

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas



TESIS PROFESIONAL

**SELECCIÓN DEL METODO DE EXPLOTACION ÓPTIMO PARA LA VETA
VICTORIA DEL YACIMIENTO MINERO HUAYRAPONGO CAJAMARCA 2022**

Tesis para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Autor:

BACH. TARRILLO RUBIO HEBER

Asesor:

M. Cs. ING. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO

CAJAMARCA – PERÚ

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. **Investigador:** TARRILLO RUBIO, HEBER

DNI: 47211179

Escuela Profesional: ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA DE MINAS

2. **Asesor:** M. Cs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino

Facultad: Ingeniería

3. **Grado académico o título profesional**

☐ Bachiller

☒ Título profesional

☐ Segunda especialidad

☐ Maestro

☐ Doctor

4. **Tipo de Investigación:**

☒ Tesis

☐ Trabajo de investigación

☐ Trabajo de suficiencia profesional

☐ Trabajo académico

5. **Título de Trabajo de Investigación:**

SELECCIÓN DEL METODO DE EXPLOTACION ÓPTIMO PARA LA VETA VICTORIA DEL YACIMIENTO
MINERO HUAYRAPONGO CAJAMARCA 2022

6. **Fecha de evaluación:** 24/10/2024

7. **Software antiplagio:**

☒ TURNITIN

☐ URKUND (OURIGINAL) (*)

8. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 20%

9. **Código Documento:** oid:3117:398169069

10. **Resultado de la Evaluación de Similitud:**

☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 25/10/2024



FIRMA DEL ASESOR
Roberto Severino Gonzales Yana
DNI: 29441681

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



Dra. Ing. Laura Sofía Bazán Díaz
DIRECTORA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : "SELECCIÓN DEL METODO DE EXPLOTACION ÓPTIMO PARA LA VETA VICTORIA DEL YACIMIENTO MINERO HUAYRAPONGO CAJAMARCA 2022."

ASESOR : M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0093-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 28 de enero de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **seis días del mes de febrero de 2025**, siendo las nueve horas (09:00 a.m.) en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica - Ambiente 4J - 210, de la Facultad de Ingeniería, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
Vocal : Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Secretario : M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada: "SELECCIÓN DEL METODO DE EXPLOTACION ÓPTIMO PARA LA VETA VICTORIA DEL YACIMIENTO MINERO HUAYRAPONGO CAJAMARCA 2022", presentado por el Bachiller en Ingeniería de Minas **HEBER TARRILLO RUBIO**, asesorado por el M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : 3 PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : 11 PTS.
EVALUACIÓN FINAL : 14 PTS

..... CATORCE (En letras)

En consecuencia, se lo declara APROBADO con el calificativo de CATORCE acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las 10.00 a.m. horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
Presidente

Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Vocal

M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.
Secretario

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Asesor

AGRADECIMIENTO

A Dios, que me ha dado la vida y la salud, para desarrollarme profesionalmente.

A mi alma mater, la Universidad Nacional de Cajamarca, a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas y a todos los docentes que influyeron en mi desarrollo profesional y personal.

A mi asesor, Ing. Roberto S. Gonzales Yana, por brindarme su asesoría, guía metodológica y asistencia en la presente investigación.

Heber T.

DEDICATORIA

Esta investigación de tesis lo dedico con bastante aprecio a mis queridos padres quienes han sido el pilar principal en la construcción de mi vida profesional y que con su amor infinito día a día me motivan a seguir adelante y cumplir mis metas.

A mis cuatro hermanos, quienes siempre estuvieron para apoyarme incondicionalmente a terminar mi carrera profesional.

Heber T.

ÍNDICE DE GENERAL

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	i
DEDICATORIA.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE FOTOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
2.2. BASES TEÓRICAS	5
2.2.1. Selección del método de explotación subterránea.....	5
2.2.2. Geometría y sistema de los métodos de explotación.....	7
2.2.3. Clasificación de los métodos de explotación	8
2.2.4. Método de explotación subterránea.....	16
2.2.5. Clasificación de las variables	18
2.2.6. Método numérico de Nicholas (1981).....	21
2.2.7. Procedimiento para la elección del método.....	24
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	29
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	31

	Pág.
3.1.1. Geográfica	31
3.1.2. Política.....	32
3.1.3. Accesibilidad	33
3.1.4. Fisiografía.....	34
3.1.5. Sismicidad	35
3.1.6. Geomorfología.....	36
3.2. GEOLOGÍA LOCAL	39
3.2.1. Volcánico Chilete	39
3.2.2. Volcánico San Pablo	40
3.2.3. Depósito Coluvial.....	40
3.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	42
3.4. PROCEDIMIENTOS	44
3.4.1. Primera etapa: Gabinete	44
3.4.2. Segunda etapa: Campo	44
3.4.3. Tercera etapa: Gabinete.....	44
3.5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	45
3.5.1. Población de estudio.....	45
3.5.2. Muestra.....	45
3.5.3. Unidad de análisis	45
3.6. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	45
3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	46
3.7.1. Técnicas.....	46
3.7.2. Instrumentos y equipos.....	46
3.8. MÉTODO DE EXPLOTACIÓN.....	47
3.8.1. Características del yacimiento.....	48
3.8.2. Estudio geomecánico.....	48

	Pág.
3.8.3. Selección del método de explotación	58
CAPÍTULO IV	
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	65
4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS	65
4.1.1. Evaluación de los métodos de explotación según Nicholas	66
4.1.2. Comparación de los métodos de explotación	66
4.1.3. Costos de explotación de los métodos seleccionados	67
4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	75
4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	77
CAPÍTULO V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
5.1. CONCLUSIONES.....	78
5.2. RECOMENDACIONES	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
ANEXOS.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación del proyecto minero Huayrapongo.	32
Figura 2. Ruta de acceso Cajamarca – Chilete.	33
Figura 3. Ruta de acceso Chilete – Proyecto Minero Huayrapongo.	34
Figura 4. Columna estratigráfica de las formaciones geológicas en la investigación. ...	41
Figura 5. Esquema estructural del corredor San Pablo - Porculla.	43

ÍNDICE DE FOTOS

	Pág.
Foto 1. Fisiografía con escasa vegetación del Cerro Huayrapongo.	35
Foto 2. Cubierta rocosa y clima seco de la zona de investigación.	35
Foto 3. Área de planicie en la zona de investigación - Volcánico San Pablo.	37
Foto 4. Se observa lomadas en la zona de investigación - Volcánico San Pablo.	37
Foto 5. Presencia de laderas en la zona de investigación - Volcánico San Pablo.	38
Foto 6. Presencia de escarpas en la zona de investigación - Volcánico San Pablo.	38
Foto 7. Secuencias pseudoestratigráficas de andesitas y areniscas tobáceas.	39
Foto 8. Areniscas rojizas intercaladas con rocas volcánicas de composición andesítica.	40
Foto 9. Condiciones geológicas de las pseudoestratificaciones de la caja piso.	51
Foto 10. Condiciones geológicas de los pseudoestratos de la caja techo.	54
Foto 11. Estructura mineralizada, veta Victoria, potencia de 3.0 m e inclinación de 70°.	57

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Parámetros de evaluación para la selección del método de explotación.	5
Tabla 2. Características principales de los métodos Room and Pillar-Sublevel Stoping-Shrinkage.....	16
Tabla 3. Características principales de los métodos Cut and Fill-Block Caving-Sublevel Caving.....	17
Tabla 4. Valoración de la geometría y distribución de leyes de los métodos de explotación.....	21
Tabla 5. Valoración de las características geomecánicas del mineral de los diferentes métodos de explotación.	22
Tabla 6. Valoración de las características geomecánicas de la caja techo de los diferentes métodos de explotación.	23
Tabla 7. Valoración de las características geomecánicas de la caja piso de los diferentes métodos de explotación.	23
Tabla 8. Factores de peso de Nicholas.	24
Tabla 9. Forma del yacimiento.	25
Tabla 10. Potencia del mineral.	25
Tabla 11. Inclinación de la estructura mineralizada.	25
Tabla 12. Profundidad de la estructura mineralizada.	25
Tabla 13. Distribución de leyes.	25
Tabla 14. Resistencia de la matriz rocosa.	26
Tabla 15. Espaciamiento entre fracturas.....	26
Tabla 16. Resistencia de las discontinuidades.....	26
Tabla 17. Productividad de los métodos de minado.....	27
Tabla 18. Recuperación, dilución y pérdidas de los métodos de minado.....	27
Tabla 19. Recuperación, dilución y pérdidas de los métodos de minado.....	28
Tabla 20. Coordenadas de la concesión Nebulosa 3.	31
Tabla 21. Coordenadas del área de investigación.....	32
Tabla 22. Vías de acceso a la zona de estudio.....	33
Tabla 23. Zona sísmica en la zona de estudio.	36

	Pág.
Tabla 24. Unidades morfogénicas según su grado de pendiente.	36
Tabla 25. Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.	49
Tabla 26. Grado de fracturación RQD.	49
Tabla 27. Espaciado de las discontinuidades.	49
Tabla 28. Condiciones de las discontinuidades.	50
Tabla 29. Condiciones hidrogeológicas.	50
Tabla 30. Corrección por orientación de discontinuidades.	50
Tabla 31. Resumen de los parámetros del RMR.	51
Tabla 32. Clasificación del macizo rocoso en relación al Índice RMR.	51
Tabla 33. Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.	52
Tabla 34. Grado de fracturación RQD.	52
Tabla 35. Espaciado de las discontinuidades.	52
Tabla 36. Condiciones de las discontinuidades.	53
Tabla 37. Condiciones hidrogeológicas.	53
Tabla 38. Corrección por orientación de discontinuidades.	53
Tabla 39. Resumen de los parámetros del RMR.	54
Tabla 40. Clasificación del macizo rocoso en relación al Índice RMR.	54
Tabla 41. Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.	55
Tabla 42. Grado de fracturación RQD.	55
Tabla 43. Espaciado de las discontinuidades.	55
Tabla 44. Condiciones de las discontinuidades.	56
Tabla 45. Condiciones hidrogeológicas.	56
Tabla 46. Corrección por orientación de discontinuidades.	56
Tabla 47. Resumen de los parámetros del RMR.	57
Tabla 48. Clasificación del macizo rocoso en relación con el Índice RMR.	57
Tabla 49. Valoración según las características del yacimiento.	59
Tabla 50. Valoración según las características del cuerpo mineral.	60
Tabla 51. Valoración según las características de la caja techo.	61
Tabla 52. Valoración según las características de la caja piso.	62
Tabla 53. Sumatoria de los puntajes obtenidos en cada parámetro.	63
Tabla 54. Factor de peso multiplicador.	63
Tabla 55. Valoración total de los métodos de explotación.	64

Tabla 56. Valoración de la roca caja piso en relación con el Índice RMR.	65
Tabla 57. Valoración de la roca caja techo en relación con el Índice RMR.	65
Tabla 58. Valoración de la estructura mineralizada en relación con el Índice RMR.	66
Tabla 59. Métodos de explotación resultantes.....	66
Tabla 60. Características principales para selección de métodos de explotación.	66
Tabla 61. Características operativas para selección de métodos de explotación.....	67
Tabla 62. Costos de explotación – Corte y relleno ascendente.	67
Tabla 63. Parámetros de la sección y costo por tonelada extraída.	70
Tabla 64. Costos de explotación – Tajeo por subniveles.	70
Tabla 65. Parámetros de la sección y costo por tonelada extraída.	72
Tabla 66. Costos de explotación – Almacenamiento provisional.	73
Tabla 67. Parámetros de la sección y costo por tonelada extraída.	75
Tabla 68. Parámetros de la sección y costo por tonelada extraída.	75

LISTA DE ABREVIATURAS

%	: Tanto por ciento.
Bach.	: Bachiller.
BISA	: Buenaventura Ingenieros Sociedad Anónima.
E	: East (Este)
EPP	: Equipo de protección personal.
g/ton	: Gramos por tonelada.
GPS	: Global Positioning System (Sistema de posicionamiento global)
h.	: Hora.
Ing.	: Ingeniero.
INGEMMET	: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
k/cm ²	: kilo por centímetro cuadrado.
M. Cs.	: Maestro en ciencias.
MPa	: Megapascal.
N	: North (Norte)
S	: South (Sur)
TM	: Tonelada métrica (equivalente a 1000 kg)
Tn	: Tonelada (equivalente a 1000 kg)
U.E.A.	: Unidad económica administrativa.
UTM	: Universal Transversal Mercator (Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator)
W	: West (Oeste)
WGS-84	: World Geodetic System (Sistema Geodésico de Coordenadas Geográficas de 1984)

RESUMEN

La investigación se desarrolló en el Yacimiento Minero Huayrapongo, ubicado en el distrito de San Bernardino, provincia de San Pablo, departamento de Cajamarca. El objetivo que se trazó fue determinar la selección del método de explotación óptimo para la veta victoria del yacimiento minero Huayrapongo mediante el método numérico de Nicholas. En la superficie se observó afloramientos de rocas andesíticas en variadas tonalidades, ciertas zonas presentan alteración por oxidación pertenecientes a la formación del Grupo Calipuy con un comportamiento geomecánico no muy variable y estructuras mineralizadas de plomo, plata y zinc semi-verticales que varían de 1 a 3 metros de potencia en promedio. Actualmente se encuentra en etapa de exploración con la finalidad de probar sus reservas y posteriormente explotarlas, es por ello que resulta necesario evaluar el comportamiento geomecánico y geométrico para poder seleccionar el método de explotación subterráneo óptimo. La aplicación del método de Nicholas permitió determinar la factibilidad de los métodos de explotación haciendo uso de valorización numérica, como primer paso fue clasificar la geometría y la distribución de leyes, en segundo lugar, las características mecánicas del mineral, caja techo y caja piso. Finalmente se determinó la selección del método de explotación óptimo para la veta Victoria aplicando los criterios de: método numérico de Nicholas, comparación de características y variables operativas, y costos de explotación, determinando que el método Almacenamiento Provisional es el óptimo a aplicar en el yacimiento minero Huayrapongo.

PALABRAS CLAVE: Método de explotación, Veta Victoria, Yacimiento, Huayrapongo.

ABSTRACT

The investigation was developed in the Huayrapongo Mining Deposit, located in the district of San Bernardino, province of San Pablo, department of Cajamarca. The objective that was outlined was to determine the selection of the optimal exploitation method for the victory vein of the Huayrapongo mining deposit through the Nicholas numerical method. On the surface, outcrops of andesitic rocks were observed in various shades, certain areas show alteration due to oxidation belonging to the Calipuy Group formation with a not very variable geomechanical behavior and semi-vertical lead, silver and zinc mineralized structures that vary from 1 to 3 meters of power on average. It is currently in the exploration stage in order to test its reserves and subsequently exploit them, which is why it is necessary to evaluate the geomechanical and geometric behavior in order to select the optimal underground exploitation method. The application of the Nicholas method allowed us to determine the feasibility of the exploitation methods using numerical valuation. The first step was to classify the geometry and distribution of grades, secondly the mechanical characteristics of the mineral, roof box and floor box. Finally, the selection of the optimal exploitation method for the Victoria vein was determined by applying the criteria of: Nicholas numerical method, comparison of characteristics and operating variables, and exploitation costs, determining that the Shrinkage Stopping method is the optimal one to apply in the deposit Huayrapongo mine.

KEY WORDS: Method of exploitation, Veta Victoria, Deposit, Huayrapongo.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El Yacimiento Minero Huayrapongo se encuentra ubicado en el distrito de San Bernardino, provincia de San Pablo, departamento de Cajamarca. En el yacimiento se realizó la selección del método de explotación óptimo para la recuperación del mineral de la veta Victoria. Superficialmente se observó afloramientos de rocas andesíticas en diferentes tonalidades, algunas zonas presentan alteración por oxidación con un comportamiento geomecánico no muy variable. Las estructuras mineralizadas son semiverticales de 1 a 3 m de potencia con contenido de plomo, plata y zinc.

En la investigación se planteó la pregunta: ¿Qué variables determinan la selección del metodo de explotación óptimo para la veta Victoria del Yacimiento Minero Huayrapongo Cajamarca 2022?, cuya hipótesis fue: Las variables que determinan la selección del método de explotación óptimo para la veta Victoria del Yacimiento Minero Huayrapongo son: litología de la roca, geometría del yacimiento mineral y evaluación geomecánica; interpolando dichas variables, los resultados obtenidos fueron una explotación subterránea de tipo Shirinkage Stopping.

El proyecto Huayrapongo ha decidido explotar la veta Victoria, y mediante la presente investigación se da a conocer la metodología empleada para determinar el método de explotación en base a estudios litológicos, estudios geomecánicos y estudios geométricos de la veta. El afloramiento de la estructura mineralizada se observa en la superficie terrestre y sigue una dirección NW-SE, mediante el Método Numérico de Nicholas se halló el tipo de explotación óptimo y así a aprovechar el recurso mineralógico existente.

El objetivo general es determinar la selección del metodo de explotación óptimo para la veta Victoria del Yacimiento Minero Huayrapongo aplicando el Método Numérico de Nicholas; como objetivos específicos se tiene: identificar la geometría del yacimiento minero presente en la zona de estudio, evaluar las condiciones geomecánicas del macizo rocoso y de la estructura mineralizada; además, describir las ventajas del método de explotación subterránea determinado.

En el primer capítulo se presenta el problema, formulación e hipótesis, justificación y objetivos de la investigación. El segundo capítulo abarca los antecedentes teóricos relacionados a la investigación, así como los fundamentos teóricos del método de explotación subterránea y también se describe la definición de términos básicos. En el tercer capítulo, se detalla la ubicación geográfica y accesibilidad a la zona de investigación, de igual manera, la descripción de materiales utilizados, la metodología, técnicas e instrumentos para la recolección de datos y la descripción de procedimientos usados. En el cuarto capítulo, se presenta el análisis y discusión de resultados a los que se ha llegado en la investigación. En el quinto capítulo se muestra las conclusiones para cada objetivo planteado y las recomendaciones que se plantea para futuras investigaciones.

Finalmente se presenta las referencias bibliográficas acompañado de los anexos donde se plasma los planos temáticos relacionados a la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

INTERNACIONALES

Muruaga (2016), en su Tesis de Pregrado, Selección de método de explotación para vetas angostas; concluye que de acuerdo al análisis realizado se han definido las condiciones de aplicación de los métodos Sublevel Stopping y Sublevel Caving para la explotación de vetas angostas; el método Sublevel Stopping es aplicable preferentemente por sobre el método Sublevel Caving cuando la inclinación de la veta es cercana a los 90° y un Q de Barton con valores cercanos a 10; el método Sublevel Caving es aplicable referentemente por sobre el método Sublevel Stopping bajo las condiciones de inclinación del cuerpo mineralizado en valores cercanos a 60° y Q de Barton con valores aproximados a 5.

Maldonado (2022), en su Tesis de Pregrado, Propuesta de diseño de explotación subterránea para la extracción de oro en el área minera patricia, El Guabo – El Oro; concluye que la roca presente es de tipo II, que la describe como roca buena con una valorización de 61 puntos y demás resultados del análisis geomecánico del macizo rocoso se determinó, mediante el método numérico Nicholas (1981), que el método de explotación corte y relleno ascendente es el que más se acopla al yacimiento mineral.

NACIONALES

García (2019), en su Tesis de Pregrado, Selección de método de explotación y su impacto en la productividad en la mina El Extraño UEA Copemina – 2019, desarrolló el método numérico de Nicholas para la selección del método de explotación en vetas angostas en base a propiedades geotécnicas, estado tensional in situ y características geométricas del yacimiento concluyendo que el método óptimo de explotación es Sublevel Stopping debido a la geometría y distribución de leyes, la estabilidad del mineral, la estabilidad de caja techo y la estabilidad de caja piso.

Cabello (2008), en su Tesis de Pregrado, Selección del método de explotación para la veta Piedad de la Mina Catalina Huanca, Ayacucho; concluye que de acuerdo a la clasificación geomecánica, características geométricas y condiciones hidrogeológicas del yacimiento, el método óptimo para su explotación es almacenamiento provisional con un TIR de 50.31% sobre la segunda opción que sería tajeo por subniveles con un TIR de 49.8%.

LOCALES

Aguilar & Cercado (2020), en su Tesis de Pregrado, Determinación del método de explotación subterránea en la concesión minera Alta Gracia-Yonán, 2020; concluyen lo siguiente, la evaluación geométrica a determinado que el yacimiento minero Alta Gracia es tipo veta, forma tabular, potencia estrecha, inclinación intermedia y una distribución de leyes uniforme; la resistencia a la carga puntual de la caja techo es 1.03 MPa, mineral de 1.12 MPa y caja piso es 0.58 MPa; de acuerdo a la geometría de la veta y sus características geomecánicas del mineral, caja techo y caja piso se determinó que el método de explotación corte y relleno ascendente es técnicamente aplicable para la explotación de la veta de hierro en la Concesión Minera Alta Gracia.

De La Cruz & Valdivia (2020), en su Tesis de Pregrado, Estudio del Método de Circado para la Explotación de Vetangostas en la Mina Nueva Esperanza Nivel II – Algamarca; concluyen que se determinó el método de explotación complementario al método de circado aplicando la metodología de Nicholas. Concluye que para la determinación del método de explotación fue la recolección de características del yacimiento, caja techo y caja piso que están presentes en las vetas angostas; todo ello se evaluó con cada uno de los métodos de explotación aplicando el método de Nicholas.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Selección del método de explotación subterránea

El método de explotación subterránea es definido técnicamente y económicamente según las condiciones operacionales y naturales del área de investigación, se basa netamente en las condiciones geológicas del macizo rocoso, condiciones geomecánicas, condiciones geométricas, condiciones hidrológicas y una exhaustiva evaluación de las condiciones económicas. La determinación del tipo de método de explotación subterránea se obtiene haciendo una evaluación detallada de cada uno de los parámetros y categorías básicas (Rivera, 2015):

Tabla 1. Parámetros de evaluación para la selección del método de explotación.

Parámetros geomecánicos	Litología
	Agua subterránea
	Geofísica del yacimiento
	Génesis del mineral
Ocurrencia del mineral	Continuidad de zonas de mineral dentro de las discontinuidades
	Ocurrencia del mineral dentro de la veta (ley mineral)
	Ocurrencia del mineral económico dentro de la zona mineral
Configuración del cuerpo mineral	Dirección
	Buzamiento
	Tamaño
	Forma
Seguridad / Regulación	Intensidad de trabajo del método de explotación
	Grado de mecanización
	Requerimientos de ventilación
	Requerimientos de refrigeración
	Requerimientos de sostenimiento
	Control de polvo
	Control de ruido
	Control de gases
Ambiental	Potencial de subsidencia
	Contaminación de aguas subterráneas
	Controles de ruido
	Controles de calidad de aire
Económico	Toneladas de mineral explotable
	Ley del cuerpo mineral

Fuente: Rivera, 2015.

La selección del método toma en cuenta las siguientes características principales:

- Características físicas y geológicas de la estructura.
- Condiciones del macizo rocoso en la cual están la caja techo, caja piso y veta.
- Costos de minado y de capital.
- Ratios de minado.
- Disponibilidad y costo de la labor.
- Consideraciones medio ambientales.

El objetivo principal es la optimización de las ganancias para la empresa minera, incrementar la recuperación del mineral y proveer un ambiente seguro para los trabajadores; el diseño de una mina tiene múltiples etapas y metas, se destaca lo siguiente: la selección del método de explotación, el dimensionamiento geométrico, ritmo anual de producción, ley de corte y la secuencia de extracción.

La inversión de capital actualmente ha llegado a picos muy elevados, por lo que influye sobre los costos de extracción, necesariamente el proceso de selección tiene que responder a un análisis sistemático y general de todos los parámetros específicos del yacimiento: geometría del depósito, distribución de leyes, propiedades geomecánicas de las vetas, rocas encajonantes, factores económicos, licencias ambientales y condiciones sociales.

Cada uno de los parámetros del yacimiento presenta dificultades de cuantificación, por lo que han impedido el desarrollo de reglas rígidas y esquemas precisos de explotación, aplicables yacimientos particulares. Los avances logrados año a año en las diferentes ramas de la ciencia y la tecnología, han permitido determinar métodos generales de minado, así como procesos numéricos de selección de métodos de explotación subterránea.

Aparte de la importancia de los métodos de explotación, e inherente a cada uno de ellos, están la determinación de la producción anual y la ley de corte mínima explotable; la incidencia en los costos del proyecto es amplia. La ley de corte afecta directamente al volumen total de reservas explotables, considerando que si la capacidad de producción es pequeña, entonces no permite las economías de escala; y si este es muy grande conlleva a una inversión inicial alta comparándola con la vida útil de la mina (Rivera, 2015).

2.2.2. Geometría y sistema de los métodos de explotación

La geometría de un método de explotación se refiere a la disposición de las diferentes labores mineras necesarias para la explotación de un bloque de mineral. Las labores mineras subterráneas son las mismas en todos los métodos de explotación y compañías mineras; sin embargo, varían en su posición geográfica, tamaño, sección y número.

En cada una de las labores se tiene una altura de explotación, y viene determinada por la división de la mina en niveles y subniveles. Por cada nivel hay que considerar dos subniveles y en cada subnivel por lo menos una galería, en la mayoría de casos se cuenta con dos galerías en cada nivel: galería superior y galería base dentro del mineral y galerías auxiliares en dirección de las cajas.

Desde un nivel inferior hasta otro nivel superior se establecen comunicaciones con labores verticales o inclinadas, estas labores son chimeneas y su uso es para el paso de aire, personal u otros servicios. La cantidad de chimeneas y distancia entre ellas, viene determinado por la geometría de cada método de explotación.

Fundamentalmente las características de cada método de explotación son variadas, en las labores de explotación puede existir limpieza y relleno, definidas dentro del bloque creado entre nivel y nivel. Los bloques de minado tienen una geometría muy variada, básicamente por su situación y sentido de explotación.

Los sistemas de los métodos de explotación están referidos a los aspectos tecnológicos, concretamente al uso de tecnologías para el trabajo en las distintas fases del tajeo y servicios auxiliares en interior mina. Así pueden distinguirse los sistemas siguientes en cada uno de los métodos (Rivera, 2015):

- Perforación y voladura (maquinarias, esquemas, tipos de explosivos)
- Sostenimiento (tipos de sostenimiento, control de aberturas)
- Transporte (variantes del mismo en la explotación y general)
- Elementos auxiliares (ventilación, desagüe, seguridad)
- Avances de labores (minadores y maquinas similares)
- Explotación (mecanización del mismo)

Particularmente, cada bloque mineralizado tiene la posibilidad de emplear un método específico de explotación, y dentro de cada método de explotación se tendrá que elegir los sistemas más convenientes.

Cabe precisar que un sistema u operación unitaria puede ser decisivo en la elección de un método de explotación, así como dos sistemas que reúnan condiciones similares también definirán al método de explotación para el yacimiento (Rivera, 2015).

2.2.3. Clasificación de los métodos de explotación

La importancia de las características del macizo rocoso en la posibilidad de la aplicación de un método de explotación y su influencia en el dimensionamiento de las explotaciones, pueden servir como criterios para realizar una clasificación de los mismos, basada en la resistencia del citado macizo rocoso, comprendiendo en él, no solo las rocas en la que se arma el bloque a ser explotado, sino también las que constituyen el mismo y son objeto del laboreo de la mina.

Un bloque mineralizado y sus características determinan si su explotación es favorable o no, así mismo las características permitirán el control y la estabilidad del macizo rocoso en el inicio de los trabajos de extracción. En toda labor minera se crea una abertura, la roca que lo limita avanza poco a poco hasta un límite de rotura, al llegar a este límite hay que adaptar el método y con frecuencia el método evoluciona.

La extracción del desmonte en las labores subterráneas son poco significativa a lo largo de la vida de la mina, su procedencia será únicamente de las labores de acceso y preparación de cada método de explotación. La estabilidad del macizo rocoso y las discontinuidades presentes en la roca encajonante una vez extraído el mineral es una de las consideraciones más importantes que intervienen en la manera de explotar un bloque mineralizado, varían desde la aplicación de un sostenimiento firme con pilares o macizos rígidos, pasando por el control y estabilidad del techo, con convergencia uniforme de las aberturas de las discontinuidades. Los tres principios fundamentales para controlar la abertura de una labor minera subterránea son:

- Sostenimiento firme con pilares o macizos rígidos.
- Sostenimientos flexibles o relleno que controlen y mejoren el hundimiento.
- Hundimiento total.

Los pilares del primer grupo se dimensionan mediante cálculos numéricos y por métodos empíricos, la acumulación de energía tensional se controla y vigila completamente. En los métodos de transición que corresponden al segundo grupo hay algunos en los que

aumenta la carga por la profundidad o por la ampliación de la abertura al recuperar los pilares, entonces consecuentemente hay rebaja de la sección de los mismos.

Por todo lo mencionado anteriormente aumenta el costo de conservación de las aberturas y, en la etapa final se produce la destrucción progresiva o instantánea del pilar. La zona en la que se encuentran estos métodos tiene un nombre característico denominado “métodos de acumulación de energía tensional”, los mismos que pueden provocar en rocas resistentes, fenómenos peligrosos de desplomes instantáneos o estallidos de roca.

Los métodos que se encuentran entre el segundo y el tercero y los del tercer grupo, el hundimiento es progresivo en mayor grado, a consecuencia de los propios métodos y, por ello, salvo en el caso de accidentes fortuitos, si el hundimiento sigue el curso normal previsto, entonces la energía tensional acumulada se descarga con el mismo, y llegará hasta un cierto límite.

Lo descrito líneas arriba, brinda una guía y un criterio de clasificación que consiste en ordenar los métodos de explotación en relación con la resistencia de los macizos rocosos, su estabilidad y otras características geométricas. La clasificación es la que se muestra a continuación:

2.2.3.1. Explotaciones con sostenimiento natural

En este tipo de explotaciones los métodos en los cuales la apertura es creada se conservan sin relleno ni hundimiento, dicho de otra manera, sin ninguna fortificación artificial o natural, con fortificaciones sistemáticas, o con fortificaciones naturales de madera. La aplicación de estos métodos es cuando las características mecánicas del yacimiento como las de la roca caja son muy buenas.

Mientras crece la profundidad de las estructuras, también crece las tensiones y la sección de los pilares hasta que llega un punto de pasar a los métodos de transición, entre los grupos primero y segundo y, finalmente, a los del grupo tercero. Se considera los siguientes métodos de explotación dentro de este primer grupo:

- **Cámaras y pilares (con pilares ocasionales o sistemáticos)**

En la terminología inglesa a este método se le conoce como Room and Pillar, donde el mineral es excavado la mayor parte del yacimiento minable, quedando una parte del mineral como pilar para sostener el techo. El mineral se extrae en la mayor cantidad

posible, las dimensiones de las cámaras y pilares se ajustan a la presión y resistencia del mineral. Los pilares son recuperados parcial o totalmente al final de la explotación, el reemplazo de los mismos se realiza con otro material para el sostenimiento del techo o también se extrae en forma de retirada, abandonándolos para su posterior hundimiento del techo; caso contrario los pilares con mineral económico se dejan sin extraerlos.

Condiciones para su aplicación:

Este método se aplica en cuerpos con buzamientos horizontales, normalmente no debe exceder los 30°, el mineral y la roca encajonantes deben ser relativamente competentes. Minerales que no requieran clasificación en la explotación, en depósitos de gran potencia y áreas extensas. Si el macizo rocoso es de buena calidad se explota con cámaras de mayor dimensión, en el caso contrario que sea malo se dejará pilares de mayor dimensión.

- **Open stope (con pilares ocasionales o sistemáticos)**

En este tipo de explotación, el mineral es arrancado por franjas horizontales, empezando desde la parte inferior del cuerpo mineralizado y avanzando hacia arriba. Todo el mineral disparado se recupera por los Box-Hole, para ser transportados en convoy hacia los ore pass, previamente al jale, se hace una plataforma de madera con distancia apropiada para continuar con el próximo corte, y así sucesivamente hasta llegar a explotar todo el tajeo.

Condiciones para su aplicación:

Este método se aplica en vetas con buzamientos pronunciados mayores a 70°, la roca encajonante de regular calidad, sin aberturas cerca al tajeo y potencias de veta de 0.5 – 1.5 metros.

- **Sublevel stoping (con pilares en el rumbo y/o el buzamiento)**

Otro nombre característico de este método es Minado por Subniveles y consiste básicamente en dejar cámaras vacías después de la extracción del mineral. Una característica principal es su gran productividad debido a que las labores de preparación y las mallas de perforación se realizan en su mayor parte dentro del mineral y con amplias dimensiones. Para prevenir el colapso de las paredes, los cuerpos grandes normalmente se dividen en 2 tajos o más tajos; los polares se recuperan en la etapa final del minado.

El minado se realiza desde dos niveles para predeterminedar los intervalos verticales. Aquí los subniveles se encuentran y son desarrollados entre los niveles principales; el mineral

es volado con taladros largos, por gravedad cae hacia la zona vacía y su recuperación se realiza desde los draw-point, finalmente su trasladarlo hacia superficie se efectúa mediante izaje.

Condiciones para su aplicación:

Este método es aplicable en depósitos verticales o próximo a ello, debiendo exceder el ángulo de reposo del mineral; la encajonante debe ser competente y resistente al igual que el mineral, los límites del yacimiento deben ser amplios y regulares.

- **Vertical cráter retreat (con pilares prediseñados)**

En otras bibliografías se encuentra como método VCR, fundamentalmente se basa en la teoría de cráteres. Indicar que ha sido el desarrollo más importante de la tecnología moderna del minado subterráneo, debido a la implementación de taladros de mayor diámetro. Es una aplicación de la teoría de C. Livingston de la voladura por cráteres con cargas esféricas.

El método VCR tiene similitud con Shrinkage, ya que la explotación se realiza con cortes horizontales que empiezan desde la parte inferior y avanzan hacia arriba, el mineral volado va acumulándose y luego se recupera desde el nivel inferior a través de un sistema de cruceros.

Condiciones para su aplicación:

Tiene que tener las características operacionales del equipo “down the hole”, así mismo, el yacimiento debe ser de gran buzamiento y potencia.

2.2.3.2. Explotaciones con sostenimiento artificial

Son métodos en los cuales se utiliza un sostenimiento artificial ya sea con material de desmonte de la propia explotación o con otro tipo de material o estructuras. Su aplicación es en vetas de fuerte pendiente con malas características de la roca encajonante; precisar que son métodos muy costosos y relativamente selectivos. La evaluación y estabilidad del macizo rocoso se realiza de manera continua con el fin de evitar accidentes. El sostenimiento de la roca que rodea la abertura de la labor debe realizarse por debajo de su límite de rotura, tomando en cuenta el tiempo suficiente para asegurar el ciclo de trabajo del personal en el frente de explotación. Los siguientes métodos están dentro de este grupo:

- **Shrinkage stoping (Con pilares o sin pilares)**

En literaturas diferentes se conoce como almacenamiento provisional o cámaras almacén, el mineral es cortado en rebanadas horizontales, comenzando de la parte baja y avanzando hacia arriba. Su característica principal de este método radica que las estructuras mineralizadas tienen que presentar buzamientos pronunciados, así como el mineral debe ser lo suficientemente resistente para sostener sin soporte tanto las rocas encajonantes como el techo del tajeo. Las rocas encajonantes pueden ser relativamente frágiles, siempre y cuando la dilución del mineral no sea un problema; un inconveniente con este método es el planchoneo, que puede traer problemas en la extracción por atascamiento de los chutes o puntos de carguío. El buzamiento de la veta debe ser mayor a 60°.

El material volado después de la perforación es usado como plataforma de trabajo, que también sirve como relleno para soportar las rocas encajonantes. El esponjamiento del mineral incrementa el volumen en aproximadamente 30% a 40%; y para conservar la distancia del piso al techo como área de trabajo es necesario extraer el exceso de mineral y así continuar con el ciclo siguiente; esto implica que 60% a 65% de mineral estará en el tajo hasta que alcance una altura suficientemente útil.

Condiciones para su aplicación:

La principal condición es que el yacimiento debe tener un buzamiento mayor a 60° con respecto a la horizontal con el fin de permitir que el mineral fluya con facilidad, también debe tener rumbo y potencia uniforme de 1 m a 30 m.

La estructura mineralizada debe ser resistente para mantener el techo sin sostenimiento y solo se realice desate de rocas. La veta debe ser regular en cuanto a su forma, de otra manera el mineral quedaría incrustado tanto en la roca caja piso y techo, permitiendo una alta dilución. Las rocas encajonantes deben ser relativamente estables y la estructura mineralizada debe tener ley uniforme.

- **Corte y relleno (en todas sus variedades)**

También conocido como “Cut and Fill”, se realiza en forma de tajadas horizontales comenzando del fondo del tajo y avanzando hacia arriba. El mineral volado es limpiado y extraído completamente del frente cuando toda la malla de perforación ha sido disparada, el volumen extraído es rellenado con un tipo de relleno ya sea hidráulico o detrítico con el fin de sostener a las cajas.

El relleno puede ser de roca estéril proveniente de otras labores de desarrollo de la misma operación minera y es relleno mecánicamente en los espacios ya disparados; así mismo con el avance de la tecnología es práctica común el uso del método de relleno hidráulico, este material procede de los relaves de la planta concentradora, mezclándolo con agua y cemento, para su posterior transporte a interior mina a través de tuberías; en el momento que el agua del relleno es drenado quedará un material competente con una superficie uniforme que brindará un sostenimiento estable a la labor de explotación.

Condiciones para su aplicación:

Este método es aplicable en yacimientos con buzamientos pronunciados, en cualquier depósito o terreno, con cajas medianamente competentes. Tanto las rocas caja techo como caja piso del yacimiento no necesariamente tienen que ser regulares y competentes, pero sí el mineral debe tener buena ley, así como tener disponibilidad del material de relleno para su transporte a las labores de interior mina.

- **Minado con cuadros de madera (en todas sus variaciones)**

Su nombre alternativo en inglés es “Square Set”, consiste en disparar un volumen de mineral, limpiar y extraer para luego proceder a entibar pequeños bloques de mineral, antes de proseguir a la siguiente sección. Un square set está conformado por dos redondos verticales y un horizontal generalmente formando un ángulo recto. Las maderas horizontales son llamadas sombreros, se denominan avances cuando se ubican en forma perpendicular al frente; las maderas verticales son denominadas postes. En los extremos de la madera se hacen muescas a fin de agarrar las maderas adyacentes. Se instalan cuadros sucesivos de madera a fin de completar una estructura celular de soporte. El entibado adyacente es encuadrado de tal manera que soporte el piso conforme una estructura continua de pisos horizontales de cuadros rectangulares sometidos en su esquina por medio de postes.

La aplicación de los square set demanda altos costos para la explotación de la labor y así como en materiales, por lo que ya no se usa actualmente; su falta de aplicación se debe también a la escasez de yacimientos minerales con alta ley y, así se justifique los altos costos de explotación. Una de las ventajas principales es que se aplica a diferentes formas de cuerpos mineralizados; sin embargo, la mano de obra es sumamente intensa, por lo que implica grandes suministros de madera para la estabilidad de la labor.

Condiciones para su aplicación:

El método es aplicable en muchas circunstancias; en recuperación de pilares de alta ley entre los tajeos de coste y relleno, así como también por encima y debajo de las galerías de acceso. También se aplica a cuerpos mineralizados en terrenos incompetentes, vetas bastante estrechas que sean irregulares para ser explotados por otros métodos.

Explotación de cuerpos mineralizados de alta ley en donde la pérdida por dilución de los métodos de socavón sea inaceptable. Finalmente en cuerpos mineralizados de gran tamaño en donde sea necesario un soporte inmediato y cerrado.

- **Minado por tajeos largos**

Conocido también como “Longwall Mining”, se aplica generalmente a la producción de carbón y otros minerales dando lugar a grandes fretes o paredes, bloqueadas entre dos paneles. Los grandes frentes o paredes, normalmente son proyectados en longitudes de 200 a 600 pies, llegando a 1200 pies (400 m).

Condiciones para su aplicación:

Este método puede ser aplicado en depósitos suficientemente grandes para que justifique la inversión de capital, el espesor del depósito varía desde 0.6 m hasta 61 m. La inclinación óptima para este método varía desde 0 a 15°. Bajo condiciones especiales, pueden incluso minarse depósitos verticales. Se emplean techos artificiales cuando la explotación es en retirada y por hundimiento, no requiere de mucha mano de obra ya que éstas son altamente mecanizadas.

2.2.3.3. Explotaciones por hundimiento

Para la explotación por este método se distinguen dos variables, la primera variable comprende en que el hundimiento final se produce en etapas controladas con el fin de mitigar las alteraciones superficiales, de modo que las zonas de fractura, compresión y descenso se compensen todo lo posible; la segunda variable condicionada por el tamaño de las aberturas o las características del bloque, el hundimiento no es controlable en superficie, por ende se produce un desequilibrio del macizo rocoso, ocasionando que al realizar el carguío del mineral se presentan rocas estériles de los hastiales y recubrimiento. Los métodos comprendidos son diametralmente opuestos entre el primer y segundo grupo.

- **Block caving**

Minado por Hundimiento de Bloques, en este método el mineral es fracturado por sí mismo, básicamente por el resultado de las fuerzas y esfuerzos internos, la perforación y voladura requerida en producción es mínima. El tajeo es dividido en secciones o bloques grandes, principalmente con una sección horizontal cuadrada y con un área de más de mil metros cuadrados; cada bloque es completamente definido por un corte horizontal que es excavado en la parte inferior del bloque.

El fracturamiento de todo el bloque es consecuencia de las fuerzas gravitacionales que actúan sobre la masa rocosa con pesos de millones de toneladas, ya que la presión de la roca aumenta en la parte inferior del bloque, el mineral es fracturado en tamaños que son removidos hacia los puntos de carguío.

Condiciones para su aplicación:

Principalmente de aplica en cuerpos grandes y masivos, con alto buzamiento hasta verticales y de gran extensión. Realizado el primer corte, el macizo rocoso se romperá en fragmentos adecuados, por lo que el mineral será homogéneo.

- **Sublevel caving.**

También conocido como minado por hundimiento de subniveles; el cuerpo mineral es dividido en subniveles o espacios verticales proporcionalmente de 8 a 10 metros, dependiendo de los equipos de perforación y de las características del yacimiento, las galerías son ubicadas fuera de las secciones transversales del yacimiento; en depósitos angostos las galerías son paralelas a la veta.

La perforación se realizará desde el subnivel, los taladros tendrán trazos en paralelo o en abanico; toda la perforación se realiza en retirada y los diversos subniveles pueden ser perforados en su totalidad antes de que se inicie la voladura y la producción. Para empezar el arranque se abre una rosa al techo de cada subnivel de perforación, que sirva de salida a la voladura en retirada. Paralelamente se tendrán niveles con ciclos de arranque, carguío, perforación y preparación.

Condiciones para su aplicación:

El método de hundimiento por subniveles es aplicable en cuerpos masivos de gran tamaño y alto buzamiento. Para el empleo de este método la estructura mineralizada será de

resistencia media, quebradiza y bien estratificada. Dicho método es muy favorable para vetas de gran volumen, el terreno superficial debe permitir desplomes sin crear problemas graves (Llanque et al., 1999).

2.2.4. Método de explotación subterránea

Cada método de explotación tiene características principales requeridas para cada aplicación. La Tabla 2 resume concisamente las características principales que son requeridas por cada uno de los métodos de explotación:

Tabla 2. Características principales de los métodos Room and Pillar-Sublevel Stopping-Shrinkage.

Método de Minado		Room and Pillar		Sublevel Stopping		Shrinkage	
		Aceptable	Óptimo	Aceptable	Óptimo	Aceptable	Óptimo
Geometría del yacimiento	Forma	Cualquiera	Tabular	Cualquiera	Tabular	Cualquiera	Tabular
	Potencia	> 1.0 m	> 3.0 m	> 5.0 m	> 10.0 m	Cualquiera	> 3.0 m
	Buzamiento	< 30°	Horizontal	> 45°	> 65°	> 30°	> 60°
	Tamaño	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	> 10.0 m	Cualquiera	Cualquiera
	Regularidad	Cualquiera	Regular	Media	Baja	Cualquiera	Regular
Aspectos geotécnicos	Resistencia (techo)	> 300 k/cm ²	> 500 k/cm ²	Incluye poco	> 500 k/cm ²	> 30 Mpa	> 50 Mpa
	Resistencia (mena)	-	> 500 k/cm ²	-	-	-	> 50 Mpa
	Fracturación (techo)	Baja	Muy baja	Media	Baja	Alta-Media	Media-Baja
	Fracturación (mena)	-	-	-	-	Media-Baja	Baja
	Campo tensional insitu (profundidad)	< 1000 m	< 600 m	< 2000 m	< 1000 m	Cualquiera	< 1000 m
	Comportamiento tenso-deformacional	Elástico	Elástico	Elástico	Elástico	Elástico	Elástico
Aspectos Económicos	Valor unitario de la mena	Bajo	N.A.	Bajo	N.A.	Media-Alta	Alto
	Productividad y ritmo de explotación	Alto	N.A.	Alto	N.A.	Media-Baja	N.A.

Fuente: García, 2019.

Tabla 3. Características principales de los métodos Cut and Fill-Block Caving-Sublevel Caving.

Método de Minado		Cut and Fill		Block Caving		Sublevel Caving	
		Aceptable	Óptimo	Aceptable	Óptimo	Aceptable	Óptimo
Geometría del yacimiento	Forma	Cualquiera	Tabular	Cualquiera	Tabular	Tabular	Tabular
	Potencia	Cualquiera	> 3.0 m	Grande	Grande	Medio	Grande
	Buzamiento	> 30°	> 60°	Cualquiera	Vertical	Cualquiera	Vertical
	Tamaño	Cualquiera	Cualquiera	Grande	Muy grande	Medio	Grande
	Regularidad	Cualquiera	Regular	Media	Alta	Media	Alta
Aspectos geotécnicos	Resistencia (techo)	> 30 MPa	> 50 MPa	< 100 MPa	< 50 MPa	> 100 MPa	> 50 MPa
	Resistencia (mena)	-	> 50 MPa	< 100 MPa	< 50 MPa	> 100 MPa	> 50 MPa
	Fracturación (techo)	Alta-Media	Media-Baja	Media-Alta	Alta	Media-Alta	Alta
	Fracturación (mena)	Media-Baja	Baja	Media-Alta	Alta	Media	Baja
	Campo tensional insitu (profundidad)	Cualquiera	< 1000 m	< 1000 m	< 500 m	< 1000 m	< 1000 m
	Comportamiento tenso-deformacional	Elástico	Elástico	Elástico	Elástico	Elástico	Elástico
Aspectos Económicos	Valor unitario de la mena	Media-Alta	Alto	Bajo-Muy bajo	N.A.	Bajo	N.A.
	Productividad y ritmo de explotación	Media-Baja	N.A.	Muy alto	N.A.	Alto	N.A.

Fuente: García, 2019.

Los criterios a considerar en la selección del método de explotación óptimo para la explotación de un determinado bloque mineralizado, vienen influenciados por una serie de parámetros cuya importancia varía con la situación geográfica, el nivel de desarrollo de la tecnología y la economía del país donde se encuentra, además el factor tiempo es fundamental. Los parámetros que resulten de dicha selección, unos serán de valoración fácil y otros de valoración difícil, y solo pueden considerarse fijos en un lugar y tiempo determinados.

La evolución económica y tecnológica que se producen día a día, obligan a revisar constantemente los métodos; no es fácil ofrecer una clasificación de criterios de selección del método de explotación, y por ello solo deben indicarse de forma muy general las

variaciones e influencias reciprocas de todos los parámetros que han de tenerse en cuenta, un aspecto importante será considerar criterios subjetivos de la experiencia geológica y minera, como complemento de los deducidos lógicamente.

Una metodología inicial consiste en seguir un orden inverso con los parámetros a evaluar, es decir, eliminando a la vista de los parámetros principales, aquellos métodos que claramente no sean apropiados al caso concreto que se considera. De esta manera se determina limitando pocos métodos de explotación, llegando con frecuencia al caso de tener que elegir entre dos soluciones posibles. De llegarse a dicha situación, se hará un análisis comparativo para una elección definitiva. Dicha metodología de selección no consigue definir el mejor método, ya que en la práctica al tener que adaptarse a los parámetros del caso concreto, el resultado será una variante de un método o una combinación de varios.

Por lo tanto la recomendación es no precipitarse en la selección del método, sino que tomarse el tiempo necesario en lograr una solución óptima antes de comprometer el capital económico y capital humano (Rivera, 2015).

2.2.5. Clasificación de las variables

Son clasificadas en dos grupos y las variables de selección están basadas en una serie de parámetros fundamentales (Rivera, 2015):

Parámetros primarios: Básicamente su conformación está dada por características espaciales del depósito, condiciones geológicas e hidrológicas y propiedades geotécnicas.

Parámetros que resultan de la selección del método: Son tres aspectos a evaluar, consideraciones económicas, factores tecnológicos y condiciones ambientales.

Parámetros primarios

Son los que tienen la mayor importancia determinativa, definen categóricamente la selección entre un minado superficial contra un minado subterráneo, por ende, afectan la productividad, el método para manejo de materiales y el plan de minado en el proyecto minero. Los siguientes parámetros son de primordial investigación y estudio:

- Tamaño del cuerpo mineralizado (dimensiones, especialmente altura o espesor)
- Forma (tabular, lenticular, masiva, irregular).
- Ubicación (horizontal, vertical, inclinada).

- Profundidad (media y valores extremos).

Condiciones geológicas e hidrológicas:

En la estructura mineral y el macizo rocoso que lo rodea sus características geológicas tienen gran influencia en la selección del método de explotación, específicamente en la selección de métodos selectivos contra no selectivos, además del grado de soporte requerido para cuando se realice la explotación. Las condiciones hidrológicas tienen consecuencias sobre los requerimientos de drenaje y bombeo. Las condiciones a estudiar son las siguientes:

- Mineralogía y petrografía (sulfuros vs óxidos).
- Composición química (primaria, minerales subproducto).
- Estructura del depósito (plegamientos, fallas, intrusiones, discontinuidades)
- Planos de debilidad (juntas, fracturas, clivaje del mineral).
- Aguas subterráneas e hidrología (ocurrencia, nivel freático).
- Uniformidad, alteración e intemperismo.

Propiedades geotécnicas (mecánica de suelos y rocas):

Son las propiedades mecánicas de los materiales que se encuentran en el yacimiento minero y en los macizos rocosos adyacentes, ya que estos factores son claves en la selección del método de explotación (soportado naturalmente, con soporte o mediante hundimiento). Las propiedades a estudiar son las siguientes:

- Propiedades elásticas (resistencia a la compresión uniaxial y triaxial, relación de poisson y módulos de elasticidad).
- Comportamiento plástico o visco elástico.
- Capacidad soportante de las labores a explotar.
- Gravedad específica, porosidad, permeabilidad y humedad.

Parámetros que resultan de la selección del método

Consideraciones económicas:

La economía determina el éxito o fracaso del proyecto; dichos factores son los pilares de la selección del método ya que afectan la producción, la inversión, el flujo de caja, el periodo de recuperación y las ganancias:

- Reservas (tonelaje y leyes).
- Cantidad de producción (producido por unidad de tiempo).
- Vida de la mina.
- Productividad.
- Costos de minado comparativos para varios métodos aplicables.

Factores tecnológicos:

En este tipo de factores se indagará la mayor compatibilidad entre las condiciones naturales y el método de explotación. Determinado un método de explotación en particular a aplicar en la mina, también se evaluará los efectos adversos que puede causar en operaciones subsecuentes como el procesamiento o la fundición. Los factores a estudiar son:

- Recuperación de mina (porcentaje del depósito posible de explotar)
- Dilución (cantidad de desmonte producido junto con el mineral)
- Flexibilidad del método a condiciones cambiantes.
- Selectividad.
- Concentración o dispersión de trabajos.
- Intensidad del capital, mano de obra y mecanización.

Aspectos ambientales:

Están estrechamente vinculados al clima físico y al clima social-político-económico del país y zona donde se va realizar la explotación del proyecto. Se estudiarán los siguientes parámetros:

- Control de aperturas para prevención de accidentes.
- Subsistencia o efectos de hundimiento en superficie.
- Estudios atmosféricos de la ventilación, control de calidad del aire, control del calor y la humedad.
- Producción en un tiempo determinado y por mano de obra.
- Reclutamiento de personal, entrenamiento en seguridad minera e higiene, condiciones de vivienda y condiciones de la comunidad.

2.2.6. Método numérico de Nicholas (1981)

Este método numérico determina la factibilidad del método de explotación óptimo por valorización numérica, la metodología que brinda primero es clasificar la geometría del yacimiento y la distribución de las leyes de acuerdo la Tabla 4, las características geomecánicas del mineral según la Tabla 5, características geomecánicas de la caja techo y de la caja piso son igualmente clasificadas, usando las Tablas 6 y 7. Finalmente se realizan las puntuaciones de cada método de explotación según la Tabla 8, tomando en cuenta las características geométricas y distribución de leyes.

Cabe mencionar que un yacimiento masivo se caracteriza por tener una concentración de minerales o recursos naturales muy alta en un área relativamente pequeña. Esto significa que hay una gran cantidad de mineral o recurso natural presente en una zona del yacimiento, lo que lo hace muy atractivo desde el punto de vista económico. Los yacimientos masivos suelen tener una alta ley, es decir, un contenido de mineral o recurso natural por unidad de volumen o masa.

Tabla 4. Valoración de la geometría y distribución de leyes de los métodos de explotación.

Mining Method	Shape			Ore Thickness				Ore Plunge			Grade		
	M	T/P	I	N	I	T	VT	F	I	S	U	G	E
Open Pit Mining	3	2	3	2	3	4	4	3	3	4	3	3	3
Block Caving	4	2	0	-49	0	2	4	3	2	4	4	2	0
Sublevel Stopping	2	2	1	1	2	4	3	2	1	4	3	3	1
Sublevel Caving	3	4	1	-49	0	4	4	1	1	4	4	2	0
Longwall Mining	-49	4	-49	4	0	-49	-49	4	0	-49	4	2	0
Room and Pillar	0	4	2	4	2	-49	-49	4	1	0	3	3	3
Shrinkage Stopping	2	2	1	1	2	4	3	2	1	4	3	2	1
Cut and Fill	0	4	2	4	4	0	0	0	3	4	3	3	3
Top Slicing	3	3	0	-49	0	3	4	4	1	2	4	2	0
Square Set	0	2	4	4	4	1	1	2	3	3	3	3	3

General shape (Forma del yacimiento)	Ore plunge (Inclinación del mineral)
M (Masive): Masivo	F (Flat): Plano
T/P (Tabular): Tabular	I (Intermediate): Intermedio
I (Irregular): Irregular	S (Steep): Inclinado
Ore thickness (Potencia del mineral)	Grade distribution (Distribución de leyes)

N (Narrow): Estrecho	U (Uniform): Uniforme
I (Intermediate): Intermedio	G (Gradational): Diseminado
T (Thick): Potente	E (Erratic): Errático
VT (Very thick): Muy potente	

Fuente: Rivera, 2015.

Un yacimiento regular se caracteriza por tener una distribución más dispersa de los minerales o recursos naturales en un área más extensa. A diferencia de los yacimientos masivos, los yacimientos regulares tienen una concentración más baja de minerales o recursos naturales por unidad de volumen o masa. A menudo se requiere una mayor cantidad de material para extraer una cantidad significativa de mineral. Los yacimientos regulares pueden abarcar áreas mucho más grandes en comparación con los yacimientos masivos. A continuación se dan las puntuaciones de cada método de minado, con la tabla siguiente de acuerdo con las características geomecánicas del mineral, caja techo y caja piso.

Tabla 5. Valoración de las características geomecánicas del mineral de los diferentes métodos de explotación.

Mining Method	Rock Substance Strength			Fracture Spacing				Fracture Strength		
	W	M	S	VC	C	W	VW	W	M	S
Open Pit Mining	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4
Block Caving	4	1	1	4	4	3	0	4	3	0
Sublevel Stopping	-49	3	4	0	0	1	4	0	2	4
Sublevel Caving	0	3	3	0	2	4	4	0	2	2
Longwall Mining	4	1	0	4	4	0	0	4	3	0
Room and Pillar	0	3	4	0	1	2	4	0	2	4
Shrinkage Stopping	1	3	4	0	1	3	4	0	2	4
Cut and Fill	3	2	2	3	3	2	2	3	3	2
Top Slicing	2	3	3	1	1	2	4	1	2	4
Square Set	4	1	1	4	4	2	1	4	3	2

Rock Substance Strength (Resistencia de la roca)
W (Weak): Débil
M (Moderate): Moderado
S (Strong): Fuerte
Fracture Spacing (Espaciamento de la abertura)
VC (Very close): Muy pequeño
C (Close): Cerrado o pequeño
W (Wide): Grande
VW (Very Wide): Muy grande

Fracture Strength (Resistencia de las discontinuidades)
W (Weak): Débil o pequeña
M (Moderate): Moderado o media
S (Strong): Fuerte o grande

Fuente: Rivera, 2015.

Tabla 6. Valoración de las características geomecánicas de la caja techo de los diferentes métodos de explotación.

Mining Method	Rock Substance Strength			Fracture Spacing				Fracture Strength		
	W	M	S	VC	C	W	VW	W	M	S
Open Pit Mining	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4
Block Caving	4	2	1	3	4	3	0	4	2	0
Sublevel Stopping	-49	3	4	-49	0	1	4	0	2	4
Sublevel Caving	3	2	1	3	4	3	1	4	2	0
Longwall Mining	4	2	0	4	4	3	0	4	2	0
Room and Pillar	0	3	4	0	1	2	4	0	2	4
Shrinkage Stopping	4	2	1	4	4	3	0	4	2	0
Cut and Fill	3	2	2	3	3	2	2	4	3	2
Top Slicing	4	2	1	3	3	3	0	4	2	0
Square Set	3	2	2	3	3	2	2	4	3	2

Fuente: Rivera, 2015.

Tabla 7. Valoración de las características geomecánicas de la caja piso de los diferentes métodos de explotación.

Mining Method	Rock Substance Strength			Fracture Spacing				Fracture Strength		
	W	M	S	VC	C	W	VW	W	M	S
Open Pit Mining	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4
Block Caving	2	3	3	1	3	3	3	1	3	3
Sublevel Stopping	0	2	4	0	0	2	4	0	1	4
Sublevel Caving	0	2	4	0	1	3	4	0	2	4
Longwall Mining	2	3	3	1	2	4	3	1	3	3
Room and Pillar	0	2	4	0	1	3	3	0	3	3
Shrinkage Stopping	2	3	3	2	3	3	2	2	2	3
Cut and Fill	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2
Top Slicing	2	3	3	1	3	3	3	1	2	3
Square Set	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2

Fuente: Rivera, 2015.

Realizadas las valoraciones por la geometría y la distribución de las leyes, así como por las características geomecánicas, se evalúan situaciones diferentes donde la geometría, distribución de leyes y las características geomecánicas tienen pesos cambiantes, es decir influyen más o menos en la selección del método, para ello se utiliza la Tabla 8 mostrada a continuación:

Tabla 8. Factores de peso de Nicholas.

Geometría del mineral	1,00	1,00	1,00
Características geomecánicas del mineral	1,33	0,75	1,00
Características geomecánicas de la caja techo	1,33	0,60	0,80
Características geomecánicas de la caja piso	1,33	0,38	0,50

Fuente: Rivera, 2015.

Finalmente con todos los métodos de explotación se elabora una tabla resumen que se adecuen mejor a las características geométricas y geomecánicas, luego se determina cuales pasan a la siguiente etapa de evaluación que es el costo de operación y ritmo de producción requerido (Rivera, 2015).

2.2.7. Procedimiento para la elección del método

Consiste en realizar una comparación de los parámetros primarios y los parámetros que resultan de la selección del método, con ello se determinan cual método es conveniente. En una primera etapa se eliminan los métodos que no son aplicables, en la segunda etapa se realizan los anteproyectos de los métodos factibles técnicamente, calculando sus costos y sus gastos de inversión. De presentarse problemas con los métodos de minado preseleccionados se procede a realizar modificaciones de los mismos hasta hallar el método óptimo.

Los estudios geotécnicos se realizan en varias fases, en una primera fase corresponde a la decisión del método de minado, si son dos métodos entonces pasarán a ser evaluados en la fase de proyecto. El comportamiento geotécnico depende de la resistencia del macizo rocoso, el grado de fracturación y la resistencia de las discontinuidades. Las tablas 9 a la 13 resumen los datos del yacimiento para la selección del método de minado, y se muestran a continuación como una guía de ayuda para esta primera fase.

Tabla 9. Forma del yacimiento.

Forma del yacimiento	
Masivo:	Todas las dimensiones son similares en cualquier dirección.
Tabular:	Tomando como referencias tres dimensiones, dos de ellas son mucho mayores que la tercera.
Irregular:	Las dimensiones varían a distancias muy pequeñas.

Fuente: García, 2019.

Tabla 10. Potencia del mineral.

Potencia del mineral	
Estrecho:	≤ 10 m
Intermedio:	10 m – 30 m
Potente:	30 m – 100 m
Muy potente:	≥ 100 m

Fuente: García, 2019.

Tabla 11. Inclinación de la estructura mineralizada.

Inclinación	
Horizontal:	$\leq 20^\circ$
Intermedio:	$20^\circ - 55^\circ$
Vertical:	$\geq 55^\circ$

Fuente: García, 2019.

Tabla 12. Profundidad de la estructura mineralizada.

Profundidad desde la superficie	
Pequeña:	≤ 150 m
Intermedia:	150 m – 600 m
Alta:	≥ 600 m

Fuente: García, 2019.

Tabla 13. Distribución de leyes.

Distribución de leyes	
Uniforme:	Mantener constante una ley media del yacimiento en cualquier punto de este.
Diseminado:	Cambios graduales de un punto zonal a otro, básicamente son leyes con una distorsión zonal.
Errático:	Cambios radicales de unos puntos zonales a otros en distancias pequeñas, en definitiva carecen de una distribución espacial entre las leyes.

Fuente: García, 2019.

Las tablas 14 a la 16 son un resumen de las características geomecánicas para la selección del método de minado, y se muestran a continuación como una guía de ayuda para esta primera fase.

Tabla 14. Resistencia de la matriz rocosa.

Resistencia de la matriz rocosa	
Baja:	≤ 8
Media:	8 – 15
Alta:	≥ 15

Fuente: García, 2019.

La resistencia de la matriz rocosa de la Tabla 14 se calcula mediante la división de la resistencia a la compresión simple (Mpa) entre la presión del recubrimiento (Mpa).

Tabla 15. Espaciamiento entre fracturas.

	Fracturas x Metro	RQD (%)
Muy pequeño:	> 16	0 – 20
Pequeño:	10 – 16	20 – 40
Grande:	3 – 10	40 – 70
Muy grande:	< 3	70 – 100

Fuente: García, 2019.

Tabla 16. Resistencia de las discontinuidades.

Resistencia de las discontinuidades	
Pequeña:	Discontinuidades sin relleno con una superficie lisa o con material de relleno suave.
Media:	Discontinuidades sin relleno con una superficie rugosa.
Grande:	Discontinuidades rellenas con un material de resistencia igual o mayor que la roca intacta.

Fuente: García, 2019.

Después de los estudios geotécnicos, se determina las reservas explotables. Al elegir el método de minado para la explotación de la estructura mineralizada, preferentemente se elige el que tenga un costo de explotación menor por tonelada extraída.

La Tabla 17 muestra la productividad de cada método de explotación subterránea en rangos normales y altos.

Tabla 17. Productividad de los métodos de minado.

Método de excavación	Toneladas x Guardia		Toneladas x Mes	
	Normal	Alto	Normal	Alto
Cámaras y Pilares	30 - 50	50 - 70	6000 - 10000	9000 - 25000
Tajeo por subniveles	20 - 40	40 - 50	9000 - 15000	13000 - 23000
Hundimiento por bloques	15 - 40	40 - 50	8000 - 15000	13000 - 23000
Hundimiento por subniveles	15 - 30	30 - 40	4000 - 9000	6000 - 23000
Corte y relleno	10 - 20	30 - 40	500 - 12000	1300 - 15000
Cámaras almacén	5 - 10	10 - 15	400 - 500	800 - 900

Fuente: García, 2019.

Tabla 18. Recuperación, dilución y pérdidas de los métodos de minado.

Método de excavación	Recuperación		Dilución		Pérdida	
	Normal	Alto	Normal	Alto	Normal	Alto
Cámaras y Pilares	50 - 75	60 - 75	5 - 15	15 - 20	25 - 50	30 - 55
Tajeo por subniveles	75 - 85	80 - 85	10 - 15	15 - 25	15 - 25	20 - 30
Hundimiento por bloques	70 - 80	75 - 85	10 - 15	15 - 25	20 -30	25 - 35
Hundimiento por subniveles	75 - 85	80 - 90	15 - 20	20 - 30	15 -25	20 - 30
Corte y relleno	70 - 100	80 - 100	10 - 15	15 - 20	0 - 30	5 - 35
Cámaras almacén	75 - 100	85 - 100	10 - 15	15 - 20	0 - 25	5 - 30

Fuente: García, 2019.

Tabla 19. Recuperación, dilución y pérdidas de los métodos de minado.

Características	Soporte Natural		Soporte Artificial				Hundimientos		
	Cámaras y pilares	Tajeo por subniveles	Almacenamiento provisional	Corte y relleno	Cámaras abiertas	Entibación con cuadros	Tajo Largo	Hundimiento por bloques	Hundimiento por subniveles
Costo de minado	30%	40%	50%	60%	70%	100%	20%	20%	50%
Capacidad de producción	Grande	Grande	Moderada	Moderada	Pequeña	Pequeña	Grande	Grande	Grande
Productividad	Alta	Alta	Baja	Moderada	Baja	Baja	Alta	Alta	Moderada
Inversión de capital	Alta	Moderada	Baja	Moderada	Baja	Baja	Alta	Alta	Moderada
Velocidad de desarrollo	Rápido	Moderada	Rápido	Moderada	Rápido	Lenta	Moderada	Lenta	Moderada
Capacidad de profundidad	Limitada	Moderada	Limitada	Moderada	Limitada	Limitada	Moderada	Moderada	Moderada
Selectividad	Baja	Baja	Moderada	Alta	Alta	Alta	Baja	Baja	Baja
Recuperación	Moderada	Moderada	Alta	Alta	Alta	La mayor	Alta	Alta	Alta
Dilución	Baja	Moderada	Baja	Baja	Baja	La menor	Baja	Alta	Moderada
Flexibilidad	Moderada	Baja	Moderada	Moderada	Alta	Alta	Baja	Baja	Moderada
Estabilidad de las aberturas	Moderada	Alta	Alta	Alta	Moderada	Alta	Alta	Moderada	Moderada
Subsidencia	Moderada	Baja	Baja	Baja	Moderada	Baja	Alta	Alta	Alta
Seguridad y salud	Buena	Buena	Buena	Moderada	Moderada	Pobre	Buena	Buena	Buena

Fuente: García, 2019.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Buzamiento: Angulo formado por la línea de máxima pendiente contenida en un plano de una diaclasa y un plano horizontal imaginario. Las diaclasas no necesariamente tienen que ser planas, ni tener geometría regular, y los parámetros pueden variar de un punto a otro (García, 2019).

Costos operativos: Son aquellos que se generan de forma continua durante el funcionamiento de una operación minera y están netamente relacionados a la producción, se clasifican en costos directos y costos indirectos (García, 2019).

Depósito Mineral: Es una concentración natural de recursos minerales que pueden ser extraídos y vendidos obteniendo una rentabilidad monetaria (Castillo, 2020).

Exploración y desarrollo: Exploración son los trabajos que consisten en hallar nuevas reservas para aumentar la vida útil de la mina, desarrollo viene a ser la explotación de las reservas para obtener los productos comercializables (Capcha, 2021).

Explotación: Es la actividad que está netamente relacionada a la extracción de reservas minerales que tienen características económicas y operativas (Castillo, 2020).

Falla: Es un plano donde una masa de roca se desliza en relación a otra masa de roca, generando inestabilidad en dicha zona (García, 2019).

Mecánica de las rocas: Es el estudio de las propiedades mecánicas de las rocas, incluye condiciones de tensión que se generan en todas las labores subterráneas, así como soportar esas mismas tensiones (García, 2019).

Minería: Es una actividad que desarrollan los seres humanos de manera individual o colectiva mediante empresas mineras para la extracción de recursos minerales, los cuales se encuentran en la corteza terrestre y tienen valor económico (García, 2019).

Método de explotación: Es una estrategia que permite la excavación y extracción de una estructura mineralizada aprovechando todas las características técnicas y económicas más eficientes (Capcha, 2021).

Perforación: Actividad que genera en el frente de trabajo huecos o taladros para la disposición de carga explosiva (Matos, 2022)

Producción: Cantidad de mineral programado diariamente o mensualmente proveniente de voladura para abastecer a operaciones mina y su tratamiento por el área operativa de planta (Castillo, 2020)

Roca: Es una combinación natural de minerales (García, 2019).

Sostenimiento: Es una actividad de estabilización de estructuras rocosas en riesgo de caída o derrumbe, las técnicas que se emplean para el sostenimiento son la aplicación de pernos de anclaje, malla electrosoldada, concreto lanzado, cuadros de madera, cimbras metálicas, puntales de seguridad. El propósito es salvaguardar a los trabajadores, máquinas y equipos de la operación minera (Matos, 2022).

Ventilación: Es la disposición de un sistema de ventiladores y mangas de ventilación que tienen la función de inyectar aire natural desde la superficie de la mina hasta las diferentes labores mineras subterráneas. El aire viciado que se genera en el interior de la mina es expulsado por chimeneas de ventilación hacia la superficie con el propósito de generar un ambiente de trabajo seguro y saludable para todos los trabajadores (Matos, 2022).

Veta: Estructura mineralizada de forma alargada, limitado por planos irregulares de rocas encajonantes. Básicamente una veta es vertical (García, 2019).

Voladura: Detonación de un cuerpo rocoso mediante reacciones químicas con el fin de fragmentar dicha roca y extraerlo para su tratamiento o comercialización (Matos, 2022).

Yacimiento: Depósito de minerales metálicos y no metálicos que se encuentran sobre el subsuelo o a grandes profundidades en la corteza terrestre (García, 2020).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Geográfica

Geográficamente el Yacimiento Minero Huayrapongo se encuentra dentro del cuadrángulo de Cajamarca 15-f, Zona 17 Sur. Se caracteriza por la presencia de relieves moderados a abruptos, de escasa vegetación y altitudes que varían entre 940 a 2000 m.s.n.m. Hidrográficamente el yacimiento está sobre la margen izquierda del torrente estacionario San Pablo (aguas abajo) uniéndose este al río Magdalena por su margen derecha (aguas abajo) en el distrito de Chilete.

El Yacimiento Minero Huayrapongo está ubicada en la concesión minera metálica Nebulosa 3 que está en los territorios de los distritos de San Bernardino y San Luis; comprendida entre las siguientes coordenadas del sistema UTM, Datum WGS-84:

Tabla 20. Coordenadas de la concesión Nebulosa 3.

COORDENADAS UTM - WGS 84			
Vértice	Norte	Este	Área (Ha)
1	9207000	736000	300
2	9207000	737000	
3	9206000	737000	
4	9206000	738000	
5	9205000	738000	
6	920500	736000	

Fuente: INGEMMET, 2023.

La Tabla 21 muestra las coordenadas del área de investigación, las cuales están representadas en los planos temáticos presentados en la sección de Anexos.

Tabla 21. Coordenadas del área de investigación.

COORDENADAS UTM – WGS 84		
Vértice	Norte	Este
A	9 205 799	736 523
B	9 206 144	736 740
C	9 205 429	737 884
D	9 205 084	737 667

3.1.2. Política

La veta Victoria del yacimiento minero Huayrapongo se encuentra ubicada en el distrito de San Bernardino, provincia de San Pablo, departamento de Cajamarca.

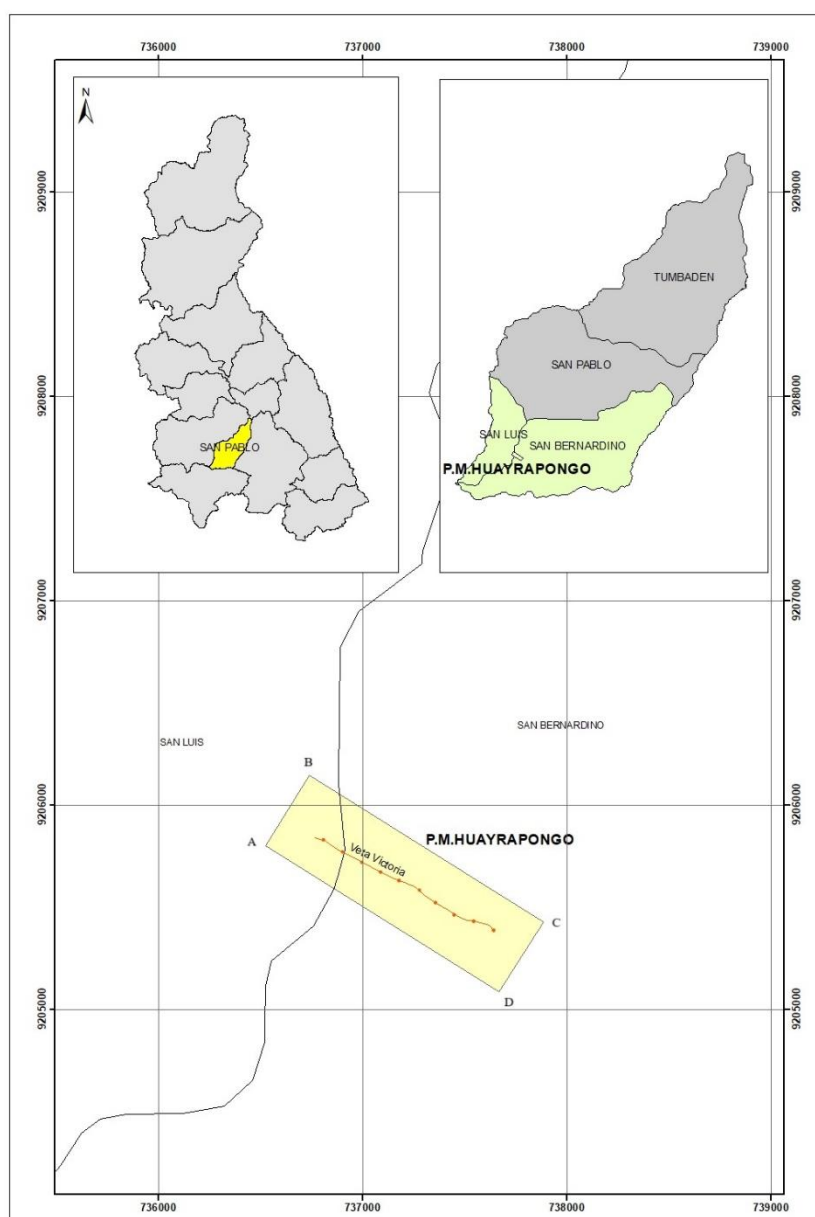


Figura 1. Ubicación del proyecto minero Huayrapongo.

3.1.3. Accesibilidad

El acceso a la concesión y al área de estudio desde la ciudad de Cajamarca se sigue la ruta Cajamarca-Chilete mediante carretera asfaltada, continuando por la carretera asfaltada “Kuntur Wasi” Chilete-San Pablo después de recorrer 14 km pasando el pueblo de San Bernardino, se toma el desvío por trocha carrozable hacia el cerro Huayrapongo. La concesión minera metálica “Luminosa Número 1” está a 144 km de la ciudad de Cajamarca, el tiempo aproximado es de 2 horas.

Tabla 22. Vías de acceso a la zona de estudio.

Tramo	Distancia (Km)	Tiempo	Tipo de vía
Cajamarca - Chilete	120	2 h y 7 min	Asfaltada
Chilete - Huayrapongo	19	30 min	Asfaltada/Carrozable

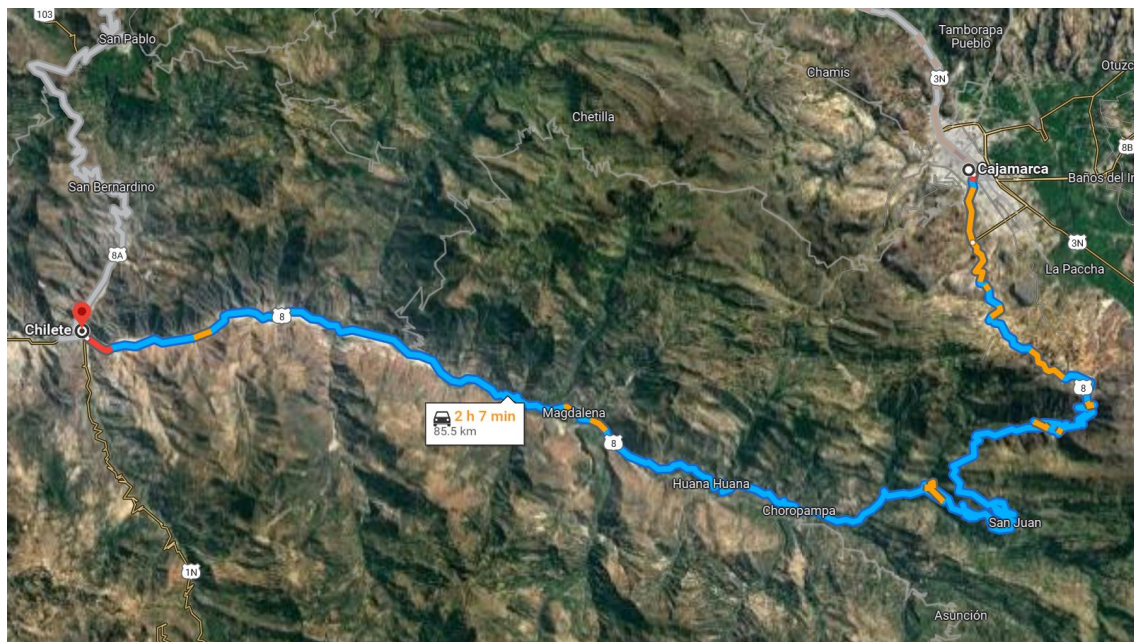


Figura 2. Ruta de acceso Cajamarca – Chilete.

Fuente: Google Maps.

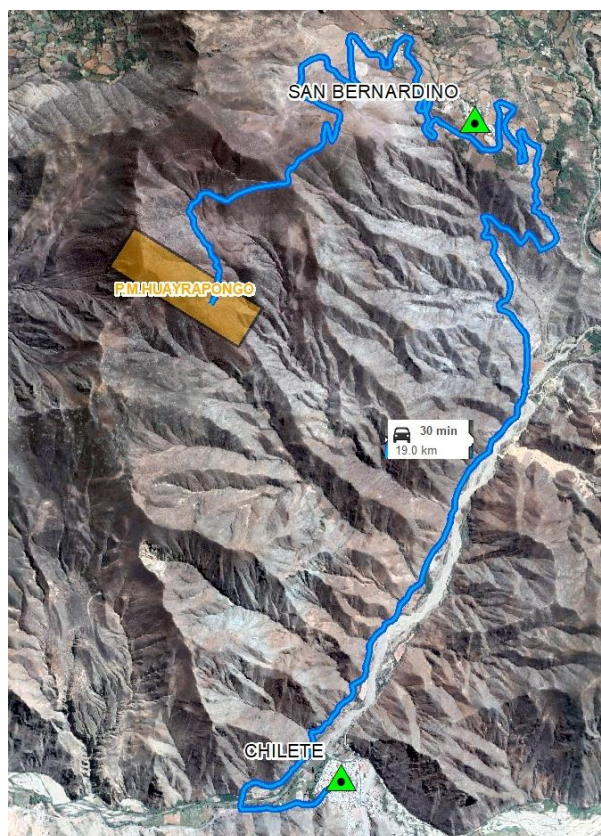


Figura 3. Ruta de acceso Chilete – Proyecto Minero Huayrapongo.
Fuente: Google Maps.

3.1.4. Fisiografía

El área de investigación del proyecto se encuentra en su mayor extensión dentro del Volcánico Chilete y la categoría que predomina en la superficie total del ámbito del proyecto son laderas, caracterizadas por presentar un relieve accidentado por efecto de la erosión y mayoría de pendientes entre 20° a 50°, el paisaje está formado sobre las formaciones geológicas del Volcánico Chilete y el Volcánico San Pablo, la superficie de dicho paisaje mayormente es rocosa.

El clima en el área de investigación es cálido y seco en todos los meses del año, las más altas temperaturas se presentan entre los meses de junio a agosto, en promedio la temperatura anual está entre 18° y 28°C. La ausencia de precipitaciones pluviales es influenciada por la gran cubierta rocosa en la zona, durante los meses de diciembre y enero se aprovecha la humedad con el verdecer y brotes de huarangos, cactus, árboles de pate y forrajes que cubren la superficie.



Foto 1. Fisiografía con escasa vegetación del Cerro Huayrapongo.



Foto 2. Cubierta rocosa y clima seco de la zona de investigación.

3.1.5. Sismicidad

Considerando que el territorio nacional peruano está dividido en cuatro zonas sísmicas según la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones, el área de investigación se encuentra dentro de la zona de sismicidad 2 perteneciente al distrito de San Bernardino, provincia de San Pablo. La Tabla 23 muestra la zona sísmica y el ámbito de aplicación.

Tabla 23. Zona sísmica en la zona de estudio.

Departamento	Provincia	Distrito	Zona Sísmica	Ámbito
Cajamarca	San Pablo	San Bernardino	2	Todos los distritos
		San Luis		
		San Pablo		
		Tumbadén		

Fuente: Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones, 2019.

Los efectos de un terremoto medidos cualitativamente por la intensidad sísmica son cuantificados por el grado de daños a las construcciones realizadas por el ser humano, la cantidad de perturbaciones en la superficie del suelo y el alcance de la reacción animal en la sacudida. En el área de estudio la aceleración máxima de la fuerza sísmica a considerar para el período de retorno de 100 años corresponde a 0.33 cm/seg^2 , este valor es utilizado para el análisis de estabilidad dinámica.

3.1.6. Geomorfología

Las unidades geomorfológicas de la zona de investigación se han clasificado según la Tabla 24, tomando en cuenta que dichas unidades morfogenéticas se definieron según su grado de pendiente de acuerdo a las altitudes mínimas y máximas, que oscilan entre: 1300 y 2000 m.s.n.m.

Tabla 24. Unidades morfogenéticas según su grado de pendiente.

Unidades Morfogenéticas	
Pendiente	Tipo de Unidad
0° - 8°	Planicie
8° - 20°	Lomada
20° - 50°	Ladera
>50°	Escarpas

Fuente: Rodríguez, 2016.

3.1.6.1. Planicies

Se trata de una superficie bastante homogénea, ligeramente ondulada y cambiante en su morfología; se logró constatar en la zona que están afectadas por erosión pluvial. En la zona de investigación se encontró planicies en algunos tramos en las cercanías de la trocha carrozable que va hacia la veta Victoria, ya que en la zona mayormente predominan las laderas y escarpas. Dichas planicies oscilan entre los 7°, semi horizontales y con algunas

ondulaciones, son producto de los procesos de erosión de las rocas del Paleógeno – Oligoceno del volcánico San Pablo.



Foto 3. Área de planicie en la zona de investigación - Volcánico San Pablo.

3.1.6.2. Lomas

Se trata de áreas de terrenos con tendencia cómica y pendientes de bajo ángulo, donde su rango de pendientes está entre 10° y 18° , sirven parcialmente como terrenos de pastoreo por presencia de vegetación en algunas partes. Litológicamente, se encuentra en el Volcánico San pablo del Paleógeno – Oligoceno y hacia el Sureste del volcánico Chilete del Terciario, siendo parte del Cerro Huayrapongo.



Foto 4. Se observa lomas en la zona de investigación - Volcánico San Pablo.

3.1.6.3. Laderas

Son geoformas de superficies inclinadas, que en la zona de investigación tienen ángulos de pendientes que van desde 25° a 50° que afectan a la litología del Volcánico San Pablo y Chilete hacia el Noroeste, por la acción de los agentes erosivos como la lluvia y la vegetación, con lo cual determinamos estas geoformas con mayor precisión.



Foto 5. Presencia de laderas en la zona de investigación - Volcánico San Pablo.

3.1.6.4. Escarpas

Son terrenos con fuerte desnivel con ángulos mayores a los 50° que han sido afectadas por procesos geomorfológicos que en la base son planos a ondulados pero en la cima son alargadas a dómicas, afectados por agentes erosivos sobre los pseudoestratos; pero con fuertes pendientes que se presentan en menor cantidad que las laderas, mayormente en la formación San pablo en el Noroeste y suroeste de la zona de estudio.



Foto 6. Presencia de escarpas en la zona de investigación - Volcánico San Pablo.

3.2. GEOLOGÍA LOCAL

La zona de investigación está ubicada en la faja volcánica cretácica – Neógeno de los Andes del Norte del Perú, y corresponde a los volcánicos Chilete, San PabloU. Las rocas que afloran en superficie presentan flujos de composición andesítica en varias tonalidades, con ciertas zonas de alteración por oxidación, así como también se evidencia un aumento considerable de presencia de silicificación moderada a fuerte al SE de la zona de estudio.

3.2.1. Volcánico Chilete

Dicha formación de edad Terciario temprano pertenece al Grupo Calipuy y aflora al Oeste de Norte a Sur y al Sureste de la zona de estudio en las alturas del cerro Huayrapongo. Se observó que el volcánico Chilete consta de secuencias volcánicas progresivas de rocas andesíticas con pseudoestratificación (ya que es magma expulsado a la corteza terrestre, solidificándose formando lava, presentando secuencias volcánicas rocosas progresiva por el enfriamiento, delimitando la dirección de flujo principal acompañado de discontinuidades), flujos, tobas y materiales volcánicos de color verde violáceo a gris claro, con clastos sub redondeados y transportados que cubren gran parte de la zona de investigación, también se da la presencia de areniscas tobáceas de coloración rojiza (ver Foto 7) y conglomerados lenticulares exclusivamente de cuarcita, bien sedimentados.

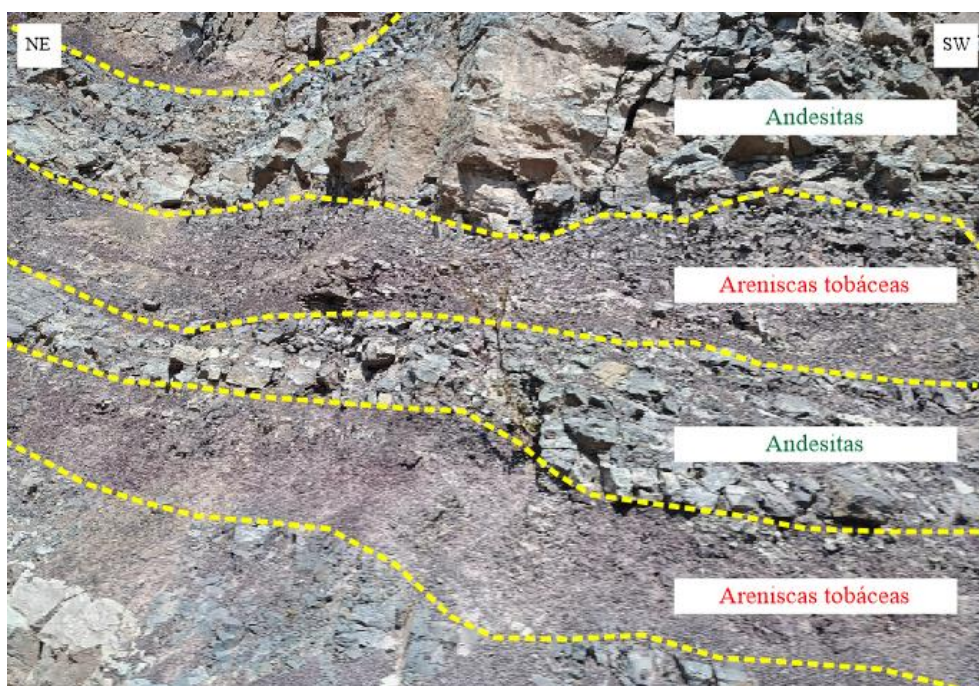


Foto 7. Secuencias pseudoestratigráficas de andesitas y areniscas tobáceas.

3.2.2. Volcánico San Pablo

Es una unidad de rocas volcánicas que pertenece a la secuencia superior del Grupo Calipuy de edad Paleógeno – Eocena, dicha formación aflora en la cima del cerro Huayrapongo, siendo la secuencia con más predominancia en la zona de investigación, se observó pseudoestratos gruesos de rocas volcánicas (ya que es magma expulsado a la corteza terrestre, solidificándose formando lava, presentando secuencias volcánicas rocosas progresiva por el enfriamiento, delimitando la dirección de flujo principal acompañado de discontinuidades) de composición andesítica con coloración grisácea, intercaladas en la base con areniscas rojizas y en la parte superior de una espesa secuencia de flujos piroclásticos, tobas bien sedimentadas, aglomerados dacítica y en menor proporción andesítica. Hay una suave discordancia erosional entre el volcánico San Pablo y el volcánico Chilete.



Foto 8. Areniscas rojizas intercaladas con rocas volcánicas de composición andesítica.

3.2.3. Depósito Coluvial

Materiales conformados de escombros en las laderas del área de investigación, gravas en matriz areno-arcillosa, con abundantes bloques angulosos a subangulosos proveniente de las rocas circundantes.

Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Grosor	Litología	Descripción
Cenozoico	Paleógeno	Oligoceno	Formación San Pablo	900 m		Esta unidad consiste en pseudo estratos gruesos de rocas volcánicas de composición andesítica, intercaladas en los niveles superficiales con flujos piroclásticos y tobas bien sedimentadas.
			Formación Chilete	800 m		
		Eoceno	Formación Tembladera	1000 m		Consta de secuencias de rocas volcánicas de composición andesítica con matriz de color gris azulado y verdoso, presenta textura porfirítica de grano fino a medio.

Figura 4. Columna estratigráfica de las formaciones geológicas en la investigación.

Fuente: Modificado de Reyes, 1980.

La Figura 4 muestra las formaciones geológicas que se encuentran en el área de investigación, tanto la Formación San Pablo como la Formación Chilete, encerradas en el cuadrángulo rojo, son las que contienen a la veta Huayrapongo.

3.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El rasgo estructural predominante en el proyecto minero son las estructuras mineralizadas principales que tienen orientación principal NW-SE y están controladas por fallas de la misma dirección, que complementado con el alineamiento regional de yacimientos con similares características metalogenéticas indican que la zona de estudio se encuentra ubicada dentro del corredor estructural San Pablo-Porculla.

No se ha estudiado totalmente al corredor estructural pero estaría conformado por un sistema de fallas de morfología compleja. En lo extenso que es el corredor estructural se observa fallas que han tenido diferente comportamiento cinemático, algunos sectores probablemente tienen movimientos de compresión y en otros de distensión, generando zonas de debilitamiento cortical que facilitan el desarrollo de sistemas volcánicos emergentes estrechamente vinculados con fases de mineralización hidrotermal.

Las estructuras presentes en el corredor estructural son probablemente profundas, las mismas que han controlado el emplazamiento de pequeños cuerpos sub volcánicos y un intenso flujo hidrotermal condicionando al magmatismo Calipuy, en cuyo eje se han formado las enormes estructuras volcánicas.

Dicho corredor estructural controla la existencia de fallas, moderados plegamientos, contactos litológicos, discordancias, así como cambios de rumbo y buzamiento de las estructuras geológicas, en las formaciones cretáceas. Además, existe una falla regional que tiene el rumbo del río Magdalena, separando las formaciones rocosas pre Terciarias, de las rocas volcánicas Terciarias.

La Figura 4 muestra el Corredor estructural San Pablo – Porculla, la cual presenta una orientación promedio de N30°W, así como estaría conformado por un sistema de fallas de compleja morfología.

3.4. PROCEDIMIENTOS

Los procedimientos de la investigación involucran la recopilación, análisis y discusión o interpretación de la información realizados a partir de las técnicas, herramientas y criterios que se encuentran establecidas en tres etapas de trabajo: primera etapa de gabinete o recopilación de información, segunda etapa de campo y tercera etapa de gabinete o tratamiento de la información, cada etapa se detalla a continuación:

3.4.1. Primera etapa: Gabinete

Esta etapa comprende diferentes actividades realizadas: recopilación bibliográfica referente a la investigación y consistió en la búsqueda, revisión y análisis de estudios relacionados a los métodos de explotación subterránea y las características que determinan su elección, también se revisó trabajos de investigación que involucraron costos de explotación y productividad. Asimismo, se estableció el cronograma de actividades para las salidas a la zona de investigación del proyecto Huayrapongo con el fin de realizar el registro de datos de la estructura mineraliza y el macizo rocoso en la cual se emplaza.

3.4.2. Segunda etapa: Campo

La etapa de campo involucró el reconocimiento general del área de investigación del Proyecto Minero Huayrapongo; en primer lugar se identificó la geología local en la cual está emplazado el proyecto y las formaciones geológicas presentes en la zona de estudio, su composición y características; en segundo lugar se realizó el cartografiado geológico, litológico, estructural, geomecánico y geotécnico del macizo rocoso y de las estructuras mineralizadas; por último se identificó la veta Victoria y las características que presenta para su explotación según evaluación del método óptimo de explotación subterránea.

3.4.3. Tercera etapa: Gabinete

La etapa final de gabinete comprendió el procesamiento y análisis de la información tomada en campo; el software Excel sirvió para ingresar, organizar y presentar la información en formato tablas; el software ArcGis para la georreferenciación y elaboración de los mapas temáticos de ubicación, accesibilidad, geología local y geológico; el software AutoCAD sirvió para elaborar el plano de diseño del método de

explotación óptimo. Así mismo se realizó el análisis y discusión de los resultados para luego elaborar las conclusiones, recomendaciones y redacción final de la tesis.

3.5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es cuantitativa

El nivel de investigación es descriptivo, correlacional y explicativo.

El diseño de investigación es de aspecto no experimental y transversal.

El método de investigación es el analítico-deductivo.

3.5.1. Población de estudio

Estructuras mineralizadas pertenecientes al proyecto minero Huayrapongo.

3.5.2. Muestra

Estructura mineralizada Veta Victoria.

3.5.3. Unidad de análisis

Litología, estructura mineralizada, macizo rocoso.

3.6. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Independientes

- Litología: Es el estudio de las rocas.
- Geometría del yacimiento: Son las características de cómo se encuentra ubicado el yacimiento.
- Condiciones geomecánicas: Son los índices que permiten identificar las características del macizo rocoso.

Dependiente

- Método de explotación: Forma geométrica para explotar un yacimiento minero.

3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.7.1. Técnicas

Como primer paso se realizó la recopilación de estudios existentes afines a la investigación en métodos de explotación; luego se emplearon técnicas directas, como la observación y descripción de las variables de estudio dentro del proyecto Minero Huayrapongo mediante el cartografiado geológico y geomecánico. El trabajo inicial de gabinete consistió en la búsqueda y recopilación de artículos científicos, tesis, libros y publicaciones con relación directa al tema a desarrollar en la zona de investigación. En el trabajo de campo se realizó el reconocimiento de la zona de investigación, cartografiado geológico, litológico, estructural, geomecánico y geotécnico del macizo rocoso y la veta mineralizada, todo ello mediante el registro en formato tablas y gráficos. En el trabajo final de gabinete se procedió a realizar el procesamiento, análisis y discusión de la información.

3.7.2. Instrumentos y equipos

Los instrumentos y equipos utilizados en la presente investigación fueron de acuerdo a observaciones realizadas en campo y trabajos en gabinete, cada uno de ellos se describe a continuación:

- Boletines informativos de la geología presente en la zona de estudio, así como mapas geológicos de la zona, obtenidos del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET).
- Imágenes satelitales del SAS Planet y Google Earth, para la ubicación y referenciación de la zona de investigación.
- Registro geológico-geotécnico.
- Libreta de campo y lapiceros para realizar anotaciones de las características de la veta y macizo rocoso.
- Brújula geotécnica, para medir la orientación de la labor y las geoestructuras.
- GPS de navegación para georreferenciar la zona de estudio.
- Cámara digital para el registro fotográfico.
- Martillo de geólogo, para la obtención de muestras y estimación de la resistencia en la matriz rocosa.

- Lupa, para observación de textura y composición mineralógica de la veta y rocas encajonantes.
- Protactor para medir la abertura de las discontinuidades y graficar el rumbo y buzamiento de las estratificaciones.
- Wincha para la toma de medidas de espaciamiento de las discontinuidades y espesor de las estructuras mineralizadas.
- Equipo de protección personal.
- SAS Planet para obtención de imágenes satelitales.
- AutoCAD 2022 para elaborar mapas y exportar gráficos.
- ArcGis 10.3 para la elaboración de mapas temáticos.
- Laptop para el procesamiento de los datos obtenidos, así como la redacción de la investigación, desarrollo y culminación de la tesis.

3.8. MÉTODO DE EXPLOTACIÓN

El método de explotación seleccionado es preliminar y solo sirve como base para el diseño del proyecto y el estudio de viabilidad, conforme se avanza en los estudios técnicos es necesario revisar cada uno de los detalles. De acuerdo con los principios básicos empleados, actualmente hay una cantidad relativamente corta de métodos de explotación subterránea.

En primer lugar, se analiza las propiedades del yacimiento mineral a explotar, en segundo lugar las restricciones que limitan su explotación, luego se procede a analizar la forma más óptima de aprovechar los recursos minerales de manera segura cumpliendo con los objetivos de producción para finalmente definir el método de explotación óptimo a emplear en el yacimiento minero.

Los factores que definen la decisión del método de explotación a emplear son los siguientes:

- Maximización de la seguridad.
- Minimización de costos.
- Optimización de la recuperación.
- Minimización de la dilución.
- Maximización del sostenimiento natural.
- Maximización de la flexibilidad y adaptabilidad.

3.8.1. Características del yacimiento

- Geometría del yacimiento: Se trata de un yacimiento irregular, pues las dimensiones varían en distancias cortas.
- Espesor del yacimiento: De acuerdo con estudios realizados en labores subterráneas y trincheras el yacimiento es de bajo espesor con rangos de 1.0 m hasta 3.0 m de potencia. Ver Foto 11.
- Inclinación del yacimiento: Las vetas son verticales con una inclinación de 70° en promedio.
- Profundidad del yacimiento: Los estimados cuantitativos están basados básicamente en un profundo y amplio conocimiento del carácter geológico del depósito, para lo cual existe poca o ninguna muestra o medición.
- Distribución de leyes en el yacimiento: La distribución de las leyes en el yacimiento es gradacional, pues existen distintas leyes que gradualmente cambian en el espacio. Las leyes promedio varían entre 6 a 9 Oz de Plata, 4% a 6% de Zinc, 6% a 9% de Plomo.

3.8.2. Estudio geomecánico

El análisis geomecánico del proyecto de explotación polimetálico Huayrapongo comprendió la caracterización geomecánica del macizo rocoso (pseudoestratos), y de acuerdo a ello se evaluó las características de la veta Victoria, características de la roca caja piso y roca caja techo.

De acuerdo con la caracterización del macizo rocoso que contiene a la estructura mineralizada se definió las condiciones geomecánicas y geotécnicas en las que se encuentra la veta Victoria. La calidad del macizo rocoso se valoró a través de la clasificación RMR de Bieniawski (1989), donde se consideran los siguientes parámetros geomecánicos:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación en términos del RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

3.8.2.1. Parámetros de clasificación – Caja Piso

El primer parámetro evaluado es la resistencia a la matriz rocosa y según evaluación requiere de 2 a 3 golpes con el martillo geológico para romperse, califica como un R5 y una puntuación de 12.

Tabla 25. Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.

1°	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	> 10	10 - 4	4 - 2	2 - 1	Compresión simple (MPa)		
		Compresión simple	> 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25 - 5	5 - 1	< 1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0

El grado de fracturación se determina mediante la siguiente ecuación:

$$RQD = 100 * e^{-0.1*\lambda} * (0.1 * \lambda + 1)$$

$$\lambda = \frac{\text{Nº de discontinuidades}}{\text{Longitud lineal}} = \frac{10}{1} = 10$$

$$RQD = 100 * e^{-0.1*10} * (0.1 * 10 + 1) = 73.6$$

Tabla 26. Grado de fracturación RQD.

2°	RQD	100% - 90%	90% - 75%	75% - 50%	50% - 25%	< 25%
	Puntuación	20	17	13	6	3

El espaciado o la separación de las discontinuidades varía entre 0.2 – 0.6 m con una puntuación de 10.

Tabla 27. Espaciado de las discontinuidades.

3°	Separación entre discontinuidades	> 2 m	2.0 - 0.6 m	0.6 - 0.2 m	0.2 - 0.06 m	< 0.06 m
	Puntuación	20	15	10	8	5

Las condiciones de las discontinuidades se valoran de acuerdo a su longitud, abertura, rugosidad, relleno y alteración. La longitud o persistencia de las discontinuidades está entre 1 y 3 metros, la abertura entre las misma está entre 0.1 y 1 mm, la rugosidad de cada una de las discontinuidades es rugosa con un relleno suave mayor a 5 mm y por último la alteración está ligeramente alterada.

Tabla 28. Condiciones de las discontinuidades.

4°	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
	Puntuación	6	4	2	1	0
	Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
	Puntuación	6	5	3	1	0
	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
	Puntuación	6	5	3	1	0
	Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm
	Puntuación	6	4	2	2	0
	Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
	Puntuación	6	5	3	1	0
Total		19				

Las condiciones hidrogeológicas son estados secos, ya que es propio del lugar por encontrarse en zona calurosa.

Tabla 29. Condiciones hidrogeológicas.

5°	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 L/min	10 - 25 L/min	25 - 125 L/min	> 125 L/min
	Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
	Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
	Puntuación	15	10	7	4	0

La orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación es favorable, y se valora con una puntuación de -5.

Tabla 30. Corrección por orientación de discontinuidades.

6°	Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Regular	Desfavorables	Muy desfavorables
	Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
		Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
		Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Tabla 31. Resumen de los parámetros del RMR.

Parámetro		Puntaje
1	Resistencia uniaxial de la matriz rocosa	12
2	Grado de fracturación (RQD)	13
3	Espaciado de las discontinuidades	10
4	Condiciones de las discontinuidades	19
5	Condiciones hidrogeológicas	10
6	Corrección por la orientación de las discontinuidades	-5
Puntaje		59

Calculado los seis parámetros del RMR, se procedió a sumar cada uno de los valores, obteniéndose un puntaje total de 59, clasificándolo al macizo rocoso con una calidad Media de clase III, en las Tablas 31 y 32 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 32. Clasificación del macizo rocoso en relación al Índice RMR.

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20



Foto 9. Condiciones geológicas de las pseudoestratificaciones de la caja piso.

3.8.2.2. Parámetros de clasificación – Caja Techo

El primer parámetro evaluado es la resistencia a la matriz rocosa y según evaluación requiere más de 3 golpes con el martillo geológico para romperse, califica como un R5 y una puntuación de 12.

Tabla 33. Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.

1°	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	> 10	10 - 4	4 - 2	2 - 1	Compresión simple (MPa)		
		Compresión simple	> 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25 - 5	5 - 1	< 1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0

El grado de fracturación se determina mediante la siguiente ecuación:

$$RQD = 100 * e^{-0.1*\lambda} * (0.1 * \lambda + 1)$$

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ de discontinuidades}}{\text{Longitud lineal}} = \frac{7}{1} = 7$$

$$RQD = 100 * e^{-0.1*7} * (0.1 * 7 + 1) = 84.4$$

Tabla 34. Grado de fracturación RQD.

2°	RQD	100% - 90%	90% - 75%	75% - 50%	50% - 25%	< 25%
	Puntuación	20	17	13	6	3

El espaciado o la separación de las discontinuidades varía entre 0.2 – 0.6 m con una puntuación de 10.

Tabla 35. Espaciado de las discontinuidades.

3°	Separación entre discontinuidades	> 2 m	2.0 - 0.6 m	0.6 - 0.2 m	0.2 - 0.06 m	< 0.06 m
	Puntuación	20	15	10	8	5

Las condiciones de las discontinuidades se valoran de acuerdo a su longitud, abertura, rugosidad, relleno y alteración. La longitud o persistencia de las discontinuidades es de 1 a 3 metros, la abertura entre las misma está entre 0.1 y 1 mm, la rugosidad de cada una de las discontinuidades es rugosa con un relleno duro mayor a 5 mm y por último la alteración está ligeramente alterada.

Tabla 36. Condiciones de las discontinuidades.

4°	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
	Puntuación	6	4	2	1	0
	Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
	Puntuación	6	5	3	1	0
	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
	Puntuación	6	5	3	1	0
	Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm
	Puntuación	6	4	2	2	0
	Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
	Puntuación	6	5	3	1	0
Total		21				

Las condiciones hidrogeológicas son estados secos, ya que es propio del lugar por encontrarse en zona calurosa.

Tabla 37. Condiciones hidrogeológicas.

5°	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 L/min	10 - 25 L/min	25 - 125 L/min	> 125 L/min
	Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
	Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
	Puntuación	15	10	7	4	0

La orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación es favorable, y se valora con una puntuación de -5.

Tabla 38. Corrección por orientación de discontinuidades.

6°	Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Regular	Desfavorables	Muy desfavorables
	Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
		Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
		Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Tabla 39. Resumen de los parámetros del RMR.

Parámetro		Puntaje
1	Resistencia uniaxial de la matriz rocosa	12
2	Grado de fracturación (RQD)	17
3	Espaciado de las discontinuidades	10
4	Condiciones de las discontinuidades	21
5	Condiciones hidrogeológicas	10
6	Corrección por la orientación de las discontinuidades	-5
Puntaje		65

Calculado los seis parámetros del RMR, se procedió a sumar cada uno de los valores, obteniéndose un puntaje total de 65, clasificándolo al macizo rocoso con una calidad Buena de clase II, en las Tablas 39 y 40 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 40. Clasificación del macizo rocoso en relación al Índice RMR.

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20



Foto 10. Condiciones geológicas de los pseudoestratos de la caja techo.

3.8.2.3. Parámetros de clasificación – Estructura Mineralizada

El primer parámetro evaluado es la resistencia a la matriz rocosa y según evaluación requiere de 1 golpe con el martillo geológico para romperse, califica como un R3 y una puntuación de 7.

Tabla 41. Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.

1°	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	> 10	10 a 4	4 a 2	2 a 1	Compresión Simple (MPa)		
		Compresión Simple	> 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25 a 5	5 a 1	< 1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0

El grado de fracturación se determina mediante la siguiente ecuación:

$$RQD = 100 * e^{-0.1*\lambda} * (0.1 * \lambda + 1)$$

$$\lambda = \frac{\text{Nº de discontinuidades}}{\text{Longitud lineal}} = \frac{16}{1} = 16$$

$$RQD = 100 * e^{-0.1*16} * (0.1 * 16 + 1) = 52.49$$

Tabla 42. Grado de fracturación RQD.

2°	RQD	100% - 90%	90% - 75%	75% - 50%	50% - 25%	< 25%
	Puntuación	20	17	13	6	3

El espaciado o la separación de las discontinuidades varía entre 0.2 – 0.06 m con una puntuación de 8.

Tabla 43. Espaciado de las discontinuidades.

3°	Separación entre discontinuidades	> 2 m	2.0 - 0.6 m	0.6 - 0.2 m	0.2 - 0.06 m	< 0.06 m
	Puntuación	20	15	10	8	5

Las condiciones de las discontinuidades se valoran de acuerdo a su longitud, abertura, rugosidad, relleno y alteración. La longitud o persistencia de las discontinuidades es de 1-3 metros, la abertura entre las misma está entre 0.1 y 1 mm, la rugosidad de cada una de las discontinuidades es rugosa con un relleno duro menor a 5 mm y por último la alteración está ligeramente alterada.

Tabla 44. Condiciones de las discontinuidades.

4°	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 - 3 m	3 -10 m	10 - 20 m	> 20 m
	Puntuación	6	4	2	1	0
	Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
	Puntuación	6	5	3	1	0
	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
	Puntuación	6	5	3	1	0
	Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm
	Puntuación	6	4	2	1	0
	Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
	Puntuación	6	5	3	1	0
Total		19				

Las condiciones hidrogeológicas son estados secos, ya que es propio del lugar por encontrarse en zona calurosa.

Tabla 45. Condiciones hidrogeológicas.

5°	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 L/min	10 - 25 L/min	25 - 125 L/min	> 125 L/min
	Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
	Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
	Puntuación	15	10	7	4	0

La orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación es favorable, y se valora con una puntuación de -2.

Tabla 46. Corrección por orientación de discontinuidades.

6°	Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Regular	Desfavorables	Muy desfavorables
	Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
		Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
		Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Tabla 47. Resumen de los parámetros del RMR.

Parámetro		Puntaje
1	Resistencia uniaxial de la matriz rocosa	7
2	Grado de fracturación (RQD)	13
3	Espaciado de las discontinuidades	8
4	Condiciones de las discontinuidades	19
5	Condiciones hidrogeológicas	10
6	Corrección por la orientación de las discontinuidades	-2
Puntaje		51

Calculado los seis parámetros del RMR, se procedió a sumar cada uno de los valores, obteniéndose un puntaje total de 51, clasificándolo al macizo rocoso con una calidad Media de clase III, en las Tablas 47 y 48 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 48. Clasificación del macizo rocoso en relación con el Índice RMR.

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20



Foto 11. Estructura mineralizada, veta Victoria, potencia de 3.0 m e inclinación de 70°.

3.8.3. Selección del método de explotación

La selección del método de explotación se evaluó mediante el Método de Nicholas, la cual asigna una escala de valores para cada método de explotación de acuerdo con la información característica del yacimiento, la información geotécnica del macizo rocoso (caja techo y caja piso) y del cuerpo mineralizado, posteriormente el método totaliza los valores y les asigna un factor de peso, arrojando valores totalizados, que se determinan de acuerdo con la puntuación más alta; finalmente se elige al método óptimo de explotación dentro de la gama de posibles métodos de minado.

Adicionalmente al método de Nicholas se consideró factores tales como: costos, productividad, recuperación, dilución, selectividad, seguridad y salud. En el caso de la veta Victoria del Yacimiento Minero Huayrapongo se ha realizado considerando todos los factores mencionados anteriormente debido a las características y reservas potenciales de la estructura mineralizada y del yacimiento.

El método de Nicholas toma en cuenta cuatro parámetros fundamentales:

- Características del yacimiento minero.
- Características de la estructura mineralizada o veta.
- Características de la roca caja techo.
- Características de la roca caja piso.

Los métodos de explotación a utilizar para el inicio de operaciones se determinaron mediante el método propuesto por Nicholas. Este método facilita la factibilidad de los métodos de explotación por valorización numérica, el primer paso es clasificar la geometría y distribución de leyes del yacimiento, el segundo paso es valorar las características mecánicas del mineral, tercero de la caja techo y cuarto de la caja piso. Luego se dan las puntuaciones a cada método de explotación y se determinan los valores más altos.

Características del yacimiento

- Forma del yacimiento: Irregular
- Potencia del yacimiento: Baja
- Orientación del yacimiento: Vertical
- Distribución de las leyes en el yacimiento: Gradacional

Tabla 49. Valoración según las características del yacimiento.

Método de Explotación	Forma del Yacimiento			Potencia del Yacimiento				Orientación del Yacimiento			Distribución de las leyes		
	Masiva	Tabular	Irregular	Baja	Intermedia	Alta	Muy Alta	Horizontal	Intermedia	Vertical	Uniforme	Gradacional	Errático
Block Caving	4	2	0	-49	0	2	4	3	2	4	4	2	0
Sublevel Stopping	2	2	1	1	2	4	3	2	1	4	3	3	1
Sublevel Caving	3	4	1	-49	0	4	4	1	1	4	4	2	0
Longwall Mining	-49	4	-49	4	0	-49	-49	4	0	-49	4	2	0
Room and Pillar	0	4	2	4	2	-49	-49	4	1	0	3	3	3
Shrinkage Stopping	2	2	1	1	2	4	3	2	1	4	3	2	1
Cut and Fill	0	4	2	4	4	0	0	0	3	4	3	3	3
Top Slicing	3	3	0	-49	0	3	4	4	1	2	4	2	0

Características del cuerpo mineral / estructura mineralizada

- Competencia de la roca intacta: Mediana
- Espaciamiento de las discontinuidades o fracturas: Poco espaciadas
- Resistencia de las discontinuidades o fracturas: Media

Tabla 50. Valoración según las características del cuerpo mineral.

Método de Explotación	Competencia Roca Intacta			Espaciamiento de Fracturas				Resistencia de Fracturas		
	Baja	Mediana	Alta	Muy cercanas	Poco espaciadas	Espaciadas	Muy espaciadas	Baja	Media	Alta
Block Caving	4	1	1	4	4	3	0	4	3	0
Sublevel Stoping	-49	3	4	0	0	1	4	0	2	4
Sublevel Caving	0	3	3	0	2	4	4	0	2	2
Longwall Mining	4	1	0	4	4	0	0	4	3	0
Room and Pillar	0	3	4	0	1	2	4	0	2	4
Shrinkage Stoping	1	3	4	0	1	3	4	0	2	4
Cut and Fill	3	2	2	3	3	2	2	3	3	2
Top Slicing	2	3	3	1	1	2	4	1	2	4

Características de la roca caja techo

- Competencia de la roca intacta: Mediana
- Espaciamiento de las discontinuidades o fracturas: Espaciadas
- Resistencia de las discontinuidades o fracturas: Media

Tabla 51. Valoración según las características de la caja techo.

Método de Explotación	Competencia Roca Intacta			Espaciamiento de Fracturas				Resistencia de Fracturas		
	Baja	Mediana	Alta	Muy cercanas	Poco espaciadas	Espaciadas	Muy espaciadas	Baja	Media	Alta
Block Caving	4	2	1	3	4	3	0	4	2	0
Sublevel Stoping	-49	3	4	-49	0	1	4	0	2	4
Sublevel Caving	3	2	1	3	4	3	1	4	2	0
Longwall Mining	4	2	0	4	4	3	0	4	2	0
Room and Pillar	0	3	4	0	1	2	4	0	2	4
Shrinkage Stoping	4	2	1	4	4	3	0	4	2	0
Cut and Fill	3	2	2	3	3	2	2	4	3	2
Top Slicing	4	2	1	3	3	3	0	4	2	0

Características de la roca caja piso

- Competencia de la roca intacta: Mediana
- Espaciamiento de las discontinuidades o fracturas: Espaciadas
- Resistencia de las discontinuidades o fracturas: Media

Tabla 52. Valoración según las características de la caja piso.

Método de Explotación	Competencia Roca Intacta			Espaciamiento de Fracturas				Resistencia de Fracturas		
	Baja	Mediana	Alta	Muy cercanas	Poco espaciadas	Espaciadas	Muy espaciadas	Baja	Media	Alta
Block Caving	2	3	3	1	3	3	3	1	3	3
Sublevel Stoping	0	2	4	0	0	2	4	0	1	4
Sublevel Caving	0	2	4	0	1	3	4	0	2	4
Longwall Mining	2	3	3	1	2	4	3	1	3	3
Room and Pillar	0	2	4	0	1	3	3	0	3	3
Shrinkage Stoping	2	3	3	2	3	3	2	2	2	3
Cut and Fill	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2
Top Slicing	2	3	3	1	3	3	3	1	2	3

Tabla 53. Sumatoria de los puntajes obtenidos en cada parámetro.

Método de Explotación	Yacimiento	Mineral / Veta	Caja Techo	Caja Piso
Block Caving	-43	8	7	9
Sublevel Stoping	9	5	6	5
Sublevel Caving	-42	7	7	7
Longwall Mining	-92	8	7	10
Room and Pillar	9	6	7	8
Shrinkage Stoping	8	6	7	8
Cut and Fill	13	8	7	8
Top Slicing	-45	6	7	8

Para la obtención del puntaje total para cada método se le multiplica por un factor de peso asignado por el método de Nicholas:

Tabla 54. Factor de peso multiplicador.

Características del yacimiento mineral	1,00
Características geomecánicas del mineral	0,75
Características geomecánicas de la caja techo	0,60
Características geomecánicas de la caja piso	0,38

Tabla 55. Valoración total de los métodos de explotación.

Método de Explotación	Yacimiento	Mineral / Veta	Caja Techo	Caja Piso	TOTAL
Cut and Fill / Corte y Relleno	13	6	4.2	3.04	26.24
Room and Pillar / Cámaras y Pilares	9	4.5	4.2	3.04	20.74
Shrinkage Stopping / Almacenamiento Provisional	8	4.5	4.2	3.04	19.74
Sublevel Stopping / Tajeo por Subniveles	9	3.75	3.6	1.9	18.25
Block Caving / Hundimiento por Bloques	-43	6	4.2	3.42	-29.38
Sublevel Caving / Hundimiento por Subniveles	-42	5.25	4.2	2.66	-29.89
Top Slicing / Tajeo por Rebanadas	-45	4.5	4.2	3.04	-33.26
Longwall Mining / Tajos Largos	-92	6	4.2	3.8	-78

De acuerdo con la tabla de valoración total, los métodos aplicables para la explotación de la veta Victoria son los siguientes: Corte y relleno (cut and fill), cámaras y pilares (room and pillar), almacenamiento provisional (shrinkage stopping) y tajeo por subniveles (sublevel stopping). El método óptimo de explotación se definirá analizando criterios de costos de minado, productividad, recuperación y dilución.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Culminada la recolección de datos y habiendo identificado las características principales de la veta Victoria, se procedió con el análisis de los resultados obtenidos.

En primer lugar, se realizó la caracterización geomecánica de la roca caja piso. La Tabla 56 muestra la clase y calidad del macizo rocoso según la clasificación geomecánica RMR con una valoración de 59.

Tabla 56. Valoración de la roca caja piso en relación con el Índice RMR.

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20

En segundo lugar, se realizó la caracterización geomecánica de la roca caja techo. La Tabla 57 muestra la clase y calidad del macizo rocoso según la clasificación geomecánica RMR con una valoración de 65.

Tabla 57. Valoración de la roca caja techo en relación con el Índice RMR.

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20

En tercer lugar, se realizó la caracterización geomecánica de la estructura mineralizada. La Tabla 58 muestra la clase y calidad del macizo rocoso según la clasificación geomecánica RMR con una valoración de 51.

Tabla 58. Valoración de la estructura mineralizada en relación con el Índice RMR.

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20

4.1.1. Evaluación de los métodos de explotación según Nicholas

Los métodos resultantes según el criterio de Nicholas fueron los siguientes:

Tabla 59. Métodos de explotación resultantes.

Método de Explotación	Yacimiento	Mineral / Veta	Caja Techo	Caja Piso	Total
Cut and Fill	13	6	4.2	3.04	26.24
Room and Pillar	9	4.5	4.2	3.04	20.74
Shrinkage Stopping	8	4.5	4.2	3.04	19.74
Sublevel Stopping	9	3.75	3.6	1.9	18.25

De acuerdo con las características de la estructura mineralizada, el método de cámaras y pilares se descarta. El buzamiento de la veta Victoria es mayor a 70°, con cámaras y pilares se requiere que el buzamiento sea menor a 30°. En tal sentido quedan tres métodos de explotación a seguir evaluando según los criterios que se describen a continuación.

4.1.2. Comparación de los métodos de explotación

Primero analizamos las características que involucran a la estructura mineralizada y el método de explotación acorde para su explotación:

Tabla 60. Características principales para selección de métodos de explotación.

Características	Tajeo por Subniveles		Almacenamiento Provisional		Corte y Relleno	
	<i>Acceptable</i>	<i>Óptimo</i>	<i>Acceptable</i>	<i>Óptimo</i>	<i>Acceptable</i>	<i>Óptimo</i>
Forma	Cualquiera	Tabular	<u>Cualquiera</u>	<u>Tabular</u>	Cualquiera	Tabular
Potencia	> 5 m	> 10 m	<u>Cualquiera</u>	<u>> 3 m</u>	Cualquiera	> 3 m
Buzamiento	> 45°	> 65°	<u>> 30°</u>	<u>> 60°</u>	> 30°	> 60°
Tamaño	Cualquiera	> 10 m	<u>Cualquiera</u>	<u>Cualquiera</u>	Cualquiera	Cualquiera
Regularidad	Media	Baja	<u>Cualquiera</u>	<u>Regular</u>	Cualquiera	Regular

Según las observaciones realizadas en campo se determinó que la potencia de la veta Victoria en promedio es 3 metros y según la Tabla 60 el método Tajeo por Subniveles requiere un mínimo de potencia de 5 metros, en tal sentido los métodos cercanos a aplicar al proyecto Huayrapongo son Almacenamiento Provisional y Corte y Relleno.

Tabla 61. Características operativas para selección de métodos de explotación.

Características	Tajeo por subniveles	Almacenamiento provisional	Corte y relleno
Costo de minado	40%	50%	60%
Capacidad de producción	Grande	Moderada	Moderada
Productividad	Alta	Baja	Moderada
Inversión de capital	Moderada	Baja	Moderada
Velocidad de desarrollo	Moderada	Rápido	Moderada
Capacidad de profundidad	Moderada	Limitada	Moderada
Selectividad	Baja	Moderada	Alta
Recuperación	Moderada	Alta	Alta
Dilución	Moderada	Baja	Baja
Flexibilidad	Baja	Moderada	Moderada
Estabilidad de las aberturas	Alta	Alta	Alta
Subsistencia	Baja	Baja	Baja
Seguridad y salud	Buena	Buena	Moderada

De acuerdo con la Tabla 61, el método favorable para la explotación de la veta Victoria es Almacenamiento Provisional ya que cumple con una mayor cantidad de características operativas con respecto a los otros dos métodos de explotación subterránea.

4.1.3. Costos de explotación de los métodos seleccionados

Los costos evaluados a continuación corresponden a los tres métodos favorables para la explotación de la veta Victoria:

4.1.3.1. Corte y relleno

El método de explotación corte y relleno generalmente se aplica con la variante ascendente. La Tabla 62 muestra los costos involucrados mediante la explotación por corte y relleno ascendente.

Tabla 62. Costos de explotación – Corte y relleno ascendente.

CORTE Y RELLENO ASCENDENTE - COSTOS DE EXPLOTACIÓN						
Descripción	Unidad	Cantidad	Incendencia	P. Unit (\$)	SubTotal (\$)	Total (\$)
I. EXPLOTACIÓN						1897.41
1. Mano de Obra						120.34
Operador jumbo	tarea	1	1	35.00	35.00	
Ayudante jumbo	tarea	1	1	26.67	26.67	
Operador scoop	tarea	1	1	32.00	32.00	
Ayudante scoop	tarea	1	1	26.67	26.67	

CORTE Y RELLENO ASCENDENTE - COSTOS DE EXPLOTACIÓN						
Descripción	Unidad	Cantidad	Incidencia	P. Unit (\$)	SubTotal (\$)	Total (\$)
2. Supervisión y Administración						52.41
Ingeniero residente	tarea	1	0.25	69.32	17.33	
Ingeniero minas	tarea	1	0.25	48.00	12.00	
Ingeniero geólogo	tarea	1	0.25	40.00	10.00	
Capataz	tarea	1	0.25	37.32	9.33	
Administrador	tarea	1	0.25	15.00	3.75	
3. Equipos y Aceros						927.77
Jumbo Electrohidraulico Sandvick	hm	1	1	120	240.00	
Scooptram Sandvick	hm	1	1	90	360.00	
Dumper Sandvick	hm	1	1	80	320.00	
Barra cónica 4'	mp	1	0.004	48.42	0.22	
Barra cónica 8'	mp	1	0.009	73.45	0.65	
Barra cónica 12'	mp	1	0.002	346.67	0.69	
Broca cónica 38 mm	mp	1	0.010	19.22	0.19	
Broca cónica 41 mm	mp	1	0.027	19.73	0.53	
Broca cónica 45 mm	mp	1	0.015	75.63	1.13	
Disco de jebe	pza	3	1	1.33	3.99	
Manguera 1"	m	10	0.007	3.88	0.26	
Manguera 1/2"	m	10	0.007	1.67	0.11	
4. Explosivos y Accesorios de Voladura						509.27
Dinamita Semexa 65% 1 1/4"x8"	kg	216.4	1	2.23	481.93	
Carmex	und	49.0	1	0.53	26.20	
Mecha rápida	m	4	1	0.28	1.13	
5. Herramientas						189.78
Barretilla aluminio 4'	pza	1	0.017	15.84	0.26	
Barretilla aluminio 6'	pza	1	0.017	18.72	0.31	
Barretilla aluminio 8'	pza	1	0.017	20.80	0.35	
Barretilla aluminio 10'	pza	1	0.017	22.88	0.38	
Llave Stilson 8"	pza	1	0.01	7.31	0.07	
Llave Stilson 10"	pza	1	0.01	19.61	0.20	
Llave Francesa 8"	pza	1	0.01	6.41	0.06	
Saca Barreno	pza	1	0.005	10.20	0.05	
Pico	pza	2	0.02	7.89	0.32	
Lampa	pza	2	0.02	7.06	0.28	
Comba 8 lb	pza	1	0.011	10.94	0.12	
Comba 6 lb	pza	1	0.011	9.25	0.10	
Cucharilla 5'x3/8	pza	2	0.017	5.74	0.19	
Atacador	pza	2	0.050	2.62	0.26	
Flexómetro 5m	pza	1	0.033	3.59	0.12	
Escalera Telescópica 3m	pza	1	0.011	116.00	1.29	
Cargador	pza	1	0.006	12.75	0.07	
Punzon de cobre	pza	1	0.006	3.06	0.02	
Fósforo	caj	6	0.2	0.1	0.12	
Aceite lubricador	gal	2	1	5.84	11.69	
Combustible diesel	gal	31	1	5.60	173.52	

CORTE Y RELLENO ASCENDENTE - COSTOS DE EXPLOTACIÓN						
Descripción	Unidad	Cantidad	Incidencia	P. Unit (\$)	SubTotal (\$)	Total (\$)
6. Implementos de Seguridad						33.83
Casco de seguridad	pza	9	0.005	15.49	0.70	
Mameluco	pza	9	0.010	22.30	2.01	
Botas de seguridad	par	9	0.006	24.23	1.21	
Lentes de seguridad	pza	9	0.033	7.47	2.24	
Casaca de jebe	pza	4	0.017	16.58	1.11	
Pantalón de jebe	pza	4	0.017	16.07	1.07	
Guantes de jebe	par	4	0.143	2.55	1.46	
Guantes de neoprene	par	8	0.143	6.93	7.92	
Guantes de cuero	par	8	0.050	2.75	1.10	
Lámpara	pza	8	0.003	98.21	2.18	
Tapón auditivo	par	8	0.033	0.77	0.21	
Respirador	pza	8	0.006	38.27	1.70	
Filtro de respirador	par	8	0.100	13.27	10.62	
Correa portalámpara	pza	8	0.003	5.1	0.11	
Tafílete de protector	pza	8	0.007	3.39	0.18	
Barbiquejo	pza	8	0.006	0.42	0.02	
7. Servicios	gbl	1	1.0	64.00	64.00	64.00
II. SOSTENIMIENTO						594.26
1. Mano de Obra	gbl	1	0.25	58.67	14.67	14.67
2. Herramientas	gbl	1	1.0	5.70	5.70	5.70
3. Materiales de sostenimiento	gbl	1	1.0	373.36	373.36	373.36
4. Implementos de Seguridad	gbl	1	1.0	9.2	9.20	9.20
5. Relleno Detrítico Cementado	ton	54	1.0	2.36	127.34	127.34
6. Servicios	gbl	1	1.0	64.00	64.00	64.00
III. VENTILACIÓN						16.00
Ventilador 50 HP	hr	6	1.0	2.7	16.00	16.00
IV. GASTOS GENERALES			0.10			250.77
V. IMPREVISTOS			0.05			137.12
VI. UTILIDAD			0.15			376.15
COSTO TOTAL						3271.71

Tabla 63. Parámetros de la sección y costo por tonelada extraída.

Ancho de labor	3.0	m	Efic. Disp.	95%	
Alto de labor	3.0	m	Avance Efect.	3.3	m
Long. Barra	3.7	m	Volumen	29.65	m ³ /disparo
N° Tal. Frente	53.5		Densidad roca	2.8	TM/m ³
N° Tal. Cargados	49.0		Tonelaje	107.92	TM/disparo
Efic. Perf.	95%		Costo Total	3271.71	\$
Long. Avance	3.5	m	Costo x Tonelada	30.32	\$/TM

4.1.3.2. Tajeo por subniveles

El método de explotación tajeo por subniveles involucra grandes áreas de voladura. La Tabla 64 muestra los costos involucrados mediante la explotación de tajeo por subniveles.

Tabla 64. Costos de explotación – Tajeo por subniveles.

TAJEOS POR SUBNIVELES - COSTOS DE EXPLOTACIÓN						
Descripción	Unidad	Cantidad	Incidencia	P. Unit (\$)	SubTotal (\$)	Total (\$)
I. EXPLOTACIÓN						1646.18
1. Mano de Obra						120.34
Operador jumbo	tarea	1	1	35.00	35.00	
Ayudante jumbo	tarea	1	1	26.67	26.67	
Operador scoop	tarea	1	1	32.00	32.00	
Ayudante scoop	tarea	1	1	26.67	26.67	
2. Supervisión y Administración						52.41
Ingeniero residente	tarea	1	0.25	69.32	17.33	
Ingeniero minas	tarea	1	0.25	48.00	12.00	
Ingeniero geólogo	tarea	1	0.25	40.00	10.00	
Capataz	tarea	1	0.25	37.32	9.33	
Administrador	tarea	1	0.25	15.00	3.75	
3. Equipos y Aceros						761.17
Jumbo Electrohidraulico Sandvick	hm	1	1	120	240.00	
Scooptram Sandvick	hm	1	1	90	270.00	
Dumper Sandvick	hm	1	1	80	240.00	
Barra cónica 4'	mp	1	0.004	48.42	0.22	
Barra cónica 8'	mp	1	0.009	73.45	0.65	
Barra cónica 12'	mp	1	0.002	346.67	0.69	
Broca cónica 38 mm	mp	1	0.010	19.22	0.19	
Broca cónica 41 mm	mp	1	0.027	19.73	0.53	
Broca cónica 45 mm	mp	1	0.015	75.63	1.13	
Disco de jebe	pza	5	1	1.33	6.65	
Manguera 1"	m	30	0.007	3.88	0.78	
Manguera 1/2"	m	30	0.007	1.67	0.33	

TAJEO POR SUBNIVELES - COSTOS DE EXPLOTACIÓN						
Descripción	Unidad	Cantidad	Incidencia	P. Unit (\$)	SubTotal (\$)	Total (\$)
4. Explosivos y Accesorios de Voladura						447.03
Dinamita Semexa 65% 1 1/4"x8"	kg	169.28	1	2.23	377.02	
Carmex	und	115.0	1	0.53	61.50	
Mecha rápida	m	30	1	0.28	8.51	
5. Herramientas						167.39
Barretilla aluminio 4'	pza	1	0.017	15.84	0.26	
Barretilla aluminio 6'	pza	1	0.017	18.72	0.31	
Barretilla aluminio 8'	pza	1	0.017	20.80	0.35	
Barretilla aluminio 10'	pza	1	0.017	22.88	0.38	
Llave Stilson 8"	pza	1	0.01	7.31	0.07	
Llave Stilson 10"	pza	1	0.01	19.61	0.20	
Llave Francesa 8"	pza	1	0.01	6.41	0.06	
Saca Barreno	pza	1	0.005	10.20	0.05	
Pico	pza	2	0.02	7.89	0.32	
Lampa	pza	2	0.02	7.06	0.28	
Comba 8 lb	pza	1	0.011	10.94	0.12	
Comba 6 lb	pza	1	0.011	9.25	0.10	
Cucharilla 5'x3/8	pza	2	0.017	5.74	0.19	
Atacador	pza	2	0.050	2.62	0.26	
Flexómetro 5m	pza	1	0.033	3.59	0.12	
Escalera Telescópica 3m	pza	1	0.011	116.00	1.29	
Cargador	pza	1	0.006	12.75	0.07	
Punzon de cobre	pza	1	0.006	3.06	0.02	
Fósforo	caj	6	0.2	0.1	0.12	
Aceite lubricador	gal	2	1	5.84	11.69	
Combustible diesel	gal	27	1	5.60	151.13	
6. Implementos de Seguridad						33.83
Casco de seguridad	pza	9	0.005	15.49	0.70	
Mameluco	pza	9	0.010	22.30	2.01	
Botas de seguridad	par	9	0.006	24.23	1.21	
Lentes de seguridad	pza	9	0.033	7.47	2.24	
Casaca de jebe	pza	4	0.017	16.58	1.11	
Pantalón de jebe	pza	4	0.017	16.07	1.07	
Guantes de jebe	par	4	0.143	2.55	1.46	
Guantes de neoprene	par	8	0.143	6.93	7.92	
Guantes de cuero	par	8	0.050	2.75	1.10	
Lámpara	pza	8	0.003	98.21	2.18	
Tapón auditivo	par	8	0.033	0.77	0.21	
Respirador	pza	8	0.006	38.27	1.70	
Filtro de respirador	par	8	0.100	13.27	10.62	
Correa portalámpara	pza	8	0.003	5.1	0.11	
Tafilete de protector	pza	8	0.007	3.39	0.18	
Barbiquejo	pza	8	0.006	0.42	0.02	
7. Servicios	gbl	1	1.0	64.00	64.00	64.00

TAJEO POR SUBNIVELES - COSTOS DE EXPLOTACIÓN						
Descripción	Unidad	Cantidad	Incidencia	P. Unit (\$)	SubTotal (\$)	Total (\$)
II. SOSTENIMIENTO						735.03
1. Mano de Obra	gbl	1	0.25	58.67	14.67	14.67
2. Herramientas	gbl	1	1.0	5.70	5.70	5.70
3. Materiales de sostenimiento	gbl	1	1.0	429.85	429.85	429.85
4. Implementos de Seguridad	gbl	1	1.0	9.2	9.20	9.20
5. Relleno Detrítico Cementado	ton	60	1.0	3.52	211.61	211.61
6. Servicios	gbl	1	1.0	64.00	64.00	64.00
III. VENTILACIÓN						16.00
Ventilador 50 HP	hr	6	1.0	2.7	16.00	16.00
IV. GASTOS GENERALES			0.10			239.72
V. IMPREVISTOS			0.05			119.86
VI. UTILIDAD			0.15			359.58
COSTO TOTAL						3116.37

Tabla 65. Parámetros de la sección y costo por tonelada extraída.

Ancho de labor	3.0	m	Efic. Disp.	95%	
Largo de labor	10.0	m	Avance Efect.	1.1	m
Long. Barra	1.2	m	Volumen	33.03	m ³ /disparo
N° Tal. Frente	118.0		Densidad roca	2.8	TM/m ³
N° Tal. Cargados	115.0		Tonelaje	120.23	TM/disparo
Efic. Perf.	95%		Costo Total	3116.37	\$
Long. Avance	1.2	m	Costo x Tonelada	25.92	\$/TM

4.1.3.3. Almacenamiento provisional

El método de explotación almacenamiento provisional involucra almacenar grandes volúmenes de mineral. La Tabla 66 muestra los costos involucrados mediante la explotación por almacenamiento provisional.

Tabla 66. Costos de explotación – Almacenamiento provisional.

ALMACENAMIENTO PROVISIONAL - COSTOS DE EXPLOTACIÓN						
Descripción	Unidad	Cantidad	Incidencia	P. Unit (\$)	SubTotal (\$)	Total (\$)
I. EXPLOTACIÓN						631.40
1. Mano de Obra						130.67
Maestro perforista	tarea	1	1	32.00	32.00	
Ayudante perforista	tarea	1	1	26.67	26.67	
Peón	tarea	3	1	24.00	72.00	
2. Supervisión y Administración						52.41
Ingeniero residente	tarea	1	0.25	69.32	17.33	
Ingeniero minas	tarea	1	0.25	48.00	12.00	
Ingeniero geólogo	tarea	1	0.25	40.00	10.00	
Capataz	tarea	1	0.25	37.32	9.33	
Administrador	tarea	1	0.25	15.00	3.75	
3. Equipos y Aceros						70.18
Perforadora JackLeg	pp	324	1	0.1	64.80	
Barra cónica 4'	mp	1	0.004	48.42	0.22	
Barra cónica 6'	mp	1	0.009	68.92	0.61	
Broca cónica 38 mm	mp	1	0.010	19.22	0.19	
Disco de jebe	pza	3	1	1.33	3.99	
Manguera 1"	m	10	0.007	3.88	0.26	
Manguera 1/2"	m	10	0.007	1.67	0.11	
4. Explosivos y Accesorios de Voladura						268.30
Dinamita Semexa 65% 1 1/4"x8"	kg	108.192	1	2.23	240.97	
Carmex	und	49.0	1	0.53	26.20	
Mecha rápida	m	4	1	0.28	1.13	
5. Herramientas						7.13
Barretilla aluminio 4'	pza	1	0.017	15.84	0.26	
Barretilla aluminio 6'	pza	1	0.017	18.72	0.31	
Barretilla aluminio 8'	pza	1	0.017	20.80	0.35	
Barretilla aluminio 10'	pza	1	0.017	22.88	0.38	
Llave Stilson 8"	pza	1	0.01	7.31	0.07	
Llave Stilson 10"	pza	1	0.01	19.61	0.20	
Llave Francesa 8"	pza	1	0.01	6.41	0.06	
Saca Barreno	pza	1	0.005	10.20	0.05	
Pico	pza	2	0.02	7.89	0.32	
Lampa	pza	2	0.02	7.06	0.28	
Carretilla buggy	pza	1	0.02	65.33	1.09	
Comba 8 lb	pza	1	0.011	10.94	0.12	
Comba 6 lb	pza	1	0.011	9.25	0.10	
Cucharilla 5'x3/8	pza	2	0.017	5.74	0.19	
Atacador	pza	2	0.050	2.62	0.26	
Flexómetro 5m	pza	1	0.033	3.59	0.12	
Escalera Telescópica 3m	pza	1	0.011	116.00	1.29	
Cargador	pza	1	0.006	12.75	0.07	
Punzon de cobre	pza	1	0.006	3.06	0.02	
Fósforo	caj	6	0.2	0.1	0.12	
Aceite lubricador	gal	0.25	1	5.84	1.46	

ALMACENAMIENTO PROVISIONAL - COSTOS DE EXPLOTACIÓN						
Descripción	Unidad	Cantidad	Incidencia	P. Unit (\$)	SubTotal (\$)	Total (\$)
6. Implementos de Seguridad						38.71
Casco de seguridad	pza	10	0.005	15.49	0.77	
Mameluco	pza	10	0.010	22.30	2.23	
Botas de seguridad	par	10	0.006	24.23	1.35	
Lentes de seguridad	pza	10	0.033	7.47	2.49	
Casaca de jebe	pza	2	0.017	16.58	0.55	
Pantalón de jebe	pza	2	0.017	16.07	0.54	
Guantes de jebe	par	2	0.143	2.55	0.73	
Guantes de neoprene	par	10	0.143	6.93	9.90	
Guantes de cuero	par	10	0.050	2.75	1.37	
Lámpara	pza	10	0.003	98.21	2.73	
Tapón auditivo	par	10	0.033	0.77	0.26	
Respirador	pza	10	0.006	38.27	2.13	
Filtro de respirador	par	10	0.100	13.27	13.27	
Correa portalámpara	pza	10	0.003	5.1	0.14	
Tafilete de protector	pza	10	0.007	3.39	0.23	
Barbiquejo	pza	10	0.006	0.42	0.02	
7. Servicios	gbl	1	1.0	64.00	64.00	64.00
II. SOSTENIMIENTO						100.97
1. Mano de Obra	gbl	1	0.25	58.67	14.67	14.67
2. Herramientas	gbl	1	1.0	5.70	5.70	5.70
3. Materiales de sostenimiento	gbl	1	1.0	7.40	7.40	7.40
4. Implementos de Seguridad	gbl	1	1.0	9.2	9.20	9.20
5. Servicios	gbl	1	1.0	64.00	64.00	64.00
III. VENTILACIÓN						16.00
Ventilador 50 HP	hr	6	1.0	2.7	16.00	16.00
IV. GASTOS GENERALES			0.10			74.84
V. IMPREVISTOS			0.05			37.42
VI. UTILIDAD			0.15			112.25
COSTO TOTAL						972.87

Tabla 67. Parámetros de la sección y costo por tonelada extraída.

Ancho de labor	3.0	m	Efic. Disp.	95%	
Alto de labor	3.0	m	Avance Efect.	1.7	m
Long. Barra	1.8	m	Volumen	14.86	m ³ /disparo
N° Tal. Frente	53.5		Densidad roca	2.8	TM/m ³
N° Tal. Cargados	49.0		Tonelaje	54.11	TM/disparo
Efic. Perf.	95%		Costo Total	972.87	\$
Long. Avance	1.7	m	Costo x Tonelada	17.98	\$/TM

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En primer lugar, se aplicó el método de Nicholas para determinar el método de explotación en la veta Victoria, obteniendo como puntaje mas alto el método Corte y Relleno. Este método por si solo no determinó la selección final.

En segundo lugar, se comparó las características principales de los métodos de explotación, con el resultado de dos métodos aplicables a la explotación de la veta Victoria: Corte y Relleno y Almacenamiento Provisional.

En tercer lugar, se comparó características y variables operativas de los métodos de explotación, en la que se obtuvo el método de explotación Almacenamiento Provisional, ya que cumplía con la mayoría de características operativas en la selección de métodos.

En cuarto lugar, se analizó los costos unitarios de tres métodos de explotación: corte y relleno, tajeo por subniveles y almacenamiento provisional; para definir el método óptimo de explotación de la veta Victoria. La Tabla 68 muestra los costos por tonelada extraída de mineral para cada método seleccionado, el mayor costo por tonelada extraída es 30.32 \$/TM para corte y relleno, y el menor costo es para el método de Almacenamiento Provisional con 17.98\$/TM.

Tabla 68. Parámetros de la sección y costo por tonelada extraída.

Método de explotación	Costo por Tonelada (\$/TM)
Corte y relleno ascendente	30.32
Tajeo por subniveles	25.92
Almacenamiento provisional	17.98

Finalmente se llegó a la conclusión que el método óptimo de explotación aplicado a la veta Victoria es Almacenamiento Provisional.

La aplicación del método Almacenamiento Provisional radica en que el mineral se arranca en sentido ascendente, permitiendo que el mismo se acumule en el mismo tajeo, ya que se usará como plataforma de trabajo para los siguientes cortes. El excedente de mineral se extrae con el objeto de que, entre el techo del próximo corte y la superficie del montón del mineral exista un espacio abierto de 2 metros de altura.

Este método se aplicará en la veta victoria ya que el espesor de veta se encuentra entre 1.2 a 30 metros. La inclinación de la estructura mineralizada es superior al ángulo de reposo del material disparado, vale decir, mayor a 55°. La roca mineralizada es estable y competente, la roca caja piso y caja techo presentan buenas condiciones de estabilidad.

La metodología de explotación es la siguiente:

Primero consiste en excavar el mineral por tajadas horizontales en una secuencia ascendente partiendo de la base del bloque. Una proporción del mineral quebrado, equivalente al aumento de volumen o esponjamiento (30 a 40 %), es extraída continuamente por la base. El mineral restante queda almacenado en el tajeo, de modo de servir como piso de trabajo para la operación de perforación y voladura, asimismo como soporte de las cajas de la veta. Cuando el proceso de arranque alcanza el límite pre-establecido superior del tajeo, cesan las operaciones de perforación y voladura, y se inicia el vaciado extrayendo el mineral que ha permanecido almacenado (60 a 70 %). Los pilares y puentes de mineral que separan los tajeos serán de 3 metros de ancho y serán recuperados con posterioridad.

En segundo lugar se construyen dos niveles horizontales separados verticalmente por 50 metros, los cuales permiten definir la continuidad de la veta y determinar la regularidad en el espesor de la misma. A esto, se agrega una o más chimeneas, las que permiten definir la continuidad vertical, facilitan la ventilación y permiten el acceso del personal y equipos.

En tercer lugar se realiza el arranque, en la práctica normal se utilizan perforadoras manuales (jacklegs o stopers) y barras integrales. Los tiros pueden ser horizontales (1.6 a 4.0 metros) o verticales (1.6 a 2.4 metros) con diámetros de 32 a 38 milímetros. La voladura se realiza utilizando anfo, geles, emulsiones, con iniciación no eléctrica normalmente

En cuarto lugar, para el carguío y transporte del mineral el sistema tradicional o más antiguo consiste en el carguío directo del esponjamiento por el nivel de extracción mediante carros mineros, mediante buzones instalados en la base de los embudos recolectores (ore chutes). Es necesario nivelar el piso para seguir perforando después de cada disparo, dentro del tajeo. Después de disparar y extraer cada tajada vertical, se deben subir los accesos (fortificación de accesos con madera).

En quinto lugar, el frente de trabajo se ventila inyectando aire desde la galería de transporte ubicada en la base a través de la chimenea de acceso emplazada en uno de los pilares que flanquean el tajeo. El aire viciado se extrae hacia el nivel superior por la chimenea emplazada en el otro pilar correspondiente al tajeo contiguo.

Finalmente, para el sostenimiento se realizará con apernado parcial o sistemático de las paredes del caserón. En situaciones de mayor inestabilidad se colocarán pernos y malla de acero. También se dejará algunos pilares de mineral.

4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

En base a nuestra hipótesis inicial planteada: Las variables que determinan la selección del método de explotación óptimo para la veta Victoria del yacimiento minero Huayrapongo son: la litología de la roca, geometría del yacimiento mineral y evaluación geomecánica. Operacionalizadas dichas variables reúnen las condiciones para una explotación subterránea de tipo Almacenamiento Provisional (Shrinkage Stopping) en el yacimiento. Por lo tanto se contrasta la hipótesis como verdadera ya que de acuerdo a la evaluación realizada el método de explotación óptimo determinado es Almacenamiento Provisional.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Se determinó la selección del método de explotación óptimo para la veta Victoria aplicando los criterios de: método numérico de Nicholas, comparación de características y variables operativas, y costos de explotación, determinando que el método Almacenamiento Provisional es el óptimo a aplicar en el yacimiento minero Huayrapongo.

Se evaluó las condiciones geomecánicas del macizo rocoso: RMR de la roca caja piso con un valor de 59, roca caja techo un valor de 65 y para la estructura mineralizada con un valor de 51.

La altura del tajo con el método Almacenamiento Provisional será de 50 metros considerando un puente de 3 metros de ancho con el tajeo contiguo; los pilares en las tolvas de mineral tendrán una altura de 3 metros y un ancho de 5 metros; para el arranque de mineral se emplearán perforaciones horizontales e inclinadas.

El método Almacenamiento Provisional es aplicable a cualquier forma geométrica de yacimiento, potencias de vetas de diferentes espesores, buzamientos de vetas mayores a 60°, la recuperación de mineral es alta y la dilución es baja.

5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda a la Empresa Minera Cajamarca profundizar en los estudios de la geometría del yacimiento, hidrogeología, profundidad y espesor de las estructuras mineralizadas.

Se recomienda a la Empresa Minera Cajamarca realizar estudios a mayor detalle de los métodos de explotación subterránea que involucre sondajes diamantinos con el fin de conocer a mayor amplitud la composición mineralógica de las vetas y el comportamiento geomecánico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, D; Cercado, I. 2020. Determinación del método de explotación subterránea en la concesión minera Alta Gracia-Yonán. Tesis en Ing. Cajamarca, Perú, Universidad Privada del Norte. 86 p.
- Capcha, J. 2021. Combinación de los métodos de explotación “cut and fill” y “shrinkage stoping” y su influencia en la productividad del tajeo 445 SW en la Mina Candelaria – U.E.A. Chanca – Congemin JH S.A.C. Tesis en Ing. Huancayo, Perú, Universidad Continental. 96 p.
- Castillo, E. 2020. Implementación del método sublevel stoping con taladros largos para el incremento de la producción en el tajeo 830E en la zona de profundización de la compañía Minera Bateas S.A.C. Tesis en Ing. Arequipa, Perú, Universidad Continental. 95 p.
- De la Cruz, K; Valdivia, N. 2020. Estudio del método de circado para la explotación de vetas angostas en la Mina Nueva Esperanza Nivel II – Algamarca. Tesis en Ing. Chiclayo, Perú, Universidad César Vallejo. 88 p.
- Enríquez, J; Rodríguez, O. 2005. Geología de los yacimientos epitermales del tipo baja sulfuración en el corredor estructural San Pablo – Porculla Norte del Perú. XIII Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos. Lima, Perú. 4 p.
- García, D. 2019. Selección de método de explotación y su impacto en la productividad en la Mina el Extraño UEA Copemina-2019. Tesis en Ing. Huaraz, Perú, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. 129 p.
- Herrera, J. 2020. Introducción a la minería subterránea: Métodos de explotación de interior. Madrid, España. 140 p.
- Husillo, R; Barral, N. 2018. Laboreo II: Métodos de explotación subterránea. Cantabria, España. 102 p.

- Maldonado, D. 2022. Propuesta de diseño de explotación subterránea para la extracción de oro en el área minera Patricia, El Guabo – El Oro. Tesis en Ing. Cuenca, Ecuador, Universidad del Azuay. 100 p.
- Matos, K. 2022. Aplicación del método corte y relleno ascendente semimecanizado para mejorar la productividad en la veta Ximena en los niveles 18 y 19 en la E.C.M. Gestión Minera Integral S.A.C. Compañía Minera Alpayana. Tesis en Ing. Huancayo, Perú, Universidad Continental. 87 p.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. 2018. Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente. Lima, Perú. 32 p.
- Muruaga, S. 2016. Selección de métodos de explotación para vetas angostas. Tesis en Ing. Santiago, Chile, Universidad de Chile. 127 p.
- Reyes, L. 1980. INGEMMET Boletín N° 31: Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Lima, Perú. 83 p.
- Rivera, R. 2015. Método de minado Sublevel Stopping en corporación minera Castrovirreyna S.A. Lima, Perú.
- Rodríguez, S. 2016. Método de investigación geológico-geotécnico para el análisis de inestabilidad de laderas por deslizamientos zona Ronquillo-Corisorgona. Tesis de Maestría en Geología. Lima, Perú, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 151 p.

ANEXOS

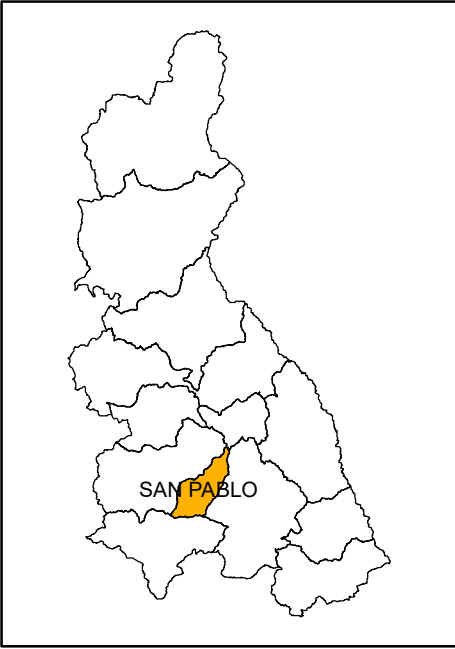
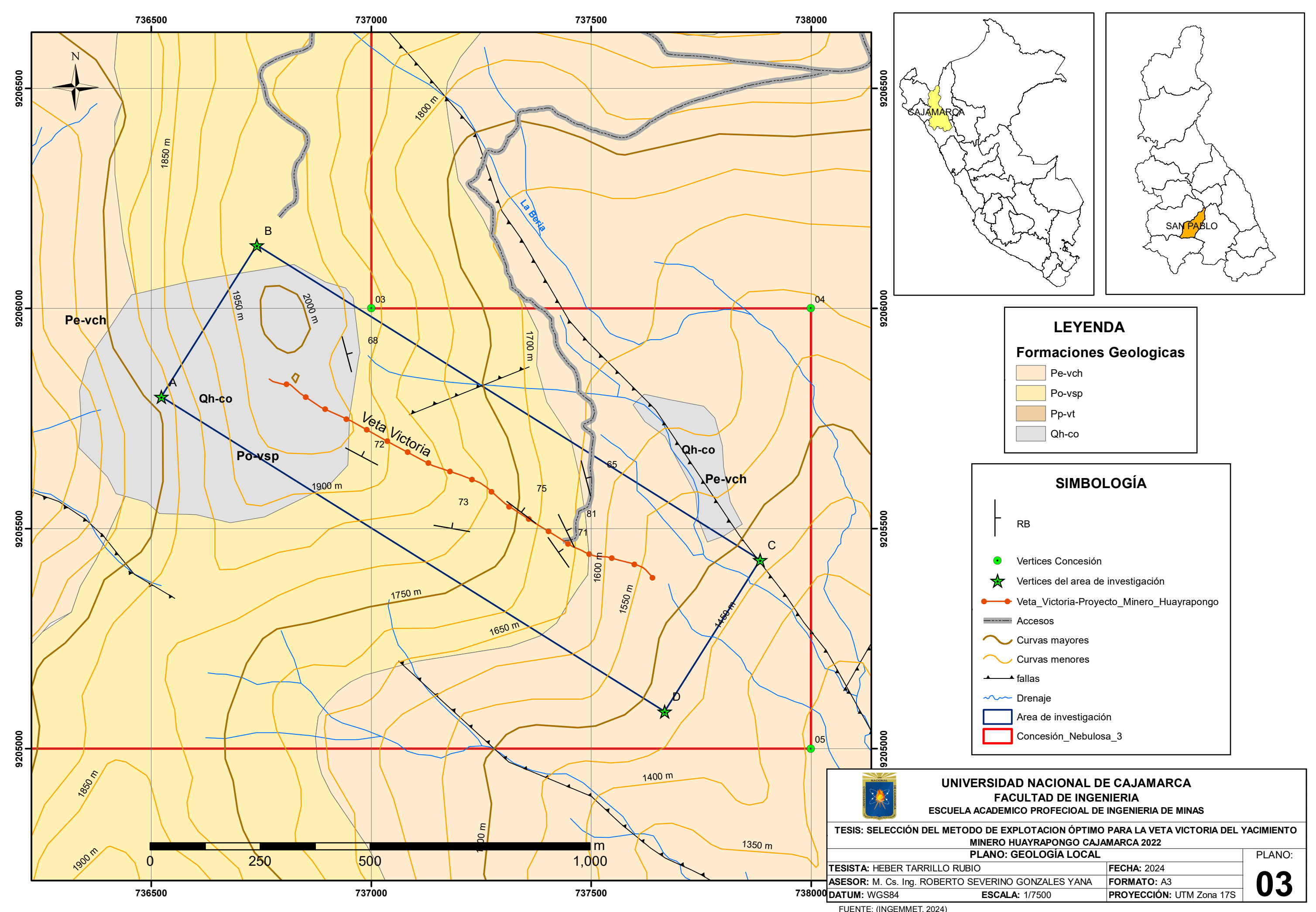
Anexo 01. Plano Imagen satelital del área de trabajo.

Anexo 02. Plano MDE y ubicación de la investigación.

Anexo 03. Plano Geología local.

Anexo 04. Plano Perfil geológico.

Anexo 05. Plano Diseño del método de explotación Shrinkage.



LEYENDA

Formaciones Geologicas

- Pe-vch
- Po-vsp
- Pp-vt
- Qh-co

SIMBOLOGÍA

- RB
- Vertices Concesión
- Vertices del area de investigación
- Veta_Victoria-Proyecto_Minero_Huayrapongo
- Accesos
- Curvas mayores
- Curvas menores
- fallas
- Drenaje
- Area de investigación
- Concesión_Nebulosa_3



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICO PROFECIOAL DE INGENIERIA DE MINAS

TESIS: SELECCIÓN DEL METODO DE EXPLOTACION ÓPTIMO PARA LA VETA VICTORIA DEL YACIMIENTO MINERO HUAYRAPONGO CAJAMARCA 2022

PLANO: GEOLOGÍA LOCAL

TESISTA: HEBER TARRILLO RUBIO

FECHA: 2024

ASESOR: M. Cs. Ing. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA

FORMATO: A3

DATUM: WGS84

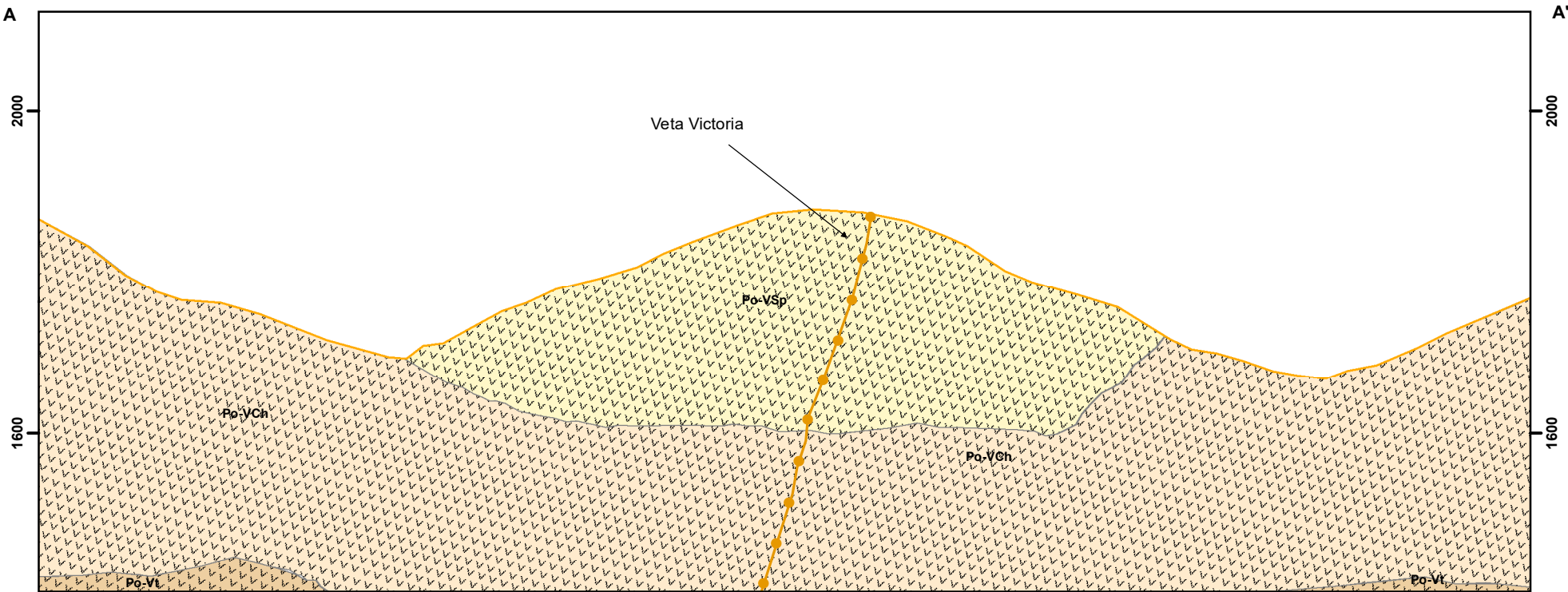
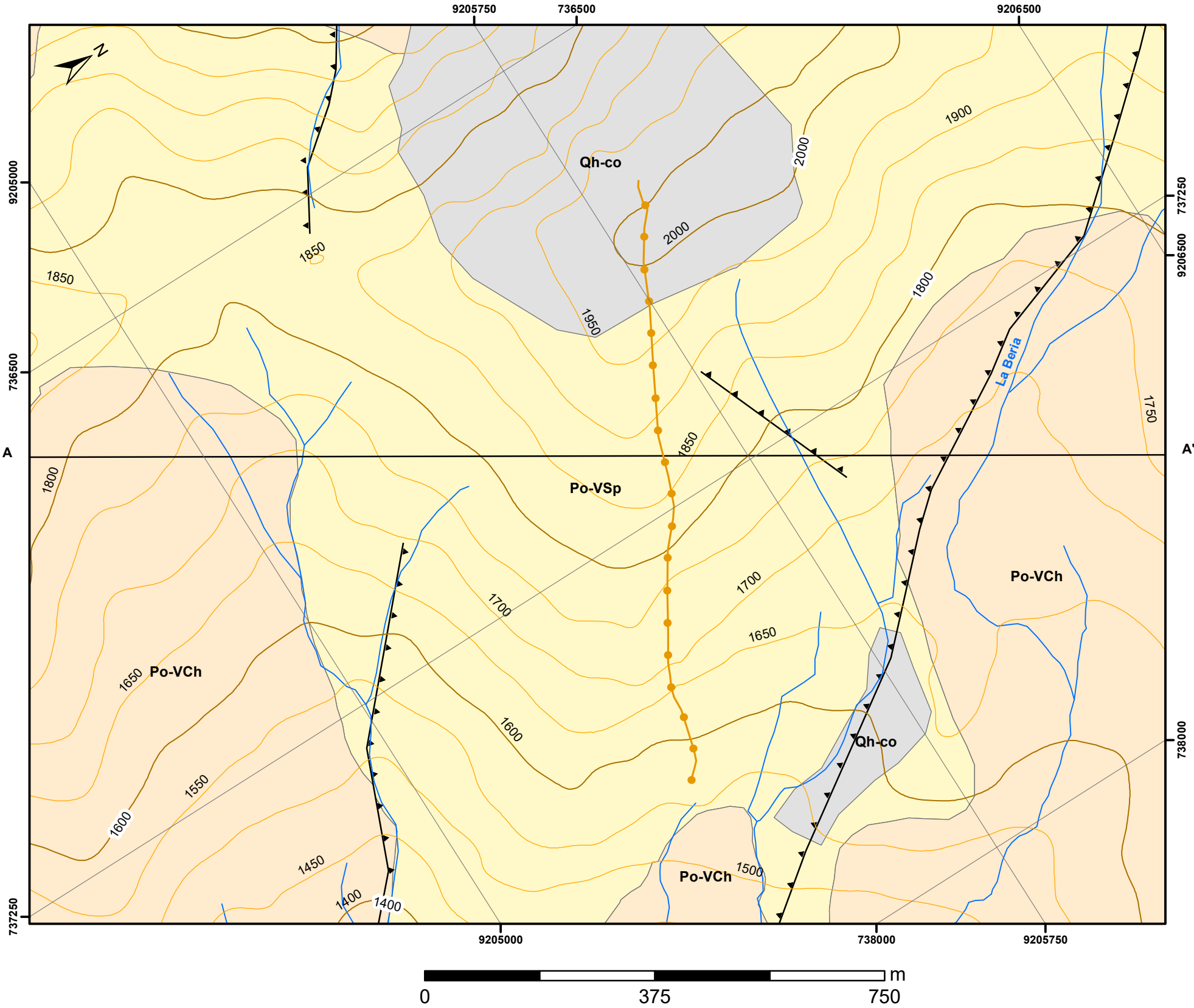
ESCALA: 1/7500

PROYECCIÓN: UTM Zona 17S

PLANO:

03

FUENTE: (INGEMMET, 2024)



LEYENDA

- Veta Victoria
- Línea de Sección
- Curvas Mayores
- Curvas Menores
- Drenaje
- Fallas

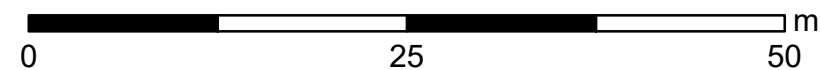
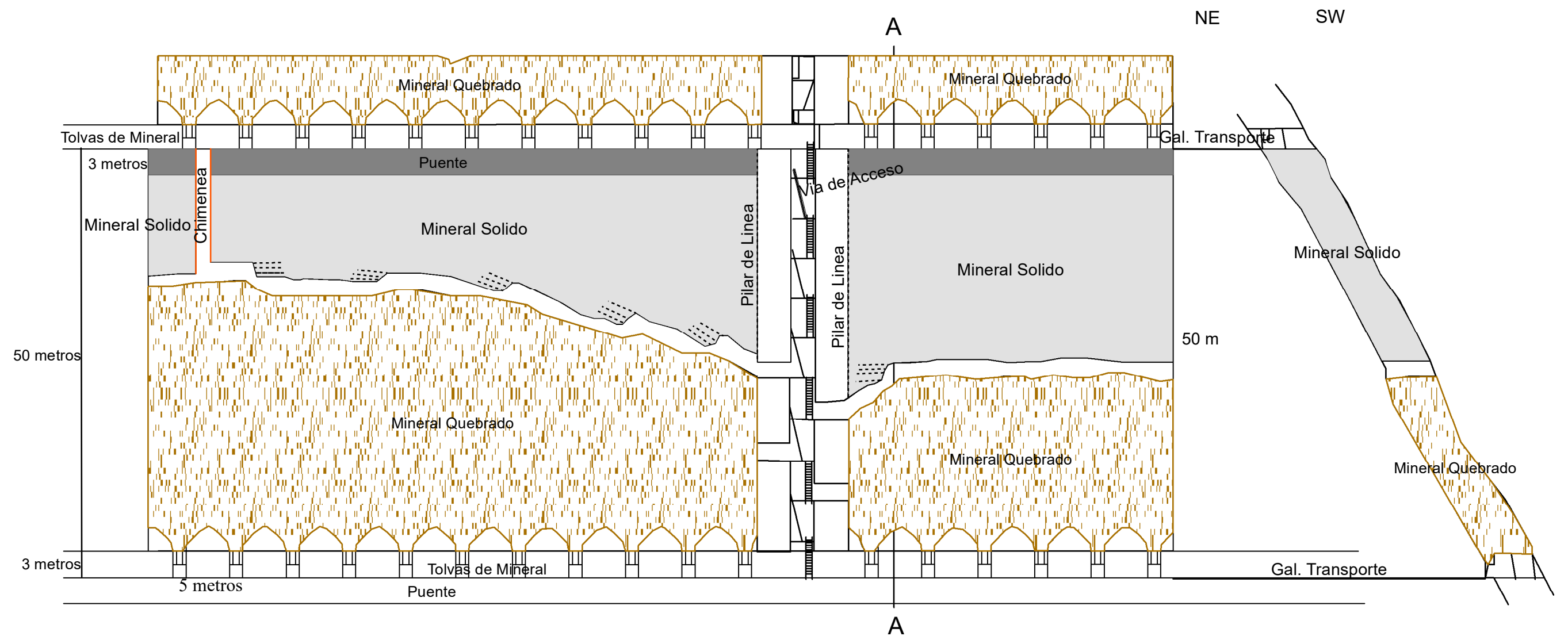
Geología

- Volcánico San Pablo
- Volcánico Chilete
- Volcánico Tembladera
- Cuaternario Coluvial



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICO PROFECIOAL DE INGENIERIA DE MINAS

TESIS: SELECCIÓN DEL METODO DE EXPLOTACION ÓPTIMO PARA LA VETA VICTORIA DEL YACIMIENTO MINERO HUAYRAPONGO CAJAMARCA 2022		
PLANO: PERFIL GEOLOGICO		
TESISTA: HEBER TARRILLO RUBIO	FECHA: 2024	PLANO: 04
ASESOR: M. Cs. Ing. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA	FORMATO: A3	
DATUM: WGS84	ESCALA: 1/7500	
PROYECCIÓN: UTM Zona 17S		
FUENTE: ELABORACION PROPIA		



SIMBOLOGIA

- Via de Acceso
- Chimenea
- Taladros Perforados
- Puente
- Mineral Quebrado
- Mineral Solido



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICO PROFECIOAL DE INGENIERIA DE MINAS

TESIS: SELECCIÓN DEL METODO DE EXPLOTACION ÓPTIMO PARA LA VETA VICTORIA DEL YACIMIENTO
MINERO HUAYRAPONGO CAJAMARCA 2022

PLANO: DISEÑO DEL METODO DE EXPLOTACIÓN SHIRINKAGE

PLANO:

TESISTA: HEBER TARRILLO RUBIO

FECHA: 2024

ASESOR: M. Cs. Ing. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA

FORMATO: A3

DATUM: WGS84

ESCALA: 1/500

PROYECCIÓN: UTM Zona 17S

05

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA