

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL**



**Tesis**

**Análisis de la estabilidad de talud en condiciones estáticas para determinar el nivel de seguridad, progresiva km. 8+611 al 9+348, vía evitamiento,**

**Abancay – Apurímac, 2025**

Asesor:

MSc. Maldonado Mendívil, Ángel

Autor:

Sequeiros Avendaño, Ybeth

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2025



# Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 057

En la ciudad de Abancay, a los veinte cinco días del mes de agosto del 2025, siendo las 11:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0694-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 14 de agosto del 2025, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mag. Loayza Elguera, Rodrigo
Dictaminante :	Ing. Cayo Baca, Holguer
Replicante :	Ing. Gamarra Mota, Rubén

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis       Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

**Análisis de la estabilidad de talud en condiciones estáticas para determinar el nivel de seguridad, progresiva km 8+611 al 9+348, vía evitamiento, Abancay – Apurímac, 2025**

Desarrollado por las (los) Bachilleres (es):

**Br: Sequeiros Avendaño, Ybeth**

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad  
(Unanimidad o Mayoría) (\*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Sequeiros Avendaño, Ybeth	Aprobada

Siendo las 5:15pm horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mag. Loayza Elguera, Rodrigo

Dictaminante: Ing. Cayo Baca, Holguer

Replicante: Ing. Gamarra Mota, Rubén

Abancay 26 de agosto del 2025

Se expide la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 356

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**  
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321559  
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251585  
Filial Andahuaylas, Av. Juan Antonio Trelles N° 513 Teléfono (083) 421752  
[www.utea.edu.pe](http://www.utea.edu.pe)

(\*) Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.  
(\*\*) 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.




## 20% Similitud general

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

### Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

### Fuentes principales

- 16%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 13%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían 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 la revise.

## Metadatos

<b>Datos del autor</b>	
Apellidos y Nombres	: Sequeiros Avendaño, Ybeth
Tipo de documento de identidad	: DNI
Número de documento de identidad	: 70764883
URL ORCID	: <a href="https://orcid.org/0009-0008-1055-3270">https://orcid.org/0009-0008-1055-3270</a>
<b>Datos del asesor</b>	
Apellidos y Nombres	: MSc. Maldonado Mendívil, Ángel
Tipo de documento de identidad	: DNI
Número de documento de identidad	: 06788424
URL ORCID	: <a href="https://orcid.org/0000-0001-9002-1910">https://orcid.org/0000-0001-9002-1910</a>
<b>Datos de la investigación</b>	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería civil
Línea de investigación	: Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	: Del 2024 al 2025
Fuente de financiamiento	: Propia
Porcentaje de originalidad	: 20%
URL de OCDE	: <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.01.01</a>

## **Dedicatoria**

A Dios, quien me ha otorgado salud, vida y fortaleza para perseguir mis sueños y llevar a cabo esta investigación con dedicación y determinación.

## **Agradecimiento**

A Dios que me da fortaleza para continuar alcanzando mis objetivos.

A mis hermanos y padres, por su apoyo incondicional.

Al asesor, por su orientación en los desafíos de esta tesis.

## Resumen

Esta investigación sugiere que, en circunstancias estables, el talud se mantiene inmutable, mientras que en condiciones pseudoestáticas, la estabilidad del talud se desvanece.

El propósito es examinar la solidez del terreno en escenarios de estabilidad y pseudo estabilidad para evaluar la seguridad desde el km 8+611 hasta el km 9+348 de la ruta alternativa, Abancay - Apurimac-2024.

En la tesis, se emplea una metodología cuantitativa, de tipo aplicada, descriptiva y correlacional, con un diseño no experimental.

Se empleó el programa Slide para detectar las carencias tanto locales como globales en el talud analizado, pues permite calcular los factores de seguridad y definir la zona de riesgo a partir de toda la arquitectura del terreno. Asimismo, este programa ofrece una variedad de enfoques analíticos, como los de Spencer y Morgenstern-Price, entre otros. Su interfaz es cristalina e intuitiva, facilitando su uso. El diseño obtenido mediante el programa Slide 6.0.

En conclusión, permite calcular los factores de seguridad máxima en falla global es 2.003, la mínima es 0.647 de acuerdo a Spencer; de acuerdo a Morgenstern en falla global es 2.005 y mínima 0.676, se concluye que todos los taludes son inestables.

**Palabras claves:** deslizamiento, fallas, talud, condiciones estáticas, condiciones pseudoestáticas.

## **Abstract**

This research paper proposes an alternative approach where slope stability is stable under static conditions, while instability is present under pseudo-static conditions at points 8+611 to 9+348 of the Abancay-Apurimac-2024 bypass.

The objective is to analyze slope stability under static and pseudo-static conditions to determine the level of safety at points 8+611 to 9+348 of the Abancay-Apurimac-2024 bypass.

The methodology applied in this thesis is a quantitative approach, applied type, descriptive and correlational level, and non-experimental design.

Slide was used to identify local and global failures in the slope under study, as it allows calculating safety factors and determining the failure zone considering the entire slope structure. This software also offers various analysis methods, such as the Spencer and Morgenstern-Price methods, among others. Its interface is clear and easy to use, making it easy to use. The result processed with the software, Slide 6.0.

In conclusion, the maximum safety factors for global failure are 2.003, the minimum is 0.647 according to Spencer; according to Morgenstern, for global failure, it is 2.005, and the minimum is 0.676. It is concluded that all slopes are unstable.

**Keywords:** landslide, failures, slope, static conditions, pseudostatic conditions.

## Índice general

<b>Portada</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>Acta de sustentación</b> .....	i¡Error! Marcador no definido.
<b>Reporte de similitud</b> .....	ii¡Error! Marcador no definido.
<b>Metadatos</b> .....	iv
<b>Dedicatoria</b> .....	v
<b>Agradecimiento</b> .....	vi
<b>Resumen</b> .....	vii
<b>Abstract</b> .....	viii
<b>Índice general</b> .....	ix
<b>Índice de tablas</b> .....	xi
<b>Índice de figuras</b> .....	xii
<b>Índice de anexos</b> .....	xiv
<b>I Introducción</b> .....	16
<b>II Planteamiento del problema</b> .....	18
2.1 Descripción y formulación del problema .....	18
2.2 Objetivos.....	20
2.2.1 Objetivo general.....	20
2.2.2 Objetivos específicos.....	20
2.3 Justificación e importancia .....	20
2.4 Hipótesis .....	25
2.5 Variables.....	25
<b>III Marco teórico</b> .....	27

3.1 Antecedentes de investigación .....	27
3.2 Bases teóricas .....	33
3.3 Definición de términos .....	52
<b>IV Metodología .....</b>	<b>54</b>
4.1 Tipo y nivel de investigación.....	54
4.2 Ámbito temporal y espacial .....	55
4.3 Población y muestra .....	55
4.4 Instrumentos.....	56
4.5 Procedimientos .....	59
4.6 Análisis de datos.....	61
4.7 Consideraciones éticas.....	62
<b>V Resultados y discusión .....</b>	<b>64</b>
<b>VI Conclusiones .....</b>	<b>95</b>
<b>VII Recomendaciones.....</b>	<b>97</b>
<b>VIII Referencias .....</b>	<b>98</b>
<b>IX Anexos.....</b>	<b>106</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1 Operacionalización de variables .....</b>	<b>26</b>
<b>Tabla 2 Comparación del FS en el Análisis Estático.....</b>	<b>91</b>
<b>Tabla 3 Comparación del FS en el Análisis Pseudoestático .....</b>	<b>91</b>
<b>Tabla 4 Nivel de estabilidad en condición estático .....</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 5 Nivel de estabilidad en condición Pseudoestático .....</b>	<b>92</b>

## Índice de figuras

Figura 1 Talud en condición estática y pseudoestática.....	44
Figura 2 Software Slide .....	46
Figura 3 Vía Evitamiento progresiva Km 8+611 a 9+348.....	64
Figura 4 Perfil y longitudinal-talud 1 .....	65
Figura 5 Perfil y longitudinal-talud 2 .....	65
Figura 6 Perfil y longitudinal-talud 3 .....	66
Figura 7 Perfil y longitudinal-talud 4 .....	66
Figura 8 Analizar el perfil con el método Spencer (Falla Local).....	67
Figura 9 Analizar fijo del perfil 1 utilizando la técnica de Spencer (Falla Global) ...	68
Figura 10 Analizar fijo del perfil 2 utilizando la técnica de Spencer (Falla Global) ...	69
Figura 11 Analizar fijo del perfil 2 utilizando la técnica de Spencer (Falla Global) ...	69
Figura 12 Analizar el perfil 3 (Falla Local).....	70
Figura 13 Análisis estático del perfil 3 (Falla Global).....	71
Figura 14 Análisis estático del perfil 4 (Falla Local).....	72
Figura 15 Análisis estático del perfil 4 (Falla Global).....	72
Figura 16 El método Morgenstern-Price para desentrañar el perfil 1 .....	73
Figura 17 Evaluación constante del perfil 1 Utilizando el método Morgenstern-Price (Falla Global).....	74
Figura 18 El método Morgenstern-Price para desentrañar el perfil 2 .....	75
Figura 19 Evaluación constante del perfil 2 (Falla Global) .....	75
Figura 20 El método Morgenstern-Price (Falla Local) para desentrañar el perfil 3...76	
Figura 21 El método Morgenstern-Price para desentrañar el perfil 3 .....	77
Figura 22 (Falla Local) el perfil 4.....	78
Figura 23 El método Morgenstern-Price para desentrañar el perfil 4 .....	78
Figura 24 Análisis Pseudoestático del perfil1 (Falla Local).....	79
Figura 25 Análisis Pseudoestático del perfil1 Método Spencer (Falla Global).....	80
Figura 26 Análisis Pseudoestático del perfil 2 (Falla Local).....	81

<b>Figura 27 Análisis Pseudoestático del perfil 2 (Falla Global) .....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 28 Análisis Pseudoestático del perfil 3 (Falla Local) .....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 29 Análisis Pseudoestático del perfil 3 (Falla Global) .....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 30 Análisis Pseudoestático del perfil 4 (Falla Local) .....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 31 Análisis Pseudoestático del perfil 4 (Falla Global) .....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 32 Análisis Pseudoestático del perfil1 (Falla Local) .....</b>	<b>85</b>
<b>Figura 33 Análisis Pseudoestático del perfil1 (Falla Global) .....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 34 Análisis Pseudoestático del perfil2 (Falla Local) .....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 35 Análisis Pseudoestático del perfil 2 Método Morgenstern-Price (Falla Global) .....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 36 Análisis Pseudoestático del perfil 3 (Falla Local) .....</b>	<b>88</b>
<b>Figura 37 Análisis Pseudoestático del perfil 3 (Falla Global) .....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 38 Análisis Pseudoestático del perfil 4 (Falla Local) .....</b>	<b>90</b>
<b>Figura 39 Análisis Pseudoestático del perfil 4 (Falla Global) .....</b>	<b>90</b>

## Índice de anexos

<b>Anexo 1</b> <i>Matriz de consistencia</i> .....	107
<b>Anexo 2</b> <i>Matriz de operacionalización de variables</i> .....	108
<b>Anexo 3</b> <i>Levantamiento topografico</i> .....	109
<b>Anexo 4</b> <i>Planos topografico</i> .....	110
<b>Anexo 5</b> <i>Panel fotografico</i> .....	113

## I. Introducción

La firmeza de los taludes es un elemento fundamental para la protección de las carreteras, sobre todo en regiones con terreno irregular y terremotos frecuentes, como sucede en el departamento de Apurímac. En particular, el segmento que se extiende desde el kilómetro 8+611 hasta kilómetro 9+348 de la ruta de evitamiento de Abancay presenta características geomorfológicas y geotécnicas que lo convierten en un sector vulnerable ante fenómenos de inestabilidad, afectando directamente la seguridad vial, la transitabilidad y el tiempo de vida de la infraestructura.

La ruta de evitamiento en Abancay forma parte de una red vial estratégica para la región sur del Perú, ya que permite descongestionar el tránsito pesado del centro urbano y facilita la conexión entre el distrito de Abancay y Tamburco. El tramo de estudio atraviesa zonas con fuerte pendiente, presencia de suelos residuales, y sectores con cortes en talud producto de actividades de apertura y ampliación de vía, lo que genera condiciones propensas a deslizamientos superficiales y profundos, sobre todo durante la temporada de lluvias o ante eventos sísmicos.

El Gobierno Regional de Apurímac ha elaborado un Plan para Prevenir y Mitigar Riesgos de Desastres. (2023), el tramo evaluado se encuentra clasificado como “zona de susceptibilidad alta a deslizamientos”, debido a la combinación de suelos poco cohesivos, pendiente superior al 35% y actividad sísmica moderada a alta en la zona. El IGP (Instituto Geofísico del Perú) ha registrado, entre 2018 y 2023, más de 20 eventos sísmicos con magnitudes mayores a 4.5 Mw en un radio de 100 km del área de estudio, lo cual justifica plenamente la necesidad de aplicar análisis pseudoestáticos que consideren solicitaciones sísmicas en el diseño y verificación de taludes.

Dentro de este marco, el propósito principal de este estudio es llevar a cabo un estudio minucioso de la estabilidad del talud en situaciones estáticas y pseudoestáticas, a través de técnicas de equilibrio límite y programas especializados como Slide, con el objetivo de establecer el factor de seguridad ( $F_s$ ) del talud y sugerir estrategias de

estabilización, si fueran necesarias. La información geotécnica será recolectada mediante ensayos de campo (penetración estándar SPT) y laboratorio (granulometría, límite de Atterberg, peso específico y resistencia al corte), lo cual permitirá una caracterización precisa del suelo.

El desarrollo de este análisis contribuirá significativamente a la prevención de riesgos geológicos en la vía de evitamiento de Abancay, optimizando el diseño y la intervención de taludes y garantizando condiciones de seguridad tanto para los usuarios como para la infraestructura vial. Asimismo, aportará conocimiento técnico aplicable a otras zonas con características similares en la zona andina.

## II. Planteamiento del problema

### 2.1 Descripción y formulación del problema

Por crecimiento urbano y el aumento del tránsito de vehículos en Abancay han exigido con desarrollo para nuevas vías de comunicación, siendo la vía de evitamiento una infraestructura clave para descongestionar el tráfico en el centro de la ciudad. Sin embargo, el tramo comprendido entre el kilómetro 8+611 y el kilómetro 9+348 se encuentra emplazado sobre una topografía accidentada con pendientes superiores al 35 %, lo cual ha requerido cortes profundos en taludes naturales, generando una configuración geométrica inestable y propensa a deslizamientos (MTC, 2022).

Durante inspecciones técnicas realizadas en los años 2022 y 2023 por parte del Gobierno Regional de Apurímac y la Dirección Desconcentrada del MTC, se identificaron indicios de inestabilidad como grietas longitudinales, deslizamientos superficiales de masa, asentamientos en la plataforma y desprendimientos rocosos menores, especialmente intensificados durante la época de precipitación. El SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, (2023)) reportó Abancay registró precipitaciones acumuladas superiores a los 1100 mm anuales, concentradas entre diciembre y marzo, lo que favorece la saturación del terreno, reduce la RC de los suelos y acelera procesos como falla por deslizamiento.

Adicionalmente, el área de estudio se encuentra en una zona de amenaza sísmica moderada a alta. Según datos del IGP (Instituto Geofísico del Perú, (2023)), entre 2018 y 2023 se han registrado más de 25 sismos de magnitud mayor a 4.5 Mw en un radio de 100 km del tramo analizado. Esta situación implica una amenaza constante, ya que un evento sísmico significativo podría desencadenar fallas en taludes que ya presentan condiciones críticas. En este contexto, el análisis únicamente en condiciones estáticas resulta insuficiente para garantizar la seguridad del tramo, siendo indispensable realizar también un análisis pseudoestático que considere las sollicitaciones sísmicas (IGP, 2023).

Pese a estos antecedentes, actualmente no existe un estudio técnico detallado que evalúe la estabilidad de este tramo bajo ambas condiciones (estática y pseudoestática), lo cual limita la capacidad de las autoridades para adoptar medidas de mitigación y reforzamiento que garanticen la seguridad vial. La ausencia de este análisis representa un riesgo latente para la población, los usuarios de la vía, y la integridad de la infraestructura (GORE Apurímac, 2023).

Por ello, se hace imprescindible llevar a cabo una evaluación geotécnica integral, mediante ensayos de campo (SPT) y laboratorio, que permita calcular el factor de seguridad del talud en condiciones estáticas y pseudoestáticas utilizando métodos de equilibrio límite y modelamiento computacional. Esta información permitirá no solo conocer el nivel de riesgo, sino también proponer soluciones de estabilización que aseguren la funcionalidad y durabilidad de la vía a largo plazo.

### **2.1.1 Problema general**

¿Cómo es la estabilidad del talud en condiciones estáticas y pseudo estáticas para determinar el nivel de seguridad en la progresiva km 8+611 al km9+348 de la ruta vía de evitamiento, Abancay - Apurimac-2024?

### **2.1.2 Problemas específicos**

a. ¿Cuáles son los parámetros geotécnicos del material característico de los estratos del talud para la estabilización en la progresiva km 8+611 al km 9+348 de la ruta vía de evitamiento, Abancay - Apurimac-2024?

b. ¿Cuál es el factor de seguridad en condiciones estáticas y pseudo estáticas para fallas locales usando el programa Slide para prevenir deslizamientos en la progresiva km 8+611 al km 9+348 de la ruta vía de evitamiento, Abancay - Apurimac-2024?

c. ¿Cuál es el factor de seguridad en condiciones estáticas y pseudo estáticas para fallas globales usando el programa Slide para prevenir deslizamientos en la progresiva km 8+611 al km 9+348 de la ruta vía de evitamiento, Abancay - Apurimac-2024?

## **2.2 Objetivos**

### **2.2.1 Objetivo general**

Analizar la estabilidad del talud en condiciones estáticas y pseudo estáticas para determinar el nivel de seguridad en la progresiva km 8+611 al km 9+348 de la ruta vía de evitamiento, Abancay - Apurimac-2024.

### **2.2.2 Objetivos específicos**

a. Analizar los parámetros geotécnicos del material característico de los estratos del talud para la estabilización en la progresiva km 8+611 al km 9+348 de la ruta vía de evitamiento, Abancay - Apurimac-2024.

b. • Analizar el factor de seguridad en condiciones estáticas y pseudo estáticas para fallas locales usando el programa Slide para prevenir deslizamientos en la progresiva km 8+611 al km 9+348 de la ruta vía de evitamiento, Abancay - Apurimac-2024

c. • Analizar el factor de seguridad en condiciones estáticas y pseudo estáticas para fallas globales usando el programa Slide para prevenir deslizamientos en la progresiva km 8+611 al km 9+348 de la ruta vía de evitamiento, Abancay - Apurimac-2024.

## **2.3 Justificación e importancia**

### **Justificación Practica**

Desde un enfoque práctico, esta investigación busca dar solución a una problemática geotécnica real en un tramo estratégico de la vía de evitamiento de Abancay, específicamente entre el km 8+611 y el km 9+348. Este segmento presenta condiciones geomorfológicas críticas, con taludes de fuerte pendiente, suelos de baja cohesión y antecedentes de inestabilidad superficial, lo que representa un riesgo significativo para la seguridad vial y la integridad estructural de la infraestructura existente.

En esencia, el análisis permitirá medir la solidez del talud a través del cálculo del Fs (Factor de Seguridad) tanto como escenarios inmutables en situaciones hipotéticas de estabilidad. Se llevará a cabo a través de técnicas de equilibrio límite, empleando software

especializado como Slide, que simula con exactitud diversos mecanismos de falla tanto locales como globales en situaciones reales.

El resultado práctico de esta investigación es la identificación de zonas críticas con bajo factor de seguridad, lo cual permitirá establecer criterios de intervención específicos para mitigar el riesgo de deslizamientos, tales como: reconfiguración geométrica del talud, instalación de drenes, muros de contención o anclajes activos y pasivos. Estas propuestas estarán basadas en parámetros geotécnicos que se han conseguido de ensayos de penetración estándar (SPT) y en laboratorio (granulometría, límites de Atterberg, cohesión, ángulo de fricción interna, etc.), garantizando soluciones técnicas viables y adaptadas al terreno.

Además, los resultados del estudio serán de utilidad directa para entidades responsables del mantenimiento y conservación vial, como la Dirección Desconcentrada del MTC y el Gobierno Regional de Apurímac, ya que servirán como insumo técnico para priorizar intervenciones de estabilización y asignar recursos de manera eficiente, incrementando así la seguridad operativa de la vía y reduciendo costos por emergencias viales.

Finalmente, esta investigación no solo aporta a la reducción de riesgos geotécnicos, sino que mejora la resiliencia de la infraestructura vial frente a eventos climáticos y sísmicos, garantizando la continuidad del servicio de transporte, la protección de vidas humanas y la dinamización del flujo económico en la región.

### **Justificación social**

La presente investigación tiene una marcada relevancia social, ya que el análisis de estabilidad del talud en el tramo comprendido entre el km 8+611 hasta el km 9+348 de la ruta de evitamiento en Abancay busca salvaguardar la integridad y seguridad de usuarios que transitan diariamente por esta infraestructura, incluyendo vehículos particulares, transporte público y transporte de carga pesada. Esta vía cumple una función esencial

como ruta alterna para desviar el tránsito del centro urbano de Abancay, reduciendo la congestión vehicular y facilitando el acceso a zonas periféricas, instituciones educativas, centros de salud y comunidades rurales.

La inestabilidad del talud en dicho tramo representa un riesgo latente de deslizamientos que, de ocurrir, podrían generar la obstrucción total o parcial de la vía, poniendo en peligro vidas humanas, interrumpiendo el acceso a servicios básicos y provocando pérdidas económicas significativas para la población local. En años anteriores, eventos similares han afectado gravemente las actividades económicas y sociales de la región, especialmente durante la temporada de lluvias o a causa de sismos moderados.

Desde esta perspectiva, el presente estudio busca anticiparse a estos riesgos mediante una evaluación técnica rigurosa que permita la aplicación de medidas preventivas y correctivas de los taludes. Con ello, se asegura la protección de las personas, no solo en el ámbito físico, sino también la continuidad de las actividades económicas, educativas y sociales que dependen del correcto funcionamiento de la vía de evitamiento.

Además, al fortalecer la infraestructura vial regional, se mejora la conectividad entre los distritos y se contribuye al desarrollo sostenible de Abancay y sus alrededores, favoreciendo la equidad territorial y el bienestar colectivo. Por tanto, los resultados de esta investigación no solo tienen un valor técnico, sino también un impacto positivo directo en la calidad de vida de los ciudadanos.

### **Justificación Teórica**

La estabilidad con taludes constituye uno como los pilares fundamentales en la geotecnia aplicada a obras viales e infraestructura civil, ya que su evaluación permite prevenir deslizamientos y colapsos que comprometen la seguridad estructural y funcional de carreteras. Este contexto, la presente actual se justifica teóricamente al contribuir al conocimiento técnico-científico sobre el comportamiento de taludes bajo condiciones tanto estáticas como pseudoestáticas, específicamente para zonas de topografía accidentada y

actividad sísmica como Abancay, región situada en el interior del cinturón de fuego del Pacífico.

Este estudio abrirá las puertas a la aplicación y verificación de teorías ancestrales sobre estabilidad, cuentos como las teorías del equilibrio límite (Fellenius, Bishop, Janbu, Spencer), integradas al uso de herramientas computacionales como el software Slide, que permiten simular con mayor precisión el comportamiento del terreno ante diferentes mecanismos de falla (superficial, rotacional, traslacional) y bajo diferentes condiciones de carga. Por medio de la determinación del factor de seguridad ( $F_s$ ), el trabajo se enmarca dentro de principios fundamentales para mecánica de suelos, resistencia al corte y la estabilidad para el sistema masa - suelo.

Además, se potenciará la comprensión sobre cómo los parámetros geotécnicos del suelo afectan su cohesión, ángulo de fricción interna y su peso específico, permeabilidad), los cuales serán determinados mediante ensayos de campo y laboratorio, promoviendo la aplicación científica para procedimientos normalizados y técnicas de caracterización de suelos. La incorporación del análisis pseudoestático, basado en coeficientes sísmicos representativos de la zona, contribuye a integrar conceptos de ingeniería sísmica y evaluación del riesgo geotécnico.

En consecuencia, esta investigación no solo aplica principios geotécnicos conocidos, sino que también genera una base teórica aplicable a otros proyectos viales ubicados en zonas con condiciones similares, promoviendo la toma de decisiones fundamentadas en criterios científicos y modelos computacionales. Además, ofrece una contribución útil a la literatura técnica nacional relacionada con el análisis de taludes, el diseño de trabajos de estabilización y la prevención de calamidades en infraestructura vial.

### **Justificación Metodológica**

Este estudio opta por una metodología cuantitativa, no experimental y aplicada, que resulta relevante al tratar de evaluar, analizar y modelar cómo se comporta un talud natural

bajo presión estática y sísmica, sin intervenir directamente en el fenómeno. La elección de este método se fundamenta en la urgencia de reunir datos imparciales, verificables y replicables que permitan medir técnicamente la estabilidad del talud en un segmento vital de una arteria vial de gran relevancia regional.

La investigación se basa en la recopilación de información geotécnicos por medio de exploraciones en terreno (SPT, calicatas, inspecciones visuales) y experimentos en laboratorio (granulometría, límites de Atterberg, peso específico, resistencia al corte), lo que permitirá desentrañar minuciosamente los estratos del talud. Este análisis es crucial para la creación de modelos geotécnicos confiables y la determinación de los parámetros de entrada que nutrirán el análisis de estabilidad.

La razón metodológica también se fundamenta en la implementación de un software especializado (Slide), diseñado a partir de métodos de equilibrio límite (Bishop simplificado, Janbu), posibilita la creación de diversos escenarios de falla, tanto locales como globales, en situaciones tanto estables como aparentemente estables. Este artilugio facilita la aplicación de coeficientes sísmicos específicos de la región analizada, conforme a las directrices del Reglamento Nacional de Edificaciones (E.050 suelos y cimentación y E.060 concreto armado), asegurando resultados confiables y conforme a las leyes peruanas.

Además, el diseño no experimental se ajusta a la esencia del estudio, pues la investigación se fundamenta en la observación, análisis y modelamiento del comportamiento del talud, sin intervenir directamente en las variables. Este enfoque permite detectar y medir posibles riesgos a partir de situaciones actuales, con el propósito de sugerir respuestas fundamentadas en evidencias técnicas.

## **2.4 Hipótesis**

### **2.4.1 Hipótesis general**

- En condiciones estáticas la estabilidad del talud se mantiene inestable, mientras que en condiciones pseudoestáticas presenta inestabilidad en la progresiva 8+611 al 9+348 de la ruta vía de evitamiento, Abancay - Apurimac-2024.

### **2.4.2 Hipótesis específicas**

a. Los parámetros geotécnicos específicos brindan un mejor resultado final para el análisis del talud en la progresiva 8+611 al 9+348 de la ruta vía de evitamiento, Abancay - Apurimac-2024.

b. Los FS en condiciones estáticas en fallas locales usando el programa Slide nos da a conocer en qué condiciones a nivel de seguridad se encuentra el talud. en la progresiva 8+611 al 9+348 de la ruta vía de evitamiento, Abancay - Apurimac-2024.

c. Los factores de seguridad en condiciones estáticas en fallas globales usando el programa Slide nos da a conocer en qué condiciones a nivel de seguridad se encuentra el talud en la progresiva 8+611 al 9+348 de la ruta vía de evitamiento, Abancay - Apurimac-2024.

## **2.5 Variables**

VARIABLE INDEPENDIENTE:

**VI:** Análisis de estabilidad del talud en condiciones estáticas y pseudoestáticas.

VARIABLE DEPENDIENTE:

**VD:** Nivel de seguridad del talud.

Tabla 1

## Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Índice	Instrumento
<b>Variable I:</b> Nivel de seguridad del talud	Es la evaluación del comportamiento de un talud frente a fuerzas gravitacionales (estático) y cargas sísmicas equivalentes (pseudoestático), mediante métodos de equilibrio límite que determinan la probabilidad de falla (Coduto, 2016; Budhu, 2015).	Es el proceso de modelación del talud utilizando el software Slide, considerando geometría, parámetros geotécnicos del terreno y el coeficiente sísmico horizontal, conforme a la norma E.050 (RNE, 2018).	• Condición estática	• Presión normal y cortante por peso propio del suelo.	Kg/cm <sup>2</sup>	• Software Slide
			• Condición pseudoestática	• Coeficiente sísmico horizontal (kh) aplicado al modelo.	Kh	• Software Slide
<b>Variable D:</b> Nivel de seguridad del talud	La relación entre las fuerzas resistentes del suelo y las fuerzas desestabilizadoras, expresada mediante el Factor de Seguridad (Fs). Un $F_s > 1$ indica estabilidad aceptable (Das & Sobhan, 2018)	El valor de Fs obtenido en el análisis estático y pseudoestático mediante Slide, utilizando parámetros del terreno y criterios del RNE E.050 para clasificar el talud como estable, crítico o inestable, conforme a la norma E.050 (RNE, 2018).2021).	• Caracterización del suelo	• Cohesión (c). • ángulo de fricción ( $\phi$ ). • peso específico ( $\gamma$ ).	Kg/cm <sup>2</sup>	• Ensayos de laboratorio y SPT • E.0.50 suelos y cimentación (RNE)
			• Estabilidad local	• Factor de seguridad en condición estática.		• Software Slide
			• Estabilidad global	• Factor de seguridad en condición pseudoestática.		• Simulación en Slide con condiciones sísmicas
			• Nivel de riesgo	• -Clasificación del estado del talud según el valor de Fs.		• Criterios técnicos basados en RNE E.050

Nota: Esta tabla muestra las operaciones variables independiente y dependiente.

### III. Marco teórico

#### 3.1 Antecedentes de investigación

##### 3.1.1 A nivel internacional

En el ámbito global

Lema y Moreira (2023) llevaron a cabo un análisis comparativo para estabilizar un talud de suelo, empleando métodos de estabilidad en situaciones estáticas y pseudoestáticas, con el propósito de evaluar la eficacia de diversas técnicas de estabilización en un talud situado en el sector La Sequita, cantón Jipijapa, Ecuador. La estrategia incluyó un análisis topográfico, ensayos de laboratorio para determinar granulometría, humedad natural, límites de Atterberg y peso específico seco, y un modelamiento computacional utilizando el software Slide, tomando en total las situaciones estáticas como situaciones pseudoestáticas. El estudio abarcó la evaluación de un sendero inclinado de 1V:1.5H, con una altura de 6 metros y composiciones predominantemente de limo-arcilloso. En un ambiente sereno, el factor de seguridad ascendió a 1,36; Sin embargo, en escenarios pseudoestáticos, con una aceleración sísmica horizontal de 0,15g, se desplomó a 0,98, desvelando un indicio de inestabilidad alarmante. Se evalúan alternativas como geomallas, drenajes verticales y anclajes pasivos, concluyendo que la fusión de refuerzo mecánico y regulación de infiltración eleva notablemente la estabilidad del entorno. Se determina que la comparación de técnicas bajo diversos escenarios de carga es crucial para diseñar taludes robustos en áreas sísmicamente activas, y en este contexto, la solución más efectiva fue la incorporación de geomallas y subdrenaje, elevando el F.S a 1.5 por ambas situaciones.

Montúfar (2025) llevó a cabo un análisis sobre la solidez de un talud en un proyecto residencial en Puerto Caimito, La Chorrera, República Dominicana, utilizando elementos finitos. El enigmático cosmos del software GEO5, desentrañan diversos escenarios de carga: la gravedad, la sobrecarga de estructuras, la saturación del suelo y la danza sísmica.

Los descubrimientos revelaron que la saturación del suelo y la sobrecarga de edificaciones aumentaron notablemente la fragilidad ante la inestabilidad, especialmente en épocas de terremotos. El abismo mostraba una danza caprichosa en su altitud y forma. Los estándares de resguardo, examinados según el R.E. de Panamá (2021), revelaron que la robustez del talud podría verse comprometida bajo cargas combinadas. Es vital implementar tácticas preventivas, como drenajes eficientes y técnicas de fortalecimiento del suelo, para garantizar la solidez y estabilidad del suelo en proyectos residenciales en zonas vulnerables al terremoto.

Una investigación realizada a cabo por Parra, Niebles, Giraes y Manco (2025) se centró en analizar la estabilidad de laderas del Cerro Bunkuamake, situado en el sureste de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. La estrategia abarcó un exhaustivo análisis documental, observaciones en terreno, mapas a escala 1:25.000 y un minucioso estudio fisicomecánico de cuatro muestras de suelo (M1, M2, M3 y M4). Los hallazgos revelaron que las laderas, en condiciones estables, poseen factores de seguridad adecuados; sin embargo, bajo condiciones pseudoestáticas, los factores de seguridad se desplomaron a niveles críticos cercanos a 1.0, revelando una vulnerabilidad elevada a graduales en terremotos. Briceño y sus colegas (2023) se dedicaron a delinear las directrices de seguridad para los taludes en zonas transversales de carreteras, considerando cuatro tipos de materiales: esquito fracturada, arena limosa, arcilla dura y arcilla expansiva. Se analizaron propuestas geométricas, se realizaron a cabo análisis mediante el Método de equilibrio límite y se elaboraron modelos numéricos utilizando el Método de elementos finitos, apoyados en programas geotécnicos. Los niveles de Es crucial instaurar estrategias de prevención, como sistemas de drenaje y métodos de fortalecimiento del terreno, para asegurar la solidez de las laderas y la protección de las comunidades vecinas.

La protección conseguida varía dependiendo el tipo de material y la configuración del suelo. Es vital armonizar las formas geométricas de los taludes con las peculiaridades del suelo para garantizar la robustez en las zonas transversales de los senderos.

Mucuta, Cartaya y Watson (2020) emplearon el método de equilibrio límite para desentrañar la fragilidad de los taludes en un yacimiento minero. Las herramientas SLIDE y Phase2 se emplearon para desvelar la fragilidad del talud, aplicando las metodologías de Bishop y Janbu, analizando tanto tierras en estado húmedo como saturadas. Los descubrimientos revelaron que, bajo la lluvia, el talud exhibía una seguridad aceptable, pero al llenarse, el coeficiente se desplomaba hasta niveles alarmantes. Es vital establecer sistemas de drenaje y tácticas de refuerzo para robustecer la robustez del talud en momentos de plena saturación.

### **3.1.2 A nivel nacional**

Flores y Pizarro (2022) llevaron una investigación denominada "Estudio para estabilidad del muro en condiciones estáticas y pseudoestáticas evaluar la seguridad en la Costa Verde ", llevada a cabo en la Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú, con el propósito de desentrañar la robustez del muro en la Bajada Armendáriz, en el corazón del distrito de Miraflores. Los acantilados de la Costa Verde, amenazados por derrumbes y cortados, ponen en jaque tanto a conductores como a viajeros. Para examinar el talud, se fragmentó en seis áreas y para el estudio topográfico con dron. El software Slide v6.0 se utilizó para aplicar el método de equilibrio extremos de Morgenstern-Price y Spencer. Los descubrimientos revelaron que, bajo un entorno de estabilidad, los perfiles 1, 2, 3, 4 y 6 mostraron factores de seguridad que no alcanzaron el 1.5, revelando inestabilidad; en contraste, el perfil 5, con un factor de 1.6, se catalogó como estable. En un escenario de realidad virtual, cada persona exhibe una danza de inestabilidad, con factores de seguridad por debajo de 1. Se determina que es imperativo instalar estrategias de estabilización en los taludes examinados para asegurar la protección del área.

Mujica y Reymundo (2022) realizaron una investigación sobre la estabilidad de los taludes en un área concreta, evaluando tanto las condiciones estáticas como las pseudoestáticas. Se empleó Geo5 para calcular el factor de seguridad del talud vital, empleando técnicas como Bishop y Janbu. Los hallazgos revelaron que, bajo condiciones de estabilidad, el talud exhibía un FS superior a 1.7, revelando su solidez. No obstante, en un ambiente pseudoestático con suelo saturado, el FS se desplomó a menos de 1.25, revelando una inestabilidad evidente. Se concluye que es vital tener en cuenta las fluctuaciones del terreno y las cargas cambiantes al evaluar la estabilidad de taludes y diseñar estrategias de prevención idóneas.

Lozano (2024) llevó a cabo una investigación denominada "Estabilidad de talud mediante el análisis probabilístico para la gestión de laderas de la junta vecinal San Antonio, provincia de Atalaya-Ucayali". Su objetivo era desentrañar la conexión entre la firmeza de los taludes mediante el análisis probabilístico y la administración de laderas en una región con topografía compleja y condiciones geotécnicas en constante metamorfosis. Se utilizaron técnicas de Monte Carlo e hipercubo latino para medir la probabilidad de fallo y los FS en varios escalones del área analizada (0+015, 0+062, 0+135, 0+210 y 0+280), tanto en situaciones estables como en situaciones pseudoestáticas. Los descubrimientos revelaron que las progresivas 0+015 y 0+062 corren el riesgo del 100% de caer en ciertos contextos; en cambio, las progresivas 0+135 y 0+210 muestran una estabilidad asombrosa, aunque con peligros considerables en entornos pseudoestáticos. Se determina que es crucial instalar medidas de estabilización inmediata, tales como drenajes y estructuras de respaldo, para asegurar la protección de las laderas y las comunidades vecinas.

Valeriano (2014), en su estudio "Estabilidad de taludes en roca: análisis geotécnico e identificación de formas de falla en el Cerro Espinal", la Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú, se sumergió en la urgencia de enfrentar desafíos vinculados a la estabilidad de taludes. Se llevaron exploraciones geológicas, análisis del entramado rocoso

y experimentos en laboratorio para desentrañar las características físicas y mecánicas de la roca. Asimismo, se descubrió una capacidad de compresión simple promedio de 65.43 MPa y el índice de carga puntual de 2.90 MPa. Se determina el talud se encuentra en buen estado, aunque es prudente vigilar las grietas de tracción en la cresta para evitar eventuales desperfectos por giro directo.

Romero (2021) llevó un análisis sobre la estabilidad del sendero de puzolana el área de Rumicolca, Cusco, en el laboratorio de la Universidad Continental, Huancayo, Perú, donde se exploraron las particularidades de un sendero de puzolana sometido a diversos escenarios para medir su robustez. Los descubrimientos revelaron que el abismo despliega una tensión interna que fluctúa entre 34° y 42°, y una solidez varía de 0,028 entre 0,18 kg/cm<sup>2</sup>. Mediante el escrutinio de la estabilidad utilizando GeoStudio 2012 y Geo5 2018, se reveló que la región más comprometida se encuentra en la cúspide del cerro. Se realizaron muestreos en la tierra y experimentos en laboratorio para desvelar los misterios físicos y mecánicos del suelo. Se constata que el talud está completamente inestable, proponiendo implementar tácticas de estabilización y monitoreo perpetuo para prevenir graduales y garantizar la salvaguardia en la zona.

### **3.1.3 A nivel regional y local**

El análisis de Medina (2020), titulado "Resolución de taludes colosales evaluados mediante métodos de equilibrio límite, carretera Taquebamba - San Mateo, Aymaraes, Apurímac 2020", se propuso desentrañar la robustez los colosales muros naturales que se extienden desde los km 26+100 hasta los km 26+140, los km 26+500 hasta los 26+640 y los km 27+560 hasta los 27+680. La táctica incluyó un análisis topográfico integral, experimentos de campo y laboratorio (corte directo, humedad natural, peso específico, entre otros), un análisis geológico y el uso del software Slide 6.0 para determinar el punto de equilibrio empleado las técnicas de Bishop Simplificado. En condiciones de estabilidad, los factores de seguridad alcanzaron 0.98, 1.51 y 0.97 para cada segmento;

Sin embargo, en escenarios pseudoestáticos (con una aceleración sísmica de 0.15g), se desplomaron a 0.79, 1.24 y 0.78. Se constata que los segmentos 1 y 3 muestran inestabilidad en ambas situaciones, lo que obliga a implementar muros de contención, anclajes y subdrenes como estrategias de firmeza. El estudio revela que conforme aumenta el talud, el sistema (seguridad) se desvanece y los terremotos aumentan su riesgo de fractura, convirtiéndose en un verdadero peligro para los conductores de esta arteria nacional en Apurímac.

El estudio de Bravo (2020), titulado "Estudio táctico y evaluación la solidez los taludes del Ccaccañan, distrito Tambobamba, provincia de Cotabambas - región Apurímac", se llevó a cabo en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, con el fin de desentrañar la solidez de los taludes en la región de Ccaccañan utilizando métodos heurísticos y determinísticos. Mediante la metodología de Mora Vahrson, que abarca elementos geológicos, geomorfológicos, geomecánicos, vegetación, variables hidrológicas y sísmicas, se reveló que los taludes muestran FS inferiores a 1.25, revelando una inestabilidad clara. Se constata que los muros del área examinada son frágiles, y se propone poner anclajes y otras tácticas preventivas alineadas con las peculiaridades del entorno para reducir gradualmente y garantizar la salvaguarda de la comunidad.

A través de una investigación llevada por Cacha Vega y Lucar (2024), se intentó desentrañar la robustez del suelo entre los km 7+120 y 7+240, y sugerir una solución de tipo geotécnica que garantizara la seguridad tanto de automóviles como de caminantes. Mediante indagaciones geotécnicas, ya sea en la tierra o en el laboratorio, se desvelaron los misterios físicos y mecánicos del suelo. Se utilizó el software Slide v6.0 y se aplicaron técnicas de equilibrio para alcanzar Fs de 0.85 en condiciones estables y 0.65 en condiciones pseudoestáticas, revelando así una inestabilidad en ambas circunstancias. Es necesario levantar muros de contención y sistemas de drenaje adecuados para garantizar, robustez del talud y salvaguardar a los usuarios de la vía.

## 3.2 Bases teóricas

### 3.2.1 *Evaluación de la solidez del talud bajo escenarios de estabilidad y pseudoestabilidad*

Un talud es una superficie inclinada del terreno que puede formarse una manera natural o artificial. Esta estructura inclinada tiene una pendiente respecto a la horizontal, la cual es determinante en su estabilidad. (Coduto, 2010).

- Clasificación de taludes: Los taludes pueden ser naturales, formados por procesos geológicos, o artificiales, producto de la intervención humana. (Wyllie & Mah, 2004).
- Geometría del talud: La geometría de un talud incluye parámetros como su altura (H), inclinación ( $\beta$ ) y longitud. Estos parámetros afectan directamente la estabilidad. (Duncan & Wright, 2005).
- Materiales típicos: Los suelos y rocas tienen comportamientos diferentes frente a la estabilidad. La orientación de las discontinuidades en rocas es crítica. (Hoek & Bray, 1981).
- Influencia meteorológica: Factores como las lluvias intensas y la variabilidad térmica influyen significativamente en la estabilidad. (Zegarra & Huamán, 2022).

La estabilidad de un talud se refiere a la capacidad de una masa de suelo o roca de mantenerse en equilibrio sin sufrir deslizamientos o colapsos. Esta condición está determinada por la relación entre las fuerzas resistentes del material (cohesión, fricción interna, peso propio), fuerzas desestabilizadoras (gravedad, presión de poros, sobrecargas y sismos). Cuando las fuerzas desestabilizadoras superan a las resistentes, se produce la falla de talud. El análisis de estabilidad permite estimar ( $F_s$ ), cual representa el cociente entre las fuerzas estabilizadoras y las desestabilizadoras; valores de  $F_s$  menores a 1 indican un estado de inestabilidad. Este análisis es crucial en regiones con alta sismicidad, como Apurímac, debido a que los eventos sísmicos incrementan considerablemente las

fuerzas desestabilizadoras (Zavala & Córdova, 2021). Además, es importante considerar los distintos modos de falla que pueden presentarse en los taludes, tales como fallas rotacionales, traslacionales, por sobrecarga, erosión o licuación. Cada tipo de falla tiene una respuesta diferente frente a condiciones geotécnicas o sísmicas específicas, lo cual implica que el análisis debe ser detallado y ajustado al entorno geológico del proyecto (Rico & Ramírez, 2021).

La firmeza de un talud va más allá de la forma geométrica y la tenacidad del terreno al ser cortado, sino también del comportamiento del macizo en su conjunto, incluyendo la posible existencia de discontinuidades estructurales, presencia de agua, alteraciones antrópicas, y esfuerzos inducidos por actividades sísmicas o sobrecargas temporales. La clasificación de los tipos de falla en taludes es vital para un análisis adecuado. Las fallas pueden ser:

- **Deslizamientos superficiales o creep:** Movimiento lento de las capas superiores del suelo, común en suelos blandos y saturados (Gidahatari, 2021).
- **Falla rotacional:** Deslizamiento con superficie de falla curva, típica en suelos cohesivos (Revista Seguridad Minera, 2020).
- **Falla local:** Ocurre en la parte superior del talud, sin alcanzar el pie, generalmente causada por cambios repentinos en la humedad (Revista Seguridad Minera, 2020).
- **Falla de pie:** La superficie de falla corta la base del talud, provocando desprendimiento total (Revista Seguridad Minera, 2020).
- **Falla de base:** Ocurre cuando la superficie de falla atraviesa horizontalmente toda la base, siendo de mayor escala y peligrosidad (Revista Seguridad Minera, 2020).

Cada una de estas fallas requiere medidas de análisis y mitigación específicas, dependiendo del tipo de material, altura, inclinación y condiciones de borde. Para su correcta interpretación y prevención se recomienda la evaluación geotécnica detallada mediante estudios de campo, ensayos de laboratorio y modelamiento computacional (Budhu, 2011).

Asimismo, el análisis pseudoestático es una herramienta que simula los efectos de un sismo mediante la incorporación de fuerzas inerciales equivalentes. Estas fuerzas son calculadas aplicando un coeficiente sísmico horizontal ( $k_h$ ), usualmente entre 0.1g y 0.3g (Zuloaga, 2022). Este tipo de análisis no contempla deformaciones permanentes, pero resulta útil para una primera aproximación del comportamiento del talud frente a eventos sísmicos moderados.

Factores de las propiedades del suelo (cohesión, fricción, permeabilidad), la geometría del talud (altura, pendiente), la presión de poros, el nivel freático, la carga externa y la actividad sísmica, afectan significativamente la estabilidad. Por ejemplo, un incremento en el nivel de saturación del suelo puede disminuir su resistencia al corte, provocando fallas por licuación o pérdida de capacidad de soporte (Wyllie & Mah, 2004).

Los métodos de equilibrio límite permiten analizar la estabilidad mediante el balance de fuerzas y momentos. Los más comunes son: Fellenius (simple), Bishop (más preciso), Janbu (para superficies planas) y Morgenstern-Price (más general y riguroso) (Duncan & Wright, 2005).

En cuanto al ( $F_s$ ), su interpretación es:

- $F_s > 1.5$ : Talud estable, condiciones aceptables para estructuras permanentes.
- $< F_s \leq 1.5$ : Marginalmente estable, se requiere monitoreo o reforzamiento.

- $F_s \leq 1.0$ : Inestable, riesgo alto de falla, requiere intervención inmediata (MTC, 2018).

### 3.2.1.1 Comportamiento mecánico del suelo en taludes

#### Resistencia al corte

La tenacidad del suelo se manifiesta en su habilidad para resistir las fuerzas que impulsan su fragmentación. La técnica de Mohr-Coulomb se emplea extensamente para desentrañar su esencia, utilizando parámetros de cohesión ( $c$ ) y ángulo de fricción interna ( $\phi$ ). Estos índices logran que laboratorio a través de pruebas de corte directo o triaxial. En terrenos rígidos, como las arcillas, la cohesión reina, mientras que en terrenos granulares, como las arenas, el ángulo de fricción emerge como el pilar de la resistencia. La fortaleza también puede verse influenciada por la densidad relativa, el nivel de saturación y la consolidación anterior. (Sivakugan y Das, 2017).

( $c$ ) y ( $\phi$ ) son los elementos que la definen. Hijo y Sivakugan (2017).

#### Contenido de humedad

La humedad reduce la resistencia al corte al elevar la presión de poros. (Fredlund & Rahardjo, 1993).

#### Nivel freático

El ascenso del nivel freático reduce la tensión efectiva del suelo, incrementando el riesgo de falla. (Terzaghi et al., 1996).

#### Presión de poros

La presión afecta la tensión efectiva y puede inducir licuación en suelos saturados. (Craig, 2004).

### **3.2.1.2 Estabilidad de taludes**

#### **Concepto de estabilidad geotécnica**

Solidez del talud radica la habilidad del suelo para conservar su estructura, evitando tamaños y alteraciones severas. Este equilibrio puede verse perturbado por alteraciones en la carga, fluctuaciones hidráulicas o terremotos. El análisis abarca la determinación del factor de seguridad ( $F_s$ ) y la exploración de posibles rutas de error. La solidez del suelo se manifiesta en su habilidad para evitar progresivamente. (2004).

Se fundamenta en la armonía entre los vientos estabilizadores y los vientos desestabilizadores. (2004).

Además de los desajustes rotacionales y traslacionales, también pueden surgir desequilibrios por licuación, provocados por sismos en suelos saturados, y desequilibrios superficiales derivados de la erosión o el debilitamiento de capas delgadas. El tipo de grieta varía según las condiciones geológicas, la naturaleza del terreno y la forma del acantilado. Seby (1993).

#### **Modos de falla**

Incluyen fallas rotacionales, traslacionales, por cuña, vuelco y creep. (Selby, 1993).

#### **Clasificación de la magnitud de fallas**

Las fallas pueden ser superficiales, intermedias o profundas, y clasificarse por su velocidad. (Cruden & Varnes, 1996).

#### **Condiciones del análisis geotécnico**

Este tipo de análisis supone que no actúan fuerzas sísmicas ni dinámicas, por lo que sólo se consideran el peso propio del suelo, cargas estáticas adicionales y la presión del agua. Es ideal para condiciones de operación normales, en zonas con baja sismicidad

o en estructuras pequeñas. El análisis se realiza evaluando el equilibrio entre las fuerzas resistentes y desestabilizadoras para obtener el  $F_s$ . Este enfoque permite establecer si un talud es seguro bajo condiciones de servicio sin la influencia de cargas transitorias o excepcionales. (MTC, 2018).

