

República Dominicana

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL
Universidad Patrimonio de la Comunidad



Facultad de Postgrado y Educación Continuada
Departamento de Postgrado

**Trabajo de postgrado para Optar por el Título de Magister en Prevención de Riesgos
laborales**

Tema:

Riesgos geotécnicos y sus sistemas de control en las empresas mineras en la provincia
Sanchez Ramirez

Sustentantes:

Yeliza del Carmen Mendoza

Enny Manuel Bravo Gómez

Asesor:

ING. Luis Angel Mosquea

Cotuí, Provincia Sánchez Ramírez

Año académico 2023

**RIESGOS GEOTÉCNICOS Y SUS SISTEMAS DE CONTROL EN LAS EMPRESAS
MINERAS EN LA PROVINCIA SANCHEZ RAMIREZ**

índice

Agradecimientos.....	i
Dedicatoria.....	ii
Índices de figuras.....	iv
Resumen.....	vii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.1.1. Internacionales.....	1
1.1.2. Nacionales	3
1.2. Planteamiento del problema.....	4
1.3. Justificación e Importancia	7
1.4. Objetivos de la Investigación.....	8
1.4.1. Objetivo General.....	8
1.4.2. Objetivo Específicos.....	8
1.5. Variables e Indicadores.....	9
1.6. Definición de términos.....	11
1.7. Marco Contextual.....	13
1.8. Alcance y Limitaciones de la investigación.....	14
CAPÍTULO II	15
REVISIÓN DE LITERATURA	15
2.1. Introducción.....	15
2.2. Procesos o parámetros geotécnico	15
2.2.1. Comportamiento de los taludes en los macizos rocosos.....	17
2.2.2. Análisis de estabilidad y diseño de taludes.....	18
2.3. Estructura y criterios de la Gestión de Riesgos	19

2.3.1 Identificación del Riesgo	19
2.3.2 Análisis del Riesgo	19
2.3.3 Evaluación del Riesgo	20
2.3.4 Clasificación del índice riesgo.....	20
2.4. Sistema de monitoreo geotécnico	21
2.4.1. Procedimientos para implementar un sistema de monitoreo integral.....	21
2.4.3. Características de los sensores de monitoreo para un sistema de monitoreo geotécnico integral.....	24
2.4.4. Tipos de sensores de acuerdo con los movimientos a detectar.....	25
2.4.4.1. Sensores Superficiales	25
2.4.4.2. Sensores Hidrogeológicos.....	33
2.4.4.3. Sensores climatológicos.....	34
2.5. Generar mapas de riesgos con el sistema de monitoreo integral	34
2.5.1. Módulos del Sistema de monitoreo geotécnico integral	35
CAPÍTULO III.....	39
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION	39
3.0. Introducción.....	39
3.1. Diseño de la investigación.....	39
3.2. Tipo de investigación.....	39
3.3. Población y muestra.....	39
3.4. Enfoque de la investigación.....	39
3.5. Métodos	40
3.6. Técnica y recolección de datos (Instrumentación)	40
3.7. Validez y Confiabilidad del Instrumento.....	40
3.8. Procedimientos.....	41

3.9. Análisis de los datos	41
CAPÍTULO IV.....	42
PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	42
4.1. Parámetros o criterios geotécnicos considerados al momento de definir un diseño de Pit minero, botaderos y canteras utilizados para el desarrollo de la mina.	42
4.2. Criterios para definir los niveles de riesgos en las empresas mineras en la provincia Sanchez Ramirez.....	45
4.3. Sistemas de monitoreo geotécnicos que se utilizan para determinar el comportamiento de los taludes en las empresas mineras en provincia Sanchez Ramirez.	48
4.4. Sistemas de monitoreo geotécnico integral que permiten evaluar el comportamiento de los taludes.....	50
4.5. Mapas de riesgos con un sistema de monitoreo geotécnico integral y evaluaciones físicas que permita evaluar el comportamiento de los taludes.....	51
4.6. Respuesta esperada, frente a desplazamientos o velocidades críticas por sobrepasar los límites o umbrales de alertas establecidas por los geotecnista.....	54
4.7. Procedimientos operacionales para trabajos próximo a zona de taludes en las empresas mineras en la provincia Sanchez Ramirez.	55
CAPÍTULO V	57
5.1 CONCLUSIONES	57
5.2 RECOMENDACIONES.....	60
Bibliografía.....	62
Anexos	64

Agradecimientos

A Dios:

Por darnos la sabiduría, bendición y fortaleza para culminar este proyecto con éxito, gracias, señor, porque con tu luz has iluminado nuestras mentes para plasmar en esta tesis todos nuestros conocimientos de manera triunfal. Por cada situación acontecida que nos sirvieron para ver hoy hecho realidad nuestro sueño el cual no fuera posible sin ti.

Agradezco a mi familia por su apoyo inquebrantable y por ser mi fuente constante de inspiración. Su amor y comprensión me han dado la fuerza necesaria para llevar a cabo este proyecto.

A la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO), y su personal docente:

Por proporcionarme los recursos y el entorno propicio para llevar a cabo esta investigación.

También quiero agradecer a todos los participantes en mi estudio, cuya contribución fue fundamental para la recopilación de datos y el éxito general de este proyecto.

A nuestro asesor:

Luis Angel Mosquea: por su orientación experta, paciencia y dedicación. Sus valiosos consejos y comentarios han sido esenciales en cada etapa de este trabajo.

Gracias a todos por ser parte de este viaje académico y por hacer posible la culminación de este proyecto de tesis.

Las sustentantes.

Yeliza del Carmen Mendoza

Enny Manuel Bravo Gómez

Dedicatoria

A ti, Señor Jesús, Dios Todo Poderoso.

Esta tesis representa un homenaje a mi fe y gratitud hacia Dios, quien ha sido mi guía constante en el camino de la vida. A lo largo de esta travesía académica, Él me ha otorgado la fortaleza necesaria para enfrentar los desafíos que surgieron y me ha proporcionado la determinación para no desistir ante las adversidades. Además, agradezco profundamente por la oportunidad de haber nacido y crecido en su conocimiento, así como por ser un receptor de sus innumerables bendiciones a lo largo de los años.

A mi madre Paulina Altagracia Gómez y mi abuela Rosa Herminia Gómez

Este tributo está dedicado a mi madre y abuela, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida. Agradezco profundamente su apoyo constante, sus inquebrantables esfuerzos, valiosos consejos y los sólidos valores que me han transmitido. Su confianza en mí y su motivación constante me han guiado hacia el camino de ser una persona de bien. Sin embargo, lo más importante de todo, agradezco su amor incondicional.

A Yeliza del Carmen y Raudy Alberto Bautista

Por su crítica constructiva, apoyo, consejo e impulso en la elaboración de este trabajo, estoy profundamente agradecido por tu amistad, orientación y confianza en mí a lo largo de este viaje académico. Espero sinceramente que podamos celebrar juntos este logro y que este sea solo el comienzo de futuras colaboraciones y aventuras académicas.

A mis amigos/as

Albert Belen, Amilka G. Marte, Caroldania Diaz, Fraylin Estevez, Ariel Rondón, Jogilbert Duarte. Por su sincera amistad y apoyo sin condiciones, gracias por darme la fuerza necesaria para seguir adelante, incluso cuando los obstáculos parecían insuperables.

Enny Manuel Bravo Gomez

DEDICATORIA:

A Dios: por siempre brindarme, guiarme y darme la determinación seguir luchando para lograr culminar con éxito. Brindarme la salud, amor infinito y fortalecer mi corazón.

Mi madre: Lisset del Carmen Mendoza por brindarme el apoyo, darme el ejemplo para lograr mis objetivos.

Mi hijo: Eliam Adriel de la Cruz Mendoza: por ser mi mayor inspiración para lograr mis metas, se sienta orgulloso de su madre, por comprender en aquellos momentos que deje de estar con él.

Mi hermana: Carolin Mendoza, por estar hay para mi proceso y apoyarme cuidando al niño cuando tenía que estudia.

Mi novio: Danny Sanchez, por ser un complemento esencial para culminar mis objetivos, brindarme en el apoyo, el amor y paciencia en mi momento más difícil.

A mi líder: Dionicio Severino por ser una guía en el área de prevención donde me ayudo a desarrollarme, creer y ser una mejor profesional.

Mi amiga: Damaris Belén Sanchez, por siempre estar para mi brindarme su amistad incondicional.

A mis compañeros de tesis: Onasis, Maria victoria, Stefany, Sander, Ambriorix, siempre apoyarme lo aprecio mucho.

A mi compañero de tesis: Enny Manuel Bravo Gómez, por brindarme la oportunidad de compartir esos momentos de suma importancia que este trabajo de investigación ha significado, por que juntos logramos la meta.

Yeliza del Carmen Manzueta

Índices de figuras

Figura 1 - Mapa de la Republica Dominicana, resaltando la provincia Sánchez Ramírez en el polígono con relleno de color rojo.....	14
Figura 2: Forma de medición del sistema satelital	26
Figura 3: Imagen desplazamientos del 05 septiembre 2021 a 22 abril 2023.....	27
Figura 4: Tecnologías de radar terrestre SAR – RAR.....	28
Figura 5: Datos registrados por las estaciones totales	29
Figura 6: Flujograma de trabajo con las estaciones totales	32
Figura 7: Complementariedad de tecnologías radar y estaciones totales.	32
Figura 8: Logging within geotechnical boundaries.....	42
Figura 9: Characterisation of blocky rock masses based on interlocking and joint conditions (adopted from Hoek, 2007).	43
Figura 10: Diseño geotécnico de un botadero (Análisis)	44
Figura 11: Proceso de instalación de inclinómetro.....	45
Figura 13: Matriz de Índice de Clasificación del nivel de Riesgo	47
Figura 14: Proceso de Monitoreo y respuesta	47
Figura 15: Instalación, lectura y data de un inclinómetro	48
Figura 16: Diagrama de instalación de un piezómetro.....	49
Figura 17: Análisis de tendencias en un radar IBIS	52
Figura 19: Mapa de Riesgos Geotécnicos (Botaderos)	53
Figura 20: Flujo de limpieza de pared final.....	65
Figura 22: Limpieza de la cara del banco utilizando una retroexcavadora con una zanja de protección contra caída de rocas.....	67
Figura 23: Delimitación de condición peligrosa y Limpieza de la cara del banco utilizando una retroexcavadora con una zanja de protección contra caída de rocas.....	68
Figura 24: Esquema de procesos de para trabajos en zonas de cresta y talud.....	69

Figura 25: inspección de zonas de riesgos geotécnicos en frentes de extracción de material. Calizamar, S.A. SR_Caballeros.....	79
Figura 26: Inspección de zonas de riesgos geotécnicos en frentes de extracción de material. Calizamar, S.A. SR_Caballeros.....	80
Figura 27: Falla geotécnica de múltiples bancos.....	83
Figura 28: Sistema de monitoreo geotécnico. IDR GeoRadar.	84

Resumen

Título: Riesgos geotécnicos y sus sistemas de control en las empresas mineras en la provincia Sanchez Ramirez

Sustentantes: Yeliza del Carmen Mendoza, Enny Manuel Bravo Gómez

Asesor: ING. Luis Angel Mosquea

El proyecto de investigación que se presenta a continuación contiene la evaluación de los riesgos geotécnicos y sus sistemas de control en las empresas mineras en la provincia Sanchez Ramirez, para lograrlo, se han establecieron objetivos específicos que incluyeron en la identificación de parámetros geotécnicos en el diseño minero, el análisis de criterios de medición de riesgo, la descripción de sistemas de monitoreo geotécnico, la evaluación de mapas de riesgos, la definición de respuestas ante desplazamientos críticos y la identificación de procedimientos operativos en zonas de trabajo cercanas a taludes. Este estudio busca mejorar la seguridad y eficiencia en las operaciones mineras de la región.

La metodología de la investigación se basa en un diseño no experimental, con un enfoque cualitativo que busca comprender el comportamiento de los taludes y los sistemas de monitoreo geotécnico. La población de interés está conformada por los taludes en el tajo de la mina, canteras y botaderos con alturas de hasta 20 metros.

Para recopilar datos, se utiliza la observación directa y fichas de recolección de datos como instrumentos. Se destaca la importancia de la validez y la confiabilidad de los instrumentos de medición. Los procedimientos de investigación incluyen la revisión exhaustiva de la literatura, la creación de una línea base, entrevistas con trabajadores y el análisis de datos mediante software especializado.

Las principales conclusiones a que se llegó en este estudio fueron las siguientes:

La seguridad y la estabilidad de las estructuras mineras, como pits mineros, botaderos y canteras, requieren una cuidadosa consideración de parámetros geotécnicos en su diseño y gestión. La gestión de riesgos es crucial en la industria minera, implicando la identificación, evaluación y control de peligros para priorizar la seguridad de los trabajadores y la protección del entorno.

Los sistemas de monitoreo geotécnico son herramientas fundamentales para evaluar y garantizar la estabilidad de los taludes mineros.

La integración de sistemas de monitoreo geotécnico integral proporciona una vigilancia constante y en tiempo real, mejorando la seguridad y la toma de decisiones informada. Combinar sistemas de monitoreo con evaluaciones físicas ofrece una visión completa del comportamiento del terreno.

La detección de desplazamientos críticos exige respuestas inmediatas y medidas efectivas de mitigación. La seguridad en áreas cercanas a taludes en empresas mineras se basa en la evaluación de riesgos, diseño de barreras, control de acceso, capacitación y monitoreo constante.

En resumen, abordar los riesgos geotécnicos de manera integral es esencial para la seguridad y sostenibilidad de la industria minera en la provincia Sánchez Ramírez, asegurando un desarrollo minero seguro y sostenible para proteger a los trabajadores y el entorno.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de esta investigación se debe a que cada año se registran una serie de accidentes en las minas, por lo que se exige mayor seguridad, para desarrollar el proceso de minado en las operaciones a cielo abierto u Open Pit por su traducción al inglés, este tipo de minería se debe realizar mediante un minado por banco o niveles que dejan expuestos una pendiente llamada talud, que varían desde 5 metros hasta 20 metros de altura. Con el objetivo de mantener la seguridad en las operaciones, cada diseño debe ser analizado para determinar la estabilidad de sus taludes, mediante los análisis de estabilidad de taludes es posible obtener el factor de seguridad (FoS), el cual permite interpretar y entender cuál es la probabilidad de falla para cada diseño, basado en las propiedades de las formaciones geológicas, método de minado y configuración del diseño. Una vez determinado todos los parámetros geotécnicos y los esfuerzos que actuarán sobre los taludes es necesario implementar un sistema que asegure la integridad de las personas y la operación dentro del área de mina, garantizando el desarrollo sostenible de la operación minera.

1.1. Antecedentes

1.1.1. Internacionales

En el estudio internacional de Vázquez, Alfredo (2013), sobre la: Investigación de deslizamientos a través de métodos geofísicos y técnicas de monitoreo. Tesis (Ingeniería Civil). Cuenca: Universidad de Cuenca, Este estudio tiene como objetivo general el uso de los métodos geofísicos y técnicas de monitoreo en el análisis de deslizamientos y su aplicación en los deslizamientos locales y regionales.

Finalmente, se concluye que la auscultación, brinda información de la dinámica del movimiento, para ser empleada en el análisis de la efectividad de las medidas de mitigación que se desarrollen. El monitoreo debe recopilar datos en tiempo real, con la finalidad de colocar un Sistema de Alerta Temprana (SAT) para prevenir pérdidas materiales y humanas. Esta tesis ha sido muy valiosa para esta investigación, porque ha brindado información de las dos variables propuestas en este estudio, también brinda información sobre las diversas técnicas de monitoreo y prospección geofísica.

En el estudio internacional de Jerez, Carlos (2009), sobre el: Modelo de monitoreo de asentamientos en las explanadas de la vía Tosagua-Chone, en los humedales y zonas inundables para estabilizar la obra geotécnica de la vía. Tesis (Magister en vías terrestres). Ambato: Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Centro de Estudios de Posgrado, 2009. 114 p., se presenta como: Nivel de la Investigación: Exploratoria. Diseño de la Investigación. Experimental. Siendo su Población: Los humedales y los terraplenes del Proyecto de Reconstrucción de la vía Tosagua-Chone y su muestra: Seis puntos de referencia los cuales son monitoreados con piezómetros, inclinómetros y asentó metros. Las Variables trabajadas son: Modelo de monitoreo de asentamientos y Estabilización de la obra geotécnico.

En el estudio de Rodriguez, Morales y Paredes (2003), sobre la: Evaluación de la estabilidad de taludes en la mina Lourdes. Tesis (Ingeniero de minas)., se presenta como Diseño: Experimental. Tipo de Investigación. Aplicada. Se aplica a la Población: Los taludes de la Mina Lourdes, siendo la Muestra. Los taludes de las canteras Mario y Lourdes. El objetivo general propone que se realicen las evaluaciones de campo, de laboratorio y de gabinete para determinar los parámetros geomecánicas de las estructuras presentes en el área de la explotación de la mina Lourdes. La mina LOURDES, explota recursos no metálicos por el método de Canteras a Cielo Abierto, ocasionando grandes modificaciones al perfil original del terreno, con el fin de mejorar la explotación debe implementar un método de minado superficial por bancos que permita un mejor control de la estabilidad del terreno.

Se configuró el riesgo potencial de una inestabilidad por falla a la resistencia de corte plana, obteniéndose un Factor de Seguridad de 3.75, lo que manifiesta la estabilidad de diseño para los bancos Sur. Es muy clara la diferencia entre los Factores de Seguridad, por lo que se puede indicar que existe diferencias entre la calidad de los materiales evaluados. Este estudio es de relevada importancia para esta investigación, ya que brindo la metodología de evaluación de la estabilidad de los macizos rocosos, mediante el método empírico y equilibrio limite, base para el desarrollo de la variable comportamiento de taludes del presente trabajo.

1.1.2. Nacionales

En el estudio nacional GARCÍA JIMÉNEZ (2016) esta investigación se emplearon la geotecnia para evaluar los suelos para prevenir sismos futuros. se considera fundamental un estudio del terreno exhaustivo en el que se realicen ensayos geotécnicos a todos los materiales que componen la presa, de manera que se obtengan los parámetros que caracterizan los materiales (Módulo de Young, módulo de Posición, distancia, permeabilidad...) de la forma más precisa posible para que el estudio estructural resulte inequívoco.

En el estudio nacional de SÉMATA (2017), Tras el terremoto de Haití de 2010 dio comienzo una iniciativa para estudiar los posibles efectos de los terremotos en la ciudad de Santiago de los Caballeros (República Dominicana); la segunda ciudad más importante del país y que ya fue reconstruida y reubicada en 1562 tras un terremoto. El daño debido a un terremoto ocurre asociado a un conjunto de factores, entre ellos, la aceleración del suelo.

La Sociedad Dominicana bajo su proceso de desarrollo busca tener una cultura de calidad fomentada en la seguridad, de manera que las herramientas de gestión de riesgos serían útiles e indispensables para la modernización del país. La República Dominicana es uno de los países más vulnerables ante desastres naturales en la región. El mismo tiene una baja capacidad económica para enfrentar un desastre y sus consecuencias, al igual que presenta debilidad en la gestión del riesgo del desastre, según un estudio bancario para 14 países. Sin embargo, el país ha venido realizando esfuerzos para mejorar su estructura orgánica para administrar actividades de gestión de riesgos y mitigación de desastres. (Ardila, 2007)

En el estudio de (Severino, 2015) sobre: Riesgos de Taludes y Terraplenes en Obras Lineales de la República Dominicana. Tesis para optar Máster Universitario Ingeniería de Estructuras, Cimentaciones y Materiales (MUIECM), Madrid, España septiembre 2015. Para la realización del presente trabajo se han implementado tres técnicas de identificación de riesgos derivadas del "Método LOGRO": Revisión de Documentación, tormenta de Ideas (Brainstorming, Método Delphi y El "Método LOGRO" o Método Líder en Organización de Gestión de Riesgos y Oportunidades.

El presente trabajo de investigación se centró en la identificación y valoración de los riesgos de taludes y terraplenes en obras lineales de la República Dominicana. De esta manera se busca disminuir el riesgo de la rotura o fallo de un talud o terraplén, y el número de víctimas que puedan ser afectadas por el mismo, concluyendo con un catálogo de riesgos para taludes y terraplenes en obras lineales.

1.2. Planteamiento del problema

El trabajo de investigación sobre los riesgos geotécnicos y sus sistemas de control en las empresas mineras en la provincia Sanchez Ramirez, se realizó por la deficiencia de informaciones relacionadas al control de la inestabilidad de los taludes y sostenimiento de las paredes mineras, la provincia Sanchez Ramirez cuenta con la operación minera de oro más grande de Latinoamérica y el Caribe, las operaciones desarrolladas por la empresa minera canadiense Barrick Gold Corp., además de una serie de minería no metálica o de producción de material de agregado.

Actualmente, la ley minera 14-01 de La República Dominicana, no cuenta con un capítulo para el estricto cumplimiento y control de los taludes o paredes mineras, mucho menos sobre su apropiado monitoreo o control durante las operaciones de minado, es por esto que la mayoría de las empresas mineras que operan en el país, se rigen o siguen los lineamientos de instituciones de origen extranjero como la Administración de la Seguridad y Salud en la minería MSHA por sus siglas en inglés (Mine Safety and Health Administration), provee lineamientos claros de como identificar, controlar y mitigar los riesgos geotécnicos asociados a los taludes en una mina.

Para lograr esto, se utilizarán métodos y técnicas adecuadas para identificar y evaluar los factores que pueden generar riesgos o condiciones geotécnicas en una operación minera. La meta es generar conocimiento y dar recomendaciones que contribuyan a mejorar la gestión de los riesgos geotécnicos en las empresas mineras de la provincia Sánchez Ramírez, promoviendo así un entorno más seguro y eficiente para todas las partes involucradas.

Cada operación minera tiene riesgos y factores de diferentes niveles o implicación en cada labor de extracción, por lo que cada unidad debe identificar cuáles son los factores más impactantes en la seguridad y estabilidad de las partes de minado y, decidir la forma

correcta de como implementar los lineamientos emitidos por estas instituciones extranjeras. Es por esto, que surge la necesidad de evaluar e identificar qué condiciones presentan las operaciones mineras actuante en la provincia, cuáles factores atentan contra la estabilidad de los taludes y cuales métodos o sistemas de monitoreos geotécnicos utilizan para mantener a todas las personas segura.

Una de la finalidad de esta investigación es considerar que las medidas preventivas utilizadas sirven para garantizar la vida humana, productividad y calidad sostenible de los procesos que realiza las empresas, además de verificar que los métodos y técnicas que se empleen sean adecuados para la identificación y evaluación de factores de riesgo geotécnicos y su sistema de control empleado por las empresas.

Los deslizamientos ocasionan millones de dólares en daños y pérdidas a las operaciones mineras, debido a la presencia de factores desencadenantes que predominan el equilibrio de los taludes, los cuales someten a las operaciones mineras a riesgos altos. En la actualidad el diseño de los taludes se base en la definición geométrica que mejor optimice el cuerpo o deposito mineralizado que matemáticamente es representado en un modelo de bloques, una vez determinado la geometría que más optimice económicamente la extracción de los minerales en el subsuelo, se procede a la evaluación geotécnica de este diseño, la cual se basa principalmente en el análisis de estabilidad, mediante la determinación del factor de seguridad, el cual busca la condición de equilibrio de la superficie de rotura.

Los métodos de simulación estática y matemática como las ecuaciones de equilibrio límite y elementos finitos, no permitiendo ninguno de ellos tener 100% de certeza sobre el comportamiento y todos los parámetros geotécnicos del macizo rocoso, lo que genera incertidumbre y conlleva a aplicar probabilidades de falla, estas probabilidades obteniendo el porcentaje de posibles inestabilidades a una determinada dirección e inclinación de los taludes.

Las causas de los problemas de seguridad en los taludes del sector minero se atribuyen a las malas prácticas mineras, la falta de conciencia y el desconocimiento de los sistemas de control. Estas prácticas se basan únicamente en el conocimiento empírico, lo cual se refleja en la alta tasa de accidentes y muertes en las actividades mineras. La evaluación de

riesgos laborales constituye la base fundamental para la prevención de incidentes y enfermedades de origen laboral dentro de las organizaciones. Una de las principales barreras al momento de mejorar el ambiente laboral, es la poca inversión e interés de los empresarios en temas de seguridad y salud ocupacional por sus altos costos y consecuentemente la reducción de la competitividad en el mercado.

El país presenta las siguientes características geomorfológicas: una topografía accidentada con la exposición a deslizamientos de tierras, zonas bajas vulnerables a inundaciones y áreas costeras susceptibles de recibir el influjo de marejadas. Todos estos son eventos indicadores y desencadenadores de caídas de rocas, derrumbes y deslizamientos en taludes hechos por el hombre y de rotura de terraplenes en obras lineales. Aunque estos fenómenos geofísicos son los que han causado mucho daño en pérdidas de vidas humanas, infraestructuras y bienes materiales, son los fenómenos hidrometeorológicos los que causan mayor daño. (Severino, 2015)

La explotación minera conlleva una serie de problemas y riesgos los que se deben manejar integral y técnicamente de manera oportuna y eficiente para controlar adicionales dificultades que alteren el desenvolvimiento normal de las actividades en la mina; la reducción de incidentes proporciona una mejora en su economía, pues no incurre en incapacidades, ni afecta la producción.

La falta de estudios exploratorios detallados para evaluar los riesgos geotécnicos y definición del sistema de control puede causar dificultad para obtener los lineamientos requeridos para desarrollar proyectos sostenibles.

Por las razones planteadas surgen las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles parámetros o criterios geotécnicos son considerados al momento de definir un diseño de Pit minero, botaderos y canteras utilizados para el desarrollo de la mina?
2. ¿Cuáles son los criterios para definir los niveles de riesgos en las empresas mineras en la provincia Sanchez Ramirez?
3. ¿Cuáles son los sistemas de monitoreo geotécnicos que se utilizan para determinar el comportamiento de los taludes en las empresas mineras en provincia Sanchez Ramirez?

4. ¿De qué manera la implementación de un sistema de monitoreo geotécnico integral permite evaluar el comportamiento de los taludes?
5. ¿De qué manera se generan los mapas de riesgos con un sistema de monitoreo geotécnico integral y evaluaciones físicas que permita evaluar el comportamiento de los taludes?
6. ¿Cuál es la respuesta esperada, frente a desplazamientos o velocidades críticas por sobrepasar los límites o umbrales de alertas establecidas por los geotecnista?
7. ¿Cuáles procedimientos operacionales existen para trabajos próximo a zona de taludes en las empresas mineras en la provincia Sanchez Ramirez?

1.3. Justificación e Importancia

Esta investigación se realizó con la finalidad de velar por la seguridad y salud de los colaboradores que están expuestos a trabajos en condiciones de riesgos geotécnicos y definir el sistema de control utilizado en las empresas mineras en la provincia Sánchez Ramirez. El estudio se llevará a cabo con el propósito de identificar los riesgos geotécnicos presentes en las operaciones mineras de la provincia y evaluar el sistema de control empleado por las empresas para mitigar dichos riesgos. Se buscó comprender las condiciones geotécnicas específicas de la zona, los posibles peligros y las medidas preventivas existentes.

Esta investigación contribuirá a promover una cultura de seguridad en el sector minero, garantizando que se cumplan los estándares adecuados y se implementen medidas preventivas eficientes. Además, se espera que los resultados obtenidos sirvan como base para la implementación de políticas y regulaciones que fomenten prácticas seguras en las empresas mineras de la provincia.

Mediante el análisis de datos, inspecciones de campo y revisión de los procedimientos operativos, se buscará identificar posibles deficiencias en el sistema de control y proponer mejoras. El objetivo final es establecer lineamientos claros y efectivos para proteger la seguridad y salud de los colaboradores, minimizando los riesgos geotécnicos asociados a las actividades mineras en la provincia Sánchez Ramírez.

La prevención en seguridad y salud de los trabajadores está ampliamente considerada en la legislación dominicana, sin embargo, no ha coadyuvado para que se minimicen los

accidentes o que se los eliminen. El presente trabajo pretende prevenir accidentes y minimizar los riesgos existentes en esta actividad laboral con fundamento en la legislación existente; que ayude a preservar, mantener y mejorar la salud colectiva e individual de los trabajadores, mediante la puesta en práctica de un sistema de Gestión de la Seguridad y la Salud en el Trabajo.

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

Evaluar los riesgos geotécnicos y sus sistemas de control en las empresas mineras en la provincia Sánchez Ramírez.

1.4.2. Objetivo Específicos

1. Identificar los parámetros o criterios geotécnicos considerados al momento de definir un diseño de pit minero, botaderos y canteras utilizados para el desarrollo del minado.
2. Analizar los criterios para medir los niveles de riesgos en las empresas mineras en la provincia Sánchez Ramírez.
3. Identificar los sistemas de monitoreo geotécnicos que se utilizan para determinar el comportamiento de los taludes en las empresas mineras en provincia Sanchez Ramirez.
4. Describir los sistemas de monitoreo geotécnico integral permitan evaluar el comportamiento de los taludes.
5. Evaluar los criterios para realizar mapas de riesgos geotécnicos con un sistema de monitoreo geotécnico integral y evaluaciones físicas que permita evaluar el comportamiento de los taludes.
6. Definir la respuesta esperada, frente a desplazamientos o velocidades críticas por sobrepasar los límites o umbrales de alarmas establecidas por los geotecnista.
7. Identificar los procedimientos operacionales existente para trabajos próximo a zona de cresta y taludes.

1.5. Variables e Indicadores

En el cuadro 1 se presentan las variables e indicadores, de acuerdo con los objetivos planteados en este trabajo de investigación.

Objetivos	Variables	Indicadores	Instrumentos
Identificar los parámetros o criterios geotécnicos considerados al momento de definir un diseño de pit o botaderos utilizados para el desarrollo del minado.	Caracterización de los parámetros o criterios geotécnicos considerados al momento de definir un diseño de Pit, Botaderos y Canteras.	Factores geológicos, geométricos y geotécnicos	Trabajo de campo y revisión de literatura
Analizar los criterios para medir los niveles de riesgos en las empresas mineras en la Provincia Sanchez Ramirez.	Criterios para medir los niveles de riesgos	Investigación y utilización de la normatividad del sector minero y los estándares mínimos de salud ocupacional en las empresas mineras	Clasificación de riesgos y peligros
Identificar los sistemas de monitoreo geotécnicos que se utilizan para determinar el comportamiento de los taludes en las empresas mineras en provincia Sanchez Ramirez	Sistemas de monitoreo geotécnicos	Observación en campo de la superficie de los macizos rocosos para determinar el: Desplazamientos Velocidades Aceleraciones	Ficha de recolección de datos para la medición superficial del macizo rocoso con: Radares Estaciones Totales Extensómetros
Describir un sistema de monitoreo geotécnico integral permita evaluar el		Estrategia de monitoreo de Sistemas de comunicación	Ficha de recolección de datos para la medición

comportamiento de los taludes.	Procedimientos para implementar un sistema de monitoreo geotécnico integral	Criterios de ubicación de los instrumentos y parámetros de medición.	superficial del macizo rocoso con: Radares Estaciones Totales Extensómetros
Evaluar los criterios para realizar mapas de riesgos geotécnicos con un sistema de monitoreo geotécnico integral y evaluaciones físicas que permita evaluar el comportamiento de los taludes	Generación de mapas de riesgos, alertas y reportes	Módulos del sistema. Umbrales de alertas. Mapas de riesgos, alertas y reportes.	Trabajo de campo, observación, Revisión de documental, entrevistas.
Definir la respuesta esperada, frente a desplazamientos o velocidades críticas por sobrepasar los límites o umbrales de alarmas establecidas por los geotecnista.	Características de los sensores de monitoreo para sistema de alarmas geotécnicas	Ficha de registro de datos para la medición con los sensores superficiales: Radares, Estaciones Totales, Extensómetros. Ficha de registro de datos para el cálculo de desplazamientos, velocidades y aceleraciones.	Ficha de recolección de datos para la medición superficial del macizo rocoso con: Radares Estaciones Totales Extensómetros
Identificar los procedimientos operacionales existente para trabajos próximo a zona de cresta y taludes.	Identificación de los procedimientos operacionales existente para trabajos próximo a zona de cresta y taludes	Observación en campo de los parámetros climatológicos: Temperatura Humedad Precipitaciones.	Trabajo de campo, observación, Revisión de documental, entrevistas.

1.6. Definición de términos

Accidente de Trabajo: es un acontecimiento no deseado, que causa daños a las personas, daños a la propiedad e interrupciones en el proceso. (Reglamento 522-06, 2007, P. 2-5).

Acción preventiva: Es toda acción necesaria para eliminar o evitar las situaciones laborales que supongan una amenaza a la salud de los trabajadores o de terceros y que tiene como finalidad propiciar un ambiente laboral sano y seguro. (Reglamento 522-06, 2007, P. 2-5).

Actividad laboral: Es aquélla que abarca todas las ramas de la actividad productiva y de servicios en las que hay trabajadores y empleadores. (Reglamento 522-06, 2007, P. 2-5).

Asesorías: Son las orientaciones o consejos que sean ofrecidos para el cumplimiento de las normas relativas a la seguridad y salud en el trabajo; así como sobre las mejores prácticas para preservar las mismas. (Reglamento 522-06, 2007, P. 2-5).

Condición de trabajo: Cualquier característica de este que pueda tener una influencia significativa en la generación de riesgos para la seguridad y la salud del trabajador. (Reglamento 522-06, 2007, P. 2-5).

Evaluación de riesgos: Es el estudio cualitativo y cuantitativo de los factores de riesgos presentes en los lugares de trabajo. (Reglamento 522-06, 2007, P. 2-5).

En base a los resultados obtenidos del análisis del riesgo, se procede a la evaluación del riesgo con la finalidad de ayudar a la toma de decisiones, determinando los riesgos a tratar y la prioridad de estos. La tolerancia del riesgo por otras partes que se benefician de este riesgo se debe tener en cuenta durante la toma de decisiones. La evaluación del riesgo puede llevar a la decisión de realizar un análisis en mayor profundidad o de no tratar el riesgo de ninguna otra manera que manteniendo los controles existentes. (AENOR, 2010, pp. 24-25)

Extensómetros: Son sensores utilizados para medir las grietas en los tajos abiertos y principalmente en los botaderos de las minas. Este sistema registra datos de desplazamiento unidimensional convirtiendo los movimientos circulares en lineales. El equipo consta de

un trípode, una polea que funciona como pesa y otra polea que al girar registra los movimientos, un procesador de datos, un sistema de comunicación por radio, un panel solar, una batería, un cable y una estaca. (Jose Davis Rodriguez Compare, 2003)

Gestión de Activos Geotécnicos: En todos aquellos países en donde exista un riesgo significativo en los taludes que afecte la seguridad y rentabilidad de la operación de una carretera debido a fallas geotécnicas, la gestión de riesgos de activos geotécnicos ha tomado mucha importancia. Entre los activos geotécnicos de una carretera podemos encontrar: terraplenes y cortes, taludes reforzados y estabilizados, subrasante y otras capas debajo de la superficie de rodamiento, drenaje, cimentaciones etc. (Garnica Anguas & Pérez García, 2012, pp. 27-28)

Geotecnia: también llamada ingeniería geotécnica, es la aplicación de métodos científicos y principios de ingeniería para la adquisición, interpretación y uso del conocimiento de los materiales de la corteza terrestre y los materiales de la tierra para la solución de problemas de ingeniería y el diseño de obras de ingeniería. (Bates y Jackson, 1980)

Lugar de Trabajo: Abarca todos los sitios donde los trabajadores deben permanecer o donde tienen que acudir por razón de su trabajo y que se hayan bajo el control directo o indirecto del empleador. (Reglamento 522-06, 2007, P. 2-5).

Monitoreo. Es un procedimiento sistemático que consiste en la toma continúa o periódica; de los parámetros más representativos que permiten conocer el comportamiento de una estructura (Mendoza, 2011, p.6).

Prevención: Son las actividades orientadas a eliminar o controlar los riesgos para evitar accidentes y/o enfermedades profesionales u ocupacionales. (Reglamento 522-06, 2007, P. 2-5).

Riesgo Laboral: Es una condición con el potencial suficiente para generar accidentes y/o enfermedades ocupacionales o profesionales. (Reglamento 522-06, 2007, P. 2-5).

Riesgos Físicos: El origen de los riesgos físicos se encuentra en los diferentes elementos del entorno de los puestos de trabajo. La humedad, el calor, el frío, el ruido,

entre otros, son algunos de los factores que pueden llegar a producir daños y enfermedades en los trabajadores (Parra, 2003).

Radar: Es un término que procede de un acrónimo inglés: Radio detecting and ranging (“Detección y localización por radio”). Se trata de un sistema que, a través de radiaciones electromagnéticas, permite detectar la localización o la velocidad de un objeto. La noción de radar también se emplea para nombrar al aparato que aplica este sistema. (Pérez Porto, J., Merino, M, 2014).

Talud: Incluye todas las áreas de pendiente y rampa modificada artificialmente mediante excavación o relleno. El talud puede estar desarrollados en rocas, materiales de acopio, suelos, material meteorizado.

Velocidad Media: El termino velocidad se emplea para indicar que tan rápido se mueve un objeto, indicar su magnitud y la dirección en la que se mueve, por lo que se puede afirmar que la velocidad es un vector (Carita & Mendoza, 2022)

Velocidad Incremental: Esta velocidad es muy importante porque es la que se usa en primera instancia como variante de la velocidad instantánea ya que sin necesidad de encontrar tendencias de regresión podemos darnos una idea del comportamiento de la velocidad. (Jose Davis Rodriguez Compare, 2003)

1.7. Marco Contextual

La siguiente investigación se realizará para evaluar los riesgos geotécnicos y sistemas de control en las empresas mineras en la provincia Sánchez Ramírez.



Figura 1 - Mapa de la Republica Dominicana, resaltando la provincia Sánchez Ramírez en el polígono con relleno de color rojo.

Fuente: Google Earth

1.8. Alcance y Limitaciones de la investigación

Área académica: Posgrado

Línea de investigación: Riesgos geotécnicos

Sub-línea de investigación: Seguridad y prevención de riesgos laborales

Delimitación Temporal: El estudio se realizó en el período comprendido desde el 01 mayo al 04 de agosto del 2023.

El presente trabajo es un estudio de caso el cual se efectuó usando el método deductivo, ya que este crea teorías a partir de la observación de los hechos, mediante la generalización del comportamiento observado.

Delimitación Espacial: Este estudio fue aplicado en las empresas mineras (Proyecto Pueblo Viejo) y (Caliza mar, S.A), ubicadas en la provincia Sanchez Ramirez, Republica Dominicana.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Introducción

En este capítulo se presenta el marco teórico de la investigación, por el cual se hizo necesario una desarrollada revisión de literatura relacionada con el objeto de estudio.

2.2. Procesos o parámetros geotécnico

Se entiende como proceso o parámetro geotécnico al conjunto de tareas que están orientadas a definir las bases geotécnicas que dan soporte al diseño y planificación de un proyecto de explotación en tajo abierto, y a su vez definen los elementos claves de seguimiento y control durante el desarrollo del proyecto. También, aportan lineamientos para el diseño y control de los riesgos relacionados a los materiales rocosos y de suelo en una operación minera.

La geotécnica es fundamental para brindar una eficaz aplicando los controles con nivel altamente eficaz.

Según (ERAZO, 2018) La Geoestadística Aplicada a Parámetros Geotécnicos, afirma lo siguientes:

Una unidad geotécnica corresponde a un volumen de macizo rocoso con propiedades geotécnicas similares. Desde el punto de vista de la geoestadística o de los métodos de interpolación en general, la idea de dividir el macizo rocoso en unidades geotécnicas es usar las muestras dentro de una unidad para estimar valores en otras regiones dentro de la misma unidad, de lo contrario sería equivalente a mezclar poblaciones diferentes para la estimación.

Según (González, 2018) su escrito ¿Qué es un Estudio Geotécnico? Nos dicen los siguientes:

La superficie que debe abarcar el estudio geotécnico es variable, dependerá de las condiciones de los terrenos que influyen sobre el edificio a construir. Como norma, el área a cubrir debe exceder la superficie a edificar, ya que es necesario considerar la influencia del edificio con los elementos de urbanización y con las construcciones próximas. Un buen estudio geotécnico debe tener en cuenta los efectos que puede sufrir el edificio por las

condiciones geológicas de la zona en que se sitúa y la repercusión de este sobre las edificaciones existentes.

Todo ello con miras a orientar el soporte geotécnico hacia los tres ejes de sustentabilidad en la construcción de taludes: Optimización del diseño, excelencia operacional y control de riesgos. Este proceso geotécnico cuenta con 4 etapas, donde cada una posee sus objetivos y entregables bien. A continuación, se enuncian cada uno de los subprocesos con sus características:

a) Modelamiento geológico/geotécnico: Su objetivo es capturar, procesar, integrar y validar en forma sistemática la información base para poder construir el modelo geotécnico. El entregable de este proceso es un modelo geotécnico auditable, que cumpla con la suficiencia de información y calidad requerida por la compañía minera.

b) Diseño de taludes: Su objetivo es definir los parámetros y restricciones geotécnicas de diseño, e identificar riesgos geotécnicos relevantes, con foco en la sustentabilidad del negocio.

El entregable de este proceso corresponde a las fases validadas, que cumplan con los criterios de aceptabilidad definidos por la compañía y cumplan con la legislación minera vigente.

c) Planificación geotécnica: Su objetivo es establecer las bases geotécnicas para garantizar el cumplimiento de los planes mineros. El entregable de esta etapa son los planes mineros con respaldo y bases geotécnicas integradas que aseguren la adherencia a los planes. d) Construcción de taludes: Su objetivo es administrar los potenciales riesgos geotécnicos, establecer de forma anticipada las medidas de mitigación y operar bajo procedimientos y estándares que garanticen la calidad, seguridad y mínimas desviaciones. Se plantea un sistema de rutina que incluya: Inspecciones geotécnicas, monitoreo y vigilancia, aplicación de tronadura controlada, planos de peligros de caída de rocas y control de calidad. Todo este sistema de rutina en su conjunto define un sistema de administración y control de riesgos geotécnicos durante la construcción de taludes. El proceso geotécnico enunciado define el contexto en el cual se desarrolla esta propuesta metodológica de tronadura controlada, donde su principal motivación radica en mitigar el daño en la pared del talud y así el consecuente riesgo de exposición a los trabajadores, y el

de implementar completamente el modelo geotécnico al desarrollo de la tronadura controlada.

El terreno es aquello que aumenta o disminuye en los procesos de conflicto entre unidades de poder (estados, sociedades territorialmente definidas, etc.) y es, a su vez, el espacio donde se localizan estas disputas por el control espacial. Pero entender el territorio desde el terreno, como una demarcación jurídico-política, plantea dos consideraciones: se trata de una definición que supone una idea de poder distinta a la mera idea de control, como podría estar supuesta en la reflexión sobre la territorialidad del geógrafo (Robert David Sack 1983, P 76).

2.2.1. Comportamiento de los taludes en los macizos rocosos

La ingeniería geotécnica es la rama de la ingeniería civil que enfoca su estudio en las propiedades mecánicas e hidráulicas de suelos y rocas, tanto en superficie como en el subsuelo. (Das, 2014).

La pendiente o talud, es cualquier terreno inclinado en relación con su horizontal, esta condición de la estructura de suelo o roca puede ser temporal o permanente, pudiendo ser natural o artificial este último por las actividades del hombre en las obras de ingeniería. En el caso de los naturales pueden ser de erosión o acumulación, llamados “laderas” y de conformación artificial como cortes y terraplenes, denominados “taludes” (Suarez, 2009).

Con la detección de los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en el equilibrio de los taludes en roca, se puede definir que el comportamiento de taludes en macizos rocosos, son actividades complicadas que suceden en el talud en base a los factores que gobiernan su estabilidad. Los suelos son materiales meteorizados sueltos o poco consolidados de origen mineral; mientras que la roca es un material natural resistente, consolidado que ha de ser removido mediante voladura, en mecánica de suelos se indica que la resistencia a la compresión uniaxial es la diferencia o la línea que separa a las dos estructuras, siendo esta de 0.25 MPa. De acuerdo con su textura, características, composición y su origen geológico las rocas se pueden organizar en tres grupos: rocas ígneas, rocas metamórficas y rocas sedimentarias (González de Vallejo et al., 2002).

2.2.2. Análisis de estabilidad y diseño de taludes

La estabilidad de los taludes en los macizos rocosos depende del análisis y diseño de la estructura de la roca, mientras que estos dependen de la geometría del talud y la relación a la carga producida por la inestabilidad y la resistencia de la roca en contra de la falla (Morales, 2000, p.59).

Para (González de Vallejo et al., 2002, p.445) el análisis de estabilidad se basa en métodos que presentan planteamientos físico-matemático en los que participan las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras que intervienen sobre el talud, determinando su comportamiento y condición de equilibrio estricto del talud (es decir, $F = 1,0$) a lo largo de la superficie de rotura, Se pueden agrupar en:

- Metodología empírica: por clasificación geomecánica de los macizos rocosos, empleando (RMR, MRMR, SMR, GSI)

- **Método de equilibrio límite:** que es el más utilizado en la práctica de la ingeniería de rocas destinada a minas a cielo abierto. Es una poderosa herramienta para el cálculo del factor de seguridad; pero es tan usada que no son reconocidas sus restricciones.

- **Métodos probabilísticos:** consideran probabilidades de rotura de un talud bajo condiciones determinadas, son técnicas con excelentes resultados en cuanto a la confiabilidad de los datos obtenidos (González de Vallejo et al., 2002, p.445).

- **Métodos numéricos,** que en la última década tuvieron gran avance sobre todo en la computación aplicada a minería e ingeniería.

Factor de seguridad (FS): La finalidad de todos los métodos indicados es determinar el factor de seguridad por quien los parámetros de resistencia pueden ser reducidos hasta llevar al talud a un estado de equilibrio límite. El valor numérico para el FS escogido para un diseño particular depende del grado de incertidumbre, para lo cual se deben conocer las siguientes variables: ubicación de la superficie de falla, niveles freáticos del agua, cargas externas y parámetros de resistencia al corte. En conclusión, se puede definir el FS como el vínculo o concordancia entre las fuerzas resistentes y las fuerzas desestabilizadoras (González de Vallejo et al., 2002, p.445).

2.3. Estructura y criterios de la Gestión de Riesgos

La norma UNE ISO 31000 provee principios y directrices genéricas sobre la gestión del riesgo. La misma es aplicable a cualquier organización por lo que es una norma general que no establece directrices para el tratamiento de riesgos concretos. De manera que, da orientaciones para la implementación de un sistema de gestión del riesgo que vaya acorde a los estándares particulares de gestión de riesgos del sector en cuestión.

La ISO 31000 está estructurada en tres elementos claves, lo que la convierte en una norma de gestión de riesgos efectiva y sistemática. Estos tres elementos son:

- Principios de la gestión de riesgos
- Marco de trabajo para la gestión de riesgos
- Proceso de gestión de riesgos

Según la Norma Española ISO 31000, la apreciación del riesgo es el proceso global de identificación de análisis y de evaluación del riesgo más importante dentro del proceso de gestión de los riesgos. El mismo se compone de los siguientes elementos:

2.3.1 Identificación del Riesgo

El Gestor de Riesgos debe identificar los orígenes de riesgo, las áreas de impactos, los sucesos, así como sus causas y sus consecuencias potenciales. Durante esta etapa se genera una lista de riesgos basada en cualquier suceso que pueda crear, mejorar, prevenir, degradar, acelerar o retrasar los objetivos. Además de identificar las posibles consecuencias que puedan producirse y sus respectivos escenarios, es necesario tomar en consideración todas las posibles causas. Es fundamental disponer de información oportuna y actualizada acompañada de antecedentes apropiados, y de ser posible que intervengan personas con conocimientos apropiados. (AENOR, 2010, pp. 23-24)

2.3.2 Análisis del Riesgo

El análisis del riesgo implica desarrollar una comprensión del riesgo cualitativa, semi-cuantitativa, cuantitativa o una combinación de los tres casos, dependiendo de las circunstancias. En esta etapa del proceso se toman decisiones acerca de si es necesario o no tratar los riesgos, las estrategias a utilizar y los métodos de tratamiento más apropiados. Se deben identificar cuáles son los factores que afectan a las consecuencias y a la

probabilidad una vez estas se hayan determinado. El tipo de riesgo se corresponde con la manera en la que las consecuencias y la probabilidad se combinan para determinar un nivel de riesgo. Factores tales como las diferencias de opinión entre expertos, la incertidumbre, la disponibilidad, la calidad y la validez de la información deben resaltarse. (AENOR, 2010)

2.3.3 Evaluación del Riesgo

En base a los resultados obtenidos del análisis del riesgo, se procede a la evaluación del riesgo con la finalidad de ayudar a la toma de decisiones, determinando los riesgos a tratar y la prioridad de estos. La tolerancia del riesgo por otras partes que se benefician de este riesgo se debe tener en cuenta durante la toma de decisiones. La evaluación del riesgo puede llevar a la decisión de realizar un análisis en mayor profundidad o de no tratar el riesgo de ninguna otra manera que manteniendo los controles existentes. (AENOR, 2010)

2.3.4 Clasificación del índice riesgo

Una matriz de clasificación de índice de riesgo es una herramienta utilizada para evaluar y clasificar los riesgos en función de su probabilidad de ocurrencia y su impacto potencial. Esta matriz ayuda a priorizar los riesgos y facilita la toma de decisiones para implementar medidas de mitigación adecuadas. (AENOR, 2010)

A continuación, te muestro un ejemplo de cómo podría ser una matriz de clasificación de índice de riesgo:

Escala de Probabilidad:

Muy baja: Muy improbable que ocurra.

Baja: Puede ocurrir raramente.

Moderada: Posibilidad media de ocurrencia.

Alta: Puede ocurrir con frecuencia.

Muy alta: Muy probable que ocurra.

Escala de Impacto:

Insignificante: Sin impacto significativo.

Menor: Impacto mínimo en operaciones y seguridad.

Moderado: Impacto moderado en operaciones y seguridad.

Mayor: Impacto significativo en operaciones y seguridad.

Catastrófico: Impacto grave con consecuencias graves para la vida humana y el medio ambiente.

Es importante recordar que las escalas de probabilidad e impacto pueden variar según el contexto y la industria, y la matriz de clasificación de riesgo debe adaptarse a las necesidades específicas de cada organización o proyecto. Además, esta matriz es solo una herramienta para ayudar en la evaluación de riesgos; la toma de decisiones finales y las acciones de mitigación deben basarse en un análisis más detallado y en el conocimiento de expertos en el tema.

2.4. Sistema de monitoreo geotécnico

Un conjunto de subsistemas, conforman un sistema de monitoreo constante, el cual proporciona información sobre el estado de las estructuras, permitiendo evaluar su integridad y seguridad, con la finalidad de tomar decisiones y acciones que la lleven a una situación segura (Olivares, 2012, p.12).

Para realizar un diseño y evaluar los riesgos con la finalidad de minimizarlos se debe contar con una herramienta de monitoreo, es por esta razón que en la actualidad las compañías mineras están obligadas moral y financieramente a erradicar los probables accidentes ya que tienen la obligación legal de proteger a sus trabajadores. La legislación indica que los empleadores deben tener un ambiente de trabajo seguro. Las multas, encarcelamiento o ambos presentados en las minas se deben principalmente a la falta de identificación de los peligros y sus riesgos. La auscultación no solo identifica los sectores de riesgo, sino también disminuye la preocupación de los trabajadores ya que saben que las condiciones del terreno están siendo supervisadas siempre (Read y Stacey, 2009, p.342).

2.4.1. Procedimientos para implementar un sistema de monitoreo integral

La implementación de un sistema de monitoreo integral se debe realizar con el establecimiento de procedimientos que permitan planificar desde los objetivos hasta el uso

de los datos (Cruces, 2014, p.70). Esta investigación considera establece los siguientes procedimientos:

Estrategias de monitoreo

En esta etapa se deben verificar el diseño de bancos, los sectores de riesgos y los mecanismos de fallas, mediante la revisión de estudios existentes de análisis y diseños de taludes, mapas y ensayos de laboratorio. En caso no exista la información geotécnica, se recomienda emplear los estudios históricos satelitales InSAR, los cuales permiten detectar regionalmente zonas inestables con precisión milimétrica, sobre las cuales se colocarán sensores de monitoreo que permitan auscultar puntualmente el comportamiento de los taludes (Cruces, 2014, p.71).

Sistemas de comunicación

Se debe establecer la transmisión de los datos de los sensores manuales y automatizados a una base de datos centralizada, considerándose que en un tajo abierto existen varios puntos de observación. Los sensores manuales cuando se encuentran muy distantes, para recolectar sus datos requieren de mucho tiempo y recursos, en este caso para estos equipos se recomienda contar con aplicaciones en dispositivos móviles que permitan realizar la colección de datos manera sistematizada con la finalidad de integrar estos datos a la base central; por otro lado existen sensores manuales como los piezómetros de cuerda vibrante que pueden conectarse a dataloggers que permiten enviar los datos mediante radio frecuencia a la base central. Por otro lado, los sensores de medición continua presentan ventajas operacionales de confiabilidad en los datos, por lo que es muy importante contar con un sistema de comunicación inalámbrica tipo WI-FI que es el más recomendable para la mina, permitiendo la transmisión de datos en tiempo real. Las técnicas son: fibra óptica, access point, módem, celulares y radio. (Cruces Seguel, 2014).

2.4.2. Criterios para la ubicación de los instrumentos, parámetros a monitorear y parámetros de control para analizar los movimientos

La distribución de los sensores o instrumentos de monitoreo en campo debe estar en relación con el comportamiento de los taludes, el método de manejar los datos, analizar la información y predecir futuros comportamientos de los taludes.

La ubicación de los hitos de control en los taludes del tajo abierto, deben ser elegidas de acuerdo con las condiciones del macizo rocoso, calidad del material y las condiciones del agua. En general, los criterios utilizados, para la ubicación de los sensores de monitoreo corresponden a (Cruces, 2014, p.83):

- Determinar calidad geotécnica mediante de las características geomecánicas del macizo rocoso, con la cual se determina la resistencia y dureza, el grado de fracturamiento (RQD), espaciamiento, continuidad, abertura, rugosidad, orientación y número de familias de separaciones, grado de alteración y condición del agua.
- Ubicar sectores con diseños agresivos, alturas inter-rampas sobre una altura agresiva y ángulos inter-rampas de mayor ángulo límite admisible.
- Determinar sectores de fallas mayores y de contacto geológico.
- Identificar los diferentes mecanismos de fallas como: planares, cuñas, fallas por volcamiento, zonas de caídas de rocas.
- Determinar las presiones de poros y la profundidad de los niveles agua subterránea.
- Identificar zonas de grandes deformaciones.
- Monitorear los factores climatológicos, tales como temperaturas extremas, lluvias, humedad relativa, etc.

En el caso del monitoreo de taludes del tajo abierto de la mina, los instrumentos o sensores deben considerar medir los siguientes parámetros (Cruces, 2014):

- Desplazamientos, velocidades y aceleraciones del macizo rocoso.
- Nivel freático del agua y presión de poros.
- Deformaciones del macizo rocoso.
- Control de zonas agrietadas.
- Monitoreo de voladuras.
- Activación de mecanismos de fallas como cuñas o bloques asociados.

Para medir los parámetros indicados con la finalidad de detectar movimientos en los taludes se emplean instrumentos geotécnicos como los radares, estaciones totales

robotizadas, extensómetros entre otros, cada uno de estos sensores proporcionan datos de monitoreo. Los radares, estaciones totales robotizadas y escáner láser 3D registran desplazamientos tridimensionales; los extensómetros registran desplazamientos unidimensionales; los inclinómetros registran la deformación interna de la falla y los piezómetros registra el nivel piezométrico y por ende la presión de poros.

Los datos capturados dependerán de los tipos de sensores de monitoreo en el caso de la estación total con prismas los datos capturados son coordenadas: este, norte, altura, distancia inclinada; en el caso de los radares y extensómetros son desplazamientos acumulados; en el caso de los piezómetros son niveles piezométricos y en el caso de las estaciones meteorológicas los parámetros climáticos como temperatura, humedad, precipitación; todos estos datos son procesados convirtiéndolos en desplazamientos, velocidades y aceleraciones. (Jose Davis Rodriguez Compare, 2003)

2.4.3. Características de los sensores de monitoreo para un sistema de monitoreo geotécnico integral

La realización de repeticiones de observaciones sistemáticas de un área o sector se denomina monitoreo, según (SafeLand, 2012), para lo cual se emplean instrumentos o sensores los cuales deben cumplir características adecuadas, para medir con precisión y eficiencia los desplazamientos y deformaciones que se presentan en los taludes mineros.

Características de los sensores o instrumentos

Los instrumentos de monitoreo cumplen las siguientes características (Cruces Seguel, 2014):

- Deben ser robustos, confiables y deben funcionar por largos periodos, sin reparaciones o reemplazos.
- Deben generar respuestas inmediatas, además de ser precisos en cambios que puedan aparecer en eventos geotécnicos.
- Deben tener accionamiento eléctrico, debido a que son confiables en lecturas y autonomía, durables, robustos y soportan condiciones climáticas extremas.
- Deben ser de marcas de prestigio y duración comprobables.
- Deben permitir conectarse a data loggers para obtener lecturas automatizadas.

- Deben ser compatibles con la captura de datos manuales y la transmisión inalámbrica de datos.
- Deben contar con servicio técnico calificado en el país donde se adquirieron.
- Deben ser ajustados y calibrados por personal especializado de la casa proveedora con el objetivo que los datos medidos sean confiables.
- Deben presentar en sus características técnicas las precisiones angulares y de distancia, definidas por los fabricantes.
- Deben presentar sus grados de protección IP ante polvo y agua.

2.4.4. Tipos de sensores de acuerdo con los movimientos a detectar

Desde los principios de la operación de la mina se deben implementar sensores de monitoreo, tanto manuales como automatizados los cuales deben integrarse a un sistema de monitoreo integral. Estos instrumentos deben presentar propiedades que correlacionen las dimensiones que medirán en los monitoreos de tal manera que identifique: los movimientos superficiales, en el interior del terreno, las aperturas de grietas, presiones intersticiales y los niveles de agua subterránea (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño y Oteo, 2002).

2.4.4.1. Sensores Superficiales

Permiten monitorear la superficie de los taludes, con la finalidad de detectar los desplazamientos y velocidades que se puedan presentar en los taludes. Entre las principales técnicas y sensores de monitoreo superficial tenemos:

➤ Radar (Radio Detection and Ranging):

Su finalidad es detectar remotamente objetos, mediante la medición de distancias por radio. Las ondas o microondas de radio son ondas electromagnéticas con longitudes que varían desde 1 mm hasta 1 m. Los radares presentan antenas que emiten pulsos con amplitudes de longitud de ondas predefinidas y también antenas receptoras que estiman el rango, miden la amplitud y la fase (tiempo entre ondas) de los pulsos. Las ondas de radio, a diferencia de las infrarrojas, son menos influenciadas por las condiciones atmosféricas, permitiendo realizar adquisiciones en lluvias intensas como en niebla espesa, por otro lado, si mayor es la longitud de onda, la precisión y resolución es menor; pero se logra una mejor

penetración y estabilidad de la señal de retorno. Los radares de apertura sintética o SAR (Synthetic aperture radar) es una técnica que permite observar la tierra en varias polaridades y obtener resoluciones muy nítidas (SafeLand, 2012).

➤ **SAR Interferométrico (InSAR):**

Realiza el monitoreo continuo de movimientos de puntos fijos, aplicando el principio de cambio de fase. (SafeLand, 2012). El movimiento del terreno se obtiene a partir de satélites radar, comparando la distancia entre el sensor y el terreno en momentos diferentes.

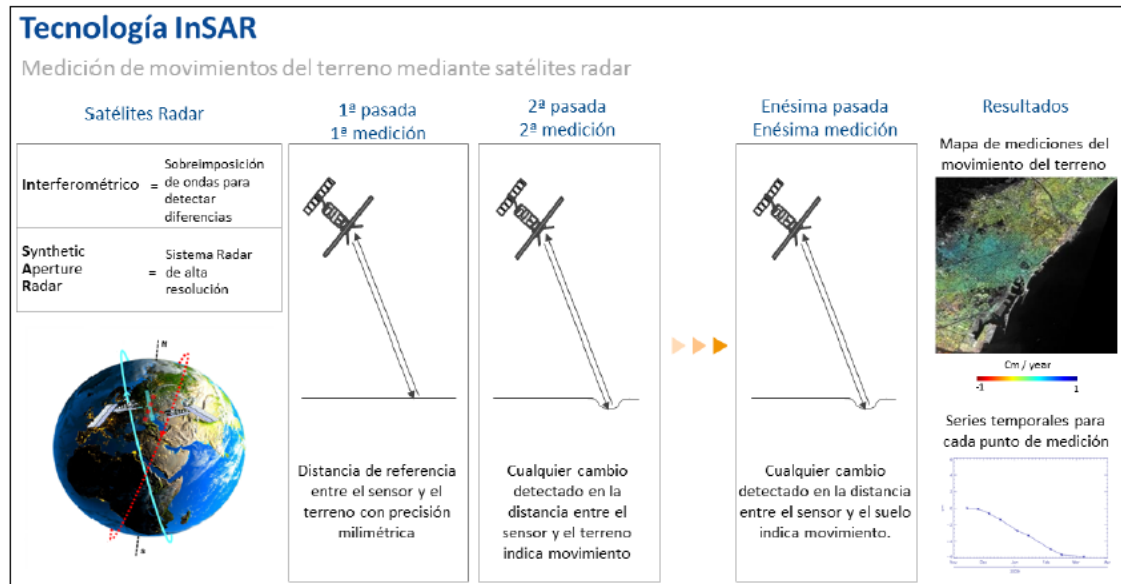


Figura 2: Forma de medición del sistema satelital

Fuente: TRE Altamira

TRE Altamira es una empresa líder a nivel mundial, dedicada a la observación terrestre con amplia experiencia en la medición milimétrica de los movimientos del terreno a partir de imágenes radar captadas por satélite.

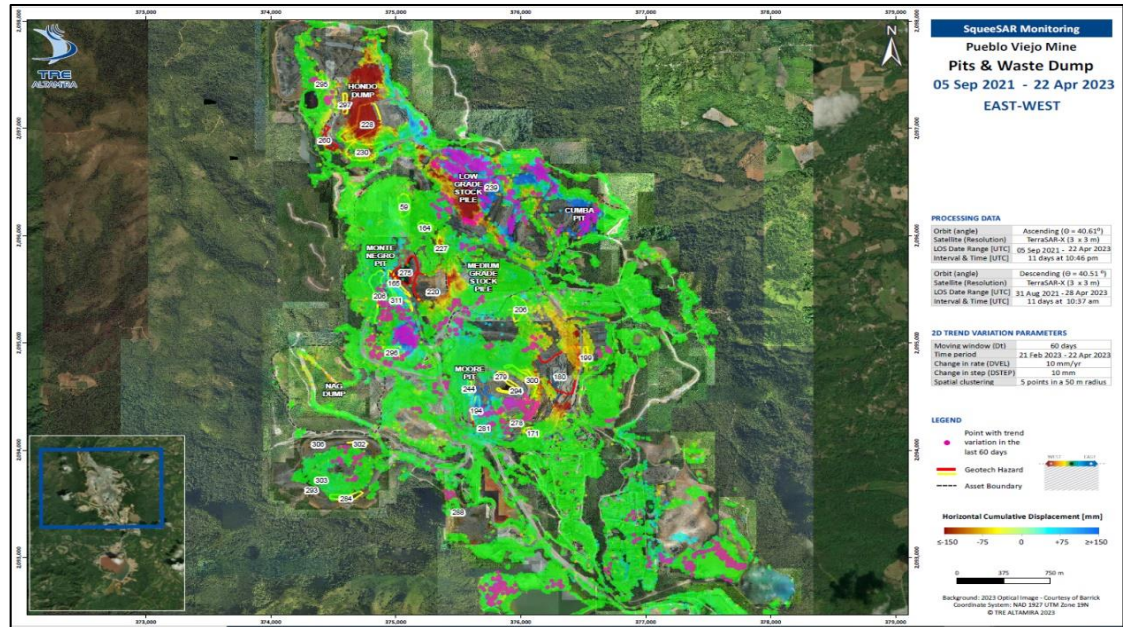


Figura 3: Imagen desplazamientos del 05 septiembre 2021 a 22 abril 2023.

