

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

“Relación entre parámetros de estabilidad de taludes bajo carga estática y pseudoestática mediante equilibrio límite y métodos numéricos en el sector Cullcuy, Santa María del Valle – Huánuco, 2024”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA CIVIL

AUTOR: Trujillo Chavez, Roymer

ASESORA: Arteaga Espinoza, Ingrid Delia Dignarda

HUÁNUCO – PERÚ

2025

U

D

H



TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Estructuras

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería civil

Disciplina: Ingeniería civil

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniera Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 74173140

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 73645168

Grado/Título: Máster en dirección de proyectos

Código ORCID: 0009-0001-0745-5433

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Malpartida Valderrama, Yenerit Pamela	Grado de magíster en medio ambiente y desarrollo sostenible mención en gestión ambiental	22516875	0000-0003-2705-4300
2	Trujillo Ariza, Yelen Lisseth	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	70502371	0000-0002-5650-3745
3	Valdivieso Echevarria, Martín Cesar	Maestro en gestión pública	22416570	0000-0002-0579-5135



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) CIVIL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 16:30 horas del día viernes 07 de noviembre de 2025, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los Jurados Calificadores integrado por los docentes:

❖ MG. YENERIT PAMELA MALPARTIDA VALDERRAMA	PRESIDENTE
❖ MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA	SECRETARIA
❖ MG. MARTIN CESAR VALDIVIESO ECHEVARRIA	VOCAL

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 2318-2025-D-FI-UDH para evaluar la Tesis intitulada: "RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS DE ESTABILIDAD DE TALUDES BAJO CARGA ESTÁTICA Y PSEUDOESTÁTICA MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE Y MÉTODOS NUMÉRICOS EN EL SECTOR CULLCUY, SANTA MARÍA DEL VALLE- HUÁNUCO, 2024", presentado por el (la) Bachiller. Bach Roymer TRUJILLO CHAVEZ, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) Aprobado por Unanimidad con el calificativo cuantitativo de 12 y cualitativo de Suficiente (Art. 47).

Siendo las 17:20 horas del día 07 del mes de noviembre del año 2025, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


MG. YENERIT PAMELA MALPARTIDA VALDERRAMA
DNI: 22516875
ORCID: 0000-0003-2705-4300
PRESIDENTE


MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA
DNI: 70502371
ORCID: 0000-0002-5650-3745
SECRETARIO (A)


MG. MARTIN CESAR VALDIVIESO ECHEVARRIA
DNI: 22416570
ORCID: 0000-0002-0579-5135
VOCAL



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: ROYMER TRUJILLO CHAVEZ, de la investigación titulada "RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS DE ESTABILIDAD DE TALUDES BAJO CARGA ESTÁTICA Y PSEUDOESTÁTICA MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE Y MÉTODOS NUMÉRICOS EN EL SECTOR CULLCUY, SANTA MARÍA DEL VALLE - HUÁNUCO, 2024", con asesor(a) INGRID DELIA DIGNARDA ARTEAGA ESPINOZA, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 1355-2024-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 16 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 02 de septiembre de 2025



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

2. TRUJILLO CHAVEZ ROYMER.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

6%

2

idoc.pub

Fuente de Internet

1%

3

repositorio.unheval.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

1%



RICHARD J. SOLIS TOLEDO

D.N.I.: 47074047

cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA

D.N.I.: 71345687

cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, Porfilio Trujillo y Margarita Chavez, quienes han dado sentido a mi vida. por sus sabios concejos, su apoyo incondicional y su constante presencia en cada etapa de mi formación.

Todo lo que soy y he logrado hasta hoy se lo debo a ellos.

A mis hermanos Zosimo, Abilio, Micaela, Olivia, Rosmery, Junior Y Rosula, que más que hermanos, han sido mis verdaderos amigos.

A toda mi familia, que es lo mejor y más valioso que Dios me ha dado.

AGRADECIMIENTO

Para la ejecución de esta tesis, se ha requerido mucho atrevimiento y dedicación, gracias al docente de curso que nos brindó su respaldo y apoyo, si no hubiese sido posible para la cooperación de la tesis

Mis sinceros agradecimientos:

A la Universidad de Huánuco por acogerme durante los cinco años que me brindo la oportunidad de realizar mis estudios profesionales.

A los docentes de la especialidad de ingeniería civil de la facultad de ingeniería, por haber contribuido y orientado, en nuestra profesión, siempre encaminando hacia al futuro promisorio.

Una referencia especial a la asesora a la Mg. Ingrid Delia Dignarda Arteaga Espinoza por su esfuerzo y dedicación, sus conocimientos, orientación, su manera de trabajar, persistencia, paciencia y motivación, han sido fundamentales en mi formación completa como investigador inculcando un sentido de seriedad, responsabilidad y rigor académico.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT	XI
CAPITULO I.....	15
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	15
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	16
1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO	16
1.3. OBJETIVOS.....	17
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	17
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	17
1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	18
1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....	18
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	19
CAPITULO II.....	21
MARCO TEÓRICO	21
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	21
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	21
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	23
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	25
2.2. BASES TEÓRICAS.....	27
2.2.1. INTRODUCCIÓN A LA ESTABILIDAD DE TALUDES	27
2.2.2. PROCESOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	32
2.2.3. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS RELEVANTES	44

2.2.4. MÉTODOS NUMÉRICOS PARA EL ANÁLISIS DE TALUDES.....	51
2.2.5. CONDICIONES DE CARGA ESTÁTICA Y PSEUDOESTÁTICA.....	60
2.2.6. HERRAMIENTAS Y SOFTWARE UTILIZADOS	63
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	65
2.4. HIPÓTESIS.....	68
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	68
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS.....	68
2.5. VARIABLES	68
2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE	68
2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	69
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	70
CAPITULO III.....	71
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	71
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	71
3.1.1. ENFOQUE	71
3.1.2. ALCANCE O NIVEL.....	71
3.1.3. DISEÑO	72
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	72
3.2.1. POBLACIÓN.....	72
3.2.2. MUESTRA	73
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS....	73
3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	73
3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS.....	75
3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS ...	76
CAPITULO IV	77
RESULTADOS	77
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	77
4.1.1. TOPOGRAFÍA DE LA POBLACIÓN Y MUESTRA.....	77
4.1.2. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL TALUD	83
4.1.3. ANÁLISIS MEDIANTE EQUILIBRIO LIMITE- PROGRAMA SLIDE	84

4.1.4. ANÁLISIS MEDIANTE MÉTODOS NUMÉRICOS - PROGRAMA PLAXIS	89
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS ...	94
4.2.1. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	94
4.2.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS	97
CAPITULO V	99
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	99
CONCLUSIONES	102
RECOMENDACIONES.....	104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
ANEXOS	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	70
Tabla 2 Modelo de Instrumento para el Procesamiento de Recolección de Datos	74
Tabla 3 Coordenadas UTM de la pendiente en análisis	77
Tabla 4 Las coordenadas de la pendiente en estudio km 11+800	83
Tabla 5 Clasificación SUCS del punto en estudio	83
Tabla 6 Características del suelo del punto en estudio	83
Tabla 7 Resumen de los FS mediante el equilibrio limite en condición estático	86
Tabla 8 Resumen de los FS mediante el equilibrio limite en condición pseudo- estático	88
Tabla 9 Resumen de los FS mediante métodos Numéricos con MEL	93
Tabla 10 Factores de Seguridad por ambos métodos.....	96
Tabla 11 Índices de Estabilidad para la contratación de Hipótesis.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Muestra de la pendiente en estudio	82
Figura 2 Perfil y propiedades de la pendiente en estudio	84
Figura 3 Factor de seguridad por Spencer	85
Figura 4 Factor de seguridad por Morgenstern Price	85
Figura 5 Columnas Agrupadas de los FS en condición estática	86
Figura 6 Factor de seguridad por Spencer	87
Figura 7 Factor de seguridad por Morgenstern Price	87
Figura 8 Columnas Agrupadas de los FS en condición pseudo- estático	88
Figura 9 Modelamiento del talud en estudio en el programa Plaxis	89
Figura 10 Medio continuo discretizado en elementos triangulares del talud en estudio	89
Figura 11 Etapas de cálculo del talud en estudio en el programa Plaxis	90
Figura 12 Etapas de cálculo del talud en estudio en el programa Plaxis	91
Figura 13 Factor de seguridad en condición estática	92
Figura 14 Factor de seguridad en condición Pseudo-estática	93
Figura 15 Columnas Agrupadas de los FS con métodos Numéricos con MEL	93
Figura 16 Gráfico de comparación para la Prueba de Hipótesis	98

RESUMEN

El estudio titulado Relación entre parámetros de estabilidad de taludes bajo carga estática y pseudoestática mediante equilibrio límite y métodos numéricos en el sector Cullcuy, Santa María del Valle – Huánuco, 2024. aborda un problema crítico de la ingeniería geotécnica: la estabilidad de taludes en condiciones complejas. Este tema es relevante a nivel global debido a los riesgos asociados con deslizamientos de tierra, que afectan infraestructura y comunidades, especialmente en zonas montañosas. En el Perú, los problemas relacionados con la estabilidad de taludes son especialmente importantes debido a la geografía accidentada y a las intensas lluvias que se presentan en muchas regiones. Un ejemplo claro de esta situación se da en el sector Cullcuy, donde la interacción entre la actividad humana y los procesos naturales aumenta la probabilidad de deslizamientos y fallas en los taludes.

Esta investigación tiene como objetivo principal analizar cómo se relacionan los parámetros de estabilidad de taludes bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas. Para ello, se emplearán tanto métodos tradicionales de equilibrio límite como técnicas numéricas más avanzadas. Se ha planteado un enfoque cuantitativo, lo que implica recopilar y analizar datos obtenidos mediante ensayos de laboratorio, trabajos de campo, observaciones directas y simulaciones realizadas con programas especializados. Entre los parámetros que se evaluarán, destaca la resistencia del suelo, que será modelada utilizando el criterio de Mohr-Coulomb. Además, se aplicarán modelos constitutivos para comprobar la precisión de los resultados obtenidos en las simulaciones.

El estudio se ha diseñado como una investigación cuasi experimental, comparando distintas zonas del sector Cullcuy mediante el uso de ambos métodos de análisis. Se estudiarán aspectos como el efecto de las cargas estáticas y sísmicas (pseudoestáticas) sobre el factor de seguridad y las posibles superficies de falla, teniendo en cuenta las características geotécnicas locales. La población considerada incluye zonas que presentan

mayor riesgo, y la muestra fue seleccionada estratégicamente para representar las condiciones geológicas del área.

Como resultado, se espera identificar qué método ofrece una mayor precisión al momento de predecir la estabilidad de los taludes. Esto no solo servirá para mejorar el diseño y la planificación de obras en zonas vulnerables, sino también para proponer medidas de prevención y reducción de riesgos que beneficien directamente a las comunidades que viven en estas áreas.

Palabras claves: Estabilidad de taludes, equilibrio límite, métodos numéricos, carga estática, carga pseudoestática.

ABSTRACT

The study titled Relationship Between Slope Stability Parameters Under Static and Pseudo-Static Loading Using Limit Equilibrium and Numerical Methods in the Cullcuy Sector, Santa María del Valle – Huánuco, 2024 addresses a critical issue in geotechnical engineering: slope stability under complex conditions. This topic is globally relevant due to the risks associated with landslides, which affect infrastructure and communities, particularly in mountainous regions. In Peru, this problem is especially significant due to its rugged topography and high rainfall, characteristics that define the Cullcuy sector, where the interaction between human activity and natural processes increases the vulnerability of slopes.

The primary objective of the research is to determine the relationship between slope stability parameters under static and pseudo-static conditions using traditional limit equilibrium methods and advanced numerical techniques. The quantitative approach of the study allows for the collection and analysis of numerical data obtained through laboratory and field tests, direct observations, and simulations in specialized software. Parameters such as soil strength will be evaluated, modeling its behavior using Mohr-Coulomb criteria and constitutive models to validate their accuracy.

The quasi-experimental design includes a comparative analysis of selected areas within the Cullcuy sector, using both methods to evaluate slope stability. Factors such as the impact of static and pseudo-static loads on the safety factor and failure surface will be analyzed, taking into account local geotechnical variables. The population comprises potentially vulnerable points, and the strategically selected sample represents the geological conditions of the study area.

The expected results aim to determine which method offers greater precision and detail in predicting stability, contributing to the safe design, and planning of infrastructure in vulnerable regions. This comprehensive approach not only generates new technical knowledge but also proposes effective risk mitigation strategies for local communities.

Keywords: Slope stability, limit equilibrium, numerical methods, static load, pseudo-static load.

INTRODUCCIÓN

La estabilidad de taludes constituye un tema de suma relevancia dentro de la ingeniería geotécnica, especialmente en zonas caracterizadas por topografías irregulares y condiciones climáticas extremas. La prevención de deslizamientos de tierra no solo resguarda la integridad de infraestructuras críticas, sino que también protege comunidades vulnerables expuestas a riesgos naturales. En este contexto, la investigación sobre los parámetros que influyen en la estabilidad de taludes bajo condiciones de carga estática y pseudoestática cobra especial relevancia, ya que proporciona herramientas para comprender mejor los factores que afectan la seguridad y sostenibilidad de proyectos de ingeniería civil. La región de Huánuco, y en particular el sector Cullcuy en el distrito de Santa María del Valle, representa un lugar ideal para estudiar la estabilidad de taludes, debido a sus características geológicas y geográficas particulares. Esta zona combina una topografía complicada con condiciones climáticas variables, lo que la convierte en un escenario representativo para este tipo de análisis.

A nivel internacional, se han realizado numerosos estudios sobre estabilidad de taludes utilizando tanto métodos tradicionales, como el equilibrio límite, como también técnicas numéricas más modernas. Estas últimas han demostrado ser muy útiles para evaluar casos complejos, ya que permiten obtener resultados más precisos sobre el factor de seguridad y las posibles superficies de falla. Sin embargo, aplicar estas herramientas en contextos locales, como los de América Latina, todavía implica ciertos retos. Entre ellos, la variabilidad del terreno y la limitada disponibilidad de recursos técnicos y económicos. De acuerdo con Pérez (2023), al comparar estos métodos en estudios realizados en distintos países, se observan diferencias importantes en cuanto a la exactitud y confiabilidad de los resultados, lo cual resalta la necesidad de validar estos enfoques en escenarios específicos como los nuestros.

En el caso del Perú, la inestabilidad de taludes es un problema frecuente, principalmente por la geografía montañosa del país y las lluvias intensas que afectan diversas regiones. En Huánuco, las lluvias estacionales y la topografía

empinada aumentan el riesgo de deslizamientos, lo cual pone en peligro carreteras, viviendas y otras infraestructuras. Por ello, se vuelve fundamental aplicar métodos de análisis que combinen lo tradicional con lo moderno para tener una mejor comprensión del terreno y poder tomar decisiones adecuadas.

El sector Cullcuy se presenta como un entorno ideal para este tipo de estudios, ya que aquí coinciden varios factores críticos: construcción de carreteras, suelos complejos y un clima cambiante. Todo esto hace que se requiera un análisis detallado de la estabilidad de los taludes. La combinación del método del equilibrio límite con simulaciones numéricas permite tener una visión más completa del comportamiento del suelo, tanto en condiciones estáticas como cuando se consideran cargas sísmicas.

El objetivo principal de esta investigación es estudiar la relación entre los parámetros que influyen en la estabilidad de taludes, utilizando tanto el método del equilibrio límite como modelos numéricos. Con esto, se busca generar información técnica que sirva para mejorar la gestión de riesgos en zonas vulnerables como Cullcuy, y además, contribuir con una base que permita tomar decisiones más informadas en futuros proyectos de infraestructura en regiones con condiciones similares. El enfoque también apunta a fomentar medidas preventivas, priorizando la seguridad y la sostenibilidad en el desarrollo de obras civiles.

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El análisis de la estabilidad de taludes es un tema fundamental dentro de la ingeniería geotécnica, sobre todo en zonas donde existen riesgos de deslizamientos y movimientos de tierra. En ese sentido, esta investigación cobra relevancia al enfocarse en el sector Cullcuy, ubicado en Santa María del Valle, región Huánuco, durante el año 2024, con el objetivo de evaluar los parámetros de estabilidad bajo condiciones de carga estática y pseudoestática utilizando tanto el método del equilibrio límite como técnicas numéricas.

A nivel internacional, se reconoce la importancia de estudiar la estabilidad de taludes, ya que está directamente relacionada con la seguridad de obras de infraestructura y la protección de comunidades expuestas a estos riesgos. En distintas partes del mundo, especialmente en zonas montañosas o con suelos poco estables, los deslizamientos de tierra representan una amenaza seria para la vida de las personas y los bienes materiales. Por esta razón, países como Estados Unidos, Canadá y varias naciones europeas han desarrollado métodos avanzados para evaluar y controlar la inestabilidad de taludes. Estos incluyen tanto enfoques clásicos como el equilibrio límite, así como herramientas numéricas más complejas. Comparar el desempeño de estos métodos en diferentes contextos geográficos ha permitido entender mejor su alcance y limitaciones, lo que brinda información valiosa para su aplicación en lugares con condiciones similares. (Pérez, 2023)

En el contexto nacional, el Perú enfrenta constantes desafíos relacionados con este tema, debido a su geografía accidentada y a las condiciones climáticas intensas, como lluvias torrenciales que se presentan en muchas regiones. La zona de Huánuco, por ejemplo, es una de las más afectadas por este tipo de fenómenos. Los deslizamientos de tierra aquí no solo dañan caminos y viviendas, sino que también representan un peligro

constante para quienes habitan en estas áreas. Por ello, contar con métodos confiables para predecir la estabilidad de los taludes y poder actuar con anticipación es fundamental para lograr un desarrollo más seguro y sostenible. (Pérez, 2023)

En el caso específico de Santa María del Valle, las condiciones geológicas y topográficas del terreno influyen notablemente en el comportamiento de los taludes. La construcción de infraestructura vial y de viviendas, combinada con factores naturales como la erosión del suelo y las lluvias intensas, genera tensiones que pueden desencadenar deslizamientos. Estudiar cómo varían los parámetros de estabilidad tanto en condiciones estáticas como pseudoestáticas permite comprender mejor este fenómeno. Esta información es clave para plantear estrategias de prevención, mejorar la planificación urbana y reducir el impacto de estos riesgos en la población local.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cómo se relacionan los parámetros de estabilidad de taludes utilizando el proceso de equilibrio límite y métodos numéricos en condición de carga estática y pseudoestática en el sector Cullcuy, Santa María del Valle – Huánuco, 2024?

1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO

¿Cómo se ven afectados los parámetros de resistencia del criterio de ruptura de Mohr Coulomb de los suelos, mediante los resultados obtenidos en ensayos de laboratorio en el sector Cullcuy, Santa María del Valle – Huánuco, 2024?

¿Cómo afecta la modelación del comportamiento de los materiales intervinientes con el apoyo de ensayos de laboratorio, utilizando modelos constitutivos, en la zona de estudio en el sector Cullcuy, Santa María del Valle – Huánuco, 2024?

¿Cuál es el impacto en la credibilidad de los resultados del factor de seguridad y la superficie de falla al estudiar el talud bajo condiciones de carga estática y pseudo-estática, a través del método de equilibrio límite y método numérico, al modelar el problema en software de ingeniería en la zona de estudio en el sector Cullcuy, Santa María del Valle – Huánuco, 2024?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la relación de los parámetros de estabilidad de taludes utilizando el proceso de equilibrio límite y métodos numéricos en condición de carga estática y pseudoestática en el sector Cullcuy, Santa María del Valle – Huánuco, 2024.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar los parámetros de resistencia del criterio de ruptura de Mohr Coulomb de suelos en el sector Cullcuy, mediante los resultados obtenidos en ensayos de laboratorio.

Evaluar la precisión y confiabilidad de los modelos constitutivos aplicados para simular el comportamiento de los materiales en condiciones controladas de laboratorio de la zona de estudio.

Evaluar cómo varían los resultados del factor de seguridad y la superficie de falla al utilizar el método de equilibrio límite y método numérico bajo condiciones de carga estática y pseudo-estática en el modelado de taludes en la zona de estudio, mediante el análisis en software de ingeniería.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

La relación entre parámetros de estabilidad de taludes bajo carga estática y pseudoestática mediante equilibrio límite y métodos numéricos

en el sector Cullcuy del distrito de Santa María del Valle que está dentro de la provincia de Huánuco proporcionará una contribución significativa al campo de la ingeniería geotécnica. Este estudio avanzará en la comprensión de cómo los métodos tradicionales de equilibrio límite y los enfoques numéricos pueden utilizarse de manera complementaria para evaluar la estabilidad de taludes en condiciones estáticas y pseudoestáticas. Al comparar y entender las diferencias y similitudes entre estos métodos dentro de un contexto local como el sector Cullcuy, será posible plantear recomendaciones prácticas que ayuden a mejorar la gestión de riesgos y la planificación urbana en zonas propensas a deslizamientos. Se espera que los resultados obtenidos no solo aporten a mejorar las soluciones de ingeniería geotécnica que se aplican actualmente en la región de Huánuco, sino que también sirvan como una referencia útil para futuras investigaciones o intervenciones en otras regiones con condiciones geológicas y climáticas parecidas.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

La tesis proporcionará una base sólida para la implementación de prácticas ingenieriles avanzadas en la gestión de riesgos geotécnicos. Los resultados de esta investigación permitirán mejorar las estrategias de diseño y planificación urbana en zonas vulnerables a deslizamientos, como es el caso de Santa María del Valle. Al aplicar enfoques más precisos para analizar la estabilidad de taludes, se podrá optimizar la infraestructura existente y reducir costos asociados a trabajos de estabilización. Además, este estudio busca aportar al desarrollo de normativas locales más adaptadas a la realidad geotécnica de la región, lo cual contribuirá a crear entornos más seguros y resilientes. También se promueve la sostenibilidad ambiental, mediante el uso adecuado de tecnologías emergentes aplicadas a la evaluación de riesgos geológicos.

1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Para llevar a cabo esta investigación, se utilizarán herramientas de análisis geotécnico avanzadas que permitirán estudiar cómo se

relacionan los parámetros de estabilidad de taludes bajo cargas estáticas y pseudoestáticas, específicamente en el sector Cullcuy, Santa María del Valle – Huánuco, durante el año 2024. El estudio se basará en un análisis comparativo entre el método tradicional de equilibrio límite y métodos numéricos más modernos. Para ello, se recolectará información detallada a través de inspecciones geotécnicas en campo, mediciones directas y el uso de datos geológicos y climáticos disponibles. Se elaborarán modelos computacionales utilizando técnicas como el análisis de elementos finitos y redes neuronales artificiales, con el fin de simular distintos escenarios de carga y condiciones del terreno. Los resultados obtenidos se someterán a análisis estadístico para validar su precisión y confiabilidad. Esta metodología permitirá no solo entender mejor cómo se comportan los taludes en esta zona específica, sino también proponer recomendaciones concretas para la gestión del riesgo y la planificación territorial en zonas similares.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Entre las principales limitaciones de este estudio se encuentra la posible falta de datos históricos completos, así como ciertas dificultades para acceder a todos los puntos de muestreo en el terreno, debido a la geografía accidentada del lugar. Asimismo, la precisión de los modelos numéricos podría verse afectada por la variabilidad del suelo y por las condiciones climáticas cambiantes, lo cual puede influir en la calidad de los datos recolectados y en las suposiciones que deben hacerse durante la modelación. A pesar de estas limitaciones, se aplicarán controles rigurosos de calidad y se tomarán medidas para minimizar posibles errores o riesgos, de manera que los resultados obtenidos sean lo más confiables y útiles posible para la realidad geotécnica del área de estudio.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación es viable gracias a la disponibilidad de herramientas tecnológicas avanzadas para el modelado geotécnico y al acceso a software especializado que permitirá realizar análisis completos y comparativos sobre

la estabilidad de taludes en el sector Cullcuy. Además, se cuenta con el respaldo de instituciones locales y regionales, que facilitarán el acceso a información geológica y meteorológica necesaria para el desarrollo del estudio. La colaboración con profesionales del área y la planificación cuidadosa del trabajo de campo aseguran que el proyecto podrá ejecutarse de manera efectiva, generando resultados relevantes y aplicables para la gestión del riesgo en esta zona vulnerable de Huánuco.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Córdoba (2023) en su trabajo de grado para obtener el título de magíster en ingeniería en la Universidad EAFIT (Medellín, Colombia), realizó una investigación titulada: “Evaluación crítica de los métodos de análisis para estabilidad de taludes en laderas naturales y las perspectivas de investigación”. El objetivo principal fue evaluar críticamente los métodos existentes para analizar la estabilidad de taludes en laderas naturales y sugerir nuevas perspectivas que mejoren estas evaluaciones. La metodología incluyó una revisión exhaustiva de la literatura sobre los métodos más utilizados, como el método de equilibrio límite, el método de elementos finitos y modelos basados en la mecánica de suelos. Además, aplicó estos métodos en casos específicos en Colombia para evaluar su efectividad y comparar precisión y aplicabilidad práctica. Los resultados mostraron que, aunque los métodos tradicionales son efectivos en muchas situaciones, presentan limitaciones para predecir comportamientos complejos del suelo y condiciones hidrológicas variables. Córdoba concluyó que es necesario desarrollar métodos más integrales y adaptativos que incorporen modelos predictivos avanzados y datos en tiempo real. También recomendó futuras investigaciones que integren tecnologías emergentes, como sensores de monitoreo y técnicas de inteligencia artificial, para mejorar la precisión y capacidad de respuesta en la evaluación de la estabilidad de taludes.

Ávila (2021) en su trabajo para obtención del título de magíster en geotecnia titulado: “Comparativa entre los métodos pseudoestático y dinámico para la estabilidad de taludes mediante el Método de Elementos finitos. Caso de Estudio: Terremoto de Bahía de Caráquez

(2016)”, realizó su investigación en la Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Guayaquil – Ecuador. El objetivo principal del estudio fue comparar la eficacia y precisión de los métodos pseudoestático y dinámico para evaluar la estabilidad de taludes utilizando el Método de Elementos Finitos (MEF), tomando como caso de estudio el terremoto de Bahía de Caráquez ocurrido en 2016. La metodología incluyó la recopilación de datos geotécnicos y sísmicos específicos del área afectada, seguido de la aplicación del MEF para modelar y analizar la estabilidad de taludes bajo condiciones pseudoestáticas y dinámicas. Se realizaron simulaciones detalladas que replicaron las condiciones del terremoto y se evaluaron las respuestas de los taludes ante diferentes escenarios sísmicos. Los resultados indicaron que el método dinámico proporciona una representación más realista y detallada del comportamiento del talud bajo cargas sísmicas, revelando desplazamientos y deformaciones que el método pseudoestático no pudo capturar con precisión. Las conclusiones sugieren que, aunque el método pseudoestático es más sencillo y rápido de aplicar, el método dinámico es superior en términos de precisión y fiabilidad para situaciones de alta complejidad sísmica. Ávila Oñate recomendó la adopción del análisis dinámico en estudios de estabilidad de taludes en regiones sísmicamente activas y destacó la importancia de integrar tecnologías avanzadas de modelado y monitoreo para mejorar la seguridad y el diseño de infraestructuras geotécnicas.

Coronel (2020) en su proyecto de investigación para la obtención del título de Ingeniera Civil titulado: “Estabilización de un talud compuesto por suelo expansivo incorporando ceniza volcánica”, se llevó a cabo en la Universidad Nacional de Chimborazo, ubicada en Riobamba - Ecuador. El objetivo principal del estudio fue evaluar la efectividad de la ceniza volcánica como estabilizador en taludes compuestos por suelo expansivo, con la finalidad de mejorar la estabilidad del terreno y reducir los riesgos de deslizamientos. La metodología consistió en realizar una serie de ensayos de laboratorio y análisis de campo, donde se mezclaron diferentes proporciones de suelo expansivo con ceniza volcánica. Se

llevaron a cabo pruebas de compresión no confinada, hinchamiento y permeabilidad para determinar las propiedades mecánicas y el comportamiento del suelo tratado. Los resultados mostraron que la incorporación de ceniza volcánica mejoró notablemente las propiedades mecánicas del suelo expansivo, disminuyendo su hinchamiento y aumentando su capacidad de soporte. En conclusión, la investigación demostró que la ceniza volcánica es un aditivo viable y efectivo para la estabilización de taludes con suelo expansivo, proporcionando una solución económica y sostenible para la mitigación de riesgos geotécnicos en regiones volcánicas.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Flores y Pizarro (2022) en su tesis titulada: “Análisis de estabilidad del talud en condiciones estáticas y pseudoestáticas para determinar el nivel de seguridad en la Costa Verde”, se llevó a cabo en la Universidad Ricardo Palma, ubicada en Lima - Perú. El objetivo principal del estudio fue evaluar la estabilidad de los taludes en la Costa Verde bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas para determinar el nivel de seguridad y proponer medidas de mitigación de riesgos. La metodología incluyó un análisis detallado del terreno mediante estudios geotécnicos, geofísicos y geológicos, seguido de la modelación y simulación numérica de la estabilidad de los taludes usando software especializado. Se realizaron ensayos de laboratorio para caracterizar las propiedades mecánicas del suelo y se aplicaron métodos de equilibrio límite y análisis de elementos finitos para evaluar el comportamiento del talud bajo cargas estáticas y sísmicas. Los resultados indicaron que varios segmentos de los taludes presentaban factores de seguridad por debajo de los valores recomendados, especialmente bajo condiciones pseudoestáticas, lo que sugiere un riesgo significativo de deslizamientos en caso de sismos. En conclusión, la investigación subrayó la necesidad de implementar medidas de estabilización y monitoreo continuo para garantizar la seguridad de la infraestructura y las personas en la Costa Verde, recomendando la construcción de estructuras de contención y la

revegetación de los taludes como parte de una estrategia integral de gestión de riesgos.

Huascupe (2021) en su tesis titulada: “Estabilidad de taludes naturales empleando métodos convencionales, sector Llavini, Puno 2021”, se llevó a cabo en la Universidad César Vallejo, ubicada en Lima - Perú. El objetivo principal del estudio fue analizar la estabilidad de los taludes naturales en el sector Llavini, en Puno, utilizando métodos convencionales para identificar posibles riesgos de deslizamiento y proponer soluciones de mitigación. La metodología empleada incluyó una serie de estudios de campo y laboratorio para caracterizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo y las rocas en el área de estudio. Se realizaron levantamientos topográficos detallados, análisis de estabilidad mediante software de modelado geotécnico y ensayos de laboratorio, como pruebas de compresión y corte directo, para evaluar la resistencia al deslizamiento. Los resultados mostraron que algunos taludes presentaban factores de seguridad por debajo del umbral crítico, indicando un alto riesgo de inestabilidad, especialmente en zonas con pendientes pronunciadas y suelos alterados. En conclusión, la investigación demostró la necesidad de implementar medidas correctivas y preventivas, como la construcción de drenajes superficiales y subterráneos, refuerzos mecánicos y la revegetación de los taludes, para mejorar la estabilidad y reducir el riesgo de deslizamientos en el sector Llavini.

Garcés (2023) en su tesis titulada: “Evaluación de la incertidumbre de parámetros geotécnicos mediante métodos probabilísticos en el análisis de la estabilidad de taludes”, se llevó a cabo en la Universidad de Piura, ubicada en Piura - Perú. El objetivo principal del estudio fue evaluar la incertidumbre asociada a los parámetros geotécnicos utilizando métodos probabilísticos para mejorar el análisis de la estabilidad de taludes. La metodología involucró una recopilación exhaustiva de datos geotécnicos del área de estudio, seguido de la aplicación de técnicas probabilísticas como el Método de Monte Carlo y

el Análisis de Fiabilidad para modelar y analizar la variabilidad de los parámetros del suelo, tales como cohesión y ángulo de fricción. Se realizaron ensayos de laboratorio y análisis estadísticos para determinar las distribuciones probabilísticas de estos parámetros. Posteriormente, se utilizó software de modelado geotécnico para simular la estabilidad de los taludes considerando la incertidumbre de los parámetros. Los resultados indicaron que la incorporación de métodos probabilísticos proporciona una evaluación más realista y detallada del riesgo de inestabilidad, destacando áreas con mayor probabilidad de falla que no habrían sido identificadas mediante análisis determinísticos tradicionales. En conclusión, la investigación concluyó que el uso de métodos probabilísticos en el análisis de estabilidad de taludes es esencial para una gestión más precisa de los riesgos geotécnicos, recomendando su integración en las prácticas de ingeniería para mejorar la seguridad y la toma de decisiones en proyectos relacionados con taludes.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Bustillos (2024) en su artículo científico titulado: “Análisis bidimensional de estabilidad del talud en condiciones estáticas y pseudoestáticas del talud afectado por una falla geológica activa ubicado en Chinchao, Huánuco”, publicado en la Universidad de Huánuco, realizó su investigación con el objetivo de evaluar la estabilidad de un talud afectado por una falla geológica activa. La metodología consistió en la realización de ensayos de penetración estándar (SPT), análisis granulométricos y determinación de parámetros de resistencia del suelo, como el ángulo de fricción interna y la cohesión. Además, se llevaron a cabo simulaciones numéricas en el software Slide 2, utilizando los métodos de Bishop Simplificado y Morgenstern-Price para evaluar la estabilidad bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas. Los resultados indicaron que el factor de seguridad (FS) del talud era de 1.12 en condiciones estáticas y de 0.88 bajo condiciones sísmicas, lo que sugiere que el talud presenta inestabilidad potencial durante eventos

sísmicos. Asimismo, se identificó que la falla geológica actúa como un plano crítico de deslizamiento, disminuyendo la resistencia del macizo rocoso. En las conclusiones, Bustillos recomendó la implementación de muros anclados y sistemas de drenaje subterráneo para incrementar el FS a valores superiores a 1.5 y enfatizó la importancia del análisis bidimensional para comprender la interacción entre discontinuidades geológicas y las condiciones del terreno en la estabilidad del talud.

Ruiz y Ornetá (2023) en su trabajo de investigación titulado: “Evaluación del factor de seguridad del talud en el tramo Rancho-Panao km 42, distrito de Panao, provincia de Pachitea”, desarrollado en la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco, llevaron a cabo su estudio con la finalidad de evaluar la estabilidad de los taludes en dicho tramo vial. La metodología consistió en la caracterización geotécnica, geológica y topográfica del área de estudio, seguido de la aplicación de métodos numéricos, incluyendo el método de elementos finitos y métodos de equilibrio límite, para simular las condiciones del talud y calcular los factores de seguridad bajo diferentes cargas y condiciones ambientales. Los resultados mostraron que en algunos sectores los factores de seguridad obtenidos se encontraban por debajo del umbral crítico, indicando un riesgo considerable de inestabilidad y posible deslizamiento. En las conclusiones, los autores propusieron la implementación de medidas correctivas tales como la construcción de refuerzos con estructuras de contención y la instalación de sistemas de drenaje para mejorar la estabilidad de los taludes. Además, recomendaron el establecimiento de un sistema de monitoreo constante para anticipar y mitigar posibles fallas futuras en el tramo Rancho-Panao.

Herrera (2023) en su tesis para optar el título profesional de ingeniero civil intitolado: “Análisis estático y pseudoestático en la estabilización de talud mediante muro de suelo reforzado de la carretera PE-3N del tramo km 263+100 - 263+150, Huánuco – La Unión, 2023”, se llevó a cabo en la Universidad De Huánuco, ubicada en Huánuco - Perú. El objetivo principal del estudio fue determinar el comportamiento

del talud antes y después de implementar un muro de suelo reforzado, considerando tanto cargas estáticas como sísmicas. La metodología incluyó la recopilación de información geotécnica mediante ensayos de campo y laboratorio, donde se determinaron parámetros como la cohesión, el ángulo de fricción y la densidad de los suelos. Posteriormente, se modeló el talud utilizando el software Slide 2.0, aplicando el método de equilibrio límite de Bishop para el análisis estático y pseudoestático, este último considerando un coeficiente sísmico horizontal de 0.15g. Los resultados indicaron que el talud sin refuerzo presentaba un factor de seguridad estático de 1.05 y un factor pseudoestático de 0.82, evidenciando una condición crítica de inestabilidad, especialmente bajo condiciones sísmicas. Luego de implementar el diseño del muro de suelo reforzado, el factor de seguridad aumentó a 1.52 en condición estática y a 1.21 en condición pseudoestática, confirmando una mejora sustancial en la estabilidad del talud. Las conclusiones del estudio señalan que el uso de muros de suelo reforzado es una alternativa técnica eficiente y viable en zonas montañosas con alta sismicidad, mejorando significativamente la seguridad vial y reduciendo el riesgo de deslizamientos que puedan afectar el tránsito y la integridad de la infraestructura vial.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. INTRODUCCIÓN A LA ESTABILIDAD DE TALUDES

La estabilidad de taludes es un tema crucial en la ingeniería geotécnica, especialmente en un país como Perú, donde la geografía montañosa y las condiciones climáticas adversas aumentan el riesgo de deslizamientos de tierra. La estabilidad de un talud se refiere a la capacidad que tiene una pendiente, ya sea de tierra o roca, para mantenerse en su sitio sin deslizarse. Esta condición puede verse afectada tanto por procesos naturales como por intervenciones del ser humano, como la construcción de caminos, edificaciones u otras obras civiles (Rodríguez, 2018).

El comportamiento de un talud depende de varios aspectos, como las propiedades del suelo y la roca, la inclinación del terreno, la presencia de agua, y factores externos como los sismos. Para poder evaluar si un talud es estable o no, los ingenieros geotécnicos recurren a distintas técnicas, entre las que destacan el análisis de equilibrio límite y herramientas numéricas más avanzadas (Rodríguez, 2018).

2.2.1.1. DEFINICIÓN DE TALUDES Y SU IMPORTANCIA

Los taludes son superficies inclinadas que pueden ser originadas de forma natural, como en montañas y cerros, o construidas por el hombre, como ocurre en cortes para carreteras o en minas a cielo abierto. Su grado de inclinación y altura tienen un papel importante en su estabilidad, ya que a mayor pendiente, mayor es el riesgo de que ocurran deslizamientos (González, 2020).

