

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



T E S I S

**Evaluación de las tres secuencias de minado para determinar el
método de explotación por cada sección en la unidad minera
Andaychagua – Volcán Compañía Minera S.A.A.**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Jeyson Jesus QUISPE ASCANOA

Asesor:

Ing. Julio César SANTIAGO RIVERA

Cerro de Pasco – Perú - 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



T E S I S

**Evaluación de las tres secuencias de minado para determinar el
método de explotación por cada sección en la unidad minera
Andaychagua – Volcán Compañía Minera S.A.A.**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

**Ing. Toribio GARCIA CONTRERAS
PRESIDENTE**

**Mg. Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA
MIEMBRO**

**Mg. Nelson MONTALVO CARHUARICRA
MIEMBRO**



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Facultad de Ingeniería de Minas
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N°052-JUIFIM-2024

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

Presentado por:

Bachiller: Jeyson Jesús, QUISPE ASCANOA

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:

Tesis

Evaluación de las Tres Secuencias de Minado para determinar el Método de Explotación por cada Sección en la Unidad Minera Andaychagua – Volcán Compañía Minera S.A.A.

Asesor:

Ing. Julio Cesar, SANTIAGO RIVERA

Índice de Similitud: 16%

Calificativo

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 08 de febrero 2024



Dr. Agustín Arturo AGUIRRE ADAUTO
JEFE DE LA UNIDAD DE INVESTIGACION DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS

C.c.
Archivo

DEDICATORIA

A mi madre, quien con su
bendición alumbra mi camino.

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, por su dedicación y compromiso para mi formación profesional.

RESUMEN

La unidad Andaychagua de Volcán Compañía Minera S.A.A. está considerando implementar una nueva secuencia de minado en su plan de minado actual con el objetivo de aumentar los frentes de producción. La secuencia de minado actual sigue el método "corte y relleno descendente con losas de concreto" (UHC&F - Underhand Cut and Fill).

Es necesario evaluar la viabilidad de esta nueva secuencia de minería entre los Niveles 1300 y 1250, así como las condiciones de estabilidad de la galería sill en mineral del Nivel 1300, teniendo en cuenta las condiciones del proceso.

Mediante lo indicado en el párrafo anterior el objetivo del modelamiento numérico a realizar es evaluar la factibilidad de tener múltiples fuentes de producción utilizando el método de minado UHC&F (Underhand Cut and Fill) en la explotación de la unidad Minera Andaychagua. Esto implica evaluar las secuencias de avance del minado propuestas por el Volcán, así como el sostenimiento de la galería sill del Nivel 1300, donde actualmente se están registrando problemas de inestabilidad. Rocscience Inc. (2010) utilizó el software Phase2 para modelar elementos finitos bidimensionales para estas evaluaciones. Este software analizó el comportamiento elástico lineal y elasto-plástico de la roca maciza.

Palabras claves: Método de Explotación, Secuencias de Minado, Inestabilidad.

ABSTRACT

In order to have larger production fronts, the Andaychagua unit of Volcán Compañía Minera S.A.A. It is contemplating in its current mining plan to implement a new mining sequence essentially maintaining the "cut and descendant fill with concrete slabs" (UHC&F - Underhand Cut and Fill) method. Within the requirements of this process, it is necessary to verify the feasibility of this new sequence mined between Levels 1250 and 1300, and also the stability conditions of the sill gallery in ore from Level 1300.

As indicated in the previous paragraph, the objective of the numerical modeling to be carried out is to evaluate the feasibility of having multiple sources of production using the UHC&F (Underhand Cut and Fill) mining method in the exploitation of the Andaychagua Mining unit. This in turn means evaluating the mining progress sequences proposed by Volcán and also evaluating the support of the sill gallery of Level 1300 where instability problems are currently being registered. For these evaluations, two-dimensional finite element numerical modeling has been used with the Phase2 software from Rocscience Inc. (2010) considering a linear elastic and elasto-plastic behavior for the rock mass.

Through which the three mining sections were determined, which are detailed in this research work.

Keywords: Exploitation Method, Mining Sequences, Instability.

INTRODUCCION

El plan de producción de la mina se desarrolla después de elegir el método de explotación. La planificación minera es una disciplina que busca de manera estratégica brindar las mejores opciones de minado para el yacimiento en evaluación, en donde existen restricciones técnicas y económicas. Esta etapa del proceso da como resultado un plan de producción que especifica los pasos a seguir para garantizar la mejor estrategia de extracción que cumpla con los criterios impuestos para la creación del plan. Esta etapa del proceso puede comenzar a principios de un proyecto generando planificaciones al largo plazo o a periodos operativos, lo que resulta en una planificación de corto plazo. Es así como la planificación corresponde a un proceso iterativo que requiere la búsqueda de muchas opciones y determinar que, a la larga, se encuentren resultados óptimos (Darling, 2011, p. 1135).

La Unidad Minera Andaychagua - Yauli de Volcán Compañía Minera S.A.A. tiene una producción promedio de 0,12 % de Cu, 1,45 % de Pb, 5,71 % de Zn y 3,56 Oz de Ag, para el año 2022. La Planta Andaychagua será la única ubicación donde se llevará a cabo dicha producción.

La producción se compone de vetas (Veta Vanessa, Veta Andaychagua, Veta Adriana, Veta Milagros, Veta Prosperidad Este, Veta Puca Urco y Veta Andaychagua I) y cuerpos (C. Salvadora, C. Prosperidad T, C. Prosperidad I, C. Salvadora Norte y C. Andaychagua). La mina se explotará utilizando los métodos Under Cut and Fill (corte y relleno descendente), Bench and Fill (banqueo y relleno), SARC (Subniveles Ascendentes con Relleno Cementado) y Over Cut and Fill (corte y relleno ascendente). Por lo que se requiere evaluar el Método de Explotación por cada Sección en la Unidad Andaychagua.

El autor

INDICE

Página.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION

INDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ANEXOS

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación	1
1.2.1.	Ubicación.....	1
1.2.2.	Accesibilidad.....	2
1.2.3.	Geología regional	3
1.2.4.	Geología Económica.....	3
1.3.	Formulación del problema.....	6
1.3.1.	Problema general	6
1.3.2.	Problemas específicos	6
1.4.	Formulación de objetivos	6
1.4.1.	Objetivo general	6
1.4.2.	Objetivos específicos.....	7
1.5.	Justificación de la investigación.....	7
1.6.	Limitaciones de la Investigación	7

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1.	Antecedentes de estudio	9
2.2.	Bases teóricas - científicas.....	14
2.3.	Definición de términos básicos	29

2.4.	Formulación de hipótesis.....	36
2.4.1.	Hipótesis general	36
2.4.2.	Hipótesis específicas	36
2.5.	Identificación de las variables	36
2.5.1.	Variable independiente.....	36
2.5.2.	Variable dependiente	36
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores	37

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación	38
3.2	Nivel de investigación	38
3.3.	Métodos de la investigación	38
3.4.	Diseño de la investigación.....	39
3.5.	Población y muestra	39
3.5.1	Población	39
3.5.2	Muestra	39
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	39
3.6.1	Técnicas	39
3.6.2.	Instrumentos	40
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	40
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	41
3.9.	Tratamiento estadístico.....	41
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica	41

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1.	Descripción del trabajo de campo	42
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	44
4.3.	Prueba de hipótesis	46
4.4.	Discusión de resultados	46

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

	Página.
Ilustración 1. Ubicación Mina Andaychagua.	2
Ilustración 2. Vista Panorámica de la Mina Andaychagua.....	3
Ilustración 3. Domo de Yauli	3
Ilustración 4. Modelo de mineralización de la Veta Andaychagua.....	4
Ilustración 5. Zoneamiento de Mineralización.....	6
Ilustración 6. Jumbo Boomer 281.	16
Ilustración 7. Malla de perforación UCF.....	17
Ilustración 8. Simba S7D.....	19
Ilustración 9. Malla de perforación en Bench and Fill.	20
Ilustración 10. Refugio para operador de Telemando.	22
Ilustración 11. Vista longitudinal del método SARC, aplicado al cuerpo Salvador.	22
Ilustración 12. Vista en planta preparación para método SARC.....	23
Ilustración 13. Vista Isométrica diseño del método SARC.....	23
Ilustración 14. Vista longitudinal del método SARC - cuerpo Salvadora.....	24
Ilustración 15. Medidas del SIMBA S7D visto de lado.	24
Ilustración 16. Vista transversal de la perforación del método de taladros largos variante SARC.....	25
Ilustración 17. Vista Isométrica Zona minada de la veta Vanessa en el NV_1200.....	27
Ilustración 18. Medidas del SANDVIK DD311 visto de lado.	28
Ilustración 19. Vista longitudinal y en sección del CAT R1600.....	29
Ilustración 20. Procedimiento de limpieza de los tajeos en OCF.....	29
Ilustración 21. Definición de las Secciones de Análisis.....	44
Ilustración 22. Esquemas de las Tres Secuencias de Avance del Minado propuestas por Volcán	45
Ilustración 23. Comparación de los desplazamientos generados en la caja techo al término de las tres secuencias de explotación para la Sección 1. Los desplazamientos se obtienen a lo largo de la línea de control indicada.....	50
Ilustración 24. Comparación de los desplazamientos generados en la caja techo al término de las tres secuencias de explotación para la Sección 2. Los	

desplazamientos se obtienen a lo largo de la línea de control indicada.....	50
Ilustración 25. Comparación de los desplazamientos generados en la caja techo al término de las tres secuencias de explotación para la Sección 3. Los desplazamientos se obtienen a lo largo de la línea de control indicada. El análisis de estos resultados tiene las siguientes implicancias	51

ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1. Especificaciones del Distribución de Carga.....	21
Tabla 2. Distribución de explosivos para Bench and Fill.....	21
Tabla 3. Operacionalización de Variables.....	37

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página.
Anexo 1. Matriz de Consistencia	
Anexo 2. Estándar de Manejo y Plan de Contingencias	
Anexo 3. Diseño Geomecánico y Geotécnico	

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

Por lo que corresponde a las secuencias de avance del minado, se han evaluado las tres opciones de secuencia de avance del minado para cada sección de análisis, así como la existencia de múltiples fuentes de producción mediante el método de minado UHC&F, lo que significa evaluar tanto las secuencias de avance del minado como el método de minado para cada una de las tres secuencias. Se ha utilizado el modelamiento numérico de elementos finitos bidimensional con el software Phase2, teniendo en cuenta el comportamiento lineal elástico y elasto-plástico para el macizo rocoso, lo cual nos permitirá señalar el método de explotación para cada Secuencia.

1.2. Delimitación de la investigación

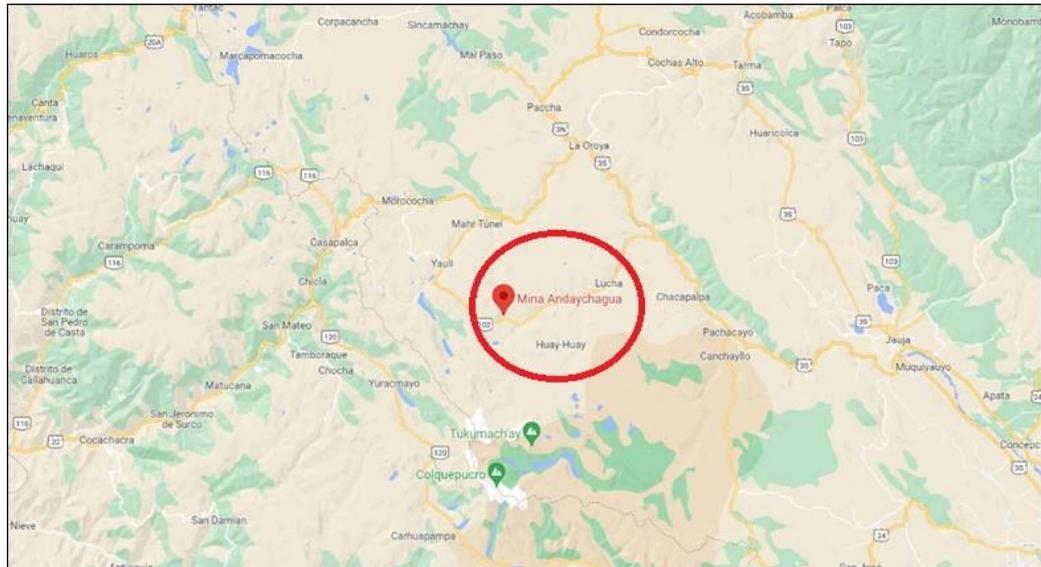
1.2.1. Ubicación

La Unidad Andaychagua se encuentra en la región Central del Perú, en 181 kilómetros hacia el sureste de Lima, en el flanco Este de la Cordillera Occidental de los Andes Centrales del Perú, según las coordenadas geográficas:

- Longitud Oeste 76°05'
- Altitud media de 4,600 m.s.n.m; y
- Latitud Sur 11°43'

Se encuentra en el Anexo San José de Andaychagua, en el Distrito de Huayhuay, Provincia de Yauli, Departamento de Junín.

Ilustración 1. Ubicación Mina Andaychagua.



1.2.2. Accesibilidad.

Andaychagua se encuentra a 8 kilómetros de la Mina Toldorrumi y a 33 kilómetros de la Planta Mahr Túnel. La mina Andaychagua está accesible por la carretera asfaltada Central. La distancia entre Lima y La Oroya es de 4 horas.

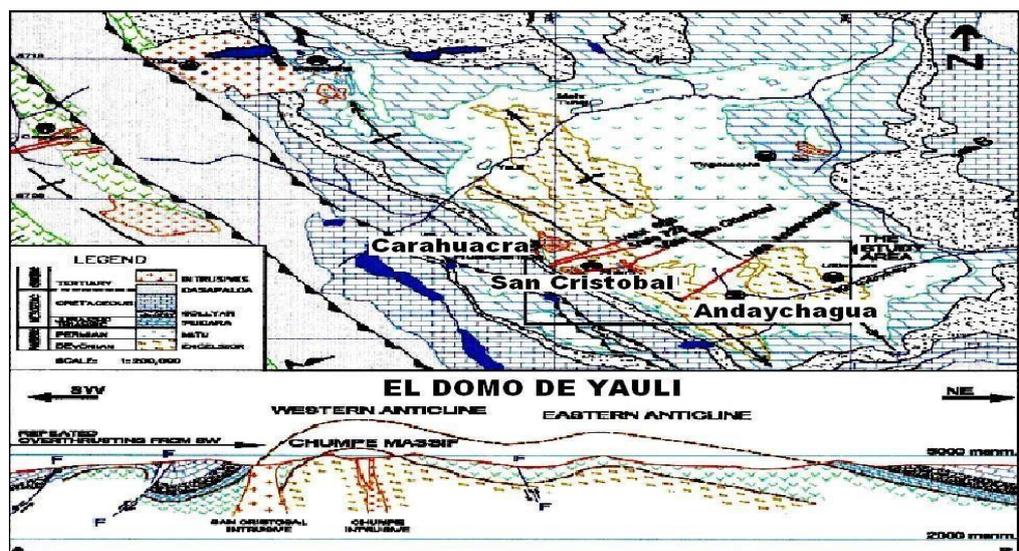
Ilustración 2. Vista Panorámica de la Mina Andaychagua



1.2.3. Geología regional

La El distrito minero de Andaychagua está localizado en la parte Sur-Este de una amplia estructura regional de naturaleza dómica (Ilustración 3), que abarca casi íntegramente los distritos de Moro cocha, San Cristóbal y Andaychagua, esta estructura inicialmente fue, denominada "Complejo Domal de Yauli" (J.V. Harrison, 1,943) y en el presente trabajo se le denomina "Domo de Yauli".

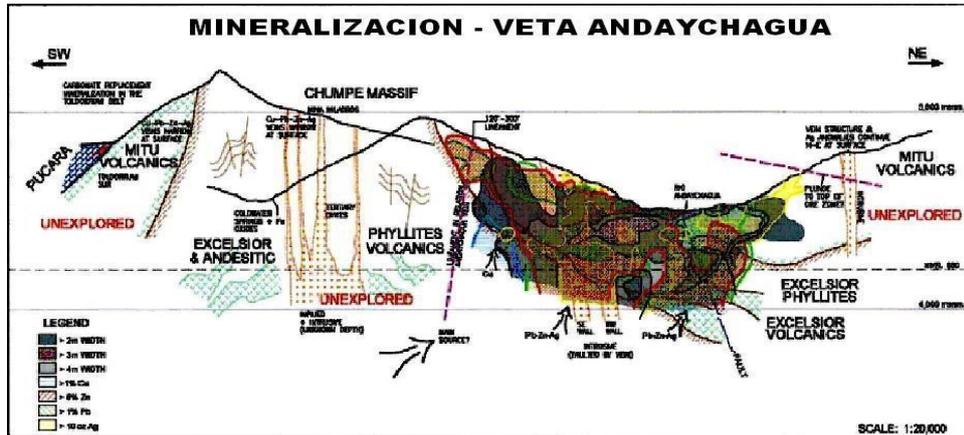
Ilustración 3. Domo de Yauli



1.2.4. Geología Económica

La mineralización de la veta Andaychagua está relacionada por la mineralización polimetálica Terciaria y al evento tectónico Post – Cretácico. (Ilustración 4).

