



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES
NATURALES A TRAVÉS DE MÉTODOS DE EQUILIBRIO
LÍMITE BAJO CONDICIONES ESTÁTICAS Y PSEUDO-
ESTÁTICAS EN CABALLUNI, JUNCAL-PUNO, 2022**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. JAEL FERNANDO LAYME ANCHAPURI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

A Dios por su gracia y bendiciones y por darme la oportunidad de vivir y estar siempre conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente.

A mi esposa Delia Deysi Mamani Salas y mis hijos Lennin y Johanel, puesto que ellos son el motivo de superarme cada día, los mismos que me apoyaron para llevar adelante esta investigación.

Jael F. Layme



AGRADECIMIENTOS

A mi querida alma mater, la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, por ser una gran Institución formadora de grandes profesionales y en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola por darnos la oportunidad de formarnos como buenos profesionales, siempre haciendo quedar en alto el nombre de la Universidad.

A mis jurados, como también a mi asesor; por sus sabios consejos e inculcación de esfuerzo, respeto y disciplina.

Jael F. Layme



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 11

ABSTRACT..... 12

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 14

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 16

1.2.1. Problema general 16

1.2.2. Problemas específicos 16

1.3. HIPÓTESIS 16

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 17

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 18

1.5.1. Objetivo general 18

1.5.2. Objetivos específicos 18

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES..... 19

2.2. MARCO TEÓRICO 24

2.2.1. Movimientos del terreno 24

2.2.2. Erosión 25



2.2.3. Tipos de talud.....	26
2.2.4. Superficie de rotura en un deslizamiento rotacional	27
2.2.5. Métodos de análisis de estabilidad de taludes.....	28
2.2.6. Aplicación de los métodos de cálculo a un caso real.....	35
2.2.7. Condición estática	35
2.2.8. Condición pseudoestática.....	36
2.2.9. Estabilidad de taludes	36
2.2.10. Métodos de equilibrio límite.....	37
2.2.11. Estabilidad de taludes	38
2.2.12. Factor de seguridad.....	38
2.2.13. Mitigación de deslizamientos	42

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO	45
3.2. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	45
3.2.1. Tipo de investigación.....	45
3.2.2. Diseño de investigación	46
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	46
3.3.1. Población de estudio	46
3.3.2. Muestra.	46
3.4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	46
3.4.1. Recopilación de información	46
3.4.2. Organización de información	47
3.4.3. Parámetros que maneja cada método.....	47
3.4.4. Cálculo de los factores de seguridad por cada zona	48
3.4.5. Elaboración de cuadro comparativo	55
3.4.6. Análisis de los datos obtenidos.....	56



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CALICATAS DE ESTUDIOS	57
4.2. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS Y SISMOLÓGICOS DE LA ZONA DE ESTUDIO	57
4.2.1. Análisis de la modelación del caso en estudio.....	58
4.3. ANALISIS DEL FACTOR DE SEGURIDAD A TRAVÉS DE MÉTODOS DE EQUILIBRIO LIMITE	59
4.4. ANALISIS DEL FACTOR DE SEGURIDAD A TRAVÉS DE MÉTODOS PSEUDOESTÁTICOS.....	64
4.5. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD BAJO LAS CONDICIONES ESTÁTICAS Y PSEUDOESTATICAS EN LOS TALUDES NATURALES.	74
4.6. DISCUSIÓN	75
V. CONCLUSIONES.....	78
VI. RECOMENDACIONES.....	79
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
ANEXOS.....	87
Anexo 1. Fotografías del muestreo de suelos	87
Anexo 2. Ensayos de Laboratorio de Suelo.....	89

ÁREA : Recursos Hídricos

LÍNEA: Análisis comparativo de estabilidad de taludes

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 28 de junio 2022.



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Factores de seguridad recomendados para taludes nuevos con un periodo de diez años.....	39
Tabla 2.	Factores de seguridad recomendados contra perdidas de vida para lluvia con período de retorno de 10 años.....	41
Tabla 3.	Tabla de resultados de factores de seguridad según métodos.....	55
Tabla 4.	Tabla para factores de seguridad de perfiles típicos.....	56
Tabla 5.	Sismos con epicentro en la región de Ica y Arequipa.....	58
Tabla 6.	Resultados campaña geotécnica de parámetros de resistencia	58
Tabla 7.	Parámetros geotécnicos de los suelos del perfil tipo de suelo	58
Tabla 8.	Aceleraciones máximas horizontales y verticales para los sismos estudiados	58
Tabla 9.	FS Estáticos (FSe) adquiridos por los modelos de Fellenius, Bishop, Janbu, Morgenstern-Price y Spencer (GEO - SLOPE, 2012)	59
Tabla 10.	Factores de Seguridad Pseudoestáticos (FSd), adquiridos por los modelos de Fellenius, Bishop, Janbu, Morgenstern-Price y Spencer (GEO - SLOPE, 2012)	65



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Tipos frecuentes de movimientos de masa en taludes.....	27
Figura 2.	Ubicación del tramo Caballuni- Juncal- Puno.....	45
Figura 3.	Esquema de un sistema típico de análisis con tajadas o dovelas.....	49
Figura 4.	Distribución de esfuerzos método Janbu.....	51
Figura 5.	Distribución de esfuerzos en una rebanada.....	52
Figura 6.	Distribución de esfuerzos método Bishop.....	53
Figura 7.	Análisis del ángulo de inclinación en el método de Spencer.....	54
Figura 8:	Análisis de fuerzas por dovelas en el método de Spencer.....	55
Figura 9.	Análisis de estabilidad (método Fellenius – Sin Sismicidad).....	60
Figura 10.	Análisis de estabilidad (método Bishop – Sin Sismicidad).....	61
Figura 11.	Análisis de estabilidad (método Janbu – Sin Sismicidad).....	62
Figura 12.	Análisis de estabilidad (método Morgenstern Price – Sin Sismicidad)	63
Figura 13.	Análisis de estabilidad (Método Spencer – Sin Sismicidad).....	64
Figura 14.	Análisis de estabilidad (Método Fellenius -Seudoestatico).....	65
Figura 15.	Análisis de estabilidad (Método Fellenius -Seudoestatico 2).....	66
Figura 16.	Análisis de estabilidad (Método Bishop -Seudoestatico).....	67
Figura 17.	Análisis de estabilidad (Método Bishop - Seudoestatico 2).....	68
Figura 18.	Análisis de estabilidad (Método Janbu - Seudoestatico).....	69
Figura 19.	Análisis de estabilidad (Método Janbu – Seudoestatico 2).....	70
Figura 20.	Análisis de estabilidad (Método Morgenstern Price - Seudoestatico).....	71
Figura 21.	Análisis de estabilidad (Método Morgenstern Price – Seudoestatico 2)...	72
Figura 22.	Análisis de estabilidad (Método Spencer - Seudoestatico).....	73
Figura 23.	Análisis de estabilidad (Método Spencer – Seudoestatico 2).....	74



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
c (kPa)	: Cohesión
CD	: Corte directo
FSd	: Factor de seguridad pseudoestático
FSe	: Factor de seguridad estático
γ (kN/m³)	: Densidad
GEOSTUDIO	: Software de modelamiento para ingenieros geólogos y geocientíficos
H1	: Estrato 1
K_h	: Aceleración máxima horizontal
km	: kilómetro
K_v	: Aceleración máxima vertical
M1	: Muestra 1
SUCS	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
τ	: tensiones de corte
τ_f	: resistencia disponible



RESUMEN

La presente investigación denominada “Análisis comparativo de la estabilidad de taludes naturales a través de métodos de equilibrio limite bajo condiciones estáticas y pseudo-estáticas en Caballuni, Juncal - Puno”; se realizó con el objetivo de cuantificar y comparar los factores de seguridad al deslizamiento obtenidos para determinar la estabilidad o inestabilidad de taludes naturales, bajo condiciones naturales y condiciones en las que pudiese producirse un sismo. En ese sentido como metodología de estudio, se utilizó como referencia los dos últimos sismos de mayor intensidad producidos en el Perú, para ello se tuvo que recopilar la información, sistematizar en gabinete, posteriormente acondicionar y codificar la información, para poder analizar la información básica preliminar tal como se reconoce y actualiza la información temática. Para determinar los factores de seguridad se utilizó las herramientas de modelación, las cuales trabajan a través de soluciones numéricas como el modelo equilibrio límite, ya que crea una agrupación de dovelas y superficies de falla, en las cuales se puede calcular con razonable precisión los factores de seguridad. Los resultados revelan que los factores de seguridad bajo las condiciones estáticas y pseudoestáticas, se han encontrado que por todos los métodos en condiciones estáticas son estables, ya que se tiene factores de seguridad mayores a 1, como Fellenius $F_{Se} = 1.04$, Bishop $F_{Se} = 1.12$, entre otros, mientras tanto los factores de seguridad pseudoestáticos en su gran parte son inestables como $F_{Sd} = 0.71$, 0.77 y 0.78 , por lo tanto se concluye que es necesario la adopción de estrategias de mitigación de deslizamientos, por ser la zona propensa a sismos de moderada intensidad.

Palabras clave: Estabilidad de talud, factor de seguridad, pseudoestatico, deslizamiento.



ABSTRACT

The present investigation called "Comparative analysis of the stability of natural slopes through limit equilibrium methods under static and pseudo-static conditions in Caballuni, Juncal - Puno"; was carried out with the objective of quantifying and comparing the slip safety factors obtained to determine the stability or instability of natural slopes, under natural conditions and conditions in which an earthquake could occur. In this sense, as a study methodology, the last two earthquakes of greater intensity produced in Peru were used as a reference, for which the information had to be compiled, systematized in the cabinet, later conditioning and codifying the information, in order to analyze the basic information. preliminary as the thematic information is recognized and updated. To determine the safety factors, modeling tools were used, which work through numerical solutions such as the limit equilibrium model, since it creates a group of segments and failure surfaces, in which the factors can be calculated with reasonable precision. of security. The results reveal that the safety factors under static and pseudostatic conditions have been found to be stable by all methods under static conditions, since safety factors are greater than 1, such as Fellenius $F_{Se} = 1.04$, Bishop $F_{Se} = 1.12$, among others, meanwhile the pseudostatic safety factors are largely unstable such as $F_{Sd} = 0.71, 0.77$ and 0.78 , therefore it is concluded that the adoption of landslide mitigation strategies is necessary, since the area is prone to earthquakes of moderate intensity.

Keyword: Slope stability, safety factor, pseudostatic, slide.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Talud son denominado así por ser una superficie inclinada que adoptan las estructuras de tierra, donde la mecánica de los suelos se encarga de nombrarlos mediante análisis y diseños, cabe decir que es de suma importancia el estudio de los taludes puesto que las recientes construcciones de vías de comunicación que se están desarrollando exponencialmente a base del desarrollo moderno.

Asimismo, los taludes son estudiados para identificar las fallas que pueden ocurrir durante el deslizamiento, y entre los errores más comunes que ocurren en este tipo de taludes se encuentran los errores de rotación de forma circular, es decir, son circulares. superficie de error.

La investigación de tiene un enfoque de estudio geotécnico con talud natural, que se encuentra dentro de la Ingeniería Agrícola, los movimientos de masas de tierra que son deslizamientos con consecuencia de una serie de factores.

Un aspecto esencial para un talud estable son los análisis con los que se trata, para ello, se ha desarrollado métodos sencillos para analizar el equilibrio de taludes, teniendo en cuenta la suma de fuerzas y momentos bajo ciertas premisas, como el ángulo de interacción entre las paredes del talud, superficie de defectos circulares, con todas estas simplificaciones, el estudio del balance de pendientes de la Tierra muestra que los resultados son a favor y reales.

Con este trabajo se logrará realizar el análisis comparativo de la estabilidad de taludes naturales bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas en Caballuni, Juncal - Puno, puesto que habitualmente la ingeniería se encarga de estimar la estabilidad de un talud



con la expresión, como lo es el factor de seguridad (FS), por tal motivo el talud estable es de suma importancia, en especial cuando se realizan análisis de comparación entre métodos diversos, así como en el factor de seguridad y la superficie de error.

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En recientes años, se han registrado inundaciones a gran escala en varias partes del mundo. En el caso de la infraestructura vial, las inundaciones y los niveles altos de agua pueden afectar significativamente tanto su desempeño como su vida útil, ya que estos eventos influyen en la cantidad de incidentes como deslizamientos de tierra, flujos de escombros, carreteras que se arrasan, soportes de puentes sumergidos e inundados y cierres de carreteras (Pedrozo-Acuña et al., 2017). Por lo tanto, garantizar la confiabilidad y seguridad de la infraestructura actual (como las carreteras) es crucial para mitigar los impactos de estos peligros.

El análisis de estabilidad de taludes es un análisis geotécnico realizado para determinar si un talud es estable o no. El resultado calculado de un análisis de estabilidad de taludes es el factor de seguridad. Este valor corresponde a la estabilidad de una pendiente. Puede ser equivalente a la relación entre la fuerza de resistencia y la fuerza motriz o la relación entre el momento de resistencia y el momento de vuelco. Un talud se considera seguro o estable si su factor crítico de seguridad es inferior a 1,5.

Un talud estable tiende a encontrar la altura crítica del talud o la carga de colapso que se aplica en una parte del talud, dados para la geometría y características del suelo establecidos, ya que el método de límite de equilibrio nos permite obtener un factor de seguridad que procede a realizar el cálculo del factor de seguridad del talud, considerando que este análisis realiza la determinación de la resistencia de la superficie en los suelos



del talud para dar soporte a las dificultades de corte que inician o incentivan la falla o deslizamiento.

Los deslizamientos pueden causar grandes pérdidas económicas e impactos sociales (Turner, 2018) (Basahel, 2019). El desarrollo y el mantenimiento del sector del transporte se consideran imperativos en el crecimiento socioeconómico de un país, y los deslizamientos de tierra suponen una limitación potencial para este desarrollo (Winter, y otros, 2018). La interrupción del viaje debido a deslizamientos de tierra es incluso más costosa que la reparación de carreteras (Postance et al., 2017).

El método de equilibrio límite es mucho más económico gracias a que tiene formas para calcular mediante software especializado estos son de fácil entendimiento y muy amigables, por el cual el presente estudio “Análisis comparativo de la estabilidad de taludes naturales a través de métodos de equilibrio limite bajo condiciones estáticas y pseudo - estáticas en Caballuni, Juncal - Puno”, se propuso en base a la problemática que existe en laderas naturales debido a inestabilidad y posible falla, que como consecuencia produce deslizamientos a causa de diferentes fenómenos físicos y meteorológicos ya sean con intervención de la naturaleza o la intervención antrópica.

La principal causa de falla por el que se produce deslizamientos, es en casos generales la intervención de la mano del hombre, como también se debe a las condiciones sísmicas que se producen en nuestro territorio.

La composición geográfica, el entorno geológico y las condiciones meteorológicas del Altiplano peruano la hacen propensa a desastres naturales como inundaciones, deslizamientos, terremotos y lluvias torrenciales. La ocurrencia de una o una combinación de estas condiciones hace que las áreas propensas sean más vulnerables a una variedad de fallas de taludes como deslizamientos de tierra, flujos de escombros y



deslizamientos de rocas. Por ello, el análisis y evaluación de la estabilidad de taludes juega un papel importante en el control y limitación de los daños que estas fallas de taludes puedan causar en el futuro.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cómo es el análisis comparativo de la estabilidad de taludes naturales bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas en Caballuni, Juncal - Puno?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las propiedades geotécnicas del suelo, para el análisis de estabilidad de talud?
- ¿Cuál es el factor de seguridad a través de métodos de equilibrio limite en Caballuni, Juncal - Puno?
- ¿Como es el análisis comparativo de factores de seguridad bajo las condiciones estáticas y pseudoestáticas en los taludes naturales?

1.3. HIPÓTESIS

Hipótesis general

La estabilidad bajo condiciones estáticas es mayor con respecto a la estabilidad bajo condiciones pseudoestáticas.

Hipótesis específicas

- El factor de seguridad es mayor a través de métodos de equilibrio limite en Caballuni, Juncal - Puno.



- El factor de seguridad es mayor a través de métodos pseudoestáticos en Caballuni, Juncal - Puno.
- Los factores de seguridad bajo las condiciones estáticas es mejor que pseudoestáticas en los taludes naturales.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La estabilidad de la pendiente está determinada por elementos de ingeniería, como el alto y la pendiente; agentes externos como el Agua y ubicación de geografía. De tal forma que, la mezcla de los cuatro agentes mencionados anteriormente tiene la capacidad de decretar la ruptura del terreno en un tipo específico de superficie, lo que permite el deslizamiento de la masa en esta superficie.

Esta investigación se propone en base a la problemática que existe en laderas naturales debido a erosiones y posibles fallas que como consecuencia produce deslizamientos a causa de diferentes fenómenos físicos y meteorológicos ya sea con intervención de la naturaleza o la intervención antrópica.

La principal causa de una falla por el que se produce deslizamientos, es en casos generales donde la intervención de la mano del hombre altera las condiciones de resistencia al corte del suelo, al momento de realizar excavación y cortes de terreno por la construcción de infraestructura vial u otras.

Otra causa de falla se debe a las condiciones sísmicas que se producen en nuestro territorio, ya que el Perú se registraron sismos de gran intensidad desde valores de seis a ocho en la escala de Mercalli, los cuales afectan y alteran los factores de seguridad iniciales en condiciones estáticas, ya que las ondas de aceleración vertical y horizontal que se propagan por un efecto sísmico, pueden ocasionar deslizamientos.



Por todo lo descrito y de acuerdo a la problemática planteada, es que se propuso la realización del presente estudio, con la finalidad de ser una guía o referencia para los estudiantes y profesionales en cuanto a proponer estructuras de protección y a la toma de decisiones en el campo de la ingeniería, al mismo tiempo realizar un análisis de comparación de factor de seguridad utiliza varios métodos de equilibrio mediante el uso del software informático Geoslope este nos ayuda a realizar cálculos de los factores de seguridad estas tienen como metodología al equilibrio límite, Bishop riguroso y así evaluar los parámetros utilizados por los diferentes métodos que identifican al más apto en conserva de cada uno de los sectores de error.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Realizar el análisis comparativo de la estabilidad de taludes naturales bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas en Caballuni, Juncal - Puno.

1.5.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades geotécnicas del suelo para el análisis de estabilidad de talud
- Determinar el factor de seguridad a través de métodos de equilibrio límite en Caballuni, Juncal - Puno.
- Realizar el análisis comparativo de factores de seguridad bajo las condiciones estáticas y pseudoestáticas en los taludes naturales.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Antecedentes Internacionales

Sanhueza & Rodriguez (2013), en su estudio de investigación denominado “Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales”, donde comparó muchos métodos para la estabilidad de taludes, que estuvieron en naturalezas estáticas y pseudoestáticas, para lo cual pusieron a consideración dos sismos, finalmente llego a concluir que “el efecto de un sismo sobre el talud finito dependió tanto de la magnitud richter del terremoto, en los cuales los valores de coeficientes de aceleración sísmica (horizontal y vertical), lo que evaluó la distancia entre el punto evaluado y el epicentro, por ultimo estableció que es estable tanto para condiciones estáticas como pseudoestáticas”.

Zuluaga (2016), en su trabajo de investigación que tubo por nombre “Análisis de estabilidad de taludes 3d considerando el efecto de la infiltración por precipitaciones”, donde implemento la metodología para realizar análisis acoplados de flujo transitorio (MEF) y estas sean estables en sus dimensiones dos y tres (MEL y MEF), con el propósito de establecer la infiltración que se tiene por la precipitación en la reducción de la seguridad en un talud, para lo cual el método de análisis de estabilidad está basado en un comportamiento físico-matemático, los métodos que se trabajo fue el método deterministas y el método probabilistas, finalmente concluyo que el método de análisis acoplados de flujo transitorio utilizando el método del elemento finito (MEF) y estabilidad de taludes, en el cual utilizo los métodos de equilibrio limite y del elemento finito (MEF y MEF).



Ramírez et al., (2018) en su tesis titulada “Análisis de la estabilidad de un talud derivado de cenizas volcánicas ubicado en la vía cerritos la Virginia”, realizó el análisis la estabilidad del talud en el Cerrito de Virginia, que presentaba condiciones poco saturada, los diseños metodológicos que se estableció fue los perfiles topográficos del talud, para lo cual realizó el sondeo y extracción de muestras en el cual lo estudio en los laboratorios de suelo, finalmente concluyo que los para el suelo que tiene compresión baja son indicadores de que el talud está sometido a sobrepesos y por ende tiene una deformación relativamente baja, en cuanto a los métodos se realizó por el software y el método matemático (Bishop simplificado) en el cual determino que no aceptable el talud, en el cual menciona esta propenso a tener un riesgo a colapsar durante el invierno.