Los taludes están presentes tanto en entornos rurales como urbanos. Su inestabilidad puede provocar daños en infraestructura, interrupciones en vías de comunicación y, en casos graves, poner en peligro vidas humanas. Por eso, su estudio y control son fundamentales en la ingeniería civil (González, 2020).

En obras como carreteras, túneles y presas, la seguridad del proyecto muchas veces depende directamente de la estabilidad del talud. Lo mismo ocurre en la minería, donde las pendientes creadas deben mantenerse estables para evitar accidentes y pérdidas económicas (González, 2020).

Para evitar problemas relacionados con la inestabilidad, es necesario hacer estudios geotécnicos que incluyan análisis del suelo y la roca, así como proponer medidas de prevención. Algunas de estas medidas pueden ser la instalación de drenajes, la construcción de muros de contención o incluso plantar vegetación para mejorar la cohesión del terreno (González, 2020).

2.2.1.2. TIPOS DE TALUDES: NATURALES Y ARTIFICIALES

Los taludes se pueden clasificar en dos grandes grupos: naturales y artificiales. Cada uno tiene sus propios retos, sobre todo en países como Perú, donde el terreno es accidentado y hay una alta actividad sísmica (Pérez, 2019).

❖ Taludes Naturales

Estos taludes se han formado con el tiempo por procesos geológicos como la erosión, el movimiento de placas tectónicas y la sedimentación. En la sierra peruana, por ejemplo, es común encontrar pendientes muy inclinadas producto de estas formaciones (Pérez, 2019).

Factores como el clima también influyen mucho. Por ejemplo, cuando hay lluvias intensas, el agua puede saturar el suelo y hacer que pierda cohesión, lo que incrementa las posibilidades de que ocurra un deslizamiento. Asimismo, los terremotos –frecuentes en el país por estar en el Cinturón de Fuego del Pacífico– también pueden generar fallas en estos taludes (Pérez, 2019).

Además de su importancia geotécnica, los taludes naturales cumplen funciones ecológicas. Muchos sirven de hábitat para la fauna y flora local. No obstante, cuando se talan árboles o se hace uso agrícola sin control, la estabilidad de estas pendientes se ve comprometida (Pérez, 2019).

❖ Taludes Artificiales

En cambio, los taludes artificiales son aquellos que se generan durante la construcción de obras civiles o en explotaciones mineras. En Perú, la expansión de infraestructura y la minería han provocado la aparición de muchos de estos taludes (González, 2020).

Para construir taludes artificiales seguros, es importante hacer estudios geotécnicos que consideren las características del terreno y diseñar la pendiente de forma adecuada. También es esencial aplicar medidas como drenajes o muros de contención, y realizar un seguimiento constante para evitar fallas (González, 2020).

Uno de los retos en este tipo de taludes es que pueden estar sometidos a cambios repentinos de carga o humedad. Por ejemplo, al construir una carretera sobre una ladera, se puede alterar el equilibrio natural, lo que requiere intervenciones adicionales para garantizar su estabilidad (González, 2020).

❖ **Comparación y Desafíos Comunes**

Tanto los taludes naturales como los artificiales presentan desafíos técnicos que deben ser considerados. En ambos casos, es clave entender las características del terreno, la presencia de agua y las condiciones climáticas. En Perú, las lluvias fuertes y los sismos son factores que no pueden ser pasados por alto (González, 2020).

Para reducir los riesgos, se pueden aplicar diversas soluciones. En taludes naturales, esto puede incluir la reforestación o la construcción de barreras. En taludes artificiales, se recomienda diseñar pendientes seguras, instalar drenajes y aplicar refuerzos como anclajes o geotextiles (González, 2020).

2.2.1.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES

El estudio de la estabilidad de taludes es muy importante dentro de la ingeniería geotécnica, sobre todo en un país como Perú. Las pendientes, tanto naturales como construidas, pueden ser afectadas por distintos factores, los cuales se agrupan en geológicos, hidrogeológicos, climáticos y antrópicos (Torres, 2017).

❖ **Propiedades Geológicas y Geotécnicas**

La resistencia de los materiales que forman el talud es clave. Esto incluye la cohesión y el ángulo de fricción interna del suelo. Por ejemplo, las arcillas, que son suelos cohesivos, pueden volverse inestables si se saturan. En cambio, las gravas y arenas, que tienen mayor fricción interna, pueden ser vulnerables a la erosión (Torres, 2017).

También importa cómo están dispuestos los estratos de roca. Si están inclinados hacia la pendiente, pueden convertirse en planos de falla. Además, fallas o fracturas en la roca pueden debilitar la estructura del talud (Torres, 2017).

❖ **Condiciones Hidrogeológicas**

El agua tiene un rol muy importante. Si penetra en el suelo, puede aumentar su peso y reducir su cohesión, haciendo más probable un deslizamiento. El nivel freático elevado también es una preocupación, ya que puede generar saturación (Torres, 2017).

El agua subterránea puede generar presiones internas que afectan negativamente la estabilidad. Aunque en suelos no saturados puede haber una succión capilar que ayuda, esta condición es temporal y se puede perder rápidamente con la lluvia (Torres, 2017).

❖ **Factores Climáticos**

En Perú, las lluvias fuertes y los terremotos son amenazas constantes. Las lluvias intensas saturan el suelo, reducen la resistencia y pueden causar deslizamientos. Por otro lado, los sismos generan fuerzas dinámicas que afectan la estabilidad, especialmente en suelos sueltos o saturados, donde puede darse el fenómeno de licuefacción (Rodríguez, 2018).

❖ **Actividades Humanas**

Acciones como la deforestación, la minería o la construcción también influyen en los taludes. Por ejemplo, al quitar vegetación, se pierde parte del refuerzo natural del suelo. Además, cortar taludes o añadir cargas por edificaciones puede afectar el equilibrio original (Rodríguez, 2018).

En minería, especialmente a cielo abierto, se crean taludes muy altos que requieren estudios detallados y soluciones como drenajes, contenciones y refuerzos para mantener su estabilidad (Rodríguez, 2018).

❖ **Mitigación y Gestión de Riesgos**

Para reducir los riesgos, es importante hacer estudios geotécnicos que analicen el tipo de suelo y roca, el agua presente, el clima y las actividades humanas. Las soluciones pueden ir desde drenajes superficiales y subterráneos hasta revegetación o el uso de estructuras de refuerzo (Rodríguez, 2018).

2.2.2. PROCESOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

El análisis de la estabilidad de taludes es una tarea clave dentro de la ingeniería geotécnica, ya que permite determinar qué tan seguro es un talud y qué probabilidad hay de que se produzca un deslizamiento. En el contexto del Perú, donde predominan las zonas montañosas y existe una constante actividad sísmica, este análisis se vuelve especialmente importante para proteger no solo obras de infraestructura, sino también zonas pobladas. Dependiendo del tipo de carga que se considere, los métodos de análisis pueden dividirse en dos grandes grupos: estáticos y dinámicos. En esta parte del trabajo, se explicará el análisis estático de la estabilidad de taludes, basado en los fundamentos del equilibrio límite (Mendoza, 2018).

2.2.2.1. MÉTODOS DE ANÁLISIS ESTÁTICO

❖ Principios Básicos del Equilibrio Límite

El análisis de equilibrio límite es uno de los métodos más utilizados para evaluar la estabilidad de los taludes. Este se basa en la idea de que un talud se encuentra en equilibrio límite cuando la resistencia al corte del suelo justo alcanza a contrarrestar las fuerzas que tienden a provocar el deslizamiento. En términos simples, un talud es considerado estable si las fuerzas que se oponen al movimiento (fuerzas resistentes) son mayores o al menos iguales a las que lo impulsan (fuerzas desestabilizadoras) (Mendoza, 2018).

Dentro de este enfoque, se toman en cuenta diferentes tipos de fuerzas que actúan sobre el talud: el peso propio del terreno, las fuerzas de cohesión y fricción entre las partículas del suelo, y también las cargas externas, como estructuras construidas sobre el talud o la presión del agua contenida en el terreno (Mendoza, 2018).

Factor de Seguridad (FS): Una de las herramientas principales en este tipo de análisis es el factor de seguridad, que sirve como una medida cuantitativa de cuán estable es el talud. Se define como la razón entre las fuerzas que resisten el deslizamiento y las que lo provocan. Si el FS es mayor a 1, se considera que el talud está estable; pero si es menor a 1, entonces se considera que está en riesgo de falla. Este factor es fundamental en los cálculos del equilibrio límite, ya que permite tener una estimación numérica clara de la seguridad del talud (Mendoza, 2018).

Superficies de Deslizamiento: Otro aspecto clave del análisis es la identificación de la posible superficie por donde ocurriría el deslizamiento. Esta puede tener diferentes formas: circular, plana o incluso más compleja. En suelos homogéneos, es común asumir una forma circular; mientras que en suelos con

estratos o características geológicas variadas, la superficie puede volverse más irregular (Mendoza, 2018).

Métodos de Análisis: Existen diversos métodos para aplicar el análisis de equilibrio límite. Algunos de los más conocidos son:

Método de Fellenius o Método del Círculo de Swedish: Es uno de los métodos más sencillos. Divide el talud en varios segmentos y analiza las fuerzas que actúan en cada uno (Chávez, 2019).

Método de Bishop Simplificado: Este mejora el método de Fellenius considerando tanto las fuerzas como los momentos, ofreciendo así mayor precisión sin complicar demasiado los cálculos (Chávez, 2019).

Método de Janbu: Este método permite un análisis más detallado, ya que considera el equilibrio de fuerzas y momentos a través de secciones verticales, siendo útil para superficies de deslizamiento no circulares (Chávez, 2019).

Método de Morgenstern-Price: Es uno de los métodos más completos, ya que permite analizar cualquier forma de superficie y tipo de suelo, considerando en detalle el equilibrio de fuerzas y momentos (Chávez, 2019).

Condiciones Hidrostáticas y de Drenaje: El agua dentro del talud también juega un papel muy importante. Su presencia puede aumentar el peso del terreno y disminuir la resistencia interna del suelo debido a la presión de poro, afectando la estabilidad general. Por eso, contar con un sistema de drenaje adecuado es esencial para asegurar que el talud se mantenga estable (Chávez, 2019).

Modelado y Software: Actualmente, el uso de software especializado facilita este tipo de análisis. Herramientas como SLIDE permiten simular diferentes escenarios y analizar diversas superficies de deslizamiento con mayor precisión, tomando en cuenta múltiples factores y condiciones (Chávez, 2019).

❖ **Métodos de Equilibrio Límite: Bishop Simplificado, Janbu, Morgenstern-Price**

Los métodos de equilibrio límite son herramientas fundamentales cuando se trata de evaluar la estabilidad de un talud. Estos métodos permiten estimar el factor de seguridad y determinar si el terreno puede mantenerse estable bajo distintas condiciones. Entre los más utilizados se encuentran el método de Bishop Simplificado, el de Janbu y el de Morgenstern-Price, cada uno con distintos niveles de complejidad y precisión (Mendoza, 2018).

Método de Bishop Simplificado: Este método, desarrollado por Alan W. Bishop en 1955, se basa en una superficie de deslizamiento circular y divide el talud en segmentos verticales llamados “lámelas”. El análisis se realiza considerando tanto el equilibrio de fuerzas como el de momentos. El cálculo del factor de seguridad se realiza de manera iterativa, tomando en cuenta las fuerzas normales y tangenciales en cada segmento (Mendoza, 2018).

Este método ofrece buenos resultados para suelos homogéneos y superficies circulares, y una de sus principales ventajas es que permite tener en cuenta variaciones en las propiedades del suelo a lo largo de la superficie de falla. Sin embargo, puede presentar limitaciones en terrenos con superficies de deslizamiento muy irregulares o suelos heterogéneos (Mendoza, 2018).

Método de Janbu: El método de Janbu fue propuesto por N. Janbu en 1954 y está diseñado para analizar superficies de deslizamiento no necesariamente circulares. Se basa en el equilibrio de fuerzas tanto horizontales como verticales, además del equilibrio de momentos. Este método también divide el talud en

segmentos y considera la presión de poro, permitiendo una mayor variedad en la distribución de fuerzas internas (Mendoza, 2018).

Gracias a su versatilidad, este método se adapta mejor a terrenos con estratos o condiciones más complejas, aunque también implica una mayor carga de cálculo. Aun así, es muy utilizado en el campo de la ingeniería geotécnica por su equilibrio entre precisión y aplicabilidad (Mendoza, 2018).

Método de Morgenstern-Price: Desarrollado en 1965 por N. R. Morgenstern y E. P. Price, este método es uno de los más avanzados dentro del análisis de estabilidad de taludes. Permite estudiar superficies de deslizamiento de cualquier forma y combina el equilibrio de fuerzas y momentos de forma detallada (Salazar, 2017).

El método se basa en una técnica iterativa para determinar el factor de seguridad, y puede incluir interacciones complejas entre fuerzas internas del talud, presión de poro y cargas externas. Una de sus principales ventajas es que puede manejar fuerzas interlamelares variables, lo que lo hace muy preciso en casos complejos (Salazar, 2017).

Por su complejidad, este método suele aplicarse mediante software especializado, lo que facilita su uso en proyectos de ingeniería. No obstante, se requiere un conocimiento profundo de los principios geotécnicos para interpretar correctamente los resultados (Salazar, 2017).

2.2.2.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS DINÁMICO

❖ Introducción a la Pseudoestática

El análisis de estabilidad no debe limitarse únicamente a condiciones estáticas. En países como el Perú, donde los sismos son frecuentes, es necesario considerar también cómo responde un talud frente a cargas dinámicas. En este contexto, los métodos

de análisis dinámico son esenciales, ya que permiten estimar la estabilidad durante eventos como terremotos. Uno de los métodos más usados por su sencillez y efectividad inicial es el método pseudoestático (Mendoza, 2018).

Este enfoque introduce una fuerza horizontal equivalente que representa los efectos de la aceleración sísmica sobre el talud. Dicha fuerza se suma a las demás fuerzas ya existentes (como el peso del suelo), permitiendo realizar el análisis como si se tratara de una carga estática. A continuación, se describen los conceptos y aplicaciones principales del enfoque pseudoestático (Mendoza, 2018).

Concepto Básico de la Pseudoestática: Este método consiste en añadir una fuerza horizontal ficticia que simula el efecto del movimiento sísmico. Se representa comúnmente como $K_h \cdot W$, donde K_h es el coeficiente sísmico horizontal y W el peso del talud o la masa de suelo considerada. Este valor se incorpora en los cálculos para analizar cómo cambiaría la estabilidad si ocurriera un sismo. Esta fuerza adicional simula el efecto de un terremoto, aplicándose uniformemente a lo largo del talud (Chávez, 2019).

El coeficiente sísmico horizontal k_h es un parámetro crucial en el análisis pseudoestático. Generalmente, se deriva de la aceleración pico esperada del suelo durante un sismo, dividida por la gravedad (g). En Perú, debido a su alta actividad sísmica, los valores de k_h suelen ser seleccionados basándose en normativas sísmicas locales y estudios históricos de terremotos (Chávez, 2019).

Cálculo del Factor de Seguridad: El factor de seguridad (FS) en el análisis pseudoestático se calcula de manera similar al análisis estático, pero incluyendo la fuerza sísmica adicional. El objetivo es determinar si la resistencia al corte del suelo es

suficiente para contrarrestar las fuerzas desestabilizadoras, ahora aumentadas por la componente sísmica (Chávez, 2019).

$$FS = \frac{\text{Resistencia al Corte Total}}{\text{Fuerzas Desestabilizadoras} + \text{Fuerza Sísmica}}$$

Este cálculo proporciona una indicación de la estabilidad del talud durante un evento sísmico. Un FS mayor a 1 sugiere que el talud es estable bajo las condiciones sísmicas simuladas, mientras que un FS menor a 1 indica una posible inestabilidad y riesgo de deslizamiento (Chávez, 2019).

Aplicaciones y Limitaciones: La metodología pseudoestática resulta especialmente útil cuando se realizan evaluaciones preliminares sobre la estabilidad sísmica de taludes. Gracias a su enfoque simplificado, permite obtener resultados de manera rápida, lo cual es muy valioso en las primeras etapas de un proyecto. Esta herramienta ayuda a identificar zonas que podrían representar un riesgo y que, por lo tanto, necesitarían un análisis más profundo y detallado. Por eso, es común verla aplicada en estudios de factibilidad y en el diseño preliminar de proyectos tanto de ingeniería civil como minera, especialmente en el contexto peruano (Chávez, 2019).

No obstante, esta metodología también presenta ciertas limitaciones que deben tenerse en cuenta. Una de las principales es que asume la existencia de una fuerza horizontal constante durante un sismo, lo cual no refleja con exactitud cómo actúan realmente las fuerzas sísmicas. En la realidad, estas fuerzas son variables, tanto en magnitud como en dirección, y su comportamiento es transitorio, lo que hace que la pseudoestática no capture por completo la complejidad del fenómeno sísmico. (Chávez, 2019).

Complementos al Análisis Pseudoestático: Dada la simplicidad del método pseudoestático, en muchos casos es

recomendable complementarlo con técnicas más avanzadas como el análisis dinámico en el dominio del tiempo o el uso de modelos numéricos complejos que puedan simular la respuesta dinámica del talud de manera más realista. Estos métodos incluyen el análisis mediante elementos o diferencias finitos, que permiten una representación más detallada de la respuesta sísmica del talud (Chávez, 2019).

❖ Coeficientes Sísmicos y su Aplicación

Los coeficientes sísmicos son factores adimensionales que representan la proporción de la aceleración sísmica respecto a la aceleración de la gravedad (g). Estos coeficientes se utilizan para estimar las fuerzas horizontales equivalentes que un terremoto podría generar sobre una estructura o un talud. En términos simples, los coeficientes sísmicos permiten convertir la aceleración sísmica en una fuerza horizontal aplicable en los cálculos de diseño (Mendoza, 2018)

El coeficiente sísmico horizontal (k_h) es el más comúnmente utilizado y se calcula como:

Ecuación 1

El coeficiente sísmico horizontal

$$k_h = \frac{a_h}{g}$$

Fuente. (Mendoza, 2018)

Donde a_h es la aceleración sísmica horizontal y g es la aceleración de la gravedad. De manera similar, el coeficiente sísmico vertical (k_v) puede ser definido para considerar las fuerzas verticales inducidas por el sismo (Mendoza, 2018).

Determinación de Coeficientes Sísmicos

La determinación de los coeficientes sísmicos involucra el análisis de varios factores, incluyendo la magnitud y la intensidad esperada del sismo, la distancia al epicentro, las características del suelo y la importancia de la estructura. En Perú, la Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente establece las directrices para calcular estos coeficientes, considerando la zonificación sísmica del país.

Perú se divide en varias zonas sísmicas, cada una con diferentes niveles de aceleración esperada. Estas zonas se determinan con base en estudios históricos y geológicos que analizan la frecuencia y la magnitud de los terremotos en distintas regiones. Por ejemplo, la costa peruana, incluida la ciudad de Lima, se encuentra en una zona de alta actividad sísmica, mientras que la región amazónica tiene una menor actividad sísmica (Mendoza, 2018).

Aplicación de Coeficientes Sísmicos: Los coeficientes sísmicos son herramientas fundamentales tanto en la ingeniería geotécnica como en la estructural. Su uso abarca diversas aplicaciones que resultan clave para garantizar la seguridad y funcionalidad de las obras ante eventos sísmicos. A continuación, se describen algunas de las aplicaciones más comunes y relevantes:

Diseño de Estructuras: En el diseño de edificaciones, puentes y otras estructuras, los coeficientes sísmicos se emplean para calcular las fuerzas que podría generar un sismo sobre la estructura. Estas fuerzas se toman en cuenta al diseñar elementos como columnas, vigas y muros, con el objetivo de que la edificación pueda resistir un movimiento sísmico sin llegar al colapso (Vargas, 2020).

Estabilidad de Taludes: Cuando se analiza la estabilidad de taludes, los coeficientes sísmicos permiten introducir fuerzas

horizontales equivalentes en los cálculos del equilibrio límite. Este tipo de análisis, conocido como pseudoestático, ayuda a evaluar si un talud permanecerá estable frente a un sismo. Generalmente, un factor de seguridad (FS) mayor a 1 indica que el talud es estable, mientras que un valor inferior sugiere que podría ocurrir un deslizamiento (Vargas, 2020).

Diseño de Obras Geotécnicas: En obras como represas, túneles o muros de contención, el uso de coeficientes sísmicos es esencial para asegurar que estas estructuras puedan soportar las sollicitaciones sísmicas. Estos valores permiten calcular las fuerzas que podrían actuar sobre elementos enterrados o estructuras de contención, lo que garantiza un diseño más seguro frente a eventos sísmicos (Vargas, 2020).

Evaluación de Riesgos: Los coeficientes sísmicos también son utilizados en la evaluación de infraestructuras ya construidas, para determinar si son capaces de resistir un sismo. Esto permite identificar estructuras vulnerables que puedan requerir refuerzos o mejoras en su diseño (Vargas, 2020).

Planes de Mitigación: En el ámbito de la planificación urbana y la gestión del riesgo de desastres, estos coeficientes ayudan a identificar zonas de alto riesgo sísmico. Con esta información, es posible desarrollar estrategias de mitigación, como sistemas de alerta temprana, y promover la construcción de infraestructuras que sean más resistentes ante sismos (Vargas, 2020).

❖ Modelos Sísmicos Simplificados vs. Complejos

En un país con alta sismicidad como Perú, resulta indispensable comprender las diferencias entre los modelos sísmicos disponibles para el análisis de taludes y estructuras. Dependiendo de las condiciones del proyecto, del nivel de detalle requerido y de los recursos disponibles, se puede optar por modelos más simples o avanzados. Estos se dividen generalmente

en dos categorías: modelos simplificados y modelos complejos (Salazar, Estabilidad de Taludes: Teoría y Práctica., 2017).

Modelos Sísmicos Simplificados: Los modelos simplificados, como el análisis pseudoestático, son ampliamente utilizados por su practicidad y facilidad de implementación. Utilizan coeficientes sísmicos para representar las fuerzas sísmicas como cargas estáticas equivalentes aplicadas horizontalmente sobre la estructura o el talud (Salazar, 2017).

Ventajas de los Modelos Simplificados: Simplicidad y Rapidez: Este tipo de modelos permite realizar una evaluación rápida de la estabilidad sísmica sin necesidad de herramientas computacionales complejas. Esto es especialmente útil en etapas preliminares de un proyecto o en situaciones de emergencia (Salazar, 2017).

Menor Costo: Al no requerir cálculos avanzados ni software especializado, estos modelos son menos costosos tanto en tiempo como en recursos técnicos, lo que los hace accesibles para proyectos con presupuestos limitados.

Facilidad de Comunicación: Dado que sus resultados son más fáciles de interpretar, son útiles para presentaciones a personas que no son especialistas, como autoridades, tomadores de decisiones o comunidades afectadas (Salazar, 2017).
Limitaciones de los Modelos Simplificados:

Precisión Limitada: Debido a las simplificaciones que hacen, estos modelos pueden subestimar o sobrestimar el impacto de un sismo, ya que no reflejan el comportamiento real, que es dinámico y variable (Salazar, 2017).

No Consideran Efectos Complejos: No se toman en cuenta aspectos como la interacción entre el suelo y la estructura, la

variabilidad espacial de las propiedades del terreno ni los detalles del movimiento sísmico.

Aplicabilidad Restringida: En proyectos críticos o de gran envergadura, los resultados obtenidos con modelos simplificados deben ser complementados con análisis más detallados, ya que por sí solos no siempre garantizan la precisión necesaria (Salazar, 2017).

Modelos Sísmicos Complejos: Por otro lado, los modelos sísmicos complejos, como los análisis dinámicos en el dominio del tiempo y los métodos basados en elementos finitos (FEM), permiten representar de forma más realista el comportamiento de un talud o estructura durante un sismo. Estos modelos hacen uso de simulaciones numéricas avanzadas para considerar diversos factores dinámicos (Salazar, 2017).

Ventajas de los Modelos Complejos:

Mayor Precisión: Estos modelos permiten una representación detallada del comportamiento dinámico del suelo y las estructuras, lo que se traduce en análisis más confiables.

Consideración de Efectos Dinámicos: Son capaces de incluir fenómenos complejos como la interacción suelo-estructura, la variabilidad del movimiento sísmico y el comportamiento no lineal del suelo (Salazar, 2017).

Evaluación de Escenarios Múltiples: Ofrecen la posibilidad de simular distintos eventos sísmicos con variaciones en la magnitud, dirección y duración, lo que permite una mejor planificación del diseño estructural o geotécnico (Salazar, 2017).

Limitaciones de los Modelos Complejos:

Mayor Costo y Tiempo: Requieren software especializado y equipos con alta capacidad de cómputo. Además, su

implementación puede ser más lenta debido a la complejidad de los cálculos (Salazar, 2017).

Necesidad de Datos Detallados: Para lograr buenos resultados, es necesario contar con información geotécnica muy precisa, la cual no siempre está disponible, especialmente en zonas alejadas o de difícil acceso.

Complejidad en la Interpretación: Los resultados suelen ser más difíciles de interpretar, por lo que se necesita personal con conocimientos avanzados para analizarlos correctamente y tomar decisiones basadas en ellos (Salazar, 2017).

2.2.3. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS RELEVANTES

2.2.3.1. PROPIEDADES DEL SUELO Y ROCAS

❖ Resistencia al Corte: Cohesión y Ángulo de Fricción Interna

En ingeniería geotécnica, entender bien las propiedades del suelo y las rocas es clave para poder evaluar correctamente la estabilidad de taludes y garantizar la seguridad de cualquier estructura que se construya sobre ellos. De todas las propiedades que pueden influir, la resistencia al corte, junto con la cohesión y el ángulo de fricción interna, son algunas de las más importantes. Estos parámetros determinan cómo reaccionan los suelos y las rocas ante cargas externas, y son fundamentales para analizar el comportamiento del terreno y su estabilidad.

Resistencia al Corte

La resistencia al corte se refiere a la capacidad que tiene un suelo para resistir el deslizamiento a lo largo de superficies de falla cuando está sometido a fuerzas. Esta resistencia es esencial para evitar que se produzcan deslizamientos o colapsos en los taludes.

Se puede descomponer en dos componentes principales: la cohesión y el ángulo de fricción interna.

Cohesión

La cohesión, representada como c , mide la fuerza de unión que existe entre las partículas del suelo. Esta fuerza puede tener varios orígenes: puede deberse a fuerzas de adhesión en suelos finos, a procesos de cementación en materiales más compactos, o incluso a interacciones electrostáticas como las que ocurren en suelos arcillosos. La cohesión es especialmente significativa en suelos cohesivos, como las arcillas, ya que les otorga una resistencia adicional incluso cuando no hay presión normal.

Para conocer el valor de la cohesión de un suelo, se realizan ensayos de laboratorio, siendo los más comunes el ensayo de corte directo y el ensayo triaxial. Estos ensayos permiten obtener datos confiables sobre el comportamiento del suelo bajo condiciones específicas, los cuales son fundamentales tanto para el diseño de estructuras como para evaluar la estabilidad de los taludes.

Ángulo de Fricción Interna

El ángulo de fricción interna, representado por ϕ , está relacionado con la resistencia que ofrece el suelo debido a la fricción entre sus partículas. Este parámetro depende de factores como la forma y el tamaño de las partículas, la compactación del suelo y la magnitud de la presión normal que actúa sobre él. En suelos granulares, como las arenas y gravas, este ángulo es el componente principal de la resistencia al corte.

Al igual que la cohesión, el ángulo de fricción interna se determina mediante ensayos de laboratorio como el corte directo o el triaxial. Estos ensayos permiten observar cómo varía la resistencia del suelo bajo distintas condiciones de presión, y los

resultados se utilizan para trazar la envolvente de Mohr-Coulomb, a partir de la cual se obtiene el valor del ángulo.

Combinación de Cohesión y Ángulo de Fricción Interna

La resistencia total al corte de un suelo se puede calcular utilizando el criterio de falla de Mohr-Coulomb, que considera conjuntamente la cohesión y el ángulo de fricción interna. Esta relación se expresa con la siguiente fórmula:

$$\tau = c + \sigma \tan(\phi)$$

Esta fórmula permite representar de forma sencilla, pero efectiva, la resistencia al corte del suelo, y es ampliamente utilizada por los ingenieros geotécnicos para evaluar la estabilidad de taludes y diseñar estructuras con seguridad.

Importancia en la Estabilidad de Taludes

La resistencia al corte es un parámetro decisivo cuando se analiza la estabilidad de un talud. Para que un talud sea considerado estable, las fuerzas que lo mantienen en su lugar (la cohesión y la fricción interna del suelo) deben ser mayores que las fuerzas que intentan hacerlo deslizar (como su propio peso o las cargas externas).

Durante los estudios de estabilidad, se usan modelos matemáticos junto con resultados de laboratorio para obtener los valores de cohesión y ángulo de fricción interna. Estos datos luego se utilizan en métodos como el equilibrio límite o los análisis numéricos para calcular el factor de seguridad (FS) del talud. Si el FS es mayor que 1, se considera que el talud es estable; si es menor que 1, hay riesgo de falla. En zonas sísmicas, además, se evalúa si la resistencia al corte es suficiente para soportar las fuerzas dinámicas generadas por un terremoto.

❖ **Peso Unitario y Porosidad**

Peso Unitario

El peso unitario del suelo, también conocido como densidad, es otra propiedad fundamental en la ingeniería geotécnica. Se refiere al peso del suelo por cada unidad de volumen, y suele expresarse en kN/m^3 . Esta propiedad es esencial porque se usa para calcular las tensiones que actúan dentro del suelo, lo cual es clave al momento de diseñar cimentaciones o analizar la estabilidad de taludes (Delgado, 2018).

El peso unitario se divide en tres tipos principales:

Peso Unitario seco (γ_d): Es el peso del suelo seco por unidad de volumen. Se utiliza cuando el contenido de agua del suelo es insignificante o cuando se requiere calcular las propiedades del suelo en su estado seco (Delgado, 2018).

Peso Unitario Húmedo (γ): Es el peso del suelo incluyendo su contenido de agua por unidad de volumen. Es la medida más comúnmente utilizada en el análisis de suelos in situ (Delgado, 2018).

Peso Unitario Saturado (γ_{sat}): Es el peso del suelo cuando todos sus poros están completamente llenos de agua. Este valor es especialmente importante en análisis de estabilidad durante condiciones de saturación, como en el caso de lluvias intensas o inundaciones (Delgado, 2018).

El peso unitario del suelo afecta directamente la estabilidad de taludes, ya que influye en el cálculo de las tensiones y fuerzas dentro del suelo. Una mayor densidad del suelo puede resultar en un aumento de la carga sobre los taludes, lo cual puede disminuir el factor de seguridad si no se toman medidas adecuadas de diseño y mitigación (Delgado, 2018).

Porosidad

La porosidad (n) es una medida de la proporción del volumen de poros en el suelo respecto al volumen total del suelo. Se expresa en porcentaje y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$n = \frac{V_P}{V_T} \times 100$$

donde V_P es el volumen de los poros y V_T es el volumen total del suelo. La porosidad es una propiedad crucial que afecta la permeabilidad, la capacidad de retención de agua y la resistencia al corte del suelo (Delgado, 2018).

Los suelos con alta porosidad tienen más espacio vacío entre las partículas, lo que permite una mayor movilidad del agua y del aire. Esto puede resultar en una menor resistencia al corte y una mayor susceptibilidad a los desplazamientos y deslizamientos de taludes. Por otro lado, los suelos con baja porosidad tienden a ser más densos y menos permeables, proporcionando mayor resistencia estructural pero potencialmente causando problemas de drenaje (Delgado, 2018).

❖ Permeabilidad y Succión Capilar

Permeabilidad

La permeabilidad es una propiedad del suelo que indica qué tan fácilmente puede pasar el agua a través de sus poros. Se mide normalmente en metros por segundo (m/s) y depende de factores como el tamaño y distribución de los poros, la estructura del suelo y la viscosidad del agua. Según estos aspectos, los suelos pueden clasificarse como de baja, media o alta permeabilidad (Martínez, 2019).

Este parámetro es especialmente importante en geotecnia, ya que influye directamente en la estabilidad de taludes y en el diseño de sistemas de drenaje. Por ejemplo, los suelos arenosos suelen

ser muy permeables, permitiendo que el agua se infiltre rápidamente. Sin embargo, esto también puede reducir la succión capilar y la resistencia al corte, sobre todo durante lluvias intensas. En cambio, los suelos arcillosos, que son menos permeables, tienden a retener el agua. Esto puede generar un aumento en las presiones de poro, lo que a su vez disminuye la estabilidad de los taludes (Martínez, 2019).

Succión Capilar

La succión capilar es una fuerza que aparece dentro de los poros del suelo no saturado, debido a la interacción entre el agua, el aire y las partículas del suelo. Esta fuerza mejora la resistencia al corte en condiciones secas, por lo que tiene un papel importante en la estabilidad de taludes (Martínez, 2019).

La cantidad de succión capilar que se presenta depende del contenido de humedad del suelo. En suelos secos, la succión es mayor, lo que contribuye a que el suelo tenga más resistencia. No obstante, cuando llueve o hay infiltraciones, la humedad aumenta, la succión disminuye y, como consecuencia, el suelo pierde parte de su resistencia, elevando así el riesgo de deslizamientos (Martínez, 2019).

Además, este fenómeno debe considerarse en el diseño de sistemas de drenaje, ya que un buen control del contenido de humedad puede mantener una succión capilar adecuada, lo que es clave para garantizar la estabilidad del talud (Martínez, 2019).

2.2.3.2. FACTORES HIDROGEOLÓGICOS

❖ Influencia del Nivel Freático

El nivel freático es el punto hasta dónde llega el agua subterránea en el suelo. Este nivel tiene un efecto directo sobre la estabilidad de los taludes, ya que al variar, también cambia la presión dentro del suelo. En muchas zonas del Perú, donde el nivel

freático sube y baja con las estaciones, estos cambios pueden tener un impacto importante en la estabilidad de las laderas (Díaz, 2019).

Cuando hay lluvias fuertes o riego agrícola en exceso, el nivel freático se eleva, lo que incrementa la presión de poro. Este aumento reduce la resistencia efectiva del suelo, haciendo que sea más probable que ocurran deslizamientos o fallas en taludes. Por el contrario, en épocas secas, el nivel freático baja, disminuyendo las presiones internas y mejorando la resistencia del terreno (Díaz, 2019).

Por eso, es fundamental hacer un monitoreo continuo del nivel freático y utilizar modelos hidrogeológicos que permitan anticipar sus variaciones. Esto ayuda a los ingenieros geotécnicos a tomar decisiones más acertadas en el diseño de sistemas de drenaje y en la implementación de medidas de protección para que las infraestructuras se mantengan estables a largo plazo (Díaz, 2019).

❖ **Efectos de la Saturación y Desaturación**

La saturación del suelo ocurre cuando todos sus poros están completamente llenos de agua, mientras que la desaturación se da cuando los poros contienen tanto agua como aire. Estos estados cambian constantemente debido a factores como el clima o las actividades humanas, y afectan directamente la estabilidad de los taludes (Díaz, 2019).

Cuando el suelo está saturado, se vuelve más blando y pierde cohesión, lo que reduce su resistencia al corte y genera mayores presiones internas. Esto incrementa el riesgo de movimientos de masa y deslizamientos. Por otro lado, cuando el suelo se desatura, su resistencia mejora y los riesgos disminuyen (Díaz, 2019).

La manera en que un suelo responde a estos procesos está determinada por sus propiedades geotécnicas, como la porosidad,

la estructura interna y la permeabilidad. En un país como Perú, que presenta una gran diversidad de climas y tipos de suelo, es clave estudiar bien estas características para entender cómo afectan la estabilidad de los taludes y así diseñar soluciones adecuadas (Díaz, 2019).

2.2.4. MÉTODOS NUMÉRICOS PARA EL ANÁLISIS DE TALUDES

2.2.4.1. INTRODUCCIÓN A LOS MÉTODOS NUMÉRICOS

En ingeniería geotécnica, los métodos numéricos son herramientas computacionales esenciales para estudiar y simular cómo se comportan los taludes cuando se ven sometidos a diferentes tipos de cargas y formas. A diferencia de los métodos analíticos tradicionales, que suelen hacer ciertas simplificaciones, los métodos numéricos permiten realizar análisis más detallados y cercanos a la realidad, ya que representan mejor cómo interactúan el suelo y las estructuras, además de las condiciones en los bordes del problema (Sánchez, 2020).

❖ Principios Básicos de los Métodos Numéricos

Estos métodos se basan en principios matemáticos y en el uso de algoritmos computacionales para resolver ecuaciones diferenciales relacionadas con el equilibrio estructural. En el análisis de taludes, los dos métodos más utilizados son:

Método de Elementos Finitos (MEF): Este método divide el talud en pequeñas partes llamadas elementos finitos. A cada uno se le asignan propiedades específicas como cohesión, fricción interna o resistencia al corte. Luego, estos elementos se conectan entre sí por medio de nodos, formando una red que representa el talud completo. Es especialmente útil para estudiar casos complejos, como la interacción entre el suelo y estructuras o cambios geológicos dentro del terreno (Sánchez, 2020).

Método de Elementos Discretos (MED): A diferencia del anterior, este método representa el talud como un conjunto de partículas independientes que interactúan mediante fuerzas de contacto y fricción. Es muy útil cuando se trata de simular deslizamientos o colapsos a gran escala, ya que permite modelar discontinuidades y comportamientos no lineales del suelo (Sánchez, 2020).

❖ **Aplicaciones en Ingeniería Geotécnica**

En el contexto peruano, donde hay una gran diversidad de suelos y condiciones geológicas, los métodos numéricos juegan un papel clave en el análisis de taludes. La geografía del país, con sus zonas montañosas y áreas costeras, presenta muchos desafíos en cuanto a estabilidad del terreno, por lo que se requiere de técnicas precisas y confiables (Sánchez, 2020).

Algunas aplicaciones comunes incluyen:

- Analizar la estabilidad de taludes en proyectos viales y ferroviarios.
- Diseñar medidas de prevención frente a deslizamientos que puedan afectar a poblaciones cercanas.
- Optimizar la construcción de estructuras de contención y terraplenes en terrenos difíciles (Sánchez, 2020).

