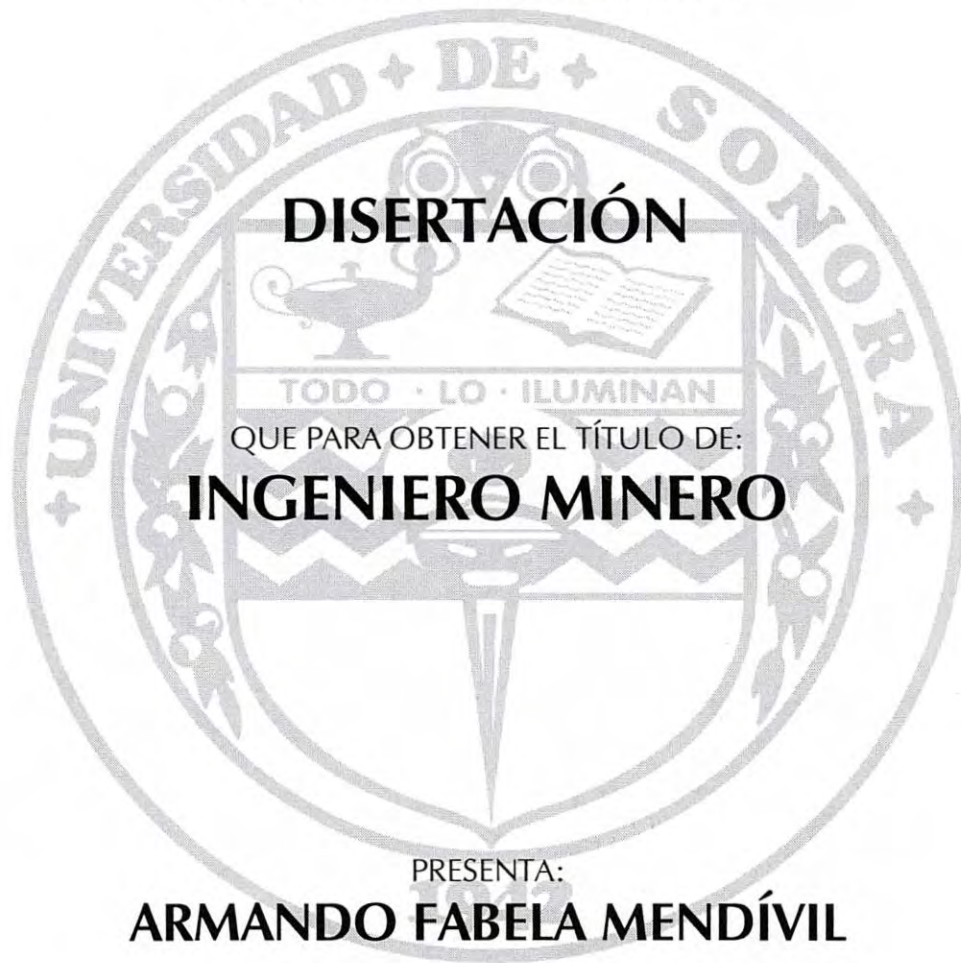


**UNIVERSIDAD DE SONORA**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y MINAS

“PLAN DE MANEJO DE RIESGOS GEOTECNICOS PARA  
MINA COBRE DEL MAYO



**DISERTACIÓN**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO MINERO**

PRESENTA:

**ARMANDO FABELA MENDÍVIL**

Hermosillo, Sonora, México

Noviembre 2017

# Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

# UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil y Minas  
Academia de Geomecánica e Infraestructura Minera

24 de octubre de 2017.

**P.I.M. ARMANDO FABELA MENDIVIL**

**Presente.-**

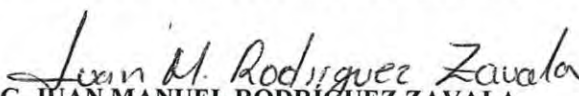
Por este conducto le informo que después de presentar ante los miembros de la **ACADEMIA DE GEOMECÁNICA E INFRAESTRUCTURA MINERA**, su solicitud de aprobación del Tema de Disertación: "**PLAN DE MANEJO DE RIESGOS GEOTECNICOS PARA MINA COBRE DEL MAYO**", que usted propone para obtener el título de **INGENIERO MINERO**, me es grato hacer de su conocimiento que hemos acordado **APROBAR** la propuesta que nos ha enviado, a fin de brindarles la oportunidad de presentar su Examen Profesional según lo establecido por la normatividad vigente.

Asimismo, les informo que la Academia Revisora quedó integrada como sigue:

<b>DIRECTOR:</b>	<b>M.C. TOMAS FERNANDO VILLEGAS BARBA</b>
<b>ASESOR:</b>	<b>DR. JUAN MANUEL RODRIGUEZ ZAVALA</b>
<b>ASESOR:</b>	<b>ING. NEMESIO FÉLIX FÉLIX</b>

Aprovecho la oportunidad para desearle el mayor de los éxitos y solicitarle su mejor esfuerzo para el bien del trabajo académico de nuestra institución.

ATENTAMENTE,  
"EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA"

  
**M.C. JUAN MANUEL RODRIGUEZ ZAVALA**  
**PRESIDENTE DE ACADEMIA**

'mjri



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

# UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil y Minas  
Academia de Geomecánica e Infraestructura Minera

21 de noviembre de 2017.

**P.I.M. ARMANDO FABELA MENDIVIL**  
**Presente.-**

Por medio de la presente, informo a usted que después de analizar su solicitud de aprobación del Tema de Disertación: "**PLAN DE MANEJO DE RIESGOS GEOTECNICOS PARA MINA COBRE DEL MAYO**", hemos tenido a bien emitir un dictamen satisfactorio del contenido del mismo, después de revisar cuidadosamente el trabajo desarrollado y verificar que los objetivos propuestos se hayan alcanzado, según lo establecido con anterioridad.

Por tal motivo, la Comisión extiende su autorización para proceder a la edición e impresión final del documento y, posteriormente, presentar el examen profesional en la fecha que de común acuerdo se convenga.

