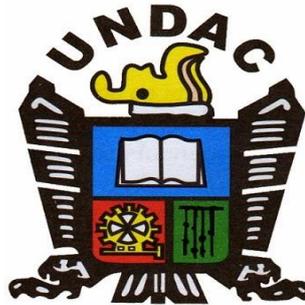


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**Los controles geotécnicos en el monitoreo de la estabilidad en la
ampliación del botadero Yanacancha, Compañía Minera Antamina**

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor : Bach. Jose Antonio ZA VALETA SCHWARTZ

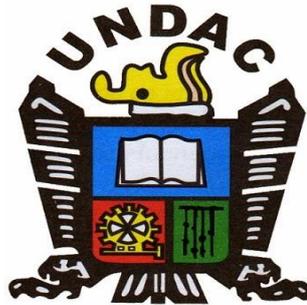
Asesor : Mg. Vidal Víctor CALSINA COLQUI

Cerro de Pasco – Perú – 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**Los controles geotécnicos en el monitoreo de la estabilidad en la
ampliación del botadero Yanacancha, Compañía Minera Antamina**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Julio Alejandro MARCELO AMES
PRESIDENTE

Mg. Javier LOPEZ ALVARADO
MIEMBRO

Mg. Eder Guido ROBLES MORALES
MIEMBRO

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado al arduo trabajo de mis padres Graciano Zavaleta y Delia Schwartz, quienes serán siempre los autores de mi éxito profesional. A mis hermanos Isabel, Luis, María, Delia y Miguel, porque siempre me brindaron su apoyo total e incondicional a lo largo de mi formación profesional.

RECONOCIMIENTO

Mi completo reconocimiento a la Gerencia de Geotecnia, Vicepresidencia de Operaciones Mina, Compañía Minera Antamina S.A., por haberme permitido desarrollar mi programa de prácticas profesionales en el área de Geotecnia Mina, y así poder lograr realizar mi trabajo de tesis titulada “Los Controles Geotécnicos en el monitoreo de la estabilidad en la ampliación del Botadero Yanacancha, Compañía Minera Antamina”, cumpliendo así uno de mis más ansiados objetivos profesionales.

Así mismo agradecer al equipo de Geotecnia, conformado por el Ing. Luis Estremadoyro, Ing. Edwin Espinoza, Ing. Luis Zavaleta, profesionales especialistas en Geología y Geotecnia, quienes me brindaron amablemente su tiempo y conocimiento para llevar a cabo de la mejor forma la presente investigación.

Al Ing. Vidal Víctor Calsina Colqui, por su apoyo en el asesoramiento del desarrollo del trabajo de Investigación, compartiendo sus conocimientos y experiencias en el tema.

Por último, agradecer a la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión por haberme permitido realizar mi formación académica dentro de sus virtuosas aulas, a los docentes quienes siempre impartieron sabiduría y conocimiento, siendo partícipes de que me siga forjando profesionalmente.

RESUMEN

Los Botaderos de Estériles o Vertederos de Residuos en Minería, que tiene como siglas en inglés Waste Dump, viene a ser un área física destinada para el acopio de desmonte o material estéril, cuya disposición varía de acuerdo a fisiografía del entorno. La cantidad de descargas que llegan a cada plataforma (Botadero) es variable, debido a la operatividad de las Palas situadas en las diferentes Fases de la Mina (Compañía Minera Antamina S.A.), que van obteniendo un diferente tipo de material, el cual es destinado a un determinado botadero de acuerdo a la composición y tamaño del mismo. Es por eso que es importante hoy en día tener un manejo adecuado y control de estas zonas de recepción, puesto que se pueden presentar algunas implicancias conforme van creciendo y aumentando su volumen, y que esto pueda afectar la estabilidad de la estructura. A causa de ello tenemos que tener preparados una serie de herramientas importantes a las que denominaremos Controles Geotécnicos. Estos controles podrán pronosticar cualquier evento de inestabilidad, pudiéndose así prevenir y evitar situaciones catastróficas de gran tamaño, que en algunos casos han sido fatales, por la constante operatividad de maquinaria que se tiene ahí. Entonces dichos Controles Geotécnicos se determinarán con la ayuda de instrumentación geotécnica y su posterior análisis de datos cuantitativos, que proporcionarán información necesaria para conformar zonas estables de recepción de Material de Desmonte.

Palabras Clave: Controles geotécnicos, Botaderos de desmonte, Analisis de caída de rocas, Analisis de velocidad vs descargas, analisis de estabilidad de botaderos, Monitoreo de grietas de tensión.

ABSTRACT

The Sterile Dumps or Landfills of Mining Waste, whose initials are in English Waste Dump, becomes a physical area for the collection of waste or sterile material, whose specific arrangement according to physiography of the environment. The number of dumps that each platform (Dump) has is variable, due to the operation of the Shovels located in the different Phases of the Mine (Compañía Minera Antamina SA), which are obtaining a different type of material, which is destined to a certain dump according to its composition and size. That is why it is important today to have adequate management and control of these reception areas, since some implications may arise as they increase and increase in volume, and this may affect the stability of the structure. Because of this we have to have prepared a series of important tools that we call Geotechnical Controls. These controls can forecast any instability event, thus being able to prevent and avoid large catastrophic situations, which in some cases have been fatal, due to the constant operation of machinery that exists there. Then said Geotechnical Controls will be determined with the help of instrumentation and its subsequent analysis of quantitative data, which will provide information necessary to form stable areas of reception of Dismantling Material.

Keywords: Geotechnical controls, Dismantling dumps, Rockfall analysis, Speed vs. discharge analysis, dump stability analysis, Stress cracking monitoring.

INTRODUCCION

El Perú es reconocido mundialmente por sus importantes Yacimientos Mineros ubicados en diferentes Regiones del País, y el mismo hecho de extraer el elemento económicamente rentable, acontece a que se generen otros tipos de mega estructuras como son los Botaderos o Vertederos de Desmonte o Estériles. En estas últimas décadas la producción mineral, se ha ido incrementando abismalmente, por lo que La Gran Minería hace uso de determinadas zonas que abarcan grandes hectáreas, para el acopio y manejo adecuado de este material, sin alterar el medio ambiente, previo estudio de impacto ambiental EIA. El presente trabajo de investigación es el resultado del Dispatch Geotecnico, una nueva área implementada dentro de la Gerencia de Geotecnia en Compañía Minera Antamina, el cual viene evaluando y usando Controles Geotécnicos en la Estabilidad de los Botaderos, desde octubre del 2018. Para poder configurar estas técnicas se usaron diferentes metodologías como: monitoreo de instrumentación geotécnica, cantidad de descargas por hora hacia botaderos, levantamiento topográfico de grietas de tensión, análisis y modelamiento geotécnico en software. De acuerdo al mapa Geológico del Perú, Antamina se encuentra al este de la Franja Polimetálica del Perú Central, es un Skarn de Cu y su explotación implica la remoción de billones de toneladas de material estéril, destinadas a los Botaderos de Yanacancha, Tucush y el de Fase 06, siendo botaderos de más de 500 metros de altura. Por lo tanto, se necesitan de Controles Geotécnicos adecuados, que ayuden a mantener la estabilidad de estas estructuras.

INDICE

DEDICATORIA

RECONOCIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION

INDICE

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1.	Identificación y determinación del Problema	1
1.2.	Delimitación de la Investigación	2
1.3.	Formulación del Problema.....	2
1.3.1.	Problema General	2
1.3.2.	Problemas Específicos.....	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	4

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1.	Antecedentes de Estudio	5
2.2.	Bases Teóricas – Científicas	5
2.3.	Definición de Términos Basicos.....	42
2.4.	Formulación de Hipótesis	47
2.4.1.	Hipótesis General	47
2.4.2.	Hipótesis Especifica	47
2.5.	Identificación de Variables	47
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores	48

CAPITULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1.	Tipo de Investigación.....	49
3.2.	Métodos de la Investigación	49
3.3.	Diseño de la Investigación.....	50
3.4.	Población y Muestra	50
3.5.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	50
3.6.	Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.....	50
3.7.	Tratamiento Estadístico	51
3.8.	Selección, Validación y Confiabilidad de los Instrumentos de Investigación.....	51
3.9.	Orientación Ética	51

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1.	Descripción del Trabajo de Campo	52
4.2.	Presentacion, Analisis e Interpretacion de Resultados	55
4.3.	Prueba de Hipótesis	102
4.4.	Discusión de Resultados	102

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Mapa de resumen de terranes tectónicos peruanos
- Figura 2: El depósito de Antamina
- Figura 3: Geología del Depósito de Antamina
- Figura 4: Coeficientes de Permeabilidad de los Materiales
- Figura 5: Plano del Botadero de Yanacancha
- Figura 6: Vista Panorámica del Botadero de Yanacancha
- Figura 7: Clasificación Geológica de Desmonte
- Figura 8: Disposición de los materiales según su granulometría en un botadero
- Figura 9: Plataforma de descarga Tucush 4583
- Figura 10: Caída de rocas en el Botadero Yanacancha
- Figura 11: Berma de impacto y la interacción con el tránsito de vehículos
- Figura 12: Construcción de las bermas de impacto
- Figura 13: Caída de rocas de niveles superiores
- Figura 14: Berma de impacto colmatada
- Figura 15: Geometría de un botadero
- Figura 16: Botadero Yanacancha Nivel 4448 - zona 01
- Figura 17: Botadero Yanacancha Nivel 4448, zonas 02 – 09
- Figura 18: Vista Panorámica del Botadero de Yanacancha 4448
- Figura 19: Vista Panorámica del Botadero de Yanacancha 4388
- Figura 20: Vista Panorámica del Botadero Yanacancha 4268
- Figura 21: Presencia de Grietas de Tensión en Plataformas
- Figura 22: GPS diferencial tomando puntos en plataforma de descarga
- Figura 23: Grietas de tensión y asentamientos
- Figura 24: Asentamientos en la plataforma Yanacancha 4448 – zona 05

- Figura 25: Tractor realizado corte en plataforma
- Figura 26: Asentamientos en el Botadero Yanacancha 4448
- Figura 27: Grieta de tensión profunda
- Figura 28: Coeficientes de Restitución de los Materiales
- Figura 29: Desinstalación de instrumentación en Botaderos
- Figura 30: Monitoreo turno noche de Botadero Yanacancha
- Figura 31: Vista perpendicular de un asentamiento en plataforma
- Figura 32: Vista de extensómetro digital
- Figura 33. Vista de Ventana de instrumentación geotécnica
- Figura 34: Instalando instrumentación geotécnica en el Botadero
- Figura 35: Grietas de Tensión presentes en la corona del Botadero
- Figura 36: Partes de un extensómetro digital
- Figura 37: Gráfico de velocidades con niveles de Alarma Warning 02
- Figura 38: Gráfico de velocidades con salto y si posterior normalización
- Figura 39: Gráfico mostrando ruptura de cable del extensómetro
- Figura 40: Reinicio del funcionamiento del extensómetro
- Figura 41: Gráfico de velocidades acumulada
- Figura 42: Formato de Matriz de Caracterización de Botaderos
- Figura 43: Pala extrayendo material de mala calidad en la Fase 09
- Figura 44: Material de mediana Calidad obtenida de la Fase 06
- Figura 45: Material de buena calidad obtenido de la Fase 08

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del Problema

En el Sector Minero, existe una gran relación entre el elemento mineral económicamente rentable que se extrae del subsuelo y la remoción de material estéril para la obtención de este, el cual implica billones de toneladas de material que serán destinadas a un determinado lugar. Es por ello que se crean zonas destinadas y que son conformadas para la recepción de material de desmonte. Estas zonas son consideradas como Botaderos o Vertederos de materiales que no tienen ningún valor económico. Conforme la Mina incrementa su producción, el material de remoción tendrá relación en el aumento, y hará que estas Mega estructuras conocidas como botaderos también incrementen su volumen.

Es por ello la necesidad de determinar nuevas técnicas de Controles Geotécnicos, que ayuden a mantener la estabilidad de estas estructuras. La diversidad de materiales de desmonte y su diferencia tanto en composición química y propiedades físicas

mecánicas, nos harán tener un monitoreo y control geotécnico diferente para mantener su estabilidad. Se han dado hechos en Proyectos de Gran Minería, las cuales han presenciado situaciones fatales de

mortalidad dentro de las instalaciones de una propia Minería Subterránea y hasta Superficial, por no tener un adecuado monitoreo dentro de sus Operaciones. Es por ello que, en un Botadero de Material estéril, que posee una altura de gran tamaño, a donde llegan millones de toneladas diarias, necesite de un proyecto de ingeniería, el cual, en base a datos cuantitativos, genere y mantengan una adecuada estabilidad de estas mega estructuras.

Para la Caracterización Geotécnica típica de un Botadero y los estudios de investigación de campo que se llevan a cabo para apoyar la planificación, el diseño y monitoreo de los Vertederos de Desmonte en mina; puede incluir la fisiografía, geomorfología, clima, aguas superficiales, aguas subterráneas, geoquímica y controles geotécnicos, todo lo cual puede ser importante durante la caracterización del sitio, para la ampliación de las estructuras.

1.2. Delimitación de la Investigación

La delimitación de la investigación está basada principalmente en la generación y aplicación de Controles Geotécnicos en el Monitoreo de Botaderos de Desmonte para su estabilidad, los cuales una vez identificados, serán una herramienta con un alto potencial en el cuidado y prevención de posibles fallamientos en estas estructuras, y son técnicas que se podrán aplicar en otras compañías mineras.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema General

- ¿El monitoreo de los controles geotécnicos determinaran la estabilidad en la ampliación del botadero Yanacancha, Compañía minera Antamina?

1.3.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo influyen los principales tipos de material estéril en la estabilidad del botadero?
- ¿Cómo influye el comportamiento dinámico en la estabilidad del botadero?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Determinar los controles geotécnicos en el monitoreo de la estabilidad en la ampliación del botadero Yanacancha, Compañía minera Antamina.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Identificar los principales tipos de material estéril que influyen en la estabilidad del botadero Yanacancha.
- Definir cómo influye el comportamiento dinámico en la estabilidad del botadero Yanacancha.

1.5. Justificación de la Investigación

El proyecto se justifica porque es necesario estudiar la estabilidad de un botadero, para evitar daños a los equipos y personas que transitan en el lugar constantemente durante su ampliación, lo cual podría traer consecuencias catastróficas, pudiendo ser perjudicial para la Compañía, paralizando la continuidad de la producción minera, ocasionando millones de dólares en pérdidas.

En la mayoría de los casos, cuanto más avanzado sea el proyecto y mayor sea el riesgo, mayor será el nivel requerido de esfuerzo para caracterizar el sitio y determinar su estabilidad. La investigación se justifica porque, servirá como información básica para los inversionistas nacionales o extranjeros.

Un Botadero va a albergar un determinado tipo de material, por ende, los Controles Geotécnicos que se utilizarán tendrán datos cuantitativos diferentes. El nivel de

esfuerzo requerido para investigar y los estudios de caracterización deben haber avanzado a medida que evoluciona el proceso de selección y diseño del sitio. Proporciona una guía detallada sobre el alcance de los estudios de caracterización e investigación del sitio, basándose en el potencial de inestabilidad que representa el material estéril. Las investigaciones de campo generalmente están programadas para seguir un enfoque gradual, los primeros obtienen datos preliminares para respaldar la selección y la selección del sitio, seguidos por investigaciones más avanzadas para apoyar el diseño detallado. La investigación de campo y los estudios de caracterización del sitio deben cubrir el área de la huella completa más cualquier área adyacente que pueda impactar el sitio o ser directa o indirectamente.

1.6. Limitaciones de la Investigación

Las limitaciones en este proyecto es que cada sitio de investigación reúne sus propias características geotécnicas, por lo que los resultados obtenidos se pueden utilizar en otros botaderos con cierta limitación.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de Estudio

El estudio de Evaluación geotécnica del depósito de desmonte Cajoncillo - Minera Chinalco S.A., con Código: NT-GTC-MT-16_004 de fecha 18 de Mayo del 2016, realiza el análisis de estabilidad de la alternativa del perfil de diseño del botadero Cajoncillo, mediante modelos estáticos – pseudoestáticos, y evalúa la dimensión del refuerzo – buttress (dren de roca) en la base del botadero para asegurar la estabilidad.

2.2. Bases Teóricas – Científicas

2.2.1. Características Generales sobre el Depósito de Antamina

2.2.1.1. Localización

Antamina es un depósito poli-metálico (cobre/zinc/molibdeno) de pórfido y skarn, ubicado aproximadamente a 285 kilómetros al norte de Lima (Figura N° 1). Está en el departamento de Ancash, al este de la Cordillera Blanca y a una altura promedio de 4.300 metros. La mina es operada por Compañía Minera Antamina S.A. (“Antamina”),

un consorcio formado por BHP Billiton, Glencore, Teck Resources y Mitsubishi Ltd. Antamina es considerado el depósito de cobre-zinc skarn más grande del mundo y entró en producción en el año 2001 (Redwood, 2004).

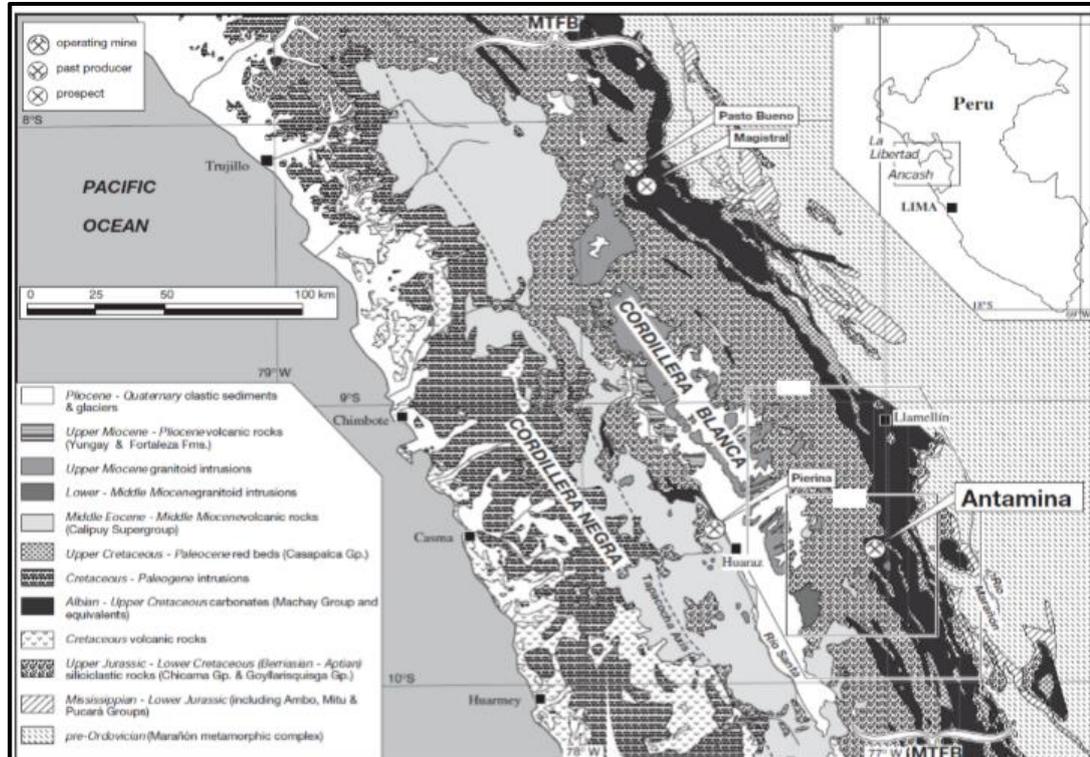


Figura 1: Mapa de resumen de terrenos tectónicos peruanos y principales agrupamientos de roca, también muestra la ubicación de Mina Antamina en el departamento de Ancash.

2.2.1.2. Geomorfología y Fisiografía

Los Andes del Norte del Perú, están comprendidos de Oeste a Este, la Zona Costera (desierto), la Cordillera Occidental y la Cordillera Oriental se ubica en la parte oriental de la Cordillera Occidental.

La Cordillera Occidental tiene 2 cadenas montañosas. El valle del río Santa (Valle de Huaraz) separa la Cordillera Negra al Oeste de la Cordillera Blanca al Este. Antamina se sitúa al este de la Cordillera Blanca entre ella y el valle del Río Marañón. El Marañón separa la Cordillera Occidental de la Cordillera Oriental.

El rasgo más antiguo en la parte este de la Cordillera Occidental donde se sitúa Antamina es la Superficie Puna. Este es el remanente de una peneplanicie de extensión regional que ahora muestran picos de montañas concordantes. Cerca de Antamina los picos son generalmente de 4,500 a 4,600 m de altitud.

La superficie Puna está cortada por la fase Valle y Cañón, que formaron los valles de los ríos mayores en la región tales como el Marañón y el Santa. Las partes altas de los valles formados en la etapa de Valle son amplias y abiertas, generalmente pobladas y cultivadas. Las partes más bajas son cañones angostos y se forman como resultado de un rápido levantamiento y erosión. Pueden ser de hasta 2,000 m de profundidad. La superficie Puna ha datado en 14.5 Ma, la Fase Valle en +14.5 Ma a -6 Ma y la Fase Cañón en +6 Ma.

El valle de Antamina es un valle glacial en U de 4 km de largo con lados pronunciados y un lago remanente en la parte superior del valle. La superficie del lago estaba a 4,337 m (Agosto 1996) y él tiene un lago de 760 m por 510 m de ancho y hasta 51 m de profundidad. Esta separado del valle principal por un lomo rocoso conocido como el Taco (4,375 m), que está 38 m por encima del nivel del lago y 155 m por encima del valle principal. La parte NW son afloramientos de roca pulida con roche mountónees, mientras que la parte SE tiene depósitos de morrenas y lo aliviaderos del lago. Este fue un desfogue del corredor glacial en forma de una lengua de hielo de torrente.

La altitud del valle de Antamina varías de 4,200 m a casi 4,100 m y tiene una gradiente débil. Hay dos valles colgados. Usu pallares y Vallecito.

La cabeza del Valle de Antamina (noreste) es una cima puntiaguda con una altitud de 4,640 m a 4,717 m.

Lo picos llegan a 5,073 (Cerro Tornillo) forman el lado noroeste del Valle. Las cumbres al lado sureste del valle varían de 4,683 m a 4,924 m (cerro buque punta).

El valle de Antamina tiene una profundidad de 500 a 600 m por debajo de los márgenes y hasta 1,000 m por debajo del pico más alto. La topografía preglaciar se interpreta haber sido una superficie Puna alrededor de los 4,700 m con picos por encima de los 5,000 m. Hubo probablemente un pequeño y poco profundo río en Antamina formado como una cabecera durante las etapas de Valle y Cañón. El hielo acumulado en este valle durante la glaciación Pleistocénica la cual formo el valle principal y los valles colgantes.

El depósito de Antamina probablemente no estuvo expuesto antes de la primera glaciación. Se interpreta que la primera glaciación descubrió el depósito y expuso los sulfuros frescos. Esto se muestra por la presencia de sulfuros frescos en una matriz de carbonatos en la primera morrena. En el periodo interglacial hubo una etapa de oxidación de los sulfuros expuestos dando como resultado la formación de ferricrestas. Esta zona de oxidación fue parcialmente removida por el segundo corredor glacial como se observa por la morrena limonítica de esta etapa.

2.2.2. Contexto Geológico

2.2.2.1. Geología Regional

Entre el área de Antamina y el Océano Pacífico se encuentra la zona de la Costa y la Cordillera Negra. Estas juntas forman un arco magmático que estuvo activo durante el Jurásico Tardío hasta el Terciario.

Los principales componentes de este Arco son los Volcánicos Casma (Albiano, 105 a 95 Ma). El Batolito de La Costa (100 a 50 Ma) y los volcánicos del Grupo Calipuy (Cretáceo Tardío a Paleógeno, 95 a 30 Ma). El último forma la Cordillera Negra. El arco fue deformado durante el Cretáceo medio (Fase Mochica) y Cretáceo Tardío (Fase Peruana).

Al este del Arco Magmático se depositó una secuencia gruesa de sedimentos en una cuenca marina, profunda, extensional y ensiálica de tras-arco, llamada la Cuenca Occidental o Geosinclinal Peruano Occidental, también activo desde el Jurásico Tardío a Cretáceo Tardío. Los sedimentos consisten de pizarras y cuarcitas (Formación Chicama, Jurásico Tardío, 152 a 144 Ma) seguido de potencias de areniscas, lutitas y carbón con calizas marinas y deposición de carbonatos marinos potentes (Cretáceo Medio, 113 a 88 Ma. Formaciones Pariahuanca, Chulec, Pariatambo y Jumasha), seguidos por lutitas marinas (Formación Celendín) en el Cretáceo Tardío (88 a 84 Ma). Siguiendo a una regresión marina y levantamientos de la cuenca, hubo una posición continental de sedimentos de capas rojas (Formación Casapalca) en el Cretáceo Tardío y Paleógeno. El Depósito de Antamina se emplaza en las calizas de la Formación Celendín en la parte este de la Cuenca Occidental. Esta cuenca estaba limitada al este por un alto en su basamento (El Alto del Marañón, Alto Axial o Geosinclinal del Marañón) formado por el Precámbrico Tardío con esquistos, filitas y pizarras (Complejo del Marañón), que ahora forma la Cordillera Oriental. Los sedimentos Mesozoicos son mucho más delgados en esta. Al este, una secuencia de areniscas y carbonatos mesozoicos se depositaron en una Cuenca externa de antepais (La cuenca Oriental o geosinclinal peruano Oriental) sobre el escudo brasilero. Esta secuencia es más delgada que la de la Cuenca Occidental y ahora forma la faja de pliegues y sobre-escurrimientos de la Zona Subandina.

La cuenca Occidental se deformó en la fase de plegamiento Inca 2 en el Eoceno Tardío (41 a 40 Ma). Esto se dio como resultado intensos plegamientos y fallamientos inversos en toda la cuenca y la formación de una faja de plegamientos y sobre-escurrimientos en la parte este a lo largo del contacto con el Alto del Marañón (Faja de Plegamientos Sobre-escurrimientos del Marañón). Antamina se ubica en esta faja

de plegamientos y sobre-escurrimientos. Durante el Mioceno hubo tres periodos compresivos cortos (Quechua 1 a 3) hace 19 Ma, 12 Ma y 6 Ma, separados por periodos neutros o extensionales.

En el Mioceno Medio a Tardío, un batolito instruyo la Cordillera blanca en la parte este de la cuenca Occidental (Formación Chicama) para formar el batolito de la cordillera Blanca (16.5 a 5 Ma). Hay Ignimbritas coevales (Formación Yungay). Al mismo tiempo hubo magmatismo difundido a lo largo de las Cordilleras Occidental y Oriental. El Stock de Antamina es una parte de este evento.

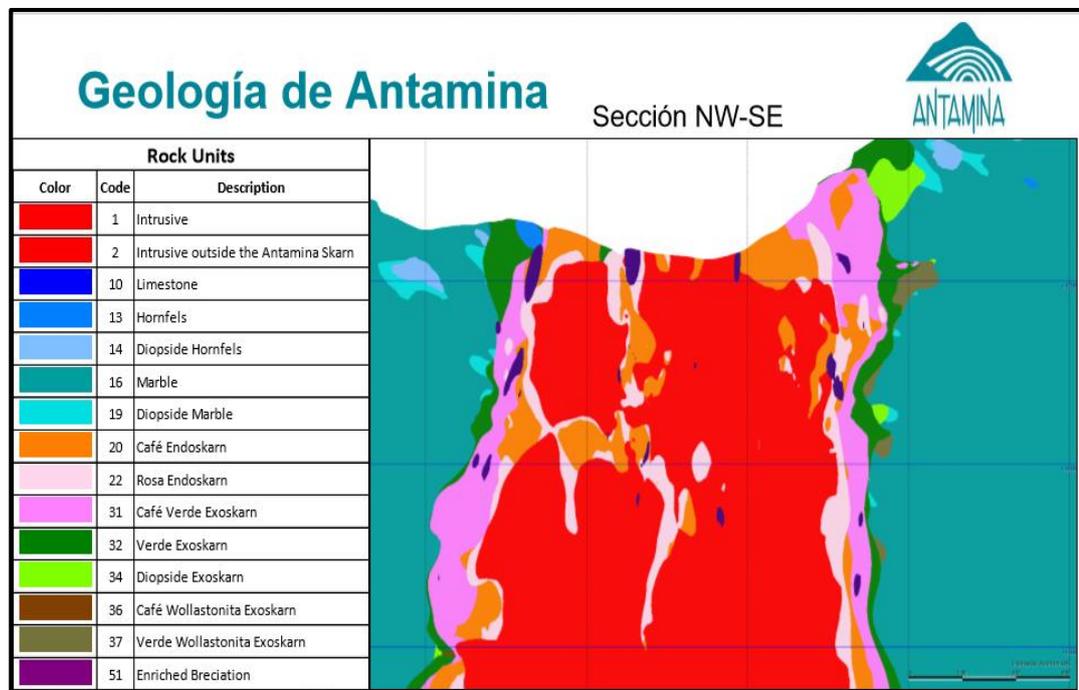


Figura 2: El depósito de Antamina es un skarn complejo de cobre, zinc, plata, molibdeno y bismuto formado por la intrusión de un stock de cuarzo monzonita en calizas. Las dimensiones del depósito son de aproximadamente 3 Km de largo en dirección NE por 1.5 Km de ancho.

Metalogenia

Antamina yace en la parte este de la franja polimetálica del Perú Central. La Franja se ubica en la Cordillera Occidental entre los 6°S (Deflexión de Huancabamba) y 14°S (Deflexión de Abancay) y está definida en cada extremo por rasgos estructurales transversales de arco-normal. La mineralización en la franja muestra una asociación

Zn-Pb-Ag-Cu-Au, principalmente en los depósitos hidrotermales relacionados a los subvolcánicos e intrusiones de alto nivel calco alcalino del Mioceno Medio a Tardío. La franja fue tradicionalmente conocida por las minas mayores de Zn-Pb-Ag como Cerro de Pasco, Milpo, Casapalca o Morococha y otras. También ocurren Depósitos de Porfidos de Cobre y Cu-Au y en la década pasada la franja se ha convertido en la mayor productora de Oro en América Latina del Sur, con el descubrimiento de depósitos epitermales de oro como Yanacocha, Pierina y Quicay. Los depósitos de esta franja se caracterizan por tener grandes cantidades de otros metales, algunos de los que se pueden producir como subproductos en diferentes minas. Estos metales incluyen Bi, Cd, Se, Te, Sb, In, Hg, Ge, Sn, W, Mo y As.

2.2.2.2. Geología Local

El depósito de Antamina es un skarn de cobre muy grande de zinc, plata, molibdeno y bismuto formado por la intrusión de un stock de cuarzo monzonita en calizas.

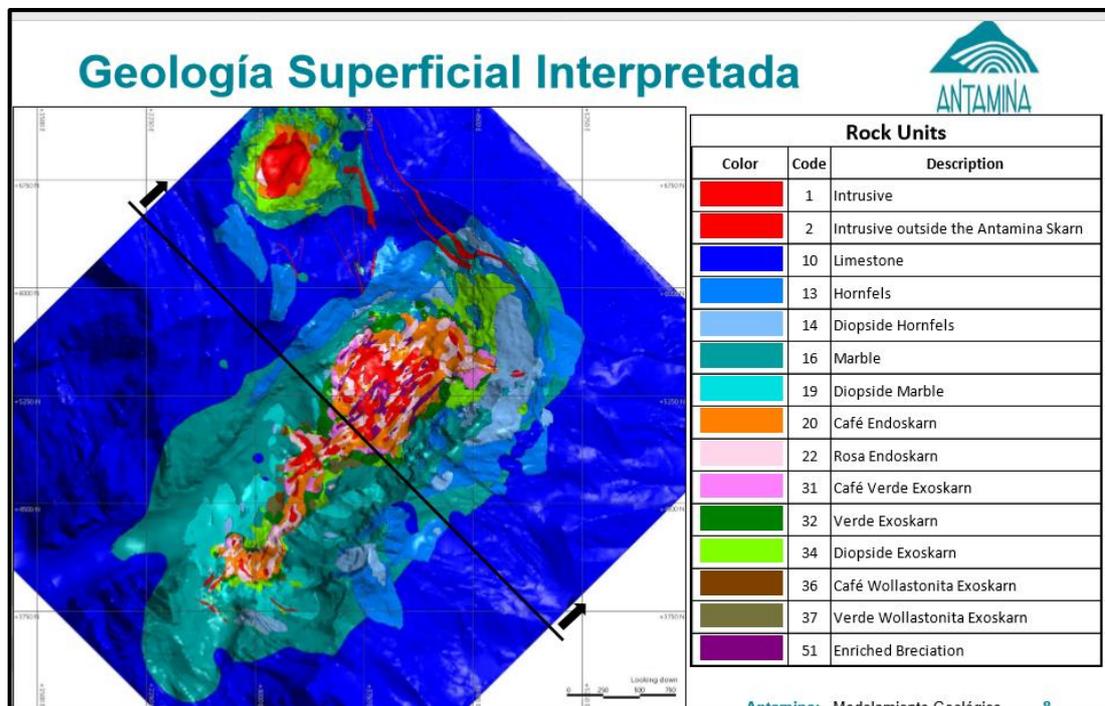


Figura 3: Geología del Depósito de Antamina

Estratigrafía y Estructuras

Antamina se localiza dentro de una parte de la faja de Plegamientos-Sobre-Escurrimientos del Marañón la cual aquí tiene un ancho de 40 Km. Esta es una de las partes más anchas de la faja la cual puede llegar a ser tan angosta como 10 Km. Las estructuras y estratigrafía se orientan NW-SE y los sobre-escurrimientos convergen al este. La edad de los escurrimientos es Incaica 2 (Eoceno Tardío).

El depósito de Antamina se emplaza en la Formación Celendín. Al Oeste de Antamina La Formación Jumasha forma una rampa de escurrimiento sobre una lengua sobre-escurrida de Jumasha (es decir sobre sí misma) y la Formación Celendín. Jumasha forma montañas prominentes pronunciadas de calizas bien estratificadas gris claras. Continuando al Oeste, los sucesivos escurrimientos traen la Formación Pariahuanca sobre Jumasha (No existen las Formaciones Chulec y Pariatambo), la Formación Carhuaz y luego la Formación Chimú. Este último forma un sinclinorio con las Formaciones Santa y Carhuaz que aloran al sur. Mas al Oeste la Formación Oyon sobre-escurrir a la Formación Chimú.

La Formación Celendín aflora al Este de Antamina y es suave con escasa exposición. Forma el núcleo de un Sinclinorio regional. El eje se inclina ligeramente al SE y corre a lo largo de la Quebrada Huincush hasta Rosita de Oro. El eje debe continuar por debajo de la lengua sobre-escurrida de Antamina ya que la quebrada Tucush está en el limbo norte del sinclinal. La traza actual de falla que separa Celendín de Jumasha al Noreste del Lago Antamina parece ser muy pronunciada. No está claro si se trata solo de una rampa pronunciada del sobre-escurrimiento o de una falla normal posterior desplazando el cabalgamiento.

El cierre del Sinclinal al NW hacia Contonga tiene muchos pliegues complicados menores en la Formación Jumasha. Al este, Celendín está en contacto estratigráfico

con las Formaciones Jumasha y Crisnejas (el ultimo es la facie oriental de las Formaciones Chulec y Pariatambo). Esta zona está sobre escurrida hacia el este sobre un anticlinal de las Formaciones Chimú, Santa Carhuaz y Crisnejas.

Intrusiones y Mineralizacion

El Pórfido de Cuarzo Monzonita de Antamina es de múltiples fases (9.8 Ma, McKee et al., 1979) y tiene el skarn de Cu-Zn desarrollado alrededor de él. Hay una intrusión cercana de composición similar con un skarn angosto y débilmente mineralizado a 4.5 Km en Condorcocha.

Los stocks de Contonga y Taully se encuentran a 4 km al norte de Antamina e instruyen la Formación Jumasha. La composición es Cuarzo Monzonita y la textura varia de porfirítica a equigranular con alteración fílica. Los stocks son pequeños (300 m y 650 m de diametro respectivamente) y forman cilindros sub verticales con un delgado anillo de skarn de granate (promedio 3.2 m de ancho) con mineralizacion de Zn-Ag-Pb y bajo Cu que se ha minado en Contonga.

El Plutón Lucia (Propiedad de Estrella del Norte) se ubica a 7 km al SE de Antamina. Es un stock relativamente grande (4km x 2.5 km) de cuarzo monzonita y granodiorita con una textura equigranular en el cuerpo principal y porfiríticos en la parte NW. Instruye a la Formación Jumasha y tiene skarn de granate delgado desarrollado en el contacto con anchos de 0.5 a 2.5 m y longitudes de centenas de metros, así como las vetas en las calizas. Los skarns tienen mineralizaciones de Zn-Pb-Ag con bajo Cu. No ha recibido minería aparte de las labores e pequeños prospectos.

Clasificación de los tipos de Roca

Actualmente hay 156 tipos de roca identificados y logueados en el Depósito de Antamina. El zonamiento general del Skarn a partir del núcleo intrusivo hacia afuera es como sigue: endoskarn de granate café, skarn indeterminado, exoskarn mixto,

granate café y verde, exoskarn de granate verde, exoskarn de diopsida, exoskarn de wollastonita, hornfels, mármol, caliza. Las brechas heterolíticas compuestas de todos los tipos de skarn pueden ocurrir en todos los tipos de litología.

2.2.3. Estudios Conceptuales:

Un alcance típico comenzaría con una revisión de la información existente para desarrollar una comprensión inicial del entorno del sitio, incluida la fisiografía, geomorfología, clima, aguas superficiales, aguas subterráneas, geoquímicas y condiciones geotécnicas. Un proyecto en el que se desarrolle un nuevo yacimiento de la mina (greenfields), normalmente requeriría más esfuerzo que como un sitio existente, y puede requerir la preparación de estudios de referencia extensivos para respaldar los procesos de permisos y evaluación ambiental. Para un registro existente seguido de un análisis de brechas se debe realizar para definir el alcance de las investigaciones complementarias y los datos adicionales necesarios para apoyar la selección del sitio y las etapas avanzadas de diseño.

En la etapa de diseño conceptual, el alcance incluiría un estudio de destapado para desarrollar una comprensión inicial de la configuración del sitio. Esto puede incluir la interpretación de fotografías aéreas, la revisión de los datos climáticos regionales disponibles, la revisión de datos históricos y el análisis topográfico. Un reconocimiento inicial del sitio generalmente se llevaría a cabo para ayudar a validar los modelos conceptuales preliminares. El reconocimiento inicial del sitio puede incluir afloramiento, terreno y mapeo de arroyos. Para un nuevo emplazamiento, puede ser necesario un reconocimiento y una revisión por parte de un profesional con experiencia para cumplir con los requisitos reglamentarios financieros si los componentes de gestión de desechos de la mina formarán una parte significativa de los costos generales del proyecto. Para un sitio industrial, los datos de rendimiento real o

los vertederos de desechos o existencias existentes fundados en terrenos similares pueden ser invaluable para respaldar la caracterización de una instalación ampliada. La fisiografía del área del proyecto debe evaluarse en detalle como parte de los estudios iniciales de caracterización del sitio. La fisiografía tiene un impacto directo en el área disponible para vertederos y reservas y también afecta los costos de desarrollo. En terrenos montañosos, el sitio podría estar limitado por pendientes pronunciadas y restricciones topográficas. Los factores geológicos que podrían restringir el desarrollo también deben identificarse en una etapa temprana. Estos pueden incluir roca de fondo débil, depósitos de suelo débil o estructuras geológicas. Los peligros naturales potenciales pueden incluir avalanchas y deslizamientos de tierra, permafrost y glaciares (que pueden estar presentes en las latitudes del norte o extremo y / o en altitudes elevadas) y riesgo sísmico.

La caracterización geoquímica y la necesidad de un posible drenaje ácido de roca ácida pueden tener un impacto significativo en el diseño, la operación y el aislamiento de los vertederos y las principales reservas, y es necesario desarrollar una comprensión inicial al inicio del proceso de diseño. Los procedimientos detallados para la caracterización geoquímica de los vertederos de desechos y las reservas están fuera del alcance de estas directrices; sin embargo, en otro capítulo se proporciona una descripción general de la gestión del drenaje ácido de roca. Para una discusión detallada y orientación sobre la caracterización y gestión geoquímicas de los materiales de desecho mineros, el lector puede consultar la Red internacional para la prevención de ácidos Drenaje de roca ácida global (GARD) Guía (INAP 2009).

Planificación de Investigación de Campo

Luego de la finalización de los estudios conceptuales, las investigaciones de campo y la caracterización del sitio avanzarán progresivamente para respaldar las etapas de

prefactibilidad, factibilidad y operación detallada y de cierre del proyecto. Las investigaciones de campo son un componente clave del proceso de caracterización y diseño del sitio y normalmente se llevarán a cabo en cada etapa del proyecto. El trabajo de campo puede incluir típicamente estudios geofísicos, zanjas de prueba, picaduras de prueba, perforación, pruebas in situ, instalación de instrumentación, muestreo y pruebas de laboratorio.

En cada etapa del desarrollo del proyecto, es necesario identificar los vacíos de datos, que se deben cubrir durante las etapas posteriores de las investigaciones de campo. Cuando se identifican problemas específicos, es posible que se requieran investigaciones y pruebas más avanzadas o especializadas para confirmar que los estudios de caracterización son válidos para áreas específicas que se están considerando para vertederos y almacenamiento de reservas, y para obtener información específica del sitio sobre las condiciones del suelo y la roca de base, topografía, aguas superficiales y subterráneas. Las investigaciones de campo deben ser lo suficientemente exhaustivas como para proporcionar datos suficientes para respaldar el nivel de diseño del vertedero de desechos o de la reserva para cada etapa del proyecto, y también deben diseñarse para capturar todas las condiciones del sitio que podrían afectar la estabilidad (tanto positiva como negativamente). Las investigaciones inadecuadas sobre el sitio pueden dar como resultado retrasos en el proceso de diseño, un diseño demasiado conservador o un diseño de alto riesgo.

2.2.3.1. Métodos de Caracterización del Sitio:

El proceso de diseño de vertederos y reservas incluye el desarrollo de los siguientes modelos:

- geológico
- hidrológico (clima y agua superficial)

- hidrogeológico (agua subterránea)
- geoquímico
- geotécnica (suelo de cimentación y roca de fondo)

Como se discutió anteriormente, el Comité de Investigación de la Pila de Residuos de Minas de la Columbia Británica (BCMWRPRC) publica una serie de informes, incluido el Manual de Investigación y Diseño de 1991 - Pautas provisionales (BCMWRPRC 1991a), que abarca la investigación y el diseño de los vertederos de desechos mineros. Las técnicas de investigación y caracterización asociadas con cada una de las áreas de estudio clave presentadas en el Manual de Investigación y Diseño. Estas pautas provisionales se han actualizado para este libro para reflejar el estado actual de la práctica. Las pautas provisionales incluyen características importantes, la selección del sitio y las implicaciones de diseño, las fuentes de información disponibles y los métodos típicos de investigación de campo por etapa de diseño.

La caracterización de la configuración del agua superficial y del agua subterránea es un componente esencial de cualquier instalación de descarga y almacenamiento de residuos de la mina. Las áreas con alta precipitación y aguas subterráneas poco profundas pueden ser un desafío en términos de gestión del agua. Las áreas de captación y la ubicación de los arroyos, lagos y humedales deben ser consideradas. La profundidad del nivel freático y la distribución de las zonas de recarga y descarga de agua subterránea pueden afectar la estabilidad y la calidad del agua y deben evaluarse.

2.2.3.2. Áreas de Estudio

Fisiografía y Geomorfología

Fisiografía se refiere a las características físicas de la superficie del sitio. Las condiciones fisiográficas indeseables, como pendientes pronunciadas, falta de capacidad de almacenamiento requerida, áreas bajas sujetas a inundaciones y áreas de

drenaje desfavorables, pueden afectar la idoneidad de los sitios disponibles, que a su vez influyen en la diferencia de distancia y elevación entre la instalación y el pozo y la distancia de transporte requerida.

Geomorfológicos pueden incluir deslizamientos de tierra y flujos de escombros.

La información sobre la fisiografía y la geomorfología del sitio se puede obtener a través de la detección remota y el análisis de imágenes, incluidos los estudios de detección de luz y alcance (LIDAR), imágenes satelitales del sitio, fotografías aéreas, análisis del terreno y revisiones geológicas. Estas fuentes son útiles para desarrollar una comprensión inicial del sitio físico y para la planificación de los programas subsiguientes de reconocimiento e investigación de campo.

2.2.3.3. Campos de Investigación para Condiciones Geotecnicas

Planificación de Investigaciones Geotecnicas de Campo

Los objetivos clave de una investigación de campo geotécnico son desarrollar las propiedades del material y la litología de las condiciones del subsuelo, incluidas las condiciones del agua subterránea, para respaldar los análisis y el diseño. La caracterización preliminar del sitio debe llevarse a cabo en la planificación de las investigaciones de campo. Por lo general, excluyendo el reconocimiento inicial, la primera investigación de campo se llevaría a cabo para respaldar el estudio de prefactibilidad, y en esta etapa se deben revisar los modelos conceptuales desarrollados para los modelos geológico, hidrológico, hidrogeológico, geoquímico y geotécnico del sitio. La planificación incluiría el desarrollo de métodos de investigación de campo específicos para las ubicaciones de prueba, muestreo y reconocimiento. En general, todos los objetivos para la recolección de datos deben establecerse antes de comenzar el trabajo en el sitio.

La información de la investigación de campo debe enviarse al ingeniero de diseño tan pronto como esté disponible en el sitio. Esto permite modificar el programa de investigación a medida que se obtiene nueva información del subsuelo. Si se encuentran depósitos significativos de suelos problemáticos o características tales como fallas y sumideros, se pueden requerir investigaciones subsuperficiales adicionales, incluyendo geofísica, pozos de prueba y / o perforaciones. Después de las investigaciones iniciales, se llevarán a cabo investigaciones más específicas para recopilar datos avanzados para apoyar un diseño más detallado.

Las fuentes de datos para la caracterización del sitio y para la planificación de las investigaciones de campo se presentan en las siguientes secciones.

Investigaciones de la Fundación

Los materiales de desecho de roca y arsenales exhiben comúnmente una alta resistencia a la fricción y, en muchos casos, la estabilidad del basurero o almacenamiento se controla mediante la fuerza y la presión de los poros en la cimentación. Las características de la base, incluida la resistencia y la conductividad hidráulica, tendrán un efecto importante en el diseño de la instalación. El alcance de una investigación de la fundación variará dependiendo de si la preocupación principal es el suelo o el lecho rocoso, y puede incluir geofísica, pozos de prueba, zanjas y / o perforaciones y requiere pruebas in situ y recolección de muestras para su clasificación y prueba de laboratorio. Una investigación subsuperficial diseñada o inadecuada que no proporcione los datos necesarios para llenar los vacíos de conocimiento puede requerir el uso de criterios de diseño más conservadores. Cuando la geología de la financiación de un vertedero de desechos o de una reserva no se investigue adecuadamente, puede que no sea factible determinar o evaluar todos los modos posibles de inestabilidad.

suelo sobrevertido

La caracterización del suelo de la cimentación debe incluir el origen, la naturaleza y la distribución de las unidades de suelo dentro del sitio. Se deben identificar las características y extensión de los suelos blandos o problemáticos. Se debe identificar la profundidad del lecho de roca o del suelo de la fundación competente. Es importante que los cantos rodados no se confundan con el lecho rocoso, por lo que la perforación normalmente se extiende a al menos 3 m en la roca competente para asegurarse de que el lecho rocoso se detecte correctamente. Existen muchos sistemas de clasificación de suelos a los que hacen referencia varias asociaciones estándar y que utilizan los profesionales de todo el mundo. Estos sistemas se pueden dividir ampliamente en dos tipos: los que se clasifican según el tamaño de las partículas y la plasticidad (Sistema de Clasificación Unificado de Suelos, ASTM D2487).

La clasificación del suelo realizada en el campo se confirma típicamente con las pruebas de laboratorio posteriores. Los registros de observaciones de campo y relaciones durante las investigaciones del sitio deben registrarse con suficiente detalle y documentarse para respaldar las etapas de diseño y cualquier etapa de investigación adicional.

Tipos de Suelo y Estratigrafía

El tipo de investigación del sitio estará influenciado por los suelos que se espera que se estimulen. Para seleccionar la comprensión del tipo de suelo y el espesor se requiere. Los suelos generalmente se clasifican como grava, arena, limo o arcilla dependiendo del tamaño de partícula y la plasticidad. Las arenas y gravas se clasifican como suelos de grano grueso y tienen un tamaño de grano mayor que 0.075 mm. Los sedimentos y arcillas se agrupan como suelos de grano fino, que tienen un tamaño de grano menos agrupados como suelos de grano fino, que tienen un tamaño de grano de menos de

0.075 mm. De acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (ASTM 2011a), los suelos se pueden agrupar en grava (76.2 a 4.75 mm), arena (4.75 a 0.075 mm) y limo y arcilla (menos de 0.075 mm). "Arcilla" se usa a veces para referirse a suelos que tienen tamaños de partículas de menos de 0.002 mm. Sin embargo, la clasificación de arcilla debe basarse en los límites de plasticidad y no de acuerdo con el tamaño del grano. El comportamiento de ingeniería de los suelos de grano grueso está principalmente influenciado por el tamaño y la densidad del grano, mientras que el de los suelos de grano fino está influenciado principalmente por la mineralogía del suelo. Los depósitos de suelo se forman bajo una amplia gama de condiciones naturales. Algunos de los tipos de suelo más comunes y sus modos de formación se enumeran a continuación. **ORGÁNICO:** Los suelos se desarrollan por acumulación de materiales orgánicos a partir del crecimiento y la descomposición de las plantas: la turba es un suelo orgánico derivado de la descomposición de materiales orgánicos que normalmente se encuentran en áreas de tierras bajas con un alto nivel freático. La turba se encuentra generalmente en áreas costeras y regiones glaciares y tiene un color y un olor oscuros.

- Suelos Residuales: Son desarrollos por el almacenamiento in situ de la roca madre y cubren la superficie de la roca de la cual se producen.
- Depósitos Coluvianos: Incluyen depósitos de taludes, lavados de colinas y deslizamientos de tierra, que se transportan por gravedad.
- Depósitos Acolianos: Incluyen loess y las arenas de dunas, que se depositan por acción del viento. Estos depósitos son típicamente de arena y limo con gradación uniforme.
- Depósitos Aluviales o Fluviales: Son suelos transportados por ríos y arroyos.

- Suelos Glaciales: Son materiales depositados por acción glaciaria. Por lo general, consisten en una mezcla de diferentes suelos, incluidos adoquines o piedras, sepulcro, arena, limo y arcilla. Algunos de los principales depósitos glaciales son los siguientes:
- Glacial Till: es una mezcla de diferentes partículas de suelo y consiste principalmente en material grueso.
- Depósitos glaciares: Son suelos de grano fino depositados desde el agua de deshielo de los glaciares hasta lagos antiguos. La congelación estacional del lago durante la deposición durante el invierno puede contribuir a la formación de sedimentos y arcillas estratificadas.

Investigación y Requerimientos Técnicos

el alcance de una investigación inicial se determinará durante el estudio de escritorio del proyecto junto con la inspección / reconocimiento visual del sitio.

Se debe prestar atención a cualquier característica social, geológica, ambiental e hidrogeológica que pueda ser desfavorable para la construcción de la instalación.

El alcance de la investigación incluiría estimulaciones iniciales de la cantidad y ubicación de las perforaciones, pozos de prueba, pruebas de campo e instrumentación.

Como parte de la planificación de las investigaciones, además de determinar el alcance, se debe definir el equipo de campo requerido, la mano de obra, el cronograma, el costo y el acceso al sitio.

Debe existir un programa de control de calidad adecuado para cada fase de la investigación. La investigación de campo debe estar diseñada para proporcionar la siguiente información:

- La idoneidad del sitio para la descarga de desechos y la construcción de reservas, y si los riesgos asociados con el sitio están en un nivel aceptable.

- El impacto potencial de las instalaciones en el medio ambiente y el entorno.
- Una comprensión del suelo subsuperficial y estratigrafía.
- Diseño de parámetros para los materiales de cimentación.
- La elevación de la superficie del agua subterránea, incluida la distribución de los acuíferos y la variación estacional de la superficie del agua subterránea.
- Cualquier característica crítica en la cimentación (fisuras, grietas de tensión, zonas débiles, zonas remoldadas).
- Requerimiento de cualquier mejora de terreno o estructuras adicionales (lechada, desmonte, diques de desviación).

Investigaciones Geofísicas

Los métodos geofísicos son capaces de explorar grandes áreas de forma rápida y económica. Se pueden utilizar para identificar programas donde se realice una mayor investigación. Muchas de las técnicas de prueba no son intrusivas. Los levantamientos geofísicos pueden proporcionar información útil con respecto a las condiciones del subsuelo a lo largo de la alineación del levantamiento, pero deben verificarse perforando pozos y excavando pozos de prueba. La información que se puede obtener a partir de estudios geofísicos incluye la estratigrafía y profundidades generales del suelo, la profundidad del lecho de roca, la profundidad del nivel freático y la ubicación de las características de los cimientos, tales como cavidades, zonas de falla y canales de ríos enterrados.

2.2.3.4. Caracterización de Materiales

Este capítulo describe la caracterización del material realizado para respaldar la planificación y el diseño de los vertederos de desechos de la mina o las principales instalaciones de almacenamiento. La caracterización de los materiales sobre los cuales se basará el basurero o las existencias y los materiales de relleno que se utilizarán para

construir el basurero o la reserva se realiza para reunir una base de conocimientos de las propiedades geotécnicas necesarias para respaldar los análisis y el proceso de diseño.

Los estudios de caracterización del sitio y las investigaciones de campo, que se analizan anteriormente, son componentes clave del proceso de caracterización del material. La caracterización del sitio establece la configuración general y el contexto, y se utiliza para ayudar a determinar las propiedades del material. Se realizan investigaciones de campo para recopilar datos geotécnicos sobre las condiciones in situ y para recoger muestras para pruebas de laboratorio.

Para los emplazamientos industriales abandonados, el rendimiento de los cimientos existentes y los materiales de relleno de desecho o almacenamiento pueden proporcionar datos geotécnicos importantes para respaldar el diseño y los análisis. Para los sitios de nueva construcción, es posible que se deban recopilar datos de caracterización de materiales para respaldar los informes de línea de base para los procesos de permisos o para los estudios de decisión de proyectos, además del apoyo para el diseño y análisis.

El alcance requerido de los programas de caracterización de materiales y pruebas de laboratorio es una función de la etapa del proyecto, el potencial de inestabilidad y el nivel de riesgo. El vertedero de desechos y la clasificación de estabilidad de las existencias y el sistema de clasificación de peligros presentados, pueden utilizarse para evaluar el nivel de peligro y proporcionan orientación sobre los detalles de las investigaciones que pueden requerirse para definir adecuadamente las características del material. Por cada volcado de clase de riesgo de baja inestabilidad y etapas iniciales del proyecto, las propiedades se pueden inferir y validar con investigaciones de campo limitadas. Para etapas más avanzadas de diseño, y para vertederos de clase de riesgo

de inestabilidad moderada a muy alta, se realizarán típicamente investigaciones de campo más detalladas y específicas y programas completos de pruebas de laboratorio. Los resultados de los estudios de caracterización de sitios y materiales se utilizan para las etapas de selección, diseño y análisis de sitios y se desarrollan a través de ellos. Se necesita una subestimación de las propiedades del material para admitir los diversos modelos físicos descritos y para definir los parámetros de entrada necesarios para los análisis y diseños posteriores.

Definiciones

Los vertederos y las reservas de desechos de la mina se pueden encontrar en suelos sobrecargados que cubren la base de la roca, directamente en las bases de la roca. Los materiales que componen estas estructuras pueden estar compuestos de suelos sobrecargados que se eliminan durante las operaciones de remoción de tiras, la roca de desecho de roca o el relleno de roca volado. Los vertederos también pueden estar compuestos de materiales residuales de operaciones de lixiviación (ripios). Los depósitos de reserva pueden componer suelos con sobrecarga orgánica o mineral y materiales de relleno de mineral de roca triturado o corrido o de baja calidad.

En este capítulo, la caracterización de los materiales se describe por separado para suelos y rocas tanto para cimientos como para materiales de relleno, y para rellenos mixtos. El Manual de Ingeniería de la Fundación Canadiense (CGS 2006) proporciona las siguientes definiciones para distinguir el suelo de la roca:

- El Suelo es la porción de la corteza terrestre que es fragmentaria, de tal manera que algunas partículas individuales de una muestra seca pueden separarse fácilmente mediante agitación en agua; incluye cantos rodados, adoquines, grava, arena, limo, arcilla y materia orgánica.

- La Roca es un agregado natural de minerales que no se puede romper fácilmente a mano y que no se desintegrará en un primer ciclo de humedecimiento y secado.

2.2.3.5. Materiales de Fundación

La distribución, el tipo, la estratigrafía y las condiciones del agua subterránea de los materiales de la cimentación pueden tener un impacto de control sobre la estabilidad y el rendimiento de un vertedero de desechos mineros, desechos de dragalinas o pilas de almacenamiento. Conforme a la pendiente y la forma de la cimentación, conforman el grupo de Condiciones de la Fundación del vertedero de desechos y la clasificación de estabilidad de las existencias y el sistema de clasificación de peligros. Algunas de las propiedades clave de la base que se necesitan para respaldar los modelos de constituyentes descritos en varios capítulos de esta área del libro se enumeran a continuación:

- Perfil del suelo, estratigrafía de profundidad a lecho de roca, posición del nivel freático.
- Condiciones del suelo in situ (densidad in situ y contenido de humedad).
- La presencia y distribución de suelos blandos y dispersivos, arcillas rápidas, permafrost, suelos residuales, suelos de turba y turberas y suelos susceptibles a la licuefacción.
- Clasificación de suelos (geología, clasificación de masas de roca).
- Estructuras de roca (juntas, fallas, contactos, diques y marcos, karst).
- Presencia de potenciales planos de debilidad en el suelo o roca de fondo (laminaciones, zonas de corte, fallas).
- Resistencia al cizallamiento, conductividad hidráulica, compresibilidad y durabilidad de los suelos y roca de fondo.

2.2.3.6. Cimentación de Suelos

Los suelos de las fundaciones incluyen los materiales sobrecargados que quedan en su lugar dentro de la huella del vertedero o la reserva; Estos pueden incluir rellenos, suelos y suelos residuales. Las propiedades de los suelos sobrecargados dentro de la huella son importantes, ya que pueden controlar la estabilidad general del volcado y el rendimiento durante las operaciones y pueden influir en las consideraciones de cierre. Los constituyentes del suelo de cimentación son las diversas partículas que forman la masa del suelo. Estos incluyen los siguientes tipos de materiales:

- Materias orgánicas (de origen no mineral).
- Partículas de grano fino (limos y arcillas).
- Las partículas de grano grueso (arenas y gravas).
- Combustas (tamaño 75-300 mm).

Las almas fundamentales pueden subdividirse por el comportamiento en suelos cohesivos (aquellos que permanecen intactos cuando se enrollan o que se pegan entre sí cuando están húmedos) y los suelos no cohesivos (cohesivos) que se deshacen cuando no están confinados. Las siguientes secciones presentan métodos para la caracterización de suelos de cimentación.

Descripción y Clasificación del Suelo

Es importante entender la distinción entre la clasificación del suelo y la descripción del suelo como se usa en este capítulo:

- La clasificación del suelo implica agrupar el suelo en categorías según los parámetros seleccionados. La clasificación se puede lograr mediante métodos visuales o táctiles a partir de datos in situ y / o pruebas de laboratorio. Independientemente del sistema de clasificación empleado, la clasificación

sola captura toda la información de ingeniería importante necesaria para respaldar el análisis y el diseño.

- La clasificación del suelo es un componente de una descripción del suelo.
- La descripción del suelo proporciona otra información importante, como el comportamiento, la consistencia de la densidad, la condición de humedad del campo, el color y la estructura del suelo.

Descripción del Suelo

La descripción de los suelos de la fundación por lo general se realiza en el campo basado en un examen visual y el mapeo de las exposiciones naturales, pozos de prueba, zanjas y perforaciones. Los resultados de cualquier estudio geofísico que se haya realizado y las pruebas de índice de laboratorio que se analizan se utilizan para complementar y confirmar las descripciones de los campos. Esta información permite identificar y caracterizar las diferentes unidades de suelo. Los descriptores visuales de las características del suelo deben basarse en los estándares aplicables para la jurisdicción en la que se encuentra el proyecto, algunos ejemplos de los cuales se enumeran a continuación: Investigación de sitio geotécnico - Como 17266: 1993 (Standars Australia 1993) -Código de práctica para investigaciones de sitios - BS 5930: 2015 (British Standars Institution 2015) -Investigación y pruebas geotécnicas - Identificación y clasificación de suelos - Parte 1 - BS en ISO 14688 - 1 y Parte 2 - BS en ISO 14688 - 2 (British Standars Institution 2002, 2004) -Canadian Foundation Engineering Manual (CGS 2006) Euro código 7: Diseño geotécnico, parte 1: Reglas generales - es 1997-1: 2004 (CEN 2004) y Parte 2: Investigación y pruebas en tierra En 1997-2: 2007 (CEN 2007) Práctica estándar para la clasificación de suelos con fines de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos) - ASTM D2487-11 (ASTM

2011a) -Práctica estándar para la descripción e identificación de suelos (Visual-Manual Procedimiento) - ASTM D2488-09a (ASTM 2099b).

Propiedades del Índice de Suelo

Para vertederos de bajo riesgo de inestabilidad o etapas muy tempranas del diseño, las propiedades de índice de un suelo pueden utilizarse para proporcionar una estimación preliminar del rendimiento esperado de los suelos de la cimentación en términos de resistencia, conductividad hidráulica y compresibilidad. A medida que aumenta el peligro de inestabilidad, y para etapas posteriores del desarrollo de proyectos, se recopilan datos adicionales y se completan pruebas de muestra para refinar estas estimaciones iniciales.

Distribución del Tamaño de Partícula

Una distribución de tamaño de partícula (PSD) (también denominada curva de distribución de tamaño de grano) presenta la distribución de la masa seca de un suelo en función del tamaño de partícula. La división entre categorías de tamaños de particiones varía según los diferentes sistemas de clasificación. Por lo general, el contenido de finos (o finos) se define como el porcentaje que pasa por el tamiz N ° 200 (abertura de 0.0029 pulgadas) o el tamaño del tamiz de 075 mm. La distribución del tamaño de partícula se puede determinar utilizando ASTM D422-63 (2007) y C136 / C136M (ASTM 2007a, 2014d). En suelos sin cohesión, la PSD puede proporcionar información sobre la competencia y la resistencia al corte de los suelos. En suelos cohesivos, la PSD proporciona las propiedades de la muestra que son finas y de grano grueso y pueden ayudar a comprender el comportamiento del suelo.

La PSD se puede caracterizar como bien graduada (que comprende un rango distribuido uniformemente de tamaños de partícula), o pobremente graduada (que comprende una distribución desigual de tamaños de partícula), graduada

uniformemente con un rango limitado o tamaño de partícula único, o con graduación (con huecos la distribución del tamaño). La forma de la curva PSD se puede caracterizar y cuantificar de manera objetiva utilizando los índices de coeficiente de uniformidad (C_u) y de coeficiente de curvatura (C_c), que se definen como se muestra en las ecuaciones.

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad C_C = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} \quad (\text{Eqn 5.1, Eqn 5.2})$$

where:

D_{60} = particle diameter (in mm) corresponding to 60% of the sample passing by weight

D_{30} = particle diameter (in mm) corresponding to 30% of the sample passing by weight

D_{10} = particle diameter (in mm) corresponding to 10% of the sample passing by weight.

Forma de la Partícula

La forma de las partículas de grano grueso se debe describir en términos de su esfericidad y angularidad, cada una de las cuales puede afectar el comportamiento de resistencia al corte de un suelo (Mitchell y Soga 2005). Bajo presiones de confinamiento de bajas a medias, se espera que las partículas angulares resulten en un mayor entrelazamiento de partículas y, por lo tanto, una masa de suelo más fuerte. Bajo altas presiones de confinamiento, el reordenamiento. Las densidades mínimas y máximas de un suelo también dependen de la forma de las partículas, especialmente en la arena (Biarez y Hicher, 1994). Varios autores han publicado gráficos visuales que se pueden usar para clasificar la forma de las partículas (por ejemplo, Powers 1953; Krumbein y Sloss 1963), y existen programas de software comercial que utilizan imágenes digitales para definir PSD y también proporcionan indicaciones de la forma de las partículas (Maerz et al. 1996). La figura 5.1 presenta formas típicas de partículas de suelo.

Contenido de Agua

El contenido de agua o humedad tanto en el suelo como en el relleno de roca se define como la masa de agua dividida por la masa de sólidos secos, y generalmente se expresa como un porcentaje. El contenido de humedad se puede determinar utilizando ASTM D4643-08 (ASTM 2008a) o ASTM D2216-10 (ASTM 2010d). En suelos sin cohesión saturados, el contenido de humedad in situ, si se recolecta con precisión durante el muestreo, puede proporcionar una indicación de la proporción de vacíos y la densidad del suelo, que junto con los resultados de otras pruebas de laboratorio pueden ayudar a comprender la resistencia al corte y la compresibilidad y potencial de licuefacción. El contenido de agua in situ en suelos de grano fino se puede comparar con los límites de Atterberg y proporciona una indicación del comportamiento probable del suelo, incluidas las propiedades de resistencia al corte, consolidación y deformación condiciones de campo de partido. Las mediciones de densidad y humedad in situ son necesarias cuando se reconstituyen muestras. Para algunas etapas avanzadas de investigación donde puede no ser posible o práctico remover los suelos débiles de grano fino de la cimentación antes de la construcción del vertedero de desechos o de la reserva, se pueden requerir pruebas in situ para determinar la resistencia al corte disponible. Los métodos de prueba in situ incluyen pruebas de corte de paletas (ASTM D2573 / D2573M-15) y pruebas de penetración de cono (ASTM D5778-12).

Resistencia al Cizallamiento Drenada

La resistencia al cizallamiento drenada de un suelo es la resistencia efectiva debido al contacto de partículas internas con una presión de poro de escasa insignificante y se expresa típicamente en términos de fricción y cohesión de Mohr-Coulomb. El parámetro de resistencia al corte efectivo resumido en la tabla 5.5 solo es aplicable en el caso de condiciones de carga drenada en las cuales cualquier presión de poro de

escisión inducida por la carga se disipe de forma rápida y completa por el drenaje interno.

Resistencia al Corte No Drenado

En una masa de suelo saturada, se produce una condición sin drenar cuando la velocidad de carga es mayor que la velocidad a la que el agua de los poros puede drenar fuera del suelo. Como resultado, la mayoría si la carga es tomada por el agua de los poros, lo que resulta en un aumento de la presión del agua de los poros y la disminución de la tensión efectiva. Si la presión de los poros aumenta hasta el punto en que la tensión efectiva se vuelve cero (es decir, equivalente a la tensión de confinamiento), se producen condiciones completamente sin drenaje y la resistencia al corte del suelo se rige por su resistencia sin drenaje. El parámetro de presión de poro B se usa en pruebas de laboratorio para confirmar la saturación y también se puede usar en análisis de estabilidad para investigar los efectos o el comportamiento parcialmente drenado en los suelos de los cimientos. B se define de la siguiente manera:

$$B = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma_c}$$

(donde Δu es el cambio en la presión de poro y $\Delta \sigma_c$ es el cambio en la tensión de confinamiento). La resistencia al corte no drenado de los suelos de grano fino se correlaciona bien con el índice de liquidez (LI) (Vardanega y Haigh 2014), que relaciona el contenido de humedad natural (w) con el límite plástico (PL) y el líquido (LL) con el suelo como sigue:

$$LI = (w-PL) / (LL-PL)$$

Las mediciones de la resistencia de las cizallas sin drenar de un suelo saturado de grano fino se pueden obtener utilizando técnicas de prueba in situ convencionales (p. Ej., Cizalla de paletas, pruebas de penetración de conos o penetración de cono) o en el

laboratorio. (ASTM D2850-15; ASTM 2015g) En los casos en que los suelos susceptibles a la licuefacción pueden ser sometidos a una carga sísmica, pueden necesitarse pruebas triaxiales cíclicas y otras pruebas de laboratorio más sofisticadas. En tales casos, la penetración estándar o la prueba de penetración de cono también se realiza para ayudar a evaluar el potencial de licuefacción. Las pautas para la investigación y el diseño de fundaciones sujetas a sacudidas sísmicas se pueden encontrar en Kramer (1996).

Conductividad Hidráulica

Se pueden usar ecuaciones simples de flujo de agua subterránea (como la ley Darcy) para calcular el flujo de agua en suelos saturados.

La ley de Darcy se basa en una relación lineal entre la velocidad de flujo y las fuerzas de transmisión. La conductividad hidráulica, comúnmente conocida como permeabilidad, es un parámetro importante en el diseño del basurero y de la acumulación de desechos, ya que controla la tasa de drenaje y la disipación de la presión de los poros tanto en el material de desecho como en el suelo y la base de la cimentación. La conductividad hidráulica de un suelo depende en gran medida de la gradación del material y, en particular, de la proporción de arcilla y limo.

		Coefficient of Permeability k (cm/s)											
		100	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
Permeability		High			Medium		Low	Very Low			Practically Impervious		
Drainage		Good					Poor			Practically Impervious			
Soil Type		Clean gravel	Clean sands, clean sand and gravel mixtures			Very fine sands, organic and inorganic silts, mixture of sand silt and clay, glacial till, stratified clay deposits, etc.			"Impervious" soils, e.g. homogeneous clays below zone of weathering				
					"Impervious" soils modified by effects of vegetation and weathering								

Figura 4: Coeficientes de Permeabilidad de los Materiales

Las pruebas de campo para obtener la permeabilidad in situ pueden implicar pruebas de cabeza descendente o de cabeza ascendente en pozos de agua subterránea y pruebas de empacadores en pozos. Las técnicas de laboratorio para determinar la conductividad hidráulica en suelos granulares se pueden determinar siguiendo la norma ASTM 2434 (ASTM 2006b).

Consolidación y Fluencia

Se producirá una deformación y luego se aplica carga a un material del suelo. La deformación vertical también se conoce como asentamiento. Para los suelos, la deformación total (final) será la suma del asentamiento inmediato (elástico), el asentamiento de consolidación (que ocurre con el tiempo) y el asentamiento secundario (que también ocurre con el tiempo). Asentamiento secundario también se conoce como fluencia. La consolidación de los resultados del suelo a partir de la expulsión de agua de los espacios porosos y provoca un aumento en la unidad a granel del suelo. La consolidación también puede aumentar la resistencia al corte y reducir la permeabilidad. La tasa de consolidación es controlada por la permeabilidad del suelo. En suelos de grano fino (limos y arcillas), la deformación bajo carga será más lenta debido a su permeabilidad relativamente más baja en comparación con los suelos de grano grueso. Una discusión detallada de la teoría de la consolidación se puede encontrar en Lambe y Whitman (1969). El procedimiento de laboratorio para determinar las propiedades de consolidación sigue la norma ASTM D2435 / D2435M-11 (ASTM 2011i).

Permafrost y Suelo Congelado

Las condiciones térmicas, incluidas las temperaturas del suelo esperadas a lo largo del tiempo, son consideraciones importantes en el diseño de vertederos de desechos y arsenales basados en el permafrost o en el suelo sometidos a congelación estacional;

puede ser necesaria una caracterización especial de los suelos sujetos a congelación. La caracterización del sitio, debe identificar áreas de permafrost continuo y discontinuo, y los horizontes del suelo que están sujetos a la congelación estacional. Desde una perspectiva geotécnica, un suelo de cimientos congelados a baja temperatura tendrá una alta resistencia. Sin embargo, si el suelo congelado es rico en hielo y se calienta cerca de las condiciones de descongelación, el arrastre asociado con el contenido de hielo puede reducir la resistencia de la base y provocar problemas de estabilidad o deformación. Es posible que se requiera una prueba de fluencia para el permafrost rico en hielo para determinar las propiedades de resistencia y deformación en el rango de temperatura. ASTM D5520-11 (ASTM 2011j) se puede usar para caracterizar las propiedades de fluencia de los suelos congelados.

2.2.3.7. Fundación Roca de Fondo

El carácter del Vertedero y el lecho de roca de la base de la reserva también puede ser un factor importante en la selección, diseño, operación y cierre del sitio. Aunque un basurero puede basarse en el suelo, la competencia y la estructura del lecho de roca subyacente pueden controlar la estabilidad. En algunos casos, los suelos débiles pueden ser removidos de debajo de las huellas del basurero o de la acumulación, exponiendo directamente la roca de fondo subyacente. En otros casos, el vertedero o la reserva de almacenamiento se pueden basar directamente en la roca de base (por ejemplo, vertederos de relleno en el pozo).

La caracterización geotécnica de los cimientos del lecho rocoso debe considerar la geología de ingeniería de la masa rocosa debajo de los cimientos, incluida la orientación y las características de las fallas, los planos y las juntas del lecho, y el sistema de flujo de agua subterránea y los patrones de drenaje de la superficie. El Capítulo anterior proporciona un resumen de los estudios de caracterización del sitio

que incluirían la investigación y la caracterización del lecho rocoso basado en el reconocimiento del terreno, el mapeo geológico, la perforación, los estudios geofísicos y otras técnicas apropiadas para la etapa del estudio, el potencial de inestabilidad y nivel o riesgo.

Los métodos para clasificar, probar y caracterizar las masas rocosas y rocosas están ampliamente cubiertos en muchas referencias bien conocidas, incluidas las Pautas para el diseño de pendientes a cielo abierto (Read and Stacey 2009), Rock Slope Engineering (Wyllie y Mah 2005), Engineering Rock Mass Classifications (Bienawski 1989), y se remite al lector a esos trabajos para una discusión más detallada sobre este tema.

Las siguientes secciones proporcionan una descripción general de los métodos de caracterización de la roca madre.

Estándares y Métodos de Caracterización de Rocas

Las normas clave de ASTM para la caracterización de rocas incluyen lo siguiente:

- Método de prueba estándar para determinar la designación de la calidad de la roca (RQD) de Rock Core - ASTM D6032-08 (ASTM 2008b).
- Práctica estándar para la perforación del núcleo de roca y el muestreo de roca para la exploración del sitio: ASTM D2113-14 (ASTM 2014f).
- Método de prueba estándar para la determinación del índice de resistencia de la carga puntual de las rocas y su aplicación a las clasificaciones de resistencia de la roca: ASTM D5731-08 (ASTM 2008c).

El método clave para la caracterización de rocas del ISRM de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas incluye lo siguiente:

- Método sugerido para la descripción cuantitativa de las discontinuidades en las masas rocosas (ISRM 1978a).

- Prueba y monitoreo de caracterización de rocas (ISRM 1981a).
- Descripción geotécnica básica de las masas de roca (ISRM 1981b).
- Métodos recomendados para determinar la resistencia de la carga puntual (ISRM 1985).

Geología del Lecho de Roca y Tipos de Rocas

La información básica sobre la geología fundamental y los tipos de roca generalmente se puede obtener a partir de informes geológicos regionales y de sitio. Se pueden utilizar muestras de núcleos de pozos para caracterizar las condiciones geológicas en profundidad. Las descripciones geológicas básicas de los tipos de roca, la alteración y el anclaje superficial se pueden usar en las etapas iniciales del proyecto para estimar las propiedades de la roca, incluida la resistencia y la durabilidad.

Fuerza de Roca Intacta

Una masa de roca se compone de un conjunto de bloques intactos separados por discontinuidades, como fracturas o articulaciones, fallas, arrugas y articulaciones de lecho o foliación. La resistencia de los bloques de roca intactos depende de una amplia gama de factores que incluyen la composición mineral, el tamaño del grano, la unión y la cementación de partículas, el tipo e intensidad de alteración, la meteorización y el origen y la historia de estrés de la roca. La resistencia de roca intacta es un parámetro de entrada clave en los sistemas de clasificación de masa de roca más utilizados (Bienawsky 1989) y en los métodos más utilizados para determinar la resistencia de masa de roca (Read and Stacey 2009). Para diseños conceptuales y preliminares, las estimaciones iniciales de la resistencia de la roca intacta obtenidas de la literatura (por ejemplo, Goodman 1989) pueden ser suficientes. Las estimaciones iniciales también se pueden obtener utilizando pruebas de campo simples como la prueba de fuerza de campo ISRM (ISRM 1981a) o un procedimiento similar definido en la Norma

Británica BS 5930: 2015 (British Standard Institution 2015). Para estudios más avanzados, campo, y las pruebas aleatorias de muestras de rocas intactas se realizan generalmente para refinar las estimaciones preliminares de la resistencia de las rocas intactas. Los métodos típicos para obtener la resistencia de la roca intacta del campo y las pruebas de laboratorio en muestras de núcleos se describen en los siguientes estándares. -Los métodos sugeridos por el ISRM para la caracterización, prueba y monitoreo de rocas: 1974-2006 (ISRM 2007). -Prueba de caracterización de rocas y monitoreo: Métodos sugeridos por el ISRM (ISRM 1981a). -Método de prueba estándar para resistencia compresiva y módulos elásticos de muestras de núcleo de roca intacta bajo diversos estados de estrés y temperaturas: ASTM D7012-14 (ASTM 2014g). Reposición de resistencia a la tracción: ASTM D3967-08 (ASTM 2008d). Resistencia a la tracción brasileña: ISRM (1978b).