### **Análisis estático**

Considera fuerzas gravitacionales en condiciones normales.  $F_s \geq 1.5$  es considerado aceptable. (MTC, 2018).

### **Análisis pseudoestático**

Incluye efectos sísmicos usando coeficientes  $k_h$  y  $k_v$ .  $F_s \geq 1.1$  es aceptable. (Zuloaga Ayuda, 2022).

### **Aceleración sísmica de diseño**

Apurímac está en zona sísmica 3 con  $k_h$  entre 0.15g y 0.30g. (CISMID, 2019).

### **Zonificación sísmica del Perú**

El método de Newmark estima los desplazamientos del talud durante un sismo considerando la aceleración crítica que inicia el movimiento. Si la aceleración sísmica excede este umbral, se calcula el desplazamiento acumulado. Es útil para evaluar la vulnerabilidad post-sismo en obras críticas. (Jibson, 1993).

La norma E.030 establece zonas sísmicas de Z1 a Z4. Apurímac está en Z3. (CISMID, 2019).

### **Métodos dinámicos alternativos (Newmark)**

Permite calcular desplazamientos permanentes durante un sismo. (Jibson, 1993).

### **3.2.1.3 Método de análisis de estabilidad**

#### **Métodos de equilibrio límite**

Incluyen Fellenius, Bishop, Janbu y Morgenstern-Price. (Duncan & Wright, 2005).

#### **Métodos numéricos**

Usan elementos finitos o diferencias finitas, como Plaxis y FLAC. (Potts & Zdravkovic, 2001).

#### **Comparación de resultados**

Los métodos numéricos son más precisos para geometrías complejas. (Griffiths & Lane, 1999).

#### **Selección del método**

Depende de la complejidad del talud y los datos disponibles. (Duncan & Wright, 2005).

### **3.2.1.4 Modelamiento computacional en estabilidad**

El modelado geotécnico permite representar matemáticamente el comportamiento de un talud bajo diferentes escenarios. A través de herramientas computacionales, se pueden simular condiciones de carga, tipos de suelo, geometrías complejas y niveles freáticos. Este enfoque mejora la precisión del análisis y facilita la toma de decisiones técnicas, especialmente en proyectos de alto riesgo geotécnico. Además, permite evaluar diferentes hipótesis de falla y la sensibilidad de los parámetros geotécnicos, lo que no es posible mediante métodos manuales simples. (Budhu, 2011).

Permite simular condiciones reales y evaluar diferentes escenarios. (Budhu, 2011).

En Slide, la simulación estática permite definir la geometría del talud, ingresar parámetros de resistencia al corte ( $c$ ,  $\phi$ ), condiciones de agua, y obtener el  $F_s$  bajo

condiciones normales. Se usa como referencia base antes de evaluar condiciones sísmicas.

### **Software Slide**

Se introduce un coeficiente sísmico horizontal  $k_h$ , representando la aceleración sísmica, afectando directamente el equilibrio del talud. Slide calcula el  $F_s$  para esta condición, permitiendo comparar con la condición estática. Herramienta especializada para análisis de estabilidad 2D. (Rocscience, 2022).

### **Simulación estática**

Evalúa el  $F_s$  en estado de reposo Mientras los métodos manuales consideran una única superficie de falla, Slide analiza múltiples geometrías automáticamente, aumentando la precisión del resultado. También permite representar gráficamente las zonas críticas del talud.

### **Simulación pseudoestática**

Simula condiciones sísmicas incorporando coeficientes. (Zuloaga Ayuda, 2022).

### **Interpretación**

Slide identifica la superficie crítica con el menor  $F_s$ .

### **Comparación con métodos manuales**

Mayor precisión y eficiencia frente a métodos tradicionales.

## **3.2.1.5 Normativa técnica aplicable en Perú**

### **Norma E.050**

Establece lineamientos para cimentaciones y estabilidad. (MVCS, 2018).

**Norma E.030**

Define coeficientes sísmicos y zonificación. (CISMID, 2019).

**Manual de Carreteras del MTC**

Proporciona criterios para análisis geotécnico vial. (MTC, 2018).

**Normas internacionales**

AASHTO y FHWA ofrecen guías complementarias. (FHWA, 2003).

Factores de seguridad bajos ( $F_s < 1.1$ ) requieren intervenciones como cambio de geometría, instalación de drenes, o refuerzo con estructuras. Factores altos ( $>1.7$ ) pueden implicar sobrediseño, incrementando costos sin necesidad.

**3.2.1.6 Interpretación del Factor de Seguridad ( $F_s$ )**

Relación entre resistencia disponible y carga actuante. (Craig, 2004). En regiones sísmicas como Apurímac, se recomienda evaluar tanto el  $F_s$  como los desplazamientos esperados con el método de Newmark. Esto permite identificar taludes que podrían no colapsar, pero sí experimentar movimientos importantes.

**Valores recomendados**

$F_s \geq 1.5$  (estático),  $F_s \geq 1.1$  (pseudostático). (MTC, 2018).

**2.8.3. Toma de decisiones**

$F_s$  bajo requiere rediseño o medidas correctivas.

**Riesgo de falla**

$F_s < 1.1$  representa alta probabilidad de inestabilidad. (Wyllie & Mah, 2004).

**Estabilidad sísmica**

Método de Newmark complementa el análisis. (Jibson, 1993).

### **3.2.1.7 Medidas de mitigación**

#### **Estabilización pasiva**

Se pueden usar inclinómetros para detectar desplazamientos internos, piezómetros para medir presiones de poros, estaciones totales o GNSS para deformaciones superficiales. Estos instrumentos permiten identificar inestabilidad antes de la falla.

Incluye mallas, anclajes y geomallas. (FHWA, 2003).

La estabilización activa se refiere a intervenciones que modifican directamente las condiciones de esfuerzo o geometría del talud. Incluye la construcción de muros de contención (gravedad, anclados o en voladizo), pilotes, pantallas y estructuras de sostenimiento. Los muros de contención actúan contrarrestando las fuerzas desestabilizadoras a través de su peso o sistemas de anclaje. Los pilotes, por otro lado, transfieren las cargas hacia capas más resistentes del suelo o roca. Estas soluciones suelen aplicarse en taludes con deformaciones importantes, suelos blandos o presencia de agua subterránea. Su diseño debe considerar la presión activa del terreno, cargas externas, y posibles incrementos de presión de poros tras eventos sísmicos. (Das & Sivakugan, 2017).

#### **Estabilización activa**

Uso de muros de contención, pilotes, etc. (Das & Sivakugan, 2017).

#### **Drenaje**

Reduce presión de poros. (Terzaghi et al., 1996).

#### **Erosión y vegetación**

Protege superficie y mejora cohesión. (Selby, 1993).

## **Monitoreo**

En la región de Apurímac, la topografía abrupta, presencia de suelos residuales, lluvias intensas y sismicidad alta representan factores críticos. Estudios locales muestran  $F_s$  marginales ( $<1.2$ ) en varios sectores viales. Es esencial integrar monitoreo y refuerzo estructural en la zona.

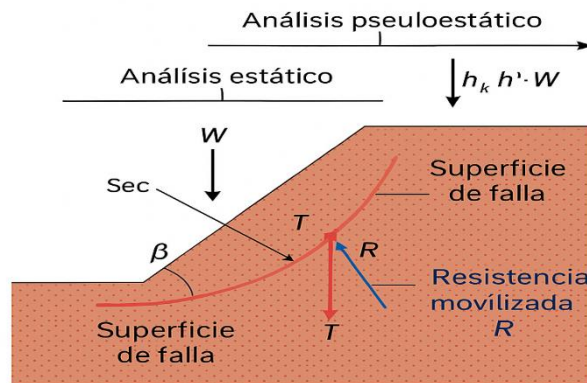
Uso de inclinómetros, drones y GNSS. (Zegarra & Huamán, 2022).

### **3.2.1.8 Condiciones de análisis: estáticas y pseudoestáticas**

El análisis de estabilidad de taludes puede realizarse en condiciones estáticas o pseudoestáticas. En condiciones estáticas, se consideran únicamente las fuerzas gravitacionales y las propiedades intrínsecas del terreno. En cambio, el análisis pseudoestático incluye una fuerza sísmica adicional representada por una aceleración horizontal ( $kh$ ), la cual simula el efecto de un terremoto en el talud. Esta fuerza pseudoestática incrementa la carga sobre el talud, reduciendo su estabilidad. El valor de  $kh$  se estima en función de la peligrosidad sísmica de la región, siendo común el uso de valores entre 0.1g y 0.3g en zonas de alta sismicidad, aunque simplificado, es una herramienta que resulta útil para evaluar el desempeño del talud frente a sismos moderados (Rodríguez & Lazo, 2022). Este enfoque no modela las deformaciones post-sismo, pero es útil para obtener una primera aproximación del comportamiento estructural ante eventos sísmicos. En casos donde se requiere mayor precisión, se pueden utilizar métodos dinámicos como el análisis de Newmark o modelamiento con elementos finitos transitorios (CISMID, 2019).

**Figura1**

*Talud en condición estática y pseudoestática*



*Nota: el grafico muestra la comparación de condición de talud (CISMID, 2019).*

### 3.2.1.9 Factores que influyen en la estabilidad del talud

Diversos elementos geotécnicos, ambientales moldean la solidez de un talud. Entre los aspectos más cruciales destacan la solidez del terreno (cohesión, ángulo de fricción, densidad), la cantidad de agua, la forma del terreno (altura, inclinación), la existencia de aguas subterráneas y las fluctuaciones sísmicas. El desbordamiento del suelo, por ejemplo, aumenta la presión en los poros y disminuye la fortaleza al corte, propiciando así la aparición de gradualas. La vegetación puede tener efectos estabilizadores por la acción de las raíces, pero también puede generar sobrecargas o alteraciones en la infiltración. Asimismo, las actividades humanas, como excavaciones, construcción sin estudios geotécnicos o vibraciones por maquinaria pesada, pueden desestabilizar un talud (Pineda & Gamarra, 2021). También debe tenerse en cuenta la litología y la estructura geológica del terreno, ya que materiales altamente meteorizados o con planos de debilidad inclinados en dirección del talud aumentan significativamente la probabilidad de falla (Zegarra & Huamán, 2022).

### 3.2.1.10 Métodos de análisis de estabilidad

La valoración de la fortaleza de los taludes puede realizarse a través de enfoques analíticos, gráficos o numéricos. Los métodos más habituales son los de equilibrio límite,

que examinan la armonía de una cuña o superficie propensa a fallar. Entre los más empleados se encuentran:

- Método de Fellenius o círculo de fricción (simplificado)
- Método de Bishop (semiexacto)
- Método de Janbu (generalizado para pendientes compuestas)
- Método de Morgenstern-Price (preciso, considera interacciones de fuerzas entre segmentos)

Cada técnica posee premisas y niveles de exactitud variados, por lo que la elección se ajusta a las circunstancias del entorno y al nivel de precisión exigido. Con el progreso de la informática, hoy en día se utilizan algoritmos numéricos como los de elementos finitos o diferencias finitas, lo que posibilita la creación de taludes intrincados y situaciones no lineales (Alarcón & Meza, 2020).

#### **3.2.1.11 Cálculo del factor de seguridad**

Los  $F$  emergen como el puente vital entre las fuerzas que resisten y las que desencadenan la fractura.  $F_s = \text{Respetabilidad} / \text{Potencia}$ . DPara un muro sólido, es imperativo que el factor de estabilidad supere 1.5 en situaciones rígidas y 1.1 en situaciones pseudoestáticas, según las recomendaciones del Manual de Carreteras del MTC y los estándares internacionales. Un número inferior a 1 revela que el talud es un rompecabezas que puede desmoronarse en cualquier instante. Este valor se calcula mediante las técnicas previamente mencionadas y se interpreta según el grado de riesgo tolerable para el proyecto (MTC, 2018).

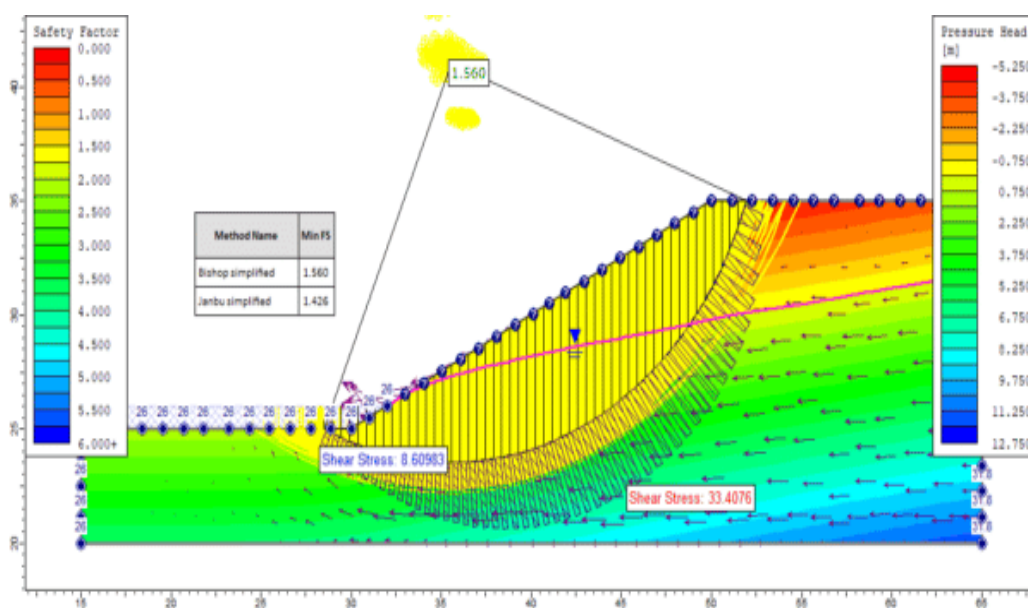
#### **3.2.1.12 Modelamiento con software especializado**

En la actualidad, el uso de herramientas computacionales es esencial para analizar taludes con geometrías complejas o condiciones de carga variables. Entre los programas más utilizados están Slide (Rocscience), GeoStudio (SLOPE/W), Plaxis 2D/3D, entre otros. Estos permiten simular múltiples escenarios, aplicar condiciones de borde específicas,

incluir propiedades heterogéneas y generar resultados gráficos como líneas de falla o mapas de tensiones. El software Slide, por ejemplo, permite aplicar métodos de equilibrio límite (Morgenstern-Price) con gran precisión, mientras que Plaxis permite análisis con elementos finitos, útiles para casos con deformaciones y esfuerzos complejos (Rocscience, 2022).

**Figura2**

Software Slide



*Nota: El grafico se muestra una simulación por el software Slide, GEOTECFORM.*

### 3.2.1.13 Normativas técnicas aplicables en Perú

El análisis de estabilidad de taludes en proyectos de infraestructura vial en peruana se rige por el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia del MTC (2018) y por la norma técnica E.050 "Suelos y Cimentaciones" del Reglamento Nacional de Edificaciones. Estas normativas establecen valores de referencia para  $F_s$ , criterios de diseño para zonas sísmicas, metodologías recomendadas para estudios de estabilidad. También exigen la aplicación de parámetros geotécnicos obtenidos en campo y laboratorio, y consideran condiciones de drenaje, cargas sísmicas y tipo de talud (MTC, 2018).

#### **3.2.1.14 Consideraciones en zonas sísmicas**

En regiones con alta peligrosidad sísmica como Apurímac, el análisis pseudoestático cobra especial relevancia. Los taludes ubicados en zonas sísmicas deben ser diseñados considerando aceleraciones horizontales de diseño que oscilan entre 0.15g y 0.3g, dependiendo de la zonificación sísmica del país. Las fuerzas inerciales inducidas por el sismo reducen la capacidad portante. Asimismo, pueden inducir licuación en suelos arenosos o colapsos progresivos. Por ello, es necesario realizar análisis complementarios como el método de Newmark, que evalúa desplazamientos acumulados. Se concluye que, en zonas como Abancay, se deben adoptar medidas conservadoras en el diseño de taludes, priorizando la seguridad estructural y funcional (CISMID, 2019).

#### **3.2.2 Nivel de seguridad del talud.**

Desde la perspectiva de la geotecnia, la estabilidad en los taludes se define como la habilidad de una masa de suelo o roca para resistir cargas y elementos externos como el agua, el terremoto, o las fuerzas estructurales. Este concepto es crucial para medir cómo el terreno reacciona ante posibles fallos, y se mide mediante el Factor de Seguridad. En el diseño y mantenimiento de infraestructuras, el nivel de seguridad determina la necesidad de adoptar medidas de estabilización, drenaje, o monitoreo. La relación entre estabilidad y probabilidad de falla es inversa: a mayor nivel de seguridad ( $F_s$  alto), menor es la probabilidad de colapso; mientras que un  $F_s$  cercano a 1 o menor indica condiciones críticas (Wyllie & Mah, 2004).

##### **3.2.2.1 Fundamentos teóricos del equilibrio de taludes**

El análisis del equilibrio de taludes se fundamenta en el balance de fuerzas que actúan sobre una masa de suelo. Se analiza si las fuerzas resistentes, compuestas por la cohesión, la fricción interna y el peso propio del talud, son mayores que las fuerzas desestabilizadoras, como la gravedad y las presiones de poro. El criterio de Mohr-Coulomb proporciona una base para este análisis, permitiendo modelar el comportamiento resistente

del terreno. La ecuación  $\tau = c + \sigma' \tan(\phi)$  es clave para definir el momento en que un talud puede alcanzar una condición de falla, siendo  $\tau$  (Craig, 2004).

### **3.2.2.2 Factor de seguridad (Fs)**

El Factor de Seguridad (Fs) representa una medida del margen de seguridad con el que cuenta un talud antes de fallar. Su cálculo depende de las propiedades del suelo y de las condiciones de carga a las que está sometido. Se interpreta de la siguiente manera:  $F_s > 1.5$  significa que el talud es estable; entre 1.1 y 1.5 se considera estabilidad marginal; y  $F_s \leq 1.0$  implica inestabilidad y riesgo alto de deslizamiento. Este indicador permite tomar decisiones respecto al diseño geométrico del talud, los refuerzos requeridos y la necesidad de monitoreo (Duncan & Wright, 2005).

### **3.2.2.3 Clasificación del nivel de seguridad**

El nivel de seguridad se clasifica según el tipo de análisis aplicado: estático, pseudoestático (incluyendo cargas sísmicas) o dinámico (considerando registros de aceleración real). Asimismo, puede dividirse de acuerdo a la profundidad de la superficie de falla (superficial  $< 1.5$  m, media entre 1.5 y 5 m, y profunda  $> 5$  m) y la velocidad de movimiento. Esta clasificación ayuda a identificar la magnitud del problema y priorizar intervenciones geotécnicas (Cruden & Varnes, 1996).

### **3.2.2.4 Métodos de evaluación del nivel de seguridad**

Los métodos más comunes para evaluar el Ns son los métodos de equilibrio límite, que consisten dividir el talud en bloques y calcular la relación entre fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras. Los métodos analíticos incluyen: Fellenius (simple), Bishop (considera interacciones verticales), Janbu (adecuado para taludes no circulares) y Morgenstern-Price (más generalizado). Los métodos numéricos, como el de elementos finitos y diferencias finitas, permiten una modelación más realista del comportamiento del

terreno, considerando deformaciones, anisotropías, filtraciones, y respuesta dinámica (Griffiths & Lane, 1999).

### **3.2.2.5 Herramientas computacionales para la determinación del $F_s$**

Al avance tecnológico, se ha podido llevar a cabo herramientas de análisis como Slide, SLOPE/W, GeoStudio y Rocscience. Estas plataformas permiten ingresar la geometría del talud, propiedades del suelo, condiciones hidráulicas y sísmicas para simular diferentes escenarios de falla. También permiten aplicar distintos métodos de equilibrio límite y localizar la superficie crítica, es decir, la que arroja el menor  $F_s$ . Esto facilita la comparación de soluciones y selección del diseño más seguro (Rocscience, 2022).

### **3.2.2.6 Influencia de factores geotécnicos**

Las características geotécnicas del terreno moldean profundamente la solidez del talud. Entre ellas están la  $c$ ,  $\sigma'$ , la densidad seca, la capacidad de drenaje del suelo. En suelos arcillosos; en suelos granulares, predomina el ángulo de fricción. El contenido de humedad y el nivel freático alteran la tensión efectiva, reduciendo la resistencia. Por tanto, una correcta caracterización del suelo mediante ensayos in situ y de laboratorio es fundamental (Fredlund & Rahardjo, 1993).

### **3.2.2.7 Influencia de la geometría del talud**

La geometría del talud (altura, pendiente, longitud la base, presencia de bermas o banquetas) determina el equilibrio entre fuerzas resistentes y fuerzas actuantes. Taludes más altos y con pendientes más inclinadas tienden a ser más inestables. El rediseño de la geometría, como el bermado o la construcción de taludes en banca, es una medida frecuente para mejorar el nivel de seguridad sin recurrir a soluciones estructurales costosas (Duncan & Wright, 2005).

### **3.2.2.8 Influencia de las cargas externas y sismicidad**

Las cargas externas como tránsito vehicular, cargas de edificaciones próximas, vibraciones de maquinaria o explosiones, incrementan las tensiones en el talud. En zonas sísmicas, es fundamental considerar las fuerzas inerciales inducidas por sismos. Estas se representan mediante coeficientes sísmicos horizontales ( $k_h$ ) y verticales ( $k_v$ ), según la Norma Técnica E.030. Por ejemplo, en la región Apurímac, el valor de  $k_h$  puede oscilar entre 0.15 y 0.30g. La inclusión de estos efectos en el análisis es esencial para un diseño seguro (CISMID, 2019).

### **3.2.2.9 Normativas y criterios de diseño**

En Perú, las pautas para erigir taludes son Norma Técnica E. 050 del Reglamento Nacional de Edificaciones, que establece los parámetros para análisis geotécnico y los factores de seguridad, y la Norma E.030, que esculpe el diseño sismorresistente de estructuras. Según estas directrices, el  $F_s$  óptimo es 1.5 en situaciones estáticas y 1.1 en situaciones pseudoestáticas. Asimismo, se consideran estándares mundiales como AASHTO y FHWA, que ofrecen orientaciones adicionales en el ámbito de las carreteras (MVCS, 2018; FHWA, 2003).

### **3.2.2.10 Evaluación del nivel de seguridad en condiciones estáticas y pseudoestáticas**

En la práctica geotécnica, se deben realizar ambas evaluaciones. En condiciones estáticas se analiza el comportamiento sin influencia sísmica; mientras que en el pseudoestático se incorpora la carga sísmica como una fuerza horizontal equivalente. Este análisis simplificado permite estimar el  $F_s$  durante un evento sísmico. Comparar ambos resultados permite definir la necesidad de refuerzos, rediseño geométrico o medidas de drenaje adicionales (MTC, 2018).

### **3.2.2.11 Niveles de intervención según el valor del Fs**

La intervención dependerá del valor del Fs obtenido. Si  $Fs < 1.0$ , el talud requiere intervención urgente: refuerzos estructurales, contención o reducción de la pendiente. Si Fs se encuentra entre 1.0 y 1.5, se recomienda monitoreo continuo, análisis detallado y medidas preventivas como drenaje o bermado. Para  $Fs > 1.5$ , se considera estable, pero es aconsejable implementar vigilancia periódica, sobre todo en zonas de alta exposición o tránsito (Craig, 2004).

### **3.2.2.12 Aplicaciones prácticas del nivel de seguridad**

En proyectos reales, el nivel de seguridad guía las decisiones de diseño. En la Costa Verde, Lima, estudios con Slide mostraron que perfiles marginalmente estables requerían muros y mallas. En la carretera Panamericana Norte, Ecuador, Fs entre 1.1 y 1.3 exigieron drenaje superficial y anclajes. Estas aplicaciones muestran cómo el análisis del Fs orienta la implementación de medidas adecuadas en función de las condiciones del terreno (Flores & Pizarro, 2022; Pérez, 2021).

### **3.2.2.13 Instrumentación para verificación del nivel de seguridad**

La instrumentación geotécnica es crucial para evaluar el comportamiento del talud. Los piezómetros permiten medir la presión de poros, los inclinómetros detectan desplazamientos internos, y los extensómetros evalúan la apertura de grietas. Asimismo, sistemas GNSS o estaciones totales permiten controlar movimientos superficiales. Estas herramientas son indispensables para el monitoreo de taludes con Fs cercano a 1.1 o ubicados en zonas críticas (Zegarra & Huamán, 2022).

### **3.2.2.14 Relación entre Fs y la gestión del riesgo geotécnico**

El nivel de seguridad se vincula directamente con la gestión del riesgo geotécnico. Fs bajos implican alta probabilidad de falla, lo que debe integrarse en mapas de riesgo y en la planificación de intervenciones. La combinación del valor del Fs con la magnitud del

daño potencial permite priorizar recursos en zonas vulnerables. Esta información es clave para gobiernos locales, ingenieros y urbanistas en la toma de decisiones (Cruden & Varnes, 1996).

