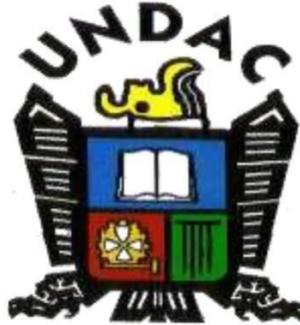


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

**Evaluación geomecánica en la estabilidad de taludes del proyecto
óxidos in situ de Volcan Compañía Minera S.A.A., 2023**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor:

Bach. Sani Mónica MARCELO ALIAGA

Asesor:

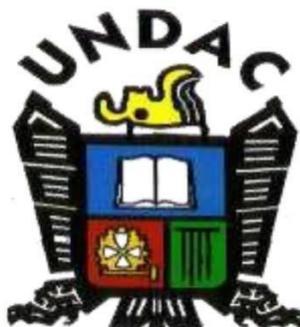
Dr. José Fermín HINOJOSA DE LA SOTA

Cerro de Pasco - Perú - 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

**Evaluación geomecánica en la estabilidad de taludes del proyecto
óxidos in situ de Volcan Compañía Minera S.A.A., 2023**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

**Dr. Reynaldo MEJIA CACERES
PRESIDENTE**

**Mg. Eder ROBLES MORALES
MIEMBRO**

**Mg. Javier LOPEZ ALVARADO
MIEMBRO**



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 149-2024

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Presentado por:

Bach. Marcelo Aliaga Sani Mónica

Escuela de Formación Profesional de Geología

Tesis:

**Evaluación geomecánica de la estabilidad de taludes del proyecto óxidos in situ de Volcan
Compañía Minera S.A.A.,2023**

Asesor:

Mg. Hinojosa de la Sota José Fermín

Índice de Similitud

30%

APROBADO

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 20 de setiembre del 2024



DEDICATORIA

A Dios quien ha sido mi guía hasta el día de hoy.

A mis padres Mardonio Marcelo y Vilma Aliaga quienes, con su amor incondicional, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, a mis hermanos Max y Kyara por su cariño y apoyo, durante todo este proceso, también a mis abuelos que significan mucho para mí, aunque ya no estén en este mundo su recuerdo siempre vivirá en mí, papito Máximo y papito Serapio gracias por tanto amor.

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión - Escuela de Formación Profesional de Geología, cuna de formidables profesionales, por siempre brindarnos los conocimientos necesarios para un buen desempeño profesional en el campo de la Ingeniería Geológica, de la misma manera agradecer a los profesionales quienes desempeñan la docencia en esta casa de estudio.

A la Empresa Administradora Cerro S.A.C – Volcan, Unidad Cerro de Pasco, quien me dio la oportunidad y confianza para el desarrollo de mi tesis.

A toda mi familia por su apoyo a lo largo de todo el camino recorrido.

A mi asesor Ing. Jose Fermin Hinojosa de la Sota quien me instruyo para la elaboración y culminación de mi tesis.

RESUMEN

El área de estudio está geográficamente situada entre las coordenadas 10° 42' de latitud sur y 76° 15' de longitud oeste. En coordenadas UTM, su ubicación es 8'819,500 norte y 363,000 este, con una altitud media de 4334 metros sobre el nivel del mar. El objetivo general de la investigación estableció aplicar los resultados de la evaluación geomecánica para lograr la estabilidad de taludes del proyecto óxidos in situ de Volcan Compañía Minera S.A.A. La investigación es de tipo aplicada, con un diseño descriptivo no experimental y transversal. La población está conformada por todos los dominios geomecánicos del acuerdo al mapeo geomecánico realizado en el Tajo Santa Rosa; la muestra está conformada por los datos del logeo geomecánico de 2050.85 m que corresponden a 36 sondajes ejecutados en campañas anteriores (2005, 2006, 2013). Asimismo, para la valoración del macizo rocoso se realizó la toma de datos en 28 estaciones de mapeo por celdas. Se utilizó los instrumentos como Mapa geomecánico-geotécnico, cartillas geomecánicas y los formatos de resultados de laboratorio.

Los resultados evidencian que con los parámetros de diseño optimizados como el ángulo de talud: 45°, ángulo global: 33°, altura de banco: 5 m, ancho de berma: 3m. muestran condiciones satisfactorias de estabilidad. Asimismo, los factores de seguridad mediante el análisis de equilibrio límite en condiciones pseudo estáticas se verifica que los factores de seguridad se incrementan a 1 lo cual garantiza la estabilidad del talud.

Palabras clave: evaluación geomecánica, estabilidad de talud, equilibrio límite, factor de seguridad, macizo rocoso.

ABSTRACT

The study is geographically located between the coordinates 10° 42' South Latitude, and 76° 15' West Longitude. In UTM coordinates the location is: 8'819,500 North – 363,000 East, with an average altitude of 4334 m. above sea level. The general objective of the research was to apply the results of the geomechanical evaluation to achieve the stability of the slopes of the in situ oxides project of Volcan Compañía Minera S.A.A. The research is of an applied type, with a non-experimental and transversal descriptive design. The population is made up of all the geomechanical domains according to the geomechanical mapping carried out in the Santa Rosa Pit; The sample is made up of data from the geomechanical log of 2050.85 m that correspond to 36 drillings executed in previous campaigns (2005, 2006, 2013). Likewise, for the assessment of the rock mass, data was collected at 28 mapping stations by cells. Instruments such as geomechanical geotechnical map, geomechanical primers and laboratory results formats were used.

The results show that with the optimized design parameters such as slope angle: 45°, global angle: 33°, bench height: 5 m, berm width: 3m. show satisfactory stability conditions. Likewise, the safety factors through the limit equilibrium analysis in pseudo-static conditions verify that the safety factors increase to 1 which guarantees the stability of the slope.

Keywords: geomechanical evaluation, slope stability, limit equilibrium, safety factor, rock mass.

INTRODUCCIÓN

El proyecto óxidos in situ políticamente se encuentra ubicado entre en el distrito de Simón Bolívar, en la provincia de Pasco, departamento de Pasco. La investigación consiste en aplicar los resultados de la evaluación geomecánica para lograr la estabilidad del talud del proyecto óxidos in situ de Volcan Compañía Minera, porque debido a muchos años de explotación del tajo abierto Raúl Rojas y a los diferentes trabajos que se realizaron, existe riesgo de desprendimiento en taludes de la cara del tajo abierto Santa Rosa, por lo que es necesario diseñar una geometría óptima para solucionar problemas de inestabilidad de taludes. Este problema se presenta por la acumulación de material desmonte que proceden del tajo Raúl Rojas.

La metodología de trabajo de trabajo de campo consistió en realizar un cartografiado geomecánico-geotécnico, geológico-estructural a escala 1: 2,000 de las áreas donde se viene realizando el proyecto óxidos in situ, así como también de la revisión hidrogeológica. También se realizó el logueo geomecánico de 2050.85 m, luego se valoró el macizo rocoso con la toma de datos en 28 estaciones de mapeo por celdas, tomando de muestras de roca y suelo para la realización de ensayos de mecánica de rocas y suelos. De la misma manera se realizaron pruebas para determinar el peso unitario, cohesión y el ángulo de fricción. Además, luego de las observaciones en el terreno se hizo una evaluación de GSI y del RMR mediante la caracterización geomecánica, teniendo en consideración los parámetros del macizo rocoso, a cada uno de los parámetros mencionados se le asigna un valor, el RMR que permitió la determinar la cohesión y ángulo de fricción, para luego ser contrastadas con los resultados de laboratorio.

Finalmente, se llevó a cabo el análisis del factor de seguridad, a través del software Slide, para realizar el cálculo respectivo

El estudio se organizó en cuatro capítulos. El Capítulo I aborda la identificación y determinación del problema, los objetivos de la investigación, así como la justificación y las

limitaciones del estudio. El Capítulo II presenta el marco teórico, incluyendo antecedentes de investigaciones previas relacionadas con el tema y las bases teóricas que describen las variables a analizar. En el Capítulo III se detallan la metodología y las técnicas de investigación. El Capítulo IV expone los resultados y la discusión, incluyendo la prueba de hipótesis. Finalmente, se concluye con las conclusiones y recomendación.

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE GRÁFICOS	
ÍNDICE DE IMAGENES	

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación.....	2
1.2.1.	Delimitación espacial	2
1.2.2.	Delimitación temporal.....	2
1.2.3.	Delimitación social	2
1.3.	Formulación del problema	3
1.3.1.	Problema general	3
1.3.2.	Problemas específicos	3
1.4.	Formulación de objetivos	3
1.4.1.	Objetivo general	3
1.4.2.	Objetivos específicos.....	3
1.5.	Justificación de la investigación	3
1.6.	Limitaciones de la investigación.....	3

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio.....	5
2.1.1.	Antecedentes internacionales.....	5
2.1.2.	Antecedentes nacionales	7
2.2.	Bases teóricas – científicas	12
2.2.1.	Evaluación geomecánica	12
2.2.2.	Estabilidad de taludes	12

2.2.3. Métodos de Equilibrio Límite	13
2.3. Definición de términos básicos	14
2.4. Formulación de hipótesis	18
2.4.1. Hipótesis general.....	18
2.4.2. Hipótesis específicas	18
2.5. Identificación de variables.....	18
2.6. Definición operacional de variables e indicadores.....	19

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación.....	20
3.2. Nivel de Investigación.....	20
3.3. Métodos de investigación	21
3.4. Diseño de investigación.....	21
3.5. Población y muestra	21
3.5.1. Población.....	21
3.5.2. Muestra	22
3.6. Técnicas e instrumento recolección de datos	22
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	22
3.8. Tratamiento estadístico	23
3.9. Orientación ética filosófica y epistémica.....	23

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo.....	24
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados	26
4.2.1. Ubicación y accesibilidad.....	26
4.2.2. Topografía y Relieve.....	27
4.2.3. Clima.....	27
4.2.4. Marco geológico.....	28
4.2.5. Parámetros de diseño para la estabilidad de taludes	33
4.2.6. Factor de seguridad de los taludes inestables	70
4.3. Prueba de hipótesis.....	84
4.3.1. Prueba de hipótesis específicas	84
4.3.2. Prueba de hipótesis general.....	84
4.4. Discusión de resultados.....	85

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1	Operacionalización de variables e indicadores	19
Tabla N°2	Distancias de ubicación	26
Tabla N°3	Resumen de sondajes logueados	35
Tabla N°4	Máximas aceleraciones	44
Tabla N°5	Muestras de roca.....	44
Tabla N°6	Muestras de suelo	44
Tabla N°7	Compresión simple en rocas ASTM D2938	45
Tabla N°8	Gravedad específica y absorción.....	45
Tabla N°9	Módulos elásticos.....	45
Tabla N°10	Compresión triaxial	46
Tabla N°11	Corte directo	46
Tabla N°12	Clasificación RMR de Bieniawski 1989	47
Tabla N°13	Factores de ajuste de la clasificación SMR (romana, 1995).....	48
Tabla N°14	Valores de SMR para cada tipo de rotura	48
Tabla N°15	Clases de estabilidad según el SMR	48
Tabla N°16	Clasificación geomecánica RMR.....	49
Tabla N°17	Clasificación geomecánica RMR.....	61
Tabla N°18	Parámetros geomecánicos.....	71

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°1	Mapa de ubicación	27
Gráfico N°2	Mapa geológico regional	30
Gráfico N°3	Mapa estructural	32
Gráfico N°4	Sección transversal.....	33
Gráfico N°5	Mapa de isoaceleraciones IGP (2014)	43
Gráfico N°6	Calidad de roca RMR de Bieniawski 1989	50
Gráfico N°7	Zoneamiento geomecánico 2D con topografía actual	51
Gráfico N°8	Zoneamiento geomecánico 3D con topografía actual vista SW	51
Gráfico N°9	Zoneamiento geomecánico 3D pit final vista SW.....	52
Gráfico N°10	Secciones geomecánicas	52
Gráfico N°11	Sección geomecánica 01	53
Gráfico N°12	Sección geomecánica 02	53
Gráfico N°13	Sección geomecánica 03	54
Gráfico N°14	Sección geomecánica 04	54
Gráfico N°15	Sección geomecánica 05	55
Gráfico N°16	Sección geomecánica 06	55
Gráfico N°17	Sección geomecánica 07	56
Gráfico N°18	Sección geomecánica 08	56
Gráfico N°19	Sección geomecánica 09	57
Gráfico N°20	Sección geomecánica 10	57
Gráfico N°21	Proyección estereográfica.....	58
Gráfico N°22	Roseta de direcciones - global	59
Gráfico N°23	Sectores de análisis	60
Gráfico N°24	Estructuras / discontinuidades – Sector 1	61

Gráfico N°25	Análisis de bloques - sección A / h=5m.....	62
Gráfico N°26	Análisis de bloques - Sección A / h=5m.....	63
Gráfico N°27	Análisis de bloques 1 - Sección A / h=5 m.....	63
Gráfico N°28	Análisis de bloques 2 - Sección B / h=5 m.....	64
Gráfico N°29	Análisis de bloques 2 - sección B / h=45 m	64
Gráfico N°30	Estructuras / discontinuidades – Sector 2	65
Gráfico N°31	Análisis de bloques 1 - Sección C / h=5 m.....	66
Gráfico N°32	Estructuras discontinuidades – Sector 3.....	67
Gráfico N°33	Análisis de bloques 1 - Sección D / h=5 m.....	68
Gráfico N°34	Análisis de bloques 1 - Sección e / h=5 m	68
Gráfico N°35	Análisis de bloques 2 - Sección E / h=45 m	69
Gráfico N°36	Análisis de bloques 1 -Sección F / h=5 m	69
Gráfico N°37	Análisis pseudo-estático sección 1 vista NE.....	71
Gráfico N°38	Análisis estático sección 1 vista NE	72
Gráfico N°39	Análisis pseudo-estático sección 1 (talud rediseñado) vista NE	73
Gráfico N°40	Análisis estático sección 1 (talud rediseñado) vista NE	73
Gráfico N°41	Análisis pseudo-estático sección 3 vista N.....	74
Gráfico N°42	Análisis estático sección 3 vista N.....	74
Gráfico N°43	Análisis pseudo-estático sección 5 vista NE.....	75
Gráfico N°44	Análisis estático sección 5 vista NE	75
Gráfico N°45	Análisis pseudo-estático sección 5 (talud rediseñado) vista NE	76
Gráfico N°46	Análisis estático sección 5 (talud rediseñado) vista NE	77
Gráfico N°47	Análisis pseudo-estático sección 7 vista NE.....	77
Gráfico N°48	Análisis estático sección 7 vista NE.....	78
Gráfico N°49	Análisis pseudo-estático sección 7 vista NE (talud rediseñado)	79
Gráfico N°50	Análisis estático sección 7 vista NE (talud rediseñado)	79

Gráfico N°51	Análisis pseudo-estático sección 8 vista E	80
Gráfico N°52	Análisis estático sección 8 vista E.....	80
Gráfico N°53	Análisis pseudo-estático sección 8 (talud rediseñado) vista E.....	81
Gráfico N°54	Análisis estático sección 8 (talud rediseñado) vista E.....	82
Gráfico N°55	Análisis pseudo-estático sección 10.....	83
Gráfico N°56	Análisis estático sección 10.....	83

ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen N°1	MCP-23-05 DE 42.00-46.50m, zona de óxidos.....	36
Imagen N°2	SR-10-34 DE 46.20-52.20m	37
Imagen N°3	S-CE-13-030 DE 25.20-51.70m	37
Imagen N°4	S-CE-13-033 DE 15.60-21.55m.....	38
Imagen N°5	Sistemas de drenaje con cuneta y pozas de sedimentación.....	39
Imagen N°6	tajo óxidos in situ sin cursos de agua naturales.....	40
Imagen N°7	cota base 4260 del talud sin afloramientos de la NF.....	41

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

Debido a muchos años de explotación del tajo abierto Raúl Rojas y a los diferentes trabajos que se realizaron, existe riesgo de desprendimiento en taludes de la cara del tajo abierto Santa Rosa, por lo que es necesario diseñar una geometría óptima para solucionar problemas de inestabilidad de taludes. Este problema se presenta en el proyecto óxidos in situ que corresponde a la zona del tajo abierto Santa Rosa donde se encuentra acumulado material desmonte que proceden del tajo Raúl Rojas.

En toda minería superficial, sea a nivel mundial o nacional, la explotación se realiza a cielo abierto, donde constantemente existe desarrollo y profundización de las operaciones, de tal manera que se construyen los bancos, que son necesarios para la extracción de mineral y la seguridad de estas. Al momento de diseñar un talud de un tajo abierto, se realiza un detallado análisis de estabilidad con el fin de asegurar su persistencia en el tiempo o prever medidas de mitigación y disminución de posibles colapsos, los cuales generan impactos negativos considerables, entre ellas las posibles pérdidas humanas, pérdida de equipos e impactos al ambiente,

dependiendo de las circunstancias y magnitud de éstos. Una explotación minera a cielo abierto siempre está relacionado a actividades que conducen al control de la estabilidad de taludes, por esta razón es importante efectuar una evaluación geomecánica para conocer el comportamiento mecánico del macizo rocoso, asimismo, realizar el zoneamiento geomecánico y geotécnico. Sin embargo, aún existe incertidumbre frente a la naturaleza del comportamiento de los macizos rocosos debido principalmente a su heterogeneidad. Es por ello por lo que, en el presente estudio se busca estudiar la estabilidad de los taludes, caracterizando el macizo rocoso a través de mediciones en el terreno, los cuales permitirán determinar los parámetros de diseño de taludes y los factores de seguridad requeridos para garantizar la estabilidad de los taludes del proyecto de óxidos in situ.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

Este estudio se localiza en el distrito de Simón Bolívar, en la provincia de Pasco del departamento de Pasco. Geográficamente, está situado entre las coordenadas 10° 42' de latitud sur y 76° 15' de longitud oeste. En coordenadas UTM, su posición es 8'819,500 norte y 363,000 este, con una altitud media de 4334 metros sobre el nivel del mar.

1.2.2. Delimitación temporal

La investigación se inició en el mes de julio del 2022 y finalizó en el mes de julio del 2023.

1.2.3. Delimitación social

Al momento de diseñar un talud de un tajo abierto, se realizó un detallado análisis de estabilidad con el fin de asegurar su persistencia en el tiempo o prever medidas de mitigación y disminución de posibles colapsos, los cuales generan impactos negativos considerables, a los pobladores que habitan en el lado Oeste de la ciudad de

Cerro de Pasco, previniendo las posibles pérdidas, económicas, pérdida de equipos e impactos al medio ambiente, dependiendo de las circunstancias y magnitud de éstos.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuáles son los resultados de la evaluación geomecánica para obtener la estabilidad de taludes del proyecto óxidos in situ de Volcan Compañía Minera S.A.A., 2023?

1.3.2. Problemas específicos

- a) ¿Será factible determinar los parámetros de diseño para obtener la estabilidad de taludes del proyecto óxidos in situ de Volcan Compañía Minera S.A.A., 2023?
- b) ¿Será factible mejorar el factor de seguridad de los taludes inestables del proyecto óxidos in situ de Volcan Compañía Minera S.A.A., 2023?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Aplicar los resultados de la evaluación geomecánica para obtener la estabilidad de taludes del proyecto óxidos in situ de Volcan Compañía Minera S.A.A.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Determinar los parámetros de diseño para obtener la estabilidad de taludes del proyecto óxidos in situ de Volcan Compañía Minera S.A.A.
- b) Determinar el factor de seguridad de los taludes inestables del proyecto óxidos in situ de Volcan Compañía Minera S.A.A.

1.5. Justificación de la investigación

Se justifica la investigación porque en el área de estudio se observa inestabilidad de taludes con riesgo de desprendimiento de la cara del tajo abierto Santa

Rosa, debido a que está constituido de material de desmonte procedente del tajo Raúl Rojas.

Los problemas de inestabilidad de taludes que se presenta en el proyecto se solucionarán con la aplicación de una evaluación geomecánica, que se inició caracterizando el macizo rocoso a través de mediciones en el terreno, los cuales han permitido determinar los parámetros de diseño de taludes y los factores de seguridad requeridos para garantizar la estabilidad de los taludes del proyecto de óxidos in situ.

1.6. Limitaciones de la investigación

Una de las principales limitaciones de la investigación ha sido la exclusión de los estudios hidrogeológicos, ya que la zona del proyecto de óxidos in situ no cuenta con cursos de agua naturales ni con quebradas o arroyos menores que puedan comprometer su cauce natural o alterar su régimen de escorrentía.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

Mayhure (2020), en la investigación realizada: " Variante de la carretera N-122 a su paso por Tarazona (Zaragoza), en España. La metodología empleada en el estudio consistió en analizar una serie de documentos tales como: Memoria y Anejos, Planos, Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, Presupuesto y Estudio de Seguridad y Salud. El primer documento incluye un estudio detallado de las diversas condiciones y servicios existentes en el sitio del proyecto, así como el diseño geométrico de la carretera para una velocidad de proyecto de 90 km/h, siguiendo los parámetros de la normativa española. El segundo documento proporciona los diferentes planos necesarios para la ejecución del proyecto constructivo y los complementarios para su puesta en servicio. El tercer documento detalla las normas establecidas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. El cuarto documento consiste en aplicar las mediciones de toda la obra a los precios unitarios obtenidos de la justificación de precios y elaborar un presupuesto para conocimiento de la administración. Finalmente, el quinto

documento identifica los riesgos potenciales para el proyecto de construcción y su posterior explotación, y establece procedimientos específicos para lograr una ejecución de obra sin accidentes ni enfermedades profesionales.

Ramos (2017) en la tesis de maestría: “Análisis de estabilidad de taludes en rocas. simulación con LS-Dyna y comparación con Slide”, Madrid, España. El objetivo general fue establecer la estabilidad de los taludes de una mina a cielo abierto mediante el programa LS-DYNA. De la misma manera el objetivo específico es contrastar los resultados encontrados con un software aplicado. La metodología de investigación empleada consistió en una investigación bibliográfica, creación del modelo numérico, verificación del modelo, contraste y análisis de resultados. A partir del análisis estructural de los taludes en una mina a cielo abierto, se investigó su estabilidad utilizando una poderosa herramienta de simulación con elementos finitos, el LS-DYNA. Para ello, se modelaron los taludes buscando siempre una representación lo más precisa posible de la realidad. Se realizaron pruebas con diferentes materiales y formulaciones numéricas, conservando como solución aquella simulación que mostró el mejor comportamiento teórico. Se concluye que, en el análisis de estabilidad de taludes, lo más importante es la forma en que se estiman los parámetros del suelo o macizo rocoso, ya que de esto dependerá la calidad de los resultados obtenidos, sin importar el método de cálculo que se utilice.

López (2019) en su tesis denominado “Análisis de estabilidad de los taludes en la cantera Tanlahua, parroquia San Antonio de Pichincha” en Ecuador. Tuvo como objetivo principal realizar un análisis de estabilidad de los taludes de la cantera de materiales de construcción, determinando el comportamiento geomecánico y la calidad del macizo en la zona de estudio frente a estos factores. Esto permitirá obtener un modelo para identificar los sitios vulnerables, evitando futuros deslizamientos en el área y, si es necesario, modificar el proyecto inicial en los puntos críticos. El estudio se

enfocó en realizar clasificaciones geomecánicas para evaluar la calidad del macizo en el que se encuentra la cantera. Para ello, se utilizaron metodologías comunes en este tipo de estudios, como GSI, RQD, RMR y Q-Slope, además de emplear un software específico para obtener el Factor de Seguridad (FS) en condiciones pseudoestáticas de cada talud. Los resultados mostraron que la calidad de la roca varía en los tres sectores estudiados, siendo mala a regular en dos de ellos y regular a buena en el otro. El análisis del factor de seguridad confirmó que los taludes, considerados individualmente, son estables, aunque el factor de seguridad disminuye si se profundizan debido a la altura que alcanzaría la cantera.

Los autores Merchán y Sánchez (2013) en su investigación titulado: “Evaluación de la estabilidad de los taludes en un sector de la cantera de materiales pétreos, las victorias”. en Ecuador. Estableció como objetivo principal evaluarla estabilidad de los taludes en un sector de la cantera “Las Victorias” y proponer las medidas para su estabilización. Se llevó a cabo la caracterización geomecánica del macizo rocoso afectado y la determinación del factor de seguridad de los taludes, utilizando mediciones in situ y datos existentes. Para ello, se aplicaron el Método del círculo de fricción, el Método de Markland y los programas Dips v5.103 y GEO5. Los resultados obtenidos indican que existe una estabilidad global en los taludes del macizo. Sin embargo, un análisis más detallado revela inestabilidad local en ciertos sectores debido a desprendimientos y voladuras. Entre las recomendaciones para mejorar la estabilidad se incluyen la corrección geométrica, la construcción de bermas, el saneamiento y el control de voladuras.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Molina (2019) en su trabajo de investigación “ Evaluación geomecánica y determinación de ángulos de talud en los proyectos mineros”. El objetivo del estudio es desarrollar la evaluación geomecánica y estimar los ángulos de los taludes del futuro

tajo abierto Jessica. Para ello, se realizaron trabajos de campo, laboratorio y gabinete. Se caracterizó la masa rocosa mediante el mapeo geotécnico de afloramientos rocosos y testigos de perforaciones diamantinas. Además, se determinaron, a partir de ensayos in situ y en laboratorio, las propiedades físicas, los parámetros de resistencia de la roca intacta, de las discontinuidades y de la masa rocosa. También se llevaron a cabo varios análisis para evaluar el grado de estabilidad de los taludes con los ángulos propuestos en el diseño por el área de planeamiento de Arasi S.A.C. Los resultados muestran que los ángulos de taludes de bancos de 65°, interrampas y finales globales de 44° tienen un factor de seguridad no drenado estático promedio de 2.53 y pseudoestático de 1.9. En conclusión, los ángulos de taludes de bancos, interrampas y finales globales propuestos por Arasi S.A.C. en su diseño del tajo Jessica presentan condiciones de estabilidad satisfactorias, ya que los factores de seguridad superan ampliamente los mínimos requeridos.

Mamani (2021) en su trabajo de investigación "Evaluación geotécnica de voladura para el control de daño de taludes en minería superficial - mina Toquepala" La presente tesis tiene como finalidad de entender el daño que producen las voladuras a los taludes a nivel de banco, por lo cual en el estudio se considera 15 metros de altura. Por lo tanto, se realizaron conversiones de RMR a GSI para la caracterización del macizo rocoso en minería superficial. Esto implicó el mapeo geotécnico y el registro de sondajes geotécnicos. Se describieron los tipos de rotura más comunes en minería a cielo abierto y el proceso de voladuras del proyecto. Asimismo, se detallaron la zona de estudio, la geología local y el mapeo geomecánico. Posteriormente, se evaluaron las posibles roturas en los taludes mediante el software Dips 6.0 de Rocscience. Se realizó un análisis de equilibrio límite, planteando tres líneas de secciones en planta y obteniendo el perfil geométrico del talud con el programa Minesight, el cual se exportó a AutoCAD y finalmente al SLIDE 6.0 de Rocscience para el análisis de estabilidad, obteniendo

valores superiores a 2.9. Finalmente, se llevó a cabo la evaluación geotécnica de voladuras. En el sector norte y noreste del nivel 3280, la evaluación del factor de diseño arrojó valores de 0.45 a 0.94, siendo los valores altos consecuencia de una voladura de precorte que dio buenos resultados cercanos a la unidad. El factor de condición mostró valores de 0.41 a 0.76.

Aragón (2019) en el trabajo denominado: “Aplicación de voladura controlada para estabilizar taludes de banquetas en el sector de Senseccalla, del tramo VII proyecto de la carretera Ayacucho Abancay Div. Kishuara”. La investigación tiene por objetivo, la Aplicación de voladura controlada para estabilizar taludes de banquetas en el sector de Senseccalla, del tramo VII proyecto de la carretera Ayacucho-Abancay div. Kishuara. El presente trabajo consta de 6 capítulos, siendo la primera donde se desarrolla el contenido de la investigación, planteamiento de los problemas, importancia del tema, objetivos de estudio y alcance de la tesis y organización. En el segundo capítulo de diagnóstico Actual, donde describiremos los antecedentes y Aspectos Generales del área en estudio, la descripción del marco teórico. En el tercer Capítulo trataremos sobre la Evaluación del Macizo Rocosos (Geomecánica) y la estabilidad de Taludes respectivamente. En el Cuarto Capítulo abordaremos todos los temas relacionados a la Voladura Controlada, Ventajas, Desventajas, Técnicas y la Selección del Tipo de Voladura Controlada a utilizar en el Proyecto en Mención. En el Quinto Capítulo abordaremos el tema de los Parámetros en el diseño de la Voladura Controlada y finalmente las conclusiones y recomendaciones.

Zavala (2021) en su trabajo: “Estabilidad de taludes para el mejoramiento del terraplén en la construcción de túnel de drenaje Toquepala - Tacna, 2021”. Se estudió la estabilidad de taludes de un terraplén en la quebrada Cimarrona en Toquepala por donde circula la vía férrea que transporta material hacia Ilo y en la que, el drenaje que atraviesa este terraplén ha presentado fallas por lo que se opta por la construcción de

un túnel de drenaje. Debido a esto, es crucial examinar el estado actual de los taludes que forman parte de este terraplén y determinar su estabilidad. El objetivo principal es evaluar la estabilidad de estos taludes. Se llevó a cabo la caracterización del suelo del terraplén mediante técnicas de exploración como sondajes y calicatas, que permitieron identificar sus propiedades geomecánicas. Finalmente, con los parámetros obtenidos para la evaluación, utilizando el software Slide que emplea el Método de Equilibrio Límite, se determinó que los dos taludes, tanto el agua arriba como aguas abajo, del terraplén son inestables, especialmente bajo condiciones sísmicas o pseudoestáticas. Por esta razón, se desarrolló una propuesta para estabilizar estos taludes mediante una nueva configuración geométrica que incluía la adición de una banquetta en ambos taludes. Sin embargo, al no ser suficiente, fue necesario reforzarlos con pernos de anclaje inyectados, lo cual aumentó significativamente el factor de seguridad, alcanzando así los valores mínimos requeridos por las normativas actuales y asegurando la estabilidad necesaria para la posterior construcción del túnel.

Tarrillo (2021) en su trabajo de investigación denominado: "Evaluación geomecánica para la recuperación de pilares de una labor del Nv. 2670 –UP Santa María, Compañía Minera Poderosa – Empresa "HUCATI". La investigación se centra en la minería subterránea de la compañía Poderosa, se presenta una labor que ha sido desarrollada por el método de explotación de cámaras y pilares mediante el uso de equipos mecanizados, llegando a cumplir su etapa de extracción se dejó abandonada. Por ser una labor de altas concentraciones de oro y tener pilares con dicho mineral, se ha determinado desarrollar la etapa de recuperación de pilares naturales mediante el uso de equipos convencionales, siendo comúnmente conocido como minería artesanal. Para lograr nuestro objetivo realizamos una evaluación geomecánica del macizo rocoso para reemplazar el sostenimiento de pilares naturales, haciendo uso de herramientas e instrumentos como las cartillas geomecánicas (RMR & GSI) con ello

caracterizaremos a la roca y aplicaremos sostenimiento. Se realizará un mapeo del lugar, Además se realizarán cálculos para determinar los costos totales de la operación y conseguir el beneficio costo, acreditando que el proyecto sea factible. El diseño de la investigación es cuasiexperimental, tipo descriptiva, se describirá los fenómenos que ocurren en la mina y aplicativa, ya que datos servirán para aplicar sostenimiento en el tajo. Las técnicas que se presentarán serán tanto documentales como de campo.

Carpio (2020), en su trabajo de investigación: “Analizar la estabilidad de laderas de los deslizamientos en suelos arcillosos” caso de los poblados de Lutto, Kututo y Llusco, región Cusco”. Su objetivo general consideró analizar la estabilidad de laderas de los deslizamientos en suelos arcillosos” caso de los poblados de Lutto, Kututo y Llusco, región Cusco. Los resultados del estudio están manifestados en las secciones de análisis de estabilidad, considerando el modelo geotécnico basado en tres trabajos de campo que comprenden los al mapeo geotécnico hecho en campo, interpretación geológica y tomografía geoeléctrica. El análisis de estabilidad se realizó empleando las propiedades mecánicas obtenidas del laboratorio y los ensayos in situ. Finalmente se obtuvo el factor de seguridad de las diferentes secciones, antes y después de realizar las medidas de reforzamiento o modificaciones de la geometría de los taludes. Los análisis se determinaron con el criterio de rotura de Mohr-Coulomb (para suelos y rocas muy fracturadas). Los análisis de estabilidad se han realizado en condiciones estáticas y pseudo-estáticas, en el caso de condiciones pseudo-estáticas se ha considerado la aceleración horizontal de 0.11g y 0.17g, tomando como referencia las isoaceleraciones del IGP y la norma E.030 de Diseño sísmo resistente respectivamente, las aceleraciones horizontales se han considerado para un 10% de excedencia en 50 años. Las soluciones que se presentan para poder remediar las laderas inestables que se están considerando para poder darle una solución económica y viable para la zona es la modificación geométrica de los taludes naturales, construcción de banquetas, muros de contención,

subdrenes horizontales (Izquierdo & Niño, 2012), los que son posibles de realizar de acuerdo con los análisis efectuados, y como resultado nos presenta un factor de seguridad adecuado.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Evaluación geomecánica

Las clasificaciones geomecánicas son un método de ingeniería geológica que permite evaluar el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos, y de aquí estimar los parámetros geotécnicos de diseño y el tipo de sostenimiento de un túnel. (Nuñez, 2006)

2.2.2. Estabilidad de taludes

Por talud se entiende una porción de vertiente natural cuyo perfil original ha sido modificado con intervenciones artificiales relevantes con respecto a la estabilidad. Por derrumbe se entiende una situación de inestabilidad que concierne vertientes naturales y comprende considerables espacios de terreno. Para resolver un problema de estabilidad es necesario tener en cuenta las ecuaciones de campo y los vínculos constitutivos. Las primeras tienen que ver con el equilibrio, mientras que los vínculos describen el comportamiento del terreno. Tales ecuaciones son particularmente complejas ya que los terrenos son sistemas multifase, que se pueden convertir en sistemas monofase solo en condiciones de terreno seco, o de análisis en condiciones drenadas. (Catanzariti, 2016).

3.2.3 Análisis de estabilidad de taludes

Los análisis de estabilidad se aplican al diseño de taludes o cuando estos presentan problemas de inestabilidad. Se debe elegir un coeficiente de seguridad adecuado, dependiendo de la finalidad de excavación y del carácter temporal o definitivo del talud, combinando los aspectos de seguridad, costes de ejecución, consecuencias o riesgos que podrían causar su rotura. Los análisis permiten definir la geometría de la excavación o las fuerzas externas que deben ser aplicados para lograr el factor de seguridad requerido. En caso

de taludes inestables, los análisis permiten diseñar las medidas de corrección o estabilización adecuadas para evitar nuevos movimientos. Los métodos de análisis de estabilidad se basan en un planteamiento físico- matemático en el que intervienen las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras que actúan sobre el talud y que determinan su comportamiento y condiciones de estabilidad. Se agrupan en: - Métodos determinísticos, conocidas o supuestas las condiciones en que se encuentra un talud, estos métodos indican si el talud es o no estable. Consiste en seleccionar los valores adecuados de los parámetros físicos y resistentes que controlan el comportamiento del material para, a partir de ellos y de las leyes de comportamiento adecuadas, definir el estado de estabilidad o factor de seguridad del talud. - Métodos probabilísticos, consideran la probabilidad de rotura de un talud bajo unas condiciones determinadas. Es necesario conocer las funciones de distribución de los diferentes valores considerados como variables aleatorias en los análisis (lo que supone su mayor dificultad por la gran cantidad de datos necesarios, dadas las incertidumbres sobre las propiedades de los materiales), realizándose a partir de ellas los cálculos de factor de seguridad mediante procesos iterativos. Se obtienen las funciones densidad de probabilidad y distribución de probabilidad del factor de seguridad, y curvas de estabilidad del talud, con el factor de seguridad asociado a una determinada probabilidad de ocurrencia. (Gonzales de Vallejo, 2002).

2.2.3. Métodos de Equilibrio Límite

Es una técnica empleada en ingeniería geotécnica para evaluar la estabilidad de taludes y estructuras de tierra. Este método se basa en analizar las fuerzas y momentos que actúan sobre una masa de suelo o roca potencialmente deslizante para determinar si está en equilibrio o si existe riesgo de deslizamiento.

2.3. Definición de términos básicos

Talud

Talud corresponde a una superficie o plano inclinado, se puede encontrar de manera natural o como una formación antrópica. También se define talud como la acumulación de materiales rocosos y suelos acumulados a los pies de una pendiente. (Fang, HY y J. Daniels. 2005).

Taludes Naturales

Son pendientes formadas por procesos naturales y erosivos ocasionando la formación de acantilados a lo largo de la historia geológica, a los taludes también se les llama laderas. Tales 17 pendientes existen en áreas montañosas. Resulta un poco complicado el cálculo de la altura debido a lo irregulares que son. (Fang, HY y J. Daniels. 2005).

Taludes artificiales

Son las pendientes de los terraplenes construidos para carreteras, vías férreas, canales, entre otros y las pendientes de las presas de tierra construidas para almacenar agua son ejemplos de pendientes artificiales. Para la formación de este tipo de taludes debe estar presente de la intervención del hombre, su formación depende del desarrollo de obras de ingeniería, cuando se requiere de una superficie plana en alguna zona inclinada, los taludes artificiales se diferencian en dos grupos, los cortes y los terraplenes. Al estar bien definido se puede calcular la altura fácilmente. (Fang, HY y J. Daniels. 2005).

Masa rocosa

Material donde se encuentran fallas, fracturas, juntas, diaclasas, plegamientos y cualquier otro tipo de elementos estructurales. Esta masa rocosa es discontinua a menudo heterogénea y anisotrópica. (UNI, FIGMM-CFTM, 2010)

Roca intacta

Material que se encuentra sin discontinuidades. Ejm Testigo diamantino.
(UNI, FIGMM- CFTM, 2010)

Estratigrafía

Es la rama de la Geología que trata del estudio e interpretación, así como de la identificación, descripción y secuencia tanto vertical como horizontal de las rocas estratificadas; también se encarga de la cartografía y correlación de estas unidades de roca, determinando el orden y el momento de los eventos en un tiempo geológico determinado, en la historia de la Tierra. (Servicio Geológico Mexicano, 2017)

Deslizamiento de suelo

Deslizamiento de suelo, desplazamiento de material, que ocurre sobre una superficie de rotura.

Derrumbe

Sucedo cuando rocas, tierra y otros elementos bajan por una ladera. Estos pueden ser pequeños o grandes y moverse a baja o alta velocidad. (Dávila, 2006)

Desprendimiento de rocas

Desprendimiento o caídas de rocas se producen desde pendientes rocosas escarpadas, produciendo la acumulación de fragmentos de roca, de tamaño muy variable, a sus pies. (Risknat, 2017)

Tensiones naturales

En cualquier excavación que se desee realizar, el macizo rocoso estará sometido a un estado tensional previo a la abertura del hueco. El estado tensional una vez realizada la excavación es el resultado del estado tensional inicial, más las tensiones inducidas por el hueco. Es, pues, evidente que es necesario un conocimiento del estado tensional natural para realizar un análisis de tensiones en una excavación subterránea o a cielo abierto (Dávila, 2006).

Mapeo geológico - geotécnico

El mapeo Geológico-Geotécnico corresponde al registro de datos o parámetros geológicos- geotécnicos en terreno que permiten caracterizar y clasificar el macizo rocoso y las formaciones de suelo y determinar la viabilidad, el diseño y la ejecución de un determinado proyecto. (Avar, 2015)

Discontinuidades

Cualquier plano de origen mecánico o sedimentario en un macizo rocoso, con una resistencia a la tracción nula o muy baja. (Terzaghi,1989)

Diaclasas

Son las estructuras más habituales en las rocas y las que tienen mayor relevancia estructural. Las juntas son fracturas en la roca donde no se detecta desplazamiento. Estas juntas pueden encontrarse abiertas, rellenas o cerradas, (Terzaghi,1989).

Fallas

Son fracturas donde se identifican desplazamientos de la roca en ambos lados de dicha fractura pueden tener grandes dimensiones o pueden restringirse a nivel local. (Dávila, 2006).

Factor de seguridad

El Factor de Seguridad (F) representa la relación entre las fuerzas que resisten el terreno y las fuerzas que lo desestabilizan. Valores de F superiores a 1 indican condiciones estables, mientras que valores menores a 1 señalan condiciones inestables. Cuando F es igual a 1, la ladera o el talud se encuentra en el punto de falla.(Dávila, 2006).

Terraplén

Existen 2 tipos de taludes en función de su material de origen y su pendiente: los terraplenes y los desmontes. Los “terraplenes” tienen como objetivo elevar el nivel de la carretera mediante la acumulación de material no consolidado. Presentan una menor pendiente (alrededor de los 27º o 3:1) que los desmontes. (Dávila, 2006)

RMR

La clasificación geomecánica RMR proporciona un índice de calidad del macizo rocoso basándose en la resistencia de la roca intacta, el grado de fracturación y diaclasado de las discontinuidades, la presencia de agua y la orientación de dichas discontinuidades en relación con el elemento de estudio, ya sea un túnel, talud o cimentación (Bieniawski, 1989).

Q Barton

La clasificación Q de Barton es una de las clasificaciones geomecánicas más empleadas en los macizos rocosos, junto con la clasificación RMR de Bieniawski. El índice Q varía entre 0,001 y 1.000, correspondiendo los valores bajos a rocas malas y los altos a las rocas buenas (Barton, 2000).

GSI

El índice de resistencia geológica GSI o método de clasificación GSI es un sistema de caracterización de las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos, a través de la fácil identificación por evaluación visual de las propiedades geológicas en el campo (Hoek y Brown, 2000)

Litología

Es una descripción de las características físicas de una unidad de roca visible en el afloramiento, en muestras de mano o de núcleo o con microscopía de bajo aumento, tales como color, textura, tamaño de grano o composición (Dávila, 2006).

Geología estructural

Parte de la geología que estudia las configuraciones geométricas de las rocas originadas por procesos de deformación natural, los desplazamientos y mecanismos implicados en el desarrollo de tales informaciones, su evolución, espacio temporal y las causas que dieron lugar a su formación (Fossen, 2010).

Tectonismo

El Tectonismo es el conjunto de movimientos que producen la transformación

interna que sufre la corteza terrestre por medio del acomodamiento de las capas que la forman. Estas transformaciones se van dando muy lentamente a lo largo del tiempo (Dávila, 2006).

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Con los resultados de la evaluación geomecánica se logra la estabilidad de taludes del proyecto óxidos in situ de Volcan Compañía Minera S.A.A.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a) Los parámetros de diseño optimizados logran la estabilidad de taludes del proyecto óxidos in situ de Volcan Compañía Minera S.A.A.
- b) Con el factor de seguridad se evalúa la estabilidad de taludes del proyecto óxidos in situ de Volcan Compañía Minera S.A.A.

2.5. Identificación de variables

Para el presente estudio identificaron las siguientes variables:

2.5.1. Variable independiente

Evaluación geomecánica

2.5.2. Variable dependiente

Estabilidad de taludes

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla N°1: Operacionalización de variables e indicadores

Variables	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Variable independiente: Evaluación geomecánica	Implica describir con precisión el mapeo geotécnico, ensayos de campo sondajes geotécnicos, ensayos de laboratorio y el análisis de datos que permitirán caracterizar el macizo rocoso y establecer un modelo geomecánicos.	Dominios geomecánicos	Propiedades de la roca intacta (resistencia, ángulo fricción, cohesión, entre otros)	Mapa geomecánico – geotécnico. Formatos de logueo geomecánico. Resultados de laboratorio
Variable dependiente: Estabilidad de taludes	Los análisis de estabilidad se realizarán por el método de equilibrio límite, considerado los criterios del GLE/Morgensten Price, utilizando para este fin el software computacional Slide V 7.0, búsqueda de la superficie de rotura mínima que presenta la estabilidad global del diseño, aplicando el criterio de superficie circular.	Análisis cinemático de estabilidad. Análisis de equilibrio límite	Orientación de talud. Factor de seguridad.	Tabla geomecánica RMR y GSI. Diagrama de análisis estático y pseudoestático

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La investigación es tipo aplicada, ya que aprovecha los conocimientos logrados por la investigación básica o teórica para el conocimiento y solución de problemas inmediatos. (Sánchez et al, 2019).

Por lo que se analizó el comportamiento del macizo rocoso utilizando sus respectivos parámetros para luego ser empleados en la estabilidad de las caras de los bancos del tajo abierto.

3.2. Nivel de Investigación

La presente investigación corresponde al nivel aplicado y descriptivo, puesto que describe un fenómeno en una circunstancia temporal-espacial, de la misma manera describe condiciones y propiedades del objeto de estudio (Hernandez, 2006 p, 35). El fenómeno en este caso concierne a encontrar la estabilidad de taludes del proyecto óxidos in situ.

3.3. Métodos de investigación

Se utilizó el método lógico deductivo, porque es un proceso dirigido a la adquisición de conocimientos que consisten en desarrollar aplicaciones o consecuencias concretas a partir de principios generales (Sampiere, 2018). Es decir, en la investigación partiremos desde la aplicación de la geomecánica, la observación en el campo y los datos de laboratorio para finalmente interpretarlos.

3.4. Diseño de investigación

El diseño de investigación que se empleó es el descriptivo no experimental y transversal. Según (Sampiere, 2018) el diseño implica la observación, descripción del comportamiento de una situación o fenómeno sin influir sobre el de ninguna manera, de la misma forma es no experimental transversal, porque no existirá manipulación deliberada de la variable y la toma de información se tomará en un solo periodo corto, se considerará el siguiente diseño:

M1 \longrightarrow O1

Donde:

M1: número muestras tomadas en que se realiza el estudio

O1: observación e interpretación de la muestra

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población está conformada por todos los dominios geomecánicos de acuerdo al mapeo geomecánico realizado en el Tajo Santa Rosa con una superficie de 2 500 m², donde se consideran las áreas con afloramiento de filitas los parámetros geomecánicos y geotécnicos a utilizarse son las de un suelo, ya que por su baja resistencia y alterabilidad su comportamiento presenta esa tendencia.

3.5.2. Muestra

La muestra está conformada por los datos del logueo geomecánico de 2050.85 m que corresponden a 36 sondajes ejecutados en campañas anteriores (2005, 2006, 2013). Asimismo, para la valoración del macizo rocoso se realizó la toma de datos en 28 estaciones de mapeo por celdas. Finalmente, para la toma de muestras se empleó el muestreo no probabilístico intencional.

3.6. Técnicas e instrumento recolección de datos

Para desarrollar la evaluación geomecánica se empleó las siguientes técnicas:

- Revisión documental: Consiste en la búsqueda de información relacionada a una evaluación geomecánica y a la estabilidad de taludes en tajos abiertos.
- Observación de Campo: Se consideró los datos de campo y las observaciones directas en el campo y los resultados del laboratorio.
- Técnica del mapeo geológico-geotécnico
- Técnica del logueo geomecánico

Los instrumentos a utilizados son:

- Mapa geomecánico-geotécnico
- Formatos de logueo geomecánico
- Resultados de Laboratorio
- Cartilla geomecánica

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento de datos se utilizó el software Ms-Excel 2016 y para obtener la evaluación geomecánica-geotécnica, se evaluará los factores que condicionan el comportamiento de la masa rocosa de los taludes de los cuales se estimaron los parámetros geomecánicos. Luego se compiló la data encontrada en los estudios realizados, con la finalidad de evaluar los escenarios de estabilidad de los taludes en base del diseño del tajo.

La técnica de análisis de datos a emplear es el descriptivo, tanto de la información de campo y de los resultados de los ensayos de laboratorio de mecánica de rocas, de la misma manera se realizó el análisis de estabilidad (equilibrio limite), de los taludes del Tajo abierto. Finalmente, se realizó el análisis de estabilidad de taludes mediante el uso de los softwares Dips 6.0, Slide 6.0, Swedge 4.0, Roclab Rocscience.

3.8. Tratamiento estadístico

Para el tratamiento estadístico se empleó fórmulas establecidas de análisis de datos de estadística descriptiva, asimismo, se utilizó las fórmulas para hallar las propiedades geomecánicas del macizo rocoso y finalmente se hará uso de softwares como Excel en su última versión.

3.9. Orientación ética filosófica y epistémica

De acuerdo con la naturaleza de la presente investigación, en el aspecto ético que se consideró son la honestidad, respeto a la propiedad intelectual, respeto a la normas y reglamentos de grados y títulos de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

El trabajo de campo realizado consideró las siguientes etapas:

Etapas Pre-Campo

Se inició indagando la literatura en geomecánica y de estabilidad de taludes de libro especializados de mecánica de rocas, geotecnia, realizando búsquedas sistemáticas de la información. A continuación, se realizó los diferentes planos y las tablas que se utilizaron en el campo.

Etapas de Campo

En campo se realizaron las siguientes actividades:

- Revisión de información.
- Análisis e interpretación estructural mediante imágenes satelitales a diferentes escalas a nivel regional, distrital y local de las zonas donde se ubican el proyecto.
- Cartografiado geomecánico-geotécnico, geológico-estructural a escala 1: 2,000 de las áreas donde se viene realizando el proyecto óxidos in situ que actualmente ya

se viene ejecutando, así como también de la revisión hidrogeológica.

- Logueo geomecánico de 2050.85 m que corresponden a 36 sondajes perforados en campañas anteriores (2005, 2006, 2013).
- Valoración del macizo rocoso con la toma de datos en 28 estaciones de mapeo por celdas en los cuales se tomó la siguiente información:
 - Tipo de roca (Litología).
 - Resistencia compresión uniaxial (estimado con picota de geólogo y martillo Schmidt).
 - RQD (%).
 - Espaciamiento (m).
 - Condición de juntas (persistencia, apertura, rugosidad, relleno, alteración).
 - Condición de Agua subterránea.
 - Orientación de talud.
- Logueo geomecánico de 2050.85 m que corresponden a 36 sondajes perforados en campañas anteriores (2001, 2005, 2006, 2010, 2013).
- Toma de muestras de roca y suelo para la realización de ensayos de mecánica de rocas y suelos.

Etapas de Gabinete

- Revisión y procesamiento de la información tomada en campo.
- Elaboración de los formatos de mapeo por celdas incluyendo el análisis estructural.
- Elaboración de los formatos de logueo geomecánico.
- Elaboración de la zonificación geomecánica en 2D y 3D.
- Elaboración de secciones geomecánicas para el análisis de estabilidad de taludes.
- Análisis de estabilidad de taludes mediante el uso de los softwares Dips 6.0, Slide 6.0, Swedge 4.0, Roclab.

Etapa Post Campo

Se llevaron las muestras al laboratorio para realizar ensayos y obtener el ángulo de fricción, cohesión y peso unitario. Se evaluó el GSI mediante observaciones geológicas de campo, seleccionando la situación que más se acercaba a la realidad del macizo, obteniendo así el valor del GSI. También se evaluó el RMR a través de la caracterización geomecánica, asignando valores a los parámetros del macizo y sumándolos para obtener el RMR, que permitió determinar la cohesión y el ángulo de fricción, comprobados con resultados de laboratorio. Se realizó el análisis SMR para recomendar medidas de sostenimiento y el análisis cinemático de las discontinuidades con el programa Dips. Se calcularon los parámetros m_b , a , s y se llevó a cabo el análisis del factor de seguridad con el software Slide, seguido del cálculo respectivo.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

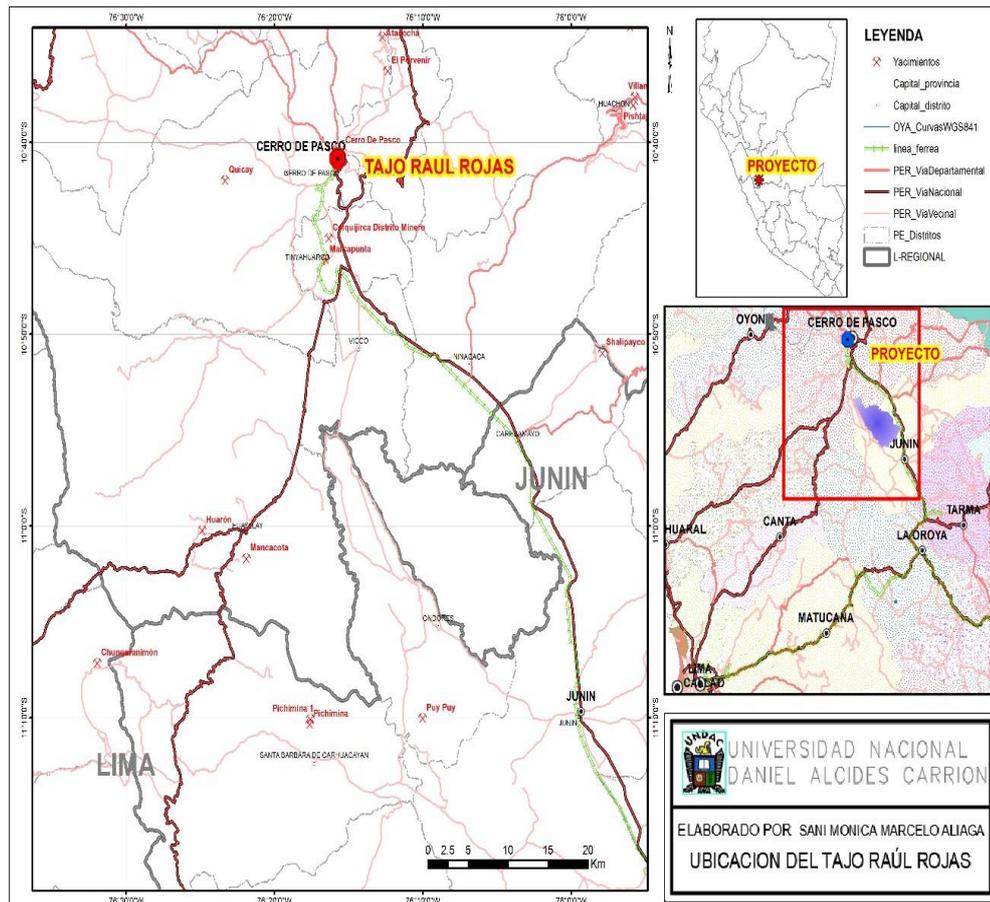
4.2.1. Ubicación y accesibilidad

Políticamente se encuentra entre los distritos de Chuquimarca y Yanacancha, en la provincia de Pasco, departamento de Pasco. El acceso se realiza de la siguiente manera:

Tabla N°2: Distancias de ubicación

Tramo	Distancia	Tiempo	Estado
Carretera Central: Lima Oroya-Cerro de Pasco	315 km	6 horas	Vía asfaltada
Carretera afirmada: Lima-Canta-Cerro de Pasco	410 km	7 horas	Vía asfaltada
Vía férrea: Lima-La Oroya-Cerro de Pasco.			afirmada

Gráfico N°1: Mapa de ubicación



Autoría: Área de geología - Volcan

4.2.2. Topografía y Relieve

El yacimiento se encuentra en una elevada meseta conocida como el Nudo de Pasco, que tiene un relieve relativamente suave, con una diferencia de altura entre las partes más altas y bajas que no supera los 300 metros. Al norte, la meseta termina en una serie de cañones profundos con pendientes empinadas, que forman los valles interandinos. Al sur, las pendientes son más suaves y concluyen en la extensa Pampa de Junín. Dentro del entorno de la unidad minera se encuentran las siguientes comunidades campesinas y ganaderas: Santa Ana de Tusi, Champamarca, Rancas, Quiulacocha y Yurajhuanca.

4.2.3. Clima

El área del yacimiento presenta un clima típico de la serranía con dos

estaciones bien definidas: una lluviosa entre noviembre y marzo, y otra seca con temperaturas por debajo de 0°C entre abril y octubre. La temperatura promedio de la zona es de 6,8°C, con una humedad del 74%, una precipitación anual de 910 mm y una dirección del viento predominante al norte, a una velocidad de 1,4 m/s.

4.2.4. Marco geológico

4.2.4.1. Geología Local

El yacimiento de Cerro de Pasco está localizado en la parte central del Perú, al NE de la ciudad de Lima, en las estribaciones occidentales de la Cordillera Central de los Andes Peruanos.

La geología local involucra tres unidades estratigráficas diferentes: Grupo Excelsior compuesto por filitas, cuarcitas y lutitas carbonosas (Silúrico - Devónico), Grupo Pucará compuesto esencialmente por calizas (Triásico - Jurásico), rocas ígneas y volcanoclásticas "Aglomerado Rumiallana", que se encuentran rellenando una estructura aproximadamente circular con diámetro promedio de 2.5 km, que corresponde al cuello de extinguido volcán "Rica Cerreña". Dentro de esta estructura se identifica una fase explosiva consistentes en aglomerados y tufos, y una fase intrusiva de composición dacítica a cuarzo monzonítica.

Litoestratigrafía

Grupo Excelsior

Dentro de la estratigrafía del yacimiento tenemos, las filitas Excelsior, que son las rocas más antiguas de la zona (siluriano- devoniano), discordante sobre el Excelsior se encuentra las areniscas aglomerados y conglomerados rojos del grupo Mitu, de edad Pérmico.

Grupo Pucará

En discordancia angular sobre el grupo Mitu, se encuentra las

calizas Pucara, teniendo diversas variedades de rocas calcáreas como las dolomitas de grano fino, no son favorables para la depositación de mineral, tenemos calizas dolomíticas de grano medio que son favorables para la depositación de mineral, sobre las calizas pucara se encuentran las areniscas del grupo Goyllarisquizga, las rocas de la formación Pocobamba, que no son favorables para la depositación de mineral.

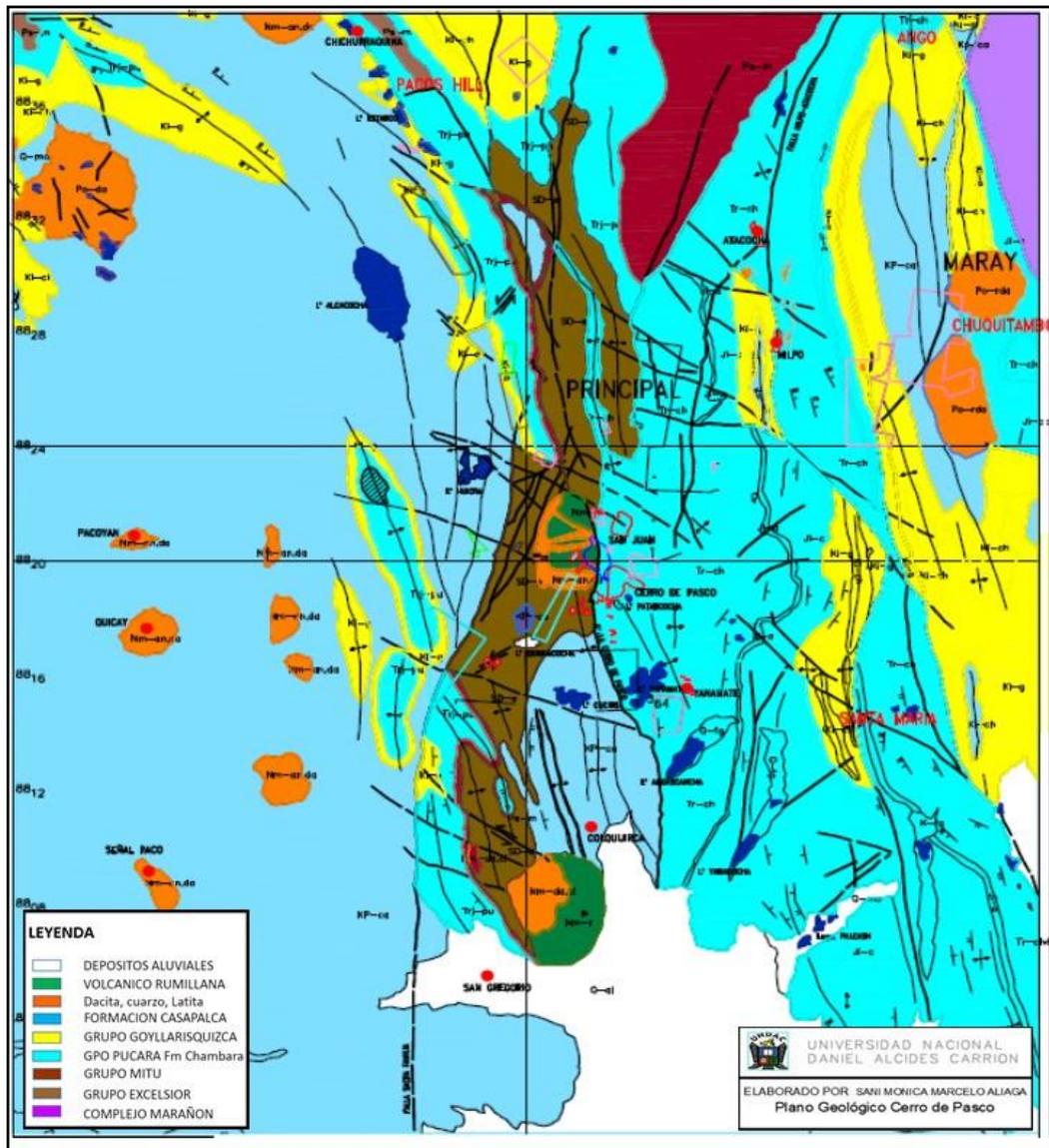
Rocas Ígneas y Volcanoclásticas

Las rocas ígneas y Volcanoclásticas encuentran rellenando una estructura aproximadamente circular con diámetro promedio de 2.5 km., que corresponde al cuello del antiguo volcán de Cerro de Pasco. Se puede identificar una fase explosiva consistente en aglomerados y tufos, y una fase intrusiva de composición dacítica a cuarzo-monzonítica.

Dentro de las rocas intrusivas tenemos 2 unidades: una conformada por rocas porfíricas de composición dacítica y otra que conforman los diques de cuarzo-monzonita porfírica.

Dentro de la geología estructural tenemos principalmente pliegues que tienen un rumbo Norte, tanto sinclinales como anticlinales, también tenemos fallas que son los responsables de la mineralización, tenemos la falla longitudinal de dirección N-S, que corta a todas las rocas preexistentes, también tenemos fallas transversales que son los responsables de la mineralización en vetas que se da en el tajo "Raúl Rojas".

Gráfico N°2: Mapa geológico regional



Autoría: Área de geología - Volcan

Geología estructural y tectónica

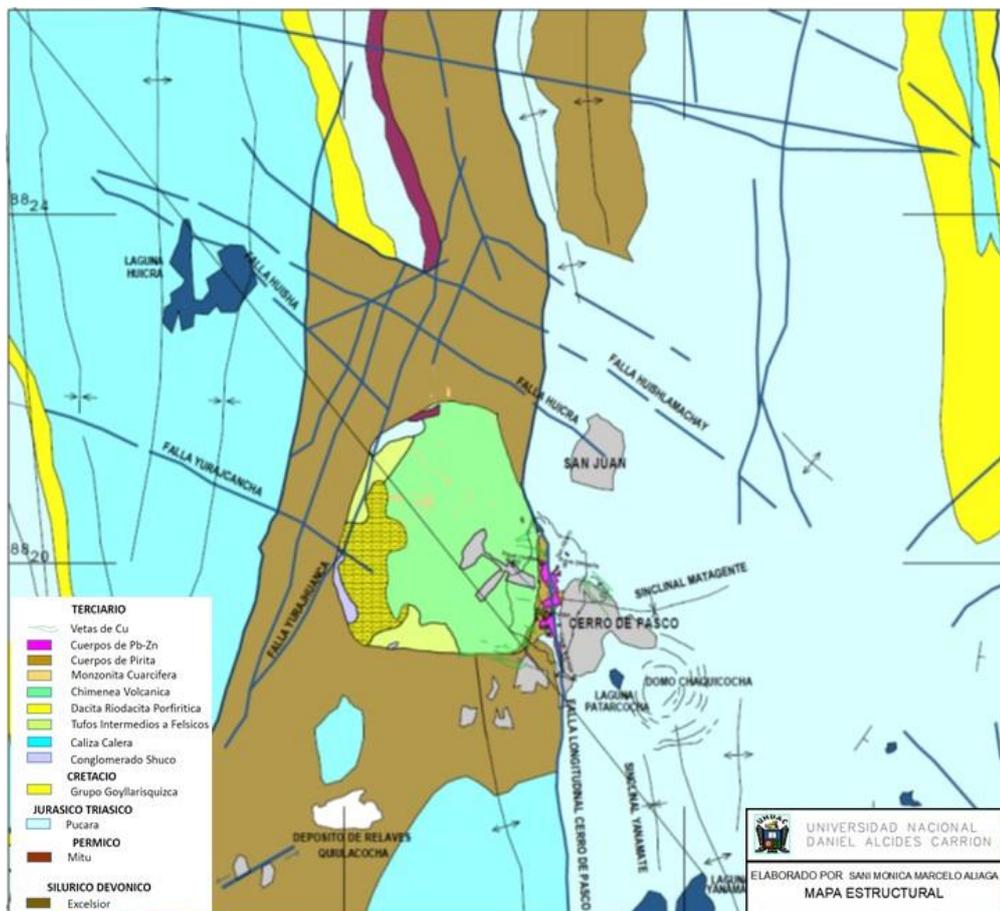
A nivel regional en el distrito minero de Cerro de Pasco se presentan plegamientos paralelos y sistemas de fallas los cuales se mencionan a continuación:

- Anticlinal de Cerro de Pasco-Marca Punta, Sinclinal Cacucán Yurajhuanca, Sinclinal de Yanamate-Colquijirca, Sinclinal de Matagente y domo de Chaquicocha.
- Falla Longitudinal de cerro de Pasco, Limitan la estructura positiva de Cerro de Pasco y son herencia de la Tectónica Herciniana con rumbo promedio N 10° - 15° W y buzamiento 60° - 65° E, es la que actúa como un control estructural.
- Fallas Oblicuas al Plegamiento Regional, a este conjunto pertenece al sistema de fracturas de Huislamachay - Yurajhuanca que arrumban al Noreste. El primer sistema ha desplazado a las estructuras regionales y las fallas longitudinales, probablemente a la intersección de estos sistemas origina una zona permeable, a través de la cual los flujos magmáticos ascendieron; y posteriormente esta también sirvió de control estructural en el emplazamiento del cuello volcánico.
- Fallas Oblicuas de Plegamiento Regional, que han cortado a los Aglomerados del cuello volcánico, este conjunto tiene sistema de fracturas que arrumban al Noreste y otro que arrumba al Este; estos sistemas han sido rellenados con Monzonita Cuarzifera.
- Fallas Oblicuas a los Pliegues Cruzados, que han sido mineralizados con Esfalerita galena.
- Fracturas convergentes en profundidad y mineralizadas con pirita-enargita: Se hallan localizadas al este, sureste y extremo sur de la

estructura volcánica.

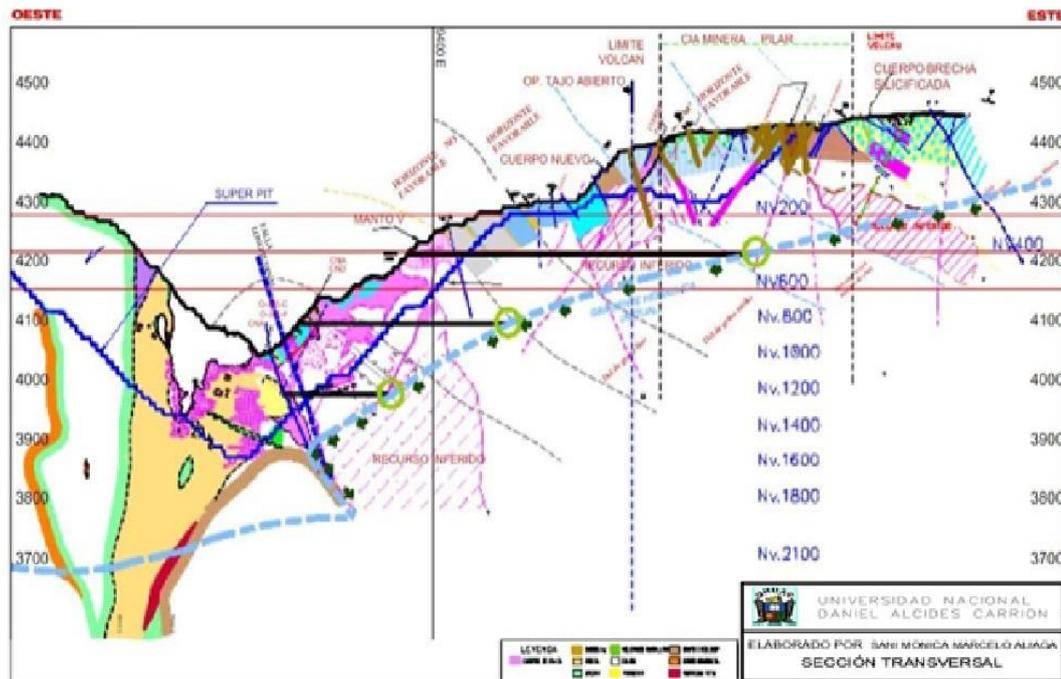
- Fallas Oblicuas, el Contacto Este del cuerpo de Silica-Pirita que cortan a los cuerpos mineralizados de Plomo y Zinc y que han sido mineralizados con Pirita-Argentífera.
- Fallas Longitudinales Post Minerales que han desplazado longitudinalmente, las cajas de los cuerpos mineralizados de Plomo y Zinc y han producido una trituración de Menas.
- Fallas Oblicuas o Fallamiento Longitudinal Post Mineral, que han producido dislocaciones de los cuerpos mineralizados y de Vetas.

Gráfico N°3: Mapa estructural



Autoría: Área de geología - Volcan

Gráfico N°4: Sección transversal



Autoría: Área de geología - Volcan

4.2.5. Parámetros de diseño para la estabilidad de taludes

Para conseguir los objetivos de la investigación se consideraron las unidades litológicas, parámetros geotécnicos, geometría de los taludes, zona de contacto, ángulo de cara de banco y ángulo global, se realizó el análisis de estabilidad (equilibrio limite), de los taludes del tajo abierto. El resultado comenzó con la adquisición de información de logeo geomecánico que se detallan a continuación:

4.2.5.1. Logeo geomecánico de sondajes

Se realizó el logeo geomecánico de 2050.85 metros de sondajes DDH que corresponden a 36 sondajes ejecutados en campañas de perforación antiguas (ver tabla 3) para este trabajo se utilizó un formato digital de logeo geomecánico para determinar el RMR de los dominios litológicos. Se logró diferenciar las siguientes litologías: zona de brecha silicificada y oxidada, caliza, dolomía, cuarcita, filita, secuencias volcánicas. Cabe resaltar que los sondajes logeados en campo fueron de campañas

antiguas 2001(1), 2010(1), 2005(10), 2006(5) en total 17 sondajes estos sondajes se encontraron cortados y muestreados en algunos casos las canaletas se encontraban sin testigo alguno, con respecto a la recuperación de 821.95m está en 60.8% porcentaje que está por debajo de lo recomendable, también se revisaron fotografías de 1228.90 metros que corresponden a 19 sondajes del 2013, se realizó el logueo por medio de fotos donde el porcentaje de recuperación para estos sondajes es de 60%, cabe resaltar que el motivo de la baja recuperación de debe a que algunos sondajes cortaron labores antiguas sin recuperación alguna y zonas de relleno (se adjunta fotos).

En conclusión, la información levantada en base a 17 sondajes revisados en campo podría tener un sesgo por la antigüedad y manipulación (muestreo) encontrado en estos sondajes.

17 sondajes 821.95 metros fueron extendidos en las instalaciones de logueo donde se pudo observar que los testigos están cortados y muestreados y tienen una recuperación de 60.8% en general la recuperación está por debajo de lo recomendable, se observó cajas con canaletas vacías por posible muestreo de testigos motivo por el cual se solicitó la información en fotos de sondajes antiguos.

Una vez culminado el logueo en campo se solicitó fotos de 19 sondajes 1228.90 metros ya que tienen profundidades mayores a 60m y ángulos mayores a 60°, se realizó el logueo por medio de fotos donde el porcentaje de recuperación para estos sondajes es de 60%, cabe resaltar que el motivo de la baja recuperación de debe a que algunos sondajes cortaron labores antiguas sin recuperación alguna y zonas de relleno.

Tabla N°3: Resumen de sondajes logueados

N°	SONDAJE	AÑO DE PERFORACION				CAMPO/GABINETE	PROFUNDIDAD
		2005	2006	2013	2001/2010		
1	MCP-14-05	44.00	-	-	-	CAMPO	44.00
2	MCP-17-05	68.35	-	-	-	CAMPO	68.35
3	MCP-19-05	27.25	-	-	-	CAMPO	27.25
4	MCP-20-05	68.45	-	-	-	CAMPO	68.45
5	MCP-21-05	66.90	-	-	-	CAMPO	66.90
6	MCP-23-05	68.45	-	-	-	CAMPO	68.45
7	MCP-26-05	40.60	-	-	-	CAMPO	40.60
8	MCP-29-05	33.75	-	-	-	CAMPO	33.75
9	MCP-30-05	30.30	-	-	-	CAMPO	30.30
10	MCP-31-05	28.60	-	-	-	CAMPO	28.60
11	SR-06-13	-	22.20	-	-	CAMPO	22.20
12	SR-06-17	-	30.60	-	-	CAMPO	30.60
13	SR-06-20	-	48.60	-	-	CAMPO	48.60
14	SR-06-26	-	26.00	-	-	CAMPO	26.00
15	SR-06-27	-	30.80	-	-	CAMPO	30.80
16	DDH-S-CE-13-033	-	-	50.30	-	GABINETE	50.30
17	DDH-S-CE-13-139	-	-	73.70	-	GABINETE	73.70
18	DDH-S-CE-13-166	-	-	58.40	-	GABINETE	58.40
19	DDH-S-CE-13-098	-	-	50.50	-	CAMPO	50.50
20	DDH-S-CE-13-110	-	-	58.00	-	CAMPO	58.00
21	DDH-S-CE-13-112	-	-	55.00	-	CAMPO	55.00
22	DDH-S-CE-13-118	-	-	67.00	-	GABINETE	67.00
23	DDH-S-CE-13-002	-	-	70.1	-	GABINETE	70.10
24	DDH-S-CE-13-007	-	-	72.5	-	GABINETE	72.50
25	DDH-S-CE-13-009	-	-	63.9	-	GABINETE	63.90
26	DDH-S-CE-13-019	-	-	59.4	-	GABINETE	59.40
27	DDH-S-CE-13-023	-	-	66.7	-	GABINETE	66.70
28	DDH-S-CE-13-030	-	-	51.7	-	GABINETE	51.70

29	DDH-S-CE-13-034	-	-	64.7	-	GABINETE	64.70
30	DDH-S-CE-13-068	-	-	62.4	-	GABINETE	62.40
31	DDH-S-CE-13-075	-	-	69.8	-	GABINETE	69.80
32	DDH-S-CE-13-093	-	-	71.5	-	GABINETE	71.50
33	DDH-S-CE-13-129	-	-	78.7	-	GABINETE	78.70
34	DDH-S-CE-13-133	-	-	84.6	-	GABINETE	84.60
35	SR-01-00	-	-	-	96.00	CAMPO	96.00
36	SR-10-34	-	-	-	91.10	CAMPO	91.10
	TOTAL (m)	476.65	158.2	1228.9	187.10		2050.85

Imagen N°1: MCP-23-05 DE 42.00-46.50m



Autoría: personal

Imagen N°2: SR-10-34 DE 46.20-52.20m



Autoría: personal

Imagen N°3: S-CE-13-030 DE 25.20-51.70m



Autoría: personal

Imagen N°4: S-CE-13-033 DE 15.60-21.55m



Autoría: personal

4.2.5.2. Aspectos hidrológicos

Aguas Superficiales

La hidrografía regional del área de estudio se encuentra en el sector de Bolívar dentro de la ciudad de Cerro de Pasco, entre la cuenca del río Huallaga que fluye hacia el norte de la ciudad y la cuenca del río San Juan que desemboca en el lago Junín hacia el sur.

El río San Juan - Mantaro se encuentra en la parte central del país, recorriendo aproximadamente 725 km a través de los departamentos de Pasco, Junín, Huancavelica y Ayacucho, desde su nacimiento en el nudo de Pasco, donde se le conoce como río San Juan, hasta su desembocadura. Es importante señalar que al salir de Upamayo (lago Chinchaycocha o Junín) adquiere el nombre de Mantaro.

La zona del proyecto Óxidos de In situ no contiene cursos de agua naturales ni pequeños cursos de quebradas o arroyos que comprometan su cauce natural o alteren su régimen de escorrentía.

Las aguas de escorrentía en la zona del proyecto, visibles en toda el área de minado del tajo Raúl Rojas, se manejan a través de cunetas existentes en las rampas

de acceso, algunas de las cuales están cubiertas por tramos con geomembranas que conducen el agua captada hacia pozas sedimentadoras. Desde allí, el agua se integra a dos sistemas de bombeo existentes.

Imagen N°5: *Sistemas de drenaje con cuneta y pozas de sedimentación*



Autoría: personal

Las observaciones de campo en los taludes del tajo del área de proyecto no se observan curso de agua naturales en su lugar se observan cunetas a lo largo de los accesos, asimismo no se observan manantiales u ojos de agua u afloramientos de la napa freática.

Las aguas superficiales ocasionadas por las precipitaciones anual promedio de 92.17 mm, considerando que el mes más húmedo (con la precipitación más alta) es Febrero (176mm) y el mes más seco (con la precipitación más baja) es Junio (14mm) (senhami, 2023). Asimismo, los flujos hídricos atmosféricos serán absorbidas por las filtraciones por los materiales detríticos de relleno y estratos sedimentarios en la zona del tajo Santa Ana y zonas del proyecto donde hay una fuerte interacción entre las actividades del proyecto y las unidades hidrogeológicas presentes en la zona de influencia, sin embargo dada los valores de precipitación máxima en la zona será necesario

incrementar pozas de sedimentación e potencialmente incrementar el bombeo de estas aguas superficiales al incrementar el área de exposición del tajo en los taludes finales en un área inicial de 272,300 m².

Imagen N°6: Tajo óxidos in situ sin cursos de agua naturales



Autoría: personal

Aguas Subterráneas

En el área de estudio los flujos de agua subterránea desde la superficie están dominadas por la filtración de las aguas meteóricas del material detrítico de relleno y mineralización en la zona del proyecto, asimismo por un sistema de un sistema geológico- estructural conformado por fallas y fracturas que sirven como de medio de conducción de los flujos subterráneos hasta el nivel freático hacia el fondo del tajo Raúl Rojas.

No se ha observado la presencia de agua subterránea en las paredes del talud del tajo existente el cual se manifiesta a través de pequeños manantiales alineados que se ubican generalmente a lo largo del nivel freático ausente hasta la cota 4260 que constituye la cota base del proyecto “Oxidos In situ”.

En el sector medio de las microcuencas San Juan, estas aguas

siguen su curso hacia el lago Junín en algunos lugares se manifiestan los bofedales.

Las zonas de recarga se sitúan en la línea de cumbres de las colinas y cerros que conforman el límite de las microcuencas, en estos sectores las rocas se encuentran fracturadas permitiendo la filtración de las aguas meteóricas hacia el subsuelo. En las microcuencas las zonas de descarga natural del agua subterránea se ubican en las partes intermedias a bajas de las microcuencas, lugares donde se manifiestan como manantiales u bofedales.

Imagen N°7: Talud sin afloramientos en el NF



Autoría: personal

4.2.5.3. Peligro sísmico

El territorio peruano está comprendido entre una de las regiones de más alta actividad sísmica al conformar parte del Cinturón Circunpacífico. El marco tectónico regional a mayor escala está gobernado por la subducción entre las placas de Nazca y Sudamericana. Los principales rasgos tectónicos de la región occidental de Sudamérica son: la Cordillera de los Andes y la fosa Perú-Chile, con alta actividad sísmica a consecuencia de dos placas

convergentes cuyo resultado es la orogenia contemporánea constituida por los Andes.

Cuando ocurre un sismo se generan una serie de vibraciones que se propagan como ondas de diferente frecuencia.

La aceleración vertical y horizontal asociadas a esas ondas, origina una fluctuación del estado de esfuerzos en el interior del terreno afectando al equilibrio de las labores subterráneas, así se puede producir una perturbación de la trabazón ínter granular de los materiales, disminuyendo su cohesión.

Esta acción sísmica es compleja y origina unos fenómenos de deformacionales que pueden ser de tipo sismo tectónico o sismo gravitacional. El primero de ellos se produce en la corteza terrestre a lo largo de fallas plegamientos, etc. Producidos durante terremotos de intensidad mayor a 6.5 (Escala de Mercalli).

Los del tipo sismo gravitacional tienen una dinámica específica, los materiales movilizados se extienden sobre áreas mucho mayores que los movimientos debido a la gravedad, particularmente si ha habido vibraciones de larga duración, originan grandes deslizamientos, avalanchas, desprendimientos y coladas.

Zonificación Sísmica

Existen diversos métodos para determinar la zonificación sísmica, una de ellas es la zonificación sísmica realizada por Jorge Alva y Jorge Castillo (1993), en el cual se ubica la zona de estudio en base a data histórica, otra corresponde a un compósito de evento sísmicos generada por la data del Instituto Geofísico del Perú (IGP).

Tabla N°4: Máximas aceleraciones

Coordenadas	Periodo de Retorno/ Aceleración						
	30	20	100	190	285	475	950
Cerro de Pasco -76,25; -10.67	0,13	0,16	0,21	0,27	0,31	0,36	0,45

Teniendo en cuenta el Art. 264. del DS 024-2016-EM y conforme a lo recomendado por el estudio de peligro sísmico realizado por Klohn Crippen Berger y CESEL Ingenieros se determinó usar como aceleración para diseño de taludes la constante $\alpha = 0.18g$.

Esta constante será usado para establecer la condición pseudoestática en los análisis de bloques siguientes.

4.2.5.4. Investigaciones en laboratorio de mecánica de rocas y suelos

Para poder determinar las propiedades geomecánicas geotécnicas del macizo rocoso, se tomaron muestra en campo de roca y cuaternario, estas muestras se recogieron de los dominios geomecánicos principales que están principalmente relacionado con la litología. En las tablas siguientes se especifica las muestras recogidas y los ensayos realizado.

Tabla N°5: Muestras de roca

Litología	Código	Coordenadas	
		Norte	Este
Brecha Hidrotermal	M1	8819070	362072
Cuarcita Oxidada	M5	8818894	362153
Volcánico	M6	8819238	362176

Tabla N°6: Muestras de suelo

Litología	Código	Coordenadas	
		Norte	Este
Filita	M3	8819072	362365
Cuaternario	M4	8819018	362481

Observación: Por las condiciones de baja resistencia y alteración de la filita se determinó realizar los ensayos como un suelo ya que su comportamiento sería bastante cercano.

Resultados:

A continuación, en las siguientes tablas se muestran los resultados de los ensayos realizados:

Tabla N°7: *Compresión simple en rocas ASTM D2938*

Litología	Código	Resistencia (Mpa)
Brecha Hidrotermal	M1	31.1
Cuarcita Oxidada	M5	71.5
Volcánico	M6	32.3

Tabla N°8: *Gravedad específica y absorción*

Litología	Código	Gravedad Específica Aparente	Absorción (%)	Densidad (g/ cm ³)
Brecha Hidrotermal	M1	2.13	7.04	2.11
Cuarcita Oxidada	M5	2.48	1.66	2.46
Volcánico	M6	2.55	2.24	2.53

Tabla N°9: *Módulos elásticos*

Litología	Código	Módulo de Young (GPa)	R. Poisson
Brecha Hidrotermal	M1	7.15	0.3
Cuarcita Oxidada	M5	15.98	0.28
Volcánico	M6	5.29	0.31

Tabla N°10: Compresión triaxial

Litología	Código	mi	Resistencia (MPa)	Ang. Fricción (*)	Cohesión (Mpa)
Brecha Hidrotermal	M1	11.69	42.67	42.02	9.91
Cuarcita Oxidada	M5	24.36	175.43	56.15	27.23
Volcánico	M6	12.68	49.83	43.81	11.17

Tabla N°11: Corte directo

Litología	Código	Ang. Fricción Máximo (*)	Ang. Fricción Residual (*)	Cohesión Máximo (Mpa)	Cohesión Residual (Mpa)
Filita	M3	33	33	0.25	0.2
Cuatenario	M4	43.5	43.2	0	0

4.2.5.5. Análisis de estabilidad

Para la realización del análisis de estabilidad del proyecto óxidos in situ se realizó el cartografiado geomecánica-geotécnico a escala 1:1,000 con el fin de realizar una zonificación geomecánica.

La caracterización y zonificación geomecánica se hizo en base a la clasificación geomecánica RMR de Bieniawski de 1989 y el ajuste por orientación de discontinuidades de la Romana (SMR) y GSI, el análisis cinemático de estabilidad se realizó utilizando los softwares Dips 6.0 y Swedge 4.0 y el análisis de equilibrio límite se realizó utilizando el software Slide 6.0.

Sistema de Clasificación Geomecánica de Bieniawski (1989).

Para esa investigación se empleó la versión de 1989, el método es significativo en minado y construcción a nivel mundial.

La metodología se implementa mediante la división o zonificación de la masa rocosa en varias regiones estructurales, clasificándose cada una de estas por

separado. Los límites de estas regiones generalmente coinciden con las principales características estructurales, como fallas o cambios en la litología.

Tabla N°12: Clasificación RMR de Bieniawski 1989

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4 - 2	2 - 1	Compresión simple (MPa)		
		Compresión simple	>250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25-5	5-1	<1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		> 2m	0,6 - 2 m	0,2 - 0,6 m	0,06-0,2 m	<0,06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	>20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5 mm	>5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5 mm	Relleno duro >5 mm	Relleno blando <5 mm	Relleno blando >5 mm		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	<10 litros/min	10 25 litros/min	25 - 125 litros/min	>125 litros/min		
		Relación: Presión de agua/tensión principal mayor	0	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	>0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		
Corrección por la orientación de las discontinuidades									
Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables			
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12			
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25			
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60			

Nota. Clasificación tomada de Bieniawski 1989

Para la estimación del RMR en el proyecto óxidos in situ se realizaron 28 estaciones geomecánicas de mapeo por celdas mediante el instrumento de mapeo por celdas.

