



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES
DE LA CARRETERA SINA YANAHUAYA DISTRITO SINA
Y YANAHUAYA PROVINCIA DE SAN PEDRO DE
MOHO Y SANDIA REGIÓN PUNO**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. JOEL DENILSON CARRERA POMA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

JULIACA - PERÚ

2025



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES
DE LA CARRETERA SINA YANAHUAYA DISTRITO SINA
Y YANAHUAYA PROVINCIA DE SAN PEDRO DE
MOHO Y SANDIA REGIÓN PUNO**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. JOEL DENILSON CARRERA POMA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

: 
Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

PRIMER MIEMBRO

: 
Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

SEGUNDO MIEMBRO

: 
Dr. ARNALDO YANA TORRES

ASESOR DE TESIS

: 
Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1546-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 17 de noviembre del 2025

VISTOS. - El expediente N° 2025-CU-8135, presentado por el señor (a) JOEL DENILSON CARRERA POMA solicitando cambio de jurado de la NOMINACION DE JURADO Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA, la RESOLUCIÓN DECANAL N° 698-2025-D-UI-FICP-UANCV y el Proveído del Director de la Unidad de Investigación de la FICP, para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bachiller: **JOEL DENILSON CARRERA POMA** ha solicitado cambio de jurado de la nominación de jurados y programación de fecha y hora de sustentación del Informe Final de la investigación (tesis) titulada: **ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA CARRETERA SINA YANAHUAYA DISTRITO SINA Y YANAHUAYA PROVINCIA DE SAN PEDRO DE MOHO Y SANDIA REGIÓN PUNO** aprobado con la RESOLUCIÓN DECANAL N° 698-2025-D-UI-FICP-UANCV llevada a cabo el 13 de julio; conformado por los siguientes Docentes:

✓	Presidente	: Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
✓	1er. Miembro	: Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
✓	2do. Miembro	: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Que, el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras ha tomado conocimiento que él, **presidente** no tiene vínculo laboral (suspendido temporalmente) en la Facultad de Ingenierías y ciencias Puras según RESOLUCIÓN N° 202-2025-D-UANCV-CU-R, RESOLUCIÓN N° 219-2025-D-UANCV-CU-R y RESOLUCIÓN N° 215-2025-D-UANCV-CU-R y a fin de no perjudicar a él (la) bachiller, emitió el proveído favorable del cambio de jurado de la terna, conforme lo establece el Reglamento, y;

Estando, a los documentos de VISTOS, mediante el cual informa la designación de la nueva terna; el mismo que deberá actuar según el Reglamento, con fines de obtención de grados académicos y títulos profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

Estando, con la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTICULO PRIMERO. - APROBAR, el cambio del **presidente** designado a él (la) bachiller: **JOEL DENILSON CARRERA POMA**, titulada: **ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA CARRETERA SINA YANAHUAYA DISTRITO SINA Y YANAHUAYA PROVINCIA DE SAN PEDRO DE MOHO Y SANDIA REGIÓN PUNO**, corresponde a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN** para optar el título profesional de **Ingeniero Civil**, La nueva conformación de la terna de jurados es la siguiente:

✓	Presidente	: Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
✓	1er. Miembro	: Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
✓	2do. Miembro	: Dr. ARNALDO YANA TORRES

ARTICULO SEGUNDO. - RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a) la docente **Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES**.

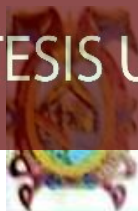
ARTICULO TERCERO. - APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS**; del informe final de la investigación (tesis), de acuerdo al siguiente detalle:

✓	FECHA	: martes 02 de diciembre del 2025
✓	HORA	: 10:00 horas
✓	LUGAR	: Aula 306 - FICP

ARTICULO CUARTO. - **DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURASDr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



RESOLUCIÓN DECANAL N° 202-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 02 de abril del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU - 18192 por el señor (a): JOEL DENILSON CARRERA POMA quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 089 - 2025-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS) formato N° 019- 2025 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): JOEL DENILSON CARRERA POMA, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA CARRETERA SINA YANAHUAYA DISTRITO SINA Y YANAHUAYA PROVINCIA DE SAN PEDRO DE MOHO Y SANDIA REGIÓN PUNO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Dr. Arnaldo Yana Torres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 019- 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA CARRETERA SINA YANAHUAYA DISTRITO SINA Y YANAHUAYA PROVINCIA DE SAN PEDRO DE MOHO Y SANDIA REGIÓN PUNO**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): JOEL DENILSON CARRERA POMA, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA CARRETERA SINA YANAHUAYA DISTRITO SINA Y YANAHUAYA PROVINCIA DE SAN PEDRO DE MOHO Y SANDIA REGIÓN PUNO** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), Dr. EFRAIN PARILLO SOSA.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

M. Sc. WALTER J. LIZARRAGA APMAZA
DECANO (e)
CIP: 70808



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc:
Archivo
interesado (a)

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 178-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 18 de abril del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU-3015, presentado por el señor (a) JOEL DENILSON CARRERA POMA solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO - N° 189-2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 73 -2024 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) estudiante: JOEL DENILSON CARRERA POMA ha presentado su propuesta de investigación Titulado: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA CARRETERA SINA YANAHUAYA DISTRITO SINA Y YANAHUAYA PROVINCIA DE SAN PEDRO DE MOHO Y SANDIA REGIÓN PUNO, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Mgtr. Arnaldo Yana Torres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 73 -2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA CARRETERA SINA YANAHUAYA DISTRITO SINA Y YANAHUAYA PROVINCIA DE SAN PEDRO DE MOHO Y SANDIA REGIÓN PUNO.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R y en mérito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN, presentado por el o (la) Bachiller: JOEL DENILSON CARRERA POMA, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA CARRETERA SINA YANAHUAYA DISTRITO SINA Y YANAHUAYA PROVINCIA DE SAN PEDRO DE MOHO Y SANDIA REGIÓN PUNO correspondiente a la línea de investigación TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente Dr. EFRAIN PARILLO SOSA.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.


Dr. MILTON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790
Dr. Efraim Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓNcc
Archivo 30/24
Interrogado (a)



JOEL DENILSON CARRERA POMA

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA CARRETERA SINA YANAHUAYA DISTRITO SINA Y YAN...

 TESIS DE PREGRADO

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::13016:553749881

Fecha de entrega

6 feb 2026, 11:18 GMT-5

Fecha de descarga

8 feb 2026, 23:18 GMT-5

Nombre del archivo

T036_74309671_T.docx

Tamaño del archivo

16.9 MB

129 páginas

15.851 palabras

88.646 caracteres



TESIS UANCV

16% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 15%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 15%  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 complementarios

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA CARRETERA SINA YANAHUAYA DISTRITO SINA Y YANAHUAYA PROVINCIA DE SAN PEDRO DE MOHO Y SANDIA REGIÓN PUNO	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	JOEL DENILSON CARRERA POMA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	74309671
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0005-3279-150X
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	0244287
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8509-7224
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02371550
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676



Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología De La Construcción - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Pedro de Moho Distrito: Yanahuaya Coordenadas: Latitud: -14.4538616 Longitud: -69.5992276 https://maps.app.goo.gl/95DfhluGvfNu8qz9 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Abril 2024 – Julio 2025
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería Civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00 Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03



UNIVERSIDAD DEL CUSCO "MISERICORDIA Y VERDAD"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS EXACTAS
Dr. Fritz Wally Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo JOEL DENILSON CARRERA POMA, identificado con DNI
Nro. 74309671 en mi condición de egresado de:

- ☒ Escuela Profesional
☐ Programa de Segunda Especialidad,
☐ Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la ☒ Tesis o ☐ Trabajo de Investigación, ☐ Trabajo Académico
denominada:

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA CARRETERA SINA
YANAHUAYA DISTRITO SINA Y YANAHUAYA PROVINCIA DE SAN PEDRO DE MOHO Y
SANDIA REGIÓN PUNO

Asesorado por: Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 03 de DICIEMBRE del 2025


Firma del Asesor
(obligatoria)


FIRMA (obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

Dedico mi trabajo a mi familia, quienes me han ayudado a ser una mejor persona y profesional brindándome un apoyo inquebrantable y una dedicación constante.

CARRERA POMA JOEL DENILSON

A mi familia, que siempre supo cómo ayudarme a culminar mi carrera profesional ofreciéndome orientación y apoyo.

Quiero expresar mi gratitud a mis profesores por el tiempo, el apoyo y los conocimientos que adquirí durante mis estudios universitarios. Estamos especialmente agradecidos a nuestro asesor de tesis por su orientación y el tiempo que dedicó a este estudio.

Agradezco a todos mis amigos que, directa e indirectamente, ayudaron a dar forma a esta investigación con su orientación, apoyo y enseñanzas. Quisiera agradecer especialmente a mi compañero de tesis por su dedicación durante todo el proceso de escritura, lo que me permitió finalizar esta tesis.

Sobre todo, damos gracias a Dios por su infinita bondad, por estar siempre con nosotros y por su fortaleza diaria.

Gracias a nuestro asesor por su paciencia y perseverancia; sin su guía profesional, sus habilidades y su esfuerzo, esta tarea no habría sido posible.

A todos los que nos brindaron apoyo directo o indirecto en el desarrollo de este proyecto, por su amistad, apoyo y su inmensa compasión.

Y queremos expresar nuestra gratitud a todos los que hicieron posible esta iniciativa.



AGRADECIMIENTO

Doy las gracias a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la UANCV por proporcionarme las herramientas y la formación que necesito para alcanzar el éxito.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	xiv

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1.1 Descripción del problema.....	1
1.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA.....	3
1.2.1 Problema general	3
1.2.2. Problemas específicas	4
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	4
1.3.1. Justificación técnica	4
1.3.2. Justificación social	5
1.3.3. Justificación por la viabilidad	5
1.3.4. Justificación por relevancia.....	6
1.4. LIMITACIONES DEL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN	6
1.5. OBJETIVOS	8
1.5.1. Objetivo general.....	8
1.5.2. Objetivos específicos	8



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES	9
2.1.1 Antecedentes a nivel nacional	9
2.2.1 Talud.....	14
2.2.3 Tipos de taludes	15
2.2.4 Factores requeridos en el análisis de estabilidad	16
2.2.5. Propiedades físico mecánicas de los suelos	18
2.2.6. Ensayos de laboratorio	19
2.2.7. Topografía	24
2.2.8. Factores de seguridad	25
2.2.9. Obtención de factores de seguridad	26
2.2.10 Metodologías para el análisis de la estabilidad de taludes	27
2.2.11 Aplicaciones informáticas	41
2.2.12 Principales métodos en la estabilización	43
2.3. HIPÓTESIS	52
2.3.1. Hipótesis general	52
2.3.2. Sub hipótesis.....	52
2.4. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES.....	53
2.4.1. Variables independientes.....	53
2.4.2. Variables dependientes	53
2.5. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	54

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	55
3.1.1. Enfoque de la investigación.....	55



3.1.2. Nivel de la investigación	55
3.1.3 Método de la investigación.....	55
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	56
3.2.1. Diseño metodológico	56
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	56
3.3.1. Población	56
3.3.2 Muestra.....	57

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. DEL LEVANTAMIENTO DE TOPOGRAFÍA	62
4.2. RESPECTO AL ESTUDIO DE LOS SUELOS	63
4.3. DEL SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL	66
4.4. RESPECTO AL FACTOR DE SEGURIDAD	67
4.5. CON RESPECTO AL FACTOR DE SEGURIDAD CON LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN.....	67
4.6. DISCUSIÓN	69
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	74
REFERENCIAS.....	77
ANEXOS	79



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coordenadas geoespaciales	2
Tabla 2 Situación geográfica del área analizada.....	3
Tabla 3 Características elásticas asociadas a diversas clases de suelos. ...	18
Tabla 4 Esquema representativo del aparato utilizado en ensayos triaxiales de suelo	20
Tabla 5 Elementos de seguridad para analizar la estabilidad del talud	26
Tabla 6 Métodos más utilizados para la evaluación de la estabilidad de taludes mediante el enfoque del equilibrio límite	30
Tabla 7 Operacionalización de las variables	54
Tabla 8 Tabla de pruebas programadas para el estudio del talud en evaluación	59
Tabla 9 Magnitudes de inclinación del talud y su correspondiente factor de seguridad.....	63
Tabla 10 Tipificación del suelo en cada una de las calicatas realizadas.	64
Tabla 11 Valores físico-mecánicos obtenidos de las calicatas examinadas.	65
Tabla 12 Datos para los perfiles y el FS elegido	67
Tabla 13 Datos para los perfiles y el FS elegido	68



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Localización territorial	2
Figura 2 Situación geográfica del área analizada	3
Figura 3 Descripción específica del perfil del talud	15
Figura 4 Descripción del perfil estructural de un talud construido artificialmente	16
Figura 5 Curva límite de resistencia obtenida en un ensayo triaxial consolidado-drenado.	22
Figura 6 Curva de resistencia a la corte obtenida en un ensayo triaxial consolidado-no drenado.	23
Figura 7 Modelo para la evaluación de la estabilidad de talud	25
Figura 8 Representación de la estabilidad usando el método de equilibrio límite.....	28
Figura 9 Masa inestable dividida en bloques verticales que presentan interacción de fuerzas entre sí.....	29
Figura 10 Taludes	33
Figura 11 Deslizamiento o colapso de un talud.....	35
Figura 12 Concepto del factor de seguridad basado en el método de equilibrio	37
Figura 13 Técnicas de estabilización de taludes basadas en la modificación de su forma o inclinación.	44
Figura 14 Técnicas de estabilización de taludes mediante sistemas de drenaje.	46
Figura 15 Partes del talud asociadas al conjunto total de la población evaluada	57
Figura 16 Segmentos del talud relacionados con la porción representativa de la muestra analizada.....	57



RESUMEN

Este estudio examinó la estabilidad de los terraplenes de la carretera de Sina Yanahuaya y propuso un método para estabilizarlos. Se recolectaron datos sobre la estructura topográfica de la roca y las características físicas y mecánicas del suelo antes de realizar el cálculo del FS y su interpretación.

Entrada: El sol brillaba intensamente en el cielo nocturno. Paráfrasis: El astro rey resplandecía en el firmamento nocturno.

Para lograr el objetivo de esta tesis, primero se localizaron y analizaron las regiones de estudio y se identificó el talud más crítico. Se realizó una exploración topográfica basado en la información recopilada con el intento de identificar las secciones a evaluar y reconocer las características morfológicas del terreno.

Se realizó una VES en las áreas más destacadas del talud, previamente seleccionadas, con el propósito de identificar la base rocosa, calcular el nivel freático y desentrañar la estratificación geoelectrica del suelo. Asimismo, se recolectaron muestras de terreno de pozos situados estratégicamente, siguiendo las directrices previamente establecidas, con el propósito de realizar ensayos de laboratorio y pruebas in situ que revelarán las peculiaridades mecánicas y físicas de los suelos en la zona estudiada. Las investigaciones llevadas a cabo abarcan la granulometría, establecieron los confines líquido y plástico, evaluaron la humedad natural, utilizaron la prueba de Porchet para calcular la infiltración, y realizaron un ensayo triaxial no consolidado y no drenado en tierras. Asimismo, se calcularon la densidad y el peso particular del suelo empleando un picnómetro acuático, la prueba del cono de arena y el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL). Para evaluar características



esenciales del suelo, tal como su cohesión, reparto granulométrico, ángulo de fricción y peso específico interno, se emplearon técnicas de equilibrio límite basadas en principios de estática. En este estudio, se examinaron de manera homogénea tanto las fuerzas que estabilizan como las que provocan inestabilidad en la superficie del talud. Estos parámetros fueron esenciales para determinar y valorar su robustez. En la muestra "Estabilidad de Taludes", que abarca enfoques de equilibrio límite, se empleó el software Geo5 para realizar este estudio.

El análisis de las secciones evaluadas arrojó un valor máximo de 1,35 para el factor de seguridad, el cual no alcanza el mínimo requerido de 1,50 según la norma nacional CE020 "Estabilización de Suelos y Taludes". Para asegurar la estabilidad del talud, se planteó una solución de estabilización que incluye la reducción del ángulo de la pendiente, la construcción de muros de contención tipo gaviones y la implementación de un sistema de drenaje. Posteriormente, con la aplicación de esta propuesta, se obtuvo un factor de seguridad igual o superior a 1,50, cumpliendo con los estándares establecidos por la normativa mencionada.

Palabras claves: Talud, Análisis de la Estabilidad de Taludes, Factor de Seguridad y Condición Límite de Equilibrio.



ABSTRACT

The purpose of this research was to analyze the stability of the slopes on the Sina Yanahuaya Highway and propose a stabilization alternative. To this end, prior to calculating and interpreting the slope stability index (SF), data were collected regarding the slope's topographic configuration and the soil's physical and mechanical properties. As a result, a stabilization system was proposed using the limit equilibrium method, using Geo5 software for analysis and modeling.

To achieve the objective of this thesis, the study regions were first located and analyzed, and the most critical slope was identified. In order to recognize the morphological characteristics of the terrain and define the sections to be evaluated, a topographic survey was conducted based on the collected information.

AVES was carried out in the most representative areas of the slope, previously identified, to locate the bedrock, determine the water table, and analyze the geoelectrical stratification of the terrain. Likewise, soil samples were collected from strategically located wells, as previously indicated, to conduct laboratory and in-situ tests to establish the mechanical and physical properties of the soils in the study area. The tests performed included particle size distribution, determination of liquid and plastic limits, measurement of natural moisture content, the Porchet test to estimate the infiltration rate, and the unconsolidated undrained (UU) triaxial soil test. In addition, soil density and specific gravity were determined using a water pycnometer, the dynamic light penetration test (DPL), and the sand cone test. Limit equilibrium methods based on static principles were applied to estimate fundamental soil properties,



such as cohesion, particle size distribution, specific weight, and angle of internal friction. In this analysis, stabilizing forces and those generating instability were considered to be uniformly distributed along the slope's failure surface. These parameters were fundamental for the calculation and evaluation of the slope's stability. In the presentation entitled "Slope Stability," which integrates limit equilibrium methods, Geo5 software was used to perform this analysis.

The analysis of the evaluated sections yielded a maximum value of 1.35 for the safety factor, which falls short of the minimum required of 1.50 according to the national standard CE020 "Soil and Slope Stabilization." To ensure slope stability, a stabilization solution was proposed that included reducing the slope angle, constructing gabion-type retaining walls, and implementing a drainage system. Subsequently, with the application of this proposal, a safety factor equal to or greater than 1.50 was obtained, complying with the standards established by the aforementioned regulations.

Keywords: Slope, Slope Stability Analysis, Safety Factor, and Limit Condition of Equilibrium.

INTRODUCCIÓN

La Carretera Sina Yanahuaya es una pieza crucial de la infraestructura vial para el acceso, el transporte y la conectividad con Puno. También cumple una función relevante en el crecimiento económico de las comunidades locales y de quienes utilizan la vía. Debido al aumento de vehículos que pasan por la carretera y la necesidad de más espacio, se han hecho varias acciones, como planear rutas alternas, construir terraplenes y ampliar la infraestructura. Esto, junto con el terreno accidentado y los factores de agua típicos de las áreas montañosas de nuestro país, llevó a hacer cortes y rellenos que cambiaron la forma natural de las laderas en la vía. Esto creó nuevas laderas con distintas inclinaciones y formas, además de ocasionar problemas con aguas subterráneas y fenómenos geodinámicos que provocaron deslizamientos de tierra, caída de rocas y otros incidentes por la inestabilidad de las laderas. Todo esto generó congestiones de tráfico y puso en peligro a peatones y conductores.

Se deben investigar e identificar enfoques alternativos para aumentar la estabilidad de taludes. El objetivo de esta tesis es estudiar la estabilidad de los taludes de la Carretera Sina Yanahuaya y proponer un método para su estabilización. Se calculó el FE del talud usando el software Geo5 y el método de equilibrio límite. Este proceso consiste en separar la masa de suelo que podría ser inestable en partes verticales, revisar el equilibrio de cada parte y luego evaluar la estabilidad de toda la sección. Este procedimiento permitió estimar el FE y determinar el grado de estabilidad del talud.

La evaluación de la estabilidad del talud es muy importante para mantener la infraestructura, especialmente en la construcción de carreteras. Optimizar el proceso de diseño y construcción reduce los costos de mantenimiento,



construcción, reutilización y vida útil. Asimismo, mejora la seguridad y la confianza del usuario, lo que eleva el estándar de nuestros servicios. La estrategia de estabilización propuesta está directamente impactada por la topografía y el tipo de suelo del talud. Para llevar a cabo la investigación pertinente y ofrecer una alternativa, se realizó una aplicación práctica en el estudio actual, eligiendo una pendiente en la zona.

Esto se logra midiendo la pendiente, realizando pruebas de campo, pruebas de laboratorio, analizando los datos e identificando y comprendiendo los resultados obtenidos. En consecuencia, este estudio se divide en 6 capítulos, los que se muestran a continuación:

Capítulo I: Este capítulo abarca el planteamiento del problema, su identificación, los propósitos, las limitaciones y la relevancia de la investigación.

Capítulo II: Se exponen los antecedentes a nivel nacional e internacional del estudio, así como los principios básicos de estabilidad de taludes que sirvieron como fundamento para esta investigación. Asimismo, se incluyen las definiciones de las variables examinadas, las hipótesis y los elementos teóricos pertinentes.

Capítulo III: Detalla la descripción de la población y la muestra, los criterios de inclusión, las herramientas metodológicas y de ingeniería, los procesos de recolección de datos, el análisis de datos, y la metodología y el diseño del estudio.

Capítulo IV: Los resultados de la investigación se presentan e interpretan.

Capítulo V: Incluye los apéndices, las referencias bibliográficas, los hallazgos de la investigación y las recomendaciones.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 Descripción del problema

La vía Sina Yanahuaya presenta actualmente movimientos de masas de terreno, originados principalmente por la inestabilidad de la ladera provocada por la presencia de suelos limo-arcillosos, las lluvias durante la temporada húmeda y la modificación de la configuración original de la pendiente por parte del MTC. Esta situación ocasiona inconvenientes como el bloqueo del camino, deterioro en las estructuras e incomodidades para los usuarios de esta ruta de transporte esencial. P

Ubicación geográfica

El trabajo de investigación se realizó en el proyecto carretera Sina Yanahuaya, en los distritos de Sina y San Pedro de Moho-Sandia, que pertenecen a la provincia de San Pedro de Moho-Sandia, en la región de Puno. Allí se encuentra el talud que se analiza.

Figura 1

Localización territorial



Nota. Información del web Ubicación geográfica

Tabla 1

Coordenadas geoespaciales

Carretera				
Sina - Yanahuaya	Coordenadas UTM		Coordenadas Geográficas	
	Este (m)	Norte (m)	Longitud	Latitud
KM 23+710	769974.33	8509592.61	72°30'22.85"O	13°28'9.60"S

Nota. Elaboración propia

Tabla 2

Situación geográfica del área analizada

Departamento	Provincia	Distrito
Puno	San Pedro de Moho -	San Pedro de Moho -
	Sandia	Sandia - Sina

Nota. Elaboración propia

Figura 2

Situación geográfica del área analizada



Nota. Elaboración propia

1.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

¿Cuál será la estabilidad del talud de Carretera Sina – Yanahuaya Provincia de San Pedro de Moho Sandia y una propuesta de estabilización, Puno?

1.2.2. Problemas específicas

Problema específico N° 1, ¿Cuáles serán los parámetros físicos mecánicos de los suelos para el análisis de la estabilidad del talud, carretera Sina - Yanahuaya – Provincia de San Pedro de Moho- Sandia Puno.?

Problema específico N° 2, ¿Cuál será el factor de seguridad del talud, carretera Sina–Yanahuaya– Provincia de San Pedro de Moho- Sandia - Puno?

Problema específico N° 3, ¿Cuál será el factor de seguridad del talud con la propuesta de reducción de la pendiente, incorporación de los muros de contención (gaviones) y sistema de drenaje, carretera Sina - Yanahuaya Provincia de San Pedro de Moho- Sandia Puno?

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

1.3.1. Justificación técnica

Investigaciones con los conocimientos en topografía, mecánica de suelos geotecnia, materiales de construcción, geología adquiridos en su formación universitaria, lo que justifica técnicamente el proyecto de investigación, Los cuales serán la base para el avance adecuado de la investigación, siendo estos los pilares que sustentarán el avance adecuado del estudio.

Asimismo, se justifica la implementación de procedimientos técnicos que establecerán las propiedades mecánicas – físicas de los suelos, además se analizarán las peculiaridades físicas y geológicas y del área en cuestión

El estudio se fundamentó en un análisis detallado de la seguridad que garantiza la estabilidad del talud, proponiendo un sistema de estabilización

mediante la técnica del equilibrio límite. Desde Sina hasta Yanahuaya, y desde San Pedro de Moho hasta Sandia, en Puno.

1.3.2. Justificación social

Con el desarrollo de la investigación servirá como fundamento para las siguientes investigaciones en el conocimiento de los taludes, otro fundamento del desarrollo será para todos los estudiantes de la carrera profesional de ingeniería civil.

