

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
**Análisis de estabilidad y diseño de berma de contención en
botaderos**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas

Elaborado por

Denys Alonso Valencia Chiroque

 [0009-0001-2963-9233](https://orcid.org/0009-0001-2963-9233)

Asesor

MSc. Adolfo Jesús Chavez Valdivia

 [0000-0003-0625-1495](https://orcid.org/0000-0003-0625-1495)

LIMA – PERÚ

2026

Citar/How to cite	Valencia Chiroque [1]
Referencia/Reference	[1] D. Valencia Chiroque, “ <i>Análisis de estabilidad y diseño de berma de contención en botaderos</i> ” [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2026.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Valencia, 2026)
Referencia/Reference	Valencia, D. (2026). <i>Análisis de estabilidad y diseño de berma de contención en botaderos</i> . [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

*A mis padres: Rosa Chiroque y Pablo Valencia, por su
continuo apoyo en mi formación, enseñanza del valor de
trabajo y la constancia.*

*A mi hermano: Kevin Valencia, por el soporte en la mejora
continua.*

*A mi pareja Sholansh Calixto, por el soporte constante en
mis objetivos personales y profesionales.*

Agradecimientos

Agradezco a mi familia por el soporte constante en mis estudios y superación, a los catedráticos de la UNI por brindarme los conocimientos para ejercer mi profesión, y por ser referentes de éxito.

Resumen

En el presente trabajo de investigación considera realizar análisis de estabilidad a botaderos de desmonte en una unidad minera, para la evaluación de estabilidad se empleó un programa computacional como el Slide, para determinar Factores de Seguridad por medio del equilibrio límite. El propósito es identificar las posibles fallas profundas con menor factor de seguridad de acuerdo con el tipo de material del desmonte, este documento brinda los requerimientos y aplicación de simulación en el software para un análisis de estabilidad.

Como segunda parte de la investigación, de acuerdo con los resultados de la estabilidad, se muestra la simulación de una falla por flujo en el software Dan-W, y con ello determinar el alcance del derrame del material fallado, y con ello proponer una barrera dura de contención, en este caso una berma.

Palabras clave — Estabilidad, análisis, diseño, berma, flujo, contención.

Abstract

This research study considers performing stability analyses on waste rock dumps at a mining facility. Slide, a software program, was used to determine safety factors using limit equilibrium. The purpose of this stability assessment is to identify potential deep failures with the lowest safety factor according to the type of waste rock. This document provides the requirements and application of simulation in the software for stability analysis.

As a second part of the investigation, based on the stability results, a flow failure simulation is presented in Dan-W software. This simulation allows us to determine the extent of the landslide of the failed material and propose a hard containment barrier, in this case a berm.

Keywords — stability, analysis, design, berm, dynamic runout, containment.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xiii
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del problema de investigación	1
1.3 Objetivos del estudio	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos específicos	2
1.4 Antecedentes investigativos	2
1.4.1 Internacionales	2
1.4.2 Nacionales	4
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual	7
2.1 Bases teóricas	7
2.1.1 Tipos de botadero de desmonte	7
2.2 Conceptos de estabilidad de taludes	9
2.2.1 Talud	9
2.2.2 Tipos de taludes	9
2.2.3 El factor de seguridad	9
2.2.4 Análisis de estabilidad	10
2.3 Criterios de rotura	11
2.3.1 Criterio de Mohr Coulomb	11
2.4 Métodos de análisis de estabilidad	13
2.5 Modos de falla	17
2.5.1 Superficial:	17
2.5.2 Profundos	18

2.5.3	Movimientos en masa	19
2.6	Metodología de análisis de Estabilidad Física	20
2.6.1	Metodología de análisis.....	20
2.6.2	Nivel de agua	20
2.6.3	Caracterización de material.....	20
2.6.4	Sismicidad.....	21
2.7	Criterios de aceptabilidad	21
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación		25
3.1	Análisis de estabilidad en botaderos	25
3.1.1	Flujograma de análisis de estabilidad en botaderos	25
3.1.2	Configuración del modelo.....	25
3.1.3	Configuración del proyecto en el software.....	26
3.1.4	Procedimiento de análisis de estabilidad.....	31
3.2	Análisis de derrame de flujo	36
3.2.1	Flujograma de análisis de derrame de flujo	37
3.2.2	Data Input	37
3.2.3	Análisis.....	42
3.2.4	Data Output.....	44
3.3	Caso real: Estabilidad de botaderos.....	47
3.4	Caso real: Diseño de berma.....	53
Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados		61
Conclusiones		63
Recomendaciones		65
Referencias bibliográficas.....		66
Anexos		67

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Características de ubicación de los botaderos	3
Tabla 2: Tabla de resultados de los diseños evaluados	4
Tabla 3: Parámetros de resistencia de los materiales del botadero y suelo de fundación .	4
Tabla 4: Cuadro de características físicas y factores de seguridad.....	5
Tabla 5: Fuerzas en esquema estático – Método Spencer	15
Tabla 6: Criterios de aceptabilidad en base a la consecuencia y fiabilidad	22
Tabla 7: Resultado de FoS	53
Tabla 8: Resumen de FoS Slide	61
Tabla 9: Resumen de FoS	63

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 : Mapa de ubicaciones de los botaderos	3
Figura 2 : Análisis de estabilidad estático para el botadero DSB-1	5
Figura 3 : Tipos de botadero por configuración general	8
Figura 4 : Ejemplo de relleno de Valle (Mina Pierina, Perú)	8
Figura 5 : Ejemplo de Relleno a media ladera, Mina Antamina, Perú.....	8
Figura 6 : Esquema de tipo de desmonte por finalidad	9
Figura 7 : Fuerzas estabilizadoras del terreno y desestabilizadoras	10
Figura 8 : Ejemplo de falla de talud por inestabilidad	10
Figura 9 : Criterio de Mohr Coulumb	11
Figura 10: Esquema estático – Método Spencer.....	15
Figura 11: Esquema estático – Método Morgenstern – Price	16
Figura 12: Función Half – sine	17
Figura 13: Esquemas de fallas superficiales	18
Figura 14: Esquema de fallas profundas.....	19
Figura 15: Flujograma de análisis de estabilidad de botaderos.....	25
Figura 16: Cuadro de Project Settings	26
Figura 17: Cuadro de configuración de escenarios	27
Figura 18: Cuadro de configuración de Métodos de análisis	27
Figura 19: Secuencia para importar dxf	28
Figura 20: Asignación de capas de acuerdo con el material	28
Figura 21: Cuadro de definición de materiales en el modelo	29
Figura 22: Proceso de asignación de materiales.....	29
Figura 23: Proceso de definición de límites en el modelo	30
Figura 24: Ajuste de definición de límites de modelo	30
Figura 25: Proceso de Opciones de superficie de falla	31
Figura 26: Cuadro de opciones de superficie de falla	32

Figura 27: Esquema de definición de búsqueda Rankine	32
Figura 28: Ubicación de bloques en modelos no circulares.....	33
Figura 29: Ubicación de bloques en modelos no circulares con fundación cercana	33
Figura 30: Cuadro de opciones de superficie circular.....	34
Figura 31: Ubicación de bloque de búsqueda en falla circular	34
Figura 32: Proceso de configuración de tabla de agua	35
Figura 33: Límites de wáter table en modelo	35
Figura 34: Proceso de configuración de carga sísmica	36
Figura 35: Flujograma de análisis de derrame de flujo.....	37
Figura 36: Esquema de datos de ingreso en DAN-W.....	38
Figura 37: Cuadro de control de propiedades	38
Figura 38: Cuadro de edición de materiales.....	40
Figura 39: Cuadro de asignación de materiales	41
Figura 40: Cuadro de formato de archivos TOP y PATH.....	41
Figura 41: Cuadro de ejemplo de opción SPLINE.....	42
Figura 42: Cuadro de control de Corrida.....	43
Figura 43: Cuadro de reporte final de simulación.....	45
Figura 44: Sección perpendicular a la cara del talud.....	47
Figura 45: Dxf de sección configurado para importar al SLIDE	47
Figura 46: Cuadro de asignación de materiales	48
Figura 47: Cuadro de configuración de proyecto.....	48
Figura 48: Cuadro de definición de propiedades de materiales.....	49
Figura 49: Modelo con límites de búsqueda de falla	49
Figura 50: Ubicación de bloque en fallas circulares	50
Figura 51: FoS Falla Circular – Estático.....	50
Figura 52: FoS Falla Circular - Pseudoestático	51
Figura 53: Ubicación de bloque en fallas no circulares	51
Figura 54: FoS Falla No Circular - Estático	52

Figura 55: FoS Falla No Circular - Pseudoestático	52
Figura 56: Búsqueda de fallas superficiales potenciales	53
Figura 57: Elección de falla crítica	54
Figura 58: Sección de análisis considerando falla crítica	54
Figura 59: Perfil de análisis en el software Dan -W	55
Figura 60: Sección de análisis ingresado al software DAN-W para simulación	55
Figura 61: Resultado de análisis de flujo para dovelas en posición normal a la superficie de falla	56
Figura 62: Resultado de análisis de flujo para dovelas en posición vertical a la superficie de falla	56
Figura 63: Reporte de análisis de flujo a la superficie de falla.	57
Figura 64: Edición de modelo considerando una berma de contención de 10 m.	57
Figura 65: Modelo en DANW considerando una berma de contención de 10 m.	58
Figura 66: Resultado de análisis de flujo para dovelas en posición vertical a la superficie de falla	58
Figura 67: Reporte de análisis de flujo para dovelas en posición normal a la superficie de falla.	59
Figura 68: Resultado de análisis de flujo para dovelas en posición vertical a la superficie de falla	59
Figura 69: Reporte de análisis de flujo para dovelas en posición vertical a la superficie de falla	60

Introducción

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo Formular una alternativa de secuencia de cálculo de análisis de estabilidad en botaderos y dimensionamiento de barrera de contención, teniendo en cuenta las guías internacionales vigentes y las características requeridas por la unidad minera.

El desarrollo de la presente investigación está estructurado en cuatro capítulos, descritos a continuación:

En el primer capítulo, se describe la problemática de la investigación para la formulación del problema, a partir de ello establecemos nuestro objetivo general, objetivos específicos y describimos los antecedentes investigativos.

En el segundo capítulo se comprende del marco teórico y marco conceptual, en el primero se describe los temas más importantes para el desarrollo de la investigación como

los conceptos de estabilidad de taludes, criterios de rotura, modelos de análisis de estabilidad, modos de falla, metodología de estabilidad física, criterios de aceptabilidad

En el tercer capítulo comprende el desarrollo del trabajo de investigación, en donde se realiza la descripción de los pasos a considerar en el proceso de análisis de estabilidad de botaderos y diseño de berma de contención, para luego realizar el procesamiento de estos datos y elaborar tablas y gráficos que nos permitan realizar el análisis de la investigación.

En el cuarto capítulo se realiza el análisis y discusión de los resultados, en donde podemos analizar los resultados obtenidos y validar la secuencia a considerar en los análisis.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

En la minería como parte de las actividades principales, el minado del tajo requiere un abastecimiento de acuerdo con sus características y valor, estos pueden ser depositados en grandes volúmenes de material de desmonte producto de la extracción del mineral. Estos depósitos o botaderos deben ser diseñados con el fin de asegurar la estabilidad del terreno, así como otras componentes como el drenaje, cumplir normativa ambiental y entre otros.

Y como parte de esta gestión de botaderos, un adecuado proceso de análisis de estabilidad es fundamental para la aprobación y ejecución del botadero, estos deben cumplir los factores de seguridad de acuerdo con los criterios de aceptabilidad que le corresponden.

También se debe tomar en cuenta una medida de prevención, si existiese una probable falla en su construcción o haya infraestructuras propensas en el alcance de un derrame de flujo.

1.2 Descripción del problema de investigación

Para poder realizar los análisis de estabilidad, existen diferentes metodologías para poder calcular los Factores de seguridad, llegando a calcular escenarios demasiado conservadores o subestimados por la falta de información en el modelamiento.

Uno de los factores que se identifica es no conocer las etapas de desarrollo hasta lograr los resultados del modelamiento, como escoger adecuadamente las secciones de análisis, parámetros empleados, consideraciones para el nivel de agua, que criterios de aceptabilidad corresponden, entre otros.

Además de que esto tiene una relación directa con el tiempo, costo y seguridad del proyecto a analizar, ya que estos requieren de una planificación, ejecución, hasta monitoreo para validar la estabilidad.

Es por ello de la importancia de realizar un correcto secuenciamiento de realizar los análisis, parámetros y metodología en nuestro proyecto.

Se debe entender la importancia del correcto flujo de actividades para lograr un adecuado análisis, ya que desestimar algunas consideraciones se puede llegar a tener pérdidas en todo su aspecto.

También al no contar con una medida de protección hacia una alguna infraestructura, es perjudicial por los daños materiales o personales que puedan darse.

De lo descrito, este documento busca brindar estas metodologías de análisis que funciona en los botaderos de una unidad minera.

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general

Formular una alternativa de secuencia de cálculo de análisis de estabilidad en botaderos y dimensionamiento de barrera de contención.

1.3.2 Objetivos específicos

Formular una alternativa de secuencia de cálculo de análisis de estabilidad en botaderos para el cálculo del valor del factor de seguridad.

Determinar el dimensionamiento de una barrera de contención ante un flujo en un botadero.

1.4 Antecedentes investigativos

1.4.1 Internacionales

Chamorro, Matías (2019), "Evaluación de la estabilidad pseudoestática para botaderos apoyados sobre laderas coluviales considerando un evento sísmico severo, ubicado en la mina Chepica, Región del Maule." Realizó un estudio para evaluar:

- Conocer las pendientes de las fundaciones en las laderas naturales
- Estabilidad pseudo estática en botaderos mineros
- Ajustar diseño de acuerdo con resultados de estabilidad

Para lo cual en el documento realizaron 7 modelos de botaderos, estos distribuidos en diferentes lugares con diferentes pendientes, y a estos le realizaron un análisis de

estabilidad en condiciones estáticas y en condiciones pseudo estáticas para conocer los factores de seguridad.

Tabla 1

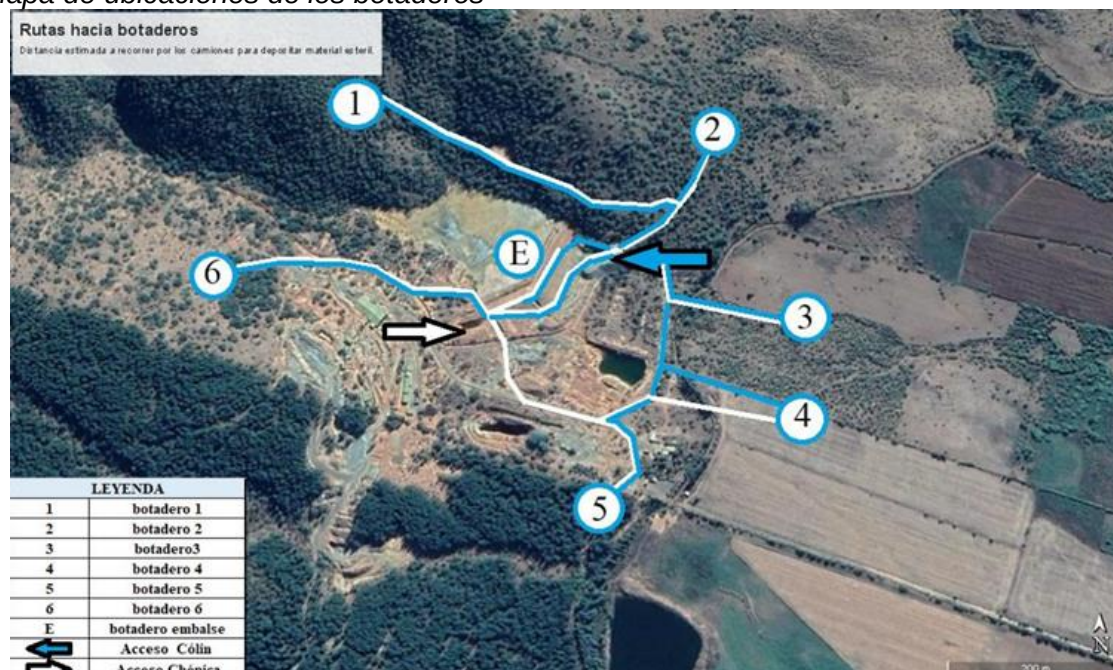
Características de ubicación de los botaderos

Nombre	Pendiente	Tipo	Distancia a Colin (m)	Distancia a Chépica I (m)	Distancia media (m)
Botadero 1	25-35%	Ladera	530	730	630
Botadero 2	30-35%	Ladera	228	430	329
Botadero 3	5-10%	Plano	440	630	508.5
Botadero 4	0-5%	Plano	478	555	496.5
Botadero 5	10-15%	Plano	463	366	414.5
Botadero 6	30-35%	Ladera	547	369	458
Refuerzo embalse	0-5%	Ladera	180	164	172

Nota: Chamorro, Matías (2019), "Evaluación de la estabilidad pseudoe estática para botaderos apoyados sobre laderas coluviales considerando un evento sísmico severo, ubicado en la mina Chépica, Región del Maule."

Figura 1

Mapa de ubicaciones de los botaderos



Nota: Fuente Google Maps.

Posteriormente a los análisis realizados identificaron el modelo con mejores condiciones de fundación, material, drenaje, sismicidad, entre otros para la elección del modelo con mejores resultados de estabilidad.

Tabla 2*Tabla de resultados de los diseños evaluados*

Nombre	Tipo	FS	Pendiente %	Distancia	Total	Prioridad
Botadero 1	Ladera	3.8	4	4	3.9	7°
Botadero 2	Ladera	3.8	3	7	4.6	5°
Botadero 3	Plano	6.3	5	6	5.8	1°
Botadero 4	Plano	5.5	7	5	5.8	2°
Botadero 5	Plano	5	5	6	5.3	3°
Botadero 6	Ladera	2	2	5	3	6°
Refuerzo embalse	Ladera	4.8	6	5	5.3	4°

Nota: Chamorro, Matías (2019), “Evaluación de la estabilidad pseudoestática para botaderos apoyados sobre laderas coluviales considerando un evento sísmico severo, ubicado en la mina Chepica, Región del Maule.”

Luego de las conclusiones, el documento en mención brinda recomendaciones como tener mayor conocimiento de las propiedades de materiales a considerar en el modelo, tener claro la fundación sobre donde va a ir depositado el relleno para ello se deber realizar calicatas y su registro, ejemplo en Anexo 1 y Anexo 2, al igual que la zona de sismicidad y nivel de agua en el sector.

1.4.2 Nacionales

Acuña, Robert (2020), “Análisis geotécnico para la estabilidad de las desmonteras DSB1 y DSB2, Santa Bárbara, Huancavelica 2019”. Realizó un estudio para evaluar:

- Describir las deformaciones geológicas de la zona de investigación.
- Realizar el diseño de estabilidad física de las desmonteras.

Con respecto a este documento se realizó una caracterización de los materiales y sus condiciones, para ello se resume en el siguiente cuadro:

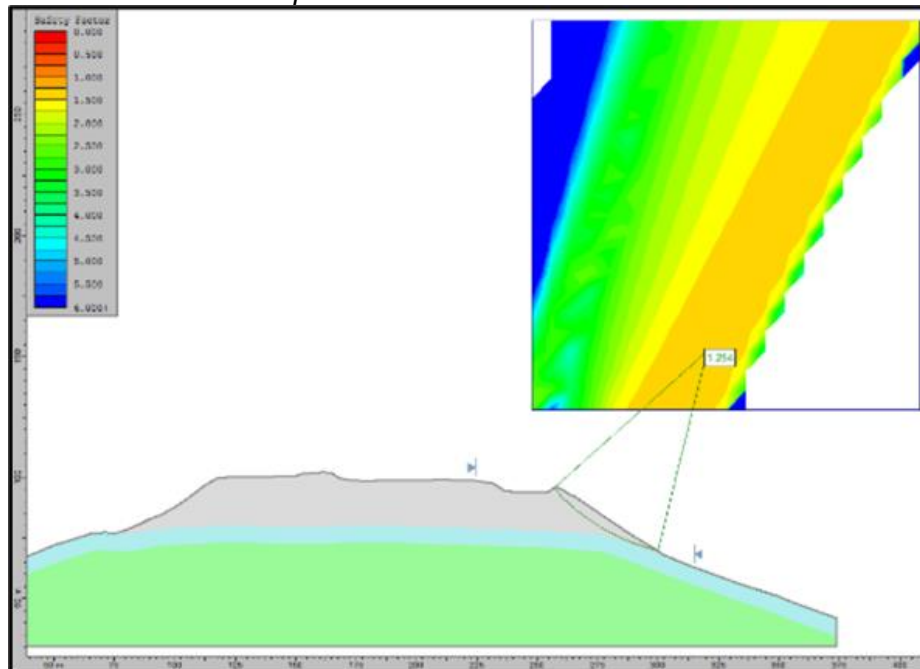
Tabla 3*Parámetros de resistencia de los materiales del botadero y suelo de fundación*

Depósito	Material		γ (Kg/m ³)	c (Kg/m ²)	ϕ (°)
DSB-1	Desmonte	SP-SM	17	5	33
	Grava arcillosa	GC	18	5	34
	Roca	----	23	200	40

Nota: Chamorro, Matías (2019), “Evaluación de la estabilidad pseudoestática para botaderos apoyados sobre laderas coluviales considerando un evento sísmico severo, ubicado en la mina Chepica, Región del Maule.”

Figura 2

Análisis de estabilidad estático para el botadero DSB-1



Nota: Chamorro, Matías (2019), "Evaluación de la estabilidad pseudoestática para botaderos apoyados sobre laderas coluviales considerando un evento sísmico severo, ubicado en la mina Chepica, Región del Maule."

Pero cuando se calculó los valores de factores de seguridad en condiciones pseudoestáticas, no cumplieron los criterios de aceptabilidad, lo por cual se propuso una mejora al diseño analizo y se sugirió un corte y relleno con un talud general de 2H:1V.

En base a este ajuste se realizó la nueva evaluación de estabilidad, teniendo los siguientes resultados:

Tabla 4

Cuadro de características físicas y factores de seguridad

Depósito	Talud (H:V)	Ancho de banquetas (m)	Altura de banco (m)	Factor de seguridad (F.S)	
				Estático	Pseudoestático
Situación actual					
DSB-1 (talud derecho)	----	----	----	1.25	0.89
DSB-1 (talud izquierdo)	----	----	----	1.4	0.99
Situación proyectada (recomendada)					
DSB-1 (talud derecho)	2:01	----	20	1.5	1.03
DSB-1 (talud izquierdo)	2:01	----	22	1.67	1.13

Nota: Chamorro, Matías (2019), "Evaluación de la estabilidad pseudoestática para botaderos apoyados sobre laderas coluviales considerando un evento sísmico severo, ubicado en la mina Chepica, Región del Maule."

El mismo ejercicio se realizó para el DSB2, en el cual el diseño original no cumplió con los criterios de aceptabilidad, entonces se propuso un diseño recomendado que cumpla los factores de estabilidad.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Bases teóricas

Botaderos:

Los botaderos son acumulaciones de material estéril o de contenido mineral de bajo rendimiento económico que son apilados en montones fuera del área de proceso. Es necesario considerar un control geotécnico y conocer los riesgos que implica su construcción.

2.1.1 Tipos de botadero de desmonte

- Por configuración general y limitación topográfica (Wahler 1979):

Relleno de valles:

Son botaderos que se desarrollan total o parcialmente rellenando valles. El aspecto más importante en este tipo de botaderos es la prevención de los embalses de agua en la cabecera de los valles.

Relleno a través de valles:

Este tipo de botaderos es una variante del relleno de valles. Se caracteriza porque su construcción se realiza de un extremo a otro de un valle atravesando los drenajes.

Relleno a media ladera:

Son botaderos contruidos sobre terrenos inclinados que no bloquean ningún cauce de agua o cualquier sistema de drenaje.

Relleno desde la cresta de la montaña:

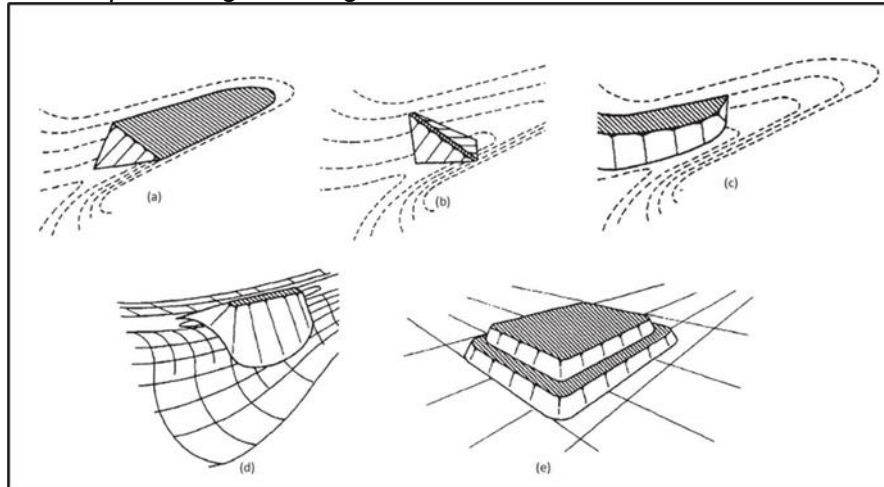
Es un caso especial de rellenos de media ladera, el crecimiento del botadero se realiza desde las líneas de cresta en ambas direcciones.

Relleno en acopios:

Son las llamadas pilas que consisten en amontonamientos de material de desmonte con taludes formados en todas las direcciones.

Figura 3

Tipos de botadero por configuración general



Nota: Mark Hawley, John Cuning (2017). Guidelines for Mine Waste Dump and Stockpile Design

Figura 4

Ejemplo de relleno de Valle (Mina Pierina, Perú)



Nota: Mark Hawley, John Cuning (2017). Guidelines for Mine Waste Dump and Stockpile Design

Figura 5

Ejemplo de Relleno a media ladera, Mina Antamina, Perú

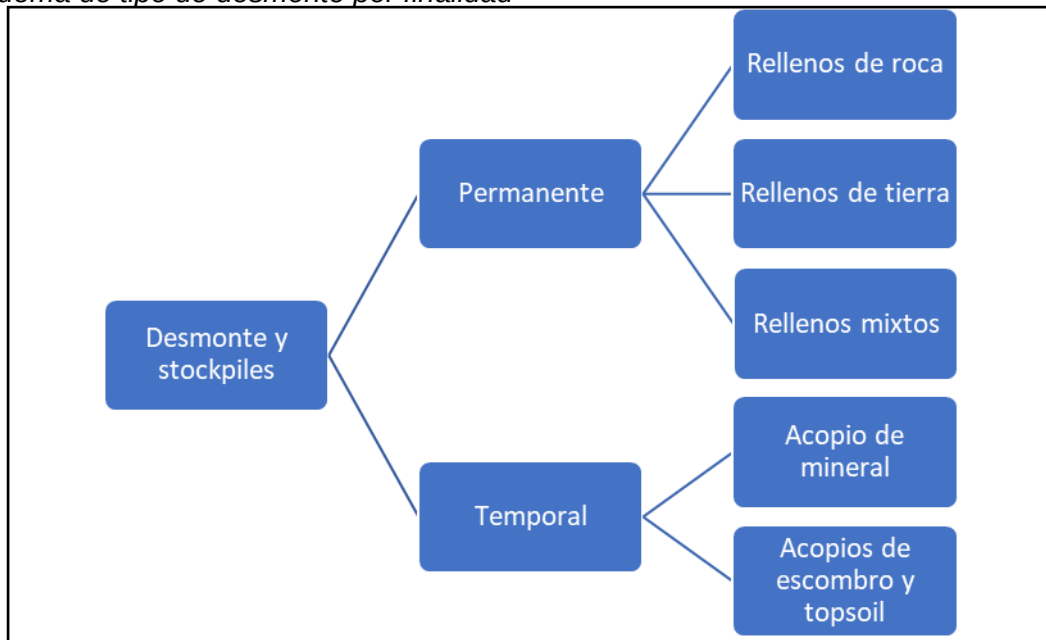


Nota: Mark Hawley, John Cuning (2017). Guidelines for Mine Waste Dump and Stockpile Design

- Por finalidad:

Figura 6

Esquema de tipo de desmonte por finalidad



Nota: Mark Hawley, John Cuning (2017). Guidelines for Mine Waste Dump and Stockpile Design

2.2 Conceptos de estabilidad de taludes

2.2.1 Talud

Este término se determina como cualquier zona con pendiente que confina una pendiente de suelo y/o roca. Siendo así naturales como artificiales.

2.2.2 Tipos de taludes

▪ **Naturales:**

Son formados por la naturaleza a través de la historia geológica, conocidos generalmente como laderas.

▪ **Artificiales:**

Necesitan de la intervención del hombre y son ejecutados para construir carreteras, represas ferrocarriles, etc.

2.2.3 El factor de seguridad

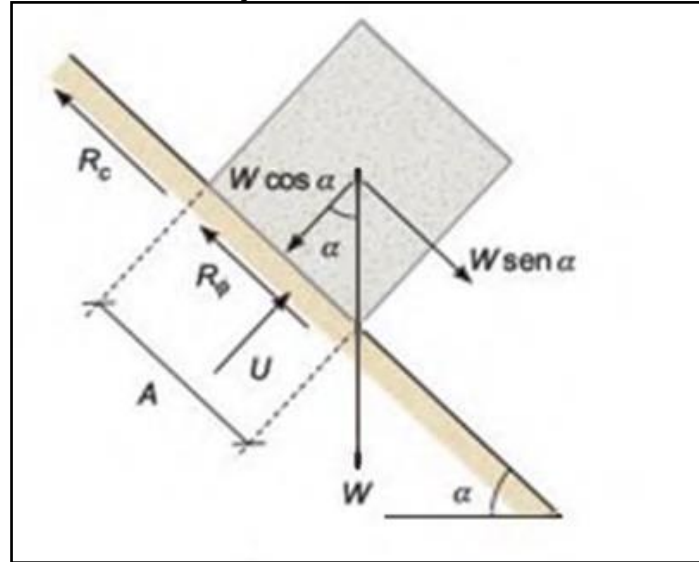
El fenómeno de inestabilidad de laderas y taludes se presenta a través de una superficie de rotura donde se ha rebasado la resistencia cortante del material, y para que

nosotros podamos evaluar si una ladera o talud es estable, utilizamos un término que se llama factor de seguridad.

Expresa la relación entre las fuerzas estabilizadoras del terreno y las desestabilizadoras.

Figura 7

Fuerzas estabilizadoras del terreno y desestabilizadoras



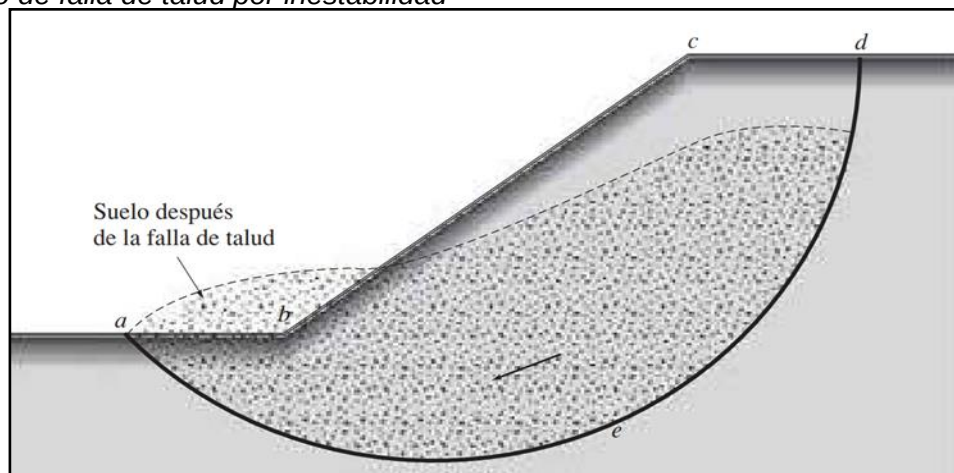
Nota: Fuente elaboración propia.