Índice SMR (Slope Mass Rating)

El índice SMR para la clasificación de taludes se obtiene del índice RMR básico sumando un "factor de ajuste", que es función de la orientación de las juntas que es el producto de tres subfactores (F1x F2 x F3) y un "factor de excavación" que depende del método utilizado: **SMR = RMR + (F1 x F2 x F3) + F4**

Tabla N°13: Factores de ajuste de la clasificación SMR (romana, 1995)

FACTORES DE AJUSTE DE LAS JUNTAS (F ₁ , F ₂ , F ₃)	TALUD		JUNTA		α_j = DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO DE LA JUNTA α_s = DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO DEL TALUD β_j = BUZAMIENTO DE LA JUNTA β_s = BUZAMIENTO DEL TALUD					
	MUY FAVORABLE	FAVORABLE	NORMAL	DESFAVORABLE	MUY DESFAVORABLE					
ROTURA PLANA $ \alpha_j - \alpha_s =$ VUELCO $ \alpha_j - \alpha_s + 180^\circ =$ VALORES	> 30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°					
AJUSTE ANALÍTICO	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00	$F_1 = (1 - \text{sen} \alpha_j - \alpha_s)^2$				
VALORES $ \beta_j =$ ROTURA PLANA VUELCO	< 20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	> 45°					
AJUSTE ANALÍTICO	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00	$F_2 = \text{tg}^2 \beta_j$				
ROTURA PLANA $\beta_j - \beta_s =$ VUELCO $\beta_j + \beta_s =$ VALORES	> 10°	10° - 0°	0°	0° - (-10°)	< (-10°)					
AJUSTE ANALÍTICO	0	-6	-25	-50	-60	$F_3 = (\text{SE MANTIENEN LOS VALORES PROPUESTOS POR BIENIAWSKI, 1976 / 79})$				
FACTOR DE AJUSTE POR EL MÉTODO DE EXCAVACIÓN	$F_4 = \text{VALORES EMPÍRICOS ESTABLECIDOS PARA CADA MÉTODO DE EXCAVACIÓN}$									
	TALUD NATURAL	PRECORTE	VOLADURA SUAVE	VOLADURA ó MECÁNICO	VOLADURA DEFICIENTE					
	+ 15	+ 10	+ 8	0	- 8					

Tabla N°14: Valores de SMR para cada tipo de rotura

TIPO DE ROTURA	INTERVALOS SMR	FRECUENCIA
PLANAS	SMR > 60 60 > SMR > 40 40 > SMR > 15	Ninguna Importantes Muy grandes
EN CUÑA	SMR > 75 75 > SMR > 49 55 > SMR > 40	Muy pocas Algunas Muchas
POR VUELCO	SMR > 65 65 > SMR > 50 40 > SMR > 30	Ninguna Menores Importantes
COMPLETAS	SMR > 30 30 > SMR > 10	Ninguna Posible

Tabla N°15: Clases de estabilidad según el SMR

DESCRIPCIÓN DE LAS CLASES SMR										
CLASE N°	Vb	Va	IVb	IVa	IIIb	IIIa	IIb	IIa	Ib	Ia
DESCRIPCIÓN	MUY MALA		MALA		NORMAL		BUENA		MUY BUENA	
ESTABILIDAD	TOTALMENTE INESTABLE		INESTABLE		PARCIALMENTE INESTABLE		ESTABLE		TOTALMENTE ESTABLE	
ROTURAS	GRANDES ROTURAS POR PLANOS CONTINUOS O POR LA MASA		JUNTAS O GRANDES CUÑAS		ALGUNAS JUNTAS O MUCHAS CUÑAS		ALGUNOS BLOQUES		NINGUNA	
SOSTENIMIENTOS	REEXCAVACIÓN		IMPORTANTES		SISTEMÁTICOS		OCASIONALES		NINGUNO	

El cálculo del índice SMR se realizó de los datos tomados en las estaciones de mapeo por celdas realizados en el proyecto óxidos in situ.

Clasificación Geomecánica del Macizo Rocosco

Para la clasificación geomecánica de la masa rocosa del proyecto

óxidos in situ se utilizó la información tomada del mapeo geomecánica por celdas.

Se desarrollaron 28 estaciones geomecánicas, en las cuales se emplearon las reglas de clasificación geomecánica de Bieniawski y de clasificación la Romana (SMR). El resumen de las clasificaciones se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N°16: Clasificación geomecánica RMR

ESTACIÓN	RMR	TIPO DE ROCA
E-1	36	Mala A
E-2	35	Mala A
E-3	55	Regular A
E-4	55	Regular A
E-5	53	Regular A
E-6	50	Regular B
E-7	-	Cuaternario
E-8	38	Mala A
E-9	39	Mala A
E-10	44	Regular B
E-11	-	Cuaternario
E-12	-	Cuaternario
E-13	-	Cuaternario
E-14	43	Regular B
E-15	-	Relleno
E-16	-	Relleno
E-17	-	Relleno
E-18	-	Relleno
E-19	48	Regular B
E-20	53	Regular A
E-21	27	Mala B
E-22	53	Regular A
E-23	49	Regular B
E-24	30	Mala B
E-25	49	Regular B
E-26	48	Regular B
E-27	48	Regular B
E-28	49	Regular B

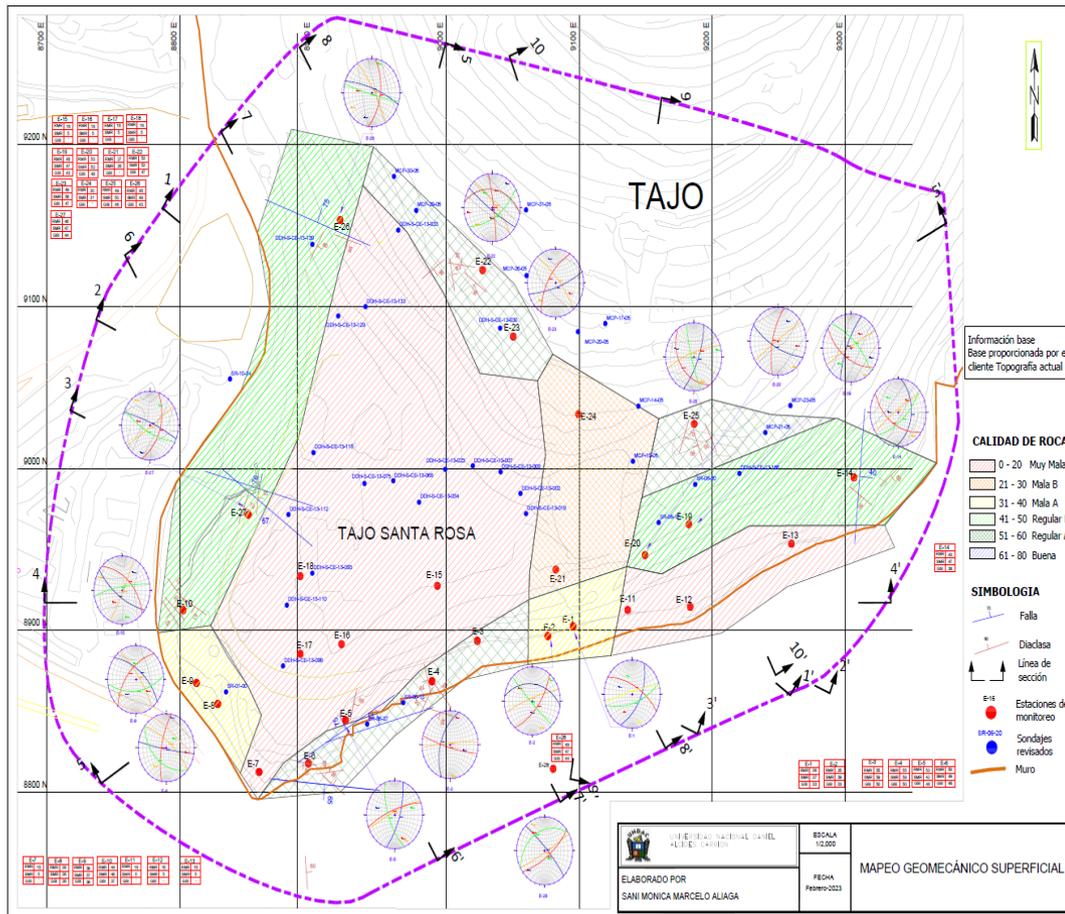
Zoneamiento geomecánico

Conforme al cartografiado geomecánico-geotécnico realizado en campo, la información geomecánica tomada en las 28 estaciones de mapeo por celdas y el logueo geomecánico de 2050 m. de sondajes se elaboró el zoneamiento geomecánico en función del sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski 1989, esta zonificación se realizó en 2D y 3D apoyado con los softwares Autocad y Leapfrog, mostrándose a continuación el modelo del zoneamiento geomecánico obtenido.

Gráfico N°6: *Calidad de roca RMR de Bieniawski 1989*

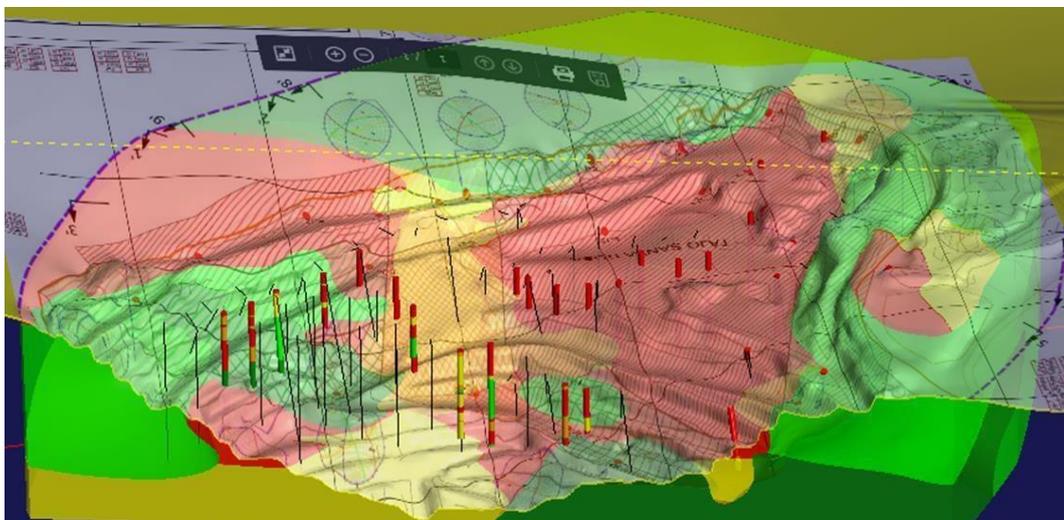


Gráfico N°7: Zoneamiento geomecánico 2D con topografía actual



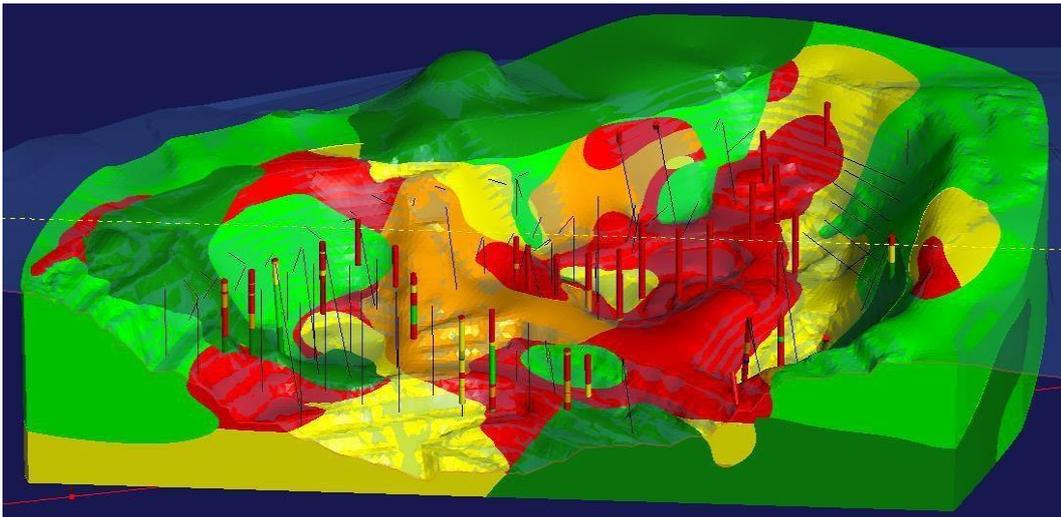
Autoría: personal

Gráfico N°8: Zoneamiento geomecánico 3D con topografía actual vista SW



Autoría: personal

Gráfico N°9: Zoneamiento geomecánico 3D pit final vista SW

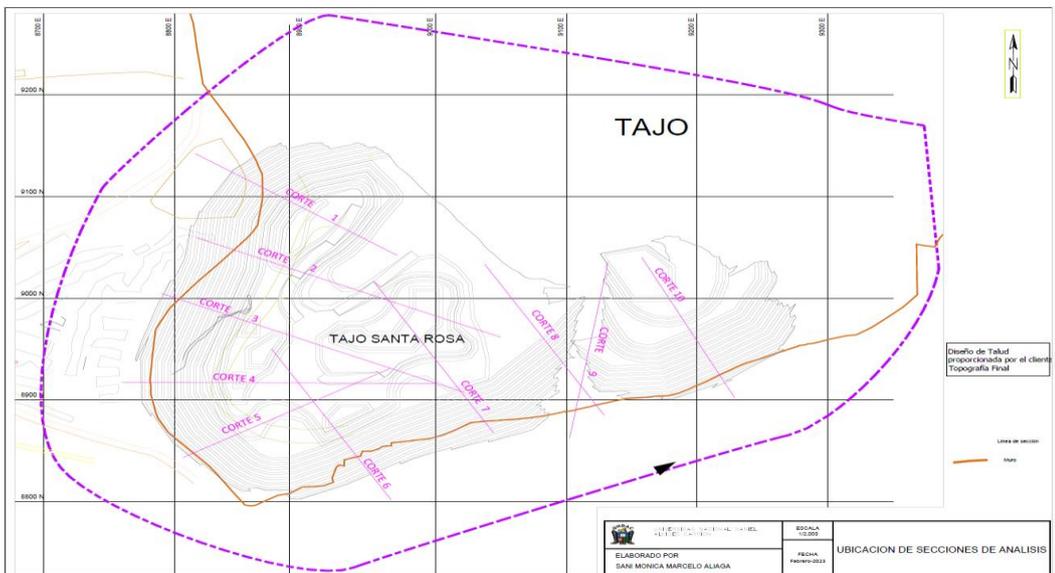


Autoría: personal

Secciones Geomecánicas Transversales al Pit Final.

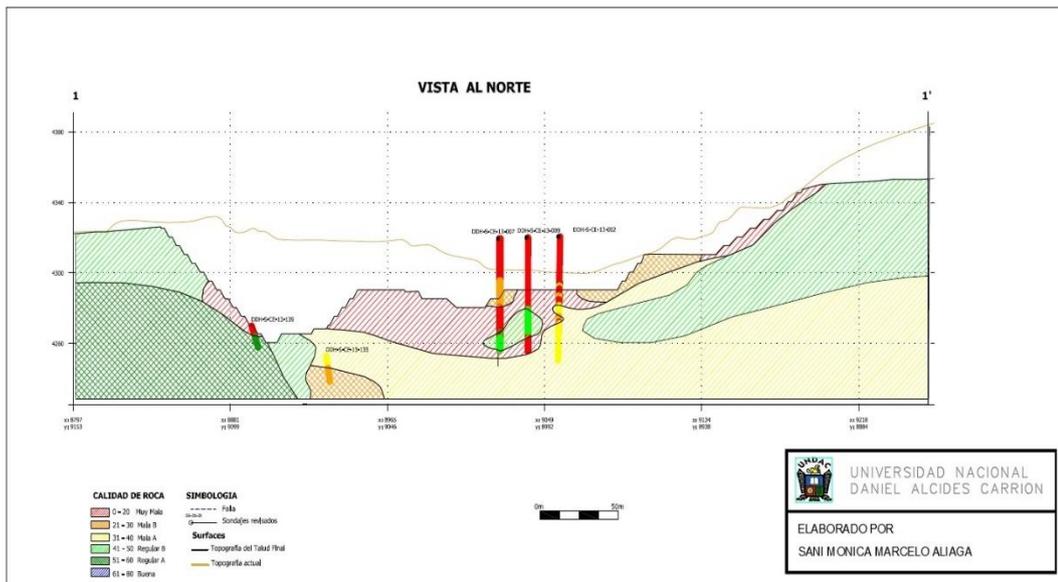
Con el fin de analizar la estabilidad del diseño del Pit Final entregado por el área de Planeamiento e Ingeniería de Volcan Compañía Minera – EA Óxidos De Pasco SAC se elaboraron 9 secciones transversales al diseño del talud final, los cuales se muestran a continuación.

