

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

**Análisis de estabilidad de talud por el Método Bishop
en depósitos de desmonte Minero Excélsior, Cerro de
Pasco – 2021**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor:

Bach. Laleshka Milagro CASTRO CONDE

Asesor:

Dr. José Fermín HINOJOSA DE LA SOTA

Cerro de Pasco – Perú - 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

**Análisis de estabilidad de talud por el Método Bishop
en depósitos de desmonte Minero Excelsior, Cerro de
Pasco – 2021**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Julio Alejandro MARCELO AMES
PRESIDENTE

Dr. Reynaldo MEJIA CACERES
MIEMBRO

Mg. Eder Guido ROBLES MORALES
MIEMBRO

DEDICATORIA

A mi ángel papito Cristian que desde el cielo celebra mis logros, a mi mamá Fanny por demostrar valentía desde mi llegada, a mamita Mirtha y papito Pancho por su apoyo incondicional, sabiduría, comprensión y amor. A Judith, Toño y Pepe por darme la alegría más grande de la vida y por nunca dejarme caer.

AGRADECIMIENTO

Dejo expreso mi agradecimiento a la Gerencia de la Empresa CESEL INGENIEROS por dejarme participar en el estudio de ingeniería del depósito de desmonte Excélsior – Cerro de Pasco que me ha servido de fuente para la elaboración de la presente tesis, así mismo a su personal profesional y técnico de dicha empresa por brindarme su apoyo y conocimientos. Igualmente, mi agradecimiento al Ing. José Hinojosa De La Sota por brindarme su asesoramiento en la elaboración de la presente tesis y a los jurados calificadores Eder Robles, Reynaldo Mejía y Julio Marcelo por su apoyo y orientación oportuna.

RESUMEN

La tesis intitulada Análisis de estabilidad de talud por el método Bishop en depósitos de desmonte minero Excélsior, Cerro de Pasco 2021, tiene como objetivo analizar la estabilidad de taludes ubicado en las inmediaciones de la ciudad de Cerro de Pasco, aplicando el Método Bishop.

El estudio ha consistido en cuantificar el grado de estabilidad de los taludes de la desmontera bajo condiciones mecánicas y de diseño actuales, a través del valor del factor de seguridad para potenciales superficies de falla esférica de talud, encontrando factores de seguridad inferiores a factores de seguridad mínimos (FS) para las condiciones de análisis, indicando que dichos taludes presentan condiciones no deseadas de estabilidad y de diseño los que a su vez representan un grave riesgo de rotura de talud y un grave peligro de accidentes, en ese sentido este trabajo se considera como una investigación aplicada.

Luego, se han manipulado y/o simulado fuerzas que actuando sobre secciones o dovelas han permitido encontrar valores de factores de seguridad aceptables y sugerir la modificación del diseño de talud actual, en esa medida este trabajo también se considera como una investigación cuasi experimental. Para todo ello se ha utilizado el método de análisis Bishop simplificado que nos ha permitido responder a las interrogantes ¿por qué ocurre? y ¿en qué condiciones ocurre? en tal sentido el nivel de estudio se considera como explicativo.

La población estuvo constituida por todos los taludes de la desmontera Excélsior y se aplicó un muestreo por conveniencia seleccionando los taludes más críticos en cuanto a su estabilidad.

El estudio verificó que en condiciones actuales los taludes presentan factores de seguridad entre 1,24 a 1,48 en condiciones estáticas y 0,88 a 1,07 en condiciones pseudoestática, indicando que se encuentran por debajo del factor de seguridad óptimo planteado en las condiciones de análisis, así mismo, mediante la aplicación del método Bishop se puede predecir que los factores de seguridad óptimos para la estabilidad

física de los taludes deberán estar entre 1,62 a 2,63 en condiciones estáticas y 1,11 a 1,76 en condiciones pseudoestática respectivamente, lo que permitió verificar la validez de la hipótesis de investigación.

Palabras clave: análisis, estabilidad de taludes, método de análisis Bishop, factor de seguridad, condiciones estáticas, condiciones pseudo estáticas.

ABSTRACT

The objective of this work was the analysis of slope stability of the Excelsior mining waste located in the vicinity of the city of Cerro de Pasco, applying the Bishop Method.

The study has consisted in quantifying the degree of stability of the slopes of the clearing under current mechanical and design conditions, through the value of the safety factor for potential spherical failure surfaces of the slope, finding safety factors lower than safety factors. (FS) for the analysis conditions, indicating that these slopes present undesired stability and design conditions which in turn represent a serious risk of slope failure and a serious danger of accidents, in that sense this work is considered as applied research.

Then, forces have been manipulated and/or simulated that, acting on sections or voussoirs, have allowed finding values of acceptable safety factors and suggesting the modification of the current slope design, to this extent this work is also considered as a quasi-experimental investigation. For all this, the simplified Bishop analysis method has been used, which has allowed us to answer the questions: why does it happen? And under what conditions does it occur? in this sense, the level of study is considered explanatory.

The population consisted of all the slopes of the Excelsior waste rock removal facility and a convenience sampling was applied, selecting the most critical slopes in terms of their stability.

The study verified that under current conditions the slopes present safety factors between 1.24 to 1.48 and 0.88 to 1.07 for static and pseudostatic conditions, respectively, indicating that they are below the optimal safety factor raised in the conditions of analysis, likewise, by applying the Bishop method it can be predicted that the optimal safety factors for the physical stability of the slopes should be between 1.62

to 2.63 for static conditions and 1.11 to 1.76 for pseudostatic conditions respectively, which allowed verify the validity of the research hypothesis.

Keywords: analysis, slope stability, Bishop analysis method, factor of safety, static conditions, pseudo static conditions.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación intitulada “Análisis de Estabilidad de Talud por el Método Bishop en Depósitos de Desmonte Minero Excélsior, Cerro de Pasco – 2021” consiste en el análisis de estabilidad de taludes artificiales formados como consecuencia de depósitos de desmonte minero provenientes de la actividad minera del yacimiento mineral de Cerro de Pasco.

Para tal efecto el trabajo se ha dividido en los siguientes capítulos:

Capítulo I: problema de Investigación, donde se ha planteado la necesidad de realizar un análisis de estabilidad de los taludes del desmonte minero Excélsior debido al peligro que supone el estado actual de dichos taludes, describiendo el problema de modo que responda al ¿Por qué? de la investigación. Así mismo en este capítulo se han formulado los objetivos y descrito la justificación que hace factible la investigación.

Capítulo II: Marco Teórico, en este capítulo se ha enfatizado los trabajos de investigación efectuados con anterioridad por otros autores tanto a nivel nacional como internacional y que guardan relación con los objetivos del presente trabajo de investigación. Así mismo, se ha considerado las bases teóricas científicas relacionados a las variables de investigación y efectuado la definición de términos que ayuden a una mejor comprensión del presente trabajo, así también en este capítulo se ha desarrollado el enunciado de la hipótesis de investigación e identificado las variables a fin acentuar la calidad de la investigación.

Capítulo III: Metodología y Técnicas de Investigación, en esta parte explicamos el tipo, nivel y métodos de investigación utilizados teniendo en cuenta la población y la muestra y presentamos las técnicas e instrumentos de recolección de datos; en la parte final de este capítulo se considera las técnicas de procesamiento y análisis de los datos, así como el tratamiento estadístico empleado, se concluye remarcando la importancia de los preceptos morales y compromisos que orientan desde un punto de vista ético la presente investigación.

Capítulo IV: Resultados y Discusión, explicamos los hallazgos tratando de responder ¿Qué se encontró? luego del trabajo de campo y el correspondiente tratamiento estadístico de la información, luego, contrastamos estos resultados efectuando la prueba de hipótesis y finalmente en el apartado de discusión de resultados exponemos lo que significan los hallazgos encontrados.

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.	2
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3.1. Problema general:.....	2
1.3.2. Problemas específicos:.....	2
1.4. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS.....	2
1.4.1. Objetivo General.	2
1.4.2. Objetivos específicos.	3
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	3

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO.....	4
2.2. BASES TEÓRICAS – CIENTÍFICAS.	8
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.	23
2.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	25
2.4.1. Hipótesis General	25
2.4.2. Hipótesis Específicas.....	25
2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....	25
2.6. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES.....	26

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	27
3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	27
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	27
3.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	27
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA	28
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	28
3.7. SELECCIÓN, VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.	29
3.8. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.	30
3.9. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.	30
3.10. ORIENTACIÓN ÉTICA FILOSÓFICA Y EPISTÉMICA.	30

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO.....	32
4.2. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	35
4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS	77
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	78

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

Matriz de Consistencia

Plano Topográfico

Formato para registro de características geotécnicas de material de relleno (desmonte) y densidad

Formato para registro de clasificación ASTM

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	26
Tabla 2. Tabla de coordenadas de los vértices de los puntos de control y puntos auxiliares.	33
Tabla 3. Ubicación de calicatas.....	43
Tabla 4. Pruebas de densidad	44
Tabla 5. Resumen de ensayos de refracción sísmica	46
Tabla 6. Resultados de pruebas estándar.....	47
Tabla 7. Resultados de pruebas de corte directo y triaxial	47
Tabla 8. Resultados de prueba de carga puntual	48
Tabla 9. Resultados de evaluación física de roca	48
Tabla 10. Secciones críticas	57
Tabla 11. Parámetros de resistencia.....	58
Tabla 12 Análisis de estabilidad de taludes.....	59
Tabla 13. Análisis de estabilidad de taludes – Proyectado.....	69
Tabla 14. Medidas de estabilidad.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Talud en el sector norte de Chosica conformado por roca ígnea (batolito de la costa).....	15
Figura 2. Talud artificial.....	15
Figura 3. Elementos de un talud.....	17
Figura 4. Esquema de un talud óptimo.....	18
Figura 5. Superficie esférica de falla de talud.....	19
Figura 6. Representación de una sección de cálculo de un talud.....	20
Figura 7. Diagrama de fuerzas en un talud.....	21
Figura 8. Puntos topográficos de control.....	33
Figura 9. Plano de ubicación de la Desmontera Excélsior.....	35
Figura 10. Columna estratigráfica local.....	40
Figura 11. Puntos de disparo.....	45
Figura 12. Estabilidad Estática en sección 1.....	60
Figura 13. Estabilidad pseudoestática en sección 1.....	60
Figura 14. Estabilidad estática en sección 2.....	61
Figura 15. Estabilidad pseudoestática en sección 2.....	61
Figura 16. Estabilidad estática en sección 3.....	62
Figura 17. Estabilidad pseudoestática en sección 3.....	62
Figura 18. Estabilidad estática en sección 4.....	63
Figura 19. Estabilidad pseudoestática en sección 4.....	63
Figura 20. Estabilidad estática en sección 5.....	64
Figura 21. Estabilidad pseudoestática en sección 5.....	64
Figura 22. Estabilidad estática en sección 6.....	65
Figura 23. Estabilidad pseudoestática en sección 6.....	65
Figura 24. Estabilidad estática en sección 7.....	66
Figura 25. Estabilidad pseudoestática en sección 7.....	66
Figura 26. Estabilidad estática en sección 8.....	67
Figura 27. Estabilidad pseudoestática en sección 8.....	67
Figura 28. Análisis de estabilidad estático en sección 1.....	69
Figura 29. Análisis de estabilidad pseudoestático en sección 1.....	70
Figura 30. Análisis de estabilidad estático en sección 2.....	70
Figura 31. Análisis de estabilidad pseudoestático en sección 2.....	71

Figura 32. Análisis de estabilidad estático en sección 3.....	71
Figura 33. Análisis de estabilidad pseudoestático en sección 3	72
Figura 34. Análisis de estabilidad estático en sección 4.....	72
Figura 35. Análisis de estabilidad pseudoestático en sección 4	73
Figura 36. Análisis de estabilidad estático en sección 5.....	73
Figura 37. Análisis de estabilidad pseudoestático en sección 5	74
Figura 38. Análisis de estabilidad estático en sección 6	74
Figura 39. Análisis de estabilidad pseudoestático en sección 6	75
Figura 40. Análisis de estabilidad estático en sección 7.....	75
Figura 41. Análisis de estabilidad pseudoestático en sección 7	76
Figura 42. Análisis de estabilidad estático en sección 8.....	76
Figura 43. Análisis de estabilidad pseudoestático en sección 8	77

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La actividad minera en el mundo ha permitido la explotación de diversos recursos minerales muy importantes para el desarrollo de las sociedades, igualmente sucede en Latinoamérica y en el caso peruano. Sin embargo, esta actividad también ha generado depósitos de desmonte de mina originando a su vez una serie de riesgos que afectan la calidad de vida de los pobladores que se encuentran cerca o en la periferia de estos pasivos.

Los depósitos de desmonte minero Excélsior de Cerro de Pasco son acumulaciones sólidas producidos por la explotación minera del yacimiento mineral de Cerro de Pasco; estas acumulaciones de desmonte piritoso se han producido desde el siglo pasado y durante más de 60 años a partir de la puesta en explotación de dicho yacimiento por el método de explotación a cielo abierto que entre otras consideraciones consiste en la remoción de grandes volúmenes de material “estéril” que son acumulados en pilas constituyendo enormes cerros de desmonte.

Como consecuencia estos botaderos de desmonte han formado taludes artificiales cuyos perfiles no son producto de un diseño planificado y por lo tanto presentan una estabilidad física precaria e insegura constituyendo un grave riesgo

de peligro de accidentes por deslizamiento o rotura por falla de taludes debido a factores climáticos o sísmicos. Para este caso en función a las características físicas y mecánicas del material de desmonte que corresponde a un comportamiento cohesivo friccionante se asume una superficie de falla esférica.

En esa medida existe el problema de la falta de un análisis de estabilidad de taludes que permita cuantificar y conocer el nivel de estabilidad de estos taludes en condiciones mecánicas y de diseño actuales y compararlas con el factor de seguridad óptimo planteado en las condiciones de análisis donde el factor de seguridad óptimo es 1.5.

1.2. Delimitación de la investigación

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo dentro del universo de las 79 hectáreas que comprende los Depósitos de Desmonte Mineros Excélsior ubicado en el distrito de Simón Bolívar de Rancas de Cerro de Pasco, durante los meses de setiembre a noviembre del año 2021.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema principal:

¿Qué relación existe entre el nivel de estabilidad de los taludes de la desmontera el Excélsior en condiciones actuales y el factor de seguridad?

1.3.2. Problemas específicos:

¿Qué relación existe entre el nivel de estabilidad de los taludes en condiciones actuales y las características geotécnicas del desmonte minero el Excélsior?

¿Qué relación existe entre el nivel de estabilidad de los taludes en condiciones actuales y los riesgos de deslizamiento ante eventos climatológicos y sísmicos en el desmonte minero el Excélsior?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo General.

Determinar la relación que existe entre el nivel de estabilidad de los taludes de la desmontera el Excélsior en condiciones actuales y el factor de seguridad.

1.4.2. Objetivos específicos.

Determinar la relación existente entre el nivel de estabilidad de los taludes en condiciones actuales y las características geotécnicas del desmonte minero el Excélsior.

Determinar la relación existente entre el nivel de estabilidad de los taludes en condiciones actuales y los riesgos de deslizamiento ante eventos climatológicos y sísmicos en el desmonte minero el Excélsior.

1.5. Justificación de la investigación

La acumulación de grandes cantidades de desmonte minero provenientes de la explotación del yacimiento mineral de Cerro de Pasco ha formado taludes artificiales con perfiles no planificados presentando una estabilidad física precaria e insegura que en caso de un eventual evento sísmico o climático pueden fallar y deslizarse ocasionando accidentes y pérdidas materiales y humanas. En ese sentido se justifica realizar un análisis de estabilidad que permita conocer cuál debe ser el factor óptimo de seguridad a fin de recomendar un diseño adecuado del perfil de estos taludes y prevenir y/o evitar pérdidas.

1.6. Limitaciones de la investigación

Los resultados del análisis de estabilidad de taludes se limitan a la aplicación del método simplificado de Bishop, no se pretende la aplicación de otros métodos o procedimientos ya que los valores de factor de seguridad obtenidos por dicho método para fallas de superficie circular son alrededor de 5 y 10% suficientes para casos prácticos como este.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. A nivel Internacional

- Monte (2020) en su trabajo de investigación titulado “Análisis de estabilidad de taludes de roca mediante el método de elementos finitos” Universidad de Concepción de Chile, el objetivo del estudio es replicar las condiciones reales de los taludes a través de un modelo numérico, interpretando resultados y comparándolos con las características observadas en terreno con el fin de determinar la causa de los desprendimientos en el talud y menciona que “los resultados de las simulaciones indican una condición de estabilidad, con un factor de seguridad similar que varía de 1,3 a 1,6”.
- De Lalre (2021) en su trabajo de investigación titulado “Análisis de sensibilidad de la estabilidad de taludes para tranques y embalses de relave utilizando el método de equilibrio límite” el objetivo de este trabajo de investigación es “desarrollar un análisis de sensibilidad sobre la estabilidad de taludes en tranques y embalses de relave. Los parámetros críticos por evaluar en este análisis son la resistencia al corte de los materiales que constituyen el relleno del muro, la geometría de este, el nivel freático y los coeficientes sísmicos” y llega a la conclusión general que “que en ninguno de sus casos de análisis el

factor de seguridad promedio fue menor a 1. Mientras que en los tranques, se tiene que más de la mitad de los casos evaluados (60 de 108) poseen factores de seguridad promedio menores a dicho valor. Además, cabe destacar que 104 de 108 casos de estudio del embalse cumplen con el factor de seguridad mínimo de 1,2 impuesto para el caso Pseudoestático. Mientras que en el tranque sólo 33 de 108 logran dicho límite.

- Hernández (2019) en su trabajo de investigación titulado “Hacia la automatización del análisis de estabilidad de taludes mineros” el autor en este trabajo de tesis indica “El objetivo principal de este proyecto es obtener un procedimiento automatizado, que permita evaluar la estabilidad mecánica de taludes mineros y que pueda ser acoplado con los resultados tradicionales obtenidos en la etapa de planificación minera. Esto permite disminuir los tiempos de procesamiento y avanzar en la futura integración completa de los tres procedimientos: diseño, planificación y análisis de estabilidad” y llega a la conclusión general de que los resultados de este estudio muestran la importancia de considerar la incertidumbre en los parámetros de entrada y que en efecto, se detecta una caída dramática del 81% al 31% de los taludes considerados estables, al reducir un 15% los parámetros de Mohr-Coulomb, asociados a la resistencia de la roca.
- Estrada y Soberanis (2014) en su trabajo de investigación titulado “menciona como objetivos analizar la estabilidad de taludes de suelos aplicando diferentes métodos informáticos entre ellos el método Bishop del software SLIDE e indica que previamente se requiere conocer:
 - Cohesión del suelo C (KN/m²)
 - Peso específico del suelo γ (KN/m³)
 - Angulo de fricción ϕ (grados)
 - Altura del talud H (metros)

Y como resultados de su investigación aplicando el método de análisis Bishop luego de conocer previamente las propiedades del suelo (módulo de elasticidad, resistencia no drenada, relación de Poisson, peso volumétrico natural y peso volumétrico saturado), encuentra que con el método de Bishop y Morgenstern el F.S. = 1.670 y 1.73 respectivamente e indica que se trata de un talud estable y, cuando incluye al análisis un coeficiente sísmico de 0.183 encuentra que con el método de Bishop simplificado y Morgenstern el F.S. = 1.458 y 1.457 respectivamente”

2.1.2. A nivel Nacional

- Breña (2019) en su trabajo de investigación titulado “Estabilidad de taludes de la carretera longitudinal de la sierra; tramo Cochabamba-Cutervo-Chiple, Cajamarca-Perú” tiene como objetivo evaluar los resultados de los parámetros geotécnicos de la interacción roca -suelo que afecte la estabilidad de los taludes sector de la carretera longitudinal de la sierra tramos Cochabamba - Cutervo, Chiple-Cajamarca, no determina o establece con claridad la metodología de investigación que aplicó; en cuanto a los resultados de su estudio indica que: “El análisis estático se obtiene a partir de la geometría del talud que se obtienen de los perfiles topográficos más los parámetros geotécnicos, luego se hacen investigaciones de Mohr-Coulomb, Hoek Brown u otros criterios de ruptura o fallamiento más los análisis de Peso Unitario, Angulo de Fricción Interna, Cohesión, Consistencia, Adhesión, Compresibilidad y Compactación, Permeabilidad aplicando también Ratio de Poisson, Modulo de Young entre otros parámetros más, donde el factor de seguridad (F.S.) mínimo es 1.5, luego para el análisis pseudo-estático se aplica la aceleración g que para este caso de ubicación es 0.30 (g) donde el valor mínimo es 1 y se obtiene el factor de seguridad pseudo-estático con el software Slide o GeoStudio o Geo5”.

- Tardeo y Zanabria (2016) en su trabajo de investigación titulado “Análisis dinámico de estabilidad de taludes por elementos finitos en la zona de Huayllapampa del distrito de Cuenca - Huancavelica” menciona que los objetivos de este estudio son determinar los factores internos y externos que intervienen en la estabilidad de talud en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca — Huancavelica, así como determinar los excesos de presión de poros y las posibles zonas de licuefacción que establezca garantizar la máxima seguridad para situaciones de riesgo en la zona de Huayllapampa del distrito de cuenca — Huancavelica.

Precisa que se trata de una investigación aplicada cuyos resultados indican que la zona de Huayllapampa presenta taludes inestables por cuanto el FS es menor a 1, así mismo indica que del análisis dinámico de estabilidad que efectuó resultó que los taludes podrían soportar un sismo de 6.7 (no indica intensidad o magnitud), puesto que el factor de seguridad luego del análisis dinámico resulta siempre igual o mayor que 1.20. Indica finalmente que, “Para la estabilización más eficiente, es el sistema flexible de mallas de acero y pernos de anclaje, el cual si garantiza la estabilidad de los taludes en la zona de Huayllapampa. El sector analizado es inestable al tener varias fluctuaciones por debajo de 1.25”.

- García y Mestanza (2019) en su trabajo de investigación titulado “Mejoramiento del Suelo con el Diseño de Hincado de Rocas en la Desmontera de Mina Excélsior-Cerro de Pasco” como objetivo mejorar el suelo con el diseño del hincado de rocas en la desmontera de mina Excélsior, Cerro de Pasco. Utilizando el método de análisis de estabilidad de taludes estático y pseudo - estático por Mohr Coulomb por los métodos de Spencer y Morgenstern – Price los resultados para el FS por el método de Spencer entre 1.640 - 1.132 a 1.765 1.205 respectivamente y entre 1.639 - 1.128 a 1.765 1.206 por el método de Morgenstern Price.

- Ventocilla (2021) en su trabajo de investigación titulado “Estudio de las características geotécnicas de los suelos residuales para la estabilidad de taludes en el Cerro la Campana - ruta al terminal portuario de Puerto Eten” menciona que tiene como objetivo estudiar las características geotécnicas de los suelos residuales para la estabilidad de taludes en el cerro La campana Puerto Eten. Así mismo indica que “se trata de una investigación cuantitativa con un diseño cuasi experimental.” También menciona que “Los resultados obtenidos del análisis de estabilidad que se realizó usando el programa “SLIDE” con el procedimiento del método de Bishop simplificado y el factor de seguridad que tiene el talud es menor a 1, significa que el talud no es estable”.

2.1.3. A nivel Local

- Se hizo la revisión pertinente a las bibliotecas locales y no se encontraron temas relacionados a la presente investigación.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Fundamentos mecánicos de rotura de taludes.

Según Sanz R., Sobrecases M., Díaz O. (2016), bajo el nombre genérico de talud se denomina a la superficie inclinada con respecto a la horizontal, que adoptan permanentemente o provisionalmente las estructuras de tierra.

Estos pueden ser artificiales, cuando están contruidos por el hombre en sus obras de ingeniería (terraplén o desmonte), o naturales (laderas). Asimismo, pueden ser de suelos, rocas o mixtos, variando a su vez la metodología de estudio.

En el estudio de la estabilidad de los taludes se abordan fenómenos de estado último o de rotura de masas de suelo. Los agentes externos responsables de la inestabilidad son una fuerza de masa, el peso y, eventualmente, los efectos de filtración a los cuales hay que añadir otros factores como las sobrecargas (estáticas/dinámicas) (pág.13).

2.2.1.1. Definición general de un criterio de rotura

Existen dos formas para definir el comportamiento de una masa en rotura: “mediante el estado de tensiones o mediante el de deformaciones. Normalmente se utiliza la primera” González V. (2002, pág.24). De esta forma, se toma como resistencia de la masa la máxima tensión que ésta puede soportar, existen dos criterios principales.