Siddique et al., (2015) investigaron los taludes a lo largo de la ruta NH-58 entre Jonk y Rishikesh, que experimentaron un tráfico muy denso, especialmente de marzo a agosto, debido a la peregrinación al santuario de Kedarnath. Sobre la base de la investigación de clasificación de masa de talud (SMR), el área cae en la clase estable, y los valores de la puntuación de susceptibilidad a los deslizamientos de tierra (LSS) también indican que las pendientes bajo investigación tienen una vulnerabilidad baja a moderada a los deslizamientos de tierra. Recomendando que se debe prestar más atención a las pistas para lograr mayores beneficios económicos y de seguridad a lo largo de la carretera.

Hearn et al., (2021) analizaron los peligros importantes en la red de carreteras de Laos. Estos deslizamientos de tierra con frecuencia bloquean el acceso y ocasionalmente dan como resultado el hundimiento o la pérdida de la calzada. En 2007 y 2008 se implementaron varios ensayos de estabilización de taludes centrados en el uso de técnicas de bioingeniería y medidas de ingeniería de bajo costo. Los resultados de esta



investigación se han utilizado para fortalecer la práctica en laos y más allá, y para proporcionar una base valiosa para la práctica futura.

Antecedentes Nacionales y Locales

Díaz & Vidal (2015), en su estudio de investigación denominado “Evaluación de la estabilidad global del talud superior del km. 17+200 al km 18+600 del proyecto carretera ruta n° 10, tramo: Huamachuco - Puente Pallar - Juanjui, sector: Huamachuco - Sausacocha - Puente Pallar”, donde verifico el talud superior en su condición actual, en el cual considero el método de análisis de la seguridad de la transpirabilidad de la vía, finalmente llego a concluir que “el método usado para la estabilización de taludes por disminución de los esfuerzos cortantes solicitantes aumento el factor de seguridad por encima del valor recomendado para las obras de gran envergadura”.

Muñoz (2017), en su estudio de investigación denominado “Evaluación de soluciones de estabilidad para deslizamientos en tres tramos críticos de la carretera Ilabaya – Cambaya – Camilaca, distrito de Ilabaya – Jorge Basadre – Tacna”, realizó la evaluación técnica y económica de las posibles soluciones de taludes inestables que tienen en los proyectos viales en el Perú. En el cual buscaron la identificación y el análisis de métodos que den una solución factible con el cual se pueda dar frente a este problema de deslizamiento, por si fuera el caso pudiese haber pérdidas económicas, estructurales e incluso humanas, en el cual considero la metodología de investigación analítica y comparativa, finalmente llego a concluir que “la posibles soluciones tienen carácter de evaluación para el talud superior del primer tramo crítico, la más recomendada técnica es el del sistema de suelo reforzado Terrmesh System, la solución se obtiene los más altos factores de seguridad estático y pseudoestático”.



Eugenio (2017), en su estudio de investigación titulado “Análisis de inestabilidad de taludes mediante equilibrio límite y elementos finitos, tramo Santa Rosa– tuco bajo carretera Bambamarca – centro poblado Tuco”, donde el objetivo principal fue “analizar la inestabilidad de taludes mediante los métodos de equilibrio límite y elementos finitos utilizando los softwares Slide y Phase2”, en el cual la metodología que utilizo fue descriptiva y analítica con el tipo de investigación explicativo y/o correlacional, explicativo, para ello la muestra fue Taludes inestables de la carretera Bambamarca – Centro Poblado Tuco, desde Santa Rosa, en el cual utilizo las técnicas cartografiado litológico, cartografiado geomorfológico, cartografiado estructural, análisis geotécnico e inestabilidad, para ello utilizo el instrumento las imágenes satelitales, modelo digital de elevaciones (MDE), brújula tipo brunton azimutal y finalmente concluye que los taludes fue de estabilidad muy alta con taludes inestables y taludes inestabilidad baja con taludes estables.

Mendoza (2016), en el trabajo investigativo denominado “Análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina Antapaccay”, tuvo como objetivo “el análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina Antapaccay”, los cálculos de estabilidad inicial han sido los mismos para el suelo, en el cual considero la cohesión y el ángulo de fricción para cada unidad geotécnica con el objetivo de obtener los parámetros, finalmente llego a concluir que los criterios que acepta fue $FS > 1.3$ en condiciones estáticas y $FS > 1.0$ en condiciones pseudoestáticas, el análisis en el que se consideran todos los estratos en talud, para el método de factores de seguridad se obtuvo valores distintos en la mayoría no existía variaciones mayores al 5% en los cálculos más alto y los más bajos.

Cordero (2017), en su estudio de investigación titulada “Análisis de filtraciones y estabilidad de taludes en presas de tierra para suelos parcialmente saturados”, tuvo como



objetivo principal “el análisis de filtraciones y estabilidad de taludes en presas de tierra incorporando la mecánica de suelo parcialmente saturados”, el método empleado fue el equilibrio de limite Fellenius, Bishop, Janbu, Morgenster-Price y Spencer para los grados de saturación, en el cual se utilizó la curva y la conductividad hidráulica del suelo laguna de oxidación finalmente llega a concluir que las propiedades de suelos estuvieron en estado de saturación total de la succión, durante la etapa de explotación, durante la explotación de la presa se utilizó el control del tipo de drenaje.

Mamani (2019), en su trabajo de investigación titulada “Análisis de estabilidad de taludes para explotación de cantera de arcilla en el distrito de Paccha, provincia de la Oroya, Junín”, se enfatizó en dar una optimización a la explotación de arcilla en el proceso minimizar la cantidad de excavación en desmonte, en el cual el tipo de investigación fue aplicada, para lo cual la muestra fueron los taludes de la explotación de la cantera azul, los instrumentos que utilizo fue la revisión de los documentos, la observación, el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) y los ensayos de laboratorio, finalmente concluyo “que la cantera de arcilla, presenta un relieve variado de suave a moderado geomorfológicamente, la cantera azul estuvo conformada por arcilla arenosa de baja plasticidad”, en primer análisis se consideró por completo solo materia arcillosa, finalmente se analizó el suelo de limoso con aren por el proceso de explotación.

Valeriano (2015), en su estudio de investigación denominado “Caracterización geotécnica y modos de falla estructural en el talud en roca del cerro Espinal Juliaca”, donde realizo identificación de los modos de falla estructural en el talud, se realizó en el cerro Espinal de Juliaca para la metodología de estudio geológico, geotécnico de taludes, finalmente llego a concluir que las características geotécnicas presentaron en el cerro espinal, características geológicas, estructurales y de macizo rocos y las características



del cerro espinal se presentó una litología en el corte de talud conformada de fonolitas de color rojizo.

Barboza & Zambrano (2021), en su trabajo de investigación titulada “Análisis comparativo de la aplicación de los métodos Bishop simplificado y Morgenstern-Price para la determinación de la estabilidad de taludes”, para ello el objetivo de investigación fue “la aplicación del método Bishop simplificado y Morgenstern-Price para la determinación de la estabilidad de taludes”, la metodología fue de enfoque cualitativo, se apoyó del tipo de investigación descriptiva utilizó el diseño no experimental, en el cual tuvo las características geotécnicas de un talud y finalmente llegó a concluir que “sí es posible la determinación de la estabilidad de taludes aplicando dichos métodos para controlar la estabilidad de la masa rocosa y el suelo frente a la amenaza de deslizamiento y desprendimiento de roca”.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Movimientos del terreno

Estos tienden a depender de agudaje al corte del suelo por lo que los factores del suelo que determinan el valor antes mencionado resultan ser los correctos, la conducta determinada tendrá pendiente. Un nivel freático también es un factor de primordial importancia, lo que concuerda con el postulado de Terzaghi sobre las tensiones efectivas (Alzate, 2018).

“La clasificación de los diferentes movimientos de masas de suelo depende de si son tierra o roca. Por otro lado, estas clasificaciones tienen en cuenta el mecanismo y tipo de daño, así como otros aspectos, como el contenido de agua del suelo, la velocidad y el grado de movimiento” (Sanhueza & Rodríguez, 2013).



Los deslizamientos del suelo pueden ser lentos o bruscos según el tipo de material que componga la pendiente, su ángulo de inclinación y su grado de saturación (Mostajo , 2009).

Los principales movimientos del suelo son causados por procesos geodinámicos externos, que alteran y degradan las rocas y los suelos de la superficie terrestre. Los efectos de estos fenómenos, más la gravedad, el debilitamiento gradual de estos materiales y otros fenómenos locales, provocan inestabilidad y, por lo tanto, que se produzca una "corrección" en la figura geográfica. Estos procesos representan peligros geológicos potenciales y a menudo, causan daños económicos y sociales. Evitar estos problemas es el objetivo final de estos estudios de pendientes y pendientes. Las principales formas de representar estos procesos son:

- Movimientos de ladera.
- Hundimientos.

Con el estudio de estos fenómenos, en cuanto a su investigación y mapas geotécnicos, se pueden evitar algunos, pero otros son imposibles, por lo que se debe restringir el territorio (Jaramillo, 2021).

2.2.2. Erosión

La erosión del suelo es un caso en el que el suelo y las rocas se mueven a lo largo de la superficie inclinada por procesos naturales como el viento y el flujo de agua o el movimiento de la tierra y luego se transportan y depositan en otros lugares. La remoción de tierra y rocas a lo largo de una pendiente puede conducir a un aumento de la estabilidad en lo que respecta al movimiento de la masa del suelo. Por otro lado, la erosión en forma de socavación en la punta puede aumentar la altura del talud lo que disminuirá su estabilidad (Gonzales & Alejo, 2008).

Cuando se trata del efecto del cambio en el nivel del agua subterránea, como las reducciones de la superficie del agua, habrá una disminución en la flotabilidad del suelo que aumentará el peso del suelo a su alrededor. El aumento del peso del suelo aumentará el esfuerzo cortante que puede o no ser contrarrestado en parte por el aumento de la resistencia cortante, dependiendo de si el suelo podrá sufrir la compresión que tiende a provocar el aumento de la carga. Por ejemplo, si una gran masa de suelo está saturada y tiene baja permeabilidad, y no hay cambio de volumen que ocurra excepto a un ritmo lento, y a pesar del aumento de carga, el aumento de resistencia en el suelo puede ser inapreciable (Huang, 2014).

También se puede observar que el cizallamiento a volumen constante puede ir acompañado de un aumento de la presión neutra pero una disminución de la presión intergranular. La falla ocurrirá cuando toda la masa del suelo pase al estado de licuefacción y fluya como un líquido. Esta condición solo ocurrirá en casos en los que el suelo esté sujeto a vibraciones, como fuerzas sísmicas (Murthy, 2002).

2.2.3. Tipos de talud

Las superficies de suelo expuestas que están inclinadas en ángulos significativos con respecto a la horizontal pueden fallar de varias maneras. Estas fallas se clasifican en cinco categorías principales, a saber, caída, caída, deslizamiento, propagación y flujo. Las clasificaciones se basan en el concepto de cómo las masas terrestres se ven afectadas por el movimiento, como se aprecia en la Figura 1 (Alejo & Gomez, 2018); (Varnes, 1978).

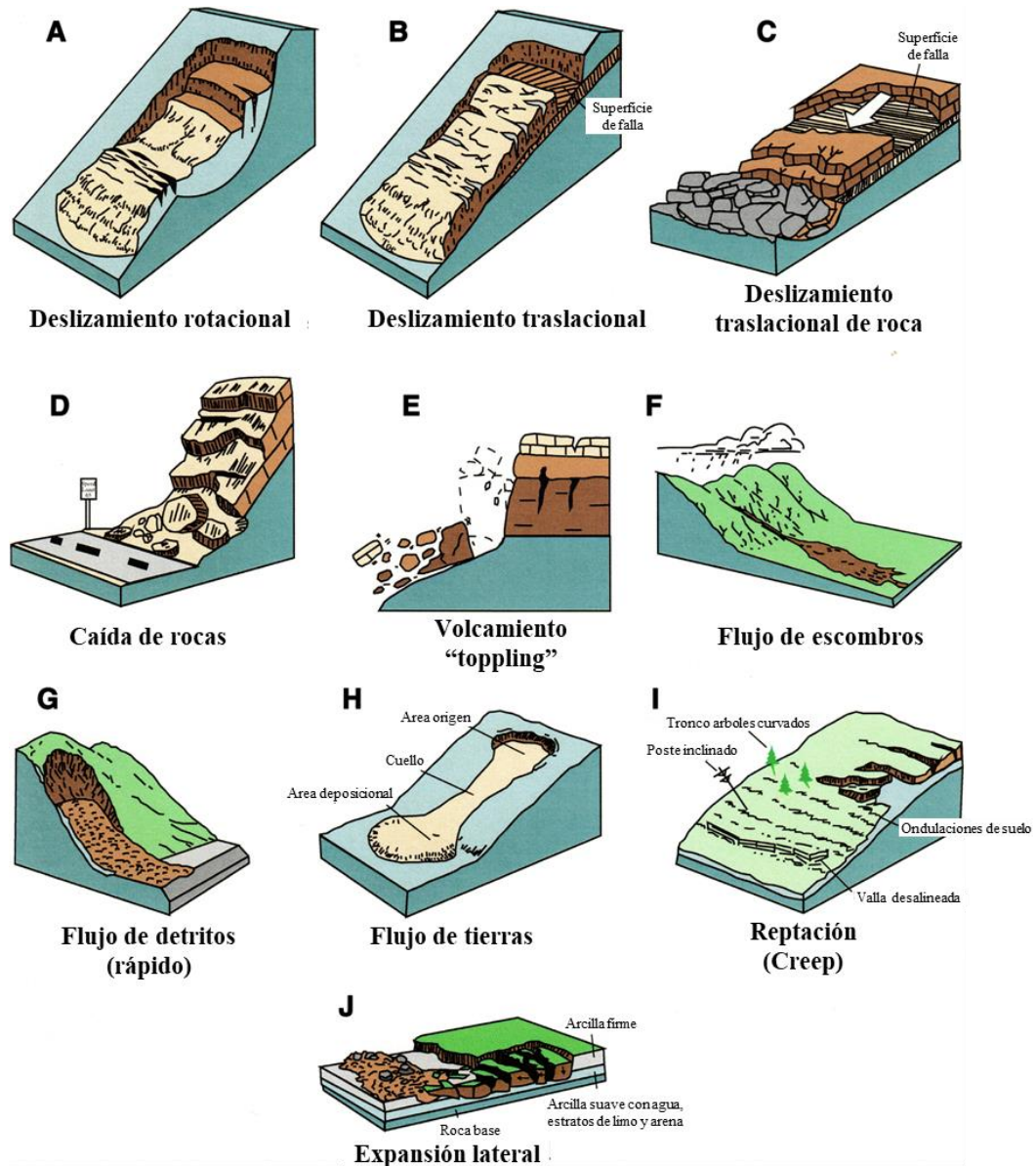


Figura 1. Tipos frecuentes de movimientos de masa en taludes

Fuente: Adaptada de Varnes (1978) y USGS (2004.)

2.2.4. Superficie de rotura en un deslizamiento rotacional

Desliza la rueda ocurre cuando la superficie de puesta a tierra de la pendiente es curva y cóncava. La masa se inclina o se da vuelta en forma de cuchara (CEPREDENAC, 2009).

Para ello se muestra dos tipos de deslizamiento:



Deslizamiento Rotacional: El desplazamiento ocurre o tiene cabida en la explanada de una superficie de falla cóncava.

“En el deslizamiento rotacional, la superficie de la falla está formada por una curva cuyo centro de rotación se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo en movimiento” (Suarez J. , 1998).

Deslizamiento Traslacional: “Consiste en el desplazamiento de una masa a lo largo de la superficie dañada en un plano u ondulado” (CIG, 2012).

Los deslizamientos de tierra rotatorios ocurren principalmente en materiales homogéneos o en formaciones rocosas muy fracturadas (Antoine, 1992) y a menudo se distinguen por la pronunciada pendiente de la cabecera. Por otro lado, los deslizamientos de traslación a menudo ocurren en materiales heterogéneos con discontinuidades bien definidas. Cuando los movimientos de pendientes tienen superficies de fallas con geometrías mixtas, se denominan deslizamientos de tierra mixtos. Asimismo, menciona que, en el área de estudio, el deslizamiento de tierra rotacional es prácticamente insignificante en comparación con el deslizamiento de tierra traslacional.

2.2.5. Métodos de análisis de estabilidad de taludes

Existe dos enfoques para analizar la estabilidad de taludes: balance de límites y análisis de tensiones. Métodos de equilibrio límite: están basados completamente en leyes estáticas determinando el equilibrio de una masa de suelo potencialmente inestable. No tienen en cuenta la deformación del suelo. “Asumen que la resistencia al corte se moviliza de forma simultánea y total a lo largo de la superficie de corte. Métodos de cálculo de deformaciones: también tienen en cuenta las deformaciones del suelo al calcular las leyes de la estática. Su aplicación práctica es compleja y el problema debe estudiarse aplicando el método de los elementos finitos. U otros métodos digitales” (IGME, 1987)



El método de análisis de estabilidad de taludes se selecciona de acuerdo al factor de seguridad que tiene en consideración a las cosas relacionadas a dañar la estabilidad del talud, tales como factores geomorfológicos, existencia de fisuras por tensión, etc., líneas rectas, cargas dinámicas por sismos, etc. La geometría de la pendiente, las propiedades del suelo, el agua y otros causantes del exterior estos tienden a afectar el equilibrio de la estructura.

No solo determinan el factor de seguridad que asegura el funcionamiento del talud, ya que estos factores no todos se pueden calcular matemáticamente en el modelo, sino que se comporta en función de las superficies de falla, en general con dadas geometrías, son círculos planos o semicírculos, por la existencia de escasos modelos y todavía tienen fallas para superficies, pero aún hay una falta de investigación sobre este tema, ya que los suelos actúan como un material isotrópico.

La falla de talud puede ocurrir en suelos con condiciones drenantes o no drenantes, denominados no drenantes cuando la inestabilidad se debe a cambios en las cargas, o en la parte superior debido a cargas aumentadas, o debido a la migración de materiales en las zonas superiores del fondo del talud, en los suelos con baja permeabilidad, tiempo de drenaje poco suficiente durante los cambios de carga; Los suelos son generalmente muy permeables, por lo que los análisis se realizan en condiciones de drenaje (Diaz C. , 2015).

2.2.5.1.Método de talud infinito

Este método está basado en el supuesto de que la longitud de la grieta plana de la superficie paralela a la pendiente puede ser considerado infinito para el espesor de deslizamiento. Este utiliza a menudo para analizar la estabilidad de taludes naturales (González et al., 2002; Alejo et al., 2022).



En condiciones en las que se produce un fallo paralelo a la superficie del talud a una cierta profundidad, la distancia de la falla es larga en comparación con su grosor, por lo que es utilizado aproximadamente en el análisis de talud infinito. Sistema de actuación veloz y sencilla que determina la susceptibilidad de deslizamiento de un talud, donde se asume un talud largo con una capa de tierra, escombros o roca, en el que cualquier columna de material de qué tamaño es representativa de todos los Pendiente.

“El método de talud infinito es uno de los métodos que usan ábacos que simplifican de forma radical el cálculo de estabilidad de taludes. Con los ábacos presentados pueden analizarse dos tipos de condiciones basadas en análisis de taludes infinitos:

1. Taludes en material granular, donde el mecanismo de falla crítico es deslizamiento superficial o rodadura.
2. Taludes en suelo residual, donde una capa relativamente delgada de suelo subyace suelo firme o roca, y el mecanismo de falla crítico es de deslizamiento a lo largo de un plano paralelo al talud, en la parte superior del suelo firme” (Sultana, 2013).

2.2.5.2.Método ordinario o de Fellenius

“Método de las dovelas o método U.S.B.R. Este método asume superficies de falla circulares, divide el área de falla en cortes longitudinales, obtiene las fuerzas de impacto y los resultados para cada corte y por la suma de estas fuerzas obtiene el factor de seguridad” (Aguilar & Zuñiga, 2015).

2.2.5.3.Método de Bishop simplificado

El método simplificado de Bishop mantiene que un problema de alineación horizontal en donde la superficie de error es circular, separando el suelo presente en la

falla de la superficie en un número limitado de segmentos verticales donde se encuentran los valores de las fuerzas de adherencia, fricción y presión de poro constante.

“El método utilizado en el software GEO5 realiza su análisis a partir de iteraciones de superficies de las iteraciones infinitas, tomando de antemano al método de círculo de falla, para analizar a realizar, tomo como base el método Bishop simple, luego elijo la superficie de error más severa y con esto analizar el factor de seguridad” (Grajales & Ramírez, 2018)

Bishop (1955) dio a conocer un método al utilizar dovelas y con el efecto de las fuerzas entre las dovelas.