### **3.3 Definición de términos**

#### **3.3.1 Talud**

Un talud es una superficie inclinada del terreno que puede ser natural o producto de una intervención humana. Se forma cuando el terreno es excavado, rellenado o erosionado, y su estabilidad depende de factores como la pendiente, la altura, el tipo de suelo y las condiciones hidráulicas. (Coduto, 2010).

#### **3.3.2 Estabilidad del Talud**

Es la capacidad de un talud para resistir deslizamientos o deformaciones ante fuerzas naturales o inducidas, sin comprometer su integridad estructural. Su evaluación se basa en la comparación entre las fuerzas que tienden a causar el movimiento y aquellas que lo resisten. (Duncan & Wright, 2005).

#### **3.3.3 Condición Estática**

Es el estado en el que se analiza un talud considerando únicamente las cargas permanentes, como el peso propio del suelo y las presiones del agua subterránea, sin incluir efectos sísmicos o dinámicos. Esta condición representa el comportamiento del talud bajo situaciones normales de servicio. (Craig, 2004).

#### **3.3.4 Condición Pseudoestática**

Es el estado en el que se analiza un talud considerando únicamente las cargas permanentes, como el peso propio del suelo y las presiones del agua subterránea, sin incluir efectos sísmicos o dinámicos. Esta condición representa

#### **3.3.5 Factor de Seguridad ( $F_s$ )**

Relación entre las fuerzas resistentes al deslizamiento y fuerzas desestabilizadoras que actúan sobre un talud. Un  $F_s > 1.5$  indica estabilidad aceptable en condiciones

estáticas, mientras que un  $F_s > 1.1$  es considerado aceptable en condiciones sísmicas. (Duncan & Wright, 2005).

### **3.3.6 Nivel de Seguridad del Talud**

Es una medida técnica que expresa el grado de estabilidad de un talud frente a fallas potenciales. Se determina principalmente mediante el  $F_s$ , permite establecer el talud requiere refuerzo, rediseño y/o monitoreo. (Wyllie & Mah, 2004).

### **3.3.7 Análisis de Estabilidad**

Constelación de técnicas y algoritmos utilizados para medir la solidez de un pantano. Puede llevarse a cabo a través de técnicas de límite de equilibrio, elementos finitos o análisis dinámico. Su meta es descubrir el área vulnerable y calcular el índice de seguridad. (Griffiths & Lane, 1999).

### **3.3.8 Superficie Crítica de Falla**

Es la trayectoria o plano potencial a lo largo del cual un deslizamiento podría ocurrir. Se determina mediante software geotécnico, y corresponde su superficie para proporciona el menor  $F_s$  en el análisis. (Rocscience, 2022).

### **3.3.9 Coeficiente Sísmico ( $k_h$ )**

Es un valor adimensional que representa la fracción de la aceleración sísmica horizontal que se aplica sobre una masa de suelo en el análisis pseudoestático. Su valor depende de la zonificación sísmica y la importancia de la obra. En zonas como Apurímac, puede variar entre 0.15 y 0.30. (CISMID, 2019).

### **3.3.10 Modelamiento Computacional (Slide, GeoStudio, etc.)**

Se refiere al uso de programas especializados para simular la estabilidad de taludes bajo diferentes condiciones de carga y geometría. Estos programas permiten aplicar diversos métodos de análisis y obtener resultados más precisos. (Rocscience, 2022).

## **IV. Metodología**

### **4.1 Tipo y nivel de investigación**

#### **4.1.1 Tipo de investigación**

Esta investigación se enfoca en solucionar un dilema específico vinculado a la valoración y optimización de la estabilidad de taludes en un segmento específico de la vía de escape en la urbe de Abancay. Para evitar graduales y asegurar la seguridad vial, se busca crear soluciones tangibles y factibles utilizando el software Slide2, la investigación aplicada se dedica a cultivar saberes con una finalidad práctica y de aplicación inmediata para resolver problemas concretos.

#### **4.1.2 Nivel de investigación**

La profundidad es descriptiva y vinculante. Es descriptivo porque se dedica a desentrañar minuciosamente las peculiaridades geotécnicas y geométricas del talud, así como los elementos que influyen en su firmeza. Es revelador, ya que permite descubrir y desentrañar las razones que podrían provocar inestabilidad en situaciones estáticas y pseudoestáticas, examinando cómo el suelo reacciona a diversas cargas y circunstancias. De acuerdo con Arias (2012), la información explicativa revela las raíces de los sucesos o fenómenos analizados.

#### **4.1.3 Diseño de investigación**

El esquema seleccionado es de naturaleza no experimental y con un corte transversal. Es no experimental, ya que no se alteran las variables ambientales, sino que se contempla y examina la situación actual del talud en su contexto. Es transversal porque recolección información y el análisis se llevan a cabo simultáneamente, posibilitando la creación de conclusiones basadas en los resultados obtenidos. Hernández Sampieri et al. (2014) señalan que, en un enfoque no experimental, el investigador explora los fenómenos en su entorno natural, sin intervenir de manera directa.

## **4.2    Ámbito temporal y espacial**

### **4.2.1   Temporal**

En cuanto al desarrollo de esta investigación se llevó a cabo desde noviembre del 2024.

### **4.2.2   Espacial**

La presente investigación se realizará en un tramo determinado de la vía de evitamiento en la ciudad de Abancay.

## **4.3    Población y muestra**

### **4.3.1   Población**

La comunidad se compone de todos los muros naturales o alterados situados entre el km 8+611 y el km 9+348 de la ruta de escape de Abancay, en la región de Apurímac. Estos abismos forman parte de una arteria vial de relevancia regional y están sometidos a fluctuaciones geológicas que podrían perturbar su firmeza. De acuerdo con Hernández Sampieri (2014), la población es la suma de individuos que exhiben las particularidades que se pretenden explorar en una investigación.

### **4.3.2.   Muestra**

La muestra corresponde a una selección representativa de taludes dentro del tramo mencionado, priorizando aquellos sectores que presentan mayor pendiente, cambios geomorfológicos, evidencias de erosión o deslizamiento, o suelos de baja resistencia. Se espera analizar de 3 a 5 perfiles geotécnicos mediante modelamiento computacional mediante software slide. Según Arias (2012), la muestra es un subconjunto de la población que se selecciona para estudiar y se obtendrán conclusiones válidas para el problema investigado.

### **4.3.3.   Muestreo**

El tipo de muestreo es no probabilístico de tipo intencional o por juicio de experto, debido a que los sectores a estudiar han sido seleccionados según criterios técnicos

observados en campo, como geometría del talud, visibilidad de grietas, tipo de suelo, y riesgo aparente de inestabilidad. Este enfoque permite enfocar el análisis en los sectores más críticos. Tal como menciona Arias (2012), el muestreo intencional es adecuado cuando el investigador selecciona la muestra basándose en su conocimiento y experiencia sobre el fenómeno de estudio.

#### **4.4 Instrumentos e técnicas**

##### **4.4.1. Técnicas**

Para las metas de esta investigación, se emplearon diversas técnicas de recolección de datos tanto en campo como en laboratorio. Estas permitieron caracterizar geotécnicamente el talud en estudio y proporcionar los insumos necesarios para el análisis de estabilidad.

##### **a) Observación directa en campo**

Consiste la inspección visual de taludes en tramo evaluado para identificar zonas críticas, fallas visibles, pendientes pronunciadas, signos de erosión, grietas, filtraciones, vegetación y condiciones geomorfológicas relevantes. Esta técnica permite hacer un diagnóstico inicial sobre posibles mecanismos de inestabilidad (Hernández Sampieri et al., 2014).

- Instrumento: Fichas de inspección de taludes, cámara fotográfica digital, GPS de mano para ubicación de puntos de observación.

##### **b) Levantamiento topográfico**

Se emplea para obtener la geometría precisa del talud y elaborar los perfiles transversales necesarios para el modelado computacional. La información topográfica es clave para definir la altura, inclinación, y longitudes de los taludes a modelar.

Instrumento:

- Instrumento: Estación total, software de topografía (AutoCAD Civil 3D).

### **c) Toma de muestras de suelo y ensayos de laboratorio**

- Facilitar desentrañar las características físicas y mecánicas los materiales del suelo, imprescindibles para evaluar la estabilidad. Para realizar experimentos del laboratorio, se recolectan muestras alteradas o inalteradas del talud.
- Herramientas y experimentos utilizados:
- Estudio de densidad (ASTM D422).
- Valores de Atterberg según la ASTM D4318.
- Humedad y densidad propias del entorno (ASTM D7263).
- Experimento de corte directo o triaxial (ASTM D3080 / D2850) para evaluar la solidez ( $c$ ) y ( $\phi$ ).

### **d) Revisión documental y normativa**

Se recopila información técnica de antecedentes de la zona, estudios previos, mapas geológicos, normativa geotécnica nacional (E.050) y sísmica (E.030), así como parámetros sísmicos recomendados para la región.

- Instrumento: Revisión bibliográfica, base de datos del MTC, CISMID, estudios de tesis y artículos científicos.

### **e) Modelamiento computacional**

El modelado computacional es esencial para simular el comportamiento del talud ante condiciones estáticas y sísmicas, utilizando los parámetros geotécnicos obtenidos y la geometría del terreno.

- Instrumento: Software Slide2 (Rocscience), que permite calcular el fs con distintos métodos de equilibrio límite y simular condiciones pseudoestáticas.

#### **4.4.2. Instrumentos**

Para el desarrollo del presente estudio se emplearon diversos instrumentos técnicos, clasificados en tres categorías principales: de observación de campo, ensayos de laboratorio y análisis computacional. Estos instrumentos permitieron obtener datos precisos que fueron necesarios para caracterizar el talud y realizar el análisis de estabilidad.

##### **a) Instrumentos para observación y levantamiento de datos en campo**

Ficha de inspección geotécnica de taludes: Documento estructurado para registrar información visual como presencia de grietas, erosión, tipo de vegetación, inclinación, tipo de material y condiciones del entorno.

- Estación total: Para ubicar con precisión los puntos de control y generar modelos topográficos detallados.
- Cámara digital de alta resolución: Para documentar visualmente las condiciones del talud y cambios en su estructura.

##### **b) Instrumentos de laboratorio**

- Tamices ASTM: Para realizar análisis granulométrico y clasificar el suelo.
- Equipos para ensayos de Atterberg: Determinar los límites líquido y plástico del suelo.
- Celdas de corte directo y triaxial: Para obtener parámetros de resistencia al corte (cohesión y ángulo de fricción).
- Balanzas, horno de secado y moldes Proctor: Para determinar la densidad seca, humedad y relación óptima de compactación.

### **c) Instrumentos de análisis computacional**

- Software Slide2 (Rocscience): Herramienta de modelamiento geotécnico por equilibrio límite que permite calcular el factor de seguridad (Fs) en condiciones estáticas y pseudoestáticas.
- AutoCAD Civil 3D: Para procesar la información topográfica y generar secciones transversales del talud.
- Excel técnico: Para procesamiento, sistematización y análisis de resultados numéricos.

## **4.5 Procedimientos**

La presente investigación siguió una secuencia metodológica lógica, que permitió desde el diagnóstico del terreno hasta la simulación computacional y evaluación del nivel de seguridad del talud. A continuación, se detallan los procedimientos desarrollados:

### **a) Revisión documental y normativa**

Se recopilaron antecedentes técnicos de la zona de estudio, estudios previos de taludes, mapas geológicos, normativas geotécnicas vigentes como la Norma Técnica E.050 (suelos y cimentaciones) y E.030 (diseño sismorresistente), así como literatura científica relacionada al análisis de estabilidad.

### **b) Trabajo de campo**

- Reconocimiento visual de las condiciones del talud: forma, altura, inclinación, tipo de material, presencia de grietas, drenaje y vegetación.
- Georreferenciación de puntos clave utilizando GPS geodésico.
- Levantamiento topográfico mediante estación total para generar perfiles transversales.
- Extracción de muestras (alteradas, semi - inalteradas) para ensayos de laboratorio.

- En caso de disponibilidad, aplicación de pruebas in situ (SPT o CPT).

### **c) Ensayos de laboratorio**

Se llevaron a cabo los siguientes ensayos para la caracterización del material:

- Granulometría por tamizado y sedimentación.
- Determinación de los límites de Atterberg (líquido y plástico).
- Ensayos de densidad y humedad natural.
- Ensayo de corte directo (o triaxial no consolidado no drenado) para determinar parámetros de resistencia al corte: cohesión ( $c$ ) y ángulo de fricción interna ( $\phi$ ).

### **d) Procesamiento topográfico y generación de perfiles**

Los datos del levantamiento fueron procesados en AutoCAD Civil 3D, generando perfiles topográficos representativos del talud. Estos perfiles fueron exportados al software geotécnico para el modelamiento computacional.

### **e) Modelamiento computacional**

- Ingreso de la geometría del talud y parámetros del suelo en Slide2 (Rocscience).
- Análisis de estabilidad en condición estática (sin cargas sísmicas).
- Análisis en condición pseudoestática, aplicando coeficientes sísmicos ( $k_h$ ) de acuerdo con la Norma E.030 para la zona de Apurímac.
- Identificación de la superficie crítica de falla y obtención del Factor de Seguridad ( $F_s$ ) en ambas condiciones.

## **f) Análisis comparativo e interpretación de resultados**

Se compararon los resultados obtenidos en cada perfil. Se evaluaron los valores del  $F_s$  con relación a los rangos establecidos por normativa y se identificaron los tramos más vulnerables. Se emitieron recomendaciones para mitigar riesgos en caso de taludes marginalmente estables o inestables.

### **4.6 Análisis de datos**

El análisis de datos de dicha investigación se centró en la evaluación de la estabilidad del talud ubicado en la progresiva km 8+611 al km 9+348 de la vía de evitamiento de Abancay, bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas, para determinar el nivel de seguridad de cada sección analizada.

El tratamiento de los datos se realizó en las siguientes maneras:

#### **a) Sistematización de datos de campo y laboratorio**

Se organizaron los datos obtenidos del reconocimiento visual, levantamiento topográfico y ensayos de laboratorio. Estos incluyeron:

- Altura, inclinación y geometría del talud.
- Parámetros geotécnicos:  $(c)$ ,  $(\phi)$ , densidad, humedad, y clasificación del suelo.
- Nivel freático, si fue identificado.

#### **b) Modelamiento computacional**

Con los datos sistematizados, se elaboraron modelos computacionales en el software Slide2 (Rocscience), simulando las condiciones reales del terreno. Se aplicaron dos escenarios:

- Estado de reposo: sin actividad sísmica.

- Para la región de Apurímac, se ha calculado un coeficiente sísmico horizontal de 0.25g, conforme a la zonificación sísmica del Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma E.030 (CISMID, 2019).
- Para cada situación, se determinará el Factor de Seguridad (Fs) utilizando técnicas de equilibrio límite (Bishop, Janbu y Morgenstern-Price), delineando la zona de falla con el Fs más bajo.

### **c) Interpretación de resultados**

Se compararon los valores del Fs obtenidos en cada condición con los valores mínimos normativos:

- $F_s \geq 1.50$  para condición estática.
- $F_s \geq 1.10$  para condición pseudoestática (MTC, 2018).

### **d) Representación gráfica y tabulación**

Los resultados fueron organizados en tablas comparativas y representados en gráficos de barras para facilitar la interpretación visual. Además, se incluyeron perfiles de superficie de falla generados por el software para visualizar las zonas más críticas.

## **4.7 Consideraciones éticas**

La presente investigación se desarrolló respetando los principios éticos fundamentales aplicables a trabajos científicos y técnicos. En este sentido, se garantizó que toda la información obtenida en campo y en laboratorio fuera utilizada exclusivamente con fines académicos, manteniendo la confidencialidad de los datos sensibles relacionados con la infraestructura vial evaluada.

Asimismo, el desarrollo del trabajo no implicó afectación alguna al medio ambiente ni a la integridad de personas, dado que no se realizaron intervenciones destructivas en el terreno ni se alteraron las condiciones naturales del talud. El muestreo del suelo se realizó

en zonas autorizadas, cumpliendo con principios de respeto al entorno, minimizando el impacto ambiental y asegurando la correcta disposición del material remanente.

## V. Resultados y discusión

### 5.1 Perfiles del talud

Se presenta el análisis de taludes a partir Km 8+611 a 9+348

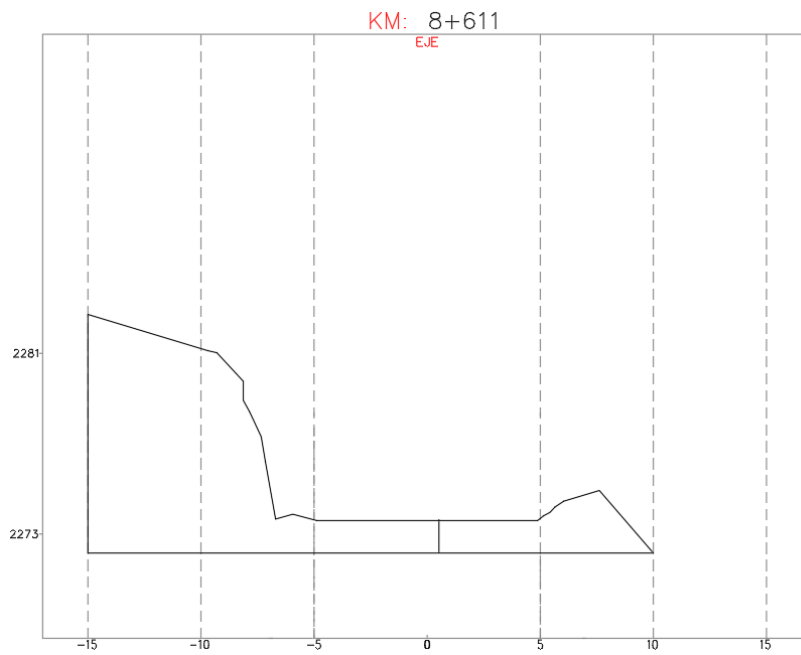
#### Figura3

Vía Evitamiento progresiva Km 8+611 a 9+348

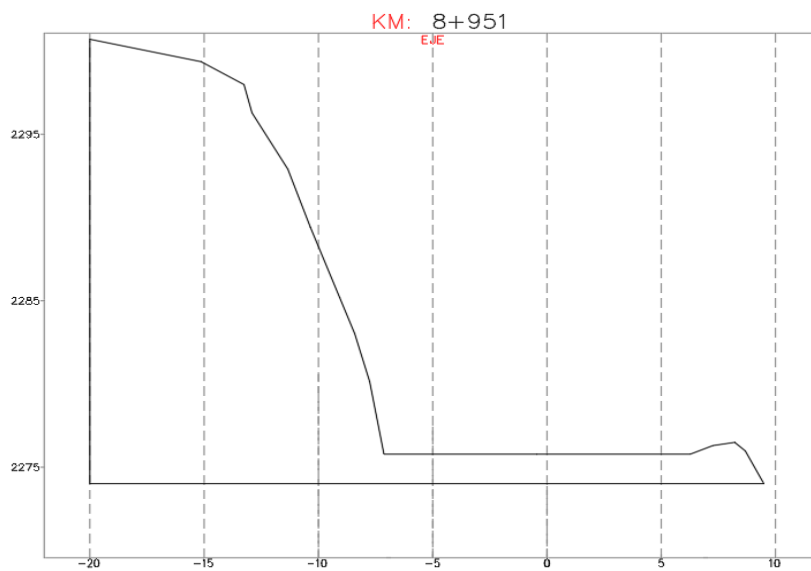


*Nota: Se observa el tramo de estudio mediante una imagen satelital del Google Earth.*

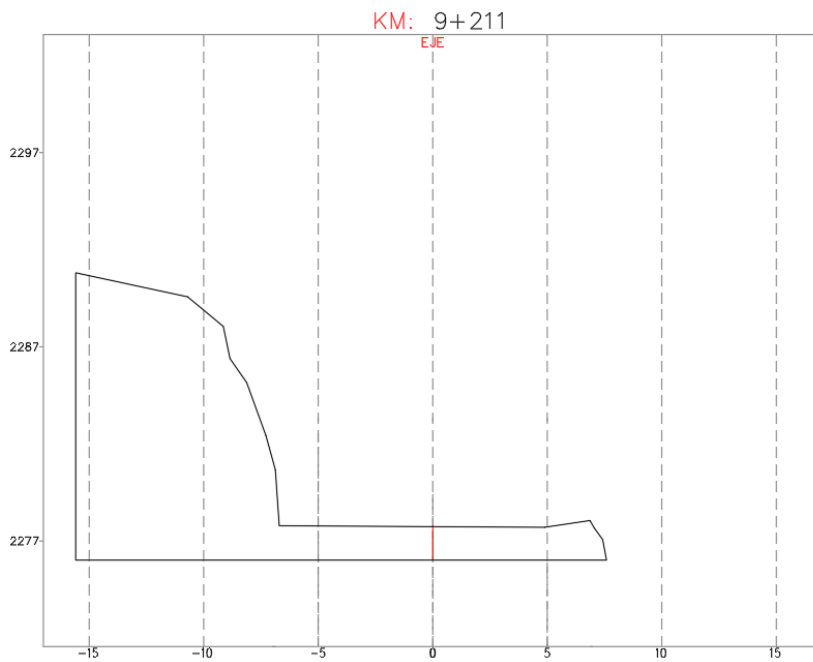
Se aprecia el despliegan el tramo que serán examinados a lo largo de toda la extensión del área en cuestión.

**Figura4***Perfil y longitudinal-talud 1*

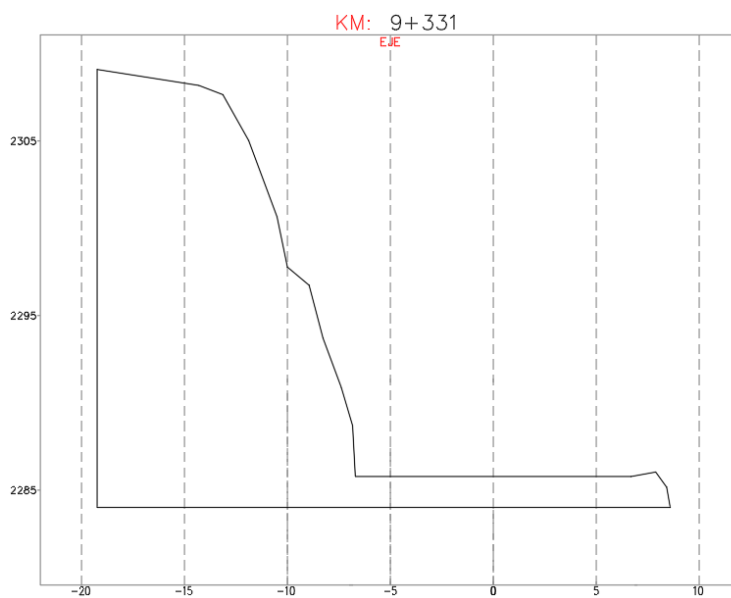
*Nota: se observa k 8+611su perfil de talud 1.*

**Figura5***Perfil y longitudinal-talud 2*

*Nota: se observa k 8+951 su perfil de talud 2.*

**Figura6***Perfil y longitudinal-talud 3*

*Nota: se observa k 9+211 su perfil de talud 3.*

**Figura7***Perfil y longitudinal-talud 4*

*Nota: se observa k 9+331 su perfil de talud 4.*

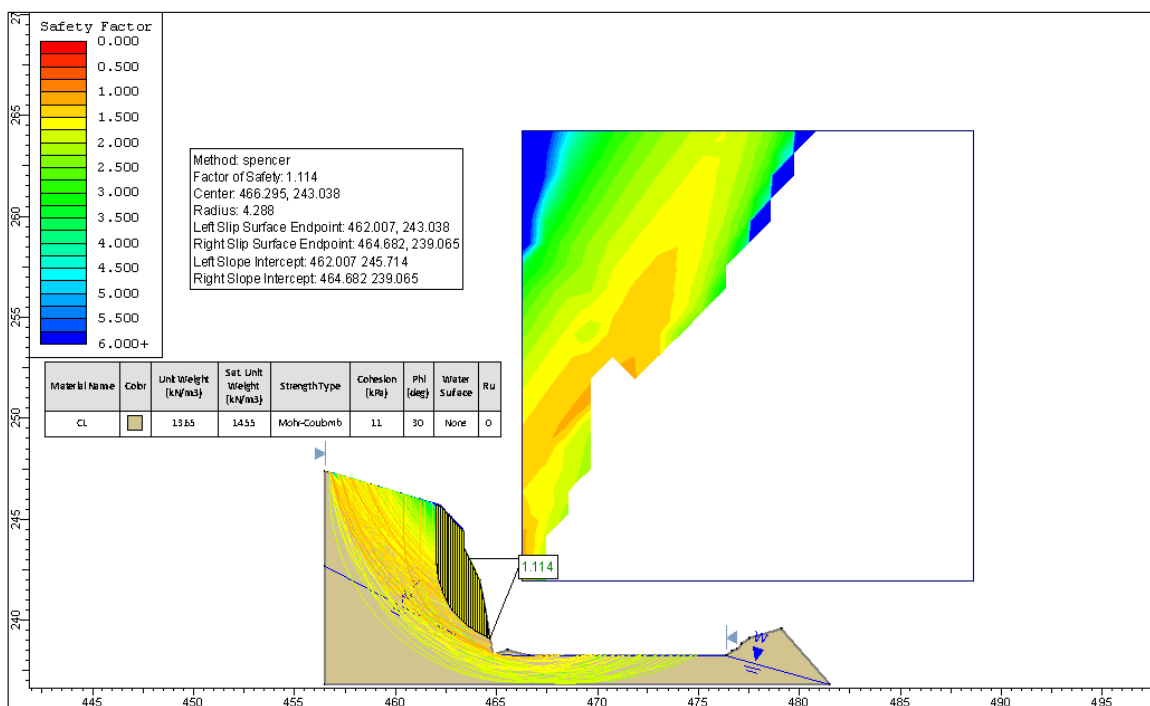
## 5.2 Análisis estático

### 5.2.1 Método Spencer

En el Perfil 1, la estabilidad en reposo del talud se revela con un FS de 1.114 (figura 8), desvelando una anomalía singular. El índice de errores se eleva a 2.006 (ver figura 9). Si solo el análisis estático del perfil 1 Método Spencer (Falla Global) supera el fs de 1.5, la seguridad es inquebrantable.

