

**UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"**



**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y METALURGIA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

TESIS:

**"EVALUACIÓN TÉCNICA PARA DETERMINAR LA
VIABILIDAD DEL PROYECTO PROFUNDIZACIÓN
DE LA MINA HÉRCULES - COMPAÑÍA MINERA
LINCUNA - 2022"**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE MINAS**

PRESENTADO POR:

Bach. HENOSTROZA YANAC, Orlando Rover

ASESOR:

Dr. Ing. CASTILLEJO MELGAREJO, Ricardo Cayo

HUARAZ - PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS,
GEOLOGÍA Y METALURGÍA



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En la ciudad de Huaraz, siendo las nueve horas con cero minutos de la mañana (9:00 a.m.) del día catorce de Noviembre del Dos mil Veintidos (14/11/22), se reunieron los miembros del jurado Evaluador nominados según Resolución Nro. 211-2022-FIMGM/D, de fecha 03 de Noviembre del 2022, integrado por los siguientes Docentes: **Dr. JAVIER ENRIQUE SOTELO MONTES, como Presidente; M.Sc. Ing. JUAN PELE VILLARREAL SALOME, como Secretario y el M.Sc. Ing. WALTER NICOLAW ROMERO VEGA, como Vocal;** para la sustentación de la tesis Titulada: **"EVALUACION TECNICA PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DEL PROYECTO PROFUNDIZACION DE LA MINA HERCULES – COMPAÑÍA MINERA LINCUNA - 2022"** presentado por el Bachiller **ORLANDO ROVER HENOSTROZA YANAC,** para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo", se procedió con el acto de sustentación bajo las siguientes consideraciones, el Presidente del Jurado calificador, invitó a los docentes, alumnos y público en general a participar en este acto; luego invitó al Secretario del Jurado calificador a dar lectura de la Resolución N°211-2022-FIMGM/D de fecha 03 de Noviembre del 2022. Acto seguido se invitó al sustentante a la defensa de su tesis por un lapso de veinte minutos (20), concluida con la misma, se procedió con el rol de preguntas de parte de los miembros del Jurado Calificador, finalmente se invitó al público en general a hacer abandono del Auditorium de la FIMGM por un lapso de diez (10) minutos con el propósito de deliberar la nota del sustentante, **ACORDANDO: APROBAR CON EL CALIFICATIVO (*)de: DIECISIETE (17). Aprobado con Distinción. Siendo las diez horas y quince minutos (10:15 a.m.) del mismo día, se dio por concluida el acto de sustentación.**

En consecuencia, queda en condición de ser calificado **APTO** por el Consejo de Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" y recibir el Título de **INGENIERO DE MINAS** de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la UNASAM.



Dr. JAVIER ENRIQUE SOTELO MONTES
Presidente



M.Sc. Ing. JUAN PELE VILLARREAL SALOME
Secretario



M.Sc. Ing. WALTER NICOLAW ROMERO VEGA
Vocal



Dr. RICARDO CAYO CASTILLEJO MELGAREJO
Asesor

(*) De acuerdo con el Artículo 84º Reglamento de Grados y Títulos de la UNASAM, están deben ser calificadas con términos de: **APROBADO CON EXCELENCIA (19-20), APROBADO CON DISTINCIÓN (17-18), APROBADO (14-16), DESAPROBADO (00-13).**



UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS,
GEOLOGÍA Y METALURGIA



ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los Miembros del Jurado, luego de evaluar la tesis titulada: **"EVALUACION TECNICA PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DEL PROYECTO PROFUNDIZACION DE LA MINA HERCULES - COMPAÑÍA MINERA LINCUNA - 2022"** presentado por el Bachiller **ORLANDO ROVER HENOSTROZA YANAC** y sustentada el día 14 de Noviembre del 2022, por Resolución Decanatural N° 211-2022-FIMGM/D, la declaramos **CONFORME**.

En consecuencia queda en condiciones de ser publicada.

Huaraz, 14 de Noviembre del 2022



Dr. JAVIER ENRIQUE SOTELO MONTES
Presidente



M.Sc. Ing. JUAN PELE VILLARREAL SALOME
Secretario



M.Sc. Ing. WALTER NICOLAW ROMERO VEGA
Vocal



Dr. RICARDO CAYO CASTILLEJO MELGAREJO
Asesor

DEDICATORIA

Dedico esta presente tesis a mi madre SANTA que siempre me dio su apoyo incondicional en cada uno de mis retos trazados. A mi padre LUIS a mis hermanos; NILO, ROSALIA Y CRHISS quienes confiaron en mí y me dieron todo el apoyo moral, físico y emocional gracias a ustedes por ser el motivo de mi desarrollo personal y profesional. A mis cuñados Humberto y Mariela gracias por sus apoyos y a mis familiares y personas queridas que me siguen acompañando en este largo camino llamado vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi asesor **Ricardo Cayo Castillejo Melgarejo**, por indicarme la dirección del presente trabajo; y como punto especial agradezco a mi alma máter la **UNASAM** a la escuela de Ingeniería de Minas que me formó como profesional.

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objetivo general; realizar la evaluación técnica para determinar la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules - Compañía Minera Lincuna en el año 2022. Se justifica porque la compañía minera Lincuna tiene la necesidad de asegurar la continuidad de sus operaciones en la mina Hércules, con la finalidad de contribuir con la ampliación de la producción y productividad, para el crecimiento en el futuro de la empresa por medio de la profundización de la mina y de esta manera incrementar la vida útil de la mina. La metodología empelada es la que sigue el método científico. El resultado más importante fue que el dominio lito-estructural en la caja Techo, caracterizado por la presencia de flujos lávicos de composición andesítica, con texturas afaníticas a porfiríticas, de coloraciones verdosas a grisáceas, moderadamente fracturadas, con marcadas alteraciones hacia el contacto con la "falla caja techo" de la estructura mineralizada. El dominio se muestra muy fracturado en sectores puntuales hacia el contacto caja techo de la estructura mineralizada; 67 (Buena A), 60 (Buena B) y 40 (Regular B). La conclusión más importante fue: que se determinó que la evaluación técnica determinará la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules - Compañía Minera Lincuna, el año 2022, demostrándose que el sistema de discontinuidad estructural en la mina Hércules se denota como "Dirección de Buzamiento / Buzamiento". 165/77, para el sistema 1 y 341/79, para el sistema 2.

Palabras claves: Evaluación técnica, determinar, viabilidad del proyecto, profundización, mina Hércules, Compañía Minera Lincuna, 2022.

ABSTRACT

The present brought from has the general objective; carry out the technical evaluation to determine the feasibility of the Hércules mine deepening project - Lincuna Mining Company in 2022. It is justified because the Lincuna mining company has the need to ensure the continuity of its operations in the Hércules mine, in order to contribute with the expansion of production and productivity, for the future growth of the company through the deepening of the mine and thus increase the useful life of the mine. The methodology used is the one that follows the scientific method. The most important result was that the litho-structural domain in the Techo box, characterized by the presence of lava flows of andesitic composition, with aphanitic to porphyritic textures, greenish to grayish in color, moderately fractured, with marked alterations towards the contact with the "roof box failure" of the mineralized structure. The domain is highly fractured in punctual sectors towards the ceiling box contact of the mineralized structure; 67 (Good A), 60 (Good B) and 40 (Fair B). The most important conclusion was: that it was determined that the technical evaluation will determine the feasibility of the Hércules mine deepening project - Lincuna Mining Company, in the year 2022, demonstrating that the structural discontinuity system in the Hércules mine is denoted as "Dipping Direction". / Dipping". 165/77, for system 1 and 341/79, for system 2.

Keywords: Technical evaluation, determine, feasibility of the project, deepening, Hércules mine, Lincuna Mining Company, 2022.

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I.....	1
GENERALIDADES	1
1.1. Entorno Físico.....	1
1.1.1. Ubicación y acceso	1
1.1.2. Fisiografía	2
1.1.3. Clima y vegetación	3
1.1.4. Geomorfología	4
1.2. Entorno Geológico.....	4
1.2.1. Geología regional.....	4
1.2.2. Geología local	5
1.2.3. Geología estructural	7
1.2.4. Geología económica.....	8
CAPITULO II.....	14
FUNDAMENTACIÓN	14
2.1. Marco Teórico	14
2.1. Antecedentes de la investigación	14
2.2. Definición de Términos	20
2.3. Fundamentación teórica	22
2.3.1. La evaluación de proyectos mineros de inversión	22
2.3.2. El papel de los técnicos en la evaluación	23
2.1.1. Objetivos de la empresa minera	26
2.1.2. Interdependencia entre las variables principales de un proyecto de explotación.	28

2.1.3. Evaluación económica	29
2.1.4. Variables económicas y análisis de rentabilidad.....	29
2.1.5. Valor actual neto	30
2.1.6. Tasa interna de retorno (TIR).....	32
2.1.7. Relación beneficio costo (B/C).....	33
2.1.8. Periodo de recuperación del capital	34
2.1.9. Rampas.....	35
2.1.10.Labores subterráneas horizontales, galerías	36
2.1.11.Investigaciones in situ	38
2.1.12.Influencia de las condiciones geológicas	40
2.1.13.Resistencia y deformabilidad	41
2.1.14.Caudales y presiones de agua.....	42
2.1.15.Clasificaciones geomecánicas.....	43
2.1.16.Estimación del sostenimiento a partir de las clasificaciones geomecánicas	43
2.1.17.Sostenimiento a partir del índice RMR.....	45
2.1.18.Criterios de excavabilidad.....	45
2.1.19.Perforación y voladura	45
2.1.20.Elementos de sostenimiento.....	46
CAPITULO III	49
METODOLOGÍA.....	49
3.1. El Problema	49
3.1.1. Descripción de la realidad problemática	49
3.1.2. Planteamiento y Formulación del Problema	50
3.1.2.1. Formulación del problema General.....	50

3.1.2.2. Formulación de problemas específicos	50
3.1.3. Objetivos de la investigación	50
3.1.3.1. Objetivo General.....	50
3.1.3.2. Objetivos Específicos	51
3.1.4. Justificación e importancia.....	51
3.1.5. Alcances	51
3.1.6. Delimitación de la Investigación.....	52
3.1.7. Limitación de la Investigación	52
3.2. Hipótesis	52
3.3. Variables	53
3.3.1. Operacionalización de variables	53
3.4. <i>Diseño de la investigación</i>	54
3.4.1. Tipo de investigación	54
3.4.2. Nivel de la investigación.....	54
3.4.3. Método	54
3.4.4. Diseño de investigación	54
3.4.5. Población y muestra.....	55
3.4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	55
CAPITULO IV	57
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	57
4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos	57
4.2. Condiciones geomecánicas del macizo rocoso del proyecto profundización de la mina Hércules	57
4.2.1. Mapeo geológico en superficie	58

4.2.2. Aspectos estructurales.....	60
4.2.3. Condiciones de agua subterránea.....	65
4.2.4. Estimación del estado tensional.....	65
4.2.5. Identificación de los mecanismos de falla.....	65
4.2.6. Factores de seguridad.....	66
4.2.7. Simulación del tajeo por subniveles – Zona Hércules.....	66
4.3. Evaluación técnica para determinar la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules.....	68
4.4. Indicadores económicos del proyecto profundización de la mina Hércules.....	84
4.5. Discusión de resultados.....	85
4.6. Aporte del tesista.....	86
CONCLUSIONES.....	87
RECOMENDACIONES.....	89
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	90
ANEXO.....	92
ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIAS.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la mina Hercules.	2
Figura 2. Modelo de toma de decisión.	23
Figura 3. Interdependencia entre las variables principales de un proyecto de explotación. 26	
Figura 4. Pirámide de la Gestión.	28
Figura 5. Diagrama de rosetas – caja techo Hércules.....	59
Figura 6. Diagrama de rosetas – estructura mineralizada Hércules.	60
Figura 7. Distribución del factor de seguridad, correspondiente a la fase 1 (preparación). 66	
Figura 8. Distribución del “factor de seguridad” en la fase 2 (explotación).	67
Figura 9. Distribución del “factor de seguridad” en la fase 2 (explotación).	68
Figura 10. Aproximaciones empíricas del nivel de daño en la roca (CB) en función al tipo de explosivo.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Itinerario de Accesibilidad a la Unidad Minera Hércules.	1
Tabla 2. Operacionalización de variables.	53
Tabla 3. Ensayos realizados en el laboratorio de mecánica de rocas.	58
Tabla 4. Dominio lito – estructural de la mina Hércules.	59
Tabla 5. Criterio para clasificación de la masa rocosa, según el sistema de valoración “RMR89 de Bieniawski, modificado por Romana, 2000.	62
Tabla 6. Clasificación geomecánica RMR89.	63
Tabla 7. Dominios característicos “estructura mineralizada y entorno físico”.	74
Tabla 8. Métodos de explotación – Zona Hércules.	74
Tabla 9. Flujo de caja para el cálculo del VAN,	85

INTRODUCCIÓN

La Evaluación técnica para determinar la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules responde a la necesidad de incrementar la vida útil de la mina con la profundización de las labores tanto en forma horizontal como vertical es por ello que la gerencia general de la Compañía Minera Lincuna en el año 2022, tiene como política general el de desarrollar labores de preparación de mina que permitan al acceso de las reservas mineras de la mina Hércules, Las dificultades que se presentan en la profundización son del orden técnico y también económico porque es necesario tener presente una serie de datos que nos ayudaran a enfocar con toda la precisión posible las decisiones que optimicen la profundización.

Los altos precios de los metales actualmente hacen que se tenga la necesidad de incrementar la producción anual; y, de esta manera dar continuidad a las operaciones de la mina Hércules, por medio del desarrollo del proyecto de profundización para mejorar los niveles de producción y productividad, aplicando un sistema mecanizado para maximizar utilidades con el incremento de la producción diaria además las leyes en profundidad se van reduciendo en calidad garantizando que con el proyecto se incrementara la producción con la explotación de la mina de forma continua; y, optimiza lo que al final permitirá incrementar las ganancias.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES, en la que se describe algunas características de la cantera de piedra caliza La Esperanza Nueva II, tales el entorno físico y el entorno geológico.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN, relacionados al marco teórico, los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y la definición de términos.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA, se plantea la pregunta de investigación, así como los objetivos, la justificación e importancia. Redacción de la hipótesis, las variables, metodología incluyendo a la población y muestra del estudio.

CAPÍTULO I: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN, se presentan los resultados obtenidos en la investigación.

Luego se presentan las conclusiones, las recomendaciones, las referencias bibliográficas y los anexos

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. Entorno Físico

1.1.1. Ubicación y acceso

Políticamente la Unidad Minera Hércules, de la Compañía Minera Lincuna S.A.C se ubica en los límites de las provincias de Recuay y Aija, en el Departamento de Ancash. La zona de estudio, tiene la siguiente ubicación:

- Distritos : Ticapampa y Aija.
- Provincias : Recuay, Aija.
- Departamento : Ancash. (De La Sota, 2016).

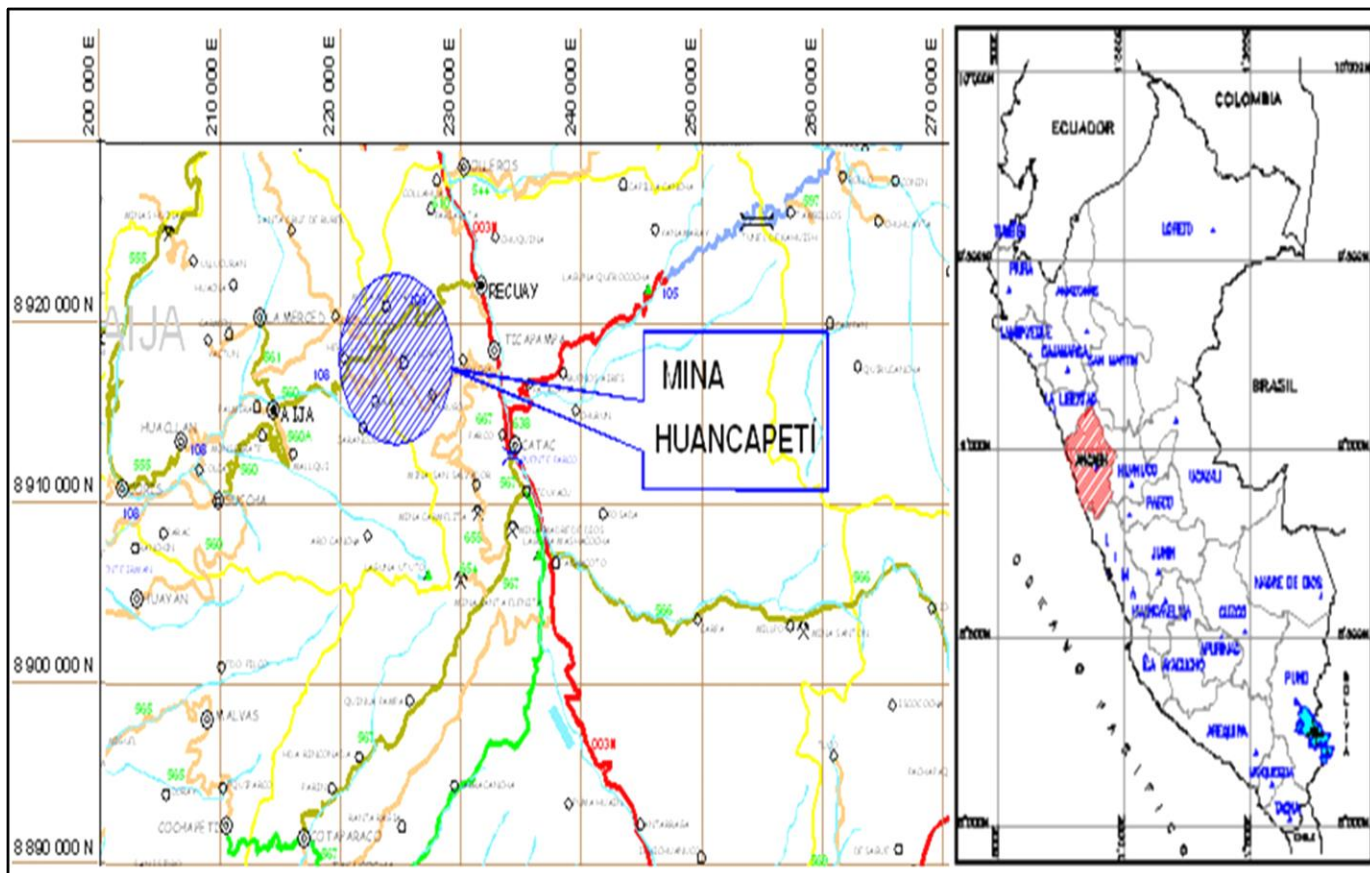
Accesibilidad.

Tabla 1. Itinerario de Accesibilidad a la Unidad Minera Hércules.

Tramo	Tipo	Distancia Aprox. (Km.)
Lima – Pativilca	Asfaltada	203
Pativilca - Recuay	Asfaltada	173
Recuay – Mina Hercules	Trocha carrozable	40
Total		416

Fuente: José Gabriel De La Sota Jara 2016.

Figura 1. Ubicación de la mina Hercules.



Fuente: José Gabriel De La Sota Jara 2016.

1.1.2. Fisiografía

La cordillera Negra corresponde a un segmento de la Cordillera Occidental de los Andes del Perú. Presenta superficies de erosión a diferentes niveles, expuestas entre los 3400 y 4900 m.s.n.m. Regionalmente presentan relieves con topografías variadas tales como colinas, antiguos circos glaciales, superficies onduladas, quebradas y escarpas. En general, las líneas de cumbres presentan rumbo andino (NW-SE). (De La Sota, 2016).

1.1.3. Clima y vegetación

- **Clima:** En esta parte de la cordillera de los andes se tiene dos estaciones bien marcadas. Una lluviosa entre los meses de diciembre a abril caracterizados por un régimen de lluvias más o menos persistentes, las tormentas de nieves se localizan en alturas superiores a 4000 m.s.n.m. con temperaturas de 0 °C a 5 °C en las noches y 7 °C a 14 °C en el día. Los meses de junio a octubre se caracterizan por presentar un periodo de sequía con precipitaciones pluviales muy esporádicas con temperaturas durante el día de 5 °C y 16 °C y en las noches de 0 °C a 1°C. Esto se pone en evidencia en altitudes superiores a los 4500 m.s.n.m. estas temperaturas bajas son muy conocidas por los lugareños como “heladas”. Durante los meses de Junio – Agosto se acentúan las corrientes de aire (vientos) con velocidades de 20 a 40 km/hora. Las características climáticas del área corresponden a “tundra seca de alta montaña” definido por el “Instituto Nacional de Recursos Naturales” (INRENA).
- **Vegetación:** La vegetación de la zona es escasa, solamente se aprecia la presencia de pastos naturales (andinos), como el ichu de modo que no es apropiado para la agricultura, sin embargo, se acostumbra sembrar productos agrícolas como las papas, ollucos, mashua, entre otros pocos para consumo y sustento familiar. (De La Sota, 2016).

1.1.4. Geomorfología

La geomorfología en esta región, corresponde al sector Occidental de la Cordillera de los Andes, del Perú, como resultado de la interacción de factores asociados a la “geodinámica interna y externa” entre ellos fundamentalmente “el vulcanismo asociado a la tectónica andina, la litología y la inter-acción de los agentes meteóricos”.

La unidad geomorfológica predominante en esta región es la “Cordillera de los Andes”, donde el agente geológico responsable del modelado actual es la acción de los glaciares. Esta unidad geomorfológica presenta una de las elevaciones más altas dentro del territorio peruano alcanzando alturas hasta los 6768 (Huascarán) m.s.n.m.

Las morfologías más características en el área de estudio corresponden a los depósitos de morrenas laterales asociados a antiguas lenguas glaciales y también la morfología típica de valle en “U”, con afloramientos rocosos escarpados en los sectores altos, morfologías agrestes y superficies un tanto suavizadas en sectores más bajos. En general la zona de interés se caracteriza por presentar un típico modelado glaciar con valles de sección transversal en forma de “U”, tapizados por “Depósitos morrénicos, Fluvio–aluviales y Suelos residuales”. (De La Sota, 2016).

1.2. Entorno Geológico

1.2.1. Geología regional

El Callejón de Huaylas, que alberga al río Santa, se ubica entre las cordilleras Blanca y Negra, que son ramales de la Cordillera Occidental. En

toda esta área afloran rocas sedimentarias Jurásicas y Mesozoicas, rocas volcánicas Terciarias y rocas intrusivas de edades que van del Cretáceo al Terciario. Las rocas sedimentarias pertenecen al grupo Goyllarisquizga cuyas formaciones: Chimú, Santa y Carhuaz afloran en los alrededores del pueblo de Aija y están constituidas por cuarzoarenitas, calizas, lutitas y areniscas. Las rocas volcánicas están representadas por los Volcánicos Calipuy y están constituidas por rocas piro clásticas que cubren extensas zonas de la Cordillera Negra. Las rocas intrusivas se presentan en el Batolito de la Cordillera Blanca, y al oeste de la Cordillera Negra y afloran entre 15 y 25 Km al Oeste del pueblo de Aija. Este batolito a intruído a las rocas Mesozoicas y está compuesto por granodioritas y tonalitas. El batolito de la Cordillera Blanca, es el mejor exponente de la actividad ígnea de esta región.

Rocas Intrusivas, Batolito De La Cordillera Blanca: Ubicado en la parte central de la Cordillera Occidental con un rumbo paralelo a las estructuras regionales NW-SE, alcanza una longitud de 200 Km. Y un ancho entre los 12 a 15 Km. La litología predominante, es granodiorita/Tonalita de grano grueso, con desarrollo de foliación en algunos sectores. Las principales estructuras internas del batolito son: una foliación bastante general y un juego bien desarrollado de diaclasas. Las edades obtenidas por el método K/Ar en el Batolito de la Cordillera Blanca, corresponden al Mio-Plioceno, variando entre los 16 a 27 ± 0.4 M.A. (Tancayllo, 2018).

1.2.2. Geología local

Se presentan rocas volcánicas e intrusivas de edades que van del Mioceno al Plioceno. En la zona de Hércules las rocas volcánicas provenientes del

centro volcánico Hércules están constituidas por lavas andesíticas, andesitas brechoides y brechas andesíticas, taponadas por el pórfido Tarugo. Además, hay intrusiones que rodean a estos volcánicos como la dacita Hércules, el pórfido dacítico Huancapetí, Panizo y el Pórfido riolítico Pincullo, todos ellos intruyendo a los volcánicos Hércules. En los alrededores de este centro volcánico se encuentran los pórfidos Collaracra, Jinchis, Pucavado y andesitas Tuctu. Hay dos estructuras principales Centro Volcánico Hércules y el Stock Collaracra.

- **Centro Volcánico Hércules:** Está ubicado en el cerro Tarugo y está limitado por las quebradas Carán y Hércules. De él han salido lavas andesíticas y brechas piroclásticas que reposan en discordancia angular sobre las rocas Cretáceas y los volcánicos Calipuy. Dentro de la estructura semicircular se emplazó el Pórfido Tarugo de composición dacítica, en el probable foco volcánico y el Pórfido Pincuyillo. Alrededor del centro volcánico se emplazaron otros pequeños stocks como la Dacita Hércules (comúnmente conocida como Tufo Hércules), en el cerro Pucara, de donde salen diques al norte y al sur; el Pórfido Huancapeti emplazado casi en el borde de la fractura circular, el Pórfido Bellota Maguiña, al oeste de la confluencia de las quebradas Hércules y Carán; el Pórfido Señor de Burgos y el Pórfido Olga, los tres últimos de composición similar al de Tarugo. Los impulsos magmáticos dentro del centro volcánico determinaron el modelo del fracturamiento principal, que son fracturas del rumbo N 30° W, principalmente en los contactos del dique Dacítico (tufo), que fueron afectadas por el fallamiento principal tipo Tarugo, Wilson, con el cual se asocian

un sistema de fracturas conjugado tipo Huancapeti. Fracturas tensionales tipo Nebraska, Carpa, Félix II, San Arturo, Santa Deda, Lorena, etc. Están fuera del centro volcánico y tienen un modelo groseramente radial. Las fallas Señor de Burgos, Hércules, Tucto, de rumbo N-E, desplazan a las fracturas NW-SE en el sentido dextrógiro. A lo largo de la falla Hércules hay pequeños cuerpos intrusivos de brecha, turmalina, cuarzo, pirita.

- **Stock Collaracra:** Está ubicada en el cerro del mismo nombre, el cuerpo principal está a ambos lados de la quebrada Ismopata, tiene una forma más o menos circular, de él salen numerosos diques y diques capas (sills), que se extienden hacia Jinchis y Florida, este stock es porfirítico y de composición dacítica, está emplazado en los volcánicos Calipuy. (De La Sota, 2016).

1.2.3. Geología estructural

El área de interés corresponde al sector Occidental de la Cordillera de los Andes, donde se emplazan un sistema de fallamientos inversos con dirección predominante “NW-SE” como resultados de esfuerzos compresivos con dirección tectónica (E-W), que han producido anticlinales y sinclinales con ejes de orientación “NW-SE” que afectan directamente a la secuencia litoestratigráfica de la Cordillera de los Andes. Este sistema también ha generado sistemas de fallas normales secundarios sub-paralelos con orientaciones “NE-SW y NW-SE” de alto ángulo de buzamiento (sub-verticales). (De La Sota, 2016).

1.2.4. Geología económica

La mineralización polimetálica de Ag, Pb y Zn, ocurre en vetas dispuestas en sistemas principales de fracturamiento: El de Hércules de dirección NO-SE y el de Tarugo de dirección NE-SW. Las estructuras del sistema Hércules tienen longitudes entre 1 a 4 Km, un ancho promedio de 3.50m, con algunas zonas locales que llegan a 16.0 m, y están emplazadas en los contactos de la dacita Hércules, como las vetas Hércules A y Coturcán. Las vetas del sistema Tarugo tienen longitudes de 1 a 2 km, con ancho promedio de 1.50m. Dentro del volcánico Hércules se encuentran las 7 vetas Tarugo, Huancapetí, Carpa, Nebraska; y dentro de los volcánicos Calipuy se ubican las estructuras Tuctu, Florida, Collaracra, Hurán, etc. Nuevos estudios geológicos indican también la posibilidad de mineralización aurífera asociada a las vetas polimetálicas antes mencionadas. Se indica que en las vetas de Hércules y Coturcán la anomalía de oro llega hasta 3.7g/tn y está relacionado a diques de brechas hidrotermales. Además, otra mineralización aurífera, asociada también a minerales polimetálicos, se ubica en 19 cuerpos de brechas intrusivas y 10 stock works en rocas volcánicas, intrusivos hipoabisales y subvolcánicos.

- **Depósitos minerales:** Los depósitos minerales son de origen hidrotermal del tipo de vetas de relleno y de reemplazamiento de fracturas en rocas volcánicas e intrusivas. La mineralización es principalmente plata – plomo – zinc – cobre, con galena argentífera (SPb), esfalerita (SZn), calcopirita (S₂CuFe), jamesonita (Sb₅S₁₄Pb₄Fe), tetraedrita (Sb₁₄S₁₃(CuF₂ZnAg)₁₂). La ganga por cuarzo, sílice, pirita, arsenopirita, calcita. Hay dos sistemas principales

de afloramientos en vetas. La secuencia paragenética de acuerdo a estudios mineralógicos es como sigue:

- 1 Cuarzo lechoso.
 - 2 Marmatita.
 - 3 Pirita.
 - 4 Cuarzo gris.
 - 5 Esfalerita.
 - 6 Galena.
 - 7 Argentita.
 - 8 Limonita.
- **Mineralización:** La mineralización es discontinua y errática; hay dos tipos:
 - 1 Mineralización en veta.
 - 2 Mineralización en cuerpos.
 - **Mineralización en vetas:** Los clavos de mineral están restringidos a vetas individuales, algunas veces en formas de columnas como en Manto 2. En las vetas del sistema Hércules, los clavos de mineral tienen anchos que no sobrepasan los 2.50 m., con longitudes entre 40 m. y 200 m., separados por zonas estériles. Hay más de un clavo de mineral, pero también hay uno solo conocido, como en Florida, Jesús, Wilson.

- **Cuerpos de mineral:** Estos se han formado por la proximidad de dos vetas, como aquellos entre las vetas “Hércules A” y “Manto 2” o por la presencia de un ramal de vetas como Manto 2A, por la unión de dos vetas principales como Hércules A y Manto 2 en su extremo sur, por la intersección con una falla como en Huancapeti y Hércules. Estas estructuras tienen una mineralización concentrada en la veta respectiva y diseminación entre ellas generalmente de menor ley, pero en promedio son económica y fuentes de gran tonelaje. Los cuerpos formados por la proximidad de la veta Hércules A y Manto 2 en el nivel 6 llegan hasta el nivel 5 y por debajo unos 50m; tienen la forma de troncos de pirámides con anchos variables entre 4m a 20m, y longitudes de 50m a 200m aquellos cuerpos en vetas individuales de los niveles altos tienen anchos de 3m a 5m, están asociados casi invariablemente a la mineralización de las vetas. Los cuerpos controlados por las fallas son los más persistentes y más anchos hasta de 30m, en el frontón 2 sur.

- **Saneamiento mineralógico:**
 - 1 La mineralización en Hércules es polimetálica, plata, plomo, zinc, con un zoneamiento dentro de ella; plata en la parte superior, plomo en el centro y zinc en la parte inferior.

 - 2 Dentro de la mineralización polimetálica hay concentraciones aisladas de valores altos de plata, rodeada por otras de menor ley.

- 3 La disminución de los valores de plata en profundidad o lateralmente y un incremento de estas direcciones de plomo o zinc no significa el fin de la plata
 - 4 en profundidad. Hay repeticiones o alternancias de franjas de valores altos y bajos de plata sobre el nivel 6, con tendencia a repetirse en profundidad.
 - 5 Estas conclusiones y observaciones se repiten también en la mina Coturcán.
 - 6 En Coturcán hay una zona argentífera al sur de la Falla Sur, cerca del contacto con el pórfido Tarugo, y rodeada por la mineralización polimetálica (8.0 Onz.Ag, 0.5 % Pb). No es conocida en Hércules, hay posibilidades de encontrarla al sur de los trabajos de esta mina.
 - 7 La zona argentífera podría encontrarse también en ambos lados de la falla Hércules, en las vetas Hércules y Coturcán, por debajo de la mineralización polimetálica, dependiendo del sentido de las soluciones o flujos mineralizantes, los cuales parecen estar subverticales.
 - 8 No hay tendencia de un agotamiento mineralógico en profundidad tanto en cocientes metálicos, valores absolutos o por observación directa.
- **Controles de mineralización:** Las vetas Collaracra, Huancapeti, Tarugo, Hurán, Jinchis, mineralizan bien cuando están en el pórfido. En

los volcánicos Hércules y Caridad los clavos de mineral son más anchos como puede observarse en las vetas Manto 2, Manto 1, Hércules B.

- **Controles estructurales:** Los contactos de la Dacita Hércules con los Volcánicos Hércules o el Pórfido Tarugo son favorables para la mineralización de las vetas Hércules A y Coturcán. Las fallas transversales son favorables como la Falla Hércules en la mina del mismo nombre, la falla (veta) Tarugo con la veta Coturcán, la veta Caridad con la falla Infiernillo. Uniones, ramales, proximidad de veta son favorables como en las vetas Hércules. Las uniones verticales son limitadas por la profundización de la estructura.
- **Control Mineralógico:** No hay mucha influencia. Arsenopirita y turmalina son favorables en Hércules y Coturcán, en Caridad y Collaracra la presencia de arsenopirita.
- **Cambios litológicos en profundidad:** Las rocas sedimentarias Cretáceas habrán de encontrarse por debajo de Hércules, principalmente al norte y al oeste de la quebrada del mismo nombre, probablemente en la cota 3600. En la zona central de Hércules la actividad ígnea es mayor, las rocas sedimentarias pueden estar ausentes. El Pórfido Collaracra tiene una extensión reducida en profundidad.
- **Profundización de la mineralización:** La relación de la mineralización con un centro volcánico, la gran longitud de los afloramientos favorece la continuidad y profundización de Hércules – Coturcán, al menos mientras persista el tipo de roca relacionado al Centro Volcánico. Los niveles más profundos con mineralización

conocida son: El Triunfo (3990), Juana de Arco (3800) en Collaracra y el Frontón 4 Norte (4010) en Hércules. La mineralización polimetálica presenta alternancias en el incremento de plata, plomo y zinc, no hay indicios de un agotamiento mineralógico en profundidad y de forma rápida, más bien hay buenos indicios para encontrar una zona argentífera por debajo de la polimetálica, con lo cual las posibilidades de persistencia de la mineralización en profundidad son buenas.

- **Reservas:** Las reservas del mineral cubicadas en la Mina Hércules se estima al 2022 en unas 300,000 TM de mineral con leyes promedio de 3.1 Oz/Tm de Ag, 2.1% de Pb y 2.3% de Zn.
- **Mineral potencial:** El Distrito Minero de Ticapampa cubre un área aproximada de 16,400 hectáreas en donde falta aún por reconocer la extensión lateral de las vetas principales en explotación Hércules, Collaracra, Coturcan, Caridad y el resto de estructuras mineralizadas que se muestran en el mapa geológico. En general tienen una gran longitud de afloramientos y con posible mineralización económica conocida hasta los niveles inferiores 3,750 (En la mina Collaracra) y 3,800 (en la mina Bellota). En informes anteriores (BISA 1984, Arenas, 1981) se reporta un potencial estimado de 12.8 Mt de mineral polimetálico Ag-Pb-Zn, distribuido en las diferentes minas trabajadas durante aquella época. (De La Sota, 2016).

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

Según Gil y Ramírez (2021) en la tesis titulada “*Evaluación técnica y económica de la labor esperanza del proyecto minero La Carmina VI, Cajamarca – 2021*”, sustentada el año 2021, por Robert Abel Gil Ramírez y Keiko Leonela Ramírez Diaz en la Universidad Privada del Norte. Facultad de Ingeniería. Carrera de Ingeniería de Minas. Cajamarca, Perú. La investigación tiene como objetivo general evaluar técnica y económicamente la labor Esperanza del proyecto minero La Carmina VI, Cajamarca – 2021. La metodología empleada es tipo aplicada y de diseño no experimental-descriptivo. El estudio presenta por muestra 100 metros de avance en la labor Esperanza del proyecto minero La Carmina VI. El lugar donde se realizó la investigación se encuentra entre el distrito de San Luis y San Bernardino, provincia de San Pablo. El procedimiento se realizó en dos partes: pre-campo (recolección de datos) y campo (proceso de análisis de datos). Los instrumentos utilizados son formato de registros, libreta de campo, cámara fotográfica, programas y software. Los resultados obtenidos en la evaluación geométrica determinan que el yacimiento es tipo veta con forma tabular, potencia estrecha, inclinación inclinado y distribución de leyes gradual, la evaluación geomecánica presenta una estructura mineralizada – alta (70.77Mpa), caja techo – alta (19.19Mpa), caja piso – media (12.82Mpa), el espaciamiento entre fracturas es muy pequeño, muy pequeño y pequeño, la

resistencia de las discontinuidades es pequeña, media y media. Asimismo, mediante el análisis numérico se determinó el método de explotación corte y relleno. Además, se ha diseñado el plan de minado del método y los costos de explotación. Por otro lado, se ha estimado el flujo de caja y los indicadores económicos obteniendo un VAN de \$ 476,730.17, TIR 66%, B/C \$ 2.18 y un Payback de 1 año 3 meses con 22 días. Por último, se concluye que el proyecto es viable para inicios de explotación minera. (Gil y Ramírez, 2021).

Según Vela (2020) en la tesis titulada *“Proyecto de profundización de la mina Coturcan para el incremento de reservas mediante la Rampa 0388 Compañía Minera Lincuna - U.E.A. Huancapetí”*, sustentada el año 2020, por Neyver Vela Portocarrero en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de Geología, Geofísica y Minas. Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. Arequipa, Perú. Compañía minera Lincuna actualmente explota minerales polimetálicos mediante los métodos de minado de corte y relleno ascendente mecanizado, cámaras y pilares y sublevel stoping con taladros largos bajo altos estándares en seguridad y operacionales para el cumplimiento de un ritmo de producción de 3000 TMD. La investigación tiene como fin el incrementar las reservas en la mina Coturcan mediante la profundización de esta, con la construcción de la rampa 0388 desde el nivel 10, con la finalidad de ampliar la vida útil de la mina y dinamizando la explotación de mineral con nuevos tajeos y nuevas zonas de extracción. El desarrollo de la tesis expone el diseño de la profundización de la mina Coturcan, la ejecución de la rampa negativa 0388 y las labores conexas, teniendo en cuenta los aspectos geomecánicos y operativos para el diseño y construcción se realiza un análisis técnico y económico para determinar el

costo por metro lineal más eficiente optimizar el uso del presupuesto de \$1,111,941.95 que en base a los indicadores económicos se logra determinar la rentabilidad del proyecto de profundización, con resultados de un VAN de \$2,996,213.99, un TIR del 111.00 % con un periodo de recuperación de 1.34 años. Mediante el análisis del tipo de roca y el diseño de carga en frentes de sección 4.00 x 4.00 m. se logró determinar una malla optima de perforación aplicando el método de influencia de taladros logrando un avance de 3.14 m/disparo; así mismo se determinó el sostenimiento optimo a utilizar primando la seguridad y buscando la excelencia operacional en todos los procesos unitarios que comprende la ejecución del proyecto de profundización. (Vela, 2020).

Según Ancocallo (2019) en la tesis titulada “*Optimización en la rentabilidad económica de la Veta Coila – Minera Croacia E.I.R.L.*”, sustentada el año 2019, por Víctor Hugo Ancocallo Paccaya en la Universidad Tecnológica del Perú. Facultad de Ingeniería. Carrera de Ingeniería de Minas. Arequipa, Perú. 2019. La investigación tiene como objetivo la “Optimización en la rentabilidad económica de la Veta Coila – Minera Croacia E.I.R.L.” mediante el proyecto de profundización del Inclinado 818. Incrementar la producción con altos intereses económicos y ampliar sus operaciones en mina, de ahí surge la necesidad de solucionar problemas relacionados a la producción, debido al agotamiento de las reservas por la pronta conexión al Nv. 1805 y la falta de acceso a la estructura mineralizada. Por tal motivo, se plantea ejecutar la prolongación del Inclinado 818 y por consiguiente, se realizará un estudio de factibilidad del proyecto, puesto que, a través del análisis se medirá la viabilidad asertiva y la máxima rentabilidad económica

en el que se utilizará indicadores de rentabilidad, VAN, TIR, PRI e IR. De igual manera, con respecto a la positiva factibilidad económica se ejecutará el proyecto de profundización, para lo cual, se estimó un periodo de 06 meses para realizar todos los trabajos, hasta el instante de producir una tonelada de mineral. El Inclinado 818 se construirá una longitud de 100 m con una sección 2.40 m x 2.40 m, asimismo, en el Nv. 1720 se construirán labores de desarrollo y preparación como Cr. y Gl. principales con secciones de 2.10 m x 2.10 m, Ch. de ventilación con una sección de 1.20 m x 2.40 m, S/N de 0.90 m x 2.10 m e instalación de servicios auxiliares. De modo que, al culminar el proyecto se obtendrá un incremento de producción de 8897 tm/anual y ampliar sus operaciones a 03 años con mayor rentabilidad económica. (Ancocallo, 2019).

Según Condori (2018) en la tesis titulada *“Modelo de riesgo para la evaluación económica financiera de la explotación de la veta Huascar Nivel 2220 – 2296 Mina Yanaquihua – Arequipa”*, sustentada el año 2018, por Juan Alonso Condori Mamani en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de Geología, Geofísica y Minas Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. Arequipa, Perú. En la tesis se plantean básicamente tres objetivos: en primer lugar, la caracterización de la explotación de la veta Huáscar, entre los niveles 2220 y 2296 en la Unidad Minera Yanaquihua; en segundo lugar, presentar los fundamentos que servirán para evaluar la actividad minera desde una perspectiva económica, y en tercer lugar, aportar una metodología para la evaluación técnica - económica – financiera, incluido el riesgo inherente al proyecto minero. Cualquier proyecto minero, independientemente de la fase en la que se encuentre -investigación,

evaluación o desarrollo- presenta una dimensión económica ineludible que debe analizarse antes de asignar los recursos necesarios para llevarlo a cabo. Las dificultades que se presentan actualmente para el desarrollo de una empresa y proyectos mineros proceden de tan diversos orígenes, que el estudio en profundidad de un proyecto de cierta envergadura requiere la obtención de una información muy variada, y la consideración de gran cantidad de parámetros. (Condori, 2018).

Según Jesus (2018) en la tesis titulada “*Evaluación Técnica- Económica del proyecto minero Utcuyacu 2016*”, sustentada el año 2018, por Denms Rey Jesús Aranda en la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas. Huaraz, Perú. 2018. En la industria minera estamos orientados a la optimización constante de toda la operación, dicho esto significa que la cadena productiva estará enfocada en la maximización de utilidades y la minimización de costos es por ello que la evaluación técnica - económica es parte fundamental para decidir la viabilidad de los proyectos mineros. La tesis está enfocada en determinar la evaluación técnica - económica del proyecto y así determinar la viabilidad del proyecto minero "Utcuyacu", en una primera etapa se determinará la explotación de su veta principal llamada veta Utcuyacu proponiendo el método de explotación, ritmo de producción, cálculo de reservas probadas y probables, determinación de los costos de explotación y producción, selección de equipos de minado, etc. (Jesus, 2018).

Según López (2017) en la tesis titulada “*Viabilidad económica financiera de minado Veta Chaparral del yacimiento Aurífero San Francisco, Golden River Resources S.A.C. – Arequipa*”, sustentada el año 2017, por Alejandro Magno López Quispe en la Universidad Nacional del Altiplano Facultad de Ingeniería de Minas Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. Puno, Perú. Todo proyecto minero involucra un amplio conocimiento de las diversas operaciones mineras inherentes a esta actividad. El desarrollo de esta industria involucra niveles elevados de inversión de capital, con un alto riesgo para los inversionistas, pues multiplica los factores que intervienen y que deben ser evaluados para tomar la decisión de invertir en un proyecto minero, requiere que los estudios técnicos económicos y financieros sean exhaustivamente analizados antes proceder con la inversión y dada la necesidad de contar con información valedera para la explotación de la veta Chaparral, de la unidad minera San Francisco de Chaparra, la cual pertenece a la empresa minera Golden River Resources S.A.C., esta es una mina subterránea con vetas que produce oro, ubicada en la zona Sur del Perú – Arequipa-, es que se ha desarrollado la evaluación para determinar su viabilidad económica y financiera para determinar la explotación de la veta Chaparral. En caso de que no se realizara esta evaluación económica – financiera no se podría determinar su viabilidad para su explotación. El presente trabajo de investigación ha analizado a partir del costo mina, costo planta, producción, ley mina, reservas probadas, recuperación planta, ley reservas, producción oro fino y tipo de cambio, y los indicadores económicos: valor actual neto - VAN- sin proyecto US\$ 22, 802.90 y con proyecto US\$ 156,830.18, flujo de caja sin proyecto US\$ 6, 068.90 y con proyecto US\$

57,073.02; e indicador financiero como el tasa interna de retorno -TIR- sin proyecto 19.22% y con proyecto 133.81%, determinándose que el proyecto es viable tanto económica como financiera. (López, 2017).

2.2. Definición de Términos

- **Explotación de una mina:** Son operaciones que se realizan para extraer un yacimiento de mineral, que puede ser planificado o sin planificación. . (López, 2017).
- **Producción:** En términos minero se refiere a la extracción del mineral, en m³/día, m³/mes, m³/año, TM/día, TM/mes, TM/año. (López, 2017).
- **Costo de producción:** Utilización de determinados recursos físicos, humanos, financieros y de otra índole con el fin de producir un bien y servicio. (López, 2017).
- **Ingreso de un proyecto:** Entradas estimadas en unidades monetarias que un proyecto puede generar durante cada período de su vida útil. (López, 2017).
- **Flujo de caja:** Cuadro en donde se encuentra los ingresos y egresos de un determinado proyecto, considerando además su horizonte de proyecto. (López, 2017).
- **Evaluación Privada de un Proyecto:** Del proyecto por medio de comparar los ingresos que podría generar versus los costos

(inversiones y costos de operación), que exige, durante su vida útil. (López, 2017).

- **Valor actual neto (VAN):** Diferencia entre sumatoria de todos los ingresos actualizados menos la sumatoria de todos los costos actualizados, para actualizar se usa una determinada tasa de descuento o tasa de actualización. (López, 2017).
- **Tasa interna de retorno (TIR):** Tasa de descuento que hace al VAN igual a cero. (López, 2017).
- **Coefficiente beneficio costo (B/C):** Cociente que se obtiene al dividir la sumatoria de los ingresos actualizados entre la sumatoria de los costos actualizados originados por el proyecto considerando todo su horizonte. Para actualizar se utiliza una determinada tasa de descuento o tasa de actualización. (López, 2017).
- **Tasa de descuento:** Tasa de interés que sirve para descontar tanto los ingresos futuros y costos futuros, contemplados en el horizonte del proyecto. (López, 2017).
- **Modelo económico:** Simplificación de una realidad compleja que tiene como objetivo “facilitar” el análisis de los hechos, considerando para ellos las variables de mayor importancia. (López, 2017).
- **Inversión:** Hecho o acción de emplear determinados recursos productivos para la obtención de un bien o servicio con el fin de obtener un beneficio económico o bienestar social. (López, 2017).

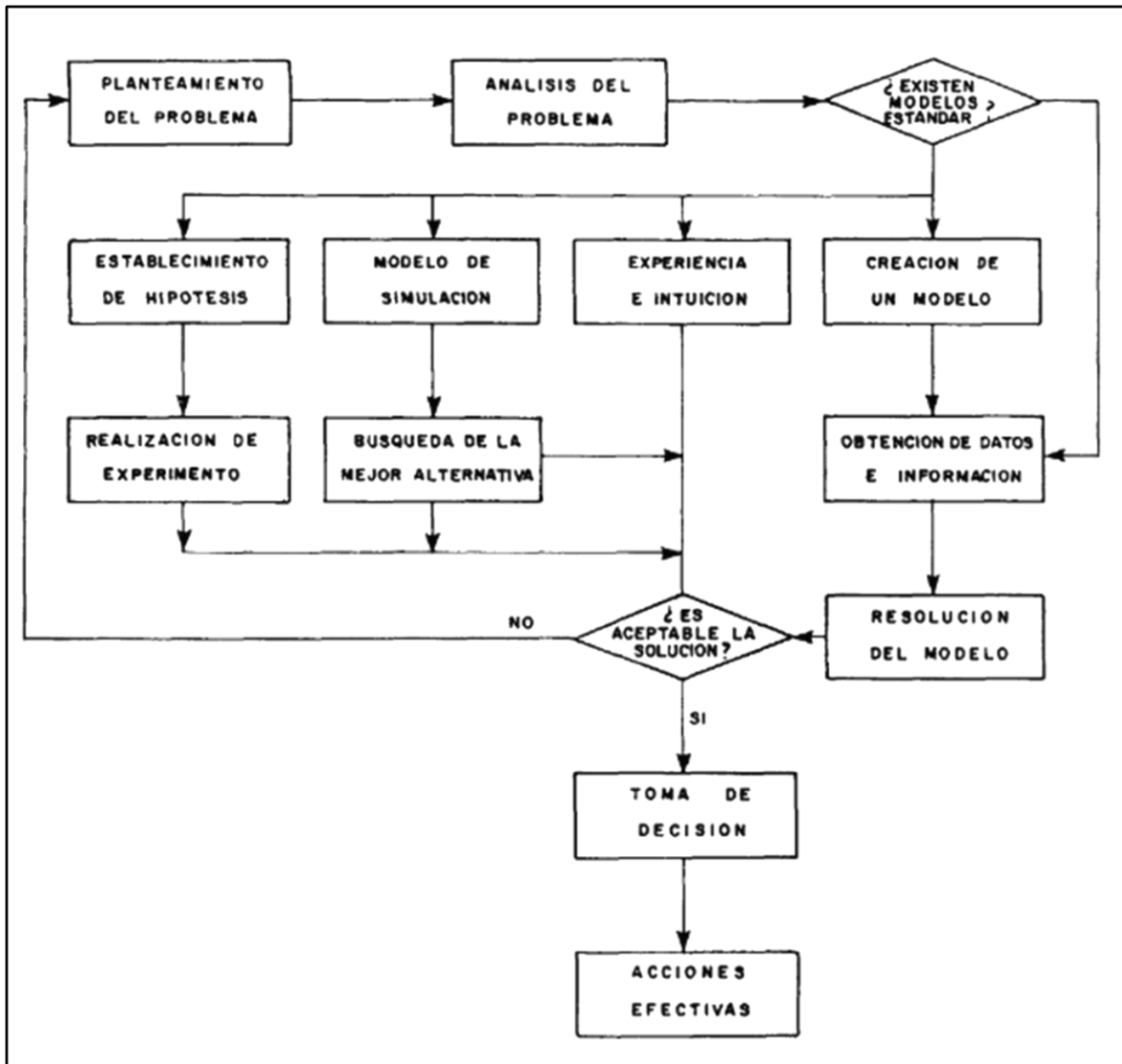
2.3. Fundamentación teórica

2.3.1. La evaluación de proyectos mineros de inversión

Los estudios de evaluación de inversiones en minería, al igual que en otros sectores productivos, tienen como fin cuantificar la contribución, por medio de los servicios o productos que generan, a los objetivos empresariales, entre los cuales la rentabilidad es, obviamente, uno de los esenciales, pero no el único. Los sistemas de evaluación deben analizar, además del atractivo económico, el riesgo previsible y la compatibilidad del nuevo proyecto con la estructura de la empresa. Esto implica una sistematización del proceso de análisis para garantizar que tales estudios incluyen todos los aspectos críticos que pueden presentarse. El procedimiento más común para analizar un proyecto de inversión, que implica inexorablemente una toma de decisión, debe ser el siguiente:

1. Planteamiento del problema.
2. Análisis del problema.
3. Desarrollo de soluciones o alternativas.
4. Creación de un modelo de comparación.
5. Definición de reglas de decisión.
6. Selección de la mejor alternativa.
7. Conversión de la decisión en acciones efectivas. (ITGE, 1998).

Figura 2. Modelo de toma de decisión.



Fuente. ITGE, Instituto Tecnológico Geo Minero de España, 1998.

2.3.2. El papel de los técnicos en la evaluación

Históricamente, en la industria minera la evaluación de proyectos se ha caracterizado por la escasa relación que ha existido entre los técnicos responsables de las diferentes áreas implicadas: geología, minería, mineralurgia y economía. Cada departamento se dedicaba a sus propios problemas, ignorando muchos, sino todos, los de los

demás. Desgraciadamente, estas malas relaciones han conducido, en ocasiones, a decisiones de inversión equivocadas.

No hay duda que la evaluación de los nuevos proyectos mineros, en el ambiente actual, es mucho más compleja que hace unos cuantos años. Existe un amplio conjunto de variables que están directa o indirectamente asociadas con el proceso de evaluación, de forma tal que el análisis de un proyecto de inversión se convierte en una tarea netamente multidisciplinar. Una persona raramente puede conocer y abordar las diferentes tecnologías que se aplican en tales trabajos, sobre todo en proyectos que se consideran de envergadura. Además, muchas empresas refieren equipos multidisciplinarios para llevar a cabo las funciones de evaluación en las nuevas oportunidades de inversión. Estos equipos están constituidos por personas expertas en cada uno de los aspectos principales relacionados con el proceso de evaluación (geología, minería, mineralurgia, medio ambiente, legislación, etc.). Esta es la forma ideal de abordar los problemas, pero bastantes empresas mineras, por escasez de medios humanos, destinan sólo a uno o dos técnicos para realizar tales labores. El papel fundamental del ingeniero en el análisis de inversiones en proyectos mineros es proporcionar consejos e información acerca de los parámetros relacionados con el diseño, métodos de explotación, recuperaciones, costes de operación, ritmos de producción, y muchas otras variables. En esencia, el ingeniero debe proporcionar datos cuantitativos de las variables del proyecto, basados en estudios técnicos fiables. Solamente cuando se han cuantificado todas esas

variables, y se dispone por lo tanto de un esqueleto básico, los estudios de viabilidad del proyecto pueden finalizarse y permitir obtener conclusiones sobre las que se fundamenta la toma de decisión. Así pues, la primera contribución de los ingenieros a la evaluación de proyectos de inversión se centra en la capacidad de análisis de la información que, aun siendo limitada, es capaz de generar una valoración técnica sólida de tal forma que le permite a él mismo pasar al análisis económico posterior.

Otro aspecto a tener en cuenta es el relativo al perfil de formación del ingeniero evaluador. Este tema se ha discutido, y se sigue discutiendo, al enfrentarse dos tipos de formación distintas: la generalista, que se basa esencialmente en los fundamentos de la ingeniería, y la especialista, con la que se profundiza en un área técnica determinada. Es obvio que la participación de ingenieros con experiencia en áreas muy específicas puede contribuir de manera muy significativa al proceso de evaluación de un proyecto. Pero tampoco lo es menos el hecho de que existen unas relaciones muy estrechas entre las diferentes variables y disciplinas del proyecto, y que el olvido o desconocimiento de ellas puede redundar negativamente en los resultados de los trabajos, por eso el equipo de evaluación del proyecto esté dirigido por un gran experto y coordinador. Es por todo ello, que con la formación actual que reciben los ingenieros de minas, estos sean los técnicos, generalmente, más adecuados para realizar el análisis de los proyectos mineros de inversión, sin que ello suponga lógicamente la exclusión o participación de otros profesionales. Otro

requisito que se debe cumplir en el proceso de evaluación de un proyecto es la adecuación de los esfuerzos y recursos a utilizar a la dimensión, importancia y tipo de decisión a tomar. Las evaluaciones tienen su propio coste.

Figura 3. Interdependencia entre las variables principales de un proyecto de explotación.



Fuente: ITGE, Instituto Tecnológico Geo Minero de España, 1998.

2.1.1. Objetivos de la empresa minera

Actualmente, los objetivos de las empresas mineras, al igual que los de cualquier otra que no pertenezca a este sector, no se centran exclusivamente en la rentabilidad del capital, que, si bien fue en un principio el valor supremo, pierde en determinadas circunstancias posiciones en favor de otras metas. Estas últimas poseen también una dimensión económica, pero no buscan directamente la remuneración del capital que ha sido aportado por los accionistas. Así pues, se puede hablar hoy de los siguientes objetivos:

1. Rentabilidad.
2. Supervivencia.
3. Desarrollo.
4. Permanencia como centro independiente de decisión.

Los tres primeros están íntimamente relacionados entre sí y son marcadamente económicos. Según el contexto en el que se integra la empresa, podrá darse prioridad a uno de ellos en detrimento de los otros. El cuarto puede ser importante, si, por ejemplo, el mineral que se produce se considera que es estratégico para el país y no se desea que el poder de decisión pase a manos de compañías o grupos extranjeros. El flujo de fondos generado por la empresa se distribuye entre los tres objetivos citados anteriormente. Una parte, que podría denominarse fondos de rentabilidad, se distribuiría como dividendos entre los accionistas, otra, que se llamaría fondos de desarrollo, quedaría como un paquete de beneficios no distribuidos, que aumentan la capacidad de financiación interna de la empresa para hacer frente a nuevas inversiones, y la tercera, que correspondería a los fondos de supervivencia, iría destinada a la amortización de activos. Así pues, un único objetivo que englobaría los anteriores podría resumirse en el de maximización del flujo de fondos neto, observándose que el dinero que gana la empresa tiende a ser, cada vez, mayor. El primero persigue que la empresa haga frente con éxito a los posibles cambios inducidos por los ciclos económicos y recesiones coyunturales. Este aspecto es de enorme interés en las empresas

mineras cuyos productos se cotizan en bolsas y están sometidos a intensas oscilaciones a lo largo de la vida del proyecto. El objetivo de flexibilidad pretende que la empresa pueda defenderse con facilidad frente a posibles. (ITGE, 1998).

2.1.2. Interdependencia entre las variables principales de un proyecto de explotación.

De igual forma, un cambio en la cotización de los minerales influye en los beneficios generados por la explotación, por lo que se estará en unas condiciones distintas a las iniciales y nuevamente será aconsejable volver a estudiar el proyecto. avances científicos o cambios tecnológicos. Por otro lado, no hay que olvidar que existen otras metas no económicas, como son las de tipo social, que pueden obligar a sacrificar la rentabilidad o el crecimiento de una empresa en aras a mantener un nivel de ocupación o unos valores sociales necesarios para la estabilidad de un sector. (ITGE, 1998).

Figura 4. Pirámide de la Gestión.



Fuente: ITGE, Instituto Tecnológico Geo Minero de España, 1998.

2.1.3. Evaluación económica

La evaluación económica de un proyecto es la valoración del mismo, por medio de comparar los ingresos que podría generar versus los costos (inversiones y costos de operación) que exige, durante su vida útil (número de años que durará el proyecto) (Yupanqui 2014). Naupari Álvarez, A. (1986), afirma que por medio de la evaluación económica se determina cuantitativamente la rentabilidad de un proyecto, basado en criterios de matemáticas financieras, dentro de los cuales se obtienen:

- El valor actual neto (VAN)
- Relación beneficio-costos (B/C)
- Tasa interna de retorno (TIR)

Además, la evaluación económica compara el flujo de ingresos y gastos del proyecto, en base a los precios y costos del mercado, en términos constantes. (López, 2017).

2.1.4. Variables económicas y análisis de rentabilidad

Dentro de nuestra metodología, el paso final del presente trabajo es la evaluación económica de la propuesta de diseño que se presentará para profundización de la mina Hércules. Para esto, necesitaremos tener como base ciertos conceptos y variables económicas para realizar un correcto análisis de sensibilidad. (Vela, 2020).

2.1.5. Valor actual neto

El valor actual neto (VAN), también conocido como Valor Neto Actual (VNA) o Valor Presento Neto (VPN) es un criterio de inversión ampliamente usado que consta en actualizar los cobros y pagos de un proyecto para conocer cuánto se va ganar o perder con una inversión. Para esto, se trae todos los flujos de caja al momento presente descontándolos a un tipo de interés determinado. El valor final del VAN expresará una medida de rentabilidad del proyecto en términos absolutos netos de acuerdo a una unidad monetaria (euros, dólares, soles, etc.). La siguiente fórmula nos muestra cómo se determina el valor del VAN.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{vt}{(1+k)^t} - I_0$$

Donde:

vt: representa los flujos de caja de cada periodo t.

I₀: valor de desembolso inicial de inversión.

n: número de periodos considerado.

k: tipo de interés

El VAN es una herramienta que nos sirve para valorar distintas opciones de inversión, como es nuestro caso, ya que nos permite conocer en cuál de las opciones obtendremos una mayor ganancia. Por otro lado, nos permite ver qué inversiones son viables; y segundo,

qué inversión es mejor que otra en términos absolutos. Los criterios de decisión se detallan a continuación.

- $VAN > 0$: el valor actualizado de los cobros y pagos futuros, a una tasa de descuento determinado, generará beneficios, por lo que el proyecto deberá aceptarse.
- $VAN = 0$: no se generarán ni beneficios ni pérdidas, la realización de la inversión es indiferente. La decisión deberá basarse en otros criterios, como la obtención de un mejor posicionamiento en el mercado.
- $VAN < 0$: el proyecto de inversión generará pérdidas, no se recomienda su realización.

Una de las ventajas del VAN es que es un método fácil de calcular y nos brinda predicciones sobre los efectos de los proyectos de inversión sobre el valor de la empresa. Del mismo modo, tiene en cuenta los vencimientos de los flujos netos de caja. Sin embargo, también presenta ciertas desventajas. La principal es la dificultad de especificar una tasa de descuento. Es un valor crucial a la hora de determinar el valor del VAN, y una mala estimación puede dar un valor alejado de la realidad que podría llevar a la toma de malas decisiones. (Vela, 2020).

2.1.6. Tasa interna de retorno (TIR)

La tasa interna de retorno (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. Es una medida empleada para la evaluación de proyectos que va de la mano con el Valor Actual Neto (VAN). Basándonos en su cálculo, la TIR es la tasa de descuento que iguala, en el momento inicial, la corriente futura de cobros con los de pagos, generando un VAN igual a cero. La siguiente fórmula nos indica cómo se calcula.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{vt}{(1 + TIR)^t} - I_0$$

Donde:

vt: representa los flujos de caja de cada periodo *t*.

***I*₀**: valor de desembolso inicial de inversión.

n: número de periodos considerado.

TIR: tasa interna de retorno.

El criterio de selección será el siguiente, donde "k" es la tasa de descuento de flujos elegida para el cálculo del VAN:

- $TIR > 0$: la tasa de rendimiento interno es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida en la inversión. El proyecto de inversión será aceptado.
- $TIR = 0$: el proyecto podría llevarse a cabo si mejora la posición competitiva de la empresa.
- $TIR < 0$: no se alcanza la rentabilidad mínima que le pedimos a la inversión.

El proyecto debe ser rechazado. La TIR nos resulta muy útil para evaluar proyectos de inversión ya que nos muestra la rentabilidad de dicho proyecto. Sin embargo, presenta cierta inconsistencia, ya que no garantiza en todos los casos asignar una rentabilidad a todos los proyectos de inversión, a veces se presentan resultados que no tienen sentido económico. (Vela, 2020).

2.1.7. Relación beneficio costo (B/C)

La relación entre beneficio y costo muestra la cantidad de dinero actualizado que recibirá el Proyecto por cada unidad monetaria invertida. Se determina dividiendo los ingresos brutos actualizados (beneficios) entre los costos actualizados. Para el cálculo generalmente se emplea la misma tasa que la aplicada en el VAN.

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{valor actual de beneficio}}{\text{valor actual de los costos}}$$

Este indicador mide la relación que existe entre los ingresos de un Proyecto y los costos incurridos a lo largo de su vida útil incluyendo la Inversión total.

- $\frac{B}{C} > 1$, el proyecto es rentable, ya que el beneficio es superior al costo.
- $\frac{B}{C} = 1$, es indiferente realizar el proyecto, porque no hay beneficio ni pérdidas.
- $\frac{B}{C} < 1$, el proyecto no es rentable y debe rechazarse.

Este indicador tiene la desventaja que no considera el tamaño del proyecto y en general debe usarse en conjunto con los otros indicadores.

2.1.8. Periodo de recuperación del capital

Determina los años requeridos para recuperar el capital invertido, donde la expresión a la izquierda de la igualdad representa los flujos actualizados desde el año 0 (donde se realiza la inversión I_0) hasta el año T que hace que el flujo total sea cero.

$$-I_0 + \sum_{k=1}^{K=t} \frac{B_k - C_k}{(1+i)^k} = 0$$

Donde:

$$T = PRC. (Vela, 2022).$$

2.1.9. Rampas

Para el minado sin rieles, las rampas consisten en galerías inclinadas con una gradiente tal que permitan la intercomunicación entre labores con diferente cota y con la superficie, con una amplia sección de manera que facilite el desplazamiento de maquinaria, equipos, personal y materiales que necesiten actuar dentro de la mina; convirtiéndose así en la principal labor auxiliar dentro de la explotación.

Criterios para el diseño de rampas: El diseño de rampas requiere de conocimientos de geometría, trigonometría, física y otras disciplinas teóricas que los ingenieros de minas estudian en su formación profesional, pero el conocimiento práctico y la experiencia, complementan para efectuar un diseño óptimo y acertado; previamente, se deben ejecutar los niveles principales de acceso y extracción, de 60 m a 90 m de encampane o desnivel; así mismo, se debe diseñar y planear la ejecución de chimeneas con máquinas Raíse Borer o Down The Hole, en el eje de la rampa o adyacente a esta, a fin de procurarse los servicios de ventilación, líneas de aire, agua, electricidad, además de los echaderos de mineral y desmonte (ore pass y fil/ pass); de esta manera se aumentará notablemente la eficiencia y la velocidad de su ejecución disminuyendo el tiempo de transporte. luego, se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Procurar que la rampa tenga la menor longitud de desarrollo como sea posible.
- La gradiente debe ser la óptima para desarrollar velocidades de 20 a 30 km/hora y que todos los vehículos no tengan dificultad para subir.
- Los radios de curvatura mínimos deben de tener una amplitud suficiente y necesaria para que todos los vehículos puedan girar libremente sin retroceder y evitar accidentes.
- Si la rampa se va a desarrollar sobre estructura mineralizada, se debe procurar una mínima longitud de desarrollo sobre mineral rico, para reducir los pilares y aumentar el porcentaje de recuperación.
- La sección transversal debe ser la óptima para la libre circulación de todos los vehículos de la mina; compensando el ancho con la altura, siendo la altura la mínima posible.
- Tratar de evitar trabajos de sostenimiento, procurando desviar la rampa por terrenos con mejores condiciones de estabilidad y auto soporte. (Vela, 2020).

2.1.10. Labores subterráneas horizontales, galerías

Las excavaciones subterráneas están estrechamente relacionadas con la energía y los recursos minerales. Dentro de la amplia variedad de usos del espacio subterráneo, gran parte de estos se excavan para

infraestructuras del transporte, basándose su diseño en la seguridad y economía. Las galerías se caracterizan por su trazado y sección, definidos por criterios geométricos de gálibo, pendiente, radio de curvatura y otras consideraciones del proyecto. Bajo el punto de vista de la ingeniería los datos más significativos son la sección, perfil longitudinal, trazado, pendientes, situación de excavaciones

El sostenimiento se refiere a los elementos estructurales de sujeción del terreno, aplicados inmediatamente después de la excavación de la galería, con el fin de asegurar su estabilidad durante la construcción y después de ella, así como garantizar las condiciones de seguridad.

El revestimiento se coloca con posterioridad al sostenimiento y consiste en aplicar sobre dicho sostenimiento una capa de hormigón, u otros elementos estructurales, con el fin de proporcionar resistencia a largo plazo a la galería y dar un acabado regular, mejorando su funcionalidad. Los estudios minero-geológicos son absolutamente necesarios para poder proyectar y construir una obra subterránea. Describimos la metodología básica para la realización de estos estudios, cuyos objetivos son los siguientes:

- Condiciones geológicas, geotécnicas e hidrogeológicas del trazado.
- Identificación de zonas de mayor complejidad geológica, hidrogeológica o geotécnica.

- Clasificación y sectorización geomecánica, propiedades y parámetros de diseño del macizo rocoso.
- Métodos de excavación y cálculos geomecánicos para el sostenimiento.
- Emplazamiento, excavación, estabilización y accesos intermedios.
- Recomendaciones para la excavación, sostenimiento y proceso constructivo de la galería.
- Tratamiento del terreno para la estabilización, refuerzo, drenaje o impermeabilización del terreno. (Paricahua, 2014).

2.1.11. Investigaciones in situ

La geología más que ningún otro factor determina el grado de dificultad y el coste de una excavación subterránea” (Terzaghi, 1946). Este conocimiento no sólo es necesario para poder proyectar adecuadamente la galería, sino fundamental para evitar sobrecostes, accidentes y retrasos imprevistos. Las investigaciones geológicas son en general las más costosas dentro de esta rama de la ingeniería. Sin embargo, el no dedicar suficientes medios a estos estudios pueden conducir a situaciones imprevistas: “Cuando el terreno no se investiga, el terreno es un riesgo”. La inversión adecuada en los estudios, depende de la complejidad, longitud de la galería, sostenimiento, espesor de recubrimientos, etc. y puede llegar al representar el 3% del presupuesto de la obra; por debajo de este

porcentaje aumentan los casos de labores subterráneas con problemas y, por encima los imprevistos son mínimos (Waggoner y Daugharty, 1985 citado por Paricahua, 2014). Ante la importancia, tanto técnica como económica, de las investigaciones in situ resulta esencial llevar a cabo una planificación de las mismas. Los criterios básicos para planificar las investigaciones in situ son las siguientes:

Condiciones previas:

- Características geológicas generales.
- Información disponible.
- Accesos.
- Presupuesto disponible.

Estrategias a seguir:

- Planificar las investigaciones en varias fases sucesivas de intensidad creciente.
- Situar los reconocimientos en zonas de importancia para:
- La interpretación geológica.
- La identificación de los puntos singulares.
- El estudio de intersección y accesos.

- Elegir y combinar adecuadamente las distintas técnicas de investigación según criterios de representatividad, rentabilidad económica, y logística. (Paricahua, 2014).

2.1.12. Influencia de las condiciones geológicas

Al excavar una galería se pueden encontrar tres tipos de condiciones naturales que dan lugar a la pérdida de la resistencia del macizo y, por tanto, a problemas de estabilidad:

- Orientación desfavorable de discontinuidades.
- Orientación desfavorable de las tensiones con respecto al eje de la galería.
- Flujo de agua hacia el interior de la excavación a favor de las fracturas, acuíferos o rocas carstificadas.
- Estas condiciones están relacionadas con los siguientes factores: estructura, discontinuidades, resistencia de la roca matriz, condiciones hidrogeológicas y estado tensional.

Por otro lado, la excavación de la galería también genera una serie de acciones inducidas que se suman a las citadas condiciones naturales, como son:

- Pérdida de resistencia del macizo rocoso que rodea a la excavación como consecuencia de la descompresión creada: apertura de discontinuidades, fisuración por voladuras, alteraciones, flujos de agua hacia el interior de la galería, etc.

- Reorientación de los campos tensionales, dando lugar a cambios de tensiones.
- Otros aspectos como subsidencias en labores cercanas, tajeos, cambios en los acuíferos, etc.

La respuesta del macizo rocoso antes las acciones naturales e inducidas determina las condiciones de estabilidad de la galería y, como consecuencia, las medidas del sostenimiento a aplicar. Por otro lado, el proceso constructivo también depende de la excavabilidad de las rocas, que así mismo es función de la resistencia, dureza y abrasividad, entre otros factores. (Paricahua, 2014).

2.1.13. Resistencia y deformabilidad

Los métodos directos y empíricos utilizados para el cálculo de la resistencia y deformabilidad de los macizos rocosos.

- Resistencia de la matriz rocosa
- Ensayos de compresión simple, tracción y triaxiales.
- Criterio de Hoek y Brown.
- Ensayo de corte directo y de rozamiento.
- Criterio de Mohr-Coulomb.
- Método de Barton y Choubey.
- Resistencia del macizo rocoso

- Criterio de Hoek y Brown.
- Criterio de Mohr-Coulomb.
- Deformabilidad el macizo rocoso.

La deformabilidad el macizo rocoso es uno de los parámetros más complejos de evaluar dada la heterogeneidad y anisotropía que caracterizan a los macizos. Los distintos métodos para su evaluación se describen a continuación:

- Ensayos in situ.
- Correlaciones con el módulo de deformabilidad de la matriz rocosa, el módulo dinámico y el RQD.
- Métodos empíricos a partir de los índices RMR, Q y GSI. (Paricahua, 2014).

2.1.14. Caudales y presiones de agua

La estimación de los caudales de infiltración constituye una de las principales incertidumbres en las excavaciones que atraviesan macizos rocosos muy fracturados y carstificados. Los modelos matemáticos de flujo son un método muy apropiado para la mayoría de los casos, pero no siempre se dispone de los datos suficientes para su aplicación. (Paricahua, 2014).

2.1.15. Clasificaciones geomecánicas

Las clasificaciones geomecánicas constituyen actualmente un método fundamental para la caracterización geomecánica de los macizos rocosos, ya que permiten obtener parámetros de resistencia y deformabilidad y, estimar los sostenimientos de una excavación. Las clasificaciones geomecánicas más utilizadas son la RMR, y la Q. Si bien ambas fueron diseñadas para estimar los sostenimientos, el parámetro RMR se ha ido consolidando como un índice geomecánico para la evaluación de las propiedades del macizo rocoso, usándose igualmente para la evaluación del sostenimiento. (Paricahua, 2014).

2.1.16. Estimación del sostenimiento a partir de las clasificaciones geomecánicas

El cálculo del sostenimiento de excavaciones subterráneas se puede efectuar por alguno de los siguientes métodos: analíticos, numéricos, empíricos y observacionales. Los métodos analíticos parten de las hipótesis de la elasticidad y suponen que el comportamiento de la excavación es elástico hasta que se alcanza una cierta presión interna crítica, para lo cual se produce a plastificación. Como la ley de presión/deformación del sostenimiento es conocida, el punto de encuentro entre ambas curvas define la situación de equilibrio. Los métodos numéricos parten de la discretización del macizo mediante los métodos de los elementos finitos, elementos discretos o de diferencias finitas. Permiten la modelización detallada de los procesos de deformación que afectan el terreno como consecuencia de

la excavación, y el análisis de la influencia de los diferentes factores y parámetros que intervienen en los procesos constructivos, pudiéndose establecer los criterios de diseño adecuados para la excavación o toma de decisiones ante un problema de inestabilidad o de otra índole. Los métodos observacionales se basan en las medidas de tensiones y deformaciones que se producen durante la excavación, calculando los sostenimientos con el apoyo de métodos numéricos o analíticos. El método observacional más representativo es el Nuevo Método Austriaco (NATM). Los métodos empíricos proporcionan una aproximación al sostenimiento de excavaciones y no se consideran un método de cálculo; sin embargo, pueden ser muy útiles en macizos rocosos fracturados, y como medio de establecer las propiedades del macizo y los sostenimientos requeridos. También son útiles para estimar costes de sostenimiento en las etapas de anteproyecto. Los métodos empíricos para el cálculo del sostenimiento se basan en las clasificaciones RMR y Q. Su aplicación requiere tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Es necesario analizar la idoneidad de la clasificación geomecánica elegida en función de los datos geológicos, el comportamiento tenso- deformacional del macizo y del proceso constructivo a utilizar.
- Los sostenimientos recomendados a partir de las clasificaciones representan las condiciones medias del tramo considerado, y no tienen en cuenta posibles extremos, por ejemplo, los

puntos singulares, ni rocas especiales (volcánicas, evaporíticas, expansivas, etc.). (Paricahua, 2014).

2.1.17. Sostenimiento a partir del índice RMR

La clasificación RMR (Bieniawski, 1979 y 1989) indica explícitamente los tipos de sostenimiento a emplear. A partir del RMR se puede estimarse la longitud de pase (longitud de avance sin sostenimiento). (Paricahua, 2014).

2.1.18. Criterios de excavabilidad

La excavación subterránea depende de la facilidad o dificultad al arranque que presenta el macizo rocoso frente a los distintos métodos de perforación. Las propiedades que definen la excavabilidad son las siguientes:

- Resistencia de la matriz rocosa.
- Dureza y abrasividad.
- Fracturación
- Índices de calidad geomecánica. (Paricahua, 2014).

2.1.19. Perforación y voladura

El arranque se efectúa con explosivos y se utiliza en rocas de alta resistencia, con velocidades sísmicas entre 2000 y 2500 m/s, según las condiciones del macizo rocoso o cuando las rocas sean muy abrasivas. Es el método más utilizado, y consiste en efectuar taladros en el frente

de la excavación, cargarlos con explosivos y hacer los detonar. La perforación es realizada por medio de “jumbos” hidráulicos. Uno de los objetivos principales en una buena voladura es evitar un excesivo deterioro en la roca circundante a la excavación. Una voladura inadecuada da lugar a sobre roturas y la consecuente caída de bloques con problemas de estabilidad adicionales. Por ellos es preciso efectuar voladuras controladas y técnicas como el precorte, recorte, voladuras suaves, etc., que minimicen el daño estructural al macizo. (Paricahua, 2014).

2.1.20. Elementos de sostenimiento

El sostenimiento proporciona a la galería el principal elemento de estabilización, cumpliendo los siguientes objetivos:

- Evitar que el terreno pierda sus propiedades resistentes.
- Evitar el desprendimiento de cuñas o zonas sueltas del terreno por el proceso de excavación
- Limitar las deformaciones en la cavidad creada.
- Controlar las filtraciones y proteger la roca frente a la meteorización.
- Proporcionar seguridad a las personas e instalaciones.

Para alcanzar estos objetivos se debe de instalar el sostenimiento tan pronto como sea posible. A este sostenimiento de tipo inmediato se le denomina sostenimiento primario. Es posible que la excavación

precise de elementos de sostenimiento adicionales para reforzar el terreno en zonas débiles, en cuyo caso se denomina sostenimiento secundario. Una vez estabilizada la excavación y finalizada la instalación de los sostenimientos, suele cubrirse la galería con una capa de hormigón, llamada revestimiento, cuya función es cumplir con la estabilidad de la obra a largo plazo, mejorar la estética, disminuir la fricción del aire, etc. Los pernos de anclaje consisten en barras de acero de 20 a 40 mm de sección y longitudes variables, normalmente entre 1.5 y 3 m, que se instalan en el terreno previa perforación del taladro correspondiente. Admiten cargas del orden e 10 a 25 toneladas. Los pernos más utilizados son barras corrugadas, ancladas en toda su longitud con resina o cemento. Otros tipos de perno son los de fricción, como son los Spli Set y los Hydrabolt. Los pernos ejercen dos efectos sobre la excavación:

- “Cosen” las discontinuidades del macizo rocoso, impidiendo los deslizamientos y caídas de cuñas y bloques.
- Aportan al terreno un efecto de confinamiento.
- El hormigón proyectado, también llamado gunita tiene dos finalidades principales: sellar la superficie de la roca, cerrando las juntas, y evitar la descompresión y alteración de la roca. Cuando se usa únicamente como sellado de la excavación no se combina con elementos de refuerzo adicional, pero si se utiliza como elemento resistente se refuerza con malla electrosoldada.

- La malla electrosoldada se utiliza como refuerzo del hormigón y/o de los pernos de anclaje por su facilidad de adaptación a la forma de la excavación. (Paricahua, 2014).

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. El Problema

Los altos precios de los metales actualmente hacen que se tenga la necesidad de incrementar la producción anual; y, de esta manera dar continuidad a las operaciones de la de la mina Hércules, por medio del desarrollo del proyecto de profundización para mejorar los niveles de producción y productividad, aplicando un sistema mecanizado para maximizar utilidades con el incremento de la producción diaria.

La Compañía Minera Lincuna, en el año 2022, presenta problemas de estudio técnico y económico para poder sacar adelante el proyecto de profundización de la mina por que se tiene que cuidar los aspectos técnicos, los económicos y los sociales que implica ampliar su producción todo esto dentro de un programa de mejora continua y de sostenibilidad para logara tener eficacia y eficiencia logrando con ella tener una buena inversión que logra obtener una mejor rentabilidad de la empresa.

3.1.1. Descripción de la realidad problemática

La Compañía Minera Lincuna, en el año 2022 en sus unidades mineras de explotación: la mina Hércules, Collaracra, Coturcan y Caridad, en el año 2022 produce minerales polimetálicos con un producción diaria de todas las minas alrededor de 3,000 toneladas, ante la persistencia de la mineralización tanto lateral como vertical de las vetas y/o mantos existentes en el yacimiento minero, ya que a medida que van descendiendo estas aumentan en volumen pero reducen las leyes por que hace necesario incrementar la producción para llegar a la zona mineralizada por medio de labores de preparación de mina

(Rampas, cruceros, chimeneas, etc.) y con ello mejorar la producción y productividad de la mina.

3.1.2. Planteamiento y Formulación del Problema

3.1.2.1. Formulación del problema General

¿Cómo realizar la evaluación técnica para determinar la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules - Compañía Minera Lincuna – 2022?

3.1.2.2. Formulación de problemas específicos

1. ¿Cuáles son las condiciones geomecánicas del macizo rocoso del proyecto profundización de la mina Hércules?
2. ¿Qué resultados de la evaluación técnica determinarán la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules?
3. ¿Cuáles son los indicadores económicos del proyecto profundización de la mina Hércules?

3.1.3. Objetivos de la investigación

3.1.3.1. Objetivo General

Realizar la evaluación técnica para determinar la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules - Compañía Minera Lincuna – 2022.

3.1.3.2. Objetivos Específicos

1. Determinar las condiciones geomecánicas del macizo rocoso del proyecto profundización de la mina Hércules.
2. Evaluación técnica para determinar la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules.
3. Determinar los indicadores económicos del proyecto profundización de la mina Hércules.

3.1.4. Justificación e importancia

Se justifica porque la compañía minera Lincuna tiene la necesidad de asegurar la continuidad de sus operaciones en la mina Hércules, con la finalidad de contribuir con la ampliación de la producción y productividad, para el crecimiento en el futuro de la empresa por medio de la profundización de la mina y de esta manera incrementar la vida útil de la mina, explotándolo racionalmente por métodos de minado masivo totalmente mecanizado lo que permitirá maximizar las utilidades a la empresa. Según Vela (2020) Con el proyecto de profundización de la mina se garantizará la producción, explotación y exploración de la mina de forma continua y de esta manera se estará contribuyendo a la optimización de los procesos de minado y la reducción de costos.

3.1.5. Alcances

La presente investigación pretende presenta la evaluación técnica para determinar la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules que

permita la toma de decisión de la viabilidad del proyecto y así poder invertir en el mismo y generar una fuente de ingreso económico a la localidad donde se desarrolle.

3.1.6. Delimitación de la Investigación

La investigación se realizará exclusivamente en la mina Hércules.

3.1.7. Limitación de la Investigación

En el desarrollo de la presente investigación se presentaron las siguientes limitaciones:

- Falta de tiempo para dedicarse exclusivamente a las tareas de investigación.
- Falta de recursos económicos por estar sin un trabajo formal.
- Falta de expertos en la materia.

3.2. Hipótesis

Hipótesis General

La evaluación técnica determinará la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules - Compañía Minera Lincuna – 2022.

Hipótesis Nula

La evaluación técnica **NO** determinará la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules - Compañía Minera Lincuna – 2022.

Hipótesis Específicas

1. Se determina las condiciones geomecánicas del macizo rocoso del proyecto profundización de la mina Hércules.
2. Se realiza la evaluación técnica para determinar la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules.
3. Se determina los indicadores económicos del proyecto profundización de la mina Hércules.

3.3. Variables

Variable Independiente (x)

Evaluación técnica

Variable dependiente (y)

Viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules.

3.3.1. Operacionalización de variables

Tabla 2. Operacionalización de variables.

Tipo de variable	Nombre de la variable	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente	Evaluación técnica.	Investigaciones in situ.	<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones geológicas • Clasificaciones geomecánicas • Criterios de excavabilidad • Perforación y voladura • Elementos de sostenimiento.
Variable dependiente	Viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules.	Incremento de la Producción. Continuidad de la vida de la Mina.	<ul style="list-style-type: none"> • TM/día • Años de explotación.

Fuente: Elaboración propia.

3.4. *Diseño de la investigación*

3.4.1. **Tipo de investigación**

El tipo de investigación es **Aplicada**, porque se realizará la evaluación técnica para determinar la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules - Compañía Minera Lincuna – 2022.

3.4.2. **Nivel de la investigación**

El nivel será de investigación descriptiva, porque describe la evaluación técnica para determinar la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules - Compañía Minera Lincuna – 2022.

3.4.3. **Método**

Se empleará el método el Científico, deductivo donde el proceso de los conocimientos se inicia por la observación de fenómenos de carácter general con el propósito de llegar a conclusiones particulares contenidos explícitamente en la situación general. (Jesús, 2018).

3.4.4. **Diseño de investigación**

El diseño de la presente investigación es No experimental de corte Transversal. Es no experimental porque no se manipulará variable alguna, y es transversal porque el tiempo de medición de las variables se da en periodo muy breve. (Jesús, 2018).

3.4.5. Población y muestra

Población

La población para este trabajo de investigación está constituida por el Distrito Minero de Ticapampa cubre un área aproximada de 16,400 hectáreas.

Muestra

La muestra está constituida por la mina Hércules.

3.4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas: El presente trabajo, enmarca en la evaluación técnica para determinar la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules - Compañía Minera Lincuna, en el año 2022 y comprende:

- Trabajo de Campo
- Trabajo de Gabinete
- Observación Directa y monitoreo en la profundización de la mina Hércules, para obtener un mejor control de la misma. (Paricahua, 2014).

Procedimientos:

- Recopilación y toma de datos para la profundización de la mina Hércules.
- Análisis de datos del proceso de construcción de la Galería 270-1.

- Seguimiento y control de las operaciones mineras. (Paricahua, 2014).

CAPITULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos

La última campaña de sondajes en la mina Hércules se logró unas 300,000 TM de mineral con leyes promedio de 3.1 Oz/Tm de Ag, 2.1% de Pb y 2.3% de Zn. Estos recursos servirán para realizar el incremento en reservas con la profundización de la mina, debemos mencionar que la mineralización polimetálica presenta alternancias en el incremento de plata, plomo y zinc, no hay indicios de un agotamiento mineralógico en profundidad y de forma rápida, más bien hay buenos indicios para encontrar una zona argentífera por debajo de la polimetálica, con lo cual las posibilidades de persistencia de la mineralización en profundidad son buenas. (De La Sota, 2016).

4.2. Condiciones geomecánicas del macizo rocoso del proyecto profundización de la mina Hércules

La evaluación de las estructuras mineralizadas y su entorno físico en la zona de la mina Hércules, las estructuras que se explotan actualmente se tipifican como “mantos y vetas” con geometrías que van desde “tabulares e irregulares”, de bajo buzamiento caso de la mina Hércules, que se trabaja mediante el sistema Trackless empleando el método de explotación “Corte & Relleno Ascendente”, donde el relleno es el material que se dispone del desarrollo de labores en estéril; el estudio base que permita “definir y establecer los lineamientos básicos” para una gestión adecuada de los aspectos de la geomecánica buscando lograr un equilibrio entre la seguridad y la rentabilidad de la operación.

4.2.1. Mapeo geológico en superficie

La evaluación ha sido realizada íntegramente dentro y en áreas circundantes a la zona de la mina Hércules, con la finalidad de caracterizar la masa rocosa a través de un índice numérico cuantitativo que permita discretizar la masa rocosa en sub-unidades geomecánicas “Dominios geomecánicos”.

Tabla 3. Ensayos realizados en el laboratorio de mecánica de rocas.

Código de muestras	Ubicación	Ensayo	Norma	Parámetro evaluado
HT	Caja techo	Propiedades físicas	ASTM-D-854	Densidad (Kg/cm ³). Porosidad (%). Absorción (%).
		Compression simple	ASTM-D-4767	Resistencia a la compresión (Mpa).
		Corte directo	D-5607-95	Angulo de fricción interna (°) Cohesión (Mpa)
		Compresión triaxial	ASTM-D-4767	Angulo de fricción interna (°) Cohesión (Mpa)
MH	Estructura mineralizada	Propiedades físicas	ASTM-D-854	Densidad (Kg/cm ³). Porosidad (%). Absorción (%)
		Compression simple	ASTM-D-4767	Resistencia a la compresión (Mpa).
		Tracción indirecta		Resistencia a la tracción (Mpa).
		Constantes elásticas	ASTM-D-4767	Módulo de elasticidad (Mpa) Módulo de Poisson

Nota: La descripción de las muestras es el siguiente HT: Caja techo Hércules, HM: Mineral de Hércules.

Fuente: Departamento de Ingeniería mina, 2022.

Tabla 4. Dominio lito – estructural de la mina Hércules.

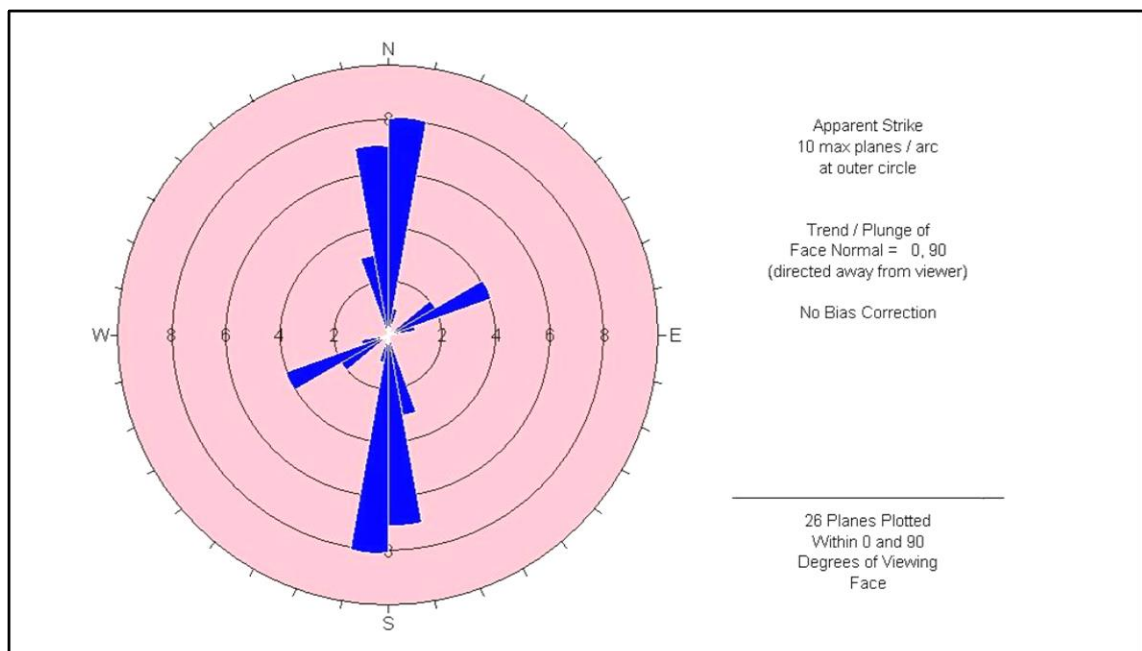
ZONA	SISTEMA DE DISCONTINUIDAD	
	F1	F2
HERCULES	165/77	341/79

Nota: El sistema de discontinuidad estructural se denota como "Dirección de Buzamiento / Buzamiento".

Fuente: Departamento de Ingeniería mina, 2022.

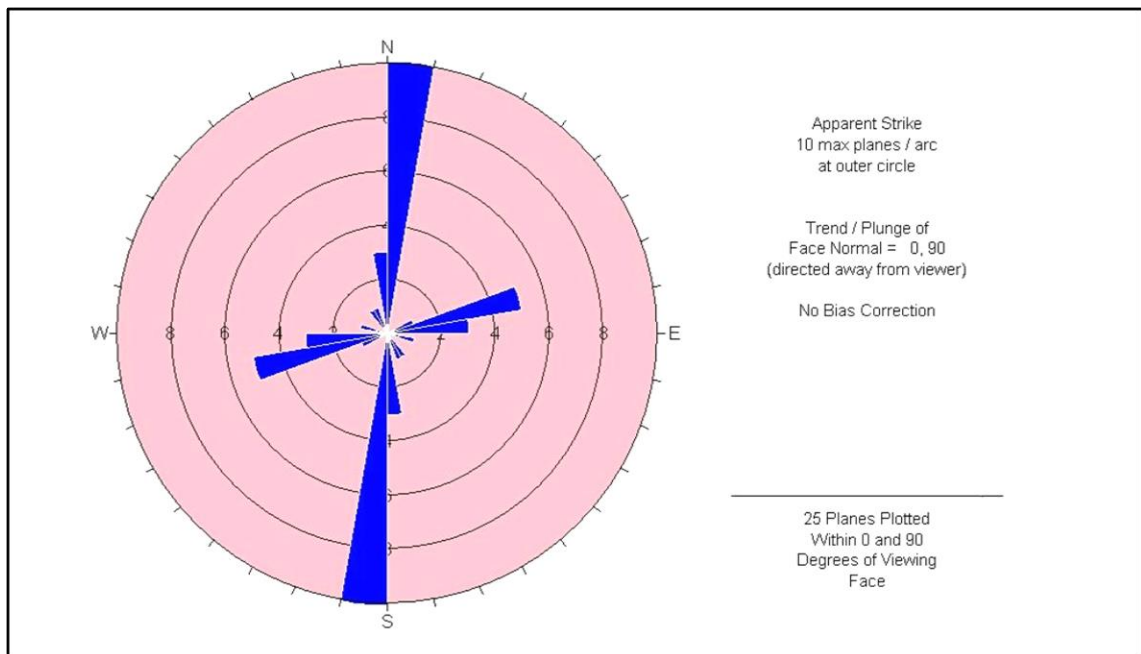
En la tabla 3, se ha tipificado la zona de “Hércules” en las cuales se ha establecido los dominios “lito - estructurales” definidos por su posición espacial respecto a la estructura mineralizada como “Caja piso, Estructura mineralizada y Caja techo”. Cada dominio “lito-estructural” se caracteriza por presentar un arreglo estructural propio, que en el Estudio se denominan “sistemas: 1, 2, 3” jerarquizados por su grado de influencia e importancia en la estabilidad estructuralmente controlada.

Figura 5. Diagrama de rosetas – caja techo Hércules.



Fuente: Departamento de Ingeniería mina, 2022.

Figura 6. Diagrama de rosetas – estructura mineralizada Hércules.



Fuente: Departamento de Ingeniería mina, 2022.

4.2.2. Aspectos estructurales

- En este acápite se exponen a modo resumido muy las características más relevantes de los aspectos estructurales, cartografiados durante los trabajos de “mapeo geológico-geomecánico” de afloramientos rocosos en superficie y excavaciones subterráneas. En el contexto geomecánico de la Mina Hércules, las características estructurales promedias de las fallas (estructuras mayores) y diaclasas (estructuras menores) se describen de la siguiente manera.
- **Fallas.** - Las características geomecánicas de las fallas presentes en el área de interés mina Hércules, presentan espaciamientos variables por lo general mayores a >2 metros, con una la persistencia que vas desde unos metros a cientos de metros, con aperturas muy abiertas

“abiertas > 5mm”, paredes de discontinuidad “lisas, ocasionalmente exponen espejos de falla y ligeras ondulaciones”. Estas fallas por lo general presentan rellenos del “tipo milonitas completamente disturbadas y alteradas, comúnmente se les denomina “rellenos panizados” de espesor variable entre “0.05 metros hasta 0.8 metros”, la influencia de estas fallas en el comportamiento de la roca varía desde unos centímetros hasta unas decenas de metros, superficialmente se aprecian “alteradas a muy alteradas”, con presencia de agua en las paredes de las discontinuidades a modo “húmedo, mojado y ocasionalmente la presencia de goteo moderado”.

Es necesario precisar que en las estructuras mineralizadas de la mina Hércules, las fallas son “paralelas y sub-paralelas al rumbo de las estructuras” están situadas en los “contacto caja piso- falla del mineral y falla-contacto caja techo del mineral”, se exponen en toda la extensión de la estructura mineralizada (representan un control estructural importante de la mineralización en el rumbo).

- **Clasificación de la masa rocosa.** - El proceso de clasificación geomecánica de la masa rocosa para los propósitos de este estudio ha implicado “analizar e interpretar” la información desarrollada en la etapa de “Investigación geomecánica”, el cual fue obtenido durante los trabajos de campo usando el sistema de “Clasificación geomecánica RMR89 de Bieniawski, Modificado por Romana, 2000”

Tabla 5. Criterio para clasificación de la masa rocosa, según el sistema de valoración “RMR89 de Bieniawski, modificado por Romana, 2000.

Tipo de roca	Rango de valoración "RMR"	Clasificación "RMR" de la masa rocosa
I-A	91-100	Muy Buena A
I-B	81-90	Muy Buena B
II-A	71-80	Buena A
II-B	61-70	Buena B
III-A	51-60	Regular A
III-B	41-50	Regular B
IV-A	31-40	Mala A
IV-B	21-30	Mala B
V	< 21	Muy Mala

Nota: Clasificación "RMR", modificada según Romana, 2000.

Fuente: Departamento de Ingeniería mina, 2022.

En la tabla 5, se presenta el resumen de la “Clasificación geomecánica” de la masa rocosa que conforman los distintos “Dominios geomecánicos” utilizando el “Sistema de clasificación geomecánica RMR89 de Bieniawski; modificado por Romana, 2000”.

Tabla 6. Clasificación geomecánica RMR89.

MINA	Calidad de la masa		Descripción de la condición lito-estructural de la masa rocosa	Calidad de la masa				
	LITOLOGÍA	DOMINIO		RMR	GSI	Clasificación		
HERCULES	Lavas -tufos volcánicos	Techo1	Dominio lito-estructural caracterizado por la presencia de flujos lávicos de composición andesítica, con texturas afaníticas a porfíricas, de coloraciones verdosas a grisáceas, moderadamente fracturadas, con marcadas alteraciones hacia el contacto con la "falla caja techo" de la estructura mineralizada. El dominio se muestra muy fracturado en sectores puntuales hacia el contacto caja techo de la estructura mineralizada.	72	67	Buena A		
		Techo 2		65	60	Buena B		
		Techo 3		45	40	Regular B		
	Brecha mineralizada	Estructura 1 Estructura 2 Estructura 3 Estructura 4 Estructura 5	Dominio lito-estructural caracterizado por la presencia de flujos lávicos de composición andesítica reemplazados por flujos mineralizantes constituidos de "sulfuros primarios, sulfuros secundarios, óxidos, carbonatos y cuarzo". Es de suponer que el emplazamiento la mineralización tuvo varios eventos como se puede apreciar en el ensamble mineralógico variado y las alteraciones que son más intenzas hacia el contacto con las rocas de las cajas piso y techo (principalmente al piso de la veta hercules). El alcance la alteración disminuye conforme se dista de los contactos con las fallas "piso y techo" de la estructura mineralizada.	65	60	Buena B		
				55			50	Regular A
				50			45	Regular B
				35			30	Mala A
				20			15	Muy Mala
	Lavas-tufos volcánicos	Piso 1 Piso 2 Piso 3	Dominio lito-estructural caracterizado por la presencia de flujos lávicos de composición andesítica, con texturas afaníticas a porfíricas, de coloraciones verdosas a grisáceas, moderadamente fracturadas, con marcadas alteraciones hacia el contacto "falla caja piso" de la estructura mineralizada". Estas alteraciones disminuyen conforme distan del contacto falla hacia las cajas.	70	65	Buena B		
				60	55	Regular A		
40				35	Mala A			
Falla	Falla piso	Dominio lito-estructural se expone completamente alterado mineralógica y estructuralmente. Se emplaza en el contacto "falla caja piso-estructura mineralizada" y se presenta a lo largo del contacto piso con la estructura mineralizada en toda su extensión.	10	5	Muy Mala			
<p>Nota: Estimaciones realizadas según criterios empíricos como resultados de apreciaciones cualitativas durante los trabajos de mapeo geomecánico.</p>								

Fuente: Departamento de Ingeniería mina, 2022.



Zona Hércules:

- **Caja techo (RMR: 72 - 45):** Este dominio se constituye litológicamente por “lavas y tufos volcánicos” de composición andesítica con texturas afaníticas a porfiríticas, de tonalidades que van desde “verdosas a grisáceas”. Estructuralmente se tipifica como un material fracturado (RQD: 50-75), presenta una resistencia a la compresión simple variable entre los “90-40; Mpa, las características de las discontinuidades estructurales en promedio presentan un espaciamiento que varía entre los “0.6-0.2 metros y 0.2-0.06 metros”, una persistencia variable entre los rangos “>20 metros, 20-10 metros, 3-10 metros”, superficialmente se aprecian “húmedas a mojadas”, se caracterizan por tener una baja a nula resistencia a los esfuerzos de corte.
- **Caja piso (RMR: 75 - 35):** Este dominio se constituye litológicamente por lavas y tufos volcánicos de composición andesítica con texturas afaníticas a porfiríticas, de tonalidades que van desde “verdosas a grisáceas”. Estructuralmente se tipifica como un material fracturado (RQD: 50-75), presenta una resistencia a la compresión simple variable entre los “100-35 Mpa”, en el contacto falla caja piso la resistencia es “< 10 Mpa”. Las características de las discontinuidades estructurales en promedio presentan un espaciamiento que varía entre los “0.6-0.2 metros y 0.2-0.06 metros”, desde el punto de vista geomecánico este dominio constituye los sectores más inestables observados durante la evaluación en esta zona.

4.2.3. Condiciones de agua subterránea

Respecto a las condiciones de agua subterránea observadas durante la realización de los trabajos de “Investigación geomecánica”, éstas corresponden típicamente a condiciones que van de “secas a parcialmente húmedas”.

4.2.4. Estimación del estado tensional

La roca en profundidad está sometida a una serie de esfuerzos resultantes como por ejemplo del “peso de los estratos sobreyacientes para un caso puramente geoestático” y adicionalmente debido a “los esfuerzos de origen tectónico-residual, sismológico para un caso no geoestático”. Independientemente de cuál sea el caso “geoestático o no geoestático” al crear una excavación en la masa rocosa sometida a los estados de esfuerzos mencionados (esfuerzos in-situ) su campo de esfuerzos es disturbado, generándose en la masa rocosa una redistribución de los esfuerzos cuyo resultado conlleva a un nuevo estado de esfuerzos en la masa rocosa denominado “esfuerzos inducidos” en el entorno físico de la excavación.

4.2.5. Identificación de los mecanismos de falla

En base a la información obtenida del análisis estereográfico de las discontinuidades estructurales (fallas y diaclasas); en el área de interés se prevé que los modos probables de falla a desarrollarse desde “la caja techo, la corona y la caja piso” de las excavaciones subterráneas, serán las fallas del tipo “Cuña” cuyo desprendimiento dependiendo de su ubicación espacial en

los frentes de excavación será por “gravidad ó deslizamiento”.
(Departamento de Ingeniería mina, 2022).

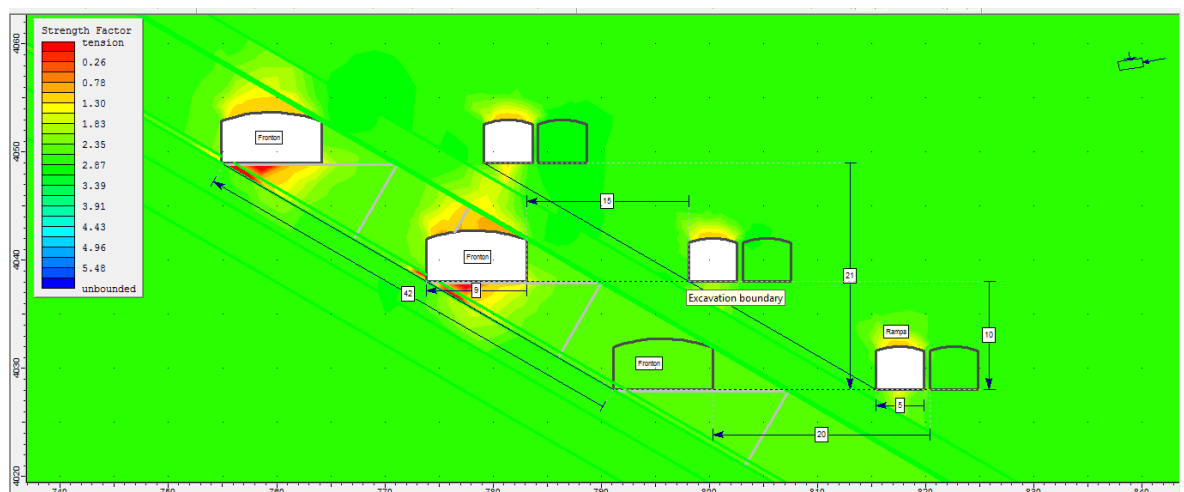
4.2.6. Factores de seguridad

Los factores de seguridad mínimos para los análisis de estabilidad en el Estudio se han establecido en función a los tipos de análisis (métodos empíricos, modelamiento numérico bidimensional usando software Phases2 y análisis de estabilidad estructuralmente controlada mediante software Unwedge), estableciéndose los factores de seguridad (criterios de estabilidad). (Departamento de Ingeniería mina, 2022).

4.2.7. Simulación del tajeo por subniveles – Zona Hércules

El esquema de minado ubica la rampa de acceso al techo de la estructura mineralizada (15 metros de pilar taje o - rampa). En esta fase se aprecian condiciones estables.

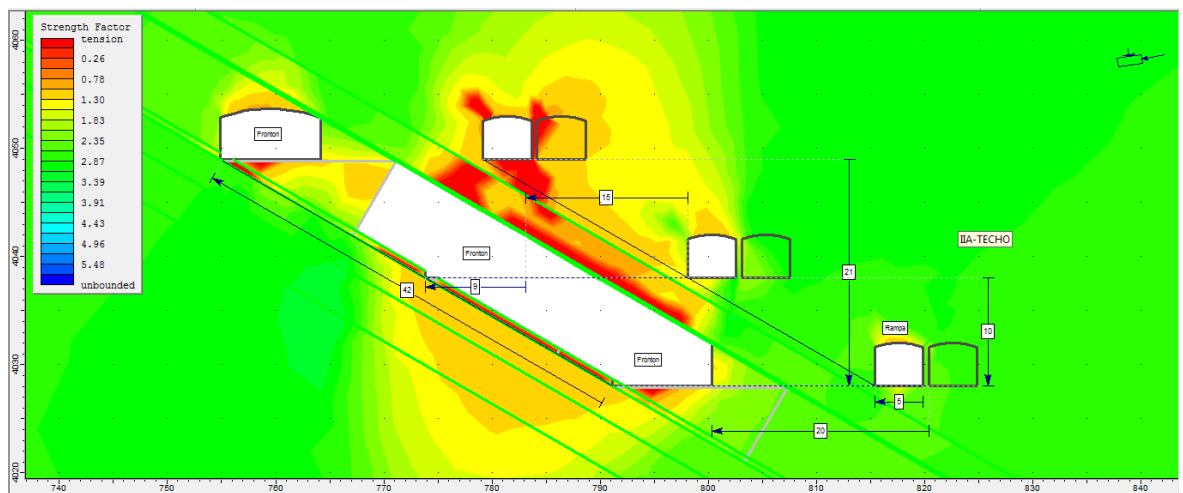
Figura 7. Distribución del factor de seguridad, correspondiente a la fase 1 (preparación).



Fuente: Departamento de Ingeniería mina, 2022.

La distribución del “factor de seguridad” en la fase 2 (explotación), mostrando nivel superior sobre un puente mineralizado y el tajeo explotado. Aquí se puede apreciar zonas de “desconfinamiento y relajación” de los esfuerzos como resultado de la redistribución de los mismos. Se observan zonas críticas (inestables) que comprometen la estabilidad de la rampa de acceso ubicada al techo del Tajeo.

Figura 8. Distribución del “factor de seguridad” en la fase 2 (explotación).

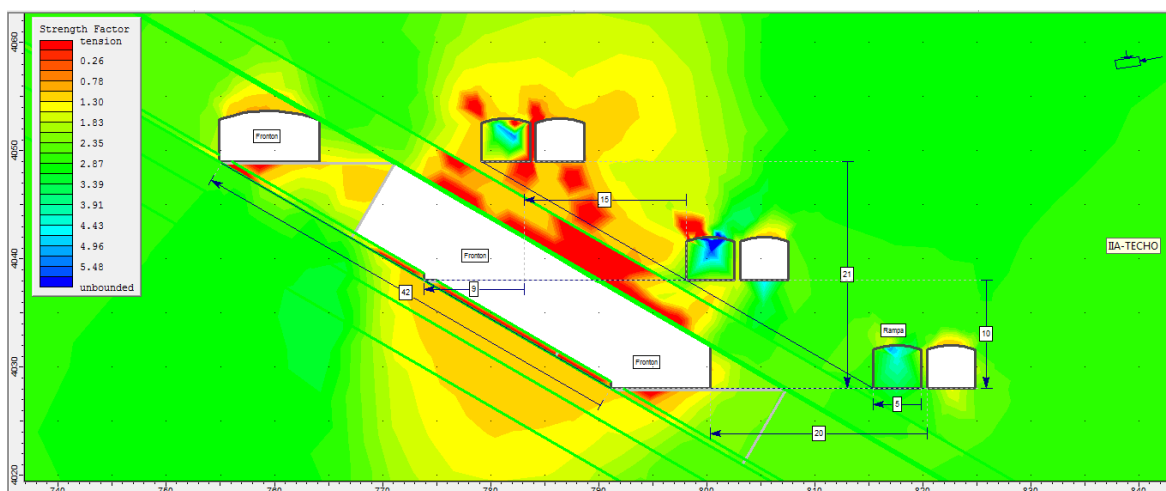


Fuente: Departamento de Ingeniería mina, 2022.

Distribución del “factor de seguridad” en la fase 2 (explotación), a diferencia de la figura 018 en esta vista se considera reubicar la rampa (15 metros) a 20 metros del techo del tajeo. En el esquema se aprecia un ligero incremento del factor de seguridad de las zonas críticas; sin embargo la inestabilidad persiste, por lo tanto el minado mediante la aplicación del SUBLEVEL STOPING para el escenario mostrado debe realizarse considerando una menor altura de tajeo (antieconómico), mayor distancia entre la rampa de acceso y el techo del tajeo (preservar la rampa), en su defecto reubicar la rampa de acceso a la caja piso considerando un pilar

adecuado (reevaluación del minado) y/o aplicar un relleno estructural en los tajeos explotados.

Figura 9. Distribución del “factor de seguridad” en la fase 2 (explotación).



Fuente: Departamento de Ingeniería mina, 2022.

4.3. Evaluación técnica para determinar la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules

- Perforación:** Es la primera operación en la preparación de una voladura. Su propósito es el de abrir en la roca huecos cilíndricos destinados a alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores, denominados taladros, barrenos, hoyos o blast holes. Se basa en principios mecánicos de percusión y rotación, cuyos efectos de golpe y fricción producen el astillamiento y trituración de la roca en un área equivalente al diámetro de la broca y hasta una profundidad dada por la longitud del taladro utilizado. La eficiencia en perforación consiste en lograr la máxima penetración al menor costo. En perforación tienen gran importancia la resistencia al corte o dureza de la roca (que influye en la facilidad y velocidad de penetración) y la abrasividad. Esta última

influye en el desgaste de la broca y por ende en el diámetro final de los taladros cuando ésta se adelgaza.

- **Voladura:** La operación unitaria o proceso productivo de "Voladura", tiene como objetivo el arrancar el material involucrado desde su lugar original, de modo que este material triturado puede ser cargado y retirado por los equipos respectivos (y procesado según se requiera), por lo que este material tendrá que cumplir con una granulometría y una disposición espacial apta para los posteriores procesos asociados. El primer proceso de conminución que se aplica al material es la voladura, por lo que su éxito permitirá realizar un buen manejo de este material por parte de los procesos posteriores (chancado, por ejemplo).
- **Diseño de perforación y voladura:** Para el diseño de perforación partimos considerando que la sección de labor es de 4.00 m x 4.00 m, y su finalidad es el acceso y paso de vehículos, como es el caso de scoops, jumbos y otros equipos utilizados en la operación, así como también el de paso de servicios auxiliares.
- ✓ **Corte quemado:** Consiste en perforar varios taladros paralelos muy cercanos entre sí, usualmente dispuestos en forma concéntrica, perforados en forma perpendicular a la cara libre de la labor, de modo que al ser disparado produzcan una cavidad cilíndrica. Los taladros del corte quemado deben ser paralelos, las desviaciones pueden hacer fallar al disparo. Existen diversos trazos para crear este corte varios taladros de pequeño diámetro alternados, unos con carga explosiva y otros vacíos, o un taladro central de mayor diámetro, sin carga, rodeado por

otros de menor diámetro cargado o viceversa. Es recomendable que los taladros de corte sean unas T más profundas que los taladros de destroce, para dejar un tope limpio. Es muy efectivo en roca dura y homogénea, no así en material suelto o muy fisurado. Entre las causas frecuentes de la falla de un corte quemado, tenemos:

- Carga explosiva insuficiente o dinamita de muy baja potencia.
 - Los taladros perforados muy lejos uno de otro, o que no sean paralelos.
 - Espacio vacío insuficiente, o sea, cuando no se dejan suficientes huecos sin cargar, a fin de que la roca quebrada pueda expandirse.
- ✓ **Corte cilíndrico:** Es una voladura con perforación de uno o más taladros de diámetro grande, el principio es perforar y cargar, con una baja concentración de explosivos, taladros de diámetro pequeño en puntos cercanos dispuestos estratégicamente alrededor de los taladros de diámetro grande que no llevan carga explosiva. Dentro los distintos tipos de corte cilíndrico tenemos: Corte en espiral, corte en doble espiral, corte Fagersta, corte coromant, corte Michigan. El diseño de perforación para la malla diseñada fue el corte cilíndrico. Este método nos permite un control del equipo de perforación, la dirección del eje de la rampa y la sobre excavación.
- ✓ **Equipo de perforación:** Se selecciona el Jumbo de acuerdo a las condiciones de operación, método de trabajo y performance esperado. Selección por el tipo de perforación:

- Por cobertura o sección del túnel.
 - Por la velocidad de avance.
 - Por el Servicio Posventa.
- **Selección de los métodos de explotación:** Contexto actual de los métodos. Las estructuras mineralizadas en las zonas “Hércules y Coturcan”, son las estructuras más trabajadas y exploradas en la Mina Huancapeti, por los recursos minerales “probado, probable y prospectivo” registrados. Las estructuras mineralizadas en la Mina Huancapeti, cuyo comportamiento “lito-estructural, distribución espacial paragénesis – zoneamiento” y características naturales como “la forma, la distribución de leyes, la topografía, las condiciones hidrogeológicas y condiciones geomecánicas” que exponen las estructuras mineralizadas y su entorno físico en los niveles evaluados constituyen una base de información confiable para propósitos de evaluar los métodos de explotación factibles desde el punto de vista “Geomecánico” para el minado de las “Estructuras Mineralizadas en las zonas Hércules – Coturcan y Caridad”.
 - **Zona Hércules:**
 - ✓ **Topografía.** - La mineralización en el nivel más profundo “4,000 m.s.n.m” de la veta Hércules Manto, presenta un encampane moderado variable entre los “360 - 500 metros de altura”, según interpretaciones geológicas la mineralización profundiza más allá del nivel actual (4,000), esta condición nos permite tipificarlo como un yacimiento de profundidad intermedia (100-600 metros).

- ✓ **Mineralización.** - Las estructuras mineralizadas en esta zona (Hércules) se caracterizan como “relleno de fracturas por soluciones hidrotermales”; se infiere que las fracturas pre- existentes han servido de “paleocanales y receptores de las soluciones hidrotermales”, el alcance de la mineralización en un plano horizontal expone longitudes hasta los 1,400 metros (nivel 06, sin embargo, según cartografiado superficial se aprecia que estas son mayores). La mineralización económica está presente en clavos irregulares en “longitud, profundidad y potencia” separados entre sí por zonas de empobrecimiento. En cuanto a temperaturas de formación el yacimiento ha sido clasificado como un yacimiento “Mesotermal a Epitermal” de “Plomo y Zinc” con contenidos de Plata y Cobre. El ensamble mineralógico constituido por “menas y gangas” presenta:
 - Los minerales de mena, que se aprecian macroscópicamente son: esfalerita (esf), galena (gn), galena argentífera (gn.arg), cobre gris de la variedad freibergita (fb) y tetraedrita (td), calcopirita (cpy), enargita (en). La variedad de la esfalerita que se observa es la blenda rubia y marmatita.
 - Los minerales de ganga, se constituyen de cuarzo (qz), pirita (py), rodrocrosita (rdc), rodonita (rdn), estibina (stb).
- ✓ **Forma y distribución de valores.** - En cuanto a la “forma de la estructura mineralizada y la distribución de contenidos metálicos” según el modelo conceptual se puede precisar que las estructuras mineralizadas en la zona “Hércules” presentan un buzamiento variable

entre “25-32°”, con una distribución de leyes moderada de alcances “variables en horizontal y vertical”. A escala del modelo geológico” se puede inferir que se tratan de geometrías “tabulares a irregulares” para efectos del diseño. La potencia de la mineralización es variable entre los “1.5 metros hasta los 20 metros”, los contactos al piso y techo de las estructuras están definidas por fallas paralelas al rumbo de las estructuras.

- ✓ **Condiciones hidrogeológicas.** - Según auscultaciones de campo, respecto a las condiciones hidrogeológicas que presentan la “estructura mineralizada y su entorno físico” se tiene que el sector de interés se caracteriza por la presencia de masas rocosas fracturadas con marcada exposición de una permeabilidad inducida por el grado de fracturamiento producto de la tectónica del lugar. Estas masas rocosas se tipifican como “seca a parcialmente húmedas”, sin presencia de un nivel freático a la cota evaluada 4,000 m.s.n.m.
- ✓ **Condiciones geomecánicas.** - Las condiciones geomecánicas que exponen las estructuras mineralizadas y su entorno físico se caracterizan por presentar en promedio las siguientes características:
- ✓ **Cajas “techo y piso”** de la estructura mineralizada, caracterizadas por presentar masas rocosas de calidad geomecánica variable, tipificadas según el sistema de valoración geomecánica RMR89 como “Buena – Regular - Mala a Muy Mala” (RMR89: 65-61, 60-41, 40-21, <21). En cuanto al grado de fracturamiento en promedio se muestran fracturadas (RQD: 50-70) a muy fracturas (RQD: 35-50)

- ✓ **Valoración del método, según algoritmo “UBC Mining Method Selector”.** - En este acápite se realiza la valoración cuantitativa de las condiciones naturales que exponen las estructuras mineralizadas. Para este propósito se agrupan los dominios geomecánicos tipo en “las estructuras mineralizadas y cajas

Tabla 7. Dominios característicos “estructura mineralizada y entorno físico”.

Zona	Profundidad desde superficie		Geometría y distribución de leyes				Geomecánica e hidrogeología					
			Potencia	Buzamiento	Forma	Distribución de leyes	Valoración RMR89			Características Geomecánicas		
							Techo	Mineral	Piso	Rugosidad	Meteorización	Agua Subterránea
HÉRCULES	100-600 m	Moderada	1.5 -20 intermedia	25-32° Echado	Tabular Irregular	Moderado	65	55	45	Rugosa	Lig. Alterada	Seca
			1.5 -20 intermedia	25-32° Echado	Tabular Irregular	Moderado	60	50	35	Lig. Rugosa	Mod. Alterada	Húmeda
		Moderada	1.5 -20 intermedia	25-32° Echado	Tabular Irregular	Moderado	50	35	35	Lisa	Muy Alterada	Húmeda-Mojada
			70	60	50							
			60	55	45-50							

Fuente: Departamento de Ingeniería mina, 2022.

Tabla 8. Métodos de explotación – Zona Hércules.

Métodos de explotación	Valoración de la geometría y distribución de valores del mineral					Características geomecánicas relevantes						Valoración final del método
						RMR			Resistencia a la compresión			
	Forma	Buzamiento	Potencia	Dist. Leyes	Profundidad	Mineral	Techo	Piso	Mineral	Techo	Piso	

Sublevel Stopping	4	2	3	4	4	4	4	2	4	5	3	39
Room and Pillar	4	4	1	2	3	3	5	0	3	6	0	31
Cut and Fill	4	1	4	3	3	2	3	2	3	2	3	30

Fuente: Departamento de Ingeniería mina, 2022.

- Criterios para el diseño de rampas:** El diseño de rampas requiere de conocimientos de geometría, trigonometría, física y otras disciplinas teóricas que los ingenieros de minas estudian en su formación profesional, pero el conocimiento práctico y la experiencia, complementan para efectuar un diseño óptimo y acertado; previamente, se deben ejecutar los niveles principales de acceso y extracción, de 60 m a 90 m de encampane o desnivel; así mismo, se debe diseñar y planear la ejecución de chimeneas con máquinas Raíse Borer o Down The Hole, en el eje de la rampa o adyacente a esta, a fin de procurarse los servicios de ventilación, líneas de aire, agua, electricidad, además de los echaderos de mineral y desmonte (ore pass y fil/ pass); de esta manera se aumentará notablemente la eficiencia y la velocidad de su ejecución disminuyendo el tiempo de transporte. Luego, se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

 - ✓ Procurar que la rampa tenga la menor longitud de desarrollo como sea posible.
 - ✓ La gradiente debe ser la óptima para desarrollar velocidades de 20 a 30 km/hora y que todos los vehículos no tengan dificultad para subir.

- ✓ Los radios de curvatura mínimos deben de tener una amplitud suficiente y necesaria para que todos los vehículos puedan girar libremente sin retroceder y evitar accidentes.
- ✓ SI la rampa se va a desarrollar sobre estructura mineralizada, se debe procurar una mínima longitud de desarrollo sobre mineral rico, para reducir los pilares y aumentar el porcentaje de recuperación.
- ✓ La sección transversal debe ser la óptima para la libre circulación de todos los vehículos de la mina; compensando el ancho con la altura, siendo la altura la mínima posible.
- ✓ Tratar de evitar trabajos de sostenimiento, procurando desviar la rampa por terrenos con mejores condiciones de estabilidad y auto soporte.
- ✓ El sostenimiento aplicado es de acuerdo a las evaluaciones geomecánicas del terreno, dependiendo al comportamiento del macizo en niveles inferiores se aplicará sostenimiento distinto de acuerdo a la evaluación.
- ✓ Diariamente se realiza el mapeo Geomecánico junto al área correspondiente, verificando la calidad del terreno y las condiciones para el avance con el sostenimiento adecuado
- ✓ Se tiene un control muy minucioso durante la excavación y durante las voladuras a fin de evitar mayor impacto en el contorno de la excavación y así evitar los derrumbes o realces que nos genera demora en el proceso operativo.

- ✓ Las labores auxiliares a la rampa son ejecutadas de acuerdo a los estándares de minera Lincuna y cumpliendo el diseño entregado por el área de ingeniería y planeamiento
- **Ventilación:** La ventilación es el suministro de aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a las necesidades del trabajador, de los equipos y para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajador, así como para mantener condiciones termo-ambientales confortables. De acuerdo al reglamento interno de seguridad de la compañía minera Lincuna, es obligatorio ventilar como mínimo 60 minutos después de cada disparo. La ventilación de esta labor es forzada mediante ventiladores y mangas de ventilación de 24" a 30" de diámetro y a 15 m del tope de la labor.
- **Regado de carga:** Es de suma importancia regar con agua al material volado con la finalidad de:
 - ✓ Disipar el polvo fino producto de la voladura.
 - ✓ Identificar rocas sueltas y bloques abiertos en corona y hastiales.
 - ✓ Eliminar los gases que se encuentran alojados en los intersticios del material volado.
 - ✓ Detectar los tiros cortados y/o fallados que se pueden presentar.
- **Desate de rocas sueltas:** Siendo el desprendimiento de rocas la principal causa de accidentes en las minas, se instruirá y obligará a los trabajadores a desatar todas las rocas sueltas o peligrosas antes, durante y después de la perforación. Asimismo, antes y después de la voladura. La operación de

desatado manual de rocas deberá ser realizada en forma obligatoria por dos (2) personas; en tanto uno de ellos desata las rocas sueltas, haciendo uso de la barretilla, el otro vigilará el área de desatado, alertando toda situación de riesgo. Se prohibirá terminantemente que esta actividad sea realizada por una sola persona.

- **Limpeza de material:** Luego del acondicionamiento del área de trabajo, se procederá a la realizar la limpieza de material volado Para los que se emplearán equipos Diesel (minería trackless), que permitirán alcanzar una mayor productividad en el desarrollo de las actividades mineras. Siendo así estos equipos sirven para poder realizar la limpieza del frente mismo donde se realizó la voladura, para luego realizar la acumulación o el carguío directo hacia los volquetes para la extracción del material de caja (desmonte) o de mineral.
- **Evaluación del sostenimiento:** Del análisis estereográfico desarrollado en el acápite 5.4, la información mostrada en los planos de “zonificación geomecánica de planta y perfiles transversales al rumbo de las estructuras mineralizadas” en cada uno de las zonas de explotación “Hércules, Coturcan y Caridad” como se aprecia en el Anexo 4 (planos de zonificación geomecánica), la estimación de la magnitud y dirección de los esfuerzos principales”, se estima que las direcciones preferenciales del minado deberían tener una configuración “transversal al rumbo de las estructurales mineralizadas” desde el punto de vista geomecánico, aun cuando esta orientación se configure paralelo a uno de los sistemas de discontinuidades estructurales en los dominios “Caja techo, Estructura mineralizada y Caja

piso” de las zonas. Sin embargo, por razones netamente operativas la empresa viene desarrollando el minado en dirección longitudinal al rumbo de las estructuras mineralizadas. Este punto debe ser tratado con mayor amplitud sobre todo en tópicos orientados a la optimización del método de explotación a mediano plazo.

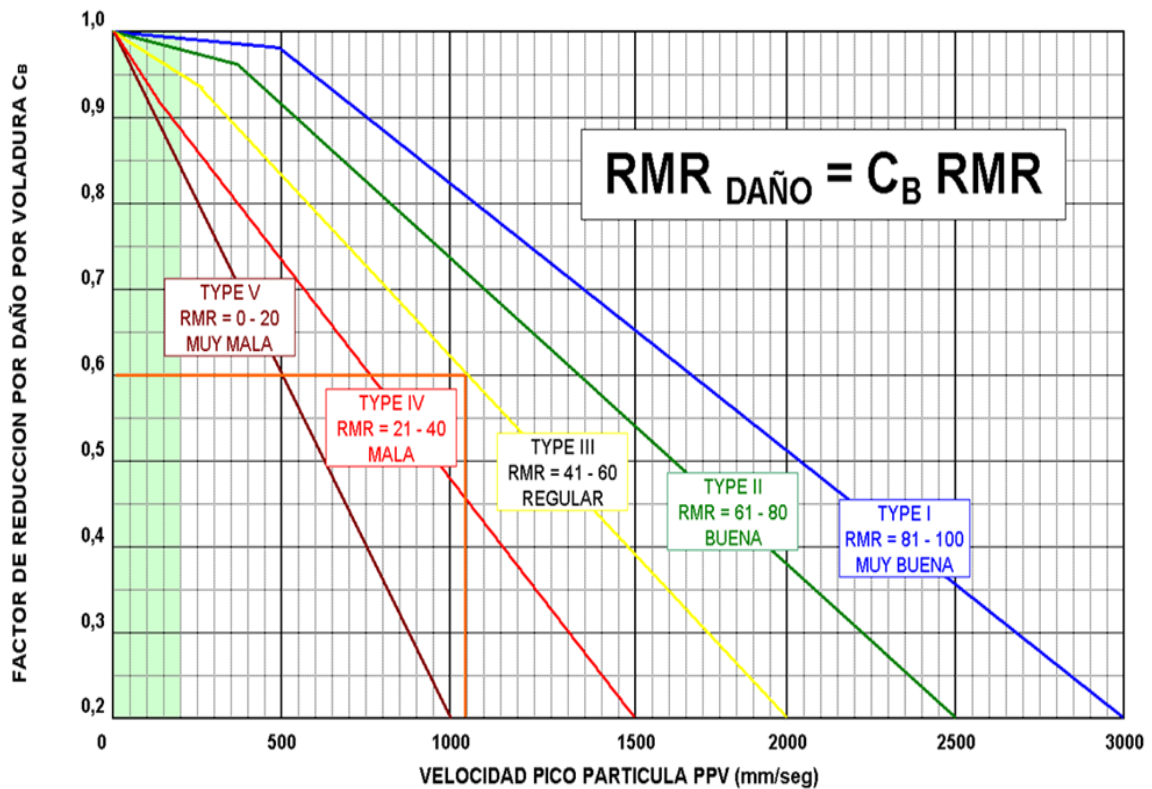
- **Tiempo de “Auto - Soporte VS. Calidad RMR 89.” de la masa rocosa:** De la investigación geomecánica desarrollada en el capítulo 5 del Estudio, se obtiene que la masa rocosa en las áreas de interés (estructuras mineralizadas y su entorno físico) se caracterizan por la presencia de varios dominios geomecánicos (tabla 004), donde las dimensiones de las excavaciones para “Desarrollos, Preparación y Explotación” en la Mina Huancapeti han sido establecidos sobre la base de criterios operacionales utilizando las dimensiones de los equipos (Perforadoras, Camiones, Scooptram, etc.) y estándares de diseño promedio para aplicación de Minería Trackless. Si bien es cierto el dimensionamiento de accesos escapa a criterios técnicos porque se asocia a parámetros operacionales de los equipos y el desempeño de los mismos. La excavación de rocas mediante el uso de técnicas tradicionales (perforación y voladura) genera un nivel de daño considerable en la masa rocosa disminuyendo significativamente sus parámetros de resistencia, a diferencia de las técnicas de excavación recientes (minado continuo usando equipos tipo TBM) con un nivel de daño mínimo a la masa rocosa. Cuantificar el nivel de daño asociado a procesos de voladura implica realizar una valoración “cualitativa y cuantitativa” de los impactos generados.

La voladura definida como “un proceso de rotura de rocas mediante el uso de energía explosiva”, genera daños en la masa rocosa, con efectos muy negativos para la estabilidad. La no aplicación de técnicas adecuadas como “precorte y recorte” durante el proceso de voladura en minas frecuentemente está asociado al “desconocimiento de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso”. Estas malas prácticas de voladura generan niveles de daños considerables que influyen en la inestabilización excavaciones realizadas en la masa rocosa; algunos de los daños inducidos a la roca durante el proceso de voladura son:

- ✓ Apertura de discontinuidades pre-existentes (disminución de la resistencia al esfuerzo de corte entre las paredes de las discontinuidades).
- ✓ Creación de grietas (incrementa el grado de fracturamiento).
- ✓ Reducción de los módulos elásticos.
- ✓ Propagación de fracturas pre-existentes.
- ✓ En términos generales representa una reducción significativa de los parámetros de resistencia (módulos elásticos, cohesión y fricción) de la masa rocosa.
- ✓ Degrada de la calidad geomecánica del macizo rocoso.
- ✓ Para ajustar el valor del RMR (después del proceso de voladura), es necesario el uso de aproximaciones empíricas que permitan valorar cuantitativamente el nivel de daño. En la figura 8, se muestran las

curvas de aproximaciones empíricas que ayudan a predecir la valoración RMR89 después de realizada la voladura. Estas curvas aproximadas para evaluar la reducción de la calidad geomecánica “RMR” de la masa rocosa permiten estimar el nivel de daño (CB) en función a la velocidad pico de partícula del explosivo empleado para romper la roca cuya valoración RMR inicial será disminuido por el daño.

Figura 10. Aproximaciones empíricas del nivel de daño en la roca (CB) en función al tipo de explosivo.



Fuente: Departamento de Ingeniería mina, 2022.

- Para determinar de las “Aberturas máximas y el Tiempo de Autososte” de las excavaciones en la Mina Huancapeti, es necesario realizar ajustes a la calidad de masa rocosa usando las aproximaciones empíricas mostradas en la

figura 043, que permitan determinar el factor de ajuste por daño de voladura “CB), con este factor finalmente se debe obtener el “RMR ajustado” ($RMR_{ajustado} = CB * RMR_{antes\ de\ voladura}$) para cuyo valor se deberá estimar la “Abertura máxima y el Tiempo de Auto-soporte”. Esta práctica debe ser realizada operacionalmente por personal encargado del departamento de geomecánica en forma conjunta con el personal de operaciones para finalmente establecer las “Aberturas máximas y el Tiempo de Auto-soporte” para el RMR ajustado.

- A modo didáctico, en este párrafo se realiza la estimación de “Abertura máxima y el Tiempo de Autosoporte” para valores de RMR89 sin voladura; Es necesario precisar que esto solo representa una metodología, operativamente el personal técnico de la empresa deberá determinar el nivel de daño, ajustar el “RMR” y finalmente establecer las “Aberturas máximas y los Tiempos de Auto - soporte” para el RMR ajustado por daños de voladura.
- Del análisis estereográfico sobre las discontinuidades estructurales (fallas y diaclasas) presentes en la masa rocosa y la evaluación conceptual de los modos de falla, se prevé la ocurrencia de zonas potencialmente inestables desde el punto de vista estructuralmente controlada. Para los propósitos del Estudio es necesario establecer cuáles serán los tipos de sostenimiento (soporte o refuerzo de rocas) a aplicarse según sea el carácter “temporal o permanente” de las excavaciones. Para este propósito resulta fundamental definir “El Tiempo de Autosoporte vs Abierto Máximo” el cual se fundamenta en el ábaco de Bieniawski (tabla 030); este ábaco asocia las “Abertura máximas y el tiempo de Auto-soporte” asociados a una calidad de

roca, con el valor de “Abertura máxima” se ingresa a “Abaco de Bieniawski” (tabla 030) para obtener el “Tiempo de Auto-soporte” en los rangos de “Calidad RMR89 de Bieniawski, modificada por Romana 2000” que expone la masa rocosa en el área de interés. En la tabla 8, se muestran las “Aberturas máximas y los Tiempos de Auto-soporte” en función a la calidad de masa rocosa para excavaciones “temporales y permanentes”.

- Es necesario acotar que las “Aberturas máximas” y el “Tiempo de auto - soporte” no necesariamente cumplen los requisitos de aberturas propias del minado en la mina Hércules, referente a las labores de los desarrollos (Rampa:4.5m x 4.0m, Crucero:4.0m x 4.0m, By Pass: 4.0m x 4.0m, 4.0m x 3.5m), labores de preparación para explotación (Sub-niveles:4.0m x 4.0m) y labores de explotación (Tajeos: 3.0-10.0m de ancho x 4.0-7.0m de altura), estas dimensiones en algunos casos son menores y en otros mayores a las dimensiones estimadas con el ábaco de Bieniawski. Por otro lado, desde el punto de vista de la Seguridad, una operación minera eficiente debe contemplar el “avance estandarizado”. En muchas ocasiones operacionalmente se mal interpreta el “Tiempo de Auto-soporte”, dejando labores abiertas sin sostenimiento; estas labores conforme transcurren el tiempo en los bordes de las excavaciones se comienzan a deteriorar disminuyendo significativamente sus parámetros de resistencia, debido a causas múltiples “esfuerzos, agua, vibraciones, humedad, carencia de ventilación entre otros”. Esta situación de inestabilidad finalmente hace que la Operación Minera, tenga que programar de manera imprevista la colocación del SOSTENIMIENTO, generando pérdidas en el proceso minero. En base a la experiencia se puede acotar “desde el punto vista

“técnico-económico” es favorable instalar el sostenimiento en forma “oportuna”, indistintamente cual sea el carácter “temporal o permanente de la excavación”, con la finalidad de buscar el equilibrio “tenso-deformacional” en la masa rocosa y evitar su descompresión (buscar el restablecer el equilibrio de inmediato).

- **Consideraciones técnicas para la aplicación del sostenimiento:** En base a la evaluación geomecánica, los tipos de sostenimiento aplicables a las condiciones geomecánicas que presenta la masa rocosa en sus distintos Dominios geomecánicos en la Mina Huancapeti serán:
 - ✓ Concreto lanzado (shotcrete)
 - ✓ Pernos helicoidales con inyección de cemento a columna completa (no usar cartuchos de cemento).
 - ✓ Malla electrosoldada de cuadrícula 10 x 10 cm (alambre N°08).
 - ✓ Marcos metálicos (cimbras) completamente elementadas.
 - ✓ Pernos de fricción.
 - ✓ Pernos expansivos. Cuadros de madera.
 - ✓ Paquetes de madera (Wood Packs).

4.4. Indicadores económicos del proyecto profundización de la mina Hércules

Para el cálculo de los indicadores económicos se te toma en cuenta la producción diaria de la mina Hércules que es alrededor de 900 TM/Día.

Tabla 9. Flujo de caja para el cálculo del VAN,

N° DE AÑOS		1	2	3	4	5
INGRESOS POR VENTA (\$)		40,370,400.00	40,370,400.00	40,370,400.00	40,370,400.00	40,370,400.00
COSTOS DE PRODUCCION (\$)		35,640,000.00	35,640,000.00	35,640,000.00	35,640,000.00	35,640,000.00
UTILIDAD ANTES DE DEPRECIACION		4,730,400.00	4,730,400.00	4,730,400.00	4,730,400.00	4,730,400.00
DEPRECIACION		473,040.00	473,040.00	473,040.00	473,040.00	473,040.00
UTILIDAD ANTES DEL AGOTAMIENTO		4,257,360.00	4,257,360.00	4,257,360.00	4,257,360.00	4,257,360.00
AGOTAMIENTO (10%)		425,736.00	425,736.00	425,736.00	425,736.00	425,736.00
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO		3,831,624.00	3,831,624.00	3,831,624.00	3,831,624.00	3,831,624.00
IMPUESTOS 18%		689,692.32	689,692.32	689,692.32	689,692.32	689,692.32
UTILIDAD NETA		3,141,931.68	3,141,931.68	3,141,931.68	3,141,931.68	3,141,931.68
DEPRECIACION		314,193.17	314,193.17	314,193.17	314,193.17	314,193.17
AGOTAMIENTO		425,736.00	425,736.00	425,736.00	425,736.00	425,736.00
FLUJO DE CAJA ECONOMICO	-900,000.00	3,881,860.85	3,881,860.85	3,881,860.85	3,881,860.85	3,881,860.85

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Esta en dólares americanos.

El van calculado es = 17 879,430.55

El TIR = 431%

Demostrándose que es un proyecto totalmente rentable.

4.5. Discusión de resultados

- El sistema de discontinuidad estructural en la mina Hércules se denota como "Dirección de Buzamiento / Buzamiento". 165/77, para el sistema 1 y 341/79, para el sistema 2.
- Dominio lito-estructural en la caja Techo, caracterizado por la presencia de flujos lávicos de composición andesítica, con texturas afaníticas a porfiríticas, de coloraciones verdosas a grisáceas, moderadamente fracturadas, con

marcadas alteraciones hacia el contacto con la "falla caja techo" de la estructura mineralizada. El dominio se muestra muy fracturado en sectores puntuales hacia el contacto caja techo de la estructura mineralizada; 67 (Buena A), 60 (Buena B) y 40 (Regular B).

- De la evaluación técnica que determina la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules podemos concluir que el método que se debe de implementar en casi todos los tajeos es Sublevel Stopping, que obtiene una valoración de 39 calificado por el método de Nicholas, seguido por corte y relleno ascendente 31 y cámaras y pilares 30.
- Del cálculo de los indicadores económicos se te toma en cuenta la producción diaria de la mina Hércules que es alrededor de 900 TM/Día y se obtuvo que el van calculado es = 17 879,430.55 y el TIR = 431%. demostrándose que es un proyecto totalmente rentable

4.6. Aporte del tesista

Se apporto con realizar la evaluación técnica para determinar la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules - Compañía Minera Lincuna – 2022. El cual determino que si es un proyecto que permitirá incrementar la rentabilidad económica de la Mina Hércules.

CONCLUSIONES.

1. Se determinó que la evaluación técnica determinará la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules - Compañía Minera Lincuna, el año 2022, demostrándose que el sistema de discontinuidad estructural en la mina Hércules se denota como "Dirección de Buzamiento / Buzamiento". 165/77, para el sistema 1 y 341/79, para el sistema 2.
2. Se determinó que el dominio lito-estructural en la caja Techo, caracterizado por la presencia de flujos lávicos de composición andesítica, con texturas afaníticas a porfíricas, de coloraciones verdosas a grisáceas, moderadamente fracturadas, con marcadas alteraciones hacia el contacto con la "falla caja techo" de la estructura mineralizada. El dominio se muestra muy fracturado en sectores puntuales hacia el contacto caja techo de la estructura mineralizada; 67 (Buena A), 60 (Buena B) y 40 (Regular B).
3. Se realizó la evaluación técnica que determina la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules podemos concluir que el método que se debe de implementar en casi todos los tajeos es Sublevel Stopping, que obtiene una valoración de 39 calificado por el método de Nicholas, seguido por corte y relleno ascendente 31 y cámaras y pilares 30.
4. Se determinó que del cálculo de los indicadores económicos se toma en cuenta la producción diaria de la mina Hércules que es alrededor de 900 TM/Día y se obtuvo que el VAN calculado es = 17 879,430.55 y el TIR = 431%. demostrándose que es un proyecto totalmente rentable

5. La última campaña de sondajes un determinaron total de 191.377 TM de reservas probadas con un ancho de minado de 3.04 m. y leyes de 3.1 Oz/TM de Ag, 2.1 % de Pb y 2.3 % de Zn.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar el proyecto profundización de la mina Hércules - Compañía Minera Lincuna – 2022.
2. En el proyecto se debe contar con personal más antiguo que trabaja en la mina Hércules el cual permitirá cumplir con metas y tiempos proyectados.
3. Realizar un seguimiento y control a los procesos unitarios por parte de la supervisión desde la evaluación post voladura de la guardia anterior hasta el amarre y voladura del ciclo actual para asegurar un eficiente trabajo, así mismo el control de estándares y PETS según dispone el D.S. 024-216 y su modificadorio D.S. 023-2017.
4. Se recomienda evacuar la carga del material hacia la desmontera en superficie hasta tener tajeos cercanos en relleno, ya que resulta más económico el relleno a tajeos cercanos que el carguío y traslado de material.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ancocallo, V. (2019). *Optimización en la rentabilidad económica de la Veta Coila – Minera Croacia E.I.R.L.* (Tesis de Pregrado). Universidad Tecnológica del Perú. Facultad de Ingeniería. Carrera de Ingeniería de Minas. Arequipa, Perú. .
- Condori, J. (2018). *Modelo de riesgo para la evaluación económica financiera de la explotación de la veta Huascar Nivel 2220 – 2296 Mina Yanaquihua – Arequipa.* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de Geología, Geofísica y Minas Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. Arequipa, Perú.
- De La Sota, J. (2016). *Análisis técnico económico para la explotación por taladros largos en la Veta Caridad - Unidad Huancapeti, Cía. Minera Lincuna S.A.C.* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. Ayacucho, Perú. .
- Departamento de Ingeniería mina. (2022). *Estudio Geo mecánico Mina Hércules.* Ticapampa, Perú.
- Gil, R. R. y Ramírez, D. k. (2021). *Evaluación técnica y económica de la labor esperanza del proyecto minero La Carmina VI, Cajamarca – 2021.* (Tesis de Pregrado). Universidad Privada del Norte. Facultad de Ingeniería. Carrera de Ingeniería de Minas. Cajamarca, Peru.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. . (2006). *Metodología de la Investigación.* Editorial Mc Graw Hill, Cuarta Edición. México.
- ITGE, Instituto Tecnológico Geo Minero de España. (1998). *Manual de Evaluación Técnico - Económica de proyectos mineros de inversión.* Ministerio de Industria,

Turismo y Comercio Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales.

Madrid, España. .

Jesus, D. (2018). *Evaluación Técnica- Económica del proyecto minero Utcuyacu 2016.*

(Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas. Huaraz, Perú. .

López, A. . (2017). *Viabilidad económica financiera de minado Veta Chaparral del*

yacimiento Aurífero San Francisco, Golden River Resources S.A.C. – Arequipa.

(Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Altiplano Facultad de Ingeniería de Minas Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. Puno, Perú.

Paricahua, M. (2014). *Diseño de la galería paralela 270-1 e integración de Rampas 400 y*

1000 para incrementar la producción en la zona Hércules Cía. Minera

Huancapeti. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú. .

Tancayllo, R. (2018). *Flotación y cianuración de los relaves de Ticapampa propiedad de*

la Compañía Minera Lincuna. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de San Agustín. Facultad de Ingeniería de Procesos. Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica. Arequipa, Perú.

Vela, N. (2020). *Proyecto de profundización de la mina Coturcan para el incremento de*

reservas mediante la Rampa 0388 Compañía Minera Lincuna - U.E.A. Huancapetí.

(Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de Geología, Geofísica y Minas. Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. Arequipa, Perú.

ANEXO



ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIAS

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA	POBLACION
<p>Problema General</p> <p>¿Cómo realizar la evaluación técnica para determinar la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules - Compañía Minera Lincuna – 2022?</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Realizar la evaluación técnica para determinar la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules - Compañía Minera Lincuna – 2022.</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>La evaluación técnica determinará la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules - Compañía Minera Lincuna – 2022.</p> <p>Hipótesis Nula.</p> <p>La evaluación técnica NO determinará la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules - Compañía Minera Lincuna – 2022.</p>	<p>Variable Independiente (x)</p> <p>Evaluación técnica.</p> <p>Variable dependiente (y)</p> <p>Viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules.</p>	<p>Tipo</p> <p>El tipo de investigación es Aplicada.</p> <p>Nivel de la investigación</p> <p>El nivel será de investigación descriptiva.</p> <p>Método</p> <p>La investigación que se desarrolló, utilizó el Método Científico, deductivo.</p>	<p>Población</p> <p>La población para este trabajo de investigación está constituida por el Distrito Minero de Ticapampa cubre un área aproximada de 16,400 hectáreas.</p> <p>Muestra</p> <p>La muestra está constituida por la mina Hércules.</p>
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas			
¿Cuáles son las condiciones geomecánicas del macizo rocoso del proyecto profundización de la mina Hércules?	Determinar las condiciones geomecánicas del macizo rocoso del proyecto profundización de la mina Hércules.	Se determina las condiciones geomecánicas del macizo rocoso del proyecto profundización de la mina Hércules.			
¿Qué resultados de la evaluación técnica determinarán la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules?	Evaluación técnica para determinar la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules.	Se realiza la evaluación técnica para determinar la viabilidad del proyecto profundización de la mina Hércules.			
¿Cuáles son los indicadores económicos del proyecto profundización de la mina Hércules?	Determinar los indicadores económicos del proyecto profundización de la mina Hércules.	Se determina los indicadores económicos del proyecto profundización de la mina Hércules.			

Fuente: Elaboración propia.