2.2.1.2. Principales problemas en falla de taludes

Según GEOCUANTICS (2021), la tipología de fallas se basa en los principales problemas que se ocasionan como consecuencia del tipo de falla de talud.

a) Falla por un deslizamiento superficial

Dependen de la frecuencia e intensidad de los fenómenos hidrometeorológicos de una región. En regiones de selva es un factor muy importante para el deslizamiento superficial de taludes.

b) Falla por Deslizamiento en laderas naturales sobre superficie de falla pre existente

Las superficies de falla son paleo superficies soterrados con material que en la actualidad forman el talud. Estas acumulaciones de material no son compactas, están encima de materiales más firmes o bien estratificados. Dentro de esta categoría se tiene.

c) Falla por deslizamiento superficial de talud

Es un movimiento paralelo a la superficie del talud debido al incremento de humedad superficial y en raras ocasiones debido a fuertes vientos, entre ellos:

- **Falla por rotación:** es un movimiento o deslizamiento súbito, en profundidad con respecto a la superficie del talud. Presenta una falla cilíndrica o cóncava.

- **Fallas por traslación:** son movimiento sub horizontales debido al incremento de humedad sobre formaciones menos consolidados depositados sobre formaciones más compactas o duras. La superficie de falla también es sub horizontal o de muy bajo ángulo.
- **Falla por erosión:** este tipo de fallas pueden ocurrir en taludes artificiales como los de desmontera mineros ante un fuerte episodio lluvioso luego de temporadas secas o de verano.
- **Falla por capacidad soportante:** se producen cuando se incrementa el peso en la corona del talud. (pág 50-51).

2.2.2. Desmote minero

Según Estrada V. y Soberanis J. (2014), el material estéril o mineral con baja ley (con un contenido metálico por debajo de la ley mínima de corte) se denomina desmote de mina. Se produce al momento de efectuar el corte de mineral durante la operación minera, también se denomina así al material obtenido del desbroce para acceder a la zona mineralizada. La proporción entre los volúmenes de desmote y mineral llamado Stripping así si la relación de un Stripping 3:1 representa 3 TM de desmote por una TM de mineral.

El desmote debe ser acumulado apropiadamente y asegurar condiciones aceptables de seguridad y medio ambiente. Debido a que los materiales de desecho o desmote son de diferentes características mineralógicas están deben ser dispuestos adecuadamente de modo que no tengan impactos negativos a las poblaciones y medio ambiente. Lamentablemente en el pasado no se ha tenido suficiente cuidado en el traslado y depósito de estos desechos, llegando a acumularse grandes cantidades de desmote de manera precaria y sin mayor cuidado del medio ambiente principalmente.

Estos botaderos de desmote deben ser planificados con anticipación a las operaciones mineras ya que son generadores de lixiviados ácidos, por ello

la caracterización de estos materiales deben ser considerados en los estudios de impacto ambiental y debidamente autorizados.

Estos depósitos de desmonte minero deben ser debidamente diseñados de manera que presenten una configuración geotécnica estable, es decir que los taludes que se generan como consecuencia de estos depósitos deben tener un ángulo de inclinación apropiada al tipo de materia a fin de que no se produzcan deslizamiento que afecten la estabilidad de estos botaderos.

Existen especificaciones técnicas para la construcción de botadero de desmonte, las mismas que deben ser cumplidos por las empresas dedicadas a la explotación de recursos minerales, entre ellas hay ciertas consideraciones a tener cuidado y en cuenta como por ejemplo coberteras adecuadas de modo que se impida la polución o polvareda de partículas finas comprendidos en estos depósitos. Tanto las plataformas, corona y taludes de estos depósitos de desmonte deben ser cubiertos por material apropiado, generalmente por capas arcillosas y material proveniente de suelos capaces de generar vegetación. (pág 63-67).

2.2.3. Material estéril en el contexto minero

Los minerales suelen ser clasificados en minerales metálicos y minerales no metálicos; según Estrada V. y Soberanis J. (2014) generalmente los minerales metálicos se encuentran contenidos en estructuras tipo filones, mantos, cuerpos y diseminados.

Cuando los minerales se presentan en estructuras tipo filones o vetas y en mantos la extracción del mineral generalmente genera poco material estéril o desmonte por lo tanto el Stripping es bajo. Muchas veces en estos casos el desmonte proviene de las cajas de la estructura que vienen a ser material con muy baja ley porque en ellas solo hay presencia de minerales de alteración hipógena, otras veces el desmonte proviene de la contaminación del mineral que se produce al realizar la rotura del mineral y parte de la roca caja.

En el caso de mineralizaciones del tipo diseminado, estas generalmente son pórfidos donde prácticamente es imposible evitar la presencia de material estéril en la fase de rotura del mineral. El método de explotación de recursos minerales en este tipo de yacimientos es a cielo abierto, donde se requiere un movimiento de grandes volúmenes de mineral que produce mucho desmonte. Este tipo de explotación mineral causa gran impacto negativo paisajístico y visual no solo en el lugar mismo donde se extrae el mineral sino también en las zonas donde se depositan los desmontes que dan lugar a la aparición de verdaderos cerros de desmonte que originan a su vez lixiviación de considerables volúmenes de minerales que dan lugar a soluciones ácidas y en muchos casos se constituyen en zonas inestables debido a que sus taludes pueden ser afectados por agentes hidrometeorológicos y sísmicos. (pág 70-74).

2.2.4. Estabilidad de taludes

Según Rico y Del Castillo (1974), involucra un análisis en el que se debería, entre otros eventos: caracterizar la resistencia del suelo, definir el perfil del talud, así como las condiciones de filtración y agua subterránea, elegir un área de deslizamiento y calcular su factor de estabilidad, al final, desde este factor de estabilidad (el cual se escoge con base al destino del talud) se tendrá que decidir el área de deslizamiento o falla crítica.

Los procedimientos para analizar cuantitativamente los taludes son varios, los denominados de equilibrio límite permanecen basados en el procedimiento de las dovelas, en el que la masa de suelo se divide en cantidades o dovelas. Se asume condiciones de equilibrio estático para un área o falla de deslizamiento supuesta y se busca el límite de deslizamiento crítica para la cual el componente de estabilidad es mínimo. La diferencia entre los diversos procedimientos de equilibrio límite radica en las simplificaciones para minimizar la indeterminación de las fuerzas en medio de las dovelas. Además, tenemos la posibilidad de dividir a los procedimientos de equilibrio límite según las ecuaciones de equilibrio que

cubran. A lo extenso de las últimas 2 décadas se han planteado varios procedimientos para examinar los taludes por medio de recursos finitos. En el procedimiento de aumento de la gravedad, las fuerzas gravitatorias son incrementadas en forma gradual hasta que el talud colapsa, aquí el elemento de estabilidad se define como la interacción entre la aceleración gravitacional en la falla (g_f) y la aceleración gravitacional de hoy (g). En el procedimiento de reducción de resistencia, los límites de resistencia del suelo son reducidos hasta que el talud se vuelve desequilibrado, por consiguiente, el elemento de estabilidad se define como la interacción entre el parámetro del procedimiento de aumento de la gravedad se utiliza para conocer la igualdad de terraplenes a lo largo de su creación, ya que otorga resultados más confiables, en lo que el procedimiento de la reducción de resistencia se utiliza para el equilibrio de taludes existentes. Se debería tener en cuenta que todavía en la actualidad los procedimientos de resolución por estudio por recursos finitos se hallan en desarrollo y evaluación, ya que aún se estudian varios componentes y modelos para usar en esta clase de estudio. La normativa norteamericana establece que la utilización de los recursos finitos no se justifica para únicamente de calcular el factor de estabilidad, sino que su uso debería servir para obtener además desplazamientos y tensiones causadas por las cargas aplicadas, dado el esfuerzo y tiempo que este estudio necesita. El procedimiento de los recursos finitos es un instrumento computacional bastante potente en ingeniería. procedimientos de estudio propuestos en ingeniería tienen la posibilidad de verificarse utilizando el procedimiento de los recursos finitos como punto de alusión. Los inconvenientes en el equilibrio de taludes resueltos utilizando el procedimiento de recursos finitos poseen 2 relevantes diferencias con los procedimientos de equilibrio límite original. Primero, la ecuación del equilibrio del talud por recursos finitos es definida; por consiguiente, no se necesita que se hagan suposiciones para lograr terminar los cálculos. Sin embargo, los procedimientos de equilibrio límite,

comenzando por el procedimiento simplificado de Bishop, han utilizado un componente de estabilidad para computar la fuerza regular en la base de la faja, hallando el componente de estabilidad final por medio de procesos iterativos. El procedimiento de los recursos finitos puede usarse para comprender la igualdad de taludes utilizando una definición de falla parecido a la de los procedimientos de equilibrio límite, éstos proponen en comienzo un área de deslizamiento para después analizar el costo del coeficiente de estabilidad de la misma, el cual se define como la interacción entre la resistencia al corte disponible y la resistencia al corte movilizador en la superficie de falla. (pág. 27-34)

2.2.5. Talud

Según Ramírez, P. y Monge A. (2004), “cuando una superficie natural o artificial se encuentra inclinada o presenta una pendiente con cierto ángulo de inclinación se llama talud”.

2.2.5.1. Tipos de taludes

Según Suarez, J. (2017). Los tipos de taludes pueden ser dos:

a) Taludes naturales

Son taludes formados por la naturaleza a lo largo de la historia geológica. No requieren de la intervención humana para formarse, se pueden establecer como consecuencia de procesos erosivos. Resulta un poco complicado el cálculo de la altura debido a lo irregulares que son.

Los taludes pueden estar conformados por suelos sobre un macizo rocoso o solamente de suelo o solo por roca madre. En la naturaleza es más común encontrar taludes conformados por suelos de diferente origen. (pág. 15).

Figura 1. Talud en el sector norte de Chosica conformado por roca ígnea (batolito de la costa)



Fuente Talud natural. Tomado de Google earth (2021).

b) Taludes Artificiales o antrópicos

Son aquellos taludes que se han formado como producto de la actividad humana ya sea en la construcción de plataformas de carreteras, plataformas para agricultura (andenes), depósitos de desmontera por actividad minera, perfilado de laderas para represas, etc. etc. En la mayoría de los casos el ángulo de inclinación de estos taludes presenta un FS aceptable, motivo por el funcionan en algunos casos por un muy buen lapso. (pág. 15).

Figura 2. Talud artificial



Fuente Talud artificial o antrópico en la carretera central del Perú Km. 205 –Sector de Casapalca. Tomado de Googlear (2021).

2.2.6. Elementos de un talud

Un talud presenta diferentes elementos tales como pie, cabeza, altura, altura de nivel freático, pendiente. (Suárez, 2009).

1. Pie, pata o base

Se ubica en la parte inferior del talud, donde el relieve deja de tener fuerte inclinación y más bien se torna como una superficie llana sub horizontal.

2. Cabeza, cresta, cima o escarpe

Se ubica en la parte superior del talud, es decir halla donde termina el talud. Igualmente se da un cambio pronunciado en la inclinación para tornarse en una plataforma de pendiente sub horizontal.

3. Altura

Se mide de manera vertical, desde el pie hasta la cabeza del talud. No debe medirse la superficie inclinada del talud. Las alturas de laderas son más complicadas de determinar puesto que no son accidentes topográficamente bien marcados.

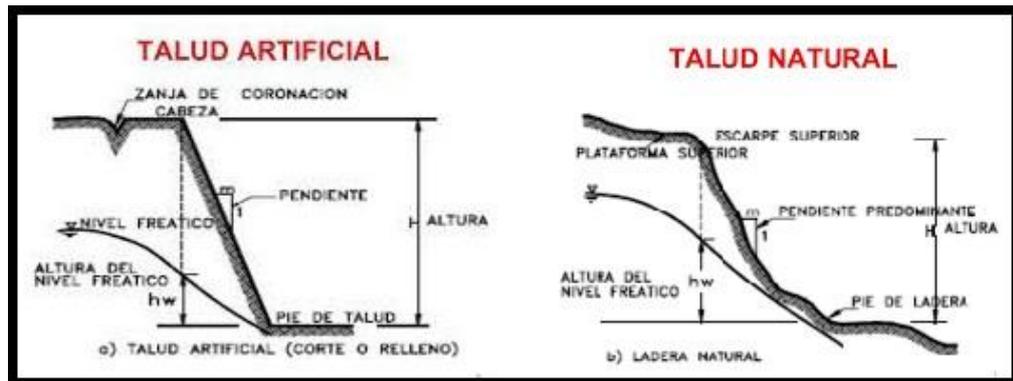
4. Altura de nivel freático

Es la medida de la profundidad a la que se encuentra la napa freática debajo de la corona o cabeza, se toma de manera vertical desde el pie del talud hasta el nivel del agua.

5. Pendiente

Es el ángulo de inclinación del talud, es una de las variables más importantes a tomar en cuenta en el diseño de taludes artificiales ya que taludes con alta pendiente generalmente colapsan. Se puede expresar en grados, pero, también en porcentajes, así $45^\circ = 100\% = 1H:1V$.

Figura 3. Elementos de un talud



Fuente En la figura se puede visualizar los elementos de un talud artificial y talud de ladera o talud natural. Recuperado de: <https://www.meteorologiaenred.com/taludes.html> 2021.

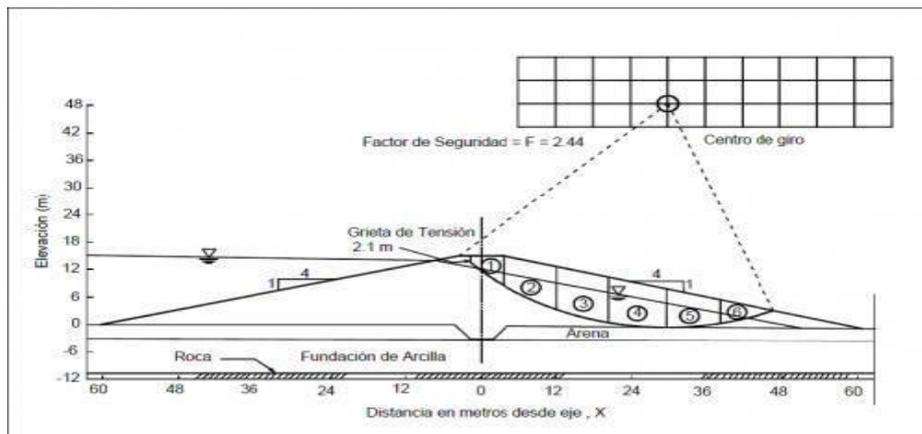
2.2.7. El análisis de estabilidad de taludes

Es posible realizar un análisis de las condiciones de estabilidad de los taludes sean estos naturales o artificiales, aplicando métodos numéricos o matemáticos, es decir que se puede efectuar un modelamiento matemático de las condiciones de estabilidad de los taludes. Para ello se asume el talud como un modelo geométrico que tiene un límite en profundidad, este límite está dado por la falla o superficie de falla que puede ir variando conforme los parámetros físicos también vayan variando, los valores de cada parámetro físico son cantidades numéricas. (Braja, 2015)

El propósito de un modelamiento matemático son varios:

- Analizar si un talud es estable o no bajo las condiciones en la que se encuentra.
- Evaluar las causas posibles de una eventual falla.
- Evaluar la estabilidad del talud bajo condiciones supuestas (condiciones hidrometeorológicas o sísmicas).
- Analizar el comportamiento de estabilidad bajo opciones favorables.
- Realizar esquemas de taludes óptimos

Figura 4. Esquema de un talud óptimo



Fuente: Tomado de Shwart J. (2021)

2.2.8. Factor de Seguridad F. S.

Es la relación inversamente proporcional entre la resistencia al corte disponible (real), y el esfuerzo cortante o actuante. (Gonzales de Vallejo, et al., 2002).

$$F.S. = \frac{\text{Resistencia al corte disponible}}{\text{Esfuerzo cortante actuante}}$$

Para superficies cóncavas se puede utilizar:

$$F.S. = \frac{\text{Momento resistente disponible}}{\text{Momento actuante}}$$

2.2.9. Concepto de Superficie de Falla

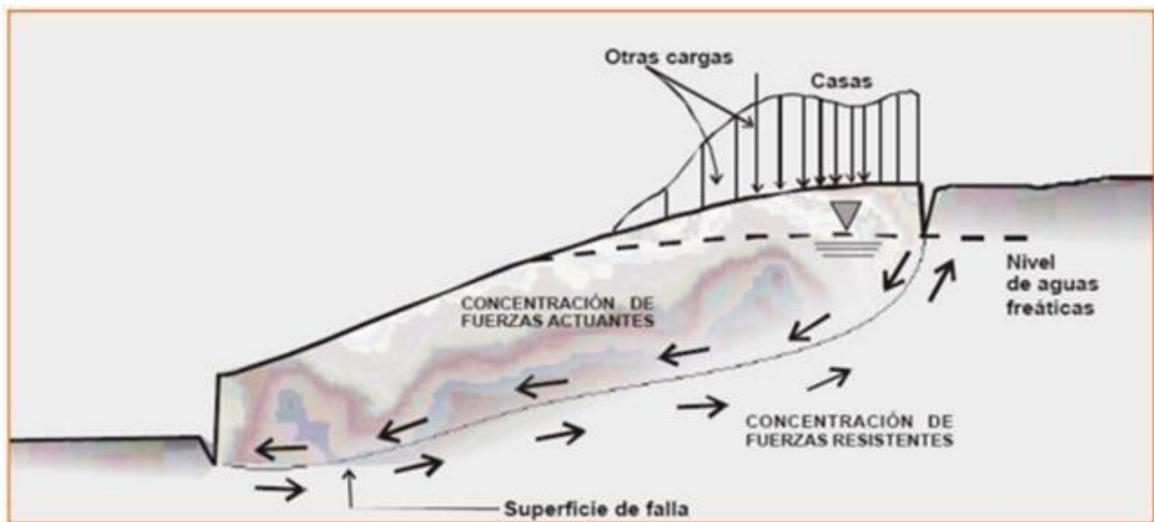
Según Gonzales de Vallejo, et al., (2002), este concepto se usa para referirse a un límite asumido durante la cual puede suceder el deslizamiento o la rotura del talud; no obstante, este deslizamiento o rotura no pasa durante aquellas áreas si el talud es diseñado correctamente.

En los procedimientos de límite de equilibrio el FS se asume que es igual para todos los puntos de vista durante el plano de fractura; por consiguiente, este resultado representa un promedio del resultado total en todo el plano de

fractura. Si la fractura se produce, los esfuerzos de cortante van a ser equivalentes en todas las partes de la falla.

Se analiza con varias superficies de falla para hallar la superficie de falla con el valor mínimo de FS, a la que se le llama superficie crítica de falla donde existe la probabilidad de que ocurra un deslizamiento. (pág. 36-38).

Figura 5. Superficie esférica de falla de talud



Fuente. Tomado de Schumbergh (2010)

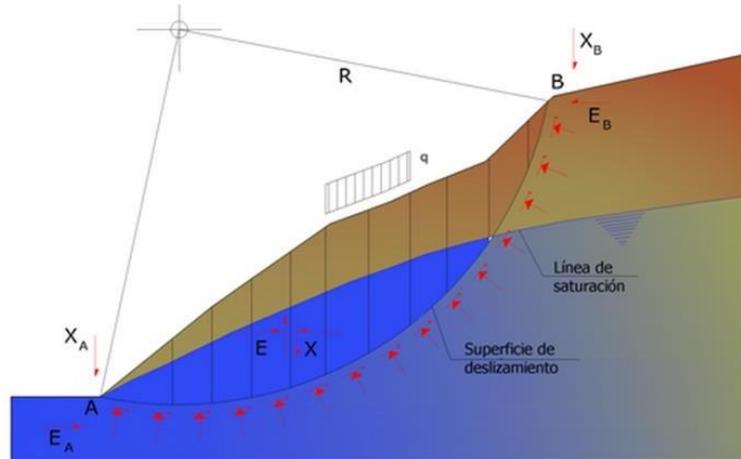
2.2.10. Equilibrio límite

El método del equilibrio límite consiste en el estudio de un cuerpo rígido, constituido por el talud y por una superficie de deslizamiento de cualquier forma (línea recta, arco circular, espiral logarítmica), con tal equilibrio se calculan las tensiones de corte (τ) y se comparan con la resistencia disponible (τ_f), de esta comparación deriva la primera indicación de estabilidad, con el coeficiente de seguridad $F = \tau_f / \tau$. 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 de estas (Fellenius, Bishop, Janbu etc.). (Huang, 2014).

2.2.11. Parámetros Utilizados en los Análisis de límite de Equilibrio

- Pesos de las dovelas.
- Resistencia al cortante.
- Condiciones saturadas y no saturadas.
- Esfuerzos totales y efectivos.
- Estabilidad a corto y largo plazo.

Figura 6. Representación de una sección de cálculo de un talud



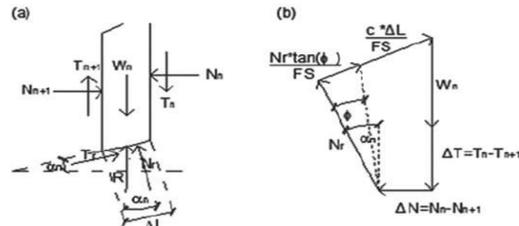
Fuente: Tomado de Lancellotta R. (1994). *Geotecnica, 2a ed.*, Zanichelli, Bologna

2.2.12. Método Bishop Simplificado

El método propuesto por Bishop en 1955 analiza la estabilidad de un talud con SPF del tipo circular, tomando en cuenta el efecto de las fuerzas entre dovelas. (Huang, 2014).

Al tratarse de un Método de Dovelas, la masa de suelo deslizante debe ser dividida en η fajas verticales de manera de estudiar las fuerzas y momentos involucrados en cada una de las rebanadas definidas y determinar así el FS asociado al caso.

Figura 7. Diagrama de fuerzas en un talud



Fuente. Análisis de Estabilidad de Taludes por el Método de Bishop. (9a) Esquema de las fuerzas que actúan en la dovela. (9b) Diagrama de fuerzas en equilibrio de la dovela.

Tomado de Pérez de Agreda (2005).

De las figuras 9a y 9b, es posible conseguir las siguientes ecuaciones:

$$T_r = N_r * \tan(\phi) + c * \Delta l = N_r * \left[\frac{\tan(\phi)}{FS} \right] + \frac{c * \Delta l}{FS}$$

$$N_r = \frac{W_n + \Delta T - \left[\frac{c * \Delta l}{FS} \right] * \sin(\alpha_n)}{\cos(\alpha_n) + \frac{\tan(\phi) * \sin(\alpha_n)}{FS}}$$

Una vez obtenidos los diagramas de cuerpo libre para cada una de las dovelas, es posible desarrollar las ecuaciones de equilibrio de fuerzas y de momentos, obteniendo la expresión que permite determinar el FS de cada SPF analizada. De esta manera (ec.8):

$$\sum_{n=1}^{n=p} W_n * r * \sin(\alpha_n) = \sum_{n=1}^{n=p} T_r * r$$

Donde:

$$T_r = \frac{1}{FS} * [c + \sigma * \tan(\phi)] * \Delta l = \frac{1}{FS} * [c * \Delta l + N_r * \tan(\phi)]$$

Al analizar el equilibrio de fuerzas verticales de cada dovela, es posible obtener el valor de las fuerzas N, para así reemplazarlas en la ecuación 9 y obtener lo siguiente (ec.10):

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [c+b+W_n \cdot \tan(\phi) + \Delta T \cdot \tan(\phi)] \cdot \frac{1}{m_{\alpha(n)}}}{\sum_{n=1}^{n=p} [W_n \cdot \sin(\alpha_n)]}$$

De donde:

$$m_{\alpha(n)} = \cos(\alpha_n) + \frac{\tan(\phi) \cdot \sin(\alpha_n)}{FS}$$

Este método considera dentro de sus hipótesis fundamentales, el hecho de que las fuerzas de contacto entre dos dovelas sí se toman en cuenta, pero no resultan influyentes, puesto que se encuentran equilibradas. Para aspectos de cálculo, estas fuerzas se consideran igual a cero, con lo que la ecuación 3.10 se puede simplificar:

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [c+b+W_n \cdot \tan(\phi)] \cdot \frac{1}{m_{\alpha(n)}}}{\sum_{n=1}^{n=p} [W_n \cdot \sin(\alpha_n)]}$$

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

En la última década el uso de software para analizar la estabilidad de los taludes se incrementado ostensiblemente (Sanhuela P. y Rodríguez L., 2020). A partir de la década del 60, la aparición de herramientas computacionales ha permitido manejar los cálculos iterativos de los distintos métodos de análisis de estabilidad de taludes. Inicialmente, el método de equilibrio límite fue bien aceptado, dado que podía entregar soluciones por medio de cálculos hechos en forma manual. Sin embargo, las nuevas tecnologías permitieron facilitar los análisis, pudiendo incluso llegar a resultados más precisos al realizar un mayor número de iteraciones o al dividir la masa deslizante en dovelas más pequeñas. Esto conllevó a la aparición de formulaciones matemáticas más rigurosas como las desarrolladas por Morgenstern -Price (1965) y por Spencer (1967).

Dentro de los programas más utilizados se encuentra el GeoSlope y el SLIDE, los cuales fueron diseñado especialmente para el análisis de estabilidad de taludes. Se basan, principalmente, en el uso del método de equilibrio límite y permite modelar suelos homogéneos y estratificados, con superficies geométricas complejas y con presencia de nivel freático. El software permite analizar la estabilidad del talud bajo diferentes modelos, tales como los propuestos por Fellenius, Bishop, Janbú, Spencer y Morgenstern -Price, entre otros. De esta manera, una vez efectuados los cálculos, el programa entrega las distintas superficies de rotura analizadas, la superficie de falla más desfavorable, la distribución de las dovelas consideradas dentro de la masa deslizante y los diagramas de cuerpo libre para cada una de las dovelas dentro de la superficie de falla estudiada, entre otros resultados.

2.3. Definición de términos básicos.

- **Ladera**

Pendiente de una montaña o elevación del terreno por cualquiera de sus lados. (Burga, 2011).

- **Análisis estructural**

Propia de las ciencias físicas, en este proceso, se desarma o desensambla el producto, se hace un conteo de los recursos que tiene, identificando las funcionalidades que cumplen cada uno y estableciendo la conexión entre ellos para lograr funcionar como un todo.

Se aplican en la ingeniería. En esta clase de análisis se aplican ecuaciones para la resistencia de materiales, para establecer qué recursos influyen en la deformación de la composición del objeto o construcción. Se complementa con la exploración dinámica, que estudia la dinámica de la composición y las probables oscilaciones o movimientos que logren provocar fallas en la misma. (Burga, 2011).

- **Estabilidad**

Cuando un sistema cualquiera persiste en el tiempo y espacio se dice que ha logrado un equilibrio, sus fuerzas se compensan mutuamente logrando una resultante de equilibrio y entonces se dice que es un sistema estable. (Burga, 2011).

- **Desmonte**

Son materiales de escaso contenido metálico o totalmente estéril producto de la actividad de explotación de recursos minerales. (Burga, 2011).

- **Desmontera**

Son lugares especialmente acondicionados para acumulación de desmonte que vienen a ser residuos sólidos que provienen de las diferentes labores mineras sean rajos, accesos, cortadas, chimeneas, rampas, material de las rocas encajonantes, material de desbroce, etc. Estas desmontera deben ser luego recubiertos con materiales que eviten la polución de partículas finas que provengan de ellos, así como diseñados de forma que los lixiviados generalmente ácidos no provoquen un impacto negativo al medio ambiente. Los desmontes que son acumulados en ellas siempre se deben realizar cuidando que presenten una estabilidad física de sus taludes. (Burga, 2011).

- **Dovela**

Rebanadas o franjas verticales. La zona de falla se divide en rebanadas verticales; no es necesario que todas tengan el mismo ancho y para facilitar los cálculos se hace que sus límites coincidan con las intersecciones de una circunferencia con los estratos de suelo por abajo y con el paramento del talud por arriba. Al hacer el análisis se considera que cada rebanada actúa independientemente de las colindantes: no se desarrolla esfuerzo cortante entre ellas y las presiones normales en cada lado de la dovela producidas por las colindantes son iguales. (Burga, 2011).

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

Existe relación significativa entre el nivel de estabilidad de los taludes de la desmontera el Excélsior en condiciones actuales y el factor de seguridad óptimo planteado en las condiciones de análisis.

2.4.2. Hipótesis Específicas

Existe relación significativa entre el nivel de estabilidad de los taludes en condiciones actuales y las características geotécnicas del desmonte minero el Excélsior.

Existe relación significativa entre el nivel de estabilidad de los taludes en condiciones actuales y los riesgos de deslizamiento ante eventos climatológicos y sísmicos en el desmonte minero el Excélsior.

2.5. Identificación de Variables

2.5.1. Variables independientes

Factor de seguridad óptimo.

2.5.2. Variables dependientes

Nivel de estabilidad de taludes.

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores
Nivel de estabilidad de taludes	Estudia la estabilidad o posible inestabilidad de un talud a la hora de realizar un proyecto, o llevar a cabo una obra de construcción de ingeniería civil, siendo un aspecto directamente relacionado con la ingeniería geológica geotécnica.	Para determinar el nivel de estabilidad de taludes se establece los parámetros	Peso unitario total del suelo ($\gamma = \text{lb}/\text{pie}^3$) Peso unitario del agua ($\gamma_w = \text{lb}/\text{pie}^3$) Cohesión ($C = \text{lb}/\text{pie}^2$) Angulo de fricción ($\phi = \text{grados}$) Presión de poro en profundidad (lb/pie^3) Peso específico ($w = \text{Kg}/\text{m}^3$)
Factor de seguridad	Es el cociente entre fuerzas resistentes y las fuerzas desestabilizadoras	Para determinar el factor de seguridad (FS) se maximizan las fuerzas desestabilizadoras y se minimizan las fuerzas estabilizadoras	FS = 1.5 rotura inminente de talud FS > 1.5 Condiciones estables de talud FS < 1.5 Condiciones inestables de talud

Fuente. Elaboración Propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Los conocimientos logrados serán utilizados para modificar y mejorar el diseño de los taludes esto indica que se pretende dar un uso al conocimiento, por lo tanto, se trata de una investigación aplicada.

3.2. Nivel de investigación

La presente investigación es descriptiva ya que se describe las características de la Desmontera Excelsior.

3.3. Métodos de investigación

En la presente investigación se aplicaron los métodos descriptivo, analítico y aplicativo, ya que se realizó la descripción básica del terreno, posterior a ello se analizaron los resultados de las pruebas obtenidas en el laboratorio y campo, finalmente aplicarlo en los resultados de la investigación.

3.4. Diseño de investigación

El presente trabajo de investigación corresponde a un diseño descriptivo. La investigación descriptiva se utiliza para describir las características de una población o fenómeno que se está estudiando.

Describir la variable Factor óptimo de Seguridad (X), que involucra a su vez muchos otros parámetros geotécnicos.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Según Camacho de Báez (2008), “La población corresponde a todos los sujetos u objetos que pueden intervenir en el experimento, es decir, todas las unidades (personas, animales, objetos, sucesos etc.) que forman parte de un grupo”. (pág.121).

En esta investigación se tuvo como población todos los taludes de la desmontera El Excélsior.

3.5.2. Muestra

(Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018) mencionan que “en las muestras no probabilísticas por conveniencia, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador”. (pág.174).

Así mismo Hernández E (2014), mencionan que el muestreo por conveniencia es:

Un método no aleatorio, no probabilístico que se caracteriza por buscar con mucha dedicación el conseguir muestras representativas cualitativamente, mediante la inclusión de grupos aparentemente típicos. Es decir, cumplen con características de interés del investigador, además de seleccionar intencionalmente a los individuos de la población a los que generalmente se tiene fácil acceso, hasta alcanzar el número necesario para la muestra. (pág. 78).

En el presente trabajo de investigación, el muestreo fue por conveniencia seleccionando los taludes con evidente inestabilidad o más críticos que en este caso fueron 8 (ocho).

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

Según Castellanos R. (2017), la observación “es una técnica de investigación que consiste en observar personas, fenómenos, hechos, casos, objetos, acciones, situaciones, etc., con el fin de obtener determinada información necesaria para una investigación”. (pág 22).

Así mismo según Caro, L. (2020), “La observación es una técnica que consiste precisamente en observar el desarrollo del fenómeno que se desea analizar. Este método puede usarse para obtener información cualitativa o cuantitativa de acuerdo con el modo en que se realiza”. (pág.6)

3.6.2. Instrumentos para la recolección de la información

Los instrumentos de recolección de datos son “cualquier recurso, dispositivo o formato (papel o digital) que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información”. (Arias, 2006, pág.16).

Los instrumentos de recolección de datos que mejor permiten acercarnos al problema para su estudio y extraer de él la información, son:

Instrumento N° 1

Nombre del instrumento: Formato para registro de características geotécnicas de material de relleno (desmonte) y densidad.

Autor: Laleshka Milagro CASTRO CONDE

Objetivo: Registrar información para analizar la estabilidad de talud

Instrumento N° 2

Nombre del instrumento: Formato para registro de clasificación ASTM

Autor: Laleshka Milagro CASTRO CONDE

Objetivo: Registrar información para evaluar la calidad del macizo rocoso

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

En el desarrollo de la presente investigación se ha recurrido al campo a fin de realizar observaciones macroscópicas de las características geotécnicas del desmonte minero Excélsior, complementadas con observaciones microscópicas

de muestras en laboratorio, por lo tanto, se considera que la técnica de recolección de datos utilizado en esta investigación fue la observación.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

3.8.1. Procesamiento computarizado (electrónico)

Con la finalidad de obtener los resultados que luego han sido interpretados para llegar a las conclusiones y recomendaciones de este proyecto de investigación, el trabajo cumple con los siguientes pasos:

Una vez recolectado los datos estos han sido tabulados y tratados a fin de descartar información errada e innecesaria, toda la información ha sido procesado con el software SLIDE V.5 – método Bishop Simplificado y los resultados son presentados en tablas, perfiles o secciones transversales de taludes para su respectiva interpretación.

3.9. Tratamiento Estadístico.

Para la representación de la realidad concreta, se utilizó un modelo estadístico probabilista no lineal (Método Bishop Simplificado – esférico).

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

Se ha cumplido con las normas de información, realizando una descripción completa y precisa, así como una discusión objetiva de la importancia del trabajo realizado. El presente estudio corresponde en su totalidad a mi autoría habiendo sido citados y referenciados adecuadamente los trabajos y autores utilizados, así mismo, se ha hecho un reconocimiento apropiado de las fuentes. En ningún caso se han forzados los resultados.

En cuanto se descubra un error significativo me veré obligado a notificar inmediatamente a la universidad a fin de que se corrijan oportunamente. Para el caso de información obtenida se ha procedido a la obtención de un consentimiento informado y el compromiso de guardar la confidencialidad del caso. En general la investigación se ha realizado respetando las normas y códigos

nacionales e internacionales, aplicando rigurosamente los procedimientos del método Bishop simplificado a fin de garantizar los resultados.

Los datos brindados por el laboratorio no han sido alterados solo los que la metodología ha creído conveniente la realización de las encuestas serán de forma anónima para evitar algún inconveniente.

Según Bolívar A. “nos dice que la ética, como reflexión crítica de segundo orden sobre los valores o comportamientos previos, proporciona razones que justifican o no las acciones, analizando los comportamientos morales”.

Menciona que la ética profesional comprende los principios morales y modos de actuar éticos en un ámbito profesional, forma parte de lo que se puede llamar ética aplicada.

Así mismo en el código de ética de la UNDAC nos mencionan que toda información de la persona será respetada y no se divulgará, a través de un consentimiento expreso de ella.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

Con la finalidad de lograr los objetivos planteados en la presente tesis se han realizado trabajos de campo iniciando por el correspondiente levantamiento topográfico, así mismo aplicado los principios, conceptos teóricos y técnicas propias de la geología se ha realizado la evaluación geotécnica correspondiente.

4.1.1. Levantamiento topográfico

Se inició con una visita al lugar de estudio con la finalidad de reconocer, ubicar y delimitar el lugar de trabajo. Luego, se llevaron a cabo trabajos de topografía que permitieron evaluar las características de la superficie del suelo, ubicación de accesos e infraestructura presentes en el área; los trabajos topográficos propiamente dichos se georreferenciaron a los puntos de control vertical y horizontal PO-1 (N8818091,393 – E360225,155) y PO- 2 (N8818231,504 – E359908,829), proporcionados por la empresa JJC, que sirvieron de base para generar siete puntos auxiliares.

Figura 8. Puntos topográficos de control



Fuente: Puntos de control topográfico vertical y horizontal, materializados por la empresa JJC. y autorizados para su uso. (2021).

El levantamiento topográfico del área de estudio se realizó con GPS diferencial y para el procesamiento de la data la transferencia de la información de la estación total se realizó por medio del software Topcon Link a una PC para luego ser revisadas, corregidas y procesadas en la hoja de cálculo de Microsoft Excel donde se consiguió las coordenadas que luego fueron importadas al software Civil para conseguir las curvas de nivel.

Como resultado de los trabajos topográficos de han obtenido las siguientes coordenadas:

Tabla 2. Tabla de coordenadas de los vértices de los puntos de control y puntos auxiliares.

VERTICE	COORDENADAS UTM		COTA
	NORTE	ESTE	
PO-01	8 818 091,393	360 225,155	4 362,612
PO-02	8 818 231,504	359 908,829	4 362,112
EX1	8 818 982,930	360 893,294	4 309,708
EX2	8 818 708,755	360 526,512	4 299,368
EX3	8 818 088,590	360 324,889	4 332,844
EX4	8 817 404,192	361 086,500	4 311,100
EX5	8 818 063,635	361,122,552	4 303,579
EX6	8 818 230,750	361 411,332	4 317,846
EX7	8 818 676,489	361,584,091	4 331,146

Fuente CESEL Ingenieros

4.1.2. Evaluación geológica – geotécnica

Luego de ello se procedió con la evaluación geológica - geotécnica para cuyo efecto se llevó a cabo un reconocimiento y registro de las características geológicas a nivel regional y local que consistieron básicamente en la litoestratigráfica, geología de depósitos cuaternarios, rocas ígneas, unidades geomorfológicas y geología estructural.

Seguidamente se procedió con los trabajos para la evaluación geotécnica, iniciando con una inspección técnica en el perímetro de la desmontera Excelsior, ensayos de penetración dinámica (DPL), excavación de calicatas, excavación de trincheras, ensayos de densidad de campo y estudio de canteras.

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha utilizado el método simplificado Bishop obteniendo de manera general una diferencia del 5% en comparación con otros métodos más rigurosos como Morgenstern – Price, considerando como satisfactorio los resultados por el método Bishop para propósitos prácticos. Los cálculos fueron realizados utilizando el software SLIDE.

Para evaluar los taludes permanentes se utilizó el análisis de equilibrio límite, marcando los factores de seguridad mínimos (FS) para las condiciones de análisis:

- Condición estática: 1.5
- Condición pseudoestática: 1.1(coeficiente sísmico = 0.17g).

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

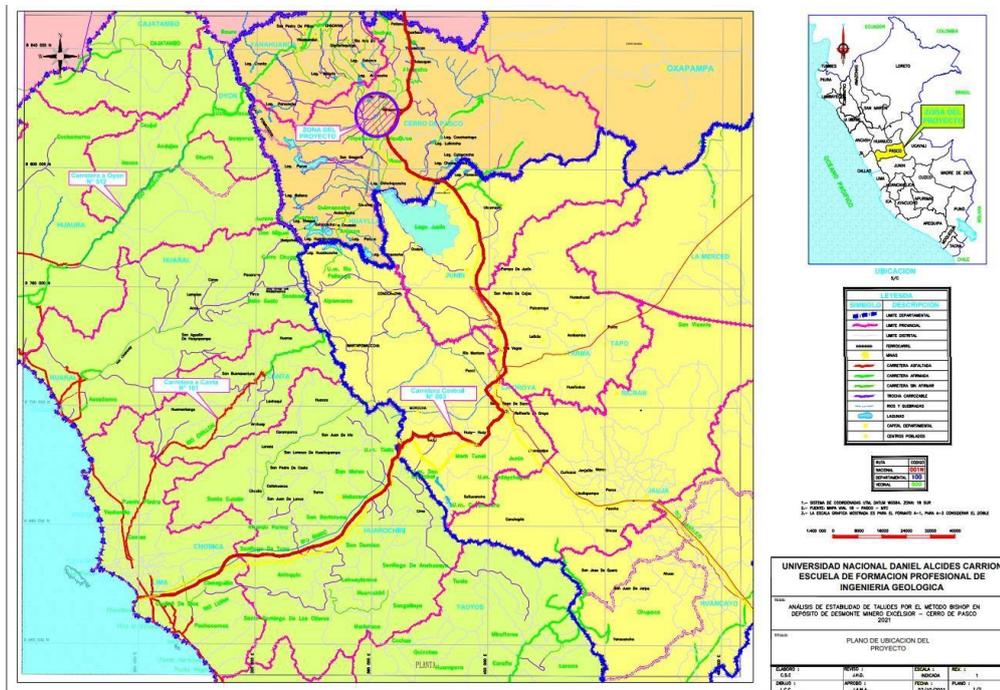
4.2.1. Ubicación

El depósito de desmonte minero materia de estudio se ubica en el centro poblado de Champamarca, Distrito de Simón Bolívar de Rancas, Provincia y Departamento de Pasco. Siendo las coordenadas geográficas del punto central del área de estudio:

Latitud: 10° 41' 12.04" Sur

Longitud: 76° 16' 05.88" Oeste

Figura 9. Plano de ubicación de la Desmontera Excélsior



4.2.2. Accesibilidad

El área de trabajo es accesible a través de las siguientes vías:

a. Carretera asfaltada: Lima – La Oroya – Cerro de Pasco – Lugar de estudio, haciendo un total 319.0 Km

b. Carretera afirmada: Lima – Canta – Huayllay – Cerro de Pasco – Lugar de estudio, haciendo un total de 265.0 Km

4.2.3. Geología

Los resultados de la evaluación geológica indican que el área de influencia de la desmontera Excélsior presenta las siguientes características litológicas:

4.2.3.1. Geología Regional

Litoestratigráficamente en el área de estudio afloran rocas cuyas edades están comprendidas entre el Paleozoico al Terciario, conformadas por rocas sedimentarias, metamórficas y volcano sedimentarias:

a) Rocas sedimentarias

- Grupo Excélsior (SD-e)

Está constituido por interestratificación de lutitas carbonáceas, filitas grises verdosas, cuarcitas grises y esquistos. Presenta una potencia de más de 800 m.

- Grupo Mitu (Ps-m)

El grupo Mitu sobreyacen en discordancia angular a las formaciones rocosas del grupo Excélsior y está conformado por conglomerados de fragmentos de cuarcita englobados en un cemento arenáceo rojizo. Areniscas y cuarcitas rojo ladrillo. Presentan una potencia de 50 a 80 m.

- Grupo Pucará (Tr-ch/Js-c)

El grupo Pucara perteneciente a una edad jurásica, presentas sus formaciones Condorsinga, Aramachay y Chambará respectivamente. Está conformado por capas delgadas y potentes de caliza gris oscura con intercalaciones delgadas de capas de lutitas calcáreas negras. Horizontes bituminosos fosilíferos dolomíticos y calizas silicificadas. Lutitas marrones con intercalación de calizas amarillentas en la base. Tiene una potencia que van desde los 600 hasta los 2950 m.

- **Grupo Goyllarisquizga (Ki-g)**

Este grupo consiste en una secuencia clástica y calcárea, las rocas clásticas están compuestas por arenisca de color pardo amarillento con algunas intercalaciones de cuarcitas y lutitas grises y rojizas. Presentan potencias que llegan hasta los 810 m.

o **Formación Casapalca (KP-ca)**

Miembro Cacuan. Está conformado por argilitas limosas y limolitas rojizas en la base, areniscas rojas verdosas y conglomerados. Alcanza una potencia de hasta 300 m.

Miembro intermedio - Conglomerado Shuco. Está conformado por fragmentos angulares de caliza en una matriz fina calcárea con variación lateral a calcarenitas y argilitas. Presenta una potencia de 30 a 170 m.

Miembro Calera. Se conforma de calizas grises, intercaladas con argilitas y margas gris verdosas. Tobas riolíticas en la base. Tiene potencias que van de 260 a 700 m.

b) Rocas volcánicas

- **Volcánicos Rumiallana (Nm-r)**

Se ubican en el cuello volcánico del yacimiento mineral de Cerro de Pasco, es de color gris oscuro, conformado por fragmentos angulosos y sub angulosos de caliza, filita y chert y roca ígnea porfirítica fuertemente alterada en un 10%.

A. Depósitos cuaternarios

- **Depósitos Fluvioglaciares (Q-fg)**

Se encuentran distribuidos en diferentes sectores del área de estudio, su conformación es generalmente polimíctica constituida por clastos de caliza y roca volcánica de tamaño muy variable y matriz granuda

c) Rocas Ígneas (Nm-an-da)

- Intrusivos

Cercano al área de estudio se encuentran rocas intrusivas de composición andesítica – dacítica, variando a monzonitas cuarcíferas. Estos cuerpos se encuentran instruyendo a los volcánicos Rumiallana, están cortados por diques de cuarzo monzonita atravesando la parte central del cuello volcánico, en la última etapa de pulsación estuvo acompañado de actividad hidrotermal que altero las formaciones rocosas que estaban a su paso.

4.2.3.2. Geología Local

A nivel local se puede describir depósitos cuaternarios, unidades geomorfológicas y algunos procesos de geodinámica externa local. La desmontera Excélsior se encuentra ubicada sobre andesitas y filitas, en los alrededores de la desmontera se pueden observar calizas y conglomerados.

- Filitas

Estas rocas metamórficas y foliadas, se presentan en el extremo sur de la desmontera Excélsior, se les atribuye una edad entre el Silúrico y devónico

- Calizas

Al este y fuera de la desmontera Excélsior se puede observar calizas de la formación Chambará del grupo Pucará. Se les asigna una edad del Triásico superior

- **Conglomerado**

Al lado oeste de la desmontera Excélsior en el cerro Shuco se observan rocas del denominado “conglomerado Shuco”. Se les atribuye una edad entre el cretáceo y Paleógeno

- **Depósitos cuaternarios**

○ **Depósitos eluviales (Q-el)**

Son depósitos residuales formados por meteorización física y química de las rocas clásticas e ígneas presentes en el área de estudio.

○ **Depósitos proluviales (Q-pr)**

Se encuentran en los conos de deyección de las quebradas, se conforman de cantos gruesos y bloques subangulosos de calizas, englobados en matriz de limos con grava. Son de color marrón rojizo, con un espesor de 5 a 10 m.

○ **Depósitos deluviales (Q-de)**

Se encuentran tapizando las laderas y colinas conformados por limos y arena gruesa con gravas subangulosos a angulosas.

○ **Depósitos coluviales (Q-co)**

Se encuentran al pie de las quebradas, conformados por escombros subangulosos a angulosos en matriz limo-arenosa.

○ **Depósitos antropogénicos (Q-an)**

Estos depósitos se han originado por la actividad humana como es el caso de la desmontera Excélsior. En los alrededores existen también otras desmonteras pequeñas, y relaveras como es el caso de la relavera Quiulacocha

Figura 10. Columna estratigráfica local

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	SIMBOLO	ROCAS ÍGNEAS	SIMBOLO
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Dep. Antropogénico Transportado	Q-an-tr		
			Dep. Antropogénico Insitu	Q-an-in		
			Dep. Excélsior	Q-an-ex		
			Dep. Coluvio-Aluvial	Q-ca-al		
			Dep. Deluvial	Q-de		
			Dep. Proluvial	Q-pr		
			Dep. Eluvial	Q-el		
	TERCIARIO	NEÓGENO			Andesita-Dacita	Nm-an,da
		PALEÓGENO	Form. Casapalca	KP-ca		
MESOZOICO	CRETÁCEO					
PALEOZOICO	DEVÓNICO		Gpo. Excélsior	SD-e		

Fuente. Elaboración propia

4.2.3.3. Geología estructural

Las actividades discontinuas de fallas mayores establecidas al final de la orogenia paleozoica han controlado la estratigrafía del área de estudio conformando unidades tectonoestratigráficas en cuencas sedimentarias con movimientos de fallas longitudinales.

- Fallas

Las estructuras de fallamientos son de rumbo andino paralelos a los plegamientos, una de estas fallas dominantes es la falla longitudinal de Cerro de Pasco que controló la estratigrafía del triásico, mostrando un desplazamiento sinextral.

Corta rocas de la formación Excélsior, se extiende a lo largo de 35 Km afectando rocas de la formación Casapalca. Tiene una dirección NS con buzamiento hacia el este.

Otra falla importante en la zona es la falla Sacrafamilia, se ubica al oeste del yacimiento minero Colquijirca. Esta falla presenta una dirección NS paralela a la falla de Cerro de Pasco, tiene una longitud

aproximada de 50 Km, afecta rocas de la formación Casapalca y controla a los grupos Excélsior y Pucará. En las cercanías de esta falla se ubican pequeños stocks hipabisales como el volcánico Rumiallana, esta falla también afecta rocas del Pérmico superior como el grupo Mitu. Otra falla importante ubicada en el extremo noreste del área de estudio es la falla Milpo-Atacocha. Esta falla presenta una dirección NS y controla las rocas del grupo Goyllarisquizga y Pucará, estuvo activo desde el triásico hasta el Cretáceo superior

- **Pliegues**

Los regímenes tectónicos que han afectado la zona de estudio en épocas pre paleógenos y paleógenos han plegado de manera intensa los depósitos sedimentarios en la zona de estudio. En el área de estudio se han desarrollado un fuerte plegamiento anticlinal y sinclinal de rumbo andino, estos flexuramientos han sido provocados por regímenes tectónicos compresivos.

4.2.4. Unidades Geomorfológicas

- **Zona de altas cumbres**

Corresponde a la zona más alta de la Cordillera Occidental, formando una línea de cumbres de dirección NO-SE, se encuentra constituida por geoformas agreste de modelado glaciar. Estas cumbres constituyen las nacientes de varios ríos del área de estudio.

- **Relieve cordillerano**

Se caracteriza por tener una superficie de intensa erosión, laderas post-maduras y relativamente empinadas además de ríos moderadamente profundos.

- **Superficie puna**

Es una superficie que ha sufrido una fuerte peneplaneización, aunque no totalmente. En Cerro de Pasco esta superficie es madura descansa

sobre esquistos del grupo Excélsior y rocas mesozoicas presentan superficies suaves y onduladas

4.2.5. Geotecnia

La evaluación geotécnica está orientada a definir los parámetros geotécnicos para el análisis de estabilidad física del depósito de desmontes Excélsior y la caracterización geotécnica de todo su perímetro.

4.2.6. Excavación de calicatas

En cada una de las calicatas se realizó el registro de excavación según la norma ASTM D-2488, se tomaron muestras disturbadas para la ejecución de los análisis en el laboratorio para lo cual se identificó cada muestra, embalado convenientemente y remitidas al laboratorio de mecánica de suelos.

Para obtener las coordenadas UTM de los puntos muestreados se ha utilizado un GPS diferencial TRIMBLE R10 el cual fue instalado sobre un punto base o también llamado punto de control, el equipo fue configurado en el campo para un sistema de coordenadas 17 SOUTH (UTM) al cual a través de la libreta electrónica topográfica se ingresaron la denominación y las coordenadas conocidas del punto base, luego desplazando la antena Robert se ubicaron cada uno de los puntos donde se excavaron las calicatas de un 1m x1 m con una profundidad máxima de 3.00 m.. y así sus coordenadas quedaron almacenadas en la memoria de la libreta electrónica de campo. Finalmente se hizo la exportación de las coordenadas a un USB para luego procesarlos en el programa Civil 3D. Cabe indicar que el equipo topográfico GPS diferencial TRIMBLE R10 fue operado por un personal calificado.

Tabla 3. Ubicación de calicatas

Calicata	Este	Norte	Profundidad	Nivel freático	Muestra
CAL-1	361 084	8 817 597	2,0	N.A.	2
CAL-2	360 771	8 817 754	1,2	1,0	2
CAL-3	360 667	8 817 891	1,2	1,1	1
CAL-4	360 659	8 818 330	1,0	1,0	1
CAL-5	361 000	8 818 814	1,0	N.A.	2
CAL-6	361 429	8 818 316	1,2	1,0	1
CAL-7	361 303	8 818 190	1,1	0,95	2
CAL-8	361 050	8 817 975	2,5	N.A.	1
TRI-1	361 058	8 817 636	2,5	N.A.	2
TRI-2	360 813	8 817 811	3,0	N.A.	1
TRI-3	360 717	8 817 916	3,0	N.A.	1
TRI-4	360 711	8 818 335	3,0	N.A.	1
TRI-5	360 975	8 818 741	3,0	N.A.	1
TRI-6	361 406	8 818 347	3,0	N.A.	2

Fuente CESEL Ingenieros

4.2.7. Pruebas de densidad de campo

La prueba de campo consistió en la toma de muestra de suelo en el fondo de la calicata. Se tomó una cantidad de muestra que pueda caber en el recipiente circular cuyo volumen se conoce previamente; luego se aplica el concepto de $D = M/V$. Estos ensayos se encuentran bajo la norma NTP 339.256 / ASTM D2167. Cabe señalar que se realizó seis (06) ensayos de densidad natural en el interior de las trincheras.

Según el concepto $D = M/V$, el valor de la densidad (D) viene a ser igual a la masa (M) del suelo insitu obtenido de un hoyo que se cava en el fondo de la calicata, dividido entre el volumen (V) del hoyo cavado en el fondo de la calicata, para conocer la densidad insitu del suelo se utiliza el método del cono de arena que consiste en un frasco contenedor y un cono. Se le llena el contenedor con arena calibrada pasante en la malla Nro. 30 y retenida en la malla Nro. 10, luego pesamos el contenedor con la arena calibrada; obtenido el peso total se pasa a calcular el peso en el cono de arena para ello se vierte la arena contenida en el contenedor sobre una placa base de 6" de diámetro, realizado esto volvemos a pesar el contenedor para obtener la diferencia en peso, es decir que:

Peso del cono de arena calibrada = (Peso total del contenedor – Peso del contenedor después de haber vaciado la porción de arena contenida en el cono).

Luego colocamos la placa base en el fondo de la calicata e iniciamos la excavación dentro del círculo de la plantilla de la placa base hasta una profundidad aproximada de 15 cm, recogemos el suelo producto de la excavación del hoyo en una bolsa de polietileno, el suelo extraído del hoyo es pesado y así obtenemos su masa.

Seguidamente vertimos la arena calibrada que se encuentra en el contenedor sobre el hoyo excavado del suelo extraído (con este procedimiento reemplazamos el suelo extraído más la arena en el cono). Luego pesamos el contenedor con la arena calibrada para determinar el peso de la arena en el orificio y con ello determinamos el volumen del suelo extraído del hoyo

Finalmente:

$$D = (\text{Masa del suelo extraído del hoyo} / \text{volumen del suelo extraído del hoyo})$$

Tabla 4. Pruebas de densidad

Ubicación	Ensayo	Profundidad (m)	C.H. (%)	Densidad Natural (g/cm ³)	Densidad seca (g/cm ³)
TRI-1	DE-1	3,0	8	2,14	1,98
TRI-2	DE-2	3,0	6	2,32	2,19
TR I-3	DE-3	3,0	17	2,51	2,15
TRI-4	DE-4	3,0	10	2,49	2,26
TRI-5	DE-5	3,0	8	2,22	2,06
TRI-6	DE-6	3	13	2.2	1,95

Fuente CESEL Ingenieros

- **Capacidad portante**

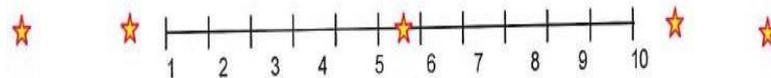
Técnicamente la capacidad portante es la máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno tal que no se produzcan un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo. Por tanto, la capacidad portante admisible debe estar basada en uno de los siguientes criterios funcionales: Si la función del terreno de cimentación es soportar una determinada

tensión independientemente de la deformación, la capacidad portante se denominará carga de hundimiento. Si lo que se busca es un equilibrio entre la tensión aplicada al terreno y la deformación sufrida por éste, deberá calcularse la capacidad portante a partir de criterios de asiento admisible.

4.2.8. Pruebas de refracción sísmica

Consistió en la medición de los tiempos de viaje de las ondas compresionales (ondas P) generadas por una carga de dinamita y/o golpe de un martillo localizado a diferentes distancias a lo largo de un eje sobre la superficie del suelo. Para generar la onda sísmica de las líneas de refracción 5, 6, 7 y 8, se utilizó una carga de dinamita; para las líneas de refracción 9, 10, 11,12 y 13, realizadas en el asentamiento humano Champamarca, se utilizó un martillo por seguridad, porque las líneas se proyectaron próximas a las casas. La distribución de los puntos de disparo se realizó de la siguiente manera:

Figura 11. Puntos de disparo



Fuente CESEL Ingenieros

Para realizar la interpretación de los perfiles sísmicos se usó como ayuda el grupo de programas de Refracción Sísmica de Rimrock, produce un modelo de profundidad desde el archivo de datos de entrada preparado por el programa Sipin o Sipedt; calcula las velocidades de los estratos mediante técnicas de mínimos cuadrados; luego usa el método de tiempo de retardo para estimar las profundidades; el programa ajusta las profundidades de cada estrato por efecto de la superficie topográfica. Los resultados obtenidos fueron:

Tabla 5. Resumen de ensayos de refracción sísmica

Línea	Estrato	Vp (m/s)	Tipo de suelo
5	1	780 - 1118	Gravas y limo
	2	1520 - 1820	Gravas y limo medianamente compacto
	3	2600	Basamento rocoso

6	1	550 - 850	Gravas y limo
	2	1710	Gravas y limo medianamente compacto
	3	2160	Basamento rocoso
7	1	800 - 1100	Gravas y limo
	2	1500	Gravas y limo medianamente compacto
	3	2400	Basamento rocoso
8	1	730 - 990	Gravas y limo
	2	1450 - 1600	Gravas y limo medianamente compacto
	3	1780 - 1820	Basamento rocoso
9	1	480	Depósitos de suelo
	2	1800 - 2000	Roca fracturada
	3	3000 - 3300	roca firme
10	1	350	Depósitos de suelo
	2	1700 - 1800	Roca fracturada
	3	3000 - 3500	roca firme
11 - 12	1	400 - 500	Depósitos de suelo
	2	1900 - 2000	Roca fracturada
	3	3200 - 3600	roca firme
13	1	350 - 400	Depósitos de suelo
	2	1900 - 2000	Roca fracturada
	3	3250 - 3600	roca firme

Fuente CESEL Ingenieros

4.2.9. Ensayos de laboratorio

- Pruebas estándar

Se obtuvieron veintinueve (29) muestras alteradas entre material de desmonte, excavación y cantera para la ejecución de los ensayos de laboratorio correspondientes, se tomó una (01) muestra no disturbada de la calicata CAL-8, para realizar el ensayo de corte directo. Los ensayos se ejecutaron siguiendo las normas de la American Society For Testing and Materials (ASTM). Las normas para estos ensayos son las siguientes:

Análisis granulométrico por tamizado SUCSASTM D-422

Contenido de humedad ASTM D-2216

Límites de Atterberg ASTM D-4318

Clasificación ASTM 0-2487

Los resultados fueron:

Tabla 6. Resultados de pruebas estándar

	Profundidad(m Clasificación SUCS)		Granulometría (%)			Límites (%)		
			Fino	Arena	Grava	LL	LP	CH (%)
CAL-1/M-1	0,00 - 1,00	se	40,6	30,5	28,9	36	24	14
CAL-1/M-2	1,00 - 2,00	GC	30,1	21,1	48,8	35	22	12
CAL-21M-1	0,00 - 0,45	GC	17,7	25,9	56,4	27	18	7
CAL-21M-2	0,45 - 1,20	ML	79,6	9,90	10,5	16	13	19
CAL-31M-1	0,00 - 1,20	GC	18,2	30,3	51,5	26	18	11
CAL-4/M-1	0,00 - 1,00	GC-GM	33,0	27,1	39,9	24	19	9
CAL-51M-1	0,30 - 1,00	GM	22,6	34,4	43,0	36	28	16
CAL-61M-1	0,10 - 1,20	GP-GM	5,50	9,50	85,0	-	NP	4
CAL-7JM-1	0,00 - 0,70	GC-GM	16,0	28,2	55,8	28	22	7
CAL-7/M-2	0,70 - 1,10	SW-SM	8,80	50,3	40,9	-	NP	12
CAL-8/M-1	0,60 - 2,50	GM	30,1	30,5	39,4	-	NP	13
TRI-1/M-1	0,20 - 0,60	GP-GM	11,7	32,3	56,0	-	NP	6
TRI-1/M-2	0,60 - 2,50	GC	16,0	19,3	64,7	29	22	8
TRI-2/M-1	0,30 - 3,00	GC-GM	16,6	26,5	56,9	23	17	8
TRI-3/M-1	0,00 - 3,00	GC-GM	12,4	24,7	62,9	24	18	6
TRI-41M-1	0,30 - 3,00	SC-SM	39,5	40,5	20,0	24	18	17
TRI-5/M-1	0,00 - 3,00	GC	12,2	28,4	59,4	24	17	10
TRI-6/M-1	0,00 - 2,00	GP-GC	11,5	30,8	57,7	24	17	7
TRI-6/M-2	2,00 - 3,00	GC	12,4	29,1	58,5	32	20	8
TRI-7/M-1	0,00 - 2,50	GM	21,2	28,7	50,1	41	32	18
TRI-7/M-2	2,50 - 3,00	GC-GM	22,5	30,8	46,7	20	15	13

Fuente CESEL Ingenieros

- **Pruebas especiales**

o **Corte directo y comprensión triaxial**

Para obtener los parámetros resistentes del suelo a nivel de cimentación y talud, se realizaron cinco (05) ensayos de corte directo y dos (02) ensayos triaxial CU de diámetro 0:6" y 0:4"; dichos ensayos fueron ejecutados sobre muestras remoldeadas y la muestra inalterada se tomó en la calicata CAL-8.

Los resultados fueron:

Tabla 7. Resultados de pruebas de corte directo y triaxial

Ubicación	Muestra	Profundidad (m)	SUCS	Diámetro(°)	Prámetro geotécnico C (Kg/cm2)	Ensayo
Talud (km 1+300)	TRI-4 (M-1)	0,30-3,00	SC-SM	36,0	0,29	
Talud (km 1+900)	TRI-2 (M-1)	0,30-3,00	GC-GM	34,6	0,34	
Talud (km 2+400)	TRI-1 (M-2)	0,60-2,50	GC	38,8	0,35	
Pie de talud (km 2+900)	CAL-8 (Inalterada)	0,60-2,50	GM	42,7	0,28	Corte directo
Talud (km 3+350)	TRI-6 (M-2)	2,00-3,00	GC	38,8	0,33	
Talud (km 1+700)	TRI-3 (M-1)	0,00-3,00	GC-GM	40,9	0,04	Triaxial CU (°:6")
Talud (km 2+700)	TRI-7 (M-2)	2,50-3,00	GC-GM	39,1	0	Triaxial CU (°:4")

Fuente CESEL Ingenieros

o **Prueba de carga puntual**

Esta prueba se realizó para estimar la resistencia de la compresión simple de la roca intacta y determinar los parámetros físicos mecánicos del macizo rocoso. Los resultados obtenidos fueron:

Tabla 8. Resultados de prueba de carga puntual

N°	Ubicación	calicata	Muestra	Tipo de roca	Dureza	Resistencia a la compresión simple (Mpa)		
						Máximo	Mínimo	Promedio
1	Des. Excelsior	CAL-5	M2		R2	21	2	8

Fuente CESEL Ingenieros

○ **Evaluación de propiedades física de la roca**

También se efectuaron ensayos para evaluar las propiedades físicas de la roca: gravedad específica, absorción (ASTM D 2937).

A continuación, se presentan los resultados:

Tabla 9. Resultados de evaluación física de roca

N°	Ubicación	Calicata	Muestra	Tipo de roca	Absorción (%)	Densidad (g/cm ³)	Gravedad específica

Fuente CESEL Ingenieros

4.2.10. Descripción geotécnica del perímetro del desmonte Excelsior

• **Tramo 0+00-0+250**

Pendiente de talud 1:1,42 a 1:1,67 (v:h), altura total de talud 54m, altura del 1er banco 25m, altura de 2do banco 29m, ancho de bancos de 6m a 12m.

Corona: Material de desmonte de mina, color beige a plomo, compacto, húmedo, balones de tamaño máximo 6" y bloques de 25", presenta agua empozada.

Talud: Material de desmonte de mina, color beige a plomo, material medianamente compacto, húmedo, superficialmente presenta gravas de tamaño máximo 2", balones de tamaño máximo 6" y bloques de 20", el material presenta proceso de oxidación.

Pie de talud: El material está constituido por grava con arena, suelto, muy húmedo, en la foto 2 se observa un corte en el pie de talud (vía de acceso) ocasionando empozamiento de agua.

- **Tramo 0+250-0+500**

El talud en el tramo evaluado presenta la siguiente geometría aproximada: Progresiva 0+250 a 0+400 pendiente de talud 1:1,4 (v:h), altura total de talud 52m, altura de 1er banco 30m, altura de 2do banco 22m, ancho de bancos de 20m. a 25m. Progresiva 0+400 a 0+500 pendiente de talud 1:1,1 (v:h), altura total de talud 60m, altura de 1er banco 15m, 2do banco de 20 m, 3er banco de 25m. y ancho de bancos de 15m a 20m.

Corona: Material de desmonte de mina, color beige a plomo, compacidad compacta, húmedo, bolones de tamaño máximo 6" y bloques de tamaño máximo 30".

Talud: Material de desmonte de mina, color beige a plomo, compacidad muy compacta, húmedo, superficialmente presenta gravas de tamaño máximo 2", bolones de tamaño máximo 10" y bloques de tamaño máximo 30", el material presenta proceso de oxidación.

Pie de talud: El material superficialmente contiene grava a 1,50m. compacidad suelta, húmedo, en la progresiva 0+500 se observa excavación causando empozamiento del agua.

Problemas Geotécnicos:

inestabilidad potencial del talud (progresiva 0+450)

- **Tramo 0+500-0+600**

Pendiente de talud 1:1,6 a 1:1(v:h), altura total de talud 60m, altura de 1er, 2do y 3er banco entre 10m y 15m, ultimo interbanco altura de 25m, ancho de bancos de 5m a 30m.

Corona: Material de desmonte de mina, color beige a plomo, compacidad muy compacta, húmedo, bolones de tamaño máximo 6" y bloques de 30".

Talud: Material de desmonte de mina, color beige a plomo, compacidad muy compacta, húmedo, superficialmente los tamaños máximos de las gravas, bolones y bloques son de 2", 6" y 15" respectivamente, el material presenta proceso de oxidación.

Pie de talud: El material superficialmente contiene grava a 1,50m presenta roca, compacidad suelta, húmedo, en la foto 2 se observa un corte en el pie de talud, en la progresiva 0+500 se observa excavación causando el empozamiento del agua.

- **Tramo 0+700-0+800**

Pendiente de talud 1:1,42 (v:h), altura total de talud 65m, altura del 1er, 2do y 3er banco entre 14m,34m y 17m respectivamente, ancho de bancos de 10m a 15m.

Corona: El material está constituido por desmonte de mina, color beige a plomo, compacidad muy compacta, húmedo, bolones de tamaño máximo 6" y bloques de tamaño máximo 30".

Talud: El material está constituido por desmonte de mina, color beige a plomo, compacidad muy compacta, húmedo, superficialmente presenta gravas de tamaño máximo 2", balones de tamaño máximo 10" y bloques de tamaño máximo 30", el material presenta proceso de oxidación.

Pie de talud: El material está constituido por desmonte de mina, compacidad muy suelta a suelto, muy húmedo a saturado, se observa la filtración de aguas causando empozamiento.

- **Tramo 0+800-0+900**

Pendiente de talud de 1:1,42 a 1:2 (v:h), altura total de talud 65m, altura del 1er, 2do y 3er banco es de 14m., 34m.y 17m. respectivamente, ancho de bancos de 10m a 15m

Corona: Material de desmonte de mina, color beige a plomo, compacidad muy compacta, húmedo, bolones de tamaño máximo 6" y bloques de tamaño máximo 30".

Talud: Material de desmonte de mina, color beige a plomo, compacidad muy compacta, húmedo, superficialmente presenta gravas de tamaño máximo 2", bolones de tamaño máximo 10" y bloques de tamaño máximo 30", el material presenta proceso de oxidación.

Pie de talud: Material de relave, compacidad muy suelta a suelto, saturado, en la foto 2 se observa el material de relave y descarga de agua hacia el pie de talud.

- **Tramo 0+900-1+200**

Pendiente de talud de 1:1.4 (v:h), altura total de talud 50m, no presenta interbancos.

Corona: Material de desmonte de mina, color beige a plomo, compacidad muy compacta, húmedo, bolones de tamaño máximo 6" y bloques de tamaño máximo 30".

Talud: Material de desmonte de mina, color beige a plomo, compacidad muy compacta, húmedo, superficialmente presenta gravas de tamaño máximo 2", bolones de tamaño máximo 10" y bloques de tamaño máximo 30", el material presenta proceso de oxidación.

Pie de talud: Material de relave, compacidad muy suelta a suelto, saturado, en la foto 2 se observa el material de relave, presenta superficialmente bloques de tamaño máximo 35" a 50", se observa presencia de aguas superficial con caudal bajo.

- **Tramo 1+200-1+300**

Pendiente de talud de 1:1.42 (v:h), altura total de talud 60m, altura de 1er interbanco de 45m., ancho de banco de 6m. a 9m.

Corona: Material de desmonte de mina, color beige a plomo, compacidad muy compacta, húmedo, balones de tamaño máximo 6" y bloques de tamaño máximo 30".

Talud: Material de desmonte de mina, color beige a plomo, compacidad muy compacta, húmedo, superficialmente presenta gravas de tamaño máximo 2", balones de tamaño máximo 10" y bloques de tamaño máximo 30", el material presenta proceso de oxidación

Pie de talud: Material de relave, compacidad muy suelta a suelto, saturado, en la foto 1 se observa el material de relave, presenta superficialmente bloques de tamaño máximo 12" a 50", se observa presencia de aguas superficial con caudal bajo.

Problemas Geotécnicos:

Inestabilidad potencial del talud (progresiva 1+300)

- **Tramo 1+400-1+800**

Pendiente de talud de 1:1.42 (v:h), altura total de talud 62m, altura de 1er interbanco de 47m., ancho de banco de 7m. a 9m.

Corona: Material de desmonte de mina, color beige a plomo, compacidad muy compacta, húmedo, bolones de tamaño máximo 6" y bloques de tamaño máximo 30".

Talud: Material de desmonte de mina, color beige a plomo, compacidad medianamente compacta, húmedo, superficialmente presenta gravas de tamaño máximo 2" bolones de tamaño máximo 10" y bloques tamaño máximo 30", el material presenta proceso de oxidación.

Pie de talud: Material de relave, compacidad muy suelta a suelto, saturado, se observa el material de relave, presenta superficialmente bloques de tamaño máximo 20" a 60", también presenta aguas superficiales con caudal bajo.

Problemas Geotécnicos:

Inestabilidad potencial del talud (progresiva 1+700)

- **Tramo 1+800-2+100**

Pendiente de talud entre 1:2 a 1:1.42 (v:h), altura total de talud 62m, altura de 1er banco entre 24m y 45m, ancho de bancos de 6m a 10m.

Corona: Material de desmonte de mina, color beige a plomo, compacidad muy compacta, húmedo, bolones de tamaño máximo 6" y bloques de tamaño máximo 30".

Talud: Material de desmonte de mina, color beige a plomo, compacidad compacta, húmedo, superficialmente presenta gravas de tamaño máximo 2", bolones de tamaño máximo 10", el material presenta proceso de oxidación.

Pie de talud: Material de relave, compacidad muy suelta a suelto, saturado, en la foto 2 se observa el material de relave, presenta superficialmente bloques de tamaño máximo 20" a 40", se observa agua superficial con caudal bajo.

Problemas Geotécnicos:

Inestabilidad potencial del talud (progresiva 1+900)

- **Tramo 2+200-2+600**

Pendiente de talud entre 1:1,67 a 1:1,42 (v:h), altura total de talud 36m, altura de 1er banco 9m, ancho de bancos de 12m.

Corona: Material de desmonte de mina, color beige a plomo, compacidad muy compacta, húmedo, bolones de tamaño máximo 10", bloques de tamaño máximo 40".

Talud: Material de desmonte de mina, color beige a plomo, compacidad compacta, húmedo, superficialmente presenta gravas de tamaño máximo 2", bolones de tamaño máximo 10", bloques de tamaño máximo 20" el material presenta proceso de oxidación.

Pie de talud: El material predominante es desmonte de mina, compacidad medianamente compacta a compacto, húmedo, se observa empozamiento de agua contaminada, presenta superficialmente bloques de tamaño máximo 12" a 50".

Problemas Geotécnicos:

Inestabilidad potencial del talud (progresiva 2+400)

- **Tramo 2+700-2+850**

Pendiente de talud entre 1:1,42 (v:h), altura total de talud 53m, no presenta interbanco.

Corona: Material de desmonte de mina, color beige a plomo, compacidad muy compacta, húmedo, en la foto 2 se observa la corona del talud, no presenta fisuras.

Talud: Material de desmonte de mina, color beige a plomo, compacidad compacta, húmedo, superficialmente presenta gravas de tamaño máximo 2", bolones de tamaño máximo 10", bloques de tamaño máximo 20" el material presenta proceso de oxidación, está protegido con geomalla de color verde

Pie de talud: El material predominante terreno natural, compacidad medianamente compacta a compacto, húmedo, presenta superficialmente bloques de tamaño máximo de 15 a 50"

Problemas Geotécnicos:

Inestabilidad potencial del talud (progresiva 2+800)

- **Tramo 2+900-3+100**

Pendiente de talud entre 1:0,6 (v:h), altura total de talud 40m, no presenta interbanco.

Corona: Material de desmonte de mina, color plomo, compacidad muy compacta, húmedo, no presenta fisuras.

Talud: Material de desmonte de mina, color marrón a plomo, compacidad medianamente compacta a compacto, húmedo, superficialmente presenta gravas de tamaño máximo 2", bolones de tamaño máximo 10", bloques de tamaño máximo 20" el material presenta proceso de oxidación, está protegido con geomalla de color verde en parte del tramo evaluado.

Pie de talud: El material predominante es desmonte de mina, compacta medianamente compacto a compacto, húmedo, presenta superficialmente bloques de tamaño máximo 15" a 30".

Problemas Geotécnicos:

Inestabilidad potencial del talud (Progresiva 2+950)

- **Tramo 3+200-3+400**

Pendiente de talud entre 1:1,42 (v:h), altura total de talud 27m, no presenta interbancos.

Corona: Material de desmonte de mina, color plomo, compacidad muy compacta, húmedo, en la foto 2 se observa la corona del talud, no presenta fisuras.

Talud: Material de desmonte de mina, color beige a plomo, compacidad compacta, húmedo, superficialmente presenta gravas de tamaño máximo 2", balones de tamaño máximo 10", bloques de tamaño máximo 40" el material presenta proceso de oxidación.

Pie de talud: El material predominante es desmonte de mina, compacidad medianamente compacta a compacto, húmedo, presenta superficialmente balones de 10" y flujo de aguas superficial.

Problemas Geotécnicos:

Inestabilidad potencial del talud (Progresiva 3+350)

- **Tramo 3+400-3+800**

Pendiente de talud entre 1:1,6 (v:h), altura total de talud 25m, no presenta interbancos.

corona: Material de desmonte de mina, color plomo, compacidad muy compacta, húmedo, en la foto 2 se observa la corona del talud, no presenta fisuras.

Talud: Material de desmonte de mina, color beige a plomo, compacidad medianamente compacta a compacto, húmedo, superficialmente presenta gravas de tamaño máximo 2", balones de tamaño máximo 10", bloques de tamaño máximo 40" el material presenta proceso de oxidación.

Pie de talud: El material predominante es desmonte de mina, compacidad medianamente compacta a compacto, húmedo, presenta superficialmente bolones de 10".

4.2.11. Análisis de Estabilidad de Taludes

Para el análisis de estabilidad de taludes proyectados se han considerado secciones críticas de análisis en los tramos evaluados. La sección crítica de análisis depende de los siguientes criterios:

- Sección de potencial falla
- Mayor altura de talud
- Pendiente pronunciada

La identificación de las secciones críticas se referenció con respecto a las progresivas del eje de evaluación a lo largo del pie de talud del depósito de desmontes Excélsior.

A continuación, en el siguiente cuadro, se mencionan las secciones críticas y sus respectivas progresivas correspondientes a los tramos analizados.

Tabla 10. Secciones críticas

Tramo Analizado	Sección	Progresiva (Km)
0+250 - 0+600	1	0+450
0+700 - 1+300	2	1+300
1+400 - 1+800	3	1+700
1+800 - 2+100	4	1+900
2+200 - 2+600	5	2+400
2+700 - 2+850	6	2+800
2+900 - 3+100	7	2+950
3+200 - 3+800	8	3+350

Fuente CESEL Ingenieros

4.2.12. Parámetros de resistencia

De la evaluación de campo se ha diferenciado los siguientes tipos de materiales por cada sección de desmonte, y cuyos parámetros de resistencia han sido definidos en base a los ensayos triaxial, corte directo y correlación de ensayos DPL.

Los parámetros de los materiales que componen el talud, requeridos en el análisis de estabilidad, son los siguientes:

- Peso unitario húmedo (γ)
- Cohesión (c)
- Angulo de resistencia al corte (ϕ)

Los valores de estos parámetros se han seleccionado considerando los resultados de los ensayos de campo, laboratorio e información de estudios básicos anteriores.

El resumen de los parámetros geotécnicos empleados para el análisis de estabilidad se muestra en la tabla:

Tabla 11. Parámetros de resistencia

Sección	Progresiva	Estrato	C' (Kg/cm ²)	Ø' (°)	γ (g/cm ³)
1	0+400	Grava arcillosa con arena	0,30	32,0	2,49
		Grava con limo - muy compacto	0,50	34,0	2,49
		Arena limosa con grava	0,29	36,0	2,51
2	1 + 300	Grava con limo - muy compacto	0,20	38,0	2,51
		Depósitos de relave	0,35	0,0	1,50
		Grava arcillosa con arena	0,04	40,9	2,20
3	1 + 700	Grava con limo - muy compacto	0,20	41,00	2,20
		Depósitos de relave	0,35	0,0	1,50
		Grava arcillosa con arena	0,34	34,6	2,14
4	1 + 900	Grava con limo - muy compacto	0,20	36,0	2,30
		Depósitos de relave	0,35	0,0	1,50
		Grava arcillosa con arena	0,35	38,8	2,55
5	2 + 400	Grava con limo - muy compacto	0,20	40,00	2,55
		Grava arcillosa con arena	0,15	29,5	2,00
		Grava limosa con arena	0,00	39,10	2,00
6	2 + 800	Grava con limo - muy compacto	0,20	41,0	2,20
		Grava limosa con arena	0,28	42,7	2,10
		Grava limosa con arena	0,00	39,10	2,00
7	2 + 950	Grava con limo - muy compacto	0,20	41,0	2,20
		Grava limosa con arena	0,28	42,7	2,10
		Grava arcillosa con arena	0,33	38,8	2,22
8	3 + 350	Grava con limo - muy compacto	0,20	40,00	2,30
		Grava con limo	0,28	27,0	1,90

Fuente CESEL Ingenieros

4.2.13. Metodología y criterios de análisis

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha utilizado el método simplificado Bishop. En general, los valores de factor de seguridad obtenidos por dicho método para fallas de superficie circular son alrededor de 5% diferentes de los valores obtenidos usando un método de análisis más riguroso (como Morgenstern - Price). Por ello, para propósitos prácticos, el método simplificado de Bishop es satisfactorio. Además, todos los cálculos fueron realizados utilizando el programa de cómputo SLIDE.

Para evaluar los taludes permanentes se utilizó el análisis de equilibrio límite. Los factores de seguridad (FS) mínimos para las condiciones de análisis son:

- Condición estática: 1.5
- Condición pseudoestática: 1.1

Coeficiente sísmico:

Está sometida a una aceleración horizontal igual a un coeficiente sísmico multiplicado por la aceleración de la gravedad, de modo que se toma en cuenta el efecto de las fuerzas inerciales producidas por el terremoto de diseño. En condiciones pseudoestáticas se considera 0.17 g.

4.2.13.1. Resultados del análisis de estabilidad de taludes

Se muestran los siguientes resultados en la tabla:

A. Resultado de análisis – condición actual

Tabla 12 Análisis de estabilidad de taludes

sección de Análisis	Progresiva (Km)	Factor de Seguridad		Condición
		estático ($\infty=0$)	Pseudoestático ($\infty=0.17$)	
1	0 + 450	1,57	1,12	Estable
2	1 + 300	1,47	1,07	Inestable
3	1 + 700	1,4	1,03	Inestable
4	1 + 900	1,48	1,07	Inestable
5	2 + 400	1,9	1,42	Estable
6	2 + 800	1,24	0,88	Inestable
7	2 + 950	1,8	1,2	Estable
8	3 + 350	1,99	1,49	Estable

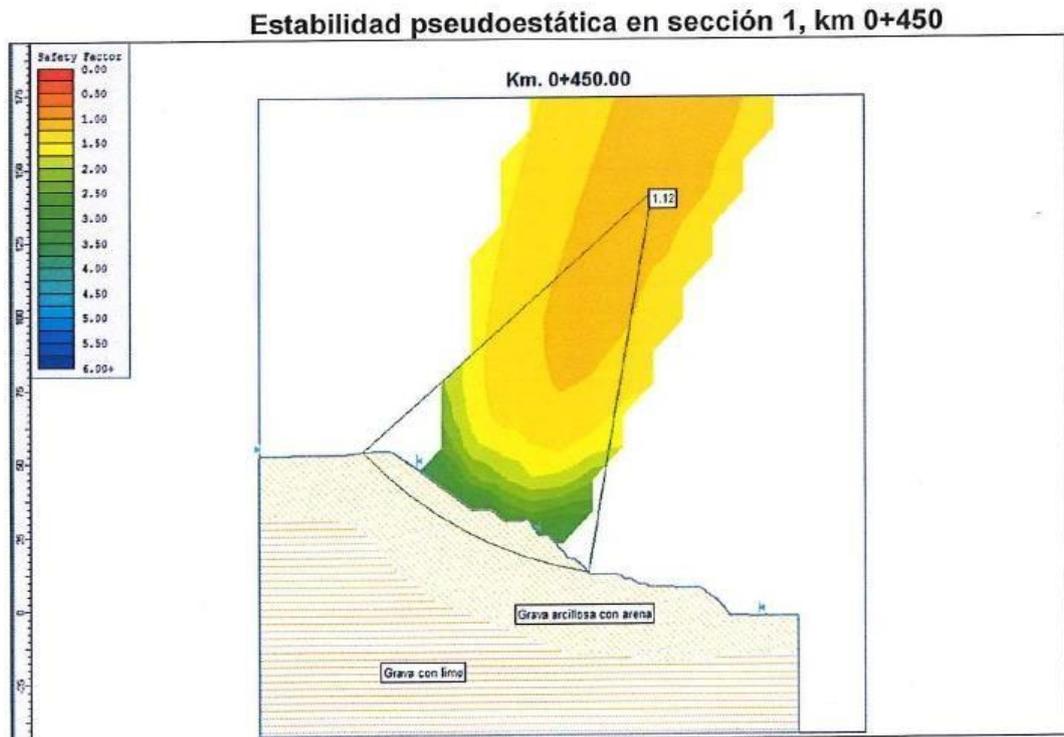
Fuente CESEL Ingenieros

Figura 12. Estabilidad Estática en sección 1Km 0+450



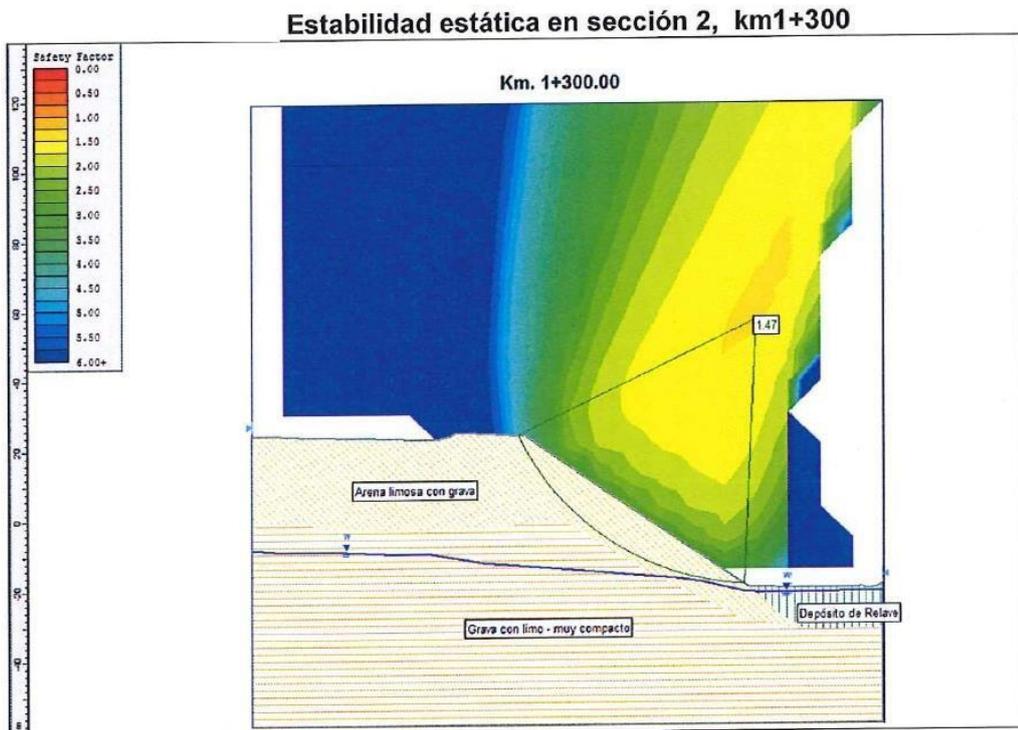
Fuente. Elaboración propia

Figura 13. Estabilidad pseudoestática en sección 1Km 0+450



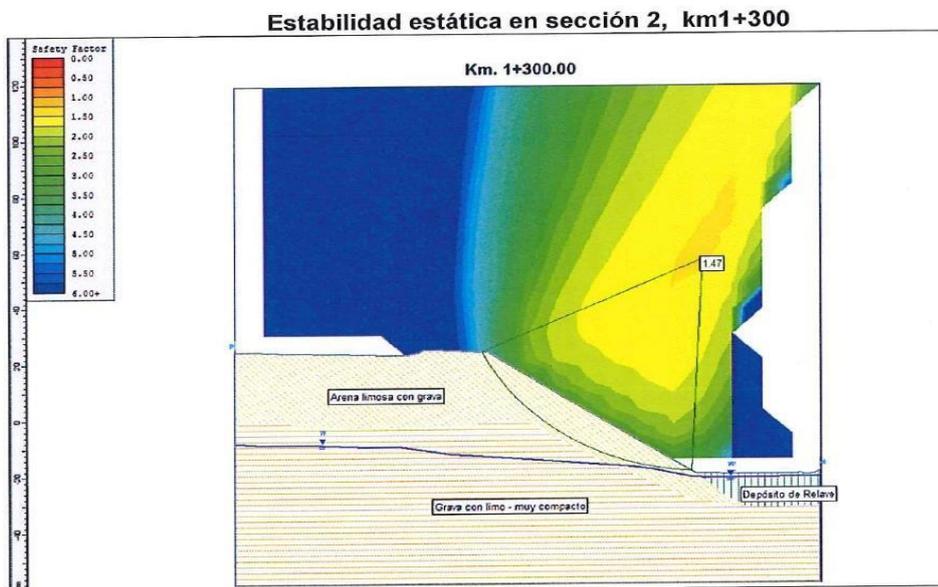
Fuente. Elaboración propia

Figura 14. Estabilidad estática en sección 2Km 1+300



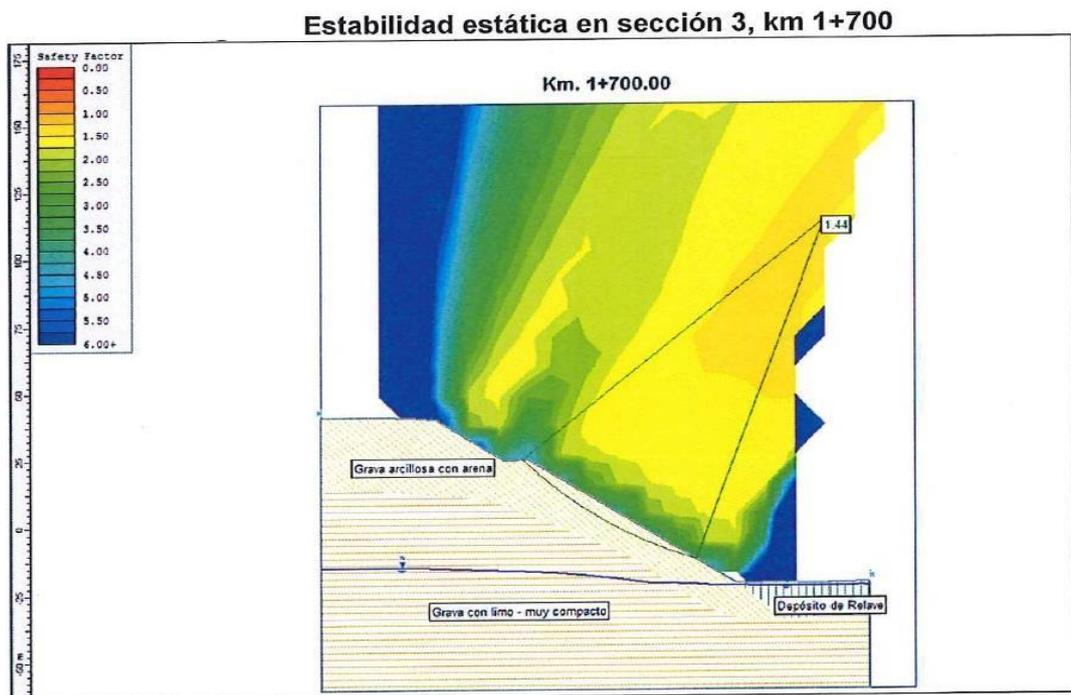
Fuente. Elaboración propia

Figura 15. Estabilidad pseudoestática en sección 2 Km 1+300



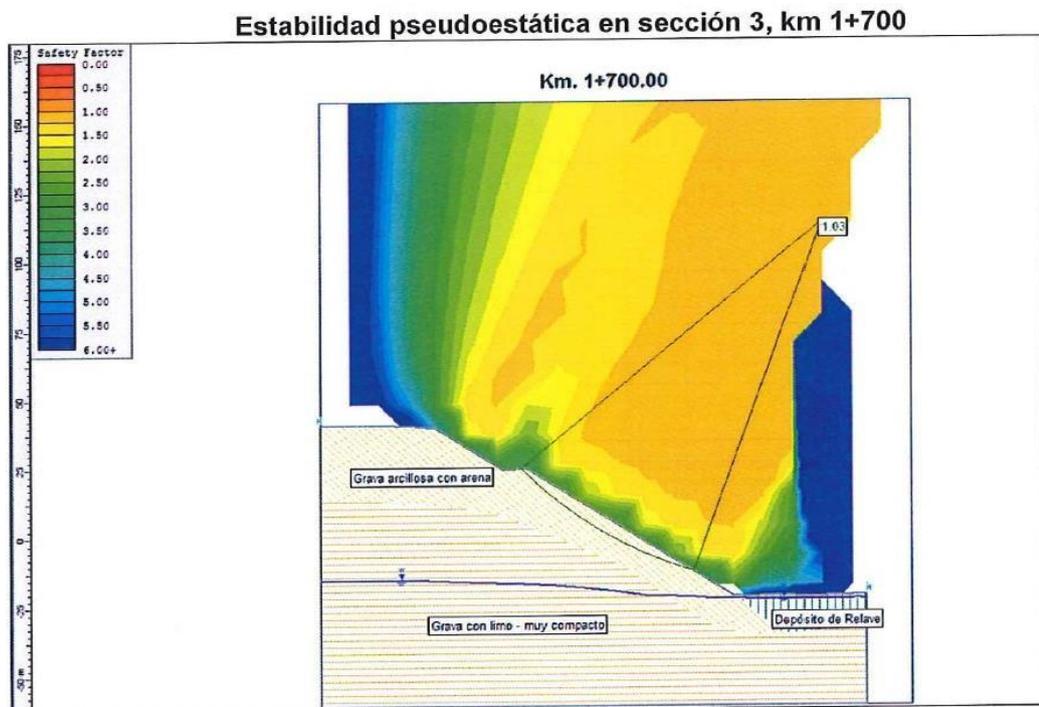
Fuente. Elaboración propia

Figura 16. Estabilidad estática en sección 3Km 1+700



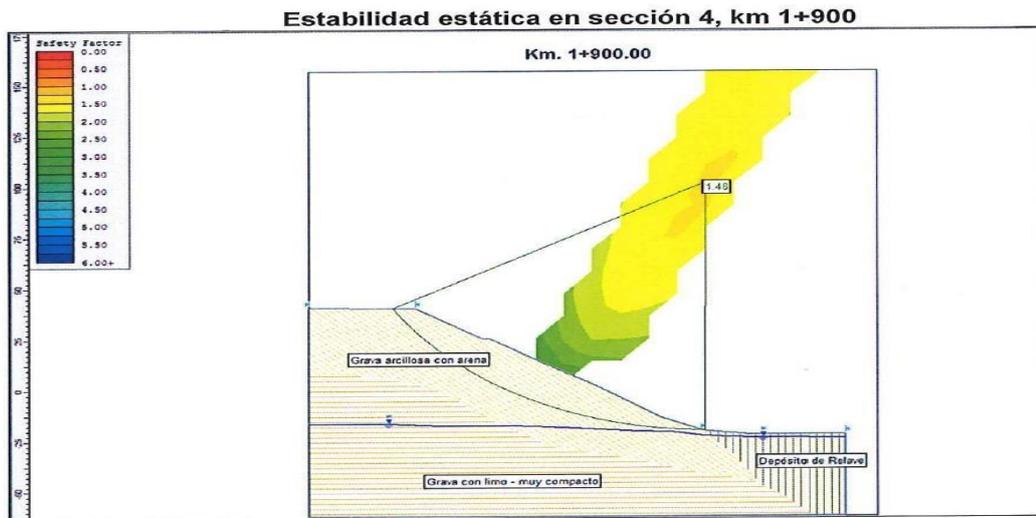
Fuente. Elaboración propia

Figura 17. Estabilidad pseudoestática en sección 3Km 1+700



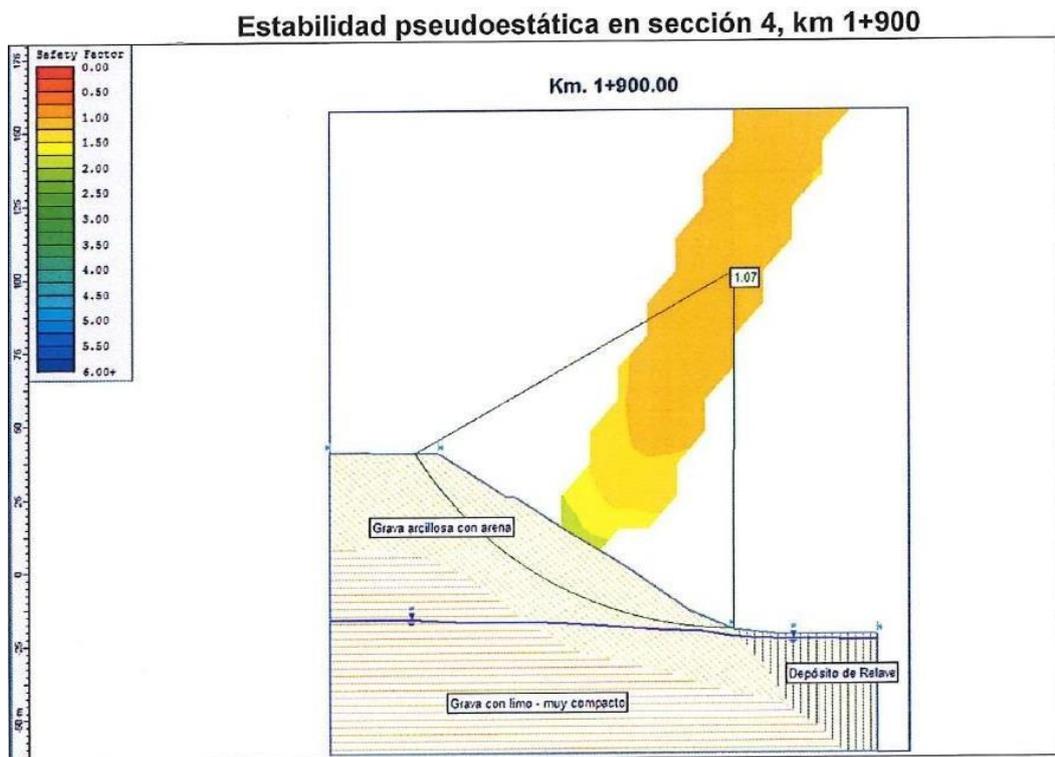
Fuente. Elaboración propia

Figura 18. Estabilidad estática en sección 4Km 1+900



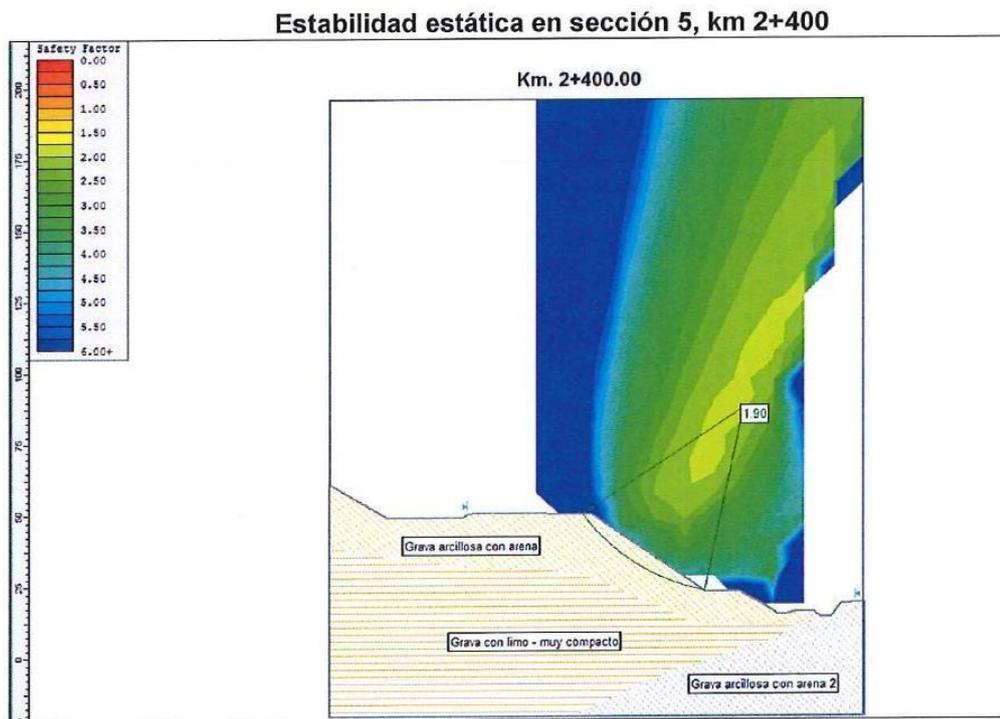
Fuente. Elaboración propia

Figura 19. Estabilidad pseudoestática en sección 4Km 1+900



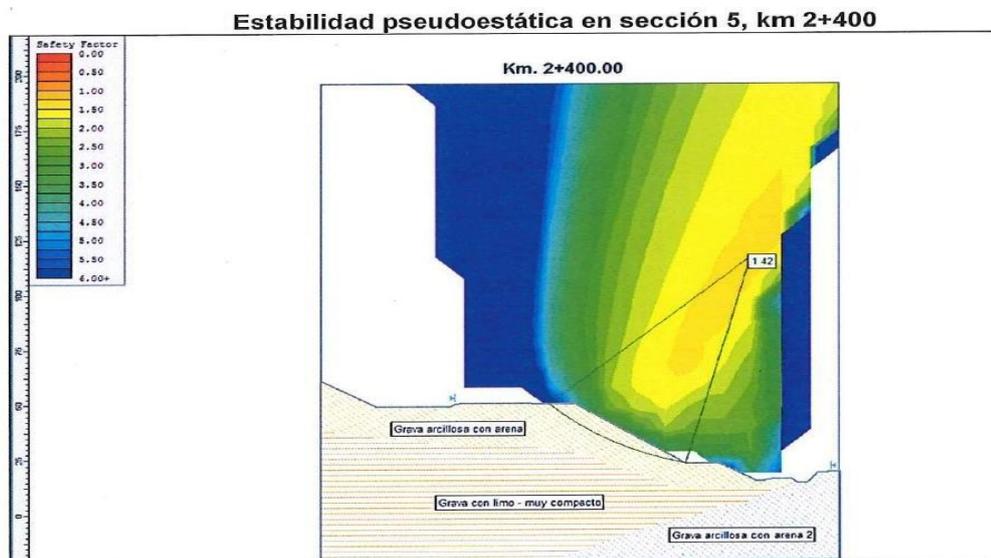
Fuente. Elaboración propia

Figura 20. Estabilidad estática en sección 5 Km 2+400



Fuente. Elaboración propia

Figura 21. Estabilidad pseudoestática e sección 5 Km 2+400



Fuente. Elaboración propia

Figura 22. Estabilidad estática en sección 6 Km 2+800

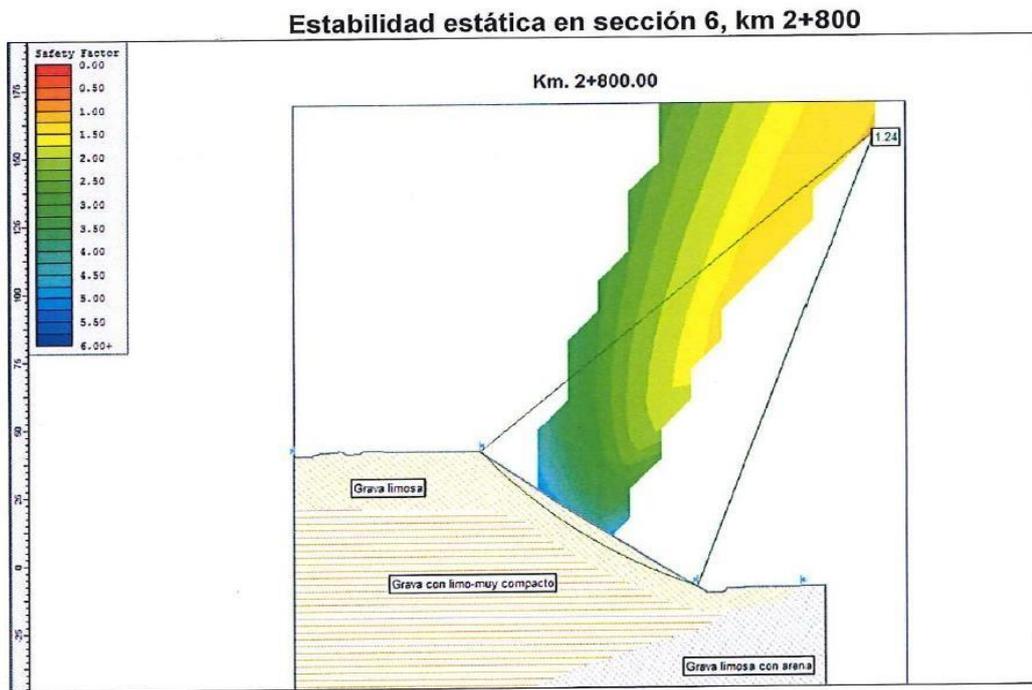


Figura 23. Estabilidad pseudoestática en sección 6 Km 2+800

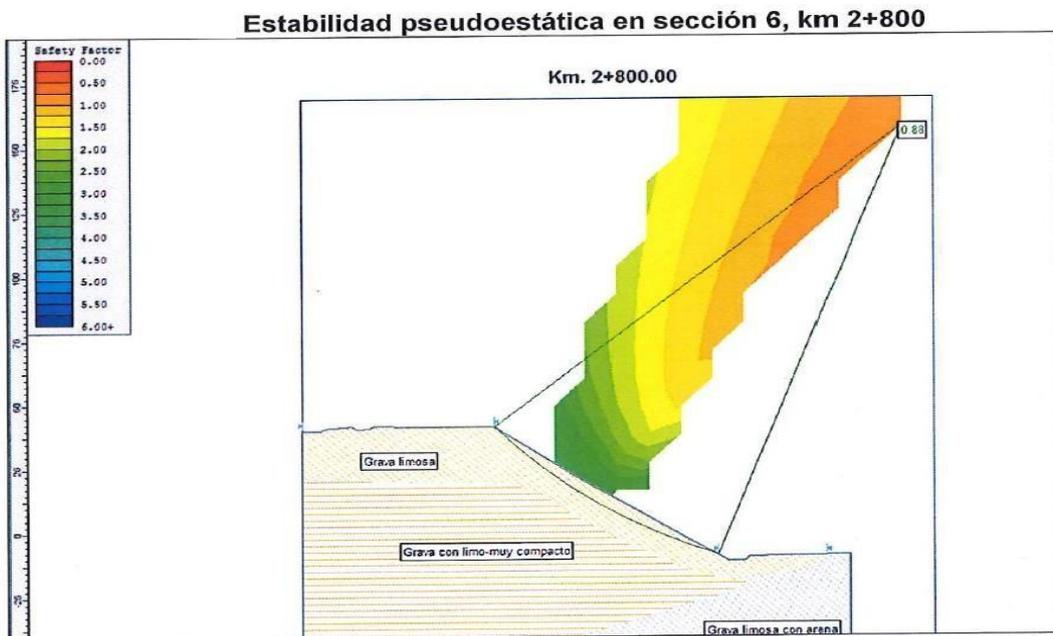
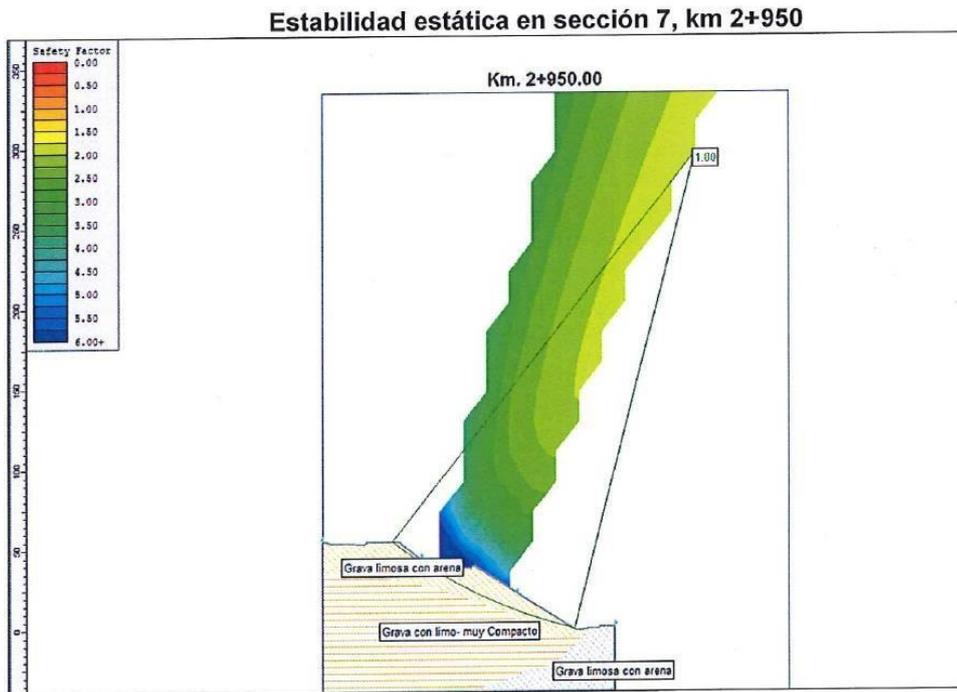
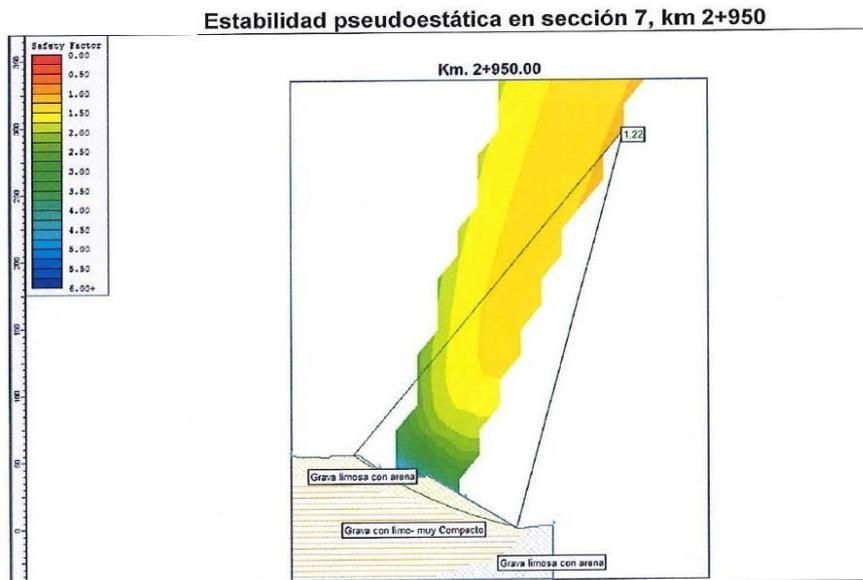


Figura 24. Estabilidad estática en sección 7Km 2-950



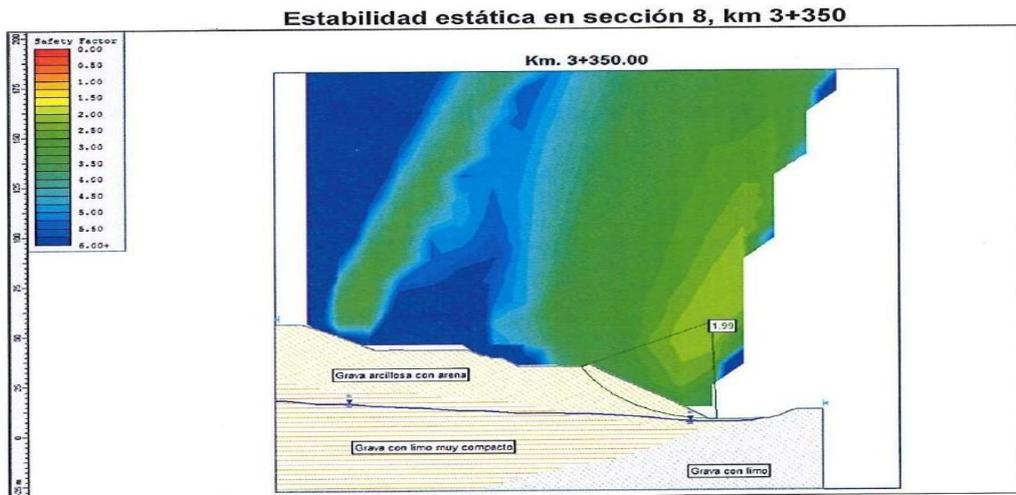
Fuente. Elaboración propia

Figura 25. Estabilidad pseudoestática en sección 7Km 2+950



Fuente. Elaboración propia

Figura 26. Estabilidad estática en sección 8 Km 3+350



Fuente. Elaboración propia

Figura 27. Estabilidad pseudoestática en sección 8 Km 3+350



Fuente. Elaboración propia

4.2.13.2 Sistema de estabilidad

Los trabajos para la estabilidad del depósito de desmontes

Excélsior:

- Talud superior de H: V (2:1)
- Altura de interbancos de 20 m
- Anchos de bermas de 5 m.
- Cuatro (4) plataformas con ancho máximo de 265, 30, 174 y 48 m, con cotas de 4 360.17, 4 340 ,4 340 y 4 330 m.s.n.m.

- El material de relleno se colocará en capas de 0.50 m compactadas al 95% del 68 proctor modificado

B. Análisis de estabilidad de taludes "condición proyectada"

Los resultados del análisis de estabilidad de taludes proyectados para cada sección analizada se muestran en el siguiente cuadro

Tabla 13. Análisis de estabilidad de taludes – Proyectado

sección de análisis	Progresiva (Km)	Factor de Seguridad		Condicion
		estático ($\infty=0$)	Pseudoestatico ($\infty=0.17$)	
1	0 + 450	1,854	1,261	Estable
2	1 + 300	2,165	1,479	Estable
3	1+ 700	1,978	1,365	Estable
4	1 + 900	2,081	1,429	Estable
5	2 + 400	2,468	1,681	Estable
6	2 + 800	1,629	1,110	Estable
7	2 + 950	1,626	1,110	Estable
8	3 + 350	2,632	1,769	Estable

Fuente CESEL Ingenieros

4.2.14. Medidas de estabilidad

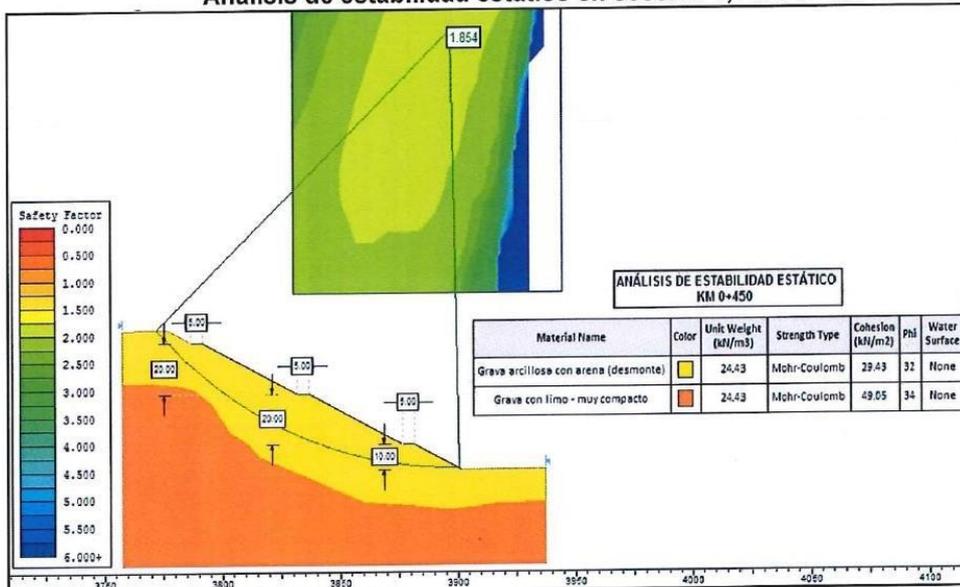
Para todas las secciones de taludes proyectados se está recomendando el tendido del talud y desarrollo de bancos según el siguiente cuadro:

Tabla 14. Medidas de estabilidad

Sección	Progresiva (km)	Estrato	C' (kg/cm ²)	φ' (g/cm ³)	γ (g/cm ³)
1	0 + 450	Grava arcillosa con arena	0,30	32,0	2,49
		Grava con limo - muy compacto	0,50	34,0	2,49
2	1 + 300	Arena limosa con grava	0,29	36,0	2,51
		Grava con limo - muy compacto	0,20	38,0	2,51
3	1 + 700	Depósito de relave	0,35	0,0	1,50
		Grava arcillosa con arena	0,04	40,9	2,20
		Grava con limo - muy compacto	0,20	41,00	2,20
4	1 + 900	Depósito de relave	0,35	0,0	1,50
		Grava arcillosa con arena	0,34	34,6	2,14
		Grava con limo - muy compacto	0,20	36,0	2,30
5	2 + 400	Depósito de relave	0,35	0,0	1,50
		Grava arcillosa con arena	0,35	38,8	2,55
		Grava con limo - muy compacto	0,20	40,00	2,55
6	2 + 800	Grava arcillosa con arena	0,15	29,5	2,00
		Grava limosa con arena	0,00	39,10	2,00
		Grava con limo - muy compacto	0,20	41,0	2,20
7	2 + 950	Grava limosa con arena	0,28	42,7	2,10
		Grava con limo - muy compacto	0,20	39,10	2,00
		Grava con limo - muy compacto	0,20	41,0	2,20
8	3 + 350	Grava limosa con arena	0,28	42,7	2,10
		Grava arcillosa con arena	0,33	38,8	2,22
		Grava con limo - muy compacto	0,20	40,00	2,30
		Grava con limo	0,28	27,0	1,90

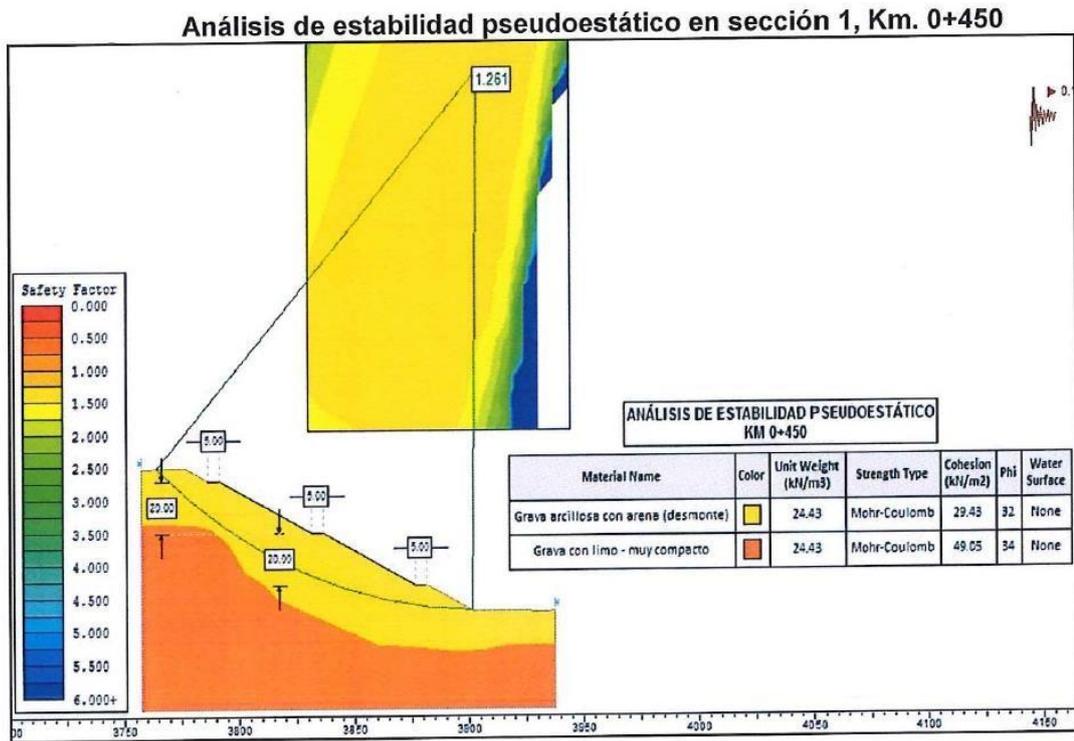
Fuente CESEL Ingenieros

Figura 28. Análisis de estabilidad estático en sección 1 Km 0+450
Análisis de estabilidad estático en sección 1, Km. 0+450