Fuente: TREA Altamira

En resumen, esta tecnología es empleada para detectar movimientos centimétricos o milimétricos en grandes extensiones de terreno con velocidades muy baja, brindando información de sectores inestables, sobre los cuales luego se realiza una estrategia de monitoreo, para realizar el seguimiento puntual.

➤ **InSAR terrestre (GB InSAR – Ground Based InSAR):**

Es una técnica interferométrica diferencia en tierra denominada GB InSAR. Se emplea para monitorear y detectar deslizamientos e inestabilidades. Este sistema presenta muchas ventajas, ya que analiza toda el área en movimiento en frecuencia de tiempos muy cortos, mientras que otras técnicas como estaciones totales, extensómetros, etcétera, brindan información puntual (SafeLand, 2012).

En el mercado mundial existen dos grupos de radares terrestres:

RAR: Real Aperture Radar, son conocidos como radares no coherentes, ya el tamaño de la antena es controlado por la longitud física de la antena. Son equipos de diseño portátil, así como el procesamiento de los datos; pero la desventaja es que su resolución es débil en el rango cercano. La imagen radar tienen una resolución limitada por la longitud de antena, debiendo ser esta varias veces el tamaño de la longitud de onda para disminuir el ancho de banda de la señal enviada. (Villena, 2008).

SAR: Synthetic Aperture Radar, procesa con complejos algoritmos la data capturada por las antenas del radar. Este proceso combina los datos obtenidos de varios barridos de la antena, creando así un barrido virtual. Finalmente, el radar SAR brinda el mismo resultado, si se tuviera una antena mucho más grande (Villena, 2008).



Figura 4: Tecnologías de radar terrestre SAR – RAR

Fuente: IDS Georadar

En el SAR, cada muestra de cada píxel posee información en amplitud $|I(n)|$ y fase ϕ . El análisis interferométrico diferencial entrega información sobre el desplazamiento de un objeto comparando la información de fase de las ondas reflejadas por el objeto y capturada en momentos diferentes. En el caso del radar IBIS de la compañía IDS GeoRadar este es capaz de evaluar el desplazamiento de cada píxel resuelto mediante las técnicas de frecuencia escalonada de onda continua SFCW y la técnica SAR (IDS Ingeniería de Sistema, 2012).

En resumen, esta técnica de monitoreo es empleada en el proyecto Pueblo Viejo, ya que permite obtener el píxel con la mejor resolución, alcance hasta de 5 km longitud con una cobertura de 360° y 40 segundos de toma, en el modelo ArcSAR. Los datos generados

son desplazamientos acumulados, velocidades, aceleraciones, alertas tempranas y mapas de riesgos.

➤ **Estación total robotizada con prismas y software GeoMoS:**

El otro tipo de monitoreo superficial muy empleado es el método topográfico. Este método emplea estaciones totales manuales o robotizadas, siendo estas últimas las más precisas ya que tienen un sistema automático de búsqueda del centro del prisma, permitiendo medir siempre el centro del prisma y detectando así movimientos horizontales y verticales, con precisión alta del orden del milímetro (Leica Geosystems, 2009).

La estación total es un instrumento topográfico de precisión que funciona de manera electrónica, el cual se compone de: un teodolito, con el cual mide los ángulos horizontales y verticales; un distanciómetro, con el cual mide las distancias inclinadas; un microprocesador, con el cual realiza los cálculos; una memoria, donde se almacenan los datos capturados y procesados; un sistema de nivelación con el cual controlan los movimientos o vibraciones que afectan las mediciones y programas de campo, que permiten desarrollar el trabajo de campo de manera rápida y eficiente (Leica Geosystems, 2009). La estación total permite obtener los siguientes datos:

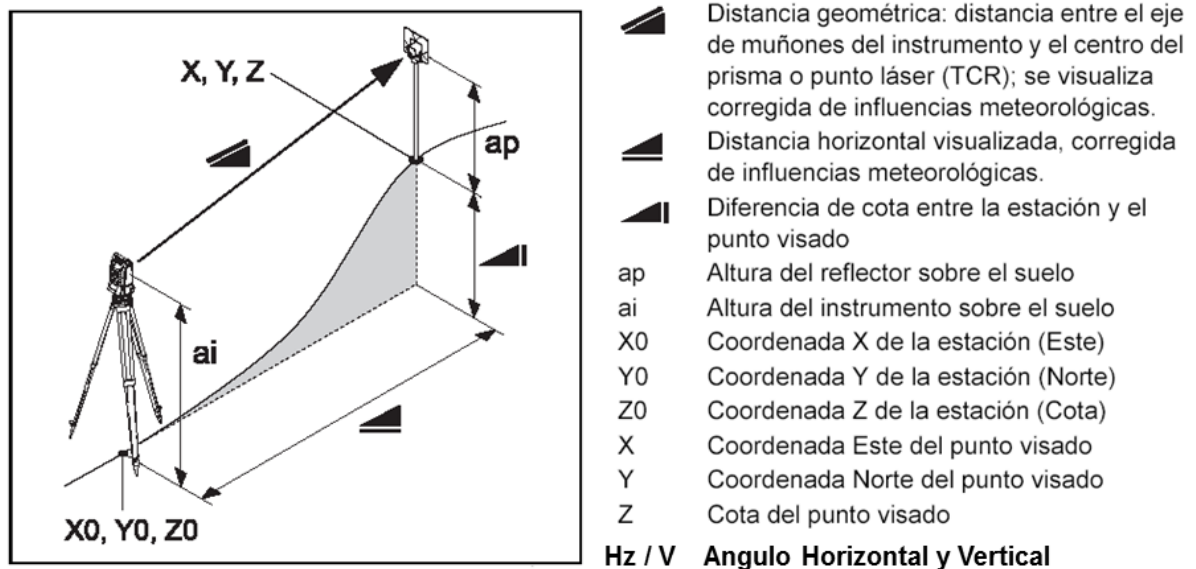


Figura 5: Datos registrados por las estaciones totales

Fuente: Leica Geosystems, manual de uso de TPS1200.

Las estaciones totales son instrumentos muy precisos, siendo ajustados y calibrados en fábrica a la mejor precisión posible, por lo que se deben tener en cuenta el siguiente procedimiento de empleo:

- **Mantenimiento periódico:** la inspección, mantenimiento, calibración y ajuste de los instrumentos se debe efectuar en un taller de servicio técnico autorizado por fábrica, cada 06 meses (Leica Geosystems, 2009).

- **Ajuste y calibración:** Los instrumentos se desarrollan, arman y ajustan con la máxima calidad; pero debido a los golpes o tensiones y a las modificaciones rápidas de temperatura, pueden influir en la exactitud del instrumento, por lo que se recomienda ajustar y comprobar el instrumento. Se pueden realizar:

- Ajustes electrónicos: Error de colimación, Error de perpendicularidad, ATR, Error de índice del compensador de los ejes, etc.

- Ajustes mecánicos: Rayo láser visible, plomada láser, tornillos del trípode, Nivel Esférico del instrumento y la base nivelante (Leica Geosystems, 2009).

Mediciones precisas: La obtención de mediciones precisas en el monitoreo es de vital importancia, para lo cual se debe realizar (Leica Geosystems, 2009):

- Ajustar y comprobar el instrumento de vez en cuando.
- Medir en las dos posiciones del anteojo los puntos.
- Adaptar el instrumento a la temperatura del ambiente antes del trabajo.
- Proteger al instrumento de la luz solar directa.
- Hacer una buena nivelación del instrumento.
- Colocar el instrumento en un punto conocido y señalado.
- Orientar el equipo usando una referencia o punto conocido.
- Realizar las correcciones atmosféricas, para corregir las distancias.
- Ingresar la constante y altura del prisma.

La continuidad de las lecturas y la captura de datos con la estación total obedecen a las dimensiones a medir y a la velocidad de la técnica a controlar. El sistema de medición

que utiliza la estación total robotizada permite medir ángulos y distancias desde un punto base fijo y perpendicular a la línea de prismas a medir, con la finalidad de evitar errores de lectura angular (Leica Geosystems, 2009).

Las fases del monitoreo de taludes con estación total robotizada, para determinar sus comportamientos son cuatro, siendo estas las siguientes (Leica Geosystems, 2009):

- Monitoreo con estación total robotizada y prismas: Este puede ser manual o automatizado, depende de la frecuencia de lecturas que se requieran tomar y del comportamiento estable o inestable que presente el terreno.

- Registro de Datos de Campo: Cada vez que se mide un prisma se registran los datos crudos de un punto en un tiempo definido, este dato está expuesto a problemas atmosféricos como lluvia, niebla, polvo, entre otros, generando ruidos los cuales distorsionan las gráficas por lo que deben corregirse.

- Depuración y Procesamiento de Datos: Los errores generan los llamados saltos o ruidos en las gráficas de desplazamiento y velocidad los cuales deben ser eliminados con métodos de intervalos de confianza o con líneas de tendencias. El procesamiento de datos se realiza con el software más usado en el mundo llamado GeoMoS Analyzer.

- Análisis e Interpretación: Los datos procesados son analizados e interpretados mediante tendencias con la finalidad de definir los movimientos desplazamientos, velocidades, aceleraciones y los vectores 2D-3D de los puntos medidos.

Para el buen funcionamiento del sistema de monitoreo automatizado con la estación total se debe considerar los siguientes aspectos (Leica Geosystems, 2009):

- Verificación de la calibración y ajuste de cierre de las estaciones totales.
- Envío de los equipos a su mantenimiento programado.
- Ajuste de usuario de los equipos, antes de iniciar los monitoreos.
- Control de las primas de monitoreo, bitácora del histórico de los prismas.
- Control y verificación de la orientación de la estación total.
- Control y verificación de los puntos de corrección atmosférica.

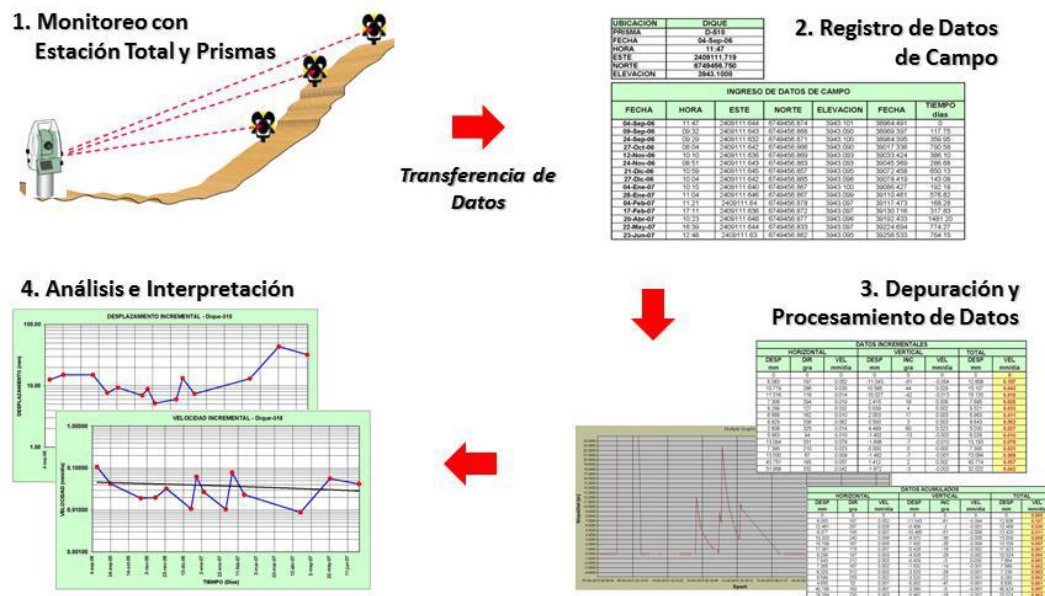


Figura 6: Flujoograma de trabajo con las estaciones totales

Fuente: Leica Geosystems, manual de entrenamiento.

Este sistema para monitoreo superficial es utilizado actualmente en el proyecto Pueblo Viejo siendo el modelo TM50, marca Leica, la más utilizada. Cabe precisar que los dos sistemas de monitoreo presentados son los más usados en el mercado mundial, siendo ambos complementarios.

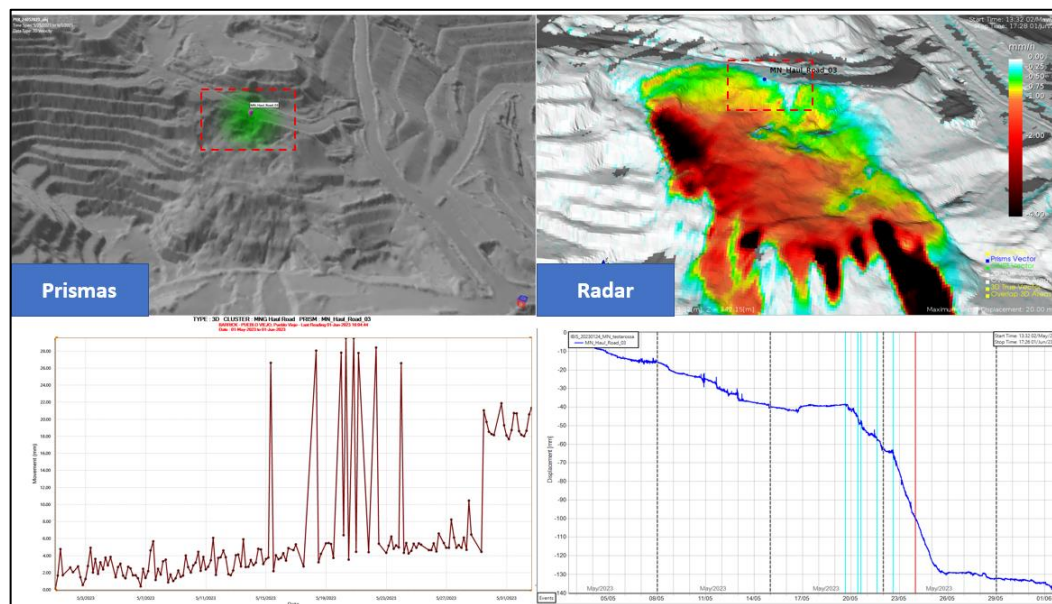


Figura 7: Complementariedad de tecnologías radar y estaciones totales.

Fuente: IDS GeoRadar, Leica Geosystems.

➤ **Extensómetros:**

Son sensores utilizados para medir las grietas en los tajos abiertos y principalmente en los botaderos de las minas. Este sistema registra datos de desplazamiento unidimensional convirtiendo los movimientos circulares en lineales. El equipo consta de un trípode, una polea que funciona como pesa y otra polea que al girar registra los movimientos, un procesador de datos, un sistema de comunicación por radio, un panel solar, una batería, un cable y una estaca. El criterio para instalar estos equipos en campo es muy importante ya que una mala instalación puede causar errores. Se considera una buena instalación cuando el cable cruza lo más perpendicular posible desde la cresta hasta la plataforma. (Jose Davis Rodriguez Compare, 2003)

2.4.4.2. Sensores Hidrogeológicos

Permiten monitorear la presión de poros empleando excavaciones de observación o piezómetros, siendo estos de tubo abierto, neumáticos o de cable vibrador. Las características de su funcionamiento y precisión definirán el tipo de piezómetro a utilizar en cada estudio específico. (Suarez, 2009).

Piezómetro de cabeza abierta: Un modelo es el Casagrande, el cual está conformado por un tubo poroso de cerámica enlazado a un mango de caucho que se conecta a un cilindro plástico. Estos piezómetros son los más confiables. Entre las características más importantes se puede mencionar que son simples y fáciles de interpretar, alta durabilidad, mantenimiento fácil, permite monitorear el nivel del agua freática y medir la permeabilidad del suelo. Para automatizar la adquisición de datos de los piezómetros de cabeza abierta se puede colocar en el tubo un piezómetro de cuerda vibrante (Jaime Suarez Diaz, 2009)

Piezómetro Neumáticos: Este piezómetro está formado por un vértice poroso vinculado a un diafragma muy sensible que se acciona por fluidos o gases y necesita de una lectora exterior, la cual produce presión dentro del sistema interno del piezómetro logrando igualar la precisión en la cavidad de este. La precisión se basa en el equipo de medición, es por ello que cuando las presiones son muy bajas y el nivel de precisión de las lecturas no son muy exactos (Suarez, 2009, p.517).

Piezómetro de Hilo Vibrátil: Este piezómetro también se denomina de cuerda vibrante, presenta un diafragma metálico que divide la presión del agua del sistema de

medida. Un cable tensionado está enlazado al punto central de un diafragma metálico. Las deflexiones del diafragma generan modificaciones en la tensión del cable, la cual es medida y transformada en presión. Entre las ventajas de este equipo se presenta la facilidad de lectura y la poca interrupción en la colocación de rellenos, también puede medir presiones negativas de agua y la gran ventaja es que se pueden capturar los datos de manera automática y enviarlos a largas distancias por medio de los dataloggers (Suarez, 2009).

2.4.4.3. Sensores climatológicos

Estos permiten monitorear las condiciones climatológicas que se presentan en la operación minera.

Estaciones meteorológicas: Permiten registrar y cuantificar la forma continua de diversos parámetros meteorológicos. (Vázquez & Alfredo, 2013).

Los instrumentos más comunes que forman parte una estación son:

- Termómetro: Determina la temperatura en diversas horas del día.
- Barómetro: Determina la presión atmosférica en la superficie.
- Pluviómetro: Determina la cantidad de agua caída sobre el suelo en metros cuadrados en forma de granizo o nieve y lluvia.
- Anemómetro: Determina la velocidad del viento.
- Higrómetro: Determina la temperatura del punto de rocío y la humedad relativa del aire.
- Velea: Determina la dirección del viento.

En las zonas de deslizamiento, lo que más interesa es conocer la cantidad de agua, que cae sobre la superficie afectada, así como la temperatura de la zona (Vázquez & Alfredo, 2013).

2.5. Generar mapas de riesgos con el sistema de monitoreo integral

El sistema de monitoreo integral es una herramienta que busca resolver problemas surgidos con el crecimiento del número de instrumentos instalados en las minas, siendo el principal de ellos la dificultad en obtener información a partir de los datos. Este obstáculo proviene principalmente de dos características fundamentales: la primera, la gran

proporción de datos disponibles fruto de la gran cantidad de instrumentos y de la alta frecuencia de medición que estos tienen, gracias a lecturas automatizadas; y la segunda, de la descentralización de los datos, causada por diferentes estándares de almacenamiento, presentación y disponibilidad, adoptados por cada fabricante de instrumentos; por lo que el sistema debe integrar los datos de los sensores manuales y automáticos en una sola base de datos unificada, contextualizada y estandarizada, con la finalidad de procesarlos mediante sus módulos de análisis estadístico, que permitan determinar los umbrales de alertas para generar mapas en 2D-3D de riegos, alertas tempranas y generación de reportes automáticos (IntellTech, 2017).

2.5.1. Módulos del Sistema de monitoreo geotécnico integral

En el mercado mundial actualmente la tendencia es a emplear herramientas de monitoreo que permitan integrar los datos de los sensores de monitoreo; debiendo cumplir estos sistemas con el principio de modularidad y escalabilidad de la manera que se vayan implementando de acuerdo con la necesidad y posibilidad de los interesados. Los módulos que deben presentar los sistemas integrales de monitoreo son:

Modulo Integrador de Datos: Permite la integración contextualizada, estandarizada y normalizada de los datos temporales y/o espaciales de todos los instrumentos y/o sensores de monitoreo de diversas marcas, instalados en presas, botaderos y el tajo abierto de la mina. La gestión es realizada a través del registro y estandarización de los tipos de instrumentos, así como de sus respectivas configuraciones y particularidades inherentes. Una vez registrados, el Integrador de Datos puede obtener, automáticamente, las lecturas realizadas, proporcionando datos brutos y datos calculados transformados con el uso de fórmulas usadas en las áreas de Ingeniería y/o similares, las cuales son previamente configuradas, de forma trivial, por el propio usuario, de acuerdo con el perfil de acceso. Este módulo debe permitir integrar datos de sensores conectados a redes estándar, dataloggers, base de datos SQL, accesos por FTP, archivos CSV o TXT. Todos los datos integrados deben ser auditables, permitiendo identificar la fecha y usuario que ingreso, modifiko o elimino datos de monitoreo (IntellTech, 2017).

