



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

**Planeamiento de minado para optimizar la producción en
mina Santa Rosa – Unidad Minera Untuca – Puno**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas

AUTOR

Isidoro Paúl PÉREZ MATOS

ASESOR

Dr. Arístides SOTOMAYOR CABRERA

Lima, Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Pérez, I. (2024). *Planeamiento de minado para optimizar la producción en mina Santa Rosa – Unidad Minera Untuca – Puno*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Isidoro Paúl Pérez Matos
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	71238543
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0001-2420-9664
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Arístides Sotomayor Cabrera
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06656686
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-9488-860X
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Alfonso Alberto Romero Baylón
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	31625834
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Mariano Pacheco Ortiz
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06284228
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Ernesto Sabino López Pomareda

Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09152241
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.4.27. Tecnología de Explotación en Minas de tajo abierto y subterráneo
Grupo de investigación	No Aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Puno Provincia: Sandia Distrito: Quiaca Latitud: - 14.588796 Longitud: -69.386528
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Enero 2019 – marzo 2020
URL de disciplinas OCDE	Otras ingenierías y tecnologías https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.02



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú - Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

En el auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el lunes 16, del mes de diciembre de 2024 siendo las 17:00 horas, en presencia de los Señores Docentes designados como Miembros del Jurado Calificador:

Dr. ALFONSO ALBERTO ROMERO BAYLÓN	(PRESIDENTE)
Mg. MARIANO PACHECO ORTIZ	(MIEMBRO)
Mg. ERNESTO SABINO LÓPEZ POMAREDA	(MIEMBRO)

Reunidos para el Acto Académico Público de la Sustentación de la TESIS Titulada: **"PLANEAMIENTO DE MINADO PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN EN MINA SANTA ROSA – UNIDAD MINERA UNTUCA – PUNO"** presentada por Don: **ISIDORO PAÚL PÉREZ MATOS**, Bachiller en Ingeniería Minas, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero de Minas.

Los miembros del Jurado Calificador, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas a:

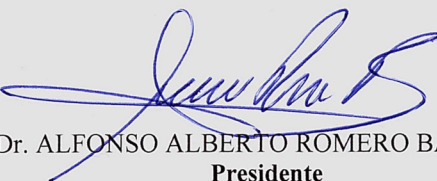
..... SATISFACCION DEL JURADO

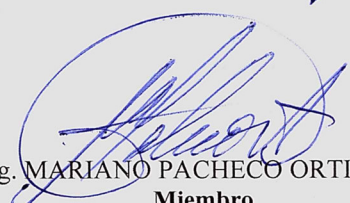
Concluida la Sustentación de Tesis, el Jurado procedió a evaluar y calificar según el reglamento vigente, cuyo resultado fue la nota de: 16 (DIECISEIS)

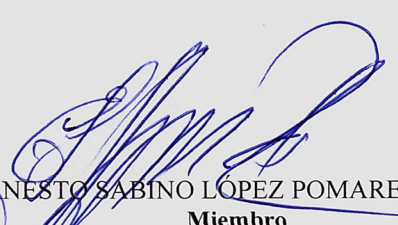
Habiendo sido aprobada la Sustentación de la Tesis por el Jurado Calificador, el Presidente del Jurado, recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS**, a Don: **ISIDORO PAÚL PÉREZ MATOS**.

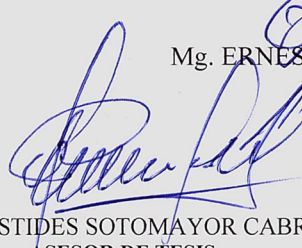
Siendo las 17:45 horas, se dió por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (5) Actas Originales de la Sustentación de Tesis.

Lima, 16 de diciembre de 2024


Dr. ALFONSO ALBERTO ROMERO BAYLÓN
Presidente


Mg. MARIANO PACHECO ORTIZ
Miembro


Mg. ERNESTO SABINO LÓPEZ POMAREDA
Miembro


Dr. ARÍSTIDES SOTOMAYOR CABRERA
ASESOR DE TESIS



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Vicerrectorado de Investigación y Posgrado



CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Arístides Sotomayor Cabrera en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N° 000985-2024-D-FIGMMG/UNMSM de la tesis, cuyo título es PLANEAMIENTO DE MINADO PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN EN LA MINA SANTA ROSA- UNIDAD MINERA UNTUCA-PUNO, presentado por el bachiller ISIDORO PAÚL PÉREZ MATOS para optar el título de Ingeniero de Minas CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de la Tesis. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de **4 %** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

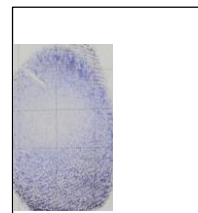
Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título correspondiente.

Firma del Asesor

DNI: 06242869

Nombres y apellidos del asesor:

Arístides Sotomayor Cabrera



DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado a mis padres Maritza y Amador, quienes han sido fundamentales en mi formación y en el desarrollo de la persona que soy hoy en día. Muchos de mis logros son resultado de su apoyo y orientación.

EN MEMORIA

En honor a mis padrinos, Raúl y Margarita, mi fuente de motivación e inspiración, aunque no se encuentren presentes físicamente, pero sus enseñanzas y consejos aún continúan presente en cada paso que doy.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al equipo de la Unidad Minera Untuca de Cori Puno S.R.L., por brindarme la información pertinente para la elaboración del presente trabajo de investigación y sus conocimientos brindados, en especial al Ing. Tony Salazar Miraval, Gerente de Operaciones de la Unidad Minera Untuca, al Ing. Juan Carlos Rosales Estrada, responsable del área de Planeamiento, al Ing. Ever Astete Cajahuanca, Superintendente del área de Mina, al Ing. Manuel Castro Urdy, Superintendente del área de Geología y al Ing. Frank Mauricio Lucero, Superintendente del área de Planeamiento.

De igual manera, expreso mi gratitud a los profesores de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por su dedicación en impartirme los conocimientos que ahora utilizo para llevar a cabo esta investigación.

Agradezco especialmente a mi asesor por proporcionar las directrices fundamentales para llevar a cabo esta investigación. Asimismo, expreso mi sincero reconocimiento a todas las personas que, de manera indirecta, contribuyeron al desarrollo de este trabajo.

RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo principal elaborar un plan de extracción para maximizar la producción en la mina Santa Rosa, que forma parte de la Unidad Minera Untuca de Cori Puno S.R.L. Se empleó un enfoque analítico y descriptivo para evaluar el impacto del plan. La investigación adoptó un diseño preexperimental, observando los resultados del plan durante un periodo de 20 meses en la operación minera. La recopilación de datos se realizó mediante la revisión de documentos y la obtención de información interna de la Unidad Minera.

El proceso de planificación minera incluyó el cálculo de reservas explotables, la programación de la producción, la planificación de avances, la generación de desmontes y el ciclo de extracción. Se estima que la producción alcanzará 12,807 onzas de oro, generando un ingreso de 22,034,211 USD. Según la evaluación económica, el tonelaje programado es de 238,070 Tn con una ley de 2.23 g/t de oro. Aplicando una tasa de descuento del 15% al flujo de caja, se obtuvo un VAN de 1,385,122 USD y una TIR de 202.3 %, lo que evidencia la alta rentabilidad del proyecto para la Unidad Minera Untuca.

Palabras claves: Optimización, Plan de minado, Planeamiento, Producción

ABSTRACT

The primary objective of this research is to develop a mining plan to optimize production at the Santa Rosa mine, part of the Untuca Mining Unit of Cori Puno S.R.L. An analytical method with a descriptive approach was used to assess the impact of the plan. The research design was pre-experimental, observing the results of the plan over a 20-month period in the mining operation. Data collection was carried out through document review and the gathering of internal information from the Mining Unit.

The mining planning process included the calculation of exploitable reserves, production scheduling, advance planning, generation of overburden and the extraction cycle. It is estimated that production will reach 12,807 ounces of gold, generating an income of 22,034,211 USD. According to the economic evaluation, the scheduled tonnage is 238,070 tons with a grade of 2.23 g/t gold. Applying a discount rate of 15% to the cash flow, an NPV of 1,385,122 USD and an IRR of 202.3 % were obtained, which shows the high profitability of the project for the Untuca Mining Unit.

Keywords: Optimization, Mining plan, Planning, Production.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción de la problemática.....	1
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Objetivos de la investigación	2
1.4. Importancia y alcance de la investigación	3
1.5. Hipótesis y variables	3
1.6. Variables	4
1.7. Operacionalización de variables	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes de la investigación	5
2.2. Generalidades de la unidad minera Untuca	9
2.2.1. Ubicación y accesos.....	9
2.2.2. Geología regional	11
2.2.3. Geología local.....	15
2.2.4. Geología estructural.....	19
2.2.5. Metalogenia	23
2.2.6. Geología económica	26
2.2.7. Caracterización geomecánica	26
2.2.8. Aspectos estructurales	29
2.2.9. Operaciones unitarias	30
2.3. Bases teóricas: conceptos y enfoques de la planificación del minado subterráneo.....	38
2.4. Estimación de costos en la minería subterránea	44
2.4.1. Componentes de los costos en la operación minera subterránea.....	44

2.4.2.	Métodos de estimación de costos en la planificación del minado subterráneo	45
2.4.3.	Factores que influyen en los costos de la operación minera subterránea.	47
2.5.	Optimización de la planificación del minado subterráneo.....	47
2.5.1.	Modelos de optimización en la planificación del minado subterráneo	47
2.6.	Herramientas y tecnologías para la planificación y control de costos	49
2.6.1.	Aplicación de software especializado en la planificación del minado subterráneo	49
2.6.2.	Integración de sistemas de gestión de costos en la planificación del minado subterráneo	49
2.7.	Evaluación financiera y análisis de riesgos en la planificación del minado subterráneo.....	50
2.8.	Análisis de riesgos y consideraciones económicas en la toma de decisiones..	51
2.9.	Evaluación de viabilidad y rentabilidad de proyectos en mina subterrá.....	53
2.10.	Estrategias de reducción de costos en la minería subterránea	53
2.10.1.	Identificación de áreas de costos significativas en la operación minera subterránea	53
2.10.2.	Estrategias y técnicas para la reducción de costos en el minado subterráneo.	54
2.10.3.	Evaluación de los beneficios y desafíos asociados con la reducción de costos	54
2.11.	Optimización de la Planificación del Minado Subterráneo	56
2.11.1.	Métodos y Herramientas de Optimización en la Planificación del Minado Subterráneo.....	56
2.11.2.	Impacto de la Optimización en los Costos y la Eficiencia Operativa...	56
2.12.	Evaluación Económica de Proyectos Mineros Subterráneos.....	56
2.13.	Consideraciones económicas para la toma de decisiones en la planificación del minado subterráneo:.....	59
2.14.	Gestión de riesgos en la planificación y costos del minado subterráneo	59
2.14.1.	Identificación y evaluación de riesgos asociados con la planificación y costos en la minería subterránea.....	59
2.14.2.	Análisis de Impacto y Contingencias en el Presupuesto y la Planificación de Costos	59
2.15.	Definición de términos:	60
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA		62
3.1.	Diseño de investigación	62
3.2.	Población y muestra.....	62

3.3.	Procedimiento, técnicas e instrumentos de recolección de información	63
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de información	64
3.5.	Análisis estadístico	65
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS		66
4.1.	Propuesta del plan de minado para optimización	66
4.1.1.	Introducción.....	66
4.1.2.	Estimación de recursos minerales	66
4.1.3.	Cálculo de reservas minerales	70
4.1.4.	Secuencia para el cálculo de reserva	73
4.2.	Evaluación de la optimización del avance mediante el plan implementado....	89
4.2.1.	Programa de avances	89
4.2.2.	Programa de producción.....	91
4.2.3.	Cumplimiento del programa de avances	94
4.3.	Evaluación económica del plan de optimización.....	104
4.4.	Prueba de hipótesis	113
4.5.	Discusión de resultados	113
CONCLUSIONES.....		115
RECOMENDACIONES.....		116
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		117
ANEXOS		122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización.....	4
Tabla 2. Ruta de Acceso a la Unidad Minera Untuca.....	11
Tabla 3. Sistema de discontinuidades estructurales presentes en mina Santa Rosa	27
Tabla 4. Distribución de taladros y cálculo de factores de voladura para un frente de avance, sección 4.0x4.0	32
Tabla 5. Tabla de distribución de taladros y cálculo de factores de voladura para un frente en breasting, sección 9.0x4.0.....	34
Tabla 6. Criterios para la elección del método de extracción.....	43
Tabla 7. Inventario de recursos minerales de la mina Santa Rosa.....	68
Tabla 8. Inventario de recursos minerales del Manto 01 en mina Santa Rosa	69
Tabla 9. Inventario de recursos minerales del Manto 02 en la mina Santa Rosa	69
Tabla 10. Inventario de recursos minerales del Manto 03 en mina Santa Rosa	70
Tabla 11. Inventario de reservas minables, mina Santa Rosa.....	73
Tabla 12. Plan de avances de la mina Santa Rosa	90
Tabla 13. Plan de producción de mina Santa Rosa.....	92
Tabla 14. Cuadro de cumplimiento del programa de avances de lo planificado	95
Tabla 15. Avaluación del cumplimiento del programa de producción.....	98
Tabla 16. Análisis del cumplimiento de las variables económicas	103
Tabla 17. Evaluación económica del plan de minado en la mina Santa Rosa.....	110
Tabla 18. Indicadores de la evaluación económica	111
Tabla 19. Análisis de sensibilidad	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Plano de ubicación de la Unidad Minera Untuca	10
Figura 2. Vista del oeste del campamento, donde se observa los diferentes depósitos cuaternarios.....	15
Figura 3. Columna estratigráfica de la zona mineralizada	16
Figura 4. Materiales de desmonte, uniéndose con el material coluvial	19
Figura 5. Vista de la falla San Miguel y Constanza	21
Figura 6. Vista Falla Gallocunca	22
Figura 7. Vista de la Falla Santa Rosa	22
Figura 8. Esquema Estructural Compuesto entre Cerro la Torre y Santa Rosa.....	25
Figura 9. Diagrama estereográfico de contornos del depósito de discontinuidades – Mina Santa Rosa	29
Figura 10. Malla de Secuencia de Retardo para un frente de avance, sección 4.0 x 4.0	31
Figura 11. Malla de secuencia de retardo para un frente en breasting, sección 9.0 x 4.033	
Figura 12. Estándar de sostenimiento – Unidad Minera Untuca – Cori Puno.....	35
Figura 13. Mapa de procesos de modelamiento y estimación de recursos	67
Figura 14. Mapa de procesos de cálculo de reservas	72
Figura 15. Software Mineplan	73
Figura 16. Selección de Modelo de Bloques 3D para la Mina Santa Rosa en MineSight	74
Figura 17. Configuración de Visualización del Modelo de Bloques en Mineplan 3D...	75
Figura 18. Configuración de Filtros por Ley de Oro (AUKGN) y Categoría (CATE1) en Mineplan.....	76
Figura 19. Configuración de Visualización de Atributos de Ley de Oro (AUKGN) y Categoría (CATE1) en Mineplan 3D	77
Figura 20. Visualización en 3D del Modelo de Ley de Oro (AUKGN) y Diseño de Tajeos	78
Figura 21. Visualización de Sección Transversal del Modelo de Bloques y Delimitación de Zonas.....	79
Figura 22. Modelo 3D de diseño de labores subterráneas y distribución de bloques mineralizados.....	79
Figura 23. Configuración del reporte de reservas en el software Mineplan.....	80

Figura 24. Configuración de opciones de planificación en el software Mineplan para el cálculo de reservas.....	81
Figura 25. Configuración de zonas de mineral y parámetros de ley para el cálculo de reservas	82
Figura 26. Configuración de zonas de mineral y parámetros de ley para el cálculo de reservas	83
Figura 27. Selección de geometrías para evaluación de reservas en Mineplan.....	83
Figura 28. Pantalla de Inicio de HxGN Mineplan™ Activity Scheduler	84
Figura 29. Configuración de los Periodos de Programación en MPAS	84
Figura 30. Selección de propiedades en la configuración de MPAS.....	85
Figura 31. Configuración de tipos de actividades en MPAS.....	86
Figura 32. Diagrama Gantt de secuencia de valores.....	87
Figura 33. Modelo 3D del diseño de labores mineras subterráneas en la mina Santa Rosa	89
Figura 34. Programa de avances y diferenciado por meses	91
Figura 35. Programa de producción y diferenciado por meses	93
Figura 36. Análisis comparativo del programa de avances mina Santa Rosa	97
Figura 37. Análisis comparativo del programa de avances mina Santa Rosa	99
Figura 38. Análisis comparativo de la ley geológica.....	100
Figura 39. Análisis comparativo del programa de recuperación metalúrgica Mina Santa Rosa	102

INTRODUCCIÓN

El plan de minado es una estrategia que define los procedimientos y pasos a seguir durante un período específico. En este plan, se determinan gradualmente los límites para las etapas de exploración, desarrollo, preparación y extracción. También se especifican la metodología a utilizar, los parámetros operativos, la asignación de equipos, los presupuestos, las directrices para la seguridad y la salud laboral, y las medidas para manejar posibles contingencias ambientales, entre otros aspectos.

Durante este proceso, es esencial considerar las medidas a tomar en caso de problemas durante la ejecución. Estas medidas se evalúan cuidadosamente, priorizando las opciones más adecuadas para alcanzar los objetivos del titular minero. Dado que el estudio se enfoca en condiciones variables, es crucial asegurar una planificación efectiva y precisa.

El objetivo principal de este análisis es desarrollar un plan de minado (PM) subterráneo para la mina Santa Rosa, utilizando la información disponible del área de exploraciones. En este marco, se abordan tanto los aspectos económicos como la optimización de los parámetros relacionados con la perforación, voladura, limpieza, acarreo, sostenimiento y diseño de las labores, con el fin de mejorar la factibilidad y eficacia de la operación minera.

Asimismo, es de vital importancia considerar las particularidades geológicas, geomecánicas y económicas exclusivas de la mina en cuestión. Esta consideración integral permitirá garantizar un enfoque más sólido y efectivo en la elaboración del plan de minado, generando así una estrategia que sea óptima y viable en todos los aspectos pertinentes.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la problemática

En las actividades mineras en general la planificación minera en sus diferentes niveles afronta en la realidad a una serie de desafíos. Esta debe realizarse buscando lograr un secuenciamiento detallado que permita crear planes de minado de calidad y que tenga una mayor confiabilidad a un nivel de cumplimiento técnico y con beneficio económico para las empresas mineras del país (Chávez et al., 2022).

El cumplimiento de objetivos de las compañías mineras está sustentado bajo la realización de un adecuado Plan de minado (PM), éste permitirá lograr las metas de producción, cumplir con las condiciones de operatividad y lograr la máxima rentabilidad posible con un mínimo costo en sus operaciones (Huerta, 2020)

La presente investigación se realizó en la mina Santa Rosa, situada en el departamento de Puno, pertenece a la Unidad Minera Untuca, propiedad de Cori Puno S.R.L., se llevó a cabo un diseño de minado subterráneo considerando las variables del yacimiento geológico y geomecánico, también variantes económicas.

La problemática que impulsa el desarrollo del Plan de Minado (PM) surge como resultado de una extensa campaña de perforaciones diamantinas, llevada a cabo por el equipo de Exploraciones. El propósito principal de esta campaña se centra en la ampliación de los recursos disponibles en la Unidad Minera Untuca, al tiempo que busca la validación de la existencia de tres mantos principales previamente identificados en la región.

Basándose en la información geológica obtenida a lo largo de la campaña de perforación, se ha logrado desarrollar el PM a Corto Plazo destinado a la Mina Santa Rosa. El objetivo central fue establecer una secuencia altamente optimizada que no solo

asegure una producción constante en esta área, sino que también garantice la viabilidad operativa en el transcurso de la duración de actividad en la Mina Santa Rosa.

La complejidad intrínseca de esta tarea reside en la exigencia de sincronizar los aspectos geológicos, geomecánicos y producción, mientras se asegura un uso eficiente de los recursos utilizables y se minimizan los riesgos asociados a la operación subterránea. El reto reside en encontrar el equilibrio adecuado entre las variantes de producción y sostenibilidad durante el plazo de ejecución, lo que exige una planificación cuidadosa y que se adapte a un entorno minero dinámico y desafiante.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo el plan de minado subterráneo maximiza la eficiencia en la extracción de minerales y garantiza la rentabilidad económica de la operación en Mina Santa Rosa?

1.2.2. Problemas específicos

¿De qué manera se realiza el plan de minado para la optimización en la producción en mina Santa Rosa?

¿Cómo se optimiza el avance mediante el plan implementado para la producción en mina Santa Rosa?

¿Es viable económica el plan de optimización para la producción en mina Santa Rosa?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar un plan de minado subterráneo que maximice la eficiencia en la extracción de minerales y garantice la rentabilidad económica de la operación en Mina Santa Rosa.

1.3.2. Objetivos específicos

Proponer un plan de minado para la optimización en la producción en mina Santa Rosa – Unidad Minera Untuca – Puno.

Evaluar la optimización del avance mediante el plan implementado para la producción en mina Santa Rosa – Unidad Minera Untuca – Puno.

Realizar la evaluación económica del plan de optimización en la producción en mina Santa Rosa – Unidad Minera Untuca – Puno.

1.4. Importancia y alcance de la investigación

La relevancia de este análisis se encuentra en la exigencia de la mina Santa Rosa, perteneciente a la Unidad Minera Untuca de Cori Puno S.R.L., de disponer de un PM a corto plazo. Este plan tiene como objetivo incrementar la rentabilidad en el corto plazo, lo cual es crucial para la factibilidad económica de la mina. Al mejorar la planificación minera, se puede aumentar la rentabilidad y garantizar la sostenibilidad financiera.

En la investigación se consideró todo el proceso de planeamiento de una mina, partiendo desde la entrega de información geológica, realizando el diseño, la secuencia y la evaluación económica.

Las recomendaciones de la tesis están orientadas a la eficientización de las operaciones y la eficacia en la mina y para las unidades mineras que posean los mismos objetivos, en ese sentido, el alcance de la investigación abarca las áreas operativas de la Unidad Minera Untuca.

1.5. Hipótesis y variables

1.5.1. Hipótesis general

El desarrollo de un PM subterráneo optimizado para la mina Santa Rosa permitirá maximizar la eficiencia en la extracción de minerales y garantizar la rentabilidad económica de la operación.

1.5.2. Hipótesis específicas

La implementación de un PM optimizado en la mina Santa Rosa aumentará la producción en mina Santa Rosa – Unidad Minera Untuca – Puno.

La optimización del avance mediante el PM implementado en la mina Santa Rosa incrementará la producción en mina Santa Rosa – Unidad Minera Untuca – Puno.

La evaluación económica del plan de optimización en la mina Santa Rosa mostrará que la inversión es rentable en la producción en mina Santa Rosa – Unidad Minera Untuca – Puno.

1.6. Variables

Variable independiente: Planeamiento de minado.

Variable dependiente: Producción en la mina Santa Rosa.

1.7. Operacionalización de variables

Tabla 1.

Matriz de operacionalización

Variable	Dimensiones	Indicadores	Técnica	Instrumento
Variable Independiente: Planeamiento de minado	Estimación de reservas	Inventario de reservas	Recolección de datos	Ficha documental
	Producción de mina	Programa de avances		
	Ley de Corte gr/t	Programa de producción		
	Tipos de Método de Minado	Recuperación de Tonelaje.		
Variable Dependiente: Producción minera	Operatividad de planificación estratégica	Cumplimiento de Plan de Producción (t/mes),	Recolección de datos	Ficha documental
	Evaluación económica	Indicadores económicos (VAN, TIR, PAY BACK)		

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Maldonado (2022) en su investigación se enfocó en el esbozo de un método eficaz para el aprovechamiento de un yacimiento de oro situado en el cantón El Guabo, en la provincia de El Oro. Su investigación incluyó un análisis detallado de las tipologías geomecánicas del macizo peñascoso del área. Con base en estos análisis, optó por la técnica de excavación y relleno creciente como el más adecuado para el proyecto. Para apoyar esta elección, se utilizó software especializado que facilitó el diseño de las galerías necesarias. Se basó en la clasificación geomecánica de Bieniawski, que permitió determinar un RMR igual a 61, calificando la roca como buena. Los resultados indicaron que este método de explotación se acopla mejor al yacimiento, optimizando la explotación y garantizando la seguridad del proyecto. Finalmente, las conclusiones subrayan la relevancia de la evaluación geomecánica y la implementación de tecnología avanzada para diseñar un sistema de explotación eficiente y seguro.

Bautista (2017) llevó a cabo un análisis, con el fin de diseñar y planificar un PM subterráneo para optimizar la fabricación diaria en la unidad operativa Pallancata, específicamente en el Proyecto Pablo. El método manejado fue descriptivo, a base de una revisión de planes anteriores de explotación subterránea. El análisis se centró en la unidad operativa Pallancata de Ares SAC. Los resultados indicaron que el plan propuesto permite gestionar el tonelaje diario de producción, incrementando la producción en la mina Pallancata a un promedio de 320 t/día. La evaluación económica del proyecto determinó un costo unitario de 106.15 dólares por tonelada y unos ingresos totales de 51,787 dólares para toda la mina Pallancata. Con una tasa de descuento del 10%, el VAN del proyecto es de 20,660,664 dólares, lo que refleja una valoración positiva del proyecto en su totalidad.

Goldquest Dominicana (2016) realizó un estudio, cuyo propósito fue realizar un análisis técnico y económico del proyecto Minero Romero. La metodología es descriptiva y se centra en el desarrollo del depósito de romero como una mina subterránea. La muestra es el proyecto minero Romero. Los resultados muestran que las rocas que se encuentren en el proceso de mineralización o mineralizadas se remiten a la parte de la superficie a través de camiones con la finalidad de que se alimente a un molino. Como conclusión se tiene que la planta flotación tiene gran capacidad de 2, 800 toneladas al día de producción, asimismo tiene la capacidad de producir el concentrado de cobre.

Ticllasuca (2019) tuvo como objetivo optimizar la producción en la Unidad Minera Pallancata de Hochschild Mining S.A. Asimismo elaboró un PM a corto plazo que permitiera mejorar la producción, enfocándose en la planificación de avances y la proyección del consumo de recursos. La metodología utilizada fue analítica con un diseño preexperimental, que incluyó la exploración de documentos y la observación de datos recopilados durante 12 meses. Los resultados mostraron un aumento del 3% en la producción real frente a lo planeado, además los costos reales fueron inferiormente a los reales por lo cual la producción aumentó de finos de oro y plata lo cual generaron muchos más ingresos finalmente se consideró descontar un 12%, donde se efectuó la evolución del pronóstico económico, por lo cual determinó que el incremento total fue del 19% por lo cual se incrementa la rentabilidad de la minera. Las conclusiones destacaron la importancia de un planeamiento riguroso para mejorar la eficiencia operativa y la rentabilidad del proyecto.

Gaimes (2019) llevó a cabo un estudio para optimizar el ciclo de minado en la Cooperativa Minera Limata Ltda., con el fin de incrementar la productividad diaria de 1,980 m³ a 3,000 m³ de material aurífero sin aumentar la cantidad de equipos. La investigación empleó una metodología descriptiva y aplicada, con un diseño experimental

y la recolección de datos a través de registros de campo. El estudio abarcó todos los activos y equipos de la cooperativa. Los resultados mostraron que, al optimizar el ciclo de minado, la producción aumentó en 512 m³/día, logrando una mayor eficiencia operativa y una ganancia anual proyectada de 13.28 kg de oro. Además, se mejoró la productividad laboral, incrementando las horas efectivas de trabajo de 5.5 a 6.9 horas, reduciendo los tiempos improductivos y aumentando la eficiencia del 69% al 86.5%. Las conclusiones destacan que, mediante una adecuada distribución y mantenimiento de equipos, es posible aumentar de forma significativa la productividad y mejorar la rentabilidad de la operación minera.

Velásquez (2018) llevó a cabo un estudio cuyo principal objetivo fue evaluar la viabilidad económica para elegir la técnica de extracción más adecuado para el plan de la Sociedad Minera Río Chicama – Unidad Bumerang. La investigación utilizó una metodología descriptiva, que incluyó el análisis de datos geológicos y de planificación para establecer las reservas y la extensión del proyecto, además de estimar los gastos en gestión operativa e inversiones para los métodos de extracción con rampas y piques. La muestra del estudio comprendió las reservas minerales y la infraestructura minera existente. Los hallazgos revelaron que la profundización mediante rampas tuvo un costo total de USD 566,552 y un costo operativo de USD 131 por tonelada, mientras que el uso de un pique tuvo un costo total de USD 577,554 y un costo operativo de USD 133 por tonelada. Aunque ambos métodos son viables, las rampas presentaron un costo operativo ligeramente inferior y un mayor valor actual neto (VAN), lo que las hace más propicias bajo una perspectiva económica. El horizonte de producción proyectado para el periodo 2018-2021 fue de 288,635 toneladas. Las conclusiones del estudio subrayan que el método de rampas optimiza la extracción del mineral y asegura una mayor rentabilidad y sostenibilidad del proyecto a largo plazo.

En su investigación, Córdor (2016) se enfocó en evaluar el impacto del análisis técnico-económico en la elección de la técnica de extracción para un pórfido de cobre, considerando tanto las características geomecánicas del macizo rocoso como los aspectos económicos. La técnica utilizada fue de carácter científico y básico, con un enfoque descriptivo y explicativo. Esto implicó la compilación y el análisis de datos geomecánicos y económicos, empleando herramientas como el software Minesight para modelar el depósito mineral. La población del estudio comprendió los bloques modelados y la información geomecánica disponible. Los resultados mostraron que, entre las tres alternativas de métodos de extracción evaluadas, la técnica de explotación por subniveles con relleno en pasta (sublevel stoping) presentó los mejores indicadores económicos, menguando la dilución y acrecentando la recuperación del mineral. Las conclusiones subrayan que un análisis financiero y técnico riguroso es esencial para seleccionar la técnica de extracción más adecuada, asegurando así la rentabilidad y sostenibilidad del proyecto a largo plazo.

Bustillos (2024) se enfocó en la implementación de un PM en la Mina Marcapunta SW, con el objetivo de optimar el diseño de cámaras y pilares para mejorar tanto la estabilidad como la productividad de la operación minera. La metodología aplicada fue una investigación cuantitativa basada en el análisis geomecánico, utilizando datos obtenidos mediante mapeos geomecánicos en labores subterráneas y el registro geotécnico de testigos de perforación diamantina. La población del estudio comprendió las cámaras y pilares en la Zona Suroeste (SW) de la mina. Los hallazgos indicaron que, aunque es factible optimizar el tamaño de las celdas y soportes estructurales, es esencial verificar las características geomecánicas del macizo rocoso, que mostraba una calidad variable. Las conclusiones subrayan que la mejora del diseño de cámaras y pilares es crucial para garantizar la estabilidad y seguridad en las operaciones mineras,

recomendando no ampliar el ancho de las cámaras debido a la baja calidad de la roca mineralizada y la dificultad para mantener la estabilidad del techo.

León y Romero (2023) propusieron en su investigación una planificación para la minería subterránea en la mina Shuntur, con el objetivo de hacer crecer la fabricación de 300 TM/día a 342 TM/día para el año 2022. La metodología utilizada fue deductiva, partiendo de observaciones generales para llegar a terminaciones concretas. El estudio incluyó las reservas probadas y probables de la mina y la capacidad operativa existente. Los resultados mostraron que, mediante una planificación adecuada y la elección del método de explotación correcto, se logró incrementar la producción diaria, mejorando la rentabilidad del proyecto con un VAN de 519,244.81 USD y una TIR del 21%. Se concluyó que una planificación minera subterránea eficaz es crucial para aumentar la producción y asegurar la factibilidad económica del proyecto, garantizando que los procedimientos mineros se realicen de manera eficaz.

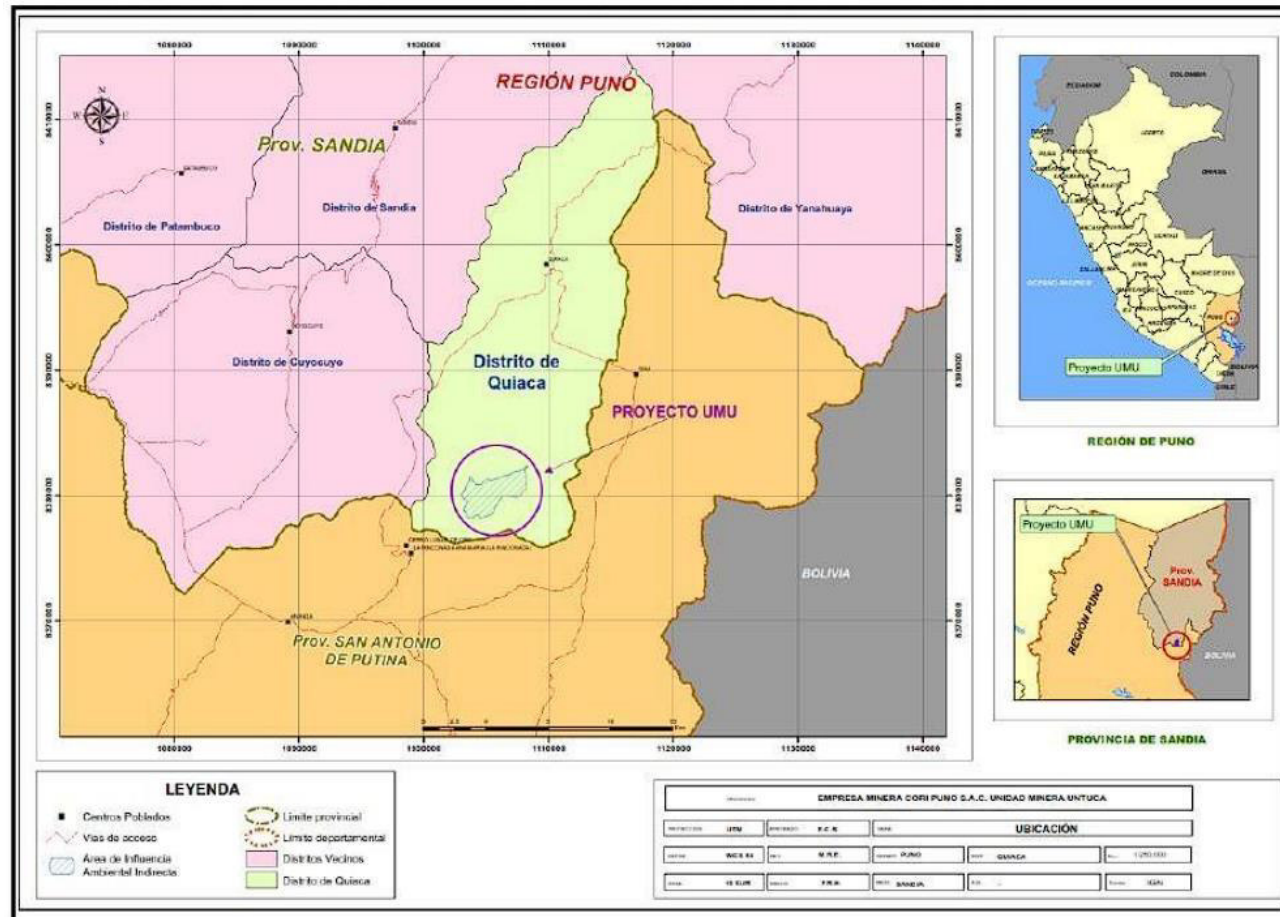
2.2. Generalidades de la unidad minera Untuca

2.2.1. Ubicación y accesos

La Unidad Minera Untuca se ubica en las estribaciones orientales de la Cordillera Oriental del Sur del Perú, pertenece al departamento de Puno, provincia de Sandia y distrito de Quiaca, los terrenos superficiales pertenecen a la Comunidad Campesina Untuca (Hachircana, 2018).

Figura 1.

Plano de ubicación de la Unidad Minera Untuca



Nota. Tomado de Martínez et al (2018)

La Unidad Minera Untuca es accesible desde Lima mediante un vuelo a la ciudad de Juliaca, cubriendo una distancia de 880 km. Asimismo, se puede llegar por vía terrestre a través de la ruta Lima – Arequipa – Juliaca, recorriendo un total de 1,272 km. Desde Juliaca, hay tres opciones para llegar a la mina Untuca: una es por la vía terrestre de Huancané – Cojata – Trapiche – Ananea – Untuca, con una distancia de 225 km, otra es por la vía Huancané – Putina – Ananea – Untuca, cubriendo 238 km y por la vía Huancané, pasando por las áreas pobladas de Azángaro – Muñani – Oriental – Ananea – Untuca, recorriendo un total de 261 km (Hachircana, 2018).

Tabla 2.

Ruta de Acceso a la Unidad Minera Untuca

Ruta	Distancia	Tipo de acceso
Lima – Juliaca	854.9 km	Vía Aérea
Juliaca – San Antonio de Putina	90 km	Carretera Asfaltada
San Antonio de Putina – Desvío Ananea	50 km	Carretera Asfaltada
Desvío Ananea – Untuca	54 km	Carretera Trocha

Nota. Tomado de Nima (2019)

2.2.2. Geología regional

El yacimiento orogénico de Untuca, situado en la Cordillera Oriental del sur de Perú, cuenta con una columna estratigráfica que abarca desde el Paleozoico inferior hasta el Cenozoico (Cuaternario), compuesta por una variedad diversa de rocas. En esta columna se destacan unidades geológicas significativas como el Grupo San José, la Formación Sandia y los depósitos cuaternarios. El Paleozoico inferior se caracteriza por la presencia de rocas sedimentarias metamorfoseadas, principalmente lutitas y areniscas, que indican un ambiente de deposición antiguo y complejo. Por otro lado, el Cuaternario está dominado por depósitos fluvio-glaciares, que evidencian la influencia de procesos geológicos más recientes, asociados a la dinámica climática y la erosión. Este marco

geológico subraya la importancia del yacimiento en la historia geológica de la región, proporcionando un contexto valioso para su exploración y explotación (Jilanqui, 2020).

a. Paleozoico inferior

- Grupo San José (Ordovícico medio a superior)

Se extiende desde el Ordovícico medio hasta el superior, fue definido por Laubacher en 1978. Esta unidad geológica aflora en la zona del yacimiento de Untuca, donde su estructura ha sido significativamente influenciada por la existencia de anomalías tanto inversas como normales. Estas deformaciones tectónicas han jugado un papel crucial en la configuración actual del grupo, afectando la disposición y características de las rocas, lo que a su vez impacta en el comportamiento del yacimiento en términos de exploración y explotación. La importancia del Grupo San José en la columna estratigráfica del yacimiento de Untuca radica en su capacidad para proporcionar información valiosa sobre la historia tectónica de la región, así como en su potencial para contener recursos minerales de interés.

- Formación Sandia (Ordovícico Superior)

La Formación Sandia, perteneciente al Ordovícico Superior, está compuesta predominantemente por pizarras oscuras y filitas, intercaladas con capas de cuarcitas. Estas rocas exhiben una variedad de estructuras internas, como micro dunas y niveles de reactivación arcillosa, que aportan valiosa información sobre su origen. Las características sedimentarias y estructurales de la formación indican que su deposición ocurrió en un ambiente de llanura mareal, sugiriendo un entorno marino poco profundo con fluctuaciones periódicas en el nivel del agua. Esta interpretación ayuda a entender mejor el contexto geológico y las condiciones paleo ambientales durante su formación,

ofreciendo un marco valioso para la exploración geológica y la evaluación de recursos en la región.

- **Formación Ananea (Silúrico Devónico)**

La Formación Ananea, descrita por Laubacher en 1978 en la Cordillera Oriental, está compuesta principalmente por esquistos pizarrosos que han sufrido metamorfismo epizonal. Estos esquistos contienen una mezcla de moscovita, cuarzo, sericita y clorita. Dentro de estos esquistos, se encuentran capas gruesas de areniscas de grano fino, con un espesor típico de entre 0.20 y 0.40 metros. Esta formación se encuentra predominantemente en la parte sureste del área, extendiéndose por las laderas de los picos elevados de los glaciares perteneciente a la cordillera del oriente, con exposiciones notables en el cerro Choquechambi. Como también, se puede extender a lo largo de la anomalía inversa de la Rinconada, donde entra en contacto con la Formación Sandia.

Las relaciones estratigráficas de la Formación Ananea con las unidades adyacentes están significativamente influenciadas por fallas inversas, que han llevado a la superposición de la Formación Sandia sobre la Ananea. Sin embargo, no se observa un contacto directo con la formación suprayacente. Se estima que esta unidad data del Silúrico al Devónico. La naturaleza de las rocas foliadas de textura fina sugiere que la sedimentación tuvo lugar en una plataforma externa, caracterizada por un suministro limitado de detritos, lo que contribuye a su particular composición y estructura (Nima, 2019).

b. Cenozoico

- Depósitos cuaternarios

La región presenta tres tipos de depósitos cuaternarios: 2 que pertenecen al Holoceno (como los coluviales y aluviales) y 1 perteneciente al Pleistoceno (morrénicos), descritos a continuación:

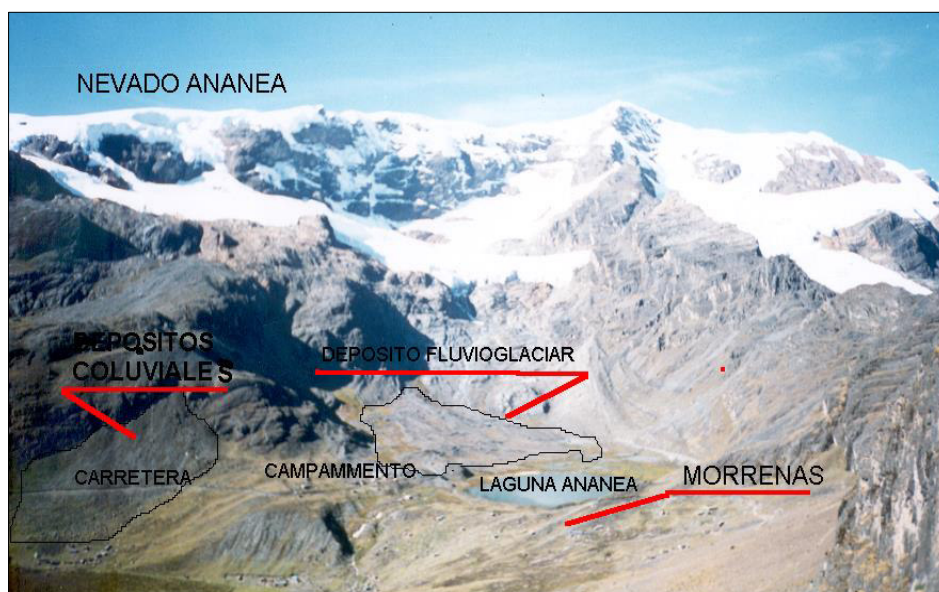
Depósitos aluviales, Compuestos por una mezcla heterogénea de grava, arena y limo-arcilla, con fragmentos de filitas, pizarras, cuarcitas, cuarzo y otros minerales. El grosor de estos depósitos varía según la topografía, llenando principalmente las quebradas, como las de Choquechambi e Iscaycruz.

Depósitos coluviales, los cuales se encuentran conformados por materiales que provienen de la roca preexistente y que han sido transportados a distancias cortas, estos depósitos se encuentran principalmente al final de pendientes moderadas a fuertes, donde forman conos aluviales en ríos y quebradas. Se localizan en cumbres reducidas y quebradas como Azoguine y Ananea, así como en ríos como Untuca y Choquechambi.

Depósitos morrénicos, los cuales están compuestos por material arrastrado por el hielo durante las glaciaciones, estos depósitos incluyen fragmentos de pizarra, cuarcita, filitas, cuarzo, granito, entre otros, con una matriz de arena y arcilla. Formados en diferentes etapas glaciares, crean morrenas de varios tipos, como lenguas glaciares y morrenas laterales. Estos depósitos se encuentran expuestos en quebradas como Queñuani y Azoguine, y alrededor de la laguna Ananea, entre otros sitios. Su importancia económica radica en la presencia de minerales valiosos, que forman yacimientos tipo placer.

Figura 2.

Vista del oeste del campamento, donde se observa los diferentes depósitos cuaternarios



Nota. Obtenido de Rodriguez et al. (2023)

2.2.3. Rocas intrusivas

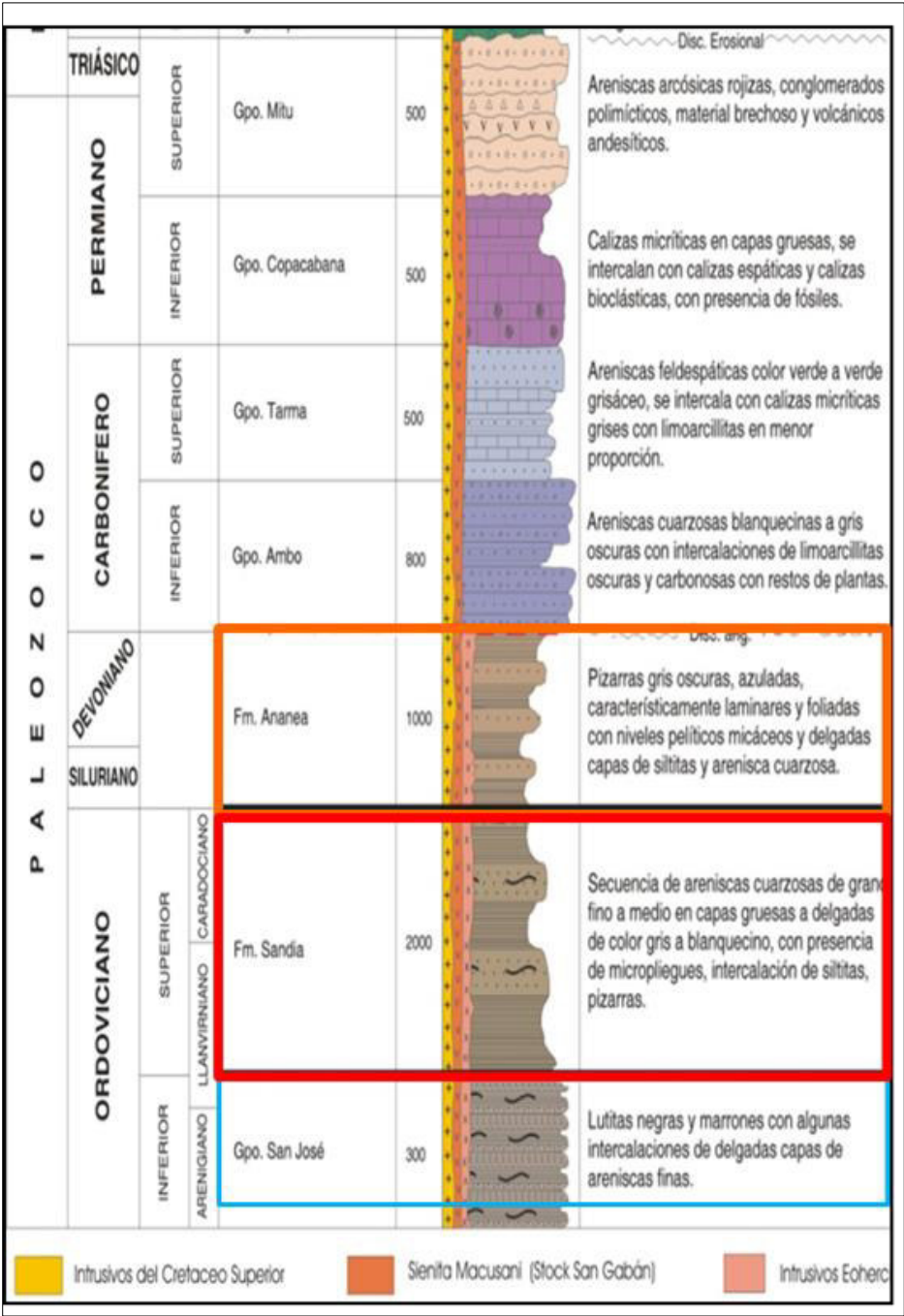
En el sector noroeste del proyecto, específicamente en el cerro Utccuccaca, se encuentran rocas intrusivas de composición granítica ácida que han penetrado en las rocas del Paleozoico inferior, especialmente en la Formación Sandia. Se sugiere que esta intrusión está probablemente controlada por un sistema de fallas con dirección noroeste (NW). Cerca del contacto entre las rocas intrusivas y las formaciones preexistentes, se observan rocas esquistosas, formadas debido al metamorfismo de contacto. Cuando se aparta del punto de intrusión, el halo de esquistosidad en las rocas circundantes disminuye gradualmente, reflejando la reducción del grado de metamorfismo inducido por el calor de la intrusión. Esta característica geológica es fundamental para comprender la evolución tectónica y térmica de la región.

2.2.4. Geología local

Para el estudio de la geología local, se ha considerado el área de la Mina Untuca, que incluye el norte de la concesión Cartagena y toda la concesión Aurífera Puno N.º 4. En estas propiedades mineras se encuentran las principales áreas mineralizadas, como Cerro La Torre, Llactapata, Gallocunca, Cerro La Lomada, Pomarani, Pullucunoyoc, Esperanza

y Cruz de Oro. Estas zonas son los principales puntos de interés geológico y económico, donde se concentran las actividades de exploración y explotación, siendo esenciales para comprender el potencial mineral de la región.

Figura 3.
Columna estratigráfica de la zona mineralizada



Nota. Obtenido de Rodriguez et al. (2023)

La Figura 3, se muestra la columna estratigráfica de la región, destacando las principales formaciones geológicas desde el Ordovícico hasta el Triásico. En la sección resaltada, se observa la Formación Sandia del Ordovícico Superior, caracterizada por una secuencia de areniscas cuarzosas de grano fino a medio, intercaladas con capas delgadas de filitas y pizarras. Por encima, se encuentra la Formación Ananea del Silúrico, compuesta principalmente por pizarras gris oscuras, a veces azuladas, y esquistos laminados y foliados, con capas de siltitas y areniscas cuarzosas. Estas formaciones reflejan la compleja historia geológica de la región, con depósitos que indican ambientes de sedimentación variados, y que han sido afectados por procesos tectónicos y metamórficos a lo largo del tiempo.

a. Filitas y pizarras (Formación Sandia)

En la región estudiada, predominan las filitas con intercalaciones de cuarcitas, características de la Formación Sandia. Estas filitas, que varían en color desde negro y tienen un grosor que oscila entre milimétrico y centimétrico, exhiben un brillo característico en el plano de estratificación debido a minerales como la muscovita y la clorita. Entre las estructuras estratigráficas identificadas se encuentran "estratificación lenticular" (tanto conectada como desconectada), "estratificación cruzada" y "laminaciones paralelas", lo cual sugiere un entorno turbidítico. Asimismo, la presencia de "slumpings" y "nódulos de cuarzo" indica un entorno sedimentario de talud. Estas filitas forman parte del miembro medio de la Formación Sandia y están intercaladas con cuarcitas blancas de grano fino y algunas cuarcitas de grano fino a medio de color gris. Las capas tienen una orientación variable de N 100-155° E, con un buzamiento que va de 7 a 22° SW. Esta unidad se estima que pertenece al Caradociano del Ordovícico, correspondiente al Paleozoico inferior.

b. Depósitos cuaternarios (Cenozoico)

Las cumbres nevadas actuales, como el cerro Constanza y el Nevado Ananea, se elevan a alturas superiores a los 5,110 metros sobre el nivel del mar. En estas áreas, la precipitación aumenta con la altitud, comenzando la caída de nieve a partir de los 3,900 metros y siendo predominante por encima de los 4,600 metros. Durante el Cuaternario, esta región experimentó una intensa glaciación, que dio origen a una variedad de geoformas a través de procesos de acumulación y erosión, resultando en la formación de sedimentos glaciares y coluviales.

c. Zona coluvial

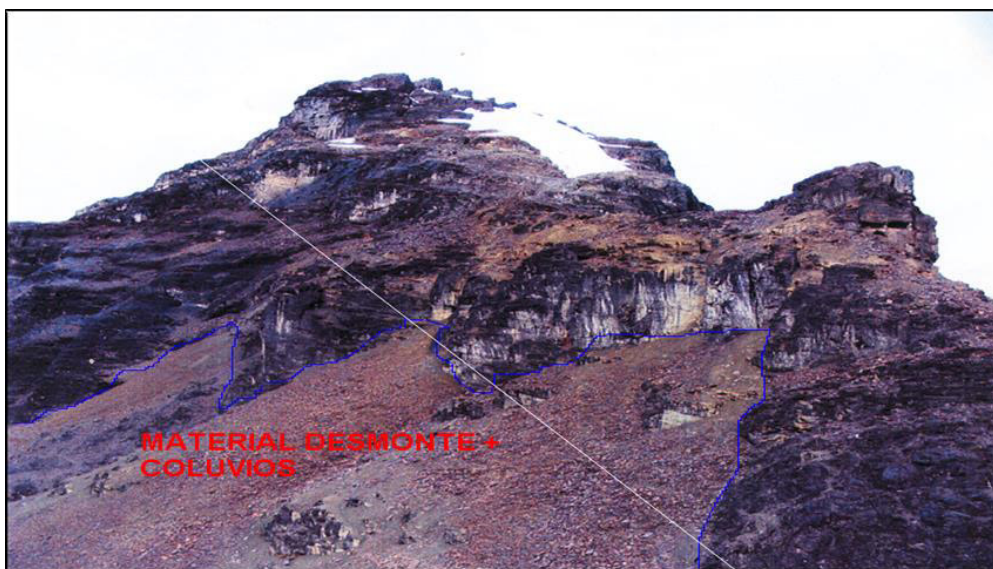
Estos depósitos se encuentran principalmente al inicio de elevaciones como la torre Llactapata, Lomada, Gallocunca y Pomarani, cubriendo áreas de menor extensión, pero alcanzando en algunos casos un grosor de varios metros. En ciertos sectores, se observan depósitos coluviales antiguos en la base, sobre los cuales se han acumulado materiales más recientes, que datan desde la época incaica hasta intervenciones contemporáneas realizadas por lugareños. Algunas escabrosas, están cubiertas por vegetación baja, lo que sugiere un proceso continuo de acumulación y estabilización del material coluvial en la región.

d. Zona morrénica

Los depósitos morrénicos, ubicados cerca de la laguna Ananea, son producto de la acción glacial durante el Cuaternario. En esta zona, las morrenas laterales forman crestas bajas y alargadas alrededor de la laguna, compuestas por bloques subangulosos incrustados en una matriz de arena y arcilla. Debido a la configuración y composición de estos depósitos, se recomienda implementar un programa sistemático de muestreo de pozos, ya que podrían tener un valor económico significativo, especialmente para la identificación de yacimientos tipo placer o la explotación de materiales útiles.

Figura 4.

Materiales de desmonte, uniéndose con el material coluvial



Nota. Materiales de desmonte, uniéndose con el material coluvial, proveniente del cerro Constanza y Llactapata, aledaños al cerro Santa Rosa. Tomado de Martínez et al (2018)

2.2.5. Geología estructural

La evolución geológica del área ha sido moldeada por esfuerzos compresivos y la actividad tectónica distintiva de la región. Se identifican franjas o dominios tectónicos orientados en dirección NW-SE, claramente definidos desde el Paleozoico inferior en la Cordillera Oriental y el flanco subandino, los cuales han sido principalmente afectados por la deformación Eoherciniana, que ocurrió desde el Devónico superior hasta el Carbonífero inferior.

En la zona, se han registrado diversas estructuras de origen tectónico que han afectado a las rocas antiguas, generando plegamientos, fracturamientos y direcciones de flujo que permiten la identificación de distintos dominios estructurales. Las rocas han estado sometidas a una secuencia continua de esfuerzos compresivos desde el Paleozoico inferior hasta el Cretácico, lo que ha resultado en áreas de intenso cizallamiento y plegamiento. Esta sucesión de procesos estructurales ha creado zonas de debilidad, donde

se han concentrado procesos de mineralización, dando lugar a importantes áreas mineralizadas, entre las que destacan La Torre, Llactapata, Gallocunca, La Lomada, Pomarani, Pullucunuyoc, San Miguel, Cruz de Oro, Esperanza, entre otras. Estas áreas son de especial interés para la exploración y explotación minera debido a la alta concentración de minerales valiosos.

a. Comportamiento estructural del área

El comportamiento estructural del área está dominado por un sistema de fallas, principalmente la falla “San Miguel”, de bajo del ángulo que aflora al oeste del área de estudio. Esta falla tiene un buzamiento de 30° hacia el este y un espesor aproximado de 80 metros, controlando el fracturamiento en la zona y limitando la mineralización hacia el oeste y en profundidad. Además de la falla “San Miguel”, se identifican otras fallas al este del área, como la falla normal “Constanza” y la falla “Pomarani”, junto con fallas paralelas como la “Bertha” y la “Santos”, estas últimas siendo fallas inversas de alto ángulo. Además, se observan deficiencias tensionales que cortan estas estructuras principales, generando desplazamientos cortos y añadiendo complejidad estructural al área. Este entramado de fallas influye directamente en la distribución y extensión de los cuerpos mineralizados

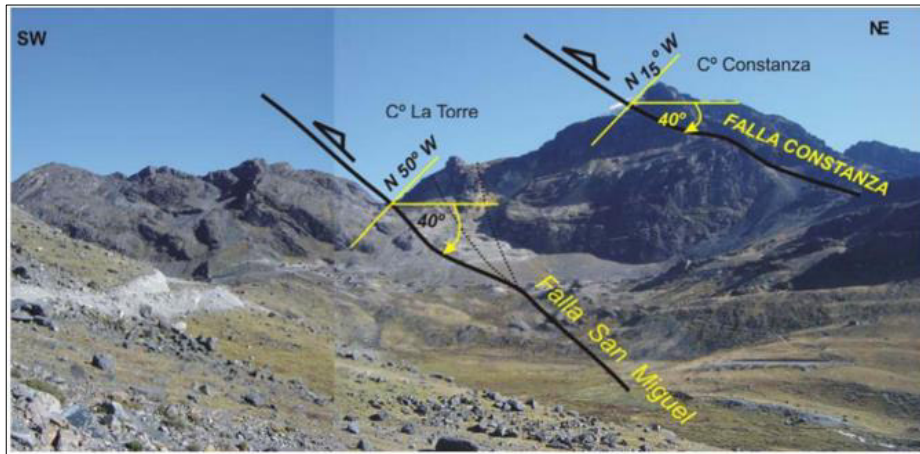
b. Falla San Miguel

Es una estructura inversa con una dirección promedio de N 50° W y un buzamiento de 40° NE. Esta falla se inclina hacia la derecha y está influenciada por múltiples pliegues y vetas de cuarzo-feldespato en expansión. Interrumpe el pliegue inclinado de San Miguel en su lado norte y normal, y se considera un canal importante para la reactivación y movilización de metales base y preciosos. Esta movilización ocurre a través de fluidos y sustancias volátiles asociadas con la tectónica herciniana. Por lo

tanto, la falla San Miguel desempeña un papel crucial en la geología estructural del área, facilitando la concentración de mineralizaciones valiosas.

Figura 5.

Vista de la falla San Miguel y Constanza



Nota. Obtenido de Alvarado (2019)

c. Falla Constanza - Gallocunca

Es una falla inversa con una dirección de N 15° W y un buzamiento de 40° NE. No se identificó una componente horizontal debido a la ausencia de marcas de estrías. En el Cerro Constanza, la falla tiene un espesor de 3 metros y muestra curvas de deformación inversa. Esta deficiencia corre en paralelo al sistema San Miguel y es parte de los sistemas de fallas inversas relacionadas con la mineralización. Se extiende hacia el sureste, llegando a la base del pico Señal Ananea, donde se encuentran distintos sistemas, incluyendo San Miguel y Cochapata.

Figura 6.

Vista Falla Gallocunca



Nota. Tomado de Gonzales (2019)

d. Falla Santa Rosa

Es una falla normal con una orientación de N 20° W y un buzamiento de 50° NE, que presenta una componente sinistral. Este régimen de fallas exhibe peculiaridades gravitatorias y refleja los procesos de extensión que ocurrieron tras la compresión herciniana. Los depósitos mineralizados en la zona han sufrido fracturamiento a lo largo de fallas sintéticas que se dirigen hacia el noreste, con desplazamientos medios de aproximadamente 100 metros. Estas fracturas han afectado las capas esquistosas e impermeables, permitiendo la reubicación y concentración de los minerales (Martínez y Cervantes, 2020).

Figura 7.

Vista de la Falla Santa Rosa



Nota. Tomado de Gonzales (2019)

2.2.6. Metalogenia

Los análisis preliminares en Untuca, comparados con investigaciones previas de la región, han revelado lo siguiente:

La mineralización en Untuca comparte características genéticas con los yacimientos de oro en La Rinconada – Ananea. Los estudios realizados a nivel regional y distrital sugieren que esta mineralización se desarrolló a partir de flujos hidrotermales en un entorno marino vinculado al magmatismo del Ordovícico. Este contexto tectónico y magmático formó un arco magmático en la zona costera (Batolito Ático - Camaná), seguido de un arco trasero donde la sedimentación marina dio lugar a las unidades San José y Sandia. La expansión del arco trasero facilitó la circulación de flujos hidrotermales ricos en sulfuros a través de deficiencias extensivas, creando depósitos de sulfuros alineados y afectados por las secuencias sedimentarias.

Durante el Carbonífero, la inversión de la cuenca asociada con la tectónica herciniana provocó el plegamiento y fracturación de las secuencias del Ordovícico. Las fallas inversas aprovecharon las zonas más débiles, como las fallas extensivas, y dejaron su impacto en la esquistosidad de las facies sedimentarias y los yacimientos minerales. Las mayores concentraciones de oro entre Cerro La Torre y Santa Rosa se encuentran en las capas inferiores de la Formación Sandia, especialmente cerca de fallas inversas y normales, donde también se encuentran depósitos de sulfuros y altos contenidos de sílice, como se observa en los desmontes entre La Torre y Llactapata, en la zona de la falla Constanza.

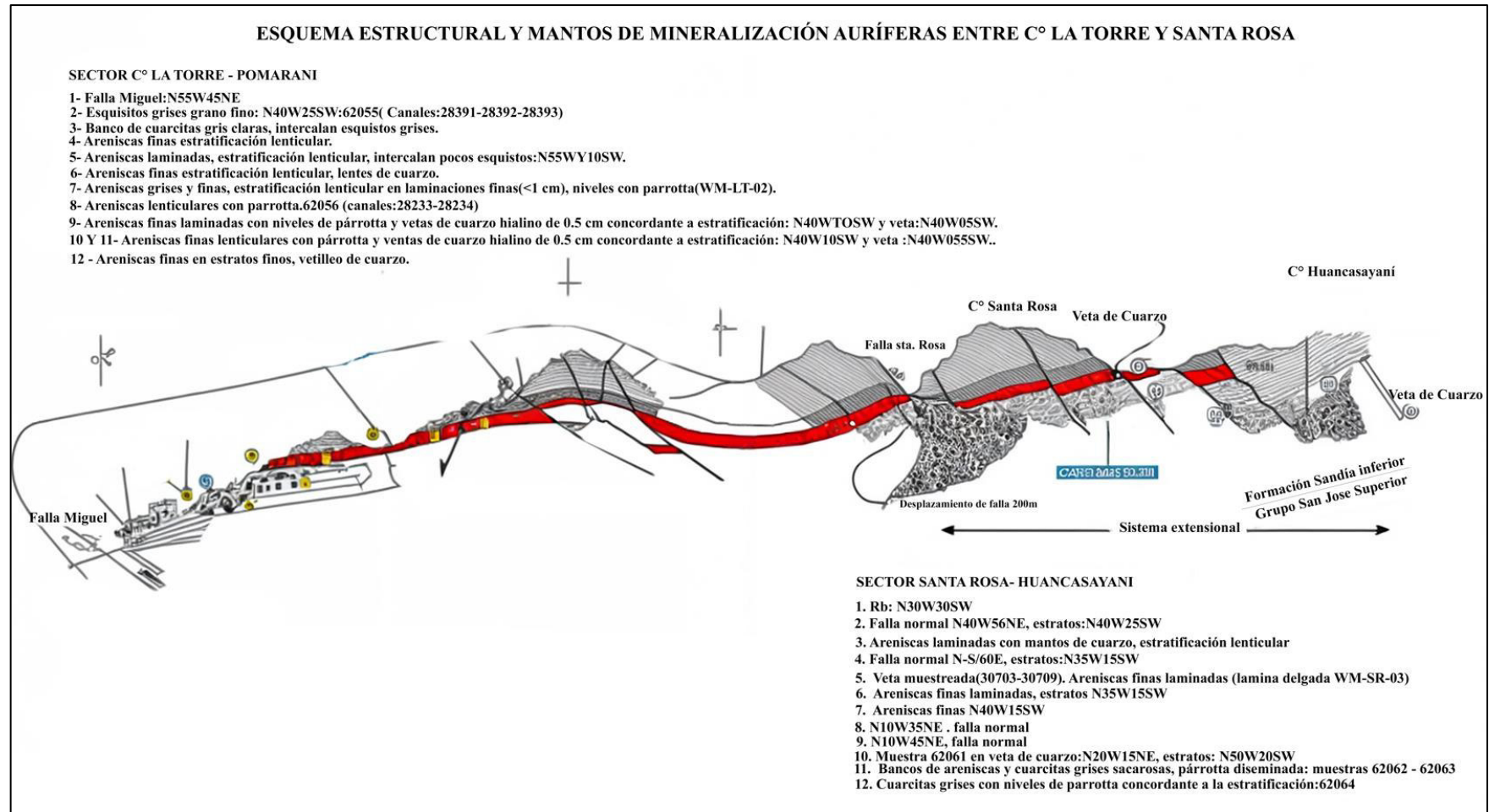
La esquistosidad S1 afecta a las secuencias del Grupo San José, la Formación Sandia y los yacimientos auríferos del área, lo que sugiere que estos depósitos se formaron antes de la tectónica eoherciniana (Carbonífero) y fueron posteriormente influenciados

por S1, descartando una mineralización sintectónica. La parte media a superior de la Formación Sandia, compuesta principalmente por cuarcitas, tiene un potencial limitado para la mineralización. Asimismo, la parte superior del Grupo San José parece no ser un hospedador favorable para mineralizaciones auríferas, posiblemente debido a su naturaleza impermeable durante el Ordovícico, que habría actuado como una barrera para las soluciones hidrotermales.

En resumen, durante la tectónica herciniana, algunas concentraciones de oro fueron reactivadas y depositadas en forma de diques de cuarzo-feldespato. Las vetas de oro tipo manto, así como ciertos diques y vetas de cuarzo, presentan la influencia de la esquistosidad S1, lo que indica que estas mineralizaciones son de origen pre carbonífero (eoherciniano) y no resultado directo de esta fase tectónica. Las concentraciones más significativas de vetas auríferas se hallan cerca de fallas regionales y en los núcleos de pliegues volcados. En general, la mineralización es más intensa cerca del cizallamiento asociado con las fallas inversas San Miguel y Constanza, que tuvieron su origen en sistemas extensionales pre carboníferos que fueron posteriormente invertidos. Los valores de oro se distribuyen en vetas de cuarzo gris-azulado asociadas a criaderos de sulfuros, que fueron fallados inversamente. Además, la roca contiene mineralización de oro en pirrotita y antimonita, presente en microdunas de la Formación Sandia inferior, cuya concentración disminuye lateralmente hasta encontrar otro frente de falla inversa (sector Constanza-Gallocunca) o normal (sector Santa Rosa).

Figura 8.

Esquema Estructural Compuesto entre Cerro la Torre y Santa Rosa



2.2.7. Geología económica

La mineralización se encuentra en rocas de pizarras y filitas intercaladas con metacuarcitas, influenciadas por fallas orientadas de NW a SE, con ángulos de inclinación variables entre 40° y 54° hacia el NE. Los minerales presentes en estas formaciones incluyen cuarzo gris, pirrotita, pirita, arsenopirita, clorita, calcopirita ocasional y oro.

Dentro de esta formación se distinguen tres secuencias:

Secuencia inferior. Compuesta por pizarras y filitas esquistosas con una ley de oro inferior a 0.8 g/t. Esta secuencia se encuentra por debajo de la Formación San José y sobre la secuencia media.

Secuencia media. Consiste en pizarras, filitas y metacuarcitas blancas, con grosores que varían entre 1 mm y 3 cm, acompañadas por algunas capas de cuarcita gris de grano fino, que miden entre 1 cm y 15 cm. Esta secuencia contiene una mineralización significativa, con una ley de oro de 2.8 g/t.

Secuencia superior. En la parte superior, está formada por cuarcitas y pizarras con una ley de oro inferior a 0.7 g/t.

Estas secuencias reflejan la complejidad estratigráfica y mineralógica del área, con variaciones significativas en la concentración de oro y la composición litológica.

2.2.8. Caracterización geomecánica

Litología y mineralización. En la mina Santa Rosa, se llevaron a cabo estudios geomecánicos para examinar las estructuras mineralizadas y su contexto geológico. Las rocas que rodean la mineralización en Santa Rosa están compuestas mayormente por pizarras oscuras con intercalaciones de finas capas de cuarcitas. Estas rocas se formaron en un entorno de llanuras de marea, como lo indican las estructuras sedimentarias presentes, que incluyen "estratificación lenticular", "estratificación en franjas" y

"estratificación en olas". La mineralización en esta área contiene una variedad de minerales y venillas, destacándose el cuarzo, el cuarzo lechoso, la pirita, la pirita oquerosa, la arsenopirita y la pirrotita. Estas venillas y minerales son indicadores clave del proceso de mineralización hidrotermal que ha afectado a las rocas, formando los depósitos de interés económico en la mina. La combinación de la litología y las estructuras sedimentarias proporciona un contexto valioso para entender la génesis y distribución de los minerales en esta área.

Distribución de discontinuidades. Se llevaron a cabo análisis detallados de los datos estructurales recolectados de afloramientos rocosos y labores mineras, utilizando técnicas estereográficas avanzadas. Para este propósito, se empleó el programa DIPS, desarrollado por M.S. Diederichs y E. Hoek de la Universidad de Toronto, en su versión 5.103 de Rocscience Inc. Los datos de orientaciones estructurales obtenidos fueron interpretados con el fin de determinar la distribución y el patrón de discontinuidades dentro de la masa rocosa. Este análisis es crucial para comprender la estabilidad geomecánica del terreno, así como para la planificación y ejecución de las labores mineras, ya que las discontinuidades controlan el comportamiento mecánico de la roca y la propagación de fracturas en el entorno minero.

Tabla 3.

Sistema de discontinuidades estructurales presentes en Mina Santa Rosa

Ítem	Rumbo/Buz	Dir Buz/Buz
Sistema 1	N 44°W 05°SW	226°/05°
Sistema 2	N23°W / 77° NE	067°/77°
Sistema 3	N69°E/83°SE	339°/81°
Sistema 4	N65°E/83°SE	155°/83°
Sistema 5	N24°W/82°SW	246°/82°

Nota. Tomado de Jilanqui (2020)

El análisis realizado a partir de la información disponible permite concluir lo siguiente:

Existen tres sistemas principales de discontinuidades en la masa rocosa, que están claramente definidos:

Sistema 1. Este es un sistema subhorizontal con rumbo NNW y un buzamiento bajo hacia el SW. Está asociado a la estratificación y foliación de las rocas de filita, pizarra y cuarcita.

Sistema 2. Comparte el mismo rumbo NNW que el Sistema 1, pero en este caso el buzamiento es subvertical.

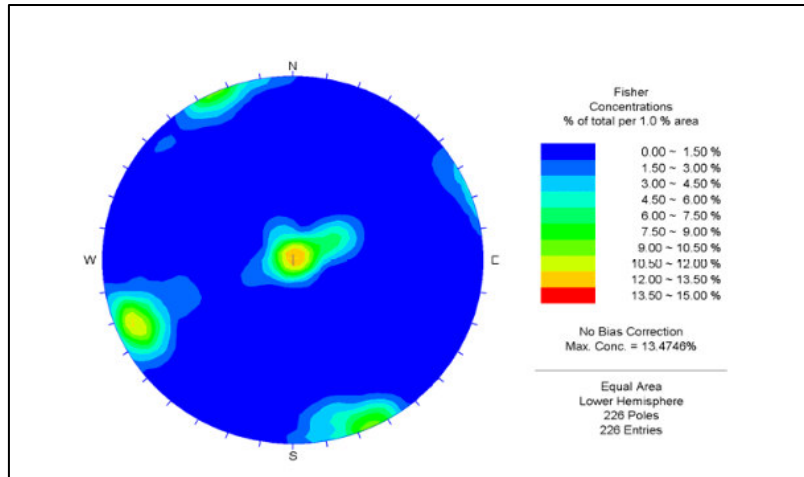
Sistema 3. Tiene un rumbo perpendicular a los Sistemas 1 y 2, es decir, NEE, y también presenta un buzamiento subvertical.

Los Sistemas 2 y 3 están asociados a fallas secundarias perpendiculares y diaclasas presentes en el sector de Santa Rosa. Es importante destacar que los Sistemas 4 y 5 mencionados en la práctica corresponden a los Sistemas 2 y 3.

En síntesis, la estructura de la masa rocosa del yacimiento de Santa Rosa se define por un sistema de discontinuidades subhorizontal (estratos) y dos sistemas subverticales, que son ortogonales entre sí. Este arreglo estructural es fundamental para comprender la estabilidad y el comportamiento geomecánico de la roca en las labores mineras.

Figura 9.

Diagrama estereográfico de contornos del depósito de discontinuidades – Mina Santa Rosa



Nota. En la figura se observa los niveles de concentraciones

La Figura 9 presenta un diagrama estereográfico que muestra la distribución y concentración de discontinuidades en la mina Santa Rosa. Las áreas de mayor concentración de discontinuidades, indicadas en colores más cálidos, se encuentran en las direcciones N, S, y W, con una concentración máxima de 13.47%.

2.2.9. Aspectos estructurales

Se realizó un análisis detallado de las características estructurales de las discontinuidades, empleando información derivada del mapeo geomecánico en labores subterráneas, afloramientos rocosos y perforaciones diamantinas. A continuación, se describen las principales discontinuidades identificadas:

Espaciamientos que varían entre 5 y 20 metros, con una persistencia que se extiende desde decenas hasta centenas de metros.

Relleno compuesto por arcilla, panizo y materiales oxidados, con espesores que pueden alcanzar hasta 20 cm.

Aperturas menores a 5 mm, con superficies lisas que presentan espejos de falla, funcionando además como conductos de agua.

Así también, se muestra las discontinuidades menores (Estratos):

Espaciamientos que oscilan entre 6 y 20 cm, con una persistencia de 10 a 20 metros o más.

Aperturas menores a 1 mm, con paredes ligeramente rugosas; el relleno puede ser suave, compuesto principalmente de arcilla, y ocasionalmente presentar un relleno más duro.

Las paredes de estas discontinuidades muestran una ligera alteración y presencia de humedad, que varía entre seco y húmedo dependiendo de la estación lluviosa.

Este análisis estructural proporciona una comprensión crítica de la geomecánica del terreno, lo que es esencial para la planificación segura y eficiente de las operaciones mineras en la mina Santa Rosa.

2.2.10. Operaciones unitarias

Perforadora y Voladura. La perforación en los frentes y durante el breasting se lleva a cabo utilizando equipos Jumbos Hidráulicos, concretamente el modelo Jumbo Troidon 55XP. Este equipo realiza perforaciones con brocas de 45 mm de diámetro y una longitud de 14 pies. Para la perforación en ángulo negativo en los Taladros Largos, se utiliza el equipo Simba S7, que emplea brocas de 64 mm de diámetro y longitudes que varían según la altura del tajeo, las cuales están en el rango de 10 mts a 12 mts.

En cuanto a la voladura, se utilizan explosivos suministrados por la empresa FAMESA. Para los frentes y breasting, se emplea una columna de carga con Emulnor 3000, utilizando Emulnor 5000 como cebo. En los taladros de contorno, se utiliza Emulnor 1000 para asegurar una voladura controlada y precisa.

Para la voladura en Taladros Largos, se utiliza ANFO en la columna de carga, acompañado de cebos de Emulnor 5000, garantizando una eficiente fragmentación del material. Este enfoque en las operaciones unitarias asegura la efectividad y seguridad en las labores mineras, optimizando la extracción y manejo del mineral en la mina Santa Rosa.

Figura 10.

Malla de Secuencia de Retardo para un frente de avance, sección 4.0 x 4.0

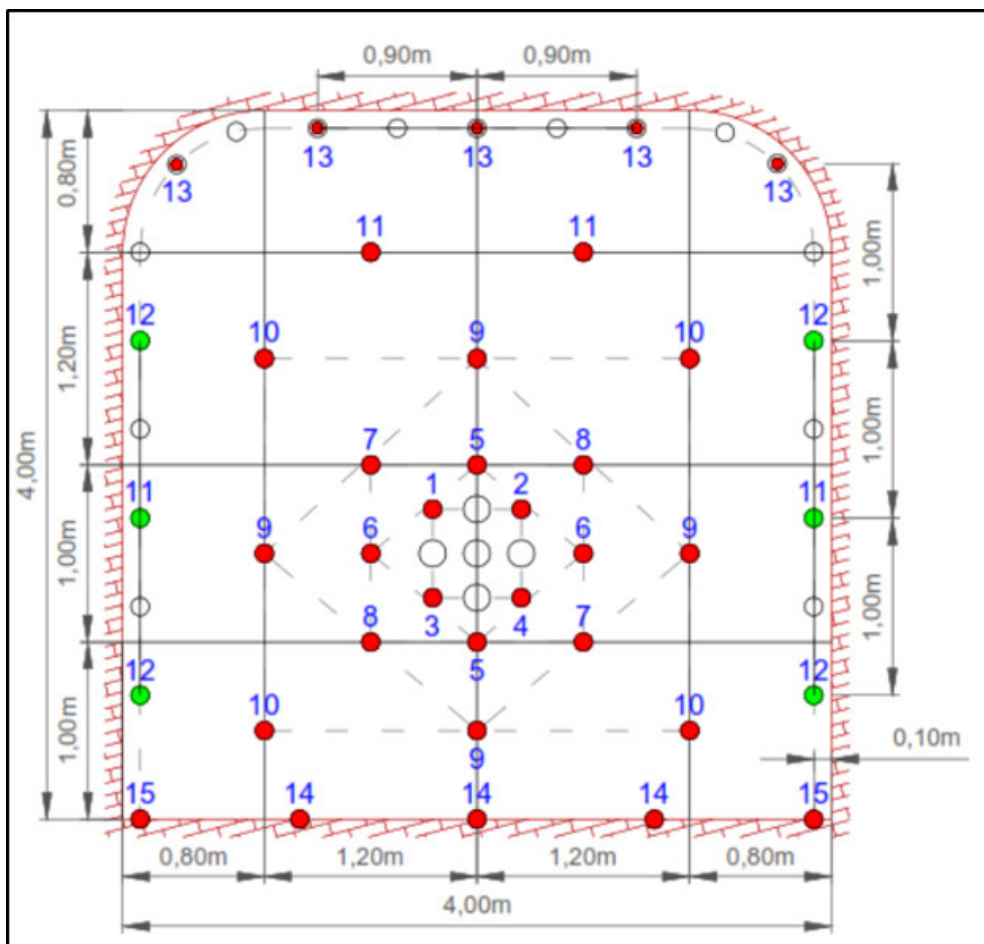


Tabla 4.

Distribución de taladros y cálculo de factores de voladura para un frente de avance, sección 4.0x4.0

Distribución de taladros		Cartuchos de emulnor por taladro			
Ítem	tal/disparo	5000 1 1/2" x 16"	3000 1 1/2" x 16"	1000 1 1/2" x 16"	Total (cart/tal)
Arranque	4	1	9		10
1° y 2° ayuda	8	1	8		9
3° y 4° ayuda	8	1	7		8
Ayudas	2	1	7		8
Hastiales	6		1	7	8
Corona	5		1	5	6
Arrastre	5	1	7		8
Total, cartuchos por disparo (Und.)		27	216	67	310
Total, explosivos por disparo (Kg)		12.96	103.68	32.16	148.8

Se presenta a continuación los factores y criterios de avance con el propósito de identificar el factor de potencia de carga.

