



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

**ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA QUEBRADA LOMAS
DE LOS VIENTOS DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO, ECUADOR.**

PROPUESTA DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE
INGENIERO HIDRÁULICO

AUTOR(ES):

Luis Rolando Collantes Mena

TUTOR:

Mg. Rudys Rafael Cusme Intriago

LATACUNGA, marzo, 2026

Latacunga, 11 de marzo 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Luis Rolando Collantes Mena declaro ser autor (a) del proyecto de titulación **"ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA QUEBRADA LOMAS DE LOS VIENTOS DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO, ECUADOR"**, siendo el Ing. Rudys Rafael Cusme Intriago tutor del presente trabajo de titulación; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de titulación, son de mi exclusiva responsabilidad.



Luis Rolando Collantes Mena
CC.0504779745

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte COLLANTES MENA LUIS ROLANDO, identificado con cédula de ciudadanía No. 0504779745 de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Hidráulica, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA QUEBRADA LOMAS DE LOS VIENTOS DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO, ECUADOR” la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Abril 2021 – Agosto 2021

Finalización de la carrera: Octubre 2025 – Marzo 2026

Aprobación en Consejo Directivo: 11 de marzo del 2026

Tutor: Ing. Rudys Rafael Cusme Intriago MS.C

Tema: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA QUEBRADA LOMAS DE LOS VIENTOS DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO, ECUADOR.

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.

- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.


CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 11 días del mes de marzo del 2026.


Luis Rolando Collantes Mena
EL CEDENTE


Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

Latacunga, 11 de marzo 2026

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: “Análisis De Estabilidad De Taludes En La Quebrada Lomas De Los Vientos De La Ciudad De Portoviejo, Ecuador.”, propuesto por el estudiante Luis Rolando Collantes Mena de la Carrera de Hidráulica, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.



Ing. Rudys Rafael Cusme Intriago
C.C. 1313770891
TUTOR


Latacunga, 11 de marzo 2026


AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título “Análisis De Estabilidad De Taludes En La Quebrada Lomas De Los Vientos De La Ciudad De Portoviejo, Ecuador.”, propuesto por el o la estudiante Luis Rolando Collantes Mena de la Carrera de Hidráulica, me permito indicar que el o la estudiante ha concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad Proyecto de Investigación en virtud de lo cual el postulante puede presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

Atentamente,


Lector 1 (Presidente)
Ing. Andy Giler Ormaza
CC: 1312820325


Lector 2
Ing. Mariella Zambrano Valverde
CC: 0603324401


Lector 3
Ing. Patricio Chávez Zapata
CC: 0501305668

Agradecimiento

Quiero agradecer a Dios por ser la luz en mi camino y el faro que me ha guiado en cada paso de esta travesía. Le agradezco eternamente por las bendiciones recibidas, por la fortaleza brindada en los momentos de duda y por permitirme culminar con éxito esta etapa académica.

A mi familia desde lo más profundo de mi corazón, gracias. Ustedes son mi mayor inspiración y el motor que me impulsa a ser mejor cada día. Este título no es solo mío, sino el resultado de su amor incondicional y sacrificios. Cada logro que consigo es, y siempre será, gracias a ustedes.

A mi novia Luciana por ser mi fuente de motivación constante. Gracias por cada palabra de aliento y por estar presente en cada desvelo. Tu fe en mí me dio la fuerza necesaria para seguir adelante y transformar los retos en triunfos. Gracias por ser mi compañera incondicional en esta travesía académica y por enseñarme que, con tu apoyo, no hay obstáculo que no pueda superar.

A mis compañeros de clase con quienes compartí largas jornadas de estudio, retos que parecían insuperables y celebraciones que se quedan en la memoria. Estoy profundamente agradecido por su compromiso, dedicación y, sobre todo, por la amistad que forjamos en las aulas. Gracias por hacer de este proceso una experiencia compartida de crecimiento.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi y sus docentes mi gratitud hacia la institución y, de manera especial, a los docentes que, con excelencia académica y vocación, me guiaron en el aprendizaje. Sus enseñanzas y exigencias fueron piezas clave para mi formación profesional y humana.

Dedicatoria

A Dios, Por ser fuente de vida, sabiduría y fortaleza. Gracias por guiarme en cada paso de este camino, por darme fuerzas en los momentos difíciles y por llenar mi vida de bendiciones. Sin Tu luz, este logro no habría sido posible.

A mis padres, Marco Collantes y Gloria Mena por su amor incondicional, por cada sacrificio y por su apoyo constante. Gracias por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia; por creer en mí, impulsarme a alcanzar mis sueños y ser mi mayor inspiración. Este logro es tanto mío como suyo.

A mi novia, Luciana Potes por ser mi roca y mi refugio. Gracias por darme la fuerza necesaria para seguir adelante en los momentos de cansancio y por no permitir que me rindiera. Tu fe en mí y tu amor han sido el motor que me impulsó a terminar esta travesía.

A mi hermana, Nancy Collantes por su compañía y por ser un apoyo fundamental en mi vida. Gracias por estar presente en este proceso y compartir conmigo la alegría de alcanzar esta meta.

UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS

TITULO: " ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA QUEBRADA LOMAS DE LOS VIENTOS DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO, ECUADOR".

Autor: Collantes Mena Luis Rolando

Resumen

La presente investigación aborda la problemática de inestabilidad en la quebrada de la Urbanización Valle Alto, ubicada en el cantón Portoviejo, siendo ésta una zona de alta peligrosidad sísmica y con elevados niveles de precipitación. Se desarrolló con el objetivo de evaluar las condiciones geotécnicas del sitio y proponer una solución técnica bajo la norma ecuatoriana de la construcción, ante la detección de fallas geológicas y deslizamiento durante el periodo invernal del 2025. Se ha usado una metodología combinada entre campo y laboratorio, en la que se realizó ensayos triaxiales y análisis de estabilidad de taludes, mediante métodos como el de Bishop, Fellenius, Price, Spencer y Janbu, con factores de seguridad que oscilan entre 0.78 y 0.94 en los diferentes softwares de Geo5 y Slide. Como medida de mitigación se propone una modificación geométrica de taludes para la redistribución de masas e incrementar los factores de seguridad a niveles superiores a 1.50 considerando condiciones estáticas, 1.10 en condiciones pseudo estáticas y 1.00 bajo las condiciones impuestas de la normativa, con lo que se puede proteger la integridad de las viviendas y estabilizar la quebrada frente a eventos sísmicos o hidrológicos.

Palabras claves: Estabilidad de taludes, factor de seguridad, mitigación, ensayos

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING SCIENCES AND
APPLIED**

**THEME: ‘ANALYSIS OF SLOPE STABILITY IN THE LOMAS DE LOS VIENTOS
RAVINE IN THE CITY OF PORTOVIEJO, ECUADOR.’**

Author: Collantes Mena Luis Rolando

ABSTRACT

This research addresses the problem of instability in the ravine of the Valle Alto Urbanization, located in the Portoviejo district, which is an area of high seismic risk and high levels of precipitation. It was developed with the aim of evaluating the geotechnical conditions of the site and proposing a technical solution in accordance with Ecuadorian construction standards, following the detection of geological faults and landslides during the winter of 2025. A combined field and laboratory methodology was used, in which triaxial tests and slope stability analyses were carried out using methods such as Bishop, Fellenius, Price, Spencer and Janbu, with safety factors ranging from 0.78 to 0.94 in the different Geo5 and Slide software programs. As a mitigation measure, a geometric modification of slopes is proposed to redistribute masses and increase safety factors to levels above 1.50 under static conditions, 1.10 under pseudo-static conditions and 1.00 under the conditions imposed by the regulations, which will protect the integrity of the homes and stabilize the ravine in the event of seismic or hydrological events.

KEYWORDS: Slope stability, Safety factors, Mitigation, Testing

CERTIFICACIÓN DE INFORME DE SIMILITUD

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el tema: “ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA QUEBRADA LOMAS DE LOS VIENTOS DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO, ECUADOR”, de Collantes Mena Luis Rolando, de la carrera de Hidráulica, remito la captura de pantalla del reporte del sistema de reconocimiento de texto Turnitin, con un porcentaje de coincidencias del 6 %; y, expreso una vez más, mi conformidad en cuanto a la dirección del trabajo de titulación.


Tesis_luis-collantes_estabilidad Tesis_luis-collantes...

Tesis_Luis-Collantes_Estabilidad

 Quick Submit
 Quick Submit
 Universidad Técnica De Cotacachi

Detalles del documento

Identificador de la entrega Entregas:12350932248	59 páginas
Fecha de entrega 13 mar 2024, 8:13 a.m. GMT-5	11.799 palabras
Fecha de descarga 13 mar 2024, 8:26 a.m. GMT-5	54.916 caracteres
Nombre del archivo Tesis_Luis-Collantes_Estabilidad.pdf	
Tamaño del archivo 1,5 MB	

 turnitin Página 1 de 41 - Portada

Identificador de la entrega Entregas:12350932248

 turnitin Página 2 de 41 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega Entregas:12350932248




6% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para la...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias mínimas (menos de 12 palabras)

Fuentes principales

- 4%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

07 de alertas de integridad para revisión
No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de Turnitin utilizan un documento en profundidad para buscar similitudes que permitan distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y lo revise.


Tesis_luis-collantes_estabilidad Tesis_luis-collantes...

Tesis_Luis-Collantes_Estabilidad

 Quick Submit
 Quick Submit
 Universidad Técnica De Cotopaxi

Detalles del documento

Identificador de la entrega tmuid:13505932248	59 páginas
Fecha de entrega 13 mar 2026, 8:13 a.m. GMT-5	11.799 palabras
Fecha de descarga 13 mar 2026, 8:26 a.m. GMT-5	58.916 caracteres
Nombre del archivo Tesis_Luis-Collantes_Estabilidad.pdf	
Tamaño del archivo 1.3 MB	

 turnitin Página 1 de 61 - Portada

Identificador de la entrega tmuid:13505932248

 turnitin Página 2 de 61 - Descripción general de la escritura con IA

Identificador de la entrega tmuid:13505932248

*% detectado como IA

La detección de IA incluye la posibilidad de que haya falsos positivos. Aunque cierto texto en esta entrega se generó probablemente con IA, los puntajes inferiores al umbral del 20 % no aparecen porque tienen una mayor probabilidad de falsos positivos.

Precaución: Se necesita revisión.

Es esencial comprender los límites de la detección de IA antes de tomar decisiones acerca del trabajo del estudiante. Te alentamos a obtener más información acerca de las funciones de detección de IA de Turnitin antes de usar la herramienta.



Ing. Rudys Rafael Cusme Intriago Msc.

C.C. 1313770891

TUTOR

ÍNDICE

1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1 Situación Problemática	3
2.2 Formulación del problema	3
2.3 Objeto y Campo de Acción	4
2.4 Beneficiarios	4
2.3.1 Directo	4
2.3.2 Indirecto.....	4
2.6 Objetivos	4
2.6.1 General.....	4
2.6.2 Específicos.....	4
2.7 Sistemas de Tareas	5
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
3.1 Antecedentes del proyecto	6
3.1.1 Deslizamientos de tierras en Ecuador	7
3.1.2 Problemática en la urbanización Valle Alto	8
3.2 Deslizamiento de tierra	8
3.2.1 Clasificaciones de los deslizamientos de tierra	9
3.2.2 Factores condicionantes	10

3.3 Estabilidad de taludes	10
3.4 Propiedades del suelo relevantes	18
3.4.1 Propiedades físicas.....	18
3.4.2 Propiedades mecánicas.....	20
3.4.3 Ensayos aplicados	20
3.5 Diseño de geomembranas.....	21
4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.....	25
4.1 Área de estudio.....	25
4.2 Trabajo en campo	25
4.3 Ensayo Triaxial.....	25
4.4 Estabilidad de taludes	26
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	29
5.1 Análisis de los datos obtenidos del laboratorio	30
5.2 Análisis de estabilidad de taludes en el perfil 3.....	31
5.3 Análisis de estabilidad de taludes en el perfil 4.....	45
6. DISCUSIÓN	58
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
8. REFERENCIAS.....	61
9. ANEXOS.....	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Formulación del Método de Fellenius	14
Ilustración 2 Formulación del Método de Janbu	16
Ilustración 3 Método de Morgenstern-Price	17
Ilustración 4 Diagrama triangular de textura	19
Ilustración 5 Calcular el espesor de la Geomembrana	24
Ilustración 6 perfiles del suelo	31
Ilustración 7 Modelado en Slide-Bishop en el perfil 3	32
Ilustración 8 Modelado en Geo5-Bishop en el perfil 3	33
Ilustración 9 Modelado en Slide- Fellenius en el perfil 3.....	37
Ilustración 10 Modelado en Geo5-Fellenius en el perfil 3	38
Ilustración 11 Modelado en Slide-Janbu en el perfil 3	39
Ilustración 12 Modelado en Geo5-Janbu en el perfil 3	40
Ilustración 13 Modelado en Slide-Spencer en el perfil 3	41
Ilustración 14 Modelado en Geo5-Spencer en el perfil 3.....	42
Ilustración 15 Modelado en Slide-Price en el perfil 3	43
Ilustración 16 Modelado en Geo5-Price en el perfil 3.....	44
Ilustración 17 Modelado en Slide-Bishop en el perfil 4.....	46
Ilustración 18 Modelado en Geo5-Bishop en el perfil 4	47
Ilustración 19 Modelado en Slide- Fellenius en el perfil 4.....	50

Ilustración 20 Modelado en Geo5-Fellenius en el perfil 4	51
Ilustración 21 Modelado en Slide-Janbu en el perfil 4	52
Ilustración 22 Modelado en Geo5-Janbu en el perfil 4	53
Ilustración 23 Modelado en Slide-Spencer en el perfil 4	54
Ilustración 24 Modelado en Geo5-Spencer en el perfil 4	55
Ilustración 25 Modelado en Slide-Price en el perfil 4	56
Ilustración 26 Modelado en Geo5-Price en el perfil 4	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Áreas Conocimientos Unesco.....	1
Tabla 2 Sistema de Tareas del Plan de Titulación.....	5
Tabla 3 Ángulos de fricción de geomembrana.....	24
Tabla 4 Distancia de movilización de la deformación de la geomembrana HDPE.....	25
Tabla 5 Características físicas del suelo.....	26
Tabla 6 Características físicas del suelo.....	27
Tabla 7 Compresión de la presión de agua en poros del suelo.....	27
Tabla 8 Resultados del estudio triaxial.....	30
Tabla 9 Resultados para el Fs. Método de Bishop en el perfil 3.....	34
Tabla 10 Resumen de los factores de seguridad por el software Slide P3.....	45
Tabla 11 Resumen de los factores de seguridad por el software Geo5 P3.....	45
Tabla 12 Resultados para el Fs. Método de Bishop en el perfil 4.....	48
Tabla 13 Resumen de los factores de seguridad por el software Slide P3.....	58
Tabla 14 Resumen de los factores de seguridad por el software Geo5 P4.....	58

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Factor de seguridad de Bishop modificado.....	13
Ecuación 2 Factor de las dovelas.....	13
Ecuación 3 Factor de seguridad de Fellenius	14
Ecuación 4 Factor de seguridad de Janbu.....	16
Ecuación 5 Factor angular por cada dovela.....	16
Ecuación 6 Factor de seguridad de Morgenstern.....	17
Ecuación 7 Factor de seguridad de la geomembrana	23
Ecuación 8 Tensión de la geomembrana	24
Ecuación 9 Factor de seguridad.....	28
Ecuación 10 Razón de presión de poros.....	28
Ecuación 11 Factor de seguridad de Bishop.....	29

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto: “Análisis de estabilidad de taludes en la quebrada Lomas de los Vientos, Portoviejo, Ecuador”.

Modalidad de Titulación:

MODALIDAD DE TITULACIÓN	HOMOLOGACIONES PARA INFORME FINAL DE TITULACIÓN	SELECCIÓN
Propuesta tecnológica	Informe de propuesta tecnológica	
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
	Artículo científico	
Proyecto de investigación	Informe de Proyecto de investigación	x
	Artículo científico	
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
Examen de indicadores de RDA		

Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto: AguaQuest: potenciando la investigación en recursos hídricos aplicados a la solución de problemas reales del medio.

Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación: Luis Rolando Collantes Mena, Ing. Rudys Rafael Cusme Intriago.

Área de Conocimiento: 07 Ingeniería, Industria y Construcción

Tabla 1 Áreas Conocimientos Unesco

07 ingeniería, Industria y construcción	071 ingeniería y profesiones afines	0712 tecnologías de protección del medio ambiente
	073 arquitectura y construcción	0732 construcción e ingeniería civil

Línea de investigación: Meteorología, hidrología, mecánica de fluidos, sistemas y obras

Sub-líneas de investigación de la Carrera: Diseño y optimización de proyectos hidráulicos.

2. INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos de tierras pueden analizarse bajo diferentes perspectivas ya sea por el talud o ladera afectada, y también por resultados geomorfológicos o ambientes de procesos dinámicos debido a la transformación del paisaje. Los enfoques de los deslizamientos se dividen en dos, siendo el primero cuando ocurren fenómenos de desequilibrio entre la resistencia de materiales geológicos en las laderas naturales y la fuerza de la gravedad que actúan desplazándose cuesta abajo. En el segundo enfoque se integran aspectos geomorfológicos y ambientales que se relacionan con la inestabilidad de terrenos, siendo esto regido por las condiciones de la actividad tectónica y los cambios climáticos globales [1]. En ambos enfoques la intervención humana es un factor indispensable para que exista un riesgo de deslizamiento, y la magnitud dependerá del nivel de vulnerabilidad de los elementos. El riesgo específico de un elemento se determina considerando la probabilidad de un evento natural (deslizamiento, inundación, sismo, entre otros) multiplicado por lo vulnerable de los elementos (urbanización, vivienda, presa, carretera, entre otros), permitiendo estimar los riesgos totales en la región y el grado de daño o pérdidas que sufrirá ante dicho momento [2]. Frente a estas situaciones se han reportado varios estudios donde clasifican, reconocen y caracterizan los deslizamientos de tierras o movimientos de laderas. siendo según el tipo del movimiento: caída, deslizamiento de flujo, entre otros, y según el tipo del material: rocas, suelos, mixto [3].

El reconocimiento se realiza mediante los criterios de observación directa, análisis de campo y estudios geotécnicos, haciendo énfasis en los mecanismos de activación y evolución de los deslizamientos considerando los aspectos hidrológicos [4].

A nivel de país Ecuador se han realizado varios estudios de susceptibilidad de deslizamientos de tierras, entre ellos destacan el estudio realizado en Cuenca mediante la aplicación de redes neuronales artificiales, enfocando los deslizamientos rotacionales en un 75% de los eventos registrados en la zona, alcanzando un 80.5% de los deslizamientos en las zonas con su susceptibilidad media a muy alta, cubriendo el 73% del área total reflejados en los mapas [6].

En el cantón Ibarra se clasificaron cuatro niveles de amenaza: nulo, bajo, medio y alto, identificando que un 17.6% del área del cantón presenta una amenaza de nivel alto predominando pendientes superiores del 40% con suelos de litologías volcánicas y coberturas de bosque húmedo poco alterado, mientras que la amenaza media consigue un valor de 27.76%

del territorio, donde los detonantes de estas amenazas fueron las pendientes y precipitaciones fueron los principales detonantes de estas amenazas [7].

En la vía Puyo-Tena se identificaron las zonas con mayor riesgo de deslizamientos de tierra, representando un 21.25% de kilómetros totales con una alta probabilidad de deslizamientos, concentrándose en 15 regiones críticas donde el uso del suelo tiene proximidad a los ríos llegando a pendientes superiores a 40% teniendo litologías porosas y permeables dándole inestabilidad al terreno [8].

Al analizar la zona de la Costa, específicamente el cantón Portoviejo se evidencia que varias comunidades ubicadas en las laderas inestables están compuestas por materiales arcillosos, incrementando la probabilidad de deslizamientos ante las precipitaciones intensas y la intervención humana inadecuadas. Un claro ejemplo es la ciudadela Briones ubicada en el cantón Portoviejo, donde se identificó un deslizamiento activo de 7262 m², lo que llevó a la recomendación de estabilizar de forma geotécnica y estructural. Otro ejemplo es el sector Boquerón, también en el cantón Portoviejo, donde se constató un deslizamiento de rocas afectando a las viviendas. Estos hallazgos confirman que el cantón Portoviejo tiene sectores con riesgos de deslizamientos [9].

2.1 Situación Problemática

Estudios han demostrado que el cantón Portoviejo se encuentra con amenazas por inundación y deslizamiento de tierra, en ello para el deslizamiento de tierra se evalúa su amenaza mediante la pendiente, dando como resultado que la amenaza nula con pendiente inferior al 5% con un área total 3099.68 Ha del cantón en la mancha urbana y sus asentamientos [11] con esto en el sector de la urbanización de Valle Alto ubicado en la vía de Portoviejo – Montecristi se ha analizado en la parte alta de la urbanización dando estabilidades de taludes con factores de seguridad entre 0.95 a 1.04 siendo ambos perfiles entre estables y no estables [10], por ello a la actualidad el sector en el invierno del 2025 presento deslizamientos de tierras por las partes laterales de la urbanización afectando a la infraestructura de esta misma y molestias en las poblaciones aledañas con estos sucesos, para esta problemática se presenta realizar el estudio y proponer una estructura de contención que logre solucionar estas afectaciones a futuro.

2.2 Formulación del problema

En la quebrada Loma de los Vientos se han presentado varios deslizamientos de tierra en el último periodo de lluvia(febrero-marzo 2025) debido a la falta de estructuras de contención,

generando daños en infraestructura y población aledaña, por lo que se requiere de soluciones técnicas para la estabilización de taludes y prevenir futuros derrumbes.

2.3 Objeto y Campo de Acción

2.3.1 Objeto de Investigación: análisis de estabilidad de taludes para la quebrada Loma de los Vientos.

2.3.2 Campo de Acción: 3305.06 Ingeniería civil

2.4 Beneficiarios

2.3.1 Directo

- Habitantes de la urbanización de Valle Alto.

2.3.2 Indirecto

- Estudiantes.

2.5 Justificación

La presente investigación parte de la solicitud de la urbanización Valle Alto, en el cual detalla su malestar por los deslizamientos de tierra, con esto se procedió a realizar un estudio completo mediante el análisis de mecánica de suelos (textura, peso específico, ángulos de fricción) en base a ensayos de campo y laboratorio. Por ello se plantea el diseño de una estructura de contención contra los deslizamientos de tierras provocados en la parte lateral de la urbanización con metodologías conocidas (estabilidad de taludes con método de Bishop, Coulomb para el diseño del muro) y aplicables en el sector.

2.6 Objetivos

2.6.1 General

- Analizar la estabilidad de taludes mediante diferentes metodologías para la quebrada Loma de los Vientos, Portoviejo, Ecuador.