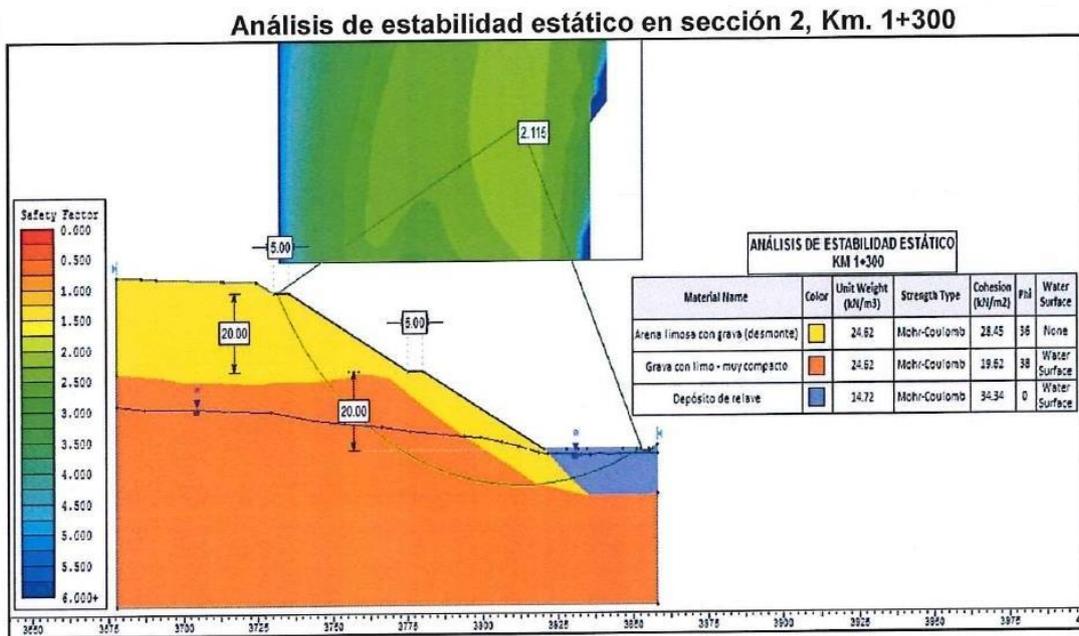
Fuente. Elaboración propia

Figura 29. Análisis de estabilidad pseudoestático en sección 1 Km 0+450



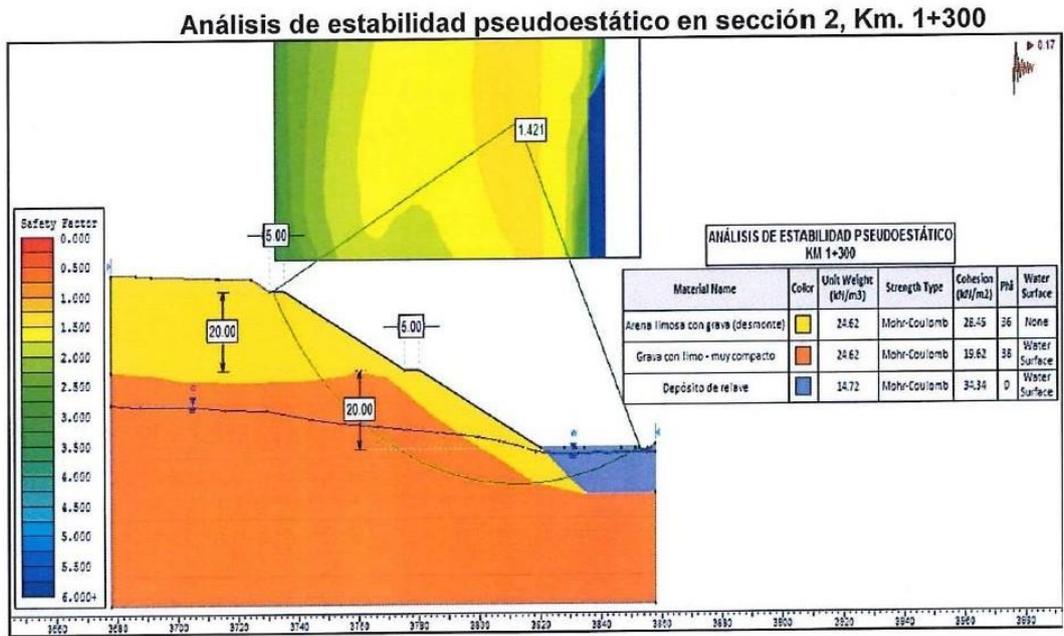
Fuente. Elaboración propia

Figura 30. Análisis de estabilidad estático en sección 2 Km 1+300



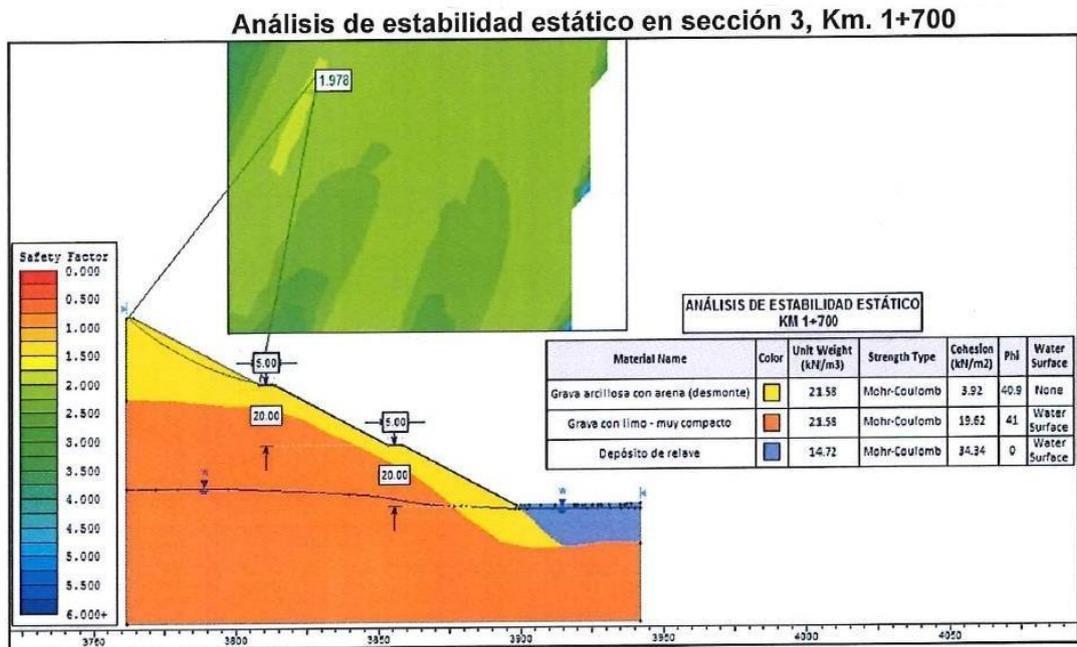
Fuente. Elaboración propia

Figura 31. Análisis de estabilidad pseudoestático en sección 2 Km 1+300



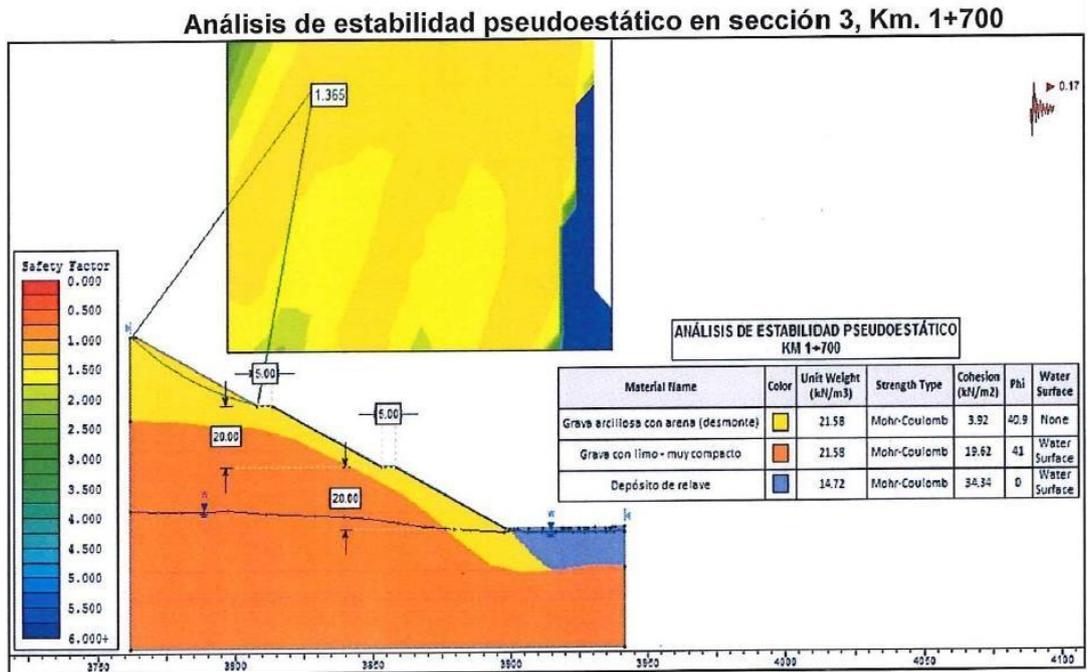
Fuente. Elaboración propia

Figura 32. Análisis de estabilidad estático en sección 3 Km 1+700



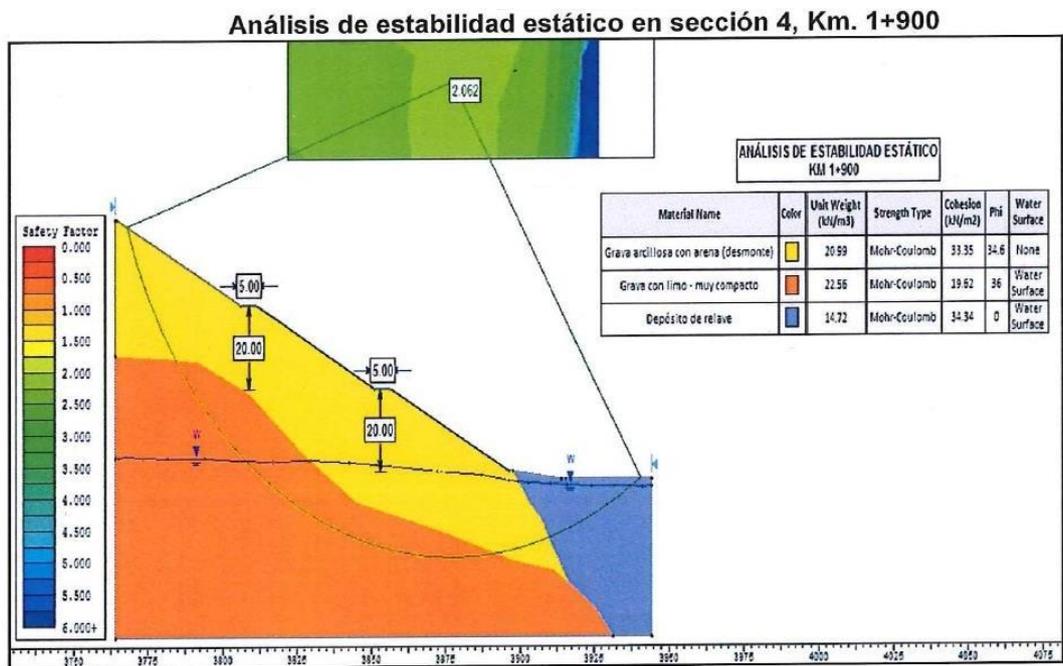
Fuente. Elaboración propia

Figura 33. Análisis de estabilidad pseudoestático en sección 3 Km 1+700



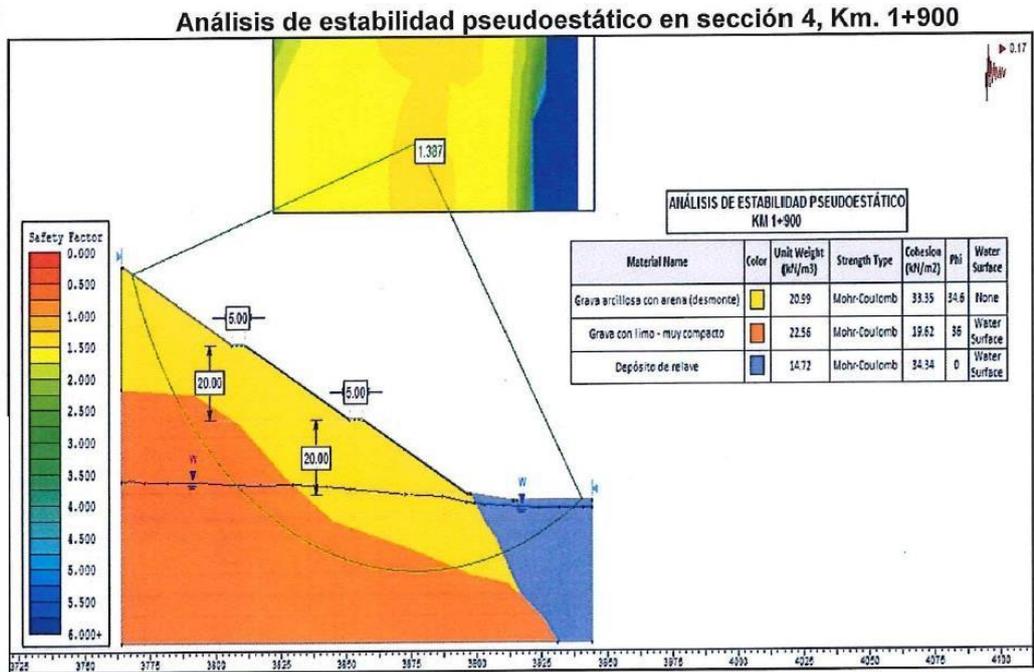
Fuente. Elaboración propia

Figura 34. Análisis de estabilidad estático en sección 4 Km 1+900



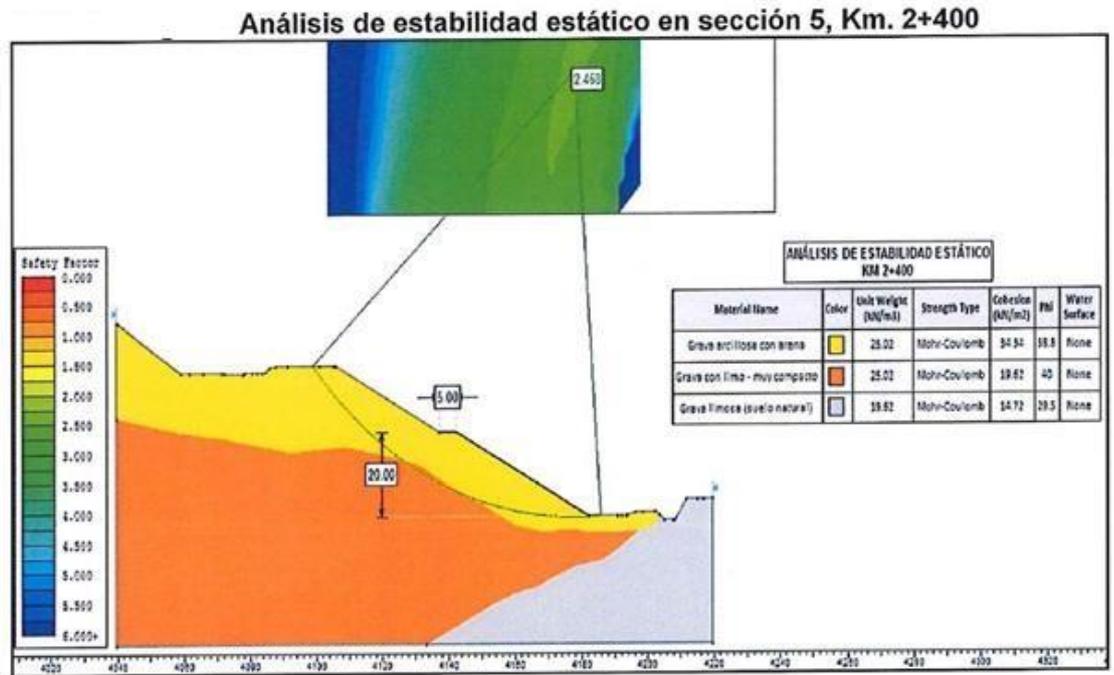
Fuente. Elaboración propia

Figura 35. Análisis de estabilidad pseudoestático en sección 4 Km 1+900



Fuente. Elaboración propia

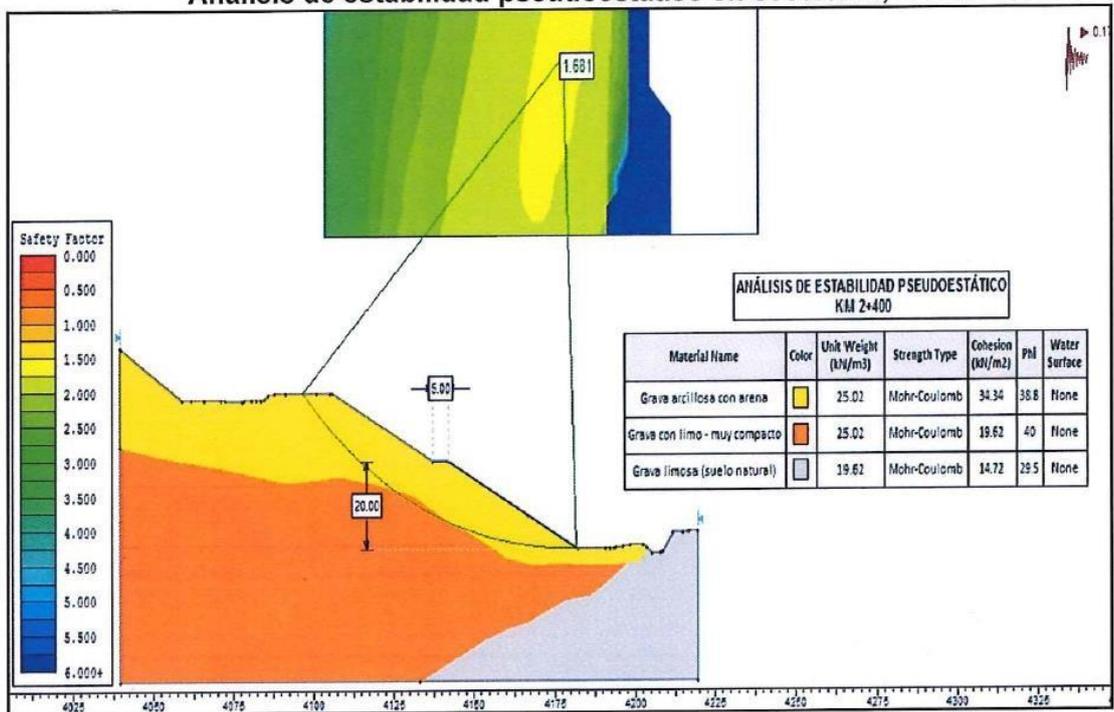
Figura 36. Análisis de estabilidad estático en sección 5 Km 2+400



Fuente. Elaboración propia

Figura 37. Análisis de estabilidad pseudoestático en sección 5Km +400

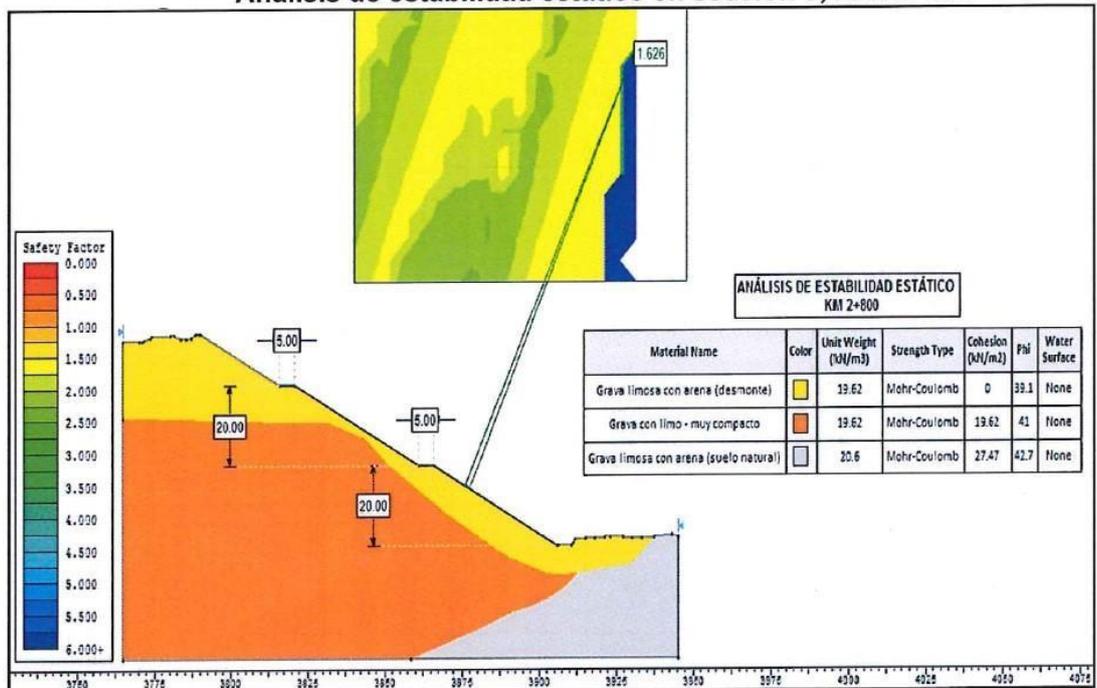
Análisis de estabilidad pseudoestático en sección 5, Km. 2+400



Fuente. Elaboración propia

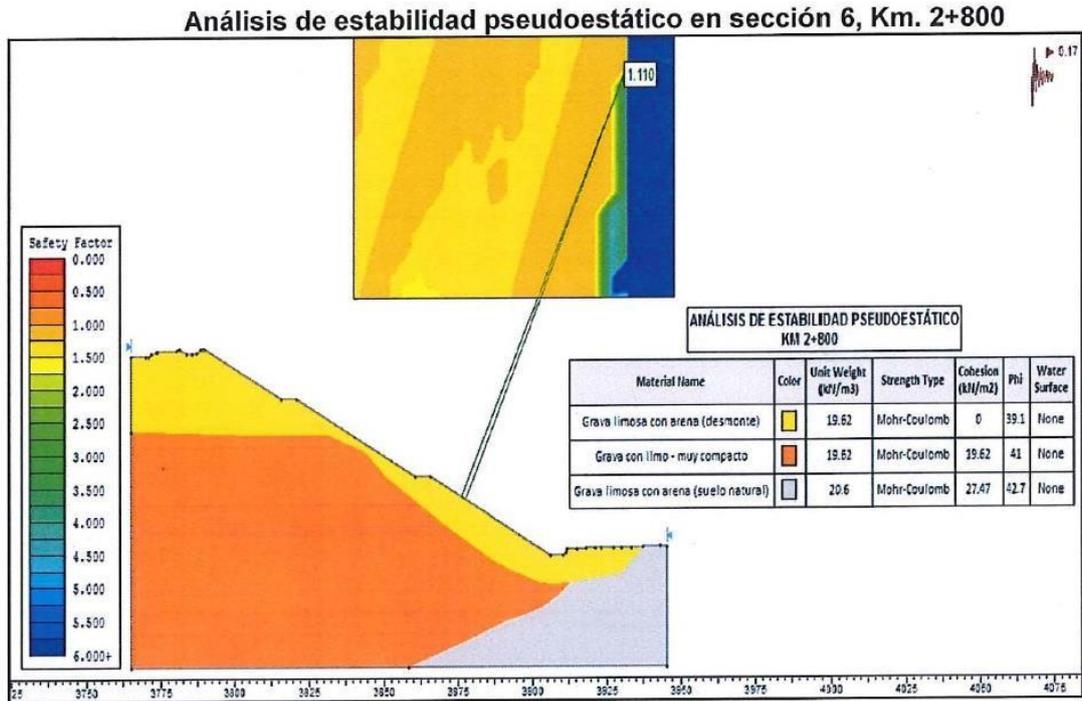
Figura 38. Análisis de estabilidad estático en sección 6 Km 2+800