Se usa el método de Bishop simplificado:

$$F.S. = \frac{\sum [C'b + (W - ub) \tan \alpha]}{\sum (W \sin \alpha)} \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

$$ma = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi}{FS} \right) \dots\dots\dots(3)$$

b = Ancho de la dovela

W = Peso de cada dovela

C', ϕ = Parámetros de resistencia del suelo.

u = Presión de poros en la base de cada dovela.

α = Angulo del radio y la vertical en cada dovela.

“Asume que todas las fuerzas cortantes entre dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobre determinada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela” (Aguilar & Zuñiga, 2015).

2.2.5.4. Método de Janbú

Método de Janbú. El método simplificado de Janbú se basa en Se supone que la fuerza entre los segmentos es horizontal y no tiene en cuenta la fuerza cortante. Janbú asume que la superficie de error no es necesariamente redonda y establece el factor de corrección f_0 .

“El método simplificado de Janbú supone que las fuerzas entre dovelas son horizontales y no tiene en cuenta las fuerzas de corte. Este método toma en cuenta que las superficies no necesariamente son circulares y establece un factor de corrección f_0 , el factor f_0 depende de la curvatura de la superficie de falla” (Grajales & Ramírez, 2018).

Janbú (1973) supuso que las superficies dañadas no eran precisamente curvadas y estableció un factor de corrección para. El módulo f_0 es dependiente de la curva que se forma en la superficie de falla. Método de Janbú En otras situaciones, la suposición sobre f_0 sería la causa de imprecisiones en los resultados del factor de seguridad. pero, para algunos taludes, tener en cuenta este factor de flexión supone el análisis mejorado. El método de Janbú solo logra el equilibrio de presión, pero no el equilibrio instantáneo. (Banegas, 2012).

De acuerdo con Janbú (ecuación modificada):

$$F.S. = \frac{f_0 \sum [C'b + (W - ub) \tan \phi] \frac{1}{\cos \alpha m a}}{\sum (W \tan \alpha)} \dots\dots\dots(4)$$

2.2.5.5. Método de Morgenstern-Price

Este método puede aplicarse a superficies de falla curvadas y no curvadas. Este es parecido al método de Spencer, por al contrario en el método de MorgenternPrice permite especificar la fuerza entre cortes.



Esta función se puede tratar como estática, de la misma manera con el método de Spencer, o se puede proporcionar otras funciones. Poder asumir una función particular de precisar valores reales entre clips lo convierte en un método mejorado y con mas base que el de Spencer.

“El factor de seguridad es cuando se alcanza un equilibrio estable y no hay diferencia significativa entre los resultados del método de Spencer y los de Morgenstern y Price. El método de Morgenstern y Price, al igual que el método de Spencer, es un método muy preciso aplicable a prácticamente todos los tipos y composiciones de suelos” (Jaime Suarez, 2002).

2.2.5.6.Método de Spencer

La dirección exacta de las partículas son desconocidas para hallarlas se utiliza una de las preguntas en las soluciones de ecuaciones balanceadas. Spencer ha propuesto originalmente su método para superficies redondas, pero el proceso se puede extenderse con facilidad a superficies no redondeadas. Spencer propuso dos ecuaciones, la ecuación de balance de fuerzas y la ecuación de balance de momentos, a resolver para calcular el factor de seguridad F y el ángulo de inclinación de la fuerza entre los segmentos θ . Para dar solución a las ecuaciones F y utilizamos sistemas de pruebas y errores en el que se asumen (repetidamente) los datos de los factores hasta alcanzar un nivel de error aceptable.

“Una vez se obtienen los valores de F y θ se calculan las demás fuerzas sobre las dovelas individuales. El método de Spencer es muy preciso y se puede aplicar a casi cualquier tipo ingeniería de taludes, formación de suelos y posiblemente más completo y sencillo de calcular el factor de seguridad” (Jaime Suarez, 2002).



2.2.5.7. Uso de software en los análisis de estabilidad de taludes finitos

A inicios de los años 60s, la aparición de herramientas de cálculo ha permitido gestionar los cálculos repetidos de diferentes métodos de análisis de estabilidad de taludes.

El método de equilibrio límite fue inicialmente aceptado, porque permitía proporcionar soluciones mediante cálculo manual. Pero ahora, las tecnologías actuales están facilitando el análisis y se pueden obtener resultados aún más precisos realizando más iteraciones o particionando la masa deslizante en trozos más pequeños.

Entre los softwares comúnmente que se utilizan se encuentra SLOPE/W de GeoStudio, diseñado específicamente para el análisis de estabilidad de taludes. Está basado en principio para el uso del método de equilibrio marginal y permite modelar suelos homogéneos y estratificados, con geometrías complejas y presencia de capa freática.

El software ayuda a realizar análisis de estabilidad de taludes según diversos modelos, como los realizados por Fellenius, Bishop, Janbú, Morgenstern-Price y Spencer, entre otros.

El comportamiento del material se modela según los criterios de Hoek y Brown, en el caso de las rocas; y para los suelos, se puede tener en cuenta el criterio de Mohr-Coulomb, el error lineal, el patrón de contraste, la condición no pigmentada o la función específica que indica la relación entre el esfuerzo cortante y el normal.

Las condiciones sísmicas se consideran mediante un análisis pseudoestático, donde las aceleraciones máximas del sismo, están dadas por sus coeficientes longitudinales y transversales.



De esta manera, una vez realizados los cálculos, el programa proporciona las diferentes superficies de falla a analizar, las superficies de falla más desfavorables, la distribución de los segmentos considerados en la masa de corte y gráficos de cuerpo libre para cada segmento dentro de la superficie de falla. estudiado, entre otros resultados (Sanhueza & Rodriguez, 2013).

2.2.6. Aplicación de los métodos de cálculo a un caso real

El estudio está considerado en la ladera Caballuni Juncal, Puno.

Dado el cerro de Caballuni también se encuentra en el más alta de las carreteras está ubicada exactamente en la vía Pichacanini – Juncal (Puno)

2.2.6.1. Antecedentes geológicos y sismológicos de la zona de estudio

Los suelos de Caballuni Juncal, Puno, están compuestos generalmente de:

Antecedentes geotécnicos

Esta investigación se desarrolla para adquirir los antecedentes del área en estudio, Se basa en una campaña de campo que contempla visitas de ingeniería para recabar antecedentes, inspecciones de campo para determinar el trabajo a realizar, exploración de terrenos por método directo (subterráneo) e indirecto (pruebas de penetración) y realizar pruebas de campo y laboratorio para la obtención de suelos (Sanhueza & Rodriguez, 2013).

2.2.7. Condición estática

El método de equilibrio finito demuestra que la falla del suelo ocurre en una línea representada por la superficie de falla. De tal forma, se entiende que la masa por encima de dicha línea se mueve con respecto a la masa por debajo, dando lugar a una fisura en el



suelo. En el momento de la falla, la fuerza cortante se moviliza a lo largo de la superficie de movimiento y el suelo se encuentra en un equilibrio perfectamente estable.

Los métodos de corte se pueden clasificar según las condiciones de equilibrio estático consideradas y las suposiciones sobre las fuerzas entre los cortes. Se dan bajo condiciones de equilibrio satisfechas por algunos de los métodos usados frecuentemente y pueden llamarse casos especiales del método de equilibrio límite.

2.2.8. Condición Pseudoestática

Las condiciones sísmicas se consideran mediante un análisis pseudoestático, donde las aceleraciones máximas del sismo, están dadas por sus coeficientes longitudinales y transversales.

Los pseudoanálisis representan los efectos de las oscilaciones sísmicas a través de la pseudoaceleración que produce fuerzas de inercia F_h y F_v , que actúan mediante del centro de masa de la falla.

2.2.9. Estabilidad de taludes

Se trata sobre la posible estabilidad o inestabilidad de un talud que es un aspecto donde está involucrado la geología, geotecnia y la ingeniería. La inestabilidad del talud puede deberse a alteraciones.

Los taludes también se estabilizarán según la resistencia del material del que estén conformados, los esfuerzos a los que estén sometidos o la discontinuidad con la que se produzcan. El talud puede ser de roca o de tierra (Acharya et al., 2020).



2.2.10. Métodos de equilibrio límite

Estos se definen según González (2002), como “el análisis de las fuerzas resistivas de una masa inestable en caso de falla se aplica a la superficie dañada o potencial; asumiendo que la superficie de falla debe tener una geometría de deslizamiento y datos conocidos como densidad, fuerza adhesiva, ángulo de fricción, presión de poro”. El método de equilibrio límite se estructura con dimensiones, en este caso son el tipo de método de cálculo, que satisface el equilibrio de momentos y se aplica a superficies circulares (Suarez J. , 2009).

Para (Pérez, 2005), son métodos simples y estos nos proporcionan resultados lógicamente prácticos para evaluar la estabilidad de taludes. Estas se aplican al terreno y generalmente soportarán cargas más altas a las cargas de rotura exactas (según la teoría de la ductilidad), aunque bastante cerca de ellas (p.17)

El método de equilibrio marginal fue aprobado, ya que solía proporcionar soluciones mediante cálculo manual. Sin embargo, las nuevas técnicas facilitan el análisis y se pueden obtener resultados más precisos realizando más iteraciones o dividiendo el bloque deslizante en partes más pequeñas. Todo ello ayudo a la mostrar fórmulas matemáticas más exactas como ejemplo tenemos a Morgenstern -Price (1965) y por Spencer (1967).

“El método de equilibrio límite permite modelar suelos homogéneos y estratificados, con superficies geométricas complejas y con presencia de nivel freático” (Sanhueza & Rodriguez, 2013).

“A través del método de límite de equilibrio permite obtener un factor de seguridad o a través de un análisis regresivo, obtener los valores de la resistencia al cortante en el momento de la falla. Una vez se han determinado las propiedades de

resistencia al cortante de los suelos, las presiones de poros y otras propiedades del suelo y del talud, se puede proceder a calcular el factor de seguridad del talud. Este análisis de estabilidad consiste en determinar si existe suficiente resistencia en los suelos del talud para soportar los esfuerzos de cortante que tienden a causar la falla o deslizamiento” (Aguilar & Zuñiga, 2015).

2.2.11. Estabilidad de taludes

Suarez (1998), dice: “Es una práctica común en ingeniería determinar la estabilidad de taludes con base en una expresión, como el factor de seguridad (FS), obtenida mediante análisis y estudio matemático de estabilidad. El modelo debe considerar todos los factores que promueven la inestabilidad. Estos elementos incorporan parámetros geológicos, propiedades de los suelos, presencia de grietas, geometría del talud, cargas dinámicas por actividad sísmica, flujo de agua, etc. [...]”. (p. 117)

“Estabilidad de taludes se entiende por la estabilidad a la seguridad de una masa de tierra contra la falla o movimiento, como primera medida es necesario definir los criterios de estabilidad de taludes, dado cual será la inclinación apropiada en un corte o en terraplén” (Matteis, 2003).

2.2.12. Factor de seguridad

a. Taludes nuevos.

Una gente de seguridad de diseño al contrario del error de un talud es dependiente de la cantidad de pérdidas económicas y de vidas humanas que estos errores puedan realizar. En el “Geotechnical Manual of Slopes” (GCOEDD, 1984) Los factores de seguridad recomendados para nuevos taludes se muestran en la Tabla 1. Estos factores son para suelos con agua de lluvia con un período de retorno de 10 años. Hay tres tipos

de riesgo en cada caso, mínimo, bajo y alto. La categoría "Riesgo de vida" refleja el potencial de pérdida de vidas en caso de falla.

Tabla 1. Factores de seguridad recomendados para taludes nuevos con un periodo de diez años.

Riesgo para la vida		Factor de seguridad recomendado contra pérdidas de vidas para una lluvia con periodo de retorno de 10 años		
Riesgo económico		Despreciable	Bajo	Alto
Factor de seguridad	Despreciable	>1	1.2	1.4 ⁽¹⁾
recomendado contra	Bajo	1.2	1.2	1.4 ⁽¹⁾
pérdidas económicas	Alto	1.4	1.4	1.4 ⁽¹⁾
para una lluvia con				
periodo de retorno de				
10 años				

Fuente: Geotechnical Manual for Slopes (GCOEDD, 1984)

Nota

“Adicionalmente al factor de seguridad de 1.4 para lluvia con período de retorno de diez años, un talud en la categoría alta debe tener un factor de seguridad de 1.1 con las condiciones más críticas posibles del agua subterráneo, además Los factores de seguridad dados en esta tabla son valores recomendados. Sin embargo, pueden adoptar valores mayores o menores, particularmente en relación con las pérdidas económicas probables.” (GCOEDD, 1984).

“La categoría de riesgo económico refleja la magnitud probable de las pérdidas económicas en los casos de falla. En las tablas 2 y 3 se presentan ejemplos típicos de las situaciones de fallas en taludes correspondientes a cada categoría de riesgo” (GCOEDD, 1984).



Cabe señalar que los factores de seguridad de pérdidas económicas deben usarse como guía, ya que no dan cobertura a las diferentes situaciones en las que pueden ocurrir daños. Es esencial que el diseñador tome la decisión correcta al sopesar la pérdida económica potencial en caso de falla frente a los costos de construcción adicionales necesarios para garantizar un factor de seguridad más alto.

b. Taludes existentes.

Al analizar pendientes antiguas para determinar la necesidad de una acción correctiva o preventiva, la historia del comportamiento de las pendientes puede ser de gran interés. Por ejemplo, hay una capacidad mucho mejor para examinar la geología de laderas que cuando se desarrolla un sitio y se obtiene información más confiable sobre las aguas subterráneas. Por lo tanto, el diseñador puede aplicar con confianza factores de seguridad para trabajos de reparación o preventivos menores que los enumerados anteriormente para puentes nuevos. Siempre que se lleven a cabo investigaciones geológicas y geotécnicas rigurosas (incluida una revisión minuciosa del historial de mantenimiento de taludes, registros de aguas subterráneas, precipitaciones y medidores de taludes), los factores descritos en la Tabla 2 para el diseño de trabajos de reparación o preventivos, y provistos bajo condiciones de carga, los factores básicos la forma del puente ha sido modificada y mantenida El sistema de aguas subterráneas es esencialmente el mismo que el actual sistema de presas.

Para el diseño de estructuras correctivas o de protección, se puede suponer que el talud existente tiene un factor de seguridad mínimo de 1.00 para cargas extremas y condiciones freáticas. En el caso de presas dañadas o peligrosas, se debe identificar la causa del daño o peligro para incorporarlo al diseño estructural. Si el talud se ve alterado significativamente o su estabilidad se ve afectada por una nueva construcción, se deben



aplicar los factores de seguridad recomendados en la Tabla 4, teniendo en cuenta el análisis de taludes y las obras de prevención y corrección existentes.

Tabla 2. Factores de seguridad recomendados contra pérdidas de vida para lluvia con período de retorno de 10 años.

Riesgo para la vida	Despreciable	Bajo	Alto
Factor de seguridad	1.00	1.10	1.20

Fuente: Geotechnical Manual for Slopes (GCOEDD, 1984)

Notas

Estos factores de seguridad son valores mínimos que deben usarse solo cuando se realizan estudios geológicos y geotécnicos rigurosos, donde las pendientes son estables durante mucho tiempo, las condiciones de carga, el régimen freático y la forma básica de los puentes modificados son esencialmente los mismos. como las presas existentes.

Se deben aplicar procedimientos de análisis de taludes para diseñar estructuras correctivas o de protección, asumiendo que el talud existente ha alcanzado un factor de seguridad mínimo de 1.00 para la carga y las peores condiciones conocidas de agua subterránea.

Para taludes dañados o en riesgo de daño, la causa del daño o peligro debe identificarse específicamente y tenerse en cuenta al diseñar el trabajo de reparación.

c. Taludes naturales

Los gradientes naturales suelen estar cerca del límite de equilibrio en grandes áreas, por lo que las medidas de prevención pueden ser excesivos en el costo y difíciles. En estos casos, no se recomienda bajar la pendiente para obtener una ligera mejora en la



estabilidad. En tales casos, se puede desarrollar rápidamente una alta presión intersticial. En estos casos, normalmente no se genera una señal previa al desplazamiento y el material en movimiento, si se licua, puede moverse distancias muy largas y a altas velocidades, incluso en superficies relativamente planas. Los materiales con una unidad de masa seca por debajo de la densidad crítica pueden formarse por compactación inadecuada del aislador, desgasificación del coloide a granel o por meteorización in situ.

Las rocas erosionadas pueden comportarse tan severamente como el suelo en cuanto a características técnicas, por lo que las pendientes con estos materiales deben evaluarse mediante el análisis de una variedad de superficies potencialmente dañadas. En rocas menos meteorizadas, el derrumbamiento de taludes está controlado por el sistema de ranuras.

2.2.13. Mitigación de deslizamientos

Cada año, los deslizamientos de tierra causan graves daños en todas las partes de la tierra a nivel mundial y causan la muerte de muchos. Por lo tanto, con el concepto de mitigación técnica, la estabilización de la región descuidada es esencial donde se construirá el edificio.

La estabilización de taludes es un sistema de técnica de diseño permanente, ya sea que se use solo o en combinación con otro para minimizar el movimiento hacia abajo del suelo o roca de las superficies perturbadas.

Las medidas de mitigación de deslizamientos se pueden clasificar bajo el enfoque de la Prevención y Remediación de Deslizamientos, estos se pueden expresar como se indica en los siguientes ítems (Alfaro et al., 2021; Cornforth, 2005).



a. Mediante Excavación

- Reducir altura de talud por excavación encima del talud.
- Excavar una banqueteta en la parte alta del talud
- Tendido del ángulo de talud.
- Excavar completamente la masa de deslizamiento

b. Mediante la construcción de un sistema de drenaje

Proporcionar el sistema de drenaje para estabilizar la pendiente tiene eficiencia en términos de diseño y costo de construcción.

El drenaje de las aguas superficiales y subterráneas es una de las técnicas más utilizadas y, por lo general, la más exitosa para estabilizar la pendiente. El drenaje no solo reduce el peso de la masa que tiende a provocar el deslizamiento, sino que también aumenta la resistencia del material en el talud.

El drenaje se puede proporcionar en varias formas, es decir:

- Drenaje superficial
- Drenaje subsuperficial
- Túneles, Socavones o Galerías de Drenaje
- Drenajes Subhorizontales

c. Geotextiles y Geocompuestos

El uso de geotextil suele ser más económico y eficaz en situaciones en las que se requiere un filtro granular graduado. Al igual que los filtros granulares graduados, los filtros geotextiles también deben diseñarse para retener el suelo, deben tener características de filtración a largo plazo y permeabilidad del sistema.



Los geocompuestos son los productos que componen el filtro geotextil para la protección de los drenajes y para mantenerlos fluyendo libremente durante toda su vida útil o vida útil.

Puede instalarse en zanjas en pendiente, particularmente en los lugares o áreas de difícil acceso, en los lugares donde se requiera la interceptación de filtraciones y también puede instalarse detrás de las estructuras de contención.

d. Sistema de retención estructural

La técnica que utiliza el sistema estructural o los miembros estructurales para retener la tierra es el sistema de retención estructural.

Hay varios tipos de estructuras que se pueden usar para retener el suelo o la tierra de manera segura.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO

La ladera Caballuni está ubicado en la carretera Pichacani-Juncal, exactamente el cerro Caballuni está situado entre los distritos de Laraqueri y San Antonio de Esquilache, provincia de Puno y departamento Puno, ubicado al sur del Perú, situado a 5,000 metros sobre el nivel del mar.



Figura 2. Ubicación del tramo Caballuni- Juncal- Puno

3.2. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es de carácter descriptivo, puesto que se describe los resultados obtenidos en campo, seguidos de las características del estudio, problema, objetivos y preguntas orientadoras que fueron respondidas sin manipulación de ninguna variable de investigación.



3.2.2. Diseño de investigación

Este es de carácter descriptivo, porque es necesario la recolectar los datos geográficos, para la realización del estudio y comprobar los métodos.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población de estudio

La población de estudio que se tomó la carretera Pichacani-Juncal, exactamente el cerro Caballuni del distrito de Pichacani, Provincia de Puno y departamento Puno.

3.3.2. Muestra.

Para determinar las muestras, se empleó la técnica del muestreo estratificado, el cual sirvió para tomar las muestras de distintos lugares, como ensayo de corte directo en suelos, considerando tres especímenes.

3.4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La investigación se centra a una investigación tipo mixta, ya que comprende investigar y recolectar la información en la que por medio del software Geostudio, con el módulo SLOPE/W se calcularon los factores de seguridad, para luego realizar el análisis comparativo para cada ladera, la cual consta de 6 fases que se describe sobre en qué consiste cada una de las fases.

3.4.1. Recopilación de información

Para recopilar toda la información se enfocó en lo siguiente:

- Primero se recopilaron toda la información topográfica, geológica, geomorfológica y geotécnica necesaria para realizar el estudio.



- Se realizaron consultas de proyectos de la estabilidad de taludes, estos trabajos de investigación sirvieron como una guía precedente para el presente estudio.
- Se usó el software GEOSTUDIO de GEOSLOPE, específicamente con el módulo Slope/w para calcular los factores de seguridad.

3.4.1.1. Caracterización geotécnica de suelos

La metodología consiste en la determinación de las características geotécnicas de los materiales, basado en ensayos de laboratorio y/o campo considerando los materiales, equipos utilizados en las pruebas y los métodos de laboratorio que se han utilizado en este estudio. También se explica detalladamente cómo se estaban realizando las pruebas y qué procedimientos se siguieron (Alfaro & Espinoza, 2021; MTC, 2016).

- Muestreo de Suelos
- Ensayo de Humedad
- Límites de consistencia
- Análisis de granulometría por tamizado
- Ensayo de corte directo (ángulo de fricción y cohesión)
- Peso unitario seco, peso unitario húmedo.

3.4.2. Organización de información

Se tomó estudios geotécnicos para la realización del presente estudio con el uso de (herramientas requeridas para el uso del software).

3.4.3. Parámetros que maneja cada método

Estos parámetros que utilizo el software con el motivo de hacer cálculos en el tema de la seguridad, estos estudios de laboratorio que se realizaron, tales como: peso seco, peso húmedo, etc.



3.4.4. Cálculo de los factores de seguridad por cada zona

Se tomaron 4 condiciones de los diferentes perfiles para realizar los cálculos de seguridad las cuales son: saturada sin sismo, saturada con sismo, no saturada sin sismo y no saturada con sismo.

El método que se utilizó en el estudio es el método de equilibrio límite el cual se detalla a continuación:

3.4.4.1. Método de equilibrio límite

El método de equilibrio límite implica el estudio del estado de equilibrio de un cuerpo rígido, incluidas las pendientes y las superficies deslizantes de cualquier forma (línea, arco, espiral logarítmica). Con este equilibrio, se calcula el esfuerzo cortante (τ) y se compara con la resistencia disponible (τ_f), hallada de acuerdo al criterio de falla de Coulomb: de esta manera la comparación proviene de la primera estabilidad con la seguridad

$$F = \frac{\tau_f}{\tau} \dots\dots\dots(5)$$

“Entre los métodos del equilibrio último hay algunos que consideran el equilibrio global del cuerpo rígido (Culman) mientras que otros, por falta de homogeneidad, dividen el cuerpo en rebanadas y consideran el equilibrio de cada una” (Pérez, 2005).

“Los análisis de Equilibrio Límite consideran el equilibrio de una fuerza y/o un momento de la masa de tierra sobre una superficie potencial de falla. La masa sobre la superficie potencial de falla se asume rígida, i.e. la fuerza de corte sólo se puede desarrollar en la superficie potencial de falla. La fuerza de corte disponible se asume que se moviliza a la misma velocidad en todos los puntos de la superficie potencial de falla. Como resultado de esto, el factor de seguridad es constante sobre toda la superficie de

falla, dado que se asume que la superficie potencial de falla es rígida - perfectamente plástica, los análisis de equilibrio límite no proveen información acerca de la deformación del talud” (Martínez & Barrera, 2011)

Métodos de Dovelas

Es un método donde la masa de la parte superior de la superficie de falla es dividida en muchas franjas verticales (Figura 3). Asimismo, “el número de tajadas depende de la geometría del talud y de la precisión requerida para el análisis” (Huang, 2014).

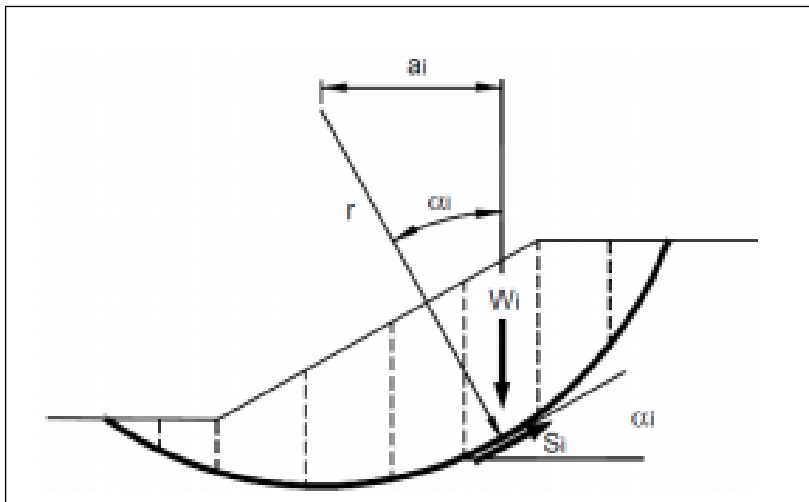


Figura 3. Esquema de un sistema típico de análisis con tajadas o dovelas



Para el proyecto se considerarán los siguientes métodos:

APROXIMADOS

- Janbú.
- Fellenius.
- Bishop simplificado.

PRECISOS

- Morgenstern y Price.
- Spencer.
- Bishop riguroso

Método de Janbu

Janbu hizo posible la mejora de superficies de deslizamiento. “Cuando se tratan superficies de deslizamiento de cualquier forma el brazo de las fuerzas cambia (en el caso de las superficies circulares queda constante e igual al radio), por este motivo es mejor valorar la ecuación del momento respecto al ángulo de cada bloque” (Duncan et al., 2014).

$$F = \frac{\left\{ \sum i \left[c_i * b_i + (W_i - u_i * b_i + \Delta X_i) * \tan \phi_i \right] * \left[\frac{\sec^2 \alpha_i}{\left(1 + \tan \alpha_i * \frac{\tan \phi_i}{F} \right)} \right] \right\}}{\left(\sum i W_i * \tan \alpha_i \right)} \dots\dots(6)$$

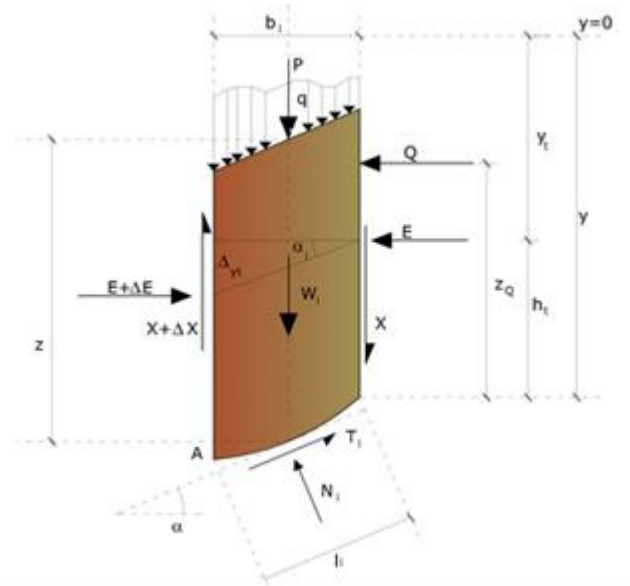


Figura 4. Distribución de esfuerzos Método Janbu

Aceptando que $\Delta X_i = 0$ del método normal. Janbu nos trae otro método para poder corregir el factor de seguridad que salió del método normal como vemos a continuación:

$$F_{correcto} = f_0 * F \dots\dots\dots(7)$$

Donde f_0 es dependiente de la geometría y de parámetros geotécnicos y todo ello los encontramos en tablas y gráficos. La corrección producida tiene un valor de confianza muy alta para taludes es poco inclinado.

Método de Fellenius

“Este método es (válido solo para superficies de deslizamiento circulares) y se pasan por alto las fuerzas entre las dovelas, por lo tanto, las incógnitas se reducen a” (Huang, 2014)

- n valores de las fuerzas normales N_i ;
- n valores de las fuerzas de corte T_i ;
- 1 factor de seguridad.

Incógnitas $(2n+1)$. Las ecuaciones disponibles son:

- n ecuaciones de equilibrio traslación vertical;
- n ecuaciones del criterio de rotura;
- ecuación de equilibrio de momentos global.

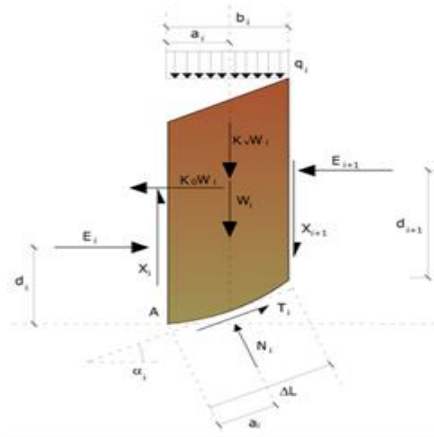


Figura 5. Distribución de esfuerzos en una rebanada

$$F = \frac{\left\{ \sum i [c_i * l_i + (W_i * \cos \alpha_i - u_i * l_i) * \tan \phi_i] \right\}}{\sum i * \sin \alpha_i} \dots\dots\dots(8)$$

El problema propuesto tiene un fácil criterio para resolverlo, además de tener resultados muy moderado los factores bajos de seguridad, estas son admitidas para superficies profundas.

Método de Bishop

Se tienen en consideración todas las fuerzas que actúan en los bloques. Este método fue de los primeros en realizar descripciones de problemas relacionados con métodos normales.

Sus ecuaciones son:

$$\sum F_y = 0 \dots\dots\dots(9)$$

$$\sum M_0 = 0 \dots\dots\dots(10)$$

Criterio de rotura

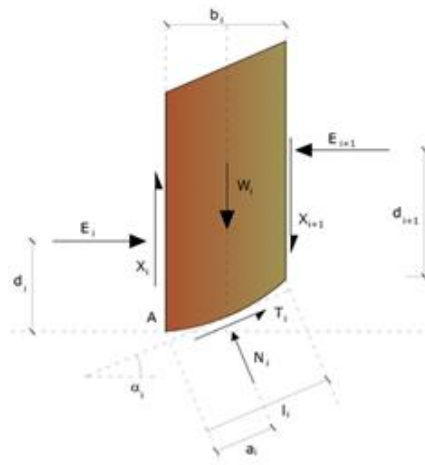


Figura 6. Distribución de esfuerzos Método Bishop

$$F = \frac{\left\{ \sum i [c_i * b_i + (W_i - u_i * b_i + \Delta X_i) * \tan \phi_i] * \left[\frac{\sec \alpha}{1 + \tan \alpha_i * \tan \phi_i} \right] \right\}}{\sum i W_i * \sin \alpha_i} \dots\dots\dots(11)$$

F y de ΔX son valores que satisfacen la ecuación también realizan una solución a este. Como primera aproximación sería $\Delta X = 0$ e intercambiar el factor de seguridad. Estas acciones son conocidas como el método de Bishop normal que tienden a dar un error aproximado del 1 %.

Método de Morgenstern y Price.

Se supone que existe una relación significativa entre el esfuerzo cortante y el esfuerzo normal entre secciones. Esta función es también considerada como estática, como dentro del método de Spencer, o también se considera como una función distinta. El poder asumir una función particular que determine las cantidades de fuerzas entre clips lo convierte en un método más estable que el de Spencer. Pero, esta suposición sobre las diferentes funciones tiene un efecto mínimo en el cálculo del factor de seguridad una vez ya satisfechas el equilibrio estático, existe una diferencia mínima entre productos del

método de Spencer y los de Morgenstern y Price. “El método de Morgenstern y Price, al igual que el de Spencer, es un método muy preciso, prácticamente aplicable a todas las geometrías y perfiles de suelo” (Suarez, 2002)

Método de Spencer

Este método cubre por completo el equilibrio de momentos y de esfuerzos, está basado en suponer la fuerza entre dovelas son paralelas entre ellas quiere decir que tienen la inclinación del mismo ángulo. “La inclinación específica de estas fuerzas entre partículas, es desconocida y se calcula como una de las incógnitas en la solución de las ecuaciones de equilibrio. Spencer inicialmente propuso su método para superficies circulares pero este procedimiento se puede extender fácilmente a superficies no circulares. Spencer plantea dos ecuaciones una de equilibrio de fuerzas y otra de equilibrio de momentos, las cuales se resuelven para calcular los factores de seguridad F y los ángulos de inclinación de las fuerzas entre dovelas θ . Para resolver las ecuaciones F y θ , se utiliza un sistema de ensayo y error donde se asumen los valores de estos factores (en forma repetitiva) hasta que se alcanza un nivel aceptable de error. Una vez se obtienen los valores de F y θ se calculan las demás fuerzas sobre las dovelas individuales. El método de Spencer se considera muy preciso y aplicable para casi todo tipo de geometría de talud y perfiles de suelo y es tal vez, el procedimiento de equilibrio más completo y más sencillo para el cálculo del factor de seguridad” (Suarez, 2002).

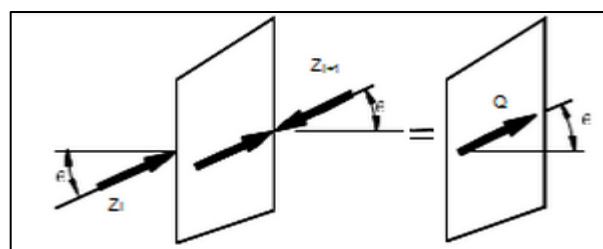


Figura 7. Análisis Del Ángulo de Inclinación en el Método de Spencer

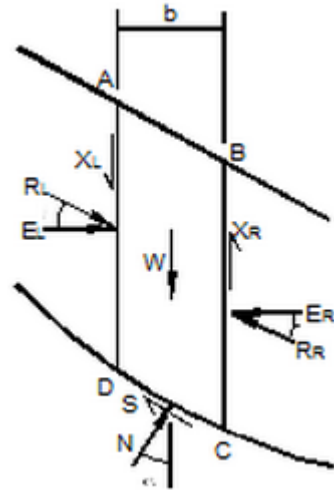


Figura 8: Análisis De Fuerzas Por Dovelas En El Método De Spencer

Después se organizan factores de seguridad adquiridos por cada método con sus condiciones:

Tabla 3. Tabla de resultados de factores de seguridad según métodos

FACTORES DE SEGURIDAD - METODOS				
PERFIL	SATURADA Y CON SISMO	SATURADA Y SIN SISMO	NO SATURADA CON SISMO	NO SATURADA Y SIN SISMO
1				
2				
3				
4				
5				

3.4.5. Elaboración de cuadro comparativo

Se realizó cuadros de comparación de resultados para cada sector de sus perfiles, después se realizó cuadros de tabulación de factores de seguridad de la condición crítica que se obtuvo de cada método en los perfiles típicos de cada sector. El cuadro que se usó es el siguiente:



Tabla 4. Tabla para factores de seguridad de perfiles típicos.

PERFIL 1	
METODO	FACTOR DE SEGURIDAD
APROXIMADOS	
– Janbú.	
– Fellenius.	
– Bishop simplificado.	
PRECISOS	
– Morgenstern y Price.	
– Spencer.	
– Bishop riguroso	

3.4.6. Análisis de los datos obtenidos.

Se realizó el análisis con el estado más culminante que es saturada y con sismo, y se realizó un análisis distinto en cada una de las zonas estudiadas.

Las propiedades del suelo fueron obtenidas de los ensayos de caracterización, que se hicieron la clasificación de suelos (SUCS, AASHTO), del mismo modo los ensayos de corte directo de suelos.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente apartado se ha basado en trabajos de terreno, que se ha considerado vistas técnicas, donde se seleccionara la ubicación del trabajo de excavación, para realizar pruebas y ejecutar los ensayos del terreno en laboratorio para la obtención de parámetros de suelo.

4.1. CALICATAS DE ESTUDIOS

En el acto de explorar calicatas se registró otros materiales hallados acorde con la norma ASTM D 2488, con dos muestras y dos calicatas, mediante el ensayo de corte directo en suelos. Estos registros describen las clases de materiales en la profundidad de acuerdo con el sistema de clasificación para un suelo uniforme o consistente, la elasticidad de los buenos materiales y la forma de humedad natural granular, y el porcentaje de cantones rodados está vinculado, en comparación con el porcentaje de bolos o Los bolos estimados, en comparación con el centenario de los bloques y los tamaños oscuros, la existencia de materiales orgánicos u óxidos, de acuerdo con los signos de cemento, debido a su estabilidad, la estabilidad de las paredes de Calicata, al nivel al nivel. Difícil en el proceso de perforación.

4.2. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS Y SISMOLÓGICOS DE LA ZONA DE ESTUDIO

Se consideraron los suelos de Pisco, Arequipa – Moquegua, como zonas de epicentro con distintas magnitudes. Algunos de los sismos de mayor magnitud cercanos a la zona de estudio se muestran en la tabla 7.

Tabla 5. Sismos con epicentro en la región de Ica y Arequipa

Fecha	Zona epicentro	Magnitud (mw)
15 de agosto del 2007	Pisco	7.9
23 de junio del 2001	Arequipa - Moquegua	8.4

4.2.1. Análisis de la modelación del caso en estudio

Tabla 6. Resultados campaña geotécnica de parámetros de resistencia

Muestra	Tipo de ensayo	Angulo de fricción ϕ' (°)	Cohesion c(kPa)
M1	Corte directo, CD	28.51°	9.21

En la tabla 8 se observa el tipo de ensayo empleado para la campaña geotécnica de parámetros de resistencia, en la cual se tuvo un ángulo de fricción de 28.51° con una cohesión c(kPa) equivalente a 9.21.

Tabla 7. Parámetros geotécnicos de los suelos del perfil tipo de suelo

ESTRATO	ESPESOR	Parámetros del suelo		
		Densidad γ (KN/m ³)	Cohesión c(kPa)	Angulo de fricción ϕ' (°)
H1 - (GC-GM)	indefinido	14.71	9.21	28.51°

Según los parámetros geotécnicos de los suelos, se tuvo de una densidad de 14.71(KN/m³), con una cohesión de 9.21 y ángulo de fricción de 28.51°, para el estrato H1-GC-GM (Tabla 9).

Tabla 8. Aceleraciones máximas horizontales y verticales para los sismos estudiados

Sismo	Aceleración máxima horizontal (kh)	Aceleración máxima vertical (kv)
Arequipa - Moquegua (2001) (CISMIDADMIN, 2021)	0.22g	0.164g
Pisco (2007) (Lermo et al, 2007)	0.24g	0.24g



Se consideraron sismos de zonas de Arequipa – Moquegua y Pisco, mostrados en la tabla 10, las cuales contaron con una aceleración máxima horizontal de 0.22g a 0.24g y con una aceleración máxima vertical de 0.164 a 0.24g.

4.3. ANALISIS DEL FACTOR DE SEGURIDAD A TRAVÉS DE MÉTODOS DE EQUILIBRIO LIMITE

Habiendo terminado el modelo geométrico del talud e ingresados los resultados que corresponden al tipo de suelo y condiciones geotécnicas, variadas. El número de repeticiones calculadas con el objetivo de obtener la Superficie de falla, considerando las hipótesis, según las ideas presentadas de diferentes métodos de cálculo (Fellenius, Bishop, Janbu, Morgenstern-Price y Spencer). Los resultados de los factores de seguridad mínimos calculados se presentan en la tabla 11.

Tabla 9. FS Estáticos (FSe) adquiridos por los modelos de Fellenius, Bishop, Janbu, Morgenstern-Price y Spencer (GEO - SLOPE, 2012)

Modelo	FSe
Fellenius	1.04
Bishop	1.12
Janbu	1.04
Morgenstern-Price	1.12
Spencer	1.12

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERA CABALLUNI (METODO FELLENIUS - SIN SISMICIDAD)

FSe 1.04

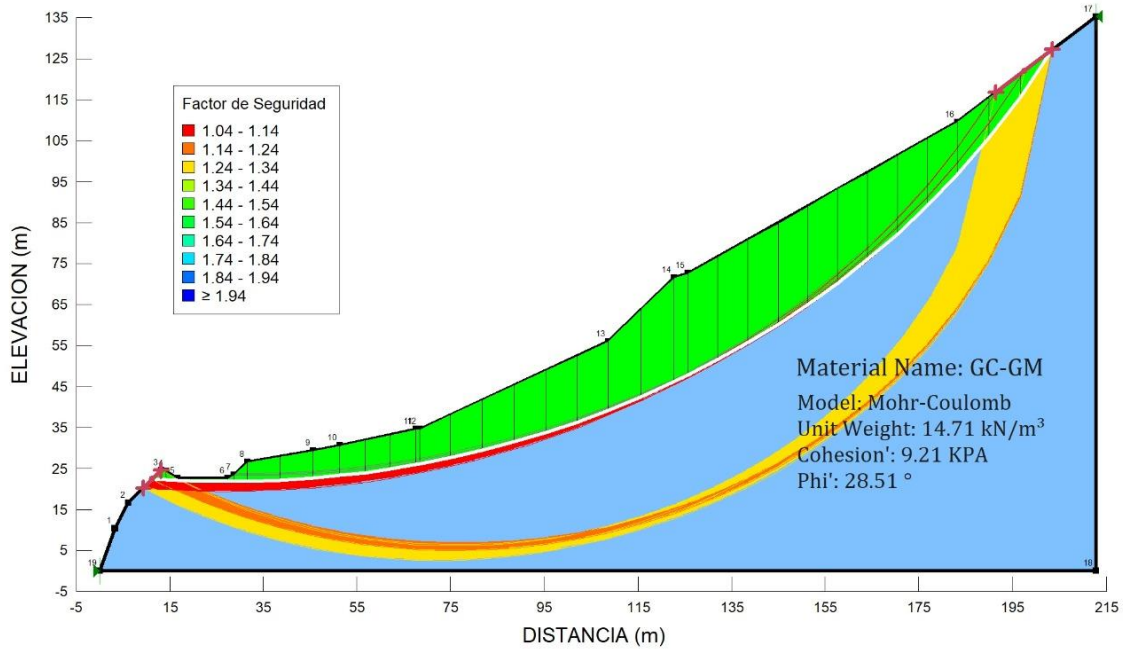


Figura 9. Análisis de estabilidad (Método Fellenius – Sin Sismicidad)

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de la figura 9 se tiene un análisis de estabilidad de ladera con el método Fellenius un factor de seguridad FSe de 1.04 a través de métodos de equilibrio limite, este resultado refiere que el factor de seguridad es estable.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERA CABALLUNI (METODO BISHOP - SIN SISMICIDAD)

FSe 1.12

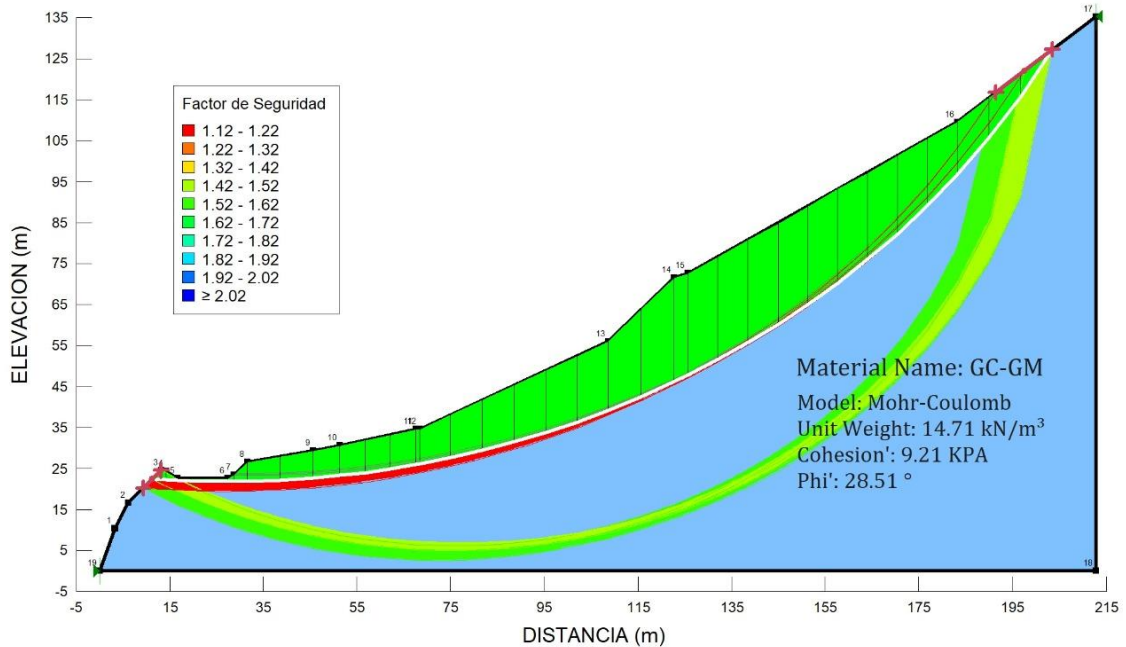


Figura 10. Análisis de estabilidad (Método Bishop – Sin Sismicidad)

Fuente: Elaboración propia

Para el método de Bishop se tiene un análisis de estabilidad de ladera con método bishop con un factor de seguridad FSe de 1.12 a través de métodos de equilibrio limite, este resultado refiere que el factor de seguridad es estable, considerando la tipología de que si el factor de seguridad es menor a 1 es inestable, de lo contrario es estable (Figura 10).

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERA CABALLUNI (METODO JANBU - SIN SISMICIDAD)

FSe 1.04

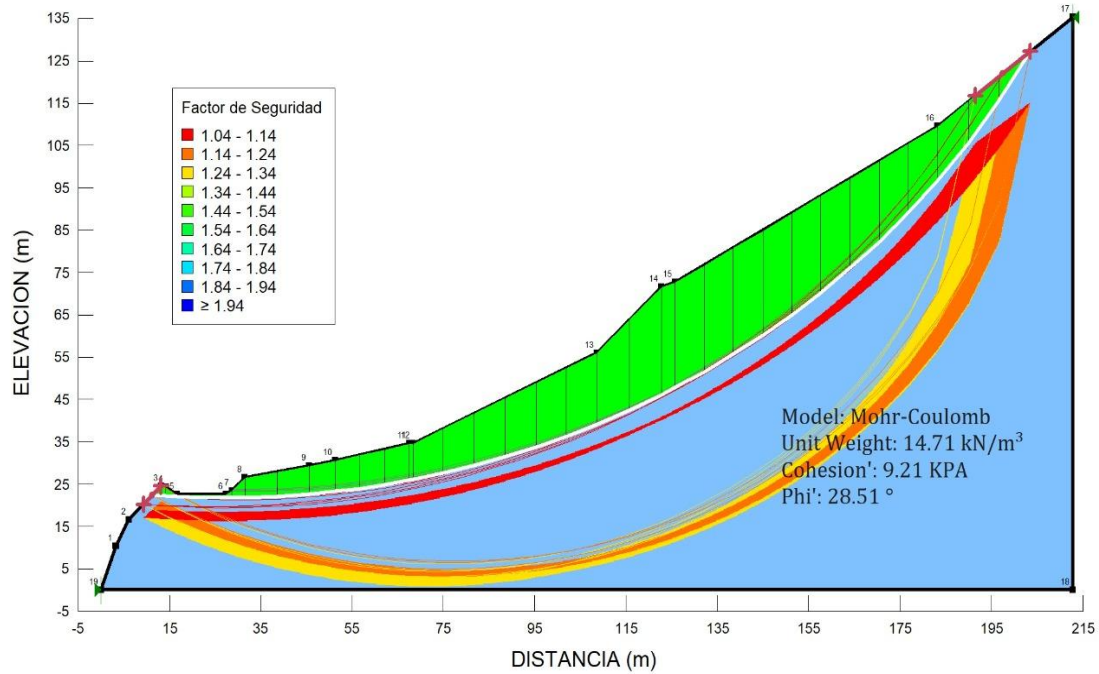


Figura 11. Análisis de estabilidad (Método Janbu – Sin Sismicidad)

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de la figura 11, se tiene un análisis de estabilidad de ladera método Janbu con un factor de seguridad FSe de 1.04 a través de métodos de equilibrio límite, esto hace referencia que el factor de seguridad es estable, cuando el FSe es mayor a 1.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERA CABALLUNI (MÉTODO MORGENSTERN PRICE - SIN SISMICIDAD)

FSe 1.12

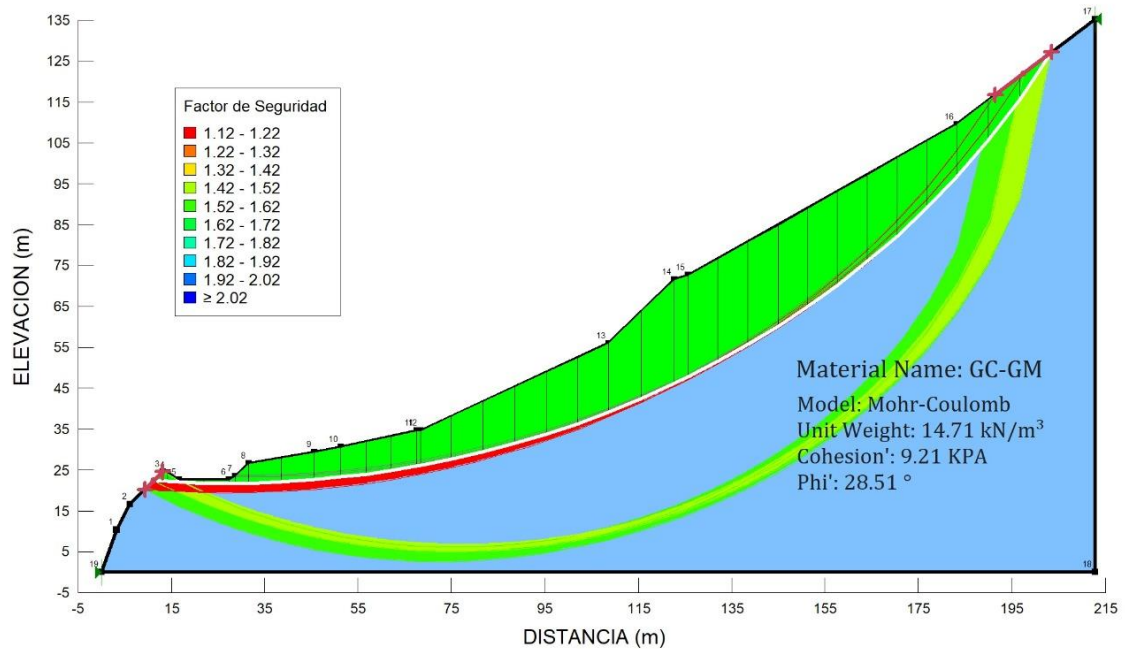


Figura 12. Análisis de estabilidad (Método Morgenstern Price – Sin Sismicidad)

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de la figura 12, se tiene un análisis de estabilidad de ladera por el método Morgenstern Price – Sin Sismicidad, con un factor de seguridad FSe de 1.12 a través de métodos de equilibrio límite, lo que indica que el factor de seguridad es estable, ya que el FSe es mayor a 1.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERA CABALLUNI (MÉTODO SPENCER - SIN SISMICIDAD)

FSe 1.12

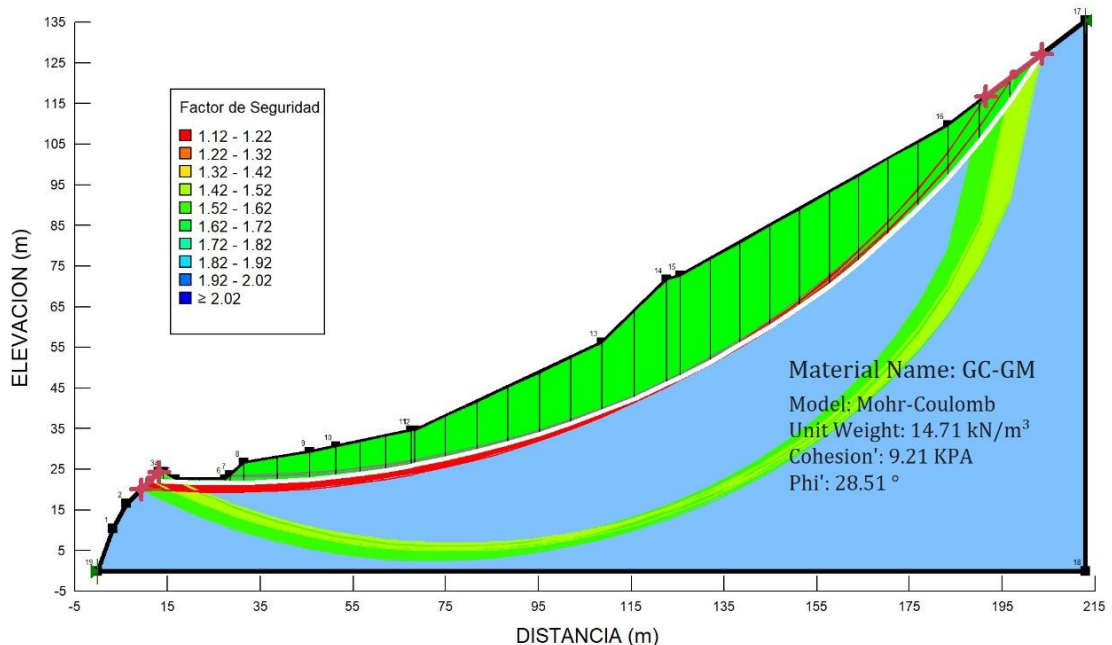


Figura 13. Análisis de estabilidad (Método Spencer – Sin Sismicidad)

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de la figura 13, se tiene un análisis de estabilidad de ladera método Spencer – Sin Sismicidad, con un factor de seguridad FSe de 1.12 a través de métodos de equilibrio límite, lo que señala que el factor de seguridad es estable, cuando el FSe es mayor a 1 y menor a 1 es inestable.

4.4. ANÁLISIS DEL FACTOR DE SEGURIDAD A TRAVÉS DE MÉTODOS PSEUDOESTÁTICOS

Para el análisis de los factores de seguridad a través de método pseudoestáticos se consideró dos escenarios: El de Arequipa 2001 y Pisco 2007. De esta manera se considerará las aceleraciones horizontales y verticales. Los resultados de los análisis realizados por los distintos métodos se presentan en la tabla 12, resultando más conservadores los métodos de Fellenius y Janbu.

Tabla 10. Factores de Seguridad Pseudoestáticos (FSd), adquiridos por los modelos de Fellenius, Bishop, Janbu, Morgenstern-Price y Spencer (GEO - SLOPE, 2012)

Modelo	FSd	Arequipa 2001	FSd	Pisco 2007
Fellenius		0.71		0.69
Bishop		0.77		0.75
Janbu		0.71		0.69
Morgenstern-Price		0.78		0.76
Spencer		0.78		0.76

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERA CABALLUNI (METODO FELLENIUS - SEUDOESTATICO)

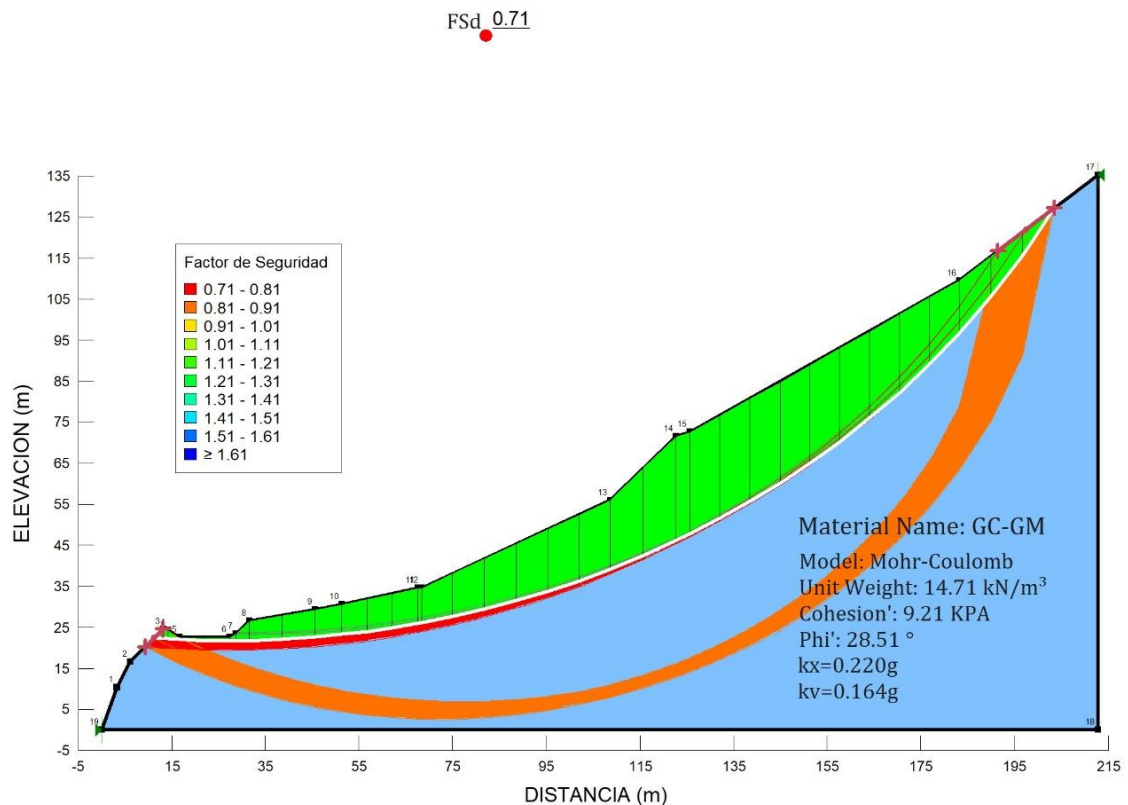


Figura 14. Análisis de estabilidad (Método Fellenius -Seudoestatico)

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de la figura 14, se tiene un análisis de estabilidad de ladera método Fellenius -Seudoestatico, con un factor de seguridad FSd de 0.71 a través de métodos de

equilibrio limite, lo que indica que el factor de seguridad pseudoestatico es inestable, ya que se tiene el FSd menor a 1.

ANALISIS DE ESTABILIDAD DE LADERA CABALLUNI (METODO FELLENIUS - SEUDOESTATICO 2)

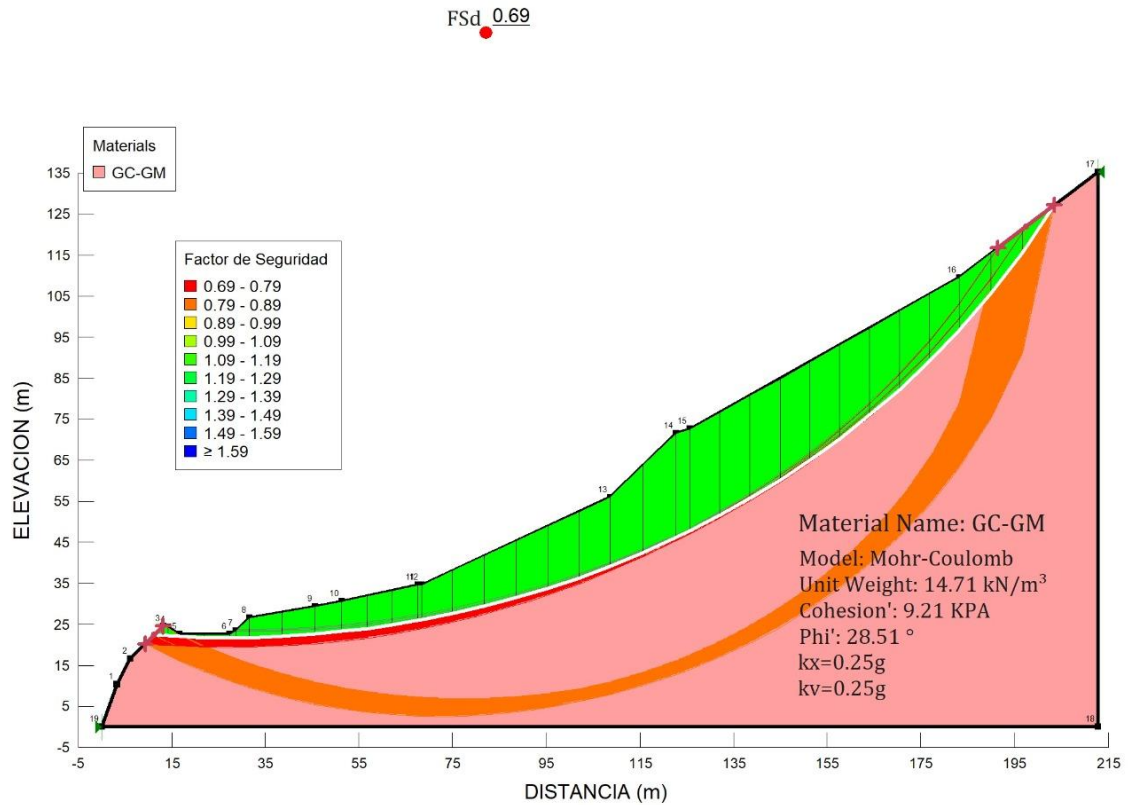


Figura 15. Análisis de estabilidad (Método Fellenius -Seudoestatico 2)

