

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

Evaluación Geotécnica del depósito de desmonte Excelsior de Cerro de Pasco,

2020

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor: Bach. Rosmery Nidia VEGA SOLIS

Asesor: Dr. Reynaldo MEJÍA CÁCERES

Cerro de Pasco – Perú – 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

Evaluación Geotécnica del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de

Pasco, 2020

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Tito Marcial ARIAS ARZAPALO
PRESIDENTE

Dr. Favio Máximo MENA OSORIO
MIEMBRO

Mg. Eder Guido ROBLES MORALES
MIEMBRO

DEDICATORIA

A mi padre Grisanto Dario, por su apoyo incondicional y sus enseñanzas. Y que, aunque hoy no esté en este mundo lo llevaré por siempre en mi corazón.

A mi madre Sabina Fulgencia, por su fortaleza y dedicación. Cada logro mío es también el de ella.

A mis hermanos Ronald Henry y Jeffrey Dario, por estar presentes cuando más los necesito.

A mi novio Joseph Anderson por ser mi amor, mi fuerza y mi apoyo en todos mis proyectos.

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a el Dr. Reynaldo Mejía Cáceres, por su dedicación y apoyo brindado a este trabajo; por respetar mis ideas y sugerencias para encaminarme en la ejecución de este proyecto.

Asimismo, extiendo el agradecimiento a mis jurados calificadores los ingenieros Eder Morales Robles, Tito Arias Arzapalo y Favio Mena Osorio por su atención oportuna y orientación.

Finalmente, a mi madre Sabina, mis hermanos Ronald y Jeffrey y a mi novio Joseph por su apoyo incondicional para la culminación de este proyecto.

RESUMEN

La tesis intitulada “Evaluación Geotécnica del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco, 2020”, se desarrolló con el objetivo de determinar parámetros geotécnicos y evaluar la factibilidad de la estabilidad física para el cierre del pasivo ambiental.

Las herramientas y materiales para obtención de resultados se alcanzaron mediante ensayos de campo como la penetración dinámica ligera, densidad, permeabilidad, y en el laboratorio se consideró los ensayos de resistencia y límites de Atterberg, y se consiguieron datos de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales involucrados en el estudio para el cual se consideró una muestra no probabilística de 8 calicatas y 7 trincheras.

En cuanto a la metodología se realizó lo siguiente: La revisión documental, observación de campo, técnica de calicata y trinchera, técnica de ensayos y pruebas insitu y guía de análisis documental. Luego de la recolección de datos estos se procesaron en el software Ms-Excel v. 2016 y posteriormente en el software Slide.

Se establecieron los parámetros geotécnicos como: la capacidad admisible del suelo con un índice de 2,21 g/cm³, del análisis pseudoestático de los taludes se consideró el valor 0,17 g como coeficiente sísmico y se determinó la factibilidad del depósito de desmonte Excelsior luego de la evaluación de la estabilidad física.

Los resultados hallados permitieron obtener parámetros geotécnicos útiles para la determinación de la factibilidad del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco mediante el uso del software Slide.

Se determinaron los parámetros geotécnicos del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco mediante los ensayos de penetración dinámica ligera, excavación de calicatas, excavación de trincheras, ensayos de densidad de campo, éstos resultados se

encuentran detallados en los diferentes tablas los cuales sirvieron para caracterizar geotécnicamente el suelo como la desmontera, resaltando dentro de ellos los parámetros de cohesión, ángulo de fricción y peso específico, los que se utilizaron con la finalidad de asegurar la estabilidad física del depósito. Y se realizó la evaluación de la estabilidad física del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco determinándola factible para la construcción del depósito de desmonte para el cierre del pasivo ambiental minero.

Palabras claves: Evaluación Geotécnica, ensayos, estabilidad física, depósito de desmonte, pasivo ambiental.

ABSTRACT

The thesis entitled "Geotechnical Evaluation of the Excélsior de Cerro de Pasco waste rock deposit, 2020", was developed with the objective of determining geotechnical parameters and evaluating the feasibility of physical stability for the closure of the environmental liability.

The tools and materials to obtain results were achieved through field tests such as light dynamic penetration, density, permeability, and in the laboratory the resistance tests and Atterberg limits were considered, and data on the physical and mechanical properties of the materials involved in the study for which a non-probabilistic sample of 8 test pits and 7 trenches was considered.

Regarding the methodology, the following was carried out: Documentary review, field observation, pit and trench technique, on-site testing and testing technique, and documentary analysis guide. After data collection, these were processed in the Ms-Excel v. 2016 and later in Slide software.

The geotechnical parameters were established as: the admissible capacity of the soil with an index of 2.21 g/cm³, from the pseudo-static analysis of the slopes, the value 0.17 g was considered as the seismic coefficient and the feasibility of the Excelsior waste deposit was determined. after evaluation of physical stability.

The results obtained allowed us to obtain useful geotechnical parameters for determining the feasibility of the Excélsior waste rock deposit in Cerro de Pasco through the use of Slide software.

The geotechnical parameters of the Excélsior de Cerro de Pasco waste rock deposit were determined by light dynamic penetration tests, pit excavation, trench excavation, field density tests, these results are detailed in the different tables which served to characterize geotechnically the soil as the clearing, highlighting within them the

parameters of cohesion, angle of friction and specific weight, which were used in order to ensure the physical stability of the deposit. And the evaluation of the physical stability of the Excelsior de Cerro de Pasco waste deposit was carried out, determining it feasible for the construction of the waste deposit for the closure of the mining environmental liability.

Keywords: Geotechnical evaluation, tests, physical stability, waste deposit, environmental liability

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere a la Evaluación Geotécnica del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco, que se puede definir como el proceso de analizar e interpretar las características y parámetros geotécnicos del comportamiento del terreno de un depósito de desmonte con el fin de conocer las limitaciones y los factores de aprovechamiento considerando la seguridad y evitar deslizamiento que afecten al medio ambiente.

Gracias a la aplicación de la geotecnia se puede evitar fallas físicas y químicas en los depósitos de desmonte, para realizar dicho estudio se tiene que apoyar en la geología, sismología, hidrología, mecánica de suelos, mecánica de rocas y el estudio de la fundación o lugar donde se construyen dichas estructuras.

Para analizar la problemática de la factibilidad de realizar la evaluación geotécnica del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco, es necesario realizar un buen estudio geotécnico que consiga diseñar estructuras seguras que puedan estar por encima de un factor de seguridad mínimo y con ello controlar cualquier eventualidad no deseada y por ende reducir costos.

En la presente tesis se evalúa los parámetros geotécnicos para poder determinar si el depósito de desmonte Excelsior es estable desde un punto de vista físico, para con ello poder determinar si el área de fundación es adecuada y si los parámetros geométricos permiten construir una estructura que tenga la capacidad requerida para garantizar la estabilidad después de un cierre.

La presente investigación comprende de cuatro capítulos: Capítulo I Planteamiento del problema, Capítulo II Marco teórico, Capítulo III Metodología, Capítulo IV Resultados y discusión, conclusiones y recomendaciones.

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	3
1.3.1	Problema general	3
1.3.2	Problemas específicos	3
1.4	Formulación de Objetivos	3
1.4.1	Objetivo general.....	3
1.4.2	Objetivos específicos.....	3
1.5	Justificación de la investigación	3
1.5.1	Teórica	4
1.5.2	Social o Práctica.....	4
1.6	Limitaciones de la investigación	4

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes de estudio	5
2.2	Bases teóricas – científicos	10
2.2.1	Estabilización de taludes	10
2.2.2	Análisis de estabilidad	17
2.2.3	Método de Bishop simplificado	22
2.2.4	Factor de Seguridad	24
2.2.5	Estudios geotécnicos	25
2.2.6	Investigaciones Geológicas y Geotécnicas.....	27
2.3	Definición de términos básicos.....	34
2.4	Formulación de Hipótesis	37
2.4.1	Hipótesis General.....	37
2.4.2	Hipótesis Específicas	37
2.5	Identificación de variables	37
2.5.1	Variable independiente	38
2.5.2	Variable dependiente	38
2.6	Definición Operacional de variables e indicadores	39

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1	Tipo de investigación	40
3.2	Nivel de investigación	40
3.3	Métodos de investigación.....	40
3.4	Diseño de investigación	41
3.5	Población y muestra	41
3.5.1	Población	41

3.5.2	Muestra	41
3.6	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	42
3.7	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	42
3.8.	Tratamiento estadístico	43

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Descripción del trabajo de campo	44
4.1.1	Geología del área de estudio	44
4.1.2	Geología regional.....	44
4.1.3	Geología local	55
4.2	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	63
4.2.1	Parámetros geotécnicos del depósito de desmonte Excélsior	64
4.2.2	Análisis de la estabilidad física del depósito de desmonte Excélsior	76
4.2.3	Manejo de aguas y estabilidad hidrológica	82
4.2.4	Evaluación geotécnica del perímetro del depósito de desmontes Excélsior 83	
4.2.5	Análisis de cimentación en suelo	96
4.2.6	Evaluación de la Estabilidad de Taludes	98
4.2.7	Estabilidad de taludes mediante modelo matemático	103
4.2.8	Sistema de estabilidad física	112
4.2.9	Análisis de estabilidad de taludes - condición proyectado.....	112
4.2.10	Medidas de estabilidad	113
4.3	Prueba de hipótesis	123
4.3.1	Hipótesis general.....	123
4.3.2	Primera Hipótesis específica	123
4.3.3	Segunda Hipótesis específica	124

4.4	Discusión de resultados.....	125
CONCLUSIONES		
RECOMENDACIONES		
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Identificación y determinación del problema

En la ciudad de Cerro de Pasco se encuentra ubicado el depósito de desmonte Excélsior que recibió desmontes desde 1956 hasta aproximadamente los primeros años del 2000, acumulando aproximadamente 50 millones de toneladas de desmonte en una superficie de 69 hectáreas.

El depósito de desmonte Excélsior constituye un pasivo ambiental, la misma que su composición del desmonte está constituida por niveles altos de pirita y otros minerales cuya composición es de azufre, lo que le convierte en generador de acidez y al existir infiltraciones desde áreas aledañas, ingresan aguas subterráneas y luego de un tiempo afloran a la superficie exactamente al pie del depósito de desmonte Excélsior y luego son acumuladas en el extremo inferior del depósito de relaves de Quiulacocha, constituyendo un caudal permanente, de alrededor de galones por minuto con un pH de 2.85 y elevados contenidos de metales pesados en solución como hierro y zinc.

Posteriormente se decide realizar un plan de cierre, para ello es necesario realizar un estudio geotécnico del depósito de desmonte y del material de préstamo, con los cuales se definirá las características geológicas y geotécnicamente del área tomando en consideración los aspectos físicos, hidrológicos y químicos que garanticen su estabilidad y así evitar siniestros geotécnicos en el área.

Para una investigación es necesario conocer cuáles son los parámetros básicos que afectan la estabilidad. (Suarez-Diaz, 2018). Un aspecto del estudio de estabilidad de un talud que se debe tener en cuenta y resolver al principio, en cuanto se dispone de los datos de la investigación geológico geotécnica, es el modo de falla más probable que puede producirse en dicho talud o ladera, para estudiar su estabilidad. (Ramírez-Oyangure & Alejano-Monge, 2017).

Por lo tanto, los estudios geotécnicos tienen como finalidad evaluar las características y propiedades de los materiales de la cimentación del área de emplazamiento de los depósitos de desmonte, asimismo permiten la verificación de la estabilidad de los taludes, mediante el análisis del factor de seguridad.

1.2. Delimitación de la investigación

El estudio de la “Evaluación Geotécnica del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco” se realizó en el NO de la ciudad de Cerro de Pasco, en el distrito de Simón Bolívar. La misma que inicio en marzo del 2020 a marzo del 2021. Para la delimitación teórica se tuvo como objeto definir, analizar e interpretar las características y parámetros geotécnicos del comportamiento del terreno del depósito de desmonte Excélsior.

1.3. Formulación del problema

Se formula el siguiente problema:

1.3.1 Problema general

¿Será factible la Evaluación Geotécnica del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco, 2020 para el cierre del pasivo ambiental minero?

1.3.2 Problemas específicos

a) ¿Cuáles son los parámetros geotécnicos del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco, 2020?

b) ¿Será factible la evaluación de la estabilidad física del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco, 2020?

1.4 Formulación de Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar la factibilidad de la Evaluación Geotécnica del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco para el cierre del pasivo ambiental minero.

1.4.2 Objetivos específicos

a) Determinar los parámetros geotécnicos del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco.

b) Determinar la factibilidad de la evaluación de la estabilidad física del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco.

1.5 Justificación de la investigación

Se justifica el estudio porque constituirá una herramienta básica, que brindará información geotécnica para la caracterización de un botadero, el cual servirá para posteriores investigaciones.

1.5.1 Teórica

Se llegó a obtener nuevos conocimientos logrando saber si la estabilización física al Depósito de Desmonte Excelsior para fines de cierre de mina es estable para el medio ambiente, entonces nos permitirá conocer y describir nuevos métodos de análisis de estabilidad física.

1.5.2 Social o Práctica

La presente investigación asegura el bienestar personal, social y ambiental de las comunidades aledañas a las operaciones de mina ya que se está evaluando e investigando las posibles fallas en la estructura que ocasionarían impactos negativos en el medio ambiente y social.

1.6 Limitaciones de la investigación

El presente estudio tuvo limitaciones económicas, porque se realizó varias reevaluaciones por parte de la empresa, el cual afectó el avance en su ejecución. Asimismo, la investigación está limitado al área de estudio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de estudio

Gómez (2019) realizó la investigación titulada “Comportamiento geotécnico de suelos arcillosos compactados, respuesta a cargas estáticas y dinámicas” en Madrid, España. El objetivo fue compactar las arcillas azules del Guadalquivir sin mezcla de material granular, y en segundo lugar compactar y estabilizar las arcillas azules del Guadalquivir con diferentes proporciones de una arena silíceo bien graduada (entre 10% y 20% de arena en la mezcla arcilla-arena). Se llevó a cabo un estudio en profundidad de las curvas de compactación características, deformabilidad, compresibilidad y resistencia frente a cargas estáticas y dinámicas compactadas con la densidad máxima seca y humedad óptima con la energía de Proctor normal. Adicionalmente algunos ensayos se han realizado sobre las muestras compactadas del lado seco y del lado húmedo de la curva de compactación. Los resultados del estudio muestran que con la introducción de material granular no existe un cambio en las propiedades índice

de los materiales, pero se halló un aumento significativo de la resistencia a la compresibilidad, rigidez y coeficiente de amortiguamiento mientras que la deformabilidad disminuye según se aumenta el contenido en material granular. Las muestras con sólo el 10% de arena muestran una reducción importante de la deformabilidad en comparación con las arcillas sin mezcla compactadas.

Kainthola y Verma (2011) realizaron la investigación titulada “A Coal Mine Dump Stability Analysis India: Department of earth science, Indian Institute of technology Bombay. El artículo de investigación trató sobre la evaluación de la falla de un talud, en donde se vertían los escombros y desmontes de una mina de carbón. El caso de estudio está ubicado en Nagpur, India. Se recogen muestras de los fragmentos y se recopila información para conocer las características físicas del talud, por ejemplo, la altura y la inclinación. Luego de ello, se evalúan las posibles causas de la estabilización y el detonante de deslizamiento.

Ávila (2008) realizó una investigación titulada “diseño y plan de desarrollo de escombreras para el área sur de la mina paso diablo, Municipio Mara, Estado Zulia” en Venezuela. El objetivo fue proponer un diseño y un plan de desarrollo de escombreras para el área sur de la mina Paso Diablo, con el propósito de maximizar la capacidad de recepción de material estéril y mantener niveles de producción óptimos. Se realizó una investigación descriptiva y de nivel correlacional, en donde se estableció la relación entre las propiedades geomecánicas de los estériles, además de los criterios considerados en el diseño y construcción de las escombreras externas en el área norte para su incorporación en la zona sur de la mina Paso Diablo, la población objeto de estudio corresponde a la mina Paso Diablo, ejecutada por la empresa Carbones del Guasare S.A, mientras, que la muestra está representada por el sector Sur. Los resultados del

análisis determinaron que el factor de seguridad correspondiente a un talud es de 2,984, considerando un nivel piezométrico del 30% de la altura del mismo. Este valor indica que el nivel estabilidad es altamente favorable para esa geometría en función de las características intrínsecas de los estériles. Entre la conclusión más importante se determinó que los parámetros de diseño del sistema de escombrera cumplen con los requerimientos de factibilidad operativa y niveles de estabilidad respaldados en factores de seguridad superior a las dos unidades.

Hernandez y Ramirez (2016) realizaron el trabajo de investigación titulada “Evaluación del riesgo asociado a vulnerabilidad física por taludes y laderas inestables en la microcuenca Cay, Ibagué, Tolima. Colombia: Universidad Militar Nueva Granada. La investigación presentó una herramienta de evaluación para detectar la vulnerabilidad física asociada con taludes inestables, sobre la base de una investigación titulada “Caracterización y análisis de la amenaza por fenómenos de remoción en masa en la microcuenca de la quebrada Cay (Ibagué, Tolima, Colombia)”. Se presenta una ecuación que relaciona los factores clave que influyen en la amenaza y los elementos expuestos asociados con la vulnerabilidad física. Cada factor y elemento expuesto es categorizado. El producto de la amenaza, la vulnerabilidad física y la probabilidad de ocurrencia, da como resultado el parámetro RVF (riesgo asociado a vulnerabilidad física), el cual se clasifica de bajo a muy alto, según los efectos del evento amenazante sobre los elementos físicos expuestos.

Vilca (2019) realizó una investigación titulada “Estudio geotécnico para la estabilidad del talud del depósito de desmonte Santa Rosa del proyecto Santa Rosa - Arequipa”. Tenía como objetivo establecer las propiedades geotécnicas de los materiales y establecer donde se ubicará la obra. Se realizó un estudio de tipo

aplicada y de nivel correlacional, la muestra considerada fue el lugar del proyecto del depósito de desmonte Santa Rosa cerca la Quebrada Tamtarpata. Como conclusión del trabajo de investigación se determinó las características geotécnicas de la zona donde se ubicará el proyecto los que permitieron elaborar el análisis de estabilidad física para la construcción de la desmontera.

Mamani (2019) realizó una investigación titulada “Estudio geotécnico para el diseño y estabilidad del botadero de desmontes del proyecto minero las águilas”. Se determinó las variables geotécnicas del terreno de cimentación, las propiedades físico-mecánicas y químicas del material de la desmontera. Los resultados definieron el arreglo de los taludes de la desmontera, concluyéndose que el factor de seguridad estática es 3,494 y la pseudo-estática es 2,394.

Lopez (2016) realizó una investigación titulada “Estudio geotécnico y diseño del talud final de una mina a cielo abierto aplicando modelos numéricos”. Teniendo como objetivo principal de diseñar y analizar la estabilidad del talud final Se realizó una investigación descriptivo y no experimental porque describe el macizo rocoso en función de los factores geomecánicos, con la valoración RMR y GSI. Se concluye que el diseño de un talud de 60°, resulta seguro para cada uno de los dominios estructurales determinados en el talud.

Vilcas y Cier (2020) realizaron el trabajo de investigación titulada “Evaluación de los riesgos debido a un depósito informal de desmonte de mina frente a una comunidad – Caso Depósito de Desmonte en Pataz Trujillo”. El objetivo fue la elaboración de un análisis de evaluación de riesgos originados por el depósito informal de desmonte de mina frente a una comunidad – Caso Depósito de Desmonte en Pataz, Trujillo. Se realizó un estudio de nivel descriptivo, la muestra considerada de 12 calicatas. Se concluyó que los análisis

de estabilidad estático y pseudoestático nos dan factores de seguridad críticos 1.126 y 0.927 en el estrato conformado por el material de desmonte de mina, asumiendo una superficie de falla no circular, si no plana. Ello nos habla de un deslizamiento inminente; sin embargo, no basta para poder analizar las consecuencias que este deslizamiento tendría, ni para considerar otras posibles causas de deslizamiento, como el factor humano relacionado a la informalidad de los botaderos.

Aguirre (2017) realizó la investigación titulada “Análisis de la estabilidad física del depósito de relaves N° 5 de la concesión de beneficio Belén de Minera Titán del Perú S.R.L.”. El objetivo fue determinar la influencia que tienen sobre la estabilidad física de la presa de relaves N° 5 de la concesión de beneficio Belén, los cambios realizados en el diseño de ingeniería original en cuanto al sistema de disposición de relaves y los parámetros de construcción. Se realizó una investigación descriptiva correlacional, la población son todos los depósitos de relaves emplazados en la concesión de beneficio Belén, de características similares, al depósito de relaves N° 5 en cuanto al diseño de ingeniería, para efectos del presente estudio todos los depósitos de relaves conformados con material de préstamo de cantera y con recrecimiento del dique por el método de línea central representan la población, es decir los depósitos de relaves N° 1, 2, 3, 4.1 y 5, el estudio se enfoca únicamente en la estabilidad física del depósito de relaves N° 5, el mismo que se encuentra operativo en la planta Belén por lo que el depósito de relaves N° 5 es la muestra de estudio. Como resultado se ha determinado que la profundidad de fundación promedio del dique de contención y vaso del depósito de relaves N° 5 es de 2.0 metros, en donde se ha podido encontrar gravas arenosas densas a muy densas, las cuales son adecuadas para

usarse como fundación. Se concluyó que los factores de seguridad obtenidos en la sección más vulnerable de deslizamiento adoptando la nueva configuración, son de 1.483 para condición estática y 1.076 para condición pseudoestática, considerando un coeficiente sísmico de 0.17 g, utilizando el método de análisis de Janbu simplificado, dichos valores son mayores al mínimo requerido por lo que la estabilidad física del dique del depósito de relaves está asegurada.

2.2 Bases teóricas – científicos

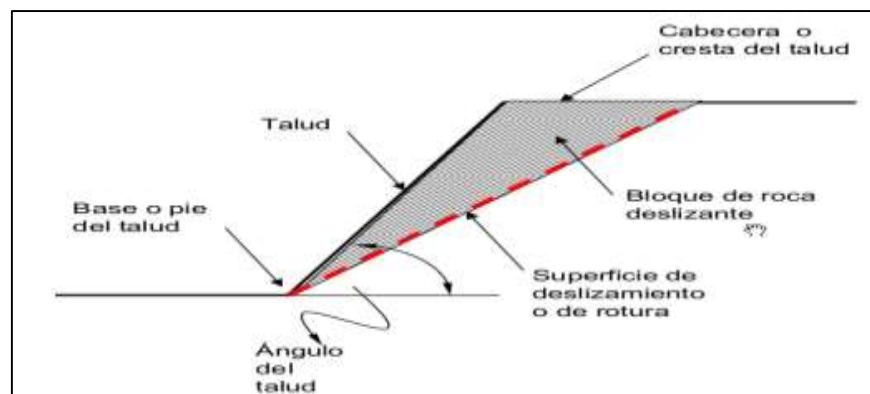
2.2.1 Estabilización de taludes

Para determinar la estabilidad de talud, la primera consideración es el reconocimiento del material que lo conforma, si es suelo, roca o relleno.

Considerar variadas opciones estructurales para la inclinación apropiada y contención del talud, asegurando la estabilidad física y la estabilidad de la cobertura, la otra consideración es el análisis de estabilidad física mediante software de modelamiento matemático que nos permita analizar diversos factores de seguridad para la masa de tierra, bajo condiciones estáticas y dinámicas.

Figura 1

Forma de un talud



Nota: Mogologolo (2015)

2.2.1.1 Diseño de talud con movimiento de tierra.

El movimiento de tierra para la conformación de taludes en el Depósito de Desmonte, tiene como actividades el corte y relleno del talud, lo que permitirá modificar su geometría logrando lo siguiente: reducir la altura del talud, tendido de ángulo de talud y excavación de banquetas.

Reducir la altura del talud. Cuando la componente gravedad es suficientemente grande ocurrirá la falla del talud por deslizamiento de masa, donde la fuerza actuante por el peso propio, vence al cortante resistente del suelo a lo largo de la superficie de falla.

Para estabilizar el terreno se debe reducir la altura del talud, esto permitirá reducir el peso sobre el terreno y así lograr la estabilidad del talud en el depósito de desmonte.

Tendido de ángulo de talud. Cuando la superficie de terreno con ángulo de talud inestable existe una componente de la gravedad que ocasionará el deslizamiento de la masa de suelo hacia el pie del talud.

El reducir el ángulo del talud permite la conformación de un nuevo ángulo del talud, lo que permitirá la estabilidad del depósito de desmonte. Estos taludes se generarán cuando se proyecte cortes de terreno o relleno del mismo.

Configuración por banquetas. La configuración de banquetas consiste en intersecar el talud inestable en una altura determinada por un plano horizontal con un ancho determinado, dividiendo el talud en dos zonas y tres probables configuraciones.

Con el movimiento de tierras para la estabilizar el talud, logramos extraer del depósito de desmontes un volumen de material que después

será rellenando al talud existente, para conformar una nueva superficie de talud estable en el Depósito de Desmonte Excélsior.

2.2.1.2 Estabilización de talud con estructuras de retención.

La configuración de un talud con pendiente restringida, se conformada artificialmente considerando los siguientes factores se tienen en consideración para seleccionar la estructura de retención:

Localización de la estructura de contención propuesta, su posición relativa con relación a otras estructuras y la cantidad de espacio disponible.

Altura de la estructura propuesta y topografía resultante.

Condiciones del terreno y nivel freático.

Volumen de movimiento del terreno aceptable durante la construcción, la vida útil de la estructura, y el efecto de este movimiento en muros vecinos, estructuras o servicios.

Disponibilidad de materiales.

Tiempo disponible para la construcción.

Apariencia.

Vida útil y mantenimiento.

2.2.1.3 Parámetros de resistencia de los materiales.

Los parámetros físicos y mecánicos de los materiales, resultados de los ensayos de laboratorio a los depósitos de desmontes, a considerar son:

Parámetros de resistencia cortante de los materiales.

Parámetros de resistencia de discontinuidades.

Parámetros de resistencia de los depósitos cuaternarios.

Parámetros de resistencia de la brecha.

Parámetros de resistencia cortante de los materiales. Los parámetros son determinados para los análisis con los criterios de rotura siguientes:

Criterio de Mohr-Coulomb, donde es necesario determinar la cohesión y el ángulo de fricción.

Criterio de Hoek y Brown, donde es necesario determinar las siguientes constantes, m, s, y a.

Parámetros de resistencia de la roca intacta. Si bien, los parámetros de resistencia cortante de la roca intacta no son utilizados en los cálculos del análisis de estabilidad de un macizo rocoso, es el fundamento para determinar los parámetros de resistencia cortante del macizo rocoso.

La resistencia a la compresión simple de la roca intacta se determina con el ensayo de carga puntual. El ensayo debe ser realizado siguiendo la Norma ASTM D-5731-08.

Parámetros de resistencia cortante del macizo rocoso. Existen muchos métodos para determinar la resistencia al corte de macizos rocosos sin necesidad de efectuar ensayos de corte en la muestra a gran escala, entre los principales se tiene los siguientes:

Clasificación geomecánica de Bieniawski (1979)

Sistema Q de Barton (1974)

Criterio empírico de Hoek y Brown

Se emplea la metodología de Bieniawski y mediante correlaciones y ecuaciones empíricas se obtiene los parámetros de resistencia según el criterio de corte que se emplea en el análisis.

El criterio de falla empleado básicamente está en función del software de análisis empleado; por ejemplo, para el análisis de equilibrio límite de falla global para la determinación del ángulo inter-rampa, se utilizará el programa SLIDE, donde es factible usar el criterio generalizado de Hoek y Brown para lo cual es necesario determinar las constantes m_b , s y a .

Clasificación geomecánica de Bieniawski (1989). El sistema de valoración del macizo rocoso, RMR (Rock Mass Rating), también conocido como clasificación geomecánica, fue desarrollado por el profesor Z.T. Bieniawski y considera cinco parámetros básicos.

Resistencia de la roca Intacta.

Designación de la calidad de la roca (RQD).

Espaciamiento de discontinuidades.

Estado de las discontinuidades.

Condiciones de agua subterránea.

Criterio de rotura lineal de Mohr-Coulomb. El criterio de rotura de Mohr-Coulomb, introducido por primera vez por Coulomb en el año 1773, inicialmente fue pensado para el estudio en suelos, es un criterio de rotura lineal. Esto indica, que la ecuación que define la superficie de fluencia es una ecuación lineal. Aunque el comportamiento de la roca en un ensayo triaxial no concuerda con un modelo lineal, el criterio de Mohr-Coulomb se sigue utilizando mucho por su sencillez y comodidad.

Generalmente para el caso del criterio de Mohr-Coulomb, se define el criterio de rotura en función de la tensión tangencial y la tensión normal en un plano.

Criterio de rotura no lineal de Hoek y Brown. El criterio de rotura de Hoek & Brown su versión original fue introducida en 1980 (Hoek y Brown, 1980a; Hoek y Brown, 1980b) desde entonces su uso se ha generalizado en el ámbito de la mecánica de rocas. El criterio ha sufrido varias modificaciones, así como la introducción de nuevos parámetros para definir el estado del material, y nuevas propuestas para obtener la caracterización del macizo, la última en 2002 (Hoek et al., 2002).

Se trata de un criterio no lineal, puramente empírico, que permite valorar, de manera sencilla, la rotura de un medio rocoso mediante la introducción de las principales características geológicas y geotécnicas.

Para el diseño de las voladuras, se recomienda considerar los siguientes parámetros de resistencia de los materiales, tal como se muestra en la tabla 1:

Tabla 1*Parámetros de resistencia de los materiales*

Parámetros	Diorita y Granodiorita	Andesita y Riolita
Valoración RMR (básico)	60	51
Índice de Resistencia Geológica GSI	55	46
Resistencia a la Compresión (MPa)		
Densidad (m ³ /t)		
Velocidad de ondas primarias Vp (m/s)		
Velocidad de ondas de corte Vs		
Módulo de Corte dinámico Gd (kN/m ²)		
Módulo de Elasticidad Dinámico Ed (kN/m ²)	1018775	

Nota: Fuente CESEL.

2.2.1.4 Parámetros de resistencia cortante en discontinuidades.

El criterio de falla empleado básicamente está en función del software de análisis empleado; para el análisis de equilibrio límite de falla por discontinuidades se utiliza el programa SWEDGE, y dado que utiliza el criterio de Mohr-Coulomb será necesario determinar la cohesión y fricción de las discontinuidades.

Existen muchas metodologías para cuantificar los parámetros de resistencia cortante de las discontinuidades, una de ellas es la relación

entre el ángulo de fricción total ($\phi + i$), la resistencia de la roca y la presión normal Barton (1976).

2.2.1.5 Parámetros de resistencia de los depósitos cuaternarios.

Los parámetros de resistencia del suelo son determinados a partir de las correlaciones existentes entre la gradación del material y los parámetros de resistencia.

2.2.1.6 Parámetros de resistencia de la brecha.

Los parámetros de resistencia de la brecha son determinados mediante el proceso del back análisis, para lo cual se ubica en la zona un talud conformado por la brecha que se mantiene estable; y en función de la granulometría del material se puede asumir conservadoramente un ángulo de fricción; con lo cual se obtiene una cohesión.

2.2.2 Análisis de estabilidad

Se deberán realizar metodologías físico-matemáticas, que permitan definir la estabilidad de taludes naturales y conformados determinando y comparando los esfuerzos de corte a lo largo de la superficie de falla con la resistencia cortante del suelo, sintetizando el análisis con factores de seguridad.

2.2.2.1 Criterios de falla.

El análisis de estabilidad de taludes se ha realizado considerando dos criterios de falla:

Análisis de falla por discontinuidades. El primero, falla por discontinuidades donde las proyecciones estereográficas se determinan el tipo de falla que puede existir (planar, por cuña o por volteo); los parámetros de resistencia cortante son las determinadas en las discontinuidades.

El análisis se realiza tomando de base las discontinuidades de las estaciones geomecánicas más representativas para cada sector en donde se realizarán cortes del macizo rocoso.

Análisis de estabilidad global (falla por el macizo rocoso). El segundo considerando que la falla atraviesa la roca intacta y las discontinuidades, este tipo de falla es válido para rocas fracturadas y los parámetros de resistencia son considerados los obtenidos para el macizo rocoso, este análisis es realizado para determinar el ángulo entre rampas.

En este análisis se considera que la falla atraviesa la roca intacta y las discontinuidades aleatoriamente y se considera un tipo de falla progresivo y no profundo, válido para rocas fracturadas.

Actualmente el método de análisis de estabilidad utilizado en nuestro medio es el método del equilibrio límite, el cual considera una superficie de falla que puede ser circular ó plana y divide esta superficie en varias dovelas, donde en cada una de éstas, se determina las fuerzas solicitantes y las fuerzas resistentes para compararlas y obtener un factor de seguridad.

2.2.2.2 Condición de análisis.

Análisis de estabilidad estática. Este análisis se refiere a la estabilidad de las estructuras proyectadas y la fundación sin considerar la acción sísmica. Los resultados de los análisis se presentan en términos de factor de seguridad utilizando la metodología del equilibrio límite. Estos análisis se pueden realizar tanto en esfuerzos efectivos como esfuerzos totales.

Análisis de estabilidad pseudoestática. El método consiste en calcular el factor de seguridad contra deslizamiento, cuando una fuerza horizontal es igual al producto del coeficiente sísmico por el peso de la masa potencial de falla, la cual es adicionada a las fuerzas estáticas ya existentes. En áreas alejadas, se utiliza los métodos pseudoestáticos con un coeficiente sísmico horizontal seleccionado sobre la base de la sismicidad de la zona.

En esta etapa del estudio, para el análisis pseudoestático se ha asumido un coeficiente sísmico de diseño de $\alpha=0.19g$.

Método de equilibrio límite. Las hipótesis del método de equilibrio límite son:

El suelo sigue una ley de comportamiento Mohr y la resistencia se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de deslizamiento.

El factor de seguridad (F.S.) de la componente cohesiva y friccionante del material es igual para todos los suelos involucrados en la superficie de deslizamiento y es el mismo para todas las dovelas.

Se debe verificar el equilibrio en cada dovela como para toda la masa del suelo potencialmente deslizante.

Para el análisis de estabilidad de taludes, se ha empleado el método simplificado de Bishop, debido a que en general, los valores de los factores de seguridad obtenidos mediante dicho método, para superficies de falla circulares, difieren en un 5% a 10% por defecto, es decir dando un margen conservador de seguridad de los valores obtenidos, empleando

métodos rigurosos de análisis tales como el de Spencer. Por tanto, para fines prácticos, el método simplificado de Bishop es satisfactorio.

El cálculo utiliza el método de las dovelas. Este método asume que no hay fuerzas de corte entre dovelas adyacentes y que la geometría de cada una queda definida por su altura (h), medida a lo largo de su línea central, su ancho (A_x) y por las inclinaciones de su base y de su parte superior, α y β , respectivamente.

El método satisface el equilibrio de fuerzas verticales para cada dovela. Este método satisface el equilibrio de momentos de toda la porción del talud susceptible de falla, tomados con respecto al centro de la superficie circular de falla analizada.

Análisis de estabilidad mediante el uso de un software. Los criterios utilizados en el diseño se basan en la aplicación de metodologías de análisis y diseño, para obras de ingeniería geotécnica. Las pruebas y ensayos para la obtención de la información de sitio y de los materiales existentes cumplen procedimientos estandarizados internacionalmente. Los criterios de diseño se basan en la aplicación de modelos, procedimientos de análisis y diseño que son actualizados permanentemente a la luz de los resultados obtenidos en proyectos similares.

En los análisis de estabilidad de taludes se considera un valor mínimo de Factor de Seguridad (F.S.) de 1.4 en la condición estática, sin sismo. Para la condición pseudo- estática se considera un coeficiente sísmico equivalente a 0.19 de la aceleración sísmica de diseño. El período

de exposición sísmica es de 500 años. El valor del Factor de Seguridad mínimo (F.S.) para la condición pseudo-estático es de 1.1.

Los criterios de estabilidad mencionados, aseguran un adecuado comportamiento de los taludes desde el punto de vista de la resistencia de los suelos y materiales involucrados, así como el nivel de deformación de los taludes ante un evento sísmico, condiciones recomendables para el extenso período de exposición sísmica.

Para el análisis de estabilidad de taludes se utilizará el programa que se describe a continuación:

Slide (Rocscience). Para el análisis de la estabilidad de taludes en general, se utilizará el software Slide (Rocscience), Canadá. Este es un programa de análisis de estabilidad de taludes completamente integrado, que permite desarrollar la geometría del talud interactivamente y la definición de los tipos y propiedades de los materiales de manera muy amigable para el usuario.

El análisis para calcular el factor de seguridad se lleva a cabo en forma bidimensional usando el concepto de equilibrio límite, aproximando el problema a un estado de deformación plana.

El programa tiene la opción de utilizar diferentes métodos de análisis de estabilidad de manera simultánea, sin embargo, para el presente análisis se ha utilizado el Método de Bishop Simplificado de dovelas para el cálculo de la superficie de falla. La superficie de falla crítica, definida como aquella que proporciona el menor factor de seguridad, es encontrada en forma interactiva modificando las condiciones de búsqueda de la

misma. Se evaluarán superficies de falla tanto circulares, como no circulares.

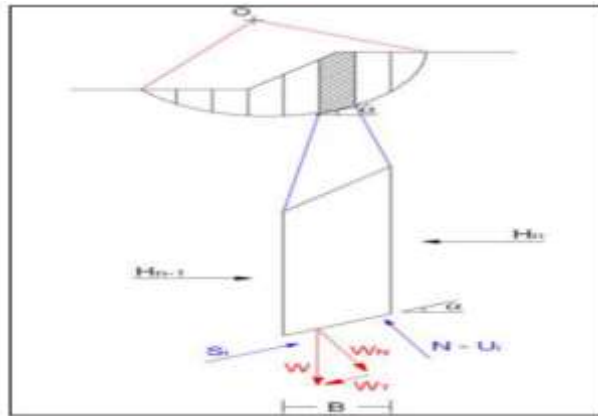
Como hipótesis del análisis se considera que las propiedades de los materiales que conforman las diferentes estructuras analizadas, son homogéneas e isotrópicas y que el colapso se produciría como resultado de fallas simultáneas a lo largo de la superficie de deslizamiento. Cada material tiene sus propiedades y características físicas y mecánicas. Para el análisis pseudo-estático se considera que la masa involucrada en la falla 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.

2.2.3 Método de Bishop simplificado

El método simplificado de Bishop (1955) es el método más aceptado, de forma general, para problemas geotécnicos debido a su diversa aplicabilidad y fiabilidad a roturas de tipo circular.

Dado que la metodología de las dovelas no tiene mucha precisión para suelos friccionantes, Bishop propuso otro método originalmente desarrollado para superficies circulares, el cual considera la condición de equilibrio entre las fuerzas de interacción verticales actuantes entre las dovelas. Como en los suelos que presentan fricción la resistencia cortante depende de los esfuerzos confinantes, al considerar la condición de equilibrio de fuerzas verticales (solamente se considera empuje horizontal), la determinación de las fuerzas normales se hace más precisa según muestra en la figura 2.

Figura 2
Formulación del método de Bishop Simplificado



Nota: tomado de José Ale, 2000

El cálculo del método original se basa en encontrar el equilibrio de momentos respecto al centro del arco circular que coincide con la superficie de desplazamiento; en la posterior versión modificada, se puede aplicar a superficies no curvas, teniendo que definir centros ficticios. Este es un método iterativo en el cual se parte de un Factor de Seguridad calculado de una superficie de falla dada.

$$FS = \frac{\sum [c.B + (W - u.B) \tan \phi / \tan ma]}{\sum w \sin \alpha}$$

Donde:

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

donde:

W : peso de la dovela

WN : componente normal del peso de la dovela

WT : componente tangencial del peso de la dovela

N : reacción normal del suelo sobre a dovela

u : presión de poros

Ui : fuerza producida por la presión de poros

B : base de la dovela

c : cohesión de suelo

ϕ : ángulo de fricción del suelo

α : ángulo de superficie de desplazamiento en la dovela

FS : factor de seguridad

2.2.4 *Factor de Seguridad*

Una definición del factor de seguridad contra la falla de un talud, es la del valor resultante de dividir la resistencia al corte disponible del suelo, a lo largo de una superficie crítica de deslizamiento, por la resistencia al corte requerido para mantener el equilibrio (Bishop, 1955).

Se define el factor de seguridad (Fs), como el valor que cuantifica la diferencia entre las condiciones reales que presenta el talud, y las condiciones que llevan a su rotura. El factor de seguridad es el coeficiente, mínimo de todos los coeficientes de seguridad asociados a todas las superficies de deslizamiento posibles.

La expresión del factor de seguridad viene dada por la expresión:

$$Fs = \frac{\int \tau_R \cdot ds}{\int \tau \cdot ds}$$

donde:

τ_R : es la resistencia al corte máximo que se puede movilizar a lo largo de la superficie potencial de deslizamiento.

τ : es la resistencia al corte movilizado a lo largo de la superficie potencial de deslizamiento.

ds: es la diferencial de longitud de la superficie de deslizamiento.

Definir el factor de seguridad con respecto a la resistencia al corte es lógico porque la resistencia al corte es la que realmente condiciona el resultado y a su vez tiene el mayor grado de incertidumbre (Melentijavic, 2005).

En general el factor de seguridad se define como:

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_m} = \frac{\text{Resistencia al corte del suelo}}{\text{Resistencia al corte movilizado}}$$

2.2.5 Estudios geotécnicos

Los estudios geotécnicos son fundamentales en cualquier proyecto a realizar en construcción. Para toda obra minera y civil, se considera el reconocimiento del subsuelo y la relación con respecto la obra proyectada.

2.2.5.1. Determinación de las Propiedades Físicas.

Según la clasificación científica de suelos, existen diversos métodos de clasificación. Los más usuales se basan en la granulometría y plasticidad de los suelos.

Existen dos tipos de clasificación de suelos: Sistema de Clasificación Unificada de Suelos, (USCS) y Método AASHTO, (Association of State Highway and Transportation Officials)

Para caracterizar un suelo, se determinan mediante pruebas de laboratorio de acuerdo al ASTM (American Society for Testing and Materials. (Rennat & Miller, 1997).

2.2.5.2 Plasticidad -Límites Atterberg- ASTM 04318.

Según su contenido de agua en orden decreciente, un suelo puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia, definido por Atterberg, (Juárez & Rodríguez, 2004).

Estado Líquido, con las propiedades y apariencia de una suspensión.

Estado semilíquido, con las propiedades de un fluido viscoso.

Estado Plástico, en que el suelo se comporta plásticamente.

2.2.5.3 Densidad: Método proctor estándar. Se emplea Mediante pruebas de compactación de suelos “método proctor estándar” ASTM D 698-91 y AASHTO T 99-90 generalidades. La compactación de suelos es el método que se usa para poder mejorar las características de este mismo evitando tener espacios vacíos.

2.2.5.4 Permeabilidad.

Es la facilidad con la que un fluido se mueve a través de un medio poroso. El permeámetro de carga constante (ASTM - 02434) es empleado para determinar la permeabilidad de suelos granulares, mientras que el permeámetro de carga descendente es más apropiado para suelos de baja permeabilidad. (Rennat & Miller, 1997).

La ley de Darcy, expresa la pérdida de carga. Expresa la facilidad con que el agua atraviesa el suelo, se expresa en cm/seg o m/día, se halla de la fórmula:

$$Q = q = K \cdot i \cdot A; \text{ (Ley de Darcy)}$$

K = Coeficiente de permeabilidad

q = Gasto de agua en cm/seg o caudal

i = Gradiente hidráulico = $\frac{h}{L}$

A = Área del suelo o sección de paso.

2.2.6 Investigaciones Geológicas y Geotécnicas

Las investigaciones geotécnicas en las áreas de los depósitos de desecho de mina deberían determinar la naturaleza de los depósitos de suelos: geología, historial reciente de deposición, erosión y consolidación; profundidad, espesor y composición de cada estrato de suelo significativo; ubicación de agua subterránea, presión de agua de poros, o condiciones artesianas; presencia de materiales de construcción adecuados.

Las investigaciones geológicas pueden incluir:

Informes geológicos regionales, mapas y fotografías aéreas,

Reconocimiento de campo y elaboración de mapas,

Evaluación geofísica,

Perforación exploratoria,

Fotografía de taladros,

Medición de condiciones de agua subterránea,

Pruebas de bombeo de agua subterránea,

Pruebas de laboratorio de muestras de rocas y suelos, incluyendo análisis mineralógicos.

Algunos detalles que se debe observar:

Evidencia de canales enterrados,

Evidencia de inestabilidad o colapso,

Cavernas producidas por la disolución de rocas;

Evidencia de perturbación tectónica reciente;

Evidencia de formaciones débiles tales como capas de bentonita, milonita, planos de cizallamiento.

El alcance de la investigación variará dependiendo de la altura del depósito y la complejidad del cimientó. Para todos los depósitos de desecho, se debería obtener información suficiente para: definir y evaluar la presencia de zonas débiles en los cimientos, determinar si el cimientó es lo suficientemente fuerte como para soportar los esfuerzos cortantes, y evaluar métodos de control de la percolación.

El primer paso en la investigación de cimientos debería ser realizar una evaluación de toda la minería subterránea previa y del carácter geológico general del sitio. El segundo paso debería ser efectuar unas cuantas perforaciones de exploración, ubicándolas después de realizar un examen detallado de las exposiciones de suelo y roca en el sitio. La investigación preliminar podría indicar que serían útiles evaluaciones geofísicas en una etapa temprana. Las calicatas y zanjas serían útiles para determinar la naturaleza de los suelos superficiales.

Las etapas subsiguientes dependerán del tamaño del depósito y del carácter del perfil del suelo. La importancia de la estructura y los resultados de las perforaciones exploratorias indicarán el alcance del programa de perforación detallado. En sitios donde el perfil del subsuelo es errático, será necesario definir el patrón de suelos distintos y las características de varios estratos. El examen con un penetrómetro cónico puede proporcionar una identificación rápida de la densidad de subsuelos.

Calicatas. Un método ventajoso para investigar materiales de préstamo es excavar calicatas con equipo móvil. Para proporcionar un sistema de sellado eficiente y drenaje interno para una presa de relaves, es necesario ubicar una fuente de material tanto impermeable como permeable. El muestreo y las pruebas deberían ser suficientemente extensos para confirmar una adecuada cantidad de

cada uno. Normalmente, las pruebas incluirían determinar el contenido de humedad in situ, gradiente, contenido óptimo de humedad, y densidad óptima para compactación de los materiales de préstamo, resistencia al corte, y permeabilidad de los materiales.

Registros. Los registros de investigaciones y muestreo de subsuelo forman el registro permanente empleado para analizar un lugar de depósito. Por lo tanto, es muy importante que las observaciones se hagan en forma minuciosa y precisa. Los registros no solo contienen datos requeridos para determinar el perfil del suelo y la ubicación de las muestras sino también observaciones de detalle que contribuyen a una apreciación de la condición de las muestras y de las propiedades físicas del suelo en el sitio. Un observador experimentado debería estar presente continuamente durante la perforación para supervisar el muestreo, preparar los registros y adaptar el programa de exploración a las condiciones encontradas.

Los observadores deberían realizar un esfuerzo especial para estandarizar la interpretación de los diversos materiales probados. Después de terminar la perforación se debería mantener actualizado el registro de muestras y preparar los registros en su versión final lo más pronto posible.

Muestreo. Uno de los propósitos primarios de las investigaciones de campo es obtener muestras de suelos para clasificación y pruebas de laboratorio. Las muestras son clasificadas generalmente de acuerdo a los procedimientos de muestreo. Una forma común de agruparlas es la siguiente: muestras de lavado, muestras disturbadas y muestras no disturbadas.

Las muestras de lavado consisten en virutas de taladro extraídas por el agua en circulación. Estas tienen la seria limitación de que mediante el lavado se

puede extraer algunos constituyentes minerales. No son adecuadas para la identificación positiva del suelo y para pruebas de laboratorio; sin embargo, a menudo permiten una clasificación preliminar del suelo y una determinación aproximada de la estratigrafía.

Las muestras disturbadas representativas se obtienen generalmente de muestras cuarteadas con cuchara o de virutas de taladro. Estas son adecuadas para pruebas de clasificación general e identificación del suelo, pero no son apropiadas para pruebas de resistencia. Comúnmente se emplea para indicar el contenido de agua, tamaño de grano, gravedad específica y límites Atterberg.

Las muestras no disturbadas requieren equipos especiales de muestreo y técnicas de perforación. Deberían ser selladas con cera en el momento en que se toma la muestra con el fin de prevenir la pérdida de agua durante el manipuleo y el almacenamiento y deben protegerse del congelamiento. Asimismo, se debe evitar que sean disturbadas durante el manipuleo.

Generalmente se despacha en tubos que deben estar en posición vertical dentro de contenedores especiales a prueba de golpes.

Las muestras no disturbadas son apropiadas para todas las pruebas de laboratorio.

La falta de uniformidad local considerable y la microestratificación de los relaves depositados conducen a una dispersión significativa de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio de los especímenes de relaves. Para obtener resultados significativos, se tendría que tomar un gran número de muestras no disturbadas. Es muy difícil tomar muestras no disturbadas en la profundidad del depósito, y debajo de la superficie freática se requiere equipos especiales ya que los relaves son no cohesivos.

El método de muestro a ser empleado depende de la naturaleza del terreno y del grado de disturbancia de la muestra que es aceptable. La frecuencia del muestreo depende de la variación en los materiales que están siendo penetrados, pero generalmente el muestreo es satisfactorio a intervalos de aproximadamente 1.5 m.

En ocasiones, es necesario el muestreo a intervalos más frecuentes o incluso en forma continua para examinar zonas más débiles o zonas de permeabilidad relativamente baja.

En suelos cohesivos, a veces se puede usar taladros secos no revestidos para pocas profundidades, pero generalmente se requiere estabilización con revestimiento o lodo de perforación cuando se va a obtener muestras de taladros profundos. Se obtiene muestras de arcilla o limo con tubos Shelby de paredes delgadas o muestreadores de pistón. Se necesita tener cuidado y experiencia para obtener buenas muestras en dicho material.

El muestreo en arena y grava generalmente requiere revestimiento o lodo de perforación para mantener los orificios de taladros abiertos. El revestimiento es llenado con agua para prevenir derrumbes y desplazamiento horizontal del material al fondo del barreno cuando se perfora debajo de la napa freática. Se puede obtener una muestra representativa de arena con muestreadores para cuarteado con cuchara, muestreadores de pistón y algunos tipos de muestreadores de tubos Shelby de paredes delgadas.

En suelos gravosos puede ser necesario muestreadores por tubo hincado de paredes gruesas o taladros cilíndricos.

Frecuentemente se emplea taladros de martillo impulsados por aire comprimido para explorar gravas y arenas. Las muestras obtenidas de la descarga

de tales máquinas son muy útiles para indicar la naturaleza del material al fondo del barreno, pero no pueden ser consideradas representativas debido a la degradación y a la segregación de partículas al ser transportadas hasta el revestimiento (casing).

Pruebas de Campo. Las pruebas efectuadas in situ son probablemente más representativas de la real condición del material de desecho que las pruebas de laboratorio en las muestras. Estas no se ven afectadas por los procedimientos de muestreo o por las pruebas de laboratorio y miden las propiedades reales in situ.

Se puede utilizar penetrómetros para probar la densidad y la resistencia al corte. Hay penetrómetros cónicos que pueden ser presionados por gatas hidráulicas, que también registran presión de poros y procesan automáticamente los resultados.

Con el fin de poder presionar en el penetrómetro desde una playa de relaves, donde la consistencia es suave, se puede utilizar pisos de madera para sostener las máquinas de ubicación o se puede hacer una carretera y una plataforma de geotextil cubiertos con un piso de arena y grava. Dicha plataforma puede también emplearse para otras pruebas in situ.

Se puede obtener en el campo estimados aproximados de la densidad relativa de suelos sin cohesión mediante la Prueba Estándar de Penetración (PEP). Esta se efectúa mediante un muestreador para cuarteado con cuchara cuyas dimensiones son de 1.375 pulgadas (3.5 cm) diámetro interno, 2 pulgadas (5 cm) diámetro externo, dentro del suelo, empleando un peso de 140 libras (63 kg) que caen de una altura de 30 pulgadas (76 cm).

El número de golpes que se necesita para operar la cuchara para muestras de 12 pulgadas (30 cm) se denomina la resistencia de penetración estándar (valor N) del suelo. Se ha desarrollado relaciones empíricas que permiten la correlación de la resistencia de penetración con la densidad relativa.

Con el objeto de evaluar la resistencia al corte in situ se emplea varios métodos para realizar pruebas de esfuerzo cortante de álabe y pruebas de penetración estática en taladros. Ocasionalmente, puede ser preferible efectuar en el campo una prueba estándar de corte a gran escala en cajas. Se coloca dentro de una caja una muestra de bloque de suelo o de roca y se aplica cargas verticales y horizontales. Entonces se obtiene la curva de desplazamiento de carga y se analiza como en la prueba de laboratorio.

Para determinar la permeabilidad de suelos en el campo se emplea comúnmente dos métodos: a) en la prueba de infiltración, se introduce el agua en un hoyo de perforación, pozo o calicata y se observa la tasa de percolación a una carga fija o variable. Una variación de esta prueba es bombear o desaguar el agua fuera del hoyo de perforación y medir la tasa de influjo. b) En la prueba de bombeo, el agua es bombeada desde un taladro o calicata a una tasa constante y se observa el descenso del nivel de la napa freática en los pozos colocados para este propósito en líneas radiales a varias distancias de la bomba.

Ambos métodos tienen la ventaja de efectuar pruebas del suelo in situ, de modo que los efectos de estructura natural, estratificación, orientación de los granos, y otras propiedades naturales se incluye en las pruebas. La prueba de bombeo es relativamente costosa para realizar. Para calcular la permeabilidad de los suelos están disponibles los métodos de cómputo.

Pruebas de laboratorio. Para caracterizar un material de desecho de mina, material de préstamo o suelo de cimentación, se debe determinar un número de características mediante pruebas de laboratorio. Estas características y las pruebas estandarizadas relacionadas de acuerdo con el ASTM (1996) son descritas en los párrafos siguientes.

Las pruebas de laboratorio de muestras de relaves no disturbados pueden ser muy difíciles debido a la naturaleza suelta y a la falta de cohesión de los relaves. Las muestras disturbadas, tomadas de un área extensa con el fin de que sean representativas, pueden ser reconstituidas a las densidades de campo y a los contenidos de agua, y pueden proporcionar los mejores resultados que se pueden obtener de las pruebas de laboratorio.

2.3 Definición de términos básicos

Altura de la escombrera

Es la diferencia entre la cota de coronación (cresta del talud) y la del punto más bajo de la superficie de una escombrera (pie del talud).

Caracterización geotécnica

Consiste en la identificación de las unidades geotécnicas en la zona de estudio como también la determinación del nivel de cimentación para el emplazamiento de las estructuras.

Capacidad de depósito de desmonte

Comprende la cantidad de material estéril que puede almacenar un depósito, también expresada en vida útil considerando la producción de mineral.

Compactación

Proceso mediante el cual un suelo disminuye el volumen y aumenta la densidad, al reducir su índice de poros.

Cresta del talud

Es la zona más elevada de la estructura resistente de la escombrera de estériles.

Deslizamiento

Proceso de inestabilidad producido en una escombrera debido a la baja resistencia al corte entre los materiales que conforman la escombrera o en el contacto con el terreno natural (cimienta).

Depósito de desmonte

El desmonte de mina o mineral de baja ley, es el material rocoso removido por medio de voladura en tajos o excavaciones subterráneas para poder exponer el mineral económico. En consecuencia, y en particular en el caso de operaciones de cielo abierto o tajos, el desmonte de mina es producido en grandes volúmenes, la mayoría de las veces mayores que los del propio mineral.

Ensayos de laboratorio

Son pruebas para hallar las propiedades mecánicas del terreno.

Escombrera

Toda aquella acumulación de materiales gruesos procedentes de monteras o recubrimientos estériles, rechazo de las instalaciones de machaqueo, excavación de galerías, etc.

Estabilidad de talud

El campo de la 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, siendo un aspecto directamente relacionado con la ingeniería minera geológica - geotécnica.

Factor de seguridad

Es la relación que existe entre esfuerzos cortantes últimos o resistentes y los esfuerzos cortantes actuantes o de diseño.

Muestra

Material de suelo o roca tomada con propósito de estudio en un laboratorio de mecánica de suelos.

Pasivo ambiental

Aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, que en la actualidad están abandonadas o inactivas y constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad.

Perfil estratigráfico

Es una gráfica donde se observa la secuencia de los estratos del suelo, a partir de los cuales se reconstruye la estratigrafía del subsuelo.

Pie del talud

Es la zona más baja perteneciente al talud.

Suelo

Es la asociación de materia orgánica, minerales y sedimentos relativamente cohesionados que se encuentran sobre una masa rocosa.

Talud

Es una superficie inclinada del suelo o un macizo rocoso. Los taludes pueden ser clasificados en taludes naturales, que básicamente son las pendientes naturales, y en taludes construidos que pueden ser los terraplenes o los cortes de terreno (Gerscovich, Vargas y de Campos, 2006)

Topografía

Contorno o geometría de la superficie de la tierra. Normalmente, se representa en un mapa mediante líneas que conectan puntos de igual altitud.

2.4 Formulación de Hipótesis

2.4.1 Hipótesis General

La Evaluación Geotécnica del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco, nos determinará la factibilidad para el cierre del pasivo ambiental minero.

2.4.2 Hipótesis Específicas

- a) La determinación de los parámetros geotécnicos del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco es factible.
- b) La evaluación de la estabilidad física del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco es factible.

2.5 Identificación de variables

Se identificó la siguiente variable:

2.5.1 Variable independiente

Evaluación Geotécnica. Es el proceso de analizar e interpretar las características y parámetros geotécnicos del comportamiento del terreno en relación con un proyecto.

2.5.2. Variable dependiente

Estabilidad física del botadero. Consiste en la renivelación y perfilamiento de áreas usadas por la actividad minera con el objetivo evitar de infiltraciones o erosión de la superficie.

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

Tabla 2
Operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Evaluación geotécnica	Es el proceso de analizar e interpretar las características y parámetros geotécnicos del comportamiento del terreno en relación con un proyecto.	Es el resultado de los ensayos realizados en el campo y laboratorio y luego se aplicaron las fórmulas correspondientes.	Parámetros geotécnicos	Ángulo de fricción Cohesión Peso específico	Ficha de Observación directa
Estabilidad física del botadero	Consiste en la renivelación y perfilamiento de áreas usadas por la actividad minera con el objetivo de evitar infiltraciones o erosión de la superficie.	Se establece con el acondicionamiento de la estructura mediante trabajos de cortes, relleno y cobertura los cuales garanticen estabilidad en función a sus características físicas y de resistencia	Estabilidad de taludes	Factor de seguridad. Análisis estático Análisis pseudoestático	Ficha de Observación directa

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de investigación

Corresponde a una investigación aplicada de tipo cuantitativo, porque solucionará problemas geotécnicos considerando características y propiedades de los materiales de la cimentación del área de emplazamiento de los depósitos de desmonte y estabilidad física del talud.

3.2 Nivel de investigación

La presente investigación es descriptiva dado a que se describe parámetros geotécnicos y se determine la estabilidad del depósito.

3.3 Métodos de investigación

En la investigación se aplicaron los métodos descriptivo, analítico y aplicativo, porque se realizaron descripciones de las características del terreno,

luego se analizó los resultados de los ensayos de laboratorio y campo para finalmente aplicarlo en la investigación.

3.4 Diseño de investigación

El diseño de investigación que se empleará es descriptivo no experimental, porque no existirá manipulación deliberada de la variable y sólo se observará el fenómeno en su ambiente natural para después analizarlos, considerando el siguiente diseño:



donde:

M_1 = número muestras tomadas

O_1 = información obtenida de parámetros geotécnicos

3.5 Población y muestra

3.5.1 Población

La población está representada el depósito de desmontes Excélsior que tiene un área de 69 hectáreas y se ubica en el distrito de Simón Bolívar, provincia de Pasco, departamento de Pasco, donde se realizará las investigaciones geotécnicas.

3.5.2 Muestra

La muestra representa las excavaciones geotécnicas que consistirán en ocho (08) calicatas y siete (07) trincheras, distribuidas estas convenientemente en los depósitos de desmontes Excélsior. En la toma de muestra se empleará el método no probabilístico.

3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para realizar las investigaciones geotécnicas y geológicas se utilizó las siguientes técnicas:

Revisión documental

Consiste en la búsqueda de información geológica y geotécnica del área de estudio

Observación de Campo

Tiene en cuenta los datos y observaciones de campo

Técnica de calicatas y trincheras

Se consideró todas las calicatas y trincheras con sus rotulados y sus coordenadas UTM para su identificación.

Técnica de Ensayos y pruebas in situ

Los instrumentos a utilizados son:

Guía de análisis documental

Descripciones de la geología y geotecnia del área de estudio.

3.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para proceder a la recolección de datos inicialmente se tuvo el permiso respectivo del responsable del proyecto. Luego que se aceptó la petición comenzando con la recolección de datos y consolidándolos en la tabla de recolección de datos. (Tabla 4, tabla 5, tabla 6, tabla 7, tabla 8, tabla 9, tabla 10, tabla 13, tabla 14, tabla 15, tabla 17, tabla 18)

Los datos obtenidos in situ serán el estudio topográfico, calicatas y trincheras, ensayos de suelos en campo y en laboratorio obtenidos de la toma de muestras.

Los datos serán ingresados al software Ms-Excel v. 2016 para el tratamiento estadístico. Para el análisis de estabilidad de taludes se utilizó el método simplificado Bishop para el análisis de talud tomando en cuenta las fuerzas entre dovelas. Además, todos los cálculos serán realizados utilizando el programa de cómputo Slide para el determinar el factor de seguridad y para evaluar los taludes permanentes se utilizó el análisis de equilibrio límite que establece la rotura del terreno.

3.8. Tratamiento estadístico

El análisis estadístico de esta investigación se realizó mediante cuadros de distribución de frecuencias, gráficos e interpretación de datos que muestren de manera detallada el análisis descriptivo de los resultados, a la vez se hizo uso de medidas de tendencia central y dispersión para mejorar la comprensión de los resultados, además también se hizo uso de la estadística inferencial para determinar los parámetros geotécnicos necesarios.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción del trabajo de campo

4.1.1 Geología del área de estudio

El depósito de desmonte Excélsior es un pasivo ambiental ubicado en Cerro de Paseo en las estribaciones occidentales de la Cordillera Central en la Sierra Central del Perú, a 1.2 km al sur oeste de la Ciudad de Cerro de Paseo, en el distrito de Simón Bolívar, provincia y departamento de Pasco, a 370 kilómetros de Lima y a una altitud de 4 266 m.s.n.m. (Ver en anexo 1 Plano de ubicación)

4.1.2 Geología regional

El área está constituida por rocas que van del periodo Paleozoico al Terciario, las rocas son de origen sedimentario, metamórfico y volcánico-sedimentario como es el caso de los volcánicos Rumiallana, tomada de INGEMMET del cuadrángulo 22-K. (Ver anexo 2 Plano de geología regional).