Análisis de estabilidad estático en sección 6, Km. 2+800



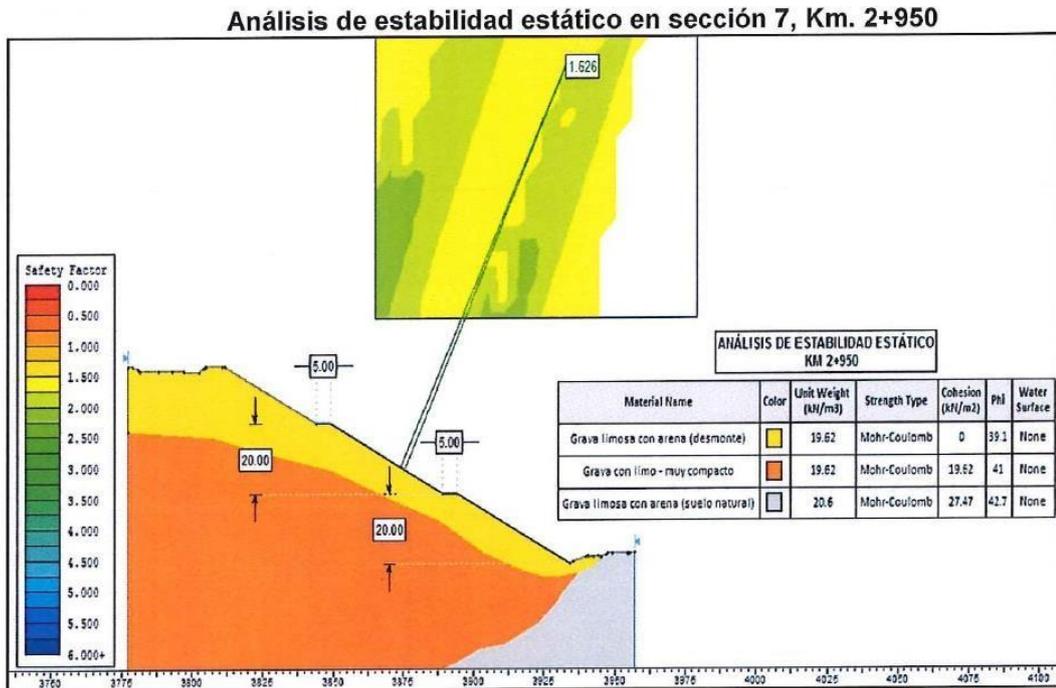
Fuente. Elaboración propia

Figura 39. Análisis de estabilidad pseudoestático en sección 6Km 2+800



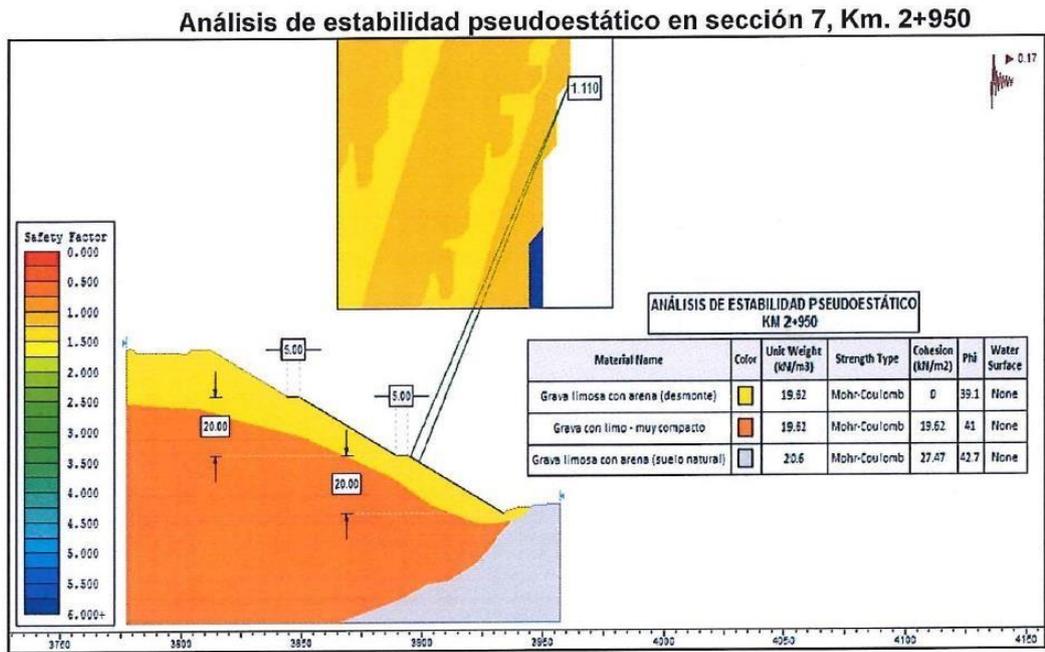
Fuente. Elaboración propia

Figura 40. Análisis de estabilidad estático en sección 7Km 2+950



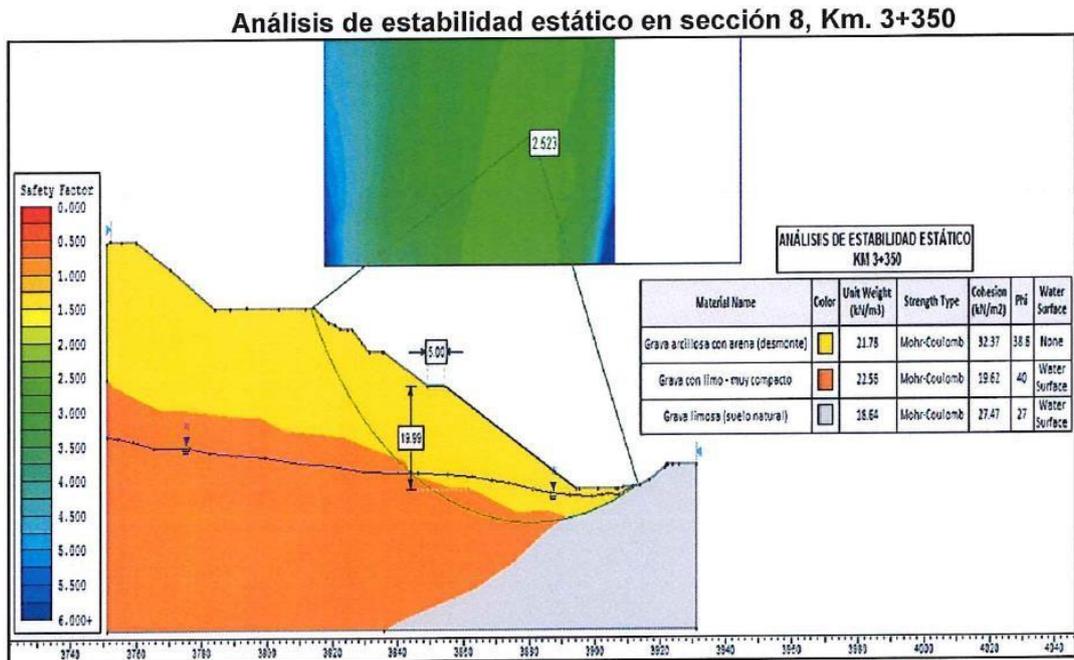
Fuente. Elaboración propia

Figura 41. Análisis de estabilidad pseudoestático en sección 7Km 2+950



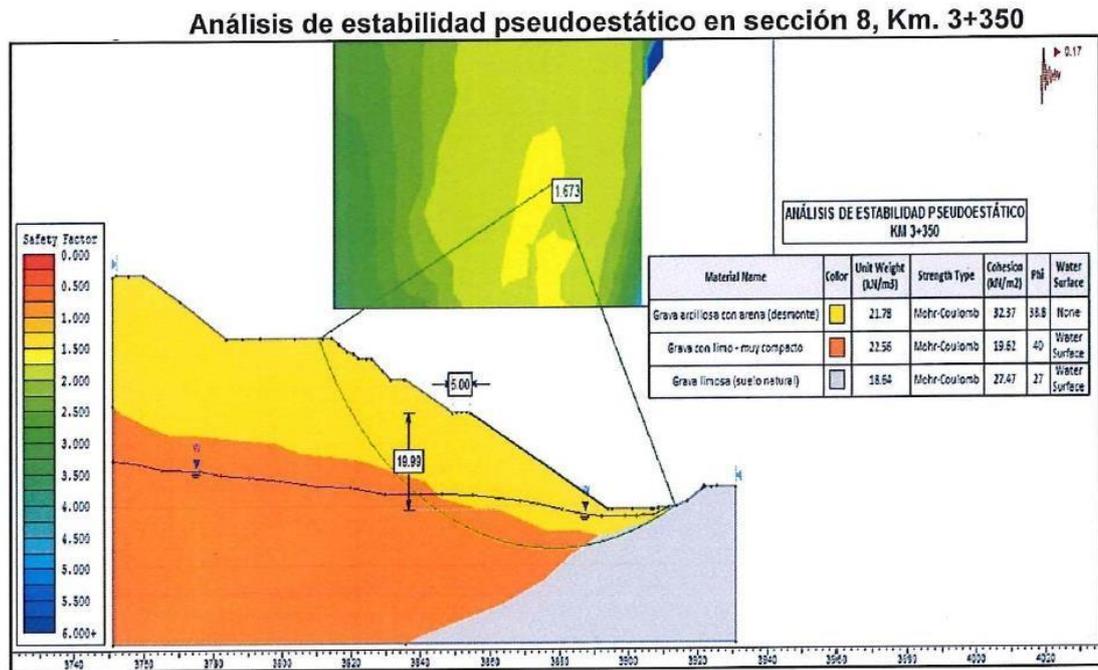
Fuente. Elaboración propia

Figura 42 Análisis de estabilidad estático en sección 8 Km 3+350



Fuente. Elaboración propia

Figura 43. Análisis de estabilidad pseudoestático en sección 8 Km 3+350



Fuente. Elaboración propia

4.3. Prueba de Hipótesis

Según Grasseau (2014), “la hipótesis es la suposición de una verdad que aún no se ha establecido, es decir, una conjetura que se hace sobre la realidad que aún no se conoce y que se ha formulado precisamente con el objeto de llegar a conocerla”. Con la finalidad de comprobar la validez de la hipótesis de investigación planteada recurriré al enunciado de la hipótesis de investigación y lo someteré a comparación con una hipótesis nula:

Hi: Existe relación significativa entre el nivel de estabilidad de los taludes de la desmontera el Excélsior en condiciones actuales y el factor de seguridad.

Ho: No existe relación significativa entre el nivel de estabilidad de los taludes de la desmontera el Excélsior en condiciones actuales y el factor de seguridad.

Siendo que las condiciones mínimas de análisis son:

- Condición estática: 1.5
- Condición pseudoestática: 1.1 (coeficiente sísmico = 0,17 g)

Según el resultado de análisis de estabilidad de taludes (Tabla 11) y el análisis de estabilidad de taludes – proyectado (Tabla 13), se demuestra que hay una relación significativa entre los valores del factor de seguridad y la condición de los taludes de la desmontera El Excelsior. Cuando el valor del factor de seguridad se encuentra debajo de 1.5 la condición del talud es inestable y cuando el valor del factor de seguridad es mayor de 1.5 entonces la condición del talud es estable.

Conclusión:

Se demuestra la validez de la hipótesis planteada.

4.4. Discusión de resultados

De los resultados obtenidos podemos establecer que el factor de seguridad proyectado varía entre 1.62 a 2.63 en condiciones estáticas y 1.11 a 1.76 en condiciones pseudoestáticas indicando que se encuentran por encima de valores de seguridad mínimos establecidos. No obstante que, es difícil encontrar dos terrenos o taludes con las mismas características estructurales, litológicas, hidrogeológicas y geométricas que brinden resultados similares al aplicarse un análisis por el método Bishop, si se pueden comparar los valores mínimos encontrados por otros autores.

Breña Vásquez C.H. (2019) en su trabajo de tesis indica que según el análisis estático que realizó, el factor de seguridad (FS) mínimo es de 1.5 lo que indica que los resultados encontrados en la presente investigación son aceptables ya que se encuentran por encima de este valor mínimo.

Tardeo de la Cruz, C.A. & Sanabria Pari, E. (2016), luego de realizar un análisis dinámico de estabilidad de taludes indica que en el sector donde ha analizado la estabilidad de taludes presenta factores de seguridad (FS) que fluctúan por debajo de 1.25 y luego cataloga su sector como inestable; siendo que los valores encontrados en el presente estudio aplicando el método Bishop son muy superiores comparando con los hallados por Tardeo de la Cruz (2016),

podemos establecer que los valores hallados con el método Bishop son seguros, lo que una vez más nos permite comprobar la eficacia de este método.

Igualmente, Estrada y Soberanis (2014), en su investigación “Estabilidad de taludes en suelos” aplicando el método de análisis Bishop encuentra un factor de seguridad (FS) igual a 1.67 y 1.73 respectivamente y considera que se trata de taludes estables lo que guarda relación con los resultados obtenidos en el presente estudio y una vez más permite comprobar que el método Bishop para el análisis de estabilidad de taludes posibilita encontrar factores de seguridad aceptables.

CONCLUSIONES

1. El análisis de taludes por el método de Bishop Simplificado en los depósitos de desmonte minero Excélsior de Cerro de Pasco indican que para lograr la estabilidad de los taludes se debe considerar un talud superior de H: V (2:1), la altura de interbancos de 20 m y anchos de bermas de 5 m. y los factores de seguridad son mayores a 1.5 figurando en el rango de 1.62 a 2.63 en condiciones estáticas y 1.11 a 1.76 en condiciones pseudoestáticas.
2. La evaluación geotécnica de los depósitos de desmonte minero Excélsior de Cerro de Pasco indican que se trata de bancos cuya geometría presentan pendiente de medio a alto ángulo (de 60° a 75°)
3. Se trata de bancos que en la corona presentan generalmente material de desmonte de mina con bolones de hasta 10" y bloques de hasta 40" en matriz más fina muy compacta casi siempre húmedo.
4. En el talud presentan generalmente también material de desmonte de mina con alta compacidad y fuerte humedad, en la superficie del talud siempre se presenta gravas de hasta 2" con bolones de hasta 10" y bloques de hasta 20" casi siempre en proceso de oxidación.
5. En los pies de los taludes generalmente el material predominante es desmonte de mina (en un solo caso el material es grava), medianamente compacta con empozamiento de agua, lo que hace que exista un potencial problema de inestabilidad de taludes.

RECOMENDACIONES

1. Los estudios se deben complementar con estudios geoquímicos y de drenaje ácido de roca (DAR)
2. Con la finalidad de garantizar la estabilidad de los taludes se recomienda respetar las medidas de estabilidad considerados en la tabla 15 del presente trabajo.
3. Este trabajo se debe complementar con un estudio de muro de contención a fin de garantizar completamente la estabilidad de los taludes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Breña Vásquez, C. H. (2019). Estabilidad de taludes de la carretera longitudinal de la sierra ; tramo Cochabamba-Cutervo-Chiple , Cajamarca-Perú. In *Unidad de Postgrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
2. Estrada Bautista, V., & Soberanis Bello, J. (2014). Estabilidad de Taludes en Suelos. In IV Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos y Cimentaciones. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
3. Garcia Ramirez, A. A., & Mestanza Rojas, Y. (2019). Mejoramiento del Suelo con el Diseño de Hincado de Rocas en la Desmontera de Mina Excélsior-Cerro de Pasco. In No (Vol. 15).
4. Gonzales Zambrano, V., & Guevara Reyes, R. (2021). DESARROLLO DE UN SISTEMA WEB PARA LA ADMINISTRACIÓN DE LABORATORIO CLÍNICO GENÉRICO PARA CENTROS DE SALUD PÚBLICO O PRIVADO EN LA CIUDAD DE MILAGRO [UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO-ECUADOR]. <http://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/5543>
5. Hernández Cáceres, F. (2019). Hacia la automatización del análisis de estabilidad de taludes mineros. UNIVERSIDAD DE CHILE.
6. Hernández Sampieri, R. (2014). Metodología de la investigación. In S. A. D. C. . McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES (Ed.), *Journal of Chemical Information and Modeling* (Sexta, Vol. 53, Issue 9).
7. Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. (2018). Metodología de la Investigación.
8. Monte Parra, I. A. (2020). Análisis de Estabilidad de Taludes de Roca Mediante el Método de Elementos Finitos [UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN]. http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/461/1/Tesis_Analisis_de_estabilidad.pdf
9. Ricardo, A., Sanz, V., Martí, S. S., & Orrego, A. D. (2016). Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, Parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo.
10. Tardeo, C., & Zanabria, E. (2016). Análisis dinámico de estabilidad de taludes por elementos finitos en la zona de Huayllapampa del distrito de Cuenca - Huancavelica [UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA]. In Repositorio Institucional - UNH. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1935>
11. Ventocilla Sánchez, P. (2021). Estudio de las características geotécnicas de los suelos residuales para la estabilidad de taludes en el Cerro la Campana - ruta al terminal portuario de Puerto Eten. UNIVERSIDAD DE SIPÁN.

BIBLIOGRAFÍA

1. Hernández Cáceres, F. (2019). Hacia la automatización del análisis de estabilidad de taludes mineros. UNIVERSIDAD DE CHILE.
2. Hernández Sampieri, R. (2014). Metodología de la investigación. In S. A. D. C. . McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES (Ed.), Journal of Chemical Information and Modeling (Sexta, Vol. 53, Issue 9).
3. Garcia Ramirez, A. A., & Mestanza Rojas, Y. (2019). Mejoramiento del Suelo con el Diseño de Hincado de Rocas en la Desmontera de Mina Excelsior-Cerro de Pasco. In No (Vol. 15).
4. Gonzales Zambrano, V., & Guevara Reyes, R. (2021). DESARROLLO DE UN SISTEMA WEB PARA LA ADMINISTRACIÓN DE LABORATORIO CLÍNICO GENÉRICO PARA CENTROS DE SALUD PÚBLICO O PRIVADO EN LA CIUDAD DE MILAGRO [UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO-ECUADOR]. <http://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/5543>
5. Ricardo, A., Sanz, V., Martí, S. S., & Orrego, A. D. (2016). Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, Parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo.

ANEXOS

Matriz de Consistencia

TÍTULO DE TESIS: “Análisis de Estabilidad de Talud por el Método Bishop en Depósitos de Desmonte Minero Excélsior, Cerro de Pasco – 2021”.

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	DISEÑO	POBLACIÓN Y MUESTRA
¿Qué relación existe entre el nivel de estabilidad de los taludes de la desmontera el Excélsior en condiciones actuales y el factor de seguridad?	Determinar la relación que existe entre el nivel de estabilidad de los taludes de la desmontera el Excélsior en condiciones actuales y el factor de seguridad.	Existe relación significativa entre el nivel de estabilidad de los taludes de la desmontera el Excélsior en condiciones actuales y el factor de seguridad óptimo planteado en las condiciones de análisis.	Factor de seguridad óptimo	Diseño: Descriptivo Tipo de Investigación Aplicada	POBLACIÓN En esta investigación se tuvo como población todos los taludes de la desmontera El Excélsior. MUESTRA En el presente trabajo de investigación, el muestreo fue por conveniencia seleccionando los taludes con evidente inestabilidad o más críticos que en este caso fueron 8 (ocho)..
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECÍFICA	VARIABLE DEPENDIENTE	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	TÉCNICAS - INSTRUMENTOS
¿Qué relación existe entre el nivel de estabilidad de los taludes en condiciones actuales y las características geotécnicas del desmonte minero el Excélsior? ¿Qué relación existe entre el nivel de estabilidad de los taludes en condiciones actuales y los riesgos de deslizamiento ante eventos climatológicos y sísmicos en el desmonte minero el Excélsior?	Determinar la relación existente entre el nivel de estabilidad de los taludes en condiciones actuales y las características geotécnicas del desmonte minero el Excélsior. Determinar la relación existente entre el nivel de estabilidad de los taludes en condiciones actuales y los riesgos de deslizamiento ante eventos climatológicos y	Existe relación significativa entre el nivel de estabilidad de los taludes en condiciones actuales y las características geotécnicas del desmonte minero el Excélsior. Existe relación significativa entre el nivel de estabilidad de los taludes en condiciones	Nivel de estabilidad de taludes	Método Descriptivo, analítico y aplicativo Enfoque Cuantitativo	Técnicas: Observación.

	sísmicos en el desmonte minero el Excélsior.	actuales y los riesgos de deslizamiento ante eventos climatológicos y sísmicos en el desmonte minero el Excélsior.			
--	--	--	--	--	--

Plano Topográfico



Formato para registro de características geotécnicas de material de relleno (desmonte) y densidad

CALICATA :

CÓDIGO DEL PROYECTO : _____
 PROYECTO : _____

UBICACIÓN : _____
 COORDENADAS : _____
 REFERENCIA : _____

REALIZADO : _____
 REVISADO : _____

FECHA DE EXCAVACIÓN : _____
 PROFUNDIDAD TOTAL (m) : _____
 PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : _____

PROF. (m)	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	SUICSO	GRANULOMETRÍA						L.L. (%)	L.A. (%)	I.P. (%)	Nº DE MUESTRA
			PASADO POR 4.75 mm		RETENIDO EN 4.75 mm		N	%				
			g	mm	g	mm						
0.0	Limo elástico arenoso, color rojizo, húmedo, blando con presencia de raíces, presenta grava con tamaño máximo 3/4", (P=24%).	MH									M-1	
1.0		CL									M-2	
2.0												
3.0												
4.0												
5.0												
6.0												
7.0												
8.0												
9.0												
10.0												

OBSERVACIONES : _____



Vista panorámica mostrando la calicata C-2



Vista del perfil estratigráfico de la calicata C-2

ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO (Método del Balón)

CÓDIGO : _____
 PROYECTO : _____

UBICACIÓN : _____
 DESMONTERU : _____

REALIZADO : _____
 REVISADO : _____
 FECHA : _____

DENSIDAD HÚMEDA								
UBICACIÓN CALICATA / TRINCHERA DENSIDAD PROFUNDIDAD (m)	DESMONTERA EXCELSIOR							
	TRI-1 DE-1	TRI-2 DE-2	TRI-3 DE-3	TRI-4 DE-4	TRI-5 DE-5	TRI-6 DE-6	TRI-7 D-7	
Fecha del ensayo								
Peso del material extraído	g							
Volumen hoyo	g							
Densidad del agua	g/cm ³							
Densidad Húmeda	g/cm ³							
CONTENIDO DE HUMEDAD								
Contenido de humedad	%	8,00	8,00	6,00	17,00	10,00	7,00	13,00
RESULTADOS								
Densidad húmeda	g/cm ³							
Contenido de humedad	%							
Densidad seca	g/cm ³							

Formato para registro de clasificación ASTM

270



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INDECOPI - SNA CON REGISTRO No LE-071



Informe de Ensayo con Valor Oficial
N° - LGC-13-124

Código del proyecto:	Fecha de Emisión:
Cliente:	Fecha de Recepción:
Solicitante:	
Proyecto:	
Ubicación:	

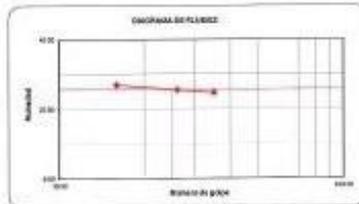
Ensayo	Método
Análisis Granométrico por Tamizado	ASTM D422 - 03(2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
Límites de Consistencia	ASTM D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
Clasificación SUCS	ASTM D2497 - 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Código:	LGC-13.124.001	Serie:	CAL-2	Muestra:	M-1	Profundidad (m):	0.00-1.20
Cantón:	Desmonte Excitador	Condición de la muestra:	Muestra Alterada	Progresiva:	---	Tipo de Material:	Suelo

Malla	Abertura (mm)	% que pasa
N°		100.0
3"	76.200	100.0
2"	50.800	99.8
1 1/2"	38.100	88.4
1"	25.400	82.7
3/4"	19.100	77.1
3/8"	9.520	62.3
N° 4	4.760	48.5
N° 10	2.000	35.2
N° 20	0.840	27.4
N° 40	0.425	23.3
N° 60	0.250	21.1
N° 140	0.106	18.8
N° 280	0.075	18.2

LÍMITES DE CONSISTENCIA

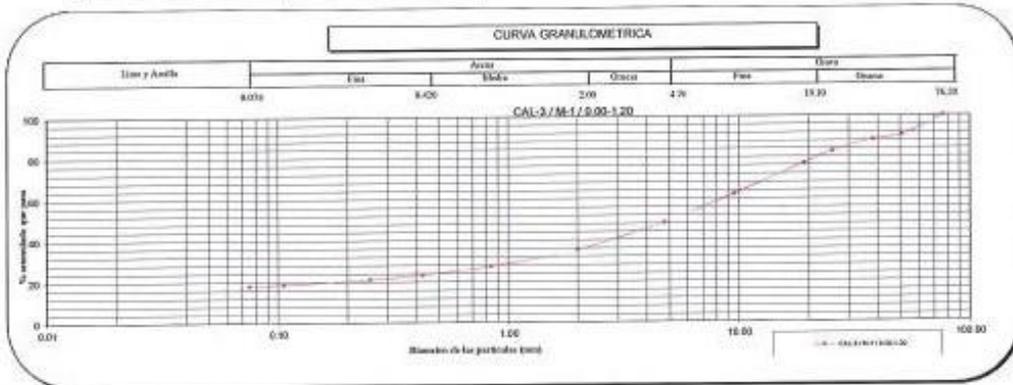
Límite Líquido (LL) (%): 26
Límite Plástico (LP) (%): 18
Índice Plástico (IP) (%): 8



% Grava	GCR%	22.9
	GF%	28.6
% Arena	AGR%	13.3
	AW%	11.9
	AF%	5.1
% Fines		18.20
Tamaño Máximo de la Grava que Pasa		3
Forma del suelo grueso		Sub angular
Porcentaje retenido en la 3-pulg (in)		0
Coeficiente de Curvatura		---
Coeficiente de Uniformidad		---

Método de ensayo	Multipunto
Preparación de la muestra	Húmeda

Clasificación (S.U.C.S.)	
GC	Grava arcillosa con arena



Observaciones:
Muestra provista de desmonte mínimo
Tipo de Preparación para ensayo Clasificación: Via Húmeda

La MUESTRA ha sido identificada y etiquetada por el solicitante. Entre estos se aplican solo a los resultados indicados.
Prácticamente la representación total espacial del presente informe de ensayo de los datos técnicos de la Laboratorio Geotécnico y de Concreto CESEL, S.A.
Los resultados de los ensayos se deben ser aplicados como una estimación de conformidad con los estándares de pruebas o como una indicación del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados de los ensayos se deben ser aplicados como una estimación de conformidad con los estándares de pruebas o como una indicación del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados de los ensayos se deben ser aplicados como una estimación de conformidad con los estándares de pruebas o como una indicación del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

