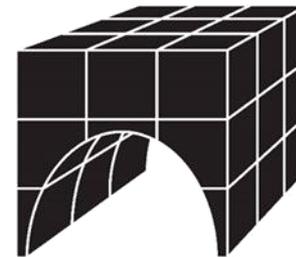




METALLIC MINING HALL
SEVILLA, ESPAÑA

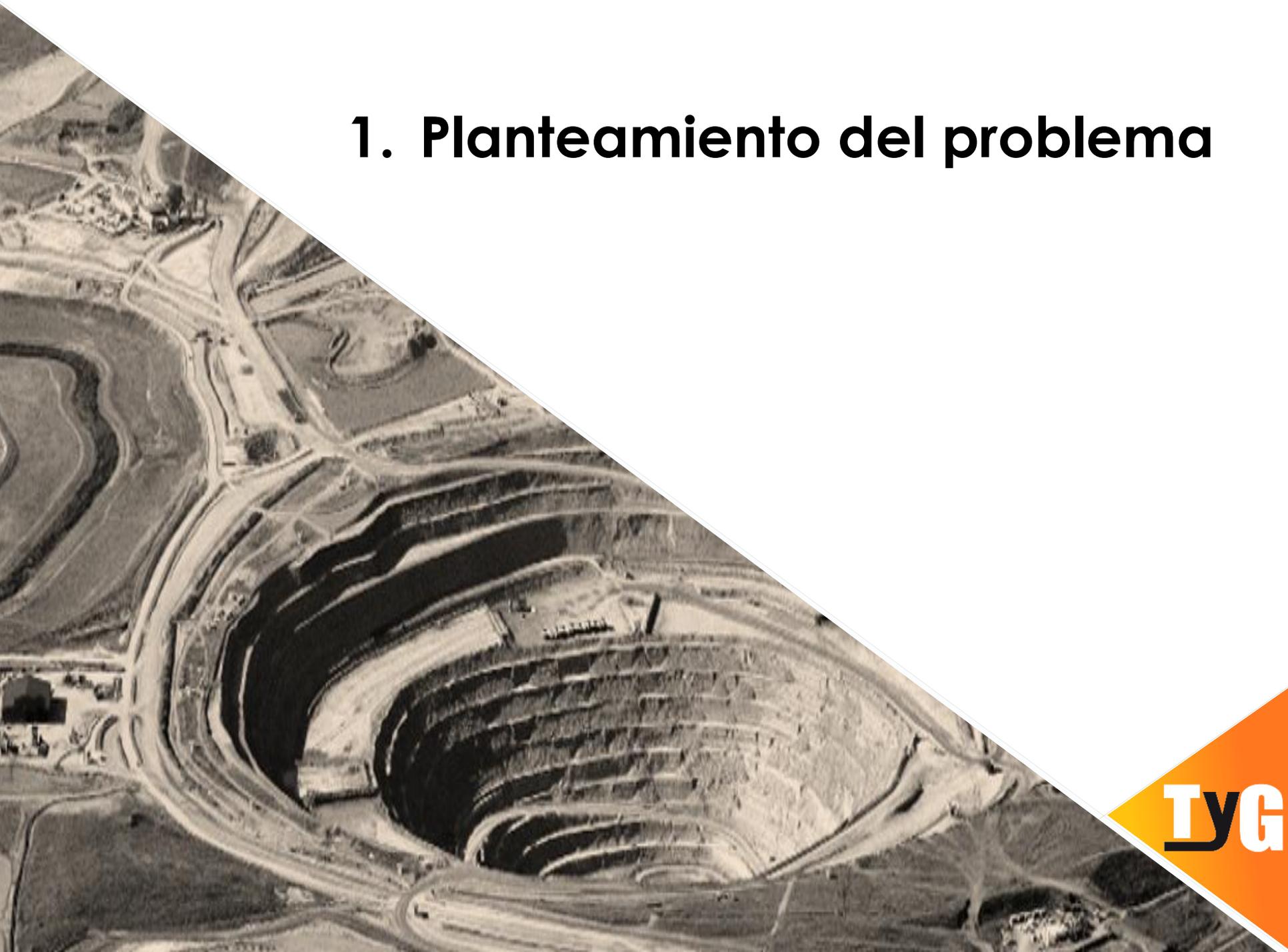
Determinación de la variación de la permeabilidad inducida por la deformación en los residuos mineros



TÚNELES Y
GEOMECÁNICA

Manuel Arlandi Rodríguez
Alberto Bernardo Sánchez
Julio Verdejo Serrano

1. Planteamiento del problema



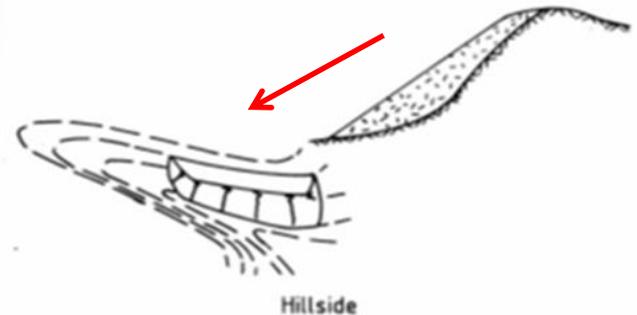
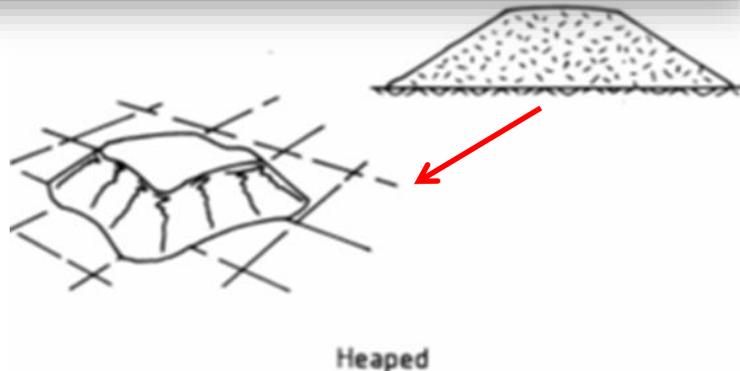
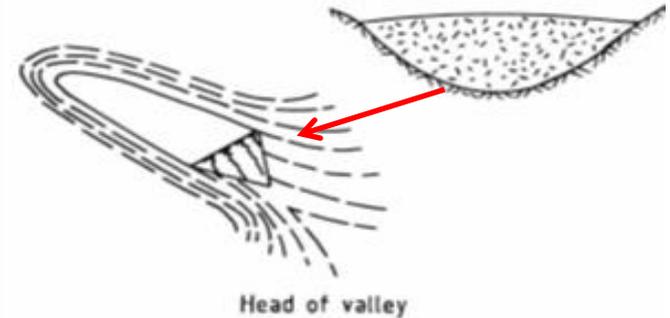
Planteamiento del problema



- Materiales con contenidos en finos generados o utilizados en las operaciones mineras: rellenos de cortas o cavidades subterráneas, escombreras, rechazos mineralúrgicos, sellos de impermeabilización, etc.
- Este tipo de materiales suele tener gran importancia en los estudios ambientales, bien por su disposición o por su interacción con el medio hidrológico.
- Generalmente se asume que sus propiedades hidrogeológicas son constantes a lo largo del tiempo.
- Procesos geotécnicos o la variación de las condiciones externas, pueden deformarlos y modificar sus propiedades hidrogeológicas.
- En esta presentación se propone una metodología para abordar el estudio de este problema y elaborar soluciones estables a largo plazo.

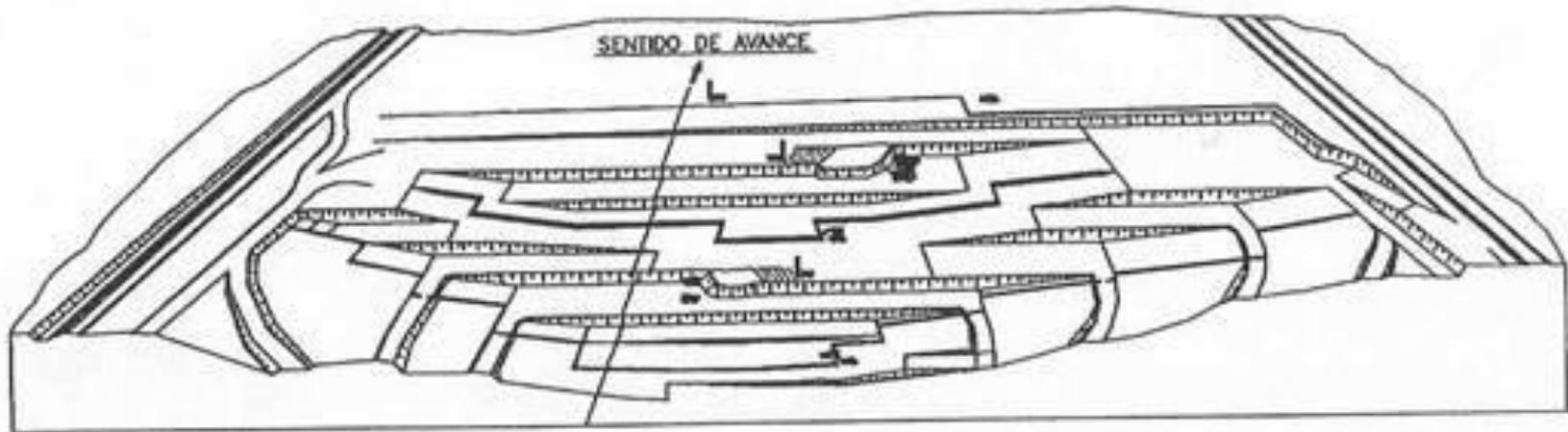
Aplicación minera (1)

- Depósitos de finos (lamas) procedentes de planta de concentrados
- Escombreras de material fino compactado (yacimientos encajados en suelos)



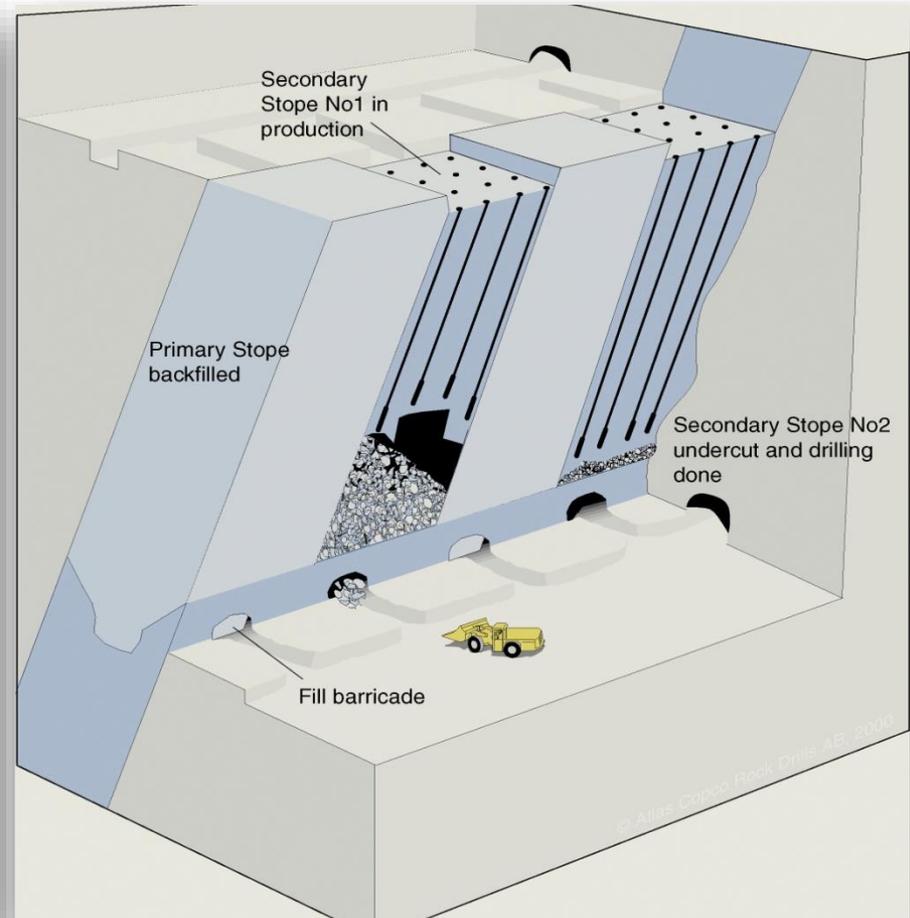
Aplicación minera (2)

- Rellenos de cortas ejecutados con suelos compactados
- Minería de transferencia



Aplicación minera (3)

- Huecos subterráneos rellenos con pasta



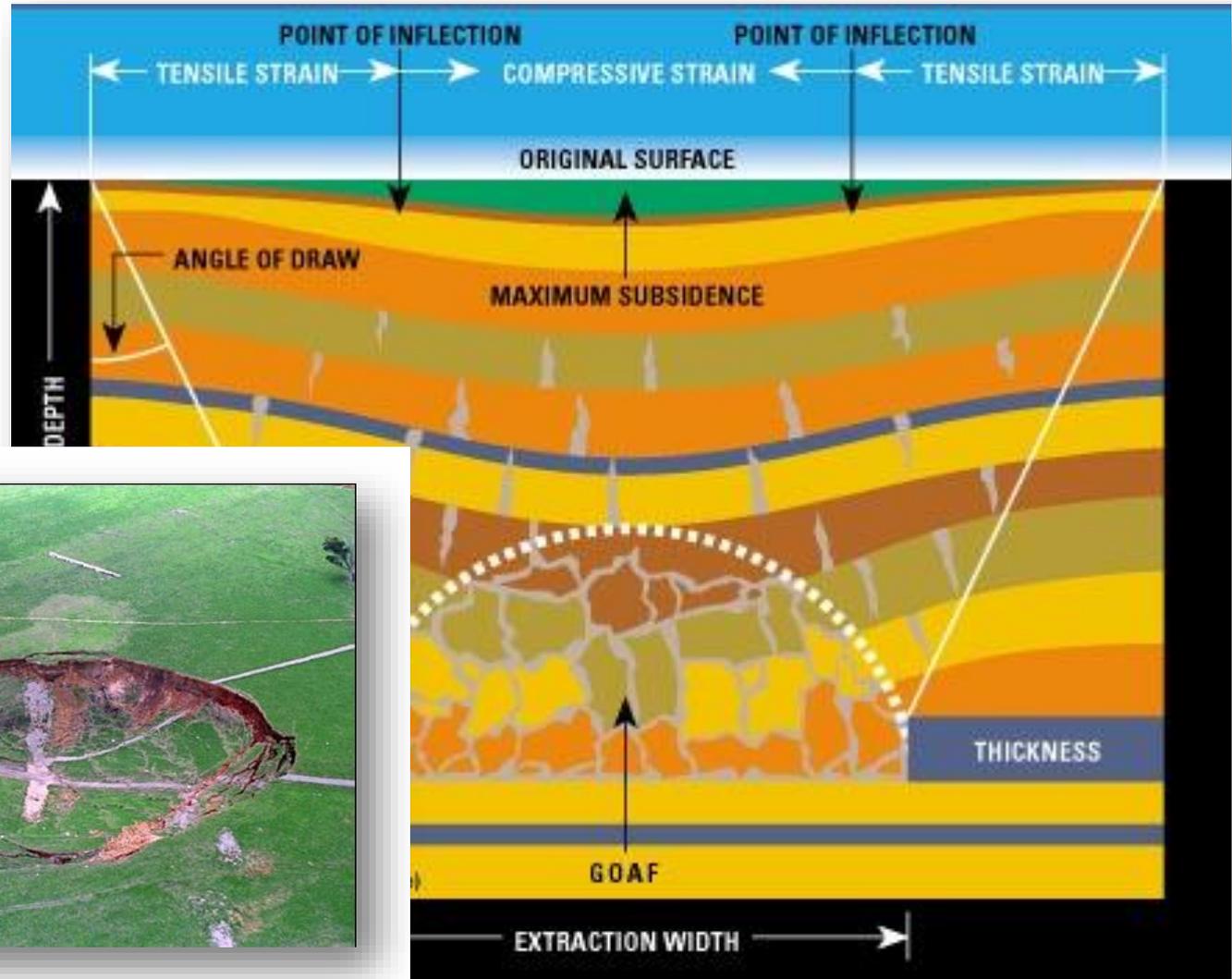
Aplicación minera (4)

- Restauración de minas con materiales compactados



Aplicación minera (5)

- Subsidiencias en depósitos bajo suelos sobreconsolidados



Procesos geotécnicos que generan deformaciones

TyG



2. Variación de la permeabilidad en materiales de relleno



Variación de la permeabilidad en materiales de relleno (1)

La deformación de un material provoca una variación del volumen (ΔV) y una modificación de la porosidad del depósito:

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

donde:

e: índice de poros

V_v : Volumen de huecos (reellenos de agua y/o aire)

V_s : Volumen de sólidos

Variación de la permeabilidad en materiales de relleno (2)

En un momento inicial, la permeabilidad del material es k_1 , y su índice de poros vendrá determinado por:

$$e_1 = \frac{V_{v1}}{V_{s1}}$$

Transcurrido un tiempo, el depósito sufre una deformación, modificando su volumen. Su permeabilidad pasará a ser k_2 y el índice de poros:

$$e_2 = \frac{V_{v2}}{V_{s2}}$$

Variación de la permeabilidad en materiales de relleno (3)

La deformación no conlleva un aumento del volumen de sólidos, por lo que el incremento del volumen (ΔV) se traduce en un incremento de huecos:

$$\left. \begin{array}{l} V_{s1} = V_{s2} = V_s \\ V_{V2} = \Delta V \cdot V_{V1} \end{array} \right\} \Rightarrow e_2 = \frac{\Delta V \cdot V_{V1}}{V_s} = \Delta V \cdot e_1$$

Poniendo esta expresión en términos de porosidad (n):

$$\frac{e_2}{e_1} = \Delta V = \frac{\frac{n_2}{1-n_2}}{\frac{n_1}{1-n_1}} = \frac{n_2(1-n_1)}{n_1(1-n_2)}$$

Variación de la permeabilidad en materiales de relleno (4)

La relación entre porosidad y permeabilidad, ha sido estudiada por diversos autores. En terraplenes deformados, es habitual utilizar la expresión adaptada de Kozeny:

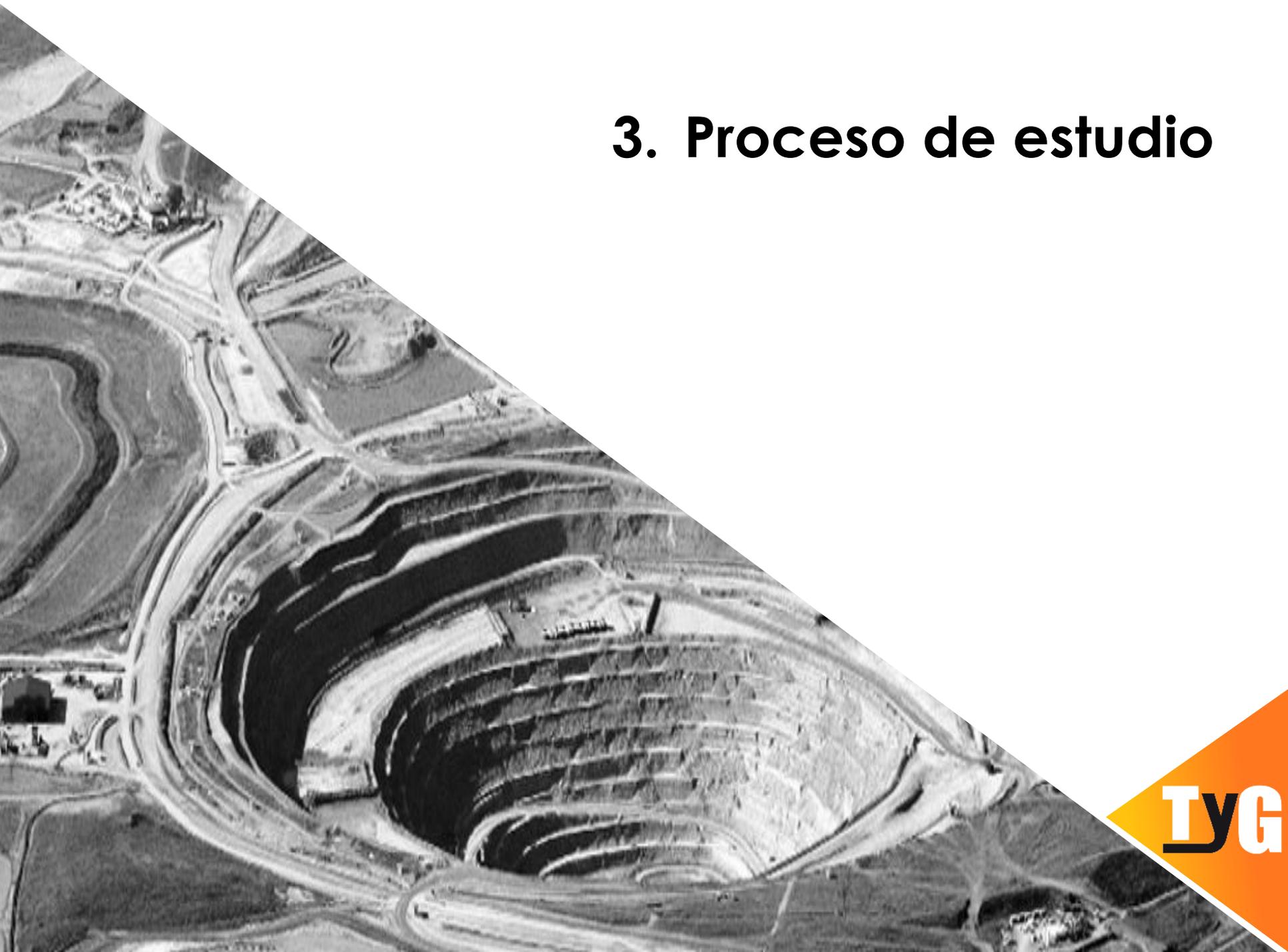
$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{n_2^3}{(1-n_2)^2} \frac{(1-n_1)^2}{n_1^3} = \left[\frac{n_2}{n_1} \frac{(1-n_1)}{(1-n_2)} \right]^2 \frac{n_2}{n_1} = \left(\frac{e_2}{e_1} \right)^2 \frac{n_2}{n_1}$$

Sustituyendo la expresión de ΔV obtenido anteriormente:

$$\Delta V = \frac{e_2}{e_1}$$
$$\frac{k_2}{k_1} = (\Delta V)^2 \frac{n_2}{n_1}$$

El problema se centra en la obtención del ΔV ocasionado por el proceso geotécnico

3. Proceso de estudio



1. Estudio hidrogeológico
2. Caracterización geotécnica de los materiales
3. Modelización numérica tridimensional para estimar las deformaciones de los depósitos de dichos materiales y los cambios de volumen
4. Estimación de la nueva permeabilidad en función de los incrementos de volumen obtenidos

PARÁMETROS DE ESTUDIO:

Permeabilidad intrínseca vs Conductividad hidráulica

$$q = -K \cdot \left(\frac{dh}{dl} \right)$$

$q = Q$ /sección (es decir: caudal que circula por m² de sección)

K = Conductividad Hidráulica

dh/dl = gradiente hidráulico expresado en incrementos infinitesimales

(el signo menos se debe a que el caudal es una magnitud vectorial, cuya dirección es hacia los dh decrecientes; es decir, que dh es negativo y, por tanto, el caudal será positivo)

$$K = k \frac{\gamma}{\mu}$$

K = conductividad hidráulica

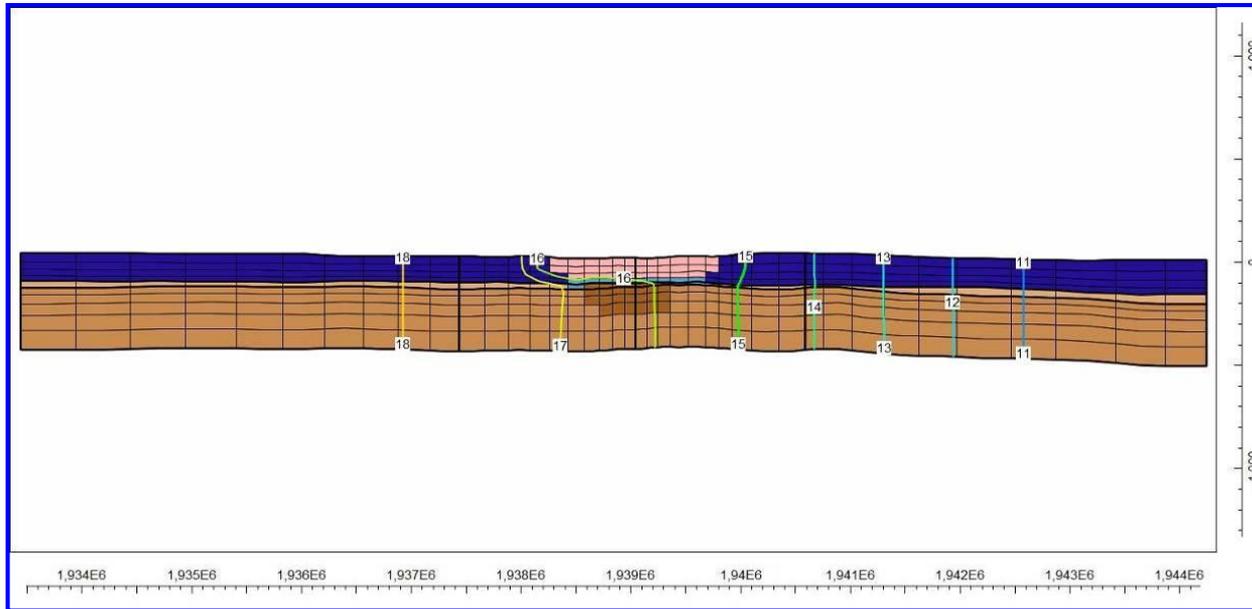
k = Permeabilidad intrínseca (depende sólo del medio poroso)