La arteria vial Sina Yanahuaya enlaza Puno con el corazón de la Provincia de San Pedro de Moho-Sandi. Esta vía es vital, pues conecta los múltiples rincones de la provincia con la vibrante ciudad de Puno, impulsando así el florecimiento socioeconómico de más de 58,000 almas beneficiadas, según datos proporcionados por el MTC. Actualmente, la vía está experimentando una renovación a través de la ampliación de su plataforma, ya que ha experimentado deslizamientos de taludes en varios puntos a lo largo de los años. Por lo tanto, es imperativo garantizar su integridad y funcionalidad a través de una investigación.

1.3.3. Justificación por la viabilidad

La viabilidad de este proyecto de investigación se demuestra por la disponibilidad del conocimiento necesario para abordar el tema de manera adecuada y por el acceso al campo de investigación académica. Se dispone de herramientas avanzadas para la presentación de datos, como ArcGIS, AutoCAD, AutoCAD Civil 3D y Geo 5 (estabilidad de taludes), además de la literatura relevante, que incluye normas y directrices pertinentes. Además, la organización cuenta con los recursos financieros y el tiempo necesarios para

completar las pruebas requeridas, además de tener acceso a las diversas herramientas de laboratorio que necesita.

1.3.4. Justificación por relevancia

El estudio es fundamental, porque estudiará los deslizamientos de tierra ante constantes cambios, particularmente durante las temporadas de lluvia. El cambio en la forma del talud, provocado por la remodelación de la carretera, ha hecho que este fenómeno sea más notable y común, lo cual es perjudicial para la comunidad y económicamente perjudicial para las comunidades circundantes. Por lo tanto, es esencial contar con alternativas de control o solución, que permitan evaluar la estabilidad del talud y recomendar un sistema de estabilización que aumente su seguridad.

Es esencial porque nos permite revelar los misterios de los taludes basándonos en las peculiaridades hidrológicas, geológicas, geotécnicas y geométricas de la región en estudio.

La ejecución de pruebas, la recolección de datos, el estudio y la creación de conclusiones sobre el tema permitirán a las autoridades determinar la solución más adecuada porque el principal problema en las operaciones de envío es las deliquetiones provocadas por la falta de estabilidad de los taludes.

1.4. LIMITACIONES DEL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN

- El área central de este análisis geotécnico se sitúa en las coordenadas 191269.00 m E y 8477795.00 m S, dentro del sistema de referencia UTM, zona 19L. Esta ubicación es propia a la jurisdicción del distrito de San Pedro, en la provincia de Sandia, región Puno.



- La recolección de información se realizó entre octubre y noviembre de 2022. Para calcular la estabilidad del talud, se utilizó el sofisticado programa GEO5, empleando la metodología del equilibrio límite.
- Esta evaluación sigue lineamientos técnicos nacionales establecidos en documentos normativos como el Manual de Carreteras DG2018 para el Manual de Drenaje y Hidrología del MTC, diseño geométrico , la norma CE.020 sobre estabilización de suelos y pendientes, la E.050 referente a cimentaciones y suelos| así como el Manual de Ensayos de Materiales aprobado por la R.D. No. 18-2016-MTC14.
- Con base en el Capítulo III, Se realizarán pruebas para entender las propiedades físicas y de resistencia de los materiales del suelo estudiado.
- En el esquema de mitigación propuesto se incluyen únicamente las estructuras de drenaje, muros de gaviones y el rediseño del ángulo del talud, conforme a los planos técnicos incluidos en los anexos.
- Las características de las capas más cercanas a la superficie se obtendrán mediante pruebas en laboratorio y trabajos de campo.
- Los datos sobre las propiedades de los estratos más profundos, difíciles de medir directamente, se estimarán a partir de valores tabulados obtenidos de estudios previos mediante sondeos eléctricos verticales.
- Dado que el modelo de evaluación asumió condiciones estáticas, no se contemplaron pruebas dinámicas ni se incorporaron escenarios sísmicos en el análisis.



1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general.

Analizar la estabilidad del talud del tramo, carretera Sina – Yanahuaya – San Pedro de Moho- Sandia, Puno y plantear una propuesta de estabilización.

1.5.2. Objetivos específicos

OE1: Obtener los parámetros físico mecánicos de los suelos para el análisis de la estabilidad del talud, de la Carretera Sina - Yanahuaya – Provincia de San Pedro de Moho- Sandia Puno.

OE2: Determinar los parámetros topográficos para el análisis de estabilidad del talud, carretera Sina – Yanahuaya – Provincia de San Pedro de Moho- Sandia, Puno.

OE3: Determinar el factor de seguridad del talud, tramo, carretera Sina – Yanahuaya – Provincia San Pedro de Moho - Sandia.

OE4: Determinar el factor de seguridad del talud con la propuesta de reducción de la pendiente, incorporación de muros de contención (gaviones) y sistema de drenaje de la carretera Sina - Yanahuaya - Provincia de San Pedro de Moho- Sandia Puno.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1 Antecedentes a nivel nacional

Antecedentes a nivel nacional 1

Arias y Chacón (2020) detalló en su estudio sobre los movimientos masivos el uso del método heurístico y el enfoque multicriterio de Thomas L. S. para evaluar y cuantificar la amenaza. Esto facilitó la elaboración de mapas de susceptibilidad para cada proceso geodinámico, así como la generación del respectivo mapa de amenaza en el tramo vial Sina Yanahuaya – Provincia de San Pedro de Moho - Sandia (del Km 8+900 al Km 25+900), todos ellos caracterizados desde una perspectiva geomorfológica e hidrológica con el fin de identificar las propiedades hidrogeológicas de la zona en análisis. La investigación se enmarca en un nivel descriptivo, analítico y deductivo; a partir del reconocimiento de distintos procesos geodinámicos y elementos geológicos presentes en el área mencionada, se evaluaron sus impactos, lo cual permitió reconocer diversos tipos de fenómenos de origen geodinámico, geológico y otros

Relacionados Este estudio determinó los niveles de susceptibilidad a flujos de lodo y escombros, deslizamientos rotacionales y traslacionales, y

deslizamientos de tierra. La actividad humana, la actividad sísmica y la precipitación se consideraron como variables desencadenantes. Se obtuvieron los niveles de riesgo, vulnerabilidad y peligro para ambos elementos (factores desencadenantes y susceptibilidad). La presencia de daños por riesgo INADMISIBLE también se determinó mediante el control de riesgos.

El nivel de riesgo fue establecido mediante la comparación entre los grados de vulnerabilidad y los niveles de peligro identificados en este análisis de tipo cualitativo. A partir de los resultados obtenidos, se recomendaron diversas acciones preventivas y de mitigación, tales como la edificación de muros estructurales y de contención, la remoción de material suelto y esparcido, la aplicación de geotextiles, la reforestación y la modificación del relieve sin intervención estructural. Asimismo, se contemplaron medidas complementarias como la educación de los pobladores y usuarios del área, así como programas de capacitación.

Antecedentes a nivel nacional 2

(Bustamante Corrido & García Yépez, 2018) indica que la solidez del muro ubicado en la orilla del río Sipaspucyo fue analizada utilizando estrictos criterios de estabilidad y resistencia del suelo, pruebas de permeabilidad y minuciosos estudios topográficos. A través de simulaciones por computadora, los expertos llegaron a la conclusión de que una curvatura de deslizamiento era el mejor modelo para describir el movimiento potencial. Esta cercanía abrió las puertas a la técnica simplificada de Bishop para evaluar la estabilidad en tres áreas distintas. El estudio optó por una metodología cuantitativa con un ámbito descriptivo y relacional,

fundamentada en un modelo lógico de hipótesis-deducción, y sin intervenir en las variables experimentales utilizadas.

Se descubrió que el talud estaba en un estado altamente vulnerable utilizando el Método Simplificado de Bishop para determinar el factor de seguridad. En respuesta, se sugiere el uso de gaviones como medida de estabilización que complementará el estudio. Basado en esa metodología, este estudio también sugiere utilizar técnicas innovadoras para una evaluación más precisa del factor de seguridad. Como medida correctiva, se aconseja instalar un sistema de gaviones, que es más efectivo y mejora significativamente la seguridad estructural del talud.

Antecedentes a nivel nacional 3

Alberca y Rondo (2020) mediante su estudio utilizó una geomalla coextrudida con orientación unidireccional para examinar el esfuerzo del talud. Se tuvo en cuenta la configuración del terreno, la clasificación del suelo, la cohesión del material, el ángulo de resistencia interna, el estado de equilibrio del talud y su correspondiente índice de seguridad. Además, se revisaron los costos asociados, las partidas presupuestales y el presupuesto general del sistema de estabilización. La investigación se enmarca dentro de un enfoque aplicado, con un diseño no experimental, de tipo transversal y descriptivo, al basarse en teorías existentes y trabajar con variables no manipulables, como las propiedades propias del talud, a partir de datos recopilados para su análisis posterior.

La propuesta de diseño incrementó el factor de seguridad del talud analizado de 1.62 a 2.06, siendo ambos valores mayores al mínimo requerido de 1.5, lo que evidencia que la estabilidad del talud se encuentra asegurada.

Además, se desarrolló un concepto para la estabilidad del talud, con una geomalla coextruida mono orientada como componente principal. Se añadieron anclajes y refuerzo de muro de gaviones, que al combinarse mejoran la estabilidad del talud.

2.1.2 Antecedentes internacionales

Antecedentes a nivel internacional 1

Serg (2027) precisa que en el transcurso de esta exhaustiva investigación, se realizó un minucioso estudio de las características geotécnicas cercanas al terreno en cuestión. Se examinó la estabilidad de un terraplén bajo condiciones tanto estáticas como cuasi-estáticas, comparando condiciones con y sin el uso de una malla biaxial de fuerza, teniendo en cuenta tanto el comportamiento inicial como el comportamiento a largo plazo. Para ello, se emplearon las herramientas computacionales SLOPE/W de la suite GEOSTUDIO y el software especializado GEO5. La metodología adoptada fue de tipo no experimental, puesto que no se intervinieron las variables del entorno; con un enfoque numérico orientado a verificar una hipótesis planteada, y con alcance descriptivo centrado en detallar los resultados obtenidos del comportamiento del sistema.

Además, usando los modelos de Morgenstern & Spencer (1967) y Price (1965), se investigaron el análisis estadístico y el factor de seguridad para las condiciones iniciales y finales con el fin de asegurar la estabilidad absoluta del relleno. Además, se examinaron los posibles efectos de un terremoto de magnitud 8.8 con una aceleración de 0.4 g.

El estudio reveló que, bajo un entorno seguro, los rigurosos métodos de Morgenstern & Spencer (1967) y Price (1965) brindaron una seguridad de

1.58 y 1.57, respectivamente. Cuando se emplean geomallas biaxiales, los factores de seguridad se multiplican por dos, alcanzando valores de 3.8 y 3.4, respectivamente.

El análisis de la estabilidad planetaria en un escenario de pseudo-equilibrio reveló valores del factor de seguridad de 1.026 para Morgenstern & Spencer (1967) y de 1.017 para Price (1965), ambos para escenarios tanto a largo como a breve plazo. Este giro es adverso y no asegura la unidad del relleno. El uso de geomalla biaxial en el esfuerzo aumentó el factor de seguridad en términos de estabilidad por dos veces. Sin embargo, en algunas situaciones pseudodinámicas y complejas, el factor de seguridad no aumentó significativamente porque la profundidad del análisis superó el umbral crítico de 80 metros, lo que hizo imposible realizar un seguimiento detallado y minucioso de la malla biaxial.

Antecedentes a nivel internacional 2

(Mesa Lavista & Tejeda Puisseaut, 2018) en su encontró el aspecto de seguridad que asegura que los taludes de la carretera acantilados se mantengan estables. Esto se logró ajustando su altura y pendiente, utilizando el método de elementos finitos y el método de equilibrio límite. Este minucioso estudio se llevó a cabo utilizando un diseño de investigación no experimental porque se optó por no alterar las variables que podrían afectar los objetivos y resultados propuestos. Además, se utilizó un enfoque altamente cuantitativo porque la recolección de datos para la caracterización del suelo se realizó de manera detallada y descriptiva, lo que permitió una evaluación más exhaustiva de los fenómenos en consideración.

Se modelaron tres tipos diferentes de terraplenes para el estudio, teniendo en cuenta varias elevaciones (6 m, 12 m y 18 m). Las inclinaciones en las que se establecieron terrazas estables para alturas inferiores a 12 metros se determinaron en función del tipo de terreno utilizado.

A través del uso de los métodos de elementos finitos y del equilibrio límite, se logra alcanzar un equilibrio límite, este análisis concluyó que se cumplen las condiciones necesarias para asegurar un valor mínimo del FS de 1,5:

- Se demostró que las pendientes de 2:1 y 2:1 son estables en terraplenes de menos de 6 metros.
- Se descubrió que una combinación de pendientes (1,5:1 y 2:1) mejoró la estabilidad en terraplenes de entre 6 y 12 metros.
- Se sugiere implementar bermas en terraplenes que superen los 12 metros de altura, con el propósito de mantener inmóvil el talud, se busca garantizar su solidez.

El estudio actual establece las pendientes ideales para terrazas de hasta 12 metros de altura, teniendo en cuenta un tipo específico de suelo. En el caso de terraplenes que superen dicha altura, se aconseja la incorporación de bermas como medida de estabilidad.

2.2.1 Talud

Los taludes, con su perfil transversal inclinado y su ángulo de reposo (β), surgen de la erosión o la mano humana.

Es posible que sean tierra, piedra o una mezcla de variados elementos (Catanzariti, 2017).

Un talud se define como cualquier área inclinada que las construcciones de tierra deben mantener perpetuamente. Es innegable que el

talud es un entramado de análisis intrincado, pues en su exploración se entrelazan los enigmas de la mecánica del suelo y la danza de las rocas. La geología aplicada es la piedra angular que sostiene cualquier norma auténtica (De Matteis, 2003).

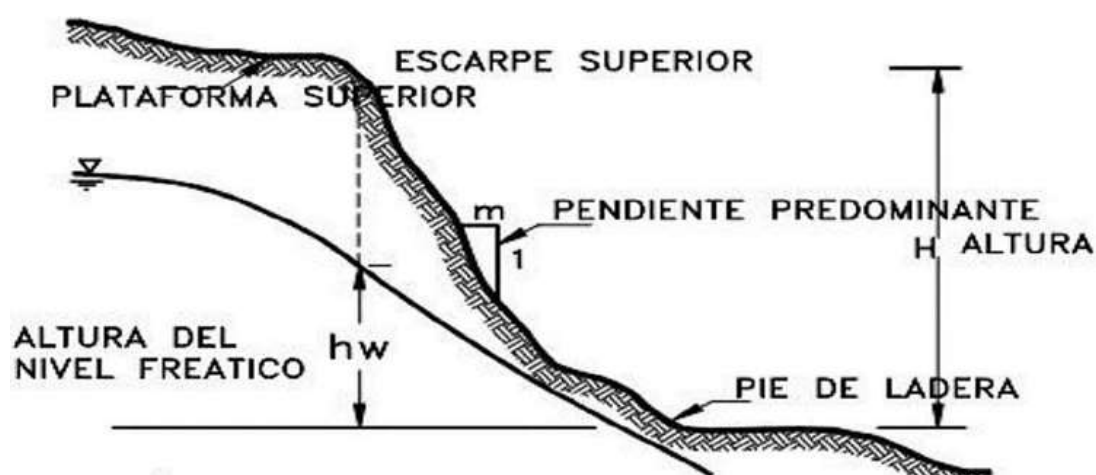
2.2.3 Tipos de taludes

Naturales: A lo largo de la historia geológica, la naturaleza las ha creado.

Artificiales: Son creados por el ser humano y se utilizan para construir terraplenes, carreteras, ferrocarriles, presas, taludes y desmontes, entre otros. Es fundamental ejecutar excavaciones apropiadas para lograr la altura y pendiente que aseguren la estabilidad del proyecto. Para esto, se requiere entender el comportamiento del flujo hídrico y las propiedades geomecánicas de los materiales involucrados.

Figura 3

Descripción específica del perfil del talud



Nota. Cenapred

Figura 4

Descripción del perfil estructural de un talud construido artificialmente



Nota. Cenapred

2.2.4 Factores requeridos en el análisis de estabilidad

Las singularidades del material de un talud, esenciales para agilizar las fórmulas de equilibrio, desvelan su danza mecánica, agilizando su reacción ante las cargas aplicadas. Las magnitudes de las propiedades pueden desentrañarse mediante experimentos en laboratorio con muestras locales. A continuación, se detallarán las características esenciales para escribir la tesis y se detalla cómo estas definen al material:

2.2.4.1. Cohesión (c).

Viene a ser la capacidad de un material, para fusionarse molecularmente por fuerzas internas, sin importar el esfuerzo habitual (Bowles, 1982). Una sustancia que contiene partículas pequeñas tendrá mayor cohesión porque la conexión es proporcional al número de interacciones formadas entre las unidades volumétricas más pequeñas. Al

tener un espacio reducido y disponer de un área de interacción ampliada debido a la abundancia de partículas presentes, las moléculas reducidas tienen la capacidad de interconectarse de manera más eficiente (Geosuport, 2011).

Dado que el líquido vital se encuentra en los poros, se atrapa en su magnetismo molecular, el contenido de humedad del material afecta la cohesión. Evaluar si las partículas de un suelo permanecen unidas después del secado de una muestra podría revelar si el suelo es cohesivo o no. Asimismo, se llevan a cabo experimentos para evaluar la cohesión en elementos saturados y drenados, expresada en kgf/cm² (Geosuport, 2011).

2.2.4.2. Ángulo de fricción interna (ϕ):

La propiedad que relaciona la fuerza de rozamiento (F_r) con la fuerza normal (F_n) de un material se conoce como ángulo de fricción interna (ϕ). Se entiende por fricción a la oposición que presenta un cuerpo al deslizarse sobre una superficie con la que interactúa. La fuerza que los cuerpos en interacción ejercen entre sí, sin la cual no estarían en contacto, se conoce como fuerza normal. En esta ecuación, se puede determinar el ángulo de fricción interna empleando una función trigonométrica inversa que combina las fuerzas normales y de fricción (Geosuport, 2011).

Ecuación: Cálculo del ángulo de fricción interna (Geosuport, 2011)

$$\phi = \tan^{-1} \frac{F_r}{F_n}$$

Tabla 3

Características elásticas asociadas a diversas clases de suelos.

Tipo de suelo	Módulo de elasticidad	Coefficiente de Poisson
Arena suelta	10-25	0.20-0.40
Arena semidensa	15-30	0.25-.40
Arena densa	35-55	0.30-0.45
Arena limosa	10.-20	0.20-0.40
Arena y grava	70-170	0.15-0.35
Arcilla blanda	4-20	0.20-0.50
Arcilla media	20-40	
Arcilla dura	40-100	

Nota. Elaboración propia

2.2.5. Propiedades físico mecánicas de los suelos

2.2.5.1. Análisis granulométrico por tamizado

Una evaluación granulométrica cataloga los terrenos para usos ingenieriles y se erige como un estándar universal de idoneidad para cualquier tipo de edificación sobre el suelo, siendo la granulometría un elemento crucial (Bowles J., 1982). La meta primordial de esta investigación es agrupar las partículas del terreno en variados tamaños para su categorización a través de los sistemas SUCS o AASHTO.

El estudio granulométrico se despliega en una tabla que utiliza una escala logarítmica para medir la dimensión de las partículas, y el eje vertical, en una escala aritmética, revela cuántas partículas más diminutas logran sortear el tamiz.

Los diámetros distintivos, como D10, D85, D60, etc., se conocen después de construir la curva de distribución. La letra "D" indica la dimensión del grano o su diámetro visible, mientras que el subíndice indica la proporción del material presente

2.2.6. Ensayos de laboratorio

2.2.6.1. Ensayo de corte triaxial

Viene a ser una de las herramientas más confiables para entender las características de la resistencia al corte. Gracias a su habilidad para simular las tensiones, también se emplea para desentrañar las características mecánicas de los terrenos.

Braja Das afirma que estos ensayos triaxiales son fiables en este sentido debido a tres características clave.

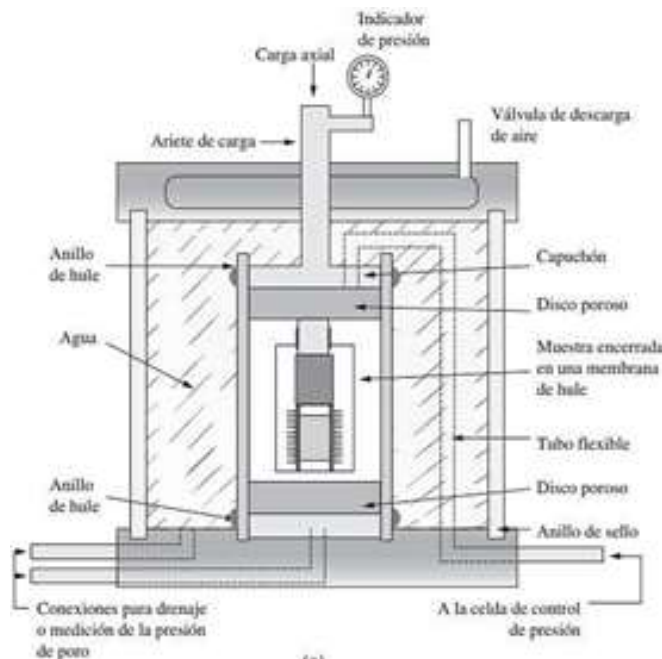
- Datos sobre la vinculación entre tensión y deformación.
- Condiciones homogéneas de carga.
- Adaptabilidad respecto a la secuencia de aplicación de esfuerzos.

Los ensayos triaxiales más utilizados comienzan con una consolidación isotrópica, lo que implica aplicar una presión uniforme en dos direcciones principales (σ_2 y σ_3) sobre una muestra cilíndrica; esta presión se conoce como confinamiento radial. El otro esfuerzo (σ_1) se aplica verticalmente sobre el eje del espécimen y se denomina esfuerzo desviador. Usualmente, se realiza como un ensayo de compresión axial, donde tanto las dimensiones del cuerpo de prueba como las presiones aplicadas varían según las condiciones específicas del análisis.

La prueba triaxial se lleva a cabo en una cámara que posibilita tanto la etapa de consolidación inicial como la ruptura final del cuerpo de prueba. Esta cámara normalmente alberga una muestra de forma cilíndrica recubierta con una membrana de látex, la cual es expuesta a una presión hidrostática constante aplicada sobre toda su superficie exterior. La figura siguiente presenta un diagrama simplificado del equipo triaxial.

Tabla 4

Esquema representativo del aparato utilizado en ensayos triaxiales de suelo



Nota. UDLAP

Los ensayos de compresión y extensión pueden realizarse con carga o deformación controladas. En una prueba de deformación controlada, como esta, se utiliza una celda de carga para medir la tensión desviatoria aplicada cuando las deformaciones se aplican a un ritmo predeterminado.

Las pruebas triaxiales constan de dos fases distintas. Primero, se ensambla la muestra, ya sea isotrópicamente o anisotrópicamente. A continuación, se aplica la tensión desviatoria hasta que la muestra falla. Existen dos opciones para cada paso: permitir el drenaje o bloquearlo.

Se pueden distinguir tres categorías de ensayos triaxiales según las etapas descritas anteriormente:

- Consolidado drenado CD
- Consolidado no drenado CU
- No consolidado UU

Las características de cada una de estas categorías varían; se

proporcionará más información sobre cada una de ellas.

2.2.6.2. Consolidado-Drenado (CD)

Para evitar que aparezcan poros en la muestra, es esencial aumentar gradualmente la presión de confinamiento al realizar un estudio de compresión triaxial drenada. Esta situación es especialmente preocupante para las arcillas debido a su capacidad para abrir y cerrar sus entradas.

La tensión desviadora se aplica garantizando que la presión de poro sea nula y que la muestra se haya consolidado por completo. Como se mencionó anteriormente, esta prueba requiere más tiempo para arcillas.

La válvula de drenaje se mantiene abierta porque todas las fuerzas utilizadas en esta prueba son constantes (en ambas etapas).

