detallados



Luego de cubrir los aspectos evaluados hasta ahora, está claro que un buen análisis sobre la estabilidad de taludes no puede realizarse de manera aislada.

Lograr un análisis preciso implica tener en cuenta una amplia gama de factores que causan la inestabilidad de taludes y encontrar nuevas formas de combinar técnicas y métodos para profundizar la comprensión.

El problema es que los silos de datos y los paquetes complejos de software suelen dificultar la modelización de todos estos factores y casi imposibilitan el cálculo eficaz de cómo interactúan entre sí para los ingenieros.

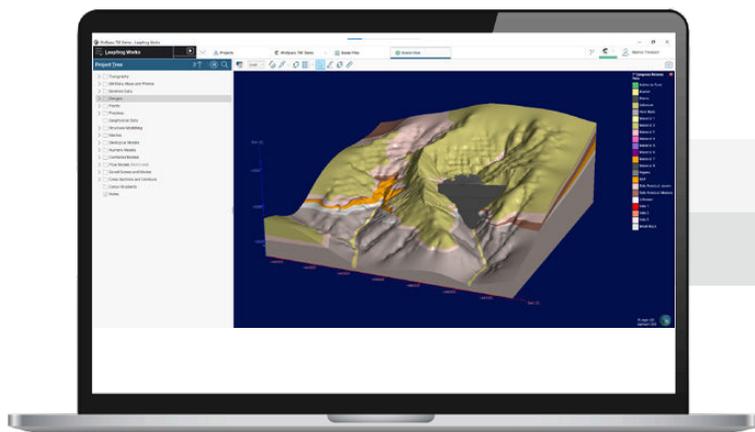
Por eso, es esencial contar con soluciones, como GeoStudio y PLAXIS, que son capaces de reunir múltiples análisis en una interfaz fácil de usar. Este tipo de soluciones permiten compartir datos y modelos entre distintos productos de un mismo ecosistema de manera eficaz, por lo que todos los grupos de interés pueden acceder a la información necesaria.

Desarrolle su propia capacidad de análisis. Luego, aproveche la integración perfecta de GeoStudio y PLAXIS con la gama más amplia de productos de Seequent y Bentley para fusionar el análisis de taludes con los proyectos más amplios.

Comparta, amplíe y utilice la información sin esfuerzo gracias a los productos de Bentley y Seequent.

Tanto GeoStudio como PLAXIS forman parte del ecosistema de Seequent y Bentley, lo que facilita la integración de cualquier resultado sobre la estabilidad de taludes con el flujo de trabajo del proyecto más amplio.

¿No sabe por dónde empezar? Comience con dos de los productos más importantes:



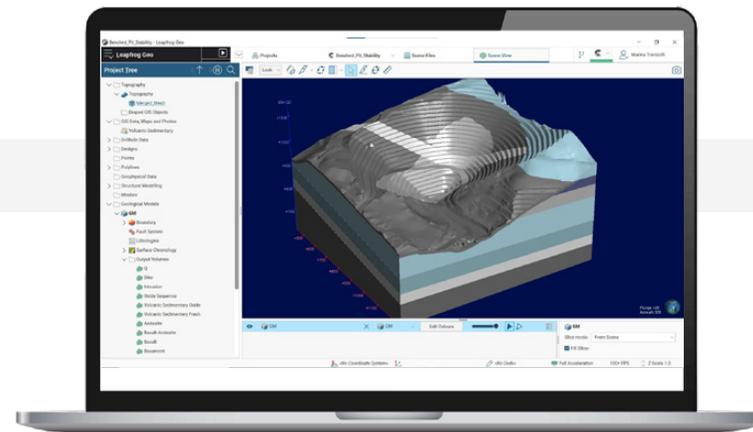
Modelado geológico 3D de Leapfrog

Leapfrog es una solución revolucionaria para comprender, visualizar y comunicar las condiciones del terreno. Se trata de un software de modelado geológico implícito en 3D, que permite elaborar rápidamente modelos tridimensionales a partir de datos de sondeos, SIG y estructurales, lo que reduce el tiempo dedicado a la digitalización manual.

¿Cómo se integra?

Utilice modelos geológicos 3D creados en Leapfrog para definir la geometría 2D o 3D de los análisis en GeoStudio y PLAXIS.

Mediante estos datos, puede desarrollar un gemelo digital del sitio que abarque tanto el modelo geológico del subsuelo como los análisis geotécnicos. Ofrezca a los empleados la única fuente de información verídica que necesitan para tomar decisiones bien fundamentadas.