Alteración y Meteorización

Las propiedades físicas y químicas de la roca pueden cambiar como resultado de una amplia gama de procesos geológicos, como una alteración hidrotérmica, metamorfismo de contacto y cambios en el estrés que alteran la mineralogía y el tejido de la roca. Los procesos químicos, como la oxidación y la sulfuración, también pueden alterar las propiedades de la roca. Además, las rocas cercanas a la superficie pueden estar sujetas a procesos físicos de calentamiento, como el secado y humectación cíclicos, la congelación y el deshielo, el calentamiento y enfriamiento, la exposición a humedad intensa y alta. La exposición a las aguas meteóricas también puede dar lugar a cambios químicos y físicos en la roca. El desarrollo de horizontes saprolíticos y lateríticos cerca de la superficie en algunos tipos de roca en climas tropicales es un buen ejemplo de cómo los factores ambientales pueden cambiar las propiedades de las rocas, incluida su resistencia intacta, el módulo de densidad y la conductividad

hidráulica. El grado de intemperie y la alteración de la roca de fondo de la fundación deben clasificarse cualitativamente utilizando métodos como los descritos en el ISRM (1981a).

Discontinuidades y Tejido

La aparición y la naturaleza de las discontinuidades, tales como fallas o cizallas, juntas o fracturas y venas pueden tener un impacto significativo en la resistencia de la masa de roca. Para caracterizar una discontinuidad, su resistencia al cizallamiento, orientación, posición y longitud deben obtenerse del mapeo de la superficie y del núcleo de perforación. Cuando se producen múltiples discontinuidades con una orientación y carácter comunes (es decir, conjuntos de discontinuidad), también es necesario comprender el espaciado entre ellos. Para una discontinuidad lisa y plana, puede ser suficiente caracterizar su resistencia al corte usando un criterio de Mohr-Coulomb simplificado que descuida la cohesión y la resistencia al esfuerzo normal como se ilustra:

$$\tau = c' + \sigma_n' \operatorname{tg} \phi'$$

τ : resistencia al corte
 c' : cohesión del macizo rocoso
 σ_n' : tensión normal
 ϕ' : ángulo de fricción interna

La ecuación usa el ángulo de fricción básico, que es diferente de los ángulos de fricción de pico y residual. En el caso de discontinuidades naturales que presentan asperezas superficiales, la discontinuidad se puede cuantificar utilizando varios criterios, incluido Mohr-Coulomb con inclusión de cohesión, la envoltura de falla bilineal de Patton (Patton 1966) y el enfoque propuesto por Barton y Choubey (1977), que es resumido en la ecuación de la Resistencia al Corte de Barton:

$\tau = \sigma_n \cdot \tan \left[\phi_r + JRC \cdot \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right]$
<p>ϕ_r : ángulo de fricción residual</p> <p>JRC: coeficiente de rugosidad de la junta (puede ser 0 si la junta es plana y lisa) = (joint roughness coefficient)</p> <p>JCS: la resistencia a la compresión simple de las paredes de la discontinuidad = (joint wall compression strength)</p>

Los parámetros JRC y JCS se pueden obtener a partir de tablas y correlaciones en Barton y Choubey (1977).

Se debe prestar especial atención a las discontinuidades rellenas, ya que la resistencia al corte disponible puede reducirse cuando parte o toda la superficie no está en contacto íntimo, sino que está cubierta por materiales de relleno blandos como la gubia de arcilla. Además, la presencia de presión del agua puede cambiar la tensión normal efectiva (Hoek 2007) y reducir la resistencia al corte disponible. La medición de la resistencia al corte de las discontinuidades se puede obtener de la prueba de corte directo utilizando procedimientos como los descritos en ASTM D5607-08 (ASTM 2008e) o en los métodos recomendados por ISRM para determinar la resistencia al corte (ISRM 1974).

La estructura o tejido se refiere a la disposición especial de los agregados minerales y otras características geológicas en una roca, como el lecho en rocas sedimentarias o la foliación o escisión que se forma en algunos tipos de rocas metamórficas. La estructura puede impartir una anisotropía en la que la resistencia a la compresión y al corte de la roca intacta y la masa rocosa varía según la dirección de la tensión aplicada. En el caso de rocas altamente anisotrópicas, la capacidad de carga y la estabilidad de la cimentación pueden verse afectadas negativamente. La anisotropía de resistencia debida al tejido se puede evaluar utilizando muchas de las técnicas de prueba de campo

y de laboratorio descritas probadamente al variar la dirección de las cargas y tensiones aplicadas.

Clasificación de la Masa de Roca

Como se discutió anteriormente, una masa rocosa está compuesta por bloques de roca intactos separados por discontinuidades, y su comportamiento bajo el estrés aplicado está controlado por la fuerza intacta de los bloques y la frecuencia, orientación y características de las discontinuidades. La clasificación de la masa rocosa proporciona una forma práctica de evaluar la calidad general y la competencia de una masa rocosa y comparar las condiciones de la masa rocosa. Además, como se discutió en la Sección 5.437, la clasificación de la masa rocosa es una parte integral en la evaluación de la resistencia de la masa rocosa. Bienawsky (1989) proporciona una discusión exhaustiva de una variedad de sistemas de clasificación de masas rocosas y su aplicación en el análisis y diseño de ingeniería. Uno de los sistemas más populares utilizados para la clasificación de masas rocosas para pendientes a cielo abierto y el diseño de cimientos de roca somera es el sistema de clasificación de masas rocosas (RMR). Este sistema se propuso originalmente en 1976 (Bienawski 1976) y requiere la selección de valores numéricos para cinco índices basados en lo siguiente: Resistencia a la compresión no confinada de la roca intacta. - designación de calidad de la roca (Deere 1963) -acceso a la discontinuidad -condiciones de superficies discontinuidades. condiciones del agua subterránea El RMR, que tiene un valor máximo de 100, es la suma de estos cinco índices. Una vez que se ha determinado el RMR, se pueden aplicar ajustes para tener en cuenta la orientación de las discontinuidades. Se han propuesto varias modificaciones al sistema RMR original desde que se introdujo originalmente, pero los fundamentos subyacentes no han cambiado. Otro sistema popular de clasificación

de masas de roca es el índice de resistencia geológica (GSI) propuesto originalmente por Hoek et al. (1995). Este sistema requiere la selección de dos parámetros: uno relacionado con el tamaño de los bloques y otro relacionado con el estado de la superficie de las discontinuidades. En cuanto a RMR, el valor máximo posible de GSI es 100

Fuerza de la Masa de Roca

Como se discutió en Read y Stacey (2009), existen muchos métodos diferentes para evaluar la fuerza de la masa rocosa, y su uso depende de la naturaleza de la masa rocosa y la preferencia del practicante individual. El criterio de Mohr-Coulomb, que se usa comúnmente para los suelos también se usa a menudo para las masas de rocas débiles como las saprolitas y otras rocas altamente meteorizadas o alteradas.

$$\tau = S_i + \tan \phi \quad (\text{Eqn})$$

where:
 ϕ = angle of internal friction
 S_i = shear strength intercept of the Mohr-Coulomb envelope.

Para masas de roca más fuertes donde la resistencia al corte se controla tanto por la resistencia intacta de la roca como por la resistencia al corte de las discontinuidades, a menudo se usa el criterio no lineal de Hoek-Brown (Hoek y Brown 1997).

2.3. Definición de Términos Básicos

- **Botadero:** Un botadero es un área física destinada para el acopio de desmonte, cuya disposición varía de acuerdo a la fisiografía del entorno.
- **Grietas de Tensión:** Grietas que se presentan en la plataforma del botadero, por lo general paralelas a la cresta del botadero.
- **Falla de Desgarre:** Deslizamiento que se produce en la cara del talud sin afectar considerablemente la plataforma, por lo general se producen a 5m de la cresta y en una extensión de 20 a 25m.

- **Asentamientos:** Deformaciones en la plataforma próximas por lo general a la cresta caracterizadas por generar escalonamiento y/o ondulaciones.
- **Dren de Doca:** Estructura permeable construida en base a material grueso, gravoso y resistente, cuyo objetivo es mantener un nivel freático bajo, al drenar el agua presente en el subsuelo, asimismo reducir las presiones de poros en la base de los depósitos de desmonte y depósitos de mineral.
- **Extensómetro Digital:** Instrumento que mide la deformación del terreno entre dos puntos uno ubicado en una zona estable y el otro ubicado en zona (potencialmente) inestable, consiste de un cable de acero que indica la distancia desplazada, al desplazar una pesa al lado de una regla graduada. Puede ser manual o digital.
- **Inestabilidad o Zona Inestable:** zona que presenta cierta deformación o movimiento, que puede evidenciarse por agrietamientos y/o asentamientos, y donde cabe la posibilidad de que se produzca una falla de terreno (deslizamiento), si la deformación se descontrola.
- **Velocidad (Razón) de Deformación:** velocidad con la cual se deforma o desplaza una zona inestable, habitualmente expresada en cm/h o mm/h.
- **Grafica de Desplazamiento Nula:** Problemas operativos del extensómetro.
- **Grafica de Desplazamiento Constante:** Deformación regular homogénea del botadero. Propio del crecimiento del avance frontal.
- **Grafica de Desplazamiento Lineal:** Presencia de aceleración constante de la deformación del botadero.
- **Grafica de Desplazamiento Exponencial:** Presencia de aceleración uniformemente variada (Aceleración/desaceleración).
- **Grafica de Desplazamiento Negativo:** Presencia de asentamientos rotacionales, anomalías operativas.

- **Bofedales:** Zona con presencia de humedales y suelos orgánicos de baja resistencia con humedad permanente, se caracterizan por localizarse en suelos hidromorfos, cuyas características principales son causa de la presencia estacional del agua.
- **Material Competente:** Son materiales de suelos que cumplen con ciertas características favorables para su empleo en construcciones de rampas y/o vías de acceso.
- **Distancia de Descarga:** Es la longitud medida desde la plataforma del botadero hacia la cresta del talud.
- **Extensómetro de Cable:** Instrumento que ayuda a identificar si el terreno se encuentra iniciando un proceso de desplazamiento, el proceso es medible y el cálculo del desplazamiento se realiza en cm/hora.
- **Inestabilidad o Zona Inestable:** zona que presenta cierta deformación o desplazamiento, esto es evidenciado por las lecturas del extensómetro.
- **Alerta por Inestabilidad:** Aviso que indica el nivel de riesgo asociado a una posible falla de terreno.
- **Granulometría:** Es la medición y gradación de las partículas y fragmentos que conforman un suelo o relleno. Una curva granulométrica permitirá conocer la abundancia de cada tamaño de fragmento de acuerdo a la gradación granulométrica.
- **Equipo de Carga Puntual (PLT):** Equipo portable diseñado para ejecutar ensayos de carga puntual. Consiste de una gata hidráulica que transmite presión al espécimen de roca a través de un marco de carga que cuenta con dos platinas cónicas que hacen contacto con el espécimen; un manómetro adosado a la gata muestra el nivel de presión aplicado.

- **Índice de Resistencia de Carga Puntual:** Índice que representa la resistencia de un espécimen de roca a aplicársele una carga puntual y provee un método para establecer clasificaciones de resistencia de roca o para determinar otras propiedades de roca intacta como resistencias uniaxiales compresivas (UCS ~ 20-25 veces IS (50)) y uniaxial tensional (UTS ~ 1.25 veces IS (50)). Se obtiene a través de un ensayo de carga puntual y se expresa habitualmente en MPa.
- **Resistencia a la Compresión Uniaxial (UCS):** Resistencia de la roca intacta al ser sometidos a esfuerzos compresivos. Habitualmente expresado en mega pascales (MPa).
- **Erosionabilidad:** La erosionabilidad es la facilidad con la cual el suelo puede ser desprendido y transportado por acción del agua. Este factor puede afectar la estabilidad de un talud, en cuanto produce cambios topográficos desestabilizantes o genera conductos internos de erosión.
- **Expansividad:** Los suelos arcillosos al contacto con el agua expanden su volumen produciéndose movimientos de extensión dentro de la masa del suelo. En suelos sensitivos se puede producir pérdida de resistencia al corte por acción del remoldeo generado por el proceso expansivo. La expansividad de un suelo se puede medir por medio de ensayos de presión de expansión o expansión libre o por su relación con los límites de plasticidad.
- **Meteorización:** Es la descomposición física o química produce alteraciones en la roca o suelo, las cuales modifican substancialmente los parámetros de resistencia y permeabilidad, facilitando la ocurrencia de deslizamientos. Parámetros Hidrológicos e Hidrogeológicos que se deben tener en cuenta en un estudio de deslizamientos.

- **Pendiente:** En este caso se refiere a la inclinación del terreno. Para cada formación, en un estado determinado de meteorización existe un ángulo de pendiente a partir del cual un talud es inestable. Mientras algunos suelos residuales de origen ígneo permiten ángulos del talud superiores a 45° , en Lutitas -73- meteorizadas saturadas éste no debe exceder los 20° y hasta valores de la mitad del ángulo de fricción.
- **Subsidencia:** Proceso de asentamiento y hundimiento vertical del terreno debido a varios factores, que pueden ser naturales (geológicos) o causados por el impacto de una gran variedad de actividades humanas. La subsidencia minera consiste en el hundimiento de la superficie del terreno con motivo de la deformación y/o colapso de labores subterráneas excavadas para la extracción de minerales, al intentar ocupar el suelo el vacío generado en los terrenos circundantes.
- **Permeabilidad:** La permeabilidad mide la resistencia interna de los materiales al flujo del agua y puede definir el régimen de agua subterránea, concentración de corrientes, etc. Los valores del coeficiente de permeabilidad varían de 100 cm/s, en roca fracturada o suelos compuestos por arenas y gravas, hasta 10 cm/s, en arcillas impermeables o en pizarras y granitos sanos.
- **Resistencia al Corte:** La resistencia al corte representa la modelación física del fenómeno de deslizamiento. Los parámetros de ángulo de fricción y cohesión determinan el factor de seguridad al deslizamiento de una determinada superficie dentro del terreno. Los ángulos de fricción varían de cero en materiales muy blandos, a 50 grados en gravas angulosas o mantos de arenisca y las cohesiones de cero en materiales granulares limpios, a más de 10 kg/cm² en suelos muy bien cementados y valores superiores en las rocas masivas.

- **Sensitividad:** La Sensitividad se define como la relación de la resistencia pico al corte entre una muestra inalterada y otra remoldeada. En algunos suelos arcillosos esta relación puede ser hasta de 4, lo que equivale a que se pierde gran parte de la resistencia al remoldearse; y en la literatura se conoce de casos catastróficos, donde por acción del cambio de esfuerzos, el suelo se remoldea in situ, pierde su resistencia y se produce el deslizamiento.

2.4. Formulación de Hipótesis

El presente estudio de investigación presenta la siguiente hipótesis.

2.4.1. Hipótesis General

- El monitoreo de los Controles Geotécnicos determina la estabilidad en la ampliación del botadero Yanacancha, Compañía Minera Antamina.

2.4.2. Hipótesis Especifica

- Se pudo determinar cuáles son los principales tipos de material estéril que influyen en la estabilidad del Botadero Yanacancha
- Se logro definir cómo influye el comportamiento dinámico en la estabilidad del botadero Yanacancha.

2.5. Identificación de Variables

2.5.1. Variable Dependiente (Efecto):

- El monitoreo de los Controles Geotécnicos.

2.5.2. Variable Independiente (Causa):

- Estabilidad del botadero Yanacancha durante su ampliación en Compañía Minera Antamina.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Botadero de desmonte o material estéril, se refiere a una estructura geotécnica que alberga miles de toneladas de desmonte sin ningún valor económico, y está compuesto por materiales con propiedades mecánicas diferentes.

CAPITULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1. Tipo de Investigación

De acuerdo a su aplicabilidad la investigación que se lleva a cabo es del tipo de Técnico Aplicativo.

Con este tipo de investigación, se busca conocer, para hacer, para actuar, para construir, para modificar. Así mismo porque se requiere de un marco teórico. Mis resultados de esta investigación aplicada son para uso inmediato.

3.2. Métodos de Investigación

El método utilizado en la presente investigación es el método descriptivo-correlacional, porque se observarán los datos obtenidos para explicar la relación entre las variables, es decir, para saber en qué medida la variación de una de ellas afecta a la otra, con la finalidad de conocer su magnitud, dirección y naturaleza. Asimismo, no se descarta el empleo del método analítico-sintético. A través de este método, se descompondrán todas las variables para observar sus relaciones, similitudes,

diferencias, causas, naturaleza y efectos hacia otras variables, para luego reconstruirlas a partir de los elementos distinguidos por el análisis.

3.3. Diseño de Investigación

La presente investigación se adecuó a los propósitos de la investigación no experimental, debido a que no se manipulará la variable independiente, además, la investigación será transeccional correlacional-causal.

3.4. Población y Muestra

La población está representada por los botaderos de la Compañía Minera Antamina S.A.

3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

La metodología aplicada está ligada a la investigación misma. Estos incluyen la compilación bibliográfica, instrumentación geotécnica del lugar, caracterización geotécnica in situ, tecnología disponible, aspectos económicos, así como la situación, localización y tiempo, todos los cuales influyen en la calidad de la investigación.

3.6. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Se entiende por técnica de investigación, el procedimiento o forma particular de obtener los datos o información.

Para el recojo de información se utilizó los siguientes instrumentos:

Fuentes de información académica comprendiendo medios bibliográficos y electrónicos. Comunicaciones de ingenieros geólogos geotécnicos, cuya experiencia sirvió para reforzar el conocimiento sobre la estabilidad de taludes en estructuras geotécnicas. Se utilizaron los siguientes softwares en el procesamiento y análisis de datos:

- Análisis de Caida de Rocas (**Rocfall**)

- Análisis de Estabilidad de Botaderos (**Slide**)
- Monitoreo de Grietas de Tensión (**Autocad 3d Civil**)
- Velocidad vs Descargas (**SHMS, Oread, V2, Excel**)

El equipo técnico para la extracción de muestras fue importante para obtener información geotécnica de los diferentes materiales dispuestos en el Yacimiento Minero.

3.7. Tratamiento Estadístico

El tratamiento estadístico de datos se realizó a través del software integrador SHMS, OREAD y Rocscience; así mismo existen gráficos de barras y líneas, para un mayor entendimiento en el análisis de datos.

3.8. Selección, Validación y Confiabilidad de los Instrumentos de Investigación

La Validación y confiabilidad de los instrumentos cumplen los requerimientos de calidad para poder realizar los diseños y técnicas de monitoreo de estabilidad, con controles geotécnicos en el Botadero Yanacancha.

3.9. Orientación Ética

Se ha realizado un adecuado y correcto procedimiento desde la etapa de obtención de datos, análisis e interpretación; hasta su publicación, cumpliendo las normas establecidas para un trabajo de investigación.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Descripción del Trabajo de Campo

4.1.1. Ubicación

El área de estudio se encuentra dentro de las instalaciones de la Compañía Minera Antamina, el cual está ubicado en Yanacancha, en los Andes Peruanos, cerca al pueblo de San Marcos a una altitud entre 4,200 y 4,500 metros sobre el nivel del mar.

4.1.2. Accesibilidad

Se puede llegar a la mina Antamina por vuelo directo desde Lima o por carretera en 8 horas por la panamericana Norte. El acceso a la mina es por una vía asfaltada a 3.5 horas de manejo desde Huaraz (200 Km).

4.1.3. Clima

Durante el año, existen dos estaciones muy marcadas; la estación seca entre abril y septiembre, donde predomina el sol y es caliente durante el día, pero muy frío en la noche, y la temporada de lluvia, entre octubre y marzo

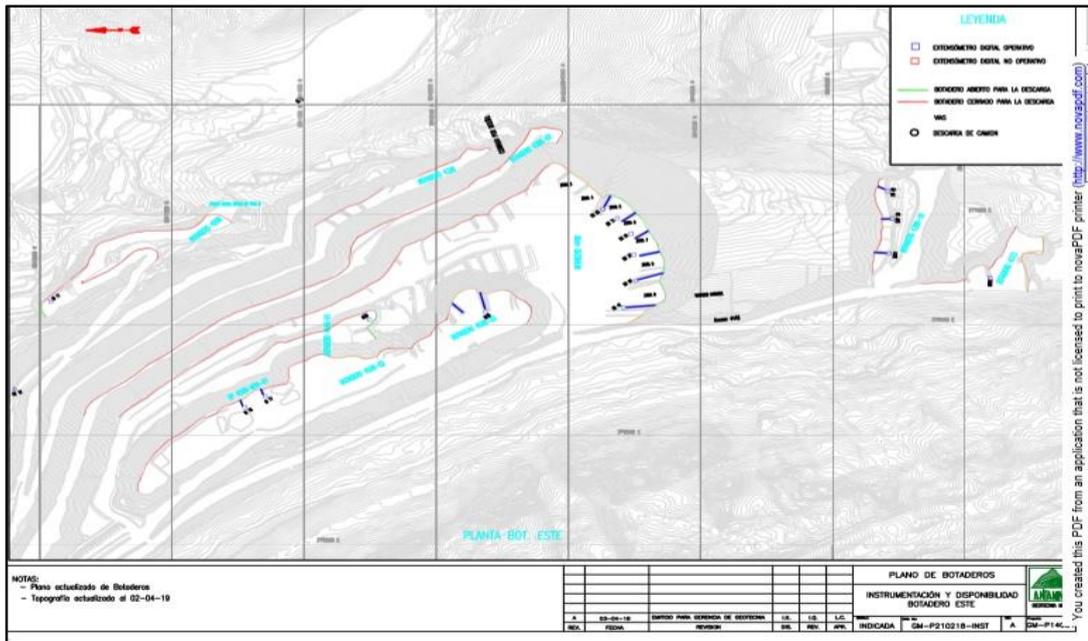


Figura 5: Plano del Botadero de Yanacancha, mostrando las diferentes plataformas de descarga por Niveles.

4.1.4. Botadero de Yanacancha

Es la estructura Geotécnica de grandes dimensiones que se encuentra al este de la Operación Minera de Antamina, su construcción es de forma ascendente. Se realizará el monitoreo para su estabilidad durante la ampliación, mediante la aplicación Controles Geotécnicos.



Figura 6: Vista Panorámica del Botadero de Yanacancha.

4.1.4.1. Clasificación Geológica de los Materiales

La disposición de estos obedece básicamente al tipo de material de desmonte que reciben; de acuerdo a la clasificación geológica tenemos tres tipos de desmontes:

Desmonte	Límites de metal / Restricciones	Destino
A	<ul style="list-style-type: none">• Hornfels/Calizas/Skarn/Intrusivo• > 0.15% Zn & > 0.04% As• > 3 % sulfuros; Óxidos visuales > 10%	Botadero Este
B	<ul style="list-style-type: none">• Hornfels/Calizas 0.07 – 0.15 % Zn• < 2-3 % sulfuros; Óxidos visuales < 10%	Botadero Este y Tucush
C	<ul style="list-style-type: none">• Hornfels/Calizas• < 0.07% Zn & < 0.04% As• < 2-3% de sulfuros totales; mínimo de óxidos	Botadero Este y Tucush

Figura 7: Clasificación Geológica de Desmonte

El botadero de Yanacancha recibe los tres tipos de material de desmonte, tiene tres etapas de construcción, la primera y segunda ya estaban completadas a mediados de 2015 con capacidades de 750 y 165 millones de toneladas, respectivamente. La tercera se proyectó para una capacidad de 1,410 millones de toneladas, con una altura máxima de descarga de 430 m.

4.1.4.2. Clasificación Granulometría de los Materiales

A continuación, se agrupan los materiales en tres grupos, según las dimensiones de su tamaño:

- Granulometría Fina: Comprende tamaños de 10 cm a menos.
- Granulometría Media: Comprende tamaños desde 10 a 30 cm.
- Granulometría Gruesa: Mayores a 30 cm

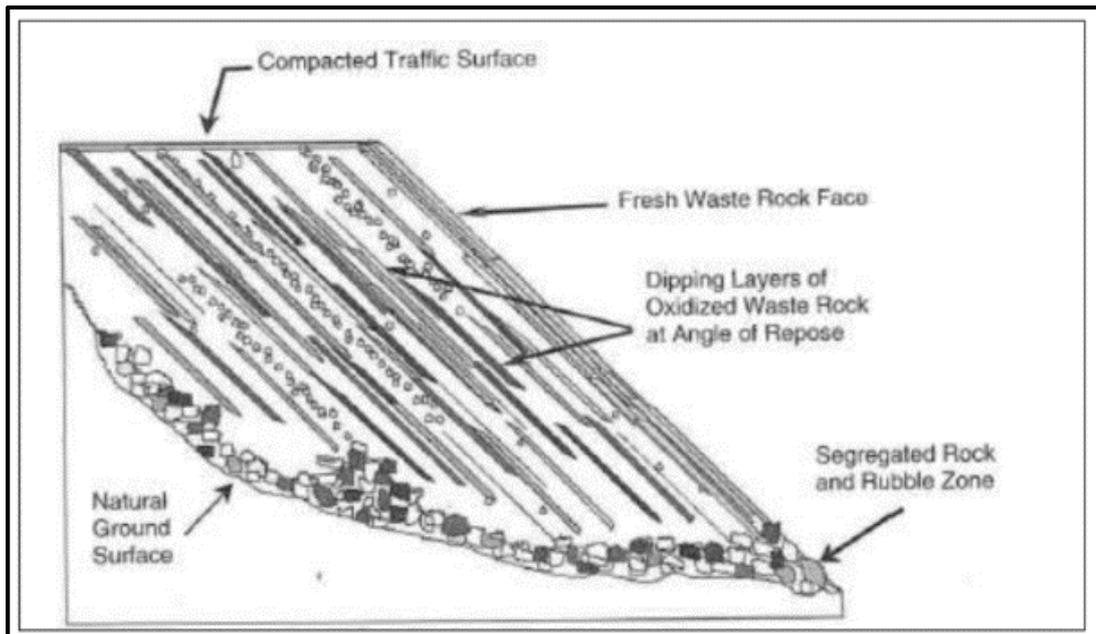


Figura 8: Disposición de los materiales según su granulometría en un botadero.

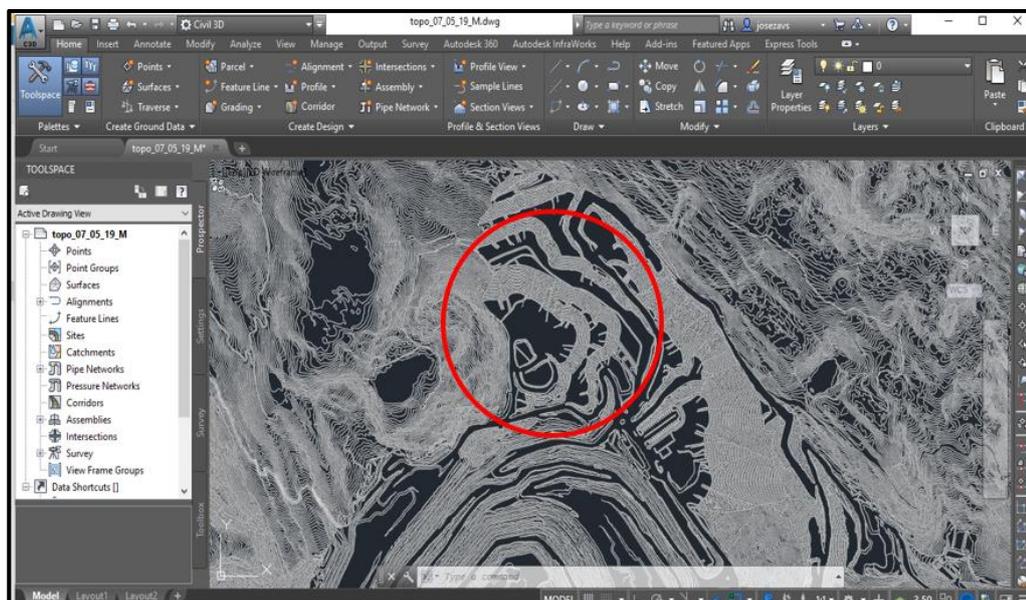
4.2. Presentacion, Analisis e Interpretacion de Resultados

4.2.1. Analisis de Caída de Rocas en el Botadero Yanacancha

Software: Autocad Civil 3D, Rocfall

A continuación se realizará una serie de pasos en el proceso de análisis de datos.

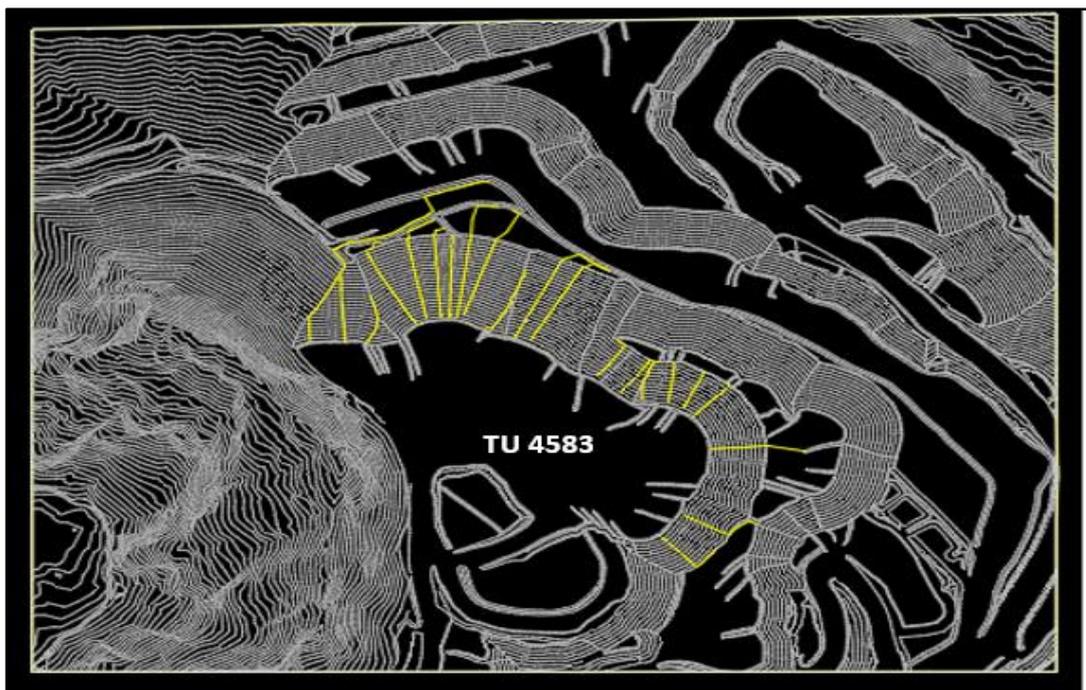
- a. Primeramente obtenemos la topografía de los Botaderos donde se requiere realizar los análisis, mediante el software Civil 3D.



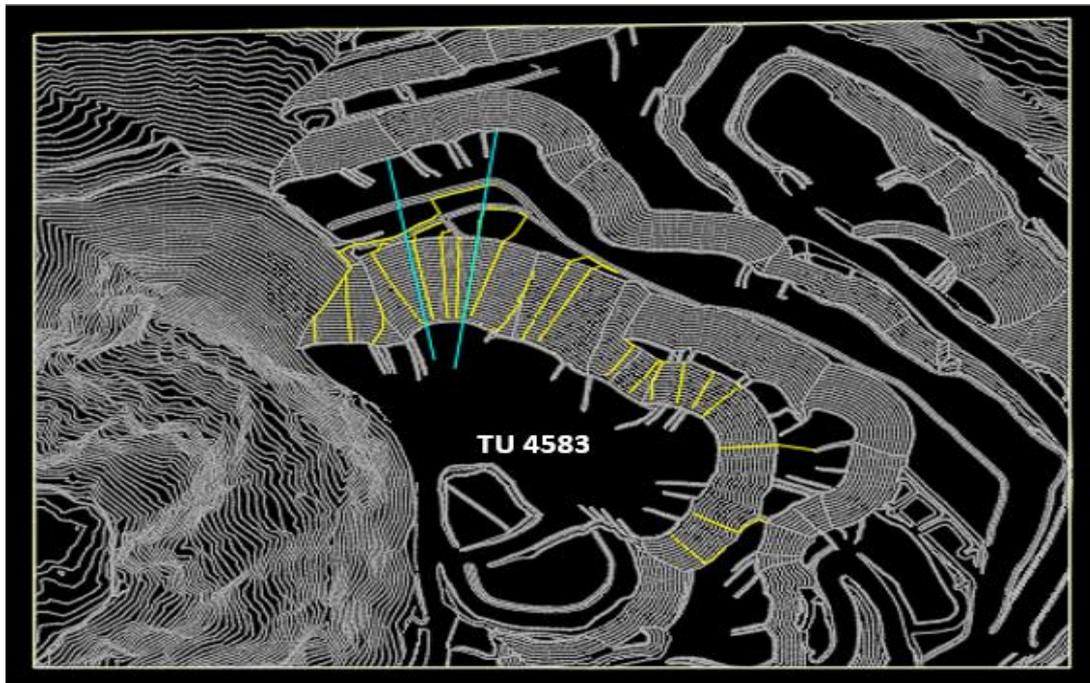
- b. Se identifica el Botadero y las zonas de descarga, que se encuentran vulnerables al desprendimiento de rocas.



- c. Analizamos la topografía mediante flujos de agua, para determinar las zonas de mayor pendiente.



- d. Construimos 2 perfiles principales, tomando en cuenta las zonas de mayor pendiente del Botadero.

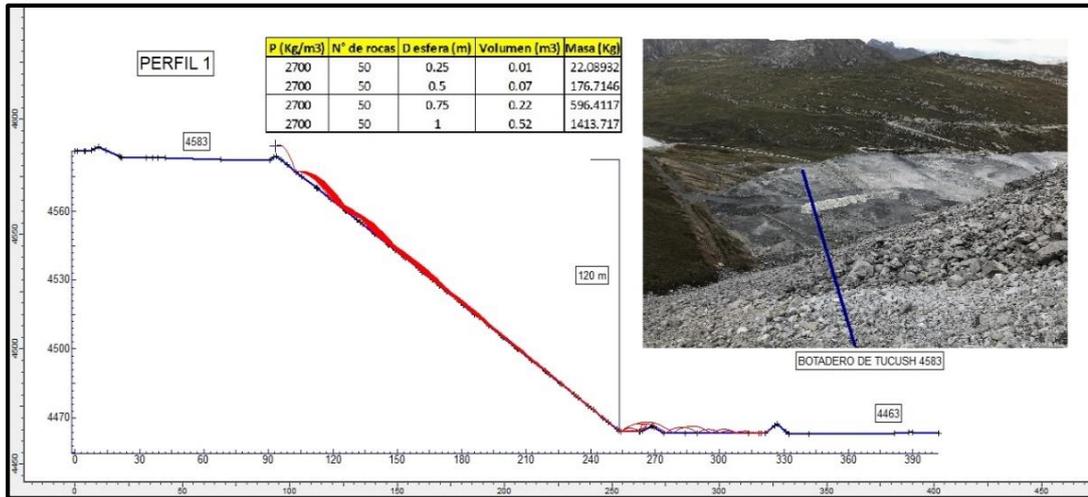


- e. Con la ayuda del software Rocfall, realizamos el análisis de caída de rocas en el Botadero TU 4583, para diseñar bermas de impacto, y evitar la interacción de materiales con las vías inferiores, durante el tránsito de equipo liviano y pesado. Se agregan los coeficientes de restitución de los materiales empleados en el análisis, en este caso solo será el de relleno.

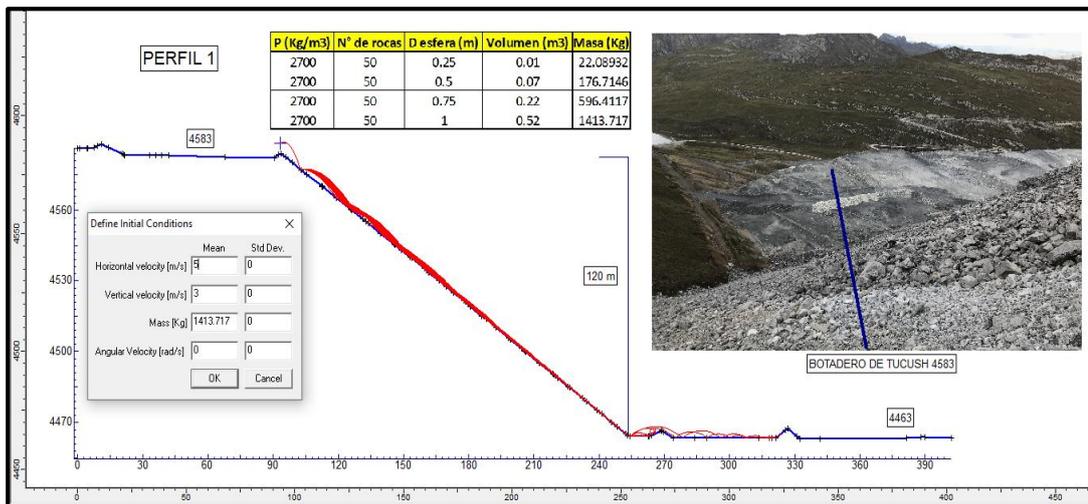
Name	Relleno		Color	
Coefficient of normal restitution (Rn)				
Mean	0.24	Standard Deviation	0.04	
Coefficient of tangential restitution (Rt)				
Mean	0.44	Standard Deviation	0.04	
Friction Angle (Phi) [degrees]				
Mean	30	Standard Deviation	2	
Slope Roughness [degrees]				
Mean = angle of segment		Standard Deviation	0	
Buttons: RN RT Table, RN RT Tutorial, Add, Delete, Default, Copy, Done				

Características del Perfil 01:

- Tenemos el Perfil 1 con una primera berma a 15 m del pie del talud, con una altura de 4 metros, y una siguiente berma a unos 40 metros, con una altura de 5 metros. El talud tiene una altura de 120 m.

