

MODELACIÓN DEL EFECTO DE FLUJO EN ESTABILIDAD DE TALUDES

**JAIR FERNANDO MERCHÁN GÓMEZ
JOHN MAURICIO RUIZ PENAGOS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2015**

MODELACIÓN DEL EFECTO DE FLUJO EN ESTABILIDAD DE TALUDES

JAIR FERNANDO MERCHÁN GÓMEZ

JOHN MAURICIO RUIZ PENAGOS

**Proyecto de grado como requisito para optar al título
de ingeniero civil**

DIRECTOR:

ING. Msc. HEBENLY CELIS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS**

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2015

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado inicialmente a Dios, por darnos protección, bendición y sabiduría en cada momento culminante en nuestras vidas y así lograr alcanzar el sueño de ser ingeniero

A mis padres, Isidro Ruiz y Maria Penagos, quienes me apoyaron y alentaron a salir adelante, como también por inculcarme los valores y la educación en mi formación de vida

A mis hermanos y demás familiares, quienes se preocuparon por mi formación y quienes siempre podré contar

A mis amigos, por darme esa gran compañía en los peores y mejores momentos en mis estudios.

JOHN MAURICIO RUIZ PENAGOS

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado inicialmente a Dios, por darnos protección, bendición y sabiduría en cada momento culminante en nuestras vidas y así lograr alcanzar el sueño de ser ingeniero

A mis padres, Dony Antonio Merchán y Yolanda Gómez, quienes me apoyaron y alentaron a salir adelante, como también por inculcarme los valores y la educación en mi formación de vida

A mis hermanos y demás familiares, quienes se preocuparon por mi formación y quienes siempre podré contar

A mis amigos, por darme esa gran compañía en los peores y mejores momentos en mis estudios.

JAIR FERNANDO MERCHÁN GÓMEZ

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darnos esa gran oportunidad de cumplir este logro tan importante en nuestras vidas.

A nuestra directora de proyecto la ingeniera M.s.c Hebenly Celis Leguízamo quien nos aportó su sabiduría y experiencia en todo momento para culminar con nuestro proyecto.

A la universidad Industrial de Santander quien nos ofreció la oportunidad de formarnos como profesionales en su prestigiada institución.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
2. MARCO TEORICO	17
3. VARIABLES QUE AFECTAN LAS CONDICIONES DE FLUJO	18
3.1 VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (k)	19
3.2 VARIACIÓN DE LA RELACIÓN HIDRÁULICA O ANISOTROPÍA	22
3.3 VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE COMPRESIBILIDAD M_v	26
3.4 VARIACIÓN EN LAS CONDICIONES DE CONTORNO	29
3.4.1 Altura total o cabeza de altura (HEAD, H)	29
3.4.2 Caudal filtrado (TOTAL FLUX, Q)	30
3.4.3 Presión de cabeza (Press. Head, P)	30
3.5 APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE DREN A LA PRESA	30
3.6 TIPO DE SUELO	33
3.7 COMPARACIÓN DE RESULTADOS	34
4. FACTORES DE SEGURIDAD BAJO DIVERSAS CONDICIONES	
DE FLUJO	36
4.1 FACTOR DE SEGURIDAD BAJO CONDICIÓN DE PRESIÓN DE POROS PIEZOMETRIC LINE	37
4.2 FACTOR DE SEGURIDAD BAJO CONDICIÓN DE PRESIÓN DE POROS RU	38
4.3 FACTOR DE SEGURIDAD BAJO CONDICIÓN DE PRESIÓN DE POROS PARENT ANALYSIS.	39

5. CONCLUSIONES	45
BIBLIOGRAFIA	46
ANEXOS	48

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores para las variables del modelado	19
Tabla 2. Valores de caudales de infiltración K	22
Tabla 3. Valores de caudales de infiltración K_y/K_x	26
Tabla 4. Valores de caudales de infiltración M_v	29
Tabla 5. Valores de caudal obtenidos, según el tipo de suelo	34
Tabla 6. Caudales de infiltración según cada variable	35
Tabla 7. Valores asignados en el material	37
Tabla 8. Factores de seguridad condición piezometric line	38
Tabla 9. Factores de seguridad condición RU	39
Tabla 10. Factores de seguridad condición Parent Analysis	40
Tabla 11. Factores de seguridad, método Bishop	41
Tabla 12. Diferencia porcentual de error entre las condiciones de presión de poros	41
Tabla 13. Promedio del nivel freático	42
Tabla 14. Diferencia entre los factores de seguridad por cada metro de lámina de agua	43

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Modelo del flujo y presión total en talud con variación en $k = 1 * 10^{-7}$	20
Figura 2. Modelo del flujo y presión total en el talud con variación en $(k_y/k_x) = 1.0$	23
Figura 3. Modelo de gradiente en x de flujo de agua	25
Figura 4. Modelo de gradiente en y de flujo de agua	25
Figura 5. Modelo del flujo y presión total en el talud con variación en $Mv = 0.75 * 10^{-4}$	27
Figura 6. Talud con línea piezométrica alta	30
Figura 7. Talud con línea piezométrica media	30
Figura 8. Talud con línea piezométrica baja	30
Figura 9. Modelo del flujo con cabeza total	31
Figura 10. Comportamiento de la presión de poros en el talud	31
Figura 11. Presa de tierra al 100% de agua	36
Figura 12. Presa de tierra al 50% de agua	36
Figura 13. Presa de tierra al 0% de nivel freático	36
Figura 14. F.S de la presa a nivel de agua alto (L.p)	37
Figura 15. F.S de la presa a nivel de agua medio (L.p)	37
Figura 16. F.S de la presa a nivel de agua bajo (L.p)	38
Figura 17. F.S de la presa a nivel de agua alto (Ru)	38
Figura 18. F.S de la presa a nivel de agua medio (Ru)	38
Figura 19. F.S de la presa a nivel de agua bajo (Ru)	39
Figura 20. F.S de la presa a nivel de agua alto (P.A)	40
Figura 21. F.S de la presa a nivel de agua medio (P.A)	40
Figura 22. F.S de la presa a nivel de agua bajo (P.A)	40

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Presión de Total	20
Gráfica 2. Presión de poros	21
Gráfica 3. Flujo de agua en el drenaje	21
Gráfica 4. Presión de Total	23
Gráfica 5. Presión de poros	24
Gráfica 6. Flujo de agua en el drenaje	24
Gráfica 7. Contenido Vol. Agua, eje x	27
Gráfica 8. Contenido Vol. Agua, eje x	28
Gráfica 9. Contenido Vol. Agua, eje x	28
Gráfica 10. Presión de Total	32
Gráfica 11. Presión de poros	32
Gráfica 12. Flujo de agua en el drenaje	33
Grafica 13. Relación Succión matricial vs Volumen de agua (arcilla)	33
Grafica 14. Factores de seguridad bajo diferentes niveles Piezométricos	42
Grafica 15. Factores de seguridad bajo distintos sistemas de modelo de presión de poros a un nivel freático alto	43
Grafica 16. Factores de seguridad bajo distintos sistemas de modelo de presión de poros a un nivel freático medio	44
Grafica 17. Factores de seguridad bajo distintos sistemas de modelo de presión de poros a un nivel freático bajo	44

RESUMEN

TITULO

MODELACIÓN DEL EFECTO DE FLUJO EN ESTABILIDAD DE TALUDES

AUTORES

JAIR FERNANDO MERCHÁN GÓMEZ

JOHN MAURICIO RUIZ PENAGOS

PALABRAS CLAVES:

Flujo, infiltración, presión de poros, talud, falla, factor de seguridad.

DESCRIPCION

Este proyecto de grado se desarrolló con el propósito de identificar el efecto de la modelación del nivel freático en estabilidad de taludes para determinar y estipular los factores de seguridad en el análisis de una presa de tierra. Éste proyecto se desarrolló en dos etapas fundamentales, cada una de ellas usando diferente software pero con la misma plataforma del programa, primero se calculó las condiciones de flujo de la presa y segundo se calculó los factores de seguridad de dicha presa.

Por medio del software se hallaron los caudales de infiltración de la presa mediante el método 'Steady State' teniendo en cuenta las variables más incidentes en el comportamiento del flujo tales como: el coeficiente de permeabilidad, relación Anisotrópica, condiciones de contorno, (como cabeza de altura y cabeza de presión), coeficiente de compresibilidad volumétrico, este último solo para suelos tipo arcilla. Además, por medio de un software se estudió la correlación entre el factor de seguridad y las condiciones de flujo, mediante los métodos aproximados de dovelas como Bishop simplificado, Janbu simplificado, Fellenius (Ordinario) bajo diversas condiciones de presión de poros de agua con peso específico, ángulo de fricción y cohesión como constantes para cada una de las condiciones .

*. Proyecto de Grado

** .Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de ingeniería civil, Directora M.Sc Ingeniera Hebenly Celis.

ABSTRACT

TITLE

MODELING THE EFFECT OF FLOW IN SLOPE STABILITY

AUTHORS

JAIR FERNANDO MERCHÁN GÓMEZ

JOHN MAURICIO RUIZ PENAGOS

KEYWORDS:

Flow, Infiltration, pore pressure, slope, failure, safety factor.

DESCRIPTION

This degree project was developed with the purpose of identifying the effect of modeling the water table in slope stability to determine and stipulate safety factors in the analysis of an earth dam. This project was developed in two main stages, each using different software but with the same program platform, first the flow conditions was calculated of the Dam and second safety factors of the dam was calculated.

Through software it developed infiltration flows from the dam were found using the 'Steady State' method considering the variables more incidents in the flow behavior such as permeability coefficient, Anisotropic relationship, boundary conditions, (as head height and head pressure), coefficient of volume compressibility, the latter only for clay soil type. In addition, through software was studied correlation between safety factor and the flow conditions by the method approximate segments as simplified Bishop, simplified Janbu, Fellenius (Ordinary) under various conditions of pore water pressure with variables specific weight, angle of friction and cohesion as constants for each of the conditions.

*. Degree Project

** .Faculty of physicomechanical Engineerings, School of Civil Engineering, Directora M.Sc Engineer Hebenly Celis.

1. INTRODUCCIÓN

El actual desarrollo que vive nuestro país hace de la ingeniería un campo muy importante para la gran demanda que hay en la ejecución de obras civiles, proyectos que requiere de profesionales con amplios conocimientos sobre las especificaciones necesarias para lograr eficientes resultados. Estos proyectos deben cumplir a cabalidad las exigencias establecidas por las normas de construcción, necesarias para el buen desempeño de trabajo para el cual fue diseñado.

Con los avances tecnológicos se facilitaron muchos diseños modernos que se demandan hoy en día, como las vías de comunicación: caminos, ferrocarriles, puentes, puertos, entre otros, dándole impulso al estudio de taludes, presas de tierra o embalses, práctica del Ingeniero Geotécnico para establecer medidas de prevención y control para reducir los niveles de amenaza y riesgo en cada uno de los proyectos. Esto se ha puesto en el plano de importancia ingenieril ya que son estructuras que exigen mayor cuidado por parte del diseñador y el constructor ya que una falla tendría grandes consecuencias económicas, humanas y ambientales.

Por eso es clave este tipo de estudio e investigación para mitigar muchos de los problemas de deslizamientos que se presentan en cada uno de los proyectos, ya que gran parte del comportamiento del talud se debe a las variaciones que tiene el flujo de las aguas subterráneas y la presión del agua intersticial. No obstante la tediosa topografía, los diversos climas presentes en el año, las características como el tipo de suelo, geometría, sismicidad e hidrología son también factores importantes en el análisis.

Este estudio basa su importancia en implementar las herramientas software Geostudio – Seep/w y Slope/w para modelar y fijar los efectos más representativos que tiene cada una de las variables que inciden directamente en la estabilidad del talud, como las condiciones de presión de poros en el agua y la cantidad de flujo que son parámetros muy importantes en la cuantificación del factor de seguridad (FS), que actualmente con el software, permiten de forma rápida y sencilla obtener los cálculos por cualesquiera los métodos a utilizar.

2. MARCO TEORICO.

En la actualidad se conocen varios software comerciales los cuales tienen como base el concepto de equilibrio límite que supone, en caso de falla equivalente del talud, que las fuerzas actuantes y resistentes a lo largo de la superficie generen un factor de seguridad de 1.0. Este análisis se realizó mediante el software Geostudio – Slope/w & Seep/w con un ejemplo tipo obtenido de la documentación guía de Geostudio – Seepage Modeling with Seep/w. Este software estudia la longitud de la superficie de falla dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas y la cantidad de flujo y presión de poros en el agua respectivamente. Algunos de los métodos de análisis que se utilizaron para el modelo fueron:

- Steady State para el flujo

Ley de Darcy para hallar el caudal: $Q = k \frac{\Delta H}{L} A$

Dónde: Q = Caudal (m^3/s)

L = Longitud en metros de la muestra (m)

K = Coeficiente de permeabilidad de Darcy (m/s)

A = Área de la sección transversal de la muestra (m^2)

ΔH = Diferencia de alturas (m)

Presión de poros $r_u = \frac{u}{\sigma_v}$

Dónde u = Presión de poros

σ_v = Esfuerzo total vertical del suelo a una profundidad z.

- Fellenius (Ordinario)
 - ✓ Asume que la resultante de fuerzas laterales actúa paralela a la base de cada dovela y resuelve las fuerzas normales perpendiculares a la base eliminando las fuerzas laterales.
 - ✓ El método satisface el valor total de momentos pero no las fuerzas horizontales, verticales y los momentos individuales.
- Janbu simplificado
 - ✓ Asume la posición de la fuerza horizontal.
 - ✓ El método satisface todas las condiciones de equilibrio.
- Bishop simplificado
 - ✓ Asume que las fuerzas verticales en las dovelas son cero
 - ✓ Resuelve las fuerzas en la dirección vertical eliminando las fuerzas laterales

- ✓ El método satisface el valor total de momentos y las fuerzas verticales pero no las fuerzas horizontales ni los momentos individuales.

3. VARIABLES QUE AFECTAN LAS CONDICIONES DE FLUJO

De acuerdo con la bibliografía consultada las variables más incidentes en el comportamiento del flujo a través de una presa de tierra son:

- Coeficiente de permeabilidad (k) [m/s]
- Relación hidráulica o anisotropía (k_y/k_x)
- Coeficiente de compresibilidad (mv) [/Kpa]
- Condiciones de contorno
- Tipo de drenaje
- Tipo de suelo

A continuación se explica cada una de ellas:

Para la realización del modelado se tomaron los siguientes valores para las variables seleccionadas anteriormente.

Tabla 1. Valores para las variables del modelado

VARIABLE	VALORES		
k [m/s]	$1 * 10^{-3}$ [m/s]	$1 * 10^{-7}$ [m/s]	$1 * 10^{-9}$ [m/s]
Ky/Kx	1.5	1	0.5
Mv [/Kpa]	$9 * 10^{-4}$	$2 * 10^{-4}$	$0.75 * 10^{-4}$
Drenaje	Con filtro horizontal	Sin filtro	Con filtro vertical
Tipo de suelo	Limo	Arcilla	Arena

3.1 VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (k)

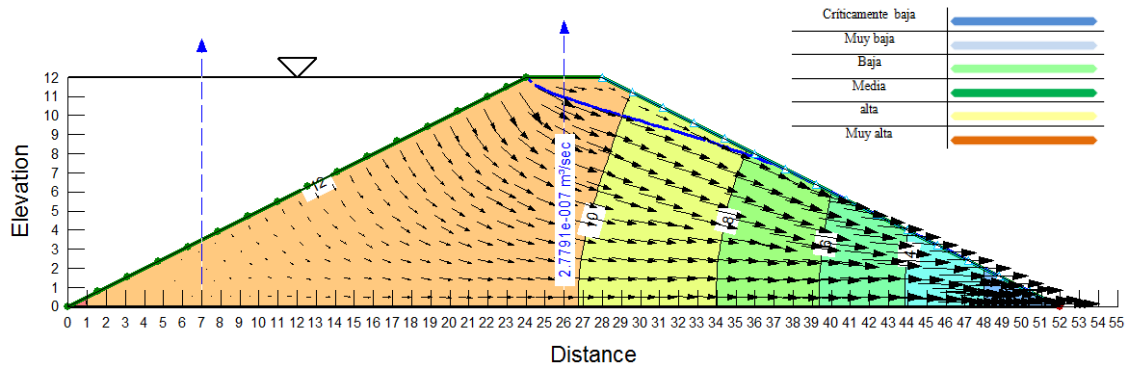
En esta modelación se varió el coeficiente de permeabilidad de acuerdo a los siguientes valores k [m/s] = $1 * 10^{-3}$, $k = 1 * 10^{-7}$ y $k = 1 * 10^{-9}$, estos valores se

difieren por grado de permeabilidad como: media, muy baja y prácticamente impermeable respectivamente, las demás variables se dejaron constantes y se muestran en la tabla 1 columna 2.

1.1 Para valores de $k = 1 * 10^{-7} [m/s]$

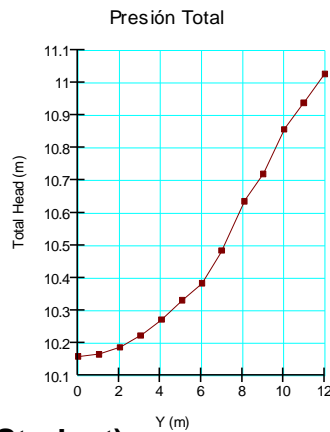
En la **Figura 1** se muestra el flujo en vectores y las presiones de cabeza total en diferentes colores.

Figura 1. Modelo del flujo y presión total en el talud con variación en $k = 1 * 10^{-7}$



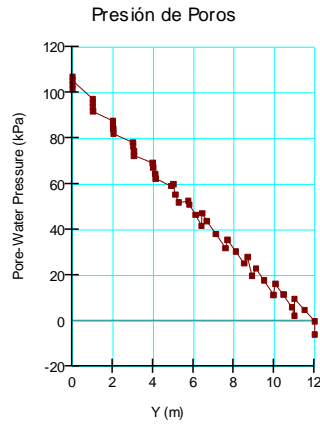
Geostudio, Seep/w (Student).

Gráfica 1. Presión de Total



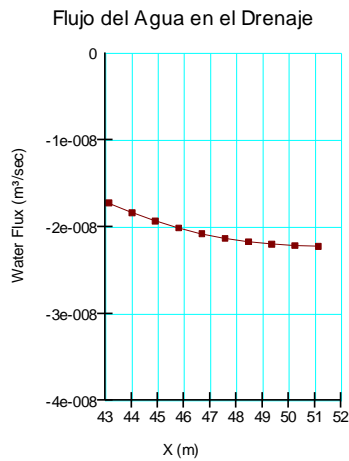
Geostudio, Seep/w (Student).

Gráfica 2. Presión de poros



Geostudio, Seep/w (Student).

Gráfica 3. Flujo de agua en el drenaje



Geostudio, Seep/w (Student).

- El caudal de filtración con $k = 1 * 10^{-7} [m/s]$ es de: $Q = 2.7791 * 10^{-7} [m^3/s]$

En el numeral 1 de los anexos se encuentran los modelos de las variaciones $k = 1 * 10^{-3}$ y $k = 1 * 10^{-9}$

En la Tabla 2 se muestra el valor del caudal para cada una de las variables.

Tabla 2. Valores de caudales de infiltración (k)

Coeficiente de permeabilidad (k)	Caudal (Q)
$1 * 10^{-3}$,	$2.7791 * 10^{-3}$
$1 * 10^{-7}$	$2.7791 * 10^{-7}$
$1 * 10^{-9}$,	$2.7791 * 10^{-9}$

Se concluyó mediante el análisis de cada una de las gráficas que el coeficiente de permeabilidad (k) es directamente proporcional al crecimiento del caudal de infiltración.

3.2 VARIACIÓN DE LA RELACIÓN HIDRÁULICA O ANISOTROPÍA (k_y/k_x)

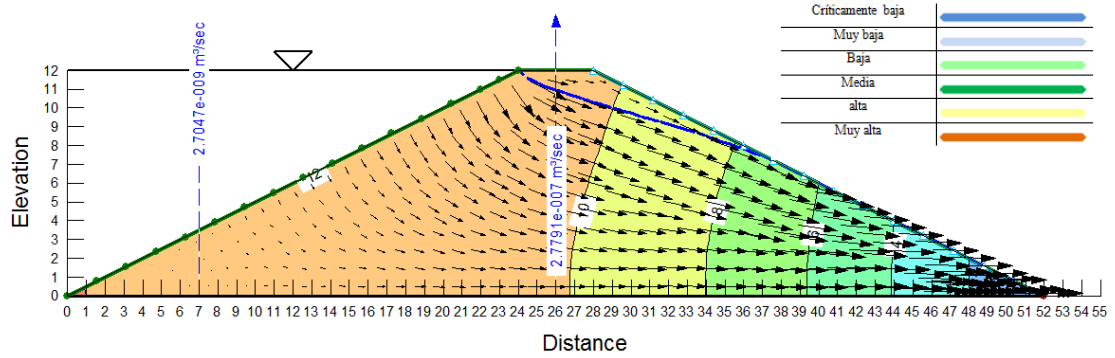
En esta modelación se varió la relación hidráulica de acuerdo a los siguientes valores (k_y/k_x) = 1.5, (k_y/k_x) = 1.0 y (k_y/k_x) = 0.5, esta relación es la

permeabilidad en dirección de la coordenada “y” con respecto a la permeabilidad en dirección de la coordenada en “x” valores variados respecto a la isotropía del modelado. las demás variables se dejaron constantes y se muestran en la tabla 1 columna 2.

3.2.1 Para valores de (k_y/k_x) = 1.0

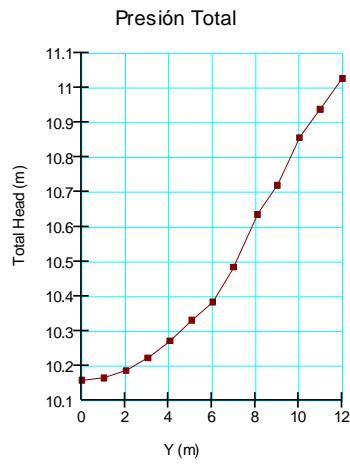
En la **Figura 2** se muestra el flujo en vectores y las presiones de cabeza total en diferentes colores.

Figura 2. Modelo del flujo y presión total en el talud con variación en $(k_y/k_x) = 1.0$



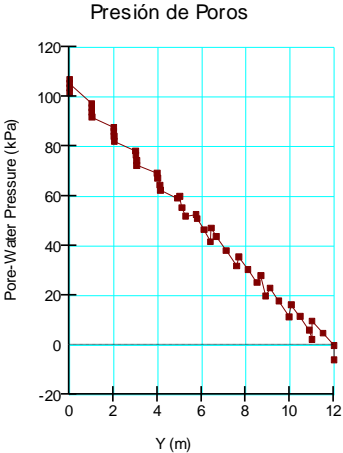
Geostudio, Seep/w (Student).

Gráfica 4. Presión de Total



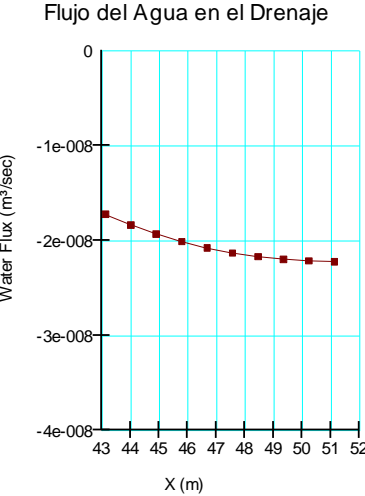
Geostudio, Seep/w (Student).