**Figura 8**

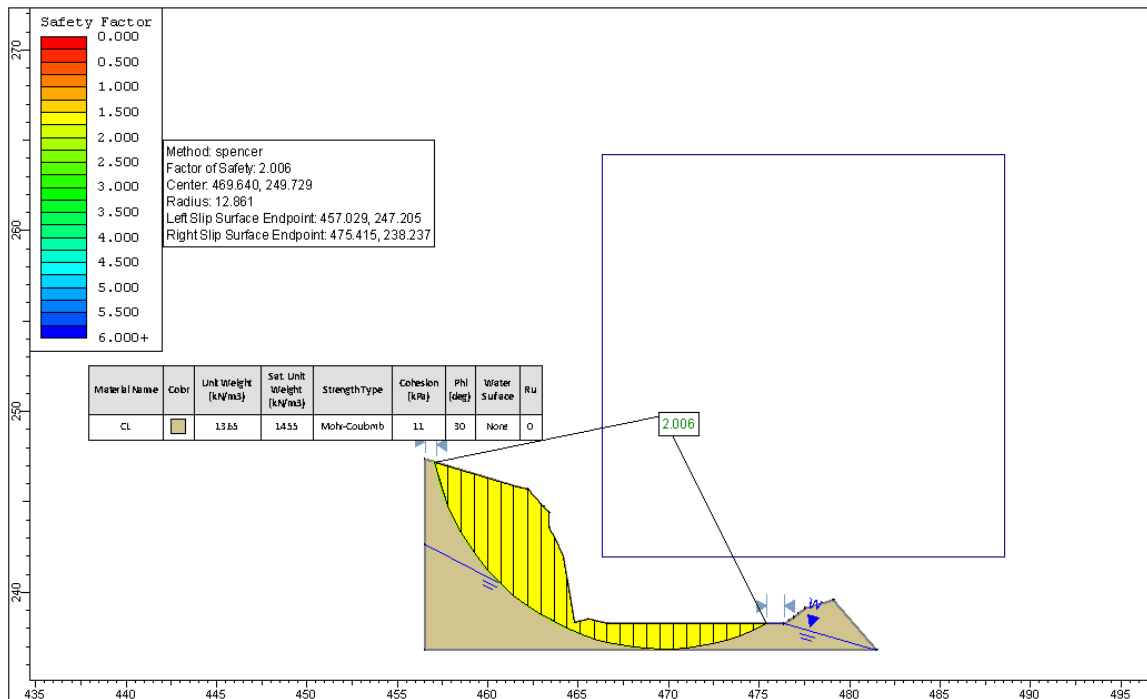
*Analizar el perfil 1 con el método Spencer (Falla Local)*



*Nota: El perfil 1 se tiene como resultado en el grafico con una falla local.*

**Figura 9**

*Analizar fijo del perfil 1 utilizando la técnica de Spencer (Falla Global)*

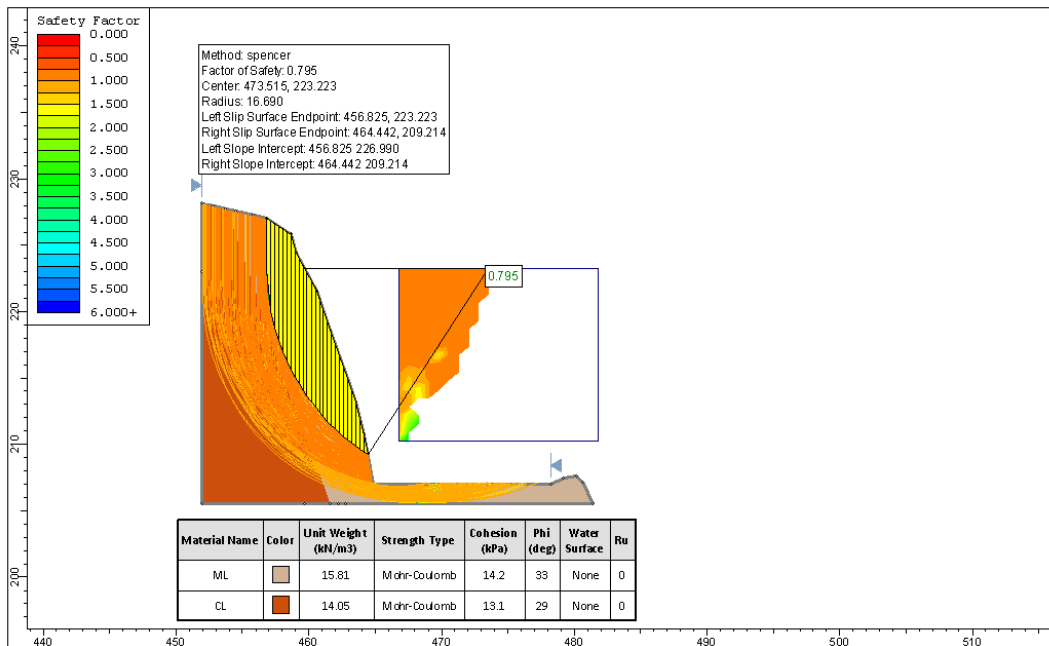


*Nota: El perfil 1 se tiene como resultado en el grafico con una falla global.*

El análisis de la estabilidad del talud en el Perfil 2 revela un FS de 0,795 (Figura 10), lo que indica una falla local. Por otro lado, en el caso de una falla global, el FS es de 1.138 (Figura 11). Ambos valores están por debajo del Fs de 1.5.

**Figura 10**

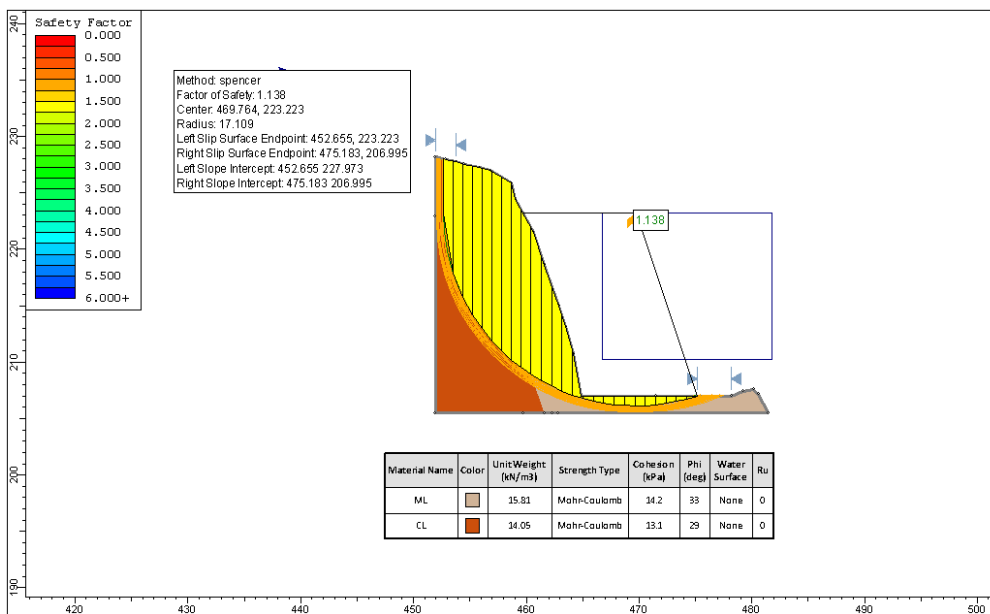
*Analizar fijo del perfil 2 utilizando la técnica de Spencer (Falla Global)*



*Nota: El perfil 2 se tiene como resultado en el grafico con una falla global.*

**Figura 11**

*Analizar fijo del perfil 2 utilizando la técnica de Spencer (Falla Global)*

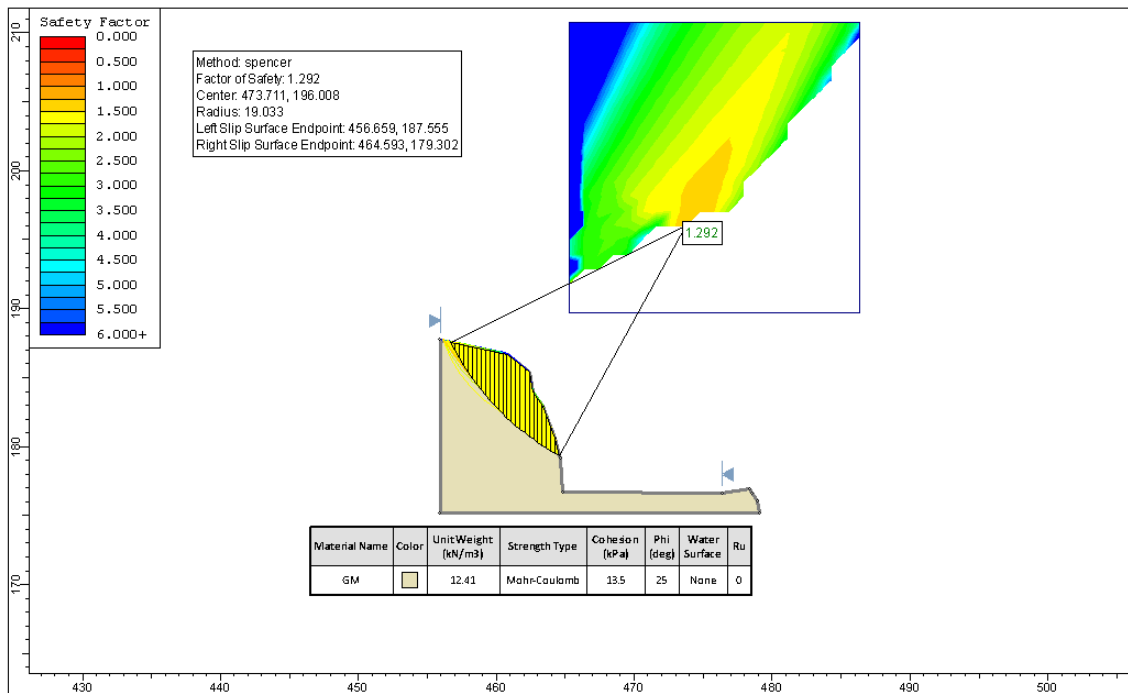


*Nota: El perfil 2 se tiene como resultado en el grafico con una falla local.*

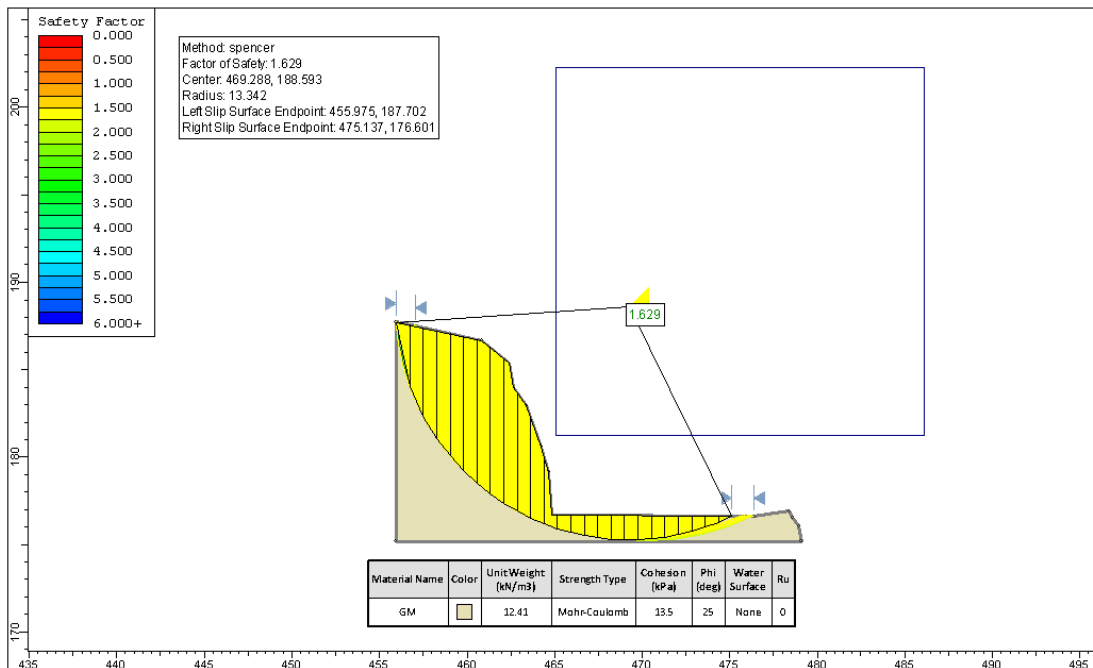
El estudio del Perfil 3 revela un factor de seguridad de 1.292 (figura 12), desvelando una anomalía particular. En relación con la totalidad del dictamen, se obtiene un FS de 1.629 (figura 13). El perfil 3 Método Spencer (Falla Global) brilla con luz sobre el fs de 1,5.

## Figura 12

### Analizar el perfil 3 (Falla Local)



*Nota: El perfil 3 se tiene como resultado en el grafico con una falla local.*

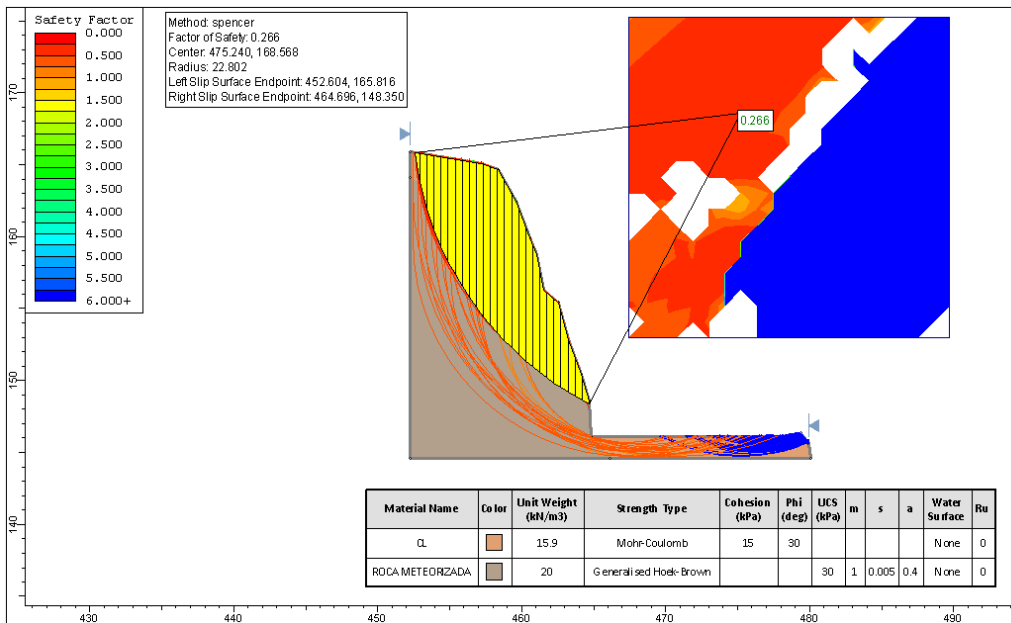
**Figura 13***Análisis estático del perfil 3 (Falla Global)*

*Nota: El perfil 3 se tiene como resultado en el grafico con una falla global.*

El análisis de estabilidad en condición estática del talud para el Perfil 4 arroja un factor de seguridad (Fs) de 0.266 (figura 14), lo que representa una falla local. Para el caso de una falla global, el FS obtenido es de 0.647 (figura 15). En ambos casos, los valores están por debajo.

**Figura 14**

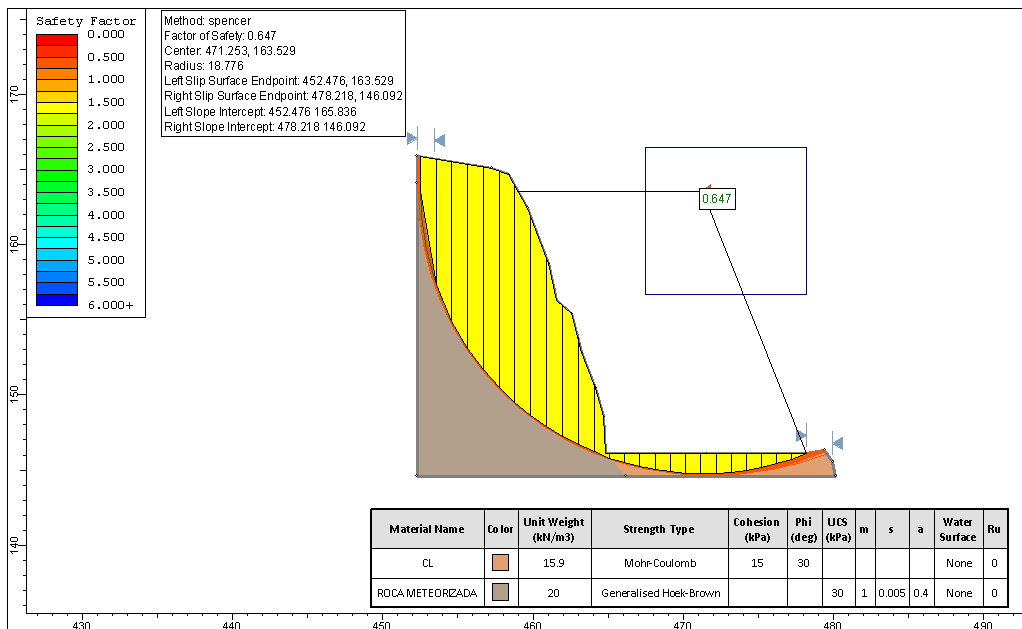
*Análisis estático del perfil 4 (Falla Local)*



*Nota: El perfil 4 se tiene como resultado en el grafico con una falla local.*

**Figura 15**

*Análisis estático del perfil 4 (Falla Global)*



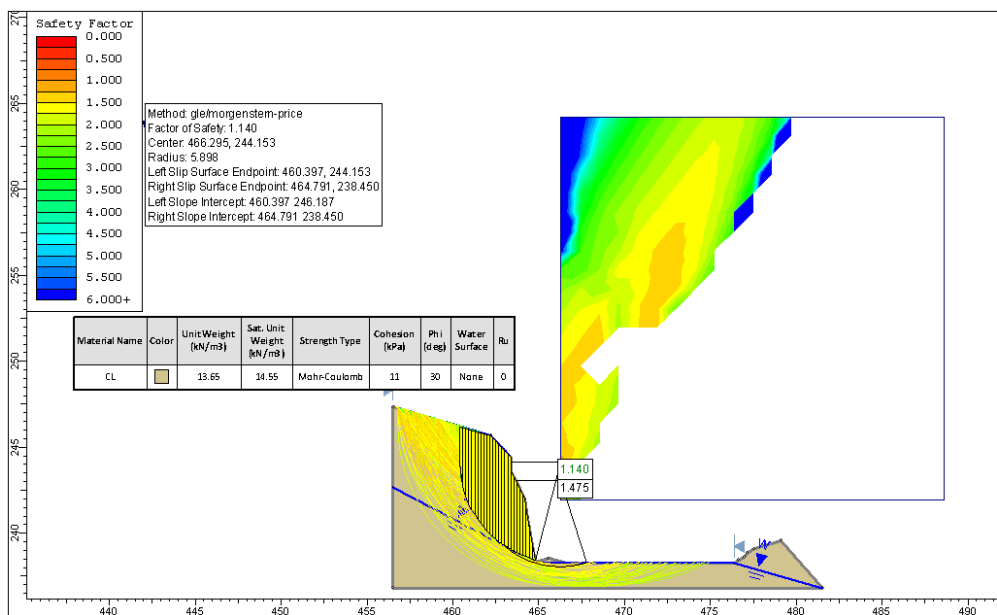
*Nota: El perfil 4 se tiene como resultado en el grafico con una falla global.*

### 5.2.2 Método Morgenstern-Price

El Perfil 1 revela un factor de seguridad de 1.140 (figura 16), desvelando una anomalía particular. En caso de un colapso planetario, se contabiliza un saldo financiero de 2.005 (figura 17). La única evaluación constante del perfil 1 del Método Morgenstern-Price (Falla Global) supera el fs. mínimo de 1,5.

**Figura 16**

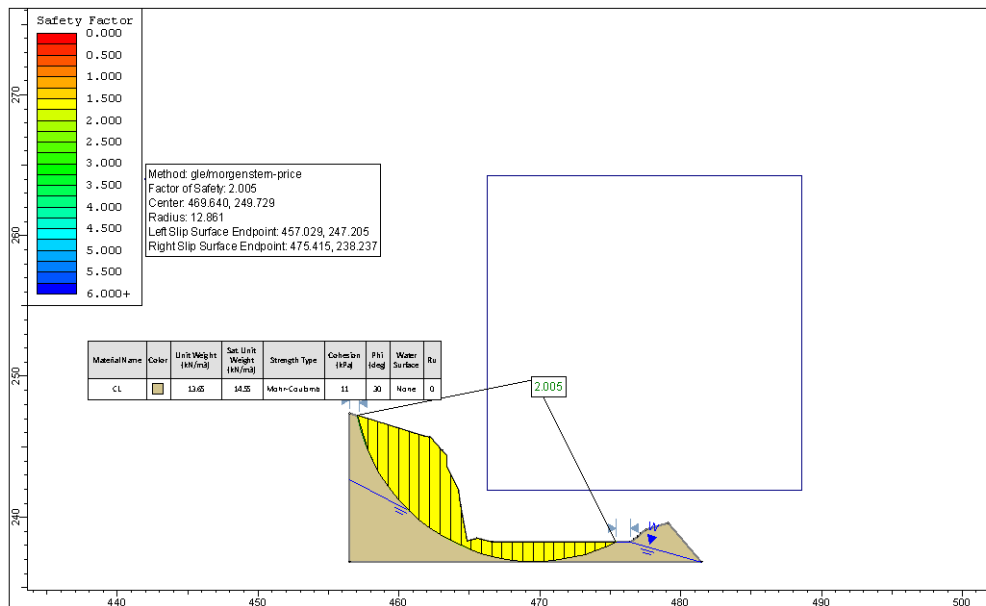
*El método Morgenstern-Price para desentrañar el perfil 1*



*Nota: El perfil 1 se tiene como resultado en el grafico con una falla local.*

**Figura 17**

*Evaluación constante del perfil 1 Utilizando el método Morgenstern-Price (Falla Global)*

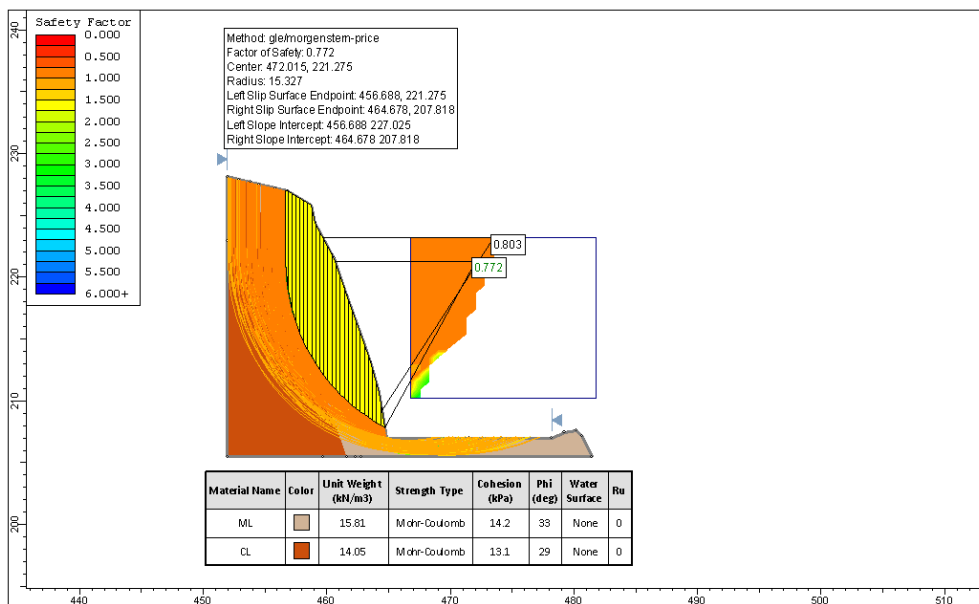


*Nota: El perfil 1 se tiene como resultado en el grafico con una falla global.*

El análisis de la estabilidad en estado estático del talud en el Perfil 2 revela el factor de seguridad de 0.0.772 (figura 18), indicando una anomalía única. Para un desastre global, se calcula un FS de 1.138 (figura 19). Los valores se encuentran por debajo del FS. mínimo de 1,5.