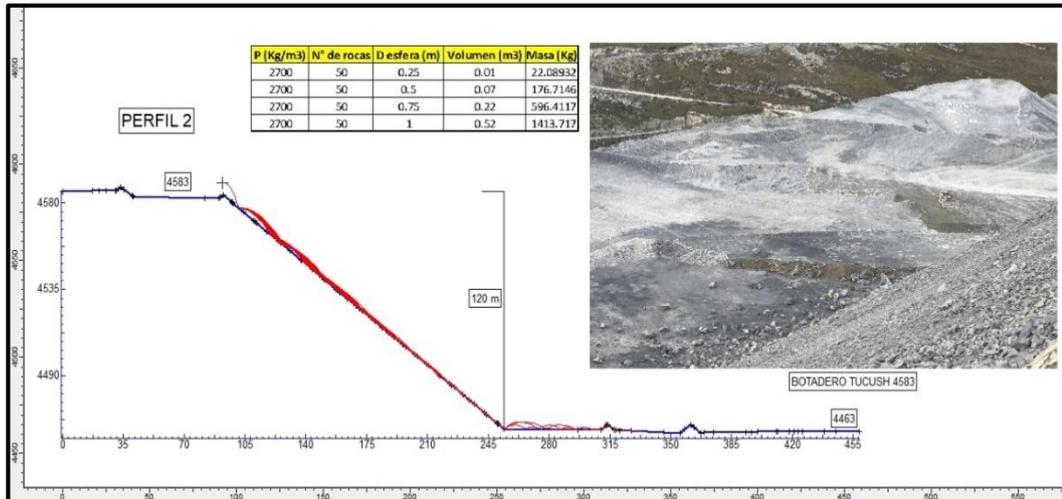


- Definiendo los coeficientes y condiciones iniciales de la esfera a caer, para el perfil 01.

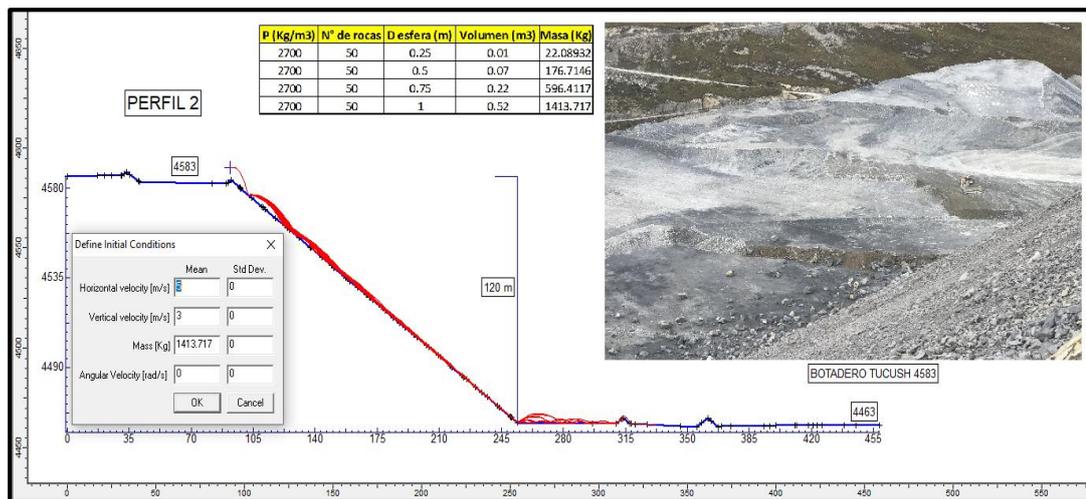


Características del Perfil 02:

- Tenemos al Perfil 2, el cual tiene una primera berma a unos 65 metros, con una altura 4 m, y una segunda berma a 105 m de la pata del talud, con una altura de 5 metros. La altura del talud se mantiene en 120 m.



- Definiendo los coeficientes y las condiciones iniciales de la esfera a caer, para el perfil 02.



Interpretacion de Resultados

Análisis de caídas de rocas en Botaderos

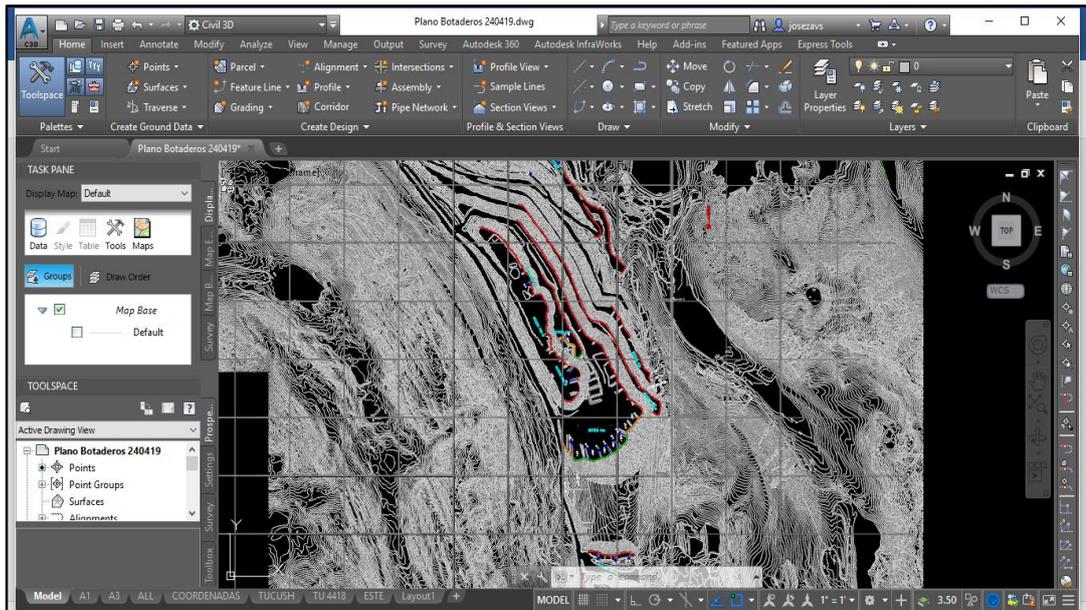
- Perfil 1, definiendo y modelando las condiciones iniciales de la dinámica de las esferas de roca, se concluye que las rocas llegan a impactar hasta la segunda berma de impacto, no pudiendo sobrepasar esta, por lo tanto, el diseño de la segunda berma de impacto es seguro.
- Perfil 2, definiendo y modelando las condiciones iniciales de la dinámica de las esferas, se concluye que las rocas llegan a impactar hasta la segunda berma de impacto, no pudiendo sobrepasar esta, por lo tanto, el diseño de la segunda berma es seguro.
- Las esferas de roca en el analisis de caida, tienen un diametro variables desde 0.25 metros a 1 metro, evaluándose con el mayor diametro y aun asi no se encontraron problemas.
- Por lo tanto, ambos diseños de bermas de impacto de los perfiles analizados, son aceptables, puesto que los materiales que caen producto de las descargas en la cresta, sobrepasan la primera barrera o berma, pero no la segunda.

4.2.2. Analisis de Estabilidad en el Botaderos Yanacancha

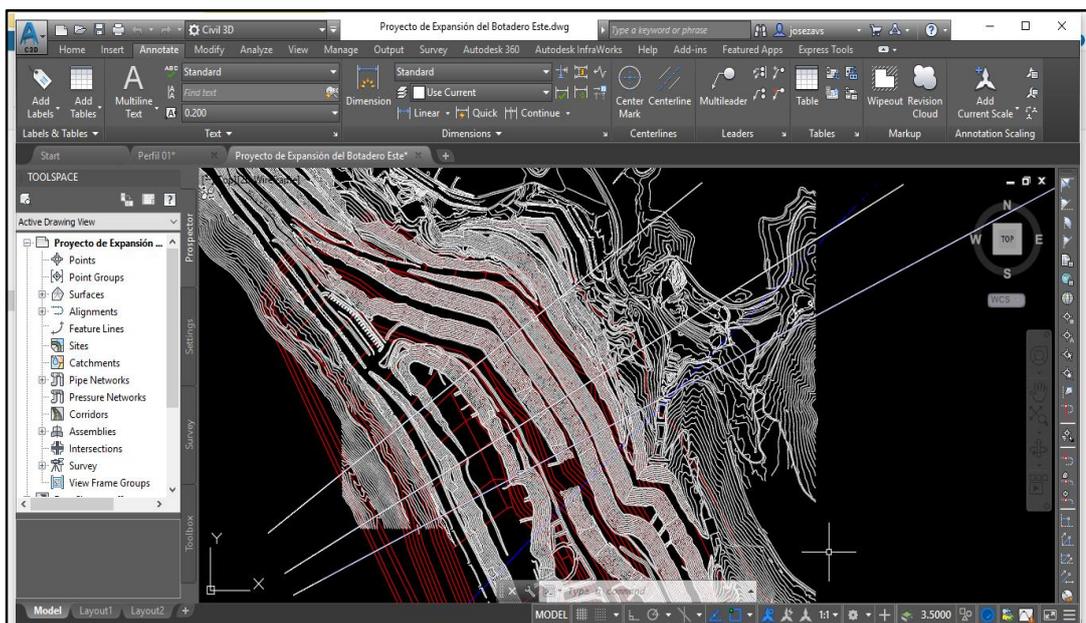
Software: Autocad Civil 3D, Slide

A continuación, se detallan los pasos en el proceso de analisis.

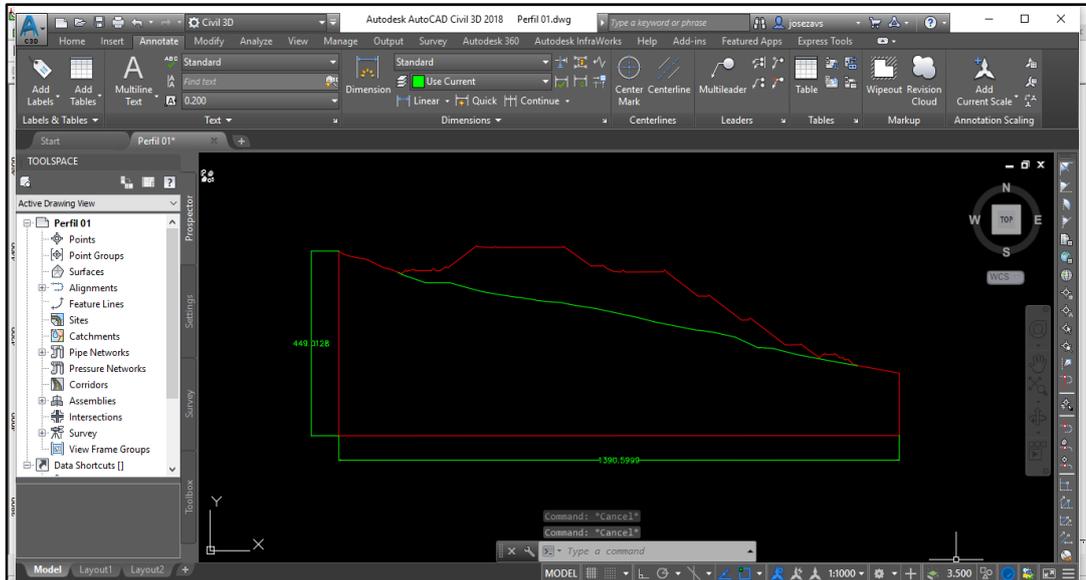
- a. Ubicación de nuestro Botadero en un plano topográfico actualizado, brindado por planeamiento mina.



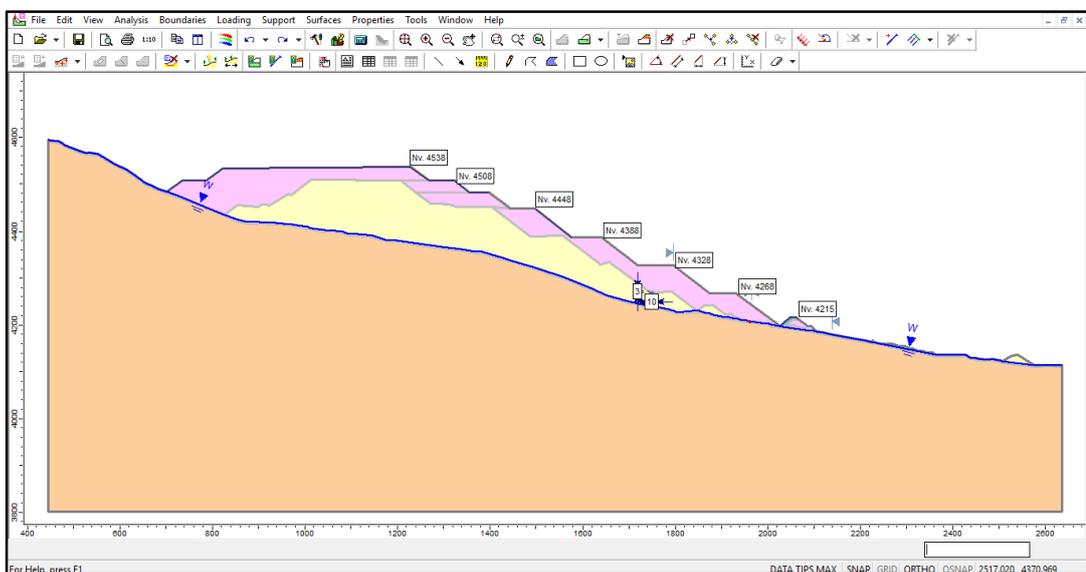
- b. Diseñamos 3 Perfiles para el analisis de estabilidad en Slide, los cuales deben cubrir los diferentes lift o niveles para su análisis global.



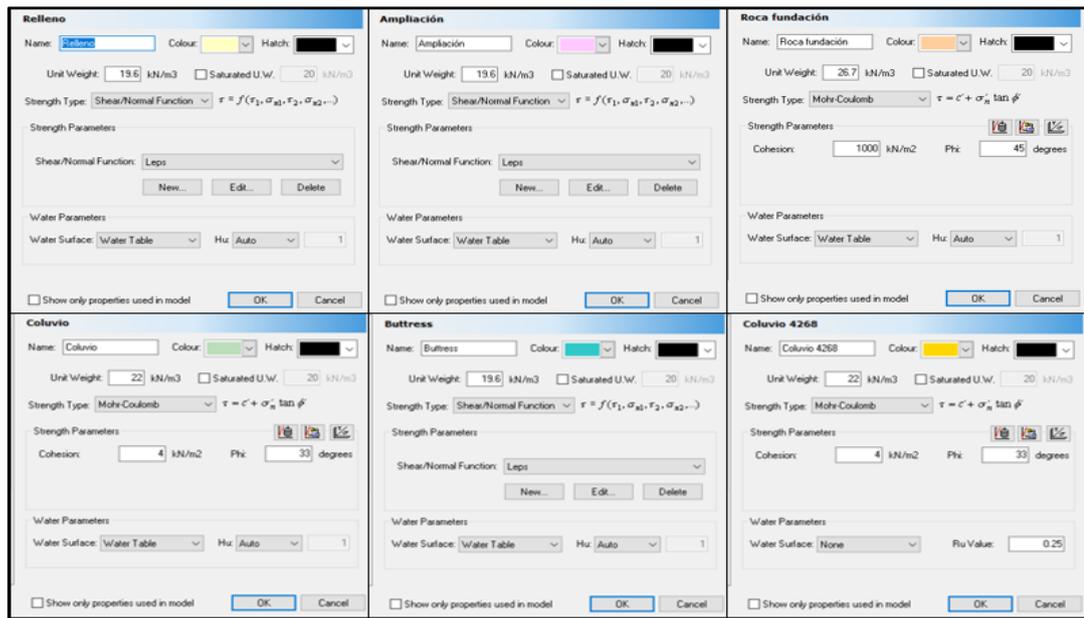
- c. Obtención de los 3 Perfiles topográficos para luego exportarlos al Slide, el cual consiste en capas de limite externo, material y línea piezométrica o superficie de agua.



- d. El Analisis de Estabilidad en el Software Slide, de la marca Rocscience, se procesará por el método de las dovelas (Equilibrio Limite), con el método de GLE/Morgenstern – Price, por ser un método preciso.
- Perfil del Botadero de Yanacancha con sus diferentes niveles y la ampliación de cada botadero.



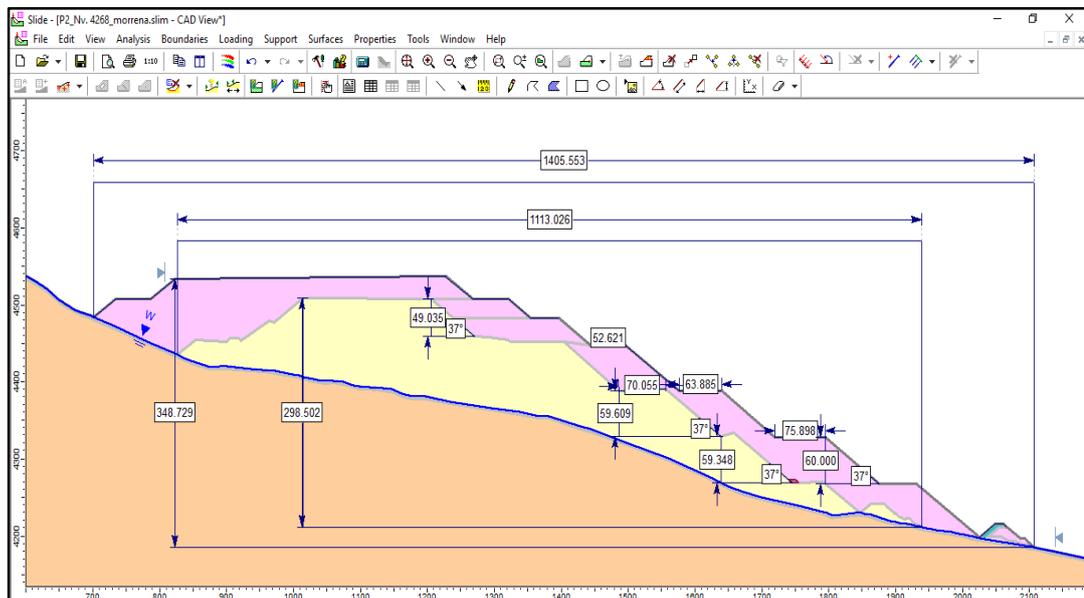
- Aplicación de las Propiedades Físicas de los materiales.



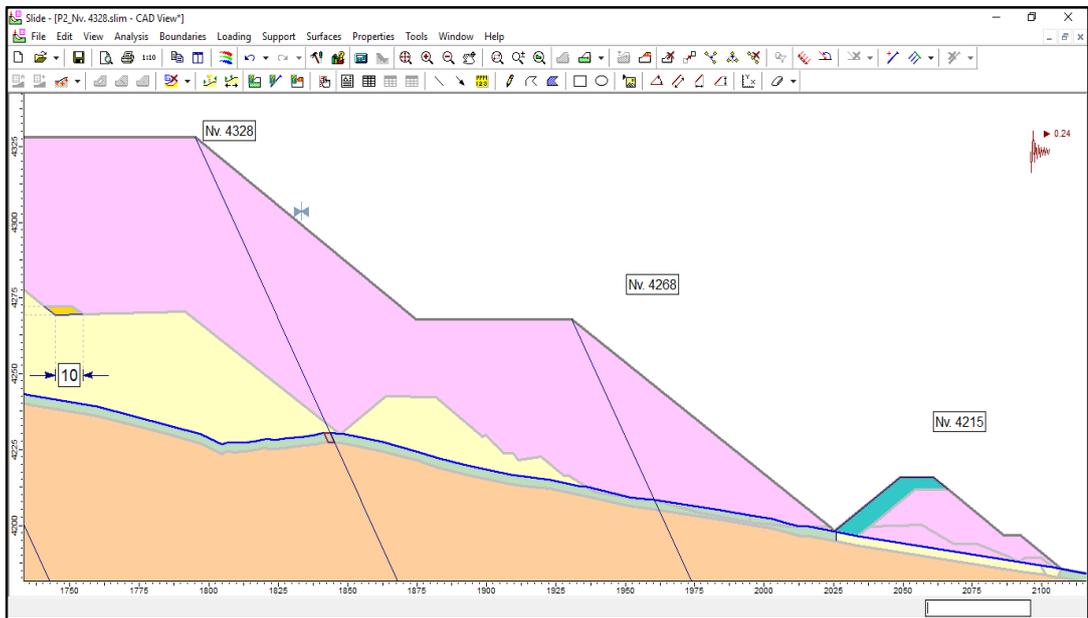
- Propiedades mecánicas materiales utilizados en el Analisis de Estabilidad.

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	Shear Normal Function	Water Surface	Hu Type	Hu	Ru
Relleno	[Yellow]	19.6	Shear Normal function			Leps	Water Surface	Automatically Calculated	1	
Coluvio	[Green]	22	Mohr-Coulomb	4	33		Water Surface	Automatically Calculated	1	
Roca fundación	[Orange]	26.7	Mohr-Coulomb	1000	45		Water Surface	Automatically Calculated	1	
Buttress	[Cyan]	19.6	Shear Normal function			Leps	Water Surface	Automatically Calculated	1	
Ampliación	[Pink]	19.6	Shear Normal function			Leps	Water Surface	Automatically Calculated	1	
Coluvio 4268	[Yellow]	22	Mohr-Coulomb	4	33		None			0.25

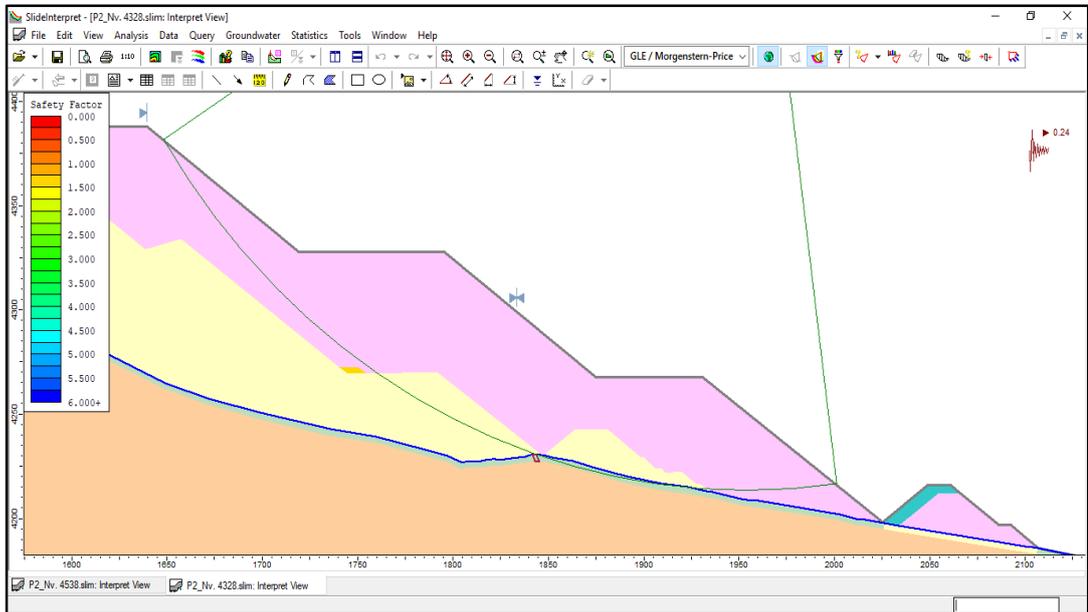
- Geometría del Botadero de Yanacancha.



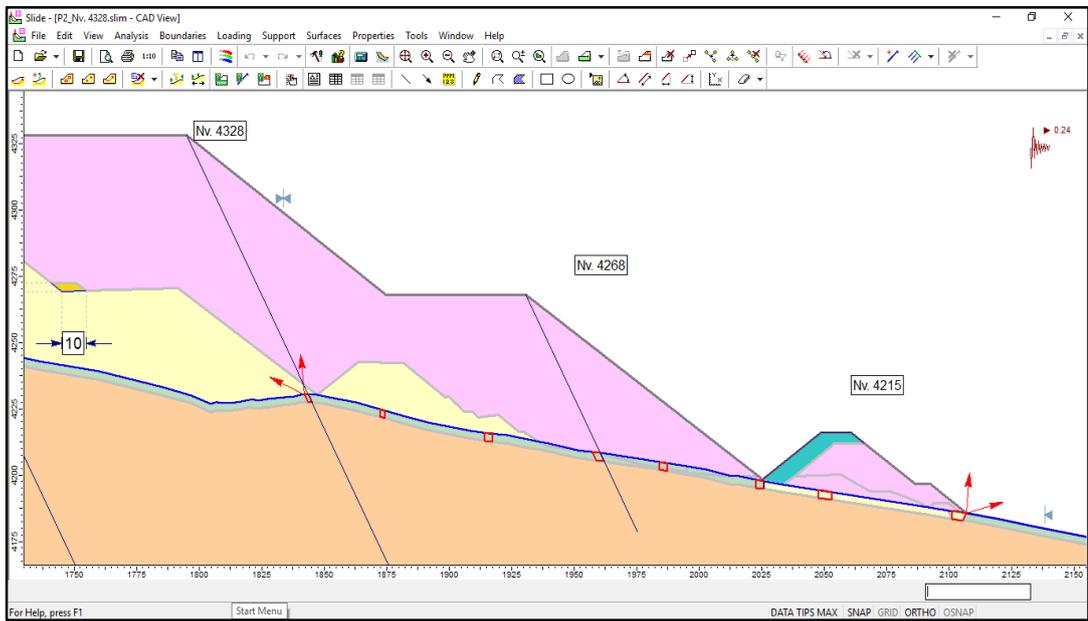
- Analisis de Fallas Circulares (solo se agrega una ventana de búsqueda de foco de falla).



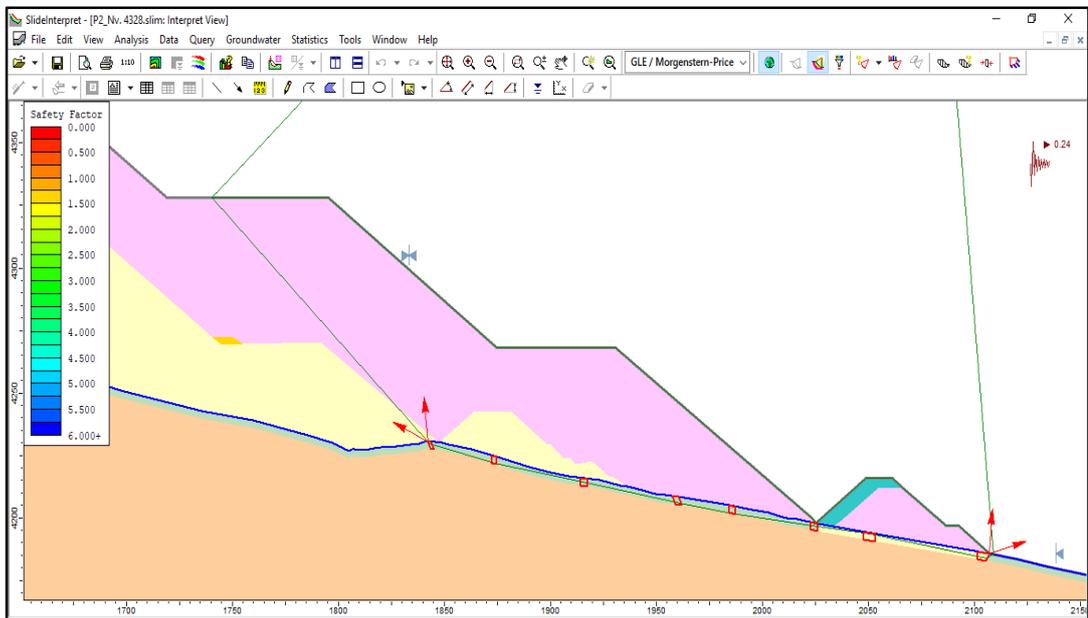
- Falla circular que pasa por el foco de falla propuesto en el diseño.



- Analisis de Fallas No Circulares (Aquí se agregan no solo una, sino varias ventanas de búsqueda de foco de falla).

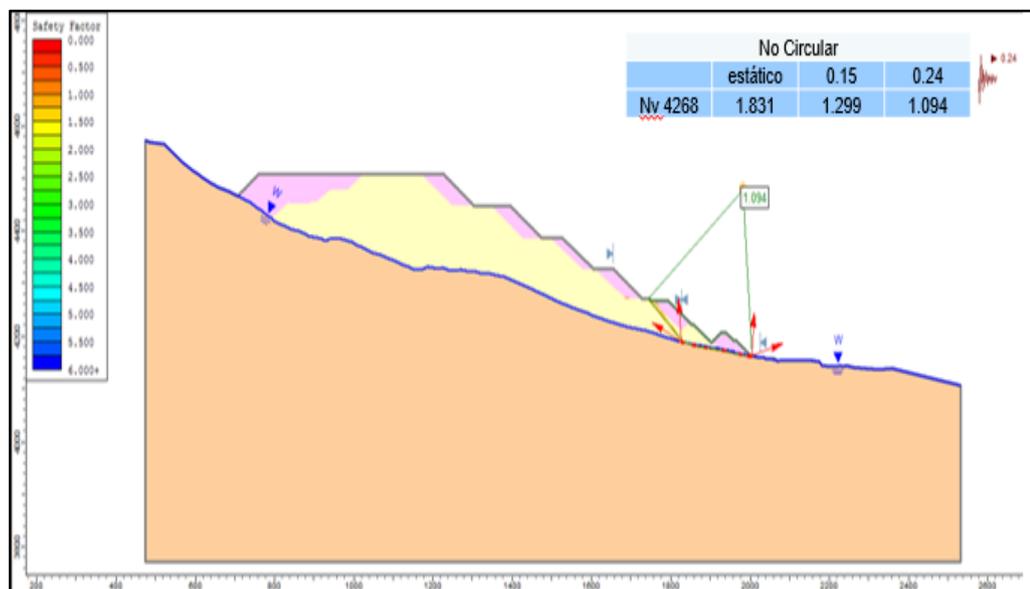
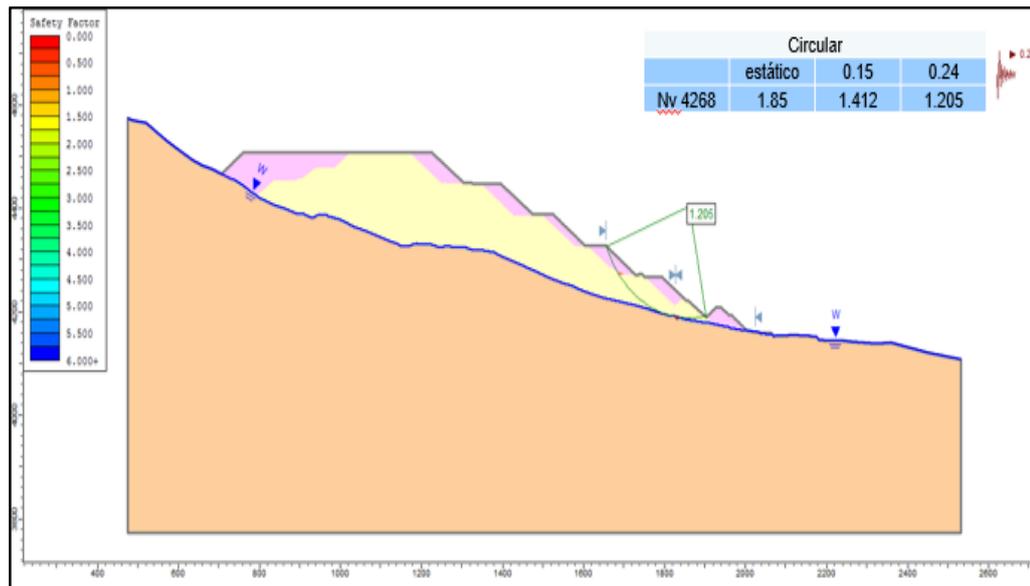


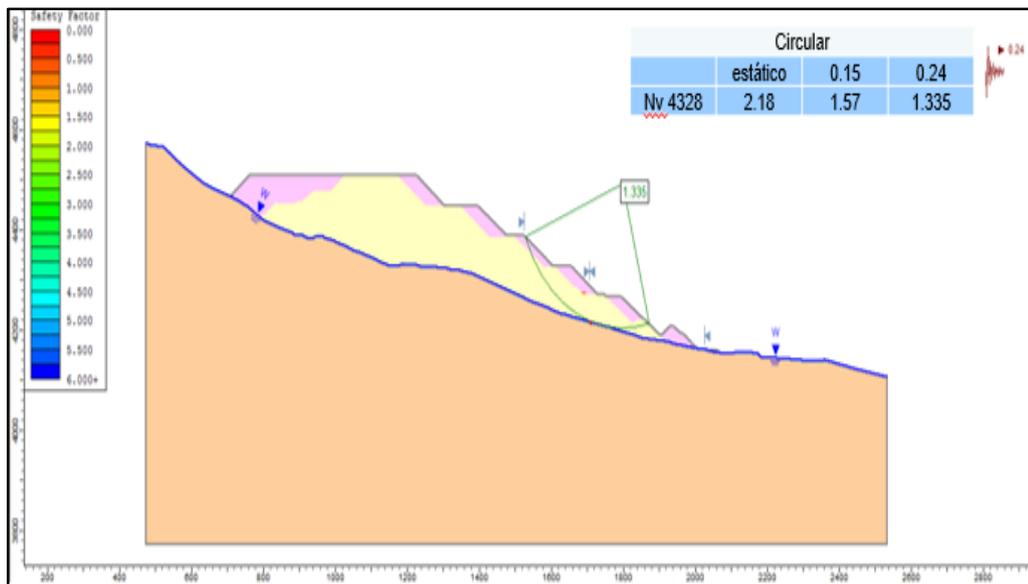
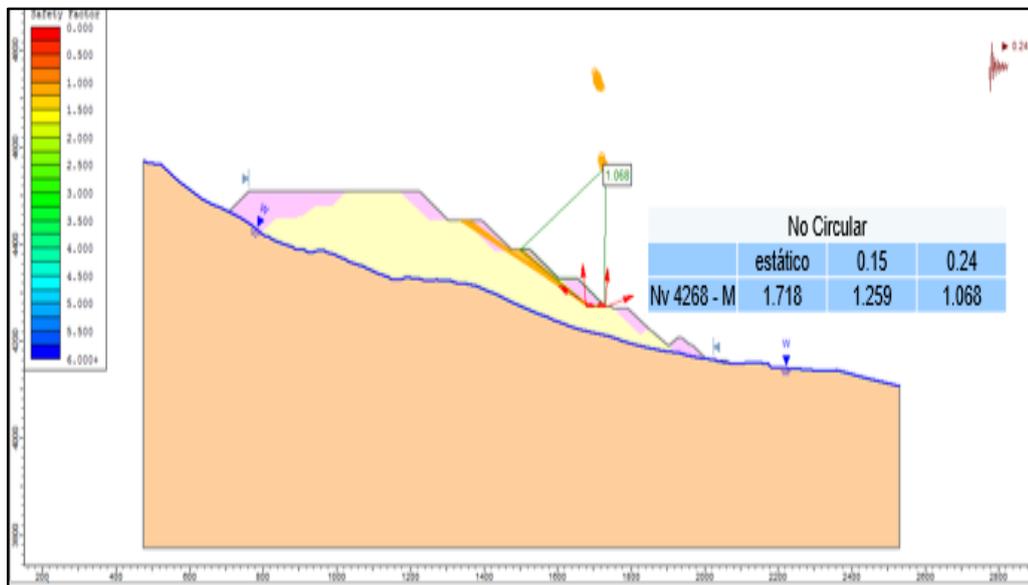
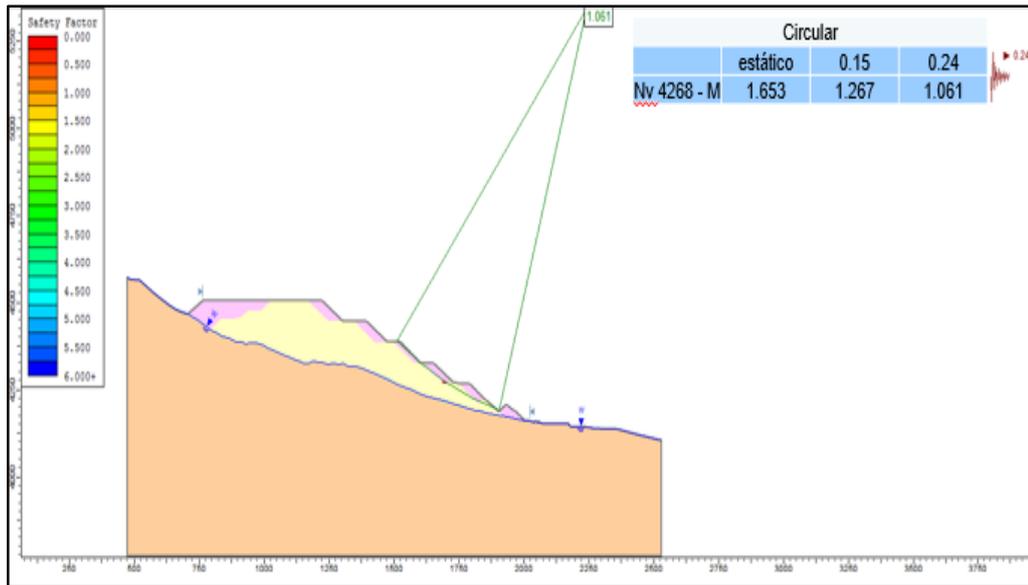
- Falla no circular que pasa por los focos de falla propuesto en el diseño.

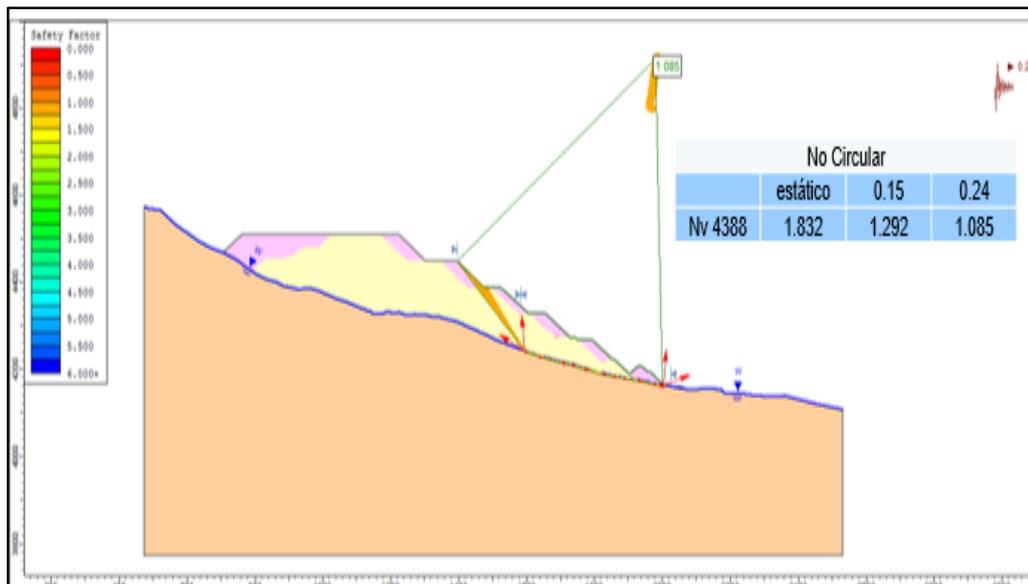
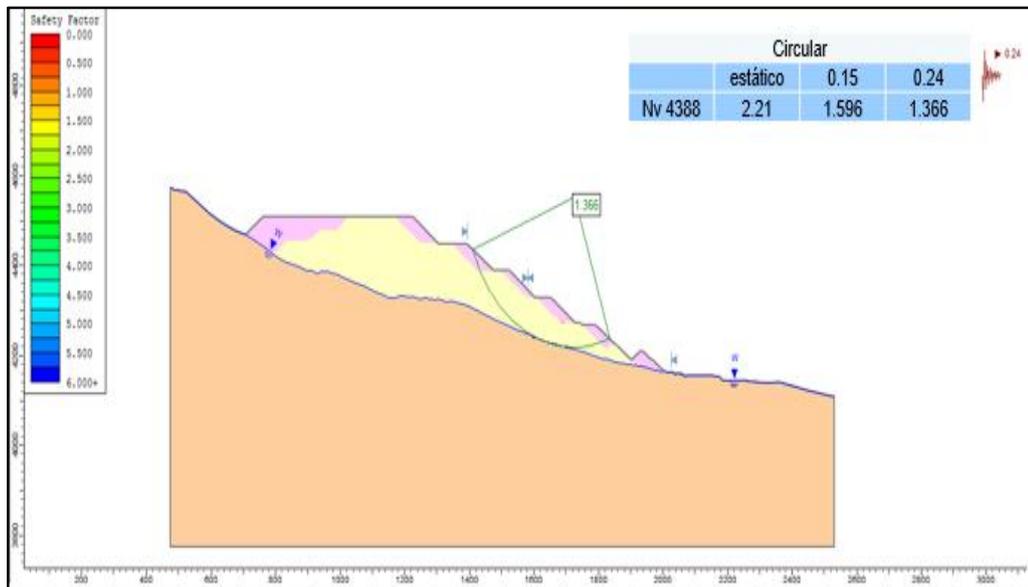
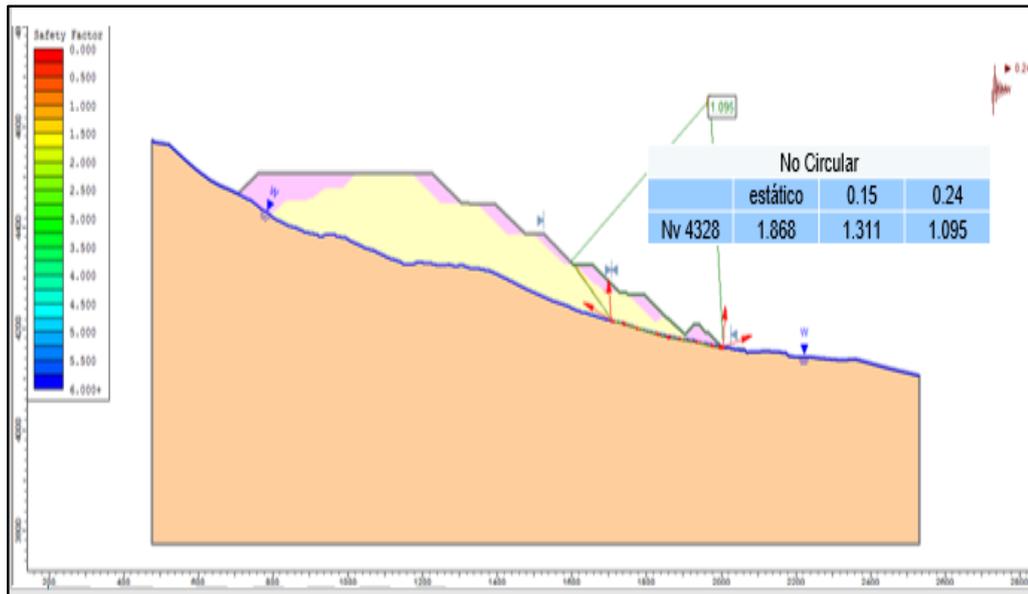


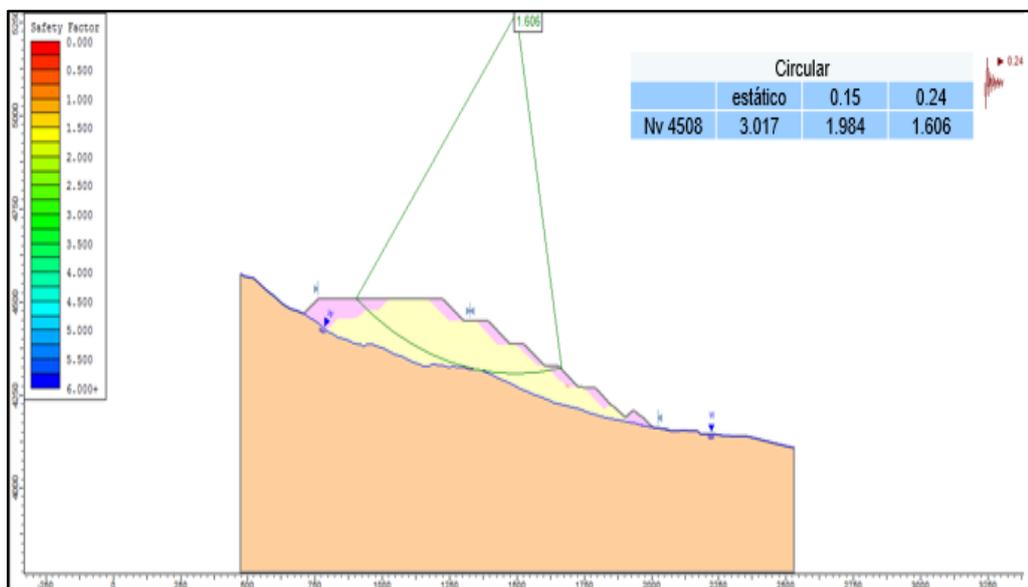
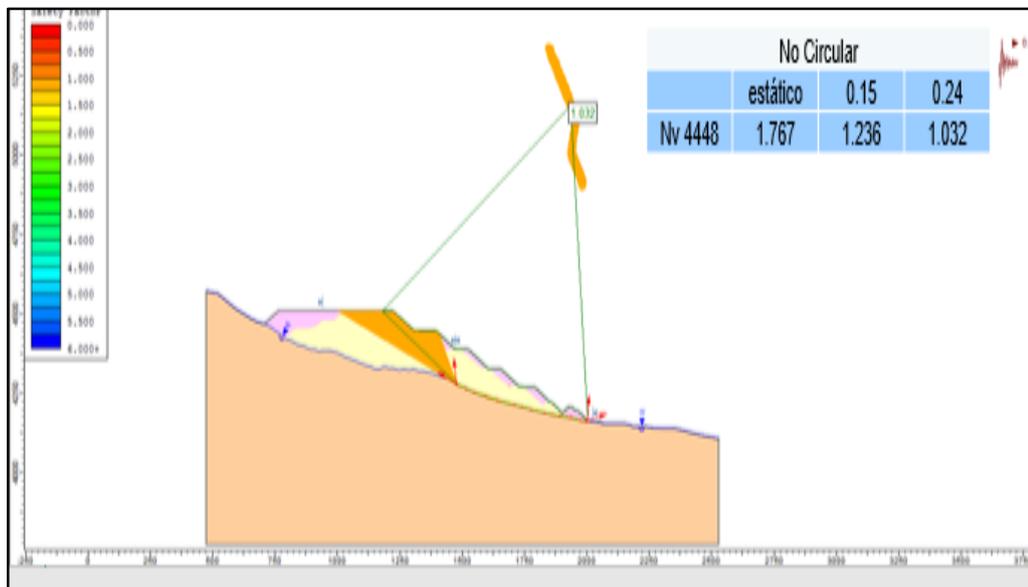
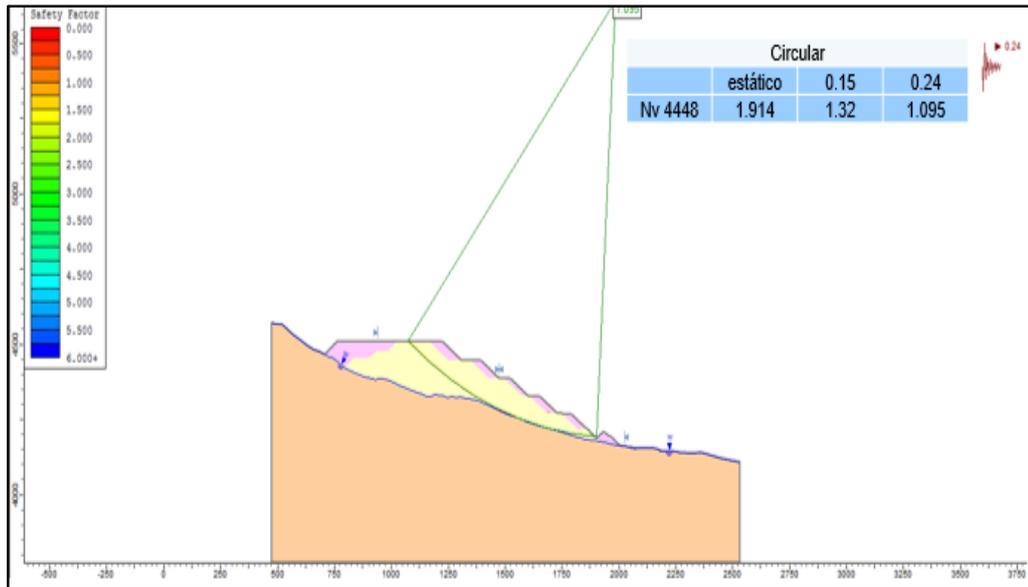
PERFIL 01

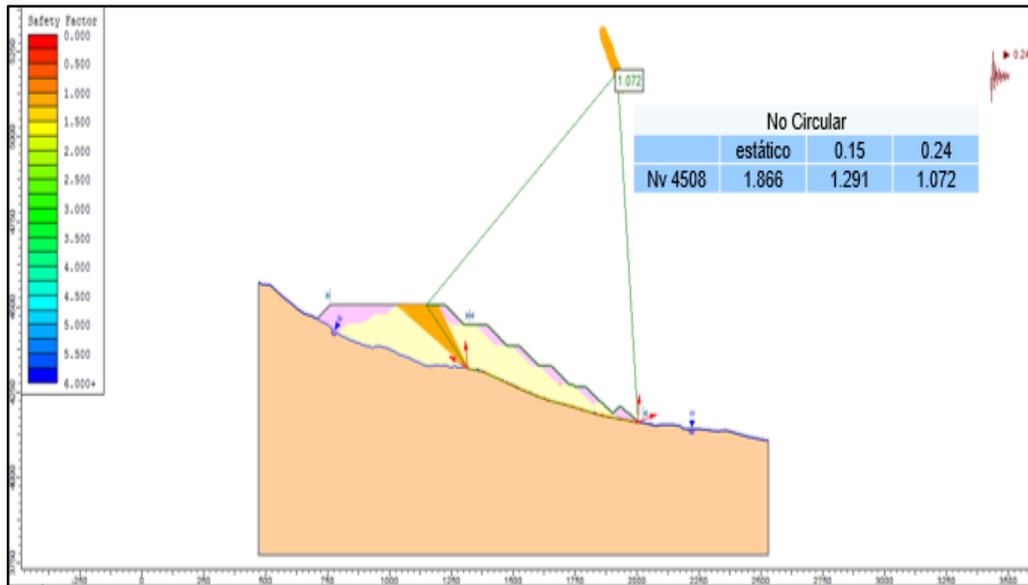
- Se realiza el análisis de estabilidad de taludes a todos los niveles del Perfil 01, para obtener los Factores de Seguridad. Cada grafico contiene datos que definen a un determinado nivel.





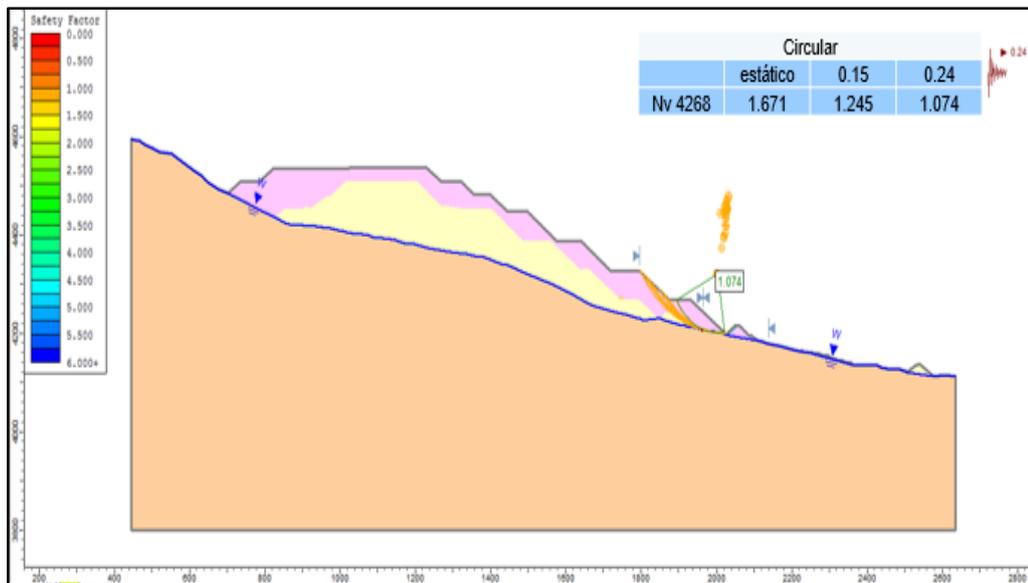


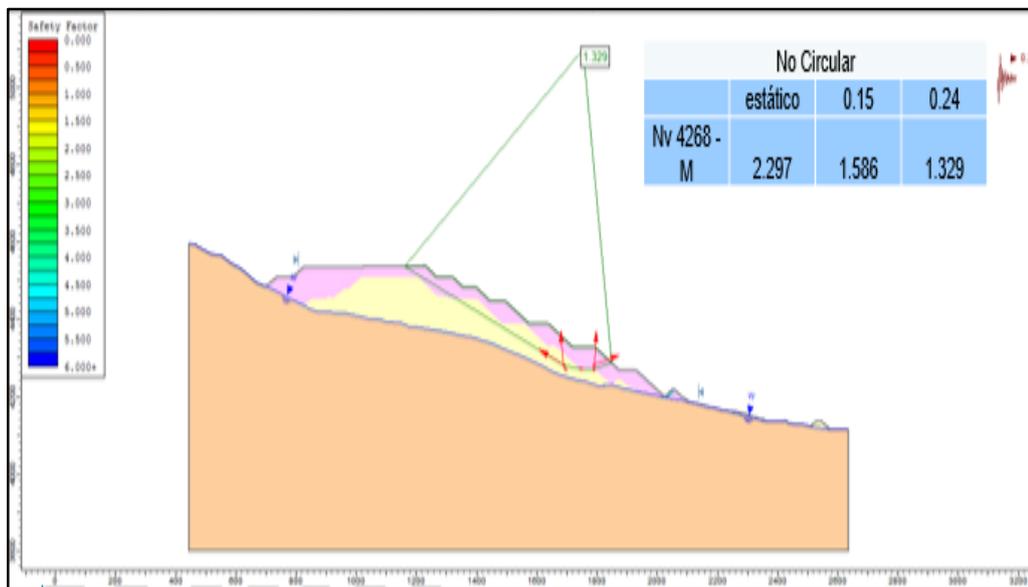
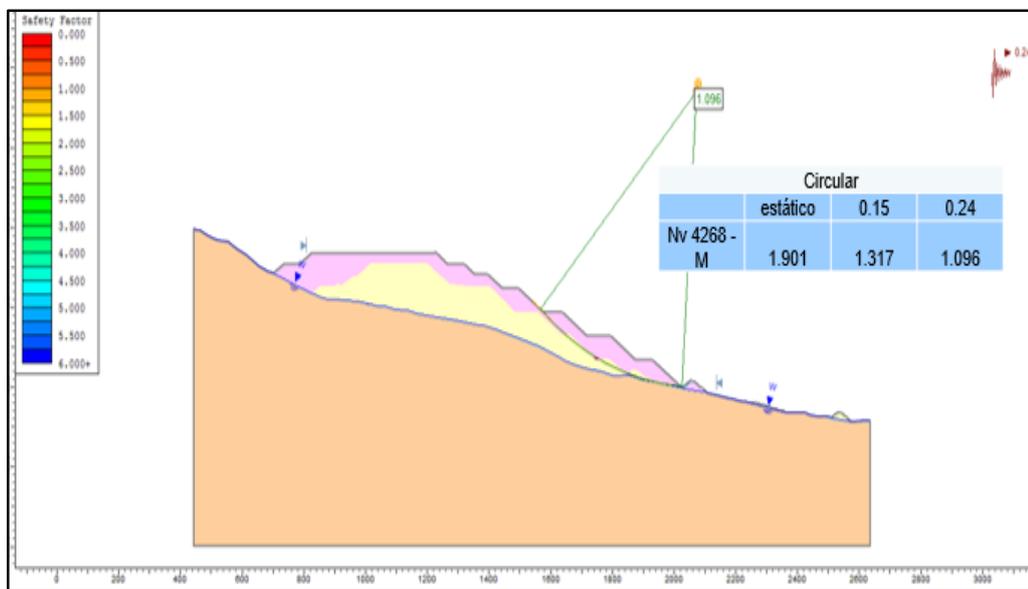
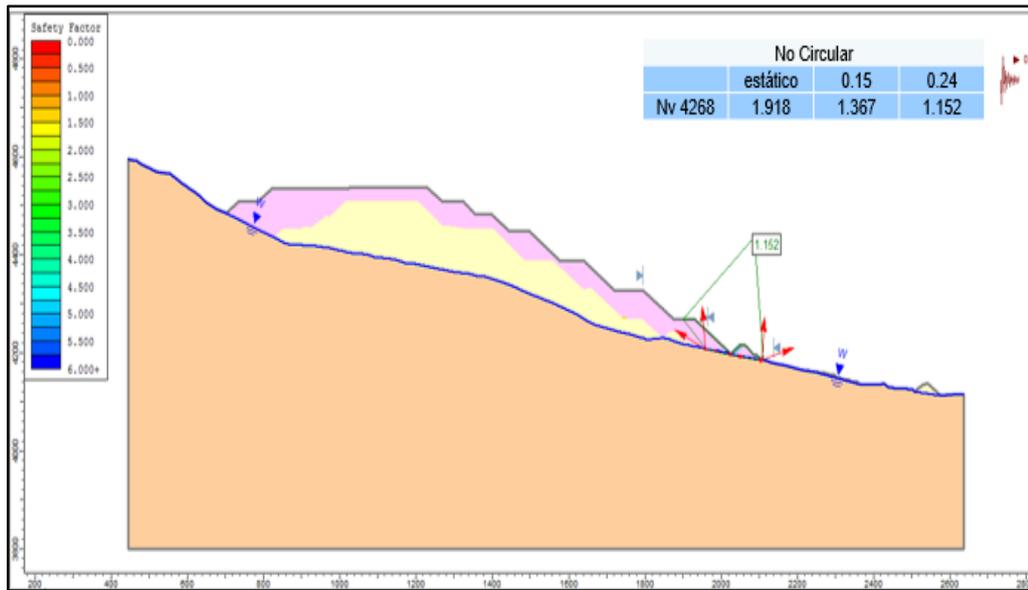


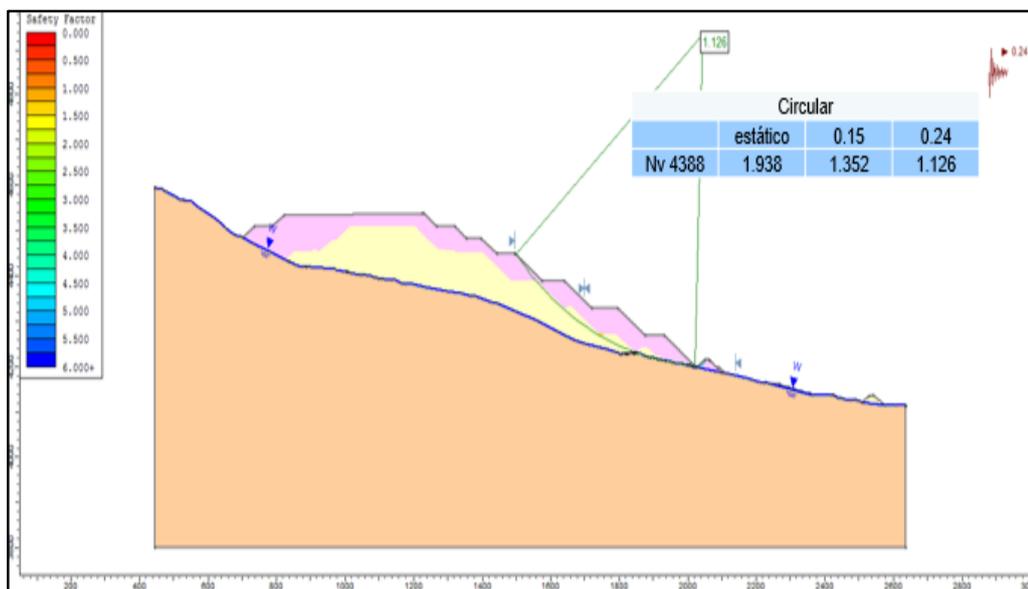
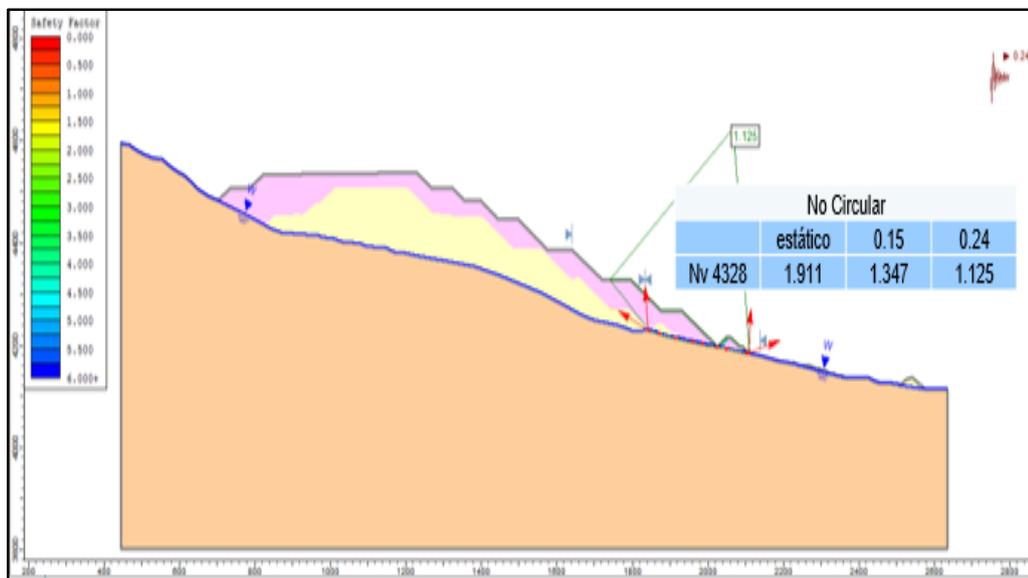
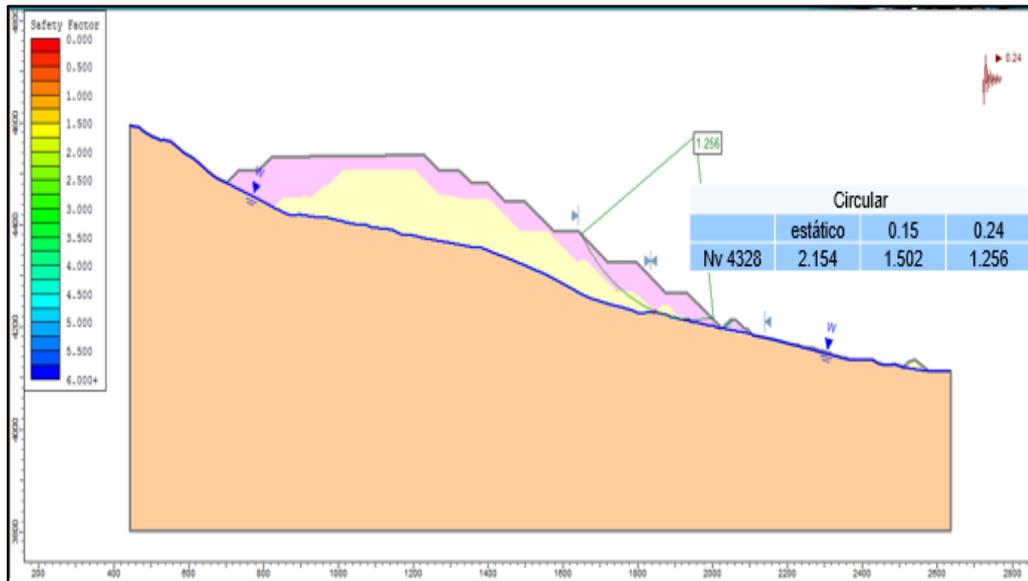


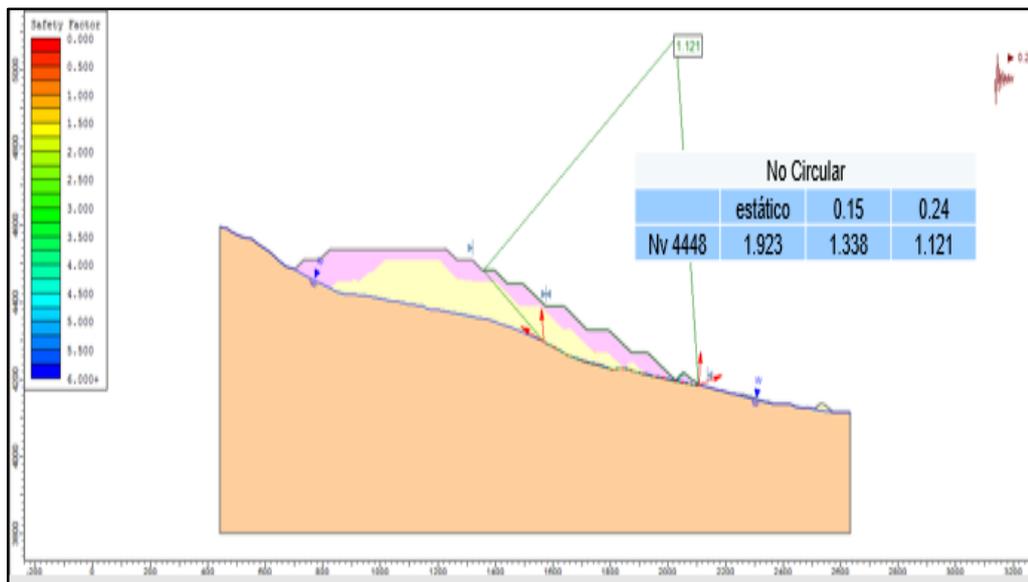
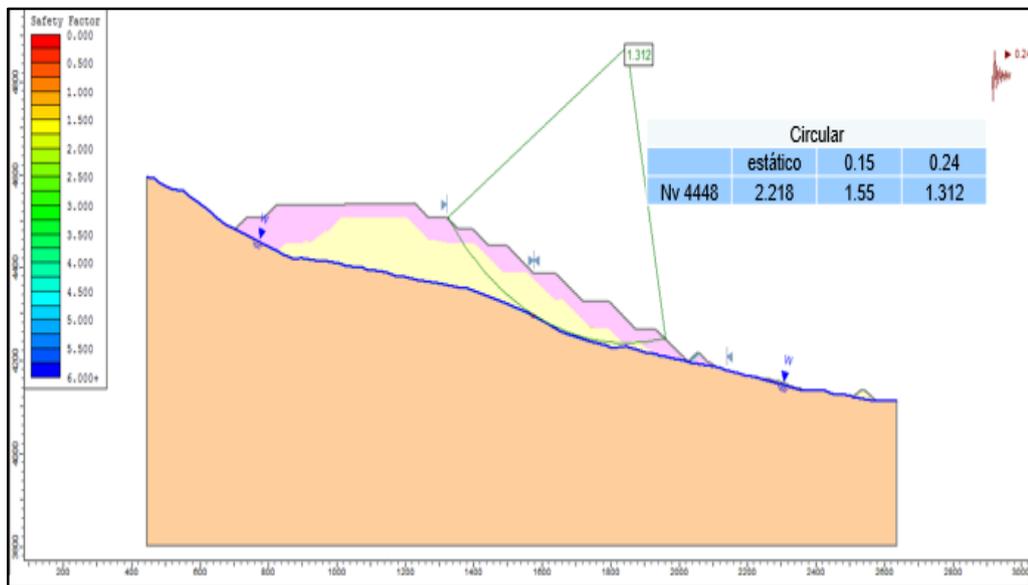
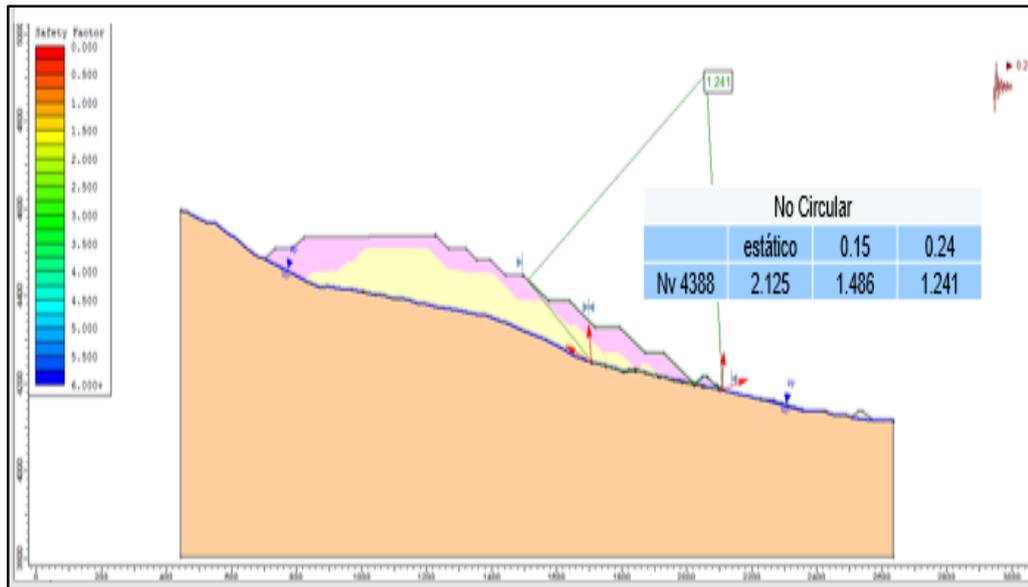
PERFIL 2

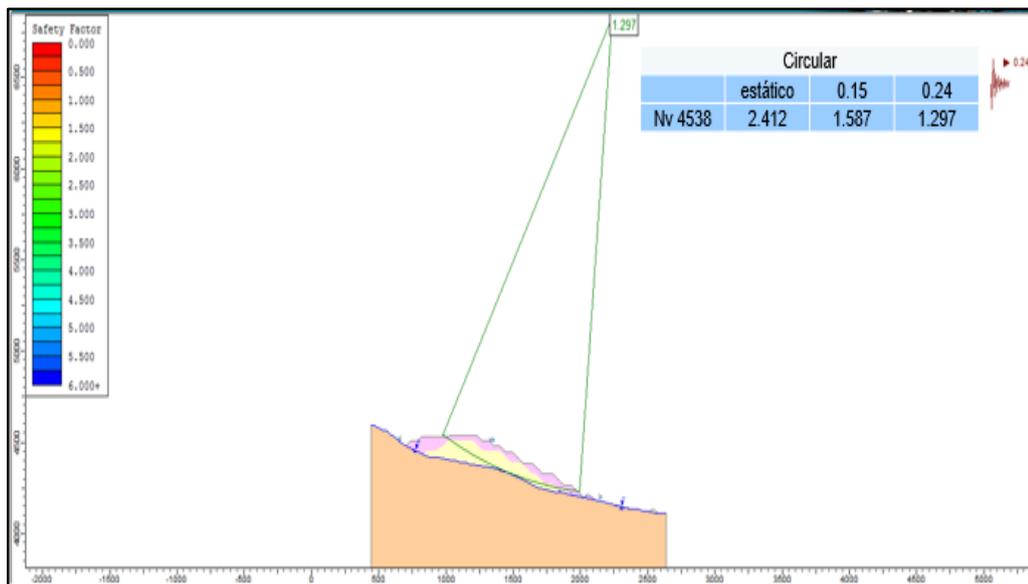
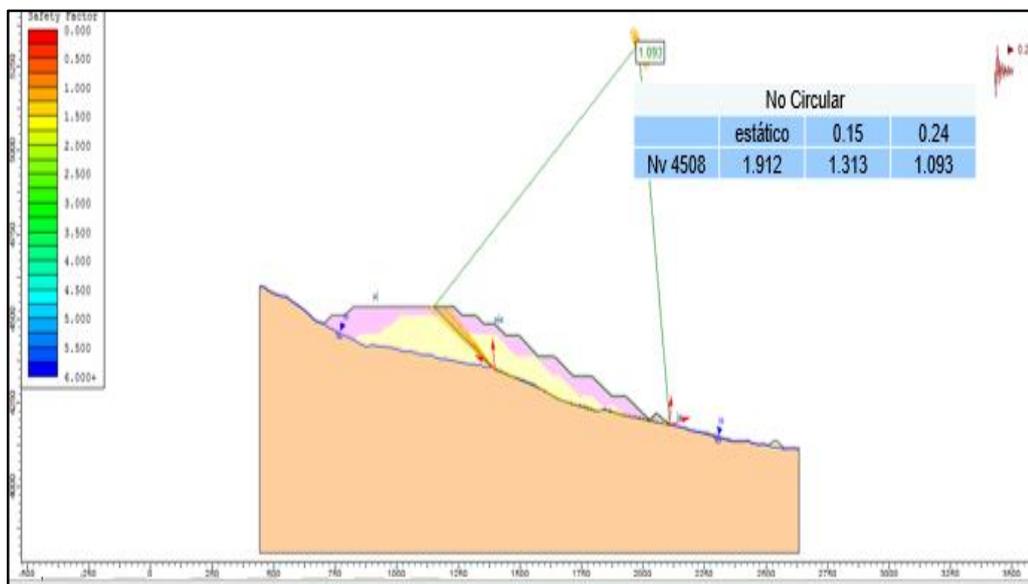
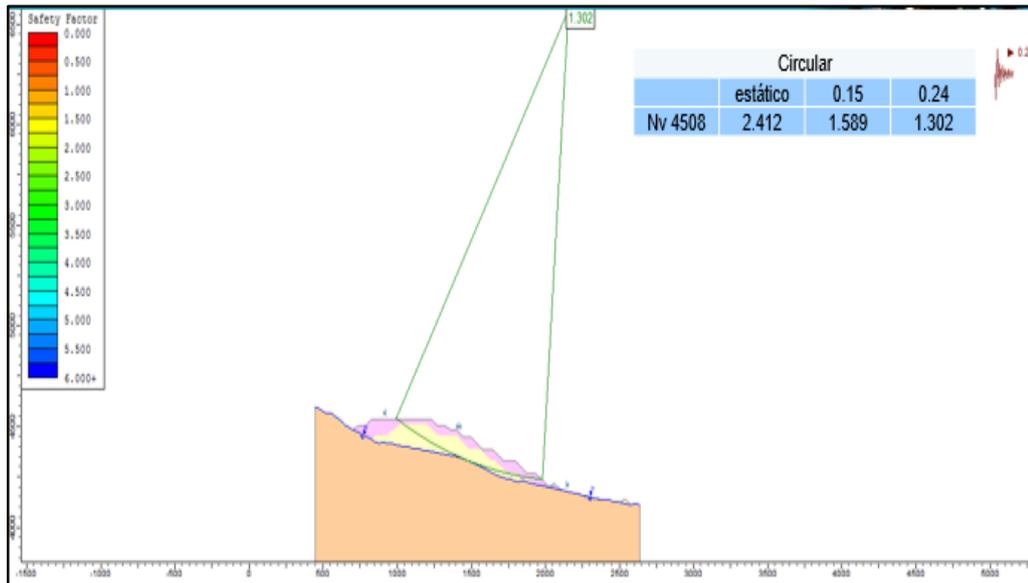
- Se realiza el analisis de estabilidad de taludes a todos los niveles del Perfil 02, para obtener los Factores de Seguridad. Cada grafico contiene datos que definen a un determinado nivel.