Módulo de control de campo: Es el módulo WEB y Mobile que proporciona la gestión segura de las acciones de monitoreo e inspección en campo de las estructuras y

activos geotécnicos. Este gestor puede realizar un seguimiento en tiempo real de las actividades, desde cualquier lugar del mundo. Siempre que se tenga al menos una señal 3G, la sincronización de los datos e informaciones recolectadas en campo se transmite automáticamente; lo mismo sucede en flujo inverso. Por medio del Geo Inspector, es posible recolectar las lecturas de los instrumentos manuales instalados en las estructuras de la mina e integrarlos a la base de datos centralizada. Este módulo cuenta con una estructura de formularios y fichas de lecturas dinámicas, donde es posible crear formularios, con número y formato de campos para ser llenados, y variables utilizadas tanto para el monitoreo como para la inspección. El llenado de las Fichas de campo será realizado por técnicos, mediante el uso de Tablets. Todos los datos e informaciones son rastreables y auditables ya que en cualquier momento se podrá revisar quién ejecutó la tarea, la fecha, la hora y la geolocalización. Es posible definir los turnos de los técnicos en campo, así como el plan de actividades de monitoreo y de inspección, también pueden ser creados planes de actividades de instalación, referentes a la adición de nuevos instrumentos. Las actividades pueden ser atribuidas a un equipo o a un técnico específico y pueden ser acompañadas por el visto bueno de los supervisores o la gerencia (IntellTech, 2017).

Módulo de Monitoreo: Permite hacer el seguimiento en tiempo real de las mediciones de los instrumentos de forma centralizada y contextualizada. La representación de los instrumentos es realizada en mapas 2D, a través de las herramientas WebGIS o en modelos digitales del terreno (DTM), que son reproducidos en 3D, de acuerdo con su posición real georeferenciada. Tanto los mapas 2D como los DTM's 3D son actualizados periódicamente, el primero con cada nueva foto de satélite disponible y el segundo con un nuevo escaneo de la estructura. Este módulo cuenta con una herramienta muy importante: la configuración de alarmas personalizadas para el monitoreo del comportamiento anormal de los datos medidos. A partir de este mecanismo, cada instrumento posee sus propias alarmas, variando tanto en la forma del cálculo (variación acumulada, estacionalidad, entre otras), como en los colores, valores límites, frecuencia de verificación y periodo de tiempo utilizado para el cálculo de cada alarma. En función de las alarmas es posible crear las reglas de envío de mensajes para las personas responsables, tanto por e-mail como directamente a sus teléfonos celulares. De esta manera, se evita la sobrecarga de

información para los usuarios, mostrándole solamente lo que fue considerado más relevante (IntellTech, 2017).

Módulo de Análisis Estadístico y Predictivo: El gran número de sensores instalados en los tajos abiertos de las minas y presas genera una cantidad enorme de datos proporcional al número y a la variedad de las mediciones. Sin embargo, los datos no significan necesariamente información, por lo que el módulo de análisis estadístico es muy importante ya que genera datos para determinar decisiones mediante las lecturas de los sensores (IntellTech, 2017).

La interfaz de un instrumento seleccionado por el usuario es posible visualizar informaciones sobre: Desplazamiento, Velocidad, Aceleración, Predicción de los valores futuros de los instrumentos, el histórico de alarmas generadas en el punto analizado, predicción estadística del instante de rotura, la correlación del punto analizado con los demás puntos del grupo o grupos a los que pertenece, el histograma de la serie temporal.

Umbral de alertas: Las operaciones mineras se tornan cada vez más agresivas en su producción eso implica alterar las condiciones de estabilidad en tiempos muy cortos y para dar continuidad a la operación los departamentos de Geotecnia deben tener conocimiento y debe estar preparados para dar respuesta inmediata ante algún indicio de inestabilidad, para el efecto descrito se debe contar con instrumentos que monitoreen permanentemente el área de operación y sus componentes o estructuras de producción.. Para calcular los umbrales se deben obtener datos de los sensores y estos deben estar distribuidos de tal manera que se aproveche la perpendicularidad del punto de medida con el objetivo de medida. Este principio de perpendicularidad aprovecha la medida de acercamiento o alejamiento del sector en movimiento (Jose Davis Rodriguez Compare, 2003).

Mapas de riesgos, alertas y reportes automáticos

En base a los datos procesados y los umbrales ingresados por los usuarios del área de geotecnia por cada sensor de monitoreo, el sistema genera automáticamente los mapas de riesgos y alertas tempranas:

Módulo de Mapa 2D y DTM: En este ambiente se presentan en 2D y 3D los mapas con todos los sensores de monitoreo, sobre el cual muestra por colores las zonas de riesgos calculadas por el sistema.

Módulo de Realidad Aumentada: La realidad aumentada permite al usuario visualizar los instrumentos y sus medidas en la pantalla de una Tablet o celular, cuando se apunta la cámara a la estructura. (IntellTech, 2017).

Módulo de Realidad Virtual: Permite al usuario explorar la estructura, sin necesidad de transitar por ella. En un entorno virtual, son representados los activos de la empresa, siendo posible visualizarlos en tiempo real, además de verificar sus estados. Por ejemplo, en la figura siguiente, los camiones equipados con dispositivo GPS son representados por puntos verdes moviéndose sobre el tajo de una mina. Al seleccionarlo, es posible verificar las informaciones relacionadas a él, las cuales pueden variar de acuerdo con los sensores equipados en cada activo (IntellTech, 2017).

Módulo de Sala de Control de Monitoreo 24/7: Una Sala de Monitoreo Integrado 24/7 proporciona al gestor la capacidad de monitoreo continuo de la operación de sus estructuras a través de instrumentos y de inspecciones visuales periódicas. El objetivo máximo de esta estructura es el de identificar, inmediatamente, las anomalías que pueden traer consecuencias no deseadas para el proyecto y tomar las medidas necesarias para corrección de estas situaciones. El perfecto funcionamiento de una Sala de Monitoreo 24/7 requiere de técnicos especialistas en sus respectivas funciones: obtención de datos de instrumentación e inspecciones, análisis de datos, entre otros; y el establecimiento de procedimientos de respuesta apropiados (IntellTech, 2017).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION

3.0. Introducción

El presente capítulo contiene las informaciones del diseño, tipo de estudio, la instrumentación y los componentes básicos del procedimiento metodológico utilizado en la investigación titulada: Riesgos geotécnicos y sistemas de control en las empresas mineras en la provincia Sanchez Ramirez. (Tramo carretero Cotuí – Maimón, República Dominicana).

3.1. Diseño de la investigación

Este trabajo está enmarcado dentro de un diseño no experimental. se basa en la observación y medición de fenómenos naturales sin la manipulación deliberada de variables (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

3.2. Tipo de investigación

Se caracteriza por el interés en la aplicación de los entendimientos teóricos a determinada situación concreta y los efectos prácticos que se deriven, por lo que es importante conocer para aplicar (Sánchez y Reyes, 2006). Según esta definición el tipo de investigación por su naturaleza es aplicada.

3.3. Población y muestra

La población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales fueron extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda limitada por el problema y por los objetivos de la investigación (Arias, 2012, p.81). Bajo esta consideración la población está definida por los taludes desarrollados en el tajo de la mina que alcanzan alturas de 20 metros.

3.4. Enfoque de la investigación

Para poder cumplir con los objetivos de esta investigación las variables fueron descritas en función de las características del comportamiento de taludes y sistema de control de monitoreo geotécnico; por este motivo el diseño de la investigación tiene un enfoque cualitativo.

Enfoque cualitativo: Utiliza la recolección de datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas de investigación en el proceso de interpretación. (Sampieri, Collado, & Lucio, 2010).

3.5. Métodos

El presente trabajo es de método deductivo, ya que el método deductivo crea teorías a partir de la observación de los hechos, mediante la generalización del comportamiento observado; donde se desarrolla una especie de generalización, sin que por medio de la lógica pueda conseguir una demostración de las citadas teorías o conjunto de conclusiones (Behar, 2008).

3.6. Técnica y recolección de datos (Instrumentación)

La técnica es la observación, la cual consiste en observar u obtener mediante la vista, en forma sistemática, cualquier fenómeno, situación o hecho, que se genere en la naturaleza o en la sociedad, en función de los objetivos preestablecidos en la investigación (Arias, 2012) En esta investigación la técnica empleada es la observación directa de los hechos, mediante el empleo de instrumentos de medición.

Instrumentos de recolección de datos son los formatos, recursos o dispositivos (en formato digital o papel), que se emplean para capturar, registrar o almacenar datos. (Arias, 2012) En este estudio el instrumento a emplear son las Fichas de Recolección de Datos.

3.7. Validez y Confiabilidad del Instrumento

La validez, es el grado en que un instrumento mide realmente la variable que pretende medir. La validez es un concepto que tiene varias evidencias como: 1) evidencia relacionada con el contenido, 2) Evidencia relacionada con el criterio y 3) Evidencia relacionada con el constructor; pero también otro tipo de validez que otros autores consideran es la face validity o validez de expertos, la cual se refiere al grado que un instrumento mide a la variable en cuestión, de acuerdo con “voces calificadas”, se determina mediante la evaluación del instrumento ante expertos (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p.204).

Los métodos más conocidos para calcular la confiabilidad son: a) medida de estabilidad, b) formas alternadas, c) mitades partidas y d) consistencia interna. También se

aplica la medida de congruencia interna denominada “coeficiente alfa Cronbach”, que es el más utilizado (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p.208).

El coeficiente alfa de Cronbach varía entre 0 y 1, siendo: 0 confiabilidad nula y 1 confiabilidad total. El coeficiente de Cronbach se calcula mediante la varianza de los ítems y la varianza del puntaje total (Terán et al., 2008).

3.8. Procedimientos

La investigación se basó en la recolección de datos e informaciones para su posterior análisis, a continuación, se describen las etapas que conformaron el proyecto de investigación:

Revisión de la literatura

Esta revisión permitió la realización del estado del arte de los riegos geotécnicos, sistema de control de monitoreo, aspectos de la problemática minera que se debe superar, minería sostenible y antecedentes internacionales y locales acerca de las operaciones mineras con riesgos potencial a deslizamientos de taludes. Se realizaron compilación de informaciones relacionadas con el objetivo de investigación tales como artículos de revistas científicas, libros, artículos de revistas, páginas web, Tesis, reportes técnicos.

Línea base

Se realizaron anotaciones de todos los riegos geotécnicos de la zona de estudio para describir las condiciones actuales identificando todos los elementos que lo componen.

Entrevista: La etapa de conversación con los trabajadores en el área de operaciones en el proyecto Pueblo Viejo y Calizamar e instituciones relacionadas con la problemática descrita en esta investigación.

3.9. Análisis de los datos

Los datos proporcionaron respuestas a las preguntas de investigación planteadas, por lo tanto, es necesario procesarlos y analizarlos de manera ordenada y coherente con el fin de discernir patrones y relaciones.

Para la presentación e interpretación de los resultados que fueron obtenidos, se utilizaron programas especializados como ArcGIS, Vulcan, Guardian, Pangea, Excel, entre otros, los cuales permitieron la interpretación de los resultados.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Parámetros o criterios geotécnicos considerados al momento de definir un diseño de Pit minero, botaderos y canteras utilizados para el desarrollo de la mina.

Al diseñar un pit minero o un botadero, se consideran varios parámetros y criterios geotécnicos para garantizar la estabilidad y seguridad de la estructura. Algunos de los principales son los siguientes:

1. **Caracterización geotécnica del material:** Se lleva a cabo un estudio exhaustivo de las propiedades geotécnicas del material involucrado, como la resistencia al corte, la compresibilidad, la permeabilidad, la densidad, la cohesión, el ángulo de fricción, entre otros. Esta caracterización es fundamental para comprender el comportamiento del material y realizar análisis de estabilidad.

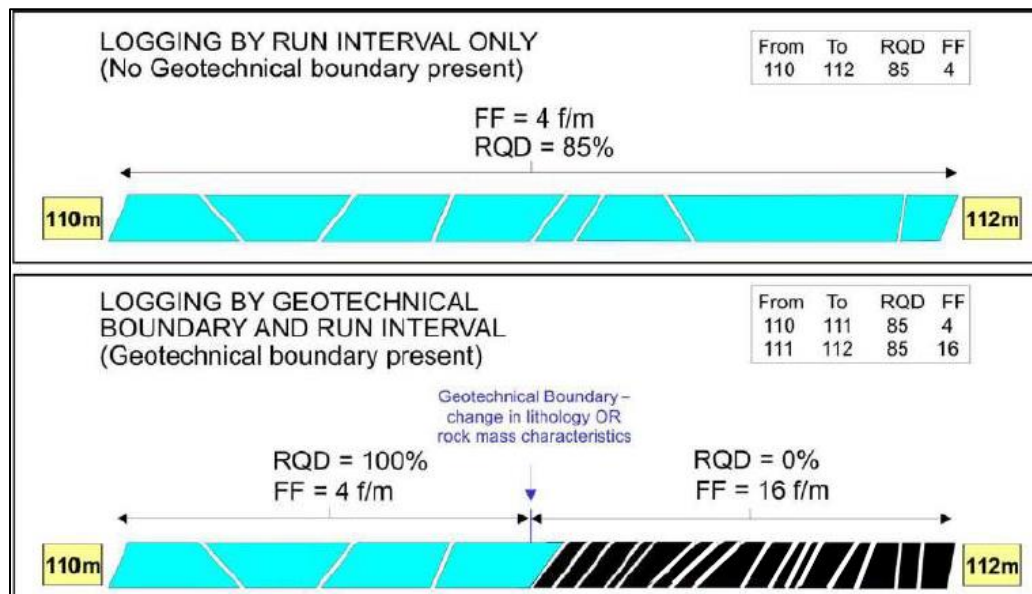


Figura 8: Logging within geotechnical boundaries.

Fuente: Guidance Notes - Geotechnical Engineering Ground Characterization

3. **Diseño de taludes:** Para los pits mineros, se deben diseñar los taludes de las excavaciones teniendo en cuenta el ángulo de reposo del material y la capacidad de soporte de los taludes. Esto implica considerar la estabilidad a corto y largo plazo, así como los métodos de fortificación necesarios, como el uso de taludes en escalones, taludes en bermas o taludes en bancos.

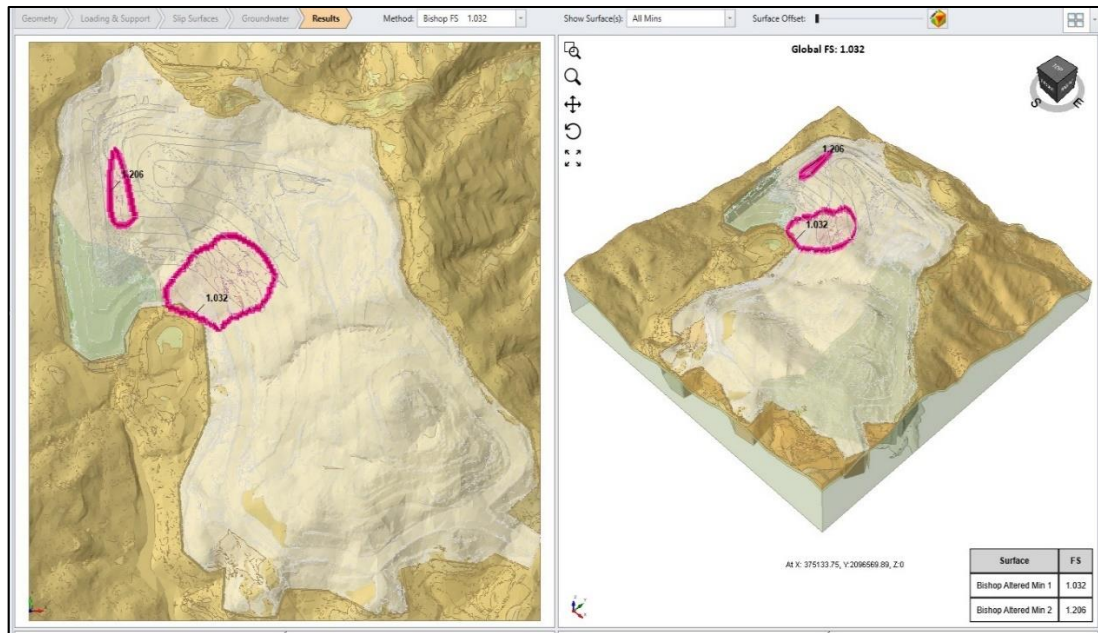


Figura 10: Diseño geotécnico de un botadero (Análisis)

Fuente: Programa Slide 3 (Rocksience)

4. **Diseño de sistemas de drenaje:** Es importante considerar la gestión adecuada del agua en el pit minero o botadero. Se deben diseñar sistemas de drenaje efectivos para evitar la acumulación de agua que pueda comprometer la estabilidad del terreno. Esto puede incluir la construcción de canales de drenaje, pozos de bombeo y sistemas de recolección de agua de lluvia y botaderos utilizados para el desarrollo del minado.
5. **Monitoreo geotécnico:** Se establecen programas de monitoreo geotécnico para evaluar continuamente la estabilidad del pit minero o botadero. Esto implica la instalación de instrumentos de monitoreo, como inclinómetros, piezómetros y extensómetros, para medir la deformación del terreno, la presión del agua y otros

parámetros relevantes. Los datos recopilados se utilizan para tomar decisiones informadas sobre la operación y la seguridad de la estructura.



Figura 11: Proceso de instalación de inclinómetro

Fuente: RST instruments Ltd.

4.2. Criterios para definir los niveles de riesgos en las empresas mineras en la provincia Sanchez Ramirez.

Los criterios para definir los niveles de riesgo en las empresas mineras suelen incluir los siguientes aspectos:

1. **Identificación de peligros:** Se realiza una evaluación exhaustiva de los diferentes peligros presentes en el entorno minero, como la presencia de sustancias tóxicas, equipos pesados, explosivos, condiciones geotécnicas inestables, entre otros.
2. **Evaluación de riesgos:** Se evalúa la probabilidad y el impacto de los peligros identificados. Esto implica analizar factores como la frecuencia de exposición, la gravedad de las consecuencias potenciales y la efectividad de las medidas de control existentes.
3. **Clasificación de riesgos:** Se clasifican los riesgos en diferentes niveles o categorías en función de su gravedad. Esto permite priorizar las acciones de

mitigación y asignar los recursos necesarios para abordar los riesgos más críticos.

4. **Establecimiento de medidas de control:** Se implementan medidas de control adecuadas para reducir o eliminar los riesgos identificados. Esto puede incluir el uso de equipos de protección personal, procedimientos de trabajo seguro, capacitación en seguridad, sistemas de ventilación, monitoreo de gases, entre otros.
5. **Monitoreo y revisión continua:** Se establece un programa de monitoreo y revisión para asegurar que las medidas de control sean efectivas y se mantengan actualizadas. Se deben llevar a cabo inspecciones regulares, auditorías de seguridad y revisiones periódicas de los procedimientos y políticas de seguridad.