**Figura 18**

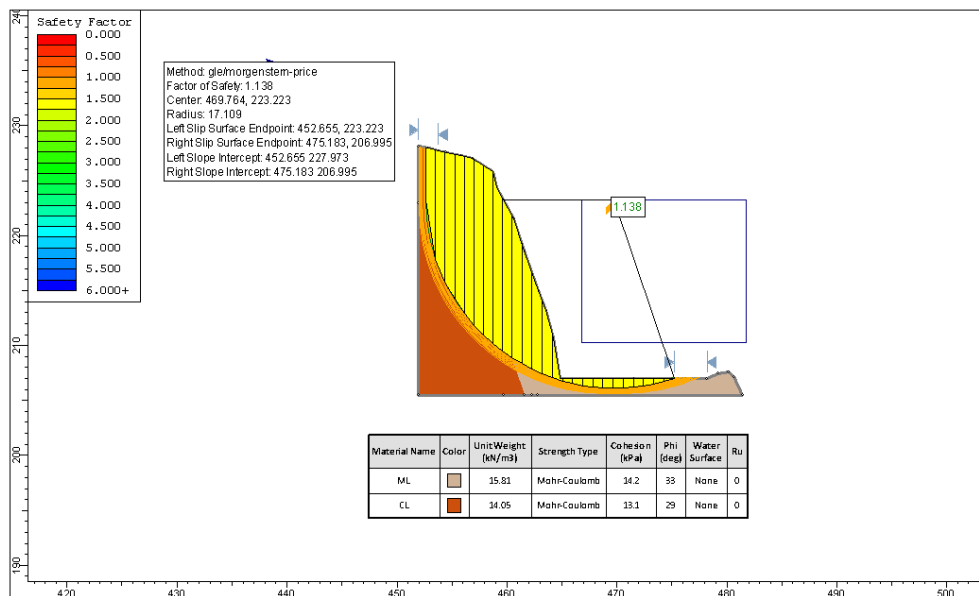
*El método Morgenstern-Price para desentrañar el perfil 2*



*Nota: El perfil 2 se tiene como resultado en el grafico con una falla local.*

**Figura 19**

*Evaluación constante del perfil 2 (Falla Global)*

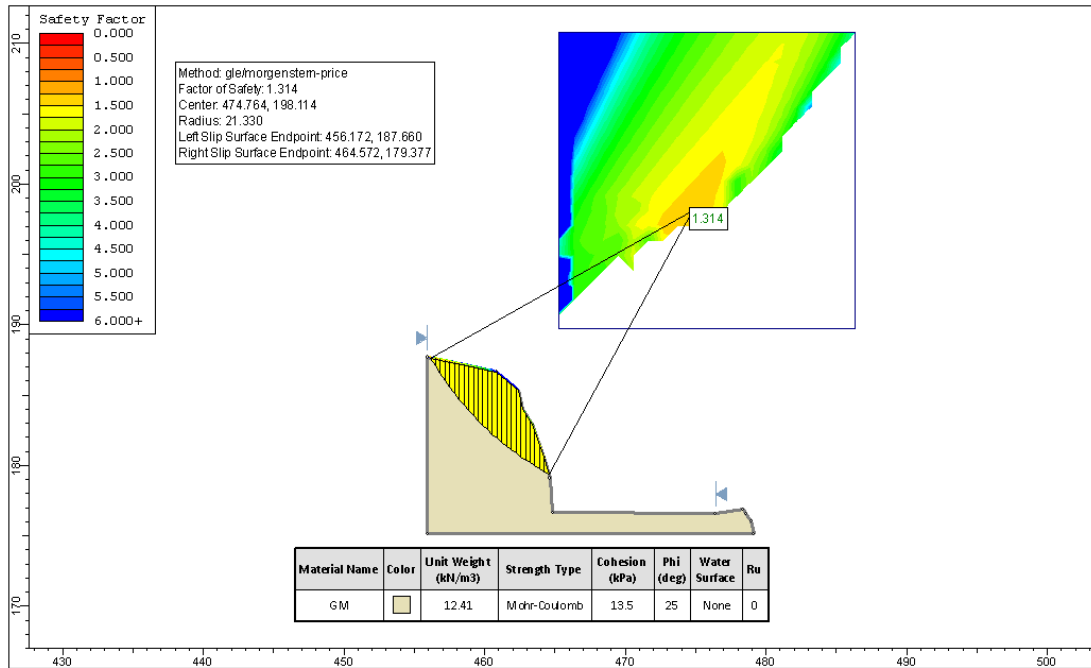


*Nota: El perfil 2 se tiene como resultado en el grafico con una falla global.*

La evaluación de la estabilidad en estado estático del talud en el Perfil 3 revela un factor de seguridad de 1.314 (figura 20), revelando una anomalía específica. En el escenario de un colapso global, se calcula un FS de 1.626 (figura 21). La única evaluación constante del perfil 3 (Falla Global) supera el factor de seguridad mínimo de 1,5.

**Figura 20**

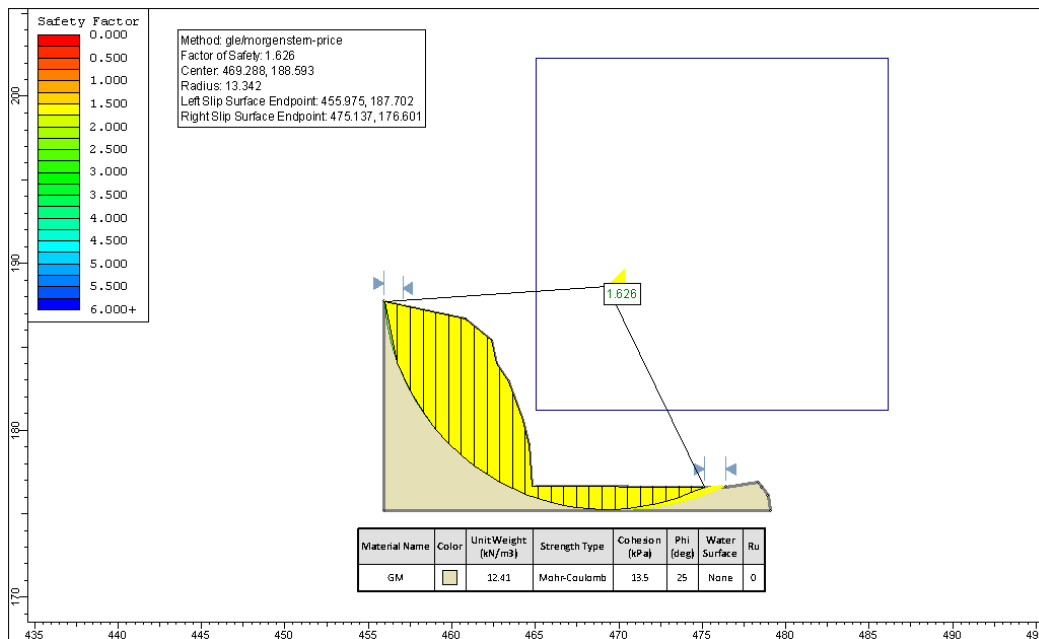
*El método Morgenstern-Price (Falla Local) para desentrañar el perfil 3*



*Nota: El perfil 3 se tiene como resultado en el grafico con una falla local.*

**Figura 21**

*El método Morgenstern-Price para desentrañar el perfil 3*

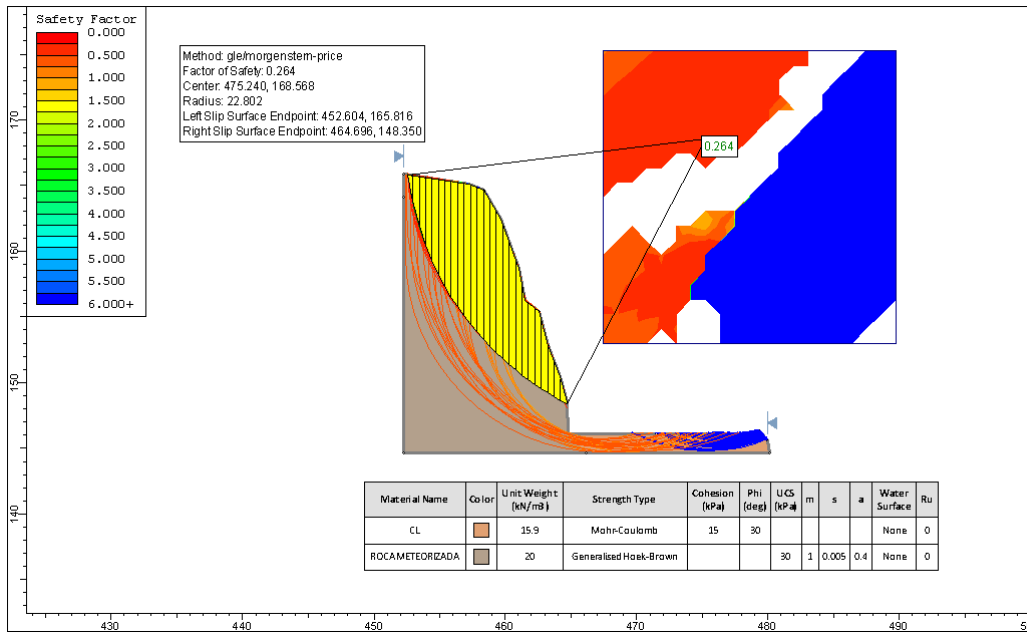


*Nota: El perfil 3 se tiene como resultado en el grafico con una falla global.*

La evaluación de la estabilidad en estado estático del talud el Perfil 4 revela un factor de seguridad de 0.264 (figura 22), revelando una anomalía específica. Para un desastre global, se calcula un FS de 0,676 (figura 23). En ambas situaciones, los valores no alcanzan el FS. mínimo de 1,5.

**Figura 22**

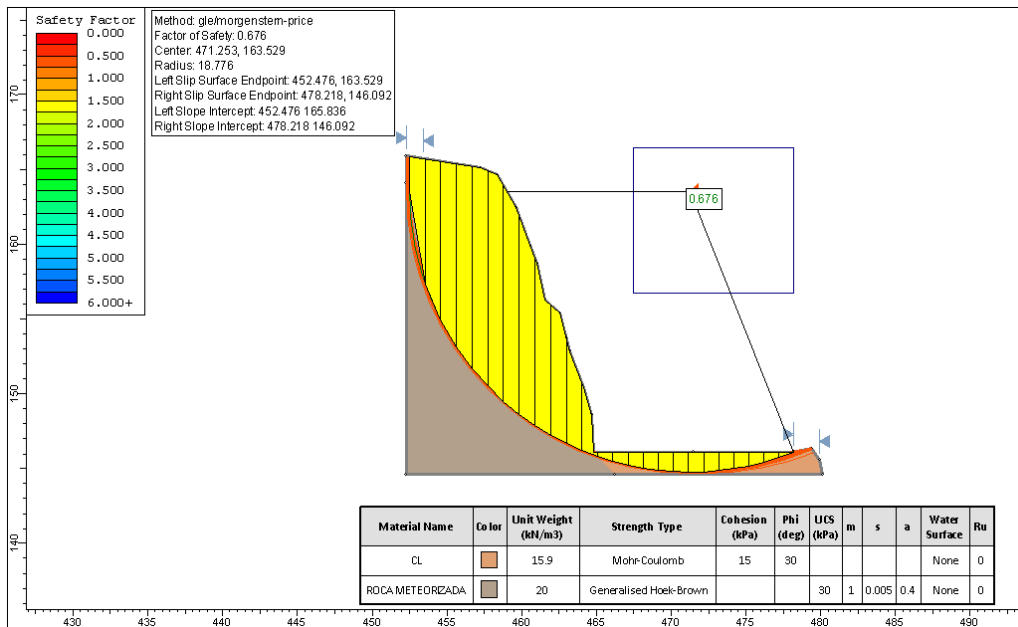
*(Falla Local) el perfil 4*



*Nota: El perfil 4 se tiene como resultado en el grafico con una falla local.*

**Figura 23**

*El método Morgenstern-Price para desentrañar el perfil 4*



*Nota: El perfil 4 se tiene como resultado en el grafico con una falla global.*

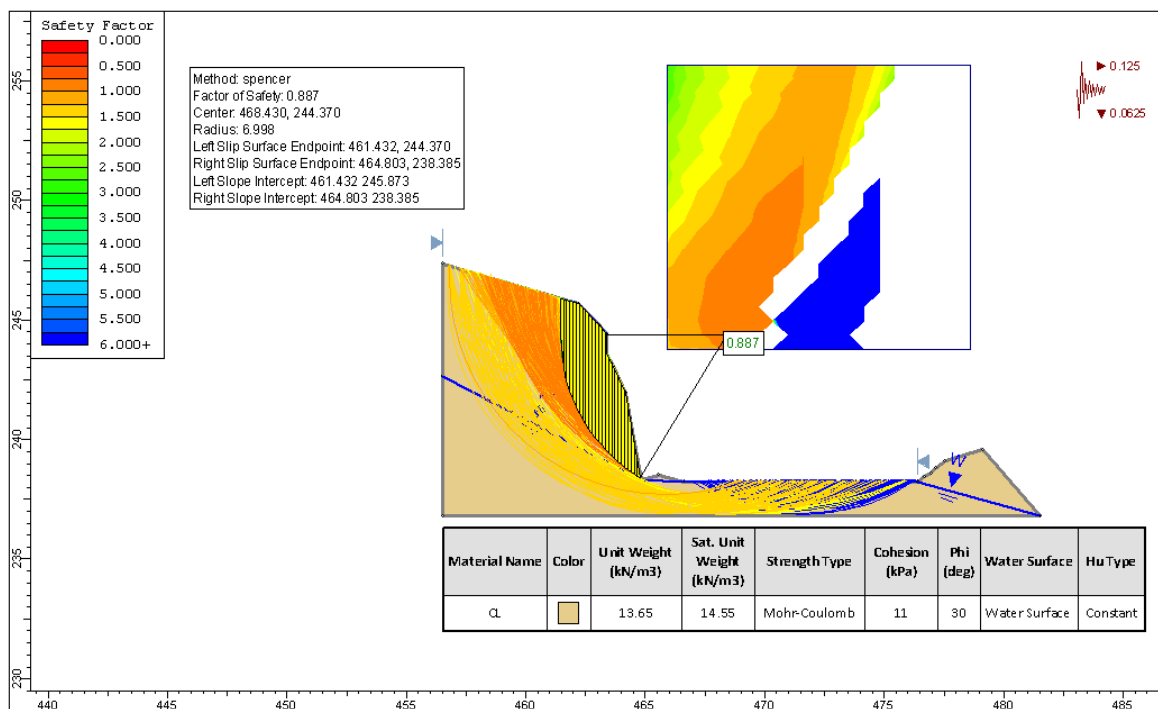
### 5.3 Análisis Pseudoestático

#### 5.3.1 Método Spencer

El análisis del talud en el Perfil 1 revela un factor de seguridad de 0.887 (figura 24), desvelando una anomalía particular. En caso de una catástrofe planetaria, se estima una cifra catastrófica de 1.428 (figura 25). La evaluación Pseudoestática del perfil 1 Método Spencer (Falla Global) supera con notable éxito el factor de seguridad de 1,25.

**Figura 24**

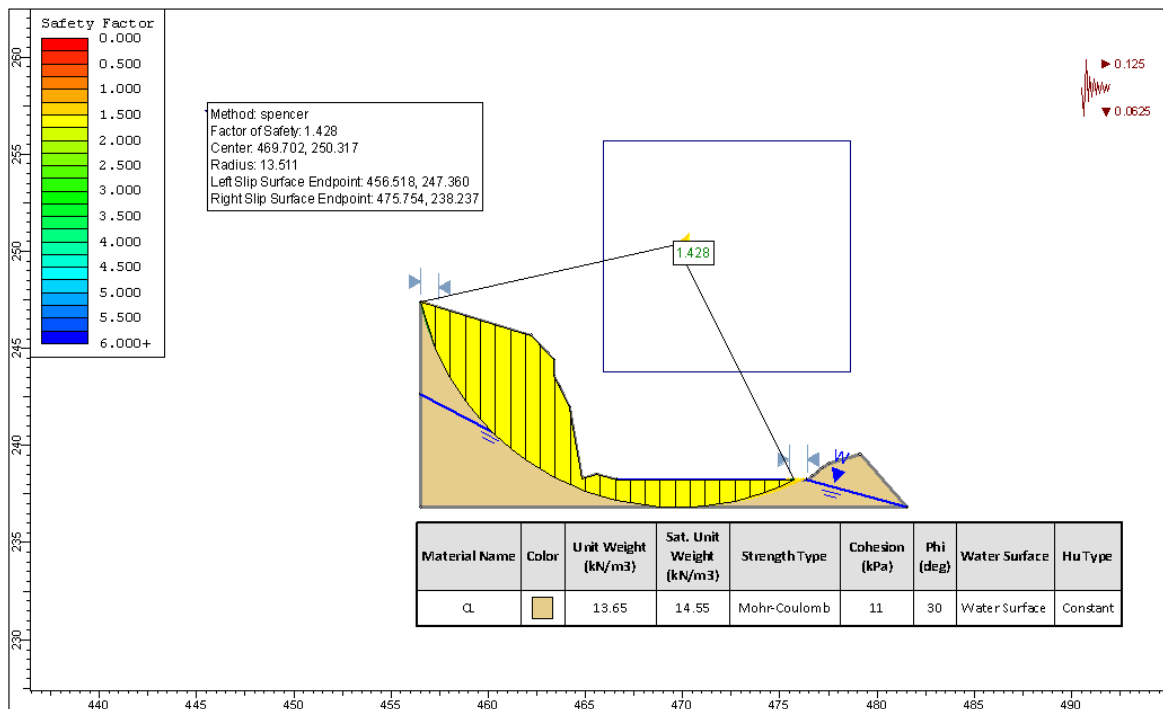
*Análisis Pseudoestático del perfil 1 (Falla Local)*



*Nota: El perfil 1 se tiene como resultado con una falla local.*

Figura 25

## Análisis Pseudoestático del perfil 1 Método Spencer (Falla Global)

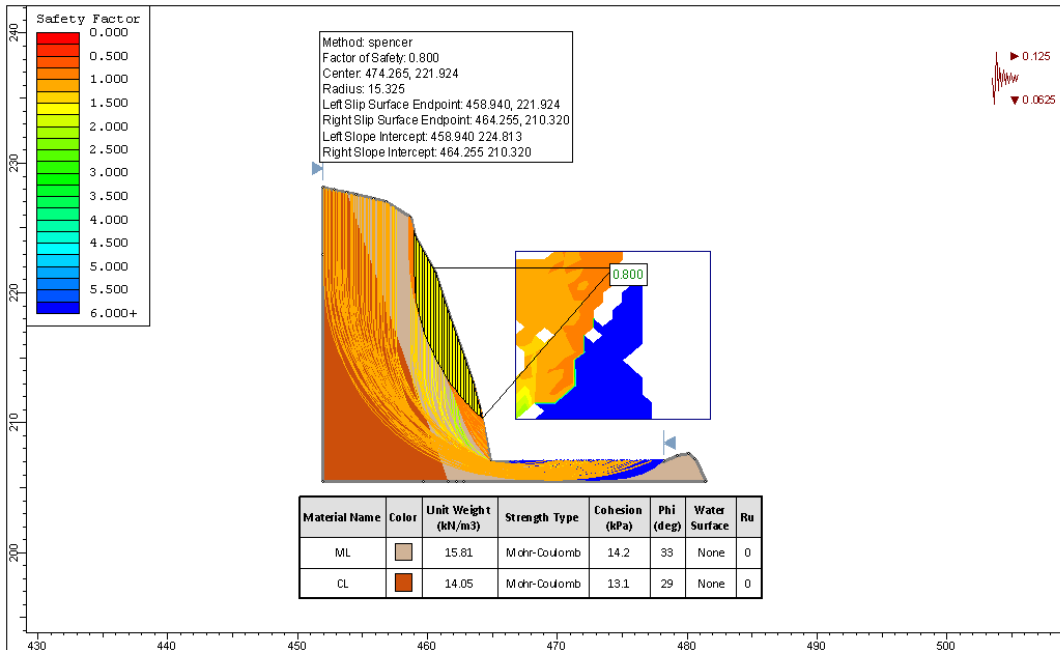


*Nota: El perfil 1 se tiene como resultado con una falla global.*

El análisis de la estabilidad del talud en el Perfil 2 revela un factor de seguridad de 0.800 (figura 26), revelando una anomalía específica. En cuanto al desgaste total, se ha calculado un FS de 1.068 (figura 27). Ambos números están por debajo del  $fs < 1,25$ .

**Figura 26**

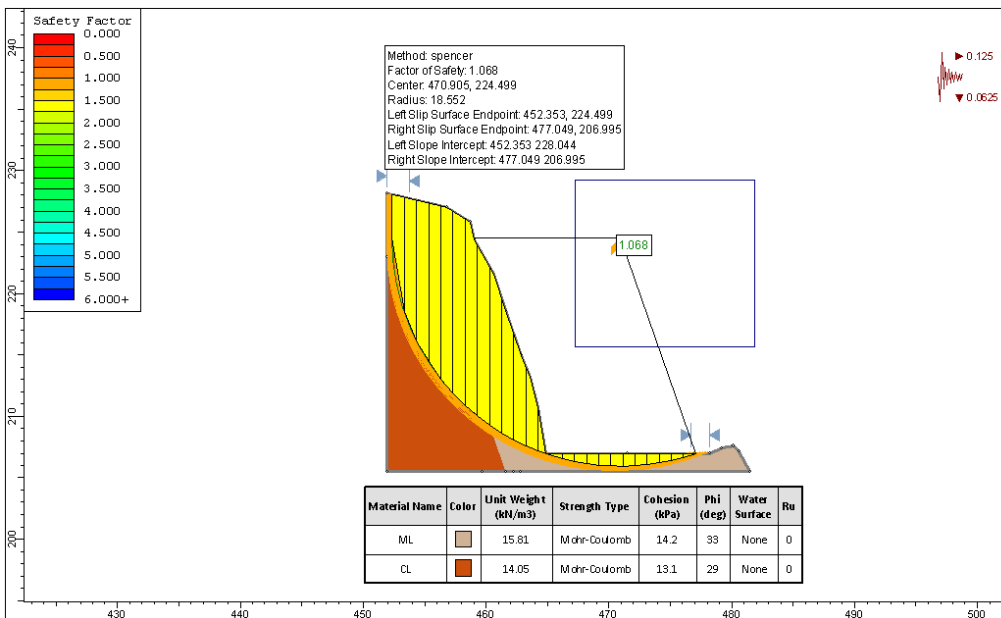
*Análisis Pseudoestático del perfil 2 (Falla Local)*



*Nota: El perfil 2 se tiene como resultado con una falla local.*

**Figura 27**

*Análisis Pseudoestático del perfil 2 (Falla Global)*

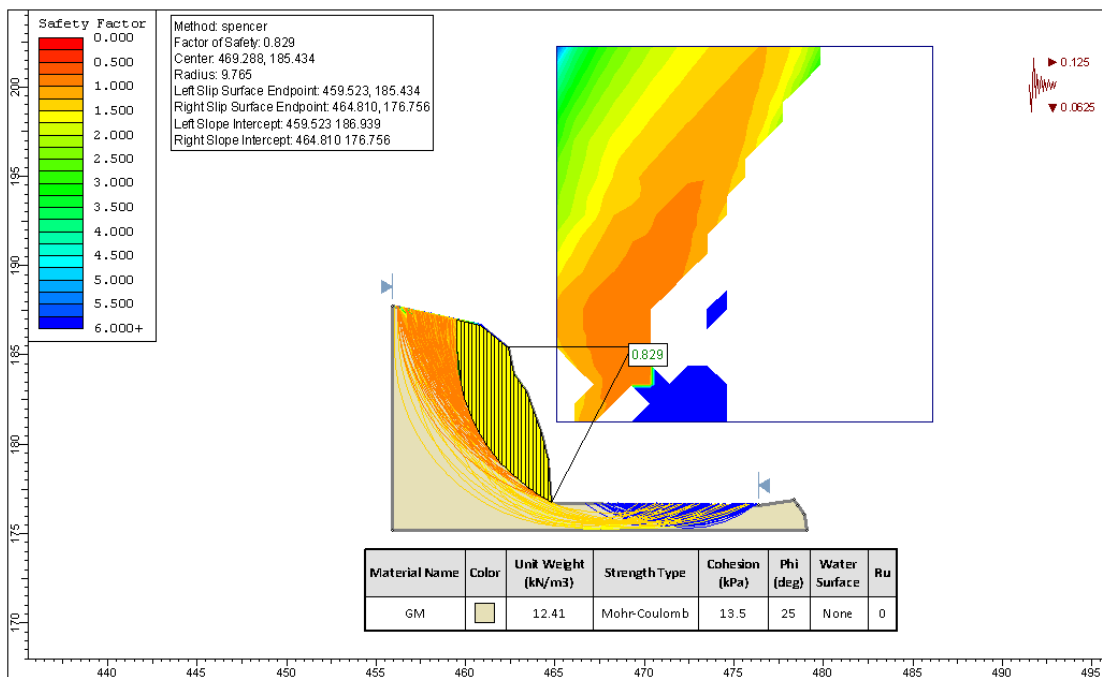


*Nota: El perfil 2 se tiene como resultado con una falla global.*

El análisis de la firmeza del talud en el Perfil 3 revela un factor de seguridad de 0.829 (figura 28), revelando una singularidad singular. Para una catástrofe planetaria, se estima una cifra catastrófica de 1.386 (ver figura 29). La evaluación Pseudoestática del perfil 1 Método Spencer (Falla Global) supera con notable éxito el factor de seguridad de 1,25.

**Figura 28**

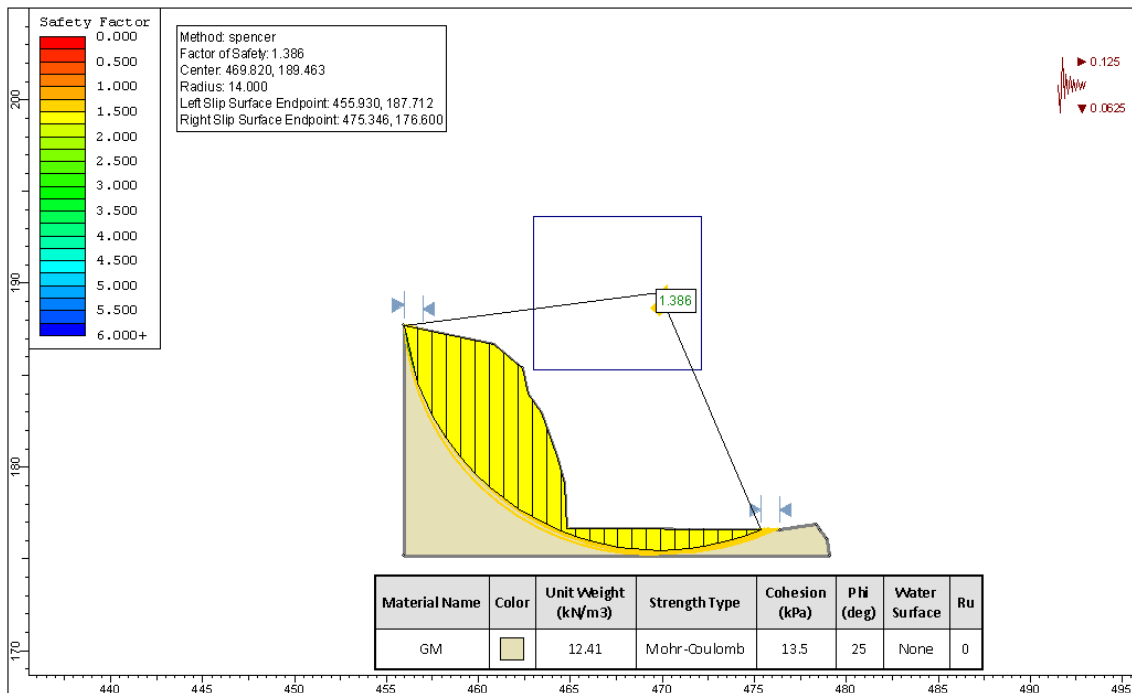
*Análisis Pseudoestático del perfil 3 (Falla Local)*



*Nota: El perfil 3 se tiene como resultado con una falla local.*

**Figura 29**

*Análisis Pseudoestático del perfil 3 (Falla Global)*

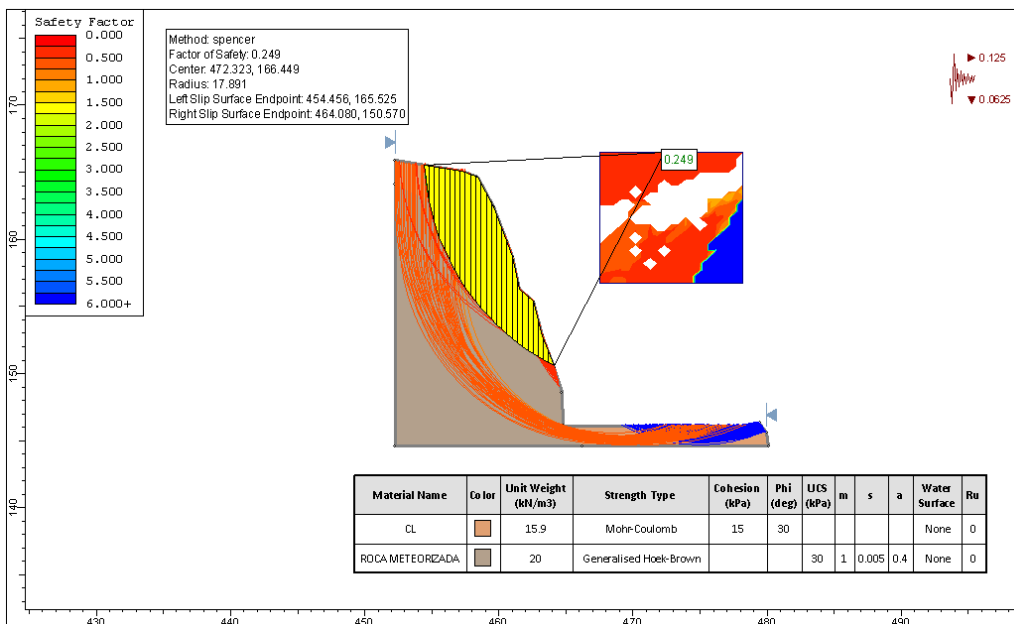


*Nota: El perfil 3 se tiene como resultado con una falla global.*

El estudio del Perfil 4 revela un factor de seguridad de 0.249 (figura 30), desvelando una anomalía particular. En caso de una catástrofe planetaria, se estima un índice de desastre de 0,645 (figura 31). Ambos números caen bajo el umbral de seguridad de 1,25.

**Figura 30**

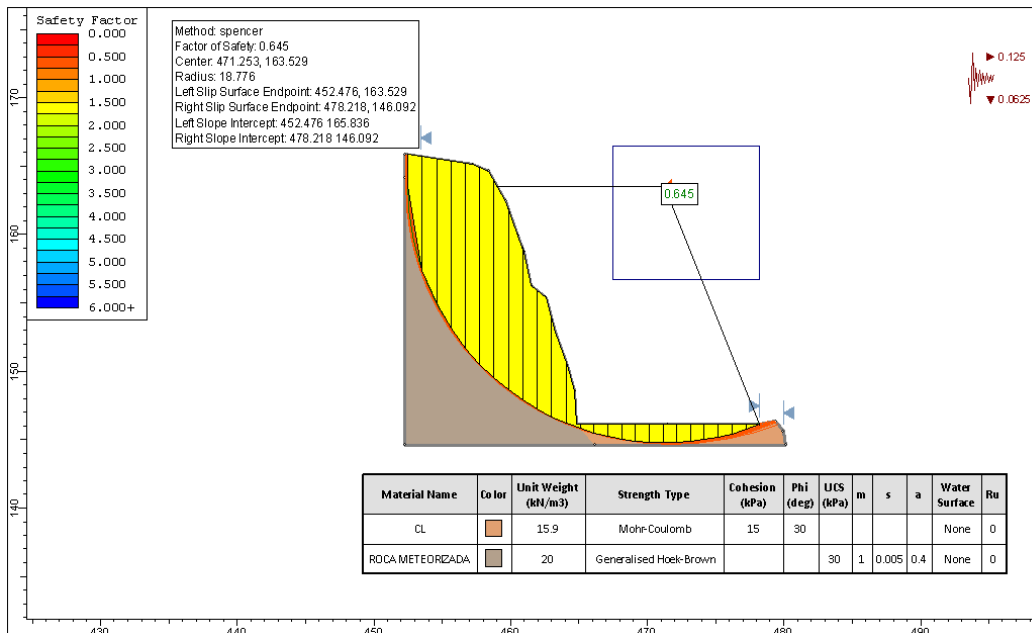
*Análisis Pseudoestático del perfil 4 (Falla Local)*



*Nota: El perfil 4 se tiene como resultado con una falla local.*

**Figura 31**

*Análisis Pseudoestático del perfil 4 (Falla Global)*



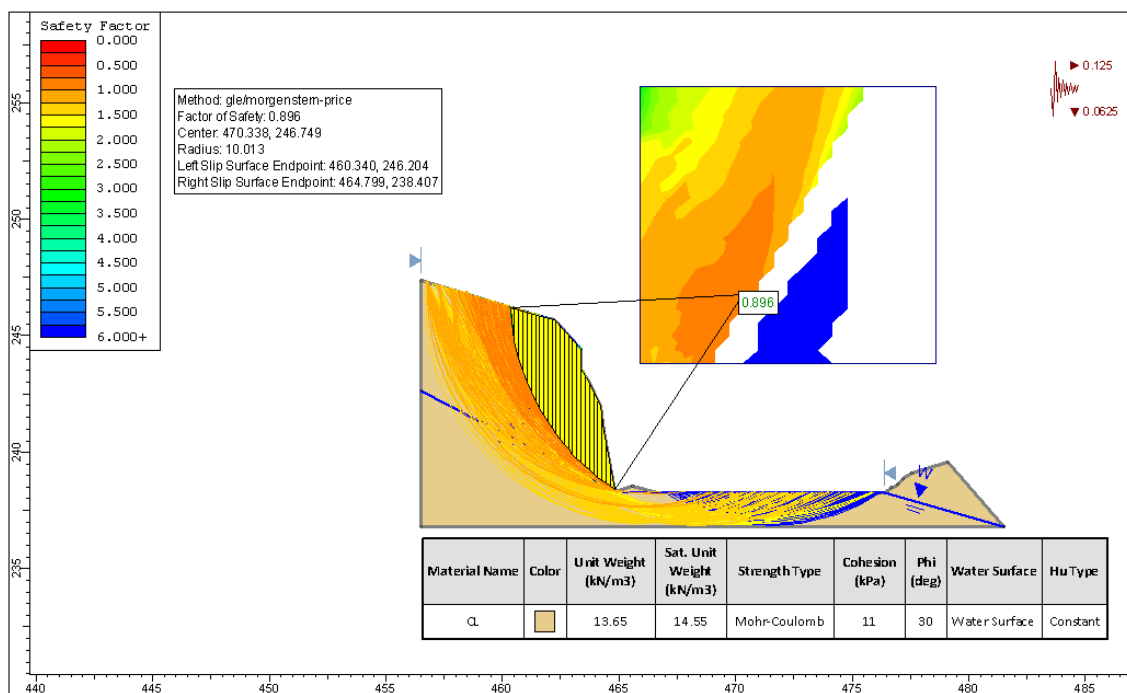
*Nota: El perfil 4 se tiene como resultado con una falla global.*

### 5.3.2 Método Morgenstern-Price

El análisis de pseudoestabilidad del talud el Perfil 1 revela un factor de seguridad de 0.896 (figura 32), desvelando una singularidad. Para una catástrofe planetaria, se estima un desastre global de 1.421 (figura 33). El Método Morgenstern-Price (Falla Global) revela que el análisis Pseudoestático del perfil 1 supera con creces el factor de seguridad de 1,25.

**Figura 32**

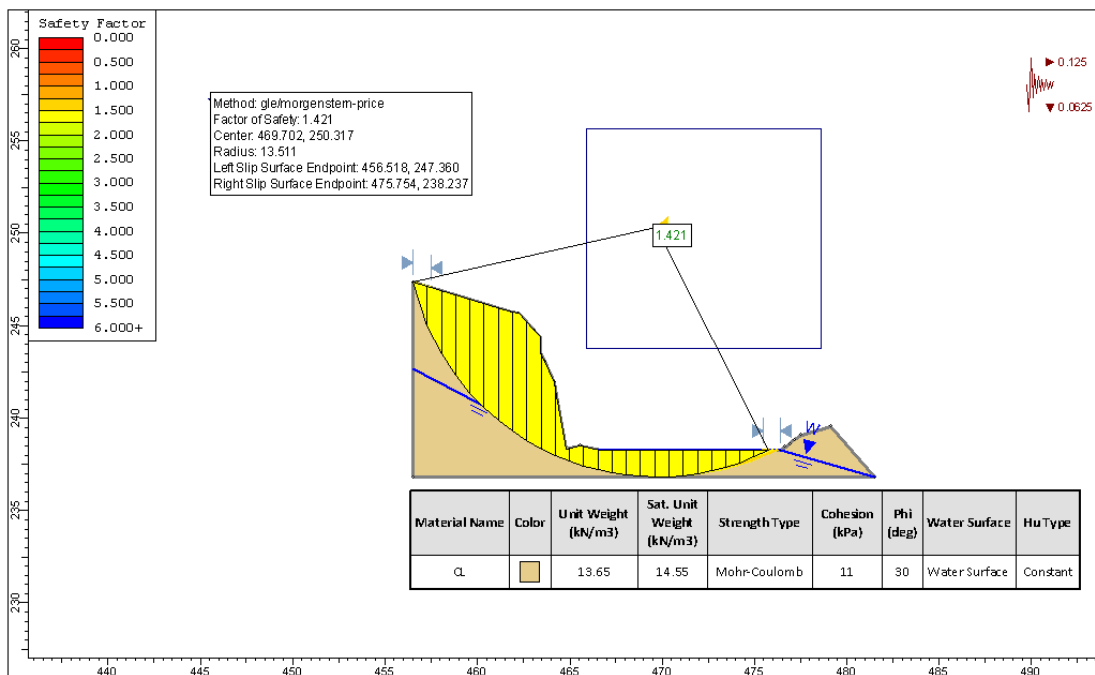
*Análisis Pseudoestático del perfil 1 (Falla Local)*



*Nota: El perfil 1 se tiene como resultado con una falla local.*

Figura 33

## Análisis Pseudoestático del perfil 1 (Falla Global)

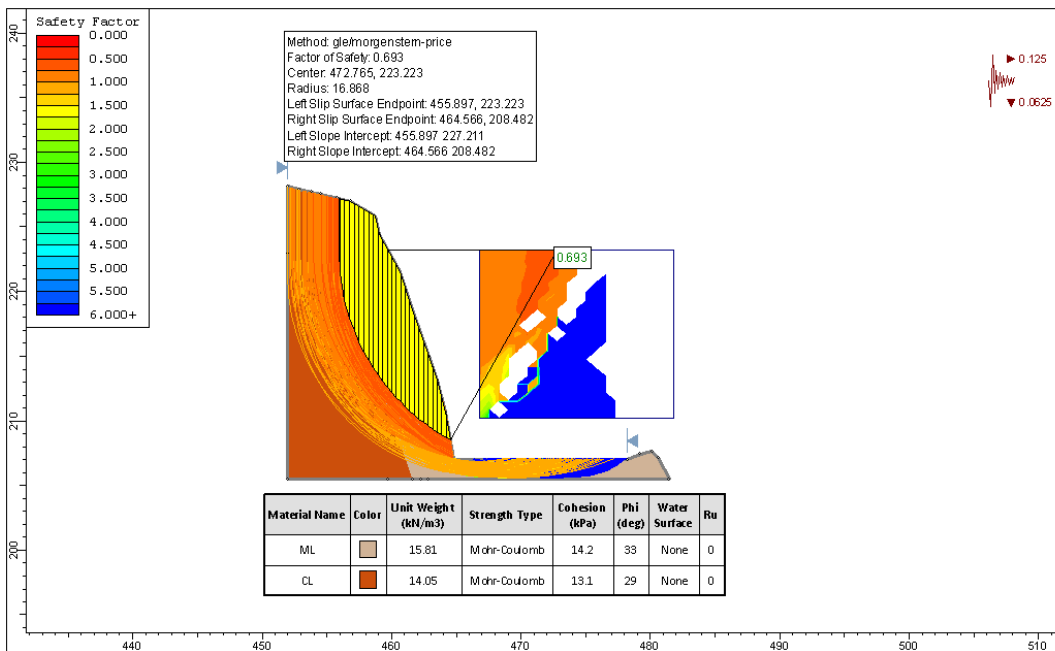


*Nota: El perfil 1 se tiene como resultado con una falla global.*

El estudio de la estabilidad del talud en el Perfil 2 revela un factor de seguridad de 0.693 (figura 34), indicando una anomalía única. Para una anomalía global, se calcula un FS de 1.068 en la figura 35. Ambos valores están por debajo del fs. mínimo de 1,25.

**Figura 34**

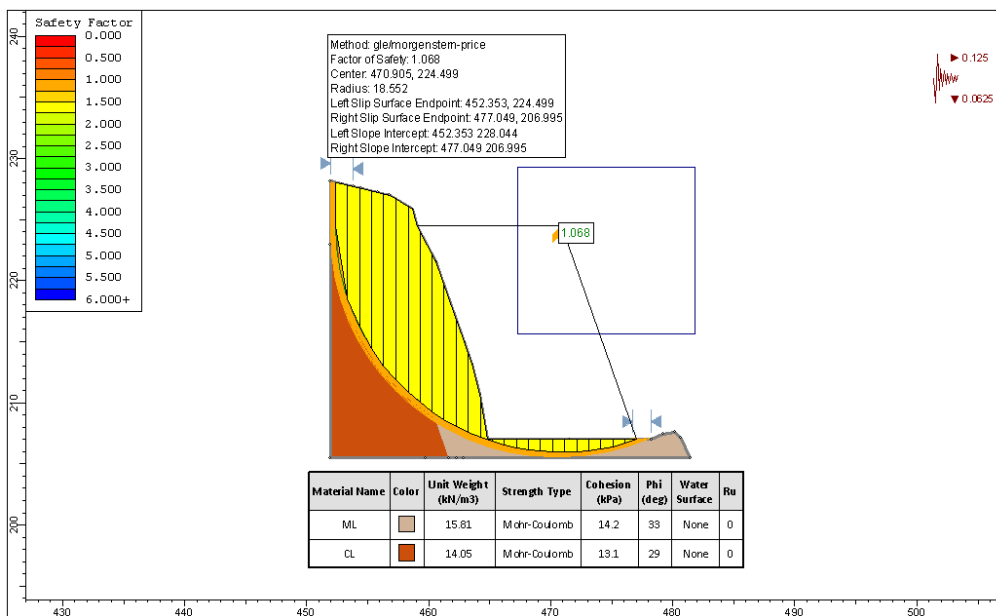
*Análisis Pseudoestático del perfil 2 (Falla Local)*



*Nota: El perfil 2 se tiene como resultado con una falla local.*

**Figura 35**

*Análisis Pseudoestático del perfil 2 Método Morgenstern-Price (Falla Global)*

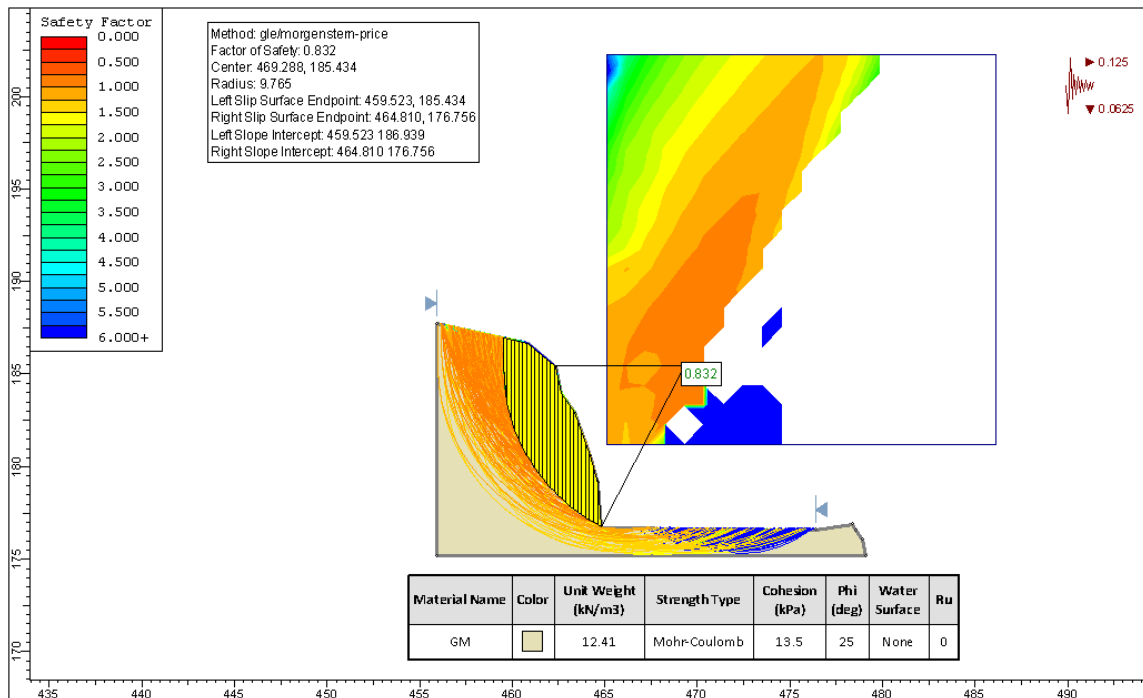


*Nota: El perfil 2 se tiene como resultado con una falla global.*

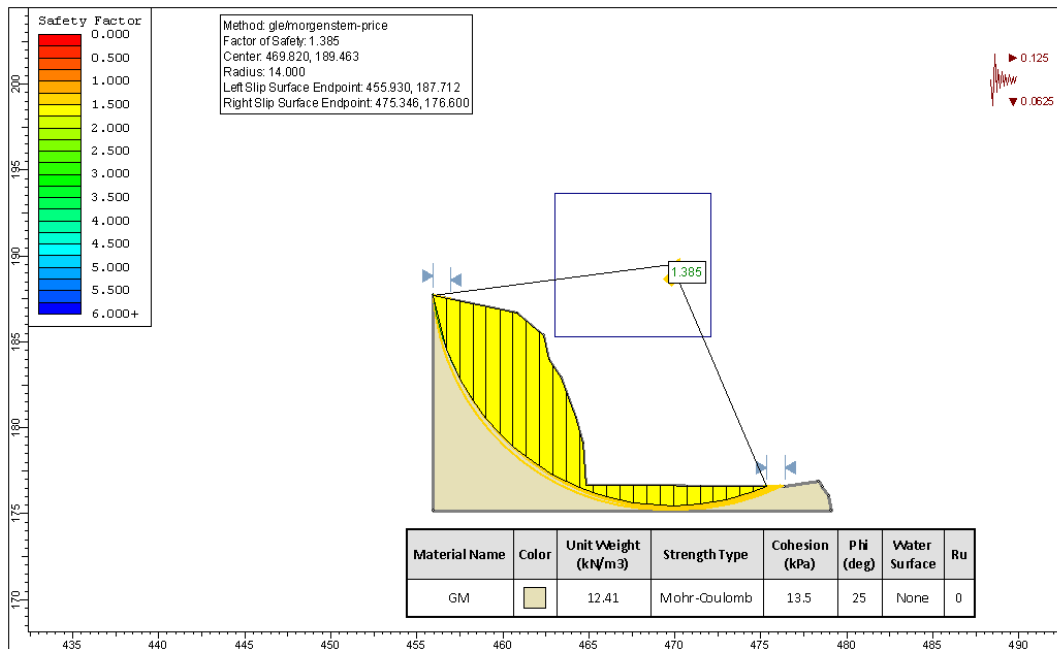
El estudio del Perfil 3 revela un factor de seguridad de 0.832 (figura 36), desvelando una anomalía particular. En el escenario de una catástrofe planetaria, se estima un saldo financiero de 1.385 (figura 37). El Método Morgenstern-Price (Falla Global) revela que el análisis Pseudoestático del perfil 1 supera con creces el factor de seguridad de 1,25.