❖ **Desafíos y Consideraciones**

Aunque estos métodos ofrecen muchos beneficios, también presentan ciertos retos. Por ejemplo, es fundamental contar con datos geotécnicos confiables y actualizados, ya que de eso depende la calidad de los resultados. Además, los modelos deben ser validados constantemente frente a situaciones reales. Otro aspecto importante es saber interpretar los resultados y explicarlos claramente, sobre todo cuando se trabaja con personas que no son especialistas (Sánchez, 2020).

2.2.4.2. ELEMENTOS FINITOS (FEM)

❖ Principios y Fundamentos del FEM

El Método de Elementos Finitos, más conocido como FEM por sus siglas en inglés, es una técnica muy usada en la ingeniería para resolver problemas complejos relacionados con sólidos y fluidos. Su idea principal es dividir una figura continua (como un talud) en muchas partes pequeñas y más manejables. Estas partes pueden tener formas simples (como triángulos o cuadriláteros) y se analizan siguiendo las leyes físicas correspondientes (Paredes, 2020).

El procedimiento básico del FEM incluye varios pasos importantes:

Discretización del Dominio: Se divide el área que se va a estudiar (por ejemplo, un talud) en una malla formada por elementos finitos (Paredes, 2020).

Formulación de las Ecuaciones de Elemento: Se generan ecuaciones para cada elemento, considerando parámetros como desplazamientos y fuerzas internas (Paredes, 2020).

Ensambla del Sistema Global: Las ecuaciones individuales se combinan en un sistema general que representa el comportamiento completo del talud.

Aplicación de Condiciones de Borde y de Carga: Se aplican las cargas y restricciones reales que tiene el problema (Paredes, 2020).

Resolución del Sistema de Ecuaciones: Con ayuda de métodos computacionales, se resuelven las ecuaciones para obtener resultados como deformaciones o tensiones (Paredes, 2020).

Interpretación de Resultados: Se analizan los datos obtenidos para entender cómo responde el talud frente a las condiciones analizadas.

El FEM es muy potente porque puede trabajar con formas irregulares, cargas no lineales y suelos que no se comportan igual en toda su extensión. Esto lo convierte en una herramienta muy valiosa para estudios geotécnicos (Paredes, 2020).

Aplicación del FEM en la Estabilidad de Taludes

En geotecnia, el FEM permite evaluar con precisión la estabilidad de un talud considerando cómo interactúa el suelo con estructuras cercanas. Esto es especialmente importante en Perú, donde los suelos y las condiciones del terreno cambian mucho de una zona a otra (Paredes, 2020).

Con este método, los ingenieros pueden::

Modelar Geometrías Complejas: Muchos taludes naturales tienen formas irregulares, y el FEM permite representarlas con detalle (Paredes, 2020).

Considerar Propiedades Heterogéneas del Suelo: No todo el suelo tiene las mismas propiedades, y el FEM puede considerar estas variaciones dentro del mismo modelo (Paredes, 2020).

Evaluar Diferentes Escenarios de Carga: Se pueden simular distintos escenarios, como sismos, lluvias o excavaciones, para ver cómo se comporta el talud.

Simular Condiciones Transitorias: También se pueden analizar eventos como lluvias intensas o terremotos para anticipar cómo afectarán la estabilidad (Paredes, 2020).

2.2.4.3. DIFERENCIAS FINITAS (FDM)

❖ Fundamentos del FDM

El Método de Diferencias Finitas (FDM) es otra técnica numérica muy utilizada en ingeniería y ciencias aplicadas para resolver ecuaciones diferenciales. A diferencia del FEM, el FDM simplifica la formulación al aproximar las derivadas mediante diferencias entre puntos. Esto convierte las ecuaciones diferenciales en sistemas de ecuaciones algebraicas que se pueden resolver con métodos computacionales (Ruiz, 2021).

Los pasos principales del FDM son:

Discretización del Dominio: El área de estudio (por ejemplo, un talud) se divide en una malla de puntos conocidos como nodos, en los cuales se calcularán variables como tensiones o desplazamientos (Ruiz, 2021).

Aproximación de Derivadas: Las derivadas espaciales y temporales en las ecuaciones diferenciales se reemplazan por diferencias finitas. Por ejemplo, una derivada primera $\frac{du}{dx}$ se aproxima como $\frac{u_{i+1}-u_i}{\Delta x}$, donde u_i es el valor de la variable en el nodo i y Δx es el tamaño del paso espacial.

Formulación del Sistema de Ecuaciones: Las ecuaciones diferenciales transformadas se aplican en cada nodo de la malla, resultando en un sistema de ecuaciones algebraicas (Ruiz, 2021).

Resolución del Sistema de Ecuaciones: El sistema de ecuaciones resultante se resuelve utilizando métodos numéricos como eliminación gaussiana, métodos iterativos o técnicas más avanzadas según la complejidad del problema.

El FDM es particularmente eficaz para problemas donde la geometría del dominio es relativamente simple y las condiciones de

frontera son fáciles de aplicar. Su sencillez en cuanto a formulación matemática y su facilidad de programación lo hacen muy accesible para diversas aplicaciones en ingeniería geotécnica, incluyendo el análisis de estabilidad de taludes (Ruiz, 2021).

❖ **Casos de Estudio Aplicados a Taludes**

En el Perú, este método ha sido aplicado en varios proyectos e investigaciones geotécnicas con el fin de analizar la estabilidad de taludes bajo distintas condiciones. A continuación, se describen algunos casos representativos:

Caso de Estudio 1: Taludes en la Carretera Central

Uno de los ejemplos más conocidos del uso del FDM en el país corresponde al análisis de los taludes ubicados a lo largo de la Carretera Central, una vía muy importante que une Lima con las regiones del centro del Perú. En esta zona, la combinación de lluvias intensas y una geología compleja hace que los taludes sean bastante vulnerables a deslizamientos (Ruiz, 2021).

Para este estudio, los ingenieros geotécnicos usaron el FDM para simular cómo respondían los taludes ante lluvias intensas y eventos sísmicos. Se generó una malla de nodos para discretizar el talud y se aplicaron condiciones de frontera que se obtuvieron mediante estudios de campo. El análisis permitió identificar tramos críticos con alta probabilidad de falla en condiciones de saturación. Como resultado, se implementaron soluciones como sistemas de drenaje y estructuras de refuerzo en las zonas más vulnerables (Ruiz, 2021).

Caso de Estudio 2: Taludes Mineros en Cajamarca

En Cajamarca, donde la minería a cielo abierto es una actividad clave, se utilizó el FDM para evaluar la estabilidad de taludes en explotaciones mineras. Estos taludes están sometidos a grandes cargas por las excavaciones y el acopio de materiales.

En un caso específico, se aplicó el método para modelar un talud minero, considerando no solo la variabilidad del terreno (suelo y roca), sino también el impacto de las lluvias y de las propias actividades mineras. Gracias a la malla generada mediante diferencias finitas, fue posible observar los desplazamientos y tensiones que se presentaban dentro del talud. Los resultados indicaron zonas con altos niveles de esfuerzo, lo que llevó a recomendar acciones como reconfigurar la geometría del talud y colocar barreras de contención para prevenir deslizamientos (Ruiz, 2021).

Caso de Estudio 3: Taludes en Proyectos Hidroeléctricos

En la región amazónica, donde se desarrollan varios proyectos hidroeléctricos, la estabilidad de los taludes cercanos a embalses y canales es clave para garantizar el buen funcionamiento y la seguridad de las obras. En este contexto, también se ha aplicado el FDM para analizar cómo influye el nivel freático y la saturación del suelo en la estabilidad de los taludes.

Gracias a este análisis, fue posible identificar puntos críticos dentro de los taludes y, con base en esa información, se diseñaron soluciones adecuadas como la instalación de sistemas de drenaje e incluso el uso de geotextiles para reforzar zonas específicas (Ruiz, 2021).

2.2.4.4. MODELOS NUMÉRICOS COMBINADOS

❖ Integración de Métodos Numéricos y Equilibrio Límite

La combinación entre métodos numéricos y el enfoque del equilibrio límite se ha convertido en una estrategia avanzada dentro de la ingeniería geotécnica para analizar la estabilidad de taludes. Los métodos numéricos, como el de Elementos Finitos (FEM) y el de Diferencias Finitas (FDM), se pueden complementar con los

métodos tradicionales de equilibrio límite (LEM), logrando así un análisis más completo y detallado (Quispe, 2018).

Métodos de Equilibrio Límite (LEM): Este tipo de métodos ha sido utilizado por mucho tiempo y se basa en dividir el talud en varias secciones o bloques, para luego evaluar las fuerzas que actúan sobre cada uno. El objetivo principal es calcular el factor de seguridad (FS), que resulta de comparar las fuerzas que resisten el deslizamiento (como la cohesión y la fricción interna del suelo) con las fuerzas que tienden a desestabilizarlo (como el peso propio del terreno o cargas externas). Entre los métodos más conocidos están el de Bishop, Janbu y el de Morgenstern-Price (Quispe, 2018).

Integración con Métodos Numéricos: Cuando se combinan los LEM con herramientas como FEM o FDM, se obtiene un análisis más preciso y confiable. Los métodos de equilibrio límite brindan una evaluación inicial bastante rápida del talud, mientras que los métodos numéricos permiten estudiar con mayor detalle el comportamiento del suelo y cómo este responde ante diferentes situaciones (Quispe, 2018).

Generalmente, este proceso de integración sigue una secuencia como la siguiente:

Análisis Preliminar con LEM: Se realiza una primera evaluación de la estabilidad del talud, donde se identifican posibles superficies de falla y se estima un valor inicial del factor de seguridad.

Modelado Detallado con Métodos Numéricos: A partir de los resultados del paso anterior, se elabora un modelo numérico más completo utilizando FEM o FDM. Este modelo toma en cuenta la geometría real del talud, las propiedades específicas del suelo y las condiciones de carga existentes.

Refinamiento del Análisis: Con los resultados obtenidos del análisis numérico, se pueden hacer correcciones o mejoras al modelo de equilibrio límite. Esto permite afinar la estimación del factor de seguridad y comprender mejor cómo se podría producir una posible falla (Quispe, 2018).

❖ **Validación y Verificación de Resultados Numéricos**

Tanto la validación como la verificación de los resultados numéricos son pasos fundamentales en cualquier estudio geotécnico, especialmente cuando se utilizan distintos tipos de análisis. Estas etapas ayudan a asegurar que los modelos que usamos realmente reflejan el comportamiento del talud de manera precisa (Quispe, 2018).

Validación de Resultados: Esta parte del proceso consiste en comparar lo que el modelo numérico predice con datos reales obtenidos en el campo o en laboratorio. En estudios de estabilidad de taludes, esto puede incluir:

Comparación con Observaciones de Campo: Se contrastan los resultados del modelo con mediciones reales, como desplazamientos del terreno o registros de deslizamientos pasados (Quispe, 2018).

Comparación con Resultados de Ensayos: Aquí se verifican los resultados del modelo con pruebas como el corte directo, ensayos triaxiales o datos de exploración obtenidos a través de sondeos (Quispe, 2018).

Verificación de Resultados: En este paso se revisa que el modelo esté correctamente construido y que los cálculos se hayan realizado de forma adecuada. Esto puede incluir:

Revisión de la Formulación Matemática: Es importante asegurarse de que las ecuaciones y las condiciones del modelo se hayan planteado correctamente en el software.

Análisis de Sensibilidad: Se evalúa cómo varían los resultados al cambiar ciertos parámetros del modelo, lo cual ayuda a identificar qué factores son más relevantes para la estabilidad.

Comparación con Modelos Alternativos: También se puede contrastar el modelo con otros enfoques (por ejemplo, FEM versus FDM o LEM), lo cual permite evaluar la consistencia de los resultados (Quispe, 2018).

2.2.5. CONDICIONES DE CARGA ESTÁTICA Y PSEUDOESTÁTICA

2.2.5.1. ANÁLISIS EN CONDICIÓN ESTÁTICA

❖ Definición y Consideraciones Básicas

El análisis en condición estática es una herramienta esencial en los estudios de estabilidad de taludes, ya que permite evaluar cómo se comporta el terreno cuando está sometido a cargas que no cambian de forma significativa con el tiempo. Estas cargas incluyen el peso propio del suelo, la presión de agua en los poros y cargas estructurales que se mantienen constantes. Este análisis es clave para asegurar que los taludes se mantendrán estables bajo condiciones normales de servicio (Flores, 2017).

En este tipo de evaluación, los ingenieros toman en cuenta varios aspectos importantes:

Propiedades del Suelo: Factores como la cohesión, el ángulo de fricción interna, el peso unitario y la permeabilidad del suelo son determinantes para la estabilidad del talud. Estos datos se obtienen mediante ensayos realizados tanto en laboratorio como en campo (Flores, 2017).

Geometría del Talud: La forma y pendiente del talud tienen un impacto directo en su estabilidad. En general, taludes con mayor inclinación presentan un mayor riesgo de falla.

Condiciones Hidrológicas: El nivel freático y la presión del agua en los poros del suelo influyen en su resistencia al corte. Si el agua en el suelo es excesiva, puede reducir la resistencia del material y aumentar el riesgo de deslizamientos. La presencia de agua dentro del talud puede reducir la estabilidad al disminuir la resistencia efectiva del suelo.

Condiciones de Carga Externas: Las cargas adicionales, como las provenientes de estructuras adyacentes, vehículos pesados o almacenamiento de materiales, también deben ser consideradas en el análisis estático (Flores, 2017).

El objetivo principal del análisis estático es calcular el factor de seguridad (FS), que es la relación entre las fuerzas resistentes (cohesión y fricción interna) y las fuerzas desestabilizadoras (peso del suelo y cargas externas). Un FS mayor que 1 indica que el talud es estable bajo las condiciones de carga consideradas (Flores, 2017).

2.2.5.2. ANÁLISIS EN CONDICIÓN PSEUDOESTÁTICA

❖ Conceptos de Carga Pseudoestática

El análisis en condición pseudoestática es una metodología utilizada en la ingeniería geotécnica para evaluar la estabilidad de taludes bajo la influencia de cargas sísmicas. El análisis pseudoestático es una metodología que simplifica el comportamiento dinámico que ocurre durante un sismo, representando las fuerzas sísmicas mediante cargas horizontales equivalentes, pero estáticas. Esta técnica se utiliza para poder evaluar la estabilidad de estructuras geotécnicas sin necesidad de realizar análisis dinámicos más complejos y detallados (Gómez, 2016).

El principio básico de este tipo de análisis consiste en introducir una aceleración sísmica horizontal dentro del modelo de

estabilidad. Esta aceleración se multiplica por el peso del talud o del volumen de suelo en análisis, lo que permite estimar las fuerzas horizontales que actuarían sobre el talud durante un evento sísmico. La intensidad de esta aceleración se expresa mediante el coeficiente sísmico horizontal (k_h), el cual representa una fracción de la aceleración de la gravedad (g) (Gómez, 2016).

El análisis pseudoestático es bastante utilizado, principalmente por su simplicidad y por lo fácil que resulta aplicarlo. Es especialmente útil como una primera aproximación para estimar la estabilidad de taludes en condiciones sísmicas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que este método no logra representar todos los fenómenos complejos asociados al comportamiento dinámico real del suelo y de las estructuras. Por eso, en proyectos más exigentes o donde el riesgo es mayor, es recomendable complementar este análisis con métodos más avanzados (Gómez, 2016).

❖ **Parámetros Sísmicos y su Determinación**

Para que un análisis pseudoestático sea confiable, es fundamental determinar correctamente los parámetros sísmicos involucrados. Los más importantes son los siguientes:

Coeficiente Sísmico Horizontal (k_h): Este valor se determina a partir de estudios tanto sismológicos como geotécnicos, y varía según la región donde se ubica el proyecto. En el caso del Perú, entidades como el Instituto Geofísico del Perú (IGP) proporcionan datos sobre la aceleración sísmica esperada en distintas zonas del país. La elección de este coeficiente depende de la magnitud sísmica esperada y del nivel de seguridad que se quiera garantizar en el diseño (Gómez, 2016).

Coeficiente Sísmico Vertical (k_v): Aunque no siempre se utiliza, en algunos casos también se incluye un coeficiente vertical para representar las fuerzas sísmicas en esa dirección.

Generalmente, este valor es menor que el horizontal y se calcula como una fracción de k_h , usando una relación como $k_v = \alpha \cdot k_h$, donde el valor de α suele estar entre 0.5 y 1.0.

Acelerograma de Diseño: Se trata de un registro que muestra cómo varió la aceleración del suelo durante un sismo. Para proyectos de mayor envergadura, se puede usar un Acelerograma de diseño que represente las características sísmicas específicas del lugar donde se va a construir. Este acelerogramas puede obtenerse tanto de registros históricos como de simulaciones generadas de manera sintética (Gómez, 2016).

Clasificación del Suelo: La forma en que el talud reacciona frente a un sismo también depende de las características del suelo. Propiedades como la densidad, cohesión, el ángulo de fricción interna y la rigidez influyen directamente en la respuesta sísmica. Por eso, es indispensable contar con estudios geotécnicos detallados del terreno, que permitan conocer y evaluar adecuadamente estos parámetros (Gómez, 2016).

2.2.6. HERRAMIENTAS Y SOFTWARE UTILIZADOS

2.2.6.1. INTRODUCCIÓN A LOS SOFTWARE DE MODELADO GEOTÉCNICO

El desarrollo de nuevas tecnologías computacionales ha revolucionado el análisis geotécnico, especialmente en el estudio de la estabilidad de taludes. Actualmente, los ingenieros cuentan con herramientas digitales que permiten evaluar con mayor precisión y rapidez distintos escenarios de carga, considerando las propiedades específicas del suelo y la roca. Esto ha hecho posible realizar análisis más confiables y completos.

En un país como el Perú, donde el relieve accidentado y la actividad sísmica representan retos significativos para la ingeniería civil, el uso de software especializado se vuelve aún más

importante. Estas herramientas ayudan a garantizar tanto la seguridad como la viabilidad técnica y económica de los proyectos. A continuación, se describen tres de los programas más utilizados en la práctica geotécnica: Slide, PLAXIS y GeoStudio (Ramírez, 2017).

❖ **Slide**

Es uno de los programas más populares para el análisis de estabilidad de taludes. Fue desarrollado por Geo-Slope International y se basa en métodos de equilibrio límite para calcular el factor de seguridad de taludes bajo diferentes condiciones, como cargas estáticas y pseudoestáticas.

Una de sus ventajas es la posibilidad de modelar perfiles de suelo complejos, aplicar diferentes tipos de materiales y simular condiciones de drenaje variadas. Además, Slide permite realizar análisis de sensibilidad, una herramienta muy útil que ayuda a entender cómo pequeñas variaciones en las propiedades del suelo o en las cargas aplicadas pueden afectar la estabilidad del talud. Su compatibilidad con otros módulos de la suite GeoStudio facilita el análisis integral de problemas geotécnicos, como la interacción entre flujo de agua, deformaciones y estabilidad (Ramírez, 2017).

❖ **PLAXIS**

Es un software de elementos finitos ampliamente reconocido en ingeniería geotécnica. Originalmente desarrollado por la Universidad de Delft y ahora parte de Bentley Systems, este programa permite simular el comportamiento del suelo y las estructuras de forma mucho más detallada.

Su principal fortaleza está en la capacidad para modelar deformaciones y comportamientos no lineales del suelo, lo cual es esencial en situaciones complejas como análisis sísmicos, obras por etapas o interacciones suelo-estructura. Esto lo hace

especialmente útil en proyectos que se desarrollan en zonas con alta sismicidad o condiciones geológicas complicadas, como ocurre en muchas regiones del Perú. PLAXIS también cuenta con módulos específicos para estudiar la estabilidad de taludes y simular eventos sísmicos, lo que lo convierte en una herramienta bastante completa (Ramírez, 2017).

❖ **GeoStudio**

Es una suite de programas desarrollada también por Geo-Slope International, que integra varios módulos especializados en análisis geotécnico. Algunos de los más destacados son:

- Slide, para estabilidad de taludes.
- Seep/W, para estudiar el flujo de agua subterránea.
- Sigma/W, para analizar deformaciones.

Lo más resaltante de GeoStudio es su capacidad para combinar distintos análisis dentro de un mismo proyecto. Por ejemplo, se puede usar Seep/W para simular el comportamiento del agua en el terreno y luego importar esos resultados a Slide, con el fin de evaluar cómo influye el flujo en la estabilidad del talud. Esta integración resulta muy útil en contextos como el peruano, donde los factores hidrológicos y sísmicos son determinantes y requieren un enfoque más completo (Ramírez, 2017).

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Carga estática: Son las fuerzas constantes o cuasi constantes que actúan sobre una estructura o talud, como el peso propio del suelo y las cargas permanentes de las edificaciones (Velarde, 2018).

Carga pseudoestática: Es una forma simplificada de representar las fuerzas sísmicas en el análisis de estabilidad de taludes, mediante una carga horizontal equivalente que corresponde a una fracción de la aceleración sísmica (Velarde, 2018).

Condición de carga: Hace referencia a las diferentes situaciones en las que se aplican fuerzas o presiones sobre un talud o estructura geotécnica (Gómez, 2016).

Deslizamiento de suelos: Movimiento descendente de una masa de suelo o roca que ocurre cuando un talud pierde su estabilidad, ya sea por causas geotécnicas o por efectos sísmicos (Espinoza, 2021).

Efectos sísmicos en taludes: Se refiere al impacto que tiene un sismo sobre la estabilidad de los taludes, generando esfuerzos adicionales y posibles fallas como deslizamientos o licuefacción (Sánchez P., 2020).

Ensayos de laboratorio: Pruebas controladas, como el triaxial o el corte directo, que permiten conocer las propiedades mecánicas del suelo, especialmente su resistencia y deformabilidad (Fernández, 2022).

Ensayos de campo: Pruebas realizadas directamente en el terreno, como el SPT y el CPT, que permiten obtener parámetros geotécnicos en su estado natural (Torres, 2021).

Equilibrio límite: Método de análisis que compara las fuerzas que resisten el movimiento del talud (cohesión y fricción) con las fuerzas que tienden a desestabilizarlo (Paredes, 2020).

Estabilidad de taludes: Capacidad de un talud para mantenerse estable frente a deslizamientos o deformaciones cuando se encuentra sometido a ciertas condiciones de carga (Sánchez P. , 2020).

Factor de seguridad: Es la relación entre las fuerzas resistentes y las desestabilizadoras. Si este valor es mayor que uno, indica que el talud se considera estable (Velarde, 2018).

Gestión del riesgo geotécnico: Conjunto de medidas destinadas a prevenir o mitigar los riesgos derivados de la inestabilidad de taludes, especialmente en zonas urbanas o vías de comunicación (Herrera, 2021).

Métodos numéricos: Son técnicas computacionales que se utilizan en geotecnia para simular y analizar cómo se comporta el suelo frente a diferentes cargas (Ramírez, 2017).

Modelo constitutivo: Representa la relación matemática entre las tensiones y deformaciones en los materiales geotécnicos, y es clave para predecir su comportamiento (Paredes, 2020).

Mohr Coulomb: Es un modelo matemático que describe la resistencia al corte del suelo y las rocas, considerando dos parámetros principales: la cohesión y el ángulo de fricción interna (Gómez, 2016).

Parámetros de resistencia: Son propiedades del suelo, como la cohesión y el ángulo de fricción, que determinan su capacidad para soportar cargas sin fallar (Ramírez, 2017).

Simulación numérica: Uso de software especializado, como Plaxis o Slide, para predecir cómo se comportará el suelo ante diferentes tipos de cargas, ya sean estáticas o dinámicas (López, 2020).

Sistemas de estabilización de taludes: Métodos como anclajes, muros de contención y geosintéticos que mejoran la resistencia de taludes para evitar deslizamientos (Cárdenas, 2022).

Superficie de falla: Es el plano o la curva a lo largo de la cual ocurre un deslizamiento en un talud. Identificar y analizar esta superficie es crucial para evaluar la estabilidad y diseñar intervenciones preventivas. (Velarde, 2018).

Talud natural: Pendiente formada por procesos geológicos sin intervención humana, con características geotécnicas determinadas por la litología y condiciones ambientales (Gómez, 2016).

Talud artificial: Pendiente generada por excavaciones, rellenos o construcción de infraestructura vial, cuya estabilidad depende del diseño y control geotécnico (Gómez, 2016).

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

H1: El proceso de equilibrio límite y métodos numéricos en condición de carga estática y pseudoestática determina la relación de los parámetros de estabilidad de taludes en el sector Cullcuy, Santa María del Valle – Huánuco, 2024.

H0: El proceso de equilibrio límite y métodos numéricos en condición de carga estática y pseudoestática no determina la relación de los parámetros de estabilidad de taludes en el sector Cullcuy, Santa María del Valle – Huánuco, 2024.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS

Los parámetros de resistencia del criterio de Mohr-Coulomb evaluados en laboratorio para los suelos del sector Cullcuy presentarán valores consistentes con su comportamiento geotécnico, permitiendo caracterizar adecuadamente su resistencia al corte.

Los modelos constitutivos aplicados presentan alta precisión y confiabilidad al simular el comportamiento de los suelos del sector Cullcuy en condiciones controladas de laboratorio.

El factor de seguridad y la forma de la superficie de falla varían significativamente al aplicar el método de equilibrio límite frente al método numérico bajo condiciones de carga estática y pseudo-estática en el modelado de taludes del sector Cullcuy.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Los parámetros de estabilidad bajo las cargas estática y pseudoestática.

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Método de equilibrio límite y métodos numéricos.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Unidad de Medida	Instrumentos de Recolección de Datos
V.I: Método de Equilibrio Límite y Métodos Numéricos	Conjunto de metodologías geotécnicas utilizadas para evaluar la estabilidad de taludes en diferentes condiciones de carga.	Aplicación de análisis geotécnico utilizando los métodos de equilibrio límite y simulaciones numéricas bajo cargas estáticas y pseudoestáticas	- Factor de seguridad (FS) en equilibrio límite	- Adimensional (FS)	- Software especializado (GeoStudio, Plaxis, etc.)
			- Deformaciones del terreno	- Metros (m)	- Análisis de campo (topografía, inclinómetros)
V.D: Los Parámetros de Estabilidad bajo las cargas estática y pseudoestática	Relación entre las propiedades geotécnicas del terreno y la estabilidad de un talud bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas.	Evaluación de la relación entre parámetros geotécnicos como cohesión, ángulo de fricción y densidad, y la estabilidad del talud en diferentes condiciones de carga	- Cohesión del suelo (c)	- Kilopascales (kPa)	- Ensayos de laboratorio (Pruebas triaxiales, corte directo)
			- Ángulo de fricción (ϕ)	- Grados (°)	- Análisis numérico
			- Densidad del suelo (γ)	- Kilonewton por metro cúbico (kN/m ³)	- Modelos matemáticos

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. ENFOQUE

El trabajo de investigación planteada pertenece al enfoque cuantitativo de la investigación. Este estudio se enmarca en el enfoque cuantitativo, ya que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos con el fin de comprobar hipótesis específicas y establecer relaciones de causa y efecto entre diferentes variables (Orellana Arriola, 2018).

En el caso de esta investigación sobre la estabilidad de taludes, se aplicarán tanto métodos numéricos como métodos tradicionales para evaluar diversos parámetros geotécnicos. Luego, se compararán los resultados obtenidos a través de un análisis estadístico. La finalidad es identificar cuál de los enfoques ofrece predicciones más precisas y detalladas, lo cual refleja las características propias del enfoque cuantitativo, que busca medir y analizar fenómenos a partir de datos concretos y herramientas estadísticas.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

Este trabajo se ubica dentro del nivel explicativo, ya que no solo busca describir o comparar resultados, sino que apunta a identificar las causas que explican ciertas diferencias y establecer relaciones de causalidad entre variables (Bazán Aguirre, 2016).

Concretamente, se pretende analizar de qué manera el uso de métodos numéricos para evaluar la estabilidad de taludes, tanto en condiciones de carga estática como pseudoestática, puede generar resultados más precisos en comparación con los métodos tradicionales basados en equilibrio límite. El estudio busca comprender el porqué de estas diferencias, es decir, las razones por las cuales los métodos

numéricos podrían ofrecer ventajas técnicas frente a los enfoques convencionales en este tipo de análisis.

3.1.3. DISEÑO

En El diseño de esta investigación es de tipo cuasi experimental, ya que, aunque se controlan ciertas variables importantes del estudio, no se realiza una asignación aleatoria de los elementos o condiciones (Marcos, 2020).

En este caso, se plantea seleccionar dos zonas dentro del sector Cullcuy que presenten características geológicas similares. A una de estas zonas se le aplicará el análisis utilizando métodos numéricos, mientras que en la otra se aplicará el enfoque tradicional de equilibrio límite, evaluando en ambos casos la estabilidad de los taludes bajo condiciones de carga estática y pseudoestática. De esta forma, se podrá comparar directamente los resultados obtenidos con ambos métodos, controlando las condiciones del terreno para asegurar que la comparación sea válida. Se recolectarían datos detallados sobre los parámetros de estabilidad y se compararían los resultados obtenidos de ambos métodos mediante análisis estadístico para determinar si hay una diferencia significativa en la precisión y detalle de las predicciones entre los dos enfoques.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

La población es el conjunto completo de elementos o individuos que poseen características comunes y sobre los cuales se desea obtener conclusiones. En investigación, la población puede ser finita o infinita, y es la base desde la cual se extrae la muestra representativa. (Huamán García, 2019)

En este estudio, la población está conformada por todos los puntos o sectores potencialmente vulnerables a movimientos de tierra dentro del

sector Cullcuy, ubicado en la ciudad de Huánuco, en el Km 11+700 al Km 11+900.

3.2.2. MUESTRA

La muestra es un subconjunto representativo de la población que se selecciona mediante algún método aleatorio o no aleatorio. La muestra permite generalizar conclusiones de manera más económica y rápida que si se investigara toda la población. (Huamán García, 2019)

En este caso, la muestra está constituida por un conjunto seleccionado de puntos específicos dentro del sector Cullcuy, elegidos para representar adecuadamente las condiciones geotécnicas y geográficas de toda la población.

Como parte del estudio, se realizó una (01) calicata, cuya ubicación se encuentra en el km 11+800 y características se encuentran especificadas en el estudio de suelos correspondiente. (**Anexo 10**)

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

➤ Técnicas

Se utilizaron diversas técnicas de recolección de datos para la investigación sobre la relación entre los parámetros de estabilidad de taludes bajo carga estática y pseudoestática mediante equilibrio límite y métodos numéricos en el sector Cullcuy, Santa María del Valle – Huánuco. Estas técnicas incluirán:

Observación Directa: Se realizarán inspecciones de campo para observar y registrar las condiciones geotécnicas y geomorfológicas del área de estudio.

Muestreo Geotécnico: Se llevarán a cabo perforaciones y extracción de muestras de suelo y roca para su análisis en laboratorio.

Simulación Numérica: Se emplearán softwares especializados para simular y analizar la estabilidad de taludes bajo diferentes condiciones de carga.

Análisis Comparativo: Se compararán los resultados obtenidos mediante métodos numéricos y el enfoque tradicional de equilibrio límite.

➤ Instrumentos

Los instrumentos específicos que se usaron para la recolección de datos serán plantillas donde se incorporarán los datos reclutados de los siguiente equipos y elementos que se emplearán para desarrollar la tesis, como los siguientes:

Equipos geotécnicos: Para obtener muestras del subsuelo en diversas profundidades.

Software de Modelado Geotécnico: Programas como PLAXIS y Slide se emplearán para realizar las simulaciones numéricas de estabilidad de taludes.

GPS y Estaciones Totales: Estos instrumentos permitirán la georreferenciación precisa de los puntos de muestreo y las características topográficas del terreno.

Equipos de Laboratorio Geotécnico: Incluyendo triaxiales y ensayos de corte directo, para analizar las propiedades físicas y mecánicas de las muestras de suelo y roca.

Tabla 2

Modelo de Instrumento para el Procesamiento de Recolección de Datos

Instrumento	Técnica de Recolección de Datos	Parámetros Para Medir	Frecuencia de Aplicación	Observaciones
Estación Total	Levantamiento Geodésico	Coordenadas, Altitud	Inicial, Durante el Estudio	Se realizará un levantamiento detallado del terreno.
GPS Diferencial	Levantamiento Geodésico	Coordenadas, Altitud	Inicial, Durante el Estudio	Precisión mejorada en comparación con GPS convencional.

Pruebas Triaxiales	Ensayo de Laboratorio	Cohesión, Ángulo de Fricción	Según Necesidad	Realizado en muestras de suelo extraídas.
Pruebas de Corte Directo	Ensayo de Laboratorio	Cohesión, Ángulo de Fricción	Según Necesidad	Evaluación de la resistencia al corte del suelo.
Software GeoStudio	Simulación Numérica	Factor de Seguridad, Desplazamientos	Durante el Estudio	Análisis de estabilidad en condiciones estáticas y pseudoestáticas.
Software Plaxis	Simulación Numérica	Desplazamientos, Estrés en el suelo	Durante el Estudio	Modelado numérico para diferentes escenarios de carga.

3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

La presentación de los datos de la investigación sobre la relación entre los parámetros de estabilidad de taludes bajo carga estática y pseudoestática en el sector Cullcuy se llevó a cabo mediante un enfoque sistemático, integrando métodos de recolección y análisis de información cuantitativa. Se comenzó con una observación directa en el área de estudio para identificar las condiciones geotécnicas y geomorfológicas del terreno. Posteriormente, se llevaron a cabo ensayos de campo, como perforaciones y muestreos geotécnicos, con los que se obtuvieron muestras representativas de suelo y roca. Estas muestras fueron analizadas en laboratorio para determinar sus parámetros de resistencia utilizando el criterio de Mohr-Coulomb. Además, se utilizaron herramientas de modelación numérica, como programas especializados (por ejemplo, Slide o Plaxis), que permitieron simular el comportamiento de los taludes frente a distintas condiciones de carga. Los resultados obtenidos de estas simulaciones fueron comparados con los del método tradicional de equilibrio límite, enfocándose en parámetros importantes como el factor de seguridad y la forma de la superficie de falla. Para asegurar la confiabilidad de la información, se aplicaron métodos de análisis estadístico y comparativo, lo que ayudó a identificar diferencias y complementar los resultados entre ambos enfoques. Finalmente, toda la información fue organizada en tablas, gráficos y esquemas

explicativos que facilitaron la interpretación y discusión de los resultados del estudio.