Perforación efectiva es 12.8 pies

Avance es 11.7 pies

Área es 16 m²

Eficiencia de voladura es 91%

Factor lineal de carga lineal es 38.65 kg/ml

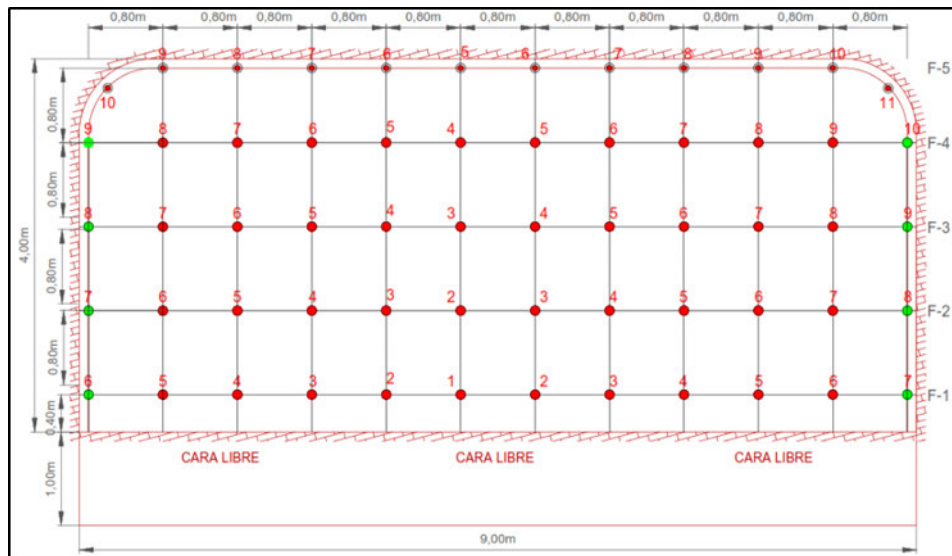
Factor de carga es 2.58 Kg/m³

Factor de potencia es 0.94 Kg/t

Por consiguiente, se muestra a continuación las distribuciones y cálculo de los factores de voladura en el avance de frente en la siguiente figura:

Figura 11.

Malla de secuencia de retardo para un frente en breasting, sección 9.0 x 4.0



La Figura 11 muestra una malla de secuencia de retardo para un frente en breasting de 9.0 x 4.0 metros. Los números indican el orden de detonación, comenzando desde el centro y avanzando hacia los bordes para asegurar una voladura controlada. Los taladros están espaciados uniformemente a 0.80 metros, lo que permite una fragmentación efectiva del material. Las "caras libres" facilitan la disipación de la energía de la explosión, optimizando el proceso de voladura. Por otro lado, se muestra la distribución de taladros y cálculo de factores de voladura para un frente en breasting, sección 9.0x4.0.

Tabla 5.

Tabla de distribución de taladros y cálculo de factores de voladura para un frente en breasting, sección 9.0x4.0

Distribución de taladros		Cartuchos de emulnor por taladro			
Ítem	tal/disparo	5000 1 1/2" x 16"	3000 1 1/2" x 16"	1000 1 1/2" x 16"	Total (cart/tal)
Producción	40	1	5		6
Hastial	8	1	0	5	6
Corona	12	1	4		5
Total, cartuchos por disparo (und.)		60	248	40	348
Total, explosivos por disparo (Kg.)		28.8	119.04	19.2	167.04
Perforación efectiva					3.85 m
Avance					3.5 m
Eficiencia de voladura					91%
Factor de carga lineal					47.73 Kg/ml
Factor de carga lineal					1.33 Kg/m
Factor de potencia					0.48 Kg/t

Nota. En la tabla se visualiza los cálculos de factores y distribución de taladros

Limpieza y acarreo. Se realiza utilizando un Scooptram de 6 yd³, tanto en los frentes de avance como en los tajos de explotación. En los tajos, se emplea telemando para mayor seguridad y eficiencia. El material roto se transporta desde los frentes hasta la cámara de carguío, donde se carga en volquetes. La disposición final del material depende de su ley, y puede ser enviado a la Planta Concentradora, al Stock Pile, o al Depósito de Desmonte.

Sostenimiento. En Untuca, el sostenimiento se realiza de acuerdo con la cartilla geomecánica, y se clasifica en Sostenimiento Activo y Sostenimiento Pasivo, dependiendo de su función.

Sostenimiento Activo. Este tipo de sostenimiento proporciona refuerzo inmediato al macizo rocoso en la excavación subterránea. En la Unidad Minera Untuca, se utilizan Pernos Split Set de 7 y 8 pies, y Pernos Swellex de 7 pies. La instalación se realiza con el jumbo empernador Bolter 77.

Sostenimiento Pasivo. Este sostenimiento no se adhiere al macizo rocoso, y su función es proporcionar estabilidad adicional. En la Unidad Minera Untuca, los elementos de sostenimiento pasivo incluyen Malla Electrosoldada y Cimbras Metálicas. Las mallas electrosoldadas se fijan al macizo rocoso, con minisplit set y va intermediado con los Split set de 7 pies.

Este enfoque integral en las operaciones de limpieza, acarreo y sostenimiento asegura la seguridad y eficiencia en las labores mineras, optimizando tanto la extracción de minerales estabilizando las excavaciones subterráneas.

Figura 12.

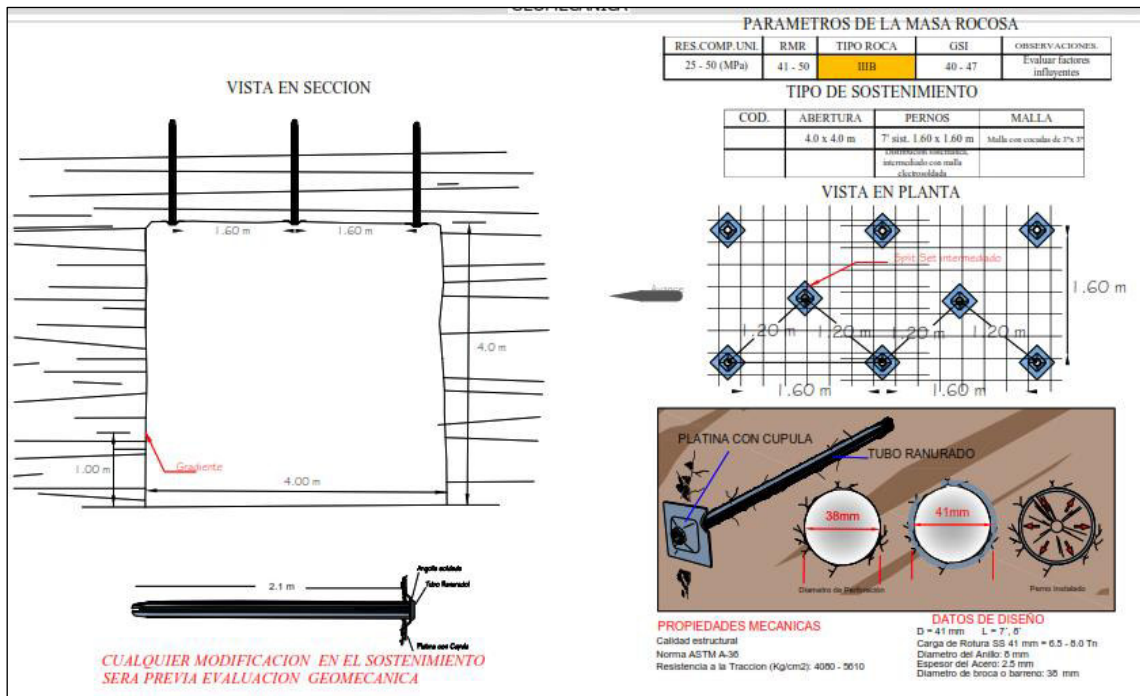
Estándar de sostenimiento – Unidad Minera Untuca – Cori Puno

ESTANDAR DE SOSTENIMIENTO - CORI PUNO SAC			
TIPO DE ROCA	LABOR TEMPORAL		LABOR PERMANENTE
	SECCION 4 - 4m.	SECCION 4 - 9m.	SECCION 4.5 - 4m.
II	SPLIT SET DE 7 PIES ESPACIADOS A 1.80 x 1.80m.	SPLIT SET DE 8 PIES ESPACIADOS A 1.80 X 1.80m.	PERNOS HELICOIDALES DE 7 PIES ESPACIADOS A 1.80 X 1.80m.
III-A	SPLIT SET DE 7 PIES ESPACIADOS A 1.60 X 1.60m, INTERMEDIADO, SEGUN EVALUACIÓN GEOMECÁNICA CON MALLA ELECTROSOLDADA DE 3" x 3" .	SPLIT SET DE 8 PIES ESPACIADOS A 1.60 X 1.60m, INTERMEDIADO, SEGUN EVALUACIÓN GEOMECÁNICA CON MALLA ELECTROSOLDADA DE 3" x 3" .	PERNOS HELICOIDALES DE 7 PIES ESPACIADOS A 1.60 X 1.60m, INTERMEDIADO, SEGUN EVALUACIÓN GEOMECÁNICA CON MALLA DE 3" x 3" .
III-B	MALLA ELECTROSOLDADA DE 3" X 3" + SPLIT SET DE 7 PIES Y/O PERNOS EXPANSIVOS DE 7 PIES ESPACIADOS A 1.60 X 1.60m, INTERMEDIADO.	MALLA ELECTROSOLDADA DE 3" X 3" + SPLIT SET DE 8 PIES ESPACIADOS A 1.60 X 1.60m, INTERMEDIADO.	MALLA ELECTROSOLDADA DE 3" X 3" + PERNOS HELICOIDALES DE 7 PIES Y/O PERNOS EXPANSIVOS DE 7 PIES ESPACIADOS A 1.60 X 1.60m, INTERMEDIADO.
IV	MALLA ELECTROSOLDADA DE 3" X 3" + PERNOS EXPANSIVOS DE 7 PIES ESPACIADOS A 1.20 X 1.20m, INTERMEDIADO.	N/A	MALLA ELECTROSOLDADA DE 3" X 3" + PERNOS EXPANSIVOS DE 7 PIES ESPACIADOS A 1.20 X 1.20m Y/O CIMBRA METALICA TIPO H6 ESPACIADO DE 1.20m A 1.50m.
V	CIMBRA METALICA TIPO H6 ESPACIADO DE 1.20m. DE MANERA INMEDIATA	N/A	CIMBRA METALICA TIPO H6 ESPACIADO DE 1.20m. DE MANERA INMEDIATA.
FACTORES INFLUYENTES - Presencia de agua. - Alteración. - Intersección de labores. - Labores cercanas. - Presencia de fallas. - Sobrerotura por voladura, etc. LA COMBINACIÓN DEL SOSTENIMIENTO Y/O VARIACIÓN SE REALIZARÁ SEGÚN EVALUACIÓN GEOMECÁNICA LABOR PERMANENTE: Rampa, Cruce, Camaras de Cargulo, Pozas de Bombeo LABOR TEMPORAL: Galerías, Inclínados, Tajos			

Nota. Tomado de la Unidad Minera Untuca en Cori Puno

Figura 13

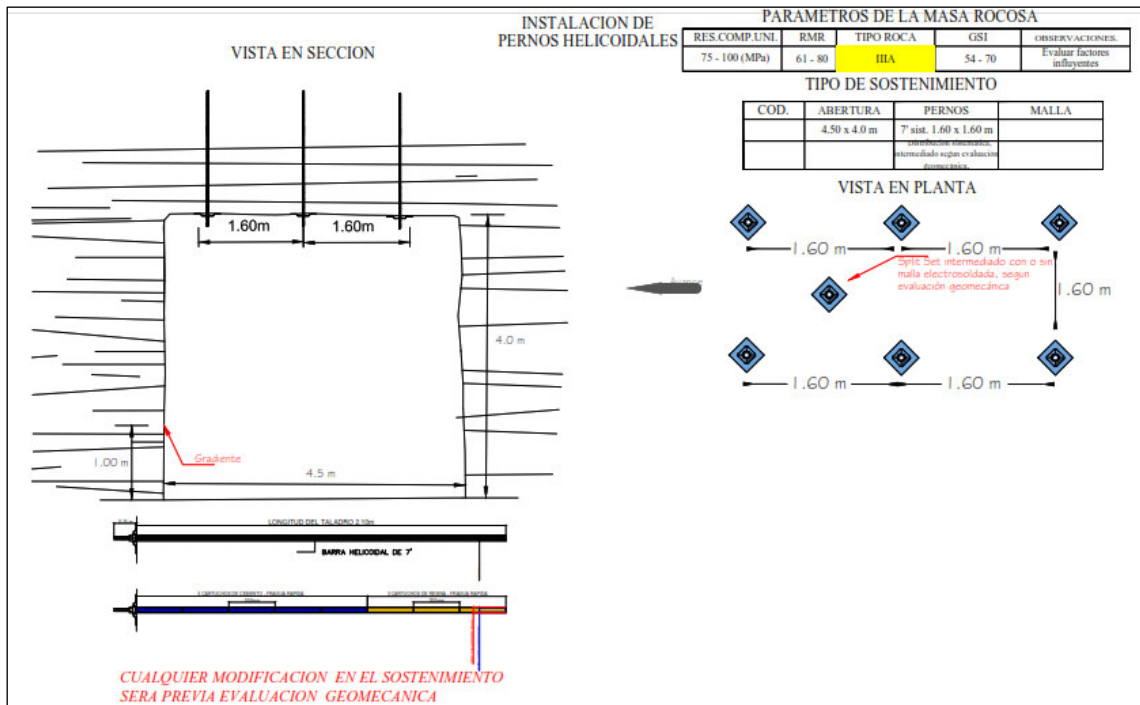
Estándar de instalación de pernos y malla electrosoldada para una sección de 4.0 x 4.0 metros.



Nota. Tomado de la Unidad Minera Untuca en Cori Puno

Figura 14

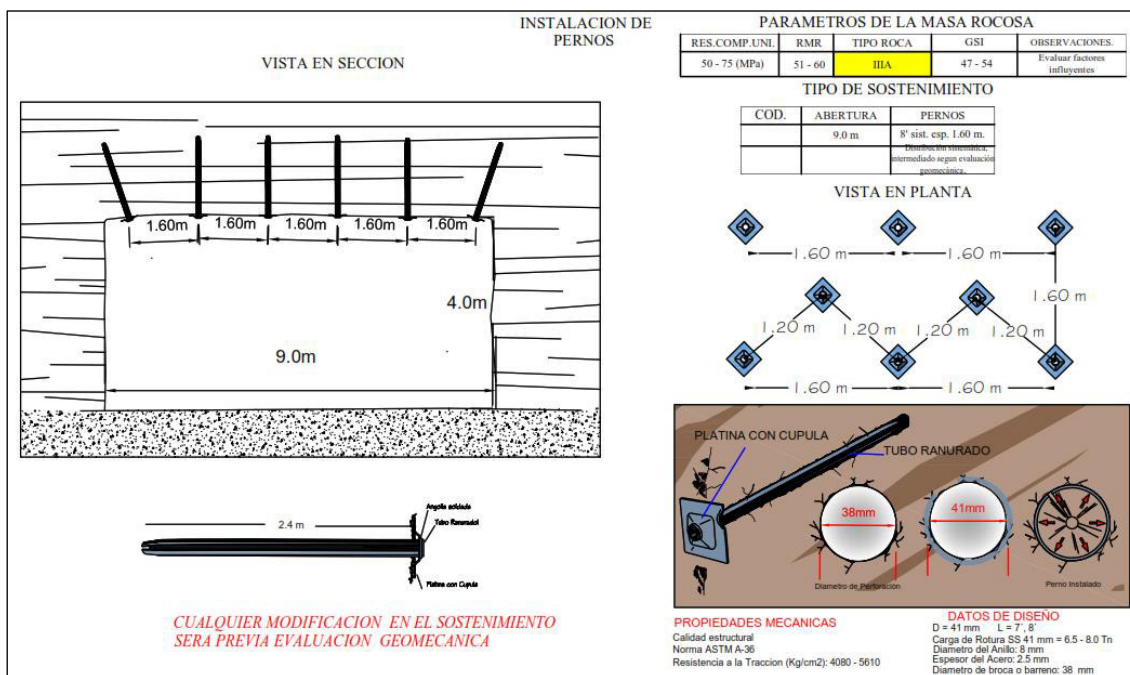
Estándar de instalación de pernos y malla electrosoldada para una sección de 4.5 x 4.0 metros.



Nota. Tomado de la Unidad Minera Untuca en Cori Puno.

Figura 15

Estándar de instalación de pernos y malla electrosoldada para una sección de 9.0 x 4.0 metros.



Nota. Tomado de la Unidad Minera Untuca en Cori Puno.

Ventilación. El sistema de aireación en la Unidad Minera Untuca ha sido diseñado siguiendo los lineamientos de la normativa DS-024-2016-EM y su modificación DS-034-2023-EM, garantizando el cumplimiento de las regulaciones vigentes. Este diseño asegura que el requerimiento de aire para los niveles en operación tenga una cobertura superior al 100%. Todo el circuito de ventilación es forzado, utilizando ventiladores principales con capacidades de 60,000 pies³/min que operan como extractores. Además, se emplean ventiladores auxiliares con capacidades de 30,000 pies³/min y 60,000 pies³/min como impelentes para labores de preparación y avance. Se llevaron a cabo evaluaciones de impacto en los circuitos de aireación de la mina mediante el software Ventsim. Este proceso permitió optimizar el flujo de aire, garantizando así la seguridad y la eficiencia en las operaciones subterráneas.

Relleno. En la Unidad Minera Untuca, el relleno se realiza utilizando material detrítico, que proviene de las labores que contienen leyes no económicas y del desmonte de superficie. Este relleno es esencial para estabilizar las excavaciones subterráneas y gestionar de manera eficiente el material extraído, asegurando así la continuidad y seguridad de las operaciones mineras.

2.3. Bases teóricas: conceptos y enfoques de la planificación del minado subterráneo

2.3.1. Importancia de la planificación en la operación minera subterránea.

La planificación en la minería subterránea es crucial para optimizar cada aspecto del proceso de extracción. A diferencia de las técnicas de extracción superficial, la explotación subterránea requiere un enfoque más preciso y especializado para la planificación y el diseño de las operaciones. Este enfoque se fundamenta en un conocimiento exhaustivo del depósito, abarcando aspectos como la calidad del mineral, la planificación del método de extracción y la adaptación a condiciones geomecánicas específicas. Además, es fundamental maximizar la extracción de reservas minerales aplicando criterios económicos flexibles que optimicen la rentabilidad del proyecto mediante la venta de productos minerales. Una planificación adecuada no solo mejora la eficiencia y seguridad de las operaciones, sino que también asegura una mayor utilidad y sostenibilidad a largo plazo (Aranda, 2020).

Planeamiento de Minado. El planeamiento de minado es un proceso crítico que implica un diagnóstico exhaustivo de las posibilidades de la operación minera, a través de un análisis intelectual de los factores de producción y sus limitaciones tanto internas como externas. La planificación minera no solo abarca la proyección de ingresos, inversiones y costos operativos a lo largo de la vida útil de la mina, sino que también incluye la elaboración de un flujo de caja detallado del negocio. Sin embargo, es

fundamental reconocer la naturaleza cambiante de la industria minera, donde los precios de los productos están sujetos a las fluctuaciones del mercado internacional, fuera del control de los productores. Por lo tanto, la planificación financiera debe incorporar mecanismos de protección contra cambios bruscos de precios, como la venta a futuro y otros instrumentos financieros.

El objetivo principal de la planificación estratégica minera es identificar y maximizar el valor potencial de la extracción y procesamiento de los recursos, considerando diferentes escenarios futuros y los objetivos estratégicos de la operación (Cervera y Vásquez, 2022). Aspectos importantes para considerar incluyen la disponibilidad de recursos, el método de extracción elegido, el proceso de tratamiento del mineral, la capacidad productiva y la secuencia general de actividades. A partir de estos aspectos, se desarrolla un plan base que integra el enfoque de extracción y el de procesamiento, abarcando tanto las operaciones actuales como las posibles inversiones en futuros proyectos. Este plan también evalúa opciones para el desarrollo futuro, como la exploración de nuevos proyectos en áreas cercanas, ajustes al proyecto actual o ampliaciones de la capacidad productiva (León y Romero, 2023). En resumen, la planificación estratégica es fundamental para descubrir oportunidades de desarrollo a largo plazo, y la implementación de nuevas tecnologías puede ser clave en este proceso (Pimentel, 2020).

Ciclo del Planeamiento de Minado. se fundamenta en etapas sucesivas que permiten determinar un plan y llevarlo a la práctica de manera efectiva (Trejo, 2022). Este ciclo representa una planificación integral del negocio para el activo existente, en la cual se establecen metas y objetivos claros para la empresa. La evaluación sistemática de opciones, políticas, programas y procedimientos es esencial para este proceso.

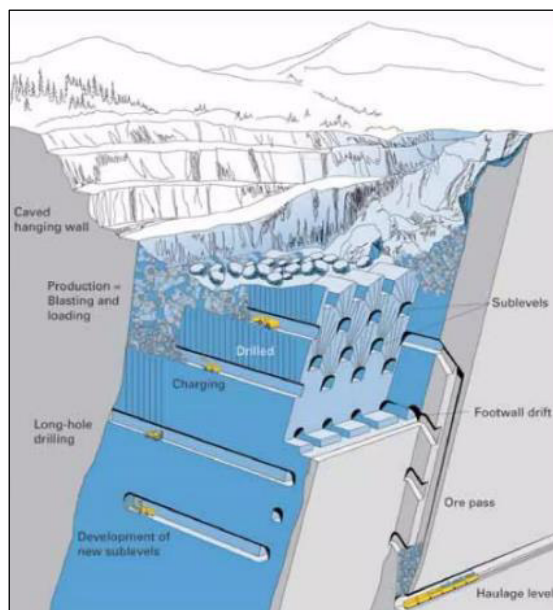
Los desafíos actuales en la planificación minera abarcan maximizar el valor presente neto (NPV) dentro de un nivel de riesgo aceptable, desarrollar planes de minado viables, asegurar la secuencia adecuada en los tiempos programados y mejorar la sincronización entre los planes a largo plazo y las acciones a corto plazo. El objetivo es minimizar la necesidad de revisar y ajustar continuamente los presupuestos, así como reducir la variabilidad excesiva en el proceso y la producción (León y Romero, 2023).

2.3.2. Métodos utilizados en la planificación del minado subterráneo

Método Sublevel Caving (SLC). En este enfoque de cámaras, la extracción se realiza a través de subniveles ya excavados, siguiendo un intervalo de labores previamente regulado dentro del cuerpo mineralizado. Cada subnivel se configura de manera sistemática, con galerías paralelas, y el proceso se desarrolla de forma descendente. Esta técnica se emplea en yacimientos con gran capacidad y fuertes buzamientos (Herrera, 2020).

Figura 16

Método de minado Sublevel Caving (SLC)

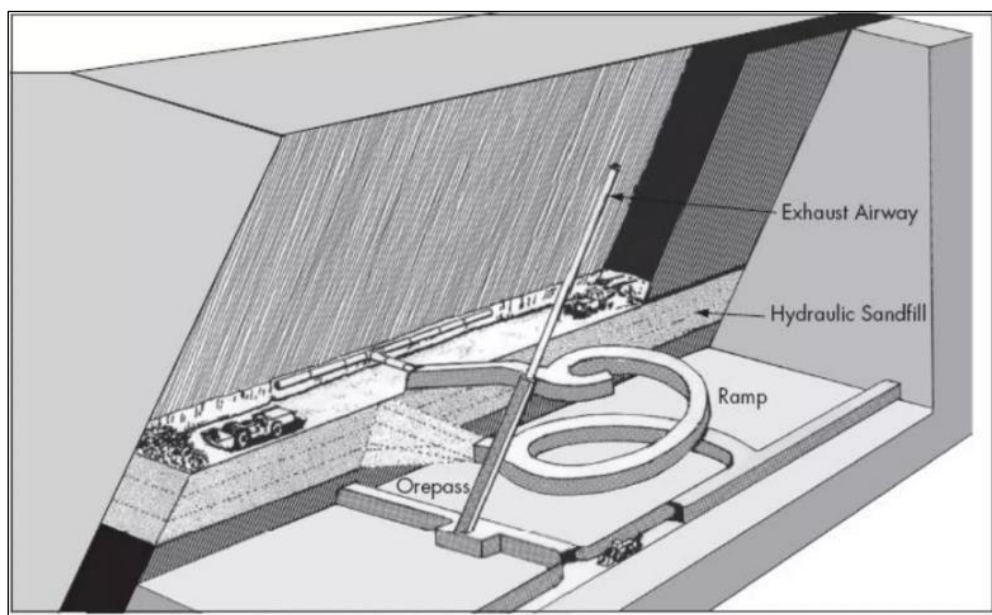


Nota. Tomado Herrera (2020).

Cut y Fill Stopping (C & FS). Este método tiene gran similitud con las “cámaras de almacén” pero en este método las cámaras se rellenan con material del suelo que proviene del exterior de la mina, una gran ventaja a comparación de los otros métodos es la recuperación es al 100% por lo cual el método es mucho más selectivo también es seguro y puede llegar a alcanzar un grado alto de mecanización (Herrera, 2020).

Figura 17

Método de minado Cut y Fill Stopping (C & FS).

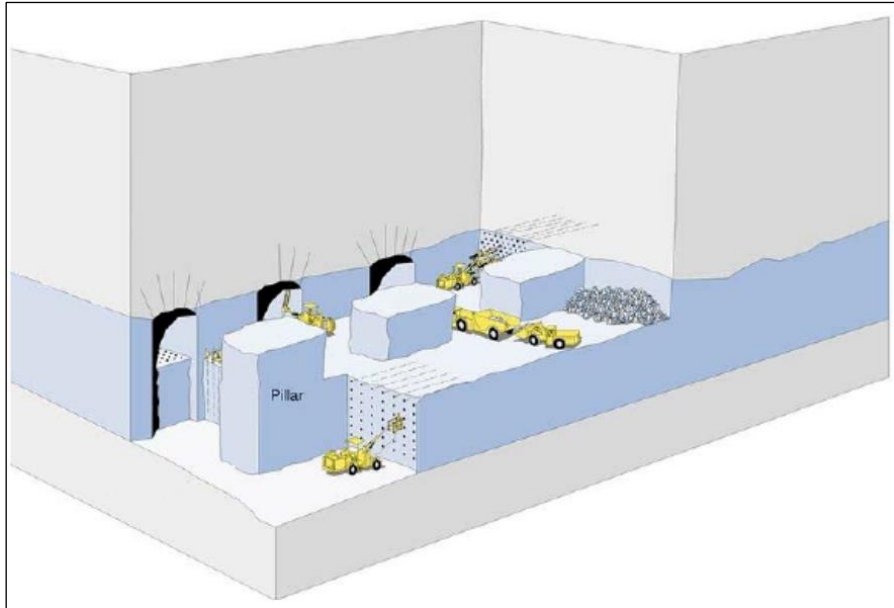


Nota. Tomado Herrera (2020).

Room & Pillar (R & P). Es utilizado de manera extensiva esto se da debido a su bajo costo de aplicación y tolera una explotación selectiva. Una ventaja de este método es que puede completar una mecanización completa lo que conlleva a que los costes sean más bajos además la recuperación de este método oscila al 90% también existen variantes que ayudan a que el método sea más factible (Herrera, 2020).

Figura 18

Método de minado Room & Pillar (R & P).

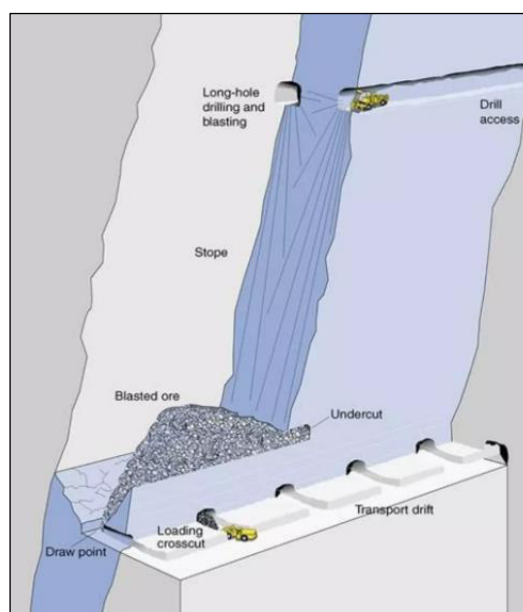


Nota. Tomado Herrera (2020).

Sublevel Open Stopping (SLOS). En este método, la explotación se realiza en cámaras de grandes dimensiones, las cuales se crean mediante voladura y perforación para extraer los depósitos minerales. La principal ventaja de este método es el costo relativamente bajo por tonelada y la necesidad reducida de mano de obra (Herrera, 2020).

Figura 19

Método de minado Sublevel Open Stopping (SLOS).



Nota. Tomado Herrera (2020).

Tabla 6.*Criterios para la elección del método de extracción*

Descripción	Aceptable	Óptimo
Geometría de yacimiento		
Forma	Cualquiera	Tabular
Potencia	> 5m	>10 m
Buzamiento	> 45° m	> 65°
Tamaño	Cualquiera	> 10 m
Regularidad	Media	Alta
Aspectos geotécnicos		
Resistencia (Techo)	Influye poco	> 500 k/cm ²
Fracturación (Techo)	Media	Baja
Campo tensional in situ (Profundidad)	< 2000 m	< 1000 m
Comportamiento tenso deformaciones	Elástico	Elástico
Aspectos económicos		
Valor unitario de la mina	Bajo	NA
Productividad y ritmo de explotación	Alto	NA

Nota. Adaptado de Introducción a la Minería Subterránea (Herrera, 2020)

2.3.3. Consideraciones económicas en la planificación del minado subterráneo

Dentro de las consideraciones económicas para la planificación del minado subterráneo se tiene como variables:

- a) **El precio del metal.** Toma un papel fundamental dado que depende del contexto externo que establece el precio del metal a utilizar y por consecuencia obtener mejores márgenes de ganancia (Mejía, 2020).
- b) **Costo de producción.** Se debe de controlar ya que se considera dentro del ámbito minero, teniendo en cuenta que a partir del costo de producción se podrá determinar aproximadamente las ganancias y las pérdidas (Mejía, 2020).
- c) **Variación del Costo de Operación.** Respecto a esta consideración, es esencial tener en cuenta que la variación puede impactar significativamente

el VAN ($\pm$ US\$ 3,340,344.11). Por lo tanto, es fundamental gestionar estos aspectos en las operaciones mineras (Mejía, 2020).

- d) Variación Costo de inversión.** Se centra en un cambio menor respecto al VAN (+, - US\$ 347, 884. 59) viéndose así una baja sensibilidad dentro del proceso productivo (Mejía, 2020).

2.4. Estimación de costos en la minería subterránea

2.4.1. Componentes de los costos en la operación minera subterránea

- a) Tiempo de desarrollo de labores:** Es esencial para las operaciones mineras, dado que el concesionario cuenta con un capital limitado y necesita comenzar la producción lo más pronto posible. Las presiones económicas pueden acelerar las aperturas y alcanzar un nivel de producción más alto. (Sánchez y Silveiro, 2016).
- b) Vida y Mantenimiento de un nivel:** Se centra en el terreno inestable por lo cual esta condición justifica que, a menor intervalo de niveles, va a permitir una rápida recuperación del mineral por encima de cualquier nivel muchos más antes de los costos de sostenimiento incrementen (Sánchez y Silveiro, 2016).
- c) Costo de carguío en cada nivel:** En el caso del nivel debe llegar a producir un alto tonelaje diario por lo cual debe usarse un equipo grande y por lo cual mayor cantidad de niveles (Sánchez y Silveiro, 2016).
- d) Costos de Desarrollo:** Los componentes de este punto que influyen en el espaciamiento de niveles son Costos de estaciones, equipamientos, chimeneas, los costos de las chimeneas que eventualmente varía de acuerdo con la longitud (a mayor longitud mayor precio). Desde el comienzo el costo

que será mayor es por los gastos de preparación, protección del nivel (Sánchez y Silveiro, 2016).

- e) **Costos directo de minado:** Es influenciado por la cantidad de niveles, ya que a mayor cantidad de niveles es menor el rendimiento de los trabajadores en los tajos. En el caso de las reparaciones demandan más tiempo y gastos, además son difíciles de estimar si no hubo experiencia con chutes de gran longitud (Sánchez y Silveiro, 2016).

2.4.2. *Métodos de estimación de costos en la planificación del minado subterráneo*

La estimación de costos en la planificación de la extracción subterránea es crucial para evaluar la rentabilidad económica de un proyecto minero. Existen diversos enfoques para calcular estos gastos, cada uno con sus propias ventajas y limitaciones, dependiendo del nivel de detalle requerido y la fase del proyecto. A continuación, se presentan los principales métodos para la estimación de costos en la planificación de la extracción subterránea:

- a) **Estimación paramétrica.** Este método se basa en el uso de relaciones matemáticas que vinculan los costos con ciertos parámetros clave, como el volumen de roca movido, la profundidad del minado, o la ley del mineral. Las fórmulas paramétricas se desarrollan a partir de datos históricos y permiten realizar estimaciones rápidas, aunque menos precisas, en las fases tempranas del proyecto.
- b) **Estimación análoga.** Se utiliza información de costos de proyectos similares ya ejecutados para estimar los costos del nuevo proyecto. Este método es útil cuando se dispone de datos fiables de proyectos con condiciones geológicas

y operativas comparables, aunque puede no ser tan preciso si las diferencias entre los proyectos son significativas.

- c) **Estimación por componentes.** Este método desglosa el proyecto en sus componentes individuales, como perforación, voladura, sostenimiento, transporte y ventilación. Luego, se estima el costo de cada componente por separado y se suma para obtener el costo total. Este enfoque proporciona una estimación más detallada y precisa, pero requiere un conocimiento profundo de todos los aspectos técnicos y operativos del proyecto.
- d) **Estimación de ingeniería de detalle.** Este método se basa en un análisis exhaustivo y detallado del proyecto, considerando todos los aspectos técnicos y operativos, incluyendo el diseño detallado de las instalaciones, la selección de equipos, la mano de obra, los materiales, y los costos indirectos. Este es el método más preciso y se utiliza generalmente en la fase final de la planificación del proyecto (Jilanqui, 2020).
- e) **Método de factores de escalamiento.** Se utiliza para ajustar los costos de un proyecto base a otro de mayor o menor escala. Este método se basa en la relación de costos entre proyectos de diferentes tamaños y es útil cuando se necesita adaptar los costos de un proyecto conocido a una nueva operación con características similares, pero de distinta escala.
- f) **Estimación estocástica.** Utiliza simulaciones de Monte Carlo u otros métodos probabilísticos para considerar la incertidumbre en los factores de costo. Este enfoque permite generar un rango de costos posibles, en lugar de un único valor, lo cual es útil para la toma de decisiones bajo incertidumbre.

- g) Método de Explotación.** Es un factor relevante ya que consiste en el cambio del método minado de cut and fill hacia sublevel stoping por lo cual fue un factor fundamental en la reducción del cash cost (Escobar et al., 2021).

2.4.3. Factores que influyen en los costos de la operación minera subterránea.

Diversos factores tienen un impacto en los costos de las operaciones mineras subterráneas, y su gestión adecuada es esencial para optimizar la rentabilidad de la mina:

- a) Gestión de Contratistas.** Una estrategia clave para controlar costos es la reducción de la dependencia de empresas contratistas en actividades críticas como el desarrollo y la explotación del mineral. Al limitar la participación de contratistas, se pueden reducir los costos asociados y aumentar el control sobre la calidad y eficiencia de las operaciones (Escobar et al., 2021).
- a) Gestión de Recursos Humanos:** La implementación de cambios en el sistema de trabajo del personal, junto con una recategorización adecuada de los empleados, puede generar ahorros significativos en costos laborales. Estas estrategias permiten optimizar la productividad y asegurar que el personal esté alineado con las necesidades operativas de la mina (Escobar et al., 2021).
- b) Insumos Empleados en Mina.** La selección y reemplazo de insumos por alternativas más eficientes y económicas es fundamental para reducir los costos operativos. Al minimizar el consumo de insumos costosos y elegir opciones más asequibles, se pueden generar ahorros significativos en función de las diferencias de precio, contribuyendo a una operación minera más sostenible y rentable (Escobar et al., 2021).

2.5. Optimización de la planificación del minado subterráneo

2.5.1. Modelos de optimización en la planificación del minado subterráneo

La optimización de la planificación en la minería subterránea es un proceso esencial que se organiza en diferentes horizontes temporales: corto, mediano y largo plazo, cada uno con un enfoque y objetivos específicos.

a) Planeamiento a corto plazo. La planificación a corto plazo se enfoca en los aspectos detallados de la ingeniería, incluyendo la programación diaria, semanal y mensual para las diversas áreas de operación. Este tipo de planeamiento es crucial para asegurar que las actividades se ejecuten según lo planificado, permitiendo que los problemas se aborden con soluciones óptimas y oportunas. El seguimiento continuo de los trabajos programados es fundamental para cumplir con los objetivos y metas establecidos, garantizando así la continuidad y el éxito del proyecto (Trejo, 2022).

b) Planeamiento a mediano plazo. Este nivel de planificación abarca un horizonte temporal mayor, típicamente de 2 a 3 años. En el planeamiento a mediano plazo, se establecen objetivos y metas que, aunque menos detallados que en el corto plazo, son esenciales para guiar las operaciones hacia logros más amplios. Se consideran factores clave en la extracción subterránea, tales como las distancias de avance en el desarrollo, los volúmenes de mineral a extraer, las concentraciones de mineral, los gastos operativos y el presupuesto. Este enfoque ofrece una visión integral que facilita la toma de decisiones estratégicas en las operaciones (Trejo, 2022).

c) Planeamiento a largo plazo. La planificación a largo plazo se centra en las jerarquías superiores de la organización, donde se diseñan estrategias generales con el propósito de optimizar costos, recursos e inversiones a nivel corporativo. A pesar de que este tipo de planificación se orienta más hacia lo estratégico que hacia lo operativo, en el ámbito operativo también es posible

desarrollar esquemas de trabajo que abarquen un horizonte temporal extendido. Esta planificación es fundamental para garantizar la sostenibilidad prolongada de las operaciones mineras, alineando los recursos y estrategias con los objetivos globales de la empresa. (Trejo, 2022).

2.6. Herramientas y tecnologías para la planificación y control de costos

2.6.1. Aplicación de software especializado en la planificación del minado subterráneo

El software Minesight es esencial para la planificación de la extracción subterránea, facilitando una producción eficiente al analizar detalladamente las características de la unidad minera. Este programa es clave para el manejo y evaluación de datos, los cuales se utilizan en la elaboración de estrategias de extracción. La capacidad de Minesight para procesar grandes volúmenes de información y crear modelos precisos resulta fundamental para mejorar los procesos operativos y la eficiencia general de la mina. (Trejo, 2022).

2.6.2. Integración de sistemas de gestión de costos en la planificación del minado subterráneo

La incorporación de sistemas para el control de costos en la planificación de la extracción subterránea se ha convertido en una táctica clave en la minería moderna. Según Escobar et al. (2021), una gestión eficaz de los costos es ahora una de las estrategias más competitivas en el sector minero, aportando un valor significativo. A diferencia de los precios de mercado, que están sujetos a la cotización internacional, los costos son elementos que se pueden controlar y manejar de forma proactiva para lograr resultados financieros positivos. La adopción de sistemas de control de costos en la planificación

minera permite a las empresas prever gastos, optimizar el uso de recursos y mejorar la rentabilidad general de las operaciones.

2.7. Evaluación financiera y análisis de riesgos en la planificación del minado subterráneo

a) Ley de Corte (Cut-Off Grade):

La ley de corte es un parámetro crucial en la evaluación financiera de un proyecto minero, ya que define el valor mínimo de la ley del mineral que iguala el costo de producción. Este valor permite discriminar entre el mineral que es económicamente viable para extraer y procesar, y el que no lo es, garantizando que no haya pérdidas ni ganancias en la operación (Varillas, 2017). La ley de corte operacional se calcula utilizando la fórmula:

$$LC1 = [31.1035/(R \times V)] \times [(G/T)] + C$$

LC1 se refiere a la ley de corte operacional, expresada en gramos por tonelada de mineral. El número 31.1035 se utiliza para convertir gramos en onzas. C representa el costo operativo, en dólares por tonelada. R denota la tasa de recuperación del mineral en la planta, expresada en porcentaje. V indica el valor del mineral según el mercado, en dólares por onza. G incluye los costos asociados con descuentos en concentrados y gastos comerciales, también en dólares. T hace referencia a la cantidad de mineral extraído, medida en toneladas, mientras que I señala el costo de inversión, expresado en dólares.

b) Cash Cost All-In:

Este indicador mide el costo total asociado a la producción de mineral, incluyendo todos los costos directos de la mina. Es fundamental para evaluar si el costo de producción es competitivo frente al precio de venta del mineral. La fórmula es (Varillas, 2017):

$$\text{Cash Cost All In} \left(\frac{\$}{\text{onz}} \right) = \text{Cash Cost Oper.} + \text{Cash Cost Desc. Concent y Gast. comer.} + \text{Cash Cost Capex}$$

Cash Cost Oper, se refiere al costo asociado a la explotación y procesamiento del mineral.

Cash Cost Desc.Concent y Gast.comer. se refiere al costo asociado de la producción de concentrados y los gastos comerciales relacionados a la venta de concentrado.

Cash Cost Capex, son los costos de capital, producto de las inversiones que realiza la empresa.

2.8. Análisis de riesgos y consideraciones económicas en la toma de decisiones

La evaluación cualitativa de riesgos ofrece un método eficaz, económico y ágil para establecer una base sólida en la gestión de riesgos durante todo el ciclo de vida de un proyecto. Este procedimiento se lleva a cabo en cada fase del proyecto, permitiendo evaluar tanto la probabilidad de que los riesgos ocurran como el impacto potencial de los mismos. Al identificar y examinar estos riesgos, se pueden desarrollar estrategias para su mitigación, lo que asegura la viabilidad y el éxito del proyecto (Vila y Zafra, 2019).

Las principales herramientas y técnicas empleadas en la evaluación cualitativa de riesgos incluyen:

- a) Consultas con expertos y partes interesadas: Reuniones o entrevistas con personas con experiencia y conocimientos relevantes.
- b) Matriz de probabilidad e impacto: Un instrumento que clasifica los riesgos según su gravedad y frecuencia.
- c) Revisión de la calidad de la información: Evaluación de la precisión y fiabilidad de los datos sobre riesgos.
- d) Clasificación de riesgos: Agrupación de riesgos según su naturaleza y origen.

e) Determinación de la urgencia: Evaluación de cuáles riesgos necesitan atención inmediata.

f) Opiniones de expertos: Aplicación de conocimientos especializados para la identificación y valoración de riesgos.

El análisis cuantitativo de riesgos proporciona una evaluación numérica detallada del impacto potencial de los riesgos, complementando y profundizando el análisis cualitativo previo. Este tipo de análisis es más preciso y sensible, ya que cuantifica los efectos de los riesgos en términos financieros y operativos. El objetivo principal es reducir la incertidumbre en la toma de decisiones y desarrollar estrategias efectivas para mitigar o minimizar los riesgos más significativos que enfrenta la organización (Vila y Zafra, 2019).

Las herramientas y técnicas claves utilizadas en el análisis cuantitativo de riesgos incluyen:

- a) Metodologías de recopilación y representación de datos, que garantizan la precisión de la información utilizada en el análisis.
- b) Técnicas de análisis cuantitativo de riesgo y modelado, que simulan escenarios y proyectan el impacto de los riesgos.
- c) Juicio de expertos, que aporta una perspectiva informada y validada para interpretar los resultados del análisis.

Ambos enfoques de análisis, cualitativo y cuantitativo, son esenciales para una gestión integral de riesgos en la planificación y ejecución de proyectos, permitiendo a las organizaciones tomar decisiones informadas y estratégicas para asegurar el éxito a largo plazo.

2.9. Evaluación de viabilidad y rentabilidad de proyectos en mina subterráneo

Según Varillas (2017), la viabilidad de un proyecto minero subterráneo se determina mediante una evaluación exhaustiva que considera varios factores clave. Si el análisis de viabilidad es positivo, significa que el proyecto es factible y tiene un alto potencial para ser rentable. Este resultado indica que los niveles futuros de explotación son alcanzables y sostenibles, siempre que se tomen en cuenta aspectos cruciales como el método de explotación, los costos operativos y la inversión inicial planificada. Además, un riesgo bajo asociado a la inversión refuerza la rentabilidad del proyecto, haciendo que este sea atractivo para los accionistas y otros inversores. En este contexto, un proyecto que demuestra una viabilidad positiva no solo cumple con los criterios técnicos y económicos, sino que también garantiza la confianza necesaria para atraer y asegurar la participación de los inversores.

2.10. Estrategias de reducción de costos en la minería subterránea

2.10.1. Identificación de áreas de costos significativas en la operación minera subterránea

En la operación minera subterránea, es fundamental identificar y controlar las áreas de costos significativas para optimizar la eficiencia y reducir gastos innecesarios. El área de control de costos se encarga de supervisar los centros de costos, los presupuestos, y la naturaleza del material requerido. Sin embargo, un desafío común es la falta de especificidad en el control de la cantidad de material necesario, lo que complica la gestión efectiva de los materiales. Además, el control presupuestario suele estar desfasado debido a la naturaleza altamente variable de las operaciones subterráneas, lo que dificulta el seguimiento preciso del uso de materiales. Es importante destacar que, en muchos casos, el área de costos no realiza un control o gestión adecuada en relación con

la carga de sueldos y salarios en el sistema, lo que puede contribuir a ineficiencias financieras significativas (Flores y Caveró, 2017).

2.10.2. Estrategias y técnicas para la reducción de costos en el minado subterráneo.

En el sector minero, adoptar estrategias para la gestión de costos se ha convertido en una herramienta crucial para mantenerse competitivo. Dado que la minería está parcialmente afectada por las fluctuaciones en los precios de los minerales, una reducción eficaz de costos puede proporcionar beneficios significativos. Esto abarca la optimización de los procesos operativos, la incorporación de tecnologías avanzadas y la mejora en la planificación y gestión de recursos. Estas tácticas no solo favorecen una mayor rentabilidad, sino que también garantizan la sostenibilidad a largo plazo de las actividades mineras, fortaleciendo la capacidad de las empresas para enfrentar las fluctuaciones del mercado.

2.10.3. Evaluación de los beneficios y desafíos asociados con la reducción de costos

La reducción de costos en la minería subterránea conlleva numerosos beneficios, especialmente cuando se orienta hacia la obtención de certificaciones ISO y la reinversión en áreas críticas como la adquisición de maquinaria. Estos beneficios incluyen:

- a) **Mejora en las cuotas de mercado.** Al reducir costos, una empresa puede ofrecer precios más competitivos, aumentando su participación en el mercado.
- b) **Incremento de la competitividad.** La optimización de costos fortalece la posición competitiva de la empresa frente a sus rivales.
- c) **Acceso a nuevos financiamientos y patrocinadores.** Una estructura de costos más eficiente puede facilitar el acceso a financiamiento adicional y atraer patrocinadores interesados en apoyar operaciones rentables.

- d) **Mejora en la gestión interna.** La reducción de costos suele ir acompañada de una revisión y optimización de procesos internos, mejorando la eficiencia operativa.
- e) **Mayor conciencia de la calidad.** Un enfoque en la disminución de costos puede fomentar una cultura de calidad, donde se busca mejorar permanentemente los procesos y productos para mantener la competitividad.

En los desafíos estos incluyen:

- a) **Reducción de costos excesiva:** Un enfoque demasiado agresivo en la reducción de costos puede llevar a comprometer áreas vitales de la operación, como la seguridad o la calidad.
- b) **Negligencia en la revisión de procesos operativos:** Reducir costos sin revisar y optimizar los procesos operativos puede resultar en ahorros a corto plazo, pero ineficiencias a largo plazo.
- c) **Compromiso de la calidad del producto:** Enfocarse únicamente en reducir costos puede llevar a una mengua en la calidad de los productos o servicios, lo cual podría afectar negativamente la reputación de la empresa y su posición en el mercado (Torres y Callegari, 2016).

A pesar de que la reducción de costos puede ofrecer importantes ventajas competitivas y operativas, es crucial abordar este proceso con una estrategia equilibrada que considere tanto los beneficios como los desafíos para asegurar el triunfo a largo plazo de la operación minera.

2.11. Optimización de la Planificación del Minado Subterráneo

2.11.1. Métodos y Herramientas de Optimización en la Planificación del Minado Subterráneo

Los adelantos tecnológicos en la minería subterránea han permitido la implementación de métodos y herramientas innovadoras para la optimización de reservas y la planificación del minado. Según Solórzano y Castillo (2017), la adopción de estas herramientas tiene como objetivo principal aumentar las reservas y mejorar la eficiencia en la planificación de las fases de explotación. Estas tecnologías permiten una mejor modelización de los recursos, facilitando la toma de decisiones estratégicas que maximizan la recuperación del mineral y optimizan la secuencia de extracción.

2.11.2. Impacto de la Optimización en los Costos y la Eficiencia Operativa

La optimización en la planificación del minado subterráneo tiene una huella directa en la deflación de costos y en la mejora de la eficiencia operativa. Según Reyes (2008), el primer paso para realizar un análisis eficaz e identificar áreas de mejora es crear herramientas que permitan calcular los costos unitarios basados en las áreas de producción y los procesos de extracción. Los costos unitarios son indicadores clave para evaluar la eficiencia operativa, ya que están directamente relacionados con los volúmenes de producción y los recursos presupuestados. Una planificación optimizada permite no solo reducir costos, sino también mejorar la utilización de los recursos, lo que resulta en una operación más rentable y competitiva.

2.12. Evaluación Económica de Proyectos Mineros Subterráneos

2.12.1. Métodos de Evaluación Económica en Proyectos de Minería Subterránea

La evaluación financiera de proyectos de minería subterránea es crucial para ofrecer datos cuantitativos que respalden la toma de decisiones sobre la viabilidad del proyecto. Este proceso implica un análisis integral que cubre aspectos técnicos, económicos, financieros y el riesgo asociado a la inversión. El análisis se fundamenta en un modelo de inversión que examina la secuencia temporal de flujos de efectivo, tanto negativos como positivos, con especial atención al valor temporal del dinero. Este enfoque es fundamental para evaluar la viabilidad económica del proyecto y garantizar que las decisiones se basen en un análisis exhaustivo y sólido (Varillas, 2017).

2.12.2. Cálculo de Indicadores Financieros (VAN, TIR) y Periodo de Retorno de la Inversión

a) Valor Actual Neto (VAN): Es un instrumento fundamental en la evaluación financiera de proyectos, ya que permite determinar el valor presente de los flujos de efectivo futuros provenientes de una inversión específica. Este cálculo es vital para determinar la viabilidad económica de una inversión y para comparar la rentabilidad de varios proyectos. Un VAN positivo indica que el proyecto puede generar ganancias superiores a los costos asociados, convirtiéndolo en una alternativa atractiva para los inversores

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

Los flujos de efectivo por período se denotan como F_t mientras que I_0 representa el capital inicial invertido en el instante ($t=0$), N indica el total de períodos considerados para el análisis, y K es la tasa de interés o de descuento aplicada a la inversión. positivo indica que el proyecto generará ganancias según la tasa de descuento establecida. Si el VAN es cero, significa que el proyecto no

producirá ni beneficios ni pérdidas. Por otro lado, un VAN negativo sugiere que el proyecto resultará en pérdidas, lo que implica que debería ser desestimado.

b) Tasa Interna de Retorno (TIR). es la tasa de retorno que una inversión puede producir. Además, se describe como la tasa de descuento que resulta en un Valor Actual Neto (VAN) igual a cero. Este indicador facilita la comparación de la rentabilidad entre distintos proyectos (Varillas, 2017).

$$VAN = -I_o + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = -I_o + \frac{F_1}{(1 + TIR)} + \frac{F_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1 + TIR)^n} = 0$$

Se deduce que el TIR cuantifica el atractivo económico de los proyectos con un indicador fácil de comparar y dará acceso de ordenar los proyectos según la rentabilidad.

c) Periodo de Retorno de la Inversión. También llamada payback time, quiere decir que es el tiempo que se requiere para que la entidad o empresa pueda recuperar la inversión inicial calculando a partir de las entradas de efectivo (Varillas, 2017).

$$PRI = a + [(b - c) \div d]$$

a: es el año anterior inmediatamente que se recupera la inversión

b: es la inversión inicial

c: es la suma de los flujos efectivos anteriores a la fecha de recuperación de la inversión

d: es el flujo neto del año en que se dará la inversión.

2.13. Consideraciones económicas para la toma de decisiones en la planificación del minado subterráneo:

En la planificación del minado subterráneo, es fundamental tener en cuenta las consideraciones económicas al evaluar los recursos minerales, especialmente en el caso de los recursos inferidos. Cuando estos recursos inferidos se ajustan al diseño de las cámaras (escalones), se les asigna una ley de estéril equivalente a cero. Sin embargo, es importante destacar que los recursos mineros inferidos son, por su naturaleza, demasiado especulativos desde un punto de vista geológico para ser incluidos directamente en las consideraciones económicas que se aplican a las reservas mineras.

2.14. Gestión de riesgos en la planificación y costos del minado subterráneo

2.14.1. Identificación y evaluación de riesgos asociados con la planificación y costos en la minería subterránea

El IPERC (Identificación de Peligros, Evaluación de Riesgos y Controles) desempeña un papel fundamental en la gestión de riesgos en el ámbito de la minería subterránea (Huanca, 2019). Esta herramienta emplea un enfoque estructurado para detectar y analizar los peligros y riesgos asociados con los procesos mineros. Su propósito principal es implementar medidas para controlar y mitigar estos riesgos antes de comenzar las operaciones en el sitio. Como una componente esencial del sistema de gestión de riesgos, el IPERC no solo ayuda a prevenir incidentes, sino que también promueve un ambiente de trabajo más seguro y eficiente.

2.14.2. Análisis de Impacto y Contingencias en el Presupuesto y la Planificación de Costos

Vila y Zafra (2019) destacan la importancia de incluir imprevistos o contingencias en cualquier estimación presupuestaria. Estos elementos se valoran como un porcentaje

adicional de la suma de todos los demás componentes del proyecto y reflejan la incertidumbre inherente a una definición cuantitativa incompleta del mismo. La partida de imprevistos también abarca posibles errores asociados con el procedimiento de estimación aplicado, así como otros errores comunes en la preparación del presupuesto. Este enfoque permite que los proyectos cuenten con un margen de seguridad financiera para enfrentar situaciones inesperadas, asegurando que las operaciones se mantengan dentro de los límites presupuestarios y mitigando los riesgos económicos. La adecuada gestión de contingencias es, por tanto, crucial para garantizar la viabilidad económica y el éxito del proyecto minero subterráneo.

2.15. Definición de términos:

- **Planeamiento:** Es el proceso de desarrollar planes minuciosos, estrategias y acciones con el fin de alcanzar objetivos concretos. Esto incluye identificar los pasos necesarios para obtener un resultado deseado, asignar recursos, tener en cuenta factores importantes y anticipar posibles obstáculos.
- **Corto plazo:** Es un intervalo de tiempo relativamente corto en el marco de la planificación y gestión. Al planificar, el enfoque en el corto plazo se centra en objetivos, actividades y decisiones que deben ser tratadas en un futuro cercano. Las acciones a corto plazo suelen ser inmediatas o de rápida ejecución, destinadas a obtener resultados en el futuro próximo, y generalmente están relacionadas con metas más amplias a largo plazo.
- **Empresa minera:** Es una entidad jurídica dedicada a realizar operaciones mineras, cumpliendo con las regulaciones legales, y siguiendo los diseños, métodos, estándares, procedimientos y prácticas definidos para la explotación minera.

- **Ley de corte:** Es el nivel mínimo de contenido de mineral que un depósito debe poseer para que su extracción resulte rentable económicamente.
- **Ley de mineral:** Se refiere a la cantidad de metales valiosos, como oro, plata, cobre y estaño, presente en las rocas y el mineral de un yacimiento.
- **Planeamiento de minado:** Implica el proceso de diseñar, organizar y coordinar todas las actividades requeridas para la extracción de minerales de forma eficiente y segura. Esto incluye la planificación en el corto, mediano y largo plazo, y abarca aspectos técnicos, geológicos, geomecánicos, económicos y ambientales.
- **Rentabilidad:** Se refiere a la capacidad de un proyecto, inversión o empresa para generar beneficios económicos en relación con los costos y recursos invertidos. Es una medida fundamental para determinar si una actividad es financieramente viable y si los recursos invertidos están produciendo ganancias.
- **Secuencia de minado:** Se refiere al esquema y la secuencia de la extracción de recursos minerales de un yacimiento a lo largo de su explotación. Este orden se diseña para optimizar la eficiencia, la seguridad y la rentabilidad de las operaciones mineras, teniendo en cuenta la configuración geológica y geomecánica del yacimiento, junto con las condiciones técnicas y económicas.
- **Perforación diamantina:** Consiste en la exploración de recursos naturales y la caracterización del macizo rocosa mediante la creación de perforaciones usando una broca con incrustaciones de diamante. Proporciona una forma precisa y detallada de obtener información sobre el subsuelo.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Diseño de investigación

Este análisis utiliza un método cuantitativo y analítico, centrado en proporcionar una descripción exhaustiva del estado actual de las operaciones en la mina Santa Rosa. A través del proceso de planificación, se busca identificar y examinar las fluctuaciones en los costos, así como evaluar la eficacia y rentabilidad de los programas de producción propuestos.

El diseño de investigación adoptado es de tipo preexperimental, lo que permite realizar comparaciones antes y después de la implementación de las estrategias de planeamiento, con el fin de medir su impacto. El nivel de investigación es descriptivo, enfocado en detallar las características y particularidades del fenómeno en estudio. Además, se clasifica como una investigación de tipo aplicada, orientada a resolver problemas específicos y mejorar las prácticas operativas dentro del contexto minero.

3.2. Población y muestra

Población

En este estudio, la unidad de análisis corresponde a la mina Santa Rosa, ya que el planeamiento del minado se lleva a cabo dentro de la Unidad Minera Untuca de Cori Puno SRL. Por lo tanto, la población de interés está constituida por las operaciones y actividades mineras desarrolladas en la mina Santa Rosa.

Muestra

La elección de la técnica de muestreo dependió de la disponibilidad de información y recursos, así como de los objetivos específicos de la investigación. Es esencial que la muestra seleccionada sea lo suficientemente representativa y grande para proporcionar resultados estadísticamente significativos y confiables. Además, se

consideró factores como la variabilidad de los costos dentro de la población y los requisitos de precisión y nivel de confianza deseados. En este estudio, la muestra fue la Unidad Minera Untuca, donde se pretende diseñar y evaluar un plan de minado que optimice sus operaciones y mejore la eficiencia general del proceso.

3.3. Procedimiento, técnicas e instrumentos de recolección de información

Para el presente estudio, se utilizarán los siguientes métodos y técnicas para la obtención de datos:

- a) **Revisión Bibliográfica.** La revisión bibliográfica implicará el análisis exhaustivo de la literatura científica y técnica relacionada con el planeamiento de minado y los costos en minería subterránea. Este proceso permitirá obtener una sólida base teórica y práctica, así como información relevante que respaldará el desarrollo del estudio. La revisión incluirá libros, artículos académicos, informes técnicos, y estudios de caso que proporcionen antecedentes y contextos necesarios para el análisis.
- b) **Recopilación de Datos Primarios.** La obtención de datos primarios se llevará a cabo directamente en las fuentes seleccionadas para el estudio, principalmente en las operaciones mineras subterráneas de interés. Este proceso puede incluir visitas a la mina, donde se realizarán observaciones directas en el campo. Además, se llevarán a cabo entrevistas con personal clave, como ingenieros y gerentes de operaciones, para obtener información detallada y contextualizada sobre los procesos y costos operativos. También se recopilarán datos financieros y operativos directamente de la mina para un análisis detallado.

c) Recopilación de Datos Secundarios. Los datos secundarios serán obtenidos a partir de fuentes ya existentes, como informes técnicos, registros operativos, bases de datos, documentos financieros y estudios previos sobre costos en minería subterránea. Estos datos complementarán y enriquecerán la información primaria, proporcionando un contexto más amplio y permitiendo una triangulación de la información para asegurar la validez y confiabilidad de los resultados.

Este enfoque metodológico integral garantizará que la investigación esté basada en información sólida y multifacética, lo que permitirá una evaluación exhaustiva y precisa de los objetivos planteados en el estudio.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de información

Técnicas

La técnica que se utiliza la observación directa, que consiste en presenciar de manera in situ las actividades y procesos relacionados con los costos en minería subterránea. Esta técnica permitirá observar de primera mano los métodos de extracción, la gestión de inventarios, la planificación de labores y otros procedimientos clave en la operación minera. La observación directa proporciona información precisa, contextualizada y actualizada sobre las prácticas y procesos utilizados, lo que facilita una comprensión detallada de cómo se manejan los costos en las operaciones subterráneas.

Instrumentos

Es la ficha documental, se centra en el análisis sistemático de documentos técnicos, informes financieros, registros operativos y otros materiales relevantes. Estos documentos proporcionarán datos históricos sobre los costos en minería subterránea, así como información sobre decisiones estratégicas, métodos implementados y los resultados

obtenidos en proyectos previos. La ficha documental facilita la organización y resumen de esta información para su análisis posterior en el estudio, ayudando a identificar elementos clave y cambios significativos relevantes para la investigación.

3.5. Análisis estadístico

El procedimiento para el análisis de datos se lleva a cabo mediante técnicas estadísticas, que se enfocan en la presentación y el análisis de la información recopilada durante la investigación. Este enfoque facilita la comprensión de la distribución y variabilidad de los costos en la minería subterránea, la identificación de patrones y tendencias, y la organización de la información de manera efectiva. Para ello, se emplean herramientas de recolección de datos, como el software Excel.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se exponen los hallazgos derivados del tratamiento y análisis detallado de los datos recopilados en la mina Santa Rosa, que forma parte de la Unidad Minera Untuca de Cori Puno SRL.

4.1. Propuesta del plan de minado para optimización

4.1.1. Introducción

Dentro de la visión estratégica de la empresa Cori Puno SRL, se plantea como objetivo central la realización de operaciones altamente eficientes que permitan un aprovechamiento óptimo de los recursos, con el fin de maximizar la rentabilidad de sus actividades. En este contexto, se identificó una oportunidad de negocio en la zona de Santa Rosa, un área que anteriormente fue explotada de manera convencional. La reinterpretación geológica, junto con la realización de sondajes diamantinos, resultó fundamental para la cuantificación precisa de los recursos disponibles en la región.

El plan de minado propuesto incorpora tanto aspectos técnicos básicos como complejos de ingeniería, necesarios para optimizar las operaciones mineras en Santa Rosa. Este plan detalla de manera exhaustiva los parámetros técnicos, los programas de avances, los programas de producción y las estrategias de relleno, que guiarán la explotación sistemática de los mantos minerales. Desde la estimación inicial de recursos hasta el cálculo de reservas, pasando por la secuencia de labores de desarrollo y preparación, este plan establece un enfoque integral para asegurar una explotación eficiente y rentable en la zona.

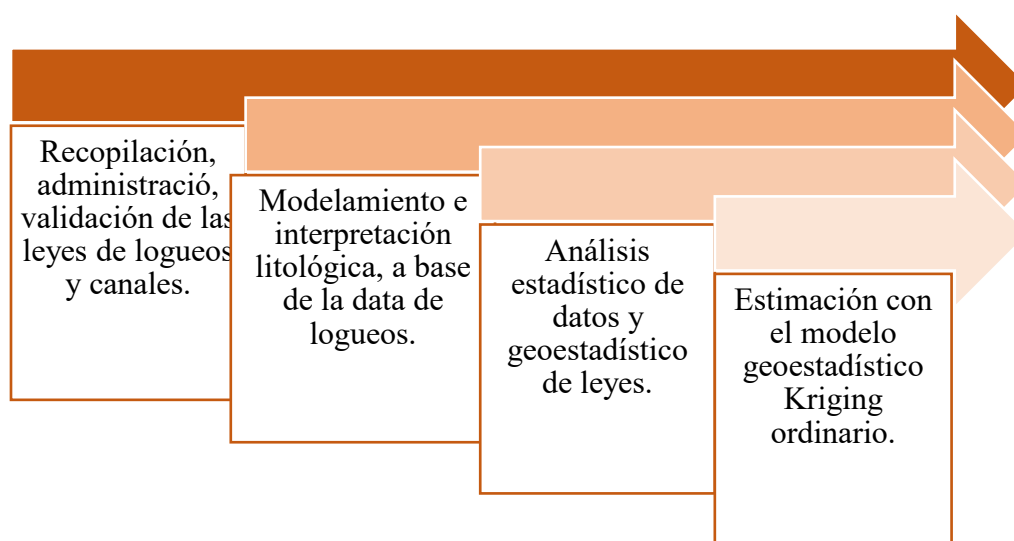
4.1.2. Estimación de recursos minerales

El estudio de la zona de Santa Rosa se llevó a cabo utilizando sondajes diamantinos y muestreos de canales subterráneos en las labores convencionales, con el

objetivo de analizar el comportamiento y el potencial de las estructuras mineralizadas para su futura explotación. Este análisis permitió identificar la presencia de tres mantos mineralizados, que constituyen áreas clave para la extracción. Además, se llevó a cabo una interpretación detallada de las fallas estructurales, basada en la extensa data recolectada a través de logueo digital, mapeo subterráneo y superficial. Esta información fue fundamental para el modelamiento geológico y la estimación de recursos, procesos que fueron realizados con el apoyo de software especializado, garantizando así la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos. Este enfoque integral no solo proporciona una visión clara del potencial mineral de la zona, sino que también sienta las bases para una explotación minera eficiente y rentable.

Figura 20.

Mapa de procesos de modelamiento y estimación de recursos



Nota. Se presenta las etapas del proceso y estimación de recursos

En la figura 13 se presenta la secuencia de un proceso integral de análisis y estimación de recursos minerales, comenzando con la recopilación, administración y validación de datos geológicos obtenidos a través de logueos y muestreos de canales, asegurando así la calidad y precisión de la información. Posteriormente, se realiza el

modelamiento e interpretación litológica basado en estos datos, lo cual permite construir un modelo geológico detallado del área de estudio. A continuación, se lleva a cabo un análisis estadístico y geoestadístico de las leyes, que identifica patrones y distribuciones de los minerales presentes. Finalmente, se aplica el modelo geoestadístico Kriging ordinario para estimar la distribución espacial de los recursos, proporcionando una base sólida para la planificación y explotación eficiente de los mismos. Este proceso es fundamental para garantizar una evaluación precisa y confiable de los recursos minerales en un proyecto minero. Se presenta el inventario de recursos minerales en la siguiente tabla:

Tabla 7.

Inventario de recursos minerales de la mina Santa Rosa

Tipo de mineral	In situ (Ton)	Calificación AUKRG (G/T oro)
Medido (MED)	412,625	1.38
Indicado (IND)	252,385	1.36
Total MED + IND	665,010	1.38
Inferido (INF)	129,509	1.42
Total M + IND + INF	794,519	1.38

Nota. Se muestra el inventario de mineral en el lugar de estudio

La tabla 7 presenta la estimación de recursos minerales en la zona, divididos en categorías de confianza: Medido, Indicado e Inferido. Se estiman 665,010 toneladas de mineral en las categorías Medido e Indicado, con una ley promedio de 1.38 g/t de oro, que representan los recursos más seguros. Adicionalmente, se identifican 129,509 toneladas en la categoría Inferido, con una ley de 1.42 g/t de oro, sumando un total de 794,519 toneladas de mineral in situ con una ley promedio de 1.38 g/t de oro, siendo que estos datos son esenciales para evaluar el potencial económico de la explotación minera.

Tabla 8.*Inventario de recursos minerales del Manto 01 en mina Santa Rosa*

Tipo de mineral	In situ (Ton)	Calificación AUKRG (G/T oro)
Medido (MED)	127,383	1.26
Indicado (IND)	94,521	1.27
Inferido (INF)	40,674	1.26
Total	262,578	1.26

La tabla 8 presenta el inventario de recursos minerales del Manto 01 en la mina Santa Rosa, totalizando 262,578 toneladas de mineral con una ley promedio de 1.26 g/t de oro. Estas toneladas se dividen en las categorías Medido (127,383 toneladas), Indicado (94,521 toneladas), e Inferido (40,674 toneladas), todas con una ley de oro cercana a 1.26 g/t.

Tabla 9.*Inventario de recursos minerales del Manto 02 en la mina Santa Rosa*

Tipo de mineral	In situ (Ton)	Calificación AUKRG (G/T oro)
Medido (MED)	261,159	1.41
Indicado (IND)	135,293	1.37
Inferido (INF)	64,951	1.37
Total	461,403	1.4

La tabla 9 muestra el Manto 02 en la mina Santa Rosa contiene 461,403 toneladas de mineral in situ con una ley promedio de 1.4 g/t de oro. Este total se divide en Medido (261,159 toneladas), Indicado (135,293 toneladas), e Inferido (64,951 toneladas), todas con leyes de oro entre 1.37 y 1.41 g/t.

Tabla 10.*Inventario de recursos minerales del Manto 03 en mina Santa Rosa*

Tipo de mineral	In situ (Ton)	Calificación AUKRG (G/T oro)
Medido (MED)	24,083	1.73
Indicado (IND)	22,571	1.69
Inferido (INF)	23,884	1.84
Total	70,538	1.75

La tabla 10 muestra el Manto 03 en la mina Santa Rosa contiene 70,538 toneladas de mineral in situ con una ley promedio de 1.75 g/t de oro. Estas toneladas se dividen en Medido (24,083 toneladas), Indicado (22,571 toneladas) e Inferido (23,884 toneladas), con leyes de oro entre 1.69 y 1.84 g/t.

4.1.3. Cálculo de reservas minerales

El cálculo de las reservas minerales en la zona de Santa Rosa se fundamenta en cuatro elementos clave que aseguran tanto la viabilidad técnica como la sostenibilidad del proyecto:

- a. Estabilidad del Terreno:** Los estudios geomecánicos realizados en la zona han determinado que la explotación del yacimiento debe seguir métodos específicos según la potencia del manto:

Taladros Largos: Aplicado a mantos con potencias mayores o iguales a 14 metros, lo que permite un aprovechamiento eficiente del recurso.

Cámaras y Pilares: Ideal para mantos con potencias entre 3 y 5 metros, asegurando la estabilidad estructural durante la extracción.

Breasting: Utilizado en mantos con potencias superiores a 5 metros y menores a 13 metros, optimizando la extracción en estos rangos.

- b. Diseño:** Sólo se incluyen en el cálculo aquellas reservas que son accesibles y que se alinean con el diseño de las labores subterráneas, garantizando así la factibilidad operativa del proyecto.
- c. Proceso Metalúrgico:** Se consideran únicamente los recursos minerales cuya ley sea igual o superior a 1.30 g Au/T, asegurando que los minerales extraídos sean económicamente viables para el proceso metalúrgico.
- d. Confiabilidad y Entorno:** Solo se incluyen los recursos minerales medidos e indicados, excluyendo aquellos que puedan generar impactos ambientales y sociales. Esto garantiza que las operaciones mineras sean sostenibles y socialmente responsables.

Este enfoque integral permite una evaluación precisa y confiable de las reservas, facilitando la toma de decisiones estratégicas para la explotación del yacimiento en la mina Santa Rosa.

En la figura 14, se muestra el diagrama del proceso integral de planeamiento de minado y estimación de reservas, comenzando con la validación geológica y la estimación de recursos, para luego clasificar los recursos en medidos, indicados e inferidos. Si se cumplen los requisitos legales y sociales, se revisa el diseño de la mina, configurando bloques geológicos con sus respectivas leyes y potencias. Se aplican factores de dilución y recuperación según el método de minado, seguido del cálculo de la ley de corte y el valor económico (BECOF). Solo los bloques con valor económico mayor al BECOF son considerados en el inventario de reservas probadas y probables, mientras que los restantes se incluyen en el inventario de recursos inferidos. Este proceso garantiza una explotación minera optimizada y sostenible.

Figura 21.

Mapa de procesos de cálculo de reservas

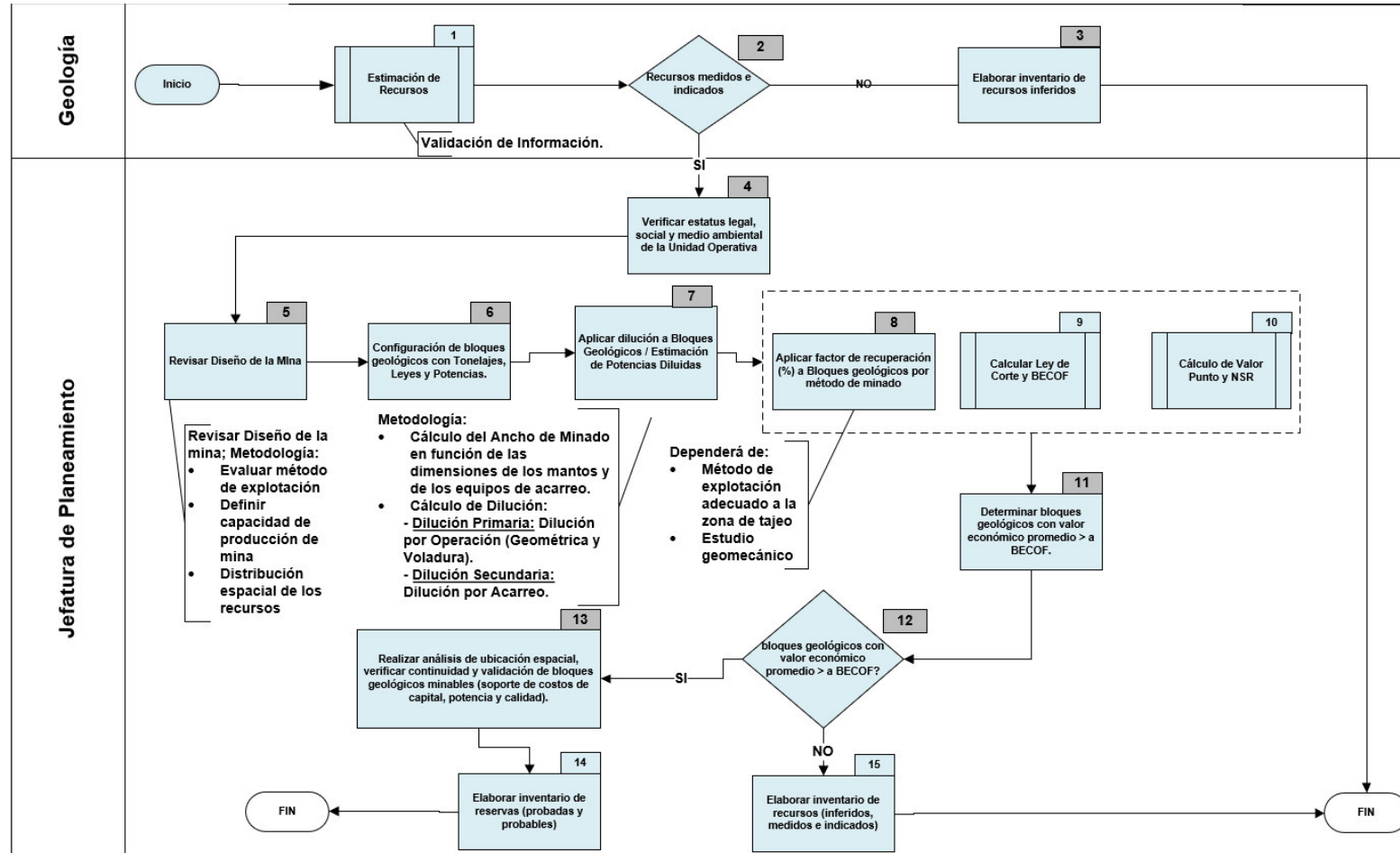


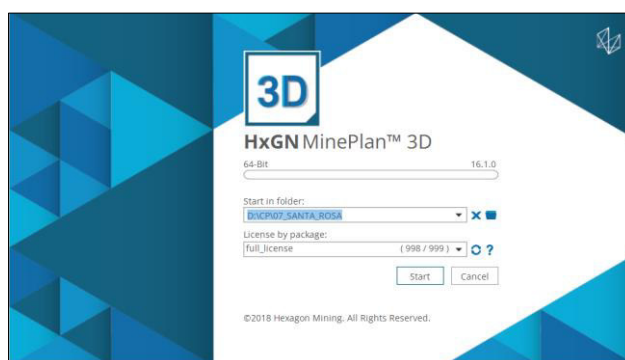
Tabla 11.*Inventario de reservas minables, mina Santa Rosa*

Método	Tonelada (Tn)	Ley (gpt)	Potencia (m)	Rec. Minado
Cámara de pilares	163,549	2.29	4	90%
Breasting	36,022	2.3	8	85%
Taladros largos	38,499	1.91	14	70%
Total	238,070	2.23	8.7	82%

La tabla 11 las reservas minables en la mina Santa Rosa, con un total de 238,070 toneladas, una ley promedio de 2.23 g/t de oro, y una potencia media de 8.7 metros. Los métodos de extracción incluyen Cámara de Pilares (163,549 toneladas, 90% de recuperación), Breasting (36,022 toneladas, 85% de recuperación), y Taladros Largos (38,499 toneladas, 70% de recuperación), lo que resulta en una recuperación promedio del 82% en la mina.

4.1.4. Secuencia para el cálculo de reserva

Se procede el procedimiento realizado para el cálculo de reservas mediante el software Mineplan:

Figura 22.*Software Mineplan*

Nota. Obtenido del software Mineplan

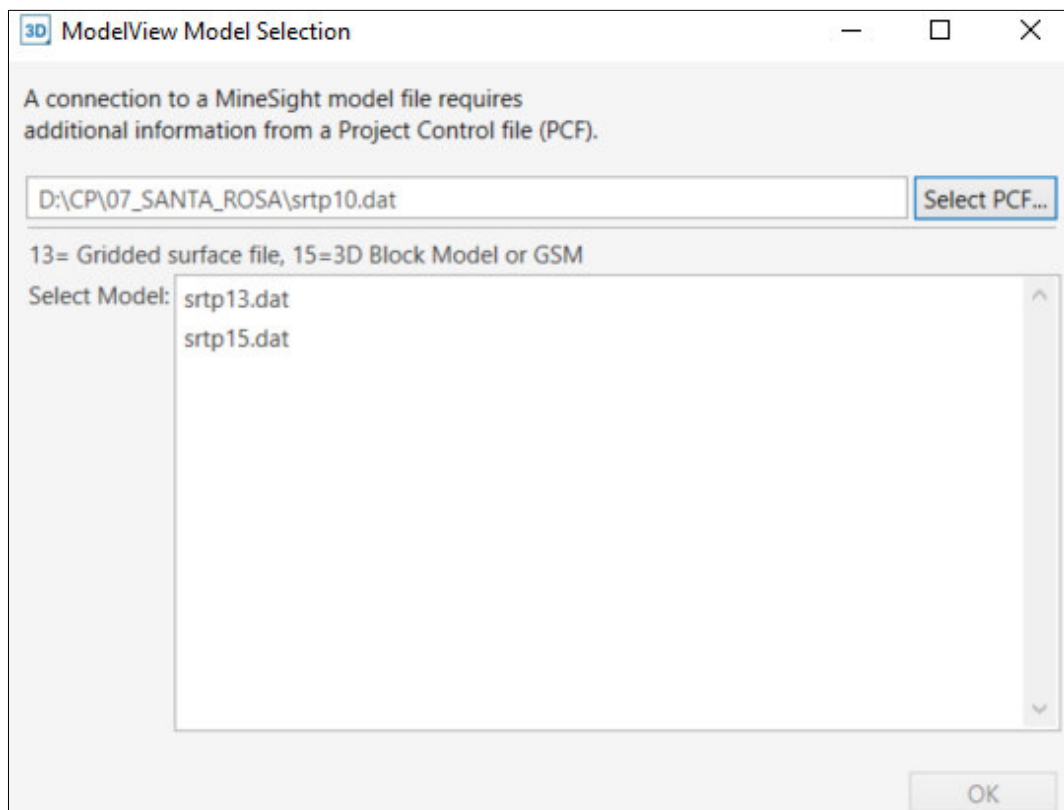
Para el cálculo de la reserva de la mina Santa Rosa, se utilizó el software Mineplan 3D, una plataforma que permite crear modelos geológicos y mineros detallados,

optimizando la planificación y la gestión de recursos. Este software facilita la estimación precisa de las reservas mineras, utilizando datos geológicos, sondajes y otros parámetros operativos.

En la figura 16 se muestra el procedimiento para importar el modelo de bloques que nos envía el área de Geología, el cual consta del archivo: “srpr10.dat”.

Figura 23.

Selección de Modelo de Bloques 3D para la Mina Santa Rosa en Mineplan

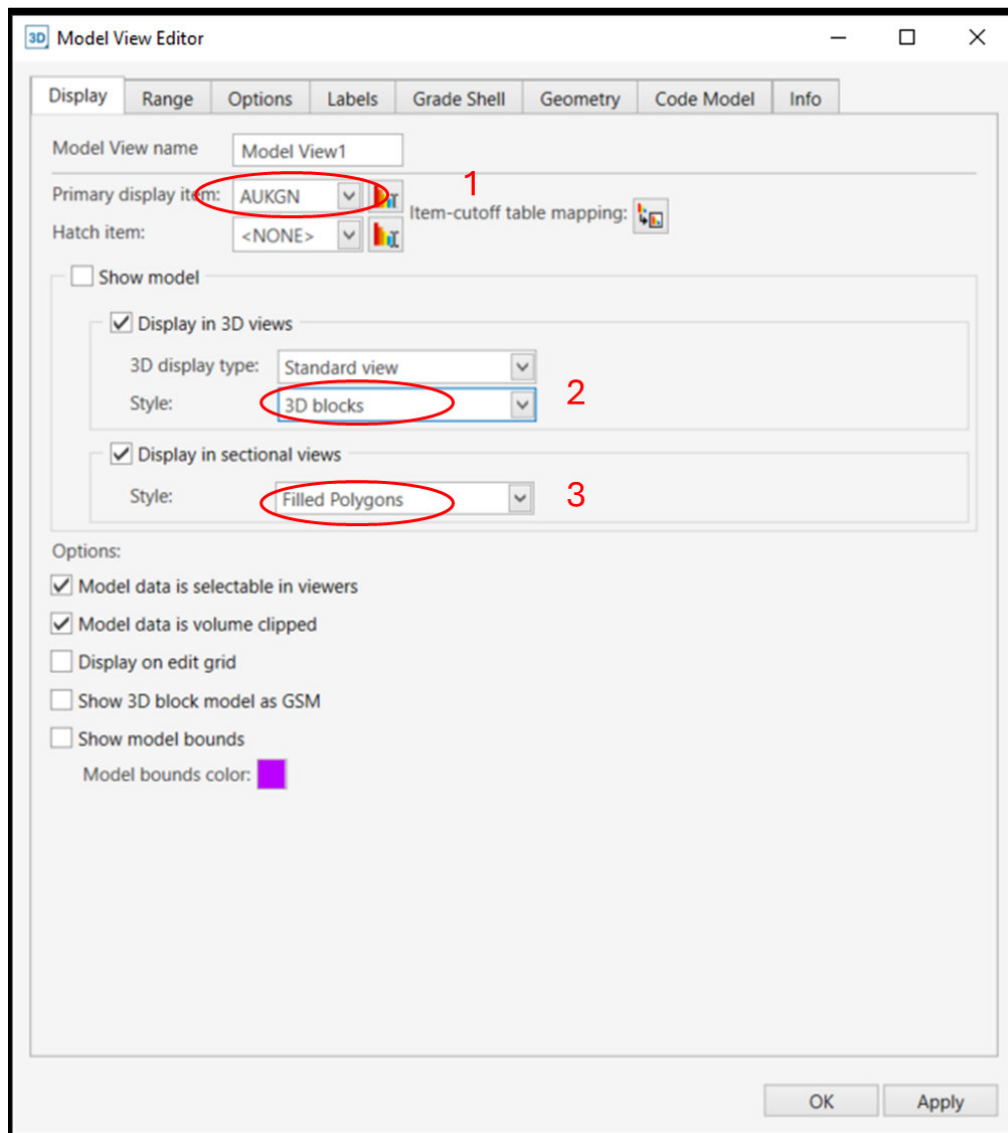


Nota. Obtenido del software Mineplan

En esta etapa del proceso, se procede a importar el modelo de bloques que ha sido generado y proporcionado por el área de geología. El archivo "srpt10.dat" contiene la información esencial para el modelado de bloques en tres dimensiones, basada en datos geológicos, como la geometría del yacimiento y las características del terreno. En la figura 17 se observa que después de seleccionar el archivo 15, procedemos a configurar las opciones de vista del modelo de bloques.

Figura 24.

Configuración de Visualización del Modelo de Bloques en Mineplan 3D

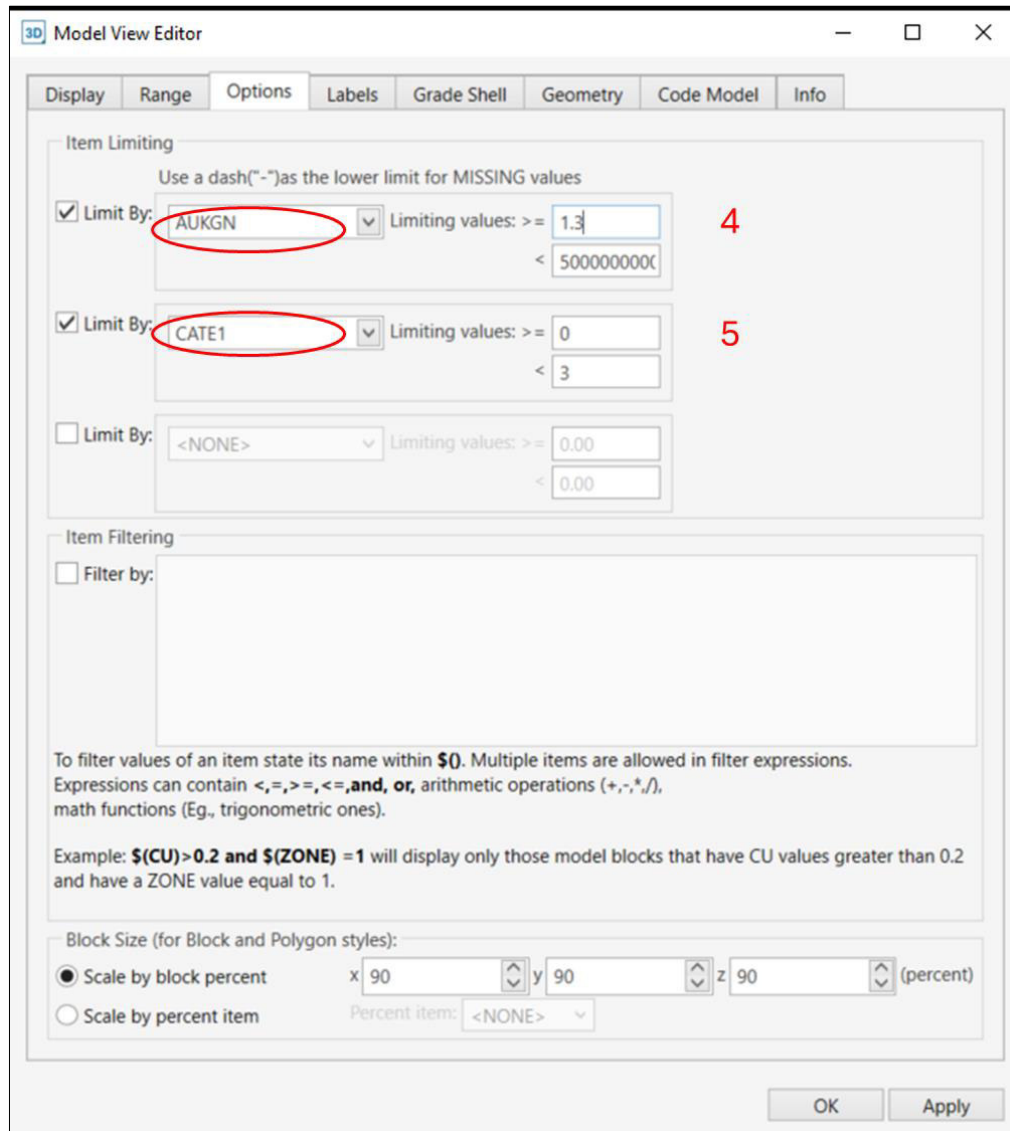


Nota. Obtenido del software Mineplan

La figura 17 muestra la ventana de configuración del visor de modelos en 3D dentro del software Mineplan, específicamente en el editor de visualización de modelos. Se están configurando las opciones para visualizar el modelo de bloques generado, utilizando parámetros específicos. En la figura 18 se muestra en el punto cuatro (4) y cinco (5) se procede a filtrar los bloques, en función a los parámetros de optimización, en este caso AUKGN mayor e igual a 1.3, y en categoría (CATE 1) los bloques con un código menor a 3 (Inferidos).

Figura 25.

Configuración de Filtros por Ley de Oro (AUKGN) y Categoría (CATE1) en Mineplan

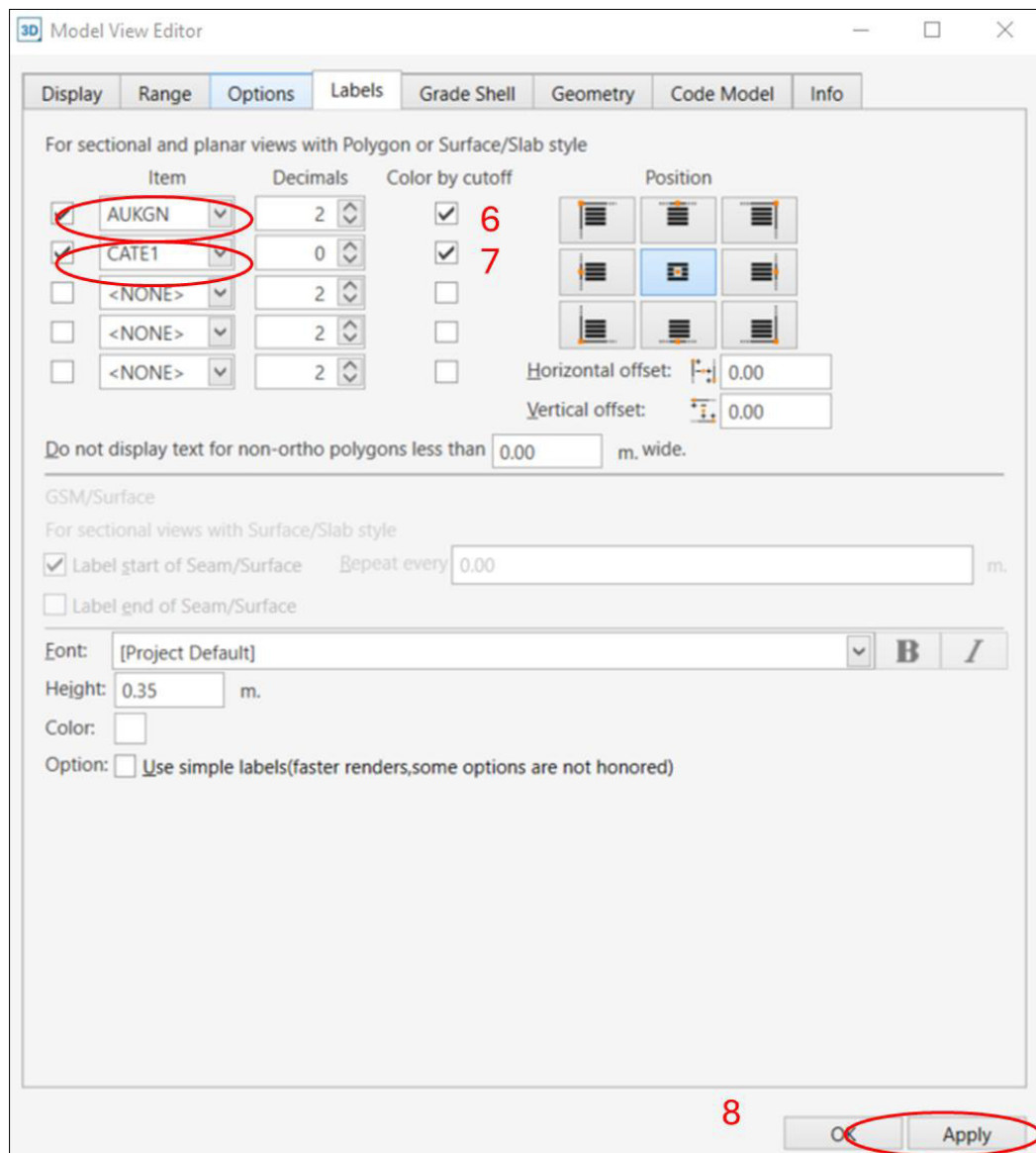


Nota. Obtenido del software Mineplan

La figura 18 muestra una pantalla de configuración de filtros en el editor de visualización de modelos de Mineplan. En este paso, se están aplicando filtros para optimizar la visualización del modelo de bloques en función de los parámetros seleccionados. En la figura 19 se muestra el punto seis (6) y siete (7), se configura la visualización de los bloques en las vistas, los principales son AUKGN y CATE 1. Finalmente se da click en APPLY.

Figura 26.

Configuración de Visualización de Atributos de Ley de Oro (AUKGN) y Categoría (CATE1) en Mineplan 3D

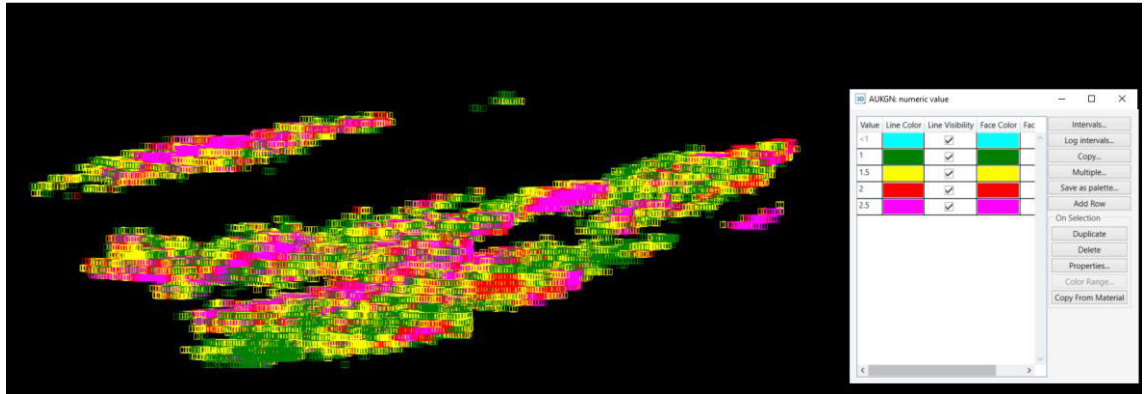


Nota. Obtenido del software Mineplan

La figura 19 muestra una pantalla de configuración de etiquetas en el editor de visualización de modelos de Mineplan, donde se establecen los parámetros de visualización y etiquetado para los bloques en las vistas seccionales y planas. En la figura 20 se visualiza el modelo en 3D, posterior a ello se realiza el diseño de labores y tajeos, realizando cortes longitudinales y transversales.

Figura 27.

Visualización en 3D del Modelo de Ley de Oro (AUKGN) y Diseño de Tajeos

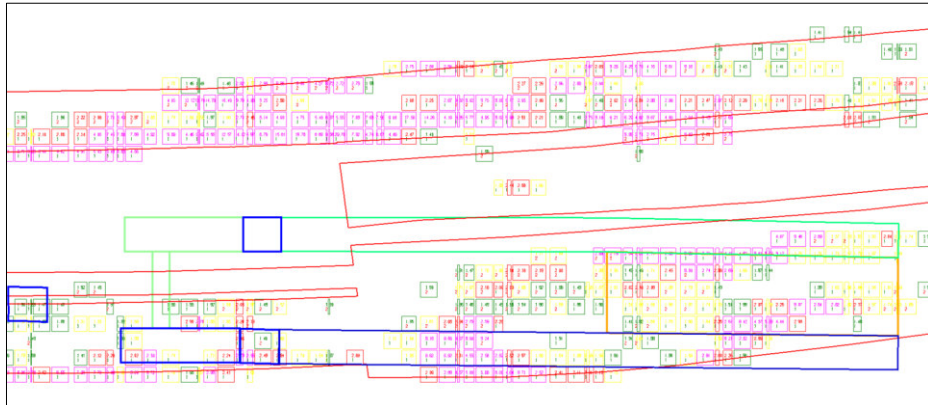


Nota. Obtenido del software Mineplan

La figura 20 muestra la visualización en 3D del modelo de bloques después de haber aplicado los filtros y configuraciones previas, destacando diferentes intervalos de ley de oro (AUKGN) en cada bloque. Estos intervalos están representados por distintos colores, facilitando la identificación visual de los bloques según su concentración de mineral. Los colores asignados reflejan diferentes rangos de ley de oro: por ejemplo, valores mayores a 1 g/t están marcados en verde, mientras que bloques con leyes superiores a 2.5 g/t están en magenta. A continuación, en la figura 21 se muestra se visualiza la sección y ahí se define el método de explotación.

Figura 28.

Visualización de Sección Transversal del Modelo de Bloques y Delimitación de Zonas

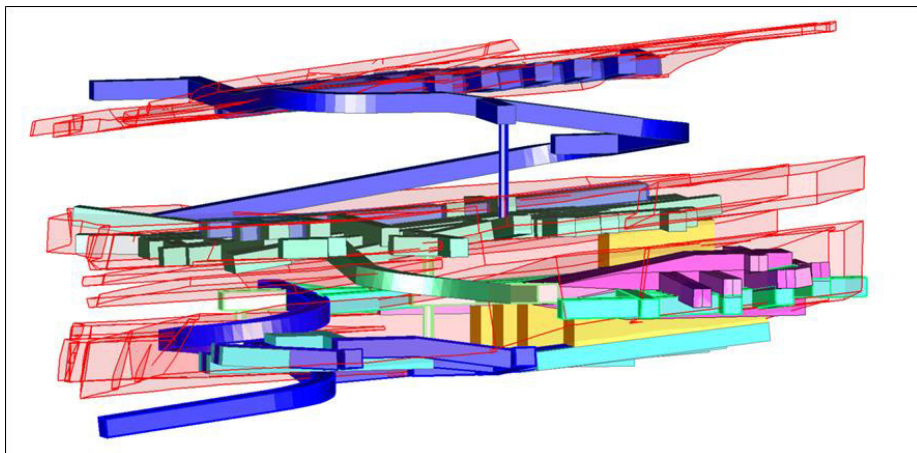


Nota. Obtenido del software Mineplan

La figura 21 muestra una vista en sección del modelo de bloques con las configuraciones de ley (AUKGN) previamente aplicadas. En esta sección se observan los bloques de mineral con diferentes intervalos de ley, representados mediante colores distintos, lo que facilita la identificación de los bloques más ricos en mineral (mayor ley) y aquellos de menor valor. En la figura 22 se presenta el modelo 3D para el diseño de labores subterráneas y distribución de bloques.

Figura 29.

Modelo 3D de diseño de labores subterráneas y distribución de bloques mineralizados

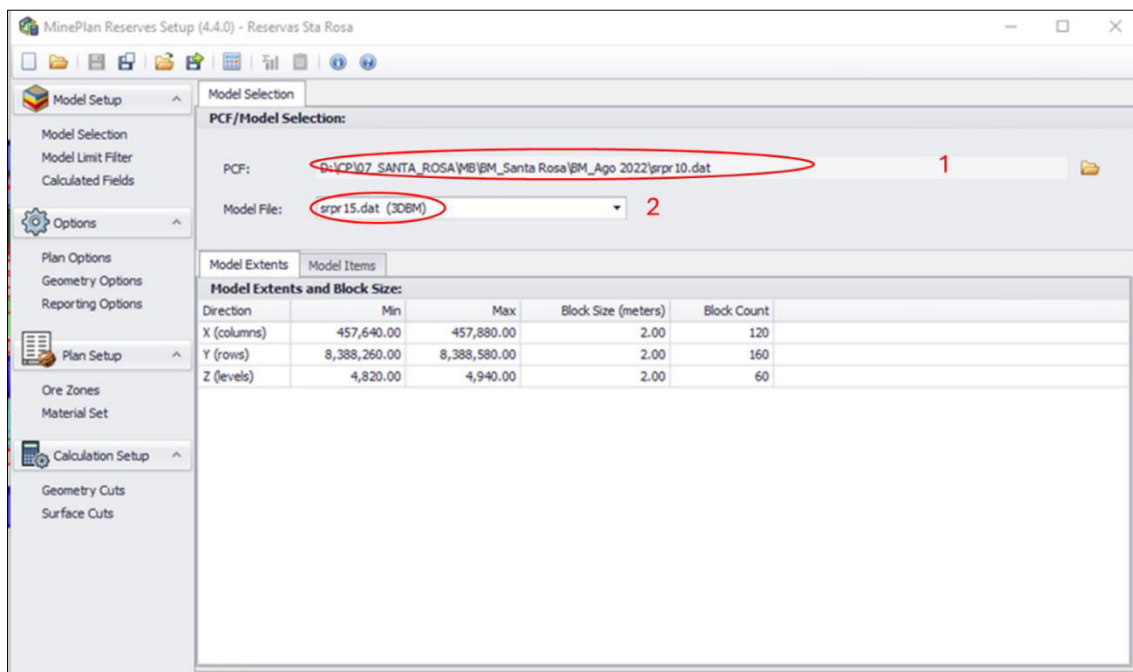


Nota. Obtenido del software Mineplan

La figura 22 presenta la visualización en 3D del diseño de las labores subterráneas en la mina, mostrando tanto las galerías y túneles planificados como la distribución de los bloques mineralizados dentro del yacimiento. Las líneas rojas indican las secciones y estructuras del yacimiento, mientras que los sólidos en diferentes colores representan las distintas labores subterráneas, como rampas, galerías de acceso y áreas de extracción (tajeos). Esta vista en 3D permite observar la disposición espacial de las labores en relación con las zonas mineralizadas, lo que facilita la planificación del minado y asegura que el diseño optimice la extracción del mineral.

Figura 30.

Configuración del reporte de reservas en el software Mineplan



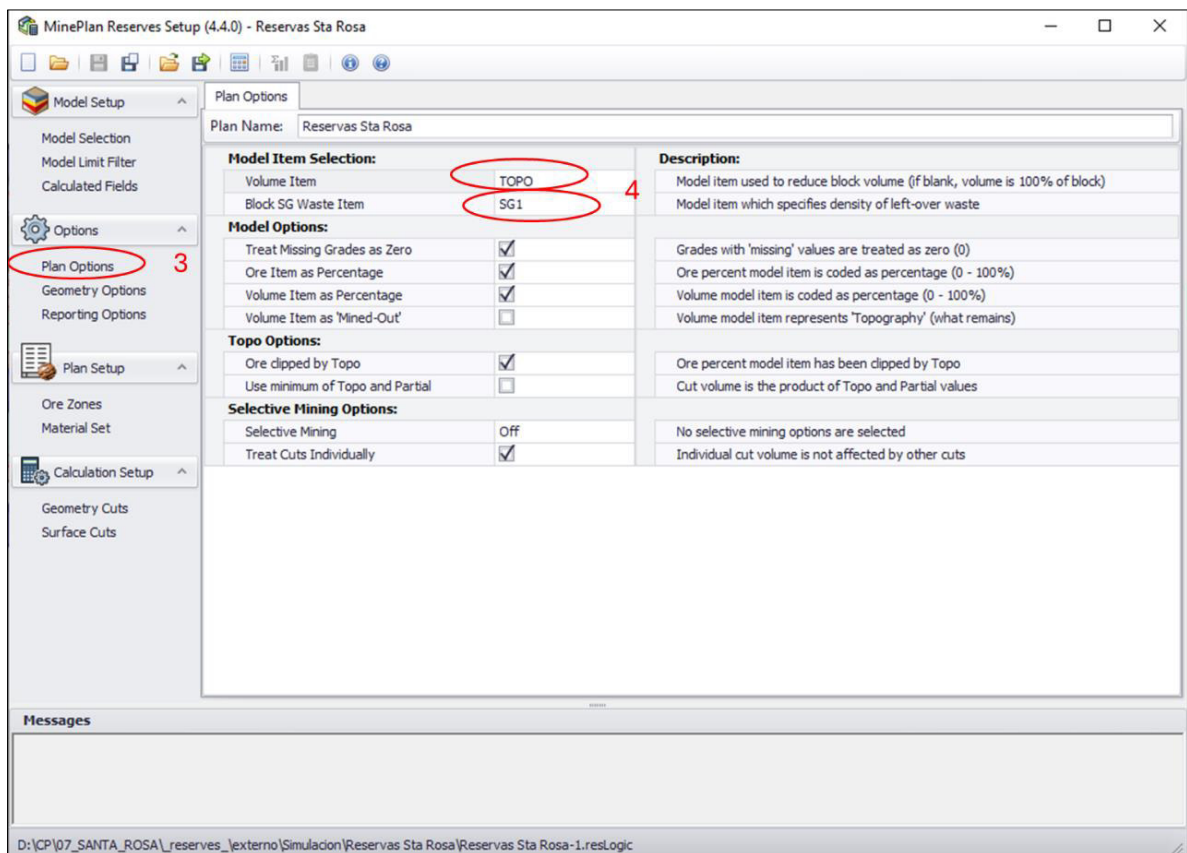
Nota. Obtenido del software Mineplan

La figura 23 muestra una captura del software **Mineplan Reserves Setup**, utilizado para calcular y reportar las reservas de mineral luego de realizar el diseño de las labores mineras. En este caso, se puede observar que en el paso (1), se ha seleccionado un archivo de control del proyecto (.dat) correspondiente a la mina Santa Rosa, y en el paso (2), se ha seleccionado el archivo del modelo de bloques (**srpr15.dat**) para ser

utilizado en los cálculos de reservas. En la figura 24 se muestra el punto tres (3), se selecciona el ítem “Plan Options”, donde se configura los códigos que ingresarán al cálculo de las reservas, en el punto cuatro (4), se selecciona el ítem de Volumen, “TOPO” y en el ítem Block SG Waste Item, “SG1”.

Figura 31.

Configuración de opciones de planificación en el software Mineplan para el cálculo de reservas

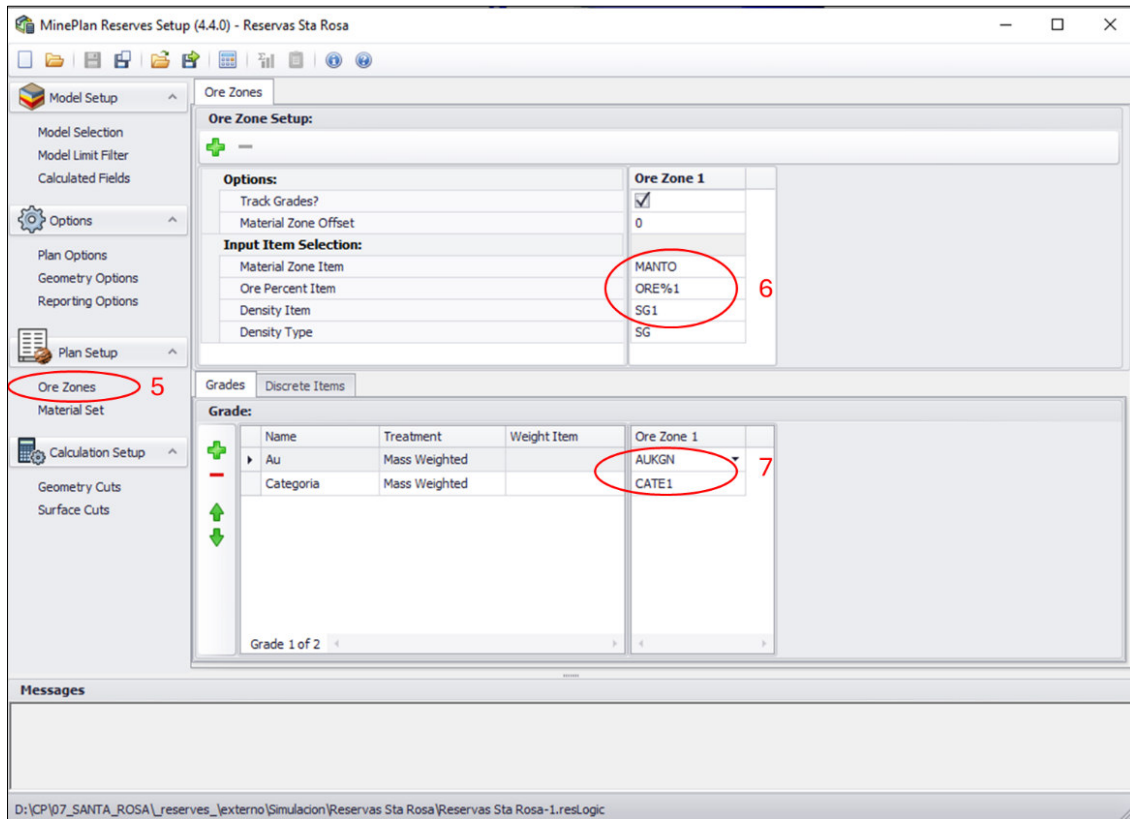


Nota. Obtenido del software Mineplan

En la figura 24, se observa la configuración de opciones en el software Mineplan Reserves Setup. En el paso (3), se selecciona la opción "Plan Options", que permite configurar los parámetros clave para el cálculo de las reservas de la mina. En este paso, se definen los ítems que intervendrán en el proceso de cálculo, tales como el volumen y la densidad de los bloques de desmonte.

Figura 32.

Configuración de zonas de mineral y parámetros de ley para el cálculo de reservas

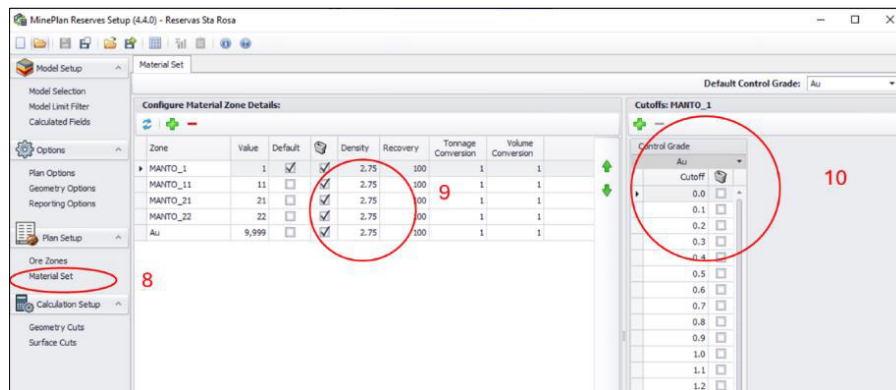


Nota. Obtenido del software Mineplan

En esta pantalla del software **Mineplan Reserves Setup**, se realizan configuraciones esenciales para el cálculo de reservas. En el punto (5), se selecciona la opción "Ore Zones", que permite definir las zonas de mineralización para el cálculo. A continuación, en el punto (6), se configuran los ítems necesarios para las zonas de material y mineral. Se elige "MANTO" como el ítem de Material Zone, "ORE%1" como el porcentaje de mineral y "SG1" como la densidad del bloque.

Figura 33.

Configuración de zonas de mineral y parámetros de ley para el cálculo de reservas

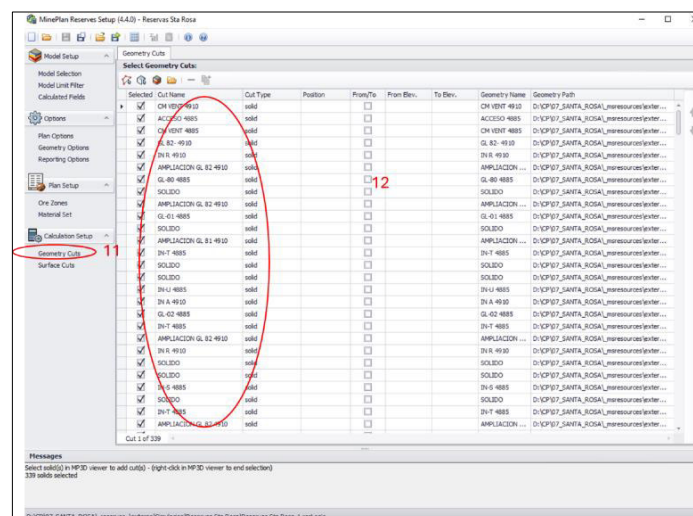


Nota. Obtenido del software Mineplan

En la figura 26 se muestra pantalla del software **Mineplan Reserves Setup**, se realizan configuraciones esenciales para el cálculo de reservas. En el punto (5), se selecciona la opción "Ore Zones", que permite definir las zonas de mineralización para el cálculo. A continuación, en el punto (6), se configuran los ítems necesarios para las zonas de material y mineral. Se elige "MANTO" como el ítem de Material Zone, "ORE%1" como el porcentaje de mineral y "SG1" como la densidad del bloque.

Figura 34.

Selección de geometrías para evaluación de reservas en Mineplan



Nota. Obtenido del software Mineplan

En esta pantalla del software Mineplan Reserves Setup, se realiza la selección de las geometrías que serán evaluadas para el cálculo de reservas. En la figura 28 se muestra que para realizar la secuencia optima de las labores, se utilizó el complemento MS Activity Scheduler.

Figura 35.

Pantalla de Inicio de HxGN Mineplan™ Activity Scheduler

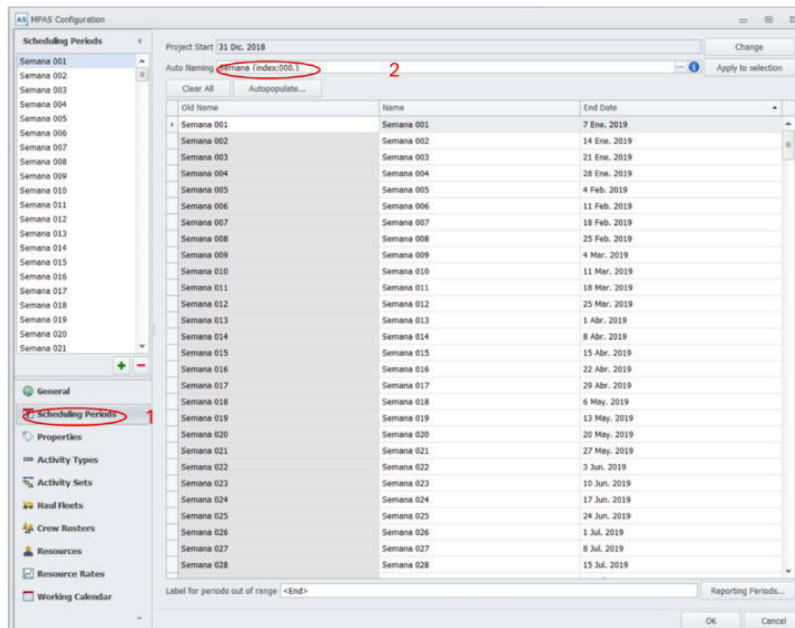


Nota. Obtenido del software Mineplan

La figura 28 ilustra la pantalla de inicio del software HxGN Mineplan™ Activity Scheduler (versión 6.3.0), una herramienta integrada en la suite de Hexagon Mining, destinada a la planificación y programación de actividades en operaciones mineras. Este software facilita la ejecución de la secuencia óptima de tareas dentro de la mina, garantizando que los procesos operativos se desarrollen de manera eficiente y en el orden correcto.

Figura 36.

Configuración de los Periodos de Programación en MPAS

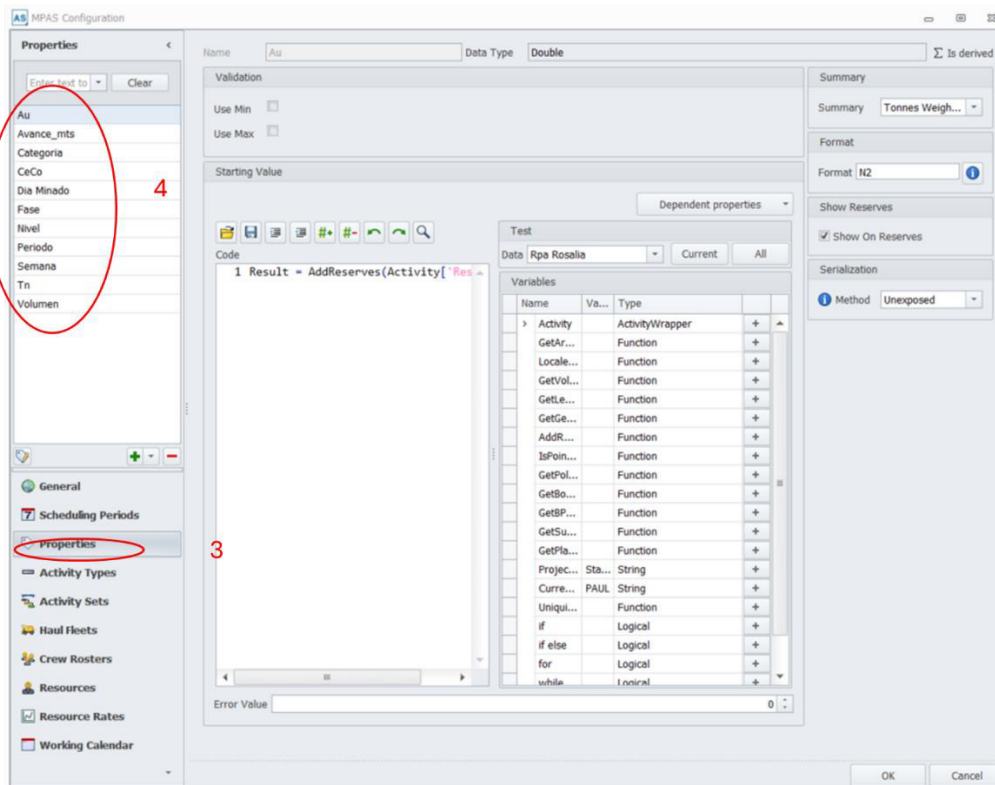


Nota. Obtenido del software Mineplan

La figura 29 muestra la configuración inicial del complemento MPAS (Mineplan Activity Scheduler), donde se definen los periodos de planificación. En el punto uno (1), se selecciona la opción "Scheduling Period", que permite configurar los periodos en los que se realizará la secuencia del plan de minado. En este caso, se elige un periodo semanal. En el punto dos (2), se observa que el proyecto tiene como fecha de inicio el 31 de diciembre de 2018, y los periodos semanales están numerados automáticamente, con una fecha de finalización para cada semana, lo que permite organizar las actividades a lo largo de las semanas planificadas.

Figura 37.

Selección de propiedades en la configuración de MPAS

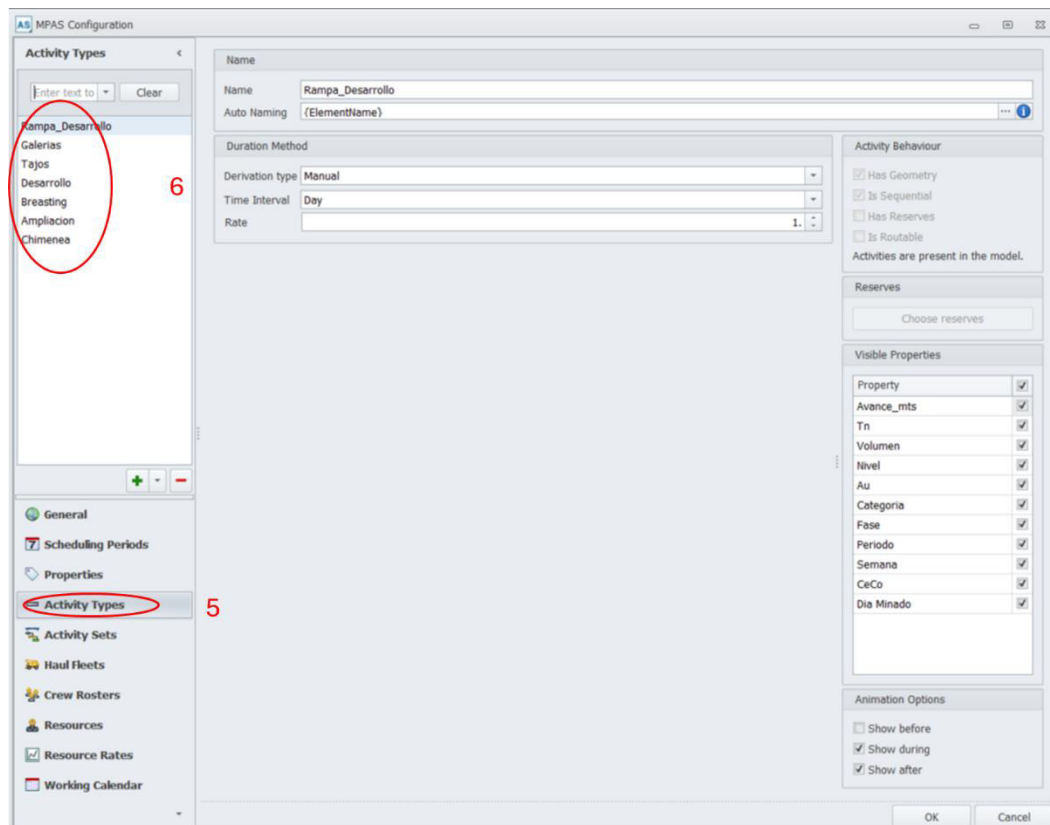


Nota. Obtenido del software Mineplan

La figura 30 muestra la configuración dentro del complemento MPAS (Mineplan Activity Scheduler), específicamente en la pestaña de "Properties". En el punto tres (3), se selecciona esta opción para definir los ítems que estarán presentes en la secuencia del plan de minado. En el punto cuatro (4), se observan los ítems seleccionados, tales como: Au (Oro), Avance_mts, Categoría, CeCo (Centro de Costos), Día de Minado, Fase, Nivel, Período, Semana, Toneladas (Tn), Volumen. Estos ítems serán utilizados para gestionar las propiedades y parámetros que influirán en la planificación y programación de las actividades mineras.

Figura 38.

Configuración de tipos de actividades en MPAS



Nota. Obtenido del software Mineplan

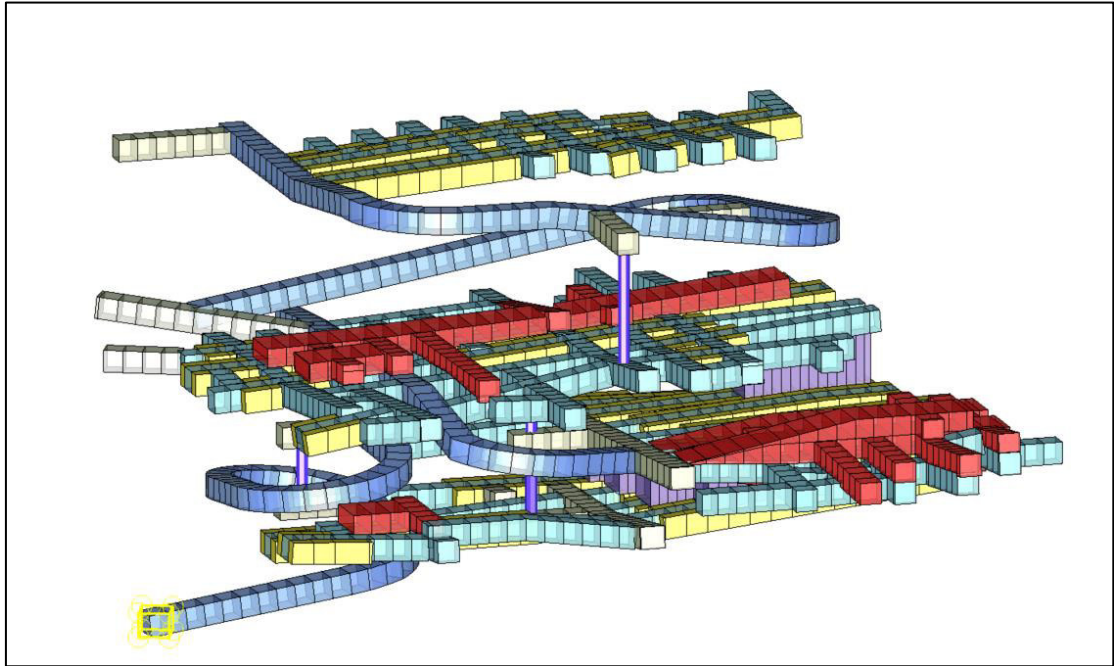
La figura 31 muestra el proceso de configuración final dentro del complemento **MPAS (Mineplan Activity Scheduler)**, específicamente en la pestaña de "**Activity Types**". En el punto cinco (5), se selecciona este ítem para asignar y definir los tipos de actividades a realizar, junto con sus duraciones y propiedades relacionadas. En el punto seis (6), se pueden observar los ítems de actividades seleccionados, que incluyen: **Rampa_Desarrollo, Galerías, Tajos, Desarrollo, Breasting, Ampliación, Chimenea**. Estas actividades serán planificadas y secuenciadas en el software, con la opción de establecer su duración en días, así como asignar las propiedades visibles como el avance en metros, toneladas (Tn), volumen, nivel, oro (Au), categoría, fase, período, semana, centro de costos (CeCo) y día de minado.

Figura 39.

Diagrama Gantt de secuencia de valores

Figura 40.

Modelo 3D del diseño de labores mineras subterráneas en la mina Santa Rosa



La figura 33 muestra un modelo tridimensional de un diseño de labores mineras subterráneas, donde se destacan distintos colores que representan diferentes estructuras dentro del plan minero. Estas estructuras incluyen rampas de acceso, galerías y tajeos, y son visualizadas en bloques, lo que facilita la interpretación del plan de desarrollo y la ubicación de los distintos niveles de explotación.

4.2. Evaluación de la optimización del avance mediante el plan implementado

4.2.1. Programa de avances

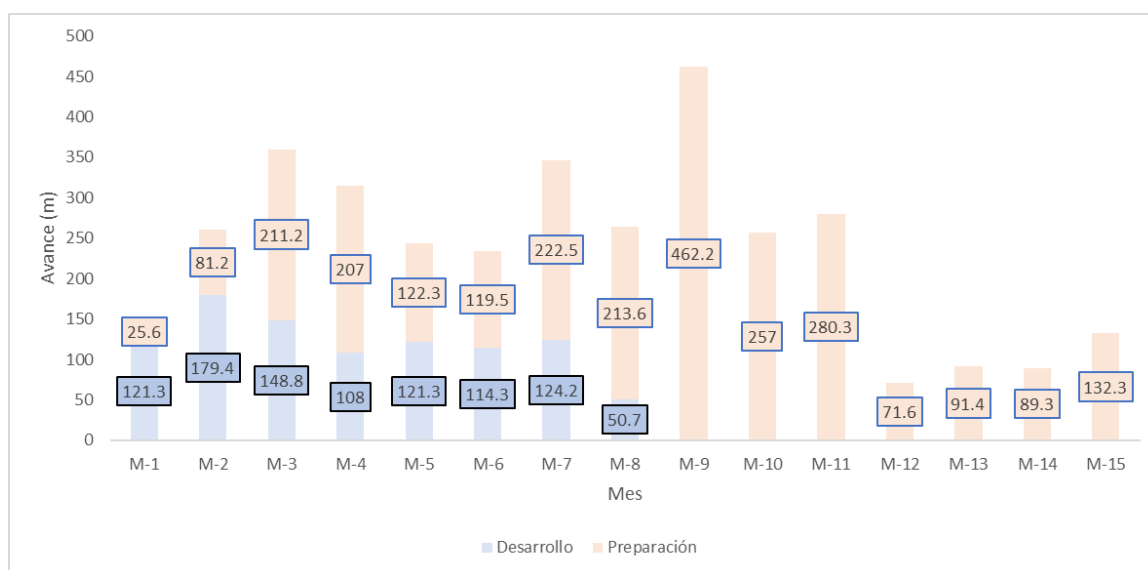
La Tabla 12 y la Figura 34 detallan los avances programados en la mina, específicamente diferenciando entre las fases de preparación y desarrollo. En la fase de preparación, se incluyen actividades como la habilitación de accesos, fortificación de galerías y acondicionamiento de áreas clave para garantizar la seguridad y eficiencia del minado. en la fase de desarrollo, se abordan tareas más avanzadas, como la excavación de nuevas galerías, instalación de servicios subterráneos y la expansión de áreas de extracción. A continuación, se muestra el programa de avances y diferencias por meses.

Tabla 12.*Plan de avances de la Mina Santa Rosa*

Fase	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11	M-12	M-13	M-14	M-15
Desarrollo (m)	121.3	179.4	148.8	108	121.3	114.3	124.2	50.7	0	0	0	0	0	0	0
Nv. 4845 (m)	121.3	179.4	10.5												
Nv. 4865 (m)			89.3												
Nv. 4885 (m)			49	108	37.3										
Nv. 4910 (m)					84	114.3	124.2	50.7							
Preparación (m)	25.6	81.2	211.2	207	122.3	119.5	222.5	213.6	462.2	219.1	280.3	5.7	91.4	89.3	132.3
Nv. 4845 (m)	25.6	68.6	92.8	52					151.3						
Nv. 4865 (m)		12.6	118.4	155	96.7					163.8	89.8			6.2	
Nv. 4885 (m)					25.6	119.5	222.5	75.4	101.6	4.5	139.7	5.7	91.4	83.1	132.3
Nv. 4910 (m)								138.2	209.3	50.8	50.8				
Total (m)	146.9	260.6	360	315	243.6	233.8	346.7	264.3	462.2	219.1	280.3	5.7	91.4	89.3	132.3

Figura 41.

Programa de avances y diferenciado por meses



La Tabla 12 y figura 41 detalla el plan de avances de la Mina Santa Rosa, desglosando el progreso en las fases de desarrollo y preparación desde el mes 01 hasta el mes 15, siendo que, durante este período, el avance en desarrollo varía cada mes, con un total de 121.3 metros en el mes 01 y finalizando en el mes 08 con 50.7 metros. Los niveles 4845, 4865, 4885 y 4910 muestran diferentes tasas de avance según las necesidades específicas de cada uno. En la fase de Preparación, se observan incrementos significativos en ciertos meses, como en el mes 03 con 211.2 metros y el mes 09 con 462.2 metros, reflejando un enfoque intensivo en la preparación para la extracción futura. El total acumulado de avance en desarrollo y preparación revela una mayor actividad en determinados meses, resaltando el esfuerzo por asegurar la continuidad y eficiencia de las operaciones mineras a lo largo del tiempo

4.2.2. Programa de producción

Se ha elaborado un programa de producción que responde a los requerimientos específicos de la planta concentradora, proporcionando un desglose detallado de las

actividades mensuales. este programa no solo especifica los volúmenes de producción, sino que también incluye el manejo y disposición del desmonte generado por los avances en la mina. Al incluir el movimiento de desmonte, el programa asegura que todas las operaciones mineras se realicen de manera eficiente y coordinada, minimizando impactos operativos y optimizando el flujo de materiales hacia la Planta Concentradora. Este enfoque integral permite alinear la capacidad de la planta con la producción minera, garantizando un equilibrio entre la extracción y el procesamiento, y asegurando el cumplimiento de los objetivos de producción establecidos. A continuación, se presenta el plan de producción de la Mina Santa Rosa.

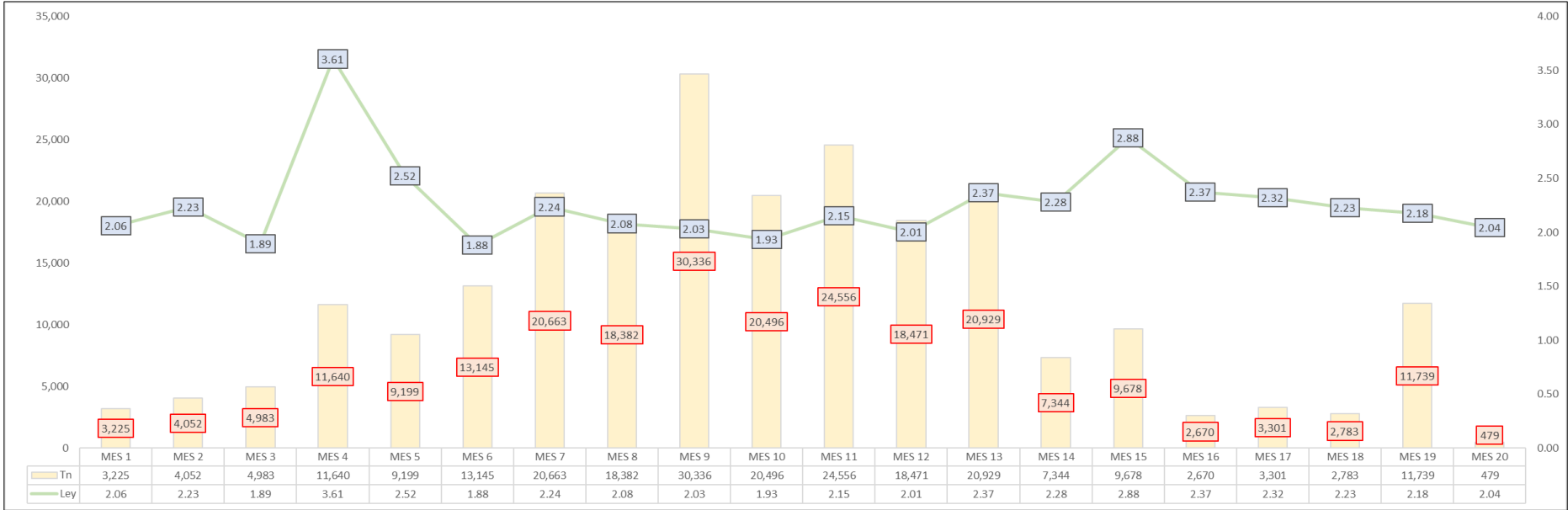
Tabla 13.

Plan de producción de mina Santa Rosa

Mes	Desmonte		Mineral				Aporte a planta		Rec. Met.
			Mineral baja ley		Mineral alta ley				
	Tn	Ley	Tn	Ley	Tn	Ley	Tn	Ley	
M-1	3,972	0.19	2,438	1.47	787	3.89	3,225	2.06	75.8%
M-2	8,712	0.46	3,014	1.46	1,039	4.49	4,052	2.23	77.4%
M-3	12,795	0.36	3,057	1.56	1,926	2.42	4,983	1.89	74.2%
M-4	6,344	0.17	4,327	1.63	7,313	4.77	11,640	3.61	82.9%
M-5	10,460	0.51	3,949	1.41	5,250	3.36	9,199	2.52	79.5%
M-6	9,822	0.22	7,364	1.38	5,781	2.52	13,145	1.88	74.0%
M-7	6,161	0.15	12,610	1.57	8,052	3.29	20,663	2.24	77.4%
M-8	3,700	0.26	8,527	1.45	9,856	2.62	18,382	2.08	76.0%
M-9	3,827	0.65	15,029	1.5	15,307	2.55	30,336	2.03	75.6%
M-10	214	0.75	11,538	1.41	8,959	2.6	20,496	1.93	74.6%
M-11			13,236	1.46	11,320	2.97	24,556	2.15	76.7%
M-12			6,262	1.61	11,209	2.21	18,471	2.01	75.3%
M-13			3,421	1.37	17,507	2.56	20,929	2.37	78.4%
M-14					7,344	2.28	7,344	2.28	77.7%
M-15					9,678	2.88	9,678	2.88	81.4%
M-16					2,670	2.37	2,670	2.37	78.5%
M-17			1,099	1.33	2,201	2.82	3,301	2.32	78.1%
M-18					2,783	2.23	2,783	2.23	77.3%
M-19					11,739	2.18	11,739	2.18	76.9%
M-20					479	2.04	479	2.04	75.7%
Total	66,008	0.34	95,871	1.48	142,199	2.74	238,070	2.23	77.4%

Figura 42.

Programa de producción y diferenciado por meses



La Tabla 13 se detalla el plan de producción de la mina Santa Rosa a lo largo de 20 meses, desglosando el desmonte, la extracción de mineral, y el aporte total de mineral a la planta concentradora, diferenciando entre mineral de baja y alta ley. A lo largo de este periodo, se extraen un total de 66,008 toneladas de desmonte con una ley promedio de 0.34 g/t de oro. En cuanto al mineral, se extraen 95,871 toneladas de baja ley (1.48 g/t) y 142,199 toneladas de alta ley (2.74 g/t), sumando un total de 238,070 toneladas enviadas a la planta con una ley promedio de 2.23 g/t. El porcentaje de recuperación metalúrgica promedio es del 77.4%, lo que refleja una eficiencia consistente en la operación.

La Figura 42 presenta el programa de producción mensual de la mina Santa Rosa, mostrando variaciones tanto en el volumen de toneladas procesadas como en la ley del mineral a lo largo de 20 meses. Se observan picos de producción en el Mes 4 (11,640 Tn) y el Mes 9 (30,336 Tn), acompañados de altas leyes en el Mes 4 (3.61 g/t) y el Mes 15 (2.88 g/t), lo que indica una extracción intensiva y estratégica en esos periodos, en ese sentido, se refleja una planificación que busca maximizar tanto el volumen de material extraído como la calidad del mineral procesado, asegurando una producción eficiente y optimizada a lo largo del tiempo.

4.2.3. Cumplimiento del programa de avances

Para llevar a cabo la prueba de hipótesis, es esencial disponer de la información sobre la producción estimada y realizada, lo que permite evaluar la capacidad del Planeamiento de Minado. Se revisarán los resultados de la producción de la Mina Santa Rosa en comparación con lo planificado a corto plazo, teniendo en cuenta los requisitos y necesidades de la Unidad Minera. Se analizarán los datos de producción en términos de tonelaje, ley y finos (Tabla 15), el programa de avances (Tabla 14), y la evaluación económica (Tabla 17)

Tabla 14.*Cuadro de cumplimiento del programa de avances de lo planificado.*

MES	AVANCES PROGRAMADO			AVANCES EJECUTADO			CUMPLIMIENTO		
	Desarrollo	Preparación	Total	Desarrollo	Preparación	Total	Desarrollo	Preparación	Total
M-1	98	0	98	33		33	27%	0%	23%
M-2	191	91	283	60	12	72	33%	15%	28%
M-3	138	161	299	16	49	65	10%	23%	18%
M-4	98	221	320	20	39	59	18%	19%	19%
M-5	102	157	259	86	101	186	71%	82%	77%
M-6	120	12	132	90	188	278	79%	157%	119%
M-7	114	294	408	119	131	250	95%	59%	72%
M-8	97	57	154	0	370	370	0%	173%	140%
M-9	12	305	318	0	410	410	0%	89%	89%
M-10	0	381	381	0	218	218	0%	85%	85%
M-11	0	218	218	77	20	97	0%	7%	35%
M-12	0	250	250	44	166	210	0%	232%	293%
M-13	0	83	83	60	102	162	0%	112%	177%
M-14	0	85	85	44	148	192	0%	166%	215%
M-15	0	79	79	4	181	185	0%	137%	140%
M-16	0	116	116	23	122	145	0%	0%	0%
M-17	0	6	6	0	112	112	0%	0%	0%
M-18			0		100	100	0%	0%	0%
M-19			0		47	47	0%	0%	0%
M-20			0		76	76	0%	0%	0%
TOTAL	971	2,517	3,488	674	2,592	3,266	70%	100%	92%

En la tabla 14 y figura 43 se muestra los avances programados y ejecutados en desarrollo y preparación a lo largo de 20 meses en un proyecto minero, reflejando un total programado de 3,488 metros, de los cuales se ejecutaron 3,266 metros. El cumplimiento total fue del 94%, con un 70% de avance en desarrollo y un 100% en preparación. Los íconos indican que en varios meses no se cumplieron los avances de desarrollo, mientras que la preparación logró superar lo planificado, evidenciando un buen desempeño general, pero con oportunidades de mejora en el área de desarrollo. A continuación, en la tabla 15 se muestra el análisis del cumplimiento del programa de producción

Figura 43.

Análisis comparativo del programa de avances mina Santa Rosa

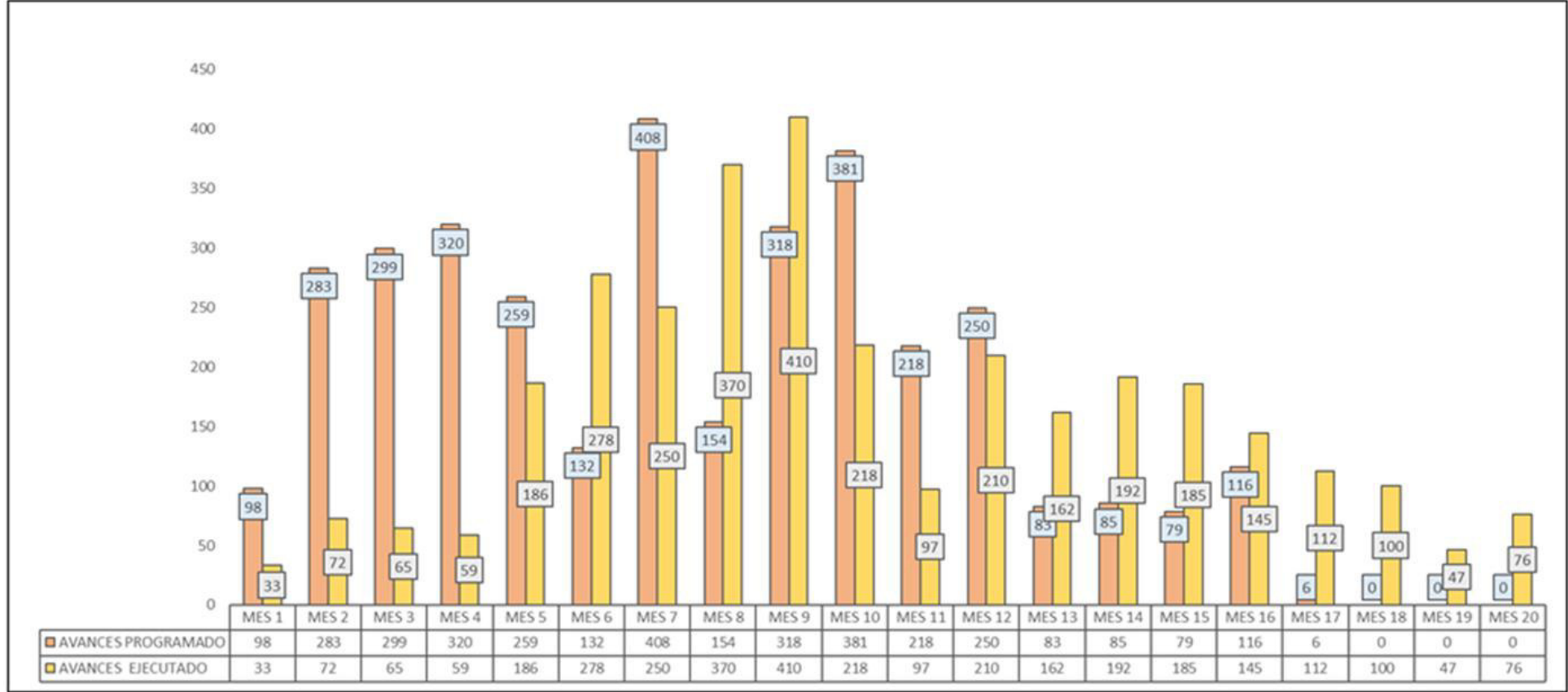


Tabla 15.

Evaluación del cumplimiento del programa de producción

MES	Programado				Ejecutado				Cumplimiento			
	APOORTE A PLANTA		Rec. Met.	Oz Recup.	APOORTE A PLANTA		Rec. Met.	Oz Recup.	APOORTE A PLANTA		Rec. Met.	Oz Recup.
	Tn	Ley			Tn	Ley			Tn	Ley		
M-1	3,225	2.06	75.8%	157	0	0.00	0.0%	0	0%	0%	0%	0%
M-2	4,052	2.23	77.4%	218	2,623	1.66	71.5%	97	65%	74%	92%	45%
M-3	4,983	1.89	74.2%	218	1,093	1.92	74.4%	49	22%	101%	100%	22%
M-4	11,640	3.61	82.9%	1,086	151	2.12	76.4%	8	1%	59%	92%	1%
M-5	9,199	2.52	79.5%	575	4,830	2.40	78.6%	284	53%	95%	99%	49%
M-6	13,145	1.88	74.0%	571	16,681	2.57	79.8%	1,066	127%	137%	108%	187%
M-7	20,663	2.24	77.4%	1,115	26,446	3.74	82.9%	2,553	128%	167%	107%	229%
M-8	18,382	2.08	76.0%	907	22,658	3.09	82.2%	1,797	123%	149%	108%	198%
M-9	30,336	2.03	75.6%	1,453	25,600	2.86	81.4%	1,861	84%	141%	108%	128%
M-10	20,496	1.93	74.6%	921	21,665	2.40	78.7%	1,277	106%	124%	106%	139%
M-11	24,556	2.15	76.7%	1,265	13,979	2.16	76.8%	724	57%	100%	100%	57%
M-12	18,471	2.01	75.3%	870	18,326	2.37	78.4%	1,063	99%	118%	104%	122%
M-13	20,929	2.37	78.4%	1,211	5,813	2.02	75.5%	277	28%	85%	96%	23%
M-14	7,344	2.28	77.7%	406	5,478	2.15	76.6%	282	75%	94%	99%	69%
M-15	9,678	2.88	81.4%	707	9,456	2.73	80.7%	651	98%	95%	99%	92%
M-16	2,670	2.37	78.5%	155	12,540	2.59	80.0%	811	470%	109%	102%	523%
M-17	3,301	2.32	78.1%	187	10,971	2.33	78.1%	622	332%	100%	100%	334%
M-18	2,783	2.23	77.3%	149	7,148	2.32	78.1%	404	257%	104%	101%	270%
M-19	11,739	2.18	76.9%	613	4,148	2.93	81.6%	309	35%	134%	106%	50%
M-20	479	2.04	75.7%	23	7,097	1.91	74.4%	315	1482%	94%	98%	1364%
M-21					17,886	2.33	78.1%	1,014	0%	0%	0%	0%
TOTAL	238,070	2.23	77.4%	12,807	234,589	2.65	80.3%	15,463	99%	118%	104%	121%

Figura 44.

Análisis comparativo del programa de producción mina Santa Rosa

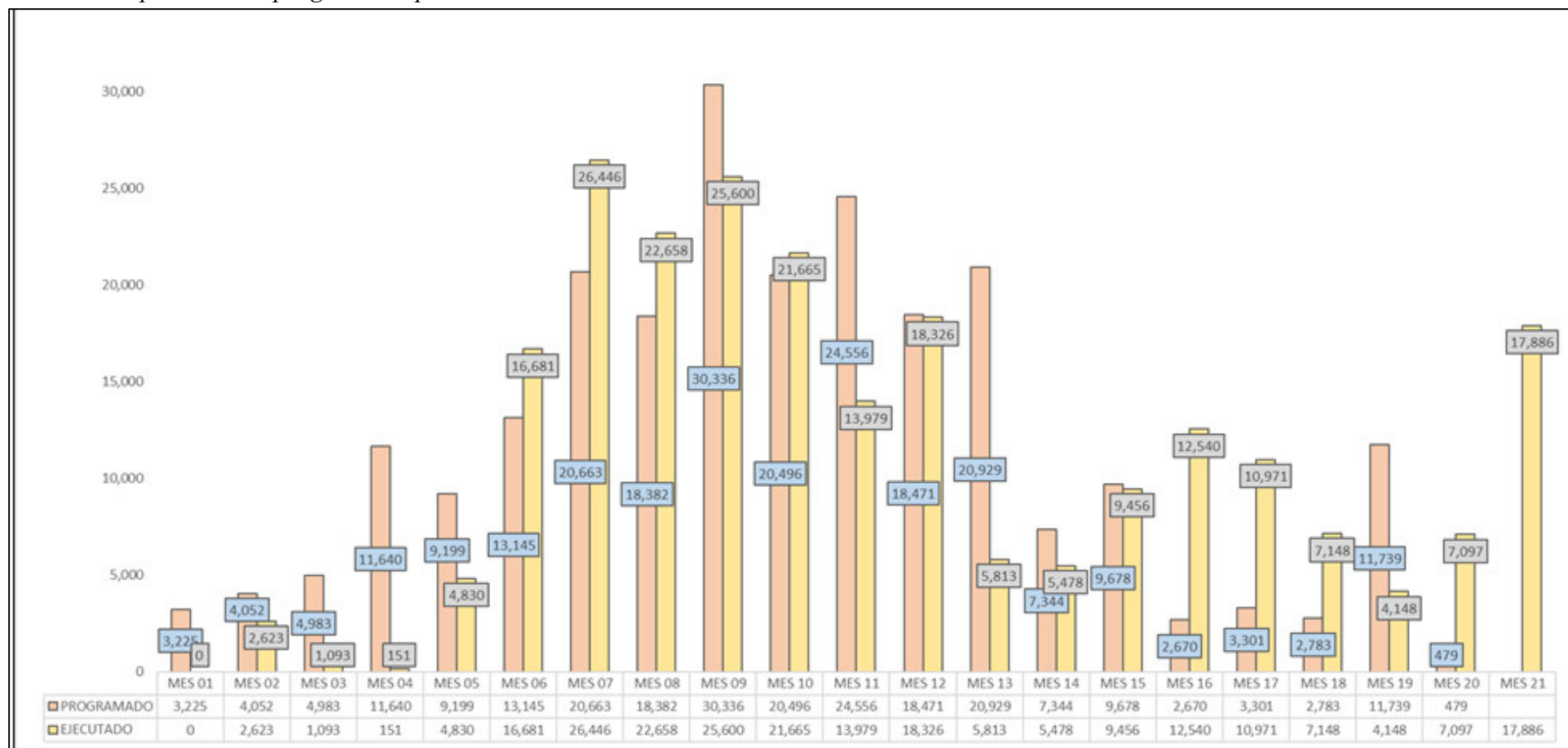
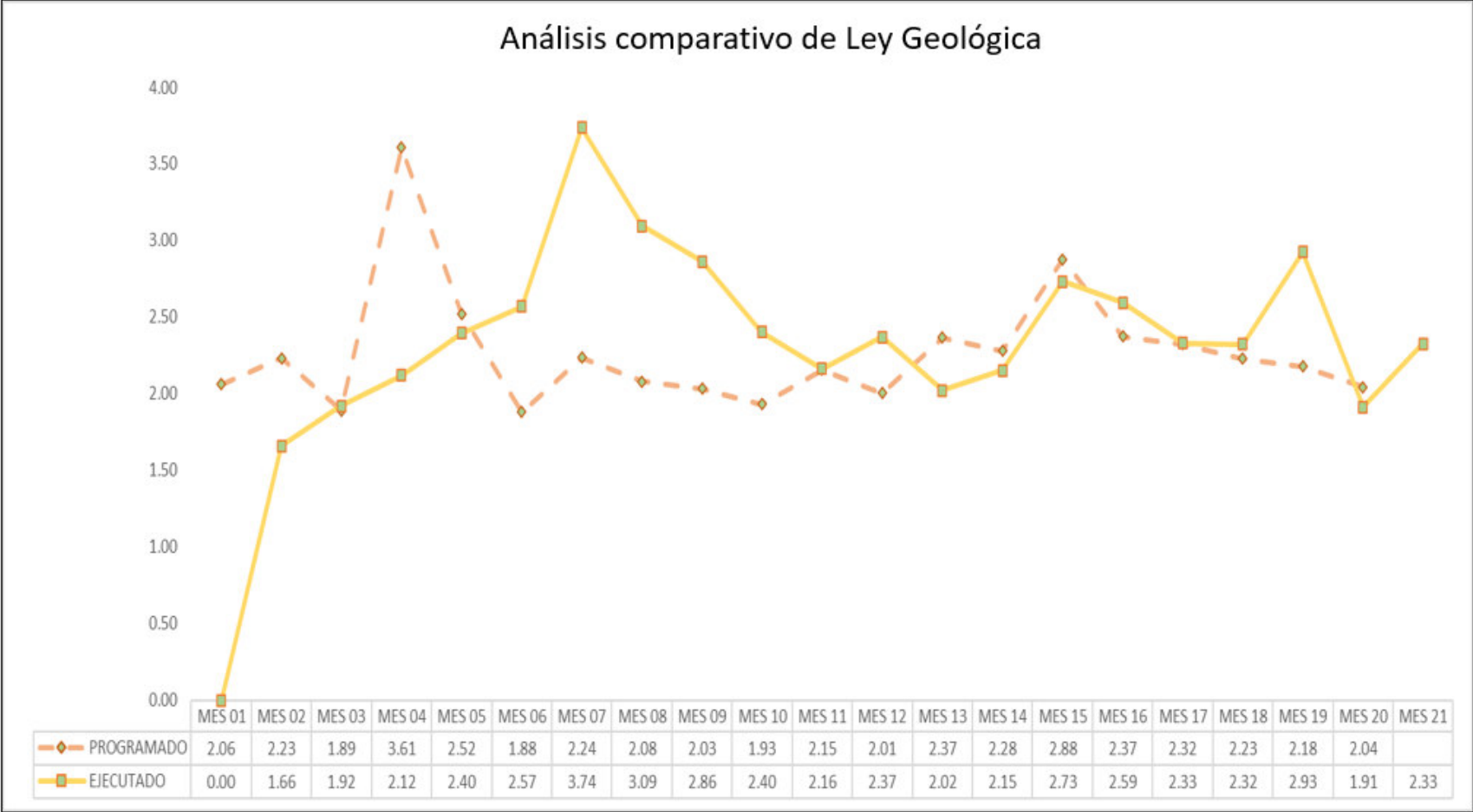


Figura 45.
Análisis comparativo de la ley geológica

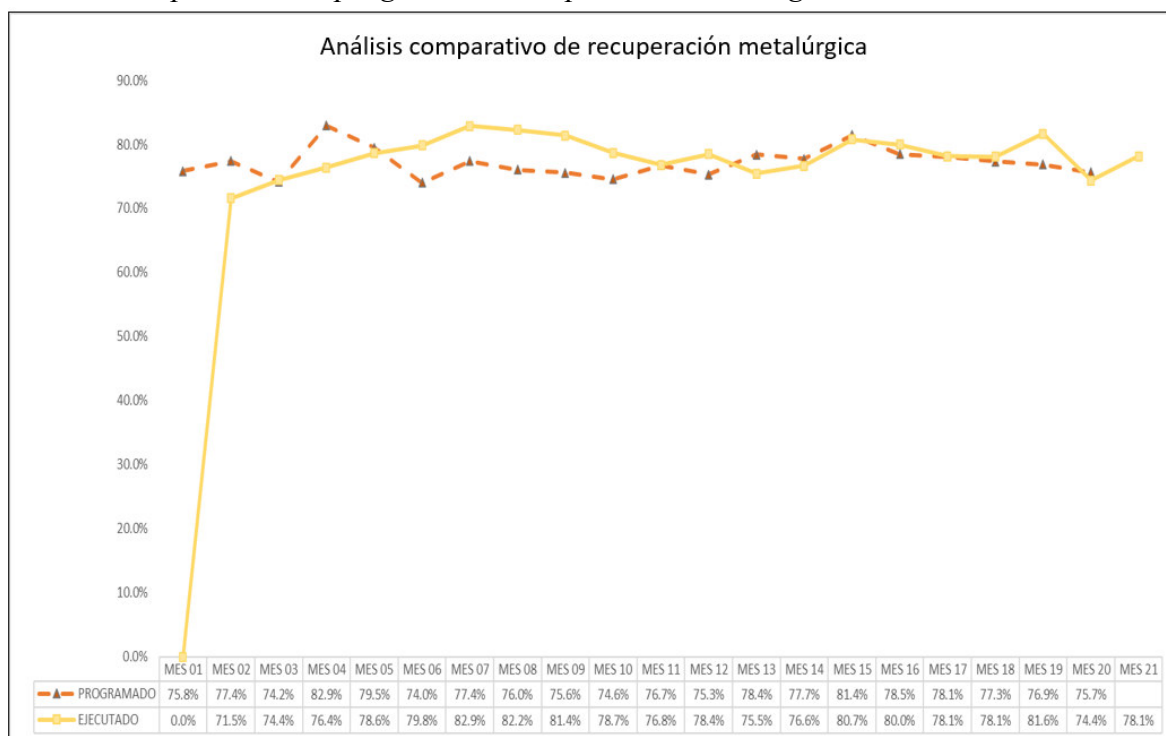


En la figura 44 muestra el cotejo entre el tonelaje programado y el tonelaje ejecutado en un periodo de 21 meses. En los primeros meses, se observa un incumplimiento significativo del tonelaje programado, especialmente en los meses 1, 2 y 4, donde la diferencia es notable. Asimismo, el análisis muestra una tendencia general de mejora en la ejecución conforme avanzan los meses, con una reducción notable de las diferencias entre lo programado y lo ejecutado hacia el final del periodo analizado.

En la figura 45 se muestra el cotejo entre los valores programados y ejecutados de la ley geológica en un periodo de 21 meses. Se observa que, en varios meses, los valores ejecutados son inferiores a los programados, especialmente en los primeros meses, como el mes 1 y 2, donde la ley geológica ejecutada no alcanza las expectativas. No obstante, a partir del mes 5, se produce una mejora considerable en los valores ejecutados, superando a lo programado en meses como el 7 y el 8.

Figura 46.

Análisis comparativo del programa de recuperación metalúrgica Mina Santa Rosa



En la figura 46 se muestra la comparación entre los valores programados y ejecutados de la recuperación metalúrgica a lo largo de 21 meses. Al inicio del periodo (mes 1), no hubo recuperación metalúrgica ejecutada, pero a partir del mes 2, los valores ejecutados comenzaron a acercarse a lo programado. Durante los siguientes meses, ambos valores se mantienen relativamente cercanos, con pequeñas fluctuaciones. En algunos momentos, como en los meses 7, 8, y 15, la recuperación ejecutada supera ligeramente a lo programado. Sin embargo, en la mayoría de los meses, la recuperación ejecutada se mantiene por debajo de lo programado, pero las diferencias son mínimas. Hacia el final del periodo, ambos indicadores muestran una tendencia estable, con valores entre el 74% y el 82%, lo que sugiere una mejora en el control y la estabilidad del proceso de recuperación metalúrgica.

Tabla 16.*Análisis del cumplimiento de las variables económicas*

Mes	Programado			Ejecutado			Cumplimiento		
	Ingresos	Costos	Utilidad Neta	Ingresos	Costos	Utilidad Neta	Ingresos	Costos	Utilidad Neta
M-1	270,376	281,216	(10,840)	–	10,202	(10,202)	0%	4%	94%
M-2	375,649	351,981	23,668	156,253	179,457	(23,203)	42%	51%	-98%
M-3	375,306	415,276	(39,970)	77,762	87,703	(9,940)	21%	21%	25%
M-4	1,867,679	890,777	976,902	12,517	26,656	(14,139)	1%	3%	-1%
M-5	990,041	726,308	263,733	502,956	365,977	136,980	51%	50%	52%
M-6	981,681	946,272	35,409	1,756,237	1,197,208	559,029	179%	127%	1579%
M-7	1,919,201	1,489,201	430,001	4,314,005	1,880,776	2,433,229	225%	126%	566%
M-8	1,559,939	1,260,898	299,041	3,039,205	1,624,993	1,414,212	195%	129%	473%
M-9	2,500,237	2,074,833	425,404	3,040,802	1,839,878	1,200,924	122%	89%	282%
M-10	1,584,344	1,463,736	120,608	2,119,229	1,556,724	562,505	134%	106%	466%
M-11	2,177,180	1,692,976	484,204	1,195,916	1,008,504	187,412	55%	60%	39%
M-12	1,496,082	1,346,093	149,989	1,807,347	1,285,544	521,803	121%	96%	348%
M-13	2,082,761	1,513,584	569,177	462,168	419,161	43,007	22%	28%	8%
M-14	697,880	528,214	169,665	497,844	412,265	85,579	71%	78%	50%
M-15	1,216,608	691,258	525,350	1,182,126	665,288	516,838	97%	96%	98%
M-16	266,750	234,642	32,108	1,442,573	876,798	565,775	541%	374%	1762%
M-17	321,026	250,689	70,337	1,069,841	812,417	257,424	333%	324%	366%
M-18	257,129	205,822	51,307	679,090	507,460	171,631	264%	247%	335%
M-19	1,054,615	881,891	172,724	511,990	282,581	229,409	49%	32%	133%
M-20	39,726	35,841	3,886	505,689	477,547	28,142	1273%	1332%	724%
M-21				1,588,674	1,249,529	339,146	0%	0%	0%
TOTAL	22,034,211	17,281,507	4,752,704	25,962,225	16,766,666	9,195,559	118%	97%	193%

La tabla 16 se muestra un análisis del cumplimiento de las variables económicas a lo largo de 21 meses, comparando los valores programados con los valores ejecutados de ingresos, costos, utilidades y rentabilidad. Se observa que, en los primeros meses, el cumplimiento es bajo, especialmente en términos de ingresos y utilidades, con rentabilidades negativas en algunos meses. Sin embargo, a partir del mes 5, los valores ejecutados comienzan a superar los programados, particularmente en los meses 6 a 8, donde las utilidades y la rentabilidad muestran incrementos significativos en comparación con lo planificado. En meses como el 6, 7 y 8, se alcanzan incrementos notables, con rentabilidades ejecutadas que superan el 100%. En el total acumulado, los ingresos ejecutados son un 18% superiores a los programados, mientras que la utilidad presenta un cumplimiento mayor, con un 193%, respecto a los costos se ejecutó menos de lo programado.

4.3. Evaluación económica del plan de optimización

Parte fundamental del proceso de valoración y validación del Plan de Minado, es imprescindible realizar una evaluación económica. Este análisis permitirá determinar si el plan actual es económicamente viable o requiere modificar o rediseñar el enfoque de minado para mejorar su rentabilidad, siendo a considerar las variables:

Precio del Oro: Se establece un precio de referencia de 1,850 \$/oz para la comercialización del oro, acorde con las tendencias actuales del mercado.

Tasa de Descuento: Aplicar un 15% anual para ajustar el valor del dinero en el tiempo, incorporando el costo asociado al uso del capital y el riesgo relativo al proyecto. La tasa de descuento a usar será de 1.17 % mensual, debido al periodo de tiempo que abarca el proyecto.

Recuperación Metalúrgica: La recuperación metalúrgica del mineral extraído se calculará en función de la ley geológica, utilizando la siguiente ecuación:

$$y = \frac{-3.1251x^2 + 22.316x + 43.105}{100}$$

Donde:

“x” es la ley geológica,

“y” es la recuperación metalúrgica.

Depreciación: El valor de la depreciación, es el costo total de la inversión dividido proporcionalmente en los 20 meses de duración del proyecto.

Participación de Trabajadores: Por la normativa peruana, la participación de trabajadores corresponde, al 8% de la utilidad operativa.

IEM: El IEM se determinará trimestralmente, aplicando sobre la utilidad operativa trimestral de los sujetos de la actividad minera, la tasa efectiva conforme a lo señalado en el Anexo de la Ley. Esta tasa es establecida en función al margen operativo del trimestre.

Impuesto a la Renta: Por la normativa peruana, la participación de trabajadores corresponde, al 29.5 % de la utilidad operativa.

Costos Directos: Se refiere a los costos de minado, los cuales incluye explotación, sostenimiento, transporte, servicios. Los cuales se detallan en la tabla 17.

Costos Indirectos: Se refiere a los costos ajenos al minado, costos administrativos, energía, tratamiento en planta, off site, comercialización y laboratorio químico. Los cuales se detallan en la tabla 18.

Costos Fijos: Se refiere son aquellos gastos que no varían con el nivel de producción. Se incurre en ellos independientemente de si se extrae o no mineral. Los cuales se detallan en la tabla 19.

Tabla 17.

Evaluación de los costos directos programados.

AVANCES																					
ITEM	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11	M-12	M-13	M-14	M-15	M-16	M-17	M-18	M-19	M-20	TOTAL
Preparación	26	81	211	207	122	120	223	214	462	257	280	72	91	89	132						2,587
Desarrollo	121	179	149	108	121	114	124	51													968
Total	147	261	360	315	244	234	347	264	462	257	280	72	91	89	132						3,555
COSTO SOSTENIMIENTO AVANCES (PERNOS / MALLA)																					
Preparación	2,558	8,115	21,106	20,687	12,222	11,942	22,236	21,346	46,190	25,683	28,012	7,155	9,134	8,924	13,221						258,533
Desarrollo	14,972	22,144	18,367	13,331	14,972	14,108	15,330	6,258													119,483
Total	17,531	30,259	39,473	34,017	27,194	26,051	37,566	27,604	46,190	25,683	28,012	7,155	9,134	8,924	13,221						378,016
COSTO SERVICIO (CISTERNA / TELEHANDER / INSTALACIONES)																					
Preparación	4,706	14,928	38,828	38,056	22,484	21,969	40,906	39,269	84,973	47,248	51,532	13,163	16,803	16,417	24,323						475,607
Desarrollo	22,300	32,982	27,356	19,855	22,300	21,013	22,834	9,321													177,962
Total	27,007	47,910	66,184	57,911	44,785	42,983	63,739	48,590	84,973	47,248	51,532	13,163	16,803	16,417	24,323						653,569
ROTURA																					
ITEM	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11	M-12	M-13	M-14	M-15	M-16	M-17	M-18	M-19	M-20	TOTAL
Breasting										1,645		4,627	10,530	3,015	3,324	2,670	3,301	2,120	11,739	479	43,449
Ampliación Desm.				2,640	3,607	3,723				214											10,184
Ampliación Min					4,206	5,592			661	6,481	11,088	2,446						663			31,138
Tal. Largos						2,238	9,680	9,345	11,243			7,955	5,993								46,454
Total				2,640	7,814	11,552	9,680	9,345	11,904	8,340	11,088	15,029	16,523	3,015	3,324	2,670	3,301	2,783	11,739	479	77,592
COSTO ROTURA																					
Breasting										8,686		24,431	55,596	15,917	17,550	14,099	17,428	11,191	61,984	2,528	229,411
Ampliación Desm.				13,359	18,254	18,837				1,083											51,533
Ampliación Min					21,284	28,293			3,343	32,795	56,107	12,378						3,356			157,556
Tal. Largos						8,660	37,461	36,163	43,512			30,787	23,194								179,777
Total				13,359	39,537	55,790	37,461	36,163	46,855	42,563	56,107	67,596	78,790	15,917	17,550	14,099	17,428	14,547	61,984	2,528	618,278
COSTO SOSTENIMIENTO ROTURA (PERNOS / MALLA)																					
Breasting										10,013		28,165	64,093	18,350	20,232	16,254	20,092	12,902	71,458	2,914	264,473
Ampliación Desm.				2,596	3,548	3,661				210											10,016
Ampliación Min					4,137	5,499			650	6,374	10,905	2,406						652			30,621
Tal. Largos						1,683	7,281	7,028	8,457			5,984	4,508								34,940
Total				2,596	7,684	10,843	7,281	7,028	9,106	16,597	10,905	36,554	68,601	18,350	20,232	16,254	20,092	13,554	71,458	2,914	340,050
MATERIAL A MOVER																					
ITEM	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11	M-12	M-13	M-14	M-15	M-16	M-17	M-18	M-19	M-20	TOTAL
Desmante	3,972	8,712	12,795	6,344	10,460	9,822	6,161	3,700	3,827	214											66,008
Mineral	3,225	4,052	4,983	11,640	9,199	13,145	20,663	18,382	30,336	20,496	24,556	18,471	20,929	7,344	9,678	2,670	3,301	2,783	11,739	479	238,070
Total	7,197	12,764	17,778	17,984	19,659	22,967	26,823	22,083	34,163	20,710	24,556	18,471	20,929	7,344	9,678	2,670	3,301	2,783	21,718,001	885,762	304,077
COSTO TRANSPORTE																					
Desmante	3,853	8,450	12,412	6,154	10,146	9,527	5,976	3,589	3,713	208											64,028
Mineral	6,450	8,105	9,966	23,280	18,398	26,289	41,326	36,764	60,672	40,993	49,112	36,943	41,857	14,687	19,355	5,341	6,602	5,566	23,479	958	476,139
Total	10,302	16,555	22,377	29,434	28,544	35,817	47,301	40,354	64,384	41,200	49,112	36,943	41,857	14,687	19,355	5,341	6,602	5,566	23,479	958	540,167
COSTOS DIRECTOS																					
ITEM	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11	M-12	M-13	M-14	M-15	M-16	M-17	M-18	M-19	M-20	TOTAL
Costo Rotura				13,359	39,537	55,790	37,461	36,163	46,855	42,563	56,107	67,596	78,790	15,917	17,550	14,099	17,428	14,547	61,984	2,528	618,278
Costo Sostenimiento	17,531	30,259	39,473	36,614	34,879	36,894	44,847	34,633	55,297	42,281	38,916	43,709	77,735	27,274	33,454	16,254	20,092	13,554	71,458	2,914	718,066
Costo Servicios	27,007	47,910	66,184	57,911	44,785	42,983	63,739	48,590	84,973	47,248	51,532	13,163	16,803	16,417	24,323						653,569
Costo Transporte	10,302	16,555	22,377	29,434	28,544	35,817	47,301	40,354	64,384	41,200	49,112	36,943	41,857	14,687	19,355	5,341	6,602	5,566	23,479	958	540,167
Total	54,840	94,723	128,035	137,318	147,745	171,483	193,349	159,740	251,509	173,292	195,668	161,411	215,186	74,296	94,682	35,694	44,122	33,667	156,921	6,400	2,530,079

Los precios unitarios que se utilizaron para el cálculo de los costos son los siguientes:

Tabla 18.

Precios unitarios de los costos directos

ITEM	US\$	Unid
Avance 4.0 x 4.0	419.19	\$/mts
Avance 4.5 x 4.0	435.25	\$/mts
Ampliación	5.06	\$/Tn
Breasting	5.28	\$/Tn
Banqueo	3.87	\$/Tn
Inst. Split Set 7,	14.8	\$/perno
Inst. Swellex 7,	21	\$/perno
Inst. Split Set 1,	3.32	\$/perno
Inst. Malla Electrosoldada	5.19	\$/m2 de malla
Costo Cisterna	26.88	\$/ hr
Costo Telehandler	60	\$/ hr
Costo Instalaciones	280.81	\$/mts
Costo Transporte Mineral	0.97	\$/ km-Tn
Costo Transporte Desmonte	2.00	\$/ km-Tn

Tabla 19.

Kpis de sostenimiento.

KPI- DESARROLLO		
Item	Unid	Valor
Split Set 7,	perno/mL	6.4
Swellex 7,	perno/mL	6.4
Malla electrosoldada	M2/mL	11.12
Split Set 1,	mini/m2-malla	0.15
KPI- AMPLIACION		
Ítem	Unid	Valor
Split Set 7,	perno/Tn	0.01
Swellex 7,	perno/Tn	0.01
Malla electrosoldada	M2/Tn	0.11
Split Set 1,	mini/Tn	0.04
KPI- PREPARACION		
Ítem	Unid	Valor
Split Set 7,	perno/mL	5.2
Swellex 7,	perno/mL	5.2
Malla electrosoldada	M2/mL	5.81
Split Set 1,	mini/m2-malla	0.16
KPI- BREASTING		

Ítem	Unid	Valor
Split Set 7,	perno/Tn	0.06
Swellex 7,	perno/Tn	0.06
Malla electrosoldada	M2/Tn	0.52
Split Set 1,	mini/Tn	0.02

Tabla 20.

Kpis para el cálculo de los costos indirectos.

ACTIVIDADES	US\$	Unid
Costo Soporte Administrativo	6.10	\$/TMS
Tratamiento en Planta	10.80	\$/TMS
Energía	6.70	\$/TMS
Procesamiento Off Site	20.93	\$/oz
Comercialización	52.94	\$/oz
Laboratorio	1.76	\$/TMS

Tabla 21.

Kpis para el cálculo de los costos fijos

ACTIVIDADES	P.U.	Unid
G&A mine site	16.14	\$/Tn
Costos corporativos	0.01	\$/Tn
Gastos financieros	5.42	\$/Tn
Depreciación	11.42	\$/Tn
Costos de cierre	0.50	\$/Tn

Con todos estos datos, se realiza la evaluación económica la cual se detalla en la tabla 23.

Tabla 22.

Evaluación de los costos indirectos y fijos programados.

COSTOS INDIRECTOS																					
ITEM	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11	M-12	M-13	M-14	M-15	M-16	M-17	M-18	M-19	M-20	TOTAL
Costo Soporte Administrativo (\$/TMS)	19,082	23,976	29,484	68,874	54,430	77,779	122,263	108,766	179,498	75	98	93	37	4	5	98	2	67	0	4	66
Tratamiento en Planta (\$/TMS)	33,785	42,449	52,202	121,941	96,369	137,707	216,466	192,570	317,800	214,716	257,249	193,502	219,252	76,936	101,387	27,971	34,581	29,155	122,978	5,018	2,494,032
Energía (\$/TMS)	20,959	26,334	32,385	75,648	59,784	85,429	134,289	119,465	197,154	133,204	159,589	120,043	136,018	47,729	62,897	17,352	21,453	18,087	76,292	3,113	1,547,223
Procesamiento Off Site (\$/oz)	3,287	4,565	4,561	22,738	12,029	11,937	23,384	18,967		19,262	26,432	18,248	25,383		14,809	3,242		3,131	12,845		268,088
Comercialización (\$/oz)		10,73	10,73	53,488	28,299	28,077	55,004	44,617	30,388	45,312	62,172	42,928	59,703	19,978	34,839	7,622	3,904	7,361	30,215	1,13483	630,631
Laboratorio (\$/TMS)	7,732	9	0	19,878	15,709	22,447	35,274	31,387		34,992	41,922	31,538	35,733	12,538	16,522	4,558		4,751	20,041		406,435
Total	90,351	114,980	137,869	362,559	266,614	363,372	586,683	515,766	848,113	568,757	692,665	515,545	599,929	209,125	287,717	76,549	94,290	78,957	331,832	13,402	6,755,075

COSTOS FIJOS																					
ITEM	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11	M-12	M-13	M-14	M-15	M-16	M-17	M-18	M-19	M-20	TOTAL
G&A Mine Site	52,052	65,399	80,426	187,870	148,472	212,160	333,501	296,685	489,623	330,805	396,334	298,122	337,794	118,532	156,203	43,094	53,278	44,918	189,467	7,731	3,842,466
Costos Corporativos	32	40	49	115	91	130	205	182	301	203	244	183	208	73	96	26	33	28	116	5	2,361
Gastos Financieros	17,470	21,949	26,993	63,053	49,830	71,206	111,930	99,574		111,026	133,018	100,056	113,371	39,782	52,425	14,463	17,881	15,075	63,589	2,595	1,289,617
Depreciación	36,828	46,277	56,904	132,928	105,052	150,113	235,970	209,926	346,437	234,069	280,432	210,943	239,005	83,864	110,518	30,495	37,696	31,780	134,065	5,468	2,718,769
Costos de cierre							10,38			10,30	12,34		10,51			1,34		1,39			
	1,621	2,036	2,504	5,850	4,623	6,606	4	9,238	15,246	0	1	9,283	8	3,691	4,864	2	1,659	9	5,900	241	119,645
Total	108,002	135,702	166,876	389,816	308,069	440,216	691,991	615,606	1,015,935	686,404	822,369	618,588	700,896	245,942	324,106	89,420	110,547	93,199	393,138	16,039	7,972,858

Tabla 23.
Evaluación económica del plan de minado en la Mina Santa Rosa.

		M-0	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11	M-12	M-13	M-14	M-15	M-16	M-17	M-18	M-19	M-20	Total
Precios y deducciones																							
Oro	US\$/Oz	1,850	1,850	1,850	1,850	1,850	1,850	1,850	1,850	1,850	1,850	1,850	1,850	1,850	1,850	1,850	1,850	1,850	1,850	1,850	1,850	1,850	1,850
Pagables		93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%
Recuperación Metalúrgica																							
Oro	%	0.0%	75.8%	77.4%	74.2%	82.9%	79.5%	74.0%	77.4%	76.0%	75.6%	74.6%	76.7%	75.3%	78.4%	77.7%	81.4%	78.5%	78.1%	77.3%	76.9%	75.7%	77.4%
ITEM	Units	M-0	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11	M-12	M-13	M-14	M-15	M-16	M-17	M-18	M-19	M-20	Total
Mineral	TMS	-	3,225	4,052	4,983	11,640	9,199	13,145	20,663	18,382	30,336	20,496	24,556	18,471	20,929	7,344	9,678	2,670	3,301	2,783	11,739	479	238,070
Ley de Oro	gpt	-	2.06	2.23	1.89	3.61	2.52	1.88	2.24	2.08	2.03	1.93	2.15	2.01	2.37	2.28	2.88	2.37	2.32	2.23	2.18	2.04	2.23
Producción de Oro	Onzas	-	157	218	218	1,086	575	571	1,115	907	1,453	921	1,265	870	1,211	406	707	155	187	149	613	23	12,807
VENTAS	US\$	–	270,376	375,649	375,306	1,867,679	990,041	981,681	1,919,201	1,559,939	2,500,237	1,584,344	2,177,180	1,496,082	2,082,761	697,880	1,216,608	266,750	321,026	257,129	1,054,615	39,726	22,034,211
Ventas	US\$/TMS	–	270,376	375,649	375,306	1,867,679	990,041	981,681	1,919,201	1,559,939	2,500,237	1,584,344	2,177,180	1,496,082	2,082,761	697,880	1,216,608	266,750	321,026	257,129	1,054,615	39,726	22,034,211
COSTOS	US\$	–	(316,720)	(345,405)	(432,779)	(889,693)	(722,428)	(975,071)	(1,472,023)	(1,291,112)	(2,115,557)	(1,428,453)	(1,710,702)	(1,295,543)	(1,516,011)	(529,362)	(706,504)	(201,663)	(248,959)	(205,822)	(881,891)	(35,841)	(17,321,539)
Directo	US\$	–	118,367	94,723	128,035	137,318	147,745	171,483	193,349	159,740	251,509	173,292	195,668	161,411	215,186	74,296	94,682	35,694	44,122	33,667	156,921	6,400	2,593,606
Indirecto	US\$	–	90,351	114,980	137,869	362,559	266,614	363,372	586,683	515,766	848,113	568,757	692,665	515,545	599,929	209,125	287,717	76,549	94,290	78,957	331,832	13,402	6,755,075
Fijos	US\$	–	108,002	135,702	166,876	389,816	308,069	440,216	691,991	615,606	1,015,935	686,404	822,369	618,588	700,896	245,942	324,106	89,420	110,547	93,199	393,138	16,039	7,972,858
UTILIDAD NETA	US\$	–	(46,344)	30,243	(57,473)	977,987	267,613	6,610	447,179	268,827	384,680	155,891	466,478	200,539	566,750	168,517	510,104	65,087	72,068	51,307	172,724	3,886	4,752,704
Depreciación	US\$	–	(52,749)	(52,749)	(52,749)	(52,749)	(52,749)	(52,749)	(52,749)	(52,749)	(52,749)	(52,749)	(52,749)	(52,749)	(52,749)	(52,749)	(52,749)	(52,749)	(52,749)	(52,749)	(52,749)	(52,749)	(1,054,975)
Part.Trabajadores	US\$	–	–	–	–	(74,019)	(17,189)	–	(31,554)	(17,286)	(26,555)	(8,251)	(33,098)	(11,823)	(41,120)	(9,261)	(36,588)	(987)	(1,546)	–	(9,598)	–	(317,712)
Regalías Mineras	US\$	–	–	–	–	(28,771)	(3,084)	–	(5,479)	(2,306)	(3,481)	(949)	(5,443)	(1,360)	(8,323)	(1,353)	(10,856)	(114)	(178)	–	(1,137)	–	(73,743)
IEM	US\$	–	–	–	–	(26,401)	(4,456)	–	(8,077)	(4,087)	(6,249)	(1,879)	(8,329)	(2,692)	(11,103)	(2,250)	(11,519)	(225)	(352)	–	(2,196)	–	(90,064)
Impuesto Renta	US\$	–	–	–	–	(234,834)	(56,090)	–	(103,049)	(56,758)	(87,216)	(27,159)	(108,223)	(38,915)	(133,769)	(30,357)	(117,526)	(3,249)	(5,087)	–	(31,578)	–	(1,029,516)
UTILIDAD BRUTA	US\$	–	(99,093)	(22,506)	(110,222)	561,213	134,045	(46,139)	246,270	135,641	208,431	64,904	258,635	93,000	319,686	72,547	280,867	7,764	12,157	(1,442)	75,467	(48,863)	2,158,181
Depreciación	US\$	–	52,749	52,749	52,749	52,749	52,749	52,749	52,749	52,749	52,749	52,749	52,749	52,749	52,749	52,749	52,749	52,749	52,749	52,749	52,749	52,749	1,083,487
Inversión	US\$	(1,054,975)	(42,533)	(83,321)	(60,210)	(42,832)	(44,303)	(52,033)	(49,699)	(42,264)	(5,418)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	(422,614)
Flujo de Caja	US\$	(1,054,975)	(88,877)	(53,078)	(117,683)	571,130	142,490	(45,423)	249,319	146,126	255,761	117,653	311,384	145,749	372,435	125,296	333,616	60,513	64,906	51,307	128,215	3,886	1,764,080
Flujo de Caja descontado	US\$	(1,054,975)	(87,848)	(51,856)	(113,642)	545,133	134,430	(42,357)	229,799	133,126	230,309	104,718	273,941	126,738	320,106	106,445	280,139	50,225	53,247	41,603	102,763	3,078	
Flujo de Caja Acumulado	US\$	(1,054,975)	(1,142,823)	(1,194,679)	(1,308,321)	(763,188)	(628,758)	(671,115)	(441,316)	(308,190)	(77,881)	26,837	300,778	427,516	747,623	854,067	1,134,207	1,184,431	1,237,678	1,279,282	1,382,044	1,385,122	

Los indicadores económicos son los siguientes:

Tabla 24.

Indicadores de la evaluación económica

Indicador	Unidad	Valor
VAN 15%	US\$	1,385,122
TIR	%	202.3%
Payback sin descontar	Mes	9.0
Payback descontar	Mes	9.7

La Tabla 24 muestra los resultados de la evaluación económica del proyecto en la mina Santa Rosa. El VAN con una tasa de descuento del 15% es de 1,385,122 USD, lo que sugiere que el proyecto es económicamente viable, dado que el VAN es positivo. El TIR es del 202.3%, indicando una alta rentabilidad en relación con la inversión realizada. El payback sin descontar es de 9.0 meses, mientras que el payback descontado es 9.7 meses, lo que significa que el tiempo necesario para recuperar la inversión es relativamente corto, incluso teniendo en cuenta el valor del dinero en el tiempo. A continuación, se presenta el análisis de sensibilidad:

Tabla 25.

Análisis de sensibilidad

Tipo	Probabilidad	VAN (US\$)	TIR
Optimista	25%	1,689,263.75	269.25%
Probable	50%	1,385,122.00	202.3%
Pesimista	25%	1,013,558.25	161.55%
EMV		844,631.88	134.63%

La Tabla 25 evalúa tres escenarios económicos para el proyecto minero: optimista, probable y pesimista, con probabilidades del 25%, 50% y 25%, respectivamente. En el escenario optimista, el VAN es US\$ 1,689,263.75 y la TIR es del 269.25%, mientras que, en el escenario probable, el VAN es US\$ 1,385,122.00 y la TIR del 202.30%. En el escenario pesimista, el VAN es de US\$ 1,013,558.25 y la TIR es del 161.55%. El Valor Esperado Monetario (EMV) es US\$ 844,631.88, con una TIR de 134.63%, lo que indica

que, incluso bajo escenarios menos favorables, el proyecto sigue siendo rentable y económicamente viable.

Al examinar la Tabla 23, se obtiene lo siguiente:

Tonelaje Total: 238, 070 Tn.

Ley Geológica Promedio: 2.23 g/t de oro.

Onzas Producidas: 12, 807 Oz Au.

Ingresos: 22,034, 211 \$.

Costos: 17,281, 507 \$.

Utilidad Neta: 4,752,704 \$.

Valor Presente Neto: 1,431,996 \$

Tasa Interna de Retorno: 220.6%.

Pay Back: 8.6 meses

4.4. Prueba de hipótesis

Los datos expuestos en la Tabla 15 revelan que la producción realizada alcanzó el 99% de lo planificado. Esto evidencia que el PM a Corto Plazo favorece la optimización de la producción. Además, la Tabla 16 refleja un cumplimiento de utilidad neta del 193%, lo que confirma que el PM garantiza la rentabilidad económica. En consecuencia, se puede concluir que la hipótesis ha sido validada.

4.5. Discusión de resultados

El planeamiento de minado realizado en la mina Santa Rosa, perteneciente a la Unidad Minera Untuca, alcanzó resultados óptimos en términos de producción, leyes, generación de finos y rentabilidad económica. A pesar de que la producción planificada era de 238,070 toneladas, la producción real alcanzó las 234,589 toneladas, representando un margen de error del 1% por debajo de lo programado. Este pequeño desvío en la producción no impidió que se lograran mejores leyes geológicas, lo que a su vez contribuyó a una mayor producción de finos, impactando positivamente en las utilidades obtenidas.

Los resultados de este estudio coinciden con hallazgos de investigaciones previas en el área.

Bautista (2017) destaca que un planeamiento enfocado en incrementar la producción conduce a resultados óptimos, incrementando los niveles de extracción y resaltando la importancia de la perforación diamantina para extender la vida útil de la mina. Ticllasuca (2019) demostró que, en un período limitado, el planeamiento de mina genera una contribución superior al 3% de lo planteado, además de lograr una reducción en los costos y un aumento en la producción de finos de oro y plata. Asimismo, Gaimés (2019) subraya que la optimización del ciclo de operación incrementa la productividad de la unidad minera, mejorando significativamente la eficiencia operativa.

Estos hallazgos refuerzan la importancia del planeamiento estratégico en la minería subterránea para maximizar la rentabilidad y prolongar la vida útil de la mina mediante mejoras en las operaciones y la optimización de los recursos disponibles.

CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un plan de minado subterráneo que maximizó la eficiencia en la extracción de minerales, debido a que se mejoró la eficiencia operativa, siendo que la producción alcanzará 12,807 onzas de oro, generando ingresos aproximados de 22,034,211 USD. Según la evaluación económica, el tonelaje proyectado es de 238,070 Tn con una ley de 2.23 g/t de oro.

El plan de minado propuesto que incluyó rampas de acceso, galerías, tajeos y la propuesta de los distintos niveles de explotación permitió una mayor optimización en la producción en la mina Santa Rosa debido a que se mejora la secuencia y ejecución de las labores mineras.

La evaluación de la optimización del avance en la mina Santa Rosa evidenció una mejora en el rendimiento, logrando en 20 meses la extracción de 66,008 toneladas de desmonte con una ley de 0.34 g/t de oro y 238,070 toneladas de mineral, de las cuales 95,871 fueron de baja ley (1.48 g/t) y 142,199 de alta ley (2.74 g/t). El total enviado a la planta, con una ley promedio de 2.23 g/t, mostró una eficiente optimización de los recursos, reflejada en una recuperación metalúrgica del 77.4%.

La evaluación económica del plan de optimización en la mina Santa Rosa demostró que la estrategia implementada aumentó significativamente la rentabilidad del proyecto. Los indicadores financieros, como el Valor Actual Neto (VAN) de US\$ 1,351,411 y la Tasa Interna de Retorno (TIR) del 10% mensual, superaron las expectativas iniciales. Además, la recuperación de la inversión se logró en un plazo más corto, con un payback sin descontar de 8.6 meses.

RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con la expansión y profundización de las labores mineras, lo cual no solo permitirá acceder a zonas de mineral no explotadas, sino que también mejorará la eficiencia operativa general.

Implementar un ciclo de revisión y ajuste continuo del plan de minado, tomando en cuenta los datos operativos y económicos recogidos en tiempo real, lo cual ayudará a adaptar las estrategias a las condiciones cambiantes de la mina y del mercado, maximizando la rentabilidad.

Mejorar las técnicas de recuperación metalúrgica debido a que la recuperación metalúrgica ha alcanzado un 77.4%, explorar nuevas tecnologías y técnicas que puedan incrementar este porcentaje.

Realizar evaluaciones económicas periódicas, explorar nuevas estrategias financieras y mejorar inversiones en infraestructura y tecnología para mantener la rentabilidad del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aranda, P. J. (2020). Gestión de la seguridad en las operaciones de perforación y voladura en minería subterránea: Una revisión sistemática entre 2010-2019. [[Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]].
https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/25834/Trabajo%20de%20Investigaci%3%b3n_Total.pdf?sequence=21&isAllowed=y
- Bautista, J. (2017). Diseño y planteamiento de minado subterráneo para incrementar la producción diaria de la unidad operativa Pallacata-Proyecto Pablo-Compañía Minera Ares SAC. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Blanco, L. (2018). Apoyo en la coordinación de costos y presupuestos de obras ejecutadas por Construsantander Ltda, haciendo uso del sistema de presupuestos SAO.
- Cervera, W., & Vásquez, A. (2022). Implementación del plan de minado subterráneo con el método de corte y relleno ascendente para una producción mensual de 2000 Tm de mineral en una mina de oro en Santa Cruz, Cajamarca 2020. [[Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]].
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/31298/Cervera%20Arevalo%2C%20Willan%20-20G%3%A1lvez%20V%3%A1squez%2C%20Alex%20Ra%3%BA%20-20Parcial.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chávez, N., Vásquez, P., Ortega, C., & Aymachoque, J. (Mayo de 2022). Revista Minería. Obtenido de <https://revistamineria.com.pe/tecnico-cientifico/planificacion-estrategica-en-mineria-subterranea:-agregando-valor-con-simulacion-e-incertidumbre>

- Condor, J. (2016). Influencia del estudio técnico económico en la selección del método de minado de un pórfido de cobre. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Escobar, E., Ccahuana, R., Villodas, E., & Arpasi, F. (2021). Estrategias para minimizar el cash cost en una operación minera subterránea. . Escuela de Postgrado GERENS.
- Fernandez, R., & Tessone, M. (2015). Geoestadística aplicada a la exploración minera parte II: técnicas de estimación. Irireado.
- Flores, E., & Cavero, J. (2017). Propuesta de mejora en el área de costos en una empresa minera de la ciudad de Arequipa, a través de un sistema de costeo estándar-2017.
- Gaimes, D. (2019). Optimización del ciclo de minado para incrementar la productividad diaria en la Cooperativa Minera Limata Ltda. Arequipa: Universidad Tecnológica del Perú.
- Goldquest Dominicana. (2016). Estudio Técnico Económico Proyecto Minero Romero. Cordillera Central de la República Dominicana. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/513010575/ESTUDIO-TECNICO-ECONOMICO-PROYECTO-MINERO-ROMERO-FORD#>
- Herrera, J. (2020). Introducción a la Minería Subterránea. Vol. IV: Métodos de explotación de interior [[Tesis de grado, Universidad Politécnica de Madrid]]. <https://oa.upm.es/62726/>
- Huanca, M. (2019). Reducción de los accidentes incapacitantes por caída de rocas en minería subterránea, teniendo en cuenta la planificación, la negligencia del personal y su cambio de cultura.

- Huerta, R. (2020). Planeamiento de minado subterráneo para incrementar la producción en la unidad minera Mallay compañía de minas Buenaventura S.A. - 2018. Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antúñez de Mayolo.
- León, H., & Romero, R. (2023). Planeamiento de minado subterráneo para incrementar la producción en la mina Shuntur – 2022. [[Tesis de grado, Universidad Nacional Santiago Antúñez de Mayolo]]. https://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/5925/T033_48243743_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- León, J. (2017). Planeamiento de minado subterráneo para optimizar la rentabilidad económica de la unidad minera San Hilarion de compañía minera Virgen de la Merced SAC-2017.
- Maldonado, D. (2022). Propuesta de diseño de explotación subterránea para la extracción de oro en el área minera Patricia, El Guabo-El Oro. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Mejía, Y. (2020). Planeamiento de minado subterráneo para la zona de mantos, KZ - ICM Pachapaquí S.A.C. [[Tesis de grado, Universidad Nacional Santiago Antúñez de Mayolo]]. <https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4718>
- Pimentel, E. (2020). Secuenciamiento del plan de minado a corto plazo para optimizar el método de explotación de taladros largos en la mina Raúl, compañía minera condestable, Southern Peaks Mining Cañete—Lima 2019 [[Tesis de grado, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]]. https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/908/T_0544.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Quinto, N., Villodas, A., Montero, C., Cueva, D., & Vera, S. (2021). La inteligencia artificial y la toma de decisiones gerenciales. *Revista de investigación Valor Agregado*.
- Reyes, G. (2008). Optimización de costos de producción a través de indicadores de eficiencia operativa para la industria petrolera. *Investigación administrativa*.
- Sánchez, O., & Silveiro, G. (2016). Espaciamiento óptimo de niveles y chimeneas en la explotación minera subterránea. Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas.
- Santana, M. (2020). Maximización de valor presente neto a través de la optimización de la ley de corte en una mina subterránea.
- Solórzano, A., & Castillo, C. (2017). Planificación y optimización de una mina subterránea por el método de explotación Bench anf Fill Stopping, mediante software minero Vulcan 10 . Universitat Politecnica de Catalunya.
- Suárez, Y., & Amador, A. (2009). Herramientas de minería de datos. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*.
- Ticllasuca, E. (2019). Planeamiento de minado a corto plazo para optimizar la producción en la Unidad Minera Pallancata de Hochschild Mining S.A. Huancayo: Universidad Continental.
- Torres, C., & Callegari, N. (2016). Criterios para cuantificar costos y beneficios en proyectos de mejora de calidad. *Ingeniería Industrial*.
- Trejo, A. W. (2022). Diseño y planeamiento de minado subterráneo para incrementar la producción en la unidad minera Hualanyog—Empresa minera nuestra señora virgen del Rosario – 2020 [[Tesis de grado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]]. <https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5442>

- Varillas, P. (2017). Evaluación técnico-económica del Proyecto Pablo en UM Pallancata–
cía. Minera Ares SAC.
- Velásquez, L. (2018). Estudio de factibilidad económica del sistema de extracción de
mineral en el proyecto de profundización de la compañía minera Río Chicama-
Unidad Bumerang, La Libertad . Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Vila, J., & Zafra, J. (2019). Optimización de beneficios con gestión de riesgos en las
minas subterráneas–Grupo Volcán.
- Villegas, M., & de Parra, H. (2011). Gestión de Costos en los Proyectos: un abordaje
teórico desde las mejores prácticas del Project Management Institute. Visión
gerencial.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Metodología
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Tipo de investigación: Analítico Cuantitativo Alcance: Descriptivo Explicativo. Diseño de investigación: Preexperimental Población: El universo de la investigación está conformado por las unidades mineras que sigan el método de explotación subterráneo en el Perú.
¿Cómo el plan de minado subterráneo maximiza la eficiencia en la extracción de minerales y garantiza la rentabilidad económica de la operación en Mina Santa Rosa?	Desarrollar un plan de minado subterráneo que maximice la eficiencia en la extracción de minerales y garantice la rentabilidad económica de la operación en Mina Santa Rosa.	El desarrollo de un PM subterráneo optimizado para la mina Santa Rosa permitirá maximizar la eficiencia en la extracción de minerales y garantizar la rentabilidad económica de la operación.	
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis Específicas	
¿De qué manera se realiza el plan de minado para la optimización en la producción en mina Santa Rosa?	Proponer un plan de minado para la optimización en la producción en mina Santa Rosa – Unidad Minera Untuca – Puno.	La implementación de un PM optimizado en la mina Santa Rosa aumentará la producción en mina Santa Rosa – Unidad Minera Untuca – Puno.	Muestra: La muestra en la investigación será la unidad minera Santa Rosa en la que se pretende diseñar un plan de minado a Corto Plazo para sus operaciones.
¿Cómo se optimiza el avance mediante el plan implementado para la producción en mina Santa Rosa?	Evaluar la optimización del avance mediante el plan implementado para la producción en mina Santa Rosa – Unidad Minera Untuca – Puno.	La optimización del avance mediante el PM implementado en la mina Santa Rosa incrementará la producción en mina Santa Rosa – Unidad Minera Untuca – Puno.	Técnica: Observación.
¿Es viable económica el plan de optimizado para la producción en mina Santa Rosa?	Realizar la evaluación económica del plan de optimización en la producción en mina Santa Rosa – Unidad Minera Untuca – Puno.	La evaluación económica del plan de optimización en la mina Santa Rosa mostrará que la inversión es rentable en la producción en mina Santa Rosa – Unidad Minera Untuca – Puno.	Revisión Documental Instrumentos: Ficha Documental

Anexo 2: Evaluación económica del plan de minado ejecutado en la Mina Santa Rosa.

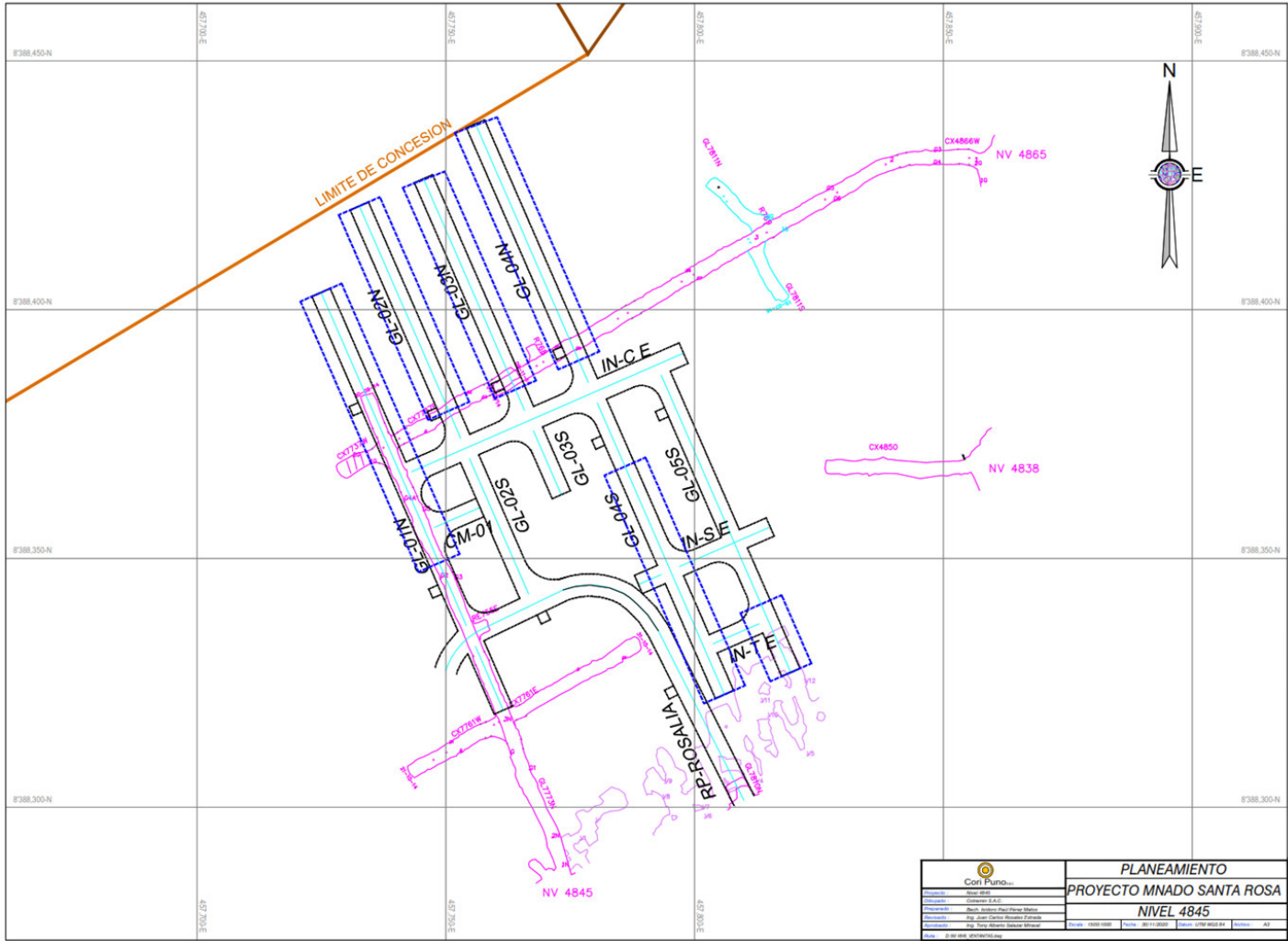
		Mis00	Mis01	Mis02	Mis03	Mis04	Mis05	Mis06	Mis07	Mis08	Mis09	Mis10	Mis11	Mis12	Mis13	Mis14	Mis15	Mis16	Mis17	Mis18	Mis19	Mis20	Mis21	Total
Precios y deducciones																								
Oro	US\$/Oz	1,850.00	1,850.30	1,728.80	1,715.60	1,767.70	1,905.30	1,771.60	1,817.20	1,818.10	1,757.00	1,783.90	1,776.50	1,828.60	1,796.40	1,900.70	1,954.00	1,911.70	1,848.40	1,807.30	1,781.80	1,726.20	1,684.90	1,808.27
Pagables		93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	75.78%
Recuperación Metalúrgica																								
Oro	%	0.0%	0.0%	71.5%	74.4%	76.4%	78.0%	79.8%	82.9%	82.2%	81.4%	78.7%	76.8%	78.4%	75.9%	76.0%	80.7%	80.0%	78.1%	78.1%	81.0%	74.4%	78.1%	78.69%
ITEM	Units	Mis00	Mis01	Mis02	Mis03	Mis04	Mis05	Mis06	Mis07	Mis08	Mis09	Mis10	Mis11	Mis12	Mis13	Mis14	Mis15	Mis16	Mis17	Mis18	Mis19	Mis20	Mis21	Total
Mineral	TMS	-	-	2,622.56	1,092.62	150.97	4,830.31	16,681.47	26,446.11	22,657.87	25,600.11	21,665.37	13,978.62	18,326.29	5,812.87	5,478.06	9,455.71	12,540.15	10,970.55	7,147.67	4,148.42	7,097.38	17,886.32	234,589.44
Ley de Oro	gpt	-	-	1.66	1.92	2.12	2.40	2.57	3.74	3.09	2.86	2.40	2.16	2.37	2.02	2.15	2.73	2.59	2.33	2.32	2.93	1.91	2.33	2.65
Producción de Oro	Oz/as	-	-	97	49	8	284	1,066	2,553	1,797	1,861	1,277	724	1,063	277	282	651	811	622	404	309	315	1,014	15,463
VENTAS	US\$	-	-	156,253	77,762	12,517	502,956	1,756,237	4,314,005	3,039,205	3,040,802	2,119,229	1,195,916	1,807,347	462,168	497,844	1,182,126	1,442,573	1,009,841	679,090	511,990	505,689	1,588,674	25,962,225
Ventas	US\$/IM S	-	-	156,253	77,762	12,517	502,956	1,756,237	4,314,005	3,039,205	3,040,802	2,119,229	1,195,916	1,807,347	462,168	497,844	1,182,126	1,442,573	1,009,841	679,090	511,990	505,689	1,588,674	25,962,225
COSTOS	US\$	-	(10,202)	(179,457)	(87,703)	(26,656)	(365,977)	(1,197,218)	(1,880,776)	(1,624,993)	(1,899,878)	(1,556,724)	(1,008,504)	(1,285,544)	(419,161)	(412,266)	(665,288)	(876,798)	(812,417)	(507,460)	(282,581)	(477,547)	(1,249,529)	(16,766,666)
Directo	US\$	-	10,202	27,116	20,922	17,361	65,907	153,949	170,759	180,791	219,873	204,807	144,048	147,480	61,168	74,451	72,366	90,438	130,117	63,679	20,718	40,823	142,299	2,059,274
Indirecto	US\$	-	-	64,513	30,189	4,239	138,305	484,605	824,351	685,402	762,670	626,355	396,320	524,326	163,323	154,357	276,255	366,397	314,902	204,409	122,934	199,037	508,226	6,851,115
Fijo	US\$	-	-	87,828	36,591	5,056	161,765	558,654	885,666	758,800	857,334	725,562	468,137	613,738	194,670	183,458	316,667	419,963	367,398	239,372	138,928	237,688	599,003	7,856,277
UTILIDAD NETA	US\$	-	(10,202)	(23,203)	(9,940)	(14,139)	136,980	59,029	2,433,229	1,414,212	1,200,924	562,505	187,412	521,803	43,007	85,579	516,838	565,775	257,424	171,631	229,409	28,142	339,146	9,195,559
Depreciación	US\$	-	(51,746)	(51,746)	(51,746)	(51,746)	(51,746)	(51,746)	(51,746)	(51,746)	(51,746)	(51,746)	(51,746)	(51,746)	(51,746)	(51,746)	(51,746)	(51,746)	(51,746)	(51,746)	(51,746)	(51,746)	(51,746)	(1,116,044)
Part.Trabajadores	US\$	-	-	-	-	-	(6,819)	(40,583)	(190,519)	(108,997)	(91,934)	(40,861)	(10,853)	(37,605)	-	(2,707)	(37,207)	(41,122)	(16,454)	(9,591)	(14,213)	-	(22,992)	(672,456)
Regalías Mineras	US\$	-	-	-	-	-	(1,019)	(9,427)	(82,380)	(38,481)	(27,383)	(8,129)	(1,286)	(7,957)	-	(311)	(11,553)	(11,633)	(2,725)	(1,489)	(3,923)	-	(3,622)	(211,320)
ITEM	US\$	-	-	-	-	-	(1,664)	(11,523)	(71,692)	(37,057)	(29,042)	(10,944)	(2,483)	(10,315)	-	(616)	(11,949)	(12,685)	(4,159)	(2,372)	(4,339)	-	(5,711)	(216,552)
Impuesto Renta	US\$	-	-	-	-	-	(22,341)	(131,496)	(600,883)	(347,489)	(295,242)	(132,993)	(35,708)	(122,183)	-	(8,909)	(119,293)	(132,333)	(53,790)	(31,398)	(45,780)	-	(75,247)	(2,155,085)
UTILIDAD BRUTA	US\$	-	(61,948)	(74,950)	(61,687)	(65,886)	53,390	314,253	1,436,009	830,440	705,577	317,831	85,336	291,997	(8,739)	21,290	285,090	316,254	128,550	75,035	109,407	(23,605)	179,827	4,824,103
Depreciación	US\$	-	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	1,116,044
Inversión	US\$	(1,086,675)	(14,450)	(26,115)	(6,790)	(8,487)	(37,297)	(39,173)	(51,621)	-	-	-	(33,688)	(18,977)	(26,028)	(19,020)	(1,741)	(9,793)	-	-	-	-	-	(293,180)
Flujo de Caja	US\$	(1,086,675)	(24,652)	(49,318)	(16,730)	(22,626)	67,840	326,827	1,436,134	882,187	757,324	369,578	103,394	324,766	16,979	54,016	335,095	358,208	180,296	126,781	161,154	28,142	231,573	4,560,293
Flujo de Caja descontado	US\$	(1,086,675)	(24,366)	(48,183)	(16,156)	(21,597)	64,002	304,768	1,323,695	803,703	681,959	328,946	90,961	282,405	14,593	45,889	281,382	297,306	147,910	102,804	130,675	22,555	183,453	
Flujo de Caja Acumulado	US\$	(1,086,675)	(1,111,041)	(1,159,224)	(1,175,380)	(1,196,976)	(1,132,974)	(828,206)	495,490	1,299,192	1,981,151	2,310,097	2,401,058	2,683,463	2,698,056	2,743,946	3,025,327	3,322,634	3,470,544	3,573,347	3,704,023	3,726,578	3,910,031	
VAN@15%	US\$	3,906,133																						
TIR	%	60.4%																						
PAYBACK SIN DESCONTAR	Meses	66																						
PAYBACK CON DESCONTAR	Meses	66																						

Anexo 3: Matriz de Costos del Plan de Minado Ejecutado para Mina Santa Rosa.

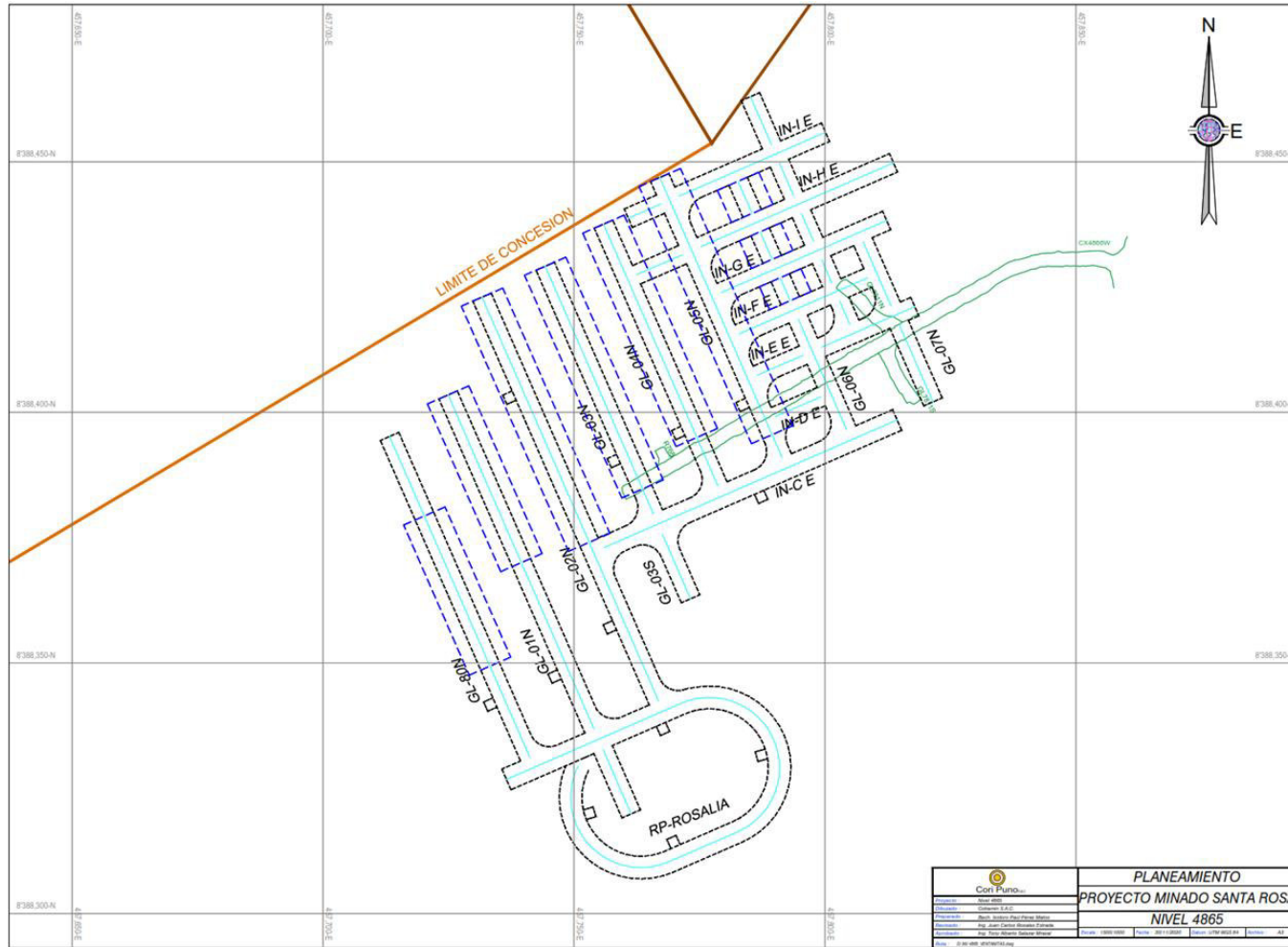
AVANCES																						
ITEM	Mes01	Mes02	Mes03	Mes04	Mes05	Mes06	Mes07	Mes08	Mes09	Mes10	Mes11	Mes12	Mes13	Mes14	Mes15	Mes16	Mes17	Mes18	Mes19	Mes20	Mes21	TOTAL
Preparación		12	49	39	101	188	131	370	410	218	20	166	102	148	181	122	112	100	47	76		2,592
Desarrollo	33	60	16	20	86	90	119				77	44	60	44	4	23						674
Total	33	72	65	59	186	278	250	370	410	218	97	210	162	192	185	145	112	100				3,266
COSTO SOSTENIMIENTO (PERNOS/MALLA)																						
Preparación		1,209	4,910	3,897	10,065	18,764	13,132	36,936	40,954	21,826	1,989	16,599	10,213	14,781	18,118	12,202	11,203	9,984	4,657	7,625		259,065
Desarrollo	4,098	7,406	1,926	2,407	10,577	11,109	14,639				9,554	5,382	7,381	5,394	494	2,777						83,143
Total	4,098	8,615	6,836	6,304	20,641	29,873	27,771	36,936	40,954	21,826	11,542	21,981	17,595	20,175	18,612	14,979	11,203	9,984				342,208
COSTO SERVICIO (CISTERNA/TELEHANDER/INSTALACIONES)																						
Preparación		2,225	9,033	7,170	18,515	34,520	24,157	67,949	75,340	40,152	3,659	30,537	18,789	27,193	33,331	22,447	20,609	18,366	8,567	14,027		476,585
Desarrollo	6,104	11,031	2,868	3,585	15,754	16,546	21,804				14,230	8,016	10,994	8,034	735	4,137						123,836
Total	6,104	13,255	11,901	10,755	34,269	51,066	45,961	67,949	75,340	40,152	17,888	38,552	29,783	35,227	34,066	26,584	20,609	18,366				600,421
ROIURA																						
ITEM	Mes01	Mes02	Mes03	Mes04	Mes05	Mes06	Mes07	Mes08	Mes09	Mes10	Mes11	Mes12	Mes13	Mes14	Mes15	Mes16	Mes17	Mes18	Mes19	Mes19	Mes20	TOTAL
Breasting										3,403	5,099	686		712		1,024	6,444	1,800			3,265	22,432
Ampliación Min					221	6,560	2,666	2,371	2,675	3,024	1,254	1,774				2,011	515	96	2,055	1,247	7,454	33,922
Ampliación Min																						
Tal. Largos							6,063	3,518	7,835	9,205	4,569	6,876	468		168					4,131	5,273	48,106
Total					221	6,560	8,729	5,889	10,510	15,631	10,922	9,335	468	712	168	3,035	6,959	1,895	2,055	5,378	15,991	48,106
COSTO ROIURA																						
ITEM	Mes01	Mes02	Mes03	Mes04	Mes05	Mes06	Mes07	Mes08	Mes09	Mes10	Mes11	Mes12	Mes13	Mes14	Mes15	Mes16	Mes17	Mes18	Mes19	Mes19	Mes20	TOTAL
Breasting										17,967	26,925	3,620				5,407	34,026	9,502			17,237	118,443
Ampliación Desm.					1,119	33,196	13,489	11,997	13,533	15,300	6,345	8,975				10,176	2,606	484	10,400	6,307	37,717	171,644
Ampliación Min																						
Tal. Largos							23,464	13,615	30,323	35,622	17,682	26,609	1,813		650					15,988	20,405	186,170
Total					1,119	33,196	36,953	25,612	43,856	68,889	50,951	39,204	1,813	3,759	650	15,583	36,632	9,986	10,400	22,295	75,359	476,256
COSTO SOSTENIMIENTO ROIURA (PERNOS/MALLA)																						
ITEM	Mes01	Mes02	Mes03	Mes04	Mes05	Mes06	Mes07	Mes08	Mes09	Mes10	Mes11	Mes12	Mes13	Mes14	Mes15	Mes16	Mes17	Mes18	Mes19	Mes19	Mes20	TOTAL
Breasting										20,713	31,040	4,174		4,333		6,233	39,226	10,954			19,871	136,544
Ampliación Desm.					217	6,452	2,622	2,332	2,630	2,974	1,233	1,744				1,978	507	94	2,021	1,226	7,330	33,359
Ampliación Min																						
Tal. Largos							4,560	2,646	5,893	6,923	3,436	5,171	352		126					3,107	3,966	36,182
Total					217	6,452	7,182	4,978	8,524	30,610	35,709	11,090	352	4,333	126	8,211	39,732	11,048	2,021	4,333	31,168	206,086
MATERIAL MOVIDO																						
ITEM	Mes01	Mes02	Mes03	Mes04	Mes05	Mes06	Mes07	Mes08	Mes09	Mes10	Mes11	Mes12	Mes13	Mes14	Mes15	Mes16	Mes17	Mes18	Mes19	Mes20	Mes21	TOTAL
Desmonte																						
Mineral		2,623	1,093	151	4,830	16,681	26,446	22,658	25,600	21,665	13,979	18,326	5,813	5,478	9,456	12,540	10,971	7,148	4,148	7,097	17,886	234,589
Total		2,623	1,093	151	4,830	16,681	26,446	22,658	25,600	21,665	13,979	18,326	5,813	5,478	9,456	12,540	10,971	7,148	7,881,998	13,485,022	33,984,008	234,589
COSTO TRANSPORTE																						
ITEM	Mes01	Mes02	Mes03	Mes04	Mes05	Mes06	Mes07	Mes08	Mes09	Mes10	Mes11	Mes12	Mes13	Mes14	Mes15	Mes16	Mes17	Mes18	Mes19	Mes20	Mes21	TOTAL
Desmonte	1,739	3,143	817	1,021	4,488	4,714	6,212	15,699	17,737	15,011	4,054	2,284	3,132	2,289	210	1,179	7,052	4,952	2,874	4,917	12,393	115,919
Mineral		5,245	2,185	302	9,661	33,363	52,892	45,316	51,200	43,331	27,957	36,653	11,626	10,956	18,911	25,080	21,941	14,295	8,297	14,195	35,773	469,179
Total	1,739	8,388	3,002	1,323	14,149	38,077	59,104	61,014	68,937	58,342	32,011	38,936	14,758	13,245	19,121	26,259	28,994	19,248	11,171	19,112	48,165	585,098
COSTO DIRECTOS																						
ITEM	Mes01	Mes02	Mes03	Mes04	Mes05	Mes06	Mes07	Mes08	Mes09	Mes10	Mes11	Mes12	Mes13	Mes14	Mes15	Mes16	Mes17	Mes18	Mes19	Mes20	Mes21	TOTAL
Costo Rotura					1,119	33,196	36,953	25,612	43,856	68,889	50,951	39,204	1,813	3,759	650	15,583	36,632	9,986	10,400	22,295	75,359	476,256
Costo Sostenimiento	4,098	8,615	6,836	6,304	20,859	36,325	34,952	41,914	49,477	52,436	47,251	33,071	17,947	24,509	18,738	23,190	50,935	21,032	2,021	4,333	31,168	536,012
Costo Servicios	6,104	13,255	11,901	10,755	34,269	51,066	45,961	67,949	75,340	40,152	17,888	38,552	29,783	35,227	34,066	26,584	20,609	18,366				577,827
Costo Transporte	1,739	8,388	3,002	1,323	14,149	38,077	59,104	61,014	68,937	58,342	32,011	38,936	14,758	13,245	19,121	26,259	28,994	19,248	11,171	19,112	48,165	585,098
Total	10,202	27,116	20,922	17,361	65,907	153,949	170,759	180,791	219,873	204,807	144,048	147,480	61,168	74,451	72,366	90,438	130,117	63,679	20,718	40,823	142,299	2,059,274
COSTO INDIRECTOS																						

	Mis01	Mis02	Mis03	Mis04	Mis05	Mis06	Mis07	Mis08	Mis09	Mis10	Mis11	Mis12	Mis13	Mis14	Mis15	Mis16	Mis17	Mis18	Mis19	Mis20	Mis21	TOTAL
Costo Soporte Administrativo (\$/TMS)		15,518	6,465	893	28,581	98,704	156,482	134,067	151,476	128,194	82,711	108,437	34,395	32,414	55,949	74,200	64,913	42,293	24,546	41,995	105,833	1,388,066
Tratamiento en Planta (\$/TMS)		27,474	11,446	1,582	50,602	174,755	277,049	237,364	268,187	226,966	146,440	191,986	60,896	57,388	99,058	131,371	114,927	74,879	43,459	74,352	187,377	2,457,559
Energía (\$/TMS)		17,044	7,101	981	31,392	108,413	171,873	147,253	166,375	140,803	90,847	119,103	37,778	35,602	61,453	81,498	71,298	46,453	26,961	46,126	116,243	1,524,597
Procesamiento Off Site (\$/oz)		2,156	980	155	5,768	21,984	51,456	37,907	39,355	27,654	15,531	21,765	6,019	5,803	12,924	17,148	13,333	8,462	6,184	7,238	20,203	322,027
Comercialización (\$/oz)		5,125	2,331	369	13,715	52,270	122,342	90,129	93,572	65,750	36,926	51,749	14,312	13,798	30,728	40,772	31,702	20,120	14,703	17,209	48,034	765,657
Laboratorio (\$/TMS)		4,477	1,865	258	8,246	28,479	45,149	38,682	43,705	36,987	23,864	31,287	9,924	9,352	16,143	21,409	18,729	12,203	7,082	12,117	30,536	400,491
Total	—	64,513	30,189	4,239	138,305	484,605	824,351	685,402	762,670	626,355	396,320	524,326	163,323	154,357	276,255	366,397	314,902	204,409	122,934	199,037	508,226	6,858,396
COSILOS																						
	Mis01	Mis02	Mis03	Mis04	Mis05	Mis06	Mis07	Mis08	Mis09	Mis10	Mis11	Mis12	Mis13	Mis14	Mis15	Mis16	Mis17	Mis18	Mis19	Mis20	Mis21	TOTAL
G&A Mine Site		42,328	17,635	2,437	77,961	269,239	426,840	365,698	413,186	349,679	225,615	295,786	93,820	88,416	152,615	202,398	177,065	115,363	66,955	114,552	288,685	3,786,274
Costos Corporativos		26	11	1	48	165	262	225	254	215	139	182	58	54	94	124	109	71	41	70	177	2,327
Gastos Financieros		14,206	5,919	818	26,166	90,363	143,257	122,736	138,674	117,360	75,721	99,272	31,488	29,674	51,221	67,929	59,427	38,719	22,472	38,446	96,889	1,270,757
Depreciación		51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746	51,746
Costos de cierre		1,318	549	76	2,428	8,383	13,291	11,387	12,866	10,888	7,025	9,210	2,921	2,753	4,752	6,302	5,513	3,592	2,085	3,567	8,989	117,895
Total	—	87,828	36,591	5,056	161,765	558,654	885,666	758,800	857,334	725,562	468,137	613,738	194,670	183,458	316,667	419,963	367,398	239,372	138,928	237,688	599,003	7,856,278

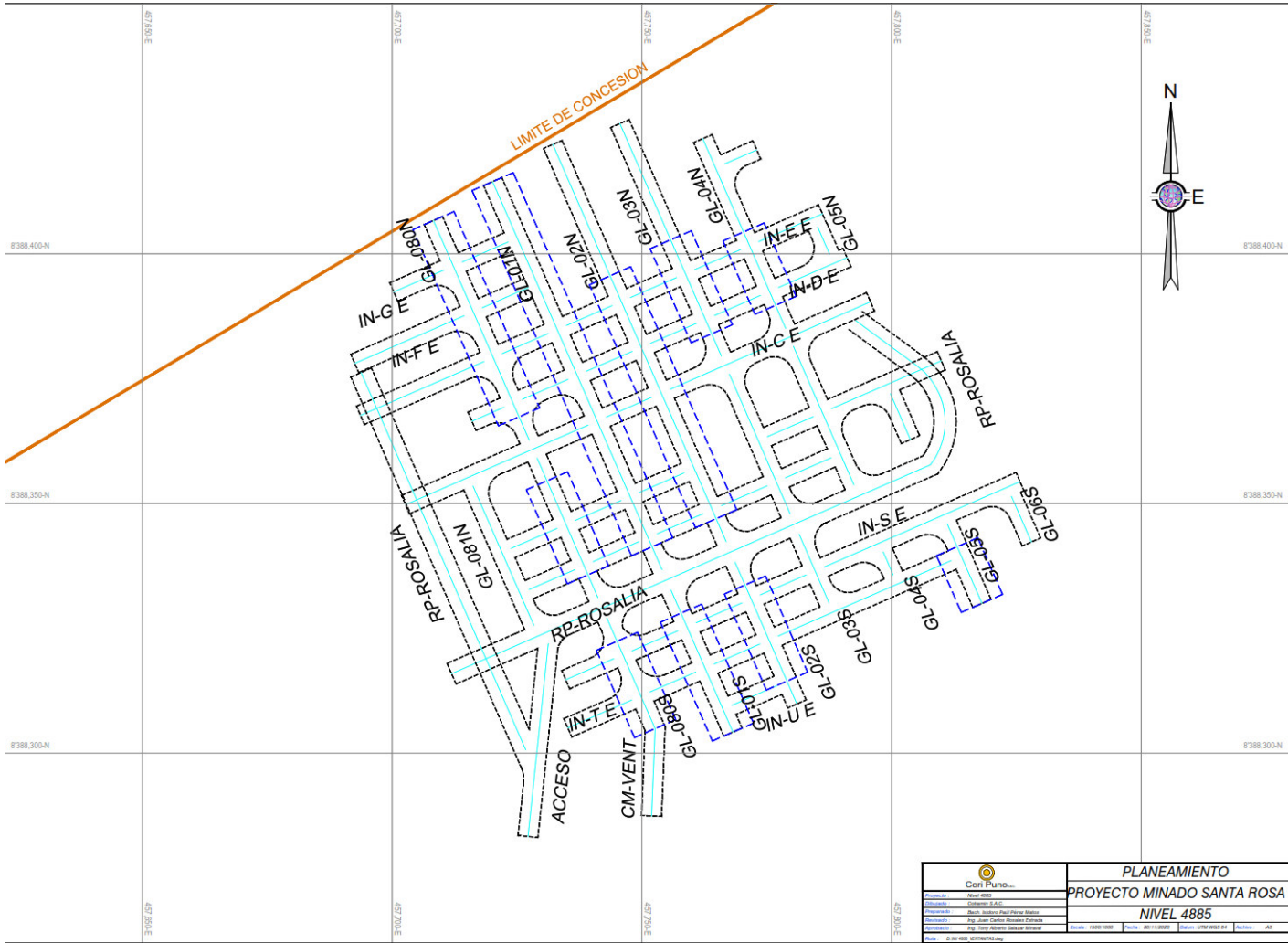
Anexo 4: Plano en Vista Planta del Nivel 4845.



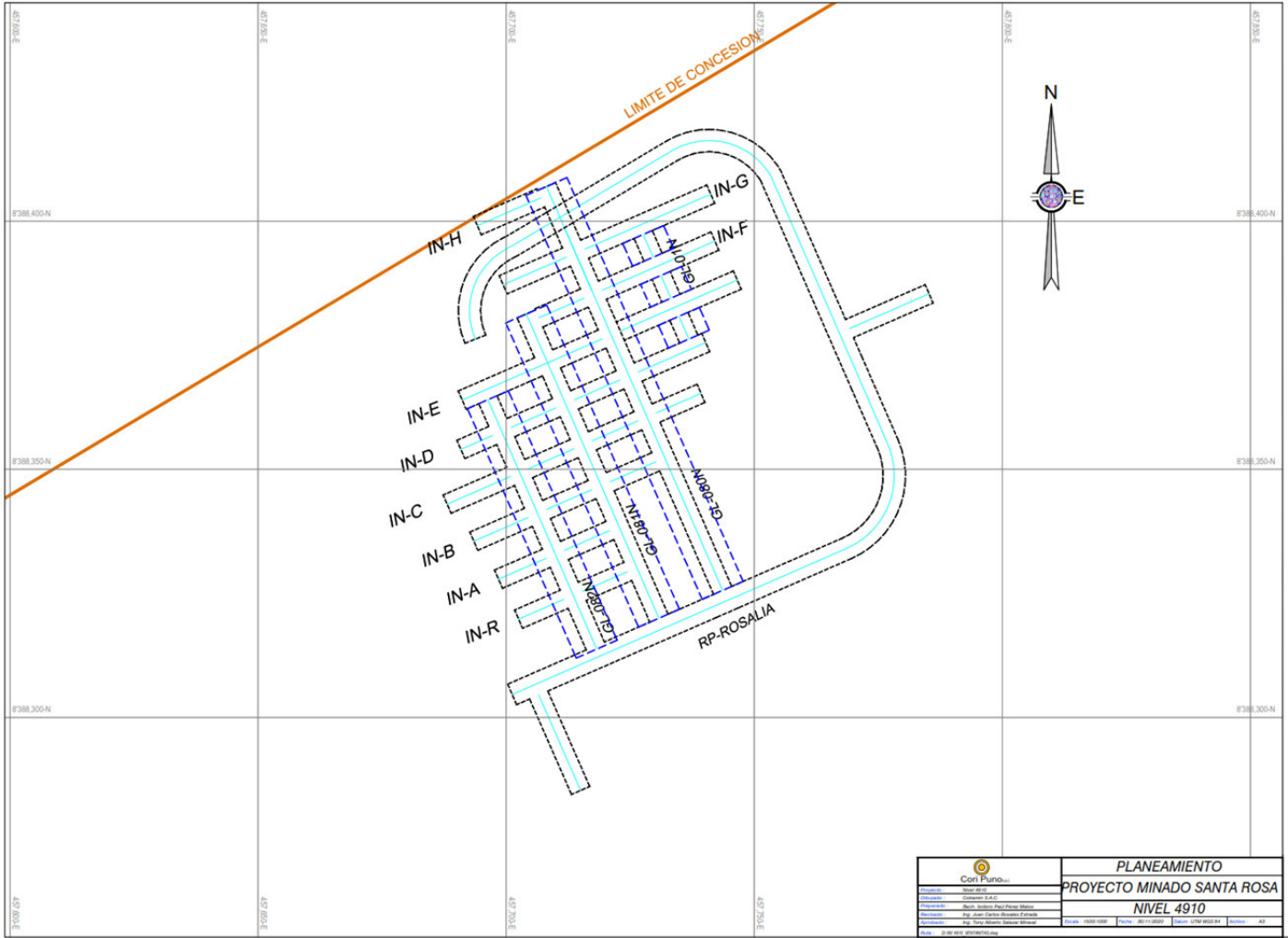
Anexo 5: Plano en Vista Planta del Nivel 4865



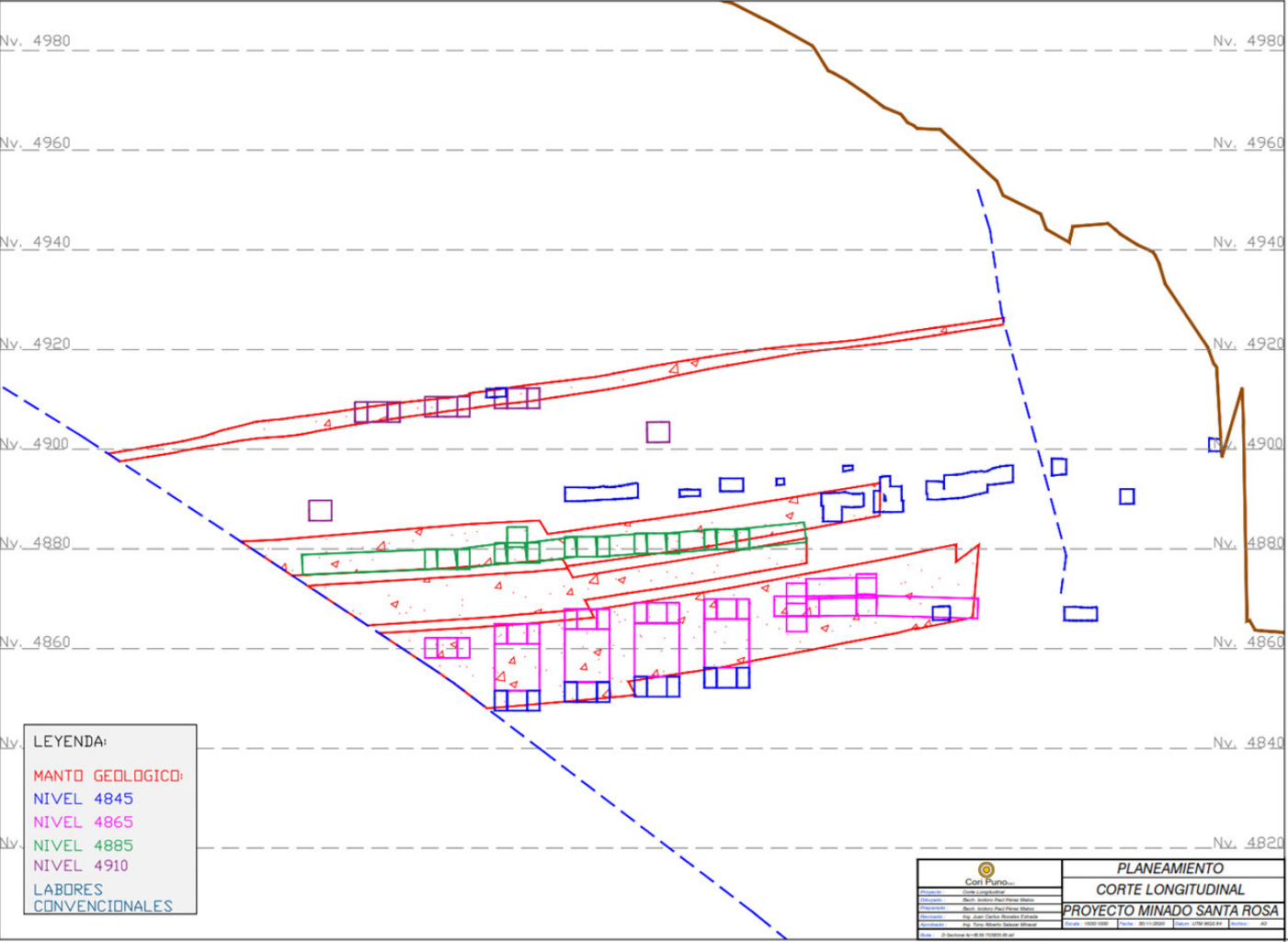
Anexo 6: Plano en Vista Planta del Nivel 4885



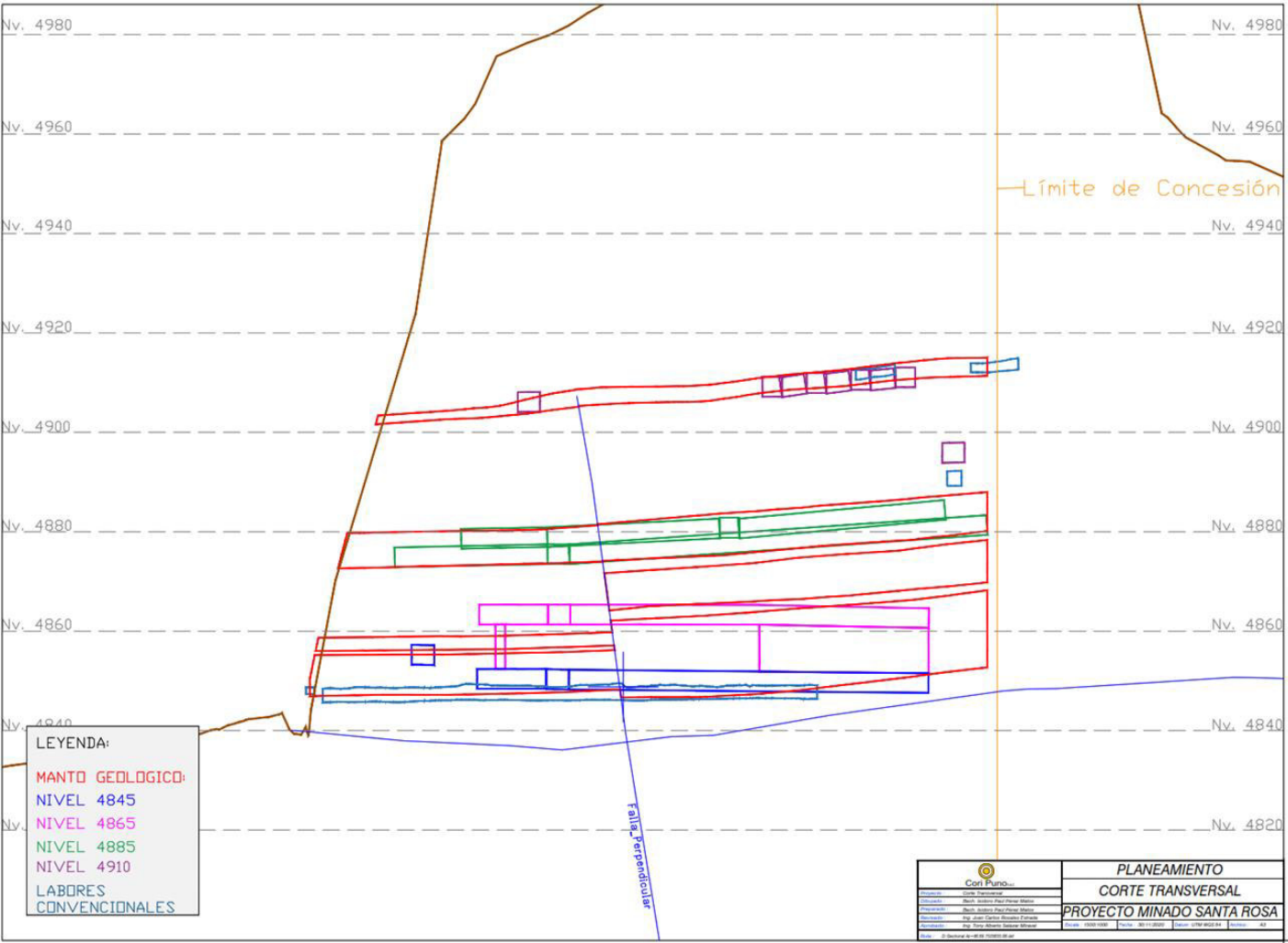
Anexo 7: Plano en Vista Planta del Nivel 4910



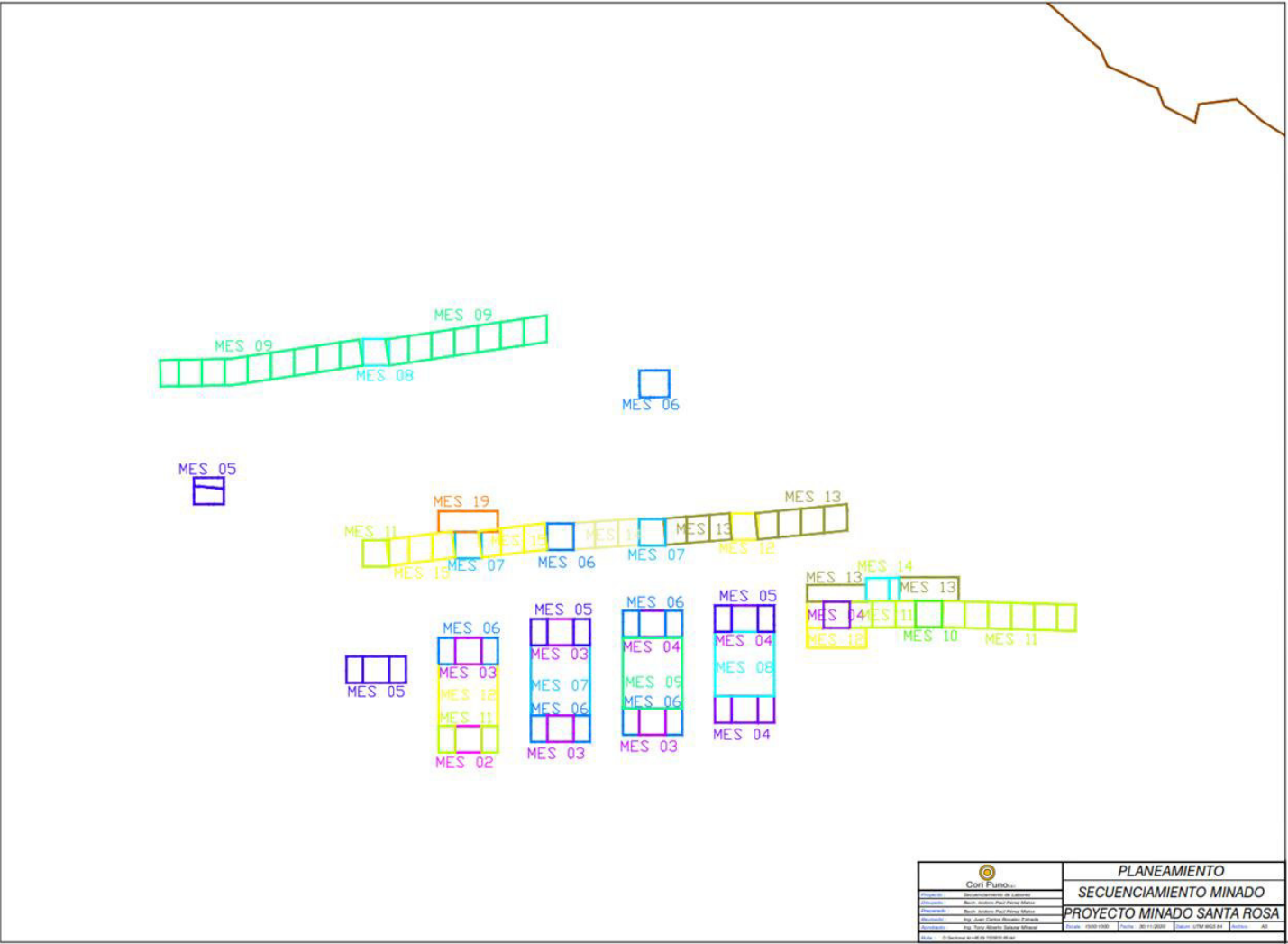
Anexo 8: Plano en Vista Corte Longitudinal del Plan de Minado - Mina Santa Rosa



Anexo 9: Plano en Vista Corte Transversal del Plan de Minado - Mina Santa Rosa



Anexo 10: Vista en Corte Longitudinal del Secuenciamiento del Plan de Minado - Mina Santa Rosa.



Anexo 11: Vista en Corte Transversal del Secuenciamiento del Plan de Minado - Mina Santa Rosa.

