

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE

FACULTAD DE INGENIERÍA



Rediseño de Taludes con Material de Desmonte para Mejorar la
Estabilidad Física de los Taludes en la Unidad Minera Tacaza

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR

Johel Kennet Ramos Cabrera

REVISOR

Christian Edwar Ríos Paredes

Lima, Perú

2023

METADATOS COMPLEMENTARIOS**Datos del autor**

Nombres	JOHEL KENNET
Apellidos	RAMOS CABRERA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	48493834
Número de Orcid (opcional)	

Datos del asesor

Nombres	CHRISTIAN EDWAR
Apellidos	RIOS PAREDES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	43164616
Número de Orcid (obligatorio)	0000-0002-6880-7009

Datos del Jurado**Datos del presidente del jurado**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	

Datos del segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	

Datos del tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	

Datos de la obra

Materia*	depósito de desmonte, parámetros geotécnicos, taludes
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado: enlace	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01
Idioma (Normal ISO 639-3)	SPA - español
Tipo de trabajo de investigación	Trabajo de Suficiencia Profesional
País de publicación	PE - PERÚ
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	Ingeniero Civil
Grado académico o título profesional	Título Profesional
Nombre del programa	Ingeniería Civil
Código del programa Consultar el listado: enlace	732016

*Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesoro).

FACULTAD DE INGENIERÍA

ACTA N° 042-2023-UCSS-FI/TPICIV

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Los Olivos, 30 de mayo de 2023

Siendo el día jueves 18 de mayo de 2023, en la Universidad Católica Sedes Sapientiae, se realizó la evaluación y calificación del siguiente informe de Trabajo de Suficiencia Profesional.

“Rediseño de Taludes con Material de Desmonte para Mejorar la Estabilidad Física de los Taludes en la Unidad Minera Tacaza”

Presentado por el bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil de la Sede Lima:

RAMOS CABRERA, JOHEL KENNET

Ante la comisión evaluadora de especialistas conformado por:

Ing. LAURENCIO LUNA, VILMA MÓNICA

Ing. CANTA HONORES, JORGE LUIS

Luego de haber realizado las evaluaciones y calificaciones correspondientes la comisión lo declara:

APROBADO

En mérito al resultado obtenido se expide la presente acta con la finalidad que el Consejo de Facultad considere se le otorgue al Bachiller RAMOS CABRERA, JOHEL KENNET el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

En señal de conformidad firmamos,



LAURENCIO LUNA, VILMA MÓNICA
Evaluador especialista 1



CANTA HONORES, JORGE LUIS
Evaluador especialista 2

Anexo 2**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE TESIS / INFORME ACADÉMICO/ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/ TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO**

Los Olivos, 14 de agosto de 2023

Señor

Manuel Ismael Laurencio Luna

Coordinador del Programa de Estudios de Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería

Universidad Católica Sedes Sapientiae

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que informe de Trabajo de Suficiencia Profesional, bajo mi asesoría, con título: **“Rediseño de Taludes con Material de Desmonte para Mejorar la Estabilidad Física de los Taludes en la Unidad Minera Tacaza”**, presentado por RAMOS CABRERA, JOHEL KENNET con código 2012100689 y DNI 48493834 para optar el título profesional de Ingeniero Civil, ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser publicado.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 10%**. * Por tanto, en mi condición de asesor, firmo la presente carta en señal de conformidad y adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'C. Rios', is positioned above a horizontal line.

Christian Edwar Rios Paredes
Docente Revisor
DNI N° 43164616
ORCID: 0000-0002-6880-7009
Facultad de Ingeniería - UCSS

* De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo principal realizar el rediseño de los taludes con material de desmonte para mejorar la estabilidad física. La investigación es del tipo no experimental de carácter explicativo, el cual busca describir las fases de desarrollo, teniendo en su primera fase la revisión de toda la información proporcionada por el cliente, en la segunda fase se tuvieron los trabajos de campo verificando las condiciones actuales del depósito de desmonte, seguido de ello se desarrollaron los trabajos de campo, toma de las muestras para los ensayos de suelos para la obtención de las propiedades físicas de las muestras, la fase tres fue el desarrollo de los trabajos de gabinete, en donde se realizaron los análisis respectivos para mejorar la estabilidad física del depósito de desmonte Tacaza, en su condición actual a fin de verificar en que zonas se presentan un factor de seguridad más bajo. Las propiedades del material son $\rho = 12,25 \text{ kN/m}^3$, $C = 4 \text{ Kpa}$, $\phi = 32^\circ$, clasificado como un SM, los taludes finales son 15H:1,0V, con una altura de relleno de 15 m, con el cual se tienen factores de seguridad que se encuentran por encima de lo mínimo permisible de las tres secciones de análisis, con el cual se garantiza la estabilidad de la estructura.

Palabras clave: depósito de desmonte, parámetros geotécnicos, taludes.

Abstract

The main objective of this investigation is to carry out the redesign of the slopes with waste material to improve physical stability. The research is of the non-experimental type of an explanatory nature, which seeks to describe the development phases, having in its first phase the review of all the information provided by the client, in the second phase the field work was carried out verifying the current conditions. waste deposit, followed by field work, taking samples for soil tests to obtain the physical properties of the samples, phase three was the development of office work, where the respective analyzes were carried out to improve the physical stability of the Tacaza waste rock deposit, in its current condition, in order to verify in which areas there is a lower safety factor. The material properties are $\rho = 12,25 \text{ kN/m}^3$, $C = 4 \text{ Kpa}$, $\phi = 32^\circ$, classified as an SM, the final slopes are 15H:1,0V, with a fill height of 15 m, with which they have safety factors that are above the minimum allowable of the three sections of analysis, with which the stability of the structure is guaranteed.

Keywords: waste rock deposit, geotechnical parameters, slopes.

Índice General

Resumen.....	2
Abstract.....	3
Índice general.....	4
Índice de tablas.....	6
Índice de figuras.....	7
1. Introducción.....	9
2. Trayectoria del autor.....	12
2.1. Descripción de la empresa.....	12
2.2. Organigrama de la empresa.....	13
2.3. Áreas y funciones desempeñadas.....	14
2.4. Experiencia profesional realizada en la organización.....	14
3. Problemática.....	16
3.1. Planteamiento del problema.....	16
3.2. Determinación del problema.....	18
3.2.1. Problema principal.....	18
3.2.2. Problemas secundarios.....	18
3.3. Objetivo general.....	18
3.4. Objetivos específicos.....	18
3.5. Justificación.....	19
3.6. Alcances.....	20
4. Marco teórico.....	22

4.1. Antecedentes bibliográficos	22
4.2 Bases teóricas	27
4.3. Definición de términos básicos	41
5. Propuesta de solución	43
5.1. Metodología de la investigación	43
5.2. Desarrollo de la solución	45
5.3. Factibilidad técnica operativa	73
5.4. Cuadro de inversión	74
6. Análisis de resultados	76
6.1. Análisis costos – beneficio	79
7. Aportes más destacables a la empresa / institución.....	82
8. Conclusiones.....	84
9. Recomendaciones	88
10. Referencias	90
11. Anexos	93

Índice de Tablas

Tabla 1. <i>Accesibilidad a la zona del proyecto</i>	46
Tabla 2. <i>Características del depósito de desmonte Tacaza</i>	47
Tabla 3. <i>Ubicación de investigaciones geotécnicas</i>	51
Tabla 4. <i>Resultados de ensayo de densidad de campo</i>	54
Tabla 5. <i>Resultados de ensayos estándar</i>	57
Tabla 6. <i>Resultados de corte directo</i>	57
Tabla 7. <i>Aceleración máxima para diferentes periodos de retorno</i>	68
Tabla 8. <i>Aceleración de diseño para diferentes periodos de retorno</i>	68
Tabla 9. <i>Propiedades de los materiales para el análisis de estabilidad</i>	71
Tabla 10. <i>Resultados análisis de estabilidad en condiciones actuales</i>	72
Tabla 11. <i>Resultados análisis de estabilidad para la condición proyectada</i>	73
Tabla 12. <i>Inversión del estudio</i>	74
Tabla 13. <i>Factores mínimos de seguridad</i>	77
Tabla 14. <i>Resultados análisis de estabilidad en condiciones actuales</i>	78
Tabla 15. <i>Resultados análisis de estabilidad para la condición proyectada</i>	79
Tabla 16. <i>Presupuesto de obra con la propuesta</i>	79

Índice de Figuras

Figura 1. <i>Fotografía del depósito de desmonte Tacaza – condición actual</i>	28
Figura 2. <i>Tipos de conformación de los depósitos de desmonte</i>	30
Figura 3. <i>Métodos para el cálculo de estabilidad de taludes</i>	35
Figura 4. <i>Análisis de estabilidad por el método ordinario de las dovelas</i>	36
Figura 5. <i>Esquema estático – Método Spencer</i>	37
Figura 6. <i>Factor de seguridad según normativa</i>	39
Figura 7. <i>Depósito de desmonte Tacaza condición actual</i>	52
Figura 8. <i>Excavación de calicata C-07</i>	52
Figura 9. <i>Excavación de calicata C-08</i>	52
Figura 10. <i>Excavación de calicata C-09</i>	53
Figura 11. <i>Ensayo de densidad de campo método de cono de arena C-07</i>	55
Figura 12. <i>Ensayo de densidad de campo método de cono de arena C-09</i>	55
Figura 13. <i>Condición actual del depósito de desmonte Tacaza</i>	58
Figura 14. <i>Sección A análisis estático en las condiciones actuales del depósito de desmonte Tacaza</i>	59
Figura 15. <i>Sección A análisis pseudoestático en las condiciones actuales del depósito de desmonte Tacaza</i>	59
Figura 16. <i>Sección B análisis estático en las condiciones actuales del depósito de desmonte Tacaza</i>	60
Figura 17. <i>Sección B análisis pseudoestático en las condiciones actuales del depósito de desmonte Tacaza</i>	60

Figura 18. <i>Sección C análisis estático en las condiciones actuales del depósito de desmonte Tacaza</i>	61
Figura 19. <i>Sección C análisis pseudoestático en las condiciones actuales del depósito de desmonte Tacaza</i>	61
Figura 20. <i>Condición proyectada del depósito de desmonte Tacaza</i>	63
Figura 21. <i>Sección A análisis estático en la condición proyectada del depósito de desmonte Tacaza</i>	64
Figura 22. <i>Sección A análisis pseudoestático en la condición proyectada del depósito de desmonte Tacaza</i>	65
Figura 23. <i>Sección B análisis pseudoestático en la condición proyectada del depósito de desmonte Tacaza</i>	65
Figura 24. <i>Sección B análisis pseudoestático en la condición proyectada del depósito de desmonte Tacaza</i>	66
Figura 25. <i>Sección C análisis pseudoestático en la condición proyectada del depósito de desmonte Tacaza</i>	66
Figura 26. <i>Sección C análisis pseudoestático en la condición proyectada del depósito de desmonte Tacaza</i>	67

1. Introducción

El rubro de la minería viene realizando desde algunos años, diversas actividades de explotación de minerales que generan un alto valor económico para las unidades mineras que se encargan de invertir en el proceso de explotación manual o con maquinaria, por lo que, este proceso generan impactos en el entorno del medio ambiente dado que alteran la condición inicial, el material estéril que no genera valor económico es denominado desmonte de mina el cual no puede ser depositado en cualquier lugar por la normativa ambiental el cual exige que se debe de contar con estructuras para la disposición del material de desmonte a lo largo de toda la etapa de explotación de minerales el cual debe de tener estudios previos para la construcción de este tipo de estructura cumpliendo con los criterios mínimos de estabilidad física e hidrológica.

En la actualidad existen empresas mineras que trabajan de manera informal causando consecuencias en el entorno del medio ambiente, contaminando la flora, fauna y los cauces de los ríos perjudicando a los pueblos que se encuentran cercanos quienes ya ven de manera altamente contaminador los procesos de trabajos de explotación.

Por consecuencia de la informalidad, se han creado entidades que se encargan de regularizar y fiscalizar el cumplimiento de la no afectación del ambiente y los pueblos por la consecuencia de implementar estas estructuras en su etapa de operación.

Estas estructuras que son duraderas a lo largo de muchos años deben de garantizar estabilidad propia y ante los eventos sísmicos que se generan en un periodo de retorno, por lo que, el colapso de esta genera una consecuencia que afecta el entorno del ambiente ocasionando destrucción en las estructuras que se encuentran cercanos, teniendo impacto en lo ambiental, social y económico.

La presente investigación se enfoca que mediante la actualización de su informe de estabilidad de taludes, se pudo evidenciar que la condición actual en la que se encuentra el depósito de desmonte Tacaza, se verificó que los taludes son inestables, actualmente los taludes no han sufrido un deslizamiento, por lo que, es necesario darle una solución antes de que esta falle y ocasione las consecuencias descritas, es por ello que mediante una evaluación de alternativas más conveniente para la unidad minera fue de realizar el rediseño de los taludes en donde se presenta mayor pendiente, siendo conformadas la nueva configuración con material de préstamo seleccionado que se encuentre cerca del área, con el cual se garantice la estabilidad física y perdure hasta su etapa de cierre final y evitando las penalidades que se impondrían por parte del Osinergmin.

Por lo descrito, la presente investigación se encuentra dividido en 11 capítulos, en los cuales se describirán los procedimientos que se tuvieron para poder darle la solución y cumplir con los objetivos.

Capítulo 2, se describe la trayectoria que tuvo el autor del proyecto de investigación en la rama en la que se desarrolla a lo largo de su experiencia laboral y el lugar donde laboro.

Capítulo 3, se realiza el planteamiento del problema que tiene el depósito de desmonte Tacaza, con el cual se establecerán los objetivos para el proyecto de investigación.

Capítulo 4, se describe los antecedentes que se utilizaron de estudios que presentan variables similares de la fuente de investigación que complementan el desarrollo del proyecto.

Capítulo 5, se presenta el desarrollo de la solución a los objetivos establecidos, explicando la metodología que se utilizara para la investigación, las fases de desarrollo; fases de trabajos preliminares, trabajos de campo, los trabajos de gabinete, la factibilidad técnica operativa y el cuadro de inversión para el proyecto.

Capítulo 6, se presentan los análisis de resultados en función de los objetivos planteados del proyecto de investigación.

Capítulo 7, se presentan los aportes más destacables del profesional a la empresa donde laboro para brindarle solución a la problemática.

Capítulo 8, se mencionan las conclusiones del proyecto a los objetivos establecidos, con el cual se le da la alternativa de solución a la unidad minera.

Capítulo 9, se presentan las recomendaciones del proyecto.

2. Trayectoria del Autor

2.1. Descripción de la Empresa

Asesores y Consultores Mineros S.A., (ACOMISA), es una empresa privada que se dedica a realizar estudios en el rubro de la minería, desarrollando estudios de impacto ambiental y estudios de ingeniería geotécnica.

Datos generales de la Empresa

Razón Social: Asesores y Consultores Mineros S.A.

RUC: 20154682385

Domicilio Legal: Calle Jorge Muelle Nro. 169 Dpto. 1. Torres Limatambo-San Borja-Lima-Perú

Teléfono: (01) 2258166

Visión

Ser una empresa reconocida, líder a nivel nacional por la excelencia de sus servicios de ingeniería, mediante la innovación tecnológica para sus clientes, principalmente en el sector minero y construcción.

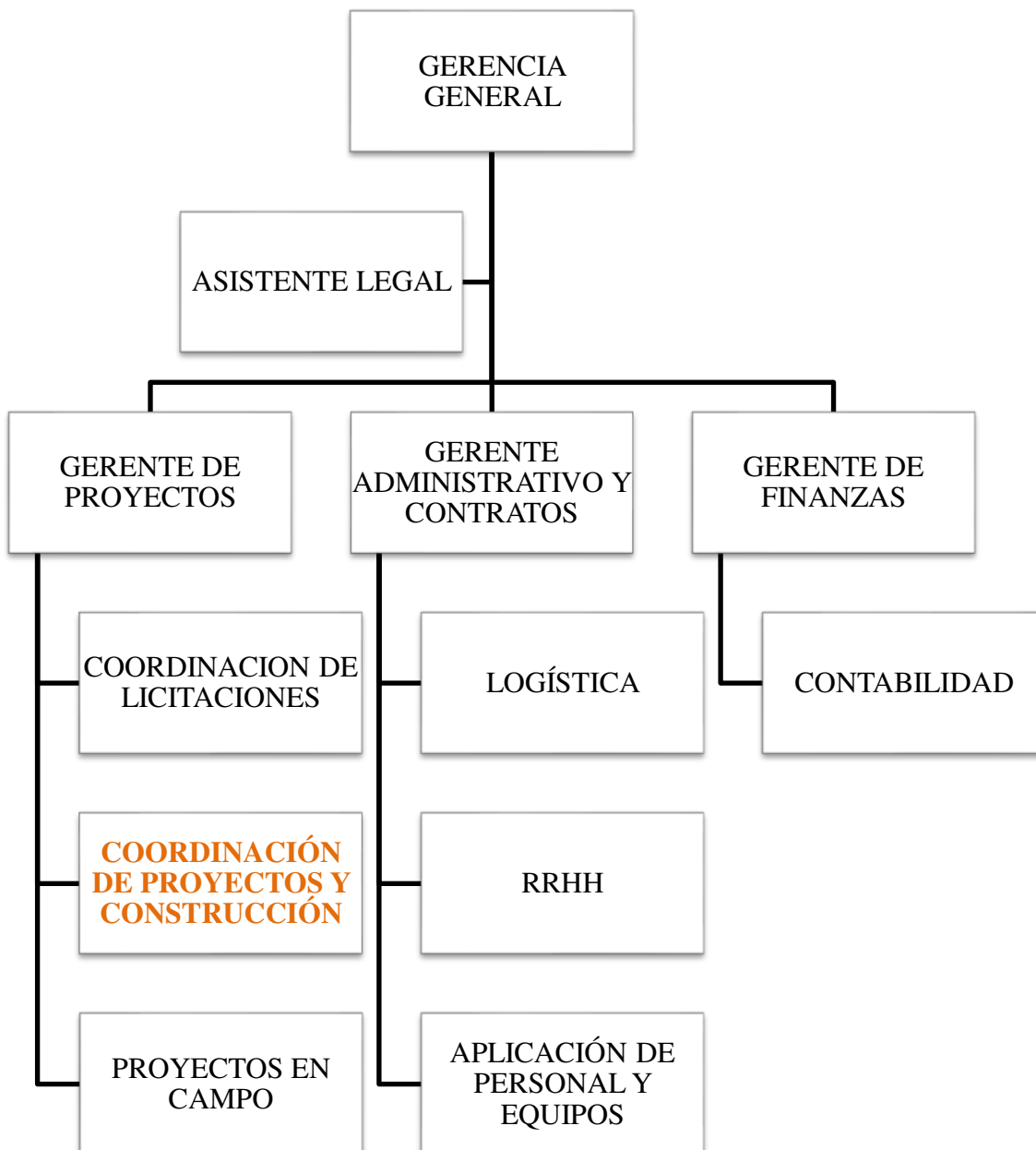
Misión

Somos una empresa de ingeniería, certificada en las normas ISO que brinda servicios de ingeniería y gerenciamiento de proyectos de ingeniería, cumpliendo los requerimientos de nuestros clientes, innovando con tecnología de punta y garantizando con altos niveles de calidad, seguridad y medio ambiente en todos nuestros procesos.

Valores

Nuestros valores son fundamentales como empresa, estos son los más resaltantes y los cuales nos sirven de guía en nuestros servicios. Estos son: Excelencia, Integridad, Humanista, Innovación.

2.2. Organigrama de la Empresa



2.3 Áreas y Funciones Desempeñadas

El autor se encuentra en el grupo de Coordinación de Proyectos y Construcción, el cual se encuentra conformado por tres profesionales.

Roel Porlles, con cargo de Ing. Geólogo: quien realiza los trabajos de caracterización geológica de la zona de influencia en donde se proyectarán las estructuras mineras.

Johel Ramos, con cargo de Ing. Civil: desempeña los trabajos de campo y gabinete, enfocado en los estudios de suelos, elaboración de planos, análisis de resultados, costos y presupuestos y evaluación del análisis de estabilidad física.

Mauricio Rojas, con cargo de Proyectista civil: se desempeña en la elaboración de los planos de detalles para los componentes mineros.

2.4 Experiencia Profesional Realizada en la Organización

A continuación, se describen los proyectos realizados dentro de la organización:

- Se realizaron Estudios de actualización de taludes de Depósitos de relaves y Depósitos de desmontes.
- Se ejecutaron los trabajos de campo: supervisión de ejecución de calicatas y ensayos in situ.
- Se realizaron los Diseños de ingeniería de detalle de componentes mineros, canales hidráulicos, pozas de disipación entre otras.
- Se elaboraron planos de ingeniería a nivel de construcción de componentes mineros.
- Se realizaron las coordinaciones respectivas con patrocinador para los trabajos de campo para la ingeniería de detalle de los componentes mineros.
- Se realizaron las Valorizaciones de cada entregable de acuerdo con la propuesta técnica económica de los proyectos.

- Se realizaron las coordinaciones respectivas con el cliente y se realizó la supervisión del personal solicitado para los trabajos de campo de las actividades requeridas en función de las necesidades del proyecto.

3. Problemática

3.1 Planteamiento del Problema

Las unidades mineras, con sus actividades de explotación de mineral generan un material excedente que no les genera ingreso denominado material estéril, el cual debe de ser dispuesto en áreas que han sido aprobadas en instrumentos ambientales como una EIA, las áreas deberán ser lo suficiente amplias para almacenar la cantidad que se generan en el tiempo de operación, esta estructura es denominada Depósito de Desmonte.

Los depósitos de desmonte, cuando no son diseñados considerando todos los criterios de técnicos necesarios, pueden conllevar en un determinado tiempo a tener problemas y hasta generarse un colapso de la misma estructura, ocasionando un impacto negativo en el ambiente.

Los colapsos o deslizamientos de los taludes de los depósitos de desmonte en las unidades mineras se ven generados por aspectos tanto como los parámetros geotécnicos de los materiales del material estéril que es usado en la conformación del relleno del desmonte, características geométricas de los taludes de relleno, aspectos geológicos.

El colapso de los taludes de los depósitos de desmonte, pueden ser prevenidos mediante la evaluación de la actualización del estudio de estabilidad física el cual se presenta cada dos años actualizando los parámetros geotécnicos y la topografía del terreno para estas estructuras, en los cuales se verifican la condición en la que se encuentran en su etapa de operación mediante la actualización de los informes de estabilidad.

La reparación de un talud que está a punto de colapsar puede ser prevenido mediante la implementación de materiales que garanticen la estabilidad física, estos pueden ser con sistema de reforzamiento de geosintéticos, muros de contención, muros de enrocado y la

reconformación de los taludes con materiales de préstamo, las alternativas de solución van a depender del costo y el tiempo que implica la ejecución de cada propuesta de diseño para las necesidades de las unidades mineras.

El deslizamiento de los taludes, la reparación es un trabajo sumamente costoso debido a los trabajos de movimiento de tierras y los trabajos de perfilamiento de los taludes que se realicen para su reconstrucción, es por ello que la propuesta busca evitar el colapso y evitar la pérdida en costo y tiempo con rediseño.

En la actualidad existen consultoras que implementaron el área de ingeniería geotécnica quienes son especialistas para los trabajos requeridos por las empresas mineras quienes mandan a elaborar los estudios solicitados por las entidades fiscalizadora, evitando de esta manera las multas y sanciones si no se da el cumplimiento.

El depósito de desmonte Tacaza, en la condición actual que presenta mediante una evaluación de estabilidad física determinaron que se encuentra en una condición inestable conllevando a que en un tiempo determinado fallen los taludes ocasionando afectación en el entorno de la unidad minera y destrucción de estructuras cercanas.

Como medida de solución al problema que presenta las condiciones actuales de los taludes del depósito de desmonte, mediante una evaluación de alternativas que sean eficientes tanto para la parte de costo y tiempo que estén al alcance de la unidad minera, plantea el rediseño de los taludes inestables con material de préstamo el cual debe cumplir con las características geotécnicas requeridas que mejoren la estabilidad física para su etapa de operación hasta su etapa de cierre final.

Como medida de verificación del análisis de estabilidad física de la nueva configuración final con la propuesta del rediseño de los taludes del depósito de desmonte Tacaza, se empleará

el software geotécnico Slide, empleando la metodología de equilibrio límite, aceleración del coeficiente sísmico para el análisis pseudoestático, con el cual se garantiza la estabilidad física de los taludes evitando problemas a largo plazo, por otro lado, se deberán de realizar los trabajos de monitoreo a la instrumentación geotécnica con la finalidad de verificar los desplazamientos y el asentamiento de la estructura.

3.2. Determinación del Problema

3.2.1. Problema Principal

¿Cómo será el rediseño de taludes con material de préstamo para mejorar la estabilidad de taludes del Depósito de Desmonte Tacaza?

3.2.2. Problemas Secundarios

¿Cuáles son las propiedades físicas del material de desmonte para el rediseño de taludes para mejorar la estabilidad física de los taludes en la unidad minera Tacaza?

¿Cuáles son los taludes adecuados para el rediseño con material de desmonte para mejorar la estabilidad física?

¿Cuál es el factor de seguridad que tiene el rediseño de taludes con material de desmonte en la unidad minera Tacaza?

3.3. Objetivo General

Determinar el rediseño de taludes con material de préstamo para mejorar la estabilidad de taludes del Depósito de Desmonte Tacaza

3.4. Objetivos Específicos

¿Determinar las propiedades físicas del material de desmonte para el rediseño de taludes para mejorar la estabilidad física de los taludes en la unidad minera Tacaza?

¿Determinar los taludes adecuados para el rediseño con material de desmonte para mejorar la estabilidad física?

¿Determinar el factor de seguridad que tiene el rediseño de taludes con material de desmonte en la unidad minera Tacaza?

3.5. Justificación

El estudio de investigación se justifica por los siguientes aspectos:

Justificación Teórica

Osinergmin, es una organización que se encarga de supervisar el funcionamiento adecuado de las estructuras dentro de la unidad minera Tacaza, por lo que, exige que las estructuras deben encontrarse en condiciones óptimas y adecuadas para su etapa de operación, si esta no cumple con lo establecido, la unidad será sancionada.

Justificación Técnica

Enfoca el desarrollo de la propuesta de solución del proyecto de investigación teniendo en cuenta tres fases para su desarrollo:

Revisión de información proporcionada por el cliente, mediante el cual se verificará toda la información que servirá para la elaboración del proyecto y el planteamiento para los trabajos de campo.

La segunda fase, se da mediante el proceso del uso de la normativa para la elaboración de los trabajos de campo para las investigaciones geotécnicas y toma de muestras para los ensayos de laboratorio.

La tercera fase, es en la que se desarrollaran los trabajos de gabinete como desarrollo de los planos, interpretación de resultados de laboratorio y conclusión del proyecto.

Justificación Práctica

Se da para lo siguiente:

Estudio de suelos, para obtener las propiedades físicas del material de desmonte con el cual establecer los taludes adecuados en el rediseño de los taludes.

Elaboración de planos de detalle de la configuración final del rediseño de los taludes del depósito de desmonte.

El uso del software Slide con el cual se verificará el cumplimiento de la estabilidad física del depósito de desmonte en su configuración final.

Justificación Económica

El proyecto tiene justificación económica, dado que en el presupuesto no se considera contratar recursos para su ejecución, puesto que ya se cuenta con el material y personal necesario.

Justificación Legal

El proyecto de investigación se justifica legalmente, dado que, si la estructura no cumple con los requerimientos establecidos por el Osinergmin, esta se verá sancionada con una multa por los impactos que podrían generar en el ambiente si esta sufre colapsos.

Justificación Ambiental

El proyecto se justifica ambientalmente, por el cumplimiento de estabilidad física del depósito de desmonte evitando de esta manera un impacto negativo en el entorno del medio ambiente, afectando a la población, flora, fauna y cuerpos de agua.

3.6. Alcances

El alcance de la investigación es poder realizar el rediseño de los taludes inestables con material de préstamo seleccionado con la finalidad de poder mejorar las condiciones de

estabilidad física para su etapa de operación hasta su etapa de cierre final, para ello se realizarán los trabajos de investigaciones geotécnicas y ensayos de laboratorio del material de desmonte y el material de préstamo, para ello se tiene:

Alcance de Información

La información de los estudios anteriores del depósito de desmonte será proporcionada por el cliente del cual se tomará la data necesaria para complementar el estudio del rediseño de los taludes.

Alcance de Accesibilidad

El cliente garantizó el ingreso a la unidad minera, con la finalidad de poder realizar los trabajos de campo necesarios para el desarrollo del proyecto, así como, verificación de la condición actual en la que se encuentra a fin de poder observar los sectores en donde se encuentran las mayores pendientes en los taludes.

La investigación se limita en que no existen diversidades de normativas geotécnicas orientadas a este tipo de estructuras de depósitos de desmonte.

No existe una normativa de suelos que indique la cantidad de investigaciones geotécnicas mínimas para este tipo de estructuras.

Se tuvo complicación al momento del arribo a la unidad minera dado que por la altitud en la que se encuentra, se tomaron dos días para poder aclimatar al personal que subió, retrasando los trabajos estipulados en el plan de trabajo.

4. Marco Teórico

4.1. Antecedentes Bibliográficos

Antecedentes Nacionales

Montesinos (2021), en su investigación de Estudio geotécnico para el diseño y estabilidad del botadero de desmonte en el distrito de Chala provincia de Caravelí - Región Arequipa. En la Universidad Tecnológica del Perú, con el objetivo de realizar un análisis geotécnico de las zonas donde se realizará la conformación del material y prevenir contaminación y garantizar la estabilidad física. Actualmente, las empresas mineras descuidan el tema ambiental y las obras de ingeniería que aseguran que los depósitos de desmonte no van a sufrir colapsos a lo largo de su vida útil, es conveniente realizar el monitoreo de estabilidad en el depósito de desmonte y verificar sus condiciones en su etapa operativa. Por esta razón, se realizó la investigación para poder elaborar los estudios geotécnicos necesarios para clasificar los materiales que intervienen en el diseño del botadero 2 y garantizar la estabilidad física en su etapa de operación y su cierre final, la investigación es de carácter experimental y de tipo correlacional, por la ejecución de ensayos de laboratorio que se generan de la extracción de muestras de acopio del botadero de material estéril, los ensayos a realizar son el corte directo, clasificación de suelos, contenido de humedad con los cuales se determinará la estabilidad física del botadero. Se obtuvieron los siguientes resultados de los ensayos de laboratorio del estudio geotécnico: una clasificación de suelos SM denominado arena limosa, con un contenido de humedad de 10,8 %, con el ensayo de corte directo se determinó el ángulo de fricción del material $30,35^\circ$ y una cohesión de 0,0 Kpa, con estos valores se determinó la estabilidad física del botadero 2 el cual se encuentra en una condición de inestabilidad con la configuración

actual, por lo que, se realizó el rediseño de los taludes, con los siguientes valores geométricos: una altura de relleno de 5 m con un ángulo de inclinación de 38° , cumpliendo la estabilidad física y verificación del cumplimiento del diseño. En conclusión, es necesario realizar la campaña de investigaciones geotécnicas de la zona en donde se van a proyectar las estructuras que conlleven a rellenos controlados como son los botaderos de desmonte y dar el adecuado dimensionamiento en área y altura en función de sus parámetros geotécnicos cumpliendo con los criterios mínimos de su estabilidad física.

Salvatierra (2021), en su tesis de análisis de estabilidad de taludes mediante el método de equilibrio límite para prevenir deslizamientos durante la expansión de un depósito de desmonte de minerales en minas a cielo abierto, La Libertad 2021. En la Universidad Privada del Norte, con el objetivo principal de evaluar la estabilidad física de taludes con la finalidad de prevenir deslizamientos por los trabajos de expansión de un depósito, este evalúa los estudios necesarios requeridos para el diseño y prevenir los riesgos que sufre la estructura durante su ampliación del área del botadero de desmonte. Las actividades de conformación de material en condiciones actuales del botadero de desmonte están siendo afectadas con el exceso de material que se viene apilando, el cual para su condición está generando inestabilidad en la estructura si se sigue realizando las actividades de depósito, sin realizar los trabajos adecuados para la reconfiguración. Es por ello, que la presente investigación busca mejorar las condiciones para el botadero y que esta garantice seguridad de la estructura y que siga su etapa de operación en seguir depositando material con los trabajos de controles del llenado y compactación con los equipos y pasadas requeridas y ser verificadas con los ensayos de compactación y llevar un registro hasta llegar a su configuración final según diseño. Los resultados de la configuración con las mejoras a la condición actual del botadero utilizando el método de equilibrio límite con

el cual se verifica si la configuración geométrica es la adecuada, empleando los métodos bishop, jambu y Spencer obteniendo un valor de los factores de seguridad muy similares con un tipo de falla rotacional en cada análisis con un talud de 1,3H:1,0 V con banquetas intermedias de 3,0 m y un ángulo de inclinación de 63° , dando cumplimiento con los parámetros de factores de seguridad con lo indicado en la norma. En conclusión, el diseño de la nueva configuración del botadero de desmonte cumple con las condiciones de estabilidad, con lo que se puede decir que las dimensiones son las adecuadas dado que mejorar su estabilidad para seguir con el almacenamiento a lo largo de la etapa de operación, dando como recomendación para la etapa de conformación el uso de maquinarias con rodillos de 10 TN.

Vilca (2019), en su tesis de Estudio geotécnico para la estabilidad del talud del depósito de desmonte Santa Rosa del proyecto Santa Rosa-Arequipa, en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, teniendo como objetivo principal determinar las características del material y determinar el lugar adecuado para el emplazamiento y la construcción del desmonte, con un tipo de investigación cuantitativo no experimental de nivel correlacional. Teniendo en su desarrollo que la caracterización geotécnica del área en donde se construirá el depósito de desmonte se extrajeron muestras representativas para los ensayos de mecánica de suelos respectivo y los ensayos geoquímicos del área de emplazamiento del depósito de desmonte y determinar su capacidad máxima de almacenamiento. El área de emplazamiento del depósito de desmonte Santa Rosa se encuentra ubicado a 50 m de distancia de una quebrada, lo que ocasionaría la contaminación de esta mediante el transporte de las partículas de desmonte ingresen a la quebrada conllevando que la población y los animales se vean afectados por lo que se requiere conocer si las propiedades del material son potenciales de generación de acidez y las propiedades físicas que se requieren para el análisis en su etapa de configuración geométrica

final del diseño del depósito. De la investigación. Se obtuvieron los siguientes resultados de los ensayos clasificación de suelos SUCS de GC-GM, GP-GC y GW-GC. El ensayo de compactación se obtuvieron los parámetros de densidad seca $2,151 \text{ gr/cm}^3$ y un óptimo contenido de humedad de $7,61 \%$, el ensayo triaxial no consolidado no drenado tuvo los parámetros de cohesión $56,33 \text{ Kpa}$ para el material de desmonte y para el terreno $0,0 \text{ Kpa}$, con un ángulo de fricción para el material de desmonte de $27,60^\circ$ y 32° para el terreno natural, los resultados del ensayo de permeabilidad del desmonte $2,2 \text{ cm/s}$, el valor de los ensayos de acidez ABA, fue de $60,70$ el cual indica que el material de desmonte no es un potencial de generador de acidez. En conclusión, de la investigación realizada, se tiene que la configuración geométrica del diseño del depósito de desmonte cumplen con las condiciones de estabilidad de taludes tanto en condiciones estáticas y pseudoestático, albergando un volumen de material de desmonte de $195\,511,00 \text{ m}^3$ con un tiempo de vida útil de operación para la estructura de $10,2$ años en un área de 2 ha , el diseño considera como recomendación mas no como diseño de hitos de control los cuales monitorean las deformaciones de la estructura.

Antecedentes Internacionales

Martínez (2020), en su investigación denominada Planificación de operaciones para rehabilitación de botaderos de estériles en explotación de carbón en isla Riesco, Mina Invierno, en la Universidad de Concepción, cuyo objetivo es planificar las operaciones de rehabilitación, menciona que las actividades que se realizan en la mina a cielo abierto son potenciales de generación de impactos negativos en el entorno ambiental de tal manera que se requiere la habilitación de áreas para la disposición del material estéril para su etapa de operación sin causar impactos negativos. Mina Invierno se encuentra en un proceso en el que se ven obligados a entrar en una etapa de paralización de sus actividades de explotación, en donde no se podrán usar

trabajos de tronadores, por lo que, se ven en la necesidad de realizar los trabajos de rehabilitación y disposición de minerales en los rajos que se encuentran vacíos y de esta forma poder generar un desmonte en esta área y las actividades de reperfilamiento de taludes y busca calcular el volumen de material de disposición en sus componentes actuales. Como medida de evaluación de alternativas ante la situación de la paralización o cierre definitivo de las actividades en la Mina Invierno, se obtuvieron los siguientes resultados para las áreas en donde se van a disponer los materiales, área de rehabilitación de 21,60 ha el cual es menor a lo establecido en su plan ambiental con un volumen de material para disposición de 174,332 m³ considerado un espesor de capas de 0,3 m para la revegetación de los taludes. De su investigación concluye que los trabajos que conllevan un mayor costo son los perfilados de taludes si se da en toda la configuración de la estructura, mientras que este costo podría reducir si se localiza las fallas locales y se trabaja solo en esos puntos en específico, lo cual evitaría el manejo de material por segunda vez.

Hernández (2019), en su investigación “Hacia la automatización del análisis de estabilidad de taludes mineros”, en la Universidad de Chile, se planteó el objetivo de obtener un procedimiento automatizado y evitar el tiempo largo en el proceso de evaluación de estabilidad de todas las estructuras que son conformadas con rellenos productos de las actividades mineras de operación con el cual se obtendrán y verificarán el comportamiento de estas en su etapa de operación permitiendo tener alternativas de solución ante posibles condiciones de inestabilidad de sus estructuras. Se emplea el uso de cinco programas geotécnicos: abaqus, isight, Python, surpac y whittle con el cual se verificarán los resultados a fin de obtener un valor más crítico para las condiciones de su estabilidad y proponer medidas de estabilización según sea el caso de cada estructura, se tomarán los parámetros geotécnicos para el modelamiento del análisis: módulo de Young, razón de Poisson, peso específico, cohesión, ángulo de fricción y ángulo de

fricción dilatancia. Como resultado de los análisis para los métodos A y B, del cual se obtiene que el método B es el más adecuado dado que es posible considerar incertidumbres en las propiedades de la roca. Para el caso de estudio se detecta una caída dramática del 81 % al 31 % de los taludes considerados estables, al reducir un 15 % los parámetros de resistencia de la roca. En conclusión, se puede utilizar el método de análisis automatizado con el uso de softwares más avanzados los cuales implican un mayor costo en la industria obteniéndose un mayor análisis de interpretación de resultados con la automatización de taludes uno de los más utilizados el método de elementos finitos.

4.2 Bases Teóricas

Depósito de desmonte

Son estructuras que se generan por la necesidad de mitigar los impactos negativos en el ambiente, el cual es conformado con el material proveniente de la explotación con un bajo contenido de mineral económico, el cual es conformado mediante el vertimiento del material en función de las condiciones que se presentan en la topografía del terreno natural el cual va determinar el tipo de relleno que se realizará de estos materiales en el área destinada teniendo en consideración los aspectos de los estudios básicos y preliminares para su diseño, construcción y operación a largo plazo (Honorio, 2021), tal como se aprecia en la Figura 1.

Figura 1.

Fotografía del depósito de desmonte Tacaza – condición actual

**Tipos de conformación de desmonte**

La conformación y construcción de los depósitos de desmonte vienen dadas por su función y la topografía del terreno, estas se describen a continuación:

Por su función

En su mayoría, los depósitos de desmonte con material de mina pueden ser caracterizadas por los propósitos que se tengan a largo plazo la unidad minera en donde se llevan a cabo los trabajos, es decir pueden ser almacenados para su uso en obras de contención que se generen más adelante y para mitigar los impactos y evitar contaminación en el entorno se depositan en un área determinada en donde quedará por siempre después de la revegetación de su etapa de cierre.

Por su topografía

Uno de los puntos clave para el diseño de los depósitos de desmonte es la condición topográfica con el cual se establece como será la configuración de las estructuras de este tipo proyectadas (ver Figura 2):

a. Rellenos de valle: por la condición topográfica, el relleno con el material es de poder optimizar toda el área ganando un mayor volumen de almacenamiento sin necesidad de crecer las alturas de relleno de las banquetas.

b. Rellenos de valle cruzados (Cross-Valley Fill): la conformación de los depósitos de desmonte se puede dar de distintas formas, en base a las necesidades de quienes los construyen es por ello que un tipo de conformación es este método en donde se conforma la desmontera a fin de poder conectar un acceso para el traslado de las maquinarias y vehículos.

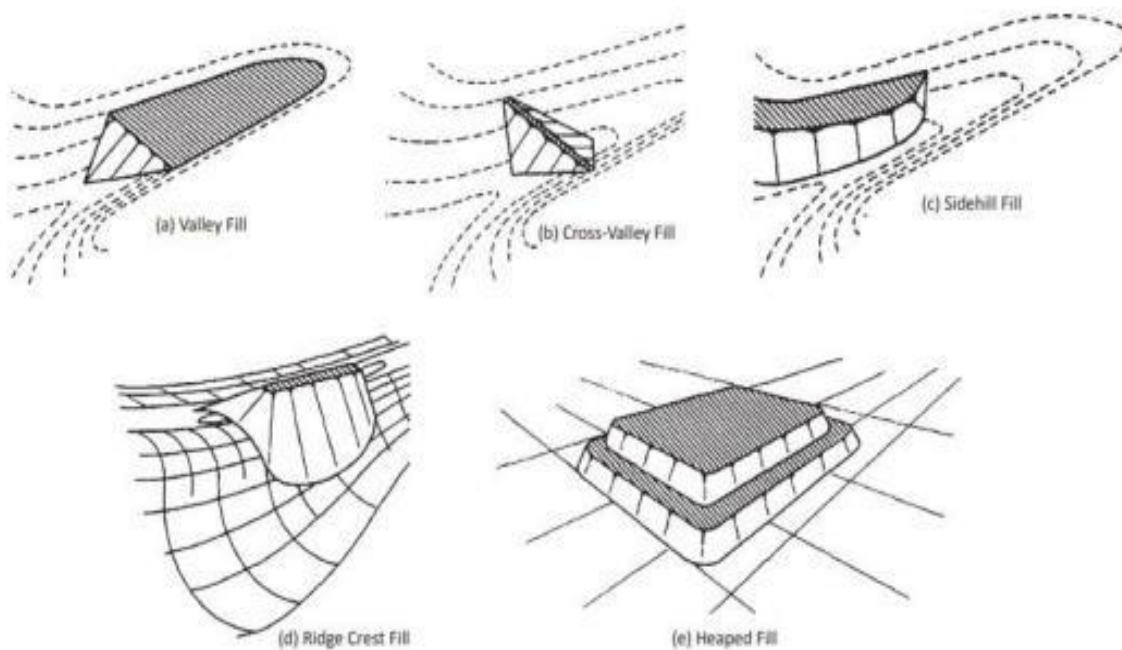
c. Relleno de ladera: estos son depositados cuando la topografía presenta una condición del terreno natural con pendiente, el cual hace que la descarga del material sea más fácil generando una mayor facilidad para su disposición por las pendientes del terreno mediante el cual se ayuda y permite mejorar los trabajos de compactación del material en capas de relleno garantizando de esta forma la estabilidad de la propia estructura, (Cifuentes, 2019).

d. Rellenos de crestas: la conformación del desmonte del tipo de rellenos en cresta, parte desde un nivel establecido teniendo la conformación de los taludes iguales en todo su perímetro.

e. Rellenos colmados: los rellenos de desmonte de este tipo son conformados en un terreno en donde las condiciones topográficas presentan pendientes relativamente planas, por lo que, la construcción de estas viene a ser desde abajo hasta llegar al nivel máximo de apilamiento.

Figura 2.

Tipos de conformación de los depósitos de desmonte



Nota. After Wahler (1979).

Estudios geotécnicos

Se deben de realizar los estudios básicos necesarios previos a la construcción de los depósitos de desmonte de mina, dando prioridad en los trabajos de campo a la ejecución de la campaña de investigaciones geotécnicas, con la finalidad de caracterizar los materiales tanto de la cimentación como del material de desmonte de la estructura proyectada, (Vilca, 2019).

Caracterización geotécnica del material de préstamo para la conformación

Morales (200, p.33) considera que los aspectos geotécnicos y la caracterización geológica del área en donde se realizan las construcciones de rellenos controlados, es

fundamental para el modelamiento de análisis de estabilidad y conocer las propiedades físicas del material de desmonte.

Rennat y Miller (1997, p.12), explican que las consideraciones de la caracterización geotécnica y geológica van en función del lugar en donde se plantea la construcción del depósito de desmonte, teniendo en consideración los aspectos de la geomorfología de la zona de proyección.

Propiedades físicas de los materiales

La clasificación de los materiales, pueden ser determinadas de diversas formas y ensayos, de los cuales siendo los más utilizados y en función de su clasificación granulométrica y plasticidad de cada tipo de material que se va a utilizar en el proceso de conformación y compactación de los rellenos. (Vilca, 2019)

La clasificación de suelos se determina con los siguientes ensayos:

- Sistema de Clasificación Unificada de Suelos, (USCS).
- Método AASHTO, (Association of State Highway and Transportation Officials)

La caracterización de los suelos es determinada mediante ensayos de laboratorio establecido por la ASTM (American Society for Testing and Materials). (Vilca, 2019)

Parámetro de resistencia al corte de los materiales

Es definida como la resistencia de la unidad de área que presenta esta ante la falla de la masa ante una superficie de la misma estructura. (Rivera, 2019)

Ángulo de fricción

Es el coeficiente de rozamiento que existe entre el terreno natural y una masa que se encuentra apoyada sobre esta. El valor del ángulo de fricción (ϕ) depende de los siguientes factores:

- Tipo de material.
- Tamaño de las partículas.
- Forma.
- Distribución que presentan.

Cohesión

La cohesión es un parámetro de los suelos, el cual indica la adherencia de las partículas que las constituye, cuando las muestras de suelo son más cohesivas es porque contienen una mayor cantidad de materiales como los limos y arcillas. (Suarez, 2009)

Existen suelos que no poseen cohesión entre sus partículas siendo estas denominadas suelos “no cohesivos” ($C = 0$), entre los cuales están las arenas y los materiales sueltos. (Suarez, 2009)

Estabilidad

Es la seguridad que presenta una masa conformada en contra del movimiento o la falla que se genera en la superficie.

Taludes

Pueden ser producidos de forma natural o artificial, los taludes naturales pueden fallar en un tiempo determinado de manera impredecible por cambios o fenómenos sísmicos y aspectos climáticos conllevando a cambios en la resistencia de los parámetros del suelo, modificando la condición de estabilidad. (Suárez, 1998)

Estos se clasifican en naturales y artificiales, siendo laderas y los taludes que son creadas por el hombre como los diques de las presas de relaves, por otro lado, se pueden presentar casos en donde se evidencie la combinación de las dos. (Suárez, 1998)

Parámetros de un talud

La caracterización geométrica de los taludes está definida por los parámetros de construcción más factible de los cuales se mencionan lo siguiente: (Rivera Segura, 2019):

- Altura de relleno: acotamiento entre dos niveles.
- Ancho de berma: Es la distancia que se genera después de la conformación de llenado de volumen de material como medida estabilizante de la estructura.
- Ángulo de banco: Es el ángulo de inclinación que se forma por la superficie del talud con respecto a la línea horizontal de donde se origina.
- Altura total: Corresponde a la altura total de la estructura medida desde la parte más alta hasta la parte baja.

Tipos de fallas en taludes

- Falla Plana: la forma de falla es paralela a la cara del talud y por lo general se da en materiales como rocas.
- Falla por cuña: es la forma de falla que se da cuando se cuenta con dos tipos de discontinuidades.
- Falla por vuelco: este tipo de falla se generan cuando el rumbo del plano de falla presenta discontinuidades coincide relativamente aproximado con el talud presentado un fuerte buzamiento a la cara exterior del material conformado.
- Fallas Circulares: es originada por la falla que se presenta en los taludes, generando un emplazamiento en la cara frontal del relleno, este tipo de falla es muy común en taludes conformados por rellenos controlados.

Colapso

El colapso se da por la falta de resistencia y soporte a las cargas que ejerce el peso de la propia estructura. Es recomendable utilizar capas de relleno que no superen los 30 cm y realizar los ensayos de control de calidad calculando las densidades de compactación y de esta forma evitar los deslizamientos y colapsos en la estructura. (Suárez, 1998)

Cuando la fuerza actuante vence a la fuerza que resiste la masa del bloque que se encuentra en la superficie. Los especialistas civiles realizan los procesos de cálculo para verificar la condición de estabilidad física de los taludes ya sean naturales, de relleno, excavación y terraplenes compactados. Este proceso, denominado evaluación de estabilidad física, el cual implica el determinar los esfuerzos a lo largo de la superficie que representa la condición de análisis más crítica, la que presenta más probabilidad de falla. El proceso de la evaluación de la estabilidad de un talud es riguroso, entre los cuales para su proceso se tienen en consideración las propiedades de los materiales y condición de la topografía. (Braja Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, p. 339)

La estabilidad de taludes, su evaluación se analiza para las condiciones de análisis estático y análisis pseudoestático considerando el coeficiente de aceleración sísmica. Para poder considerar que estos tipos de estructuras son estables, deben de cumplir los requisitos mínimos de los valores permisibles, para la obtención de estos valores evaluados en sus dos condiciones, existen metodologías que permiten llegar a estos resultados, las cuales consideran algunos métodos más precisos que los otros.

En la siguiente figura se presentan los métodos para el cálculo de la obtención de los factores de seguridad mediante el método de equilibrio límite para este tipo de estructuras.

Figura 3.

Métodos para el cálculo de estabilidad de taludes



Nota. Jaime Suárez (2009).

Se describen los métodos de análisis para la obtención de factores de seguridad para establecer si una estructura es estable.

Método de equilibrio límite

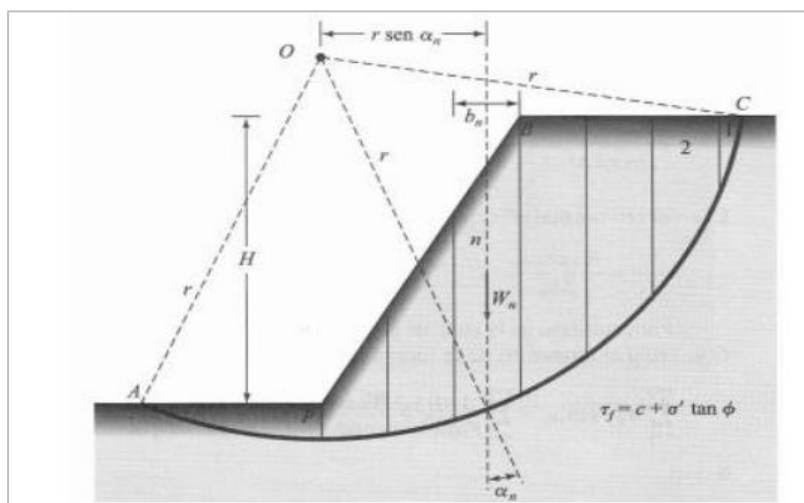
La metodología de equilibrio límite consiste en dividir en rebanadas verticales a la superficie de análisis el cual considerado la más crítica con la finalidad de poder determinar el equilibrio de la masa en la superficie, este procedimiento es repetitivo entre todas las cantidades

de las rebanadas en la superficie para la obtención del factor de seguridad se determina de forma sencilla con el uso del software SLIDE (ver Figura 4).

El método de equilibrio límite se encuentra dividido en métodos de análisis para la obtención de los factores de seguridad con el uso del SLIDE.

Figura 4.

Análisis de estabilidad por el método ordinario de las dovelas

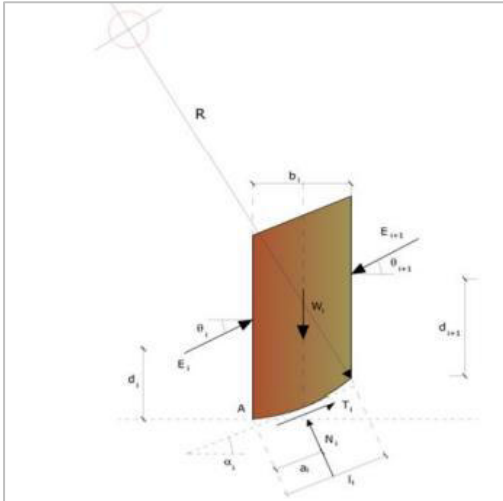


Nota. Braja Das (p. 369).

Se describen los métodos de análisis de estabilidad de taludes de las estructuras que son de estas características:

Método Spencer

Este método satisface el equilibrio de fuerzas y momentos en el bloque de análisis que se tiene, en la cual nos indica que la superficie de falla más crítica es la que proporciona un menor factor de seguridad de los bloques de las rebanadas de análisis que se tiene de la masa total, las fallas que se generan en estas son del tipo circular en la mayoría de los casos.

Figura 5.*Esquema estático – método Spencer**Nota.* Spencer. E. 1967.**Método de Bishop**

Este método hace la suposición de que las fuerzas entre dovelas son horizontales; es decir, esta con considera las fuerzas cortantes. La metodología de Bishop realiza un proceso de iteraciones para la obtención del valor del factor de seguridad, esta solo considera las superficies de falla circular. (Suarez, 2009)

Método de Janbú

Este método a diferencia de los otros métodos descritos solo tiene en consideración para su análisis las fuerzas horizontales, el cual establece que la superficie de falla no necesariamente es circular, condicionando a agregar un factor de corrección.

Análisis estático

Es la condición de equilibrio en la que se encuentra la masa rígida que se encuentra en la superficie, buscando minimizar que el potencial de falla sea cero. En base a esto, el factor de

seguridad debe ser mayor a 1,5 para que la estructura sea considerable estable para un análisis estático, cumpliendo con la condición de equilibrio. (Martínez, Barrera, y Gómez, 2011)

La estabilidad de taludes naturales o artificial está definida y expresada por los valores de factores de seguridad para un análisis en la condición estática y pseudoestática (Martínez, Barrera, y Gómez, 2011).

Análisis sísmico dinámico

Este análisis tiene como factor para condición el coeficiente influenciado por la aceleración de la gravedad sobre el talud, desde otro punto de vista pseudoestático significa que los taludes de las estructuras pueden presentar fallas a consecuencia de agentes sísmicos, generando falla sobre el talud, por otro lado, un análisis pseudoestático, esto se refiera a las fallas del movimiento de tierras del terreno.

Cálculo del factor de seguridad (FS) para la condición de análisis estático y pseudoestático

El proceso para calcular el factor de seguridad, para las condiciones de análisis estático y pseudoestático, el valor de 1,5 es para el análisis en la condición estático esta debe de cumplirse para clasificar a una estructura como estable, para la condición pseudoestático debe ser mayor a la unidad. El cálculo de este valor se da mediante la siguiente expresión:

$$\text{Factor de seguridad} = \frac{\text{Fuerzas resistentes}}{\text{fuerzas deslizantes}}$$

En caso los valores sean menores a lo establecido, se deberán de realizar actividades para mejorar la estabilidad en las zonas en las que se presentan estas fallas.

Estabilidad de taludes a largo plazo

La estabilidad a largo plazo de los taludes se tiene métodos clásicos en las cuales se diseñan y se calculan el Factor de Seguridad en la que se tiene valores entre 1,2 – 1,3, estos valores están definidos para estructuras que se encuentran a corto plazo, en la que se generan algunos efectos estructurales en la roca o suelo, es por eso que la resistencia se ve afectado por los cambios climáticos y la meteorización ya sea física o química y esto también en la granulometría del mismo terreno.

Criterios aceptables para la estabilidad física

En la siguiente figura se presentan los rangos de los factores de seguridad que garantizan que las estructuras son estables, tomado de fuentes nacionales e internacionales.

Los cuáles serán tomados en consideración para verificar si la estructura en su condición de proyección, los factores de seguridad obtenidos son los suficientes para clasificar a la estructura como un depósito estable con el cual la unidad minera pueda seguir con los trabajos de operación hasta que se den inicio a los trabajos de cierre del depósito de desmonte.

Figura 6.

Factor de seguridad según normativa

COEFICIENTES DE SEGURIDAD A EMPLEAR EN EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES				
NORMATIVA	TALUD TEMPORAL		TALUD PERMANENTE	
	ESTÁTICO	PSEUDOESTÁTICO	ESTÁTICO	PSEUDOESTÁTICO
AASHTO LRFD	1.33-1.53	1.1	1.33-1.53	1.1
NAVFAC-DM7	1.3-1.25	1.2-1.15	1.5	1.2-1.15
FHWA-NHI-11-032	-	1.1	-	1.1
CE.020	-	-	1.5	1.25

Nota. Civilízate.

Factor de Seguridad

Es el valor con el cual se mide la condición de estabilidad física de los taludes, indicando que, si este valor se encuentra por debajo de lo mínimo establecido es un grado de alerta para realizar trabajos que aumente este valor que puede producir la falla local y si se extiende a una falla global del depósito de desmonte. El valor del factor de seguridad es calculado mediante la relación de las fuerzas desestabilizantes entre las fuerzas resistentes, dando como resultado el menor factor en la sección de análisis. (Valeriano, F. 2015)

Software Slide V.

En la actualidad existen diversos softwares que se utilizan para realizar el análisis de estabilidad de taludes con la finalidad de obtener los factores de seguridad. Para el proyecto de investigación, se está utilizando el software geotécnico slide V.6.0, el cual es de fácil uso con el que se obtienen los valores de los factores de seguridad para los diversos tipos de suelos. (Rivera Segura, 2019)

El software nos permite crear y editar los archivos con extensiones del DXF para el Slide, el cual cuenta con amplios comandos como nivel freático y adición de reforzamiento con materiales de geo sintéticos. Esta busca encontrar por el método asignado el valor de la zona de falla con un valor mínimo de la sección analizada, estas se pueden analizar tanto para suelos como para rocas incluyendo los criterios de rotura: Mohr- Coulomb; Hoek y Brown, Hoek y Brown generalizado.

Este software, emplea el método de análisis para los métodos de Spencer, Jambu, Bishop y Fellenius con el cual se obtiene el factor de seguridad y la interpretación de la forma de falla.

4.3. Definición de Términos Básicos

Desmante de mina. – es el producto de los trabajos de explotación en los tajos, es el material excedente que no genera valor económico para la unidad minera.

Taludes. – es denominado a cualquier superficie que presenta un ángulo de inclinación que se forma entre una superficie inclinada con la línea de plano horizontal imaginaria del punto donde se origina.

Cohesión. - es la propiedad que poseen los suelos, la capacidad de adherencia que presentan internamente sus partículas.

Factor de seguridad. – es el valor obtenido de los análisis de estabilidad para una condición de análisis estático y pseudoestático.

Coefficiente de aceleración sísmica. - es el valor horizontal y/o vertical de la aceleración que se da en una zona determinada del Perú.

Fallas. – son la forma en la cual una estructura sufre una deformación debido a agentes externos.

Parámetros geotécnicos. - son los valores que poseen los suelos para diferentes ensayos de laboratorio de mecánica de suelos, como son el peso específico, cohesión, ángulo de fricción, etc.

Slide. - programa geotécnico con el cual se evalúa la estabilidad física de estructuras conformadas con suelo y rocas, obteniendo los valores de factor de seguridad.

Deslizamientos. - bloques de masa que se deslizan a través de una superficie con inclinación.

Periodo de retorno. - intervalo de tiempo en el cual se tiene el mismo valor de la aceleración o se supera.

Falla local. - es el colapso o derrumbe de un talud, pero que se da en un área o un tramo determinados de la estructura.

Falla global. - es el colapso de la extensión del talud en su altura global, el cual conlleva mayor tiempo en reparar.

5. Propuesta de Solución

5.1. Metodología de la Investigación

Para la metodología de la investigación es necesario de describir la ubicación en la que se llevará a cabo el proyecto.

El depósito de desmonte está ubicado dentro de la Unidad Minera Tacaza, el cual está localizado al sur del territorio peruano, en el paraje de Choroma, distrito de Santa Lucía, provincia de Lampa, departamento de Puno, a una altitud promedio de 4 300 m s.n.m.

En los siguientes ítems, se presentarán la descripción del proceso de solución del problema en el cual se tiene el depósito de desmonte.

Tipo y Diseño de la Investigación

Esta dada en función de los objetivos propuestos para el tema de investigación de los cuales tenemos los siguientes:

Para poder determinar las propiedades físicas del material de desmonte para el rediseño de taludes para mejorar la estabilidad física de los taludes en la unidad minera Tacaza, se utilizó la metodología.

Estudios Exploratorios

Se realizan cuando se muestrea una zona que no ha sido explorada, por lo que, se requieren de la ejecución de las actividades necesarias para determinar las características del objetivo (Hernández et al, 2014).

Con esta metodología, definiremos cuales son las propiedades físicas del material de desmonte extraído de la etapa de los trabajos de campo en el cual se realizaron tres calicatas y

una trinchera, del cual se tomaron muestras de cada investigación ejecutada, estas fueron enviadas al laboratorio para los análisis respectivos.

Por otro lado, se desarrolló el levantamiento topográfico del área de influencia para la elaboración del proyecto, el cual fue realizado por la unidad minera quien proporcionó esto después de los trabajos de campo.

Para poder determinar cuáles son los taludes adecuados para el rediseño con material de desmonte para mejorar la estabilidad física se utilizó la siguiente metodología:

Metodología de Estudios Descriptivos

Culminada la etapa de la investigación descriptiva se procede con la descripción de la muestra analizada para la obtención de las características y propiedades más importantes de la muestra (Hernández et al, 2014).

Con esta metodología buscamos describir las características mediante los ensayos de laboratorio de las muestras del material de desmonte y poder clasificar para el uso en la reconfiguración de los taludes en donde se presenta una mayor inestabilidad.

En función de las propiedades de los materiales, se determinarán cuáles son los taludes adecuados para mejorar la estabilidad del depósito de desmonte Tacaza el cual permitirá que sea operativo hasta que se inicien los trabajos para su etapa de cierre.

Para poder determinar el factor de seguridad que tiene el rediseño de taludes con material de desmonte en la unidad minera Tacaza, se empleó la metodología.

Metodología Explicativa

Busca explicar el porqué de los fenómenos que se realizan en un determinado objeto y las condiciones en las que esta se da (Hernández et al, 2014).

Con esto se busca describir el resultado de los factores de seguridad obtenidos mediante el uso del software Slide, con la nueva configuración de diseño de los taludes del desmonte y su verificación del cumplimiento con lo mínimo establecido para garantizar la estabilidad largo plazo. Por otro lado, se tiene:

La Investigación correlacional, transversal

Busca la relación entre los parámetros geotécnicos del material de préstamo mediante la toma de muestras representativas en un tiempo determinado, el cual se utilizará para el rediseño de los taludes con el cual se realizará la evaluación de estabilidad física con su nueva configuración y garantizar de esta forma que la estructura sea segura en toda su etapa de operación de tal manera que el estudio viene a ser correlacional por lo descrito (Hernández et al, 2014, p.121)

Tipo de investigación: la investigación presentada, tiene las condiciones de una metodología del tipo aplicada por el tipo de problemática que esta presenta el cual busca y se enfoca en encontrar la solución al problema que presenta el depósito de desmonte buscando que se continúe con la etapa de operación de la estructura.

5.2. Desarrollo de la Solución

Se presenta el desarrollo de la solución en función de los objetivos establecidos, para ello se especifica en donde se llevará a cabo el desarrollo de esta, la ubicación política del proyecto.

Información preliminar de la ubicación en donde se realizará el estudio de investigación procediendo con la siguiente descripción:

Ubicación y accesibilidad

El depósito de desmonte está ubicado dentro de la Unidad Minera Tacaza, el cual está localizado al sur del territorio peruano, en el paraje de Choroma, distrito de Santa Lucía, provincia de Lampa, departamento de Puno, a una altitud promedio de 4 300 m s.n.m.

Tabla 1.

Accesibilidad a la zona del proyecto

Tramo	Tipo de carretera	Distancia (km)
Lima – Juliaca	Asfaltada	1,300
Juliaca – Santa Lucía	Asfaltada	60
Santa Lucía – Desvío Paratia	Asfaltada	10
Desvío Paratia – Zona de estudio	Asfaltada	7

Nota. La distancia ha sido calculada en función al recorrido del viaje a la unidad minera.

Descripción del depósito de desmonte en su condición actual

En el Plan de minado a largo plazo del Tajo Tacaza, la unidad minera tiene planeado explotar económicamente 2'778 246 TM de mineral con una ley de cobre de 1,20 %, con una recuperación metalúrgica de 85 %, llegando a producir 141 690 TMS de concentrado de cobre como producto final, durante el tiempo de operación de la Mina. Esta viene ejecutando la explotación del Tajo Central en dirección Sur, para eliminar materiales con bajo y nulo contenido de mineral, cuenta con un depósito de mineral de baja ley y un depósito de desmonte, respectivamente. Actualmente en el área del depósito de desmonte Tacaza no se está depositando material, por encontrarse su máxima capacidad. El depósito de desmonte Tacaza,

se ubica al Norte del depósito de relaves Tacaza y al Este de los Contenedores 3 y 4, tiene un área actual de 33 884,84 m² y un volumen de almacenamiento estimado de 700 723,31 m³. El depósito de desmonte tiene un máximo nivel de almacenamiento al 4 343 m s.n.m.; el ancho y altura de los bancos tienen 6 m y 8 m, respectivamente, con taludes de (1,18 a 1,92) H:1V.

El depósito de desmonte Tacaza, cuenta con estructuras de protección hidráulica, un sistema de subdrenaje mediante tuberías y una poza de captación, asimismo con canales de coronación Este, Oeste y Norte; también cuenta con dos pozas de captación de aguas de no contacto, el cual funciona como una estabilización hidrológica que es obligatorio que toda estructura de esta característica debe de contar para su proceso de operación.

En la siguiente tabla, se presentan cuáles son las características en las que se encuentra el depósito de desmonte y los parámetros de diseño para el proceso de rediseño de la configuración del desmonte.

Tabla 2.

Características del depósito de desmonte Tacaza

Descripción	Unidad	Valor
Parámetros geométricos del depósito de desmonte condición actual		
Área actual del depósito de desmonte	m ²	33 884,84
Densidad humedad del desmonte de mina	tn/m ³	1,30
Volumen de almacenamiento	m ³	700 723,31
Talud promedio de banquetas	H: V	(1,18 a 1,92):1
Ancho promedio de las banquetas	m	6
Altura promedio de las banquetas	m	15

Nivel máximo de apilamiento	msnm	4343
Máxima altura del depósito	m	60,30
Estabilidad física de taludes	Unidad	Criterio de diseño
Periodo de retorno del sismo de diseño	años	475
Aceleración de diseño	g	0,23
Coefficiente sísmico		0,15
Factor de seguridad mínimo Estático		1,5
Factor de seguridad mínimo pseudoestático		1,0

Por otro lado, para llevar a cabo la propuesta de solución al problema en el que se encuentra el depósito de desmonte de la investigación, esta se ha tenido que dividir los trabajos en tres etapas:

Etapas preliminar

En esta etapa se analizará e identificará toda la información relacionada a la dimensión de las variables del estudio que se está presentando, de tal manera que también se citarán fuentes que nos permitan dar un mayor sustento metodológico. Por otro lado, se describirá la información proporcionada del informe para su investigación para uso de información.

Etapas de campo

La etapa de campo se refiere a los trabajos que se van a realizar para el depósito de desmonte, en donde se realizarán las investigaciones geotécnicas, toma de muestras para los ensayos de laboratorio y la verificación de las condiciones del depósito.

Etapa de gabinete

La etapa de gabinete abarca todos los trabajos que se van a realizar, teniendo como primera fase de elaboración la caracterización geológica de la zona en donde se encuentra el depósito de desmonte, la caracterización del material de desmonte, para darle una nueva configuración al rediseño de los nuevos taludes para buscar garantizar su estabilidad física con el uso del programa Slide para el análisis de estabilidad.

Para la obtención de los parámetros geotécnicos que interviene en el modelamiento, se realizaron estudios geotécnicos, mediante calicatas, estos trabajos son esenciales para este análisis. Posteriormente se envió las muestras al laboratorio de suelos.

Seguido de ello se realizó el análisis de estabilidad con las tres secciones más representativas del depósito de desmonte Tacaza con el software Slide con el método de Spencer. Considerando las condiciones y características en su condición inicial, topografía, el tipo de material, propiedades físicas, la evaluación de estabilidad se realizó en las condiciones de análisis estático y pseudoestático cuyo factor de seguridad debe ser mayor a 1,5 en condiciones estáticas y 1 en condiciones pseudoestático.

Desarrollo del trabajo de la etapa preliminar

Para poder cumplir con los objetivos, el desarrollo de la investigación se desarrolló en tres etapas, siendo la primera los trabajos preliminares en la cual se revisó la información proporcionada por la unidad minera:

- Estudio de estabilidad física del depósito de desmonte de la Unidad Minera Tacaza, elaborado por Asesores y Consultores Mineros S.A. (ACOMISA) elaborado en noviembre, 2012.

- Análisis de estabilidad física del depósito de desmonte Tacaza, elaborado por IGEMIN S.A.C. en noviembre, 2017.

Desarrollo de los trabajos de la etapa de campo

La segunda fase del desarrollo de la investigación consistió en realizar los trabajos de campo, en los cuales se desarrollaron los ensayos in situ, reconocimiento de las condiciones actuales en las que se encuentra el depósito de desmonte y la toma de las muestras representativas que serán derivadas hacia el laboratorio de mecánica de suelos para poder determinar cuáles son las propiedades físicas del material de desmonte para su evaluación de estabilidad física con el software Slide.

Se desarrollaron lo siguiente en la fase de los trabajos de campo:

Calicatas ejecutadas

Para la ejecución del presente estudio de evaluación, se realizó un programa de investigación geotécnica de campo, con la finalidad de evaluar las características y propiedades físicas de los materiales que conforman el depósito de desmonte Tacaza, esto consistió en:

La excavación de tres (03) calicatas donde se realizó el muestreo representativo del material apilado en el depósito de desmonte de mina y el registro del perfil estratigráfico de una (01) trinchera, para luego ser adecuadamente caracterizados mediante ensayos de laboratorio de mecánica de suelos.

A fin de complementar las investigaciones geotécnicas recientes se ha utilizado la información contenida en estudios previos, tales como: del Tajo Central y Gran Tajo Norte y del depósito de relaves Tacaza. En la siguiente tabla se muestra la ubicación de las calicatas y trincheras ejecutadas:

Tabla 3.*Ubicación de investigaciones geotécnicas*

Código	Este (m)	Norte (m)	Elevación (msnm)
C-07	314 959,00	8'271 733,00	4 344,00
C-08	314 889,00	8'271 807,00	4 362,00
C-09	314 923,00	8'271 585,00	4 337,00
T-02	314 963,00	8'271 892,00	4 295,00

Nota. Tomado del plano de investigaciones geotécnicas. C: calicatas, T: trincheras.

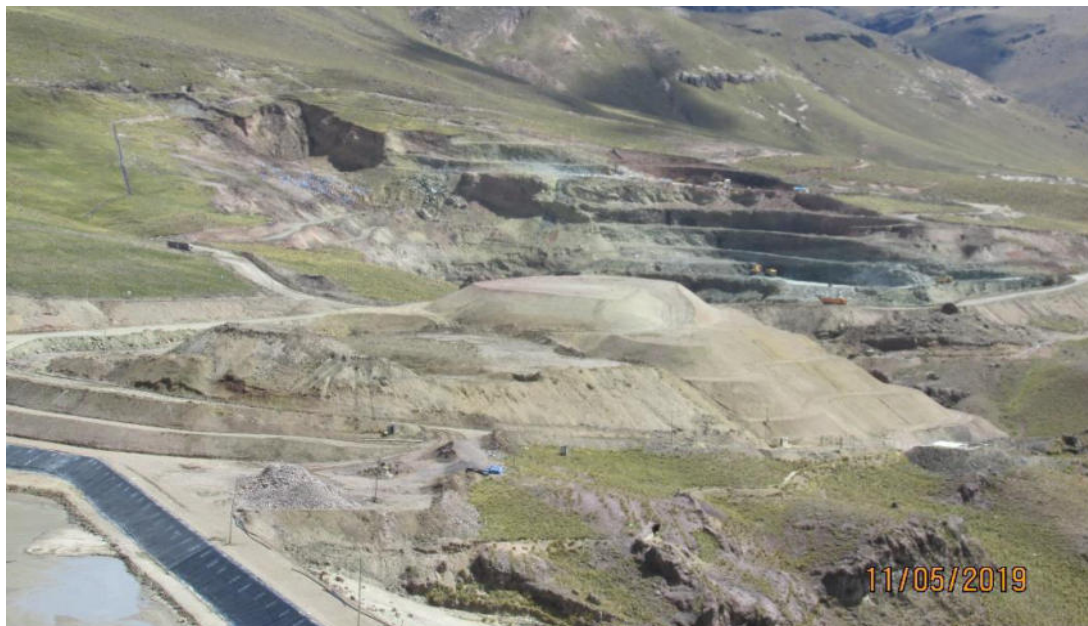
En la siguiente fotografía, se presenta el desarrollo de la fase de campo que se tuvo para cumplir con los objetivos del proyecto.

En la primera fotografía se presenta la condición actual del depósito de desmonte y en la segunda fotografía, se puede apreciar la excavación que se tuvo en los puntos de muestreo respectivo de las calicatas para su posterior toma de muestras y traslado al laboratorio de mecánica de suelos.

Se tomaron alrededor de kg por muestra obtenida para los ensayos, con el cual se podrán obtener las propiedades físicas del material de desmonte para el rediseño de los taludes que presentan una mayor inestabilidad.

Figura 7.

Depósito de desmonte Tacaza condición actual



Nota. Unidad minera Tacaza.

Figura 8.

Excavación de calicata c-07



Nota. Unidad minera Tacaza.

Figura 9.

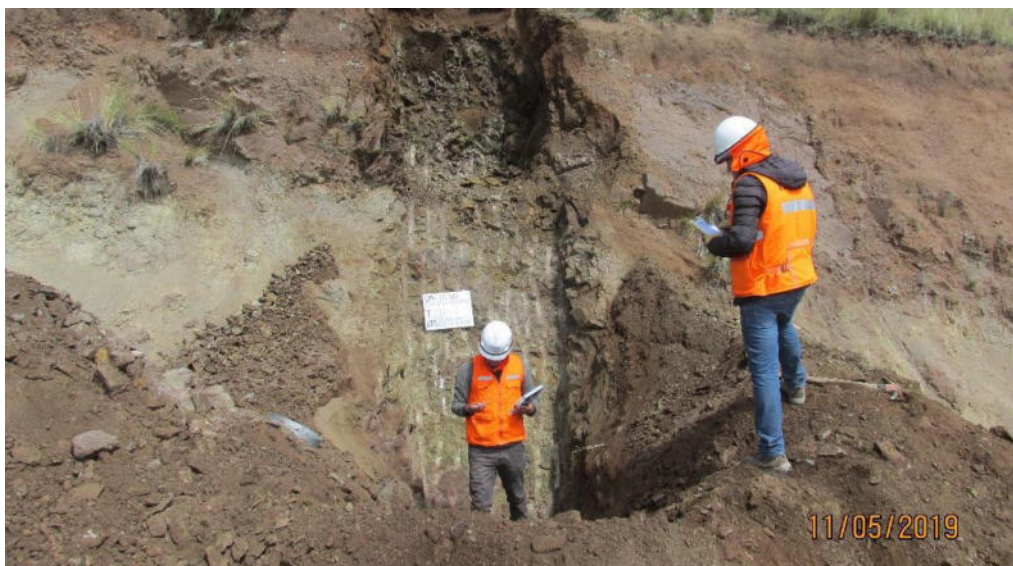
Excavación de calicata c-08



Nota. Unidad minera Tacaza.

Figura 10.

Excavación de calicata c-09



Nota. Unidad minera Tacaza.

Durante la fase de los trabajos de campo, se desarrollaron lo que son los ensayos in situ, para poder conocer los siguientes valores: densidad de campo mediante el cono de área.

Ensayo de densidad de campo

Durante las investigaciones geotécnicas de campo efectuadas en mayo de 2019, se ejecutaron ensayos de cono de arena siguiendo la norma D1556-ASTM y reemplazo con agua siguiendo la norma D5030-ASTM.

Por otro lado, en la ejecución de los ensayos se detalle el perfil stratigráfico de las calicatas siguiendo el procedimiento de ASTM-D-2488 para clasificar el tipo de suelo con el que se cuenta en la zona.

Tabla 4.

Resultados de ensayo de densidad de campo

Calicata/ muestra	Prof. (m)	SUCS	Densidad natural (gr/cm³)	Humedad (%)	Densidad seca (gr/cm³)
C-07/M-1	3,00	SC	1,150	33,540	0,860
C-08/M-1	3,00	SC	-	-	-
C-09/M-1	3,20	SC	1,3	23,770	1,050

Nota. Tomado de los ensayos in situ.

Figura 11.

Ensayo de densidad de campo método de cono de arena c-07



Nota. Unidad minera Tacaza.

Figura 12.

Ensayo de densidad de campo método de cono de arena c-09



Nota. Unidad minera Tacaza.

Desarrollo de los trabajos de gabinete

Los trabajos de gabinete para poder cumplir con los objetivos planteados de la investigación se describen a continuación:

Objetivo específico N°1

A fin de poder cumplir con obtener las propiedades físicas del material de desmonte, la descripción de estas se desarrollará mediante los resultados de laboratorio que se mencionan:

Ensayos de laboratorio

Durante el desarrollo de los sondeos geotécnicos previos y recientes en el depósito de desmonte y otros componentes mineros, se tomaron muestras de cada calicata con la finalidad de poder ensayarlas en el laboratorio.

Se realizaron los siguientes ensayos según las versiones actualizadas de la ASTM.

Los ensayos que se realizaron son los siguientes:

- Contenido de Humedad ASTM-D-2216
- Análisis Granulométrico por tamizado ASTM-D-422
- Límites de Consistencia ASTM-D-4318-93
- Ensayo de Clasificación de Suelo ASTM-D-2487
- Ensayo Compresión Triaxial (CU) ASTM-D-4767

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos mencionados:

Ensayo índice de mecánica de suelos

En la siguiente tabla, se presenta el resumen de los resultados.

Tabla 5.*Resultados de ensayos estándar*

Ubicación	Calicata/ muestra	Prof. (m)	SUCS	Granulometría		Límites de consistencia	
				Retenido > N° 04	% finos pasa N° 200	LL	LP
Depósito de desmonte	C-07/ M-1	3,00	SC	9,50	37,70	55,20	25,40

Nota. Tomado de los ensayos de laboratorio.**Ensayo de corte directo**

En el presente estudio, se ha desarrollado un ensayo de corte directo (ASTM D3080) en una muestra representativa del material de desmonte depositado, extraída de la calicata C-07, el ensayo se ejecutó en el laboratorio de mecánica de suelos de Ingeotest Ingenieros S.A.C.

En la siguiente tabla, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos requeridos para poder realizar el modelamiento del análisis de estabilidad física:

Tabla 6.*Resultados de corte directo*

Ubicación	Prof. (m)	Calicata/ muestra	SUCS	Densidad seca (kN/m ³)	Humedad (%)	Esfuerzos	
						C (kPa)	Ø (°)
Depósito de desmonte	3,00	C-07/ M-1	SC	11,50	22,40	4,20	32,00

Nota. Tomado de los ensayos de laboratorio

Objetivo específico N°2

Con la finalidad de poder obtener cuales son los taludes adecuados para mejorar la estabilidad física de los taludes inadecuados del depósito de desmonte

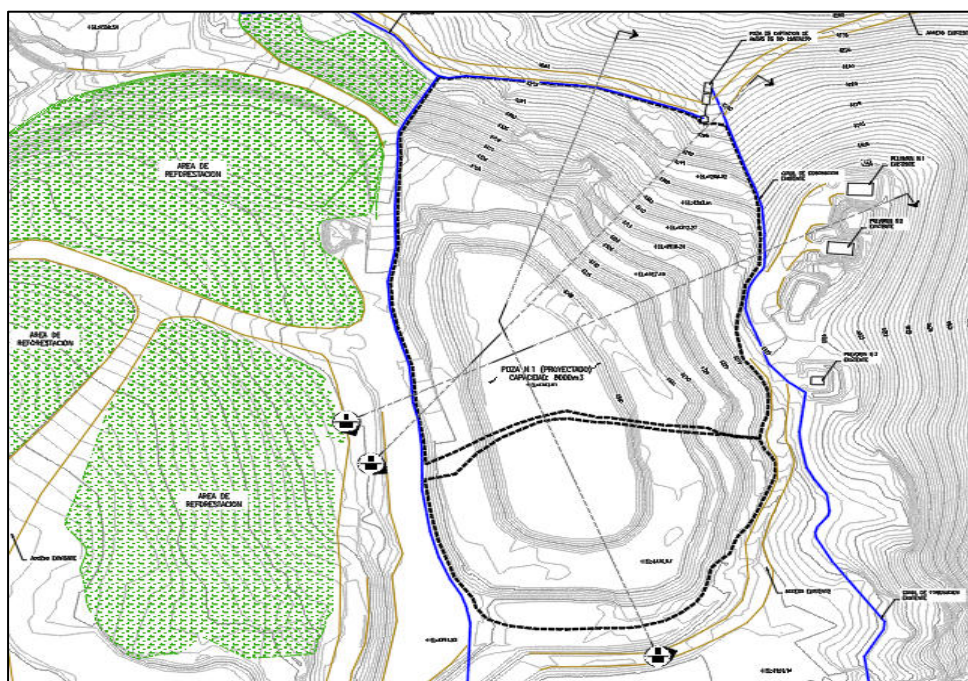
Se analizó en condiciones actuales para de esta manera poder determinar cuáles son las zonas en donde se encuentran los taludes más inestables.

Mediante el uso del software civil 3D, se pudo tomar tres secciones más representativas para su posterior evaluación de estabilidad con estas secciones.

En la siguiente figura se presenta la vista de planta de las condiciones actuales en las que se encuentra el depósito de desmonte Tacaza del cual se tomó tres secciones más críticas y representativas para el análisis respectivo, en base a los resultados de este análisis se verá en que zonas se mejorará.

Figura 13.

Condición actual del depósito de desmonte Tacaza



En las siguientes figuras, se presentan la interpretación graficas de los análisis de estabilidad física en las condiciones actuales del depósito de desmonte Tacaza:

Figura 14.

Sección a análisis estático en las condiciones actuales del depósito de desmonte Tacaza

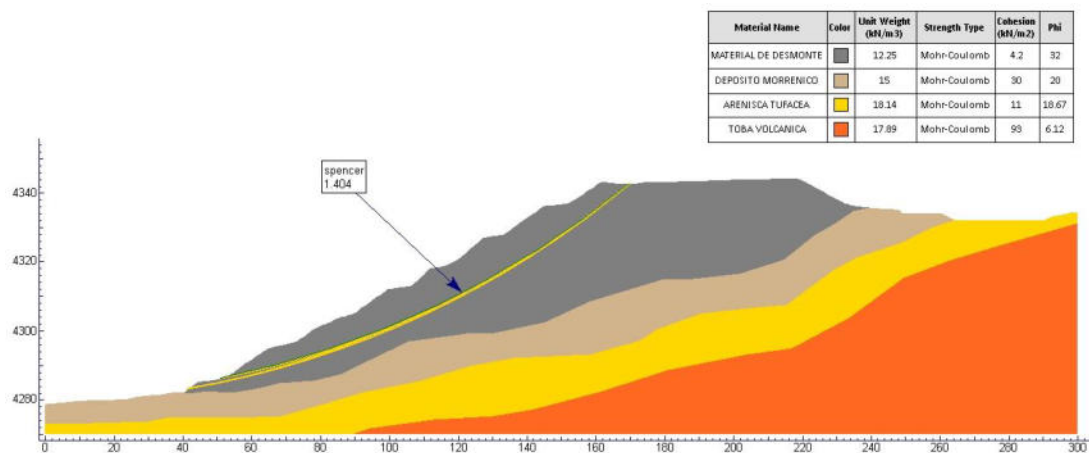


Figura 15.

Sección A análisis pseudoestático en las condiciones actuales del depósito de desmonte Tacaza

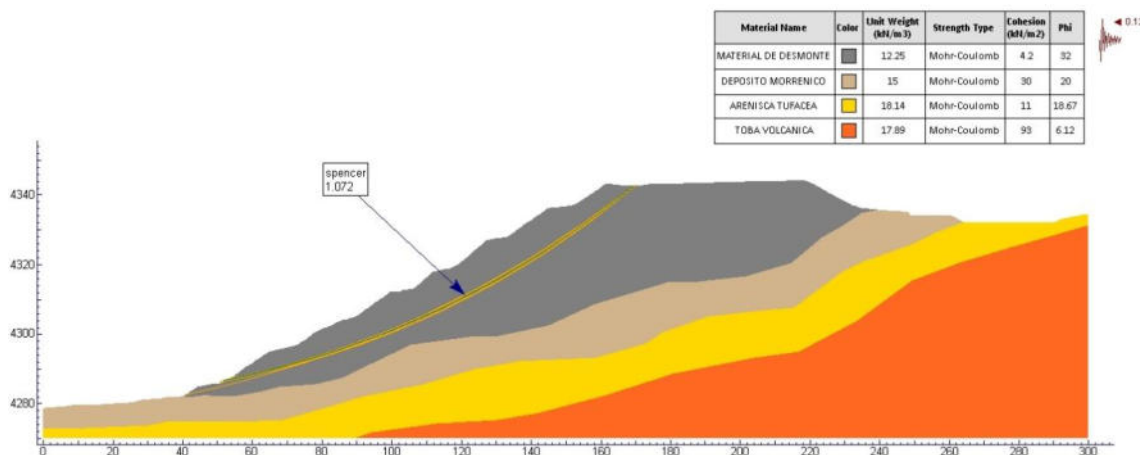


Figura 16.

Sección b análisis estático en las condiciones actuales del depósito de desmonte Tacaza

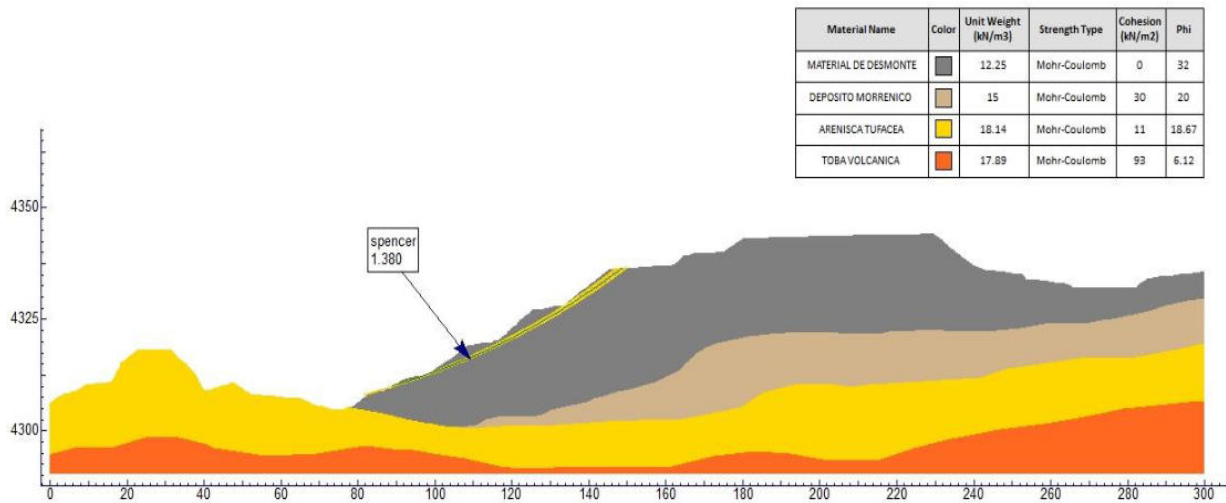


Figura 17.

Sección B análisis pseudoestático en las condiciones actuales del depósito de desmonte Tacaza

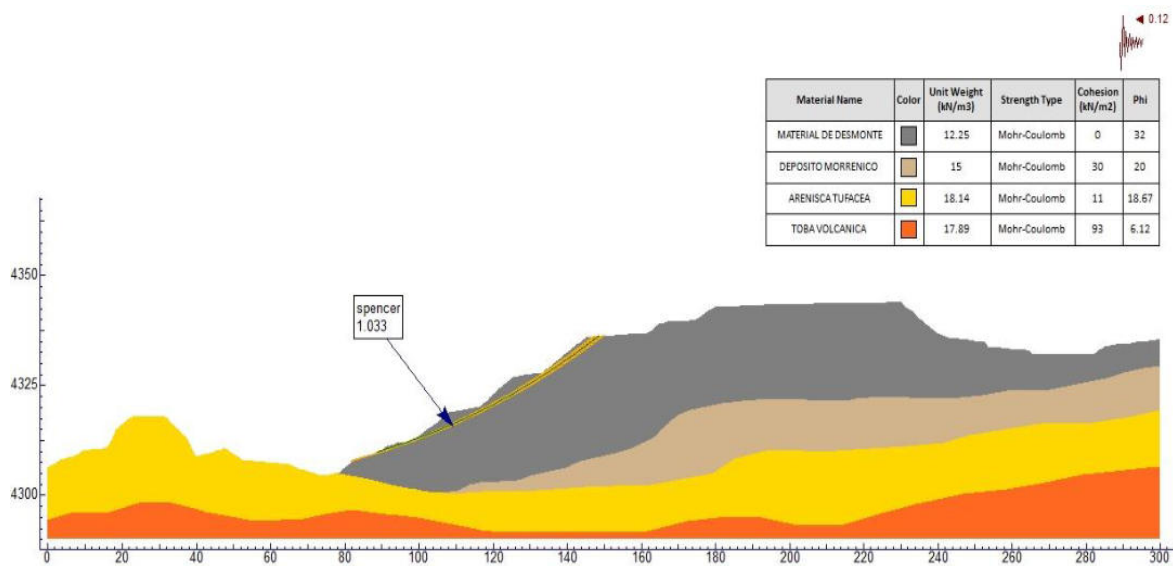
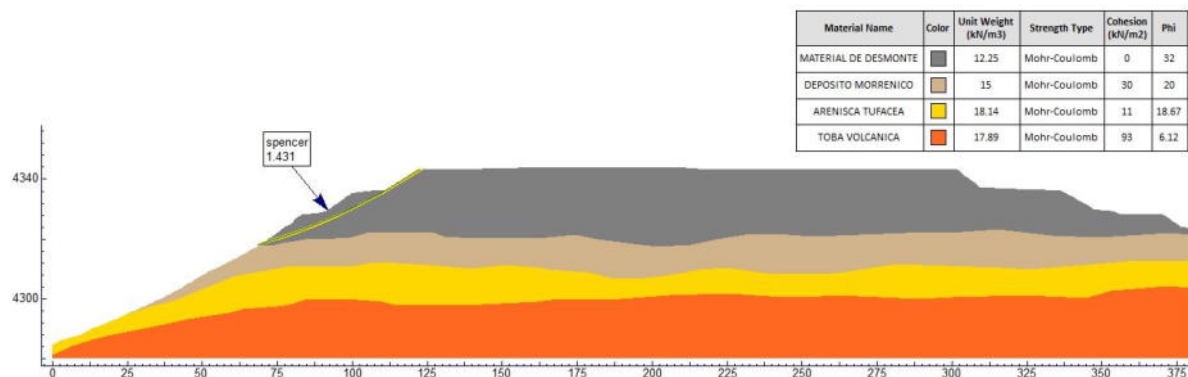
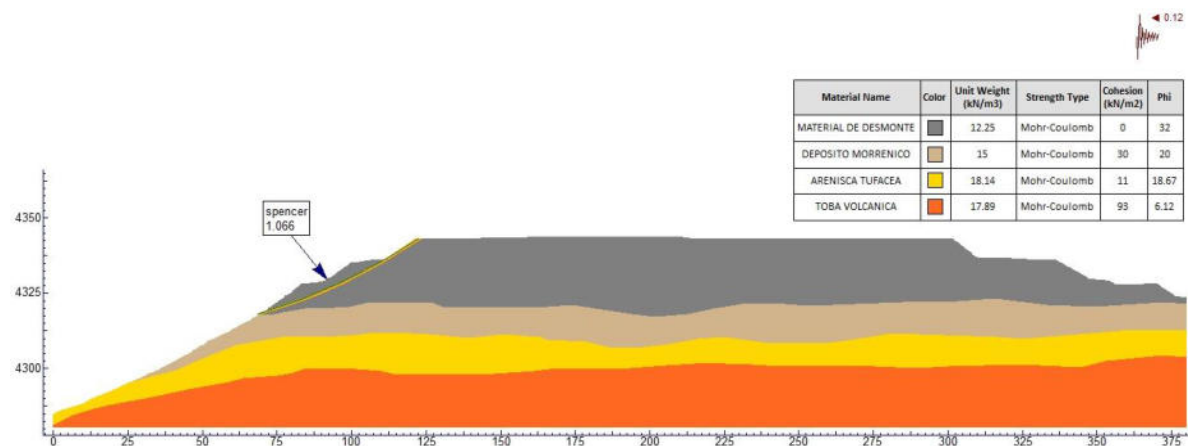


Figura 18.

Sección c análisis estático en las condiciones actuales del depósito de desmonte Tacaza

**Figura 19.**

Sección C análisis pseudoestático en las condiciones actuales del depósito de desmonte Tacaza



Interpretación de resultado

Sección de análisis 1: cómo se puede ver los resultados del análisis en la condición estático, se puede verificar que no se cumple con los factores mínimos, por lo que, en esta zona se realizará la conformación del relleno con taludes 1,5H:1,0V con alturas de relleno no mayor a 15 m y con un ancho de banquetas intermedias de 6,0 m de ancho.

Sección de análisis 2: de igual manera que la sección N°1, se conformara con la misma configuración con relleno de taludes 1,5H:1,0V con alturas de relleno no mayor a 15 m y con un ancho de banquetas intermedias de 6,0 m de ancho.

Sección de análisis N°3: en caso de esta sección, como los factores no se alejan mucho de lo mínimo, en esta zona se procederá a realizar los trabajos de perfilado de taludes sin necesidad de conformar rellenos.

Se puede apreciar que los factores de seguridad en la condición de análisis pseudoestático para las tres secciones, están por encima de lo mínimo establecido pero estos valores aumentaran con la nueva configuración el cual es beneficio para la unidad minera.

El material de relleno para la conformación de la nueva configuración de los taludes se dará mediante el material de desmonte que se extrae de las zonas en donde se genera corte de los taludes previamente una selección del material.

Los taludes adaptados para la nueva configuración de los taludes, en función de las propiedades del material, como se tiene una clasificación de los suelos de SC, para el cual estamos optando 1,5H:1,0V.

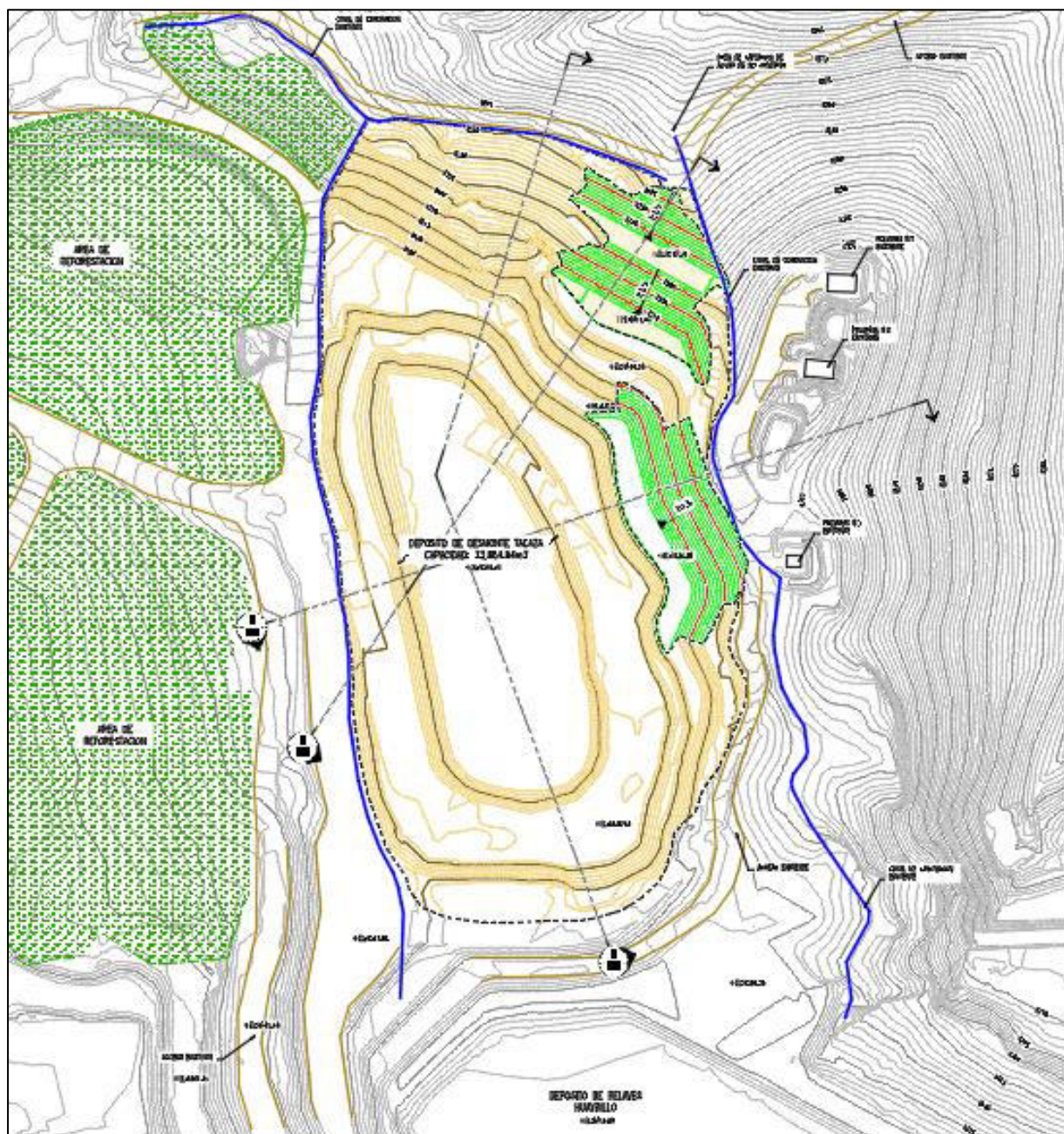
La proyección de los taludes se dará con el software civil. 3.d con el cual podremos establecer la cantidad de volumen de relleno que se utilizara para la conformación.

La proyección de color verde es la zona del reforzamiento de los taludes que representan las zonas más críticas, esta configuración es la que mejor se acomodó a las necesidades del cliente es por lo que se optó por esta.

Los taludes de diseño para los reforzamientos cuentan con pendientes con menor pronunciamiento con un ángulo de inclinación de 34° el cual representa 1,5H: 1,0V, para los taludes.

Figura 20.

Condición proyectada del depósito de desmonte Tacaza

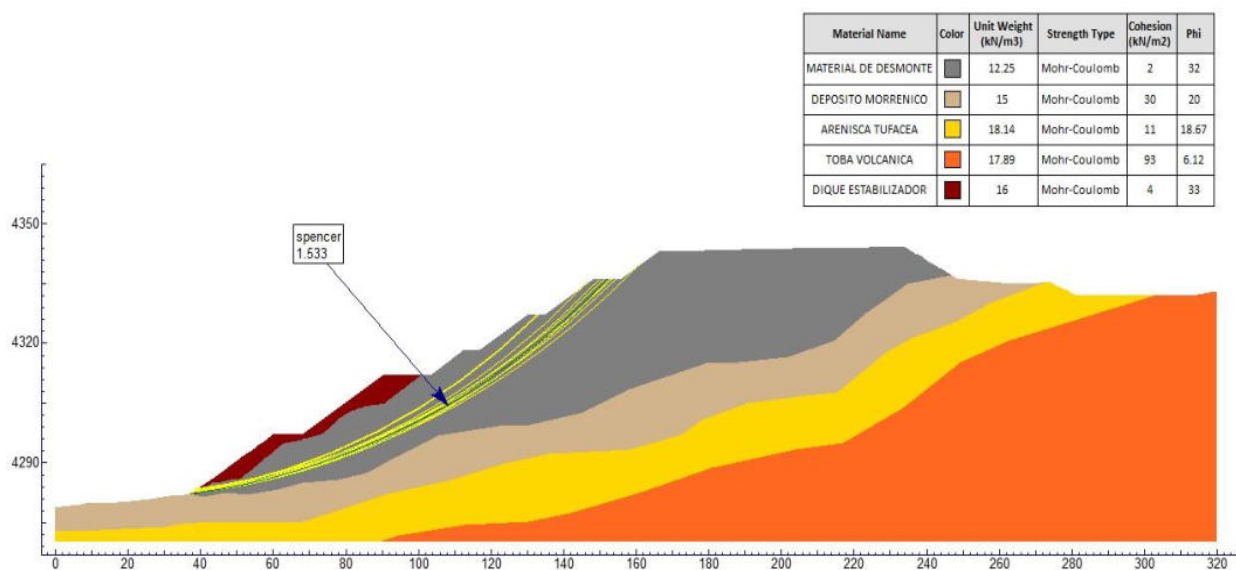


En la siguiente figura se presenta la configuración en vista de planta del depósito de desmonte con la propuesta del rediseño de los taludes:

Con la nueva configuración del depósito de desmonte, y el sistema de reforzamiento con el material de desmonte compactado teniendo en consideración los parámetros más operativos y constructivos. En las siguientes figuras se presentan el modelamiento de las tres secciones de análisis de estabilidad con la nueva configuración del rediseño de los taludes del depósito de desmonte.

Figura 21.

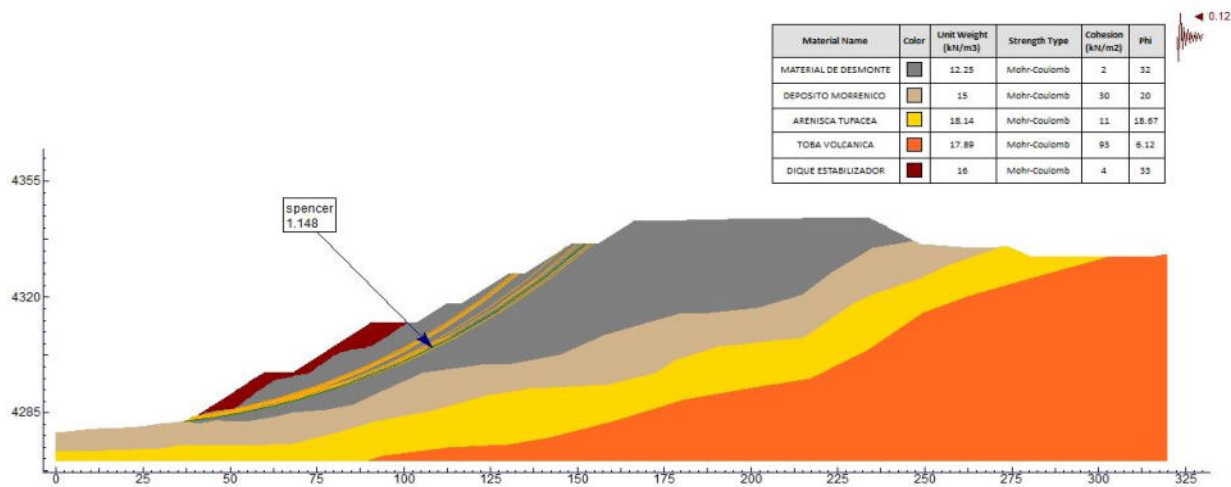
Sección a análisis estático en la condición proyectada del depósito de desmonte Tacaza



Se puede apreciar con la propuesta de rediseño, un valor del factor de seguridad obtenido de 1,533 el cual se encuentra muy por encima de lo mínimo establecido.

Figura 22.

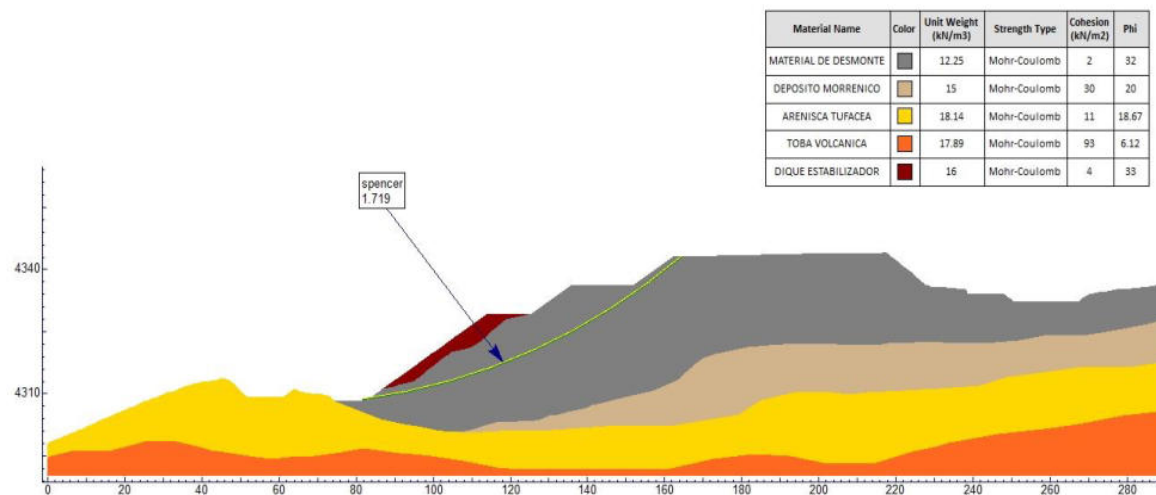
Sección A análisis pseudoestático en la condición proyectada del depósito de desmonte Tacaza



Se puede apreciar con la propuesta de rediseño, un valor del factor de seguridad para el análisis pseudoestático obtenido de 1,148 el cual se encuentra muy por encima de lo mínimo establecido.

Figura 23.

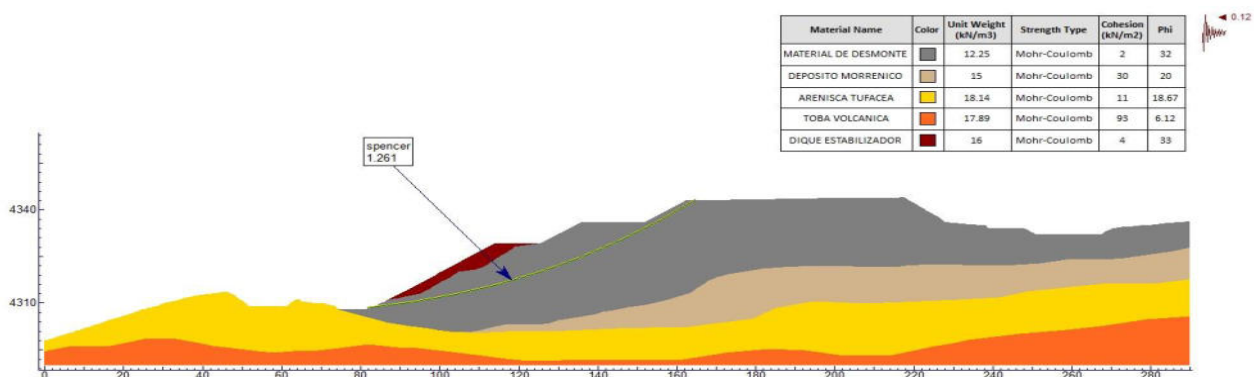
Sección B análisis pseudoestático en la condición proyectada del depósito de desmonte Tacaza



Se puede apreciar con la propuesta de rediseño, un valor del factor de seguridad obtenido de 1,719 el cual se encuentra muy por encima de lo mínimo establecido.

Figura 24.

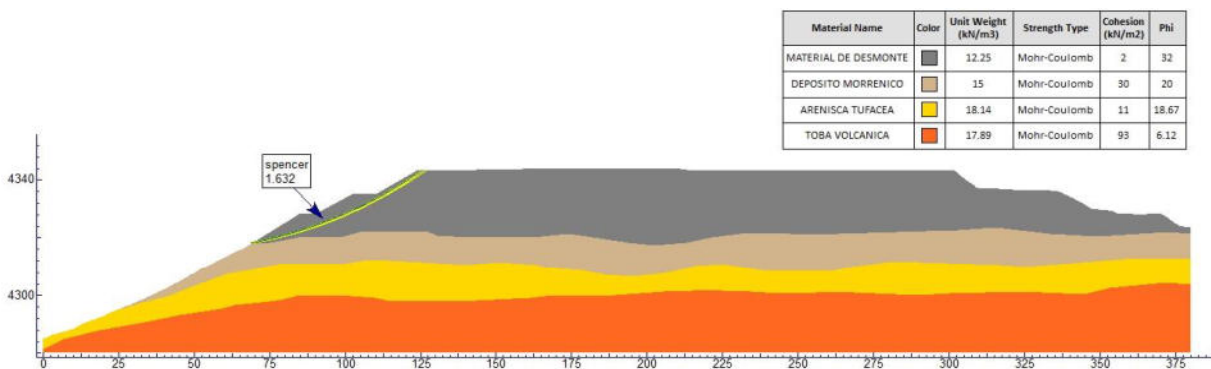
Sección B análisis pseudoestático en la condición proyectada del depósito de desmonte Tacaza



Se puede apreciar con la propuesta de rediseño, un valor del factor de seguridad para el análisis pseudoestático obtenido de 1,261 el cual se encuentra muy por encima de lo mínimo establecido.

Figura 25.

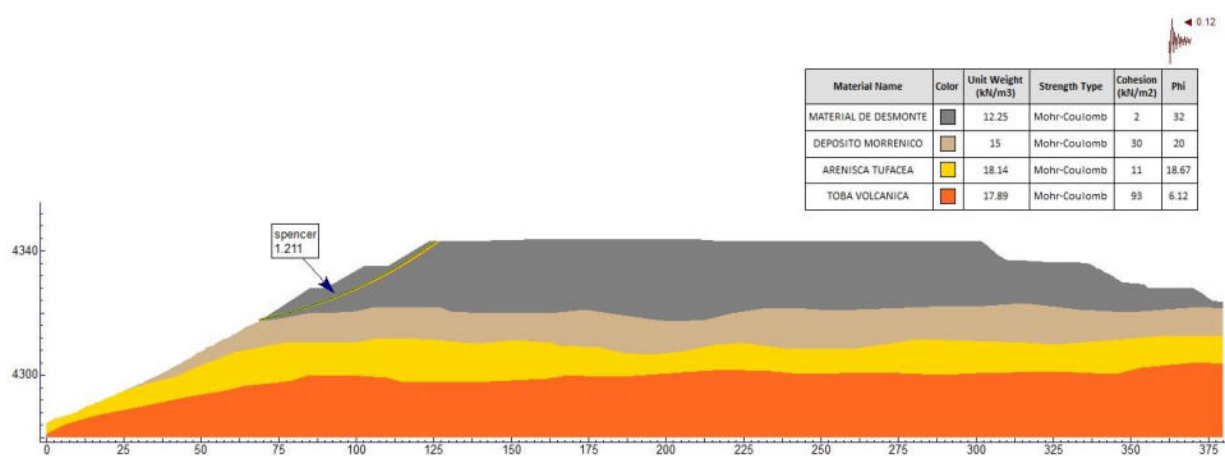
Sección C análisis pseudoestático en la condición proyectada del depósito de desmonte Tacaza



Para el tramo que se encuentra en la sección C, se debe de realizar los trabajos de reperfilado de los taludes, dado que el factor de seguridad para la condición de análisis estático se encontraba cercano al valor de 1,5, es por ello que con el perfilado se logra alcanzar un valor de F.S de 1,632.

Figura 26.

Sección C análisis pseudoestático en la condición proyectada del depósito de desmonte Tacaza



El valor del F.S, para una condición de análisis pseudoestático de obtuvo un valor de 1,211, con el cual se garantiza la estabilidad física del depósito de desmonte.

En base a los resultados presentados en las gráficas de los análisis, se puede concluir que los taludes adaptados para la configuración de los taludes son los adecuados.

Objetivo específico N°3

Para la obtención de los factores de seguridad de la estabilidad de taludes de la configuración proyectada, para ello se requiere saber cuál es coeficiente de aceleración sísmica para el modelamiento del análisis pseudoestático.

Coefficiente de Aceleración Sísmica

En la siguiente tabla, se presentan los valores que se toman para el análisis pseudoestático para diferentes periodos de retorno.

Tabla 7.

Aceleración máxima para diferentes periodos de retorno

Descripción	Valores				
Aceleración máxima (gals)	0,17	0,23	0,29	0,38	0,42
Periodo de retorno (años)	100	500	1000	5000	10 000

Para el análisis pseudoestático se toma $1/3$ y $1/2$ del valor máximo del coeficiente de aceleración máxima para el diseño.

Tabla 8.

Aceleración de diseño para diferentes periodos de retorno

Descripción	Valores				
Aceleración máxima (gals)	0,09	0,12	0,15	0,19	0,21
Periodo de retorno (años)	100	500	1000	5000	10 000

Caracterización geotécnica de los materiales

Los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante asignados a los materiales fueron determinados a partir de los ensayos de campo y laboratorio realizados en muestras

representativas de suelo y roca, obtenidos a través de la campaña de investigaciones geotécnicas para este estudio.

Para el macizo rocoso se usó como referencia los estudios realizados por la unidad minera (2016), como son: "Evaluación Geotécnica y Análisis de Estabilidad de Taludes Tajo Tacaza Fase V - Periodo 2016".

Depósitos Morrénico

Estos depósitos se encuentran cubriendo irregularmente las laderas del área de emplazamiento del depósito de desmonte. Conformadas por gravas con porcentajes de limos y arenas con cantos con formas angulosas que se encuentran a una compactación moderada.

En muestras representativas de este material, los resultados indican que presentan una cohesión de 30 kPa y para ángulo de fricción el valor de 20°.

Desmonte de Mina

Para el análisis de estabilidad física realizado en el presente estudio, se ha tomado como referencia la geometría del depósito de desmonte, el cual ha sido conformado por un relleno sin compactar de arenas, limos y gravas en pequeña proporción (SC), procedente de los desmontes del tajo. En la muestra representativa de este material, los resultados indican parámetros de resistencia al corte en términos de esfuerzos totales para la cohesión el valor de 1 kPa y para ángulo de fricción el valor de 31°. Para el análisis de estabilidad de taludes se consideró los mismos valores.

Basamento rocoso

Los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante del macizo rocoso se evaluaron en las principales unidades geológica que se encuentra en el área de estudio, en términos de la alteración, para ser utilizados en los análisis de estabilidad por equilibrio límite. Las

propiedades de resistencia del macizo se obtuvieron utilizando el criterio de rotura de Hoek y Brown (Hoek et al, 2002).

En el siguiente cuadro, se presentan los parámetros geotécnicos que se utilizara en el modelamiento del análisis de estabilidad de los taludes del depósito de desmonte, el cual fue determinado de los ensayos de laboratorio y de los estudios anteriores que se realizaron para esta estructura:

Evaluación de estabilidad física del depósito de desmonte

Para el análisis de estabilidad física de taludes en condición actual del depósito de desmonte Tacaza hasta la cota 4,343 msnm de almacenamiento de desmonte, para el análisis se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones:

- Se tomaron tres secciones las cuales representan las más críticas para el análisis en la condición de análisis estático y pseudoestático.
- No se tuvo consideración el nivel freático, dado que no se evidencio su presencia en la fase de trabajos de campo.
- Se utilizo el método equilibrio limite, con el método Spencer para la obtención de los factores de seguridad.
- El coeficiente de aceleración sísmica para el análisis pseudoestático es de 0,12 g.

Nivel freático

En la actualidad no existe registro del nivel freático en el depósito de desmonte, por lo que se asume que este nivel se encuentra por debajo de la superficie del terreno natural, este no se considera en la evaluación de estabilidad física de la estructura.

Parámetros de los materiales para el análisis de estabilidad física

En la siguiente tabla, se presentan los valores de los parámetros de los materiales que intervienen en el modelamiento de estabilidad física del depósito de desmonte en condiciones actuales. Estos parámetros han sido obtenidos de los ensayos de laboratorio.

Tabla 9.

Propiedades de los materiales para el análisis de estabilidad

Material	Peso unitario (kN/m ³)	Criterio de falla	C (kPa)	Ø (°)
Material de desmonte	12,25	MC	0,0	32
Deposito morrénico	15	MC	30	20
Arenisca tufacea	18,14	MC	11	18,67
Toba volcánica	20,93	MC	346	4,67
Dique estabilizador	15	MC	4	33

Secciones de análisis de estabilidad física

Por la envergadura de la estructura y sus características, se tomaron en consideración tres secciones de análisis las cuales representan las más críticas las cuales se evaluarán en su condición actual, con la finalidad de ver en qué zonas se deben de realizar las mejoras.

Resultados de la evaluación de estabilidad física en condiciones actuales

En la siguiente tabla, se presentan los resultados obtenidos para la primera fase de evaluación de estabilidad física del depósito de desmonte.

Tabla 10.

Resultados análisis de estabilidad en condiciones actuales

Descripción	Talud global	
	Análisis estático	Análisis pseudoestático
Sección A	1,404	1,072
Sección B	1,380	1,033
Sección C	1,431	1,066

Como se puede ver en la tabla, los valores obtenidos para las condiciones de análisis estático no cumplen con los factores mínimos establecidos, por otro lado, se puede apreciar que los valores para una condición de análisis pseudoestático están por encima de la unidad, pero estos apenas y cumplen con lo establecido por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers).

En la siguiente tabla, se presentan los resultados obtenidos para las tres secciones de análisis más representativas del depósito de desmonte con el rediseño y los trabajos de perfilado en los taludes.

Tabla 11.

Resultados análisis de estabilidad para la condición proyectada

Descripción	Talud global	
	Análisis estático	Análisis pseudoestático
Sección A	1,533	1,148
Sección B	1,719	1,261
Sección C	1,632	1,211

Con los valores obtenidos de los factores de seguridad para la propuesta de rediseño de los taludes, se puede concluir que los taludes proyectados son los adecuados dando el cumplimiento con los factores mínimos establecidos para este tipo de estructuras.

5.3. Factibilidad Técnica Operativa

La elaboración del rediseño de los taludes para el depósito de desmonte Tacaza, el cual para su desarrollo se requirió de los siguientes especialistas.

Profesionales

- Ing. Civil geotécnico
- Ing. Geólogo
- Técnico de suelos
- Personal de apoyo en campo

- Proyectista civil
- Asistente de ingeniería

Softwares utilizados

- AutoCAD civil 3D
- Slide v.6.0
- Office

5.4. Cuadro de Inversión

En la siguiente tabla, se presenta la inversión que se realizó para llevar a cabo, la elaboración del proyecto con las tres fases que comprenden su desarrollo:

Tabla 12.

Inversión del estudio

Etapa preliminar				5 372,87
Desarrollo y presentación del Plan de Trabajo	glb	1,00	1 601,12	1 601,12
Control de Proyectos	glb	1,00	3 771,75	3 771,75
Etapa de campo				4 167,57
inspección Física del área de Estudio	glb	1,00	246,73	246,73
Evaluación Geotécnica	glb	1,00	1 485,30	1 485,30
Mapeo geomecánica	glb	1,00	804,29	804,29
Movilidad	glb	1,00	1 631,25	1 631,25
Etapa de gabinete				12 125,03
Procesos e interpretación de datos de campo (Elaboración del informe de campo)	glb	1,00	1 556,33	1 556,33

Elaboración de planos planta, perfil y secciones	glb	1,00	2 695,10	2 695,10
Análisis de estabilidad física	glb	1,00	2 562,24	2 562,24
Elaboración del informe técnico	glb	1,00	4 051,36	4 051,36
Ensayos de Laboratorio	glb	1,00	1 260,00	1 260,00
Costo directo				21 665,47
				4 841,71
Gastos generales (18 %)		18 %		3 840,00
Utilidad (5 %)		5 %		1 001,71
Costo total del estudio	USD			26 507,18

Nota. Presupuesto de inversión para elaboración del estudio.

6. Análisis de Resultados

Este capítulo contiene los resultados obtenidos de la propuesta de solución al problema con el que cuenta el depósito de desmonte en la Unidad minera Tacaza, en función de los objetivos establecidos.

Resultados del Objetivo N°1

Se tuvieron los siguientes resultados de los trabajos de campo y los ensayos de laboratorio de las muestras obtenidas: una clasificación de suelos SC según el sistema unificado de suelos con una densidad natural de campo de $1,30 \text{ kg/cm}^3$, con un contenido de humedad del 23,77 %, con un Limite liquido de 52,20 y limite plástico de 25,40, con un ángulo de fricción de 32° y una cohesión de 4,20 Kpa.

Cabe mencionar que los valores obtenidos del ensayo de corte directo para la muestra son de gran ayuda para dar solución a los objetivos N°2 y N°3, dado que los taludes propuestos están en función del tipo de material y el análisis de estabilidad mediante el método de equilibrio limite requiere de los valores del peso específico, cohesión y ángulo de fricción.

Resultados del Objetivo N°2

Como se mencionó en los resultados de los objetivos N°1, en función del material obtenido el cual es clasificado como un material del tipo SC, el cual posee alta plasticidad con una cohesión que es favorable para la etapa de conformación con los taludes establecidos son los siguientes: 1,5H: 1,0V conformados con alturas de relleno de 15 m como máximo y estableciendo banquetas intermedias de 6,0 m de ancho.

Cabe mencionar que los taludes actuales con los que está conformado el depósito de desmonte no superan 1,2H:1,0V, lo cual, para el tipo de material, y por los resultados de la evaluación en condiciones actuales no superan los factores mínimos.

Con los taludes propuestos, se obtienen factores de seguridad favorables para la estructura garantiza la estabilidad y nos indican que los taludes son los adecuados.

Se podrían utilizar taludes con pendientes menos pronunciadas, pero se tienen limitaciones con respecto al área, dado que cerca del pie del talud se encuentran estructuras hidráulicas existentes, es por ello que la proyección con los nuevos taludes mantuvieron estas estructuras sin necesidad de reubicarlas.

Resultados de los objetivos N°3

En la siguiente tabla se presentan los valores de factores de seguridad que deben de cumplirse para considerar este tipo de estructuras como estables, recomendados por U.S. Army Corps of Engineers.

Tabla 13.

Factores mínimos de seguridad

Caso	Factor de seguridad mínimo permisible
Análisis estático	1,50
Análisis pseudoestático	1,00

Nota. Estos valores son los recomendados por el U.S. Army Corps of Engineers.

La tabla presentada nos indica que los resultados que se obtuvieron del análisis de la evaluación de estabilidad física del depósito de desmonte deben de encontrarse por encima del

mínimo establecido, para ello, se realiza el comparativo de la evaluación en las dos condiciones analizadas:

En la siguiente tabla, se muestran los resultados del análisis de estabilidad física en condiciones actuales.

Tabla 14.

Resultados análisis de estabilidad en condiciones actuales

Descripción	Talud global	
	Análisis estático	Análisis pseudoestático
Sección A	1,404	1,072
Sección B	1,380	1,033
Sección C	1,431	1,066

Los resultados obtenidos para las condiciones de análisis estático no cumplen con los factores mínimos establecidos, por otro lado, se puede apreciar que los valores para una condición de análisis pseudoestático están por encima de lo mínimo.

Por otro lado, la propuesta de rediseño de los taludes, con los trabajos de relleno y conformación y los trabajos de perfilado de taludes, cumplen con la condición de estabilidad.

Tabla 15.*Resultados análisis de estabilidad para la condición proyectada*

Descripción	Talud global	
	Análisis estático	Análisis pseudoestático
Sección A	1,533	1,148
Sección B	1,719	1,261
Sección C	1,632	1,211

Los resultados obtenidos nos indican que la propuesta de rediseño es factible para la unidad minera, dado que el material para la conformación será el mismo material de desmonte y los recursos como maquinarias y mano de obra calificada se encuentran dentro de la unidad.

6.1. Análisis Costos – Beneficio

En la siguiente tabla se presenta la inversión que conlleva realizar los trabajos para mejorar la estabilidad en las zonas en donde se presentan factores de seguridad inestables.

Tabla 16.*Presupuesto de obra con la propuesta*

Partidas	Und	Metrado	Precio U\$	Parcial U\$
Trabajos preliminares				
Trazo y replanteo durante la ejecución de la obra	mes	2	4 000	8 000
Mantenimiento de accesos y seguridad	mes	2	3 000	6 000
Movimiento de tierras				

Desbroce y limpieza con maquinaria	m ³	3 569,75	9,85	35 162,03
Carguío de material con equipo	m ³	16 718,53	1,16	19 393,49
Mejoramiento de pie de talud para conformación				
Corte en terreno natural	m ³	4 105,21	1,20	4 926,25
Nivelación y compactación del fondo de cimentación de dique	m ²	25 077,79	1,50	37 616,69
Corte en taludes				
Perfilado de taludes	m ²	11 665,20	1,25	14 581,5
Costo total directo				111 679,97

El costo para la elaboración de la construcción con la propuesta de mejora para el rediseño de los taludes es de \$ 111 679,97 dólares americanos, por otro lado, este costo es menor comparado con los trabajos de estabilización si es que se llega a dar el fallo de los taludes, cabe mencionar que si se da el fallo de taludes existen multas por parte de Osinergmin de 250 UIT sumado a esto los trabajos para la remediación del medio ambiente y conformar nuevamente la estructura del depósito de desmonte.

El costo a largo plazo beneficia a la unidad minera por los siguientes factores:

- Realizar la conformación de una estructura para mejorar la estabilidad antes de que falle es menos costosa que realizarlo después del colapso por la envergadura de la cantidad de material en m³ que se va a conformar.
- Evita las multas por parte de la OSINERGMIN, el cual multaría con una suma que demasiado alta y hasta podría parar las actividades dentro de la unidad minera.

- Con la propuesta de rediseño el depósito de desmonte todavía podría seguir almacenando material por un mayor tiempo.
- El costo de inversión en la construcción no considera el uso de alquiler de maquinarias dado que la unidad minera cuenta con los equipos y la mano de obra necesarios para los trabajos descritos.

7. Aportes más Destacables a la Empresa / Institución

El proceso de la elaboración del proyecto contribuyó con aportes a la empresa, los cuales se mencionan a continuación:

Conocimientos adquiridos

Uno de los aportes más importantes por parte del profesional hacia la empresa, es el poder poner en marcha los conocimientos adquiridos en la etapa de universitario y el desarrollo que se tuvo en los puestos de trabajo para cumplir con los objetivos del proyecto.

Liderazgo

Es una responsabilidad de liderazgo y compromiso, escuchando las opiniones de su equipo de trabajo y utilizando estas opiniones para desarrollar el proyecto buscando soluciones y poder lograr con los objetivos, esto genera que las personas que conforman el equipo tengan la visión de ser líderes en futuros proyectos o en otras instituciones.

Comunicación constante

Parte del desarrollo del proyecto, el coordinador fomenta con el grupo encargado las comunicaciones constantes con la finalidad de poder revisar y verificar el avance que viene desarrollando el equipo, esto hace que en la empresa se genere un ambiente en el cual el profesional se sienta seguro de lo que realiza sin temor a equivocarse. Este entorno de comunicación queda como parte del plan de trabajo para la elaboración de los próximos proyectos que desarrolle la empresa, con la cual se busca escuchar a todos los participantes y sus aportes que tengan para el proyecto en desarrollo.

El uso de software

Gran parte del equipo no debe tener limitaciones por lo que para este proyecto se buscó que todos los integrantes del equipo aprendan a utilizar programas que les sean de ayuda en futuros proyectos, enriqueciendo sus conocimientos.

Cumplimiento con los plazos

Toda organización o empresa busca la eficiencia de sus colaboradores y el cumplimiento de sus entregables en los tiempos establecidos, este compromiso se dio para este proyecto, por lo que, antes de cada envío de los entregables fueron revisados, generando en las personas del equipo una perspectiva en la medición real de los tiempos establecidos por cada entregable y enfatizando los objetivos.

8. Conclusiones

En el presente proyecto se realizó el rediseño de taludes con material de desmonte y se mejoraron las condiciones de estabilidad física de la estructura en la unidad minera Tacaza.

Según Honorio (2021), indica que es necesaria la ejecución de los estudios básicos antes de la construcción y conformación de un depósito de desmonte, como el estudio de geología, hidrología y los estudios de mecánica de suelos, esto con tal de caracterizar la zona y los materiales para su conformación. Por otro lado, Montesinos (2021), enfoca que se deben de priorizar los estudios de suelos respectivos antes de la conformación del material de desmonte en el área de proyección de la estructura, de esta manera y teniendo en consideración los parámetros geométricos asignados, la estructura obtendrá una estabilidad física adecuada y duradera, es por ello que en primera fase se debe de detallar bien el estudio de suelos de esta forma se asignarán los parámetros adecuados para el proceso constructivo. Por lo tanto, se concluye en función de los estudios de mecánica de suelos y la extracción de muestras para los ensayos de laboratorio con la obtención de los parámetros geotécnicos, la asignación adecuada al rediseño de los taludes con el cual se cumpla con las condiciones mínimas de estabilidad física para que la estructura garantice la operacionalización del flujo de los equipos que transitan cerca de esta, hasta que se dé su etapa de cierre final.

Para el modelamiento del análisis de estabilidad de taludes de la nueva configuración de los taludes del depósito de desmonte, se obtuvieron los parámetros geotécnicos del material de desmonte que se utilizara para la conformación del rediseño. Morales (2020), considera fundamental conocer los valores de los parámetros geotécnicos para el análisis de estabilidad, dado que en muchos casos estos valores se asumen en función de la experiencia sin necesidad

de ensayos lo que conlleva a errores. Por otro lado, Vilca (2019), indica que toda ampliación de este tipo de estructuras debe de contar con un reconocimiento de la zona de proyección y por ende su caracterización geológica y geotécnica, de esta forma se puede saber con exactitud como deberá ser la conformación una vez conocida los valores de los parámetros geotécnicos, utilizándose para los adecuados valores geométricos del talud. Se concluye con la obtención de los parámetros geotécnicos que intervienen en el modelamiento de estabilidad física, de los cuales se tiene un valor del peso específico de $12,25 \text{ kN/m}^3$ obtenida del promedio de los dos ensayos de densidad in situ en condición natural afectado por el valor de la gravedad, con una cohesión de 4 KPa y un ángulo de fricción de 32° obtenidas del ensayo de corte directo, se tienen los siguientes valores de los materiales para el análisis; depósitos morrénicos con un ($P_e= 15 \text{ kN/m}^3$, $C= 30 \text{ Kpa}$, $\phi=20^\circ$), arenisca tufacea ($P_e= 18,14 \text{ kN/m}^3$, $C= 11 \text{ Kpa}$, $\phi=18,67^\circ$), toba volcánica ($P_e= 17,89 \text{ kN/m}^3$, $C= 93 \text{ Kpa}$, $\phi=6,12^\circ$), el valor del dique estabilizador con los siguientes parámetros ($P_e= 16 \text{ kN/m}^3$, $C= 4 \text{ Kpa}$, $\phi=33^\circ$), según los resultados de los ensayos del material de desmonte es necesario que se trabaje el material previamente hasta que se obtengan esos valores para la conformación del dique estabilizador.

Como parte de la evaluación geotécnica de los materiales, se busca cual es la geometría adecuada de los taludes para conformar el rediseño con el material de desmonte. Rivera (2019), menciona que los parámetros geométricos de los taludes están en función de la caracterización del material con el cual se va a conformar las capas del material de desmonte. Salvatierra (2021), indica en su investigación que la ampliación de las estructuras de desmonte conlleva a los estudios de caracterización de los suelos a fin de poder establecer cuáles serán los taludes adecuados con el cual se establezca y garantice que la estructura es estable en su etapa de operación. Se concluye, en base a los parámetros geométricos que tienen otras estructuras que

han funcionado adecuadamente en la unidad minera Tacaza, del cual se tomó un valor promedio para el parámetro geométrico de los taludes de relleno en la parte baja de 1,5H:1,0V, conformado con material de desmonte compacto y los taludes para el perfilado de la parte superior de 1,5H:1,0V, con esta configuración de relleno y perfilado de los taludes, se obtuvieron valores de los factores de seguridad que se encuentran por encima de lo mínimo establecido, con estos valores se concluye que los parámetros de los taludes asignados son los adecuados para la estructura.

Se determinaron los valores de los factores de seguridad con la finalidad de verificar si con la propuesta de rediseño se cumple con los valores mínimos establecidos que garantizan que esta estructura es completamente estable. Valeriano (2015), indica que la condición de estabilidad se rige por la obtención de los parámetros de los factores de seguridad las cuales deben de evaluarse cada periodo constante y después de los eventos sísmicos que ocurren en la zona a fin de verificar si la estructura tuvo algún tipo de complicaciones. Por otro lado, Hernández (2019) comenta en su investigación que es preferible utilizar softwares avanzados para no solo la obtención de los valores de los factores sino también como se deforma la estructura en un tiempo determinado, para ello utiliza el método de elementos finitos con uso de software Plaxis. En conclusión, se tiene los siguientes valores obtenidos de los factores de seguridad evaluándose tres secciones más representativas con el método de equilibrio límite y la metodología de Spencer, con el programa Slide obteniéndose los siguientes valores para las secciones; Sección A (F.S. Análisis estático=1,533; Análisis pseudoestático=1,148), Sección B (F.S. Análisis estático=1,719; Análisis pseudoestático=1,261), Sección C (F.S. Análisis estático=1,632; Análisis pseudoestático=1,211), estos valores representan un tipo de falla global

para los taludes del depósito de desmonte, con el cual se garantiza que esta sea segura por más tiempo.

9. Recomendaciones

Es recomendable que este tipo de estructuras, se evalúen constantemente verificando como es su comportamiento a lo largo del tiempo que viene operando, los estudios básicos realizados para el estudio son buenos y deben de mantenerse a ese nivel de detalle para las otras estructuras con las que cuenta la unidad minera, el rediseño de los taludes se dio de manera adecuada con los parámetros de diseño y los estudios complementarios con el cual se pudo dar una solución adecuada para la estructura.

Es recomendable que para los próximos proyectos se tenga una mayor cantidad de muestras representativas de los materiales, tanto en la parte baja de los taludes de la estructura, dado que estas con el pasar de los tiempos sufren cambios a consecuencia de los efectos del clima, el material de desmonte que se utilizará para la conformación del dique estabilizador deberá ser trabajado hasta que llegue a los valores descritos, para lo cual se recomienda realizar el ensayo de compactación del Proctor con el cual se podrá obtener dichos valores.

Es recomendable que la conformación del dique estabilizador se de en capas de 0,30 m seguido del ensayo de control de calidad y verificar si esta se encuentra dentro del 95 % de la densidad máxima seca del valor del Proctor modificado, con el cual podrá evitar que se generen fisuras internas, por otro lado, es recomendable que se construya una zaranda metálica con el cual se podrá separar partículas que sean de una tamaño demasiado grande para la conformación de las capas de relleno, se deberá de utilizar un rodillo de 10 tn con un mínimo de 8 a 10 pasadas.

Es recomendable que para el análisis de estabilidad física se utilice el método de Spencer que es el único que satisface las condiciones de equilibrio. Los valores de factores de

seguridad nos dan un grado de confiabilidad para este tipo de estructuras, al término de la configuración del dique estabilizador es recomendable realizar el replanteo de la estructura y evaluar su estabilidad para verificar si cumple con el diseño propuesto.

10. Referencias

Beneytoa Pablo, J. Gutiérrez (2011) *Análisis de estabilidad de taludes mediante técnicas de optimización heurística*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Nordeste].

<http://ing.unne.edu.ar/mecap>

Braja M. D. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Santa Fe, México: Cengage Learning Editores.

Cifuentes Badillo, C. A. (2019). *Botaderos de estéril Cierre parcial de faenas mineras*. [Tesis de maestría, Universidad del Desarrollo]. <https://repositorio.udd.cl/items/a0f88b9f-b76e-4841-bf7c-067e00fa356d>.

Hernández Cáceres, F. J. (2019). *Hacia la automatización del análisis de estabilidad de taludes mineros*. [Tesis de pregrado, Universidad de Chile].

<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/170974>.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (5ta. Ed.). México D.F. McGraw-Hill. <https://www.icmujeres.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/Sampieri.Met.Inv.pdf>

Honorio Ramos, A. (2021). *Factibilidad para la ampliación del botadero mediante el análisis de estabilidad de taludes en mina Summa Gold Corporación*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. <http://www.dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/16879>.

Martinez Valdés, M. F. (2020). *Planificación de operaciones para rehabilitación de botaderos de estériles en explotación de carbón en isla Riesco, Mina invierno*. [Tesis de pregrado, Universidad de Concepción]. <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/434>.

Martinez, R., Barrera, R., y Gómez, P. (2011). *The pseudostatic method of dam stability: a critical analysis*. Chile: Repositorio Institucional Universidad de Chile.

Morales Muñoz, B. O. (2012). *Metodología de Estabilización de Taludes de Carreteras*. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Ecuador].
<http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/7878>

Rivera Segura, D. E. (2019). *Factibilidad para la construcción de un PAD dinámico sobre un botadero, analizando la estabilidad, en la compañía minera Los Andes Perú Gold S.A.C.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo].
<https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/12143>.

Sacachipana y Yerva (2021). *Estudio geotécnico para el diseño y estabilidad del botadero de desmonte en el distrito de Chala provincia de Caravelí - Región Arequipa*. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica del Perú].
<https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/5323>.

Salvatierra Torres, R. G. (2021). *Análisis de estabilidad de taludes mediante el método de equilibrio límite para prevenir deslizamientos durante la expansión de un depósito de minerales en minas a cielo abierto, la libertad 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/29241>.

Suarez, D. J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Bucaramanga*, Colombia: Ingeniería de Suelos Ltda.

Vilca Arredondo, A. C. (2019). *Estudio geotécnico para la estabilidad del talud del depósito de desmonte Santa Rosa del Proyecto Santa Rosa – Arequipa*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de san Antonio Abad del Cusco].
<https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/4166>.

Washington Ortiz, C. (2016). *Diseño De Botaderos De Desmonte En Open Pit Usando Minesight 7.0 E.E. Pirámide Cis Cuacone*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3256>.

11. ANEXOS