Gráfico N°10: Secciones geomecánicas



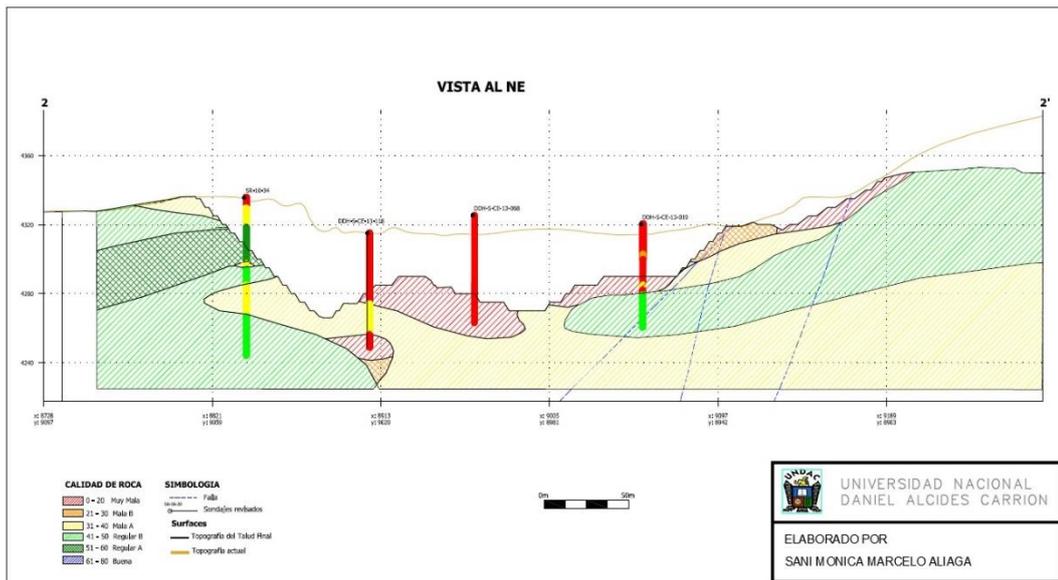
Autoría: personal

Gráfico N°11: Sección geomecánica 01



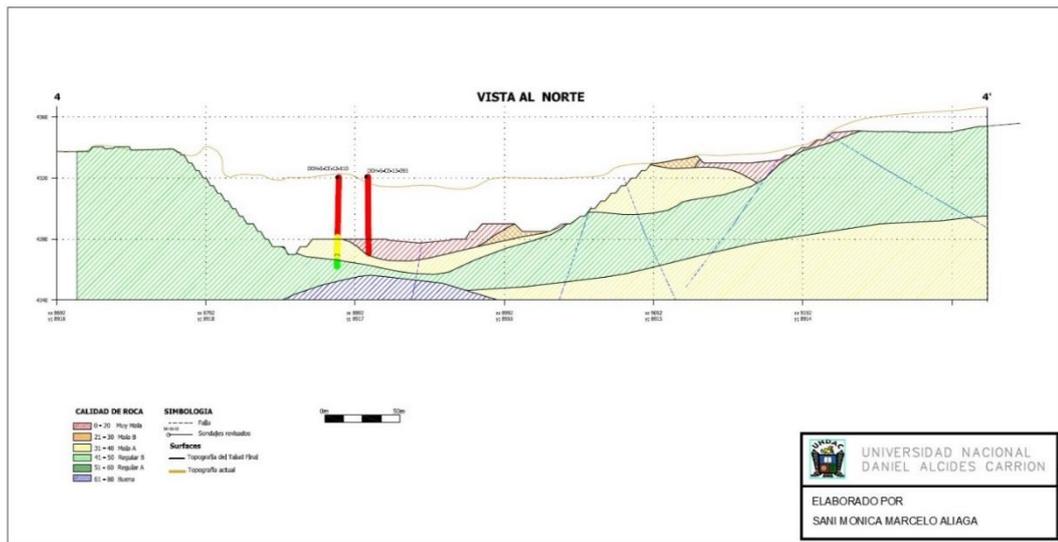
Autoría: personal

Gráfico N°12: Sección geomecánica 02



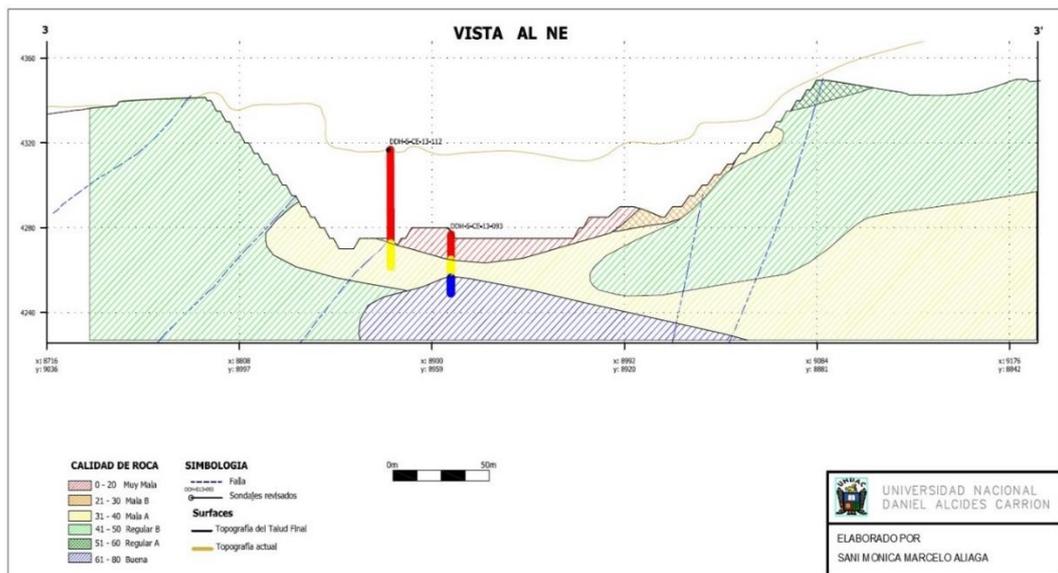
Autoría: personal

Gráfico N°13: Sección geomecánica 03



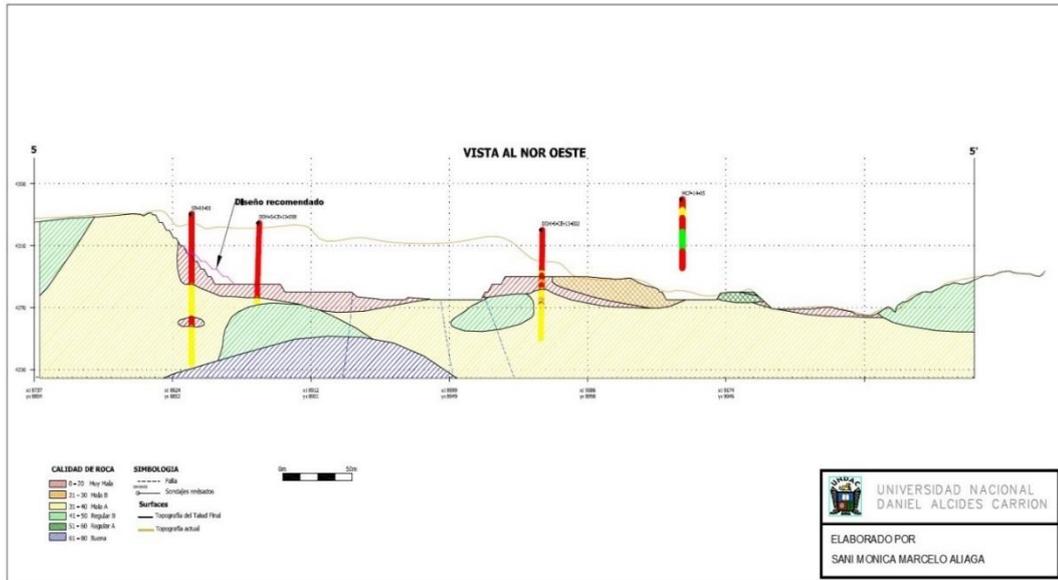
Autoría: personal

Gráfico N°14: Sección geomecánica 04



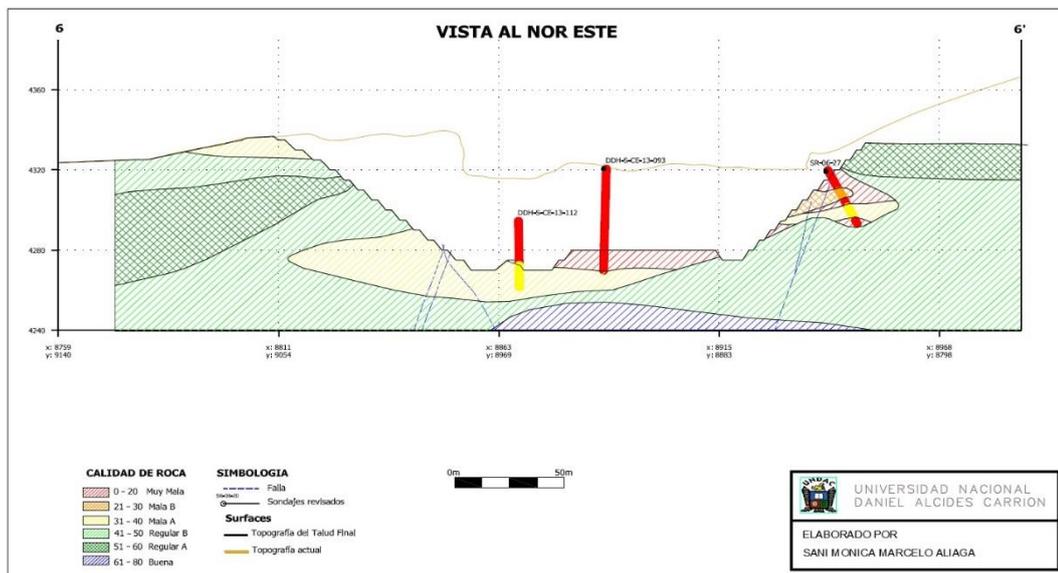
Autoría: personal

Gráfico N°15: Sección geomecánica 05



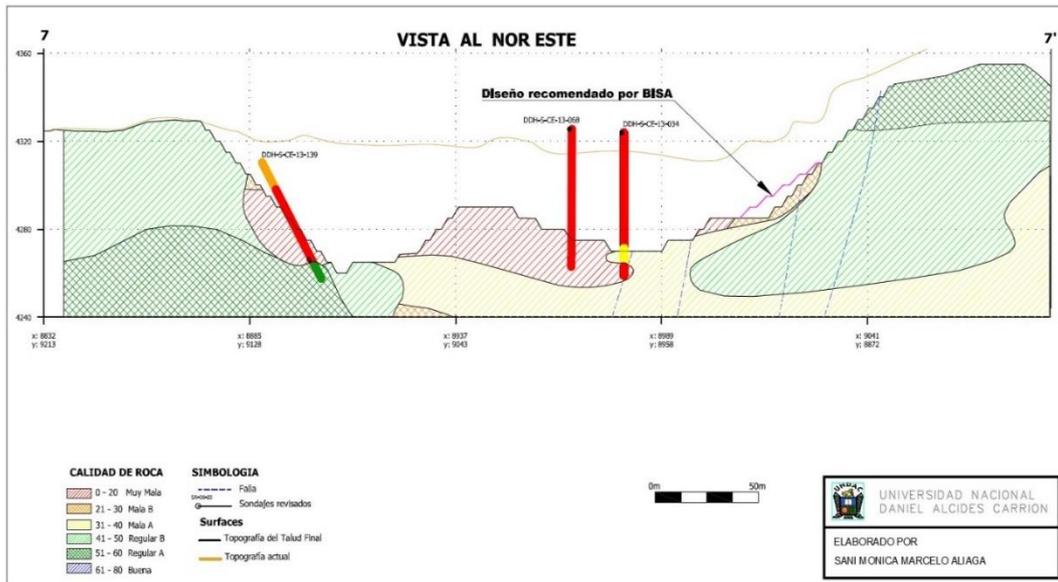
Autoría: personal

Gráfico N°16: Sección geomecánica 06



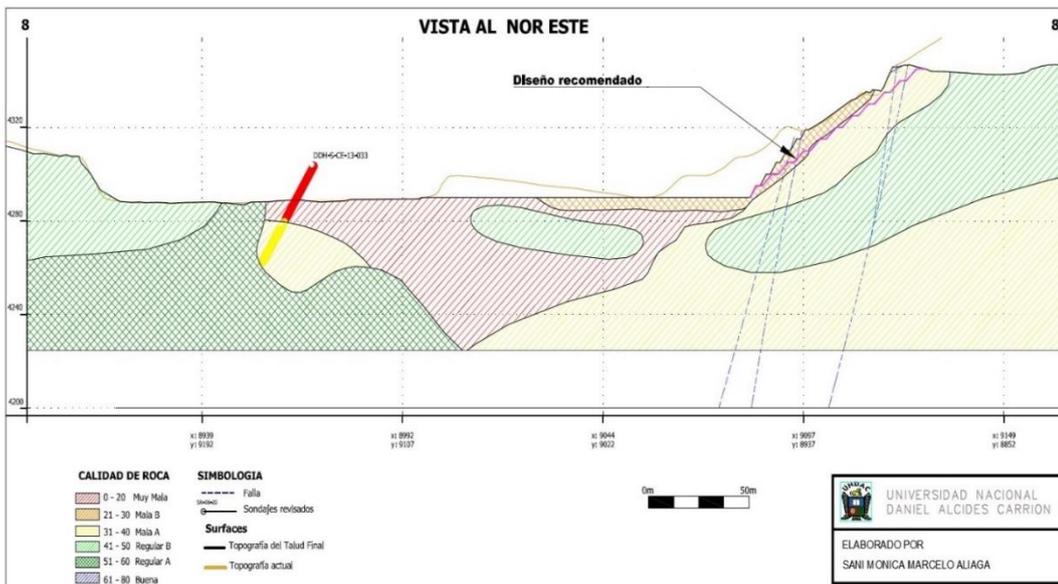
Autoría: personal

Gráfico N°17: Sección geomecánica 07



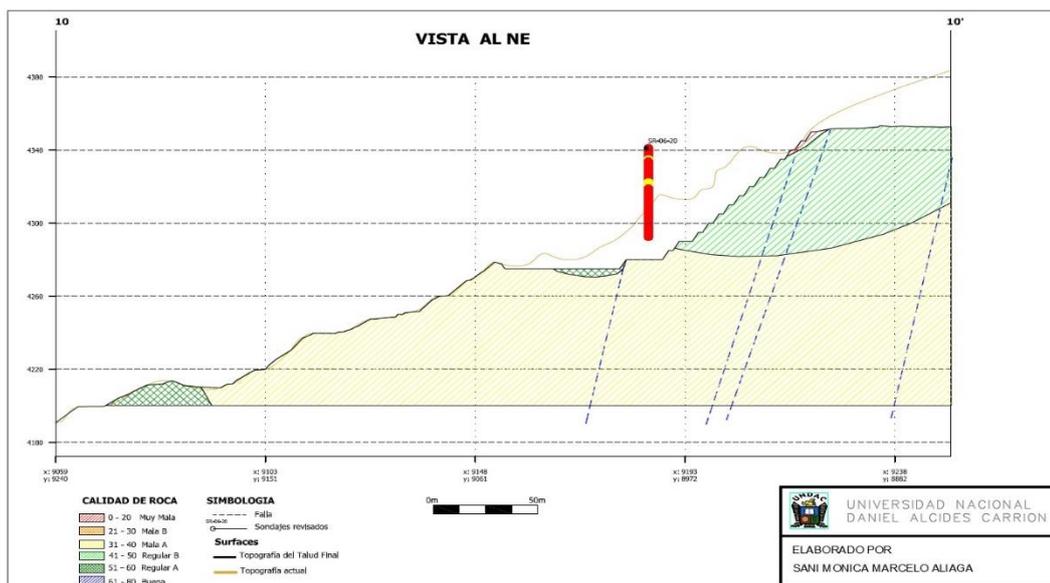
Autoría: personal

Gráfico N°18: Sección geomecánica 08



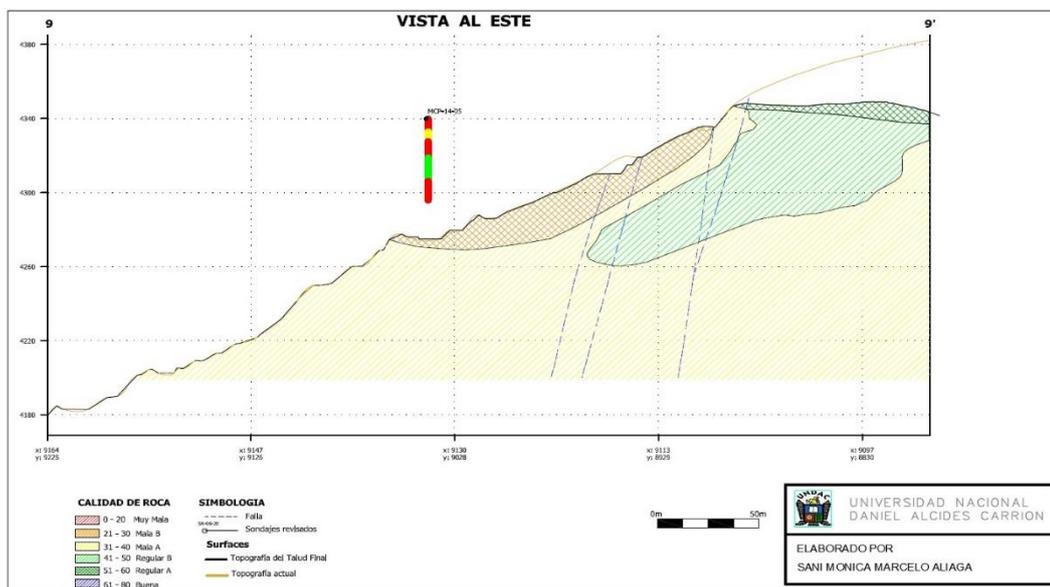
Autoría: personal

Gráfico N°19: Sección geomecánica 09



Autoría: personal

Gráfico N°20: Sección geomecánica 10



Autoría: personal

4.2.5.6. Análisis Cinemático

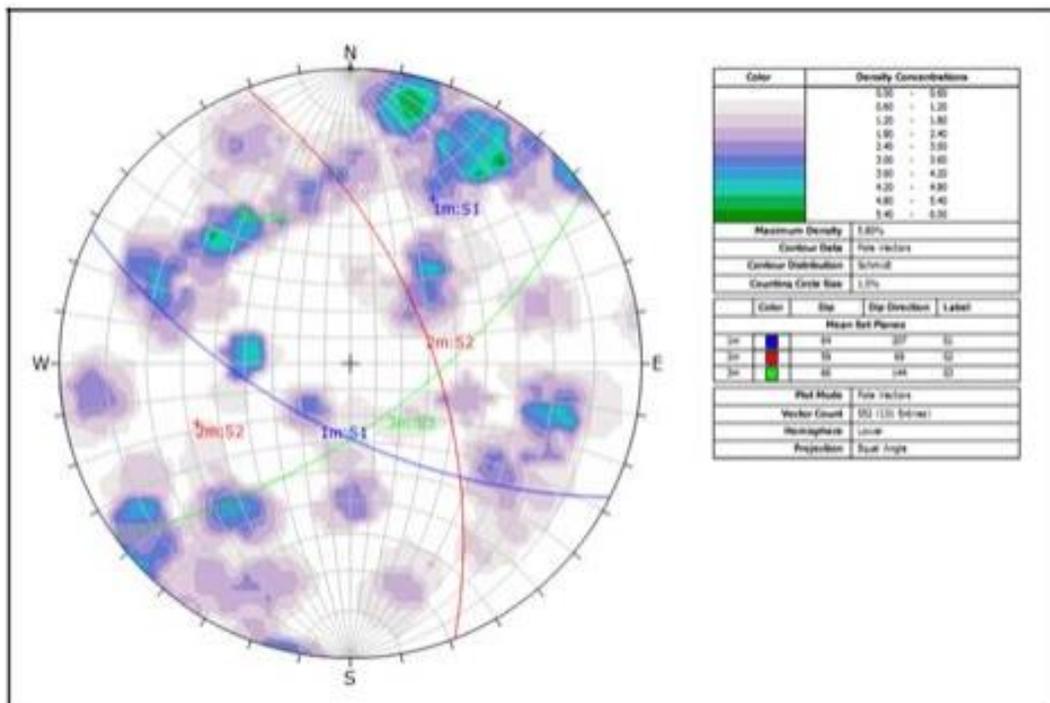
La interpretación relativa a la caracterización del macizo rocoso comprende la determinación de los dominios geomecánicos del acuerdo al mapeo geomecánico realizado en el Tajo Santa Rosa Sur. Es de relevancia la corrección del RMR por orientación de estructuras en cada dominio

geomecánico de acuerdo a la geometría final de los taludes.

Estructuras mayores en el contexto global

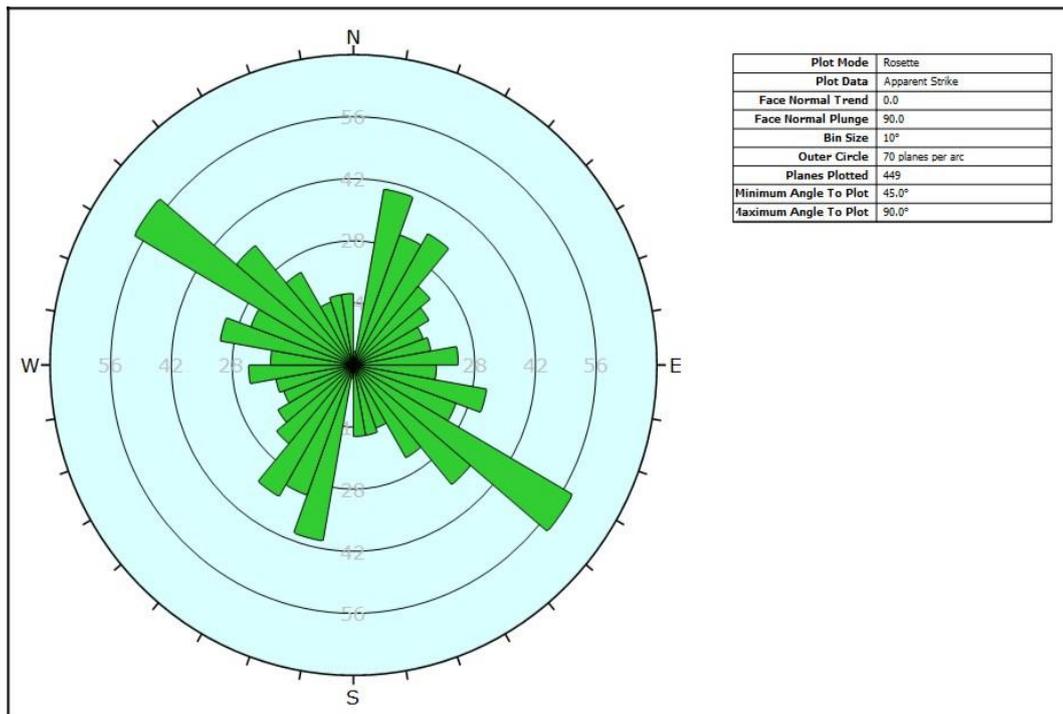
Están consideradas las fallas que guardan correlación con el plano de estructuras del Tajo Raúl (Fallas regionales de rumbo: $N5^{\circ}-20^{\circ}W$, Fallas Tensionales de rumbo: $N75^{\circ}-65^{\circ}W$). La Figura 28 y 29 muestra el estereograma de estructuras y la roseta de direcciones que contralan el Tajo Santa Rosa.

Gráfico N°21: Proyección estereográfica
Estructuras mayores – global



Autoría: personal

Gráfico N°22: Roseta de direcciones - global



Autoría: personal

Sistema 1.- Con dirección de buzamiento promedio de 207° y buzamiento promedio de 64°. Expresado en rumbo y buzamiento: N63°W y 34°SW. Este sistema corresponde al control de estructuras.

Sistema 2.- Con dirección de buzamiento promedio de 069° y buzamiento promedio de 59°. Expresado en rumbo y buzamiento: N21°W y 59°NE.

Sistema 3.- Con dirección de buzamiento promedio de 144° y buzamiento promedio de 66°. Expresado en rumbo y buzamiento: N54°E y 66°SE.

Así mismo la proyección estereográfica nos muestra dos sistemas aleatorios cuya incidencia es intensidad en el fracturamiento del macizo rocoso. El tajo se ha dividido en tres sectores de análisis como se muestra en la Figura 29, en donde se desarrolla el análisis estructural y el análisis cinemático para cada dirección de talud.

Gráfico N°23: Sectores de análisis



Autoría: personal

El análisis cinemático de bancos potencialmente inestables, ha considerado la configuración final del tajo de cada sector, definiéndose la altura de banco de 5 m, ángulo de banco 60°, berma de seguridad de 2 m y un ángulo inter rampa de 45°, para este cálculo se ha empleado el software SWEDGE 4.0, para las zonas de fallas de cuñas. En la Tabla 17 se resumen los resultados de la evaluación analítica.

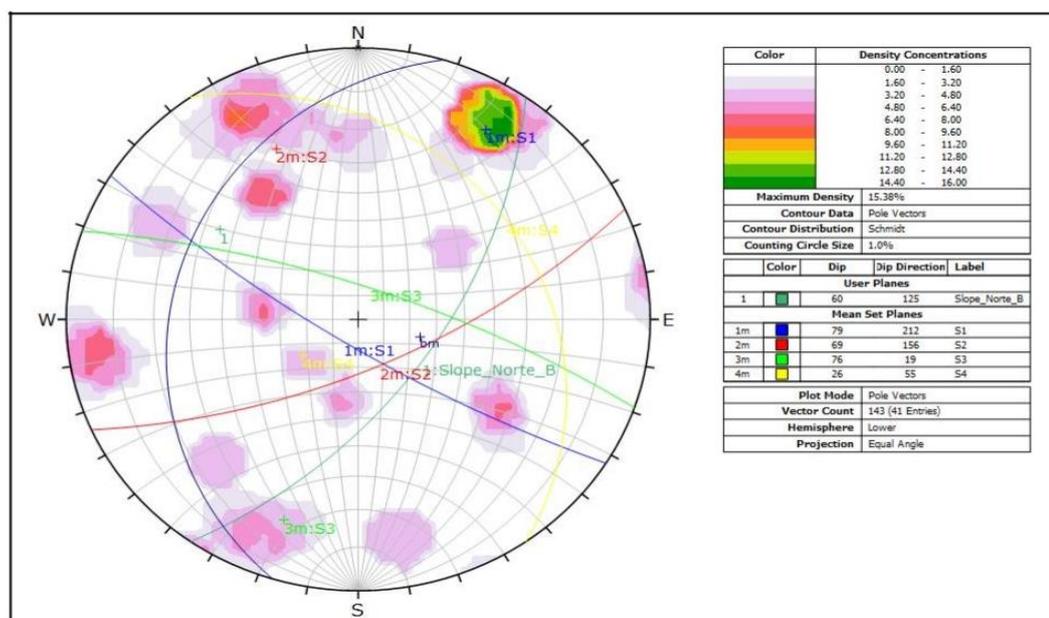
Tabla N°17: Clasificación geomecánica RMR

Sector	Sección	Talud	Nivel	Sistema	Tipo	FS	FS*	Descripción
1	B	60/ 125	Banco	S2/ S3	cuña	3.64	2.94	
		45/ 125	Interr.	S2/ S4	cuña	1.53	1.07	S1: 79/ 212
			Banco	S2/ S4	cuña	2.16	1.51	S2: 69/ 156
	A	60/ 090	Banco	S2/ S3	cuña	1.97	1.37	S3: 76/ 019
		45/ 090	Interr.	S2/ S4	cuña	1.49	1.04	S4: 26/055
			Banco	S2/ S4	cuña	2.75	2.22	
2	C	60/ 053	Banco	S1/ S4	cuña	6.54	3.5	S3: 31/ 322 S4: 69/ 306
	D	60/ 333	Banco	S1/ S3	cuña	2.1	1.69	S1: 79/ 045 S3: 60/ 278
3	E	60/ 350	Banco	S2/S3	cuña	2.4	1.63	S2: 45/ 018
		45/ 350	Interr.		cuña	1.99	1.36	S3: 84/ 225
	F	60/ 350	Banco	S2/S4	cuña	2.37	1.93	S2: 71/ 285 S4: 65/ 045

Análisis Estructural y Cinemático - Sector 1

Son dos orientaciones de talud de análisis (Secciones A, B) de acuerdo con la conformación geométrica final. La Figura 30 muestra el estereograma global de las discontinuidades en este sector.

Gráfico N°24: Estructuras / discontinuidades – Sector 1



Autoría: personal

Sistema 1.- Con dirección de buzamiento promedio de 212° y buzamiento promedio de 79°. Expresado en rumbo y buzamiento: N58°W y 79°SW. Este sistema corresponde al control de estructuras.

Sistema 2.- Con dirección de buzamiento promedio de 156° y buzamiento promedio de 69°. Expresado en rumbo y buzamiento: N66E y 69°SE.

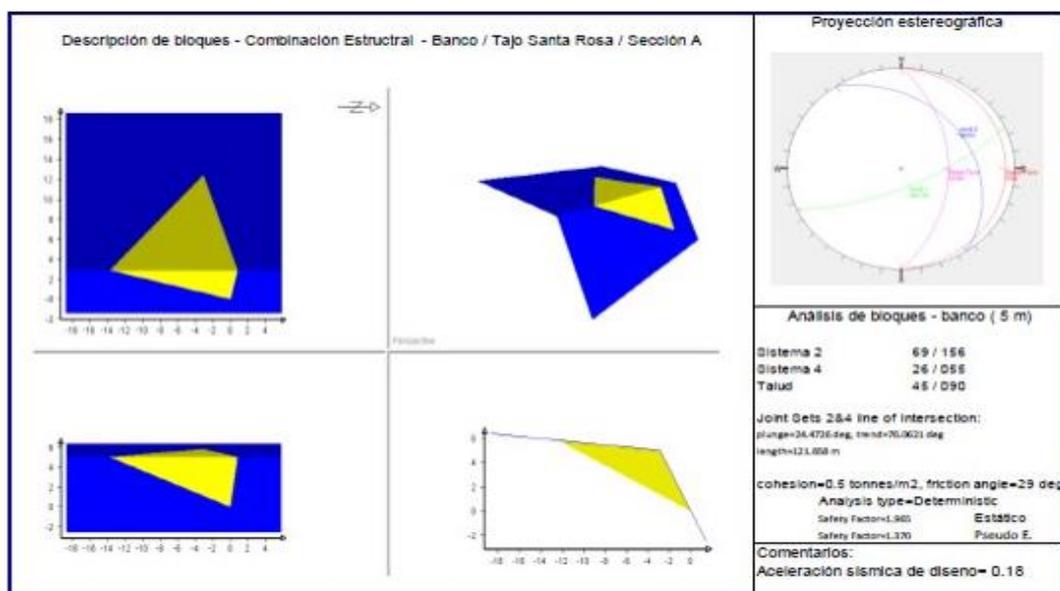
Sistema 3.- Con dirección de buzamiento promedio de 019° y buzamiento promedio de 76°. Expresado en rumbo y buzamiento: N71°E y 76°NW.

Sistema 4.- Con dirección de buzamiento promedio de 055° y buzamiento promedio de 26°. Expresado en rumbo y buzamiento: N35°W y 26°NE.

De acuerdo a las proyecciones estereográficas se han identificado mecanismos de falla potencial en las caras de los taludes, siendo los sistemas de discontinuidades principales los que tendrían incidencia en talud inter rampa y los sistemas de discontinuidades menores a nivel de banco. Los análisis estereográficos de los sistemas de discontinuidades muestran las siguientes combinaciones estructurales de cuñas con potencialidad de falla.

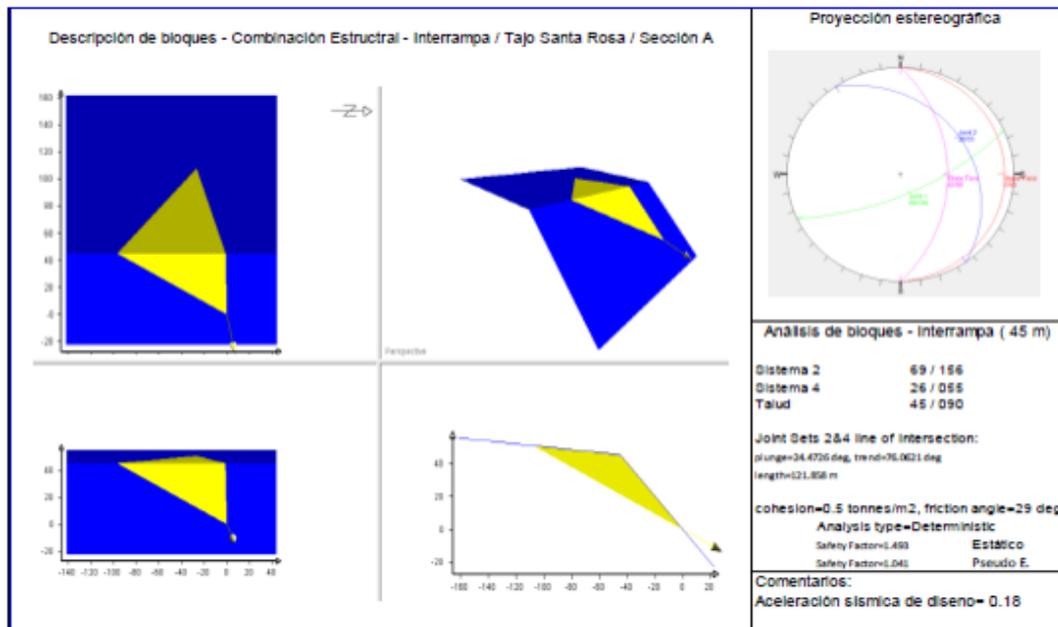
Sección A – Una combinación estructural

Gráfico N°25: Análisis de bloques - sección A / h=5m



Autoría: personal

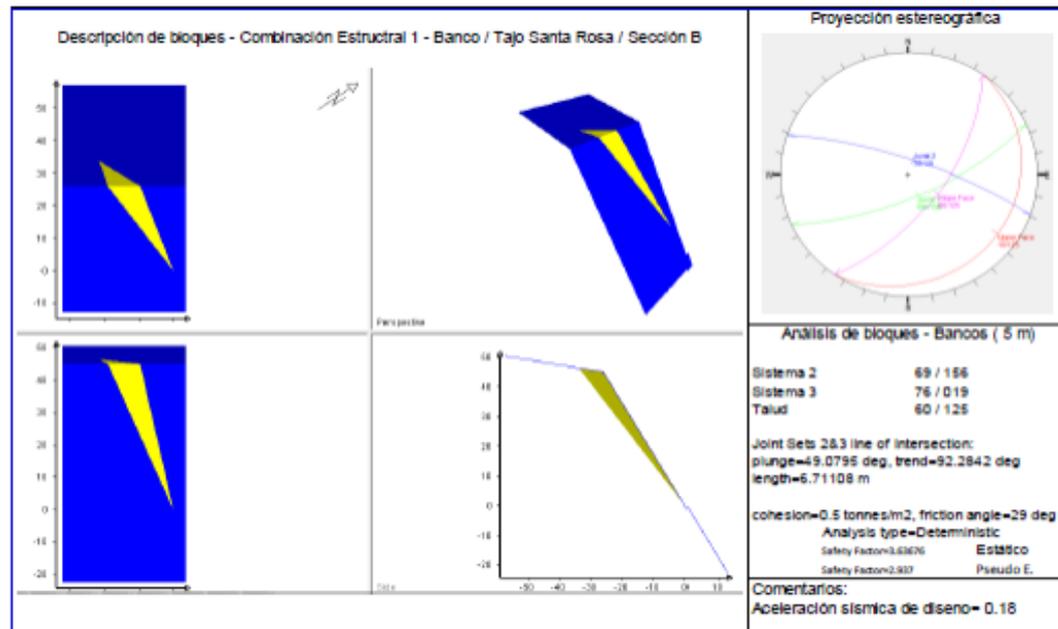
Gráfico N°26: Análisis de bloques - Sección A / h=5m



Autoría: personal

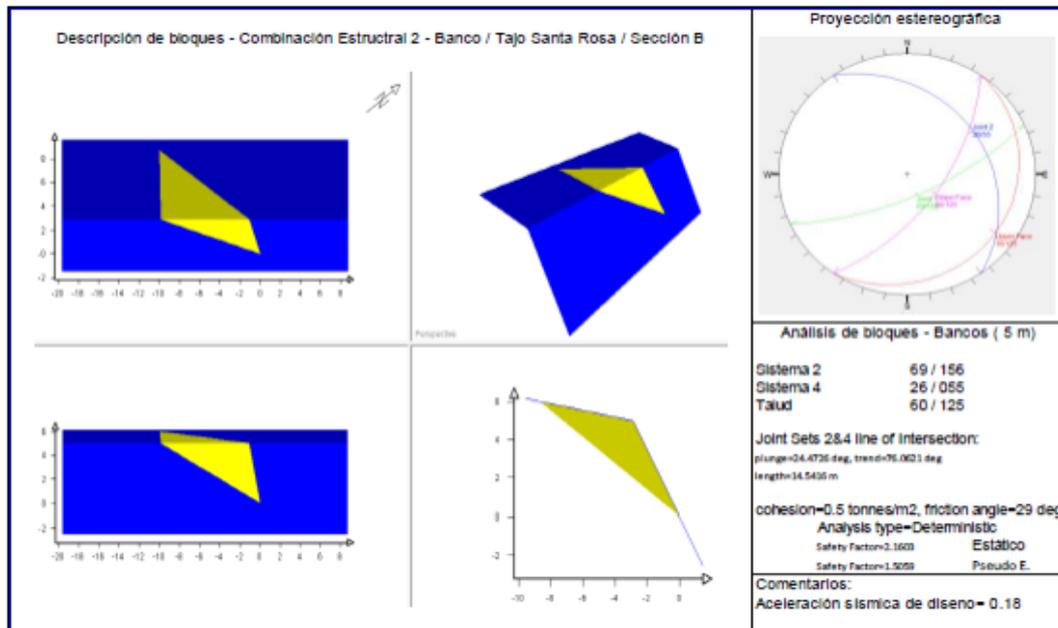
Sección B – Dos combinaciones estructurales

Gráfico N°27: Análisis de bloques 1 - Sección A / h=5 m



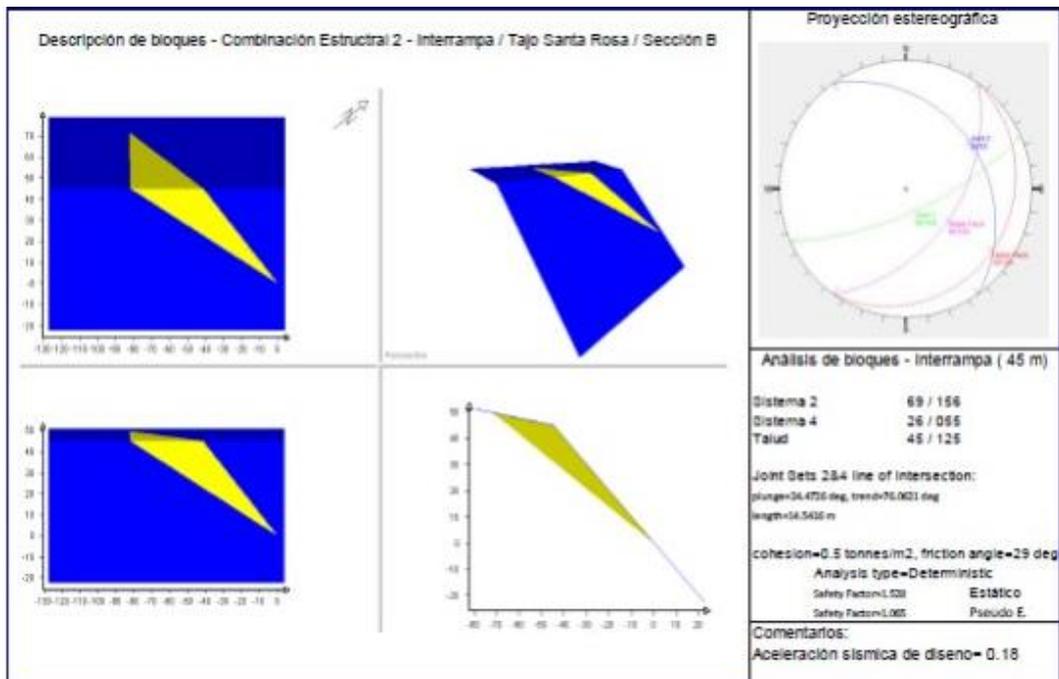
Autoría: personal

Gráfico N°28: Análisis de bloques 2 - Sección B / h=5 m



Autoría: personal

Gráfico N°29: Análisis de bloques 2 - sección B / h=45 m

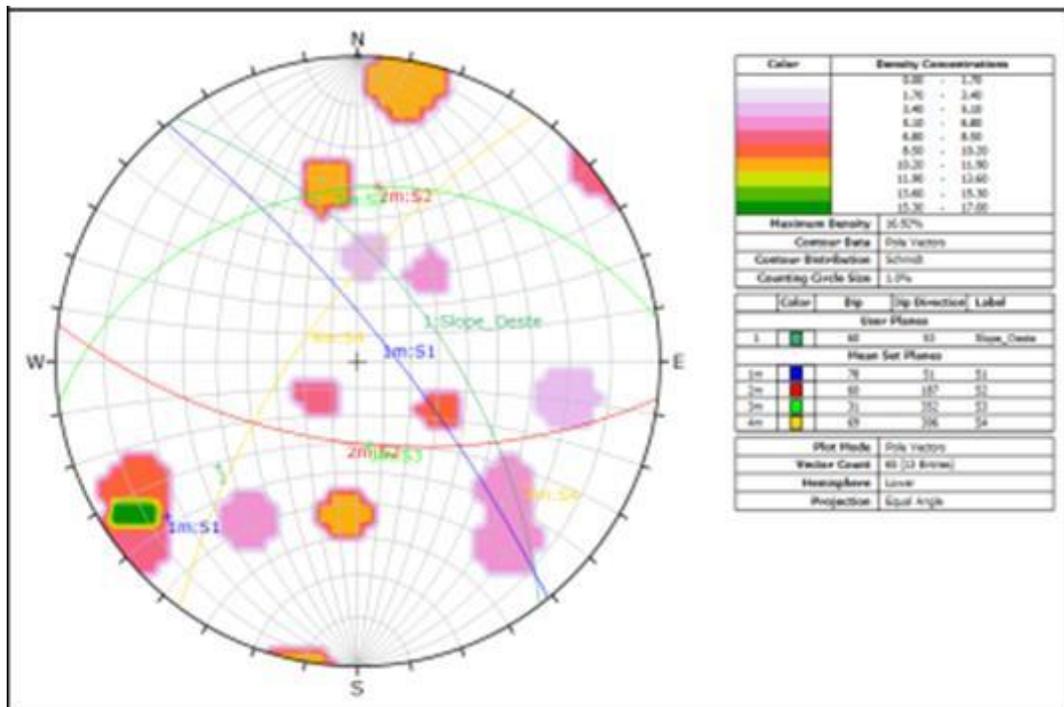


Autoría: personal

Análisis Estructural y Cinemático – Sector 2

La orientación del talud de análisis (Sección c) de acuerdo con la conformación geométrica final es la más crítica de este sector. La Figura 36 muestra el estereograma global de las discontinuidades en este sector.