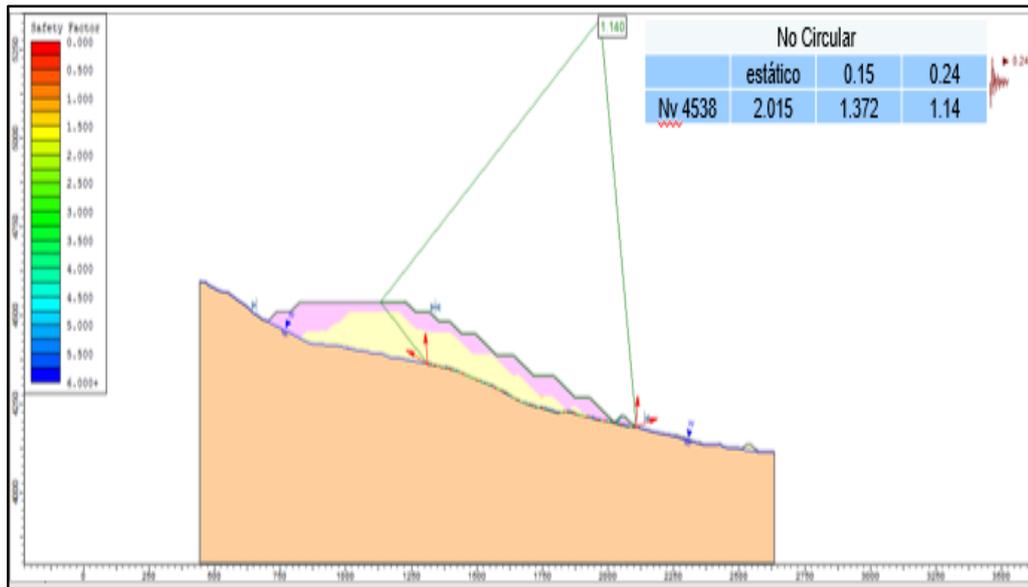






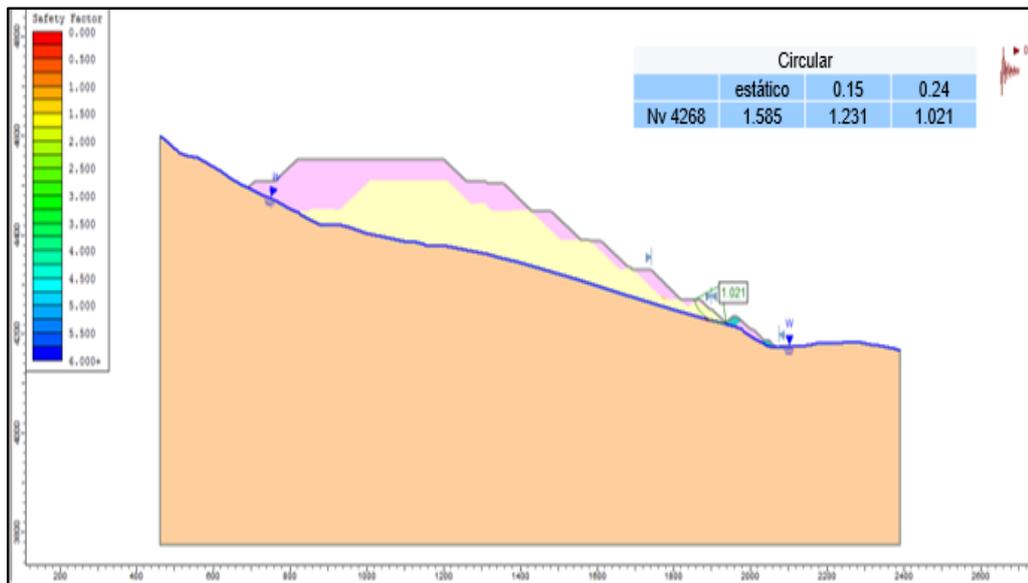


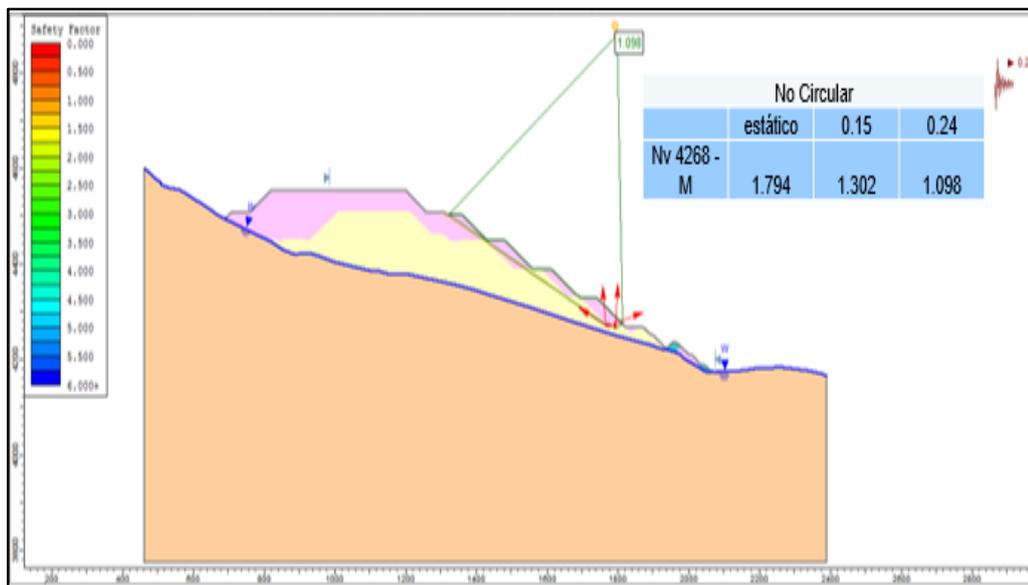
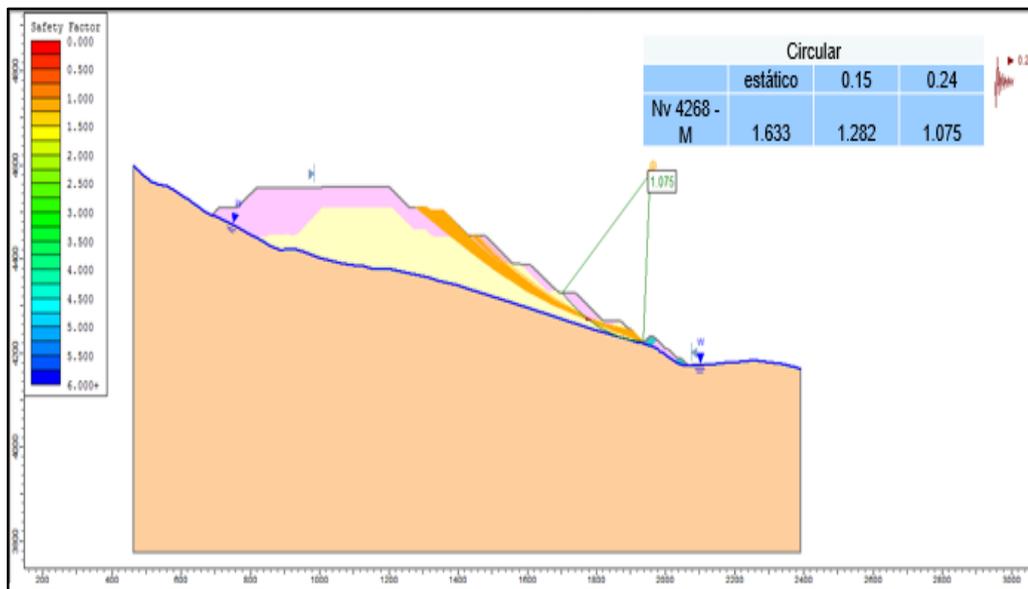
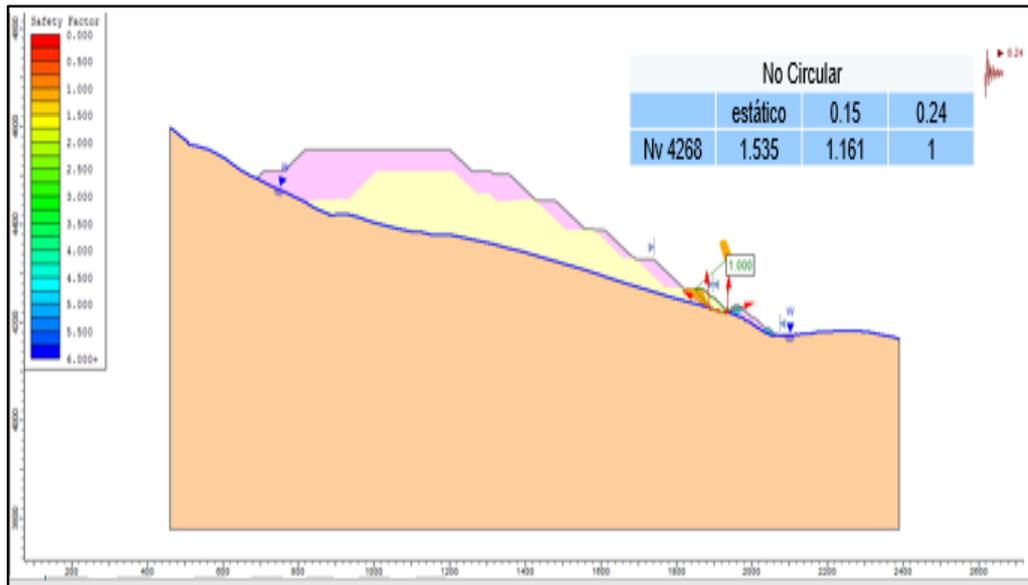


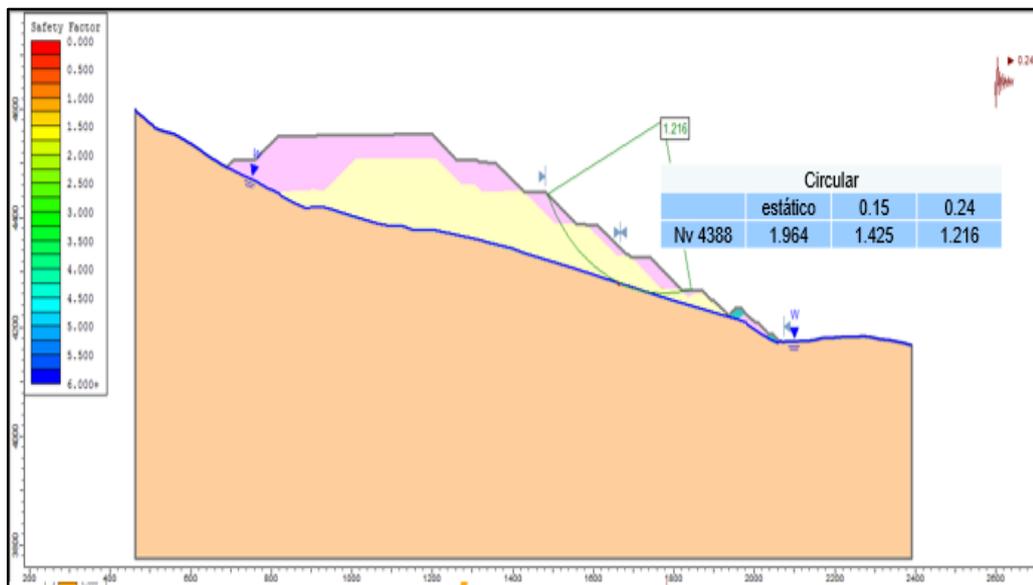
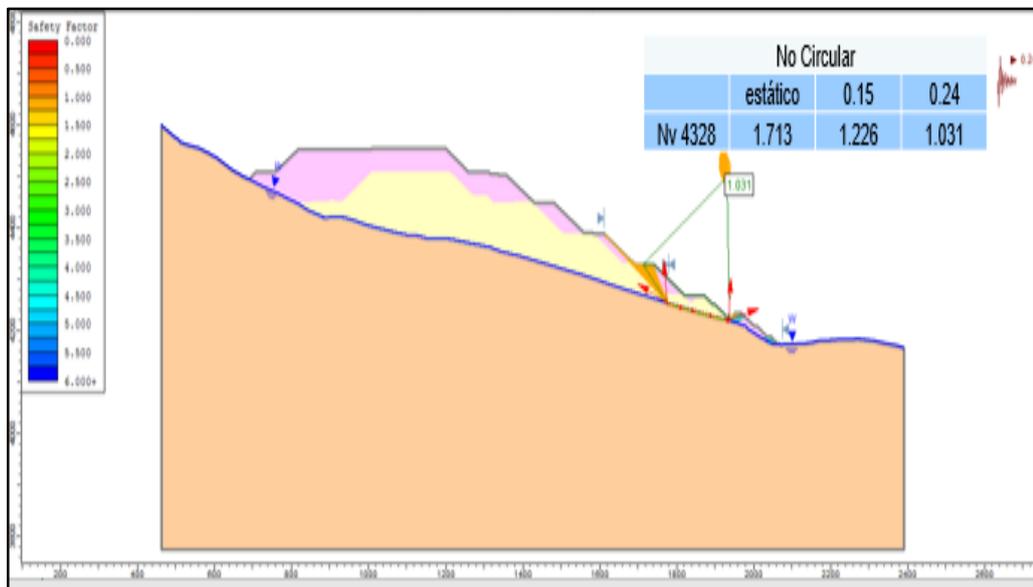
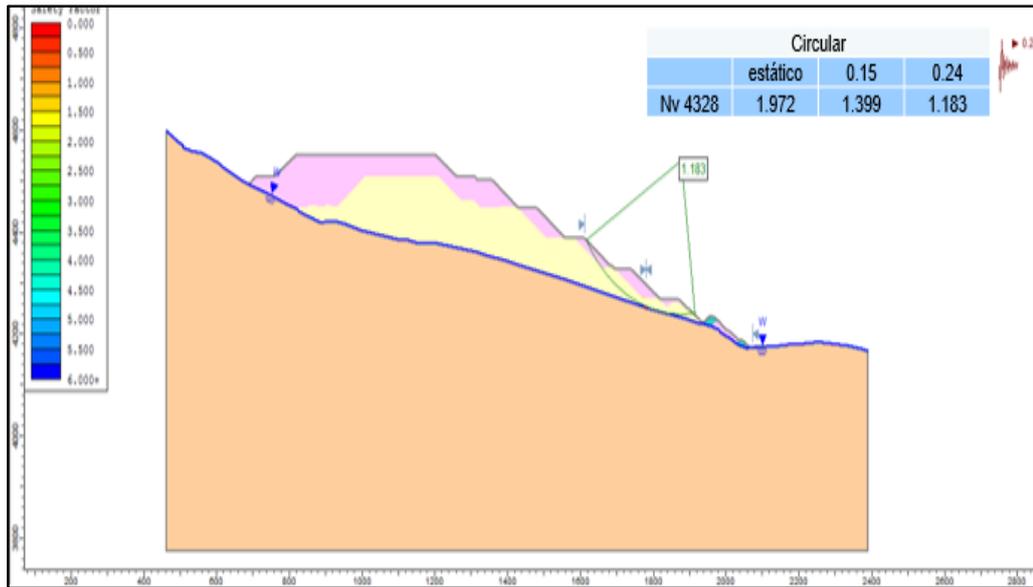


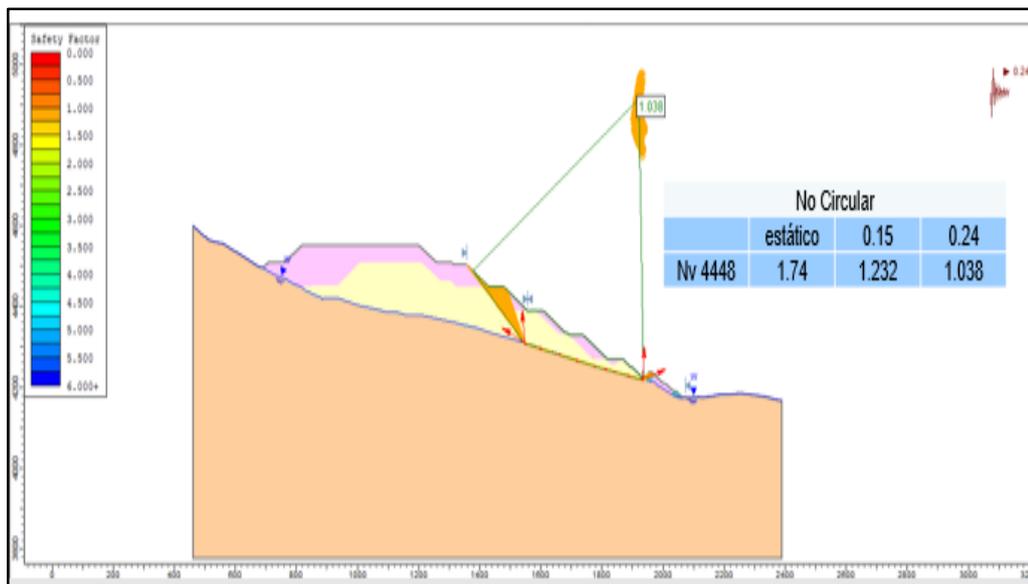
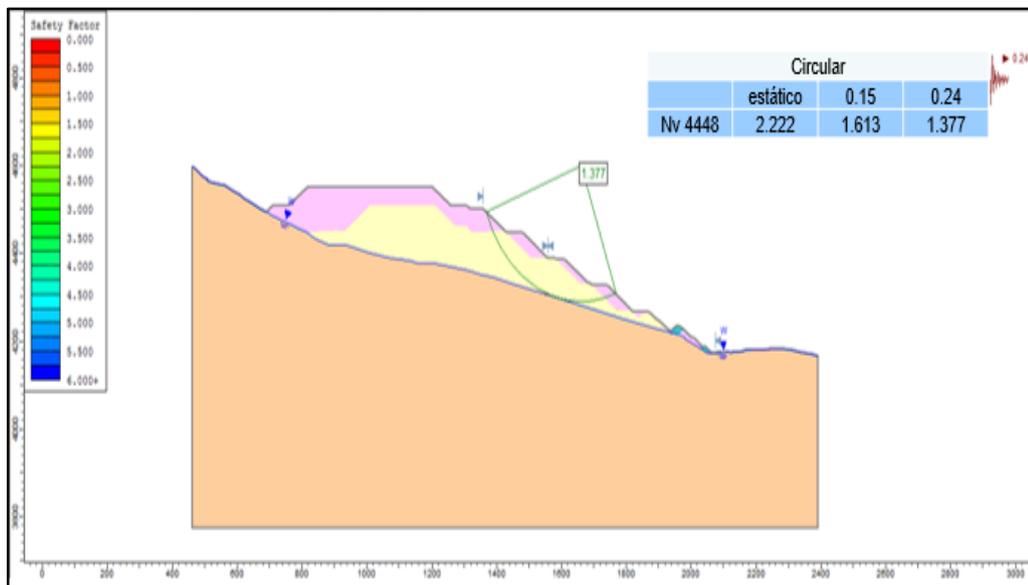
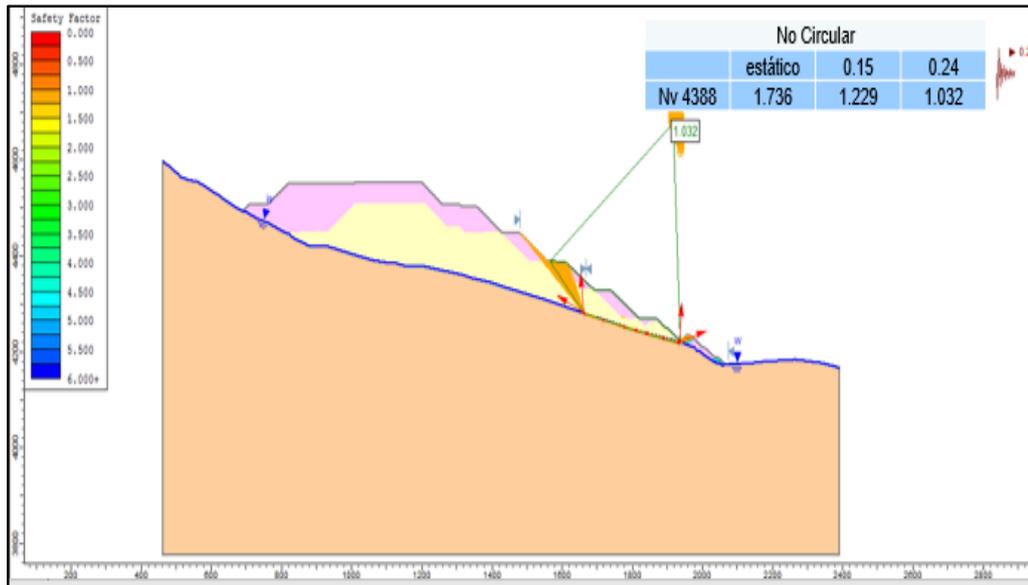
PERFIL 03

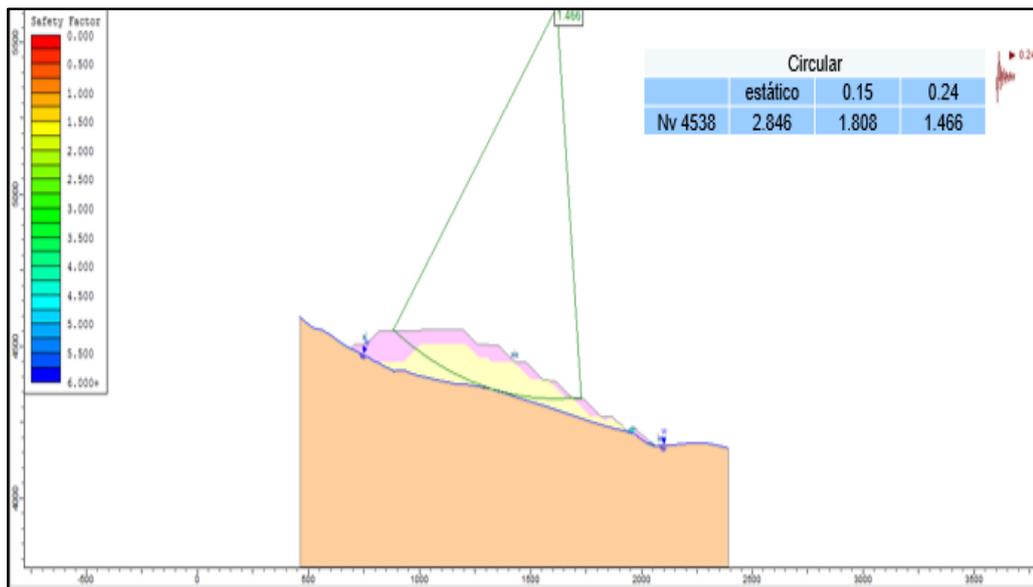
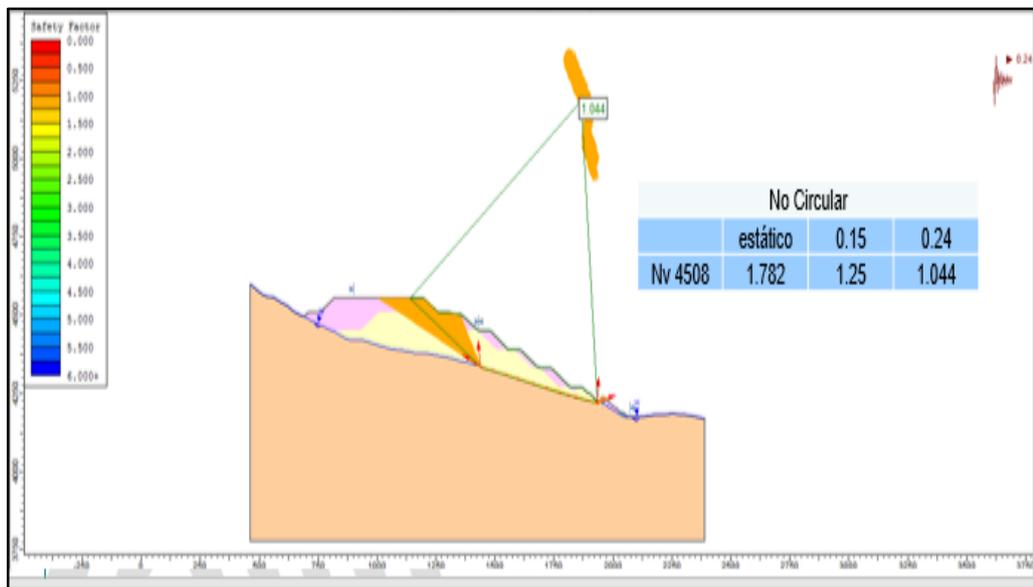
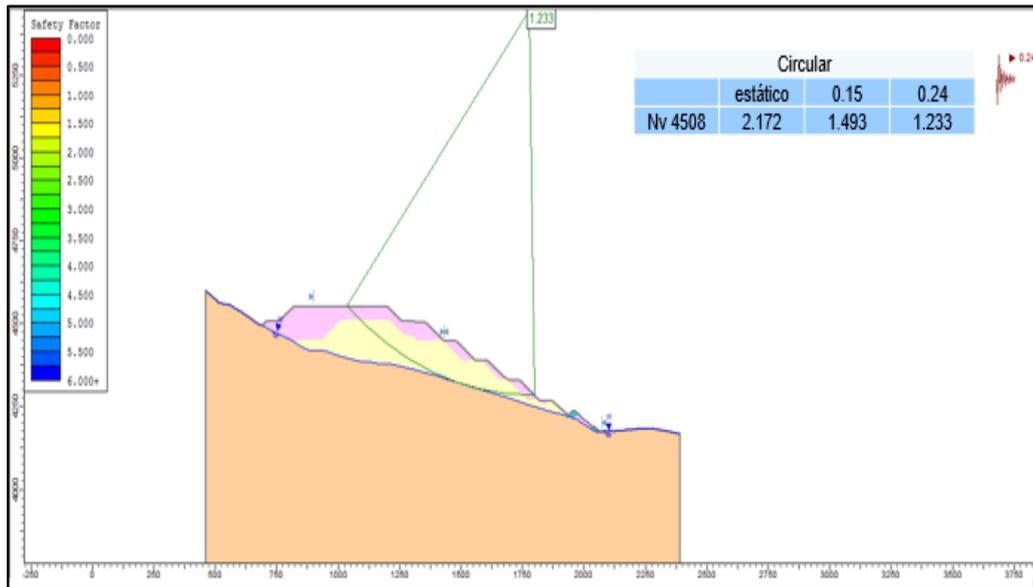
- Se realiza el análisis de estabilidad de taludes a todos los niveles del Perfil 03, para obtener los Factores de Seguridad. Cada grafico contiene datos que definen a un determinado nivel.

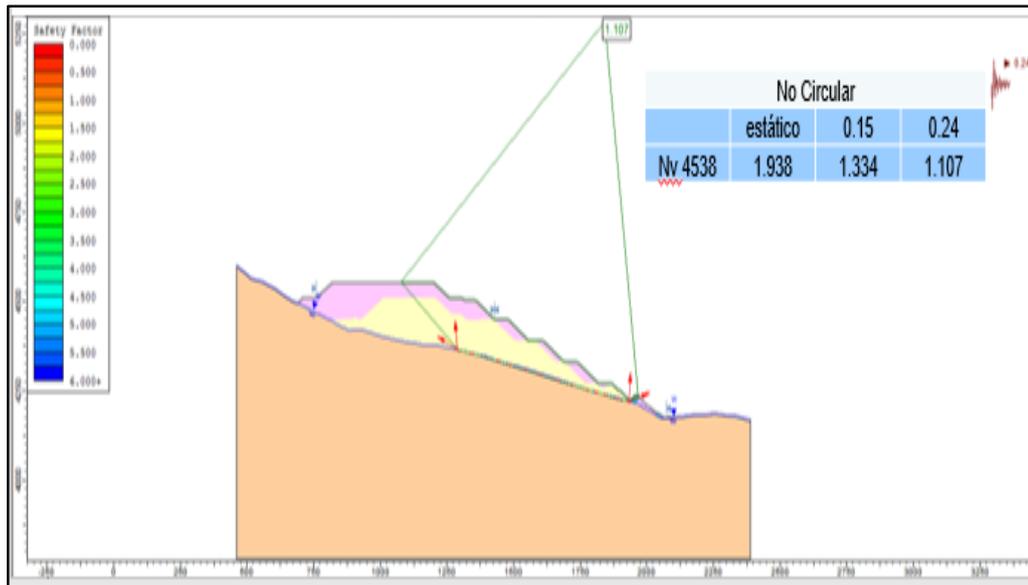












e. Se Obtiene el Resumen de los Factores de Seguridad de cada Perfil analizado.

PERFIL 01				PERFIL 02				PERFIL 03			
Circular				Circular				Circular			
	estático	0.15	0.24		estático	0.15	0.24		estático	0.15	0.24
Nv 4268	1.85	1.412	1.205	Nv 4268	1.671	1.245	1.074	Nv 4268	1.585	1.231	1.021
Nv 4268 - M	1.653	1.267	1.061	Nv 4268 - M	1.901	1.317	1.096	Nv 4268 - M	1.633	1.282	1.075
Nv 4328	2.18	1.57	1.335	Nv 4328	2.154	1.502	1.256	Nv 4328	1.972	1.399	1.183
Nv 4388	2.21	1.596	1.366	Nv 4388	1.938	1.352	1.126	Nv 4388	1.964	1.425	1.216
Nv 4448	1.914	1.32	1.095	Nv 4448	2.218	1.55	1.312	Nv 4448	2.222	1.613	1.377
Nv 4508	3.017	1.984	1.606	Nv 4508	2.412	1.589	1.302	Nv 4508	2.172	1.493	1.233
Nv 4538				Nv 4538	2.412	1.587	1.297	Nv 4538	2.846	1.808	1.466
No Circular				No Circular				No Circular			
	estático	0.15	0.24		estático	0.15	0.24		estático	0.15	0.24
Nv 4268	1.831	1.299	1.094	Nv 4268	1.918	1.367	1.152	Nv 4268	1.535	1.161	1
Nv 4268 - M	1.718	1.259	1.068	Nv 4268 - M	2.297	1.586	1.329	Nv 4268 - M	1.794	1.302	1.098
Nv 4328	1.868	1.311	1.095	Nv 4328	1.911	1.347	1.125	Nv 4328	1.713	1.226	1.031
Nv 4388	1.832	1.292	1.085	Nv 4388	2.125	1.486	1.241	Nv 4388	1.736	1.229	1.032
Nv 4448	1.767	1.236	1.032	Nv 4448	1.923	1.338	1.121	Nv 4448	1.74	1.232	1.038
Nv 4508	1.866	1.291	1.072	Nv 4508	1.912	1.313	1.093	Nv 4508	1.782	1.25	1.044
				Nv 4538	2.015	1.372	1.14	Nv 4538	1.938	1.334	1.107

Interpretacion de Resultados:

Análisis de estabilidad en el botadero Yanacancha

- Los botaderos actualmente presentan una altura de 60 metros entre nivel, y longitudes variables de plataforma. Los ángulos de fricción o de rozamiento interno para un tipo de material de relleno son de 37° - 38°, los cuales se encuentran dentro de los rangos permisibles de estabilidad.

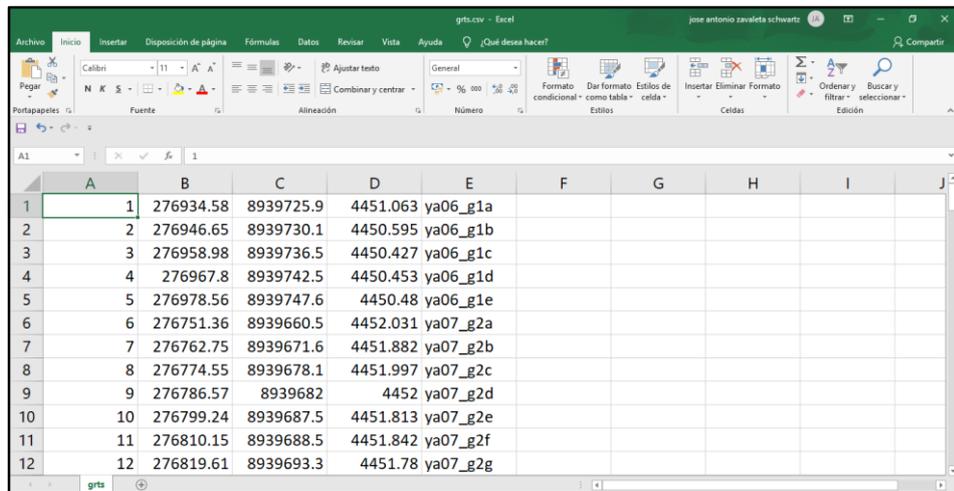
- Según el análisis de estabilidad en Software Slide, los factores de Seguridad se presentan estables con valores mayores a $FS=1$, tanto en análisis de fallas circulares y no circulares, como en análisis de estabilidad estáticos y pseudoestáticos por aceleración de la gravedad $a=0.15$ y 0.24 , que se muestran al momento de un sismo o producto de la vibración al momento de la voladura en el tajo, ya que el botadero se encuentra a unos 3 kilómetros aproximadamente del mismo.
- La fundación de roca es firme y compacta, se analiza por el criterio de rotura de Mohr Coulomb, obteniendo una cohesión de 1000 KPa y un ángulo de fricción de 45° .
- Se diseñaron estructuras como un dren de roca de 3 metros de potencia debajo del botadero con material coluvial, así como un buttress en la pata del botadero.
- El material coluvial presente en el nivel 4268, dimensiones de 10x3 metros y con propiedades físicas como cohesión = 4 KPa y un Ángulo de fricción de 33° , no afectan significativamente durante el avance del Botadero.
- El análisis se realiza abarcando varios niveles, desde el nivel más bajo hacia un nivel más alto, abarcando de forma global el análisis.
- El Análisis de Estabilidad mostrados e interpretados en el software Slide, en base a los materiales presentados, propician factores de seguridad estables, por lo que su diseño es aceptable frente a cualquier posible falla circular o no circular.

4.2.3. Grietas de Tensión en el Botadero Yanacancha

Software: Ms Excel, Autocad Civil 3d

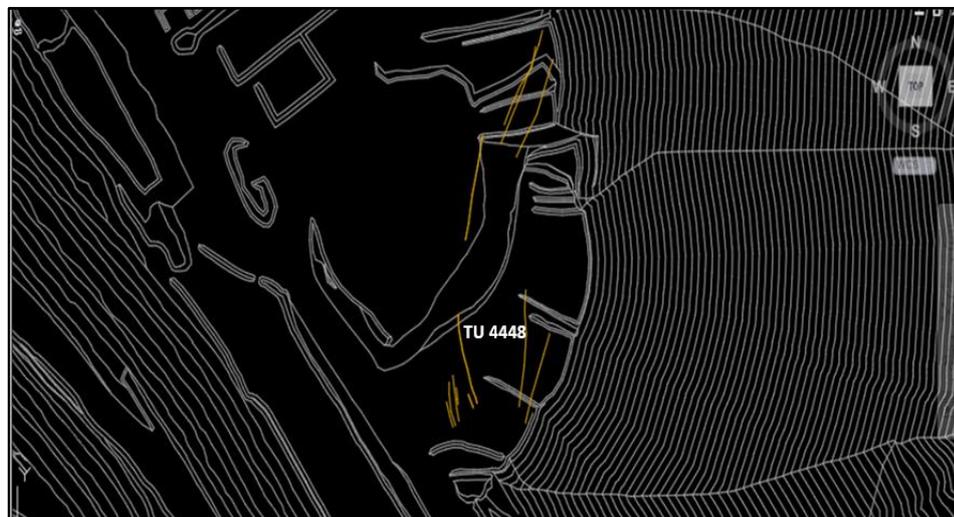
A continuación, se detallan los pasos, para el proceso de analisis de datos:

- a. Se toman los puntos con el GPS diferencial a lo largo de las grietas de tensión de las plataformas de descarga del Botadero Yanacancha 4448 - 07 (Se realiza un cuadro excel para exportar los puntos al Civil 3D).