Gráfica 5. Presión de poros



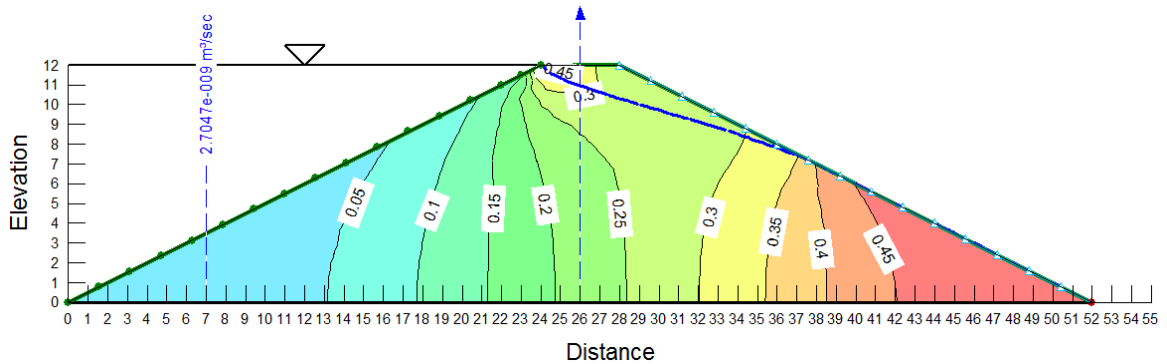
Geostudio, Seep/w (Student).

Gráfica 6. Flujo de agua en el drenaje



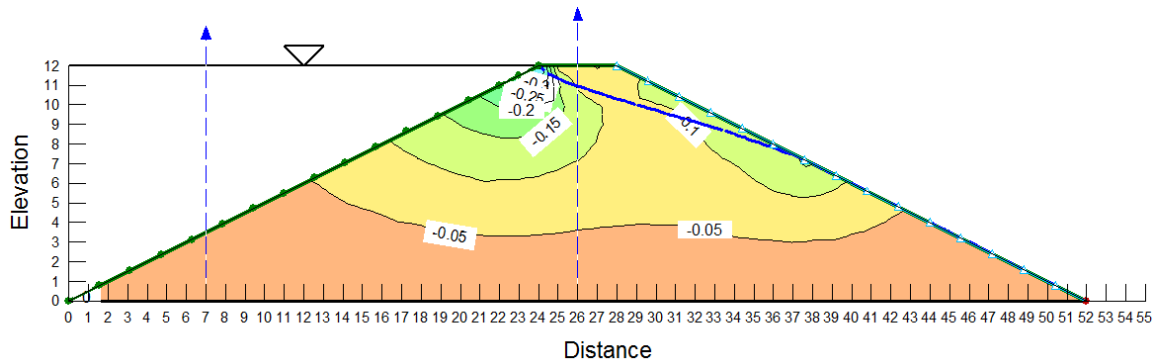
Geostudio, Seep/w (Student).

Figura 3. Modelo de gradiente en x de flujo de agua.



Geostudio, Seep/w (Student).

Figura 4. Modelo de gradiente en y de flujo de agua.



Geostudio, Seep/w (Student).

- El caudal de filtración con $\left(\frac{k_y}{k_x}\right) = 1.0$ es de: $Q = 2.7791 \times 10^{-7} \left[\frac{m^3}{s} \right]$

En los numeral 2 de los anexos se encuentran los modelos de las variaciones $\left(\frac{k_y}{k_x}\right) = 1.5$ y $\left(\frac{k_y}{k_x}\right) = 0.5$

En la Tabla 3 se muestra el valor del caudal para cada una de las variables

Tabla 3. Valores de caudales de infiltración K_y/K_x

Relación Hidráulica (k_y/k_x)	Caudal (Q)
1.5	$2.8642 * 10^{-7}$
1.0	$2.7791 * 10^{-7}$
0.5	$2.6286 * 10^{-7}$

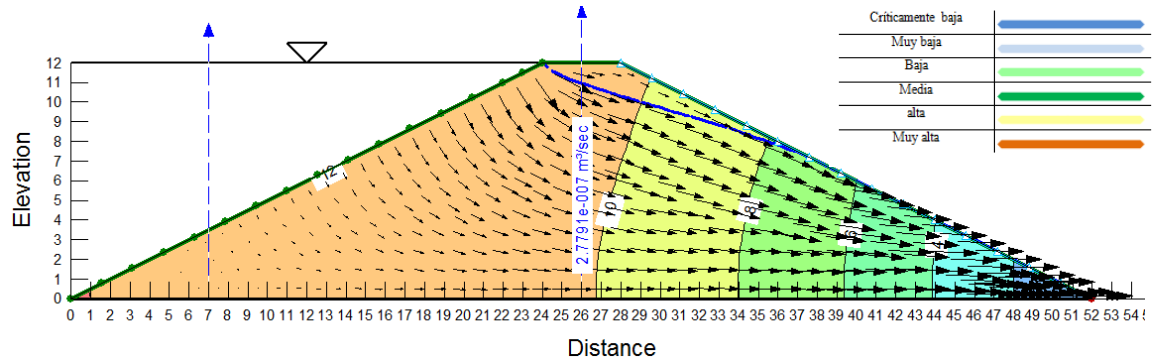
Se concluyó mediante el análisis de cada una de las gráficas que la relación hidráulica o anisotropía (k_y/k_x) a medida que la permeabilidad horizontal “ k_x ” es mayor, el caudal disminuye y diferente para la permeabilidad vertical “ k_y ” que aumenta.

3.3 VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE COMPRESIBILIDAD M_v [Kpa]

El coeficiente de compresibilidad es utilizado mayormente para suelos impermeables como las arcillas, su valor oscila de 0 y 1 donde los valores cercanos a cero son de baja compresibilidad y los de uno de mayor compresibilidad. En esta modelación se varió el coeficiente de compresibilidad de acuerdo a los siguientes valores M_v [Kpa] = $0.75 * 10^{-4}$, $M_v = 2 * 10^{-4}$ y $M_v = 9 * 10^{-4}$ teniendo en cuenta que los valores de M_v se acotan entre 0 y 1, las demás variables se dejaron constantes y se muestran en la tabla 1 columna 2.

En la **Figura 5** se muestra el flujo en vectores y las presiones de cabeza total en diferentes colores.

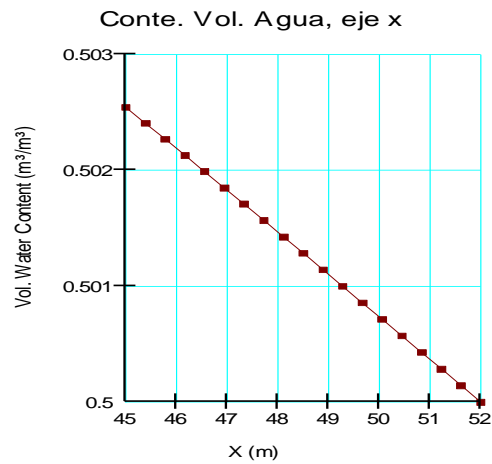
Figura 5. Modelo del flujo y presión total en el talud con variación en $Mv = 0.75 * 10^{-4}$



Geostudio, Seep/w (Student).

3.3.1 Para valores de $Mv = 0.75 * 10^{-4} [Kpa]$

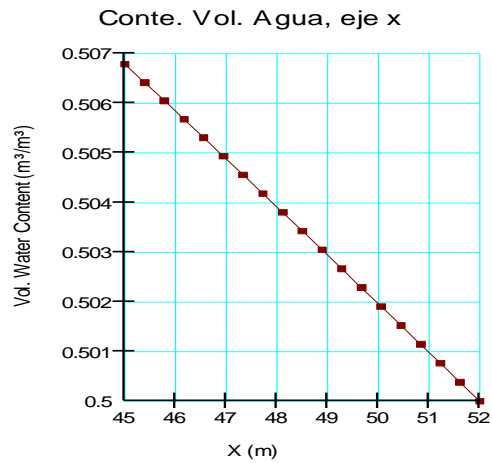
Gráfica 7. Contenido Vol. Agua, eje x



Geostudio, Seep/w (Student).

3.3.2 Para valores de $Mv = 2 * 10^{-4}$ [Kpa]

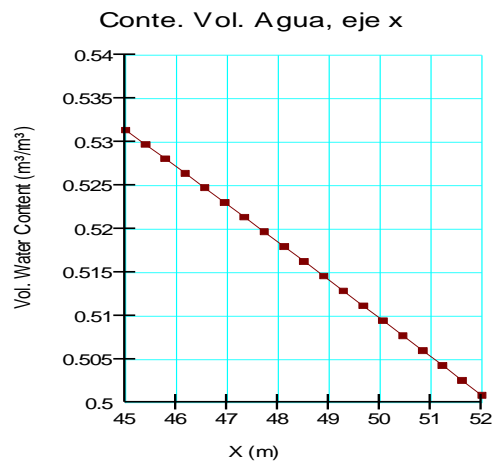
Gráfica 8. Contenido Vol. Agua, eje x



Geostudio, Seep/w (Student).

3.3.3 Para valores de $Mv = 9 * 10^{-4}$ [Kpa]

Gráfica 9. Contenido Vol. Agua, eje x



Geostudio, Seep/w (Student).

En la Tabla 4 se muestra el valor del caudal para cada una de las variables

Tabla 4. Valores de caudales de infiltración Mv

Coefficiente de Compresibilidad Mv	Caudal (Q)
$9 * 10^{-4}$	$2.7791 * 10^{-7}$
$2 * 10^{-4}$	$2.7791 * 10^{-7}$
$0.75 * 10^{-4}$	$2.7791 * 10^{-7}$

Se concluyó que mediante la variación del coeficiente de compresibilidad (Mv) no se ven cambios en el caudal (Q).

3.4 VARIACIÓN EN LAS CONDICIONES DE CONTORNO

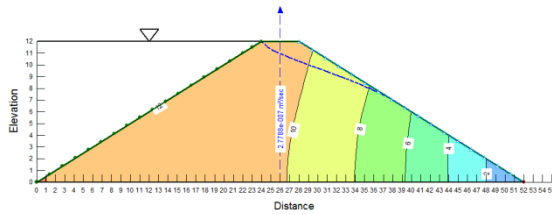
Para el modelamiento de un sistema en Seep/w es necesario definir las propiedades de contorno del modelo, para ello disponemos de las siguientes condiciones:

3.4.1 Altura total o cabeza de altura (HEAD, H)

En SEEP / W la variable desconocida o campo principal es la carga hidráulica total, que se compone de carga de presión y elevación teniendo en cuenta que la elevación representa el componente gravitacional.

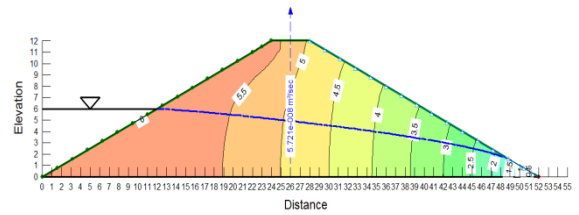
Se dispuso de varios valores con el fin de representar los diferentes comportamientos que puede sufrir el talud si le variamos la altura de la lámina de agua (dique) a 12, 6 y 0 metros.

Figura 6. Talud con línea piezométrica alta



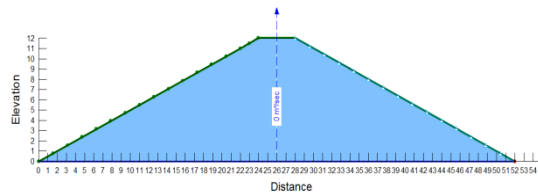
Geostudio, Seep/w (Student).

Figura 7. Talud con línea piezométrica media



Geostudio, Seep/w (Student).

Figura 8. Talud con línea piezométrica baja



Geostudio, Seep/w (Student).

3.4.2 Caudal filtrado (TOTAL FLUX, Q)

En la condición de contorno flujo total, se especifica el flujo que pasa a través del borde de un elemento, un ejemplo puede ser la tasa de infiltración o la aplicación de precipitación, en el proyecto se asignó un valor de 0 [m³/s], asumiendo que en el borde del material no pasa flujo (impermeable).

3.4.3 Presión de cabeza (Press. Head, P)

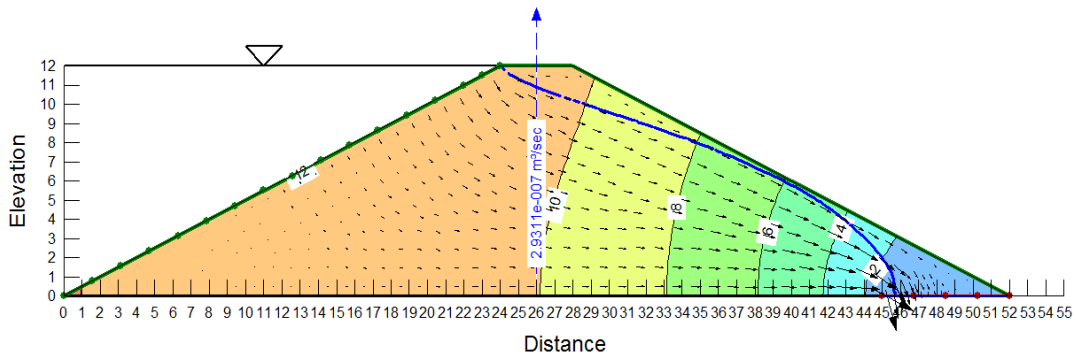
La condición presión de cabeza o altura de presión, es la presión que se genera a través del borde de un elemento, se asignando una presión de poros de cero, representándolo como un tipo de dren, con el fin de asignarle una dirección de salida en el flujo dentro del talud.

3.5 APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE DREN A LA PRESA.

En esta modelación se utilizó un dren de tipo horizontal y los valores constantes descritos en la tabla 1

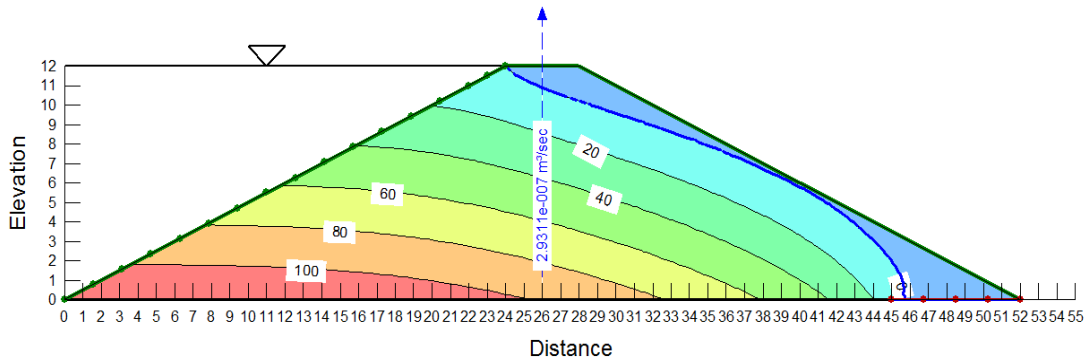
Se asignó una condición de contorno tipo “press head” de 0 [m], con una longitud de 2 m en la parte inferior.

Figura 9. Modelo del flujo con cabeza total.



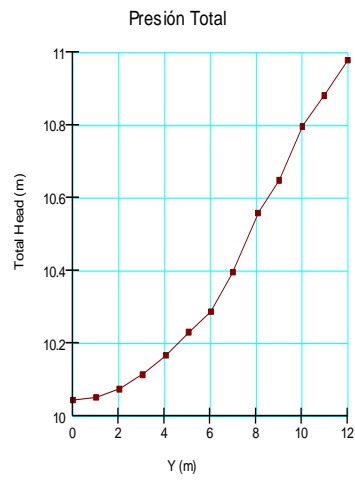
Geostudio, Seep/w (Student).

Figura 10. Comportamiento de la presión de poros en el talud



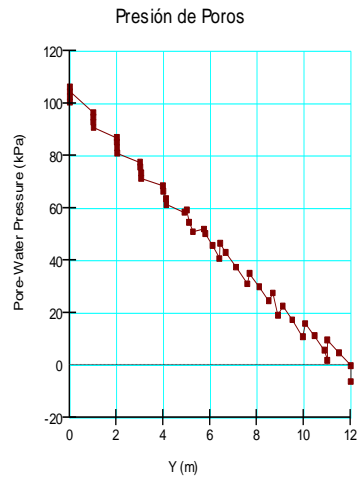
Geostudio, Seep/w (Student).

Gráfica 10. Presión Total



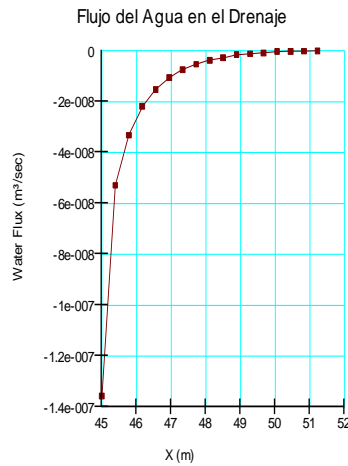
Geostudio, Seep/w (Student).

Gráfica 11. Presión de poros



Geostudio, Seep/w (Student).

Gráfica 12. Flujo de agua en el drenaje



Geostudio, Seep/w (Student).

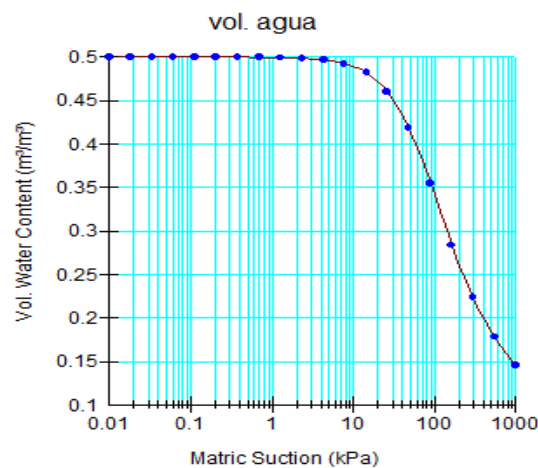
Con las condiciones anteriormente descritas y un sistema de dren horizontal, el caudal es de $Q = 2.931 \times 10^{-07} [m^3/s]$

3.6 TIPO DE SUELO

Para el modelado se utilizó tipo de suelo como: Arcilla, Limo, arena y se tomarán los valores de las variables constantes de la Tabla 1.

3.1 Suelo tipo Arcilla

Grafica 13. Relación Succión matricial vs Volumen de agua



Geostudio, Seep/w (Student).

El programa genera condiciones de contenido de agua en función con la succión matricial, de acuerdo con el tipo de suelo que se le sea asignado.

Se puede asignar tipos de suelo como, arcilla, limos, arena y grava.

A continuación se presenta la tabla de resultados de caudal con respecto al tipo de material.

Tabla 5. Valores de caudal obtenidos, según el tipo de suelo.

TIPO DE SUELO	CAUDAL
Arcilla	$2.7791 * 10^{-9}$
Limo	$2.7791 * 10^{-6}$
Arena	$2.7791 * 10^{-3}$

Concluimos que los tipos de materiales, ya sean arcillas, limos o arenas, no influye en la variación del caudal filtrado.

En el numeral 3 de los anexos se encuentran los modelos con las variaciones de suelo de Arena y Limo.

3.7 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

En la Tabla 6 se observa los cambios en el caudal con las variables que más incidieron en el comportamiento del flujo de la presa de tierra.

A continuación presentamos la tabla de resultados, con el objetivo de analizar los resultados obtenidos.

Tabla 6. Caudales de infiltración según cada variable

	CAUDAL (Q) m ³ /s
1.Coeficiente de permeabilidad, (K) [m/s]	
10 ⁻³	0,0027791
10 ⁻⁷	2.7791*10 ⁻⁷
10 ⁻⁹	2.7791*10 ⁻⁹
2.Relación hidráulica ky/kx	
1,5	2.8642*10 ⁻⁷
1	2.7791*10 ⁻⁷
0,5	2.6286*10 ⁻⁷
3.Condiciones de contorno	
Lamina de Agua alta, 12 m	2.7791*10 ⁻⁷
Lamina de agua media, 6m	5.72*10 ⁻⁸
Lamina de agua baja, 0 m	0
5.Filtro	
Sin filtro	2.7791*10 ⁻⁷
Con filtro	2.9311*10 ⁻⁷

En el modelo desarrollado, las variables que influyeron significativamente en los cambios del caudal, fueron, el coeficiente de permeabilidad, siendo la variable más crítica para el flujo, condición de contorno (presión de agua, presión atmosférica, flujo a través del suelo), la relación de hidráulica o anisotropía y por último la condición de drenajes.

Las variables que no afectaron el comportamiento del caudal de infiltración fueron, el contenido de agua saturado y el tipo de suelo.

Con los parámetros anteriormente escritos, se realizó el modelado asignando los siguientes valores a la presa:

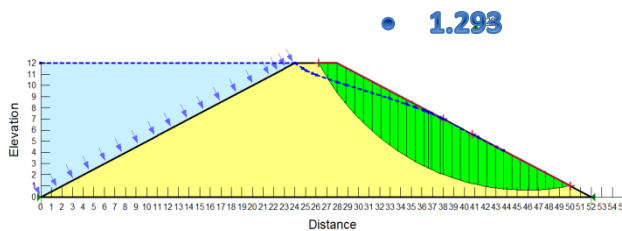
Tabla 7. Valores asignados en el material.

Valores establecidos al material	
variables	valores
Peso específico	25 Kn/m ³
Cohesión	10 Kpa
Angulo de fricción	30°
modelo de material	Mohr-Coulomb

4.1 FACTOR DE SEGURIDAD BAJO CONDICIÓN DE PRESIÓN DE POROS PIEZOMETRIC LINE

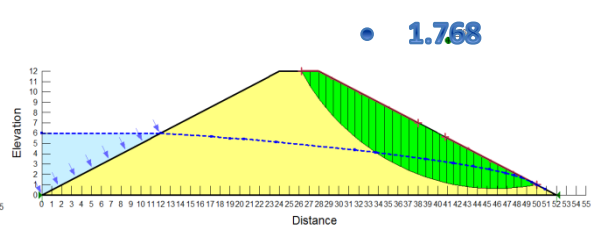
El modelado de presión de poros se estimó a partir de una línea piezométrica generada en Slope/w con variables y condiciones por defecto.

Figura 14. F.S de la presa a nivel de agua alto



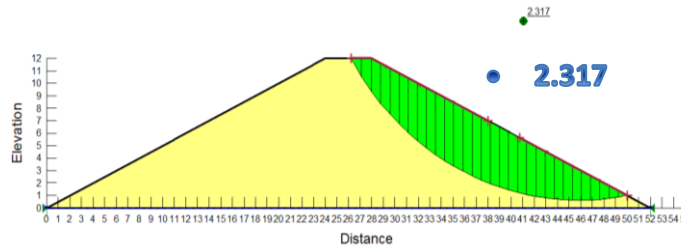
Geostudio, Slope/w (Student).

Figura 15. F.S de la presa a nivel de agua medio



Geostudio, Slope/w (Student).

Figura 16. F.S de la presa a nivel de agua bajo



Geostudio, Slope/w (Student).

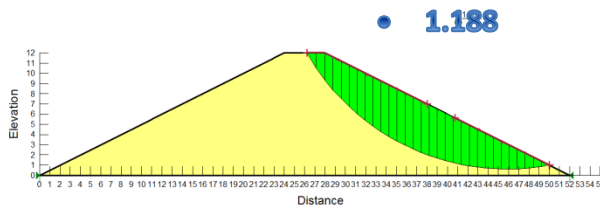
Tabla 8. Factores de seguridad condición piezometric line

FACTOR DE SEGURIDAD			
Línea Piezometrica			
N.F	BISHOP	ORDINARY	JANBU
ALTA	1.293	1.163	1.189
MEDIA	1.768	1.699	1.707
BAJA	2.317	2.243	2.236

4.2 FACTOR DE SEGURIDAD BAJO CONDICIÓN DE PRESIÓN DE POROS RU

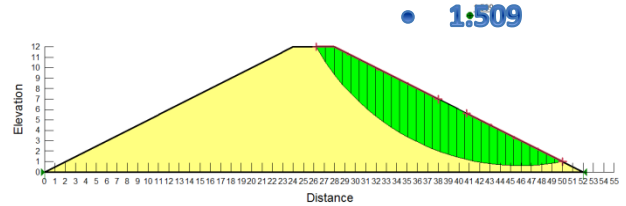
La condición de presión de poros RU presenta factores acotados que van de 0 a 0.5, donde 0.5 indica suelos altamente saturados y 0 suelos totalmente secos, además, se define como como el factor de la relación de presión de poros y el peso específico del suelo por la altura, por cada dovela.