Gráfico N°30: Estructuras / discontinuidades – Sector 2



Autoría: personal

Sistema 1.- Con dirección de buzamiento promedio de 051° y buzamiento promedio de 78°. Expresado en rumbo y buzamiento: N39°W y 78°NE. Este sistema corresponde al control de estructuras

Sistema 2.- Con dirección de buzamiento promedio de 187° y buzamiento promedio de 60°. Expresado en rumbo y buzamiento: N87E y 60°SE.

Sistema 3.- Con dirección de buzamiento promedio de 352° y buzamiento promedio de 31°. Expresado en rumbo y buzamiento: N42°E y 31°NW.

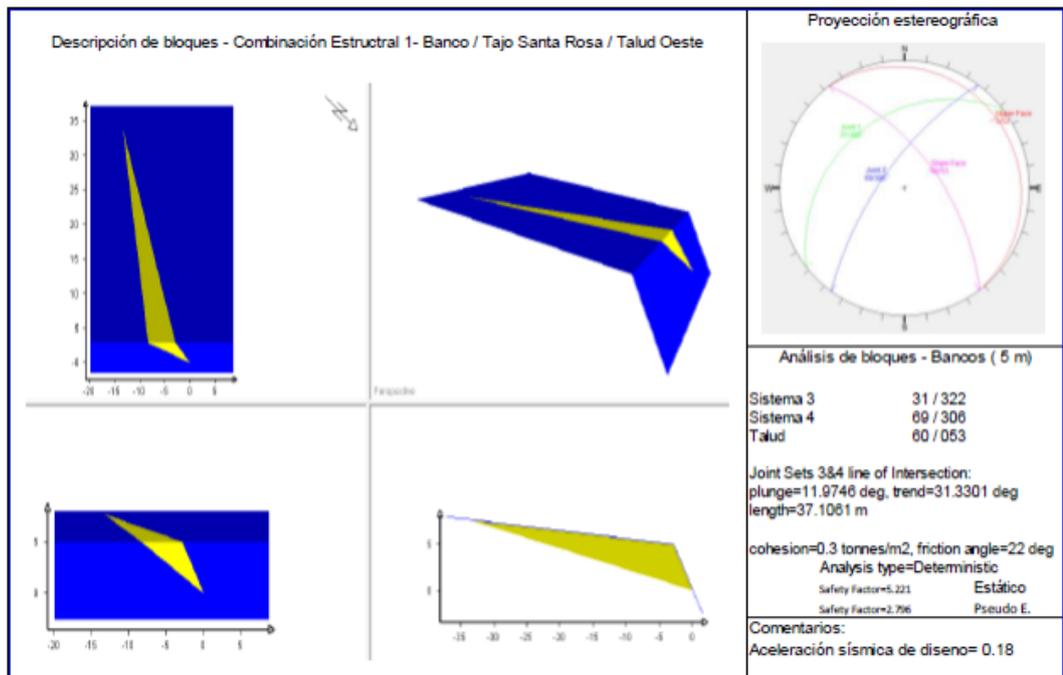
Sistema 4.- Con dirección de buzamiento promedio de 306° y buzamiento promedio de 69°. Expresado en rumbo y buzamiento: N36°E y 69°NW.

De acuerdo a las proyecciones estereográficas se han identificado

mecanismos de falla potencial en las caras de los taludes, siendo los sistemas de discontinuidades principales los que tendrían incidencia en talud inter rampa y los sistemas de discontinuidades menores a nivel de banco. Los análisis estereográficos de los sistemas de discontinuidades muestran las siguientes combinaciones estructurales de cuñas con potencialidad de falla.

Sección C – Una combinación estructural

Gráfico N°31: Análisis de bloques 1 - Sección C / h=5 m

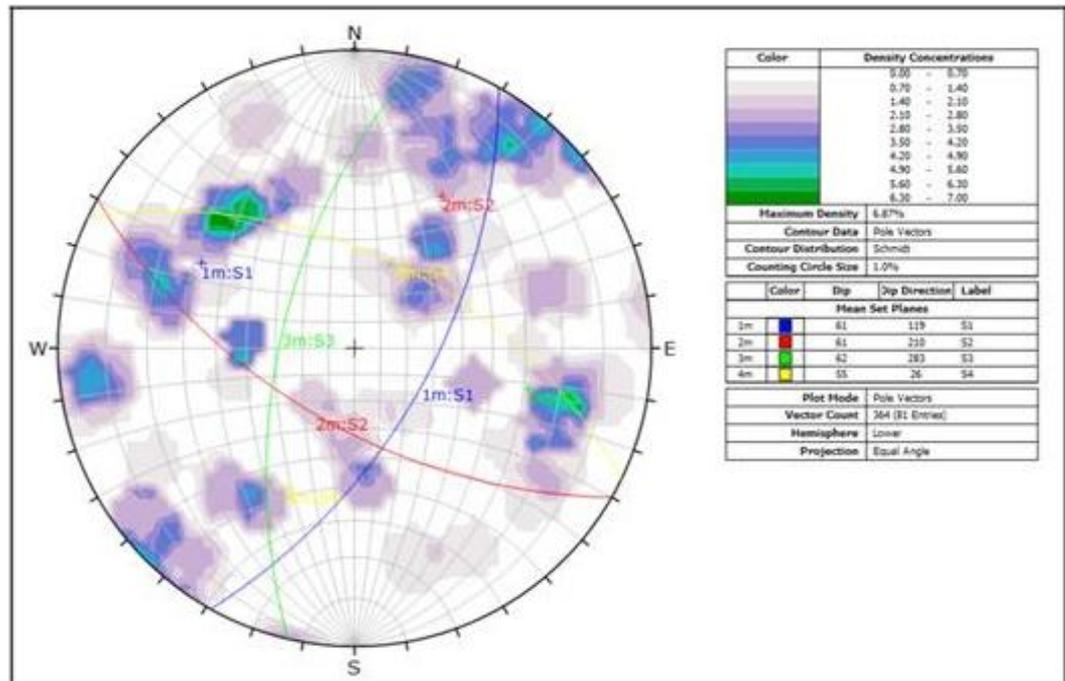


Autoría: personal

Análisis Estructural y Cinemático - Sector 3

Son tres orientaciones de talud de análisis (Secc. D, E y F) de acuerdo con la conformación geométrica final. La Fig.37 muestra el estereograma global de las discontinuidades en este sector.

Gráfico N°32: Estructuras discontinuidades – Sector 3



Autoría: personal

Sistema 1.- Con dirección de buzamiento promedio de 119° y buzamiento promedio de 61°. Expresado en rumbo y buzamiento: N29°E y 61°SE. Este sistema corresponde al control de estructuras

Sistema 2.- Con dirección de buzamiento promedio de 210° y buzamiento promedio de 61°. Expresado en rumbo y buzamiento: N60°W y 61°SW.

Sistema 3.- Con dirección de buzamiento promedio de 283° y buzamiento promedio de 62°. Expresado en rumbo y buzamiento: N13°E y 62°NW.

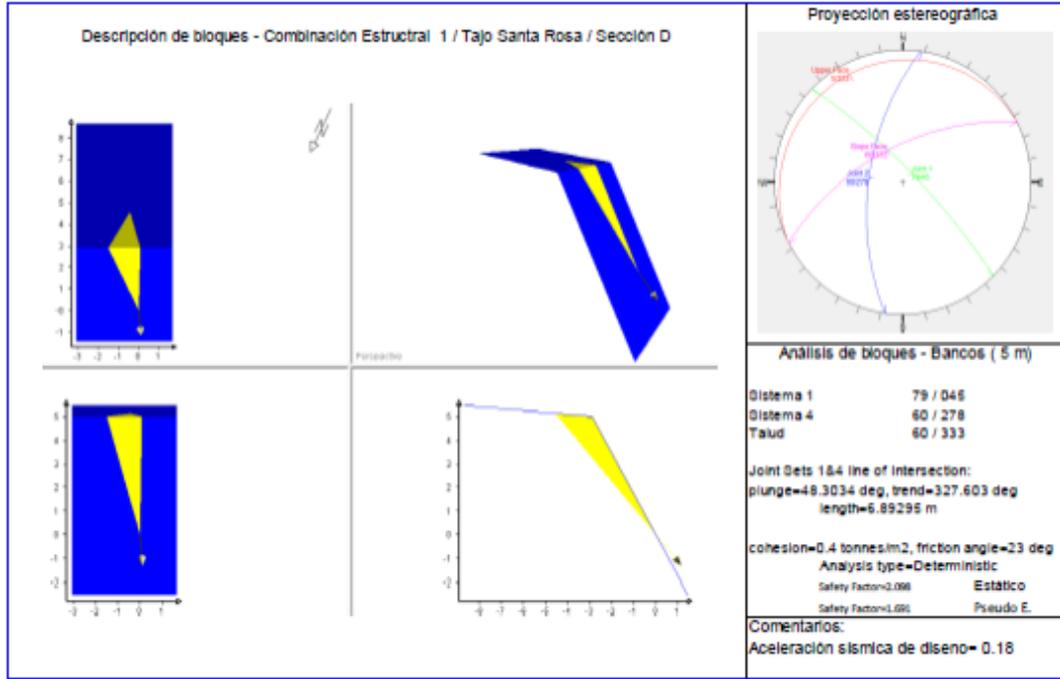
Sistema 4.- Con dirección de buzamiento promedio de 026° y buzamiento promedio de 55°. Expresado en rumbo y buzamiento: N64°W y 55°NE.

De acuerdo a las proyecciones estereográficas se han identificado mecanismos de falla potencial en las caras de los taludes, siendo los sistemas de discontinuidades principales los que tendrían incidencia en talud inter rampa y los sistemas de discontinuidades menores a nivel de banco. Los análisis estereográficos de los sistemas de discontinuidades muestran las siguientes

combinaciones estructurales de cuñas con potencialidad de falla.

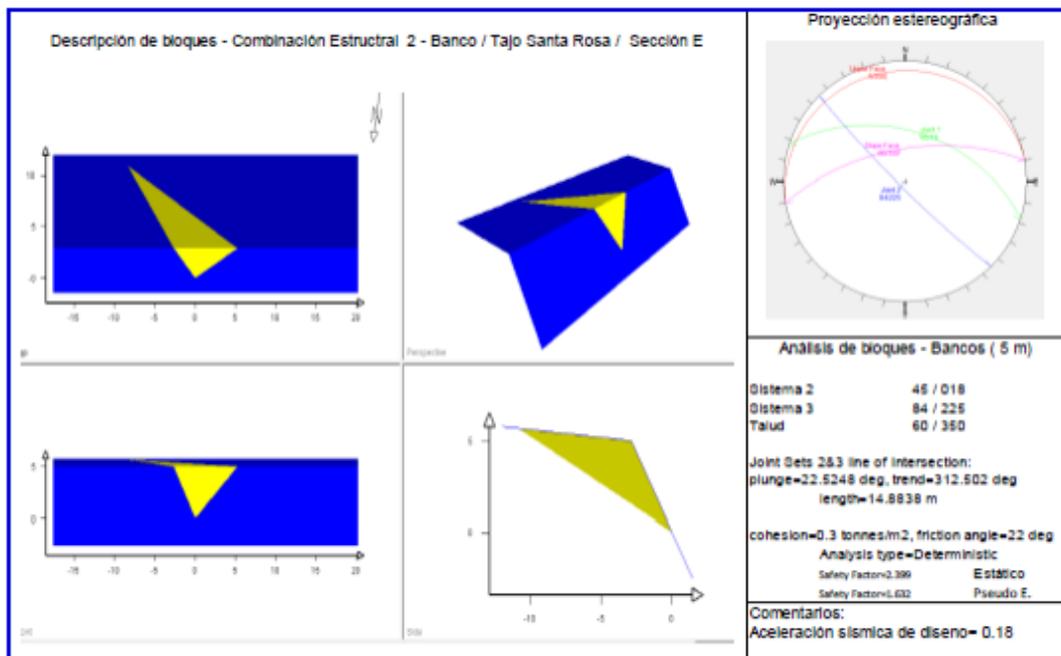
Sección D – Tres combinaciones estructurales

Gráfico N°33: Análisis de bloques 1 - Sección D / h=5 m



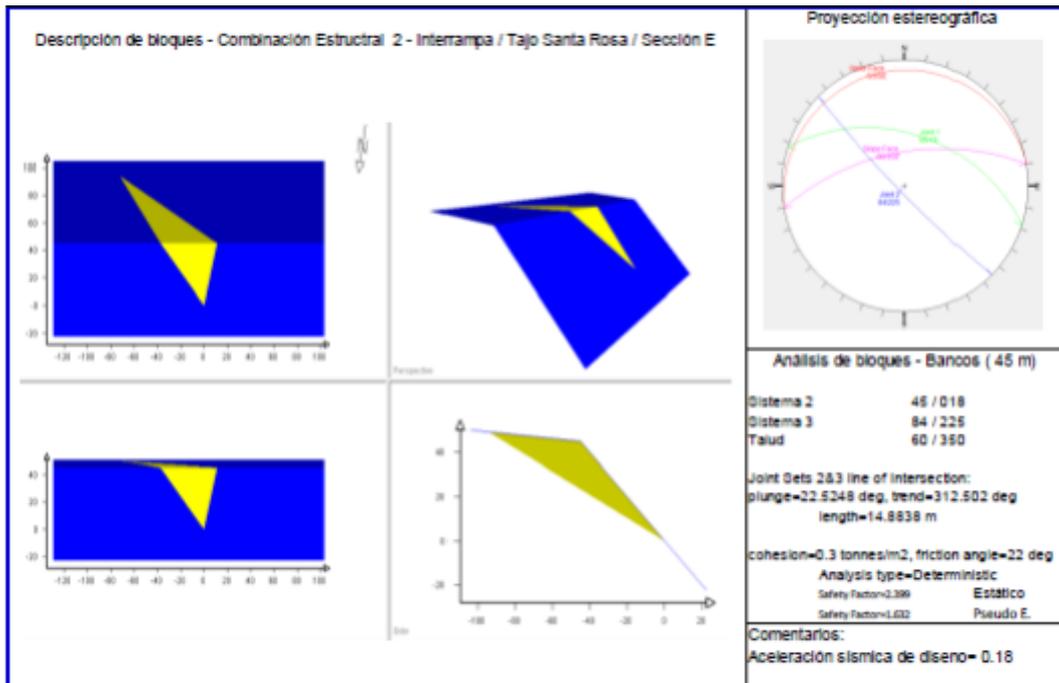
Autoría: personal

Gráfico N°34: Análisis de bloques 1 - Sección e / h=5 m



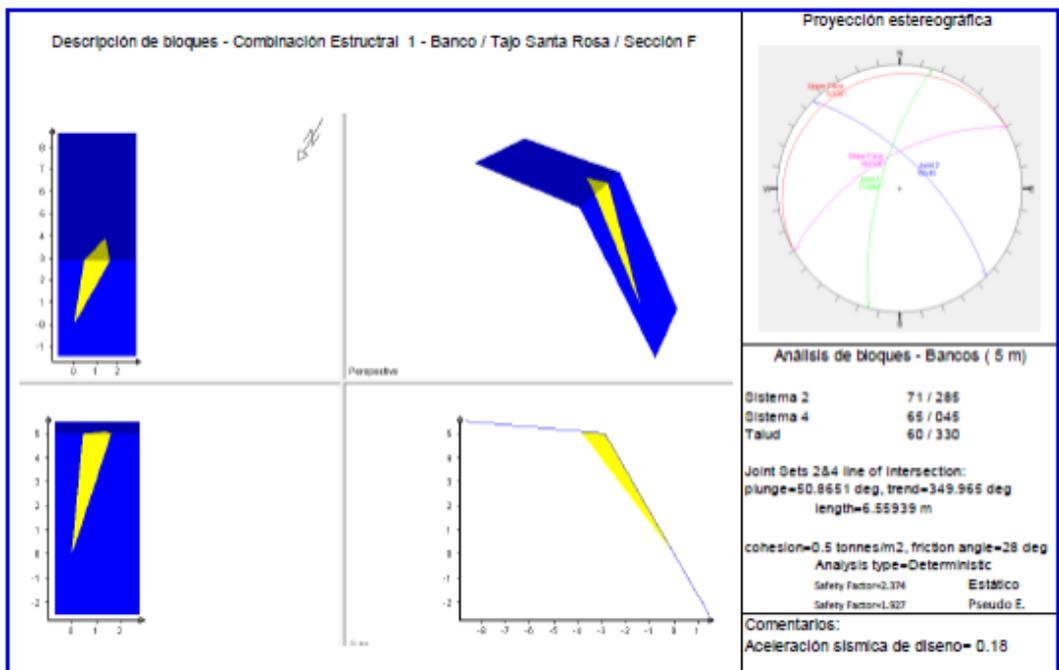
Autoría: personal

Gráfico N°35: Análisis de bloques 2 - Sección E / h=45 m



Autoría: personal

Gráfico N°36: Análisis de bloques 1 -Sección F / h=5 m



Autoría: personal

4.2.6. Factor de seguridad de los taludes inestables

4.2.6.1. Análisis de Equilibrio Límite

Para evaluar y poder predecir el posible comportamiento de la masa rocosa en los taludes, se efectúa el análisis por equilibrio límite.

El método de equilibrio límite, se basa exclusivamente en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable.

Para el análisis de equilibrio límite del proyecto óxidos in situ, perteneciente al tajo Santa Rosa se utilizó el software Slide 6.0 de Rocscience Inc.

Los datos de entrada para el software fueron:

- Diseño de tajo entregado por el área de planeamiento e ingeniería de Volcan Compañía Minera – EA Óxidos de Pasco SAC.
- Características geomecánicas del macizo rocoso, relleno y suelo cuaternario. Se recalca que para el caso de las áreas con afloramiento de filitas los parámetros geomecánicos y geotécnicos a utilizarse serán las de un suelo, ya que por su baja resistencia y alterabilidad su comportamiento presenta esa tendencia. Los análisis de los taludes finales conforme al diseño de tajo entregado por Volcan Compañía Minera – EA Óxidos de Pasco SAC se realizaron en las siguientes secciones:
 - Sección Geomecánica 02 (ver Fig. 17 y Fig. 19)
 - Sección Geomecánica 04 (ver Fig. 17 y Fig. 21)
 - Sección Geomecánica 06 (ver Fig. 17 y Fig. 23)
 - Sección Geomecánica 07 (ver Fig. 17 y Fig. 24)
 - Sección Geomecánica 09 (ver Fig. 17 y Fig. 26)

Los parámetros de Geomecánicos usados para el análisis se detallan a continuación.

Tabla N°18: Parámetros geomecánicos

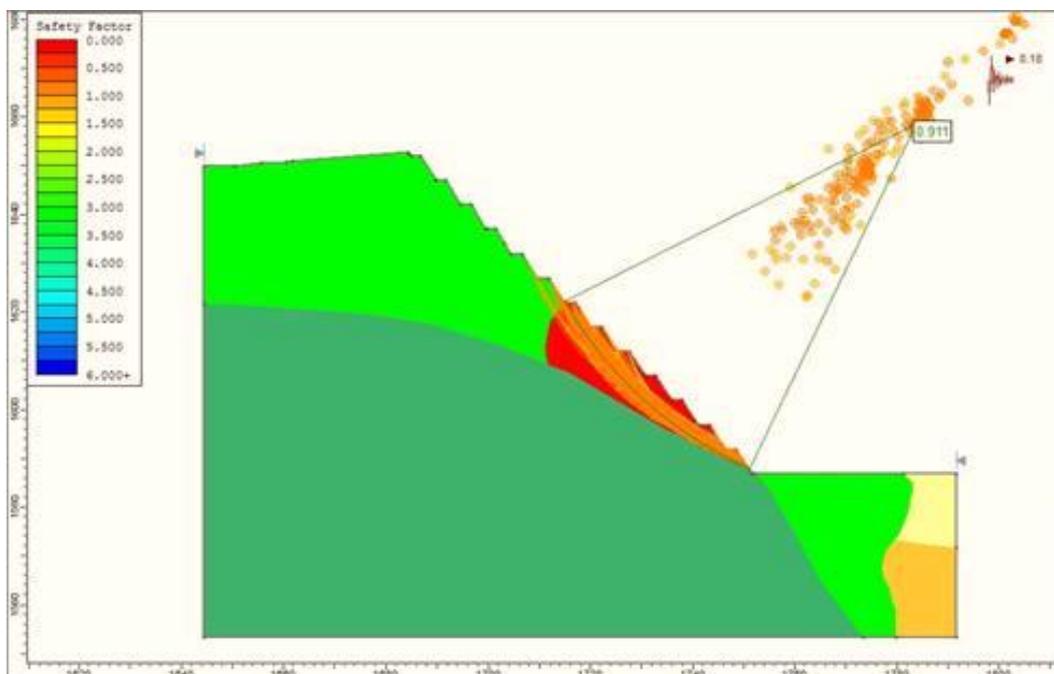
TIPO DE ROCA	RMR	Constante mi	m	s	Ang. Fricción Residual	COHESION Residual (Kpa)	Observaciones
Regular A	51-60	24.36	1.739	0.001			Cuarcitas
Regular B	41-50	12.68	0.652	0.004			Volcánico
Mala A	31-40	11.69	0.329	0.0001			Brecha Hidrotermal
Muy Mala (Filitas)	21-30				33	19.61	Filitas
Cuaternario	0-20				41.2	9.8	Cuaternario

Los parámetros de diseño del talud final del tajo Santa Rosa del proyecto óxidos in situ se detallan a continuación:

- Ángulo de Talud: 60°
- Ángulo Global: 45°
- Altura de Banco: 5 m.
- Ancho de Berma: 2 m

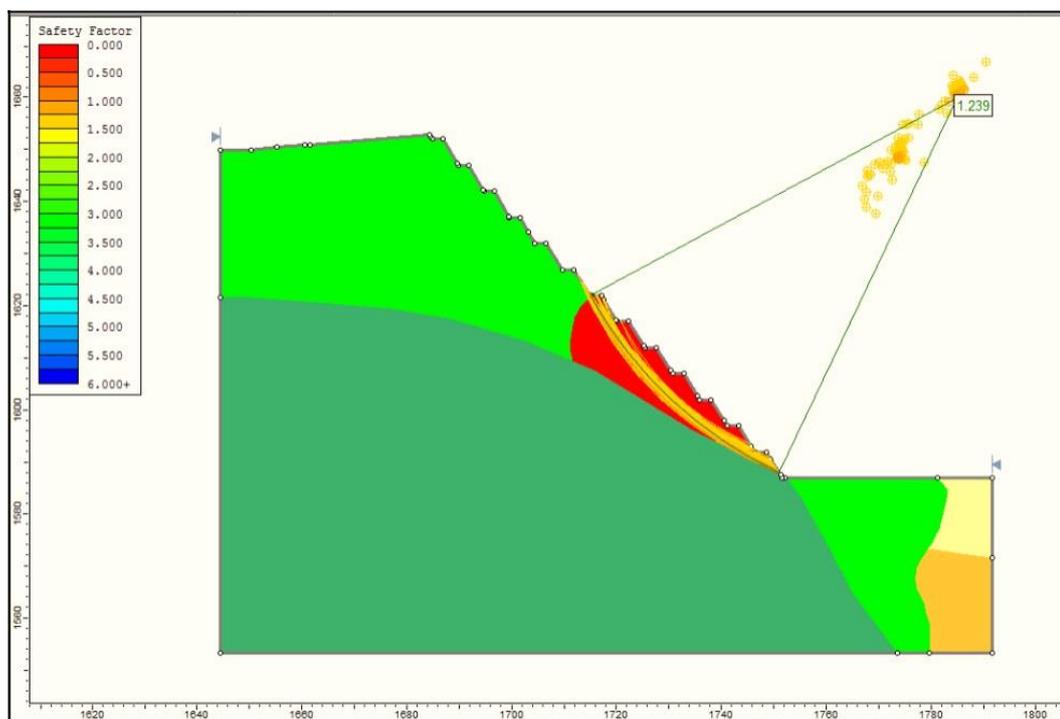
Análisis de Equilibrio Límite Sección 1

Gráfico N°37: Análisis pseudo-estático de equilibrio límite en condiciones drenadas de la sección 1 vista NE



Autoría: personal

Gráfico N°38: Análisis estático de equilibrio límite en condiciones drenadas de la sección 1 vista NE



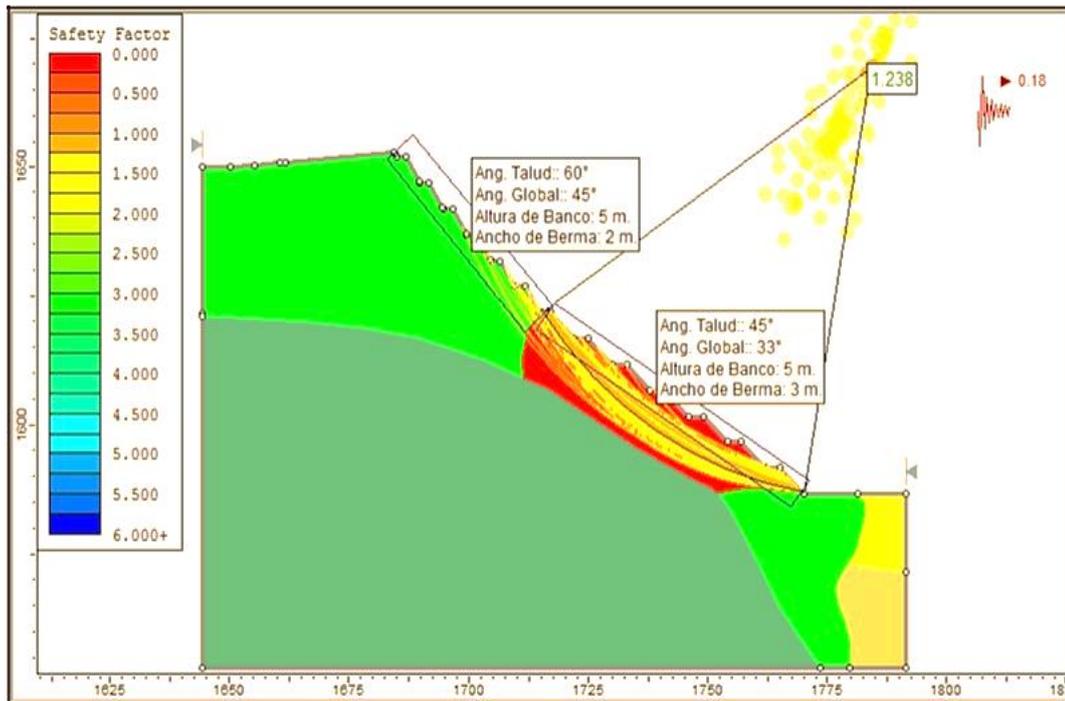
Autoría: personal

Del análisis realizado en la sección 01 se observa que en la zona donde el diseño corta roca de calidad muy mala (V), el factor de seguridad en condiciones pseudo-estáticas es menor a 1 (ver fig. 44), por lo que se considera este tramo como inestable para los parámetros de diseño establecidos.