2.6.2 Específicos

- Sistematizar e interpretar los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio y el levantamiento de coordenadas geográficas mediante el uso de software especializado.
- Analizar la estabilidad de los taludes mediante el método de Bishop Fellenius, Janbu, Spencer, Morgernstern-Price en la quebrada Loma de los Vientos.

- Realizar un análisis comparativo de la estabilidad de los taludes utilizando el software Slide y Geo5.

2.7 Sistemas de Tareas

Tabla 2 Sistema de Tareas del Plan de Titulación.

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Sistematizar e interpretar los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio y el levantamiento de coordenadas geográficas mediante el uso de software especializado.	Ensayos Triaxial. Obtención de coordenadas.	Informe de laboratorio con toda la información pertinente del suelo. Elaboración del plano de la zona de estudio con sus curvas de nivel.	Laboratorio. UTM Geo Map, QGis y Civil 3D.
Analizar la estabilidad de los taludes mediante el método de Bishop Fellenius, Janbu, Spencer, Morgernstern-Price en la quebrada Loma de los Vientos.	Realizar los cálculos de estabilidad de taludes.	Resultados de la estabilidad de taludes.	Excel, AutoCAD, SLIDE.

Realizar un análisis comparativo de la estabilidad de los taludes utilizando el software Slide y Geo5.	Modelado y cálculo en Slide	Reporte de superficies de falla y factores de seguridad	Software Slide
	Modelado y cálculo en Geo5	Comparativa de estabilidad con los diferentes métodos de análisis	Software Geo5

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 Antecedentes del proyecto

Los deslizamientos de tierra constituyen uno de los principales procesos de inestabilidad geotécnica que afectan a laderas naturales y taludes intervenidos, especialmente en zonas urbanas asentadas sobre pendientes pronunciadas. Desde el punto de vista geotécnico, estos fenómenos se originan principalmente por el desequilibrio entre la resistencia de los materiales del suelo y la acción de la gravedad, condición que se ve agravada por factores como la geometría del talud, la presencia de agua y la intervención antrópica [12]. La ocurrencia de deslizamientos representa un riesgo significativo cuando existen elementos expuestos, tales como viviendas, vías e infraestructura urbana, cuya vulnerabilidad incrementa el nivel de daño potencial ante la ocurrencia de un evento.

La caracterización de los deslizamientos de tierra se ha desarrollado mediante clasificaciones que consideran el tipo de movimiento deslizamientos, caídas o flujos y el tipo de material involucrado suelo, roca o material mixto, lo cual permite comprender los mecanismos de falla y su comportamiento frente a distintos factores desencadenantes [13]. El reconocimiento de estos procesos se apoya en observaciones de campo, estudios geotécnicos y análisis hidrológicos, destacando la influencia del agua como uno de los principales agentes que reduce la resistencia al corte de los suelos y favorece la inestabilidad de los taludes.

En la región Costa del Ecuador, y particularmente en el cantón Portoviejo, se han identificado sectores urbanos desarrollados sobre laderas inestables compuestas mayoritariamente por

suelos arcillosos, los cuales presentan una elevada susceptibilidad a deslizamientos durante períodos de precipitaciones intensas [14]. La expansión urbana sin una adecuada planificación, sumada a la modificación de la geometría natural de las laderas y a sistemas de drenaje deficientes, ha incrementado la frecuencia de movimientos en masa en distintos sectores del cantón, generando afectaciones a viviendas y obras civiles.

La quebrada Loma de los Vientos constituye un área crítica dentro del cantón Portoviejo debido a la presencia de taludes de pendiente pronunciada, materiales de comportamiento arcilloso y condiciones hidrológicas que favorecen la saturación del suelo durante la temporada invernal. Estas características, junto con la intervención antrópica asociada al crecimiento urbano, incrementan el riesgo de inestabilidad y la ocurrencia de deslizamientos, haciendo necesario un análisis técnico detallado de la estabilidad de los taludes existentes.

En función de estos antecedentes, se evidencia que la inestabilidad de taludes en la quebrada Loma de los Vientos responde a la interacción entre las propiedades geomecánicas del suelo, la geometría de las laderas, las condiciones de saturación y la acción humana. Bajo este marco, resulta técnicamente necesario desarrollar un análisis específico de estabilidad de taludes en este sector mediante la aplicación de métodos de equilibrio límite, que permitan cuantificar el factor de seguridad bajo distintos escenarios de carga y condiciones hidrológicas, y que sirvan como base para la propuesta de medidas de mitigación geotécnica orientadas a la reducción del riesgo por deslizamientos.

3.1.1 Deslizamientos de tierras en Ecuador

En el Ecuador, las provincias costeras enfrentan una vulnerabilidad frente a los eventos naturales, siendo los deslizamientos de tierra la amenaza más frecuente y devastadora, según los datos de la UNDRR entre los años 1970 a 2020 el 59% de los desastres naturales registrados fueron ocasionados por dichos deslizamientos, y un 16% de estos fueron en la región litoral., en provincias como El Oro, Esmeraldas y Manabí destacan por su frecuencia alta en estos eventos convirtiéndolas en zonas de riesgo por sus características geomorfológicas y geodinámicas. En particular en Manabí se ha reportado cifras significativas de muertes, afectaciones de la población y destrucción de viviendas, consolidándose como una de las provincias más expuesta en los movimientos en masa, siendo provocada por el crecimiento urbano informal en zonas no planificadas (laderas inestables, pendientes pronunciadas y sectores sin infraestructura adecuada) combinando con factores con el uso inadecuado del suelo

(deforestación y expansión del área urbana) que no solo incrementa la exposición sino que reduce la capacidad y resiliencia ante los fenómenos naturales [14]. Tal situación ha llevado que el país contabilice más de 700 mil viviendas en zonas de riesgo, afectando alrededor de 2.5 millones de personas [15]. Demostrando que el problema de los deslizamientos de tierra en Ecuador no es solamente un fenómeno natural sino también el resultado de acumulación de factores sociales y ambientales mal gestionados.

3.1.2 Problemática en la urbanización Valle Alto

La urbanización de Valle Alto, localizada en la vía Portoviejo – Montecristi, pertenece a un sector de alta susceptibilidad ante los movimientos de la ladera. Condición que se ha agravada por factores geotécnicos, climáticos y antrópicos, asentado sobre materiales con características geomecánicas desfavorable como lo son las arcillas y limos de altas plasticidad presentando comportamientos críticos frente a cargas externas y saturación por precipitación [9]. En la parte alta de la urbanización mostraron factores de seguridad entre 0.95 a 1.04 indicando una variación entre estabilidad e inestabilidad de los taludes, evidenciando la existencia de zonas susceptibles a fallas en masa [11], la metodología que se aplicó en la investigación fue la aplicación de métodos de equilibrio (Bishop) permitiendo caracterizar los perfiles del terreno. Además, que la zona de la Quebrada Loma de los Vientos se encuentra dentro de la región de alta peligrosidad sísmica (Zona VI) [16], añadiendo un riesgo considerable por las aceleraciones sísmicas provocando un deslizamiento lateral. Estas condiciones se han sumado a la actualidad con la parte climatología del 2025, registrando eventos de deslizamientos de la quebrada lateral afectando la preocupación de los habitantes de la urbanización.

Haciendo frente a esta problemática, la propuesta de una solución técnica como el diseño de un muro que brinde la estabilidad de taludes adyacentes a la quebrada Loma de los Vientos, sustentando no solo los principios de la mecánica de suelos sino también la necesidad de salvaguardar la infraestructura urbana y la integridad de la población.

3.2 Deslizamiento de tierra

Los deslizamientos de tierra son una de las formas más comunes y peligrosas de movimientos en masa, implicando el desplazamiento de una masa de suelo, roca o material no consolidado a lo largo de una pendiente. Estos eventos pueden adoptar múltiples formas, desde deslizamientos rotaciones y traslacionales con flujos y caídas de bloques dependiendo del terreno, naturaleza y los factores desencadenantes. Siendo un deslizamiento un movimiento gravitacional

perdiendo el equilibrio con el que se desplaza debajo de una superficie de ruptura [17], dando la inestabilidad a las laderas en regiones geo dinámicamente activas como en el Ecuador.

Las causas que originan los deslizamientos de tierra se pueden clasificar en dos grupos; naturales y antrópicos. Entre las causas naturales destacan precipitaciones con sus efectos de suelos saturados y reduciendo su resistencia al corte facilitando la inestabilidad del talud, la sismicidad o movimientos telúricos generando vibraciones provoca una aceleración en el colapso de los taludes. Del otro lado, las causas antrópicas están asociadas a las actividades humanas alterando el equilibrio natural de los terrenos, entre las causas están la deforestación y cambio del uso del suelo (eliminando la cobertura vegetal), provenientes de los asentamientos no planificados en los puntos más vulnerables de los suelos [17]. Estas acciones generan los desequilibrios en los suelos superando la capacidad aportante de los materiales.

3.2.1 Clasificaciones de los deslizamientos de tierra

La clasificación más utilizada para describir los movimientos de tierra está basada en dos criterios fundamentales: a) tipo de movimiento y b) tipo de material movilizado. Esta sistematización fue adoptada por varios organismos nacionales e internacionales para los diversos estudios geotécnicos y de riesgos naturales en las zonas vulnerables [3]. Para el tipo de movimiento se expresan los siguientes criterios:

1. Caídas: Fragmentos de roca o suelo se separan repentinamente de una pendiente muy empinada y caen de forma vertical, rebotando por la ladera.
2. Vuelcos: Rotación de bloques o columnas de material inclinadas hacia adelante hasta perder la estabilidad.
3. Deslizamientos traslacionales: Movimiento del material a lo largo de una superficie plana o con curva ligera.
4. Deslizamientos rotacionales: Desplazamiento del suelo a lo largo de una superficie curva hacia arriba, logrando generar una rotación del cuerpo de deslizamiento.
5. Flujos: Movilización de material en un comportamiento similar al de un fluido, incluyendo flujos de escombros o de tierra y desencadenarse por saturación de agua.
6. Reptación: Movimiento lento y progresivo del suelo causado por ciclos térmicos, humedad o acción gravitacional continua.

Para el tipo de material, se clasificó en dos grandes grupos [3]:

1. Roca: Cuando el material movilizado es roca intacta o fracturada.
2. Detritos o suelos: Cuando el material este compuesto por fragmentos no consolidados (grava, arena, limos, arcillas u orgánicos).

3.2.2 Factores condicionantes

Entre los factores más condicionantes se presentar los más relevantes [18]:

1. Topografía y pendiente: Terrenos con pendientes pronunciadas facilitando el desplazamiento de tierras y aumentando el componente gravitacional en la superficie de corte.
2. Litología y estructura geológica: Suelos residual producidos por la meteorización de las rocas, tales como arcillas y limos que tienden a tener baja cohesión y alta susceptibilidad a los deslizamientos.
3. Régimen de lluvias: La pluviometría es caracterizada por las lluvias frecuentes o intensas que generan elevadas presiones de poro en el suelo, logrando reducir su resistencia cortante efectiva.
4. Vegetación y bioingeniería natural: La cubierta vegetal es de rol clave para la estabilización de pendientes mediante el refuerzo de raíces y regulación del agua superficial.
5. Sismicidad y actividad tectónica: Los movimientos telúricos pueden alterar la presión de poro o la configuración de las fallas en las superficies, desestabilizando los taludes.
6. Estructura del suelo: Los suelos poseen una microestructura altamente porosa y fracturada con superficies preferenciales afectando a su comportamiento mecánico frente a cargas adicionales o saturación hidráulica.

3.3 Estabilidad de taludes

En la estabilidad de taludes es fundamental manejarlo con el factor de seguridad, definiéndolo como la relación entre la resistencia disponible del suelo y el esfuerzo cortante requerido para mantener el equilibrio del talud, este concepto es fundamental para evaluar la pendiente, tomando los criterios si es estable o tiene peligro de fallar. Denotando que el factor de seguridad siendo mayor a 1 es por la estabilidad y siendo menor a 1 tiene claro el riesgo de fallar [19].

La estabilidad de taludes se centra en cómo se comportan las masas de suelo o roca que forman superficies inclinadas, ya sean naturales o artificiales se evalúa su equilibrio y prevenir fallas

que podrían causar deslizamientos, colapsos o flujos de material, lo que representa un gran riesgo para la infraestructura y la seguridad de las personas. Para estudiar la estabilidad, se utiliza el Factor de Seguridad (FS), que se define como la relación entre las fuerzas que resisten el movimiento del suelo y las fuerzas que lo desestabilizan a lo largo de una posible superficie de falla. Este parámetro es fundamental para determinar cuán estable es un talud. El FS depende de las propiedades físicas y mecánicas del suelo, como su peso unitario, cohesión efectiva y ángulo de fricción interna. Además, el estado tensional del macizo se ve afectado por factores como la presencia de agua subterránea, la infiltración de lluvias, la presión de poros y las variaciones en el nivel freático, que pueden disminuir los esfuerzos efectivos y, por ende, la resistencia al corte del material. El comportamiento resistente del suelo se describe a menudo mediante el criterio de falla de Mohr–Coulomb, que indica que la resistencia al corte depende de la cohesión y del componente friccional relacionado con el esfuerzo normal efectivo. Por lo tanto, cualquier aumento en la presión de poros o cambios en la estructura del macizo pueden facilitar la formación de superficies débiles y activar mecanismos de falla, como los deslizamientos rotacionales, que son comunes en suelos cohesivos[20]:

Los deslizamientos traslacionales en suelos estratificados y los flujos de detritos en condiciones de alta saturación son fenómenos que requieren atención. Para evaluar la estabilidad de manera cuantitativa, se utilizan comúnmente los métodos de equilibrio límite. Estos métodos asumen que la masa que podría volverse inestable está en un estado de equilibrio estático justo antes de que ocurra la rotura. Dividen el talud en secciones verticales para formular ecuaciones que equilibran fuerzas y momentos en una superficie de falla hipotética, buscando aquella que produzca el valor mínimo del factor de seguridad, lo que indica la condición crítica del sistema. Entre estos métodos, el procedimiento simplificado de Bishop es uno de los más populares en la ingeniería, gracias a su buena aproximación a los métodos más rigurosos, su aplicabilidad a superficies de falla circulares y su capacidad para incluir el efecto de la presión intersticial. Esto permite una evaluación más realista de cómo el régimen hidráulico afecta la estabilidad del talud. Además, un análisis completo de la estabilidad de taludes debe tener en cuenta la geometría del perfil, la altura y la inclinación del corte, la existencia de bermas, las sobrecargas causadas por actividades humanas, la erosión en la base del talud y las acciones sísmicas. Todos estos factores pueden alterar significativamente el campo de esfuerzos y disminuir el margen de seguridad del macizo. Los resultados de estos estudios ayudan a identificar superficies críticas de deslizamiento, clasificar el nivel de estabilidad, establecer criterios para el diseño geotécnico y determinar si es necesario implementar medidas de estabilización, como sistemas

de drenaje, modificaciones geométricas o estructuras de contención, con el fin de asegurar factores de seguridad que cumplan con las normativas vigentes y reducir el riesgo de movimientos en masa en áreas de intervención humana [20].

3.3.1 Métodos de análisis

Los métodos de análisis son herramientas fundamentales para la evaluación del comportamiento de los suelos frente a los deslizamientos y definir la estabilidad o inestabilidad de los terrenos, estos métodos se clasifican en dos grandes categorías: a) métodos gráficos – empíricos y b) métodos analíticos. En los métodos analíticos, se emplea el método de equilibrio límite., analizando las condiciones de los suelos donde asumen que el talud se encuentra al borde del colapso y dividen la masa de suelo en bloques o segmentos para el equilibrio de fuerzas resultante y fuerzas resistentes [19].

Entre todos los métodos, está el más conocido que es el método de Bishop, utilizado para analizar los deslizamientos rotaciones en suelos homogéneos. En el método se asume una superficie de falla circular y considera el equilibrio de momentos, su aplicación es sencilla y proporciona resultados razonables, encontrando su implementación en diferentes softwares geotécnicos como el GeoStudio, SLIDE o PLAXIS [19]. Dentro de estos softwares tienen la posibilidad de usar más de un método de estabilidad, entre estos métodos están el método de Fellenius, Morgenstern-Price y Janbu que también dan resultados razonables a las zonas de estudios.

Método de Bishop Simplificado. - Este método se basa en el principio del equilibrio límite, que parte de la idea de que la masa de suelo que podría volverse inestable está en un estado de equilibrio estático justo antes de que ocurra una falla. La técnica consiste en dividir el talud en varias dovelas verticales sobre una superficie circular supuesta, donde se analizan las fuerzas que actúan, como el peso propio, las reacciones normales, las fuerzas cortantes, la presión de poros y, si es necesario, las cargas externas. A diferencia del método tradicional de Fellenius, el método de Bishop se encarga de equilibrar los momentos en torno al centro de rotación y las fuerzas verticales, integrando de manera clara el efecto de la presión intersticial. Sin embargo, no considera las fuerzas tangenciales entre las dovelas, lo que simplifica la formulación sin comprometer demasiado la precisión de los resultados en la mayoría de las aplicaciones prácticas. El factor de seguridad se expresa a través de una ecuación implícita que involucra los parámetros de resistencia del suelo —cohesión efectiva y ángulo de fricción interna—, así como

las dimensiones de cada dovela, los esfuerzos normales efectivos y las presiones de poros. Por lo tanto, su cálculo requiere un proceso iterativo hasta que se logre la convergencia. La aplicación de este método permite evaluar cómo la geometría del talud influye en la estabilidad [21].

El análisis de las condiciones hidrogeológicas y las propiedades mecánicas del suelo es crucial para entender la estabilidad global, además de ayudar a identificar la superficie de falla crítica que se relaciona con el valor mínimo del factor de seguridad. Gracias a su habilidad para simular de manera realista el comportamiento de taludes en suelos homogéneos o con una estratificación moderada, el método de Bishop simplificado se ha convertido en una herramienta esencial en estudios de estabilidad, diseño de taludes y evaluación de medidas de estabilización, como drenajes, refuerzos o estructuras de contención, asegurando que se cumplan los criterios de seguridad establecidos por las normativas geotécnicas actuales [21].

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n (c' b_i + (W_i - u_i * b_i) \tan \varphi') \frac{1}{m_i}}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i}$$

Ecuación 1 Factor de seguridad de Bishop modificado

Donde m_i está definido por:

$$m_i = \cos \alpha_i + \frac{\tan \varphi'}{F_s} \sin \alpha_i$$

Ecuación 2 Factor de las dovelas

Donde:

F_s = Factor de seguridad global.

C' = Cohesión efectiva del suelo (kPa o kN/m²).

φ' = Ángulo de fricción interna efectivo.

b_i = Ancho de la dovela i (m).

W_i = Peso de la dovela i (kN).

U_i = Presión de poros media en la base de la dovela i (kPa).

α_i = Ángulo de inclinación de la base de la dovela i respecto a la horizontal (°).

m_i = Factor de corrección que considera el efecto de las fuerzas normales entre dovelas.

n = Numero total de dovelas.

Método de Fellenius. - El método de Fellenius, que también se conoce como el método sueco de las dovelas, es un enfoque clásico de equilibrio límite que se utiliza mucho en el análisis de la estabilidad de taludes. Se basa en evaluar el equilibrio de momentos de una masa de suelo que podría ser inestable y que se mueve a lo largo de una superficie de falla circular. Este método divide el talud en dovelas verticales y considera como fuerzas principales el peso de cada dovela, la resistencia al corte del suelo según el criterio de Mohr–Coulomb y, de manera simplificada, los efectos de la presión de poros. Ignora las fuerzas de interacción entre dovelas, lo que facilita el análisis matemático. El factor de seguridad se calcula como la relación entre los momentos que resisten y los que desestabilizan, y es un indicador clave para determinar si el talud está estable o inestable [21].

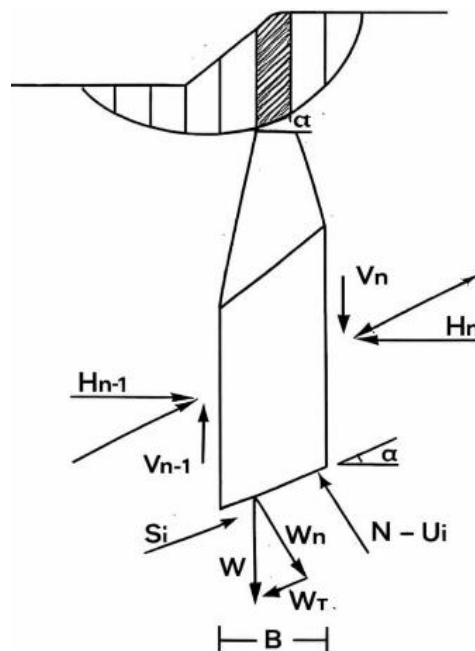


Ilustración 1 Formulación del Método de Fellenius

$$f_s = \frac{\sum (C * B + (W \cos \alpha)_i . B) \tan \phi}{\sum W . \sin \alpha}$$

Ecuación 3 Factor de seguridad de Fellenius

Donde:

$$W_N = W . \cos \alpha$$

$$W_T = W . \sin \alpha$$

$$U_T = u . B$$

$W =$ *Peso de la dovela.*

$WN =$ *Componente normal del peso de la dovela.*

$WT =$ *Componente tangencial del peso de la dovela.*

$N =$ *Reaccion normal del suelo sobre la dovela.*

$U =$ *Presion de poros.*

$U_i =$ *Fuerza producida por la presion de poros.*

$B =$ *Base de la dovela.*

$C =$ *Cohesion del suelo.*

$\varphi =$ *Ángulo de fricción del suelo.*

$A =$ *Ángulo de la superficie de falla en la dovela.*

$SI =$ *Resistencia al corte del terreno = $c * B + (W * \cos \alpha - u * B) * \tan \varphi$.*

$H_{n, n - 1} =$ *Fuerzas horizontales de interacción entre dovelas.*

$V_{n, n - 1} =$ *Fuerzas verticales de interacción entre dovelas.*

$F_s =$ *Factor de seguridad.*

Método de Janbu. - Este método se basa en dividir la masa potencialmente inestable en secciones verticales y en analizar el equilibrio global de fuerzas. En este proceso, la resistencia al corte a lo largo de la superficie de deslizamiento se determina utilizando el criterio de falla de Mohr–Coulomb, que incluye parámetros geotécnicos como la cohesión efectiva y el ángulo de fricción interna. También se consideran factores como la presión de poros, las cargas externas y las acciones sísmicas cuando es necesario. Es importante mencionar que, dado que el método de Janbu no cumple con todas las ecuaciones de equilibrio estático al mismo tiempo, el factor de seguridad que se obtiene necesita un ajuste empírico, sugerido por el autor, que depende de la geometría del talud y las condiciones de carga. A pesar de estas simplificaciones, este método es muy útil para taludes con geometrías complejas y estratigrafías variables, y se

utiliza ampliamente en estudios geotécnicos para realizar análisis comparativos y evaluaciones preliminares de estabilidad [21].