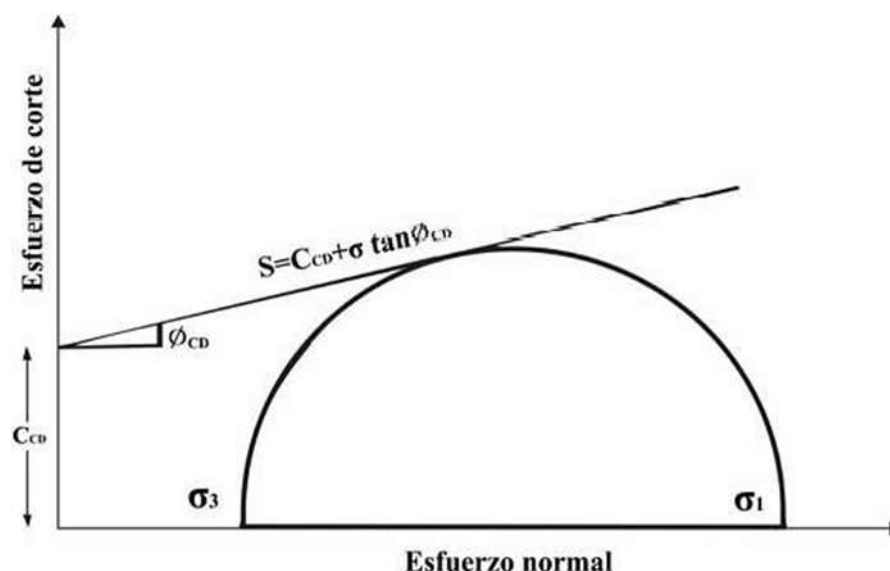
Ambos extremos del círculo crítico se definen en el instante en que la muestra de suelo pierde su equilibrio, teniendo en cuenta la presión de confinamiento y la tensión desviadora máxima que soporta.

Debido a que este ensayo se realiza en condiciones completamente drenadas, sus propiedades se emplean en los cálculos cuando se prevé una falla del suelo sometido a cargas aplicadas lentamente.

Como se puede apreciar en la imagen siguiente, este análisis generalmente se realiza en tres muestras distintas, esto permite un ajuste preciso de la envolvente de falla y verifica los valores de cohesión y ángulo de fricción interna.

Figura 5

Curva límite de resistencia obtenida en un ensayo triaxial consolidado-drenado.



Nota. UNCP

2.2.6.3. No consolidado - No drenado (UU)

Dado que es posible determinar tanto las tensiones efectivas como las totales, la prueba de consolidación sin drenaje es la más utilizada. El procedimiento implica aplicar primero una presión de confinamiento, lo que permite que la muestra se consolide manteniendo la presión de poro neutra en esta etapa.

La tensión desviadora se aplica una vez cerrada la válvula. Las presiones de poro se generan como resultado de la incapacidad de la muestra para drenar, y estas presiones se registran durante la segunda fase de la prueba (la falla). Este aumento se define adimensionalmente mediante el parámetro de presión de poro de Skempton, que lo relaciona con la tensión desviadora de la siguiente manera:

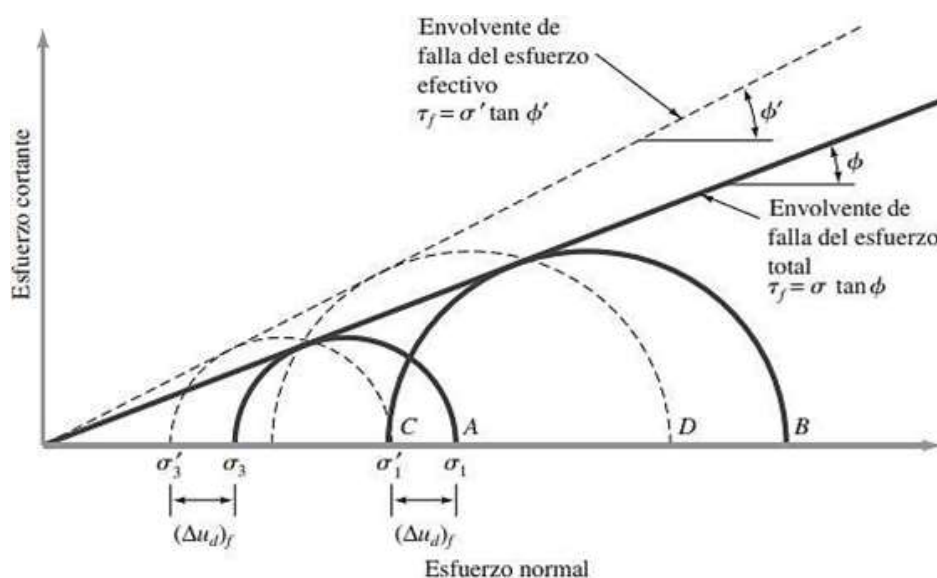
$$A = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma_d}$$

La envolvente de Mohr se puede definir una vez que la muestra se ha sometido a rotura y se han obtenido los registros de las diferentes muestras. Cuando las tensiones se acumulan a gran velocidad, la resistencia intacta del suelo se manifiesta en la envoltura formada por los círculos que simbolizan las tensiones totales. Para estimar las características que se obtendrían en un ensayo consolidado y drenado, se debe eliminar la presión de poro registrada en el lugar de máxima tensión desviadora, si es necesario, para obtener las presiones efectivas.

Debido a que falla con mayor rapidez que la prueba de CD, este tipo de prueba se utiliza típicamente en suelos arcillosos. Las envolventes de tensión total y efectiva derivadas de una prueba consolidada no drenada se muestran en la Figura 2.12.

Figura 6

Curva de resistencia a la corte obtenida en un ensayo triaxial consolidado-no drenado.



Nota. UDLAP

2.2.7. Topografía

Es el arte de desentrañar los secretos para ubicar los rincones del globo, empleando medidas que armonizan con los tres elementos del cosmos. Estos componentes pueden abarcar distancias y altitudes, o incluso una dirección y una altitud. (De Oca Montes, 2004).

2.2.7.1. Levantamiento Topográfico

Implica representar un área desde una perspectiva geodésica. Empleando equipos técnicos, el especialista en topografía analiza la superficie terrestre y recopila información, habitualmente utilizando un teodolito o una estación total. Con la información recolectada durante el estudio topográfico se generan croquis o esquemas detallados de una zona, especificando especialmente las particularidades del suelo, como las elevaciones o las pendientes presentes (PYMET., 2022).

Uno de los propósitos fundamentales del análisis topográfico es identificar la curva de nivel superficial del talud y estudiar en detalle todas sus características. Esto facilita una evaluación más exacta de su estabilidad, especialmente a través de la elaboración de perfiles transversales y curvas de nivel del área a evaluar. Técnica de Porchet o Ensayos de Infiltración de Nivel Variable.

Este procedimiento implica la excavación de un pozo cilíndrico en el suelo, con radios y profundidades constantes, en el cual se cuantifica la reducción del nivel de agua a lo largo del tiempo determinado. Luna Saez, del año 2003.

$$S = \pi * R(2H + R)$$

Y para calcular el coeficiente de permeabilidad se usa la siguiente expresión

De acuerdo con Puga Lagos (2012), la fórmula para calcular la superficie de infiltración de agua es la siguiente:

$$f = \frac{R}{2(T_2 - T_1)} - \ln\left(\frac{2H_1 + R}{2H_2 + R}\right)$$

Donde:

R: Radio del orificio excavado en el suelo H: Altura del agua en el orificio

T1 y T2: Tiempos de los registros H1 y H2 respectivamente

2.2.8. Factores de seguridad

El análisis de estabilidad se enfoca en encontrar el índice de seguridad del talud, calculado al comparar las fuerzas que puede soportar con las que efectivamente soporta. La superficie de falla, que generalmente adopta una forma circular en taludes relativamente homogéneos, permite analizar tanto las fuerzas desestabilizadoras como las resistentes. El equilibrio límite, el análisis límite y la técnica de elementos finitos son fundamentales para evaluar la estabilidad de cerros. Este, basado en la teoría de la falla de Coulomb aplicada a una superficie idealizada de deslizamiento, es uno de los más célebres y venerados. Asimismo, las fuerzas reales o imaginarias que impactan el talud pueden visualizarse a través de esquemas de cuerpo libre.

Figura 7

Modelo para la evaluación de la estabilidad de talud



Nota. CENAPRED

Se confrontan la tenacidad del material y la presión que se genera en la superficie de una falla simulada. La estrategia de corte más popular dentro del enfoque de equilibrio límite es la que postula un mecanismo de falla rotatorio. Este método revela el factor de seguridad del talud al dividir la tensión de corte en acción entre la resistencia de corte disponible:

FS = Equilibrio entre la resistencia cortante disponible y el esfuerzo cortante

Del FS se puede inferir lo siguiente:

- 1) La pendiente es inestable o ha colapsado si el FS es menor que la unidad ($FS < 1$).
- 2) La pendiente es estable si el $FS > 1$ es mayor que la unidad.
- 3) La pendiente corre el riesgo de fallar pronto si el $FS = 1$ es menor que la unidad.

Tabla 5

Elementos de seguridad para analizar la estabilidad del talud

Normativa	Talud temporal		Talud permanente	
	Estática	Sísmica	Estática	Sísmica
AASHTO LRED	1,33-1,53	1,1	1,33-1,153	1,1
NAVFAC-DM7	1,3-1,25	1,2-1,15	1,5	1,2-1,15
FHWA-NHI-11-032		1,1		1,1
CE 020			1,5	1,25

Nota. Elaboración propia

2.2.9. Obtención de factores de seguridad

La detección del elemento de protección demanda la aplicación de una variedad de algoritmos matemáticos para evaluar y calibrar la solidez de los muros. Para equilibrar las fuerzas y momentos generados en el talud, se utilizan condiciones de armonía frente a una superficie de falla aceptada (Beneyto, 2011). El factor de seguridad puede determinarse a través de

teorías reducidas sobre la fortaleza de los materiales, como el equilibrio infinito, o empleando métodos más exactos, como el método de elementos finitos, que ofrece respuestas infalibles en ambos escenarios. En tales casos, es posible utilizar técnicas de búsqueda iterativa donde la solución no es única, está limitada a un cierto marco temporal.

Es esencial considerar factores externos como sobrecargas persistentes o transitorias, las fuerzas causadas por el filtrado del suelo y las fluctuaciones sísmicas para realizar una evaluación más mínima del factor de seguridad.

2.2.10 Metodologías para el análisis de la estabilidad de taludes

Se utiliza un factor de seguridad (FS) para evaluar la resistencia de un talud. Es muy importante considerar todos los factores que afectan la armonía, como la forma del talud, los aspectos geológicos, la presencia de fisuras y las cargas dinámicas causadas por terremotos, el flujo de agua y las características del terreno, entre otros elementos. Es crucial considerar que hay elementos que no pueden ser medidos para armonizar con un modelo matemático. Sin embargo, las hipótesis científicas acerca del comportamiento del suelo (como el material isotrópico) y las superficies de falla empleadas en el análisis de estabilidad (circulares, planas, parabólicas, logarítmicas y sus metamorfosis) brindan al ingeniero responsable un tesoro preciado al seleccionar tácticas estratégicas.

Se pueden distinguir dos tipos de enfoques metodológicos para ilustrar la estabilidad en taludes: técnicas numéricas y estrategias de equilibrio límite. Además, existen técnicas menos comunes y especializadas, como técnicas dinámicas para atraer roca y flujo de caídas, entre otras.

2.2.10.1. Métodos para el equilibrio límite

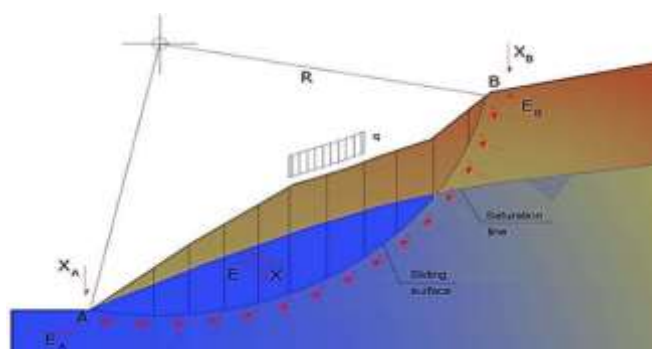
A causa de su sencillez al descifrar el factor de seguridad, este es uno de los métodos predilectos para evaluar la fortaleza de los taludes. Este enfoque no demanda saber sobre la danza entre esfuerzo y deformación; solo demanda información sobre la fortaleza del suelo. Además, un estudio realizado bajo equilibrio estadístico sirvió como base para los cálculos. Este enfoque parte del supuesto de que las fuerzas resistivas y desestabilizadoras, en caso de falla de talud, se distribuyen uniformemente sobre la superficie de falla y mantienen una relación de uno.

La masa de suelo que se desplaza sobre el terreno de falla puede ser segmentada en "n" segmentos, cada uno de los cuales será afectado por el sistema de fuerzas globales. Alternativamente, el análisis puede llevarse a cabo en todo lo largo de toda la superficie de falla.

El continuo desarrollo del análisis de segmentos por parte de diferentes investigadores ha dado lugar a la creación de técnicas cada vez más complejas y precisas, respaldadas por programas informáticos. Esto ha permitido crear software intuitivo con técnicas de iteración que permiten mayores niveles de precisión.

Figura 8

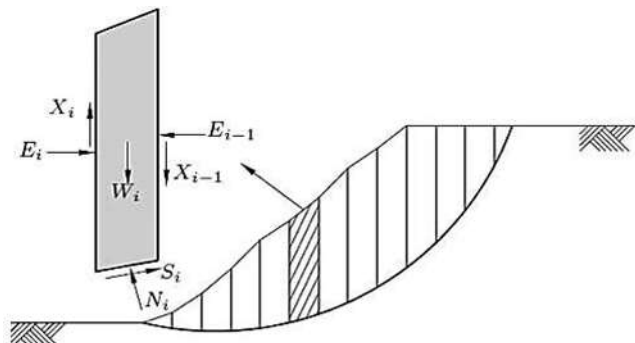
Representación de la estabilidad usando el método de equilibrio límite



Nota. GE05

Figura 9

Masa inestable dividida en bloques verticales que presentan interacción de fuerzas entre sí.



Nota. Soil Strength and Slope Stability

Tabla 6

Métodos más utilizados para la evaluación de la estabilidad de taludes mediante el enfoque del equilibrio límite

Método	Tipo de Superficie de Falla	Equilibrio	Características
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1972)	Circulares	De Fuerzas	-No considera fuerzas entre Dovelas -No satisface equilibrio entre masa deslizada como para dovelas individuales -Procedimiento Simple -Impreciso para taludes planos con alta presión de poros -Factores de Seguridad Bajos
Bishop Simplificado (Bishop 1955)	Circulares	De Momentos	-Asume la fuerza cortante entre dovelas igual a cero -Soluciones sobre determinadas debido a que no se fija condiciones de equilibrio para una dovela -Factor de Seguridad altos
Janbu Simplificado (Janbu 1968)	Cualquier forma de superficie de falla	De Fuerzas	-Asume la inexistencia de fuerzas cortantes entre dovelas -Solución sobre determinada que no satisface totalmente las condiciones de equilibrio de momentos por lo que asume un factor de corrección F_0. -Factor de Seguridad Bajos
Sueco Modificado. U.S. Army Corps of Engineers (1970)	Cualquier forma de superficie de falla	De Fuerzas	-Asume que las fuerzas tienen una dirección igual a la de la superficie del terreno -Factores de Seguridad Altos
Método	Tipo de Superficie de Falla	Equilibrio	Características
Lowe y Karafiath (1960)	Cualquier forma de superficie de falla	De Fuerzas	-Asume que las fuerzas entre partículas se encuentran inclinadas en un Angulo igual al promedio entre la superficie del terreno y las bases de las dovelas -Al generar una serie de incógnitas no satisface el equilibrio de momentos

Spencer (1967)	Cualquier forma de superficie de falla	Momentos y Fuerzas	-Asume la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada dovela -Satisface rigurosamente el equilibrio estático considerando que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma de superficie de falla	Momentos y Fuerzas	-Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado -Sigue un modelo de inclinación de Spencer, pero considerando que la inclinación de la resultante de fuerzas entre dovelas varía de acuerdo a una función arbitraria
Método	Tipo de Superficie de Falla	Equilibrio	Características
			-Asume que la magnitud de las fuerzas verticales sigue un sistema predeterminado -Empieza las dovelas para calcular un coeficiente sísmico necesario
Sarma (1973)	Cualquier forma de superficie de falla	Momentos y Fuerzas	para producir la falla, permitiendo obtener una relación entre factor de Seguridad y Coeficiente Sísmico -Para casos estáticos el coeficiente sísmico corresponde a cero -Satisface todas las condiciones de equilibrio, sin embargo, la superficie de falla correspondiente resulta diferente a la obtenida empleando cualquier otro procedimiento más convencional

Nota. Información de internet

Aunque los enfoques más populares son los de Bishop y Janbu, debe notarse que, en teoría, no cumplen con los equilibrios de fuerza o momento; por lo tanto, los factores de seguridad que se derivan pueden ser muy diferentes de los que sí los cumplen (Spencer y Morgenstern – Price).

No es posible realizar una comparación directa entre los métodos, ya que todos los mencionados arrojan resultados variables e incluso contradictorios, lo cual refleja la incertidumbre inherente al análisis de la estabilidad de taludes. No obstante, una investigación realizada por (Krahn & Fredlund, 1977) indica que el procedimiento de Janbu tiende a subestimar el coeficiente de seguridad hasta en un 30 %, y en otros casos, en un 5 %. Por su parte, el método de Bishop genera valores de seguridad que difieren en aproximadamente un 5 % respecto a técnicas más avanzadas. De ello se concluye que, aunque existen alternativas más detalladas y exactas, estas conllevan a complicaciones numéricas de mayor complejidad.

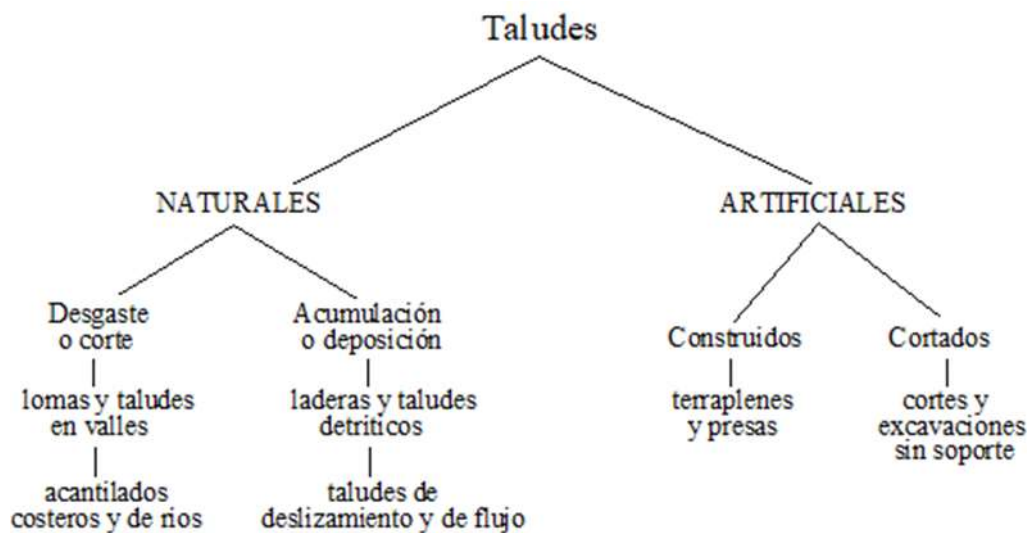
Las distintas formulaciones del equilibrio límite empleadas en la actualidad, que se fundamentan en la subdivisión de la posible masa deslizante en un número limitado de porciones, contemplan elementos similares. Estos elementos equivalentes comprenden, según (Bojorque Iñiguez, 2011):

- Se crea un número finito de segmentos a partir de la masa de falla potencial.
- La masa de falla se comporta como una entidad sólida.
- El centro de las bases de los segmentos está sujeto a fuerzas normales.
- Se aplica el mismo factor de seguridad a la distribución de la resistencia a lo largo de la superficie de falla.

- Utilizando supuestos sobre las fuerzas entre segmentos, el problema se determina estáticamente.
- Para calcular el índice de protección, se utilizan las ecuaciones de balance de fuerza y/o momento.
- Para abordar el problema de la seguridad, se emplean técnicas iterativas de ensayo y error.

Figura 10

Taludes



Nota. Alonso y Romana (1988)

2.2.10.1.1. Soluciones de equilibrio límite

Condiciones idealizadas, el análisis de la estabilidad de taludes presenta un desafío debido a dos factores principales. El primero es la existencia de características heterogéneas y una variedad de tipos de suelo en los taludes. El segundo se relaciona con las condiciones de contorno que tejen la red de flujo, las cuales frecuentemente se revelan con una sinfonía de claridad.

Para superar estos problemas se parte de las siguientes premisas:

- a. Suponiendo que no actúan cargas cortantes normalmente sobre la sección, se toma una sección promedio típica. Las dimensiones unitarias de la masa analizada son normales a la sección.
- b. Se cree que los suelos homogéneos con propiedades constantes constituyen la sección típica.
- c. Se asume que la ecuación de Mohr-Coulomb revela la habilidad del suelo para soportar el corte en su área particular.
- d. Se asume que las características del flujo y las presiones vinculadas, plasmadas en una trama de flujo, son bien conocidas.

El propósito primordial del estudio de la estabilidad de los taludes mediante el método del equilibrio ilimitado es desvelar el factor de seguridad, crucial para diseñar escenarios sensibles.

Al evaluar la seguridad, es vital considerar la fiabilidad de los datos. Frecuentemente, se demanda un nivel de seguridad elevado cuando la inspección del lugar es deficiente, considerando la experiencia del ingeniero en situaciones similares a esta.

El FC para el talud observado en la Figura 7.4 se define como:

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad [7.1]$$

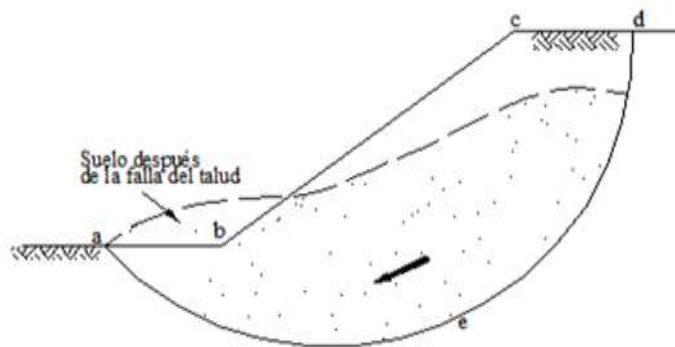
Donde:

τ_f = Resistencia al cortante promedio del suelo $= c + \sigma' \tan \phi$

τ_d = Resistencia al cortante promedio desarrollada a lo largo de la superficie potencial de falla $= c_d + \sigma' \tan \phi_d$

Figura 11

Deslizamiento o colapso de un talud.



Nota. Autor Braja

La distinción entre condiciones drenadas y no drenadas permite la adquisición de factores de seguridad específicos para la cohesión y fricción del suelo.

El FC correspondiente a la fricción se expresa como:

$$FS_{\phi} = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_d}$$

$$\tan \phi_d = \frac{\tan \phi}{FS_{\phi}}$$

[7.2]

Respecto a la cohesión, el FC se define como:

$$FS_c = \frac{c}{c_d}$$

$$c_d = \frac{c}{FS_c}$$

[7.3]

La ecuación [7.1] proporciona la siguiente relación:

$$FS = \frac{c + \sigma' \tan \phi}{c_d + \sigma' \tan \phi_d}$$

[7.1a]

La ecuación [7.1a] resulta de reemplazar en [7.1] las expresiones dadas en las ecuaciones [7.2] y [7.3]:

$$FS = \frac{c + \sigma' \tan \phi}{\frac{c}{FS_c} + \sigma' \frac{\tan \phi}{FS_\phi}} \quad [7.1b]$$

Una de las hipótesis de los métodos de equilibrio límite establece que el fallo ocurre sólo cuando es igual a y ambos son iguales a 1.

Por tanto, el fallo se produce de acuerdo con la técnica del equilibrio límite cuando:

$$FS = FS_\phi = FS_c = 1 \quad [7.1c]$$

El enfoque de equilibrio límite se fundamenta en las ecuaciones de equilibrio de fuerza y momento. Este componente se determina como el ángulo entre la movilización y la resistencia total en una superficie de falla horizontal (véase la figura 7.5). El elemento de protección en este contexto se manifiesta de la siguiente manera:

$$FS = \frac{\sum \text{Fuerzas resistentes}}{\sum \text{Fuerzas mobilizadoras}} \quad [7.4]$$

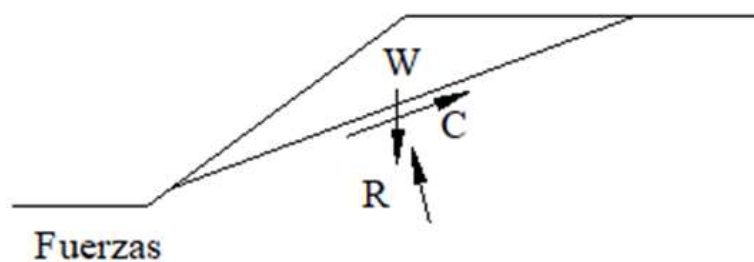
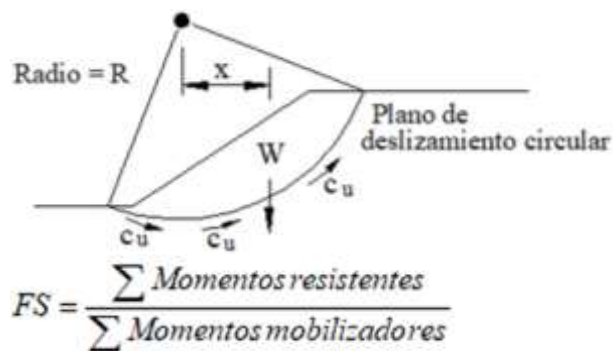


Figura 7.5. El FC se define utilizando la técnica de equilibrio de fuerzas del equilibrio límite.