Con el fin de mejorar el factor de seguridad, se modificó los parámetros de diseño en el tramo de roca de calidad muy mala con los siguientes parámetros:

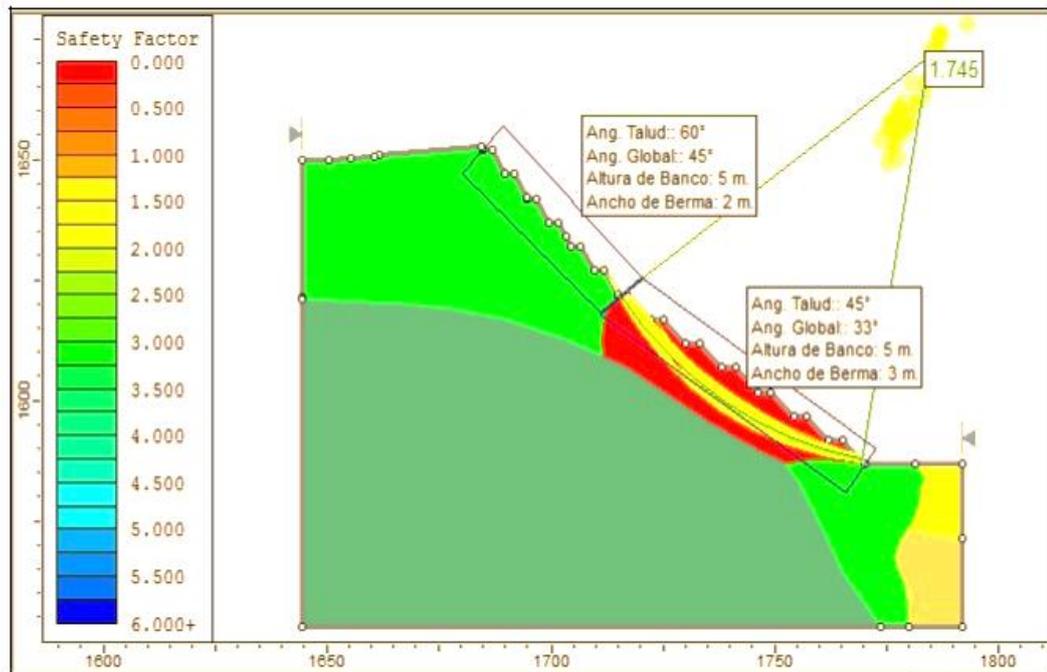
- Ángulo de Talud: 45°
- Ángulo Global: 33°
- Altura de Banco: 5 m.
- Ancho de Berma: 3m

Gráfico N°39: Análisis pseudo-estático de equilibrio límite en condiciones drenadas de la sección 1 (talud rediseñado) vista NE



Autoría: personal

Gráfico N°40: Análisis estático de equilibrio límite en condiciones drenadas de la sección 1 (talud rediseñado) vista NE

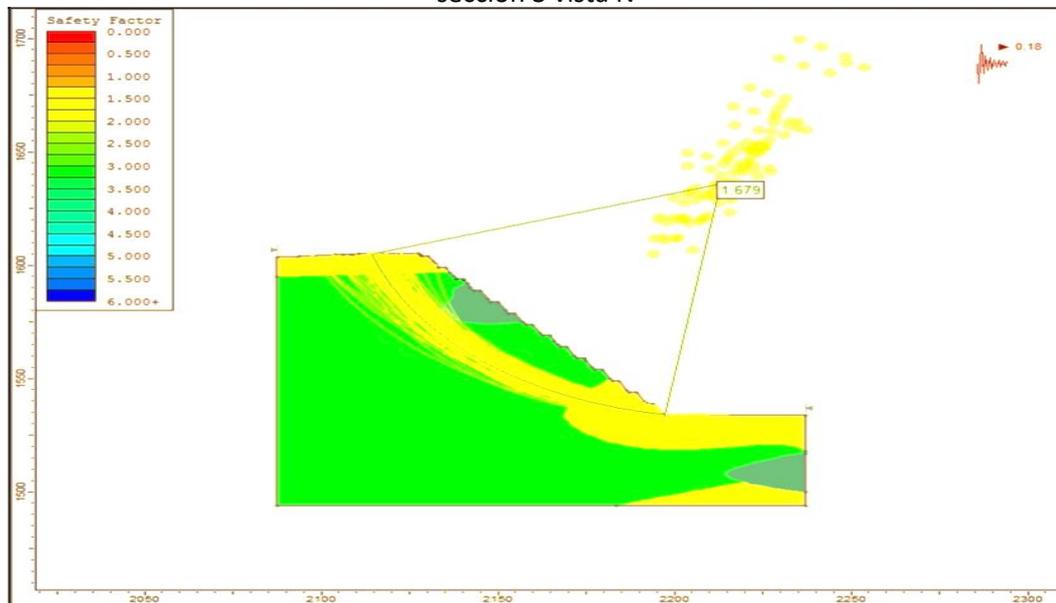


Autoría: personal

Del análisis realizado con los parámetros modificados en la sección 01 se observa que el factor de seguridad en condiciones pseudo-estáticas es mayor que 1. (ver fig. 46).

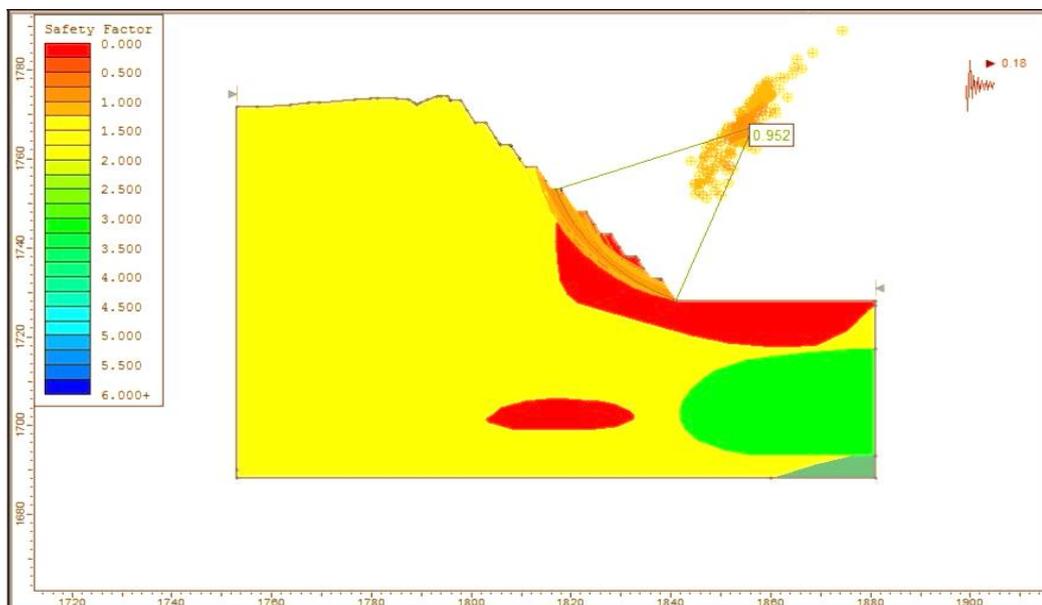
Análisis de Equilibrio Límite Sección 3

Gráfico N°41 Análisis pseudo-estático de equilibrio límite en condiciones drenadas de la sección 3 vista N



Autoría: personal

Gráfico N°42: Análisis estático de equilibrio límite en condiciones drenadas de la sección 3 vista N

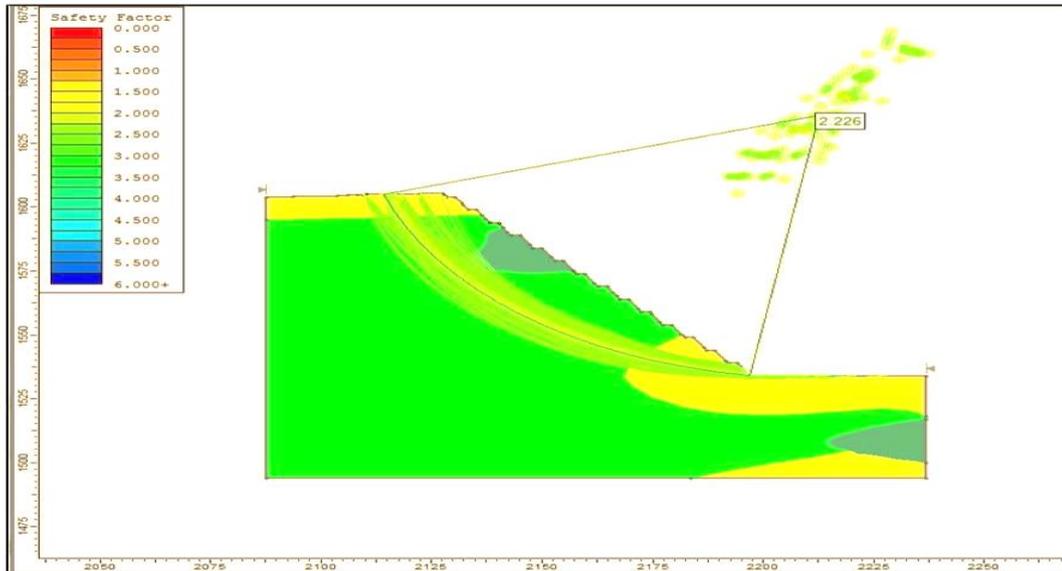


Autoría: personal

En el análisis realizado en la sección 3 (Fig. 48 y 49) se verifica que los factores de seguridad en condiciones estáticas y pseudo-estáticas es mayor a 1 considerándose el diseño estable.

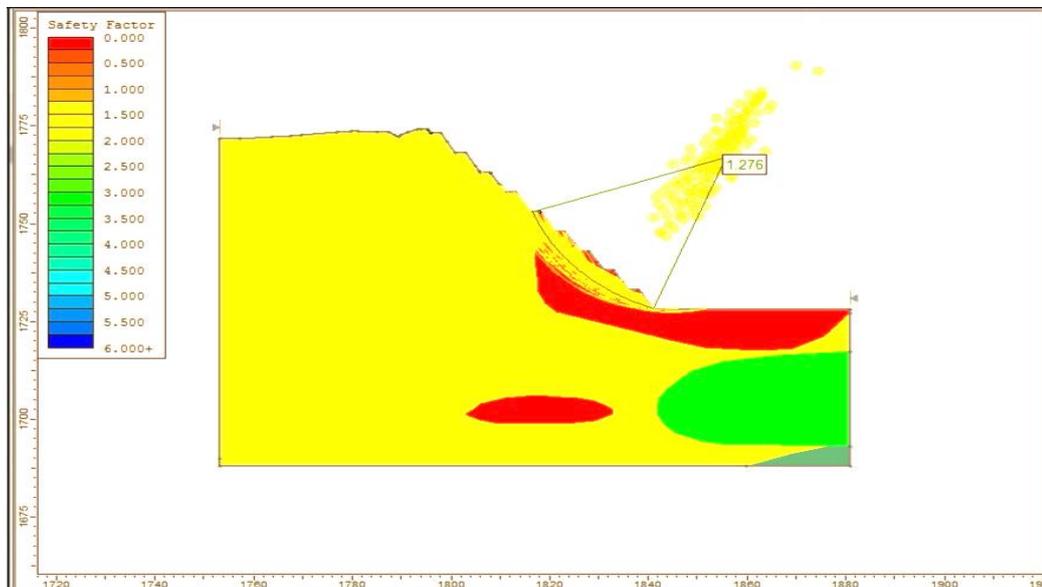
Análisis de Equilibrio Límite Sección 5

Gráfico N°43 Análisis pseudo-estático de equilibrio límite en condiciones drenadas de la sección 5 vista NE



Autoría: personal

Gráfico N°44: Análisis estático de equilibrio límite en condiciones drenadas de la sección 5 vista NE



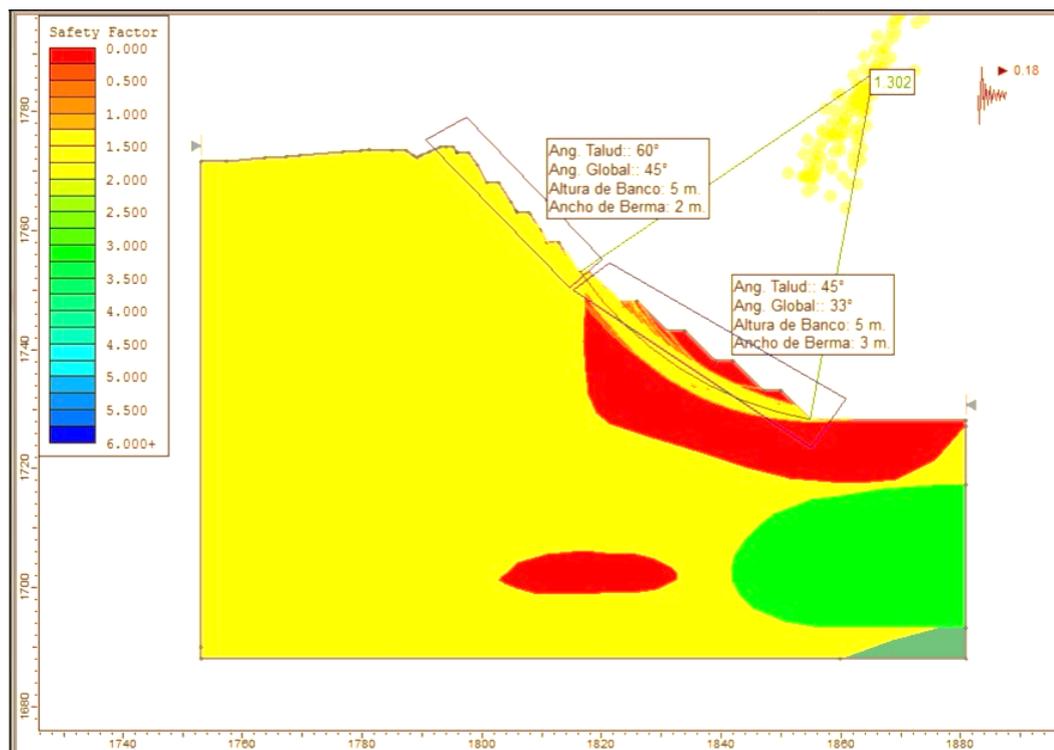
Autoría: personal

Del análisis realizado en la sección 05 se observa que en la zona donde el diseño corta roca de calidad muy mala (V), el factor de seguridad en condiciones pseudo-estáticas es menor a 1 (ver fig. 50), por lo que se considera este tramo como inestable para los parámetros de diseño establecidos.

Con el fin de mejorar el factor de seguridad, se modificó los parámetros de diseño en el tramo de roca de calidad muy mala con los siguientes parámetros:

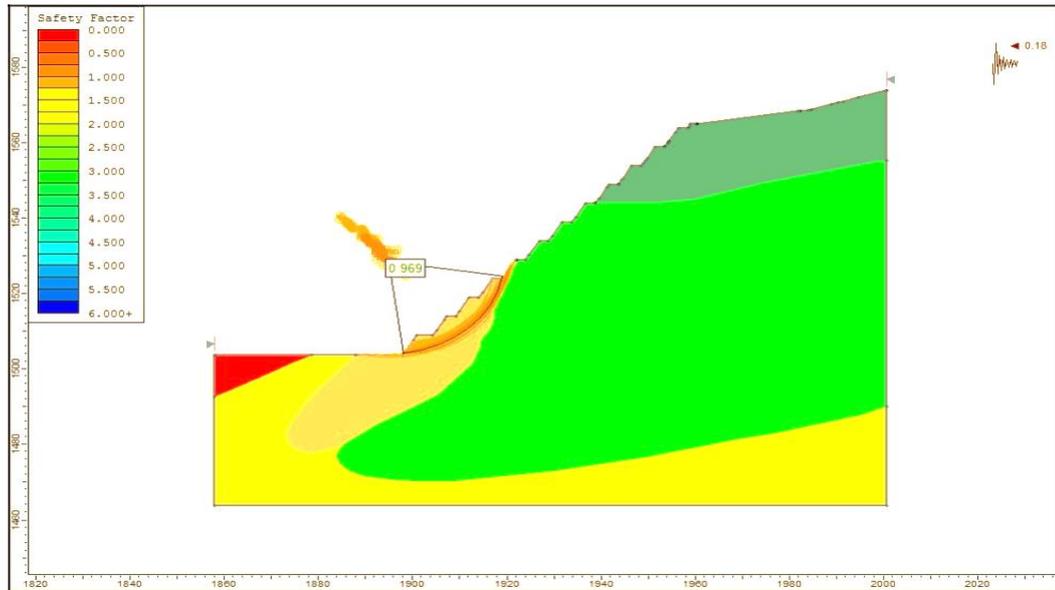
- Ángulo de Talud: 45°
- Ángulo Global: 33°
- Altura de Banco: 5 m.
- Ancho de Berma: 3m

Gráfico N°45: *Análisis pseudo-estático de equilibrio límite en condiciones drenadas de la sección 5 (talud rediseñado) vista NE*



Autoría: personal

Gráfico N°46: *Análisis estático de equilibrio límite en condiciones drenadas de la sección5 (talud rediseñado) vista NE*

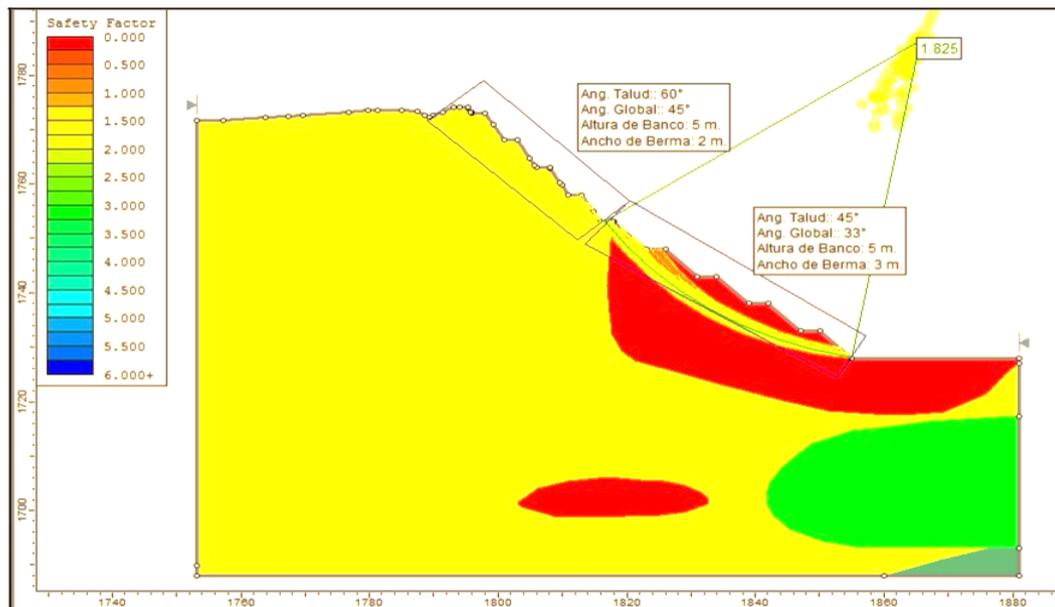


Autoría: personal

Del análisis realizado con los parámetros modificados en la sección 05 se observa que el factor de seguridad en condiciones pseudo-estáticas es mayor que 1 (ver fig. 52).

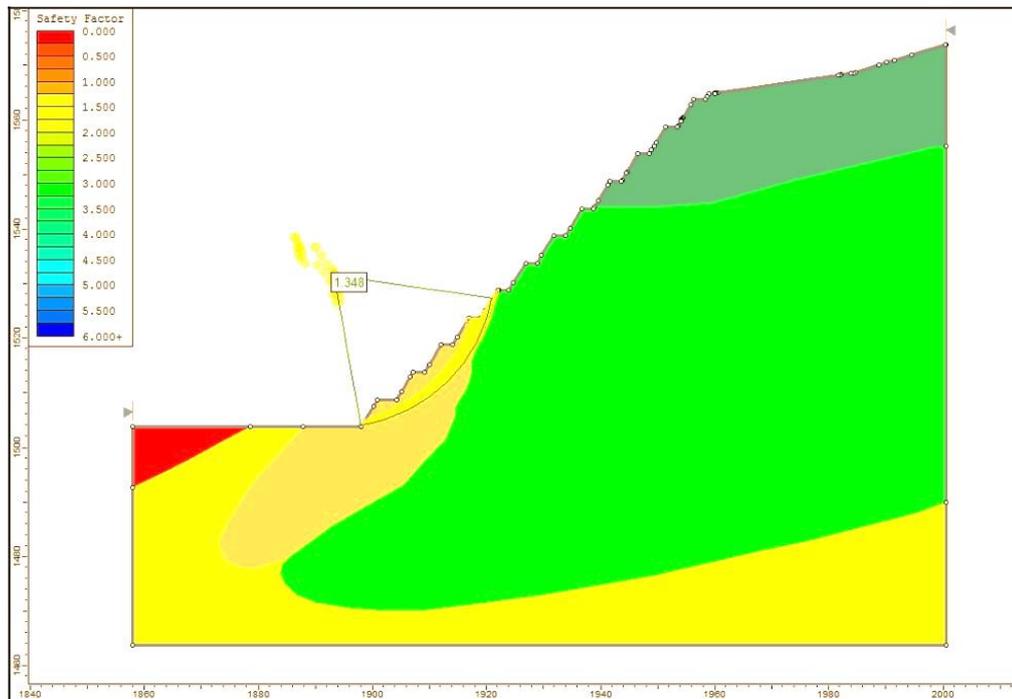
Análisis de Equilibrio Límite Sección 7

Gráfico N°47: *Análisis pseudo-estático de equilibrio límite en condiciones drenadas de la sección 7 vista NE*



Autoría: personal

Gráfico N°48: Análisis estático de equilibrio límite en condiciones drenadas de la sección 7 vista NE

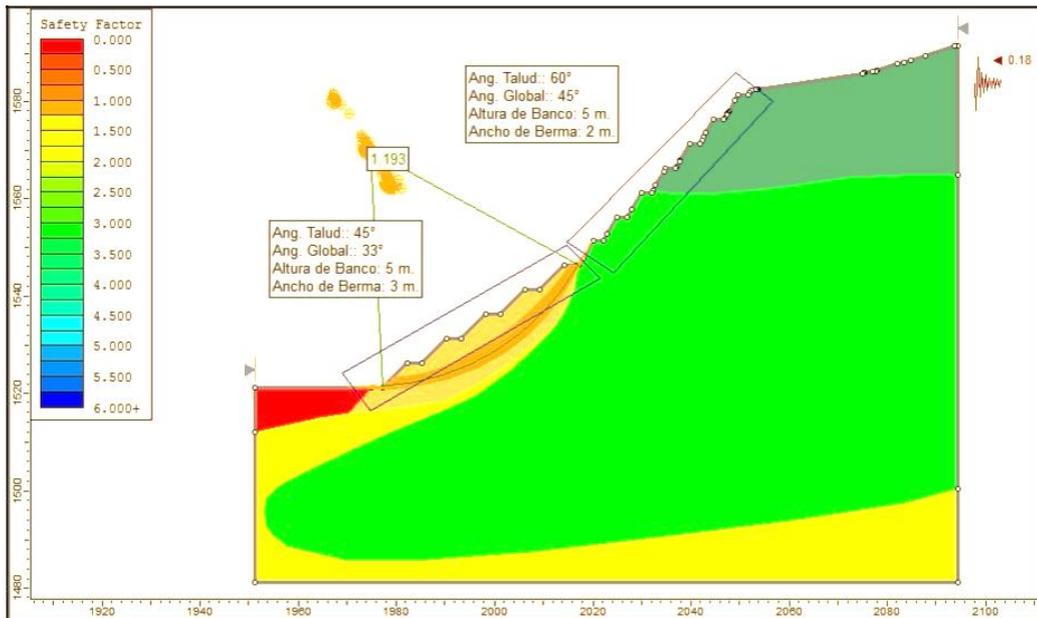


Autoría: personal

Del análisis realizado en la sección 05 se observa que en la zona donde el diseño corta roca de calidad mala B (IVB), el factor de seguridad en condiciones pseudo-estáticas es menor a 1 (ver fig. 54), por lo que se considera este tramo como inestable para los parámetros de diseño establecidos. Con el fin de mejorar el factor de seguridad, se modificó los parámetros de diseño en el tramo de roca de calidad muy mala con los siguientes parámetros:

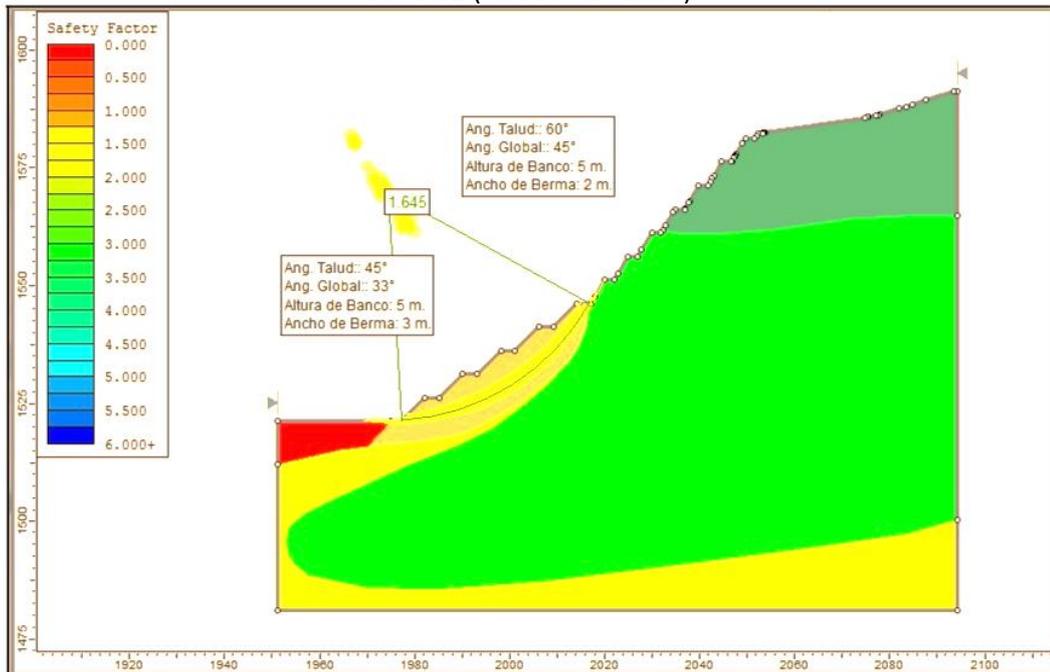
- Ángulo de Talud: 45°
- Ángulo Global: 33°
- Altura de Banco: 5 m.
- Ancho de Berma: 3m

Gráfico N°49: Análisis pseudo-estático de equilibrio límite en condiciones drenadas de la sección 7 vista NE (talud rediseñado)



Autoría: personal

Gráfico N°50: Análisis estático de equilibrio límite en condiciones drenadas de la sección 7 vista NE (talud rediseñado)

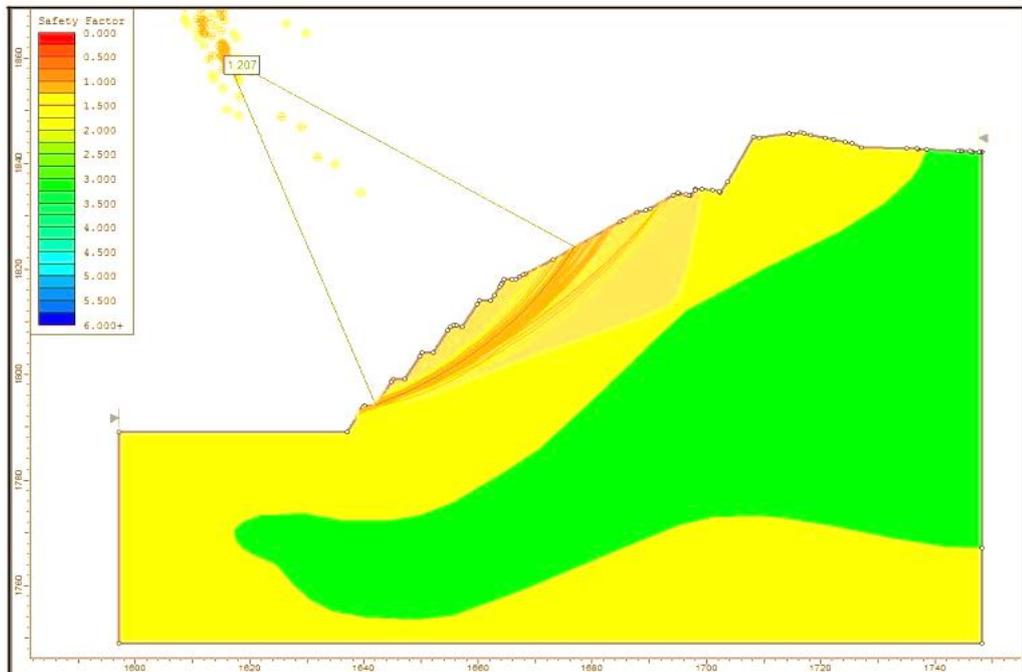


Autoría: personal

Del análisis realizado con los parámetros modificados en la sección 05 se observa que el factor de seguridad en condiciones pseudo-estáticas es mayor que 1 (ver fig. 57)

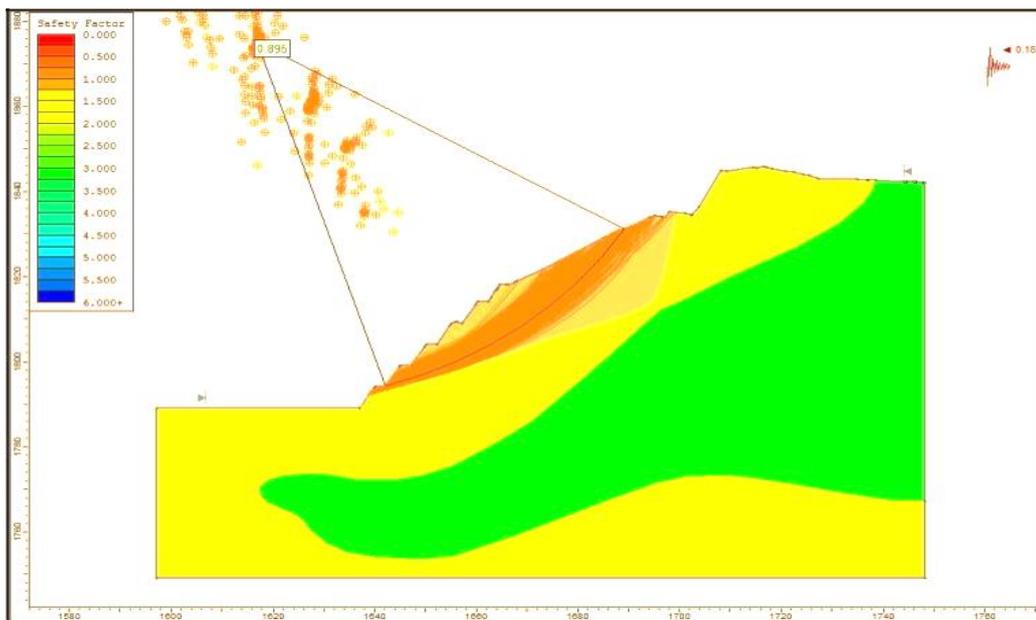
Análisis de Equilibrio Límite Sección 8

Gráfico N°51: Análisis pseudo-estático de equilibrio límite en condiciones drenadas de la sección 8 vista E



Autoría: personal

Gráfico N°52: Análisis estático de equilibrio límite en condiciones drenadas de la sección 8 vista E



Autoría: personal

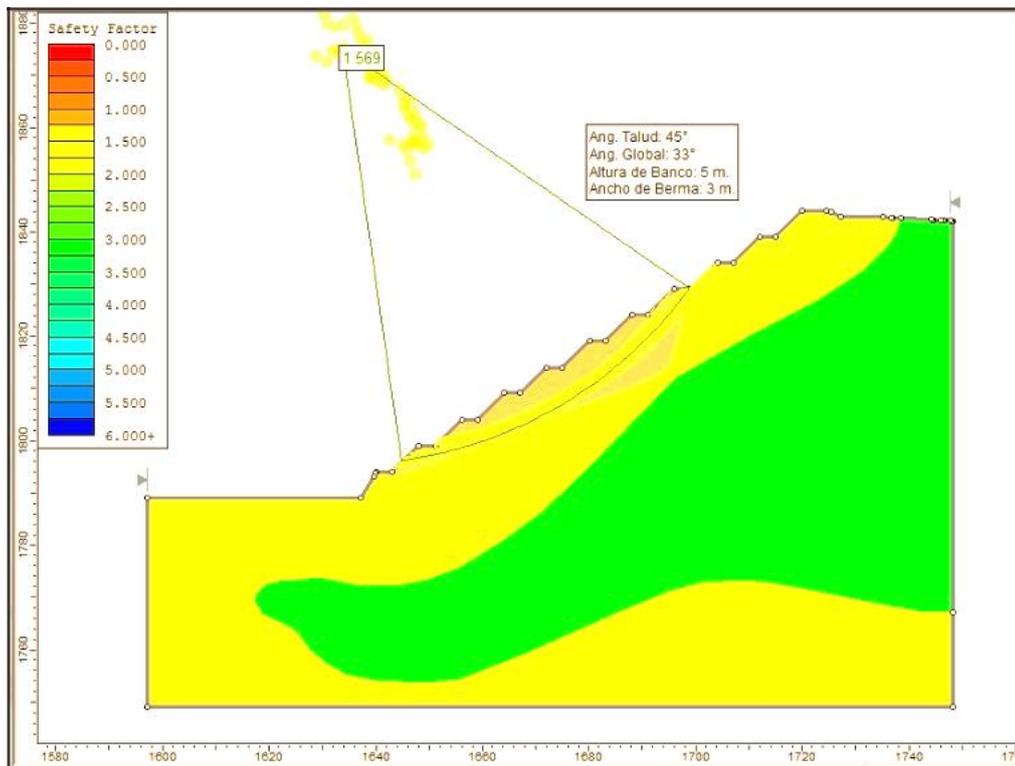
Del análisis realizado en la sección 08 se observa que en la zona donde el diseño corta roca de calidad mala B (IVB), el factor de seguridad en

condiciones pseudo-estáticas es menor a 1 (ver fig. 55), por lo que se considera este tramo como inestable para los parámetros de diseño establecidos.

Con el fin de mejorar el factor de seguridad, se modificó los parámetros de diseño en el tramo de roca de calidad muy mala con los siguientes parámetros:

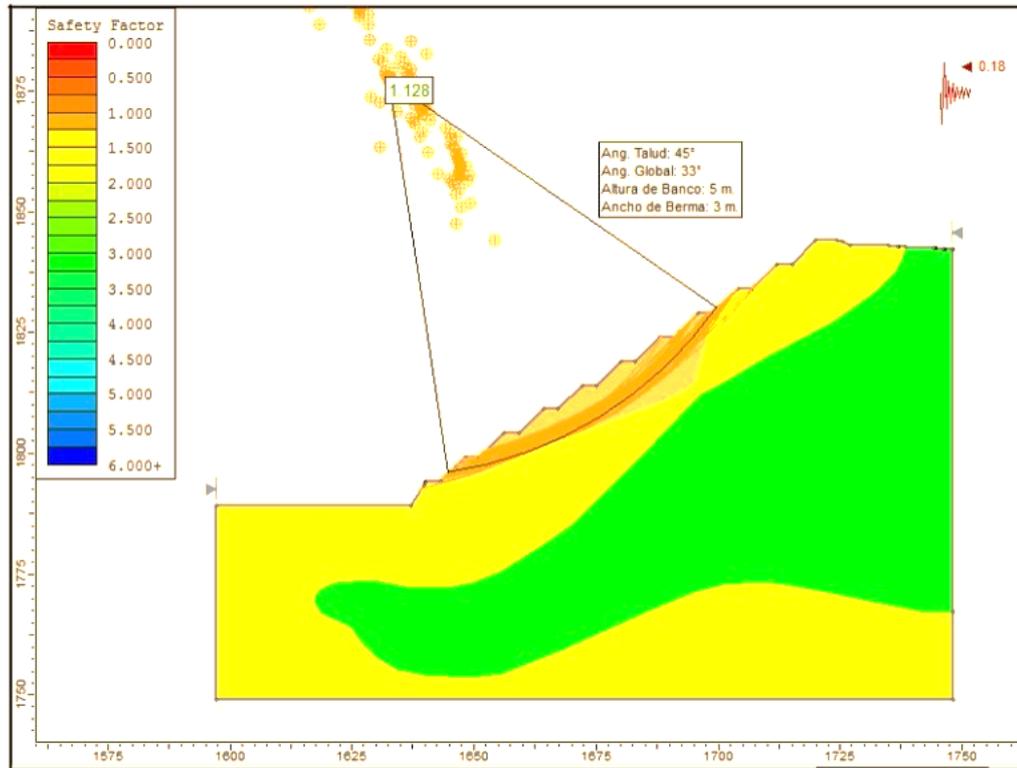
- Ángulo de Talud: 45°
- Ángulo Global: 33°
- Altura de Banco: 5 m.
- Ancho de Berma: 3m

Gráfico N°53: *Análisis pseudo-estático de equilibrio límite en condiciones drenadas de la sección 8 (talud rediseñado) vista E*



Autoría: personal

Gráfico N°54: *Análisis estático de equilibrio límite en condiciones drenadas de la sección 8 (talud rediseñado) vista E*

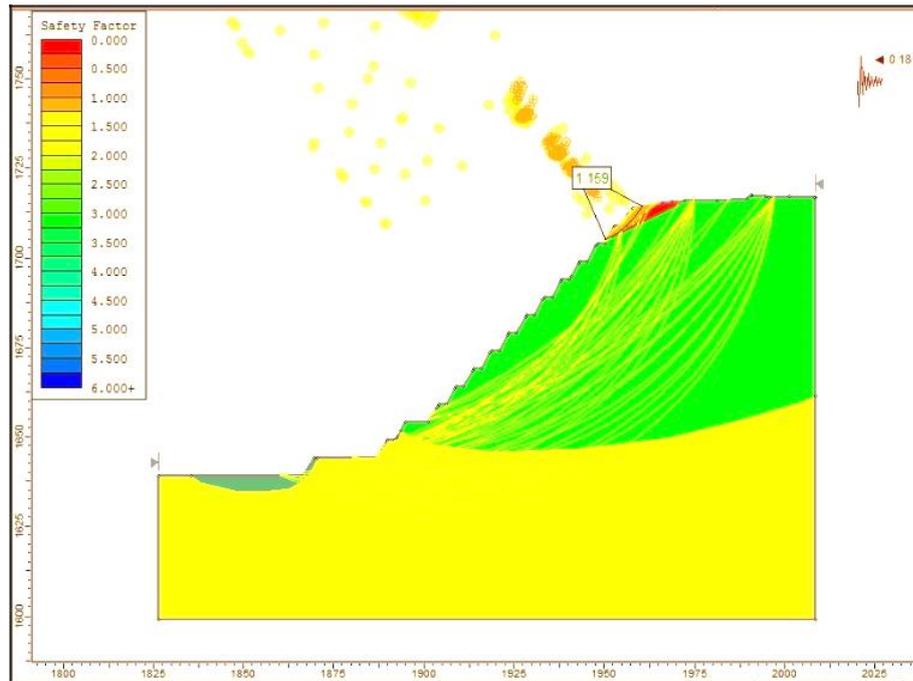


Autoría: personal

Del análisis realizado con los parámetros modificados en la sección 08 se observa que el factor de seguridad en condiciones pseudo-estáticas es mayor que 1.

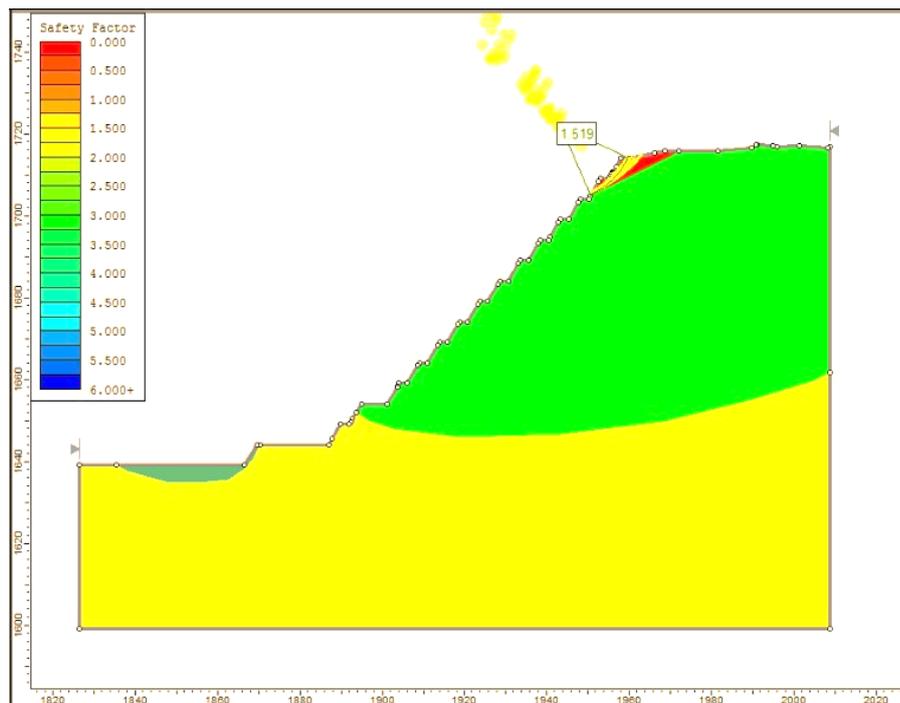
Análisis de Equilibrio Límite Sección 10

Gráfico N°55 *Análisis pseudo-estático de equilibrio límite en condiciones drenadas de la sección 10*



Autoría: personal

Gráfico N°56 *Análisis estático de equilibrio límite en condiciones drenadas de la sección 10*



Autoría: personal

En el análisis realizado en la sección 8 (Fig. 60 y 61) se verifica que los factores de seguridad en condiciones estáticas y pseudo-estáticas es mayor a 1

considerándose el diseño estable.

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Prueba de hipótesis específicas

Para demostrar la primera hipótesis específica de la investigación que indica que los parámetros de diseño optimizados logran la estabilidad de taludes del proyecto óxidos in situ de Volcan Compañía Minera S.A.A. Conociendo las litologías, las características del agua superficial y subterránea, las máximas aceleraciones para el diseño de taludes, los resultados de las investigaciones de laboratorio de mecánica de suelos y rocas, la zonificación geomecánica y la elaboración de secciones transversales al tajo abierto. Por lo tanto, estos resultados encontrados correspondientes a los parámetros de diseño y su aplicación se logró la estabilidad del talud del proyecto óxidos in situ de Volcan Compañía Minera. Finalmente, por todo lo mencionado se demuestra la hipótesis planteada. La segunda hipótesis específica que se planteó consideró que, encontrando el factor de seguridad se evalúa la estabilidad de taludes del proyecto óxidos in situ de Volcan Compañía Minera. Para evaluar y predecir el posible comportamiento del macizo rocoso en los taludes se efectuó el análisis por equilibrio límite utilizando el software Slide. Se encontró el factor de seguridad en condiciones pseudo estáticas, encontrándose que muchos de ellos son inestables y luego se mejoró dichos factores de seguridad para encontrar la estabilidad. Con esta información se corrobora la hipótesis planteada.

4.3.2. Prueba de hipótesis general

La hipótesis general del presente estudio indica que con los resultados de la evaluación geomecánica se logra la estabilidad de taludes del proyecto óxidos in situ de Volcan Compañía Minera S.A.A. Considerando los estudios geomecánicos realizados, considerando los parámetros de diseño optimizados y los factores de seguridad mejorados se logró la estabilidad de taludes del proyecto, lo cual en general

se confirma la hipótesis general planteada.

4.4. Discusión de resultados

El primer objetivo específico programado es determinar los parámetros de diseño para lograr la estabilidad de taludes del proyecto óxidos in situ de Volcan Compañía Minera S.A.A..

Al respecto en el estudio realizado por Molina (2019) para desarrollar la evaluación geomecánica y estimar los ángulos de los taludes del futuro tajo abierto Jéssica, se realizó trabajos de campo, laboratorio y gabinete caracterizando el macizo rocoso en base el mapeo geomecánico, se evaluó el grado de estabilidad de los taludes con los ángulos de taludes de bancos 65° , interrampas y finales globales 44° , tienen un factor de seguridad no drenado estático en promedio 2.53 y pseudoestático 1.9; estos taludes presentaron condiciones de estabilidad satisfactorias. Comparando con los resultados de la presente investigación, con los parámetros de diseño optimizados como el ángulo de talud: 45° , ángulo global: 33° , altura de banco: 5 m, ancho de berma: 3m. muestran condiciones satisfactorias de estabilidad. Por lo tanto, se cumple el objetivo planteado.

El segundo objetivo planteado es determinar el factor de seguridad de los taludes inestables del proyecto óxidos in situ de Volcan Compañía Minera S.A.A. La investigación realizada por Zavala (2021), estudia el estado actual en el que se encuentran los taludes que conforman el terraplén y determinar si son estables o no. Los resultados encontrados mediante el software Slide se determinó que los dos taludes, aguas arriba y aguas abajo, que conforman el terraplén, se encuentran inestables, en especial, en condiciones sísmicas o pseudoestáticas.

Desarrollándose una propuesta para lograr la estabilización de estos taludes e incrementar el factor de seguridad mediante una nueva configuración geométrica (añadiendo una banquetta en ambos taludes), no obstante, al no ser suficiente, fue

necesario el reforzamiento mediante pernos de anclaje inyectados, los cuales incrementaron en gran medida el factor de seguridad alcanzando así, los valores mínimos indicados en las normativas actuales y logrando la estabilidad para brindar las condiciones adecuadas para la subsecuente construcción del túnel. Contrastando con los resultados con el presente estudio encontramos los factores de seguridad mediante el análisis de equilibrio límite en condiciones pseudo estáticas se verifica que los factores de seguridad se incrementan a 1 lo cual garantiza la estabilidad del talud.

Finalmente, se comprueba que con los resultados de la evaluación geomecánica se logra la estabilidad de taludes del proyecto óxidos in situ de Volcan Compañía Minera S.A.A.

CONCLUSIONES

1. Del análisis de estabilidad de equilibrio límite realizado en las secciones geomecánicas y conforme a los parámetros de diseño de tajo los resultados son: ángulo de alud: 60°, altura de banco: 5 m, altura de banco: 5 m, ángulo global: 45° y el ancho de berma: 2m.
2. Los factores de seguridad en las diferentes secciones transversales geomecánicas realizadas presentan en condiciones estáticas desde 1,238 hasta 1,519 y en las condiciones pseudo-estáticas varían desde 0.911 hasta 1, 169.
3. De acuerdo al análisis de equilibrio límite realizado se concluye que los taludes analizados en las secciones 1,5,7,8 en condiciones pseudo-estáticas son inestables esto principalmente por el material de mala calidad geomecánica y geotécnica presenta en estas áreas.
4. Con el fin de mejorar el factor de seguridad de los taludes inestables, se planteó en modificar los parámetros en las áreas con baja calidad de macizo rocoso por los siguientes parámetros: ángulo de talud: 45°, ángulo global: 33°, altura de banco: 5 m. y ancho de berma: 3m.
5. Los factores de seguridad obtenidos en el análisis de equilibrio límite con los parámetros propuestos son:

SECCIÓN TRANSVERSAL GEOMECÁNICO	FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO	FACTOR DE SEGURIDAD PSEUDO- ESTÁTICO
1	1.745	1.238
5	1.825	1.302
7	1.645	1.348
8	1.569	1.207

6. Realizando el análisis de equilibrio límite con los parámetros propuestos en las

secciones 1,5,7 y 8 en condiciones pseudo-estáticas se verifica que los factores de seguridad se incrementan sobre 1.

7. De la evaluación hidrogeológica, no se ha evidenciado la presencia de una napa freática en la zona del proyecto hasta la cota 4260 msnm.

RECOMENDACIONES

1. En futuros sondajes exploratorios antes de realizarse el muestreo de los cores se realice el logeo geomecánico, ya que al cortar las muestras se distorsiona la información requerida para un análisis geomecánico.
2. La supervisión de perforación debe controlar que el porcentaje de recuperación en sondajes sea mayor a 80 %, ya que en los sondajes logeados se tiene una recuperación de 60%.
3. Se recomienda tener un registro fotográfico cuando el perforista entrega las cajas con testigos y el uso de tacos de plástico.
4. En futuros sondajes exploratorios antes de realizarse el muestreo de los cores se realice el logeo geomecánico, ya que al cortar las muestras se distorsiona la información requerida para un análisis geomecánico.
5. En la sección 10 (Ver fig. 56 y 57), conforme al diseño entregado por Volcan se observa que en la cresta del talud va quedar colgado dos bancos de material cuaternario los cuales se recomienda se eliminen o se diseñe una berma de 5 m. para evitar tener problemas de caída de roca del material cuaternario.
6. En el análisis de las secciones 1,5,7 y 8 se observa que los factores de seguridad disminuyen por el material de baja calidad geomecánica que se tiene, esta capa de material es en promedio de 10 a 20 m. de espesor por lo que también sería una alternativa en modificar el diseño del tajo manteniendo los parámetros de diseño de talud modificados, pero asegurando que el talud final se ubique en macizo rocoso de condición geomecánica regular a buena.
7. Teniendo precipitaciones máximas de 45.9 mm. en 24 horas con tiempo de retorno a 50 años se recomienda mantener un buen sistema de drenaje para evitar el empozamiento de agua en las bermas y taludes principalmente en las áreas donde la condición geomecánica del macizo rocoso es de mala a muy mala.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aragon, N. (2019). Aplicación de voladura controlada para estabilizar taludes de banquetas en el sector de Senseccalla, del tramo VII proyecto de la carretera Ayacucho Abancay Div. Kishuara [Tesis de Pre grado, Ingeniería de Minas Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco] Repositorio institucional.
- Carpio, G. (2020). Cuyo objetivo es Analizar la estabilidad de laderas de los deslizamientos en suelos arcillosos” caso de los poblados de Lutto, Kututo y Llusco, región Cusco [Tesis de Pre grado, Ingeniería Geológica Universidad Nacional Mayor de San Marcos] Repositorio institucional.
- Mamani, M. (2021). Evaluación geotécnica de voladura para el control de daño de taludes en minería superficial - mina Toquepala. [Tesis de Pre grado, Ingeniería Geológica Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa] Repositorio institucional.
- Mamani, J. (2019). Estudio geotécnico para el diseño y estabilidad del botadero de desmontes 3 del proyecto minero Las Águilas [Tesis de Pre grado, Ingeniería Minas Universidad Nacional del Altiplano] Repositorio institucional.
- Molina, M. (2019). Evaluación geomecánica y determinación de ángulos de talud en los proyectos mineros. [Tesis de Pre grado, Ingeniería Geológica Universidad Nacional del altiplano] Repositorio institucional.
- Tarrillo, V. (2021). Evaluación geomecánica para la recuperación de pilares de una labor del Nv. 2670 – UP Santa María, Compañía Minera Poderosa – Empresa “HUCATI. [Tesis de Pre grado, Ingeniería Minas Universidad Cesar Vallejo] Repositorio institucional.
- Zavala, J. (2021). Estabilidad de taludes para el mejoramiento del terraplén en la construcción de túnel de drenaje Toquepala - Tacna, 2021[Tesis de Pre grado, Ingeniería Civil Universidad Privada de Tacna. Facultad de Ingeniería] Repositorio institucional

ANEXOS

Ficha mapeo por celdas

Mina:			Norte: 8818978							
Zona: Sta Rosa			Este: 362279							
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACIÓN		ESPACIAMIENTO (m)	RELLENO		Observaciones	ESTEREOGRAMA			
	DIREC. BUZAMIENTO	BUZAMIENTO		TIPO	ESPESOR (mm)					
	F	290		70	> 2			Ox. Arc	< 2	Sistema principal
	F	195		80	2 m - 3 m			Ox. arc	< 1	Humedo
	d	287	45	0.6 - 1.5 m	Ox. arc	< 2	Humedo			

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
4	85	355	Slope
Mean Set Planes			
1m	53	288	S1
2m	80	195	S2

VALORIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (RMR 89)

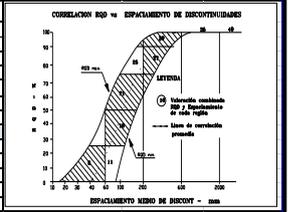
PARAMETRO	RANGO DE VALORES							VALOR ESTIMADO			VALORACIÓN			
RESIS. COMPRE. UNIAXIAL (Mpa)	1	> 250	(15)	100 - 250	(12)	50 - 100	(7)	25 - 50	(4)	<25 (2) <5 (1) <1 (0)	1	7		
RQD %	2	90 - 100	(20)	75 - 90	(17)	50 - 75	(13)	25 - 50	(8)	< 25	(3)	2	17	
ESPACIAMIENTO	3	> 2m	(20)	0,6m - 2m	(15)	0,6m - 0,2 m	(10)	0,2m - 0,06m	(8)	< 0,06m	(5)	3	10	
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	4	< 1m	(6)	1m - 3m	(4)	3m - 10m	(2)	10m - 20m	(1)	> 20m	(0)	4A	2
	APERTURA		Cerrada	(6)	< 0,1 mm.	(5)	0,1mm - 1mm	(4)	1mm - 5 mm	(1)	> 5mm	(0)	4B	4
	RUGOSIDAD		Muy rugosa	(6)	Rugosa	(5)	Lig. Rugosa	(3)	Lisa	(1)	Espesjo de falla	(0)	4C	1
	RELLENO		Limpia	(6)	Duro < 5mm	(4)	Duro > 5mm	(2)	Suave < 5mm	(1)	Suave > 5mm	(0)	4D	1
	INTEMPERIZACIÓN		Sana	(6)	Lig. Intempe.	(5)	Mod. Intempe.	(3)	Muy intempe.	(2)	Descompuesta	(0)	4E	3
AGUA SUBTERRANEA	5	Seco	(15)	Humedo	(10)	Mojado	(7)	Goteo	(4)	Flujo	(0)	5	10	
RMR BASICO =											55			
AJUSTE POR ORIENTACIÓN DE ESTRUCTURAS = F1 x F2 x F3											-3.8			
AJUSTE POR MÉTODO DE EXCAVACIÓN = F4											8			

CLASE DE MACIZO ROCOSO

SRM (Valoración)	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	RMR_b
Estabilidad	Comp. estable	Estable	Parcialmente estable	Inestable	Completamente inestable	
Tipos de falla						SMR
Ninguno						
CLASE	I		II		III	
SUBCLASE	100 - 91	90 - 81	80 - 71	70 - 61	60 - 51	50 - 41
	1a	1b	II a	II b	III a	III b
	40 - 31	30 - 21	20 - 31	10 - 0	V	
	Va	Vb	59			

FACTORES DE CORRECCIÓN: F1, F2, F3 Y F4 (Caso Ps = [A]-[As] ; Caso Ts = [A]-[As]-180)

MUY FAVORABLE	FAVORABLE	MEDIA	DESFAVORABLE	MUY DESFAVORABLE
> 30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°
F1 (P/T)				
0.15	0.4	0.75	0.85	1
[B]				
< 20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	> 45°
F2 (P) & F (T) = 1 (para todos los casos)				
0.15	0.4	0.7	0.85	1
F3 (P) = [B] - Bs] > 10°	F3 (P) = [B] - Bs] > 10° - 0°	F3 (P) = [B] - Bs] > 0°	F3 (P) = [B] - Bs] > 0° - (-10°)	F3 (P) = [B] - Bs] < - 10°
F3 (T) = [B] + Bs] < 110°	F3 (T) = [B] + Bs] : 110° - 120°	F3 (T) = [B] + Bs] > 120°		
0	-5	-25	-50	-60
F4 (P/T)				
15 (Talud Natural)	10 (Precorte)	8 (Voladura suave)	0 (Voladura / Mecánico)	-3 (Voladura deficiente)



GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS - IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	Rango Resist. Comp. (Mpa)	Nombreclatura
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo, se desconcha con una cuchilla.	1 - 5	
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la rocacon golpe firme de martillo (de punta).	5 - 25	d = diaclasas e = estrat.
R3	No se raya ni se desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme de martillo.	25 - 50	Fa falla Ox = oxidos
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe de martillo.	50 - 100	Pz= panizo Cz= cuarzo
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra.	100 - 250	Ca =carbonato ss = split set
R6	Sólo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo.	> 250	hy = hydrabolt HD= h. derecho