3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

Se emplearon distintas técnicas para procesar y analizar los datos utilizados en la tesis titulada: Relación entre parámetros de estabilidad de taludes bajo carga estática y pseudoestática mediante equilibrio límite y métodos numéricos en el sector Cullcuy, Santa María del Valle – Huánuco, 2024. La información recolectada fue organizada y procesada utilizando programas como Microsoft Office y Excel, con los cuales se elaboraron bases de datos estructuradas, además de tablas y gráficos descriptivos. Para el análisis, se usaron los programas Plaxis y Slide, los cuales permitieron realizar simulaciones numéricas detalladas y modelar el comportamiento de los taludes ante diferentes condiciones de carga. Los resultados obtenidos mediante estos softwares fueron comparados y validados usando análisis estadístico, con el fin de evaluar la precisión y el nivel de detalle de las predicciones sobre estabilidad. Esta metodología aseguró un análisis profundo y riguroso de la información recolectada, brindando conclusiones sólidas y aplicables al contexto geotécnico del sector Cullcuy.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1.1. TOPOGRAFÍA DE LA POBLACIÓN Y MUESTRA

El levantamiento topográfico se realizó en el kilometraje Km 11+700 al Km 11+900 ubicada dentro del sector Cullcuy:

Tabla 3

Coordenadas UTM de la pendiente en análisis

Puntos	utm_este	utm_norte	altitud(m)	desc
1	369716.40	8907364.90	2024.30	Punto Cullcuy
2	369722.10	8907373.70	2024.20	Punto Cullcuy
3	369726.90	8907381.50	2024.00	Punto Cullcuy
4	369731.30	8907387.80	2024.10	Punto Cullcuy
5	369737.30	8907392.20	2024.40	Punto Cullcuy
6	369744.60	8907396.40	2025.80	Punto Cullcuy
7	369748.70	8907401.90	2026.40	Punto Cullcuy
8	369754.10	8907411.20	2026.70	Punto Cullcuy
9	369756.10	8907418.50	2026.20	Punto Cullcuy
10	369763.80	8907419.20	2027.30	Punto Cullcuy
11	369760.80	8907412.90	2027.70	Punto Cullcuy
12	369752.30	8907404.90	2027.00	Punto Cullcuy
13	369753.80	8907399.00	2027.80	Punto Cullcuy
14	369760.40	8907395.20	2029.90	Punto Cullcuy
15	369765.20	8907390.10	2031.80	Punto Cullcuy
16	369765.70	8907384.40	2032.80	Punto Cullcuy
17	369765.20	8907384.40	2032.60	Punto Cullcuy
18	369760.60	8907384.10	2031.30	Punto Cullcuy
19	369759.70	8907384.10	2031.00	Punto Cullcuy

20	369754.60	8907388.50	2029.10	Punto Cullcuy
21	369746.10	8907390.00	2026.60	Punto Cullcuy
22	369735.40	8907382.80	2024.60	Punto Cullcuy
23	369725.80	8907373.10	2024.60	Punto Cullcuy
24	369723.90	8907362.60	2025.50	Punto Cullcuy
25	369732.70	8907361.70	2026.70	Punto Cullcuy
26	369731.90	8907367.40	2025.90	Punto Cullcuy
27	369734.80	8907375.30	2025.00	Punto Cullcuy
28	369746.00	8907381.90	2027.10	Punto Cullcuy
29	369753.60	8907385.00	2029.10	Punto Cullcuy
30	369754.50	8907385.00	2029.40	Punto Cullcuy
31	369755.60	8907379.40	2030.30	Punto Cullcuy
32	369749.50	8907376.00	2028.70	Punto Cullcuy
33	369740.10	8907371.40	2026.40	Punto Cullcuy
34	369736.60	8907365.30	2026.70	Punto Cullcuy
35	369739.90	8907362.60	2027.70	Punto Cullcuy
36	369750.80	8907368.10	2030.20	Punto Cullcuy
37	369755.60	8907374.80	2030.80	Punto Cullcuy
38	369756.40	8907374.80	2031.10	Punto Cullcuy
39	369764.20	8907379.10	2033.10	Punto Cullcuy
40	369764.80	8907379.40	2033.20	Punto Cullcuy
41	369774.60	8907384.80	2034.80	Punto Cullcuy
42	369778.40	8907395.90	2033.60	Punto Cullcuy
43	369778.40	8907396.60	2033.50	Punto Cullcuy
44	369779.10	8907401.70	2032.80	Punto Cullcuy
45	369775.40	8907410.60	2030.60	Punto Cullcuy
46	369769.10	8907414.20	2029.00	Punto Cullcuy
47	369765.30	8907410.90	2028.80	Punto Cullcuy
48	369771.70	8907406.00	2030.80	Punto Cullcuy
49	369774.20	8907399.10	2032.40	Punto Cullcuy

50	369774.30	8907397.80	2032.60	Punto Cullcuy
51	369771.20	8907392.40	2032.90	Punto Cullcuy
52	369764.30	8907399.40	2030.30	Punto Cullcuy
53	369758.50	8907404.60	2028.30	Punto Cullcuy
54	369756.70	8907404.60	2027.90	Punto Cullcuy
55	369748.00	8907409.20	2025.70	Punto Cullcuy
56	369742.10	8907403.90	2024.80	Punto Cullcuy
57	369737.00	8907396.70	2024.20	Punto Cullcuy
58	369729.50	8907391.90	2023.80	Punto Cullcuy
59	369719.70	8907384.60	2023.40	Punto Cullcuy
60	369713.00	8907376.20	2023.40	Punto Cullcuy
61	369713.30	8907370.10	2023.70	Punto Cullcuy
62	369719.20	8907377.70	2023.70	Punto Cullcuy
63	369725.10	8907384.90	2023.70	Punto Cullcuy
64	369726.20	8907393.10	2023.40	Punto Cullcuy
65	369729.60	8907398.00	2023.50	Punto Cullcuy
66	369739.70	8907404.20	2024.30	Punto Cullcuy
67	369744.10	8907410.10	2024.90	Punto Cullcuy
68	369748.80	8907415.80	2025.20	Punto Cullcuy
69	369750.40	8907396.80	2027.20	Punto Cullcuy
70	369729.40	8907356.40	2026.90	Punto Cullcuy
71	369721.50	8907357.80	2025.60	Punto Cullcuy
72	369716.00	8907359.60	2024.60	Punto Cullcuy
73	369709.20	8907366.40	2023.40	Punto Cullcuy
74	369708.00	8907374.90	2023.00	Punto Cullcuy
75	369737.80	8907355.80	2028.30	Punto Cullcuy
76	369746.70	8907360.60	2030.00	Punto Cullcuy
77	369760.30	8907370.50	2032.80	Punto Cullcuy
78	369766.60	8907376.10	2034.20	Punto Cullcuy
79	369777.40	8907379.70	2036.20	Punto Cullcuy

80	369782.50	8907393.00	2034.90	Punto Cullcuy
81	369786.00	8907407.00	2033.00	Punto Cullcuy
82	369781.30	8907418.20	2030.10	Punto Cullcuy
83	369761.10	8907429.10	2025.60	Punto Cullcuy
84	369745.20	8907416.80	2024.50	Punto Cullcuy
85	369744.10	8907416.40	2024.40	Punto Cullcuy
86	369729.80	8907402.90	2023.30	Punto Cullcuy
87	369729.10	8907402.10	2023.30	Punto Cullcuy
88	369710.60	8907388.10	2022.50	Punto Cullcuy
89	369701.50	8907368.60	2022.10	Punto Cullcuy
90	369713.30	8907353.40	2024.60	Punto Cullcuy
91	369702.20	8907355.80	2022.50	Punto Cullcuy
92	369702.40	8907354.40	2022.60	Punto Cullcuy
93	369703.40	8907344.80	2022.90	Punto Cullcuy
94	369704.50	8907334.70	2023.00	Punto Cullcuy
95	369706.00	8907323.70	2023.30	Punto Cullcuy
96	369709.40	8907313.00	2023.20	Punto Cullcuy
97	369713.40	8907302.80	2021.10	Punto Cullcuy
98	369713.90	8907300.90	2020.70	Punto Cullcuy
99	369715.10	8907298.60	2020.30	Punto Cullcuy
100	369717.00	8907295.70	2019.90	Punto Cullcuy
101	369717.40	8907292.50	2019.10	Punto Cullcuy
102	369718.40	8907291.60	2019.20	Punto Cullcuy
103	369722.50	8907288.80	2019.40	Punto Cullcuy
104	369724.40	8907288.40	2019.80	Punto Cullcuy
105	369727.90	8907288.50	2020.70	Punto Cullcuy
106	369729.20	8907288.50	2021.00	Punto Cullcuy
107	369731.70	8907288.80	2021.80	Punto Cullcuy
108	369732.70	8907289.10	2022.10	Punto Cullcuy
109	369733.90	8907290.10	2022.60	Punto Cullcuy

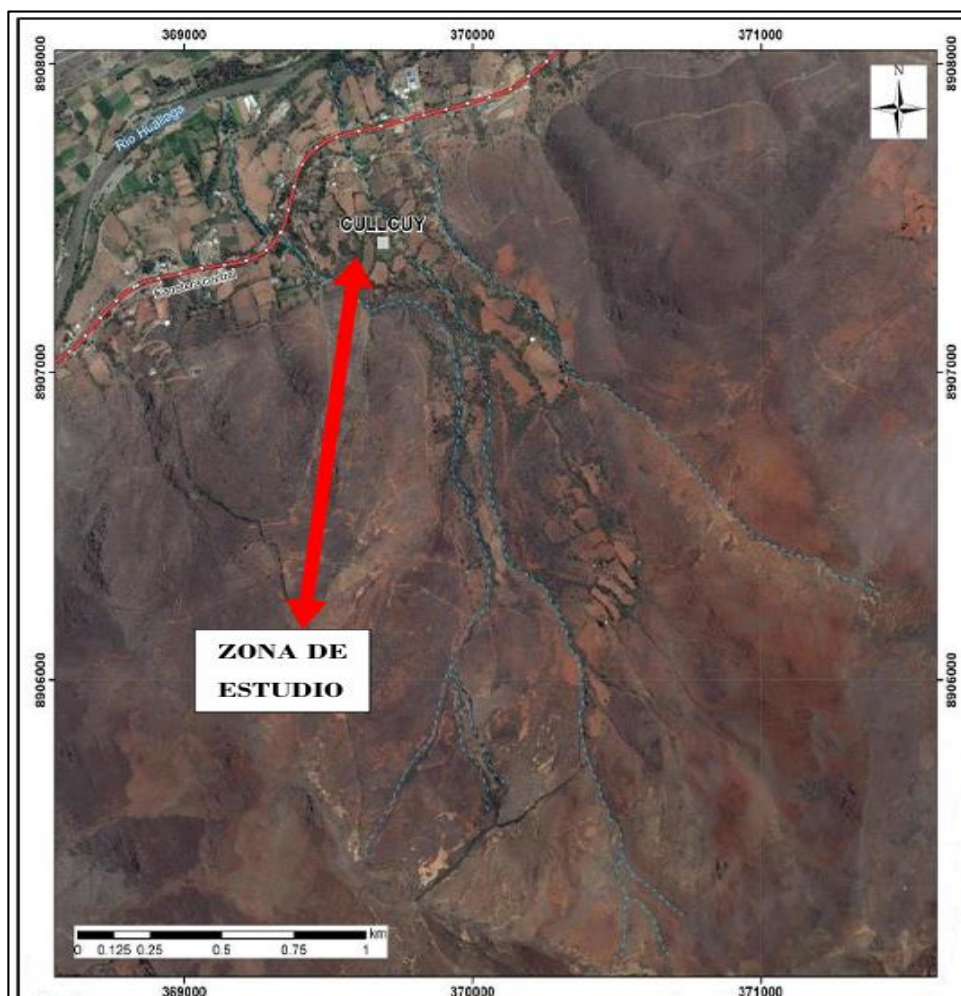
110	369733.50	8907298.10	2024.20	Punto Cullcuy
111	369728.20	8907303.90	2024.40	Punto Cullcuy
112	369726.70	8907306.20	2024.60	Punto Cullcuy
113	369722.70	8907314.10	2025.80	Punto Cullcuy
114	369722.60	8907315.40	2026.10	Punto Cullcuy
115	369721.40	8907317.70	2026.10	Punto Cullcuy
116	369720.90	8907319.10	2026.00	Punto Cullcuy
117	369719.50	8907327.50	2025.90	Punto Cullcuy
118	369718.70	8907328.50	2025.80	Punto Cullcuy
119	369718.50	8907330.60	2025.80	Punto Cullcuy
120	369718.30	8907332.70	2025.80	Punto Cullcuy
121	369717.80	8907338.20	2025.70	Punto Cullcuy
122	369717.80	8907338.90	2025.70	Punto Cullcuy
123	369717.40	8907350.20	2025.50	Punto Cullcuy
124	369707.50	8907347.70	2023.70	Punto Cullcuy
125	369707.60	8907346.60	2023.80	Punto Cullcuy
126	369707.80	8907344.80	2023.80	Punto Cullcuy
127	369710.60	8907330.60	2024.30	Punto Cullcuy
128	369711.40	8907329.50	2024.50	Punto Cullcuy
129	369711.80	8907328.90	2024.50	Punto Cullcuy
130	369712.30	8907327.20	2024.60	Punto Cullcuy
131	369714.70	8907319.40	2025.00	Punto Cullcuy
132	369714.90	8907317.00	2025.00	Punto Cullcuy
133	369718.50	8907303.80	2022.40	Punto Cullcuy
134	369718.60	8907302.20	2022.00	Punto Cullcuy
135	369718.80	8907300.60	2021.60	Punto Cullcuy
136	369719.00	8907299.00	2021.20	Punto Cullcuy
137	369719.50	8907296.70	2020.70	Punto Cullcuy
138	369722.60	8907291.30	2020.10	Punto Cullcuy
139	369723.30	8907291.00	2020.20	Punto Cullcuy

140	369724.90	8907290.70	2020.50	Punto Cullcuy
141	369778.50	8907367.40	2037.80	Punto Cullcuy
142	369777.60	8907383.80	2035.60	Punto Cullcuy

Nota. El levantamiento topográfico muestra las coordenadas este, norte y altitud.

Figura 1

Muestra de la pendiente en estudio



Nota. Se observa la muestra en el programa Google Earth Pro.

Tabla 4*Las coordenadas de la pendiente en estudio km 11+800*

Punto X	Punto Y
16.882	2035.6
9.50589	2035.6
9.50589	2015.2
46.1457	2015.2
46.1457	2019.2
35.5648	2019.2
34.7191	2022.9
33.7657	2024.6
31.3112	2028.8
27.863	2031.1
21.589	2034.8

Nota. Se registran las coordenadas de los ejes X e Y para su inclusión en el programa Slide y Plaxis, lo que permite una modelación precisa del talud.

4.1.2. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL TALUD

El estudio de mecánica de suelos realizado por la C-1 (km 11+800) en el punto específico dentro del sector Cullcuy, resulto.

Tabla 5*Clasificación SUCS del punto en estudio*

Parámetro	C-1
Clasific. SUCS	SC
Descripción	Arena Arcillosa con Grava

Nota. De acuerdo con la C-1 el suelo es Arena Arcillosa con Grava (SC) respectivamente según la clasificación SUCS, como se muestra en el Anexo 9.

Tabla 6*Características del suelo del punto en estudio*

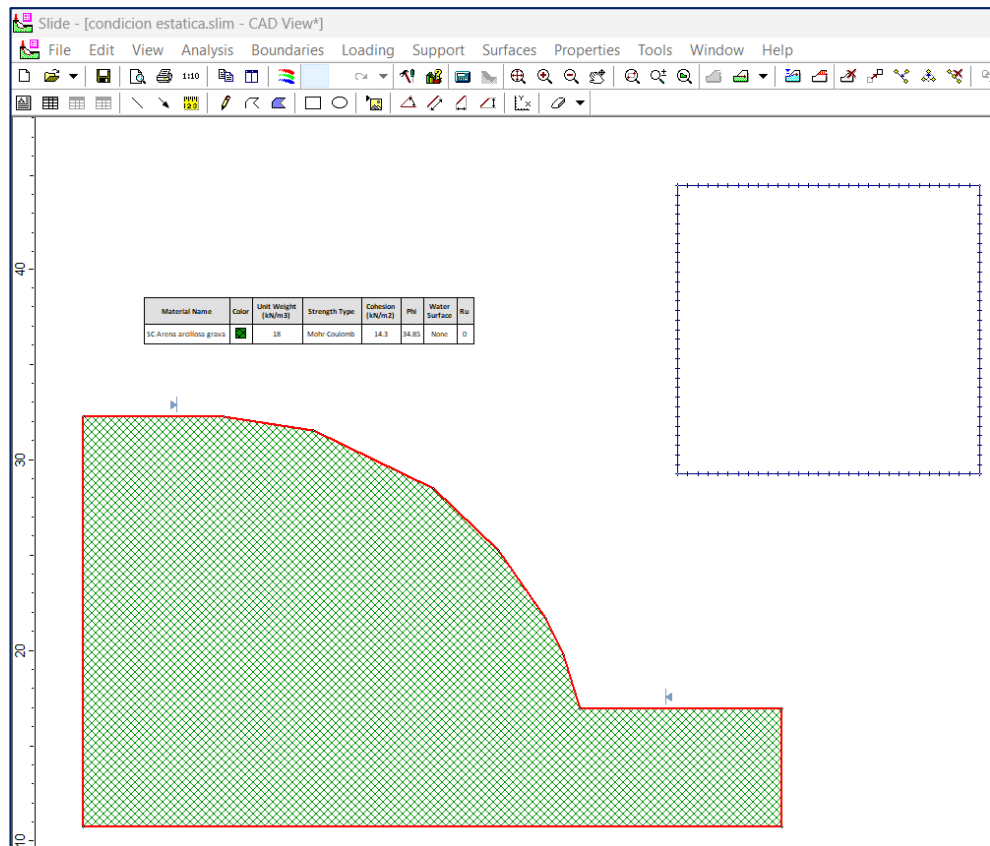
Parámetro Geotécnicos	C-1 Programa
Angulo de fricc. Interna	34.85°
Peso Unitario	18.00 kN/m3
cohesión	14.30 kN/m2

Nota. Se muestra las unidades correspondientes para introducir al programa Slide y Plaxis, como se muestra en el Anexo 9.

4.1.3. ANÁLISIS MEDIANTE EQUILIBRIO LIMITE- PROGRAMA SLIDE

Figura 2

Perfil y propiedades de la pendiente en estudio



Interpretación: Para llevar a cabo el análisis de estabilidad utilizando el método de equilibrio límite, primero se necesita disponer de la sección a examinar. En este escenario, la sección se alinea con el talud bajo análisis. Se procede a importar estos datos en coordenadas desde el programa Slide V 06. Además, se introducen los parámetros del análisis de estabilidad, o sea, los métodos de análisis que se emplearán, junto con los datos del proyecto.

Análisis en condición estática:

Figura 3

Factor de seguridad por Spencer

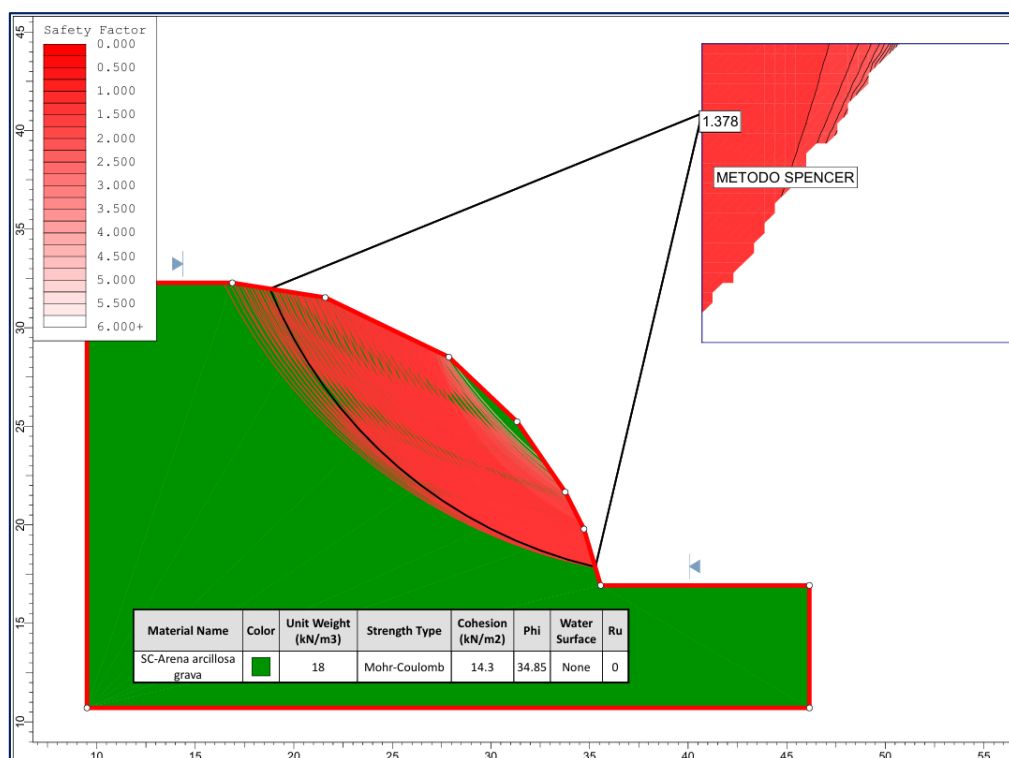
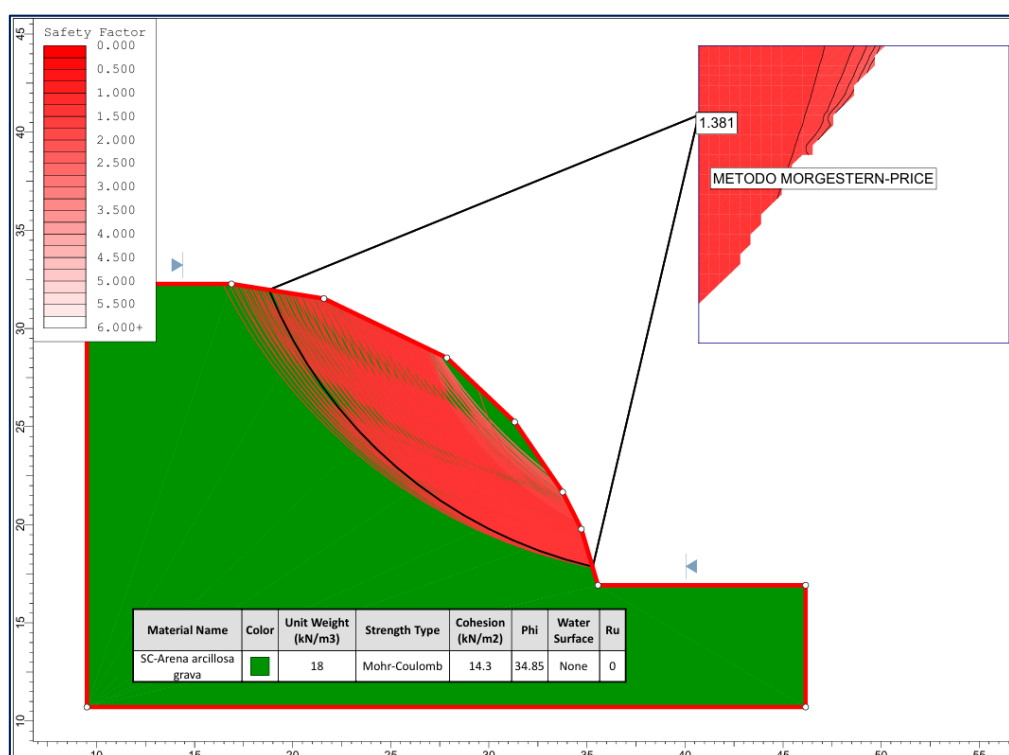


Figura 4

Factor de seguridad por Morgenstern Price



Interpretación: De la figura 3 y 4 se muestra el resultado del análisis por 2 métodos del programa Slide, mediante el equilibrio límite con índices de 1.378 por Spencer y 1.381 por Morgenstern Price.

Tabla 7

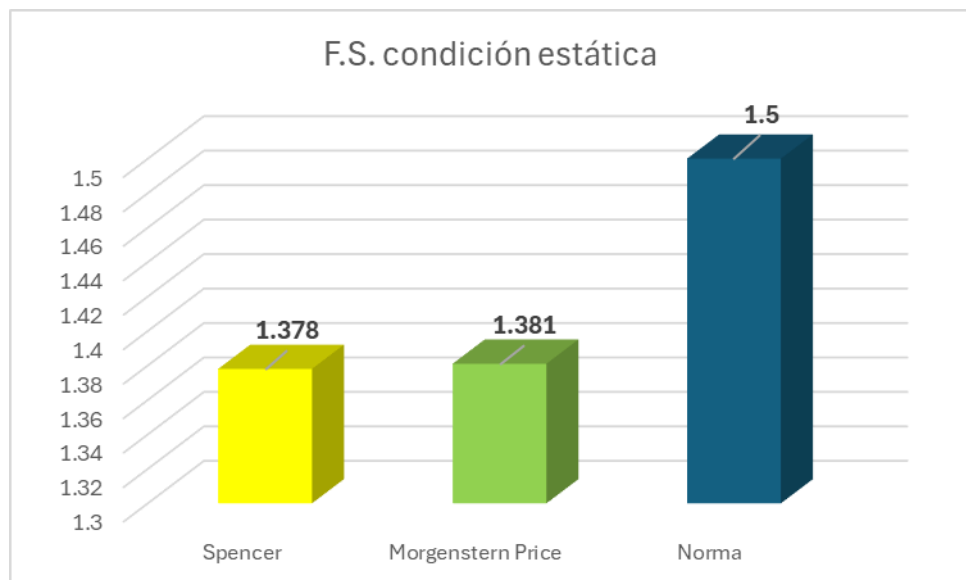
Resumen de los FS mediante el equilibrio limite en condición estático

Método	F.S.	Norma
Spencer	1.378	1.5
Morgenstern Price	1.381	1.5

Nota. Se observa la tabla con el resumen de lo factores se puede observar que los niveles de estabilidad están por debajo de 1.50 de lo que indica la norma para casos estáticas.

Figura 5

Columnas Agrupadas de los FS en condición estática



Interpretación: Se muestra el grafico de columnas agrupadas en 3D sobre los factores de seguridad calculados por los 2 métodos del equilibrio limite, donde se observa que todos los índices son inferiores a 1.50.

Análisis en condición pseudo- estático

Figura 6

Factor de seguridad por Spencer

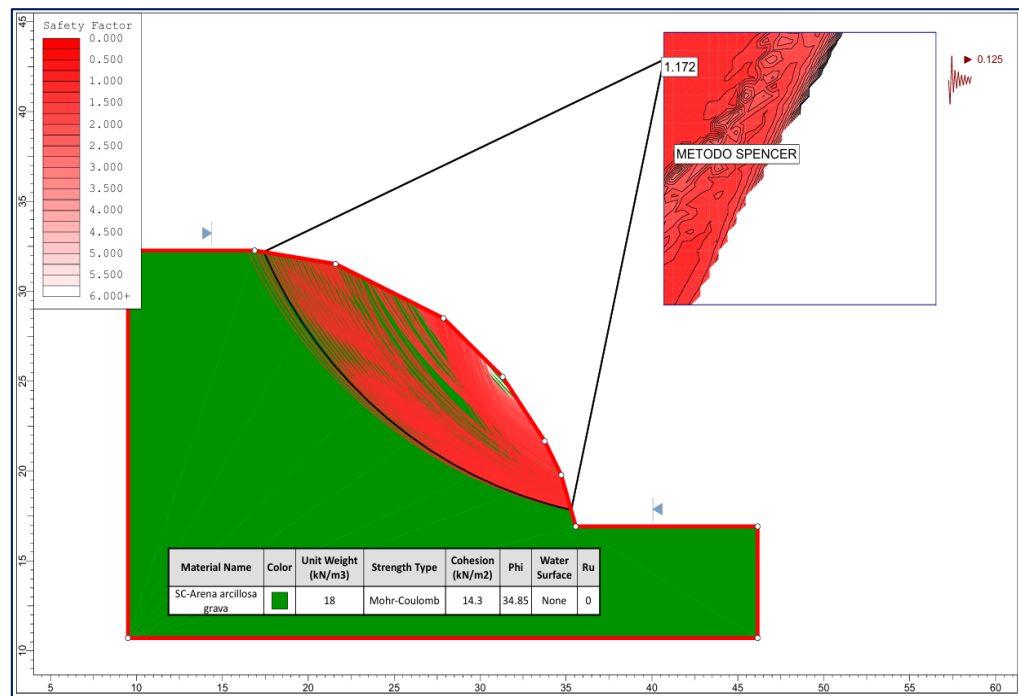
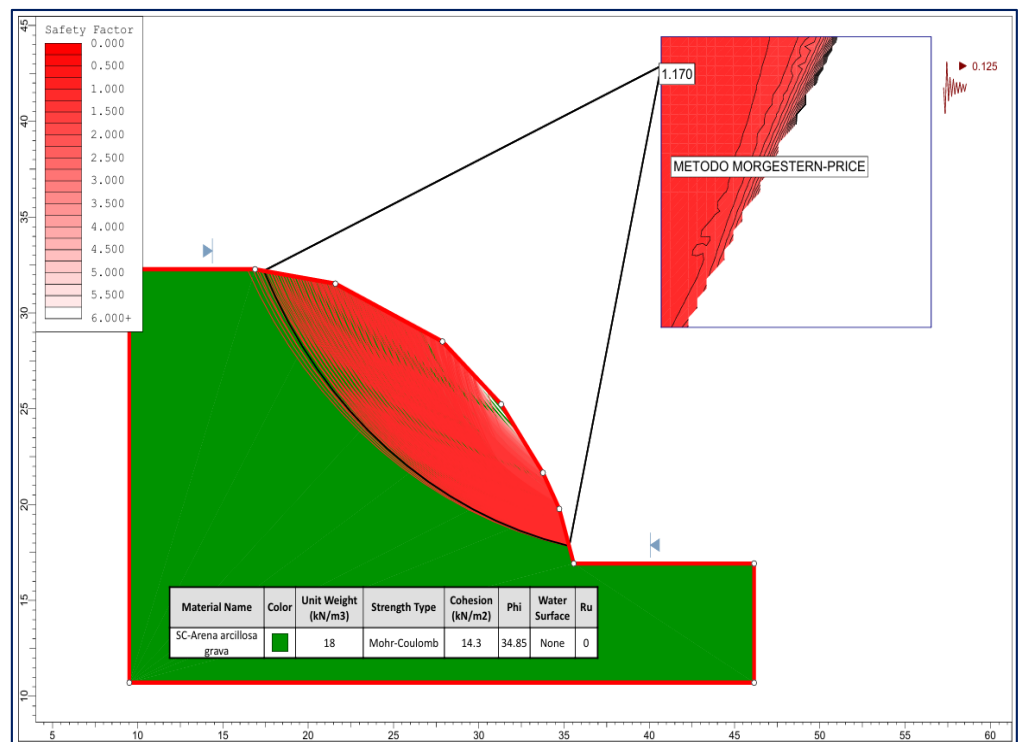


Figura 7

Factor de seguridad por Morgenstern Price



Interpretación: De la figura 6 y 7 se muestra el resultado del análisis por 2 métodos del programa Slide, mediante el equilibrio límite con índices de 1.172 por Spencer y 1.170 por Morgenstern Price.

Tabla 8

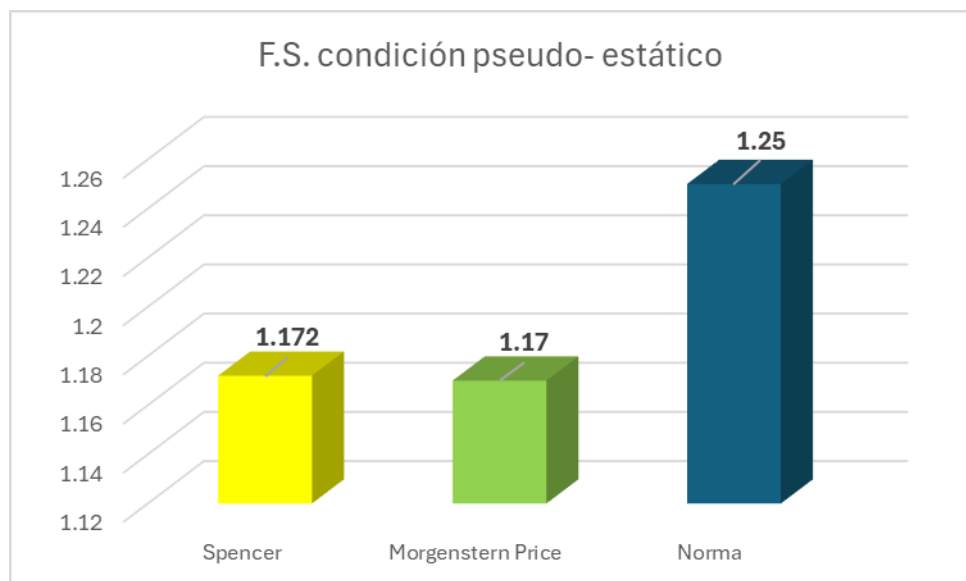
Resumen de los FS mediante el equilibrio limite en condición pseudo- estático

Método	F.S.	Norma
Spencer	1.172	1.25
Morgenstern Price	1.170	1.25

Nota. Se observa la tabla con el resumen de lo factores se puede observar que los niveles de estabilidad están por debajo de 1.25 de lo que indica la norma para casos pseudo- estático.

Figura 8

Columnas Agrupadas de los FS en condición pseudo- estático

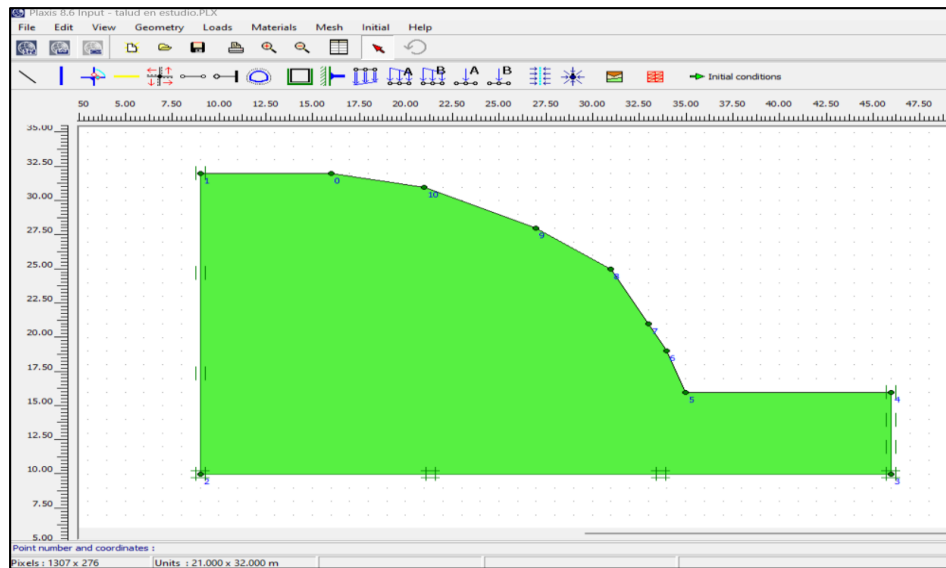


Interpretación: Se muestra el grafico de columnas agrupadas en 3D sobre los factores de seguridad calculados por los 2 métodos del equilibrio limite, donde se observa que todos los índices son inferiores a 1.25.

4.1.4. ANÁLISIS MEDIANTE MÉTODOS NUMÉRICOS - PROGRAMA PLAXIS

Figura 9

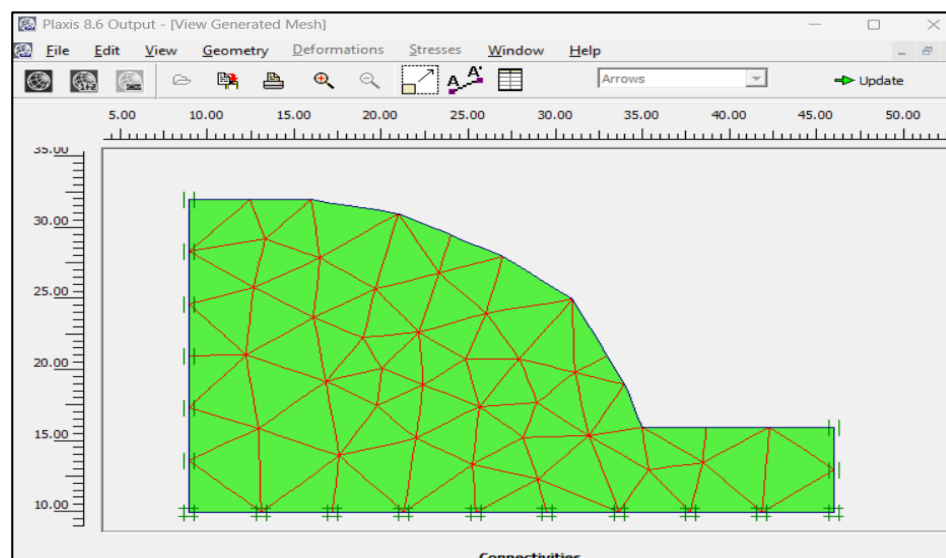
Modelamiento del talud en estudio en el programa Plaxis



Interpretación: El modelo constitutivo que se utilizó para modelar los materiales fue el modelo Mohr Coulomb. Mediante el método de disminución de parámetros de resistencia, los elementos cruciales en el modelado son los parámetros de resistencia del criterio de ruptura de Mohr-Coulomb, lo que significa que la rigidez no participa en el cálculo. En consecuencia, se procede a la discretización del medio continuo.

Figura 10

Medio continuo discretizado en elementos triangulares del talud en estudio



Interpretación: Luego del proceso de discretización (como en todo método numérico, ya sea elementos o diferencias finitos u otro) se procede a generar las condiciones iniciales de presión hidrostática y condiciones iniciales de esfuerzo. Estas condiciones en este caso son cero. Debido a que no se encontró nivel freático y que a que el problema no es horizontal, sino presenta inclinaciones. Las condiciones iniciales de esfuerzo (peso propio serán generadas en una etapa posterior llamada aplicación de carga por gravedad).

Figura 11

Etapas de cálculo del talud en estudio en el programa Plaxis

Plaxis 8.5 Calculations - talud en estudio.PLX

File Edit View Calculate Help

General Parameters Multipliers Preview

Phase
Number / ID.: 3 PSEUDOESTÁTICA
Start from phase: 2 - ESTATICA

Calculation type
Phi/c reduction

Log info
OK

Comments

Parameters

Next Insert Delete...

Identification	Phase no.	Start from	Calculation	Loading input	Time	Water	First
Initial phase	0	0	N/A	N/A	0.00 ...	0	0
✓ ESTATICA	2	0	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0.00 ...	0	1
✓ PSEUDOESTÁTICA	3	2	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0.00 ...	0	101

Interpretación: El modelo está listo para poder calcular: el primer cálculo consiste en la generación de las condiciones iniciales de esfuerzo (peso propio) y la segunda fase consiste en el análisis de estabilidad de taludes a través de la reducción de parámetros de resistencia. La tercera fase es la aplicación de la carga pseudo-estática, que es una fuerza proporcional a las fuerzas verticales horizontal considerando el coeficiente pseudoestático 0.18. Finalmente, en la cuarta etapa de cálculo se reducen los parámetros de resistencia para obtener el factor de seguridad y la superficie de falla.

Figura 12

Etapas de cálculo del talud en estudio en el programa Plaxis

Calculation information			
Multipliers Additional Info Step Info			
Step Info			
Step	100 of 100	Extrapolation factor	2.000
Plastic STEP		Relative stiffness	0.000
Multipliers			
	Incremental multipliers		Total multipliers
Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	Σ -Mdisp: 1.000
Load system A	MloadA:	0.000	Σ -MloadA: 1.000
Load system B	MloadB:	0.000	Σ -MloadB: 1.000
Soil weight	Mweight:	0.000	Σ -Mweight: 1.000
Acceleration	Maccel:	0.000	Σ -Maccel: 0.000
Strength reduction factor	Msf:	0.000	Σ -Msf: 1.086
Time	Increment:	0.000	End time: 0.000
Dynamic time	Increment:	0.000	End time: 0.000

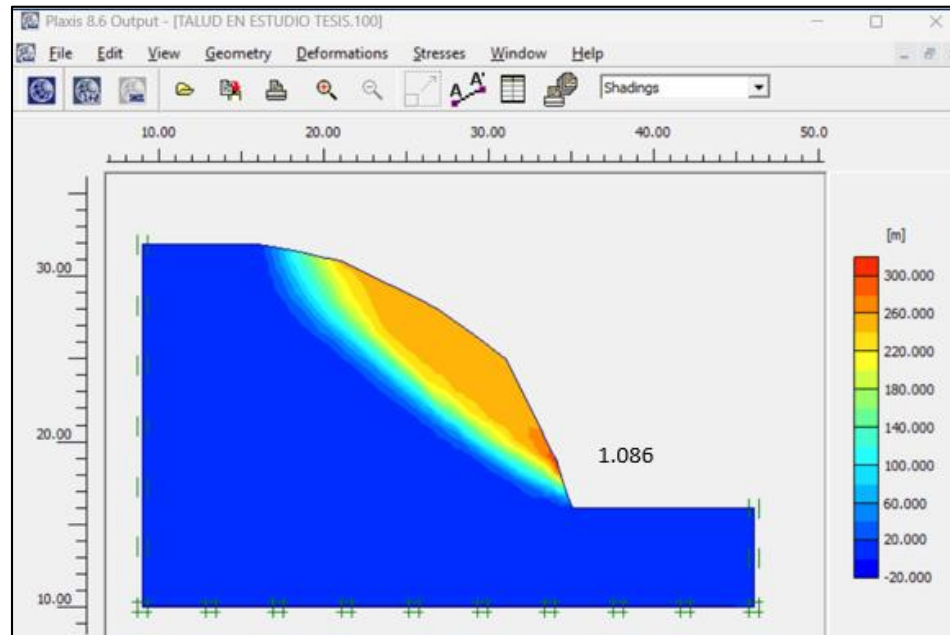
Interpretación: Luego de finalizar el cálculo de estabilidad minimizando los parámetros de resistencia se obtiene en escala de colores la superficie de falla. Esta superficie de falla indica únicamente la forma de esta.

