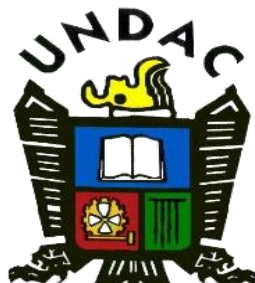


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



T E S I S

**Parámetros geomecánicos para establecer el método de explotación en
el proyecto Hilarión - Compañía Minera Milpo S.A.A.**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. River Diyues VIDAL GOMEZ

Asesor:

Mg. Vicente Cesar DAVILA CORDOVA

Cerro de Pasco – Perú - 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



TESIS

**Parámetros geomecánicos para establecer el método de explotación en
el proyecto Hilarión - Compañía Minera Milpo S.A.A.**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Ing. Toribio GARCIA CONTRERAS
PRESIDENTE

Mg. Nelson MONTALVO CARHUARICRA
MIEMBRO

Mg. Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA
MIEMBRO



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

INFORME DE ORIGINALIDAD N°101-JUIFIM-2023

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: River Dnyres Vidal Gómez

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:

Tesis

Parámetros Geomecánicos para establecer el Método de Explotación en el Proyecto Hilarión - Compañía Minera Milpo S.A.A.

Asesor:

Mg. Vicente César Dávila Córdova

Índice de Similitud: 28%

Calificativo

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 12 de agosto de 2023

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

C.c.
Archivo

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a Dios,
quien es el motor y motivo de mi
existencia, así como el desarrollo para
mi formación profesional y personal;
y como también a mis padres quienes
han sido la base fundamental para
mi concretización de mis objetivos

AGRADECIMIENTO

Un fraterno agradecimiento a mis maestros de la Facultad de Ingeniería de Minas, de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, quienes han sido el pilar y soporte dentro de mi formación profesional, tanto personal y profesional

RESUMEN

El yacimiento de Hilarión no cuenta con zonas importantes, donde se concentren leyes altas, una realidad que limita, hasta un nivel de no ser factible, la priorización de la extracción de leyes altas al inicio de la operación.

El diseño minero propuesto, y las necesidades operacionales inherentes, determinan que el inicio de la producción sea a través de la explotación de los cuerpos ubicados en los niveles inferiores, y en forma ascendente hacia los niveles superiores. Asimismo, la explotación considera una secuencia de minado en retirada, dejando los espacios vacíos (producto de la extracción del mineral), rellenos en forma longitudinal al avance de la explotación. Estas actividades son requeridas para tener un mejor control tanto de la dilución como de las inflexiones de la estructura mineralizada, y en respuesta a la presencia de diques paralelos a la mineralización.

Otro aspecto importante que soporta esta estrategia es la seguridad (necesidad de mantener la estabilidad local y global de la excavación), lo que condiciona a la obtención de los Parámetros Geomecánicos para tener una secuencia de minado de acuerdo al Método de Explotación establecido, con los parámetros adecuados por la seguridad y para mantener la estabilidad de la excavación.

Los métodos de explotación propuestos son: Sub Level Longitudinal con relleno y Bench and Fill Stopping.

Palabras claves: Parámetros Geomecánicos, Método de Explotación, Estabilidad

ABSTRACT

Lincuna The The Hilarión deposit does not have important areas, where high grades are concentrated, a reality that limits, to a level of not being feasible, the prioritization of the extraction of high grades at the beginning of the operation.

The proposed mining design, and the inherent operational needs, determine that the start of production is through the exploitation of the bodies located in the lower levels, and upwards towards the upper levels. Likewise, the exploitation considers a sequence of mining in withdrawal, leaving the empty spaces (product of the extraction of the mineral), filled in longitudinally to the advance of the exploitation. These activities are required to have a better control of both dilution and inflections of the mineralized structure, and in response to the presence of dikes parallel to the mineralization.

Another important aspect that supports this strategy is safety (need to maintain the local and global stability of the excavation), which conditions obtaining the Geomechanical Parameters to have a mining sequence according to the established Exploitation Method, with the adequate parameters for safety and to maintain the stability of the excavation.

The proposed mining methods are: Sub Level Longitudinal with fill and Bench and Fill Stopping.

Keywords: Geomechanical Parameters, Exploitation Method, Stability.

INTRODUCCION

Las Compañía Minera MILPO S.A.A. (MILPO), propietaria del yacimiento polimetálico de “Hilarión”, encarga la elaboración de la Evaluación Geomecánica para determinar sus Parámetros y establecer el Método de Explotación del proyecto Hilarión, El Proyecto se encuentra ubicado en el Distritos de Huallanca, Huasta y Aquia, que pertenecen a la Provincia de Bolognesi, Departamento de Ancash a 80 km al Sur de Huaraz y a 13 km al Sur Oeste de la localidad de Huallanca en las coordenadas 77° 00’ longitud Oeste y 09° 59’ latitud Sur, entre 4 500 y 5 100 m.s.n.m. de altitud.

El proyecto Hilarión, tiene una mineralización económica en Zn-Pb-Ag, con trazas de Cu y Au como resultado del reemplazamiento metasomático de contacto de los intrusivos ácidos, los cuales forman cuerpos tabulares, alargados e irregulares; así como también zonas de endo y exoskarn.

Para desarrollar el presente informe, se tomó como referencia principal el Estudio Geotécnico para el Proyecto Hilarión elaborado por David Cordova (DCR Ings) – 2015.

El presente documento consolida los resultados de los análisis realizados en el ámbito de la planificación el diseño minero, programa de avance, método de explotación, programa de producción y servicios generales mina.

El proyecto está esbozado para emplear dos métodos de explotación (Sub level Longitudinal con Relleno y Bench and Fill). Para lograr su determinación se requiere conocer los Parámetros Geotécnicos – Geomecánicos, que permita su adecuada aplicación.

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	Determinación del Problema.....	1
1.2	Delimitación de la Investigación.....	2
1.3	Formulación del Problema.....	3
	1.3.1 Problema General	3
	1.3.2 Problemas Específicos.....	3
1.4	Formulación de Objetivos.....	4
	1.4.1 Objetivo General.....	4
	1.4.2 Objetivos Específicos	4
1.5	Justificación de la investigación	4
1.6	Limitaciones de la Investigación.....	5

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1	Antecedentes de Estudio	6
2.2	Bases Teóricas - Científicas.....	12
2.3	Definición de Términos	19
2.4	Formulación de Hipótesis	22
	2.4.1 Hipótesis General	23
	2.4.2 Hipótesis Específicos.....	23
2.5	Identificación de las Variables.....	23

2.6	Definición Operacional de Variables e Indicadores	23
-----	---	----

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1	Tipo de Investigación.....	25
3.2	Nivel de Investigación	25
3.3	Métodos de la Investigación.	26
3.4	Diseño de la Investigación	26
3.5	Población y Muestras	26
3.6	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	26
3.7	Selección, Validación y Confiabilidad de los Instrumentos de Investigación	27
3.8	Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.	28
3.9	Tratamiento Estadístico de Datos.	28
3.10	Orientación Ética filosófica y epistémica	28

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1	Descripción del Trabajo de Campo.....	29
4.2	Presentación, Análisis e Interpretación de Resultados.....	44
4.3	Prueba de Hipótesis.....	54
4.4	Discusión de Resultados	54

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

	Página.
Ilustración 1. Ubicación de Mina Toquepala	3
Ilustración 2. Modelo Esquemático Generalizado del Emplazamiento y Alteración del Skarn de Hilarión.	15
Ilustración 3. Zona De Afloramiento De Intrusivos Y Diques Relacionados Al “Cuerpo 9” De Aproximadamente 750 M., De Longituds	18
Ilustración 4. Sección Transversal 1280.....	18
Ilustración 5. Plano Litologico del Yacimiento Hilarión en el NV. 4540.....	31
Ilustración 6. Sección Litológica 1320 del Yacimiento Hilarión	32
Ilustración 7. Sistema de Discontinuidades Estructurales Principales-Proyecto Hilarión (Rumbo/Buzamiento.-DIR.BUZAM. /BUZAM).....	33
Ilustración 8. Diagrama Estereográfico de Contornos del Compósito (Sector Norte)...	35
Ilustración 9. Diagrama de Roseta de Discontinuidades del Compósito (Sector Norte).....	36
Ilustración 10. Diagrama Estereográfico de Planos Principales del Compósito (Sector Norte).....	36
Ilustración 11. Diagrama Estereográfico de Contornos del Compósito (Sector Centro).....	37
Ilustración 12. Diagrama Estereográfico de Planos Principales del Compósito (Sector Centro).....	37
Ilustración 13. Diagrama Estereográfico de Contornos del Compósito (Sector Sur)....	38
Ilustración 14. Diagrama De Roseta De Discontinuidades Del Compósito (Sector Centro).....	38
Ilustración 15. Diagrama de Roseta de Discontinuidades del Compósito (Sector Sur).....	39
Ilustración 16. Diagrama Estereográfico de Planos Principales del Compósito (Sector Sur).....	39

ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1. Operacionalización de Variables.....	24
Tabla 2. Criterio Para la Clasificación de la Masa Rocosa.	42
Tabla 3. Calidad de la Masa Rocosa por Tipo de Roca.....	43
Tabla 4. Zonificación Geomecánica del Yacimiento Hilarión.....	46
Tabla 5. Resistencia Compresiva de la Roca Intacta (Determinación con Ensayo de Carga Puntual).	47
Tabla 6. Resistencia Compresiva de la Roca Intacta (Determinación con Ensayo de Compresión Triaxial).	47
Tabla 7. Resultados de los Ensayos de Compresión Uniaxial (PUCP).....	48
Tabla 8. Resultados de los Ensayos de Carga Puntual (FIGMM – UNI).....	48
Tabla 9. Valores de la Constante “Mi” de la Roca Intacta (Determinados con Ensayos de Compresión Triaxial)	49
Tabla 10. Resistencia a la Tracción de la Roca.	49
Tabla 11. Resultados de los Ensayos de Propiedades Físicas de la Roca Intacta.	50
Tabla 12. Resultados de los Ensayos de Corte Directo en Discontinuidades.	50
Tabla 13. Resultados de los Ensayos de Tablero Inclinable.	51
Tabla 14. Propiedades de Resistencia de la Masa Rocosa	52

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página.
Anexo 1. Secuencia de Producción	67
Anexo 2. Matriz de Consistencia.....	73

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del Problema

El presente Proyecto consolida los resultados de los análisis realizados en el ámbito de la planificación como; estimación de la reserva, aspectos geotécnicos, diseño minero, programa de avance, método de explotación, programa de producción y servicios generales mina, asociado al desarrollo de la ingeniería de Factibilidad para la explotación del yacimiento Hilarión.

En el proyecto está considerado para diseñar y emplear dos métodos de explotación (Sub level Longitudinal con Relleno y Bench and Fill), para una producción de 10 000TPD y para una reserva minable optimizada. Con el propósito de maximizar el VAN o la rentabilidad del proyecto, mediante la optimización del Cut-Off, se hicieron diversas simulaciones con diferentes Cut-Off, usando el modelo de evaluación económica, luego de este ejercicio se identificó que usando una ley equivalente de 3.5 % Zn para los dos métodos, se logra maximizar el VAN.

El diseño minero propuesto, y las necesidades operacionales inherentes, determinan que el inicio de la producción sea a través de la explotación de los cuerpos ubicados en los niveles inferiores, y en forma ascendente hacia los niveles superiores. Asimismo, la explotación considera una secuencia de minado en retirada, dejando los espacios vacíos (producto de la extracción del mineral), rellenos en forma longitudinal al avance de la explotación. Estas actividades son requeridas para tener un mejor control tanto de la dilución como de las inflexiones de la estructura mineralizada, y en respuesta a la presencia de diques paralelos a la mineralización.

Otro aspecto importante que soporta este proyecto es la seguridad (necesidad de mantener la estabilidad local y global de la excavación), lo que condiciona a la obtención de leyes según el aporte de los tajeos que irán minándose según esta secuencia, por seguridad se recomienda privilegiar los aspectos relacionados a mantener la estabilidad de la excavación.

1.2. Delimitación de la Investigación

1.2.1. Delimitación espacial

El presente trabajo se desarrolló en el Proyecto Hilarión se encuentra delimitado y ubicado en el Distritos de Huallanca, Huasta y Aquia, que pertenecen a la Provincia de Bolognesi, Departamento de Ancash a 80 km al Sur de Huaraz y a 13 km al Sur Oeste de la localidad de Huallanca en las coordenadas 77° 00' longitud Oeste y 09° 59' latitud Sur, entre 4 500 y 5 100 m.s.n.m. de altitud.

Ilustración 1.

Ubicación de Mina Toquepala



1.2.2. Delimitación Temporal

Esta investigación se llevó a cabo desde

1.2.3. Delimitación social

La presente investigación se realizó Comunidad Campesina de Aquia. La ciudad de Pachapaqui, distante a 5.43 km, es la población más cercana al área en estudio. Solamente encontramos al asentamiento de Cara en el área de influencia directa del proyecto, que dista a 2.16 km del Cerro La Tranca, en el que solo habitan 4 familias dedicadas al pastoreo

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Como determinar los Parámetros Geomecánicos para establecer el Método de Explotación en el Proyecto Hilarión de la Compañía Minera Milpo S.A.A.?

1.3.2. Problemas específicos

- a) ¿De qué manera determinar los Parámetros Geomecánicos para establecer el Método de Explotación en el Proyecto Hilarión de la Compañía Minera Milpo?
- b) ¿De qué manera establecer los Parámetros geomecánicos permitirá el control de la estabilidad en el proceso de explotación del Proyecto Hilarión de la Compañía Minera Milpo S.A.A.?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar los Parámetros Geomecánicos para establecer el Método de Explotación en el Proyecto Hilarión de la Compañía Minera Milpo S.A.A.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Determinación de los Parámetros geomecánicos establecerán los aspectos geotécnicos y el diseño minero en el Proyecto Hilarión.
- b) Establecer los Parámetros geomecánicos para permitir el control de la estabilidad en el proceso de explotación del Proyecto Hilarión de la Compañía Minera Milpo S.A.A.

1.5. Justificación de la investigación

Para el proyecto Hilarión, se ha propuesto dos métodos de explotación, por lo tanto, la estimación de reservas demandará el cálculo y uso de 2 Cut Off diferenciados, por método de explotación y por tasa de producción. Los métodos de explotación propuestos son los siguientes:

- Sub Level Longitudinal con relleno
- Bench and Fill Stopping.

El cálculo del Cut Off, y aportes de cada método de explotación se muestran en el desarrollo de este informe.

El sustento teórico para la determinación del Cut Off, está en identificar la ley mínima de cabeza en la explotación, que genere un valor del mineral y que iguale a su costo de producción y más los gastos de administración y ventas.

1.6. Limitaciones de la Investigación

Los cuerpos mineralizados del Proyecto Hilarión presentan potencias variables a lo largo de su orientación y elevación.

Se realizó la agrupación de sectores y cuerpos, en base a secciones horizontales (c 24 m) y perpendiculares a la estructura mineralizada, desde los niveles 4156 hasta el 4740.

De esta agrupación o clasificación de cuerpos en base a su potencia se observó lo siguiente:

- Potencia Mínima 0.19 m, corresponde al cuerpo 23.
- Potencia Máxima 54.03 m, corresponde al cuerpo 12.
- Potencia Promedio de cuerpos angostos 1.15 m.
- Potencia Promedio de cuerpos potentes 21.49 m.

Estos detalles se muestran porque nos permiten determinar las limitaciones que se tiene por la irregularidad en las potencias para cada cuerpo mineralizado.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

a) Antecedentes internacionales

- **Vargas, M. (2017)**, de la Universidad de Chile, presenta la tesis de investigación “Identificación de parámetros geomecánicos y geotécnicos bases para la construcción de obras en El Teniente”. La minería corresponde a una actividad económica asociada a la explotación y extracción de metales desde la corteza terrestre, además, esta materia involucra numerosas actividades que hacen de ella una disciplina compleja. Los estudios asociados a la labor minera son amplios, por lo cual se requieren profesionales multidisciplinarios para el desarrollo de este tipo de trabajos. Las amplias fluctuaciones en el mercado de los metales y el agotamiento de las reservas han provocado una merma en el desarrollo de nuevos proyectos, considerando que la realización de los

mismos lleva consigo un alto costo de capital, los empresarios no ven el escenario actual como rentable. La Corporación Nacional del Cobre de Chile (CODELCO), ha desarrollado nuevos proyectos para la extensión de la vida de sus divisiones, entre ellos destaca el Nuevo Nivel Mina (NNM), en la División el teniente, el cual a pesar de sus estudios se encontró con escenarios geomecánicos no anticipados, lo cual ha generado una actualización del proyecto en términos de diseño y plazos. A partir de esto, surgen interrogantes sobre por qué ocurren este tipo de problemas, y la respuesta se ha fundamentado en el alto costo de los procesos de medición y la gran incertidumbre asociada a las características del macizo rocoso. Considerando estas problemáticas, se desarrolla una metodología que genere respuestas concluyentes, sobre qué y cuánto medir en estas campañas, de manera de facilitar el análisis a los proyectistas reducir los costos de las mismas. Los fundamentos de este proceso, se desarrollan a lo largo del texto considerando el estudio de métodos de construcción de obras subterráneas, análisis exploratorio de los datos, métodos de estimación de variables continuas e interpretaciones de variables geomecánicas en términos geológicos y geométricos. Los resultados obtenidos, arrojaron distancias del orden de los 80 metros para un error menor al 10% entre sondajes, en el cual, para el caso de estudio, la variabilidad era capturada considerablemente, por otro lado la comparativa entre los métodos de construcción de túneles que se desarrolló según las clasificaciones estudiadas, mostraron que en la zona estimada se obtiene una velocidad de avance media de 12 [m/día]

para el uso de tuneladoras, en comparación a los 4[m/día] utilizando perforación y tronadura convencional. Finalmente, la dependencia entre variables geomecánicas definidas, indican una clara relación entre las valoraciones sobre ciertas variables, pero en conjunto destacan por sobre el resto el UCS, el Tipo de roca, y ciertas características de las discontinuidades presentes, las cuales son los requerimientos mínimos asociados al levantamiento de información en terreno para el uso de esta metodología.

- **Verdugo, R. (2007)**, Universidad de Chile, Facultad de Ingeniería Geotécnica, desarrolla la tesis “Estimación de los parámetros de resistencia al corte en suelos granulares gruesos”. El objetivo de este trabajo es definir las metodologías más apropiadas para obtener los parámetros geomecánicos de un suelo granular grueso, mediante el uso de muestras equivalentes de menor tamaño de partículas. Los métodos analizados corresponden al de curvas homotéticas o paralelas y el método de corte del sobre-tamaño. Actualmente IDIEM cuenta con un equipo triaxial a gran escala que permite caracterizar las propiedades de resistencia al corte de suelos gruesos, que posean un tamaño máximo de partículas de hasta 17 cm. La metodología aquí analizada es aplicable tanto a proyectos menores donde el uso de este equipo no resulta económicamente justificable como a situaciones donde el tamaño de partículas es aún mayor. Se utilizaron los métodos de corte y curvas granulométricas paralelas para evaluar la resistencia al corte de muestras extraídas del lecho fluvial del Río Maipo. Además, para un material

utilizado en la construcción de un embalse de tierra se utilizó el método de curvas paralelas, ya que se disponía de los resultados del triaxial a gran escala. El estudio se basa en una serie de ensayos triaxiales tipo CID, efectuados en las diferentes muestras equivalentes, en un rango de presiones de confinamiento entre 0.5 a 4.0 kg/cm² e igual densidad relativa. Los parámetros ángulo de fricción y módulo de deformación resultan similares entre muestras homotéticas. Cuando por distintos efectos no es posible satisfacer la condición de homotecia, el ángulo de fricción y el módulo de deformación E₅₀ resultan diferentes para cada muestra. Por otro lado, el método de corte proporciona parámetros de resistencia al corte similares al de las muestras originales. No obstante, los ángulos de fricción máximos de la muestra cortada son menores al de las muestras originales y su módulo de deformación inicial es mayor al de éstas. Una manera de verificar que la homotecia captura el comportamiento mecánico es a través del análisis de las densidades máximas y mínimas. Cuando éstas no son significativamente afectadas por tamaño de partículas la homotecia resultará efectiva. Por otra parte, el porcentaje de finos al realizar el escalamiento no debe superar al 10% y las partículas deben ser sanas, para que la rotura de éstas no sea un factor preponderante en la resistencia. De acuerdo a datos experimentales de este trabajo, el método de corte resulta aplicable solo cuando el porcentaje de sobre-tamaño del material original es menor al 20%.

b) Antecedentes nacionales.

- **Rodríguez, H. (2019)**, de la Universidad Nacional del Centro del Perú, desarrolla su tesis “Influencia de los parámetros geomecánicos en el diseño geométrico de mallas de perforación para optimizar la voladura de rocas en Unidad de Producción Yauricocha – 2019”, tiene como fin reducir las voladuras deficientes, evitar incidencias de voladuras deficientes en las labores mineras de avance (Rampas y subniveles) y tajos de producción (corte y relleno ascendente y sub level caving), tales como: frentes con tiros cortados, frentes con tiros sopladados, taladros sopladados, taladros de arranque anillados, taladros de arranque confinados y también tacos con longitudes de más de 0.50 m post disparo. Sobreroturas y sobre excavaciones, ejecución inadecuada de las cunetas durante el disparo cuando se tiene rocas de regular a mala calidad, dificultades en los avances, sostenimiento deficiente, exceso de factor de carga, producción de mineral deficientes, que desencadena en problemas de costos en la perforación & voladura en la empresa y penalizaciones, multas, sanciones al personal y contratistas que ejecuta los trabajos en la SOCIEDAD MINERA CORONA S.A. Para minimizar las estadísticas de voladuras deficientes y mejorar los avances de los disparos el tesista realizó investigaciones técnicas con modelos matemáticos, uso de Softwares y la gran experiencia laboral adquirida con trabajos ejecutados INSITU en la Sociedad Minera Corona S.A. Con ello se pretende lograr una mayor eficiencia de voladura dar cumplimiento al planeamiento mensual de avances lineales programados y mejorar la producción en los tajos del Corte y Relleno Ascendente y Sub Level Caving. Con los

nuevos diseños de mallas de perforación planteadas se ubicarán geoméricamente los taladros para posteriormente realizar la operación de carguío con el fin de lograr fragmentar la roca con una granulometría adecuada. En la primera parte del informe se describe los objetivos planteados para la investigación, en la segunda parte se describe los aspectos generales de la SOCIEDAD MINERA CORONA S.A. Así como la información general, las bases geológicas de la zona donde se encuentra el yacimiento, la topografía de la zona, y los métodos de explotación que se desarrollan en las operaciones; también se describen las hipótesis planteadas. Como ítem fundamental para el presente informe también se describirá la presentación de resultados obtenidos en el periodo, prueba de hipótesis y discusión de resultados. Al término del informe se elaborará las conclusiones obtenidas en este periodo y la generación de recomendaciones para alcanzar mejoras específicas en las operaciones que se realiza, se desea que los resultados obtenidos durante esta investigación sean implementados en la unidad de producción Yauricocha como nuevos estándares de trabajo.

- **Roncal, L. (2020)**, de la Universidad Peruana del Norte, presenta su tesis “Influencia de los parámetros geotécnicos en el diseño de una desmontera para labores subterráneas, Hualgayoc 2019”, La investigación tiene por objetivo determinar la influencia de los parámetros geotécnicos en el diseño de una desmontera para labores subterráneas, en Hualgayoc. Para lo cual se trabajó con una población conformada por los macizos rocosos del Cerro Jesús, del cual fue

extraída la muestra que se compone por 3 estaciones de evaluación de los parámetros geotécnicos, ya que la técnica de viene a ser la observación directa, se usó tablas geomecánicas del RMR y GSI para determinar la calidad del macizo rocoso, así mismo para para el posterior tratamiento y análisis de los datos obtenidos en campo se usaron softwares como ArcGIS, Dips, RocData, RocFall, Slide y AutoCAD Civil 3D. Como resultado de la investigación los resultados del análisis geomecánico mostró que la roca de fundación de la de la desmontera es favorable su construcción y según los criterios geotécnicos la desmontera deberá tener 3 bancos de 7 metros para que pueda encontrar el ángulo de reposo adecuado, además teniendo en cuenta que según el análisis se prevé posible toppling oblicuo de parte del talud cerro, con lo cual también será necesario construir un muro y una zanja para controlar las rocas que caigan y también el drenar los flujos de agua dentro de la desmontera.

2.2. Bases teóricas - científicas

2.2.1. Caracterización Geomecánica

La rasterización geomecánica permite evitar y/o disminuir los incidentes/accidentes por caída de rocas, utilizando las herramientas, a fin de controlar la estabilidad de rocas, estableciendo tipos de sostenimiento en las diferentes labores mineras y garantizando la estabilidad de la masa rocosa, con el fin de brindar una operación segura y de calidad.

2.2.2. Características de las rocas

La roca es un conjunto de sustancias minerales que formando masas constituye gran parte de la corteza terrestre. Las rocas por su origen pueden ser ígneas, sedimentarias y metamórficas.

- **Rocas ígneas** Son aquellas que han sido formadas por la consolidación del magma.
- **Rocas sedimentarias** Formadas por la deposición de sedimentos, llegando a formar, como ejemplo, conglomerados.
- **Rocas metamórficas** Formadas al estar expuestas a procesos donde existen variaciones de presión y temperatura. La roca difiere de la mayoría de otros materiales utilizados en la ingeniería. Ésta tiene discontinuidades (fracturas) de diferentes tipos que hacen que su estructura sea discontinua. Además, debido a los procesos geológicos que le han afectado entre el tiempo de su formación y la condición en la cual la encontramos en la actualidad, presenta heterogeneidades y propiedades variables. Todas estas características requieren ser evaluadas en forma permanente durante el laboreo minero.

2.2.3. Alteración

Está relacionada principalmente a las zonas de contacto de los intrusivos con las secuencias de calizas. Comprende la alteración de rocas carbonatadas (calizas, dolomitas) a rocas silicificadas con presencia de minerales calcosilicados de Ca, Fe, Mg y Mn. Se caracteriza por la presencia de granates (andradita y grosularia), wollastonita, epidota, diópsido, idocrasa, clorita, actinolita, con halos de mármol, que reemplazaron selectivamente a las calizas de

la formación Pariatambo y están asociados a la mineralización de Zn-Ag-Pb y Cu, generando dos tipos de alteración.

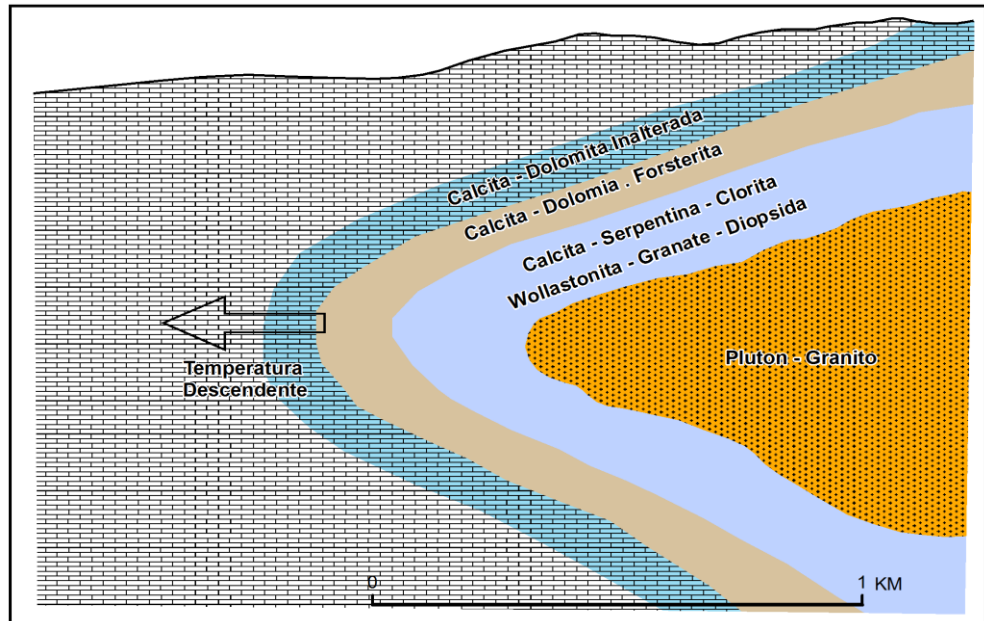
La alteración en calcosilicatos, mármol y débil skarn algo brechado (cuerpos irregulares brechados con disseminación, parches y vetillas mineralizadas).

Skarn con presencia de granates andradita, wollastonita y clinopiroxenos, calcosilicatos y mármol con la formación de cuerpos tabulares bandeados en las calizas asociados a los contactos de diques distales que parten del stock principal (ver Figura 2).

Los intrusivos también presentan diversos grados de alteración principalmente argílica; hacia el contacto con rocas sedimentarias con ensamble de cuarzo-sericita-pirita, gradando a biotita secundaria hacia el núcleo del intrusivo. La alteración supérgena es muy débil y los procesos erosivos están asociados al movimiento de los glaciares (masas de hielo y morrenas), formando una delgada capa de oxidación.

Ilustración 2.

Modelo Esquemático Generalizado del Emplazamiento y Alteración del Skarn de Hilarión.



2.2.4. Geología Económica

En el Proyecto Hilarión se presentan dos tipos de estructuras mineralizadas:

- Cuerpos Irregulares; asociados a zonas de contacto con el stock, los cuales se observan en el sector Hilarión Sur.
- Cuerpos Tabulares; asociados a zona de diques distales y horizontales, los cuales se observan en el sector Hilarión Centro y Norte.

2.2.4.1. Cuerpos Irregulares

Son estructuras mineralizadas controladas por el contacto del stock con las calizas grises nodulares.

En la zona del intrusivo, se presenta una fuerte argilización con mineralización semimasiva, diseminada, vetileo y parches con fragmentos englobados de la roca caja.

En la zona de las calizas, la mineralización se presenta en parches y algo bandeada dentro calcosilicato mármol gris verdoso.

2.2.4.2 Cuerpos Tabulares

Son estructuras alargadas, las cuales se han formado a ambos lados del contacto de la caliza con los diques dioríticos distales, que parten del stock principal. La mineralización es generalmente masiva y/o semimasiva, con habito bandeado y/o en parches dentro de franjas de débil skarn y/o calcosilicato mármol correspondiente a horizontes favorables.

2.2.5. Mineralización

En el Proyecto Hilarión la mineralización económica es de Zn-Pb-Ag, con trazas de Cu y Au, los cuales son el resultado del reemplazamiento metasomático de contacto de los intrusivos ácidos con las secuencias calcáreas de la Formación Pariatambo, formando cuerpos tabulares, alargados e irregulares, así como zonas de reemplazamiento en las áreas del endoskarn y exoskarn. Su mineralización está asociada a granates (diópsido - andradita), wollastonita y un halo de marmolización. Los hornfels y las calizas recristalizadas representan la expresión distal de la presencia de intrusivos rellenando fracturas, planos de estratificación subverticales, en parches, bandas masivas o semimasivas, en vetillas o venillas, próximas al contacto con el intrusivo pórfido feldespático y diques distales de la misma composición. La mineralización está constituida por marmatita, esfalerita, galena argentífera, galena y en menor proporción calcopirita asociada a pirrotita y pirita diseminada.

El Proyecto Hilarión presenta tres tipos de emplazamiento de mineralización:

En el contacto caliza-intrusivo; la mineralización asociada al skarn se manifiesta como de reemplazamiento masivo en los horizontes calcáreos de la formación Pariatambo, formando cuerpos tabulares, alargados e irregulares paralelos a diques y al intrusivo Hilarión, en parches y en bandas; con un ensamble de dióxido-andradita mineralización de marmatita, esfalerita, galena, pirita, pirrotita, entre otros; asimismo en la zona de endoskarn del intrusivo diorítico de Hilarión, la mineralización está constituida por marmatita, esfalerita, galena argentífera, galena y en menor proporción calcopirita asociada a pirrotita y pirita diseminada. Presentando alteración argílica, propilitización y silicificación en diferentes grados.

En el contacto de las calizas con los diques distales de pórfido feldespático y dioríticos; la mineralización se presenta en bandas, parches y diseminada en cuerpos de forma tabular.

En los skarn distales la mineralización se presenta en vetas y/o mantos en las calizas recristalizadas; los valores de Cinc se incrementan con relación al cobre, se caracteriza por presentar granos gruesos de esfalerita (marmatita),

calcopirita y algo de galena, así como también pirrotita y magnetita asociados a cuarzo y calcita – anhidrita.

Ilustración 4.
Sección Transversal 1280.

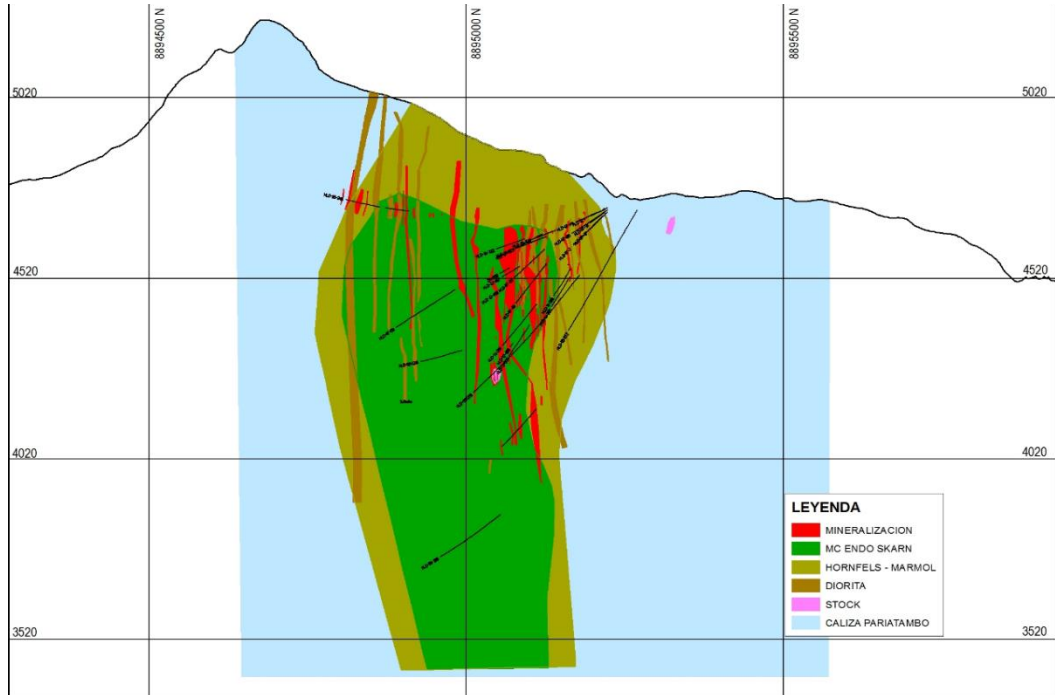
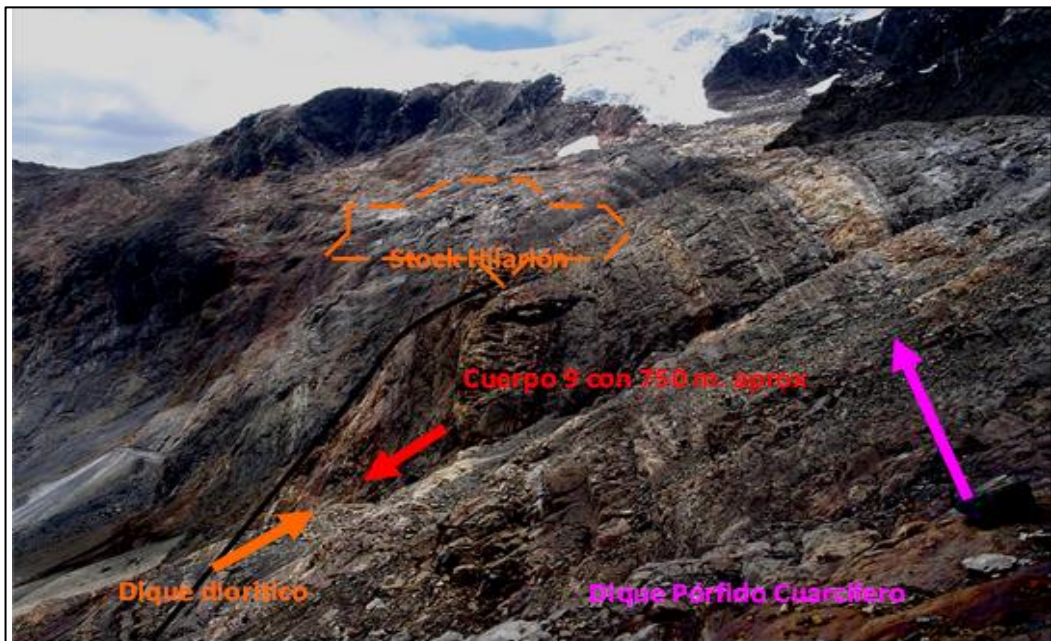


Ilustración 3.

Zona De Afloramiento De Intrusivos Y Diques Relacionados Al “Cuerpo 9” De Aproximadamente 750 M., De Longituds



2.3. Definición de términos básicos

Accidente de trabajo: Situación que se deriva o sucede durante el curso del trabajo, y que da lugar a una lesión, sea o no mortal.

Apertura: Es la separación entre las paredes rocosas de una discontinuidad o el grado de abertura que ésta presenta.

Buzamiento: Es el Angulo de la veta, estrato o manto que forma con respecto a la horizontal y se mide en un plano vertical.

Caballo: Es la zona estéril de considerable tamaño que se presenta dentro de la veta generalmente del mismo material de las rocas encajonantes.

Caja Piso: Es la roca que se encuentra debajo de la veta.

Caja Techo: Es la roca sobre el lado superior de una veta inclinada.

Contactos litológicos: Que comúnmente forman, por ejemplo, la caja techo y caja piso de una veta.

Criadero, Yacimiento o Depósito Mineral: Parte o fracción de la corteza terrestre donde por procesos geológicos se formaron o forman sustancias minerales útiles.

Cuerpo: Son depósitos de minerales, grandes e irregulares sin forma, ni tamaño definido.

Depósitos primarios y secundarios. Los primeros son los que están asociados al proceso de formación original de las rocas. Los segundos se forman por alteración de los primeros dando lugar a la formación de nuevos minerales.

Desmante: Es todo material estéril que no posee valor económico.

Diaclasas: Son fracturas que no han tenido desplazamiento y las que comúnmente se presentan en la masa rocosa.

Diseminaciones. Yacimientos mineralizados donde los granos de mineral están dispersos dentro de la masa rocosa.

Espaciado: Es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes. Éste determina el tamaño de los bloques de roca intacta.

Estratificación: Es una superficie característica de rocas sedimentarias que separa capas de igual o diferente litología.

Explotación. Es un proceso de minado para extraer el mineral económico utilizando los diversos métodos de explotación.

Fallas: Son fracturas que han tenido desplazamiento.

Ganga. Franja no valiosa del mineral que está asociada a la parte con buena ley.

Investigaciones Geotécnicas. - Programa de investigaciones geotécnicas por medio de perforaciones diamantinas.

Lentes. Yacimiento de forma lenticular cuya potencia disminuye hacia su contorno. El largo de los lentes es de decenas de metros.

Mantos. Cuerpo mineralizado, generalmente se encuentran en posición horizontal o ligeramente inclinado menor de 30°, de gran potencia.

Masa Rocosa: Es el medio in situ que contiene diferentes tipos de discontinuidades como diaclasas, estratos, fallas y otros rasgos estructurales.

Matriz rocosa. Material rocoso sin discontinuidades o bloques de roca intacta

Mena. Mineral valioso a partir del cual se puede obtener económicamente uno o más metales.

Mineral. Materia inorgánica de origen natural que compone la corteza terrestre, posee un valor económico y constituido por 2 elementos: La mena y la ganga.

Minería. Industria que se ocupa de la búsqueda, extracción, beneficio y venta de los minerales y rocas de rendimiento económico.

Orientación: Es la posición de la discontinuidad en el espacio y es descrito por su rumbo y buzamiento.

Parámetros Geomecánicos: La formación de la porosidad, la permeabilidad y la presión del fondo del pozo que se pueden derivar de la evaluación geomecánica.

Parámetros Geotécnicos: Resistencia a la Comprensión Simple (UCS), ángulo de fricción (ϕ), Módulo de Young (E) y Coeficiente de Poisson (ν).
Litología: Roca intacta y discontinuidades.

Perfil litológico: Parte de la geología que estudia la composición y estructura de las rocas, como su tamaño de grano, características físicas y químicas, estructuras metamórficas, etc.

Perforación: Operación en la preparación de una voladura. Se abren en la roca huecos cilíndricos denominados taladros.

Persistencia: Es la extensión en área o tamaño de una discontinuidad.

Pliegues: Son estructuras en las cuales los estratos se presentan curvados.

Potencia. Espesor o ancho de un yacimiento mineralizado que se mide perpendicular a las cajas.

Relleno: Son los materiales que se encuentran dentro de la discontinuidad.

Roca intacta: Es el bloque ubicado entre las discontinuidades y podría ser representada por una muestra de mano o trozo de testigo que se utiliza para ensayos de laboratorio.

Roca meteorizada: Es la descomposición de minerales y rocas que ocurre sobre o cerca de la superficie terrestre cuando estos materiales entran en contacto con la atmósfera, hidrósfera y la biósfera.

Rugosidad: Es la aspereza o irregularidad de la superficie de la discontinuidad. Cuanta menor rugosidad tenga una discontinuidad, la masa rocosa será menos competente y cuanto mayor sea ésta, la masa rocosa será más competente.

Rumbo. Es la orientación de la veta, estrato o manto inclinado con relación al norte magnético y se mide en un plano horizontal.

Veta o Filon. Son pequeñas ranuras de la corteza terrestre rellena con mineral, generalmente inclinada mayor a 30° con desarrollo regular en longitud, ancho y profundidad

Yacimiento de Mineral. Compuesto de uno o más minerales que contiene sustancias metálicas aprovechables cualquiera que sea su tamaño o la forma que presenta el conjunto.

Zonas de corte: Son bandas de material que pueden ser de varios metros de espesor, en donde ha ocurrido fallamiento de la roca.

Zonificación geomecánica: Proceso de delimitación de zonas en donde la masa rocosa tiene condiciones geomecánicas similares y por lo tanto también comportamiento similar

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Los Parámetros Geomecánicos establecerán el Método de Explotación en el Proyecto Hilarión de la Compañía Minera Milpo S.A.A.

2.4.2. Hipótesis específicos

- a) La determinación de los Parámetros geomecánicos establecerán los aspectos geotécnicos y el diseño minero en el Proyecto Hilarión.
- b) El establecimiento de los Parámetros geomecánicos permitirá el control de la estabilidad en el proceso de explotación del Proyecto Hilarión de la Compañía Minera Milpo S.A.A.

2.5. Identificación de variables

2.5.1 Variable Independiente:

X: Parámetros Geomecánicos en el Proyecto Hilarión.

2.5.2. Variable Dependiente:

Y: Método de Explotación en el Proyecto Hilarión.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 1.
Operacionalización de Variables.

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE	X: Parámetros Geomecánicos.	Dadas las condiciones geomecánicas favorables de la masa rocosa del yacimiento, en la cual se presentan rocas de calidad mayormente Buena (II), y dado también el buzamiento sub-vertical de los cuerpos mineralizados, desde el punto de vista geomecánico es indistinto ubicar estas labores en la caja piso o en la caja techo.	Evaluación Geomecánica Metodos de Explotación	Parametros Geotecnicos Areas de minado Zonificación
VARIABLE DEPENDIENTE	Y: Método de Explotación en el Proyecto Hilarion.	En el método SLS-Longitudinal, mediante subniveles de 24 m (piso a piso) o 28 m (piso a techo) de altura, se rompería el mineral utilizando taladros largos. Primero serían extraídos los tajeos primarios, los mismos que serían rellenados con relleno cementado, luego se extraerían los tajeos secundarios, quedando expuesta la pared de relleno cementado, estos tajeos secundarios serían rellenados con relleno de bajo contenido de cemento o sin cemento. En el método B&F, también mediante subniveles de 24 m (piso a piso) o 28 m (piso a techo) de altura, se va rompiendo el mineral utilizando taladros largos. A medida que avanza la rotura y extracción del mineral, el vacío que se va quedando es rellenado progresivamente con relleno detrítico.	Proyecto Hilarion	Planificación. Ciclo de Minado. Metodos de Explotación.

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de Investigación

- Basado en los parámetros geomecánicos realizada y el establecimiento de los métodos de explotación se determina que tenemos una investigación del tipo Aplicativo y Evaluativo.
- Aplicada, en el proyecto Hilarión, para el establecimiento de las operaciones mineras, teniendo como base fundamental los métodos de explotación.
- Experimental, por el proceso del análisis de la información obtenida.
- Documental, información proporcionados por la Compañía Minera Milpo.
- De campo y de laboratorio. Derivados por el proceso de investigación realizada.

3.2. Nivel de Investigación

El nivel de investigación que le corresponde es el nivel descriptivo porque no habrá ninguna aplicación, experimento, solo habrá un planteamiento para su explotación del prospecto

3.3. Métodos de la Investigación.

Los métodos que se siguieron:

Método deductivo: Análisis de los datos para llegar a la determinación de los procesos a realizar.

Método inductivo: Estrategia de razonamiento basa en la inducción, que permitieron generar conclusiones generales. Que permitió determinar todon el proyecto realizando generalizaciones amplias apoyados por observaciones específicas.

3.4. Diseño de la Investigación

El presente proyecto se diseñó en base a la investigación cuantitativa, descriptiva y correlacional, permitiéndonos determinar cuáles son los métodos de explotación adecuados para el proyecto Hilarión.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Corresponde a todas las zonas estudiadas del Proyecto Hilarión, que en base a la información obtenida de cada una de ellas, se pudo analizar y generalizar detalles para llegar a una determinación efectiva.

3.5.2. Muestra

Los parámetros geotécnicos obtenidos, durante el trabajo de campo, gabinete y laboratorio, en el tiempo de ejecución de la investigación

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

- Recopilación y análisis de data

Se obtuvo la información de los métodos de explotación practicados en la Mina Milpo y se analizaron y compararon con el trabajo realizado en la investigación.

- Observación directa y toma de datos

Muy efectivas las observaciones directas en campo, como son el tipo de roca, mediante la evaluación geomecánica para determinar los parámetros geomecánicos del proyecto.

- Búsqueda de información bibliográfica

La empresa proporcionó información importante, pero también se implementó con información obtenida por internet y antecedentes de otras empresas.

3.6.2. Instrumentos de recolección de datos.

- Materiales

- ✓ Planos topográficos y geológicos.
- ✓ Mapeos geomecánicos anteriores y actuales.
- ✓ Informes geomecánicos de las diferentes zonas.
- ✓ Métodos de explotación realizados.
- ✓ Data de la empresa (Documentación).
- ✓ Informes y detalles del yacimiento.
- ✓ Mapeador, brújula, picota, flexómetro, wincha, pintura, plomada.
- ✓ Libreta de apuntes (transit book).

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

La evaluación de las Normas de seguridad, nos permitirá establecer las propuestas para la implementación y adecuación de la ISO 45001.

Recolección de datos o respuestas. Implica la evaluación de las Normas de seguridad para elaborar un plan detallado de procedimientos que nos conduzca a reunir datos para determinar un adecuado proceso de adecuación del ISO 45001.

3.8. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.

Es la técnica que consiste en la recolección de los datos primarios de entrada, que son evaluados y ordenados, para obtener información útil, que luego serán analizados por el usuario, para que pueda tomar decisiones o realizar acciones que estime conveniente.

3.9. Tratamiento Estadístico de Datos.

Es cada uno de los valores que se ha obtenido al realizar el estudio del Proyecto Hilarión, de este modo, el procesamiento estadístico de los datos se revela como un instrumento que se basa en un conjunto de métodos que nos permitirán evidenciar las características de los parámetros geomecánicas del estudio realizado en base a los criterios que hemos determinado durante su análisis.

3.10. Orientación Ética filosófica y epistémica

La investigación se realizó, los siguientes principios éticos en el ejercicio profesional que son: Compromiso, Responsabilidad, Autonomía, Confidencialidad destinado y orientada a no dañarla ni perjudicar la responsabilidad de las personas.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Descripción del Trabajo de Campo

4.1.1. Caracterización de la Masa Rocosa

En las evaluaciones geomecánicas anteriores (años 2006 y 2008), las fuentes principales de datos para la caracterización de la masa rocosa, fueron los afloramientos alrededor de la bocamina del Nv. 4750, las labores subterráneas del mismo nivel, las labores del Nv. 4540 y los testigos rocosos de las perforaciones diamantinas, llevadas a cabo como parte de los trabajos de exploración del yacimiento, realizándose en ellos el mapeo geomecánico y logueo geotécnico sistemático.

Para la presente evaluación geomecánica, a fin de obtener mayor información de la calidad de la masa rocosa, así como las características estructurales de la misma, se ha realizado una campaña de perforaciones

diamantinas con testigos orientados, utilizando el orientador electrónico Reflex ACT II RD, estas perforaciones fueron ubicadas sistemáticamente a lo largo de la estructura mineralizada y en plataformas existentes. En total se han realizado 7 sondajes con una longitud total de 3,178 m. Adicionalmente a esta información, se ha realizado el logueo geotécnico de 5 sondajes convencionales de exploración haciendo una longitud total de 2,236 m.

El mapeo geomecánico de la masa rocosa de las labores subterráneas, se realizó utilizando el "método directo por celdas de detalle" y el logueo geotécnico de los testigos rocosos, utilizando el "método directo de líneas en detalle". Mediante estos métodos se realizaron mediciones sistemáticas de las discontinuidades presentes en una estación de medición (En), o en un tramo geotécnico, representadas por una extensión variable de la roca expuesta con similares características geomecánicas.

Los parámetros de observación y medición, fueron obtenidos en formatos de registro diseñados por el Departamento de Geomecánica para esta evaluación, adecuándolos a las normas sugeridas por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM), ver formatos y data básica en los Anexos 1 y 2 (DCR-Ingenieros). Estos parámetros fueron: tipo de roca, tipo de sistema de discontinuidad, orientación, espaciado, persistencia, apertura, rugosidad, tipo de relleno, espesor del relleno, intemperización y presencia de agua. Adicionalmente se registraron datos sobre la resistencia de la roca y el grado de fracturamiento (RQD = Rock Quality Designation).

Durante el mapeo geomecánico de exposiciones rocosas subterráneas, se registraron las discontinuidades principales, las mismas que fueron puestas en los

planos geológicos estructurales que se presentan en este informe. En relación a los testigos de las perforaciones diamantinas, en las evaluaciones anteriores se ha realizado el logeo geotécnico de 25 sondajes haciendo un total de 9,970 m.

4.1.2 Aspectos litológicos

En resumen, de manera generalizada, tomando como referencia un avance desde el extremo NE al SW, en el yacimiento Hilarión están presentes los siguientes tipos de rocas:

- Calizas negruzcas predominantemente arcillosas y lutáceas de la Formación Pariatambo y calizas nodulares de la Formación Pariahuanca.
- Hornfels y mármoles ubicados adyacentes a las calizas.
- La roca endoskarn se halla rodeada o inscrita dentro del hornfels y mármol.
- Dentro de estas litologías se hallan diques dioríticos hacia el extremo NE y al extremo SW se hallan los diques pórfido cuarcíferos.
- Hacia el extremo sur del yacimiento, se presenta el stock intrusivo.
- El mineral, en cuerpos irregulares y tabulares, ocurre generalmente dentro del endoskarn.

Ilustración 5.

Plano Litologico del Yacimiento Hilarión en el NV. 4540.

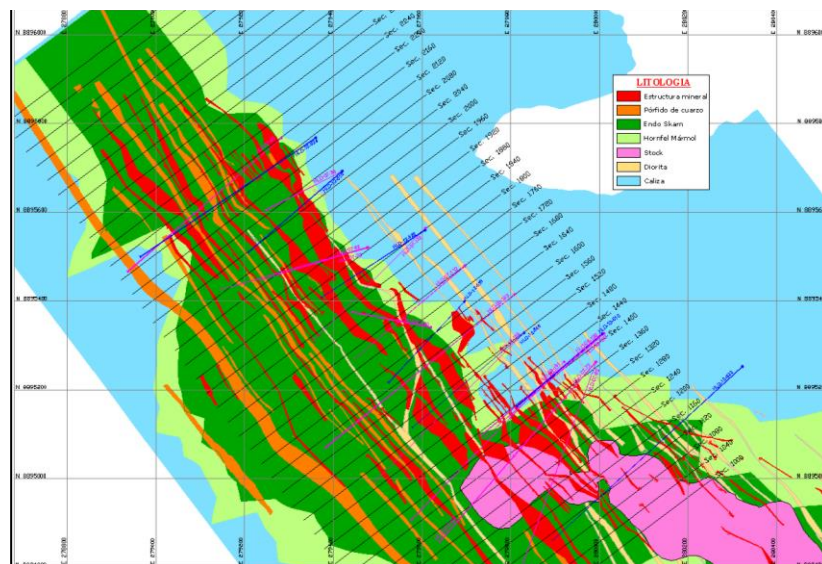
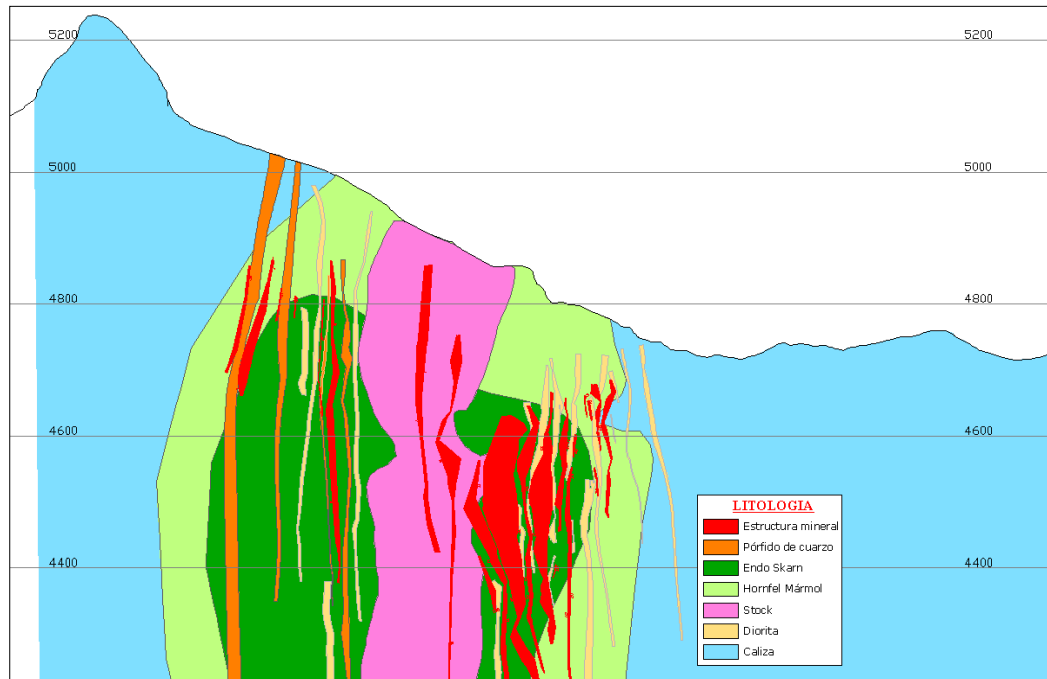


Ilustración 6.
Sección Litológica 1320 del Yacimiento Hilarión .



4.1.2.1 Alteraciones

Hilarión es un yacimiento del tipo meta-somático de contacto y distal, con reemplazamiento de Zn-Pb-Ag y trazas de Cu y Au, por lo que el proceso de alteración en el stock intrusivo es de naturaleza hidrotermal y en las calizas un proceso de metamorfismo. En el stock intrusivo se presentan procesos de argilización, propilitización y silicificación en diversos grados, mientras que en las calizas se presenta silicificación formando los calcosilicatos y debido a la temperatura marmolización.

Distribución de discontinuidades

Para establecer las características de la distribución de discontinuidades, el procesamiento de los datos orientacionales se realizó mediante técnicas de proyección estereográfica equiareal, utilizando el programa de

cómputo DIPS, Versiones 3.12 (1989-95) y 5.103 (2004), elaborados respectivamente por la Universidad de Toronto y Rocscience Inc. (Canadá).

Para el presente estudio, los sondajes realizados con testigos orientados permiten ayudar a determinar el arreglo estructural de la masa rocosa. A partir de ellos se ha obtenido una inmensa cantidad de datos estructurales en cada sondaje y se ha analizado individualmente y por cada litología, observando en ellos similar correlación en la tendencia de los sistemas dominantes. Posteriormente se ha relacionado los sondajes próximos entre ellos y se han observado tendencias estructurales en tres sectores: Sector Norte (Secciones 2160 y 2040), Centro (Secciones 1840, 1640 y 1520) y Sur (Secciones 1400 y 1160).

Ilustración 7.
Sistema de Discontinuidades Estructurales Principales-Proyecto Hilarión
(Rumbo/Buzamiento.-DIR.BUZAM. /BUZAM)

Secto	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Norte	N44°W/78°SW 226°/78°	N83°E/54°NW 353°/54°	N34°W/57°NE 056°/57°	N80°E/18°NW 350°/18°
Centro	N57°W/55°NE 033°/55°	N45°W/80°SW 225°/80°	N84°W/25°NE 006°/25°	N09°W/76°NE 081°/76°
Sur	N49°W/53°NE 041°/53°	N50°W/83°SW 220°/83°	N11°E/56°SE 101°/56°	N86°W/33°NE 004°/33°

A partir de estos resultados, podemos concluir que en cada uno de los sectores mencionados se presentan cuatro sistemas de discontinuidades

estructurales, de los cuales los dos primeros son los más importantes o principales y los otros dos son secundarios.

- Para el Sector Norte, el Sistema 1 es el sistema principal y tiene rumbo NW con buzamiento empinado al SW. El Sistema 2 también principal tiene rumbo EW y buzamiento moderado al N. Los sistemas 3 y 4, secundarios, tienen rumbos NW y EW con buzamientos moderado al NE y bajo al N, respectivamente.
- Para el caso del Sector Centro, el Sistema 1 es el sistema principal y tiene rumbo NW con moderado buzamiento al NE. El Sistema 2 también principal tiene rumbo NW y alto buzamiento al SW. Los sistemas 3 y 4, secundarios, tienen rumbos EW y NS con buzamientos bajo al N y alto al E, respectivamente.
- Finalmente, en el Sector Sur, el Sistema 1 es el sistema principal y también tiene rumbo NW y moderado buzamiento al NE. El Sistema 2 también principal tiene rumbo NW y alto buzamiento al SW. Los sistemas 3 y 4, secundarios, tienen rumbos NS y EW con buzamientos moderado al E y bajo al N, respectivamente.

De los sistemas descritos, se puede apreciar que los estratos y las fallas principales están asociados a los Sistemas 1 de los sectores Centro y Sur, apreciándose esta tendencia en el sector Norte con el Sistema 3. Los demás sistemas principalmente están asociados a sistemas de diaclasas y fallas menores presentes en el área de estudio.

Ilustración 8.

Diagrama Estereográfico de Contornos del Compósito (Sector Norte).

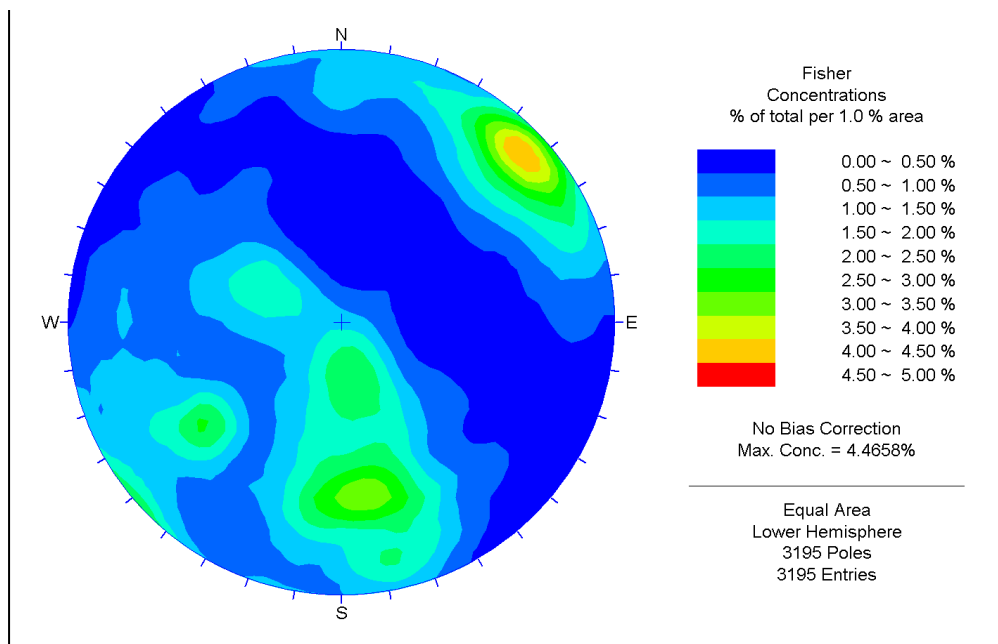


Ilustración 10.

Diagrama Estereográfico de Planos Principales del Compósito (Sector Norte).

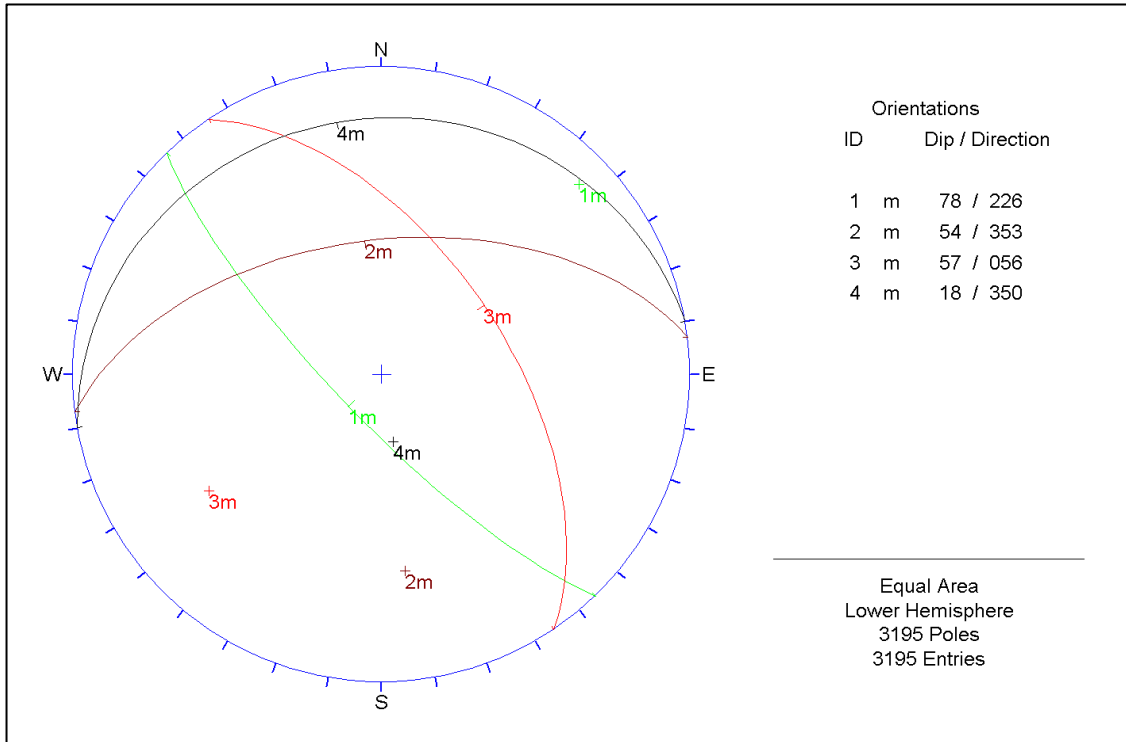


Ilustración 9.

Diagrama de Roseta de Discontinuidades del Compósito (Sector Norte).

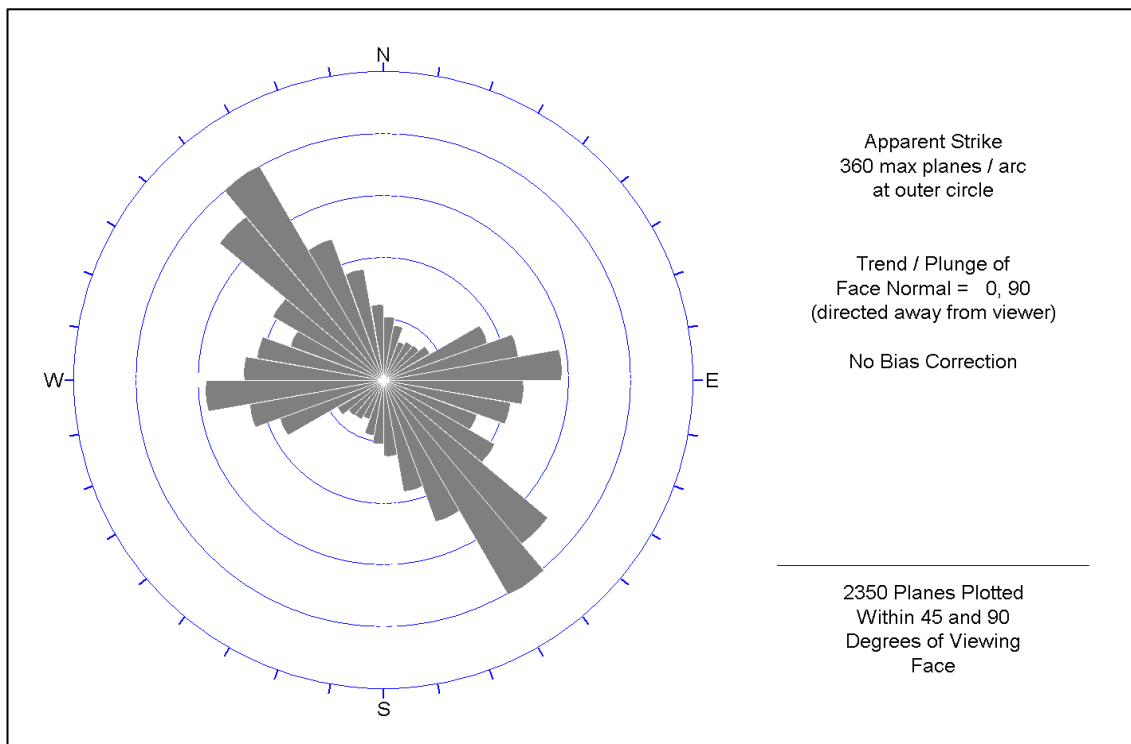


Ilustración 11.

Diagrama Estereográfico de Contornos del Compósito (Sector Centro).

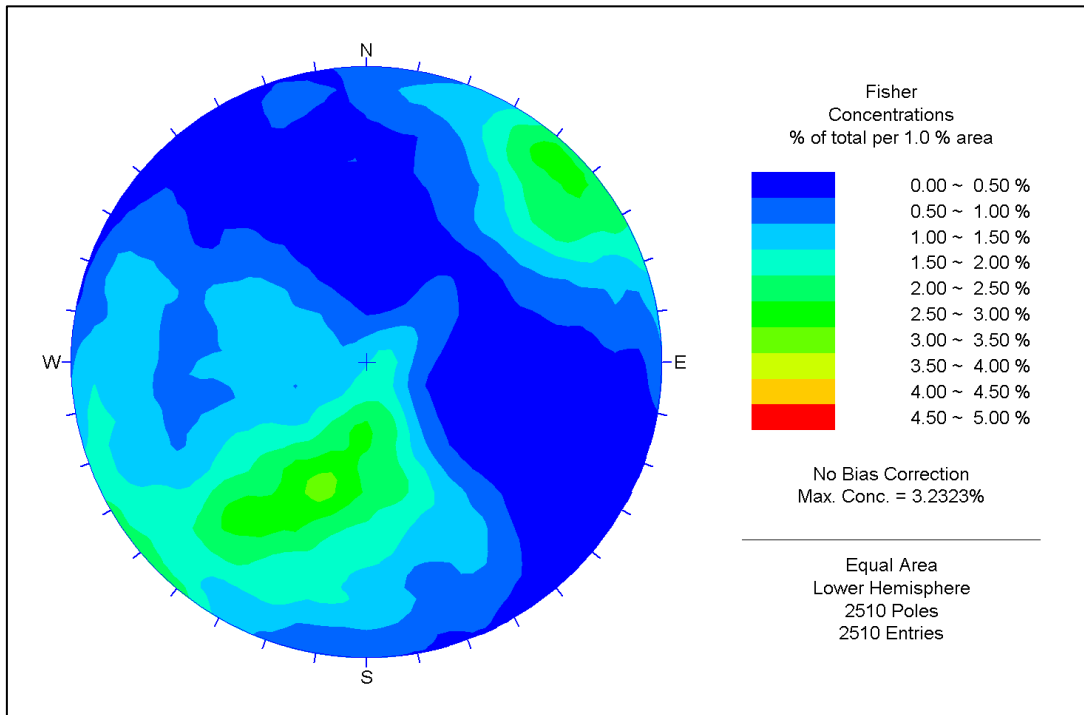


Ilustración 12.

Diagrama Estereográfico de Planos Principales del Compósito (Sector Centro).

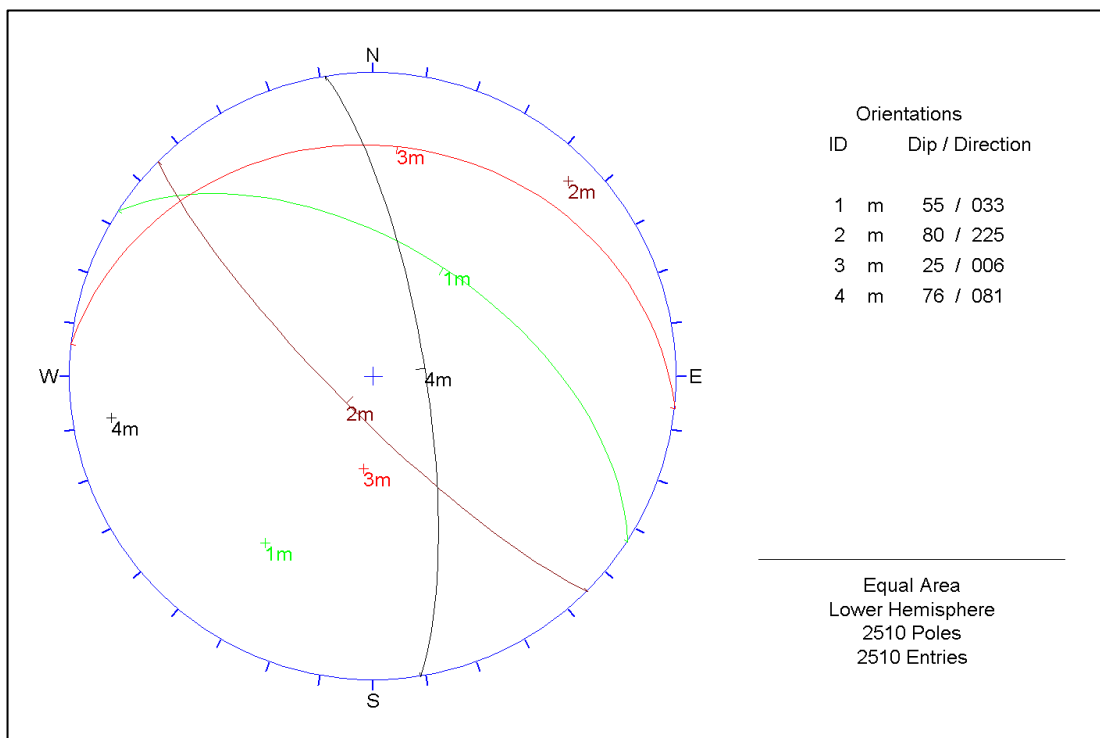


Ilustración 14.

Diagrama De Roseta De Discontinuidades Del Compósito (Sector Centro).

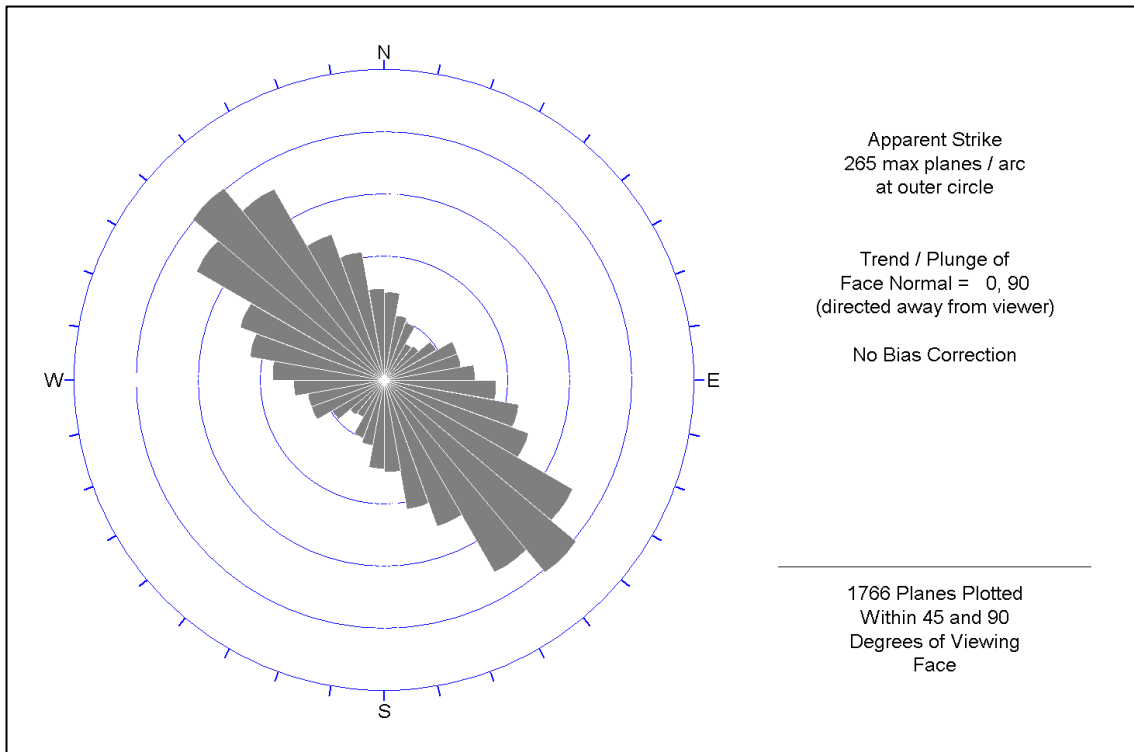


Ilustración 13.

Diagrama Estereográfico de Contornos del Compósito (Sector Sur).

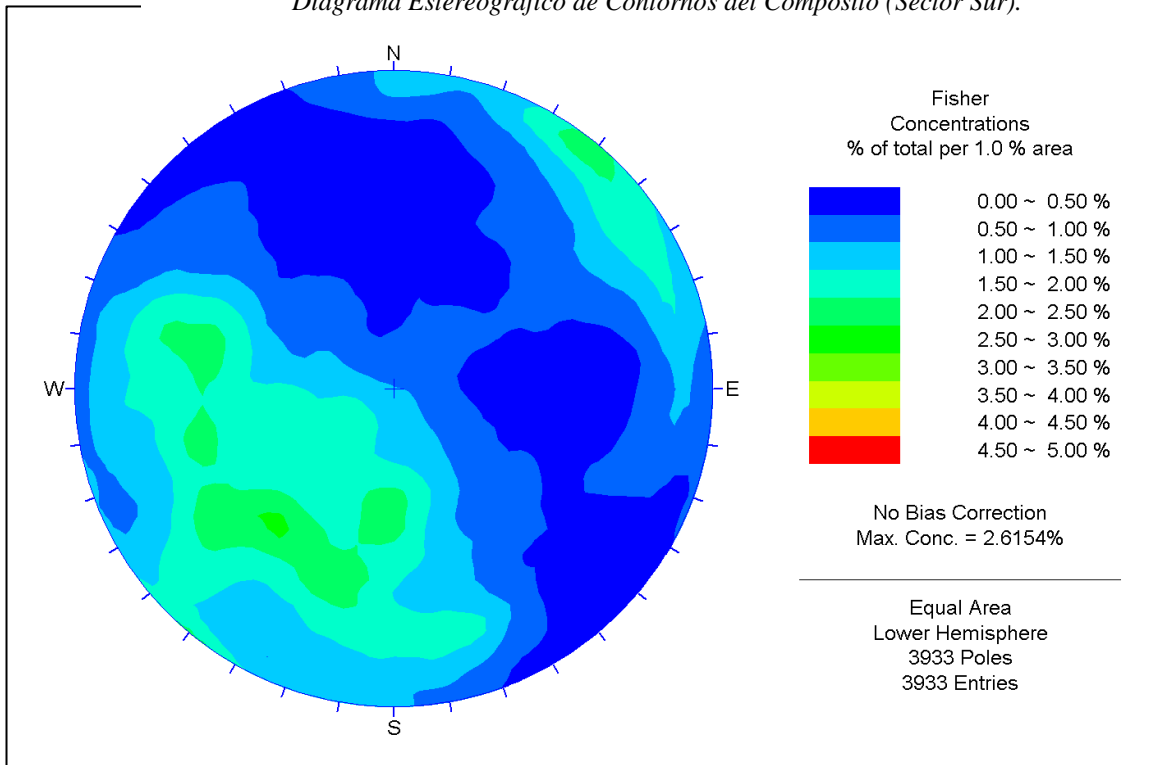


Ilustración 16.

Diagrama Estereográfico de Planos Principales del Compósito (Sector Sur).

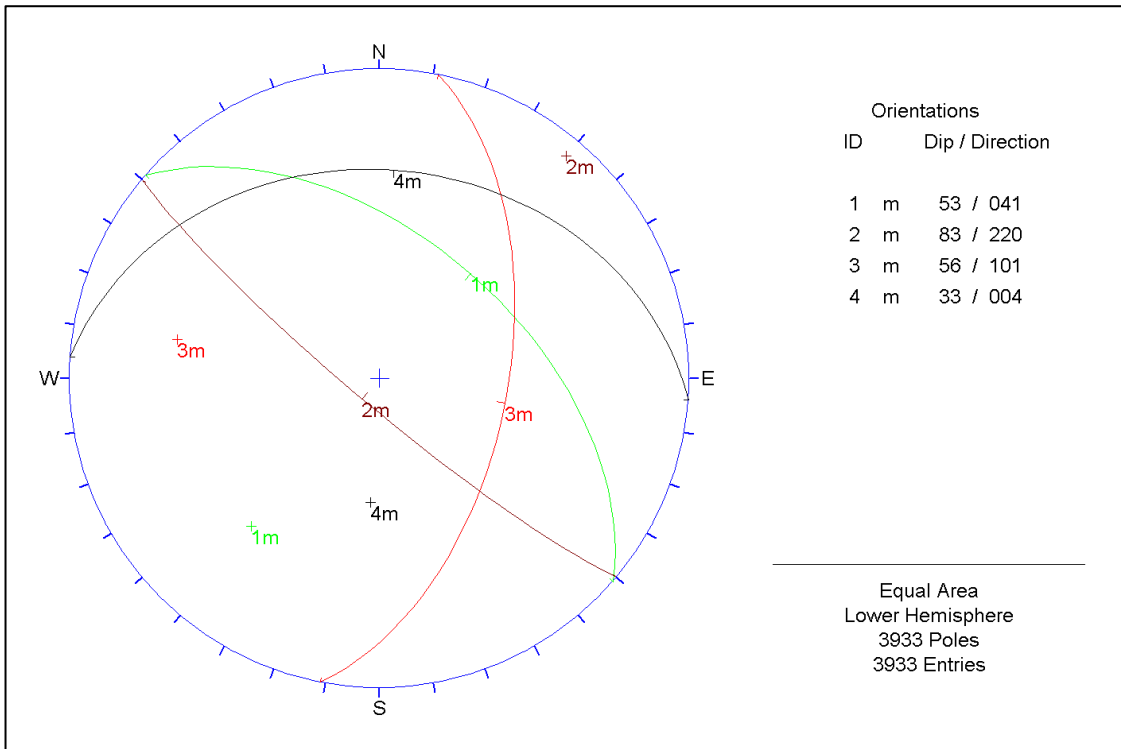
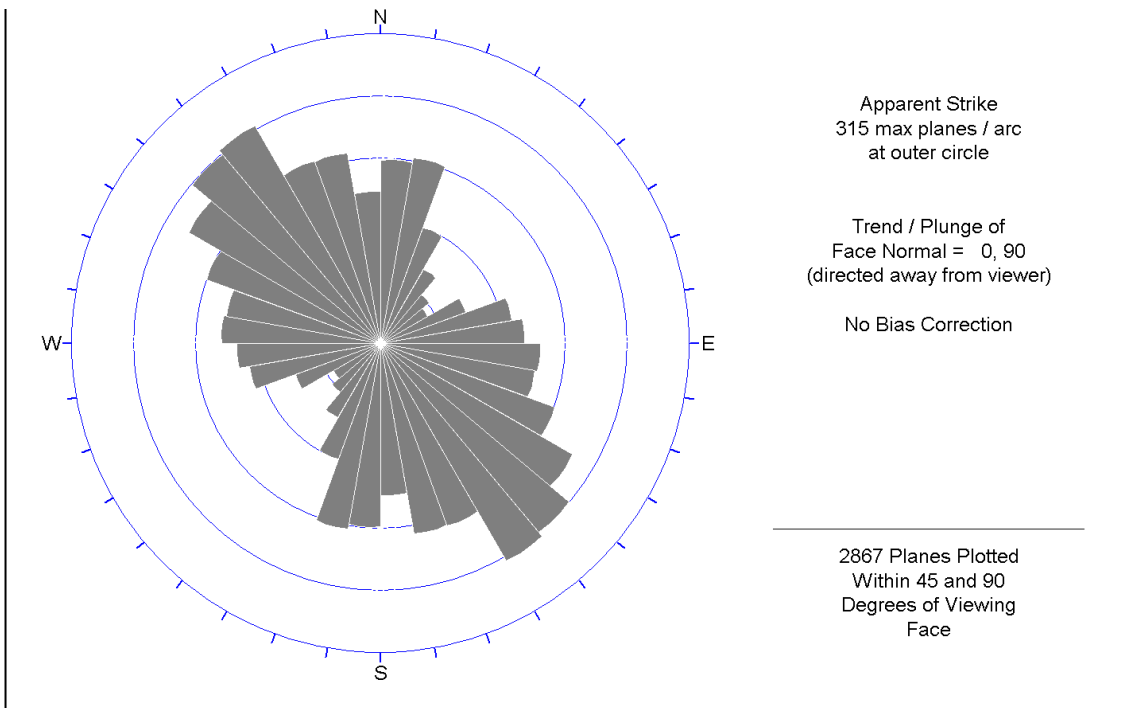


Ilustración 15.

Diagrama de Roseta de Discontinuidades del Compósito (Sector Sur).



Cabe mencionar que de los estudios de años anteriores (2006 y 2008), respecto a los mapeos geomecánicos sistemáticos que se realizaron en los Niveles 4750 y 4540, se efectuó en aquella oportunidad una interpretación estructural de la masa rocosa cuyos resultados en los sistemas principales guardan cierta similitud con el arreglo estructural obtenido para el presente estudio. Se debe tener en cuenta que el arreglo estructural determinado en aquella oportunidad fue con una muestra estadística mucho menor que la data que en esta oportunidad se ha tenido disponible a partir de los testigos orientados.

4.1.3 Aspectos estructurales

Las características estructurales se establecieron mediante tratamiento estadístico de la información registrada en las labores subterráneas de los Nvs. 4750 y 4540, de los testigos de los sondajes diamantinos convencionales y de los datos obtenidos de los sondajes diamantinos con testigos orientados ejecutados como parte del presente estudio (ver Anexos 1, 2 y 3 DCR-Ingenieros). Según esto, las siguientes son las características estructurales de las discontinuidades presentes en el área del proyecto:

Fallas

Las fallas tienen espaciamientos de 5 a 20 m y persistencias de decenas y en algunos casos de centenas de metros. Se presentan subparalelas a los estratos. De manera general, tienen relleno de materiales de carbonatos, óxidos y arcillas, con espesores generalmente de 1 a 5 cm. La apertura es menor que 1 mm y ocasionalmente mayor a 5 mm. Sus áreas de influencia no son significativas. Las superficies de las caras son lisas, en algunos casos ondulados, con estrías de falla.

Estas estructuras son favorables a las filtraciones de agua, puesto que se observa en algunas de ellas condiciones de goteo y hasta flujos pequeños de agua.

Estratos

Los estratos tienen espaciamientos generalmente de 20 a 60 cm, con persistencias mayores a 20 m, aperturas menores a 1 mm, superficies ligeramente rugosas, con relleno de carbonatos, piritita y óxidos menores de 5 mm, la alteración es sana a ligera, con condiciones de agua subterránea de húmedas a mojadas.

Diaclasas

De manera generalizada, las diaclasas tienen espaciamientos de 10 cm a 30 cm, persistencias de 3 a 10 m y ocasionalmente mayores a 10 m, aperturas menores a 1 mm, paredes ligeramente rugosas a rugosas, rellenos de carbonatos, óxidos, piritita y arcillas con espesores generalmente menores a 5 mm, sanas a ligeramente alteradas y condiciones de agua subterránea húmedas.

4.1.4 Clasificación de la Masa Rocosa

Para clasificar geomecánicamente a la masa rocosa, se utilizó la información del mapeo geomecánico de la masa rocosa realizada en las labores subterráneas de los Nvs. 4750 y 4540, del logueo geotécnico de los testigos de las perforaciones diamantinas convencionales realizadas como parte de la exploración del yacimiento, y los datos del logueo de los testigos orientados de los sondajes realizados como parte del presente estudio. Se utilizan en este informe los criterios de clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR – Valoración del Macizo Rocoso – 1989), Barton y Colaboradores (Sistema Q – 1974) y Marinos & Hoek (GSI – Geological Strength Index – 2002).

Los valores de resistencia compresiva de la roca intacta, fueron obtenidos conforme a los procedimientos señalados más adelante en el Acápite 0. Los valores del índice de calidad de la roca (RQD) fueron tomados de los registros de los testigos de las perforaciones diamantinas proporcionados por Milpo S.A.A. y directamente durante el logueo de los mismos, y del registro lineal de discontinuidades en la masa rocosa de las labores subterráneas, utilizando la relación propuesta por Priest & Hudson (1986), teniendo como parámetro de entrada principal la frecuencia de fracturamiento por metro lineal.

El criterio adoptado para clasificar a la masa rocosa se presenta en el siguiente cuadro:

Tabla 2.
Criterio Para la Clasificación de la Masa Rocosa.

Tipo de roca	Rango RMR	Rango Q	Calidad según RMR
II	> 60	> 5.92	Buena
IIIA	51 – 60	2.18 – 5.92	Regular A
IIIB	41 – 50	0.72 – 1.95	Regular B
IVA	31 – 40	0.24 – 0.64	Mala A
IVB	21 – 30	0.08 – 0.21	Mala B
V	< 21	<0.08	Muy Mala

Según la información pasada y actual (presente estudio) los resultados por tipo de rocas y en rangos de calidad según el RMR correspondiente. Las litologías que se mencionan en dicho cuadro son las que se representan en las Secciones Geológicas – Geomecánicas.

A partir de estos resultados podemos concluir lo siguiente:

- Tomando en cuenta la información geomecánica procedente de los testigos de los sondajes diamantinos, se puede afirmar que la calidad predominante de masa rocosa involucrada con el yacimiento Hilarión es Buena (II). Localmente la calidad puede variar de acuerdo a lo indicado en los siguientes párrafos.

Tabla 3.

Calidad de la Masa Rocosa por Tipo de Roca.

Tipo de roca	Abreviación	Rango RMR	Rango de calidad masa rocosa
Caliza	CLZA	55 – 67	IIIA y II
Diorita	DIOR	62 – 68	II
Hornfels	HRN	62 – 68	II
Zona mineralizada	ZM	60 – 68	IIIA y II
Endoskarn	ENSK	63 – 68	II
Pórfido de cuarzo	PQZ	63 – 70	II
Stock	STOCK	65 – 70	II

- En las Secciones Geológicas – Geomecánicas se observa que de manera localizada y puntual, existen pequeños tramos de masa rocosa de menor calidad, es decir tramos de Regular B (IIIB) y Mala A (IVA), que podrían estar asociados a fallas presentes en la zona de estudio.
- Para el caso de la caliza, los tramos de calidad Regular A (IIIA) se hallan principalmente cerca de superficie, tal como se observa en las Secciones Geológicas –Geomecánicas, mejorando la calidad de la masa rocosa en profundidad.
- La zona mineralizada, generalmente se halla dentro de la roca endoskarn, también dentro de la roca hornfels y caliza en menor proporción. La

calidad de la zona mineralizada en algunos sectores es ligeramente menor respecto a su entorno.

- En los estudios anteriores se han realizado trabajos de mapeo geomecánico de las labores subterráneas en los Nvs. 4740 y 4540, en donde se han registrado valores de RMR de Regular A (IIIA) y Buena (II). Los valores menores puedan deberse a que la roca se halla algo intemperizada y algo dañada por la voladura.

De lo descrito, podemos resumir que las rocas presentes en toda la zona de estudio, son mayormente de calidad Buena (II), habiendo una menor proporción de rocas de menor calidad Regular A (IIIA) y una mínima proporción de calidades Regular B (IIIB) y Mala A (IVA), asociadas a lugares puntuales como fallas u otros rasgos geológicos.

4.2. Presentación, Análisis e Interpretación de Resultados

4.2.1 Zonificación Geomecánica de la Masa Rocosa

Para la aplicación racional de los diferentes métodos de cálculo de la mecánica de rocas, es necesario que la masa rocosa bajo estudio esté dividida en áreas de características estructurales y mecánicas similares, debido a que el análisis de los resultados y los criterios de diseño serán válidos solo dentro de masas rocosas que presenten propiedades físicas y mecánicas similares.

Dentro de estas propiedades, la litología, la alteración, el arreglo o modelo estructural de la masa rocosa y la calidad de la misma son consideraciones importantes a tomarse en cuenta para la delimitación de los dominios estructurales.

Para nuestro caso, según los resultados del análisis de distribución de discontinuidades, el arreglo estructural de la masa rocosa se ha definido en tres zonas: Sector Norte, Sector Centro y Sector Sur.

Desde el punto de vista de la calidad de la masa rocosa, se presenta prácticamente un solo dominio de calidad Buena (II). Es necesario indicar que dentro del rango de calidades puede que haya rocas de inferior calidad, pero esto ocurrirá en lugares puntuales asociados a la presencia de fallas geológicas y/o la alteración de la roca.

Desde el punto de vista de las alteraciones, las calizas en general tienen alteraciones del tipo silicificación y prograde skarn, las cuales le confieren propiedades de mayor resistencia. Similar situación ocurre con el skarn. En el stock intrusivo las alteraciones principales son la argilitización y la silicificación, la primera rebaja la resistencia de la roca y la segunda mejora la resistencia. En los diques, las alteraciones principales son la propilitización y la silicificación, ocurre algo similar al stock intrusivo respecto a la resistencia.

De acuerdo a lo indicado, se ha llevado a cabo la zonificación geomecánica del yacimiento Hilarión, basada en toda la información que se ha tenido disponible como producto de las evaluaciones pasadas realizadas en los años 2006 y 2008 y en la presente evaluación. Debido a la regularidad de calidad de la masa rocosa, para la zonificación geomecánica se ha tomado en cuenta el aspecto litológico, conjuntamente con las características del arreglo estructural de las mismas, la calidad de la masa rocosa y las alteraciones.

Tabla 4.

Zonificación Geomecánica del Yacimiento Hilarión

Tipo de roca	Abreviación	Promedio RMR	Dominio Estructural
Caliza	CLZA	60	DE-III A
Diorita	DIOR	64	DE-II
Hornfels	HRN	64	DE-II
Zona mineralizada	ZM	63	DE-II
Endoskarn	ENSK	66	DE-II
Pórfido de cuarzo	PQZ	67	DE-II
Stock	STOCK	67	DE-II

Los valores de la calidad de la masa rocosa corresponden al promedio de la información registrada procedente de las labores subterráneas y de los testigos de las perforaciones diamantinas. Esta zonificación se ha de tener en cuenta para los análisis de la estabilidad de las excavaciones asociadas al minado.

4.2.2 Resistencia de la Roca

A. Resistencia de la roca intacta

Uno de los parámetros más importantes del comportamiento mecánico de la masa rocosa, es la resistencia compresiva no confinada de la roca intacta (σ_c). Para la presente evaluación, durante el logeo geomecánico de testigos diamantinos, se han realizado ensayos de golpe con el martillo de geólogo, siguiendo las normas sugeridas por la ISRM, a fin de estimar la resistencia compresiva de la roca intacta.

A fin de verificar los resultados de campo, se llevaron a cabo en el Laboratorio de Mecánica de Rocas en la PUCP, ensayos de carga puntual y ensayos de compresión triaxial en las principales litologías.

Tabla 5.

Resistencia Compresiva de la Roca Intacta (Determinación con Ensayo de Carga Puntual).

Sondaje	Profundidad	Litología	Cód. Litología	Is (MPa)	σ_c (MPa)
HLD-12-510	100.69 – 102.03	Caliza mundstone	CLZU	2.50	60
HLD-12-510	82.26 – 84.75	Pórfido feldespático	PFT	7.61	183
HLD-12-510	250.32 – 250.72	Caliza	CLZA	2.83	68
HLD-12-514	130.13 – 130.73	Skarn	SKRN	7.35	176
HLD-12-514	148.16 – 162.67	Hornfels	HRN	5.12	123
HLD-12-514	364.34 – 364.77	Pórfido de cuarzo	PQF	10.36	249

Tabla 6.

Resistencia Compresiva de la Roca Intacta (Determinación con Ensayo de Compresión Triaxial).

Sondaje	Profundidad	Litología	Cód. Litología	σ_c (MPa)
HLD-12-510	98.71 – 101.55	Caliza mundstone	CLZU	98
HLD-12-510	78.63 – 81.05	Pórfido feldespático	PFT	180
HLD-12-510	247.93 – 250.06	Caliza	CLZA	86
HLD-12-514	125.80 – 127.64	Skarn	SKRN	135
HLD-12-514	150.59 – 161.34	Hornfels	HRN	104
HLD-12-514	362.55 – 363.96	Pórfido de cuarzo	PQF	212

Como parte de las evaluaciones anteriores, se realizaron también ensayos de compresión uniaxial en el Laboratorio de Mecánica de Rocas de la PUCP y ensayos de carga puntual en testigos rocosos en el Laboratorio de Mecánica de Rocas de la FIGMM de la Universidad Nacional de Ingeniería, cuyo resumen en los siguientes cuadros:

Tabla 7.

Resultados de los Ensayos de Compresión Uniaxial (PUCP).

Taladro	Profundidad	Litología	σ_c (MPa)
DDH-01	40.40 – 40.65	CSMBL	141.0
DDH-01	42.10 – 42.20	CSMBL	90.0
DDH-01	110.30 - 110.50	CLZM	113.0
DDH-01	110.60 - 110.70	CLZM	175.0
DDH-01	157.30 - 157.40	CLZA	141.0
DDH-01	157.60 - 157.70	CLZA	186.0
DDH-09	83.50 - 83.65	DIQUE	277.0
DDH-11	31.30-31.45	CLZU	56.0

Tabla 8.

Resultados de los Ensayos de Carga Puntual (FIGMM – UNI).

Litología	Abreviación	σ_c (MPa)
Calcosilicato-mármol	CSMBL	155
Diorita	DIOR	177
Endo skarn	ENSK	170
Pórfido monzonítico	PMZQ	194
Pórfido cuarcífero	PQZ	187
Skarn	SKRN	182
Tonalita	TON	199

Otro parámetro importante de la roca intacta es la constante “mi” del criterio de falla de Hoek & Brown (2002-2006), este parámetro fue determinado a partir de los resultados de los ensayos de compresión triaxial realizados para el presente estudio (PUCP), utilizando los valores reportados de esfuerzos axial y de confinamiento lateral. Los valores determinados de “mi”, y en este mismo cuadro se muestran también los parámetros de resistencia al corte de Mohr Coulomb: cohesión y ángulo de fricción, de la roca intacta.

Adicionalmente a los ensayos mencionados, para el presente estudio también se han realizado ensayos de tracción indirecta mediante el método brasilero para estimar la resistencia a la tracción de la roca intacta.

Tabla 9.

Valores de la Constante “mi” de la Roca Intacta (Determinados con Ensayos de Compresión Triaxial)

Sondaje	Profundidad	Código de Litología	“mi”	Cohesión (MPa)	Angulo de fricción (°)
HLD-12-510	98.71 – 101.55	CLZU	10.68	4.95	31.07
HLD-12-510	78.63 – 81.05	PFT	18.00	10.73	35.58
HLD-12-510	247.93 – 250.06	CLZA	11.56	4.36	31.07
HLD-12-514	125.80 – 127.64	SKRN	16.14	7.74	34.63
HLD-12-514	150.59 – 161.34	HRN	21.52	6.54	37.14
HLD-12-514	362.55 – 363.96	PQF	21.06	13.20	36.95

Tabla 10.

Resistencia a la Tracción de la Roca.

Sondaje	Profundidad	Cód. Litología	σ_c (MPa)
HLD-12-510	98.71 – 99.29	CLZU	11.15
HLD-12-510	80.78 – 81.05	PFT	17.65
HLD-12-510	248.70 – 250.06	CLZA	7.74
HLD-12-514	126.40 – 127.64	SKRN	12.71
HLD-12-514	162.67 – 162.90	HRN	12.73
HLD-12-514	366.20 – 366.50	PQF	19.12

Por otro lado, para estimar la densidad de las litologías presentes en el área de evaluación, se han realizado ensayos de propiedades físicas.

Tabla 11.

Resultados de los Ensayos de Propiedades Físicas de la Roca Intacta.

Sondaje	Profundidad	Código de Litología	Porosidad Aparente (%)	Absorción (%)	Densidad seca (g/cm ³)
HLD-12-510	99.74 – 101.39	CLZU	1.005	0.370	2.714
HLD-12-510	79.00 – 79.98	PFT	0.738	0.272	2.713
HLD-12-510	249.35 – 250.06	CLZA	1.826	0.674	2.711
HLD-12-514	126.40 – 126.78	SKRN	1.659	0.522	3.181
HLD-12-514	148.16 – 148.35	HRN	0.922	0.337	2.738
HLD-12-514	366.20 – 366.50	PQF	1.550	0.598	2.591

B. Resistencia de las discontinuidades

Desde el punto de vista de la estabilidad estructuralmente controlada, es importante conocer las características de resistencia al corte de las discontinuidades, puesto que estas constituyen superficies de debilidad de la masa rocosa y por tanto planos potenciales de falla. La resistencia al corte en este caso está regida por los parámetros de fricción y cohesión de los criterios de falla Mohr-Coulomb. Estos parámetros fueron determinados también mediante ensayos de laboratorio de mecánica de rocas realizados para el presente estudio.

Tabla 12.

Resultados de los Ensayos de Corte Directo en Discontinuidades.

Sondaje	Profundidad	Código de Litología	Cohesión (MPa)	Angulo de fricción (°)
HLD-12-510	99.92 – 100.40	CLZU	0.059	35.79
HLD-12-510	82.26 – 83.10	PFT	0.067	31.44
HLD-12-510	249.35 – 250.06	CLZA	0.082	33.09

HLD-12-514	130.13 – 130.73	SKRN	0.071	37.35
HLD-12-514	150.59 – 150.88	HRN	0.070	36.30
HLD-12-514	364.34 – 364.77	PQF	0.122	35.42

Por otro lado, durante el logueo de los testigos de los sondajes diamantinos se realizaron ensayos del tablero inclinable (“tilt table test”), con los cuales se obtuvieron valores de ángulo de fricción básico de las diferentes litologías.

Tabla 13.

Resultados de los Ensayos de Tablero Inclinable.

Litología	Angulo de Fricción Básico	
	Rango	Promedio
CLZU	30 – 34	32
CLZA	28 – 35	31
ENSK	30 – 35	33
HRN	30 – 34	32
MBL	30 – 35	32
PQZ	29 – 32	31
PFT	30 – 34	31

C. Resistencia de la masa rocosa

Para estimar los parámetros de resistencia de la masa rocosa, se utilizaron el criterio de falla de Hoek & Brown (2002, 2007), con el programa Roclab (Rocscience Inc., 2007). Para ello se tomaron los valores más representativos de calidad de la masa rocosa involucrada con cada dominio estructural, asimismo de resistencia compresiva uniaxial promedio y la constante “mi” de la roca intacta, desarrollados en este estudio.

Tabla 14.

Propiedades de Resistencia de la Masa Rocosa

Litología	GSI	σ_c MPa	mi	ρ t/m³	MR	mb	s	Emr MPa	Poisson V
CLZA	60	90	11	2.70	500	1.844	0.0059	14109	0.26
DIOR	64	120	20	2.70	325	4.584	0.0145	16563	0.25
HRN	64	100	20	2.70	500	4.009	0.0099	19187	0.25
ZM	63	120	15	3.20	400	2.876	0.0087	17558	0.25
ENSK	66	120	15	3.00	400	3.288	0.0128	20160	0.25
PQZ	67	160	20	2.70	375	4.584	0.0145	26290	0.25
STOCK	67	120	20	2.70	375	4.584	0.0145	19718	0.25

(ZM: Zona mineralizada)

D. Condiciones del Agua Subterránea

La presencia del agua en la masa rocosa de las excavaciones subterráneas tiene un efecto adverso en las condiciones de estabilidad de las mismas. El principal efecto de la presencia del agua en la masa rocosa, es la presión que ejerce en las discontinuidades estructurales disminuyendo la resistencia al corte y favoreciendo la inestabilidad de las labores subterráneas.

Se ha observado que en el Nv. 4740, la presencia del agua no es muy significativa, puesto que en gran parte de las labores subterráneas las condiciones son solo de humedad; observándose condiciones mojadas en zonas localizadas. Filtraciones de agua como goteos o flujos menores se presentan a través de fallas o a través de taladros de perforaciones diamantinas las mismas que probablemente atraviesan fallas.

En general, podemos anticipar que las condiciones de presencia del agua señalada en el párrafo anterior persistirán en profundidad, posiblemente hasta el Nv. 4540, que será el nivel base de la primera fase

de explotación. La fuente de presencia de agua en las labores subterráneas la constituyen los deshielos que ocurren en la parte superior del yacimiento.

Debajo del Nv. 4540 es muy probable que haya mayor presencia de agua subterránea, puesto que aproximadamente en la cota de este nivel se encuentra la laguna Aguascocha. Es recomendable por tanto ahondar en el tema hidrogeológico para el minado en profundidad.

E. Esfuerzos in-situ

La profundidad máxima de las excavaciones respecto a la superficie será aproximadamente de 450 m. Se ha estimado el esfuerzo vertical a partir del criterio de carga litostática (Hoek & Brown, 1978), considerando la citada profundidad. Según este criterio, el esfuerzo vertical in-situ resulta aproximadamente 12 MPa. La constante “k” (relación de los esfuerzos horizontal a vertical) para determinar el esfuerzo in-situ horizontal, fue estimado utilizando el criterio de Sheorey (1994) , las observaciones de campo realizadas sobre las formas de roturas o inestabilidad en paredes y techos de las labores existentes, y el modelamiento de esfuerzos in-situ realizado como parte del presente estudio, según esto, k sería aproximadamente 0.65 a 1.0, con el que se obtiene un esfuerzo horizontal in-situ de aproximadamente 8 MPa a 12 MPa. El modelamiento numérico realizado ha mostrado que al encontrarse el yacimiento próximo a una ladera, es posible que el esfuerzo principal mayor se encuentre alineado con la ladera, es decir sea paralelo a la

pendiente de la ladera, y el esfuerzo principal menor esté alineado perpendicularmente a la ladera.

Según el avance del proyecto, es recomendable que para las fases siguientes de estudios, se realicen mediciones de esfuerzos in-situ, con cuyos resultados se podrán afinar los análisis presentados en este trabajo.

4.3 Prueba de Hipótesis

La determinación de las variables Independiente y dependiente, son el principal fundamento para realizar la prueba de la Hipótesis y mediante estas variables es aceptada dicha prueba por lo que se tiene que precisar los Parámetros Geomecánicos para establecer el Método de Explotación en el Proyecto Hilarión de la Compañía Minera Milpo.

- ✓ **H0:** Parámetros Geomecánicos en el Proyecto Hilarión.
- ✓ **H1:** Método de Explotación en el Proyecto Hilarión.

4.4 Discusión de Resultados

4.4.1 Parámetros Geomecánicos de los Métodos de Minado

El estudio de pre-factibilidad del Proyecto Hilarión y base a los estudios geomecánicos previos realizados para este proyecto, se definieron los siguientes dos métodos de minado:

Tajeos por subniveles con taladros largos (Sub Level Stopping – SLS-Longitudinal) con relleno cementado en los tajeos primarios y relleno con bajo contenido de cemento o sin cemento en los tajeos secundarios.

Banqueo y relleno (Bench & Fill - B&F), con relleno detrítico y pilares de buzamiento.

4.4.2 Parámetros de los Métodos de Minado

Ubicación de las labores de acceso y servicios permanentes

Dadas las condiciones geomecánicas favorables de la masa rocosa del yacimiento, en la cual se presentan rocas de calidad mayormente Buena (II), y dado también el buzamiento sub-vertical de los cuerpos mineralizados, desde el punto de vista geomecánico es indistinto ubicar estas labores en la caja piso o en la caja techo.

La decisión de buscar una ubicación adecuada de las labores de acceso y servicios permanentes dependerá del planeamiento y diseño del minado, en la cual los aspectos operativos tendrán un rol importante. Se deberá sí tener en consideración que los lugares en donde se ubicarán estas labores estén lo suficientemente alejados de la influencia del minado de los tajeos. Por otro lado, también se deberá tomar en cuenta la distancia a las áreas de minado futuro.

Esquemas de minado

En el método SLS-Longitudinal, mediante subniveles de 24 m (piso a piso) o 28 m (piso a techo) de altura, se rompería el mineral utilizando taladros largos. Primero serían extraídos los tajeos primarios, los mismos que serían rellenados con relleno cementado, luego se extraerían los tajeos secundarios, quedando expuesta la pared de relleno cementado, estos tajeos secundarios serían rellenados con relleno de bajo contenido de cemento o sin cemento.

En el método B&F, también mediante subniveles de 24 m (piso a piso) o 28 m (piso a techo) de altura, se va rompiendo el mineral utilizando taladros largos. A medida que avanza la rotura y extracción del mineral, el vacío que se va quedando es rellenado progresivamente con relleno detrítico.

Dimensiones de los tajeos y pilares

Según los resultados del dimensionamiento de tajeos efectuado, aplicando el Método Gráfico de Estabilidad y el modelamiento numérico realizado, se pueden adoptar las dimensiones de los tajeos mostrados en el Anexo 8 del informe de DCR-Ingenieros. La altura entre los subniveles no variaría, manteniéndose en 24 m (piso a piso) o 28 m (piso a techo).

En el SLS-Longitudinal el ancho máximo de los tajeos sería 20 m y la longitud recomendable 40 m, para mayores longitudes se tendría que utilizar refuerzo de las cajas con cablebolts y la resistencia del relleno cementado tendría que ser mayor. Tanto los tajeos primarios como los tajeos secundarios serían del mismo tamaño.

En el B&F el ancho de los tajeos podría llegar hasta los 15 m y la longitud recomendable de la cresta del relleno hasta el frente de rotura del mineral es de 40 m, por lo menos al inicio de la operación minera, después se podrá optimizar la longitud.

Relleno

Para el caso del SLS-Longitudinal, se prevé utilizar relleno cementado en los tajeos primarios, el requerimiento de resistencia es 700 kPa y 850 kPa respectivamente para longitudes de tajeos de 30 m y de 40 m. Según las pruebas realizadas por Golder (Ref.: 7), estas resistencias se pueden lograr con relleno en pasta de 7 ½" de slump y contenidos de cemento de 3.5 % y 4 % respectivamente. Si los tajeos secundarios fueran rellenados con relleno en pasta este relleno sería de bajo contenido de cemento (de 1 % a 1.5 %). De otro modo los tajeos secundarios serían rellenados con relleno convencional, ya sea relleno hidráulico o relleno detrítico.

Para el caso del B&F, lo usual es utilizar relleno detrítico para que el material de relleno genere un ángulo de reposo. También podría utilizarse relleno hidráulico, pero en este caso habría necesidad de conformar diques o pilares de buzamiento en mineral para contener al relleno, aunque esto distorsiona la esencia del método B&F.

Secuencias de avance del minado

En el SLS - Longitudinal, los modelamientos numéricos realizados han indicado que es ventajoso para las condiciones de estabilidad adoptar la secuencia de avance realizando cortes horizontales como se muestra en las figuras del Anexo 8 del informe de DCR-Ingenieros. Primero sale el tajeo primario, luego se rellena con relleno cementado topeado al techo, después salen en el orden indicado los tajeos secundarios, exponiéndose la pared de relleno cementado, finalmente se rellena el tajeo secundario con relleno de bajo contenido de cemento o sin cemento. Culminado el minado en un horizonte, este continúa en el horizonte superior y así sucesivamente. En este método de minado es recomendable que el minado comience en el fondo del yacimiento para evitar dejar pilares puentes de mineral.

Un aspecto importante que cabe señalar es que en los tres métodos de minado: SLS, B&F el avance del minado en los tajeos será longitudinal, es decir paralela a la estructura mineralizada. Todo el dimensionamiento geomecánico realizado contempla esta situación de avance.

En el B&F, hay varias alternativas de secuencia de avance, se puede avanzar en un solo horizonte entre dos niveles o se puede hacer un minado simultáneo en varios horizontes. Cuando se avanza en un mismo horizonte es recomendable dividir a la estructura mineralizada en paneles para tener un número

mayor de frentes de producción, el avance en este caso puede ser convergente o divergente entre panel y panel, ciclando

Adecuadamente la secuencia de avance. Cuando se avanza en varios horizontes, es adecuado el minado en gradines, pues este permite tener más frentes de producción, su puesta en práctica depende de los procedimientos operativos, teniendo accesos adecuadamente ubicados pueden llevarse a cabo diferentes esquemas y secuencias de avance del minado, tal como se muestran en los ejemplos de las figuras del Anexo 8. Desde el punto de vista geomecánico no habría mayores implicancias al adoptar una u otra secuencia de avance del minado. En este método de minado también es recomendable comenzar la explotación del fondo del yacimiento, de otro modo será necesario dejar pilares puentes de mineral, los cuales podrían perderse.

Consideraciones finales

Como se mencionó anteriormente, los métodos de minado SLS-Longitudinal, B&F serían aplicados para la explotación del yacimiento Hilarión respectivamente en un 96 %, 4 %. Esto nos conduce a afirmar que el método SLS-Longitudinal con relleno cementado en los tajeos primarios y relleno de bajo contenido de cemento o sin cemento en los tajeos secundarios, es de lejos el más importante. Respecto a este método son importantes los siguientes aspectos desde el punto de vista geomecánico:

- De acuerdo a los parámetros de minado señalados en los acápités previos, una actividad importante será el topeo tanto del relleno cementado como del relleno no cementado al techo de los tajeos primarios y secundarios. En la secuencia de minado establecida para el SLS si no hubiera un buen

topeo del relleno al techo el ancho del tajeo no sería 20 m sino o 40 m o 60 m, en esta situación el techo podría hundirse. La manera más sencilla de topear el relleno al techo es hacer techos inclinados tal como se puede ver en las figuras del Anexo 8. Con un buen topeo al techo se asegurarán condiciones de estabilidad local y global satisfactorias.

- Es recomendable que se realicen cuidadosos diseños y ejecuciones de voladuras controladas cuando se rompa el mineral al lado del relleno cementado. Esto por un lado conducirá a mejorar las condiciones de estabilidad de las paredes de relleno cementado, por otro lado, se tendrá una menor dilución por la menor caída de materiales desde las paredes del relleno cementado. También es recomendable utilizar voladura controlada en los contactos desmonte – mineral.
- Durante la operación de la mina, se deberá implementar un programa de control de la dilución y recuperación del mineral. En tal sentido es recomendable que se adquiera un equipo Optech que apoyará a este programa. Con este método de minado y el uso de relleno cementado la dilución puede variar en el rango de 5 % a 10 % y la recuperación de 90 % a 95 %. En varias minas con las cuales han estado involucrados los autores de este informe tanto en el país como en el extranjero se han visto diluciones del orden de 7 % a 9 % y recuperaciones arriba de 90 % (93 % - 95 %).

Otro aspecto que también se deberá tomar en cuenta es el referido al pilar puente (pilar de rumbo) temporal de 20 m de altura que se deberá dejar debajo del Nv. 4540 para proceder con la explotación inferior. Según las

diferentes consideraciones dadas no habría mayores problemas con la estabilidad del mismo, siempre y cuando se tomen en cuenta las recomendaciones respecto al topeo del relleno al techo de los tajeos.

Finalmente, es necesario utilizar relleno cementado en los tajeos adyacentes separados por pilares tabulares de masa rocosa estéril. De esta manera se tendrán mejores condiciones de estabilidad local y global.

CONCLUSIONES

- Los parámetros de diseño establecido para el proyecto fueron establecidos de acuerdo a las Unidades Básicas de Explotación.
- La secuencia de avance para la producción temprana, se desarrolló en forma simultánea en los niveles superiores 4740 (para ventilación), el nivel intermedio 4540 (Sector Hilarión), para dar acceso a las rampas y el nivel base 4350 desde la quebrada ShicraShicra.
- El desarrollo del túnel de servicios NV 4350 (Shicra Shicra - Sector El Padrino), se desarrolló hacia el nivel base del cuerpo, este túnel de servicios tendrá la función de drenaje, ventilación, exploración y acceso a los sectores prospectivos de interés en el largo plazo y para continuar con la profundización de la mina.
- Se logró la mayor fluidez en los ciclos de minado, con la adecuada ubicación de los accesos, echaderos de mineral, chimeneas de ventilación, relleno y servicios. Independizando el acceso de equipos para cada sector de explotación, evitando la concentración de equipos en áreas reducidas de trabajo.
- Se Determinó la ubicación adecuada de los “ore pass” de extracción de mineral a la salida de cada rampa y en el puente de seguridad, con el propósito de minimizar las distancias de acarreo, con la suficiente capacidad de almacenamiento para el manejo del blending en caso sea necesario.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda en el método SLS-Longitudinal, mediante subniveles de 24 m (piso a piso) o 28 m (piso a techo) de altura, al romper el mineral utilizando taladros largos. Primero serían extrayendo los tajeos primarios, los mismos que serían rellenados con relleno cementado, luego se extraerían los tajeos secundarios, quedando expuesta la pared de relleno cementado, estos tajeos secundarios serían rellenados con relleno de bajo contenido de cemento o sin cemento.
- Se recomienda en el método B&F, también mediante subniveles de 24 m (piso a piso) o 28 m (piso a techo) de altura, al romper el mineral utilizando taladros largos a medida que avanza la rotura y extracción del mineral, ciclar el relleno progresivamente con relleno detrítico.
- En el SLS-Longitudinal el ancho máximo de los tajeos sería 20 m y la longitud recomendable 40 m, para mayores longitudes se tendría que utilizar refuerzo de las cajas con cablebolts y la resistencia del relleno cementado tendría que ser mayor. Tanto los tajeos primarios como los tajeos secundarios serían del mismo tamaño.
- En el B&F el ancho de los tajeos podría llegar hasta los 15 m y la longitud recomendable de la cresta del relleno hasta el frente de rotura del mineral debe ser 40 m, por lo menos al inicio de la operación minera, después se podrá optimizar la longitud.
- El relleno para el caso del SLS-Longitudinal, se recomienda utilizar relleno cementado en los tajeos primarios, el requerimiento de resistencia es 700 kPa y 850 kPa respectivamente para longitudes de tajeos de 30 m y de 40 m. Se recomienda incrementar los controles e inspecciones de campo con la finalidad de verificar el cumplimiento a las normas de seguridad.

- El relleno para el caso del B&F, lo usual es utilizar relleno detrítico para que el material de relleno genere un ángulo de reposo. También podría utilizarse relleno hidráulico, pero en este caso habría necesidad de conformar diques o pilares de buzamiento en mineral para contener el relleno y mantener la seguridad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Andrade h., byron; introducción a la ingeniería de tuneles – caracterización, clasificación y análisis geomecánica del macizo rocoso. A.I.M.R. Quito-Ecuador, 2006.
- Barton, N. (1991- 1992). Predicting the behavior of underground openings in rock. New Delhi.
- Compañía Minera Buenaventura S.A.A. – UP. Uchucchacua: Departamento de Geología/Geomecánica – 2019.
- GONZALES DE VALLEJO L., INGENIERÍA GEOLÓGICA, Pearson – Prentice Hall, Madrid, 1990.
- GOODMAN Richard E. “INTRODUCTION TO ROCK MECHANICS”. Edition. University of California at Berkeley, 1991.
- Hoek, E. (1998). Strength of rocks and rock masses. ISRM New Journal 5 (2), pg 12-28.
- <https://hdl.handle.net/11537/24458>.
- Karzulovic A. “Sistemas de Calificación y Clasificación Geotécnica de Macizos Rocosos, Método del Índice GSI”, 1994.
- Karzulovic, (1980) Antonio; SISTEMAS DE CALIFICACION Y CLASIFICACION GEOTÉCNICA DE MACIZOS ROCOSOS.
- Navarro Carrasco Salvador, Ortiz Gomez Raul, Ruíz Marin Juan. Geotecnia Aplicada a la Construcción de Túneles - 2010.
- Roncal, L. K. (2020). Influencia de los parámetros geotécnicos en el diseño de una desmontera para labores subterráneas, Hualgayoc 2019.
- Universidad Nacional de Ingeniería, Pruebas de Laboratorio de Mecánica de Rocas. Noviembre 2019.

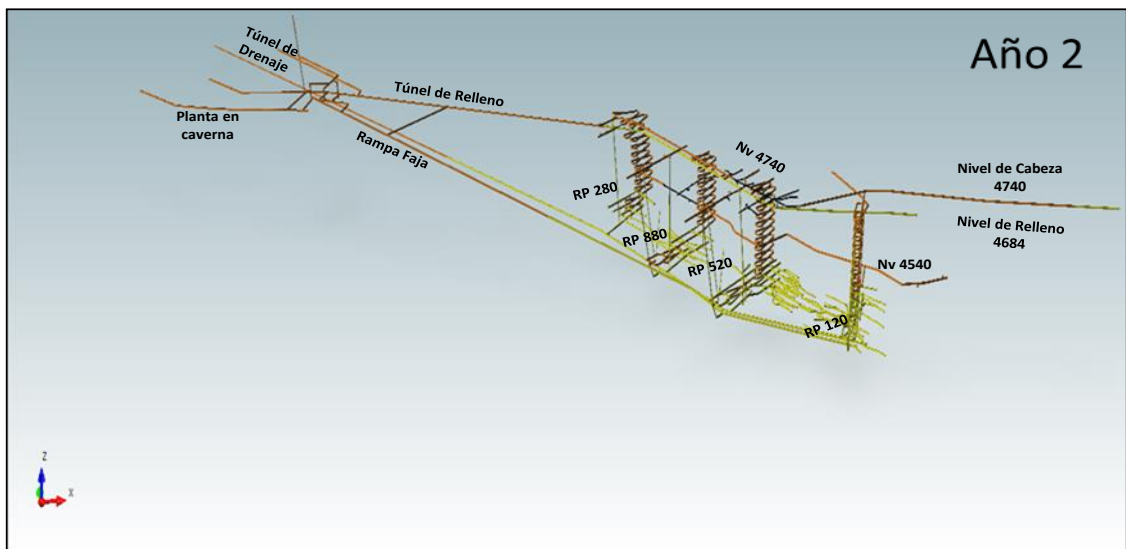
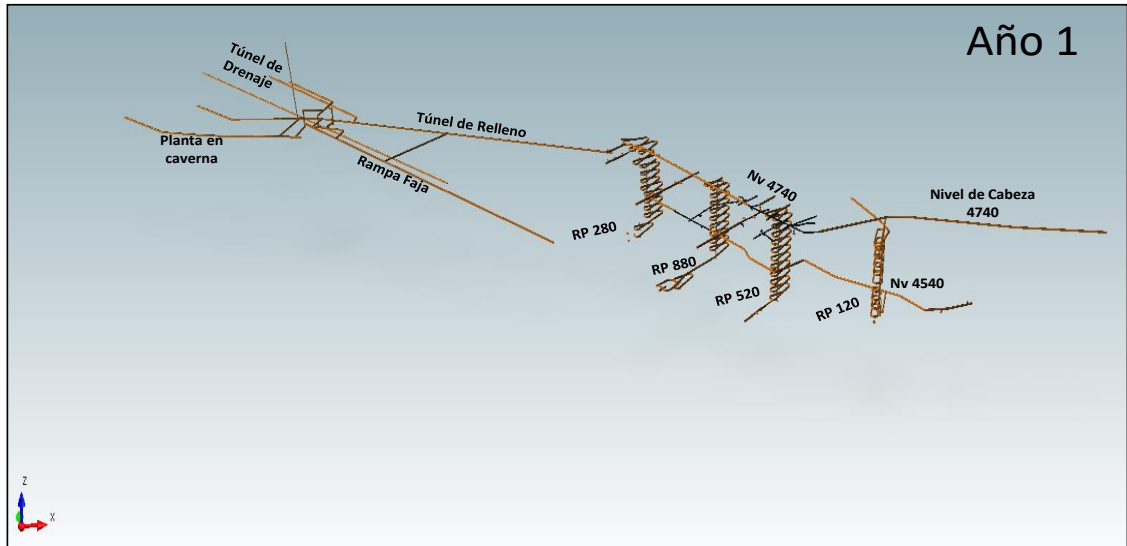
Weiss F. y Córdova D. “Influencia de las condiciones naturales en la selección del método de explotación en minería subterránea”, Informe INGEMMET – 1990.

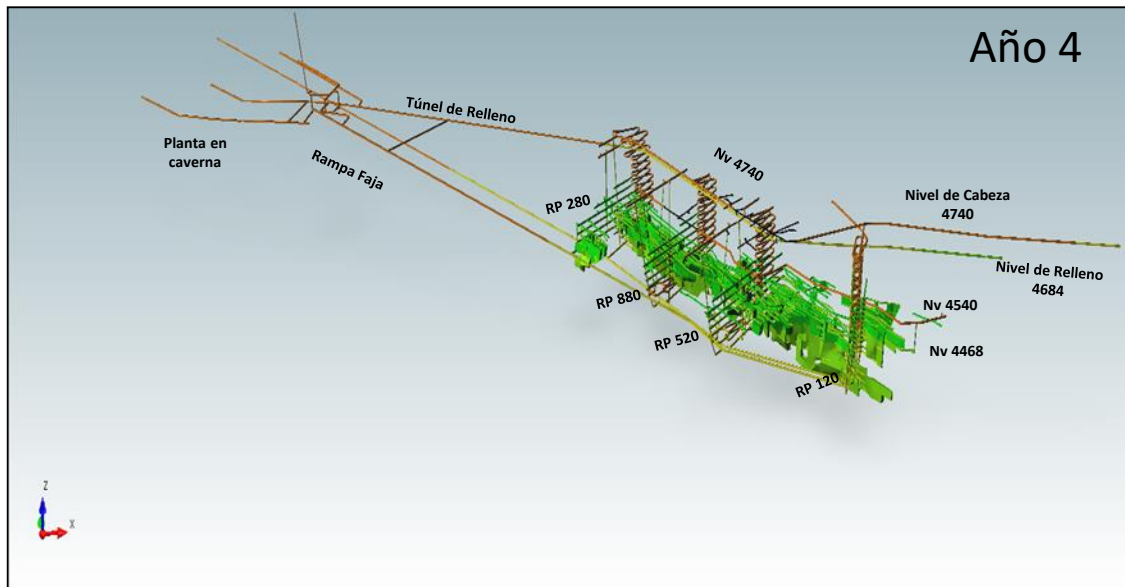
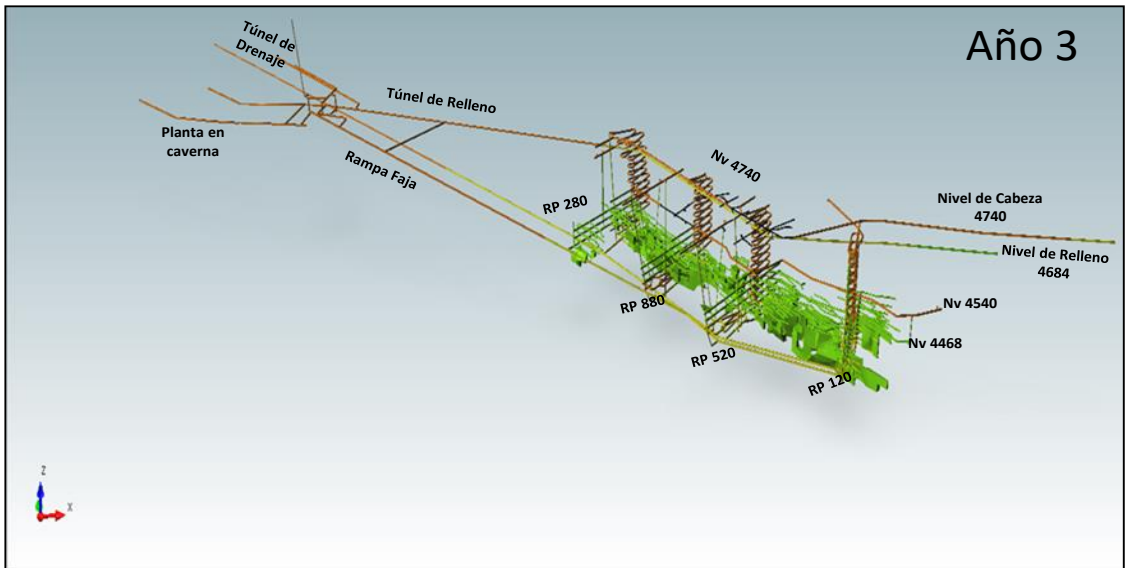
Z. T. Bieniawski; ENGINEERING ROCK MASS CLASSIFICATIONS, A Wiley-Interscience Publication, 1991-1992, Canada.

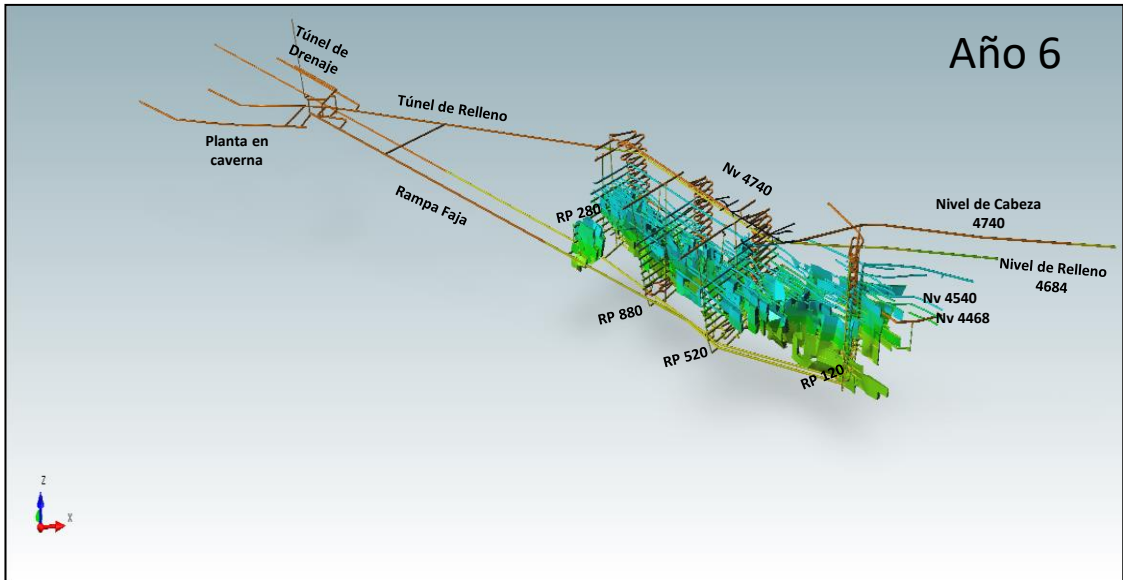
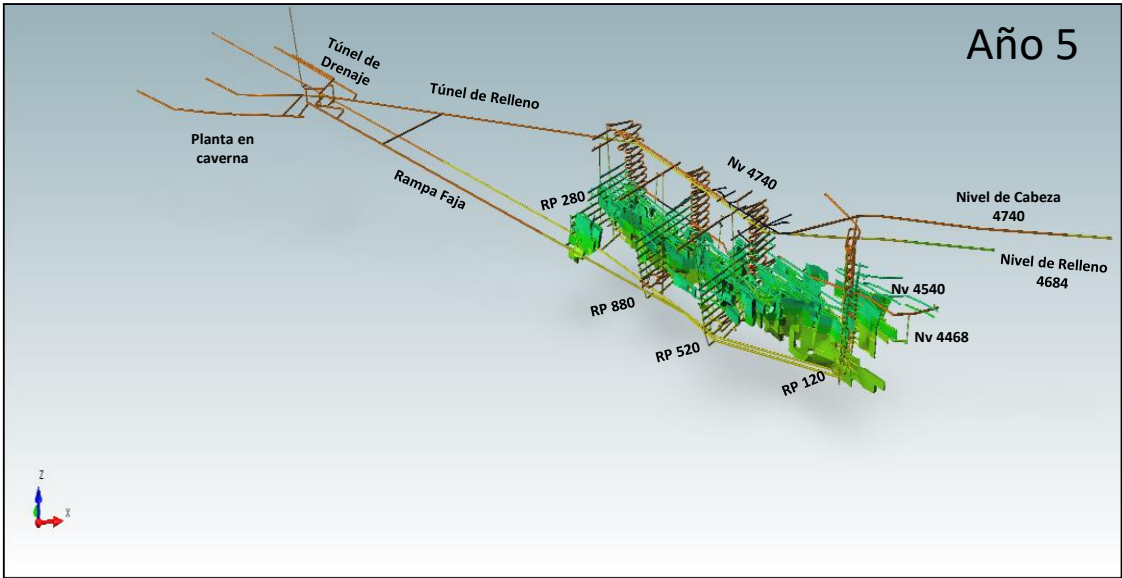
ANEXOS

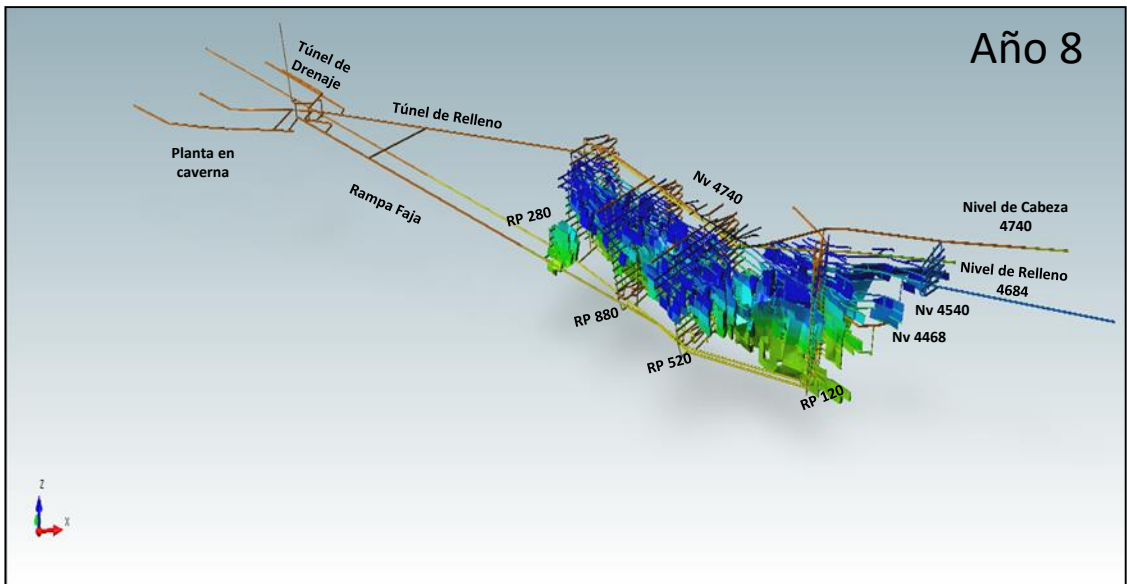
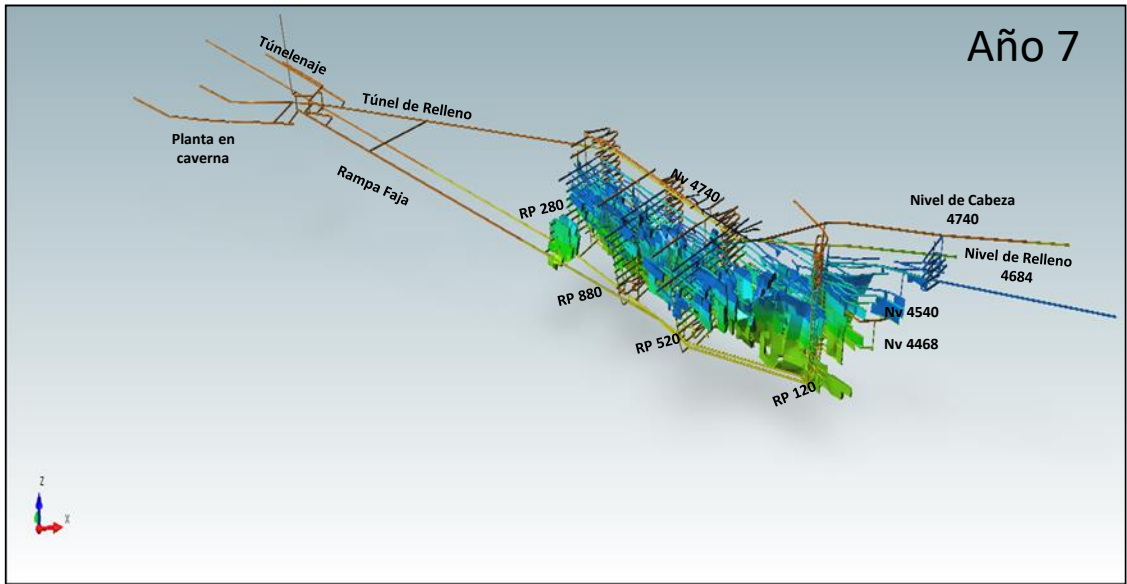
Anexo I. Secuencia de Producción

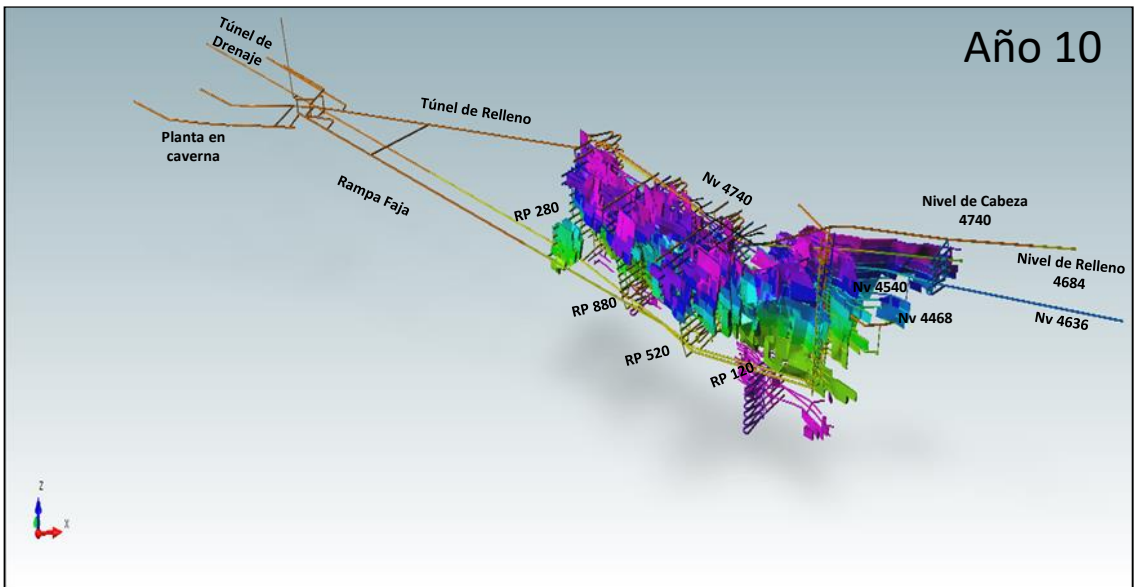
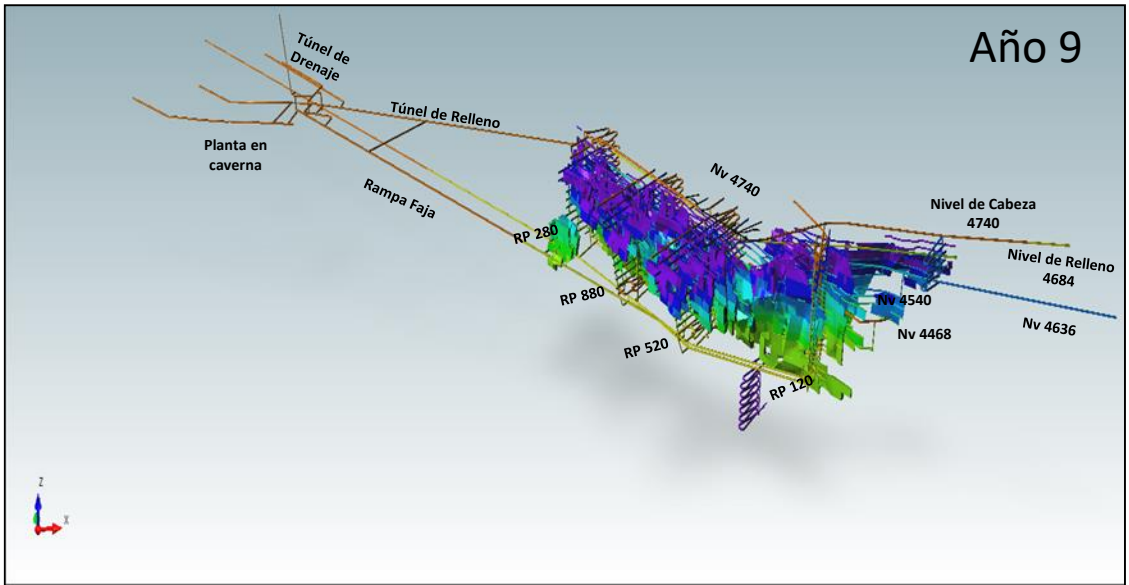
Se utilizó el software MineSched, el secuenciamiento de la producción se muestra por años, también se adjunta el cuadro resumen del programa de producción:

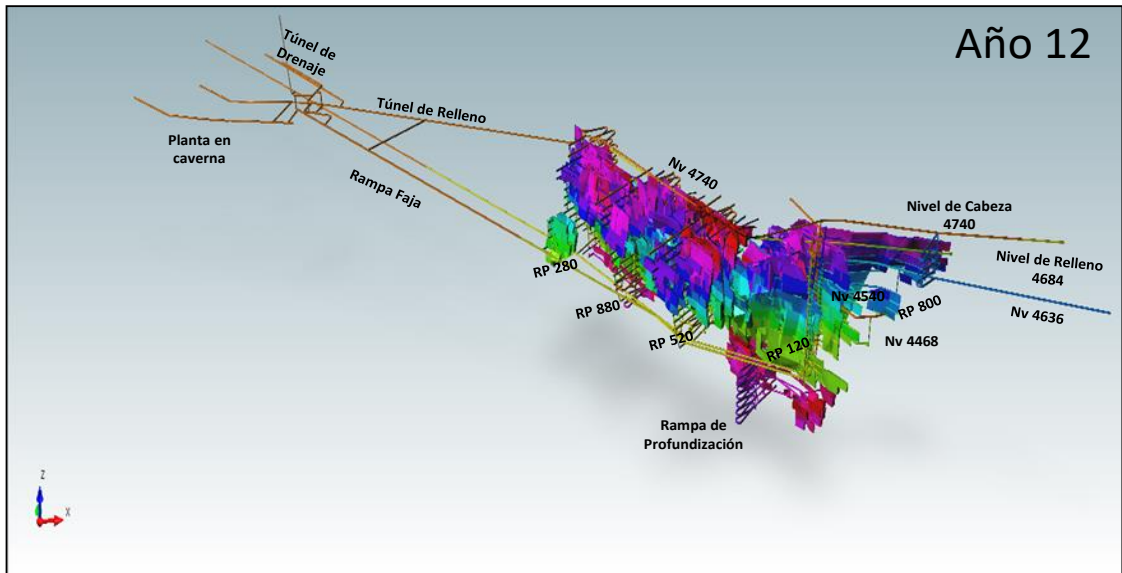
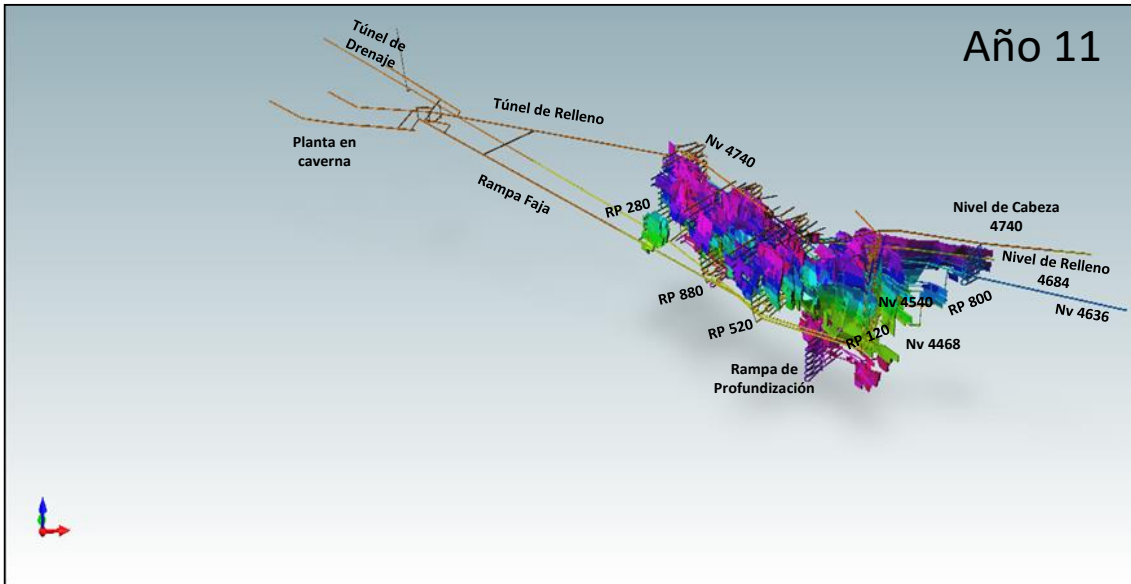












Anexo 2. Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA						
TÍTULO: “Parametros Geomecanicos para establecer el Meteodo de Explotacion en el Proyecto Hilarion - Compañia Minera Milpo S.A.A.”						
Tesista: Bach. River Diyues, VIDAL GOMEZ						
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	TIPO Y NIVEL DE INVEST
<p>GENERAL:</p> <p>¿Es posible determinar los Parámetros Geomecánicos para establecer el Método de Explotación en el Proyecto Hilarión de la Compañía Minera Milpo S.A.A.?</p> <p>Problemas específicos</p> <p>A. ¿La determinación de los Parámetros geomecánicos establecerá los aspectos geotécnicos y el diseño minero en el Proyecto Hilarión?</p> <p>B. ¿El establecer los Parámetros geomecánicos permitirá el control de la estabilidad en el proceso de explotación del Proyecto Hilarión de la Compañía Minera Milpo S.A.A.?</p>	<p>GENERAL:</p> <p>Determinar los Parámetros Geomecánicos para establecer el Método de Explotación en el Proyecto Hilarión de la Compañía Minera Milpo S.A.A.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>A. Determinación de los Parámetros geomecánicos establecerán los aspectos geotécnicos y el diseño minero en el Proyecto Hilarión.</p> <p>B. Establecer los Parámetros geomecánicos para permitir el control de la estabilidad en el proceso de explotación del Proyecto Hilarión de la Compañía Minera Milpo S.A.A.</p>	<p>GENERAL</p> <p>Los Parámetros Geomecánicos establecerán el Método de Explotación en el Proyecto Hilarión de la Compañía Minera Milpo S.A.A.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <p>A. La determinación de los Parámetros geomecánicos establecerán los aspectos geotécnicos y el diseño minero en el Proyecto Hilarión.</p> <p>B. El establecimiento de los Parámetros geomecánicos permitirá el control de la estabilidad en el proceso de explotación del Proyecto Hilarión de la Compañía Minera Milpo S.A.A.</p>	<p>INDEPENDIENTE</p> <p>X: Parámetros Geomecánicos.</p> <p>Variable Dependiente</p> <p>Y: Método de Explotación en el Proyecto Hilarión.</p>	<p>Evaluacion Geomecanica.</p> <p>Metodos de Explotacion.</p> <p>Proyecto Hilarion</p>	<p>Parametros Geotecnicos</p> <p>Areas de minado</p> <p>Planificacion.</p> <p>Ciclo de Minado.</p> <p>Metodos de Explotacion.</p>	<p>TIPO:</p> <p>Aplicada.</p> <p>NIVEL:</p> <p>Evaluativa.</p>