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de la figura 15, se tiene un análisis de estabilidad de ladera método Fellenius -Seudoestatico2, con un factor de seguridad FSd de 0.69 a través de métodos de equilibrio limite, lo que indica que el factor de seguridad pseudoestatico es inestable, ya que se tiene el FSd menor a 1.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERA CABALLUNI (METODO BISHOP - SEUDOESTÁTICO)

F_{Sd} 0.77

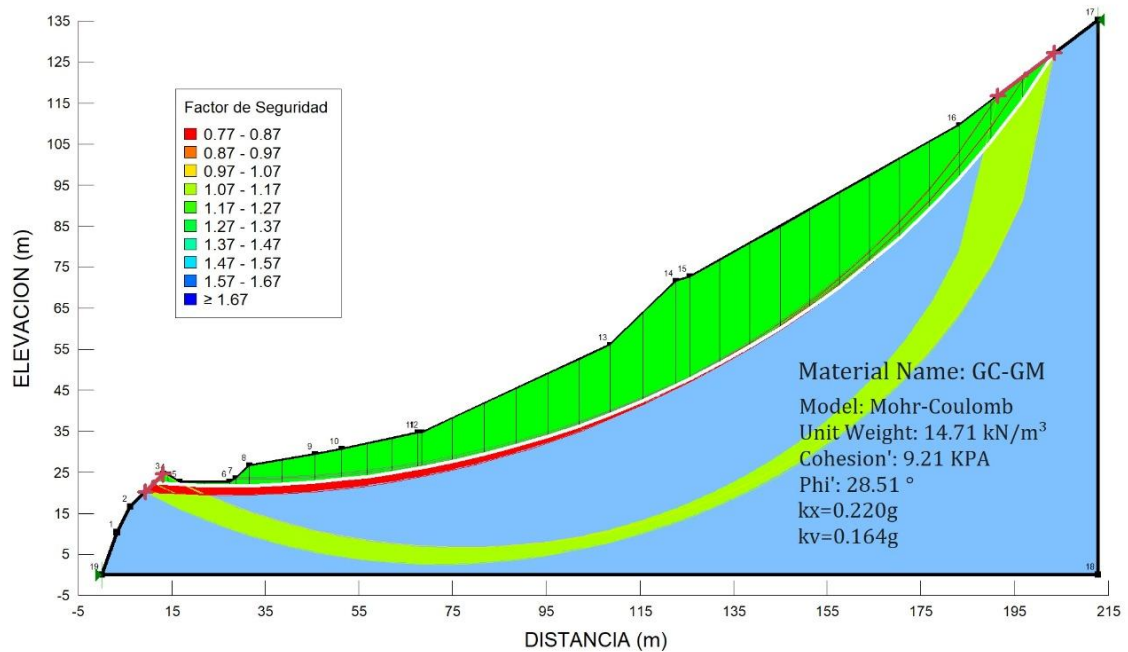


Figura 16. Análisis de estabilidad (Método Bishop -Seudoestático)

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de la figura 16, se tiene un análisis de estabilidad de ladera método Bishop -Seudoestático, con un factor de seguridad F_{Sd} de 0.77 a través de métodos de equilibrio límite, lo que indica que el factor de seguridad pseudoestático es inestable, ya que se tiene el F_{Sd} menor a 1.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERA CABALLUNI (METODO BISHOP - SEUDOESTATICO 2)

F_{Sd} 0.75

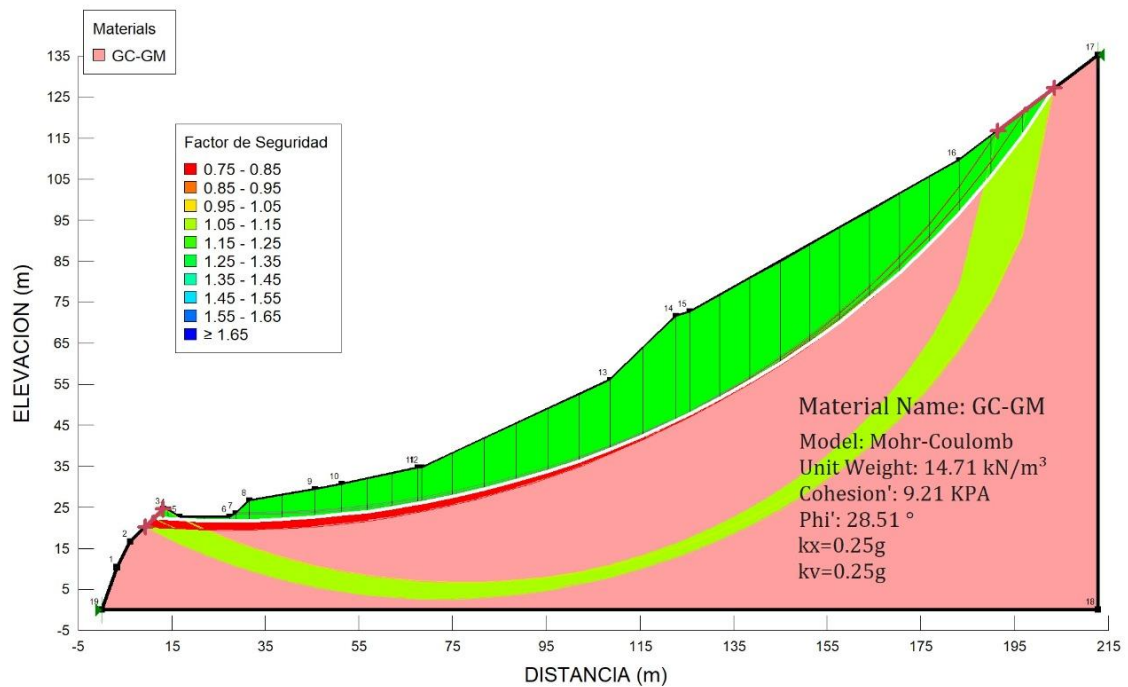


Figura 17. Análisis de estabilidad (Método Bishop - Seudoestatico 2)

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de la figura 17, se tiene un análisis de estabilidad de ladera método Bishop -Seudoestatico2, con un factor de seguridad F_{Sd} de 0.75 a través de métodos de equilibrio límite, lo que indica que el factor de seguridad pseudoestatico2 es inestable, ya que se tiene el F_{Sd} menor a 1.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERA CABALLUNI (METODO JANBU - SEUDOESTATICO)

F_{Sd} 0.71

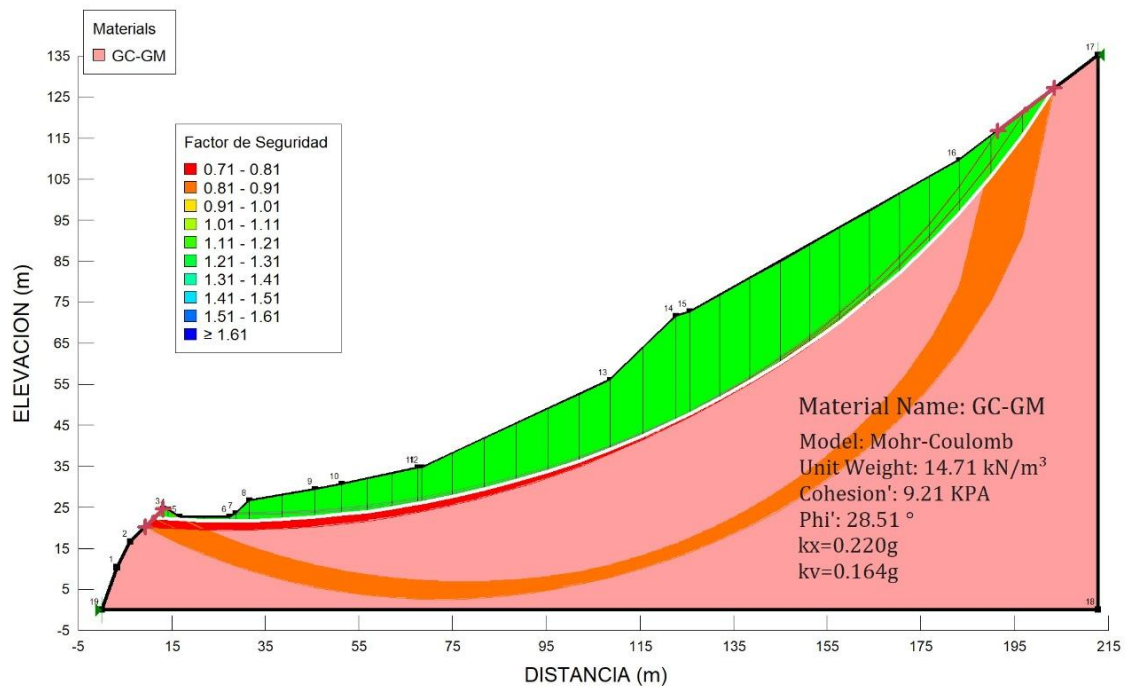


Figura 18. Análisis de estabilidad (Método Janbu - Seudoestatico)

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de la figura 18, se tiene un análisis de estabilidad de ladera método Janbu -Seudoestatico, con un factor de seguridad F_{Sd} de 0.71 a través de métodos de equilibrio limite, lo que indica que el factor de seguridad pseudoestatico es inestable, ya que se tiene el F_{Sd} menor a 1.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERA CABALLUNI (METODO JANBU - SEUDOESTATICO 2)

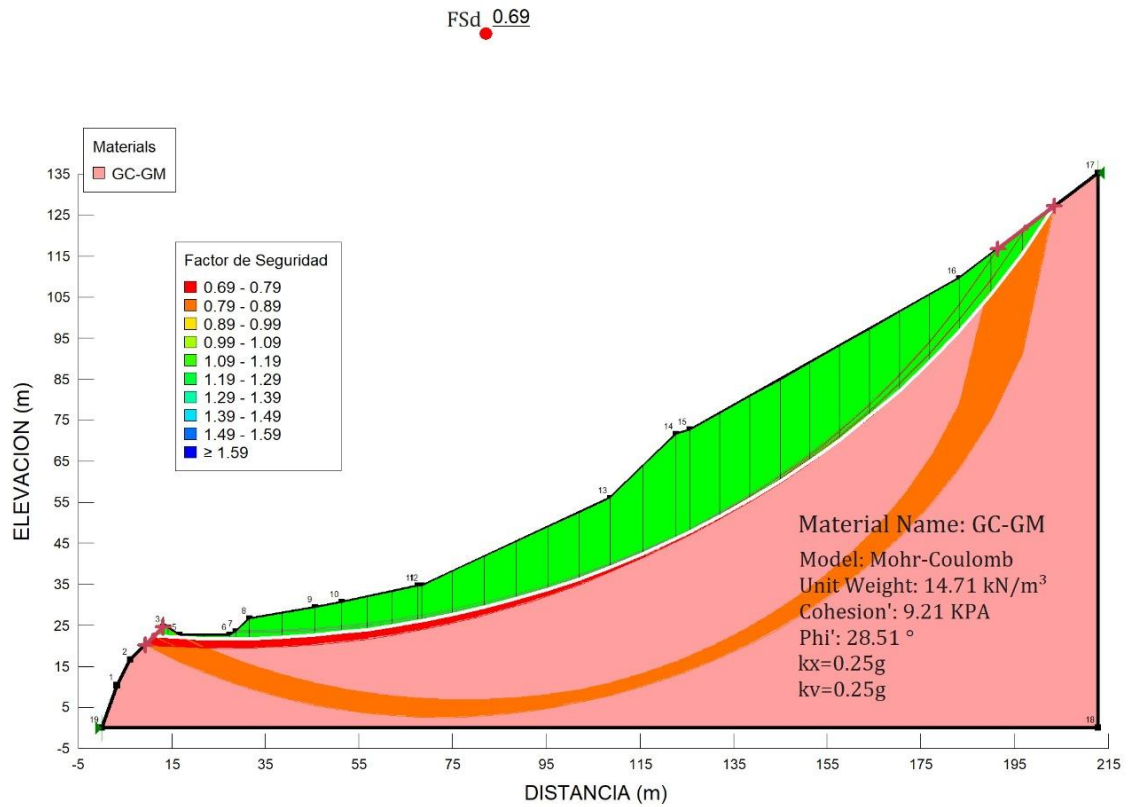


Figura 19. Análisis de estabilidad (Método Janbu – Seudoestatico 2)

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de la figura 19, se tiene un análisis de estabilidad de ladera método Janbu -Seudoestatico2, con un factor de seguridad FSd de 0.69 a través de métodos de equilibrio límite, lo que indica que el factor de seguridad pseudoestatico2 es inestable, ya que se tiene el FSd menor a 1.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERA CABALLUNI (METODO MORGENSTERN PRICE - SEUDOESTATICO)

F_{Sd} 0.78

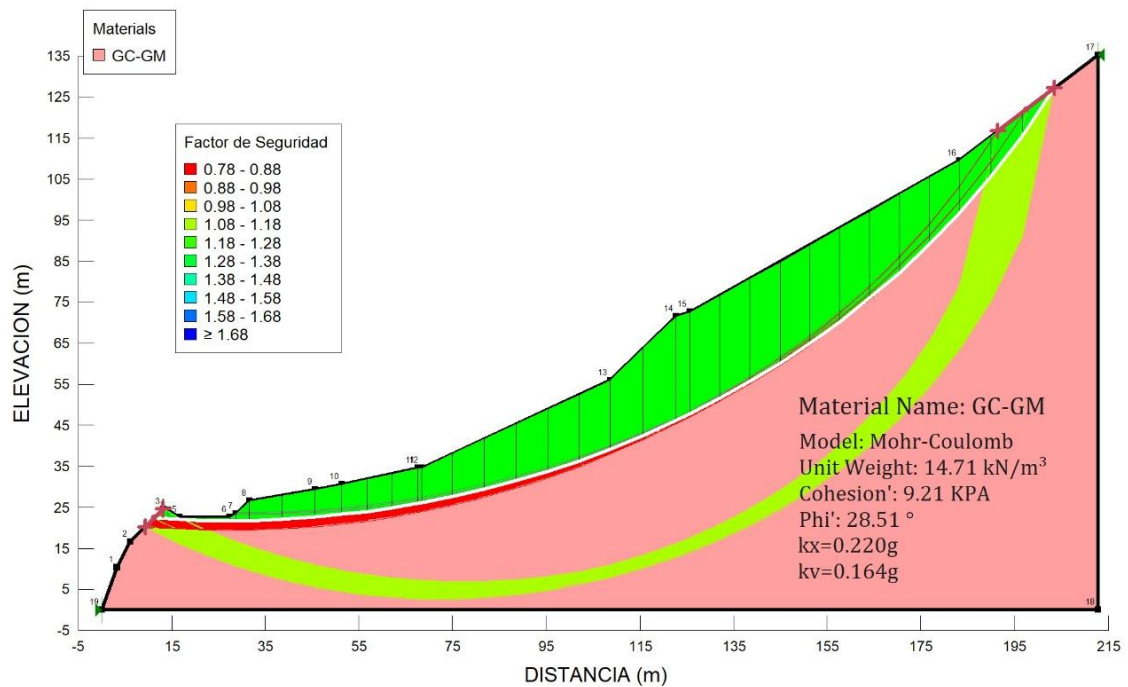


Figura 20. Análisis de estabilidad (Método Morgenstern Price - Seudoestatico)

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de la figura 20, se tiene un análisis de estabilidad de ladera método Morgenstern Price -pseudoeestatico, con un factor de seguridad F_{Sd} de 0.78 através de métodos de equilibrio limite, lo que indica que el factor de seguridad pseudoeestatico es inestable, ya que se tiene el F_{Sd} menor a 1.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERA CABALLUNI (METODO MORGENSTERN PRICE - SEUDOESTATICO 2)

FSD 0.76

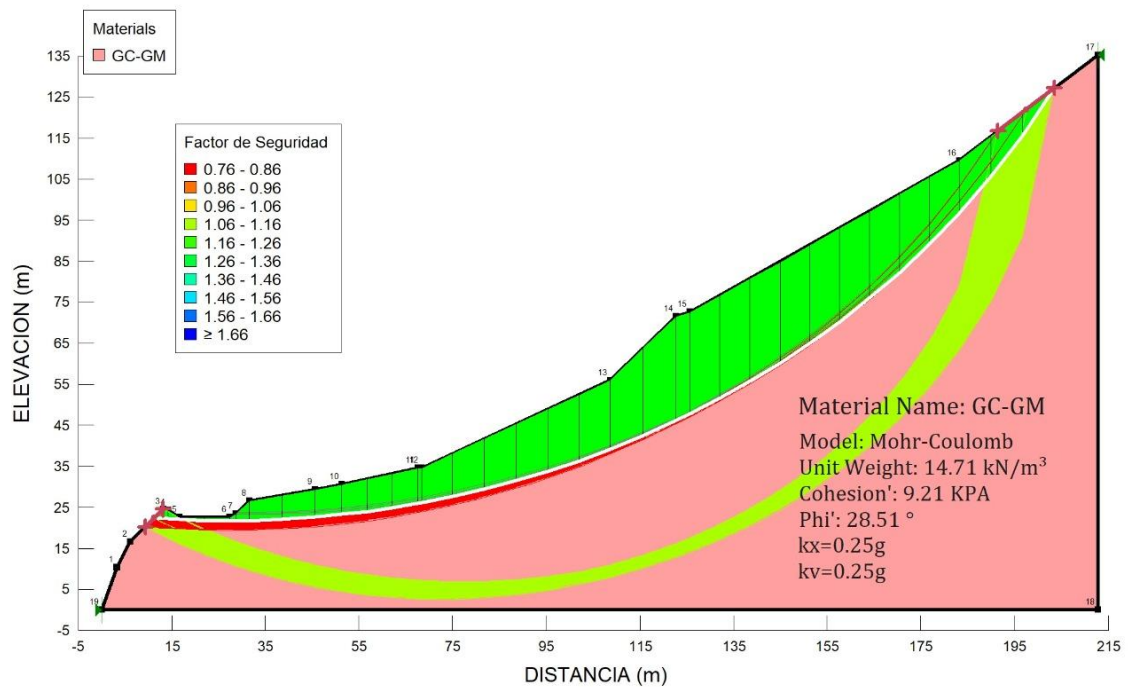


Figura 21. Análisis de estabilidad (Método Morgenstern Price – Seudoestatico 2)

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de la figura 21, se tiene un análisis de estabilidad de ladera método Morgenstern Price -Seudoestatico2, con un factor de seguridad FSD de 0.76 através de métodos de equilibrio limite, lo que indica que el factor de seguridad pseudoestatico2 es inestable, ya que se tiene el FSD menor a 1.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERA CABALLUNI (METODO SPENCER - SEUDOESTÁTICO)

F_{Sd} 0.78

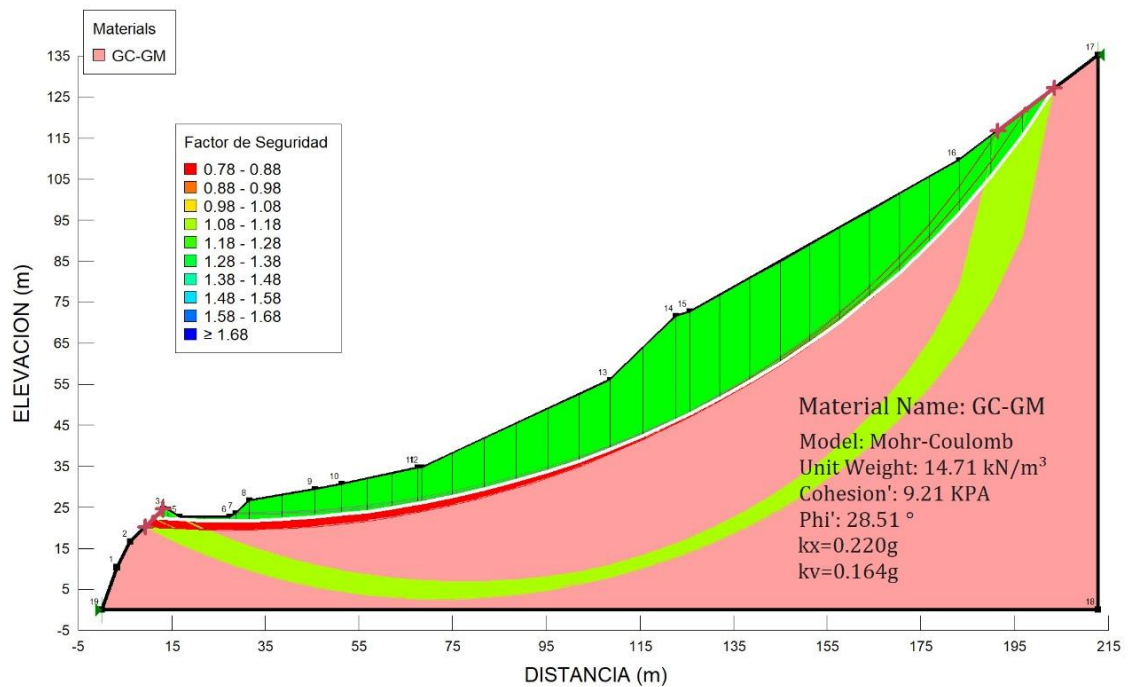


Figura 22. Análisis de estabilidad (Método Spencer - Seudoestático)