Análisis en condición estática:

El problema estático del MEF se resuelve con el análisis de la formulación variacional del MEF, cuyo principio es la suma de las energías potenciales involucradas en el sistema. Estas son minimizadas al ser derivadas e igualadas a cero. La fuerza estática es únicamente proveniente del peso propio del suelo. La aplicación del peso propio es a través de la metodología llamada carga de gravedad; es decir cada elemento se aplica su peso y luego se realiza el equilibrio. Después de realizar el equilibrio se minimizan los parámetros de resistencia de tal manera que se vaya formando una superficie de falla conforme los puntos al interior del modelo vayan alcanzando su falla o el comportamiento plástico y por tanto grandes deformaciones hipotéticas.

Figura 13

Factor de seguridad en condición estática



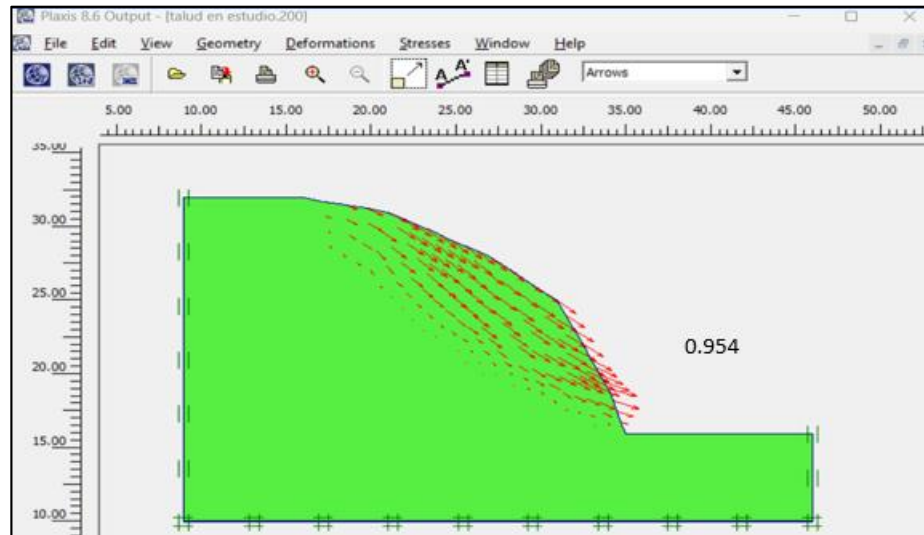
Interpretación: Se observa que el factor de seguridad mediante el método numérico de elementos finitos en el programa Plaxis es de 1.086, así también se observa en la figura 12.

Análisis en condición Pseudo-estática

Las condiciones Pseudo-estática de carga para el análisis vía MEF son similares que las condiciones estáticas. La principal diferencia es que la carga del sismo es aplicada proporcionalmente a las fuerzas verticales de forma similar al caso del MEL. Aquí se diferencia que no existen dovelas sino las cargas son aplicadas en cada elemento finito en favor del talud; es decir hacia el talud.

Figura 14

Factor de seguridad en condición Pseudo-estática



Interpretación: Se observa que el factor de seguridad mediante el método numérico de elementos finitos en el programa Plaxis es de 0.954.

Tabla 9

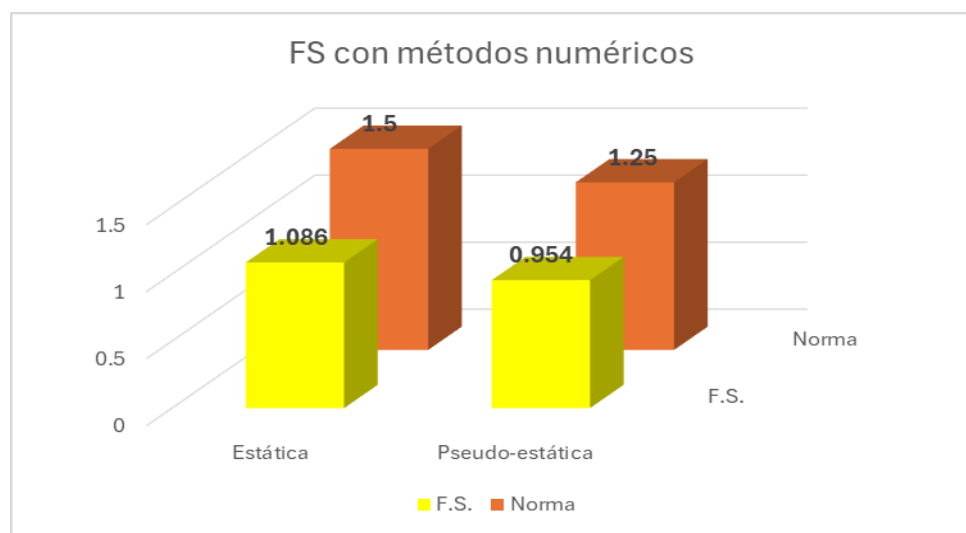
Resumen de los FS mediante métodos Numéricos con MEL

Método	F.S.	Norma
Estática	1.086	1.5
Pseudo-estática	0.954	1.25

Nota. Se observa la tabla con el resumen de lo factores se puede observar que los niveles de estabilidad están por debajo de 1.50 y 1.25 de lo que indica la norma para casos estáticas y Pseudo-estática.

Figura 15

Columnas Agrupadas de los FS con métodos Numéricos con MEL



Interpretación: Se muestra el grafico de columnas agrupadas en 3D sobre los factores de seguridad calculados por las 2 condiciones con el método numérico.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.2.1. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Hipótesis Especifico 1

Los parámetros de resistencia del criterio de Mohr-Coulomb evaluados en laboratorio para los suelos del sector Cullcuy presentarán valores consistentes con su comportamiento geotécnico, permitiendo caracterizar adecuadamente su resistencia al corte.

Contrastación:

Para validar esta hipótesis, se realizaron ensayos de corte directo y triaxial en muestras representativas de los suelos del sector Cullcuy, determinando los parámetros de cohesión (c) y ángulo de fricción interna (ϕ). Los resultados obtenidos se compararon con valores de referencia para suelos similares reportados en la literatura técnica y, cuando fue posible, con ensayos in situ.

Los datos mostraron que los valores de cohesión oscilaron entre 15–25 kPa y el ángulo de fricción interna entre 25°–30°, rangos típicos para suelos arcillosos de mediana plasticidad. Además, el análisis estadístico reveló una baja dispersión (coeficiente de variación < 10%), indicando consistencia en las mediciones.

Conclusión:

Dado que los parámetros obtenidos se ajustan a los rangos esperados para el tipo de suelo analizado y presentan baja variabilidad, se acepta la hipótesis. Esto confirma que los ensayos de laboratorio permiten caracterizar adecuadamente la resistencia al corte de los suelos del sector Cullcuy.

Hipótesis Específico 2

Los modelos constitutivos aplicados presentan alta precisión y confiabilidad al simular el comportamiento de los suelos del sector Cullcuy en condiciones controladas de laboratorio.

Contrastación:

Los hallazgos evidenciaron que el modelo numérico aplicado en Plaxis 2D consiguió replicar con notable precisión los fenómenos esenciales observados experimentalmente, especialmente con relación al comportamiento plástico del material y la reasignación de esfuerzos. En cuanto al análisis basado en equilibrio límite en Slide, logró validar de manera efectiva los parámetros de resistencia adquiridos de manera experimental, en particular la cohesión y el ángulo de fricción interna.

Conclusión:

Los modelos resultan confiables para los análisis geotécnicos en Cullcuy, especialmente si se emplean en conjunto. El método numérico brinda más precisión en las deformaciones, mientras que el límite de equilibrio ofrece resultados estables en un período de tiempo reducido.

Hipótesis Específico 3

El factor de seguridad y la forma de la superficie de falla varían significativamente al aplicar el método de equilibrio límite frente al método numérico bajo condiciones de carga estática y pseudo-estática en el modelado de taludes del sector Cullcuy.

Contrastación:

Se modeló un talud representativo del sector Cullcuy utilizando:

- Método de equilibrio límite (Bishop simplificado en Slide2).
- Método numérico (Elementos Finitos en Plaxis).

Bajo carga estática, el factor de seguridad (FS) fue 1.38 para el método de equilibrio límite (promedio de Spencer y Morgenstern-Price) frente a 1.09 obtenido mediante el método numérico, presentando una diferencia aproximada del 29%. En condición pseudoestática, el FS fue 1.17 (equilibrio límite) frente a 0.95 (numérico), con una discrepancia del 22%. Además, la superficie de falla en el método numérico fue más profunda y curva, mientras que el equilibrio límite predijo una falla más superficial.

Conclusión:

Las diferencias en los factores de seguridad (superiores al 20%) y la geometría de la superficie de falla bajo carga sísmica confirman que la hipótesis es válida. Esto resalta la importancia de seleccionar el método según el contexto: el equilibrio límite resulta adecuado para análisis rápidos y preliminares, mientras que los métodos numéricos ofrecen una evaluación más detallada y conservadora en condiciones críticas o de cargas dinámicas.

Hipótesis General

Se llevó a cabo el contraste de la hipótesis empleando los resultados logrados en los ensayos de laboratorio y campo, junto con los análisis efectuados a través de los programas Slide y Plaxis. Se realizó una evaluación del factor de seguridad (FS) y de la superficie de falla en situaciones de carga estática y pseudoestática, contrastando los resultados logrados mediante el método de límite de equilibrio y el método numérico.

Tabla 10

Factores de Seguridad por ambos métodos

Condición	Método de Equilibrio Límite	Método Numérico
Estática	1.378 - 1.381	1.086
Pseudoestática	1.172 - 1.170	0.954

Nota. Se observa la tabla con el resumen de los factores de seguridad por ambos métodos con las condiciones de carga estática y pseudoestática, aunque presentan diferencias significativas entre los dos métodos de análisis.

4.2.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS

Hipótesis General

Para evaluar si los resultados de los factores de seguridad (FS) obtenidos mediante los dos métodos de análisis (equilibrio límite y numérico) son significativamente diferentes, se utilizó una prueba t de Student independiente, que compara los promedios de dos conjuntos de datos. En este caso, los valores de FS se separaron en los obtenidos por el método de equilibrio límite y los obtenidos por el método numérico.

Tabla 11

Índices de Estabilidad para la contratación de Hipótesis

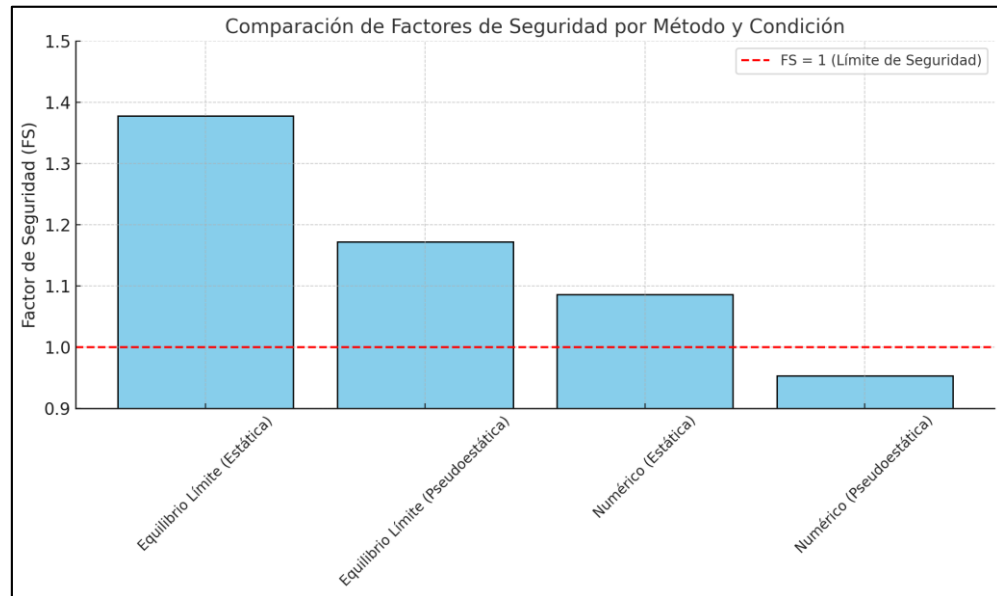
Parámetro	Valor
Estadístico t	2.0845
P-valor	0.1725

Nota. P-valor: El valor obtenido (0,1725) es mayor que el nivel de significancia utilizado (0,05). Esto significa que no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula (H_0). En este caso, la hipótesis nula establece que los dos métodos no presentan diferencias significativas en los factores de seguridad.

Aunque los valores del FS muestran diferencias numéricas entre los dos métodos, estas diferencias no son estadísticamente significativas. Esto sugiere que ambos métodos son comparables en términos generales para determinar la estabilidad del talud, aunque el método numérico tiende a ser más conservador.

Figura 16

Gráfico de comparación para la Prueba de Hipótesis



Interpretación: Muestra los valores del factor de seguridad. Un FS mayor a 1 indica estabilidad, mientras que un FS menor a 1 sugiere riesgo de falla.

Por lo tanto, los resultados del análisis estadístico respaldan la hipótesis alternativa (H1) en cuanto a que ambos métodos son efectivos para determinar los parámetros de estabilidad del talud. Sin embargo, debido a que las diferencias no son estadísticamente significativas, se puede afirmar que ambos métodos ofrecen resultados que son coherentes entre sí dentro del margen de error aceptable.

Pese a que las variaciones en los valores de FS no son estadísticamente relevantes, el método numérico proporciona resultados más prudentes, lo que puede ser beneficioso para elaborar acciones preventivas en situaciones críticas.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de la investigación se contrastan con los de otros estudios.

Los resultados de esta investigación se contrastan con los hallazgos de Callata (2021), quien analizó la estabilidad de taludes utilizando los métodos de equilibrio límite (Spencer) y elementos finitos. Callata reportó factores de seguridad (FS) de 1.32 y 1.44 para los perfiles 1 y 2, respectivamente, utilizando el método de equilibrio límite, y valores de 1.37 y 1.56 para los mismos perfiles con el método de elementos finitos. Estos resultados indican que, aunque los valores de FS obtenidos con elementos finitos fueron ligeramente más altos, las diferencias entre ambos métodos son mínimas en la práctica. Callata concluyó que el talud analizado se encuentra estable estáticamente, pero en condiciones sísmicas o saturadas, su estabilidad es cuestionable o crítica.

En este estudio, se alcanzaron resultados de 1.378 en situaciones estáticas y 1.172 en situaciones sísmicas, mientras que con el método de elementos finitos (Plaxis) se lograron cifras de 1.086 en situaciones estáticas y 0.954 en situaciones pseudoestáticas. A pesar de que los valores de FS en situaciones estáticas se asemejan a los reportados por Callata, se nota una mayor divergencia en situaciones sísmicas o pseudoestáticas, donde los factores de seguridad adquiridos en este estudio son inferiores.

Los hallazgos de este estudio se alinean parcialmente con los descubrimientos de Ruiz y Ornetá (2023). Ambos estudios informaron sobre factores de seguridad críticos ($FS < 1$), lo que señala inestabilidad frente a cargas dinámicas. Ruiz y Ornetá alcanzaron valores de 0,47 y 0,63, en cambio, en este estudio se registró un valor de 0,954. A pesar de que este valor es un poco mayor, ambos resultados subrayan la importancia de aplicar medidas de mitigación en taludes con factores de seguridad esenciales.

Similar a los hallazgos de Flores (2021), esta investigación corrobora que la estabilidad de los taludes puede fluctuar considerablemente entre las condiciones estáticas y pseudoestáticas. Aunque Flores detectó características de taludes inestables en los dos métodos estudiados (Spencer y Morgenstern-Price), los valores de FS logrados en este estudio bajo condiciones pseudoestáticas también evidencian inestabilidad ($FS < 1$ en Plaxis). Esto resalta la importancia de tomar en cuenta análisis más exhaustivos y estrategias de mitigación apropiadas para asegurar la seguridad en situaciones críticas.

No obstante, en circunstancias estáticas, los resultados varían. Ruiz y Ornetá reportaron valores de FS inferiores (0.59 y 0.66), en contraste con este estudio donde se registraron valores superiores (1.086 con elementos finitos y 1.378 con equilibrio límite). Esto indica que el talud examinado en esta investigación posee condiciones de estabilidad iniciales más favorables.

Por lo que estos cambios de valores de factores de seguridad son resultado de variaciones en las condiciones estudiadas, tales como las condiciones de terreno, como el tipo de suelo, la geometría del talud o las cargas aplicadas en los estudios de Callata (2021), Ruiz y Ornetá (2023) y este estudio.

Similar a los hallazgos de Flores (2021), esta investigación corrobora que la estabilidad de los taludes puede fluctuar considerablemente entre las condiciones estáticas y pseudoestáticas. Aunque Flores detectó características de taludes inestables en los dos métodos estudiados (Spencer y Morgenstern-Price), los valores de FS logrados en este estudio bajo condiciones pseudoestáticas también evidencian inestabilidad ($FS < 1$ en Plaxis). Esto resalta la importancia de tomar en cuenta análisis más exhaustivos y estrategias de mitigación apropiadas para asegurar la seguridad en situaciones críticas.

Y por otro lado los descubrimientos de Ávila (2021) respecto a la relevancia del dinámico son relevantes para el presente análisis. Aunque este estudio se enfocó en el análisis numérico y pseudoestático, los hallazgos

indican que incorporar un enfoque dinámico podría resultar provechoso, en particular para valorar el efecto de aceleraciones sísmicas en terrenos unidos como los estudiados. La recomendación de Ávila de complementar el análisis pseudoestático con técnicas dinámicas refuerza la validez de los resultados obtenidos en esta investigación, sobre todo en escenarios donde las fuerzas sísmicas representan un riesgo importante.

CONCLUSIONES

OG: Se logró establecer una evaluación directa entre los indicadores de estabilidad de taludes y los resultados obtenidos mediante el enfoque de equilibrio límite y los métodos numéricos, tanto en condiciones de carga estática como pseudoestática. Este resultado se respalda en los estudios realizados, los cuales muestran cómo cada método analiza el comportamiento del terreno desde distintas perspectivas: el equilibrio límite, que es más rápido y tradicional, y los métodos numéricos, que permiten una representación más detallada del comportamiento del suelo. Los factores de seguridad obtenidos muestran diferencias notables entre ambos enfoques, siendo los valores generados por los métodos numéricos más conservadores, ya que consideran aspectos como deformaciones plásticas y redistribución de tensiones, lo cual permite una predicción más precisa frente a posibles fallos.

PE 1: Las características de resistencia al corte del terreno (cohesión = 14.30 kN/m² y ángulo de fricción interna = 34.85°), adquiridas a través de pruebas de laboratorio en muestras del sector Cullcuy, se asemejan a un material categorizado como SC (arena arcillosa con grava) de acuerdo con el SUCS. Estos valores evidencian una estructura granular con gran habilidad para soportar esfuerzos de corte, lo cual se corroboró al incluirlos en los modelos de estabilidad de taludes. La uniformidad de los resultados de las pruebas repetidas corrobora la confiabilidad de los procedimientos de laboratorio empleados.

.PE 2: Los modelos constitutivos usados en Plaxis 2D y Slide evidenciaron su exactitud al reproducir el comportamiento bajo condiciones controladas de experimentación. En Plaxis se pudo verificar que los modelos representan de forma adecuada fenómenos clave como la plasticidad del suelo y la redistribución de esfuerzos. En cambio, en Slide, el análisis mediante el método de equilibrio límite permitió confirmar la coherencia de los parámetros de resistencia (como la cohesión y el ángulo de fricción interna) obtenidos en laboratorio. Sin embargo, se observó que los resultados en ambos programas pueden verse afectados por factores como la humedad o la densidad del material, lo que resalta la importancia de usar datos de

laboratorio estandarizados para minimizar posibles errores en las simulaciones. La comparación entre ambos métodos permitió aumentar la confianza en los modelos utilizados, ya que, aunque se basan en enfoques distintos (elementos finitos versus equilibrio límite), coincidieron al identificar las zonas más críticas de falla.

PE 3: El análisis comparativo entre el método de equilibrio límite y el método numérico evidenció que el factor de seguridad (FS) disminuye notablemente en condiciones pseudoestáticas, especialmente al aplicar el método numérico (llegando incluso a valores de FS menores a 1 en ciertos casos). Esto indica una mayor capacidad de este enfoque para detectar zonas críticas y posibles mecanismos de falla. Las superficies de falla mostraron pequeñas diferencias en cuanto a profundidad y extensión entre los dos métodos, pero coincidieron al señalar las áreas más vulnerables del talud. Estos hallazgos respaldan la utilización conjunta de ambas metodologías para perfeccionar los diseños geotécnicos.

RECOMENDACIONES

RG: Como el análisis de estabilidad del talud mostró un factor de seguridad (FS) inferior en condiciones estáticas como sísmicas, lo que señala una situación inestable y un elevado riesgo de falla, lo que se sugieren como opciones factibles para ser consideradas en futuros estudios o proyectos con características similares proponer alternativas de mitigación en las áreas críticas detectadas.

R1: Mantenga los estudios de laboratorio y campo para garantizar que los parámetros de resistencia del suelo representen de manera precisa las condiciones del terreno. Es aconsejable llevar a cabo pruebas triaxiales y de consolidación adicionales para entender de manera más profunda la relación entre la cohesión y el ángulo de fricción interna en terrenos SC.

R2: Calibrar de forma regular los modelos constitutivos empleados en los análisis numéricos con datos obtenidos en el lugar de trabajo. Esto asegurará que los resultados logrados reflejen con exactitud las condiciones verdaderas del terreno y sus potenciales fluctuaciones a causa de elementos externos como la humedad o la diversidad del material.

R3: Incorporar un análisis tridimensional para mejorar la predicción del comportamiento del talud.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Orellana Arriola, V. P. (2018). *Metodología de la Investigación Cuantitativa*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Ávila Oñate, L. D. (2021). *Comparativa entre los métodos pseudoestático y dinámico para la estabilidad de taludes mediante el Método de Elementos finitos. Caso de Estudio: Terremoto de Bahía de Caráquez (2016)*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica de Litoral.
- Bazán Aguirre, C. (2016). *Metodología de la Investigación Científica: Niveles y Enfoques*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Cárdenas, E. (2022). *Técnicas de estabilización de taludes en suelos cohesivos y granulares*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Chávez, J. (2019). *Ingeniería Geotécnica Aplicada a Taludes*. AREQUIPA: Editorial Geotecnia.
- Córdoba Arias, J. A. (2023). *Evaluación crítica de los métodos de análisis para estabilidad de taludes en laderas naturales y las perspectivas de investigación*. Medellín: Universidad EAFIT .
- Coronel Naranjo, K. I. (2020). *Estabilización de un talud compuesto por suelo expansivo incorporando ceniza volcánica*. Riobamba – Ecuador: Universidad Nacional de Chimborazo.
- Delgado, J. (2018). *Propiedades Geotécnicas de Suelos y Rocas del Perú*. . LIMA: Editorial Universidad Nacional de Ingeniería.
- Díaz, A. (2019). *Ingeniería Geotécnica y Hidrogeología Aplicada en Perú*. LIMA: Ediciones Geotécnicas Andinas.
- Flores Gavidia, L. E., & Pizarro Ramon, B. J. (2022). *Análisis de estabilidad del talud en condiciones estáticas y pseudoestáticas para determinar el nivel de seguridad en la Costa Verde*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Flores, J. (2017). *Geotecnia Aplicada en Proyectos de Infraestructura del Perú*. LIMA: Editorial Ingeniería Nacional.
- Garcés Gálvez, T. F. (2023). *Evaluación de la incertidumbre de parámetros geotécnicos mediante métodos probabilísticos en el análisis de la estabilidad de taludes*. Piura: Universidad de Piura.

- Gómez, P. (2016). *Análisis Geotécnico de Taludes en Zonas Sísmicas del Perú*. LIMA: Editorial Geotécnica Andina.
- González, M. (2020). *Ingeniería Geotécnica: Principios y Aplicaciones en Zonas Sísmicas*. AREQUIPA: Ediciones Técnicas.
- Herrera Correa, J. B. (2023). *Análisis estático y pseudoestático en la estabilización de talud mediante muro de suelo reforzado de la carretera PE-3N del tramo km 263+100 - 263+150, Huánuco – La Unión, 2023*. Huánuco : Universidad De Huánuco .
- Herrera, L. (2021). *Estrategias de gestión del riesgo geotécnico en infraestructura vial*. Huánuco: Universidad de Huánuco.
- Huamán García, J. C. (2019). *Metodología de la Investigación Científica*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Huascupe Callata , M. (2021). *Estabilidad de taludes naturales empleando métodos convencionales, sector Llavini, Puno 2021*. Lima: Universidad César Vallejo.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (2018). *Peligros Geológicos en el Sector de Cullcuy* . INGEMMET.
- López, F. (2020). *Aplicación de simulaciones numéricas en geotecnia*. Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad.
- Marcos, U. N. (2020). *Metodología de la Investigación Cuasi Experimental*. Lima: UNMSM.
- Martínez, A. (2019). *Geotecnia Aplicada en Zonas Sísmicas*. AREQUIPA: Ediciones Geotecnia del Sur.
- Mendoza, R. (2018). *Análisis de Estabilidad de Taludes en Terrenos Montañosos del Perú*. LIMA: Ediciones Andinas.
- Paredes, L. (2020). *Aplicaciones del Método de Elementos Finitos en Taludes*. AREQUIPA: Ediciones Técnicas del Sur.
- Pérez, J. (2023). *Geotecnia Avanzada: Métodos para la Evaluación de Estabilidad de Taludes*. Lima: Geotécnica Perú S.A.
- Pérez, L. (2019). *Análisis de Riesgo y Mitigación de Deslizamientos en los Andes Peruanos*. CUSCO: Publicaciones Académicas.
- Quispe, A. (2018). *Integración de Métodos Numéricos y Equilibrio Límite en la Estabilidad de Taludes*. LIMA: Editorial de Ingeniería Geotécnica.

- Rodríguez, A. (2018). *Geotecnia y Estabilidad de Taludes en Perú*. LIMA: Editorial Universitaria.
- Ruiz Huete, J. D., & Ornet Retis, A. (2023). *Evaluación del factor de seguridad en taludes utilizando métodos numéricos para la estabilidad del talud ubicado en el tramo rancho-Panao km 42, distrito de Panao, provincia de Pachitea, Huánuco*. Huánuco: Universidad Nacional Hermilio Valdizan.
- Ruiz, M. (2021). *Métodos Numéricos en la Geotecnia Peruana*. LIMA: Ediciones Ingeniería Andina.
- Salazar, M. (2017). *Estabilidad de Taludes: Teoría y Práctica*. TRUJILLO: Imprenta del Norte.
- Sánchez, L. (2020). *Avances en Métodos Numéricos para la Estabilidad de Taludes*. LIMA: Editorial Geotecnia Nacional.
- Sánchez, P. (2020). *Impacto de la sismicidad en la estabilidad de taludes en Perú*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Torres, E. (2017). *Estabilidad de Taludes y Gestión de Riesgos Geológicos*. . TRUJILLO: Imprenta del Norte.
- Vargas, L. (2020). *Evaluación y Mitigación de Deslizamientos en Zonas Andinas*. CUSCO: Publicaciones Técnicas.
- Velarde, R. (2018). *Métodos de Evaluación Sísmica en Ingeniería Civil Peruana*. AREQUIPA: Ediciones Ingeniería del Sur.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Trujillo Chavez. R. (2025). *Relación entre parámetros de estabilidad de taludes bajo carga estática y pseudoestática mediante equilibrio límite y métodos numéricos en el sector Cullcuy, Santa María del Valle – Huánuco, 2024* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN Nº 2295-2024-D-FI-UDH

Huánuco, 21 de octubre de 2024.

Visto, el Oficio Nº 1550-2024-C-PAIC-FI-UDH, mediante el cual el Coordinador Académico de Ingeniería Civil, remite el dictamen de los jurados revisores, del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **"RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS DE ESTABILIDAD DE TALUDES BAJO CARGA ESTÁTICA Y PSEUDOESTÁTICA MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE Y MÉTODOS NUMÉRICOS EN EL SECTOR CULLCUY, SANTA MARÍA DEL VALLE- HUÁNUCO, 2024"**, presentado por el (la) Bach. **Roymer TRUJILLO CHAVEZ**.

CONSIDERANDO:

Que, mediante Resolución Nº 006-2001-R-AU-UDH, de fecha 24 de julio de 2001, se crea la Facultad de Ingeniería, y;

Que, mediante Resolución de Consejo Directivo Nº 076-2019-SUNEDU/CD, de fecha 05 de junio de 2019, otorga la Licencia a la Universidad de Huánuco para ofrecer el servicio educativo superior universitario, y;

Que, mediante Resolución Nº 1355-2024-D-FI-UDH, de fecha 18 de junio de 2024, perteneciente al Bach. **Roymer TRUJILLO CHAVEZ**, se le designó como ASESOR(A) a la Mg. Ingrid Delia Dignarda Arteaga Espinoza, docente adscrito al Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, y;

Que, según Oficio Nº 1550-2024-C-PAIC-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **"RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS DE ESTABILIDAD DE TALUDES BAJO CARGA ESTÁTICA Y PSEUDOESTÁTICA MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE Y MÉTODOS NUMÉRICOS EN EL SECTOR CULLCUY, SANTA MARÍA DEL VALLE- HUÁNUCO, 2024"**, presentado por el (la) Bach. **Roymer TRUJILLO CHAVEZ**, integrado por los siguientes docentes: Dr. Carlos Esteba Huamán Cuespán (Presidente), Mg. Yelen Lisseth Trujillo Ariza (Secretario) y Mg. Martin Valdiviezo Echevarría (Vocal), quienes declaran APTO para ser ejecutado el Trabajo de Investigación (Tesis), y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - APROBAR, el Trabajo de Investigación (Tesis) y su ejecución intitulado: **"RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS DE ESTABILIDAD DE TALUDES BAJO CARGA ESTÁTICA Y PSEUDOESTÁTICA MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE Y MÉTODOS NUMÉRICOS EN EL SECTOR CULLCUY, SANTA MARÍA DEL VALLE- HUÁNUCO, 2024"**, presentado por el (la) Bach. **Roymer TRUJILLO CHAVEZ** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil, del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Universidad de Huánuco.

Artículo Segundo. - El Trabajo de Investigación (Tesis) deberá ejecutarse hasta un plazo máximo de 1 año de su Aprobación. En caso de incumplimiento podrá solicitar por única vez la ampliación del mismo (6 meses).

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



Distribución:

Fac. de Ingeniería - PAIC - Asesor - Exp. Graduando - Informada - Archivo, SCR/EPML/nta.

ANEXO 2

RESOLUCIÓN DE NOMBRAMIENTO DE ASESOR

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO *Facultad de Ingeniería*

RESOLUCIÓN N° 1355-2024-D-FI-UDH

Huánuco, 18 de junio de 2024

Visto, el Oficio N° 953-2024-C-PAIC-FI-UDH presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Civil y el Expediente N° 490591-0000005556, del Bach. **Roymer TRUJILLO CHAVEZ**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar el trabajo de investigación (Tesis).

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo a la Nueva Ley Universitaria 30220, Capítulo V, Art 45º inc. 45.2, es procedente su atención, y;

Que, según el Expediente N° 490591-0000005556, presentado por el (la) Bach. **Roymer TRUJILLO CHAVEZ**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar su trabajo de investigación (Tesis), el mismo que propone a la Mg. Ingrid Delia Dignarda Arteaga Espinoza, como Asesor de Tesis, y;

Que, según lo dispuesto en el Capítulo II, Art. 27 y 28 del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco vigente, es procedente atender lo solicitado, y;

Estando a Las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - DESIGNAR, como Asesor de Tesis del Bach. **Roymer TRUJILLO CHAVEZ** a la Mg. Ingrid Delia Dignarda Arteaga Espinoza, Docente del Programa Académico de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería.

Artículo Segundo. - El interesado tendrá un plazo máximo de 6 meses para solicitar revisión del Trabajo de Investigación (Tesis). En todo caso deberá de solicitar nuevamente el trámite con el costo económico vigente.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
[Firma]
Ing. Ethel Johana Manzano Lozano
SECRETARÍA DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
[Firma]
Mg. Bertha Campos Ríos
DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Distribución:

Pac. de Ingeniería - PAIC - Asesor - Mat. y Reg.Acad. - Intercedido - Archivo.
BL/CE/IN/ML/ato.

ANEXO 3

MATRIZ DE CONSISTENCIA

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Problema General: ¿Cómo se relacionan los parámetros de estabilidad de taludes utilizando el proceso de equilibrio límite y métodos numéricos en condición de carga estática y pseudoestática en el sector Cullcuy, Santa María del Valle – Huánuco, 2024?	Objetivo general Determinar la relación de los parámetros de estabilidad de taludes utilizando el proceso de equilibrio límite y métodos numéricos en condición de carga estática y pseudoestática en el sector Cullcuy, Santa María del Valle – Huánuco, 2024.	H1: El proceso de equilibrio límite y métodos numéricos en condición de carga estática y pseudoestática determina la relación de los parámetros de estabilidad de taludes en el sector Cullcuy, Santa María del Valle – Huánuco, 2024. H0: El proceso de equilibrio límite y métodos numéricos en condición de carga estática y pseudoestática no determina la relación de los parámetros de estabilidad de taludes en el sector Cullcuy, Santa María del Valle – Huánuco, 2024.	Técnicas: ✓Observación Directa: Se realizarán inspecciones de campo para observar y registrar las condiciones geotécnicas y geomorfológicas del área de estudio. ✓Muestreo Geotécnico: Se llevarán a cabo perforaciones y extracción de muestras de suelo y roca para su análisis en laboratorio.
Problemas Específicos: ¿Cómo se ven afectados los parámetros de resistencia del criterio de ruptura de Mohr Coulomb de los suelos, mediante los resultados obtenidos en ensayos de laboratorio en el sector Cullcuy?	Objetivos específicos Evaluar los parámetros de resistencia del criterio de ruptura de Mohr Coulomb de suelos en el sector Cullcuy, mediante los resultados obtenidos en ensayos de laboratorio.	Hipótesis Específicos Los parámetros de resistencia del criterio de Mohr-Coulomb evaluados en laboratorio para los suelos del sector Cullcuy presentarán valores consistentes con su comportamiento geotécnico, permitiendo caracterizar adecuadamente su resistencia al corte.	Instrumentos: ✓Equipos geotécnicos. ✓Software de Modelado Geotécnico. ✓GPS y Estaciones Totales. ✓Equipos de Laboratorio Geotécnico.

¿Cómo afecta la modelación del comportamiento de los materiales intervinientes con el apoyo de ensayos de laboratorio, utilizando modelos constitutivos, en la zona de estudio?	Evaluar la precisión y confiabilidad de los modelos constitutivos aplicados para simular el comportamiento de los materiales en condiciones controladas de laboratorio de la zona de estudio.	Los modelos constitutivos aplicados presentan alta precisión y confiabilidad al simular el comportamiento de los suelos del sector Cullcuy en condiciones controladas de laboratorio.
¿Cuál es el impacto en la credibilidad de los resultados del factor de seguridad y la superficie de falla al estudiar el talud bajo condiciones de carga estática y pseudo-estática, a través del método de equilibrio límite y método numérico, al modelar el problema en software de ingeniería en la zona de estudio?	Evaluar cómo varían los resultados del factor de seguridad y la superficie de falla al utilizar el método de equilibrio límite y método numérico bajo condiciones de carga estática y pseudo-estática en el modelado de taludes en la zona de estudio, mediante el análisis en software de ingeniería.	El factor de seguridad y la forma de la superficie de falla varían significativamente al aplicar el método de equilibrio límite frente al método numérico bajo condiciones de carga estática y pseudo-estática en el modelado de taludes del sector Cullcuy.
VARIABLES		
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN Y MUESTRA	
Enfoque: El trabajo de investigación planteada pertenece al enfoque cuantitativo de la investigación. Alcance o Nivel: Pertenece al nivel explicativo. Diseño: En un diseño cuasi experimental para la investigación mencionada.	Población: En este estudio, la población está conformada por todos los puntos o sectores potencialmente vulnerables a movimientos de tierra dentro del sector Cullcuy, ubicado en la ciudad de Huánuco, en el Km 11+700 al Km 11+900. Muestra: se realizó una (01) calicata, cuya ubicación se encuentra en el km 11+800.	Variable Dependiente: La relación de los parámetros de estabilidad de taludes en el sector Cullcuy, Santa María del Valle – Huánuco. Variable Independiente: El proceso de equilibrio límite y métodos numéricos en condición de carga estática y pseudoestática.