γ = peso específico del fluido

μ = viscosidad dinámica del fluido

Estudio hidrogeológico

Modelización numérica



Nos ayuda a fijar condiciones de contorno en el modelo geomecánico:

- Infiltración
- Piezometría
- Presiones

Estudio hidrogeológico

Análisis de resultados



- Mediante un proceso iterativo podemos ver como afectan las variaciones de los parámetros en las condiciones de entrada al modelo
- El análisis de sensibilidad es una herramienta útil para acotar los coeficientes de seguridad

Caracterización geotécnica



Se requiere campaña de investigación, ensayos in situ y de laboratorio (sondeos, presiodilatómetros, CPTU, etc.)

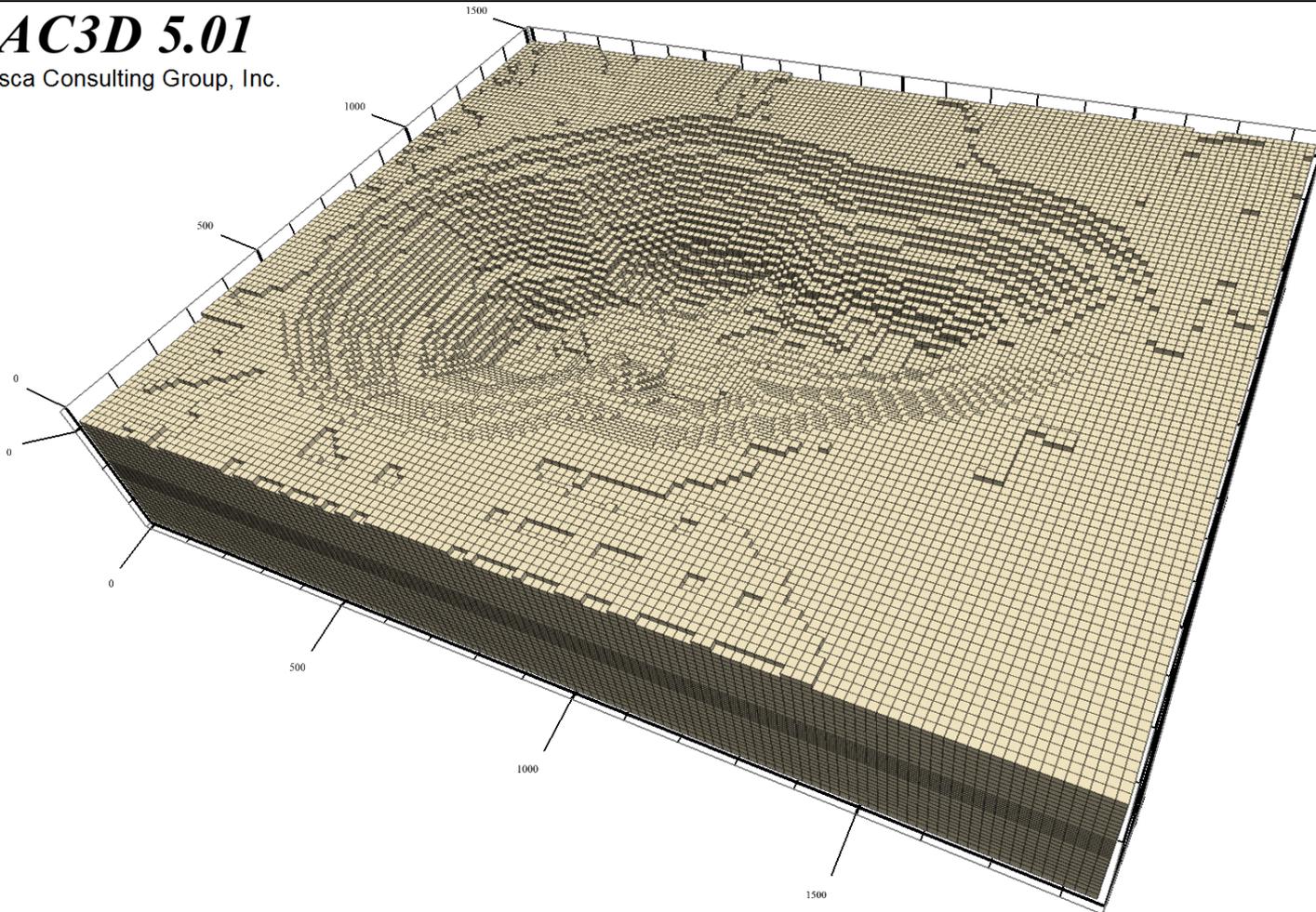
Los principales parámetros a obtener son:

- Densidad Seca y Aparente.
- Porosidad e índice de poros.
- Clasificación de los suelos compactados (granulometría, límites, etc.)
- Ensayo edométrico.
- Módulo de Deformación y coeficiente de Poisson.
- Ensayo al corte.
- Resistencia a compresión, en muestra inalterada.
- CBR

Modelización numérica

FLAC3D 5.01

©2015 Itasca Consulting Group, Inc.

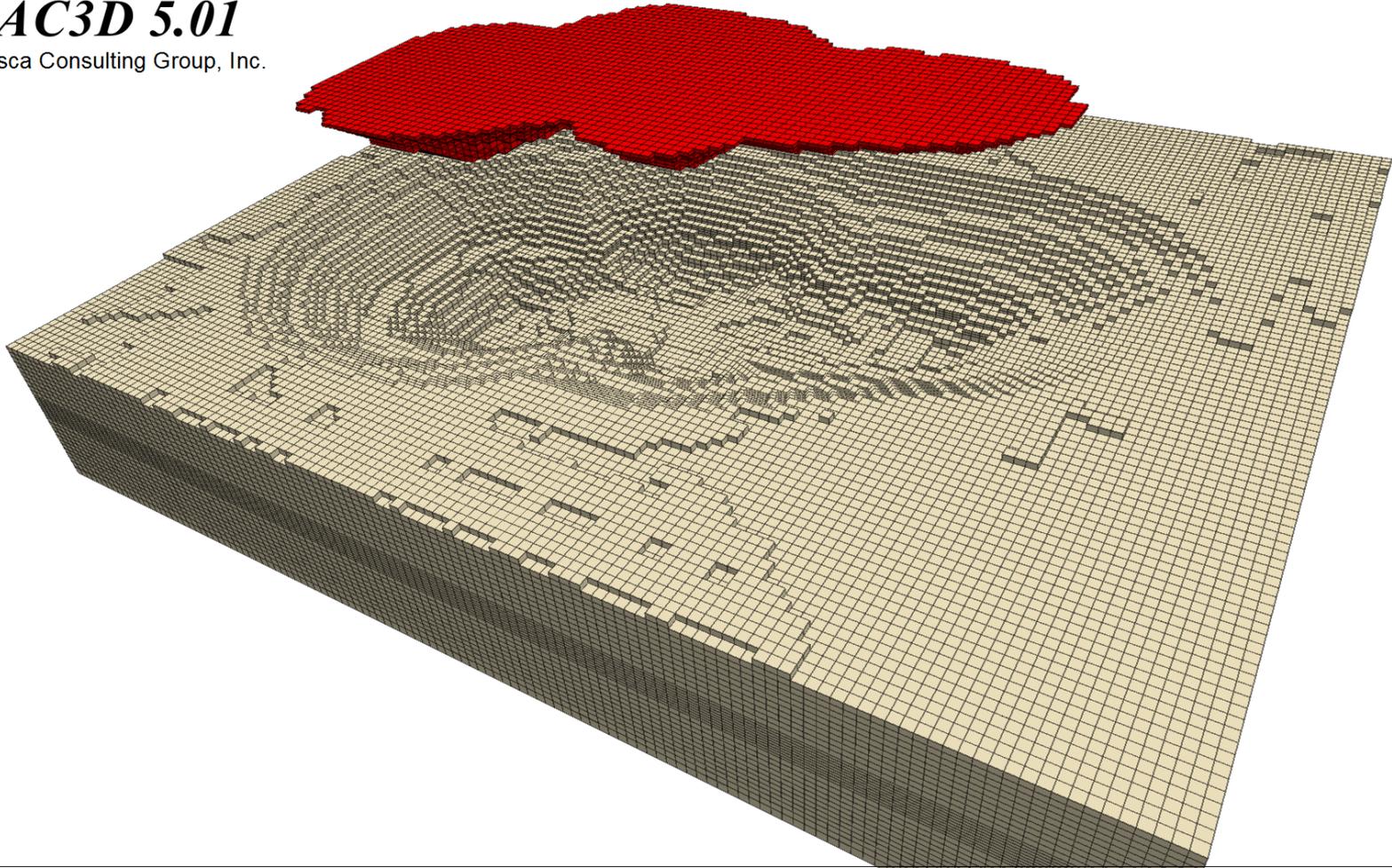


Relleno para sellado de fondo

TyG

FLAC3D 5.01

©2015 Itasca Consulting Group, Inc.

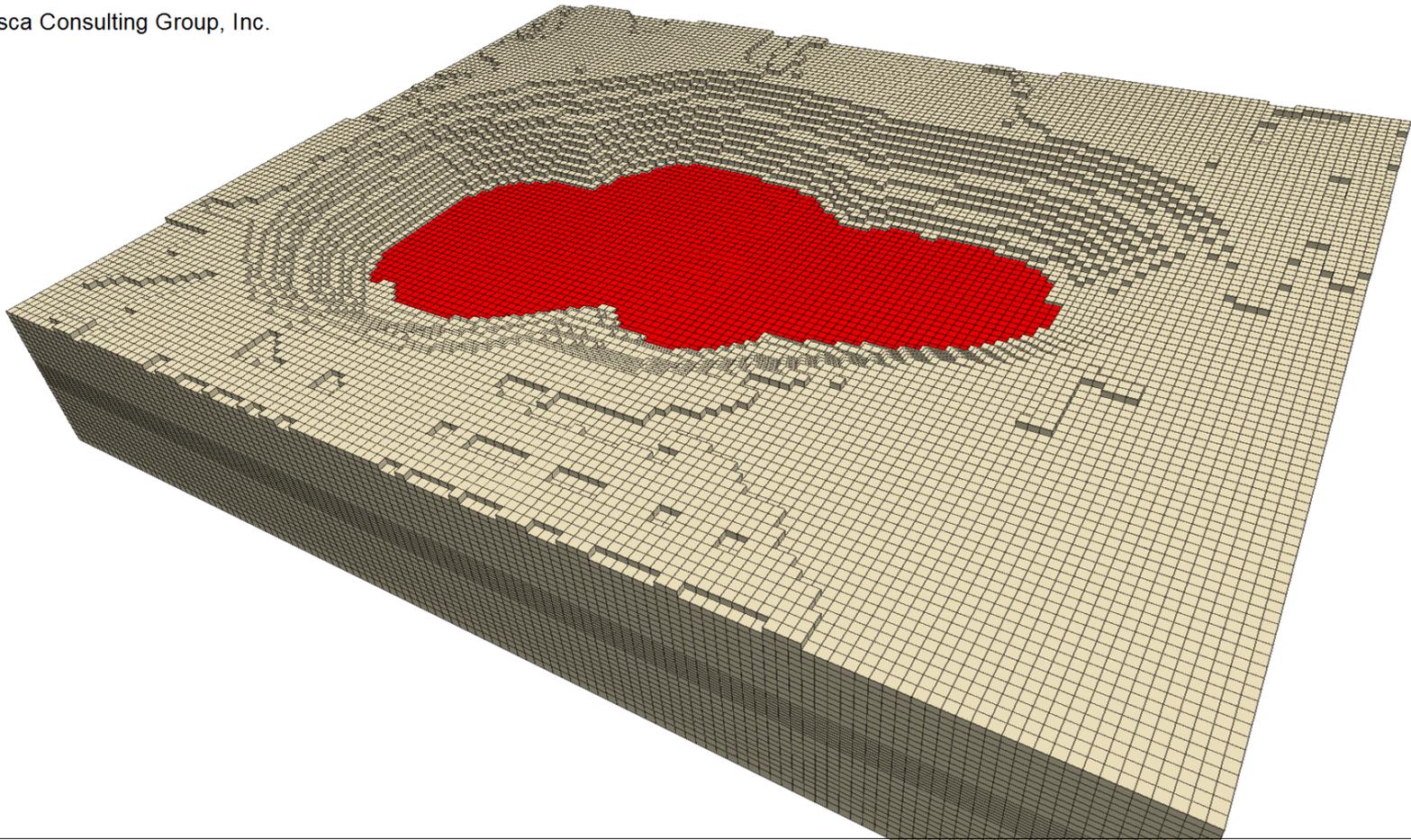


Relleno para sellado de fondo

TyG

FLAC3D 5.01

©2015 Itasca Consulting Group, Inc.

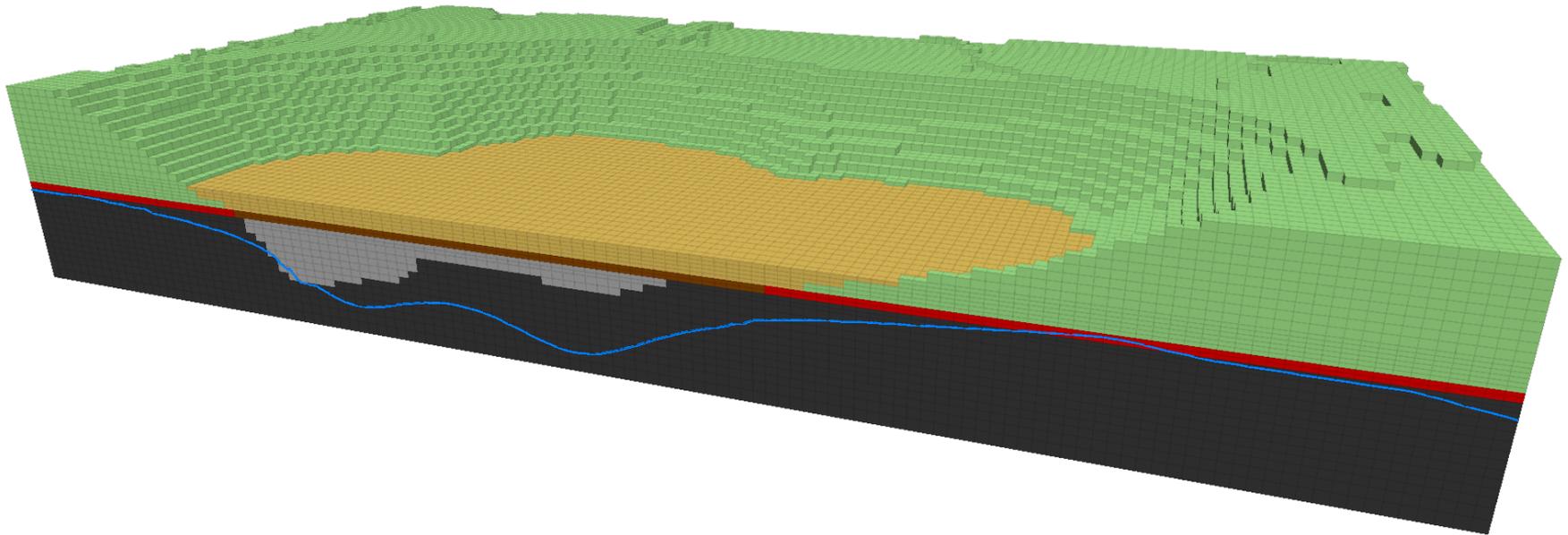


Disposición del relleno compactado

TyG

FLAC3D 5.01

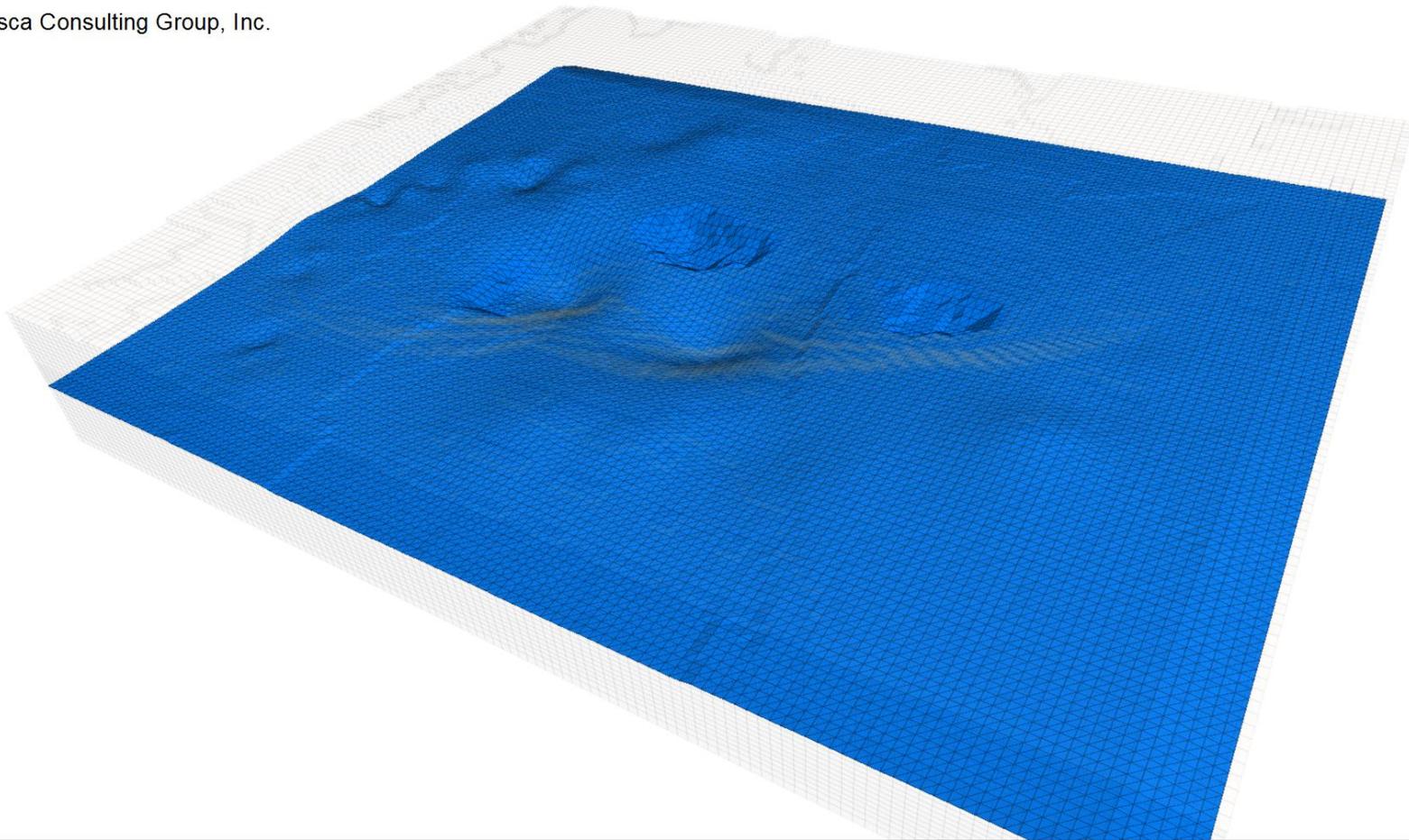
©2015 Itasca Consulting Group, Inc.



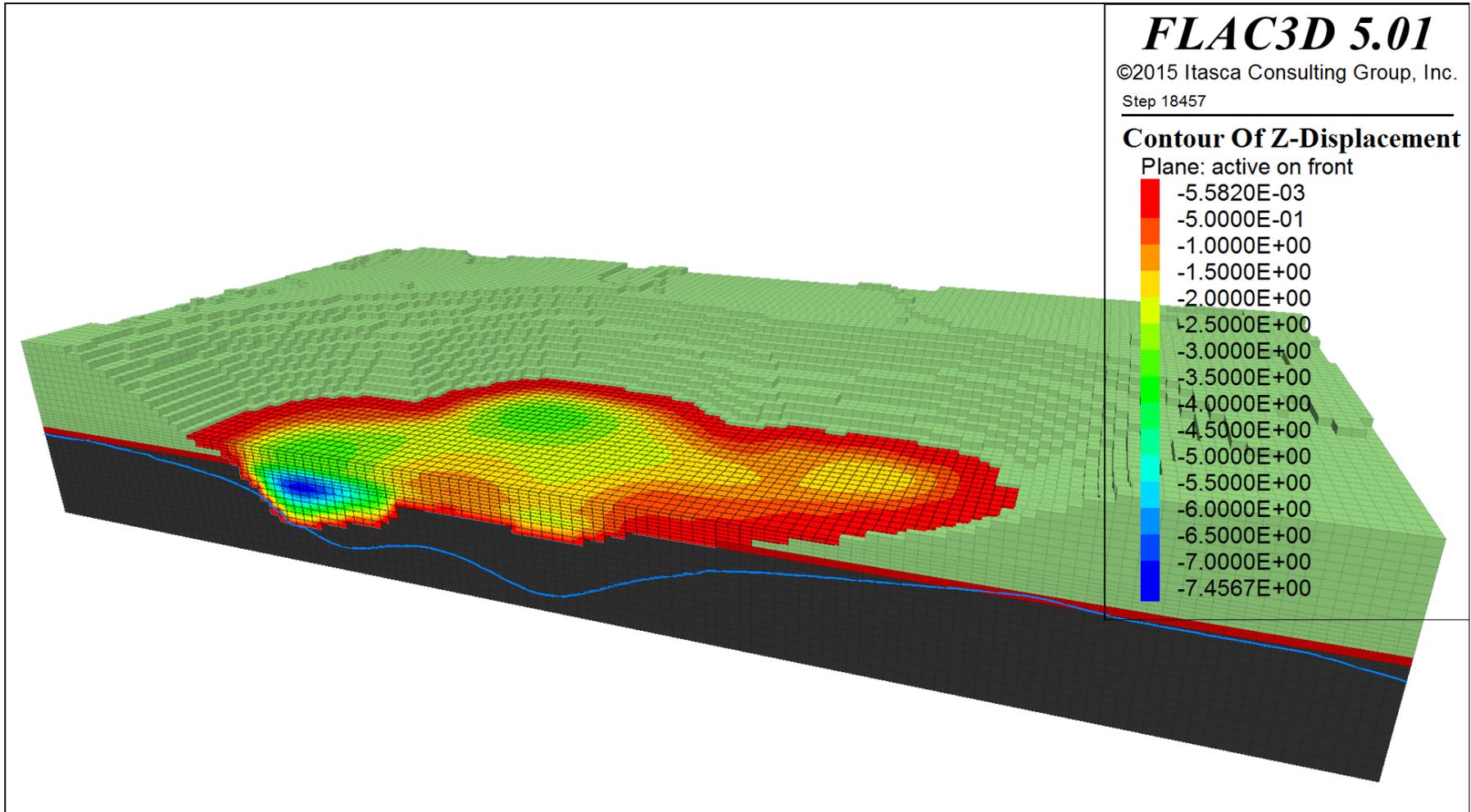
Superficie freática inicial

FLAC3D 5.01

©2015 Itasca Consulting Group, Inc.



Deformación del material



Deformación del relleno compactado al 95%

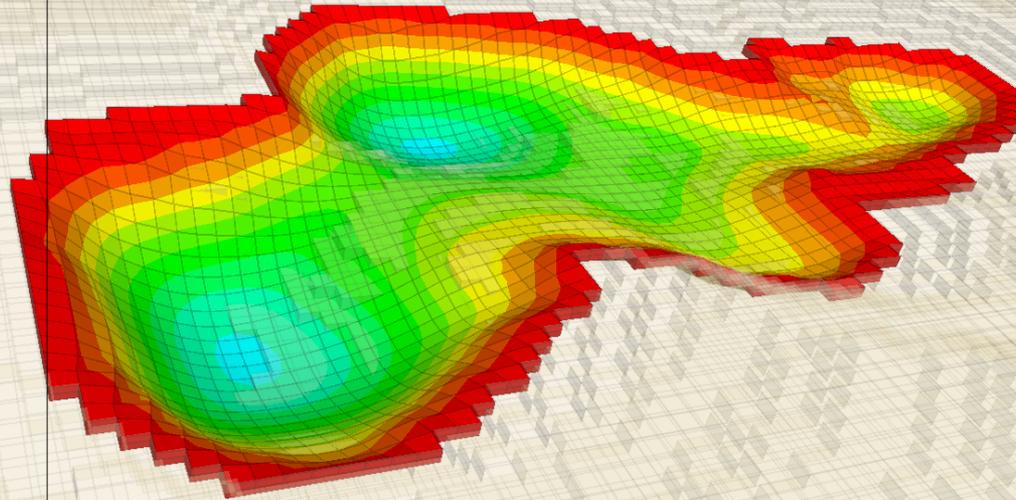
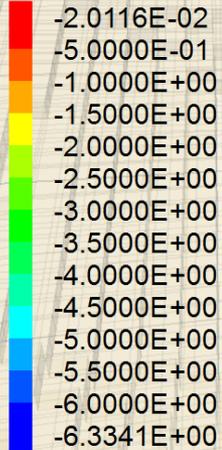
FLAC3D 5.01

©2015 Itasca Consulting Group, Inc.

Step 18457

Contour Of Z-Displacement

Deformed Factor: 20



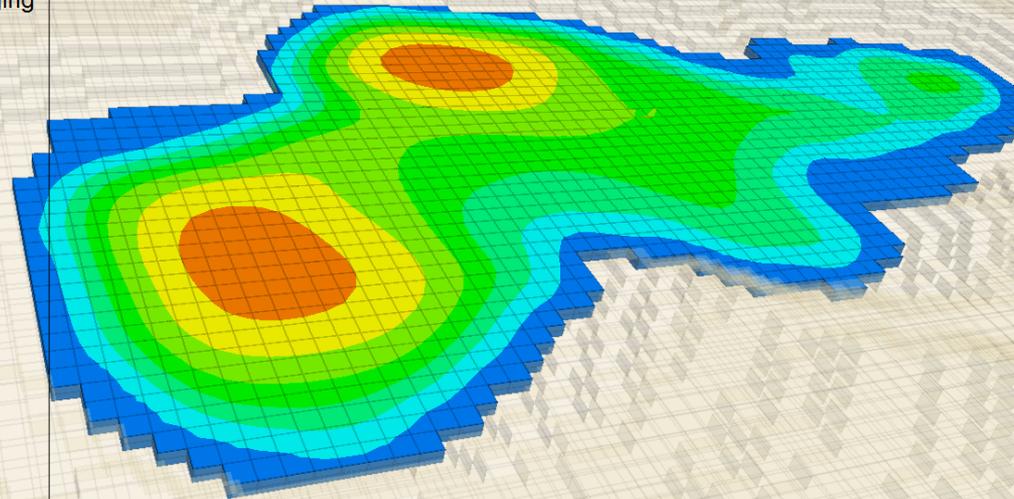
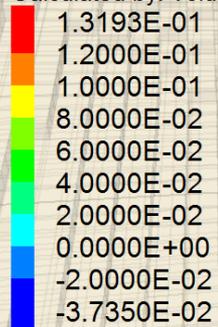
Incremento de volumen del relleno compactado al 95%

FLAC3D 5.01

©2015 Itasca Consulting Group, Inc.

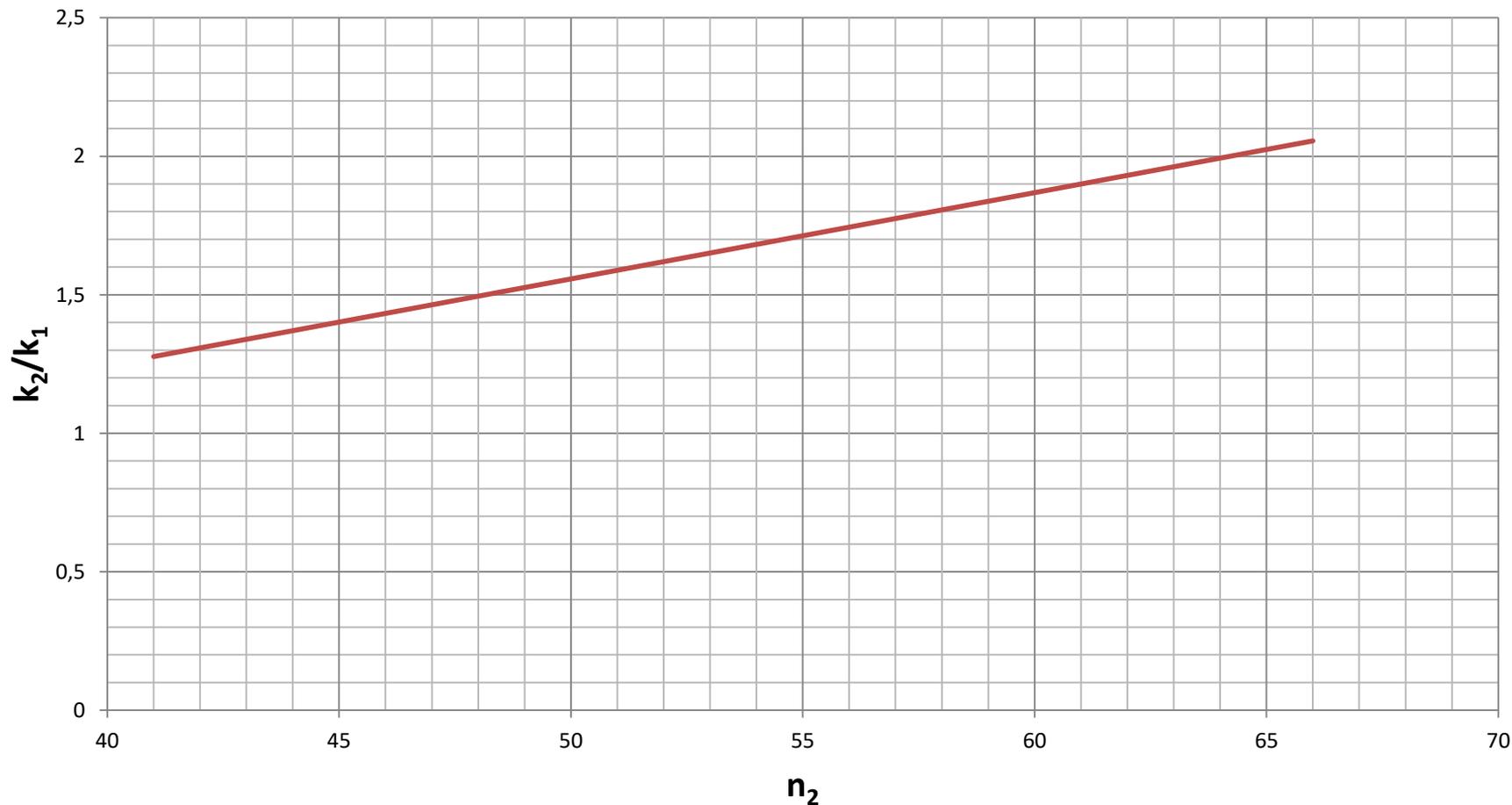
Step 18457

Contour of Volumetric Strain Increment
Calculated by: Volumetric Averaging



Incremento de permeabilidad del relleno compactado al 95%

Con un aumento de volumen del 13% y con una porosidad inicial, determinada por medio de ensayos, $n_1=41\%$

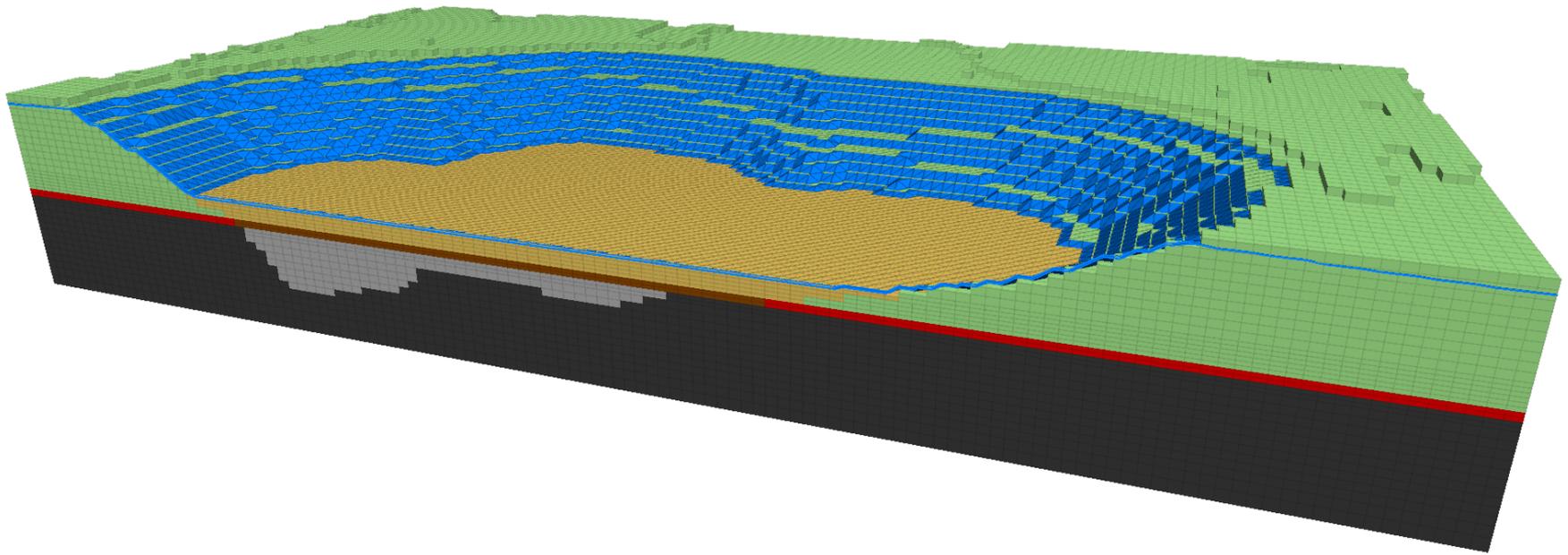


Superficie freática final

TyG

FLAC3D 5.01

©2015 Itasca Consulting Group, Inc.



Deformación del relleno compactado al 95%

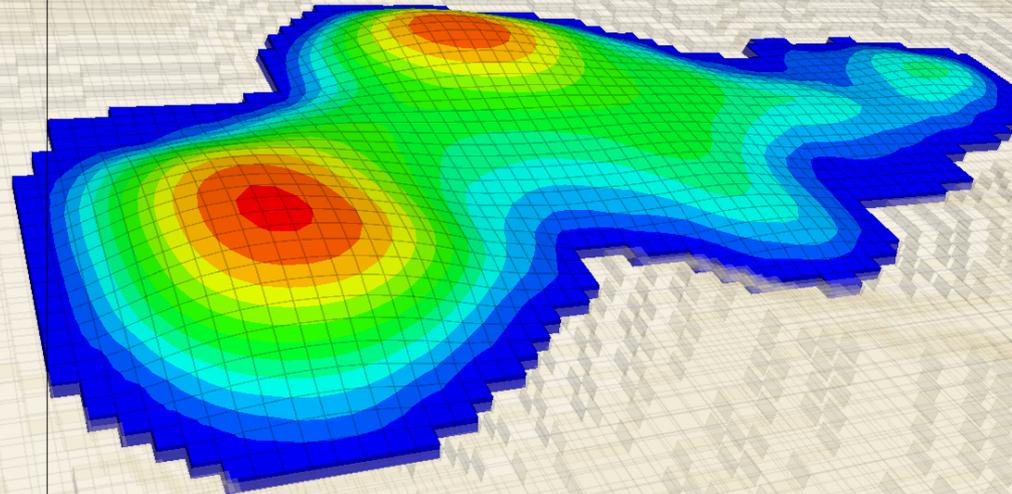
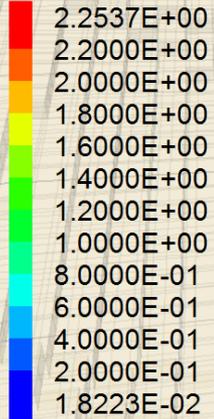
FLAC3D 5.01

©2015 Itasca Consulting Group, Inc.

Step 39353

Contour Of Z-Displacement

Deformed Factor: 20



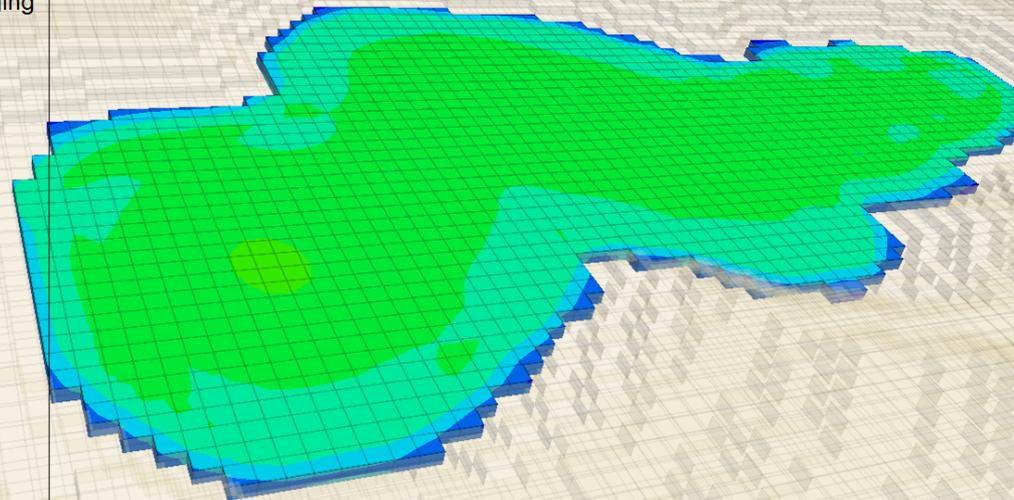
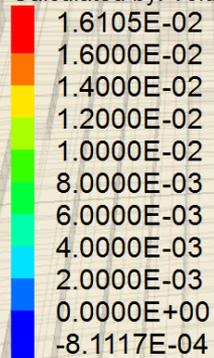
Incremento de volumen del relleno compactado al 95%

FLAC3D 5.01

©2015 Itasca Consulting Group, Inc.

Step 39353

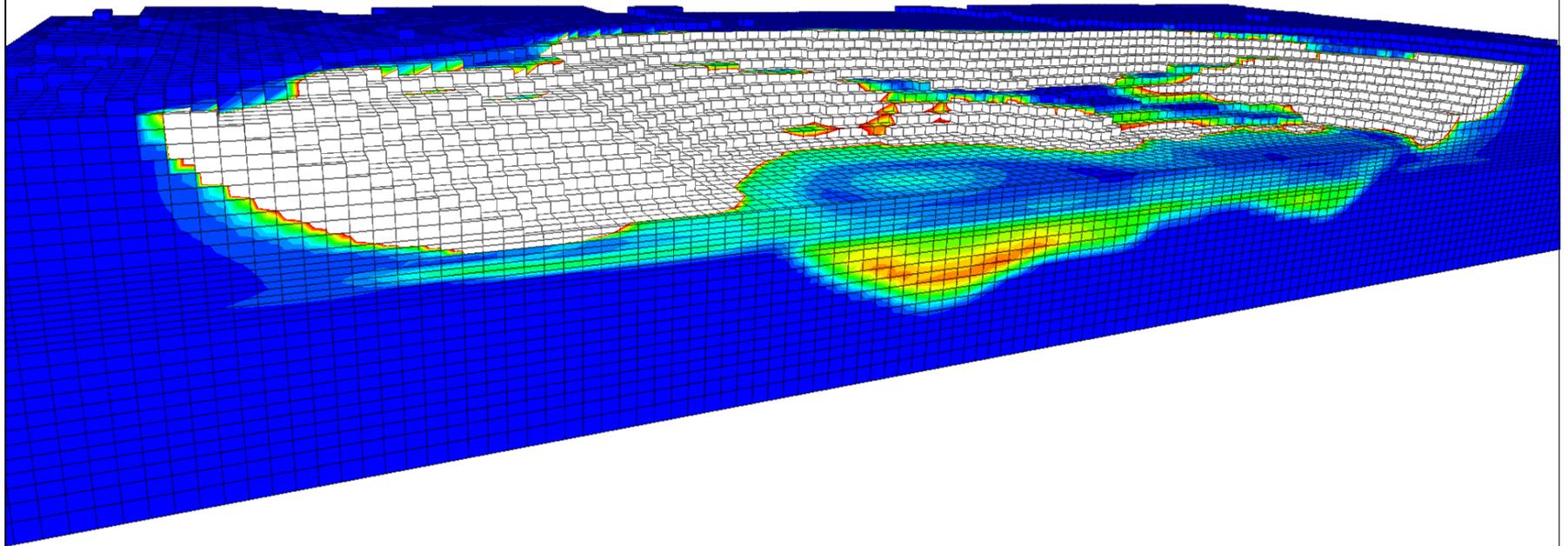
Contour of Volumetric Strain Increment
Calculated by: Volumetric Averaging



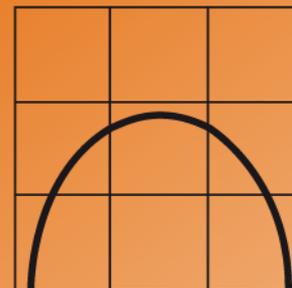
Afección de inestabilidades al relleno compactado

FLAC3D 5.01

©2015 Itasca Consulting Group, Inc.



TUNELES Y



GEOMECHANICA

TÚNELES Y GEOMECÁNICA, S.L.

C/ Alfonso Gómez, 17 – 3ª Pl. Ofic. 11

28037 Madrid - España

Tel. 810 512 887

www.tunelesygeomecanica.es

Gracias por su atención!!