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de la figura 22, se tiene un análisis de estabilidad de ladera método Morgenstern Price -Seudoestático, con un factor de seguridad F_{Sd} de 0.78 a través de métodos de equilibrio límite, lo que indica que el factor de seguridad pseudoestático es inestable, ya que se tiene el F_{Sd} menor a 1.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERA CABALLUNI (METODO SPENCER - SEUDOESTATICO 2)

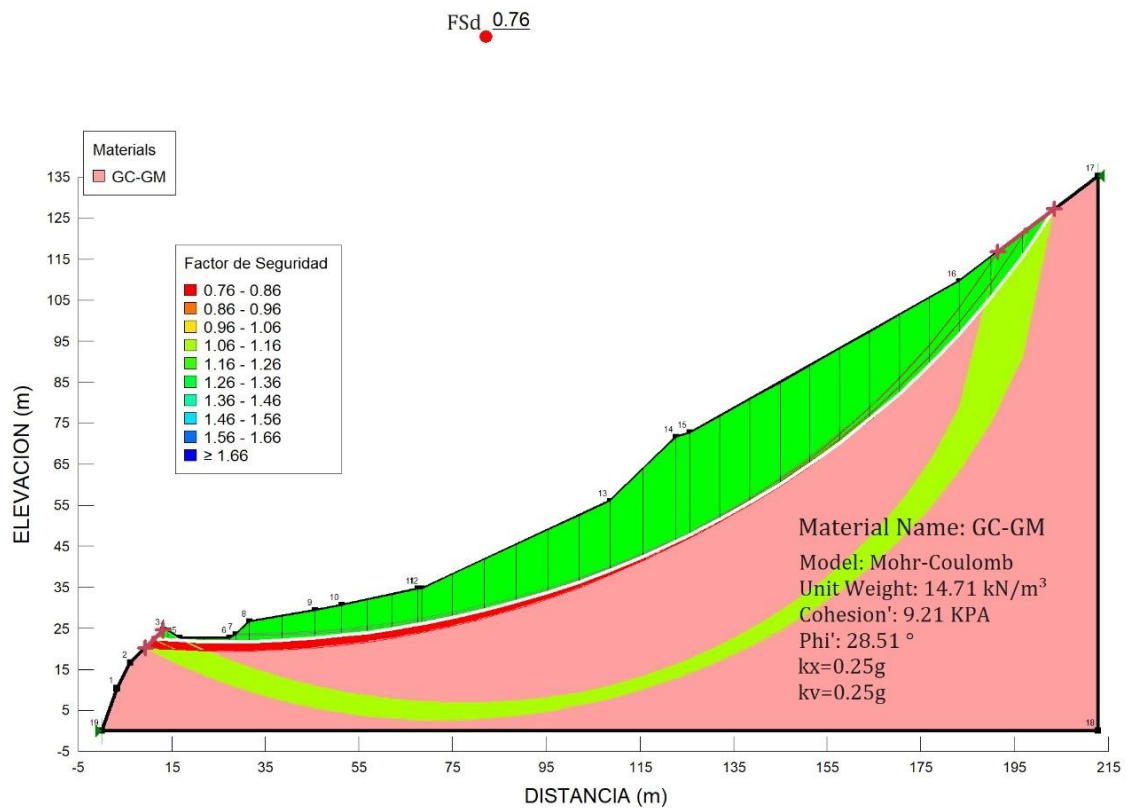


Figura 23. Análisis de estabilidad (Método Spencer – Seudoestatico 2)

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de la figura 23, se tiene un análisis de estabilidad de ladera método Spencer -Seudoestatico2, con un factor de seguridad FSd de 0.76 a través de métodos de equilibrio limite, lo que indica que el factor de seguridad pseudoestatico2 es inestable, ya que se tiene el FSd menor a 1.

4.5. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD BAJO LAS CONDICIONES ESTÁTICAS Y PSEUDOESTÁTICAS EN LOS TALUDES NATURALES.

Según los datos obtenidos de los factores de seguridad bajo las condiciones estáticas y pseudoestáticas, se ha encontrado que por todos los métodos de las condiciones estáticas son estables, ya que se tiene factores de seguridad superiores a 1, mientras tanto en factores de seguridad pseudoestáticos en su gran parte son inestables, puesto que no se



encontró factores de seguridad mayores a 1. Es decir, se estaría cumpliendo con normas nacionales e internacionales que nos dicen que para que un talud sea estable esta debe tener un $F.S > 1$

En conclusión, los taludes naturales son más estables bajo condiciones estáticas, que en condiciones pseudoestáticas por la relación que existe entre los esfuerzos internos del suelo.

4.6. DISCUSIÓN

Según los análisis de laboratorio el suelo predominante del tramo carretero, es un suelo de partículas gruesas, suelo de partículas gruesas con finos, según SUCS es una grava arcilloso-limoso con arena (GC-GM) y según la clasificación AASHTO se trata de un material granular, muy bueno como subgrado A-1-a pedasos de roca, grava y arena, índice de grupo 0.

Para este tipo de suelo y según los resultados obtenidos mediante el análisis de estabilidad de talud se trata de una falla poco profunda, que por el tipo de suelo se espera este tipo de falla como lo refiere (Keller et al., 1995) lo cual se asemeja al talud analizado. Los valores de los parámetros de corte se encuentran dentro de los valores previstos para esta clasificación de suelo (Murthy, 2002)

Por su parte Sanhueza & Rodriguez, (2013) consideró dos sismos para comparar la estabilidad en el cual evaluó la distancia del lugar de estudio con el epicentro, el cual consideró que la condición óptima fue la pseudoestática, por otro lado, recomiendan Siddeque et al., (2015) que para lograr mayores beneficios ya sea de seguridad o económico se debe prestar mucha atención a las construcciones de carreteras, puesto que es necesario evaluar las vulnerabilidades que pueda provocarse.



Las recomendaciones del manual geotécnico para taludes de la oficina de control geotécnico, departamento de obras públicas de Hong Kong (GCOEDD, 1984) nos indica que, por las características del tramo carretero analizado, se trata de un talud tanto en riesgo económico y riesgo de pérdida de vidas humanas despreciable, por tanto, el factor de seguridad para condiciones lluviosas con un tiempo de retorno de 10 años, es $F.S. > 1$. En este caso, el talud en condiciones secas y sin sismo cumple con esta reglamentación. En cambio, para condiciones con sismo, no cumple por tanto es conveniente implementar medidas de estabilización de taludes para fallas poco profundas que en una primera etapa se recomienda la implementación de trabajos de bioingeniería como lo refiere Hearn et al., (2020), y en una segunda fase trabajos de ingeniería geotécnica que pueden ser excavación, drenaje, muros de contención, como plantea Duncan et al., (2014). En ese sentido la adopción de estrategias de mitigación de ingeniería efectivas puede ayudar a los tomadores de decisiones a elegir las estrategias adecuadas para minimizar el peligro de deslizamientos de tierra.

La remoción de tierra y rocas a lo largo de una pendiente puede conducir a un aumento de la estabilidad en lo que respecta al movimiento de la masa del suelo. Por otro lado, la erosión en forma de socavación en la punta puede aumentar la altura del talud lo que disminuirá su estabilidad (Cornforth, 2005; Jimenez et al., 2018), esto es cuando el tramo carretero se encuentra junto a un río.

Bajo el enfoque de Mendoza (2016) que considera para condiciones estáticas el $FS > 1.0$ es aceptable, los autores como Cordero (2017), Mamani (2019) utilizaron distintos métodos para obtener grados de saturación y factor de seguridad, los mismos que consideran que cuando se trata del efecto del cambio en el nivel del agua subterránea, como las reducciones de la superficie del agua, habrá una disminución en la flotabilidad del suelo que aumentará el peso del suelo a su alrededor. Las precipitaciones, la condición



hidrológica y la formación geológica de la pendiente son factores importantes que contribuyen a las fallas del talud. También se puede observar que el cizallamiento a volumen constante puede ir acompañado de una suba en la presión del agua, pero una disminución de la presión efectiva (intergranular). La falla ocurrirá cuando toda la masa del suelo pase al estado de licuefacción y fluya como un líquido. Esta condición solo ocurrirá en casos en los que el suelo esté sujeto a vibraciones, como fuerzas sísmicas (Murthy, 2002).



V. CONCLUSIONES

PRIMERO: después de analizar la estabilidad de taludes con distintos métodos, se llegaron a valores de FS similares en la ladera Caballuni, Asimismo se determinaron los parámetros geotécnicos mediante el ensayo de corte directo como son la cohesión (9.21 Kg/cm²), peso unitario (14.71 KN/m³) y ángulo de fricción (28.51°).

SEGUNDO: Dentro del análisis de estabilidad de ladera de Caballuni, se obtuvieron FSe estáticos de Fellenius FSe = 1.04, Bishop FSe = 1.12, Janbu FSe = 1.04, morgensterm-Price FSe = 1.12 y Spencer FSe 1.12, en la cual se aprecian valores altos de FSe por los métodos de Bishop, morgensterm-Price y Spencer, mientras que el factor de seguridad más crítico fue obtenido por el método de Fellenius con un FSe=1.04 y Janbu con un FSe=1.04 lo que significa que tiene una variación de mínimo respecto al FS mínimo.

TERCERO: Acorde a los datos obtenidos en la condición Pseudo-estática1 se tuvieron FSd= 0.71, 0.77 y 0.78; del mismo modo en la condición pseudo-estática2 se tuvieron FSd= 0.69, 0.75 y 0.76 lo que denota que es un FS de seguridad crítico ya que es menor que el FS mínimo establecido por instituciones reconocidas por Geotechnical Manual for Slopes, entre otros.

CUARTO: Luego de realizar la comparación de acuerdo a los resultados obtenidos por distintos modelos, las más adecuada fueron los métodos de Bishop, morgensterm-Price y Spencer estáticas. Para la condición con sismo, el factor de seguridad es menor a 1, recomendándose medidas de estabilización de talud.



VI. RECOMENDACIONES

- PRIMERO.** Para mejor eficiencia se recomienda dar muchas opciones que sean de confiables y viables, que además estas se apliquen como procedimiento de análisis para la estabilidad de taludes rápidas y concisas.
- SEGUNDO.** Se sugiere que en las zonas en las que se encuentre en estado crítico y en riesgo tomar medidas urgentes para estabilizar esos taludes.
- TERCERO.** Se recomienda hacer los ensayos de corte insitu a fin de poder estimar los parámetros de resistencia del suelo en condiciones de campo. Así de esta manera serían más cercanos a “la realidad” en campo y se obtendrá un factor de seguridad más confiable.
- CUARTO.** A futuros investigadores a seguir continuando con el estudio de estabilidad de taludes en la zona de Pichacani, San Antonio de Esquilachi, puesto que son zonas más altas que llegan a los 5000 msnm, la misma donde la población va en aumento y consigo la construcción vías de comunicación.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acharya, B., Sarkar, K., Singh, A. K., & Chawla, S. (2020). Preliminary slope stability analysis and discontinuities driven susceptibility zonation along a crucial highway corridor in higher Himalaya, India. *Journal of Mountain Science*, 17(4), 801–823. <https://doi.org/10.1007/s11629-019-5524-6>.
- Aguilar, O., & Zuñiga, C. (2015). Análisis comparativo de estabilidad de taludes mediante los métodos de equilibrio límite aplicado a taludes o laderas aledañas al cerro de la popa, casco urbano de Cartagena. *Tesis*. Universidad de cartagena.
- Alejo, R. A., & Gomez, J. A. (2018). Evaluacion de los deslizamientos para la gestion de riesgos de desastres naturales en la quebrada Jilari - Cuyocuyo, Sandia.
- Alejo, R. A., Gomez, J. A. M., & Hualpa, I. A. P. (2022). Mapeo de inestabilidad de laderas en cuencas de fuerte pendiente mediante el enfoque de talud infinito. *REVISTA VERITAS ET SCIENTIA-UPT*, 11(1).
- Alfaro, R., & Espinoza, A. (2021). Caracterización geotécnica de suelos mediante ensayos de laboratorio. UNA Puno.
- Alfaro, R., Calsin, F., & Coloma, B. (2021). *Analisis de inestabilidad de taludes para la gestion de riesgos estudio de caso Cuyocuyo Peru*.
- Alva, J. (2007). *Diseño de cimentaciones*. Lima, Peru.
- Alzate, A. (2018). *Analisis de la estabilidad de un talud derivado de cenizas volcanicas ubicado en la via de virginia*. Unicersidad Libre.
- Antoine, P. (1992). *Problems linked to the instability of large-scale slopes – Geological aspects*. Bulletin of the International.



- Banegas, E. (2012). *Metodos de calculo*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/EfrainBanegasCapacute/metodos-de-calculo1>
- Barboza, H., & Zambrano, W. (2021). Análisis comparativo de la aplicación de los métodos bishop simplificado y morgensternprice para la determinación de la estabilidad de taludes. *Tesis*. Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
- Basahel, H. M. (2019). *Geotechnical Hazard Assessment of Road Cuts Stability in Mountainous Areas in Saudi Arabia*. McGill University (Canada).
- CEPREDENAC. (2009). Obtenido de http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:yfKiZA1WGusJ:www.sica.int/busqueda/busqueda_archivo.aspx%3FArchivo%3Dodoc_52323_1_06092010.pdf+%amp;cd=12&hl=es-419&ct=clnk&gl=pe
- CIG. (2012). *Centro de Investigaciones Geotécnicas*. Obtenido de <https://www.snet.gob.sv/Geologia/Deslizamientos/Info-basica/3-generalidades.htm>
- Cordero, L. (2017). *Análisis de filtraciones y estabilidad de taludes en presas de tierra para suelos parcialmente saturados*. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara, Peru.
- Cornforth, D. (2005). *Landslides in Practice: Investigation, Analysis, and Remedial/Preventative Options in Soils*. Wiley Publishers.
- Diaz, C. (2015). *Metodos de analisis de estabilidad de taludes*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/camilodiaz231/metodos-de-analisis-de-estabilidad-de-taludes>



- Diaz, D., & Vidal, A. (2015). Evaluación de la estabilidad global del talud superior del km. 17+200 al km 18+600 del proyecto carretera ruta n° 10, tramo: Huamachuco - Puente Pallar - Juanjui, sector: Huamachuco - Sausacocha - Puente Pallar. *Tesis*. Universidad Ricardo Palma, Lima, Peru.
- Duncan, J. M., Wright, S. G., & Brandon, T. L. (2014). *Soil Strength and Slope Stability*. John Wiley & Sons, Inc.
- Eugenio, M. (2017). Análisis de inestabilidad de taludes mediante equilibrio límite y elementos finitos, tramo Santa Rosa– tucó bajo carretera Bambamarca – centro poblado Tucó. *Tesis*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Peru.
- GCOEDD. (1984). Geotechnical manual for slopes. . Geotechnical Control Office, Public Works Department.
- Gonzales, V. A., & Alejo, R. A. (2008). *Desarrollo de cuencas de alta montaña*. UNA Puno.
- González, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: España : Pearson Educación.
- Grajales, C., & Ramírez, A. (2018). Análisis de la estabilidad de un talud derivado de cenizas volcánicas ubicado en la vía cerritos la virginia. *Tesis*. Universidad Libre.
- Hearn, G., Howell, J., & Hunt, T. (2021). Performance of slope stabilization trials on the road network of Laos. . *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 54(1), qjegh2020-064. <https://doi.org/10.1144/qjegh2020-064>.
- Hoyos, F. (2001). *Geotecnia - Diccionario Básico*. Digital, Medellín.



- Huang, Y. H. (2014). *Slope Stability Analysis by the Limit Equilibrium Method: fundamentals and methods*. ASCE Press.
<https://doi.org/10.1061/9780784412886>.
- IGME. (1987). *Manual de ingeniería de taludes*. España: IGME.
- Jaramillo, C. (2021). *Deslizamientos y otros movimientos del terreno*. Obtenido de <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4yIFNnhQ4roJ:https://slidetodoc.com/tema-5-deslizamientos-y-otros-movimientos-del-terreno/+&cd=68&hl=es-419&ct=clnk&gl=pe>
- Jiménez, J. C., Mamani, J., & Alfaro, R. (2018). *Congreso Iberoamericano de Ecología y Control de Erosión y Sedimentos IX CICES y II ISI, Santiago De Chile, Chile, 26 a 28 septiembre de 2018*. Evaluación de las causas del Colapso de la bocatoma Cantería – Puno.
- Keller, G.; Bauer, G.; Aldana, M. (1995). *Caminos rurales con impactos mínimos: Un manual de capacitación con énfasis sobre planificación ambiental drenajes, estabilización de taludes y control de erosión*.
- Mamani, A. (2019). Análisis de estabilidad de taludes para explotación de cantera de arcilla en el distrito de paccha, provincia de la Oroya, Junín. *Tesis*. Universidad Nacional Fererico Villarreal, Lima, Peru.
- Martínez, R., & Barrera, S. (2011). *The Seudostatic Method of Dam Stability : A Critical Analysis Introducción*.
- Matteis, A. (2003). *Estabilidad de taludes*. Obtenido de <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Estabilidad%20de%20Taludes.pdf>



- Medina, L. (2020). Estabilización de taludes de gran altura analizados mediante métodos de equilibrio límite, carretera Taquebamba - San Mateo, Aymaraes, Apurímac 2020. *Tesis*. Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.
- Mendoza, J. (2016). análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina antapaccay. *Tesis*. Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Mostajo, J. (2009). *Estudio de probabilidad de falla e implementación de alternativas de solución al deslizamiento de taludes andinos*. Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.
- MTC, M. d. (2016). *Manual de ensayos de materiales*. Lima, Perú: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
- Muñoz, M. (2017). Evaluación de soluciones de estabilidad para deslizamientos en tres tramos críticos de la carretera Ilabaya – Cambaya – Camilaca, distrito de Ilabaya – Jorge Basadre - Tacna. *Tesis*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
- Murthy, V. (2002). *Geotechnical engineering: principles and practices of soil mechanics and foundation engineering*. CRC press.
- Pedrozo-Acuña, A., Moreno, G., Mejía-Estrada, P., Paredes-Victoria, P., Breña-Naranjo, J. A., & Meza, C. (2017). Integrated approach to determine highway flooding and critical points of drainage. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 50, 182–191. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.11.004>.
- Pari-Huaquisto, D. C., Alfaro-Alejo, R., Pilares-Hualpa, I., & Belizario, G. (2020). Seasonal variation of heavy metals in surface water of the Ananea river



- contaminated by artisanal mining, Peru. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 614, No. 1, p. 012167). IOP Publishing.
- Pérez, E. (2005). *Estabilidad de Taludes*. Departament d'Enginyeria del terreny, cartografica i Geofiica, 1-2.
- Pilares-Hualpa, I. A., Alfaro-Alejo, R., Pilares-Calla, C. A., & Alfaro-Vilca, O. E. (2021). Characterization of expansive soils for the foundation of an irrigation canal in the Peruvian Andes, Cabana-Mañazo case. *IOP Conference Series: Earth and Environm.*
- Postance, B., Hillier, J., Dijkstra, T., & Dixon, N. (2017). Extending natural hazard impacts: an assessment of landslide disruptions on a national road transportation network. *Environmental Research Letters*, 12(1), 14010. <https://doi.org/10.1088/1748-932>.
- Ramírez, A., Álzate, A., & Molina, G. (2018). Análisis de la estabilidad de un talud derivado de cenizas volcánicas ubicado en la vía cerritos la Virginia. *Tesis*. Universidad Libre, Bogotá, Colombia.
- Sanhueza, C., & Rodriguez, L. (2013). Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes naturales. *Revista de la construccion*, 12(1), 17-29.
- Siddique, T., Masroor Alam, M., Mondal, M. E., & Vishal, V. (2015). Slope mass rating and kinematic analysis of slopes along the national highway-58 near Jonk, Rishikesh, India. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 7(5), 600–606. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2015.06.007>.