2.2.4 Análisis de estabilidad

Esto se aplica al diseño o cuando se presentan problemas de inestabilidad. En caso de taludes inestables, los análisis permiten diseñar las medidas de corrección o estabilización adecuada para evitar una falla.

Figura 8

Ejemplo de falla de talud por inestabilidad



Nota: Fuente elaboración propia.

2.3 Criterios de rotura

La resistencia de la matriz rocosa isótropa se puede evaluar mediante los criterios de rotura de Mohr – Coulomb y de Hoek y Brown. La principal diferencia entre ambos es que el primero es un criterio lineal y el segundo no lineal, más adecuado al comportamiento mecánico real de las rocas. A lo largo de las últimas décadas otros criterios de rotura han sido desarrollados por diferentes autores, generalmente con menor difusión y aplicación. Sheorey (1997) recoge en detalle los principales criterios de rotura existentes en la literatura sobre mecánica de rocas. El criterio de Griffith de 1921 (Jaeger y Cook, 1979; Paterson, 1978), desarrollado en base al estudio del cristal y del acero, es un clásico en mecánica de rocas; a pesar de que no es adecuado para su aplicación al material rocoso, ha sido muy útil para el estudio de la influencia de las micro fisuras preexistentes en la rotura a tracción del material.

2.3.1 Criterio de Mohr Coulomb

Este criterio expresa la resistencia al corte a lo largo de un plano en un estado triaxial de tensiones, obteniéndose la relación entre los esfuerzos normal y tangencial actuantes en el momento de la rotura mediante la expresión matemática:

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi \quad (1)$$

Donde:

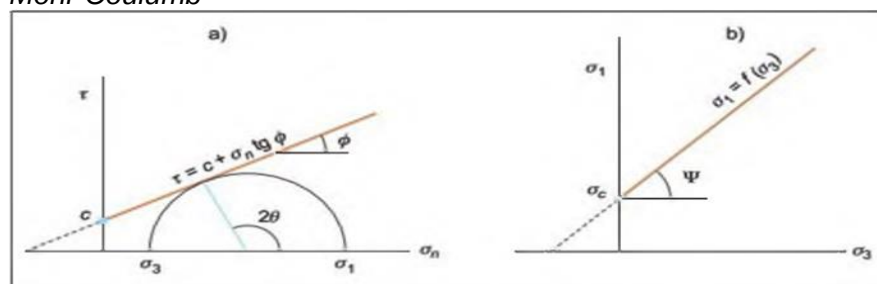
τ y σ_n = Son las tensiones tangencial y normal sobre el plano de rotura.

c y ϕ = Son la cohesión y ángulo de rozamiento de la matriz rocosa.

El criterio puede expresarse igualmente en función de los esfuerzos principales σ_1 y σ_3

Figura 9

Criterio de Mohr Coulomb



Nota: Fuente elaboración propia.

$$\sigma_1 = \frac{2c + \sigma_3 [\sin 2\theta + \tan \phi (1 - 2\cos \theta)]}{\sin 2\theta - \tan \phi (1 + \cos 2\theta)} \quad (2)$$

Permitiendo obtener la resistencia en cualquier plano definido por θ . Para el plano crítico de rotura, $\theta = 45^\circ + \phi/2$, la expresión anterior tomará la forma:

$$\sigma_1 = \frac{2c \cos \phi + \sigma_3 (1 + \sin \phi)}{1 - \sin \phi} \quad (3)$$

Si se da la condición $\sigma_3 = 0$, σ_1 será la resistencia a compresión simple de la roca:

$$\sigma_1 = \sigma_c = \frac{2c \cos \phi}{1 - \sin \phi} \quad (4)$$

El criterio también proporciona el valor de la resistencia a tracción.

$$\sigma_1 = \frac{2c \cos \phi}{1 + \sin \phi} \quad (5)$$

El criterio de Mohr-Coulomb implica que tiene lugar una fractura por corte al alcanzarse la resistencia de pico del material. La gran ventaja de este criterio es su sencillez. Sin embargo, presenta inconvenientes debido a que:

- Las envolventes de la resistencia en roca no son lineales; se ha comprobado experimentalmente que la resistencia de las rocas aumenta menos con el incremento de la presión normal de confinamiento que lo obtenido al considerar una ley lineal, lo que puede implicar errores al considerar los esfuerzos actuantes, sobre todo en zonas de bajos esfuerzos confinantes.
- La dirección del plano de la fractura según este criterio no siempre coincide con los resultados experimentales.
- El criterio sobrevalora la resistencia a la tracción.

Este criterio expresa la resistencia al corte a lo largo de un plano en un estado triaxial de tensiones, obteniéndose la relación lineal entre los esfuerzos normal y tangencial actuantes en el momento de la rotura.

Las rocas, a diferencia de los suelos, presentan un comportamiento mecánico no lineal, por lo que los criterios de rotura lineales, a pesar de la ventaja de su simplicidad, no

son muy adecuados en cuanto que pueden proporcionar datos erróneos a la hora de evaluar el estado de deformaciones de la roca, sobre todo para estados tensionales bajos.

2.4 Métodos de análisis de estabilidad

▪ Métodos determinísticos:

Indican si el talud es o no estable. Consiste en seleccionar los valores adecuados de los parámetros físicos y resistentes para definir el estado de estabilidad o el factor de seguridad del talud. Existen dos grupos: métodos de equilibrio límite y métodos tenso - deformacionales.

▪ Métodos probabilísticos:

Consideran la probabilidad de rotura de un talud bajo unas condiciones determinadas. Es necesario conocer las funciones de distribución de los diferentes valores considerados como variables aleatorias en los análisis (mayor dificultad, por la gran cantidad de datos necesarios). Se obtienen las funciones de densidad de probabilidad y distribución de probabilidad del factor de seguridad, y curvas de estabilidad del talud.

Métodos de equilibrio límite

Analizan el equilibrio de una masa potencialmente inestable y consisten en comparar las fuerzas tendentes al movimiento con las fuerzas resistentes que se oponen al mismo a lo largo de una determinada superficie de rotura. Se basan en:

- La selección de una superficie teórica de rotura en el talud
- El criterio de rotura de Mohr Coulomb
- La definición del factor de seguridad

Los problemas de estabilidad son estáticamente indeterminados, y para su resolución es preciso considerar una serie de hipótesis de partida diferentes según los métodos. Así mismo, se asumen las siguientes condiciones:

- La superficie de rotura debe ser postulada con una geometría tal que permita que ocurra el deslizamiento, es decir, será una superficie cinemáticamente posible.

- La distribución de las fuerzas actuando en la superficie de rotura podrá ser computada utilizando datos conocidos (peso específico del material, presión de agua, etc.)
- La resistencia se moviliza simultáneamente a lo largo de todo el plano de rotura.

Con estas condiciones, se establecen las ecuaciones del equilibrio entre las fuerzas que inducen el deslizamiento y las resistentes. Los análisis proporcionan el valor del coeficiente de seguridad del talud para la superficie analizada, referido al equilibrio estricto o límite entre las fuerzas que actúan.

$$F = \frac{\text{Fuerzas estabilizadoras}}{\text{Fuerzas desestabilizadoras}}$$

O expresado en términos de tensiones:

Existen varios métodos para el cálculo del coeficiente de seguridad por equilibrio límite, más o menos complejos, desarrollados fundamentalmente para su aplicación a materiales de tipo suelo.

Los métodos analíticos proporcionan el coeficiente de seguridad a partir de la resolución inmediata de ecuaciones simples (métodos de Taylor, de Fallenius), mientras que los métodos numéricos necesitan, para su resolución, sistemas de ecuaciones y procesos de cálculo iterativo, en esta categoría se encuentran los métodos de Morgentern y Price, Spencer, etc.

Los métodos de equilibrio límite se clasifican en:

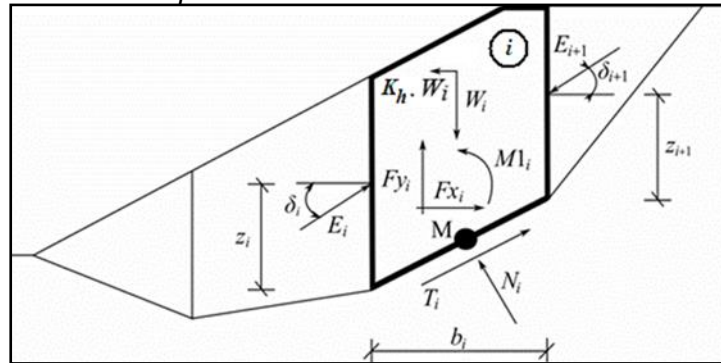
- Métodos que consideran el análisis del bloque o masa total
- Métodos que consideran la masa dividida en rebanadas o fajas verticales

Método de Spencer (1967)

El método de Spencer es un método general de cortes basándose en el equilibrio límite. Se requiere satisfacer el equilibrio de fuerzas y momentos actuando en bloques individuales. El bloque es creado mediante la división del suelo sobre la superficie de deslizamiento dividiendo planos. Las fuerzas actuando en bloques individuales se muestran en la siguiente figura:

Figura 10

Esquema estático – Método Spencer



Nota: Spencer, (s. f.), <https://www.finesoftware.es/ayuda-en-linea/geo5/es/spencer-01/>.

Cada bloque asume una contribución debido a las siguientes fuerzas:

Tabla 5

Fuerzas en esquema estático – Método Spencer

W_i	Peso del bloque, incluyendo material de sobrecarga que tenga el carácter del peso incluyendo la influencia del coeficiente vertical de sismo K_v
$K_h \cdot W_i$	Fuerza de inercia horizontal representando el efecto del sismo K_h , es factor de aceleración horizontal durante el sismo
N_i	Fuerza Normal actuando en la superficie de deslizamiento
T_i	Fuerza de corte actuando en la superficie de deslizamiento
E_i, E_{i+1}	Fuerzas ejercidas por bloques vecinos, inclinados desde el plano horizontal por el ángulo δ
F_{x_i}, F_{y_i}	Otra fuerza horizontal y vertical actuando en el bloque
M_{1i}	Momento de Fuerzas F_{x_i}, F_{y_i} rotando alrededor del punto M , el cual es el centro del segmento de la superficie de deslizamiento i^{th}
U_i	Presión de poro resultante en el segmento de la superficie de deslizamiento i^{th}

Nota: Fuente elaboración propia.

Las siguientes suposiciones se introducen en el método de Spencer para calcular el equilibrio límite de fuerzas y momento de bloques individuales:

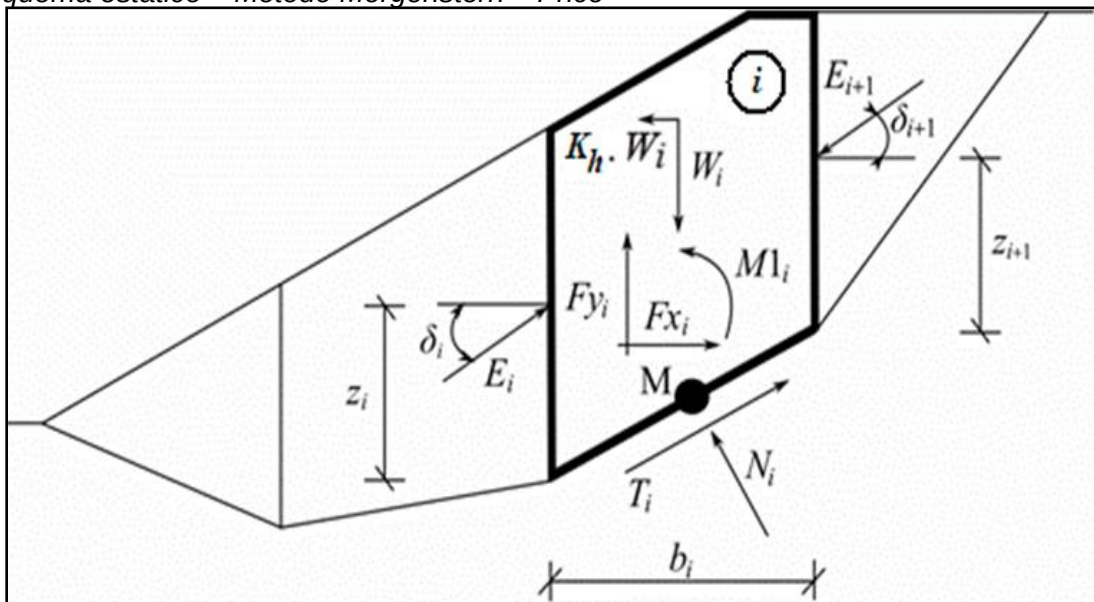
- La división de los planos entre bloques es siempre vertical.
- La línea de acción del peso del corte W_i pasa a través del centro del segmento de la superficie de deslizamiento por el punto M .
- La fuerza normal N_i está activa en el centro del segmento i^{th} segmento de la superficie de deslizamiento, en el punto M .
- La inclinación de fuerzas E_i actuando entre bloques es constante para todos los bloques y es igual δ , solo en el punto final de la superficie de deslizamiento es $\delta = 0$

Método de Morgenstern – Price

El método Morgenstern-Price es un método general de cortes realizados en la base del equilibrio límite. Debe satisfacer el equilibrio de fuerzas y momentos actuando en bloques individuales. Los bloques son creados dividiendo el suelo sobre la superficie terrestre dividiendo planos. Las fuerzas actuando en bloques individuales se muestran en la siguiente figura.

Figura 11

Esquema estático – Método Morgenstern – Price



Nota: Morgenstern - Price, (s. f.), <https://www.finesoftware.es/ayuda-en-linea/geo5/es/spencer-01/>.

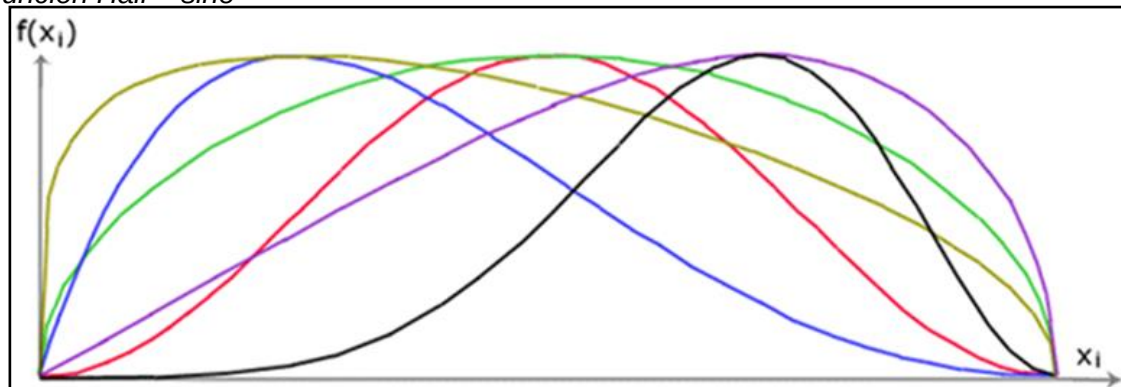
Cada bloque se asume para contribuir a la misma fuerza como en el método Spencer. Los siguientes supuestos se introducen en el método Morgenstern-Price para calcular el equilibrio límite de las fuerzas y momento de los bloques individuales:

- Los planos divididos entre bloques son siempre verticales
- La línea de acción de peso del bloque W_i pasa por el centro del segmento i^{th} de la superficie de deslizamiento representada por el punto M
- La fuerza normal N_i actúa en el centro del segmento i^{th} de la superficie de deslizamiento, en el punto M .
- La inclinación de las fuerzas E_i que actúan entre los bloques es diferente en cada bloque (δ_i) al punto extremo de la superficie de deslizamiento $\delta = 0$.

La única diferencia entre el método Spencer y el método Morgenstern-Price se ve en la lista de supuestos superior. La elección de los ángulos de inclinación δ_i de las fuerzas E_i actuando entre los bloques se realiza con la ayuda de la función Half-sine – una de las funciones en la siguiente figura es elegida en forma automática. La elección de la forma de la función tiene una influencia mínima en el resultado final, pero una elección adecuada puede mejorar la convergencia del método. El valor funcional de la función Half-sine $f(x_i)$ en el punto límite x_i multiplicado por el parámetro λ da como resultado el valor de la inclinación del ángulo δ_i .

Figura 12

Función Half – sine



Nota: Morgenstern - Price, (s. f.), <https://www.finesoftware.es/ayuda-en-linea/geo5/es/spencer-01/>.

2.5 Modos de falla

2.5.1 Superficial:

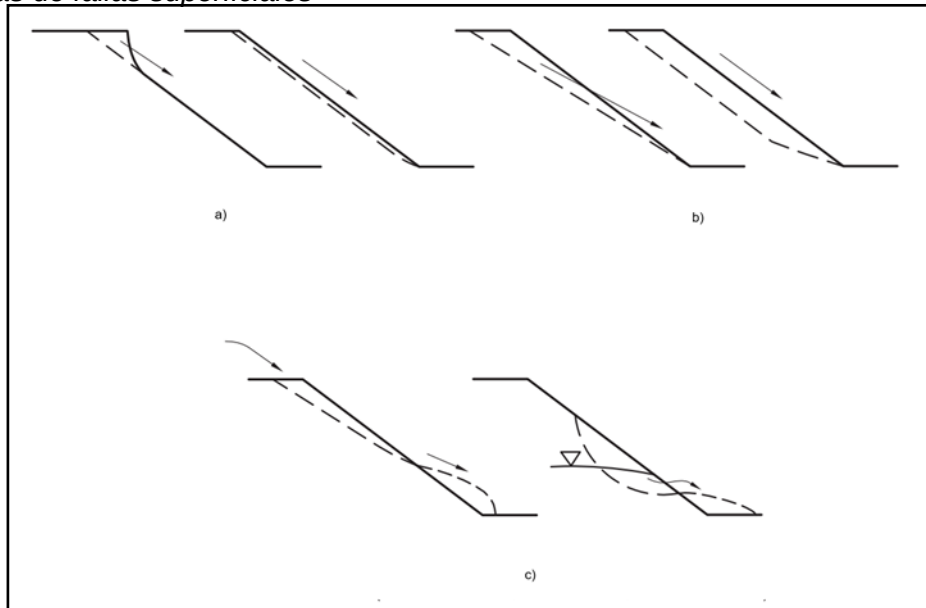
Los 3 modos de inestabilidad superficial que se observan en los botaderos son:

- Deslizamiento de cresta
- Falla del plano
- Falla por flujo

Estas fallas son típicamente superficiales y no involucran los materiales de cimentación. El riesgo asociado a estos tipos de inestabilidad superficial se gestiona generalmente a través de procedimiento operativos que incluyen restricciones en las zonas de colocación de material, monitoreo, zonas de amortiguamiento y bermas de impacto que puedan colocarse para contener o limitar el escurrimiento pendiente abajo.

Figura 13

Esquemas de fallas superficiales



Nota: Mark Hawley, John Cuning (2017). Guidelines for Mine Waste Dump and Stockpile Design

2.5.2 Profundos

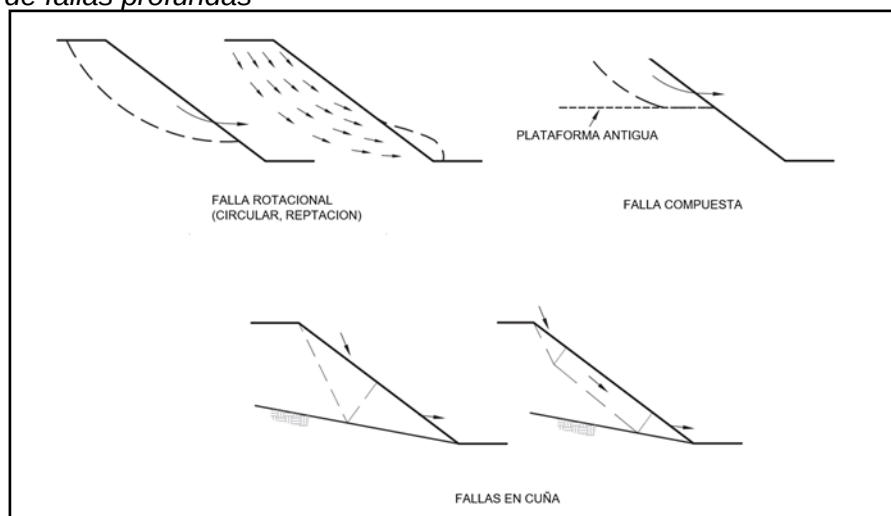
Los modos de fallo profundo que pueden observarse en los botaderos suelen incluir fallos rotacionales, fallos compuestos y fallos de tipo cuña. El fallo rotacional del botadero implica el fallo de la masa a lo largo de una superficie de fallo circular o elipsoidal/curvilínea formada totalmente dentro del terraplén. El fallo por reptación es un caso especial de fallo rotacional, que implica un cizallamiento rotacional generalizado a través del botadero, sin que el movimiento se concentre a lo largo de una única superficie de fallo. El fallo por reptación suele manifestarse por un pandeo progresivo a largo plazo en la base del botadero. Los fallos rotacionales suelen asociarse a botaderos homogéneos compuestos por materiales débiles o de grano fino. En materiales cohesivos (por ejemplo, sobrecarga, roca muy alterada), pueden precipitarse por la construcción de la escombrera en su conjunto, o de elevaciones individuales demasiado altos o empinados. Los fallos rotacionales también pueden ser provocadas por altas presiones de poros en la escombrera. Existe una amplia variedad de métodos probados para analizar los fallos rotacionales, como el análisis de círculos de deslizamiento y diversos métodos de cortes. y varios métodos de cortes.

Una superficie de rotura compuesta es similar a la rotura rotacional, excepto en que una parte de la superficie de rotura es circular y otra es plana. La parte plana puede producirse a lo largo de la interfaz entre el botadero y los cimientos (es decir, el fallo de la base), o a lo largo de un plano de debilidad dentro de los cimientos. Este tipo de fallo también puede producirse a lo largo de zonas débiles, como planos de debilidad formados por capas de materiales más finos o donde material se vierte sobre acumulaciones de hielo o nieve.

La resistencia al corte de la roca del botadero es normalmente mayor que en los materiales de cimentación, y puede producirse un fallo en cuña cuando la pendiente de los cimientos en el pie del botadero es pronunciada (normalmente más de 25°) o no se permite que las presiones de los poros de la cimentación se disipen en respuesta a la velocidad de carga del botadero.

Figura 14

Esquema de fallas profundas



Nota: Mark Hawley, John Cuning (2017). Guidelines for Mine Waste Dump and Stockpile Design

2.5.3 Movimientos en masa

Se describe que un movimiento de masa es una palabra usada para explicar el movimiento de una pendiente debajo de los suelos y rocas bajo efecto de la gravedad.

La siguiente clasificación de movimientos de masas está acompañada con mecanismos propios de falla del talud y las propiedades y características de los tipos de falla.

2.6 Metodología de análisis de Estabilidad Física

2.6.1 Metodología de análisis

Para el análisis de la estabilidad de un botadero es necesario para demostrar objetivamente que la estructura cumple o supera los criterios mínimos de aceptación de estabilidad y para optimizar la geometría y la secuencia de construcción.

La metodología recomendada para el caso de botaderos es el análisis de estabilidad de taludes por medio de equilibrio límite en 2D, realizándolo en condiciones estáticas y pseudo estáticas por medio de un software computacional, en este caso el Slide 2D de Rocscience.

Los métodos considerados para el análisis de estabilidad y determinar los Factores de seguridad es el General Limit Equilibrium (GLE/Morgentern-Price).

Los modos de fallo profundos que pueden observarse en botaderos suelen incluir fallos rotacionales, fallos compuestos y fallos de tipo cuña.

Por lo tanto, los métodos de búsqueda se quedan definido en la búsqueda para identificar las superficies críticas es de manera circular y no circular.

2.6.2 Nivel de agua

De acuerdo con la información disponible de instrumentación geotécnica en campo, podemos determinar el nivel de agua en los botaderos, con el cual asociaremos a las secciones de análisis de estabilidad.

Esto también está en función de las características de drenaje en el material de relleno, ya que si este facilita la circulación de agua como lo es en algunos casos de botadero de mina el nivel de agua estaría al nivel de la fundación.

2.6.3 Caracterización de material

Caracterización de los materiales sobre los que se cimentará el botadero o stock pile y de los materiales de relleno que se utilizarán para construirlo, con el fin de reunir una base de conocimientos sobre las propiedades geotécnicas necesarias para respaldar los análisis y el proceso de diseño.

La caracterización de los materiales se describe por separado para suelos y rocas, tanto para cimentaciones como para materiales de relleno, y para rellenos mixtos. El Manual de Ingeniería de la Fundación Canadiense (CGS 2006) proporciona las siguientes definiciones para distinguir el suelo de la roca:

- **El suelo:**

Es «la porción de la corteza terrestre que es fragmentaria, o tal que algunas partículas individuales de una muestra seca pueden separarse fácilmente mediante agitación en agua; incluye cantos rodados, grava, arena, limo, arcilla y materia orgánica».

- **La roca:**

Es «un agregado natural de minerales que no se puede romper fácilmente con la mano y que no se desintegra en un primer ciclo de humectación y secado».

2.6.4 Sismicidad

Para poder realizar análisis de estabilidad en condiciones de sismicidad, debemos considerar el estudio o bibliografía de aspectos sísmicos en el sector de análisis y con ello tener los valores de PGA, y en consideración de la Guía MINEM del 2017, se debe considerar escenarios de sismos de 475 años de periodo de retorno, en el cual el coeficiente sísmico horizontal de acuerdo con Hynes y Franklin (1984) para emplear en el modelo de análisis es:

$$k_h = PGA/2$$

También debemos considerar para el MCE (Sismo Máximo creíble) para diseños finales y determinar el coeficiente sísmico.

2.7 Criterios de aceptabilidad

Para el caso de criterios de aceptabilidad se debe tomar como referencia las guías internacionales, en el cual sugieren lo siguiente:

Tabla 6*Criterios de aceptabilidad en base a la consecuencia y fiabilidad*

Consecuencia	Fiabilidad	Análisis Estático		Análisis Pseudo - Estático	Deformación máxima disponible
		Mínimo FS	Máximo PF	Mínimo FS	Máximo PF
Bajo	Bajo	1.3-1.4	10-15%	1.05-1.1	≤1%
	Moderado	1.2-1.3	15-25%	1.0-1.05	≤1.5%
	Alto	1.1-1.2	25-40%	1	≤2%
Moderado	Bajo	1.4-1.5	2.5-5%	1.1-1.15	≤0.75%
	Moderado	1.3-1.4	5-10%	1.05-1.1	≤1%
	Alto	1.2-1.3	10-15%	1.0-1.05	≤1.5%
Alto	Bajo	≥1.5	≤1%	1.15	≤0.5%
	Moderado	1.4-1.5	1-2.5%	1.1-1.15	≤0.75%
	Alto	1.3-1.4	2.5-5%	1.05-1.1	≤1%

Nota: Fuente elaboración propia.**Consecuencia.**▪ **Baja:**

Botaderos y stock piles con taludes de relleno globales inferiores a 25° y una altura inferior a 100 m, y taludes con ángulos de reposo inferiores a 50 m de altura. Sin infraestructura crítica ni acceso sin restricciones dentro de la zona de potencial derrumbe. Potencial limitado de impacto ambiental. Exposición a largo plazo (más de 5 años) para sitios con precipitaciones anuales de muy bajas a bajas (menos de 350 mm); exposición a medio plazo (1-5 años) para sitios con precipitaciones anuales moderadas (350-1000 mm); exposición a corto plazo (menos de 1 año) para sitios con precipitaciones anuales altas (1000-2000 mm); construcción/operación solo en época seca para sitios con precipitaciones anuales muy altas (más de 2000 mm) o temporadas de lluvias intensas.

▪ **Moderada:**

Botaderos y stock piles con taludes de relleno globales inferiores a 30° y una altura inferior a 250 m, o taludes con ángulos de reposo inferiores a 100 m. Sin infraestructura crítica ni acceso sin restricciones, ni medidas robustas de contención/mitigación para

proteger la infraestructura crítica y el acceso dentro del posible derrumbe. Potencial de impacto ambiental moderado, pero manejable. Exposición a largo plazo (más de 5 años) para sitios con precipitaciones anuales moderadas (350-1000 mm); exposición a medio plazo (1-5 años) para sitios con precipitaciones anuales altas (1000-2000 mm); exposición a corto plazo (menos de 1 año) para sitios con precipitaciones anuales muy altas (más de 2000 mm) o temporadas de lluvias intensas.

- **Alta:**

Botaderos y stock piles con taludes de relleno globales inferiores a 30° y más de 250 m de altura, o taludes con ángulos de reposo inferiores a 200 m de altura. Infraestructura crítica o acceso sin restricciones dentro del posible derrumbe con medidas limitadas de mitigación/contención de flujo. Potencial de alto impacto ambiental que sería difícil de gestionar. Exposición a largo plazo (más de 5 años) para sitios sujetos a precipitaciones anuales elevadas (1000–2000 mm); exposición a medio plazo (1–5 años) para sitios sujetos a precipitaciones anuales muy elevadas (más de 2000 m) o temporadas de lluvias intensas.

Fiabilidad.

- **Baja:**

Fiabilidad limitada en las condiciones de la cimentación, las propiedades del material de botadero, las presiones piezométricas, la técnica de análisis o los posibles mecanismos de inestabilidad. Parámetros de entrada poco definidos u optimistas; alta variabilidad de los datos. Para las estructuras propuestas, investigaciones a nivel conceptual con datos de respaldo limitados. Para las estructuras existentes, historial de construcción y operación poco documentado o desconocido; falta de registros de monitoreo; desarrollo histórico desconocido o deficiente.

- **Moderada:**

Fiabilidad moderada en las condiciones de la cimentación, las propiedades del material de botadero, las presiones piezométricas, la técnica de análisis o los posibles mecanismos de falla. Parámetros de entrada adecuadamente definidos; variabilidad

moderada de los datos. Para las estructuras propuestas, investigaciones a nivel de estudio de prefactibilidad con datos de respaldo adecuados. Para las estructuras existentes, documentación de construcción y registros de monitoreo razonablemente completos; desarrollo histórico aceptable.

- **Alta:**

Fiabilidad alta en las condiciones de la cimentación, las propiedades del material de botadero, las presiones piezométricas, la técnica de análisis y los posibles mecanismos de inestabilidad. Parámetros de entrada bien definidos y conservadores; baja variabilidad de los datos. Para las estructuras propuestas, se requieren investigaciones a nivel de estudio de viabilidad con datos de respaldo exhaustivos. Para las estructuras existentes, se requieren registros de construcción y monitoreo bien documentados y un buen historial de desarrollo.

Este criterio debe aplicarse de acuerdo con las condiciones del sector y de la información disponible para su ejecución, determinado la información de Consecuencia y Fiabilidad, seleccionaremos los criterios de aceptabilidad recomendados.

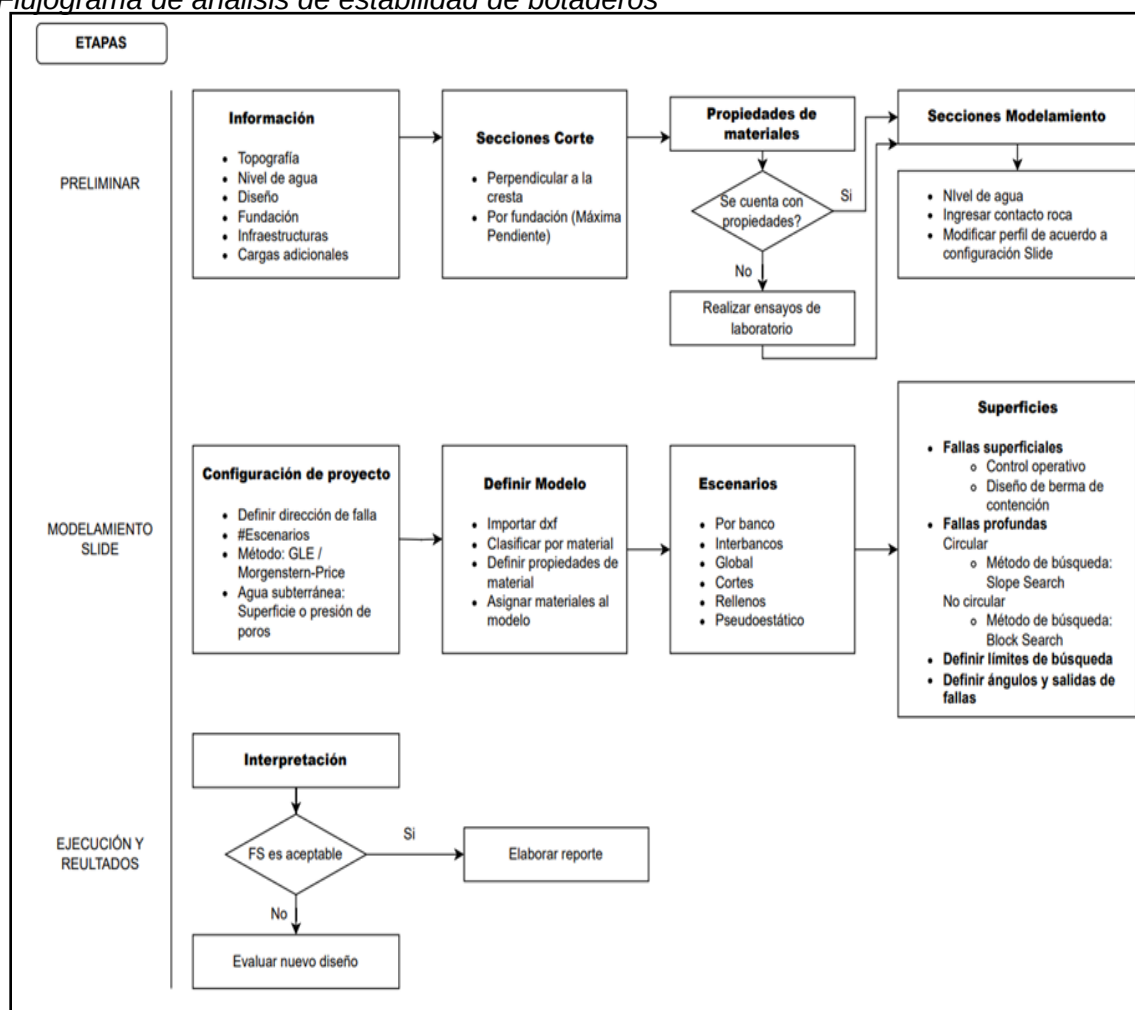
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Análisis de estabilidad en botaderos

3.1.1 Flujograma de análisis de estabilidad en botaderos

Figura 15

Flujograma de análisis de estabilidad de botaderos



Nota: Fuente elaboración propia.

3.1.2 Configuración del modelo

Para poder configurar el modelo se necesita información preliminar, como:

- Topografía
- Información del nivel de agua
- Potencias de diferentes materiales en el perfil de análisis

Con esta información preparamos el modelo en DXF para el importe en el software computacional, en este caso el SLIDE:

Realizar perfiles de secciones en el corte topográfico.

Asignar capas de acuerdo con el componente que corresponda, puede ser:

- External: Polilínea cerrada y en 2D, que es el borde global del modelo.
- Material: Polilíneas que representan las diferentes capas de material dentro del modelo (suelo, roca).
- Water_Table: Polilínea del nivel del agua.

3.1.3 Configuración del proyecto en el software

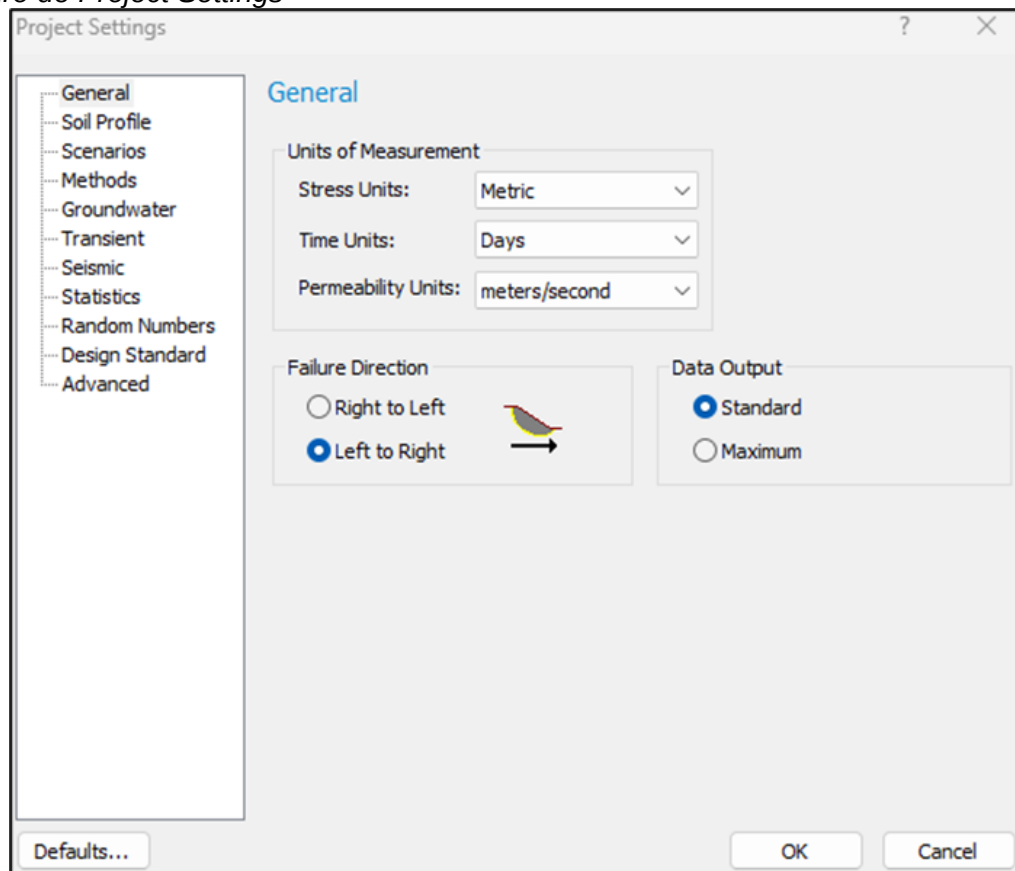
3.1.3.1 Project Setting. En este cuadro podemos realizar las siguientes acciones:

General:

Identificar la dirección de fallamiento en el modelo ya sea derecho o izquierdo y unidades de medida.

Figura 16

Cuadro de Project Settings



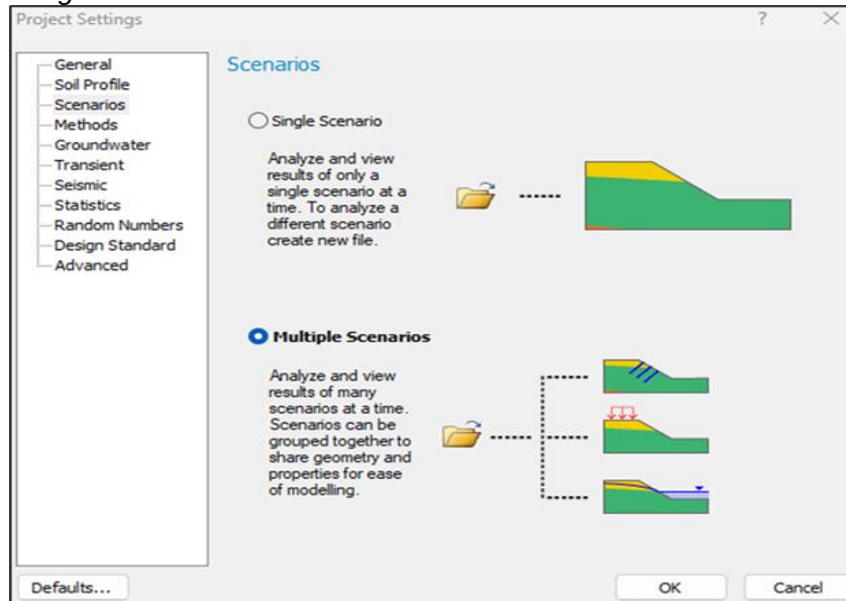
Nota: Elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

Debemos elegir el tipo de archivo a computar, ya sea:

- De un solo escenario.
- Múltiples escenarios (Mas eficiente cuando se tiene diferentes evaluaciones para un mismo modelo).

Figura 17

Cuadro de configuración de escenarios



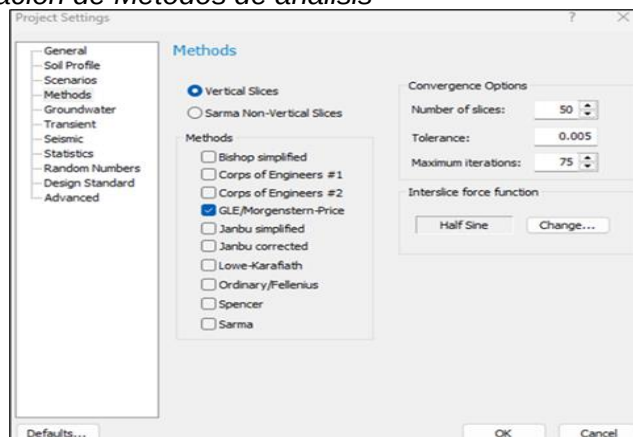
Nota: Elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

Elegir el método para el análisis de equilibrio límite, para este caso el que se recomienda en el Morgenstern- Price:

Para el caso de cantidad de dovelas, depende de la magnitud de análisis, para el caso base podemos asignarle 50.

Figura 18

Cuadro de configuración de Métodos de análisis



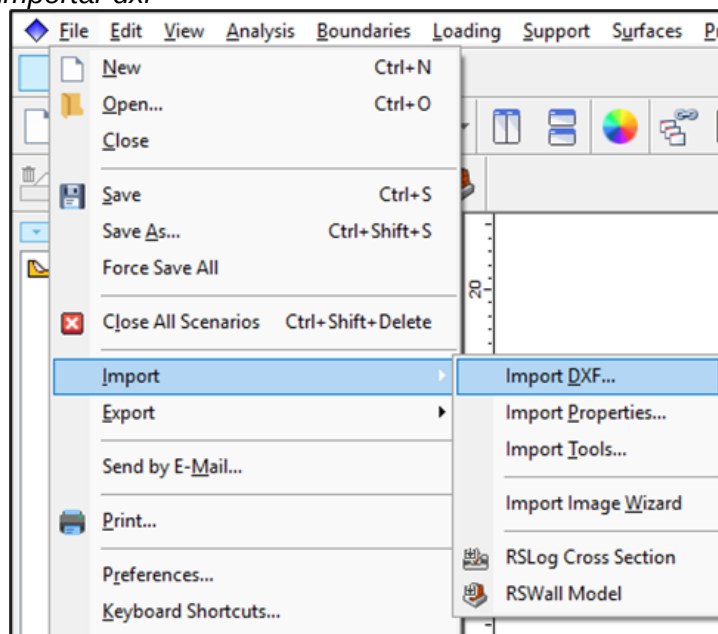
Nota: Elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

Para esta primera etapa son indispensables realizar estas configuraciones previas.

3.1.3.2 Importar DXF.

Figura 19

Secuencia para importar dxf



Nota: Fuente elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

De acuerdo con el procesamiento previo de modelamiento en dxf, se carga archivo del perfil y debemos asignarle el componente o capa que corresponde.

Figura 20

Asignación de capas de acuerdo con el material

Layer Assignment	
DXF Layer	Boundary Type
EXTERNAL	 External Boundary
MATERIAL	 Material Boundary
WATER_TABLE	 Water Table

Nota: Elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

Como se observa en el cuadro estos deben coincidir con los nombres asignados en el procesamiento del CAD.

3.1.3.3 Definir propiedades de materiales. Para poder definir las propiedades de materiales, hay conocer los tipos de materiales existentes en el perfil y del relleno a realizar, estas propiedades son obtenidas de estudios o ensayos de laboratorio, ejemplo de ensayos en Anexo 3.

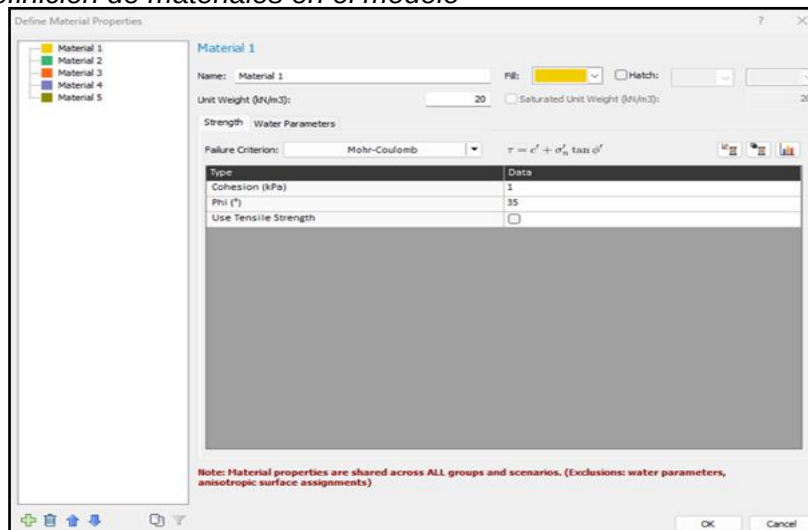
En la ventana de propiedades podemos asignar diferentes parámetros de cada material, como:

- Densidad, Densidad saturada.
- Criterio de falla: Mohr-Coulumb, Hoek Brown, Barton Bandis, Función Shear-Normal, entre otros.
- Coloración del relleno

En la actualidad se emplea la Función Shear-Normal, ya que podemos determinarlo en base a los ensayos de laboratorio de muestras tomadas en campo.

Figura 21

Cuadro de definición de materiales en el modelo

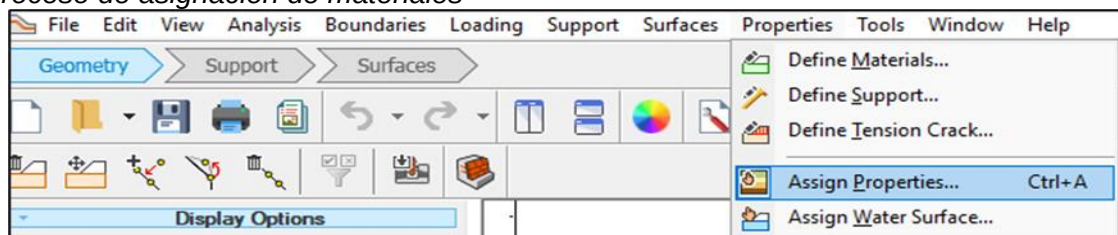


Nota: Elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

3.1.3.4 Asignar propiedades de materiales. Una vez definido las propiedades de los materiales para el modelo, estos se deben asignar a los diferentes materiales del perfil, a la vez estos se deben estandarizar en base a colores para evitar desviaciones en la asignación de materiales.

Figura 22

Proceso de asignación de materiales

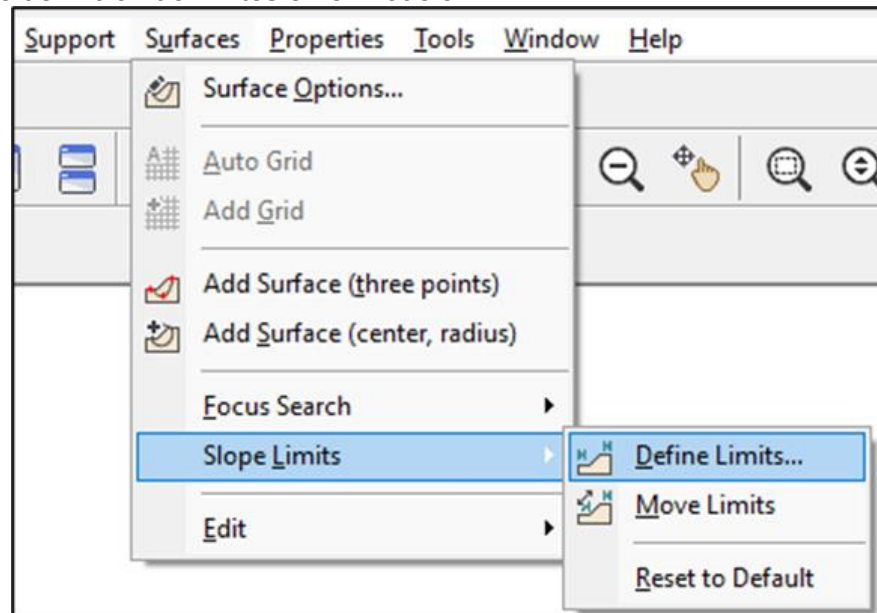


Nota: Elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

3.1.3.5 Definición de límites de análisis. Para el caso de definición de límites de análisis se debe establecer cual es rango para la generación de posibles fallas.

Figura 23

Proceso de definición de límites en el modelo

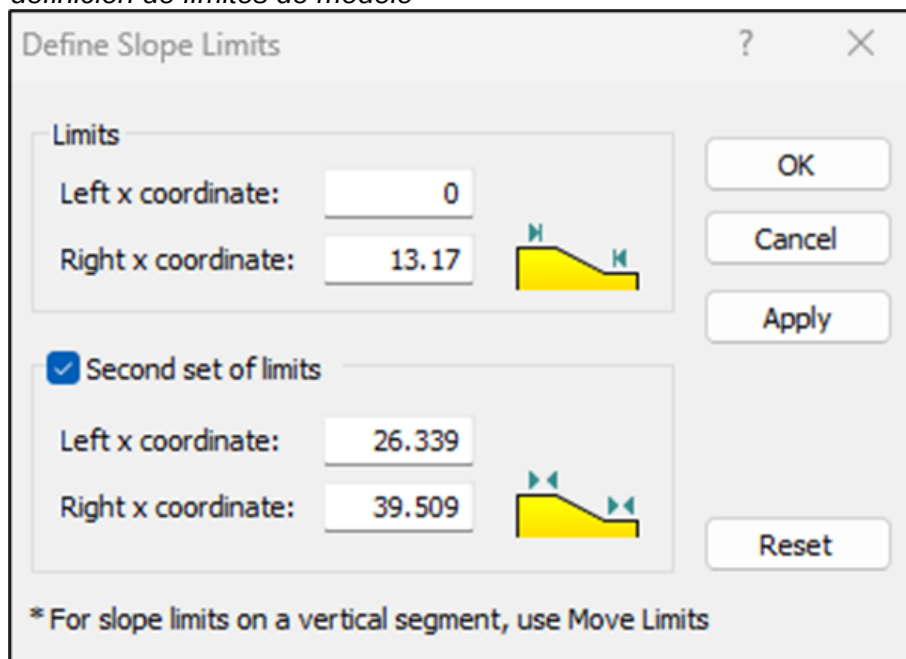


Nota: Elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

Podemos asignar un segundo set de límites, para localizar con mayor precisión los rangos para la generación de posibles fallas.

Figura 24

Ajuste de definición de límites de modelo



Nota: Elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

La colocación de estos límites debe estar alineado a un comportamiento de falla razonable ya que una mala colocación de límites podría evitar la identificación de círculos de fallas más críticos.

3.1.4 Procedimiento de análisis de estabilidad

Esta sección de análisis está enfocado a determinar fallas profundas, para eso aplicamos la teoría de Rankine para identificar la zona de posibles fallas.

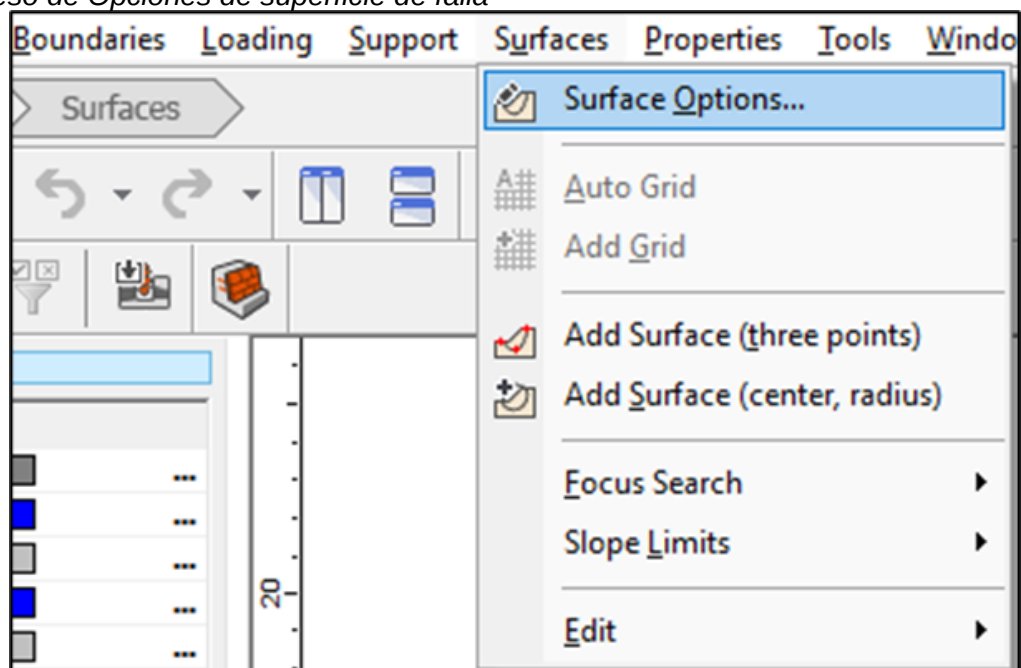
Esta teoría nos indica el límite entre las condiciones de tensión activa y de reposo para los rellenos en los botaderos.

Para el caso de botaderos vamos a considerar 2 tipos de fallas:

- Fallas circulares
- Fallas no circulares

Figura 25

Proceso de Opciones de superficie de falla

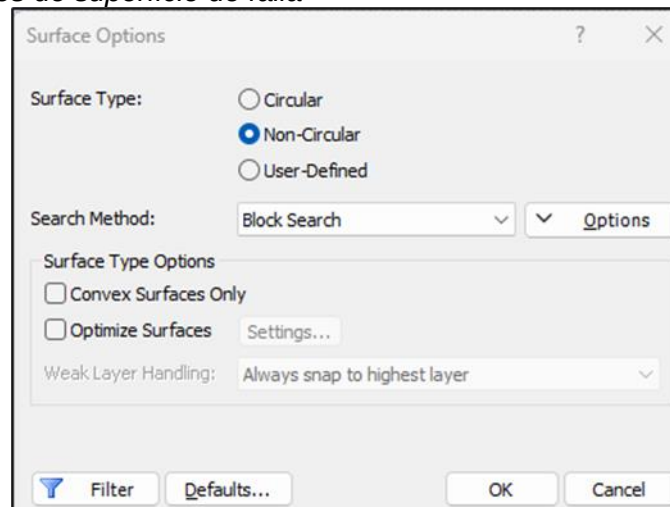


Nota: Elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

3.1.4.1 Fallas no circulares. Para el tipo de búsqueda de posibles fallas no circulares debemos considerar el Búsqueda Block.

Figura 26

Cuadro de opciones de superficie de falla

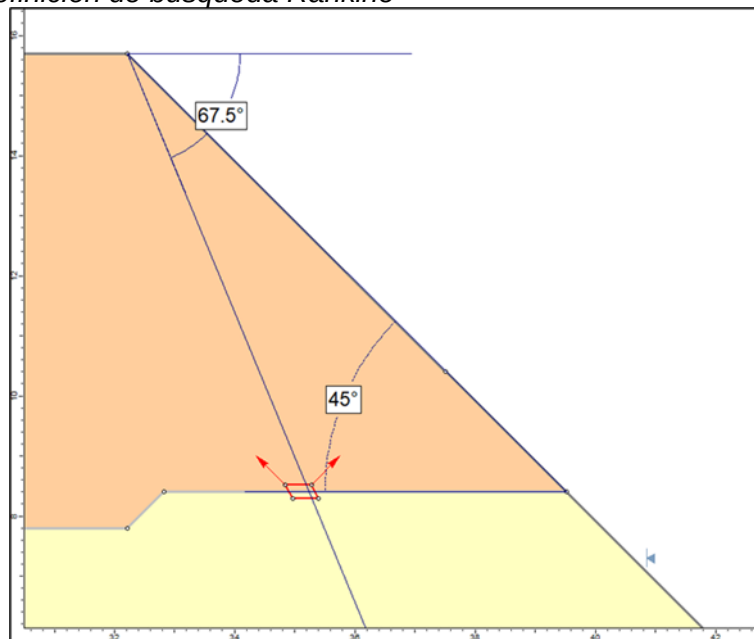


Nota: Elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

Para la colocación del primer bloque de búsqueda (Rankine), se debe trazar una línea oblicua que representa la separación de zona activa en un botadero, y la otra debe ser una proyección horizontal del pie del relleno.

Figura 27

Esquema de definición de búsqueda Rankine



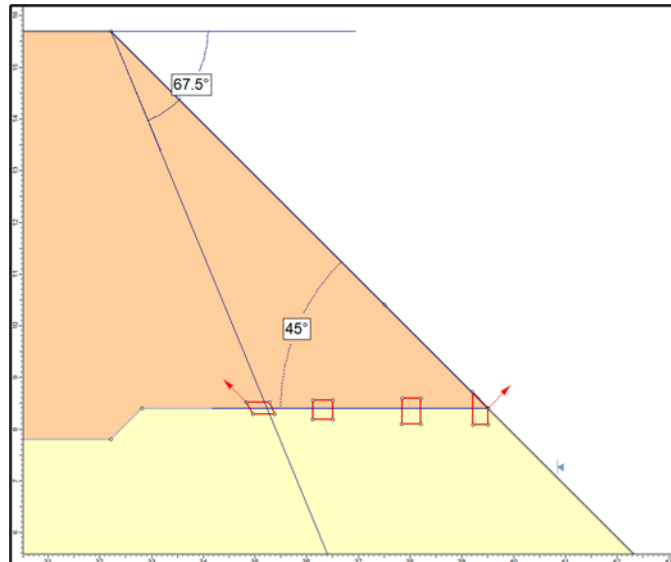
Nota: Fuente elaboración propia.

Los siguientes bloques de búsqueda se colocan en la proyección horizontal hasta el pie del relleno, las dimensiones del bloque se pueden ajustar de acuerdo con la

fundación presente, ya que, si es material coluvial, morrénico u otro tipo de suelo puede inducir a que las fallas probables pasen por esos materiales.

Figura 28

Ubicación de bloques en modelos no circulares

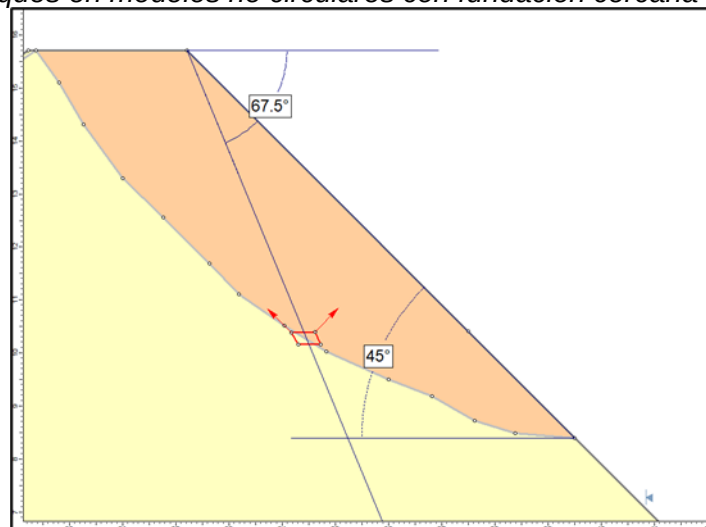


Nota: Fuente elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

En la imagen previa se muestra un ejercicio para una condición de superficie de apoyo horizontal, pero también podemos encontrarnos con una condición de superficie de apoyo inclinada, para este caso debemos colocar el primer bloque de búsqueda en la superficie de contacto roca en intersección con la línea de oblicua de separación de zona activa.

Figura 29

Ubicación de bloques en modelos no circulares con fundación cercana



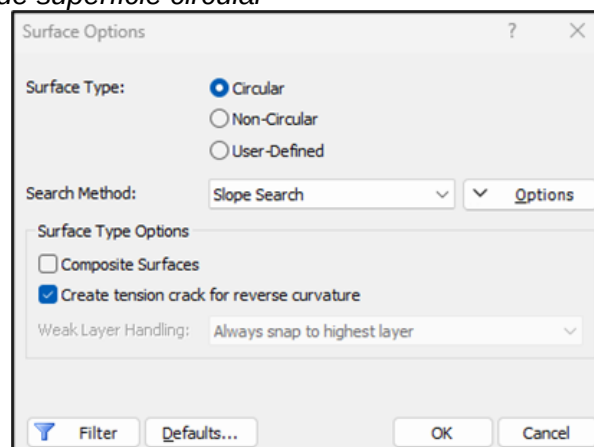
Nota: Elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

Los siguientes bloques de búsqueda se colocan en la proyección inclinada alineada al contacto de la superficie de roca de apoyo, las dimensiones del bloque se pueden ajustar de acuerdo con la fundación presente, ya que, si es material coluvial, morrénico u otro tipo de suelo puede inducir a que fallas probables pasen por esos materiales.

3.1.4.2 Fallas circulares. Para el tipo de búsqueda de posibles fallas circulares debemos considerar el Búsqueda Slope Search.

Figura 30

Cuadro de opciones de superficie circular

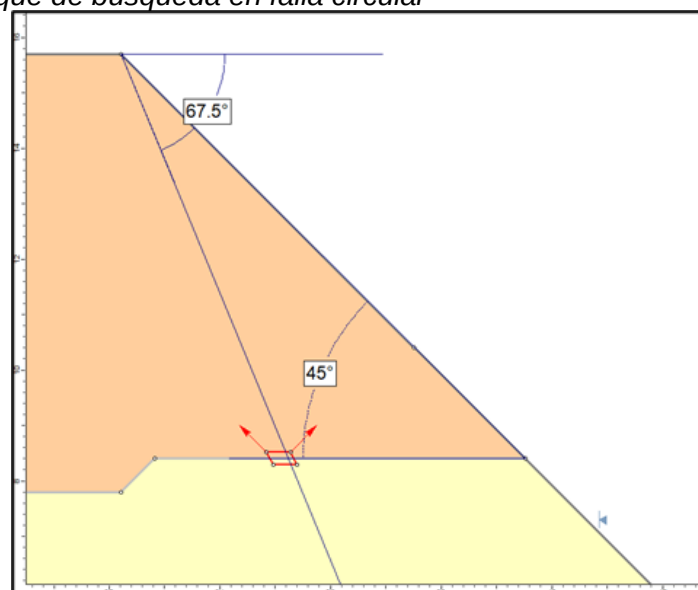


Nota: Elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

En este considera solo hasta el primer bloque de búsqueda bajo la metodología mencionada previamente.

Figura 31

Ubicación de bloque de búsqueda en falla circular



Nota: Elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

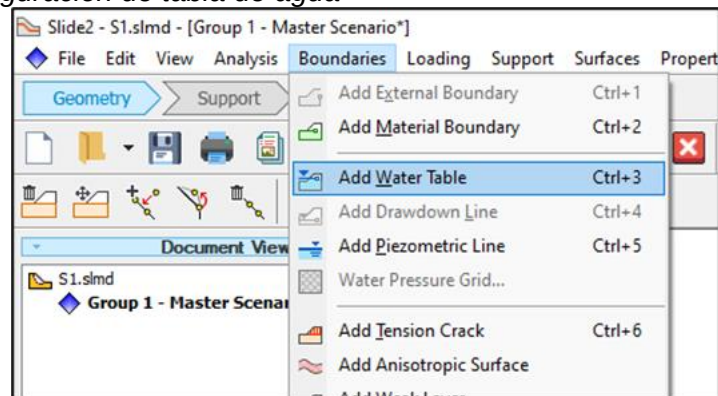
Este tipo de búsqueda de falla hace que todas las posibles fallas pasen por el bloque dibujado.