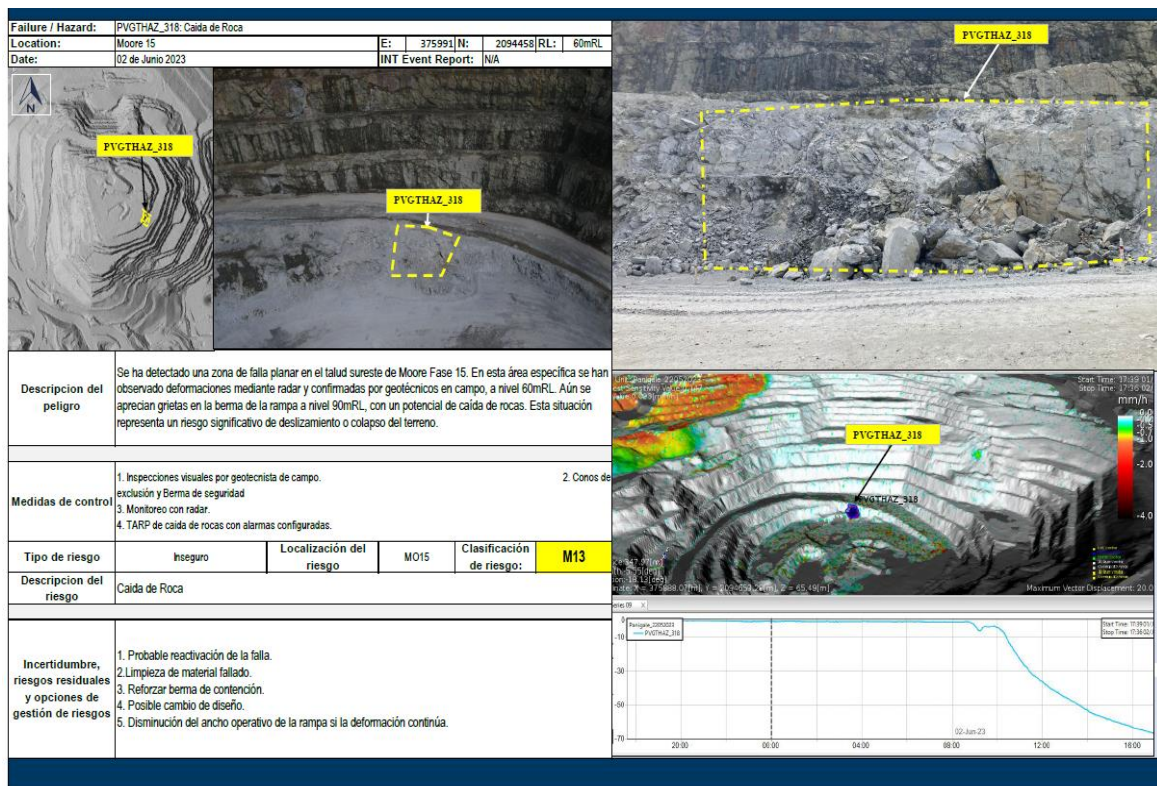


Figura 12: Alerta de peligro geotécnico y nivel de riesgo
Fuente: Autores

LIKELIHOOD RATING	Casi Seguro - El evento tendrá lugar	90%-100% Probabilidad	A	L₁₈	M₁₁	H₆	H₃	H₁
	Esperado - El evento es probable que ocurra en la mayoría de las circunstancias	55%-90% Probabilidad	B	L₂₀	M₁₄	M₁₀	H₄	H₂
	Probable - El evento podría ocurrir en algún momento	30 %-55% Probabilidad	C	L₂₂	L₁₉	M₁₂	H₇	H₅
	Poco Probable - El evento puede que ocurra algún	5 - 30% Probabilidad	D	L₂₄	L₂₁	M₁₅	M₁₃	H₈
	Raro - El evento puede ocurrir sólo en circunstancias excepcionales	< 5% Probabilidad	E	L₂₅	L₂₃	M₁₇	M₁₆	H₉
INDICE DE GRAVEDAD				1	2	3	4	5
Ingreso Varianza entre lo producido y lo presupuestado (i.e. AU -oz NIICU - lb, etc.)				< 1 %	1 - 2 %	2 - 5 %	5 - 10 %	> 10 %
Costo Diferencia con el presupuesto				< 1 %	1 - 2 %	2 - 5 %	5 - 10 %	> 10 %
Salud & Seguridad				Lesiones Leves -o- Efectos menores sobre la salud reversibles, no preocupantes	Caso de Tratamiento Médico -o- Efectos de salud preocupantes reversibles, sin discapacidad	Tiempo perdido por lesión/enfermedad -o- severo, efectos en la salud reversibles como resultado de exposición aguda o corto plazo -o- condición crónica progresiva, enfermedades infecciosas	Victima mortal Incapacidad permanente -o- exposición resultante en efectos de salud irreversibles preocupantes	Varias muertes -o- Afecciones de salud resultando en múltiples incapacidades provocando muerte rápida.
Medio Ambiente				Impacto ambiental limitado, sin informes de carácter regulatorio, pequeños retrasos de cierre de 1 a 2 años.	Impacto ambiental menor en el área, reportable a los reguladores, retrasos en el cierre de 3 a 6 años.	Impactos ambientales moderados, extendiendo más allá de los límites del área, violaciones de regulación con multas, retrasos significantes en el cierre de 6 a 10 años.	Impactos ambientales graves de mediano plazo, principales violaciones a la regulación, impactos de cierre a largo plazo mayores de 10 años	Impactos ambientales graves a largo plazo, incumplimiento severo de las normas, con la operación suspendida; cierre severamente afectado.
Relaciones & Reputación con los interesados				No influye la confianza de los interesados en la gestión de la empresa	Impacto limitado en la confianza de los interesados en la gestión de la empresa.	Impacto medio en la confianza de los interesados en la gestión de la empresa.	Alto impacto en la confianza de los interesados en la gestión de la empresa.	Pérdida de la confianza de los interesados en la gestión de la empresa.

Figura 13: Matriz de Índice de Clasificación del nivel de Riesgo

Fuente: Proyecto Pueblo Viejo

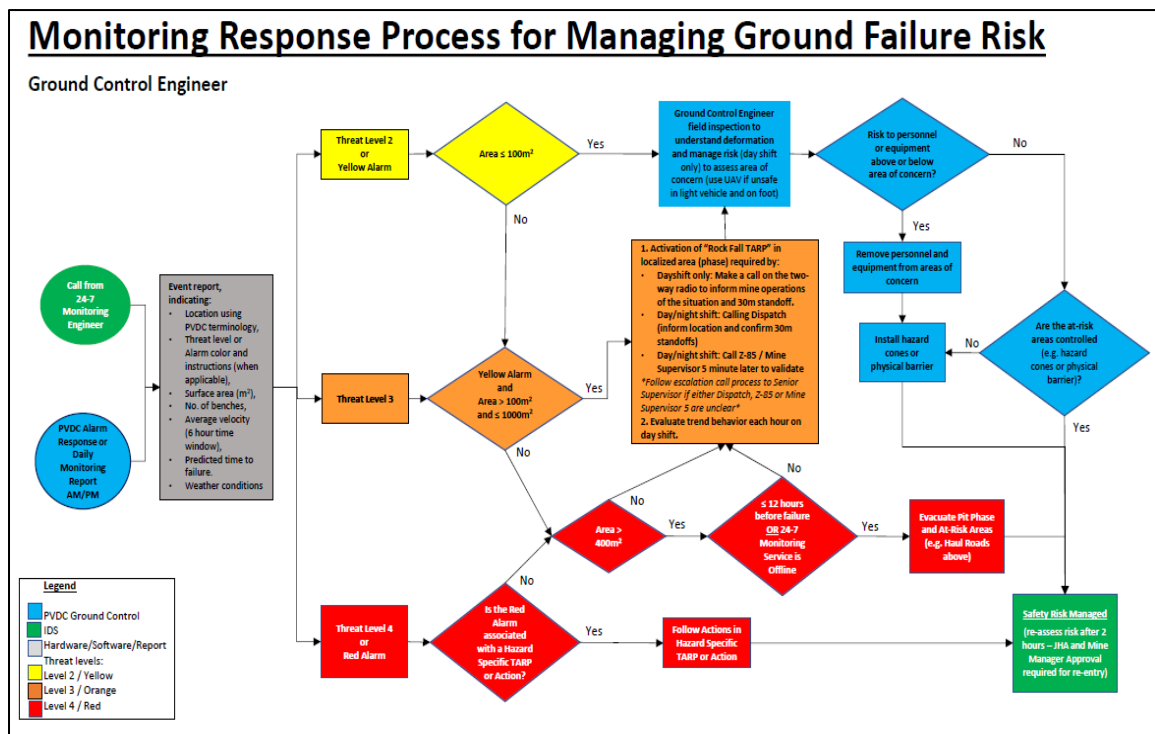


Figura 14: Proceso de Monitoreo y respuesta

Fuente: IBIS-FM and ArcSAR by IDS GeoRadar.

4.3. Sistemas de monitoreo geotécnicos que se utilizan para determinar el comportamiento de los taludes en las empresas mineras en provincia Sanchez Ramirez.

Los sistemas de monitoreo geotécnicos utilizados para determinar el comportamiento de los taludes en las empresas mineras pueden variar según la ubicación y las características específicas de cada mina. Algunos de los sistemas de monitoreo geotécnicos comunes que se utilizan en las empresas mineras incluyen:

1. **Radar de Apertura Sintética (SAR):** El radar SAR es una técnica de monitoreo remoto que utiliza ondas de radar para medir pequeños cambios en la superficie de los taludes. Puede detectar movimientos milimétricos a centímetros en el terreno a lo largo del tiempo.
2. **Inclinómetros:** Los inclinómetros se utilizan para medir las deformaciones y los cambios de inclinación en los taludes. Consisten en tubos o varillas instrumentadas que se instalan verticalmente en el talud y se miden periódicamente para evaluar las deformaciones angulares.



Figura 15: Instalación, lectura y data de un inclinómetro

Fuente: RST Geotechnical Products

3. **Extensómetros:** Los extensómetros miden las deformaciones lineales en los taludes. Se instalan cables o barras extensométricas en puntos estratégicos del

talud y se miden las variaciones de longitud para detectar cambios en la estabilidad del talud.

4. **Piezómetros:** Los piezómetros se utilizan para medir la presión y el nivel del agua en los taludes. Se instalan tubos instrumentados en diferentes profundidades para monitorear los cambios en el nivel freático y la presión de poro, lo que ayuda a evaluar el riesgo de deslizamientos o inestabilidad causados por el agua.
5. **Monitoreo geodésico:** El monitoreo geodésico implica el uso de equipos de medición topográfica de alta precisión, como estaciones totales y receptores GPS, para realizar mediciones periódicas de puntos de control en los taludes. Esto permite detectar movimientos o deformaciones significativas en el terreno.

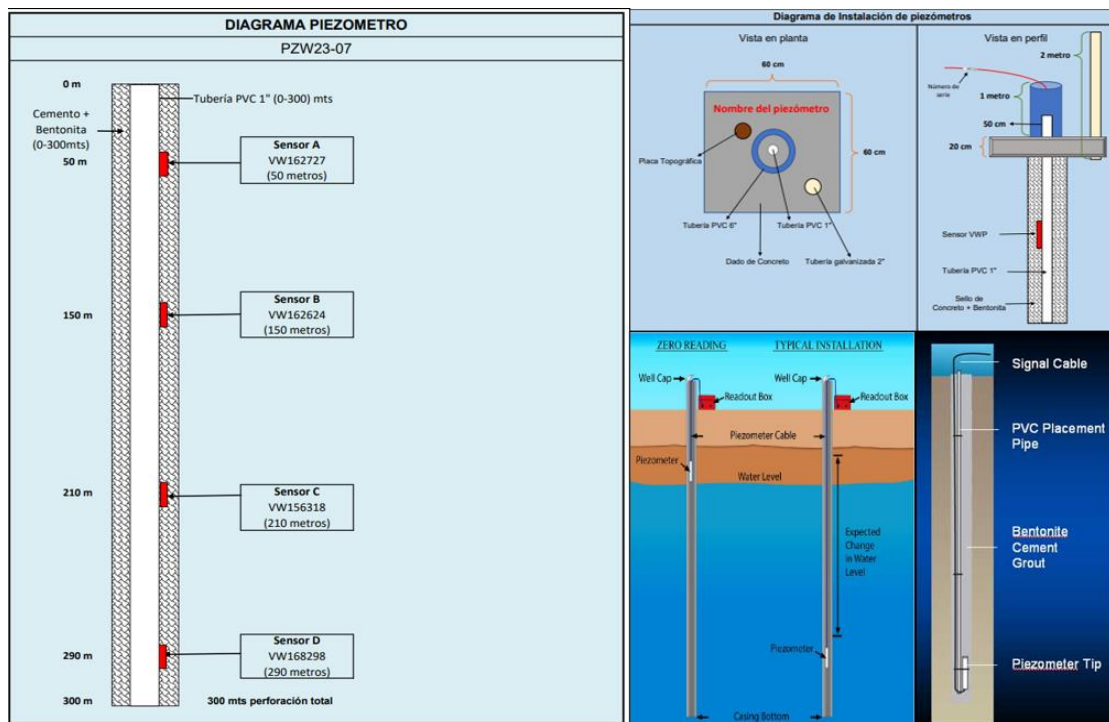


Figura 16: Diagrama de instalación de un piezómetro

Fuente: Geokon instrumentation.

4.4. Sistemas de monitoreo geotécnico integral que permiten evaluar el comportamiento de los taludes.

Los sistemas de monitoreo geotécnico integral permiten evaluar el comportamiento de los taludes de manera continua y en tiempo real. Estos sistemas proporcionan información valiosa sobre la estabilidad de los taludes y ayudan a identificar posibles riesgos o signos de inestabilidad. A continuación, se describen algunas de las formas en que estos sistemas permiten evaluar el comportamiento de los taludes:

1. **Detección de movimientos:** Los sistemas de monitoreo geotécnico integral, como inclinómetros y extensómetros, son capaces de medir las deformaciones y desplazamientos en los taludes. Estas mediciones permiten identificar cualquier movimiento anormal y monitorear la evolución de los desplazamientos a lo largo del tiempo.
2. **Evaluación de la estabilidad:** Al analizar las mediciones de deformación y desplazamiento, los expertos pueden evaluar la estabilidad de los taludes. Comparando los datos recopilados con criterios de estabilidad previamente definidos, es posible determinar si los taludes se encuentran dentro de los rangos aceptables o si existen signos de inestabilidad que requieren atención inmediata.
3. **Análisis de tendencias:** Los sistemas de monitoreo geotécnico integral también permiten analizar las tendencias de comportamiento de los taludes a lo largo del tiempo. Esto implica observar los datos de monitoreo en períodos sucesivos y detectar cualquier cambio significativo o aceleración en los desplazamientos. Estas tendencias pueden ser indicadores tempranos de posibles problemas de estabilidad.
4. **Alertas y alarmas:** Los sistemas de monitoreo geotécnico integral están diseñados para generar alertas y alarmas en caso de que se detecten condiciones de riesgo o inestabilidad. Estas alertas pueden ser visuales, audibles o enviadas a través de sistemas de comunicación, y permiten una respuesta rápida para mitigar los riesgos antes de que se produzcan incidentes graves.
5. **Integración de datos:** Los sistemas de monitoreo geotécnico integral recopilan y almacenan los datos de manera centralizada. Esto facilita el análisis y la interpretación de los datos en un contexto global, permitiendo una evaluación

holística del comportamiento de los taludes y una mejor comprensión de los factores que pueden influir en su estabilidad.

En resumen, los sistemas de monitoreo geotécnico integral brindan información en tiempo real sobre el comportamiento de los taludes, permitiendo evaluar su estabilidad, detectar movimientos o desplazamientos inusuales y tomar medidas preventivas o correctivas para garantizar la seguridad en las operaciones mineras.

Para la generación de mapas de riesgos, muestra automáticamente el mapa de riesgos, de acuerdo con los umbrales definidos por los usuarios, generándose sectores de colores de acuerdo con el grado de criticidad del comportamiento de taludes. Se observa un sector de color amarillo y rojo lo que indica que la alerta es crítica ya que el desplazamiento acumulado ha sobrepasado el máximo umbral, obteniéndose un desplazamiento acumulado.

4.5. Mapas de riesgos con un sistema de monitoreo geotécnico integral y evaluaciones físicas que permita evaluar el comportamiento de los taludes

La combinación de un sistema de monitoreo geotécnico integral y evaluaciones físicas permite generar mapas de riesgos y evaluar el comportamiento de los taludes de manera más completa. Aquí se describen los pasos involucrados en este proceso:

1. **Monitoreo geotécnico integral:** Se implementa un sistema de monitoreo geotécnico integral, como se mencionó anteriormente, que incluye la instalación de instrumentos como inclinómetros, extensómetros, piezómetros y otros dispositivos relevantes. Estos instrumentos recopilan datos sobre deformaciones, desplazamientos, presión de agua y otros parámetros importantes de manera continua o periódica.
2. **Recopilación de datos:** El sistema de monitoreo geotécnico registra los datos recopilados a lo largo del tiempo. Estos datos se almacenan y procesan para su posterior análisis.
3. **Análisis de datos:** Los datos recopilados se analizan para identificar tendencias, patrones y comportamientos inusuales en los taludes. Se utilizan herramientas y técnicas de análisis geotécnico para interpretar los datos y obtener información relevante sobre la estabilidad de los taludes.

4. **Generación de mapas de riesgos:** Utilizando la información obtenida del monitoreo geotécnico, se pueden generar mapas de riesgos que representen visualmente las áreas de mayor peligro o inestabilidad en los taludes. Estos mapas ayudan a identificar las zonas críticas y a priorizar las acciones de mitigación.
5. **Evaluaciones físicas:** Además del monitoreo geotécnico, se realizan evaluaciones físicas en el terreno para complementar la información obtenida. Esto puede incluir inspecciones visuales, mapeo geológico, muestreo de suelos o rocas, pruebas de laboratorio y otros métodos para obtener datos adicionales sobre las características y propiedades del terreno.
6. **Integración de datos y análisis de riesgos:** Los datos recopilados a través del monitoreo geotécnico y las evaluaciones físicas se integran para realizar un análisis de riesgos más completo. Se evalúan las interacciones entre las características geotécnicas, las condiciones de carga y los datos de monitoreo para determinar el nivel de riesgo en diferentes áreas de los taludes.

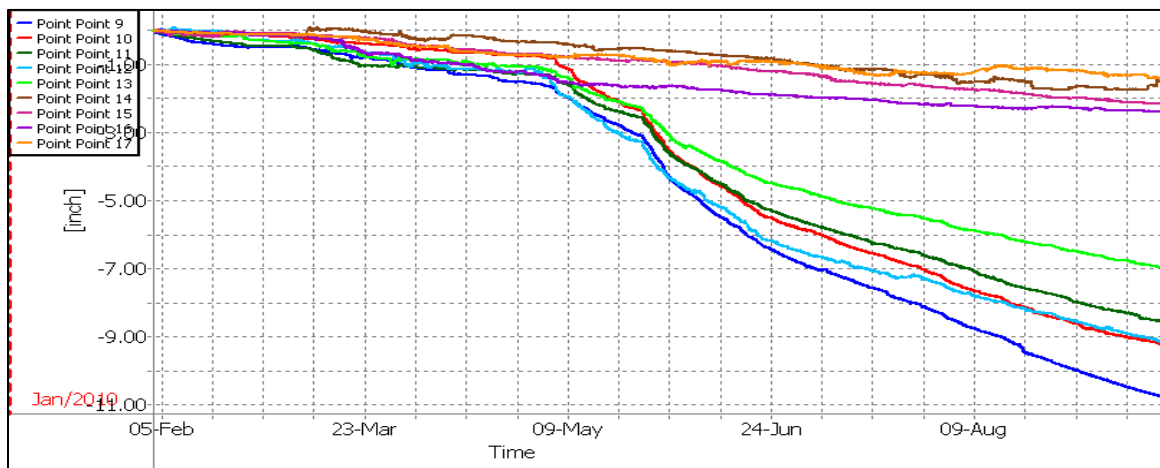


Figura 17: Análisis de tendencias en un radar IBIS

Fuente: IDS GeoRadar



Figura 18: Mapa de Riesgos Geotécnicos (Pit mineros)

Fuente: Proyecto Pueblo Viejo



Figura 19: Mapa de Riesgos Geotécnicos (Botaderos)

Fuente: Proyecto Pueblo Viejo

Con la combinación de un sistema de monitoreo geotécnico integral y evaluaciones físicas, se obtiene una visión más completa y detallada del comportamiento de los taludes. Esto permite identificar áreas de riesgo, tomar decisiones informadas sobre las medidas de mitigación necesarias y mejorar la seguridad en las operaciones mineras.

4.6. Respuesta esperada, frente a desplazamientos o velocidades críticas por sobrepasar los límites o umbrales de alertas establecidas por los geotecnista.

Frente a desplazamientos o velocidades críticas que sobrepasan los límites o umbrales de alarmas establecidos por los geotécnicos en un sistema de monitoreo geotécnico, se deben tomar acciones inmediatas para garantizar la seguridad de los taludes y las personas involucradas en la operación minera. Estas acciones pueden incluir:

1. **Evacuación y seguridad:** Si se detecta un desplazamiento o una velocidad crítica que representa un peligro inmediato, se debe activar el plan de evacuación y seguridad establecido previamente. Las personas deben ser alertadas y dirigidas a zonas seguras fuera del área de riesgo.
2. **Alerta y notificación:** Se debe notificar de inmediato a los responsables de la operación minera, incluyendo a los geotécnicos, ingenieros y personal de seguridad, sobre la situación y los datos de monitoreo que indican un riesgo crítico. Esto permitirá una respuesta rápida y coordinada.
3. **Evaluación y análisis detallado:** Los geotécnicos y expertos en estabilidad de taludes deben realizar una evaluación detallada de la situación, analizando los datos de monitoreo y evaluando la magnitud y las posibles causas del desplazamiento o velocidad crítica. Esto ayudará a comprender el problema y tomar las medidas adecuadas.
4. **Medidas de mitigación y estabilización:** Con base en la evaluación, se deben implementar medidas de mitigación y estabilización urgentes para reducir el riesgo y restaurar la estabilidad de los taludes. Estas medidas pueden incluir la instalación de sistemas de soporte, el refuerzo de los taludes, la implementación de drenajes o la reducción de la carga sobre el talud.
5. **Monitoreo continuo y seguimiento:** Después de implementar las medidas de mitigación, se debe continuar con el monitoreo geotécnico en tiempo real para

verificar la efectividad de las acciones tomadas y asegurar que no se produzcan nuevos desplazamientos o velocidades críticas.

Es fundamental contar con un plan de respuesta a emergencias y un equipo capacitado para actuar rápidamente frente a situaciones de riesgo geotécnico. La seguridad de las personas debe ser la máxima prioridad, y se deben seguir los procedimientos establecidos por los expertos en geotecnia y las regulaciones de seguridad minera correspondientes.

4.7. Procedimientos operacionales para trabajos próximo a zona de taludes en las empresas mineras en la provincia Sanchez Ramirez.

Los procedimientos operacionales para trabajos próximos a zonas de taludes en las empresas mineras de la provincia Sánchez Ramírez (y en general) pueden variar según la empresa y el sitio específico. Sin embargo, a continuación, se mencionan algunos procedimientos comunes que se suelen implementar para garantizar la seguridad en estos trabajos:

1. **Evaluación de riesgos:** Antes de llevar a cabo cualquier trabajo cerca de zonas de taludes, se debe realizar una evaluación detallada de los riesgos geotécnicos. Esto implica analizar las características de los taludes, identificar posibles inestabilidades, evaluar la geología y geotecnia del área y determinar las medidas de control y mitigación necesarias.
2. **Diseño de barreras de protección:** En muchos casos, se diseñan y construyen barreras de protección, como muros o mallas de contención, para minimizar el riesgo de desprendimientos o deslizamientos de los taludes. Estas barreras deben diseñarse de acuerdo con las características del terreno y las cargas esperadas, siguiendo las normativas y estándares de seguridad.
3. **Zonas de exclusión y control de acceso:** Se deben establecer zonas de exclusión en áreas cercanas a los taludes donde exista un alto riesgo de desprendimientos. Estas áreas deben estar claramente marcadas y restringidas para evitar la entrada de personal no autorizado. Además, se deben implementar protocolos de control de acceso y señalización adecuada para garantizar la seguridad de los trabajadores.

4. **Capacitación y entrenamiento:** Todo el personal que trabaje cerca de zonas de taludes debe recibir capacitación y entrenamiento en los procedimientos de seguridad específicos para este tipo de entorno. Deben estar familiarizados con los riesgos asociados, saber cómo identificar signos de inestabilidad y comprender las medidas de control y mitigación establecidas.
5. **Monitoreo y seguimiento continuo:** Se debe realizar un monitoreo geotécnico continuo de los taludes cercanos a las áreas de trabajo para detectar cualquier cambio en la estabilidad. Esto implica el uso de instrumentación adecuada, como inclinómetros, extensómetros y piezómetros, para recopilar datos en tiempo real. Los resultados del monitoreo deben ser revisados y evaluados regularmente por personal especializado.
6. **Comunicación y coordinación:** Es fundamental establecer canales de comunicación efectivos y una coordinación clara entre el personal de trabajo, los geotécnicos y los responsables de seguridad. Esto permite compartir información relevante, tomar decisiones informadas y actuar rápidamente en caso de emergencias o cambios en las condiciones geotécnicas.

Estos son solo algunos ejemplos de los procedimientos operacionales que se pueden implementar en empresas mineras cercanas a zonas de taludes. Es importante tener en cuenta que cada empresa puede tener sus propias políticas y protocolos de seguridad específicos, por lo que es fundamental cumplir con los requisitos y regulaciones establecidos por las autoridades competentes y los expertos en geotecnia. **Ver anexo 1 y 2**

CAPÍTULO V

5.1 CONCLUSIONES

Estas conclusiones se han realizado tomando en cuenta los objetivos específicos de la investigación.

1. El diseño y la gestión de pits mineros, botaderos y canteras son procesos complejos que requieren una cuidadosa consideración de los parámetros y criterios geotécnicos. La seguridad y la estabilidad de estas estructuras son fundamentales para proteger a los trabajadores, el entorno y la infraestructura circundante. La caracterización geotécnica del material, el análisis geológico-geotécnico, el diseño de taludes, la implementación de sistemas de drenaje eficaces y el monitoreo geotécnico continuo son elementos esenciales en este proceso. En última instancia, la gestión adecuada de estos factores geotécnicos es esencial para el éxito y la responsabilidad en la industria minera y la gestión de desechos.

2. La gestión de riesgos en empresas mineras es un proceso esencial que se basa en la identificación, evaluación y clasificación de peligros, seguido por la implementación de medidas de control adecuadas. Este enfoque sistemático permite a las empresas abordar los riesgos de manera proactiva y priorizar la seguridad de los trabajadores y la protección del entorno. La clasificación de riesgos facilita la asignación de recursos y la focalización en los aspectos más críticos.

La aplicación de medidas de control, que pueden incluir desde protocolos de seguridad hasta tecnología avanzada, desempeña un papel fundamental en la reducción de los riesgos a niveles aceptables. Sin embargo, la gestión de riesgos no es un proceso estático; requiere un monitoreo constante y revisiones periódicas para garantizar su eficacia y adaptabilidad a las condiciones cambiantes.

3. los sistemas de monitoreo geotécnicos desempeñan un papel crucial en la gestión de la seguridad y la estabilidad de los taludes en empresas mineras. Estas herramientas varían en su tecnología y aplicaciones, pero todas tienen el propósito común de detectar cambios en el comportamiento de los taludes y proporcionar datos precisos para la toma de decisiones informadas. El uso de tecnologías

avanzadas como el radar SAR permite una monitorización remota y en tiempo real de los taludes, identificando movimientos milimétricos que pueden pasar desapercibidos de otra manera. Por otro lado, los inclinómetros, extensómetros y piezómetros ofrecen mediciones directas de deformaciones, cambios angulares y presión de agua, respectivamente, proporcionando una imagen completa de la estabilidad del terreno.

4. Los sistemas de monitoreo geotécnico integral son herramientas esenciales para evaluar y garantizar la estabilidad de los taludes en entornos mineros. Estos sistemas permiten una vigilancia constante y en tiempo real, identificando movimientos anómalos, evaluando la estabilidad y proporcionando alertas tempranas en caso de riesgos potenciales. La capacidad de analizar tendencias y generar mapas de riesgos contribuye a una toma de decisiones informada y a una respuesta proactiva, mejorando significativamente la seguridad de las operaciones mineras y la protección del personal y el entorno circundante. La integración de datos centralizada facilita la gestión efectiva de la información, lo que es fundamental para la prevención de incidentes y la mitigación de riesgos en la industria minera.
5. La combinación de un sistema de monitoreo geotécnico integral y evaluaciones físicas ofrece un enfoque completo para evaluar el comportamiento de los taludes en entornos mineros. Este proceso permite recopilar datos en tiempo real y obtener información valiosa sobre la estabilidad del terreno. La generación de mapas de riesgos facilita la identificación de áreas críticas, mientras que las evaluaciones físicas complementan la comprensión de las características geotécnicas.
6. La detección de desplazamientos o velocidades críticas en un sistema de monitoreo geotécnico minero requiere una respuesta inmediata. La seguridad es primordial, lo que implica evacuar a las personas del área de riesgo y notificar a los expertos geotécnicos y al personal de seguridad. Luego, se debe realizar una evaluación detallada de la situación para comprender las causas y la magnitud del riesgo. Las medidas de mitigación y estabilización deben implementarse rápidamente, utilizando la experiencia de los geotécnicos para restaurar la estabilidad de los

taludes. El monitoreo continuo garantiza que estas medidas sean efectivas y ayuda a prevenir futuros incidentes.

7. La seguridad en trabajos próximos a zonas de taludes en empresas mineras de la provincia Sánchez Ramírez y en general se basa en una combinación de evaluación de riesgos, diseño de barreras de protección, control de acceso, capacitación, monitoreo continuo y una comunicación efectiva. Estos procedimientos se aplican rigurosamente para garantizar la integridad de los trabajadores y la protección de las operaciones mineras. La capacitación y el monitoreo constante respaldan la preparación y respuesta ante cualquier eventualidad. En última instancia, estos procedimientos buscan garantizar que la minería se desarrolle de manera segura y sostenible, minimizando los riesgos asociados a los taludes y protegiendo tanto a los trabajadores como al medio ambiente.

En conclusión, abordar los riesgos geotécnicos y sus sistemas de control de manera integral es una responsabilidad clave para las empresas mineras en la provincia Sánchez Ramírez. La seguridad y la prevención deben ser prioridades en todas las etapas de las operaciones mineras para garantizar la sostenibilidad y el éxito a largo plazo de la industria en esta región.

5.2 RECOMENDACIONES

La gestión adecuada de los riesgos geotécnicos en las empresas mineras de la provincia Sánchez Ramírez es fundamental para garantizar la seguridad y la eficiencia de las operaciones mineras. En este contexto, se presentan a continuación recomendaciones clave para implementar sistemas de control efectivos, abordando los desafíos asociados con los taludes y el comportamiento geotécnico en las áreas de trabajo. aquí las siguientes recomendaciones:

1. Implementar una evaluación geotécnica exhaustiva: Es fundamental realizar una evaluación geotécnica completa de las áreas mineras, especialmente de los taludes y zonas cercanas a ellos. Esta evaluación debe incluir estudios geológicos y geotécnicos detallados, pruebas de laboratorio y en campo para determinar las propiedades del suelo y la roca, y análisis de estabilidad de los taludes. Esta evaluación inicial permitirá identificar y comprender los riesgos geotécnicos específicos asociados a cada área, lo que a su vez guiará el diseño e implementación de sistemas de control adecuados. **Ver anexo 3 y 4**
2. Establecer un sistema de monitoreo geotécnico continuo: Para identificar y controlar los riesgos geotécnicos de manera efectiva, es esencial implementar un sistema de monitoreo geotécnico continuo en las áreas críticas de la mina, como los taludes y las zonas de trabajo cercanas. Este sistema de monitoreo debe incluir una variedad de instrumentos, como inclinómetros, extensómetros, piezómetros y sistemas de monitoreo sísmico, según sea necesario. Los datos recopilados por estos instrumentos deben ser analizados y evaluados de manera regular por personal especializado, y las alertas o umbrales de alarma deben establecerse para detectar cualquier cambio o comportamiento anormal. Esto permitirá una respuesta temprana ante los riesgos geotécnicos y la implementación de medidas de control adecuadas para mantener la seguridad en la mina.
3. Se sugiere que el Ministerio de Energía y Minas, y las compañías mineras consideren la inclusión de procedimientos para la implementación de un sistema de monitoreo geotécnico completo. Estos procedimientos deben abarcar estrategias de monitoreo, sistemas de comunicación a utilizar y el

cumplimiento de criterios para la ubicación de sensores, así como un control adecuado para el análisis e interpretación de la información. **Ver anexo 2**

4. Capacitación y concienciación: Proporciona formación adecuada a los trabajadores sobre los riesgos geotécnicos y cómo reconocer posibles señales de inestabilidad. Fomenta una cultura de seguridad donde se informe sobre cualquier problema geotécnico potencial.

Bibliografía

- AENOR. (2010). Gestión del Riesgo UNE-ISO 31000, Norma Española . Madrid, España.
- Arias, F. G. (2012). El Proyecto de Investigación, Introducción a la metodología científica. República Bolivariana de Venezuela.
- Carita, J., & Mendoza, E. (2022). IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL Y MONITOREO GEOTECNICO EN TALUDES DE TAJO ABIERTO. PUNO: 03 de Julio /2022.
- Cruces Seguel, H. (2014). Instrumentación geotécnica para el mejoramiento de la seguridad en taludes de ripios división Radomiro Tomic CODELCO Chile. Chile.
- Das, B. M. (2014). Fundamentos de ingeniería de cimentaciones . Mexico DF.
- ERAZO, M. J. (2018). GEOESTADÍSTICA APLICADA A PARÁMETROS GEOTÉCNICOS. SANTIAGO DE CHILE: MARZO 2008.
- Geosystems, L. (2009). User manual Leica GMX901 Plus. Heerbrugg, Suiza.
- González, Á. (2018). A pie de obra. Descubriendo los secretos de la construcción. València: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Jaime Suarez Diaz. (2009). Deslizamientos - Análisis Geotécnico. Bucaramanga. Bucaramanga: Ingeniería de Suelos Ltda.,.
- Jose Davis Rodriguez Compare, D. C. (2003). Evaluación de la estabilidad de taludes en la mina Lourdes. Tacna, Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Facultad de Ingeniería de Minas.
- OLIVARES, W. M. (2017). IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO GEOTÉCNICO INTEGRAL PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE TALUDES EN LA MINA ANTAPACCAY REGIÓN CUSCO. LIMA - PERU: 2017.
- Reglamento 522-06, M. d. (2006). Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo, 522-06. Santo Domingo, Republica Dominicana: 17 de octubre de 2006.
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. d. (2010). Metodología de la investigación . México D.F.

- SEGUEL, H. J. (2014). Instrumentación geotécnica para el mejoramiento de la seguridad en taludes de rípios división Radomiro Tomic CODELCO Chile. Chile.
- Severino, B. (2015). Riesgos de Taludes y Terraplenes en Obras Lineales de la Republica Dominicana. Madrid, España: Septiembre 2015.
- Vallejo, L. I. (2002). Ingenieria Geologica . España: Madrid, 2002.
- Vázquez, R., & Alfredo, V. (2013). Investigación de deslizamientos a través de métodos geofísicos y técnicas de monitoreo. Cuenca, Ecuador.

Anexos

Anexo 1

Procedimiento de Limpieza de Pared Final

A. Flujo de proceso limpieza de pared final

Parte del proceso de limpieza y aprobación de paredes finales envuelven una serie de pasos que se describen de manera detalla en la Ilustración.

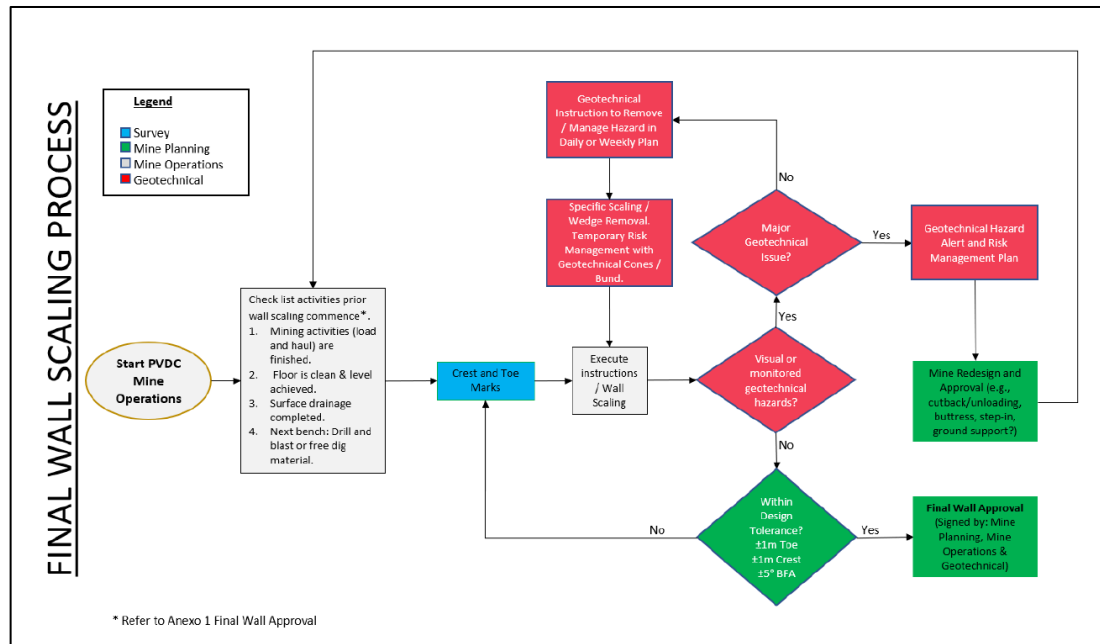


Figura 20: Flujo de limpieza de pared final

Fuente: Geomechanics Management Guidelines for Open Pit Mines.

B. Delimitación de cresta y toe

Antes de que inicie cualquier limpieza; topografía delimitará la posición de la cresta y el toe de diseño del banco a perfilar siguiendo el procedimiento de demarcación en pits.

Una vez completada la delimitación, topografía informará al Supervisor Senior de Operaciones que las estacas están en su lugar para que operaciones pueda continuar con el inicio del perfilado.

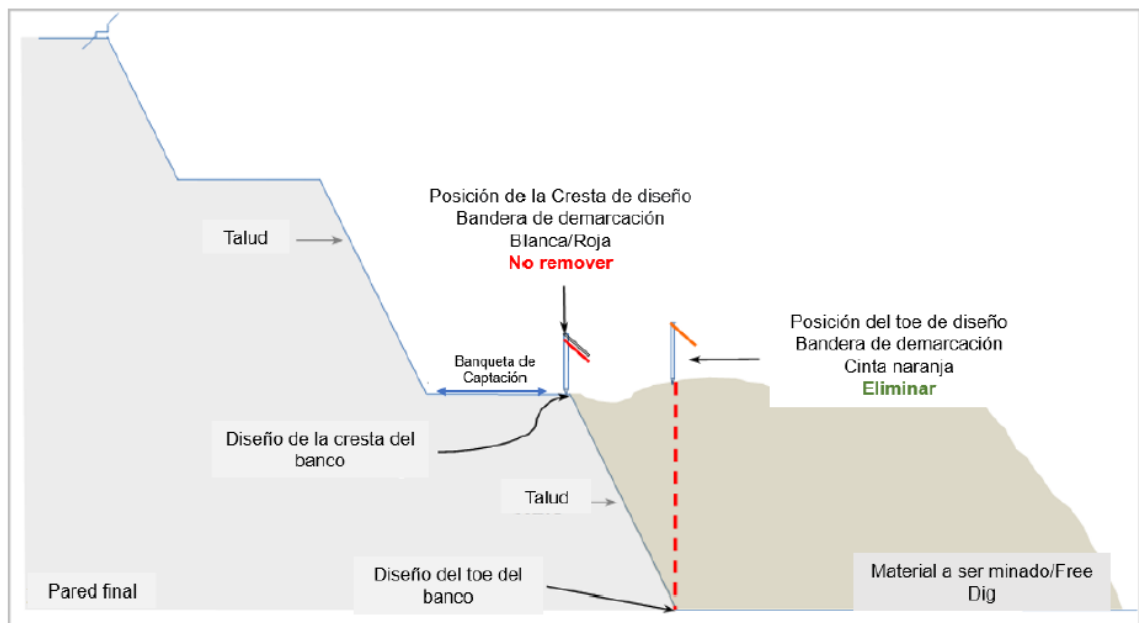


Figura 21: Esquema de demarcación de cresta y toe

Fuente: Proyecto Pueblo Viejo

C. Limpieza de pared final

La limpieza de pared final se realizará en todas las áreas en las que el equipo no puede alcanzar un nivel satisfactorio de perfilado, ya sea por equipos o limitaciones de seguridad. La limpieza de las caras del banco se puede realizar desde el banco de arriba o por el equipo de pie en el suelo del banco. En el primer caso debe lograrse antes de que el acceso se vuelva difícil o se pierda, y antes de la limpieza final en el pie del banco.

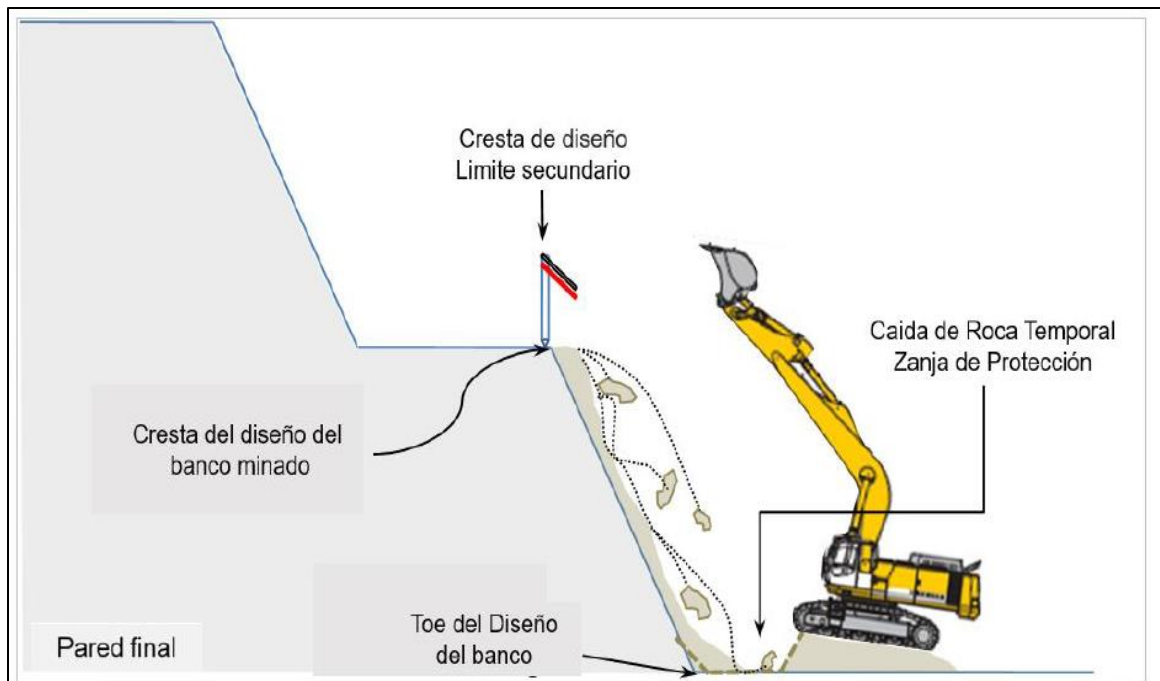


Figura 22: Limpieza de la cara del banco utilizando una retroexcavadora con una zanja de protección contra caída de rocas.

Fuente: Geomechanics Management Guidelines for Open Pit Mines

D. Limpieza del talud desde el banco inferior.

Esto se realiza generalmente por una retroexcavadora siguiendo los lineamientos de entrenamiento refrescados de manera anual por el equipo de Operaciones Mina. El posicionamiento del equipo varía dependiendo de la condición de peligro presente en la pared; el equipo podría colocarse en una posición frontal o en una posición lateral de acuerdo sea el caso.

Condiciones normales de la pared: Paredes frontales de banco sin limpieza donde no se ha detectado ningún peligro geotécnico y se espera que los tamaños de los bloques no excedan el tamaño del equipo y que el material suelto se pueda remover con la limpieza.

Condiciones de riesgo geotécnico: Cuando las condiciones de riesgo geotécnico están presentes en la pared a perfilar, la delimitación especial del cono definirá claramente el área (véase la Ilustración 4). Si no hay delimitación, pero el operador identifica una condición peligrosa, se debe hacer una comunicación inmediata al supervisor de

operaciones y al personal geotécnico. El perfilado se realizará bajo instrucciones del departamento de Geotecnia.



Figura 23: Delimitación de condición peligrosa y Limpieza de la cara del banco utilizando una retroexcavadora con una zanja de protección contra caída de rocas.