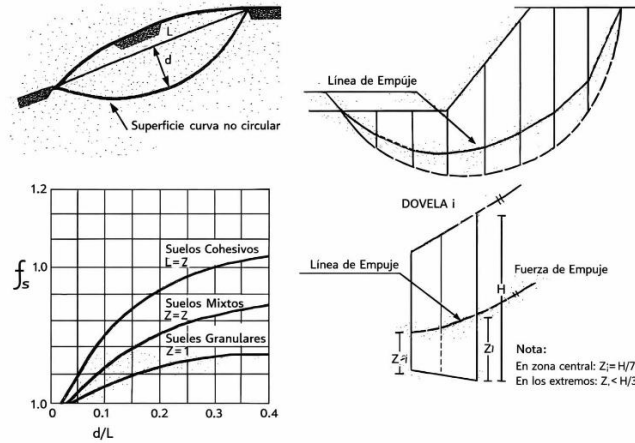


Ilustración 2 Formulación del Método de Janbu

$$f_s = \frac{f_o * \sum(C * B + (W - U * B)/\cos \alpha) * ma}{\sum W * \tan \alpha}$$

Ecuación 4 Factor de seguridad de Janbu

$$ma = \cos \alpha * \left(1 + \frac{\tan \alpha * \tan \phi}{FS}\right)$$

Ecuación 5 Factor angular por cada dovela

Donde:

W = Peso de la dovela.

u = Presión de poros.

B = Base de la dovela.

ϕ = Ángulo de fricción del suelo.

A = Ángulo de la superficie de falla en la dovela.

f_o = Factor de corrección.

FS = Factor de seguridad.

Método de Morgenstern–Price. - El método de Morgenstern–Price es una técnica avanzada de equilibrio límite generalizado que se utiliza para analizar de manera rigurosa la estabilidad de taludes. Este enfoque cumple con las condiciones de equilibrio tanto de fuerzas como de momentos en una masa de suelo o roca que podría ser inestable. La metodología implica dividir el talud en secciones verticales, considerando superficies de falla que pueden ser circulares o no, y añade una función que distribuye las fuerzas entre las capas, lo que permite una representación más realista de cómo interactúan estas secciones. La resistencia al corte a lo largo de la superficie de deslizamiento se determina utilizando el criterio de falla de Mohr–Coulomb, que toma en cuenta el peso del material, la presión de poros, las cargas externas y, cuando es necesario, las acciones sísmicas. Gracias a su formulación general, el método de Morgenstern–Price ofrece estimaciones muy confiables del factor de seguridad, siendo ampliamente utilizado en el análisis de taludes con geometrías complejas y en estudios que requieren un alto nivel de precisión, consolidándose como uno de los métodos más completos y robustos en la ingeniería geotécnica moderna [21].

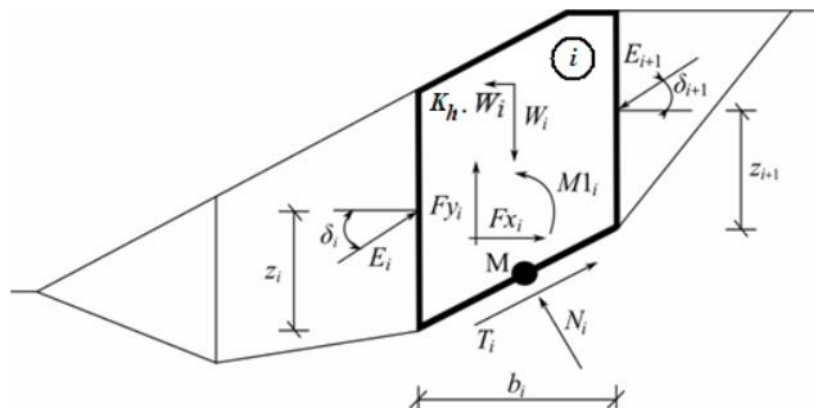


Ilustración 3 Método de Morgenstern-Price

$$FS = \frac{\sum(c' l_i + (N_i - u_i * l_i) \tan \varphi')}{\sum T_i}$$

Ecuación 6 Factor de seguridad de Morgenstern

Donde:

c' = Cohesión efectiva del material.

φ' = Ángulo de fricción interna efectiva.

l_i = Longitud de la base de la dovela i .

$N_i =$ Fuerza normal en la base de la dovela.

$u_i =$ Presión de poros promedio en la base.

$T_i =$ Fuerza cortante movilizadora en la base de la dovela.

3.4 Propiedades del suelo relevantes

3.4.1 Propiedades físicas

Las propiedades físicas de los suelos determinan la capacidad de los usos a los que el hombre se sujeta, esta condición física es determinante para la rigidez y la fuerza de sostenimiento con la facilidad de penetración de las raíces, aireación y capacidad de drenaje con el almacenamiento de agua [22]. Teniendo la definición podemos expresar diferentes propiedades físicas de los suelos.

1. Textura: Para determinar la textura consiste en identificar para un suelo dado la proporción que ocupa de cada elemento (arena, limo, arcilla, grava y gravilla) en un análisis granulométrico. Estos análisis a menudo son largos y su detalle son de interés, ya que la técnica utilizada son tamices para separar las partículas más gruesas y realizar un barrido de las partículas más finas [22].

Utilizando un método muy recurrido para saber las clases de textura que es el diagrama triangular o el triángulo equilátero que contiene los tres tipos de suelo arcilla, limo y arena en porcentaje, como se muestra en la figura [22].

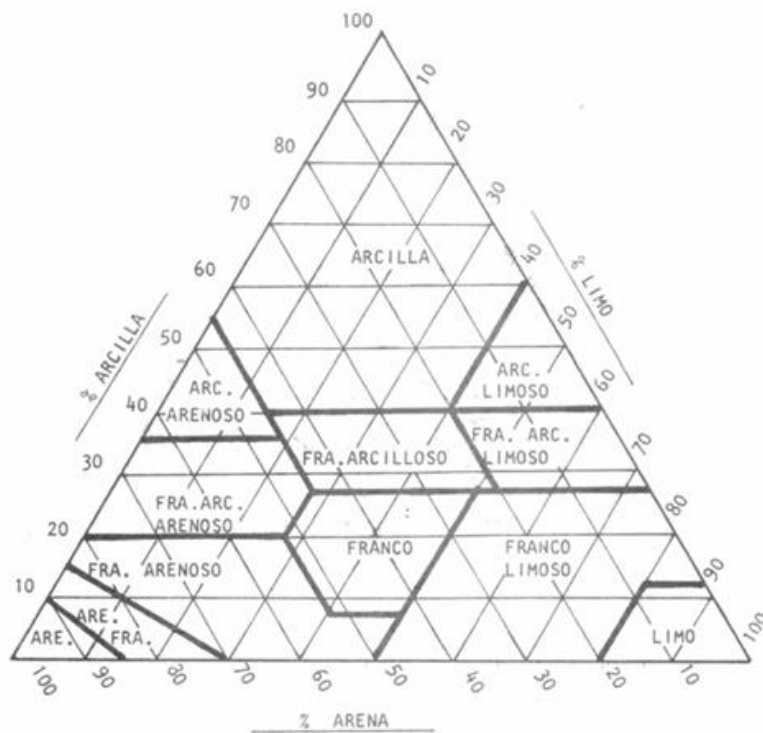


Ilustración 4 Diagrama triangular de textura

2. Contenido de humedad: La humedad del suelo tiene una gran influencia en muchas de las propiedades físicas como la densidad, espacios porosos, compactación, penetrabilidad, resistencias al corte, consistencia y color del suelo. Esta propiedad del suelo suele ser muy dinámica y dependiente de varios factores (clima, vegetación y profundidad del suelo) [23]. Entendiéndose que la humedad del suelo es la masa de agua contenida por la masa de sólidos del suelo.
3. Peso específico: Esta propiedad del suelo se determina con el espacio ocupado por los poros para el cuantificar el volumen del suelo, por lo que depende de la fracción solidad y su afectación por la textura, estructura y contenido de materia orgánica[24], el peso tiene un indicador de compactación y restringe el crecimiento de las raíces., donde esta propiedad varia en un rango 1.0 a 1.7 g/cm³ aumentando la profundidad en el perfil del suelo [25]. Recordando que tener un alto contenido de materia orgánica reduce la densidad del suelo.

3.4.2 Propiedades mecánicas

El posee propiedades mecánicas inherentes a su estructura y origen, de las cuales destacan su clasificación de grava, arenas, limos, arcillas en función de sus partículas y la capacidad de permeabilidad en cada una de estas [26].

1. **Cohesión:** La cohesión se define como la atracción de sustancias de características muy similares, atrayendo las moléculas entre sí. Al ocurrir el suceso de disminución de humedad del suelo, pierde la adherencia y plasticidad y volviendo blando y duro [23].
2. **Ángulo de fricción:** Esta propiedad refleja la capacidad de fricción del suelo granular, es decir su resistencia a deslizarse bajo compresión normal. El valor depende de la granulometría, grado de saturación, densidad y forma de sus partículas [27].
3. **Resistencia al corte:** Es la propiedad mecánica más relevante en el análisis de estabilidad de taludes, capacidad portante de cimentaciones y diseño de muros de contención, esta resistencia es la capacidad del suelo al evitar el deslizamiento de una superficie interna [27]. Al entendimiento es la resistencia al corte de la fuerza por la unidad de área que el suelo puede desarrollar al resistir esfuerzos tangenciales.

3.4.3 Ensayos aplicados

La prueba de ensayo triaxial es uno de los métodos más confiables para determinar los parámetros de la resistencia al cortante. Existen tres tipos de prueba para este ensayo [28]:

1. **Prueba lenta – prueba con consolidación y con drenaje:** La principal característica de este ensayo radica en que los esfuerzos aplicados sobre la muestra corresponden a esfuerzo efectivos. Donde se somete el suelo a una presión hidrostática, manteniendo abierta la válvula de conexión con la bureta para permitir el paso del tiempo necesario hasta que el suelo haya completado su proceso de consolidación bajo dicha presión. Alcanzando el equilibrio interno del sistema, toda la carga externa se transfiere a la fase solida del suelo, lo que generando esfuerzos efectivos.
2. **Prueba rápida – prueba con consolidación y sin drenaje:** En esta prueba la muestra consolida inicialmente bajos una presión hidrostática, permitiendo que los esfuerzos transmitidos actúen de manera efectiva sobre la fase solida del suelo. Se induce la falla mediante un incremento rápida de la carga axial, impidiendo cualquier variación en el volumen, la característica esencial de este procedimiento es que no se permite una consolidación adicional durante la fase de aplicación de la carga axial que conduce a la

falla [24]. Esto se da con el control de una celda triaxial de compresión, cerrando la válvula que conecta con las piedras porosas de la bureta.

3. Prueba rápida – prueba sin consolidación y sin drenaje: En este tipo de ensayo, no se permite la consolidación de la muestra en ninguna de sus etapas por la válvula que conecta con el espécimen con la bureta que permanece cerrada durante toda la prueba, evitando así el drenaje. Se aplica una presión hidrostática al suelo y de forma inmediata se realiza la falla mediante la aplicación rápida de carga axial, este ensayo de consolidado no drenado se realiza comúnmente en muestras de arcilla y se basa en el concepto de resistencia al corte en suelos cohesivos completamente saturados. En este ensayo se tiene los criterios de Mohr aplicados a los esfuerzos totales, se representa mediante una línea horizontal lo que implica una condición de fricción nula [28].

3.5 Diseño de geomembranas

Propiedades físicas. - Las geomembranas son materiales geos sintéticos de polímeros continuos, diseñados especialmente para actuar como barreras impermeables en sistemas geotécnicos, hidráulicos y ambientales. Su función principal es controlar, limitar o evitar el flujo de líquidos y gases a través del suelo y de estructuras de contención. Estas láminas sintéticas se producen a partir de polímeros termoplásticos, siendo el polietileno de alta densidad (HDPE) el más común en aplicaciones, gracias a su gran resistencia mecánica, estabilidad química, baja permeabilidad y durabilidad notable frente a condiciones ambientales difíciles. Desde una perspectiva funcional, las geomembranas se destacan de otros geos sintéticos por su capacidad de ofrecer una estanqueidad casi total, con coeficientes de permeabilidad esto las convierte en un componente clave para el control hidráulico en proyectos donde la presencia de agua es crucial para la estabilidad estructural. En el caso de los muros de contención, añadir geomembranas en la parte trasera del muro ayuda a reducir de manera significativa la presión hidrostática que se genera por la acumulación de agua en el relleno. Esto, a su vez, minimiza el aumento de los empujes laterales y disminuye el riesgo de fallas relacionadas con la saturación del suelo, como deslizamientos, pérdida de resistencia al corte y erosión interna [32]. Además, las geomembranas a menudo se utilizan junto con otros geos sintéticos, como geotextiles y geos compuestos de drenaje, creando sistemas multifuncionales que mejoran tanto el rendimiento hidráulico como el estructural del conjunto suelo–estructura.

Las propiedades físicas de la geomembrana son [32]:

Espesor. - Es una geomembrana influye directamente en su resistencia estructural y capacidad de soportar cargas inducidas durante la instalación y el servicio los espesores comerciales varían comúnmente entre 0,75 mm y 3,00 mm, recomendándose espesores mayores en aplicaciones geotécnicas donde existen esfuerzos elevados o contacto con materiales angulares.

Densidad. - Está asociada al tipo de polímero empleado y condiciona la rigidez del material en geomembranas de HDPE, los valores de densidad oscilan entre el 0,94 y 0,97 g/cm^3 , otorgando al material una elevada resistencia a la deformación y una notable estabilidad dimensional.

Permeabilidad. - Una de las principales ventajas de las geomembranas es su coeficiente de permeabilidad extremadamente bajo, del orden de $10^{-14} m/s$, lo que garantiza un control efectivo de filtraciones. Esta propiedad es determinante en el diseño de muros de contención, ya que contribuye a reducir significativamente la presión hidrostática en el trasdós del muro.

Resistencia a intemperie. - Las geomembranas presentan una alta resistencia frente a la radiación ultravioleta, variaciones térmicas, agentes químicos y ataque microbiológico, lo que las convierte en materiales altamente durables incluso en ambientes agresivos.

Propiedades mecánicas. - Las propiedades mecánicas de las geomembranas son clave para evaluar su rendimiento estructural y asegurar su integridad en proyectos geotécnicos, especialmente en muros de contención. En estos casos, el material enfrenta esfuerzos provocados por cargas externas, asentamientos del terreno y las propias actividades de construcción. Entre las propiedades más importantes se destaca la resistencia a la tracción, que permite al material soportar tensiones sin romperse, así como la elongación, que indica la capacidad de la geomembrana para deformarse considerablemente antes de llegar a su punto de ruptura. Las geomembranas tienen la capacidad de deformarse considerablemente antes de romperse, lo que les otorga ductilidad y les permite adaptarse a las deformaciones del suelo. Además, la resistencia al punzonamiento es crucial para prevenir perforaciones que pueden ser causadas por partículas angulares del relleno o por irregularidades en el soporte. Por otro lado, la resistencia al desgarro es especialmente importante en áreas de anclaje, bordes y empalmes. También es fundamental la resistencia mecánica de las soldaduras, ya que la continuidad y el correcto funcionamiento del sistema impermeable dependen de la calidad de las uniones realizadas durante la instalación. En conjunto, estas características aseguran que las geomembranas mantengan su capacidad impermeable y su estabilidad mecánica a lo largo del

tiempo, lo que contribuye a la seguridad y durabilidad de los muros de contención y otras estructuras geotécnicas en las que se utilizan [32].

Las propiedades mecánicas de la geomembrana son [32]:

Resistencia a la tracción. - La resistencia a la tracción mide la capacidad del material para soportar esfuerzos tensionales sin fallar. En geomembranas de HDPE, los valores mínimos suelen ser superiores a 25 kN/m , lo que asegura un adecuado desempeño durante la instalación y frente a movimientos diferenciales del suelo.

Elongación. - La elongación es la capacidad del material para deformarse antes de la rotura. Las geomembranas de HDPE presentan elongaciones superiores al 700 %, lo que les permite adaptarse a asentamientos del terreno sin pérdida de integridad estructural.

Resistencia al punzonamiento. - Esta propiedad evalúa la capacidad de la geomembrana para resistir perforaciones producidas por partículas angulares del suelo o elementos rígidos. Es especialmente relevante en muros de contención donde el contacto con el relleno puede generar concentraciones de esfuerzo.

Resistencia al desgarro. - La resistencia al desgarro es fundamental en zonas críticas como anclajes, bordes y uniones, donde se pueden generar esfuerzos localizados que comprometan la continuidad del sistema impermeable.

Metodologías de diseño. - Para diseñar la geomembrana, se comparan las resistencias del material con el valor que se necesita en el diseño para una misma propiedad, asegurando así un factor de seguridad adecuado [32].

$$FSg = \frac{\text{Resistencia Admisible}}{\text{Resistencia Requerida}} \rightarrow FSg > 1$$

Ecuación 7 Factor de seguridad de la geomembrana

Diseño por espesor de geomembranas. - Dado que cada material tiene comportamientos tan diferentes en cuanto a su fluencia, el grosor exacto de una geomembrana dependerá del tipo de polímero con el que esté fabricada. Para el cálculo del espesor se realiza un equilibrio límite teniendo en cuenta la posible deformación en la geomembrana como se muestra a continuación[32]:

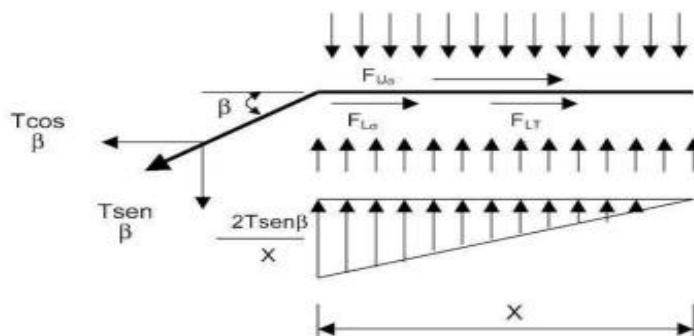


Ilustración 5 Calcular el espesor de la Geomembrana

La tensión inducida en la geomembrana es igual al esfuerzo admisible por el espesor:

$$t = \frac{\sigma n x (\tan \delta_u + \tan \delta_L)}{\sigma_{adm} (\cos \beta - \sin \beta \tan \delta_L)}$$

Ecuación 8 Tensión de la geomembrana

Donde:

B = ángulo que forma el movimiento de la geomembrana a tensión con la horizontal

FUs = fuerza de fricción sobre la geomembrana debido al suelo de cubierta

FLs = fuerza de fricción debajo de la geomembrana debido al suelo de cubierta

FLT = fuerza de fricción debajo de la geomembrana al componente vertical de T admisible

Sn = esfuerzo aplicado por el material de relleno du

dL = ángulo de fricción entre la geomembrana y el material inferior

x = distancia de movilización de la deformación de la geomembrana

Tabla 3 Ángulos de fricción de geomembrana

Tipo de geomembrana	Tipo de geotextil	Tipo de suelo – arena		
HDPE		$\phi = 30^\circ$	$\phi = 28^\circ$	$\phi = 26^\circ$
Texturizada	32°	30° (100%)	26° (92%)	22° (83%)
Lisa	8°	18° (56%)	18° (61%)	17° (63%)

Tabla 4 Distancia de movilización de la deformación de la geomembrana HDPE.

Espesor de geomembrana HDPE (mm)	Distancia de movilización (mm)
0.75	30
1.50	50

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.1 Área de estudio.

La zona de estudio se encuentra en la vía Portoviejo – Montecristi al sur del cantón Portoviejo, llamada urbanización de Valle Alto con una aproximación de 325 viviendas ocupadas. La urbanización se encuentra en medio de dos quebradas, denominadas Valle Alto y Loma de los Vientos, dándonos un área de observación de 92 Ha en su totalidad, nos enfocaremos en la quebrada Loma de los Vientos la parte lateral para realizar los estudios pertinentes por sus afectaciones provocadas.

4.2 Trabajo en campo

Las calicatas, zanjas, rozas y pozos son excavaciones realizadas con equipos mecánicos convencionales, permitiendo observar directamente el terreno a cierta profundidad, tomar muestras y efectuar ensayos in situ, una de las primeras ventajas es el acceso directo al subsuelo pudiendo identificar las litologías, estructuras y discontinuidades, pero contiene limitaciones como la que profundidad a no superar los 4 m, la presencia de agua reduce su eficacia [33]. Por ello se realizaron calicatas de medidas de 1.50*1.50*1.00 m de profundidad para obtener las mejores muestras para texturas y ensayo triaxial en el laboratorio.

4.3 Ensayo Triaxial

El ensayo triaxial se considera uno de los métodos más fiables para obtener los parámetros de resistencia al corte del suelo, siendo el procedimiento una muestra cilíndrica o cuadrada de suelo colocada en una membrana de látex y se introduce en una cámara presurizada, donde la parte superior e inferior de la muestra se equipa con discos porosos conectado a un sistema de drenaje permitiendo saturar o drenar la muestra según las necesidades del ensayo. En la ejecución de la prueba se aplican distintas presiones en tres direcciones ortogonales, dando la posibilidad de medir de manera completa las propiedades mecánicas del material. El agua de la

cámara puede alcanzar diferentes niveles de presión mediante un compresor, mientras la carga axial se trasmite por la prueba a través del vástago [28]. La presión que se genera actúa de forma hidrostática, produciendo los esfuerzos principales iguales en todas las direcciones, en el ensayo de compresión. La presión axial representa el esfuerzo principal del suelo mientras que los otros esfuerzos corresponden a las presiones laterales de la muestra.

4.4 Estabilidad de taludes

Para el análisis de la estabilidad de taludes se utilizaron los datos de mecánica de suelos donde es necesario considerar las características portantes y el comportamiento del suelo a medida que se realiza los estudios, es conveniente clasificar los problemas que se presente con la respuesta efectiva de los suelos bajo condiciones específicas de carga referenciando la estabilidad o la deformación del mismo, por ello se presenta la tabla 5 con las características físicas de los suelos [19].

Tabla 5 Características físicas del suelo

Tipos de suelo	Contenido natural de agua, w (%)	Peso unitario in situ (kN/m³)	Relación de vacíos	Grado de saturación Sr (%)
Arena uniforme seca, suelta	0	13.5	0.95	0
Arena bien gradada	5	19.5	0.45	40
Arcilla blanda	55	17.0	1.50	>95
Arcilla compactada	20	19.5	0.70	>90
Tilita rígida	10	23.0	0.30	>95
Turba y sueltos orgánicos	>250	10.0	>3.50	>90

Conociendo las características físicas del suelo, se requiere tener una apreciación sus características frente al corte. Cuando sucede un exceso del esfuerzo por corte genera una falla a lo largo de la superficie, donde se identifican dos parámetros: cohesión (c) resultante inicialmente por las fuerzas eléctricas complejas entrelazadas con el tamaño de la partícula y el

Angulo de resistencia al corte desarrollado por la resistencia a la fricción entre partículas y su entramado, por ello se presenta la tabla 6 de las propiedades mecánicas de los suelos [19].