**A T E N T A M E N T E,**  
**"EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA"**

*Juan M. Rodríguez Zavala*  
**M.C. JUAN MANUEL RODRÍGUEZ ZAVALA**  
**PRESIDENTE DE ACADEMIA**

*Tomas F. Villegas Barba*  
**M.C. TOMAS FERNANDO VILLEGAS BARBA**  
**PRESIDENTE DEL JURADO**  
**(DIRECTOR)**

*Juan M. Rodríguez Zavala*  
**DR. JUAN MANUEL RODRÍGUEZ ZAVALA**  
**SECRETARIO DEL JURADO**  
**(ASESOR)**

*Nemesio Félix Félix*  
**ING. NEMESIO FÉLIX FÉLIX**  
**VOCAL DEL JURADO**  
**(ASESOR)**

'mjri

# Índice

Sección	Concepto	Página
I	Introducción	4
	1.1 Alcance y objetivos	4
	1.2 Antecedentes	5
	1.3 Referencias y marco legislativo	5
	1.4 Definiciones	6
	1.5 Roles y responsabilidades	7
II	Análisis del yacimiento	9
	2.1 Modelo geológico	9
	2.2 Mapeo	9
	2.3 Zonas de mayor inestabilidad en taludes	10
	2.4 Información y modelo hidrológico	12
III	Equipos de monitoreo	14
	3.1 Prismas y testigos	17
	3.2 Puntos topográficos GPS	17
	3.3 Piezómetros	17
IV	Inventario de riesgos	18
	4.1 Prevención de riesgos geotécnicos	18
	4.2 Identificación de riesgos geotécnicos	18
	4.3 Estrategias de reducción de riesgos	18
V	Plan De Acción	20
VI	Procedimientos de emergencia	22
	6.1 Fase de emergencia	22
	6.2 Fase de continuidad	22
	6.3 Fase de remediación	22
VII	Recopilación de información del monitoreo	23
VIII	Comunicación	24
IX	Capacitación	25
X	Revisión del PMGR y auditorías	26
XI	Conclusión	27

## Índice De Tablas Y Figuras

<b>Tabla</b>	<b>Concepto</b>	<b>Página</b>
1.1	Roles y responsabilidades	8
3.1	Equipos de monitoreo y frecuencia de estudio	14
4.1	Matriz de parámetros para clasificación de riesgos	19
4.2	Tabla de descripción de niveles de riesgo	19
4.3	Tipos de alerta y niveles	19
5.1	Plan de acción para niveles de emergencia	20
6.1	Alternativas de respuesta para movimientos de taludes	22

<b>Figura</b>	<b>Concepto</b>	<b>Página</b>
2.1	Plano con zonas de inestabilidad	11
2.2	Plano de zonas con presencia de agua	13
3.1	Ubicación de piezómetros	15
3.2	Ubicación de prismas y testigos	16

# I INTRODUCCIÓN

---

Durante este trabajo se va a hablar acerca del desarrollo de un plan de manejo de riesgos geotécnicos realizado en la mina Cobre del mayo. La realización de este proyecto se llevó a cabo durante mi estadía en la mina cobre del mayo, de junio del 2017 a agosto del mismo año.

La mina Piedras Verdes extrae cobre de un pórfido cuprífero granítico conformado por óxidos tratados en un proceso de lixiviación. Como parte del crecimiento de la mina, se introdujo una planta concentradora para procesar los minerales de sulfuro, localizados generalmente debajo de los cuerpos de minerales oxidados. Desde el 2010 se han realizado barrenos de exploración, obteniendo incrementos en los recursos minerales dentro del área de la mina. El diseño más reciente, basado en los resultados arrojados en la exploración, indica que la expansión del tajo va a llevarse a cabo de manera lateral hacia el sur, este y oeste; también se planteó un aumento en la profundidad en el que se superen los límites de excavación actuales. Las alturas máximas de las paredes de los tajos van a alcanzar los 450 metros, aproximadamente un 50% más altas que las de los tajos existentes.

El *Plan De Manejo De Riesgos Geotécnicos* (PMRG) va a ser utilizado por el personal de Cobre Del mayo para la prevención de riesgos geológicos dentro de la mina. Estos riesgos están generalmente asociados con: las pendientes de los taludes, estructuras geológicas presentes en la infraestructura de la mina, propiedades del macizo rocoso, etc.

El PMRG formaliza el control del monitoreo de taludes y especifica los pasos a seguir dentro de las actividades de respuesta a los riesgos geotécnicos presentes dentro de los límites de la mina. Esto se logra mediante la identificación, monitoreo, comunicación y la documentación de peligros geotécnicos.

## 1.1 Alcance Y Objetivo

Este documento aplica a todo el personal de Cobre Del Mayo que tenga acceso a cualquiera de las fases de la mina, contratistas y prestadores de servicio. Tiene como objetivo describir los criterios para un monitoreo de taludes adecuado a las condiciones de la mina, también crear bases para el diseño de las pendientes de las paredes de los tajos de la mina, tratando de minimizar el riesgo presente dentro de estos.

## 1.2 Antecedentes

Durante los últimos años, se pudieron observar movimientos en los taludes de algunas de las fases de mayor dimensión en sus paredes; el peso de las estructuras en conjunto con la presencia de agua subterránea presente en la zona de la mina, dio como resultado el derrumbe de la roca perteneciente a algunos de los bancos superiores, y en otros casos más drásticos se generaron fallas de cuña. Debido a esto, se colocaron equipos para darle seguimiento a estos sucesos mediante un monitoreo, propuesto por los consultores de BCG Engineering INC, quienes han brindado su apoyo para la interpretación de la información recopilada.

## 1.3 Referencias Y Marco Legislativo

- NOM-023-STPS-2012. Minas subterráneas y minas a cielo abierto. Condiciones De Seguridad Y Salud En El Trabajo – Tercera Sección – Capítulo 9: Mina a cielo abierto – 9.3 Explotación
- NOM-023-STPS-2012. Minas subterráneas y minas a cielo abierto. Condiciones De Seguridad Y Salud En El Trabajo – Tercera Sección – Capítulo 7: Análisis de riesgos para la identificación de peligros y el control de riesgos
- Pit Dewatering Program 2015-12-08
- Guidelines for Open Pit Slope Design (Read and Stacey).
- Revisión Del Diseño Final Del Tajo (2015)
- Gonzáles Vallejos, L. et. al. (2,002). Ingeniera Geológica. Editorial Pearson Educación. Madrid. 744p.
- WMC Major Hazard Related Document