Fuente: Proyecto Pueblo Viejo

E. Consideraciones especiales en las Zonas del Mineral

En las caras de la pared con zonas de mineral se debe hacer todo lo posible para evitar la dilución del material mineral mediante la mezcla de mineral y residuos/grado diferente durante el proceso de limpieza. Geología indicará la zona del mineral antes de la limpieza y marcará el material eliminado después de la limpieza.

El operador sólo debe apilar el material del mismo mineral.

Verificación de seguridad:

– Antes de entrar en la zona de talud realizar una evaluación de riesgos sobre el terreno en el área a perfilar e informarse de las condiciones especiales y el proceso seguro para abordar el riesgo.

– En caso de identificar cualquier posible nuevo peligro (no delimitado), antes de iniciar la limpieza, comuníquese con el supervisor de operaciones o el ingeniero geotécnico de campo.

– El perfilado en zonas peligrosas debe realizarse bajo asesoramiento geotécnico.

– El perfilado en zonas peligrosas debe realizarse siempre en el turno día.

- El equipo para la limpieza secundaria debe tener una cabina con protección contra caídas de roca (FOP).
- El uso del equipo debe tener un alcance mínimo de 12 metros (con la pluma completamente extensible) para perfilar bancos de 10 m. La configuración de otros bancos requerirá la revisión del equipo para ser utilizado en la limpieza.

Anexo 2

Procedimiento Trabajo en Zonas de Cresta y Talud

Este procedimiento aplica a todo el personal que trabaja o visita áreas de taludes y/o acopios de materiales como son: áreas de minado; acopios o botaderos; canteras; diques; caminos de acceso; etc. dentro del proyecto Pueblo Viejo Dominicana Corporation.

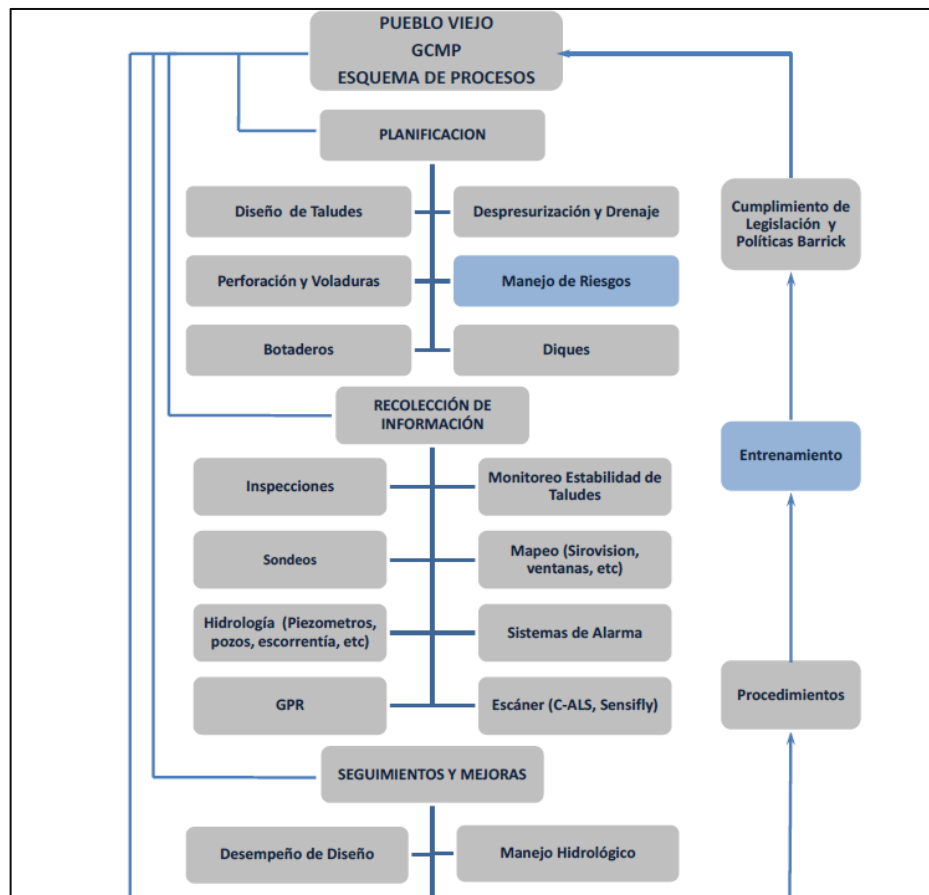


Figura 24: Esquema de procesos de para trabajos en zonas de cresta y talud.

Fuente: Proyecto Pueblo Viejo

Descripción del proceso

a) Requerimientos para Ingreso a la Zona de Talud

Cualquier persona trabajando dentro de la zona de talud (tanto del pie o la cresta) dentro de la concesión de PVDC debe cumplir con los siguientes requisitos:

- 1) Haber revisado el mapa y las alertas de riesgos geotécnicos antes de ingresar a la mina. Debe cumplir con los requisitos para riesgos específicos.
- 2) Haber completado el entrenamiento de “Identificación y Evaluación de Riesgo Geotécnico en Taludes”.
- 3) Necesita entender (del supervisor de mina) si la mina está funcionando en condiciones normales de operación o de las condiciones de activación de caída de rocas o falla.
- 4) Completar una evaluación de Riesgo de talud (AST).
- 5) Estar acompañado en todo momento por un personal que cumple con los criterios.

Proceso de Evaluación de Riesgos de Talud

Previo al ingreso para realizar cualquier trabajo en bermas y/o en la zona de talud debe realizarse una Evaluación de Riesgos de Talud en el área de trabajo y sus alrededores.

La evaluación se debe considerar:

- 1) El historial de riesgo del talud en el área de trabajo. Revisar un mapa actualizado de riesgos geotécnicos (Geotechnical Hazard Map).
- 2) El estado de limpieza de la cara de Banco en el sector. ¿Requiere la cara de banco limpieza?
- 3) Se observa en el área de trabajo signos de: Grietas, Rocas Sueltas, Caída de Rocas Recientes, Escorrentía o charcos de agua, Asentamientos, Barro, etc.
- 4) La condición y estabilidad de la cresta, cara de banco y pie de talud por encima y debajo del área de trabajo.
- 5) Se observa la presencia de Aleros (Overhangs) o Socavación (Undercutting) en el talud.

6) Existe Personal o Equipos trabajando por encima, debajo o en la proximidad del área de trabajo.

7) Las condiciones climáticas que puedan contribuir al riesgo como, por ejemplo: Esta o ha llovido recientemente, hay alerta de Tormenta Eléctrica, Existen vientos fuertes.

8) La tarea a realizar. ¿Puede esta causar una falla o inestabilidad?

9) La visibilidad (existencia de neblina o polvo).

La evaluación de riesgo (AST) determinara la **Distancia Segura de Trabajo (DST)** mínima a ser mantenida durante la tarea a realizar. Referirse a Anexo 4. La Distancia Segura de Trabajo es la distancia medida desde la cresta o la cara del banco, a partir de la cual el riesgo de ocurrencia de un peligro de Talud (Slope Hazard) se reduce. La Distancia Segura de Trabajo es la distancia en la que:

1) Si una roca suelta se desprende y cae del talud esta se detendrá dentro de la distancia segura de trabajo.

2) Si se produce una falla de talud, el material proveniente de esta se detendrá dentro de la distancia segura de trabajo.

3) Una persona puede resbalar y caer sin sobre pasar el borde de talud.

b) Distancia de trabajo seguro en condiciones normales de operaciones

A continuación, se detallan las distancias de trabajo seguro para condiciones generales y específicas. Referirse a Anexo 5 para detalles.

c) Distancia mínima de trabajo seguro para el personal a pie.

En condiciones normales de operaciones, la distancia mínima de trabajo seguro desde el

pie de un talud es de 15 metros sin vigías.

Un vigía es obligatorio para trabajar a menos de 15 m de un talud.

En condiciones normales de operaciones, la distancia mínima de trabajo seguro desde la cresta de un talud es de 2 metros.

d) Distancia mínima de trabajo seguro para el equipo

En condiciones normales de operaciones, la distancia mínima segura para estacionarse desde el pie de un talud es de 15 metros.

Los equipos pesados deben mantener las siguientes distancias de las crestas:

- 10m cuando se trabaja en material volado.
- 6m cuando se trabaja en tierra firme

Mayor distancia de trabajo seguro en las condiciones de activación de caída de rocas o falla

A continuación, se detallan las distancias de trabajo seguro para condiciones generales y específicas. Referirse a la tabla 2 y anexo 5 para detalles.

Las caídas de rocas y las fallas de banco ocurren con más frecuencia después de los factores y agentes desencadenantes, que incluyen:

- Lluvia (rainfall)
- Terremoto (earthquake)
- Voladura (blasting) cerca del talud
- Excavación que incluye limpieza de paredes (excavation including wall scaling)
- Cascadas (waterfalls)
- Cerca de recientes caídas de rocas (near recent rock falls)

e) Manejo de Riesgos en Zonas de Talud

Uso de Vigías (Spotter)

Un vigía que haya aprobado el entrenamiento de Reconocimiento y Demarcación de Riesgos de Talud debe ser usado cuando:

Se realiza una tarea que no permite la observación constante de las condiciones de estabilidad de talud tales como:

- Caída de Rocas / guijarros.
- Polvo proveniente de las paredes.
- Formación de Grietas.
- Agua filtrándose por las paredes o corriendo por la cara de banco.
- Llamadas radiales (aviso de tormentas eléctricas, supervisor de operaciones, etc.).
- Alertas de sistemas de monitoreo de talud.
- Vibraciones de terreno o ruidos inusuales.

Anexo 3

Plan de monitoreo geotécnico integral para taludes

El monitoreo integral de taludes en minas a cielo abierto es esencial para garantizar la seguridad de las operaciones mineras y prevenir riesgos geotécnicos. A continuación, se presenta un plan general para el monitoreo integral de taludes en minas a cielo abierto:

Objetivo del Plan: El objetivo del plan es implementar un sistema de monitoreo integral de taludes para detectar tempranamente posibles movimientos o deformaciones, evaluar la estabilidad geotécnica y tomar medidas preventivas o correctivas para garantizar la seguridad de la operación minera.

Paso 1: Evaluación de Riesgos Geotécnicos

Realizar una evaluación detallada de los riesgos geotécnicos asociados a los taludes en la mina a cielo abierto.

Identificar las áreas críticas con mayor riesgo de deslizamientos, colapsos u otros eventos geotécnicos inestables.

Paso 2: Selección de Instrumentación Geotécnica

Seleccionar los dispositivos de monitoreo geotécnico adecuados para la mina, como extensómetros, inclinómetros, piezómetros, acelerómetros, entre otros.

Garantizar que los equipos de monitoreo sean precisos, confiables y puedan proporcionar datos en tiempo real.

Paso 3: Ubicación Estratégica de los Dispositivos

Determinar la ubicación estratégica de los dispositivos de monitoreo en los taludes identificados como áreas críticas.

Instalar los dispositivos en puntos clave para obtener una cobertura completa y representativa de los taludes.

Paso 4: Monitoreo Continuo

Establecer un sistema de monitoreo continuo que permita la recopilación y registro de datos en tiempo real.

Implementar un software de monitoreo y visualización que facilite la interpretación y análisis de los datos.

Paso 5: Análisis y Interpretación de Datos

Analizar y evaluar los datos obtenidos del monitoreo para detectar posibles tendencias o cambios significativos en la estabilidad de los taludes.

Interpretar los resultados en función de los criterios de seguridad y las alertas establecidas previamente.

Paso 6: Acciones Preventivas y Correctivas

Establecer protocolos de acción para diferentes escenarios basados en los resultados del monitoreo.

Implementar medidas preventivas y correctivas según las condiciones geotécnicas detectadas, como el reforzamiento de los taludes, la implementación de bermas de seguridad, entre otros.

Paso 7: Reportes y Comunicación

Generar informes periódicos con los resultados del monitoreo y las acciones tomadas.

Comunicar los hallazgos y medidas implementadas a los responsables de seguridad minera y el personal operativo.

Paso 8: Evaluación Continua y Mejora

Realizar revisiones y evaluaciones periódicas del sistema de monitoreo y su eficacia.

Realimentar el plan en función de los nuevos hallazgos y lecciones aprendidas para mejorar la seguridad y estabilidad de los taludes.

Nota: Es importante adaptar este plan a las características específicas de cada mina y considerar la normativa y regulaciones locales sobre seguridad en minería. La implementación exitosa de un sistema de monitoreo integral de taludes requerirá la colaboración entre el personal de geotecnia, seguridad y operaciones mineras. Además, la formación y capacitación del personal involucrado en el monitoreo son fundamentales para asegurar una gestión efectiva del sistema.

Anexo 4

Formulario de Evaluación de Riesgos sobre Taludes

Nombre del Sitio/Ubicación: _____

Fecha de Evaluación: _____

1. Identificación del Riesgo:

a) Descripción del Riesgo: _____

b) Probabilidad de Ocurrencia:

- Baja
- Moderada
- Alta

c) Consecuencias Potenciales:

- Leve
- Moderado
- Grave

2. Evaluación del Riesgo:

a) Riesgo (R) = Probabilidad (P) x Consecuencias (C)

3. Controles Actuales:

a) Detallar los controles existentes para mitigar el riesgo identificado:

Control 1: _____

Control 2: _____

Control 3: _____

4. Eficacia de los Controles Actuales:

a) Calificar la eficacia de los controles actuales para reducir el riesgo:

- Eficiente
- Moderadamente eficiente
- Ineficiente

5. Controles Propuestos:

a) **Proponer nuevos controles o mejoras para reducir el riesgo identificado:**

Control 1: _____

Control 2: _____

Control 3: _____

6. Responsable de Implementación:

a) Designar un responsable para cada control propuesto:

Control 1: _____

Control 2: _____

Control 3: _____

7. Prioridad de Implementación:

a) Calificar la prioridad de implementación para cada control propuesto:

- Alta
- Moderada
- Baja

8. Fecha de Implementación:

a) Establecer la fecha estimada para la implementación de los controles propuestos:

Control 1: _____

Control 2: _____

Control 3: _____

9. Observaciones y Comentarios Adicionales:

Espacio para registrar cualquier observación, comentario o información relevante relacionada con el riesgo y sus controles.

10. Evaluación Final de Riesgos:

Reevaluar el riesgo después de implementar los controles propuestos:

Riesgo Residual (RR) = Riesgo Inicial (R) - Eficacia de los Controles Actuales + Eficacia de los Controles Propuestos

Firma del Evaluador: _____

Firma del responsable de Seguridad Minera: _____

Anexo 4

Resultado de entrevistas

Empresa minera Calizamar, SA.

¿A qué se dedica la empresa?

Es una empresa dominicana perteneciente al sector minero que tiene como propósito ofrecer productos y soluciones que satisfagan y excedan los requerimientos de sus clientes.

¿Cuáles productos y servicios ofrecen la empresa?

Dedicada a la producción y comercialización de agregados, mortero seco, bloques de concreto, carbonato de calcio, mármol y sacos de papel, de una manera social y ambientalmente responsable.

¿Cuáles son las fuentes de materia prima y donde están ubicadas?

En nuestra Mina cielo abierto es extraída y procesada la piedra caliza color gris para obtener como resultados agregados derivados para el mercado de la construcción. Ubicada de en Caballeros, provincia Sanches Ramirez.

¿Cuáles parámetros o criterios geotécnicos son considerados al momento de definir un diseño de Pit minero, botaderos y canteras utilizados para el desarrollo de la mina?

Se realizan diseños geotécnicos basados en análisis propuesto por un geólogo consultor de la empresa, la altura de los bancos por diseño es de 10 metros y un ancho de banqueta de 5 metros.

¿Cuáles son los criterios para definir los niveles de riesgos en la empresa?

Se realiza una evaluación adecuada, es posible categorizar los riesgos en diferentes niveles, como riesgos altos, medios y bajos, lo que permitirá establecer acciones y prioridades para su gestión. No existe una matriz

¿Cuáles son los sistemas de monitoreo geotécnicos que se utilizan para determinar el comportamiento de los taludes en la empresa? No existen

¿De qué manera la implementación de un sistema de monitoreo geotécnico integral permite evaluar el comportamiento de los taludes? No aplica

¿De qué manera se generan los mapas de riesgos con un sistema de monitoreo geotécnico integral y evaluaciones físicas que permita evaluar el comportamiento de los taludes? No existe la práctica de evaluar el comportamiento de los taludes.

¿Cuál es la respuesta esperada, frente a desplazamientos o velocidades críticas por sobrepasar los límites o umbrales de alertas establecidas por los geotecnista? No aplica

¿Cuáles procedimientos operacionales existen para trabajos próximo a zona de taludes en la empresa? No existen procedimientos basados en este tipo de análisis.



Figura 25: inspección de zonas de riesgos geotécnicos en frentes de extracción de material. Calizamar, S.A. SR_Caballeros

Fuente: Autores



Figura 26: Inspección de zonas de riesgos geotécnicos en frentes de extracción de material. Calizamar, S.A. SR_Caballeros

Fuente: Autores

Resultado de entrevistas

Proyecto Pueblo Viejo

¿A qué se dedica la empresa?

Es la transnacional minera dedicada a la extracción de oro a cielo abierto más grande de la República Dominicana

¿Cuáles son las fuentes de materia prima y donde están ubicadas?

Está ubicada en la provincia Sánchez Ramírez, a 100 kilómetros de Santo Domingo.

¿Cuáles parámetros o criterios geotécnicos son considerados al momento de definir un diseño de Pit minero, botaderos y canteras utilizados para el desarrollo de la mina?

En el proyecto Pueblo Viejo para definir el diseño de un Pit minero, botaderos y canteras, se consideran varios parámetros o criterios geotécnicos para garantizar la estabilidad y seguridad de las estructuras.

Parámetros para considerar:

Ángulo de talud: se utiliza ángulos de 70 a 60 grados para material rocoso y de 30 a 40 para suelos.

Características geológicas: Se realizan estudio detallado de las diferentes litologías presentes en el proyecto

Características geotécnicas del material: Se realizan exploración geotecnia mediante sondeos y mapeos estructurales de superficie.

Presiones de agua: Se evalúa las presiones de agua con piezómetros o pozos abiertos, y se tiene un sistema de drenaje horizontal para reducir las presiones de poros

¿Cuáles son los criterios para definir los niveles de riesgos en la empresa?

Para medir los niveles de riesgo en dicha empresa se utiliza una matriz de clasificación del índice de riesgo, Esta matriz ayuda a visualizar la magnitud del riesgo (impacto) en

función de su probabilidad de ocurrencia, lo que permite priorizarlos y tomar decisiones informadas sobre cómo abordarlos. La matriz generalmente tiene dos ejes:

Eje horizontal: Probabilidad de ocurrencia. Este eje representa la estimación o evaluación de la probabilidad de que ocurra un riesgo específico. Puede ir desde "muy baja" hasta "muy alta" o expresarse en términos numéricos, como porcentajes.

Eje vertical: Impacto o consecuencia. Este eje representa la magnitud del impacto o las consecuencias que tendría si el riesgo se materializa. El impacto también puede tener una escala que va desde "muy bajo" hasta "muy alto", o puede expresarse en términos cuantitativos, como pérdidas monetarias estimadas.

¿Cuáles son los sistemas de monitoreo geotécnicos que se utilizan para determinar el comportamiento de los taludes en la empresa?

Los componentes típicos de un sistema de monitoreo geotécnico pueden incluir en esta empresa son los siguientes; Monitoreo con radar, inclinómetros, piezómetros, estaciones totales y sistema satelital.

¿De qué manera la implementación de un sistema de monitoreo geotécnico integral permite evaluar el comportamiento de los taludes?

Un sistema de monitoreo integral facilita el manejo de toda la información colectada por los sistemas e instrumentos de monitoreo y ayuda a identificar riesgos a tiempo.

¿De qué manera se generan los mapas de riesgos con un sistema de monitoreo geotécnico integral y evaluaciones físicas que permita evaluar el comportamiento de los taludes?

Para generar los mapas de riesgos geotécnicos se realiza un análisis exhaustivo mediante monitoreo e inspecciones físicas en el área. Se toman los datos del radar y se define el área de riesgo y se coloca en un mapa topográfico donde todo el personal pueda definir la zona de riesgo.

¿Cuál es la respuesta esperada, frente a desplazamientos o velocidades críticas por sobrepasar los límites o umbrales de alertas establecidas por los geotecnista?

Frente a desplazamientos o velocidades críticas que superan los límites o umbrales de alerta establecidos por los geotecnistas en un sistema de monitoreo geotécnico, la respuesta esperada son la activación inmediata de un plan de acción para mitigar los riesgos identificados. Esta respuesta puede incluir las siguientes acciones:

Notificación y alerta.

Evaluación de la situación.

Evacuación y seguridad.

Acciones correctivas.

Monitoreo continuo.

Informe y documentación.

¿Cuáles procedimientos operacionales existen para trabajos próximo a zona de taludes en la empresa?

En esta empresa existen varios procedimientos para trabajos próximo a zona de talud dentro de ellos están: Trabajos en zona de cresta y taludes, Demarcación de toe y cresta, Plan de respuesta de emergencia en zona de desplazamientos que superen los umbrales designados del geotecnista.



Figura 27: Falla geotécnica de múltiples bancos.

Fuente: Autores.



Figura 28: Sistema de monitoreo geotécnico. IDR GeoRadar.

Fuente: Autores