Tabla 6 Características físicas del suelo

Tipos de suelo	Peso unitario saturado (kN/m³)	Cohesión (kN/m²)	Fricción Φ (grados)	Coefficiente de permeabilidad X10⁻⁴ m²/kN	Coefficiente de permeabilidad horizontal Kh (m/s)
Gravas	17-22	0	30-45	0.1-1.0	10 ⁻¹ a 10 ⁻²
Arenas		0	30-45		10 ⁻² a 10 ⁻⁵
Limos		<5	20-35		10 ⁻⁴ a 10 ⁻⁶
Arcillas (blandas – medias)	15-21	0	20-30	1.0-10.0	<10 ⁻⁸ Arcilla intacta
Arcillas (sensitivas – limosas)		<10	<30		10 ⁻³ a 10 ⁻⁸ Fisurada o con lentes de limo
Arcillas (medias – rígidas)		<50	<20		

Finalizando con los conocimientos geotécnicos de compresibilidad y consolidación del suelo para los poros, para esto es importante para el análisis de estabilidad [19], presentadas en la tabla 7.

Tabla 7 Compresión de la presión de agua en poros del suelo

Tipos de suelo	Presión de agua en poros (kPa)	Contenido de humedad (%)	Permeabilidad (m/s)	Usos típicos	Comentarios
Grava	1-16	6-18	0.1-0.8	Sistemas de drenaje	Alta permeabilidad
Arena	6-26	10-29	0.1-0.1	Capas de drenaje	Baja cohesión, alta permeabilidad

Limo	28-90	20-40	0.1-0.1	Relleno	Plasticidad media, permeabilidad variable
Arcillas	60-134	36-58	0.1-0.1	Terraplenes	Alta plasticidad, baja permeabilidad
Turba	101-188	51-88	0.1-0.1	Sin tratamiento	Alto contenido de agua
Marga	33-78	26-39	0.1-0.1	Uso agrícola y paisajismo	Permeabilidad moderada

Con esto aplicamos la formula base de estabilidad de taludes en suelos, donde los principios básicos provienen de la mecánica de suelos, dando así una relación entre el análisis de equilibrio estático de las masas de suelo con la inestabilidad potencial y activas que están sobre la superficie de falla, dando como resultado la siguiente ecuación del factor de seguridad [19]:

$$F = \frac{\tau_u}{\tau}$$

Ecuación 9 Factor de seguridad

Donde

F = Factor de seguridad

τ_u = Resistencia unitaria al corte

τ = Esfuerzo unitario del corte generado

La estabilidad de talud tiene una sensibilidad a los poros con la presión de agua generada, debiendo estimarse una red de flujo o de coeficientes de presión de poros, por lo tanto, es conveniente considerar un análisis las presiones de agua en los poros utilizando la siguiente ecuación [19]:

$$r_u = \frac{u_w * b}{W}$$

Ecuación 10 Razón de presión de poros

Donde:

r_u = Razón de presión de poros

u_w = Presión de agua en los poros (kPa)

b = base de la rebanada (m)

W = peso de la rebanada (kN/m)

Existen algunas soluciones presentadas para la estabilidad de taludes, pero entre ellas elegiremos la solución semi rigurosa de Bishop, con superficie de arco circular. Este método se relaciona con la determinación de las dovelas (rebanadas) en el perfil del suelo, llevando a cabo así el factor de seguridad para las fuerzas que actúan entre rebanadas para el equilibrio estático, presentándose en la siguiente ecuación [19]:

$$F = \frac{1}{\sum W \operatorname{sen} \alpha} \sum ((c'b + W(1 - r_u) \frac{\operatorname{sec} \alpha}{1 + \tan \alpha \tan \emptyset}) \frac{1}{F_s})$$

Ecuación 11 Factor de seguridad de Bishop

Donde:

F = Factor de seguridad

W = Peso de la rebanada (kN/m)

α = Ángulo de la rebanada

\emptyset = Ángulo de fricción

r_u = Razón de presión de poros

$c'b$ = Cohesión de la rebana (kN/m)

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los análisis que se indican a continuación son los resultados obtenidos a partir de la recolección de muestras en la zona de estudio, también se muestra los resultados obtenidos del factor de seguridad, áreas de cada dovela, coordenada donde empieza y donde termina el área de falla, antes del diseño del muro de contención, de igual forma los resultados después de haber realizado el muro de contención.

5.1 Análisis de los datos obtenidos del laboratorio

Mediante la recolección de datos realizada en campo se pudo obtener muestras de suelo las cuales se llevó a un laboratorio certificado con el fin de realizar ensayos triaxiales para poder conocer las características del suelo, los resultados que se obtuvieron son los siguientes:

Tabla 8 Resultados del estudio triaxial

Denominación	Valor	Unidad
Peso Unitario Seco	11.993	KN/m ³
Cohesión	6.86	kPa
Ángulo De Fricción	24.01	Grados

Con los resultados obtenidos en los ensayos triaxiales se pudo determinar que el tipo de suelo de la zona de estudio es un suelo limo arcillo ya que este tipo de suelos generalmente tienen valores significativos de cohesión por lo cual se lo conoce como suelos cohesivos. Este tipo de suelo posee una baja permeabilidad por lo cual el paso del agua llega a ser difícil generando una mayor retención de humedad en sus partículas llegando a un punto de colapso del suelo.

5.2 Análisis de estabilidad de taludes en el perfil 3

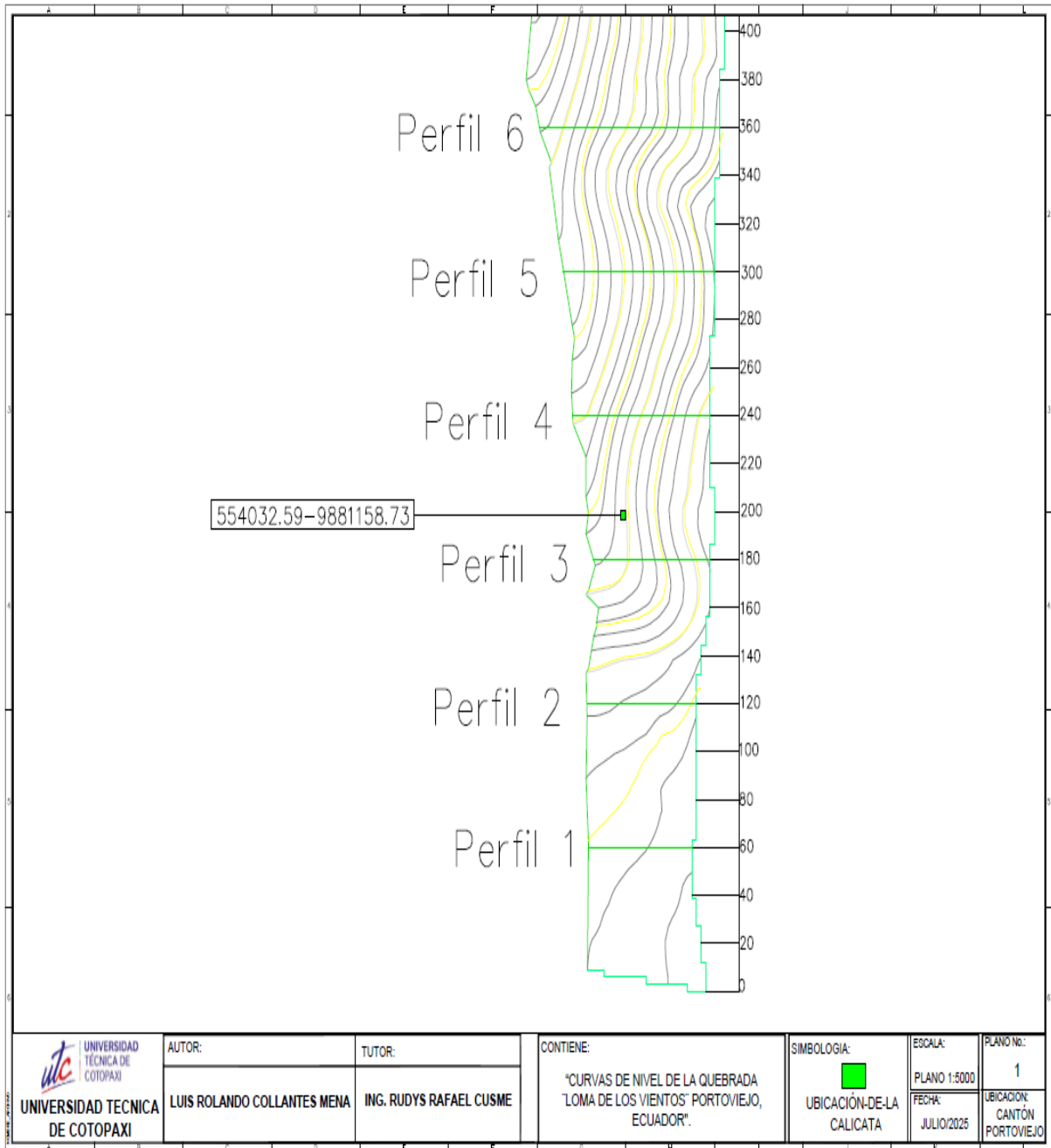


Ilustración 6 perfiles del suelo

Método de Bishop modificado

Una vez que ya se conoce el tipo de suelo y sus características realizamos el método de Bishop por medio de los softwares Slide y Geo 5 con la finalidad de conocer el factor de seguridad (Fs.) del suelo, observando los siguientes resultados en el perfil número 3 de la investigación.

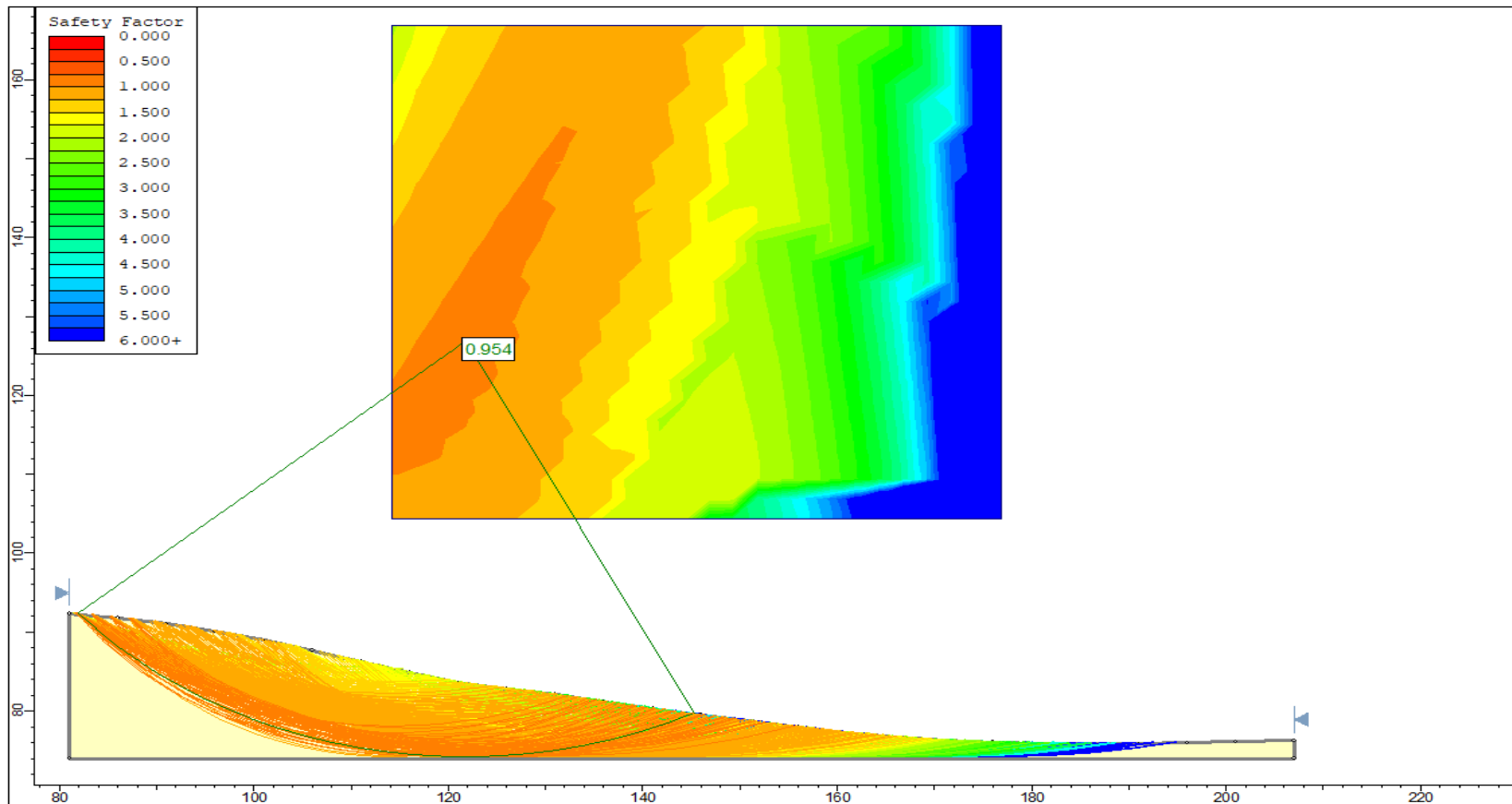


Ilustración 7 Modelado en Slide-Bishop en el perfil 3

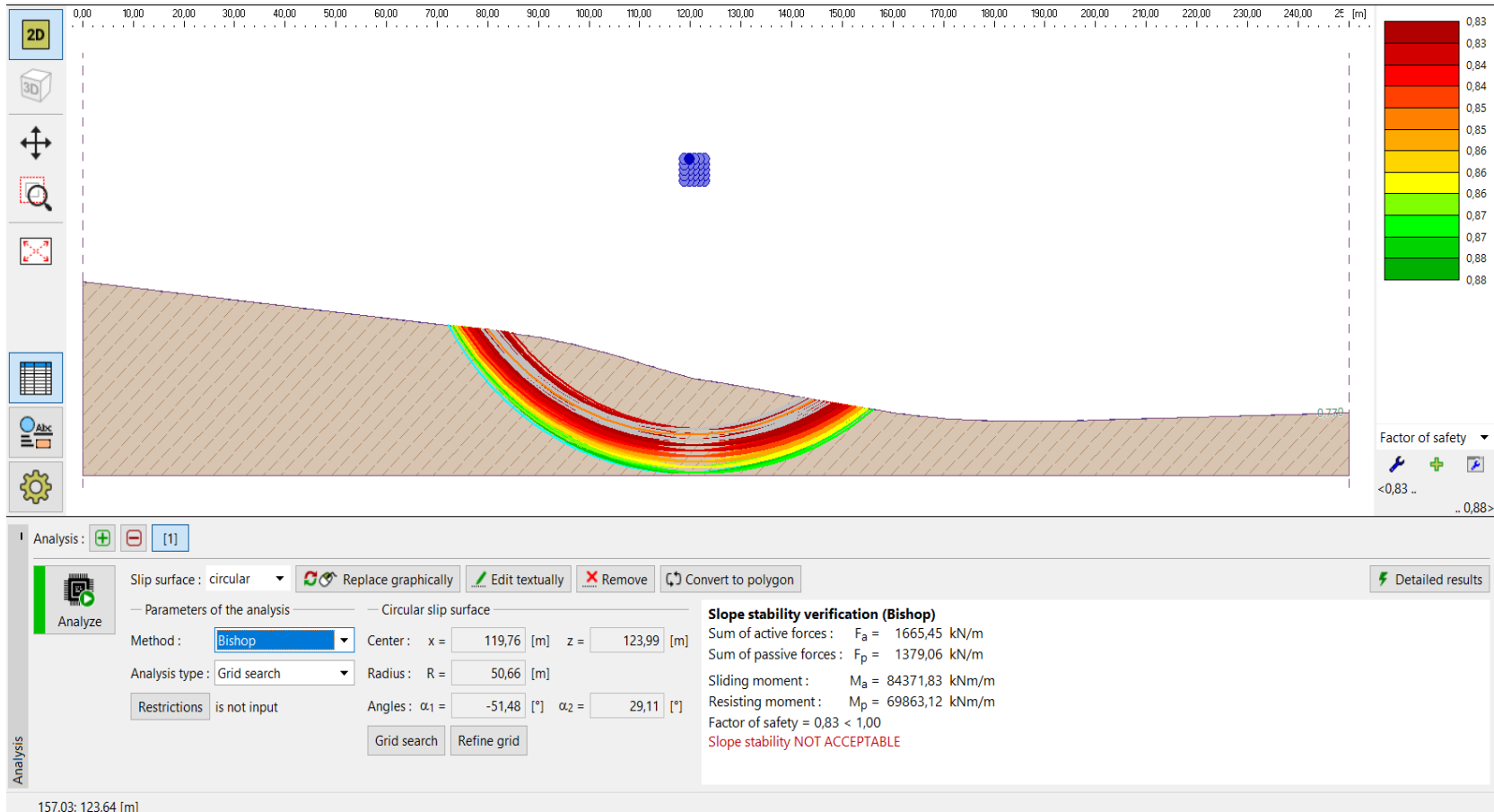


Ilustración 8 Modelado en Geo5-Bishop en el perfil 3

Dado los softwares Slide y Geo5, los valores de factores de seguridad de 0.954 y 0.830 respectivamente, esto se comprobará mediante el cálculo manual en el software Excel, con la siguiente tabla de cálculo:

Tabla 9 Resultados para el Fs. Método de Bishop en el perfil 3

N°	Lateral menor	Lateral mayor	b	A (m ²)	W (KN)	α (rad)	ru	c'b	ma	ma	W(1-ru)	W(1-ru)*tan ϕ	c'b+W(1-ru)*tan ϕ	$\Sigma(c'b+W(1-ru)*tan\phi)*ma$	$\Sigma W*Sen\alpha$
1,00	0,00	2,44	2,54	3,09	37,12	1,02	1,91	17,41	7,81	2,12	-33,95	-15,12	2,29	4,86	31,68
2,00	2,44	4,50	2,54	8,81	105,61	1,05	0,67	17,41	8,53	2,13	34,54	15,38	32,80	69,70	91,52
3,00	4,50	6,22	2,54	13,61	163,17	1,07	0,44	17,41	9,16	2,13	92,10	41,03	58,44	124,24	142,99
4,00	6,22	7,65	2,54	17,60	211,09	1,08	0,34	17,41	9,68	2,13	140,02	62,37	79,78	169,64	186,46
5,00	7,65	8,79	2,54	20,86	250,13	1,09	0,28	17,41	10,07	2,13	179,06	79,76	97,17	206,60	222,15
6,00	8,79	9,69	2,54	23,44	281,13	1,10	0,25	17,41	10,32	2,13	210,07	93,57	110,98	235,94	250,52
7,00	9,69	10,35	2,54	25,42	304,91	1,10	0,23	17,41	10,45	2,13	233,84	104,16	121,57	258,43	272,12
8,00	10,35	10,82	2,54	26,87	322,23	1,10	0,22	17,41	10,44	2,13	251,16	111,88	129,29	274,83	287,55
9,00	10,82	11,12	2,54	27,85	333,95	1,10	0,21	17,41	10,31	2,13	262,88	117,10	134,51	285,95	297,54
10,00	11,12	11,23	2,54	28,37	340,20	1,09	0,21	17,41	10,07	2,13	269,13	119,88	137,29	291,90	302,18

11,00	11,23	11,18	2,54	28,44	341,08	1,08	0,21	17,41	9,75	2,13	270,01	120,27	137,68	292,75	301,59
12,00	11,18	10,99	2,54	28,13	337,35	1,07	0,21	17,41	9,35	2,13	266,28	118,61	136,02	289,21	296,52
13,00	10,99	10,68	2,54	27,50	329,80	1,06	0,22	17,41	8,90	2,13	258,73	115,25	132,66	282,01	287,71
14,00	10,68	10,27	2,54	26,59	318,91	1,04	0,22	17,41	8,41	2,12	247,85	110,40	127,81	271,57	275,68
15,00	10,27	9,77	2,54	25,44	305,09	1,03	0,23	17,41	7,90	2,12	234,02	104,24	121,65	258,27	260,87
16,00	9,77	9,30	2,54	24,20	290,27	1,01	0,24	17,41	7,38	2,12	219,20	97,64	115,05	243,92	245,04
17,00	9,30	8,83	2,54	23,00	275,89	0,98	0,26	17,41	6,86	2,12	204,82	91,24	108,65	229,88	229,43
18,00	8,83	8,23	2,54	21,65	259,64	0,96	0,27	17,41	6,35	2,11	188,58	84,00	101,41	213,96	212,21
19,00	8,23	7,52	2,54	19,99	239,75	0,93	0,30	17,41	5,87	2,10	168,69	75,14	92,55	194,51	192,06
20,00	7,52	6,63	2,54	17,95	215,28	0,90	0,33	17,41	5,40	2,09	144,21	64,24	81,65	170,74	168,51
21,00	6,63	5,57	2,54	15,48	185,60	0,87	0,38	17,41	4,96	2,08	114,53	51,02	68,43	142,16	141,46
22,00	5,57	4,38	2,54	12,63	151,50	0,83	0,47	17,41	4,54	2,06	80,43	35,83	53,24	109,70	111,97

23,00	4,38	3,06	2,54	9,45	113,36	0,79	0,63	17,41	4,15	2,04	42,29	18,84	36,25	73,92	80,86
24,00	3,06	1,61	2,54	5,93	71,09	0,75	1,00	17,41	3,79	2,01	0,02	0,01	17,42	35,07	48,66
25,00	1,61	0,00	2,54	2,04	24,46	0,71	2,90	17,41	3,45	1,98	-46,60	-20,76	-3,35	-6,63	15,96

Con los cálculos realizados en Excel utilizando los datos de Civil 3D se pudo obtener valores de cada dovela obteniendo como resultado que la dovela número 25 tiene valores más altos que el de las demás dovelas, obteniendo como resultado final un Fs. de 0.954 corroborando el resultado sacando en el software Slide, siendo un resultado positivo en la investigación.