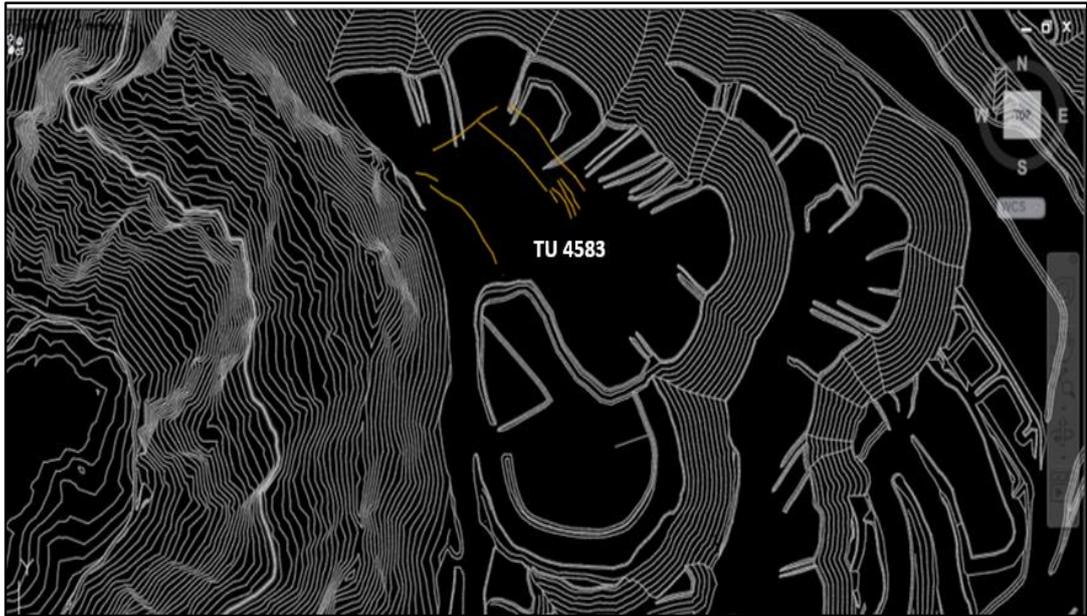


	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	1	276934.58	8939725.9	4451.063	ya06_g1a				
2	2	276946.65	8939730.1	4450.595	ya06_g1b				
3	3	276958.98	8939736.5	4450.427	ya06_g1c				
4	4	276967.8	8939742.5	4450.453	ya06_g1d				
5	5	276978.56	8939747.6	4450.48	ya06_g1e				
6	6	276751.36	8939660.5	4452.031	ya07_g2a				
7	7	276762.75	8939671.6	4451.882	ya07_g2b				
8	8	276774.55	8939678.1	4451.997	ya07_g2c				
9	9	276786.57	8939682	4452	ya07_g2d				
10	10	276799.24	8939687.5	4451.813	ya07_g2e				
11	11	276810.15	8939688.5	4451.842	ya07_g2f				
12	12	276819.61	8939693.3	4451.78	ya07_g2g				

- b. Se llevan los datos obtenidos del levantamiento topográfico, al software Civil 3D, para monitorear su avance o crecimiento.
- Botadero TU 4448 - 01 (Generación de Grietas de Tensión por sobre carga en botaderos)



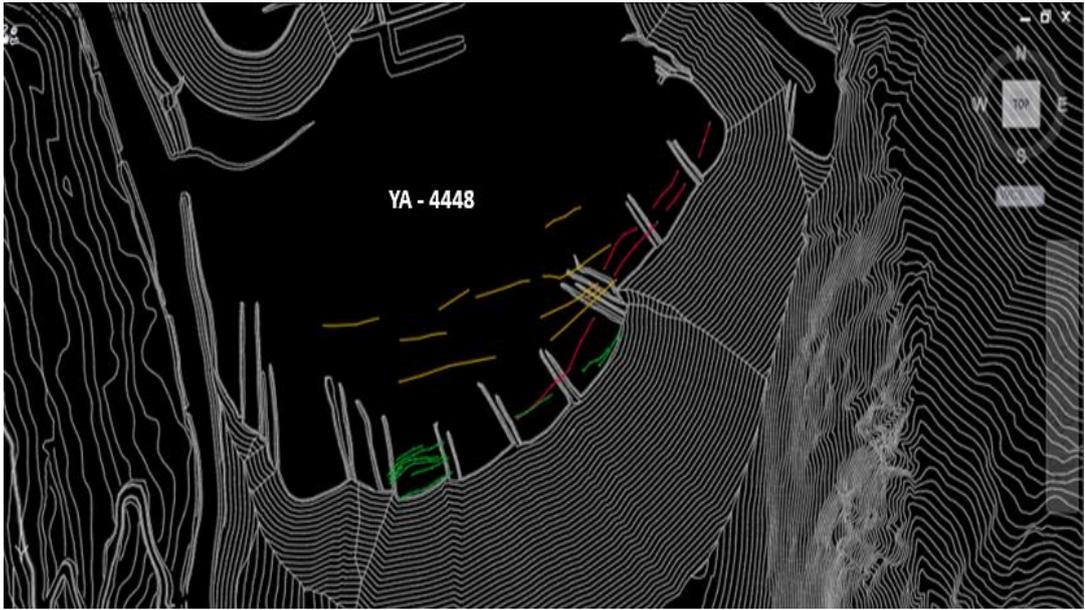
- Botadero TU 4583 (Generación de Grietas de Tensión)



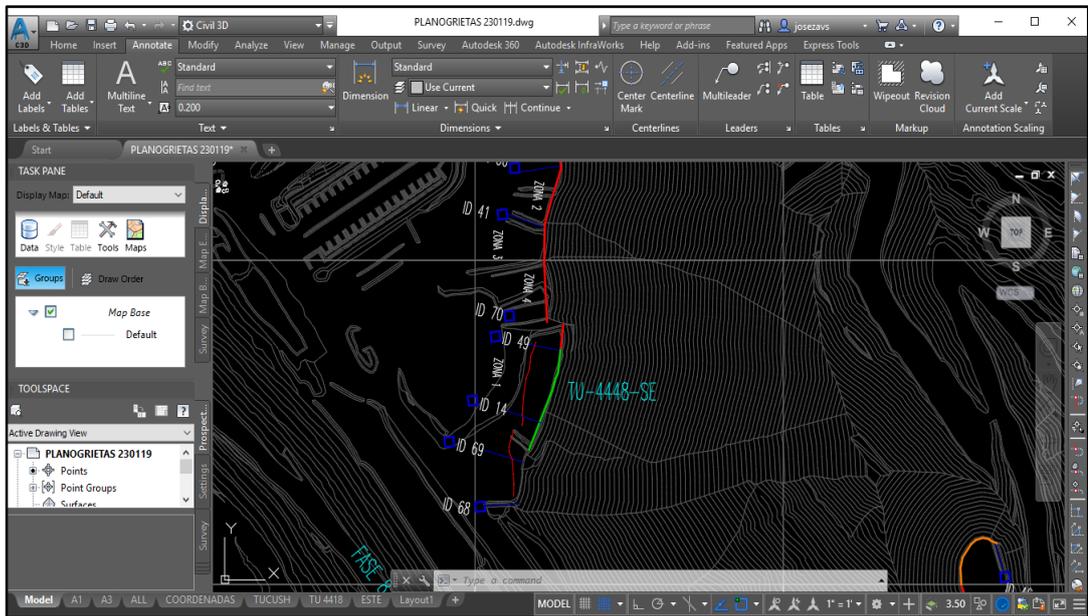
- Botadero TU 4463 - RAMPA (Generación de Grietas de Tensión)



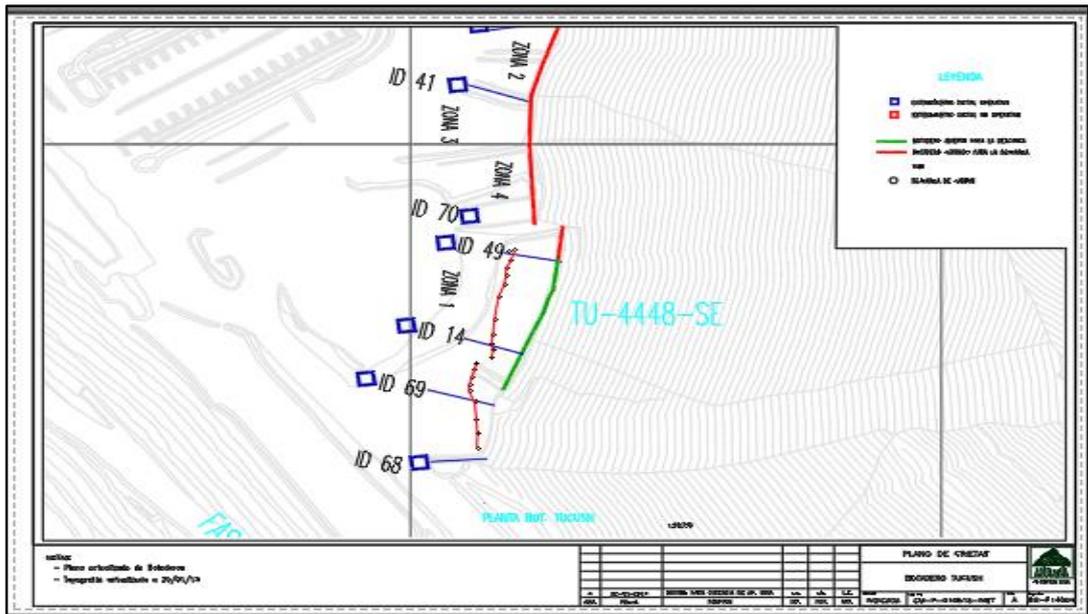
- Botadero YA 4448 Zonas 2 - 9 (Generación de Grietas de Tensión)



- Botadero TU 4448 – 01 (Presencia de Grietas de Tensión de color rojo, en las Plataformas de descarga)



- Grietas de tensión paralelas a la cresta del botadero.



- c. De acuerdo al grado de criticidad, en base a dimensiones de las grietas de tensión, se procede a realizar el corte del botadero.
- Presencia de asentamientos (tipo grada), paralelas a la cresta, inicialmente hubo grietas de tensión. Presenta posible falla a nivel de cara de talud.



- Una vez generado los asentamientos, con la ayuda de un tractor se procede a realizar el corte de plataforma de descarga para su estabilidad. Inclinando su cuchara a unos 30° y removiendo todo el material influenciado por los asentamientos.



- Vista panorámica del corte de una zona del botadero, mientras que en otras las descargas continúan



- Vista de plataforma de descarga con una inclinación de 30°, producto del corte realizado en la zona.



- d. Luego de todo este procedimiento, se realizan descargas libres desde el inicio del corte para nivelar la plataforma.

Interpretacion de Resultados

Monitoreo de grietas de tensión en el Botadero Yanacancha

- Las grietas de tensión son originadas producto de la contracción del material previamente consolidado por la misma carga del material (volumen) y el peso del equipo que circula por el lugar, el cual hará propicia su formación, de forma paralela a la cresta de la plataforma de descarga.
- El monitoreo se realiza con la ayuda de un GPS diferencial, el cual consiste en tomar puntos (coordenadas) a lo largo de la grieta de tensión diarias, para luego monitorear su avance o crecimiento y su posterior asentamiento o posible falla a nivel de cara de talud.

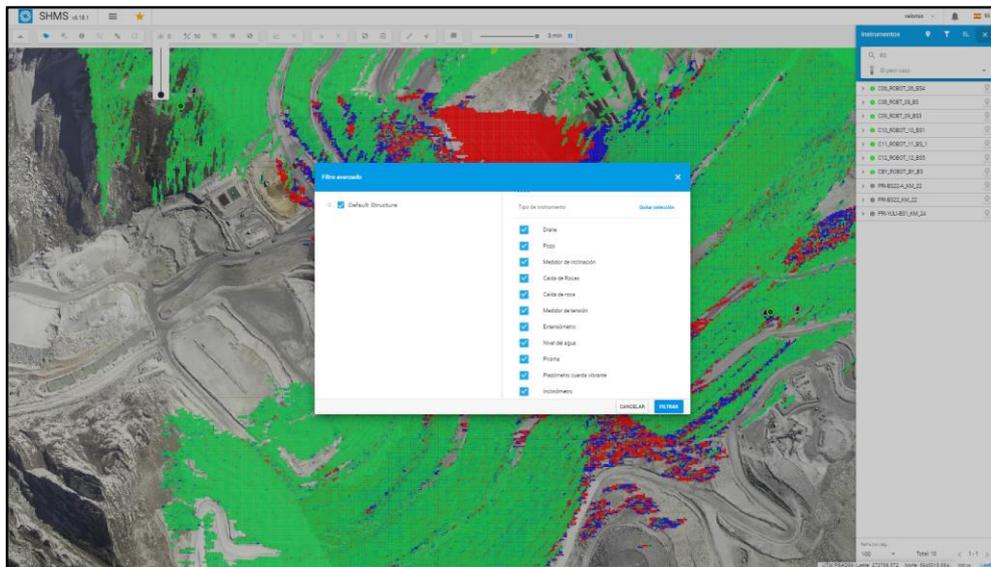
- El tiempo desde la presencia de grietas de tensión a formar asentamientos, es relativo o tiene relación con la cantidad de descargas que van llegando a la zona, el lapso de formación es variable y puede durar muchos días.
- Una vez ocurrido los asentamientos tipo grada, las cuales son profundas, se realiza el corte de plataforma con una tractor que inclina su pala a 30°, para quitar todo ese material afectado por asentamiento, y así se pueda reanudar las descargas posteriores al corte y así nuevamente reanudar con la formalización de la plataforma.
- Al momento de detectar una grieta de tensión, por más pequeña que sea la falla, el lugar se vuelve vulnerable y se está pendiente a cualquier incidente a suscitarse en el lugar, la ayuda con el monitoreo con extensómetros es importante.

4.2.4. Velocidad vs Descargas en Botaderos

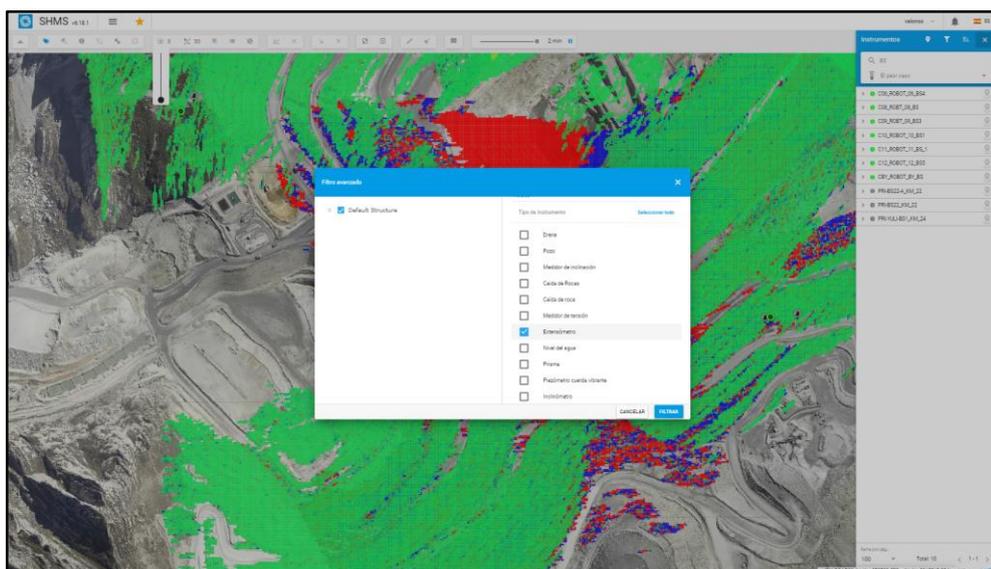
Software: SHMS, Oread, V2 Y Ms Excel

A continuación, se detallan los pasos para el análisis de datos:

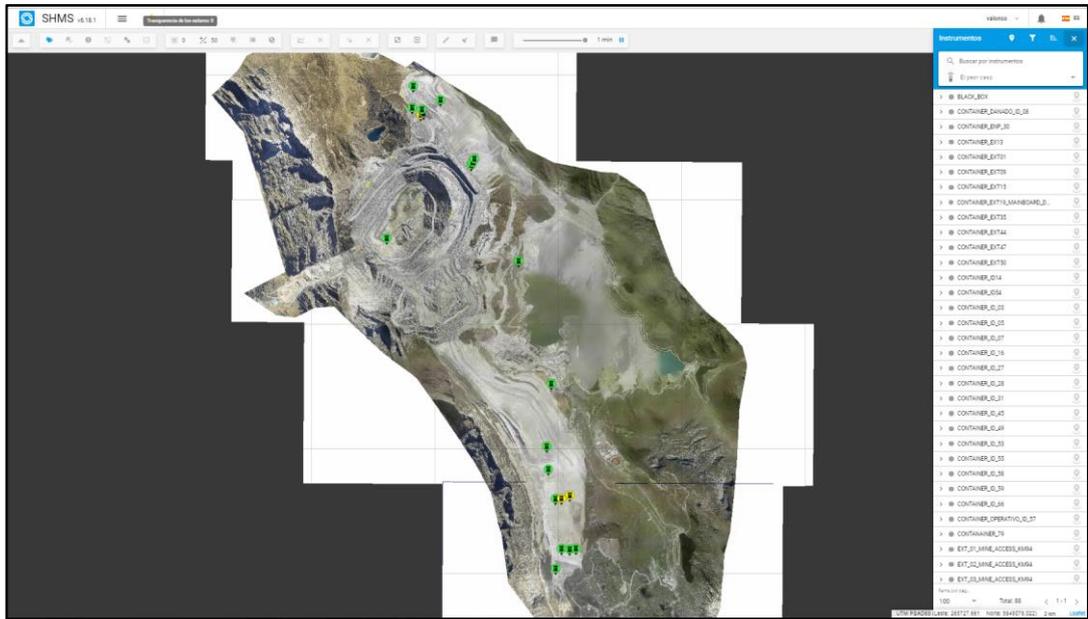
- a. **SOFTWARE INTEGRADOR SHMS (Slope Health Monitoring System),**
Integra toda la información en tiempo real de toda la instrumentación geotécnica. En este caso solo filtraremos la operatividad de los extensómetros.



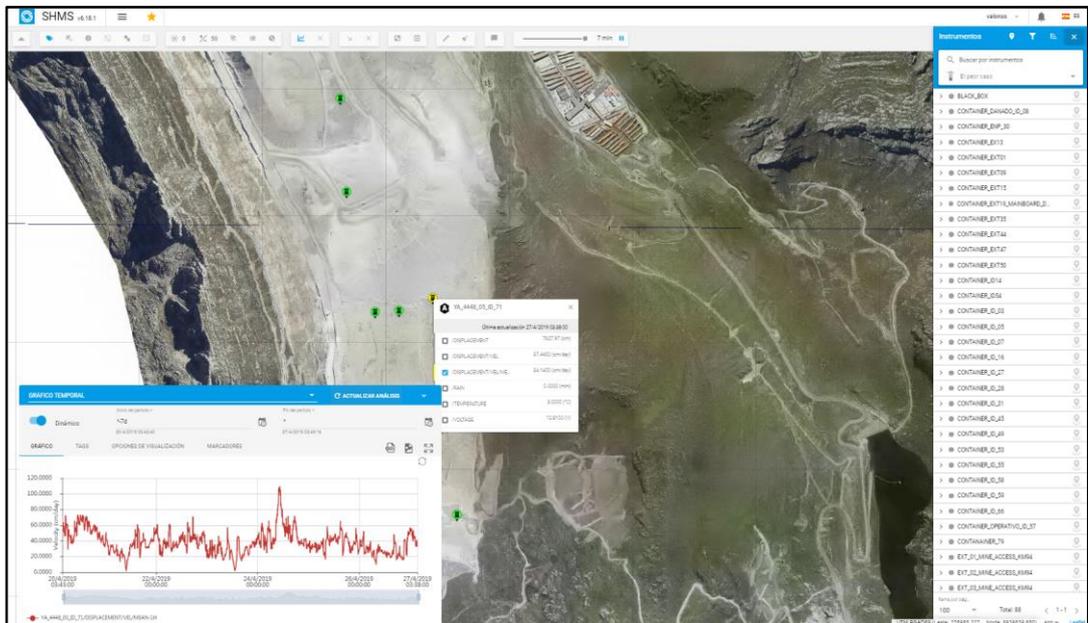
- Seleccionamos la parte de extensómetros, para obtener la data de los registros.



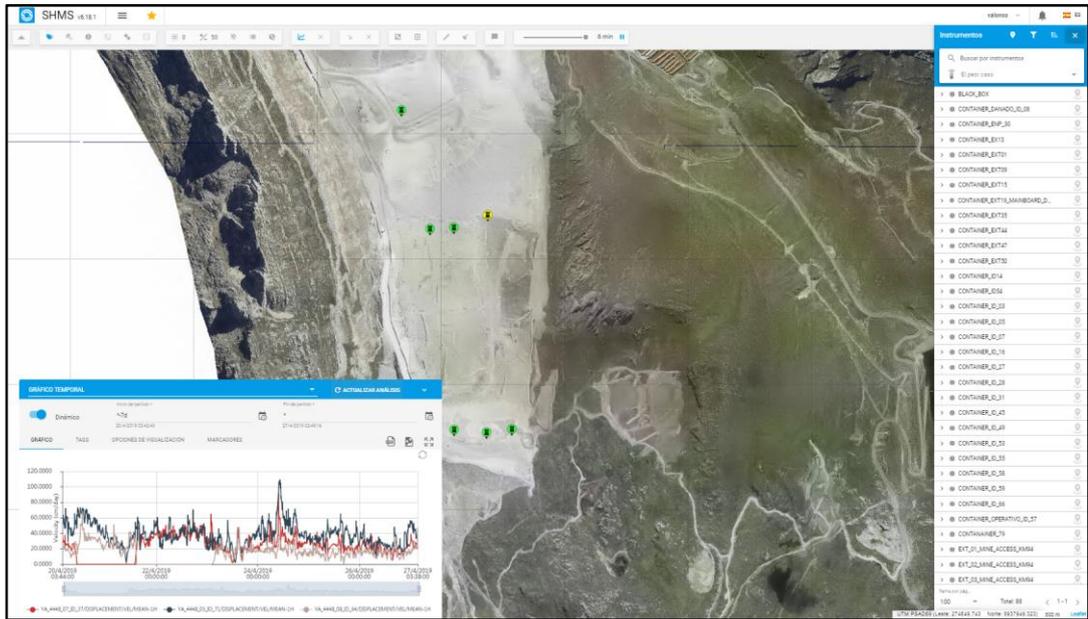
- Se despliega una ventana mostrando los extensómetros del Botadero Tucush, Yanacancha y Fase 6.



- Observamos la velocidad de los extensómetros de Yanacancha en un Grafico temporal (comportamiento).



- Analisis de velocidad en un gráfico temporal de varios extensómetros de las zonas de un botadero.



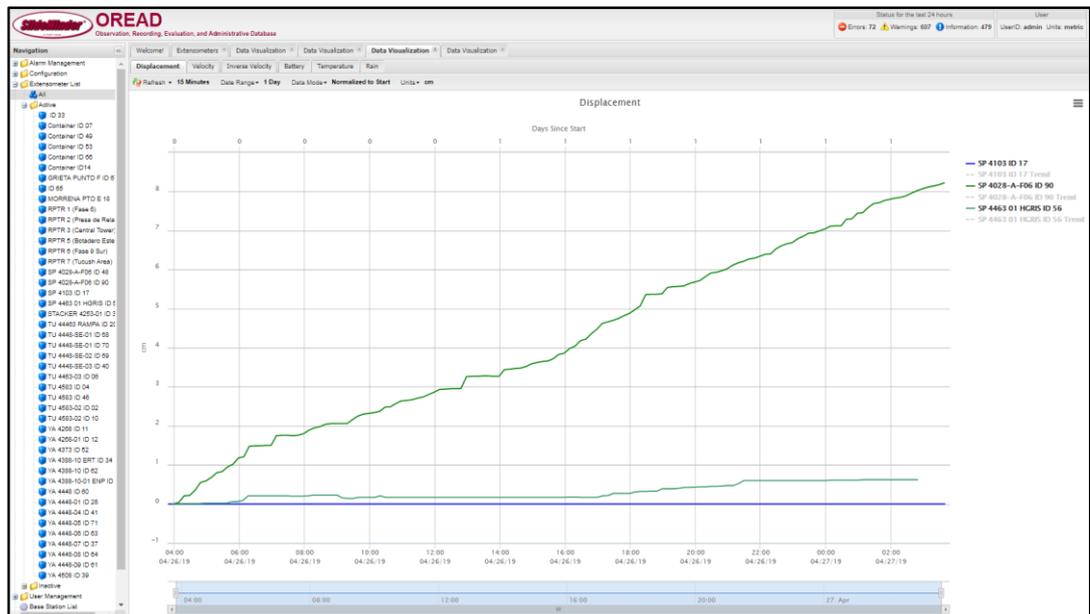
- b. **SOFTWARE OREAD**, Sirve para alertar sobre las velocidades que registren los extensómetros y estos sobrepasen los límites permisibles.



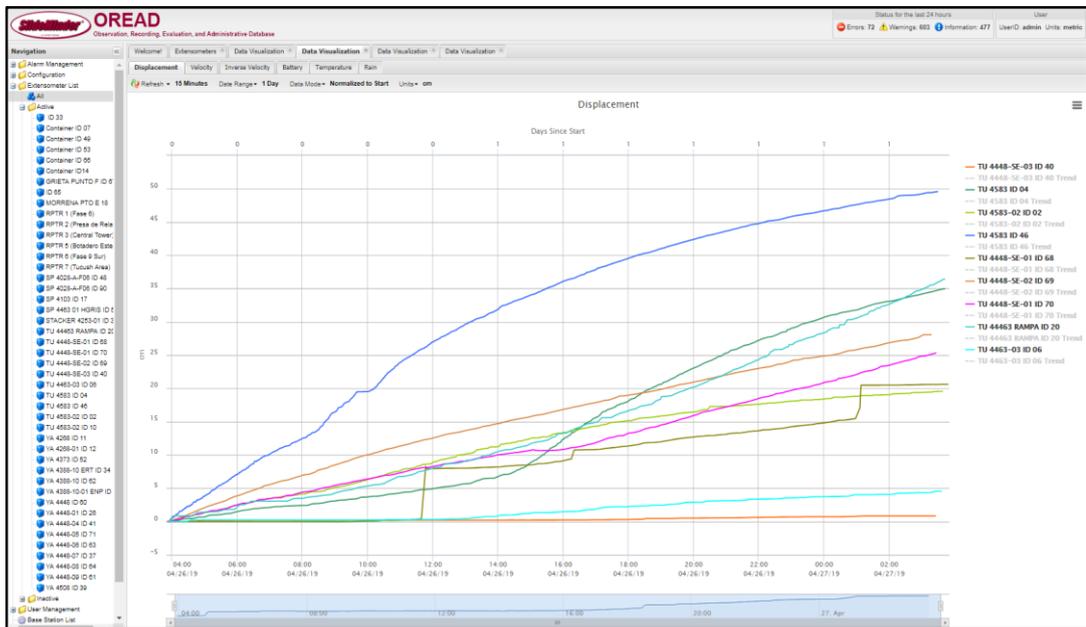
- Gráfico de velocidad de los extensómetros de la zona de un botadero.



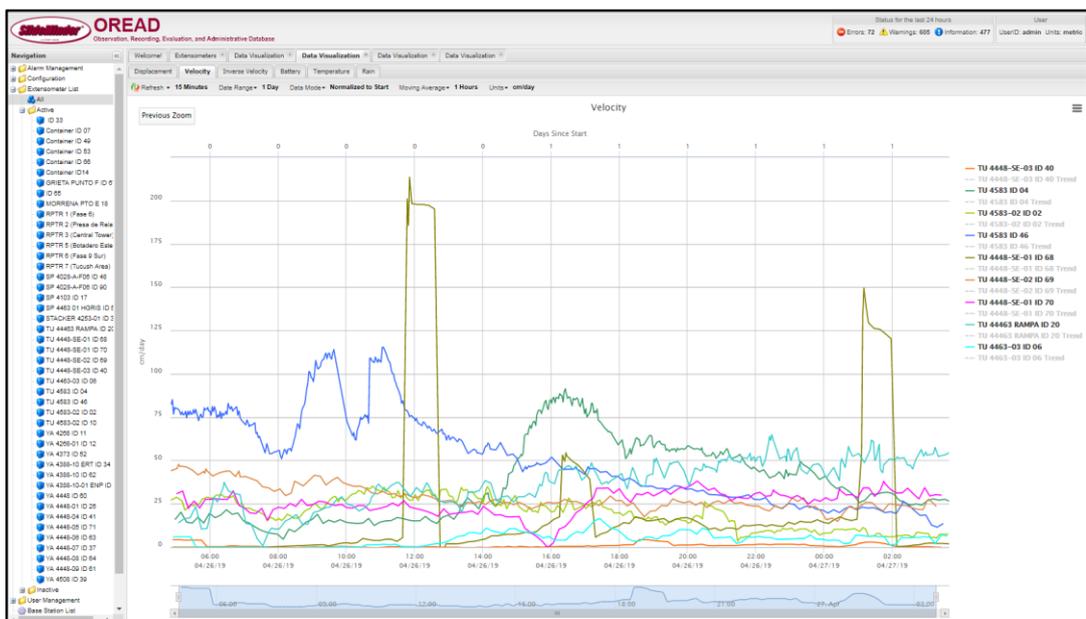
- Gráfico de desplazamiento de los extensómetros de una zona, el cual presenta un gráfico lineal y no exponencial.



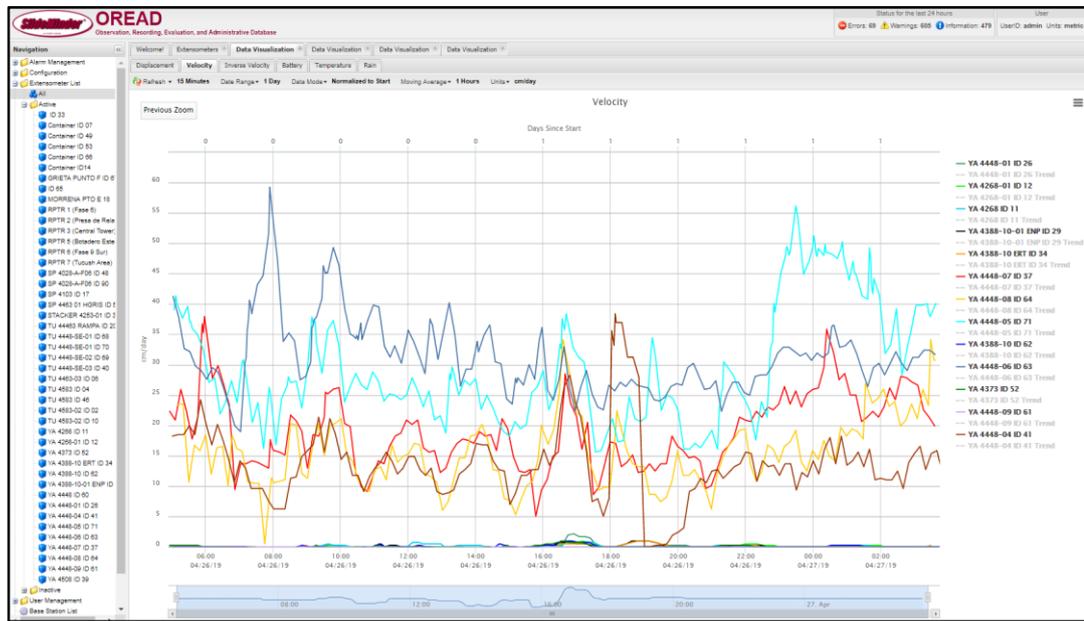
- Gráfico de Desplazamiento de los extensómetros, una forma exponencial representa una velocidad variable.



- Gráfico de velocidades, de donde se obtienen las velocidades por hora, para posteriormente relacionarlas con la cantidad de descargas en un determinado periodo.



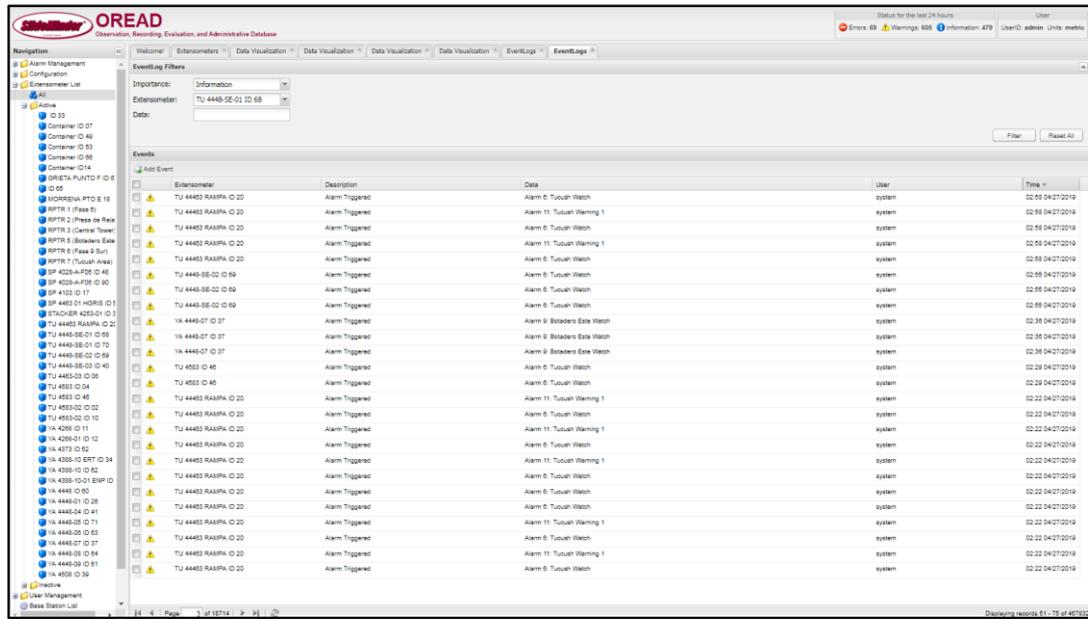
- Gráfico de Velocidad, donde se puede apreciar las diferentes velocidades de los extensómetros, registradas por el OREAD.



- El registro de datos de los extensómetros, se tienen que encontrar operativos, y podemos revisarlos en la columna sombreada de color amarillo, mostrando la ultima hora de actualización de datos.

Status	ID	Name	Alarm Group	Address	Last Seen	10 day Disp (mm)	Vel (cm/day)	Temp (°C)	Bat (%)	24hr Rain (mm)
	ID 33	GRUETA PLUNTO F D 6	default	33	10:28:34(2019)	4.87	0	12	13.06	0
	Container Dalfco ID 03	default	6	15:05:10(2018)	0	0	5	12.93	0	0
	Container ENP 32	default	30	10:17:59(2017)	0	0	12	12.77	0	0
	Container Ex13	Tuques Area	13	10:49:01(2018)	Unknown	Unknown	14	15.86	0	0
	Container ExD1	default	1	10:33:01(2018)	0	0	10	12.82	0	0
	Container ExD9	default	9	14:53:12(2018)	0	0	11	12.93	0	0
	Container Est15	default	15	09:12:07(2018)	Unknown	Unknown	0	0	0	0
	Container Est18-Manosco default	default	18	14:42:01(2018)	0	0	19	14.17	0	0
	Container Est35	default	35	07:39:06(2018)	0	0	5	13.54	0	0
	Container Est44	default	44	15:29:59(2018)	0	0	19	8.45	0	0
	Container Est47	default	47	10:40:39(2018)	0	0	10	12.5	0	0
	Container Est55	default	55	09:59:36(2018)	0	0	21	16.88	0	0
	Container ID 03	Botadero Este	3	15:17:10(2018)	0	0	9	14.94	0	0
	CONTAINER ID 05	default	5	10:30:01(2018)	0	0	4	12.91	0	0
	Container ID 07	Tuques Area	7	13:05:10(2018)	4.92	0	4	14.41	0	0
	Container ID 16	default	16	09:18:07(2018)	0	0	-6	12.71	0	0
	Container ID 27	Botadero Este	27	09:43:09(2018)	0	0	12	14.41	0	0
	Container ID 28	Tuques Area	28	09:43:09(2018)	0	0	12	12.06	0	0
	Container ID 31	Botadero Este	31	10:51:01(2018)	0	0	16	14.43	0	0
	Container ID 48	RAMPAL	48	11:48:06(172018)	0	0	7	14.64	0	0
	Container ID 49	default	49	22:22:03(2018)	0	0	2	13.09	0	0
	Container ID 53	BORFEDAL DAM D	53	08:51:04(2018)	Unknown	Unknown	0	12.14	0	0
	Container ID 55	default	55	08:59:05(2018)	0	0	10	13.28	0	0
	Container ID 58	default	58	09:49:05(2018)	0	0	1	12.22	0	0
	Container ID 59	default	59	08:29:05(212018)	0	0	1	12.67	0	0
	Container ID 65	Botadero Este	65	08:34:04(2018)	2.15	0	0	12.35	0	0
	Container ID14	default	14	11:07:03(2018)	0	0	6	14.13	0	0
	Container Operativo ID 57	default	57	09:34:09(2018)	0	0	11	14.49	0	0
	CONTAINER 79	Tuques Area	79	08:32:04(2018)	Unknown	Unknown	0	0	0	0
	GRUETA PLUNTO F D 87	GRUETA PLUNTO	87	08:32:04(2018)	0.14	0	0	12.4	0	0
	ID 55	RAMPAL	55	10:32:04(2018)	0.4	0	0	12.71	0	0
	WOT	default	60	08:32:04(2018)	Unknown	Unknown	0	0	0	0
	MORRENA PTD 8 16	GRUETA PLUNTO	16	03:33:04(2019)	-0.91	Unknown	9	12.91	0	0
	RPRTR 1 (Pass 6)	default	121	14:51:02(2018)	Unknown	Unknown	14	13.07	0	0
	RPRTR 2 (Pass de Palawki)	default	152	04:18:04(2020)	Unknown	Unknown	0	12.18	0	0
	RPRTR 3 (Central Tower)	default	153	04:59:02(2018)	Unknown	Unknown	23	13.44	0	0

- Visualización de las alarmas registradas durante la guardia por botadero y zona.



- c. SOFTWARE V2, de este software se puede obtener el registro de descargas por hora en los Botaderos.



- Número de descargas por hora en cada botadero turno Noche.

CMA ESTADISTICAS DE TAJO													
Hourly Destination Descargas													
26-ABR-19 Noche at 23:27:49 with													
Destination	Total	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00
CHANCADORA PRIMARIA	122	0	0	8	26	28	9	19	25	7	0	0	0
Cumulative		0	0	8	34	62	0	0	0	0	0	0	0
EP-LASTRE-TU	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Cumulative		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
EP-LASTRE-YA	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cumulative		0	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0
IP-LASTRE-FB	13	0	2	3	3	5	0	0	0	0	0	0	0
Cumulative		0	2	5	8	13	0	0	0	0	0	0	0
SP-CHANC-ZRIA	5	1	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Cumulative		1	4	4	5	5	0	0	0	0	0	0	0
SP4028-A-F06	73	10	15	10	7	7	3	12	7	2	0	0	0
Cumulative		10	25	35	42	49	0	0	0	0	0	0	0
SP4103-TD	12	0	0	0	1	1	0	6	4	0	0	0	0
Cumulative		0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0
SP4155-M1-12	14	0	1	8	0	0	1	4	0	0	0	0	0
Cumulative		0	1	9	9	9	0	0	0	0	0	0	0
SP4155-M4B-18	49	0	12	7	2	4	1	6	14	3	0	0	0
Cumulative		0	12	19	21	25	0	0	0	0	0	0	0

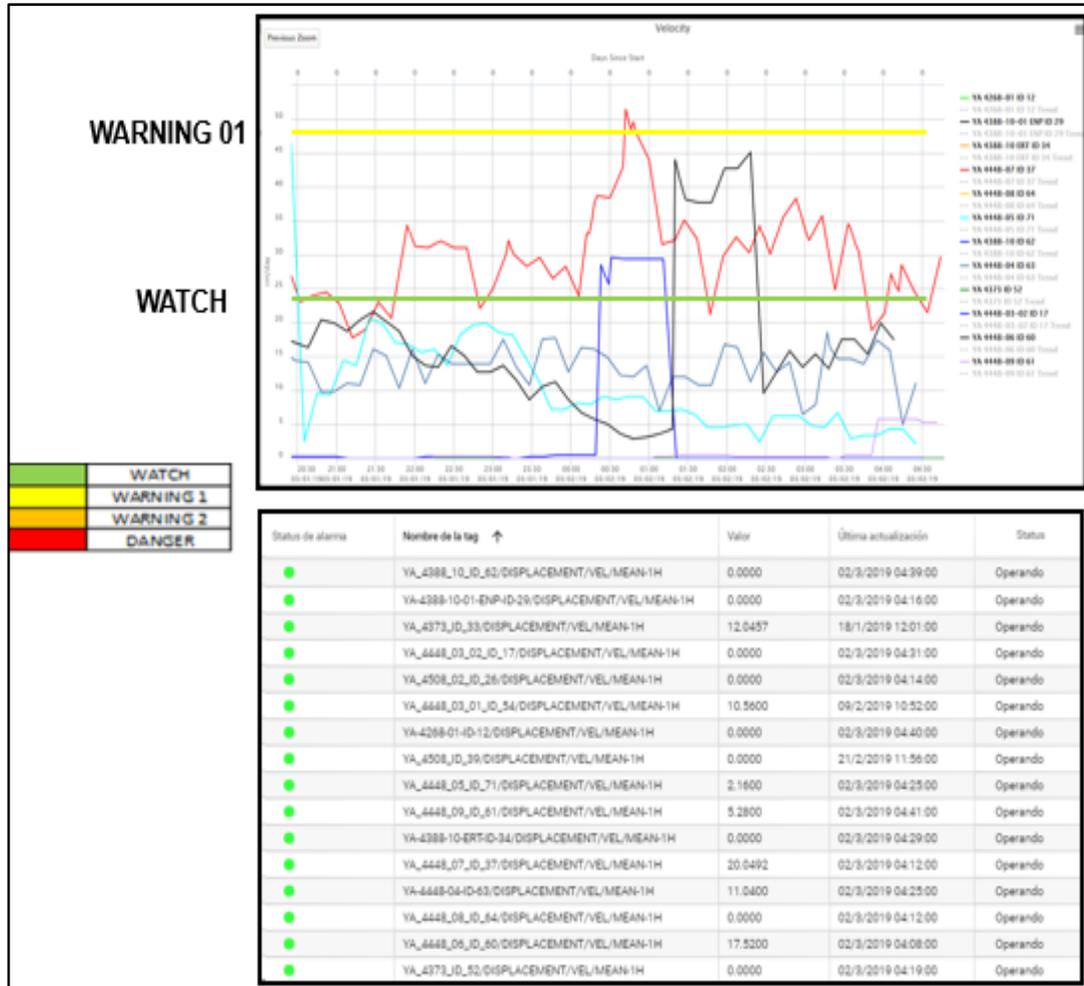
---Continua---

- Número de descargas por hora en cada botadero turno Noche.