- Suarez, J. (1998). *Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga, Colombia: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Ingeniería de Suelos Ltda.
- Suarez, J. (2009). *Deslizamientos Tomo I Análisis geotécnico*. Universidad Industrial de Santander UIS.
- Sultana. (2013). *Estabilidad de taludes*. Obtenido de [https://estabilidad-de-taludes7.webnode.es/news/estabilidad-de-taludes-/](https://estabilidad-de-taludes7.webnode.es/news/estabilidad-de-taludes/)
- Turner, A. K. (2018). Social and environmental impacts of landslides. *Innovative Infrastructure Solutions*, 3(1), 70. <https://doi.org/10.1007/s41062-018-0175-y>.
- USGS. (2004.). *Landslide Types and Processes*. Fact Sheet 2004-3072. U.S. Geological Survey, <https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/pdf/fs2004-3072.pdf>.
- Valeriano, F. (2015). Caracterización geotécnica y modos de falla estructural en el talud en roca del cerro espinal Juliaca. *Tesis*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Peru.
- Varnes, D. (1978). Slope movement types and processes. *Special report*, 176, 11-33.
- Winter, M. G., Shearer, B., Palmer, D., Peeling, D., Harmer, C., & Sharpe, J. (2018). The economic impact of landslides affecting the Scottish road network. En M. G. Winter, *Landslides and engineered slopes. Experience, Theory and Practice* (págs. 2059–2064). CRC Press.
- Zuluaga, D. (2016). Análisis de estabilidad de taludes 3d considerando el efecto de la infiltración por precipitaciones. *Tesis para optar el título*. Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Mexico.

ANEXOS

Anexo 1. Fotografías del muestreo de suelos



Calicata número 01





C. Muestra número 02





Anexo 2. Ensayos de Laboratorio de Suelo



INFORME N°063-2019-LG&MR-FIM-UNA-PUNO

* CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS, AASHTO)

* ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN SUELOS – CD

SOLICITADO POR:

JAEI FERNANDO LAYME ANCHAPURI.

PROYECTO:

TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES
NATURALES A TRAVÉS DEL MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE BAJO
CONDICIONES ESTÁTICAS Y PSEUDOESTÁTICAS EN CABALLUNI – JUNCAL –
PUNO.

UBICACIÓN:

CABALLUNI – JUNCAL – PUNO.

MUESTRA:

M-1

FECHA:

07 DE NOVIEMBRE DEL 2019

NOTA:

- El solicitante es responsable del muestreo.
- La información correspondiente a las muestras fue proporcionada por el solicitante.
- Condición de la muestra, preparadas según norma vigente.
- Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
- Prohibida su reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Geotecnia & Mecánica de Rocas.
- Los resultados no pueden ser utilizados como certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



MSc. Ing. Lucio Quea Gutierrez
JEFE DE LABORATORIO
GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS

JEFE DE LABORATORIO DE GEOTECNIA & MECÁNICA DE ROCAS
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

Página 1 de 5

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Laboratorio de Geotecnia & Mecánica de Rocas – UNA P.

Av. Floral N°1153
Puno - Perú
<http://web.unap.edu.pe/>

Ciudad Universitaria – Pab. Ing. De Minas
unaminas@gmail.com, ilaura.geo@gmail.com
owalvelasquez@hotmail.com

Teléfono
(+051) 366193
(+051) 921 474 201



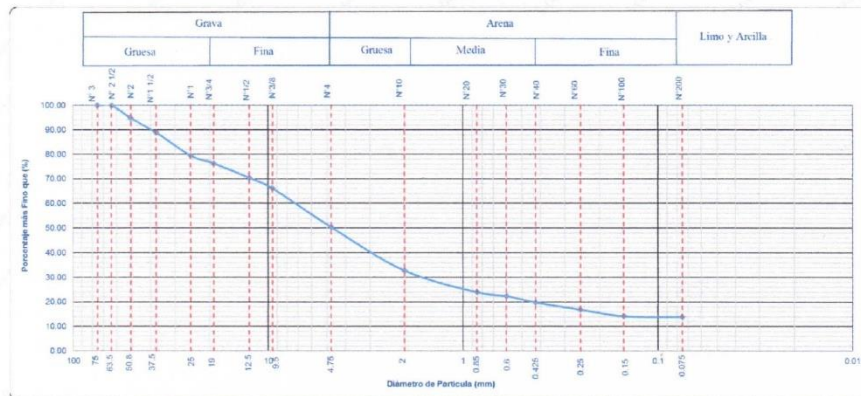
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE UNA MUESTRA DE SUELO – SUCS Y AASHTO

INFORME No : 063-2019-LG&MR-FIM-UNA-PUNO.
REFERENCIA : ASTM D 2487-69
FECHA DE EMISIÓN: 07 DE NOVIEMBRE DEL 2019
SOLICITADO POR : JAEI FERNANDO LAYME ANCHAPURI.
PROYECTO : TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES NATURALES A TRAVÉS DEL MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE BAJO CONDICIONES ESTÁTICAS Y PSEUDOESTÁTICAS EN CABALLUNI – JUNCAL – PUNO.
UBICACIÓN : CABALLUNI – JUNCAL – PUNO.
MUESTRA : M-1
TÉCNICO : ING. SC. OSCAR CAHUANA CONDORI.
RESPONSABLE : M.SC. ING. LUCIO QUEA GUTIERREZ.

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D 2487-69, obteniéndose los siguientes resultados:

TAMIZ	TAMIZ	PESES DE MUESTRA RETENIDA	PASA	PASANTE	RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO
	mm	(g)	(%)	(%)	(%)	(%)
PULG	75	0.00	100.00	100.00	0.00	0.00
3	75	0.00	100.00	100.00	0.00	0.00
2 1/2	63.5	0.00	100.00	100.00	0.00	0.00
2	50.8	140.70	94.92	94.92	5.08	5.08
1 1/2	37.5	167.40	88.89	88.89	6.04	11.11
1	25	260.00	79.51	79.51	9.38	20.49
3/4	19	89.70	76.27	76.27	3.24	23.73
1/2	12.5	162.50	70.41	70.41	5.86	29.59
3/8	9.5	117.70	66.16	66.16	4.25	33.84
4	4.75	437.10	50.40	50.40	15.77	49.60
10	2	490.10	32.72	32.72	17.68	67.28
20	0.85	242.70	23.96	23.96	8.76	76.04
30	0.6	45.60	22.32	22.32	1.64	77.68
40	0.425	70.40	19.78	19.78	2.54	80.22
60	0.25	80.50	16.87	16.87	2.90	83.13
100	0.15	74.10	14.20	14.20	2.67	85.80
200	0.075	9.20	13.87	13.87	0.33	86.13
BASE		384.40	0.00	0.00	13.87	100.00
TOTAL		2772.10				

CURVA GRANULOMÉTRICA



M.Sc. Ing. Lucio Quea Gutiérrez
JEFE DE LABORATORIO
GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS

Página 2 de 5

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Laboratorio de Geotecnia & Mecánica de Rocas – UNA P.

Av. Floral N°1153
Puno - Perú
<http://web.unap.edu.pe/>

Ciudad Universitaria – Pub. Ing. De Minas
unaminas@gmail.com, ilaura.geo@gmail.com
owalvelasquez@hotmail.com

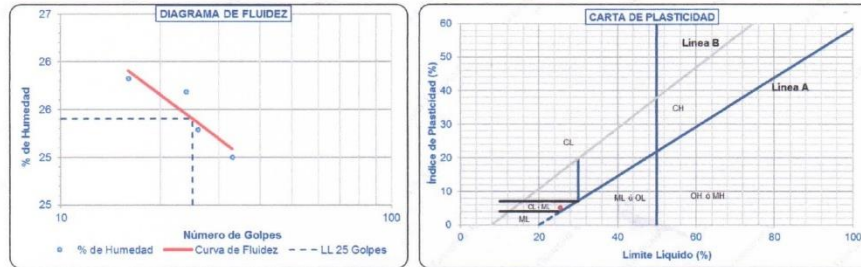
Teléfono
(+051) 366193
(+051) 921 474 201



LÍMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO (ASTM-D4318 00)					LÍMITE PLÁSTICO (ASTM-D4318 00)					
N° de Tara	T-1	T-2	T-3	T-4	N° de Tara	M-1	M-2	M-3	Límite Líquido (L.L. %)	Límite Plástico (L.P. %)
Peso Suelo Húmedo + Tara (g)	40.60	41.10	39.60	41.70	Peso Suelo Húmedo + Tara (g)	8.70	8.20	8.90	25.40	20.27
Peso de Suelo Seco + Tara (g)	35.90	36.40	35.20	37.00	Peso de Suelo Seco + Tara (g)	8.41	8.00	8.58	Índice de Plasticidad (I.P. %)	5.13
Peso de Tara (g)	17.70	18.10	17.80	18.20	Peso de Tara (g)	7.00	7.00	7.00	Pasa tamiz N° 4 (5mm) %	50.40
Peso de Suelo Seco (g)	18.20	18.30	17.40	18.80	Peso de Tara (g)	1.41	1.00	1.58	Pasa tamiz N° 200 (0.080 mm) %	13.67
Peso de Agua (g)	4.70	4.70	4.40	4.70	Peso de Suelo Seco (g)	0.29	0.20	0.32	D ₅₀ (mm)	7.64
Contenido de Humedad (%)	25.82	25.68	25.29	25.00	Peso de Agua (g)	20.57	20.00	20.25	D ₃₀ (mm)	1.64
Número de Golpes	16	24	26	33	Contenido de Humedad (%)				D ₁₀ (diámetro efectivo) (mm)	

GRÁFICOS



Clasificación SUCS

Suelo de partículas gruesas. Suelo de partículas gruesas con finos (suelo sucio).

Grava Arcilloso-Limosa con Arena GC-GM

Clasificación AASTHO

Material granular

Excelente a bueno como subgrado

A-1-a Fragmentos de roca, grava y arena

ÍNDICE DE GRUPO

0



M.Sc. Ing. Lucio Quea Gutierrez
JEFE DE LABORATORIO
GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS



ENSAYO DE CORTE DIRECTO CD EN MUESTRA DE SUELO

INFORME No : 063-2019-LG&MR-FIM-UNA-PUNO.
REFERENCIA : ASTM D 3080-98.
FECHA DE EMISIÓN: 07 DE NOVIEMBRE DEL 2019
SOLICITADO POR : JAEI FERNANDO LAYME ANCHAPURI.
PROYECTO : TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES NATURALES A TRAVÉS DEL MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE BAJO CONDICIONES ESTÁTICAS Y PSEUDOESTÁTICAS EN CABALLUNI – JUNCAL – PUNO.
UBICACIÓN : CABALLUNI – JUNCAL – PUNO.
MUESTRA : M-1.
TÉCNICO : ING. SC. OSCAR CAHUANA CONDORI.
RESPONSABLE : M.Sc. ING. LUCIO QUEA GUTIERREZ.

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D 3080-98, obteniéndose los siguientes resultados:

DATOS	ESPECIMEN 01			ESPECIMEN 02			ESPECIMEN 03					
ANCHO (cm)	5.98			5.98			5.98					
LARGO (cm)	5.97			5.97			5.97					
ALTURA (cm)	1.99			1.99			1.99					
AREA (cm ²)	35.70			35.70			35.70					
VOLUMEN (cm ³)	71.04			71.04			71.04					
Peso del Molde (g)	157.27			157.27			157.27					
Peso Tara (g)	64.90			46.90			49.00					
Pesa colocada (Kg)	1.00			2.00			3.00					
Esfuerzo Norma aplicado (Kg)	10.00			20.00			30.00					
- Peso Muestra Humeda Natural +	267.90			263.80			263.60					
- Peso Muestra Saturada (g)+tara (g)	194.20			171.20			168.00					
- Peso muestra seca + tara (g)	164.90			143.40			141.70					
Peso Muestra Humeda Natural (g)	110.63			106.53			106.33					
Peso Muestra Saturada (g)	129.30			124.30			119.00					
Peso Muestra Seca (g)	100.00			96.50			92.70					
Contenido de Humedad (%)	W% natural 10.63			W% natural 10.39			W% natural 14.70					
	W% saturada 29.30			W% saturada 28.81			W% saturada 28.37					
Densidad Humeda (gr/cm ³)	Natural 1.56			Natural 1.50			Natural 1.50					
	Saturada 1.82			Saturada 1.75			Saturada 1.68					
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.41			1.36			1.30					
Esfuerzo Normal (Kg/cm ²)	0.280			0.560			0.840					
ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN SUELOS	Def. Tangencial (mm)	Dial de carga	Fuerza de cortante (Kg)	Esfuerzo de corte (Kg/cm ²)	Def. Tangencial (mm)	Dial de carga	Fuerza de cortante (Kg)	Esfuerzo de corte (Kg/cm ²)	Def. Tangencial (mm)	Dial de carga	Fuerza de cortante (Kg)	Esfuerzo de corte (Kg/cm ²)
	0.00	0.00	0.467	0.013	0.00	0.00	0.467	0.013	0.00	0.00	0.467	0.013
	0.10	2.80	1.600	0.045	0.10	4.80	2.409	0.067	0.10	6.70	3.177	0.089
	0.20	5.00	2.490	0.070	0.20	7.30	3.420	0.096	0.20	9.90	4.471	0.125
	0.30	7.20	3.379	0.095	0.30	9.60	4.350	0.122	0.30	12.70	5.604	0.157
	0.40	8.90	4.067	0.114	0.40	11.80	5.240	0.147	0.40	15.10	6.575	0.184
	0.60	11.00	4.916	0.138	0.60	14.80	6.453	0.181	0.60	18.50	7.950	0.223
	0.80	12.30	5.442	0.152	0.80	16.80	7.262	0.203	0.80	21.30	9.082	0.254
	1.00	13.40	5.887	0.165	1.00	18.10	7.788	0.218	1.00	23.40	9.932	0.278
	1.25	14.20	6.211	0.174	1.25	19.80	8.476	0.237	1.25	26.20	11.064	0.310
	1.50	14.70	6.413	0.180	1.50	20.80	8.880	0.249	1.50	28.10	11.833	0.331
	1.75	15.10	6.575	0.184	1.75	21.80	9.284	0.260	1.75	29.50	12.399	0.347
	2.00	15.30	6.656	0.186	2.00	22.80	9.689	0.271	2.00	30.90	12.965	0.363
	2.25	15.60	6.777	0.190	2.25	23.70	10.053	0.282	2.25	32.60	13.653	0.382
	2.50	15.90	6.898	0.193	2.50	24.50	10.377	0.291	2.50	33.80	14.138	0.396
	2.75	16.00	6.939	0.194	2.75	25.30	10.700	0.300	2.75	34.80	14.542	0.407
	3.00	16.20	7.020	0.197	3.00	26.10	11.024	0.309	3.00	36.10	15.068	0.422
	3.25	16.30	7.060	0.198	3.25	27.10	11.428	0.320	3.25	37.00	15.432	0.432
	3.50	16.50	7.141	0.200	3.50	27.80	11.711	0.328	3.50	38.00	15.837	0.444
	3.75	16.80	7.262	0.203	3.75	28.50	11.994	0.336	3.75	38.90	16.201	0.454
4.00	16.90	7.303	0.205	4.00	29.10	12.237	0.343	4.00	40.00	16.646	0.466	
4.25	17.00	7.343	0.206	4.25	29.90	12.561	0.352	4.25	40.60	16.888	0.473	
4.50	17.00	7.343	0.206	4.50	30.80	12.925	0.362	4.50	41.50	17.252	0.483	
4.75	17.20	7.424	0.208	4.75	31.10	13.046	0.365	4.75	41.90	17.414	0.488	
5.00	17.20	7.424	0.208	5.00	31.90	13.370	0.374	5.00	42.60	17.697	0.496	
5.25	17.50	7.545	0.211	5.25	32.30	13.531	0.379	5.25	43.00	17.859	0.500	
5.50	17.50	7.545	0.211	5.50	33.10	13.855	0.388	5.50	43.20	17.940	0.503	
5.75	17.80	7.667	0.215	5.75	33.80	14.138	0.396	5.75	43.50	18.061	0.506	
6.00	17.90	7.707	0.216	6.00	34.10	14.259	0.399	6.00	43.80	18.183	0.509	
6.25	18.20	7.83	0.22	6.25	34.80	14.542	0.407	6.25	44.10	18.304	0.513	
6.50	18.50	7.95	0.22	6.50	35.10	14.664	0.411	6.50	44.60	18.506	0.518	
6.75	18.50	7.95	0.22	6.75	35.50	14.826	0.415	6.75	44.90	18.628	0.522	
7.00	18.90	8.11	0.23	7.00	35.80	14.947	0.419	7.00	45.00	18.668	0.523	
7.25	18.90	8.11	0.23	7.25	35.80	14.947	0.419	7.25	45.00	18.668	0.523	
7.50	18.90	8.11	0.23	7.50	35.80	14.947	0.419	7.50	45.00	18.668	0.523	
7.75	18.90	8.11	0.23	7.75	35.80	14.947	0.419	7.75	45.00	18.668	0.523	
8.00	18.90	8.11	0.23	8.00	35.80	14.947	0.419	8.00	45.00	18.668	0.523	



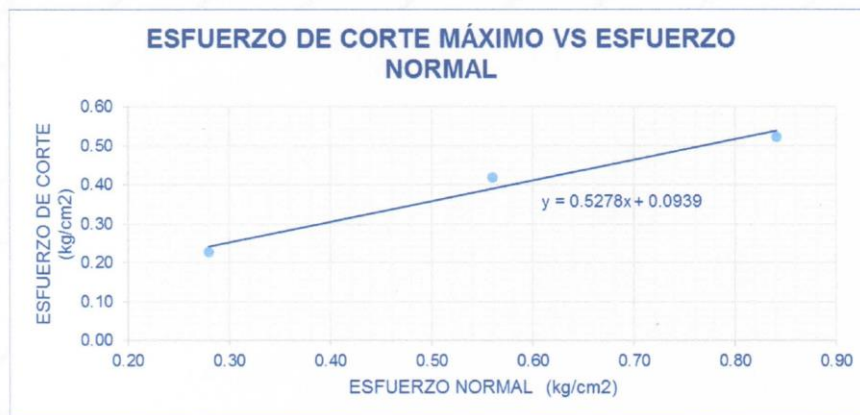
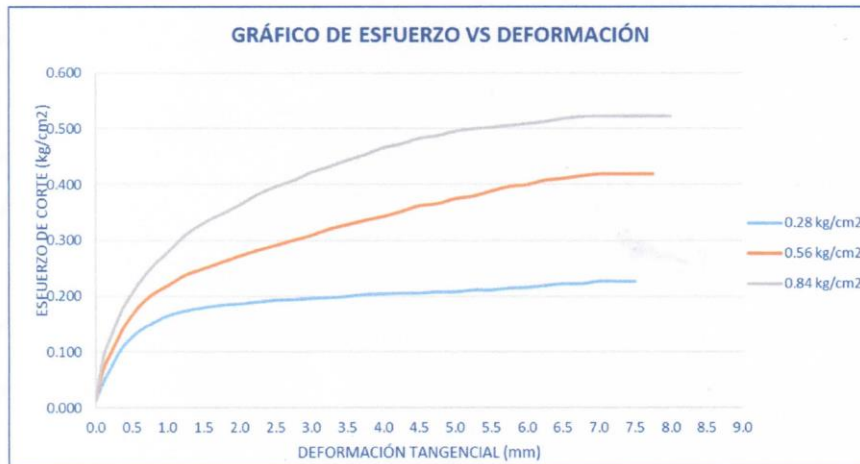
M.Sc. Ing. Lucio Quea Gutierrez
JEFE LABORATORIO
GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Laboratorio de Geotecnia & Mecánica de Rocas – UNA P.



VELOCIDAD DEL ENSAYO : 0.50 mm/min.
ESTADO DE LA MUESTRA : Muestra inalterada moldeada manualmente.
CONDICIÓN DEL ENSAYO : Consolidado Drenado

Especimen	DENSIDAD SECA			Humedad Natural	Esfuerzo de Corte τ	DENSIDAD HUMEDA		
	Peso Volumétrico γ gr/cm^3	Esfuerzo Normal σ	Proporción de Esfuerzos			Humedad Saturada	Peso volumétrico Natural gr/cm^3	Peso volumétrico Saturado gr/cm^3
1	1.41	0.28	0.81	10.63	0.23	29.30	1.56	1.82
2	1.36	0.56	0.75	10.39	0.42	28.81	1.50	1.75
3	1.30	0.84	0.62	14.70	0.52	28.37	1.50	1.68



Cohesión $C = 0.0939$ Kg/cm²
Ángulo de fricción interna $\phi = 28.51$ °

M.Sc. Ing. Lina Quea Cutierrez
JEFE DE LABORATORIO
GEOTECNIA Y MECÁNICA DE ROCAS

Página 5 de 5

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Laboratorio de Geotecnia & Mecánica de Rocas - UNA P.

Av. Floral N°1153
Puno - Perú
<http://web.unap.edu.pe/>

Ciudad Universitaria - Pab. Ing. De Minas
unaminas@gmail.com, ilaura.geo@gmail.com
owalvelasquez@hotmail.com

Teléfono
(+051) 366193
(+051) 921 474 201