

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE MINAS



T E S I S

**Evaluación geomecánica para definir la secuencia de minado por
cámaras y pilares de la Mina San Vicente – Compañía Minera San
Ignacio de Morococha S.A.**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Italo Teodoro FERNANDEZ CAMPOS

Asesor:

Mg. Luis Alfonso UGARTE GUILLERMO

Cerro de Pasco – Perú - 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE MINAS



T E S I S

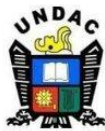
**Evaluación geomecánica para definir la secuencia de minado por
cámaras y pilares de la Mina San Vicente – Compañía Minera San
Ignacio de Morococha S.A.**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Agustin Arturo AGUIRRE ADAUTO
PRESIDENTE

Mg. Floro Pagel ZENTENO GOMEZ
MIEMBRO

Mg. Nelson MONTALVO CARHUARICRA
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería de Minas

Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas



Firmado digitalmente por CONDOR SURICHAGUI Santa Silvia FAU 20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 13.12.2024 11:34:22 -05:00



INFORME DE ORIGINALIDAD N° 071-2024

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

Presentado por:

Bach. Ítalo Teodoro FERNANDEZ CAMPOS

Escuela de Formación Profesional
Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:

Tesis

Título del trabajo

"Evaluación Geomecánica para definir la Secuencia de Minado por Cámaras y Pilares de la Mina San Vicente – Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A."

Asesor:

Mg. Luis Alfonso UGARTE GUILLERMO

Índice de Similitud: **19%**

Calificativo

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 13 de diciembre de 2024.

Sello y Firma del responsable
de la Unidad de Investigación

DEDICATORIA

A Dios por darme la salud y sabiduría para poder lograr mis objetivos dentro de la universidad.

A mis padres Orlando Fernández Taquire y Marcelina Campos Santillán quienes fueron el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, inculcando en mí los valores y deseos de superación.

A mi esposa Jessica Tucto Huerta y mis hijos Mathias, Melanny y Anghelo Fernandez Tucto por ser la luz y el faro de este camino que empiezo como profesional.

A mis hermanos Jheltsin, Ulises, Shantall, Bill, Wartofsky y Clifton por todo su apoyo durante la elaboración de la presente tesis.

A mis Suegros Don Melanio Tucto Matencio y Doña Zenobia Huerta Salazar por todo su apoyo moral durante la elaboración de la presente tesis.

AGRADECIMIENTO

La presente investigación fue posible, por la confianza de mis padres, mi esposa, hijos, hermanos y suegros; personas que me motivaron, aconsejaron para el inicio de la elaboración de la presente tesis.

Reconocimiento a la Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A. (SIMSA), por la oportunidad de trabajo, ya que durante mi permanencia en la empresa se desarrolló la investigación, con el apoyo del área de planeamiento quienes brindaron la información necesaria y las consultas dadas lo aclararon. Así mismo al área de producción mina, mi área de trabajo el cual hizo posible el reforzamiento de mis conocimientos previos.

A mis docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas, quienes hicieron posible mi formación profesional.

RESUMEN

La Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A. (SIMSA), administra las operaciones de la Mina San Vicente, produciendo concentrados de zinc y plomo, utilizando el método de explotación de Cámaras y Pilares subterráneo mecanizado.

El trabajo de investigación tiene por objeto realizar la evaluación Geomecánica para definir la secuencia de minado por Cámaras y Pilares y describir el diseño y construcción de la Cámaras y Pilares de la mina San Vicente.

En Base al método de explotación por Cámaras y Pilares y de acuerdo con la evaluación geomecánica se determina que tenemos una investigación del tipo Cuantitativa, Aplicada, Experimental y Documental.

Según la evaluación de pilares realizados se deberá considerar un pilar irregular como un mínimo de 5.50 m de ancho o su equivalente en área/perímetro para poder asegurar un Factor de Seguridad >1.4 , así mismo se deberá contar con un diseño de malla para la perforación y voladura para no debilitar los pilares, ya que se requerirá más de dos disparos para recuperar los bloques, recomendándose para la recuperación de Mineral mayor a 6m, se realice una labor piloto de 4.50x4.50 y luego desquinchar hasta la sección propuesta.

El sostenimiento por emplear será Shotcrete más pernos, previa evaluación del Área de Geomecánica + Cable Bolting en zonas con Spam $> 6m$.

El proyecto se desarrolla en base a cuatro capítulos en la que se detallan todos los procedimientos seguidos para obtener la información necesaria que determine lo requerido para culminar la Investigación con aportes necesarios para la minería subterránea.

Palabras Clave: Geomecánica, Cámaras y Pilares, Secuencia de Minado.

ABSTRACT

The San Ignacio de Morococha Mining Company S.A. (SIMSA), manages the operations of the San Vicente Mine, producing zinc and lead concentrates, using the mechanized underground Chambers and Pillars exploitation method.

The purpose of the research work is to carry out the Geomechanical evaluation to define the mining sequence by Chambers and Pillars and describe the design and construction of the Chambers and Pillars of the San Vicente mine.

Based on the exploitation method by Chambers and Pillars and according to the geomechanical evaluation, it is determined that we have a Quantitative, Applied, Experimental and Documentary type of investigation.

According to the evaluation of the pillars carried out, an irregular pillar must be considered a minimum of 5.50 m wide or its equivalent in area/perimeter to ensure a Safety Factor >1.4 , and a mesh design for drilling must also be available. and blasting so as not to weaken the pillars, since more than two shots will be required to recover the blocks, it is recommended for the recovery of Mineral greater than 6m, a pilot work of 4.50x4.50 be carried out and then stripping to the proposed section.

The support to be used will be Shotcrete plus bolts, after evaluation by the Geomechanics Area + Cable Bolting in areas with Spam $> 6\text{m}$.

The project is developed based on four chapters in which all the procedures followed to obtain the necessary information to determine what is required to complete the Research with necessary contributions for underground mining are detailed.

Keywords: Geomechanics, Chambers and Pillars, Mining Sequence.

INTRODUCCION

La Minería es un oficio donde rige la oferta y demanda de los precios de los metales en el mercado internacional por lo tanto es de vital importancia definir la secuencia de minado por Cámaras y Pilares de la Mina San Vicente, para continuar con las operaciones de la mina.

El trabajo de Investigación efectuada para la Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A., nos permite aplicar la toma de decisiones para optar por la mejor variante del método de Cámaras y Pilares que permita establecer la producción, para extraer el mineral, con eficiencia y seguridad, manteniendo la producción en la Mina San Vicente.

Este método de explotación es aplicado ampliamente y en los últimos años se ha desarrollado bastante, debido a su bajo costo de explotación y a la vez que permite hasta cierto punto una explotación moderadamente selectiva. Los yacimientos que mejor se presentan para una explotación por Room and Pillar, son aquellos que presentan un ángulo de manto bajo, aunque también es aplicable en yacimientos de manto entre 30° y 40°, es decir, en yacimientos de manto crítico, donde el mineral no puede escurrir por gravedad.

La tesis se desarrolla con las siguientes referencias:

Capítulo I. Planteamiento del Problema de la Investigación.

Capítulo II. Antecedentes y Marco Teórico de la Investigación.

Capítulo III. Metodología y Técnicas de la Investigación.

Capítulo IV. Resultados y Discusión de la Investigación.

ÍNDICE

Página.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION

ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ANEXOS

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación	2
1.3.	Formulación del problema.....	12
1.3.1.	Problema general	12
1.3.2.	Problemas específicos	12
1.4.	Formulación de objetivos	13
1.4.1.	Objetivo general	13
1.4.2.	Objetivos específicos.....	13
1.5.	Justificación de la investigación	13
1.6.	Limitaciones de la investigación	13

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1.	Antecedentes de estudio	14
2.2.	Bases teóricas - científicas.....	17
2.3.	Definición de términos básicos	32
2.4.	Formulación de hipótesis.....	35
2.4.1.	Hipótesis general	35
2.4.2.	Hipótesis específicas	35
2.5.	Identificación de las variables	35

2.5.1. Variable Independiente:.....	35
2.5.2. Variable Dependiente:	35
2.6. Definición operacional de variables e indicadores.....	35

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación	37
3.2. Nivel de investigación	37
3.3. Métodos de investigación.....	38
3.4. Diseño de la investigación.....	38
3.5. Población y muestra	38
3.5.1. Población	38
3.5.2. Muestra	38
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	39
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	39
3.8. Tratamiento estadístico.....	40
3.9. Orientación ética filosófica y epistémica	40

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Descripción del trabajo de campo	41
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	45
4.3. Prueba de hipótesis	58
4.4. Discusión de resultados	59

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

	Página.
Ilustración 1. Ubicación Mina San Vicente.....	2
Ilustración 2. Vista Panorámica de la Mina San Vicente	3
Ilustración 3. Columna Estratigráfica de San Vicente.....	8
Ilustración 4. Plano Geológico Local - Regional	9
Ilustración 5. Explotación Plana – Cámaras y Pilares	23
Ilustración 6. Explotación Inclínada – Cámaras y Pilares.....	25
Ilustración 7. Manejo y Transporte del Mineral.....	26
Ilustración 8. Lineamientos y distribución de mantos en planta	42
Ilustración 9. Sección 8,760,000N Zona Norte, mirando al Norte.....	43
Ilustración 10. Sección 8,758,500N Zona Sur, mirando al Norte	44
Ilustración 11. Sección NW Zona Uncush Sur, mirando al NE	45
Ilustración 12. Vista Isométrica – Modelo Económico Manto Alfonso Nv4065.....	45
Ilustración 13. Polígonos a Recuperar y Pilares - Manto Alfonso Nv4065	46
Ilustración 14. Mapeo Geomecánico (Proyección de Pilares Naturales) - Manto Alfonso Nv4065	47
Ilustración 15. Sección Transversal - Manto Alfonso Nv4065	48
Ilustración 16. a) Representación Gráfica del Método del Área Tributaria. b) Representación del Esfuerzo sobre el Pilar de acuerdo a su Área Tributaria (Yrarrázaval, 2013).....	49
Ilustración 17. Plano Topográfico Pilares a Recuperar	53
Ilustración 18. Plano Topográfico Actividades Preliminares antes del Inicio de Minado.....	55
Ilustración 19. Plano Topográfico Actividades de Minado.....	57
Ilustración 20. Vista Isométrica – Ubicación y Orientación de Smart Cable.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1. Criterio de valoración "RMR89 de Bieniawski, modificado - Romana, 2000	19
Tabla 2. Operacionalización de Variables.....	36
Tabla 3. Cálculos de Esfuerzos sobre los Pilares de Estudio	50
Tabla 4. Cálculos de Resistencia de los Pilares por Hedley y Grant.....	51
Tabla 5. Cálculos de Resistencia de los Pilares por Lunder y Pakalnis	52
Tabla 6. Cálculos de Factor de Seguridad por Hedle y Grant - Lunder y Pakalnis.....	53
Tabla 7. Pilares dejados por Control Estructural.....	54

ÍNDICE DE ANEXOS

Página

Anexo 1. Matriz de Consistencia

Anexo 2. Método de Explotación – Cámaras y Pilares

Anexo 3. Instrumentos para la Investigación

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación determinación del problema

La Evaluación Geomecánica, que determinarán la viabilidad para acceder a los recursos existentes mediante la secuencia del minado por el método de Cámaras y Pilares para dar continuidad a las operaciones de explotación de la mina San Vicente involucra las estructuras mineralizadas y su ambiente físico.

La excavación del método es de la extracción del cuerpo mineral es realizar cortes mediante cámaras con pilares adyacentes, que sirven de sostenimiento del techo, luego se recupera los pilares de manera parcial o total, cuando la recuperación es total se realiza mediante un hundimiento controlado del techo que se realiza al concluir la vida del yacimiento o con el avance de la explotación, considerando que el hundimiento del techo sea totalmente controlado, ya que el ciclo de la perforación y voladura origina daños a la masa rocosa menorando los factores de resistencia, controlar el daño asociado a la voladura significa hacer una valoración cualitativa y cuantitativa de los resultados

e impactos originados con una evaluación geomecánica, para definir la secuencia de las operaciones de minado.

Por tanto el área de Geomecánica ha llevado a cabo un plan de investigaciones geológicas-geomecánicas con el objetivo de evaluar propiedades del yacimiento, en cuanto a la distribución de mantos y lineamientos para controlar los mantos en los cuerpos Alfonso y San Vicente que son casi paralelos a estas capas con dirección S-N, por la existencia de cambio en facies que a generado una trampa del fluido mineralizaste.

1.2. Delimitación de la investigación

Ubicación

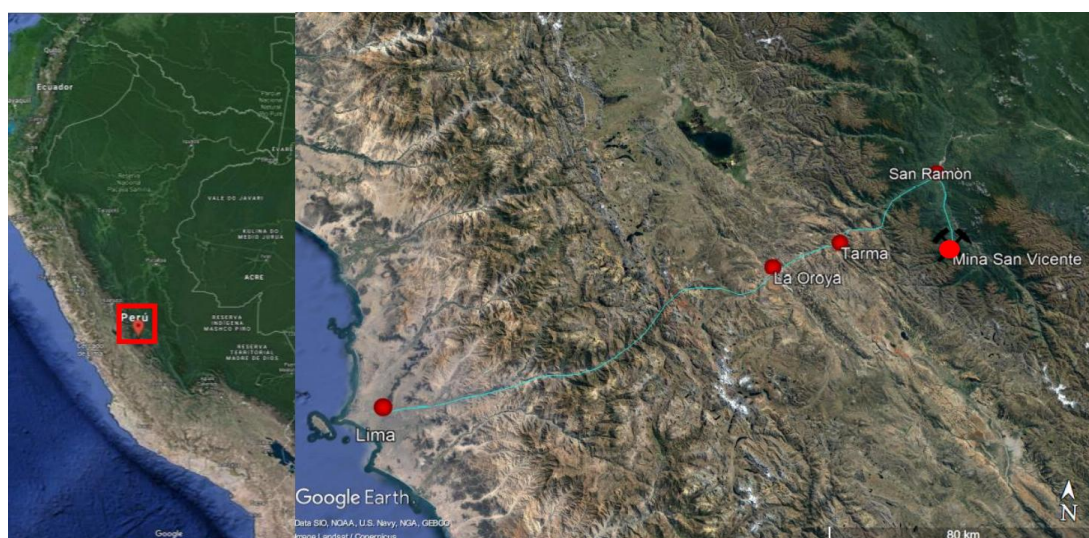
La minera San Vicente con sus unidades San Vicente, pampas y Chilpes, se encuentra en la región Junín, provincia de Chanchamayo, distrito de Vitoc entre las prominencias orientales del ande central peruano con un promedio de altitud de 1550 m.s.n.m., con coordenadas UTM (Ver Ilustración 01):

E = 458 195

N = 8 758 608.

Z = 1550 m.s.n.m.

Ilustración 1. Ubicación Mina San Vicente



Fuente: Elaboración Propia.

Accesibilidad

Se llega a la mina por la carretera Central Lima – La Oroya – Tarma – San Ramón, Kilómetro 293, sigue un desvío al Sur, ver Ilustración 02.

- La Oroya - Lima 188 km.
- San Ramon - La Oroya 105 Km.
- San Vicente - San Ramon 17 Km.

Recorriendo un total de 310 Km.

Ilustración 2. Vista Panorámica de la Mina San Vicente



Fuente: Minera San Vicente.

Geomorfología

La zona de proyecto investigación presenta un paisaje agreste con relieve abrupto en áreas bajas con planos ondulados, con una elevación variada de 810 msnm hasta 3700 msnm. Se observa muy presente quebradas pronunciadas con presencia de planos de fallas y escarpes de falla que originaron la forma muy agreste a estas.

Geología Regional

En la mina San Vicente, regionalmente las rocas, se originan del Precámbrico en el Complejo Maraynioc de gneis micáceos y esquistos, sobre ella

se presenta la roca sedimentaria con una edad paleozoicas acompañado del Grupo Excelsior con limonitas y areniscas y sobreyace el Grupo Copacabana y Tarma con calizas y bioclásticas, consecuentemente con el transicional Permo-triásico se forma el Grupo Mitú con facies clásticas, compuestas de conglomerados plutonoclásticos, areniscas y limonitas. Entre las rocas clásticas del Mesozoico se encuentra el Grupo acompañado de la formación Condorsinga, Chambará y Aramachay compuesta por calizas dolomíticas, calizas bituminosas, dolomicritas y dolomías oides. La formación de los intrusivos datan del Permo-triásicas los mismos están compuestos de Granodiorita y Granito San Ramón y la Tarma, asimismo se encuentran intrusivos menores.

Geología Local

La geología local de San Vicente se constituye del Mesozoico Condorsinga, calizas del Triásico y estratos molásicos del Pérmico, hasta los sedimentos contemporáneos. Ver Ilustración 03 y 04.

Grupo Mitú

Este sedimento continental de color rojizo y del tipo molásico, compuesto de conglomerados polimícticos, limonitas, yeso y areniscas, constituye litológicamente y morfológicamente la guía para relacionar la ubicación estratigráfica del Grupo Pucará. Por presentar una edad relativa esta considerado de la edad Permo- Triásico

Grupo Pucara

Formación carbonatada de origen marino que acompaña a los minerales de Zinc tipo MVT. Fundamentado en criterios litoestratigráficos y se considera de suma importancia económica, están constituidos por diez unidades, cuatro

secuencias dolomíticas tienen relación con los minerales de Zinc, las que se desarrollan de piso a techo.

Unidades Basales

La unidad se encuentra en contacto directo con el grupo Mitu, con un proceso transicional, el cambio litológico fue brusco, formada por calizas intraclásticas, limolitas calcáreas, calizas laminares y chérticas, dolomías micríticas, y limolitas dolomíticas, todas presentan un elevado porcentaje de cuarzo detrítico del tamaño de la limonita. Su espesor está en el rango de 150 a 370 m.

Caliza Porosa Basal

Esta capa es formada por el calcáreo-dolomítica compuesto por las calizas dolomíticas porosas deleznales, algunos niveles oolíticos, dolomías finas, con niveles de brecha calcárea, limolitas laminares. Se han controlado capas de 50 a 170 m.

Dolomía San Judas

Es la capa inicial de dolomías ooides alternados con niveles finos. Se han definido regionalmente dos barras, denominadas Piñón y San Judas; estas facies componen el tipo de roca que contiene minerales de Zinc. En esta columna San Judas, actualmente se ha diferenciado 3 capas, donde todo tipo de tipo de mineralización es de flujo. Se tienen capas de 210 a 380 m.

Caliza Neptuno

La caliza Neptuno es muy similar a la litología de la caliza porosa basal, esta representa la segunda capa porosa, se diferencian por estar en la distribución de capas y posición estratigráfica. El rasgo característico de la unidad es la

secuencia de calizas oolíticas de facies no dolomitizadas; la capa varía entre 15 y 150 m, compone en la zona un importante acuífero.

Dolomía San Vicente

En esta columna San Vicente, se tiene en la zona sur cinco capas de zinc tipo cebra y en la zona norte cuenta con nueve mantos de zinc tipo cebra y una capa de zinc tipo masivo, estratigráficamente está definido con las diferentes capas intermedias a inferiores; las capas son variadas de 35 a 310 m.

Caliza Uncush

La capa está compuesta por calizas masivas al techo de toda la secuencia y negras bituminosas laminares en la base, conforma la unidad guía para realizar relaciones estratigráficas. Tiene un espesor variable de 20 a 160 m.

Dolomía Alfonso

La dolomía es la tercera secuencia que alberga la mineralización de zinc, en esta unidad desarrolla la columna Alfonso, su litología es muy similar a las dos unidades anteriores, radica su diferencia en su estratigrafía, el tipo de estructura diagenética y el grado de dolomitización que se ha formado, el mismo llega a ser la base de receptividad a la mineralización, en cuanto a las dimensiones son minimas respecto a San Vicente. La varían las capas de 25 a 175 m.

Caliza Arcopunco

El arcapunco es la tercera secuencia porosa también muy similar a los anteriores, se diferencia por la posición estratigráfica y su distribución real de 30 afloramientos, la unidad aflora al norte de la mina y al sur de Sillapata. La capa varia de 90 a 220 m.

Dolomía Colca

El colca es la cuarta secuencia dolomítica que es muy favorable para albergar los minerales de zinc, compuesto de dolomías ooides, en la actualidad se ha detectado una escasa presencia de mineralización de zinc, ello implica en profundizar los análisis de campo. La capa varía de 35 a 55 m.

Unidades Superiores

Estas unidades componen niveles calcáreos sobre las capas favorables, litológicamente compuestas de niveles de dolomías micríticas, calizas laminares, nodulares, dolomíticas, chérticas. La capa alcanza un espesor de 90 m.

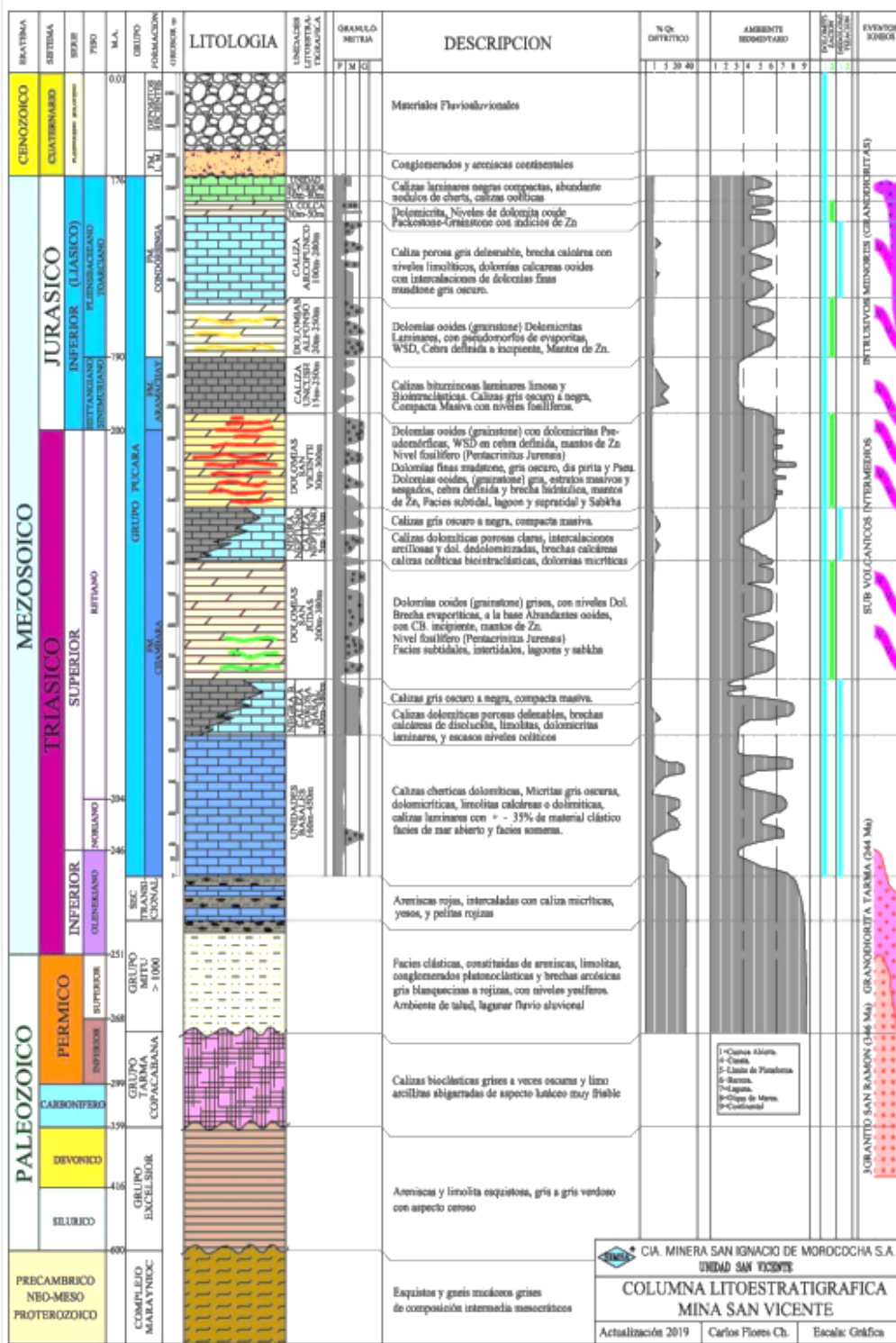
Formación la Merced

Esta formación está compuesta por una secuencia areniscas continentales, de conglomerados que han sido lechos del recorrido de los ríos, se encuentra en toda la longitud del Valle de Chanchamayo, se considera de la etapa del Plio-Pleistoceno.

Cuaternarios

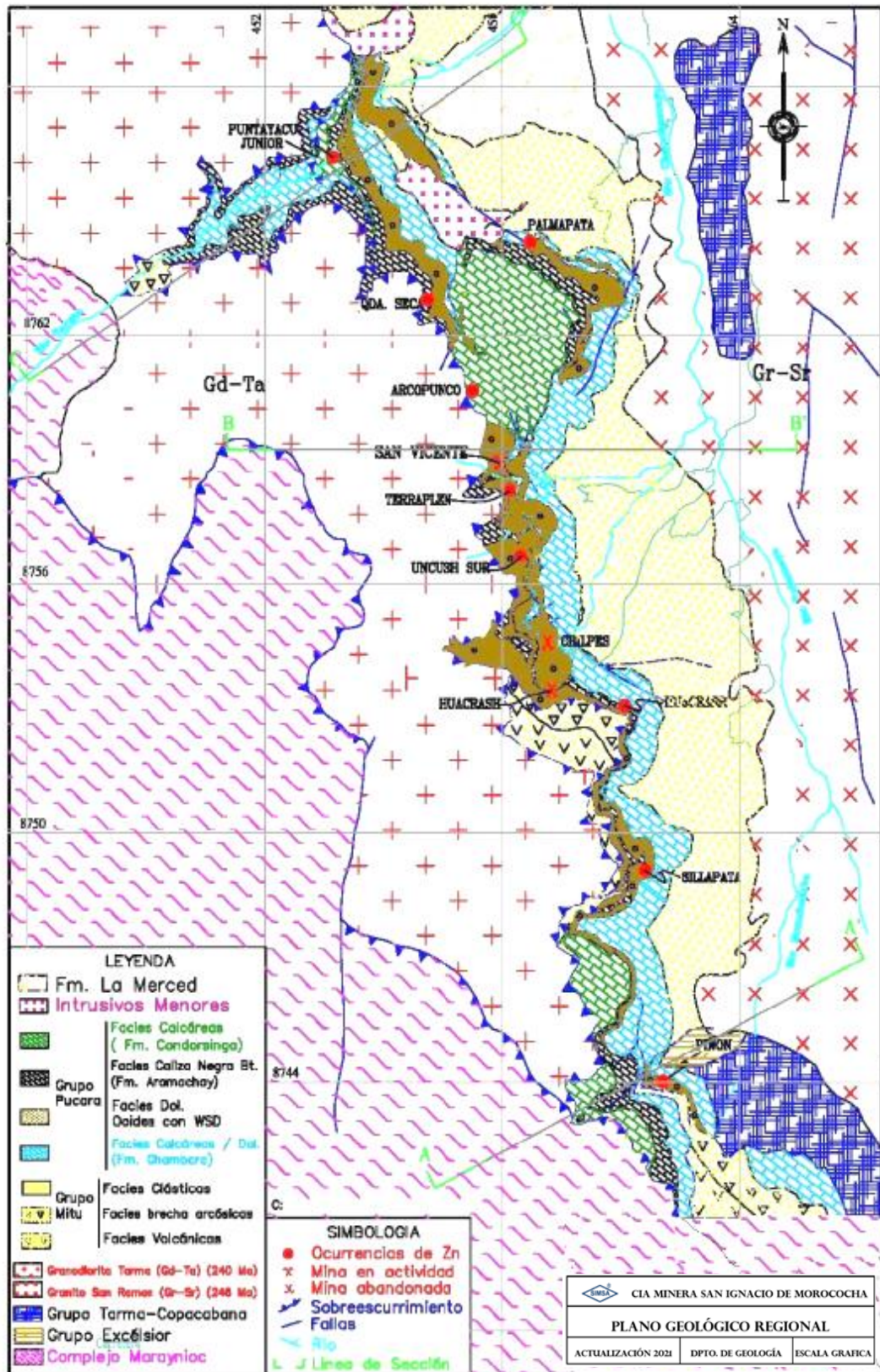
Los cuaternarios son depósitos contemporáneos tanto coluviales, de aluviales, deslizamientos, derrumbes, que son secuencia de la formación del paisaje actual y da indicios de una morfología dinámica en el Valle de Chanchamayo.

Ilustración 3. Columna Estratigráfica de San Vicente



Fuente: Geología SIMSA.

Ilustración 4. Plano Geológico Local - Regional



Fuente: Geología SIMSA.

Geología Estructural

La geología de la zona de investigación se puede apreciar cuatro sistemas de fracturas y fallas, las fallas de la zona mayormente se presentan cerradas, no posee una considerable potencia de aureola de perturbación y muestra un espejo de falla en toda la zona de interior mina y también en superficie se identifican los siguientes sistemas:

Sistema N – S

Este sistema compuesta de fallas del margen de la cuenca en el proceso de sedimentación del Pucara: ocurrió bruscos cambios de Facies y espesor, las más clara es la falla Alicia se encuentra al este de la mina, controla la sedimentación entre la mina Norte y Sur. La estructura Vilcapoma y la falla Solitaria al W de la mina, en el proceso de la tectónica andina ha servido como zona de origen del escurrimiento del granito. En interior mina; las estructuras son principalmente paralelas a la estratificación, el rumbo es ligeramente variable con buzamiento bajo al Oeste, el desplazamiento presenta modelo de barajas, que ha sido reactivada con movimiento normal de poca intensidad. Raras veces cortan a la estratificación y esto indicaría el desplazamiento que no sido bien definida.

Sistema E – W

El sistema posee un pronunciado ángulo de buzamiento hacia el norte, tiene un desplazamiento normal - dextral con un pitch de 31° E. Es muy probable que sea una variabilidad del sistema NW-SE. Estructuras bastantes claras del sistema se encuentran al NW con coordenada 21,500 en el nivel 1700; como ejemplo tenemos la falla 1650 que se relaciona superficialmente con la falla Colca centro Sur, estos han desplazado mas o menos 55 m. la capa San Vicente Techo hacia el Este.

Sistema NE – SW

El sistema posee un buzamiento general al SW con un movimiento dextral normal menor a 20°, el sistema pertenece a la estructura Puntayacu que es un grupo de fallas con ancho relativo de 350 m. de alcance todo el sistema ha producido desplazamientos muy fuertes en el componente horizontal sobre todo al norte con coordenada 20,500 en el Nv. 1700.

Sistema NE – SW

Presentan un pronunciado buzamiento al SE; realizan un desplazamiento sinistral-normal. Las fallas 850 y 1250 son los que esta más expuestos en interior mina. Se generaron como falla tensional de un arranque sinistral de extensas fallas longitudinales de la Solitaria y Alicia; ello explica el aspecto tangencial de la falla 850 cercanas a la falla Alicia. Como también en el proceso de la tectónica andina, que realizo el sobre escurrimiento del granito Pucara sobre el Tarma, este sistema NE-SW es una conjugada del sistema Puntayacu NW, ambos sistemas son compatibles con el cambio inverso de fallas longitudinales; originando un conjunto de fuerzas compresivas W-E, que fue común considerando el proceso tectónico regional de escamas cabalgantes de dirección S – N y SE.

Geología Económica

La mina es un yacimiento de origen Mississippi Valley estratoligado con minerales de plomo y Zinc. La ganga está compuesta por Dolomita, Magnesio y Carbonato de Calcio en cantidades pequeñas la Calcita. La zona mineralizada tiene una longitud de 10 Km. entre el sector de San Vicente Norte - Sur, Chilpes, Uncush Sur y Siete Jeringas en toda su longitud se encuentran afloramientos de lentes irregulares en sentido horizontal y vertical. La mineralización se presenta:

Tipo Cebra

Es una textura bandeada con contenido esencial de la esfalerita con color marrón-gris-amarilla, con cristales finos Blenda Rubia; la galena es muy errática, finamente cristalizada a compacta, con diseminaciones de pirita. El ancho de los mantos mineralizados es variable de 1 m a 25 m. La estructura Cebra son venas paralelas de dolomita y esfalerita, principalmente paralela a la secuencia sedimentaria.

Tipo Brecha

El tipo brecha contiene a la esfalerita bandeada, esfalerita paralela y dolomita cementados con de calcita y dolomita como fragmentos angulosos.

Tipo Masivo

El tipo masivo contiene la esfalerita como grano fino distribuida en pequeños lentes, se encuentra compacta junto a la dolomita gris recristalizada, el tipo de mineralización está representada por mantos de gran potencia y con considerable contenido de Zinc.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Es factible efectuar la evaluación Geomecánica para definir la secuencia de minado por Cámaras y Pilares de la Mina San Vicente en la Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A.?

1.3.2. Problemas específicos

- a) ¿La realización de la evaluación geomecánica determinara los parámetros estructurales de la Mina San Vicente?
- b) ¿La definición de los parámetros estructurales establecerá la secuencia de minado por cámaras y pilares de la Mina San Vicente?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Efectuar la evaluación Geomecánica para definir la secuencia de minado por Cámaras y Pilares de la Mina San Vicente en la Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Realizar la evaluación geomecánica para determinar los parámetros estructurales de la Mina San Vicente.
- b) Definir los parámetros estructurales para establecer la secuencia de minado por cámaras y pilares de la Mina San Vicente.

1.5. Justificación de la investigación

La continuidad de la mina San Vicente, depende de la secuencia de minado lo que es imprescindible la evaluación geomecánica para determinar los parámetros estructurales del yacimiento para proseguir la producción de la Minera mediante la explotación del método de Cámaras y Pilares, también con otras labores mineras, es decir los accesos, galerías, cruceros, refugios, chimeneas, cámaras de acumulación y otras. En la minera se diferencian tres horizontes mineralizados, considerando de piso a techo son Alfonso, San Judas y San Vicente, asimismo se identifican tres geometrías y estilos de minerales los Mantos N-W, en Bloques y Mantos N-E, que están siendo explotados siguiendo el método de minado de cámaras y pilares.

1.6. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones son las zonas inaccesibles, que están en proceso de desarrollo, pero se garantizara su explotación por que durante el proceso quedaran accesibles y se podrá realizar la explotación.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

Antecedentes Nacionales

- **Velazco, H. (2021)**, tesis de la Universidad Tecnológica del Perú, presenta su proyecto “Caracterización geomecánica de las cámaras y pilares en la explotación del depósito de Au tipo manto para medir el dimensionamiento de sus labores en una mina artesanal del sector de Ananea – Puno.”, La investigación interrelaciona los aspectos importantes de geomecánica y el diseño estructural aplicado en el sector Ananea ubicada dentro del distrito de Ananea, la Rinconada se encuentra a una altura de 4820 m.s.n.m. En el estudio presenta la zona de Ananea que explota esencialmente el oro que se encuentra en los mantos, formadas por rocas cuarcíferas y rocas sedimentarias, a su vez se encuentra pirrotina y pirita, también se tiene vetas. Analiza la explotación de diferentes tajos y labores que se ejecuta con

perforaciones neumáticas y eléctricas; la limpieza, acarreo se ejecuta con los dumpers, carretillas y carros mineros que son acondicionados para labores donde no requiere mayor extracción de mineral, analiza la voladura del uso de dinamitas, accesorios como fulminantes, mecha lenta en la cual lo distribuyen de acuerdo al plan de minado. El trabajo lo realiza con un estudio de geotécnico por haber muchos accidentes por caída de rocas, se trabaja con poca planificación en todas sus áreas de explotación para luego analizar el diseño de algunos pilares adecuados para la explotación. Para el estudio considera la caracterización geomecánica de zonas críticas, tipos de sostenimiento, diseño de los pilares.

- **Jibaja, A. (2019)**, tesis presentada a la Universidad Privada del Norte, la investigación “Diseño de cámaras y pilares para incrementar la producción de carbón antracita en la mina Nueva Esperanza – Bambamarca, 2019”; El proyecto, tiene como fin específico reconocer la reserva, las características geomecánicas, diseñar el método de explotación cámaras y pilares y efectuar la evaluación económica. Considero como muestra la zona principal nivel 2400 de 100 m de largo y 140 m de ancho. El proyecto considera una reserva de 40 000 TM de carbón antracita, con RMR de 75 de roca caja y de 65 zona de mineral. El diseño de la cámara y pilar considero de 3.5m de ancho de cámara x 2.5m ancho de pilar, con estas características se recupera el 75%, además estima una optimización en la producción de 5 a 20 tn/día por 5 años de vida útil. Concluye con una evaluación económica con un VAN igual S/ 80 250. 00, TIR igual al 60% y el periodo de retorno de la inversión es de ocho meses, con inversión al inicio de s/ 35 050.00. Finalmente concluye que el proyecto es económicamente rentable.

Antecedentes Internacionales

- **La Torre, H. (2019)**, egresado de la Universidad de Chile, con su tesis de “Dimensionamiento de Cámaras y Pilares para Optimizar Producción en Minera El Toqui”. La Sociedad Minera El Toqui opera desde 1980. Inician con el método de explotación Room and Pillar, por lo que el depósito mineral esta formado de yacimientos con estratos tipo skarn y cuerpos de minerales tipo manto con potencia de 5 m 20 m. Al incrementar la capacidad de tratamiento de la planta de metalúrgica, se analiza la forma de incrementar la producción en la mina. Debido a ello, se estudia variar el método de explotación de Room and Pillar a un método de Tiros Radiales que permitirá el incremento de la producción. Esta variante de Tiros Radiales se proyecta aplicar al sector Porvenir Dolbek, por lo que se debe estimar las magnitudes de las cámaras y pilares tal que se mantenga la estabilidad de la zona una vez explotado.
- **Guzmán, A. (2017)**, Egresado de la Universidad Central del Ecuador - Quito, presenta la tesis “Diseño de explotación del sector Bloque de Oro”; Tiene como fin determinar las medidas geométricas, las dimensiones y la forma del método **Cámaras y Pilares**, así como los servicios auxiliares necesarios para cumplir con la actividad minera. Para lograr estos objetivos, en su investigación considera los principales factores operacional - técnico, económico-financiero y socio - ambiental. Estos parámetros determinan y hacen posible una eficiente productividad en las actividades de explotación, debido a que la minera aportará una cantidad muy significativa de refinado oro. En cuanto a los factores técnicos, relacionados con el método de explotación, considera; servicios de salud y seguridad, equipo de minería, su

forma, sección, dirección, reservas de mineral, profundidad de la mina, elementos geométricos, producción diaria, diagramas de perforación. El factor económico está relacionado con el capital, costos generales, impuestos nacionales y locales, la cantidad del beneficio. Los factores sociales y ambientales son importantes ya que tienen que cumplirse estándares de procesos para asegurar la viabilidad del proyecto y también asegurar los beneficios al estado y los inversionistas. El proyecto propone también una organización para lograr su plena sostenibilidad en concordancia con el medio ambiente, evitando afectar las actividades comunes, sociales, económicas naturales y costumbres de la comunidad local.

2.2. Bases teóricas - científicas

Mapeo Geomecánico

Para la caracterización de la masa rocosa, como una fuente se tuvo las labores subterráneas y los testigos del macizo rocoso producto de la perforación diamantina en varias oportunidades ejecutadas como parte del trabajo de tajos en explotación, preparación, exploración y desarrollo del yacimiento. En toda labor subterránea y testigo rocoso, se efectúa un mapeo geomecánico o registro sistemático.

El sistema de mapeo geomecánico del macizo rocoso de toda labor subterránea, se llevó a cabo mediante el método directo por celdas de detalle. Asimismo, el mapeo geomecánico de los testigos de la masa rocosa, se realizó mediante el método directo por líneas en detalle. Utilizando estos métodos se efectuaron controles sistemáticos de toda discontinuidad presente en una estación de medición, tramo geotécnico, conformadas por una extensión considerable de la roca expuesta. Los factores de medición y observación, se consideraron en

formatos de registro preparados por el área geomecánica para la mencionada evaluación, adecuando a las normas de la Sociedad Internacional de Mecánica de rocas (ISRM).

Los factores detallados fueron el tipo de roca, tipo de sistema de discontinuidad, intemperización, presencia de agua, orientación, rugosidad, tipo de relleno, espaciado, persistencia, apertura y espesor del relleno, como complementación se registraron información de la resistencia de roca, como soporte se tuvo la ayuda de la instrumentación geomecánica como es el equipo de carga puntual, el martillo Smith y la frecuencia de control de fracturas.

En el proceso del mapeo geomecánico de las rocas expuestas en interior mina, también se tomo como base de datos las discontinuidades principales, todos ellos fueron diseñadas con los planos geológicos estructurales que se tienen en la información registrada y desarrollada, por el área de Geología y geomecánica.

Clasificación Geomecánica de la Masa Rocosa

Las propiedades geomecánicas del macizo rocoso de las labores quedan definidos por el plano litológico estructural que elabora el área de geología y geomecánica y lo que es la calidad del macizo rocoso es determinado por el mapeo geo mecánico. Para el control se estable el código de colores para determinar la calidad del macizo rocoso, para ello se utiliza la clasificación de Bieniawski, el cual considera cinco clases de rocas de acuerdo con los valores del RMR, considerando el tipo I, II, III, IV y V, correspondiendo a rocas con calidad Muy Buena, Buena, Regular, Mala y Muy Mala.

Para la clasificación geotécnica del macizo rocoso se utilizó la información desarrollada anticipadamente, considerando todo criterio de clasificación geomecánica de Bieniawski, Barton y Colaboradores.

De acuerdo a todas las propiedades de la masa rocosa de las calizas según el criterio Bieniawski, el RMR oscila de 40 – 55 interpretando como de calidad regular de clase III en un total del 60%, con RMR de 30 – 42 considerado como calidad mala de clase IV en un promedio de 20%, con RMR que varía de 60 a 64 considerada como calidad buena de clase II en un promedio del 20%, asimismo se presenta la mineralización con semejantes calidades controladas y porcentajes estimados.

Todos los factores de la clasificación geomecánica fueron determinados en el proceso de mapeo geo mecánico del macizo rocoso de todas las labores de avance como galerías, cruceros, rampas y accesos.

Tabla 1. Criterio de valoración "RMR89 de Bieniawski, modificado - Romana, 2000

TIPO DE ROCA	RANGO DE VALORACIÓN "RMR"	CLASIFICACIÓN "RMR" DE LA MASA ROCOSA
II	61-80	BUENA
III A	51-60	REGULAR A
III B	41-50	REGULAR B
IV A	31-40	MALA A
IV B	21-30	MALA B
V	0-20	MUY MALA

Fuente: Geomecánica SIMSA

Zonificación Geomecánica de la Masa Rocosa

En toda la base de la determinación del mapeo geo mecánico y también se consideró los análisis de la litología estructural, se zonifica una labor determinada, por sus propiedades de acuerdo con la calidad de roca, para determinar un adecuado sostenimiento. Asimismo, la información recopilada de los análisis es almacenada de manera específica en un archivo geo mecánico ordenado por cada labor de la mina.

Aplicaciones de la Información Básica

Todas las aplicaciones controladas pueden ser determinadas en una mina, todo ello va depender de las características de operaciones de la mina. las aplicaciones consideradas de mayor representación se tienen:

- Definir la orientación favorable de la excavación y del pilar de la masa rocosa para controlar la condición de estabilidad de las labores.
- Determinar la abertura máxima y el tiempo de auto sostenimiento de la excavación, que luego se establecerá estándares en la dimensión del tajo por calidad de roca.
- Establecer la secuencia de la explotación más conveniente considerando las propiedades y características para la estabilidad de las excavaciones, considerando el nivel local y también el nivel global.
- Determinar el requerimiento del sostenimiento de la labor minera del tajo y labor de avance, que al final se obtendrá y establecerá estándares de sostenimiento en calidad y cantidad por calidad de roca.
- Evaluar la situación particular de operaciones de minado, mediante el modelamiento numérico y simulaciones, de condiciones del pilar, del puente, de losa, etc.
- Diseñar y seleccionar un método de explotación en una zona nueva del yacimiento.
- Implementar una medición instrumental para monitorear la calidad y el comportamiento de la roca que se encuentra en la zona de las labores mineras.
- Referente a la definición de la orientación favorable de la excavación y del pilar rocoso para incrementar la condición de estabilidad de la labor la técnica utilizada está basada con la utilización de la clasificación geomecánica de Bieniawski.

Considerando las aberturas máximas, las maneras del análisis en la actualidad están basadas en el criterio de clasificación geomecánica del macizo rocoso de Bieniawski y Barton. En cuanto al tiempo de auto sostenimiento, la técnica existente es conservador, uno de los mejores métodos consiste en elaborar una correlación estadística con gráfico propio en base a un registro de calidad de roca, dimensión del tajo y tiempo de auto sostenimiento.

Teniendo como referencia el criterio de análisis mediante el manual geomecánico procesado por el área de geomecánica.

Sobre una evaluación de la situación particular en el desarrollo del sostenimiento, mediante modelamiento numérico y simulación, asignando al pilar, puente, loza, etc., actualmente se utiliza la aplicación PHASES 2 v.6 de Rocscience. Esta aplicación es muy apropiado para utilizar como análisis y una herramienta de simulación para el propósito.

Cámaras y Pilares

Principios del Método

Este tipo Cámaras y Pilares, se solidifica como el nombre, en la extracción de cuerpos separados mediante pilares como sostenimiento de piso a techo. Para recuperar el pilar es en forma parcial o total, cuando es total, la recuperación del mineral se efectúa por hundimiento controlado que se puede realizar con la explotación o también al final de la explotación del yacimiento, cabe resaltar que el hundimiento del cuerpo es controlado en forma total.

En un inicio la distribución de pilares se ejecuta de manera irregular, en la actualidad por el avance tecnológico, es factible planificar la localización de los pilares.

Aplicaciones:

1. Cuerpos casi horizontales de poco buzamiento, hasta 30°.
2. Masa rocosa estable del techo y mineral.

Una de las condiciones de la estabilidad del techo y mineral es bastante flexible de la condición. El incremento de la dimensión del pilar y la minimización del ancho de la cámara va a compensar la mala condición de la roca. Pero de todas maneras tiene que recuperar, ya que se considera una gran dimensión y parte del cuerpo para fortalecer el techo. El sostenimiento del techo es la técnica que se debe mejorar en la estabilidad del techo y se utiliza mucho en la extracción por cámaras y pilares.

Este método por cámara y pilar es muy práctico para la explotación de una capa horizontal de poca potencia. El método es bastante común en la extracción con depósito estratificado que son de origen sedimentario tal como esquisto mineralizado en cobre y el mineral industrial como potasa, caliza, carbón y sal. el método es aplicado con mucho éxito hasta potencia de 35–55 m, las potencias corrientes varían entre 2 y 18 m.

Subdivisiones del Método

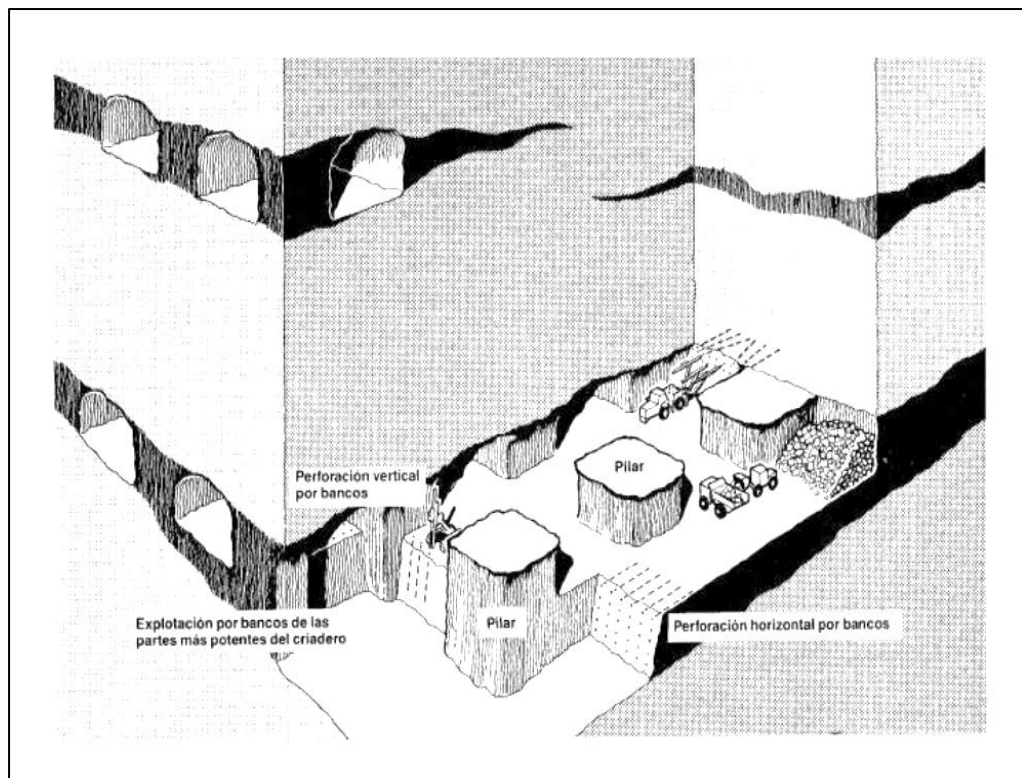
El método se subdivide en 3 sistemas diferentes de explotación de cámara y pilar.

A. Explotación Plana por Cámaras y Pilares

Preparación:

Cuando el yacimiento es plano o casi horizontal es necesario pocas actividades lo que es la preparación para la extracción. Se preparan diferentes galerías para el traslado del mineral extraído, y una comunicación entre todas las áreas de operaciones. Estas son combinadas con la explotación del mineral y los tajos ya extraídos y se puede usar como vía de transporte.

Ilustración 5. Explotación Plana – Cámaras y Pilares



Fuente: Manual de Minería – Introducción a la Minería Subterránea

Producción:

El ciclo de perforación y voladura en la extracción plana de cámara y pilar puede ser similar a un corte de galerías y perforación, donde el ancho y el alto del tajo corresponde a la dimensión de la galería. En esta condición se puede utilizar jumbos de perforación de producción bastante sofisticadas.

En un cuerpo masivo no es necesario extraer la potencia total del cuerpo en una sola fase. La explotación se inicia generalmente con la sección superior. En este proceso se realiza el sostenimiento y el control en el techo. El mineral residual se extrae mediante bancos en fase o varias fases. En esta actividad se puede utilizar el equipo de perforación de orugas en la perforación de los taladros verticales o inclinados. El banco es factible perforar mediante taladros horizontales con jumbo de perforación regular.

Manejo y Transporte del Mineral:

El producto de la voladura del mineral el carguío es directo desde los frentes del tajo, se utiliza los cargadores con accionamiento diesel. Se utilizan distintas formas del transporte, esto depende del espacio que se dispone y de la distancia de traslado. Donde se cuenta con una la altura suficiente en el tajo se utiliza camiones con una capacidad suficiente con el fin de tener un transporte económico del mineral. Se cuenta con movilidades especiales con perfil bajo para transportar el mineral cuando la altura es baja, y para cuerpos de menor potencia se aplica el proceso de carga, acarreo y descarga.

En los casos de que el mineral presenta una gran extensión horizontal y la extracción de la producción se efectúa con un gran número de frentes ocupando extensas áreas, se necesita utilizar equipos de alta capacidad para la explotación y movimiento de los cuerpos.

Comentarios:

La extracción de cámara y pilar del cuerpo plano o casi horizontal es el método que hace posible el uso del equipo mecanizado. La disposición de la zona en la mina es esquemática, en estos casos se puede establecer diferentes áreas de producción y toda la comunicación es sencilla. Todos son parámetros que solidifican la base de una gran cantidad de personal y maquinaria en todas las actividades para que sea eficaz la explotación.

B. Explotación Inclinada por Cámaras y Pilares

Preparación:

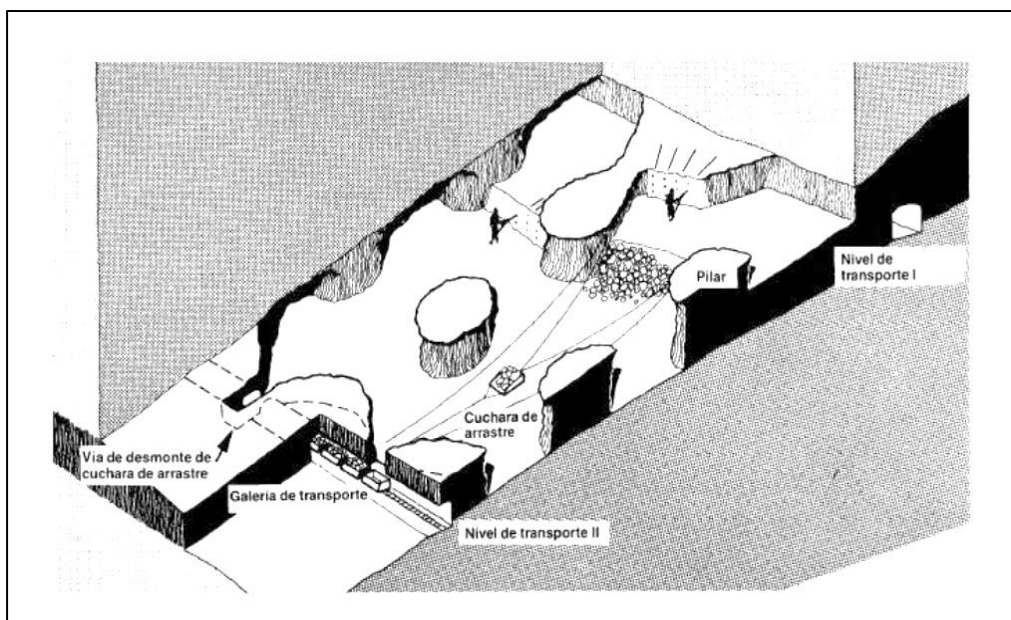
En un cuerpo inclinado para la explotación de cámara y pilar necesita en forma general un nivel horizontal con intervalo vertical. Por cada nivel se desarrolla la galería de transporte, ejecutando en contacto de la caja del

cuerpo. Las galerías de traslado sirven de acceso al área de producción y el acarreo del mineral extraído al pozo de elevación.

Producción:

La extracción inicia en el nivel horizontal que prosigue hacia arriba, continuando el buzamiento, hasta llegar al nivel siguiente. La perforación se ejecuta con el equipo de perforación de pata empujadora y el avance al tajo con taladros en forma de corte. El piso inclinado y deforme no deja aplicar el uso del equipo mecanizado. El método de explotación inclinado de cámara y pilar requiere un proceso más alto de un esfuerzo manual en comparación a muchos otros métodos de minería.

Ilustración 6. Explotación Inclinada – Cámaras y Pilares



Fuente: Manual de Minería - - Introducción a la Minería Subterránea

Manejo y Transporte del Mineral:

En el fondo inclinado del tajo se utiliza winchas donde la cuchara de arrastre es el proceso dominante para arrastrar el mineral fragmentado hacia la zona baja a un lugar donde se pueda transferir con vagoneta de mina para transportar a la zona del pozo.

Comentarios:

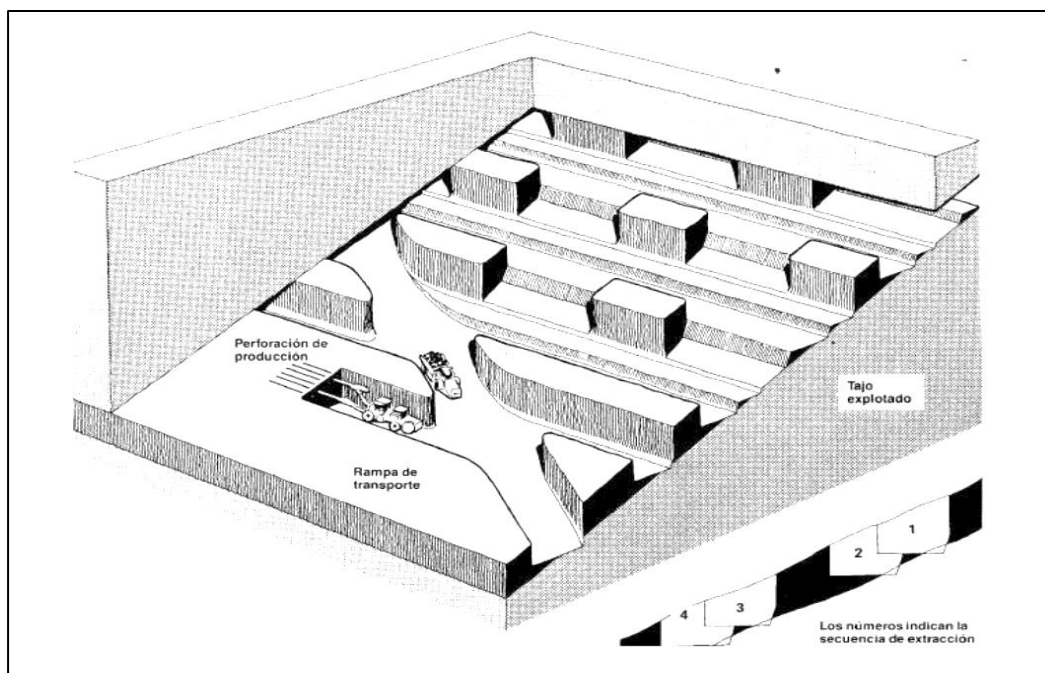
Como consecuencia de un buzamiento muy desfavorable este sistema de extracción requiere de gran cantidad de personal y ofrece mínimas aberturas para la mecanización. se han realizado análisis y evaluaciones para desarrollar una alternativa que mejore la eficacia. La extracción en etapas que se desarrolla a continuación es diseñada para complementar el método convencional de extracción inclinada por cámara y pilar.

C. Explotación en Etapas por Cámaras y Pilares

Preparación:

La explotación en etapas se basa en el uso del equipo móvil que no van por carriles a cambio del acarreo en carriles que se ha descrito anteriormente. Este método saca mayor eficiencia de que el vehículo sea capaz de desplazarse hacia abajo y hacia arriba por los fondos inclinados.

Ilustración 7. Manejo y Transporte del Mineral



Fuente: Manual de Minería – Introducción a la Minería Subterránea

La galería de acceso al área de extracción son orientadas en la planificación de extracción para atravesar el cuerpo con una inclinación determinada, que corresponde a la capacidad de trepar de la máquina móvil.

Producción:

La explotación del mineral inicia en una galería horizontal que parten de las galerías de acceso. Las galerías del tajo son ejecutadas para proseguir cerca al límite de mineral del techo. La siguiente secuencia de explotación de mineral será de iniciar una actividad similar de corte adyacente, perforación y paralela a galería inicial, a un nivel por debajo. Este proceso se repite luego de concluir y la explotación del cuerpo desciende hacia abajo.

Durante la actividad de extracción se debe tomar zonas para dejar sectores del mineral para el pilar que pueden hacer deficiente la excavación. La explotación del mineral se efectúa sin embargo en el tajo con fondo casi plano que es interconectado por la galería de acceso inclinado. La condición permite la utilización del uso de equipo mecanizado móvil. Por ejemplo la perforación se puede realizar de forma conveniente con un jumbo móvil para la perforación de labores.

Manejo y Transporte del Mineral:

Para el manejo y transporte del mineral es similar al sistema aplicable para yacimiento horizontal. El producto del mineral se carga en el frente y se lleva al pozo de elevación o algún espacio de transferencia. El equipo va depender del lugar, espacio y el alto libre que se cuenta y será mediante el camión o cargador LHD definiendo la carga, carreo y descarga.

Comentarios:

El método de cámaras por etapas es una propuesta muy relativa y reciente. Esta variante de cámaras por etapas tiene como propuesta un enfoque eficaz y actualizado a cuerpos de mina considerando al buzamiento que ha sido tradicional de un gran obstáculo para la mecanización, muy a pesar de que no se puede generalizar su aplicación para cuerpos inclinados.

Sostenimiento del Techo

El sostenimiento representa un problema bastante riesgoso y es muy necesario tomar con cuidado al programar una extracción por el método.

La estabilización del techo indudablemente define la distancia y sección del pilar y el ancho de los cortes que está influida por la potencia del yacimiento. De la misma manera se considera la densidad del pilar que influirá considerablemente sobre la recuperación del cuerpo mineralizado.

Hace pocos años atrás, los análisis del comportamiento de la zona del mineral se tenía la única forma de limitar la distancia máxima de pilares, lo que se tenía luego de varios años de extracción del yacimiento. En la actualidad se tiene una ayuda, que de alguna forma coopera con la explotación de minas a la solución del problema con el estudio y la evaluación de la mecánica de rocas. Se puede acotar que es una rama relativamente actualizada que se encuentra en desarrollo, que van a generar ciertas guías o normas en el estudio del análisis de la luz limite máxima entre los pilares y una sección conveniente.

Para solución del problema es muy necesario ejecutar varias experiencias que se tiene en cuenta siguientes observaciones:

1. Los cambios de la carga del pilar referente al tiempo.
2. Los cambios de deflexión del techo al cambiar la luz de pilares.
3. Los cambios del ruido micro sísmico.

4. La evaluación de la resistencia, tracción y compresión de la roca.
5. La orientación y distribución de planos de estratificación, diaclasas y estructuras.
6. Considerar otras pruebas que sean necesarias ejecutar.
 1. La primera observación, es el estudio del comportamiento del pilar al ir compartiendo con la carga del techo.

Una zona virgen sin explotar es el que soporta la presión generada del techo en determinada área y cuando se inicia la explotación, los resultados de la carga, se distribuye con una sección menor y pequeña que corresponde al área de los pilares como sostenimiento.

2. Los cambios de la deflexión del techo es factible controlar la convergencia entre techo y piso con el instrumento adecuado.

El cambio de la deflexión del techo depende esencialmente de la característica mecánica de la roca, la resistencia a la tracción y la luz entre pilares.

3. La producción de ruidos micro sísmicos. En la actualidad es factible detectar los ruidos micro sísmicos que aseguran la estabilidad del techo.

Se considera la frecuencia normal que se produce en cualquier etapa de la extracción es de fácil reconocimiento y poder comparar casos en que se producen incrementos repentinos de frecuencia causando finalmente derrumbe del techo.

4. Un comportamiento mecánico de la roca a la compresión y tracción es muy importante para la consideración de la resistencia y obtención de gráficos respectivos del círculo de Mohr.

Los valores de resistencia evaluados en general mediante las pruebas de testigos en un laboratorio se deben tomar con cuidado para la interpretación, considerando las condiciones de la roca in situ es diferente al comportamiento en el proceso de la prueba de laboratorio. El análisis determina fácilmente si se relacionan magnitudes sobre la cual opera en testigo de prueba en roca in situ y por otra parte al tomar la roca como elemento resistente, estas condiciones son afectadas por parámetros con una variedad de factores que limitan las precauciones que se debe considerar y que ha sido descrita anteriormente; se puede considerar la estructura tal como planos de clivaje, alteraciones, fallas, diaclasas, juntas, influyen notablemente sobre la resistencia.

Modo de Mantener la Estabilidad del Techo

Un techo con desprendimiento fácil por la ejecución de los disparos y otras causas que se produzca problemas no solo en dilución de ley sino también en la seguridad del trabajador, material, asimismo en los costos de producción. Es factible asegurar la estabilidad del techo con un empernado que se puede procesar de manera sistemática en aquellos sectores donde las cualidades lo requieran. Para que el empernado sea efectivo, se debe tomar cierta precaución con la seguridad y la certeza de fijar por intermedio del perno la parte frágil del techo con la parte sólida. Se debe conocer muy bien la formación de la roca la pendiente, va a determinar la sección, la densidad y el largo en la instalación de los pernos. Por otro lado, se debe determinar a través de un estudio de prueba en el mismo terreno, el ajuste se debe dar a los pernos para que justifiquen realmente el sostenimiento que deben lograr. Se debe considerar que un perno mal instalado

no logra ninguna función de fortificación del sostenimiento, asimismo sucede si no se tiene en cuenta la sección y el largo adecuado.

Se suele complementar el empernado en varios casos, con el acompañamiento de una malla en el techo, con el objeto de retener en la malla trozos pequeños de roca, cuando los cortes son altos, la caída de ellos producen accidentes de mayor consideración.

En varios casos el empernado ha encontrado lograr mayores luces en el área de las cámaras, la que se considera como una mayor recuperación.

Costura del Techo

En varios casos es justificable, el empernado se puede reemplazar mediante una costura en el techo con un cable de acero de media pulgada, juntamente con la inyección de cemento especial dentro de los taladros que han sido perforados de manera vertical. La costura tiene su extremo anclado al techo, o también en la arista definida por la caja y el techo.

Distribución de los Pilares

La distribución se debe realizar de manera sistemática de la mejor forma posible que se pueda, considerando en no arriesgar la vida del personal de la mina.

En un yacimiento que se presenta en forma de dos mantos separados, por un sector estéril y que se extraen de manera separada dejando una losa entre los cortes, hay que tener un cuidado especial que los pilares se estén alineados de acuerdo con la proyección vertical, cuidando que la carga del pilar de la parte superior sea transmitida al siguiente pilar ubicado debajo y controlar que la carga se transmita a la losa.

No se debe dejar pilares sobre galerías principales de extracción por que la carga que soporta el pilar se transmite al techo de la galería, esto hará necesario

que con el tiempo se programe un mantenimiento de la galería si no se produce un derrumbe.

Todas estas consideraciones se deben tener en cuenta por que las rocas tienen una resistencia mucho menor a la tracción comparada a la resistencia de compresión.

Distribución de los Pilares

Una causa principal del debilitamiento del pilar a través del tiempo se debe al al efecto del sistema de diaclasas.

Cuando el plano de la diaclasa forma un ángulo con respecto al eje de carga del pilar, es factible fortificar el pilar con pernos instalados en los planos de diaclasa. En varios casos se acompaña el empernado de acuerdo con el ensanchamiento del pilar, el zuncho se realiza con pletinas de cables de hierro. El material tiene por objeto incrementar la fuerza de roce en los planos de clivaje, de esta manera se evita el deslizamiento de las capas.

Cuando la diaclasa está dispuesta normalmente al eje de carga, su efecto es menor.

Si la diaclasa se presenta paralela al eje de carga del pilar, se puede justificar el empernado junto con un ensanchamiento pletina de hierro o cable, también se puede adoptar con un sistema combinado.

En un yacimiento de manto pronunciado se debe exigir referente a la verticalidad del pilar y no dejar que este sea normal a la caja por que el esfuerzo transmitido al pilar es descompuesto en una fuerza perpendicular al techo y piso también otra según la dirección de su máxima pendiente.

2.3. Definición de términos básicos

Abertura. Distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno.

Anclaje. Elemento que transmite esfuerzos de tracción desde la superficie del terreno hasta una zona interior del mismo.

Anclaje permanente. Anclaje cuya vida útil se considera superior a dos años. **Anclaje provisional.** Su vida útil no es superior a dos años. En caso de terrenos agresivos, este periodo deberá ser reducido, de acuerdo a lo establecido.

Control de riego. Es la toma de decisión, basado en la información obtenida en la evaluación del riego.

Discontinuidad. Son superficies de debilidad que imparten a la roca una condición anisotropía de resistencia, es decir, denota una interrupción en la integridad mecánica de la roca.

Espaciamiento. Distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes, éste determina el tamaño de los bloques de roca intacta.

Fallas. Son fracturas que han tenido desplazamiento. Estas son fracturas menores que representan en áreas locales de la mina o estructuras muy importantes que pueden atravesar toda la mina.

Geomecánica. Estudia el comportamiento mecánico de todos los materiales geológicos: rocas, discontinuidades geológicas, y materiales.

Macizo rocoso. Es el medio in-situ que contiene diferentes discontinuidades como diaclasas, estratos, fallas y otros rasgos estructurales.

Mecánica de rocas. Es la ciencia, rama de la mecánica relacionada con la respuesta de la roca y masa rocosa a los campos de fuerzas presentes en un ambiente físico. Óptimo No comparable, la mejor, la más favorable o conveniente, especialmente bajo alguna restricción

Pilares. Los pilares son el sostenimiento temporal de algunas estructuras subterráneas en minería. En la presente investigación los pilares son el sostenimiento temporal que se ha dejado al extraer el mineral del contorno.

Potencia: Distancia perpendicular del ancho de un yacimiento o estrato.

Refuerzo de roca. Consiste en sistema de empernado o cables que proveen un refuerzo a la masa rocosa aumentando la resistencia friccional entre bloque que lo componen. En términos simples el refuerzo es un sistema “activo”.

RMR: “Consiste en un sistema de categorización de macizos rocosos para relacionar índices de calidad de rocas con parámetros de diseño y de sostenimiento de túneles”

Roca: Constituye una unidad de roca, aquella que después de un proceso magmático contiene un recurso mineral. Pasan por un proceso de cristalización por haber sido inyectadas por soluciones magmáticas formando concentraciones minerales.

Soporte de roca. Consiste en sostener el macizo rocoso mediante cerchas de acero o concreto lanzado, diseñados para estabilizar la roca mediante el control del colapso progresivo o deformación de la misma. El soporte es un sistema “pasivo”.

Sostenimiento. Término usado para describir los materiales y procedimientos utilizados para mejorar la estabilidad y mantener la capacidad portante de la roca en los bordes de una excavación subterránea.

Sostenimiento activo. Es donde los elementos de sostenimiento forman parte integrante de la masa rocosa. Ejemplo típico de refuerzo son los pernos de roca o los cables. Sostenimiento pasivo Es donde los elementos de sostenimiento son externos a la roca y actúan después que la roca empieza a deformarse.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Con la evaluación Geomecánica se definirá la secuencia de minado por Cámaras y Pilares de la Mina San Vicente en la Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a) Realizar la Evaluación Geomecánica para determinar los parámetros estructurales de la Mina San Vicente.
- b) La definición de los parámetros estructurales establecerá la secuencia de minado por cámaras y pilares de la Mina San Vicente.

2.5. Identificación de las variables

2.5.1. Variable Independiente:

X: Evaluación Geomecánica de la Mina San Vicente.

2.5.2. Variable Dependiente:

Y: Secuencia de minado por Cámaras y Pilares de la Mina San Vicente.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 2. Operacionalización de Variables.

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE	X: Evaluación Geomecánica de la Mina San Vicente.	La continuidad de la mina San Vicente, se da en base a la evaluación geomecánica, los parámetros son los siguientes: Resistencia compresiva: 217 Mpa; RQD: 40%; Espaciamiento de las discontinuidades: 0.06-0.2 m; Condición de las discontinuidades: Persistencia 1-3 m; Apertura 0.1 - 1.0 mm; Rugosidad: Ligeramente; Relleno Blando <5mm; Alteración: Muy alterada. Con particularidades y limitaciones propias que impone la geometría del yacimiento (Buzamiento de los mantos mineralizados) y la infraestructura pre existente.	Caracterización Geomecánica. Parámetros Geotécnicos	Características del Macizo Rocoso Parámetros Estructurales Área de Influencia
VARIABLE DEPENDIENTE	Y: Secuencia de minado por Cámaras y Pilares de la Mina San Vicente.	La secuencia de minado, explotación de cámaras y pilares, consiste en la explotación de caserones separados por pilares de sostenimiento del techo. La recuperación de los pilares puede ser parcial o total, en este último caso, la recuperación va acompañada del hundimiento controlado del techo que puede realizarse junto con la explotación o al final de la vida del yacimiento. Se deben realizar los cálculos de Factor de Seguridad para los Pilares a ejecutarse, así como evaluar el tipo de sostenimiento al final de la Explotación con los mapeos geomecánicos a realizarse.	Compañía Minera San Ignacio de Morococha Recomendaciones Geomecánicas de Minado Trabajos de Sostenimiento para Control Estructural	Buzamiento < 30° Resistencia de la Roca Dimensión de Pilares

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación

- En Base al método de explotación por Cámaras y Pilares y de acuerdo con la evaluación geomecánica se determina que tenemos una investigación del tipo Cuantitativa.
- Aplicada: En el proceso de explotación de Cámaras y Pilares teniendo como objetivo fundamental la secuencia del minado.
- Experimental: Con respecto a la evaluación efectuada y al análisis para la secuencia con Cámaras y Pilares.
- Documental: Por toda la información documentada que determina la secuencia del minado.
- De campo y de laboratorio: Por los resultados obtenidos con respecto a la resistencia de la roca y los parámetros estructurales.

3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación se da en referencia a un proceso exploratorio, descriptivo, relacional, explicativo, predictivo y aplicativo, basado en lo siguiente:

- a) Formulación de un problema para posibilitar una investigación más precisa.
- b) Desarrollo de la hipótesis.
- c) Aumentar la familiaridad del investigador con el Método de Explotación de Cámaras y Pilares.

3.3. Métodos de investigación

La metodología realizada en la Investigación fue la siguiente:

Método deductivo: Análisis de datos para llegar a las conclusiones determinativas.

Método inductivo: Obtener la conclusión en base a los antecedentes de la Mina San Vicente, y los datos obtenidos en los trabajos de campo.

3.4. Diseño de la investigación

El diseño pertenece a la investigación cuantitativa, descriptiva y correlacional, siguiendo todo el proceso elaborado para determinar la secuencia del minado de la Mina San Vicente.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Toda el área de evaluación para la secuencia del minado de la Mina San Vicente.

3.5.2. Muestra

Las caracterizaciones geomecánicas en los mantos de los niveles Alfonso Nv4065, que son las muestras principales para la secuencia de minado por Cámaras y Pilares de la Mina San Vicente.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Descripción de las técnicas empleadas

- **Recopilación y análisis de data**

Se obtuvo la información de los trabajos realizados con anterioridad y en base a sus análisis llegar a nuevas conclusiones.

- **Observación directa y toma de datos**

Fundamentalmente la observación directa en los trabajos que se van realizando proporcionan la información necesaria para llegar a las conclusiones finales del proyecto.

- **Búsqueda de información bibliográfica**

Se estudio la información proporcionada por la Mina San Vicente y datos obtenidos por internet en referencia a trabajos realizados con el Método de Cámaras y Pilares.

Instrumentos de recolección de datos

- **Materiales**

- ✓ Mapeos geomecánicos Efectuados.
- ✓ Informes geomecánicos.
- ✓ Planos topográficos de la mina.
- ✓ Secuencia de Explotación por Cámaras y Pilares.
- ✓ Antecedente de resistencia del techo.
- ✓ Dimensiones en los Pilares Trabajados.
- ✓ Picota, brújula, flexómetro, mapeador.
- ✓ Equipos Topográficos.
- ✓ Libreta de campo.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

A la fecha se tiene 2,411,669TM de recursos con leyes de 9.69% Zn y 0.57% Pb (Reservas y Recursos Indicados) y un potencial de más de 50 millones de toneladas, pudiéndose encontrar otros yacimientos similares a la mina San Vicente a lo largo de los diferentes proyectos que se tiene (69,277 Ha). Con este propósito el área de geomecánica ha llevado a cabo un programa de investigaciones "geológicas-geomecánicas" con la finalidad de evaluar características del yacimiento, con referencia al lineamientos y distribución de los mantos representativos y poder determinar la secuencia del minado.

3.8. Tratamiento estadístico

La ejecución del proyecto permite obtener una estadística dentro de todos los procesos efectuados en la actualidad permitiendo lograr un modelo estadístico que manifiesta los resultados obtenidos.

3.9. Orientación ética filosófica y epistémica

La investigación se desarrollará basado en los principios de la ética personal y profesional, sumado a los valores, principios y criterios, que la investigación debe tener. Es muy importante resaltar que esta investigación es resultado de las experiencias adquiridas en los trabajos realizados en diferentes empresas que desarrollan este tipo de explotación minera.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Descripción del trabajo de campo

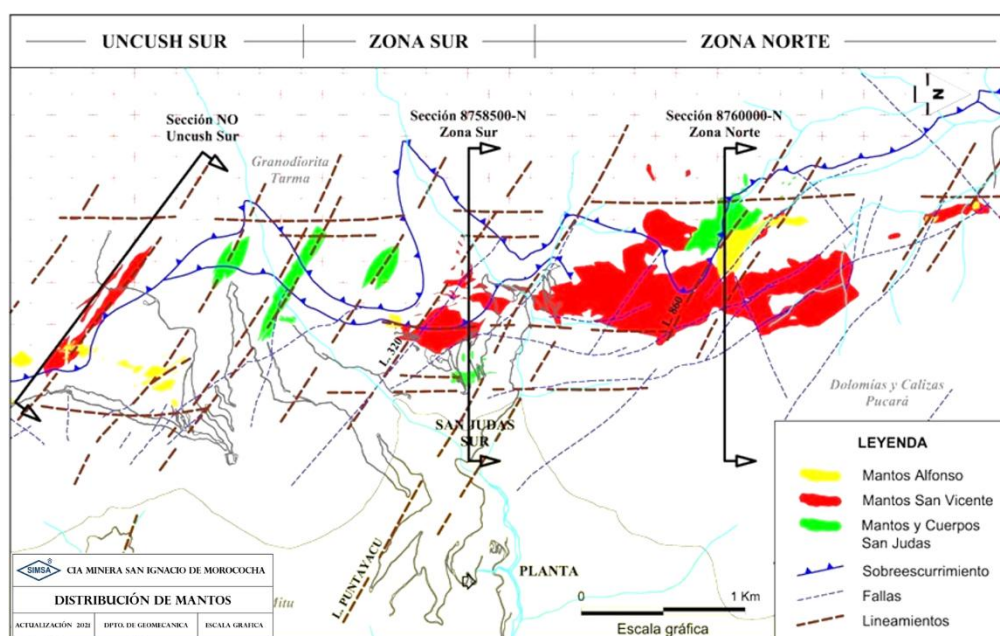
Horizontes de Mineralización

Se han diferenciado tres horizontes mineralizados, que de piso a techo son los siguientes: San Judas, San Vicente y Alfonso; por otro lado, se han identificado tres estilos y geometrías de mineralización que son: Mantos N-S, Mantos en Bloques y Mantos NO.

En la Ilustración se muestra la distribución en planta de los mantos mineralizados, separados en tres horizontes: Alfonso, San Vicente y San Judas; también se han planteado las fallas y lineamientos relacionados. De acuerdo con las evidencias de alteración, mineralización e inclinación de las vetas se han determinado los canales alimentadores de la mineralización (feeders) los cuales son sub verticales, y se originan generalmente en la intersección de fallas N-S con el sistema de fallas NO.

En la Zona Norte, los mantos están apilados y separados por niveles dolomíticos y son paralelos a la dirección e inclinación de las capas. En la Zona Sur, predomina un estilo de fallas que ponen en contacto los mantos, formando bloques. Mientras que en la Zona Uncush Sur, los mantos presentan una dirección NO con formas alargadas paralelas a los feeders, que no son tan evidentes en las otras dos zonas (Ver Ilustración 08).

Ilustración 8. Lineamientos y distribución de mantos en planta



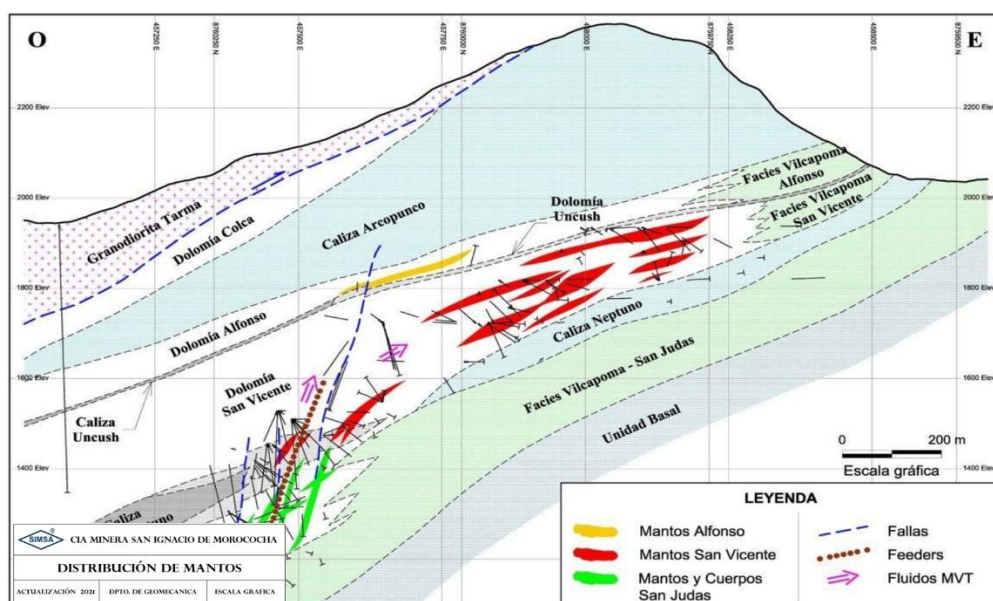
Fuente: Minera San Vicente.

La Sección 8,760,000N, representativa de los Mantos N-S, pone en evidencia que los mantos en los niveles Alfonso y San Vicente son subparalelos a las capas de dirección N-S, debido a la existencia de un cambio de facies que ha originado una trampa del fluido mineralizante controlado por el cambio de facies de dolomía oolítica porosa a dolomía fina impermeable; por esta razón los mantos se agrupan en el extremo este de la barra dolomítica San Vicente, mientras que los cuerpos-feeders en San Judas solo ocurren alrededor del lineamiento 860 y profundizan cortando a los horizontes San Judas e inclusive a las dolomías Neptuno; también el Manto Alfonso está ubicado en la proyección hacia la

superficie del citado feeder. Es importante notar que la caliza negra Neptuno y la caliza Uncush se encuentran dolomitizadas en aquellos tramos por donde circularon los fluidos hidrotermales o en las zonas de mayor intensidad de dolomitización hidrotermal.

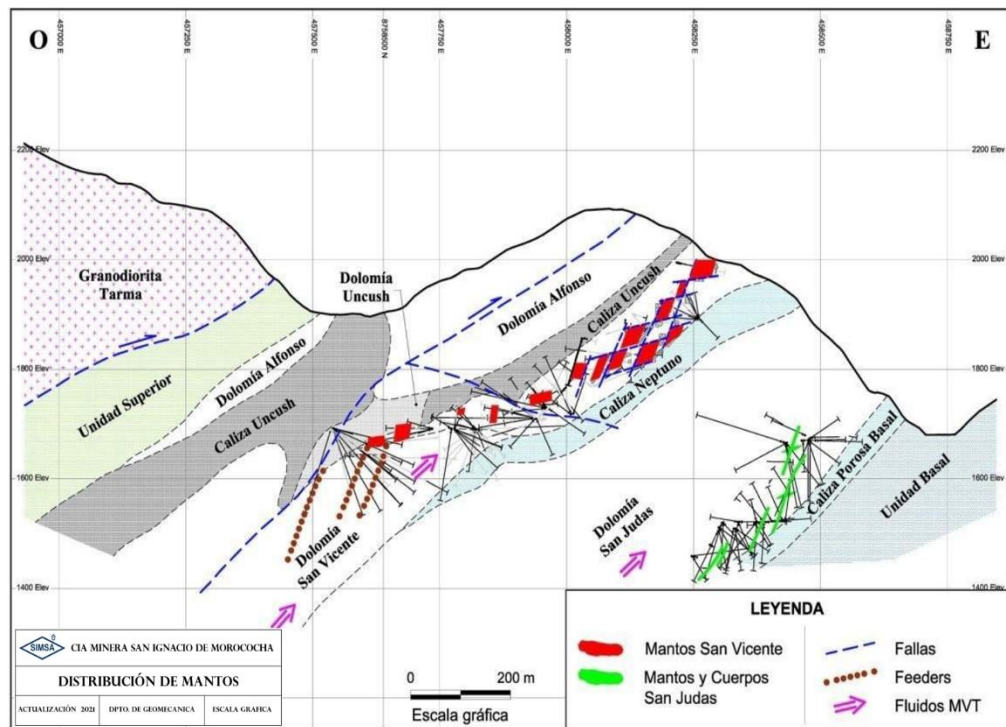
La Sección 8,758,500N es representativa de la Zona Sur; los mantos tienen una distribución similar a la de la Zona Norte, pero presentan una geometría de bloques limitados por fallas, similares a sigmoides o jogs. Se considera que los fluidos mineralizantes durante su ascenso, dolomitizaron a la caliza Uncush y fluyeron en sentido sub horizontal de oeste a este desde el techo a la parte media de la dolomía San Vicente. En esta sección, las fallas de bajo ángulo relacionadas con el sobre escurrimiento del Granito Tarma sobre las calizas del Grupo Pucará han configurado la arquitectura geológica y facilitaron el entrapamiento del mineral en bloques tipo jogso sigmoides. Los cuerpos San Judas tienen forma sub vertical similar, por partes cortando las capas y en otros lados formando mantos irregulares constituyendo un centro mineralizante (Ver Ilustración 09 y 10).

Ilustración 9. Sección 8,760,000N Zona Norte, mirando al Norte



Fuente: Minera San Vicente.

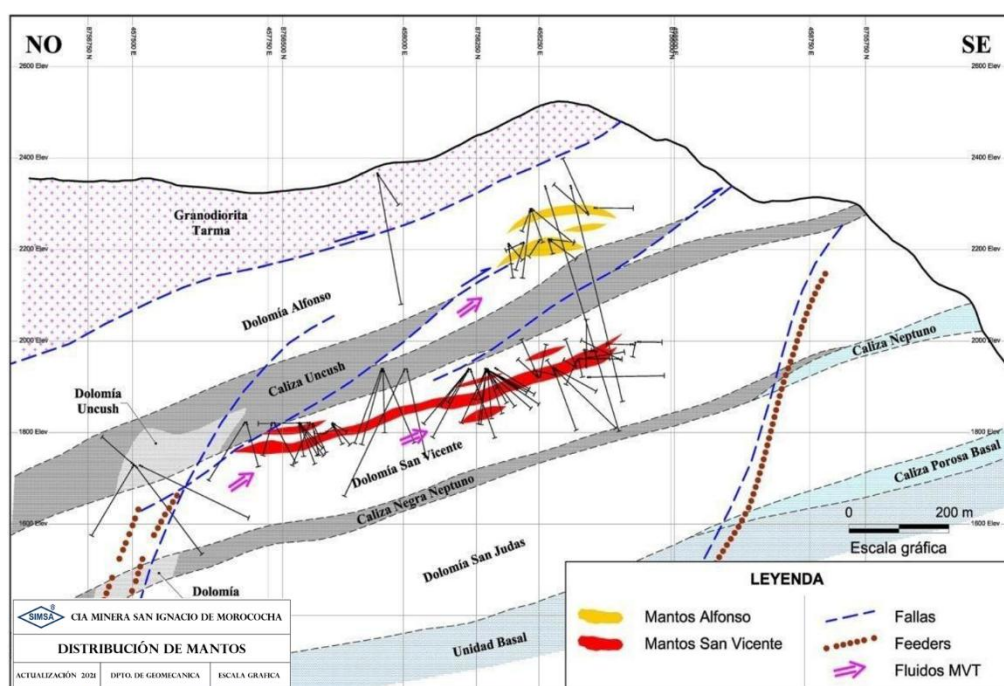
Ilustración 10. Sección 8,758,500N Zona Sur, mirando al Norte



Fuente: Minera San Vicente.

La sección NO está ubicada en la Zona Uncush Sur y es paralela a la mayor dimensión de los mantos. Por su posición estratigráfica, a escasos metros de la base de la caliza negra Uncush, se le ha denominado Manto San Vicente Techo. Este manto es paralelo a la dirección NO del feeder, el cual ha actuado como canalizador de los fluidos mineralizantes que se desplazaron de NO a SE; el ancho del manto es aproximadamente 100 metros y la potencia varia de 1 a 4 metros. Un factor importante es la presencia de fallas de bajo ángulo que han llegado a duplicar, en algunos casos, la potencia de la caliza Uncush (Ver Ilustración 11).

Ilustración 11. Sección NW Zona Uncush Sur, mirando al NE



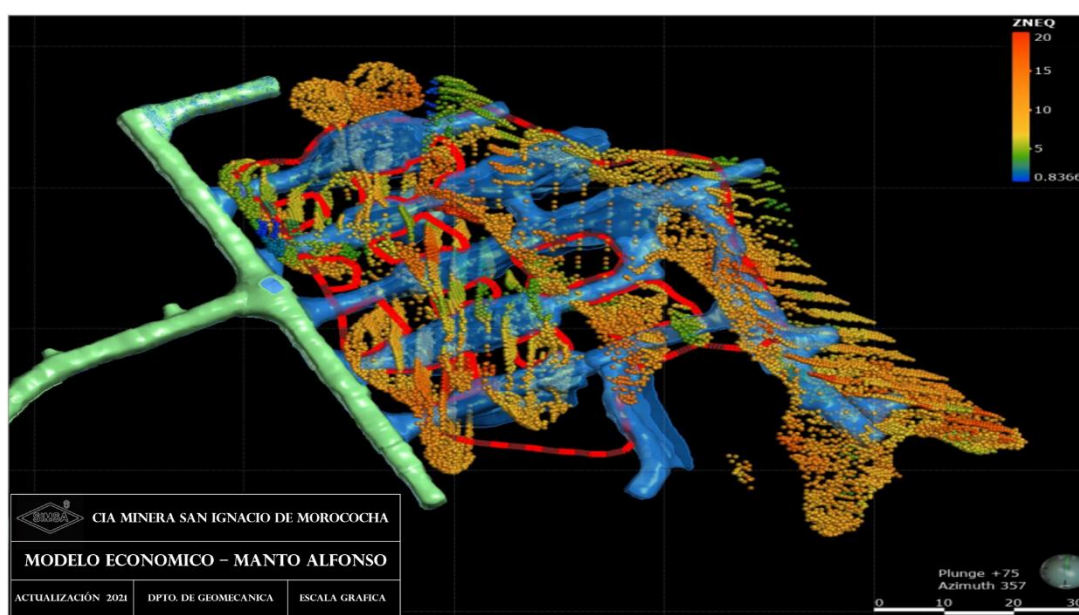
Fuente: Minera San Vicente.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Caracterización Geológica

Se realizó el modelo económico en el Nv4065, ubicada en el conjunto de Mineralización de Mantos Alfonso (Ver Ilustración 12).

Ilustración 12. Vista Isométrica – Modelo Económico Manto Alfonso Nv4065



Fuente: Minera San Vicente.

Los polígonos para recuperar son de forma irregular y se consideran estas por ser de mayor Ley económica, siendo las mismas objeto de estudio (Ver Ilustración 13).

Ilustración 13. Polígonos a Recuperar y Pilares - Manto Alfonso Nv4065



Fuente: Minera San Vicente.

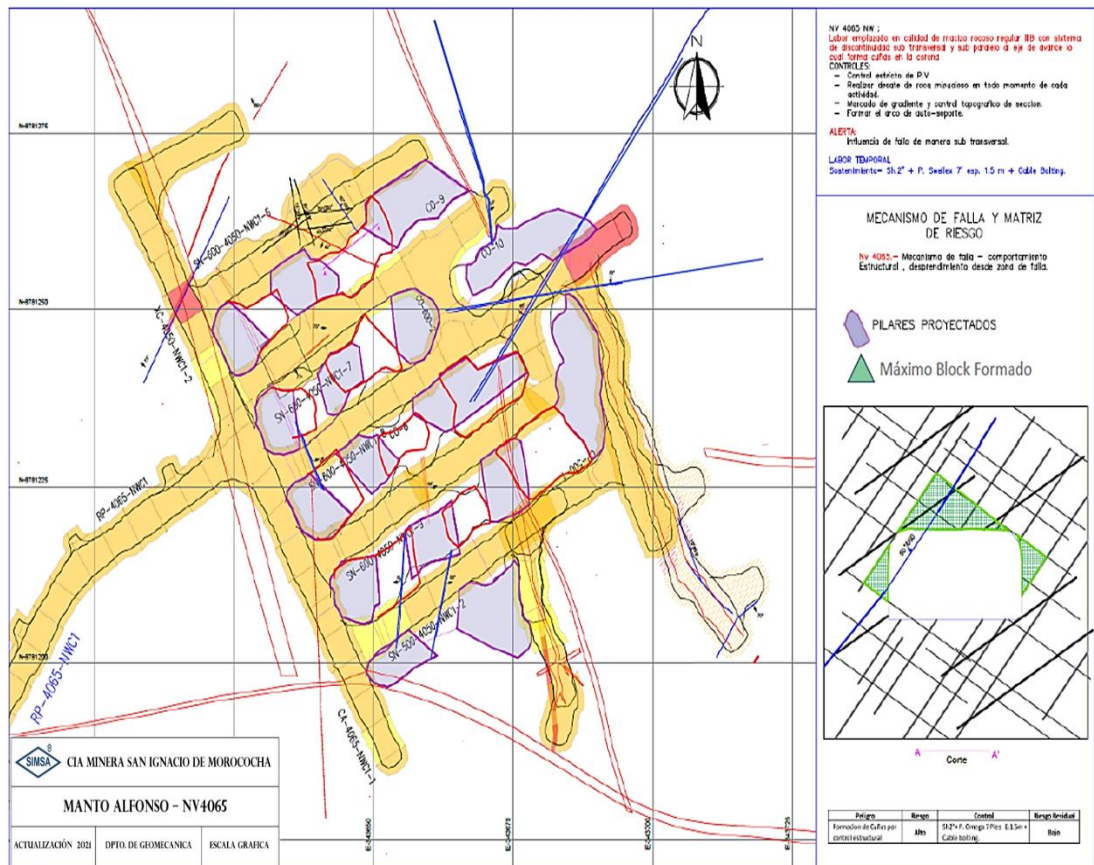
Zonificación Geomecánica

Resistencia compresiva: 217 Mpa; RQD: 40%; Espaciamiento de las discontinuidades: 0.06-0.2 m; Condición de las discontinuidades: Persistencia 1-3 m; Apertura 0.1 - 1.0 mm; Rugosidad: Ligeramente; Relleno Blando <5mm; Alteración: Muy alterada. Con particularidades y limitaciones propias que impone la geometría del yacimiento (Buzamiento de los mantos mineralizados) y la infraestructura pre existente.

Con el mapeo geomecánico realizado se tiene que la labor está emplazada en calidad de macizo rocoso regular IIIB a mala IVA con sistema de discontinuidad sub transversal y sub paralelo al eje de avance, lo cual forma cuñas en la corona. El sostenimiento recomendado por ser una labor temporal es de

Shotcrete 2" + Pernos Expansivos espaciados a 1.50mts + Cable Bolting (Ver Ilustración 14 y 15).

Ilustración 14. Mapeo Geomecánico (Proyección de Pilares Naturales) - Manto Alfonso Nv4065



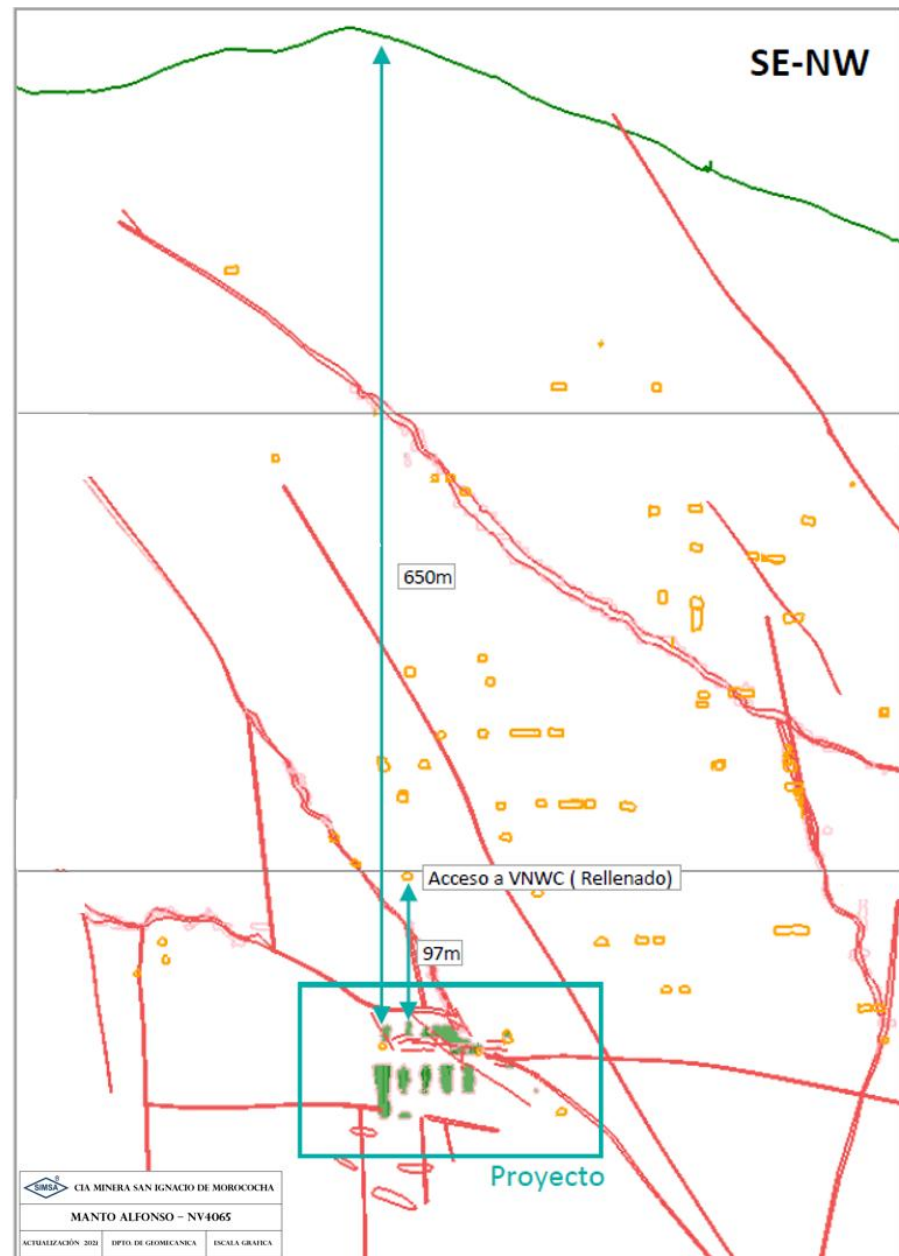
Fuente: Minera San Vicente.

Modelo de Vacíos

Según el modelo de vacíos se observan lo siguiente:

La labor más próxima al minado es un acceso de VNWC a 97m el cual está relleno, no se observan infraestructuras. Se observa 2 Zonas de Sill Pillar mayores a 6.00mts (Ver Ilustración 15)

Ilustración 15. Sección Transversal - Manto Alfonso Nv4065



Fuente: Minera San Vicente.

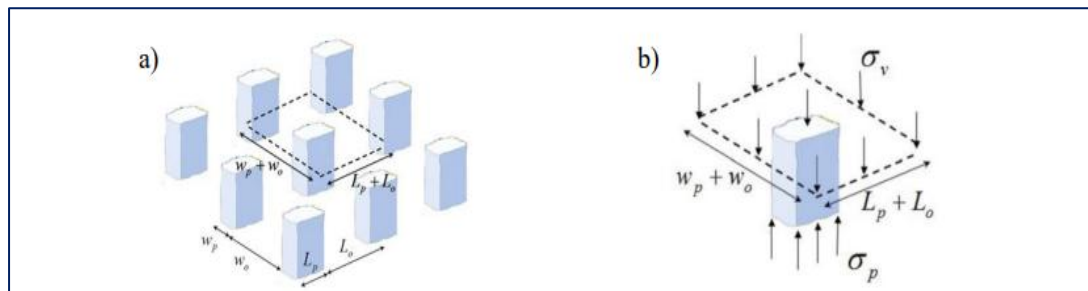
Análisis Geomecánico:

a) Cálculo del Esfuerzo Sobre El Pilar (σ_p)

La obtención del esfuerzo sobre el pilar se puede realizar mediante modelamiento numérico, aunque normalmente se emplea el método del área tributaria. Este método implica que la carga sobre cada pilar está en función

de la columna vertical de roca que lo sobreyace (Maybee, 2000) de tal manera que considera que los esfuerzos se distribuyen homogéneamente sobre el pilar luego de realizar una excavación, de la manera en que se muestra en la Ilustración 16.

Ilustración 16. a) Representación Gráfica del Método del Área Tributaria. b) Representación del Esfuerzo sobre el Pilar de acuerdo a su Área Tributaria (Yrarrázaval, 2013)



Fuente: Revisión de Metodologías para el diseño Geomecánico de Pilares en Minería Subterránea

La siguiente expresión determina el esfuerzo sobre el Pilar de roca:

$$\sigma_p = \sigma_v \frac{(w_p + w_o)(L_p + L_o)}{w_p * L_p}$$

Donde:

- ✓ σ_p : Esfuerzo sobre el pilar (MPa)
- ✓ σ_v : Esfuerzo vertical in-situ (MPa)
- ✓ w_o y L_o : Ancho y largo de la excavación (m)
- ✓ w_p y L_p : Ancho y largo del pilar (m)

Se realiza el Cálculo de Esfuerzo sobre los 16 Pilares, obteniéndose resultados tal como se muestra en la Tabla 03.

Tabla 3. Cálculos de Esfuerzos sobre los Pilares de Estudio

PILARES	Z (m)	σ_v	W_p	W_o	L_o	σ_p
PILAR 1	650.00	10.73	5.50	8.47	5.22	58.79
PILAR 2	650.00	10.73	5.50	10.18	6.93	83.29
PILAR 3	650.00	10.73	5.50	8.39	5.14	61.90
PILAR 4	650.00	10.73	5.50	7.33	4.08	50.74
PILAR 5	650.00	10.73	5.50	7.97	5.72	63.58
PILAR 6	650.00	10.73	5.50	10.07	6.82	81.88
PILAR 7	650.00	10.73	5.50	8.24	4.99	60.22
PILAR 8	650.00	10.73	5.50	7.15	3.90	48.92
PILAR 9	650.00	10.73	5.50	9.20	5.95	71.20
PILAR 10	650.00	10.73	5.50	7.86	4.61	56.21
PILAR 11	650.00	10.73	5.50	7.31	4.06	50.53
PILAR 12	650.00	10.73	5.50	8.76	5.51	66.12
PILAR 13	650.00	10.73	5.50	8.56	5.31	63.82
PILAR 14	650.00	10.73	5.50	8.21	4.96	59.97
PILAR 15	650.00	10.73	5.50	8.61	5.36	64.33
PILAR 16	650.00	10.73	5.50	9.76	6.51	77.92

Fuente: Elaboración Propia

b) Cálculos para Determinar la Resistencia de los Pilares (S_p):

b.1) Hedley y Grant (1972).- Este autor define la fórmula de la resistencia de pilares para rocas de alta calidad como:

$$S_p = 0,578 \text{ UCS} \left(\frac{w^{0,5}}{h^{0,75}} \right)$$

Se realiza el Cálculo de Resistencia sobre los 16 Pilares, obteniéndose resultados tal como se muestra en la Tabla 04.

Tabla 4. Cálculos de Resistencia de los Pilares por Hedley y Grant

PILARES	W	H	UCS	Sp
PILAR 1	5.50	4.50	217.00	95.20
PILAR 2	5.50	4.50	217.00	95.20
PILAR 3	5.50	4.50	217.00	95.20
PILAR 4	5.50	4.50	217.00	95.20
PILAR 5	5.50	4.50	217.00	95.20
PILAR 6	5.50	4.50	217.00	95.20
PILAR 7	5.50	4.50	217.00	95.20
PILAR 8	5.50	4.50	217.00	95.20
PILAR 9	5.50	4.50	217.00	95.20
PILAR 10	5.50	4.50	217.00	95.20
PILAR 11	5.50	4.50	217.00	95.20
PILAR 12	5.50	4.50	217.00	95.20
PILAR 13	5.50	4.50	217.00	95.20
PILAR 14	5.50	4.50	217.00	95.20
PILAR 15	5.50	4.50	217.00	95.20
PILAR 16	5.50	4.50	217.00	95.20

Fuente: Elaboración Propia

b.2) Lunder y Pakalnis (1997).- Este autor define la fórmula de la resistencia de pilares para rocas de alta calidad como:

$$Sp = 0,44 \text{ UCS } (0,68 + 0,52 k)$$

$$k = \tan[\text{acos}\left(\frac{1-C_{pav}}{1+C_{pav}}\right)]$$

$$C_{pav} = 0,46[\log\left(\frac{w}{h} + 0,75\right)]^{\frac{1,4}{w/h}}$$

Donde,

- ✓ k : Fricción interna de los pilares.
- ✓ C_{pav}: Confinamiento promedio de los pilares.

Se realiza el Cálculo de Resistencia sobre los 16 Pilares, obteniéndose resultados tal como se muestra en la Tabla 05.

Tabla 5. Cálculos de Resistencia de los Pilares por Lunder y Pakalnis

W	H	Cpav	K	UCS	Sp
5.50	4.50	0.11	0.76	217.00	102.66
5.50	4.50	0.11	0.76	217.00	102.66
5.50	4.50	0.11	0.76	217.00	102.66
5.50	4.50	0.11	0.76	217.00	102.66
5.50	4.50	0.11	0.76	217.00	102.66
5.50	4.50	0.11	0.76	217.00	102.66
5.50	4.50	0.11	0.76	217.00	102.66
5.50	4.50	0.11	0.76	217.00	102.66
5.50	4.50	0.11	0.76	217.00	102.66
5.50	4.50	0.11	0.76	217.00	102.66
5.50	4.50	0.11	0.76	217.00	102.66
5.50	4.50	0.11	0.76	217.00	102.66
5.50	4.50	0.11	0.76	217.00	102.66
5.50	4.50	0.11	0.76	217.00	102.66
5.50	4.50	0.11	0.76	217.00	102.66
5.50	4.50	0.11	0.76	217.00	102.66
5.50	4.50	0.11	0.76	217.00	102.66

Fuente: Elaboración Propia

- c) Determinación del Factor de Seguridad (FS).**- Para medir la condición de estabilidad de los pilares de roca, se utiliza el factor de seguridad, el que se define como una relación entre la resistencia del pilar versus la sollicitación que actúa sobre éste. De esta manera la expresión queda como se muestra a continuación:

$$FS = \frac{Sp}{\sigma_p}$$

Se estiman los Factores de Seguridad en base a los resultados obtenidos de Esfuerzo y Resistencia sobre los 16 Pilares, obteniéndose resultados tal como se muestra en la Tabla 06.

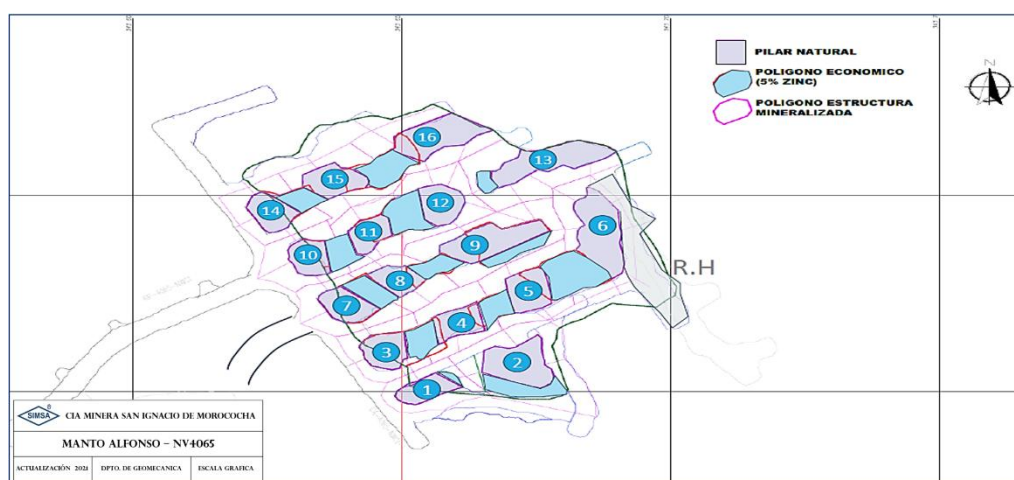
Tabla 6. Cálculos de Factor de Seguridad por Hedley y Grant - Lunder y Pakalnis

PILARES	W	H	UCS	FS Hedley y Grant	FS Lunder y Pakalnis
PILAR 1	5.50	4.50	217.00	1.62	1.75
PILAR 2	5.50	4.50	217.00	1.14	1.23
PILAR 3	5.50	4.50	217.00	1.54	1.66
PILAR 4	5.50	4.50	217.00	1.88	2.02
PILAR 5	5.50	4.50	217.00	1.50	1.61
PILAR 6	5.50	4.50	217.00	1.16	1.25
PILAR 7	5.50	4.50	217.00	1.58	1.70
PILAR 8	5.50	4.50	217.00	1.95	2.10
PILAR 9	5.50	4.50	217.00	1.34	1.44
PILAR 10	5.50	4.50	217.00	1.69	1.83
PILAR 11	5.50	4.50	217.00	1.88	2.03
PILAR 12	5.50	4.50	217.00	1.44	1.55
PILAR 13	5.50	4.50	217.00	1.49	1.61
PILAR 14	5.50	4.50	217.00	1.59	1.71
PILAR 15	5.50	4.50	217.00	1.48	1.60
PILAR 16	5.50	4.50	217.00	1.22	1.32

Fuente: Elaboración Propia

Puesto que se toma el caso que a medida que crezca el Pilar, exista más probabilidad de Falla por factor tamaño se usara los Datos de Hedley, observándose un $FS > 1.14$

Ilustración 17. Plano Topográfico Pilares a Recuperar



Fuente: Minera San Vicente.

Zonas con $FS < 1.40$ son pilares dejados por control estructural, según Criterio de Aceptabilidad para Pilares Mineros Vergara (2006) no realizándose trabajos en los Pilares 2, 6, 9 y 16 como se puede observar en la Tabla 07.

Tabla 7. Pilares dejados por Control Estructural

PILARES	W	H	UCS	FS Hedley y Grant	FS Lunder y Pakalnis
PILAR 1	5.50	4.50	217.00	1.62	1.75
PILAR 2	5.50	4.50	217.00	1.14	1.23
PILAR 3	5.50	4.50	217.00	1.54	1.66
PILAR 4	5.50	4.50	217.00	1.88	2.02
PILAR 5	5.50	4.50	217.00	1.50	1.61
PILAR 6	5.50	4.50	217.00	1.16	1.25
PILAR 7	5.50	4.50	217.00	1.58	1.70
PILAR 8	5.50	4.50	217.00	1.95	2.10
PILAR 9	5.50	4.50	217.00	1.34	1.44
PILAR 10	5.50	4.50	217.00	1.69	1.83
PILAR 11	5.50	4.50	217.00	1.88	2.03
PILAR 12	5.50	4.50	217.00	1.44	1.55
PILAR 13	5.50	4.50	217.00	1.49	1.61
PILAR 14	5.50	4.50	217.00	1.59	1.71
PILAR 15	5.50	4.50	217.00	1.48	1.60
PILAR 16	5.50	4.50	217.00	1.22	1.32

Fuente: Elaboración Propia

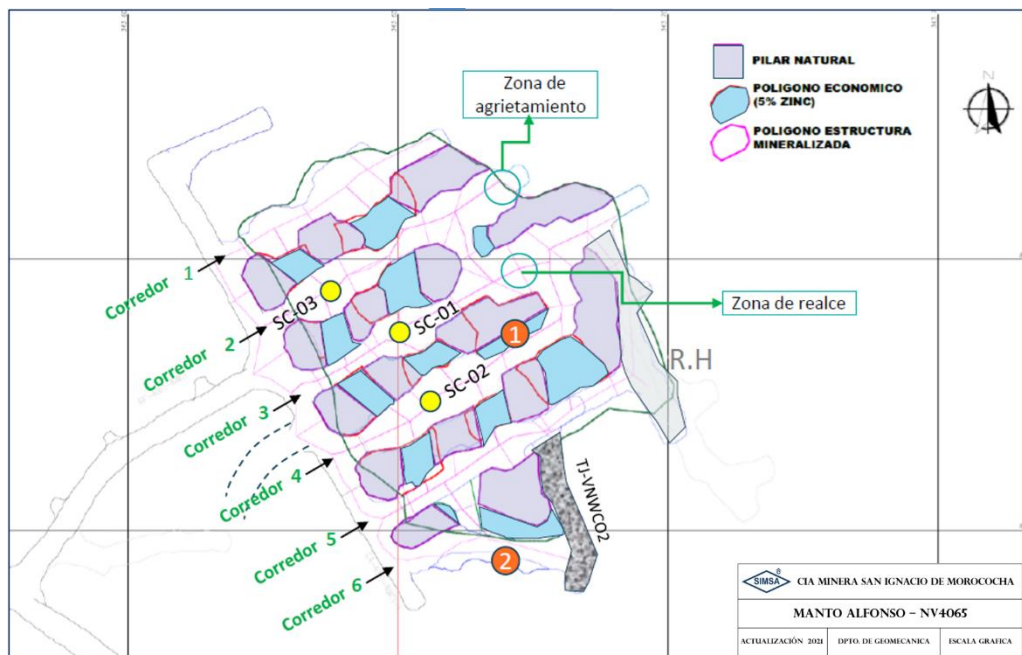
Secuencia de Minado

a) Actividades Preliminares Antes del Inicio de Minado:

- a.1) Generar la habilitación de los corredores 1,2,3,4,5,6 por las áreas de ventilación y operaciones mina para la inspección del estado de sostenimiento por el personal de geomecánica.
- a.2) Generación del plan de resane integral por el área de geomecánica.
- a.3) Sostenimiento: Sh 2" + P. Expansivo (E: 1.3 m) + Cable Bolting en los puntos 1 y 2.
- a.4) Relleno ciego del Subnivel (TJ – VNWC02).
- a.5) Rehabilitación por Operaciones Mina.

a.6) Instalación 03 Smarth Cable de 9m (SC-01-02 & 03).

Ilustración 18. Plano Topográfico Actividades Preliminares antes del Inicio de Minado



Fuente: Minera San Vicente.

b) Actividades de Minado:

FASE 01:

1. A: 3.4m | Recuperación de Mineral: Sostenimiento: Sh2'' + P. Expansivo (E:1.5 m) + Intermediación de Cable Bolting.
2. A: 9.7m | Recuperación de Mineral, en dos Etapas:
 Etapa 1: Generar Labor de 4.50x4.50m | Sostenimiento: Sh2'' + P. Expansivo (E:1.3 m) + Cable Bolting.
 Etapa 2: Generar el desquince hasta sección de diseño. Sostenimiento: Sh2'' + P. Expansivo (E:1.3 m) + Cable Bolting.
3. A: 4m | Recuperación de Mineral: Sostenimiento: Sh2'' + P. Expansivo (E:1.3 m) + Cable Bolting.
4. Relleno Ciego con material detrítico de toda la Fase 1.

FASE 02:

1. A: 6m | Recuperación de Mineral | Sostenimiento: Sost. Estructural en cámara y Cable Bolting en la intersección).
2. A: 6.7 m | Recuperación de Mineral (Sh 2” + P. Expansivo + Cable Bolting (Cámara e intersección).
3. A: 6.7 m | Recuperación de Mineral, (Sh 2” + P. Expansivo + Cable Bolting (Cámara e intersección).
4. A: 8.5 m | Recuperación de Mineral, en dos Etapas:

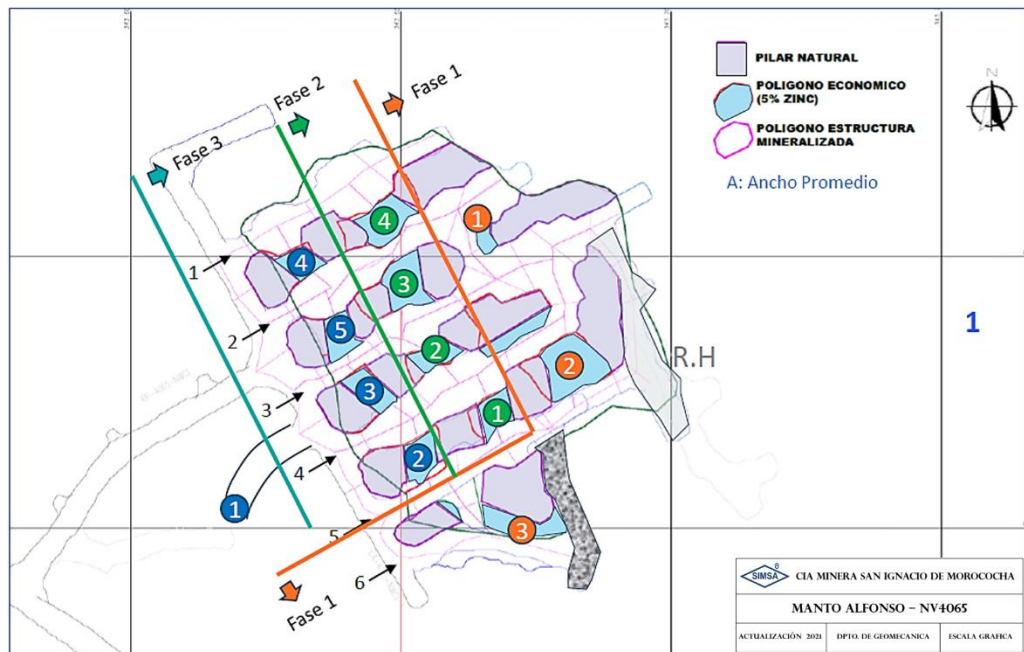
Etapas 1: Generar Labor de 4.50 x 4.50m | Sostenimiento: Sh2” + P. Expansivo (E:1.3 m) + Cable Bolting.

Etapas 2: Generar el desquince hasta sección de diseño. Sostenimiento: Sh2” + P. Expansivo (E.1.3 m) + Cable Bolting.
5. Relleno Ciego con material detrítico de toda la Fase 2.

FASE 03:

1. Minado del Tajo Taladros Largos + Relleno 100% (Tajo + Subniveles).
2. A: 5.7m | Recuperación de Mineral | Sostenimiento: Sost. Estructural en cámara y Cable Bolting en la intersección).
3. A: 4.7m | Recuperación de Mineral | Sostenimiento: Sost. Estructural en cámara y Cable Bolting en la intersección).
4. A: 5.3m | Recuperación de Mineral | Sostenimiento: Sost. Estructural en cámara y Cable Bolting en la intersección).
5. A: 5.4m | Recuperación de Mineral | Sostenimiento: Sost. Estructural en cámara y Cable Bolting en la intersección).
6. Relleno Ciego con material detrítico de toda la Fase 3.

Ilustración 19. Plano Topográfico Actividades de Minado

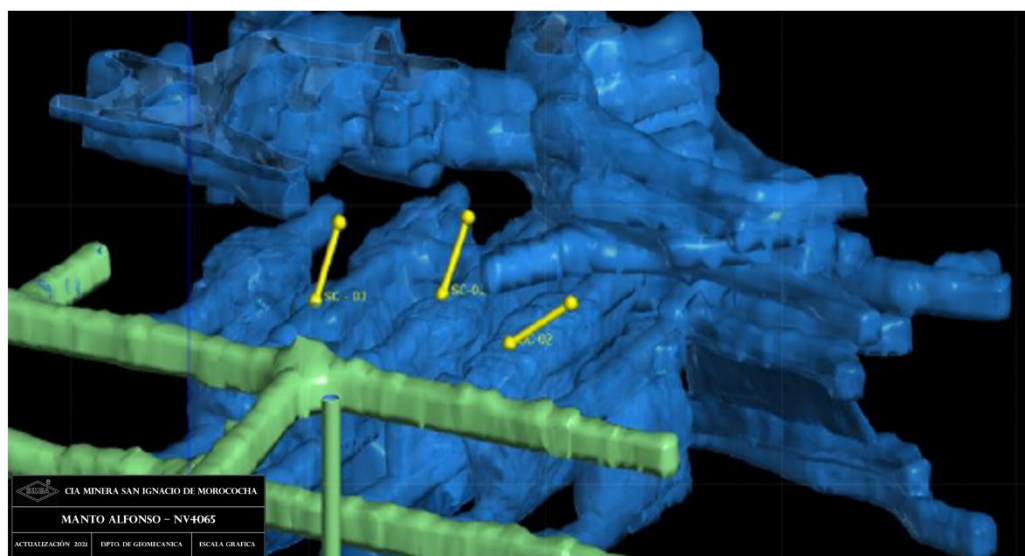


Fuente: Minera San Vicente.

Monitoreo Geotécnico: Diseño de Smarth Cable

Sera necesario la instalación de Smart Cable, el cual permita monitorear las deformaciones de la corona, y tener la respuesta en función a los niveles de alerta (Ver Ilustración 20).

Ilustración 20. Vista Isométrica – Ubicación y Orientación de Smart Cable



Fuente: Minera San Vicente.

4.3. Prueba de hipótesis

Hipótesis Específico 1

Realizar la Evaluación Geomecánica para determinar los parámetros estructurales de la Mina San Vicente.

Los elementos más significativos del sistema de información geomecánica, vinculados a las propiedades del comportamiento mecánico de la masa rocosa y sus elementos, incluyen los ensayos de laboratorio y los ensayos in-situ, con el objetivo de establecer las características físico-mecánicas de las rocas y el seguimiento de la masa rocosa durante las operaciones de la Mina San Vicente S.A.

Resistencia compresiva: 217 Mpa; RQD: 40%; Espaciamiento de las discontinuidades: 0.06-0.2 m; Condición de las discontinuidades: Persistencia 1-3 m; Apertura 0.1 - 1.0 mm; Rugosidad: Ligeramente; Relleno Blando <5mm; Alteración: Muy alterada. Con particularidades y limitaciones propias que impone la geometría del yacimiento (Buzamiento de los mantos mineralizados) y la infraestructura preexistente.

Con el mapeo geomecánico realizado se tiene que la labor está emplazada en calidad de macizo rocoso regular IIIB a mala IVA con sistema de discontinuidad sub transversal y sub paralelo al eje de avance, lo cual forma cuñas en la corona.

Hipótesis Específico 2

La definición de los parámetros estructurales establecerá la secuencia de minado por cámaras y pilares de la Mina San Vicente.

Basándonos en los estudios previamente mencionados, se establecieron las condiciones de estabilidad de las diferentes excavaciones subterráneas

vinculadas al método de minado subterráneo por Cámaras y Pilares con las condiciones geomecánicas presentes en la Mina San Vicente. Teniendo en cuenta la estabilidad estructuralmente regulada, para el análisis se ha tomado en cuenta el compósito de discontinuidades y su estructura conforme al progreso de la excavación, se tomaron en cuenta los esfuerzos provocados por las excavaciones subterráneas vinculados al método de explotación.

Para el análisis de la estabilidad, se empleó para el Cálculo de resistencia de los Pilares las Fórmulas de Hedley y Grant (1972) y Lunder y Pakalnis (1997).

4.4. Discusión de resultados

Evaluación Geomecánica

Se realizó la Evaluación Geomecánica para determinar los parámetros estructurales de la Mina San Vicente.

Los estudios se realizaron en el modelo económico del Nv4065, ubicada en el conjunto de Mineralización de Mantos Alfonso.

El mapeo geomecánico realizado se tiene que la labor está emplazada en calidad de macizo rocoso regular IIIB a mala IVA con sistema de discontinuidad sub transversal y sub paralelo al eje de avance, lo cual forma cuñas en la corona.

Definición de Parámetros

La definición de los parámetros estructurales estableció la secuencia de minado por cámaras y pilares de la Mina San Vicente.

Se realizaron el estudio y comparativos en base a Hedley y Grant (1972) y Lunder y Pakalnis (1997), en ambos casos se desestiman 4 de los 16 pilares planteados por tener un Factor de Seguridad menor a 1.4 según Criterio de aceptabilidad para Pilares Mineros Vergara (2006).

Con los resultados obtenidos y realizando los comparativos con las diferentes fórmulas para el Cálculo de Resistencia de Pilares, se determina un modelo estadístico a trabajar en la Unidad Minera San Vicente la cual considera a Hedley y Grant (1972) y Lunder y Pakalnis (1997).

$$Sp = 0,44 \text{ UCS } (0,68 + 0,52 k)$$

$$k = \tan[\text{acos}\left(\frac{1-C_{pav}}{1+C_{pav}}\right)]$$

$$C_{pav} = 0,46[\log\left(\frac{w}{h} + 0,75\right)]^{\frac{1,4}{w/h}}$$

Donde,

- ✓ k : Fricción interna de los pilares.
- ✓ C_{pav} : Confinamiento promedio de los pilares.

Secuencia de Minado

Con la evaluación Geomecánica realizada se definió la secuencia de minado por Cámaras y Pilares de la Mina San Vicente en la Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A. siendo esta tal como se muestra en la tabla 07, mostrándose un análisis de ejecución del 75% (12 pilares de los 16 en estudio).

La secuencia de Minado se realizará en 3 fases indicados como se muestra en la Ilustración 19:

- Fase 1 la recuperación de 3 Bloques y posterior a ellos sostener con Shotcrete de 2" + Pernos Expansivos (Espaciados a 1.3 m) + Cable Bolting.
- Fase 2 la recuperación de 4 Bloques y posterior a ello sostener con Shotcrete de 2" + Pernos Expansivos (Espaciados a 1.3 m) + Cable Bolting.
- Fase 3 la recuperación de 4 Bloques y posterior a ello Sostén Estructural (Arcos Noruegos + Shotcrete de 2") en cámara y Cable Bolting en la intersección.

CONCLUSIONES

- El aseguramiento de los procesos mineros en cuanto a recursos y personal capacitado será primordial para inicio del proyecto.
- Con la evaluación Geomecánica se definió la secuencia de minado por Cámaras y Pilares de la Mina San Vicente en la Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A. (Ilustración 20)
- La Evaluación Geomecánica realizada determino los parámetros estructurales de la Mina San Vicente en la Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A. (Tablas 06 y 07)
- La definición de los parámetros estructurales estableció la secuencia de minado por cámaras y pilares de la Mina San Vicente (Tabla 03).
- Según la evaluación del dimensionamiento de pilares se deberá considerar un pilar irregular como un mínimo de 5.50 m de ancho.
- Así mismo se deberá contar con un diseño de malla para la perforación y voladura para no debilitar los pilares, ya que se requerirá más de dos disparos para recuperar los bloques, se recomienda para la recuperación de Mineral mayor a 6m, se realice una labor piloto de 4.50x4.50 y luego desquinar hasta la sección propuesta.
- El sostenimiento por emplear será como mínimo Shotcrete más pernos, previa evaluación por geomecánica + Cable Bolting en zonas con Spam > 6m, esta condición puede reemplazarse con Sostenimiento estructural de Piso a Piso según recomendación Geomecánica.
- De tener anomalías en cuanto al monitoreo Geomecánico instalado o condiciones que comprometan la estabilidad, se realizara una inspección multidisciplinaria la cual permita realizar un plan de acción.

- El control de Perforación y Voladura es crítico para conservar los pilares de diseño (Tomar en cuenta la sobre excavación histórica para el diseño de malla), si existe sobrerotura se debe realizar el PARE y comunicar al área de Geomecánica / Operaciones Mina / Planeamiento.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda en base a la evaluación geomecánica mantener la secuencia de la distribución en planta de los mantos mineralizados, en base a las 3 fases evaluadas.
- Se recomienda en caso de sobre excavación en los pilares se tendrá que aumentar los pilares de su área tributaria para mantener la estabilidad.
- Cuando se culmine la explotación de los bloques según la secuencia, esta deberá ser rellenado inicialmente con desmonte según alternativa elegida.
- Se recomienda que antes del inicio del proyecto se debe levantar todas las observaciones de las áreas involucradas mediante el VEO (Verificación de Estándares Operativos).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Z. T. Bieniawski; ENGINEERING ROCK MASS CLASSIFICATIONS, A Wiley-Interscience Publication, 1989-1990, Canada.
- Barton, N. (1992- 1993). Predicting the behavior of underground openings in rock. New Delhi.
- Weiss F. y Córdova D. “Influencia de las condiciones naturales en la selección del método de explotación en minería subterránea”, Informe INGEMMET – 1991.
- Universidad Nacional de Ingeniería, Pruebas de Laboratorio de Mecánica de Rocas. Noviembre 2018.
- Hoek, E. (1999). Strength of rocks and rock masses. ISRM New Journal 5 (2), pg 12-26.
- Bath, C., y S. Duda. 1968. Secular Seismic Energy release in the circum pacific belt.
- Bernal, I., y H. Tavera. 2005. Evaluación de la sismicidad y distribución de la energía sísmica en Perú. IGP Boletín de la Sec. Geológica del Perú V 98 p 54-86
- Guía Minero Ambiental de Explotación”, Ministerio de Minas y Energía, Colombia, Recuperado de: <http://www.simec.gov.co/Portals/0/Documental/1161.pdf>
- Riesgos asociados a métodos de explotación por cámaras y pilares, Moya Mauricio, Chile, Julio de 2015. Recuperado de: <http://www.emb.cl/hsec/articulo.mvc?xid=698&edi=31&xit=riesgos- asociados- amétodos-de-explotación-por-cámaras-y-pilares>
- Método de explotación: Cámaras y Pilares, Universidad Nacional de Ingeniería, 2008, Perú, Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/60816518/Clase-3-Camarasy-Pilares>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA						
TÍTULO: “Evaluación Geomecánica para definir la secuencia de minado por Cámaras y Pilares de la Mina San Vicente – Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A.”.						
Tesista: Bach.						
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	TIPO Y NIVEL DE INVEST
GENERAL: ¿Es factible efectuar la evaluación Geomecánica para definir la secuencia de minado por Cámaras y Pilares de la Mina San Vicente en la Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A ? Problemas específicos A. ¿La realización de la evaluación geomecánica determinara los parámetros estructurales de la Mina San Vicente en la Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A.? B. ¿La definición de los parámetros estructurales establecerá la secuencia de minado por cámaras y pilares de la Mina San Vicente ?	GENERAL: Efectuar la evaluación Geomecánica para definir la secuencia de minado por Cámaras y Pilares de la Mina San Vicente en la Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A. Objetivos específicos A. Realizar la evaluación geomecánica para determinar los parámetros estructurales de la Mina San Vicente en la Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A. B. Definir los parámetros estructurales para definir la secuencia de minado por cámaras y pilares de la Mina San Vicente.	GENERAL Con la evaluación Geomecánica se definirá la secuencia de minado por Cámaras y Pilares de la Mina San Vicente en la Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A. Hipótesis específicas A. La Evaluación Geomecánica determinara los parámetros estructurales de la Mina San Vicente en la Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A. B. La definición de los parámetros estructurales establecerá la secuencia de minado por cámaras y pilares de la Mina San Vicente.	INDEPENDIENTE X: Evaluación Geomecánica de la Mina San Vicente. Variable Dependiente Y: Secuencia de minado por Cámaras y Pilares de la Mina San Vicente.	Caracterización Geomecánica Parámetros Geotécnicos Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A. Recomendaciones Geomecánicas de Minado Trabajos de Sostén para Control Estructural	Características del Macizo Roco Parámetros Estructurales Área de Influencia Buzamiento <30° Resistencia de la Roca Dimensión de Pilares	TIPO: Aplicada. NIVEL: Evaluativa.

PRINCIPIOS DEL METODO

El método de explotación Room and Pillar o también cámaras y pilares, consiste como su nombre lo indica, en la explotación de caserones separados por pilares de sostenimiento del techo. La recuperación de los pilares puede ser parcial o total, en este último caso, la recuperación va acompañada del hundimiento controlado del techo que puede realizarse junto con la explotación o al final de la vida del yacimiento, lógicamente el hundimiento del techo en este caso es totalmente controlado.



Se abren múltiples tajeos o cámaras, dejando zonas intactas para que actúen como pilares para sostener la carga vertical

➤ Pilares actúan como soporte del techo, con el fin de mantener la estabilidad.

➤ Se diseñan los pilares y los caserones con el fin de maximizar la recuperación del mineral.

➤ La recuperación de los pilares se puede realizar de varias maneras:

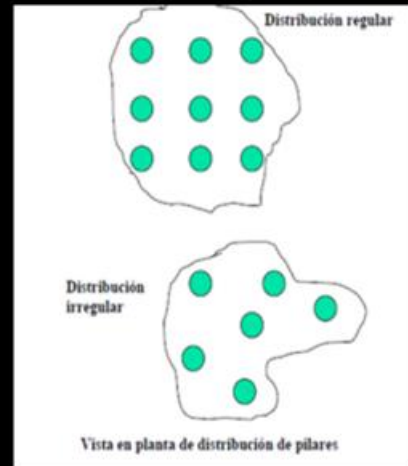
➤ Recuperación con hundimiento controlado de techo.

➤ Recuperación de Pilares en forma alternada.

➤ Recuperación parcial de pilares.



En algunos casos, no se planea con mucha precisión la ubicación de los pilares, pero el operador de mina simplemente por la experiencia va dejando los pilares donde sea necesario, y los ubica en zonas de menor valor de mineral o zona estéril.



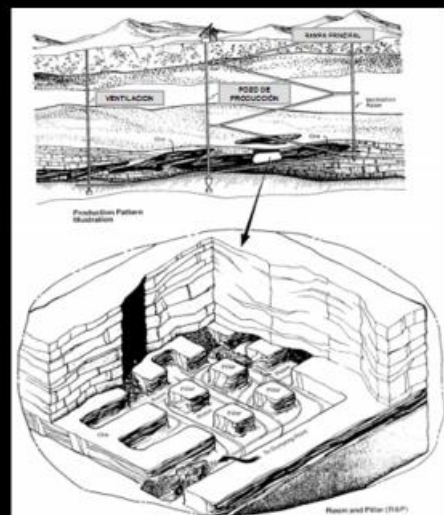
CAMPO DE APLICACIÓN DEL METODO

- ⊙ Este método es de aplicación universal en yacimientos tabulares sedimentarios, como pizarras cupríferas, yacimientos de hierro, carbón, potasio, y otros.
- ⊙ En el Perú se usa en pocas minas, por el cambio brusco del rumbo y buzamiento de las estructuras mineralizadas.

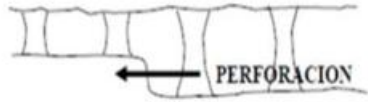
Este método de explotación es aplicado ampliamente y en los últimos años se ha desarrollado bastante, debido a su **bajo costo de explotación** y a la vez que permite hasta cierto punto una explotación moderadamente selectiva. Los yacimientos que mejor se presentan para una explotación por Room and Pillar, son aquellos que presentan **un ángulo de manto bajo**, aunque también es aplicable en yacimientos de manto entre 30° y 40° , es decir, en yacimientos de manto crítico, donde el mineral no puede escurrir por gravedad.

CONSIDERACIONES DE APLICACIÓN DEL METODO

Consisten en la ejecución de pozos de izaje chimeneas de ventilación y de servicios galerías de acceso y vías para el transporte del mineral, echaderos de mineral, botaderos. Es muy común preparar el sector mediante un sistema de galerías paralelas es decir de galería en sección transversal de modo de que por una penetra la corriente de ventilación y por la otra sale

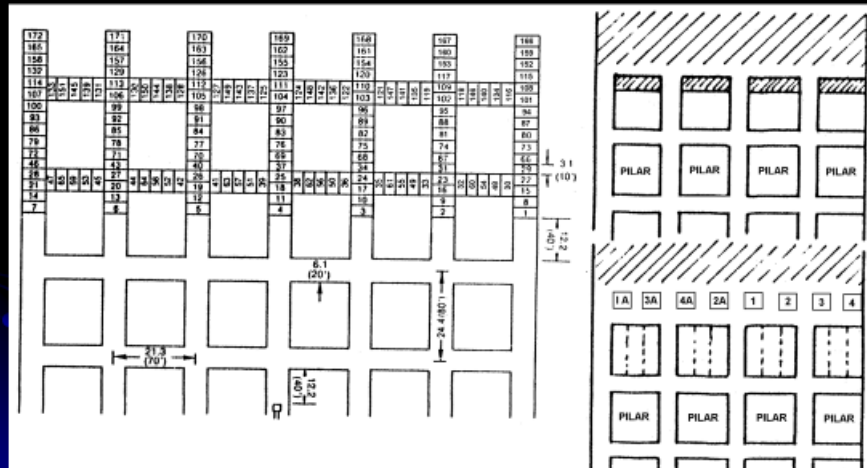


PRODUCCION



SECCION MOSTRANDO EL CORTE DEL TAJEO INICIAL EN EL TOPE, CON EL BANCO QUE LE SIGUE EN PERFORACION HORIZONTAL

- ⑤ La producción de mineral en cámaras y pilares aplica las mismas técnicas de perforación y voladuras que en la explotación normal por galerías, donde las dimensiones de las galerías son iguales al ancho y altura de la excavación.
- ⑥ Donde las condiciones geológicas son favorables, las excavaciones pueden ser grandes utilizando brocas de perforación de frente de gran tamaño para la minería mecanizada y productiva.



VARIANTES DEL METODO



TRADICIONAL

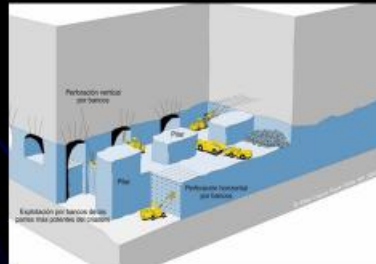
VARIANTES
CÁMARAS Y
PILARES

ESCALERA

INCLINADO

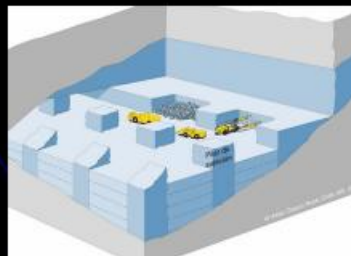
CAMARAS Y PILARES - TRADICIONAL

Se aplican a los depósitos planos estratificados, con espesores desde moderados hasta de gran espesor y también a yacimientos inclinados con grandes espesores. La explotación del depósito de mineral crea grandes bancos abiertos por donde las máquinas sobre neumáticos pueden desplazarse sobre el fondo plano. Los yacimientos de mineral de gran altura vertical se explotan en trozos horizontales, comenzando arriba, y por bloques hacia abajo en etapas.



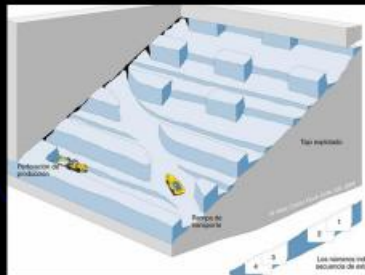
CAMARAS Y PILARES - INCLINADO

Se aplican a yacimientos inclinados con un ángulo de inclinación de 20 a 25 grados, de altura vertical superior, donde el espacio explotado se rellena. El relleno mantiene a los pilares estables y sirve como plataforma de trabajo mientras se explota el siguiente tajado. La minería post cámara y pilares es un método híbrido entre cámaras y pilares con corte y relleno.

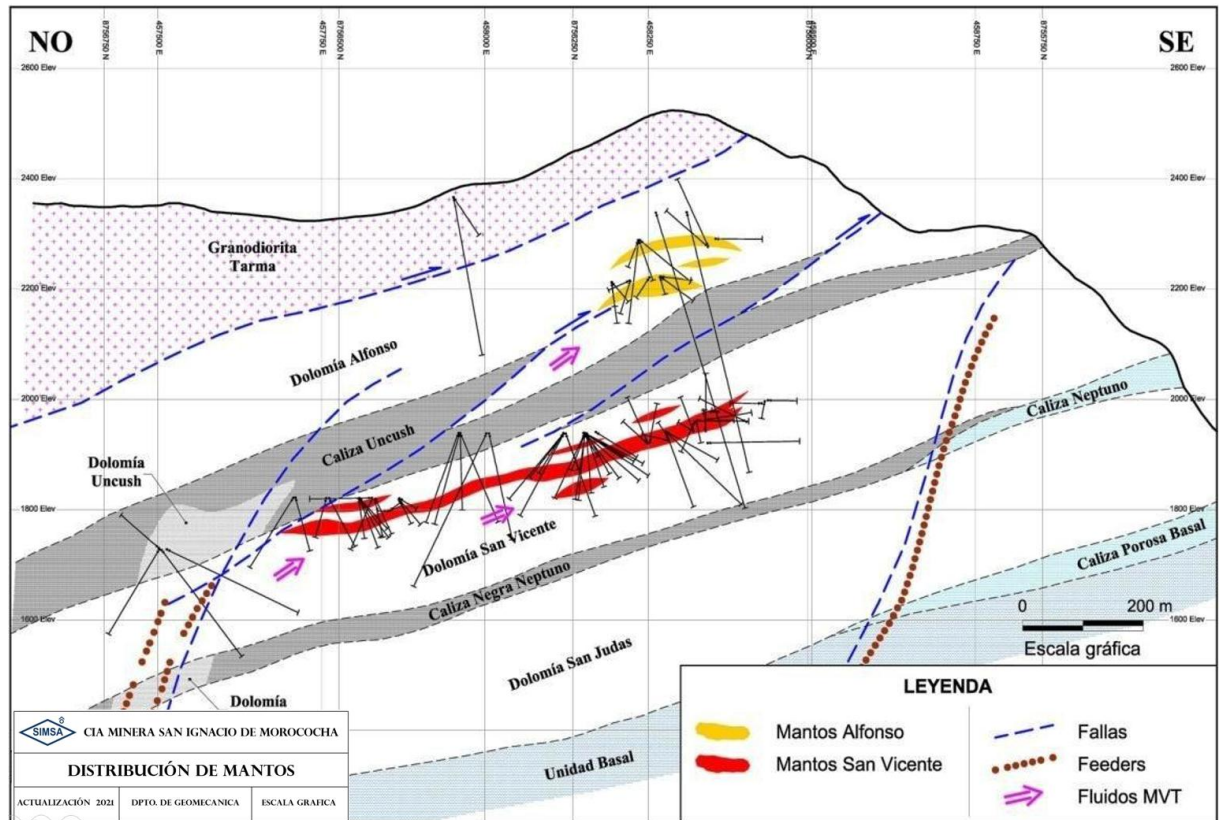


CAMARAS Y PILARES - EN ESCALERA

Las cámaras y pilares por etapas es una variación que adapta la pared inclinada del yacimiento para un uso más eficiente del equipo con neumáticos. Aunque las aplicaciones no pueden generalizarse totalmente, la minería de cámaras por etapas se aplica a depósitos tabulares con espesores de 2,0 a 0,5 m e inclinaciones desde 15 hasta 30 grados.



Anexo 3. Instrumentos para la Investigación



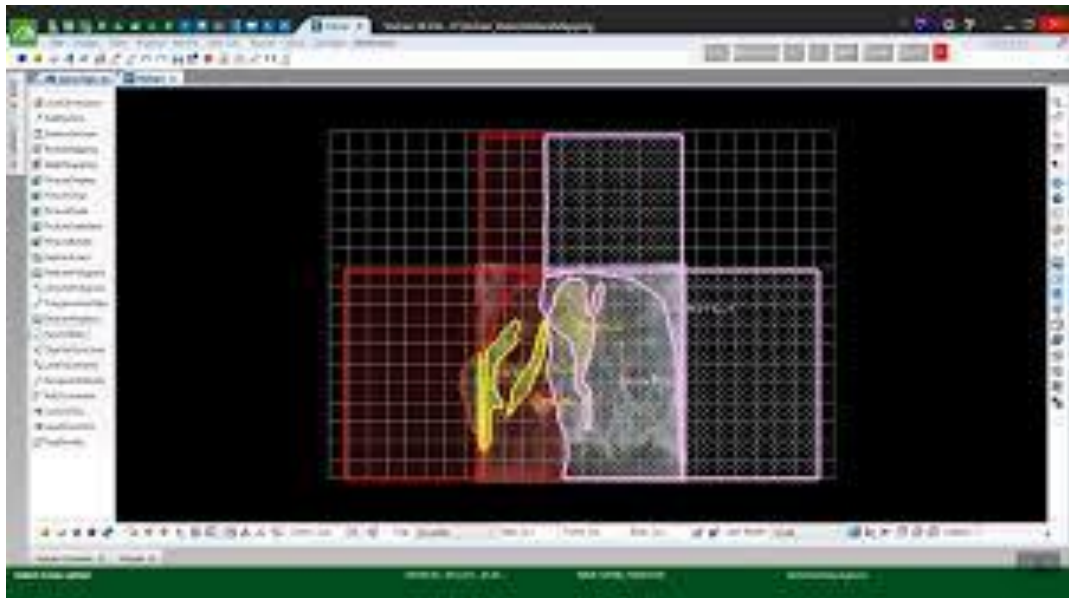
Plano de Mantos de San Vicente



Equipos Topográficos



Archivos proporcionados por la Empresa



**Planos anteriores y actuales – Mapeo Geológico – Geomecánico
Base de datos Mina San Vicente**