Tal como se indica a continuación, al considerar una superficie de falla circular (Fig. 7.6), el factor de seguridad se determina dividiendo la suma de los momentos que favorecen el deslizamiento entre la suma de los momentos que lo resisten.

Figura 12

Concepto del factor de seguridad basado en el método de equilibrio



Nota. Braja [7.5]

Para calcular el índice de seguridad, las evaluaciones de estabilidad de taludes para cortes y rellenos deben considerar tanto la actualidad como el porvenir, y si la anomalía se presenta en una superficie deslizante ya existente o en una nueva edificación.

Para obtener resultados confiables en el diseño de taludes, es fundamental seguir ciertas directrices al seleccionar los valores apropiados de los parámetros de resistencia. Al realizar esta elección, debe considerarse que pueden presentarse situaciones particulares que demanden la aplicación del juicio profesional del ingeniero.

La esencia de estas recomendaciones radica en descubrir si la superficie de falla es inédita o ya existe:

- Deslizamientos a lo largo de terrenos antiguos. - Este estado de colapso se revela solo después de grandes cambios. En tales situaciones, es imprescindible utilizar los parámetros de resistencia remanente.

Condición no drenada:

Condición drenada:

- Desliza a lo largo de una superficie recién descubierta. En esta situación, se ha superado la resistencia máxima, lo que provoca la aparición de una

nueva capa de falla. Las condiciones de drenaje y el historial de preesfuerzo se tienen en cuenta al elegir las especificaciones de resistencia. Los siguientes resultados se derivan del historial de preesfuerzo:

Los suelos de baja densidad y aquellos con un contenido de humedad superior a su estado crítico son ejemplos de suelos normalmente consolidados y ligeramente sobre consolidados. Los siguientes son los parámetros de resistencia que se utilizarán:

Condición no drenada (resistencia pico):

Condición drenada (resistencia crítica):

- Suelos sobreconsolidados, compuestos por materiales de gran elasticidad y aquellos con una humedad inferior a su estado crítico. En estas tierras, las deformaciones son escasas y la resistencia máxima tiende a superar la resistencia en situación crítica. Cuando las deformaciones previstas sean inciertas o difíciles de predecir, se recomienda precaución. Los parámetros de resistencia relacionados con esto son:

Pequeñas deformaciones.

Condición no drenada (resistencia máxima).

Condición drenada (resistencia máxima).

Deformaciones no determinadas o difíciles de prever.

Escenario no drenado (resistencia mínima o crítica).

Escenario drenado (resistencia mínima o crítica).

Suelos arenosos.

Con una densidad superior a la correspondiente a su resistencia máxima o estado crítico.

Con una densidad inferior respecto a su resistencia crítica o estado crítico.

2.2.10.2. Métodos numéricos

Los recientes avances técnicos han permitido realizar análisis de estabilidad de taludes de forma más exhaustiva, incorporando volúmenes de datos cada vez mayores y permitiendo el estudio de escenarios que antes eran imposibles de lograr con técnicas manuales. Entre los elementos esenciales, destacan los contornos, los números finitos, las diferencias finitas y los discretos.

La principal distinción entre estas técnicas y los múltiples métodos de Equilibrio Límite radica en su destreza para incorporar las deformaciones en el análisis, lo cual agiliza la identificación del posible mecanismo de falla, especialmente en situaciones de fallo progresivo y sensibles al tiempo. Estos enfoques aceleran la comprensión en situaciones intrincadas, tales como las fallas por giro, donde la superficie de corte es un rompecabezas caprichoso. Además, facilitan el análisis del impacto de elementos externos en el talud, como la existencia de estructuras que provocan tensiones y deformaciones iniciales en el sistema.

2.2.10.2.1. Análisis de la estabilidad de taludes mediante elementos finitos

Este enfoque, en su calidad de miembro del grupo de métodos numéricos, aborda varias incertidumbres inherentes al método de Equilibrio Límite. Este enfoque examina los esfuerzos y deformaciones de la superficie para cualquier superficie caída, asegurando que los nódulos elementales también tengan estos esfuerzos y deformaciones. Aunque la mayoría permiten movimientos más restrictivos, no hay un sentido tangible de seguridad; en su

lugar, se representan los campos de esfuerzo y deformaciones (deslizamientos).

Clough y Woodward III pusieron en práctica esta estrategia en 1967. Su función principal es dividir la tierra en piezas finales, conocidas como elementos, que luego se entregan a sus extremos y límites establecidos. Se utiliza una hipótesis de movimientos que desvela los efectos de los esfuerzos y las alteraciones en los puntos nodales. El estado de falla se manifiesta como una travesía lenta en la que no todos los componentes se desploman al suelo.

Todo lo dicho antes lo hace una herramienta poderosa, aunque complicada. Wong en 1984 destaca que lograr un factor de seguridad con esta táctica es un reto, aunque investigaciones posteriores lo resolvieron. (Ugai y sus colaboradores, 1995).

El análisis de elementos finitos debe cumplir los siguientes requisitos:

- Cada punto debe mantener el equilibrio de tensiones, lo cual se logra describiendo las tensiones y deformaciones mediante la teoría elástica. Comprender la relación entre tensión y deformación es necesario para predecir el grado de tensión.
- Se deben cumplir las condiciones para la tensión límite.

El requisito de especificar la relación tensión-deformación, especialmente en depósitos de suelo natural, y la falta de conocimiento sobre las tensiones reales in situ para incluirlas en el modelo son dos de las principales desventajas del método en aplicaciones prácticas. Además, debido a sus capacidades informáticas y facilidad de uso, el análisis bidireccional es el más utilizado, lo que lleva a asumir tensiones y deformaciones laterales cero.

- **Análisis de la Estabilidad Estática**

La evaluación de la estabilidad de un talud se basa en el análisis estático, puesto que se enfoca en la evaluación de las cargas permanentes y constantes del sistema, tales como el peso propio (W). Adoptar un estado perpetuo asegura la robustez perpetua, siempre y cuando no se enfrenten fuerzas externas. Surez, en el mes de mayo de 2011.

Para realizar este estudio, se pueden emplear cualquiera de las técnicas propuestas (Métodos Numéricos y Equilibrio Límite).

2.2.11 Aplicaciones informáticas

Hoy en día, la metamorfosis tecnológica ha dado vida a una variedad de aplicaciones informativas que abordan la estabilidad de los taludes de forma más ágil e incluso instantánea, basadas en una variedad de enfoques para evaluar la estabilidad de los taludes.

En la nueva era de la evaluación de la estabilidad de taludes, Slope/W, Quake/W, Plaxis y Geo5 son efectivos. Estos programas proporcionan herramientas para explorar tanto entornos regulados como cambiantes. Estos programas permiten una variedad de configuraciones de superficie de caída, así como condiciones de saturación y sequía.

Estas herramientas nos permiten realizar simulaciones para los diversos métodos de equilibrio ilimitado mencionados, lo que nos permite evaluar y comparar con otras técnicas.

2.2.11.1 Métodos para estabilizar Taludes

Es esencial considerar los parámetros de tiempo y espacio para elegir una técnica adecuada que aborde la inestabilidad de las laderas. Existen

varios métodos destinados a reducir los efectos negativos de estos fenómenos, incluyendo la erradicación de su ocurrencia.

2.2.11.2 Métodos de Remediación

A través de un análisis exhaustivo de la fuerza de un pantano, se espera descubrir los aspectos aterradores, los niveles de peligro y amenaza, y cualquier consecuencia potencial que pueda dañar a un ser humano. Esto les proporciona a los expertos una base sólida para elegir un enfoque preventivo, monitoreado o firme.

Entre las alternativas de remediación se encuentran las siguientes:

2.2.11.2.1 Prevención de la amenaza

Esto incluye la gestión de vulnerabilidades, que se centra principalmente en prevenir que ocurra el evento para evitar que los riesgos o peligros se materialicen. Los gobiernos deben promulgar leyes para hacer cumplir la prevención mediante la imposición de normas a la población para su protección. Como resultado, se pueden establecer las siguientes normas:

- Limitar el crecimiento de las ciudades en zonas propensas a deslizamientos
- Normas que rigen las talas, excavaciones y edificaciones.
- Sugerencia de estrategias de mitigación para los planes de desarrollo urbano.
- Establecer y crear sistemas de alarma, control y monitoreo.

2.2.11.2.4 Estabilización

Para uno de los métodos más esenciales, que busca mitigar el riesgo al incorporar un sistema que eleve la seguridad y asegure una conducta más eficiente de las pendientes, son imprescindibles los siguientes elementos:

- Seleccionar el mejor sistema o combinación de sistemas con base en estudios de taludes.
- Utilizando especificaciones de diseño y planos, se describió detalladamente el sistema a utilizar.
- Durante y después de la estabilización, establecer un sistema de guía o control.

Es importante señalar que no hay métodos ni diseños específicos para estabilizar. Durante el proceso de construcción, con frecuencia es necesario fusionar varios sistemas y, de ser necesario, realizar mejoras.

2.2.12 Principales métodos en la estabilización

Tras confirmar la inestabilidad del talud, se debe determinar la técnica óptima de estabilización, tanto para la cresta como para la base, analizando diversos factores.

Según la información anterior, se pueden distinguir tres categorías principales de soluciones para la estabilización de taludes:

- Reforzar el suelo mediante la adición de materiales que modifican sus características (cemento, aglomerantes, etc.) y mejorar el drenaje.
- Reducir las presiones sobre el talud, lo que se logra principalmente modificando la geometría del talud mediante la reducción de los ángulos de inclinación, la disminución de la altura (bancos) o la reducción de la cresta.
- Reforzar la contención de taludes mediante estructuras estabilizadoras como bermas, pantallas ancladas o muros de gravedad.

Con base en lo anterior, las principales soluciones son:

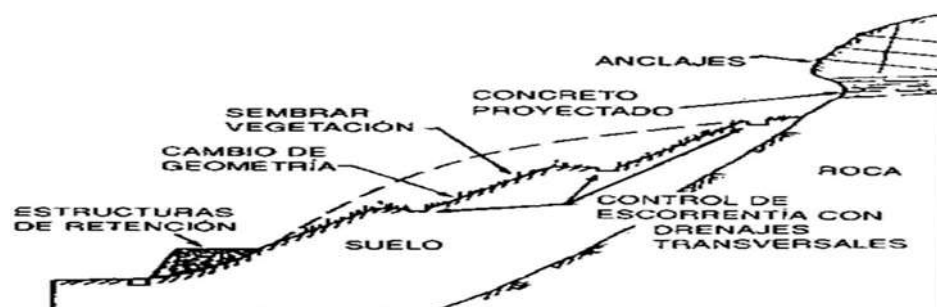
2.2.12.1. Cambio de la geometría

Al modificar la geometría del talud, el objetivo principal es reducir las tensiones que provocan inestabilidad y aumentar la resistencia general del sistema. Los suelos cohesivos son el principal uso de este tratamiento.

Los principales cambios incluyen la reducción de la altura, la bajada de la pendiente y la construcción de bermas (aceras). Las bermas suelen acumular agua y formar charcos y los cambios de pendiente frecuentemente erosionan la superficie impermeable, es crucial garantizar un drenaje adecuado durante y después del proceso de construcción.

Figura 13

Técnicas de estabilización de taludes basadas en la modificación de su forma o inclinación.



Nota. Suarez

2.2.12.2 Drenaje

El agua es el principal factor que causa la inestabilidad de los taludes, ya que al saturar el suelo incrementa tanto su peso como la presión interna, particularmente en terrenos con un nivel moderado o elevado de meteorización.

Entre las técnicas de drenaje se encuentran:

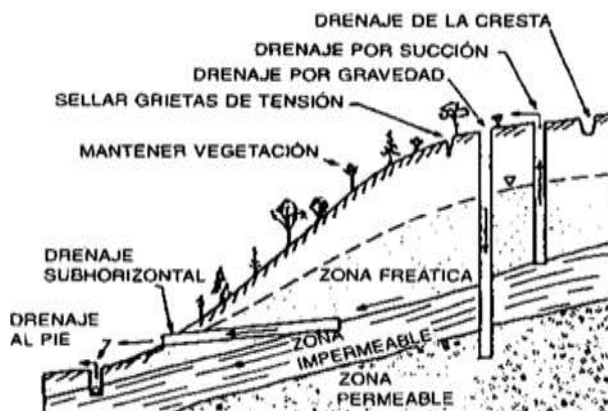
- Drenajes subhorizontales, para evacuar el agua interna a través de una pequeña pendiente hacia el pie de la colina, se instalan tuberías horizontales cubiertas por filtros dentro de la pendiente. El tipo de suelo

que se va a drenar afectará la profundidad de la perforación y la distancia entre las tuberías (materiales como arcillas y limos necesitan menor distancia).

- Drenajes Verticales, la implementación de sistemas de drenaje vertical tiene como finalidad atravesar una capa impermeable ubicada sobre otra más permeable, garantiza que todo el líquido almacenado por encima del estrato impermeable pueda alcanzar el nivel más permeable permitiendo el flujo de agua sin restricciones y reduciendo la presión hidrostática.
- Drenajes Transversales o Interceptores, su propósito es suprimir cualquier posible concentración de agua en los diferentes estratos de la ladera, previniendo de este modo procesos erosivos. Para desviar el agua superficial y evitar que se infiltre hacia el nivel inferior inmediato, generalmente se instalan en las partes altas y en la base de las pendientes mediante zanjas o conductos de captación.
- Drenajes de Contrafuerte, se trata de conductos verticales rellenos con agregado granular poroso que atraviesan la ladera. Estos conductos tienen una profundidad superior a la de la superficie de deslizamiento, lo cual asegura el drenaje interno y refuerza la estabilidad del terreno mediante el empleo de materiales especializados.

Figura 14

Técnicas de estabilización de taludes mediante sistemas de drenaje.



Nota. Información de internet

2.2.12.3 Soluciones Estructurales

Incluso cuando se aplican simultáneamente las técnicas de modificación geométrica y drenaje, no siempre se logra garantizar la estabilidad del talud, ya que estos suelen estar compuestos por materiales con propiedades físicas y mecánicas deficientes, además de estar sometidos a fluctuaciones geológicas caprichosas, como la aparición de grietas en el suelo. Podemos describir los dos sistemas principales ya que, por las razones anteriormente expuestas, frecuentemente se requiere incorporar estructuras que aumentan activamente (estructuras de gravedad, bridas, etc.) o pasivamente (deteniendo el movimiento de la masa de tierra) las fuerzas resistivas:

- Debido a la necesidad de demasiado material para asegurar el peso adecuado, los muros de gravedad y voladizos no son rentables. De igual manera, los muros voladizos son más rentables cuando están hechos de hormigón armado o un material comparable, ya que emplean distribuciones que garantizan pesos mayores con el mismo material de relleno que la pendiente. Las principales desventajas son el costo y el

hecho de que no se garantiza un drenaje eficiente cuando se utilizan materiales sólidos; como resultado, se agrega trabajo adicional que añade peso. El uso de gaviones es una opción común y económica que garantiza la permeabilidad.

- Pantallas, esta técnica utiliza pantallas o componentes en forma de malla que cubren todo el talud. Estas ofrecen contención, poseen una elevada capacidad de soportar esfuerzos de tracción y evitan la disgregación del material. Los anclajes pretensados, que se instalan mediante perforaciones que atraviesan la zona de ruptura y producen empujes activos que impiden que la masa de suelo se mueva, se emplean comúnmente para fortalecer este sistema. Estas mallas suelen estar cubiertas de hormigón o materiales similares, lo que aumenta la permeabilidad, el peso y la resistencia, a diferencia de lo que crea el talud.

2.2.12.4 Introducción a los geosintéticos

Según el libro "Diseño con Geosynthetics" (Koerner, 2005) y según la norma ASTM D4439, son conocidos como los materiales geotextiles que se tejen sobre la tierra:

"Geosintéticos, un artefacto rectangular confeccionado con materiales poliméricos empleando tierra, roca u otros elementos geotécnicos como pilares fundamentales de un proyecto, estructura o sistema ideado por el ser humano".

Se trata de un material muy resistente y flexible, creado para aplicaciones en diversos sectores, como el hidráulico, el medioambiental y el geotécnico. Las principales características que hacen que los geosintéticos sean tan beneficiosos son las siguientes:

- Desde el instante en que el producto entra en la fábrica, el control de calidad se inicia.
- Instalación rápida y sencilla.
- Cuando se utilizan materias primas, con frecuencia sustituyen los recursos.
- Al sustituir la tierra u otros materiales de construcción por diseños convencionales, se vuelven competitivos con otros diseños.
- Su durabilidad es suficiente.
- Adaptables para cumplir con normas o requisitos específicos.
- Su uso ha permitido diseños que antes se consideraban desafiantes o incluso inalcanzables.
- Muy populares y fáciles de conseguir.

Su uso principal es el refuerzo del suelo, lo que mejora el rendimiento general del talud en el futuro. Actualmente, los geotextiles tienen cinco usos principales: contención, drenaje, filtración, refuerzo y separación.

2.2.12.5 Tipos de Geosintéticos

Robert Koerner, en su monumental obra *Exploring Geosynthetics*, enumera ocho clases de geotextiles:

2.2.12.5.1 Geomallas

Las geomallas, un segmento en auge, son materiales plásticos con una estructura de rejilla extensa, caracterizada por grandes espacios entre los nervios tanto longitudinales como transversales hacia el dispositivo. Las geomallas pueden ser fabricadas de múltiples maneras: (1) se curvan en una o dos direcciones para perfeccionar su física, (2) Se tejen en telares o máquinas de tejer utilizando técnicas ancestrales y veneradas, o (3) se tejen

con varillas de unión o correas unidas. Diversas áreas de aplicación, sin embargo, predominan como recursos de fortalecimiento. (2005) Koerner.

2.2.12.5.2 Geotextiles

En los últimos 25 años, el auge de los geotextiles ha sido asombroso. En esencia, son tejidos, aunque confeccionados con materiales sintéticos en lugar de los naturales, con el propósito de enfrentar retos como la biodegradación y su breve duración. Estos filamentos sintéticos se producen en tejidos porosos y flexibles a través de máquinas de tejido convencionales, o se entrelazan de manera aleatoria en estructuras no tejidas. Los geotextiles han encontrado al menos cien aplicaciones únicas; sin embargo, El material cumple al menos una de las cuatro funciones importantes: refuerzo, separación, drenaje y/o filtración (Koerner, 2005).

2.2.12.5.3 Geodren

Los Georedes, también conocidos como Geodrén, se distinguen por una danza perpetua de costillas poliméricas situadas en ángulos pronunciados. Al abrir las costillas, se despliegan vastos territorios que evocan la estructura de una red. Su misión arquitectónica se centra en el área de drenaje, utilizada para transportar fluidos de diversas clases (Koerner, 2005).

2.2.12.5.4 Geomembranas

Las geomembranas, diminutas y resistentes, se presentan como revestimientos y cubriciones en recipientes que almacenan líquidos o sólidos. Esto abarca todas las formas de almacenes, reservorios, canales y demás edificaciones de contención. En consecuencia, la función principal se desempeña constantemente como una barrera de contención para líquidos, vapores o ambos. La variedad de usos es vasta y, además del ámbito

ecológico, están floreciendo vertiginosamente en sectores como la geotecnia, la hidráulica, el transporte, y la ingeniería de desarrollo privado (Koerner, 2005).

2.2.12.5.5 Forro de arcilla Geosintético

Los mantos de arcilla geosintética (GCL) son una danza única entre diversos materiales y la madre Tierra. Estas diminutas capas de arcilla de bentonita se entrelazan entre dos hilos de geotextile o se fusionan con una geomembrana invisible. La solidez del material compuesto se logra mediante la punzonación con agujas, la costura o el nexo físico. El GCL se utiliza tanto como parte de geomembranas como como componente independiente en aplicaciones ecológicas y de protección, además de en el transporte, la geotecnia, la hidráulica y múltiples aplicaciones privadas de desarrollo (Koerner, 2010).

2.2.12.5.6 Geopipe

Se menciona a la geopipe por su patente en múltiples ámbitos, tales como la geotecnia, el transporte, el entorno natural, la ingeniería de desarrollo privado y la hidráulica (Koerner, 2005).

2.2.12.5.7 Geobloque

Los Geobloques son el fruto de la expansión polimérica, revelando una "espuma" llena de células cerradas, llenas de gas. La captura de membrana celular es una captura polimérica inmóvil. El resultado final suele ser enorme pero de asombrosa ligereza; los bloques se ensamblan lateralmente y proporcionan una superficie lisa para muchas aplicaciones. Aunque el propósito principal está determinado por la aplicación, la separación siempre

es un factor importante a tener en cuenta. En este contexto, se integrará el geobloqueo en lugar de forjar una frontera. (2005) Koerner.

2.2.12.5.8 Geocompuestos

Los geocompuestos son una orquesta de georedes, geomallas, geotextiles y/o membranas, condensada en una entidad singular. Asimismo, estos cuatro materiales tienen la capacidad de fusionarse con otros elementos artificiales, como láminas de plástico ondulado o cables de acero, o incluso con la tierra misma. Un geodrenaje hecho con geotextiles en ambas caras y un GCL que consiste en una capa de geotextil, bentonita y luego otro geotextil son los elementos básicos de los compuestos geológicos en general. Este envoltorio cautivador guarda los prodigios ingeniosos del arquitecto, el creador y el contratista. Las aplicaciones son infinitas y continúan expandiéndose sin cesar. Las características geoquímicas abarcan la disgregación, el fortalecimiento, la filtración, el drenaje y la contención (Koerner, 2005).

2.2.12.6 Limitaciones de la aplicación de los métodos de estabilización de taludes

El tipo de suelo, el grado de deformación, la durabilidad, la corrosión y la viabilidad de la construcción son los principales determinantes de todas las técnicas de estabilización. Así pues, los elementos esenciales a tener en cuenta son:

- La existencia de agua, especialmente si hay un nivel de agua subterránea. La medición de la superficie no debe detenerse por ninguna obra, especialmente durante el proceso de construcción, ya que esto genera mayores tensiones. En su lugar, se deben utilizar métodos que resistan el movimiento.

- Para absorber los movimientos de las masas de suelo, es necesario contar con una infraestructura adecuada. Por ejemplo, las deformaciones tienen poco efecto sobre las estructuras gravitacionales, a diferencia de los sistemas reforzados.
- Es crucial tener en cuenta que los componentes de refuerzo serán sometidos, de algún modo, al suelo, al agua y al entorno. Para mejorar su durabilidad frente a la corrosión y asegurar una vida útil prolongada, resulta esencial que dichos materiales, en especial los de tipo metálico, cuenten con un recubrimiento protector adecuado.
- Finalmente, el análisis de los efectos ambientales previos, durante y posteriores a la ejecución o implementación del sistema de estabilización adquiere una relevancia creciente. La posibilidad de que las obras de drenaje instaladas contaminen los arroyos o alteren el flujo de las aguas superficiales y subterráneas es uno de los principales inconvenientes. Por lo tanto, una vez finalizadas las obras planificadas, es necesario restaurar el medio ambiente.

2.3. HIPÓTESIS

2.3.1. Hipótesis general

La estabilidad del talud, Carretera Sina - Yanahuaya - San Pedro de Moho- Sandia no supera el factor mínimo de seguridad de 1.50, por lo tanto, se considera inestable, siendo una propuesta de estabilización la modificación de la sección del talud mediante la reducción de la pendiente, incorporación de muros de contención(gaviones) y sistema de drenaje.

2.3.2. Sub hipótesis

Sub Hipótesis N° 01: Los parámetros físico mecánicos de los suelos para el análisis de estabilidad del talud en la Carretera Sina–Yanahuaya–San Pedro de Moho- Sandia, Puno, 2022 son la Cohesión, ángulo de fricción interna y Peso Específico.

Sub Hipótesis N° 02: Los parámetros topográficos para el análisis de estabilidad del talud, tramo 23+710, Carretera Sina–Yanahuaya–San Pedro de Moho- Sandia, Puno, 2022 son la pendiente transversal, altura y longitud del talud.

Sub Hipótesis N° 03: El factor de seguridad (FS) del talud, tramo 23+710, Carretera Sina–Yanahuaya–San Pedro de Moho- Sandia, Puno, 2022 se encuentra por debajo de 1.50.

Sub Hipótesis N° 04: El factor de seguridad (FS) con la propuesta de reducción de la pendiente, incorporación de muros de contención(gaviones) y sistema de drenaje, tramo 23+710 Carretera Sina - Yanahuaya - San Pedro de Moho- Sandia Puno 2022, supera el valor mínimo de 1.5.