Método de Fellenius

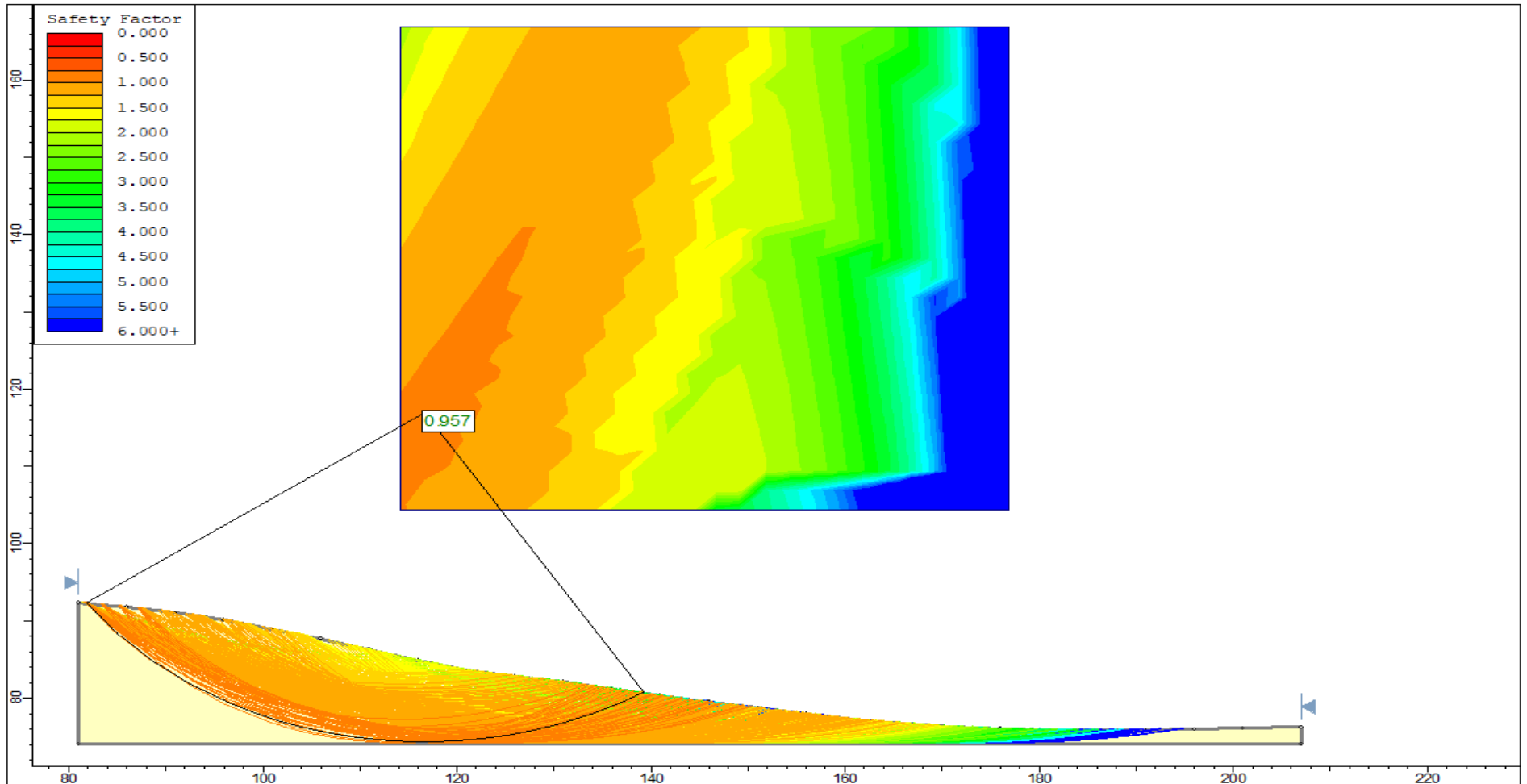


Ilustración 9 Modelado en Slide- Fellenius en el perfil 3

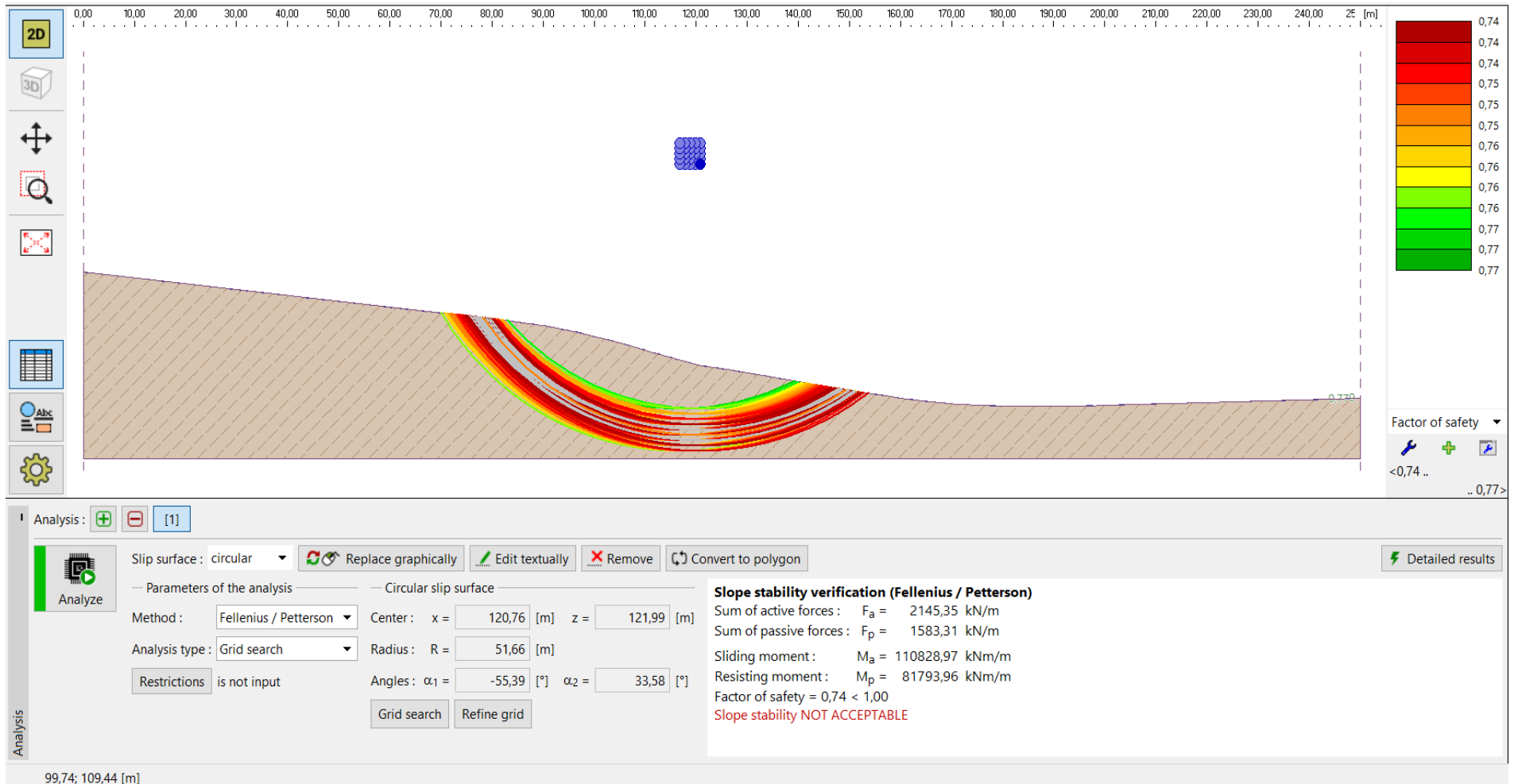


Ilustración 10 Modelado en Geo5-Fellenius en el perfil 3

Dado los softwares Slide y Geo5, los valores de factores de seguridad de 0.957 y 0.740 respectivamente, esto se comprobará mediante el cálculo manual en el software Excel dando como resultado 0.854 mostrado en la sección de anexos.

Método de Janbu

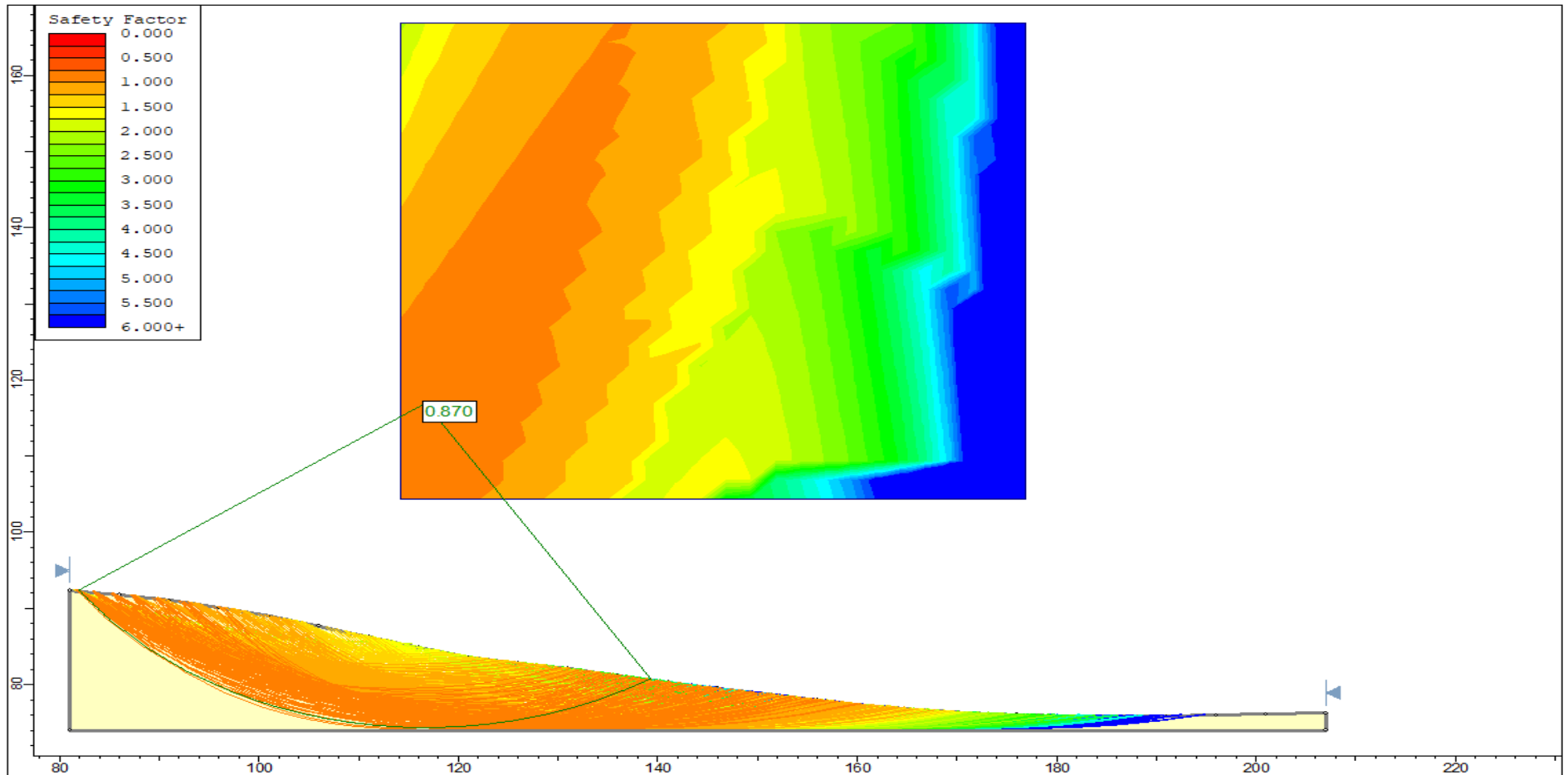


Ilustración 11 Modelado en Slide-Janbu en el perfil 3

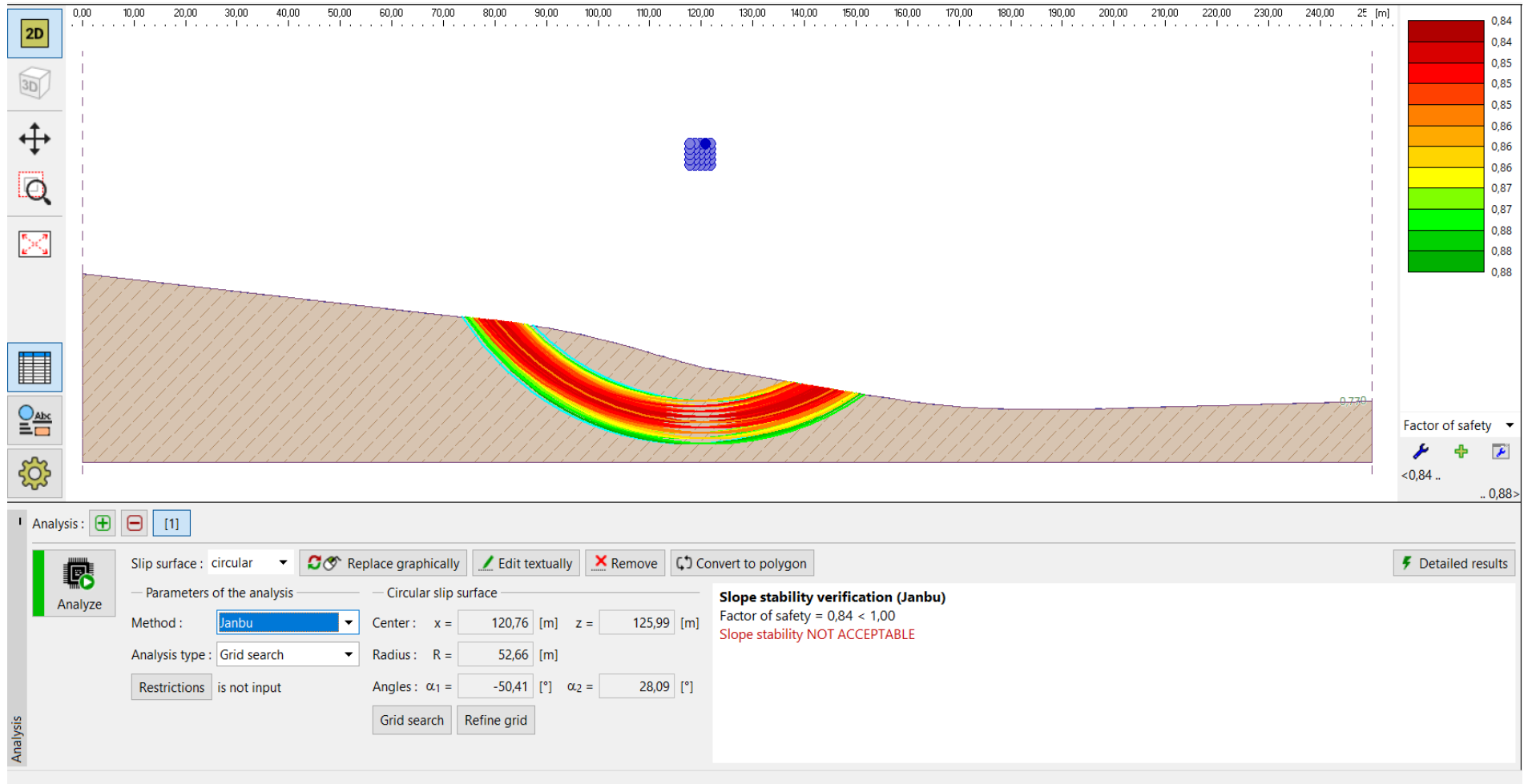


Ilustración 12 Modelado en Geo5-Janbu en el perfil 3

Dado los softwares Slide y Geo5, los valores de factores de seguridad de 0.870 y 0.840 respectivamente, demostrando una consolidación entre los softwares con valores aproximados que dan han entender lo que se viene calculando en los métodos anteriores.

Método Spencer

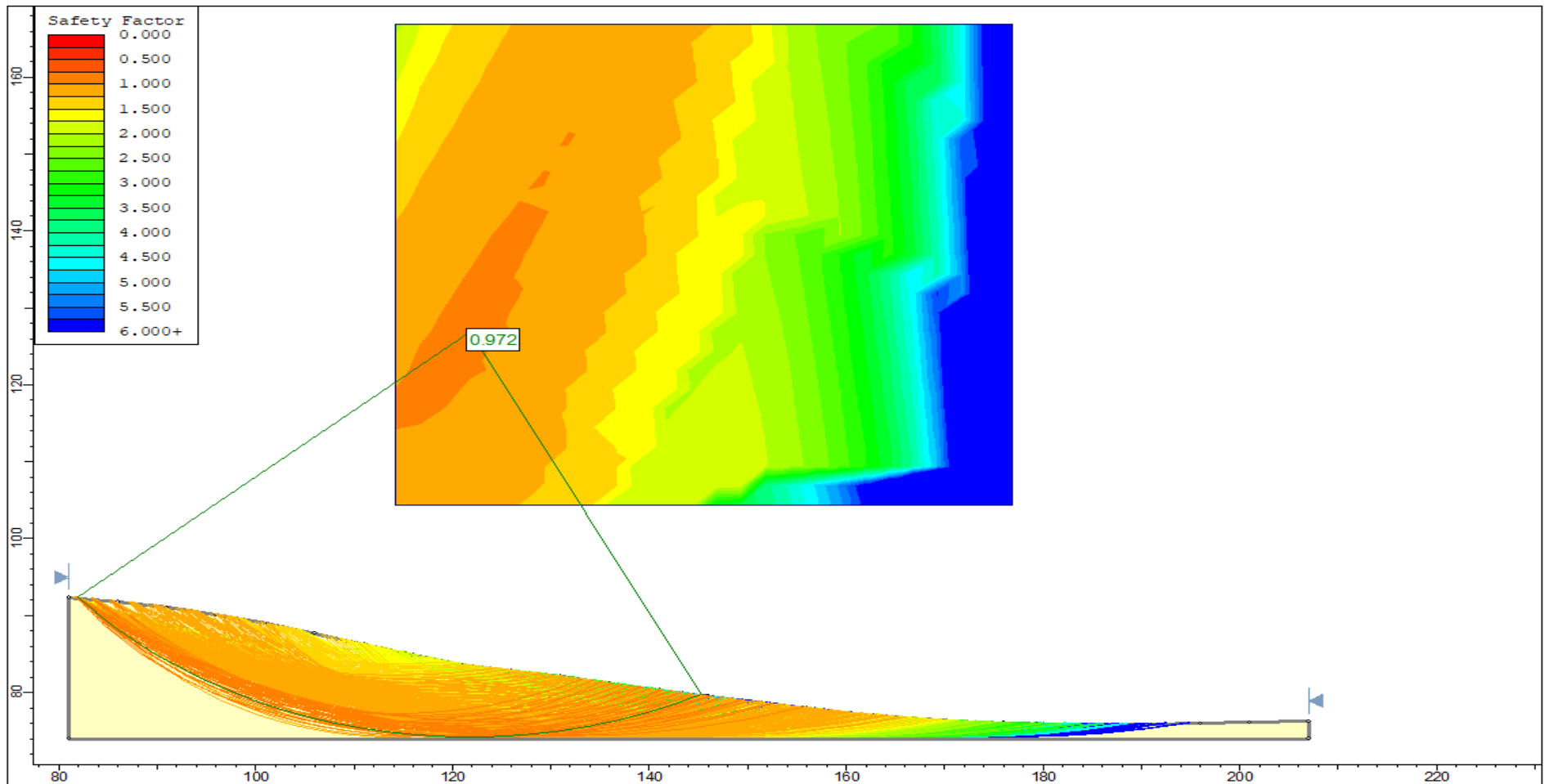


Ilustración 13 Modelado en Slide-Spencer en el perfil 3

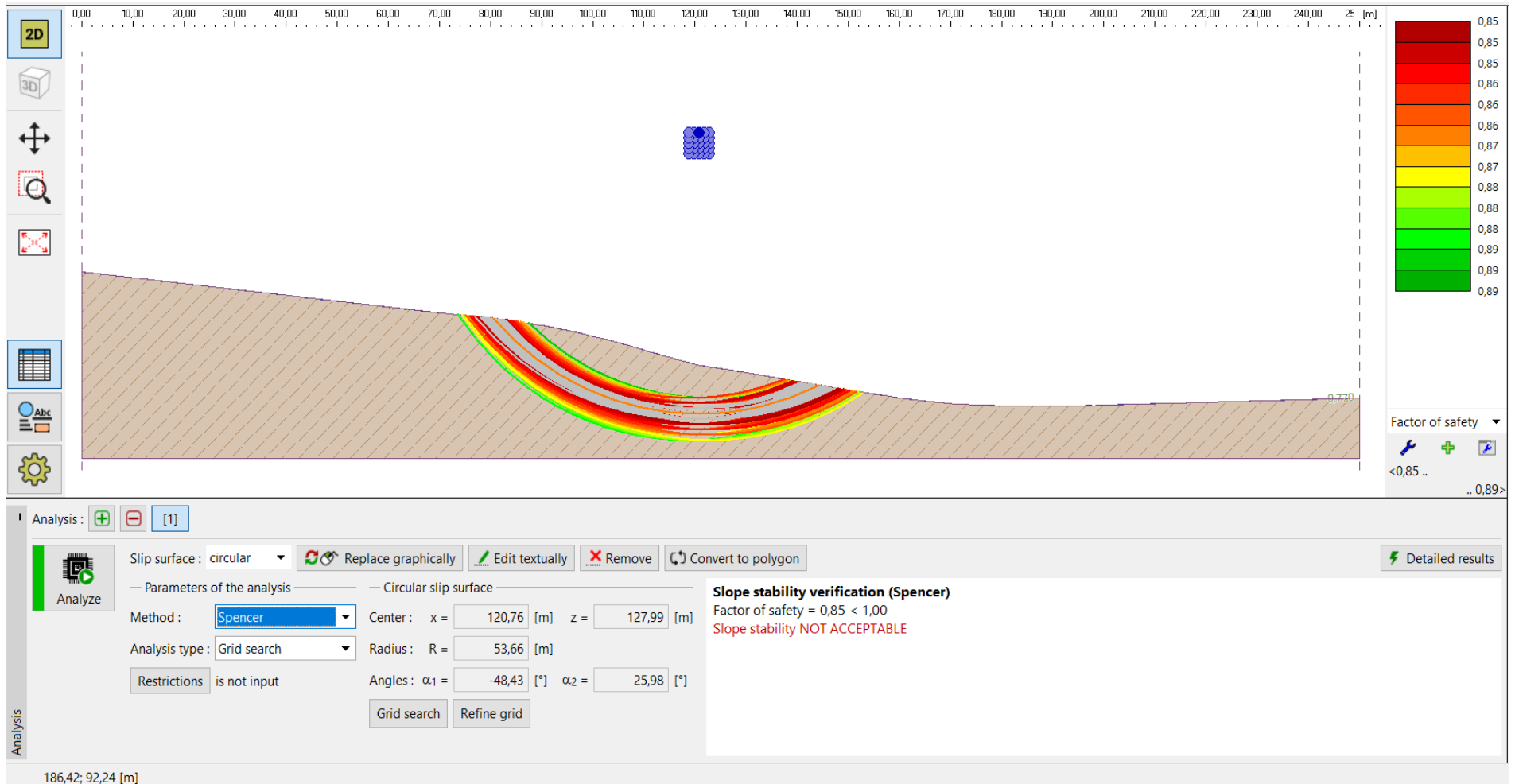


Ilustración 14 Modelado en Geo5-Spencer en el perfil 3

Dado los softwares Slide y Geo5, los valores de factores de seguridad son de 0.971 y 0.850 respectivamente demostrando una inestabilidad.

Método Price

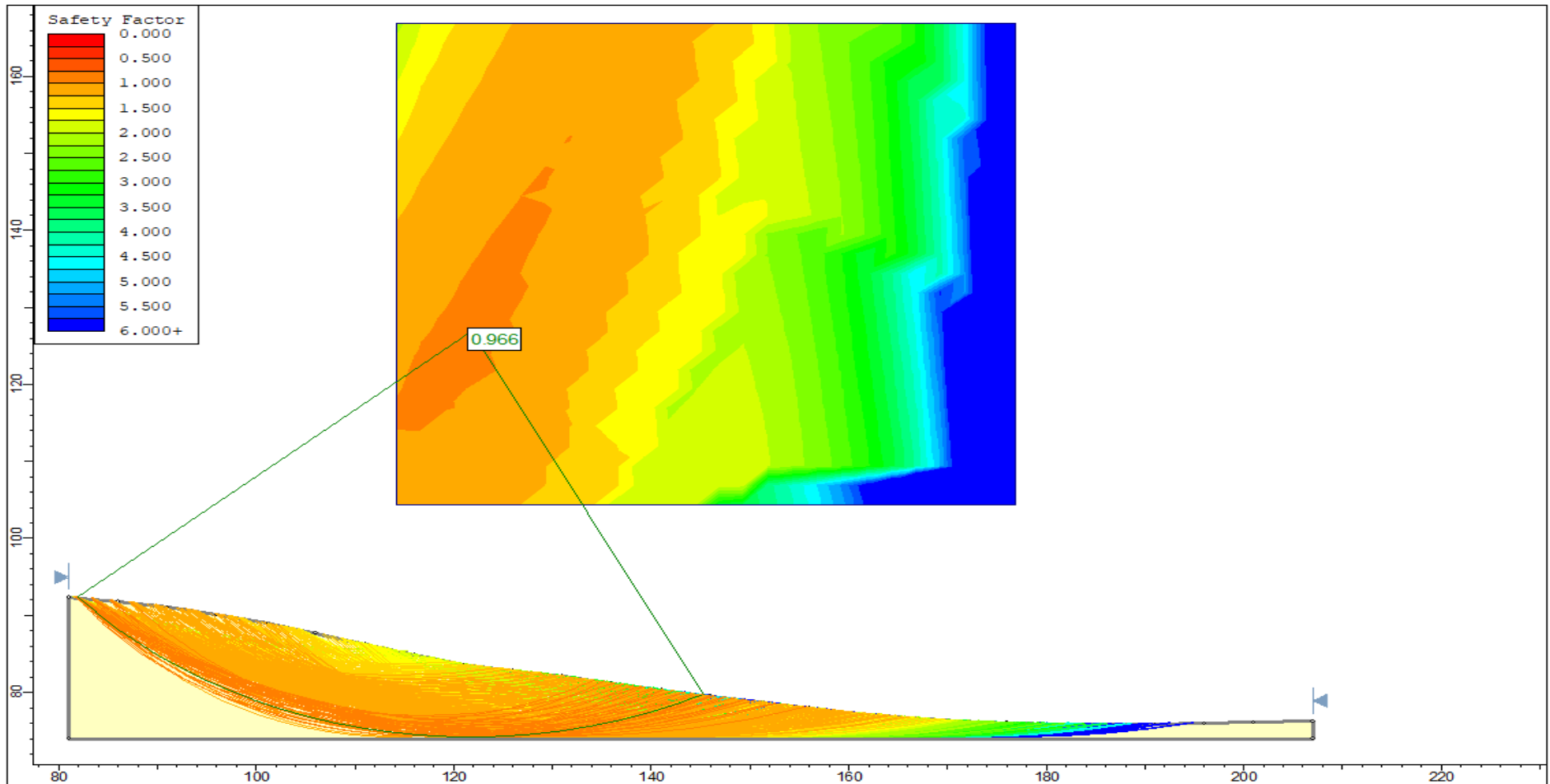


Ilustración 15 Modelado en Slide-Price en el perfil 3

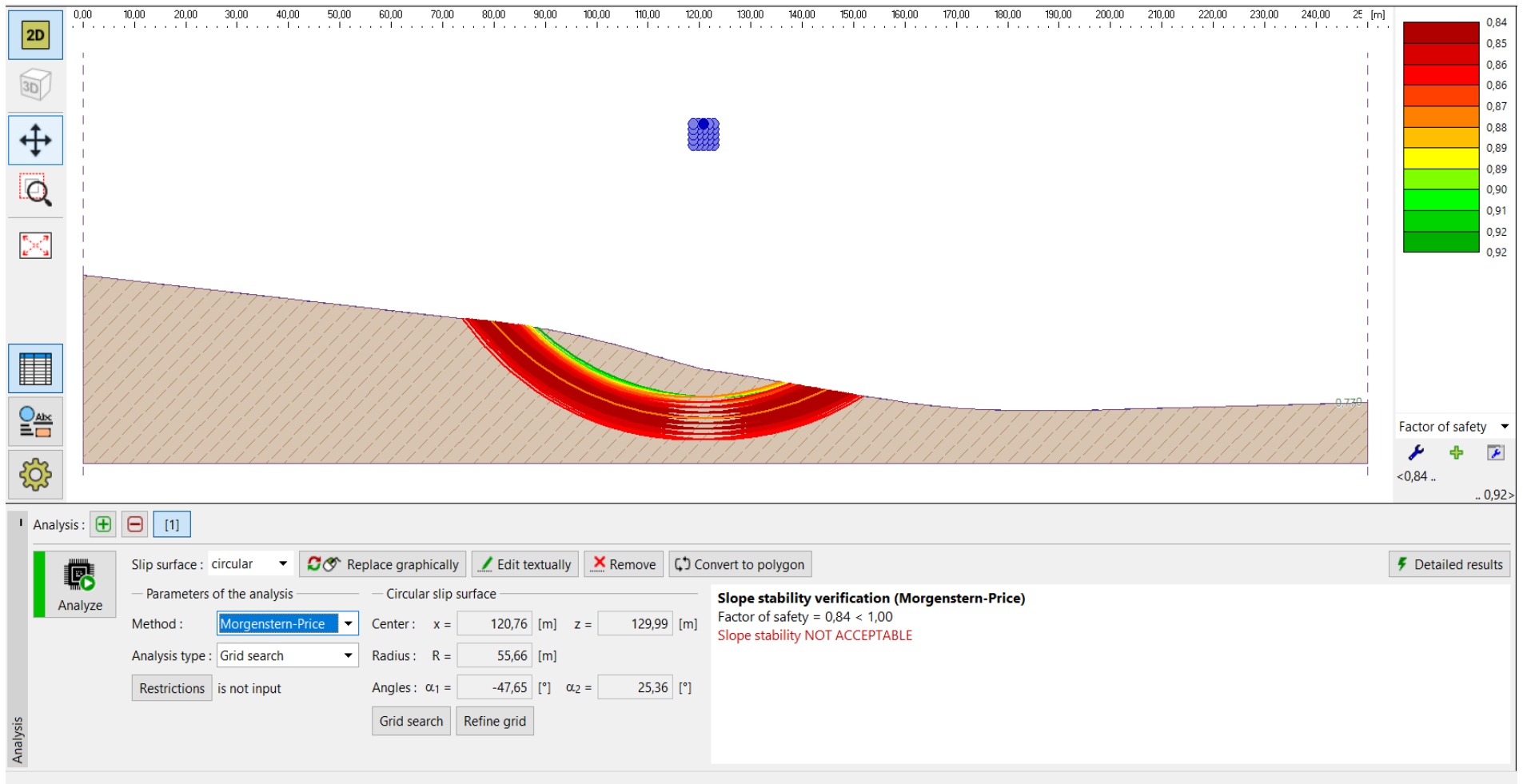


Ilustración 16 Modelado en Geo5-Price en el perfil 3

Dado los softwares Slide y Geo5, los valores de factores de seguridad son de 0.966 y 0.840 respectivamente siendo estos dos menores a mínimo aceptado.

En un resumen de todos los cálculos por los diferentes métodos en el perfil, se presenta la siguiente tabla:

Tabla 10 Resumen de los factores de seguridad por el software Slide P3

	Fellenius		Bishop		Janbu		Spencer		Price	
Centro	139,31	81,81	145,28	81,83	139,31	81,81	145,28	81,83	145,28	81,83
Radio	42,759		52,876		42,759		52,876		52,876	
FS	0,96		0,95		0,87		0,97		0,97	

Tabla 11 Resumen de los factores de seguridad por el software Geo5 P3

	Fellenius		Bishop		Janbu		Spencer		Price	
Centro	120,76	121,99	119,76	123,99	120,76	125,99	120,76	127,99	120,76	129,99
Radio	51,66		50,66		52,66		53,66		55,66	
FS	0,74		0,83		0,84		0,85		0,84	

Demostrando que el perfil número 3 de la investigación es inestable con un promedio de 0.94 en el factor de seguridad en el software Slide, siendo inestable el suelo, estando cerca del valor a 1.00 en donde ciertas literaturas marcan como el límite, mientras que en otras como los mismos softwares mencionan que el factor de seguridad tiene que ser mayor a 1.50 para considerarse un suelo estable, esto en el software Geo5 para el cual tenemos un promedio de 0.82, confirmando la inestabilidad que tiene el perfil.

5.3 Análisis de estabilidad de taludes en el perfil 4

Método de Bishop modificado

Al conocer el estado del perfil número 4, nos permitimos verificar mediante otro perfil si el suelo sigue estando inestable en el sector de la investigación, por ello presentaremos de forma similar mediante los softwares Slide y Geo5 para obtener los factores de seguridad que se tiene en este perfil.

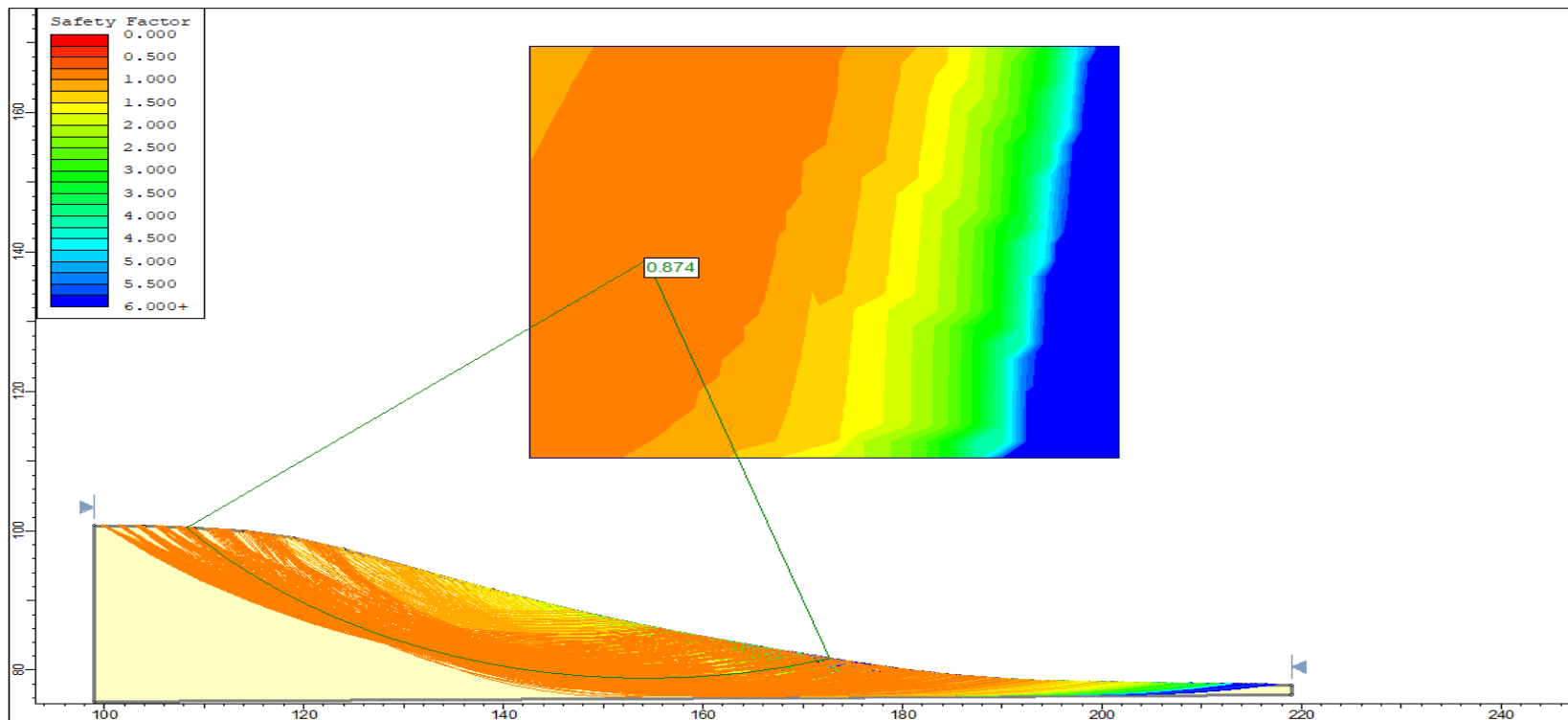


Ilustración 17 Modelado en Slide-Bishop en el perfil 4

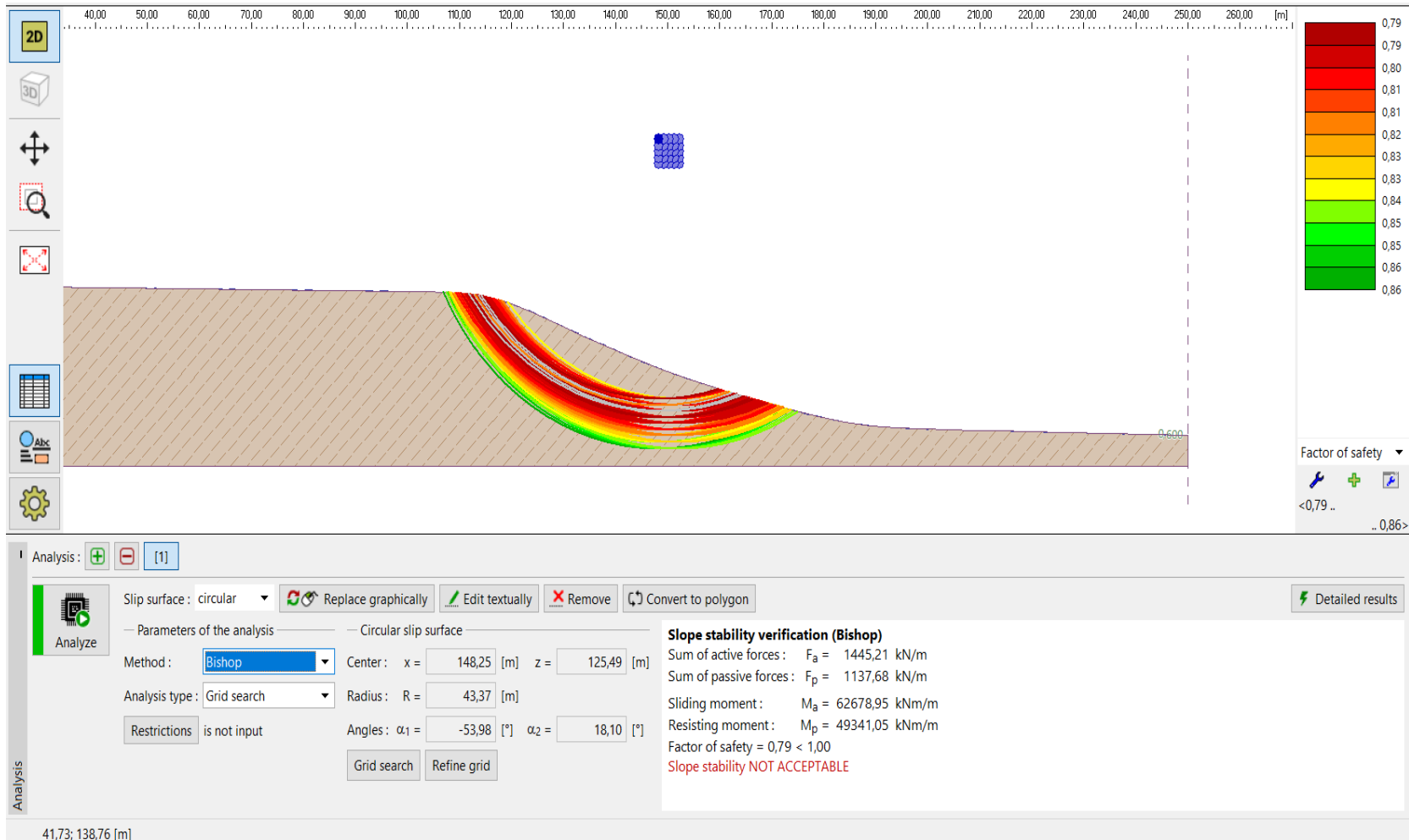


Ilustración 18 Modelado en Geo5-Bishop en el perfil 4

Dado los softwares Slide y Geo5, los valores de factores de seguridad de 0.874 y 0.790 respectivamente, esto se comprobará mediante el cálculo manual en el software Excel, con la siguiente tabla de cálculo:

Tabla 12 Resultados para el Fs. Método de Bishop en el perfil 4

N°	Lateral menor	Lateral mayor	b	A (m ²)	W (KN)	α (rad)	ru	c'b	ma	ma	W(1-ru)	W(1-ru)*tan ϕ	c'b+W(1-ru)*tan ϕ	Σ (c'b+W(1-ru)*tan ϕ)*ma	Σ W*Sen α
1,00	0,00	2,72	2,58	3,51	42,12	1,04	1,72	17,72	7,43	1,87	-30,20	-13,45	4,27	8,00	36,42
2,00	1,00	5,05	2,58	7,81	93,72	1,07	0,77	17,72	8,07	1,87	21,41	9,54	27,25	51,03	82,12
3,00	2,00	6,88	2,58	11,46	137,45	1,09	0,53	17,72	8,63	1,87	65,14	29,02	46,73	87,39	121,65
4,00	3,00	8,38	2,58	14,70	176,28	1,10	0,41	17,72	9,10	1,87	103,97	46,31	64,03	119,60	157,15
5,00	4,00	9,44	2,58	17,36	208,14	1,11	0,35	17,72	9,47	1,87	135,83	60,50	78,22	145,96	186,50
6,00	5,00	10,25	2,58	19,70	236,23	1,12	0,31	17,72	9,72	1,86	163,92	73,02	90,73	169,18	212,38
7,00	6,00	10,70	2,58	21,56	258,57	1,12	0,28	17,72	9,87	1,86	186,26	82,97	100,68	187,66	232,89
8,00	7,00	10,95	2,58	23,18	278,03	1,12	0,26	17,72	9,91	1,86	205,72	91,64	109,35	203,80	250,52
9,00	8,00	11,08	2,58	24,64	295,51	1,12	0,24	17,72	9,84	1,86	223,19	99,42	117,14	218,35	266,05
10,00	9,00	11,07	2,58	25,92	310,82	1,12	0,23	17,72	9,68	1,86	238,51	106,24	123,96	231,17	279,28

11,00	10,00	10,94	2,58	27,04	324,29	1,11	0,22	17,72	9,44	1,87	251,98	112,24	129,96	242,52	290,48
12,00	11,00	10,68	2,58	28,00	335,82	1,10	0,22	17,72	9,13	1,87	263,51	117,38	135,09	252,31	299,51
13,00	12,00	10,33	2,58	28,83	345,78	1,09	0,21	17,72	8,77	1,87	273,47	121,81	139,53	260,84	306,72
14,00	13,00	9,87	2,58	29,53	354,15	1,08	0,20	17,72	8,37	1,87	281,84	125,54	143,26	268,07	312,06
15,00	14,00	9,39	2,58	30,20	362,24	1,06	0,20	17,72	7,94	1,87	289,93	129,15	146,86	275,07	316,65
16,00	15,00	8,81	2,58	30,75	368,75	1,05	0,20	17,72	7,50	1,87	296,44	132,05	149,76	280,72	319,34
17,00	16,00	8,16	2,58	31,20	374,23	1,03	0,19	17,72	7,05	1,88	301,92	134,48	152,20	285,44	320,59
18,00	17,00	7,43	2,58	31,55	378,39	1,01	0,19	17,72	6,60	1,88	306,07	136,34	154,05	288,97	320,13
19,00	18,00	6,66	2,58	31,85	381,94	0,99	0,19	17,72	6,16	1,88	309,63	137,92	155,64	291,87	318,56

Con los cálculos realizados en Excel utilizando los datos de Civil 3D se pudo obtener valores de cada dovela obteniendo como resultado que la dovela número 25 tiene valores más altos que el de las demás dovelas, obteniendo como resultado final un Fs. de 0.874 corroborando el resultado sacando en el software Slide, siendo un resultado positivo en la investigación al correlacionar métodos las diferentes maneras de conocer la inestabilidad que tiene el suelo.

Método de Fellenius

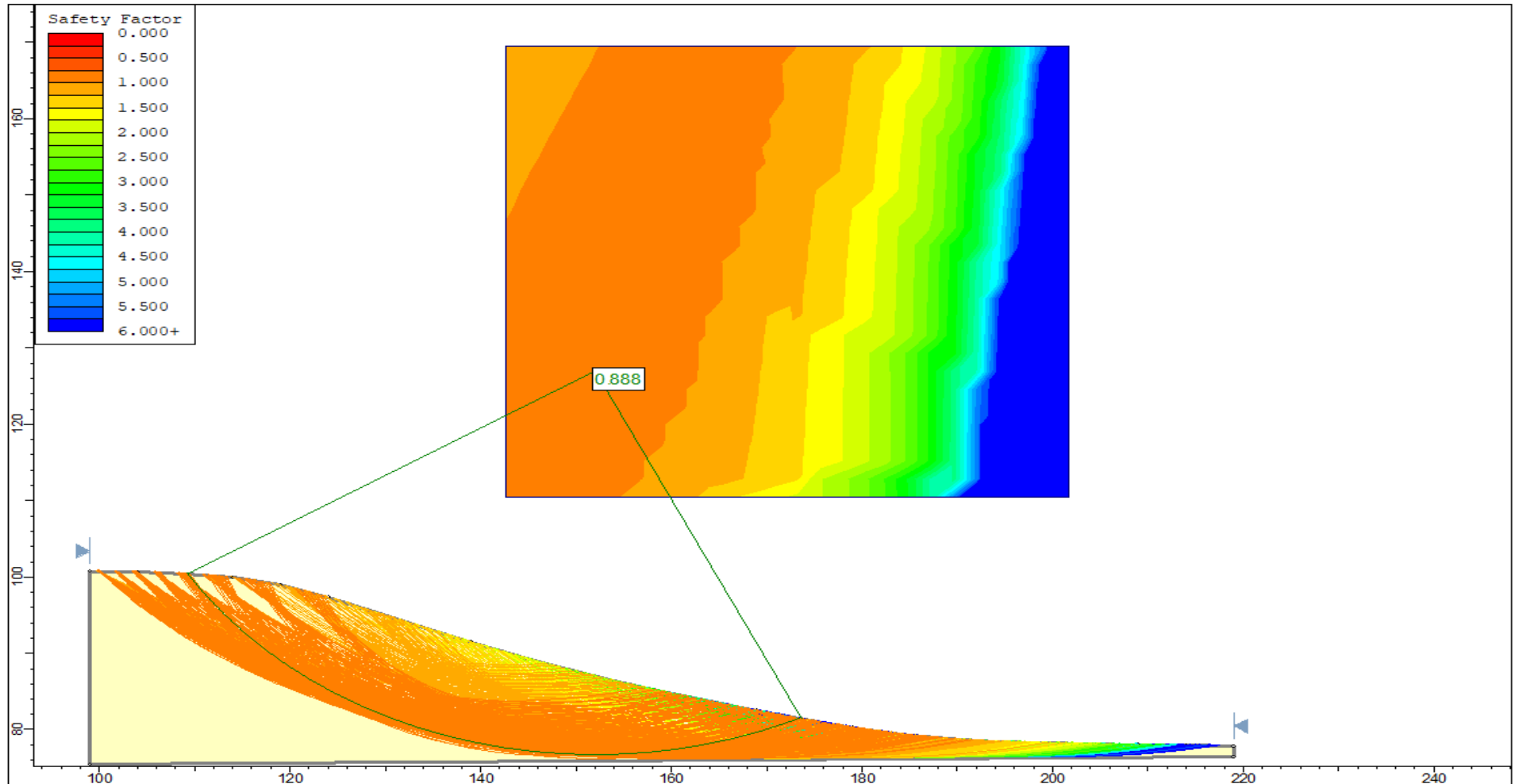


Ilustración 19 Modelado en Slide- Fellenius en el perfil 4

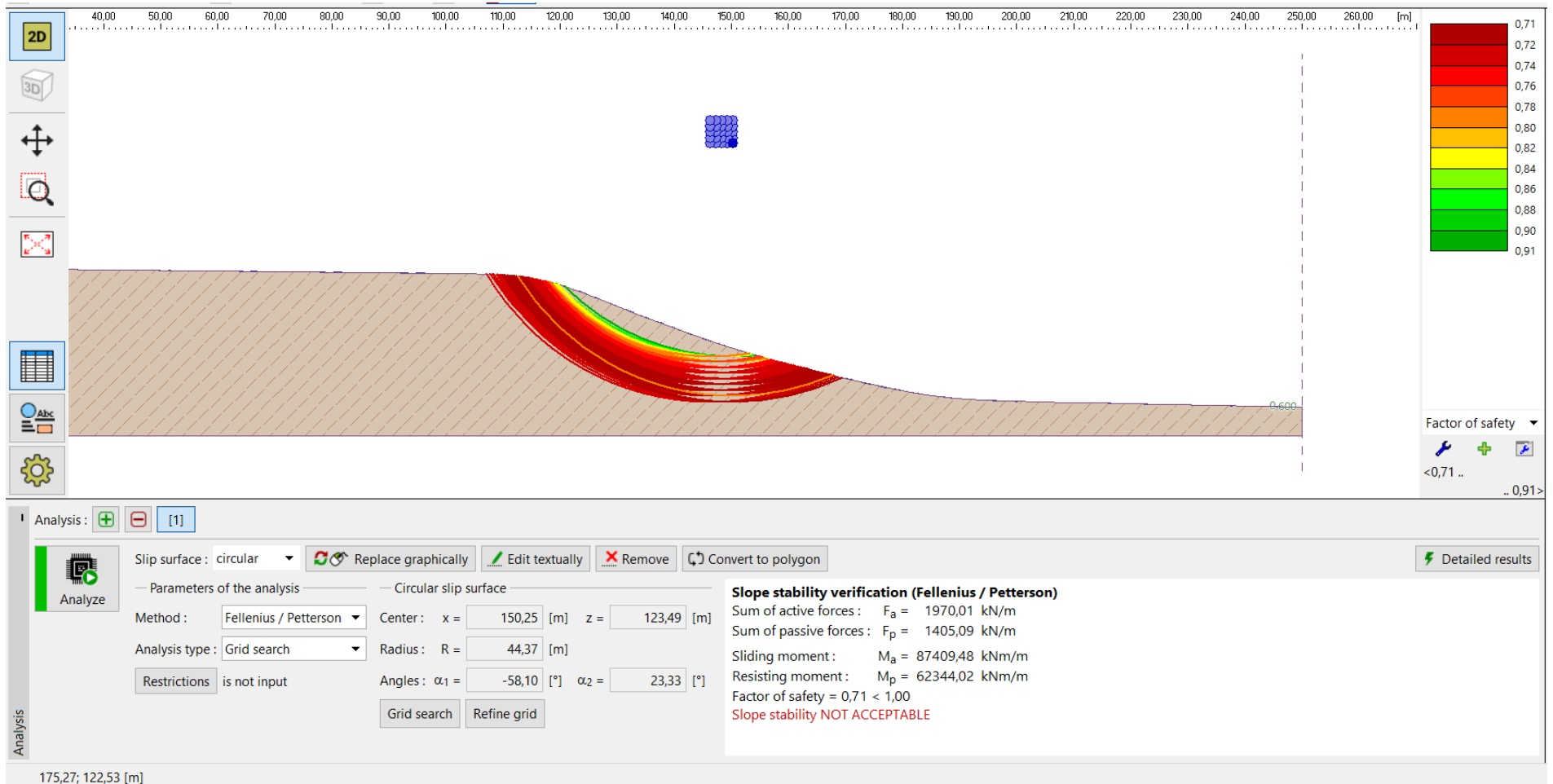


Ilustración 20 Modelado en Geo5-Fellenius en el perfil 4

Dado los softwares Slide y Geo5, los valores de factores de seguridad son de 0.888 y 0.710 respectivamente en este perfil.

Método de Janbu

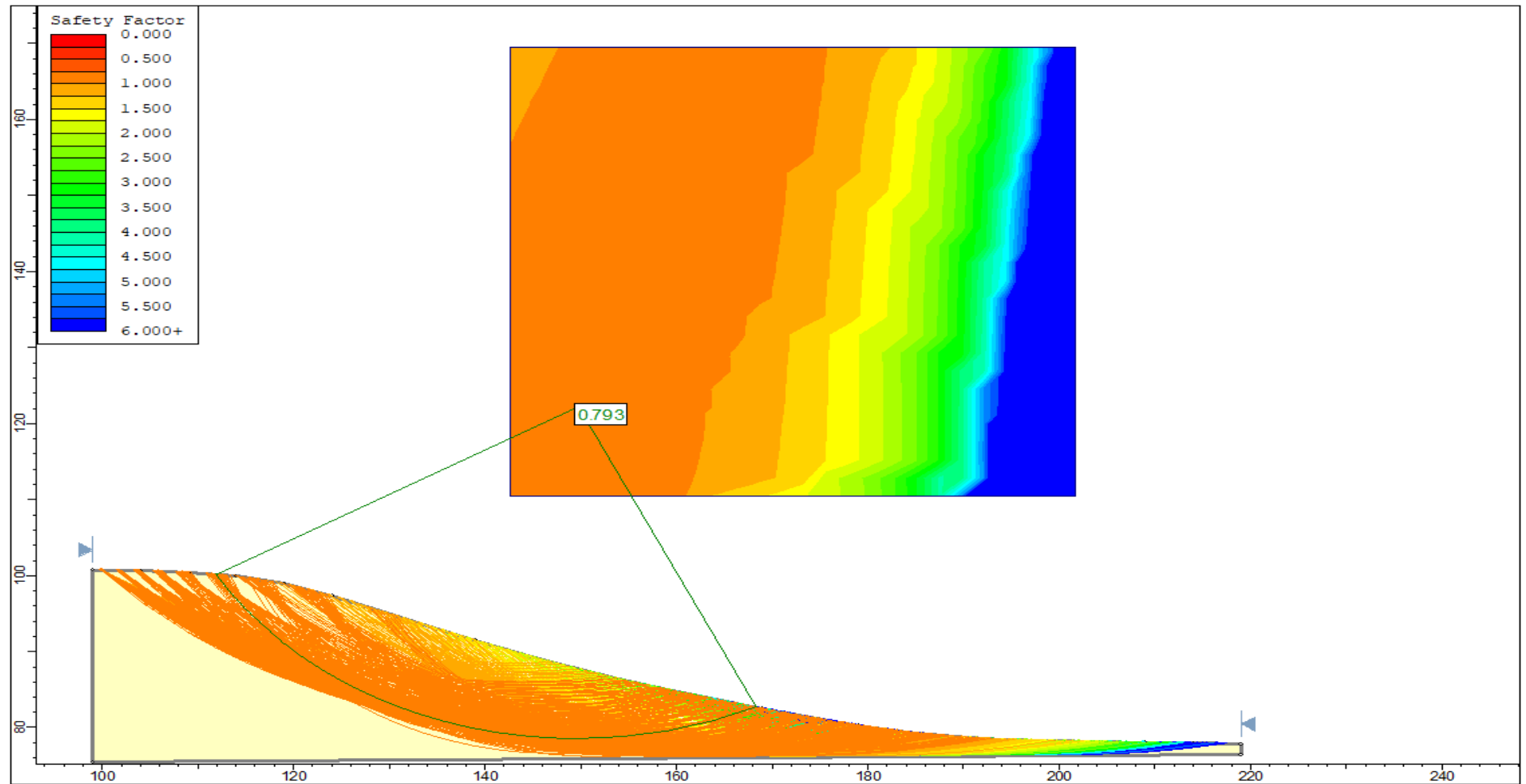


Ilustración 21 Modelado en Slide-Janbu en el perfil 4

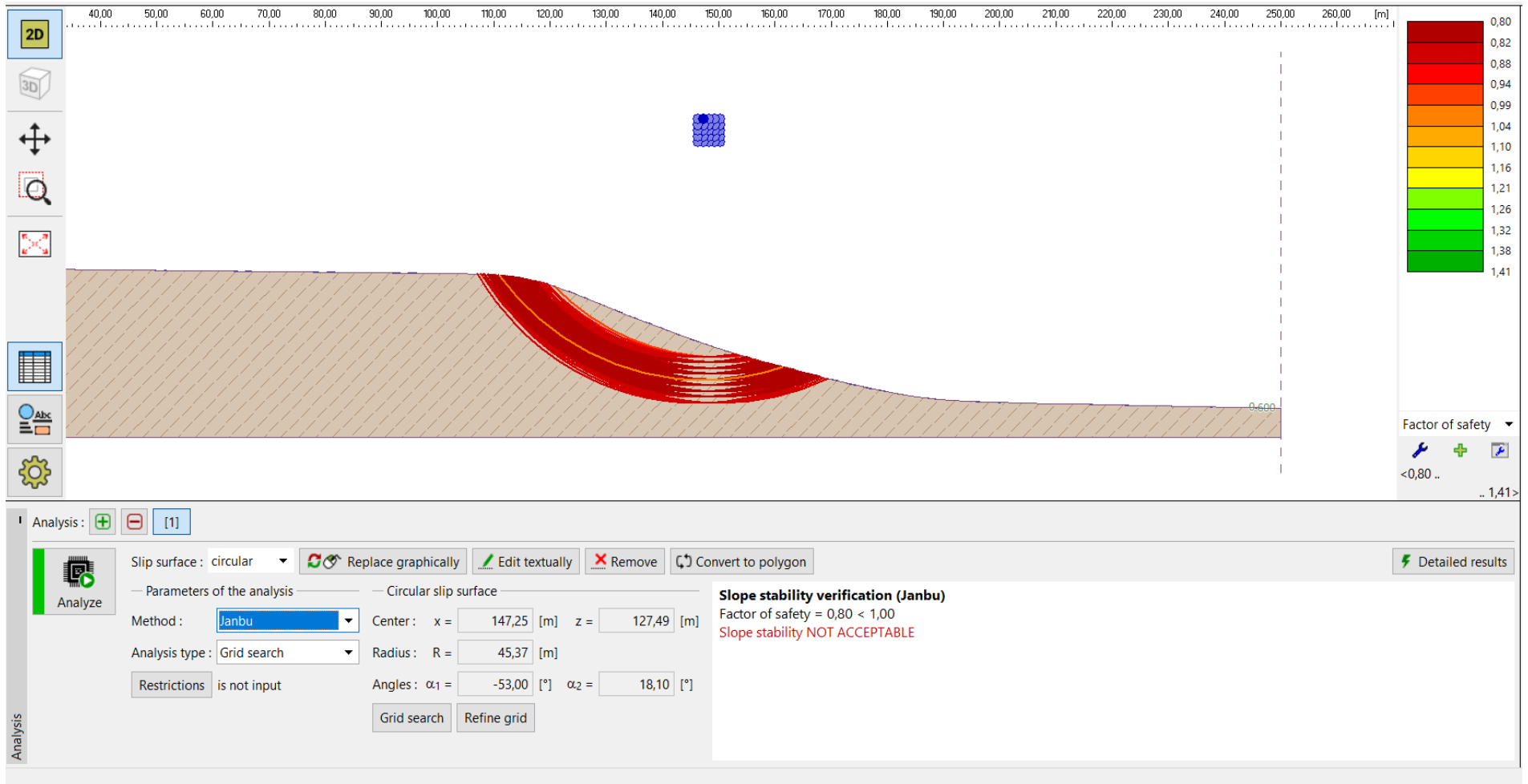


Ilustración 22 Modelado en Geo5-Janbu en el perfil 4

Dado los softwares Slide y Geo5, los valores de factores de seguridad de 0.793 y 0.800 respectivamente, demostrando una consolidación entre los softwares con valores aproximados coincidiendo el método en específico.

Método Spencer

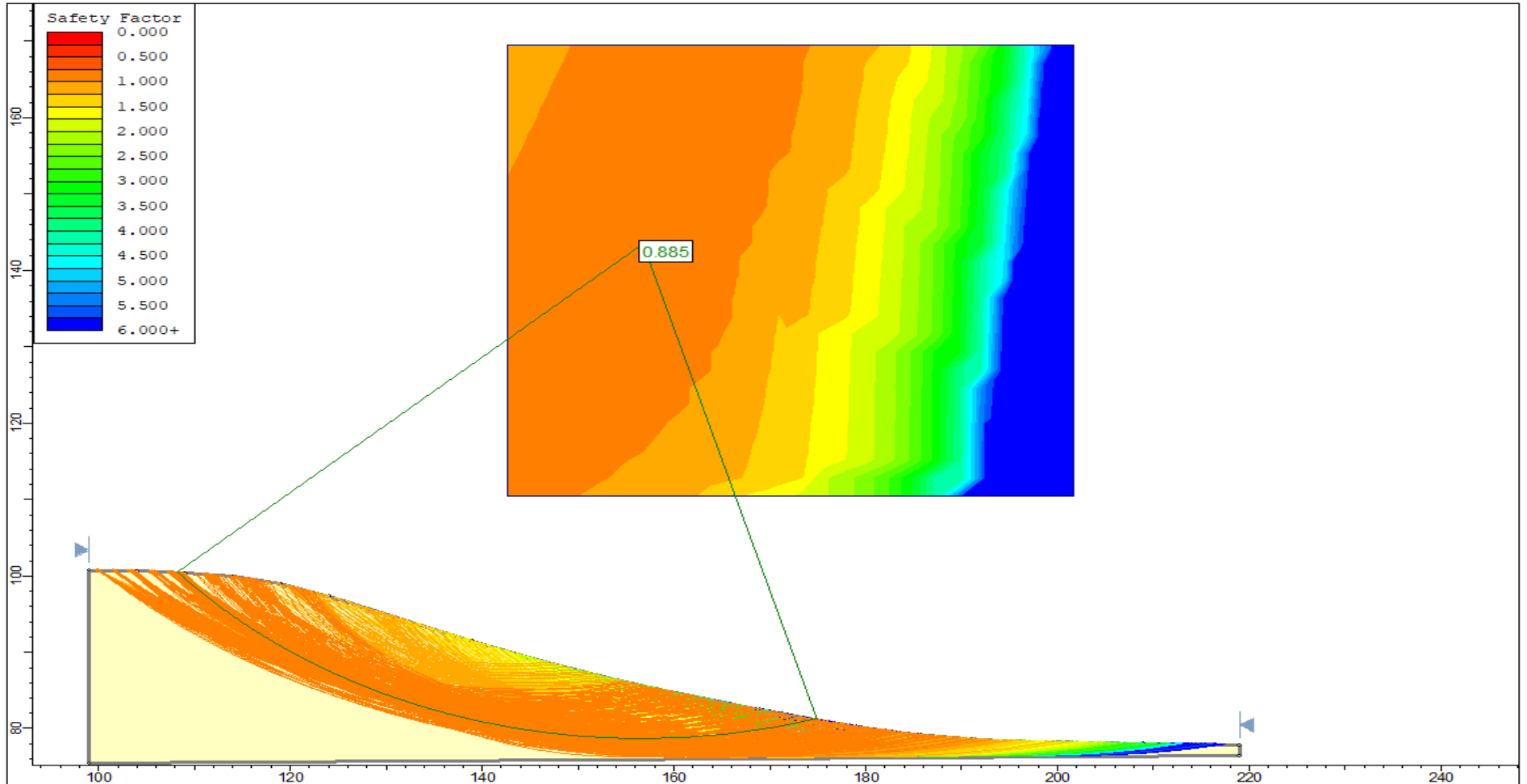


Ilustración 23 Modelado en Slide-Spencer en el perfil 4

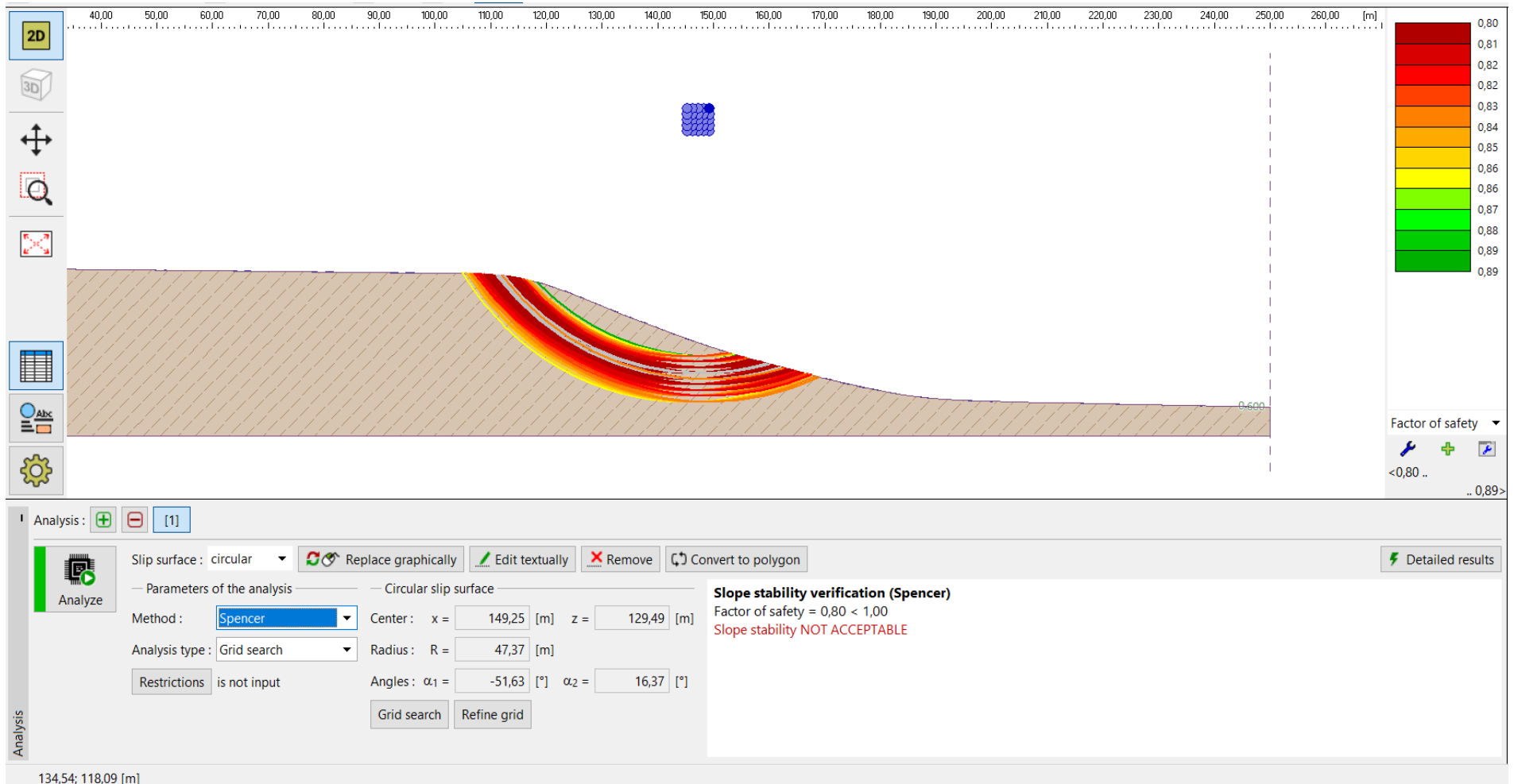


Ilustración 24 Modelado en Geo5-Spencer en el perfil 4

Dado los softwares Slide y Geo5, los valores de factores de seguridad de 0.885 y 0.800 respectivamente, demuestra una amplia lejanía en los resultados, pero demuestra lo que se viene calculando en los métodos anteriores de la inestabilidad del terreno.

Método Price

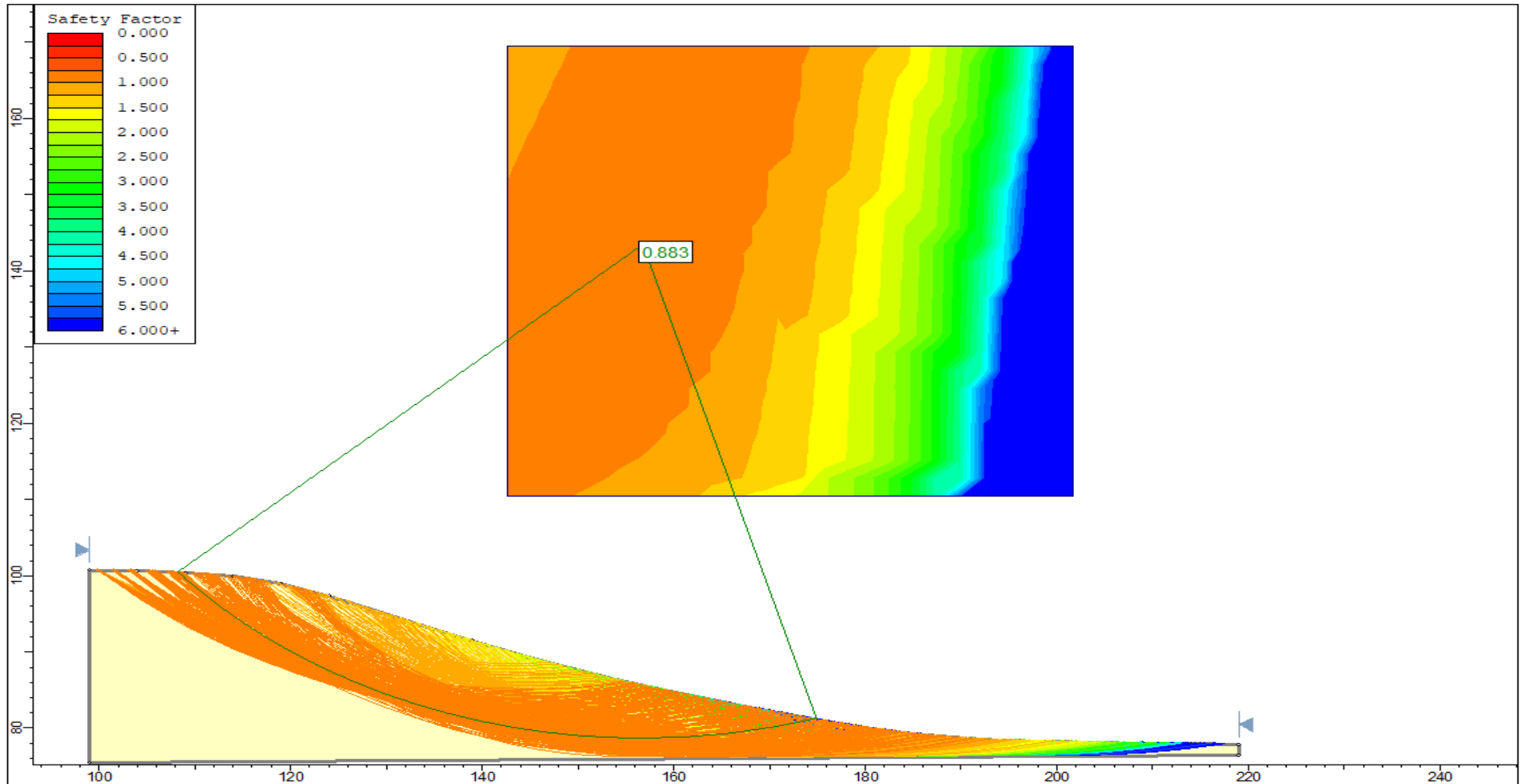


Ilustración 25 Modelado en Slide-Price en el perfil 4

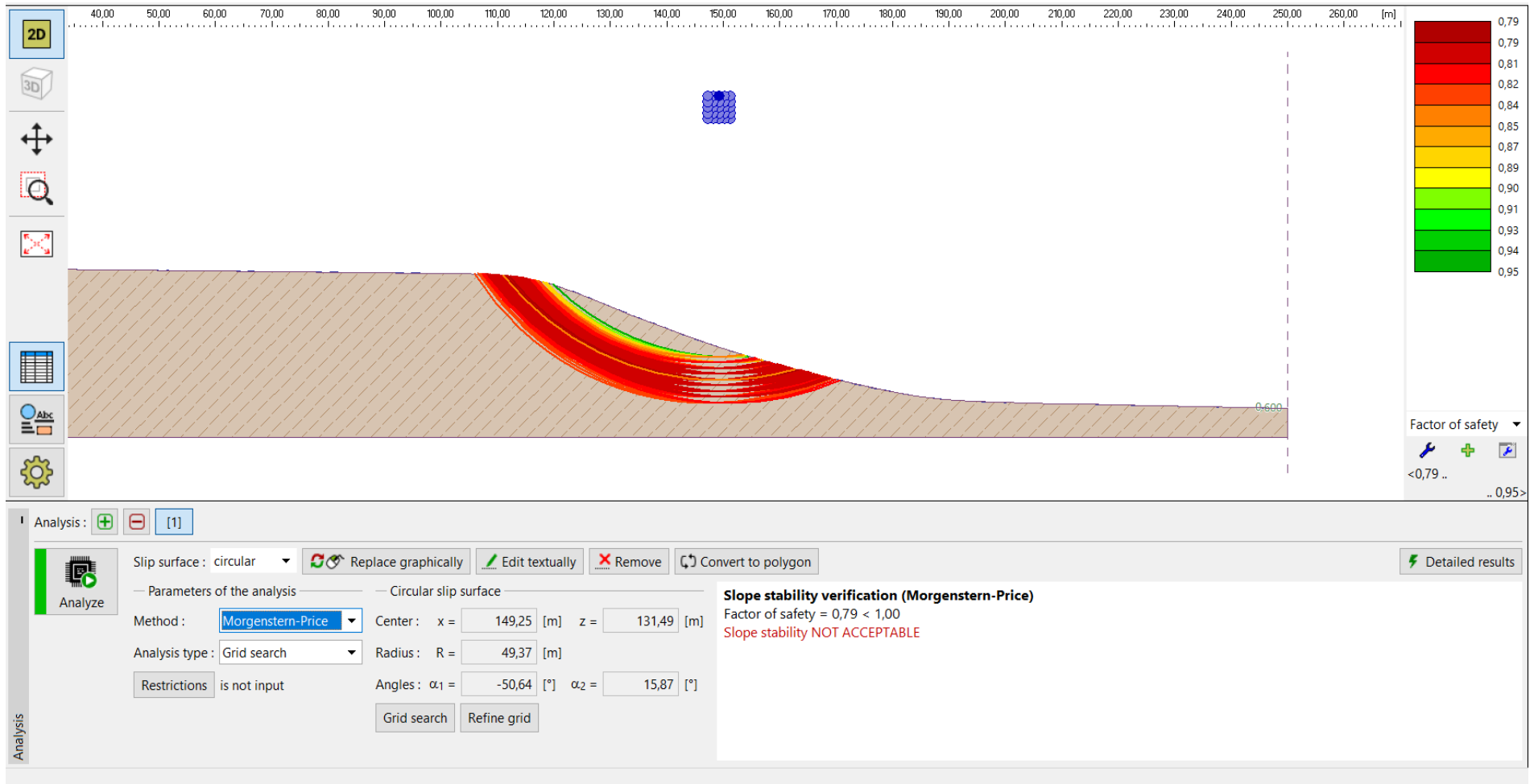


Ilustración 26 Modelado en Geo5-Price en el perfil 4

Dado los softwares Slide y Geo5 valores de factores de seguridad de 0.883 y 0.790 respectivamente.

En un resumen de todos los cálculos por los diferentes métodos en el perfil, se presenta la siguiente tabla:

Tabla 13 Resumen de los factores de seguridad por el software Slide P3.

	Fellenius		Bishop		Janbu		Spencer		Price	
Centro	173,68	109,20	172,77	108,21	168,43	111,85	174,91	108,15	174,91	108,153
Radio	50,4559		60,0592		43,8472		64,9663		64,9663	
FS	0,89		0,87		0,79		0,89		0,88	

Tabla 14 Resumen de los factores de seguridad por el software Geo5 P4.

	Fellenius		Bishop		Janbu		Spencer		Price	
Centro	150,25	123,49	148,25	125,49	147,25	127,49	149,25	129,49	149,25	131,49
Radio	44,37		43,37		45,37		47,37		49,37	
FS	0,71		0,79		0,80		0,80		0,79	

Demostrando que el perfil número 3 de la investigación es inestable con un promedio de 0.86 en el factor de seguridad en el software Slide, siendo inestable el suelo, estando cerca del valor a 1.00 en donde ciertas literaturas marcan como el límite, mientras que en otras como los mismos softwares mencionan que el factor de seguridad tiene que ser mayor a 1.50 para considerarse un suelo estable, esto en el software Geo5 para el cual tenemos un promedio de 0.78, confirmando la inestabilidad que tiene el perfil. Siendo vital la investigación donde sus dos perfiles observados, han resultados inestables y se podría identificar un riesgo de derrumbes en el sector, afectando a los moradores.

6. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la fase de modelación exponen una situación de vulnerabilidad crítica en la ladera adyacente a la Urbanización Valle Alto. En su estado natural, los factores de

seguridad (Fs.) calculados mediante los softwares para los perfiles 3 y 4 oscilan entre 0.78 y 0.94, valores que, al ser inferiores a la unidad, indican un estado de posible falla. Esta inestabilidad no es aislada, sino que responde a la combinación de las propiedades intrínsecas del suelo y factores detonantes externos característicos de la zona. Desde la perspectiva geotécnica, el suelo clasificado como limo-arcilloso de alta plasticidad (MH/CH) presenta un comportamiento desfavorable ante cambios en el contenido de humedad. La baja permeabilidad de estos estratos facilita la generación de presiones de poros elevadas, lo que reduce drásticamente el esfuerzo cortante efectivo. Este fenómeno concuerda con lo expuesto por Chacón (2003) y Corominas (2004), quienes señalan que, en suelos cohesivos, la saturación durante eventos climáticos intensos, como el invierno de 2025, actúa como el principal disparador de movimientos en masa.

Ante esta problemática, se determina que la intervención óptima para garantizar la seguridad de la infraestructura existente consiste en la modificación de la geometría del talud mediante la técnica de banqueteo o terraceo. Esta solución se fundamenta en la necesidad de reducir el momento actuante de la masa inestable a través de la eliminación selectiva de carga en la corona del talud y la creación de bermas intermedias. La propuesta técnica contempla la fragmentación de la altura total del talud en escalones con una altura máxima de 3.00 a 4.00 metros y un ancho de berma no menor a 2.50 metros, con inclinaciones de talud intermedio en una relación de 1H:1V. Esta reconfiguración permite que la superficie de falla crítica se desplace hacia planos más profundos y estables, alejándose de los límites de la urbanización.

La efectividad de esta propuesta está estrechamente ligada al control del factor hídrico, dado que la acumulación de agua es la causa raíz de la pérdida de resistencia en estos suelos. Por ello, la intervención integra obligatoriamente un sistema de drenaje superficial compuesto por cunetas de coronación y bermas con contrapendiente del 2%. Este diseño busca interceptar el flujo de escorrentía antes de que se infiltre en el cuerpo del talud, mitigando la percepción de riesgo social documentada en la zona. Al canalizar el agua de forma controlada hacia la base de la quebrada se evita la reducción del esfuerzo efectivo y se mantiene la integridad de los planos de deslizamiento.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Mediante los ensayos de campo y laboratorio se concluyó que el suelo predominante en la quebrada Loma de los Vientos es de naturaleza limo-arcilloso con alta plasticidad y de baja permeabilidad, obteniendo parámetros críticos como una cohesión de 6.86 KPa y un ángulo de fricción de 24°, propiedades que favorecen a la retención de humedad y sube la susceptibilidad al colapso en condiciones de saturación.
- La evaluación con los diferentes métodos indica que la quebrada se encuentra en un estado de inestabilidad. Esto claramente se puede apreciar en los perfiles 3 y 4, los cuales en estado natural tienen factores de seguridad de 0.954 y 0.874 respectivamente. Los métodos de Fellenius, Bishop, Spencer, Mongenstern/Price dan como resultado valores muy semejantes ya que toman en cuenta el equilibrio de momentos, a diferencia del método Janbu que arroja un valor menor dado que este método ignora el equilibrio de momentos y tiene un factor automático de corrección. Sin embargo, lo que todos ellos demuestran es que el suelo es inestable, que no tiene una resistencia suficiente para soportar las cargas existentes, y que esto representa un riesgo inminente para la seguridad de la infraestructura de la urbanización.
- Al comparar los resultados obtenidos tanto en el software Slide como en el Geo5 se observa una clara coincidencia en los resultados, lo que ratifica la inestabilidad detectada en los perfiles 3 y 4. Dado que ambos programas arrojaron factores de seguridad por debajo de los límites permitidos queda demostrado que estos puntos de la quebrada Loma de los Vientos están en una situación crítica.

Recomendaciones

- Se propone reforzar el análisis actual mediante el uso de Elementos Finitos. Este paso es clave para evaluar el estado de esfuerzos y las deformaciones del suelo con mayor rigor técnico, y con ello poder anticipar de forma más precisa la formación de fallas.
- Monitorear el comportamiento de los taludes mediante la colocación de marcadores de yeso o estacas de control en las grietas estrechas identificadas. Este sistema facilitará la detección temprana de cualquier aceleración o movimiento de las fallas.
- Como una de las posibles alternativas de mitigación, se recomienda el uso de geomembranas en zonas vulnerables para evitar que el agua de lluvia lave la tierra. Al funcionar como una capa

protectora que no deja pasar el agua, se logra estabilizar el contenido de humedad natural del suelo y se previene ese desgaste progresivo que termina debilitando el talud.

8. REFERENCIAS

- [1] José Chacón Montero, “Riesgos de origen geológico y geomorfológico: deslizamientos de tierras, identificación, análisis y prevención de sus consecuencias,” *AREAS Revista de Ciencias Sociales*, vol. No. 23, pp. 33–64, 2003.
- [2] J. Chacón, C. Irigaray, T. Fernández, and R. El Hamdouni, “Engineering geology maps: Landslides and geographical information systems,” Dec. 2006. doi: 10.1007/s10064-006-0064-z.
- [3] DavidJ. Varnes, “Slope Movement Types and Processes,” 1978.
- [4] I. H. Hutchinson, “Ion Collection by Probes in Strong Magnetic Fields with Plasma Flow,” 1987.
- [5] Jordi Corominas, “Tipos de rotura en laderas y taludes,” *Universidad Politécnica de Madrid*, vol. Ed: López Jimeno, pp. 191–213, 2004.
- [6] Esteban Bravo López, Tomás Fernández del Castillo, Chester Sellers, and Jorge Delgado García, “Elaboración de mapas de susceptibilidad de deslizamientos en la zona de cuenca, ecuador mediante la aplicación de una red neuronal artificial,” *X Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*, Sep. 2022.
- [7] Lucía Avilés Ponce *et al.*, “Identificación de amenaza por deslizamientos de tierra mediante información geo-espacial en el cantón Ibarra-Ecuador,” *CienciAmérica*, vol. V01. 6 (2), no. 1390–9592, Sep. 2017.
- [8] C. J. Cargua *et al.*, “Landslides susceptibility analysis employing analytical hierarchy process on an amazonian roadway in Ecuador,” *Granja*, vol. 39, no. 1, 2024, doi: 10.17163/lgr.n39.2024.07.
- [9] Diana Guadalupe Alvia Vélez, Carlos Centeno Mero, and Carmina Pinargote Quiroz, “La percepción social del riesgo por deslizamiento en el Cantón Portoviejo del


- Ecuador,” *Polo del conocimiento*, vol. Vol. 7, No 8, no. 2550–682X, pp. 794–807, Aug. 2022.
- [10] Jennifer Jamileth Velásquez-Vélez, Pedro Eduardo Mendoza-Mendoza, and Lucia Macías-Sánchez, “Analysis of the stability of the soil slope located behind the Valle Alto Urbanization on the Manta – Portoviejo road,” *Polo del conocimiento*, vol. Vol. 9, No 5, no. 2550–682X, pp. 1544–558, May 2024, doi: <https://doi.org/10.23857/pc.v9i5.7219>.
- [11] Adrián Eliceo Reyna García, David Ernesto Moreira, Andrea Nataly Bonilla Ponce, Jesús Adrián Pisco Palacios, and Cristina Janeth Macías Mera, “Asentamientos humanos en zonas susceptibles a riesgos por inundación y deslizamiento de la ciudad de Portoviejo,” *Revista San Gregorio*, vol. No. 43, no. 1390–7247, pp. 109–123, Dec. 2020, doi: 10.36097/rsan.v1i43.1413.
- [12] Aguirre Herrera María Verónica and Chávez Moncayo Miguel Ángel, “SUSCEPTIBILIDAD AL DESLIZAMIENTO DE LOS SUELOS Y ROCAS, PROVINCIA DE MANABÍ, ECUADOR Ingeniero Civil 2005 2,” 2005.
- [13] Nataly Cristina Pavón Ayala and Oscar Vinicio Garzón Collaguazo, “EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZAS/PELIGROS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN EL CANTÓN PALLATANGA, ESCALA 1:50.000.,” Universidad central del Ecuador, Quito, 2014.
- [14] B. S. Baque Solís, R. E. Panchana Vera, D. Álava Rosado, D. J. Zamora Sánchez, and J. R. Alcívar Castro, “Natural events and informal urban growth in coastal areas of Ecuador,” *Bitacora Urbano Territorial*, vol. 34, no. 1, pp. 156–169, Jan. 2024, doi: 10.15446/bitacora.v34n1.111660.
- [15] Hábitat y vivienda, “PLAN NACIONAL DE HÁBITAT Y VIVIENDA 2021-2025,” 2021.
- [16] Norma Ecuatoriana de Construcción, “RIESGO SÍSMICO, EVALUACIÓN, REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS,” 2014.
- [17] A. Quesada-Román, “LOS ESTUDIOS DE RIESGOS NATURALES Y ANTRÓPICOS A TRAVÉS DE CUATRO DÉCADAS EN LA REVISTA

- GEOGRÁFICA DE AMÉRICA CENTRAL (1974 – 2015),” *Revista Geográfica de América Central*, vol. 1, no. 58, p. 17, Jun. 2017, doi: 10.15359/rgac.58-1.1.
- [18] Jaime Suarez Diaz, “Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales,” 1998.
- [19] Pavel. Novák, *Hydraulic structures*. E & FN Spon, 1996.
- [20] Heri Matius Sesa, Najib, Hasnan Luthfi Dalimunthe, and Zerlinda Handietri, “Slope Stability Evaluation and Geometrical Recommendation Using The Morgenstern Price Method,” *J. Teknol.*, vol. 16, no. 1, p. 53, Jan. 2024, doi: 10.24853/jurtek.16.1.53-64.
- [21] David Morales Flores, “Programa para el diseño de muros de reforzados con geosintéticos,” Benemérita Universidad Autónoma de Pueblo, 2015.
- [22] L. Rucks, F. García, A. Kaplán, J. Ponce de León, and M. Hill, “Propiedades Físicas del Suelo,” 2004.
- [23] Lourdes Flores Delgadillo and Jorge Alcalá Martínez, “Manual de procedimientos analítico,” 2010.
- [24] Daniel Jaramillo, “INTRODUCCIÓN A LA CIENCIA DEL SUELO,” 2002.
- [25] M. A. Arshad and G. M. Coen, “Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria,” *American Journal of Alternative Agriculture*, vol. 7, no. 1–2, pp. 25–31, 1992, doi: 10.1017/S0889189300004410.
- [26] Wilder Díaz Hurtado and Osnaider Evangelista Basilio, “Caracterización de los efectos de la quema en algunas propiedades físico-mecánicas de un vertisol en el Departamento de Sucre (Sucre-Colombia),” 2019.
- [27] BRAJA DAS, “Fundamentos de ingeniería geotécnica Cuarta edición,” 2015.
- [28] Oscar Valerio Salas, “Ensayos triaxiales para suelos,” Aug. 2011.
- [29] Diana Guartazaca Sisalima, “Diseño de un muro de contención de hormigón armado tipo ménsula, ubicado en la av. Gonzáles Suarez y Cumandá a orillas del río Machángara,” 2016.

- [30] Crespo Villalaz, “Mecánica de Suelos y Cimentaciones - 5ta Edición,” *Limusa*, no. 968-18-6489-1, 2004.
- [31] Norma Ecuatoriana de la Construcción, “Guía práctica para la ejecución de estudios geotécnicos y trabajos de cimentación de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015,” Sep. 2016.
- [32] Mori Romero José Luis and Calua Zamora Jhony Alex, “Diseño y aplicación de geosintéticos en la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Baños del Inca, Cajamarca 2018,” Trujillo, 2019.
- [33] T. Obando, “Sondeos Geotécnicos y Calicatas,” 2009.

9. ANEXOS

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica
Área de Mecánica de Suelos y Geotecnia



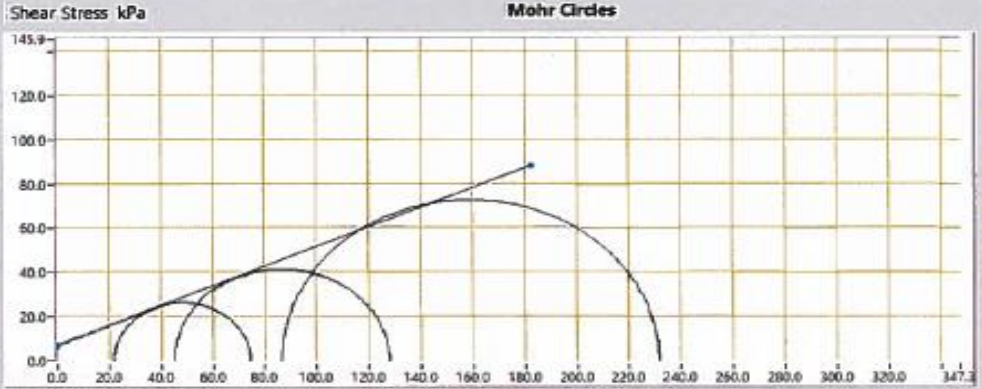
Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils

Requested by	Joseph Granja	Lab Ref	CL-MA
Project	Valle Alto y Loma de los Vientos – Portoviejo - Manabí	Job	5058-S
Borehole	C-2	Sample	1
Reception Date	05-05-2025	Emission Date	20-06-2025

SUMMARY
Test Details

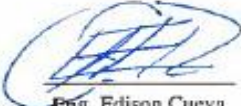
Standard	ASTM D4767 / AASHTO T297	
Specimen Details		
Specimen Reference	Effective Minor Principal Stress (σ_3')	Effective Major Principal Stress (σ_1')
A	22.0kPa	74.5kPa
B	45.2kPa	127.9kPa
C	86.6kPa	231.6kPa

Mohr Circles




Shear Strength Properties	Angle of Shear Resistance 24.01 Degrees Cohesion 6.86 kPa
----------------------------------	--

*NOTA 1: Este informe no puede ser reproducido parcialmente.
 *NOTA 2: Los resultados quedan a interpretación del especialista Geotécnico.



Eng. Edison Cueva
Checked By



Eng. Jorge Albuja MSc. PhD.
Approved By

ELE International

Page 13 of 13