Al igual que en la búsqueda de fallas no circulares debemos colocar el bloque de búsqueda en la superficie de contacto roca en intersección con la línea de oblicua de separación de zona activa.

3.1.4.3 Agua subterránea. Para asignar el nivel de agua, hay que conocer los materiales del perfil, dependiente del drenaje presente, podemos asignar la curva de nivel de agua o presión de poros.

Figura 32

Proceso de configuración de tabla de agua

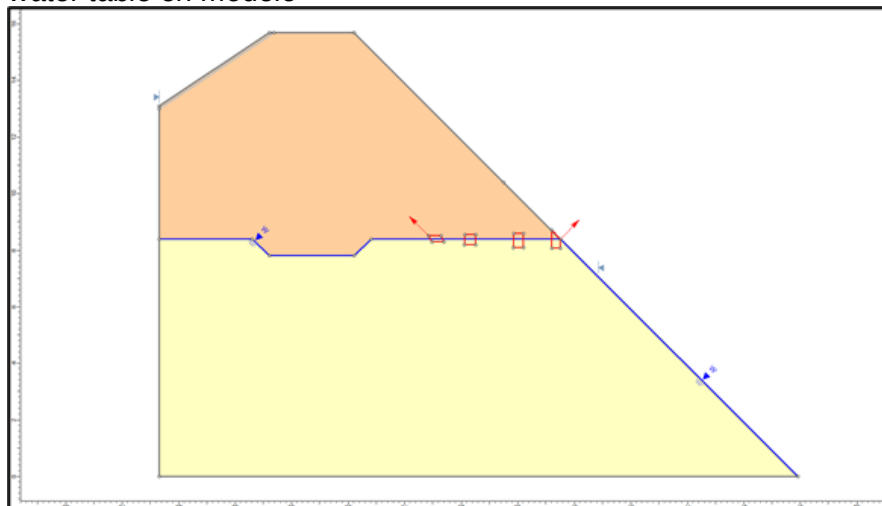


Nota: Elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

Se recomienda el Water Table recorra extremos del modelo como se observa en la imagen inferior para evitar errores en las iteraciones.

Figura 33

Límites de wáter table en modelo

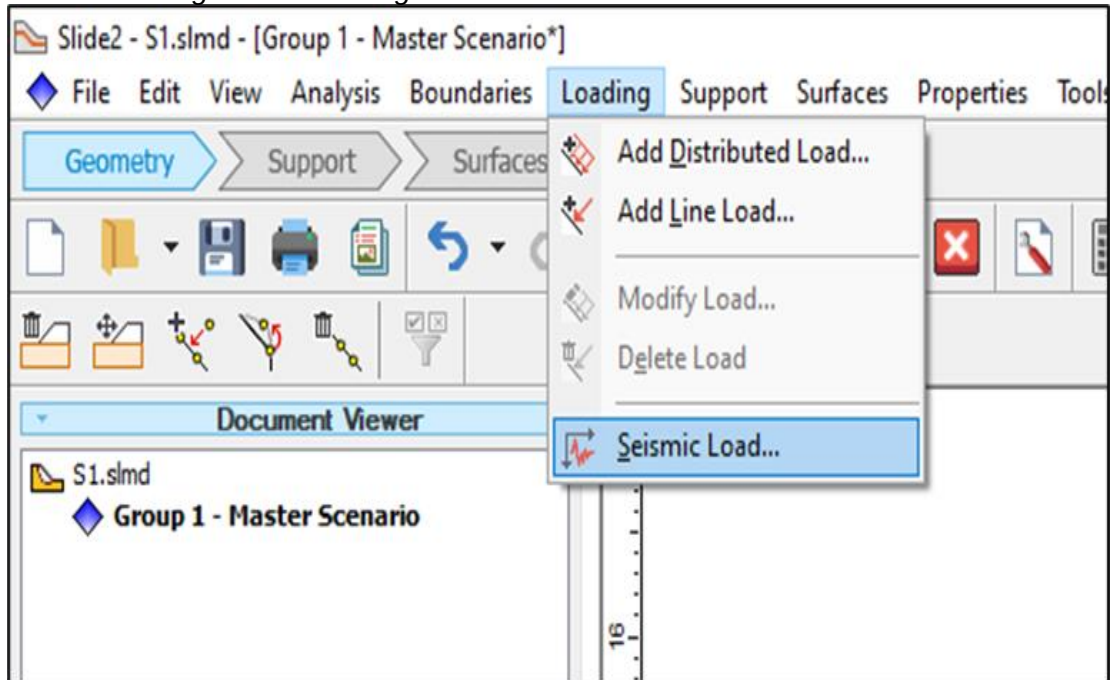


Nota: Elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

3.1.4.4 Carga sísmica. Para considerar la carga sísmica en modelo tenemos que identificar el coeficiente sísmico asignado a ese sector, de acuerdo con la información bibliográfica o estudios realizados.

Figura 34

Proceso de configuración de carga sísmica



Nota: Elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

3.2 Análisis de derrame de flujo

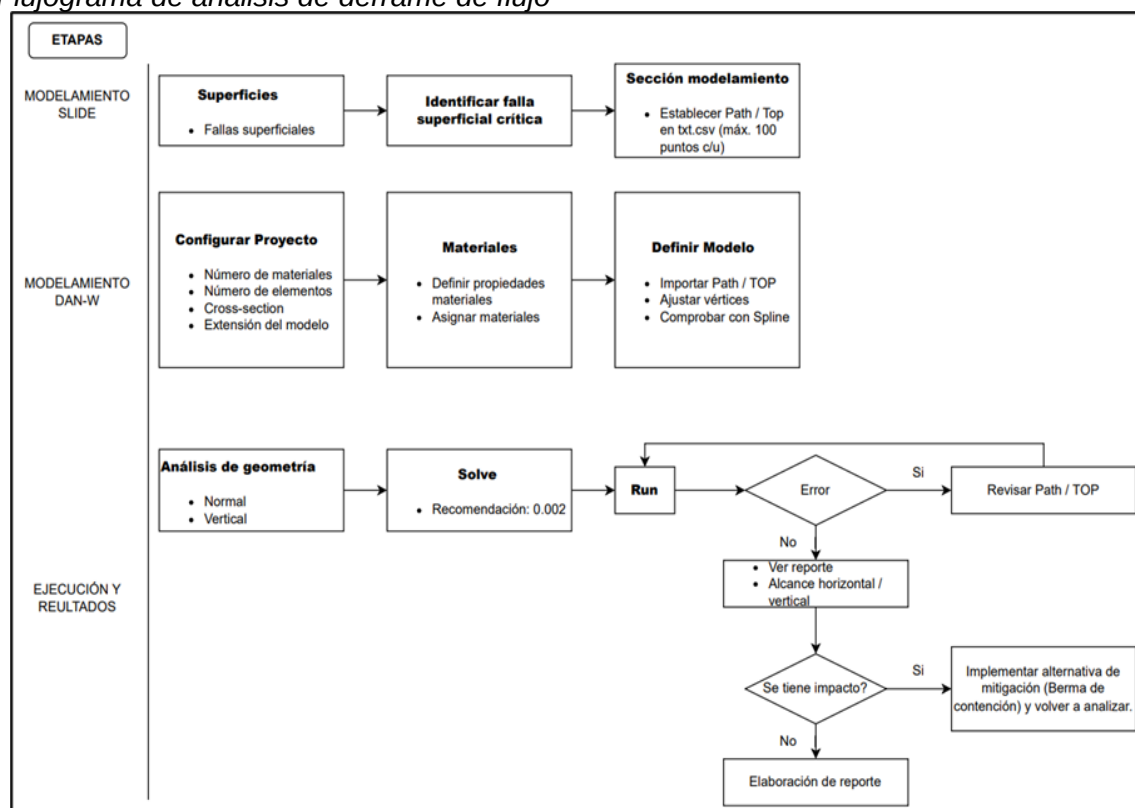
Software DAN-W: es un programa que modela el movimiento de una falla en deslizamiento (Derrame de Flujo).

DANW se divide en tres componentes principales: entrada de datos, análisis y salida de datos. El componente de entrada de datos permite al usuario definir la geometría del problema, las propiedades del material y las opciones de análisis. Una vez definido el problema, el usuario puede ejecutar un análisis. Los datos se recopilan durante el análisis y pueden generarse de diversas maneras una vez finalizado.

3.2.1 Flujograma de análisis de derrame de flujo

Figura 35

Flujograma de análisis de derrame de flujo



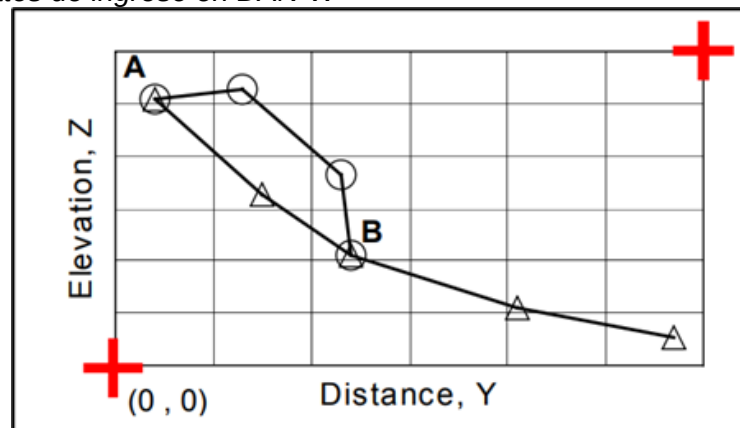
Nota: Fuente elaboración propia.

3.2.2 Data Input

- Antes de crear un archivo de datos para su análisis en DAN-W, el usuario debe tener en cuenta las siguientes suposiciones del modelo:
- Toda la geometría es bidimensional. Los perfiles de pendiente y superficie superior no varían a lo largo del ancho del canal.
- La dirección del flujo de la masa de deslizamiento es paralela al plano bidimensional utilizado para definir el perfil de pendiente (es decir, de izquierda a derecha de la pantalla). La geometría de la superficie superior tiene una sección transversal lateral rectangular definida por la profundidad hidráulica de la masa de deslizamiento y el ancho del canal en esa ubicación a lo largo de la pendiente.
- Se asume que la masa de deslizamiento es un fluido aparente homogéneo con una reología consistente en toda su extensión.

Figura 36

Esquema de datos de ingreso en DAN-W



Nota: Fuente elaboración propia con el software Dan-W).

Sección Típica en Dan W, Los puntos de datos triangulares representan el perfil de la pendiente y los puntos de datos circulares, el perfil de la masa del deslizamiento. Nótese que el punto A es la parte trasera de la masa del deslizamiento, en el momento inicial cero, mientras que el punto B es la parte delantera de la masa del deslizamiento, en el momento inicial cero.

Pantalla de parámetros de control

Figura 37

Cuadro de control de propiedades

Control Parameters

Project:

Data Set:

Input By:

Date: 8/26/2025

Unit Weight of Water: 9.81 (kN/cu.m)

No. of Materials: 1

No. of Elements: 50

Cross-section Shape Factor: 0.67

Set Problem Extents:

Y-Coord. 0

Z-Coord. 0

Initial Velocity (if any): 0

Elevation, Z

Distance, Y

Y-Coord. 0

Z-Coord. 0

End Conditions:

Left (Point "A"): Free

Right (Point "B"): Free

Configuration: 2-Dimensional

Nota: Elaboración propia con el software Dan W.

Datos:

- **Proyecto:**

Opcional. Nombre del proyecto.

- **Unit weight of water:**

Inicialmente establecido en $9,81 \text{ kN/m}^3$. Todas las unidades se expresan en unidades métricas del SI, incluyendo: metros (m), kilonewtons (kN) y kilopascales (kPa).

- **Number of materials:**

El número de materiales o reologías utilizados en el problema. Debe haber al menos un material. El número máximo de materiales es 20.

- **Number of elements:**

El número de elementos de masa de volumen constante en los que se divide la masa del portaobjetos para su análisis. Debe haber al menos un elemento. El número máximo de elementos es 59. Se recomienda emplear 50 elementos.

- **Cross-Section Shape Factor:**

Un factor que considera la forma de la sección transversal del canal. Se define como la relación entre la profundidad hidráulica (promedio) y la profundidad máxima de la sección transversal del canal. Por ejemplo, un canal triangular tiene un factor de 0,5 y un canal elíptico tiene una relación de 0,67, Un canal rectangular tiene un factor de 1. Para el caso de los análisis en botaderos, se recomienda un Cross-Section Shape Factor de 0.67.

- **Initial velocity:**

Velocidad Inicial, para el caso de una falla por estabilidad se recomienda emplear el valor de 0.

Pantalla de Propiedades de Materiales

Figura 38

Cuadro de edición de materiales

The screenshot shows the 'Material Editor' window. At the top, there's a 'Colour' section with four color swatches: green, orange, yellow, and grey. Below this is a 'Material 1' section. The main part of the window is a table with 11 rows of material properties. The first row is 'Material Type >' with four dropdown menus, all set to 'Frictional'. The subsequent rows are: 'Material:' (orange), 'Unit Weight:' (20.00), 'Shear Strength:' (0.00), 'Friction Angle:' (0.00), 'Pore-pressure Coeff. Ru:' (0.00), 'Viscosity:' (0.00), 'Friction Coefficient:' (0.00), 'Turbulence Coeff.:' (0.00), 'Power Law Exponent:' (0.00), 'Erosion Depth:' (0.00), and 'Internal Friction Angle:' (35.00). The last row has a blue background.

Material Type >	Frictional	Frictional	Frictional	Frictional
Material:				
Unit Weight:	20.00			
Shear Strength:	0.00			
Friction Angle:	0.00			
Pore-pressure Coeff. Ru:	0.00			
Viscosity:	0.00			
Friction Coefficient:	0.00			
Turbulence Coeff.:	0.00			
Power Law Exponent:	0.00			
Erosion Depth:	0.00			
Internal Friction Angle:	35.00			

Nota: Elaboración propia con el software Dan W.

Datos:

- **Material: opcional.**

Cualquier cadena alfanumérica de cualquier longitud que represente el nombre del material.

- **Unit weight:**

Peso unitario del material en kn/m^3 . debe ser mayor que 0.

- **Ángulo de fricción:**

Ángulo de fricción del material, en grados.

- **Ángulo de fricción interna:**

Ángulo que define la cantidad de fricción interna en un material. esto se utiliza para derivar los coeficientes de tensión tangencial k_a y k_p mediante una fórmula desarrollada por savage y hutter (1987).

- **DAN-W:**

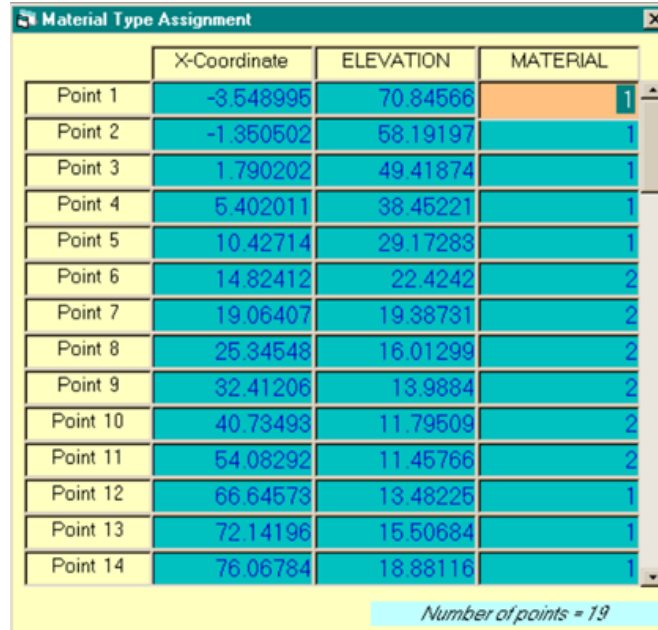
Asume que todos los materiales presentan fricción cuando se deforman internamente. en otras palabras, para cada bloque límite, su resistencia a la deformación por cizallamiento es proporcional a la tensión normal que experimenta (0 para fluido; grados).

Pantalla de locación de material

Esta pantalla permite al usuario determinar la ubicación de cada material a lo largo del perfil del talud.

Figura 39

Cuadro de asignación de materiales



	X-Coordinate	ELEVATION	MATERIAL
Point 1	-3.548995	70.84566	1
Point 2	-1.350502	58.19197	1
Point 3	1.790202	49.41874	1
Point 4	5.402011	38.45221	1
Point 5	10.42714	29.17283	1
Point 6	14.82412	22.4242	2
Point 7	19.06407	19.38731	2
Point 8	25.34548	16.01299	2
Point 9	32.41206	13.9884	2
Point 10	40.73493	11.79509	2
Point 11	54.08292	11.45766	2
Point 12	66.64573	13.48225	1
Point 13	72.14196	15.50684	1
Point 14	76.06784	18.88116	1

Number of points = 19

Nota: Elaboración propia con el software Dan W.

Pantalla de Edición de Path/Top

Esta pantalla permite al usuario ingresar y editar los perfiles de la pendiente o trayectoria (PATH) y masa deslizando (TOP) del problema.

También se pueden importar datos desde un archivo *.TXT o *.DAT delimitado por comas o tabulaciones, seleccionando la opción "Datos - Importar datos" en el menú. El formato del archivo debe ser el siguiente:

Figura 40

Cuadro de formato de archivos TOP y PATH.

n	
$y1$	$z1$
$y2$	$z2$
...	
yn	zn

Nota: Elaboración propia con el software Dan W.

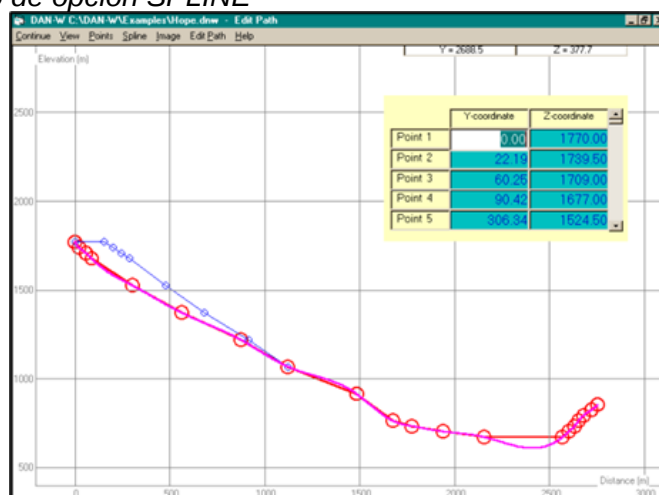
Donde "n" es el número de puntos de datos en el archivo, "y" es la distancia horizontal y "z" es la elevación. Recuerde que el número de puntos de datos aceptados por DAN-W está limitado a 100. También es importante que el usuario configure las

extensiones del problema adecuadas, como se Pantalla de Parámetros de Control, para garantizar que los datos importados se encuentren dentro del rango de la pantalla.

La opción Spline del menú muestra una línea rosa que ajusta la interpolación spline que DAN-W utilizará durante el análisis, dados los puntos de datos de la ruta actual. Esta opción es solo para referencia del usuario, para asegurar que se haya ingresado la cantidad correcta de puntos de datos. No es necesario seleccionar esta opción antes de salir de esta pantalla.

Figura 41

Cuadro de ejemplo de opción SPLINE



Nota: Fuente elaboración propia con el software Dan W.

En esta figura, la ruta se selecciona en rojo, mientras que la interpolación spline se dibuja sobre ella en rosa. El perfil superior se dibuja en el fondo en azul.

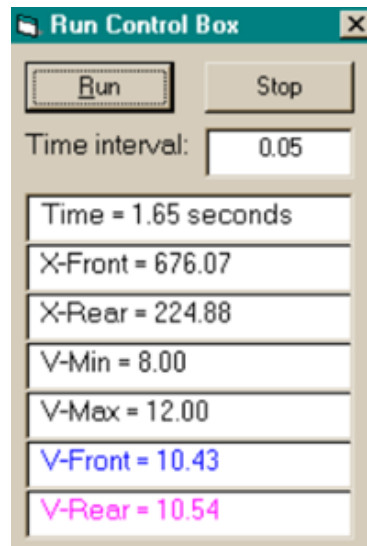
3.2.3 Análisis

Para ejecutar un análisis de un problema, seleccione la opción Solve - Calculate en el menú principal o presione Ctrl+R. Esto abre el cuadro de control de ejecución, que controla la ejecución del análisis. El análisis siempre comienza con la masa deslizante en su estado estático inicial, tal como se muestra en la pantalla principal. Se debe seleccionar un paso de tiempo adecuado en el cuadro de control de ejecución antes de iniciar la ejecución. Una vez iniciada la ejecución, la masa deslizante se anima con cada paso de tiempo en la pantalla principal. La velocidad de la animación se puede configurar en la pantalla Opciones, en la pestaña Display.

Control Box

Figura 42

Cuadro de control de Corrida



Nota: Fuente elaboración propia con el software Dan W.

Se activa al seleccionar la opción Resolver-Calcular en el menú principal. Este cuadro controla la ejecución del análisis del problema.

Antes de iniciar la ejecución, es importante elegir un paso de tiempo adecuado para evitar problemas de divergencia numérica causados por un paso de tiempo excesivamente largo (véase la Sección D.4). Recuerde que cuanto mayor sea el número de elementos de masa utilizados en la masa del portaobjetos, menor debe ser el paso de tiempo. Se recomienda emplear un valor de 0.002 para las simulaciones en botaderos.

Datos:

- **Time:**

Tiempo total transcurrido desde el inicio de la carrera (segundos).

- **X-FRONT:**

Posición actual de la parte frontal de la masa deslizante en el eje horizontal (metros).

- **X-REAR:**

Posición actual de la parte trasera de la masa deslizante en el eje horizontal (metros).

- **V-MIN:**

Velocidad del bloque límite más lento de la masa deslizando en el momento actual (m/s).

- **V-MAX:**

Velocidad del bloque límite más rápido de la masa deslizando en el momento actual (m/s).

- **V-FRONT:**

Velocidad actual de la parte frontal de la masa deslizando (m/s).

- **V-REAR:**

Velocidad actual de la parte trasera de la masa deslizando (m/s).

3.2.4 Data Output

Report

Se puede acceder a la pantalla Informe, que se muestra en la figura inferior, seleccionando la opción "Output Report" en el menú principal.

Esta pantalla muestra todos los valores calculados generados durante el análisis del problema.

La pantalla se puede abrir al pausar una ejecución, o tras su finalización. También se puede imprimir seleccionando el botón "Imprimir".

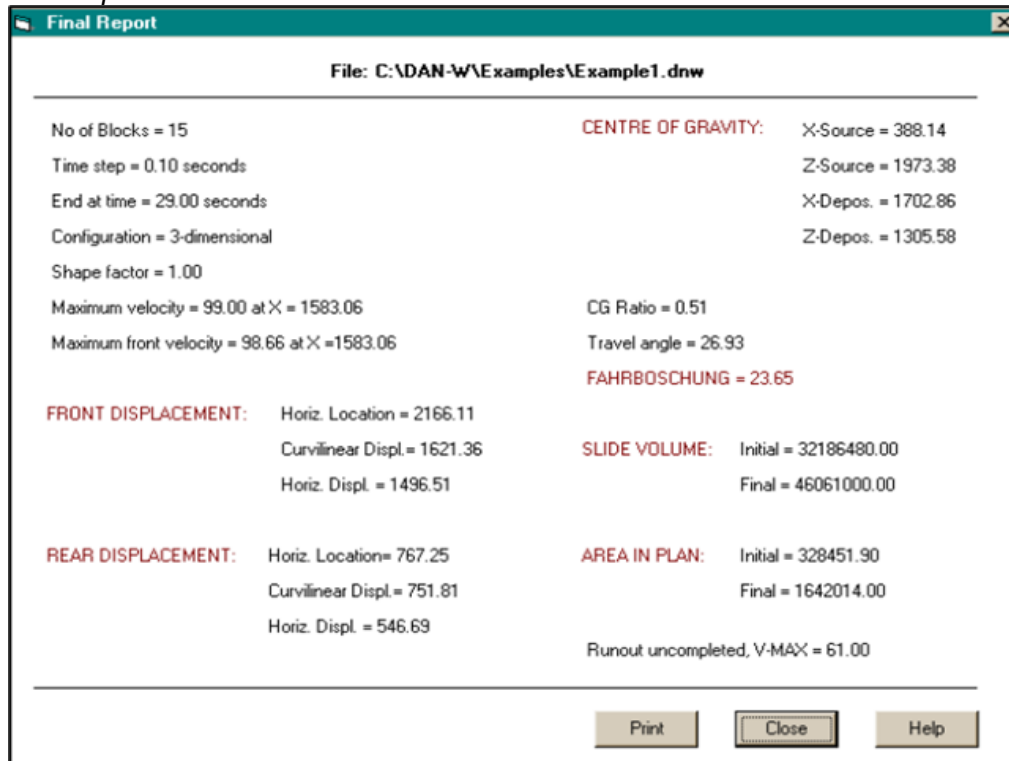
Los datos que se muestran en esta pantalla se describen en la siguiente sección. Para exportar estos datos, junto con una lista de materiales y sus propiedades, a un archivo de texto, seleccione el botón "Export".

Esto abre una pantalla donde se puede seleccionar la carpeta adecuada para guardar los datos. Al hacer clic en "Export" en esta pantalla, se crea un archivo llamado OUTPUT.TXT.

En este archivo, todos los valores numéricos están separados por tabulaciones de sus correspondientes descripciones de texto. Esto permite al usuario abrir el archivo en una hoja de cálculo.

Figura 43

Cuadro de reporte final de simulación



Nota: Fuente elaboración propia con el software Dan W.

Datos:

- **Maximum velocity:**

La velocidad máxima alcanzada por cualquier bloque límite durante todo el recorrido (m/s), a la distancia horizontal dada (metros).

- **Maximum front velocity:**

La velocidad máxima alcanzada por la parte delantera de la masa del deslizamiento durante todo el recorrido (m/s), a la distancia horizontal dada (metros).

- **Front displacement:**

- **Horizontal location:**

La ubicación final de la parte delantera de la masa del deslizamiento a lo largo del eje horizontal (metros).

- **Curvilinear displacement:**

El desplazamiento total de la parte delantera de la masa del deslizamiento a lo largo del perfil de la trayectoria (metros).

- **Horizontal displacement:**

El desplazamiento horizontal total de la parte delantera de la masa del deslizamiento (metros).

- **Rear displacement:**

Igual que para el desplazamiento frontal, excepto para la parte trasera de la masa del deslizamiento.

- **Centre of gravity:**

- **X-SOURCE / Z-SOURCE:**

Coordenadas del centro de gravedad de la posición inicial, en tiempo cero, de la masa deslizante (metros).

- **X-DEPOSIT / Z-DEPOSIT:**

Coordenadas del centro de gravedad de la masa deslizante al final del recorrido (metros).

- **CG RATIO:**

Relación entre el desplazamiento vertical total del centro de gravedad y el desplazamiento horizontal total del centro de gravedad de la masa deslizante (adimensional).

- **Travel angle:**

Ángulo horizontal entre el centro de gravedad original y el centro de gravedad final (grados).

- **Fahrboschung:**

Ángulo horizontal entre la parte trasera original de la masa deslizante y su parte delantera final (grados).

- **Initial / Final slide volume:**

Volumen inicial y final de la masa del deslice (m^3).

- **Initial / Final area in plan:**

Área inicial y final en planta de la masa del deslice (m^2).

- **Runout uncompleted, V-MAX:**

No se permitió que el problema se asentara. Se muestra la velocidad máxima del recorrido total (m/s).

- **Runout time:**

Tiempo que tardó la masa del deslice en asentarse completamente (segundos).

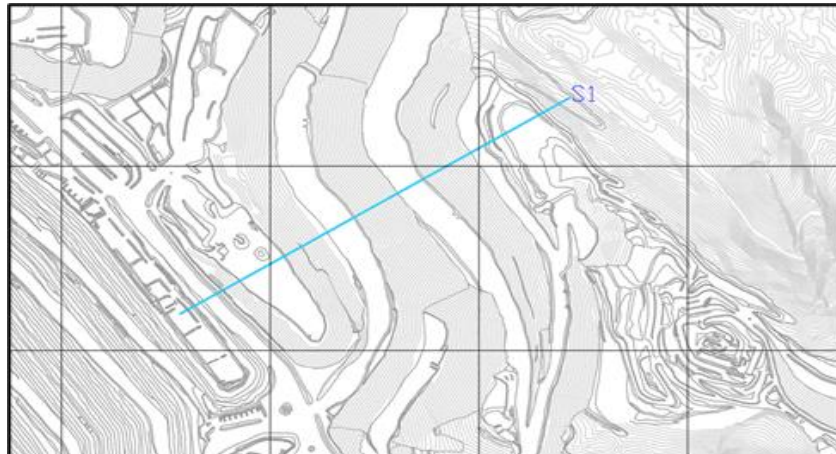
3.3 Caso real: Estabilidad de botaderos

De acuerdo con los capítulos anteriores, realizaremos un ejercicio caso real de un botadero de desmonte en cual se aplica en análisis de estabilidad y construcción de berma de contención ante un flujo.

Primero identificar la sección de análisis para realizar los cortes de la topografía:

Figura 44

Sección perpendicular a la cara del talud

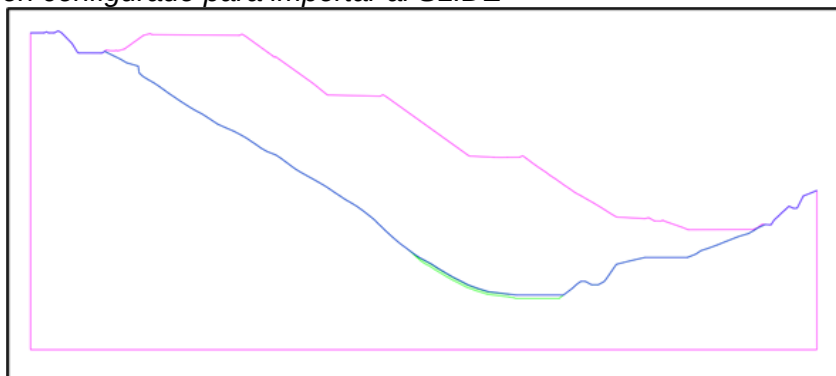


Nota: Fuente elaboración propia.

Posteriormente debemos darle forma a sección para ingresarlo al software SLIDE:

Figura 45

Dxf de sección configurado para importar al SLIDE

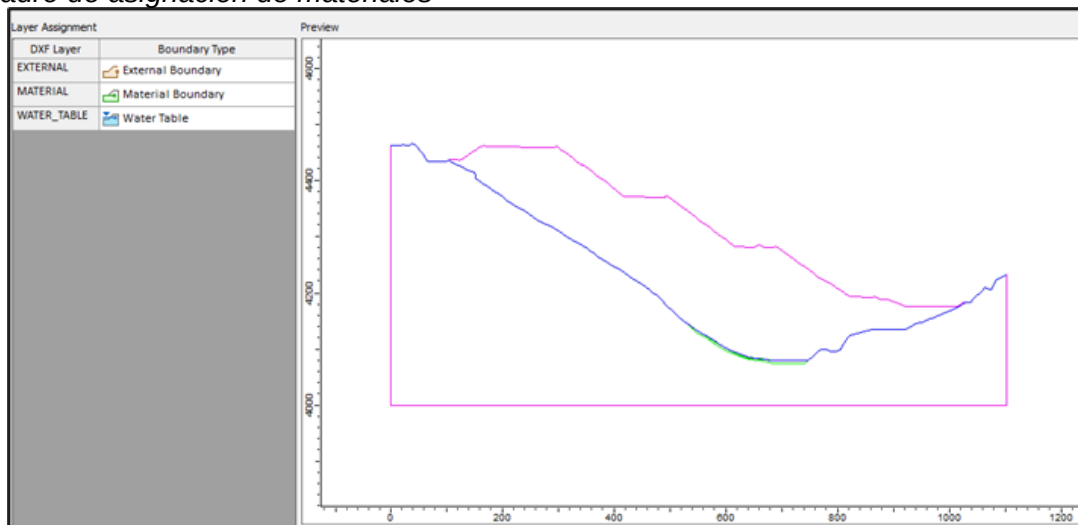


Nota: Fuente elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

Luego importar dxf a SLIDE y asignar materiales que corresponden.

Figura 46

Cuadro de asignación de materiales

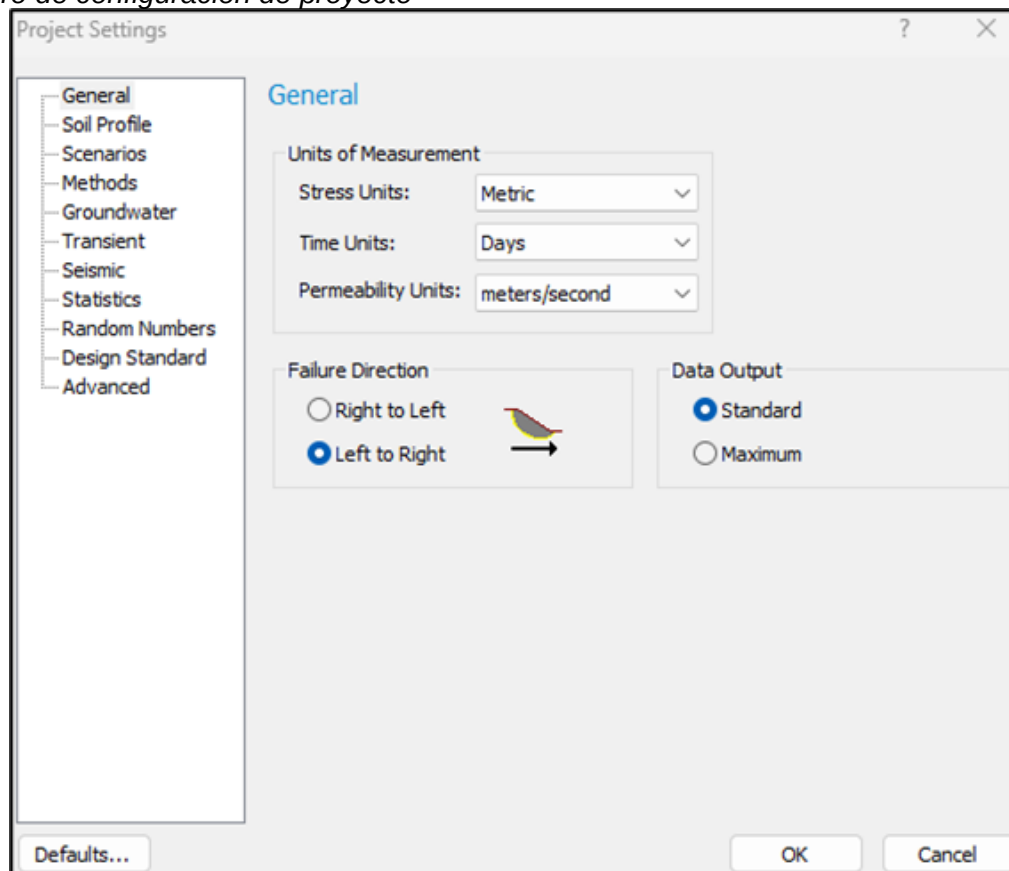


Nota: Fuente elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

Configuramos el proyecto de acuerdo con las características del modelo.

Figura 47

Cuadro de configuración de proyecto

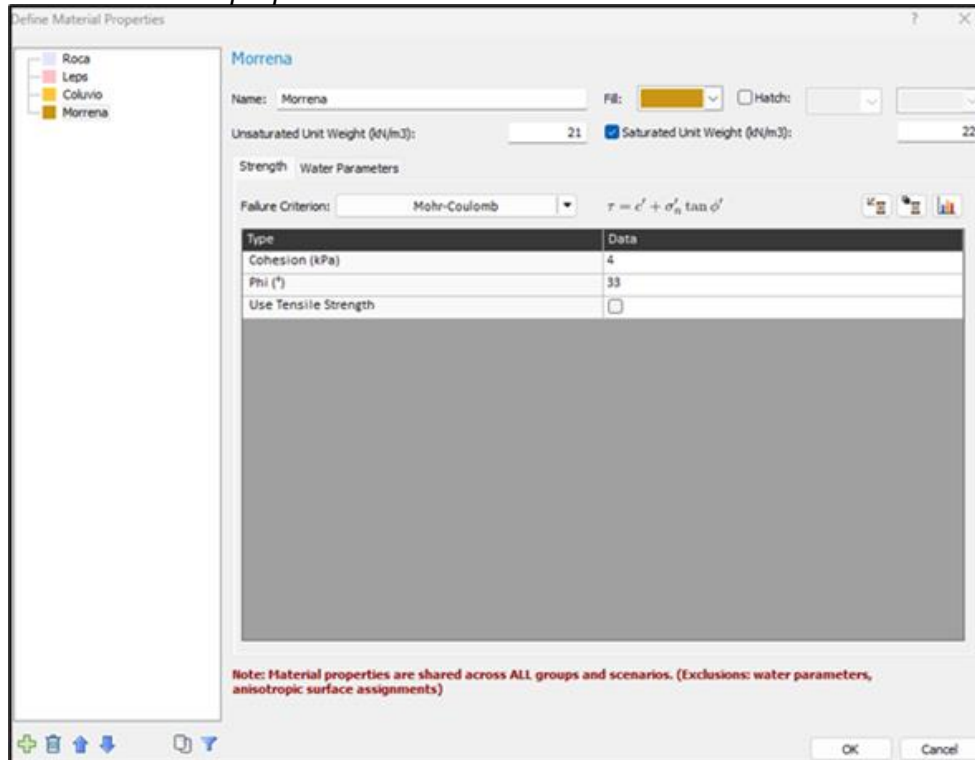


Nota: Fuente elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

Luego definimos las propiedades de materiales:

Figura 48

Cuadro de definición de propiedades de materiales

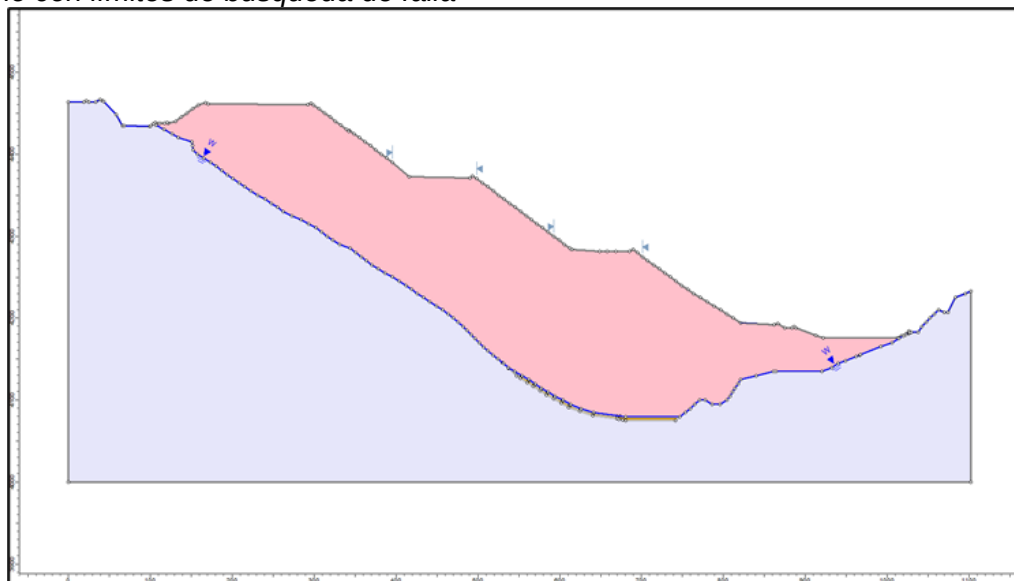


Nota: Fuente elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

Luego asignar los materiales al perfil del modelamiento e ingresar los límites para búsqueda de probables fallas en el banco de interés para la evaluación de estabilidad:

Figura 49

Modelo con límites de búsqueda de falla



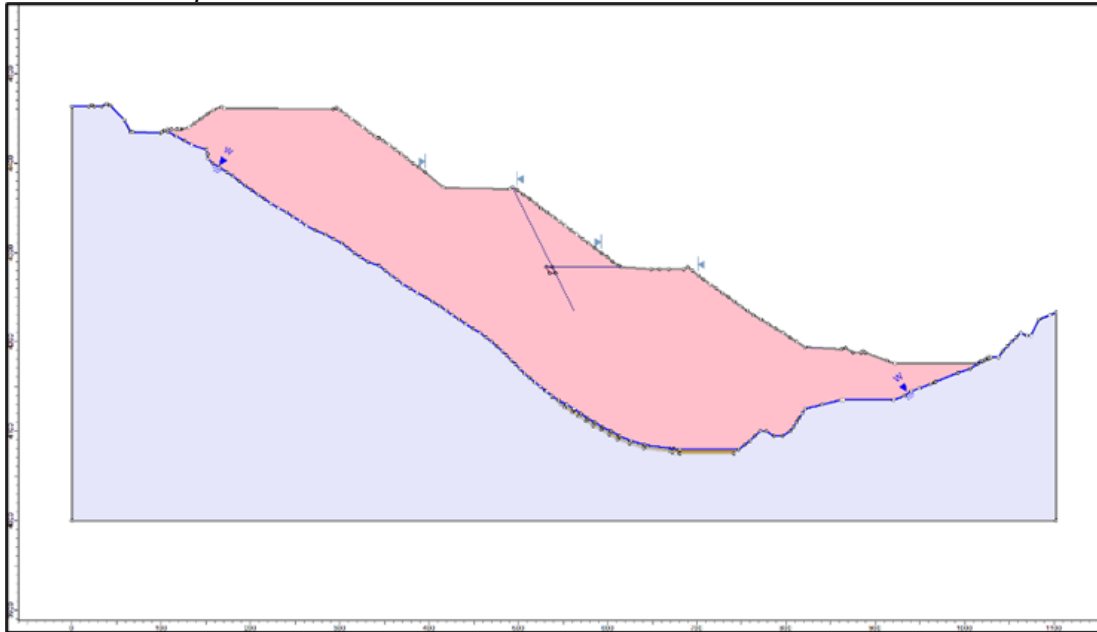
Nota: Fuente elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

Posteriormente debemos crear los escenarios para los diferentes casos:

Falla Circular

Figura 50

Ubicación de bloque en fallas circulares

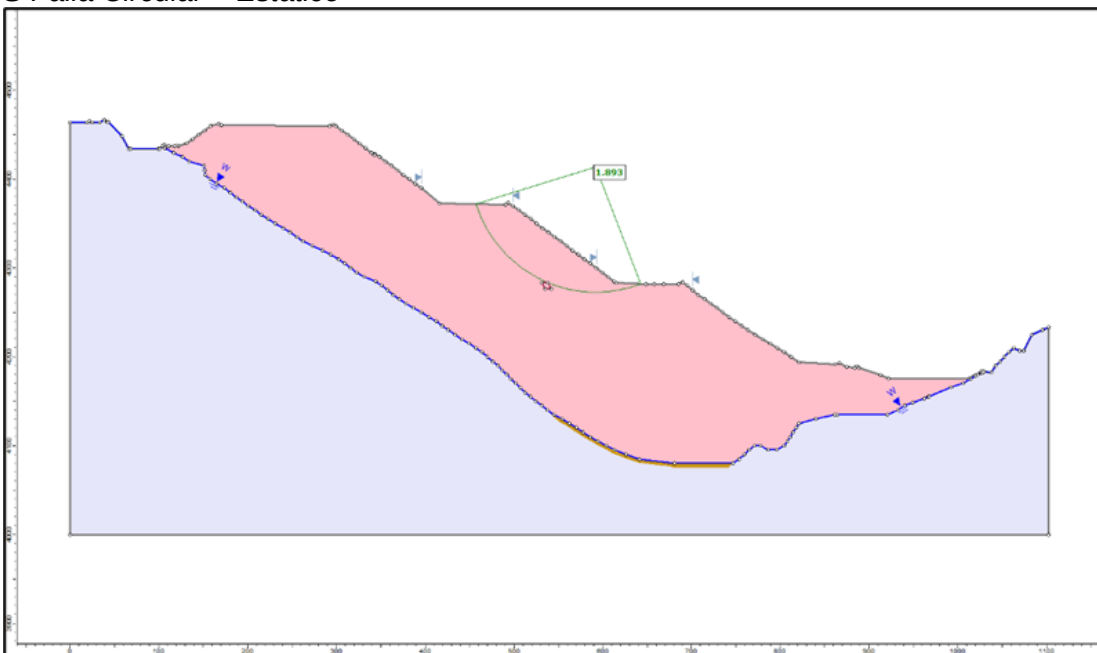


Nota: Fuente elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

- Falla Circular - Estático

Figura 51

FoS Falla Circular – Estático

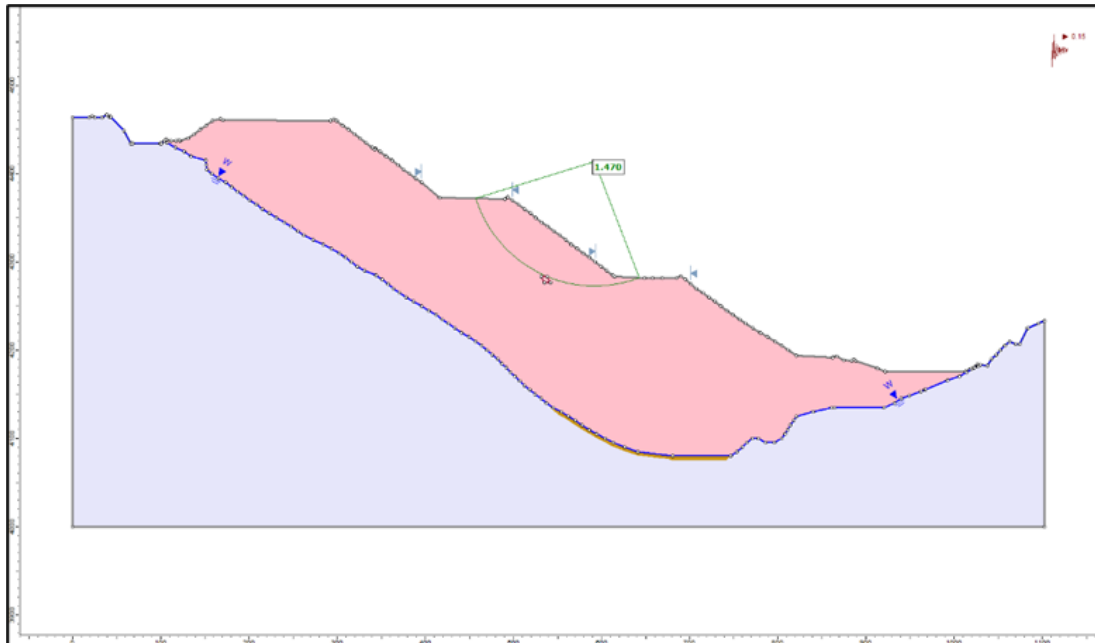


Nota: Fuente elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

- Falla Circular - Pseudo estático

Figura 52

FoS Falla Circular – Pseudoestático

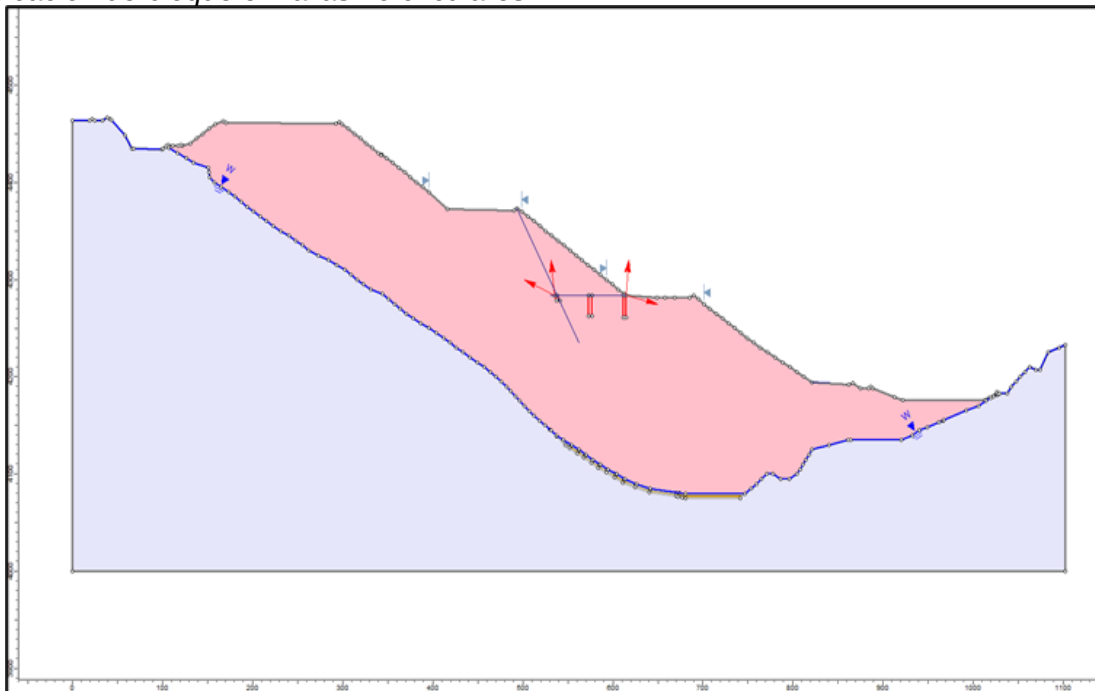


Nota: Fuente elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

Falla No Circular

Figura 53

Ubicación de bloque en fallas no circulares

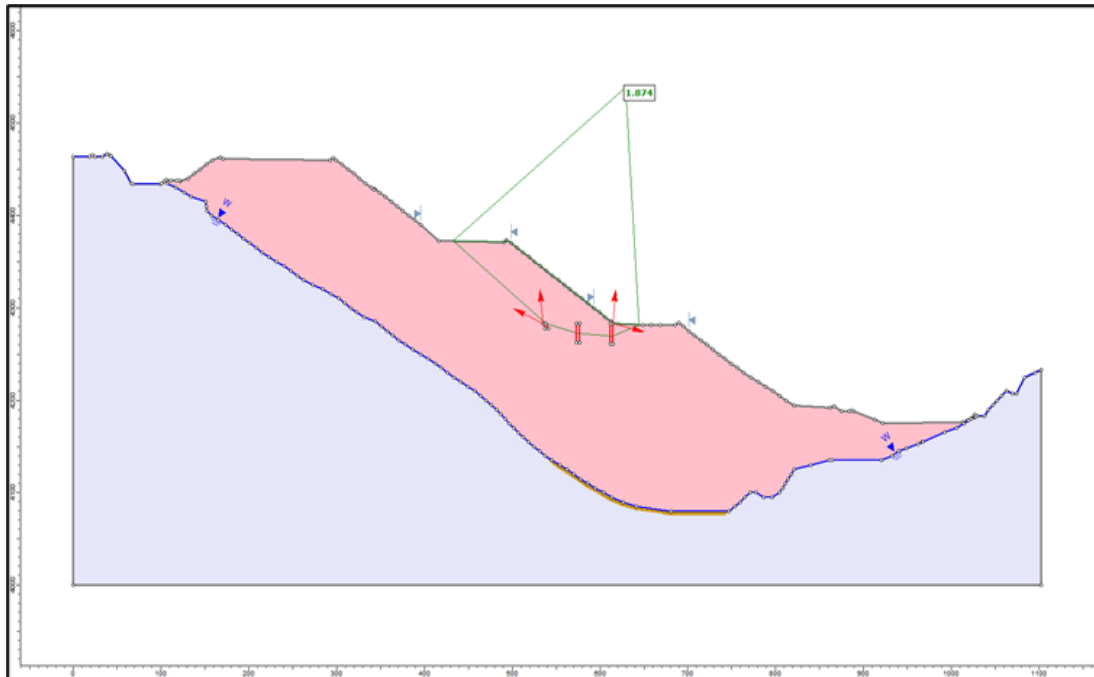


Nota: Fuente elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

- Falla No Circular - Estático

Figura 54

FoS Falla No Circular – Estático

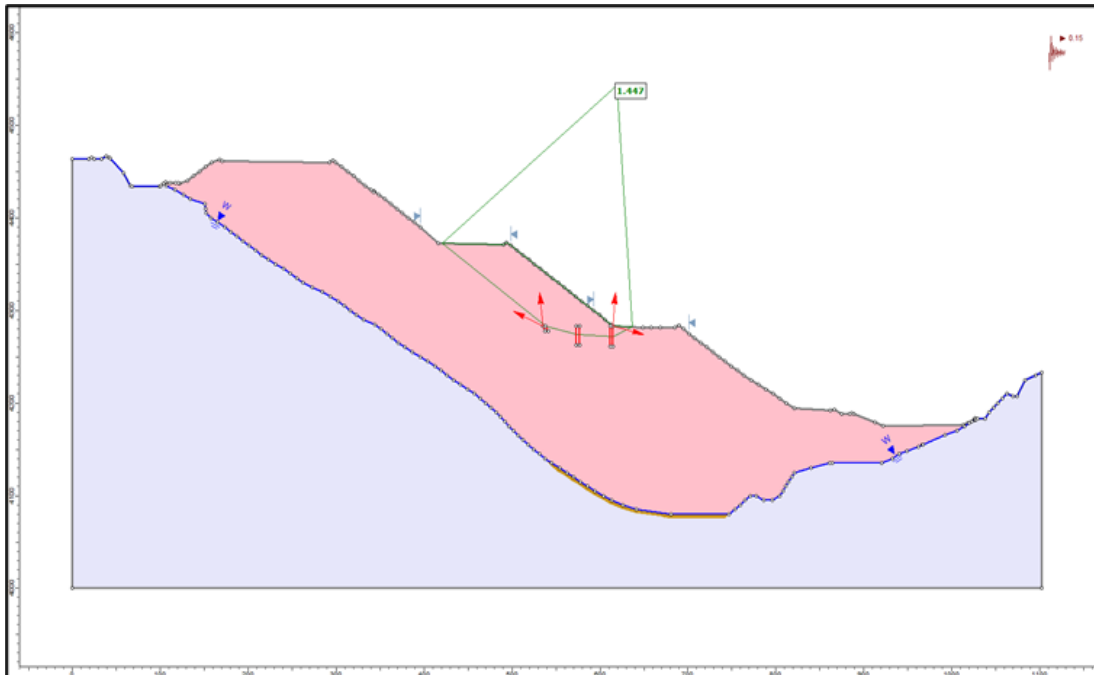


Nota: Fuente elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

- Falla No Circular - Pseudo estático

Figura 55

FoS Falla No Circular – Pseudoestático



Nota: Fuente elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

Luego, calculado los factores de seguridad de todos los escenarios, se resume en la siguiente tabla:

Tabla 7

Resultado de FoS

Tipo de Falla	Factor de Seguridad	
	Estático	Pseudoestático
Falla Circular	1.893	1.470
Falla No circular	1.874	1.447

Nota: Fuente elaboración propia.

Con este ejercicio hemos determinado los factores de seguridad del relleno de diseño de acuerdo con los criterios de aceptabilidad establecido, y no se requiere alguna intervención para mejorar los factores. Con los resultados obtenidos ya podemos elaborar el reporte con el diseño de berma de contención calculado, ejemplo en el Anexo 4.

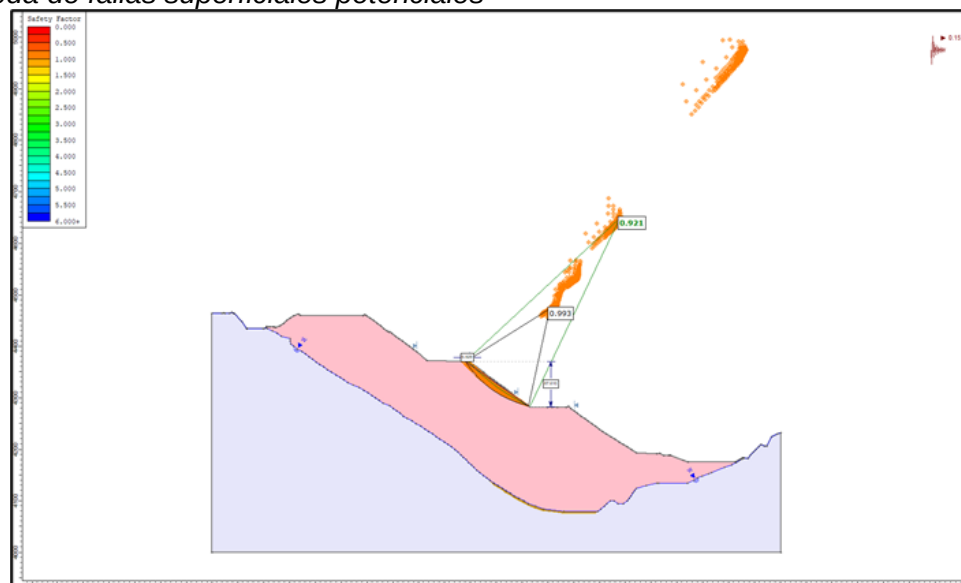
3.4 Caso real: Diseño de berma

Para determinar las dimensiones de una barrera dura de contención, en este caso de desmonte, debemos conocer la posible falla superficial del talud.

En línea con el ejercicio anterior realizaremos la evaluación de estabilidad con falla circular con el método Auto Refine Search en pseudo estático.

Figura 56

Búsqueda de fallas superficiales potenciales

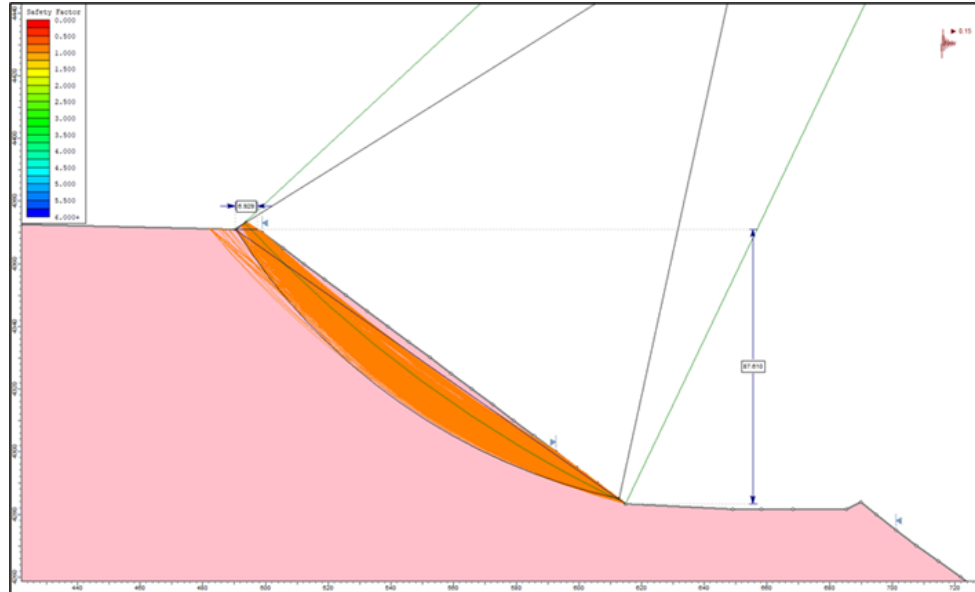


Nota: Elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

Como se observa en la imagen, el resultado del cálculo de Factor de seguridad menor es 0.921, sin embargo, de acuerdo con el criterio de aceptabilidad, se considera inestable a los FoS menores a 1, dentro de todas las fallas inestables se debe elegir la más crítica dentro del intervalo más denso de fallas.

Figura 57

Elección de falla crítica

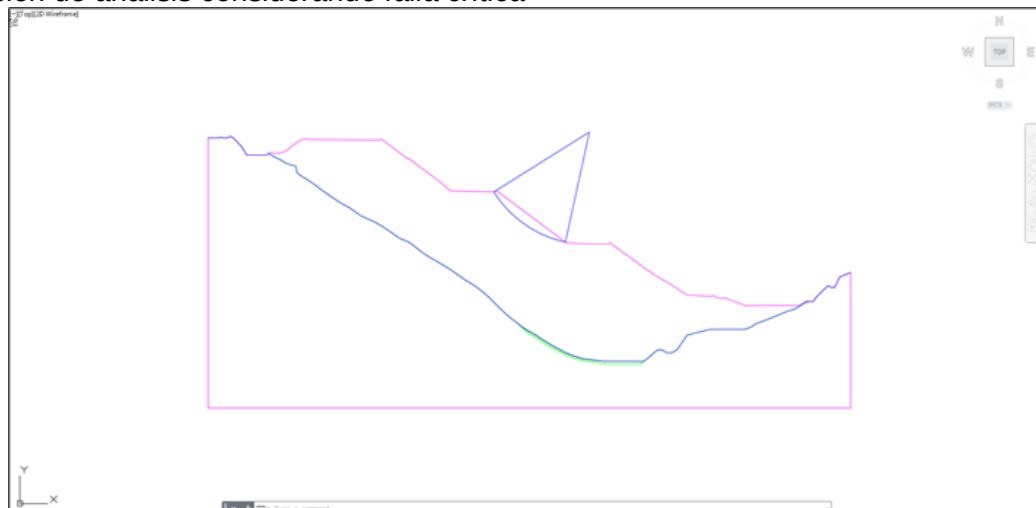


Nota: Elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

Identificado la falla crítica, debemos exportar en dxf esta información y procesarla para ingresarla al software Dan – W. Para ello debemos tener los archivos TOP y PATH, como se ha mencionado en los capítulos anteriores.

Figura 58

Sección de análisis considerando falla crítica

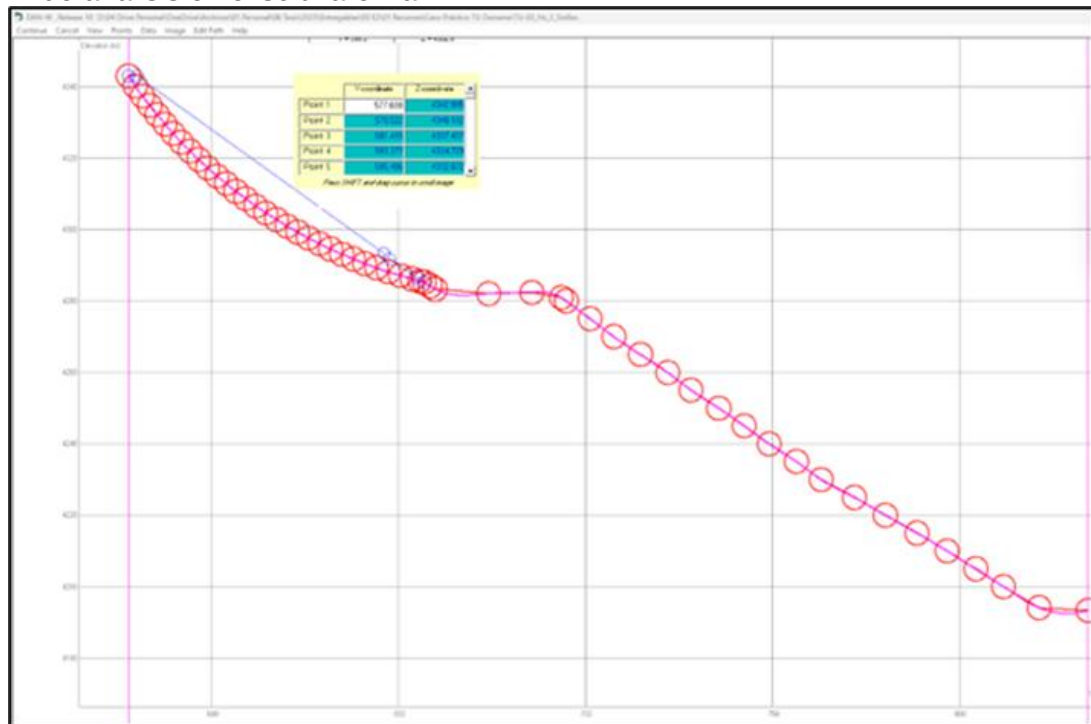


Nota: Elaboración propia con el software Slide (Rocscience).