2.4. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES

2.4.1. Variables independientes

- Propuesta de estabilización

2.4.2. Variables dependientes

- Estabilización del talud

2.5. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 7

Operacionalización de las variables

VARIABLES		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Independiente	Propuesta de estabilización	Solución geotécnica integral que se implementa en	Será la aplicación de la propuesta en el talud, mediante abatimiento del talud para	D1: Sección transversal del talud.	Pendiente del talud, Banquetas.	Método Equilibrio Límite, Software GEO5, Norma CE020 Estabilización de suelos y taludes.
		un talud, capas de incorporarle equilibrio suficiente y sostenible medidos por	disminución de la pendiente, incorporación de muros gaviones para control de movimientos y sistema	D2: Incorporación Muro de contención (gaviones).	Gavión.	
		factores de seguridad, sin afectar negativamente a su entorno.	de drenaje con de incrementar el factor de seguridad a parámetros mínimos requeridos.	D3: Incorporación de Sistema de drenaje.	Cuneta de coronación, drenaje de aguas subterráneas y pluviales.	
Dependiente	Estabilidad del talud	Proceso en el que se evalúan cuantitativamente la interacción entre las fuerzas estabilizantes o resistentes y las fuerzas desestabilizantes o movilizantes que actúan sobre un talud (Norma CE020).	El análisis de la estabilidad del talud se realiza en función de un factor de seguridad, que se obtiene a partir de un análisis matemático de estabilidad, para lo cual se analizan factores como geometría del talud, parámetros geológicos, presencia de grietas, cargas dinámicas, flujos de agua y propiedades de los suelos entre otros.	D1: Propiedades Fisicomecánicas del Suelo	SEV, Análisis Granulométrico, Límites de Consistencia, Contenido Humedad, Densidad Natural, Gravedad Específica, Infiltración, Angulo de fricción, cohesión, compacidad.	Resistivímetro Inteligente, Juego de Tamices normalizados, Cuchara de Casagrande, Cono de Arena, Picnómetro normalizado, Procedimiento Porchet, Equipo de Compresión triaxial, Equipo DPL, Manual de Ensayo de Materiales (MTC), Formatos de laboratorio.
				D2: Topografía	Distancias, elevaciones y pendientes	Estación total, Software Autocad civil 3D, Formatos de recolección de datos Topográficos
				D3: Factor de Seguridad Natural	FS ≥ 1.5 : Estable FS < 1.5 : Inestable	Método Equilibrio Límite, Software GEO5, Norma CE020 Estabilización de suelos y taludes.
				D4: Factor de Seguridad Natural con la propuesta de Estabilización	FS ≥ 1.5 : Estable FS < 1.5 : Inestable	Método Equilibrio Límite, Software GEO5, Norma CE020 Estabilización de suelos y taludes.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Enfoque de la investigación

Este estudio se distingue por su enfoque cuantitativo. De acuerdo con Hernández – Sampieri et al. (2014), las investigaciones cuantitativas se nutren de la recolección de datos para validar una teoría, a través de la medición, la recolección de datos y el análisis, todo ello apoyado en la ciencia de la medición numérica.

3.1.2. Nivel de la investigación

Este estudio es de naturaleza descriptiva, con el objetivo de resaltar las peculiaridades del fenómeno en estudio. En resumen, el nivel descriptivo cuantifica, analiza, recopila datos y dimensiona los aspectos relevantes del fenómeno. En un estudio descriptivo, se cuantifica y se recopilan datos sobre el fenómeno en cuestión para desentrañar su esencia con exactitud (Hernández - Sampieri et al., 2014).

3.1.3 Método de la investigación

Hace alusión a una danza de hipótesis y deducciones. En este estudio se proponen hipótesis que, tras una exploración de campo, análisis de datos y la recolección, pueden ser confirmadas o refutadas según los resultados

obtenidos al contrastar los métodos de estabilización utilizados (Hernández - Sampieri et al., 2014).

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Diseño metodológico

Posee una naturaleza innovadora. En esta tesis, se intencionalmente alteran una o más variables autónomas para explorar cómo estas alteraciones afectan a otras variables dependientes, bajo la supervisión del investigador (Hernández - Sampieri et al., 2014).

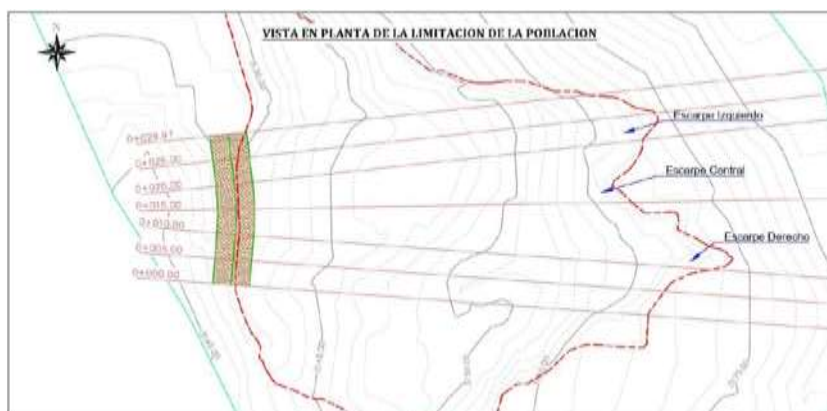
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población

Las porciones de la ladera de la margen derecha, cercanas al avance de la carretera 23+700, caracterizan la población de este estudio Sina – Yanahuaya Provincia de San Pedro de Moho- Sandia, En las coordenadas 191299m E, 8477802m S, de la zona 19 L, según el sistema de coordenadas UTM WGS84, se pueden ver tres escarpes: derecho, central e izquierdo, que abarcan todo el talud que estamos analizando.

Figura 15

Partes del talud asociadas al conjunto total de la población evaluada



Nota. Paricahua y Salluca

Cuantificación de la población

Constituye las siete secciones del talud, ubicadas cada cinco metros, que se extienden a lo largo de todo el talud, dividiéndolo en tres áreas de gran importancia: el escarpe izquierdo, el escarpe central y el escarpe derecho.

3.3.2 Muestra

Comprende las regiones más importantes, que son los tramos más largos y profundos de cada escarpa identificada del talud de estudio.

Figura 16

Segmentos del talud relacionados con la porción representativa de la muestra analizada.



Nota. Paricahua y Salluca

Cuantificación de la muestra

Se compone de tres partes más importantes, que se encuentran en los escarpes izquierdo, medio y derecho de la ladera.

3.3.2.1 Método de muestreo

El método de muestreo en esta investigación no es probabilístico, porque la selección de los elementos no se basa en la probabilidad, sino que se realizó de manera intencional o por conveniencia, conforme al criterio del investigador.

La ruta no sigue caminos automáticos ni se sostiene en teorías probabilísticas, sino que se basa en la capacidad de elección de cada persona o colectivo. Hay que reconocer que las muestras elegidas son el fruto de elecciones personales (Hernández - Sampieri et al., 2014).

3.3.2.2 Criterios de evaluación de muestra

La normativa CE 0.20 para la estabilización de suelos y taludes, fundamentada en la normativa técnica peruana y ofrecida como referencia para los ensayos, será la brújula para la valoración de la muestra:

Tabla 8*Tabla de pruebas programadas para el estudio del talud en evaluación*

Ensayos o pruebas	Normatividad o método
Levantamiento topográfico	
Sondaje eléctrico vertical	
Velocidad de Infiltración en el suelo	Método de Porchet
Análisis granulométrico por tamizado	MTC E 107, NTP 339.128, ASTM D 422
Limite liquido	MTC E 110, NTP 339.129
Limite plástico	MTC E 111, NTP 339.129
Ensayo de compresión triaxial del tipo No consolidado No drenado (UU)	MTC E 131, NTP 339.164, ASTM T D 2850
Ensayo para determinar la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena	MTC E 117, NTP 339.143
Método de ensayo estándar para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua	MTC E 113, NTP 339.131
Método de ensayo para determinar el contenido de humedad del suelo	MTC E 108, NTP 339.127, ASTM D 2216
Método de ensayo normalizado para la auscultación con penetrómetro dinámico ligero de punta cónica (DPL)	NTP 339.159 2001

Nota. Elaboración propia

a) Análisis del Estudio Geológico

Ubicación

El análisis se enfoca en el triángulo de Puno (28-s), una extensión de aproximadamente 3000 kilómetros cuadrados que se despliega entre las longitudes 71° 30' y 72° 00' oeste y las latitudes 13° 30' y 14° 00' sur. Entre las majestuosas Cordilleras Occidentales, el majestuoso Altiplano y las majestuosas Cordilleras Orientales, se alza este rincón único. El cuadrángulo que abarca Puno, San Pedro de Moho-Sandia y Acomayo se encuentra en el corazón del departamento de Puno.

Geología Regional

Formación San Pedro de Moho- Sandia: Mioceno superior

MENDÍVIL (1979) ha trazado con precisión el entramado San Pedro de Moho-Sandía. Desde 1986, CÓRDOVA, ROMERO & JAIMES (1996), CARLOTTO (1998) y CARLOTTO et al. (1997) han desentrañado minuciosamente la estratigrafía y la evolución sedimentaria de esta unidad estratigráfica. Hay afloramientos en el área alrededor del pueblo de San Pedro de Moho-Sandia que se extienden al norte hasta Sina, al sur hasta Cusibamba y al noroeste de Acomayo. Corresponde a la cuenca San Pedro de Moho-Sandia, la cual tiene 35 km por 3 km y es alargada de NNW-SSE. Las fallas NOSE y NNW-SSE Sina-Papres-Acomayo y Colcha-Coyabamba-Acomayo gobiernan esta cuenca.

Ambiente sedimentario y litología. El Grupo Moho y las Formaciones Muñani, Soncco y Punacancha se encuentran en discordancia angular con la Formación San Pedro de Moho-Sandia. Esta configuración incluye dos integrantes. El Miembro I está compuesto por areniscas fluviales, ciertos conglomerados fluviales, lutitas y lutitas lacustres. Según Jaimes y Romero (1996), el Miembro II se compone principalmente de conglomerados de conos aluviales que forman una secuencia de granos estrato crecientes. En el epicentro del Miembro I, se registran tobas volcánicas medidas por K/Ar en biotitas que datan de $10,1 \pm 1,1$ millones de años (CARLOTTO, 1998). En ciertas plantas, como Chara sp. El descubrimiento de Rhabdochara gr. langeri y Rhabdochara gr. langeri en la porción inferior revela el Mioceno (CARLOTTO, 1998). La Formación San Pedro de Moho-Sandia puede datarse en el Mioceno superior basándose en estas dos fechas.

Edad. El Miembro I alberga tobas volcánicas clasificadas por K/Ar sobre biotitas a 10.1 ± 1.1 Ma (Carlotto, 1998). Además, se han descubierto ciertos



invasores vegetales, como *Chara* sp. y *Rhabdochara* prominente. Langeri, en la parte inferior, revela el inicio del Mioceno superior (Carlotto, 1998). El Miembro II puede oscilar entre 8 y 5 Ma, dependiendo del evento que ocurre en ese instante.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. DEL LEVANTAMIENTO DE TOPOGRAFÍA

El estudio topográfico reveló una extensión de 5,171.20 metros cuadrados con una circunferencia de 323.09 metros. Mediante las curvas de nivel, se obtuvo una visión minuciosa de la estructura del suelo, lo que permitió diseñar los planos de ubicación, las secciones del talud y emplazamiento, y el modelo de elevación del talud (ver anexos). Además, se identificaron pendientes que varían desde el 0 %, correspondientes a zonas planas, hasta valores superiores al 75 %, característicos de áreas escarpadas o muy empinadas. Esta información fue utilizada en el software Geo 5 para realizar el análisis del talud en estudio.

Asimismo, En la siguiente tabla, se muestra que el coeficiente de estabilidad crece a medida que la inclinación disminuye, por lo tanto, guarda una relación inversa con esta

Tabla 9

Magnitudes de inclinación del talud y su correspondiente factor de seguridad.

Perfil	Pendiente	Factor de seguridad
Sección 1	45.78%	0.94
Sección 2	42.29%	1.17
Sección 3	39.63%	1.35

Nota. Elaboración propia

Puesto que la estabilidad de las laderas está en relación inversa con su volumen, la solución planteada para su estabilización implicó la disminución de la inclinación, el recorte del perfil de la ladera y la edificación de estructuras de contención tipo gaviones. La información mencionada condujo a la propuesta de taludes con una relación V:H de 1:4, 1:2,25 y 1:1,75, que promueven la estabilidad de taludes al reducir el riesgo de deslizamientos.

4.2. RESPECTO AL ESTUDIO DE LOS SUELOS

Según el estudio de suelos, se cumplieron tanto la clasificación del suelo como las características geotécnicas requeridas para el análisis de taludes. Con un contenido de humedad de entre el 4,18 % y el 8,49 %, densidades de campo de entre 1,82 g/cm³ y 1,87 g/cm³, pesos específicos de entre 2,55 y 2,579, valores de cohesión de entre 0,39 kg/cm² y 0,57 kg/cm², y ángulos de fricción de entre 8,95° y 12,09°, el talud de estudio está compuesto principalmente por suelo limo arcilloso con baja plasticidad.

Con base en las propiedades geotécnicas observadas, se concluye que el suelo del talud posee una elevada cohesión, ángulos de fricción bajos y una composición predominantemente de grano fino, como arcillas y limos. Estas

condiciones lo hacen vulnerable a la acción del agua y, desde el punto de vista estructural, su aporte a la estabilidad del talud es limitado.

Tabla 10

Tipificación del suelo en cada una de las calicatas realizadas.

Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3	Calicata 4	Calicata 5	Calicata 6
Clasificación SUCS	Clasificación SUCS	Clasificación SUCS	Clasificación SUCS	Clasificación SUCS	Clasificación SUCS
CL-ML	CL-ML	CL-ML	CL-ML	CL-ML	CL-ML
Arcilla limosa de baja plasticidad	Arcilla limosa de baja plasticidad	Arcilla limosa de baja plasticidad	Arcilla de baja plasticidad	Arcilla limosa de baja plasticidad	Arcilla de baja plasticidad

Nota. Elaboración propia



Tabla 11

Valores físico-mecánicos obtenidos de las calicatas examinadas.

<i>Calicata</i>	Clasificación SUCS	<i>LP(%)</i>	<i>LL(%)</i>	<i>IP(%)</i>	<i>Angulo fricción (°)</i>	<i>Cohesión (kg/cm2)</i>	<i>Humedad (%)</i>	<i>Densidad natural (gr/cm3)</i>	<i>Densidad natural seca (gr/cm3)</i>	<i>Gravedad específica</i>	<i>Densidad saturada (gr/cm3)</i>	<i>Velocidad de infiltración (fcm/seg*10 - 3)</i>
1	CL-ML <i>Arcilla limosa a la baja plasticidad</i>	15.05	19.88	4.78	12.09	0.39	5.82	1.82	1.72	2.56	2.05	6.04
2	CL-ML <i>Arcilla limosa de baja plasticidad</i>	18.00	22.34	4.33	11.68	0.41	4.18	1.84	1.76	2.57	2.08	4.62
3	CL-ML <i>Arcilla limosa de baja plasticidad</i>	19.62	25.59	5.97	11.58	1.45	4.62	1.86	1.78	2.55	2.08	4.33
4	CL-ML <i>Arcilla limosa de baja plasticidad</i>	23.31	33.68	10.38	11.28	0.57	8.49	1.86	1.72	2.57	2.05	1.68
5	CL-ML <i>Arcilla limosa de baja plasticidad</i>	21.07	25.18	4.11	10.60	0.48	6.25	1.87	1.76	2.56	2.08	4.21
6	CL-ML <i>Arcilla limosa de baja plasticidad</i>	21.63	30.56	8.93	8.95	0.50	7.28	1.87	1.75	2.58	2.07	2.25

Nota. Elaboración propia



La Tabla 32 detalla las características físico-mecánicas de las calicatas analizadas, revelando una preponderancia de terrenos finos (que pasan por el tamiz N°200) clasificados en las categorías CL-ML y CL. Según la hipótesis del ángulo de fricción y la cohesión, la cohesión brota del roce entre las partículas más frágiles del suelo. Como resultado, nuestro suelo, que se distingue por su abundancia de materiales finos, exhibe una solidez indiscutible y un ángulo de fricción mínimo, dos cualidades que contribuyen fundamentalmente a la robustez del talud. Esto se debe a que el factor crucial para determinar la resistencia es el ángulo de fricción.

4.3. DEL SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL

Este análisis ha desvelado tres niveles esenciales, basándose en las resistencias detectadas. El primer estrato, extendiéndose hasta unos 12 metros sobre la superficie, es el suelo madre, donde habitan el nivel freático y los estratos encargados de transformar las rocas. A partir de estas capas se recolectaron muestras y calicatas, así como muestras y calicatas. El segundo nivel, situado entre 12 y 19 metros bajo la superficie, se compone de un material más compacto, conocido como roca fracturada. El tercer estrato, localizado por debajo de los 19 metros, corresponde a un material de alta densidad, vinculado a un macizo rocoso. Adicionalmente, se registró una reducción en las resistencias a profundidades aproximadas de 5.00 a 8.00 metros, lo cual sugiere una elevada humedad y sugiere la presencia del nivel freático. Se registró la existencia de agua en la calicata contigua a la vía.

4.4. RESPECTO AL FACTOR DE SEGURIDAD

- El factor de seguridad del terreno analizado se determinó para tres áreas, cada una con sus propias características y características físico-mecánicas. Estos números se despliegan en la tabla que sigue:

Tabla 12

Datos para los perfiles y el FS elegido

Descripción	Sección 1	Sección 2	Sección 3
Factor de seguridad	0.94	1.17	1.35
Altura de talud	52.36	49.38	47.56
Longitud de talud	114.38	116.77	120.03
Cota base	3130.50	3131.81	3132.43
Cota copa	3182.86	3181.19	3179.99

Nota. Elaboración propia

Según la normativa estatal CE020 sobre Estabilización de Suelos y Taludes, los valores del factor de seguridad alcanzados son inferiores a 1,50, lo que revela que los taludes no están firmes (UNSTA).

4.5. CON RESPECTO AL FACTOR DE SEGURIDAD CON LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN

Para los mismos tres segmentos del talud, se determinaron los valores del factor de seguridad considerando el sistema de estabilización propuesto. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 13

Datos para los perfiles y el FS elegido

Descripción	Sección 1	Sección 2	Sección 3
Factor de seguridad	1.55	1.51	1.50
Altura de talud	52.36	49.38	47.56
Longitud de talud	114.38	116.77	120.03
Cota base	3130.50	3131.81	3132.43
Cota copa	3182.86	3181.19	3179.99

Nota. Elaboración propia

De acuerdo con la legislación estatal CE020 sobre la Estabilización de Suelos y Taludes, los descubrimientos del factor de seguridad revelan que el talud es robusto, superando el límite de 1,50 metros.

4.6. DISCUSIÓN

Discusión N° 01:

¿Son aceptables los factores de seguridad obtenidos para las secciones, según las normativas nacionales?

Como el máximo del factor de seguridad es 1,35, que es menor que el requisito mínimo de 1,50 establecido por la norma CE020 de Estabilización de Suelos y Taludes, los resultados no cumplen con las normas nacionales e internacionales.

Discusión N° 02:

¿Cumplen los factores de seguridad obtenidos tras aplicar la propuesta de estabilización con lo exigido por las normativas nacionales?

Como el valor mínimo alcanzado es de 1,50, que iguala el límite exigido por la normativa nacional CE020, los factores de seguridad correspondientes a los tramos analizados con la solución de estabilización propuesta se consideran dentro de los rangos aceptables conforme a lo establecido por la normativa nacional.

Discusión N° 03:

¿Qué aspectos se consideraron en el análisis de estabilidad del talud?

Se tomaron en cuenta información topográfica, geológica, hidrogeológica, geotécnica, así como datos de cargas externas y condiciones estáticas durante todo el proceso de evaluación de la estabilidad del talud y en la aplicación de la propuesta de refuerzo.

Discusión N° 04:

¿Por qué se eligió el sistema de estabilización propuesto para el talud?

La alternativa seleccionada contempla la disminución de la inclinación natural, la instalación de gaviones como estructuras de contención para evitar desplazamientos y un sistema de drenaje superficial para evacuar el agua de lluvia. Esta decisión se basa en la influencia directa de la topografía, el tipo de suelo y las condiciones de escurrimiento sobre la estabilidad del talud.

Discusión N° 05:

¿Por qué se optó por emplear los métodos de equilibrio límite?

Se eligió esta metodología debido a su amplio uso, rapidez y facilidad de aplicación. Reproduce de manera precisa las superficies de falla más probables y permite el modelado de taludes con geometrías complejas de manera eficiente y confiable. Además, es compatible con el software GEO5 y ha demostrado resultados consistentes en la práctica profesional.

Discusión N° 06:

¿Por qué se seleccionó el software GEO5 para el análisis de estabilidad del talud?

Se seleccionó GEO5 debido a su compatibilidad con los enfoques de equilibrio límite y su aptitud para efectuar evaluaciones estáticas. Esta herramienta posibilita la simulación de laderas teniendo en cuenta el nivel del agua subterránea, fuerzas aplicadas, distintos tipos de terreno y configuraciones geométricas complejas. Asimismo, detecta de forma automática la superficie de deslizamiento más desfavorable y dispone de una versión de prueba sin costo.

Discusión N° 07:

¿Qué parámetros físico-mecánicos fueron clave para analizar la estabilidad del talud?



Las variables esenciales para implementar la técnica de equilibrio límite utilizando el programa GEO5 fueron el ángulo de fricción interna, la cohesión, la densidad natural y la densidad en condición saturada.

Discusión N° 08:

¿Por qué solo se realizó un análisis estático del talud?

La investigación se restringió al análisis en condiciones estáticas, ya que un estudio sísmico demandaría exploraciones más exhaustivas y pruebas en terreno de mayor complejidad, como el ensayo de refracción sísmica. Además, algunos expertos sugieren usar aceleraciones sísmicas teóricas, como las que se especifican en la normativa E030 de diseño antisísmico, lo que se aleja del objetivo principal de esta investigación.

Discusión N° 09:

¿Cómo influye el nivel freático en la estabilidad del talud?

El nivel freático afecta significativamente la estabilidad del talud, ya que al saturar los suelos incrementa su peso y altera sus propiedades resistentes, especialmente en suelos finos como limos y arcillas presentes en el área de estudio. Además, las lluvias elevan este nivel, y en suelos de baja permeabilidad, como los analizados, esto puede provocar saturación y desestabilización.

Discusión N° 10:

¿Qué acciones humanas alteraron la estabilidad del talud?

Se detectó una intervención excesiva sobre el talud, especialmente por cortes de gran magnitud en su estructura y la ausencia de sistemas de drenaje, lo que contribuyó directamente a su inestabilidad.



CONCLUSIONES

PRIMERA: Se demostró que la sección del talud se modificará mediante su rebajamiento e instalación de muros de drenaje y contención (gaviones) como técnica de estabilización. Los análisis de las secciones 01, 02 y 03 dieron resultados de 0,94, 1,17 y 1,35, que no llegan al factor de seguridad mínimo de 1,50 que se exige en la norma nacional CE020. Siguiendo las medidas recomendadas, los factores de seguridad para las mismas secciones podrían elevarse a 1,55, 1,51 y 1,50, por encima del factor de seguridad mínimo necesario, una vez estabilizados los taludes y los suelos.

SEGUNDA: Según la subhipótesis 01, se demostró que el ángulo de fricción interna, la cohesión y el peso específico son las características mecánicas y físicas pertinentes para el estudio de estabilidad de taludes en el tramo 23+710 de la carretera. Esto se debe a que los datos de resistencia al corte y densidad, tanto en estado natural como en condiciones de saturación, son necesarios para emplear métodos de equilibrio límite en esta investigación.

TERCERA: La subhipótesis número 02 se confirmó ya que la altura y longitud del talud determinan la región utilizable para aplicar el plan de estabilización y la inclinación transversal tiene un efecto perjudicial sobre la estabilidad del talud.

CUARTA: La subhipótesis 3 establece que el factor de seguridad de taludes de la sección 23+710 fue inferior a 1,50. Los resultados del análisis para las secciones 01, 02 y 03 fueron, respectivamente, 0,94, 1,17 y 1,35, valores inferiores al mínimo de 1,50 necesario para cumplir



con la norma nacional CE020 sobre estabilización de suelos y taludes.

QUINTA: El factor de seguridad de taludes del tramo 23+710 fue menor a 1,50, tal como se plantea en la subhipótesis 4. Los resultados obtenidos en los tramos 01, 02 y 03, cuyos valores fueron 0,94, 1,17 y 1,35, respectivamente, fueron inferiores al factor de seguridad de 1,50, que es el valor mínimo admisible establecido por la normativa nacional CE020 sobre Estabilización de Suelos y Taludes.



RECOMENDACIONES

- Dado que la prueba de penetración convencional no pudo realizarse en este estudio debido a limitaciones financieras, se recomienda que futuros estudios sobre estabilización de taludes incluyan experimentos que ofrezcan una comprensión más profunda de los suelos presentes en el talud de estudio.
- La selección de un sistema para estabilizar taludes debe basarse en un análisis integral que tome en cuenta la configuración topográfica, los aspectos económicos y las propiedades geotécnicas del suelo.
- Hay diferentes programas de software que se usan para analizar la estabilidad de los taludes. La accesibilidad, el proceso de estabilizar el talud y, sobre todo, la información necesaria para usar el programa afectará la decisión de cuál elegir.
- Se recomienda sugerir técnicas novedosas de estabilización, como sistemas de drenaje, muros pantalla, sistemas de anclaje y refuerzo estructural del suelo.
- Además de recomendar un sistema de estabilización de taludes, se deben considerar otras opciones como zanjas de cresta, reforestación y otras técnicas de estabilización ecológicamente amigables para proteger las laderas susceptibles a deslizamientos de tierra.
- Cabe mencionar que muchas dificultades de estabilización de taludes se han solucionado ante la falta de un sistema de estabilización de taludes o un diseño de taludes especial y exclusivo. Si bien existen muchos sistemas distintos, algunos son comparables, pero siempre se deben considerar los requisitos de presupuesto y costo de cada proyecto.



- Dadas las variables de carga, se aconseja realizar un análisis sísmico de estabilidad de taludes a mediano y largo plazo.
- Se sugiere establecer un programa de vigilancia y control del talud intervenido, con especial énfasis en realizar una evaluación de su estabilidad una vez concluida la época de precipitaciones.
- Dado que estos métodos operan con múltiples aplicaciones digitales, se sugiere emplear técnicas alternativas, como el método de elementos finitos, el método de elementos discretos y el análisis 3D, para calcular el factor de seguridad del talud en cuestión. La comprensión, los parámetros de entrada y el entendimiento del procedimiento son pilares más esenciales que la vivencia con el programa. Esto posibilita identificar el valor esencial al comparar los valores del factor de seguridad obtenidos.
- Se recomienda que las autoridades competentes tomen medidas en el talud de investigación, ya que la actual falta de interés podría tener consecuencias económicas negativas e incluso fatales. Se confirmó que el talud no alcanzó su nivel de estabilidad.
- Se recomienda ampliar el área de levantamiento topográfico y extremar la precaución durante el proceso de levantamiento para trabajos futuros, ya que no tomar las precauciones de seguridad adecuadas podría provocar incidentes como caídas, atropellos, etc.
- Se recomienda aumentar el factor de seguridad para perfiles de taludes múltiples y calcularlo considerando nuevas superficies de falla.
- Para verificar la conducta del talud en condiciones de saturación e investigar el comportamiento del suelo en contacto directo con el agua, es



necesario recolectar muestras de campo durante la temporada de lluvias para realizar investigaciones análogas.

- Se debe evaluar la estabilidad del talud considerando las propiedades elásticas del suelo, como el módulo de consolidación edométrico, el coeficiente de Poisson y el módulo de elasticidad.
- Para crear un perfil litológico del talud en estudio, se recomienda un análisis más exhaustivo para identificar los estratos y sus características geotécnicas.



REFERENCIAS

- Ash, S., & Sitar, N. (1994). *La respuesta sísmica dependientes naturales pronunciadas*. EUA: Universidad de California en Berkeley.
- Badillo, E. (2010). *Mecánica de suelos*. Asociación Argentina de mecánica computacional.
- Beneyto, P. (2011). *El análisis de la estabilidad de taludes mediante técnicas de optimización heurística*. Asociación Argentina de mecánica computacional.
- Bojorque, I. (2011). *Los métodos para el análisis de la estabilidad de pendientes*. Revista semestral de la DIUC.
- Borselli Matriz, L. (2017). *La geotecnia*.
- Bowles, J. (n.d.). *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*. México: McGraw.
- Bustamante Corrido, S., & García Yépez, C. (2018). *Evaluación del factor de seguridad del talud correspondiente a la quebrada de Sipaspuyco en función a la topografía, tudios de infiltración y propiedades mecánicas de los suelos*. Cusco, Perú: Universidad Andina del Cusco.
- Carlotto Caillaux, V., & Cárdenas Roque, J. (2011). *La geología del cuadrangulo de Puno*. Lima: Ingemmet.
- Das, B. (2003). *Fundamentos de ingeniería geotecnia*. México: Cengage Learning Editores.
- Escobar, P., & Duque Escobar, G. (2017). *La geotecnia para el tropico andino*. Colombia: Manantiales.
- Gonzáles, I. (2016). *Ingeniería geológica*. Prentice Hall.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014).



Metodología de la investigación. México: McGraw Hill.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2016).

Metodología de la investigación. México: Interamericana Editores S.A.

Invias. (2013). *Especificaciones generales de construcción de carreteras*.
Bogota.

Koerner R., M. (2005). *Designing with geosynthetics*. New Jersey.

Lucas, L. (2014). *Taller básico de mecánica de suelos*. New Jersey.

Mesa Lavista, M., & Tejeda Puisseaut, E. (2018). *Análisis de la estabilidad de
taludes en terraplenes mediante los métodos de equilibrio límite de
elementos finito*. Chile.

Montes de Oca, M. (2000). *Topografía*. México: Alfaomega.

Pérez de Agreda, E. (1998). *Los deslizamientos y la estabilidad de las taludes
en zonas tropicales*. Colombia.

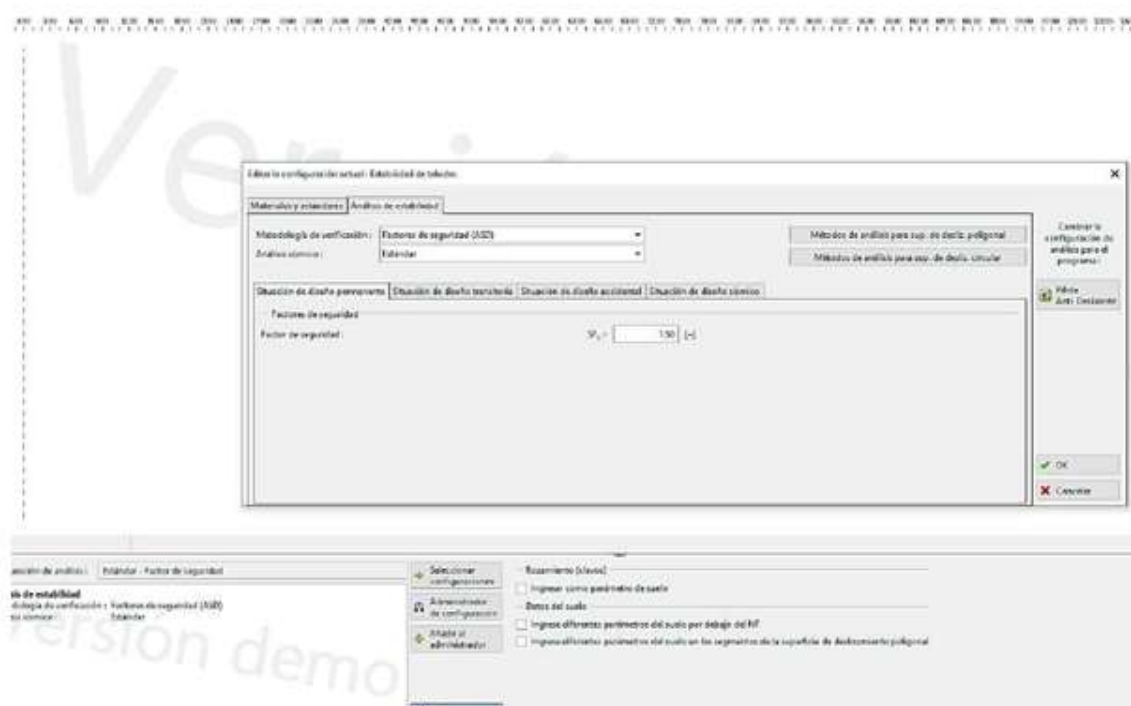
Pymet. (2022). *Los proyectos y mediciones topográficas S.L*. Perú.



ANEXOS

b) Diagramas y Tablas

Configuración inicial del Software



Fuente: Elaboración propia – GEO5



Tabla de Coordenadas de la Sección 01

PUNTO	X-X	Y-Y
1.00	0.00	3131.98
2.00	0.36	3131.72
3.00	1.55	3130.53
4.00	2.20	3130.54
5.00	6.41	3130.50
6.00	7.15	3130.92
7.00	20.58	3138.27
8.00	21.20	3138.59
9.00	23.11	3139.08
10.00	28.36	3141.08
11.00	35.16	3142.44
12.00	36.45	3142.56
13.00	37.11	3142.57
14.00	43.85	3143.75
15.00	44.25	3143.75
16.00	44.36	3143.74
17.00	45.56	3144.31
18.00	49.53	3145.99
19.00	50.72	3146.44
20.00	53.59	3147.64
21.00	55.96	3148.82
22.00	59.69	3150.78
23.00	64.47	3154.08
24.00	67.87	3156.76
25.00	69.77	3158.05
26.00	74.21	3160.94
27.00	77.79	3163.12
28.00	79.81	3164.06
29.00	79.97	3164.15
30.00	80.07	3164.31
31.00	80.38	3164.49
32.00	83.75	3167.41
33.00	86.17	3169.18
34.00	115.53	3182.36
35.00	119.82	3182.73
36.00	120.79	3182.87
37.00	121.39	3182.87
38.00	127.52	3182.86
39.00	127.73	3182.76

Tabla de Coordenadas de la Sección 02



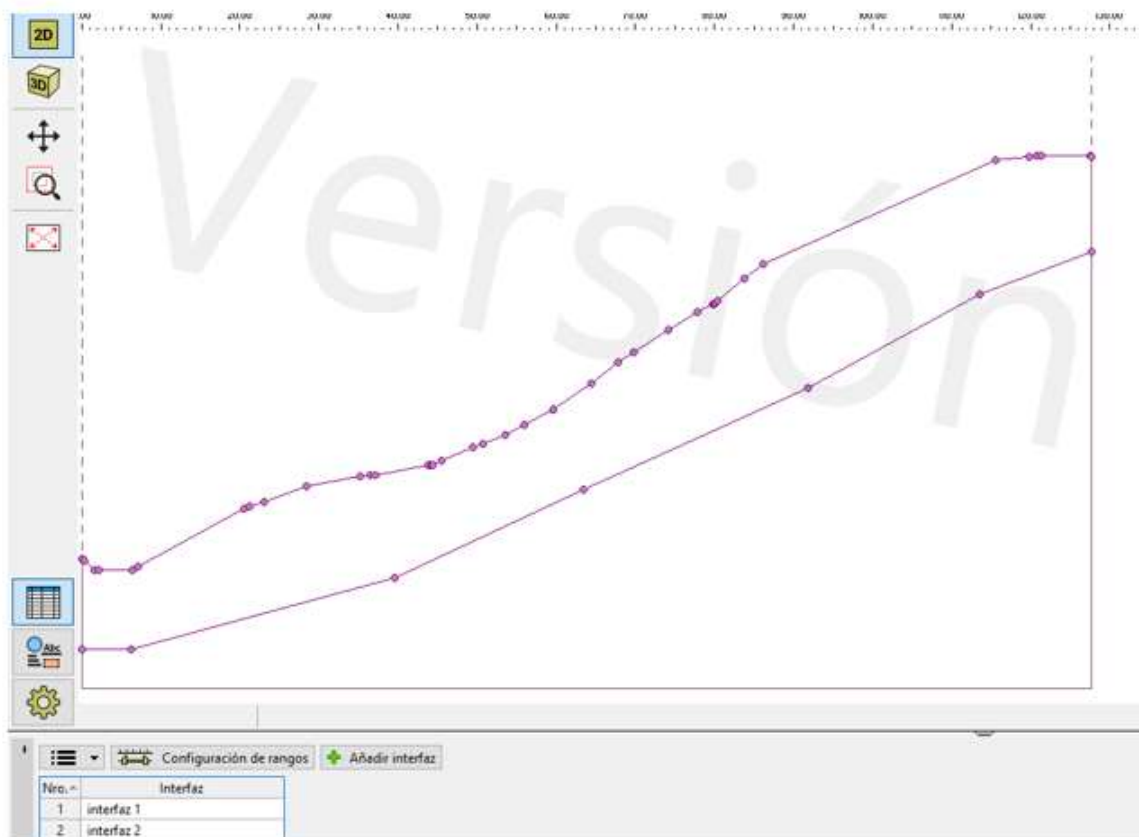
PUNTO	X-X	Y-Y
1.00	0.00	3131.99
2.00	0.40	3131.59
3.00	4.95	3131.74
4.00	5.79	3131.81
5.00	6.78	3131.81
6.00	12.85	3135.13
7.00	21.11	3139.43
8.00	27.48	3142.39
9.00	30.11	3142.58
10.00	32.23	3143.47
11.00	33.03	3143.60
12.00	33.86	3143.48
13.00	37.21	3143.06
14.00	38.84	3142.64
15.00	41.22	3142.37
16.00	43.57	3143.53
17.00	45.27	3144.51
18.00	46.63	3145.45
19.00	47.37	3145.92
20.00	52.08	3148.17
21.00	52.11	3148.19
22.00	52.12	3148.19
23.00	60.81	3153.51
24.00	61.11	3153.51
25.00	62.90	3154.58
26.00	64.64	3155.74
27.00	67.59	3157.47
28.00	68.36	3158.07
29.00	69.56	3158.66
30.00	71.67	3159.69
31.00	74.61	3161.34
32.00	76.01	3162.03
33.00	76.15	3162.12
34.00	79.82	3164.98
35.00	80.99	3165.15
36.00	82.30	3165.57
37.00	88.09	3165.36
38.00	92.56	3167.99
39.00	94.57	3170.02
40.00	97.57	3171.03
41.00	108.48	3174.89
42.00	123.55	3181.19
43.00	127.06	3181.14
44.00	130.70	3181.16
45.00	131.32	3181.15



Tabla de Coordenadas de la Sección 03

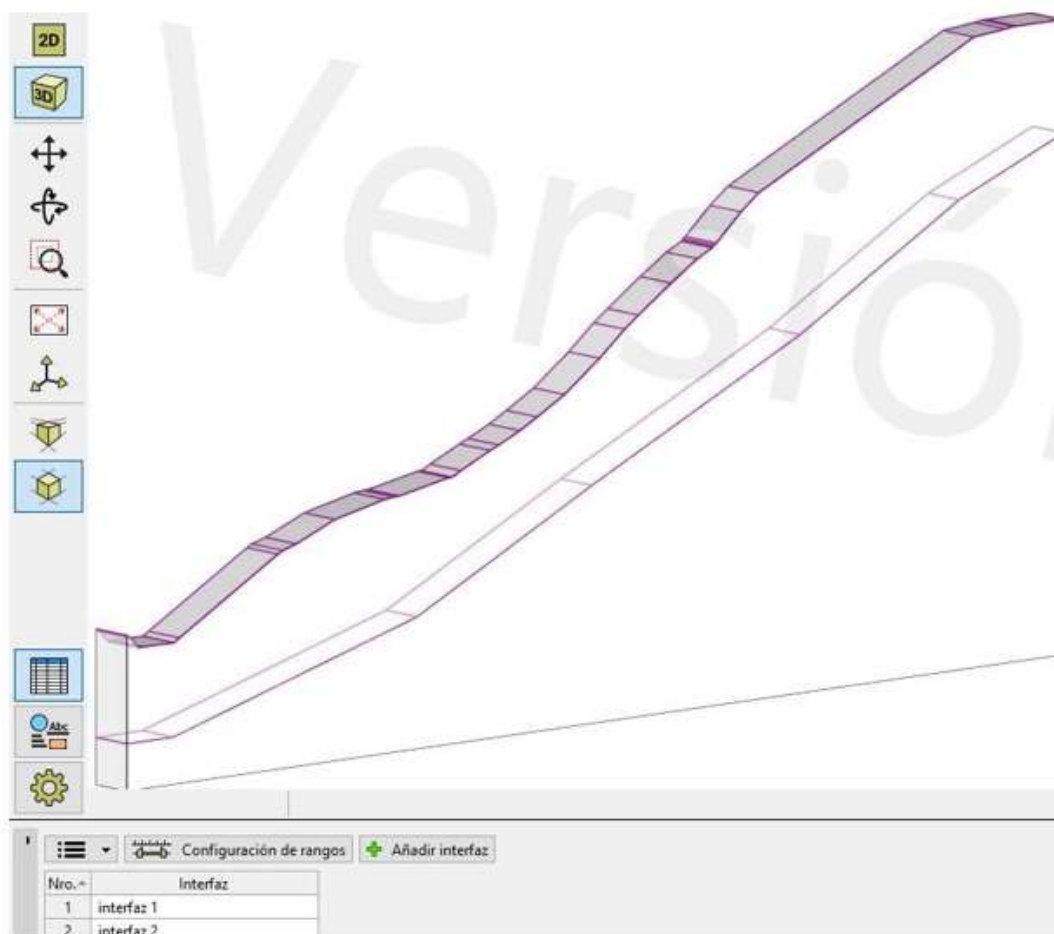
PUNTO	X-X	Y-Y
1.00	0.00	3131.99
2.00	0.40	3131.59
3.00	4.95	3131.74
4.00	5.79	3131.81
5.00	6.78	3131.81
6.00	12.85	3135.13
7.00	21.11	3139.43
8.00	27.48	3142.39
9.00	30.11	3142.58
10.00	32.23	3143.47
11.00	33.03	3143.60
12.00	33.86	3143.48
13.00	37.21	3143.06
14.00	38.84	3142.64
15.00	41.22	3142.37
16.00	43.57	3143.53
17.00	45.27	3144.51
18.00	46.63	3145.45
19.00	47.37	3145.92
20.00	52.08	3148.17
21.00	52.11	3148.19
22.00	52.12	3148.19
23.00	60.81	3153.51
24.00	61.11	3153.51
25.00	62.90	3154.58
26.00	64.64	3155.74
27.00	67.59	3157.47
28.00	68.36	3158.07
29.00	69.56	3158.66
30.00	71.67	3159.69
31.00	74.61	3161.34
32.00	76.01	3162.03
33.00	76.15	3162.12
34.00	79.82	3164.98
35.00	80.99	3165.15
36.00	82.30	3165.57
37.00	88.09	3165.36
38.00	92.56	3167.99
39.00	94.57	3170.02
40.00	97.57	3171.03
41.00	108.48	3174.89
42.00	123.55	3181.19
43.00	127.06	3181.14
44.00	130.70	3181.16
45.00	131.32	3181.15

Importación de los puntos que representan la Sección 01, para los diferentes estratos de suelo elegidos



Fuente: Elaboración propia – Software GEO5 “Estabilidad de Taludes”

Vista 3D de los diferentes estratos, para un espesor de 01 metros – Sección 01



Fuente: Elaboración propia – Software GEO5 “Estabilidad de Taludes”

Creación del tipo de Suelo Sección 01

Editar parámetros de suelo

Identificación

Nombre:

Datos Básicos

Peso unitario: $\gamma = 18.15$ [kN/m³]

Estado de tensión:

Ángulo de fricción interna: $\varphi_{ef} = 11.09$ [°]

Cohesión de suelo: $c_{ef} = 45.00$ [kPa]

Subpresión

Modo de cálculo de subpresión:

Peso unitario de suelo saturado: $\gamma_{sat} = 20.28$ [kN/m³]

Estratificación

Estratificación de suelo:

Dibujar

Categoría de patrón:

Buscar:

Subcategoría:

Patrón:

Color:

Fondo:

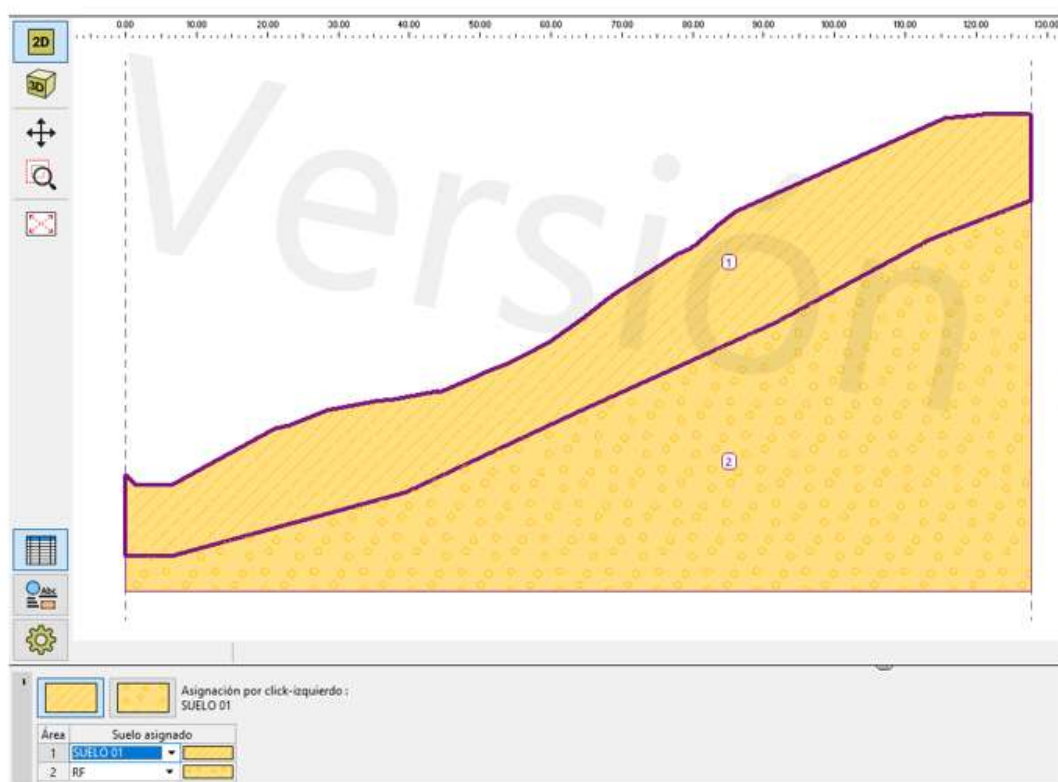
Saturación <10 - 90>: [%]

Clasificar Limpiar OK Cancelar

Nro.	Nombre	Parámetros
1	Suelo 01	Suelo 01 Peso unitario: $\gamma = 18.15$ kN/m³ Estado de tensión: efectivo Ángulo de fricción interna: $\varphi_{ef} = 11.09$ ° Cohesión de suelo: $c_{ef} = 45.00$ kPa Peso unitario de suelo saturado: $\gamma_{sat} = 20.28$ kN/m³

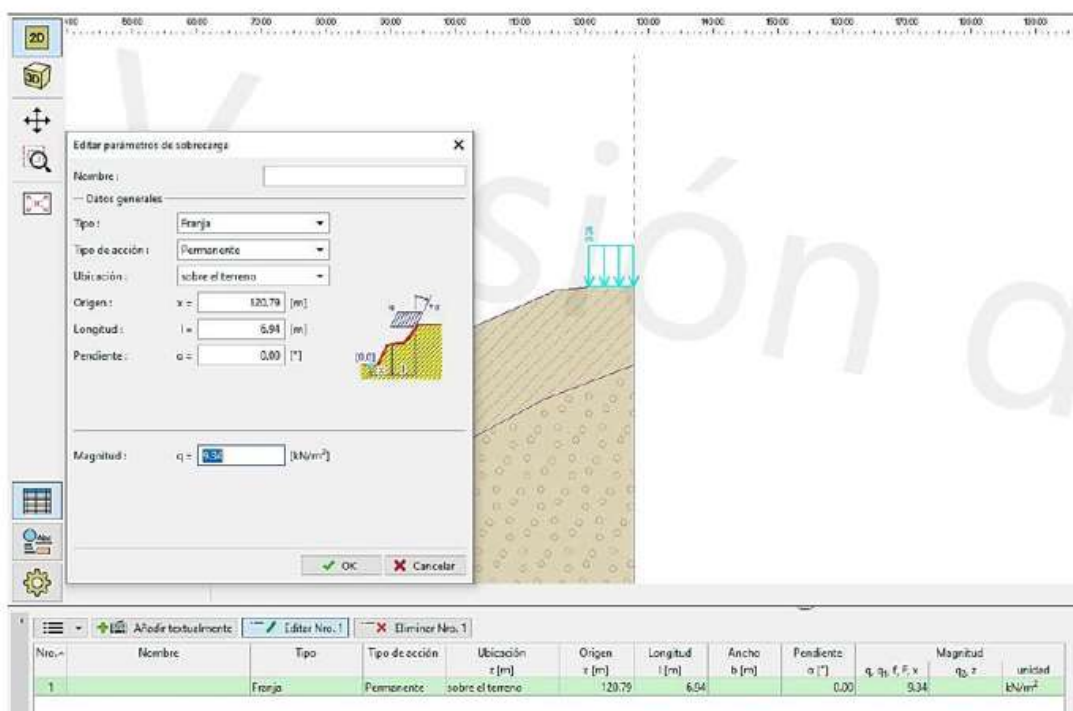
Fuente: Elaboración propia – Software GEO5 “Estabilidad de Taludes”

Asignación de los tipos de Suelos Sección 01



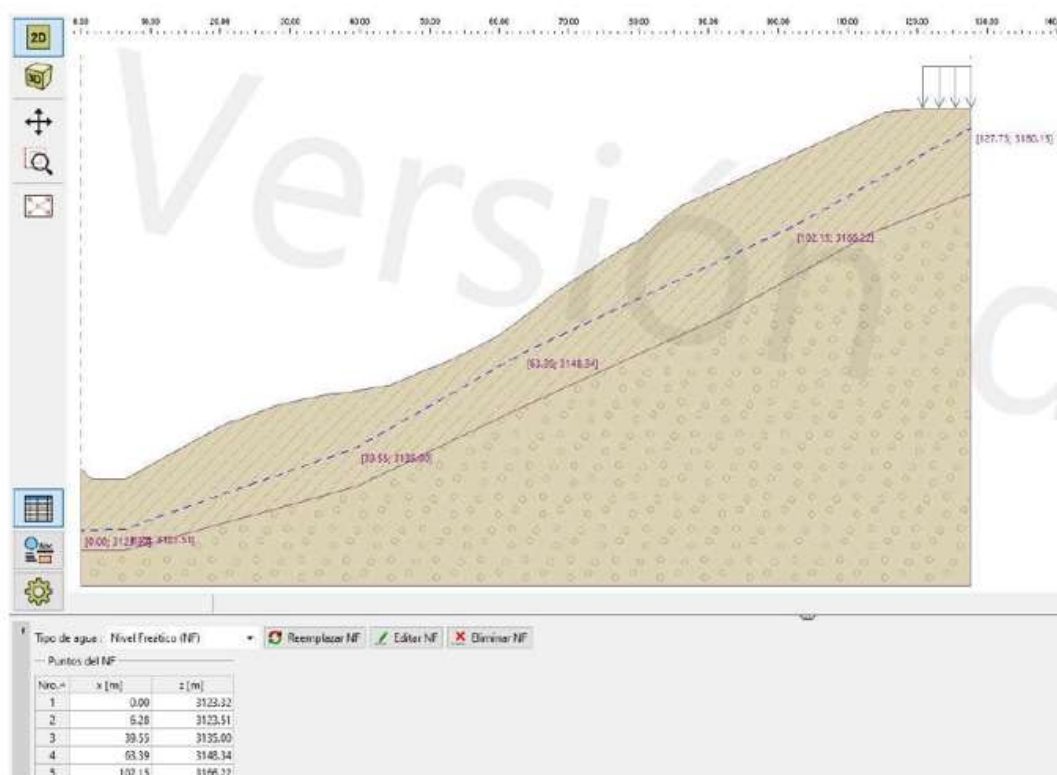
Fuente: Elaboración propia – Software GEO5 “Estabilidad de Taludes”

Asignación de las Sobrecargas, Sección 01



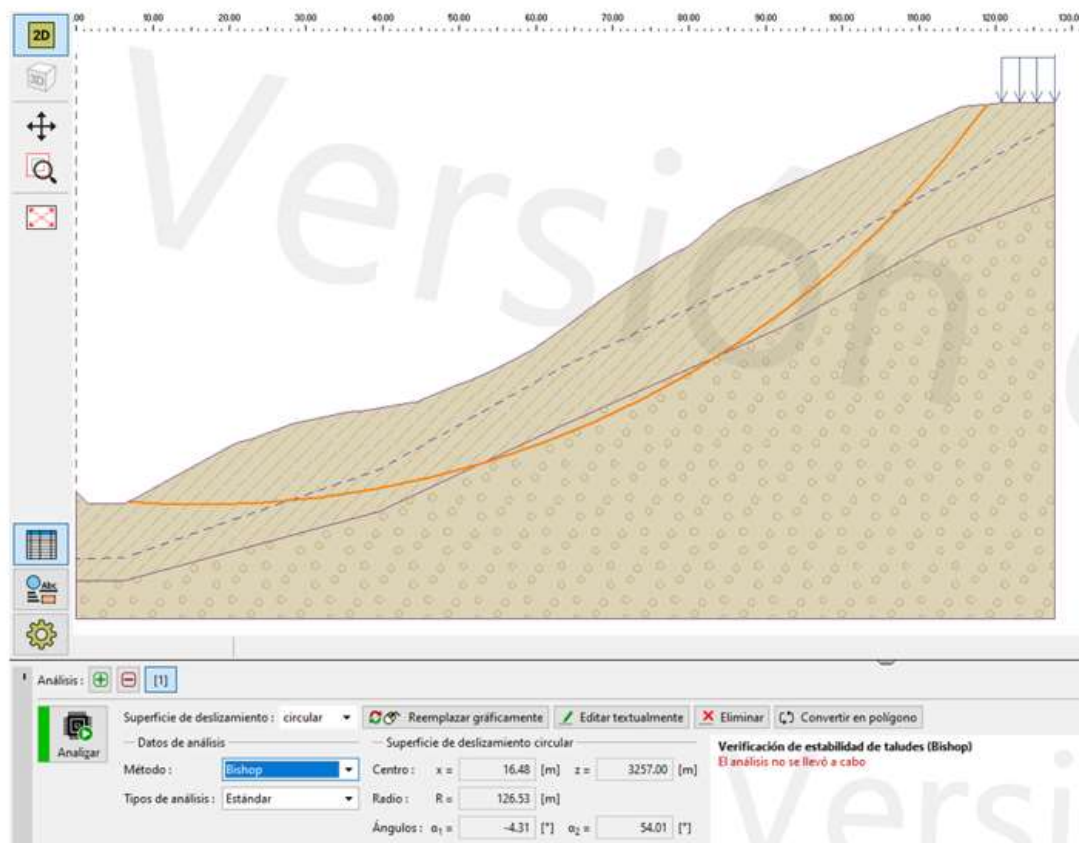
Fuente: Elaboración propia – Software GEO5 “Estabilidad de Taludes”

Asignación del Nivel Freático, Sección 01



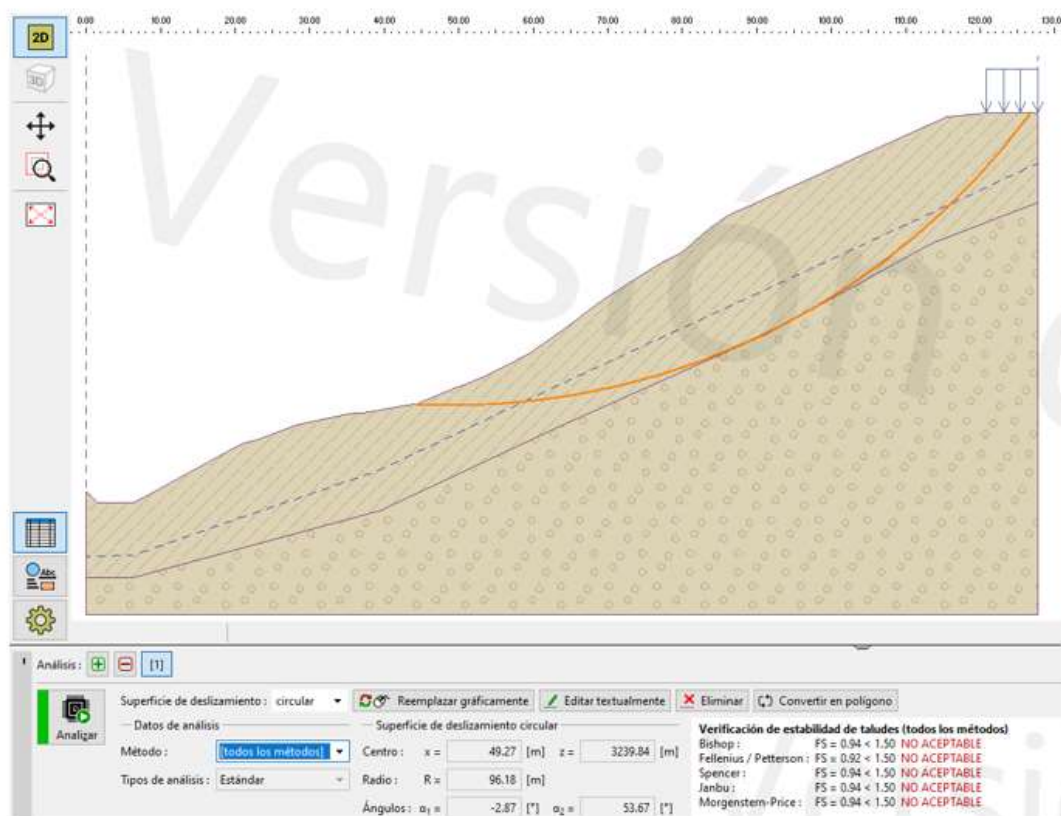
Fuente: Elaboración propia – Software GEO5 “Estabilidad de Taludes”

Colocación de la posible línea de Falla – Sección 01



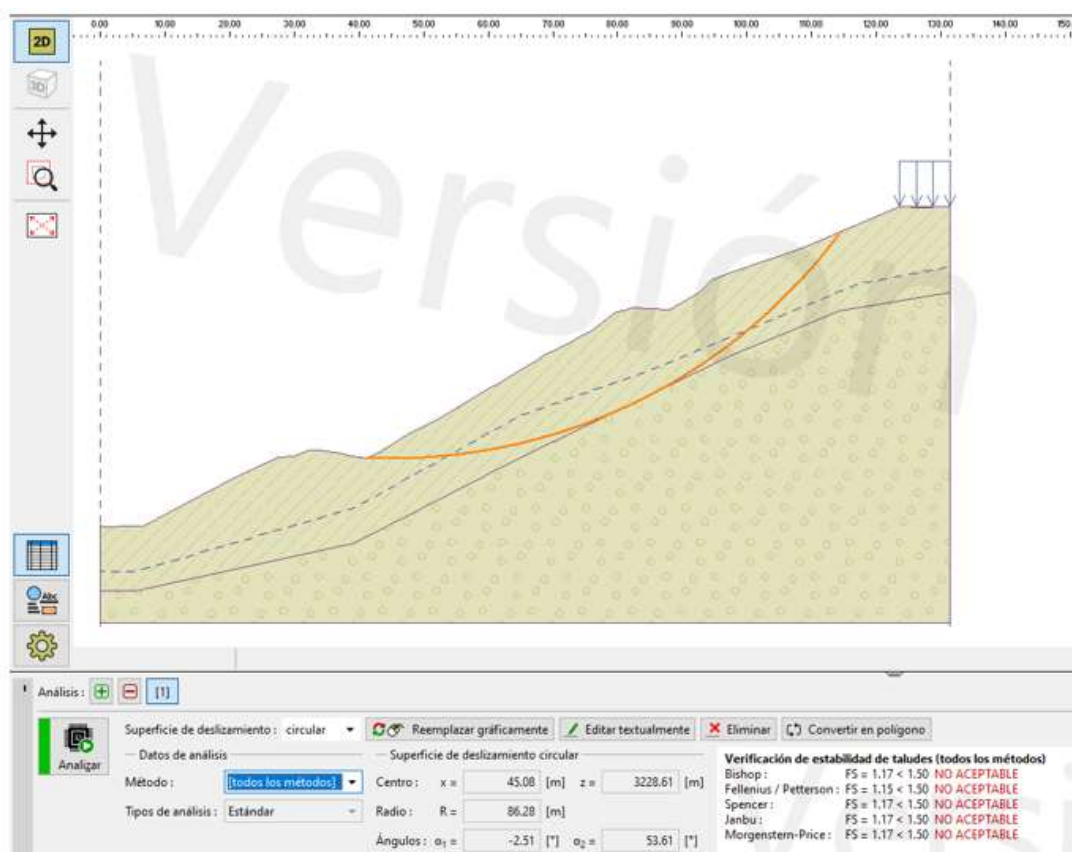
Fuente: Elaboración propia – Software GEO5 “Estabilidad de Taludes”

Análisis y Obtención del Factor de Seguridad Sección 01



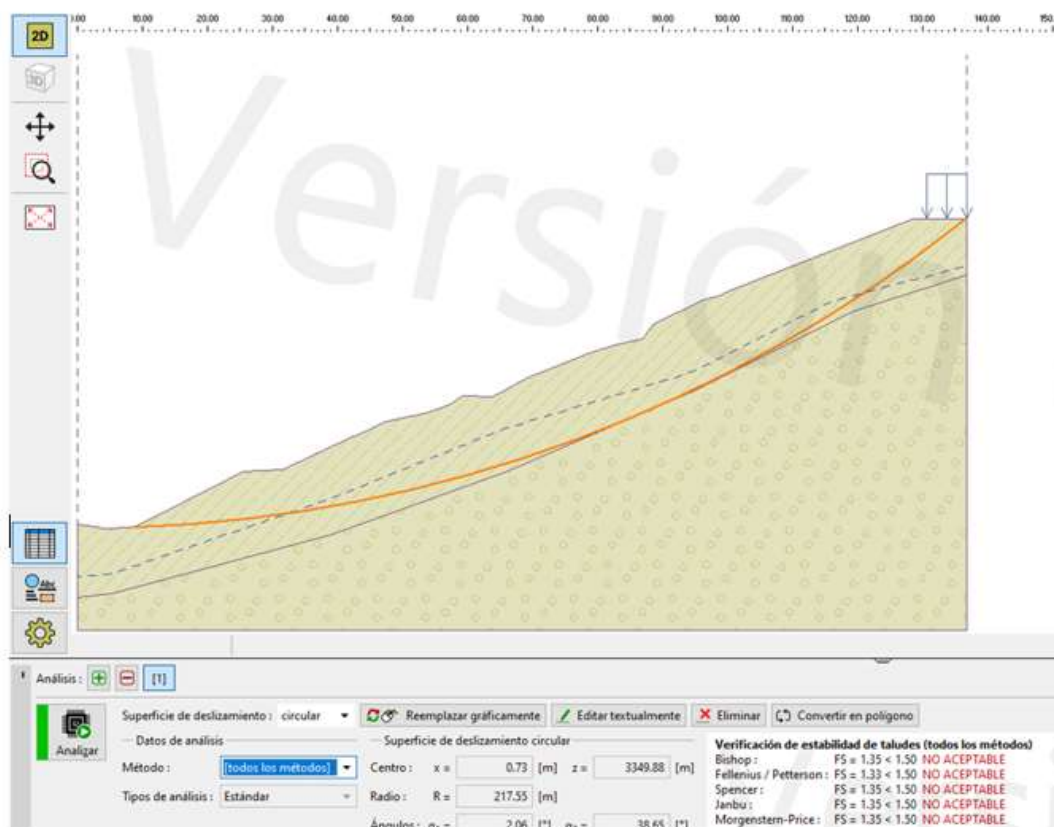
Fuente: Elaboración propia – Software GEO5 “Estabilidad de Taludes”

Análisis y Obtención del Factor de Seguridad Sección 02



Fuente: Elaboración propia – Software GEO5 “Estabilidad de Taludes”

Análisis y Obtención del Factor de Seguridad Sección 03





ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA CARRETERA SINA YANAHUAYA

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	METODO
¿Cuál será la estabilidad del talud de la Carretera Sina Yanahuaya?	Analizar la estabilidad del talud de la Carretera Sina Yanahuaya.	La estabilidad del talud de la Carretera Sina Yanahuaya no supera el factor mínimo de seguridad de 1.50, por lo tanto, se considera inestable, siendo una propuesta de estabilización la modificación de la sección del talud mediante la reducción de la pendiente, incorporación de muros de contención(gaviones) y sistema de drenaje.	Propuesta de estabilización	D1: Sección transversal del talud	Pendiente del talud, Banquetas	Método Equilibrio Limite, Software GEO5. Norma CE020 Estabilización de suelos y taludes.	
				D2: Incorporación Muro de contención (gaviones)	Gavión		
				D3: Incorporación de Sistema de drenaje	Cuneta de coronación, drenaje de aguas subterráneas y pluviales		
PROBLEMA ESPECIFICO	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICA	VARIABLE DEPENDIENTE	D1: Propiedades Fisicomecánicas del Suelo	SEV, Análisis Granulométrico, Límites de Consistencia, Contenido Humedad, Densidad Natural, Gravedad Específica, Infiltración, Angulo de fricción, cohesión, compacidad.	Resistivímetro Inteligente, Juego de Tamices normalizados, Cuchara de Casagrande, Cono de Arena, Picnómetro normalizado, Procedimiento Porchet, Equipo de Compresión triaxial, Equipo DPL, Manual de Ensayo de Materiales (MTC),Formatos de laboratorio,	
1. ¿Cuáles serán los parámetros físico mecánicos de los suelos para el analisis de la estabilidad del talud de la Carretera Sina Yanahuaya?	1. Obtener los parámetros físico mecánicos de los suelos para el analisis de la estabilidad del talud, de la Carretera Sina Yanahuaya.	1. Los parámetros físico mecánicos de los suelos para el análisis de estabilidad del talud de la Carretera Sina Yanahuaya son la Cohesión, Angulo de Fricción interna y Peso Especifico.	Estabilidad del talud				
2. ¿Cuáles seran los parámetro topográfico para el analisis de estabilidad del talud de la Carretera Sina Yanahuaya?	2. Determinar los parámetros topográficos para el analisis de estabilidad del talud de Carretera sina Yanahuaya.	2. Los parametros topograficos para el analisis de estabilidad del talud de la Carretera Sina Yanahuaya son la pendiente transversal, altura y longitud del talud.					
				D2: Topografia	Distancias, elevaciones y pendientes	Estación total, Software Autocad civil 3D, Formatos de recolección de datos Topográficos	Recopilacion de informacion topografica Toma de muestras en campo, mediante calicatas Estudios de Mecanica de Suelos Uso de Software con metodologia de equilibrio limite.



3. ¿Cuál será el factor de seguridad del talud de la Carretera Sina Yanahuva?	3. Determinar el factor de seguridad del talud sde la Carretera Sina Yanahuva	3. El factor de seguridad del talud de la carretera Sian Yanahuaya por debajo de 1.50.		D3: Factor de Seguridad Natural	FS ≥ 1.5 : Estable FS < 1.5 : Inestable	Método Equilibrio Limite, Software GEO5. Norma CE020 Estabilización de suelos y taludes.	
4. ¿Cuál será el factor de seguridad del talud con la propuesta de reducción de la pendiente, incorporación de muros de contención(gaviones) y sistema de drenaje de la Carretera Sina Yanahuva?	4. Determinarel factor de seguridad del talud con la propuesta de reducción de la pendiente, incorporación de muros de contención(gaviones) y sistema de drenajede la Carretera Sina Yanahuva.	4. El factor de seguridad con la propuesta de reducción de la pendiente, incorporación de muros de contención(gaviones) y sistema de drenaje de la Carretera Sina Yanahuaya supera el el valor mínimo de 1.5.		D4: Factor de Seguridad Natural con la propuesta de Estabilización	FS ≥ 1.5 : Estable FS < 1.5 : Inestable	Método Equilibrio Limite, Software GEO5. Norma CE020 Estabilización de suelos y taludes.	

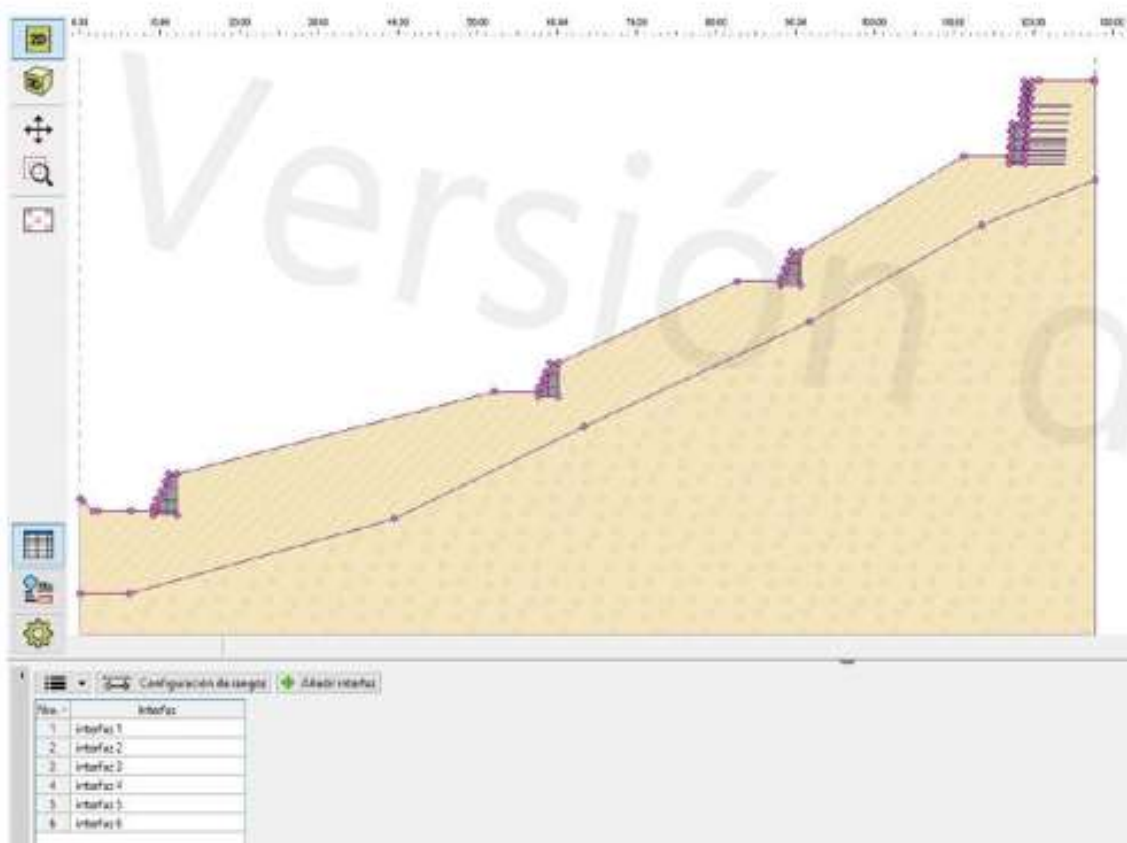
Diagramas y Tablas

Valores Referenciales para taludes en Corte (Relación H:V)

Clasificación de materiales de corte		Roca fija	Roca suelta	Material		
				Grava	Limo arcilloso o arcilla	Arenas
Altura de corte	<5 m	1:10	1:6-1:4	1:1 - 1:3	1:1	2:1
	5-10 m	1:10	1:4-1:2	1:1	1:1	*
	>10 m	1:8	1:2	*	*	*

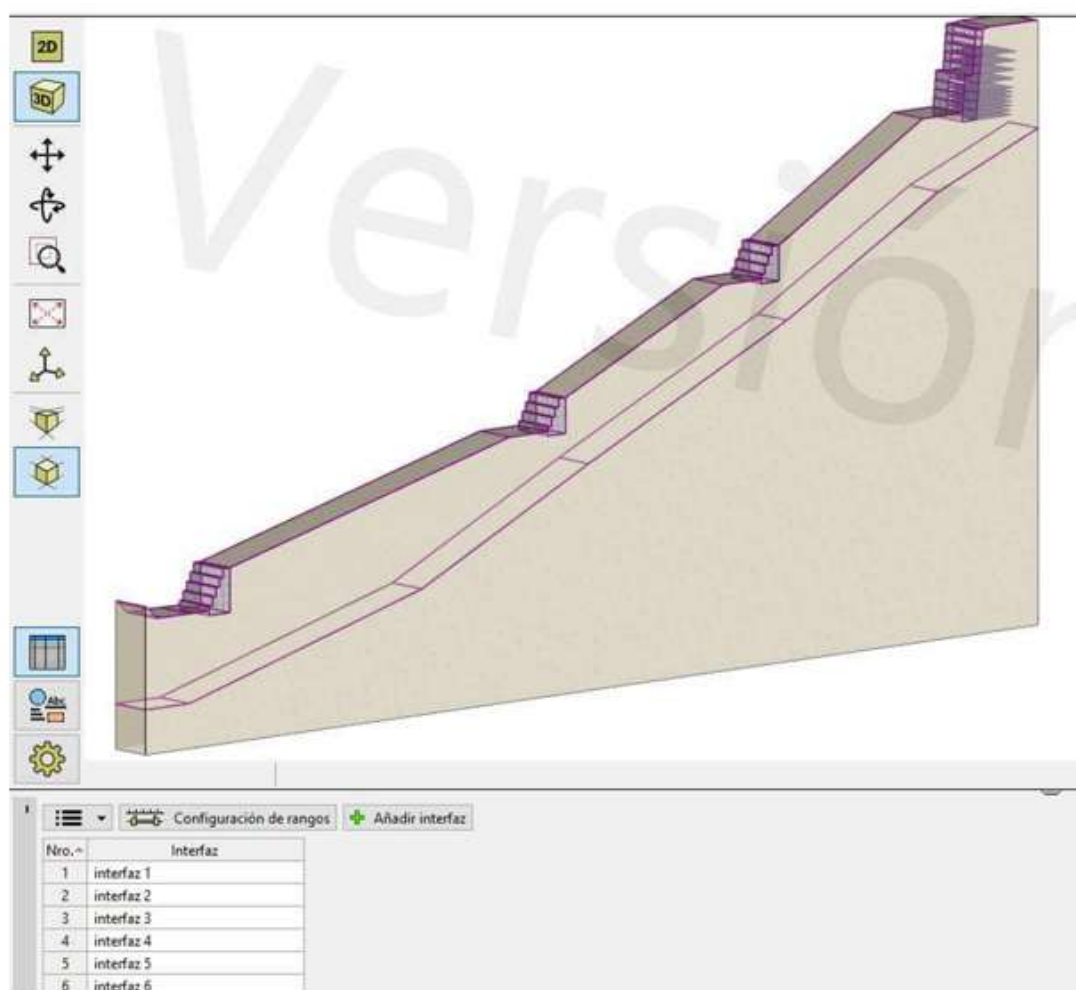
Fuente: Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018

Vista de la interfaz 2D - Sección 01, Talud modificado



Fuente: Elaboración propia – Software GEO5 "Estabilidad de Taludes"

Vista de la interfaz 3D - Sección 01, Talud modificado



Fuente: Elaboración propia – Software GEO5 “Estabilidad de Taludes”



Creación del Cuerpo Rígido/Gavión - Sección 01, Talud modificado

Añadir nuevos cuerpos rígidos

Identificación

Nombre :

Datos Básicos

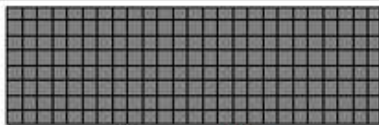
Peso unitario : $\gamma =$ [kN/m³]

Dibujar

Categoría de patrón :

Buscar :

Subcategoría :

Patrón :

35 Cuerpo rígido

Color :

Fondo :

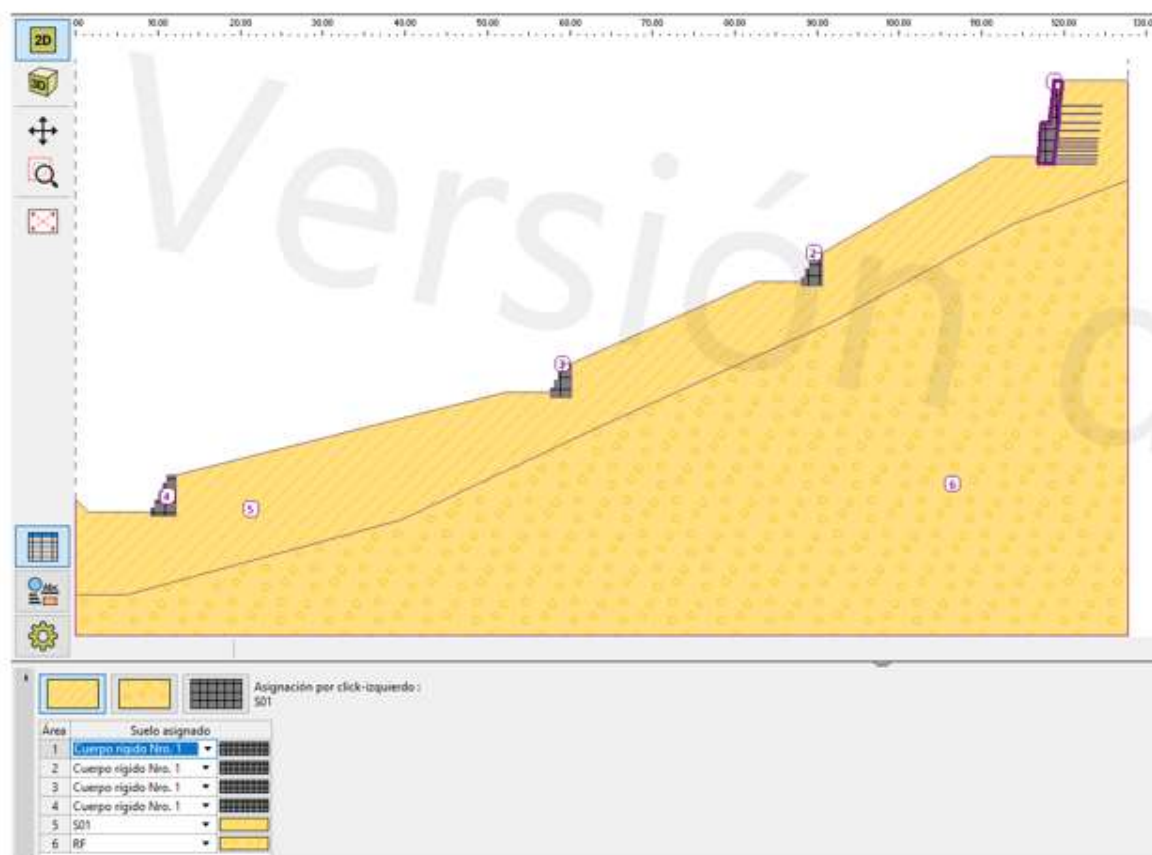
Saturación <10 - 90> : [%]

+ Añadir

✖ Cancelar

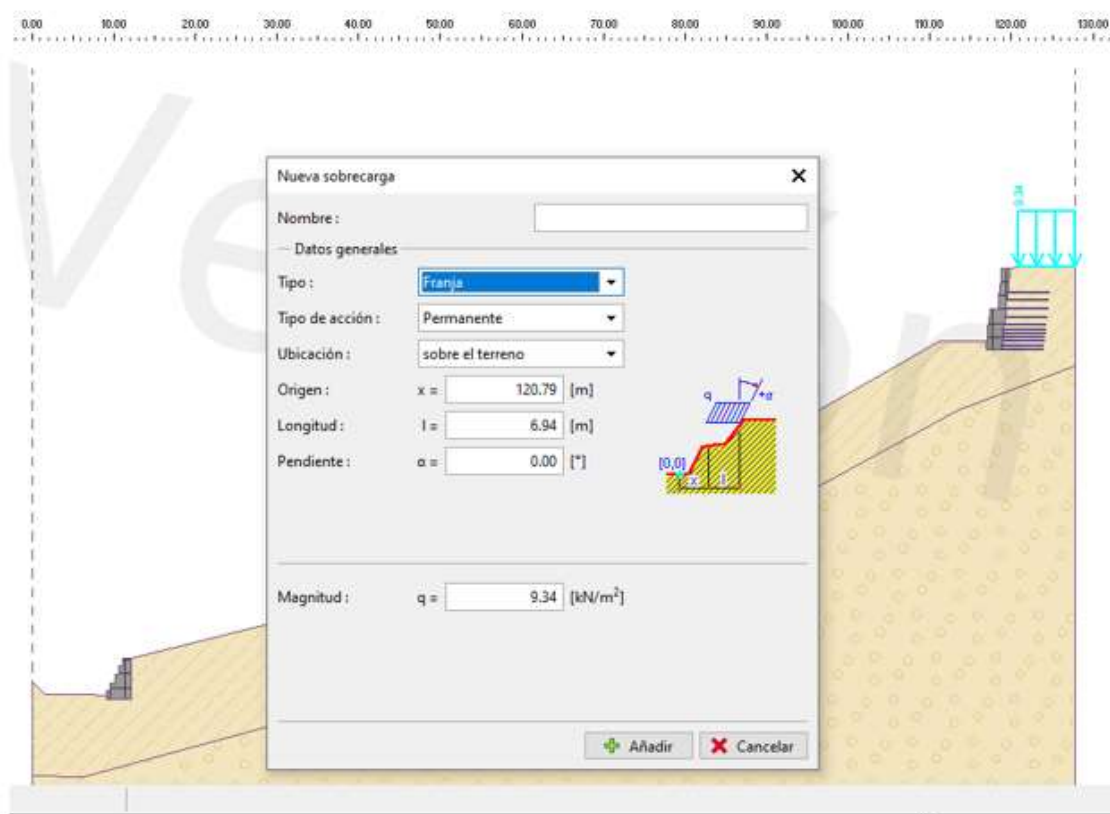
Fuente: Elaboración propia – Software GEO5 “Estabilidad de Taludes”

Vista con Materiales asignados - Sección 01, Talud modificado



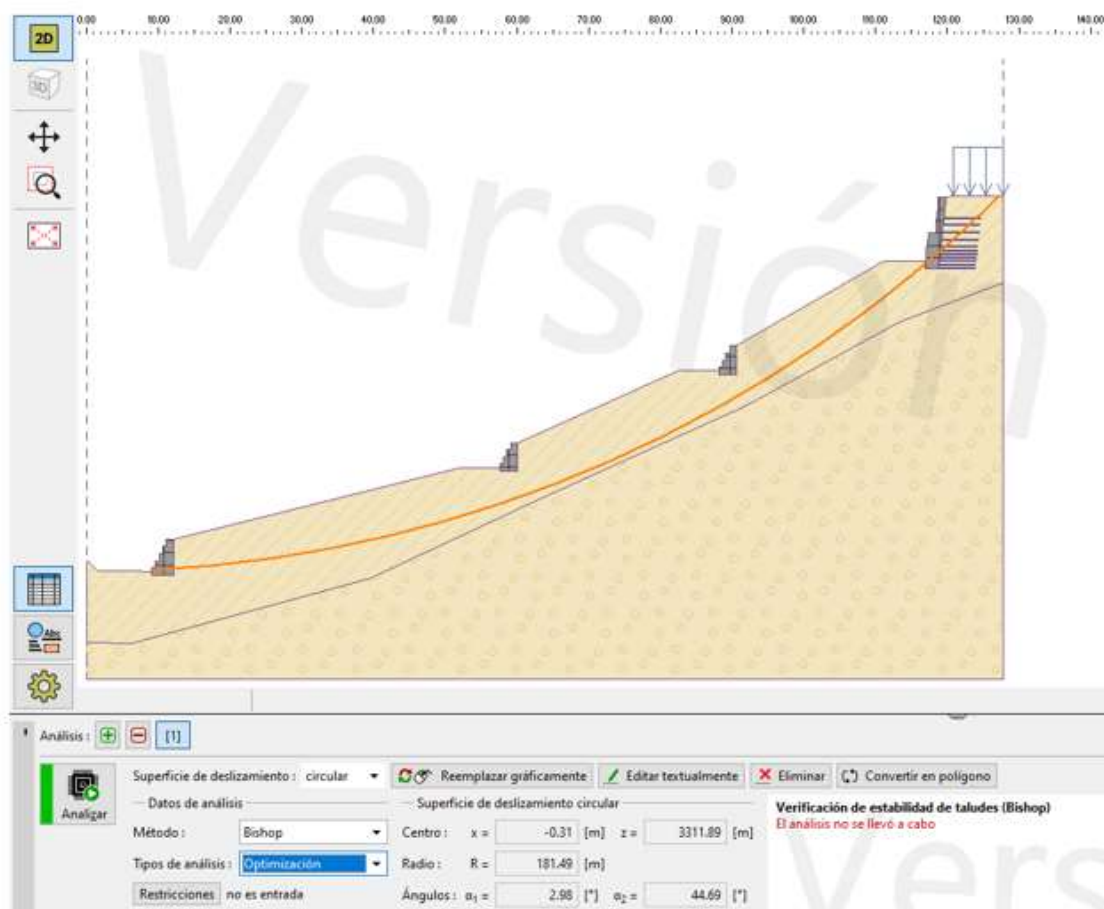
Fuente: Elaboración propia – Software GEO5 “Estabilidad de Taludes”

Asignación de Sobrecargas - Sección 01, Talud modificado



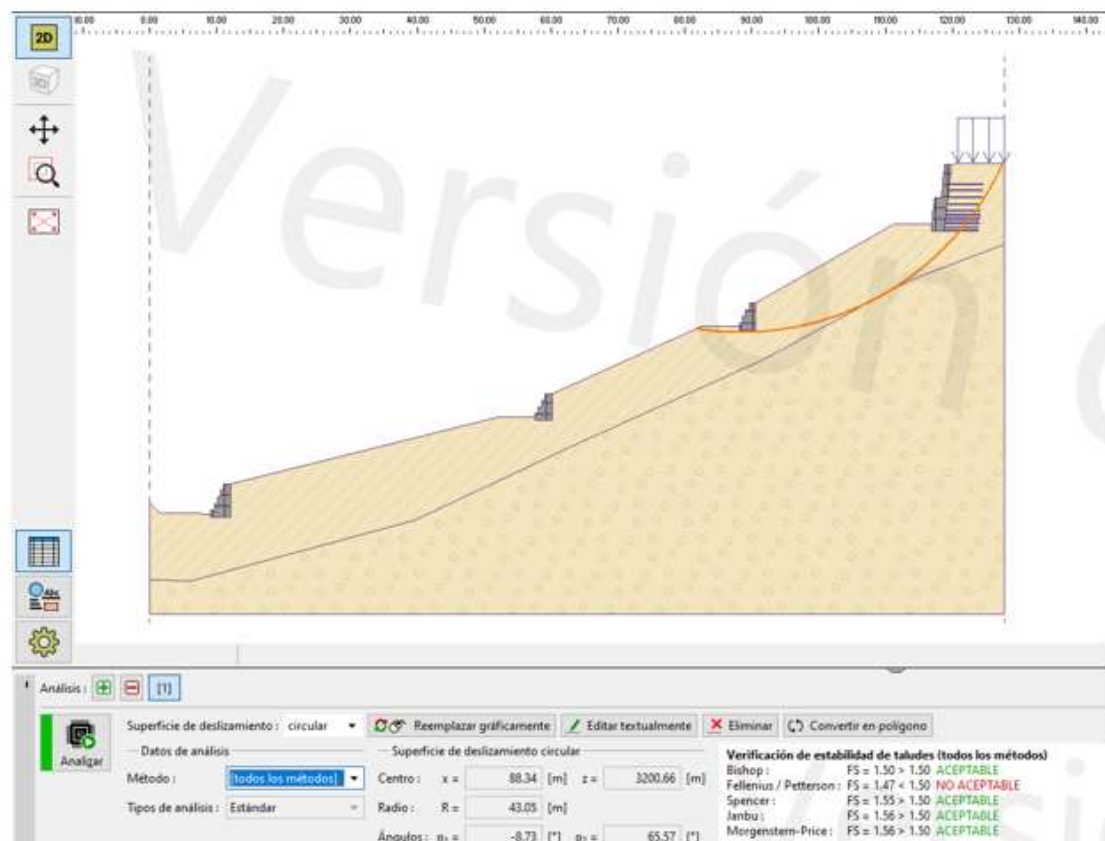
Fuente: Elaboración propia – Software GEO5 “Estabilidad de Taludes”

Asignación de Posible Línea de falla



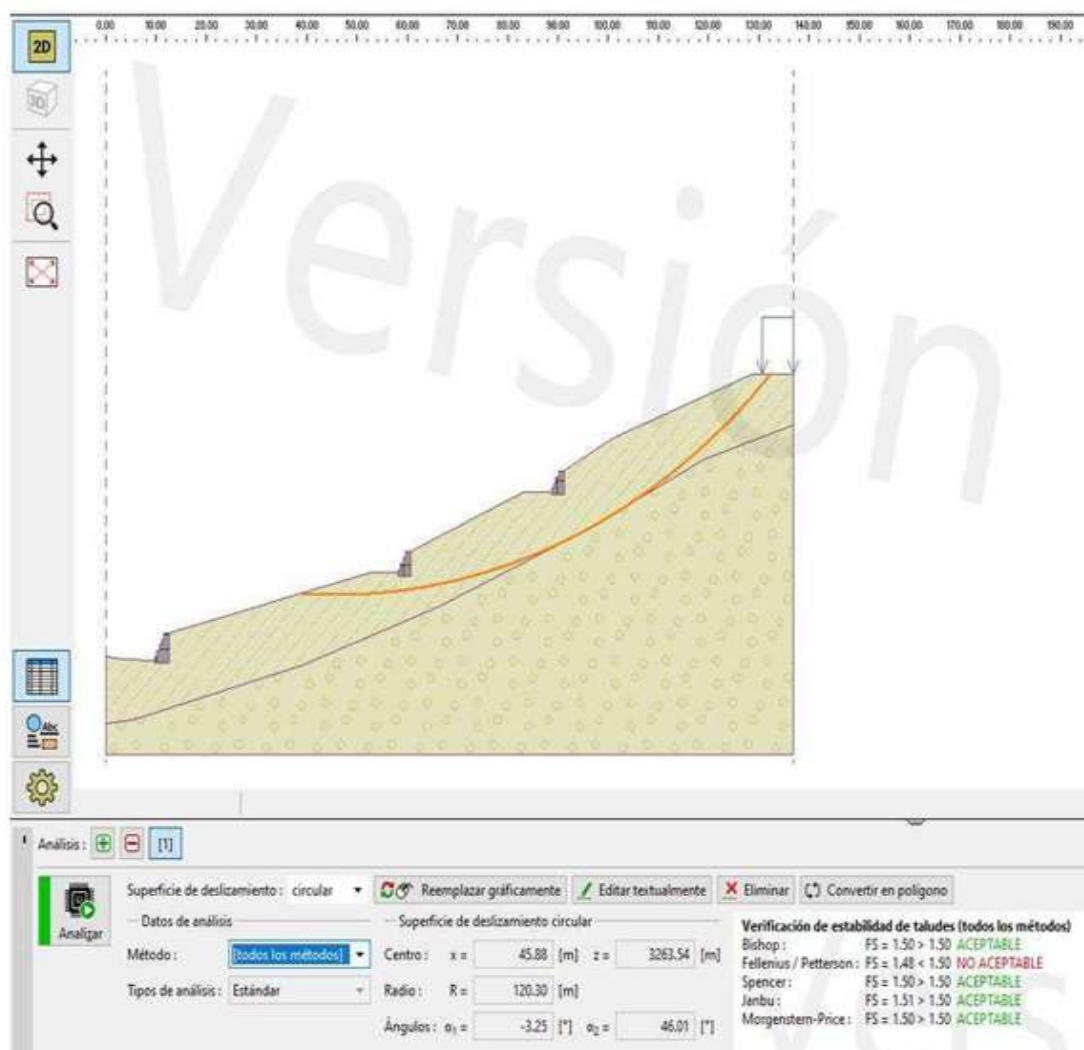
Fuente: Elaboración propia – Software GEO5 “Estabilidad de Taludes”

Análisis y Obtención del Factor de Seguridad más crítico, Sección 01 – Talud Modificado



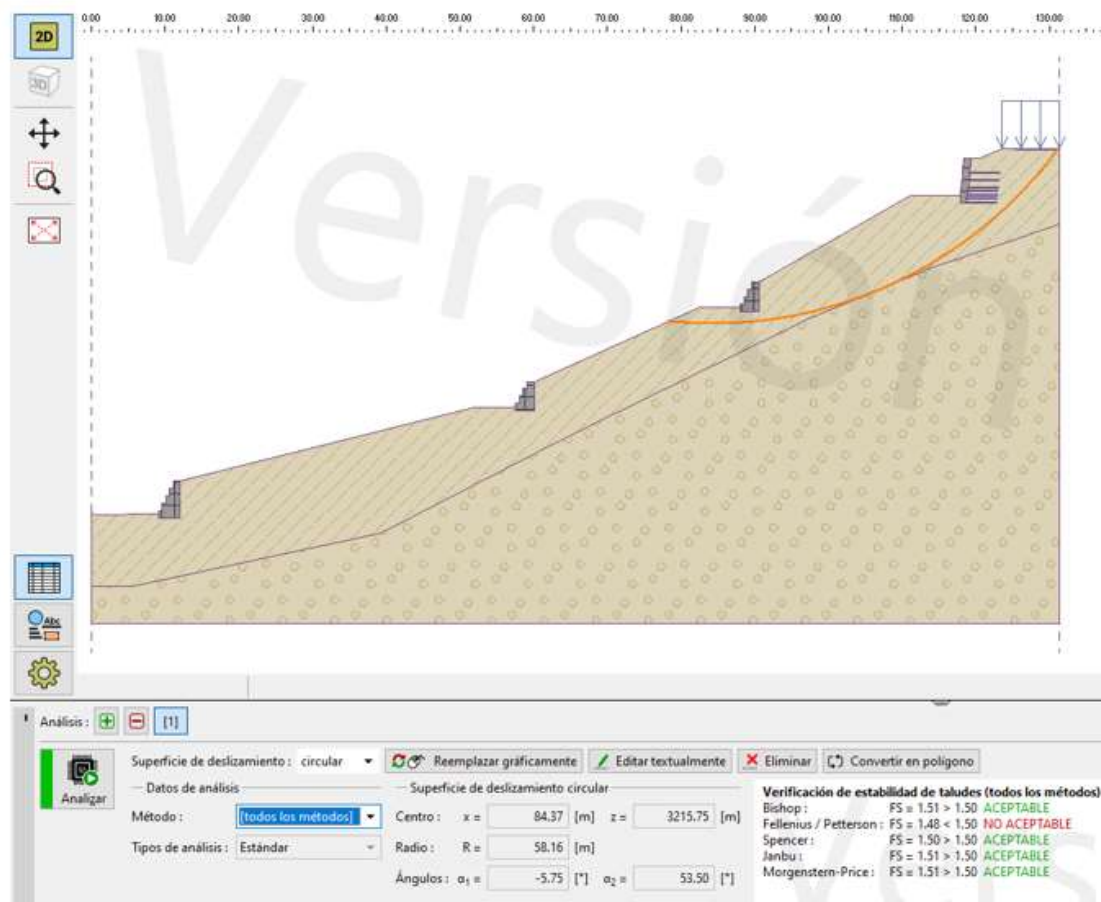
Fuente: Elaboración propia – Software GEO5 “Estabilidad de Taludes”

Análisis y Obtención del Factor de Seguridad, Sección 02 – Talud Modificado



Fuente: Elaboración propia – Software GEO5 “Estabilidad de Taludes”

Análisis y Obtención del Factor de Seguridad, Sección 03 – Talud Modificado



Fuente: Elaboración propia – Software GEO5 “Estabilidad de Taludes”

Sección 01 tiene un factor de seguridad promedio de 1.55 Sección 02 tiene un factor de seguridad promedio de 1.51 Sección 03 tiene un factor de seguridad promedio de 1.50

Con respecto al software se verifico su versatilidad, siendo aplicable para este tipo de estudios.

Análisis de la Prueba

A partir de la intervención en el talud, modificando principalmente la topografía, mediante abatimiento del talud y la pendiente de esta, reduciendo el nivel freático, mediante un sistema que incluye cunetas en la vía y banquetas, drenes de derivación ubicados detrás de cada gavión y un sistema terramesh que incluye geomembranas, los cuales se detallan en los planos, además se incluye elementos de soporte como son los gaviones con todo lo anterior se logró aumentar los factores de seguridad, superando el valor mínimo de 1.5 establecido por norma CE020 Estabilización de Suelos y Taludes.

Con respecto a la topografía, se redujeron las pendientes del talud, con la guía del Manual del Diseño de carreteras DG 2018, que establece una pendiente máxima de 1:1, se optó por pendientes menores, dado que son posibles ejecutar en el talud según el levantamiento topográfico realizado.

Con respecto al nivel freático, el sistema planteado busca la reducción de la infiltración en el suelo, mediante drenes y cunetas de derivación ya que su intercepción, encauzamiento y derivación de las aguas pluviales influye notoriamente, debido a que el suelo que se presenta en el talud es de características finas, entre limos y arcillas, materiales que son vulnerables al contacto con el agua por poseer coeficientes de permeabilidad muy bajos, tendiendo a almacenar agua, que incrementa las densidades y además sus propiedades se ven alteradas al contacto con el agua.

Por último, con respecto al uso de los gaviones, estos servirán para el control de los movimientos de masa, además que permite una permeabilidad para la eliminación de aguas pluviales, por tal motivo se realizó el análisis para el sector más crítico de cada sección de análisis del talud.

La propuesta establecida y su aplicación, permitió incrementar el factor de seguridad del talud, que se verifica con los factores de seguridad superiores al 1.5 exigido por la normativa nacional. A continuación, se detallan los factores de seguridad obtenidos con implementación de la propuesta de estabilización.



ANEXO 1 FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital ☒

Fecha de entrega: 03 - 12 - 2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: JOEL DENILSON CARRERA POMA

Dirección: JR. Mariano H. Cornejo Nro 133

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 74309671

Teléfono: 971287112 email: joeldenilson01@gmail.com

Nombres y Apellidos:

Dirección:

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°:

Teléfono: email:

Facultad y/o Escuela de Posgrado: FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO CIVIL

Asesor: Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación ☐ Tesis ☒ Trabajo de Suficiencia Profesional ☐ Trabajo Académico ☐

Título: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA CARRETERA
SINA YANAHUAYA DISTRITO SINA Y YANAHUAYA PROVINCIA DE SAN PEDRO DE MOHO Y
SANDIA REGIÓN PUNO

Palabras claves, (3 a 5 términos): Talud, Análisis de la Estabilidad de Taludes, Factor de Seguridad y Condición Límite de Equilibrio.

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2}?

1

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

☐ Bachiller ☒ Título ☐ 2da Especialidad ☐ Maestría ☐ Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- ☒ Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- ☐ Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- ☐ No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- ☐ Sí autorizo
- ☒ No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

☐

Internacional

☒

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17

Firma de Autor



huella digital

03 - 12 - 2025

Fecha