CMA ESTADISTICAS DE TAJO													
Hourly Destination Descargas													
26-ABR-19 Noche at 23:27:49 with													
Cumulative		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
TU4446-01	70	5	13	9	13	8	5	5	12	0	0	0	0
Cumulative		5	18	27	40	48	0	0	0	0	0	0	0
TU4463-03	29	0	6	1	2	3	1	8	8	0	0	0	0
Cumulative		0	6	7	9	12	0	0	0	0	0	0	0
TU4463-RAMPA	86	12	9	13	9	11	3	12	12	5	0	0	0
Cumulative		12	21	34	43	54	0	0	0	0	0	0	0
TU4583-01	83	12	12	9	12	7	4	12	11	4	0	0	0
Cumulative		12	24	33	45	52	0	0	0	0	0	0	0
YA4446-05	75	1	10	16	19	11	6	6	6	0	0	0	0
Cumulative		1	11	27	46	57	0	0	0	0	0	0	0
YA4446-06	6	2	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0
Cumulative		2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0
YA4446-07	69	7	16	12	9	13	3	2	6	1	0	0	0
Cumulative		7	23	35	44	57	0	0	0	0	0	0	0
YA4446-08	88	0	6	19	8	14	7	16	11	7	0	0	0
Cumulative		0	6	25	33	47	0	0	0	0	0	0	0
Total	919	60	117	133	132	129	49	128	135	36	0	0	0
Cumulative		60	177	310	442	571	0	0	0	0	0	0	0

Presione la barra espaciadora para continuar

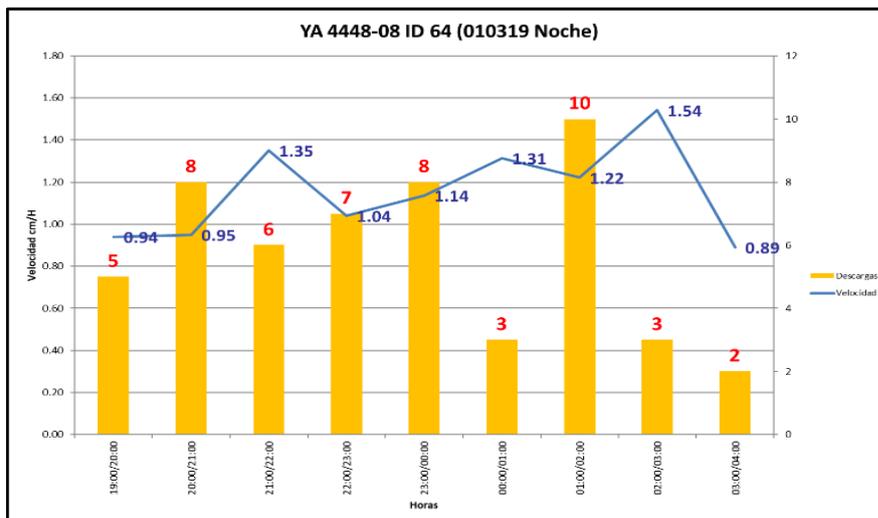
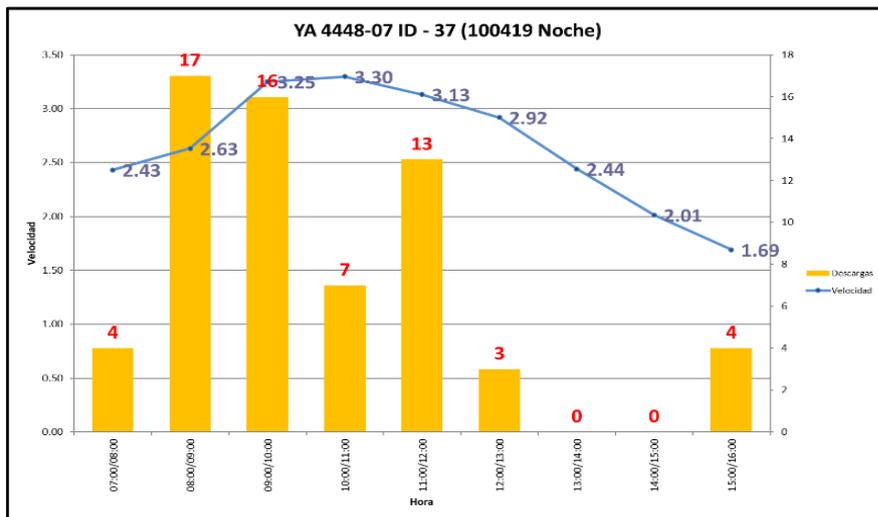
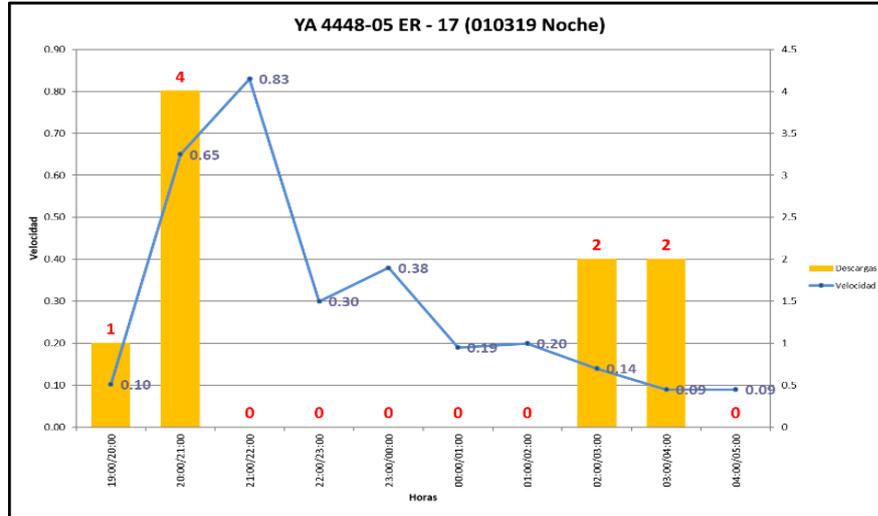
d. **ANALISIS DE VELOCIDADES VS DESCARGAS**, una vez se va obteniendo las velocidades del Sistema Oread y SHMS de cada extensómetro, se van registrando los niveles de alarma.

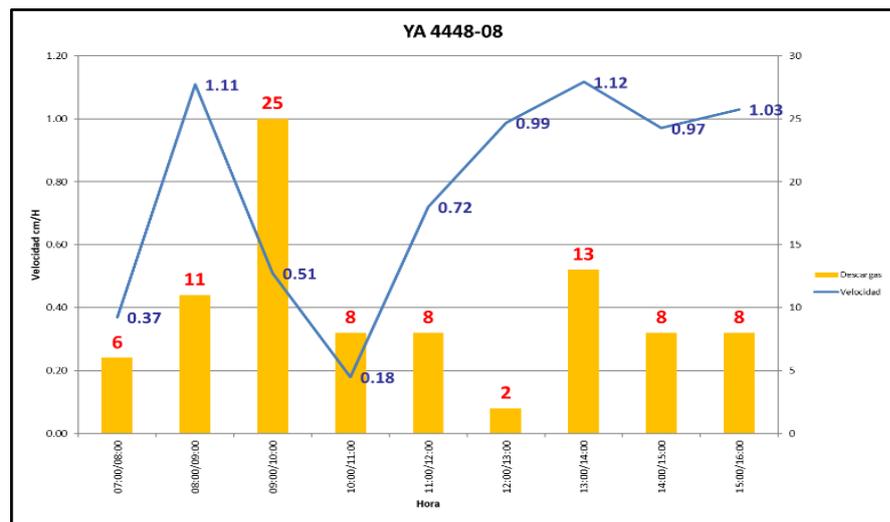
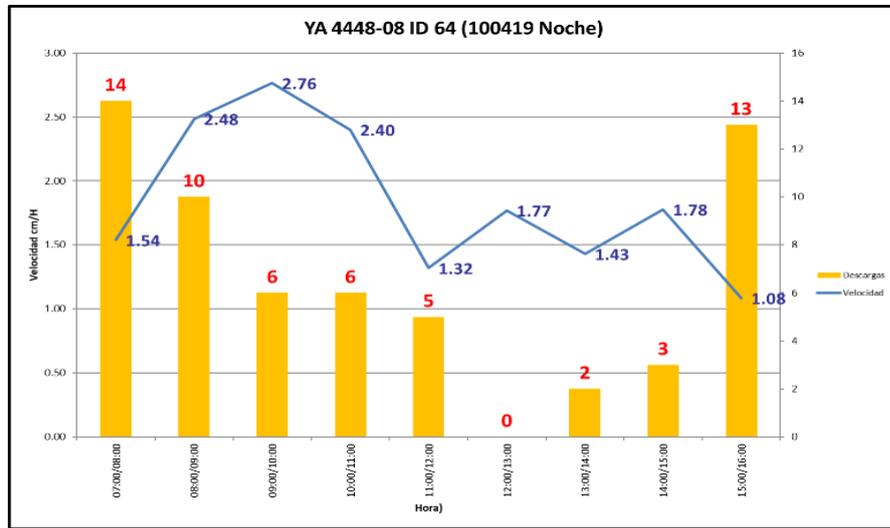
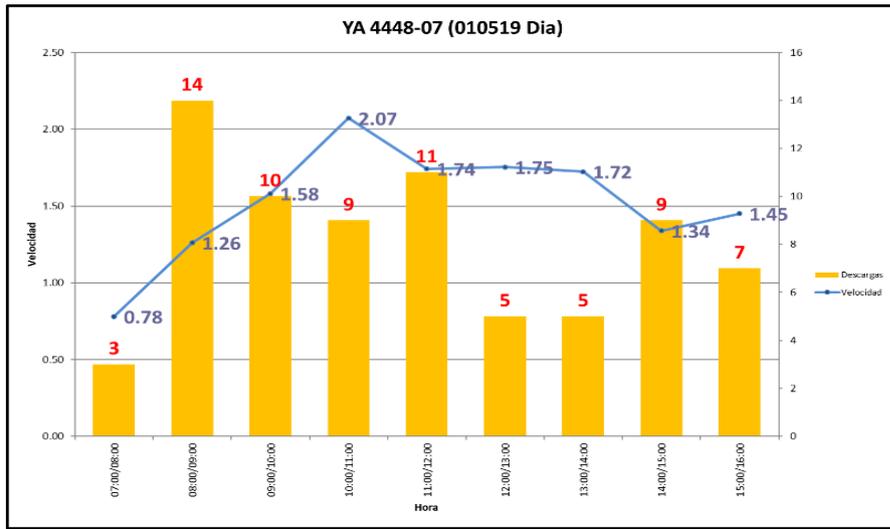


- Se realiza un cuadro en Excel, para poder añadir datos de velocidades y descargas que se dieron en una misma hora.

	YA 4448-01		YA 4268-02		YA 4448-03-ID 26		YA 4448-03-ID 17		YA 4448-04 ID63		YA 4448-05 ID71		YA 4448-06 ID60		YA 4448-07 ID 37		YA 4448-08 ID 64		YA 4448-09 ID		YA 4268	
	Velocidad	Descargas	Velocidad	Descargas	Velocidad	Descargas	Velocidad	Descargas	Velocidad	Descargas	Velocidad	Descargas	Velocidad	Descargas	Velocidad	Descargas	Velocidad	Descargas	Velocidad	Descargas	Velocidad	Descargas
Noche 19:00/20:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	1	0.79	0	0.00	0.94	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Noche 20:00/21:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63	4	0.62	4	0.00	0.93	6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Noche 21:00/22:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83	0	0.63	0	0.00	1.33	6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Noche 22:00/23:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0	0.53	0	0.00	1.04	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Noche 23:00/00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	0	0.38	0	0.00	1.14	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Noche 00:00/01:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0	0.13	0	0.00	1.31	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Noche 01:00/02:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0	1.78	0	0.00	1.23	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Noche 02:00/03:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	2	0.35	2	0.00	1.54	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Noche 03:00/04:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	2	0.65	1	0.00	0.89	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
04:00/05:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0	0.73	0	0.00	1.23	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0	0	0	0	0	0	0	0	9	7	0	0	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19:00/20:00									2.46		18.96			22.58								
20:00/21:00									15.60		19.72			22.80								
21:00/22:00									19.92		15.12			32.40								
22:00/23:00									7.20		12.72			24.96								
23:00/00:00									9.12		8.64			27.29								
00:00/01:00									4.56		3.12			31.53								
01:00/02:00									4.80		42.72			29.31								
02:00/03:00									3.36		18.14			36.99								
03:00/04:00									2.16		15.56			21.36								
04:00/05:00									2.16		17.52			29.62								

- Se generan gráficos de Velocidades vs Descargas, en el cual podemos determinar el comportamiento del Botadero Yanacancha en tiempo real y poder tomar las medidas correctivas para mantener su estabilidad.





- Cuadro de alarmas presentadas en diferentes Botadero de la Mina durante la guardia.

Botadero Este - Yanacancha				
Sector	Extensómetro	Velocidad máx. (cm/hr)	Nivel de alarma	Observaciones
S1 YA 4448	YA 4448-03-01 ID 26	0.4	-	-
	YA 4448-03-02 ID71	3.8	Warning 2	Un pulso por reacomodo de material (19:00 h)
	YA 4448-04 ID 63	2.5	Warning 1	
	YA 4448-05 ER 17	6.3	Danger	Rotura de cable(20:00h) se dieron dos pulsos
	YA 4448-06 ID 60	2.1	Warning 1	
	YA 4448-07 ID 37	1.4	Watch	
S2 YA 4448	YA 4448-02 ID 68	0.8	-	
	YA 4448-01 ID 66	0.1	-	
S3 YA 4508	YA 4508-02 ID 10	0.1	-	
	YA 4508-02 ID18	0.1	-	
	YA 4508 ID 16	-	-	Desinstalado (verificar)
S4 YA 4388	YA 4388-10 ERT ID 34	-	-	Desinstalado (verificar)
	YA 4388-10 ID 62	0.1	-	
	YA 4388-10-01 ENP ID 29	0.2	-	
	YA 4388-10-02 ERT ID 40	0.1	-	
S5 YA 4508	YA 4373 EN 56	0.2	-	
	YA 4373 ENP 53	0.2	-	
S6 YA 4268	YA 4268-01 ID 12	0.1	-	

- Niveles de Alarma configurados para el botadero de Yanacancha

Niveles de Alarma	Velocidad cm/hr	Velocidad cm/día	Reducir descargas	Observación
Watch	1 - 2	24 - 48	-	Inicio de Alertas
Warning 1	2 - 3	48 - 72	20%	De la última hora de descarga
Warning 2	3 - 4	72 - 96	50%	De la última hora de descarga
Danger	> 4	>96	-	Botadero Cerrado

Tabla 02: Niveles de Alarma en el Botadero Este.

Interpretacion de Resultados

Monitoreo velocidad vs descarga en Botaderos

- El sistema de Velocidad vs Descarga, tiene como propósito fundamental encontrar la relación que llevan estos factores en su operatividad, ya que el trabajo que realizan es simultaneo en el tiempo, pudiendo así prevenir fallamientos en la estructura.

- Este sistema fue implementado por el Equipo de Dispatch Geotecnico para la Gerencia de Geotecnia, ya que los extensómetros conjuntamente con otra instrumentación geotécnica, se están automatizando y la información llega directamente a la oficina mediante vía WIFI, el cual nos hace posible procesar la información en tiempo real de lo que está sucediendo en el Botadero de Yanacancha.
- De acuerdo a los gráficos procesados en base a velocidad y descargas en el Botadero, podemos interpretar y asumir que conforme las descargas son mayores en un botadero, la velocidad del movimiento también será mayor y será registrada por los extensómetros; así como también las descargas en un botadero pueden ser pasivas, mostrando valores reducidos en la velocidad del movimiento en los extensómetros.
- En el análisis se encuentra una relación favorable entre la velocidad y descargas en el nivel YA 4448, el cual permitirá identificar a tiempo y reducir la cantidad de descargas, para evitar el incremento de la velocidad.
- Los niveles de Alarma de un extensómetro se registran de la siguiente manera:
 - Nivel **Sin Alarmas**, con velocidades entre 0 – 24 cm/hora (no se toman acciones)
 - Nivel **Watch**, con alarmas entre 24 – 48 cm/hora (inicio de alertas)
 - Nivel **Warning 01**, con alarmas entre 48 – 72 cm/hora (reducir descargas en botadero en 20%)
 - Nivel **Warning 02**, con alarmas entre 72 – 96 cm/hora (reducir descargas en botadero en 50%)
 - Nivel **Danger**, con alarmas mayores a los 96 cm/hora (Cierre de botadero para su evaluación).

4.3. Prueba de Hipótesis

La presente investigación es descriptiva, por lo que las pruebas de Hipótesis se plantean por el cumplimiento de los objetivos, teniendo en cuenta la discusión de resultados, de la siguiente manera:

Objetivo General

Determinar los controles geotécnicos en el monitoreo de la estabilidad en la ampliación del botadero Yanacancha, Compañía minera Antamina.

Se logro determinar el objetivo general, al cumplir con el recojo y procesamiento de datos en campo y aplicándolos a la generación de técnicas de monitoreo en la estabilidad del Botadero de Yanacancha. Estos controles Geotécnicos son a continuación: analisis de caida de rocas, velocidad vs descargas, monitoreo de grietas de tensión y analisis de estabilidad en la ampliación del Botadero Yanacancha.

4.4. Discusión de Resultados

Este trabajo de investigación tiene como propósito aplicar una serie de Controles Geotécnicos en el monitoreo de la estabilidad en la ampliación del Botadero Yanacancha, en Compañía Minera Antamina. Todo esto en base a la recopilación de datos de los instrumentos geotécnicos ubicados en campo, como extensómetros y GPS diferencial y procesamiento de datos, así como el uso de Software Geotecnico especializado en la realización de analisis de estabilidad.

De los resultados obtenidos en esta investigación, se puede deducir que los datos como los valores pseudoestáticos de movimiento y propiedades mecánicas de los materiales, son factores muy importantes en la configuración de los controles geotécnicos, ya que proporcionaran información para diseñar una geometría adecuada del botadero Yanacancha y mantener su estabilidad en el tiempo durante su ampliación

CONCLUSIONES

- Entonces el Analisis de Caida de Rocas en Botaderos, es un **CONTROL GEOTECNICO** necesario, ya que gracias a este se puede diseñar bermas de impacto en el nivel inferior del mismo, evitando la interacción de materiales sueltos con las vías de tránsito de vehículos livianos y pesados y así poder prevenir daños materiales e incluso fatales para la compañía.
- Se considera el Análisis de Estabilidad, como un **CONTROL GEOTECNICO**, porque es la herramienta más importante para demostrar la seguridad, frente al cualquier situación de inestabilidad que pueda presentarse en las plataformas de descarga y que esta se siga ampliando con normalidad sin tener ningún problema.
- Se considera el Monitoreo de grietas de tensión, como un **CONTROL GEOTECNICO** importante, ya que influye mucho en la estabilidad del Botadero. El uso de datos topográficos obtenidos en campo para su monitoreo, reflejan un inicio de la falla y su crecimiento en el tiempo, lo que nos permitirá determinar a tiempo, posibles fallas a nivel de cara de talud, que involucren daños materiales e incluso pérdidas humanas.
- El Analisis de Velocidad vs Descargas, es un **CONTROL GEOTECNICO** necesario, porque nos ayudara a determinar el comportamiento del Botadero en tiempo real, pudiendo así tomar las medidas correctivas, que son necesarias para prevenir cualquier daño material o incluso de fatalidad.
- Se puede Concluir que los Controles Geotécnicos, aplicados en el monitoreo de estabilidad del Botadero Yanacancha, llegan a ser una herramienta importante en su proceso de ampliación.

RECOMENDACIONES

- Considerar los estudios de fundación y análisis de estabilidad es vital para la construcción de un Botadero.
- En el diseño y planeamiento es necesario realizar un análisis de sensibilidad sobre cuántas toneladas puede recibir un botadero, considerando todos los factores ya mencionados.
- En el monitoreo de estabilidad de botaderos se debe tener un estricto control en la supervisión y en la implementación y seguimiento de la instrumentación.
- Para el proceso constructivo es necesario la implementación de procedimientos (PETS).
- Hacer factible la construcción de un botadero de gran altura es garantizar la continuidad de la operación.

BIBLIOGRAFIA

- Piteau Engineering Latin América SAC Estudios de Fundación y Análisis de Estabilidad Botadero Este a nivel Factibilidad (2000, 2001 y 2003).
- Piteau Engineering Latin América SAC Estudios de Fundación y Análisis de Estabilidad Botadero Tucush (2001, 2003, 2004 y 2014).
- Klohn Crippen Consultant Ltd. Estudio Hidrogeológico (1997, 2005).
- Procedimientos para Botaderos Geotecnia Mina – Antamina (2014).
- Parámetros de Diseños, Ingeniería Mina – Antamina (2014).
- Construcción de Botaderos de Gran Altura, Ing. Fredy Mamani, Compañía Minera Antamina S.A (2010).
- A. Guidelines for Mine Waste Dump and Stockpile Design 2017 – Editors: Mark Hawley and John Cunning

ANEXOS



Figura 9: Plataforma de descarga TUCUSH 4583, se logra apreciar las descargas con camiones y una berma de impacto en el nivel inferior.



Figura 10: Se puede visualizar la caída de rocas, también la primera berma de impacto diseñada al pie del botadero, y también los bloques de roca que la sobrepasaron.



Figura 11: Visualización de la segunda berma de impacto, y la interacción con el tránsito de vehículos.



Figura 12: Construcción de las bermas de impacto según el diseño dado en el análisis de caída de rocas.



Figura 13: Se logra apreciar la caída de rocas de niveles superiores, las cuales ya están delimitadas por bermas de impacto.



Figura 14: Imagen donde se logran apreciar las dos bermas de impacto, una donde el material sobrepaso la barrera.

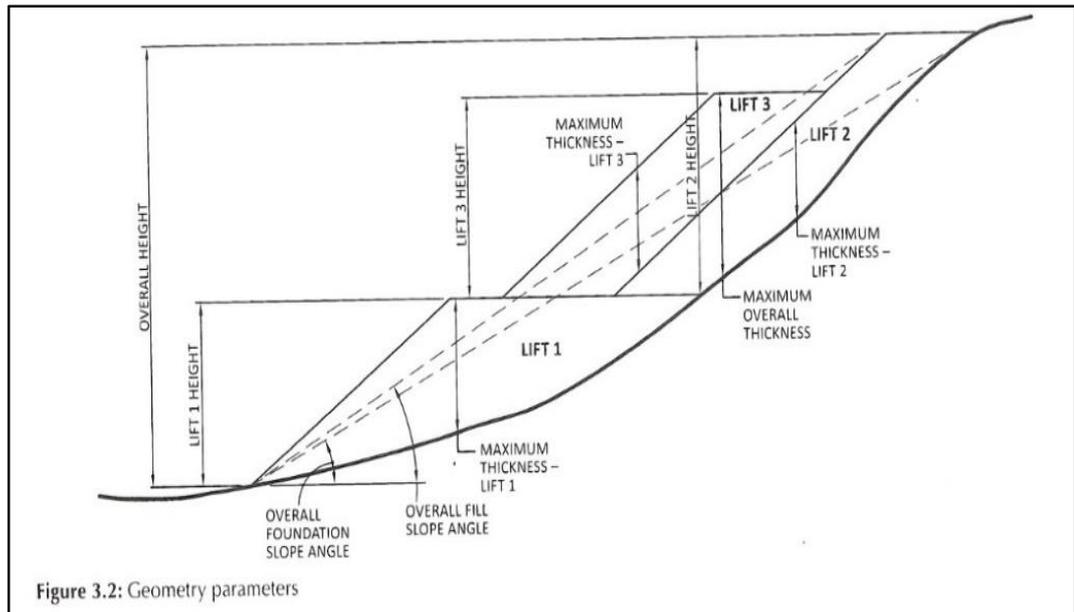


Figura 15: Geometría de un botadero



Figura 16: Botadero Yanacancha Nivel 4448 - zona 01, Operativa.



Figura 17: Botadero Yanacancha Nivel 4448, zonas 02 – 09 Operativa.



Figura 18: Vista Panorámica del Botadero de Yanacancha 4448, mirando hacia el oeste.



Figura 19: Vista Panorámica del Botadero de Yanacancha 4388, mirando hacia el oeste. Al fondo se logra apreciar el botadero de YA 4448 Y YA 4508.



Figura 20: Vista Panorámica del Botadero Yanacancha 4268, trabajos de ampliación.



Figura 21: Presencia de Grietas de Tensión en Plataformas, con diámetros mayores a 5mm.



Figura 22: GPS diferencia tomando puntos en plataforma de descarga.



Figura 23: Vista de grietas de tensión y asentamientos al largo de una ventana de instrumentación geotécnica (extensómetros).



Figura 24: Presencia de Asentamientos en toda la plataforma de descarga, Botadero YA4448 – zona 05.



Figura 25: Vista de Tractor realizado corte en plataforma.



Figura 26: Vista panorámica del botadero de Yanacancha 4448, el cual involucra varias zonas de descarga.



Figura 27: Grieta de tensión profunda con centímetros de espesor.

Compañía Minera Antamina S.A.
2534-18-M001
May 9, 2018

6

Table I Calibrated RocFall Modeling Parameters – Actual (True) Slope Profile

Profile	Material	Coefficient of Restitution				Friction Angle (°)		Slope Roughness (°)
		Normal (Rn)		Tangential (Rt)		Mean	Std. Dev.	
		Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.			
1	Intact Rock / Bench Face	0.48	0.04	0.88	0.04	20	2	0
	Filled Bench / Talus	0.24	0.04	0.44	0.04	30	2	0
	Clean Bench / Subgrade	0.27	0.04	0.76	0.04	37	2	0
2 & 3	Intact Rock / Bench Face	0.38	0.04	0.85	0.04	25	2	0
	Filled Bench / Talus	0.20	0.04	0.40	0.04	30	2	0
	Clean Bench / Subgrade	0.32	0.04	0.80	0.04	35	2	0

Figura 28: Coeficiente Estadístico de Restitución de los Materiales.



Figura 29: Desinstalación de instrumentación en la zona, para su posterior corte de plataforma, por la presencia de grietas de tensión e inicios de asentamientos en la zona.



Figura 30: Labores de noche, donde también se llega a presenciar inicios de asentamiento el cual es motivo de cerrar temporalmente la zona de descarga por posible falla y atrapamiento de camiones.



Figura 31: Vista perpendicular de un asentamiento en plataforma, Botadero YA4448- Zona 06.



Figura 32: Vista de extensómetro digital, el cual tiene que estar detrás de la grieta de tensión o asentamiento para poder detectar el movimiento.



Figura 33. Vista de Ventana de instrumentación geotécnica (extensómetro), donde se presencia asentamiento y se procede a retirar el instrumento para reubicarlo en otro lugar.



Figura 34: Instalando instrumentación geotécnica en el Botadero de Yanacancha 4448.

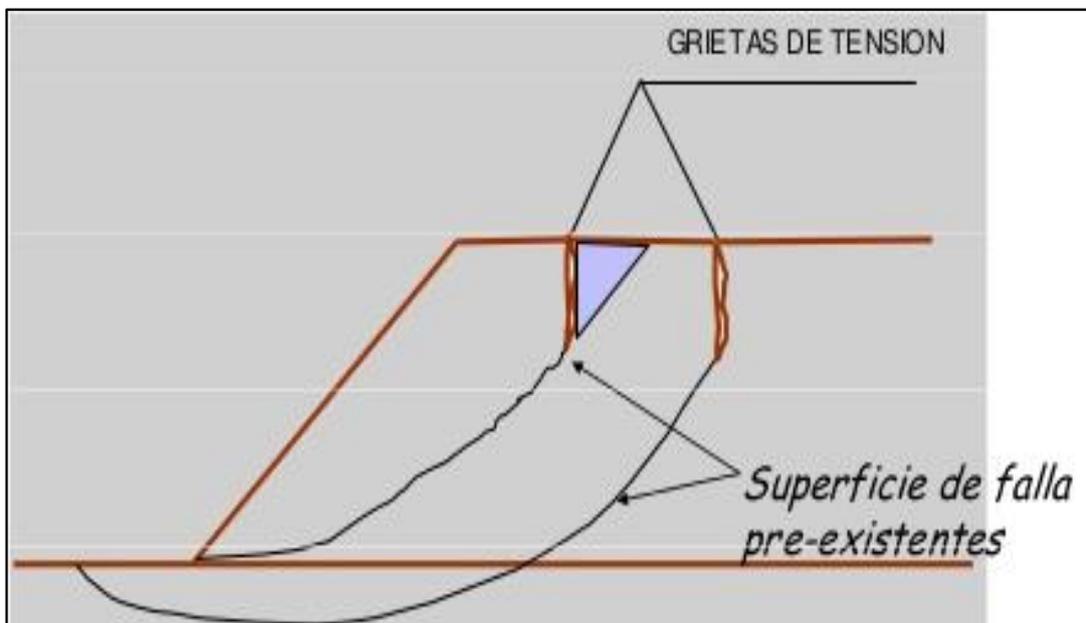


Figura 35: Grietas de Tensión presentes en la corona del Botadero, con presencia de superficies de falla.



Figura 36: Se puede apreciar las partes del cual está constituido un extensómetro digital.



Figura 37: Gráfico de velocidades, mostrando niveles de Alarma Warning 02



Figura 38: Gráfico de velocidades, mostrando un pulso o salto y si posterior normalización.



Figura 39: Gráfico mostrando ruptura de cable del extensómetro, llevando la valoración a 0 cm/hora, no registrando así información

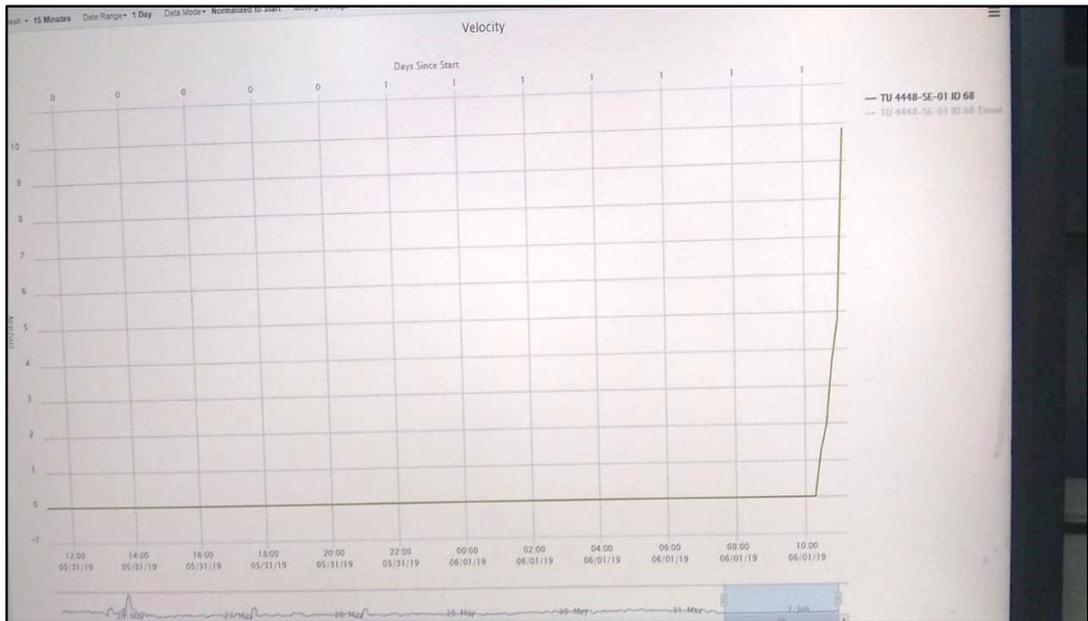


Figura 40: Gráfico de Velocidades donde se reinicia el funcionamiento del extensómetro, se conecta nuevamente el cable que va desde el cabezal del extensómetro hacia la estaca de metal en la cresta.

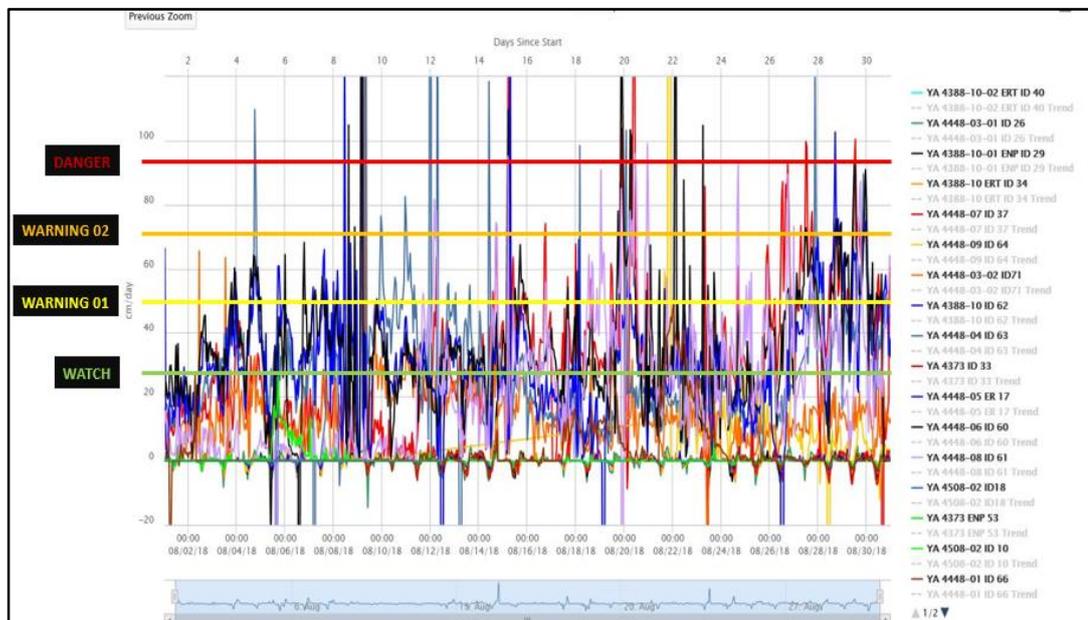


Figura 41: Gráfico de velocidades acumulado, mostrando los niveles de alarma presentados en el Botadero de Yanacancha.

Sistema de Caracterización de Botaderos Activos					
Asestamiento en la Plataforma	Sin asestamientos	Asestamientos < a 0.20 m en la cresta o en la plataforma	Asestamientos que varían entre 0.20m y 0.30m, localizados en la cresta o en la plataforma	Asestamientos que varían entre 0.3m a 0.50m, localizados en la plataforma o en la cresta	Asestamientos mayores a 0.50m en cualquier parte del botadero.
Condición de Bermas	Altura de bermas 1.5m con un ancho máximo de 0.50m en la cresta y construidas con buen material(0.30m a 0.80m)	Altura de bermas entre 1.2m y 1.5m con un ancho de cresta de 0.3m, construidos con material cuyo diámetro varía entre 0.15 y 0.30m	Bermas con altura de 1.2 a 1.0m o mayores a 1.5m construidas con roca fina y gruesa a muy gruesa	Bermas con altura de 1.0 a 1.2m o mayores a 1.5m construido con material cuyo diámetro es menor a 0.15m sin llegar a polvo	Bermas con alturas menores a 1.0m y mayores a 1.5m anchas en la cresta (mayores a 0.30m) y construidas con polvo o con material muy grueso
Presencia de Grietas	No hay grietas	Grietas pequeñas menores a 5mm con o sin asentamiento	Grietas entre 5 y 50mm desarrolladas en el área inestable crítica de 5m con respecto a la cresta y ligeros asentamientos o deslizamientos	Grietas entre 50 y 100mm desarrolladas dentro de los 5m de la cresta, con presencia de asentamientos	Grietas mayores a 100mm próximas a la cresta (+/-5m) plataforma asentada o desplazada
Condición de la Plataforma	Muy buen estado para trabajar, de libre accesibilidad	Buen estado para trabajar, algunos lugares necesitan relleno y/o nivelación	Plataforma irregular ondulosa y/o zonas sin limpieza	Mal estado, parcialmente accesible(-40%), por la fuerte ondulidad del material derramado	Muy mal estado, completamente intransitable
Instrumentación adecuada	Muy buena, con extensómetros, delimitando las zonas y otros instrumentos. El plan de monitoreo se cumple de acuerdo a lo establecido. El movimiento es menor a 1cm/h	Buena instrumentación: presencia de extensómetros. Se cumple el plan de monitoreo establecido. El movimiento es de 1 a 1.5cm/h	Instalación parcial de la instrumentación: Por lo menos hay 1 extensómetro por zona, no se respeta el plan de monitoreo. El movimiento es de 1.5 a 2.5cm/h	Instalación parcial de la instrumentación el monitoreo es completamente irregular o inconsistente. El movimiento es de 2.5 a 4cm/h	Completamente abandonado. El movimiento supera los 4cm/h
Presencia de Agua	Seco	Humedo	Trazas	Goteo	Filujo
Ratio de Descarga	100%	100 a 130%	130 a 150%	150 a 200%	>200%
Tipo de Material	Muy bueno(0.30m - 0.80m), solo material grueso sin finos	Buena, la relación roca gruesa sobre finos es >50%	Regular, la relación entre finos y gruesos es +/-50%	Mal material, cuando la presencia de finos y gruesos es muy variada, la fracción gruesa es <10cm	El material está formado completamente por material triturado y/o coluyto.
Distribución de material	100%	80 - 90%	60 - 80%	40 - 60%	< 40%
Angulo de Talud	37	33	33	40	> 40
Taludes Comidos	Talud parejo	Ligero abutamiento en algún lugar del talud, se observa la pata	Uno o varios abutamientos localizados en el talud, dificultades para observar la pata	Severo abutamiento que compromete hasta un 80% del talud, la pata no se observa	Todo el talud está abutado, no se observa la pata
Condición del Toe y Fundación	Roca gruesa dispersa. La fundación es uniforme	Rocas de granulometría variada de gruesos hasta finos dispersos en la pata, sin deformación en la fundación	Roca gruesa y fina con presencia de arrastre y/o ondulaciones	Mayor contenido de finos en relación al material grueso con ondulaciones y/o arrastre	Puramente finos en la fundación con fuerte arrastre y ondulación
CARACTERIZACIÓN DE BOTADEROS	MALO (0 a 30)		REGULAR (30 A 50)		BUENO (50 A 70)

Figura 42: Formato de Matriz de Caracterización de Botaderos.



Figura 43: Pala extrayendo material de mala calidad en la Fase 09 de la Operación.

ANEXO 02: MATERIAL DE MEDIA CALIDAD (MMC)



Figura 44: Material de mediana Calidad obtenida de la Fase 06 de la Operación.

ANEXO 1: MATERIAL DE BUENA CALIDAD (MBC)

Fase 8 Sur



Fase 8 Norte



Figura 45: Material de buena calidad obtenido de la Fase 08.