De acuerdo con el perfil solicitado en el software DAN-W, debe tener la siguiente configuración:

Figura 59

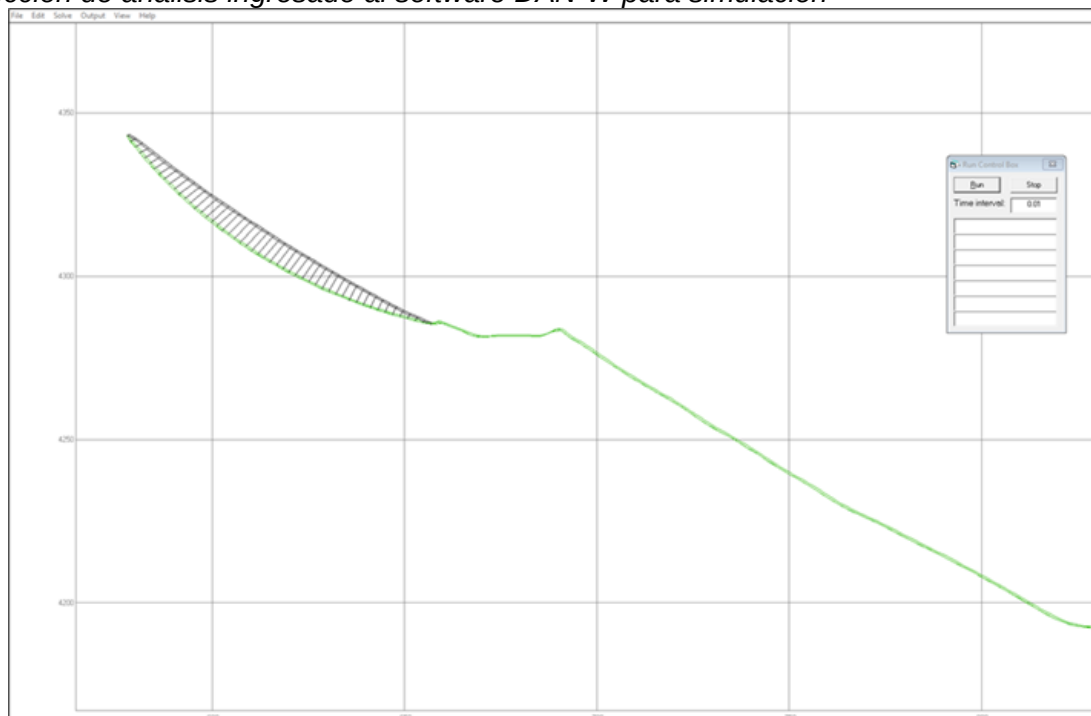
Perfil de análisis en el software Dan -W



Nota: Elaboración propia con el software Dan W.

Figura 60

Sección de análisis ingresado al software DAN-W para simulación



Nota: Elaboración propia con el software Dan W.

Figura 61

Resultado de análisis de flujo para dovelas en posición normal a la superficie de falla.



Nota: Elaboración propia con el software Dan W.

Se observa que el flujo supera la banqueta y llega a niveles inferiores.

Figura 62

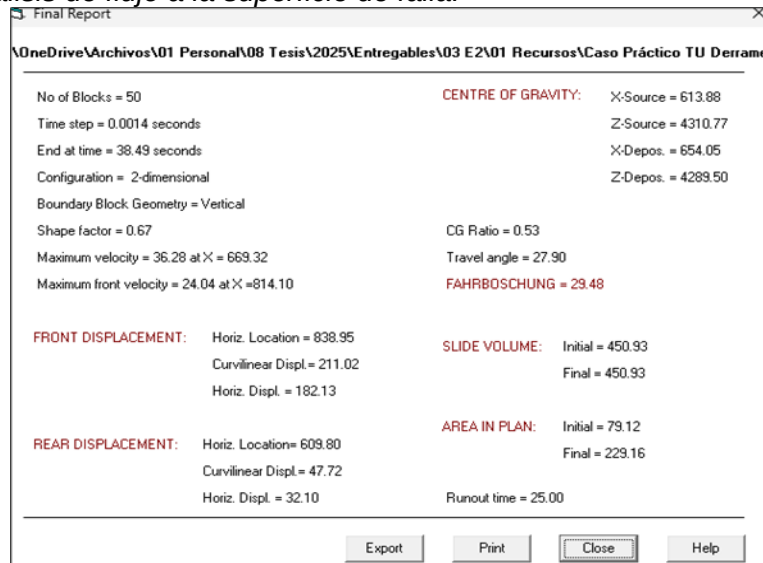
Resultado de análisis de flujo para dovelas en posición vertical a la superficie de falla.



Nota: Elaboración propia con el software Dan W.

Figura 63

Reporte de análisis de flujo a la superficie de falla.



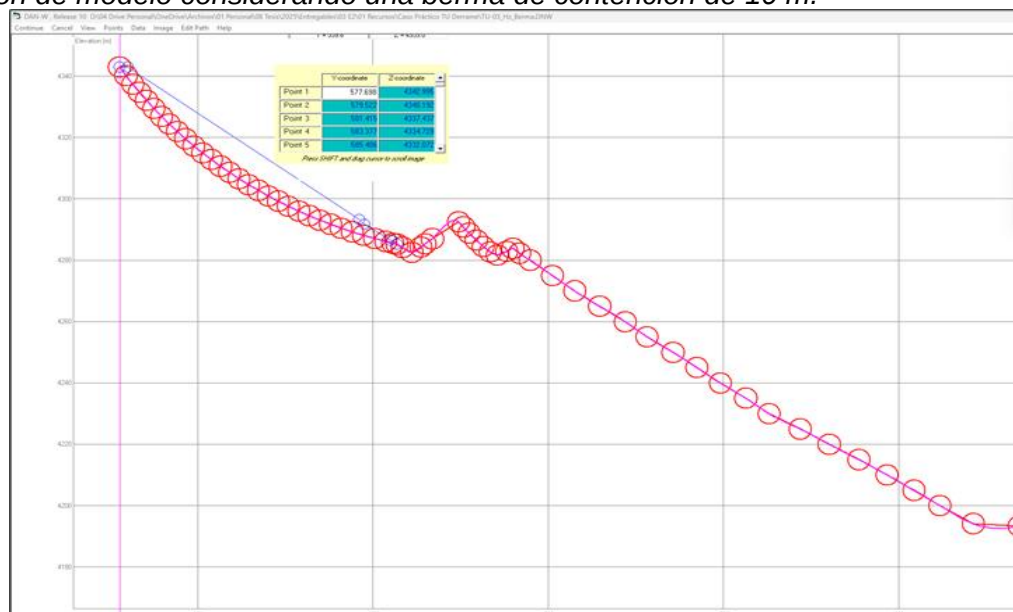
Nota: Elaboración propia con el software Dan W.

Como se puede apreciar en las simulaciones previas, del derrame del flujo sobre pasa la banqueta y llega al talud inferior, como medida de control se plantea construir una berma de contención para captar el derrame de la falla.

De acuerdo con las características del material, como ejemplo se ha simulado una berma de 10m. de altura para la contención, por lo cual se tiene la siguiente configuración del modelo:

Figura 64

Edición de modelo considerando una berma de contención de 10 m.



Nota: Elaboración propia con el software Dan W.

Figura 65

Modelo en DANW considerando una berma de contención de 10 m.



Nota: Elaboración propia con el software Dan W.

Figura 66

Resultado de análisis de flujo para dovelas en posición vertical a la superficie de falla

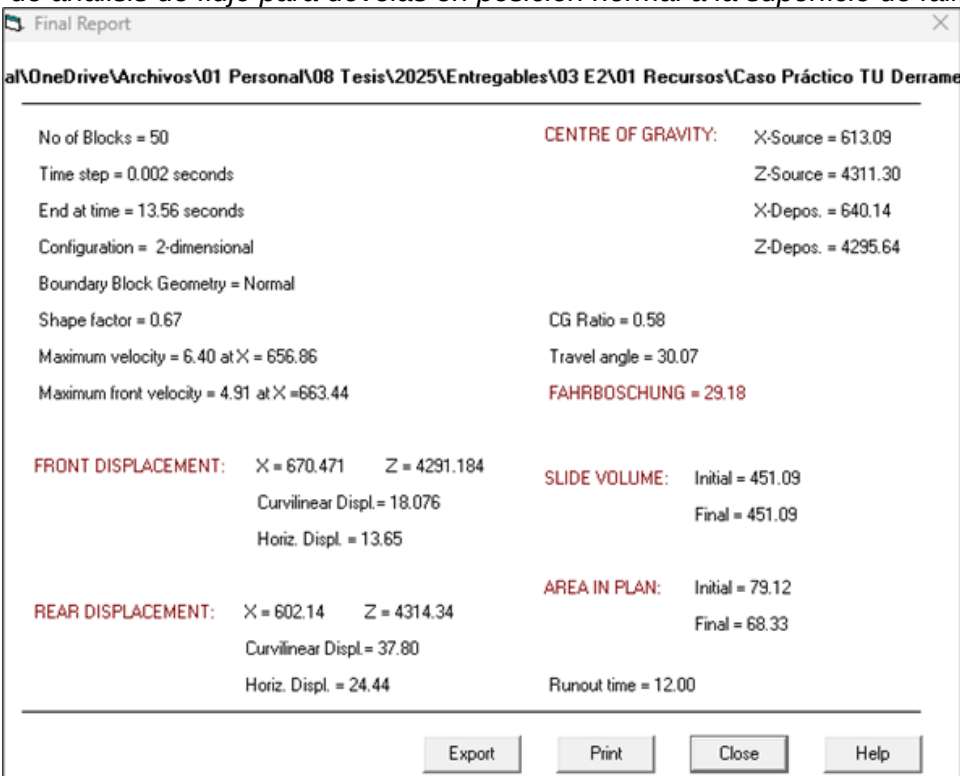


Nota: Elaboración propia con el software Dan W.

Se observa que el flujo no supera la banquetta y no llega a niveles inferiores.

Figura 67

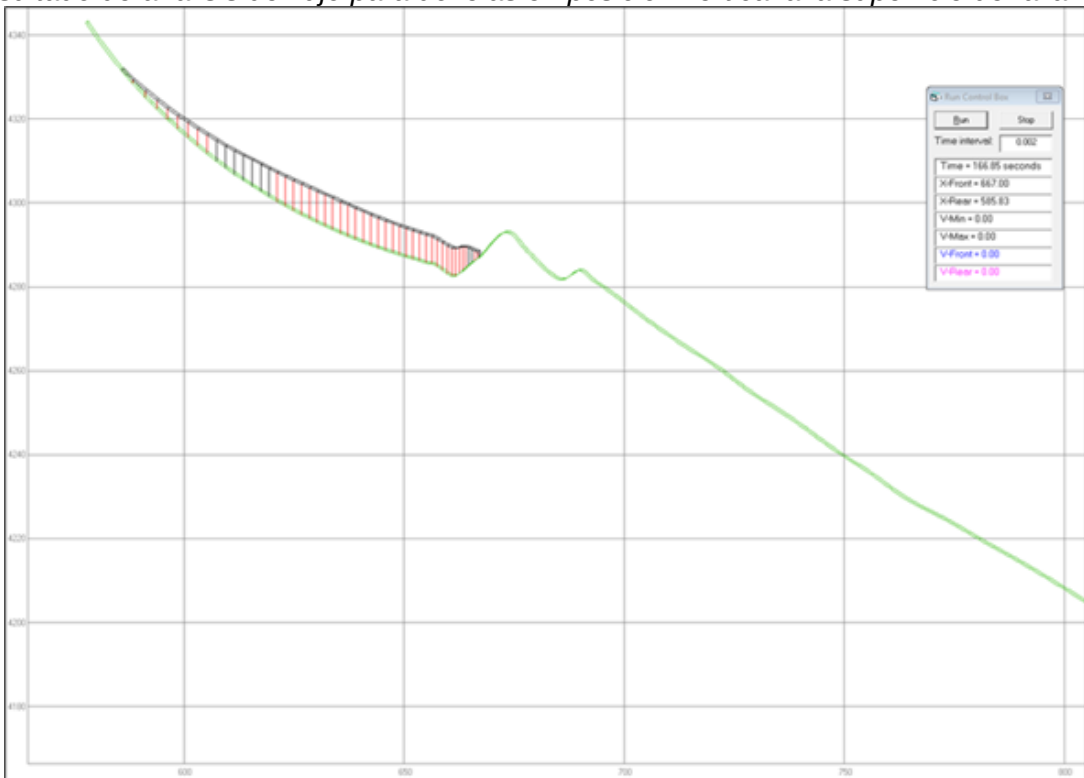
Reporte de análisis de flujo para dovelas en posición normal a la superficie de falla.



Nota: Elaboración propia con el software Dan W.

Figura 68

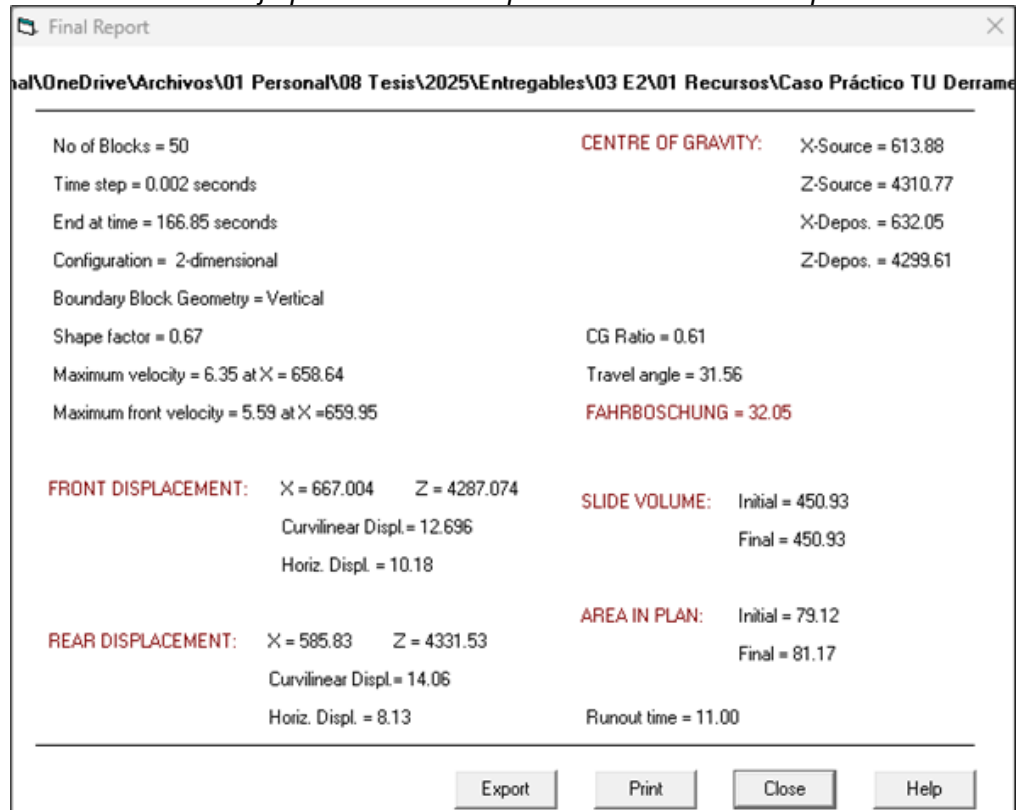
Resultado de análisis de flujo para dovelas en posición vertical a la superficie de falla



Nota: Elaboración propia con el software Dan W.

Figura 69

Reporte de análisis de flujo para dovelas en posición vertical a la superficie de falla.



Nota: Elaboración propia con el software Dan W.

Con los resultados obtenidos ya podemos elaborar el reporte con el diseño de berma de contención calculado, ejemplo en el Anexo 5.

Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados

En base a los cálculos realizados para obtener los factores de seguridad, es importante la secuencia de pasos y etapas para evitar retrabajos en los análisis, como es el caso del análisis de estabilidad:

Tener claro los criterios de aceptabilidad de acuerdo con la información disponible del sector y los parámetros que lo definen. Para estos ejercicios realizados, fue importante definir la ubicación del bloque de búsqueda para las fallas circulares y no circulares, por el tipo de fundación el modelo cumple los factores de seguridad.

Tabla 8

Resumen de FoS Slide

Tipo de Falla	Factor de Seguridad	
	Estático	Pseudoestático
Falla Circular	1.893	1.470
Falla No circular	1.874	1.447

Nota: Fuente elaboración propia.

Estos resultados indican que, bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas, el botadero cumple los valores recomendados para estructuras con consecuencia y fiabilidad moderada o alta. La diferencia entre las fallas circulares y no circulares es menor al 2%, lo que evidencia consistencia en la caracterización geotécnica y en la geometría adoptada para el modelamiento.

Pero hay otros modelos en donde la fundación o contacto roca es esbelta y desfavorece los resultados, en el cual ya conlleva a realizar otros diseños para lograr cumplir con la estabilidad.

Para el caso de dimensionamiento de berma de impacto, como se observa en las simulaciones se determinó en base a las fallas superficiales, ya que en el proceso constructivo puede materializarse estos flujos, para el modelo considerado, se tiene un talud de aproximadamente 60 m. de altura, y de acuerdo con el análisis de derrame de flujo requiere una berma de 10 m.

La consideración de dejar un borde libre en los diseños de berma de contención es por una cuestión de factor de seguridad, ya que debemos recordar que los resultados son en base a un modelamiento aproximado al comportamiento de un derrame de material y que estos deben ser calibrados de acuerdo con eventos históricos que han sucedido en los botaderos.

En el reporte de resultados, también tenemos como información el alcance horizontal que ha tenido el derrame de flujo de acuerdo con la geometría de las dovelas, 13.65 m. (normales) y 10.18 m. (verticales).

Preliminarmente se puede concluir que la simulación de derrame de flujo con las dovelas normales es más crítica, sin embargo, esto depende de los materiales y de la morfología del modelo, estos análisis son complementarios para tener un mejor entendimiento del alcance del flujo.

En conjunto, los análisis demuestran que el secuenciamiento metodológico propuesto permite obtener resultados cuantificables, reproducibles y alineados con las guías internacionales. Además, proporciona una base clara para la toma de decisiones y para futuros ajustes en diseños operativos.

Conclusiones

De este documento se concluye que se en base a los pasos realizados para determinar los factores de seguridad, se debe consideran útil emplear el flujograma de etapas y actividades para evitar retrabajos o ciertos desvíos que puedan evitarse.

De acuerdo con los resultados obtenidos para el factor de seguridad en el ejercicio realizado, estos cumplen con los criterios de aceptabilidad establecidos para el botadero en condiciones estáticas y pseudoestáticas.

Tabla 9

Resumen de FoS

Tipo de Falla	Factor de Seguridad	
	Estático	Pseudoestático
Falla Circular	1.893	1.470
Falla No circular	1.874	1.447

Nota: Fuente elaboración propia.

El análisis de derrame de flujo mostró que, para un talud de 60 m de altura, se requiere una berma de contención de 10 m para controlar un posible derrame superficial, esta altura considera un borde libre adicional por contingencia, que puede estar en el rango de un 20% adicional.

Vertical:

- Altura de derrame de 5.5 m.
- Borde libre: 4.5 m.
- Alcance horizontal: 10.18 m.

Normal:

- Altura de derrame de 8 m.
- Borde libre de 2 m.
- Alcance horizontal: 13.65 m.

La simulación mostró que las dovelas normales presentan un alcance horizontal 34% mayor respecto a las dovelas verticales, lo cual las clasifica como el escenario más crítico y condiciona el diseño de la berma.

La berma de 10 m diseñada evita el desborde del flujo en 100% de las simulaciones, demostrando capacidad adecuada de contención:

- No supera la berma.
- No alcanza niveles inferiores después de la berma.
- No impacta con alguna infraestructura en niveles inferiores.

Estos resultados dependen del conocimiento sobre el terreno a trabajar, ensayos de laboratorio para las propiedades, monitoreo, fundación, entre otros, al igual que debemos considerar que la simulación lo realizamos en un software computacional que puede estar presto a desviaciones.

El secuenciamiento propuesto y análisis realizados permiten obtener modelos que cumplen con los criterios de aceptabilidad establecidos y un diseño de contención ante una falla en un botadero.

Recomendaciones

Es importante poder considerar estos flujos y consideraciones para los análisis de estabilidad en botaderos y diseño de berma de contención en los proyectos ya que servirán como base para una adecuada ejecución.

Estos resultados y los parámetros considerados deben ajustarse de acuerdo con el historial de eventos que tenga la mina para personalizar el flujo de actividades.

Implementar un instructivo que muestre este secuenciamiento de actividades para conocimiento de todo el personal, así como nuevo personal que se integre a la compañía.

Ante un desvío en el proceso de evaluación debe ser integrado y considerado en las próximas evaluaciones para evitar recálculos y reevaluaciones que demanden horas de trabajo y recursos. Es importante que revisar el instructivo periódicamente para la integración o mejora del flujo de actividades.

Para la evaluación de análisis de estabilidad de botaderos se debe tener identificado la caracterización geotécnica como los ensayos de laboratorio, también se debe considerar un método adecuado para el tipo de material para este documento se ha considerado el Morgenstern-Price que es más riguroso para estos casos. Tener claro los criterios de aceptabilidad y otras normativas si es necesario.

Para el diseño de berma de contención se debe tener claro los parámetros influyentes como la altura, tipo y densidad de material, pendiente del talud del botadero, entre otros. Al igual que los materiales para la conformación de la berma, drenaje si es necesario u otros estudios complementarios. Esta berma se puede complementar con un diseño de monitoreo para identificar el comportamiento.

Referencias bibliográficas

- Blight, G. E. (2009). *Geotechnical Engineering for Mine Waste Storage Facilities*. En CRC Press.
- E Hoek, J Bray (1981), *Rock Slope Engineering – Civil and Mining*. Editorial Spon Press.
- Hustrulid, W. A., McCarter, M. K., & Van Zyl, D. J. A. (2000). *Slope stability in surface mining*. En Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.
- Lottermoser, B. G. (2003). *Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts*. Editorial Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Luis I. Gonzales de Vallejo (2002). *Ingeniería geológica*. Editorial Pearson Educación.
- Mark Hawley, John Cuning (2017). *Guidelines for Mine Waste Dump and Stockpile Design*. Editorial CSIRO.
- O. Hungr. (2004). *DAN-W Release 4 Dynamic analysis of landslides*. O. Hungr Geotechnical Research Inc.
- R. Macciotta, A. Creighton, D. Martin (2020). *Design acceptance criteria for operating open-pit slopes: An update*. Editorial CIM Journal.
- Turner, A. K., & Schuster, R. L. (1996b). *Landslides: Investigation and mitigation*. En National Academy Press.
- Vilca, A. (2019). *Estudio geotécnico para la estabilidad del talud del depósito de desmonte Santa Rosa del proyecto Santa Rosa-Arequipa*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio institucional UNSAAC. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/4166?locale-attribute=en>.

Anexos

	Pág.
Anexo 1: Investigación geotécnica – Fundación	1
Anexo 2: Ejemplo de registro de descripción de calicatas.....	2
Anexo 3: Ejemplo de ensayos de laboratorio para propiedades de material	3
Anexo 4: Ejemplo de reporte de estabilidad en botaderos	4
Anexo 5: Ejemplo de reporte de derrame de flujo (Diseño de berma)	5
Anexo 6: Infoviewer del Análisis de Estabilidad	6
Anexo 7: Matriz de consistencia del trabajo de investigación.....	34

Anexo 1: Investigación geotécnica – Fundación



Anexo 2: Ejemplo de registro de descripción de calicatas

REGISTRO DESCRIPCION DE CALICATAS							
CALICATA 01						Proyecto: _____ Ubicación: _____ Calicata: _____ Ingeniero: _____	Norte: _____ Este: _____ Cota: _____ Fecha: _____
Profundidad	SUCS	Gráfico	Descripción	Muestra	Código de Muestra	Comentarios	
0.0-1.5	PT		Top soil			Suelo con cobertura vegetal	
1.5-3.5	OH		Arcilla			Arcilla orgánica de alta plasticidad	
3.5+	Caliza (de moderado a alto grado de alteración)		Caliza alterada R3			Roca Alterada	



Anexo 3: Ejemplo de ensayos de laboratorio para propiedades de material



ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Limpiar

Generar

Nombre del proyecto:

Investigaciones Geotécnicas Proyecto Expansión Botadero

Cliente:

Anddes Asociados S.A.C

Nº de proyecto:

1104.10.01

Ubicación del proyecto:

Botadero

Solicitado por: **J.M.S**

J.M.S

Nº de Informe de Lab:

AV-097-11E

Cód. de muestra: **CA-AN11-132**

Profundidad (m): **0,30 - 1,80**

Zona: **---**

Nº de muestra: **M-1**

Descripción: **---**

Fecha: **18-may-11**

Estado : Remoldeado

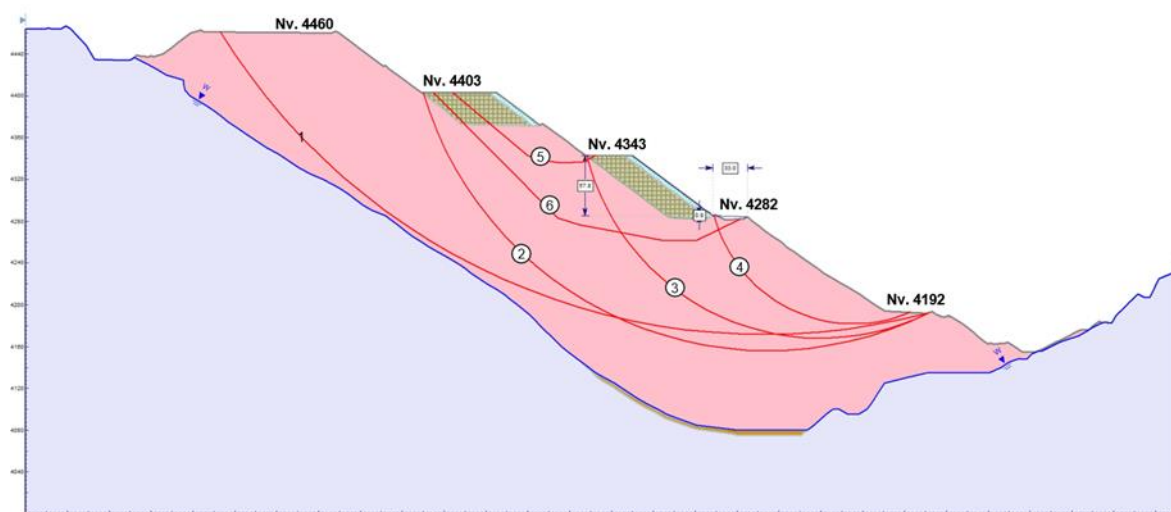
Clasificación: GC

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	14,55	14,26
Diámetro (cm)	7,07	6,85
Humedad (%)	12,20	12,15
Densidad seca (gr/cc)	1,954	2,123

Velocidad (pulg/min)	0,01
Parámetro "B"	0,97
Presión de celda kPa	876
Contra presión kPa	276
Esf. Efect. Inicial kPa	600

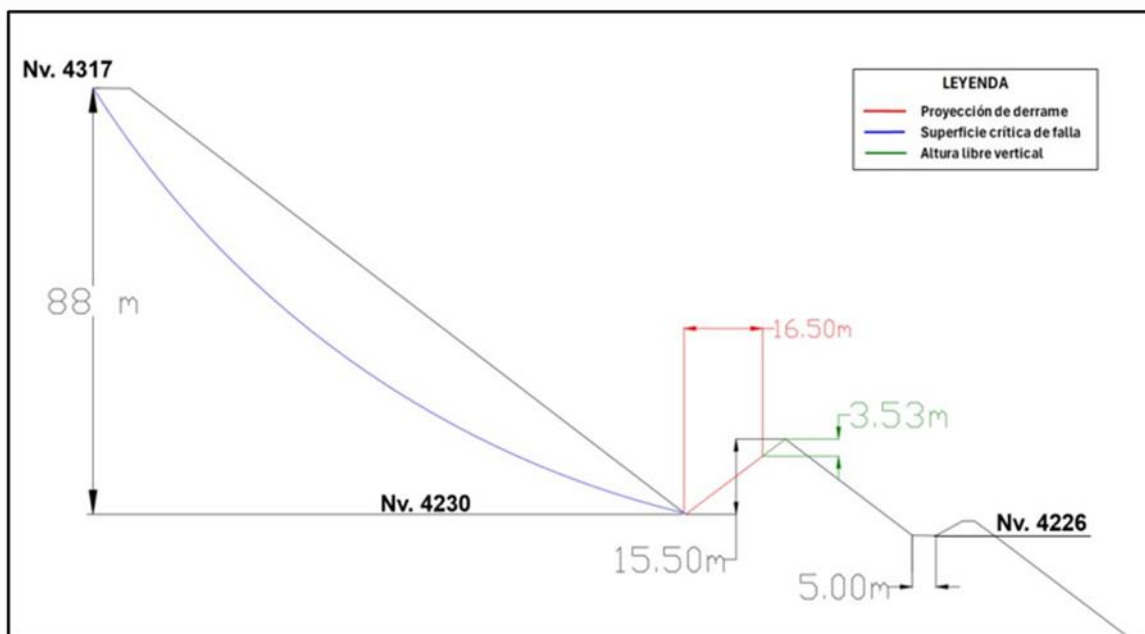
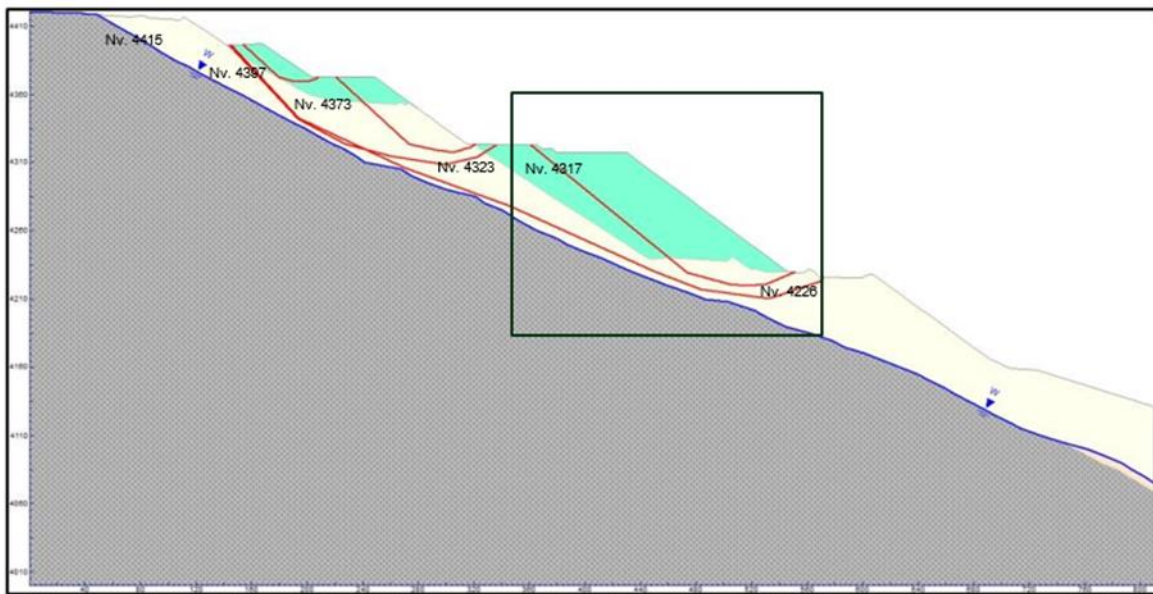
Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	μ kPa	s_1 kPa	s_1 kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q} / \bar{p}$	Oblicuidad (s_1/s_3)
0,00	0,00	0,00	600,00	600,00	600,00	0,00	0,00	1,00
0,05	84,90	10,34	589,66	674,56	632,11	42,45	0,07	1,14
0,10	173,82	25,51	574,49	748,31	661,40	86,91	0,13	1,30
0,20	264,45	53,78	546,22	810,67	678,44	132,22	0,19	1,48
0,35	331,27	94,46	505,54	836,81	671,17	165,63	0,25	1,66
0,50	366,06	137,21	462,79	828,86	645,83	183,03	0,28	1,79
0,75	398,08	186,85	413,15	811,23	612,19	199,04	0,33	1,96
1,00	415,95	222,70	377,30	793,25	585,27	207,98	0,36	2,10
1,25	425,62	254,42	345,58	771,21	558,40	212,81	0,38	2,23
1,50	432,15	274,41	325,59	757,74	541,67	216,08	0,40	2,33
1,75	436,51	289,58	310,42	746,93	528,67	218,25	0,41	2,41
2,00	443,79	307,16	292,84	736,63	514,74	221,90	0,43	2,52
2,50	449,88	324,74	275,26	725,14	500,20	224,94	0,45	2,63
3,00	457,99	338,53	261,47	719,46	490,46	229,00	0,47	2,75
3,50	466,46	349,56	250,44	716,90	483,67	233,23	0,48	2,86
4,00	473,89	359,91	240,09	713,98	477,04	236,95	0,50	2,97
4,50	482,37	366,80	233,20	715,57	474,38	241,18	0,51	3,07
5,00	488,67	372,32	227,68	716,35	472,02	244,34	0,52	3,15
6,00	501,33	379,90	220,10	721,43	470,77	250,67	0,53	3,28
7,00	513,96	385,42	214,58	728,54	471,56	256,98	0,54	3,40
8,00	526,64	385,42	214,58	741,22	477,90	263,32	0,55	3,45
9,00	534,86	387,49	212,51	747,37	479,94	267,43	0,56	3,52
10,00	545,49	384,04	215,96	761,45	488,70	272,74	0,56	3,53
11,00	558,54	381,28	218,72	777,26	497,99	279,27	0,56	3,55
12,00	560,87	380,59	219,41	780,27	499,84	280,43	0,56	3,56
13,00	567,51	379,21	220,79	788,30	504,54	283,75	0,56	3,57
14,00	574,01	376,11	223,89	797,90	510,90	287,00	0,56	3,56
15,00	580,21	373,01	226,99	807,20	517,10	290,10	0,56	3,56

Anexo 4: Ejemplo de reporte de estabilidad en botaderos



Sección	Lifts				Tipo Superficie	Factor de Seguridad	
	Nº	Cresta	Pie	Altura (m)		Estático	Pseudoestático ($k_h=0.15$)
TU-03	1	4460	4192	268	CS	2.19	1.57
	2	4410	4192	218	CS	2.33	1.75
	3	4350	4192	158	CS	2.24	1.71
	4	4282	4192	90	CS	1.97	1.51
	5	4410	4350	60	BS	2.14	1.61
	6	4410	4282	128	CS	2.32	1.71
TU-05	1	4619	4196	423	BS	3.34	2.04
	2	4463	4196	267	BS	2.43	1.74
	3	4410	4196	214	CS	2.50	1.85
	4	4350	4196	154	CS	2.40	1.80
	5	4285	4196	89	BS	2.07	1.59
	6	4463	4285	178	BS	2.50	1.77
	7	4410	4285	125	CS	2.29	1.69
	8	4350	4285	65	CS	1.97	1.51
TU-06	1	4460	4182	278	BS	2.14	1.56
	2	4410	4182	228	CS	2.26	1.69
	3	4350	4182	168	CS	2.17	1.65
	4	4256	4182	74	CS	1.99	1.52
	5	4460	4108	352	BS	1.57	1.12
	6	4410	4256	154	CS	2.24	1.67

Anexo 5: Ejemplo de reporte de derrame de flujo (Diseño de berma)





Seccion_TU-03_2025_Final Tesis
SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 26/05/2022, 12:58:47 Software
Version: 9.038

Slide2 Analysis Information

Seccion_TU-03_2025_Final Tesis

Project Summary

File Name:	Seccion_TU-03_2025_Final Tesis.slmd
Slide2 Modeler Version:	9.038
Project Title:	SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created:	26/05/2022, 12:58:47

Currently Open Scenarios

Group Name	Scenario Name	Global Minimum	Compute Time
TU-03_Pseudoest ático kh = 0.15	C_Est	Gle/morgenstern-price: 1.893120	00h:00m:03.539s
	C_Pseud	Gle/morgenstern-price: 1.470420	00h:00m:04.744s
	NC_Est	Gle/morgenstern-price: 1.874450	00h:00m:01.481s
	NC_Pseud	Gle/morgenstern-price: 1.447410	00h:00m:01.663s

General Settings

Units of Measurement:

Time Units:

Permeability Units:

Data Output:

Failure Direction:

Metric Units

days

meters/second

Standard

Left to Right

Analysis Options

All Open Scenarios

Slices Type:	Vertical
Analysis Methods Used	
	GLE/Morgenstern-Price with interslice force function (Half Sine)
Number of slices:	50
Tolerance:	0.005
Maximum number of iterations:	75
Check malpha < 0.2:	Yes
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos:	Yes
Initial trial value of FS:	1
Steffensen Iteration:	Yes

Groundwater Analysis

All Open Scenarios

Groundwater Method:	Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m ³]:	9.81
Advanced Groundwater Method:	None

Surface Options

◆ TU-03 Pseudoestático kh = 0.15 - NC Est

Surface Type:	Non-Circular Block Search
Number of Surfaces:	5000
Multiple Groups:	Disabled
Pseudo-Random Surfaces:	Enabled
Convex Surfaces Only:	Disabled
Optimize Surfaces:	Disabled
Left Projection Angle (Start Angle) [deg]:	95
Left Projection Angle (End Angle) [deg]:	155
Right Projection Angle (Start Angle) [deg]:	-15
Right Projection Angle (End Angle) [deg]:	85
Minimum Elevation:	Not Defined
Minimum Depth:	Not Defined
Minimum Area:	Not Defined
Minimum Weight:	Not Defined

All other Scenarios

Surface Type:	Circular
Search Method:	Slope Search
Number of Surfaces:	5000
Upper Angle [deg]:	Not Defined
Lower Angle [deg]:	Not Defined
Composite Surfaces:	Disabled
Reverse Curvature:	Invalid Surfaces
Minimum Elevation:	Not Defined
Minimum Depth:	Not Defined
Minimum Area:	Not Defined
Minimum Weight:	Not Defined

Seismic Loading

◆ TU-03 Pseudoestático kh = 0.15 - C Est

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

◆ TU-03 Pseudoestático kh = 0.15 - C Pseud

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.15

◆ TU-03 Pseudoestático kh = 0.15 - NC Est

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

◆ TU-03 Pseudoestático kh = 0.15 - NC Pseud

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.15

Materials

Roca

Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unit Weight	26.7 kN/m ³
Cohesion	1000 kPa
Phi	45 °
Water Surface	Assigned per scenario
Hu Type	Custom
Hu	0
Specify alternate strength type above water surface	No

Leps

Color	
Strength Type	Shear/Normal Function
Unit Weight	19.6 kN/m ³
Shear/Normal Function	Tusef
Water Surface	Assigned per scenario
Hu Type	Automatically Calculated
Specify alternate strength type above water surface	No

Coluvio

Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unit Weight	20 kN/m ³
Saturated U.W.	22 kN/m ³
Cohesion	0 kPa
Phi	32 °
Water Surface	Assigned per scenario
Hu Type	Automatically Calculated
Specify alternate strength type above water surface	No

Morrena

Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unit Weight	21 kN/m ³
Saturated U.W.	22 kN/m ³
Cohesion	4 kPa
Phi	33 °
Water Surface	Assigned per scenario
Hu Type	Automatically Calculated
Specify alternate strength type above water surface	No

Shear Normal Functions

Name: Tusef		
	Effective Normal (kPa)	Shear (kPa)
0		0
10		10
50		47
200		175
500		420
1000		800
2000		1581
3000		2316
4000		3032
5000		3768

Materials In Use

Material		C_Est	C_Pseud	NC_Est	NC_Pseud
Roca		✓	✓	✓	✓
Leps		✓	✓	✓	✓
Coluvio		✓	✓	✓	✓
Morrena		✓	✓	✓	✓

Global Minimums

◆ TU-03 Pseudoestático kh = 0.15 - C Est

Method: gle/morgenstern-price

FS	1.893120
Center:	591.897, 4413.938
Radius:	141.516
Left Slip Surface Endpoint:	456.796, 4371.810
Right Slip Surface Endpoint:	642.960, 4281.956
Resisting Moment:	1.5457e+07 kN-m
Driving Moment:	8.16483e+06 kN-m
Resisting Horizontal Force:	94401.4 kN
Driving Horizontal Force:	49865.6 kN
Total Slice Area:	7014.78 m2
Surface Horizontal Width:	186.164 m
Surface Average Height:	37.6807 m

◆ TU-03 Pseudoestático kh = 0.15 - C Pseud

Method: gle/morgenstern-price

FS	1.470420
Center:	591.897, 4413.938
Radius:	141.516
Left Slip Surface Endpoint:	456.796, 4371.810
Right Slip Surface Endpoint:	642.960, 4281.956
Resisting Moment:	1.49141e+07 kN-m
Driving Moment:	1.01428e+07 kN-m
Resisting Horizontal Force:	92719.3 kN
Driving Horizontal Force:	63056.4 kN
Total Slice Area:	7014.78 m2
Surface Horizontal Width:	186.164 m
Surface Average Height:	37.6807 m

◆ TU-03 Pseudoestático kh = 0.15 - NC Est

Method: gle/morgenstern-price

FS	1.874450
Axis Location:	629.264, 4538.865
Left Slip Surface Endpoint:	432.889, 4372.373
Right Slip Surface Endpoint:	644.633, 4281.869
Resisting Moment:	2.85852e+07 kN-m
Driving Moment:	1.525e+07 kN-m
Resisting Horizontal Force:	95213.5 kN
Driving Horizontal Force:	50795.5 kN
Total Slice Area:	7053.43 m2
Surface Horizontal Width:	211.744 m
Surface Average Height:	33.3111 m

◆ TU-03 Pseudoestático kh = 0.15 - NC Pseud

Method: gle/morgenstern-price

FS	1.447410
Axis Location:	619.129, 4543.485
Left Slip Surface Endpoint:	420.738, 4372.658
Right Slip Surface Endpoint:	636.756, 4282.276
Resisting Moment:	2.90065e+07 kN-m
Driving Moment:	2.00403e+07 kN-m
Resisting Horizontal Force:	98157.7 kN
Driving Horizontal Force:	67816 kN
Total Slice Area:	7438.63 m2
Surface Horizontal Width:	216.018 m

Surface Average Height:

34.4353 m

Global Minimum Coordinates

◆ TU-03 Pseudoestático kh = 0.15 - NC Est

Method: gle/morgenstern-price

X	Y
432.889	4372.37
538.51	4283.35
574.867	4272.19
613.736	4269.65
644.633	4281.87

◆ TU-03 Pseudoestático kh = 0.15 - NC Pseud

Method: gle/morgenstern-price

X	Y
420.738	4372.66
537.965	4283.36
573.932	4273.66
614.405	4271.77
636.756	4282.28

Global Minimum Support Data

All Open Scenarios

No Supports Present

Valid and Invalid Surfaces

◆ TU-03 Pseudoestático kh = 0.15 - C Est

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 4102
Number of Invalid Surfaces: 898

Error Codes

Error Code -114 reported for 898 surfaces

◆ TU-03 Pseudoestático kh = 0.15 - C Pseud

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 4102
Number of Invalid Surfaces: 898

Error Codes

Error Code -114 reported for 898 surfaces

◆ TU-03 Pseudoestático kh = 0.15 - NC Est

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 3057
Number of Invalid Surfaces: 1943

Error Codes

Error Code -108 reported for 2 surfaces

Error Code -111 reported for 1941 surfaces

◆ TU-03 Pseudoestático kh = 0.15 - NC Pseud

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 2909
Number of Invalid Surfaces: 2091

Error Codes

Error Code -108 reported for 3 surfaces

Error Code -111 reported for 2088 surfaces

Error Code Descriptions

The following errors were encountered during the computation:

-108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).

-111 = Safety factor equation did not converge

-114 = Surface with Reverse Curvature.

Slice Data

◆ TU-03 Pseudoestático kh = 0.15 - C Est

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.89312

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [deg]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [deg]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	3.72327	378.97	-70.4303	Leps	0.75	42.7688	20.4013	38.6221	40.9428	0	40.9428	98.3325	98.3325
2	3.72327	1064.29	-66.3037	Leps	4.33333	40.4752	60.2689	114.096	128.628	0	128.628	265.949	265.949
3	3.72327	1631.56	-62.7799	Leps	11.6667	39.2374	95.8416	181.44	207.886	0	207.886	394.213	394.213
4	3.72327	2121.22	-59.6405	Leps	11.6667	39.2374	127.406	241.196	281.056	0	281.056	498.566	498.566
5	3.72327	2554.16	-56.7734	Leps	11.6667	39.2374	156.498	296.27	348.493	0	348.493	587.405	587.405
6	3.72327	2942.93	-54.1118	Leps	11.6667	39.2374	183.756	347.873	411.682	0	411.682	665.641	665.641
7	3.72327	3295.77	-51.6121	Leps	11.6667	39.2374	209.691	396.971	471.8	0	471.8	736.48	736.48
8	3.72327	3618.5	-49.2437	Leps	40	37.2348	234.008	443.005	530.269	0	530.269	801.788	801.788
9	3.72327	3915.34	-46.9842	Leps	40	37.2348	257.065	486.654	587.703	0	587.703	863.218	863.218
10	3.72327	4277.67	-44.8167	Leps	40	37.2348	285.734	540.929	659.117	0	659.117	943.028	943.028
11	3.72327	4515.99	-42.728	Leps	40	37.2348	307.32	581.793	712.887	0	712.887	996.751	996.751
12	3.72327	4580.19	-40.7075	Leps	40	37.2348	317.913	601.848	739.275	0	739.275	1012.8	1012.8
13	3.72327	4603.44	-38.7467	Leps	40	37.2348	326.516	618.134	760.703	0	760.703	1022.73	1022.73
14	3.72327	4610.44	-36.8385	Leps	40	37.2348	334.826	633.866	781.402	0	781.402	1032.23	1032.23
15	3.72327	4604.18	-34.9767	Leps	40	37.2348	343.021	649.379	801.814	0	801.814	1041.79	1041.79
16	3.72327	4584.91	-33.1565	Leps	40	37.2348	351.068	664.614	821.86	0	821.86	1051.21	1051.21
17	3.72327	4553.42	-31.3733	Leps	40	37.2348	358.966	679.565	841.534	0	841.534	1060.42	1060.42
18	3.72327	4510.2	-29.6234	Leps	40	37.2348	366.675	694.16	860.736	0	860.736	1069.23	1069.23
19	3.72327	4456.06	-27.9034	Leps	40	37.2348	374.17	708.349	879.405	0	879.405	1077.55	1077.55
20	3.72327	4391.77	-26.2104	Leps	40	37.2348	381.412	722.059	897.445	0	897.445	1085.21	1085.21
21	3.72327	4318.31	-24.5416	Leps	40	37.2348	388.366	735.224	914.768	0	914.768	1092.1	1092.1
22	3.72327	4237.24	-22.8948	Leps	40	37.2348	395.04	747.858	931.391	0	931.391	1098.22	1098.22
23	3.72327	4145.15	-21.2678	Leps	40	37.2348	400.969	759.083	946.161	0	946.161	1102.23	1102.23
24	3.72327	4041.4	-19.6586	Leps	40	37.2348	405.896	768.41	958.434	0	958.434	1103.44	1103.44
25	3.72327	3931.27	-18.0653	Leps	40	37.2348	410.122	776.411	968.962	0	968.962	1102.74	1102.74
26	3.72327	3814.13	-16.4864	Leps	40	37.2348	413.381	782.579	977.076	0	977.076	1099.42	1099.42
27	3.72327	3687.59	-14.9203	Leps	40	37.2348	415.192	786.008	981.591	0	981.591	1092.22	1092.22
28	3.72327	3552.74	-13.3656	Leps	40	37.2348	415.413	786.427	982.141	0	982.141	1080.84	1080.84
29	3.72327	3410.34	-11.8207	Leps	40	37.2348	413.869	783.503	978.293	0	978.293	1064.91	1064.91
30	3.72327	3260.36	-10.2846	Leps	40	37.2348	410.296	776.74	969.395	0	969.395	1043.84	1043.84
31	3.72327	3102.86	-8.75594	Leps	40	37.2348	404.458	765.687	954.85	0	954.85	1017.15	1017.15
32	3.72327	2937.96	-7.23351	Leps	40	37.2348	396.136	749.933	934.121	0	934.121	984.4	984.4
33	3.72327	2765.73	-5.71621	Leps	40	37.2348	385.142	729.12	906.737	0	906.737	945.289	945.289
34	3.72327	2586.24	-4.20293	Leps	40	37.2348	371.326	702.965	872.322	0	872.322	899.609	899.609
35	3.72327	2399.55	-2.69257	Leps	40	37.2348	354.592	671.285	830.638	0	830.638	847.314	847.314
36	3.72327	2205.91	-1.18409	Leps	40	37.2348	334.925	634.054	781.651	0	781.651	788.573	788.573
37	3.72327	2005.19	0.323568	Leps	40	37.2348	312.336	591.289	725.38	0	725.38	723.616	723.616
38	3.72327	1797.31	1.83145	Leps	40	37.2348	286.913	543.161	662.052	0	662.052	652.878	652.878
39	3.72327	1582.18	3.34061	Leps	40	37.2348	258.817	489.972	592.067	0	592.067	576.96	576.96
40	3.72327	1359.66	4.85209	Leps	40	37.2348	228.285	432.17	516.014	0	516.014	496.635	496.635
41	3.72327	1130.03	6.36697	Leps	11.6667	39.2374	193.28	365.903	433.757	0	433.757	412.19	412.19
42	3.72327	893.281	7.88633	Leps	11.6667	39.2374	155.921	295.177	347.157	0	347.157	325.559	325.559
43	3.72327	679.082	9.4113	Leps	11.6667	39.2374	121.619	230.239	267.639	0	267.639	247.481	247.481
44	3.72327	598.254	10.943	Leps	11.6667	39.2374	107.046	202.652	233.86	0	233.86	213.163	213.163
45	3.72327	527.878	12.4827	Leps	11.6667	39.2374	93.8676	177.703	203.31	0	203.31	182.529	182.529
46	3.72327	449.817	14.0316	Leps	4.33333	40.4752	78.8668	149.304	169.888	0	169.888	150.178	150.178
47	3.72327	363.922	15.5911	Leps	4.33333	40.4752	62.8657	119.012	134.39	0	134.39	116.848	116.848
48	3.72327	270.023	17.1625	Leps	4.33333	40.4752	46.1763	87.4172	97.364	0	97.364	83.1031	83.1031
49	3.72327	167.923	18.7474	Leps	4.33333	40.4752	29.0186	54.9356	59.2996	0	59.2996	49.4506	49.4506
50	3.72327	57.3985	20.3473	Leps	0.75	42.7688	10.2276	19.3621	20.1212	0	20.1212	16.3283	16.3283

◆ TU-03 Pseudoestático kh = 0.15 - C Pseud

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.47042

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [deg]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [deg]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	3.72327	378.97	-70.4303	Leps	0.75	42.7688	22.2664	32.7409	34.5847	0	34.5847	97.2208	97.2208
2	3.72327	1064.29	-66.3037	Leps	4.33333	40.4752	65.9802	97.0186	108.615	0	108.615	258.949	258.949
3	3.72327	1631.56	-62.7799	Leps	4.33333	40.4752	104.421	153.543	174.856	0	174.856	377.863	377.863
4	3.72327	2121.22	-59.6405	Leps	11.6667	39.2374	138.377	203.472	234.863	0	234.863	471.103	471.103
5	3.72327	2554.16	-56.7734	Leps	11.6667	39.2374	168.907	248.365	289.836	0	289.836	547.691	547.691
6	3.72327	2942.93	-54.1118	Leps	11.6667	39.2374	197.175	289.93	340.73	0	340.73	613.234	613.234
7	3.72327	3295.77	-51.6121	Leps	11.6667	39.2374	223.85	329.154	388.76	0	388.76	671.311	671.311
8	3.72327	3618.5	-49.2437	Leps	11.6667	39.2374	249.499	366.868	434.941	0	434.941	724.434	724.434
9	3.72327	3915.34	-46.9842	Leps	11.6667	39.2374	274.603	403.782	480.142	0	480.142	774.454	774.454
10	3.72327	4277.67	-44.8167	Leps	40	37.2348	305.333	448.968	538.115	0	538.115	841.5	841.5
11	3.72327	4515.99	-42.728	Leps	40	37.2348	327.864	482.098	581.707	0	581.707	884.548	884.548
12	3.72327	4580.19	-40.7075	Leps	40	37.2348	338.645	497.951	602.567	0	602.567	893.925	893.925
13	3.72327	4603.44	-38.7467	Leps	40	37.2348	347.736	511.318	620.156	0	620.156	899.211	899.211
14	3.72327	4610.44	-36.8385	Leps	40	37.2348	357.101	525.089	638.275	0	638.275	905.795	905.795
15	3.72327	4604.18	-34.9767	Leps	40	37.2348	367.023	539.678	657.471	0	657.471	914.242	914.242
16	3.72327	4584.91	-33.1565	Leps	40	37.2348	377.547	555.153	677.834	0	677.834	924.485	924.485
17	3.72327	4553.42	-31.3733	Leps	40	37.2348	388.751	571.627	699.509	0	699.509	936.555	936.555
18	3.72327	4510.2	-29.6234	Leps	40	37.2348	400.665	589.146	722.56	0	722.56	950.386	950.386
19	3.72327	4456.06	-27.9034	Leps	40	37.2348	413.327	607.765	747.059	0	747.059	965.936	965.936
20	3.72327	4391.77	-26.2104	Leps	40	37.2348	426.752	627.504	773.033	0	773.033	983.116	983.116
21	3.72327	4318.31	-24.5416	Leps	40	37.2348	440.941	648.368	800.486	0	800.486	1001.82	1001.82
22	3.72327	4237.24	-22.8948	Leps	40	37.2348	455.931	670.41	829.486	0	829.486	1022.03	1022.03
23	3.72327	4145.15	-21.2678	Leps	40	37.2348	471.175	692.825	858.98	0	858.98	1042.38	1042.38
24	3.72327	4041.4	-19.6586	Leps	40	37.2348	486.322	715.098	888.288	0	888.288	1062.02	1062.02
25	3.72327	3931.27	-18.0653	Leps	40	37.2348	501.645	737.629	917.932	0	917.932	1081.56	1081.56
26	3.72327	3814.13	-16.4864	Leps	40	37.2348	516.689	759.75	947.04	0	947.04	1099.96	1099.96
27	3.72327	3687.59	-14.9203	Leps	40	37.2348	530.672	780.311	974.093	0	974.093	1115.5	1115.5
28	3.72327	3552.74	-13.3656	Leps	40	37.2348	543.162	798.677	998.258	0	998.258	1127.31	1127.31
29	3.72327	3410.34	-11.8207	Leps	19	37.9899	553.929	814.509	1018.58	0	1018.58	1134.51	1134.51
30	3.72327	3260.36	-10.2846	Leps	19	37.9899	561.846	826.149	1033.48	0	1033.48	1135.43	1135.43
31	3.72327	3102.86	-8.75594	Leps	19	37.9899	566.119	832.433	1041.53	0	1041.53	1128.72	1128.72
32	3.72327	2937.96	-7.23351	Leps	19	37.9899	565.989	832.241	1041.28	0	1041.28	1113.12	1113.12
33	3.72327	2765.73	-5.71621	Leps	19	37.9899	560.731	824.51	1031.38	0	1031.38	1087.51	1087.51
34	3.72327	2586.24	-4.20293	Leps	19	37.9899	549.725	808.327	1010.66	0	1010.66	1051.06	1051.06
35	3.72327	2399.55	-2.69257	Leps	40	37.2348	532.927	783.627	978.457	0	978.457	1003.52	1003.52
36	3.72327	2205.91	-1.18409	Leps	40	37.2348	510.025	749.951	934.145	0	934.145	944.687	944.687
37	3.72327	2005.19	0.323568	Leps	40	37.2348	480.742	706.892	877.488	0	877.488	874.773	874.773
38	3.72327	1797.31	1.83145	Leps	40	37.2348	445.237	654.685	808.797	0	808.797	794.56	794.56
39	3.72327	1582.18	3.34061	Leps	40	37.2348	403.917	593.928	728.854	0	728.854	705.277	705.277
40	3.72327	1359.66	4.85209	Leps	40	37.2348	357.469	525.63	638.987	0	638.987	608.642	608.642
41	3.72327	1130.03	6.36697	Leps	40	37.2348	306.852	451.201	541.053	0	541.053	506.813	506.813
42	3.72327	893.281	7.88633	Leps	11.6667	39.2374	249.648	367.087	435.208	0	435.208	400.627	400.627
43	3.72327	679.082	9.4113	Leps	11.6667	39.2374	194.824	286.473	336.496	0	336.496	304.204	304.204
44	3.72327	598.254	10.943	Leps	11.6667	39.2374	169.034	248.551	290.062	0	290.062	257.379	257.379
45	3.72327	527.878	12.4827	Leps	11.6667	39.2374	145.484	213.923	247.661	0	247.661	215.454	215.454
46	3.72327	449.817	14.0316	Leps	11.6667	39.2374	120.818	177.653	203.249	0	203.249	173.055	173.055
47	3.72327	363.922	15.5911	Leps	4.33333	40.4752	94.2257	138.551	157.286	0	157.286	130.994	130.994
48	3.72327	270.023	17.1625	Leps	4.33333	40.4752	67.6365	99.454	111.47	0	111.47	90.5812	90.5812
49	3.72327	167.923	18.7474	Leps	4.33333	40.4752	41.5796	61.1395	66.5697	0	66.5697	52.4574	52.4574
50	3.72327	57.3985	20.3473	Leps	0.75	42.7688	14.6114	21.4849	22.4161	0	22.4161	16.9974	16.9974

◆ TU-03 Pseudoestático kh = 0.15 - NC Est

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.87445

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [deg]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [deg]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	4.22487	143.314	-40.1244	Leps	0.75	42.7688	12.0073	22.5071	23.5211	0	23.5211	33.6409	33.6409
2	4.22487	429.942	-40.1244	Leps	4.33333	40.4752	34.4986	64.6659	70.7023	0	70.7023	99.7779	99.7779
3	4.22487	716.569	-40.1244	Leps	4.33333	40.4752	55.6746	104.359	117.218	0	117.218	164.14	164.14
4	4.22487	1003.2	-40.1244	Leps	4.33333	40.4752	76.3015	143.023	162.527	0	162.527	226.834	226.834
5	4.22487	1289.82	-40.1244	Leps	11.6667	39.2374	96.3161	180.54	206.783	0	206.783	287.959	287.959
6	4.22487	1576.45	-40.1244	Leps	11.6667	39.2374	115.289	216.103	250.331	0	250.331	347.497	347.497
7	4.22487	1863.08	-40.1244	Leps	11.6667	39.2374	133.834	250.866	292.897	0	292.897	405.693	405.693
8	4.22487	2149.71	-40.1244	Leps	11.6667	39.2374	152.005	284.926	334.604	0	334.604	462.714	462.714
9	4.22487	2436.34	-40.1244	Leps	11.6667	39.2374	169.857	318.389	375.578	0	375.578	518.734	518.734
10	4.22487	2722.96	-40.1244	Leps	11.6667	39.2374	187.447	351.36	415.951	0	415.951	573.932	573.932
11	4.22487	3009.59	-40.1244	Leps	11.6667	39.2374	204.833	383.949	455.855	0	455.855	628.489	628.489
12	4.22487	3296.22	-40.1244	Leps	11.6667	39.2374	222.072	416.263	495.424	0	495.424	682.587	682.587
13	4.22487	3582.85	-40.1244	Leps	40	37.2348	238.304	446.689	535.118	0	535.118	735.962	735.962
14	4.22487	3887.65	-40.1244	Leps	40	37.2348	255.517	478.954	577.57	0	577.57	792.921	792.921
15	4.22487	4289.07	-40.1244	Leps	40	37.2348	278.784	522.566	634.954	0	634.954	869.914	869.914
16	4.22487	4397.92	-40.1244	Leps	40	37.2348	283.768	531.908	647.247	0	647.247	886.408	886.408
17	4.22487	4438.35	-40.1244	Leps	40	37.2348	284.821	533.882	649.844	0	649.844	889.892	889.892
18	4.22487	4470.67	-40.1244	Leps	40	37.2348	285.768	535.658	652.181	0	652.181	893.027	893.027
19	4.22487	4504.02	-40.1244	Leps	40	37.2348	287.191	538.326	655.692	0	655.692	897.738	897.738
20	4.22487	4537.4	-40.1244	Leps	40	37.2348	289.037	541.786	660.245	0	660.245	903.847	903.847
21	4.22487	4570.71	-40.1244	Leps	40	37.2348	291.308	546.042	665.845	0	665.845	911.361	911.361
22	4.22487	4603.72	-40.1244	Leps	40	37.2348	293.998	551.084	672.48	0	672.48	920.263	920.263
23	4.22487	4636.93	-40.1244	Leps	40	37.2348	297.145	556.983	680.241	0	680.241	930.676	930.676
24	4.22487	4670.7	-40.1244	Leps	40	37.2348	300.777	563.792	689.2	0	689.2	942.696	942.696
25	4.22487	4707.06	-40.1244	Leps	40	37.2348	305.026	571.756	699.679	0	699.679	956.756	956.756
26	4.03969	4447.44	-17.0741	Leps	19	37.9899	441.471	827.515	1035.23	0	1035.23	1170.83	1170.83
27	4.03969	4304.26	-17.0741	Leps	19	37.9899	431.013	807.912	1010.13	0	1010.13	1142.51	1142.51
28	4.03969	4163.92	-17.0741	Leps	40	37.2348	420.724	788.626	985.035	0	985.035	1114.26	1114.26
29	4.03969	4024.55	-17.0741	Leps	40	37.2348	410.386	769.248	959.536	0	959.536	1085.58	1085.58
30	4.03969	3883.6	-17.0741	Leps	40	37.2348	399.632	749.09	933.014	0	933.014	1055.76	1055.76
31	4.03969	3742.57	-17.0741	Leps	40	37.2348	388.609	728.429	905.827	0	905.827	1025.19	1025.19
32	4.03969	3601.76	-17.0741	Leps	40	37.2348	377.353	707.329	878.065	0	878.065	993.967	993.967
33	4.03969	3460.95	-17.0741	Leps	40	37.2348	365.851	685.77	849.697	0	849.697	962.067	962.067
34	4.03969	3320.13	-17.0741	Leps	40	37.2348	354.115	663.77	820.75	0	820.75	929.514	929.514
35	4.3187	3349.49	-3.72906	Leps	40	37.2348	414.023	776.066	968.508	0	968.508	995.493	995.493
36	4.3187	3100.1	-3.72906	Leps	40	37.2348	384.023	719.832	894.516	0	894.516	919.545	919.545
37	4.3187	2850.75	-3.72906	Leps	40	37.2348	353.82	663.218	820.024	0	820.024	843.085	843.085
38	4.3187	2601.7	-3.72906	Leps	40	37.2348	323.604	606.58	745.5	0	745.5	766.591	766.591
39	4.3187	2352.72	-3.72906	Leps	40	37.2348	293.501	550.153	671.253	0	671.253	690.382	690.382
40	4.3187	2103.72	-3.72906	Leps	40	37.2348	263.638	494.177	597.602	0	597.602	614.785	614.785
41	4.3187	1854.41	-3.72906	Leps	40	37.2348	234.115	438.836	524.786	0	524.786	540.044	540.044
42	4.3187	1605.15	-3.72906	Leps	11.6667	39.2374	203.517	381.482	452.836	0	452.836	466.1	466.1
43	4.3187	1356.16	-3.72906	Leps	11.6667	39.2374	172.83	323.961	382.401	0	382.401	393.666	393.666
44	4.41389	1117.2	21.5715	Leps	11.6667	39.2374	203.307	381.09	452.354	0	452.354	371.976	371.976
45	4.41389	938.794	21.5715	Leps	11.6667	39.2374	162.946	305.434	359.714	0	359.714	295.293	295.293
46	4.41389	768.104	21.5715	Leps	11.6667	39.2374	127.498	238.989	278.354	0	278.354	227.948	227.948
47	4.41389	597.414	21.5715	Leps	11.6667	39.2374	95.5767	179.154	205.086	0	205.086	167.3	167.3
48	4.41389	426.725	21.5715	Leps	4.33333	40.4752	65.4103	122.608	138.604	0	138.604	112.744	112.744
49	4.41389	256.035	21.5715	Leps	4.33333	40.4752	38.3671	71.9172	79.1998	0	79.1998	64.0313	64.0313
50	4.41389	85.3449	21.5715	Leps	0.75	42.7688	13.0757	24.5097	25.6862	0	25.6862	20.5167	20.5167