Ilustración 4. Modelo de mineralización de la Veta Andaychagua



Distribución de Cobre, Plomo, Zinc y Plata

Las siguientes conclusiones se derivan de observaciones de campo, leyes de bloques y perforaciones diamantinas: En la parte suroeste de la veta, la esfalerita se vuelve más marmatítica, y cerca de los contactos andesitas-filitas y gabro, hay un aumento de cobre y zinc.

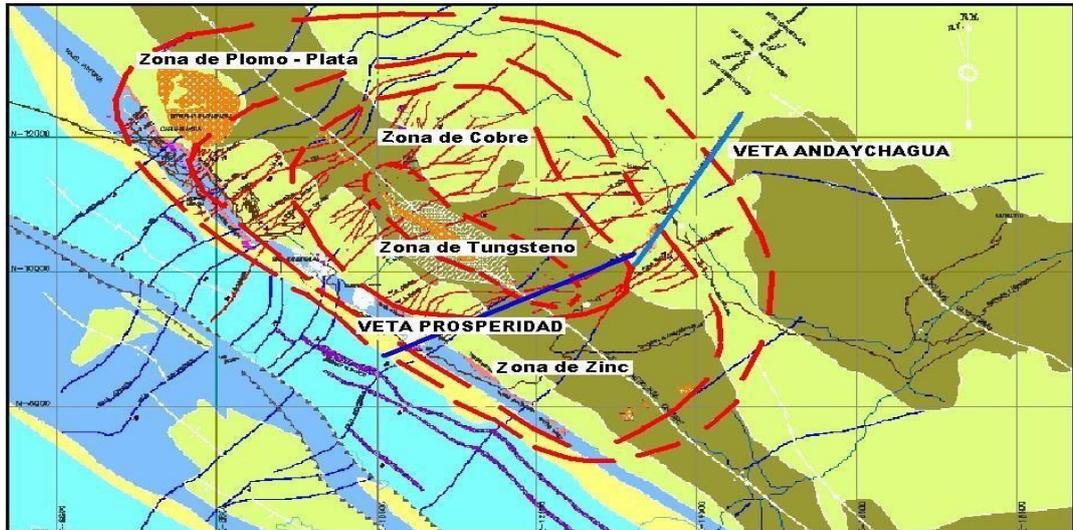
Los vínculos andesitas-filitas y andesitas-gabro, y la unión de la veta Prosperidad con la veta Prosperidad Andaychagua está cerca de altas concentraciones de zinc. Junto con estas altas concentraciones de zinc, hay una gran cantidad de arsenopirita. En la veta hacia el noreste del Río Andaychagua, los niveles de zinc, plomo y cobre disminuyen las vetas. Las soluciones han sido subhorizontales con una orientación Suroeste-Noreste de acuerdo con la distribución de minerales. Como resultado, los minerales de temperatura baja como baritina y estibina se encuentran en los lados Noreste del afloramiento y los minerales de primera etapa de

mineralización se encuentran en el contacto andesitas-filitas en el suroeste del país.

Los halos de alteración hidrotermal están relacionados con la mineralización. (Figura 5). La silicificación cerca de la veta es un signo de sericitización, caolinización y cloritización en las andesitas. En el gabro, se produce una argilización alrededor de la veta y luego una cloritización. En las filitas se observa una cierta silicificación en la zona cercana a la veta, la cual se acompaña de la argilización y cloritización.

Después de que se depositen volcanes (andesitas y brechas andesíticas), se inyecta gabro y se forma el marco estructural, comienza la alteración hipógena de las cajas. Luego, se inyectan soluciones y se cristaliza para la genética de minerales. Posteriormente, se produjeron minerales secundarios debido a la alteración de la supergena de las cajas y los minerales. En la veta Andaychagua, los cambios de rumbo y los buzamientos regulan la mineralización, presentando mejores valores cuando las cajas no son rectas. Los anchos de la veta varían tanto en la dirección horizontal como en la vertical en función del cambio de dirección y buzamiento que presentan. Se puede observar una brecha volcánica de color gris oscuro en las cajas y dentro de la veta, con una composición heterogénea (agregados de dacita y micro clastos de filitas); No es persistente en sentido vertical ni horizontal. La veta es pobremente mineralizada debido a la presencia de esta brecha.

Ilustración 5. Zoneamiento de Mineralización



1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Es posible evaluar las Tres Secuencias de Minado para determinar el Método de Explotación por cada Sección en la Unidad Minera Andaychagua – Volcán Compañía Minera S.A.A.?

1.3.2. Problemas específicos

- a) ¿Se podrá efectuar la evaluación geomecánica para determinar el Método de Explotación por secciones en la Unidad Minera Andaychagua de Volcán Compañía Minera?
- b) ¿Se puede realizar la zonificación de las secciones de la mina para definir las tres secuencias de minado en la Unidad Minera Andaychagua de Volcán Compañía Minera?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar las Tres Secuencias de Minado para determinar el Método de Explotación por cada Sección en la Unidad Minera Andaychagua – Volcán Compañía Minera S.A.A.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Efectuar la evaluación geomecánica para determinar el Método de Explotación por secciones en la Unidad Minera Andaychagua de Volcán Compañía Minera.
- b) Realizar la zonificación de las secciones de la mina para definir las tres secuencias de minado en la Unidad Minera Andaychagua de Volcán Compañía Minera.

1.5. Justificación de la investigación

En la mina se realiza la explotación a través de diferentes métodos de explotación: El método Under Cut and Fill (corte y relleno descendente), Bench and Fill (Banqueo y Relleno), SARC (Subniveles Ascendentes con Relleno Cementado) y Over Cut and Fill (corte y relleno ascendente). Todos estos procesos de excavación conllevan a efectuar la evaluación geomecánica, de todas las zonas de la mina, para obtener los parámetros de estabilidad del macizo rocoso y efectuar la zonificación de la unidad minera, para determinar el método de explotación por cada secuencia de la mina

1.6. Limitaciones de la Investigación

Para la aplicación de un determinado método explotación se requiere tener las características estructurales y mecánicas, debido a que los criterios de diseño y el análisis de los resultados sern válidos para tener los parámetros necesarios para realizar la zonificación geomecánica, la que viene a ser la

limitación que se tuvo para realizar la investigación, ya que fueron necesarias realizar varias evaluaciones para determinar la zonificación de la Unidad Minera Andaychagua.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

a) Antecedentes nacionales

- La tesis de **Paz, C. (2019)** de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa se titula "Selección y Aplicación del Método de Explotación por Corte y Relleno Ascendente, para Optimizar Costos en la Veta Gino I – Empresa Minera Minas Icas S.A.C. – Ica". El estudio actual utiliza una metodología sistematizada para seleccionar un método para la explotación de la veta Gino I. Se incluye el análisis y evaluación de las condiciones naturales (geología y geometría) y el estudio geomecánico de la estructura mineralizada, así como la evaluación de las características del macizo rocoso de su entorno. Posteriormente, se utilizó el sistema de aproximación numérica de Nicholas (1981), el método de corte y relleno ascendente. para la extracción de yacimientos

de Cu con leyes de 3,5% Cu/t y 2,85 g Au/t, respectivamente, De acuerdo con el sistema cuantitativo de Nicholas, se examinan diez estrategias para este tipo de minería subterránea, y es necesario seleccionar la que brinde mayores beneficios financieros y económicos para la empresa minera. El problema surge del mal manejo de información sobre las características geométricas, geológicas y geomecánicas del macizo rocoso para una buena selección del método de explotación. Se utilizaron investigaciones y datos del departamento de Geología y Geotecnia para identificar los elementos fundamentales del macizo rocoso, incluyendo la forma del yacimiento (tabular), el buzamiento de 75oNO, la orientación (vertical), la distribución de leyes (gradual), el fracturamiento (5 fracturas por metro), la calidad de la roca (buena), el cizallamiento del mineral y las rocas encajonantes (moderado). La evaluación económica basada en los cambios en los precios del cobre y del oro de los últimos 7 años concluye que el proyecto es sostenible económicamente y es factible económicamente. También indica hasta qué punto el proyecto será rentable con precios de cobre de \$1.55 por libra y oro de \$500 por oz, valores con los cuales la empresa no se beneficiaría.

- **Minaya, J. (2019)**, de la Universidad Nacional de Trujillo, presenta su tesis “Evaluación de Condiciones Geomecánicas y Viabilidad Técnica según Metodología Numérica D. Nicholas para selección del Método de Explotación en Veta Delia, Mina Colquirrumi” El objetivo de esta tesis es elegir un método de explotación para el yacimiento de tipo veta Delia. Se utilizará la metodología numérica de Nicholas (1981). Se divide en tres

etapas la investigación. La primera etapa refiere, en describir las condiciones geológicas (forma, potencia, buzamiento, profundidad y distribución de leyes) y geomecánicas (resistencia de la matriz rocosa, espaciamiento entre fracturas y resistencia a las discontinuidades) del macizo rocoso para roca de mineral, roca de caja de techo y roca de caja de piso). La aplicación de la metodología numérica de Nicholas (1981) es el segundo paso de la investigación, que busca alternativas de explotación técnicamente viables. Este segundo paso proporciona alternativas para el método de explotación potencial. Finalmente, en el tercer paso se lleva a cabo la evaluación de diversos factores, como los económicos (reservas, tonelaje, ley, cantidad de producción, vida de la mina), tecnológicos (recuperación, dilución, flexibilidad y velocidad de desarrollo) y ambientales (seguridad, salud y fuerza laboral). Estos factores nos permiten determinar el método de explotación apropiado para el yacimiento. Nos permite seleccionar un enfoque de explotación apropiado para este tipo de yacimiento mediante la evaluación y el cumplimiento de los pasos mencionados anteriormente. Por lo tanto, se establece un proceso de selección legítimo donde se evalúan factores como: técnico, Palabras clave: circunstancias geomecánicas, circunstancias geológicas, metodología numérica, criterio técnico, criterio económico, criterio tecnológico, criterio ambiental. económicamente, tecnológicamente y ambientalmente.

b) Antecedentes internacionales

- **Dávila, I, (2019)**, en la Universidad Central del Ecuador se titula "Diseño de Explotación del Mineral Existente en el Bloque "Cascada" del Área Minera "El Corazón", que se encuentra en la Parroquia Garcia Moreno, Cantón Cotacachi, Provincia de Imbabura. El Bloque "Cascada", ubicado en el área minera "El Corazón", inicia el diseño de explotación minera con la evaluación de reservas y la delimitación del bloque. El Bloque "Cascada" tiene dimensiones explotables de 24 metros de ancho, 60 metros de largo y 30 metros de alto, según muestras y encuestas realizadas en este sector. Las reservas calculadas utilizando el método de evaluación "inverso a la distancia" encontraron una ley promedio de 5,15 gramos por tonelada y una ley perforada de 2,8 gramos por tonelada. A pesar de las limitadas reservas, actualmente se está preparando para la próxima explotación. Según el análisis de reservas, se determinaron las propiedades de la roca para la operación minera y se consideró la fortificación en áreas falladas y fracturadas. Según el diagrama de roseta, la dirección de la galería preferida es NE-SW. Se utilizaron criterios técnicos y las características del yacimiento y del Bloque "Cascada" para determinar que el sistema de explotación es subterráneo y utiliza un método de corte y relleno. Las dimensiones de las galerías de preparación, corte y arranque, así como la cantidad de sustancia explosiva y los diagramas de perforación y voladura, afectan el diseño. El arranque se calcula utilizando las franjas de explotación que serán arrancadas en forma ascendente. Después de tener el diseño, se calculan los costos por avance de voladura, los costos totales del proyecto, las

ganancias, las utilidades y la rentabilidad. Finalmente, se clasifican los efectos del proyecto.

- **Yarmuch, J. (2017)**, de la Universidad de Chile, presenta su tesis “Diseño Óptimo de Minería Subterránea Autosoportada”. La investigación actual se enfoca en encontrar el mejor diseño para la minería subterránea autosoportada, específicamente para la retención de nivel inferior (SLS) sin relleno. El objetivo general es desarrollar e implementar un modelo de optimización para lograr el diseño de caserones ideal. Esto se hace para maximizar el beneficio de la extracción en cualquier proyecto que este método pueda explotar. Se creó principalmente un modelo de optimización binaria con el objetivo de maximizar el beneficio de los caserones. Además, se establecieron limitaciones técnicas y operativas para la aplicación de no traslape de caserones, así como limitaciones para la inclusión de pilares y losas. El autor D.S. Sandanayake creó un modelo heurístico de diseño de caserones para comparar los resultados. Este modelo crea una familia de sets de caserones distintos que cumplen con las restricciones establecidas anteriormente y incorpora una restricción al número de soluciones (parámetro heurístico) para que la implementación computacional del modelo sea factible. Para investigar lo anterior, se crearon cinco casos de estudio con diferentes cantidades de caserones potenciales como entrada. Cada uno consistió en 10 modelos variantes de la ley media, lo que resultó en un total de 200 corridas, 150 de las cuales estaban relacionadas con tres parámetros heurísticos distintos. Los cincuenta restantes se

corrieron mediante el modelo lineal. Estas acciones se realizaron para archivos de caserones factibles con niveles predefinidos, lo que significa que solo se activan las restricciones de traslape y pilares contiguos. De manera similar a los casos anteriores, se desarrolló un caso de estudio general que utilizó un modelo de caserones. Sin embargo, se incorporó una corrida asociada al archivo de caserones sin niveles predeterminados para el modelo lineal de envolventes económicas. Los resultados muestran la eficacia del modelo lineal porque permite garantizar que los resultados sean óptimos y que se pueda usar en un tiempo razonable. Con tiempos de ejecución razonables (segundos-minutos en comparación con horas con el modelo de Sandanayake), el modelo lineal con niveles genera un resultado 17.17% superior al modelo heurístico. El modelo lineal libre, por otro lado, ofrece resultados 4,70 por ciento superiores a los del modelo restringido a niveles, pero con un mayor costo computacional (66 horas más).

2.2. Bases teóricas - científicas

Corte y relleno descendente (UCF)

Introducción

Se conoce también como “Under Cut and Fill”. El minado se lleva a cabo en forma de cortes o tajadas horizontales que se desplazan corte a corte desde la parte superior del tajo. El mineral roto se carga y extrae a medida que avanza. La perforación horizontal es sostenida con shotcrete y empernada de acuerdo con el tipo de terreno. La mineralización de la zona se perfora horizontalmente con el relleno del nivel superior como techo. Cuando se dispara todo el corte, el volumen

extraído se rellena con cemento para el techo y el soporte de las cajas, creando una plataforma para el siguiente corte.

Los accesos a la estructura mineralizada son beneficiosos porque permiten el drenaje del agua resultante de las filtraciones y las perforaciones en el tajo químicos de concentración; las temperaturas y presiones varían entre límites amplios.

Descripción general

Es una manera de corte y relleno descendente en la cual el mineral se explota mediante cortes horizontales (con frente completo) iniciando en la parte superior de un tajo y avanzando hacia el fondo.

Este método se maneja en vetas inclinadas y necesita un minado selectivo, lo que accede una operación más flexible y permite que se deje en el tajo el mineral roto de bajo valor. La explotación es lenta y produce una cantidad regular de mineral, pero no permite el almacenamiento o la acumulación.

Esta técnica se emplea en roca de baja calidad. Este método de explotación implica el minado de arriba hacia debajo de los diferentes horizontes o pisos del mineral. El mineral se divide en varios niveles y se mueve en sentido descendente durante el proceso. Un corte o piso se rellena antes de comenzar otro corte en el piso inferior.

El techo del nuevo frente será sostenido por este relleno. El mineral se mina piso por piso hasta que se completa el bloque. Es una técnica costosa pero beneficiosa para el tipo de yacimiento que presenta la Mina Andaychagua.

Planeamiento

El plan de minado incluye perforación, voladura, desate manual o mecánico, sostenimiento, ventilación y limpieza, (con cemento lanzado y un conjunto de pernos split set/hydrabolt) y relleno de cemento. de acuerdo con el tipo de variante que se utilizó. Las longitudes del tajo y el ancho de la veta determinarán las secciones utilizadas. La longitud promedio de los tajos que se manejan es de 160 metros, con dos alas de 80 metros cada una.