ANEXO 4

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO						
FICHA DE RECOLECCION DE DATOS						
	TESIS:					
RESPONSABLE:						
LUGAR:						
FECHA:						
ANÁLISIS GRANULOMETRICO DEL SUELO						
CALICATA:						
TAMIZ	DIAMETRO (mm)	PESO RETENIDO(gr)	RETENIDO PARCIAL(%)	RETENIDO ACUMULADO(%)	QUE PASA(%)	OBSERVACIONES
3"	76.2					
1 1/2"	38.1					
1"	25.4					
3/4"	19.05					
1/2"	12.7					
3/8"	9.525					
N°4	4.76					
N°10	2					
N°16	1.3					
N°30	0.59					
N°40	0.426					
N°50	0.297					
N°60	0.25					
N°100	0.149					
N°200	0.074					
CAZOLETA						
TOTAL						

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO						
FICHA DE RECOLECCION DE DATOS						
	TESIS:					
RESPONSABLE:						
LUGAR:						
FECHA:						
CONTENIDO DE HUMEDAD						
CALICATA:						
DESCRIPCIÓN	DATOS OBTENIDOS					OBSERVACIONES
Peso de Bandeja						
Peso natural húmedo + bandeja						
Peso natural seco + bandeja						
Peso natural húmedo						
Peso natural seco						
Contenido de Humedad						

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO						
FICHA DE RECOLECCION DE DATOS						
	TESIS:					
RESPONSABLE:						
LUGAR:						
FECHA:						
N° ENSAYO: LÍMITE LÍQUIDO						
CALICATA:						
DESCRIPCIÓN	DATOS OBTENIDOS					OBSERVACIONES
Peso del tarro (gr)						
Peso del tarro + suelo húmedo (gr)						
Peso del tarro + suelo seco (gr)						
Peso del suelo húmedo (gr)						
Número de golpes						
Contenido de Humedad (%)						
LÍMITE LÍQUIDO (%)						
N° ENSAYO: LÍMITE PLASTICO						
CALICATA:						
NTP: 339.130						
DESCRIPCIÓN	DATOS OBTENIDOS					OBSERVACIONES
Peso del tarro (gr)						
Peso del tarro + suelo húmedo (gr)						
Peso del tarro + suelo seco (gr)						
Peso del suelo húmedo (gr)						
Peso del suelo seco (gr)						
LÍMITE PLASTICO (%)						

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO						
FICHA DE RECOLECCION DE DATOS						
	TESIS:					
RESPONSABLE:						
LUGAR:						
FECHA:						
N° ENSAYO: PESO ESPECIFICO						
CALICATA:						
DESCRIPCIÓN	DATOS OBTENIDOS					OBSERVACIONES
Peso del recipiente + muestra húmeda (gr)						
Peso del recipiente + muestra seca (gr)						
Peso del recipiente (gr)						
Peso del recipiente (gr)						
Volumen recipiente (gr)						
RESULTADOS						
Peso de la muestra húmeda (gr)						
Peso de la muestra seca (gr)						
Peso del agua (gr)						
Peso específico de la muestra húmeda (gr/m3)						
Peso específico de la muestra seca (gr/m3)						
Humedad (%)						

TESIS:



RESPONSABLE:

LUGAR:

FECHA:

Nº ENSAYO:

ENSAYO DE CÔRTE DIRECTO

CALICATA:

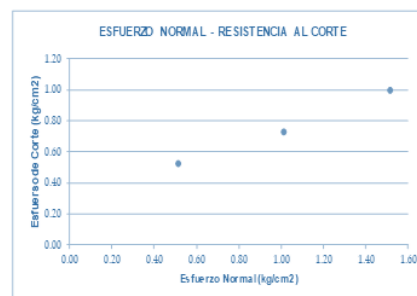
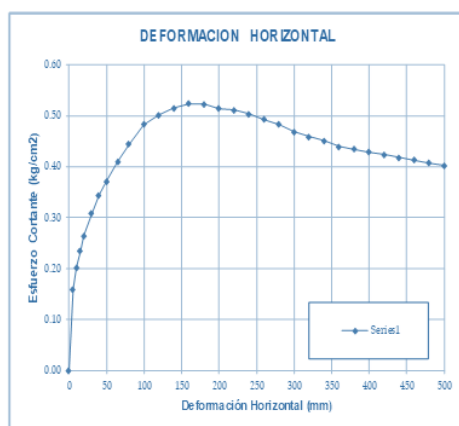
ASTM - D3080

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA			DATOS DE CORTE	
Diametro	(cm.)		Sobre carga	(gr.)
Altura	(cm.)		Peso de Muestra	(gr.)
Densidad Natural	(gr/cm ³)		Carga Adicionada	(kg.)
Area	(cm ²)		Relación de Carga	
Volumen	(cm ³)		Carga Normal Total	(kg.)
Peso	(gr.)		Velocidad de Carga	(mm/min)
Densidad Seca	(gr/cm ³)		Esfuerzo Normal	(kg/cm²)

CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL		TIPO DE MUESTRA	
P. Suelo Húmedo + Tara (gr.)		Natural	
P. Suelo Seco + Tara (gr.)		Compactado	
P. de Tara (gr.)		Humedad Natural	
Contenido de Humedad		Clasificación	(SUCS)

[illegible]

GRAFICO DE CORTE DIRECTO



COHESIÓN
ANGULO DE FRICCIÓN

(C)		Kg/cm ²
(f)		

ANEXO 5

CALCULO DE P-VALOR

```
import scipy.stats as
stats import pandas as
pd

# Datos de factores de

seguridad data = {

    "Método": ["Equilibrio límite", "Equilibrio límite", "Numérico",
    "Numérico"], "Condición": ["Estática", "Pseudoestática",
    "Estática", "Pseudoestática"],
    "Factor de Seguridad (FS)": [1.378, 1.172, 1.086, 0.954]

}

# Crear un DataFrame

df = pd.DataFrame(data)

# Análisis estadístico
# Separar datos por método y condición
fs_equilibrio = df[df["Método"] == "Equilibrio límite"]["Factor de
Seguridad (FS)"] fs_numerico = df[df["Método"] == "Numérico"]["Factor
de Seguridad (FS)"]

# Prueba t de Student para comparar los métodos

t_stat, p_value = stats.ttest_ind(fs_equilibrio, fs_numerico)

# Resultados

results = {

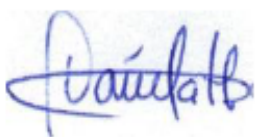
    "T-Statistic":
    t_stat, "P-
    Value": p_value

}

Results
{'Estadística T': 2,0844996178618063, 'Valor P': 0,1724747361922971}
```

ANEXO 6

FICHA DE VALIDACIÓN

FICHA DE VALIDACIÓN POR EXPERTOS		
Título del estudio: "RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS DE ESTABILIDAD DE TALUDES BAJO CARGA ESTÁTICA Y PSEUDOESTÁTICA MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE Y MÉTODOS NUMÉRICOS EN EL SECTOR CULLCUY, SANTA MARÍA DEL VALLE – HUÁNUCO, 2024".		
Datos del experto		
• Nombre	MG. PERCY MELLO DAVILA HERRERA	
• Ejerce Actualmente	DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO	
• Fecha de evaluación	Abril-2025	
Evaluación general del instrumento Criterios de validación (escala Likert del 1 al 5, donde 1 = "Deficiente" y 5 = "Excelente"):		
Criterio	Valoración (1-5)	Observaciones
Claridad de las preguntas	4	Ninguna
Relevancia para los objetivos	5	Ninguna
Coherencia metodológica	4	Ninguna
Suficiencia de Instrumento	5	Ninguna
Alineación teórica	5	Ninguna
SE ADJUNTA: 1. Matriz de consistencia 2. Cuadro de operacionalización de variables 3. Instrumentos N°1,2 y 3		
Firma y Sello del Experto:		
		

FICHA DE VALIDACIÓN POR EXPERTOS

Título del estudio:

"RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS DE ESTABILIDAD DE TALUDES BAJO CARGA ESTÁTICA Y PSEUDOESTÁTICA MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE Y MÉTODOS NUMÉRICOS EN EL SECTOR CULLCUY, SANTA MARÍA DEL VALLE – HUÁNUCO, 2024".

Datos del experto

• Nombre	MG. RONNY RÍOS PACHECO
• Ejerce Actualmente	DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
• Fecha de evaluación	Abril-2025

Evaluación general del instrumento

Criterios de validación (escala Likert del 1 al 5, donde 1 = "Deficiente" y 5 = "Excelente"):

Criterio	Valoración (1-5)	Observaciones
Claridad de las preguntas	5	Ninguna
Relevancia para los objetivos	5	Ninguna
Coherencia metodológica	4	Ninguna
Suficiencia de Instrumentó	4	Ninguna
Alineación teórica	5	Ninguna

SE ADJUNTA:

1. Matriz de consistencia
2. Cuadro de operacionalización de variables
3. Instrumentos N°1,2 y 3

Firma y Sello del Experto:



FICHA DE VALIDACIÓN POR EXPERTOS

Título del estudio:

"RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS DE ESTABILIDAD DE TALUDES BAJO CARGA ESTÁTICA Y PSEUDOESTÁTICA MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE Y MÉTODOS NUMÉRICOS EN EL SECTOR CULLCUY, SANTA MARÍA DEL VALLE – HUÁNUCO, 2024".

Datos del experto

• Nombre	MG. WILLIAM PAOLO TABOADA TRUJILLO
• Ejerce Actualmente	DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
• Fecha de evaluación	Abril-2025

Evaluación general del instrumento

Criterios de validación (escala Likert del 1 al 5, donde 1 = "Deficiente" y 5 = "Excelente"):

Criterio	Valoración (1-5)	Observaciones
Claridad de las preguntas	5	Ninguna
Relevancia para los objetivos	5	Ninguna
Coherencia metodológica	4	Ninguna
Suficiencia de Instrumentó	5	Ninguna
Alineación teórica	4	Ninguna

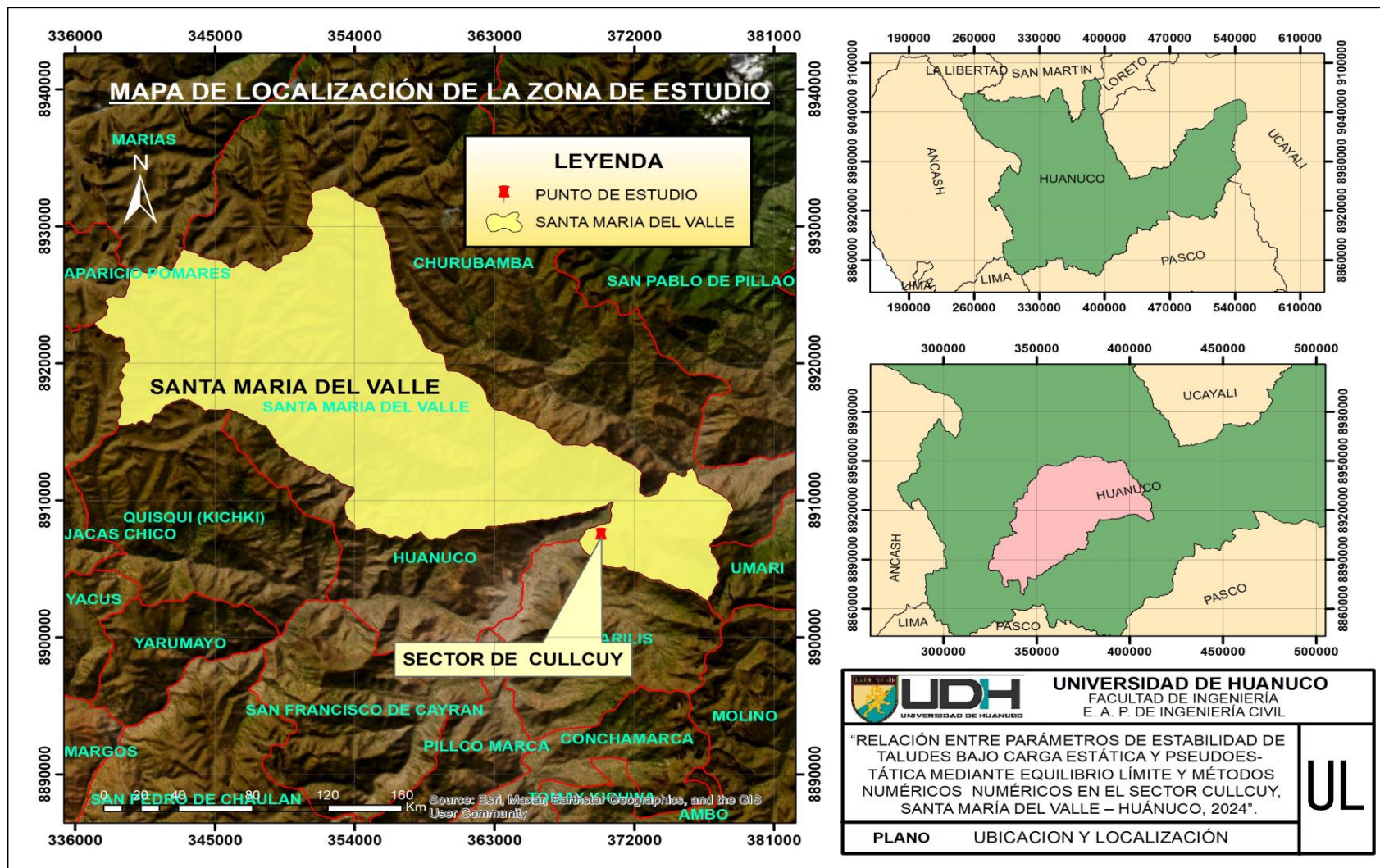
SE ADJUNTA:

1. Matriz de consistencia
2. Cuadro de operacionalización de variables
3. Instrumentos N°1,2 y 3

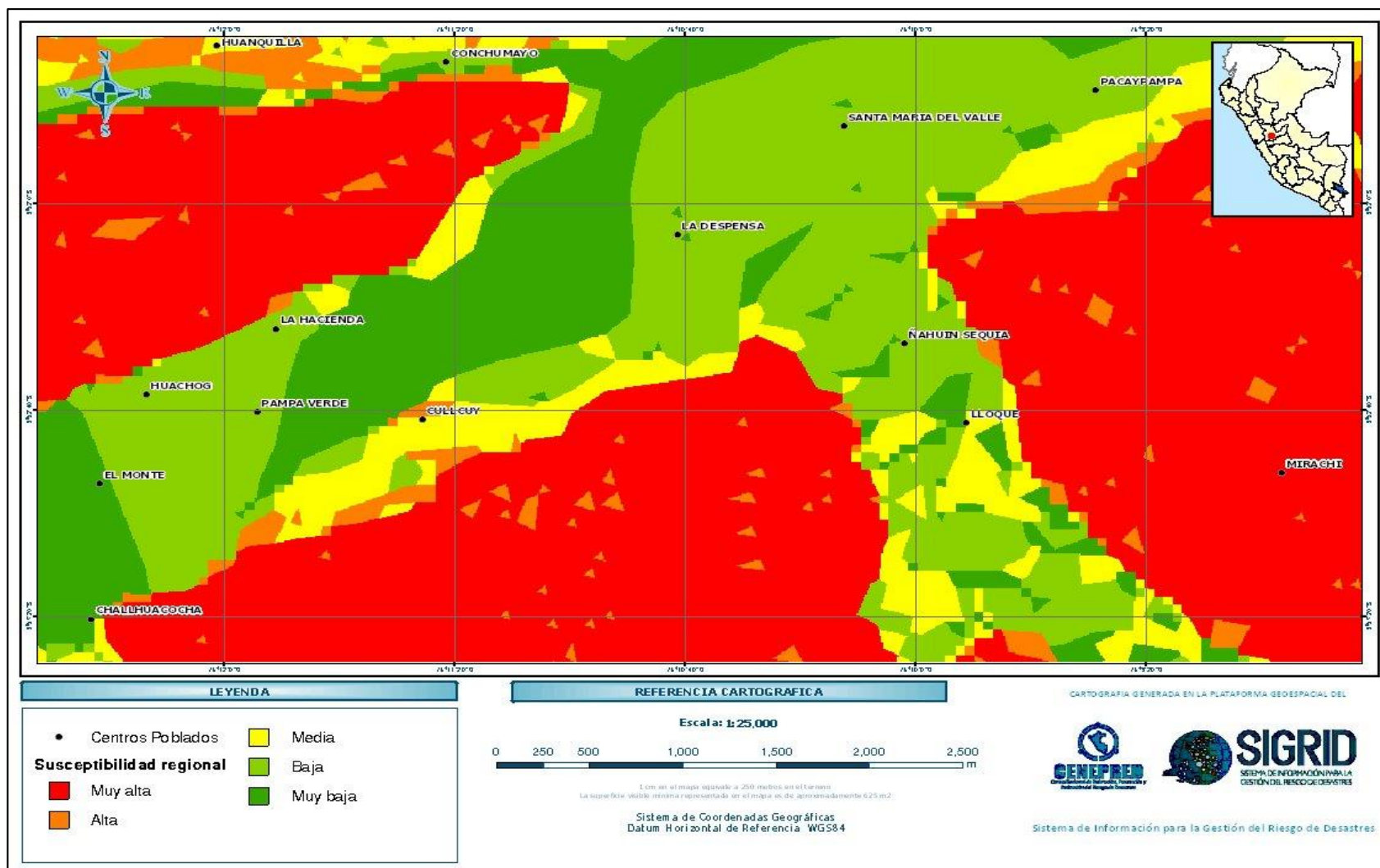
Firma y Sello del Experto:

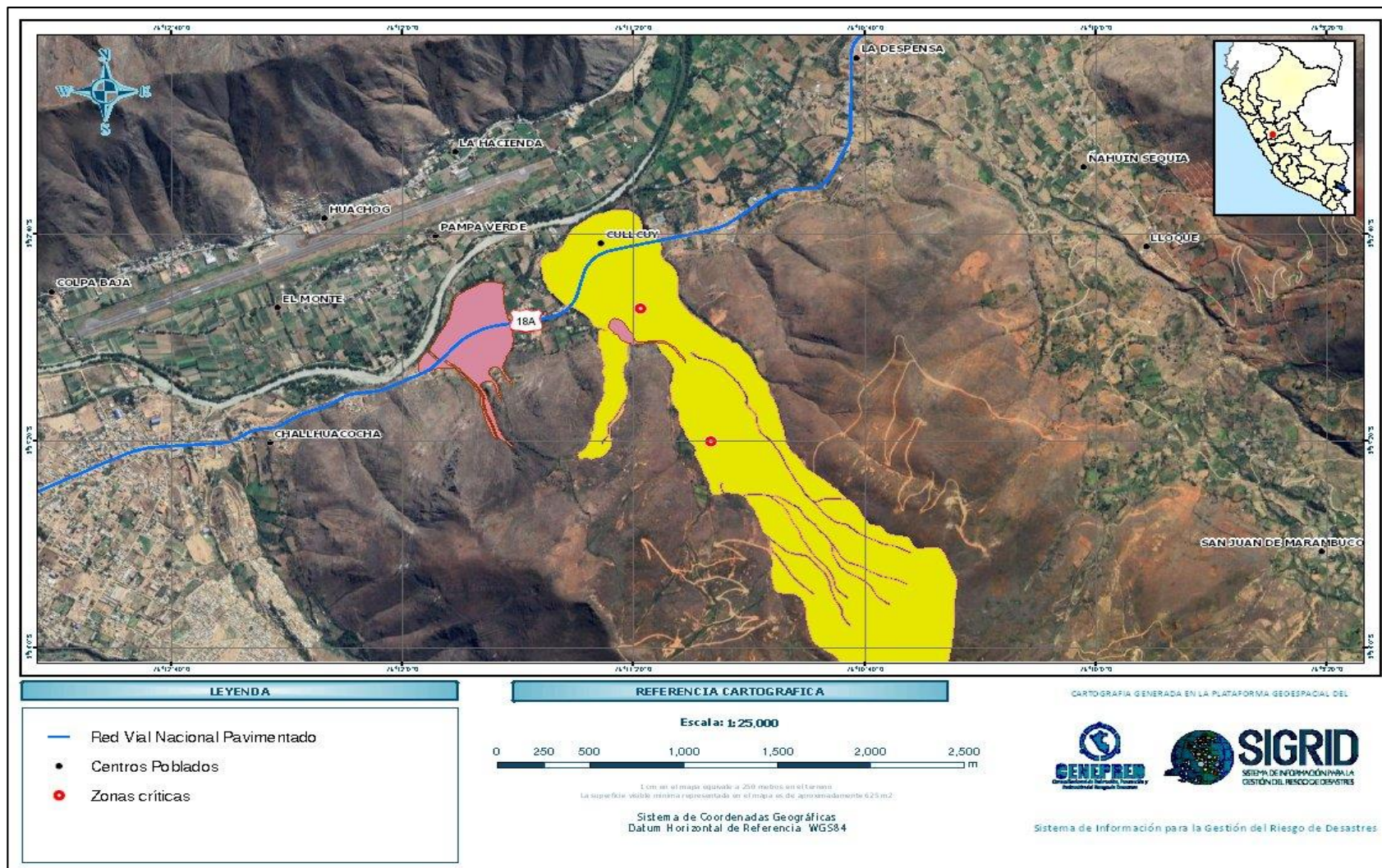


ANEXO7
PLANO DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN



ANEXO 8
MAPA DE ZONAS DE RIESGO DE SANTA MARÍA DEL VALLE





ANEXO 9
PANEL FOTOGRÁFICO DEL CAMPO Y LABORATORIO

FOTOGRAFIAS PARA EL RECONOCIMIENTO DEL TERRENO



Se realizó el reconocimiento de terreno con fines de evaluación de la estabilidad del talud, en el sector Cullcuy, ubicado en el distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco.



El reconocimiento de terreno es un proceso técnico fundamental para evaluar las condiciones geológicas y geotécnicas del área, con el objetivo de determinar los factores que podrían comprometer la estabilidad de los taludes en el sector Cullcuy, distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco.

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO EN EL SECTOR CULLCUY



La identificación para el establecimiento de los puntos de estación topográfica en el sector Cullcuy, ubicado en el distrito de Santa María del Valle, en la provincia de Huánuco, se lleva a cabo con el objetivo de realizar un análisis detallado de la estabilidad de los taludes en la zona.



Se lleva a cabo la nivelación topográfica utilizando estación total en el sector Cullcuy, ubicado en el distrito de Santa María del Valle, en la provincia de Huánuco. Este procedimiento permite determinar con alta precisión las diferencias de altura en el terreno.



Se lleva a cabo el proceso de levantamiento topográfico en el sector Cullcuy, distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco, con el objetivo de evaluar la estabilidad del talud. Este levantamiento permite obtener datos precisos sobre la geometría y las características del terreno.



Se verificó el prismómetro instalado en la zona de deslizamiento del talud, sector Cullcuy, distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco. Con la finalidad de evaluar el comportamiento y la deformación del terreno.

FOTOGRAFIAS PARA EL ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS



Se realizó el proceso de replanteo y medición con el apoyo de una wincha, yeso y otros instrumentos auxiliares, a fin de definir con precisión el área de intervención para el inicio de la excavación de la calicata en el sector Cullcuy, distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco.



Se realizó la verificación de la medición y señalización del área de excavación, cuyas dimensiones son de 1.50 m de largo, 1.00 m de ancho y 1.50 m de profundidad, en el sector Cullcuy, distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco.



Se dio inicio al proceso de excavación de calicatas en el sector Cullcuy, distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco, con el objetivo de realizar estudios geotécnicos que permitan la caracterización del perfil del suelo.



Se realizó la excavación de una calicata próxima al talud, con la finalidad de obtener muestras de suelo que serán utilizadas en los ensayos de granulometría, límite líquido, límite plástico y corte directo. Esta actividad se llevó a cabo en el sector Cullcuy, distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco.



Se llevó a cabo la verificación de la profundidad de la calicata excavada en el sector Cullcuy, distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco, registrándose una profundidad de 0.60 metros.



Se verificó la profundidad establecida de 1.50 metros en la calicata excavada en el sector Cullcuy, distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco, con el propósito de garantizar la extracción de muestras representativas para los ensayos geotécnicos correspondientes

ANEXO 10
ESTUDIO DE SUELO VALIDADO

INFORME TECNICO Y ESTUDIO DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN



LABORTEC

LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO



PROYECTO:
“RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS DE
ESTABILIDAD DE TALUDES BAJO CARGA
ESTÁTICA Y PSEUDOESTÁTICA MEDIANTE
EQUILIBRIO LÍMITE Y MÉTODOS NUMÉRICOS EN
EL SECTOR CULLCUY, SANTA MARÍA DEL VALLE
– HUÁNUCO, 2024.””

SOLICITA:
TRUJILLO CHAVEZ ROYMER

UBICACIÓN:
SECTOR CULLCUY, SANTA MARÍA DEL VALLE – HUÁNUCO

DISTRITO : SANTA MARIA DEL VALLE
PROVINCIA : HUANUCO
REGIÓN : HUANUCO

EJECUTADO:
LABORTEC E.I.R.L.

INGENIERO ESPECIALISTA:
ELIO AUGUSTO SAAVEDRA CABRERA

MARZO DEL 2025



Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



INFORME TECNICO

1. GENERALIDADES

- 1.1 Objetivo del Estudio
- 1.2 Características Estructurales de la Obra a Cimentar
- 1.3 Ubicación y Descripción del Área en Estudio

2. GEOMORFOLOGIA, GEOLOGIA Y SISMICIDAD

- 2.1 Geomorfología
- 2.2 Geología
 - 2.2.1 Lito estratigrafía
- 2.3 Geodinámica Externa
- 2.4 Geodinámica Interna
- 2.5 Sismicidad

3. INVESTIGACIONES EN CAMPO

- 3.1 Metodología
- 3.2 Registro de calicatas
- 3.3 Muestreo de suelos

4. ENSAYOS DE LABORATORIO

- 4.1 Ensayos Estándar
- 4.2 Trabajos en Laboratorio
 - 4.2.1 Secado
 - 4.2.2 Identificación
 - 4.2.3 Granulometría
 - 4.2.4 Clasificación de Suelos
 - 4.2.5 Contenido de Humedad
 - 4.2.6 Límites de Atterberg (LL, LP, IP)

5. PERFILES ESTADÍSTICOS

6. ANALISIS DE LA CIMENTACION

- 6.1 Tipo de Cimentación.
- 6.2 Profundidad de la Cimentación.
- 6.3 Capacidad admisible de carga
 - 6.3.1 Cálculo de la Capacidad Portante Admisible C-01
- 6.4 Cálculo de Asentamientos totales
 - 6.4.1 Cálculo Asentamientos totales C-01

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR


LABORTEC Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



7. CALCULO DE COEFICIENTE DE BALASTO

8. AGRESIÓN DEL SUELO DE CIMENTACIÓN

8.1 Recomendaciones Para Pisos Interiores, Losas Y Veredas

9. AGUA EN EL SUELO

9.1 Introducción

9.2 Reconocimiento de Aguas Freáticas

10. PARAMETROS DE EMPUJE LATERAL DE TIERRAS

11. RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE CALZADURAS O MURO DE ANCLADO

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR.


LABORTEC Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



INFORME TÉCNICO

1. GENERALIDADES

1.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO

El presente estudio tiene por objetivo describir los trabajos de campo, laboratorio y gabinete, llevados a cabo para la evaluación geotécnica del proyecto: **“RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS DE ESTABILIDAD DE TALUDES BAJO CARGA ESTÁTICA Y PSEUDOESTÁTICA MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE Y MÉTODOS NUMÉRICOS EN EL SECTOR CULLCUY, SANTA MARÍA DEL VALLE – HUÁNUCO, 2024.”**. Ubicado en el Distrito de Santa María del Valle, Provincia y Departamento de Huánuco; para determinar las características físico-mecánicas del suelo dentro de la profundidad activa y a partir de ello, los parámetros necesarios para el diseño de la estructura. Dichos parámetros son: profundidad, tipo de cimentación, capacidad portante admisible del terreno adoptado como suelo de cimentación, pautas generales de diseño y construcción en relación con los suelos.

1.2 CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LA OBRA A CIMENTAR:

Para los fines de la determinación del Programa de Investigación Mínimo (PIM) del Estudio de Mecánica de Suelos, las edificaciones serán calificadas, según la Tabla 1, donde I, II y III designan la importancia relativa de la estructura desde el punto de vista de la investigación de suelos necesaria para cada tipo de edificación, siendo el A más exigente que el II y éste que el III.

TABLA N°01 - TIPO DE EDIFICACIÓN PARA DETERMINAR EL NÚMERO DE PUNTOS DE INVESTIGACIÓN

DESCRIPCION	DISTANCIA MAYOR ENTRE APOYOS * (m)	N° DE PISOS (INCLUIDOS SOTANOS)			
		≤ 3	4 a 8	9 a 12	> 12
APORTICADA DE ACERO	<12	III	III	III	II
PORTICOS Y/O MUROS DE CONCRETO	<10	III	III	II	I
MUROS PORTANTES DE ALBAÑILERIA	<12	II	I	-	-
BASE DE MAQUINAS Y SIMILARES	Cualquiera	I	-	-	-
ESTRUCTURAS ESPECIALES	Cualquiera	I	I	I	I
OTRAS ESTRUCTURAS	Cualquiera	II	I	I	I
*Cuando la distancia sobrepasa la indicada, se clasificara en el tipo de edificación inmediato superior.					
TANQUES ELEVADOS Y SIMILARES	≤ 9 m de	> 9 m de altura			
	II	I			
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA		III			
ES SANITARIAS DE AGUA Y ALCANTARILLADO EN OB		IV			

Fuente E-050

Por información proporciona por el “Solicitante” el proyecto presenta la siguiente característica.

- Estructura: Elementos estructurales de concreto armado, muros de contención.

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR


LABORTEC
Ing. Elío A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



Por lo que la edificación califica en una categoría III"

Tabla 02 - Número de puntos de investigación	
Tipo de edificación (tabla 01)	Números de puntos de investigación (n)
I	Uno por cada 225 m ² de área techada
II	Uno por cada 450 m ² de área techada
III	Uno por cada 900 m ² de área techada
IV	uno por cada 100 m de instalaciones sanitarias de agua y alcantarillado en obras urbanas
Urbanizaciones para viviendas unifamiliares de hasta 3 pisos	3 por cada hectárea de terreno por habilitar

Cuando se conozca el emplazamiento exacto de la estructura, n se determinará en función del área techada en planta del primer piso de esta; cuando no se conozca dicho emplazamiento, n se determinará en función del área total del terreno.

Sabiendo que la estructura se encuentra dentro de una clasificación "III" se tiene que el número de calicatas será de 1 cada 900 m² a investigar.

Según lo calculado se deberían realizar una (01) calicata con lo cual cubrimos el requerimiento mínimo de numero de calicatas.

1.3 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO:

El terreno en estudios se encuentra ubicado en el sector Cullcuy, santa maría del valle – Huánuco, presenta un área de una topografía plana. La extensión del proyecto se ubica en el distrito de Santa María del Valle, provincia y departamento de Huánuco.

IMAGEN N° 01 – VISTA SATELITAL DEL AREA EN ESTUDIOS



El Distrito de Santa Maria del Valle es uno de los ocho distritos que conforman la Provincia de Ambo, en el Departamento de Huánuco.

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe puede ser verificado mediante el código QR

LABORTEC
Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



MAPA N° 01 – DEPARTAMENTO DE HUANUCO



El departamento de Huánuco tiene una superficie de 36 848,85 KM².

MAPA N° 02 – PROVINCIA DE HUÁNUCO



La provincia de Huánuco tiene una superficie de 4.023 km².

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR.



Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



MAPA N° 03 – DISTRITO DE SANTA MARIA DEL VALLE



El distrito distrito de Santa María del Valle tiene una superficie de 481,9 km².

El distrito de Santa María del Valle presenta los siguientes límites:

Por el Norte: Limita con el distrito de **Huánuco**.

Por el Sur: Limita con el distrito de **Chinchao**.

Por el Este: Limita con el distrito de **San Francisco de Cayran**.

Por el Oeste: Limita con el distrito de **Yarowilca**.

La vía de acceso más corta desde la ciudad de Huánuco – al área en estudio es a Través de la Ruta:

Cuadro 01 – Distancia desde la ciudad de Huánuco al área en estudio

TRAMO	TIPO	DISTANCIA	TIEMPO
Huánuco – Culicuy	Asfaltada - Afirmada	10.9 Km	32 min

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe puede ser verificado mediante el código QR


LABORTEC
Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822

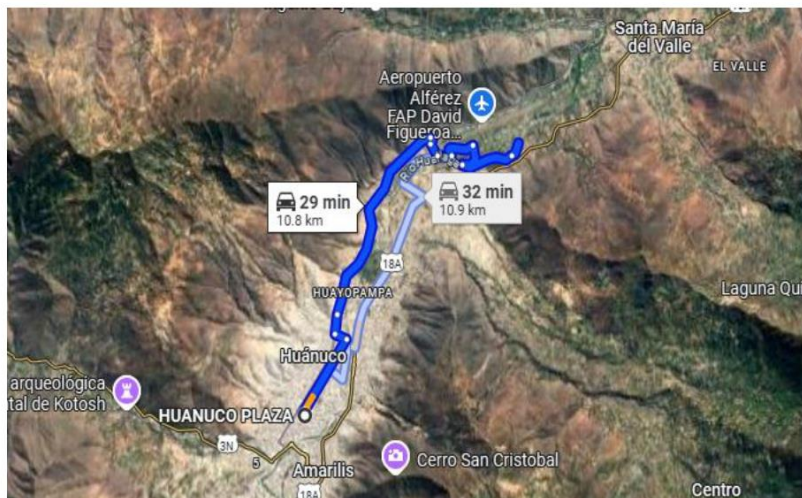


LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

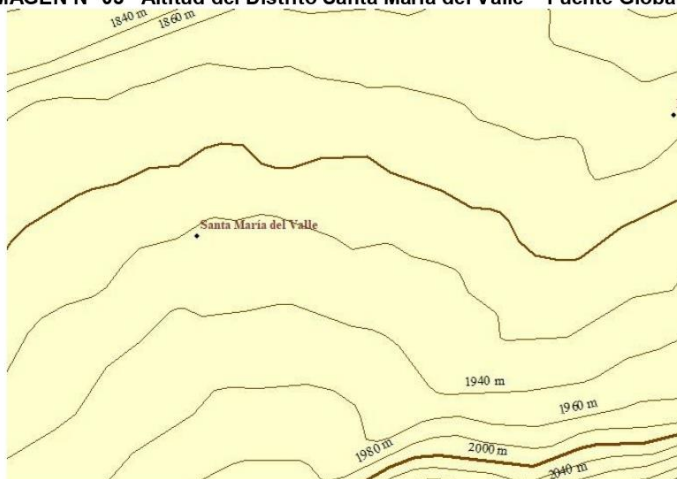


IMAGEN N° 02 – Recorrido de la ciudad de Huánuco al sector Cullcuy



Desde Huánuco al área en estudio, existe una distancia aproximada de 10.9 km y el tiempo aproximado en recorrerlo es de 32 min en automóvil.

IMAGEN N° 03– Altitud del Distrito Santa Maria del Valle – Fuente Global Mapper



Por la ubicación del distrito de Santa maria del Valle y el área en estudio según el Dr. Javier Pulgar Vidal, corresponde a la región:

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe puede ser verificado mediante el código QR.

LABORTEC
Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



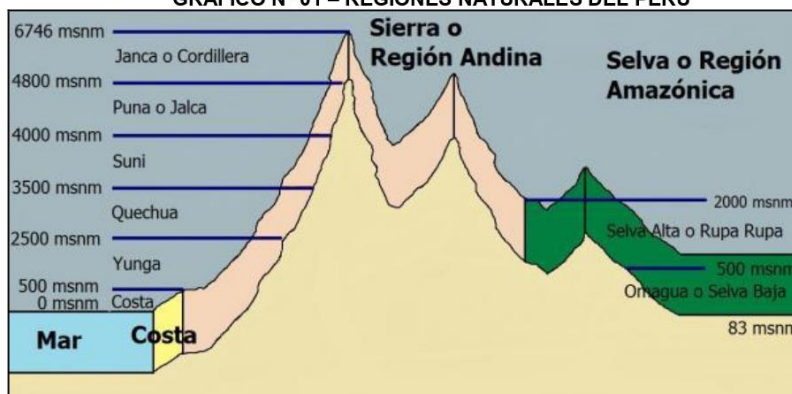
Región Quechua.

La región quechua constituye la zona medular de la región andina y se extiende desde los 2000m. a los 3500 m.s.n.m. El relieve de esta región es escarpado conformado por los valles interandinos y los flancos de suave pendiente. Este relieve por efecto de la obra humana ha sido modificado a través de los siglos mediante sistemas de andenería y terraplenes. Sin embargo, la región se encuentra en los valles interandinos. Esta región es la más poblada de la Sierra, debido a las condiciones que presenta para el poblador andino, que se dedica a la agricultura y a la ganadería extensiva, a tal punto que podemos considerarla como la zona en donde la población peruana se ha adaptado mejor.

El clima de esta región clima templado de montaña (también conocido como clima andino), con temperaturas que suelen ser frescas durante todo el año, el clima presenta dos estaciones principales, la época de lluvias durante los meses de noviembre a marzo, con lluvias frecuentes, especialmente en la tarde, durante este periodo, las precipitaciones pueden ser intensas, lo que contribuye al verdor de la zona, y la época seca se presenta en los meses de abril a octubre, donde las lluvias son menos frecuentes y el clima es más soleado y seco.

con variaciones sensibles de temperatura entre el día y la noche, pero con la moderación apropiada y permisible para la vida humana. Durante los meses que corresponden al invierno y a la primavera se produce una fuerte insolación debido a la transparencia de la atmósfera. De otro lado, durante la noche la temperatura baja súbitamente por la escasa humedad existente en el aire. En consecuencia, Santa María del Valle presenta un clima fresco y templado, adecuado para la agricultura de cultivos como el maíz, la papa, y otros productos típicos de la zona andina.

GRAFICO N° 01 – REGIONES NATURALES DEL PERU



Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe puede ser verificado mediante el código QR.



Ing. Elío A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



2. GEOMORFOLOGIA, GEOLOGIA Y SISMICIDAD

2.1 Geomorfología

La Geomorfología peruana, es el estudio de los relieves que tiene el Perú a lo largo y ancho de su territorio. Geomorfológicamente la forma estructural del área en estudio presenta una topografía plana y moderadamente accidentada.

• Geomorfología Andina:

La sierra, conformada por las altitudes del macizo andino es un conjunto de elevaciones que corren alineadas en cadenas paralelas: tres en el norte, tres en el centro, dos en el sur.

Los Andes del norte confluyen con los del centro en el Nudo de Pasco y los de centro confluyen con los del sur en el Nudo de Vilcanota.