◆ TU-03 Pseudoestático kh = 0.15 - NC Pseud

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.44741

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [deg]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [deg]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	4.18668	126.811	-37.2982	Leps	0.75	42.7688	13.2329	19.1535	19.8957	0	19.8957	29.9758	29.9758
2	4.18668	380.432	-37.2982	Leps	4.33333	40.4752	38.099	55.1449	59.5449	0	59.5449	88.5668	88.5668
3	4.18668	634.054	-37.2982	Leps	4.33333	40.4752	61.0365	88.3448	98.451	0	98.451	144.945	144.945
4	4.18668	887.675	-37.2982	Leps	4.33333	40.4752	83.1142	120.3	135.899	0	135.899	199.211	199.211
5	4.18668	1141.3	-37.2982	Leps	4.33333	40.4752	104.383	151.084	171.974	0	171.974	251.487	251.487
6	4.18668	1394.92	-37.2982	Leps	11.6667	39.2374	124.759	180.578	206.831	0	206.831	301.866	301.866
7	4.18668	1648.54	-37.2982	Leps	11.6667	39.2374	143.873	208.244	240.707	0	240.707	350.302	350.302
8	4.18668	1902.16	-37.2982	Leps	11.6667	39.2374	162.353	234.992	273.46	0	273.46	397.132	397.132
9	4.18668	2155.78	-37.2982	Leps	11.6667	39.2374	180.28	260.939	305.231	0	305.231	442.558	442.558
10	4.18668	2409.4	-37.2982	Leps	11.6667	39.2374	197.738	286.208	336.173	0	336.173	486.799	486.799
11	4.18668	2663.03	-37.2982	Leps	11.6667	39.2374	214.817	310.929	366.443	0	366.443	530.079	530.079
12	4.18668	2916.65	-37.2982	Leps	11.6667	39.2374	231.611	335.237	396.207	0	396.207	572.637	572.637
13	4.18668	3170.27	-37.2982	Leps	11.6667	39.2374	248.216	359.27	425.637	0	425.637	614.715	614.715
14	4.18668	3423.89	-37.2982	Leps	11.6667	39.2374	264.729	383.172	454.904	0	454.904	656.561	656.561
15	4.18668	3677.51	-37.2982	Leps	11.6667	39.2374	281.251	407.086	484.186	0	484.186	698.428	698.428
16	4.18668	3931.13	-37.2982	Leps	40	37.2348	297.366	430.41	513.697	0	513.697	740.215	740.215
17	4.18668	4200.26	-37.2982	Leps	40	37.2348	314.189	454.76	545.738	0	545.738	785.07	785.07
18	4.18668	4571.4	-37.2982	Leps	40	37.2348	338.585	490.072	592.2	0	592.2	850.117	850.117
19	4.18668	4657.31	-37.2982	Leps	40	37.2348	342.828	496.213	600.279	0	600.279	861.428	861.428
20	4.18668	4670.42	-37.2982	Leps	40	37.2348	342.601	495.884	599.848	0	599.848	860.823	860.823
21	4.18668	4674.24	-37.2982	Leps	40	37.2348	342.527	495.777	599.707	0	599.707	860.626	860.626
22	4.18668	4679.12	-37.2982	Leps	40	37.2348	343.355	496.975	601.282	0	601.282	862.832	862.832
23	4.18668	4684.06	-37.2982	Leps	40	37.2348	345.014	499.377	604.444	0	604.444	867.258	867.258
24	4.18668	4688.94	-37.2982	Leps	40	37.2348	347.501	502.977	609.181	0	609.181	873.889	873.889
25	4.18668	4693.53	-37.2982	Leps	40	37.2348	350.8	507.752	615.464	0	615.464	882.686	882.686
26	4.18668	4698.25	-37.2982	Leps	40	37.2348	354.941	513.745	623.349	0	623.349	893.725	893.725
27	4.18668	4703.4	-37.2982	Leps	40	37.2348	359.941	520.982	632.873	0	632.873	907.057	907.057
28	4.18668	4711.03	-37.2982	Leps	40	37.2348	365.942	529.668	644.299	0	644.299	923.055	923.055
29	4.4959	4968.8	-15.0935	Leps	19	37.9899	603.343	873.284	1093.83	0	1093.83	1256.55	1256.55
30	4.4959	4776.85	-15.0935	Leps	19	37.9899	588.929	852.422	1067.12	0	1067.12	1225.96	1225.96
31	4.4959	4588.42	-15.0935	Leps	19	37.9899	574.003	830.818	1039.46	0	1039.46	1194.27	1194.27
32	4.4959	4400.56	-15.0935	Leps	19	37.9899	558.243	808.007	1010.25	0	1010.25	1160.81	1160.81
33	4.4959	4210.95	-15.0935	Leps	40	37.2348	541.779	784.177	979.179	0	979.179	1125.3	1125.3
34	4.4959	4021.6	-15.0935	Leps	40	37.2348	524.712	759.473	946.676	0	946.676	1088.19	1088.19
35	4.4959	3832.35	-15.0935	Leps	40	37.2348	506.868	733.646	912.692	0	912.692	1049.39	1049.39
36	4.4959	3643.1	-15.0935	Leps	40	37.2348	488.283	706.746	877.299	0	877.299	1008.99	1008.99
37	4.49696	3410.46	-2.67596	Leps	19	37.9899	614.956	890.093	1115.36	0	1115.36	1144.1	1144.1
38	4.49696	3132.75	-2.67596	Leps	19	37.9899	559.237	809.445	1012.09	0	1012.09	1038.23	1038.23
39	4.49696	2855.06	-2.67596	Leps	40	37.2348	505.789	732.084	910.637	0	910.637	934.277	934.277
40	4.49696	2577.7	-2.67596	Leps	40	37.2348	453.479	656.37	811.014	0	811.014	832.209	832.209
41	4.49696	2300.43	-2.67596	Leps	40	37.2348	402.449	582.508	713.825	0	713.825	732.635	732.635
42	4.49696	2023.13	-2.67596	Leps	40	37.2348	352.974	510.898	619.602	0	619.602	636.1	636.1
43	4.49696	1745.51	-2.67596	Leps	40	37.2348	305.24	441.807	528.694	0	528.694	542.96	542.96
44	4.49696	1467.97	-2.67596	Leps	11.6667	39.2374	256.765	371.644	440.788	0	440.788	452.789	452.789
45	4.49696	1190.69	-2.67596	Leps	11.6667	39.2374	209.48	303.204	356.985	0	356.985	366.776	366.776
46	4.4702	920.612	25.1778	Leps	11.6667	39.2374	288.641	417.782	497.282	0	497.282	361.595	361.595
47	4.4702	715.206	25.1778	Leps	11.6667	39.2374	199.529	288.801	339.347	0	339.347	245.55	245.55
48	4.4702	510.861	25.1778	Leps	11.6667	39.2374	129.755	187.809	215.684	0	215.684	154.688	154.688
49	4.4702	306.517	25.1778	Leps	4.33333	40.4752	71.4296	103.388	116.08	0	116.08	82.5013	82.5013
50	4.4702	102.172	25.1778	Leps	0.75	42.7688	23.5792	34.1287	36.0851	0	36.0851	25.0008	25.0008

Interslice Data

◆ TU-03 Pseudoestático $kh = 0.15$ - C Est

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.89312

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [deg]
1	456.796	4371.81	0	0	0
2	460.52	4361.34	352.689	12.3534	2.00604
3	464.243	4352.85	1218.98	85.2239	3.99928
4	467.966	4345.61	2366.08	247.318	5.96726
5	471.689	4339.26	3677.13	510.115	7.89803
6	475.413	4333.57	5073.94	874.637	9.78043
7	479.136	4328.43	6506.59	1336.13	11.6044
8	482.859	4323.73	7941.35	1886.16	13.3608
9	486.582	4319.41	9358.89	2515.07	15.042
10	490.306	4315.42	10744.8	3211.61	16.6414
11	494.029	4311.72	12116.9	3972.92	18.1534
12	497.752	4308.28	13421.7	4772.4	19.574
13	501.476	4305.08	14603.5	5576.48	20.8998
14	505.199	4302.09	15657.9	6367.1	22.1285
15	508.922	4299.3	16587.9	7129.7	23.2587
16	512.645	4296.69	17396.4	7850.84	24.2892
17	516.369	4294.26	18085.3	8518	25.22
18	520.092	4291.99	18656.3	9119.71	26.0507
19	523.815	4289.87	19110.2	9645.63	26.7818
20	527.538	4287.9	19447.7	10086.7	27.4139
21	531.262	4286.07	19669.3	10435.1	27.9472
22	534.985	4284.37	19775.1	10684.6	28.3826
23	538.708	4282.8	19765.4	10830.4	28.7204
24	542.432	4281.35	19640.2	10869.5	28.9615
25	546.155	4280.02	19400.3	10800.7	29.1059
26	549.878	4278.8	19046.5	10624.7	29.1541
27	553.601	4277.7	18580.5	10344.3	29.1059
28	557.325	4276.71	18004.9	9964.47	28.9615
29	561.048	4275.83	17323.5	9492.38	28.7205
30	564.771	4275.05	16541.4	8937.34	28.3824
31	568.494	4274.37	15665.1	8310.76	27.9472
32	572.218	4273.8	14703.3	7625.96	27.4138
33	575.941	4273.32	13666.4	6897.97	26.7819
34	579.664	4272.95	12567.1	6143.15	26.0507
35	583.388	4272.68	11420	5378.72	25.22
36	587.111	4272.5	10242.2	4622.22	24.2893
37	590.834	4272.43	9052.45	3890.87	23.2587
38	594.557	4272.45	7871.61	3200.91	22.1286
39	598.281	4272.57	6722.08	2566.89	20.8998
40	602.004	4272.78	5627.54	2001	19.574
41	605.727	4273.1	4612.52	1512.37	18.1535
42	609.45	4273.51	3711.02	1109.22	16.6414
43	613.174	4274.03	2950.11	792.799	15.042
44	616.897	4274.65	2331.07	553.657	13.3609
45	620.62	4275.37	1763.24	362.081	11.6044
46	624.344	4276.19	1245.36	214.673	9.78043
47	628.067	4277.12	792.959	110.004	7.898
48	631.79	4278.16	418.731	43.7685	5.96726
49	635.513	4279.31	134.452	9.40012	3.99929
50	639.237	4280.57	-48.7772	-1.70848	2.00603
51	642.96	4281.96	0	0	0

◆ TU-03 Pseudoestático kh = 0.15 - C Pseud

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.47042

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [deg]
1	456.796	4371.81	0	0	0
2	460.52	4361.34	336.066	16.6814	2.84167
3	464.243	4352.85	1171.16	116.037	5.65832
4	467.966	4345.61	2292.29	339.554	8.42588
5	471.689	4339.26	3587.49	705.282	11.1222
6	475.413	4333.57	4988.34	1218.57	13.7276
7	479.136	4328.43	6448.01	1876.44	16.2256
8	482.859	4323.73	7934.88	2670.79	18.6026
9	486.582	4319.41	9426.5	3589.96	20.8487
10	490.306	4315.42	10906.1	4619.63	22.9567
11	494.029	4311.72	12400.2	5761.84	24.9223
12	497.752	4308.28	13855.9	6981.94	26.7434
13	501.476	4305.08	15210.6	8231.24	28.4201
14	505.199	4302.09	16457.7	9484.03	29.9534
15	508.922	4299.3	17598.3	10719.3	31.346
16	512.645	4296.69	18633.3	11916.8	32.6007
17	516.369	4294.26	19562.3	13057	33.7214
18	520.092	4291.99	20384.1	14120.9	34.7119
19	523.815	4289.87	21096.7	15090.2	35.5757
20	527.538	4287.9	21697.1	15947.6	36.3163
21	531.262	4286.07	22181.8	16677	36.937
22	534.985	4284.37	22546.6	17263.6	37.4407
23	538.708	4282.8	22786.7	17694.4	37.8302
24	542.432	4281.35	22896.8	17957.7	38.1067
25	546.155	4280.02	22871.5	18044.7	38.272
26	549.878	4278.8	22705.8	17949.5	38.3272
27	553.601	4277.7	22395.3	17669	38.272
28	557.325	4276.71	21936.4	17204.5	38.1067
29	561.048	4275.83	21327.5	16561.2	37.83
30	564.771	4275.05	20567.7	15748.4	37.4408
31	568.494	4274.37	19660.4	14781.3	36.937
32	572.218	4273.8	18612.6	13680.4	36.3162
33	575.941	4273.32	17435.3	12471.2	35.5756
34	579.664	4272.95	16144.1	11183.7	34.712
35	583.388	4272.68	14759.2	9851.18	33.7215
36	587.111	4272.5	13303.7	8508.32	32.6008
37	590.834	4272.43	11805.1	7190.56	31.3459
38	594.557	4272.45	10295.2	5932.76	29.9533
39	598.281	4272.57	8808.61	4766.78	28.42
40	602.004	4272.78	7381.72	3719.63	26.7434
41	605.727	4273.1	6051.05	2811.66	24.9222
42	609.45	4273.51	4851.81	2055.14	22.9566
43	613.174	4274.03	3830.65	1458.85	20.8486
44	616.897	4274.65	2998.53	1009.27	18.6026
45	620.62	4275.37	2249.29	654.568	16.2256
46	624.344	4276.19	1581.97	386.451	13.7276
47	628.067	4277.12	1009.9	198.542	11.1223
48	631.79	4278.16	549.805	81.4422	8.42591
49	635.513	4279.31	209.98	20.8046	5.65834
50	639.237	4280.57	-3.96528	-0.196826	2.84168
51	642.96	4281.96	0	0	0

◆ TU-03 Pseudoestático kh = 0.15 - NC Est

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.87445

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [deg]
1	432.889	4372.37	0	0	0
2	437.113	4368.81	32.9234	1.09874	1.9114
3	441.338	4365.25	138.636	9.23514	3.81109
4	445.563	4361.69	320.336	31.9036	5.68757
5	449.788	4358.13	576.053	76.1444	7.52987
6	454.013	4354.57	904.627	148.587	9.32767
7	458.238	4351.01	1307.95	255.935	11.0715
8	462.463	4347.45	1784.33	403.852	12.753
9	466.688	4343.89	2332.29	597.3	14.3647
10	470.912	4340.33	2950.59	840.506	15.9001
11	475.137	4336.77	3638.18	1136.94	17.3542
12	479.362	4333.2	4394.26	1489.29	18.7224
13	483.587	4329.64	5218.26	1899.45	20.0015
14	487.812	4326.08	6114.88	2370.46	21.189
15	492.037	4322.52	7089.81	2905.29	22.283
16	496.262	4318.96	8170.57	3515.84	23.2825
17	500.486	4315.4	9274	4165.3	24.1866
18	504.711	4311.84	10382.2	4840.23	24.9952
19	508.936	4308.28	11494.8	5534.03	25.7079
20	513.161	4304.72	12613.8	6241.09	26.3254
21	517.386	4301.16	13741.2	6955.58	26.8478
22	521.611	4297.6	14878.9	7671.54	27.2756
23	525.836	4294.04	16028.9	8382.88	27.6089
24	530.061	4290.48	17193.2	9083.48	27.8483
25	534.285	4286.91	18374	9767.19	27.9941
26	538.51	4283.35	19574.1	10428.1	28.0465
27	542.55	4282.11	19071.7	10144.4	28.0089
28	546.59	4280.87	18580.4	9832.04	27.8861
29	550.629	4279.63	18099.7	9493.51	27.6775
30	554.669	4278.39	17629.1	9131.55	27.3833
31	558.709	4277.15	17169.2	8749.23	27.0029
32	562.748	4275.91	16720.2	8349.49	26.536
33	566.788	4274.67	16282.2	7935.16	25.9824
34	570.828	4273.43	15855.7	7509.01	25.3415
35	574.867	4272.19	15440.7	7073.67	24.6134
36	579.186	4271.91	13921.7	6122.3	23.7383
37	583.505	4271.62	12511.8	5250.04	22.7633
38	587.824	4271.34	11211.5	4459.14	21.6892
39	592.142	4271.06	10021.1	3750.04	20.5166
40	596.461	4270.78	8939.97	3121.54	19.2475
41	600.78	4270.5	7967.36	2570.95	17.8841
42	605.098	4270.22	7102.01	2094.24	16.4297
43	609.417	4269.94	6348.81	1687.92	14.8885
44	613.736	4269.65	5708.58	1345.84	13.2657
45	618.15	4271.4	4020.05	820.039	11.5294
46	622.564	4273.14	2671.69	457.775	9.72281
47	626.977	4274.89	1622.08	223.789	7.85518
48	631.391	4276.63	841.501	87.511	5.93707
49	635.805	4278.38	310.347	21.5934	3.98013
50	640.219	4280.12	2.45777	0.0856869	1.99673
51	644.633	4281.87	0	0	0

◆ TU-03 Pseudoestático kh = 0.15 - NC Pseud

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.44741

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [deg]
1	420.738	4372.66	0	0	0
2	424.925	4369.47	27.0317	1.28126	2.7137
3	429.112	4366.28	114.376	10.8224	5.40531
4	433.298	4363.09	267.743	37.8838	8.0535
5	437.485	4359.9	486.086	91.3065	10.6385
6	441.672	4356.71	768.415	179.418	13.1426
7	445.858	4353.52	1114.58	310.162	15.5507
8	450.045	4350.33	1526.74	491.661	17.8503
9	454.232	4347.14	2003.98	730.64	20.0316
10	458.418	4343.96	2545.49	1032.97	22.0875
11	462.605	4340.77	3150.57	1403.61	24.0134
12	466.792	4337.58	3818.68	1846.58	25.8068
13	470.978	4334.39	4549.4	2364.9	27.4666
14	475.165	4331.2	5342.45	2960.58	28.9935
15	479.352	4328.01	6197.69	3634.6	30.3892
16	483.538	4324.82	7115.15	4386.87	31.656
17	487.725	4321.63	8097.25	5217.68	32.7968
18	491.912	4318.44	9151.41	6129.74	33.8147
19	496.098	4315.25	10307.2	7140.49	34.7129
20	500.285	4312.06	11483.9	8189.77	35.4947
21	504.472	4308.87	12662.1	9254.68	36.1629
22	508.658	4305.69	13840.8	10324.2	36.7202
23	512.845	4302.5	15021.7	11389.4	37.1693
24	517.032	4299.31	16206.6	12441.1	37.5119
25	521.218	4296.12	17396.8	13469.8	37.7495
26	525.405	4292.93	18593.9	14466.4	37.8836
27	529.592	4289.74	19799.6	15421.4	37.9141
28	533.778	4286.55	21015.4	16325.8	37.8418
29	537.965	4283.36	22243.7	17170.9	37.6661
30	542.461	4282.15	21600.9	16492.1	37.3614
31	546.957	4280.94	20961.7	15758.6	36.9351
32	551.453	4279.72	20327.9	14978.6	36.3846
33	555.949	4278.51	19701.4	14160.8	35.7075
34	560.445	4277.3	19082.8	13312.7	34.9007
35	564.941	4276.09	18473.2	12441.6	33.9601
36	569.436	4274.87	17874.3	11555.5	32.8821
37	573.932	4273.66	17287.7	10661.6	31.6628
38	578.429	4273.45	15266.4	8920.16	30.2978
39	582.926	4273.24	13432.4	7379.59	28.7838
40	587.423	4273.03	11775.9	6030.76	27.1182
41	591.92	4272.82	10292.3	4864.92	25.299
42	596.417	4272.61	8976.35	3870.62	23.3258
43	600.914	4272.4	7821.62	3033.9	21.2006
44	605.411	4272.19	6820.95	2338.98	18.9274
45	609.908	4271.98	5978.32	1772.39	16.5135
46	614.405	4271.77	5289.27	1315.77	13.9695
47	618.875	4273.87	3091.18	619.109	11.3255
48	623.345	4275.97	1592.8	240.444	8.58437
49	627.816	4278.07	635.754	64.2071	5.76695
50	632.286	4280.17	118.274	5.98508	2.8969
51	636.756	4282.28	0	0	0

Discharge Sections

Entity Information

◆ TU-03 Pseudoestático kh = 0.15

Shared Entities

Type	Coordinates (x,y)
	1095.37, 4230
	1083.12, 4225
	1074.46, 4207.05
	1069.37, 4206.96
	1062.96, 4210
	1057.92, 4205
	1052.53, 4200
	1047.67, 4195
	1042.32, 4190
	1037.85, 4182.68
	1029.75, 4183.18
	1028.55, 4183.26
	1026.19, 4184.16
	1018.63, 4178.71
	1017.13, 4178
	1012.95, 4176
	921.64, 4175.7
	912.71, 4179.35
	888.47, 4188.14
	886.06, 4189.34
	883.67, 4188.17
	874.53, 4188.38
	866.35, 4193.23
	861.57, 4191.86
	821.27, 4194.12
	811.83, 4200
	804.44, 4205
	796.73, 4210
	788.66, 4215
	780.2, 4220
	771.9, 4225
	763.06, 4230
	756.41, 4235
	749.08, 4240
	742.41, 4245
	735.65, 4250
	728.23, 4255
	721.93, 4260
	714.69, 4265
	707.63, 4270
	701.21, 4275
	694.83, 4280
	689.89, 4283.87
	685.43, 4281.68
	668.32, 4281.59
	658.234, 4281.64
	649.07, 4281.64
	614.8, 4283.41
	612.67, 4285
	605.97, 4290
	599.28, 4295
	592.58, 4300
	585.88, 4305
	579.19, 4310
	572.5, 4315
	565.81, 4320
	559.12, 4325
	552.44, 4330
	545.7, 4335

External Boundary

539.08, 4340
 532.3, 4345
 525.61, 4350
 518.93, 4355
 512.24, 4360
 505.55, 4365
 498.9, 4370
 493.72, 4373.24
 490.4, 4371.02
 415.99, 4372.77
 395.56, 4390
 388.86, 4395
 382.15, 4400
 375.46, 4405
 368.74, 4410
 362.02, 4415
 355.33, 4420
 348.56, 4425
 343.44, 4428.81
 342.34, 4427.75
 339.41, 4430
 332.73, 4435
 326.08, 4440
 319.49, 4445
 312.83, 4450
 306.21, 4455
 299.54, 4460
 296.24, 4461.77
 292.64, 4460.1
 170.27, 4461.09
 167.54, 4462.57
 158.09, 4460
 151.5, 4455
 144.75, 4450
 138.1, 4445
 131.4, 4440
 122.07, 4437.34
 120.18, 4438.12
 117.53, 4437.47
 111.06, 4437.63
 105.96, 4438.66
 103.936, 4436.93
 101, 4434.43
 99, 4434.21
 68.14, 4434.29
 66.2, 4434.37
 57.98, 4448.29
 42.71, 4464.45
 41.82, 4464.7
 38.73, 4466.63
 38.44, 4466.53
 33.45, 4463.78
 24.91, 4463.74
 22.17, 4465.18
 19.18, 4463.76
 -3.68742e-08, 4463.65
 0, 4000
 1102.18, 4000
 1102.18, 4233
 103.936, 4436.93
 104.093, 4436.92
 106.94, 4435
 116.54, 4430
 126.35, 4425
 134.31, 4420
 150.88, 4415
 151.49, 4410
 152.18, 4405
 157.39, 4400
 165.22, 4395
 173.67, 4390
 180.66, 4385
 187.36, 4380
 193.93, 4375
 201.14, 4370

	208.14, 4365
	215.53, 4360
	223.03, 4355
	231.18, 4350
	240.39, 4345
	247.9, 4340
	255.11, 4335
	262.38, 4330
	273.11, 4325
	284.39, 4320
	293.56, 4315
	302.08, 4310
	309.17, 4305
	316.35, 4300
	323.03, 4295
	331.54, 4290
	343.83, 4285
	351.07, 4280
	357.44, 4275
	363.88, 4270
	370.33, 4265
	378.11, 4260
	386.67, 4255
	395.4, 4250
	403.81, 4245
	412.11, 4240
	419.45, 4235
	426.34, 4230
	433.72, 4225
	440.77, 4220
	449.19, 4215
	457.07, 4210
	463.79, 4205
	470.16, 4200
	476.13, 4195
	482.16, 4190
	486.68, 4185
	491.85, 4180
	496.61, 4175
Material Boundary	501.88, 4170
	507.11, 4165
	512.59, 4160
	518.26, 4155
	524.87, 4150
	529.808, 4146.11
	531.22, 4145
	537.74, 4140
	544.93, 4135
	553.8, 4130
	562.69, 4125
	569.78, 4120
	577.86, 4115
	585.8, 4110
	594.37, 4105
	603.97, 4100
	613.04, 4095
	626.08, 4090
	641.35, 4085
	674.037, 4080.86
	680.81, 4080
	746.9, 4080
	753.3, 4085
	759.56, 4090
	764.68, 4095
	771.22, 4100
	777.61, 4100
	786.32, 4095
	795.73, 4095
	804.32, 4100
	807.86, 4105
	811.15, 4110
	814.47, 4115
	817.72, 4120
	821.07, 4125
	840.3, 4130

	861.16, 4135 864.37, 4135 920.66, 4135 932.71, 4140 939.66, 4145 949.252, 4148.22 961.92, 4153.04 966.66, 4155 966.994, 4155.22 992.471, 4165.69 1006.28, 4170 1014.69, 4175 1019.61, 4178.43 1022.97, 4180 1026.13, 4181.49 1027.38, 4182.07 1027.89, 4182.31 1028.36, 4182.53 1028.77, 4182.73 1029.75, 4183.18
Material Boundary	529.808, 4146.11 537.15, 4139.19 544.398, 4134.15 553.309, 4129.13 562.155, 4124.15 569.228, 4119.17 577.33, 4114.15 585.281, 4109.14 593.887, 4104.12 603.498, 4099.12 612.618, 4094.09 625.745, 4089.06 641.13, 4084.02 669.961, 4080.75 674.037, 4080.86
Material Boundary	537.15, 4139.19 546.995, 4129.93 551.836, 4126.52 560.551, 4121.61 567.573, 4116.66 575.742, 4111.61 583.726, 4106.58 592.437, 4101.5 602.08, 4096.47 611.35, 4091.36 624.741, 4086.23 640.468, 4081.08 670.002, 4077.34 672.495, 4076.78 676.877, 4076.27 680.494, 4075 741.029, 4075 746.9, 4080

Scenario-based Entities

Type	Coordinates (x,y)	C_Est	C_Pseud	NC_Est	NC_Pseud
	-3.68742e-08, 4463.65 19.18, 4463.76 22.17, 4465.18 24.91, 4463.74 33.45, 4463.78 38.44, 4466.53 38.73, 4466.63 41.82, 4464.7 42.71, 4464.45 57.98, 4448.29 66.2, 4434.37 68.14, 4434.29 99, 4434.21 101, 4434.43 103.936, 4436.93	Assigned to:  Roca  Leps  Coluvio  Morrena	Assigned to:  Roca  Leps  Coluvio  Morrena	Assigned to:  Roca  Leps  Coluvio  Morrena	Assigned to:  Roca  Leps  Coluvio  Morrena

Water Table	104.093,				
	4436.92				
	106.94, 4435				
	116.54, 4430				
	126.35, 4425				
	134.31, 4420				
	150.88, 4415				
	151.49, 4410				
	152.18, 4405				
	157.39, 4400				
	165.22, 4395				
	173.67, 4390				
	180.66, 4385				
	187.36, 4380				
	193.93, 4375				
	201.14, 4370				
	208.14, 4365				
	215.53, 4360				
	223.03, 4355				
	231.18, 4350				
	240.39, 4345				
	247.9, 4340				
	255.11, 4335				
	262.38, 4330				
	273.11, 4325				
	284.39, 4320				
	293.56, 4315				
	302.08, 4310				
	309.17, 4305				
	316.35, 4300				
	323.03, 4295				
	331.54, 4290				
	343.83, 4285				
	351.07, 4280				
	357.44, 4275				
	363.88, 4270				
	370.33, 4265				
	378.11, 4260				
	386.67, 4255				
	395.4, 4250				
	403.81, 4245				
	412.11, 4240				
	419.45, 4235				
	426.34, 4230				
	433.72, 4225				
	440.77, 4220				
	449.19, 4215				
	457.07, 4210				
	463.79, 4205				
	470.16, 4200				
	476.13, 4195				
	482.16, 4190				
	486.68, 4185				
	491.85, 4180				
	496.61, 4175				
	501.88, 4170				
	507.11, 4165				
	512.59, 4160				
	518.26, 4155				
	524.87, 4150				
	531.22, 4145				
	537.74, 4140				
	544.93, 4135				
	553.8, 4130				
	562.69, 4125				
	569.78, 4120				
	577.86, 4115				
	585.8, 4110				
	594.37, 4105				
	603.97, 4100				
	613.04, 4095				
	626.08, 4090				
	641.35, 4085				
	680.81, 4080				
	746.9, 4080				

	753.3, 4085 759.56, 4090 764.68, 4095 771.22, 4100 777.61, 4100 786.32, 4095 795.73, 4095 804.32, 4100 807.86, 4105 811.15, 4110 814.47, 4115 817.72, 4120 821.07, 4125 840.3, 4130 861.16, 4135 864.37, 4135 920.66, 4135 932.71, 4140 939.66, 4145 949.252, 4148.22 961.92, 4153.04 966.66, 4155 966.994, 4155.22 992.471, 4165.69 1006.28, 4170 1014.69, 4175 1019.61, 4178.43 1022.97, 4180 1026.13, 4181.49 1027.38, 4182.07 1029.75, 4183.18 1037.85, 4182.68 1042.32, 4190 1047.67, 4195 1052.53, 4200 1057.92, 4205 1062.96, 4210 1069.37, 4206.96 1074.46, 4207.05 1083.12, 4225 1095.37, 4230 1102.18, 4233				
Focus Search Window	531.453, 4283.41 534.941, 4276.55 541.922, 4276.55 538.456, 4283.41				
Block Search Window	535.091, 4283.41 537.651, 4278.11 541.149, 4278.11 538.5, 4283.41				

Block Search Window	573.019, 4283.41 573.019, 4262.28 577.066, 4262.28 577.066, 4283.41				
Block Search Window	611.606, 4283.41 611.606, 4261.25 614.8, 4261.25 614.8, 4283.41				

Anexo 7: Matriz de consistencia del trabajo de investigación

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE		INDICADOR	TECNICAS DE INSTRUMENTACIÓN DE RECOLECCIÓN DE DATOS
			DEPENDIENTE	INDEPENDIENTE		
¿En qué medida impacta un inadecuado procedimiento de análisis de estabilidad y flujo de derrame?	Formular una alternativa de secuencia de cálculo de análisis de estabilidad en botaderos y dimensionamiento de barrera de contención.	¿Un adecuado empleo de flujo de trabajo influirá en reducir eventos de activación de falla?	Sobrecostos y retrabajos en los proyectos	Flujograma de trabajo	Valor ganado Número de eventos de falla	Reevaluaciones de los proyectos Reporte de eventos de falla.

Nota: Fuente elaboración propia