Figura 17. F.S de la presa a nivel de Agua alto



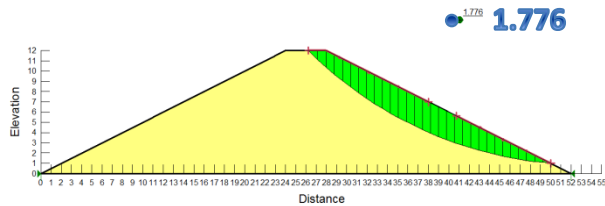
Geostudio, Slope/w (Student).

Figura 18. F.S de la presa a nivel de agua medio



Geostudio, Slope/w (Student).

Figura 19. F.S de la presa a nivel de agua bajo



Geostudio, Slope/w (Student).

Tabla 9. Factores de seguridad condición RU

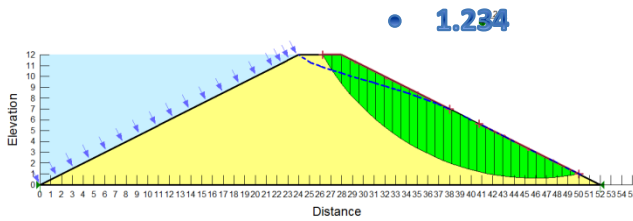
FACTOR DE SEGURIDAD			
Ru			
N.F/ Coef.	BISHOP	ORDINARY	JANBU
ALTA/0.35	1.188	1.055	1.081
MEDIA/0.16	1.509	1.383	1.383
BAJA/0	1.776	1.736	1.727

- ✓ En el programa Slope se modeló otro tipo de condición de poros llamado B-BAR, cuyos factores de seguridad reincidieron en los mismos factores obtenidos en la condición de RU, se estipuló que se debe de tener diferentes tipos materiales (peso específico) dentro del mismo talud para generar cambios en la condición B-BAR.

4.3 FACTOR DE SEGURIDAD BAJO CONDICIÓN DE PRESIÓN DE POROS PARENT ANALYSIS.

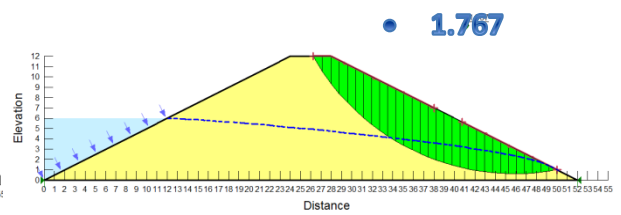
Esta condición de presión de poros se exporto de Seep/w, con condiciones normales de flujo según el criterio expuesto en el numeral 3.

Figura 20. F.S de la presa a nivel de agua alto



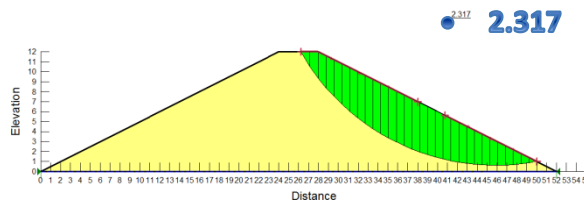
Geostudio, Slope/w (Student).

Figura 21. F.S de la presa a nivel de agua medio



Geostudio, Slope/w (Student).

Figura 22. F.S de la presa a nivel de agua bajo



Geostudio, Slope/w (Student).

Tabla 10. Factores de seguridad condición Parent Analysis

FACTOR DE SEGURIDAD			
Parent Analysis (seep)			
N.F	BISHOP	ORDINARY	JANBU
ALTA	1.234	1.121	1.144
MEDIA	1.767	1.696	1.704
BAJA	2.317	2.243	2.236

Se presenta un estado más crítico del talud, cuando el nivel freático está en su punto más alto de la presa, alcanzando factores de seguridad aproximados de 1.055 y en su estado más estable puede generar factores de seguridad de 2.317.

- Para realizar una comparación de los resultados de los tres métodos de modelación del flujo, se tomó el método de Bishop.

Tabla 11. Factores de seguridad, método Bishop

		FACTOR DE SEGURIDAD		
		Parent Analysis (seep)	Línea Piezométrica	Ru
Tipo De Sistema De Modelo En Presión De Poros:				
Tipo De Análisis: BISHOP				
NIVEL FREÁTICO				coef=0.35
	ALTA	1,234	1,293	1,188
				coef=0.16
	MEDIA	1,7	1,767	1,509
				coef=0
	BAJA	2,317	2,317	1,776

- Se desarrolló la variación entre cada tipo de sistema de modelo, dejando como referencia al sistema de línea piezométrica.

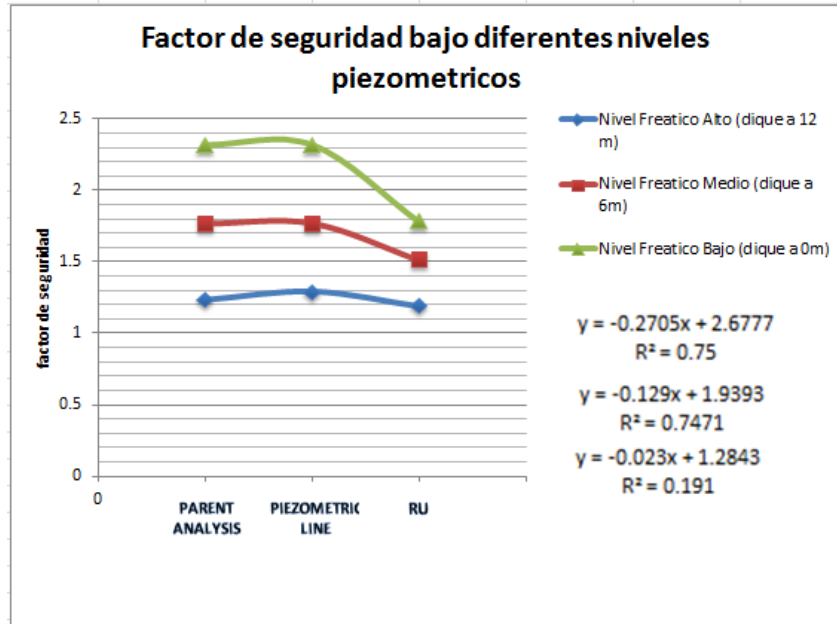
Tabla 12. Diferencia porcentual de error entre las condiciones de presión de poros

% de variación entre diferencia de línea piezométrica y parent analysis	
	4.56
	3.79
	0
% de variación entre diferencia de línea piezométrica y Ru	
	8.12
	14.6
	23.35

Se concluye que la variabilidad en el coeficiente de Ru con respecto a la línea piezométrica, hace que sea una opción poco práctica en el software, mientras el modelo de presión de poros parent analysis genera factores de seguridad similares a los de línea piezométrica.

- Se presentó la gráfica de los factores de seguridad de cada nivel freático (bajo, medio, alto), tomando los 3 tipos de modelos de slope /w

Grafica 14. Factores de seguridad bajo diferentes niveles piezométricos



- Se desarrolló el promedio del factor de seguridad en cada nivel freático desarrollado por medio de las funciones de la gráfica anterior.

Tabla 13. Promedio del nivel freático

Altura Línea Piezométrica	f.s.
12m	1.23
6m	1.68
0m	2.13

Teniendo los factores de seguridad a cada 6 metros de altura piezométrica, procedemos a calcular las variaciones de los factores con respecto a un metro de altura de nivel del agua.

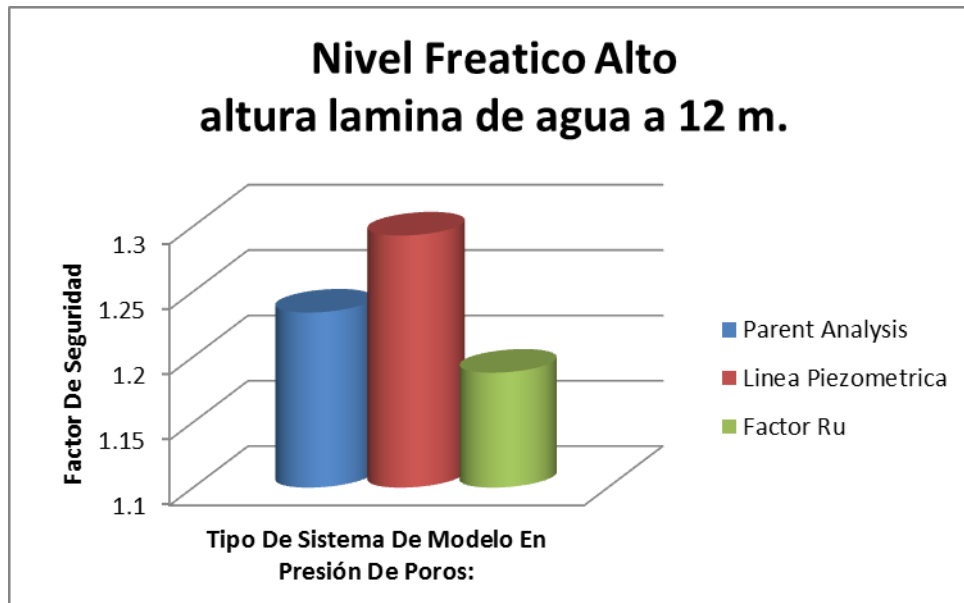
Tabla 14. Diferencia entre los factores de seguridad por cada metro de lámina de agua

diferencia entre los factores de seguridad por cada metro de lamina de agua	
	0.0738
	0.0760
	0.0749
promedio:	0.07487

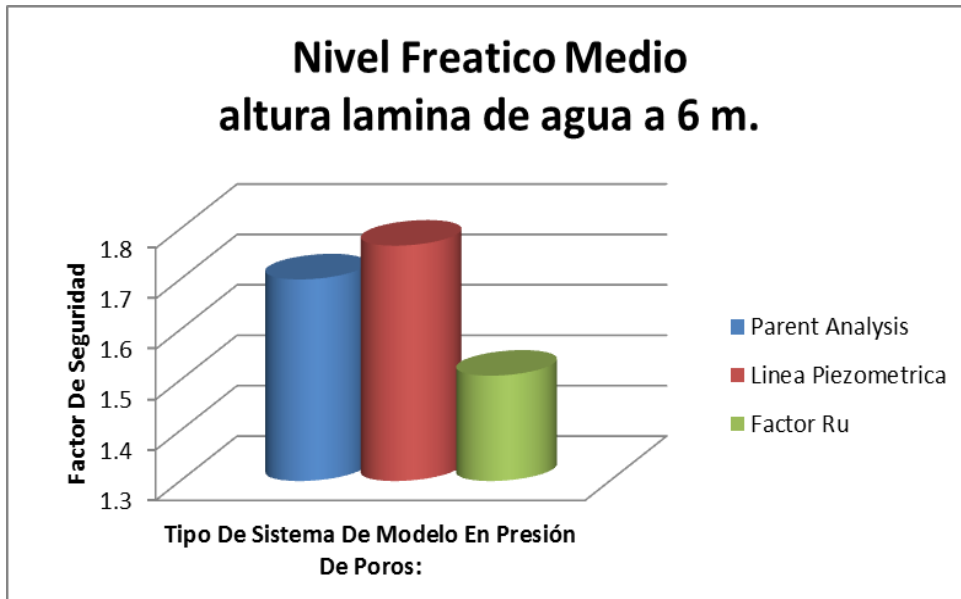
Observamos una tendencia lineal entre el cambio de la lámina de agua y el factor de seguridad, a medida que se va reduciendo la altura de agua el factor de seguridad va aumentando.