## 1.4 Definiciones

- **Riesgo:** Posibilidad de que se produzca un contratiempo o una desgracia, de que alguien o algo sufra perjuicio o daño.
- **Riesgos Geológicos:** Conjunto de amenazas o peligros para los recursos y las actividades humanas, derivados de procesos geológicos de origen interno, externos o de una combinación de ambos.
- **Talud:** Resalte o inclinación de la topografía natural o artificial, cuya pendiente es generalmente menor a la de los acantilados.
- **Banco:** Escalón o unidad de explotación sobre la que se desarrolla el trabajo de extracción. Son niveles en que se divide la explotación a cielo abierto para facilitar el trabajo de los equipos.
- **Falla:** Una fractura o una zona de fractura sobre la cual se produce un movimiento diferencial entre dos bloques rocosos adyacentes.
- **Prisma:** Objeto circular formado por una serie de cristales que tienen la función de regresar la señal emitida por una estación total o teodolito.
- **Piezómetro:** Objeto utilizado para medir la presión de poros o el nivel de agua en perforaciones, terraplenes, cañerías y estanques a presión.
- **PMRG:** Plan de manejo de riesgos geotécnicos
- **CDM:** Cobre del mayo
- **Mapeo:** Plano topográfico que representa los accidentes geológicos que afloran en la superficie terrestre. También se representan las deformaciones sufridas por las estructuras geológicas.
- **Monitoreo:** Proceso mediante el cual se reúne, se observa, se estudia y se emplea información para poder dar un seguimiento de algún proceso o hecho en particular.
- **Prevención de riesgos:** Preparación de alguna medida defensiva para anticiparse y minimizar un daño que es posible que ocurra.
- **Plan de acción:** Es una especie de guía que brinda un marco o una estructura a la hora de llevar a cabo un proyecto.
- **Emergencia:** Accidente o suceso imprevisto que requiere atención especial y una solución rápida.
- **Comunicación:** Relación existente entre un emisor y un receptor, que se transmiten señales a través de un código común.
- **Capacitación:** Conjunto de actividades didácticas, orientadas a ampliar los conocimientos, habilidades y aptitudes del personal que labora en una empresa.

## 1.5 Roles y Responsabilidades

A continuación tenemos un listado de los roles y actividades que se requieren para la correcta realización del PMRG. En la tabla 1.1 podemos observar un resumen de las actividades específicas para cada puesto involucrado dentro del plan.

- **Gerencia de mina:** Se encarga de la implementación, actualización, aplicación, delegación de labores y revisiones anuales (o con mayor frecuencia si así se requiere) del PMRG.
- **Superintendente de planeación:** Supervisar el correcto desarrollo del *Plan de Manejo de Riesgos Geotécnicos* y verificar el cumplimiento de las labores que le dan seguimiento al plan. También es responsable de brindarle el equipo adecuado al personal encargado de realizar el monitoreo.
- **Superintendente de mina:** Se va a encargar de que la operación se lleve a cabo con responsabilidad, extremando precauciones en los lugares donde se tenga un derrumbe de roca o alguna estructura geológica que produzca movimientos inusuales e inestabilidades en las paredes de los tajos.
- **Superintendente de geología:** Tiene como responsabilidad la correcta interpretación de la información recopilada en mapeos para una mejor ubicación de estructuras geológicas presentes.
- **Jefe de despacho:** Asignación de roles para monitoreo de los instrumentos utilizados mientras se lleva a cabo el PMRG. También se encarga de la recopilación de información arrojada por piezómetros, prismas y testigos.
- **Jefe de topografía:** Se encarga de la realización del monitoreo planificado y levantamiento topográfico de los equipos instalados en el tajo, así como del correcto almacenamiento de la información recopilada.
- **Jefe de geología:** Se encarga de generar un modelo geotécnico con las estructuras geológicas de importancia localizadas dentro de la mina en base a los mapeos realizados por los supervisores de geología.
- **Consultores de BGC:** Análisis e interpretación de información recopilada por los equipos de monitoreo, en especial de los piezómetros y prismas.
- **Supervisores de mina:** Informar a operadores acerca de la ubicación de los instrumentos utilizados en el monitoreo de taludes y acerca de los taludes con tendencia a fallar para extremar precaución cuando se trabaje cerca de ellos.
- **Supervisores de Geología:** Realizar un mapeo detallado de todas las estructuras geológicas encontradas en la mina, dando prioridad a las de mayor dimensión o con una mayor posibilidad de convertirse en activas.

- **Todo el personal de la mina, contratistas y prestadores de servicio:**  
Reportar cualquier anomalía geotécnica a su supervisor y trabajar bajo las normas de seguridad establecidas para una disminución de riesgos.

Tabla 1.1 Roles y Responsabilidades

Actividad	Sub-Actividad	Rol	Responsable
Prismas	Levantamiento	Topografía	Armando Fabela
Puntos GPS	Levantamiento	Topografía	Armando Fabela
Piezómetros	Lecturas	Topografía	Carlos Favela
Información meteorológica	Lecturas	SSMAC	Supervisor De Seguridad En Turno
Bermas y caídos de roca	Inspecciones visuales	Personal Mina	Supervisor Encargado del Tajo
Reporte de Fallas	Reportes	Geología	Geólogo en turno
Análisis Geotécnico	Equipos de monitoreo	BGC	Ian Stickwell
Identificación de riesgos	Revisión presencial	Todo el personal	
Proceso de evaluación de riesgos	Toma de decisiones	Superintendente de planeación	Ulises Ruiz
Entrenamiento y capacitación	Organización	SSMAC	Luis Leyva

## **II ANALISIS DEL YACIMIENTO**

---

### **2.1 Modelo Geológico**

El diseño de las pendientes de las paredes del tajo está basado mediante un modelo geológico 3D realizado por los geólogos de CDM el cual se fundamenta con los resultados arrojados en la barrenación de exploración y el mapeo de estructuras presentes en el tajo realizado por el departamento de geología. Este provee una interpretación de los contactos entre los diferentes tipos de roca. A medida que la excavación va profundizando, el modelo debe de ser actualizado constantemente para ayudar a definir los límites del diseño de excavación.

### **2.2 Mapeo**

Se debe de realizar un mapeo de todas las zonas en riesgo abarcadas por el monitoreo especificado en el PMRG para ser analizado. Este mapeo debe de identificar los peligros geotécnicos y debe de ser evaluado periódicamente para observar de mejor manera el comportamientos de las estructuras mapeadas.

Todos los riesgos identificados durante el mapeo deben de ser transmitidos al personal que trabaje dentro de esa zona, y también se deben de tener en consideración para la planeación y futuros diseños de tajos.

### 2.3 Zonas Con Mayor Inestabilidad En Taludes

1. **Fase oficina:** Derrumbe de rocas en pared norte del tajo. La berma localizada en el hombro de la rampa contuvo todo el material.
2. **Fase 1N:** Se pueden observar dos zonas de inestabilidad en la pared norte de este tajo. La inestabilidad de lado oeste tiene dos bancos de altura y el material del derrumbe fue detenido por la berma en el banco 132 m. La inestabilidad localizada al este de la pared norte esta entre el banco 156 m y termina en la rampa. Ambas inestabilidades parecen inactivas.
3. **Fortuna 8:** Los bancos en este tajo son estables. Se puede apreciar una inestabilidad de 40 metros de ancho y dos bancos de alto (156 y 132 m) en la parte superior de la pared sureste. Esto se generó debido a una zona de contacto de 30 m de ancho con una baja calidad de la roca y una discontinuidad.
4. **Fase 3E:** Inestabilidad generó derrumbe de rocas en la pared suroeste desde el banco 120 hasta la parte más baja del tajo al nivel 20 m.
5. **Fase 4A y 4B:** Las bermas de los bancos gradualmente se están llenando de material proveniente de bancos superiores.
6. **Fase 4C:** Las crestas de los bancos 84 m, 72 m y 60 m se derrumbaron, pero no se cuenta con información para saber si esto se debe a condiciones estructurales o daño por voladuras.
7. **Fase 4M:** Las paredes Norte y Este de esta fase están cubiertas por derrame de material. En la pared Oeste está en su mayoría cubierta por derrames de material; esta pared ha experimentado dos inestabilidades.
8. **Fase 5:** Presenta una inestabilidad 72 metros de altura entre los bancos 168 m y 96 m en la pared Sureste que se encuentra sin actividad reciente. Esta fase cuenta con otra inestabilidad desarrollada en la pared Norte, de aproximadamente 132 m de altura, la cual se generó debido a una falla con un echado de 60° hacia la dirección 230°.

En la figura 2.1 se pueden observar las zonas de mayor inestabilidad dentro de las fases de la mina, ilustradas en un plano.

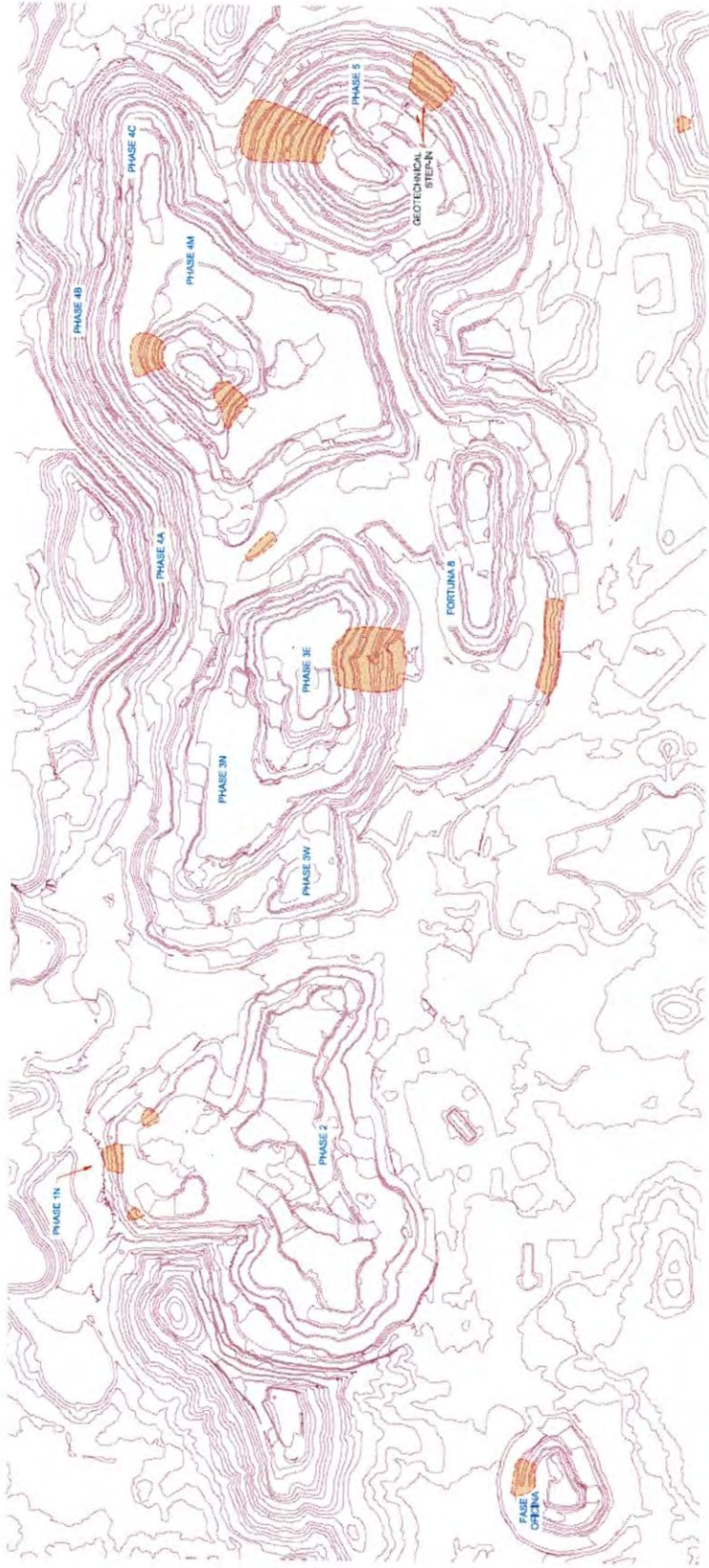


Figura 2.1.- Plano ilustrando las zonas de mayor inestabilidad

## 2.4 Información Y Modelo Hidrogeológico

La estabilidad de las paredes de un tajo se ve fuertemente influida por la presencia de agua, por lo que es de suma importancia su monitoreo. El nivel de los espejos de agua va a bajar y subir con el transcurso del tiempo, fenómenos climatológicos y la actividad minera; estos factores deben de ser tomados en cuenta constantemente durante la elaboración de un modelo hidrológico.

La información de las características de agua subterránea es medida y monitoreada mediante piezómetros de cuerda vibrante localizados a lo largo de las zonas con una mayor actividad minera y en base a las zonas con presencia de filtración, sumideros y tajos utilizados para almacenamiento de agua. Esta es una estrategia efectiva para controlar los flujos de agua y ser tomados en cuenta para planes de minado futuros.

La siguiente lista resume las zonas en donde se han observado filtraciones o presencia de agua estancada:

- Fase Oficina: Lago dentro del tajo a nivel 125 m
- Fase 1N: Presencia de agua en barrenos en banco 120
- Fortuna 8: Filtración en pared sur entre niveles 144m y 156m; presencia de agua en barrenos del banco 132; lago dentro del tajo a nivel 80.
- Fase 3W: Filtración en nivel 144 m
- Fase 3E: Filtración en nivel 20 m
- Fase 4C: Filtración en nivel 48 m
- Fase 4M: Lago dentro del tajo en nivel 0 m; el agua de este lago es bombeada directamente a pilas de lixiviación para recuperación de cobre
- Fase 5: Lago dentro del tajo en nivel 0 m; filtración en pared oeste al nivel 12 m; pared sur de apariencia húmeda.

En la figura 2.2 podemos observar las zonas con mayor presencia de agua dentro de las fases de la mina. Algunas presentan filtraciones en las paredes y en otras se tiene un almacenamiento de agua. En algunas de las fases, se monitorea semanalmente el nivel de agua para hacer una cubicación y conocer con exactitud la cantidad de agua con la que se cuenta.

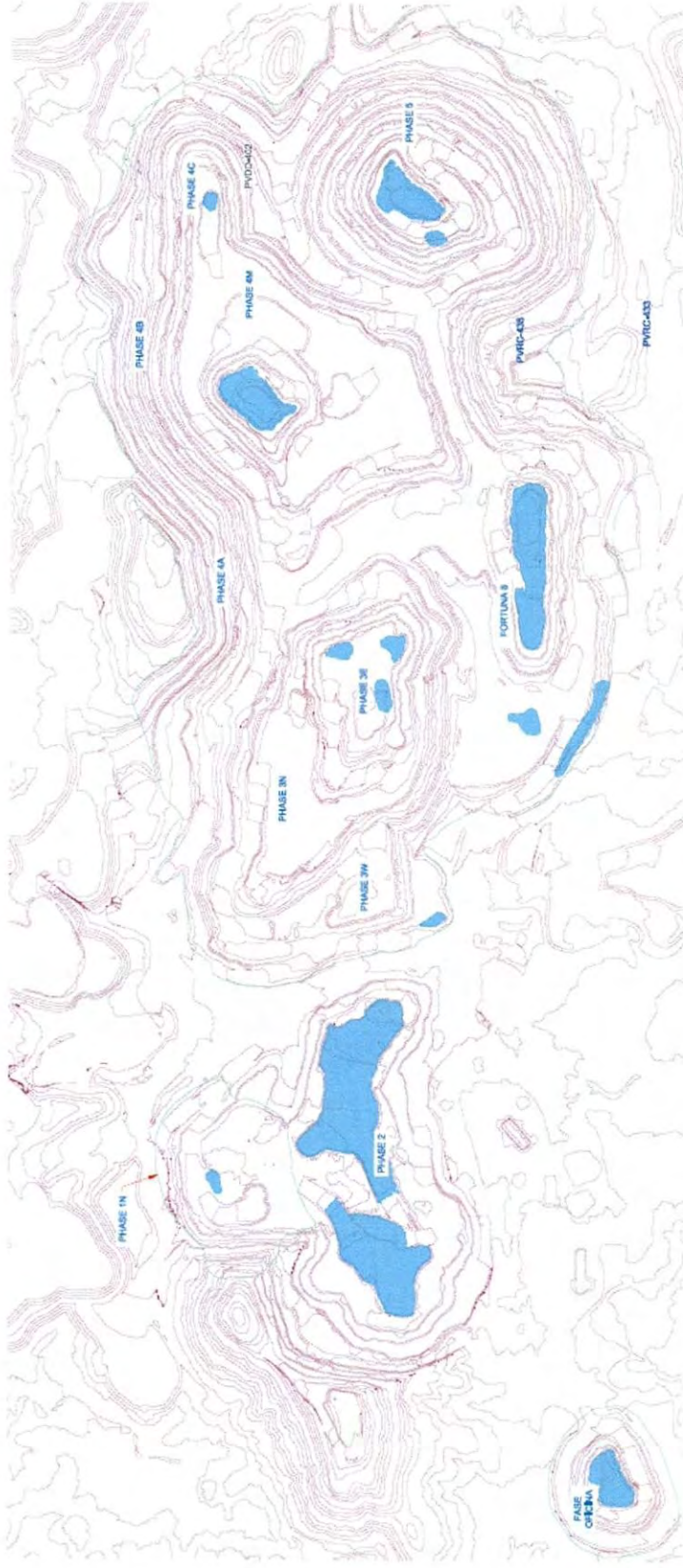


Figura 2.2.- Plano ilustrando las zonas con presencia de agua



### III EQUIPOS DE MONITOREO

---

El monitoreo es necesario para recolectar información acerca del movimiento de las paredes de un tajo, y las fuerzas que modifican la estabilidad de los taludes. Los resultados arrojados por cada equipo deben de ser interpretados y comparados entre ellos, considerando factores externos que podrían modificar los resultados.

Para la realización de este monitoreo se cuenta con diferentes técnicas para la obtención de información referente al movimiento de las paredes de un talud y a los derrumbes de roca de los bancos. Cada técnica hace referencia a equipos topográficos, localizados en puntos específicos para un desempeño óptimo. En la siguiente tabla (3.1) se enlistan los equipos con los que se cuenta y la frecuencia con la que deben ser consultados:

Tabla 3.1.- Equipos de monitoreo y frecuencia de estudio

Equipo de monitoreo	Frecuencia de lectura
Prismas y testigos	Diariamente
Puntos topográficos GPS	Diariamente
Piezómetros	Mensualmente

En la Figura 3.1 se muestra un plano de la mina con la ubicación de los barrenos en donde fueron instalados los piezómetros.

En la Figura 3.2 se muestra la ubicación de los prismas, puntos GPS y testigos colocados para el monitoreo de las zonas de inestabilidad.



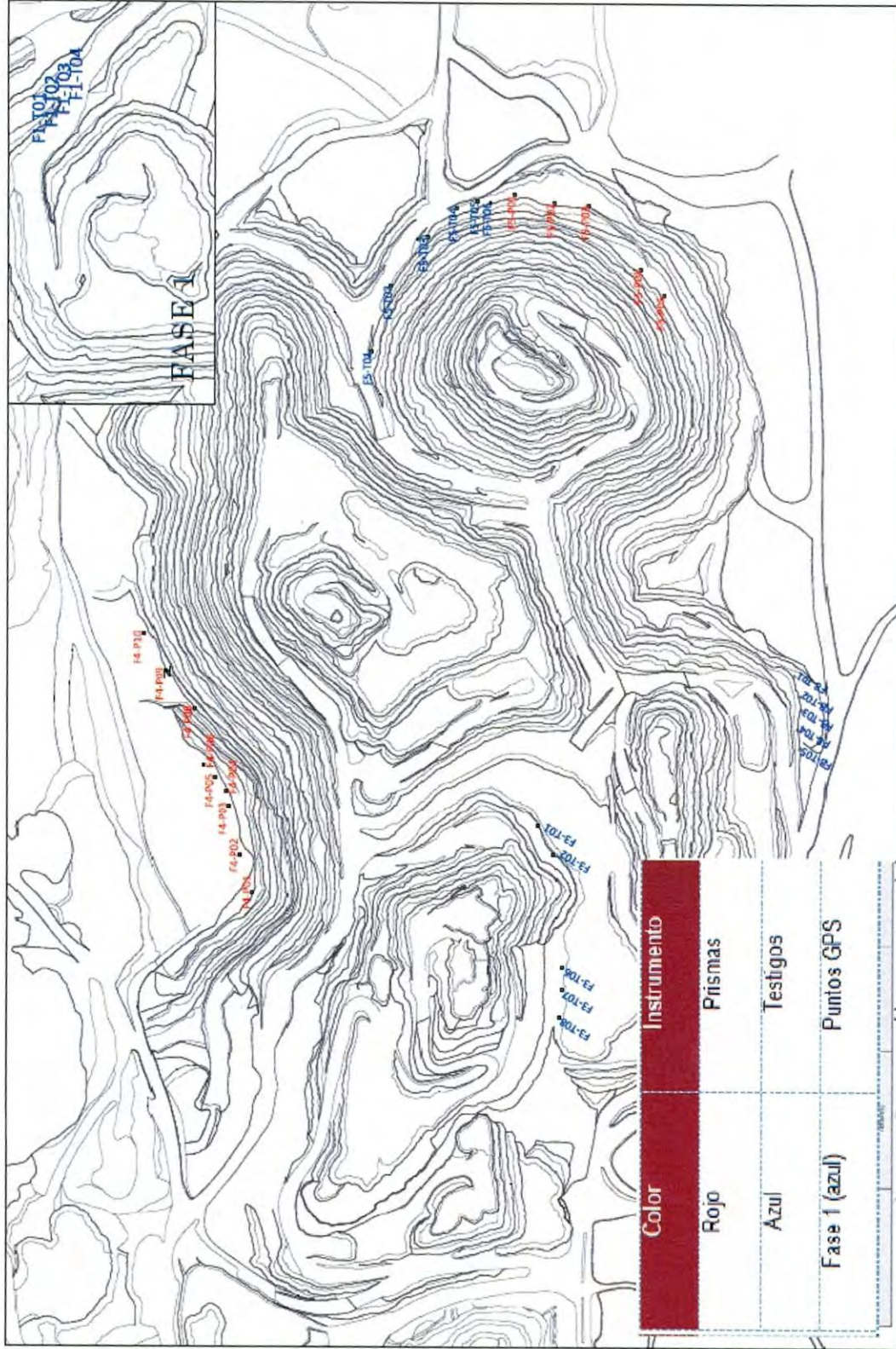


Figura 3.2 Ubicación de prismas y testigos

### **3.1 Prismas y testigos**

Los prismas tienen como objetivo la detección del movimiento de un punto en las tres dimensiones (norte, este y altura). Las lecturas se toman en milímetros usando una estación total robotizada Leica Viva TS15, en la que se toman datos con medición de series para después promediarlos y minimizar el error humano, el cual podría afectar la exactitud de las lecturas. En cada talud se toman 3 series y cada serie se conforma de 4 lecturas en cada prisma.

La información recolectada de los prismas es almacenada junto con la información obtenida en los levantamientos anteriores para ser analizada y, si es el caso, identificar con mayor facilidad algún comportamiento que pudiera ser considerado para emitir una alerta.

### **3.2 Puntos topográficos GPS**

Los puntos GPS son utilizados para medir el movimiento de un talud en lugares en las que no es posible hacer un levantamiento con prismas. Estos se encuentran colocados atrás de la cresta de los taludes y monitoreados con la frecuencia indicada en la tabla 3.1. Para su lectura es utilizado un equipo GPS Trimble R8.

### **3.3 Piezómetros**

Los piezómetros son utilizados para medir la ubicación, el nivel y la presión de las aguas subterráneas. Estos son monitoreados mensualmente y los resultados arrojados son interpretados con la colaboración de los consultores de BGC Engineering INC.

## **IV INVENTARIO DE RIESGOS**

---

Un riesgo puede ser definido por la probabilidad de ocurrencia de algún suceso que tenga como consecuencia la pérdida de recursos en la operación de la mina; estos pueden referirse a recursos humanos o a recursos materiales como maquinaria, equipos, infraestructura, etc.

### **4.1 Prevención de riesgos geotécnicos**

Es necesario que todo el personal de la mina sea informado y reciba un entrenamiento con regularidad con respecto a los riesgos geotécnicos y las estrategias para controlarlos. Además, puede considerarse la colocación de un plano en donde se muestren los riesgos de manera gráfica con un fácil acceso para el personal.

### **4.2 Identificación de riesgos geotécnicos**

La detección de riesgos antes de que estos se presenten es de suma importancia. A través de los equipos de monitoreo de taludes y el análisis de la información obtenida por estos, se puede detectar los riesgos, y en algunas circunstancias, evitar sus consecuencias.

Los riesgos y fenómenos identificados son:

- a. Derrumbes de rocas o taludes / bancos
- b. Inestabilidad de taludes y rampas
- c. Actividad sísmica
- d. Fenómenos meteorológicos
- e. Fracturas y fallas activas en el macizo rocoso

### **4.3 Estrategias de reducción de riesgos**

1. Inspección de taludes con regularidad
2. Monitoreo constante de la deformación de los taludes activos
3. Monitoreo de actividad sísmica
4. Monitoreo de los efectos de la energía provocada por las voladuras

#### 4.4 Matriz Para Clasificación De Riesgo

Esta matriz (tabla 4.1) es usada para clasificar el riesgo conforme a su probabilidad de ocurrencia y a la gravedad de su consecuencia. La siguiente tabla nos ayuda a asignar los riesgos a las su clasificación correspondiente:

Tabla 4.1.- Matriz de parámetros para clasificación de riesgos

Probabilidad	Consecuencia				
	Catastrófica	Alta	Moderada	Menor	Insignificante
Casi seguro	Critica	Critica	Critica	Alta	Media
Probable	Critica	Critica	Alta	Media	Media
Posible	Critica	Alta	Alta	Media	Baja
Poco probable	Alta	Alta	Media	Baja	Baja
Raramente	Alta	Media	Baja	Baja	Baja

Tabla 4.2.- Tabla de descripción de niveles de riesgo

Nivel de riesgo	Descripción
Baja	Baja probabilidad de ocurrencia
Media	Consecuencias y probabilidad de ocurrencia moderadas
Alta	Consecuencias graves con probabilidad alta de ocurrencia
Critica	Probabilidad alta de ocurrencia con consecuencias catastróficas

En base a las tablas anteriores se emiten una serie de alertas, cada una con el color del nivel de riesgo otorgado para cada circunstancia. En la tabla 4.3 se puede observar los 4 niveles de alerta

Tabla 4.3.- Tipos de alerta y niveles

Tipo de alerta	Nivel de riesgo
Verde	Bajo
Amarilla	Medio
Naranja	Alto
Roja	Crítico

## V PLAN DE ACCIÓN

Un plan de acción es una presentación resumida de las tareas que deben realizarse por ciertas personas, en un plazo de tiempo específicos, utilizando un monto de recursos asignados con el fin de lograr un objetivo dado

El objetivo de un plan de acción es asegurar una respuesta, en una etapa temprana, a alguna condición riesgosa de una zona inestabilidad. El plan de acción contiene una lista de indicadores, fácilmente observables por cualquier persona y puede ser usado para guiar a las personas en el procedimiento inmediato que se debe de llevar a cabo en presencia de algún derrumbe o movimiento de taludes.

Tabla 5.1.- Plan de acción para niveles de emergencia

Alerta	Verde	Amarilla	Naranja	Roja
Condición de la inestabilidad	Fallas o fracturas de largo plazo	Fallas o fracturas creciendo y generando nuevas tensiones a lo largo del talud	Crecimiento drástico de fracturas o derrumbe de material de la cresta o pata del talud	Desprendimiento parcial del talud o pared del tajo
Diferencias en velocidad de movimiento	Reducción en la velocidad del movimiento del talud proyectada en el monitoreo dentro de un periodo de 4 semanas	Aceleración considerable en la velocidad de movimiento de un talud en un periodo de 1 semana	Rápida aceleración en la velocidad del movimiento detectada en periodo de una semana	Desprendimiento parcial del talud o pared inminente
<b>Acciones</b>				
Gerente de mina			Consideraciones para evacuación de zona en riesgo	Evacuación de zona en riesgo, empezar proceso de evaluación para re construcción de zona dañada, proveer servicios de emergencia
Superintendente de operación		Constante inspección de la zona	Inspección y evaluación de la zona en conjunto con departamento de geología. Notificar al persona de la mina	Inspección de la zona dañada de un punto fuera de riesgo y evaluar la factibilidad de plan de remediación de zona dallada
Superintendente de planeación		Análisis de resultados y	Revisar la zona y evaluar la	Inspección de la zona dañada de

		aviso de alerta amarilla a superiores y a personal de operación	situación para dar aviso a dirección de mina	un punto fuera de riesgo y evaluar la factibilidad de plan de remediación de zona dallada
Supervisor de mina en turno		Constante revisión de la zona y reportar cualquier cambio notable. Alertar a operadores de la zona en alerta amarilla.	Dar aviso a operadores de alerta naranja	Dar aviso de alerta roja a operadores y retirar personal y equipo a una zona segura.
Control de monitoreo	Monitoreo de rutina de acuerdo al plan	Monitoreo más frecuente de zona. Dar aviso de cualquier cambio en el comportamiento de la zona	Análisis de información recopilada en monitoreo, evaluación de área inestable, notificar a dirección de mina	Evaluar la zona de derrumbe desde un lugar seguro
Personal de la mina		Conocer las zonas de inestabilidad y reportar cualquier cambio en su turno	Prestar mayor atención a zona de inestabilidad y reportar cambios	Cooperar con el plan de evacuación y retirarse a un lugar seguro



## VI PROCEDIMIENTOS DE EMERGENCIA

Un procedimiento de emergencias puede prevenir que una emergencia se convierta en un desastre mediante una buena capacitación, una comunicación efectiva hacia el personal y la implementación de procedimientos para la evacuación. Es importante evaluar riesgos, no solamente en lo que respecta a la operación y evacuación de personal, sino también los impactos de la remediación de la zona y la evaluación de las decisiones para asegurar una explotación económicamente efectiva de la mina.

### 6.1 Fase de emergencia (primeras 48 horas)

Esta fase se considera cuando la zona con inestabilidad falla repentinamente y no se tiene el tiempo para avisar al personal de la mina de la alerta roja. Se evalúan el estado de las rutas de emergencia, estado de los caminos de acceso para personal de emergencia, investigación de la razón de la falla.

### 6.2 Fase de continuidad

Durante esta fase se analiza el impacto y las demandas de producción para poder seguir operando. Se evalúa la relación costo-beneficio, el rediseño de la mina y el impacto a la empresa.

### 6.3 Fase de remediación

En esta fase se da continuación al procedimiento de monitoreo de taludes, se realiza una evaluación de estabilidad después del derrumbe y se evalúa la remediación de la pared caída.

Tabla 6.1.- Alternativas de respuesta para movimientos de taludes

Alternativas	Enfoques
Abandonar el área inestable	Esta opción puede ser tomada cuando la inestabilidad se presenta en una zona que no tiene actividad minera o que el costo de remediación es demasiado alto.
Aligerar la carga de la pendiente mediante la realización de un push back	Aligerar la carga es una respuesta común y, por lo general, es una opción exitosa para remediación de un área inestable. Se tienen que tener en cuenta la presión del agua subterránea ya que nos puede disminuir la estabilidad.
Limpieza parcial	Esta se realiza cuando el material proveniente del derrumbe bloquea algún camino de acarreo.
Manejo de aguas subterráneas	En donde hay presión de agua, la extracción de agua subterránea es un método efectivo para mejorar la estabilidad.

## VII RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DEL MONITOREO

---

Generar una base de datos con la información recopilada es un componente muy importante dentro del PMRG debido a dos razones:

- Son una manera de demostrar el cumplimiento de las obligaciones acordadas en el *plan de manejo de riesgos geotécnicos*.
- Tener un registro es la única manera en la que se puede observar de manera detallada el comportamiento de las paredes de los tajos que presentan zonas de riesgo.

Documentar las inestabilidades identificadas es un requisito importante para el óptimo desarrollo de un PMRG. Tener un registro de las acciones para reducción de riesgos geotécnicos permite llevar a cabo una evaluación de la efectividad del diseño de las paredes de los tajos y proveer información para generar criterios que den base a un diseño más seguro de tajos dentro de la mina.

Para identificar riesgos geotécnicos, y que estos puedan ser controlados de manera adecuada, se deben hacer caminatas en los bancos, a los que se pueda tener acceso de manera segura, para observar cualquier daño producido por las actividades mineras.

La información y observaciones de cada monitoreo deben de ser documentadas de manera adecuada, para su análisis y comparación con resultados anteriores. Esto conforma una base de datos en las que se crea un historial del comportamiento de los taludes, el cual nos ayuda a realizar trabajos preventivos para controlar los riesgos, correctivos o investigaciones detalladas si se presenta algún accidente. Para conseguir esto, se aconseja tomar fotografías digitales de las zonas con inestabilidades con la misma frecuencia que se realice el monitoreo de prismas o puntos GPS.

La información recopilada acerca del monitoreo debe de ser agregada a la red para que estos archivos sean accesibles para los directores de la mina y a todo el que la necesite. Estos reportes también deben de ser incluidos en el reporte de cierre de mes para que el comportamiento de los taludes sea visto de manera práctica por el personal de la mina.

## VIII COMUNICACIÓN

---

Un proceso de comunicación efectiva se asegura de que la información fluya en dos direcciones entre el personal de operación y la dirección de la mina. Comunicar los problemas, desafíos y soluciones al personal de la mina es muy importante para obtener su participación y cooperación. Una vez que el Plan De Manejo De Riesgos Geotécnicos es aprobado, todos los nuevos procedimientos, protocolos, roles y responsabilidades tienen que ser comunicadas de una manera efectiva al personal. Una buena comunicación se asegura de que:

- Los operadores tengan un buen entendimiento de las condiciones de las zonas de inestabilidad.
- El personal esté atento a señales que sugieran algún movimiento significativo.
- Exista una buena comunicación entre las personas que trabajan realizando el monitoreo.
- Mejores oportunidades de realizar medidas para una respuesta efectiva ante peligros.

Para comunicar cualquier accidente, derrumbe o notificar cambios de alerta, primero se tiene que avisar por medio del radio, haciendo uso de la frecuencia 3. Esto con el fin de hacer llegar la alerta a la mayor cantidad de operadores posible, y si así se requiere, comenzar la evacuación de las zonas de riesgo.

## IX CAPACITACIÓN

R. 180330

El personal de la mina debe de ser capacitado para reconocer indicadores de riesgos de inestabilidades de taludes, para que estos sean capaces de informar a los supervisores y que se puedan llevar a cabo acciones preventivas y correctivas. Esto crea un personal comprometido con el reconocimiento y solución de problemas.

Dentro de la capacitación se tiene que abordar dos temas principales: reconocimiento de riesgos geotécnicos y el programa de control de monitoreo. El reconocimiento de riesgos crea conciencia en el personal de las consecuencias a las que nos podemos afrontar en caso de no prestar atención a los indicadores que se nos presentan en el tajo (pequeños derrumbes en taludes o fallas presentes). También es muy útil hacerles saber acerca de los equipos con los que se monitorea y asegurarse de que conozcan su ubicación dentro del tajo; de esta manera se va a tener un mayor cuidado en la realización de trabajos auxiliares o actividad minera en las zonas en donde se encuentran colocados los prismas, testigos y puntos GPS.

La capacitación tiene que ser muy gráfica para facilitar el aprendizaje y la correcta detección de riesgos geológicos una vez que ya se encuentre en tajo. Esta va a consistir de un curso durante su inducción de seguridad, la cual va a cubrir los siguientes aspectos:

- Detección de cambios en estructuras geológicas en zonas de inestabilidad
- Monitoreo de taludes
- Comunicación
- Ubicación de equipos de monitoreo
- Roles y responsabilidades del personal en el PMRG

## **X REVISIÓN DEL PMRG Y AUDITORIAS**

---

Se deben realizar auditorías de los riesgos geotécnicos y de los procesos que se están implementando para controlar estos riesgos. Estas tienen una frecuencia establecida y deberán ser realizadas por gente especializada externa a la mina. Los principales temas de las auditorías son:

- Condiciones geotécnicas del tajo y manejo de riesgos presentes
- Revisión del Plan De Manejo De Riesgos Geotécnicos
- Identificar los aspectos del plan que requieran revisión o modificaciones
- Identificar los aspectos que no estén funcionando del PMRG
- Revisión de la información recopilada durante el monitoreo y revisión del proceso de monitoreo llevado a cabo
- Chequeo específico de las zonas que presentan inestabilidades
- Lectura de piezómetros e interpretación de resultados
- Verificación en el cumplimiento de roles y responsabilidades

Todos los procesos relacionados al manejo de riesgos geotécnicos tienen que revisarse periódicamente y corregidos en caso de que haya alguna modificación. El plan tiene que ser un documento sometido a constante cambio con actualizaciones. Los documentos que resulten de las auditorías realizadas por BCG, deberán ser revisados por el director de la mina, y la frecuencia de las auditorías deberá ser anual, o con la frecuencia que el director lo especifique.

La revisión del PMRG tiene como propósito proveer un enfoque para reevaluar los riesgos y la efectividad del monitoreo e incluso proponer nuevas frecuencias de monitoreo, también nos sirve para medir la efectividad del PMGR en base a su desempeño, ocurrencia de incidentes, desarrollo de mejor tecnología, etc.

## **XI CONCLUSION**

---

Una vez terminado el plan, este tuvo que ser sometido a revisión para posteriormente ser aprobado por los directivos de la empresa. Al implementarlo, se consiguió tener una operación más segura y con un menor riesgo de derrumbes. También se tiene un personal mejor capacitado en el ámbito de la geotecnia, el cual sabe cómo reaccionar ante cualquier accidente generado por alguna zona de inestabilidad dentro del tajo.

Una de las ventajas más claras y que trajo un beneficio económico en la mina, fue la reducción en la prima del seguro, ya que, debido a la certificación que se obtuvo en el Sistema Integrado de Gestión por realizar y llevar a cabo el PMRG, se redujeron riesgos y consecuentemente un también un porcentaje en el pago a la aseguradora.