Gestión de datos centrales

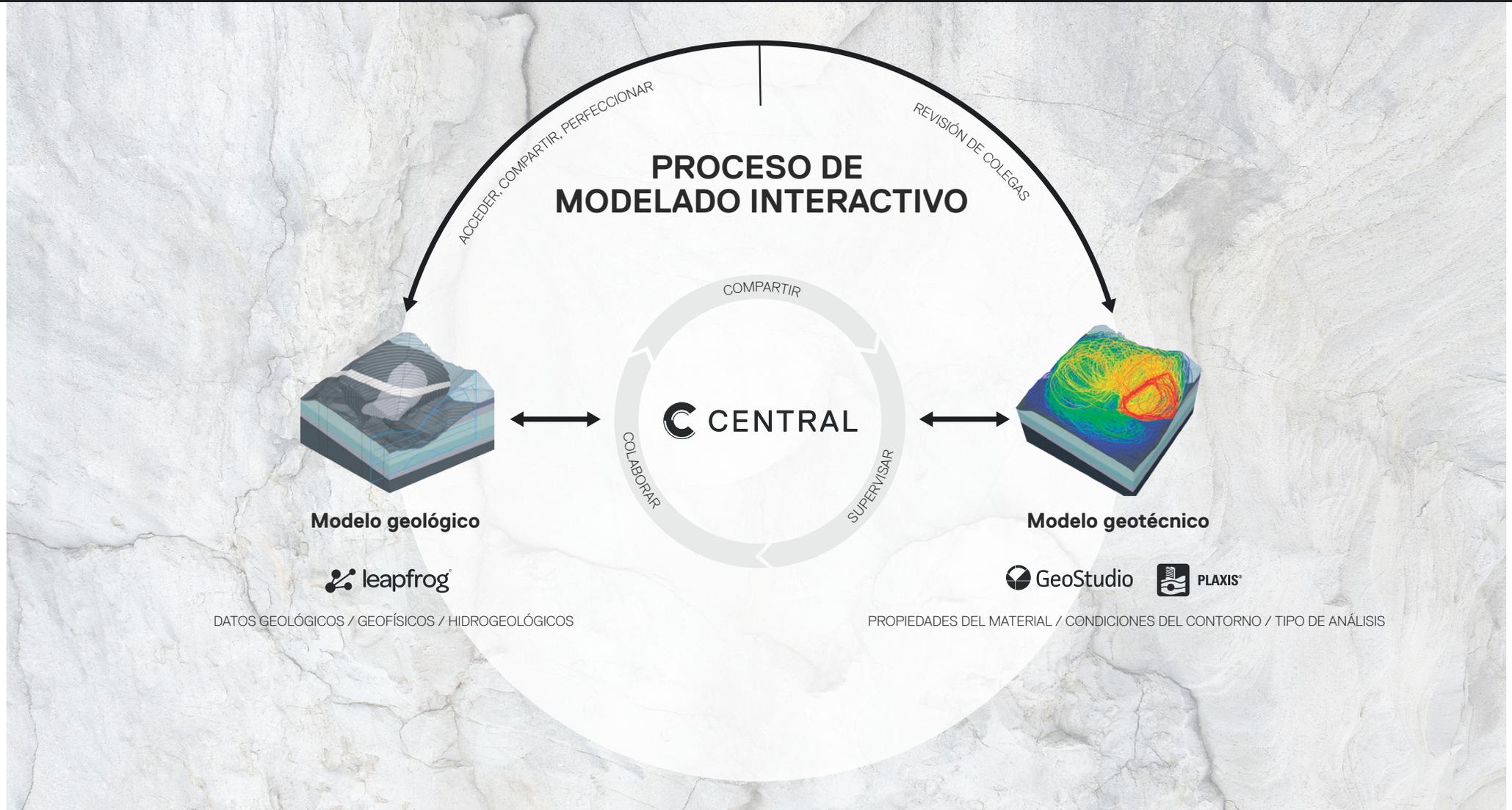
Seequent Central facilita la conexión de flujos de trabajo, la visualización 3D compartida y la colaboración en equipo. Gracias a que está destinado a equipos que administran datos geológicos complejos, constituye el núcleo del proceso de modelización y permite reunir la información, como también administrar de manera eficaz los datos en un entorno auditable.

Central se ofrece en la nube, por lo que el equipo puede trabajar desde cualquier lugar y mantenerse siempre al día con respecto al progreso de los proyectos. Brinda la información necesaria para tomar decisiones eficientes con seguridad.

¿Cómo se integra?

Importe y sincronice secciones transversales y superficies geológicas publicadas de Leapfrog desde Seequent Central a PLAXIS y GeoStudio para elaborar modelos. Los modelos geológicos también se pueden importar completos a GeoStudio para realizar análisis de estabilidad de taludes en 3D.

Un flujo de trabajo de análisis geotécnico conectado



Adopción de un enfoque integral

¿Cómo un software que ofrece profundidad, amplitud y flexibilidad, y que se integra a la perfección, transforma el análisis de estabilidad de taludes?

El análisis de estabilidad de taludes es un proceso complejo.

Sin embargo, no es necesario sacrificar el detalle o la precisión en aras de la eficacia y la simplificación. Se necesitan herramientas que admitan todas las formas de análisis y modelización más precisas e importantes.

Al combinar las capacidades de PLAXIS y GeoStudio, podrá modelizar la estabilidad de taludes con un grado de detalle y precisión sin precedentes. Además, podrá elegir la combinación perfecta de análisis 2D y 3D o de herramientas MEF y MEL en función de la física y de las condiciones del proyecto.

El ecosistema de Seequent y Bentley se creó pensando en proyectos de ingeniería geotécnica exigentes para ayudar a resolver los problemas geotécnicos más comunes y los más complejos en suelos y rocas.

Lo más importante es que PLAXIS y GeoStudio ofrecen la flexibilidad y la integración ideal que necesita para garantizar que siempre implemente el método más adecuado para el proyecto. Por lo tanto, podrá avanzar más rápido y brindar consejos con total confianza.

¿Desea mejorar la precisión y la eficacia de los análisis de estabilidad de taludes?

Sumérgase en el mundo de GeoStudio [aquí](#).

También puede descubrir más información sobre PLAXIS [aquí](#).





 **SEEQUENT**

www.seequent.com

Seequent, The Bentley Subsurface Company