La región andina del Perú se divide en tres sectores:

Los Andes del norte: son más bajos y húmedos que el promedio. Ello ha permitido que parte de la humedad y vegetación de la selva norte pueda trasladarse a la costa. Además, en los Andes del norte podemos encontrar el punto más bajo de toda la Cordillera Andina: el Abra de Porculla que con 2145 metros permite pasar al otro lado de la vertiente.

Los Andes del centro: son los más altos y empinados y ello hace del centro un lugar de difícil acceso sólo impulsado por la dinámica que la ciudad de Lima genera.

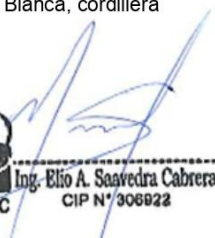
Los Andes del sur: son de mayor espesor que los Andes del norte y del centro. En este paisaje se instalan los pueblos de mayor acervo y tradición de nuestro país. Si hacemos un corte transversal que vaya de Arequipa hasta la frontera con Bolivia, veremos que tenemos más de 500 km. de longitud a una gran altitud que sobrepasa los 4.000 m. El territorio andino del Perú muestra una gran diversidad de unidades geomorfológicas, siendo los más importantes:

Las montañas: (nevados y volcanes) Ejemplos: Nevado de Husacarán (el más alto del Perú), Jerupaja el segundo más alto, Alpamayo el más bello de los picos del mundo. Coropuna, el volcán más alto del Perú, volcán Ubinas en Moquegua actualmente activo al igual que Sabancaya, que se encuentra en Arequipa.

Las altiplanicies: (mesetas y llanura intramontanas), son extensas llanuras frías, donde se desarrolla la ganadería de ovinos y camélidos. Las más importantes son: Collao en Puno la más extensa, Bon bon en Junín, Parinacochas en Ayacucho y Castrovirreina en Huncavelica.

Las cordilleras: importantes por contener glaciares. Ejemplos: Cordillera Blanca, cordillera de Carabaya, cordillera de La Chila, etc.

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR


LABORTEC Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



Los pasos o abras: son aberturas entre montañas, son valles en forma de U formado por los glaciares y tienen gran importancia para el trazado de redes viales transversalmente a la cordillera. Los más conocidos del Perú, son: el paso de Ticlio o Anticona, el paso de Porculla, el paso de Crucero Alto y el paso de La Raya.

Los cañones: son quebradas profundas y estrechas con condiciones para producir energía hidroeléctrica. Destacan el cañón del Pato en Ancash, el cañón de Colca en Arequipa, el cañón del Infiernillo en Lima y el cañón de Cotahausi el más profundo de América en Arequipa.

Los valles interandinos: son los relieves que se encuentran entre las cordilleras. Presenta dos partes bien diferenciados: vertiente y planicie. La planicie aluvial concentra las grandes urbes del territorio andino. Los valles interandinos más importantes son: el valle de Mantaro en Junín, el valle Callejón de Huaylas en Ancash, el valle de Urubamba en el Cuzco, el valle de Huancabamba en Piura.

2.2 Geología

La Geología actual del área de estudio es producto de millones de años de desarrollo y modificaciones a lo largo de diferentes procesos y la geodinámica externa como son los huaycos, deslizamientos, desprendimientos, asentamientos, y migraciones de arena por efecto tectónico – Neoproterozoico del Complejo Marañón y los depósitos Aluviales, sobre impuesto por los procesos de geodinámica, que han moldeado el rasgo morfoestructural de la región sierra central del Perú, donde se ubica el proyecto. Los estratos están claramente divididos y se debe a la desintegración, meteorización del Neoproterozoico del Grupo Ambo que se encontraba hace muchos millones de años geológicos en áreas cercanas. Así mismo, la erosión, los deslizamientos producidos por drenaje y acumulación de agua dando el desplazamiento de estas sobre grandes extensiones de la zona, dándole la configuración actual de su relieve.

2.2.1 Litoestratigrafía

La secuencia estratigráfica en el área de estudio está definida por el basamento de rocas metamórficas Neoproterozoico del Grupo Ambo y los depósitos Aluviales sobre las cuales se distribuyen en el área de estudios. Se usó para esta informe información del INGEMMET - cuadrante 20 k – Huánuco.

Complejo Marañón - Esquistos (PE-e)

Se trata de micaesquistos que se exponen en gran parte del área de estudio, ocupando casi la totalidad de las series metamórficas del Complejo del Marañón. En el mapa geológico se observa que estos micaesquistos afloran continuamente en la mitad Este del cuadrángulo de Huánuco. siendo reconocido en las localidades de Chicchuy,

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe puede ser verificado mediante el código QR


LABORTEC Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



Malconga, Santa María del Valle, Cabracancha, Molino, Manzano, Laguna Mancapozo, San Sebastián de Quera, Tambogan, Churubamba, Acomayo y Puente Durand; así como también en la mitad Oeste del área de estudio, en las localidades de Puyac, Chullay, Cutapalla, Tanta Coto, del mismo modo, en la carretera de Huánuco al Aeropuerto David Figueroa.

Los esquistos en general son grises a gris oscuros y verdosos, estando en algunos casos asociados a venillas con lentes de cuarzo concordantes con la esquistosidad. Los esquistos más comunes son cuarzo - macáceos y esquistos cuarzo muscovíticos esquistos cuarzo - muscovitas - cloritas, esquistos micas - cuarzo y esquistos cuarzo - biotitas - muscovitas; cuyas texturas más frecuentes son granoblásticas y granoblásticas saturadas.

Las asociaciones mineralógicas encontradas más frecuentemente son:

- Cuarzo + muscovita
- Cuarzo + muscovita + clorita
- Cuarzo + biotita + micas
- Micas + cuarzo

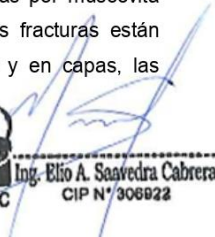
Según determinaciones microscópicas, algunas muestras procedentes de los afloramientos esquistosos tienen las siguientes características.

Al microscopio se observan fenoblastos de cuarzo (CZ) y plagioclasas (PGLs) rodeados por granos de muscovita (mus), biotita (bt) y sericita (ser) habiendo escasos minerales opacos (Ops), los mismos que están diseminados. Las plagioclasas están alteradas a sericita; el cuarzo muestra una textura saturada, en agregados desarrollados con biotitas, estando ambos flexionados. Otra muestra precedente de la localidad de Chinchaycocha al sur de Manzano ha sido clasificada como esquistos de cuarzo - micas. Microscópicamente, muestran capitas de muscovita (mus) con granos de cuarzo (CZ) intersticiales y en agregados y en pequeñas capas discontinuas, los minerales opacos (OPs) rellenan los intersticios.

También se puede observar bandas compuestas por muscovita y clorita, las cuales se encuentran flexionadas y con minerales opacos siguiendo las sinuosidades de las capas de micas. Las limonitas tiñen localmente a las micas. Una muestra tomada en faldas del C° Condorjamanán al sur de la ciudad de Huánuco.

Ha sido clasificada como esquistos de cuarzo - muscovita petrográficamente la muestra presenta granos de cuarzo (CZ) intercalados con capitas compuestas por muscovita (mus) escasas biotitas (bt), teñidos parcialmente por limonitas. Las fracturas están rellenas por cuarzo o por opacos. Las micas están flexionadas y en capas, las

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR


LABORTEC Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



bióticas son escasas e intercrecidas con la muscovita. Los minerales opacos tienen formas cúbicas y siguen las flexiones de la muscovita.

En otras observaciones, la sección delgada muestra capas de cuarzo con escasas micas, intercaladas con capas de micas y escaso de cuarzo. Los minerales opacos están diseminados en la roca y algunos siguiendo las flexiones de las micas. La sección estudiada presenta capas compuestas por abundantes cristales de muscovita (mus) y cloritas (CLOs), con cristales de cuarzo (cz) entre las capas.

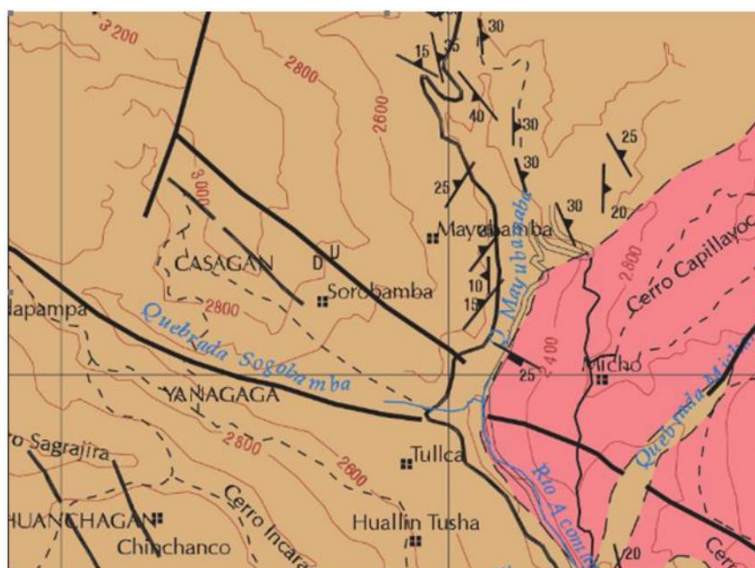
Los minerales opacos (OPs) ocurren rellenando intersticios de cuarzo y micas, las muestras presentan una esquistosidad bien marcada; las micas se encuentran flexionadas y plegadas, los minerales opacos y cuarzo se presentan siguiendo los plegamientos de las micas asimismo las limonitas y opacos siguen los plegamientos de las muscovitas y las cloritas.

LEYENDA DEL MAPA GEOLOGICO – INGENMET

SIMBOLOS	UNIDADES SEDIMENTARIAS VOLCANICAS METAMORFICAS
	REGION ANDINA CORDILLERA OCCIDENTAL Y ORIENTAL
PE-e	COMPLEJO MARAÑON (ESQUISTOS)

❖ Leyenda del mapa geológico del Departamento Huánuco -, INGENMET.

❖ Mapa N° 04 - Geología del Cuadrángulo – 20 k – Huánuco -INGENMET.



Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe puede ser verificado mediante el código QR



Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822

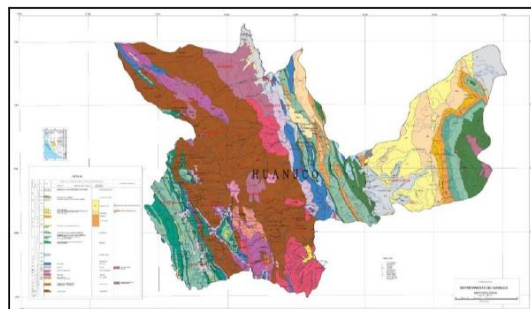


LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



❖ Mapa N° 05 - Geología del Cuadrángulo de la región Huánuco - INGEMMET.



2.3 Geodinámica Externa

Los riesgos geológicos como deslizamientos, derrumbes, desprendimiento de rocas, erosión de laderas, están relacionados a las fuertes pendientes, abundantes precipitaciones, mal uso de las tierras de cultivo y a la ocurrencia de sismos. En la zona de Estudio no se observan:

- **Erosión de laderas.** - Se entiende por erosión de laderas todos los procesos que ocasionan el desgaste y traslado de los materiales de superficie (suelo o roca). Ello se produce por el continuo ataque de agentes erosivos tales como: agua de lluvias, escurrimiento superficial, vientos, etc., que tienden a degradar la superficie natural del terreno. El terreno es producto del proceso de intemperización de estas montañas rocosas y al corte realizado en el área en estudio existente. Durante la etapa de exploración, No se ha evidenciado riesgos de esta naturaleza.
- **Derrumbes.** - Es la caída repentina de una porción de suelo y/o roca por pérdida de la resistencia al esfuerzo cortante, suele estar condicionado por la presencia de discontinuidades o grietas. Durante la etapa de exploración, No se ha evidenciado riesgos de esta naturaleza.
- **Huaycos.** - Son avenidas intempestivas de agua turbia y turbulenta, y/o flujos viscosos rápidos, cargados de barro, sólidos de diferentes tamaños provenientes de rocas y suelos aguas arriba de la quebrada, a consecuencia de una fuerte precipitación pluvial de corto periodo. Durante la etapa de exploración, No se ha evidenciado riesgos de esta naturaleza.
- **Deslizamientos.** - Es la ruptura o desplazamiento pendiente abajo y hacia fuera, de pequeñas a grandes masas de suelo, rocas o combinaciones de estos en un talud natural o artificial. Se caracteriza por presentar necesariamente un plano de deslizamiento o falla a lo largo del cual se produce el movimiento que puede ser lento o violento. Durante la etapa de exploración, NO se ha evidenciado riesgos de esta naturaleza.

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR



Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



• **Inundaciones.**- Una inundación es la ocupación por parte del agua de zonas que habitualmente están libres de esta, por desbordamiento de ríos, ramblas, por lluvias torrenciales, deshielo, por subida de las mareas por encima del nivel habitual, por maremotos, etc. Las inundaciones fluviales son procesos naturales que se han producido periódicamente y que han sido la causa de la formación de las llanuras en los valles de los ríos, tierras fértiles, vegas y riberas, donde tradicionalmente se ha desarrollado la agricultura. Durante la etapa de exploración, NO se ha evidenciado riesgos de esta naturaleza.

2.4 Geodinámica Interna

De acuerdo con el análisis sismo tectónico se considera que en la tierra existen dos zonas muy importantes de actividad sísmica conocidas como Círculo Alpino Himalayo y el Círculo Circumpacífico. En esta última zona está localizado nuestro país, considerado como una región de alta actividad sísmica. El área que comprende el Proyecto no se mapeó presencia de estructuras geológicas importantes, tales como fallas geológicas activas o inactivas, discordancias, fracturas y grietas de gran potencia, sin embargo, se debe tener en cuenta la sismicidad de la zona.

2.5 SISMICIDAD

El área que comprende el Proyecto no se mapeó presencia de estructuras geológicas importantes, tales como fallas geológicas activas o inactivas, discordancias, fracturas y grietas de gran potencia, sin embargo, se debe tener en cuenta la sismicidad de la zona.

MAPA N° 06 - ZONIFICACIÓN SÍSMICA



*Fuente -E-30

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR.


Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



Según los Mapas de Zonificación Sísmicas y Mapa de Máximas Intensidades Sísmicas del Perú y de acuerdo con las Normas Sismo - Resistentes del Reglamento Nacional de Construcciones E – 050, el Distrito de Chinchao, Provincia Huánuco y Departamento de Huánuco se encuentra comprendida en la Zona 2 correspondiéndole una sismicidad media y de intensidad V a VI en la escala Mercalli Modificada con un suelo de cimentación tipo 2 (S₂), Suelos Intermedios.

Cuadro N° 03 - PARÁMETROS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE

FACTORES DE ZONA	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

El factor de suelo depende de las características de los suelos que conforman el perfil estratigráfico. Teniendo en cuenta el terreno, clasificaremos a los suelos como tipo S₂, Suelos Intermedios correspondiéndole un valor de S₂ = 1,20.

Cuadro N° 04 - FACTOR DE SUELO "S"

SUELO	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
ZONA				
Z ₄	0,80	1,00	1,05	1,10
Z ₃	0,80	1,00	1,15	1,20
Z ₂	0,80	1,00	1,20	1,40
Z ₁	0,80	1,00	1,60	2,00

De acuerdo con las Normas Peruanas de Diseño Sismo Resistente, La fuerza sísmica horizontal (V) que debe utilizarse para el diseño de una estructura debe calcularse con la siguiente expresión:

$$V = \frac{Z * U * S * C}{R} * P$$

Dónde:

Z = Factor de zona

U = Factor de uso

S = Factor de suelo

C = Coeficiente sísmico

P = Peso de la edificación

R = Coeficiente de reducción

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe puede ser verificado mediante el código QR.


LABORTEC
Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



El coeficiente sísmico se debe calcular en función del período de vibración fundamental de la estructura (T), y del período predominante de vibración del perfil del suelo ($T_L(s)$) = 2.0, recomendándose para este último un valor de $T_P(s)$ = 0,6 segundos.

Cuadro N° 05 – PERFIL DE SUELO - PERIODOS “ T_P Y T_L ”

	S_0	S_1	S_2	S_3
T_P (S)	0,3	0,4	0,6	1,0
T_L (S)	3,0	2,5	2,0	1,6

3. INVESTIGACIONES EN CAMPO

3.1 METODOLOGIA

La técnica empleada para el presente estudio está según la NPT 339.162:2018. Del reglamento nacional de construcción norma técnica de edificación e.050 suelos y cimentaciones, el profesional responsable deberá tomar las precauciones necesarias a fin de evitar accidentes.

Se excavaron una (01) Calicata o Pozo a cielo abierto, la cual se profundizó hasta un máximo de 3.00 mts.

Estos sondeos se ubicaron de tal forma que permitan establecer una información estratigráfica adecuada para adoptar los criterios de cimentación para la estructura, considerando la ubicación de las diferentes estructuras a construir (colegios, edificios, hospitales, etc.).

Se tomaron muestras disturbadas a lo largo de las excavaciones, en cantidad suficiente para su análisis.

De cada estrato de suelo identificado, se tomaron muestras representativas, las que convenientemente identificadas con doble tarjeta de registro fueron empaquetadas en bolsas de polietileno y trasladadas al laboratorio para efectuar los ensayos de sus características físicas, llevándose un registro correlativo de muestras, que permitió controlar la procedencia y ubicación de cada muestra.

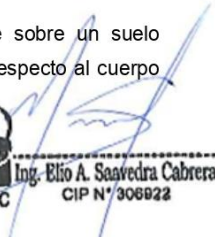
3.2 REGISTRO DE CALICATAS.

Como parte de la evaluación geotécnica del suelo de subrasante existente a lo largo del área del proyecto, se llevó a cabo un programa de exploración de campo, mediante la excavación de calicatas a cielo abierto y recolección de muestras para ser ensayadas en el laboratorio.

3.3 MUESTREO DE SUELOS

El objetivo del muestreo de suelos es obtener información confiable sobre un suelo específico. Aunque las muestras se colectan para obtener información respecto al cuerpo

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR


LABORTEC
Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



de suelo más grande denominado "población", tales muestras podrán ser o no representativas de la misma, dependiendo de cómo hayan sido seleccionadas y colectadas. Todos los suelos son naturalmente variables: sus propiedades cambian, horizontalmente, de manera transversal al paisaje y, verticalmente, más abajo del perfil del suelo. Lo primero que hay que consignar en la obtención de una muestra es que ésta sea representativa del terreno.

Todo estudio geotécnico debe iniciarse con un reconocimiento detallado del terreno a cargo de personal experimentado. El objetivo de este reconocimiento es contar con antecedentes geotécnicos previos para programar la exploración. El programa de exploración que se elija debe tener suficiente flexibilidad para adaptarse a los imprevistos geotécnicos que se presenten. No existen un método de reconocimiento o exploración que sea de uso universal, para todos los tipos de suelos existentes y para todas las estructuras u obras que se estudian.

a) Calicatas

Las calicatas permiten la inspección directa del suelo que se desea estudiar y, por lo tanto, es el método de exploración que normalmente entrega la información más confiable y completa. En suelos con grava, la calicata es el único medio de exploración que puede entregar información confiable, y es un medio muy efectivo para exploración y muestreo de suelos de fundación y materiales de construcción a un costo relativamente bajo.

Es necesario registrar la ubicación y elevación de cada pozo, los que son numerados según la ubicación. Si un pozo programado no se ejecuta, es preferible mantener el número del pozo en el registro como "no realizado" en vez de volver a usar el número en otro lugar, para eliminar confusiones. A cada calicata se le deberá realizar un registro adecuado que pasará a formar parte del informe respectivo.

b) Muestras alteradas

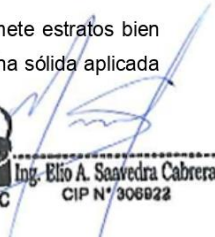
Se obtienen en general de las paredes de los pozos y comprometen estratos determinados o bien la suma de algunos de ellos, como es el caso de la investigación de yacimientos. Estas muestras deben guardarse en bolsas impermeables y de resistencia adecuada. Cada bolsa debe identificarse clara e indeleblemente.

Muestras en bolsas: Las muestras en bolsas se toman con pala, barreta o cualquier otra herramienta de mano conveniente y se colocan en bolsas sin tratar de mantener al suelo en forma inalterada.

c) Muestras inalteradas.

Este tipo de muestra se recorta de las paredes de los pozos y compromete estratos bien definidos. Después de cortadas deben revestirse con una capa de parafina sólida aplicada

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR


LABORTEC
Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



con brocha. Es conveniente agregar alrededor de un 30% de cera virgen a la parafina sólida con el fin de que la capa protectora sea menos rígida.

Si la consistencia de la muestra es relativamente blanda, debe rodearse de grasa y recubrir una vez más con parafina sólida y cera. Una vez dado el tratamiento anterior, debe colocarse en cajas de madera con aserrín u otro producto que actúe como amortiguador de golpes. Las muestras sin perturbar deberán tomarse apenas excavadas las calicatas, en especial cuando se trate de suelos cuya estructura se ve afectada por los cambios de humedad. En todo caso, al tomar una muestra no perturbada, debe elegirse la pared de la calicata menos expuesta al sol y debe excavarse el espesor superficial que haya sido afectado por los cambios de humedad. No deben escatimarse esfuerzos en el embalaje adecuado de las muestras, ya que el grado de perturbación que se le ocasione a una muestra no perturbada es irrecuperable y lleva a resultados erróneos.

En las calicatas, es posible realizar ensayos en sitio tales como las pruebas de carga con placas, CBR, permeabilidades, medidas de densidad, etc. Las pruebas de carga pueden realizarse contra el fondo de la perforación o las paredes de la misma. Cada vez que sea necesario realizar un ensayo en sitio en una calicata, la excavación deberá realizarse considerando este hecho, dado que este tipo de prueba obliga a tomar medidas especiales que determinan la forma de excavación.

Es así como la toma de densidades obliga a realizar éstas a medida que la excavación se realiza, o bien es necesario dejar bancos intermedios. El muestreo es tan importante como el ensayo y se deben tomar las precauciones para obtener muestras que exhiban la naturaleza real y condiciones de los suelos que se representan.

Salvo situaciones que exijan determinación de resistencia o consolidación, las muestras necesarias para diseño de superestructura de obras proyectadas. Dentro de los trabajos exploratorios se realiza una prospección visual manual, para obtener algunos parámetros en campo como son:

- **Tamaño:** Los suelos gruesos son aquellos en que más de la mitad de las partículas son visibles. En esta estimación se excluyen las partículas gruesas mayores a 80 mm (3"); sin embargo, tal fracción debe ser estimada visualmente y el porcentaje indicado independientemente del material inferior a 80 mm. La fracción gruesa comprende los tamaños de gravas y arenas, y la fracción fina los limos y arcillas. En caso de suelos mixtos, la muestra se identificará sobre la base de la fracción predominante usando los siguientes adjetivos, según la proporción de la fracción menos representativa; indicios: 0-10%, poco: 10-20%, algo: 20-35%; y abundante: 35-50%.

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR


LABORTEC
Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



- **Olor:** Las muestras recientes de suelos orgánicos tienen un olor distintivo que ayuda a su identificación. El olor puede hacerse manifiesto calentando una muestra húmeda.
- **Color:** Se debe indicar el color predominante.
- **Humedad:** En las muestras recientes deberá registrarse la humedad. Los materiales secos necesitan una cantidad considerable de agua para obtener un óptimo de compactación. Los materiales húmedos están cerca del contenido óptimo. Los mojados necesitan secarse para llegar al óptimo, y los saturados son los suelos ubicados bajo un nivel freático.
- **Estructura:** Si los materiales presentan capas alternadas de varios tipos o colores se denominará estratificado; si las capas o colores son delgados, inferior a 6 mm, será descrito como laminado; fisurado si presenta grietas definidas; lenticular si presenta inclusión de suelos de textura diferente.
- **Cementación:** Algunos suelos muestran definida evidencia de cementación en estado inalterado. Esto debe destacarse e indicar el grado de cementación, descrito como débil o fuerte. Verificando con ácido clorhídrico si es debida a carbonatos y su intensidad como ninguna, débil o fuerte.
- **Densificación:** La compactación o densidad relativa de suelos sin cohesión puede ser descrita como suelta o densa, dependiendo de la dificultad que oponga a la penetración de una cuña de madera.
La consistencia de suelos cohesivos puede ser determinada en sitio o sobre muestras inalteradas de acuerdo con el criterio indicado.
Los valores de resistencia al corte están basados en correlaciones con penetrómetro de bolsillo usado frecuentemente para estimar la consistencia.
- **Clasificación:** Se debe indicar además la clasificación probable. Pueden usarse clasificaciones dobles cuando un suelo no pertenece claramente a uno de los grupos, pero tiene fuertes características de ambos grupos. Deben colocarse entre paréntesis para indicar que han sido estimadas.
- **Nombre local:** El uso de nombres típicos tales como caliche, maicillo, pumicita, canchagua, etc., además de su designación según el sistema de clasificación de suelo, ayuda a identificar sus condiciones naturales.

Todos los trabajos de campo fueron realizados, por el personal calificado del laboratorio de suelo LABORTEC E.I.R.L., a cargo del Técnico ELIO AUGUSTO SAAVEDRA CABRERA y se programaron de tal manera que toda el área de investigación fuera cubierta. Las características físicas y mecánicas del material extraído se pueden ver en los registros correspondientes de los perfiles estratigráficos de sondaje.

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR


LABORTEC Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



4. ENSAYOS DE LABORATORIO

Las muestras seleccionadas como representativas fueron enviadas al Laboratorio Técnico especializado en Suelos, Concreto y Asfalto, para la realización de los ensayos estándar, para determinar el Angulo de fricción interna de los suelos y la cohesión del mismo, para el cálculo de la capacidad portante.

4.1 ENSAYOS ESTÁNDAR

Con las muestras de suelos tomadas en el campo se han efectuado los siguientes ensayos, con fines de identificación de suelos:

CUADRO N° 06

-	Análisis Granulométrico por tamizado	(NTP 339.128)
-	Límite Líquido	(NTP 339.129)
-	Límite Plástico	(NTP 339.129)
-	Contenido de Humedad	(NTP339.127)
-	Peso volumétrico	(NTP 339.139:1999)
-	Densidad Natural	(Norma ASTM D1556)4.
-	Clasificación SUCS.	(NTP 339.134)4.
-	Ensayo de corte directo	(NTP 339.171:2002)
-	Sales solubles en los suelos	(NTP 339.152:2002)

4.2 TRABAJOS EN LABORATORIO

Antes de su ingreso al laboratorio para el análisis respectivo, las muestras tienen que ser secadas, molidas, tamizadas, homogenizadas, cuarteadas y correctamente identificadas, según el objetivo que se persiga con ellas.

Antes de su ingreso al laboratorio para el análisis respectivo, las muestras tienen que ser secadas, molidas, tamizadas, homogenizadas, cuarteadas y correctamente identificadas, según el objetivo que se persiga con ellas.

4.2.1 Secado

Las muestras que se piensen almacenar durante algún tiempo antes de concluirlos análisis se deben secar previamente para evitar cambios químicos que se puedan producir al almacenarlas húmedas durante mucho tiempo Debido a las rápidas variaciones que se producen en las condiciones químicas del suelo durante la desecación, algunos análisis se recomiendan hacerlos usando muestras húmedas poco después de haber sido tomadas en el campo.

Los valores que pueden sufrir cambios durante el desecado son los que corresponden a pH. Muchas determinaciones no se afectan significativamente al ser secadas al aire con el fin de almacenarlos. Para el secado, las muestras se extienden en una superficie plana sobre bandejas o papel limpio, en un local bien ventilado. Se debe evitar el secado brusco utilizando altas temperaturas.

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR


LABORTEC
Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



4.2.2 Identificación

Una vez homogenizadas las muestras se envasan adecuadamente en bolsas de plástico o papel, selladas adecuadamente y se identifican con toda la información necesaria para ser procesado en los ensayos básicos de clasificación de suelos.

4.2.3 Granulometría

La granulometría se define como la distribución de los diferentes tamaños de las partículas de un suelo, expresado como un porcentaje en relación con el peso total de la muestra seca. Aprenderemos a utilizarla como un instrumento en la clasificación de los materiales, ya que la descripción por tamaño tiene especial interés en la selección de materiales para rellenos de carreteras y presas, los cuales requieren materiales con graduaciones determinadas.

IMAGEN N° 04 – ENSAYO GRANULOMETRICO



Distribución Granulométrica; Se denomina distribución granulométrica de un suelo a la división de este en diferentes fracciones, seleccionadas por el tamaño de sus partículas componentes; las partículas de cada fracción se caracterizan porque su tamaño se encuentra comprendido entre un valor máximo y un valor mínimo, en forma correlativa para las distintas fracciones de tal modo que el máximo de una fracción es el mínimo de la que le sigue correlativamente.

4.2.4 Clasificación de Suelos

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) deriva de un sistema desarrollado por A. Casagrande para identificar y agrupar suelos en forma rápida en obras militares durante la guerra. Este sistema divide los suelos primero en dos grandes grupos, de granos gruesos y de granos finos.

Los primeros tienen más del 50 por ciento en peso de granos mayores que 0,08 mm; se representan por el símbolo G si más de la mitad, en peso, de las partículas gruesas son retenidas en tamiz 5 mm, y por el símbolo S si más de la mitad pasa por tamiz 5 mm. A la G o a la S se les agrega una segunda letra que describe la graduación: W, buena graduación con poco o ningún fino; P, graduación pobre, uniforme o discontinua con

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR

 **Ing. Elio A. Saavedra Cabrera**
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



poco o ningún fino; M, que contiene limo o limo y arena; C, que contiene arcilla o arena y arcilla.

Los suelos finos, con más del 50 por ciento bajo tamiz 0,08 mm, se dividen en tres grupos, las arcillas (C), los limos (M) y limos o arcillas orgánicos (O). Estos símbolos están seguidos por una segunda letra que depende de la magnitud del límite líquido e indica la compresibilidad relativa: L, si el límite líquido es menor a 50 y H, si es mayor.

4.2.5 Contenido de Humedad

El proceso de la obtención del contenido de humedad de una muestra se hace en laboratorios, el equipo de trabajo consiste en un horno donde la temperatura pueda ser controlable. Una vez tomada la muestra del sólido en estado natural se introduce al horno. Ahí se calienta el espécimen a una temperatura de más de 100 grados Celsius, para producir la evaporación del agua y su escape a través de ventanillas. Se debe ser cuidadoso de no sobrepasar el límite, para no correr el riesgo de que el suelo quede cremado con la alteración del cociente de la determinación del contenido de humedad. El material debe permanecer un periodo de doce horas en el horno, por esta razón se acostumbra a iniciar el calentamiento de la muestra de suelo al final del día, para que así de deshidrate durante toda la noche. El objetivo del estudio es conocer y determinar el porcentaje de humedad de suelo.

Es la proporción porcentual entre la fase líquida (agua) y la parte sólida del suelo (partículas minerales del suelo).

Se muestra en la siguiente expresión:

$$w(\%) = \frac{W_w * 100}{W_s}$$

W_w = Peso del agua en la muestra

W_s = Peso del suelo seco

4.2.6 Límites de Atterberg (LL, LP, IP)

• Determinación del límite líquido, plástico e índice plástico.

El objetivo del ensayo es determinar el límite líquido, plástico e índice plástico de una muestra de suelo.

Una vez realizado el análisis granulométrico el cual nos permite estudiar el tamaño de estas partículas y medir la importancia que tendrán según la fracción de suelo que representen (gruesos, gravas, arenas, limos y arcillas). Si bien un análisis granulométrico es suficiente para gravas y arenas, cuando se trata de arcillas y limos, turbas y margas se debe completar el estudio con ensayos que definan la plasticidad del material.

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR


LABORTEC
Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



Límite Líquido LL: es el contenido de humedad por encima del cual la mezcla suelo-agua pasa a un estado líquido. En este estado la mezcla se comporta como un fluido viscoso y fluye bajo su propio peso. Por debajo de este contenido de humedad la mezcla se encuentra en estado plástico. Cualquier cambio en el contenido de humedad a cualquier lado de LL produce un cambio en el volumen del suelo.

Límite Plástico LP: es el contenido de humedad por encima del cual la mezcla suelo-agua pasa a un estado plástico. En este estado la mezcla se deforma a cualquier forma bajo ligera presión. Por debajo de este contenido de humedad la mezcla está en un estado semi sólido. Cualquier cambio en el contenido de humedad a cualquier lado de LP produce un cambio en el volumen del suelo.

Índice de Plasticidad IP: Atterberg definió el índice de plasticidad para describir el rango de contenido de humedad natural sobre el cual el suelo era plástico. El índice de plasticidad IP, es por tanto numéricamente igual a la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico:

$$IP = LL - LP$$

5. PERFILES ESTATIGRÁFICOS

De acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación de campo realizada en la zona, en base a la calicata, luego del estudio obtenido de los récords de las excavaciones, así como los ensayos de laboratorio, se puede establecer la siguiente descripción:

- Las calicatas y trincheras serán realizadas según la NTP 339.162:2018. del Reglamento Nacional De Construcción NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.050 SUELOS Y CIMENTACIONES, El Profesional Responsable deberá tomar las precauciones necesarias a fin de evitar accidentes.
- Se realizó una descripción e identificación de suelos. Procedimiento visual – Manual según NTP 339.150:2018

Calicata C-01

- De 0.00 a 0.10 m. – PT – Suelo disturbado.
- De 0.10 a 3.00 m. – SC – Arena arcillosa.

Contenido de Humedad	(%)	12.88
Límite Líquido (LL)	(%)	21
Límite Plástico (LP)	(%)	9
Índice Plástico (IP)	(%)	12
Clasificación (S.U.C.S.)		SC
Clasificación (AASHTO)		A-2-6
Color		Marrón
Consistencia		Compacto
Índice de Grupo		0

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR



Ing. Elío A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



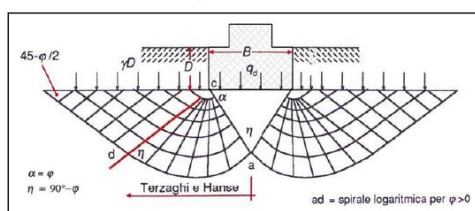
6. ANALISIS DE LA CIMENTACION

De acuerdo con la información proporcionada por el solicitante, del proyecto: “**RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS DE ESTABILIDAD DE TALUDES BAJO CARGA ESTÁTICA Y PSEUDOESTÁTICA MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE Y MÉTODOS NUMÉRICOS EN EL SECTOR CULLCUY, SANTA MARÍA DEL VALLE – HUÁNUCO, 2024.**”. Se va a emplear un sistema estructural conformado por zapatas cuadradas aisladas.

El concepto estructural de las zapatas cuadradas aisladas; es un tipo de cimentación superficial, su función es anclar y transmitir las tensiones que genera una estructura al terreno sobre el que se encuentra.

$$q_b = 1.3 * C * N_c + \gamma_1 * D_f * N_q + 0.4 * \gamma_2 * B * N_\gamma$$

Figura N° 01



- D_f = Profundidad de desplante
- γ_m = Peso específico volumétrico del suelo (cada estrato)
- B = Ancho de cimentación
- N_c, N_q, N_γ = Factores de capacidad de carga que depende de la fricción (ϕ).
- $F.S.$ = Factor de seguridad

6.1 TIPO DE CIMENTACIÓN.

Dada la naturaleza del terreno a cimentar y las magnitudes posibles de las cargas se recomienda utilizar una cimentación con zapatas cuadradas aisladas.

6.2 PROFUNDIDAD DE LA CIMENTACIÓN.

Basado en los trabajos de campo, ensayos de laboratorio, perfiles y registros estratigráficos y las condiciones de ausencia nivel freático y las características de las estructuras, se recomienda cimentar a una profundidad:

$$D_f = 1.80 \text{ m. Del nivel de la cota } 0.00 \text{ m.}$$

6.3 CÁPACIDAD ADMISIBLE DE CARGA.

Se ha determinado la capacidad portante admisible del terreno en base a las características del subsuelo y se han propuesto dimensiones recomendables para cimentación.

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe puede ser verificado mediante el código QR


Ing. Elío A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



6.3.1 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE C - 01

La capacidad de carga se ha determinado en base a la fórmula de Terzaghi y Peck, con los parámetros de Vesic. De acuerdo con las dimensiones las zapatas cuadradas empleadas en los sistemas de diseño, se ha considerado un ancho de cimentación de 1.60 m. para las zapatas cuadradas.

De acuerdo con lo verificado In Situ, confirmado en Laboratorio, se han obtenido los siguientes valores:

Ángulo de fricción interna: $\phi = 34.9^\circ$, y cohesión $c = 0.14 \text{ kg/cm}^2$

Del análisis de los resultados, de la revisión y verificación de los datos de campo y aplicando la experiencia del suscrito en este tipo de suelos, se ha seleccionado como representativa para los cálculos de la capacidad portante los resultados indicados y se ha considerado el criterio de falla local para los presentes cálculos.