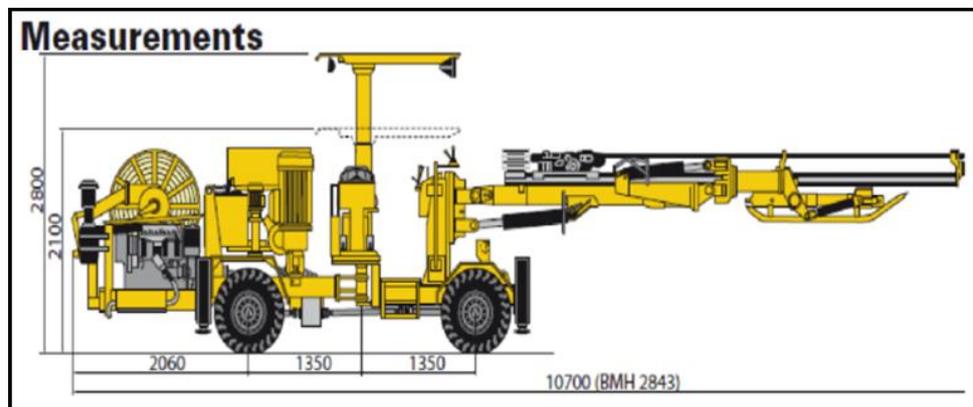
Se llevarán a cabo por pasos principales, que crearán accesos a la veta cada 40 metros. Luego, en el primer corte, se correrá una galería sobre la veta y se seguirá el método en los siguientes cortes inferiores.

Se construye una rampa que se extiende paralelamente a la veta, permitiendo el acceso a la veta para continuar tajeando en los cortes inferiores.

Ilustración 6. Jumbo Boomer 281.

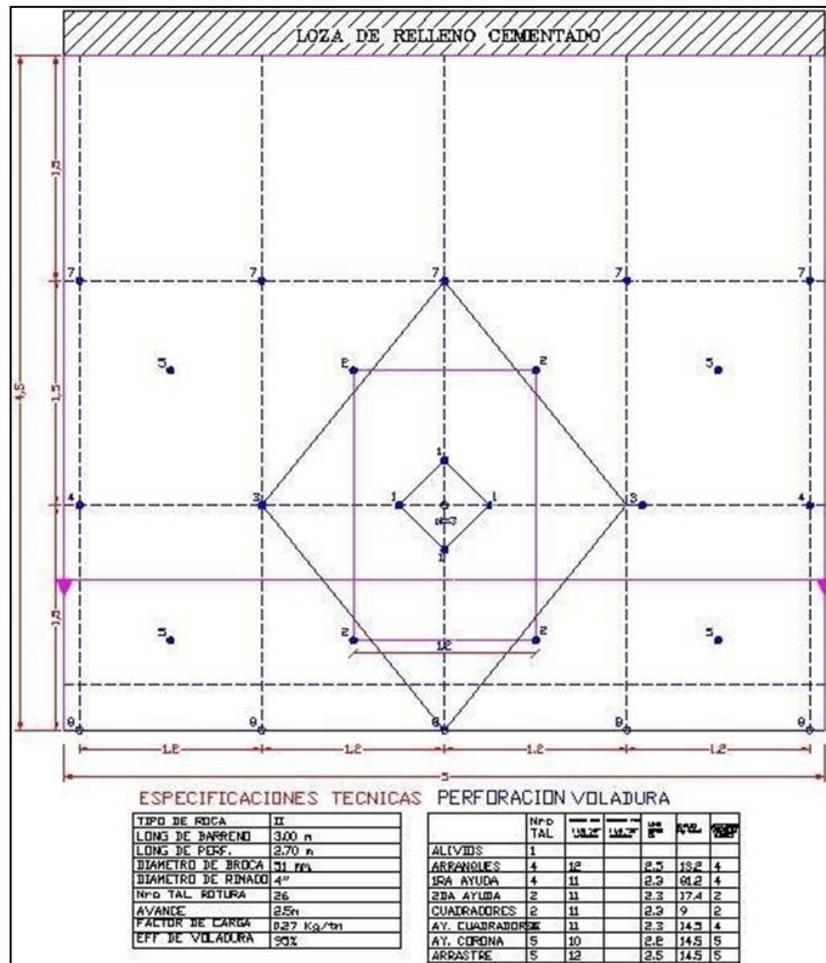
Bench and Fill (Banqueo y Relleno)

Introducción



El método se caracteriza por su gran productividad porque las labores de preparación se realizan en su mayor parte dentro del mineral debido al volumen extraído. Para evitar el colapso de las paredes, se colocan shotcrete de 2" y pernos adicionales al sostenimiento en cada subnivel de acuerdo con la sección del piso del hastial.

Ilustración 7. Malla de perforación UCF.



Este método busca intervalos verticales minando desde el nivel principal hacia los subniveles superiores. Entre los niveles principales se preparan subniveles. El mineral cae del subnivel superior hacia la zona vacía del subnivel inferior mediante taladros largos o desde los subniveles (tajeos), para luego transportarse hacia los echaderos.

Descripción general

El proceso se lleva a cabo de manera ascendente (de abajo hacia arriba), creando 02 rampas principales de Nivel a Nivel (50 m) con el propósito de realizar subniveles (en pisos de 7 m) por ambos lados hasta que se comuniquen. En un

extremo, se perfora el SLOT (Chimenea) para producir la cara libre y los taladros de producción, y luego comienza la explotación masiva mediante voladura de bloques. En el otro extremo, se lleva a cabo Para evitar que el vacío generado produzca condiciones sub estándar, este método se desarrolla de manera porcentual o en partes

Planeamiento

Para crear un acceso que cortará la veta principal y generará el piso uno (1), el primer paso en la galería principal es realizar dos rampas en espiral y/o zigzag hasta llegar a la altura estimada (7 m). Por supuesto, el acceso que conducirá al piso cero (0) también se lleva a cabo en la misma galería, con los subniveles ubicados sobre la veta hacia el Este y hacia el Oeste. Sigue así hasta llegar al nivel superior.

Preparación

En el proceso de preparación se realizaron los accesos al cuerpo mineralizado, los trabajos de acarreo, los puntos de carguío y extracción, así como los subniveles para perforar taladros largos.

a. Nivel de Producción Principal

Se llevará a cabo un By Pass principal que permite acceder a la veta cada 100 metros, luego se llevará a cabo una galería en el mismo nivel que sirve como nivel de extracción.

Los pisos superiores posteriores siguen el mismo proceso (accesos), pero no en galería, sino en subniveles cada 7m de altura, preparados sobre rocas de 250 a 300 m de longitud.

b. Rampa de Producción

Se construye una rampa paralela a la veta. Desde allí, la veta puede continuar explotando en los siguientes pisos.

c. Chimenea de Ventilación

Para generar el circuito de ventilación, se construye una chimenea de ventilación en el acceso al subnivel.

d. Echaderos

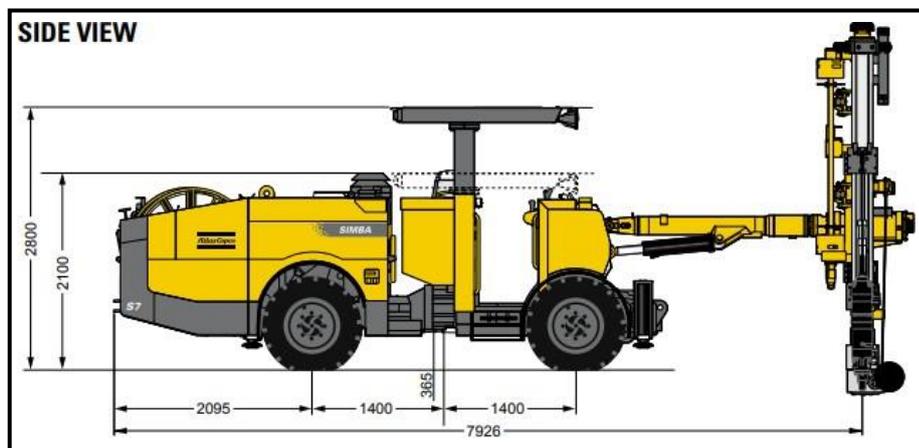
Se construye una chimenea para echadero que está conectada a la rampa.

Ciclo de minado

a. Perforación

La perforación se realiza con equipo Simba.

Ilustración 8. Simba S7D

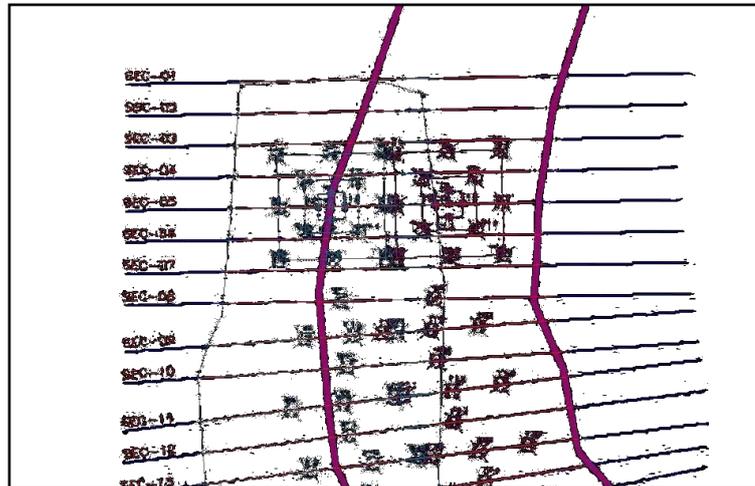


b. Diseño de malla de perforación

La perforación se diseña según la geometría de la veta o cuerpo y la calidad de las cajas techo principalmente, en el diseño es prioridad no perturbar la caja techo principalmente; así como también se ha considerado

como una variable importante el Burden, además del ancho de veta y buzamiento de la misma.

Ilustración 9. Malla de perforación en Bench and Fill.



c. Perforación de precisión

Para los mejores resultados de voladura global, el taladro necesita permitir su diseño a lo largo de su longitud total. Los taladros rectos son importantes, así la desviación deberá ser evitada lo más que sea posible con cada taladro en la posición exacta, y perforando en la dirección correcta y la apropiada profundidad.

d. Consecuencias de la desviación de taladros

Las principales repercusiones de la desviación de taladro son las siguientes:

- Los tiros pueden fallar debido a la intersección de los taladros. espacio excesivo y presión entre los taladros adyacentes.
- Los considerados Voladura secundaria.
- Fragmentación incontrolada de material roto.

- Equipamiento de limpieza El ancho y la longitud promedio de la veta lo determinan. La otra consideración es que esto resultará en costos más altos de transporte, molienda y cargado.

e. Voladura

Se han tomado las siguientes medidas para lograr una voladura ideal:

- Geología regional, local y estructural
- Naturaleza del macizo rocoso
- Geometría (Sección de subnivel, burden, espaciamiento, diámetro del taladro)
- Aspectos geomecánicos, geotécnicos y otros.
- Operativos (Personal entrenado y fragmentación requerida)
- Tiempo (retardos y secuencia de salida)
- Aspectos físico-químicos (tipo de explosivo, VOD)

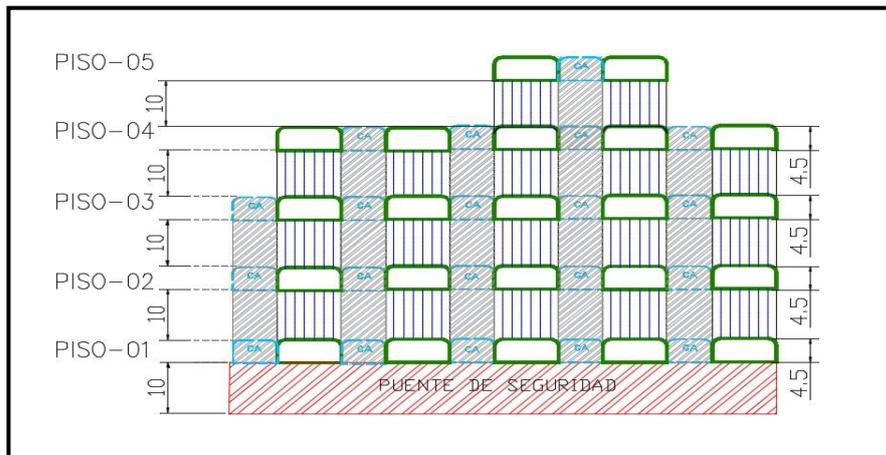
Tabla 1. Especificaciones del Distribución de Carga.

SUBNIVEL 3.5MX4.00M	FACTOR DE CARGA	KG/TM	0.60
MINERAL	FACTOR DE CARGA	KG/M	28.67
	SEMEXSA E 80% DE 1 1/8X8	CART/TM	1.34
	SEMEXSA 80 DE 1 1/8X8	CART/TM	2.31
	EXADIT 45% DE 7/8*7	CART/TM	0.61
	EXANEL DE 4.20	UNID/TM	0.25
	CORDON DETONANTE 3P	M/TM	0.22
	MECHA ENSAMBLADA	UNID/TM	0.01
	MECHA LENTA	M/TM	0.01

Tabla 2. Distribución de explosivos para Bench and Fill.

TALADROS LARGOS	FACTOR DE CARGA	KG/TM	0.22
2.5MX4.5MX6.0M MINERAL	SEMEXSA 65% DE 1 1/2X12	CART/TM	0.60
	EXANEL DE 10 m	UNID/TM	0.08
	CORDON DETONANTE 3P	M/TM	0.09
	MECHA ENSAMBLADA	UNID/TM	0.01
	MECHA LENTA	M/TM	0.10

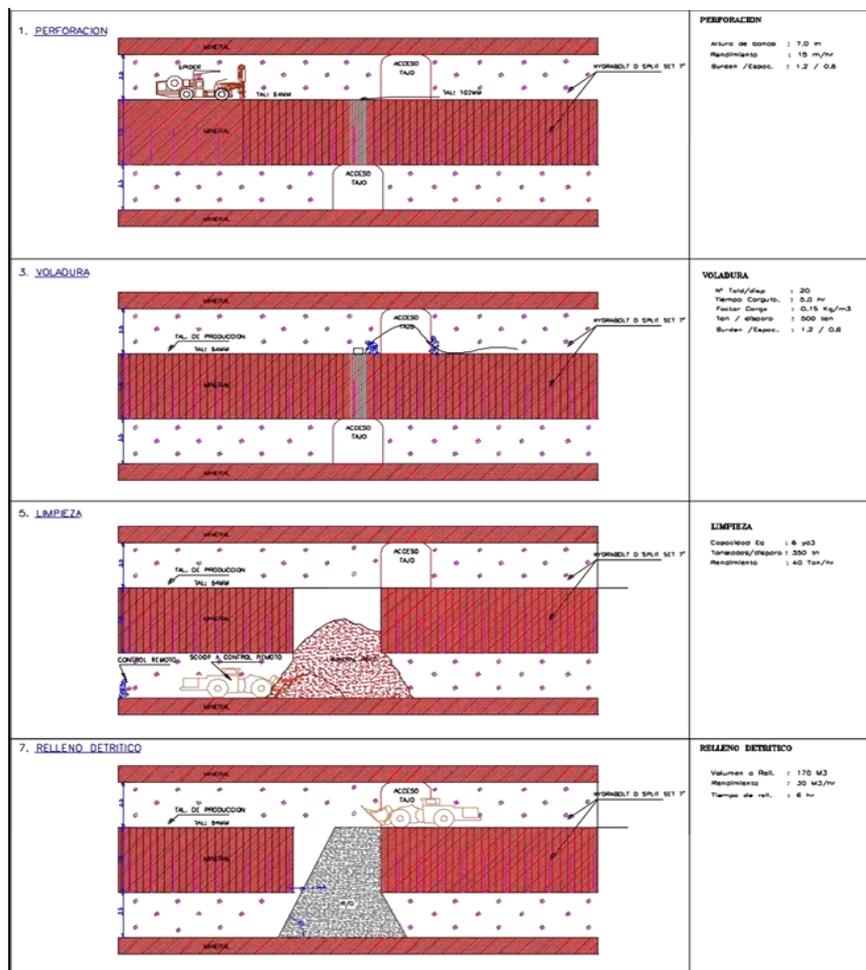
Ilustración 10. Refugio para operador de Telemando.



Sub Niveles Ascendentes con Relleno Cementado (SARC)

El método SARC se utiliza para explotar estructuras con un ancho superior a 15 metros, utilizando tajeros primarios rellenos con cemento antes de explotar tajeros secundarios.

Ilustración 11. Vista longitudinal del método SARC, aplicado al cuerpo Salvador.



Ciclo de minado

a. Labores de Preparación

La preparación comienza con un acceso desde la rampa principal 315. Luego, se abre un by-pass operativo paralelo al cuerpo Salvadora, desde donde se excavan los subniveles transversales. Este proceso se lleva a cabo 10 metros más abajo, superponiendo las cámaras.

Ilustración 12. Vista en planta preparación para método SARC.

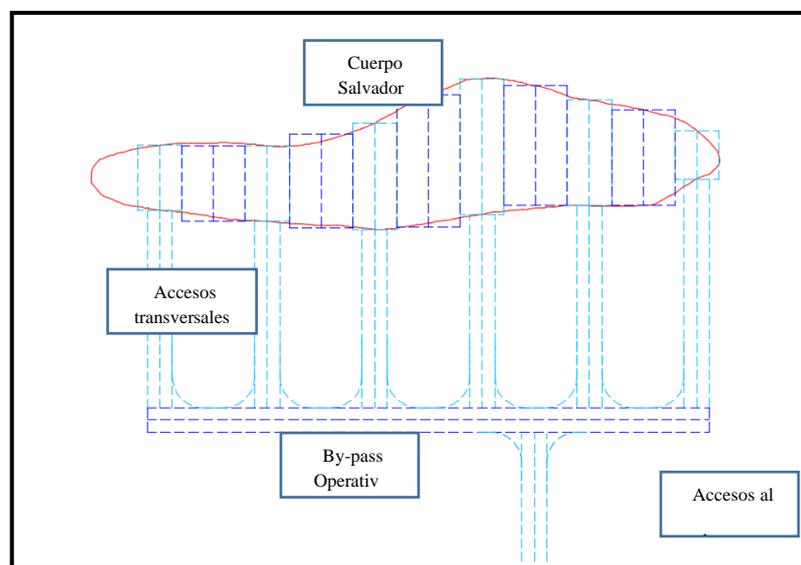
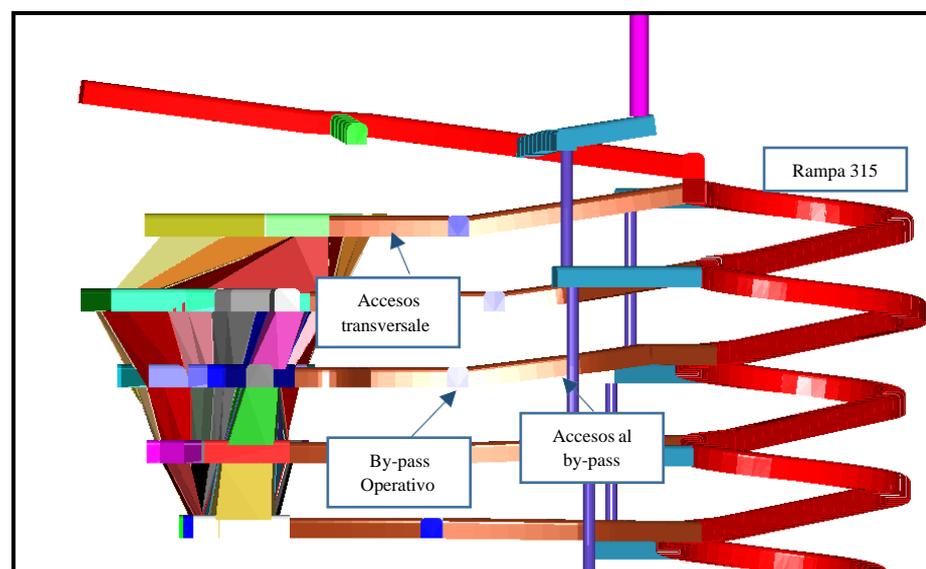
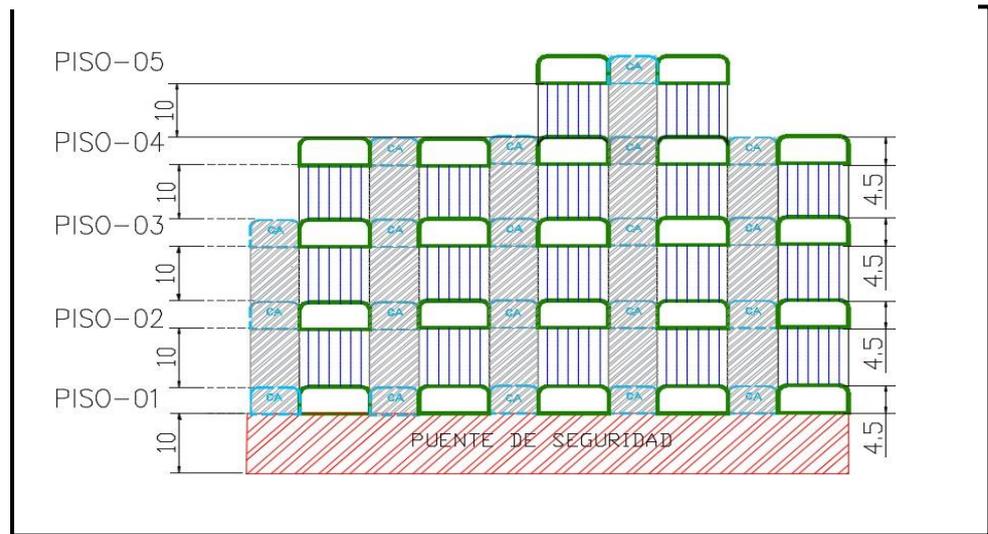


Ilustración 13. Vista Isométrica diseño del método SARC.



Este método se utiliza de forma ascendente, construyendo subniveles primarios por cada subnivel con dimensiones de 7.00 x 4.50. Antes de excavar en secuencia los subniveles secundarios, estos subniveles deben estar separados cada 10 metros.

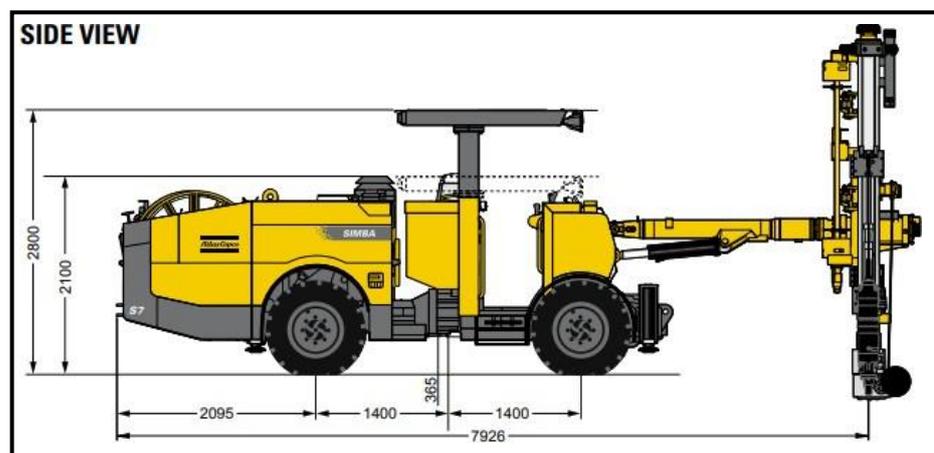
Ilustración 14. Vista longitudinal del método SARC - cuerpo Salvadora.



b. Perforación

El equipo SIMBA S7 D se utiliza para completar el proceso de perforación en la unidad Andaychagua.

Ilustración 15. Medidas del SIMBA S7D visto de lado.

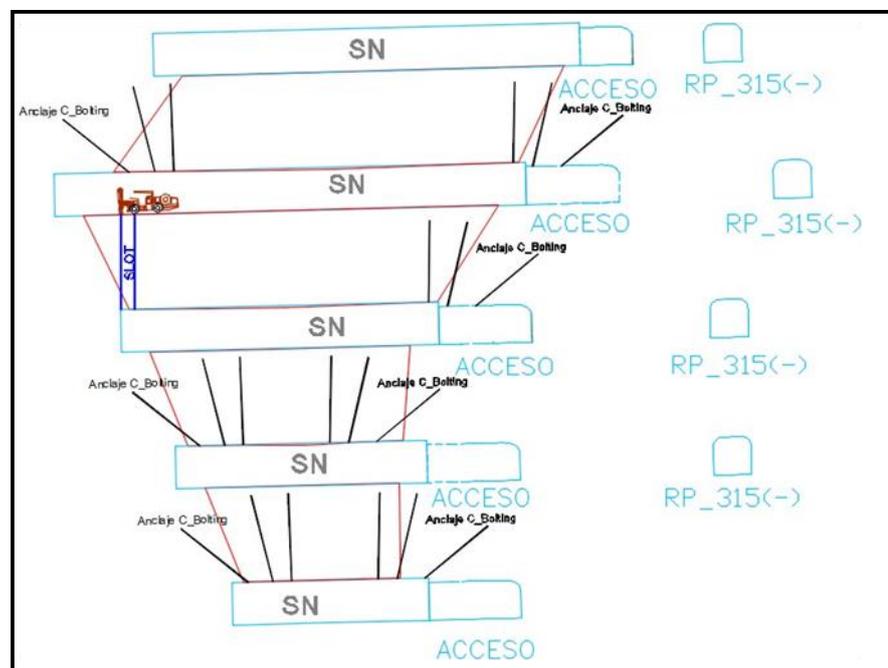


El punto donde realizaremos el diseño de los taladros está a 1.46 metros del piso, como se muestra en la imagen, es el baricentro.

c. Diseño de malla

Los tajeos primarios y secundarios tendrán mallas de perforación perpendiculares al ancho de la cámara. Según la recomendación de geomecánica, los disparos serán de 3 secciones o 5 metros aproximadamente. En primer lugar, se construirá una chimenea de agujero en la parte superior de la cámara. Después de eso, se construirán filas y/o secciones de agujero. Las dimensiones del tubo pueden ser de 1.50 x 1.50 m o 2.0 x 2.0 m, mientras que el burden x espaciamiento de los taladros de producción es de 1.50 x 1.50 m. El tipo de roca determina los parámetros.

stración 16. Vista transversal de la perforación del método de taladros largos variante SARC.



d. Indicadores de Perforación

Para cumplir con la producción planificada, el rendimiento mínimo del Simba debe ser de 4500 metros por mes. La Tabla 15 muestra los indicadores del Simba S7D en una jornada de 1 guardia de 12 horas.

e. Voladura

Para determinar el tipo de explosivo necesario, debemos conocer las condiciones geomecánicas, la presencia de agua, etc. La voladura es el proceso de fragmentación de la roca mediante la detonación de explosivos dentro de los taladros.

Para limpiar el mineral, el operador debe cerrar su área de trabajo, ubicarse en un lugar seguro (refugios) y comenzar el proceso con el telemando hasta que se complete el tajeo.

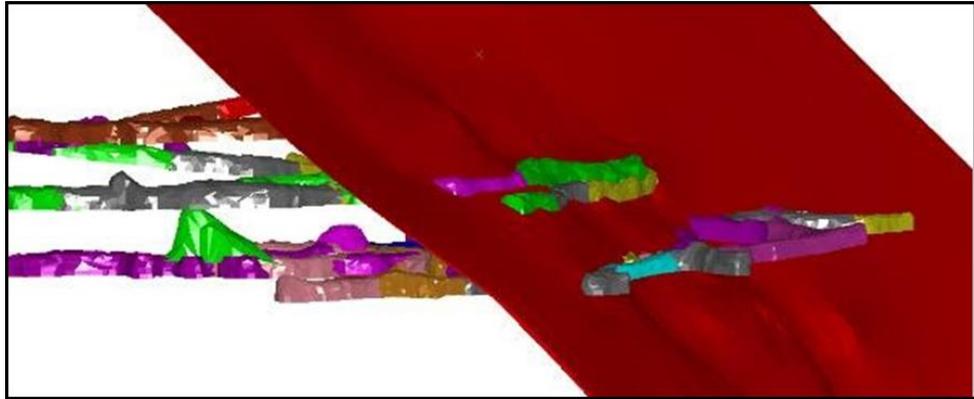
f. Relleno

La totalidad del espacio excavado se llenará con relleno cementado en las cámaras primarias. En el nivel inferior superior de la cámara, se instalará y acondicionará la línea de relleno desde la red principal. En el subnivel inferior se coloca una barrera para evitar que la carga forme el talud.

Corte y Relleno Ascendente (OCF)

Actualmente el método de corte y relleno ascendente se viene aplicando a la veta Vanessa en los niveles 1200 y 1250, actualmente se cuenta con dos frentes en el SN 668, SN 731 y se viene realizando el desarrollo para explotar un tercer frente por el AC 733A, así como el AC 670 para continuar con la explotación de la zona superior del SN 668.

Ilustración 17. Vista Isométrica Zona minada de la veta Vanessa en el NV_1200.



Ciclo de Minado

Al aplicar el método de Nicholas para la veta Vanessa obtuvimos que nuestra mejor opción es el método Over Cut and Fill (OCF).

a. Perforación

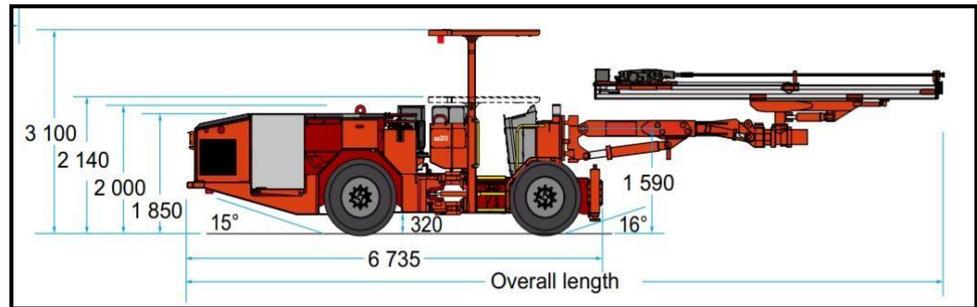
- Diseño de malla

A nivel mundial, se han postulado diversos modelos matemáticos para llevar a cabo el diseño de las mallas de perforación, entre todos los modelos elaborados podemos mencionar a Andersen, R.L. Ash, Pearse, Hino Kumao, Langefors, Konya & Walter, Foldesi, Homberg, etc. El Burden es la variable más importante y crucial de determinar.

El proceso para la realización de diseño de malla de perforación es realizado por el área de voladura, el cual al considerar los parámetros geomecánicos y el ancho de la labor, realiza un estándar de las mallas de perforación para los diversos anchos que puede alcanzar la veta Andaychagua, a continuación, mostramos los diseños realizados por el área de Voladura, el cual utiliza el arranque en hexagonal.

Ilustración 18.

Medidas del SANDVIK DD311 visto de lado.



b. Voladura

La voladura es el proceso de fragmentación de la roca, el cual se realiza a través de la detonación de explosivos colocados dentro de los taladros, para definir el tipo de explosivo requerido debemos de conocer las condiciones geomecánicas, la presencia de agua, etc., de la mina, en este caso la elección del explosivo no depende únicamente de las condiciones que presente la Veta Andaychagua, depende en conjunto de los explosivos requeridos por todas las vetas y cuerpos de la mina, para que el costo por unidad de explosivo sea menor al realizar un mayor pedido de cartuchos de explosivos, la distribución y secuencia de detonación serán las variables que se podrán controlar para conseguir una voladura óptima.

c. Limpieza

La limpieza del mineral es el proceso por el cual cargamos el mineral fragmentando a los volquetes Volvo FMX 6x4, para que este proceso sea eficiente debemos tener una zona de carguío o acumulación a manos de 150 metros para cargar el mineral y tener una limpieza óptima.

d. Equipos y Procedimiento

El equipo que se necesita para la limpieza de los tajeos explotados en la veta Andaychagua es el Scoop de 6 yardas cubicas, en la unidad se cuenta con el modelo CAT R1600.

Ilustración 19. Vista longitudinal y en sección del CAT R1600.

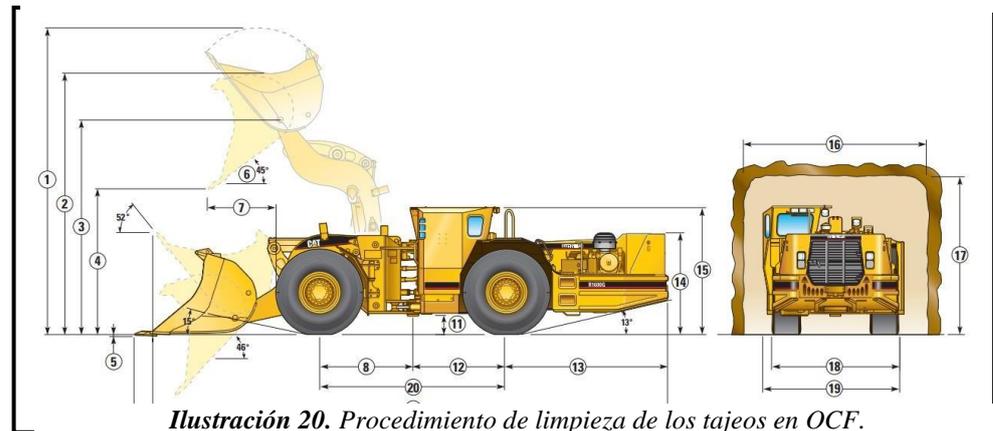
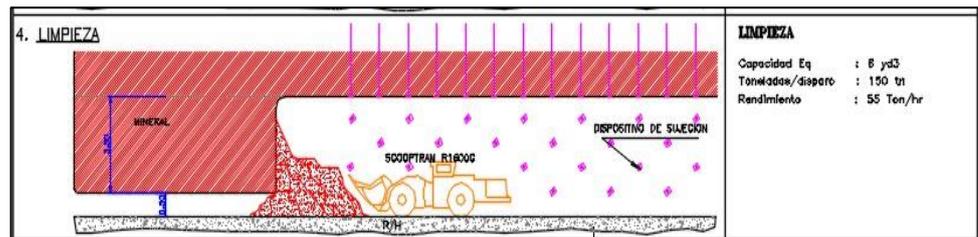


Ilustración 20. Procedimiento de limpieza de los tajeos en OCF.



2.3. Definición de términos básicos

Abra

La desembocadura de un río se encuentra en una ensenada o abertura que presenta el litoral entre dos montañas o colinas. La apertura o fractura del terreno causada por la erosión o los temblores; el vacío que se forma en las rocas como resultado de las aguas.

Afloramiento

Minerales o rocas completamente visibles en la superficie.

Alteración

Cualquier transformación física o química que experimentan las rocas y minerales después de su formación. El cambio es más localizado y gradual que la metamorfosis.

Anfo

Acrónico de nitrato de amonio y óleo combustible, una mezcla que se usa como detonador en muchas minas.

Anomalía

La mineralización en una capa rocosa subyacente puede ser indicada por cualquier desviación de una formación geológica regular. En una región geofísica y geoquímica donde la propiedad medida es significativamente mayor o menor que el área más amplia que la rodea.

Banco

Un banco puede ser comparado a un escalón en el terreno.

Bocamina

El término "bocaminas" se refiere principalmente a la boca o entrada de una mina.

Bonanza

Mineral muy rico.

Brecha

Un tipo de roca cuyos fragmentos tienen forma angular, en contraste con los fragmentos de rocas conglomeradas que tienen forma redondeada como resultado del desgaste.

Broca

El extremo cortante de un taladro generalmente está hecho de un material muy duro, como carburo de tungsteno o diamante industrial.

Campamento base

Cualquier actividad de exploración de minerales se lleva a cabo desde el centro de operaciones.

Caballo

La cantidad de roca no fértil que forma parte de una estructura mineralizada y, ocasionalmente, la divide en dos o más ramas.

Cable carril

Una vagoneta es el transporte que es utilizado para trasladar minerales o concentrados, compuesto por uno o más cables tendidos entre dos puntos elevados sobre los que se mueve.

Contactos litológicos

Que normalmente forman las cajas de techo y piso de una veta.

Criadero, Yacimiento o Depósito Mineral

Parte o parte de la corteza terrestre donde se crearon o se crean sustancias minerales útiles que logran ser explotadas para beneficiarse económico, usando la tecnología adecuada que está a disposición.

Diaclasas

Las fracturas que no han sufrido desplazamiento y que suelen aparecer en la masa rocosa también se conocen como juntas.

Discontinuidad

En geología, se utiliza para describir los límites entre capas de rocas con diferentes densidades (conocidas como discontinuidades de densidad o discontinuidades sísmicas) en el interior de la Tierra.

Estratificación

Es una superficie de roca sedimentaria que separa capas de igual o diferente litología. Estas rocas también pueden estar presentes en rocas sedimentarias que hayan surgido como resultado del metamorfismo.

Espaciado

Es la distancia entre dos discontinuidades adyacentes que se encuentra en línea recta. Este es el indicador del tamaño de los bloques de roca intacta. Los bloques serán más grandes cuando tengan menos espaciado y más pequeños cuando tengan más espaciado.

Fallas

El cambio de las fracturas por desplazamiento. Estas son fracturas menores que se encuentran en áreas locales de la mina o estructuras importantes que pueden atravesar toda la mina.

Geomecánica

El término "geo" proviene del prefijo griego "geo", que significa "tierra" y "mecánica", y se refiere al estudio geológico y geotécnico del comportamiento del suelo y las rocas.

Geotecnia

Es una parte de la geología que se ocupa de la ejecución de principios geológicos en la investigación de materiales naturales -tanto como las rocas-

que conforman la corteza terrestre y que están relacionados con el diseño, la construcción y la explotación de proyectos de ingeniería.

Investigaciones Geotécnicas

Es un proyecto de investigación geotécnica que utiliza perforaciones diamantinas para recopilar datos sobre los parámetros y características hidrogeológicas de los materiales que se encuentran en la zona de estudio.

Ley de corte

Es la zona por debajo de la cual un yacimiento no puede ser explotado económicamente. La ley sobre minerales útiles, las características mineralógicas, la situación geográfica, la infraestructura o los medios de transporte, la disponibilidad de energía, los precios de los metales, etc. son los parámetros más comunes.

Masa Rocosa

Es el medio in situ que contiene una variedad de tipos de discontinuidades, como fallas, diaclasas, estratos y otros rasgos estructurales.

Matriz rocosa

Material rocoso sin interrupciones o bloques de roca intactos entre discontinuidades. Aún en ser considerada continua, es heterogénea y anisótropa, y está ligada a la fábrica, textura y estructura, minerales y otros elementos.

Mena

La mena es un conjunto de agregados minerales o rocas de los cuales se pueden extraer uno o varios metales de manera rentable.

Orientación

Es la posición de la discontinuidad en el espacio, que se describe por su rumbo y buzamiento. Una "familia" o un "sistema" de discontinuidades se forma cuando un grupo de discontinuidades se presentan con una orientación similar y son aproximadamente paralelas.

Perfil litológico

Es una rama de la geología encargada del estudio de la composición y estructura de las rocas, incluyendo la dimensión del grano, los tipos físicas y químicas, las estructuras metamórficas, entre otras cosas. Además, incluye su composición, textura, tipo de transporte y material cementante.

Perfil geotectónico

Es el grupo de actividades que incluyen investigación subterránea, análisis y recomendaciones para la construcción y diseño subterráneos.

Perforación

Es el primer paso en el proceso de preparación de una voladura. El objetivo es abrir huecos cilíndricos en la roca llamados taladros, que albergarán al explosivo y sus componentes iniciadores.

Persistencia

Es el tamaño o la extensión de una discontinuidad. Cuanto menor sea la persistencia, más estable será la masa rocosa, y cuanto mayor sea esta, menos estable será la masa rocosa.

Pliegues

Las intrusiones de roca ígnea de forma tabular, que generalmente se presentan empinadas o verticales, son estructuras con estratos curvados.

Producción

Es la actividad que aporta valor agregado por creación y suministro de bienes y servicios.

Roca intacta

Es el bloque que se encuentra entre las discontinuidades y se puede representar mediante una muestra de mano o un trozo de testigo utilizado en ensayos de laboratorio.

Roca meteorizada

Es la disgregación de minerales y rocas que sucede sobre o cerca de la superficie terrestre cuando estos materiales ingresan en contacto con la atmósfera, biósfera y hidrósfera.

Rugosidad

Es la irregularidad o aspereza de la superficie de la discontinuidad es lo que es. La masa rocosa será menos competente cuando la rugosidad tenga menos discontinuidad, y más competente será cuando la rugosidad tenga más discontinuidad.

Relleno

Son los elementos que están dentro de la discontinuidad. La masa rocosa es menos capaz en materiales suaves y más capaz en materiales más duros.

Veta

Masa cilíndrico de material mineral que se pone en grietas, fisuras o hendiduras de un cuerpo rocoso y tiene una composición desigual a la sustancia en la que se encuentra empotrada.

Yacimiento

Lugar donde se pueden encontrar minerales, rocas o fósiles de forma natural, especialmente cuando pueden ser explotados.

Zonas de corte

Son bandas de material de diferentes metros de grosor donde ha acontecido la falla de la roca.

Zonificación geomecánica: proceso de separación de áreas de masa de roca con condiciones geomecánicas y comportamiento similares.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Evaluamos las Tres Secuencias de Minado determinaremos el Método de Explotación por cada Sección en la Unidad Minera Andaychagua – Volcán Compañía Minera S.A.A.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a) Si efectuamos la evaluación geomecánica determinaremos el Método de Explotación por secciones en la Unidad Minera Andaychagua de Volcán Compañía Minera.
- b) Si realizamos la zonificación de las secciones de la mina definiremos las tres secuencias de minado en la Unidad Minera Andaychagua de Volcán Compañía Minera.

2.5. Identificación de las variables

2.5.1. Variable independiente

X: Secuencia de Minado en la Unidad Minera Andaychagua.

2.5.2. Variable dependiente

Y: Método de Explotación por secciones en la Unidad Minera Andaychagua.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 3. Operacionalización de Variables.

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE	X: Secuencia de Minado en la Unidad Minera Andaychagua.	<p>Es necesario implementar una nueva secuencia de minado en la Unidad Minera Andaychagua, manteniendo en esencia el método "corte y relleno descendente con losas de concreto" (UHC&F - Underhand Cut and Fill). Dentro de los requisitos del proceso, es necesario evaluar la viabilidad de la nueva secuencia de minería entre los Niveles 1250 y 1300, así como las condiciones de estabilidad de la galería con mineral del Nivel 1300.</p> <p>Para estas evaluaciones, se utilizó el software Phase 2 para modelar elementos finitos bidimensionales, considerando el comportamiento lineal elástico y elastoplástico del macizo rocoso.</p>	Plan de minado	Evaluacion Geomecanica
				Parametros Geotecnicos
				Ciclo de Minado
				Produccion
			Metodo de Explotacion	Plan de Minado
				Etapas de Escavacion
				Perforacion y Voladura
				Relleno
VARIABLE DEPENDIENTE	Y: Método de Explotación por secciones en la Unidad Minera Andaychagua.	<p>En el Nivel 1200 de la Unidad Minera, se establecen secciones para el análisis cada aproximadamente 200 metros. Cada sección de análisis incluye los dominios geológicoestructurales.</p> <p>Los esfuerzos in-situ adoptados atienden a las consideraciones dadas a las propiedades de resistencia de la masa rocosa y del relleno igualmente fueron establecidas de acuerdo a las consideraciones dadas y añadiendo a estas las propiedades de la masa rocosa para $D = 0$.</p>	Desarrollo	Secciones de Analisis
			Preparacion	Zonas de influencia
			Explotacion	Nivel 1250 – 1300
				Galerias Nv. 1300

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El estudio que considera los objetivos que nos permite evaluar las Tres Secuencias de Minado para determinar el Método de Explotación por cada Sección en la Unidad Minera Andaychagua, es una investigación de carácter experimental-aplicativo, esta investigación se adecua en el nivel descriptivo, correlacional y explicativo.

3.2 Nivel de investigación

Se encuentra ubicado en el estudio, en el nivel descriptivo, explicativo y correlación

3.3. Métodos de la investigación

El estudio se localiza dentro del método de investigación lógico donde se resuelve el análisis, la deducción y la síntesis, con respecto a los métodos de explotación que serán aplicados, como también de la investigación que se maneja mediante la

observación de todo el proceso de la secuencia del minado, que influyen en la esencia del estudio.

3.4. Diseño de la investigación

El estudio está de acuerdo a la investigación cuantitativa, descriptiva y correlacional, se tiene las bases de datos que describe los resultados del análisis de la secuencia del minado a realizar en cada sección que corresponde al tipo de roca presente en cada secuencia, Luego de ejecutar las pruebas se establece un Método de Explotación para cada sección, mediante los resultados obtenidos en el análisis geomecánico realizado en la mina Andaychagua.

3.5. Población y muestra

3.5.1 Población

La población del estudio está basada en los métodos de explotación que se efectúan en la mina Andaychagua, cuyos datos nos permiten tener un panorama de toda la mina.

3.5.2 Muestra

Las muestras vienen a ser el Método de Explotación aplicado como es el “corte y relleno descendente con losas de concreto” realizados en cada etapa de las excavaciones realizadas que fueron diseñadas de acuerdo al tipo de roca y determinadas por el soporte que se tiene

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1 Técnicas

- **Recopilación y análisis de data**

Se solicito a la empresa la información con respecto a los métodos de explotación que realizan, en la que tiene todos los datos de la

geología de la mina, los estudios realizados para la aplicación de los métodos de explotación, de igual modo información obtenida durante el trabajo de campo en toda la mina.

- **Observación directa y toma de datos**

Se realizaron observaciones directas en todo el proceso de explotación de la mina, obteniendo información in-situ, para desarrollar un análisis detallado de toda la mina.

- **Búsqueda de información bibliográfica**

Se tiene a disposición en diferentes páginas de internet información con respecto al Métodos de Explotación efectuado que sirven como referencia del trabajo que realizan en Andaychagua, pero cabe detallar que cada empresa minera tiene diferentes detalles en su proceso de efectuar la secuencia de minado.

3.6.2. Instrumentos

Instrumentos de recolección de datos.

- **Materiales**

- ✓ Planos topográficos
- ✓ Informes Geológicos y Geomecánicos.
- ✓ Método de explotación, como base de datos.
- ✓ Plan de Minado anteriores y actuales.
- ✓ Informes diarios de geomecánica.
- ✓ Informes del personal involucrado en nuestro estudio.
- ✓ Brújula, mapeador, flexómetro, picota, etc.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

La evaluación de los procedimientos de explotación, nos permitirá establecer las propuestas para la implementación y adecuación de los recursos para su explotación.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Se efectuó un análisis de toda la información obtenida, junto con los datos de campo y una observación rigurosa de toda la mina lo que nos permitió obtener en detalle un procedimiento claro con relación al método de explotación que debe aplicarse para una adecuada secuencia de minado en la mina.

3.9. Tratamiento estadístico

En el proceso estadístico se siguió normalmente las fases siguientes:

- Definir qué queremos tipo de investigación se tiene que realizar.
- Seleccionar adecuadamente la muestra, que fueron los trabajos realizados con anterioridad.
- Recoger los datos de forma metodología y organizarlos bien. Mediante un mapeador y la caracterización pertinente.
- Analizar los resultados e interpretar los datos extraídos y obtenidos para encontrar la respuesta adecuada a lo planteado inicialmente en la mina, lo que conllevara a una adecuación de las conclusiones.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

La investigación se desarrolló dentro de los principios de la ética profesional, teniendo en cuenta los valores y principios de respeto, reciprocidad y justicia.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Descripción del trabajo de campo

Evaluación Geomecánica del Plan de Minado Subterráneo de Mina Andaychagua

Con el objetivo de ampliar los frentes de producción, Volcán está considerando implementar una nueva secuencia de minado en su plan de minado actual. Sin embargo, seguirá el método tradicional de "corte y relleno descendente con losas de concreto" (UHC&F - Underhand Cut and Fill). Considerando los requerimientos del proceso, es obligatorio evaluar la viabilidad de esta secuencia nueva de minería entre los Niveles 1250 y 1300, así como las circunstancias de estabilidad de la galería sill en mineral del Nivel 1300.

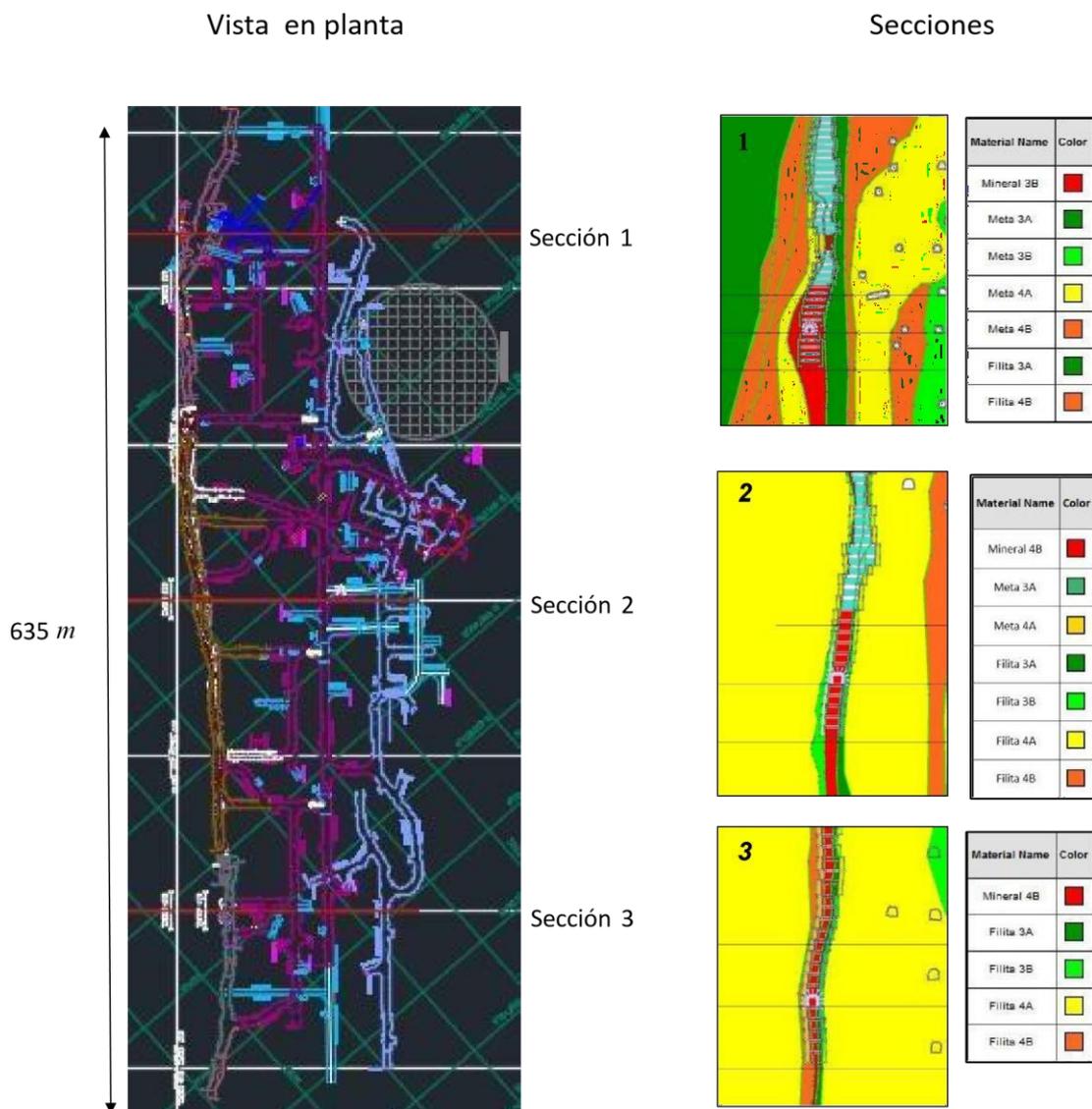
Según lo mencionado con anterioridad, el propósito del modelamiento numérico que se llevará para evaluar la viabilidad de poseer varias fuentes de producción mediante la utilización del método de minado UHC&F para la

explotación de Mina Andaychagua. Esto implica evaluar las series de avance del minado propuestas por VOLCAN, así como el sostenimiento de la galería sill del Nivel 1300, lugar donde se registran dificultades de inestabilidad en la actualidad. Para estas estimaciones, se dio uso el software Phase2 de Rocscience Inc. (2010) para modelar elementos finitos bidimensionales. Este software consideró el comportamiento lineal elástico y elasto-plástico del macizo rocoso.

La Ilustración 21 muestra una planta con la infraestructura de la mina en el Nivel 1200, con secciones definidas para el análisis cada aproximadamente 200 metros. Los dominios geológico-estructurales que se encuentran en cada sección de análisis se muestran en la figura.

Los esfuerzos in-situ nos determinan las propiedades de resistencia de la masa rocosa y del relleno igualmente añadiendo a estas las propiedades de la masa rocosa para $D = 0$. No se consideró el efecto de la presión y flujo de agua.

Ilustración 21. Definición de las Secciones de Análisis



4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

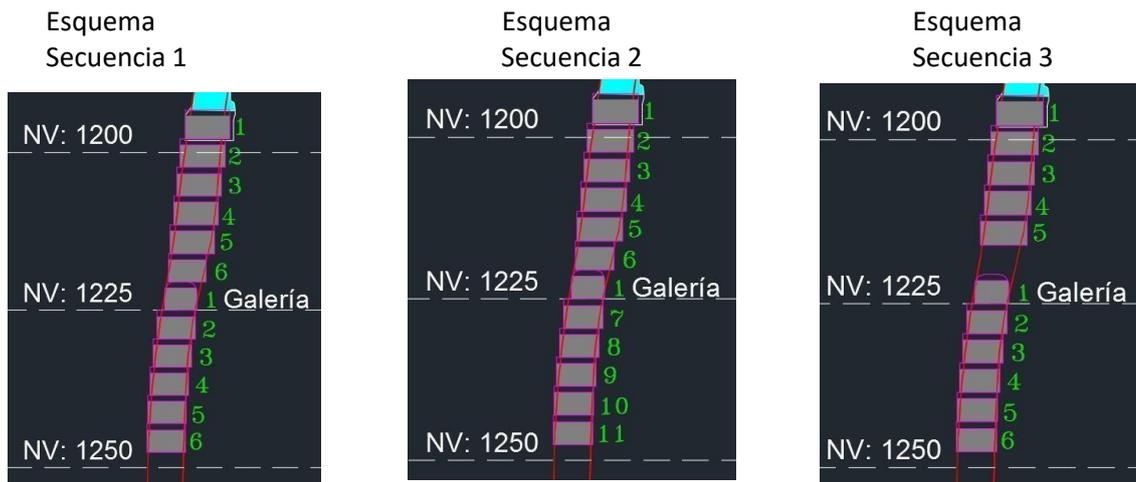
Secuencia de Análisis de Minado

Para el análisis de cada sección, se han considerado tres alternativas de secuencia de avance de minado, como se muestra en la Figura 5. Se han considerado los siguientes factores para mantener la galería de puertas del Nivel 1225:

La excavación mide 4,5 metros de ancho por 4,5 metros de altura.

- Se colocan pernos hidráulicos de roca de 7' de longitud, separados cada 1.2 m, con malla metálica electrosoldada de alambre N°10 y cocadas de 4'x4'.
- Capa de shotcrete de 2" de espesor, reforzado con fibras de acero. Se deja fraguar por 4 horas.

Ilustración 22. Esquemas de las Tres Secuencias de Avance del Minado propuestas por Volcán



Nueva capa de shotcrete de 2" de espesor con las mismas propiedades del Shotcrete inicial. Para modelar el sostenimiento, se utilizaron las siguientes propiedades:

- Módulo de deformación: 22 [GPa].
- Shotcrete
- Resistencia a la compresión: 30 [MPa].
- Resistencia a la tracción: 3 [MPa].
- Densidad: 2,300 kg/cm³.
- Razón de Poisson: 0.2.
- Diámetro del perno: 29 mm.
- Pernos hydrabolts
- Longitud: 7 [ft].

- Expandido: 42 mm.
- Resistencia al corte: 30 [kN]; y
- Resistencia a la tracción: 410 [MPa].

4.3. Prueba de hipótesis

Mediante las variables Independiente y dependiente, partes muy fundamentales del desarrollo de una investigación se admite la hipótesis que en este caso se hace referencia a una parte del planeamiento de mina para fijar si la Evaluación de las Tres Secuencias de Minado para determinar el Método de Explotación por cada Sección en la Unidad Minera Andaychagua – Volcán Compañía Minera S.A.A.

- **H0:** Secuencia de Minado en la Unidad Minera Andaychagua.
- **H1:** Método de Explotación por secciones en la Unidad Minera Andaychagua.

4.4. Discusión de resultados

Secuencia de Avance del Minado

Sección 1:

Es importante tener en cuenta que la potencia de la veta alcanza hasta aproximadamente 24 metros en esta sección. El mineral tiene una calidad de masa rocosa Regular B (IIIB), mientras que la caja de techo tiene una calidad Mala A (IVA) y la caja de piso Regular A (IIIA), según los datos proporcionados por el personal del Departamento de Geomecánica de Mina Andaychagua. La Sección 1 del análisis tiene las condiciones geomecánicas más favorables de las tres secciones.

El modelo numérico empleado muestra que se simuló el minado dentro de la masa rocosa mineralizada de calidad Regular B, con tajeos de 12 metros de ancho, que son lo que soportan las losas de concreto de Andaychagua.

Por esta situación, las paredes de tajeo serán de roca Regular B (IIIB). Es necesario que Volcán realice una evaluación geomecánica para determinar el método de minado adecuado para tajeos de mayor ancho (hasta 24 m de la potencia del mineral), pero esto está fuera del alcance del presente trabajo.

Se indica lo siguiente sobre las secuencias de avance de la Sección 1:

Entre los Niveles 1200 y 1225, en la Secuencia 1 de minado, la perturbación causada por el avance de la explotación es mayor. Las condiciones de estabilidad no son muy críticas al estar involucrada la masa rocosa de calidad Regular B (IIIB).

La perturbación causada por el avance del minado en la Secuencia 2 de minado es menor que en la Secuencia 1. En la Secuencia 2 de minado geomecánicamente, no es necesario preparar el sill del Nivel 1225 porque el minado seguirá descendiendo secuencialmente desde el Nivel 1200 hasta el 1250 como siempre se ha hecho en Andaychagua. Durante esta secuencia de minado, los desplazamientos suelen ocurrir en el rango de decímetros para la calidad de roca Regular B (IIIB).

Las sediciones causadas por el progreso del minado en la Secuencia 3 son similares a las de la Secuencia 1, pero hay una pequeña disminución global como resultado de dejar el pilar puente encima del Nivel 1225.

Sección 2:

En esta sección, las potencias de la veta son de 5 a 6 m, que es lo que más da en Andaychagua. La caja de techo inmediata es de calidad Regular B (IIIB), la caja de piso es de calidad Regular A (IIIA) y el mineral es de calidad Mala B (IVB). En este caso, las condiciones geomecánicas del mineral son más desfavorables que las de la Sección 1, pero son más favorables para las cajas. Los resultados de los análisis podrían ser positivos porque, según la experiencia en el minado de Veta Andaychagua, las cajas son de baja calidad. Se indica lo siguiente sobre las secuencias de avance en la Sección 2:

En la Secuencia 1 de minado, la explotación simultánea afecta tanto el minado superior (encima del sill) como el minado inferior. En comparación con la etapa anterior, las perturbaciones provocadas por el avance del minado son cada vez mayores. Entre los Niveles 1200 y 1225 es el área más afectada al final del minado. Debido a la mejor calidad de la masa rocosa de las cajas y la menor potencia de la veta, la Secuencia 2 de minado presenta los desplazamientos más bajos. En comparación con la Secuencia 1, esta perturbación es menor.

Las perturbaciones en la zona de minado de la Secuencia 3 son similares a las de la Secuencia 1, pero abandonar el puente de mineral in-situ encima del sill del Nivel 1225 mejora la fijación global.

Sección 3:

La potencia de la veta es menor de 3,5 m. De acuerdo con los datos de los empleados de la mina, junto con el mineral y el contenedor el techo tiene calidad Mala B (IVB) y la caja piso tiene calidad Regular A (IIIA) resultando en este caso circunstancias geomecánicas más inadecuados con respecto a las Secciones 1 y 2.

Se indica lo siguiente sobre las secuencias de avance en la Sección 2:

La Secuencia 1 de minado muestra una mayor perturbación a medida que baja el minado en comparación con la etapa anterior. Esto se debe a la mala calidad de la roca mineral y de la caja de techo, así como a la explotación simultánea. Los desplazamientos en la caja de techo oscilan entre decímetros y un poco más de un metro, lo que constituye el área de mayor perturbación.

La Secuencia 2 de minado presenta menos perturbaciones que la Secuencia 1 debido a que presenta desplazamientos menores en comparación con las otras dos secuencias en la misma sección.

Las perturbaciones causadas por el avance del minado en la Secuencia 3 de minado son similares a las de la Secuencia 1. Considerando dejar el puente de mineral in-situ favorece a la estabilidad mundial, el ambiente permanece perturbado y deformado por la explotación paralelo encima y debajo del sill del Nivel 1225.

En resumen, los tres casos de secciones examinadas (Secciones 1, 2 y 3), la Secuencia 2 de minado es la que se adapta mejor. En Mina Andaychagua, esta es la secuencia de avance del minado que se ha utilizado tradicionalmente. La Secuencia 3 y la Secuencia 1 están ordenadas en función de su aplicabilidad.

Para comparar cuantitativamente las tres secuencias de avance del minado también se ha definido para cada sección de análisis una línea de control en la caja de techo ubicado a 1 m de distancia de las excavaciones. A lo largo de esta línea de control se han obtenido los desplazamientos. Las Figuras 6.1, 6.2 y 6.3 presentan los resultados para las Secciones 1, 2 y 3 respectivamente.

Ilustración 23. Comparación de los desplazamientos generados en la caja techo al término de las tres secuencias de explotación para la Sección 1. Los desplazamientos se obtienen a lo largo de la línea de control indicada.

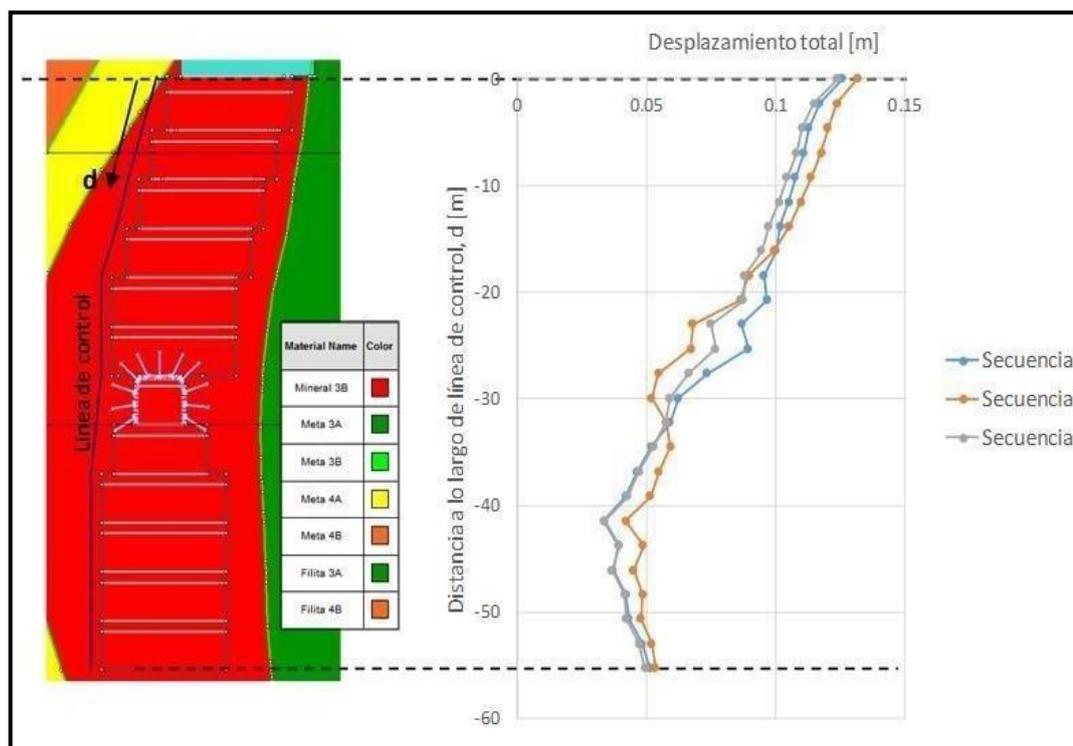


Ilustración 24. Comparación de los desplazamientos generados en la caja techo al término de las tres secuencias de explotación para la Sección 2. Los desplazamientos se obtienen a lo largo de la línea de control indicada.

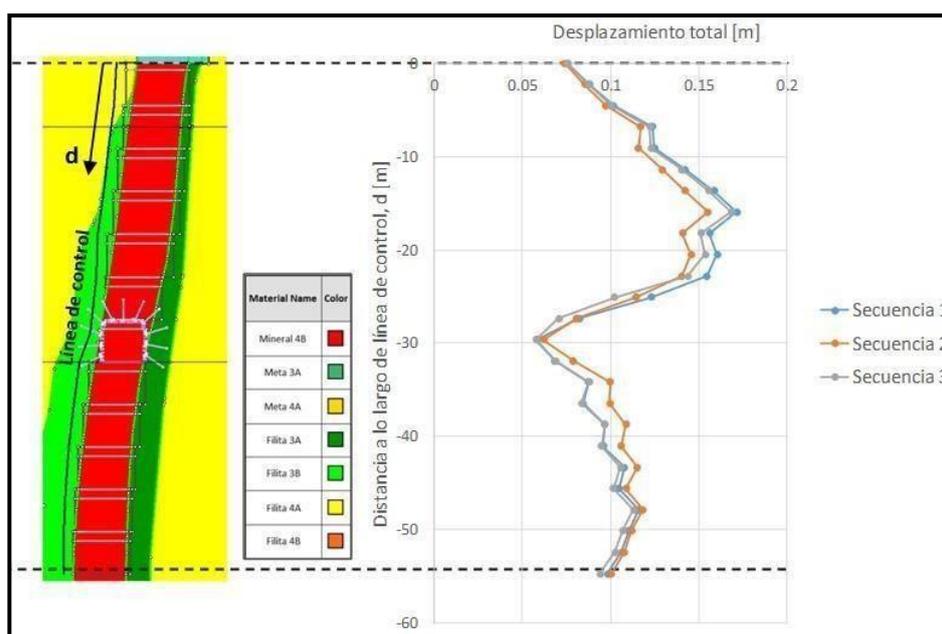
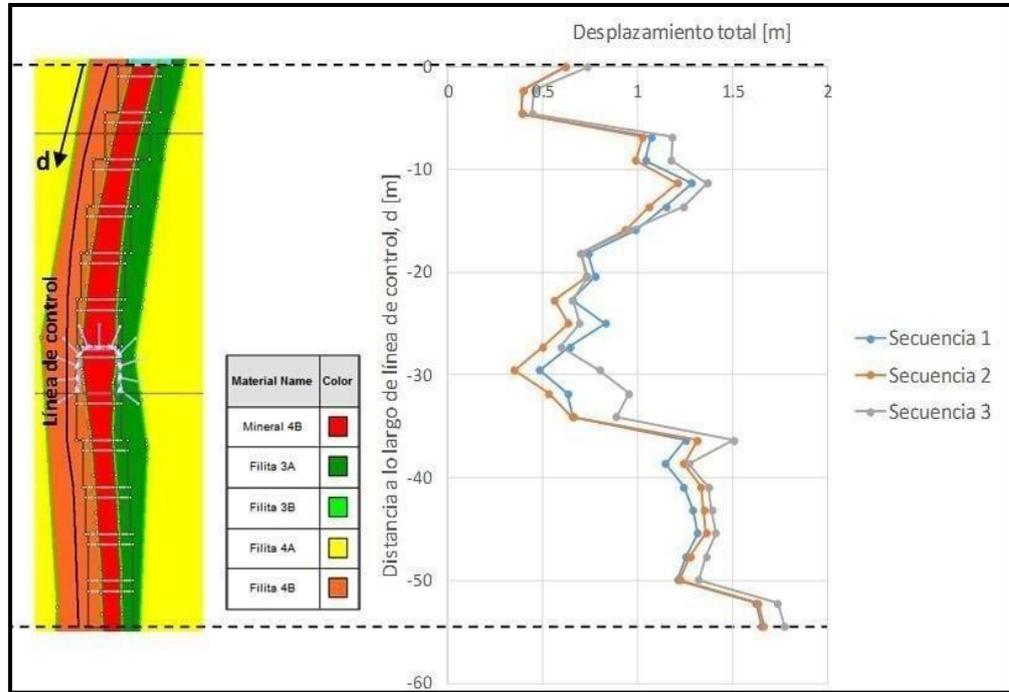


Ilustración 25. Comparación de los desplazamientos generados en la caja techo al término de las tres secuencias de explotación para la Sección 3. Los desplazamientos se obtienen a lo largo de la línea de control indicada. El análisis de estos resultados tiene las siguientes



Debido a que se producen los menores desplazamientos acumulados en la mayor parte de la caja techo, la Secuencia 3 es la secuencia más favorable para la estabilidad geomecánica en la Sección 1. Hay que tener en cuenta que, en este caso, esta sección representa las condiciones geomecánicas más favorables en comparación con las otras dos secciones. Es importante considerar las limitaciones establecidas en cuanto al ancho de los tajeos.

En las secciones 2 y 3, la secuencia 2 produce los menores desplazamientos acumulados en la mayor parte de la caja techo, lo que la convierte en la secuencia más favorable para la estabilidad geomecánica.

CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos en esta evaluación no se pueden generalizar, estos dependen principalmente de las condiciones geomecánicas de la masa rocosa, en particular de la calidad de la misma, y de la potencia de la veta Andaychagua. Por ello, en la aplicación de estos resultados se debe tener en cuenta cada caso particular en relación a su semejanza con las secciones analizadas.
- La Secuencia 2 se adapta mejor a los tres casos de secciones analizadas (Secciones 1, 2 y 3) en comparación con las tres secuencias de avance del minado que se consideraron en los análisis realizados. Esta es la secuencia de avance del minado que se ha utilizado tradicionalmente en Mina Andaychagua. La Secuencia 3 y la Secuencia 1 se encuentran en orden de aplicabilidad.
- Debido a que produce los menores desplazamientos acumulados en la mayor parte de la caja techo, la Secuencia 3 de minado en el caso de la Sección 1 tiene una probabilidad similar de aplicación que la Secuencia 2. Hay que tener en cuenta que en este caso, esta sección representa las condiciones geomecánicas más favorables en comparación con las otras dos secciones. Es importante considerar las limitaciones establecidas en cuanto al ancho de los tajeos.
- Las restricciones señaladas para la Sección 1 en la conclusión anterior están referidas principalmente al ancho de tajeos, habiéndose considerado en los análisis ancho límite de 12 m
- La potencia de la veta en este caso varía de 8 m hasta 24 m.
- La aplicación del método de minado “corte y relleno descendente con losas de concreto armado” (UHC&F), como se viene utilizando en Mina Andaychagua, para potencias mayores de 12 m debe ser motivo de una nueva evaluación geomecánica

para establecer el método de minado adecuado para estas mayores potencias de la veta, aspecto que escapa al alcance del presente trabajo.

- En cuanto al sostenimiento actual que se viene utilizando en la galería sill del Nivel 1225, consistente en la aplicación de una primera capa de shotcrete de 2” de espesor + pernos hydrabolts de 7’ espaciados cada 1.2 m con malla electrosoldada + otra capa de shotcrete de 2” de espesor, este es adecuado para las condiciones geológicas geomecánicas de la Sección 1, que es la sección de condiciones geomecánicas más favorables respecto a las otras dos secciones.
- En las Secciones 2 y 3, en las cuales ocurren condiciones geomecánicas desfavorables, típico de la Veta Andaychagua, se concluye que es compleja la estabilización de la galería Sill con el sistema de sostenimiento analizado en condiciones geológicas similares a estas secciones.
- En terrenos de esta característica geológica - geomecánica es posible que se produzcan derrumbes por la mala calidad del macizo rocoso, si no se adoptaran medidas de estabilización adecuadas.

RECOMENDACIONES

- El mejoramiento de la calidad y cantidad del sostenimiento, en este caso utilizando arcos noruegos (lattice girder), mejoran las condiciones de estabilidad de la galería sill del Nivel 1225, pero aún son insuficientes para una estabilidad adecuada, dada la mala calidad de la masa rocosa de las Secciones 2 y 3. Se recomienda al respecto evaluar el uso de arcos metálicos cedentes con perfiles omega.
- Es necesario indicar que, según los resultados de los análisis realizados, existe interacción entre los Niveles 1225 y 1200, a través de la zona plástica de la caja techo. Es decir, la construcción de la galería sill del Nivel 1225 influye en las condiciones de estabilidad de los tajeos ubicados encima de este nivel. Es esta también la razón por la cual no es recomendable las Secuencias 1 y 3 de minado, por la influencia recíproca entre el minado simultáneo debajo y encima del Nivel 1225.
- Se sugiere que el servidor del Departamento de Geomecánica de Mina Andaychagua realice un análisis retrospectivo (back analysis) de las dificultades de inestabilidad (derrumbes) que puedan surgir en la galería sill u otras labores mineras relacionadas con el minado de Veta Andaychagua. Los resultados de estos análisis servirán para la calibración de los modelamientos que se puedan hacer en el futuro para optimizar la secuencia de avance del minado y el sostenimiento.
- También es recomendable por un lado llevar a cabo programas de instrumentación para monitoreo de desplazamientos en los diferentes componentes estructurales asociados al minado, por otro lado, imprimir rapidez en el ciclo de minado para mejorar las condiciones de estabilidad de las excavaciones.
- Finalmente, los análisis realizados no han tomado en cuenta el impacto del agua en la estabilidad del trabajo. Esto resulta en la pérdida de trabazón del macizo, lo que

resulta en una situación aún más perjudicial para el manejo de la estabilidad de las labores mineras.

- Por lo tanto, se recomienda la implementación de varios métodos de drenaje.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

Bieniawski Z.T. “Engineering Rock Mass Clasification” Wiley – Interscience Publication – 1988-1989.

Bautista Condori, J. (2017). Diseño y Planeamiento de Minado Subterráneo para Incrementar la Producción diaria de la Unidad Operativa Pallancata-Proyecto Pablo-Compañía Minera Ares S.A.C. Tesis presentada para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Recuperado el 15 de 11 de 2018, de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4072/Bautista_Condori_Julio_Saraeen.pdf?sequence=1

Buendia Sulca, A. (2010). Incremento de la Productividad del Método de Corte y Relleno Ascendente Semi-mecanizado en Consorcio Minero Horizonte S.A. Tesis para optar el titulo de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional del centro del Perú, Huancayo. Recuperado el 15 de 11 de 2018, de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3159/Buendia%20Sulca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Castillo Zegarra, M. (2018). Incremento de la producción Mediante el Método de Explotación

Corte y Relleno Ascendente Semi-mecanizado en el tajo 767 - CIA Minera Caudalosa S.A. Tesis para optar al titulo profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo. Recuperado el 27 de 02 de 2019, de <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/11171/Catillo%20Zegarra%2c%20Marvin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CIA minera Ares S.A.C. (05 de 06 de 2018). Corte Y Relleno Semimecanizado.
Proyecto, Trujillo.

Crawford, J., & Hustrulid, W. (1979). Open Pit Mine Planing and Design. New York:
AIME American Institute of Mining, Metalúrgical, and Petroleum Enginners.

Flores, G., & Karzulovic, A. (2002). Geotechnical Guidelines for a Transition from Open
Pit to Underground Mining. Australia: Benchmarking Report, JKMRC.
Geotecnia. (2003). Guías

Geotécnicas para una Transición desde Rajo Abierto a Minería Subterránea -
Caracterización

Geotecnia. La Serena - Chile: Primer Taller Geotécnico Interdivisional organizado por
División Chuquicamata de Codelco.

GestioPolis. (10 de 09 de 2015). Corte y relleno cámaras y pilares: métodos de minería
subterránea. Obtenido de [https://www.gestiopolis.com/corte-y-relleno-
camarasy-pilaresmetodos-de-mineria-subterranea/](https://www.gestiopolis.com/corte-y-relleno-camarasy-pilaresmetodos-de-mineria-subterranea/) Instituto Tecnológico
GeoMinero de España. (1991).

Manual de evaluación técnico economica de proyectos de inversión. España: Instituto
Tecnológico GeoMinero de España. 106

Laura Lazo, H. (2015). Implementación del método corte y relleno ascendente
semimecanizado para mejorar la productividad en Mina Julcani, Compañía de
Minas Buenaventura S.A.A. Tesis presentada para optar el título profesional de
Ingeniero de Minas, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.
Recuperado el 18 de 11 de 2018, de
[http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1347/2015%20%20tesis
%20Laura%20ORIGINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1347/2015%20%20tesis%20Laura%20ORIGINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ortiz, C. (28 de 04 de 2018). Apuntes de curso de explotación de minas. Obtenido de Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería de Minas.

QualiconLatam . (05 de 01 de 2015). Estrategias del Planeamiento Estratégico. Lima, Lima, Perú.

Ramírez Gómez, J. (2010). Aplicación del Método de Explotación Long Wall en Vetas auríferas angostas en la zona Patrick - Marsa. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional de Ingeniería , Lima. Recuperado el 2018 de 05 de 25, de Cybertesis: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1669/1/ramirez_gj.pdf Sandvick. (12 de 10 de 2013). Gestión de mantenimiento

Sandvik del Perú S.A. Recuperado el 12 de 01 de 2019, de slideshare:

<https://es.slideshare.net/edgarvel/gestin-de-mantenimiento-sandvik-del-per-sa>

UDA. (02 de 05 de 2002). Índice de Apuntes. Obtenido de Apuntes sobre Métodos de Explotación:

<http://plata.uda.cl/minas/academicos/hmery/archivo.htm> UNAM. (05 de 06 de 2018).

Métodos de Explotación. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/22497262/metodo-deexplotacion-corte-y-relleno> UNAM

Valencia, G. (2009). Método de corte y Relleno - Universidad Autónoma de México. (U. N. México, Ed.) Recuperado el 05 de 06 de 2018, de <https://es.scribd.com/doc/22497262/metodo-de-explotacion-corte-y-relleno> UNAM

ANEXOS

Anexo I. Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA						
TÍTULO: Evaluacion de las Tres Secuencias de Minado para determinar el Metodo de Explotacion por cada Seccion en la Unidad Minera Andaychagua – Volcan Compañía Minera S.A.A.						
Tesista: Bach. Jeyson Jesús, QUISPE ASCANOA						
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	TIPO Y NIVEL DE INVEST
<p>GENERAL: ¿Es posible evaluar las Tres Secuencias de Minado para determinar el Método de Explotación por cada Sección en la Unidad Minera Andaychagua – Volcán Compañía Minera S.A.A.?</p> <p>Problemas específicos A. ¿Se podrá efectuar la evaluación geomecánica para determinar el Método de Explotación por secciones en la Unidad Minera Andaychagua de Volcán Compañía Minera? B. ¿Se puede realizara la zonificación de las secciones de la mina para definir las tres secuencias de minado en la Unidad Minera Andaychagua de Volcán Compañía Minera?</p>	<p>GENERAL: Evaluar las Tres Secuencias de Minado para determinar el Método de Explotación por cada Sección en la Unidad Minera Andaychagua – Volcán Compañía Minera S.A.A.</p> <p>Objetivos específicos A. Efectuar la evaluación geomecánica para determinar el Método de Explotación por secciones en la Unidad Minera Andaychagua de Volcán Compañía Minera? B. Realizara la zonificación de las secciones de la mina para definir las tres secuencias de minado en la Unidad Minera Andaychagua de Volcán Compañía Minera.</p>	<p>GENERAL Si evaluamos las Tres Secuencias de Minado determinaremos el Método de Explotación por cada Sección en la Unidad Minera Andaychagua – Volcán Compañía Minera S.A.A.</p> <p>Hipótesis específicas A. Si efectuamos la evaluación geomecánica determinaremos el Método de Explotación por secciones en la Unidad Minera Andaychagua de Volcán Compañía Minera. B. Si realizamos la zonificación de las secciones de la mina definiremos las tres secuencias de minado en la Unidad Minera Andaychagua de Volcán Compañía Minera.</p>	<p>INDEPENDIENTE X: Secuencia de Minado en la Unidad Minera Andaychagua.</p> <p>DEPENDIENTES Y: Método de Explotación por secciones en la Unidad Minera Andaychagua..</p>	<p>- Planiamiento Minero - Métodos de explotación - Parámetros Geotecnicos - Sostenimiento de mina</p>	<p>Gestión Minera Proceso de producción Geomecanica y Geotecnia Seguridad Minera. Sistema y evaluación de relleno. Geología Costos del proceso.</p>	<p>TIPO: Aplicada .</p> <p>NIVEL: Evaluati va.</p>

Anexo 2. Estándar de Manejo y Plan de Contingencias

A. Adquisición de Productos Químicos Nuevos

Durante el proceso de revisión antes de la adquisición, se realizará lo siguiente:

- ✓ Almacén pedirá al proveedor antes de hacer la adquisición la MSDS y hoja técnica del producto.
- ✓ El Departamento de SSOMA con Operaciones Comparar las alternativas de productos nuevos con otros productos de características menos agresivas, tóxicas o que generen menos residuos para facilitar el envasado, almacenamiento, valorización, recuperación o eliminación.
- ✓ Verificar si el producto altera el nivel de riesgo del área.
- ✓ Comprobar si el producto genera residuos peligrosos que dificulten su disposición final deses así se deben buscar alternativas.
- ✓ Verificar si se trata de un insumo químico fiscalizado o controlado por alguna institución gubernamental.
- ✓ Optimizar el stock de almacenamiento según compatibilidad, considerando los consumos mensuales facilitando su almacenamiento según los criterios de compatibilidad del producto.
- ✓ En el caso de productos de limpieza, preferir siempre detergentes basados en jabones alcalinos biodegradables a base de hidrocarbonados.
- ✓ No comprar, almacenar ni transportar hacia dentro o fuera de las instalaciones de la Unidadningún Mat-Pel (incluyendo residuos peligrosos) sin la autorización expresa del responsable del Área de Logística, Medio Ambiente y Seguridad de la unidad minera, según corresponda.
- ✓ La compra de nuevos productos químicos deberá ser en la cantidad estrictamente necesaria, de tal modo que se evite el vencimiento y sobre Stock de los mismos,

para reducirlos gastos adicionales en su manejo y disposición como residuos peligrosos.

B. Sustancia Peligrosa en Uso - Reposición

- ✓ Almacén debe verificar que las MSDS estén actualizadas, de no ser así solicitar al proveedor antes de la reposición y descartar la de los productos en desuso. En caso de incumplimiento TUMI CONTRATISTAS MINEROS SAC podrá cambiar de proveedor.

Almacenamiento y Manipulación de Productos Peligrosos

- ✓ Las MSDS de Sustancias Químicas Peligrosas deben ser mantenida en electrónico y/o en físico por el área de logística y el Departamento de SSOMA.
- ✓ El área de logística deberá de realizar un análisis formal de incompatibilidades entre los productos almacenados en cada una de las áreas mapeadas. Para ayudar en el análisis de la incompatibilidad, se consulta el anexo N° 02 Tabla de incompatibilidad, así como las recomendaciones que figuran en la MSDS.
- ✓ Se debe tomar en cuenta las indicaciones del D.S. N° 055-2010-EM, considerando:

Sistema de ventilación

- ✓ Señalización correcta
- ✓ Disponibilidad de equipos de protección personal y equipos de protección colectiva Área administrativa separada del área de almacenaje Identificación y rotulación adecuada.
- ✓ Las sustancias fraccionadas y las muestras enviadas para los análisis químicos para el laboratorio deben estar etiquetadas con el diamante de

Hommel.

- ✓ Ser adecuado a las indicaciones contenidas en las MSDS. Tener dispositivos de contención, kits para emergencias Las incompatibilidades de las sustancias peligrosas.
- ✓ No se permite la reutilización de envases (PET y alimentos) para el almacenamiento y transporte de sustancias peligrosas.
- ✓ El uso de envases o contenedores de sustancias peligrosas para acondicionamiento de alimentos no está permitido.
- ✓ Todas las sustancias peligrosas se almacenan correctamente identificadas y etiquetadas.

Almacenamiento en Tanques y Depósitos de Sustancias

Inflamables

Los tanques y depósitos de sustancias inflamables deberán estar señalizados con la indicación de peligro y prohibir el uso de “Fuego Abierto” en las proximidades siendo el acceso restringido, solo a trabajadores autorizados.

- ✓ Los tanques de combustibles inflamables deben tener fijo y en un lugar visible la señalización del tipo de producto y la capacidad máxima del mismo.
- ✓ Los dispositivos de señalización deben mantenerse en perfectas condiciones.
- ✓ En todos los cambios en instalaciones de sustancias químicas, deberá haber una evaluación previa.

Etiquetado

Las diferentes presentaciones de los productos químicos,

deberán estar etiquetados correctamente por los materiales que contienen. El sistema de etiquetado deberá permitir la rápida identificación del producto. Etiquetas antiguas deben ser retiradas o borradas.

Los productos deberán ser almacenados de modo que todas las etiquetas se puedan ver fácilmente.

Las sustancias químicas del fabricante deben tener alguna de las siguientes formas de reconocer un material peligroso:

- ✓ Rombo de la NPFA 704 (anexo 1)
- ✓ Sistema de identificación de riesgos de la Unión Europea (anexo 3)
- ✓ Los contenedores deberán manipularse y almacenarse de manera que la etiqueta sea fácilmente visible en cada recipiente.
 - Si se transfiere un producto químico a un envase secundario o a un vehículo diferente, también deben tener las etiquetas y/o placas adecuadas.
 - Se prohíbe el uso de envases de bebidas (como de agua, gaseosa, yogurt, etc.) para almacenamiento temporal de cualquier sustancia química. Siendo lo correcto el uso los contenedores industriales (de fábrica) según la clasificación del producto.

Manipulación y Uso

- Identificar tareas críticas en las que se utilizan sustancias químicas y realizar un entrenamiento específico periódicamente.
- Los trabajadores expuestos a sustancias peligrosas deben recibir capacitación adecuada basada en las informaciones de las MSDS de las sustancias que manipula.

- Está prohibido comer, beber y fumar cuando se manipulan sustancias químicas.
- La mezcla de productos químicos o sustancias peligrosas, se llevará a cabo en las áreas designadas, provistas de infraestructura adecuada y no debe llevarse a cabo en las áreas de almacenamiento.
- Queda prohibido la utilización de envases de sustancias químicas vacíos, estos deberán ser dispuestos en los almacenes temporales para su disposición final.
- Para realizar la manipulación de cualquier sustancia química, el trabajador debe contar con la capacitación y los EPPs adecuados según la peligrosidad de la sustancia química (nivel de proyección A, B, C o D)

Transporte, eliminación y disposición final

- Para realizar el transporte consultar la MSDS.
- Si se realizará transporte externo se realizará según la normativa nacional vigente de materiales peligrosos.
- Para su eliminación y disposición final se realizará según lo dispuesto en el Estándar de “Clasificación, almacenamiento y disposición final de Residuos sólidos”- (TUMI- SSOMA.MA-SRA-E-01).
- Todo transporte de sustancias químicas potencialmente peligrosas se realizará de acuerdo a la legislación peruana aplicable (rutas, velocidades de vehículos y restricciones). Se inspeccionarán todos los bienes que ingresen a la Unidad para asegurarse de que los rótulos o etiquetas adecuados estén en su lugar y que los productos estén asegurados.
- El transporte deberá contener una bandeja de contención secundaria y el kit de respuesta ante derrames, para minimizar o mitigar toda contingencia,

derrames o fugas que puedan ocurrir durante el traslado.

- El transporte de materiales y químicos peligrosos requiere lo siguiente:
 - Certificado de inspección técnica vehicular, incluyendo las mediciones de opacidad.
 - Póliza de seguro que incluya coberturas por daños personales, daños materiales y remediación ambiental. Seguro obligatorio por accidentes de tránsito – SOAT.
 - Hoja de ruta.
 - Sistema de comunicación.
- Todos los conductores de vehículos que transportan materiales y/o residuos peligrosos deberán contar y portar durante la operación de transporte, su licencia de conducir vigente de la categoría que corresponda al vehículo que conduce y su licencia de conducir de categoría especial, en caso aplique.
- El personal que intervenga en la operación de transporte de materiales y/o residuos peligrosos deberá contar con una capacitación básica sobre el manejo de materiales y/o residuos peligrosos y aplicación del plan de contingencia para dicho transporte, la que será actualizada periódicamente.
- El conductor deberá portar en cabina, de forma obligatoria, los siguientes documentos:
 - Guía de remisión – remitente.
 - Guía de remisión – transportista.
 - Hoja de Seguridad - MSDS en español.
 - Licencia de conducir de categoría especial del conductor.
 - Certificado del seguro obligatorio por accidentes de tránsito (SOAT).
- El transportista solamente aceptará para el transporte aquellos materiales

peligrosos adecuadamente clasificados, embalados/envasados, rótulos, etiquetados, marcados, descritas y certificados en un documento de transporte, siendo de entera responsabilidad del propietario o generador de la mercancía el empleo inadecuado de embalajes, envases, rótulos, etiquetas y marcas que contravengan las disposiciones reglamentarias.

- Está prohibido el transporte de materiales y/o residuos peligrosos con riesgo de contaminación, conjuntamente con alimentos, medicamentos u objetos destinados al uso humano o animal o con embalajes de mercancía destinadas al mismo fin.
- Está prohibido el traslado de Mat-Pel que no se encuentren adecuadamente embalados y asegurados, para la ruta a seguir. Todo Mat-Pel debe embarcarse en contenedores apropiados y en buen estado.

Manejo de derrames de productos químicos y situaciones de emergencia

- En el caso de la ocurrencia de derrames de productos químicos, se debe seguir las instrucciones que están en el Plan General de Emergencias y Contingencias de la unidad. También se deberá tener en cuenta las recomendaciones dadas en las MSDS del producto químico en cuestión.
- En espacio críticos como de grandes almacenamientos se debe mantener Guía Respuesta en caso de Emergencia (o Guía Naranja).

Acercas de la eliminación y disposición final de los residuos de productos químicos usados o vencidos.

- Los recipientes usados y vacíos deberán ser eliminados. No deben usarse para uso doméstico ni menos ser entregado a la comunidad.
- Todos los recipientes usados deben ser almacenados temporalmente en

áreas previamente designadas hasta su eliminación final.

- Se debe tener cuidado de no mezclar materiales incompatibles, aunque sean considerados “vacíos”.

ÍNDICES OPERATIVOS

Tabla. Índices Operativos

Actividad	Equipo	Índice	Unidad	Desmante	Producción	Disp. Mecánica (%)	Utilización (%)
Perforación Jumbo		Velocidad de perforación	m/h	85	49	82	42
Voladura		Factor de potencia					
		SLS	kg/t	-	0.21		
		UCF	kg/t	-	0.3		
		SN	kg/t	-	0.41		
		Factor de carga	kg/m	29			
		Eficiencia de voladura	%	82	81		
Acarreo	Scoop	Rendimiento	t/h	80	108	78	61
Sostenimien	Empernador	Rendimiento	pernos/h	23		77	40
	Lanzador		m3/h	1.3		75.4	31.5
	Mixer		m3/h	0.64		84.8	50.5
	Scaler					62	47

Condiciones de Cimentación

Las condiciones de cimentación fueron evaluadas con un programa de investigaciones geotécnicas que incluyeron: perforaciones diamantinas, excavaciones de calicatas y ensayos de laboratorio de mecánica de suelos y rocas.

El futuro depósito de desmonte se apoyará en un 20% en depósitos cuaternarios, un 75% en la roca pizarra y 5% en la roca caliza.

En el fondo del valle se encuentran depósitos glaciares que tienen un espesor delgado, tanto en los perfiles de refracción sísmica, ondas de corte (MASW) y perforaciones diamantinas, el espesor de este depósito varía de 1 a 3 m de espesor.

Localmente las pizarras y filitas del Grupo Excelsior, tienen una foliación con dirección variable, esto se observa especialmente en la ladera norte del valle, debido a plegamientos locales, tipo anticlinal y sinclinal, pero similar al rumbo regional de N260°.

El depósito de desmonte Andaychagua se cimentará sobre rocas del Grupo Excelsior, principalmente sobre pizarras y ligeramente sobre calizas en el flanco Suroeste, estas rocas se ven estables principalmente por la pendiente suave de la cimentación, así mismo la caliza está ligeramente silicificada y sin carstificación, las pizarras aunque están foliadas también están moderadamente fracturadas, los ensayos de permeabilidad realizados en esta roca dan valores muy bajos que resultan casi impermeable.

Los suelos orgánicos y residuales se han desbrozado en el área, quedando pequeños remanentes de suelo glacial, hacia la parte delantera del desmonte.

Todas estas condiciones geológicas resultan favorables para la cimentación del depósito de desmonte proyectado.

Las propiedades de resistencia del macizo rocoso difieren de la roca intacta; debido a que presenta discontinuidades como diaclasas, fisuras, fallas, etc.

Los parámetros de resistencia del macizo rocoso y el módulo de deformación que afloran en la cimentación fueron calculados y los resultados se presentan en la tabla

Tabla. Análisis de Propiedades Físicas del Macizo Rocosó

Roca intacta			Macizo rocoso						
σ_{ci} (MPa)	m_i	E_i (MPa)	γ_m (KN/m ³)	GSI	C (MPa)	ϕ°	σ_{cm} (MPa)	E_{rm} (MPa)	μ
32	7	1200	24	65	1.907	31.76	6.845	7580	0.20
E_{rm} - Modulo de Elasticidad del macizo rocoso, μ - Relación de Poisson, σ_{cm} - Resistencia global del macizo rocoso.									

En la calicata C-5 se ha obtenido muestra del material de cimentación, la cual sometida a ensayo de corte directo da valores de 29.5 grados de ángulo de fricción y 15 kpa de cohesión.

Características del desmonte de roca de mina

El desmonte de roca fue investigado in situ y en el laboratorio. In situ se determinó que su densidad es igual a 2.54 gr/cm³ y humedad de 2.73 %; en el laboratorio, a la fracción menor a 3", se le clasificó como grava mal gradada con arena (GP-GM) y su granulometría consta de: 19.7 % de cantos, 46.0 % de grava, 25.7 % de arena y 8.6 % de finos. El ensayo de corte a gran escala y con fragmentos de roca de 3" como diámetro máximo determino una cohesión de 0.15 kg/cm² y ángulo de fricción interno de 42.5°.

Según el método propuesto por Ayala (1986), el ángulo de fricción se ha estimado en 41° para un pedraplén de más de 40 m de altura, con una cohesión de 0.10 kg/cm².

Modelamiento Geomecánico

Siendo consistentes con la exploración geológica realizada, se consideró en el modelo geotécnico una capa superficial de desmonte existente a la cual se le asignó, en forma conservadora, las mismas propiedades que el desmonte proyectado. Así mismo se consideró la ubicación del nivel freático.

En la siguiente tabla se indica el comportamiento mecánico y los parámetros de resistencia de los materiales que conforman el depósito para desmonte de mina: la cimentación y desmonte de roca.

Tabla. Modelamiento Geotécnico

Material	Comportamiento	γ kN/m³	Cohesión, c (KPa)	Angulo de Fricción, ϕ°
Desmonte de roca de mina-Proyectado	drenado	23	10	41
Desmonte existente	drenado	23	10	41
Basamento rocoso – Pizarra	no drenado	18	1907	31

Geometría del depósito

El depósito de desmonte se ha diseñado al pie y sobre la ladera. La configuración geométrica propuesta tiene un solo elemento la pila de desmontes.

Las características para el depósito de desmonte son las siguientes:

- Cota de plataforma superior: 4,435 msnm
- Ancho de corona: variable
- Longitud de corona: variable
- Altura máxima de bancos: 30.00 m
- Ancho de berma: variable
- Talud aguas abajo de bancos: 2.0:1 (H: V)

- Volumen de relleno: 1'425,693 m³

Análisis de estabilidad física

Los análisis de estabilidad de los taludes del depósito se evaluaron con el método de equilibrio límite y el método simplificado de Bishop. El análisis fue con la ayuda del programa de computadora SLOPE/W que permite la visualización gráfica de las superficies potenciales de fallas analizadas. En la evaluación de la estabilidad pseudo-estática se utilizó un coeficiente sísmico de 0.16. Los materiales de escombros serán colocados en seco, por lo que no existen condiciones para dar origen a una napa freática en el interior del desmonte.

En la tabla 63 se presenta los valores de los factores de seguridad mínimos recomendados para la evaluación de taludes por el Cuerpo de Ingenieros de los EE. UU. (USACE) y del MEM.

Tabla. Análisis de Estabilidad Física

Condición	Factor de Seguridad	
	USACE	MEM
Estático	1.5	1.5
Seudo-estático	1.0	1.2*
Nota: * Sismo máximo con periodo de retorno de 100 años		

Se analizaron 3 secciones críticas de diseño en base a nuestra experiencia y a la altura del talud del Depósito de Desmonte. En el cuadro 4.4 se incluyen los factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad de los taludes del depósito de desmonte, tanto para la condición estática como para la condición pseudo estática. En el anexo 5.1 se incluyen los resultados de los análisis de estabilidad.

Tabla. Factores de Estabilidad del Depósito

Sección	Estado	Coficiente sísmico	Factor de seguridad	Materiales afectados por la falla
A-A	Estático	0.00	2.156	Relleno de escombros extraídos de la mina.
	Seudo-estático (cierre)	0.16	1.489	Relleno de escombros extraídos de la mina.
B-B	Estático	0.00	2.656	Relleno de escombros extraídos de la mina y desmonte existente.
	Seudo-estático (cierre)	0.16	1.767	Relleno de escombros extraídos de la mina y desmonte existente.
C-C	Estático	0.00	2.092	Relleno de escombros extraídos de la mina y desmonte existente.
	Seudo-estático (cierre)	0.16	1.460	Relleno de escombros extraídos de la mina y desmonte existente.

Las superficies de falla general corresponden al denominado de “pie de talud”, asociado a fallamiento de taludes conformado por materiales granulares, generando un movimiento de masas del tipo superficial en el talud natural que soporta la pila de desmonte.

Para fines de cierre la resistencia a largo plazo será mayor, garantizando la geometría actual, las condiciones de seguridad requeridas para el cierre del botadero.

Tratamiento de la cimentación

La zona comprometida con la cimentación del depósito de desmonte será excavada para remover los materiales inapropiados y uniformizar la superficie y poder conseguir una buena adherencia del terraplén de desmonte de mina con el suelo natural.

Estos materiales que se removerán se almacenarán en la plataforma superior del depósito.