

## Presas de tierra - Análisis de filtración en estado estacionario

Programa: MEF – Flujo de Agua

Archivo: Demo\_manual\_32.gmk

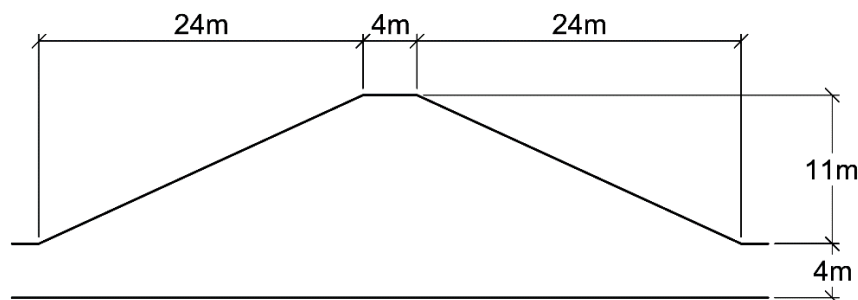
### Introducción

Este ejemplo ilustra una aplicación del módulo MEF de GEO5 - Flujo de Agua para analizar la filtración a través de una presa de tierra homogénea. El objetivo es localizar una capa freática (nivel freático) dentro de la presa. Este problema cae en la categoría de un flujo de agua no confinada. La tarea requiere la especificación de la geometría de la presa, las propiedades del material del suelo y las condiciones de contorno hidráulico. El análisis proporciona la ubicación del nivel freático dentro del cuerpo de la presa, la distribución de las presiones de poro por debajo de la napa freática y la distribución de las velocidades del flujo de agua. Por encima de la napa freática, el programa también permite el trazado de las presiones de poros negativas (succión). También proporciona un caudal total a través de los límites permeables.

### Tarea de entrada

La altura de la presa es igual a 11m, la longitud proyectada tanto a lo largo de la cara superior e inferior de las aguas se supone igual a 24m y de la longitud de la cresta de la presa es igual a 4m. El subsuelo impermeable se encuentra a 4m por debajo de la superficie del terreno y el nivel freático en la cara inferior de aguas se encuentra a 1m debajo de la superficie del terreno. El suelo dentro de todo el dominio se considera homogéneo e isótropo con las mismas propiedades hidráulicas, tanto en la dirección vertical como en la horizontal. El suelo fue clasificado como limo arenoso basado en el sistema de clasificación USDA.

La tarea consiste en determinar la ubicación del nivel freático considerando en nivel freático en el depósito a 2m, 9m, y 10,5 millones por encima de la superficie del terreno, respectivamente. También debemos comprobar si se lleva acabo la descarga de agua al pie de la cara inferior del agua.



*Corte transversal a través de una presa de tierra homogénea - detalles geométricos*

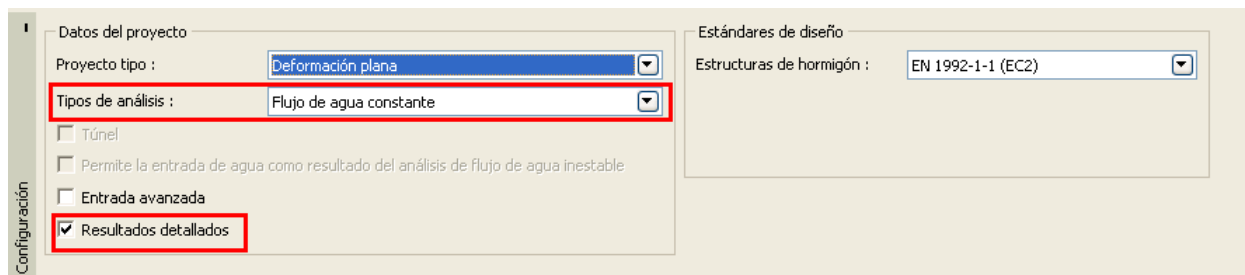
## Análisis - Ingreso de entrada de datos

La configuración básica del proyecto, la geometría de los parámetros del modelo de cálculo y materiales se especifican en el régimen de topología [Topo]. En él, también se genera la malla de elementos finitos. Las condiciones de contorno hidráulicos se introducen posteriormente en las etapas de cálculo individuales [1], [2] y [3].