Para los cálculos de la capacidad portante admisible del suelo de fundación, se consideraron las ecuaciones 01 y 02 de Terzaghi, para zapatas cuadradas y cimiento corrido respectivamente.

$$q_h = 1.3 * C * N_c + \gamma * D_f * N_q + 0.4 * \gamma * B * N_\gamma$$

$$q_h = C * N_c + \gamma * D_f * N_q + 0.5 * \gamma * B * N_\gamma$$

• Zapatas Cuadradas

$$q_h = 1.3C * N_c + \gamma_1 * D_f * N_q + 0.5 * \gamma_2 * B * N_\gamma$$

De los ensayos de laboratorio se obtuvieron los siguientes parámetros:

o	Peso volumétrico seco	(γ)	=	1.835	ton/m ³	
o	Ángulo de fricción interna	(ϕ)	=	34.9	ϕ'	
o	Ángulo de fricción interna	(ϕ)	=	24.9	ϕ''	
o	Cohesión	(c)	=	0.96	ton/m ²	
o	Ancho de Zapata	(B)	=	1.00	m.	
o	Profundidad de cimentación	(Df)	=	1.00	m.	
o	Presencia de nivel freático		=	NO		
o	Considerando Falla Local		=	SI		
o	Factor de seguridad	(Fs)	=	3.0		
o	Factores de carga adimensionales		:			
				Nc'	20.64	
				Nq'	10.6	
				N γ'	10.79	
$q_h = 1.3 * 0.96 * 20.6 + 1.835 * 1.00 * 10.60 + 0.40 * 1.835 * 1.00 * 10.8$						
$q_h = 25.81 + 19.45 + 7.92$						
$q_h = 53.18 \text{ ton/m}^2$						
$q_h = \frac{53.18}{3.0} \text{ ton/m}^2$						
$q_h = 17.727 \text{ ton/m}^2$						
$q_h = 1.77 \text{ Kg/cm}^2$						

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe puede ser verificado mediante el código QR


LABORTEC
Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



• Cimiento Corrido

Aplicando la fórmula 02 de Terzaghi, para cimiento corrido.

$$q_h = C * N_c + \gamma * D_f * N_q + 0.5 * \gamma * B * N_\gamma$$

De los ensayos de laboratorio se obtuvieron los siguientes parámetros:

o	Peso volumétrico seco	(γ)	=	1.835	ton/cm ³
o	Ángulo de fricción interna	(ϕ)	=	34.9	°
o	Cohesión	(c)	=	0.96	ton/cm ²
o	Ancho de Zapata	(B)	=	1.00	m.
o	Profundidad de cimentación	(Df)	=	1.00	m.
o	Presencia de nivel freático		=	NO	
o	Factor de seguridad	(Fs)	=	3.0	
o	Factores de carga adimensionales		:		
		Nc'	=	20.64	
		Nq'	=	10.6	
		N γ '	=	10.79	

$$q_h = 0.96 * 20.6 + 1.835 * 1.00 * 10.60 + 0.50 * 1.835 * 1.00 * 10.8$$

$$q_h = 19.86 + 19.450 + 9.900$$

$$q_h = 49.21 \text{ ton/m}^2$$

$$q_h = \frac{49.21}{3.0} \text{ ton/m}^2$$

$$q_h = 16.4 \text{ ton/m}^2$$

$$q_h = 1.64 \text{ Kg/cm}^2$$

TABLA 03 – RESULTADOS DE CAPACIDAD DE CARGA

Las siguientes tablas muestran los diferentes valores posibles a diferente ancho y profundidad de cimentación de los suelos en el cual se ejecutará el proyecto en estudio.

C-01

CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (Kg/cm ²)					
PROFUNDIDAD (m)	PARA ZAPATA CUADRADA				
	ANCHO DE LA BASE (m)				
	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00
1.00	1.83	1.88	1.93	1.98	2.04
1.20	1.96	2.01	2.06	2.11	2.17
1.40	2.09	2.14	2.19	2.24	2.30
1.60	2.22	2.27	2.32	2.37	2.43
1.80	2.34	2.40	2.45	2.50	2.56
2.00	2.47	2.53	2.58	2.63	2.69
2.20	2.60	2.66	2.71	2.76	2.82
2.40	2.73	2.79	2.84	2.89	2.94
2.60	2.86	2.92	2.97	3.02	3.07
2.80	2.99	3.05	3.10	3.15	3.20
3.00	3.12	3.18	3.23	3.28	3.33

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR

LABORTEC
Ing. Elío A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (Kg/cm ²)					
PROFUNDIDAD (m)	CIMENTO CORRIDO				
	ANCHO DE LA BASE (m)				
	1.00	1.10	1.60	1.30	1.40
0.60	1.38	1.41	1.58	1.48	1.51
1.00	1.64	1.67	1.84	1.74	1.77
1.40	1.90	1.93	2.10	2.00	2.03
1.80	2.16	2.19	2.36	2.26	2.29
2.20	2.42	2.45	2.62	2.52	2.55
2.60	2.68	2.71	2.88	2.78	2.81
3.00	2.94	2.97	3.13	3.04	3.07

6.4 CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS TOTALES

6.4.1 CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS TOTALES C-01

Tratándose de un suelo con arena bien graduada con grava, se calcula por la teoría elástica aplicada por LAMBE y WHITMAN (1969), para los tipos de cimentación analizadas y el esfuerzo neto transmite un asentamiento uniforme que se puede evaluar por: El asentamiento elástico de la cimentación superficial se estimó mediante la Teoría de la Elasticidad

$$S_e = q_0 \cdot B \cdot (1 - \mu_s) \cdot I_f / E_s$$

Dónde:

Capacidad admisible de carga (ton/m ²)	=	53.18
Ancho de zapata (m)	=	1.00
Módulo de Elasticidad (ton/m ²)	=	3000
Relación de Poison	=	0.30
Factor de Forma L/B (cimentación flexible) (cm/m)	=	82.00
Factor de Forma L/B (cimentación rígida) (cm/m)	=	82.00
Asentamiento Permisible Flexible (cm)	=	1.32
Asentamiento Permisible Rígido (cm)	=	1.323

Remplazando valores se obtiene:

$$S_e = 1.323 \text{ cm.}$$

Se adoptó el criterio de limitar el asentamiento de la cimentación a 1 pulgada (2.54cm) según Terzaghi y Peck (1967). Luego:

$$S_e (1.323 \text{ cm}) < 1'' (2.54 \text{ cm})$$

Con los valores indicados, el asentamiento es menor a 2.54 cm, que es el asentamiento máximo tolerable para este tipo de cimentación. Recomendándose finalmente lo siguiente:

$$Q_{ad.} = 1.77 \text{ Kg/cm}^2$$

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe puede ser verificado mediante el código QR

LABORTEC
Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



De acuerdo con las características de los estratos del subsuelo en el área de estudio, no se esperan asentamientos, aunque se traten de suelos comprensibles y hay carencia de agua tanto superficial como subterránea.

RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE CIMENTACION

Tipo de Cimentación:

Zapatas cuadradas e interconectadas mediante vigas de cimentación

Estrato de Apoyo de la Cimentación:

GP-GM: Arena bien graduada con grava

Parámetros de diseño:

Df	=	1.80 m.
Qadm.	=	1.77 Kg/cm ²
F.S.	=	3.0
Asent. Difer.	=	1.323 cm.

7. CALCULO DE COEFICIENTE DE BALASTO

Uno de los métodos de cálculo más utilizado para modernizar la interacción entre estructuras de cimentación y terreno es el que supone el suelo equivalente a un número infinito de resortes elásticos -muelles o bielas biarticuladas- cuya rigidez, denominada módulo o coeficiente de balasto (K_s), se corresponde con el cociente entre la presión de contacto (q) y el desplazamiento -en su caso asiento- (δ):

A partir de la determinación de parámetros característicos del suelo (módulo de deformación, tensión admisible, etc.) que se relacionan con el módulo de balasto mediante fórmulas dadas por varios autores.

Es conocida, por ejemplo, la fórmula de Vesic en función del módulo de deformación o elasticidad (E_s) y coeficiente de Poisson (ν_s) el terreno, que en su forma reducida tiene la siguiente expresión:

$$k_s = E_s / [B (1 - \nu_s^2)]$$

Donde B es el ancho de la cimentación. 2.2 La fórmula de Klepikov:

Calicata 01

Capacidad admisible de carga (ton/m ²)	=	53.18
Ancho de zapata (m)	=	1.00
Módulo de Elasticidad (ton/m ²)	=	3000
Relación de Poisson	=	0.30
Módulo de Balasto (Modulus of subgrade reaction)	=	3297

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe puede ser verificado mediante el código QR



Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



8. AGRESIÓN DEL SUELO DE CIMENTACIÓN

De los resultados de las muestras obtenidas de la calicata para efectos de este informe se han seleccionado las muestras representativas de cada calicata en donde arroja los siguientes valores:

CALICATA 01

REPORTE DE RESULTADOS	LIMITES PERMISIBLES	RESULTADOS	
	%	VALOR	UNIDADES
Sulfatos como ión SO_4	0.06	0.0754	%
Cloruros como ión Cl	0.10	0.0648	%
pH a 15.9°C	>4	8.6	

Los principales elementos químicos para evaluar son los sulfatos y cloruros por su acción química sobre el concreto y acero del cimiento respectivamente.

TABLA N°08 - ELEMENTOS QUIMICOS NOCIVOS PARA LA CIMENTACION

PRESENCIA EN EL SUELO DE:	P.P.M.	GRADO DE ALTERACION	OBSERVACIONES
*SULFATOS	0-1000 1000 - 2000 2000 - 20,000 >20,000	LEVE MODERADO SEVERO MUY SEVERO	OCASIONA UN ATAQUE QUIMICO AL CONCRETO DE LA CIMENTACION
**CLORUROS	> 6,000	PERJUDICIAL	OCASIONA PROBLEMAS DE CORROSION DE ARMADURAS O ELEMENTOS METALICOS
**SALES SOLUBLES	> 15,000	PERJUDICIAL	OCASIONA PROBLEMAS DE PERDIDA DE RESISTENCIA MECANICA POR PROBLEMA DE LIXIVIACION

* Comité 318-83 ACI

** Experiencia existente

Observamos que la concentración de sales cloruros en la calicata, se encuentra por debajo de los valores permisibles, siendo el valor máximo obtenido igual a = 648 ppm que corresponde a la calicata C-01, menor que 6000ppm (valor permisible para cloruros), por lo que no ocasionará un ataque por corrosión del acero del concreto de la cimentación. De igual manera observamos concentraciones de sales sulfatos por debajo del valor permisible, siendo el valor máximo obtenido igual a = 975 ppm SO_4 , que corresponde a la calicata C-01, menor que 1000 ppm SO_4 (valor permisible para sulfatos) por lo que va a ocasionar un ataque insignificante a leve al concreto de la cimentación.

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe puede ser verificado mediante el código QR


LABORTEC
Ing. Elío A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



9. AGUA EN EL SUELO

9.1. INTRODUCCIÓN

Después de haber analizado las propiedades más importantes y necesarias para una identificación y clasificación de los suelos, se sigue con el estudio de las propiedades mecánicas relacionadas con una de sus fases, la fase líquida, que generalmente se refiere al agua en sus diferentes formas o estados. Las aguas Freáticas, son entonces las aguas que encontramos cuando el suelo está saturado, y están por debajo de este nivel freático. Este nivel freático es muy variable, y encontramos que, en el verano, cuando el calor se hace más intenso, el nivel freático baja, por el proceso de evaporación que genera el calor en el verano. Así también encontramos que el nivel freático en el tiempo de lluvia, sube, y puede llegar hasta muy altos niveles, es decir a muy poca profundidad, el sitio donde empiezan las aguas freáticas, pudiendo ser un factor importante en la construcción.

9.2. RECONOCIMIENTO DE AGUAS FREÁTICAS

En el campo podemos conocer el nivel del agua freática abriendo un hueco en la tierra, de tal manera que podamos ver dentro del (50 x 50 centímetros), y esperar que el nivel del agua se estabilice.

De esta forma podemos después de una hora más o menos, que el nivel donde tenemos el agua será el nivel freático, para poder saber dónde se encuentra el nivel freático simplemente se toma la distancia de la superficie de la tierra, al punto donde el suelo está saturado, hallamos el Nivel Freático.

El punto donde el suelo está saturado de agua se puede hallar por medio del ensayo de Contenido de Humedad, el cual nos permite saber, que porcentaje de agua hay en los vacíos del suelo, y cuando este porcentaje sea el 70% al 80%, querrá decir que este suelo está saturado, estando dentro de las aguas freáticas.

Durante la realización del presente informe se realizó una calicata con el fin de determinar la profundidad del nivel freático con respecto a la topografía del terreno y no se detectó la presencia de la misma hasta la profundidad máxima prospectada que fue de 3.00 m.

Cuadro N° 07 – UBICACIÓN DE NIVEL FREATICO

UBICACIÓN	NIVEL FREATICO	PROFUNDIDAD
C-01	NO	-

Los certificados de los ensayos de laboratorio se anexan.

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR


LABORTEC Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



10. PARÁMETROS DE EMPUJE LATERAL DE TIERRAS

Para definir el empuje de los suelos sobre las estructuras de retención, podemos decir en forma general, que en ellos se involucran todos los problemas que se le presentan al ingeniero para determinar las tensiones en la masa del suelo que actúan sobre una estructura. En este apunte daremos las nociones básicas para poder calcular los empujes laterales de los suelos contra las estructuras. Como primera medida debemos decir que el tipo de empuje depende, tanto de la naturaleza del suelo como del tipo de estructura, ya que se trata de un problema de interacción entre ambos. La mecánica de suelos se basa en varias teorías para calcular la distribución de tensiones que se producen en los suelos y sobre las estructuras de retención.

Cronológicamente, Coulomb (1776) fue el primero que estudió la distribución de tensiones sobre muros.

Posteriormente, Rankine (1875) publicó sus experiencias, y por último y ya en el siglo XX se conoce la teoría de la cuña, debida a varios autores, pero especialmente a Terzaghi.

$$K_o \approx 1 - \sin \phi$$

$$K_o = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

CALICATA C-01

COEFICIENTE DE REPOSO

CORTE DIRECTO CALICATA 01

$$\begin{aligned} \phi &= 34.9 \\ K_o &0.070 \end{aligned}$$

COEFICIENTE DE PRESION ACTIVA

$$\begin{aligned} \phi &= 34.9 \\ K_a &0.272 \end{aligned}$$

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR.


LABORTEC Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



11. RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE CALZADURAS O MURO DE CONTENCIÓN ARMADO

Un muro de contención es una estructura que tiene la finalidad de proporcionar estabilidad contra la rotura de macizos de tierra o roca. El buen diseño de un muro de contención es fundamental ya que brindara apoyo lateral permanente a taludes verticales o casi verticales del suelo. La estabilidad del muro de contención se debe a su peso al del material usado en su escarpio.

El cálculo de un muro de contención requiere tener claras las características del terreno que se quiere contener para así establecer el empuje que ofrece la tierra y la presión lateral del terreno, considerando las presiones que puede presentar la tierra cuando contiene agua. Una vez claro esto, se debe tener presente el tipo de muro de contención del que se desea tener el cálculo.

A partir de ello, se deben tener presente los tres criterios que influyen en el cálculo de un muro de contención:

Datos Generales: en este criterio se deben considerar: densidad del suelo, ángulo de fricción o ángulo de corte del suelo, resistencia del concreto a las fuerzas de compresión, fluencia del acero (en caso de requerir en el muro), resistencia del terreno a cargas axiales, altura del muro de contención libre, factor de seguridad a deslizamiento y factor de seguridad a volteo.

Cálculo de Esfuerzos: entre los cálculos de esfuerzo se encuentran el factor del suelo a comportamiento triangular, espesor de la pantalla del muro de contención y peralte efectivo del trabajo del fierro del muro.

Verificación de estabilidad y resistencia a través de los siguientes parámetros: a) verificación de deslizamiento: donde la fuerza horizontal de empuje del terreno nunca supere la fuerza de retención.

Esto puede ocurrir cuando hay fricción entre el suelo y la cimentación siendo proporcional al peso del muro. Una relación $Fr/Fh > 1.3$ (coeficiente de seguridad para deslizamiento) es considerada normal; b) verificación de volteo: el momento de fuerza de volteo del muro debe ser inferior al momento de fuerza que estabiliza el muro. Para ello, la relación idónea debería ser: $Me/Mv > 1.5$, valor del coeficiente de seguridad para volteo; c) verificación de la capacidad de sustentación: se relaciona a la carga total que actúa sobre la cimentación del muro, que sea mucho menor a la capacidad portante. Es decir, que la máxima tensión que sea producida por el muro sea menor a la tensión en el terreno. $Tp/Ta > 1.0$ (coeficiente de seguridad para la sustentación) y d) verificación de la estabilidad global: en este parámetro, todos los aspectos respecto al muro de contención deben tener un buen coeficiente de seguridad global.

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR


LABORTEC
Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El área en estudio se ubica en el distrito de Santa María del Valle, provincia y departamento de Huánuco, se ubica a una altitud promedio de 300 - 400 metros sobre el nivel del mar (msnm). La temperatura promedio es de 26°C / 15°C.
- La muestra de la Calicata 01 corresponden a una clasificación de suelos SUCS: **SC** (arena arcillosa con grava”).
Los certificados de los ensayos de laboratorio se anexan.
- Los valores obtenidos para la capacidad de carga admisible para el diseño de la cimentación:
 - **De la C-01 Recomendamos como valor único de diseño $q_{ad} = 1.77 \text{ Kg/cm}^2$**
- Con estos valores, no se espera problemas por asentamientos, ya que están por debajo de lo permisible.
- Basado en los trabajos de campo, ensayos de laboratorio, perfiles y registros estratigráficos y las condiciones de ausencia nivel freático y las características de las estructuras, se recomienda cimentar a una profundidad: **Df = 1.80 m.** del nivel 0.00m.
- Deberá garantizarse que las Zapatas cuadrada e interconectadas de cimentación queden apoyados sobre materiales adecuados para la capacidad especificada y particularmente sobre los estratos recomendados.
- Se realizó una descripción e identificación de suelos. Procedimiento visual – Manual según NTP 339.150:2018.
- Las Excavaciones se realizaron de manera manual utilizando (picos, palas y barretas) de manera de poder encontrar terreno firme.
- Los asentamientos producidos debido a la sollicitación de las cargas actuantes serán absorbidos por la cimentación propuesta.
- En el área de estudio se determinó que no hay presencia de nivel freático no siendo perjudicial para las estructuras si la cimentación y las zapatas son implementadas con un **Df** no mayor a 1.6 m por todo lo expuesto se concluye usar el cemento tipo I para las estructuras que conformaran la cimentación.
- Si en el periodo de diseños se hacen cambios o si durante la construcción se encuentran diferencias con las condiciones del subsuelo establecidas en este informe, se debe comunicar a un especialista en mecánica de suelos para evaluar las recomendaciones de este informe.
- Se recomienda realizar un control de calidad de todos los materiales e utilizarse en la construcción de los cimientos, en especial a los agregados (piedra y arena).

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR


LABORTEC Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



- Se recomienda no cimentar sobre rellenos no controlados, para los falsos pisos se debe retirar el material de relleno a una profundidad de 40 cm, los cuales deberán ser reemplazado por material granular debidamente seleccionado y compactados antes de iniciar la construcción de la cimentación.
- El Material Seleccionado con el que se debe construir el Relleno Controlado deberá ser compactado de la siguiente manera:
 - a) Si tiene más de 12% de finos, deberá compactarse a una densidad mayor o igual del 90% de la máxima densidad seca del método de ensayo Proctor Modificado, NTP 339.141:1999, en todo su espesor.
 - b) Si tiene igual o menos de 12% de finos, deberá compactarse a una densidad no menor del 95% de la máxima densidad seca del método de ensayo Proctor Modificado, NTP 339.141:1999, en todo su espesor.
- En todos los casos deberán realizarse controles de compactación en todas las capas compactadas, a razón necesariamente, de un control por cada 250 m² con un mínimo de tres controles por capa. En áreas pequeñas (igual o menores a 25 m²) se aceptará un ensayo como mínimo. En cualquier caso, el espesor máximo a controlar será de 0,30 m de espesor. Seguir las recomendaciones.
- Según los mapas de zonificación sísmica y mapas de máximas intensidades sísmicas del Perú y de acuerdo con las normas sismo-resistentes del Reglamento Nacional de Edificaciones, el Distrito de Chinchao, Provincia de Huánuco y Región Huánuco, se encuentra comprendida en la zona 2.

Parámetro de Suelo T _p (seg.)	0.60 seg.
Parámetro de Suelo T _L (seg.)	2.0 seg.
Perfil de suelos	Tipo 2 – Suelos Intermedios
Factor de Suelo - S ₂	1.20
Factor de Zona – 2	0.25

Los resultados de este estudio se aplican exclusivamente al proyecto: **“RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS DE ESTABILIDAD DE TALUDES BAJO CARGA ESTÁTICA Y PSEUDOESTÁTICA MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE Y MÉTODOS NUMÉRICOS EN EL SECTOR CULLCUY, SANTA MARÍA DEL VALLE – HUÁNUCO, 2024.”**, no se pueden utilizar en otros sectores o para otros fines.

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe puede ser verificado mediante el código QR


LABORTEC
Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Norma E-050, Suelos y Cimentaciones
- Norma E-030, Diseño Sismo resistente
- Alva Hurtado J.E., Meneses J. Y Guzmán V. V. (1984), "Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú", V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú.
- Juárez Badillo – Rico Rodríguez: Mecánica de Suelos, Tomos I, II.
- Karl Terzaghi / Ralph B. Peck: Mecánica de Suelos en la ingeniería Práctica. Segunda Edición 1973.
- T William Lambe Robert V. Whitman. Primera Edición 1972.
- Roberto Michelena / Mecánica de Suelos Aplicada. Primera Edición 1991.
- Reglamento Nacional de Construcciones CAPECO Quinta Edición 1987.
- RNC Normas de Diseño Sismo Resistente
- Cimentación de Concreto Armado en Edificaciones – ACI American Concrete Institute. Segunda Edición 1993.
- Supervisión de Obras de Concreto – ACI American Institute. Tercera Edición 1995.
- Recomendaciones para el proceso de Puesta en Obras de Estructuras de Concreto. Ing. Enrique Riva López /CONCYTEC 1988.
- Geotécnica para Ingenieros, Principios Básicos Alberto, J. Martínez Vargas /CONCYTEC 1990.

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR


LABORTEC Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



ANEXOS

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR.


LABORTEC Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



GRANULOMETRIA

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR.


LABORTEC Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



GRANULOMETRIA C-01

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR.


LABORTEC Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822

 LABORTEC LABORATORIO TECNICO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	CLASIFICACIÓN DE SUELOS LABORTEC EIRL Analisis Granulométrico NTP 339.128 (2014) / Limite Líquido y Limite Plástico NTP 339.129 (2014) / Clasificación SUCS NTP 339.134 (2014) / Clasificación AASHTO NTP 339.135 (2014)
	N° de Servicio: LAB-0078-2025

SOLICITANTE: BACH. TRUJILLO CHAVEZ ROYMER PROYECTO: "RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS DE ESTABILIDAD DE TALUDES BAJO CARGA ESTÁTICA Y PSEUDOESTÁTICA MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE Y MÉTODOS NUMÉRICOS EN EL SECTOR CULLCUY, SANTA MARÍA DEL VALLE – HUÁNUCO, 2024." UBICACIÓN: SECTOR CULLCUY, SANTA MARÍA DEL VALLE – HUÁNUCO	FECHA: Marzo, 2025
--	---------------------------

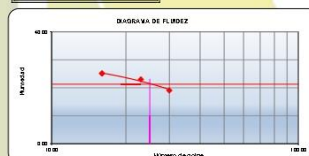
Sondeo: C-01 Muestra: M-1 Profundidad: 0.00 - 1.50 m.	Tipo de Material: Arena arcillosa Condición de la muestra: HUMEDA Código de Informe y ensayo: LAB310325940 Fecha de muestreo: Marzo, 2025
--	--

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO		
Denominación ASTM	TAMICES	
	Abertura (mm)	Porcentaje que pasa
3 pulg	75.000	100.0
2 pulg	50.000	100.0
1 1/2 pulg	37.500	100.0
1 pulg	25.000	100.0
3/4 pulg	19.000	98.0
3/8 pulg	9.500	95.4
No. 4	4.750	86.4
No. 10	2.000	76.1
No. 20	0.850	66.4
No. 40	0.425	55.9
No. 60	0.250	47.0
No. 140	0.106	34.6
No. 200	0.075	30.4

Distribución Granulométrica		
% Grava	Grava Gruesa	2.0 %
	Grava Fina	11.6 %
% Arena	AG%	10.3 %
	AM%	20.2 %
	AF%	25.5 %
% Finos		30.4 %
Tamaño Máximo de la Grava (pulg)		1
Forma del suelo grueso		Redondeada
Porcentaje retenido en la 3 pulg		0
Método de lavado Malla No. 200 Según NTP 400.018 (2018)		A
Coefficiente de Curvatura		---
Coefficiente de Uniformidad		---

RESULTADOS DEL ENSAYO LÍMITES DE CONSISTENCIA

Limite Líquido:	21
Limite Plástico:	9
Indice Plástico:	12



Método de ensayo	Multipunto
Preparación de la muestra	Húmeda
Porcentaje retenido aproximado en tamiz No. 40	44.1
Ranurador utilizado en el Limite Líquido	Plano
Equipo de Rolado en el Limite Plástico	Manual

Clasificación (S.U.C.S.)	
SC	Arena arcillosa
Clasificación (AASHTO)	
A-2-6	Indice de Grupo: 0
Descripción (AASHTO):	REGULAR



Observaciones

.....
Tipo de Preparación para ensayo Clasificación: Vía Húmeda

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.
 Prohibida la reproducción total o parcial del presente informe de ensayo sin la autorización escrita de Labortec EIRL.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio.
 El informe de ensayo es un documento "confidencial y de uso público", su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Sin perjuicio de lo señalado, dicho uso puede ser sancionado por los efectos una infracción a las normas de protección al consumidor y las que regulan la libre competencia.


Fayto D. Saavedra Cabrera
 TEC. LABORATORIO TECNICO DE SUELOS
 DE CONCRETO Y ASFALTO


Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
 CIP N° 306822

 LABORTEC LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	CLASIFICACIÓN DE SUELOS LABORTEC EIRL Analisis Granulométrico NTP 339.128 (2014) / Límite Líquido y Límite Plástico NTP 339.129 (2014) / Clasificación SUCS NTP 339.134 (2014) /	
---	--	--

REGISTRO DE SONDAJE

PROYECTO : RELACION ENTRE PARAMETROS DE ESTABILIDAD DE TALUDES BAJO CARGA ESTÁTICA Y PSEUDOESTÁTICA : MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE Y MÉTODOS NUMÉRICOS EN EL SECTOR CULLCUIY, SANTA MARÍA DEL VALLE – HUÁNUCO, 2024.*	UBICACIÓN : SECTOR CULLCUIY, SANTA MARÍA DEL VALLE – HUÁNUCO
SOLICITANTE : BACH. TRUJILLO CHAVEZ ROYMER	TÉCNICO : PASE AERIAL LABORTEC E.I.R.L.
CALICATA N° : C-01	FECHA : Marzo, 2025
PROF. (m) : 0.00 - 1.50 m.	NIVEL FREÁTICO : 1.45

PROF. (m)	MUESTRA	DESCRIPCIÓN	SUCS	SIMBOLOGÍA
0.00	M-0	Suelo Disturbado	PT	
0.15				
0.30				
0.45				
0.60				
0.75				
0.90				
1.05				
1.20				
1.35				
1.50	M-2	Arena arcillosa	SC	
1.65				
1.80				
1.95				
2.10				
2.25				
2.40				
2.55				
2.70				
2.85				
3.00				



Fayto D. Saavedra Cabrera
 T.E.C. LABORATORISTA DE SUELOS
 DE CONCRETO Y ASFALTO



Ing. Elío A. Saavedra Cabrera
 CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



CORTE DIRECTO

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR.


LABORTEC Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



CORTE DIRECTO C-01

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR.


LABORTEC Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS DE ESTABILIDAD DE TALUDES BAJO CARGA ESTÁTICA Y PSEUDOESTÁTICA MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE Y MÉTODOS NUMÉRICOS EN EL SECTOR CULLCUI, SANTA MARÍA DEL VALLE – HUÁNUCO, 2024.		
SOLICITADO :	TRUJILLO CHAVEZ ROYMER		
UBICACIÓN :	SECTOR CULLCUI, SANTA MARÍA DEL VALLE – HUÁNUCO		
ESPECIALISTA:	LABORTEC	FECHA :	MARZO DEL 2025
MUESTRA :	C-02 / KM 0+580	PROF (m) :	0.00 - 3.00 M
CONTENIDO DE HUMEDAD :		CARACTERÍSTICAS :	
Nº DE RECIPIENTE	(Anillo)	DIÁMETRO (cm.)	6.00
PESO DEL ANILLO+SUELO HÚMEDO (gr.)	171.00	ÁREA (cm2.)	28.27
PESO DEL ANILLO+SUELO SECO (gr.)	158.33	VOLUMEN (cm3.)	53.71
PESO DEL AGUA (gr.)	12.67	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm3)	2.067
PESO DEL ANILLO (gr.)	60.00	DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.830
PESO DEL SUELO SECO (gr.)	98.33	CLASIFICACIÓN SUCS	GC-GM
PORCENTAJE DE HUMEDAD (%)	12.9	FACTOR ANILLO	9.81 + 0.000

ESFUERZO NORMAL : **0,5** Kg/cm2

TIEMPO (min.)	EXTENSÓMETRO DE CARGA	DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	DEFORMACIÓN NORMAL	FUERZA (Kg)	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm2)
0.0	-	0.00		-	0.000
0.5	75.0	1.00		7.648	0.271
1.0	76.0	2.00		7.750	0.274
1.5	77.0	3.00		7.852	0.278
2.0	78.0	4.00		7.954	0.281
2.5	80.0	5.00		8.158	0.289
3.0	81.0	6.00		8.260	0.292
3.5	82.0	7.00		8.362	0.296
4.0	85.0	8.00		8.668	0.307
4.5	86.0	9.00		8.770	0.310
5.0	85.0	10.00		8.668	0.307
5.5	80.0	11.00		8.158	0.289
6.0	78.0	12.00		7.954	0.281
6.5	76.0	13.00		7.750	0.274





Fayto D. Saavedra Cabrera
TÉC. LABORATORISTA DE SUELOS DE CONCRETO Y ASFALTO





Ing. Elío A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



PROYECTO	"RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS DE ESTABILIDAD DE TALUDES BAJO CARGA ESTÁTICA Y PSEUDOESTÁTICA : MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE Y MÉTODOS NUMÉRICOS EN EL SECTOR CULLCUI, SANTA MARÍA DEL VALLE – HUÁNUCO, 2024."		
SOLICITADO	TRUJILLO CHAVEZ ROYMER		
UBICACIÓN	SECTOR CULLCUI, SANTA MARÍA DEL VALLE – HUÁNUCO		
ESPECIALISTA:	LABORTEC		
MUESTRA	C-02 / KM 0+580	EJECUTADO	LABORTEC E.I.R.L
		FECHA	MARZO DEL 2025
		PROF (m)	0.00 - 3.00 M

CONTENIDO DE HUMEDAD :		CARACTERÍSTICAS :		
Nº DE RECIPIENTE	(Anillo)	DIÁMETRO (cm.)	6.00	
PESO DEL ANILLO+SUELO HÚMEDO (gr.)	171.30	ÁREA (cm ²)	28.27	
PESO DEL ANILLO+SUELO SECO (gr.)	158.60	VOLUMEN (cm ³)	53.71	
PESO DEL AGUA (gr.)	12.70	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	2.072	
PESO DEL ANILLO (gr.)	60.00	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.835	
PESO DEL SUELO SECO (gr.)	98.60	CLASIFICACIÓN SUCS	GC-GM	
PORCENTAJE DE HUMEDAD (%)	12.9	FACTOR ANILLO	9.81	+ 0.000

[illegible]

Favio D. Saavedra Cabrera
TÉC. LABORATORISTA DE SUELOS
DE CONCRETO Y ASFALTO



Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306922

 LABORTEC LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO	NTP 339.171:2002 (revisada el 2017) Título: SUELOS. Método de ensayo normalizado para el corte directo de suelos bajo condiciones consolidadas drenadas V-1	
	ENSAYO DE CORTE DIRECTO	

PROYECTO : "RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS DE ESTABILIDAD DE TALUDES BAJO CARGA ESTÁTICA Y PSEUDOESTÁTICA MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE Y MÉTODOS NUMÉRICOS EN EL SECTOR CULLCUY, SANTA MARÍA DEL VALLE – HUÁNUCO, 2024."	
SOLICITADO : TRUJILLO CHAVEZ ROYMER	
UBICACIÓN : SECTOR CULLCUY, SANTA MARÍA DEL VALLE – HUÁNUCO	
ESPECIALISTA: LABORTEC	FECHA : MARZO DEL 2025
MUESTRA : C-02 / KM 0+580	PROF (m) : 0.00 - 3.00 M

CONTENIDO DE HUMEDAD :		CARACTERÍSTICAS :	
Nº DE RECIPIENTE	(Anillo)	DIÁMETRO (cm.)	6.00
PESO DEL ANILLO+SUELO HÚMEDO (gr.)	171.50	ÁREA (cm2.)	28.27
PESO DEL ANILLO+SUELO SECO (gr.)	158.78	VOLUMEN (cm3.)	53.71
PESO DEL AGUA (gr.)	12.72	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm3)	2.076
PESO DEL ANILLO (gr.)	60.00	DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.839
PESO DEL SUELO SECO (gr.)	98.78	CLASIFICACIÓN SUCS	GC-GM
PORCENTAJE DE HUMEDAD (%)	12.9	FACTOR ANILLO	9.81 + 0.000

ESFUERZO NORMAL : 2,0 Kg/cm2					
TIEMPO (min.)	EXTENSÓMETRO DE CARGA	DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	DEFORMACIÓN NORMAL	FUERZA (Kg)	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm3)
0.0	-	0.00		-	0.000
0.5	324.0	1.00		33.039	1.169
1.0	338.0	2.00		34.466	1.219
1.5	348.0	3.00		35.486	1.255
2.0	364.0	4.00		37.118	1.313
2.5	372.0	5.00		37.933	1.342
3.0	377.0	6.00		38.443	1.360
3.5	381.0	7.00		38.851	1.374
4.0	388.0	8.00		39.565	1.400
4.5	395.0	9.00		40.279	1.425
5.0	403.0	10.00		41.095	1.454
5.5	399.0	11.00		40.687	1.439
6.0	391.0	12.00		39.871	1.410
6.5	380.0	13.00		38.749	1.371
7.0	373.0	14.00		38.035	1.345



Fayto D. Saavedra Cabrera
TÉC. LABORATORISTA DE SUELOS
DE CONCRETO Y ASFALTO



Ing. Elío A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822

 LABORTEC LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO	NTP 339.171:2002 (revisada el 2017) Título: SUELOS. Método de ensayo normalizado para el corte directo de suelos bajo condiciones consolidadas drenadas (ASTM D-3080) V-1	
	ENSAYO DE CORTE DIRECTO	

PROYECTO : "RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS DE ESTABILIDAD DE TALUDES BAJO CARGA ESTÁTICA Y PSEUDOESTÁTICA MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE Y MÉTODOS NUMÉRICOS EN EL SECTOR CULLCUY, SANTA MARÍA DEL VALLE – HUÁNUCO, 2024."		CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES					
UBICACIÓN : SECTOR CULLCUY, SANTA MARÍA DEL VALLE – HUÁNUCO		MUESTRA N°	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm²)	CONT. HUM. (%)	DENS. SECA (gr/cm³)	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm²)
SOLICITADO : TRUJILLO CHAVEZ ROYMER		01	6.0	28.27	12.9	1.830	0.5
MUESTRA : C-02 / KM 0+580		02	6.0	28.27	12.9	1.835	1.0
PROF (m) : 0.00 - 3.00 M		03	6.0	28.27	12.9	1.839	2.0
FECHA : MARZO DEL 2025		CLASIF. SUCS : GC-GM L.L. : 27 I.P. : 6 % MENOR QUE MALLA N° 200 : 18.6					

ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm²)

DEFORMACION TANGENCIAL (mm.)

ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm²)

ESFUERZO NORMAL (Kg/cm²)

$y = 0.6977x + 0.1551$

RESULTADOS DE ENSAYOS			
COHESIÓN (Kg/cm²)	0.14	ÁNGULO DE FRICCIÓN (°)	34.9


Fayio D. Saavedra Cabrera
 TEC. LABORATORISTA DE SUELOS
 DE CONCRETO Y ASFALTO


Ing. Elío A. Saavedra Cabrera
 CIP N° 306922



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



SALES Y SULFATOS

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR.


LABORTEC Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822



LABORTEC
LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO
DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO

EMPRESA ESPECIALIZADA EN CONSULTORÍA
DE OBRAS CIVILES, CERTIFICACIÓN Y ENSAYOS
DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



SALES Y SULFATOS C-01

Dirección: Jr. Tarma N° 101 - Huánuco
Celular : 962987000
Fono : 062-287145
E-mail : Labortec_eirl@hotmail.com
Importante: La autenticidad de este informe
puede ser verificado mediante el código QR.


LABORTEC Ing. Elio A. Saavedra Cabrera
CIP N° 306822

 LABORTEC LABORATORIO TÉCNICO ESPECIALIZADO DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO	CONTENIDO DE SULFATOS EXPRESADOS COMO ION SO_4 Y CONTENIDO DE CLORUROS EXPRESADOS COMO ION Cl -(NORMA NTP 400.042, AASHTO T 290, AASHTO T 291)	
	PROYECTO : "RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS DE ESTABILIDAD DE TALUDES BAJO CARGA ESTÁTICA Y PSEUDOESTÁTICA MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE Y MÉTODOS NUMÉRICOS EN EL SECTOR CULLCUY, SANTA MARÍA DEL VALLE – HUÁNUCO, 2024." SOLICITA : BACH. TRUJILLO CHAVEZ ROYMER RESPONSABLE: LABORTEC E.I.R.L. FECHA : MARZO DEL 2025	

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA	: C-01
MUESTRA	: M - 1
PROF.	: 0.00 - 3.00 m.

Muestra 01

REPORTE DE RESULTADOS	LIMITES PERMISIBLES	RESULTADOS	
	%	VALOR	UNIDADES
Sulfatos como ión SO_4	0.06	0.0754	%
Cloruros como ión Cl	0.10	0.0648	%
pH a 15.9°C	>4		8.6

REPORTE DE RESULTADOS	LIMITES PERMISIBLES	RESULTADOS	
	%	VALOR	UNIDADES
Sulfatos como ión SO_4	0.06		
Cloruros como ión Cl	0.10		
pH a 15.9°C	>4		

(*) Límites máximos permisibles de concentración de sustancias según ETC-CBVT-2008 MTC



Fayto D. Saavedra Cabrera
 TEC. LABORATORISTA DE SUELOS
 DE CONCRETO Y ASFALTO



Ing. Elío A. Saavedra Cabrera
 CIP N° 306822