- Gráfica de los factores de seguridad con respecto a los modelos de presión de poros (parent analysis, línea piezométrica, Ru), variando el nivel freático.

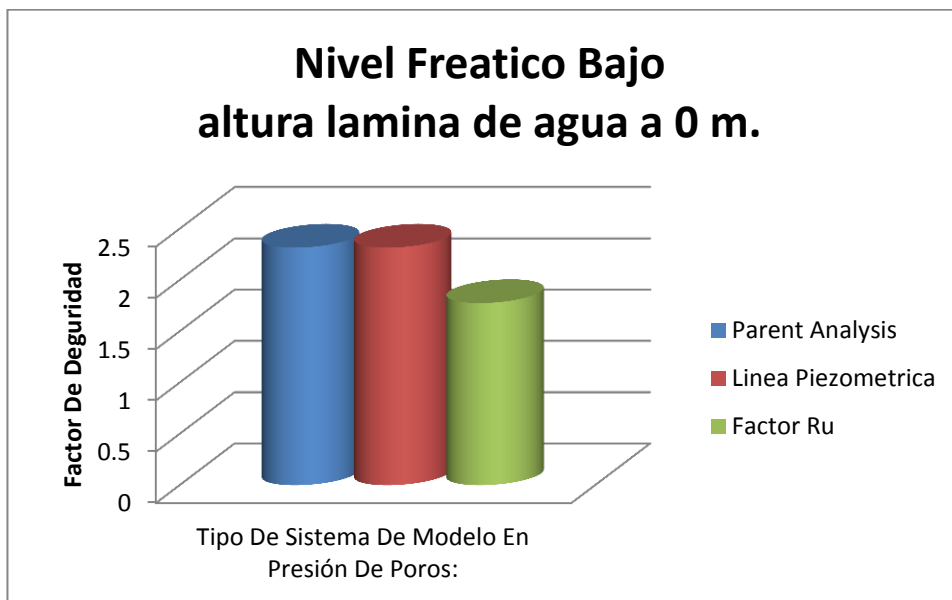
Grafica 15. Factores de seguridad bajo distintos sistemas de modelo de presión de poros a un nivel freático alto



Grafica 16. Factores de seguridad bajo distintos sistemas de modelo de presión de poros a un nivel freático medio



Grafica 17. Factores de seguridad bajo distintos sistemas de modelo de presión de poros a un nivel freático bajo



Concluimos que el sistema de modelo que más se acomoda a la media entre cada uno de los cambio de nivel freático es el de parent analysis.

5. CONCLUSIONES

- ✓ Las variables que más incidieron en el caudal de infiltración en el software seep/w correspondieron, coeficiente de permeabilidad con un caudal de $2.77E-03$ [m³/s], cambios de contorno (dren tipo horizontal) con un caudal de $2.93E-07$, relación hidráulica de $2.84E-07$ [m³/s], condiciones de contorno, en las cuales se destacan cambios en la altura de la lámina de agua $2.77E-07$ [m³/s].Tabla (6).
- ✓ Las condiciones de agua saturada y el coeficiente de compresibilidad (Mv) no presentaron cambios en el caudal de infiltración.
- ✓ La variación con menor porcentaje en los factores de seguridad, es parent analysis, con una variación de 4.56 %, y RU el que más vario con 23.35 %, por lo que lo hace una opción poco práctica. Tabla (12).
- ✓ Cada vez que aumenta un metro la altura de la lámina de agua, se observa una reducción en los factores de seguridad en promedio de 0.0748. Tabla (14), el factor de seguridad tiende a ser crítico cuando se presenta condiciones de niveles freáticos altos.

BIBLIOGRAFÍA

- Abad L., O. Estabilidad de taludes en suelo, curso de geotecnia para infraestructuras. Sevilla. 2004. Disponible en: <http://www.urielyasociados.es/img/formacion/ponencia5.pdf>
- Abramson L. W., Lee T.s., Sharma S. , Boyce G.M. (1996). "Slope stability and stabilization methods". John Wiley and Sons, New York. 1996. 629p.
- Avala J. E., Análisis de estabilidad de taludes. Universidad Nacional de Ingeniería. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/53170729/ANALISIS-DE-ESTABILIDAD-DE-TALUDES#scribd>
- GeoEstudio. (2008). E Stability Modeling Slope/w, Geo-Slope internacional Ltd. Alberta Canadá. 2008. 355p.
- GeoEstudio. (2008). Seepage Modeling with SEPP/W 2007, Geo-Slope International Ltd. Alberta Canada. 2008. 305p.
- Gerald A. L. Manual de estabilidad de taludes. Escuela Colombiana de ingeniería. 1985.
- Gómez Navarro. J. L y Aracil J. J. Saltos de agua y presas de embalse. Madrid, Tipografía Artística. 1944. 896p.
- Hidroestudios . "Estudio de factibilidad para el control de la erosión en la meseta de Bucaramanga". 1968. 42p. Disponible en: https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBwQFjAAahUKEwiU95n278XHAhWDbR4KHdZiC9M&url=http%3A%2F%2Fwww.erosion.com.co%2Fpresentaciones%2Fcategory%2F14-libro-deslizamientos-y-estabilidad-de-taludes-en-zonas-tropicales-jaime-suarez.html%3Fdownload%3D139%3A187-7-lluviaspresiondeporosysusefectos&ei=mzvdVdS9EoPbedbFrZgN&usg=AFQjCNHYFHbEgocQppfw9awNu_PJCAwflA&sig2=yAhyvTBC4wxEmjyz-xoskA
- Castillrjo C. A. "Análisis comparativo de los métodos de estabilidad de taludes y su control", parte I. Trabajo de ascenso. Universidad Central de Venezuela. Caracas. 1993. 517p.

- López P. G. Introducción a la modelización de redes de flujo mediante el uso del programa seep/w. Universidad de Córdoba. Disponible en: http://www.academia.edu/3425152/Introducci%C3%B3n_a_la_modelizaci%C3%B3n_de_Redde_de_Flujo_mediante_el_Programa_Seep_2007.
- Marsal, R. Presas de tierra y enrocamiento. México. Ed. Limusa. 1983. Disponible en: <http://www.academia.edu/5611165/PRESAS-DE-TIERRA-Y-ENROCAMIENTO>
- Norma sismo resistente NSR-10, (2010). título H, estudios geotécnicos. 2010. Disponible en: http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a_labgeo/labgeo02_p.pdf
- Suarez Jaime. “Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales”. Ingeniería de suelos Ltda .universidad industrial de Santander, Bucaramanga. 1998.
- Villamizar C., A. Diseño de presas pequeñas. United States Department of Interior. 1989. Disponible en : http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/presas_flexibles.pdf

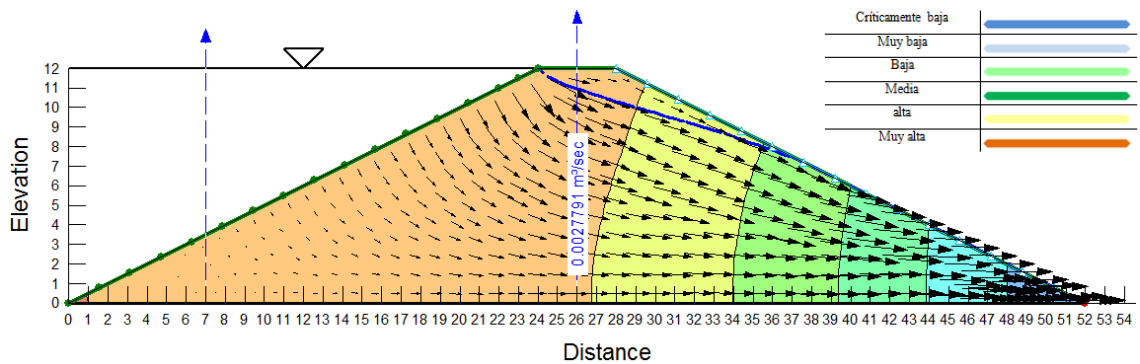
ANEXOS

1. VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (k) [m/s]

1.1 Para valores de $k = 1 * 10^{-3} [m/s]$

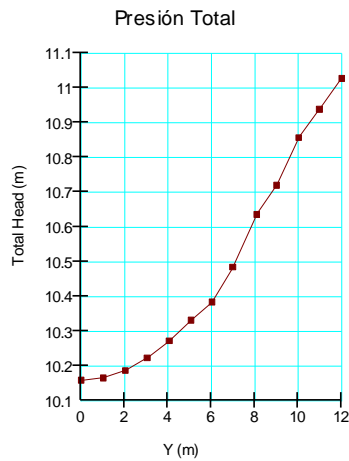
En la figura se muestra el flujo en vectores y las presiones de cabeza total en diferentes colores.

Modelo de flujo en el talud con variación en $k = 1 * 10^{-3}$



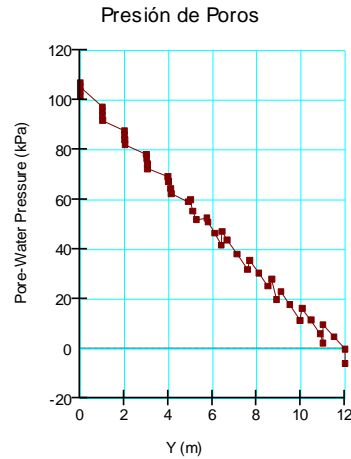
Geostudio, Seep/w (Student).

Presión de Total



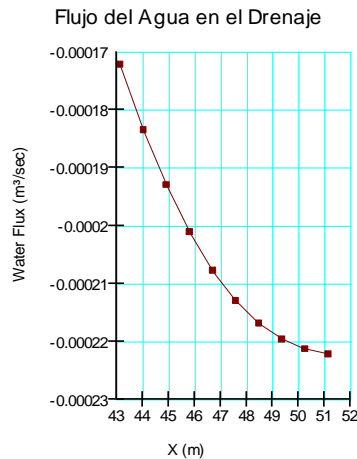
Geostudio, Seep/w (Student).

Presión de poros



Geostudio, Seep/w (Student).

Flujo de agua en el drenaje



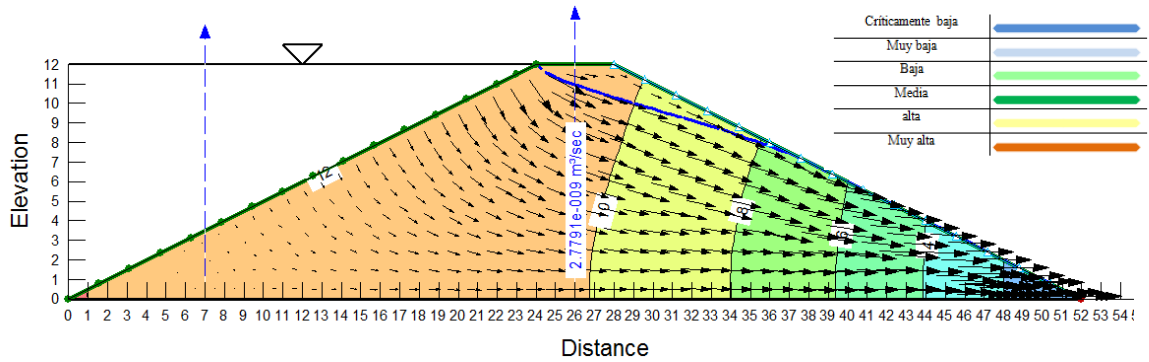
Geostudio, Seep/w (Student).

- El caudal de filtración con $k = 1 * 10^{-3} [m/s]$ es de: $Q = 2.7791 * 10^{-3} [m^3/s]$

1.2 Para valores de $k = 1 * 10^{-9} [m/s]$

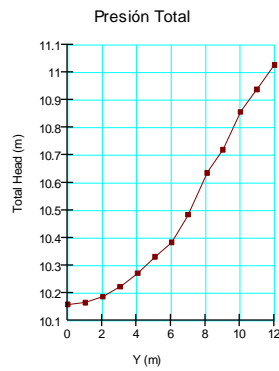
En la figura se muestra el flujo en vectores y las presiones de cabeza total en diferentes colores.

Modelo de flujo en el talud con variación en $k = 1 * 10^{-9}$



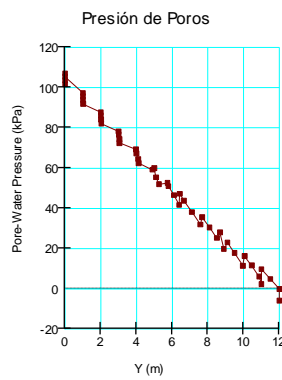
Geostudio, Seep/w (Student).

Presión de Total



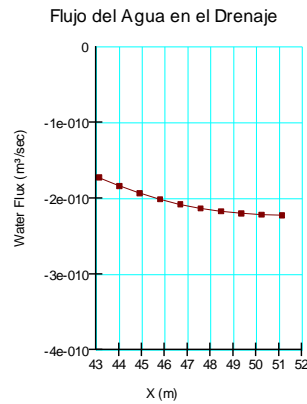
Geostudio, Seep/w (Student).

Presión de poros



Geostudio, Seep/w (Student).

Flujo de agua en el drenaje



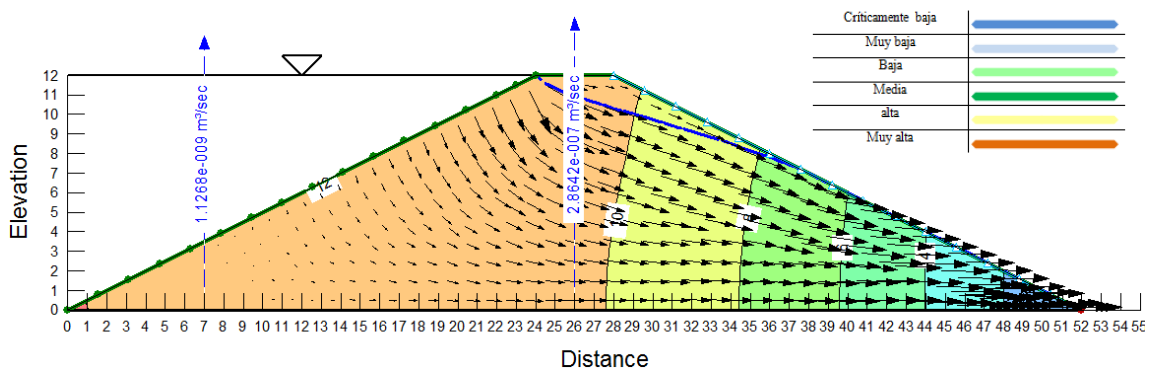
Geostudio, Seep/w (Student).

- El caudal de filtración con $k = 1 * 10^{-9}$ es de: $Q = 2.7791 * 10^{-9} [m^3/s]$

2. RELACIÓN HIDRÁULICA O ANISOTROPÍA (k_y/k_x)

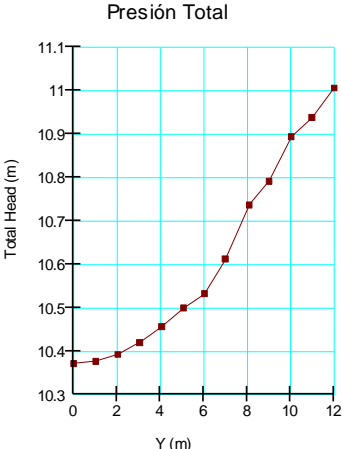
2.1 Para valores de $(k_y/k_x) = 1.5$

Modelo de flujo en el talud con valores de $(k_y/k_x) = 1.5$



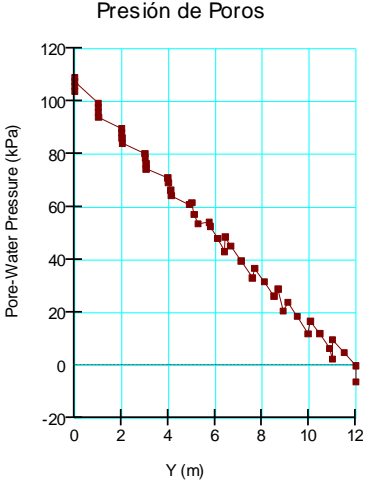
Geostudio, Seep/w (Student).

Presión de Total



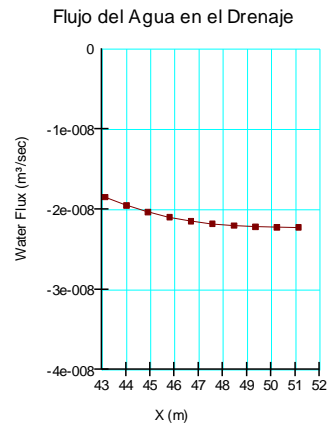
Geostudio, Seep/w (Student).

Presión de poros



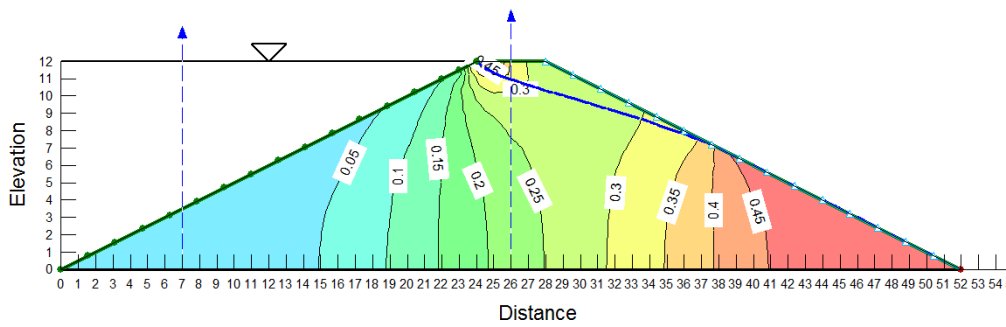
Geostudio, Seep/w (Student).

Flujo de agua en el drenaje



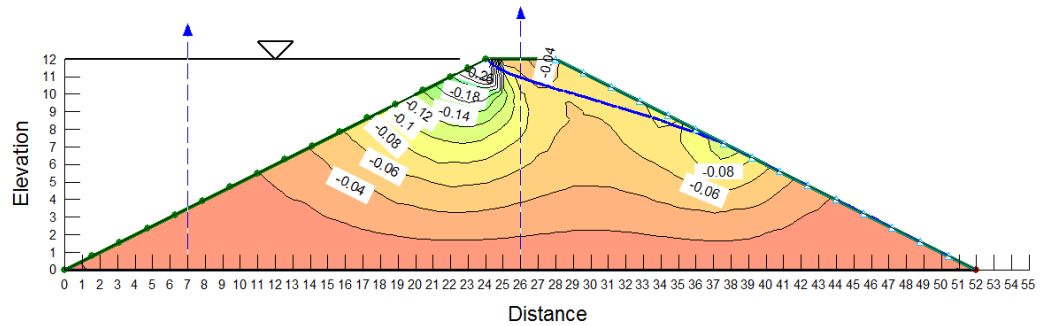
Geostudio, Seep/w (Student).

Modelo de gradiente en x de flujo de agua.



Geostudio, Seep/w (Student).

Modelo de gradiente en y de flujo de agua.

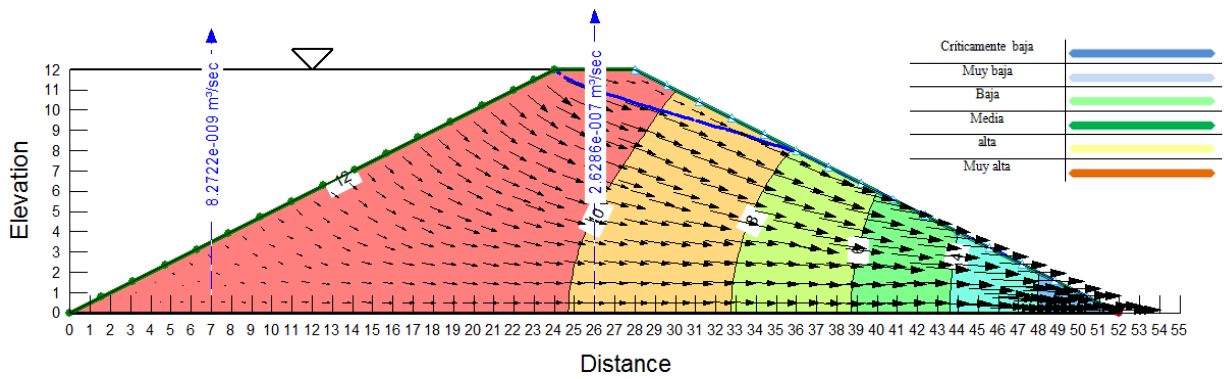


Geostudio, Seep/w (Student).

- El caudal de filtración con $(k_y/k_x) = 1.0$ es de: $Q = 2.8642 * 10^{-7} [m^3/s]$

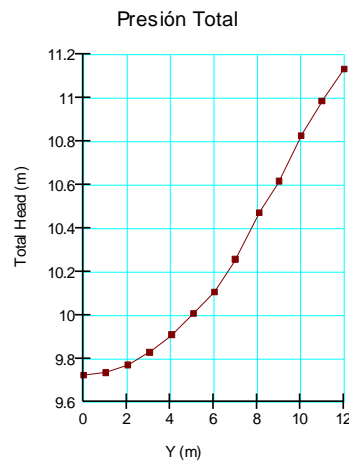
2.2 Para valores de $(k_y/k_x) = 0.5$

Modelo de flujo en el talud con valores de $(k_y/k_x) = 0.5$



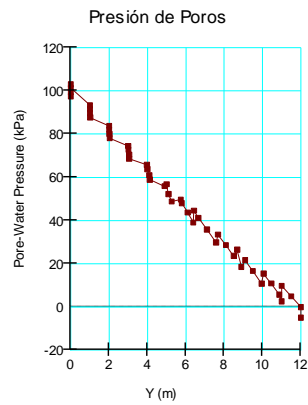
Geostudio, Seep/w (Student).

Presión de Total



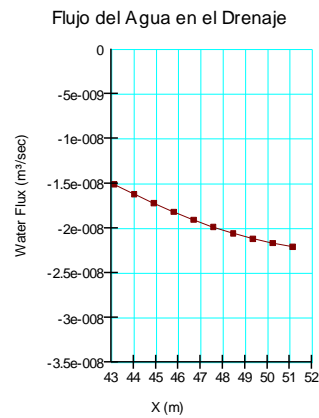
Geostudio, Seep/w (Student).

Presión de poros



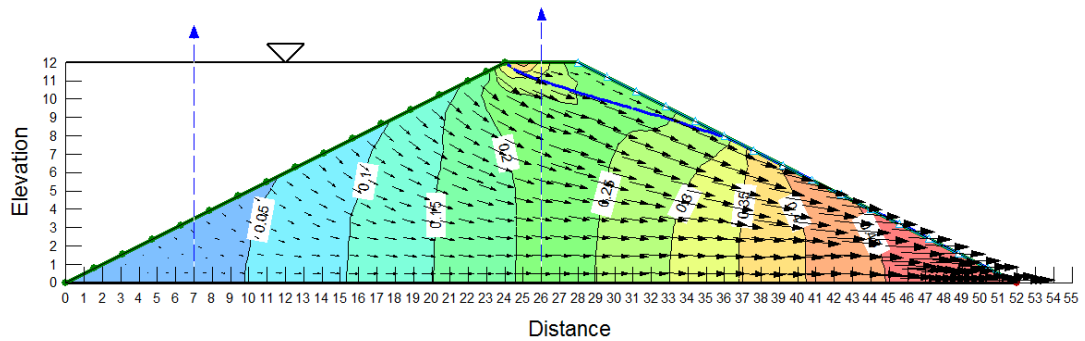
Geostudio, Seep/w (Student).

Flujo de agua en el drenaje



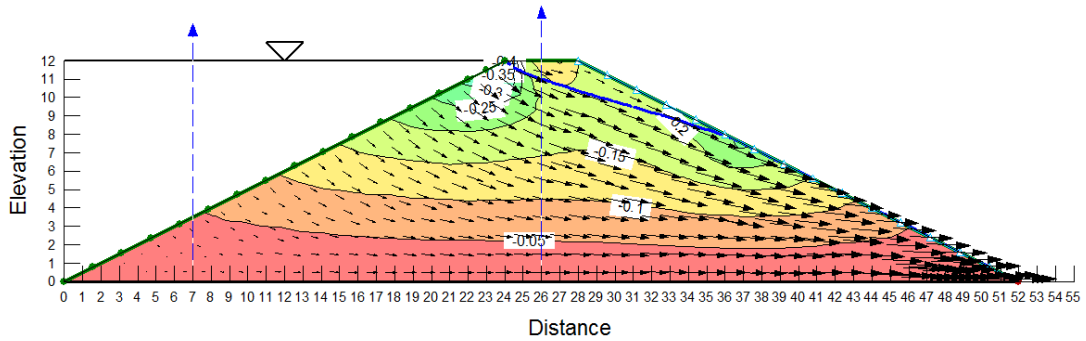
Geostudio, Seep/w (Student).

Modelo de gradiente en x de flujo de agua.



Geostudio, Seep/w (Student).

Modelo de gradiente en x de flujo de agua.



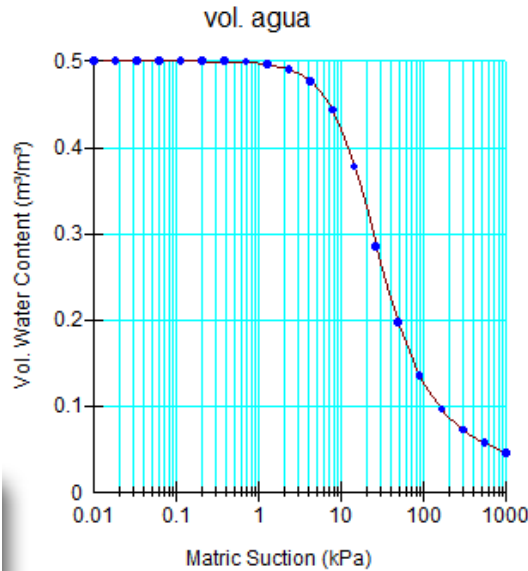
Geostudio, Seep/w (Student).

- El caudal de filtración con $(k_y/k_x) = 0.5$ es de: $Q = 2.6286 * 10^{-7} [m^3/s]$

3 TIPO DE SUELO

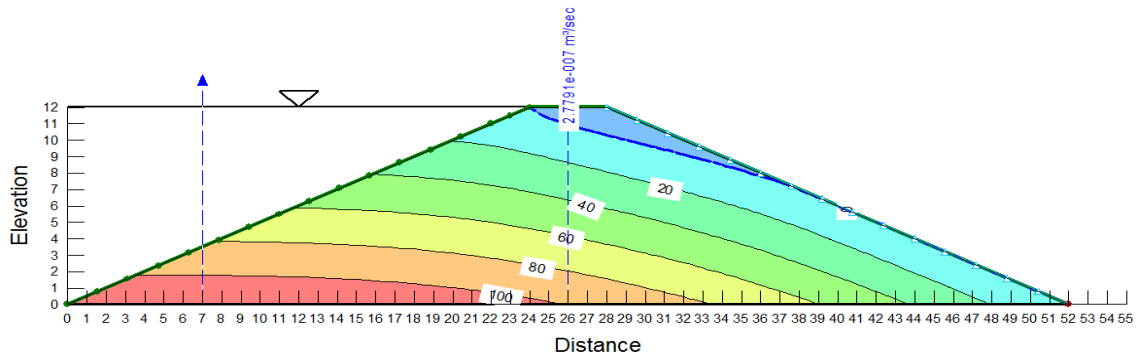
3.1 Suelo tipo Limo

Relación Succión matricial vs Volumen de agua



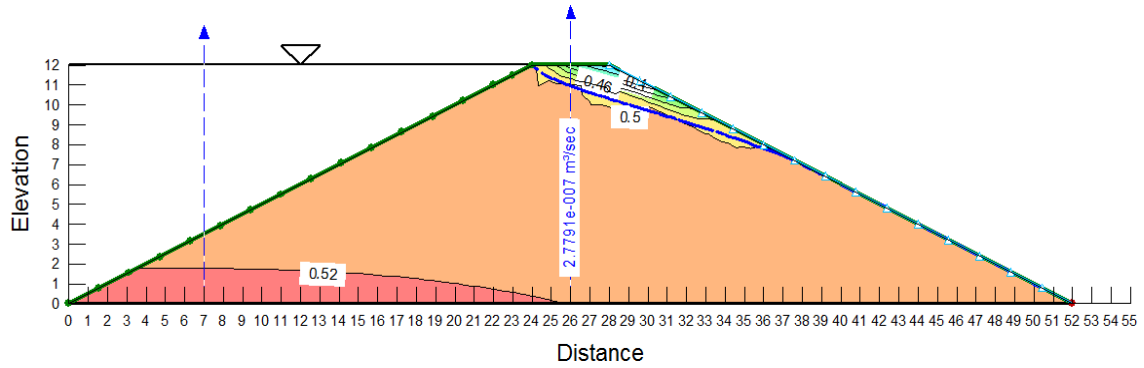
Geostudio, Seep/w (Student).

Modelo de presión de poros para un Limo



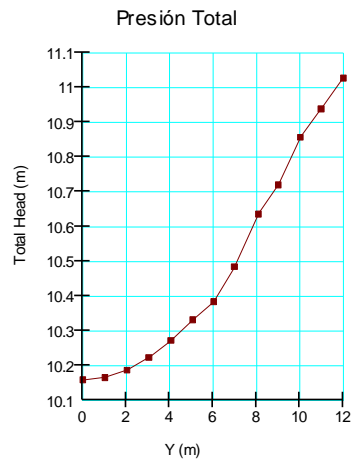
Geostudio, Seep/w (Student).

Modelo de contenido de vol. de agua para un Limo



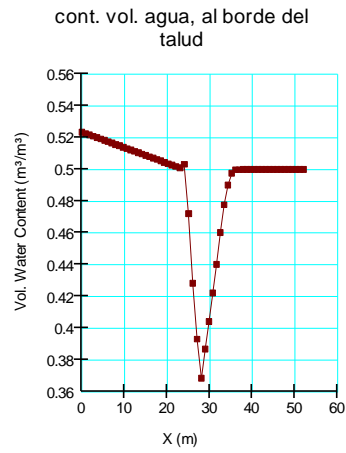
Geostudio, Seep/w (Student).

Presión Total



Geostudio, Seep/w (Student).

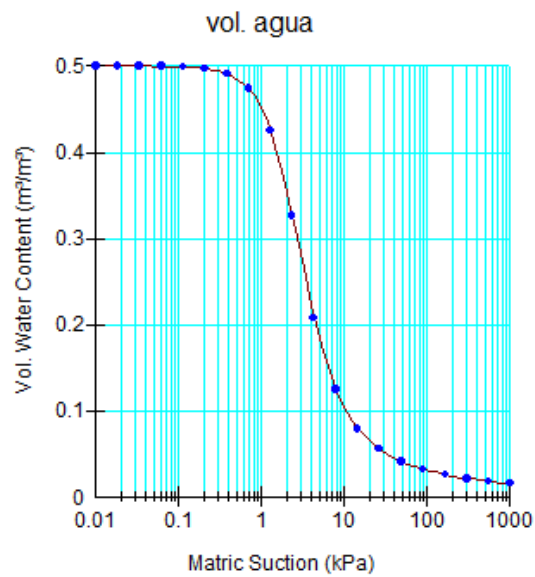
En al borde del talud



Geostudio, Seep/w (Student).

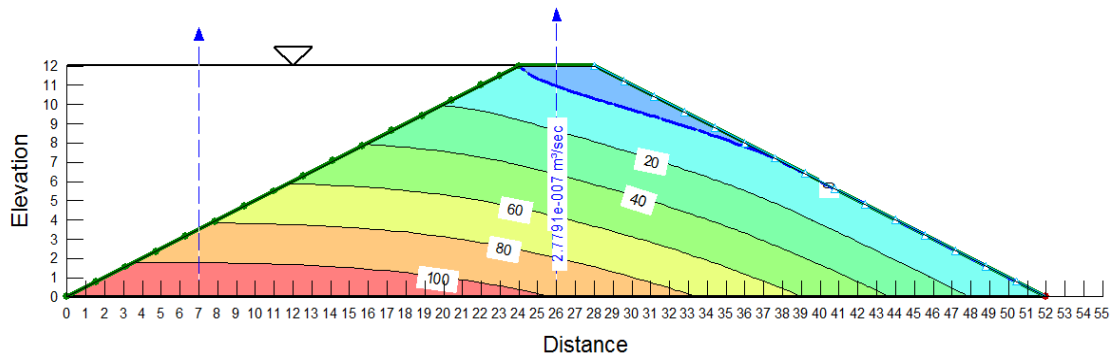
3.2 Suelo tipo Arena

Relación Succión matricial vs Volumen de agua



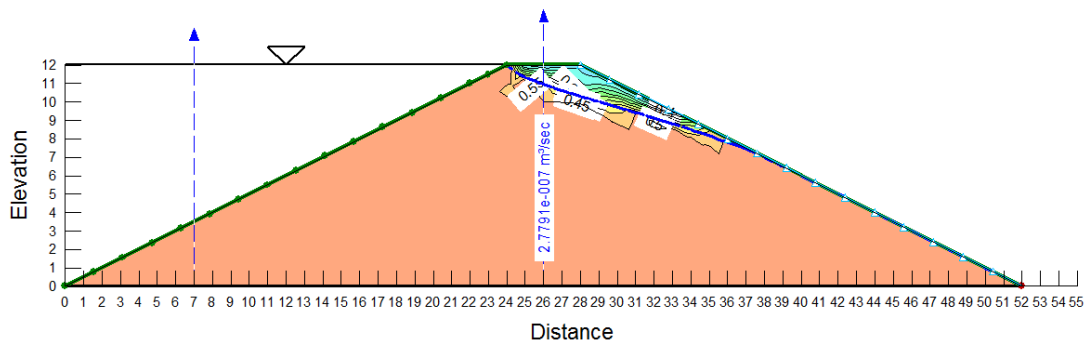
Geostudio, Seep/w (Student).

Modelo de presión de poros para una Arena



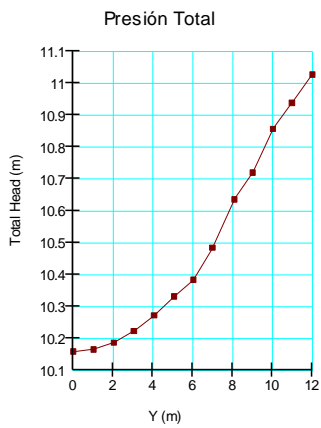
Geostudio, Seep/w (Student).

Modelo de contenido de vol. de agua para una Arena



Geostudio, Seep/w (Student).

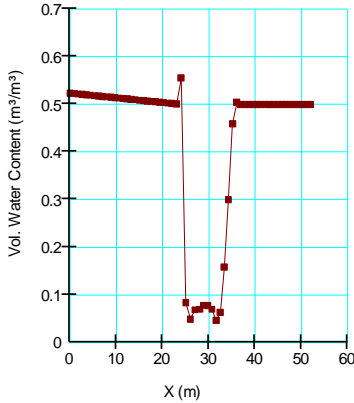
Presión Total



Geostudio, Seep/w (Student).

Fn al borde del talud

cont. vol. agua, al borde del talud



Geostudio, Seep/w (Student).