## Configuración del proyecto

En el régimen topográfico > Configuración seleccionamos el tipo de proyecto *Deformación Plana* y el tipo de análisis *Flujo de agua constante*.

*Nota: Para permitir la visualización de todas las variables calculadas seleccionar „Resultados detallados“. En este caso, el programa muestra además de las presiones de poro y de las velocidades de flujo, los valores del coeficiente de permeabilidad relativa caracterizando la permeabilidad en la zona no saturada por encima del nivel freático.*



Cuadro „Configuración“

## Modelo geométrico

Para crear el modelo computacional es suficiente establecer el rango del modelo de 0-52 m y la entrada de una interfaz con puntos que tienen las coordenadas [0, 0], [24, 11], [28, 11] y [52, 0]. La profundidad del modelo por debajo del punto más profundo de interfaz se configura en el cuadro de diálogo *Configuración de rangos* y es igual a 4m.

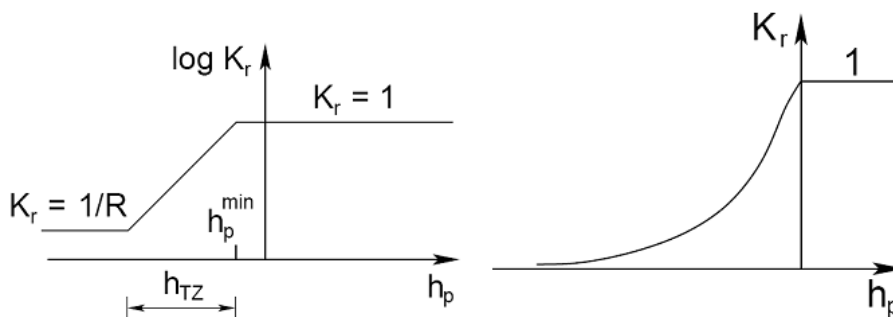
## Material

Los parámetros de los materiales requeridos del suelo deben ser proporcionados por las mediciones de laboratorio. Sin embargo, en nuestro ejemplo ilustrativo tales mediciones no estaban disponibles. Por lo tanto, adoptamos valores aproximados correspondientes a limo arenoso.

Si seleccionamos el modelo de Van Genuchten los valores típicos de los parámetros correspondientes a limo arenoso son:  $k_{x,sat} = k_{z,sat} = 1.06\text{m/día}$ ,  $\alpha = 7,5$  y  $n = 1.89$ . El índice de vacío asociado para este tipo de suelo es:  $e_0 = 0,7$ . Para más detalles, consulte la ayuda del programa.

Los parámetros de material se especifican en el formulario “Editar parámetros de suelo”

Nota: La permeabilidad del suelo en un suelo no saturado o parcialmente saturado por encima del nivel freático se expresa como un múltiplo del coeficiente de permeabilidad en un suelo totalmente saturado  $K_{sat}$  y el coeficiente de permeabilidad relativa  $K_r$ . Este último se desprende del modelo de zona de transición. Este modelo especifica cómo el coeficiente de permeabilidad relativa  $K_r$  evoluciona con la presión (presión de poro)  $h_p$ . Dicha dependencia se representa esquemáticamente en los modelos Log-linear y van Genuchten de la siguiente figura.



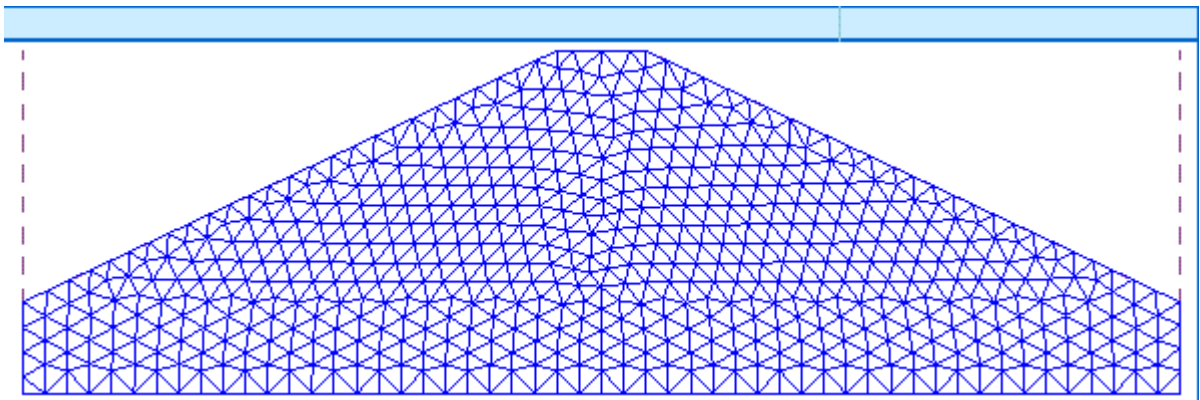
Evolución del coeficiente de permeabilidad relativa como función de la carga de presión para los modelos Log-linear y van Genuchten de zona de transición

*Es evidente que para una carga de presión positiva - por lo tanto para la región debajo del nivel freático - el coeficiente de permeabilidad relativa es siempre constante e igual a 1. El modelo de la zona de transición por lo tanto no influye en el flujo de agua debajo del nivel freático en una zona totalmente saturada. En una región con carga de presión negativa (por encima del nivel freático) el grado de saturación disminuye. Esto sugiere la reducción de la permeabilidad hidráulica real únicamente sólo mientras la parte saturada de los poros contribuya al flujo de agua.*

### **Malla de elementos finitos**

El análisis adopta 3-nodo elementos triangulares como opción por defecto asumida en el programa MEF de GEO5 - Flujo de agua. En cuanto a los elementos de dimensión del modelo, es suficiente con la longitud media desde el borde de 1m . Dada la actual geometría y el suelo homogéneo no se requiere ningún refinamiento particular de la malla.

*Nota: El refinamiento de la malla se vuelve importante cuando se considera un modelo geométrico más detallado que contiene elementos estructurales relativamente pequeños, por ejemplo, cortina o desagües de sellado. La opción de entrada avanzada permite la aplicación de malla híbrida (combinación de malla triangular y cuadrilátera).*



*Malla de elementos finitos*

### **Etapa de cálculo N°1 – Nivel freático a 2m por encima del terreno en la cara superior**

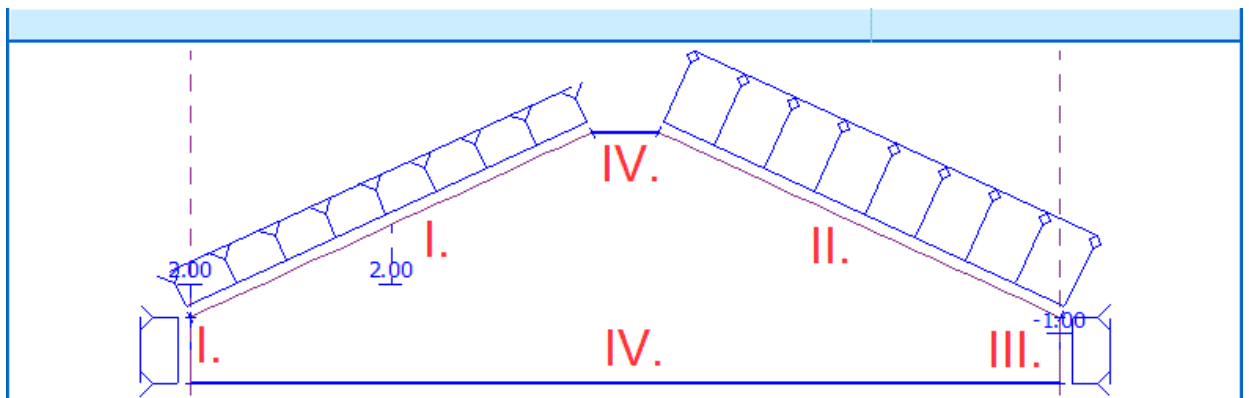
En cada cálculo, antes de ejecutar el análisis, es necesario introducir las condiciones de contorno hidráulicas. Estas condiciones de contorno están en el programa indicado punto o línea de flujo.

*Nota: Por defecto, todos los límites externos se consideran impermeables. El cálculo - el análisis de elementos finitos - por lo tanto requiere presiones de poro de prescripción, ya sea a lo largo de una porción del límite externo (líneas o puntos en el límite externo) o en los puntos interiores del dominio.*

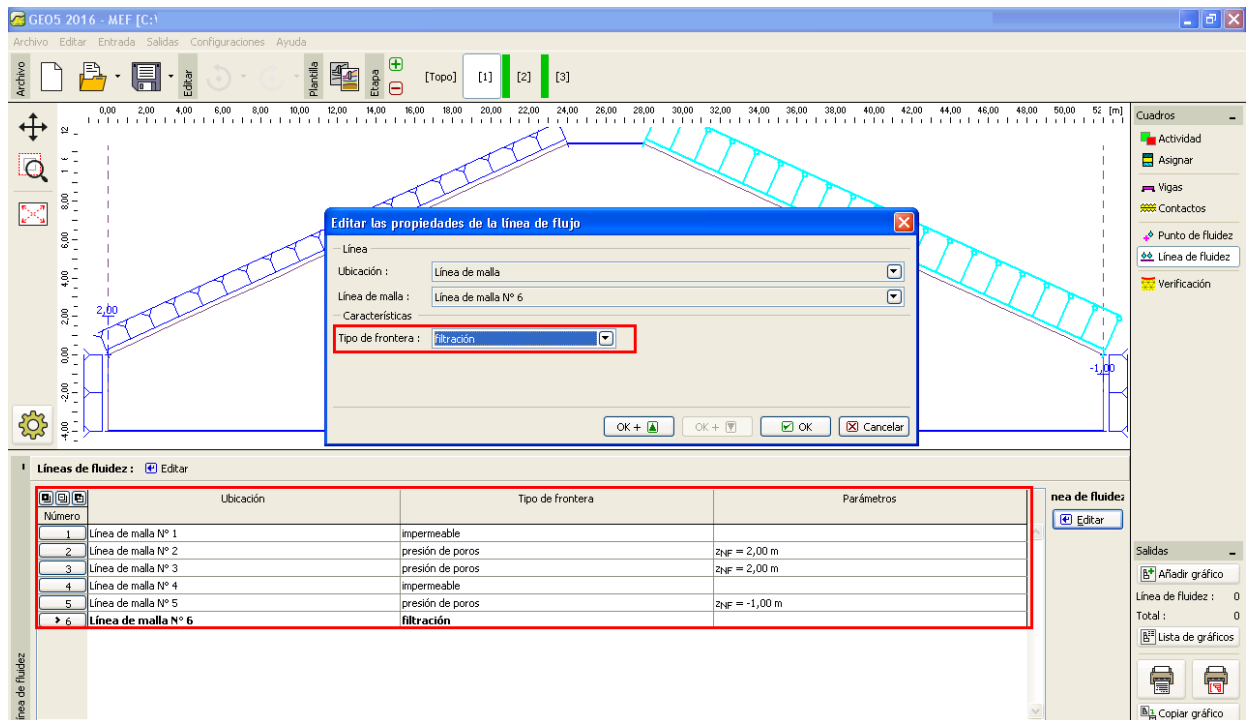
## Condiciones límite – Etapa N° 1

En la etapa de cálculo N° 1 definimos las siguientes condiciones límite:

1. En la cara superior de agua se prescribe el tipo de condición límite *presión de poro* con la ayuda de la altura de la napa freática fijada en 2m por encima de la superficie del terreno. Sepa que a lo largo del límite por encima del nivel freático, se considera una superficie impermeable. La succión a lo largo de la línea, donde se especifica la condición límite de presión de poro, por lo tanto no se prescribe específicamente, sino que se determinó a través del análisis.
2. El tipo de frontera que se prescribe en la cara inferior de agua es: *filtración*
3. En la superficie vertical al pie de la cara inferior de agua se define en este ejemplo el tipo de condición límite como presión de poro mediante la ubicación de la napa freática a una profundidad de -1m. Esta condición sugiere un flujo de aguas confinadas con una napa freática a este nivel particular.
4. En el límite inferior del dominio ya lo largo de la cresta de la presa mantenemos el tipo de condiciones límite impermeable. Esta condición límite sugiere que no hay flujo a través del límite



*Condiciones límite (flujo-línea) en la etapa de cálculo n° 1*

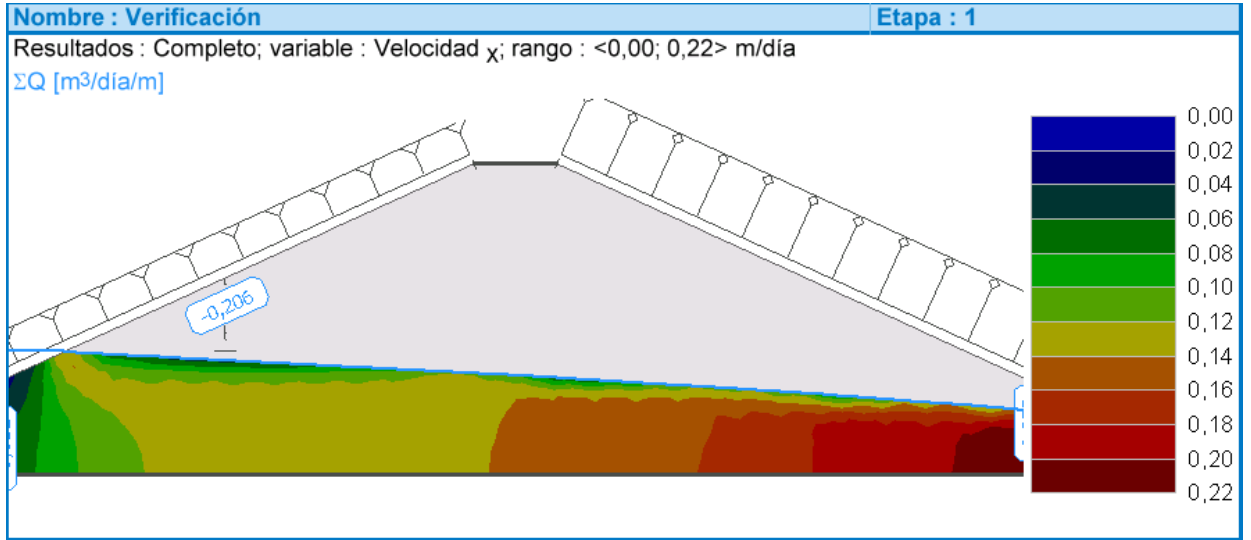


### Especificación de las líneas de fluidéz (condiciones límite)

*Nota: El tipo de filtración de condición límite se utiliza a lo largo de los segmentos de los límites externas en las que no se conoce a priori si la frontera se encuentra por encima o por debajo del nivel freático. La condición límite de filtraciones desencadena una búsqueda automática de un punto de descarga (salida) (un punto sobre la superficie de la filtración atravesado por el nivel freático) y establece las condiciones límite apropiadas por debajo de la presión de poro (cero) y por encima de cero (flujo) de este punto. Esta condición debe ser considerada solamente en un límite en donde un flujo de agua libre puede tener lugar.*

### Resultados – Etapa N° 1

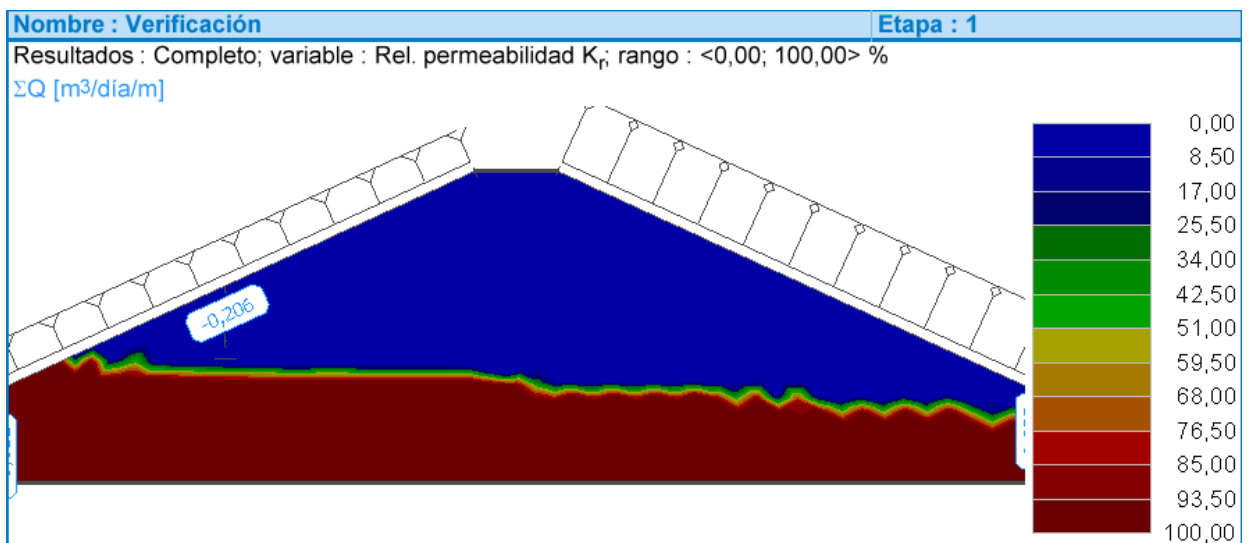
La configuración de la opción Resultados detallado (Topo> Configuración) nos permite visualizar por debajo del nivel freático la distribución de la presión de poro, componentes horizontales y verticales del vector de velocidad del flujo de agua y la altura hidráulica en general.



*Distribución de la componente horizontal de la velocidad del flujo de agua*

El programa hace que también posible visualizar el flujo total a través de segmentos particulares donde el flujo de agua tiene lugar. Un signo negativo representa un flujo de entrada de agua en el modelo, mientras que una señal positiva corresponde al flujo de agua fuera del dominio. Se desprende de la figura que el agua entra en el dominio de la cara superior de agua y sale del dominio sólo por debajo del pie de la presa. Los valores de flujo se toman por 1m de ejecución de la presa medida en la salida de la dirección del plano.

La siguiente figura muestra claramente que por encima del nivel freática el coeficiente de permeabilidad relativa disminuye rápidamente. La mayor parte del flujo toma lugar por debajo del nivel freático, de modo que en la zona totalmente saturada.

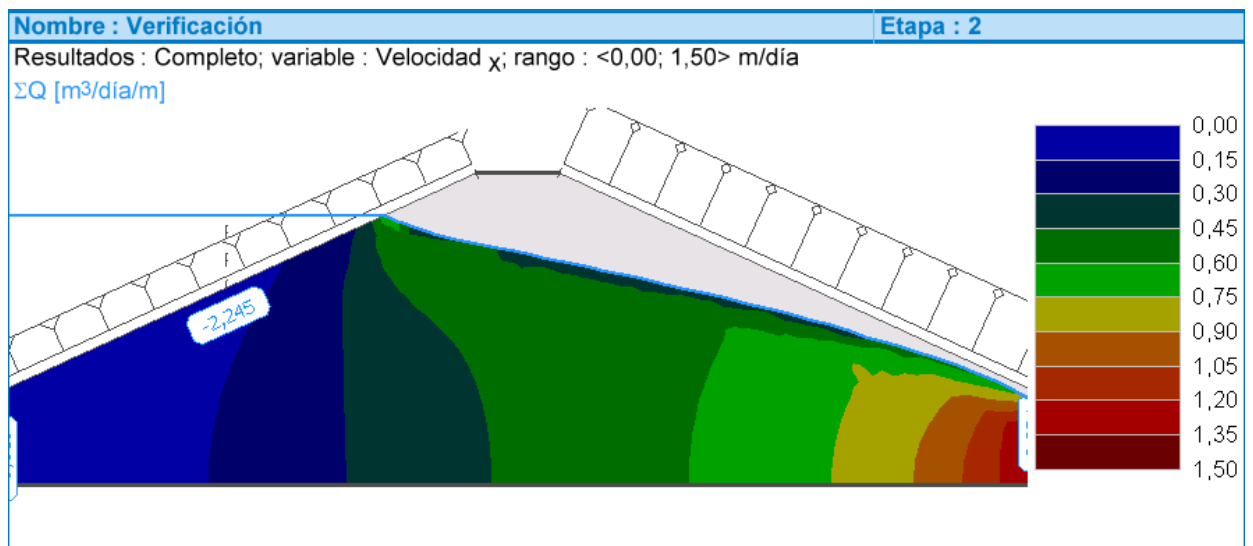


*Distribución del coeficiente de permeabilidad*

## Etapa de cálculo N°2 – Nivel freático a 9m por encima del terreno en la cara superior de agua.

En esta etapa de cálculo consideraremos la napa freática en el depósito a 9m por encima del terreno en la cara superior de agua. Los tipos de condiciones límite siguen siendo los mismos. Sólo cambia la carga de presión prescrita en la cara superior de aguas (el límite vertical e inclinada en la parte izquierda del modelo). El nivel freático en estos límites se eleva de 2 a 9m.

Al realizar el análisis de flujo de estado estacionario con las condiciones límite modificadas llegamos a diferentes distribuciones de todas las variables relevantes. Mediante el análisis de la siguiente figura se observa que el nivel freático se acerca a la cara inferior de agua. Sin embargo, todavía no hay una descarga de agua en la superficie de la filtración y todo el agua fluye fuera del dominio por debajo de la superficie del terreno.



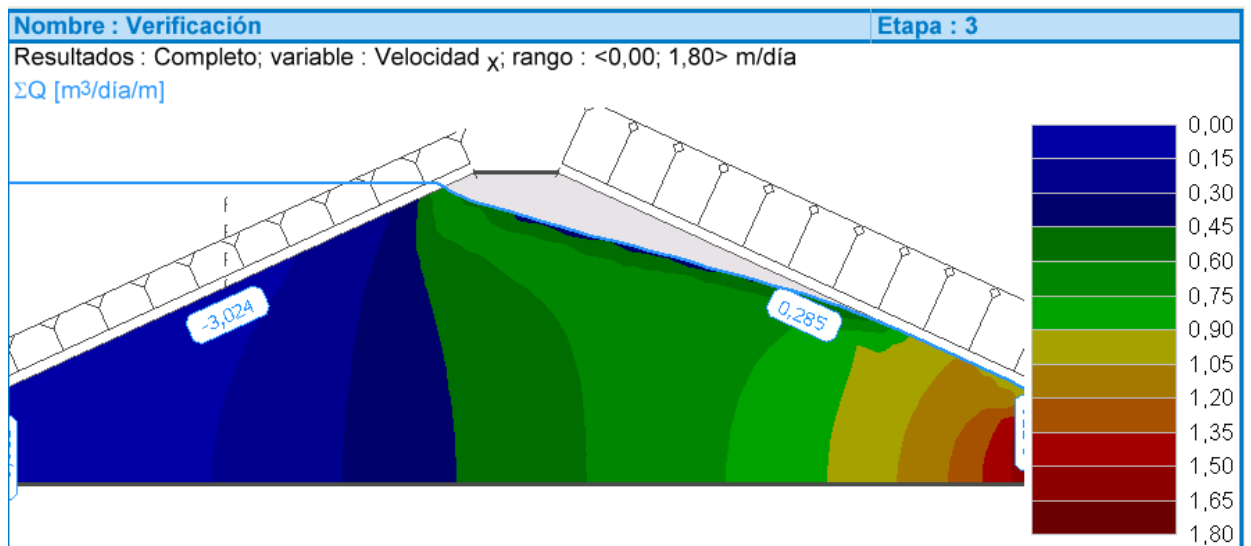
*Distribución del componente horizontal de la velocidad en la etapa N°2*

## Etapa de cálculo N°3 – Nivel freático a 10.5m por encima del terreno en la cara superior de agua.

En esta etapa de cálculo el nivel freático en la cara superior de agua se eleva 1,5m para alcanzar la altura total de la reserva de 10,5 millones. Una vez más, sólo los dos límites de la izquierda se vieron afectadas por el ajuste de las condiciones límite en la cara superior de agua.

Los resultados del análisis muestran que en este caso el nivel freático toca la superficie de infiltración y que hay un flujo de salida de agua libre a lo largo de la cara inferior de agua. Esto es apoyado por un valor del flujo de agua distinto a cero unido a la superficie de infiltración. Cabe señalar que en el caso de flujo de agua en estado estacionario la cantidad total de agua que entra en el dominio debe ser la misma la cantidad de agua que sale del dominio.





*Distribución del componente horizontal de la velocidad en la etapa N°3*

## Conclusión

Se realizaron tres análisis para mostrar la ubicación y la forma del nivel freático para un nivel de agua en el depósito de 2m, 9m y 10.5m. Para los dos primeros casos el flujo de salida se lleva a cabo solamente debajo de la superficie del terreno. Cuando el agua en el depósito se eleva a 10,5 millones del nivel freático toca la cara inferior de agua y se produce el flujo de salida de la superficie.

*Nota: El análisis también muestra que la forma y la posición del nivel freático depende únicamente de las propiedades de las condiciones límite, geometría y materiales reales de los suelos. A diferencia de la tensión o el análisis de flujo transitorio, el análisis de flujo de estado estacionario no depende de las condiciones iniciales. Las etapas de cálculo individuales no se siguen unas a otras y se puede realizar de forma independiente.*