4.1.2.1 Grupo Excélsior (SD-e).

Esta unidad está compuesta por lutitas pizarrosas, filitas negruzcas y areniscas esquistosas. Esta secuencia presenta los efectos de un metamorfismo regional, conteniendo numerosos lentes de cuarzo, los cuales son de mayor espesor en los núcleos de los anticlinales.

Esta unidad representa a las rocas más antiguas del área de estudio infrayaciendo al grupo Mitu; sus horizontes presentan espesores variables. Se le considera una edad comprendida entre el Silúrico y el Devónico.

4.1.2.2 Grupo Mitu (Ps-m).

Este grupo está representado por un miembro de rocas clásticas rojizas de facies continentales, tales como areniscas, conglomerados y brechas volcánicas y por un miembro superior de rocas volcánicas que consisten en derrames lávicos de dacita y andesita con tonalidad gris verdosa que por intemperismo tornan a marrón, en la parte alta presentan también brechas y aglomerados volcánicos. El grupo Mitu tiene espesores variables con un promedio de 1000 metros, se le considera una edad perteneciente al periodo Pérmico superior. Esta unidad se encuentra infrayaciendo a la formación Chambará del grupo Pucará o en algunas zonas al grupo Pucará no diferenciado (TrJ-pu).

4.1.2.3 Formación Chambará (Tr-ch).

Esta formación es la base del grupo Pucará, consiste en una secuencia de calizas masivas, color gris azulino, con una superficie intemperizada de color amarillo cremoso, se distinguen nódulos de chert de formas irregulares o lentes paralelos a la estratificación.

La formación Chambará tiene horizontes con un espesor aproximado de 600 metros. Se le atribuye una edad perteneciente al periodo Triásico superior. Se encuentra suprayaciendo al grupo Mitu e infrayaciendo a la formación Aramachay también del grupo Pucará.

4.1.2.4 Formación Aramachay (Jr-a).

Esta formación se encuentra en la parte intermedia del grupo Pucará, se caracteriza por presentar calizas tabulares del orden menor de 15 cm, de color gris oscuro a bituminoso con niveles margosos y pelíticos negros con abundante material orgánico y presencia de fósiles que son la característica de esta unidad.

La formación Aramachay tiene horizontes con espesores pequeños relativamente, con una potencia promedio de 50 metros. Se le atribuye una edad perteneciente al periodo Jurásico inferior. Se encuentra suprayaciendo a la formación Chambará e infrayaciendo a la formación Condorsinga también del grupo Pucará.

4.1.2.5 Formación Condorsinga (Jr-c).

Esta formación se encuentra en el tope del grupo Pucará, está constituido por calizas grises en capas delgadas, ligeramente masivas bien estratificados con ciertas intercalaciones de calizas dolomíticas, esta unidad está en varios sectores fallada por estructuras regionales con dirección andina.

La formación Condorsinga tiene horizontes con espesores que varían alrededor de los 500 metros. Se le atribuye una edad perteneciente al periodo Jurásico inferior. Se encuentra suprayaciendo a la formación Aramachay e infrayaciendo al grupo Goyllarisquiza.

4.1.2.6 Grupo Goyllarisquizga (Ki-g).

Este grupo consiste en una secuencia clástica y calcárea, las rocas clásticas están compuestas por areniscas de color pardo amarillento con algunas intercalaciones de cuarcitas y lutitas grises y rojizas.

El grupo Goyllarisquizga tiene espesores que llegan a los 600 metros, esta unidad no presenta fósiles. En el área de estudio suprayace a la formación Condorsinga del grupo Pucará e infrayace a la formación Casapalca. Se le atribuye una edad perteneciente al periodo Cretáceo inferior.

4.1.2.7 Formación Casapalca (KP-ca).

Esta formación se constituye de conglomerados, lutitas, limolitas, areniscas de colores rojo ladrillo. Los conglomerados tienen clastos de calizas, areniscas rojas, intrusivas y esquistos subangulares; hacia el tope se observa predominancia de calizas blanquecinas con intercalaciones de areniscas conglomerádicas rojizas. Esta formación ha sido dividida en dos miembros:

El miembro inferior está constituido por lutitas rojas, areniscas semiconsolidas de color verde grisáceo a rojizo, conglomerados con varias capas y lentes de calizas.

Al miembro intermedio se le conoce como "Conglomerado Shuco", está constituido por conglomerados resistentes, con clastos de calizas, cuarcitas, chert, areniscas rojas y filitas; englobadas en una matriz calcárea brechada, los fragmentos presentan bordes subangulares de tamaños variables de unos pocos centímetros a cerca de 1.5 metros de diámetro, esta subunidad es la que aflora en el área de estudio.

Al miembro superior se le conoce como "Miembro Calera", este miembro presenta en la base margas y lutitas en estratos delgados, gradando a calizas y dolomías con nódulos de chert, y en la parte superior se compone de calizas y margas con intercalaciones de lutitas con estratificación delgada

La formación Casapalca presenta espesores variables, el miembro inferior varía entre los 300 y 330 metros, el miembro intermedio puede variar entre 150 y 200 metros de espesor, mientras que el miembro superior tiene un espesor que varía en los 60 y 65 metros. Esta unidad suprayace al grupo Goyllarisquizga e infrayace los Volcánicos Rumillana. Se le atribuye una edad comprendida entre el periodo Cretáceo superior y el periodo Terciario inferior.

4.1.2.8 Volcánicos Rumillana (Nm-r).

Estos volcánicos se ubican en el cuello volcánico del Yacimiento de Cerro de Pasco, es de color gris oscuro, constituido por fragmentos angulosos y subangulosos de caliza, filita y chert en 90% y roca ígnea porfirítica fuertemente alterada en 10%.

La abundancia relativa de los tipos de clastos varía de lugar y la matriz generalmente contiene material volcánico inconsolidado incluyendo cristales de biotita y plagioclasa cementados por calcita. Localmente se presenta finamente estratificado con algunos canales de estratificación cruzada, algunas veces masivo.

Esta formación se encuentra suprayaciendo a la formación Casapalca e infrayaciendo a los depósitos Cuaternarios. Se le atribuye una edad comprendida en el periodo Neógeno.

Los depósitos Cuaternarios del área a nivel regional son principalmente fluvioglaciares.

4.1.2.9 Depósitos Fluvioglaciares (Q-fg).

Los depósitos fluvioglaciares están distribuidos en varios sectores del área de estudio, su composición litológica es generalmente polimíctica, constituida por clastos de rocas volcánicas y sedimentarias de tamaño muy variable y matriz granuda; en algunas zonas se tiene clastos de areniscas, esquistos y cuarcitas de formas tabulares, subangulosas, con algunos clastos de rocas volcánicas distribuidas en matriz limoarcillosa y arenosa.

4.1.2.10 Rocas ígneas.

Los intrusivos que afloran en el área de estudio corresponden a cuerpos emplazados en forma de rocas plutónica e hipabisales localizados en diferentes épocas.

En la zona alta de la Cordillera Occidental y en los alrededores de Cerro de Pasco, se presentan grupos intrusivos menores de característica hipabisal relacionados a yacimientos hidrotermales que se distribuyen irregularmente a lo largo de la Cordillera Occidental y Oriental, denominados como stocks de alto nivel.

Estos stocks presentan tamaños que varían en 4 km² y 10 km², están distribuidos sobre áreas muy grandes instruyendo a rocas del periodo Terciario.

Los stocks son generalmente de forma tabular, presentando una estructura porfirítica con fenocristales de plagioclasa de 1 a 2 cm, la

presencia de cuarzo es común en granos redondeados; Sin embargo, muchos de ellos no tienen cuarzo visible, se observan hojuelas negras brillantes de biotita y cristales de hornblenda prismática.

La pasta es de grano fino y está compuesta por cuarzo, plagioclasa y feldespato alcalino; en los stocks del área, puede haber variabilidad en los fenocristales, pero la matriz es siempre la misma. Muchos de estos stocks se encuentran alterados por evidencias hidrotermales tomando un color blanco debido a la caolinización.

Específicamente en las cercanías de la unidad minera de Cerro de Pasco los intrusivos son de composición andesítica-dacítica (Nm-an,da), estos cuerpos intrusivos intruyen a los Volcánicos Rumillana, ubicado en Paragsha, al lado oeste del tajo de Cerro de Pasco, están cortados por diques de cuarzo monzonita que atraviesa la parte central del cuello volcánico, en la última etapa de pulsación estuvo acompañado de la actividad de alteración hidrotermal.

Figura 2

Columna litoestratigráfica del área de estudio a nivel regional

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOSTRATIGRAFICAS	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	ROCAS SÍNEAS	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
CUATERNARIO	CUATERNARIO	HOLOCENO	(Dep. Fluvioestuar)	Q-1g	Se reconocen litologías pedregales, constituida por bloques de rocas estratigráficas y sedimentarias de tamaño muy variable y matriz gruesa.			
		PLIOCENO	Formación Colón	Ep-1a	Conglomerados, limos, arenas, arcillas de color rojo ladrillo.			
		TERCIARIO	NEÓGENO	Volcánica Rumbona	Nm-1 r	De color gris oscuro, constituido por fragmentos angulosos y subangulosos de lavas, bloques de 10cm a 100cm y raras lapas porfíricas fuertemente alterada en 10%.	Ardèche, Zúñiga	Nm-1a, 1b
MESOZOICO	CRETÁCICO	SUPERIOR	Formación Colón	Ep-1a	Conglomerados, limos, arenas, arcillas de color rojo ladrillo.			
		INFERIOR	San. Guafarotayoga	St-g	Arenas de color pardo amarillento con algunas intercalaciones de arcillas y lutitas grises y rojas.			
	JURÁSICO	INFERIOR	Form. Cumbreaga, San. Pucara, Form. Aranzhuay	St-1	Litología gris en capas delgadas, fuertemente fracturada con fracturas orientadas en varias direcciones de fallas normales.			
				St-2	Litología color gris oscuro a amarillento con fracturas normales y puzosos negros.			
				St-3	Litología marfil, color gris azulado.			
TRIÁSICO	SUPERIOR	Form. Chumbaza	St-3b	Litología marfil, color gris azulado.				
PALEOZOICO	PERMIANO	SUPERIOR	San. Niza	Pi-1a	Arenas, conglomerados, lavas volcánicas, arenitas y arcillas con tonos de gris oscuro.			
	DEVÓNICO	INFERIOR	San. Tumbador	St-1a	Litología arenosa, bloques negrosos y arcillas arenosas.			

Nota: Elaboración propia

4.1.2.11 Geología Estructural.

El área fue controlada por una actividad discontinua de fallas mayores establecidas al final de la orogenia Paleozoica, consecuentemente a esta última orogenia, le sucedió el Cinturón Orogénico Mesozoico desplazando a la primera orogenia hacia el Oeste, creando a su vez cuencas sedimentarias con movimientos de fallas longitudinales denudadas en la corteza.

Fallas. Los episodios repetidos de plegamientos coaxiales es un indicativo fuerte de la deformación; el principal y máximo esfuerzo fue orientado de SO-NE, dando como resultado pliegues orientados de NO-SE, de orientación principal andina. Sin embargo, se ha reconocido tres fases de plegamiento caracterizado por un régimen compresional alternados con periodos de tensión a lo largo del eje SO-NE.

Estas estructuras de fallamiento dominante son de tendencia andina siendo paralelo al eje de plegamiento, que corta y divide los limbos del plegamiento, siendo fallas de alto ángulo. La red de fallas anastomosadas está bien desarrollada en la zona de Cerro de Pasco, estando asociada a una secuencia gruesa de calizas Triásicas y Jurásicas, una de las fallas es las de Cerro de Pasco que controla la estratigrafía Triásica, mostrando un desplazamiento sinextral.

La falla Cerro de Pasco se encuentra al NO de la ciudad de Cerro de Pasco, presenta una dirección N-S, alcanzando una longitud aproximada de 35 km. Esta falla corta a la formación Casapalca en varios sectores, se observa también pliegues apretados con tendencia andina, cortados por numerosas fallas transversales.

Esta falla Cerro de Pasco también corta al grupo Excelsior, el cual tiene numerosos pliegues de arrastre con un buzamiento fuerte, con tendencia andina, por lo tanto, se considera como un control estructural de la mineralización en la zona. Las fallas transversales tienen una dirección N60°0 seccionadas por las rocas Paleozoicas del grupo Excelsior, calizas Pucará del Triásico-Jurásico, el rumbo de estratificación es de N50°0, estando fracturadas por un stock dacítico-andesítico ubicado al Oeste de la falla de Cerro de Pasco.

Otra falla importante en la zona es la falla Sacrafamilia, esta estructura presenta una dirección N-S paralela a la falla de Cerro de Pasco, ubicada al oeste del yacimiento minero de Colquijirca. Esta falla tiene una longitud aproximada de 50 km, afectando a rocas del Cretáceo superior como la formación Casapalca y controla a los grupos Excelsior y Pucará,

al oeste de esta falla longitudinal se observa pliegues asimétricos de dirección andina.

En las cercanías de la falla se ubican pequeños stocks hipabisales de edad Neógeno como los Volcánicos Rumillana, siendo estas responsables de la mineralización existente en la zona de estudio; esta formación atraviesa formaciones 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 rumbo N-S, controla las rocas del grupo Pucará y Goyllarisquizga; pertenece a un sistema de fracturamiento que estuvo activo desde el Triásico hasta el Cretáceo superior.

Durante la tectogénesis andina, estas fallas se activaron nuevamente debido al levantamiento andino, ocasionando grandes movimientos verticales que pusieron en contacto a los grupos Pucará y Goyllarisquizga, considerándose un probable movimiento sinextral.

Pliegues. Las fuerzas orogénicas que actuaron en épocas Pre-Paleógeno y Paleógeno han plegado en forma intensa los sedimentos depositados en la zona de estudio y por la erosión posterior de las estructuras formados en una superficie ondulada de relieve suave casi peneplanizado. En el área de estudio se ha desarrollado un fuerte plegamiento tanto sinclinal como anticlinal con flexuramiento ocasionado por fuerzas compresivas.

4.1.2.12. Unidades geomorfológicas.

La geomorfología y la morfología del área de estudio es el resultado de los efectos degradatorios causados por los agentes de meteorización que han actuado sobre las unidades litológicas constituidas por calizas y en menor proporción por areniscas.

Dentro de los agentes meteorizantes que han tenido un papel predominante en el modelado actual del área ha sido la temperatura del medio ambiente, las precipitaciones pluviales, la escorrentía superficial y subterránea. En la zona de estudio se reconocen extensas áreas en las alturas andinas representadas por superficies de erosión a las que se denomina superficie Puna.

Las unidades geomorfológicas regionales que pueden encontrarse en el área de estudio son: la zona de altas cumbres, el relieve cordillerano y la superficie Puna.

Zona de altas cumbres. Corresponde a la parte más alta de la Cordillera Occidental, formando una línea de cumbres con dirección NO-SE que cruza el área. Se encuentra constituida por geoformas agreste de modelado glaciar. Estas cumbres constituyen las nacientes de varios ríos del área de estudio.

Relieve Cordillerano. Esta unidad se caracteriza por presentar un relieve caracterizado por tener una superficie de intensa erosión, laderas post-maduras y relativamente empinadas además de ríos moderadamente profundos.

Superficie Puna. Esta unidad es una superficie pobremente desarrollada, que no ha logrado ser peneplanizada por completo, la superficie se establece truncando los pliegues de la Tectónica Incaica que

afecta a los estratos Paleozoicos y Mesozoicos. En la zona de Cerro de Pasco esta superficie es madura y descansa sobre los esquistos del grupo Excélsior, así como en rocas Mesozoicas y pudiendo correlacionarse con una superficie Eocénica

4.1.3 Geología local

4.1.3.1. Litología.

El depósito de desmontes Excélsior está ubicado sobre andesitas y filitas, pudiéndose encontrar también en los alrededores calizas y conglomerados. Las unidades a las que pertenecen estas rocas pueden ser observadas en el anexo 2.

Andesitas y Dacitas. Constituyen la base norte de la desmontera Excélsior, no se observan afloramientos en el área de influencia y se les asigna una edad Neógena.

Filitas. Estas rocas metamórficas foliadas representan la base sur de la desmontera Excélsior y pertenecen a su vez al grupo Excélsior, sólo se observan pequeños afloramientos al sur del área de influencia, se les atribuye una edad entre el Silúrico y Devónico.

Calizas. Se ubican al este de la Desmontera Excélsior y pertenecen a la formación Chambará del grupo Pucará, en el área de influencia no se observan afloramientos, se les asigna una edad Triásica superior.

Conglomerados. Estas rocas sedimentarias clásticas se localizan al oeste de la desmontera Excélsior y pertenecen al miembro denominado "Conglomerado Shuco" de la formación Casapalca, se observan algunos afloramientos en el cerro Shuco, al lado oeste de la relavera Quilacocha; se les atribuye una edad comprendida entre el Cretáceo y el Paleógeno.

4.1.3.3 Depósitos Cuaternarios.

Los depósitos Cuaternarios a nivel local tienen origen eluvial, proluvial, deluvial, coluvio- aluvial y antropogénico, la columna estratigráfica del área local se muestra en la figura 3.

Figura 3

Columna litoestratigráfica del área de estudio a nivel local

ERA/TEMPO	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	SIMBOLO	DESCRIPCIÓN	ROCAS IGNEAS	SIMBOLO	DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	CUATERNARIO	NEOGENO	Dep. Antropogénico Transportado	Q-an-tr	Los depósitos Cuaternarios a nivel local tienen origen eluvial, proluvial, deluvial, coluvio aluvial y antropogénico			
			Dep. Antropogénico In Situ	Q-an-in				
			Dep. Eluvial	Q-el-el				
			Dep. Coluvio - Aluvial	Q-co-al				
			Dep. Deluvial	Q-de				
			Dep. Proluvial	Q-pr				
			Dep. Eluvial	Q-el				
TEROARIO	NEOGENO	PALOGENO				Andesita-Dalca	Nm-an, ds	Andesita-dalca a la parte en de grano fino y está compuesta por cuarzo, plagioclasa y feldespato alcalino.
MESOZOICO	CRETÁCICO	SUPERIOR	Form. Casapata	EP-ca	Conglomerado, lutitas, arenitas, areniscas de colores rojo ladrillo			
PALEOZOICO	DEVÓNICO	INFERIOR	Geo. Escobar	DE-e	lutitas pizarrosas, filitas negras y areniscas esquistosas			

Nota: Elaboración propia

Depósitos Eluviales (Q-el). Estos depósitos Cuaternarios, llamados también In Situ, se originan por la meteorización de las rocas, en este caso, estos depósitos principalmente se forman a partir de la

meteorización de las rocas ígneas y clásticas presentes en el área de estudio.

Depósitos Proluviales (Q-pr). Estos depósitos se encuentran en los conos de deyección de quebradas, se componen de fragmentos del tamaño de cantos, bloques subangulosos en matriz de limos arenosos con gravas; color marrón rojizo. Espesor 5 a 10 metros.

Depósitos Deluviales (Q-de). Estos depósitos se caracterizan por materiales que tapizan las laderas y colinas, están conformados por limos arenosos con gravas de forma angulosas a subangulosas.

Depósitos Coluvio-Aluviales (Q-co-al). Se observa afloramientos de conglomerado de la formación Casapalca en el lado oeste de los Depósitos Excélsior tal como se muestra en la figura 4.

Figura 4

Afloramientos de conglomerado de la formación Casapalca



Nota: Fuente: CESEL S.A.

Estos depósitos se encuentran en las quebradas, se constituyen de material de escombros constituidos por bloques de gravas, guijarros con clastos subangulosos a angulosos y matriz areno-limosa.

Depósito Antropogénicos (Q-an). Estos depósitos Cuaternarios están formados por acción del hombre como es el caso de del depósito de desmontes Excélsior propiamente dicho (Q-an-ex), algunas desmonteras ubicadas en las cercanías, la relavera Quiulacocha, entre otros. En el área se reconocen depósitos in situ (Q-an-in) y depósitos antrópicos transportados (Q-an-tr), tal como se muestra en la figura 7.

Figura 5

Depósitos antropogénicos del área de influencia



Nota: Fuente CESEL S.A.












4.1.3.4 Geomorfología y Morfología.

Morfológicamente el depósito de desmontes Excélsior es una meseta, presentando taludes estables y una superficie plana en la parte superior; geomorfológicamente podría decirse que se trata de una colina.

Entre las unidades geomorfológicas a nivel local destacan las altiplanicies, colinas, conos de deyección, laderas y quebradas. La figura 6 muestra las unidades geomorfológicas a nivel local. (Ver anexo 3 Plano de geología local)

Figura 6

Unidades geomorfológicas a nivel local

UNIDADES GEOMORFOLOGICAS		
UNIDADES	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCION LITOLOGIA
ALTIPLANICIES		Altiplanicies de gravas, arenas y limos (cuaternario)
		Altiplanicies de material antropogénico (cuaternario)
COLINAS		Colinas con basamento de conglomerados (cretaceo-paleogeno)
		Colinas de material antropogénico (cuaternario)
CONOS DE DEYECCIÓN		Conos de deyección de gravas y arenas (cuaternario)
LADERAS		Laderas con basamento de filitas (devónico)
		Laderas con basamento de calizas (triasico-jurasic)
		Laderas con basamento de conglomerados (cretaceo-paleogeno)
		Laderas con basamento de andesitas (neógeno)
QUEBRADAS		Quebradas de gravas y gujarros (cuaternario)
		Quebradas de material antropogénico (cuaternario)

Nota: Elaboración propia

Altiplanicies (Pinc). Se consideran altiplanicies a las zonas planas cuyas cotas se encuentran por encima de los 4000 msnm, estas unidades presentan pendientes muy suaves que van de 0 a 15%. Están constituidas

por gravas arenas y limos; estas superficies pueden presentar también material antropogénico como la relavera Quiulacochoa.

Figura 7

Altiplanicie antropogénica de la Relavera Quiulacochoa



Nota: Fuente CESEL S.A.

Conos de deyección (CDy). Se denominan conos de deyección a las áreas que presentan forma cónica ubicada donde desembocan las quebradas más amplias. Estas superficies tienen una pendiente entre ligera y moderada.

Colinas (Cln). Se considera colinas a las elevaciones de moderada magnitud que pueden observarse en el terreno, estas elevaciones varían de 30 a 300 metros. En el área de influencia de tienen basamento de conglomerados, así como también pueden estar compuesta de material antropogénico como la desmontera Excélsior.

Figura 8

Colina con basamento de conglomerados al lado oeste de la desmontera Excélsior



Nota: Fuente CESEL S.A.

Laderas (Ldr). Se consideran laderas a los flancos de las montañas por lo general las pendientes varían de medianas a fuertes. En el área de estudio tienen basamento de diferentes litologías como filitas, calizas, conglomerados y andesitas.

Figura 9

Laderas con basamento de calizas al lado este de la desmontera Excélsior



Nota: Fuente CESEL S.A.

Quebradas (Qd). Se consideran quebradas a las depresiones ocurridas por la erosión y entalle de los flujos de agua; las quebradas pueden tener flujos de agua estacionales y presentar materiales de diferente granulometría, especialmente gravas y guijarros.

4.1.3.5 Geodinámica Externa.

En el área de estudio se presentan procesos geodinámicos externos como es la erosión en forma de cárcavas, en surcos y laminar, se presenta también una zona de deslizamiento de material antropogénico (aluviones), caída de fragmentos de roca en algunas quebradas, además de meteorización en toda el área de influencia del depósito Excélsior.

Es importante destacar que en épocas antiguas hubo flujos hídricos provenientes de los nevados existentes en ese periodo, debido a esto se generaron depósitos fluvioglaciares a nivel regional; actualmente los nevados han retrocedido hasta desaparecer casi en su totalidad en la zona de Cerro de Pasco.

Figura 10

Lado Oeste del depósito Excélsior, con deslizamiento de material antropogénico



Nota: Fuente CESEL S.A.

A pesar que el depósito de desmonte Excélsior tiene buena estabilidad física en sus taludes, poblado de Champamarca podría estar en riesgo de colapso, en caso de un movimiento sísmico de gran magnitud o también en el caso de lluvias extraordinarias, debido a que se encuentra al pie de estos taludes.

Figura 11

El poblado Champamarca al pie del talud del depósito de desmontes Excélsior



Nota: Fuente CESEL S.A.

4.2 Presentación, análisis e interpretación de resultados

Para la evaluación geotécnica del depósito de desmonte se consideró la geometría del depósito. Los dos parámetros geotécnicos más importantes son la cohesión y el ángulo de rozamiento interno de los suelos en sus diferentes capas que fueron identificados a la hora de hacer el muestreo.

4.2.1 Parámetros geotécnicos del depósito de desmonte Excélsior

Se revisó la información de estudios geotécnicos realizados por CESEL en el desmonte Excélsior; también se realizó estudios geotécnicos complementarios según el programa de investigaciones geotécnicas que consistió en la inspección técnica en el perímetro del desmonte Excélsior, ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), excavación de calicatas, excavación de trincheras, ensayos de densidad de campo.

Exploración de campo. El programa de investigaciones geotécnicas consistió dentro del área de interés en la excavación de calicatas con muestreo de suelos, excavación de trincheras, ensayos de densidad de campo y ensayos de penetración dinámica ligera (DPL). Adicionalmente, se revisó la información de exploraciones de campo realizadas. (Ver ubicación Tabla 2)

Excavación de calicatas y trincheras. Las excavaciones geotécnicas complementarias consistieron en ocho (08) calicatas y siete (07) trincheras, distribuidas estas convenientemente en los depósitos de desmontes Excélsior (Ver ubicación Anexo 3). En cada una de las calicatas y trincheras se realizó el registro de excavación según la norma ASTM D-2488. Se tomaron muestras disturbadas de las excavaciones para la ejecución de los ensayos de laboratorio correspondientes, y para lo cual cada muestra fue identificada convenientemente y embalada en bolsas de polietileno siendo remitidas al laboratorio de mecánica de suelos.

Tabla 3*Resumen de calicatas y trincheras*

Referencia	Coordenadas (WGS 84)		Calicata	Prof. (m)	Total Nivel freático (m)	Muestras alteradas	
	Este (m)	Norte (m)					
Informe final Estudios Básicos Mayo 2008	360 621	8 817 998	C-5	0,5	0,3	1	
	360 647	8 818 100	C-6	0,8	0,5	1	
	360 626	8 818 415	C-7	1,9	1,6	1	
	360 577	8 818 599	C-8	1,6	0,6		
	360 654	8 818 764	C-9	1,8	N.A.	1	
	361 142	8 817 745	C-12	1,7	N.A.	1	
	360 900	8 817 548	C-13	2,6	N.A.	1	
	361 201	8 817 753	C-14	3,00	2,8		
	361 099	8817915	C-15	3,30	0,15	1	
	361 272	8818 110	C-16	2,50	1,00		
	360 906	8817611	TE-1	0,8	N.A.	1	
	360 645	8 818 198	TE-2	0,8	N.A.	1	
	360 707	8 818 738	TE-3	0,8	N.A.	1	
	Estudio Geotécnico Julio 2005	361 271	8 818213	TE-4	0,8	N.A.	1
361 121		8 817 762	C-1	2,0	2,0		
361 068		8 817 838	C-2	2,0	1,6	1	
361 080		8 818 018	C-3	2,8	2,5	1	
361 176		8818 115	C-4	3,0	2,8	1	
361 487		8 817 880	TR-1	0,5	N.A.	1	
361 084		8 817 597	CAL-1	2,0	N.A.		
360 771		8 817 754	CAL-2	1,2	1,0		
Estudio Geotécnico Mayo 2013		360 667	8 817 891	CAL-3	1,2	1,1	1
		360 659	8 818 330	CAL-4	1,0	1,0	1
	361 000	8 818 814	CAL-5	1,0	N.A.	2	
	361 429	8 818 316	CAL-6	1,2	1,0	1	
	361 303	8 818 190	CAL-7	1,1	0,95	2	
	361 054	8 817 975	CAL-8	2,5	N.A.	1	
	361 058	8 817 636	TRI-1	2,5	N.A.	2	
	360 813	8817811	TRI-2	3,0	N.A.	1	
	360 717	8817916	TRI-3	3,0	N.A.	1	
	360 711	8 818 335	TRI-4	3,0	N.A.	1	
360 975	8 818 741	TRI-5	3,0	N.A.	1		
361 406	8 818 347	TRI-6	3,0	N.A.	2		
361 031	8 817 767	TRI-7	3,0	N.A.	2		

Fuente: CESEL S.A. (N.A.: No alcanzado, porque no se encontró el nivel freático)

Ensayo de densidad de campo. El objetivo del ensayo fue determinar la densidad natural in situ. Se eligió el método Balón por la presencia de material granular. Este ensayo se realiza excavando un agujero de diámetro igual al anillo del equipo mediante una pala pequeña, obteniendo un agujero de profundidad de acuerdo al tamaño del material granular; el suelo excavado se pesa y, a la vez, se obtiene una muestra disturbada, y el volumen del agujero se calcula utilizando agua. Este ensayo se encuentra bajo la norma NTP 339.256 / ASTM D2167.

Cabe señalar que se realizó siete (07) ensayos de densidad natural en el interior de las trincheras. En la tabla 3 se muestra un resumen de los resultados de los ensayos realizados.

Tabla 4

Resumen de los ensayos de densidad de campo

Referencia	Ubicado sobre	Ensayo	Profundidad (m)	C.H. (%)	Densidad natural (g/cm ³)	Den sidad seca (g/cm ³)	
Informe final	TE-1	D-1	0,8	4	2,38	2,29	
	TE-2	D-2	0,8	6,2	1,80	1,69	
Estudios Básicos Mayo 2008	TE-3	D-3	0,8	3,3	2,23	2,13	
	TE-4	D-4	0,8	3,1	2,52	2,44	
	Estudio Geotécnico Mayo 2013	TRI-1	DE-1	2,5	8	2,55	2,36
		TRI-2	DE-2	3,0	8	2,14	1,98
TRI-3		DE-3	3,0	6	2,32	2,19	
TRI-4		DE-4	3,0	17	2,51	2,15	
TRI-5		DE-5	3,0	10	2,49	2,26	
TRI-6		DE-6	3,0	8	2,22	2,06	
TRI-7		DE-7	3,0	13	2,20	1,95	

Nota: Fuente: CESEL S.A

Ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL). Para estimar los parámetros de resistencia del suelo de fundación se ha ejecutado dieciséis (16)

ensayos de penetración dinámica ligera (DPL). Los sondeos se ubicaron cerca de las calicatas y trincheras alcanzando una profundidad máx. de 6,00 m.

El ensayo DPL (DIN 4094) se ha realizado en los suelos que permiten el ingreso de la varilla con la punta cónica hasta que exista un rechazo por presencia de gravas o bolones; el procedimiento del ensayo consiste en el hincado continuo en tramos de 10 cm de una punta cónica de 60° utilizando la energía de un martillo de 10 kg de peso, y que cae libremente desde una altura de 50 cm. Este ensayo permite obtener un registro continuo de resistencia del terreno a la penetración.

Los valores determinados con este ensayo fueron correlacionados con el valor N del ensayo SPT, estimándose así los parámetros físicos mecánicos del suelo.

El valor de N (SPT) es calculado a partir de la relación planteada por el Ing. A. Martínez V. en el XIII Congreso de Ingeniería Civil (Puno, 1990), la cual permite determinar el valor N cuando se utiliza penetrómetros de dimensiones y energía distinta.

Sobre la base de esta relación y una serie de registros recopilados de ensayos DPL y SPT, ejecutados en una misma zona para diferentes proyectos, se ha obtenido que el promedio del número de golpes para tres tramos de 10 cm de penetración, en el ensayo DPL, equivale al número de golpes para 30 cm de penetración en el ensayo SPT.

En las tablas 4 y 5 se muestran resumen de los ensayos DPL realizados y sus parámetros estimados, respectivamente.

Tabla 5

Resumen de los ensayos PPL

Referencia	DPL	Profundidad (m)	Coordenadas (WGS 84)	
			N(m)	E(m)
Informe final	DPL-6	6,6	360 578	8 818 018
	DPL-7	3,7	360 637	8 818 319
Estudios Básicos Mayo 2008	DPL-8	3,6	360 588	8 818 540
	DPL-9	3,8	360 586	8 818 679
Estudio Geotécnico	DPL-1	3,0	361 113	8 817 770
	DPL-2	1,3	361 063	8 817 849
Estudio Geotécnico complementario Julio 2005	DPL-3	2,7	361 076	8 818 013
	DPL-4	2,1	361 171	8 818 113
Estudio Geotécnico Mayo 2013	DPL-5	1,6	361 061	8 817 807
	DPL-6	1,6	361 018	8 817 944
	DPL-7	1,6	361 079	8 818 050
	DPL-8	1,5	361 159	8 818 130
	DPL-1	1,9	361 086	8 817 601
	DPL-2	5,8	360 815	8817816
	DPL-3	0,9	360 721	8 817 920
	DPL-4	7,7	360 651	8 817 882
	DPL-5	6,7	360 658	8 818 327
	DPL-6	1,5	360 995	8 818817
	DPL-7	3,8	361 429	8 818 322
	DPL-8	2,6	361 300	8 818 191
	DPL-9	2,4	361 057	8 817 980
	DPL-10	1,6	361 060	8 817 637
	DPL-11	6,8	360 815	8 817 816
	DPL-12	4,8	360 721	8 817 920
DPL-13	6,4	360 714	8 818 351	
DPL-14	5,9	360 984	8 818 750	
DPL-15	3,6	361 404	8 818 350	
DPL-16	2,3	361 036	8 817 772	

Nota: Fuente: CESEL S.A

Tabla 6

Resumen de parámetros de resistencia - Ensayo de DPL

Ensa yo	Prof. (m)	N (SPT)	Material	ø	c	γ (g/c m ³) Sec o	Humedad (%)	γ (g/cm ³) natura]
	0,50- 1,00	4	SE	23,9	0,00	1,59	24,0	1,97
DPL- 01	1,00- 1,50	4	GC	23,9	0,00	1,83	22,0	2,23
	1,50- 2,00	2	GC	35,0	0,00	1,88	22,0	2,30
	0,50- 1,00	1	GC	19,5	0,00	1,83	19,0	2,18
	1,00- 1,50	1	ML	0,00	0,07	1,35	19,0	1,61
	1,50- 2,00	1	ML	0,00	0,07	1,35	19,0	1,61
	2,00- 2,50	1	ML	0,00	0,07	1,35	19,0	1,61
DPL- 02	2,50 - 3,00	2	ML	0,00	0,15	1,35	19,0	1,61
	3,00- 3,50	4	ML	0,00	0,30	1,35	19,0	1,61
	3,50 - 4,00	1	ML	0,00	0,75	1,35	19,0	1,61
	4,00 - 4,50	8	ML	0,00	0,60	1,35	19,0	1,61
	4,50 - 5,00	1	ML	0,00	0,75	1,35	19,0	1,61
	5,00 - 5,50	1	ML	0,00	0,90	1,36	19,0	1,61
	5,50- 6,00	2	ML	0,00	0,75	1,35	19,0	1,61
DPL- 03	0,00 - 0,50	1	GC	32,3	0,00	1,86	11,0	2,06
	0,50- 1,00	5	ML	0,00	0,07	1,35	11,0	1,50
	1,00 - 1,50	1	ML	0,00	0,07	1,35	11,0	1,50
	1,50- 2,00	2	ML	0,00	0,15	1,35	11,0	1,50
	2,00 - 2,50	3	ML	0,00	0,23	1,35	11,0	1,50
	2,50- 3,00	4	ML	0,00	0,30	1,35	11,0	1,50
	3,00- 3,50	8	ML	0,00	0,60	1,35	11,0	1,50
	3,50- 4,00	1	ML	0,00	0,75	1,35	11,0	1,50
DPL- 04	4,00- 4,50	8	ML	0,00	0,60	1,35	11,0	1,50
	4,50 - 5,00	1	ML	0,00	0,83	1,35	11,0	1,50
		1						

	5,00-	1	ML	0,00	0,83	1,35	11,0	1,50
	5,50	1						
	5,50-	1	ML	0,00	0,90	1,36	11,0	1,51
	6,00	2						
	6,00-	1	ML	0,00	0,98	1,36	11,0	1,51
	6,50	3						
	6,50-	1	ML	0,00	0,98	1,36	11,0	1,51
	7,00	3						
	7,00 -	1	ML	0,00	0,98	1,36	11,0	1,51
	7,50	3						
	7,50 -	1	ML	0,00	1,05	1,36	11,0	1,51
	8,00	4						
	0,50-	1	GC-GM	32,3	0,00	1,86	9,00	2,02
	1,00	5						
	1,00-	6	GC-GM	26,0	0,00	1,83	9,00	1,99
	1,50							
	1,50-	5	GC-GM	25,0	0,00	1,83	9,00	1,99
	2,00							
	2,00-	2	GC-GM	21,3	0,00	1,83	9,00	1,99
	2,50							
DPL-	2,50-	4	GC-GM	23,9	0,00	1,83	9,00	1,99
05	3,00							
	3,00-	8	GC-GM	27,6	0,00	1,83	9,00	1,99
	3,50							
	3,50-	9	GC-GM	28,4	0,00	1,83	9,00	1,99
	4,00							
	4,00-	8	GC-GM	27,6	0,00	1,83	9,00	1,99
	4,50							
	4,50 -	7	GC-GM	26,8	0,00	1,83	9,00	1,99
	5,00							
	5,00-	1	GC-GM	30,5	0,00	1,84	9,00	2,01
	5,50	2						
	5,50-	1	GC-GM	29,8	0,00	1,84	9,00	2,00
	6,00	1						
	6,00-	1	GC-GM	29,1	0,00	1,83	9,00	1,99
	6,50	0						
	6,50 -	2	GC-GM	35,5	0,00	1,89	9,00	2,06
	7,00	1						
	0,50-	1	GM	32,9	0,00	1,86	16,0	2,16
	1,00	6						
DPL-	1,00-	1	GM	31,1	0,00	1,85	16,0	2,14
06	1,50	3						
	1,50-	2	GM	37,8	0,00	1,91	16,0	2,22
	2,00	6						
	0,50-	1	GP-GM	29,1	0,00	1,83	4,00	1,90
	1,00	0						
	1,00-	6	GP-GM	26,0	0,00	1,83	4,00	1,90
	1,50							
DPL-	1,50-	5	GP-GM	25,0	0,00	1,83	4,00	1,90
07	2,00							
	2,00-	4	GP-GM	23,9	0,00	1,83	4,00	1,90
	2,50							
	2,50-	1	GP-GM	32,3	0,00	1,86	4,00	1,93
	3,00	5						
	0,50-	1	GC-GM	34,0	0,00	1,87	12,0	2,10
	1,00	8						
	1,00-	4	SW-SM	23,9	0,00	1,70	12,0	1,90
	1,50							
DPL	1,50-	3	SW-SM	22,7	0,00	1,70	12,0	1,90
_08	2,00							

	2,00-2,50	7	SW-SM	26,8	0,00	1,70	12,0	1,90
	2,50-3,00	2	SW-SM	36,9	0,00	1,77	12,0	1,98
	0,50-1,00	4	GM	23,9	0,00	1,83	13,0	2,07
DPL-09	1,00-1,50	1	GM	32,9	0,00	1,86	13,0	2,10
	1,50-2,00	6	GM	32,3	0,00	1,86	13,0	2,10
	2,00-2,50	1	GM	32,9	0,00	1,86	13,0	2,10
	0,50-1,00	6	GM	32,9	0,00	1,86	13,0	2,10
DPL-10	1,00-1,50	1	GC	29,1	0,00	1,83	8,00	1,98
	1,50-2,00	0	GC	29,1	0,00	1,83	8,00	1,98
	ro.50-1,00	1	GC	34,5	0,00	1,88	8,00	2,03
		9	GC	34,5	0,00	1,88	8,00	2,03
		2	GC	38,7	0,00	1,92	8,00	2,08
		8	GC	38,7	0,00	1,92	8,00	2,08
		2	GC-GM	21,3	0,00	1,83	8,00	1,98
		3	GC-GM	22,7	0,00	1,83	8,00	1,98
		4	GC-GM	23,9	0,00	1,83	8,00	1,98
		3	GC-GM	22,7	0,00	1,83	8,00	1,98
		5	GC-GM	25,0	0,00	1,83	8,00	1,98
		7	GC-GM	26,8	0,00	1,83	8,00	1,98
DPL-11	3,50-4,00	7	GC-GM	26,8	0,00	1,83	8,00	1,98
	4,00-4,50	1	GC-GM	30,5	0,00	1,84	8,00	1,99
	4,50-5,00	2	GC-GM	30,5	0,00	1,84	8,00	1,99
	5,00-5,50	1	GC-GM	30,5	0,00	1,84	8,00	1,99
	5,50-6,00	8	GC-GM	27,6	0,00	1,83	8,00	1,98
	6,00-6,50	1	GC-GM	29,1	0,00	1,83	8,00	1,98
	6,50-7,00	0	GC-GM	29,1	0,00	1,83	8,00	1,98
		1	GC-GM	34,0	0,00	1,87	8,00	2,02
		8	GC-GM	34,0	0,00	1,87	8,00	2,02
		2	GC-GM	36,0	0,00	1,89	8,00	2,04
		2	GC-GM	36,0	0,00	1,89	8,00	2,04
		1	GC-GM	19,5	0,00	1,83	6,00	1,94
		1	GC-GM	19,5	0,00	1,83	6,00	1,94
		1	GC-GM	29,1	0,00	1,83	6,00	1,94
		0	GC-GM	29,1	0,00	1,83	6,00	1,94
DPL-12	1,50-2,00	9	GC-GM	28,4	0,00	1,83	6,00	1,94
	2,00-2,50	7	GC-GM	26,8	0,00	1,83	6,00	1,94
	2,50-3,00	4	GC-GM	23,9	0,00	1,83	6,00	1,94
	3,00-3,50	7	GC-GM	26,8	0,00	1,83	6,00	1,94
	3,50-4,00	6	GC-GM	26,0	0,00	1,83	6,00	1,94
	4,00-4,50	1	GC-GM	26,0	0,00	1,83	6,00	1,94
		0	GC-GM	26,0	0,00	1,83	6,00	1,94
		1	GC-GM	29,1	0,00	1,83	6,00	1,94
		0	GC-GM	29,1	0,00	1,83	6,00	1,94

	4,50 -	1	GC-	34,5	0,00	1,88	6,00	1,99
	5,00	9	GM					
	0,50-	1	SC-SM	19,5	0,00	1,59	17,0	1,86
	1,00							
	1,00-	1	SC-SM	30,5	0,00	1,60	17,0	1,87
	1,50	2						
	1,50-	3	SC-SM	22,7	0,00	1,59	17,0	1,86
	2,00							
	2,00-	9	SC-SM	28,4	0,00	1,59	17,0	1,86
	2,50							
	2,50-	6	SC-SM	26,0	0,00	1,59	17,0	1,86
	3,00							
DPL-	3,00-	6	SC-SM	26,0	0,00	1,59	17,0	1,86
13	3,50							
	3,50-	4	SC-SM	23,9	0,00	1,59	17,0	1,86
	4,00							
	4,00-	1	SC-SM	33,4	0,00	1,62	17,0	1,90
	4,50	7						
	4,50 -	9	SC-SM	28,4	0,00	1,59	17,0	1,86
	5,00							
	5,00 -	2	SC-SM	36,4	0,00	1,65	17,0	1,92
	5,50	3						
	5,50 -	1	SC-SM	31,7	0,00	1,61	17,0	1,88
	6,00	4						
	6,00-	1	SC-SM	30,5	0,00	1,60	17,0	1,87
	6,50	2						
	0,50-	1	GC	33,4	0,00	1,87	10,0	2,05
	1,00	7						
	1,00-	1	GC	32,3	0,00	1,86	10,0	2,04
	1,50	5						
	1,50-	1	GC	29,1	0,00	1,83	10,0	2,01
	2,00	0						
	2,00-	7	GC	26,8	0,00	1,83	10,0	2,01
	2,50							
DPL-	2,50-	6	GC	26,0	0,00	1,83	10,0	2,01
14	3,00							
	3,00-	8	GC	27,6	0,00	1,83	10,0	2,01
	3,50							
	3,50-	2	GC	35,0	0,00	1,88	10,0	2,07
	4,00	0						
	4,00-	1	GC	31,7	0,00	1,85	10,0	2,04
	4,50	4						
	4,50 -	1	GC	33,4	0,00	1,87	10,0	2,05
	5,00	7						
	0,50-	3	GP-GC	22,7	0,00	1,83	7,00	1,96
	1,00							
	1,00-	1	GP-GC	29,1	0,00	1,83	7,00	1,96
	1,50	0						
	1,50-	1	GP-GC	29,8	0,00	1,84	7,00	1,96
	2,00	1						
DPL-	2,00 -	1	GC	30,5	0,00	1,84	8,00	1,99
15	2,50	2						
	2,50-	1	GC	29,8	0,00	1,84	8,00	1,98
	3,00	1						
	3,00-	9	GC	28,4	0,00	1,83	8,00	1,98
	3,50							
	3,50-	3	GC	39,5	0,00	1,94	8,00	2,09
	4,00	0						
	0,50-	3	GM	22,7	0,00	1,83	18,0	2,16
	1,00							

DPL-16	1,00-1,50	4	GM	23,9	0,00	1,83	18,0	2,16
	1,50-2,00	9	GM	28,4	0,00	1,83	18,0	2,16
	2,00-2,50	1	GM	29,8	0,00	1,84	18,0	2,17

Nota: Fuente: CESEL S.A

Ensayos de laboratorio

Ensayos estándar. Se extrajeron veintinueve (29) muestras alteradas entre material de desmonte, excavación y cantera para la ejecución de los ensayos de laboratorio correspondientes, para lo cual cada muestra se identificó convenientemente y embolsó en bolsas de polietileno, y luego fueron remitidas al laboratorio. Se tomó una (01) muestra no disturbada de la calicata CAL-8, para realizar el ensayo de corte directo.

Con las muestras alteradas obtenidas de las excavaciones (calicatas), material de desmonte y material de cantera, se realizó los ensayos estándar de clasificación de suelos y de propiedades físicas que consiste en: análisis granulométrico por tamizado, límites de Atterberg y contenido de humedad.

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	ASTM D-422
Contenido de humedad	ASTM D-2216
Límites de Atterberg	ASTM D-4318
Clasificación SUCS	ASTM D-2487

Tabla 7

Resumen de los ensayos estándar de clasificación de suelos

Ubicación	Calicata/ Muestra	Profundidad (m)	Clasificación SUCS	Granulometría (%)			Límites (%)		C.H. (%)
				Finos	Arena	Grava	L.L.	L.P.	
Desmonte Excelsior	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-2/M-1	0,00 - 0,45	GC	17,7	25,9	56,4	27	18	7
	CAL-2/M-2	0,45 - 1,20	ML	79,6	9,90	10,5	16	13	19
	CAL-3/M-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-5/M-1	0,30-1,00	GM	22,6	34,4	43,0	36	28	16
	CAL-6/M-1	0,10-1,20	GP-GM	5,50	9,50	85,0	—	NP	4
	CAL-7/M-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-4/M-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

Nota: Fuente: CESEL S.A

Ubicación	Calicata/ Muestra	Profundidad (m)	Clasificación SUCS	Granulometría (%)			Límites (%)		C.H. (%)
				Finos	Arena	Grava	L.L.	L.P.	
	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

Nota: Fuente: CESEL S.A

Ensayos especiales

Ensayo de corte directo y compresión 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 e inalteradas, y la muestra inalterada se tomó en la calicata CAL-8.

La siguiente tabla presenta un resumen de los siete (07) ensayos realizados:

Tabla 8*Resumen de los ensayos de corte directo y compresión triaxial*

Ubicación	Sondeo (muestra)	Profundidad (m)	SUCS	Parámetros geotécnicos		Ensayo
				$\phi(^{\circ})$	C (kg/cm ²)	
Talud (km 1+300)	TRI-4 (M-1)	0,30-3,00	SC-SM	36,0	0,29	Corte directo
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	
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 (ϕ :6")
Talud (km 2+700)	TRI-7 (M-2)	2,50-3,00	GC-GM	39,1	0,00	Triaxial CU (ϕ :4")

Nota: Fuente: CESEL S.A

Ensayo de carga puntual. Este ensayo tiene como objetivo estimar la resistencia de la compresión simple de la roca intacta, para determinar los parámetros físicos mecánicos del macizo rocoso. El ensayo fue realizado en el laboratorio geotécnico de CESEL, según lo indicado en la norma ASTM D - 5731. Este ensayo consiste en comprimir la muestra de roca entre dos puntos situados en generatrices opuestas, realizando así la deformación y falla de la roca.

Tabla 9*Resultados de ensayos de carga puntual*

N° Ubicación	Calicata	Muestra	Tipo de roca	Dureza	Resistencia a la compresión simple (MPa)		
					Máximo	Mínimo	Promedio
1 Desmonte Excelsior	CAL-5	M-2	—	R2	21	2	8

Nota: Fuente: CESEL S.A

Ensayo de propiedades físicas de la roca. Adicionalmente, se efectuó el ensayo para determinar las propiedades físicas de la roca: gravedad específica, absorción (ASTM C - 9783) y densidad (ASTM D - 2937).

En la tabla 10 se presenta los resultados obtenidos en el laboratorio.

Tabla 10

Resumen de las propiedades físicas de roca

Nº	Ubicación	Calicata	Muestra	Tipo de roca	Absorción (%)	Densidad (g/cm ³)	Gravedad específica
1	Desmonte Excélsior	CAL-5	M-2	—	4,65	2,41	2,42

Nota: Fuente: CESEL S.A

4.2.2 *Análisis de la estabilidad física del depósito de desmonte Excélsior*

La estabilidad física implica el movimiento del material con el que está compuesto el depósito, mediante las actividades de corte y relleno, estos trabajos garantizarán la estabilidad física de manera duradera, todas las actividades de movimientos de tierra se realizaron en temporada seca.

Los factores geotécnico, hidrogeológico, geológico, topográfico, hidrológico y de sismicidad que influyen en la estabilidad física de los depósitos de desmonte son:

Presencia de afloramientos de agua sub-superficiales en la cimentación.

Presencia de capas de arcillas blandas en la cimentación, con comportamiento no drenado, debido a la presencia de rocas arcillosas como lutitas.

Topografía inclinada.

Presencia de fuertes precipitaciones en las estaciones lluviosas.

Zona de mediana sismicidad

En el sector Sur - Oeste en la zona de relaves previamente a la colocación de la cobertura

Se realizó un perfilado del terreno removiendo la bolonería hacia el pie de talud del cuerpo del depósito de desmonte, el que será utilizado como enrocado de fondo de cimentación del sistema de mejoramiento de suelos.

En esta margen, al pie del talud del depósito de desmonte hacia el depósito de relaves, el depósito de desmonte se asentó sobre material de relave, que como suelo de fundación tiene

una capacidad portante mínima, para lo cual se realizó el refuerzo del suelo de cimentación.

A continuación, se presenta los criterios utilizados para asegurar la estabilidad física de los diseños que se utilizaron para el cierre del depósito.

Estabilidad de taludes con aplicación de banquetas. Es un método en el que se usa el mismo material del depósito de desmonte, es decir se usa el material de corte como del relleno; este se llega a estabilizar físicamente, pues se quita la sobrecarga que genera un gran volumen de masa en la parte superior.

Las obras de estabilidad física comprende los trabajos de excavación masiva en material de desmonte y el relleno compactado con maquinaria, para obtener un talud de H:V=2:1 (26.57°) que responde a los análisis de estabilidad física del depósito de desmontes, de acuerdo a las condiciones de sitio tales como: material depositado, geología e hidrogeología y los parámetros geotécnicos del suelo del desmonte.

El depósito de desmonte Excélsior se ha dividido en 3 zonas claramente definidas:

Taludes

Accesos

Plataformas

Para el cual se han definido 2 ejes principales que van a definir los sectores donde se realizaron las obras de movimientos de tierra, tanto en corte y en relleno.

Eje 1:

El eje tiene una longitud de 3 560 m, cuyo perímetro rodea toda el área del depósito de

desmante. La progresiva 0+000 se encuentra ubicada en la parte noreste, inicia su recorrido en

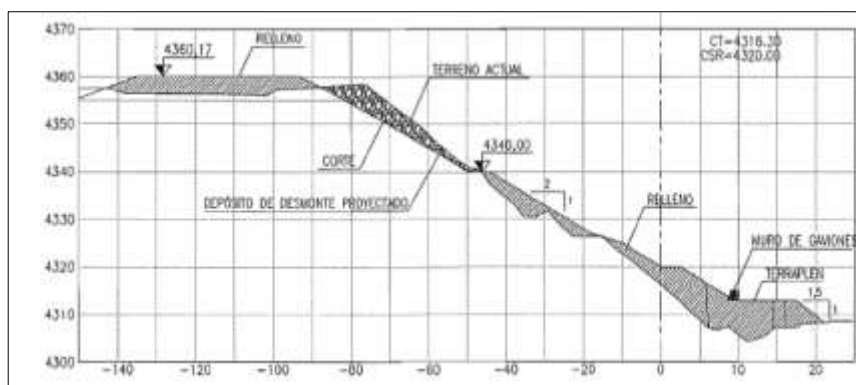
sentido anti horario hasta culminar en la progresiva 3+560, ubicado cerca a la progresiva de

inicio. (Ver Anexo 3)

El eje de corte y relleno hace su recorrido al pie de talud en la banqueta de cota 4320 m.s.n.m. de ancho 5 m. Tal como se muestra en la figura 12 la sección típica de corte y relleno

Figura 12

Sección típica de corte y relleno



Nota: Fuente CESEL S.A.

Con respecto a la sección transversal de la progresiva 0+200, para el sostenimiento del talud vertical se ha considerado un relleno adicional en el pie de talud hasta conformar una plataforma, en el cual se emplazará un sistema de suelo reforzado conformado por un muro de gaviones hasta alcanzar la línea del talud proyectado.

Eje 2:

El eje tiene una longitud de 2 343 m el perímetro de este eje rodea a la plataforma de cota 4360.17 m.s.n.m. La progresiva 0+000 se encuentra ubicada aproximadamente en la parte

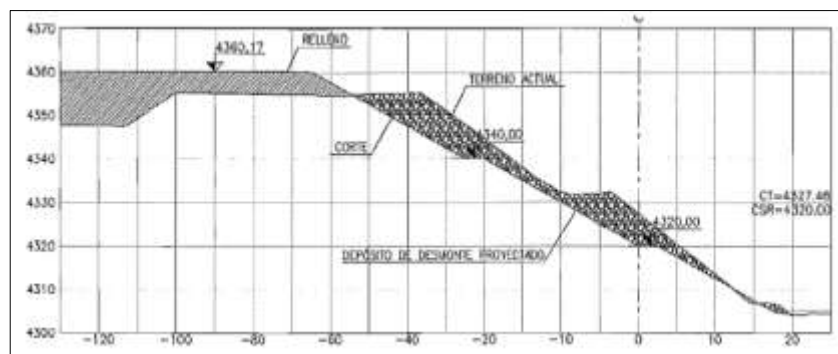
central del depósito e inicia su recorrido en sentido horario hasta culminar en la progresiva

2+343, ubicado cerca a la progresiva de inicio.

El eje de corte y relleno hace su recorrido al borde de talud en la plataforma de cota 4360.17 de área irregular. Como se muestra en la figura 15, la sección típica de corte y relleno.

Figura 13

Sección típica de corte y relleno



Nota: Fuente CESEL S.A.

Sistema de reforzamiento de suelos. Los sistemas de mejoramiento de suelos inestables consisten en la instalación de una capa de refuerzo (geomallas), para aumentar la capacidad de carga del talud los cuales son de buenas características rígido - flexurales cuya finalidad es de distribuir en un área mucho mayor las cargas transmitidas a la subrasante blanda.

Las geomallas son fabricadas partiendo de una lámina de polipropileno, la cual es perforada y estirada uniformemente para formar mallas con alta resistencia a la tensión y estructura continua.

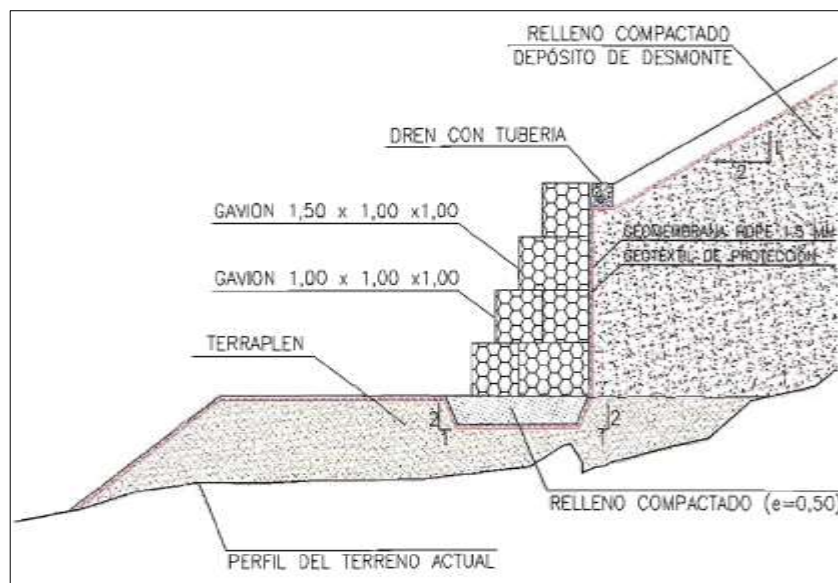
En el sector Sur - Oeste en la zona de contacto del depósito de Excélsior y el depósito de relaves Quiulacocha la geometría del depósito proyectado será reconformado con el material

propio del desmonte con actividades masivas de movimientos de tierras principalmente de relleno compactado, este material será depositado sobre el relave aplicando un sistema de mejoramiento de suelos que consiste en la colocación de una capa de geotextil no tejido de 203 gr/m² en el nivel del fondo junto con la colocación superior sucesiva de capas de geomallas uniaxiales de resistencias longitudinales a la tracción de 150 y 400 kN/m.

Muro de gaviones. En la zona Noreste aproximadamente entre las progresivas 0+150.00 y 0+200.00 del Eje 1, la chimenea existente de cota 4304.5 msnm se elevará hasta una cota aproximada de 4309 msnm, hasta este mismo nivel se conformará una plataforma con material seleccionado en capas de 0.30 m al 95% de la máxima densidad seca, sobre este nivel y por detrás de la chimenea se conformará una línea de gaviones de altura variable de 4 m y con una longitud de 67 m. Esta es una estructura flexible y tiene como función estabilizar el talud del material de relleno del depósito a conformar por encima de la línea de gaviones. La planta, perfil longitudinal y las secciones transversales se muestra en figura 1

Figura 14

Detalle del modelo del muro de gaviones



Nota: Fuente CESEL S.A.

Muro de contención. El muro de concreto armado tiene como función principal la protección de la población situado en el extremo nor oeste del poblado de Champamarca, su construcción es antes del inicio de las actividades masivas de movimientos de tierras, sirviendo de contención a las probables caídas de bolonerías que pudiesen ocurrir durante la construcción, salvaguardando la integridad de la población.

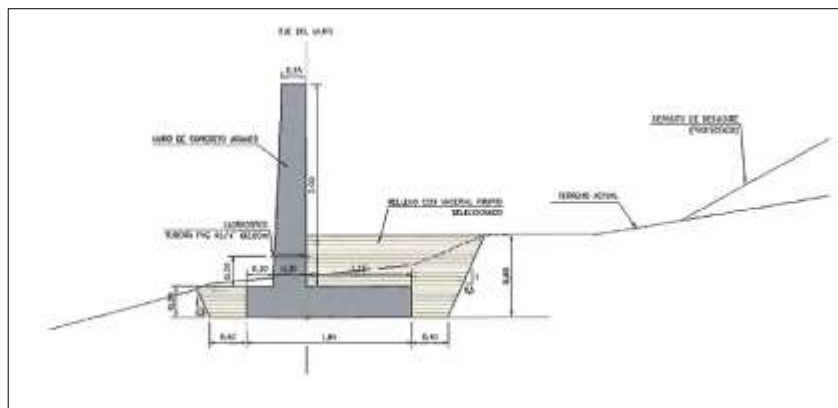
El muro de concreto armado es de tipo "voladizo", será instalado al pie de talud del depósito de desmonte, tiene de altura 2 m y una longitud 495 metros, con un espesor en la cúspide del muro de 25 cm.

El recubrimiento para concreto construido en sitio, colocado contra el suelo y expuesto

permanentemente a él es de 70 mm (Norma técnica de edificación E.060 concreto armado).

Figura 15

Detalle del modelo del muro de concreto armado



Nota: Fuente CESEL S.A.

4.2.3 Manejo de aguas y estabilidad hidrológica

La microcuenca Quiulacocha pertenece al sistema hidrográfico del río Mantaro y se encuentra ubicado a una altitud aproximada de 4300 m.s.n.m. Esta microcuenca tiene al río Ragra como tributario por la margen izquierda del río San Juan y tiene su desarrollo natural desde las divisorias de los ríos que drenan al río Huallaga hasta la boquilla de cierre de la ex laguna Quiulacocha 1.

El depósito de desmontes Excélsior se encuentra a una altitud aproximada de 4300 m.s.n.m. dentro de la microcuenca Quiulacocha.

Los caudales a drenar del depósito de desmontes Excélsior utilizaron los cálculos obtenidos en la evaluación hidrológica, datos que se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 11
Cálculo de los rendimientos para distintos tiempos de retorno

Tiempo de retorno (años)	Intensidad (mm/h)	Precipitación (mm)	Escorrentía (mm)	Gasto Unitario ("") (m ³ /s/mm/km ²)	Caudal Máximo (m ³ /s)	Rendimiento (m ³ /s/km)
10	12.54	21.69	3.29	0.1108	5.63	0.36
20	13.57	23.49	4.09	0.1108	7.00	0.45
25	13.93	24.10	4.38	0.1108	7.49	0.49
50	15.08	26.09	5.37	0.1108	9.17	0.59
100	16.32	28.25	6.51	0.1108	11.12	0.72
200	17.67	30.58	7.82	0.1108	13.37	0.87
500	19.63	33.97	9.85	0.1108	16.84	1.09

Nota: Fuente: CESEL S.A.

Las obras de arte ejecutadas como gaviones y muros de contención de la zona de estudio tendrán un periodo de diseño de 500 años, de acuerdo a lo requerido en el Plan de Cierre para las obras de este tipo. Por esta razón utilizaremos como rendimiento, el correspondiente a un tiempo de retorno de 500 años, el cual es 1.09 m³/s/km².

4.2.4 Evaluación geotécnica del perímetro del depósito de desmontes

Excélsior

Para evaluar se consideró lo siguientes resultados: geometría del talud, disposición de material, drenaje e inestabilidad potencial del talud, se estableció un eje con progresivas denominado "eje de evaluación" y se realizó la evaluación en todo el perímetro del depósito de desmontes Excélsior, tanto en el pie como en la corona del talud, y para tal fin se efectuó fichas de caracterización en los siguientes tramos:

Tabla 12*Tramos caracterizados*

N°	Tramo	Descripción
1	0+00- 0+250	<p>Pendiente de talud 1:1,42 a 1:1,67 (v:h), altura total de talud 54m, altura de 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, bolones 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", bolones 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.</p>
2	0+250 - 0+500	<p>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.</p> <p>Corona: Material de desmonte de mina, color beige a plomo, compacidad compacto, húmedo, bolones de tamaño máximo 6" y bloques de tamaño máximo 30". Talud: Material de desmonte de mina, color beige a plomo, compacidad muy compacto, 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.</p> <p>Pie de talud: El material superficialmente contiene grava a 1,50m, compacidad suelto, 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. Problemas Geotécnicos: Inestabilidad potencial del talud (progresiva 0+450)</p>

3	0+500 - 0+600	<p>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, último interbanco altura de 25m, ancho de bancos de 5m a 30m.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>
4	0+700- 0+800	<p>Pendiente de talud 1:1,42 (v:h), altura total de talud 65m, altura de 1er, 2do y 3er banco es 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".</p> <p>Talud: El material está constituido por 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.</p> <p>Pie de talud: El material está constituido por desmonte de mina, compacidad muy suelta a suelto, muy húmedo a saturado, en la foto 2 se observa la filtración de aguas causando empozamiento.</p>
5	0+800 - 0+900	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>

6	0+900 - 1+200	<p>Pendiente de talud de 1:1.4 (v:h), altura total de talud 50m, no presenta Inter bancos. 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.</p> <p>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.</p>
7	1+200- 1+300	<p>Pendiente de talud de 1:1.42 (v:h), altura total de talud 60m, altura de 1er Inter banco de 45m., ancho de banco de 6m. a 9m.</p> <p>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.</p> <p>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:</p>
		<p>Inestabilidad potencial del talud (progresiva 1+300)</p>
8	1+400- 1+800	<p>Pendiente de talud de 1:1.42 (v:h), altura total de talud 62m, altura de 1er Inter banco de 47m., ancho de banco de 7m. a 9m.</p> <p>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 de tamaño máximo 30", el</p> <hr/> <p>material presenta proceso de oxidación.</p> <p>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 60", también</p>

		<p>presenta aguas superficiales con caudal bajo. Problemas Geotécnicos:</p> <p>Inestabilidad potencial del talud (progresiva 1+700)</p>
9	1+800- 2+100	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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:</p> <p>Inestabilidad potencial del talud (progresiva 1+900)</p>
10	2+200 - 2+600	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>Pie de talud: El material predominante es desmonte de mina, compacidad medianamente compacta a compacto, húmedo, la foto 2 se observa el empozamiento de agua contaminada, presenta superficialmente bloques de tamaño máximo 12" a 50".</p> <p>Problemas Geotécnicos:</p> <p>Inestabilidad potencial del talud (progresiva 2+400)</p>

11	2+700 - 2+850	<p>Pendiente de talud entre 1:1,42 (v:h), altura total de talud 53m, no presenta Inter banco.</p> <p>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.</p> <p>Pie de talud: El material predominante terreno natural, compacidad medianamente compacta a compacto, húmedo, presenta superficialmente bloques de tamaño máximo 15" a 50". Problemas Geotécnicos:</p> <p>Inestabilidad potencial del talud (Progresiva 2+800)</p>
12	2+900 - 3+100	<p>Pendiente de talud entre 1:0,6 (va), altura total de talud 40m, no presenta Inter banco. Corona: Material de desmonte de mina, color plomo, compacidad muy compacta, húmedo, no presenta fisuras.</p> <p>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.</p>

Tramo	Descripción
	<p>Pie de talud: El material predominante es desmonte de mina, compacidad medianamente compacta a compacto, húmedo, presenta superficialmente bloques de tamaño máximo 15" a 30". Problemas Geotécnicos:</p> <p>Inestabilidad potencial del talud (Progresiva 2+950)</p>

13	3+200 - 3+400	<p>Pendiente de talud entre 1:1,42 (va), altura total de talud 27m, no presenta Inter banco.</p> <p>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", bolones de tamaño máximo 10", bloques de tamaño máximo 40" el material presenta proceso de oxidación.</p> <p>Pie de talud: El material predominante es desmonte de mina, compacidad medianamente compacta a compacto, húmedo, presenta superficialmente bolones de 10" y flujo de aguas superficial.</p> <p>Problemas Geotécnicos:</p> <p>Inestabilidad potencial del talud (Progresiva 3+350)</p>
14	3+400 - 3+800	<p>Pendiente de talud entre 1:1,6 (v:h), altura total de talud 25m, no presenta interbanco. 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", bolones de tamaño máximo 10", bloques de tamaño máximo 40" el material presenta proceso de oxidación.</p> <p>Pie de talud: El material predominante es desmonte de mina, compacidad medianamente compacta a compacto, húmedo, presenta superficialmente bolones de 10". Ver Anexo 3</p>

Nota: Fuente: CESEL S.A.

4.2.5.1 Descripción estratigráfica del depósito de desmonte Excélsior.

Con el fin de referenciar la evaluación geotécnica se dispuso de un eje denominado eje de evaluación a lo largo del pie de talud del depósito de desmontes Excélsior.

Sobre la base de los registros de calicatas, ensayos de laboratorio, registros de se ha elaborado los perfiles estratigráficos del depósito de desmontes Excélsior en las siguientes progresivas del eje de evaluación:

Sección 1, km 0+450. Ubicada con coordenada referencial de 360 975 E, 8 818 741 N, el perfil estratigráfico está conformado por grava

arcillosa con arena (GC), de color pardo, beige a amarillo, húmedo, muy compacto, no plástico, de grava de tamaño máximo de 3" de forma angular a subangular, alargada y achatada; presenta proceso de oxidación en todo el estrato de la calicata.

Según el ensayo DPL-14, realizado en el talud, se infirió valores de Nspt, presentando la siguiente compacidad: de la superficie a 3,00 m de profundidad, el talud presenta una compacidad medianamente compacta; de 3,00 a 3,90 m de profundidad muy compacto, y rechazo a 3,90 m donde se infiere presencia de bloques o bolones. Para el análisis de estabilidad se considera la densidad húmeda (densidad de campo) igual a 2,49 g/cm² estimada a una profundidad de 3,00 m.

Así mismo, en el pie de talud se encontró material de relave, de compacidad medianamente compacto a compacto. Del ensayo DPL-06 se infirió los valores de Nspt presentando la siguiente compacidad: hasta los 1,5 m de profundidad, el material muestra compacidad medianamente compacta, obteniendo rechazo a la misma profundidad.

La composición granulométrica del material de desmonte es el siguiente: (Ver anexo 4)

Bloques: 5%

Bolones: 15%

Gravas: 80%

Sección 2, km 1+300. Ubicada con coordenada referencial de 360 711 E; 8 818 335 N, está conformado por material de arena limosa arcillosa con grava (SC-SM), de color pardo beige claro, muy húmedo,

medianamente compacto, de grava de tamaño máximo de 2" de forma angular a subangular, achatadas y alargadas.

De acuerdo al ensayo DPL-12, realizado en el talud, se infirió los valores de N_{spt} presentando la siguiente compacidad: hasta 3,00 m de profundidad en el talud, el material arenoso es de compacidad suelta; para el análisis de estabilidad se considerará la densidad húmeda (densidad de campo) de 2,51 g/cm³, tomado a 3,00 m de profundidad. En el pie de talud presenta material de relave, compacidad muy suelta a suelta, saturado; muestra superficialmente bloques de tamaño máximo desde 12" hasta 50"; se observa presencia de aguas superficiales con caudal bajo. Del ensayo DPL-15 se infirió los valores de N_{spt} presentando las siguientes compacidades: hasta los 5 m de profundidad, el material muestra compacidad suelta: desde 5 hasta 6,70 m de profundidad medianamente compacto.

La composición granulométrica del material de desmonte es el siguiente:

Bloques: 10%

Bolones: 20%

Gravas: 70%

Sección 3, km 1+700. Ubicada con coordenada referencial de 360 717 E; 8 817 916 N, grava limosa arcillosa con arena (GC-GM) de color pardo marrón beige oscuro, húmedo, medianamente compacto, grava de tamaño máximo de 3" de forma angular a subangular, alargada y achatada.

De acuerdo al ensayo DPL-12, realizado en el talud, se infirió los valores de N_{spt} presentando las siguientes compacidades: hasta 3 m de

profundidad presenta compacidad suelta; de 3 m a 5 m de profundidad medianamente compacto. Para el análisis de estabilidad se considerará la densidad húmeda (densidad de campo) de 2,32 g/cm² tomado a 3,00 m de profundidad.

En el pie de talud muestra material de relave, compacidad muy suelta a suelto, saturado; presenta superficialmente bloques de tamaño máximo desde 20" hasta 60"; también muestra aguas superficiales con caudal bajo. Del ensayo DPL-04 se infirió los valores de N_{spt} presentando las siguientes compacidades: hasta los 7,7 m de profundidad, el material posee compacidad suelta a medianamente compacto.

La composición granulométrica del material de desmonte es el siguiente:

Bloques:	10%
Bolones:	30%
Gravas:	60%

Sección 4, km 1+900. Localizada con coordenada referencial de 360 813 E; 8 817 811 N, grava limosa arcillosa con arena (GC-GM), color pardo marrón y amarillo, húmedo, medianamente compacto, de grava de tamaño máximo de 2" de forma angular a subangular, achatada y alargada, el material presenta proceso de oxidación.

Según el ensayo DPL-11, realizado en el talud, se infirió los valores de N_{spt} mostrando las siguientes compacidades: hasta los 4 m de profundidad, el material presenta compacidad suelta: desde 4 hasta 6,8 m de profundidad medianamente compacto. Para el análisis de estabilidad se

considerará la densidad húmeda (densidad de campo) de 2,14 g/cm², tomado a una profundidad de 3,00 m.

En el pie de talud posee material de relave, compacidad muy suelta a suelto, saturado; muestra superficialmente bloques de tamaño máximo desde 20" hasta 40"; se observa agua superficial con caudal bajo. Del ensayo DPL-02 se infirió los valores de N_{spt} presentando la siguiente compacidad: hasta los 5,8 m de profundidad, el material tiene compacidad suelta.

La composición granulométrica del material de desmonte es el siguiente:

Bloques: 20%

Bolones: 20%

Gravas: 60%

Sección 5, km 2+400. Ubicada con coordenada referencial de 361 058 E; 8 817 636 N, grava arcillosa con arena (GC), color pardo marrón amarillo, húmedo, muy compacto, grava de tamaño máximo de 3" de forma subangular a angular, alargada y achatada. Presenta proceso de oxidación del material en todo el estrato.

De acuerdo al ensayo DPL-10, realizado en el talud, se infirió los valores de N_{spt} mostrando las siguientes compacidades: hasta los 1,6 m de profundidad, el material tiene compacidad muy compacta. Para el análisis de estabilidad se considerará la densidad húmeda (densidad de campo) de 2,55 g/cm², tomado a una profundidad de 2,50 m.

En el pie de talud, el material predominante es desmonte de mina, de compacidad medianamente compacta a compacto, húmedo; presenta

superficialmente bloques de tamaño máximo desde 12" hasta 50". Del DPL-01 se infirió los valores de Nspt mostrando una compacidad medianamente compacta obteniendo rechazo a 1,90 m., se infiere presencia de bloques o bolones.

La composición granulométrica del material de desmonte es el siguiente:

Bloques: 20%

Bolones: 30%

Gravas: 50%

Sección 6, km 2+800. Localizada con coordenada referencial de 361 031 E; 8 817 767 N, grava limosa con arena (GM), color pardo amarillo, húmedo, grava de tamaño máximo de 3" de forma angular a subangular y achatadas.

Según el ensayo DPL-16, realizado en el talud, se infirió los valores de Nspt presentando las siguientes compacidades: hasta los 2,3 m de profundidad, el material presenta compacidad medianamente compacta. Para el análisis de estabilidad se considerará la densidad húmeda (densidad de campo) de 2,2 g/cm², tomado a una profundidad de 3,00 m.

En el pie de talud, el material presente es terreno natural, de compacidad medianamente compacta a compacto, húmedo, muestra superficialmente bloques de tamaño máximo desde 15" hasta 50". Del DPL-09 se infiere los valores de Nspt presentando una compacidad medianamente compacta hasta una profundidad de 2,40 m obteniendo rechazo en la misma, y se infiere presencia de bolones o bloques.

La composición granulométrica del material de desmonte es el siguiente:

Bloques:	5%
Bolones:	20%
Gravas:	75%

Sección 7, km 2+950. De la inspección visual de campo, el perfil estratigráfico es similar a la sección 2+800.

Sección 8, km 3+350. Localizada con coordenada referencial de 361 406 E; 8 818 347 N, grava arcillosa con arena (GC), color pardo beige oscuro, húmedo, compacto con lentes de arcilla, de grava tamaño máximo de 3" de forma angular a subangular.

De acuerdo al ensayo DPL-15, realizado en el talud, se infirió los valores de NSPT presentando las siguientes compacidades: hasta los 3,6 m de profundidad, el material posee compacidad medianamente compacta. Para el análisis de estabilidad se considerará la densidad húmeda (densidad de campo) de 2,22 g/cm², tomado a una profundidad de 3,00 m.

En el pie de talud, el material predominante es desmonte de mina, de compacidad medianamente compacto a compacto, húmedo; presenta superficialmente bolones de 10" y flujo de aguas superficiales. Del DPL-07 se infiere los valores de Nspt mostrando una compacidad suelta hasta una profundidad de 3,80 m obteniendo rechazo en la misma, y se infiere presencia de bolones o bloques.

La composición granulométrica del material de desmonte es el siguiente: (Ver anexo 4)

Bloques: 10%

Bolones: 20%

Gravas: 70%

4.2.5 *Análisis de cimentación en suelo*

Con el objetivo de colocar una línea de gaviones en el pie de talud se realizó el análisis de cimentación en función a los parámetros de resistencia asumidos según tipo de suelo. La profundidad de cimentación de gavión se considera de 0,5 m para un ancho de 3 m, alto de 3 m y 10 m de largo.

Parámetros de resistencia. Para estimar los parámetros de resistencia: ángulos de fricción (ϕ) y cohesión (C) del suelo, se ha analizado los resultados de los ensayos de laboratorio de corte directo de la muestra inalterada de la calicata CAL-8.

De la misma forma, el valor de módulo de elasticidad (E) y el módulo de Poisson (ν) se han obtenido en función a los resultados de los ensayos DPL y estudios anteriores.

En el siguiente cuadro se indica los parámetros de resistencia:

Tabla 13

Resumen de los parámetros de resistencia

Tramo analizado	Progresiva	Calicata	Suelo	γ (g/cm ³)	Falla general		Falla local		μ	E (kg/cm ²)
					c (kg/cm ²)	ϕ (°)	c (kg/cm ²)	ϕ (°)		
2+900 3+100	-2+950	CAL-8	Grava limosa con arena	2,00	0,00	39,1	0,00	28,60,2 5	300	

Nota: Fuente: CESEL S.A.

Cálculo de capacidad admisible del suelo. Se realizó los cálculos de la capacidad admisible del terreno para una cimentación superficial típica (longitud L=10 m y ancho B=3 m), para una estructura de gavión.

Capacidad admisible por resistencia. Se determina la presión admisible del terreno usando la fórmula de Terzaghi y Peck (1967) con los parámetros de Vesic (1973).

Considerando estos criterios se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 14

Capacidad admisible por resistencia

Progresiva	Parámetros			Dimensiones			Resistencia (kg/cm ²)	
	γ (g/cm ³)	C (kg/cm ²)	ϕ (°)	L(m)	B(m)	Df(m)	qu	qadm
2+950	2,0	0,0	39,1	10,00	3,00	0,50	31,0	10,3

Nota: Fuente: CESEL S.A.

Estos valores de capacidad admisible han sido verificados por el asentamiento permisible, los cuales superan los 2,54 cm; por lo tanto, deben ser limitados por asentamiento.

Capacidad admisible por asentamiento. Se ha adoptado el criterio de limitar el asentamiento de la cimentación a 1", por el tipo de cimentación. Lambe (1994) pág. 219.

Para el cálculo del asentamiento se ha considerado los parámetros asumidos y las siguientes relaciones

$$S_i = \frac{q_{mt} B (1 - \mu^2) J_f}{E} \quad ; \quad I \sqrt{f} = \frac{L}{B}$$

donde:

S_i: Asentamiento probable (cm)

Q_{mt}: relación de Poisson

Jf: factor de forma (cm/m)

B: módulo de elasticidad (Kg/cm²)

E: ancho de la cimentación (m)

L: longitud de la cimentación (m)

Bz: parámetro en función de las dimensiones de la cimentación. Los resultados obtenidos se indican a continuación

Tabla 15

Cálculo de la capacidad admisible por asentamiento

Progresiva	Parámetros		Dimensiones			Asentamiento (kg/cm ²)	
	s(kg/cm ²)		(m)	(m)	f(m)	adm	i
2+950	00,0	00,2	0,00	0,00	0,50	0,5	0,21

Nota: Fuente: CESEL S.A.

4.2.6 Evaluación de la 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 16*Cuadro resumen de tramos de análisis*

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

Nota: Fuente: CESEL S.A.

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)

Ángulo 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 16. (Ver anexo 3)

Tabla 17*Parámetros de los suelos para el análisis de estabilidad*

Sección	Progresiva (km)	Estrato	C' (kg/cm ²)	ϕ'	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 limosa con arena	0,00	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

Nota: Fuente: CESEL S.A.

Metodología y criterios de análisis. Para el análisis de estabilidad de taludes se ha utilizado el método simplificado Bishops. En general, los valores de factor de seguridad obtenidos por dicho método para fallas de superficie circular son alrededor de 5%. 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 limite. Los factores de seguridad (FS) mínimos para las condiciones de análisis son:

Condición estática : 1,5

Condición pseudoestática : 1,1 (coeficiente sísmico = 0,17 g)

Resultados del análisis de estabilidad de taludes de condición actual.

Los resultados del análisis de estabilidad de taludes para cada sección analizada se muestran en la tabla 17.

Tabla 18
Resultados de los análisis de estabilidad - Condición actual

Sección de análisis	Progresiva (km)	Factor de seguridad		Condición
		Estático (a=0)	Pseudoestático (01=0,17 g)	
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

Medidas de estabilidad. Para el caso de taludes estables se recomienda mantener el talud y geometría. Para los casos del talud inestable en condiciones estático y pseudoestático, se está recomendando el tendido de talud y desarrollo de bancos según la tabla 18, con dichas recomendaciones se tiene los siguientes resultados:

Tabla 19
Análisis de estabilidad

Sección	Tramo analizado	Progresiva (km)	Medida	Factor de seguridad	
				Estático (a=0)	Pseudo estático (a=0,17)
1	0+250 - 0+600	0 + 450	Talud interbancos de 1:2 (V:H) Altura 1er interbanco =10 m Ancho 1er banco = 5 m Altura 2do interbanco =20 m Ancho 2do banco = 5 m Altura 3er interbanco = 20 m Ancho 3er banco =5 m	1,854	1,261
2	0+700-1+300	1 +300	Talud interbancos de 1:2 (V:H) Altura 1 er interbanco =20 m Ancho 1er banco = 5 m Altura 2do interbanco =20 m Ancho 2do banco = 5 m	2,115	1,421
3	1+400-1+800	1 +700	Talud interbancos de 1:2 (V:H) Altura 1er interbanco =20 m Ancho 1er banco = 5 m Altura 2do interbanco =20 m Ancho 2do banco = 5 m	1,978	1,365
4	1+800-2+100	1 +900	Talud interbancos de 1:2 (V:H) Altura 1er interbanco =20 m Ancho 1er banco = 5 m Altura 2do interbanco =20 m Ancho 2do banco = 5 m	2,062	1,387
5	2+200 - 2+600	2 + 400	Talud interbanco de 1:2 (V:H) Altura interbanco =20 m Ancho banco = 5 m	2,468	1,681
6	2+700 - 2+850	2 + 800	Talud interbancos de 1:2 (V:H) Altura 1er interbanco =20 m Ancho 1er banco = 5 m Altura 2do interbanco =20 m Ancho 2do banco = 5 m	1,626	1,110
7	2+900-3+100	2 + 950	Talud interbancos de 1:2 (V:H) Altura 1er interbanco =20 m Ancho 1er banco = 5 m Altura 2do	1,626	1,110

			interbanco =20 m		
			Ancho 2do banco =		
			5 m		
8	3+200 - 3+800	3 + 350	Talud interbanco de	2,523	1,673
			1:2 (V:H) Altura		
			interbanco =20 m		
			Ancho banco = 5 m		

Nota: Fuente: CESEL S.A.

4.2.7 Estabilidad de taludes mediante modelo matemático

Para los taludes en los depósitos de desmonte considerados como suelo, se ha realizado el análisis de estabilidad de taludes mediante modelo matemático, en una sección representativa, considerada como la más crítica.

En los cálculos relativos al análisis de estabilidad de taludes se ha empleado el programa de cómputo de reconocida confiabilidad Slide de Rocscience, lo que ha posibilitado estudiar detalladamente una gran variedad de configuraciones de falla. Este programa analiza la estabilidad de taludes tomando en cuenta los parámetros de resistencia del suelo (peso específico, cohesión y fricción) y las características geométricas del talud.

El programa de cómputo tiene incorporado los métodos de Bishop y Janbu basados en el criterio de equilibrio límite para determinar el mínimo factor de seguridad de la superficie potencial de falla.

Para el análisis de estabilidad de taludes, la tabla 21 indica los tramos evaluados y la sección de análisis. El criterio para tomar la sección de análisis es la siguiente: sección de potencial falla, mayor altura de talud y pendiente pronunciada. Para identificar las secciones críticas de análisis se referenció a las progresivas del eje de evaluación a lo largo del pie de talud del depósito de desmonte Excélsior.

Tabla 20
Resumen de tramos de análisis

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

Nota: Fuente: CESEL S.A.

Figura 16
Estabilidad estática en sección 1, km 0+450

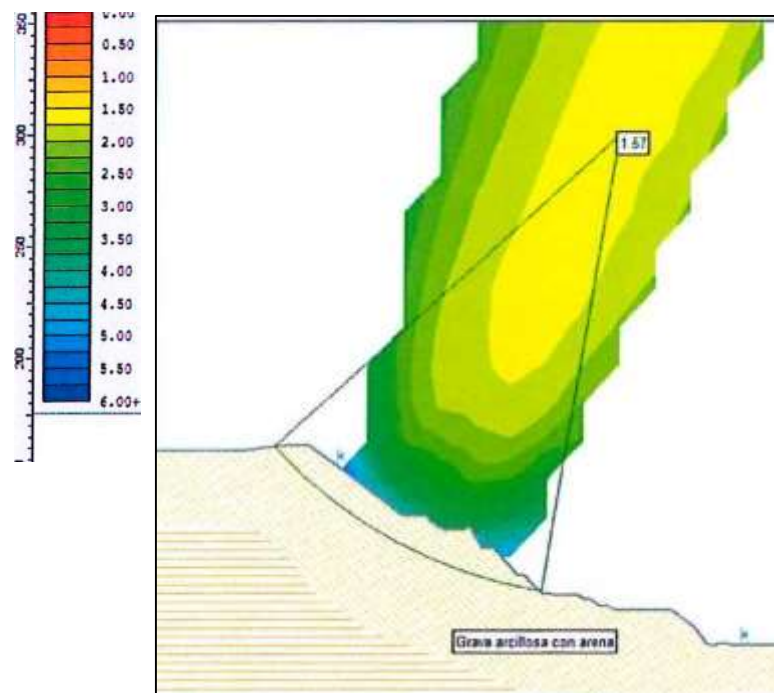


Figura 17
Estabilidad pseudoestática en sección 1, km 0+450

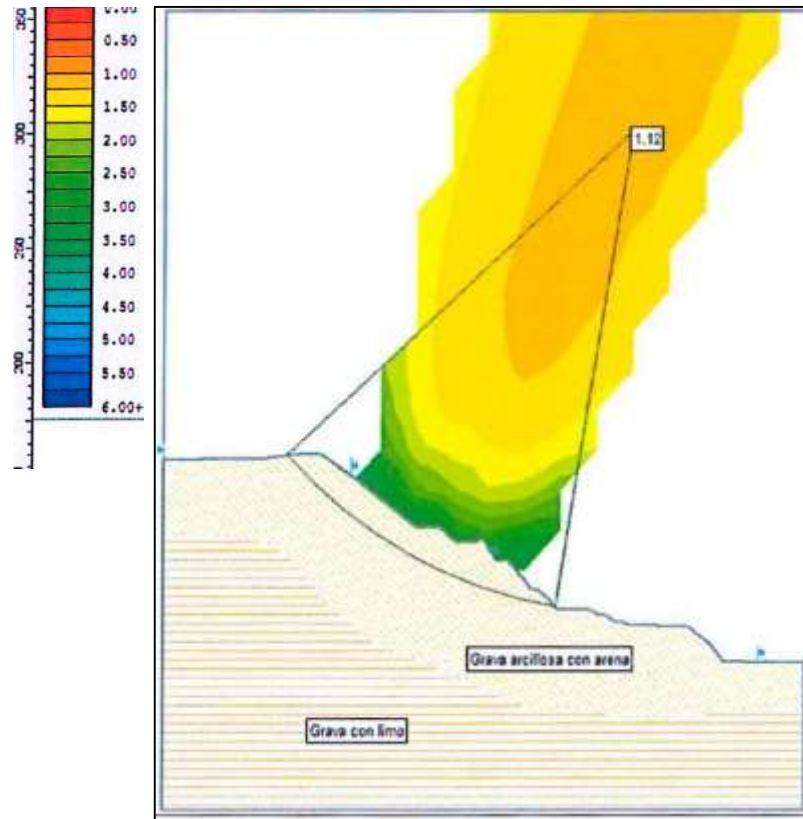


Figura 18
Estabilidad estática en sección 2, km1+300

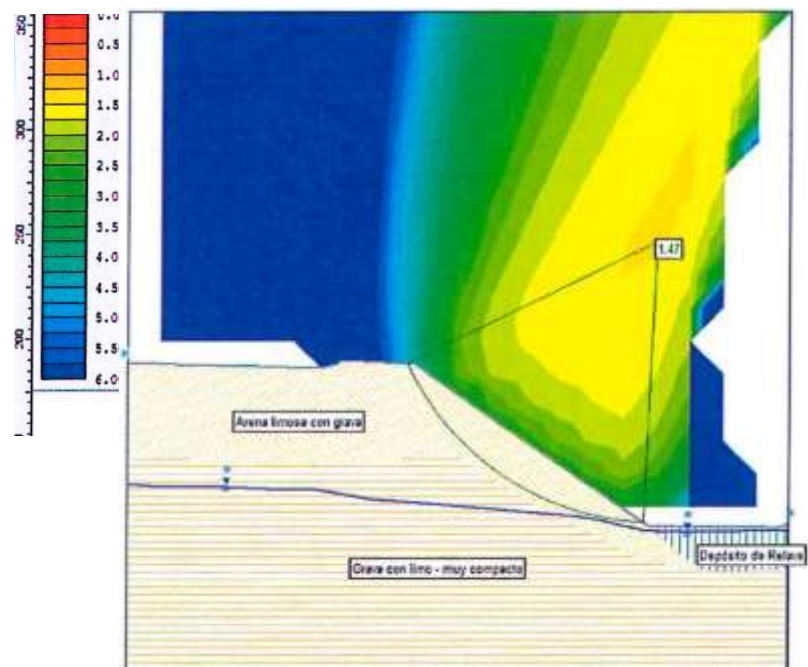


Figura 19

Estabilidad pseudoestática en sección 2, km 1+300

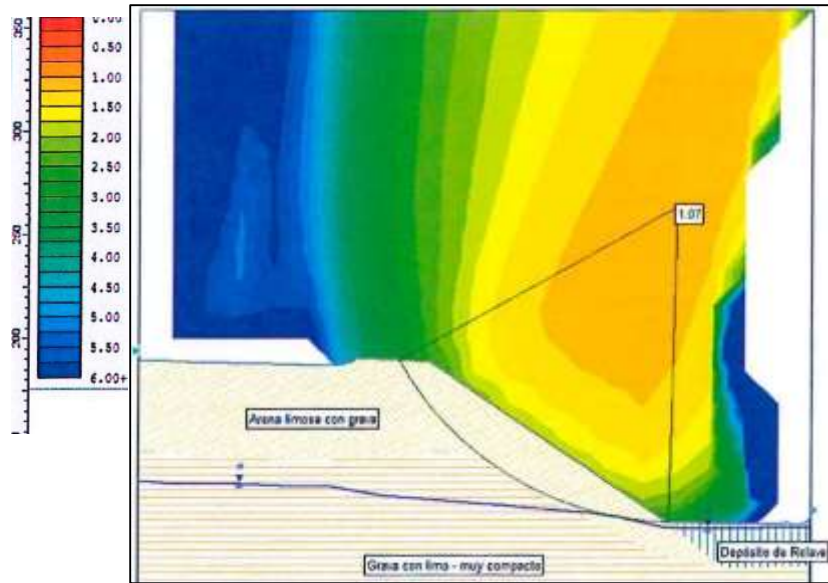


Figura 20

Estabilidad estática en sección 3, km 1+700

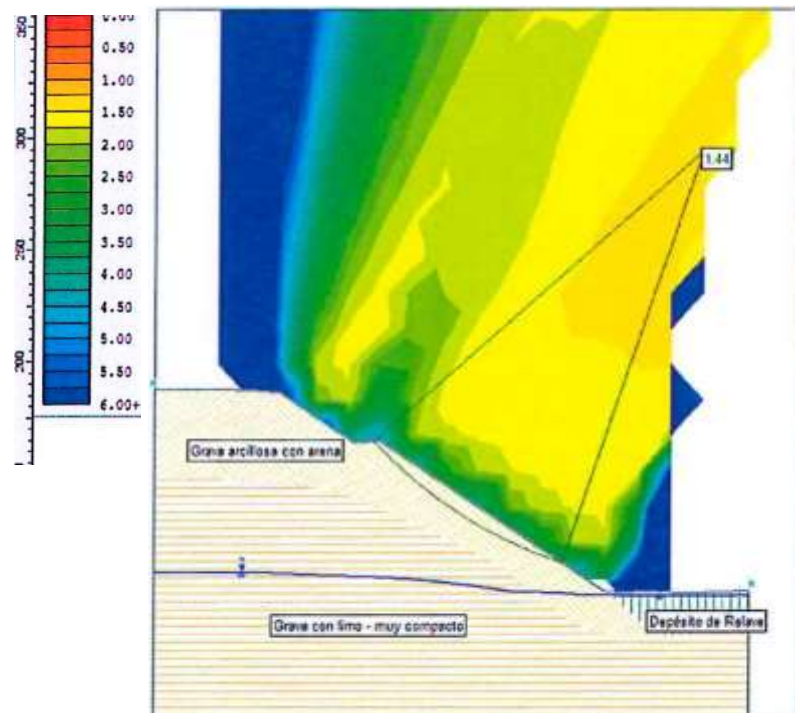


Figura 21

Estabilidad pseudoestática en sección 3, km 1+700

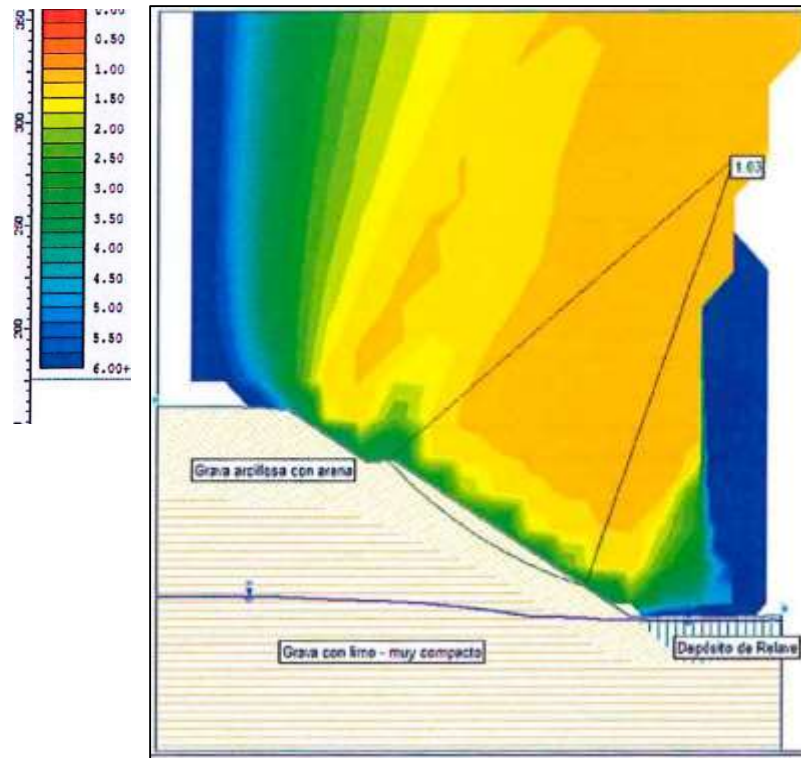


Figura 22

Estabilidad estática en sección 4, km 1+900

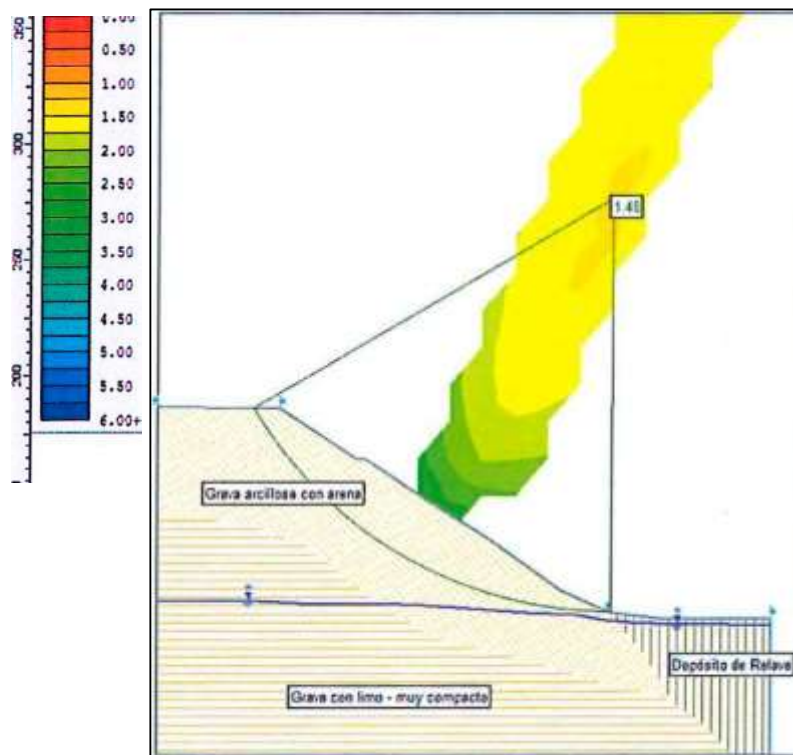


Figura 23
Estabilidad pseudoestática en sección 4, km 1+900

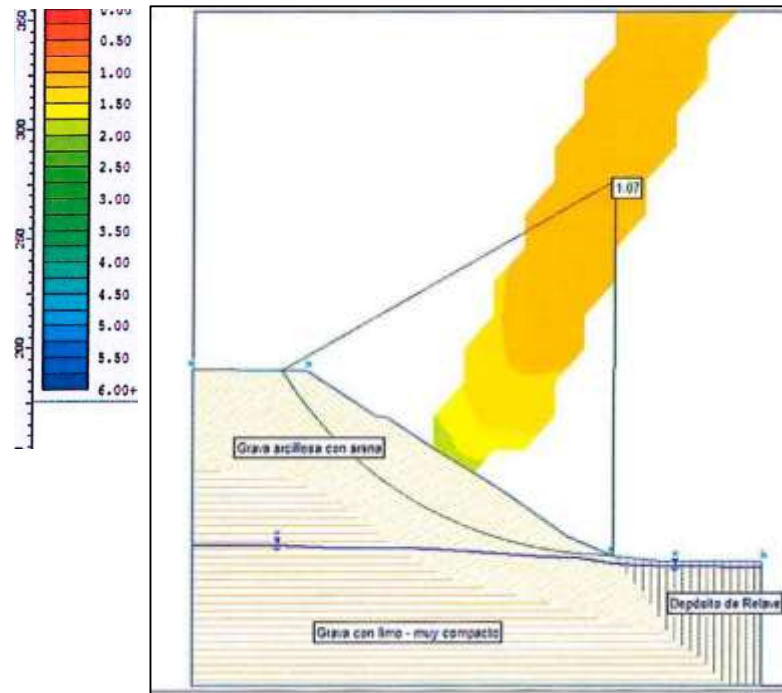


Figura 24
Estabilidad estática en sección 5, km 2+400

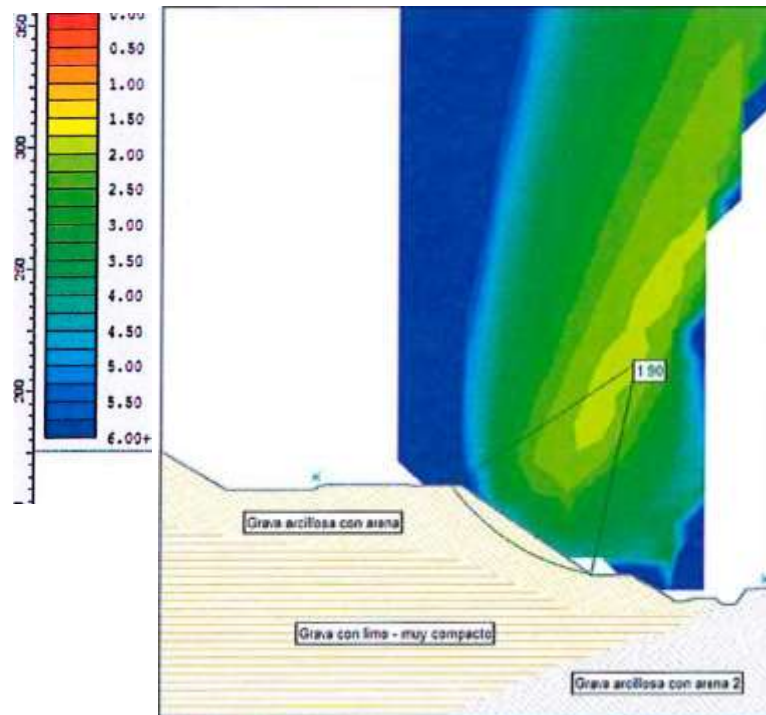


Figura 25
Estabilidad pseudoestática en sección 5, km 2+400

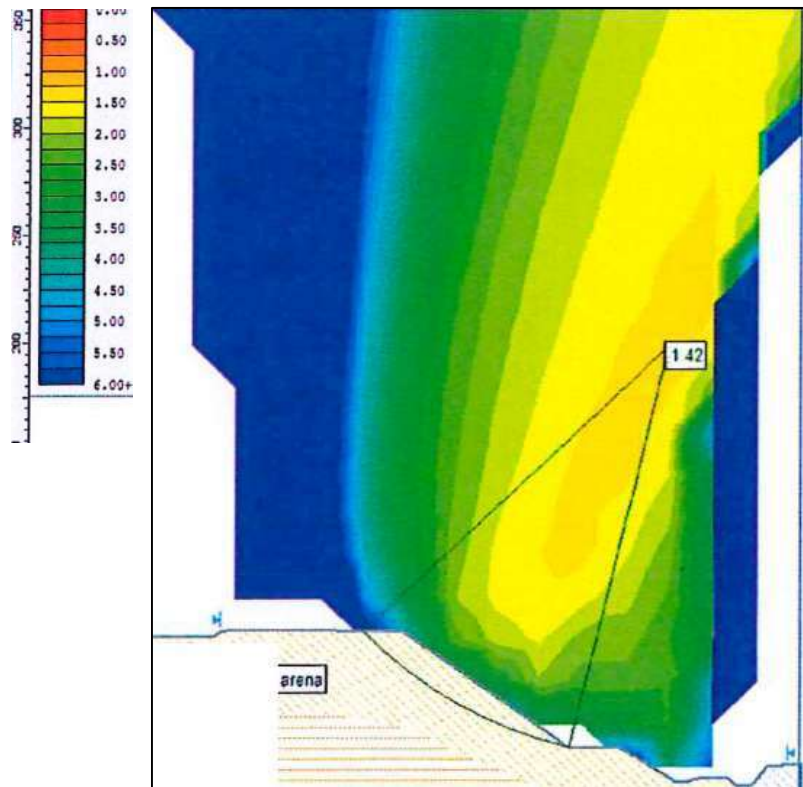
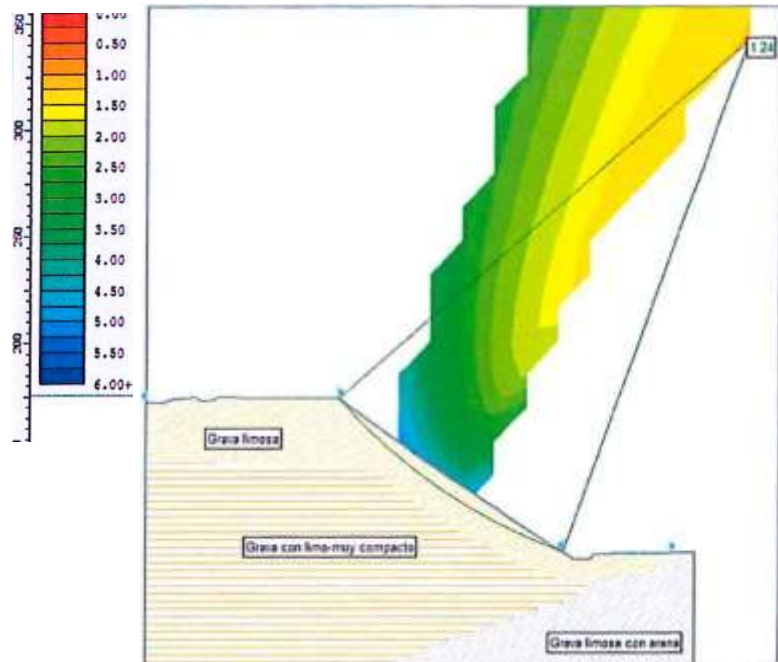
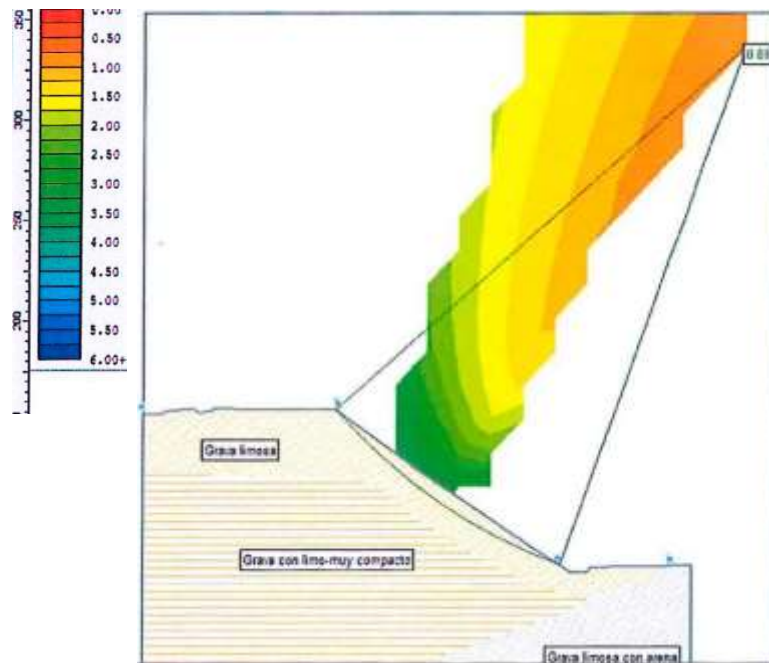


Figura 26
Estabilidad estática en sección 6, km 2+800



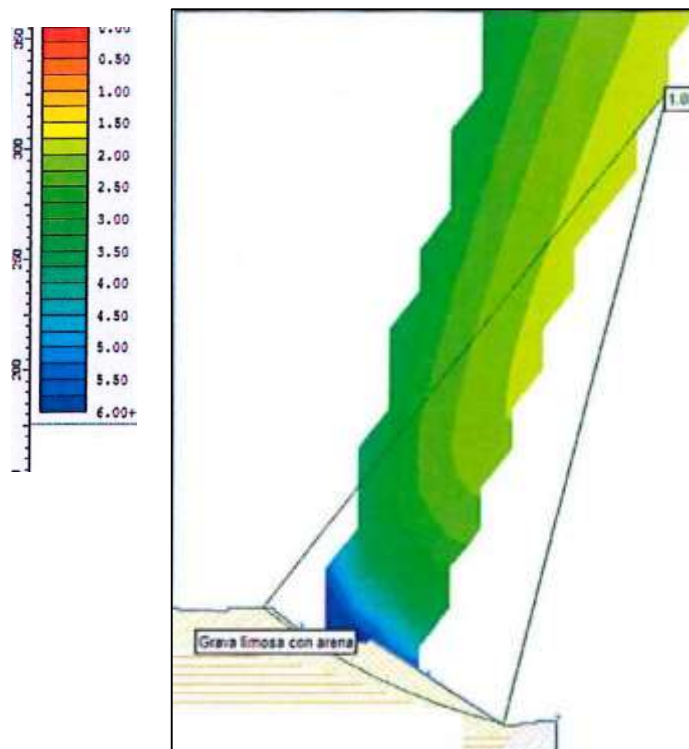
Nota: Elaboración propia

Figura 27
Estabilidad pseudoestática en sección 6, km 2+800



Nota: Elaboración propia

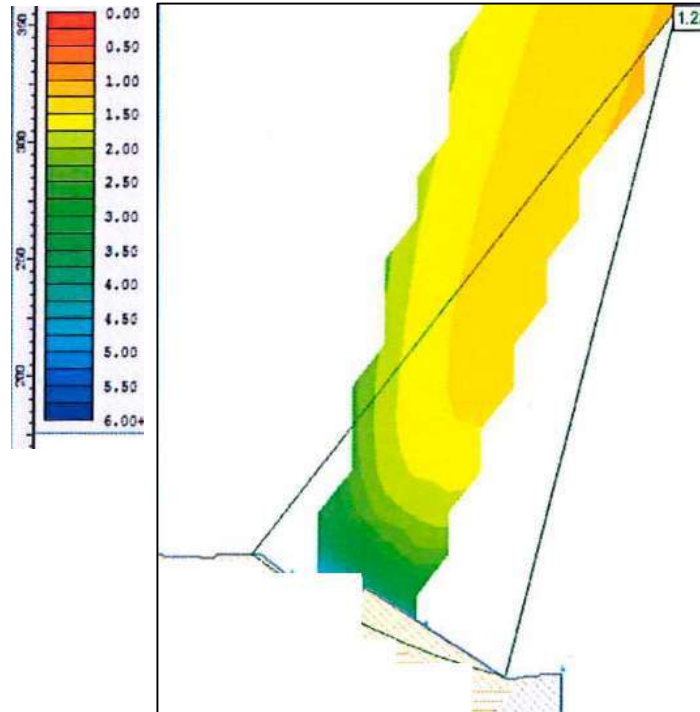
Figura 28
Estabilidad estática en sección 7, km 2+950



Nota: Elaboración propia

Figura 29

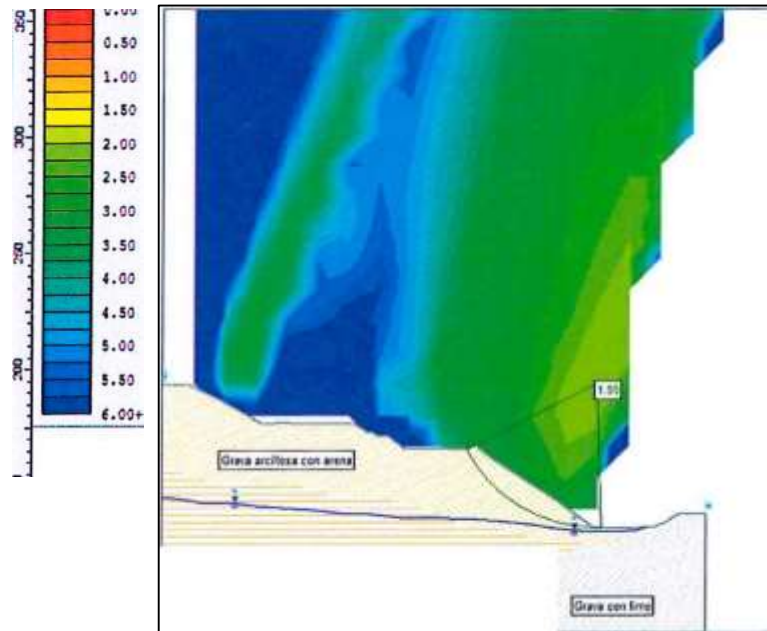
Estabilidad pseudoestática en sección 7, km 2+950



Nota: Elaboración propia

Figura 30

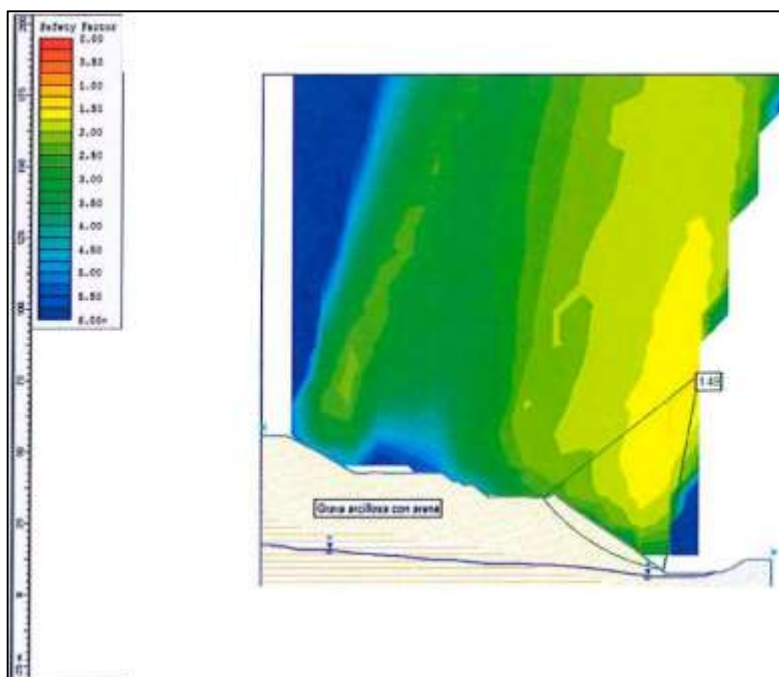
Estabilidad estática en sección 8, km 3+350



Nota: Elaboración propia

Figura 31

Estabilidad pseudoestática en sección 8, km 3+350



Nota: Elaboración propia

4.2.8 Sistema de estabilidad física

Los trabajos para la estabilidad del depósito de desmontes Excelsior comprenden:

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.

Los materiales de relleno se colocarán en capas de 0.50 m compactadas al 95% del próctor modificado.

4.2.9 Análisis de estabilidad de taludes - condición proyectado

Los resultados del análisis de estabilidad de taludes proyectados para cada sección analizada se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 21*Resultados de análisis de estabilidad en taludes proyectados*

Sección de análisis	Progresiva (km)	Factor Estático ($\alpha=0$)	Factor de seguridad Pseudoestático ($\alpha=0,17$ g)	Condición
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

Nota: Fuente: CESEL S.A.

4.2.10 Medidas de estabilidad

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

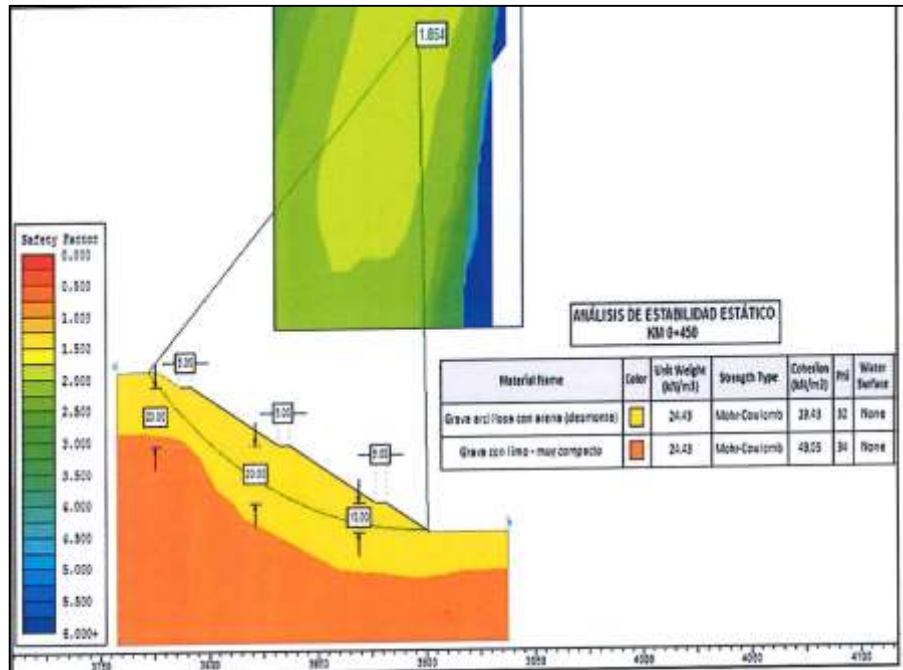
Tabla 22
Medidas de estabilidad

Sección	Tramo analizado	Progresiva (km)	Medida
1	0+250 - 0+600	0 + 450	Talud interbancos de 1:2 (V:H) Altura 1 ^{er} interbanco =10 m Ancho 1er banco = 5 m Altura 2do interbanco =20 m Ancho 2do banco = 5 m Altura 3er interbanco = 20 m Ancho 3er banco =5 m
2	0+700- 1+300	1 +300	Talud interbancos de 1:2 (V:H) Altura 1er interbanco =20 m Ancho 1er banco = 5 m Altura 2do interbanco =20 m Ancho 2do banco = 5 m
3	1+400- 1+800	1 +700	Talud interbancos de 1:2 (V:H) Altura 1 er interbanco =20 m Ancho 1er banco = 5 m Altura 2do interbanco =20 m Ancho 2do banco = 5 m
4	1+800-2+100	1 +900	Talud interbancos de 1:2 (V:H) Altura 1 er interbanco =20 m Ancho 1 er banco = 5 m Altura 2do interbanco =20 m Ancho 2do banco = 5 m
5	2+200 - 2+600	2 + 400	Talud interbanco de 1:2 (V:H) Altura interbanco =20 m Ancho banco = 5 m
6	2+700 - 2+850	2 + 800	Talud interbancos de 1:2 (V:H) Altura 1er interbanco =20 m Ancho 1er banco = 5 m Altura 2do interbanco =20 m Ancho 2do banco = 5 m
7	2+900-3+100	2 + 950	Talud interbancos de 1:2 (V:H) Altura 1 er interbanco =20 m Ancho 1er banco = 5 m Altura 2do interbanco =20 m Ancho 2do banco = 5 m
8	3+200 - 3+800	3 + 350	Talud interbanco de 1:2 (V:H) Altura interbanco =20 m Ancho banco = 5 m

Nota: Fuente: CESEL S.A.

Figura 32

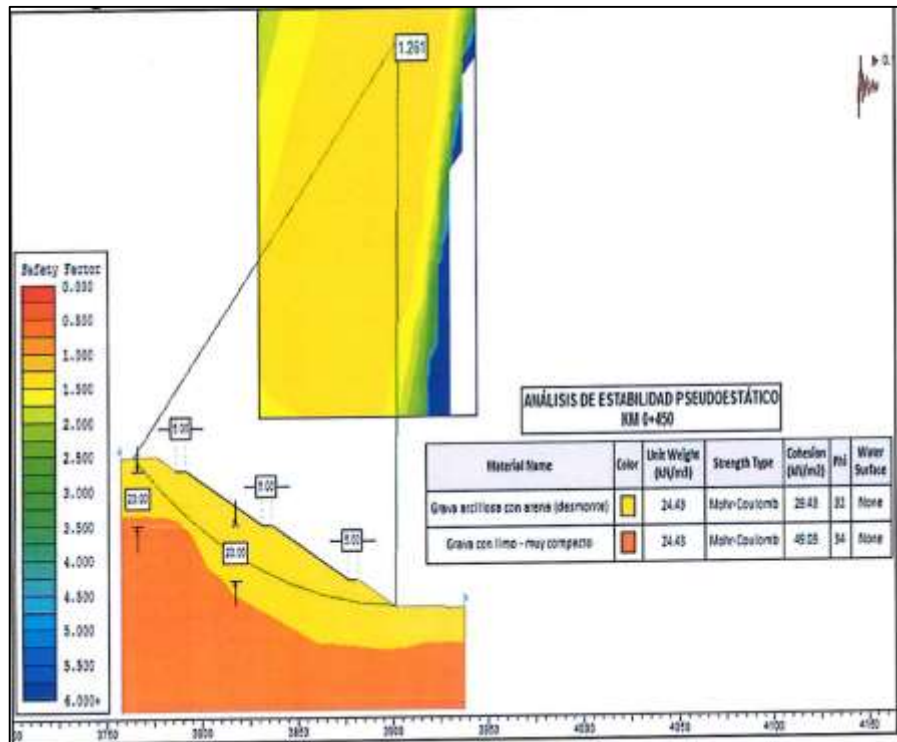
Análisis de estabilidad estático en sección 1, Km. 0+450



Nota: Elaboración propia

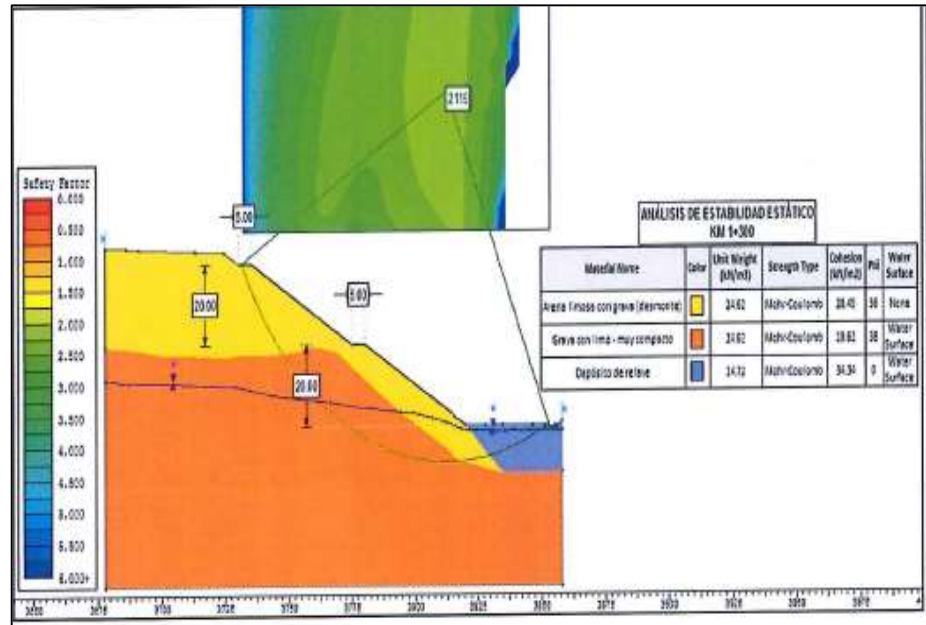
Figura 33

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



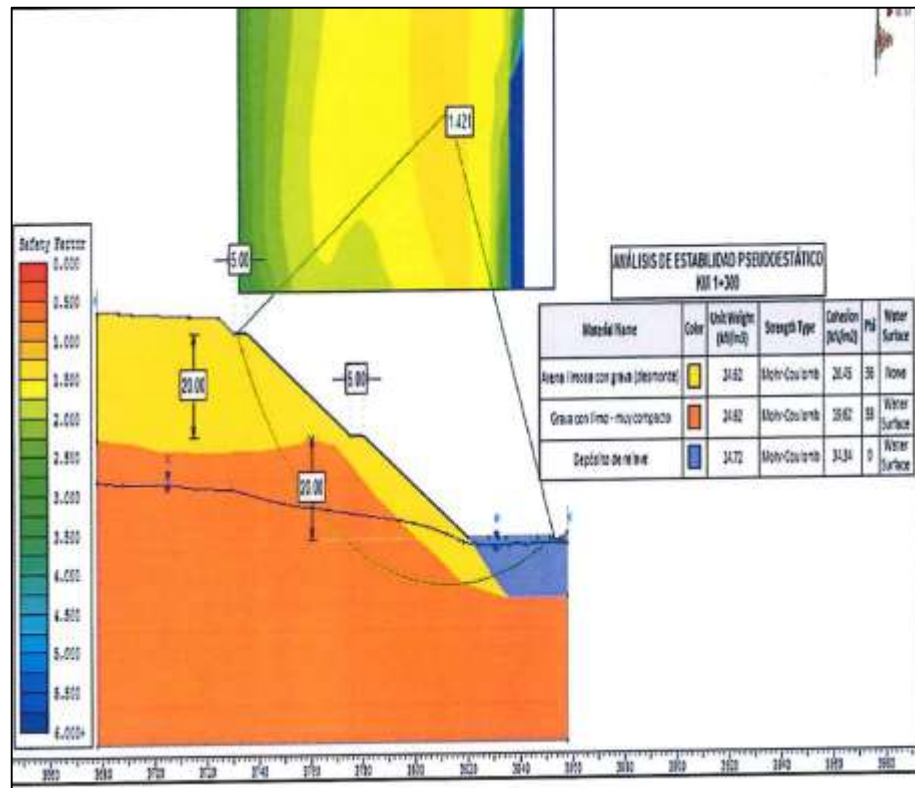
Nota: Elaboración propia

Figura 34
Análisis de estabilidad estático en sección 2, Km. 1+300



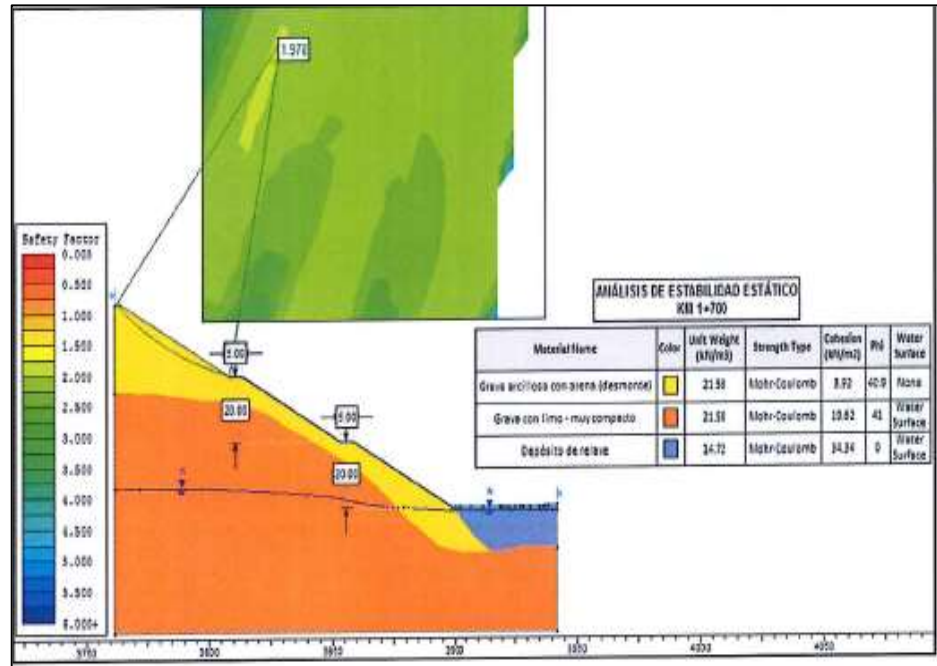
Nota: Elaboración propia

Figura 35
Análisis de estabilidad pseudoestático en sección 2, Km. 1+300



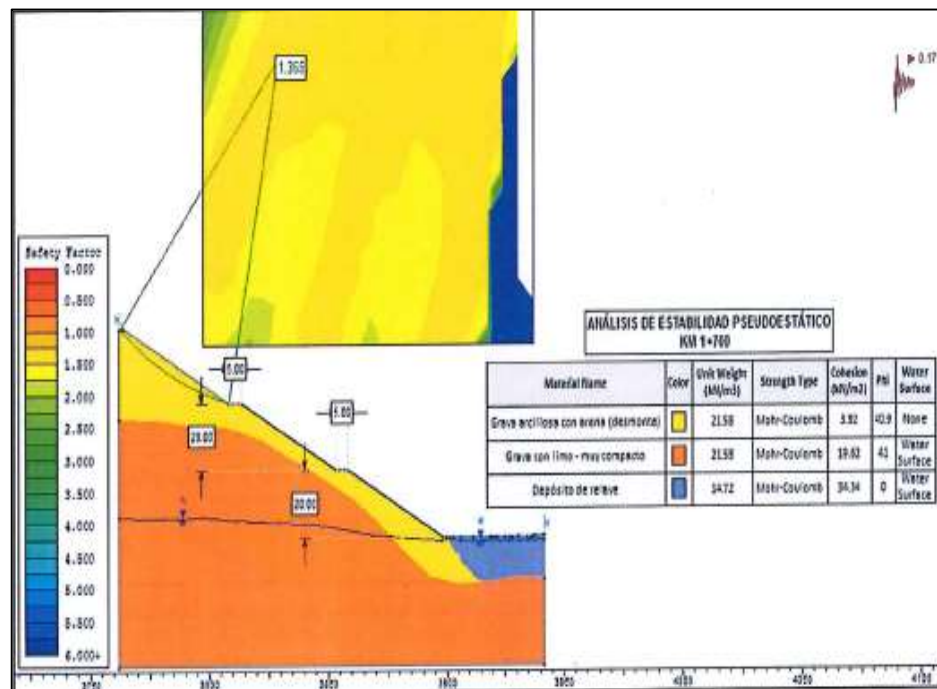
Nota: Elaboración propia

Figura 36
Análisis de estabilidad estático en sección 3, Km. 1+700



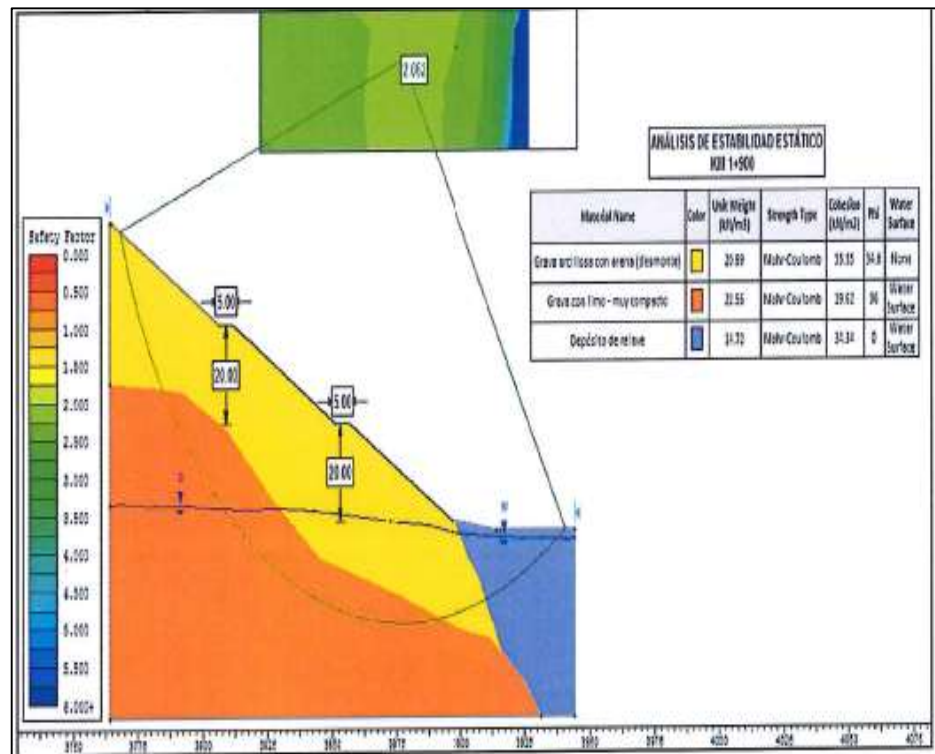
Nota: Elaboración propia

Figura 37
Análisis de estabilidad pseudoestático en sección 3, Km. 1+700



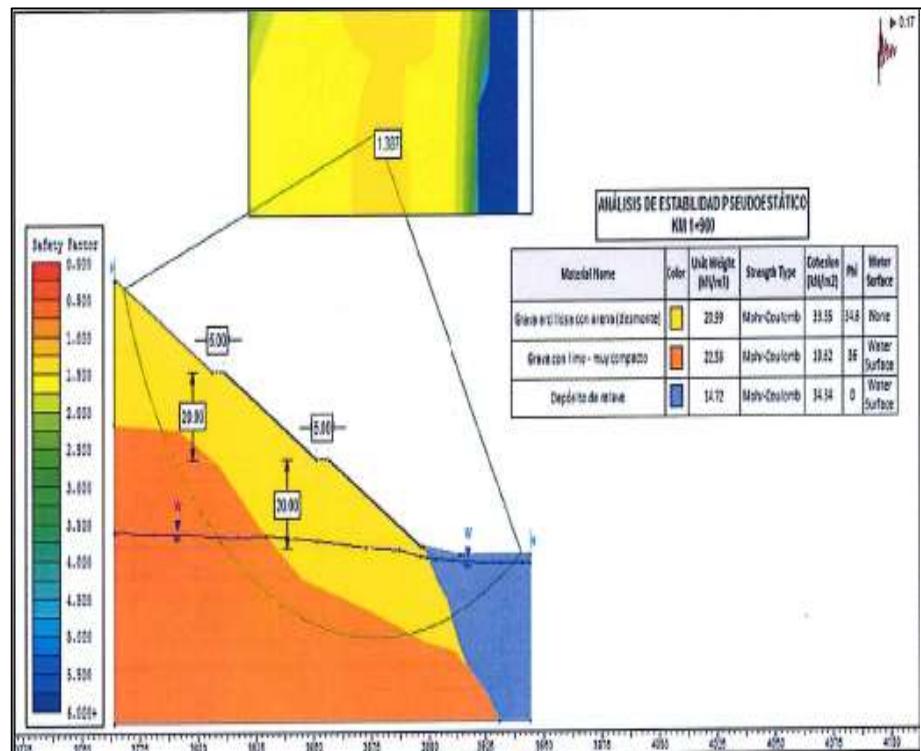
Nota: Elaboración propia

Figura 38
Análisis de estabilidad estático en sección 4, Km. 1+900



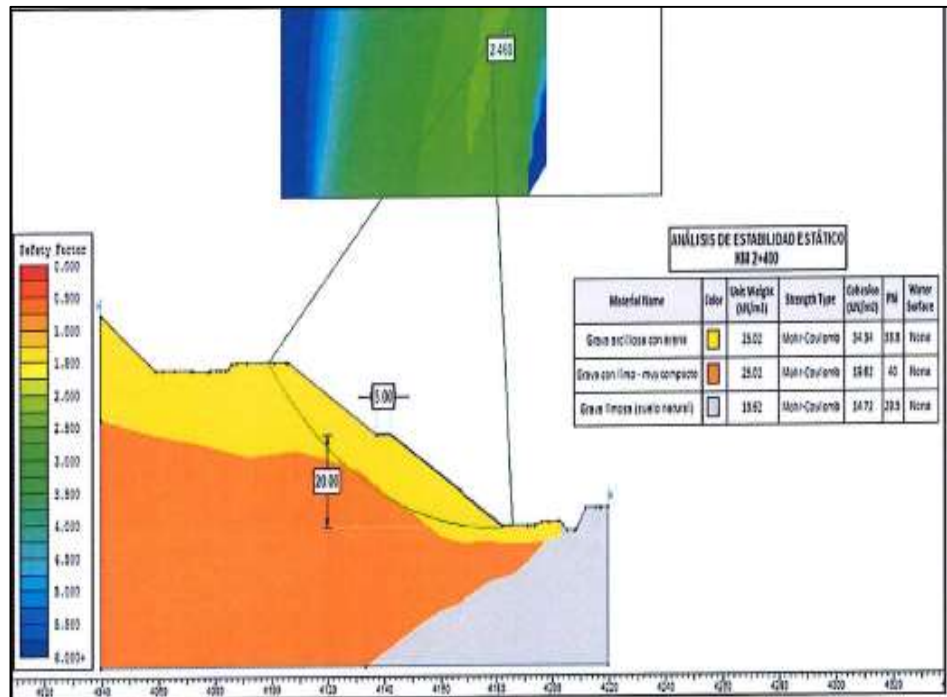
Nota: Elaboración propia

Figura 39
Análisis de estabilidad pseudoestático en sección 4, Km. 1+900



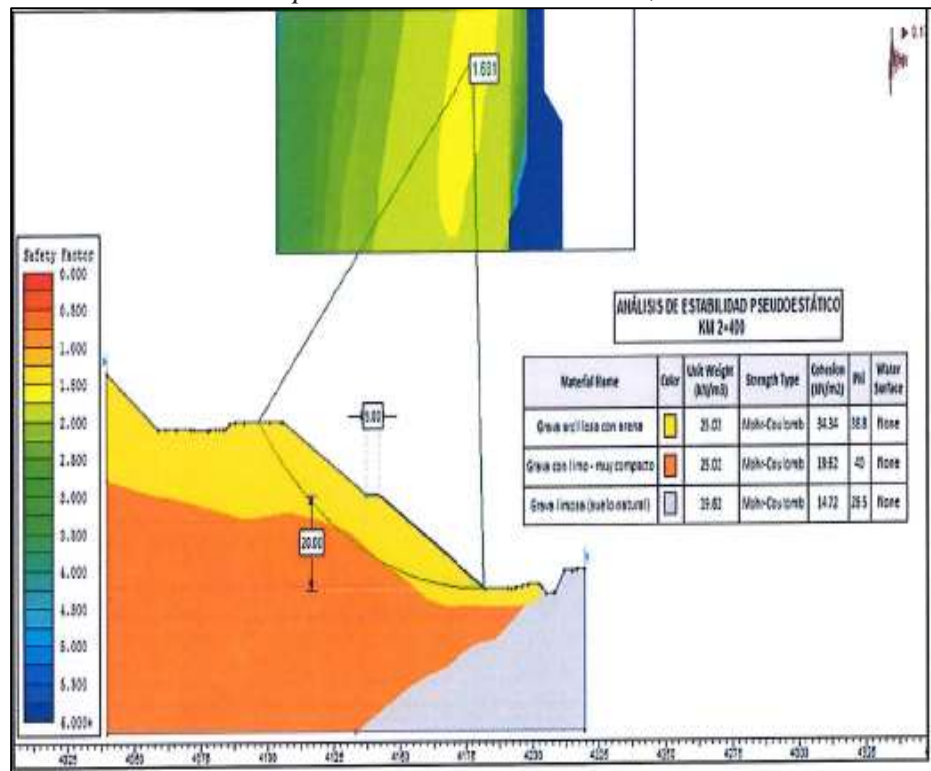
Nota: Elaboración propia

Figura 40
Análisis de estabilidad estático en sección 5, Km. 2+400.



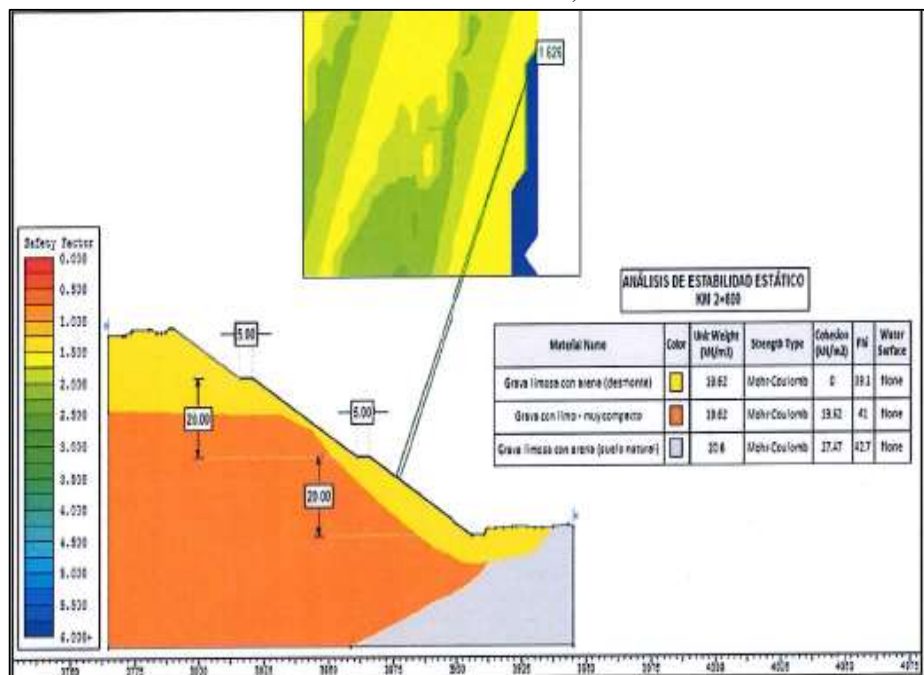
Nota: Elaboración propia

Figura 41
Análisis de estabilidad pseudoestático en sección 5, Km. 2+400.



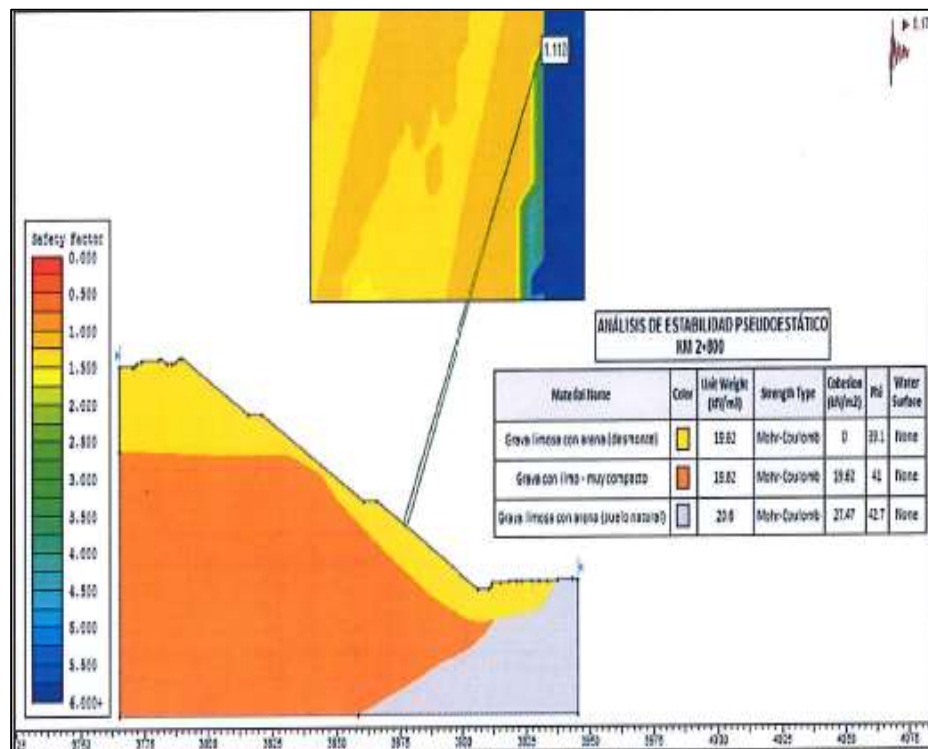
Nota: Elaboración propia

Figura 42
Análisis de estabilidad estático en sección 6, Km. 2+800.



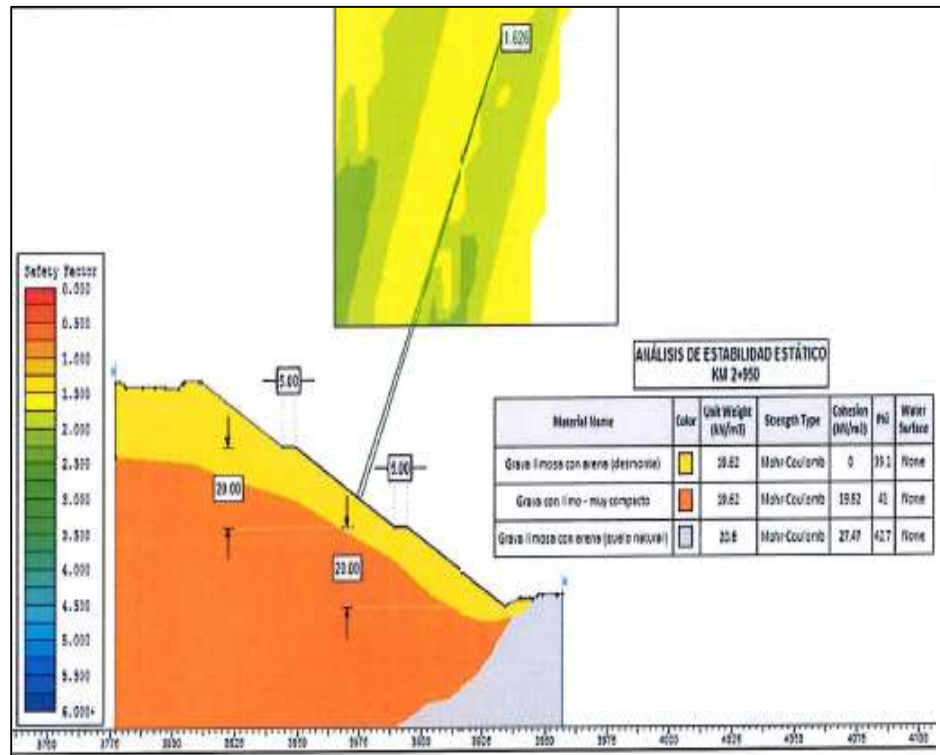
Nota: Elaboración propia

Figura 43
Análisis de estabilidad pseudoestático en sección 6, Km. 2+800.



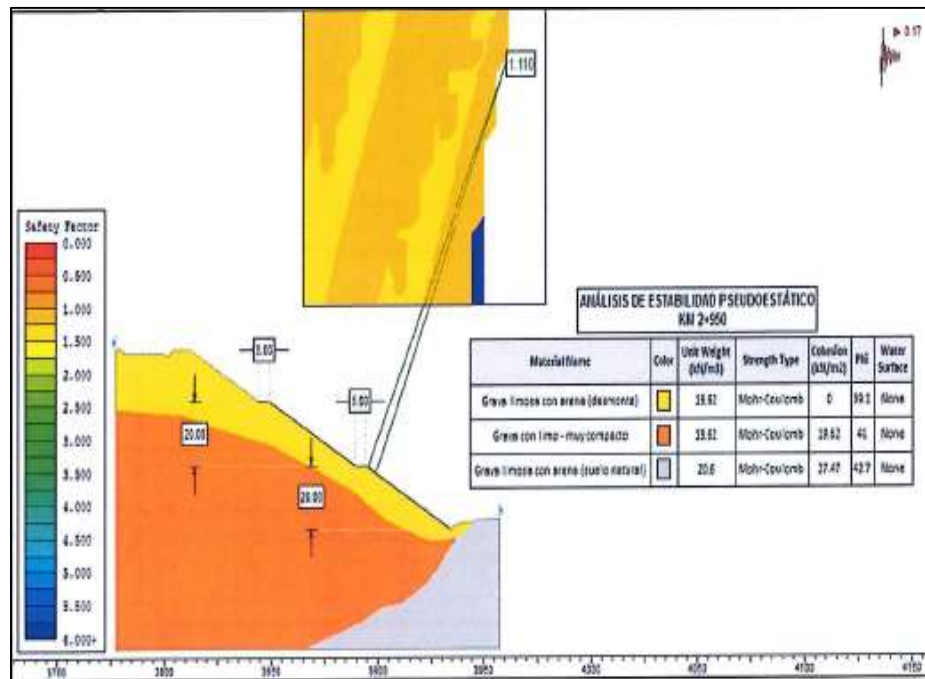
Nota: Elaboración propia

Figura 44
Análisis de estabilidad estático en sección 7, Km. 2+950.



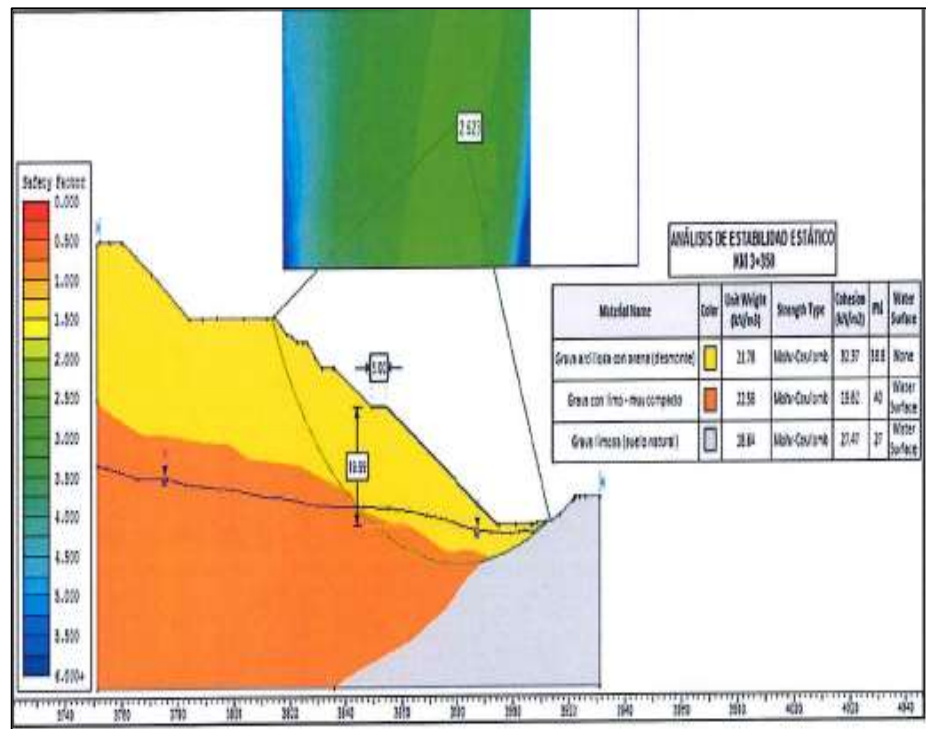
Nota: Elaboración propia

Figura 45
Análisis de estabilidad pseudoestático en sección 7, Km. 2+950.



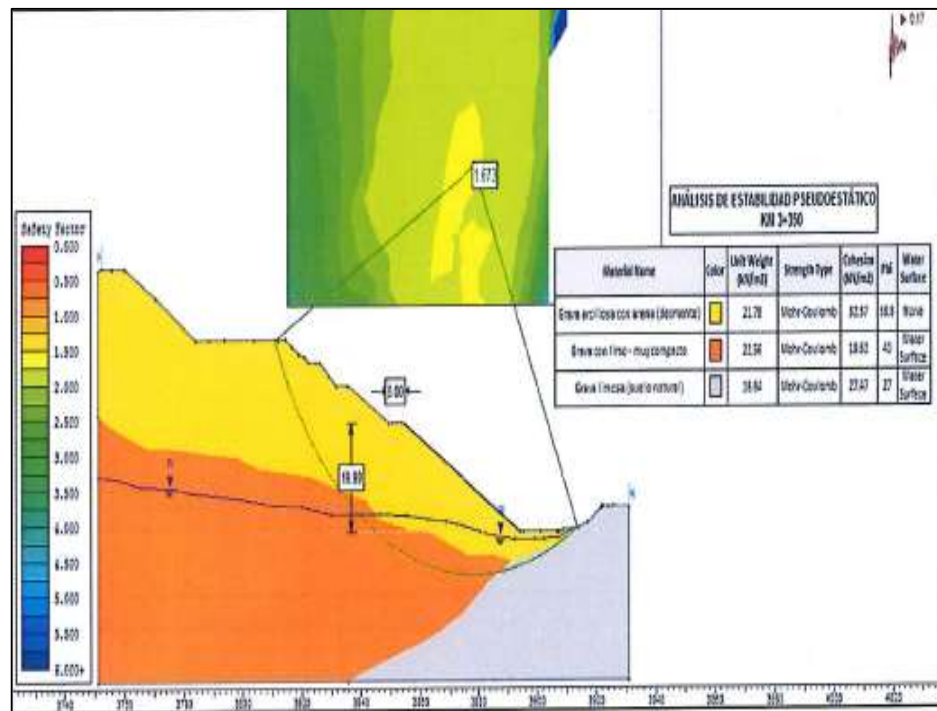
Nota: Elaboración propia

Figura 46
Análisis de estabilidad estático en sección 8, Km. 3+350.



Nota: Elaboración propia

Figura 47
Análisis de estabilidad pseudoestático en sección 8, Km. 3+350.



Nota: Elaboración propia

4.3 Prueba de hipótesis

4.3.1 Hipótesis general

La Evaluación Geotécnica del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco, es factible para el cierre del pasivo ambiental minero.

La evaluación geotécnica consistió en definir los parámetros geotécnicos para el análisis de estabilidad física, del depósito de desmontes Excélsior y la caracterización geotécnica de todo su perímetro, y luego efectuar el cierre definitivo, con lo cual se reducirán al mínimo los impactos ambientales, protegiendo de esta manera la salud, la seguridad del medio ambiente del área de influencia. Con todas las investigaciones realizadas se ha determinado que la evaluación es factible según los ensayos y resultados de los parámetros obtenidos. Por tanto, se demuestra que se cumplió la hipótesis planteada.

4.3.2 Primera Hipótesis específica

El análisis de los parámetros geotécnicos del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco es factible:

Se realizó el análisis de las investigaciones geotécnicas del área del estudio a los resultados obtenidos de los ensayos de penetración dinámica ligera, excavación de calicatas, excavación de trincheras, ensayos de densidad de campo, éstos resultados se encuentran detallados en los diferentes tablas los cuales sirvieron para caracterizar geotécnicamente el suelo como la desmontera, resaltando dentro de ellos los parámetros de cohesión, ángulo de fricción y peso específico, los que se utilizaron con la finalidad de asegurar la estabilidad física del depósito. Se demuestra que se cumplió con la hipótesis planteada.

4.3.3 Segunda Hipótesis específica

La evaluación de la estabilidad física del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco es factible:

Se estableció un eje con progresivas denominado "eje de evaluación" para evaluar la estabilidad física del depósito de desmonte Excélsior, considerando la geometría del talud, disposición de material, inestabilidad potencial del talud.

El análisis de cimentación en suelo se realizó con el objetivo de colocar una línea de gaviones en el pie de talud. La cimentación está en función a los parámetros de resistencia asumidos según tipo de suelo. La profundidad de cimentación de gavión se considera de 0,5 m para un ancho de 3 m, alto de 3 m y 10 m de largo.

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

Para los taludes en los depósitos de desmonte considerados como suelo, se ha realizado el análisis de estabilidad de taludes mediante modelo matemático, en una sección representativa, considerada como la más crítica.

Para el caso de taludes estables se recomienda mantener el talud y geometría. Para los casos del talud inestable en condiciones estático y pseudoestático, se está recomendando el tendido de talud y desarrollo de bancos según la tabla 20. Se demuestra que se cumplió con la hipótesis planteada.

4.4 Discusión de resultados

Discusión 1:

En el trabajo de investigación se analizó los diferentes parámetros geotécnicos del suelo donde se ubica la desmontera y la misma desmontera, resaltando los parámetros de resistencia que han permitido realizar el análisis de estabilidad física. Estos resultados coinciden con (Vilca, 2019), la cual señala que la caracterización geotécnica del área para el depósito de desmonte Santa Rosa permitió proporcionar parámetros efectivos que han permitido realizar el análisis de estabilidad física y determinar la construcción del depósito de desmonte para el cierre del pasivo ambiental minero.

Discusión 2:

En el trabajo de investigación se evaluó la estabilidad física del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco, mediante el análisis de la geología, hidrología, sismología los cuales influyen en la estabilidad física. Asimismo, se evaluó los criterios que aseguran la estabilidad física como la estabilidad de taludes mediante banquetas, el sistema de reforzamiento de suelos, muro de gaviones, muro de contención, la estabilidad hidrológica.

Dentro de la evaluación geotécnica del perímetro del desmonte de Excélsior se consideró la geometría del talud, disposición de material, drenaje e inestabilidad potencial del talud, encontrándose en algunos tramos inestabilidad potencial del talud. Estos resultados son similares a lo encontrado por (Mamani, 2019) donde demuestra que los resultados de las evaluaciones determinaron la configuración de los taludes del depósito de desmonte que permitirá garantizar su estabilidad física y química.

Respecto a la evaluación de taludes proyectados se consideró los siguientes criterios: sección de potencial falla, mayor altura de talud, pendiente pronunciada y dentro de los parámetros de los materiales que componen el talud, requeridos en el análisis de estabilidad, se consideró el peso unitario húmedo (γ), cohesión (c) y ángulo de resistencia al corte (ϕ). 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 = 0,17 g)

La caracterización geotécnica del desmonte Excelsior a lo largo de las progresivas el talud es estable en condición estática y pseudoestático, asimismo, el valor del talud interbanco es similares en todos los taludes del tramo analizado. Para los taludes en los depósitos de desmonte considerados como suelo, se ha realizado el análisis de estabilidad de taludes mediante modelo matemático. Estos resultados son similares a los estudios de (Ávila, 2008) donde los análisis determinaron que el factor de seguridad correspondiente a un talud es de 2,984, este valor indica que el nivel estabilidad es altamente favorable para esa geometría en función de las características intrínsecas de los estériles.

CONCLUSIONES

1. La evaluación geotécnica del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco ha permitido obtener parámetros útiles, que son expuestos a continuación:

- Los parámetros empleados en la determinación de la capacidad admisible del suelo son:

Tramo analizado	Progresi va	Calicata	Suelo	γ (g/cm ³)	Falla general		Falla local		μ	E (kg/cm ²)
					c (kg/cm ²)	ϕ (°)	c (kg/cm ²)	ϕ (°)		
2+900 3+100	2+950	CAL-8	Grava limosa con arena	2,00	0,00	39,1	0,00	28,6	0,25	300

Nota: Estos valores han sido obtenidos de la evaluación de los resultados de los ensayos DPL y de corte directo.

- La capacidad admisible por resistencia reporta un asentamiento superior al límite permisible; por lo tanto, la capacidad admisible se limitó por asentamiento, obteniéndose 1,5 kg/cm² y un asentamiento de 2,21 cm para una estructura de gavión de un ancho de 3,0 m, de alto 3 m y de largo 10 m entre las progresivas 2+900 - 3+100. La profundidad de cimentación es de 0,5.
- De la información de investigaciones de campo y ensayos de laboratorio, se ha definido los siguientes parámetros de resistencia para los suelos involucrados en la sección de análisis de estabilidad:

Sección	Progresiva (km)	Estrato	C' (kg/cm ²)	Φ'(°)	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
		Arena limosa con grava	0,29	36,0	2,51
2	1 + 300	Grava con limo - muy compacto	0,20	38,0	2,51
		Depósito 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	41,0	2,20
		Depósito 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
		Depósito 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	40,0	2,55
		Grava arcillosa con arena	0,15	29,5	2,00
		Grava limosa con arena	0,00	39,1	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	39,1	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	40,0	2,30
		Grava con limo	0,28	27,0	1,90

- Para el análisis pseudoestático de los taludes se consideró el valor de 0,17 g como coeficiente sísmico.

- Los resultados de los análisis de estabilidad en condición actual para las secciones analizadas son:

Sección de Análisis	Progresiva (km)	Factor de seguridad		Condición
		Estático (a=0)	Pseudoestático (a=0,17 g)	
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

2. El depósito de desmonte Excelsior es factible luego de la evaluación de la estabilidad física, según el análisis estático y pseudoestático realizado con el Software Slide han determinado factores de seguridad por encima de los mínimo. permisibles recomendados (1.5 en condiciones estáticas y 1.3 en condiciones pseudoestáticas) y de la evaluación de parámetros geotécnicos para el cierre del pasivo ambiental.

RECOMENDACIONES

1. Para el caso de taludes estables se recomienda mantener el talud y geometría. Para los casos del talud inestable en condiciones estática y pseudoestático, se está recomendando el tendido de talud y desarrollo de bancos, según la siguiente tabla:

Sección	Tramo analizado	Progresiva (km)	Medida	Factor de seguridad	
				Estático ($\alpha=0$)	Pseudoestático ($\alpha=0,17$ g)
1	0+250 - 0+600	0 + 450	El talud es estable, pero se recomienda mantener el talud actual, previo desquinche y limpieza.	-	-
2	0+700- 1+300	1 +300	Talud interbanco de 1:1,6 (v:h). Altura interbanco de 25 m y ancho de banco de 5 m.	1,71	1,21
3	1+400- 1+800	1 +700	Talud interbancos de 1:1,6 (v:h). Altura 1 ^{er} interbanco de 25 m y ancho de 1 ^{er} banco de 5 m. Altura de 2 ^o interbanco de 25 m y ancho de 2 ^o banco de 5 m.	1,56	1,11
4	1+800-2+100	1 +900	Talud interbancos de 1:1,6 (v:h). Altura 1 ^{er} interbanco de 25 m y ancho de 1 ^{er} banco de 5 m. Altura de 2 ^o interbanco de 25 m y ancho de 2 ^o banco de 5 m.	1,63	1,15
5	2+200 - 2+600	2 + 400	El talud es estable, pero se recomienda lo siguiente: talud interbanco de 1:1,6 (v:h) Altura interbanco de 8 m y ancho de banco de 10 m.		
6	2+700 - 2+850	2 + 800	Talud interbancos de 1:1,7 (v:h). Altura 1 ^{er} interbanco de 18 m y ancho de 1 ^{er} banco de 5 m. Altura de 2 ^o interbanco de 18 m y ancho de 2 ^o banco de 5 m.	1,66	1,14
7	2+900-3+100	2 + 950	El talud es estable, pero se recomienda lo siguiente: talud de 1:1,6 (v:h), el talud no presenta bancos.	-	-
8	3+200 - 3+800	3 + 350	El talud es estable, pero se recomienda lo siguiente: talud de 1:1,5 (v:h), el talud no presenta bancos.		

2. En el caso de encontrar suelos con relaves mineros, se propone analizar un estudio de licuación de suelos, ya que podría existir una carga dinámica o un evento

sísmico, y así poder evaluar su consolidación del suelo en el pie del talud de la desmontera de mina Excélsior.

3. Para determinar con más exactitud las características geotécnicas de una desmontera de mina, se propone realizar ensayos triaxiales a gran escala del material granular in situ para poder obtener una cohesión y ángulo de fricción más confiable.
4. Se recomienda a futuras investigaciones afinar los resultados obtenidos en el presente, con métodos probabilísticos; las mismas son estudios modernos en la cual los parámetros geotécnicos son tratados como variables aleatorias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre, R, (2017). *Análisis de la estabilidad física del depósito de relaves N° 5 de la concesión de beneficio Belén de Minera Titán del Perú S.R.L.* [Tesis Universidad Nacional San Agustín de Arequipa]. Repositorio institucional.

Avila, G, (2008). *Diseño y plan de desarrollo de escombreras para el área sur de la Mina Paso Diablo, Municipio Mara, Estado Zulia.* [Tesis Universidad Central de Venezuela]

Gomez, C. (2019). *Comportamiento geotécnico de suelos arcillosos compactados, respuesta a cargas estáticas y dinámicas* [Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid]. Repositorio institucional de la Universidad Complutense de Madrid. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/55931/1/T41185.pdf>

Lopez, E, (2016). *Estudio geotécnico y diseño del talud final de una mina a cielo abierto aplicando modelos numéricos.* [Tesis Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio de tesis digitales

Mamani, M, (2019). *Estudio geotécnico para el diseño y estabilidad del botadero de desmontes del proyecto Minero Las Aguilas.* [Tesis Universidad Nacional de Puno]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12436>

Vilcas, J, y Cier A, (2020). *Evaluación de los riesgos debido a un depósito informal de desmonte de mina frente a una comunidad – Caso Depósito de Desmonte en Pataz Trujillo.* [Tesis Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].

Vilca, A. (2019). *Estudio geotécnico para la estabilidad del Talud del depósito de desmonte Santa Rosa del proyecto Santa Rosa – Arequipa.* [Tesis Universidad

Nacional San Antonio Abad de Cusco].

http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/UNSAAC/4166/253T20190297_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

BIBLIOGRAFÍA

Anderson & Woessner (1991). *Applied Groundwater Modeling, Simulation of Flow and Advective Transport*. pp 396.

BISA (2012). *Ingeniería Básica y de Detalle del Depósito de Desmonte Molinete*. pp 31.

Chereque, Wendor. (1989). *Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil*. pp 117122.

Duncan, M. (2000). *Factors of Safety and Reliability in Geotechnical Engineering*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, pp. 307-309.

Gerscovich, D., Vargas, E., & de Campos, T. (2006). *the evaluation of unsaturated flow in a natural slope*. Rio de Janeiro: Engineering Geology.

Gonzalez de Vallejo, L. (2002). *Ingenieria Geológica (2da ed.)*. Madrid: Pearson Education.

Hernandez, Y, Ramirez, H., (2016). *Evaluación del riesgo asociado a vulnerabilidad física por taludes y laderas inestables en la microcuenca Cay, Ibagué, Tolima, Colombia*.

Kainthola, A, Verma, D (2011). "A Coal Mine Dump Stability Analysis India: Department of earth science, Indian Institute of technology Bombay, Vol.1 No.1, 2011.

Martinez, A, (1990). *XIII Congreso de Ingeniería Civil*

Oyanguren, R., & Alejano, P. (2007). *Mecánica De Rocas: Fundamentos e Ingeniería De Taludes*. Madrid.: Red DESIR

Suarez Diaz, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga, Colombia: Ingeniería de Suelos Ltda.

ANEXOS

Anexo: Instrumentos de Recolección de datos

1. Ficha de Observación directa de los análisis de taludes para cada sección analizada

Proyecto: Evaluación Geotécnica del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco
Realizado por: R.V.S. **Revisado por:** R.M.C.
Coordenadas:
Referencia: Desmonte Excélsior
Fecha: 20/05/2020

Sección de análisis	Progresiva (km)	Factor de seguridad		Condición
		Estático (a=0)	Pseudoestático (a=0,17 g)	
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
ídem	ídem	ídem	ídem	ídem

2. Ficha de Observación directa de Excavación de calicatas y trincheras

Proyecto: Evaluación Geotécnica del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco
Realizado por: R.V.S. **Revisado por:** R.M.C.
Coordenadas:
Referencia: Desmonte Excélsior
Fecha: 20/05/2020

Referencia	Coordenadas (WGS 84)		Calicata	Prof. Total (m)	Nivel freático (m)	Muestras alteradas
	Este (m)	Norte (m)				
Estudios Básicos	360 621	8 817 998	C-5	0,5	0,3	1
	360 647	8 818 100	C-6	0,8	0,5	1
	360 626	8 818 415	C-7	1,9	1,6	1
	360 577	8 818 599	C-8	1,6	0,6	
	360 654	8 818 764	C-9	1,8	N.A.	1
	361 142	8 817 745	C-12	1,7	N.A.	1
	360 900	8 817 548	C-13	2,6	N.A.	1
	361 201	8 817 753	C-14	3,00	2,8	
	361 099	8817915	C-15	3,30	0,15	1
	361 272	8818 110	C-16	2,50	1,00	
	360 906	8817611	TE-1	0,8	N.A.	1
	360 645	8 818 198	TE-2	0,8	N.A.	1
	360 707	8 818 738	TE-3	0,8	N.A.	1
	ídem	ídem	ídem	ídem	ídem	ídem
Estudio Geotécnico	361 121	8 817 762	C-1	2,0	2,0	
	361 068	8 817 838	C-2	2,0	1,6	1
	361 080	8 818 018	C-3	2,8	2,5	1
	361 176	8818 115	C-4	3,0	2,8	1
	361 487	8 817 880	TR-1	0,5	N.A.	1
	361 084	8 817 597	CAL-1	2,0	N.A.	
	360 771	8 817 754	CAL-2	1,2	1,0	
	360 667	8 817 891	CAL-3	1,2	1,1	1
	360 659	8 818 330	CAL-4	1,0	1,0	1
	361 000	8 818 814	CAL-5	1,0	N.A.	2
	ídem	ídem	ídem	ídem	ídem	ídem

7. Ficha de Observación directa de los Parámetros de los suelos para el análisis de estabilidad

Proyecto: Evaluación Geotécnica del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco Realizado por: R.V.S. Revisado por: R.M.C. Coordenadas: Referencia: Desmonte Excélsior Fecha: 20/05/2020					
Sección	Progresiva (km)	Estrato	C'' (kg/cm ²)	n	^y 3 (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
		Depósito de relave	0,35	0,0	1,50
3	1 +700	Grava arcillosa con arena	0,04	40,9	2,20
		Grava con limo - muy compacto	0,20	41,00	2,20
		Depósito de relave	0,35	0,0	1,50
4	1 +900	Grava arcillosa con arena	0,34	34,6	2,14
		Grava con limo - muy compacto	0,20	36,0	2,30
		Depósito de relave	0,35	0,0	1,50
5	2 + 400	Grava arcillosa con arena	0,35	38,8	2,55
		Grava con limo - muy compacto	0,20	40,00	2,55
		Grava arcillosa con arena	0,15	29,5	2,00
6	2 + 800	Grava limosa con arena	0,00	39,10	2,00
		Grava con limo - muy compacto	0,20	41,0	2,20
		Grava limosa con arena	0,28	42,7	2,10
7	2 + 950	Grava limosa con arena	0,00	39,10	2,00
		Grava con limo - muy compacto	0,20	41,0	2,20
		Grava limosa con arena	0,28	42,7	2,10
8	3 + 350	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
ídem	ídem	ídem	ídem	ídem	ídem

8. Ficha de Observación directa de análisis de estabilidad

Proyecto: Evaluación Geotécnica del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco Realizado por: R.V.S. Revisado por: R.M.C. Coordenadas: Referencia: Desmonte Excélsior Fecha: 20/05/2020					
Sección	Tramo analizado	Progresiva (km)	Medida	Factor de seguridad	
				Estático (a=0)	Pseudo estático (a=0,17)
1	0+250 - 0+600	0 + 450	Talud interbanco de 1:2 (V:H) Altura 1er interbanco =10 m Ancho 1er banco = 5 m Altura 2do interbanco =20 m Ancho 2do banco = 5 m Altura 3er interbanco = 20 m Ancho 3er banco =5 m	1,854	1,261
2	0+700-1+300	1 +300	Talud interbanco de 1:2 (V:H) Altura 1 er interbanco =20 m Ancho 1er banco = 5 m Altura 2do interbanco =20 m Ancho 2do banco = 5 m	2,115	1,421
3	1+400-1+800	1 +700	Talud interbanco de 1:2 (V:H) Altura 1er interbanco =20 m Ancho 1er banco = 5 m Altura 2do interbanco =20 m Ancho 2do banco = 5 m	1,978	1,365
4	1+800-2+100	1 +900	Talud interbanco de 1:2 (V:H) Altura 1er interbanco =20 m Ancho 1er banco = 5 m Altura 2do interbanco =20 m Ancho 2do banco = 5 m	2,062	1,387
5	2+200 - 2+600	2 + 400	Talud interbanco de 1:2 (V:H) Altura interbanco =20 m Ancho banco = 5 m	2,468	1,681
6	2+700 - 2+850	2 + 800	Talud interbanco de 1:2 (V:H) Altura 1er interbanco =20 m Ancho 1er banco = 5 m Altura 2do interbanco =20 m Ancho 2do banco = 5 m	1,626	1,110
7	2+900-3+100	2 + 950	Talud interbanco de 1:2 (V:H) Altura 1er interbanco =20 m Ancho 1er banco = 5 m Altura 2do interbanco =20 m Ancho 2do banco = 5 m	1,626	1,110
ídem	ídem	ídem	ídem	ídem	ídem

9. Ficha de Observación directa de los parámetros geomorfológicos

Proyecto: Evaluación Geotécnica del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco

Realizado por: R.V.S.
R.M.C.

Revisado por:

Coordenadas:

Referencia: Desmonte Excélsior

Fecha: 20/05/2020

Parámetros	Símbolo	Cuenca Quiulacocha	Unidades
Área	A		
Perímetro	P		
Cota máxima	—		
Cota mínima	—		
Longitud de cauce	L		
Diferencia de altura	AH		
Coefficiente de compacidad	Kc		
Ancho medio	W		
Factor de forma	F _f		
Pendiente del curso principal	S		

Anexo : Procedimiento de validación y confiabilidad

I. DATOS GENERALES:

Apellidos y nombres del informante: Ronald Vega Solis

Cargo o institución donde labora: Ingeniero de minas – AESA

Nombre del instrumento de evaluación: Ficha de Observación directa de los análisis de taludes para cada sección analizada

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

INDICADORES	CRITERIOS	DEFICIENTE				REGULAR				BUENO				MUY BUENO				EXCELENTE			
		0 - 20				21 - 40				41 - 60				61 - 80				81 - 100			
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. TÍTULO	Hace referencia al problema mecionado en las variables																				X
2. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado																			X	
3. OBJETIVIDAD	Esta expresado en conductas obsevables																		X		
4. ACTUALIDAD	Está acorde a los cambios en la administración moderna																				X
5. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica																				X
6. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en cantidad y lógica																			X	
7. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar los aspectos de la gestión de procesos																			X	
8. CONSISTENCIA	Basados en aspectos teóricos científicos																				X
9. COHERENCIA	Entre los indicadores y las dimensiones																				X
10. METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito del diagnóstico																	X			

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

El instrumento evaluado cumple con lo requerido para la investigación, en la evaluación de depósitos de desmonte.

IV. PROMEDIO DE LA EVALUACIÓN:

El resultado de la evaluación de 92.

Cerro de pasco 30 de agosto del 2022

44727213



Lugar y fecha

DNI

Firma del experto

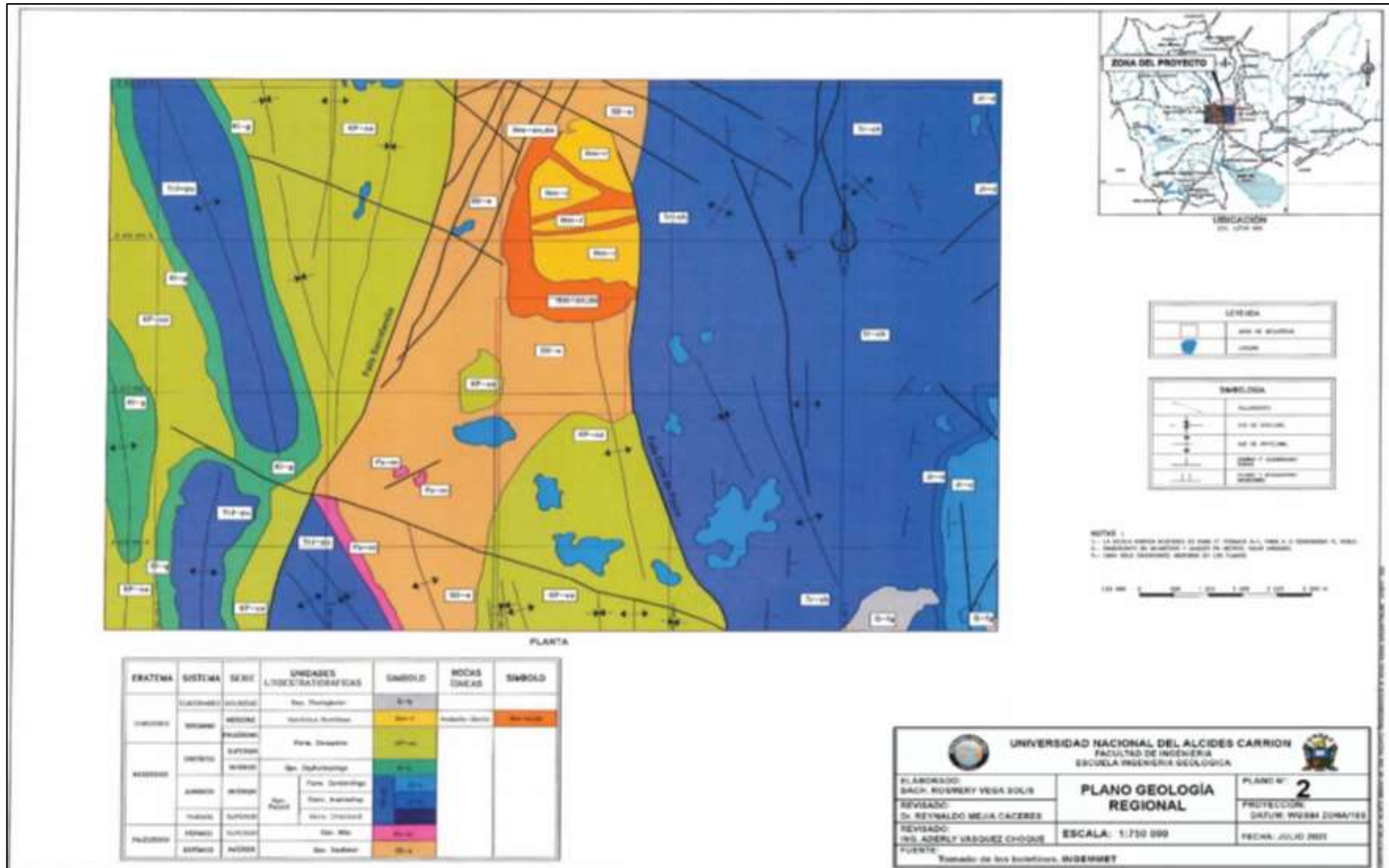
979347013

Teléfono

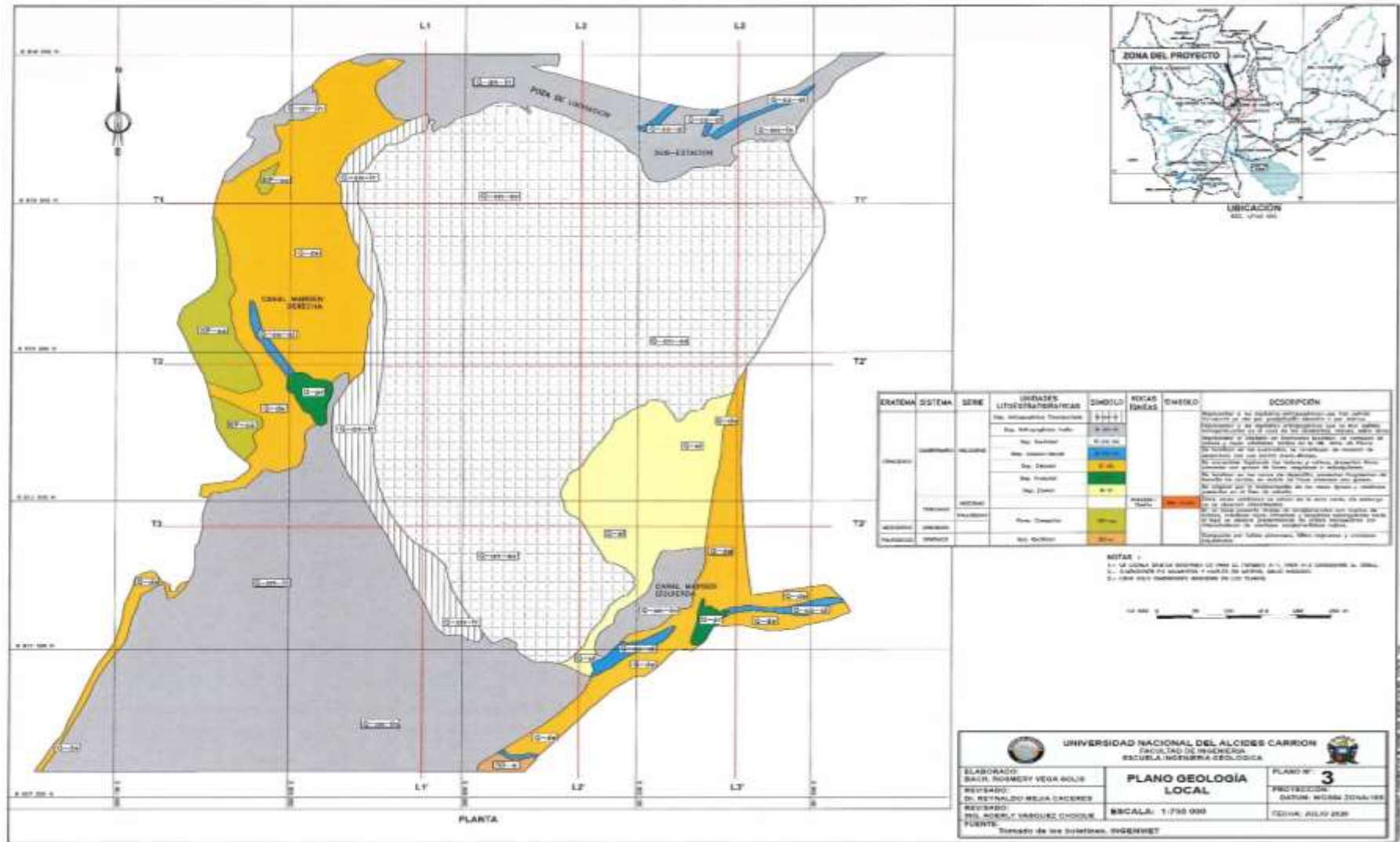
Anexo: Plano de ubicación



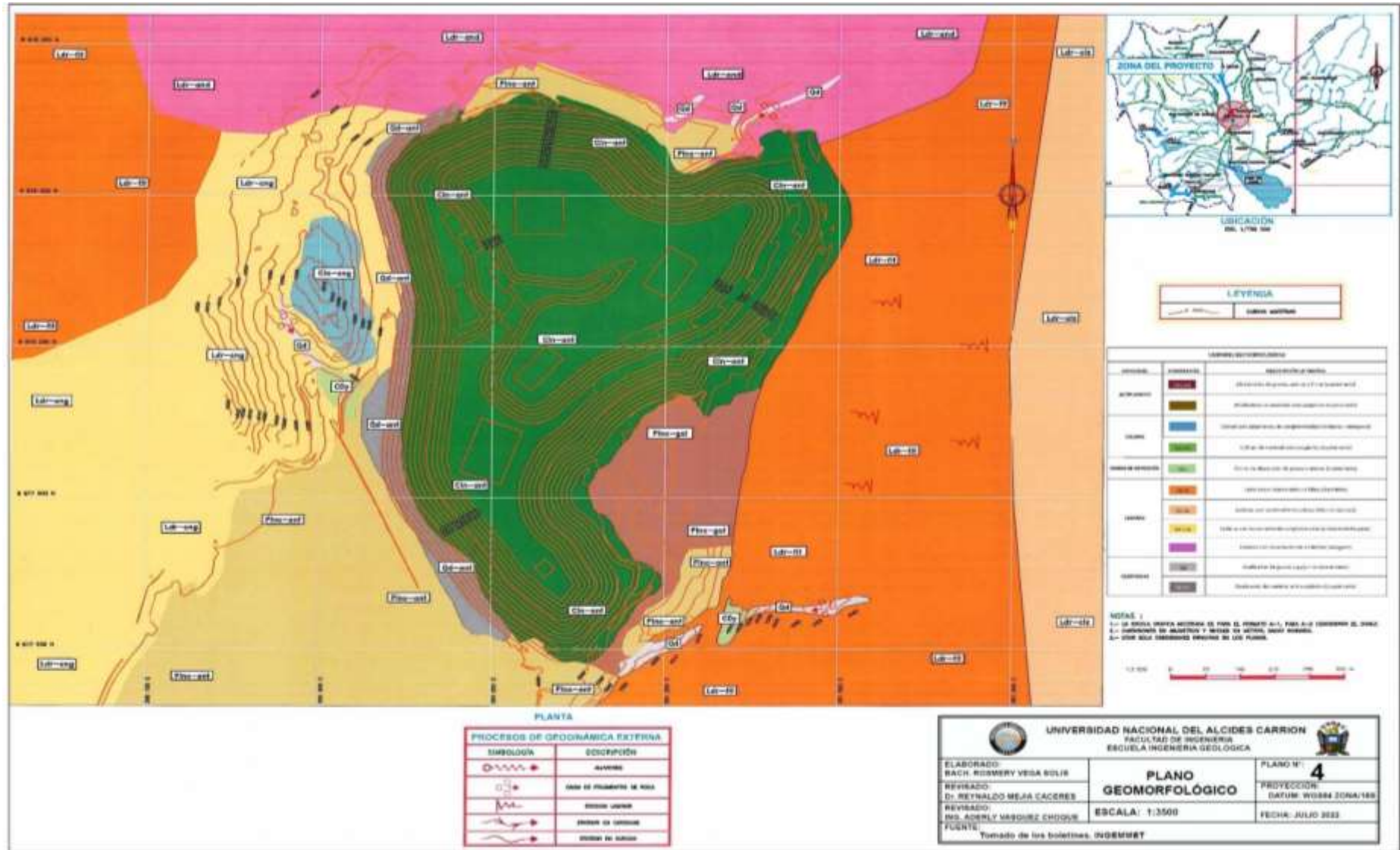
Anexo: Plano de geología regional



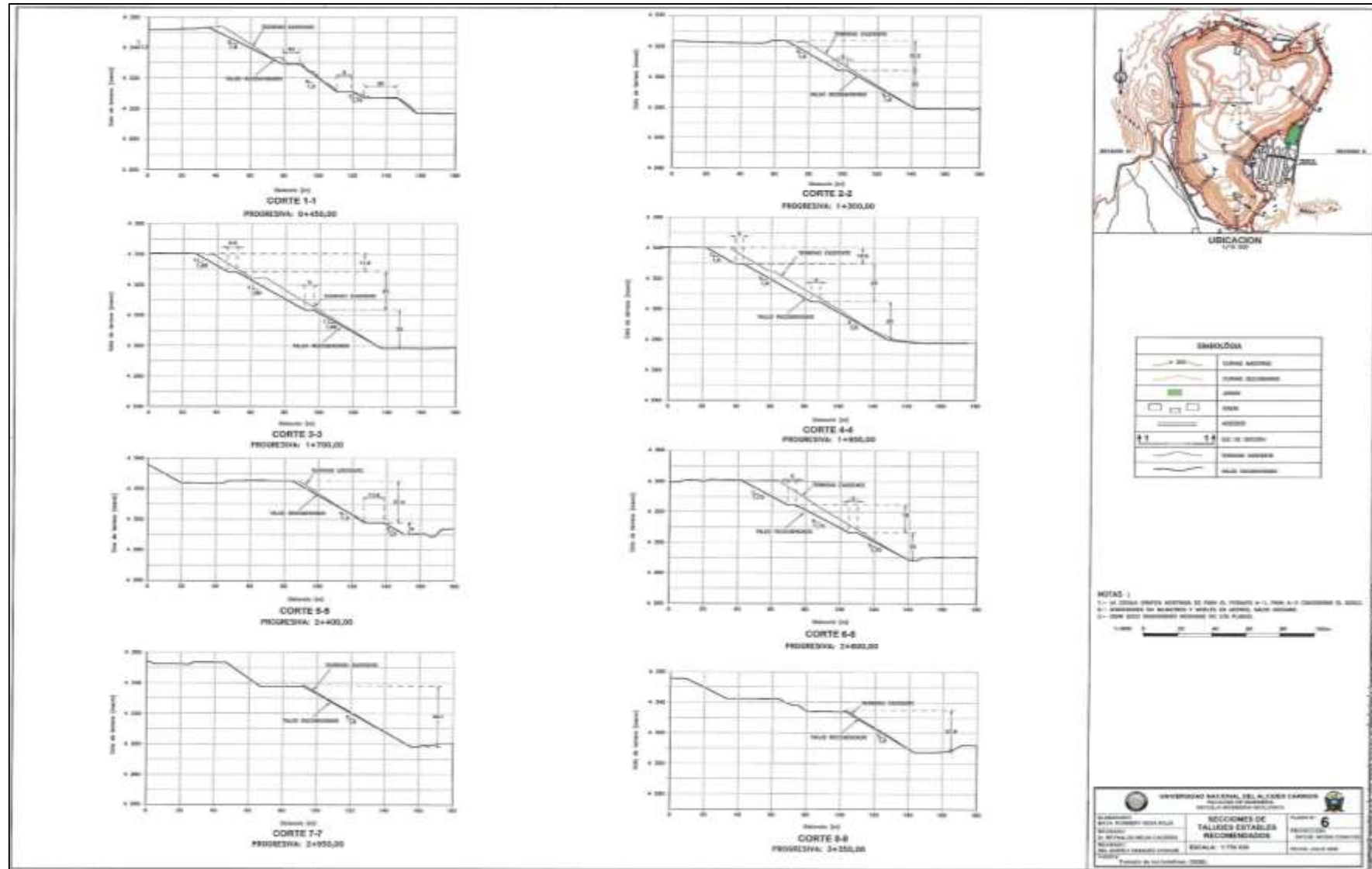
Anexo: Plano de geología local



Anexo: Plano geomorfológico



Anexo: Plano de secciones de taludes estables recomendados



Anexo: Panel fotográfico de calicatas, trincheras, DPL, densidad (Fuente: CESEL)



Anexo: Matriz de consistencia

TÍTULO DE TESIS: “Evaluación Geotécnica del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco, 2020”.

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLE
<p>PROBLEMA GENERAL:</p> <p>¿Será factible la Evaluación Geotécnica del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco, 2020 para el cierre del pasivo ambiental minero?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL:</p> <p>Determinar la factibilidad de la Evaluación Geotécnica del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco para el cierre del pasivo ambiental minero.</p>	<p>HIPOTESIS GENERAL:</p> <p>La Evaluación Geotécnica del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco, nos determinará la factibilidad para el cierre del pasivo ambiental minero.</p>	
<p>PROBLEMAS ESPECIFICOS:</p> <p>¿Cuáles son los parámetros geotécnicos del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco, 2020?</p> <p>¿Será factible la evaluación de la estabilidad física del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco, 2020?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECIFICOS:</p> <p>Analizar los parámetros geotécnicos del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco.</p> <p>Determinar la factibilidad de la evaluación de la estabilidad física del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco.</p>	<p>HIPOTESIS ESPECIFICOS:</p> <p>El análisis de los parámetros geotécnicos del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco es factible.</p> <p>La evaluación de la estabilidad física del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco es factible.</p>	<p>Evaluación Geotécnica</p>