**Figura 36**

*Análisis Pseudoestático del perfil 3 (Falla Local)*



*Nota: El perfil 3 se tiene como resultado con una falla local.*

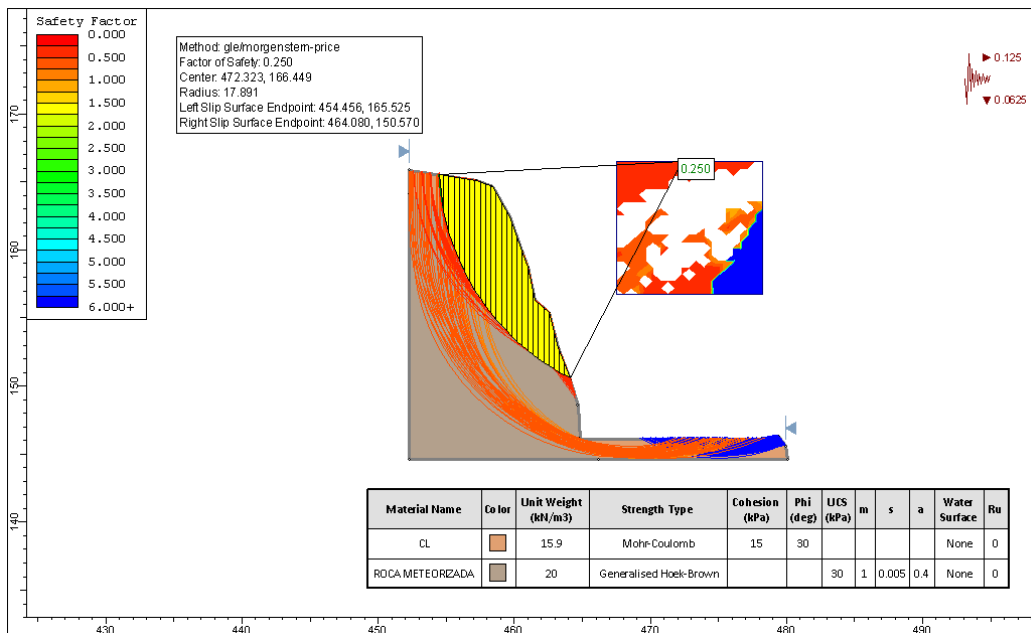
**Figura 37***Análisis Pseudoestático del perfil 3 (Falla Global)*

*Nota: El perfil 3 se tiene como resultado con una falla global.*

Estabilidad pseudoestática del talud el Perfil 4 revela un factor de seguridad de 0.250 (figura 38), revelando una anomalía específica. Para un desastre global, se calcula un FS de 0,668 (figura 39). Ambos números están por debajo del requisito de seguridad de 1,25.

**Figura 38**

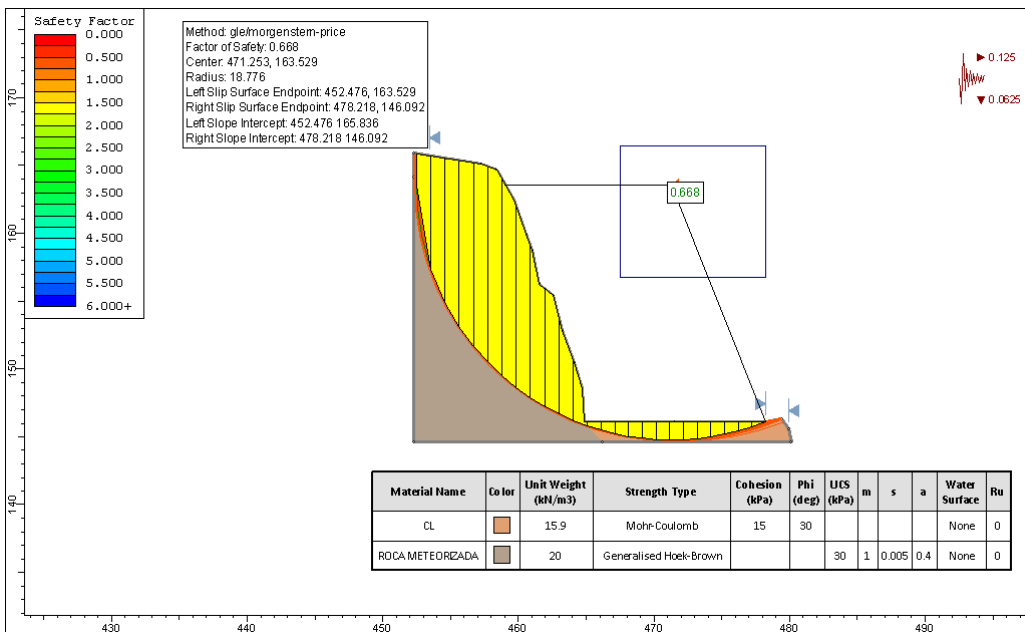
*Análisis Pseudoestático del perfil 4 (Falla Local)*



*Nota: El perfil 4 se tiene como resultado con una falla local.*

**Figura 39**

*Análisis Pseudoestático del perfil 4 (Falla Global)*



*Nota: El perfil 4 se tiene como resultado con una falla global.*

## 5.4 Comparación de resultados

### 5.4.1 Cuadro comparativo de análisis estático

En la tabla 2, exhibe una evaluación constante de los factores de seguridad obtenidos mediante las técnicas de Spencer y Morgenstern-Price, considerando tanto las imperfecciones locales como las globales.

**Tabla 2**

*Comparación del FS en el Análisis Estático*

N° perfil	Método Spencer		Método Morgenstern-Price	
	Falla local	Falla Global	Falla local	Falla Global
Perfil 1	1.114	2.006	1.14	2.005
Perfil 2	0.795	1.138	0.772	1.138
Perfil 3	1.292	1.629	1.314	1.626
Perfil 4	0.266	0.647	0.264	0.676

*Nota: Comparación de resultado por dos métodos.*

### 5.4.2 Cuadro comparativo de análisis Pseudoestático

En la tabla 3, se presenta un análisis pseudoestático basado en las técnicas de Spencer y Morgenstern-Price, considerando tanto las imperfecciones locales como las globales.

**Tabla 3**

*Comparación del FS en el Análisis Pseudoestático*

N° perfil	Método Spencer		Método Morgenstern-Price	
	Falla local	Falla Global	Falla local	Falla Global
Perfil 1	0.887	1.428	0.896	1.421
Perfil 2	0.8	1.068	0.693	1.068
Perfil 3	0.829	1.386	0.832	1.385
Perfil 4	0.249	0.645	0.25	0.668

*Nota: Resultados del FS en los dos métodos.*

## 5.5 Comparación de resultados

### 5.5.1 Cuadro comparativo de análisis estático

En la tabla 4, se evaluó la estabilidad o inestabilidad de los perfiles analizados en condición estática.

**Tabla 4**

*Nivel de estabilidad en condición estático*

N° perfil	Método Spencer			Método Morgenstern-Price		
	Falla local	Falla Global	Nivel de estabilidad	Falla local	Falla Global	Nivel de estabilidad
Perfil 1	1.114	2.006	INESTABLE	1.14	2.005	INESTABLE
Perfil 2	0.795	1.138	INESTABLE	0.772	1.138	INESTABLE
Perfil 3	1.292	1.629	INESTABLE	1.314	1.626	INESTABLE
Perfil 4	0.266	0.647	INESTABLE	0.264	0.676	INESTABLE

*Nota: Evaluación de la estabilidad del talud.*

En la tabla 5, se examina la solidez o fragilidad de los perfiles examinados bajo un escenario de pseudoestabilidad.

**Tabla 5**

*Nivel de estabilidad en condición Pseudoestático*

N° perfil	Método Spencer			Método Morgenstern-Price		
	Falla local	Falla Global	Nivel de estabilidad	Falla local	Falla Global	Nivel de estabilidad
Perfil 1	0.887	1.428	INESTABLE	0.896	1.421	INESTABLE
Perfil 2	0.8	1.068	INESTABLE	0.693	1.068	INESTABLE
Perfil 3	0.829	1.386	INESTABLE	0.832	1.385	INESTABLE
Perfil 4	0.249	0.645	INESTABLE	0.25	0.668	INESTABLE

*Nota: Evaluación de la estabilidad del talud.*

## **5.6 Contratación de hipótesis**

### **5.6.1 Contratación de la primera hipótesis**

H1 = Las particularidades geotécnicas brindan un diseño final más resplandeciente para la valoración del talud.

Se delinear las normas geotécnicas mediante exploraciones a fondo, siguiendo las pautas de la E.0.50 para Suelos y Cimentaciones y la CE.0.20 para la Estabilización de suelos y taludes. En el laboratorio, se llevaron a cabo experimentos que incluyeron un análisis granulométrico con tamizado, una densidad in situ y un corte directo a gran escala. Los descubrimientos de estos estudios se desglosan en los anexos, fundamentándose en informes técnicos específicos de la zona examinada. De esta manera, se confirma la teoría inicial, ya que los ensayos realizados con la información experimental utilizada cumplieron con las normas establecidas y permitieron un análisis detallado del talud.

### **5.6.2 Contratación de la segunda hipótesis**

H2 = La valoración de seguridad del talud se fundamenta en los elementos de protección en condiciones estables y simuladas, calculadas con el programa Slide.

La estabilización de taludes es una ingeniosa técnica geotécnica ideada para garantizar la armonía y la solidez del talud en escenarios de estabilidad y falsedad. Es crucial que el factor de seguridad sea de 1,5 en condiciones de estabilidad y 1,25 en tiempos de sismos, sin tocar este último (Montoya, 2009). De esta manera, los estándares de seguridad y estabilidad obtenidos a través del programa Slide, siguiendo las pautas establecidas, corroboran la autenticidad de los descubrimientos.

### **5.6.2 Contratación de la tercera hipótesis**

H3 = La evaluación de f.s. para fallas globales, realizada con el programa Slide, desvela la robustez del talud.

En nuestra nación, una variedad de normativas fija el coeficiente de seguridad para proyectos geotécnicos, considerando la duración del proyecto y la probabilidad de que el talud sea vulnerable a fluctuaciones estáticas o sismos. La normativa peruana CE.020 sobre Estabilización de suelos y taludes (2012) exige un factor seguridad de 1,5 en condiciones de estabilidad y 1,25 en tiempos de sismos.

Una fractura global se manifiesta cuando la superficie de la fractura emerge alrededor del ocazo del suelo. La hipótesis se confirma, ya que el análisis con el software a Slide reveló los Fs. en escenarios estáticos y pseudoestáticos, revelando que la estabilidad global del talud es 1.112 y FS:1.114, empleando técnicas de cálculo basadas en las leyes de la estabilidad.

## VI. Conclusiones

### Conclusión General

Al explorar la estabilidad en escenarios estáticos y pseudoestáticos, se alcanzaron los hallazgos que se detallan en las tablas 1 y 2. En escenarios rígidos, los perfiles 1, 2, 3 y 4 fueron considerados inestables. En un entorno pseudoestático, todos los perfiles (1, 2, 3 y 4) se muestran inestables en ambos métodos de análisis.

### Conclusiones Específicas

1. El análisis de estabilidad del talud en condición estática son los siguientes factores de seguridad (F.S.) para fallas locales: 1.114, 0.795, 1.292 y 0.266 según el método de Spencer, y 1.14, 0.772, 1.314 y 0.264 según el método de Morgenstern-Price. Los resultados indican que los perfiles 1, 2, 3 y 4 y 6 son inestables en ambos métodos.

Posteriormente, el análisis de estabilidad en condición pseudoestática mostró los siguientes factores de seguridad para fallas locales: 0.887, 0.800, 0.829 y 0.249 según el método de Spencer, y 0.896, 0.693, 0.832 y 0.25 según el método de Morgenstern-Price. Estos resultados evidencian que todos los perfiles (1, 2, 3 y 4) se encuentran en condición inestable en ambos métodos.

2. El análisis de estabilidad del talud en condición estática resultó los siguientes factores de seguridad (F.S.) para fallas globales: 2.006, 1.138, 1.629 y 0.647 según el método de Spencer, y 2.005, 1.138, 1.626 y 0.676 según el método de Morgenstern-Price. Los resultados indican que los perfiles 1, 2, 3, y 4 son inestables en ambos métodos.

Posteriormente, el análisis de estabilidad en condición pseudoestática mostró los siguientes factores de seguridad para fallas globales: 1.428, 1.068, 1.386 y 0.645 según el método de Spencer, 1.421, 1.068, 1.385 y 0.668 según el método de Morgenstern-Price. Estos resultados evidencian que todos los perfiles (1, 2, 3 y 4) se encuentran en condición inestable en ambos métodos.

## VII. Recomendaciones

Tras examinar los taludes, se descubrió que todos exhiben una inestabilidad en un estado de pseudoestático. Por fin, se sugiere utilizar técnicas de estabilización como la hidrosiembra, que no solo fortalecería el talud, sino que también transformaría la apariencia visual del área analizada. En escenarios extremos, se propone levantar (muros de gaviones) para evitar el desliz de rocas en el área analizada (del km 8+611 al 9+348 de la Vía evitamiento Abancay-Apurímac).

Se empleó el programa Slide para detectar las carencias tanto locales como globales en el talud analizado, pues permite calcular los factores de seguridad y definir la zona de riesgo a partir de toda la arquitectura del terreno. Asimismo, este programa ofrece una variedad de enfoques analíticos, como los de Spencer y Morgenstern-Price, entre otros. Su interfaz es cristalina e intuitiva, facilitando su uso. Por lo tanto, Slide 6.0 se erige como una herramienta ideal para realizar análisis en taludes.

Para desentrañar la estabilidad del talud con mayor exactitud, se sugiere examinar las fallas globales, pues esta metodología permite desentrañar la ruptura desde su cimiento y desentrañar en detalle los estratos que lo conforman.

Para lograr un análisis exacto de la estabilidad de un talud, es crucial que los experimentos en laboratorio y las observaciones en el terreno se lleven a cabo con precisión. Es imperativo que los instrumentos empleados estén impecables y perfectamente calibrados. Asimismo, el equipo encargado de su manipulación debe tener la formación técnica necesaria. En consecuencia, los datos geotécnicos obtenidos serán más precisos y fieles a la realidad.

### VIII. Referencias

- Alarcón, J., & Meza, H. (2020). *Análisis de estabilidad de taludes con métodos numéricos y software geotécnico*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Veleriano Nina, F. A. (2014). *Estabilidad de taludes en roca: caracterización geotécnica e identificación de modos de falla en el Cerro Espinal*. Universidad Nacional del Altiplano. Repositorio Institucional. [https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/20.500.14082/2297/1/Veleriano\\_Nina\\_Fredy\\_Alonso.pdf](https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/20.500.14082/2297/1/Veleriano_Nina_Fredy_Alonso.pdf).
- Bravo Oscoco, P. (2020). *Análisis estratégico y evaluación, "estabilidad de taludes del Ccaccañan" distrito Tambobamba, provincia de Cotabambas - región Apurímac periodo 2019* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional UNSAAC. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/5737>.
- Briceño, H., Rodríguez, A., Galvis, D., & Moncada, A. (2023). *Análisis de estabilidad de taludes de secciones típicas en la construcción de carreteras a través de modelos numéricos*. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/376580292\\_Analisis\\_de\\_estabilidad\\_de\\_taludes\\_de\\_secciones\\_tipicas\\_en\\_la\\_construccion\\_de\\_carreteras\\_a\\_traves\\_de\\_modelos\\_numerico](https://www.researchgate.net/publication/376580292_Analisis_de_estabilidad_de_taludes_de_secciones_tipicas_en_la_construccion_de_carreteras_a_traves_de_modelos_numerico).
- Budhu, M. (2011). *Soil Mechanics and Foundations (3rd ed.)*. John Wiley & Sons.
- Budhu, M. (2015). *Soil mechanics and foundations (3rd ed.)*. John Wiley & Sons.
- Cacha Vega, A y Lucar Mozo, M. (2024). *Evaluación geotécnica para estabilizar el talud activo en la vía de evitamiento en Abancay*. Universidad Ricardo Palma - URP. Disponible en: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/8386>.

- CISMID. (2019). *Zonificación sísmica del Perú y parámetros de diseño*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Coduto, D. P. (2010). *Geotechnical Engineering: Principles and Practices* (2nd ed.). Pearson.
- Craig, R. F. (2004). *Craig's Soil Mechanics* (7th ed.). Spon Press.
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). *Landslides: Investigation and Mitigation*. National Academy Press.
- Das, B. M., & Sivakugan, N. (2017). *Principles of Geotechnical Engineering* (9th ed.). Cengage Learning.
- Duncan, J. M., & Wright, S. G. (2005). *Soil Strength and Slope Stability*. John Wiley & Sons.
- FHWA. (2003). *Soil Slope and Embankment Design*. U.S. Department of Transportation.
- Flores Gavidia, L. E., & Pizarro Ramon, B. J. (2022). *Análisis de estabilidad del talud en condiciones estáticas y pseudoestáticas para determinar el nivel de seguridad en la Costa Verde*. Universidad Ricardo Palma. Repositorio Institucional. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/6777>.
- Fredlund, D. G., & Rahardjo, H. (1993). *Soil Mechanics for Unsaturated Soils*. Wiley-Interscience.
- Gidahatari. (2021). *Fallas en taludes: Clasificación e implicancias geotécnicas*. <https://www.gidahatari.com/GEOTECNIA>.
- Gobierno Regional de Apurímac (GORE Apurímac). (2023). *Plan de prevención y reducción del riesgo de desastres 2023–2026*. Subgerencia de Defensa Civil y Gestión de Riesgos.

- Griffiths, D. V., & Lane, P. A. (1999). *Slope stability analysis by finite elements*. Géotechnique, 49(3), 387–403.
- Hoek, E., & Bray, J. W. (1981). *Rock Slope Engineering (3rd ed.)*. Institution of Mining and Metallurgy.
- Instituto Geofísico del Perú (IGP). (2023). *Reporte de sismicidad regional 2018–2023*. <https://www.igp.gob.pe>.
- Jibson, R. W. (1993). *Predicting earthquake-induced landslide displacements*. TRR, 1411, 9–17.
- Lema Rodríguez, A. & Moreira García, B. (2023). *Análisis comparativo para estabilizar talud de suelo, utilizando métodos de estabilidad en condiciones estáticas y pseudoestáticas*. Universidad Estatal del Sur de Manabí. <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/7156>.
- Lozano Apaza, F. (2024). *Estabilidad de taludes por el método de análisis probabilístico para el control de laderas en la junta vecinal San Antonio en la provincia de Atalaya-Ucayali*. Universidad Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/16123>.
- Medina Núñez, L. E. (2020). *Estabilización de taludes de gran altura analizados mediante métodos de equilibrio límite, carretera Taquebamba - San Mateo, Aymaraes, Apurímac 2020* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/43150>.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2018). *Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia*. Dirección General de Caminos.

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2022). *Informe técnico de conservación vial – Vía de evitamiento de Abancay, tramo km 8+611 al km 9+348*. Dirección Desconcentrada de Apurímac.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2018). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia*.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). *Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma Técnica E.050: Suelos y Cimentaciones*. Lima, Perú: MVCS.
- Montúfar Chiriboga, G. J. (2025). *Estudio de la estabilidad de taludes en Panamá bajo diferentes condiciones de carga utilizando elementos finitos*. *Revista Saberes APUDEP*. Universidad de Panamá. [https://revistas.up.ac.pa/index.php/saberes\\_apudep/article/view/6780](https://revistas.up.ac.pa/index.php/saberes_apudep/article/view/6780).
- Mucuta-Lito, Y., Cartaya-Pires, A., & Watson-Quesada, E. (2020). *Evaluación de estabilidad en taludes del yacimiento Castellano mediante el cálculo del coeficiente de seguridad*. *Universidad de Moa, Cuba*. Publicado en SciELO. [https://revistas.up.ac.pa/index.php/saberes\\_apudep/article/view/6780](https://revistas.up.ac.pa/index.php/saberes_apudep/article/view/6780).
- Mujica, J., & Reymundo, J. (2022). *Análisis de estabilidad de taludes desde el Puente Posanca hasta el Poblado Licahuasi de la carretera LM 111 en el distrito de Arahua*. Universidad Tecnológica del Perú. [https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/6737/J.Mujica\\_J.Reymundo\\_Tesis\\_Titulo\\_Profesional\\_2022.pdf?isAllowed=y&sequence=1](https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/6737/J.Mujica_J.Reymundo_Tesis_Titulo_Profesional_2022.pdf?isAllowed=y&sequence=1).
- MVCS. (2018). *Reglamento Nacional de Edificaciones - Norma Técnica E.050*.
- Parra-Garay, S. A., Niebles-Gil, G. A., Giraes-Puerta, D. I., & Manco Jaraba, D. C. (2025). *Análisis de estabilidad bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas del Cerro*

- Bunkuamake, Corregimiento Atánquez (Colombia)*. Revista EIA, 22(43), 1–17.  
<https://revistas.eia.edu.co/index.php/reveia/article/view/1786>.
- Pineda, F., & Gamarra, R. (2021). *Influencia de parámetros geotécnicos en la estabilidad de taludes*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Potts, D. M., & Zdravkovic, L. (2001). *Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering*. Thomas Telford.
- Revista Seguridad Minera. (2020). *Fallas que afectan la estabilidad de taludes*.  
<https://revistaseguridadminera.com>.
- Rico, A., & Ramírez, M. (2021). *Estudio de modos de falla en taludes de suelos tropicales*. Universidad de Antioquia.
- Rocscience. (2022). *Slide2 – Limit Equilibrium Slope Stability Software*.  
<https://www.rocscience.com>.
- Rodríguez, L., & Lazo, M. (2022). *Evaluación pseudoestática de taludes en zonas sísmicas*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Romero Alosilla, Y. E. (2021). *Análisis de estabilidad del talud compuesto de puzolana ubicado en el sector de Rumicolca - Cusco*. Universidad Continental. Repositorio Institucional.  
[https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12337/4/IV\\_FIN\\_105\\_TE\\_Romero\\_Alosilla\\_2021.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12337/4/IV_FIN_105_TE_Romero_Alosilla_2021.pdf).
- Selby, M. J. (1993). *Hillslope Materials and Processes (2nd ed.)*. Oxford University Press.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2023). Reporte anual de precipitaciones – Estación Abancay. <https://www.senamhi.gob.pe>
- Wyllie, D. C., & Mah, C. W. (2004). *Rock Slope Engineering (4th ed.)*. CRC Press.

- Zavala, J., & Córdova, A. (2021). *Estabilidad de taludes en regiones andinas con actividad sísmica*. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.
- Zegarra, L., & Huamán, C. (2022). *Análisis geológico-geotécnico de fallas en taludes*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Zuloaga Ayuda. (2022). *Análisis sísmico pseudo\*\*estático en taludes: métodos y recomendaciones*. <https://ayuda.zuloaga.online>.
- Craig, R. F. (2004). *Craig's Soil Mechanics (7th ed.)*. Spon Press.
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). *Landslides: Investigation and Mitigation*. National Academy Press.
- CISMID. (2019). *Zonificación sísmica del Perú y parámetros de diseño*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Das, B. M., & Sivakugan, N. (2017). *Principles of Geotechnical Engineering (9th ed.)*. Cengage Learning.
- Duncan, J. M., & Wright, S. G. (2005). *Soil Strength and Slope Stability*. John Wiley & Sons.
- Fredlund, D. G., & Rahardjo, H. (1993). *Soil Mechanics for Unsaturated Soils*. Wiley-Interscience.
- FHWA. (2003). *Soil Slope and Embankment Design*. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- Flores, L., & Pizarro, R. (2022). *Análisis de estabilidad del talud en condiciones estáticas y pseudoestáticas para determinar el nivel de seguridad en la Costa Verde*. Universidad Ricardo Palma.

- Griffiths, D. V., & Lane, P. A. (1999). *Slope stability analysis by finite elements*. Géotechnique, 49(3), 387–403.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). (2018). *Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma Técnica E.050: Suelos y Cimentaciones*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2018). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia*.
- Pérez, G. (2021). *Análisis de estabilidad de taludes en la carretera Panamericana Norte, Ecuador [Tesis de pregrado]*. Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- Rocscience. (2022). *Slide2 – Limit Equilibrium Slope Stability Software*.  
<https://www.rocscience.com>
- Wyllie, D. C., & Mah, C. W. (2004). *Rock Slope Engineering (4th ed.)*. CRC Press.
- Zegarra, L., & Huamán, C. (2022). *Análisis geológico-geotécnico de fallas en taludes*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Coduto, D. P. (2010). *Geotechnical Engineering: Principles and Practices (2nd ed.)*. Pearson.
- Craig, R. F. (2004). *Craig's Soil Mechanics (7th ed.)*. Spon Press.
- CISMID. (2019). *Zonificación sísmica del Perú y parámetros de diseño*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Duncan, J. M., & Wright, S. G. (2005). *Soil Strength and Slope Stability*. John Wiley & Sons.
- Griffiths, D. V., & Lane, P. A. (1999). *Slope stability analysis by finite elements*. Géotechnique, 49(3), 387–403.

Rocscience. (2022). *Slide2 – Limit Equilibrium Slope Stability Software*.  
<https://www.rocscience.com>

Wyllie, D. C., & Mah, C. W. (2004). *Rock Slope Engineering* (4th ed.). CRC Press.

Zuloaga Ayuda. (2022). *Análisis sísmico pseudoestático en taludes*.  
<https://ayuda.zuloaga.online>.

Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica* (6.ª ed.). Episteme.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.

ASTM International. (2021). *Annual Book of ASTM Standards – Section 4: Construction*.  
ASTM.

Rocscience. (2022). *Slide2 – Limit Equilibrium Slope Stability Software*.  
<https://www.rocscience.com>.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). *Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma Técnica E.050 y E.030*.

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes