



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**MINIMIZACIÓN DE COSTOS DE REFORZAMIENTO CON
PERNOS HYDRABOLT Y MALLA ELECTROSOLDADA EN LA
RAMPA SAN ANDRÉS DE LA EMPRESA MINERA AURÍFERA
ESTRELLA DE CHAPARRA S.A. - AREQUIPA**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. EMMA ESPILLICO CHURA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2023



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

MINIMIZACIÓN DE COSTOS DE REFORZAMIENTO CON PERNOS HYDRABOLT Y MALLA ELECTROSOLDADA EN LA RAMP A SAN

AUTOR

EMMA ESPILICO CHURA

RECuento de palabras

12022 Words

RECuento de caracteres

67245 Characters

RECuento de páginas

68 Pages

Tamaño del archivo

1.1MB

Fecha de entrega

Jul 18, 2023 10:30 AM GMT-5

Fecha del informe

Jul 18, 2023 10:30 AM GMT-5

● **9% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)




Dr. Roberto Chávez Flores
INGENIERO DE MINAS
CIP 32841

Resumen



DEDICATORIA

A mis distinguidos padres por su apoyo incondicional a mi persona para la culminación de mis estudios superiores hasta lograr mi título profesional como Ingeniero de Minas.

A mi hija Dianna por su apoyo moral para desarrollar y concluir mi trabajo de investigación hasta la obtención de mi título profesional.

Emma.



AGRADECIMIENTOS

Primero mi gratitud a Dios, por conceder vida y conocimientos para desarrollar mis estudios profesionales.

A mi Alma Mater, la UNA – Puno, por permitir las aulas del saber para mi formación académica y profesional hasta lograr mi anhelada profesión.

A la Carrera Profesional de Ingeniería de Minas, a sus docentes, por haber impartido los conocimientos en el área de Ingeniería de Minas para lograr mi carrera profesional.

Emma.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN12

ABSTRACT.....13

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA14

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA15

1.2.1. Pregunta general 15

1.2.2. Preguntas específicas..... 15

1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS15

1.3.1. Hipótesis general 15

1.3.2. Hipótesis específicas 15

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN16

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....17

1.5.1. Objetivo general 17

1.5.2. Objetivos específicos..... 17

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....18



2.2. MARCO TEÓRICO	21
2.2.1. Sostenimiento en labores subterráneas.....	21
2.2.2. Reforzamiento con cuadros de madera	22
2.2.3. Fortificación a utilizar	24
2.2.4. Estructura de roca.....	24
2.2.5. Defectos mecánicos de la roca	24
2.2.6. Defectos químicos de la roca	25
2.2.7. Defectos por humedad.....	26
2.2.8. Defectos de origen hidrotermal	26
2.2.9. Características de la roca.....	26
2.2.10. Masa rocosa.....	27
2.2.11. Condiciones de la masa rocosa.....	27
2.2.12. Propiedades técnicas de la roca	28
2.2.13. Criterios según las condiciones de las paredes de discontinuidades	30
2.2.14. Condiciones geomecánicas	30
2.2.15. Clasificación geomecánica.....	31
2.2.16. Geomecánica	33
2.2.17. Mecánica de rocas	34
2.2.18. Beneficios de la geomecánica	35
2.2.19. Mapeo geomecánico.....	35
2.2.20. Pernos de roca	37
2.2.21. Malla electrosoldada	38
2.2.22. Tipos de Costos	39
2.2.23. Estimación de los costos	40
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	41



2.3.1. Sostenimiento	41
2.3.2. Labor	41
2.3.3. Geomecánica	41
2.3.4. Cuadros de madera	42
2.3.5. Puntales	42
2.3.6. Perforación	42
2.3.7. Perno Hydrabolt	42
2.3.8. Malla electrosoldada	42
2.3.9. Falla.....	43
2.3.10. Fisura.....	43
2.3.11. Macizo rocoso	43
2.3.12. Costos	43

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN	44
3.2. ACCESIBILIDAD	44
3.3. DISEÑO METODOLÓGICO	45
3.3.1. Tipo de investigación	45
3.4. POBLACIÓN	45
3.5. MUESTRA	46
3.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	46
3.6.1. Variable independiente.....	46
3.6.2. Variable dependiente.....	46
3.7. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	47
3.7.1. Técnicas para el procesamiento de la información	47



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS	48
4.1.1. Sistema de reforzamiento en la rampa san andrés.....	48
4.1.2. Resultados según los objetivos específicos	49
4.1.3. Puntales de madera para sostenimiento.....	49
4.1.4. Costo de puntales de madera.....	49
4.1.5. Costo de instalación de sostenimiento con madera.....	50
4.1.6. Reforzamiento con pernos Hydrabolt y malla.....	52
4.1.7. Costo de pernos Hydrabolt y malla electrosoldada.....	53
4.1.8. Costo de instalación de reforzamiento con pernos Hydrabolt y malla.....	55
4.2. DISCUSIÓN	57
V. CONCLUSIONES.....	59
VI. RECOMENDACIONES	60
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXOS.....	64

Área: Ingeniería de Minas.

Línea: Análisis de costos y comercialización de Minerales.

Fecha de sustentación: 24 de julio del 2023



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño de malla electrosoldada y pernos Hydrabolt.....	54
---	----



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Relación RQD – Calidad de roca	32
Tabla 2.	Ruta de acceso a la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A.	44
Tabla 3.	Operacionalización de variables	47
Tabla 4.	Características geomecánicas de la Rampa San Andrés	49
Tabla 5.	Costo de los diferentes puntales de madera incluido el transporte	50
Tabla 6.	Mano de obra T.C. 1 US\$ = S/. 3,76.....	50
Tabla 7.	Costo de puntales de madera utilizados para el sostenimiento	51
Tabla 8.	Costo de herramientas utilizadas	51
Tabla 9.	Costo de equipos de seguridad.....	52
Tabla 10.	Costo de mano de obra T.C. 1 US\$ = S/. 3,76.....	55
Tabla 11.	Costo del equipo de reforzamiento con pernos Hydrabolt y malla electrosoldada	55
Tabla 12.	Costo de materiales de reforzamiento con pernos Hydrabolt y malla	56
Tabla 13.	Costo de herramientas para reforzamiento con pernos Hydrabolt y malla ..	56
Tabla 14.	Costo de equipos de seguridad con pernos Hydrabolt y malla	57



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

S.A.	: Sociedad Anónima
U.T.M	: Universal Transversal Mercator
m.s.n.m.	: metros sobre el nivel del mar
Tm	: tonelada métrica
gr	: gramo
kg	: kilogramo
m	: metro
mm	: milímetro
m²	: metro cuadrado
m³	: metro cúbico
S.O.	: Sur Oeste



RESUMEN

La Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. extrae el mineral aurífero aplicando el sistema de Corte y Relleno Ascendente Convencional y para el reforzamiento de las labores subterráneas utilizó cuadros de madera y según la evaluación realizada en la Rampa San Andrés de una distancia de 380 metros lineales y una sección de 2,50 m x 2,60 m, tuvo problemas de elevados costos de reforzamiento. El costo unitario de reforzamiento con madera fue de 25,12 US\$/m². El objetivo del trabajo de investigación fue “minimizar los costos de reforzamiento mediante los pernos Hydrabolt y malla electrosoldada en la Rampa San Andrés de la Empresa Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa”. La metodología de estudio fue de un enfoque cuantitativo, diseño experimental y longitudinal, porque se tomó los datos en diferentes momentos. El proceso para desarrollar el trabajo de investigación consistió en realizar la evaluación del reforzamiento con cuadros de madera teniendo en consideración el costo de madera, costo de instalación. En el trabajo de investigación se analizó el costo de pernos Hydrabolt, malla electrosoldada, costos de instalación del sistema. Para determinar el sistema de reforzamiento se realizó el análisis de los costos con cuadros de madera y con pernos Hydrabolt y malla electrosoldada, llegando a los resultados y conclusiones en donde, el costo del sistema de reforzamiento con cuadros madera fue 27,03 US\$/m² y al optar por pernos Hydrabolt y malla electrosoldada, los costos de reforzamiento se minimizaron a 24,85 US \$/m², obteniendo un beneficio de 2,18 US \$/m², que representa una reducción de costos en 8,07 % a favor de la empresa en el desarrollo de la Rampa San Andrés de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa.

Palabras claves: Costos, Hydrabolt, madera, malla, minimizar, pernos, reforzamiento.



ABSTRACT

Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. extracts gold ore using the Conventional Cut and Fill Ascending system and for the reinforcement of the subway workings used wooden frames and according to the evaluation carried out in the San Andrés Ramp with a distance of 380 linear meters and a section of 2.50 m x 2.60 m, it had problems of high reinforcement costs. The unit cost of reinforcement with wood was US\$ 25.12/m². The objective of the research work was to minimize the costs of reinforcement using Hydrabolt bolts and electrowelded mesh in the San Andres Ramp of Empresa Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. - Arequipa. The study methodology was of a quantitative approach, experimental and longitudinal design, because the data was taken at different times. The process to develop the research work consisted of carrying out the evaluation of the reinforcement with wooden frames taking into consideration the cost of wood, installation cost. In the research work, the cost of Hydrabolt bolts, electrowelded mesh, installation costs of the system were analyzed. In order to determine the reinforcement system, the analysis of the costs with wood frames and with Hydrabolt bolts and electrowelded mesh was carried out. reaching the results and conclusions where the cost of the reinforcement system with wood frames was 27.03 US\$/m² and by choosing Hydrabolt bolts and electrowelded mesh, the reinforcement costs were minimized to 24.85 US \$/m², obtaining a benefit of 2.18 US \$/m², which represents a cost reduction of 8.07 % in favor of the company in the development of the San Andres Ramp of the Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. - Arequipa.

Key words: Costs, Hydrabolt, wood, mesh, minimize, bolts, reinforcement.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A., explota el mineral aurífero mediante el sistema de Corte y Relleno Ascendente Convencional y para el reforzamiento de labores subterráneas utilizó cuadros de madera. Según la evaluación de costos en la Rampa San Andrés de una sección de 2,50 m x 2,60 m se detectó problemas de elevados costos de reforzamiento por las deficiencias que presentó la madera, elevados costos de transporte por la adquisición de lugares distantes a la zona minera, problemas de abastecimiento y mayores tiempos de instalación y el requerimiento de un personal especializado en trabajos de armado de cuadros de madera. Requiere el cambio inmediato lo cual ocasiona elevados costos de reforzamiento y la causa fundamental es que la madera se honguea en lugares húmedos y además influye en los costos de producción. El costo de reforzamiento con madera fue de 27,03 US \$/m². De proseguir con este problema hubiera afectado a elevados costos de producción del yacimiento mineral en la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa.

Para minimizar los costos de reforzamiento se optó como alternativa el reforzamiento con pernos Hydrabolt y malla electrosoldada, cuya aplicación generó mejores beneficios económicos y mayor seguridad para realizar las operaciones subterráneas en las labores de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa.



1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

1.2.1. Pregunta general

¿Cuál es la minimización de los costos de reforzamiento con pernos Hydrabolt y malla electrosoldada en referencia con cuadros de madera en la Rampa San Andrés de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. - Arequipa?

1.2.2. Preguntas específicas

- a. ¿Cuál es el costo de reforzamiento con cuadros de madera en la Rampa San Andrés de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. - Arequipa?
- b. ¿Cómo se minimiza los costos de reforzamiento con pernos Hydrabolt y malla electrosoldada en la Rampa San Andrés de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. - Arequipa?

1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis general

Con el sistema de pernos Hydrabolt y malla electrosoldada en referencia con cuadros de madera minimiza los costos de reforzamiento en la Rampa San Andrés de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa.

1.3.2. Hipótesis específicas

- a. Con el sistema de cuadros de madera los costos de reforzamiento son elevados en la Rampa San Andrés de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa.



- b. Con el uso de los pernos Hydrabolt y malla electrosoldada se minimiza los costos de reforzamiento en la Rampa San Andrés de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

“La Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa, según la cubicación de reservas del mineral, posee 532 384 Tm de mineral probado y 282 192 Tm de mineral probable de oro con una ley de 6,87 g/t y para la extracción de la reserva mineral se requirió diferentes labores mineras”, los cuales para su estabilidad fue necesario el reforzamiento de estas labores para garantizar la seguridad a los trabajadores de la Unidad Minera (Departamento de Geología, 2020).

La Empresa Minera, explota el mineral aurífero, aplicando el método de Corte y Relleno Ascendente Convencional y para garantizar la seguridad a los trabajadores de la Empresa Minera, utilizó el sistema de reforzamiento con cuadros de madera, cuya aplicación ocasionó el problema de mayores costos de reforzamiento, ocasionando elevados costos de producción del mineral aurífero y como alternativa se planteó reemplazar la madera con pernos Hydrabolt y malla electrosoldada, en la Rampa San Andrés.

El estudio, fue de mucha importancia para la Empresa Minera, porque permitió mejores condiciones laborales a los trabajadores y generó buenos resultados económicos y mayor rentabilidad para la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa.



1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Minimizar los costos de reforzamiento con pernos Hydrabolt y malla electrosoldada en referencia con cuadros de madera en la Rampa San Andrés de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa.

1.5.2. Objetivos específicos

- a.** Determinar los costos reforzamiento con cuadros de madera en la Rampa San Andrés de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa.
- b.** Minimizar los costos de reforzamiento con pernos Hydrabolt y malla electrosoldada en la Rampa San Andrés de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Canahua (2021) en su estudio indica que la caracterización geomecánica determinó el diseño del tipo de sostenimiento con cimbras metálicas, debido al comportamiento del tipo de roca que era mala a muy mala, además se mejoró la productividad al no tener demoras operativas en comparación con sostenimiento de cuadros de madera.

Mejía (2020) en su trabajo concluye que se seleccionó el sostenimiento con cuadros de madera por las condiciones de la galería principal y la determinación del estudio geomecánico de los puntos críticos para su implementación con cuadros de madera para evitar accidentes en las labores mineras, y que los trabajadores realicen sus actividades de manera segura.

Alva (2019) en su trabajo indica que “se optimizó el sostenimiento con pernos helicoidales y pernos Split set de 5 pies, mediante un control de calidad durante todo el proceso de instalación realizando desde la compra hasta después de su instalación, lo que permitió que las barras helicoidales y los pernos Split set sean mejor instalados” y lograr que su eficiencia en el sostenimiento de labores subterráneas.

Corrales (2019) en su estudio concluye que mediante “el sistema de sostenimiento mecanizado con pernos Split Set y malla electrosoldada vs. cuadros de madera los costos se redujeron de 22,39 US \$/m² a 20.19 US\$/m², con una diferencia de 2,20 US \$/m² en la Galería San Fernando de la Unidad Minera Esperanza de Caravelí – Arequipa”.



Muñoz (2019) en su estudio concluye que, al realizar el sostenimiento mecanizado con pernos de anclaje, se obtuvo una mejora en la recuperación del mineral anual de 107 151,51 Tm, elevándose a 169 656,55 Tm, logrando un incremento de 62 505,04 Tm, lo cual mejoró la productividad de la unidad minera.

Gonzales (2018) En su estudio se demostró que para una “roca regular III B en condiciones de esfuerzo bajo a moderado, los pernos Split set de 7 pies logran una capacidad de anclaje eficiente con un factor de seguridad de 1,80 en macizos rocosos de tipo III B que representan el 40% del total de labores mineras, lo cual requiere un elevado consumo de Shotcrete”.

Narváez (2017) en su trabajo concluyó que mediante el Jumbo Axera J -15 retráctil como equipo principal de sostenimiento se optimizó los costos unitarios de 23,60 US\$/perno a 19,28 US\$/perno, con una diferencia de 4,32 US\$/perno. La metodología utilizada consistió en evaluar los costos de los pernos helicoidales, costos de accesorios y materiales y el costo horario de instalación del Jumbo Retractil.

Escalante (2016) en su estudio de investigación concluyó que con el “sistema de sostenimiento de cuadros de madera en las labores de explotación los costos fueron de 20,27 \$/tn y con el sistema de mecanizado de los pernos Split Set y malla electrosoldada los costos se redujeron a 19,04 \$/tn, con una diferencia de 1,23 \$/tn del mineral”. La metodología para desarrollar el trabajo de investigación consistió en analizar los costos de los puntales de madera utilizada, costos de instalación, costos de materiales y luego se sumó los costos parciales y posteriormente se analizó el sostenimiento con pernos Split Set y malla electrosoldada, teniendo en cuenta los costos de los pernos, costos de la malla electrosoldada, costos de instalación y finalmente se realizó el análisis de costos de ambos sistemas de sostenimiento.



Laurente (2014) en su trabajo de investigación concluye que el costo unitario de sostenimiento con cuadros de madera resultó en 143,45 US\$/cuadro, con Split set de 6 pies fue de 12,86 US\$/perno y con pernos Hydrabolt de 6 pies fue de 20,88 US\$/perno.

Torres (2011) concluyó en su estudio que el uso del “sistema de sostenimiento de Pernos Split Set y Malla Electrosoldada resultó el más económico que el sostenimiento con puntales de madera y además generó mejores beneficios económicos en la Unidad Minera El Cofre, Puno”.

Antúnez (2010) en su trabajo de investigación concluyó “que usando este tipo de sostenimiento contribuyó a la reducción de costos en cuanto al uso de materiales para sostenimiento y también en el tiempo de instalación del sistema”. El costo anterior de 22,43 US\$/m², se redujo a 20,37 US\$/m². La metodología usada consistió en evaluar el costo de los pernos helicoidales por metro cuadrado, costos de materiales y el costo horario de instalación del Jumbo Hidráulico.

Sanca (2009) Basándose en sus hallazgos, llegó a la conclusión de que los análisis geomecánicos previos realizados con la técnica GSI indicaban que el sostenimiento mediante armazones de madera y pernos de anclaje se empleaba para mantener la integridad de las obras subterráneas. En el análisis del estudio se sopesaron los costes de la madera, los costes de instalación, el tiempo de duración, las ventajas e inconvenientes de la madera y el sostenimiento con pernos de anclaje, junto con el precio de los propios pernos, los costes de instalación y el tiempo de duración. El coste de la asistencia se analizó al final del proceso.

Soncco (2005) Basándose en sus conclusiones, es esencial determinar primero el tipo de sostenimiento y el momento en que debe colocarse para evitar el desprendimiento de bloques de roca, que puede causar accidentes laborales y pérdidas económicas en las



operaciones subterráneas, cuando se utilizan los métodos de explotación de Corte y Relleno Ascendente Convencional y Mecanizado. Además, detalla la categorización geomecánica y la cartografía según un Índice de Resistencia Geológica modificado, así como los informes de control diario y el diseño del sostenimiento.

Flores (2001) Basándose en su investigación, determinó que una de las muchas ventajas del sistema era la posibilidad de colgar mangueras de ventilación, mangueras de agua y aire a presión de la cabeza del perno de anclaje. El método utilizado para calcular el coste de 21,5 \$/Tm incluía el análisis del coste de instalación, la duración y la eficacia del sistema de soporte de los pernos de anclaje.

Apaza (1999) en su trabajo de investigación, concluyó que el control de sostenimiento fue muy importante en las labores subterráneas de la Unidad Minera, porque a través de los controles realizados se corrigieron los errores que se cometieron en la aplicación de los tipos de sostenimiento con pernos de roca y cuadros de madera.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Sostenimiento en labores subterráneas

En la explotación subterránea, el sostenimiento de las labores mineras es un proceso esencial para proteger de accidentes laborales a los trabajadores y al equipo utilizado. Se debe diferenciar entre refuerzo y soporte de roca, refuerzo de roca consiste en utilizar el sistema de empernado para proveer un refuerzo al macizo rocoso con la finalidad de aumentar la resistencia friccional entre los bloques de roca que la conforma, mientras que, soporte de roca consiste en utilizar cerchas de acero, shotcrete, cuadro de madera que se diseñan para lograr la estabilidad del macizo rocoso mediante el control del colapso progresivo de la



roca. En términos generales se dice que el refuerzo de roca es un sistema activo, mientras que el soporte de roca es un sistema pasivo (Torres, 2011).

2.2.2. Reforzamiento con cuadros de madera

El reforzamiento de una labor minera con cuadros de madera se realiza con la finalidad de mantener la estabilidad del macizo rocoso y así evitar la caída de rocas y reducir los accidentes laborales durante la explotación del yacimiento mineral y compensando el equilibrio inestable del macizo rocoso que soporta (Escalante,2016).

a) Resistencia de la madera

El comportamiento de los puntales de madera, se considera como un conjunto de tubos paralelos, que soportan y resisten mucho mejor a la presión de la roca insitu, y tiene mayor duración en zonas secas donde no hay mucha filtración de agua. Una elevada presión en los extremos de un rollizo de madera origina una rajadura de forma longitudinal ocasionando el pandeo del puntal de madera y una elevada presión en los lados, compacta a las células y comprime el rollizo de madera, luego el rollizo se dobla y genera la ruptura de la madera. En la explotación de minas subterráneas con métodos convencionales se usa más la madera de eucalipto presentando características favorables para el sostenimiento (Flores, 2001).

b) Fortificación con madera

La mayoría de las explotaciones mineras de nuestro país, incluidas galerías, puentes, chimeneas, subniveles, tolvas y preparación de tajos, utilizan



este tipo de soporte. En las regiones donde el macizo rocoso se está agrietando y derrumbando, se emplean entramados de madera. (Flores, 2001).

c) Cuadros de madera

Sirven de cimientos para la mina, y su diseño depende de la topografía y los factores ambientales únicos en juego. Se utilizan tanto en construcciones planas como inclinadas. Sus proporciones se ajustan al diseño de la obra. (Escalante, 2016).

d) Tipos de cuadros

Cuadros rectos: Estos cuadros de madera se usan cuando hay mayor presión en el techo de una labor minera subterránea, fundamentalmente están conformados por tres elementos o piezas, un sombrero en la parte superior y dos postes en los laterales de la labor, que se aseguran con puntales y cuñas de madera, la característica principal de estos cuadros es que forman los postes un ángulo de 90° con el sombrero (Maldonado, 2008).

Cuadros cónicos: Estos cuadros de madera se utilizan en los casos en donde la mayor presión de la roca proviene de los laterales o hastiales, se diferencian de los cuadros rectos, es que en los cuadros cónicos se reduce la longitud del sombrero, y los postes laterales se inclinan formando un ángulo promedio de 80° a 83° , en referencia al piso, quedando de una forma trapezoidal (Maldonado, 2008).

Cuadros cojos: Constan de un solo poste y un sombrero, y se despliegan en vetas con una potencia de 3 metros o menos. Ayudan a aumentar la eficiencia operativa al liberar espacio en el suelo, y pueden colocarse en posición vertical o



inclinada, según la orientación de la estructura mineralizada subyacente. (Maldonado, 2008).

2.2.3. Fortificación a utilizar

La Empresa Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa, para utilizar el tipo de sostenimiento en las labores minera subterráneas, requiere primeramente de un estudio geomecánico de las características de cada labor minera, y según las recomendaciones del departamento de geomecánica se define el tipo de sostenimiento a utilizar que puede ser cuadros de madera o pernos y malla electrosoldada u otro tipo de sostenimiento, para una mejor compresión, se describe los índices de clasificación de rocas (Ramírez, 2000).

2.2.4. Estructura de roca

La estructura es otro criterio que puede utilizarse para clasificar las distintas especies de rocas. Las rocas masivas, como el granito, tienen sus granos minerales distribuidos uniformemente por toda la roca. Los granos minerales de una roca especie laminada se organizan en una estructura estratificada, denominada laminillas.

2.2.5. Defectos mecánicos de la roca

“Generalmente todas las rocas poseen o presentan los defectos mecánicos, que no tienen una relación directa con sus propiedades”. El defecto consiste en fracturas con espacios variables, que son en direcciones distintas y longitudes. Las fracturas simples se denominan como juntas y las fracturas de mayor magnitud, con desplazamiento relativo de dos tipos de masa rocosa contigua, se llaman



fallas. En algunos casos la roca adyacente a la falla es totalmente triturada; entonces esta zona de roca constituye la Zona de Brecha (Espinoza, 2009).

Juntas: El término “junta” indica una rajadura o plano de división, a lo largo del cual no existen desplazamientos sensibles. Una junta puede ser abierta o cerrada, siendo las juntas cerradas hasta invisibles, como las de algunas rocas ígneas, resultado de la contracción de la masa rocosa durante el proceso de enfriamiento. Muchas de las juntas en rocas deformadas determinan el lado débil por donde se producen roturas por tensión (Espinoza, 2009).

Fallas, plegamientos y empujes: Estos términos indican el efecto de mayores movimientos en la masa rocosa, abarcando desplazamientos a lo largo de los planos de falla. En contraste con el origen de una junta, las fuertes deformaciones dan lugar a que las fallas abarquen grandes extensiones, lo que se conoce como “Zona Tectónica” (Espinoza, 2009).

2.2.6. Defectos químicos de la roca

Describe los cambios químicos que se producen en las partes de las rocas cuando entran en contacto con el agua. "Gracias a los planos de unión y las fracturas, el agua puede penetrar en la masa rocosa y entrar en contacto con los granos minerales de los intersticios. “Allí donde el agua se filtra continuamente a través de las grietas de la roca, la química está siempre en acción. Las zonas de alteración de la roca se definen por esta condición, y pueden estar en la superficie de la roca o en las profundidades de la misma”. (Ramírez, 2000).



2.2.7. Defectos por humedad

La acción del agua de lluvia o deshielo al filtrar en el cuerpo rocoso tiene un efecto doblemente activo. Químicamente inestabiliza los constituyentes como el carbonato de calcio, con productos solubles de la descomposición química, siendo renovados en solución. A la combinación de este proceso se denomina “Secado Químico” y a la renovación de los constituyentes solubles se conoce como “Lixiviación” (Torres, 2011).

2.2.8. Defectos de origen hidrotermal

En algunas regiones del macizo rocoso, los vacíos son saturados por una solución acuosa caliente como resultado de la influencia de la temperatura del cuerpo rocoso, a cierta profundidad o altura de cobertura; los cambios producidos por esos agentes son conocidos como alteración hidrotermal; esta solución puede impregnar íntegramente la masa rocosa o tangencialmente a zonas de falla cercanas. La alteración química producida por esta solución depende de la composición de la roca, además de la temperatura con que se producen estos cambios (Torres, 2011).

2.2.9. Características de la roca

Las rocas son conjuntos de minerales que constituyen partes importantes de la corteza terrestre. Según cómo se hayan formado, las rocas pueden ser ígneas, sedimentarias o metamórficas. Existen tres tipos principales de rocas: ígneas, sedimentarias y metamórficas. Las rocas ígneas se generan cuando la lava se enfría y solidifica, mientras que las rocas sedimentarias se crean cuando se depositan sedimentos. (Espinoza, 2009).



“Por otra parte, un espécimen de mano o un trozo de núcleo podrían sustituir al bloque más grande de roca intacta que existe entre las discontinuidades”. (Espinoza, 2009).

2.2.10. Masa rocosa

Las juntas, los estratos, las fallas y otros elementos estructurales, como las cajas de techo y suelo de una veta, son ejemplos de discontinuidades que se encuentran en el medio in situ. Para conocer la masa rocosa, es necesario lavar el techo y las paredes de las explotaciones mineras y, a continuación, estudiar las distintas cualidades de las discontinuidades. Las propiedades geomecánicas de la masa rocosa pueden deducirse a partir de estas mediciones. A partir de esta guía, el supervisor debe evaluar sistemáticamente las condiciones geomecánicas a medida que avanzan los trabajos de desarrollo y explotación, teniendo en cuenta la heterogeneidad inherente al macizo rocoso. En casos extremos, el supervisor debe realizar un mapeo geomecánico, que implica técnicas como el registro lineal, en el que extiende una cinta métrica a través de la pared rocosa y registra meticulosamente información sobre las discontinuidades, evitando registrar información sobre las fracturas inducidas por voladuras. Se utilizarán formatos específicamente diseñados para capturar los datos, que posteriormente se procesarán y se incluirán en los planos de las operaciones mineras. (Espinoza, 2009).

2.2.11. Condiciones de la masa rocosa

La masa rocosa se comportará de una manera específica durante la excavación en función de cómo se presenten sus propiedades. La masa rocosa será competente y ofrecerá circunstancias favorables durante la excavación si la roca



completa es dura o resistente y las discontinuidades presentan cualidades beneficiosas. La masa rocosa será incompetente y ofrecerá circunstancias adversas durante la excavación si la roca completa es débil o tiene poca resistencia y las discontinuidades exhiben atributos indeseables. En los casos entre estos dos extremos, la roca excavada estará en condiciones aceptables. (Ramírez, 2000).

2.2.12. Propiedades técnicas de la roca

Las propiedades físicas de una roca dependen en gran parte del intemperismo, así ocurre cuando la roca más dura y más durable se expone por un tiempo suficientemente prolongado a la intemperie; esta, debido a sus defectos físicos y químicos, se descompone en un material suelto y sin consolidación como es el suelo. En las rocas frescas que no se encuentran expuestas a la intemperie, sus propiedades físicas dependen de las propiedades de sus componentes minerales, es así como el tamaño, disposición y el grado de ligazón en que los granos de los minerales están unidos entre sí, determinan la estructura, la foliación, el fracturamiento y estratificación de la masa rocosa (Espinoza, 2009).

En las rocas ígneas, sus propiedades físicas son las menos variables, a excepción de los efectos de fracturamiento; en cambio en las rocas sedimentarias, las propiedades físicas son tan variables que resulta difícil definir las porque pueden variar entre límites muy amplios, entonces se establecen promedios de las propiedades para muestras sanas o inalteradas en los tipos más comunes de rocas, pero en la práctica cada depósito tiene que evaluarse individualmente. Algunas propiedades de las rocas que tienen significación en tunelería son: peso, porosidad, resistencia a la compresión, resistencia al corte, dureza, durabilidad, tenacidad y perforabilidad o desgaste. Entre las rocas más pesadas se encuentran



las ígneas oscuras y las metamórficas, siendo así que el basalto, grabo y algunos esquistos tienen pesos específicos entre 2.9 y 3.2. las demás rocas densas y compactas como el granito, la pizarra, el mármol y algunas calizas varían su peso específico entre 2.5 a 2.8. las más ligeras son las rocas sedimentarias y las volcánicas como la tiza, la toba y la pómez que contienen muchos vacíos y hasta hueco (Maldonado,2008).

La piedra pómez es tan ligera que algunas flotan en el agua. Por lo general las rocas más fuertes son las densas, y las más débiles las porosas. La porosidad del granito y de las rocas ígneas semejantes varia alrededor del 1%, en cambio en las rocas metamórficas la porosidad es menor del 1 %. El basalto tiene alta densidad, pero en algunas zonas puede contener muchas cavidades pequeñas (vesículas). La caliza tiene porosidad variable entre 0.5 a 15%. Y en los tipos raros como la coquina llega hasta 25%. En las areniscas la porosidad es elevada, variando entre 5 a 25%. Entre las más fuertes y más duras se encuentran las cuarcitas, las ígneas como el granito y el basalto, el gneis sano y algunos esquistos, pudiéndose obtener resistencias a la compresión entre 1050 a 2100 kg/cm²; también algunas de las areniscas más duras y densas, y las calizas silicosas se aproximan a estas resistencias. (Ramírez, 2000).

La mayor parte de las calizas, mármoles, dolomitas y areniscas tienen una dureza y resistencia intermedia, variando entre 175 a 1000 y hasta 1500 kg/cm². Entre las rocas más débiles y blandas se encuentran la toba, pizarra, tiza, arenisca blanda, las sales y el yeso. Las rocas blandas generalmente se cortan con herramientas manuales, la mayor parte de las calizas y mármoles se pueden aserrar, en cambio la mayoría de las areniscas, metamórficas compuestas con minerales de cuarzo y las ígneas, presentan alta resistencia al corte. Las rocas más



durables son las ígneas, las cuarcitas y los gneis macizos; pero no resisten el fuego, el cual las agrieta y revienta. De estas rocas, las que poseen una estructura de grano fino como el basalto, son más tenaces y se comportan mejor bajo el efecto del desgaste, en comparación con las de grano grueso. Las rocas metamórficas como el esquisto y la pizarra son duras, pero se exfolian con facilidad y se fracturan cuando se desgastan. Por lo general, las calizas y las areniscas son moderadamente tenaces cuando se les somete a fuerzas de desgaste. La caliza y la arenisca con cementante calizo se corroen cuando el agua o la atmósfera contienen ácidos, las arcillas laminares son débiles y tienden a ablandarse cuando están humedecidas, desintegrándose rápidamente cuando se exponen a la intemperie (Escalante,2016).

2.2.13. Criterios según las condiciones de las paredes de discontinuidades

El macizo rocoso puede clasificarse según los siguientes criterios si tenemos en cuenta la apertura, la rugosidad, el relleno y la meteorización o modificación de las paredes de las discontinuidades: Estado: Excelente si las discontinuidades están selladas, son rugosas y nuevas; Si están ligeramente abiertas por grietas, son relativamente rugosas y están manchadas por la oxidación, están en buen estado. Estado: Regular si son algo rugosas a lisas, bastante abiertas y oxidadas. Estado inadecuado si están muy abiertas, pulidas y rellenas de material blando (como limo); y Extremadamente defectuosas: si son muy asimétricas, están muy estriadas y están rellenas de ollas.

2.2.14. Condiciones geomecánicas

Según Maldonado (2008) existen los siguientes tipos de masa rocosa:

- Las condiciones geomecánicas son excelentes para la minería y la masa rocosa es excelente.



- Condiciones geomecánicas favorables a la minería y macizo rocoso sólido
- Buena geomecánica minera; masa rocosa suficiente
- Roca de mala calidad Entorno geomecánico minero difícil
- Roca de mala calidad; condiciones geomecánicas muy difíciles para la extracción.

2.2.15. Clasificación geomecánica

Las clasificaciones basadas en la geomecánica pretenden describir una masa rocosa asignando valores a un conjunto de características. La categorización permite determinar el índice característico de una roca, que puede utilizarse para proporcionar una descripción cuantitativa de la calidad de la roca. Como herramienta para la planificación y construcción de sistemas de metro, necesita la experiencia de quienes vayan a manejarla para utilizarla correctamente. Las categorías son útiles tanto al inicio de un proyecto como durante su finalización. A medida que se excava el túnel, se puede evaluar la calidad del terreno que se atraviesa y aplicar el sostenimiento adecuado basándose en las recomendaciones del autor del sistema de clasificación, tanto durante la fase de diseño como a medida que se realizan los trabajos. (Maldonado, 2008).

Durante mucho tiempo se crearon varios sistemas de organización. Terzaghi, Protodyakonov y Lauffer crearon los primeros. En la actualidad, las fórmulas de caracterización de rocas más utilizadas son la de Bieniawski o RMR, la de Barton o sistema Q y la GSI, ya que tienen en cuenta más factores de las características de la roca. (Maldonado, 2008).

Tabla 1.*Relación RQD – Calidad de roca*

RQD	Calidad de roca
25%	Muy mala
25-50%	Mala
50-75%	Regular
75-90%	Buena
90-100%	Muy buena

Fuente: Espinoza (2009)

Utilizando la ecuación proporcionada por Priest y Hudson (1976), la RQD puede calcularse a partir de la separación típica de las discontinuidades. El requisito de que la curva de distribución en un gráfico de espaciado de frecuencias sea del tipo exponencial negativo se ha cumplido experimentalmente.

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

Donde:

λ = Es la frecuencia media de discontinuidades por metro, $\lambda=1/$ (frecuencia de discontinuidades) ó

$$\lambda=\frac{\text{Cantidad.dislocaciones}}{\text{Longitud.del.sonido}}$$

El error comprobado es de +/-5%

Basándose en la formulación de Deere (1964) del índice de calidad de la roca RQD, se ofrece una categorización directa de la calidad de la roca en cinco grupos. Cording et al. (1972) postularon una relación entre el factor de carga de Terzagui y el RQD, mientras que Merrit (1972) recomendó utilizar el RQD para determinar el tipo de soporte.



- Índice de resistencia geológica (GSI)

El Dr. Evert Hoek, en un artículo titulado "Strength of Rock and Rock Masses", publicado en el boletín de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas en 1994, introdujo y definió el Geological Strength Index, un nuevo índice de calidad geomecánica de los macizos rocosos cuyo rango numérico, entre 0 y 100, se basa en la identificación y clasificación en el campo de dos de las características físico-mecánicas de un macizo rocoso: la macroestructura y la microestructura.

Tal como indica Hock (2004), "Se han realizado varias revisiones del GSI desde su creación; una de ellas, publicada en 1998 por Hock y Marinos, amplía el intervalo del GSI en 5 unidades hacia abajo y 5 unidades hacia arriba para tener en cuenta las masas rocosas de calidad extremadamente baja, como las descubiertas en las excavaciones del metro".

Hock (2000) "que el GSI se estima mejor a partir del RMR de Bieniawski para macizos rocosos caracterizados con un GSI superior a 25, sin incluir el factor de corrección por la orientación de las juntas y considerando el frente seco; que para macizos rocosos de baja calidad con un GSI inferior a 25, el GSI se estima a partir de observaciones del aspecto físico del macizo rocoso, ya que en estos casos el GSI no es muy fiable".

2.2.16. Geomecánica

Dado que la minería, "a diferencia de la ingeniería civil, tiene sus propias peculiaridades - guiadas por el concepto de vida económica y el beneficio económico de unos márgenes de seguridad estrechos - la geomecánica aplicada al diseño de subterráneos es ahora la base científica de la ingeniería minera. En este



contexto, la geomecánica se ocupa de la evaluación de riesgos y la asignación de recursos”. (Maldonado, 2008).

2.2.17. Mecánica de rocas

Es el estudio de la respuesta mecánica de las masas rocosas a la aplicación de fuerzas resultantes de fenómenos naturales o impuestas por la actividad humana, y es una disciplina tanto teórica como práctica. Estudio cualitativo y cuantitativo de la relación entre el comportamiento de los materiales y los fenómenos naturales. Predecir cómo responderá una estructura a las cargas que se produzcan sobre ella o a lo largo de su vida útil es un reto fundamental de la ingeniería mecánica. La ingeniería mecánica de rocas, un subcampo de la ingeniería de minas, se ocupa del uso de conceptos de ingeniería mecánica en la planificación y construcción de formaciones rocosas resultantes de operaciones mineras. Conocer la magnitud, el eje y la posición de las tensiones dentro del macizo rocoso es esencial para planificar una excavación. Por ello, a menudo es necesario realizar ensayos in situ para determinar las orientaciones e intensidades de las tensiones primarias. Las masas rocosas inalteradas presentan tensiones relacionadas con el peso de las capas superiores y con la historia geológica de la roca. La excavación del metro modifica este campo de tensiones, y esta modificación a menudo produce tensiones superiores a la resistencia de la roca. “La inestabilidad en una excavación puede manifestarse como un cierre lento de la excavación, la separación del techo y las paredes, o la explosión de la roca si la roca alrededor de los límites de la excavación se debilita”.

(Espinoza, 2009).



2.2.18. Beneficios de la geomecánica

El análisis de deformaciones, niveles de presión, tensiones, etc., puede ayudar a garantizar la seguridad de los trabajadores durante la excavación minera. Definición de las aberturas máximas admisibles y de los periodos autoportantes de las excavaciones mineras existentes y previstas. Comprobación de que no se han formado bloques y cuñas inestables a lo largo de las operaciones de preparación y explotación. (Maldonado, 2008).

Además, permitirá definir las orientaciones más ventajosas para el minado de las labores de preparación y desarrollo a ejecutar; definir las secuencias de minado, tanto de forma general como específica; definir las categorías de sostenimiento a aplicar; y determinar los estándares de sostenimiento en función de los tiempos de exposición de las labores mineras. la selección y diseño de alternativas a nuevas tecnologías mineras en futuras comarcas mineras, la estandarización del tipo y cantidad de sostenimiento a utilizar en cada una de las labores mineras, y la estandarización del relleno. “Permitirá, a través de la monitorización, la verificación y confirmación de las hipótesis elegidas durante las primeras fases de diseño de las labores mineras, así como establecer algunas alternativas en el planteamiento de explotación utilizado”. (Flores, 2001).

2.2.19. Mapeo geomecánico

Utilizando criterios de clasificación geomecánica basados en el método Bienawnski de RMR, podemos conocer la naturaleza del macizo rocoso de la región estudiada.

Los parámetros que se consideran son:



- Tipo de estructura
- Dirección de Buzamiento (Dip Dir)
- Buzamiento (Dip)
- Espaciamiento.
- Persistencia calidad de relleno
- Tipo de relleno.
- Espesor del relleno
- Compresión uniaxial
- RQD (Indice de calidad de roca)
- Presencia de Agua.

- **Diseño de sostenimiento**

Para poder diseñar el tipo de sostenimiento tener muy en cuenta:

- Propiedades mecánicas del suelo
- Puesto (a tiempo completo, a tiempo parcial, etc.)
- Identificación de las numerosas cuñas de excavación que pueden crearse
- Las zanjas se dimensionaron en función del tiempo que tardaba la roca en estabilizarse tras la voladura.

- **Sostenimiento**

La siguiente categorización de los componentes de apoyo se ha construido desde el punto de vista de su papel dentro del sistema de apoyo global: Apoyo activo y pasivo.(Mining Rock, 2011).

Sistema de sostenimiento activo. Elementos de refuerzo.

- Split Set.



- Hydrabolt
- Swellex.
- Pernos cementados.
- Pernos helicoidales.

2.2.20. Pernos de roca

“Las deformaciones causadas por el peso propio de la roca aflojada y la redistribución de las tensiones en la roca alrededor de la excavación se reducen al mínimo utilizando sistemas de refuerzo de bulones de roca. En general, su función es limitar los desplazamientos relativos de los bloques de roca cercanos para estabilizar los bloques de roca y/o las deformaciones de la superficie de la excavación”.

Tipo de roca: No se aconseja su uso frecuente en rocas muy débiles y rotas.

Instalación: Requiere una máquina Jack-Leg o un Jumbo, una presión de aire de 60 a 80 psi.

La eficacia de la broca depende del diámetro del agujero que taladre. Se sugiere un diámetro de broca de 37 a 38 mm para un juego partido de 39 mm. La falta de galvanización los hace propensos a la corrosión en ambientes húmedos (Espinoza, 2001). Los pernos pueden dividirse en muchas categorías según los anclajes con los que se utilicen:

- a) Pernos de anclaje puntual.
- b) Pernos de anclaje repartido.
- c) Pernos de anclaje combinado.



2.2.21. Malla electrosoldada

Para crear estas estructuras se utilizan pequeñas barras de acero de forma ortogonal, que luego se electrosueldan mediante fisión; no se utilizan materiales adicionales en las uniones. El acero laminado en frío utilizado en su producción tiene un límite elástico de 500 MPa, y se presentan en una amplia gama de formas seccionales, patrones de rejilla y diámetros de alambre para adaptarse a una amplia gama de usos finales. “Con la soldadura eléctrica por fisión se consiguen uniones más fuertes y un mejor resultado final. La malla electrosoldada es sencilla y rápida de instalar gracias a los cruces soldados a lo largo de las barras, que ofrecen un excelente anclaje del hormigón. Además, la alta resistencia del acero AT56-550H permite reducir la sección”. (Mining Rock, 2011).

Las actividades mineras subterráneas se ven ahora respaldadas por la investigación y el ensayo de nuevos productos como consecuencia de las exigencias y la búsqueda de la automatización de las minas. “Según su artículo Earthquakes and rockburst damage in deep subway mining, investigadores de la Escuela de Minas de Australia Occidental (WASM) y el Instituto Federal de Investigación (WSL) probaron la adaptabilidad de una malla romboidal de torsión simple y alta resistencia, que puede funcionar en zonas con presencia de estallidos de rocas”. (Industria de fortificación Minera S.A.C., 2010).

Las pruebas estáticas y dinámicas realizadas por la Escuela de Minas de Australia Occidental (WASM) demostraron el rendimiento superior de las mallas de acero de mayor resistencia para su uso en la fortificación con explosivos de rocas muy deformables. “Gracias a la alta resistencia del alambre de acero (1770 MPa) y a su característica de alta deformación de la malla, estos sistemas de



soporte de subterráneos pueden utilizarse en situaciones de gran tensión, aumentando la seguridad y la productividad de los trabajadores de la mina”. (Industria de fortificación Minera S.A.C., 2010).

2.2.22. Tipos de Costos

a) Costos directos

Son los costos identificadas o asociadas a la producción y servicios que se realizan, así como aquellas de las que un área en particular se responsabiliza por su uso con carácter general, podrán tener la consideración de tales los costes derivados del consumo de materiales, servicios recibidos y otras obligaciones que puedan estar específicamente relacionadas con la actividad desarrollada. Estos son costos que se asignan directamente a las actividades de producción (Muñoz, 2012).

b) Costos indirectos

Incluyen gastos que no pueden asociarse con la producción o servicio en particular y que están indirectamente relacionados con él, por lo general, son aquellos que provienen de otras áreas organizacionales que soportan las operaciones básicas de la entidad. Un ejemplo de un costo indirecto son los gastos generales de varios tipos de administración, reparación y mantenimiento, que se realizan para respaldar las acciones realizadas por ellos. Otra forma de decirlo es que no están destinados a la producción ni al servicio, pero de todos modos son esenciales para la producción. Según criterios predeterminados, se asignan a sus respectivas fábricas. Los gastos indirectos suelen ser inmutables. (Muñoz, 2012).



2.2.23. Estimación de los costos

El sistema de explotación, el tamaño del yacimiento, la forma, el grado de irregularidad, la resistencia del cajón, la técnica de acceso y preparación, el volumen de producción y los niveles de mano de obra y salarios influyen en los gastos de explotación. Las operaciones de corte y preparación, así como el transporte del mineral, dependen en gran medida de la técnica minera; por consiguiente, hay que encontrar un equilibrio entre el valor del mineral, la tasa de recuperación y la tasa de dilución. Las tasas de consumo de mano de obra, materiales y energía varían en función de las características de las rocas, el grado de mecanización del trabajo y el tamaño de la operación de fabricación. Los explosivos se utilizan más a menudo en el corte y preparación de rocas duras. “El bajo rendimiento y los elevados costes de mantenimiento pueden atribuirse en parte a la carga sobre el terreno. Tanto la amortización de las inversiones (cuya norma se establece en relación con el tamaño y la vida útil de la mina) como los gastos de explotación (cuyo valor absoluto depende sobre todo del volumen de producción, la estructura y los factores medioambientales) contribuyen al coste total”. (Muñoz, 2012).

Estimar los gastos generales de explotación de las explotaciones mineras es todo un reto debido a la gran variedad de factores que intervienen en ellos y a la naturaleza única de cada proyecto. Pero pueden emplearse estas técnicas:

- Método del proyecto similar.
- Método de los componentes del costo.
- Método del costo detallado.
- **Método del proyecto similar**



Se trata de utilizar la información disponible sobre los costes de proyectos, procesos u objetos comparables. La geología local, el equipo utilizado y la estrategia de la empresa son sólo algunos ejemplos de los factores que hacen que este proyecto sea diferente del estudiado, a pesar de disponer de amplia información. “En consecuencia, se utiliza un método alternativo, que consiste en utilizar un subconjunto de los datos disponibles (como los gastos de mano de obra) y hacer estimaciones del coste total del proyecto basándose en las correlaciones conocidas entre sus partes individuales”. (Muñoz, 2012).

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Sostenimiento

Son elementos que se utilizan para el soporte de rocas, con la finalidad de mantener la estabilidad del macizo rocoso y evitar la caída de rocas en una labor subterránea.

2.3.2. Labor

Son los trabajos que se realizan en una actividad minera con la finalidad de explotar un yacimiento mineral para lo cual se realizan diferentes labores mineras que pueden ser: Galería, nivel, túnel, chimenea, rampa y otros.

2.3.3. Geomecánica

Es la ciencia que estudia el comportamiento de la masa rocosa y las fuerzas que actúan en su entorno físico.



2.3.4. Cuadros de madera

Son estructuras de madera que se preparan para el soporte del macizo rocoso con la finalidad de mantener el equilibrio y la seguridad a los trabajadores de una mina subterránea.

2.3.5. Puntales

Son rollizos de madera que se utilizan para el armazón de cuadros de madera y para la fortificación de una labor minera. Son de diferentes diámetros y longitudes.

2.3.6. Perforación

Son operaciones mecánicas que se realizan en la cara libre de la masa rocosa con la finalidad de fragmentar el macizo de roca, previa colocación de explosivos en los taladros perforados y su detonación.

2.3.7. Perno Hydrabolt

Son estructuras metálicas que se utilizan como anclaje para el sostenimiento de labores mineras subterráneas y mantener el equilibrio de la masa rocosa.

2.3.8. Malla electrosoldada

Son muy deformables tanto en pruebas estáticas como dinámicas, lo que los convierte en una opción excelente para su uso como soportes de voladuras de rocas.



2.3.9. Falla

Son desplazamientos de la estructura rocosa que ocurre en la corteza terrestre ocasionado por movimientos tectónicos de las placas que afecta al macizo rocoso.

2.3.10. Fisura

Son roturas o fracturas pequeñas que se presentan en la superficie de la masa rocosa, ocasionado por movimientos tectónicos de la corteza terrestre.

2.3.11. Macizo rocoso

Son estructuras de bloques roca que se encuentran en la corteza terrestre presentando una serie de discontinuidades.

2.3.12. Costos

Son los recursos financieros que se requieren para generar una actividad de producción que puede ser de bienes o de servicios.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN

La Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa, se encuentra ubicada dentro de la jurisdicción del distrito de Chaparra, provincia de Caravelí y departamento de Arequipa, en la Carta Nacional del IGN denominada 32-O (Chaparra). Dentro de las coordenadas U.T.M. WGS 84:

- 8 260 000 Norte.
- 622 500 Este.

3.2. ACCESIBILIDAD

El área donde se ubica la concesión minera es accesible desde la ciudad de Arequipa y/o Lima, el acceso a la mina se realiza a través de la carretera Panamericana Sur, siguiendo la ruta que se detalla en la tabla 2.

Tabla 2.

Ruta de acceso a la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A.

Vía de recorrido		Distancia (km)	Tiempo de recorrido (horas)
Origen	Destino		
Puno	- Arequipa	325	6,0
Arequipa	- Atico	386	7,5
Atico	- Chaparra	45	1,0
Chaparra	- Mina	38	1,0
Total		794	15,5



3.3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.3.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo experimental y longitudinal, porque se manipuló la variable independiente para la reducción de los costos de reforzamiento y los datos se tomó en diferentes momentos.

Los estudios experimentales se refieren en donde a una de las variables de estudio se aplica el estímulo o tratamiento experimental (Hernandez et al., 2014).

El primer paso del proceso de investigación consistió en evaluar la eficacia del sistema de fortificación mediante puntales de madera, sopesar las ventajas e inconvenientes de este material y examinar los factores que afectan al precio de la madera, el coste del transporte y el coste de instalación. En este estudio se tomaron en cuenta las características geomecánicas del macizo rocoso del yacimiento aurífero de Minera Aurifera Estrella de Chaparra S.A., Arequipa, para calcular los costos de material, los costos de instalación y la seguridad que brinda el sistema de refuerzo con pernos Hydrabolt y malla electrosoldada.

Finalmente, se realizó el análisis de los costos de reforzamiento con madera y los costos con pernos Hydrabolt y malla electrosoldada en la Rampa San Andrés de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa.

3.4. POBLACIÓN

La población para el presente estudio de investigación fue constituida por la Rampa San Andrés y la Rampa San Felipe desarrollados en roca semidura de la Empresa Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. Según Hernández (2014), la población lo



define como un conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones.

3.5. MUESTRA

La muestra considerada para el estudio, fue la Rampa San Andrés de 2,50 m x 2,60 m de sección y 380 metros de longitud, desarrollado en roca semidura con una densidad de 2,65 t/m³ de la Empresa Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. Al respecto Hernández (2014) define que la muestra es un subgrupo de la población, es decir un subconjunto de elementos que pertenecen a dicho conjunto definido en sus características al que llamamos población.

3.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.6.1. Variable independiente

Tipo de sostenimiento, en la Rampa San Andrés de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa.

3.6.2. Variable dependiente

Costos de reforzamiento en la Rampa San Andrés de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa.

Tabla 3.

Operacionalización de variables

Variables	Indicadores	Escala de medición
Variable independiente:		
Tipo de sostenimiento, en la Rampa San Andrés de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa.	<ul style="list-style-type: none">• Tipo de roca• RMR• Sección	<ul style="list-style-type: none">• Roca dura, semidura y suave• Roca muy buena, roca buena, roca mala, roca muy mala.• m²
Variable dependiente		
Costos de reforzamiento en la Rampa San Andrés de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa.	<ul style="list-style-type: none">• Costo de pernos• Costo de malla electrosoldada.• Costo de instalación	<ul style="list-style-type: none">• US\$/perno• US\$/m²• US\$/m²

3.7. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas aplicadas en el trabajo de investigación fueron la inspección y la observación del comportamiento del macizo rocoso y el tipo de sostenimiento, y también se revisó los reportes de operación diaria y mensual de la mina.

3.7.1. Técnicas para el procesamiento de la información

Para el procesamiento de la información se utilizó el programa AutoCAD para actualizar los planos, programa Excel para procesar los datos y modelos matemáticos para caracterizar el macizo rocoso.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

El estudio de investigación fue realizado en la labor subterránea, rampa San Andrés de la Empresa Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. - Arequipa, en donde se ha considerado los costos del sistema de sostenimiento con cuadros de madera y los costos de reforzamiento con pernos Hydrabolt y malla electrosoldada.

4.1.1. Sistema de reforzamiento en la rampa san andrés

El reforzamiento anterior utilizado en la Rampa San Andrés fue el sistema de cuadros de madera, cuya aplicación fue en función a la valoración del tipo de roca con el sistema de clasificación RMR y el índice Q, de cuyos resultados se determinó el tipo de reforzamiento a utilizar en las diferentes labores subterráneas de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A.

Para la aplicación del sistema de sostenimiento mecanizado, la clasificación del tipo de roca debe tener un índice RMR mayor a 36 y en el sistema Q mayor a 0,65, porque los valores menores a estos parámetros no son recomendables este tipo de sostenimiento, ver tabla 4.

Tabla 4.

Características geomecánicas de la Rampa San Andrés

Tipo de roca	RMR	Q	Tipo de sostenimiento
IV A	35 - 40	0,50 – 0.90	Pernos y malla
IV B	34 - 39	0,45 – 1,00	Pernos y malla

4.1.2. Resultados según los objetivos específicos

Objetivo específico 1: Determinar los costos reforzamiento con cuadros de madera en la Rampa San Andrés de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa.

4.1.3. Puntales de madera para sostenimiento

En la mayoría de las minas subterráneas del Perú se utiliza generalmente los puntales de madera de eucalipto, los cuales se utilizan para la fortificación de las labores mineras de preparación, desarrollo y explotación, para lo cual se utilizaron los puntales de madera 5, 6, 7, 8 y 9 pulgadas de diámetro por 3,0 metros de longitud en las labores subterráneas de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa.

4.1.4. Costo de puntales de madera

El costo de puntales de madera varía según la ubicación de la Mina, debido al costo de transporte desde el lugar de origen hasta la zona de ubicación del yacimiento mineral que son generalmente son muy distantes y desde allí el traslado de estos puntales hasta las labores mineras, lo cual incrementa el costo de los diferentes puntales de madera, generando elevados costos de sostenimiento de



las labores mineras de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa, ver tabla 5.

Tabla 5.

Costo de los diferentes puntales de madera incluido el transporte

Descripción	Costo (Soles)
Puntales de 5" de ϕ	33,75
Puntales de 6" de ϕ	34,67
Puntales de 7" de ϕ	36,78
Puntales de 8" de ϕ	39,84
Puntales de 9" de ϕ	41,73

4.1.5. Costo de instalación de sostenimiento con madera

Tabla 6.

Mano de obra T.C. 1 US\$ = S/. 3,76

Mano de obra directa	Cantidad	Jornal (soles)	Incidencia %	Costo US \$/guardia
Supervisor	1	85	25	22,61
Maestro enmaderador	1	75	100	19,95
Ayudante enmaderado del	3	65	100	51,86
Sub total				94,42
Leyes sociales	102,86 %			97,12
Total				191,54



Tabla 7.

Costo de puntales de madera utilizados para el sostenimiento

Descripción	Cantidad	Costo/ unidad	Costo Total
		(Soles)	(US\$)
Puntales de 5" de ϕ	18	33,75	161,57
Puntales de 6" de ϕ	16	34,67	147,53
Puntales de 7" de ϕ	13	36,78	127,16
Puntales de 8" de ϕ	11	39,84	116,55
Puntales de 9" de ϕ	05	41,73	55,49
Costo total			608,21

Tabla 8.

Costo de herramientas utilizadas

Descripción	Medida	Cantidad	Costo	Vida Útil	Costo
			US \$/	días	US \$/guardia
Barrerillas	Unidad	3	17,26	50	1,04
Plomada	Unidad	3	7,65	360	0,06
Azuela	Unidad	3	12,17	150	0,24
Formón	Unidad	2	9,85	150	0,13
Corvina 36 pulg.	Unidad	2	61,22	150	0,82
Flexómetro	Unidad	2	4,35	180	0,05
Costo total:					2,34

Tabla 9.*Costo de equipos de seguridad*

Descripción	Medida	Cantidad	Costo US \$/	Vida Útil (días)	Costo US \$/guardia
Guantes de cuero	Pares	5	5,23	25	1,05
Correas lámpara	porta Unidad	5	4,74	300	0,08
Protector	Unidad	5	13,67	300	0,23
Mamelucos	Unidad	5	24,74	180	0,69
Botas de jebe	Pares	5	22,86	180	0,64
Respiradores	Unidad	5	23,63	180	0,66
Filtro de respiradores	Pares	5	4,75	15	1,58
Tapón de oídos	Pares	5	2,48	120	0,10
Lámpara de batería	Unidad	5	237,24	365	3,25
Lentes de seguridad	Unidad	5	12,41	120	0,52
Costo total					8,80

Costos calculados para 30 m² de sostenimiento

Total, de costos de instalación con madera = 810,89 US\$

Costo de instalación con madera en US\$/m² = 27,03 US\$/m²

Objetivo específico 2: Minimizar los costos de reforzamiento con pernos Hydrabolt y malla electrosoldada en la Rampa San Andrés de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa.

4.1.6. Reforzamiento con pernos Hydrabolt y malla

Para la instalación del sistema de reforzamiento con pernos Hydrabolt y malla electrosoldada, primeramente, según el área de sostenimiento requerido se preparó el corte de malla y su respectiva presentación a la sección de la Rampa



San Andrés y posteriormente se perforó los taladros para insertar los pernos Hydrabolt de 7 pies de longitud y luego según las recomendaciones geomecánicas se realizó las actividades del ciclo de minado.

4.1.7. Costo de pernos Hydrabolt y malla electrosoldada

Para el reforzamiento de la Rampa San Andrés se utilizó pernos Hydrabolt de 7 pies de longitud y el costo de adquisición de estos pernos fue de 12,52 US\$ por perno y el costo de adquisición de un rollo de 25 metros de longitud por 2,00 metros de ancho de la malla electrosoldada fue de 241,72 US\$, en dichos costos están incluidos el costo de transporte hasta la zona minera.

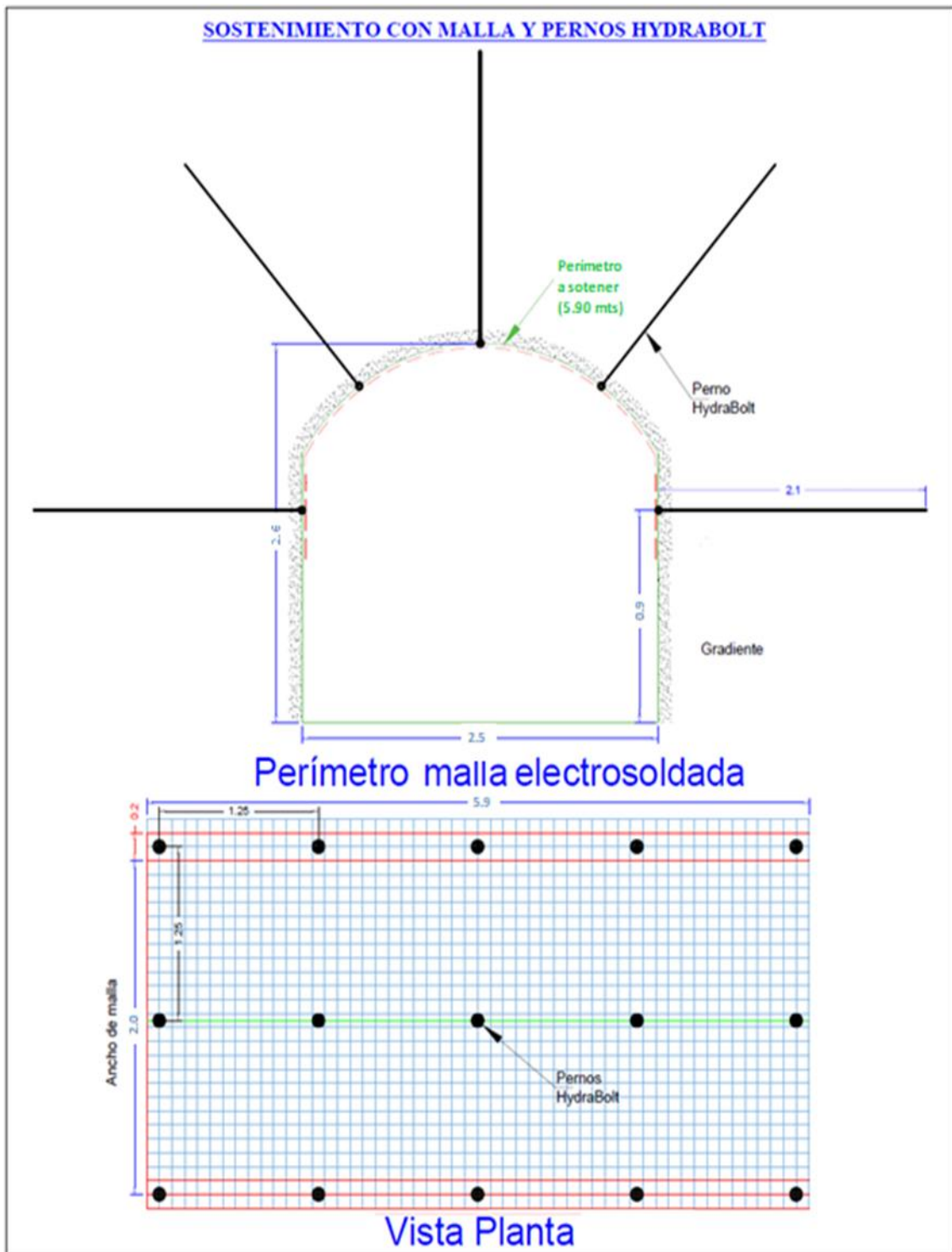


Figura 1. Diseño de malla electrosoldada y pernos Hydrabolt

4.1.8. Costo de instalación de reforzamiento con pernos Hydrabolt y malla

Tabla 10.

Costo de mano de obra T.C. 1 US\$ = S/. 3,76

Mano de obra directa	N° de personal	de Jornal (soles)	Incidencia %	Costo US \$/guardia
Supervisor	1	85	25	22,61
Maestro perforista	1	75	38	19,95
Maestro de sostenimiento	1	75	100	19,95
Ayudante perforista	1	65	100	17,29
Sub total				79,80
Leyes sociales	102,86 %			82,08
Total				161,88

Tabla 11.

Costo del equipo de reforzamiento con pernos Hydrabolt y malla electrosoldada

Equipo	Costo US \$	Vida útil Pies/perf.	US \$/pie	Pies perforados	US \$/guardia
Máquina perforadora	4 895	120 000	0,041	240	9,84
Total					9,84

Tabla 12.*Costo de materiales de reforzamiento con pernos Hydrabolt y malla*

Descripción	Cantidad	Costo US \$/unidad	Vida útil pp	Pies perforados	US \$/pie perforado	US \$/día
Barra de 3 pies	1	54	1250	75	0,043	3,23
Barra de 7 pies	1	96	1250	135	0,076	10,26
Barra de 8 pies	1	105	1250	30	0,084	2,52
Broca 39 mm	1	36	550	75	0,065	4,87
Broca 38 mm	1	38	550	135	0,069	9,31
Manguera de ½ P	32 m	1,56	2 500	210	0,019	3,99
Manguera 1 Pulg	32 m	3,45	2 500	210	0,050	10,50
Malla electrosold	30 m ²	4,83				144,90
Perno Hydrabolt	30	12,52				375,60
Total						565,18

El área de la malla electrosoldada de 30 m², se ha calculado teniendo en cuenta el área de la sección de la labor que es 2,50 m x 2,60 m, generalmente la malla se coloca en el hastial a partir de 0,90 m de altura, entonces la longitud viene a ser 2,60 m – 0,90 m = 1,70 m, es decir la longitud total es 1,70 m + 1,70 m + 2,50 m = 5,90 m que es el perímetro de la labor, luego esta cantidad se multiplicó por la longitud de sostenimiento de 5,0 m en la forma siguiente: 5,90 m x 5 m = 30 m²

Tabla 13.*Costo de herramientas para reforzamiento con pernos Hydrabolt y malla*

Descripción	Medida	Cantidad	Costo US \$/	Vida Útil (días)	Costo US \$/guardia
Trinsador	Unidad	1	12,39	150	0,08
Barretillas	Unidad	3	16,52	90	0,55
Caballote	Unidad	2	41,24	150	0,55
Flexómetro	Unidad	1	4,26	180	0,02
Sub total					1,20
Imprevistos 5%					0,06
Costo total					1,26

Tabla 14.*Costo de equipos de seguridad con pernos Hydrabolt y malla*

Descripción	Medida	Cantidad	Costo US \$/	Vida Útil (días)	Costo US \$/guardia
Guantes de cuero	Pares	4	5,23	25	0,83
Correas porta lámpara	Unidad	4	4,74	300	0,06
Protector	Unidad	4	13,67	300	0,18
Mamelucos	Unidad	4	24,74	180	0,55
Botas de jebe	Pares	4	22,86	180	0,51
Respiradores	Unidad	4	23,63	180	0,53
Filtro de respiradores	Pares	4	4,75	15	1,27
Tapón de oídos	Pares	4	2,48	120	0,08
Ropa de jebe	Unidad	2	32,63	180	0,36
Lámpara de batería	Unidad	4	237,24	365	2,60
Lentes de seguridad	Unidad	4	12,41	120	0,41
Costo total					7,38

Costos calculados para 30 m² de reforzamiento

Total, de costos de instalación con pernos Hydrabolt = 745,54 US\$

Costo de instalación con pernos Hydrabolt en US\$/m² = 24,85 US\$/m²

4.2. DISCUSIÓN

En el presente trabajo de investigación se concluye que, utilizando el sistema de reforzamiento con pernos Hydrabolt y malla electrosoldada los costos se minimizaron de 27,03 US\$/m² a 24,85 US\$/m² obteniendo un beneficio de 2,18 US\$/m² en la Rampa San Andrés de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa. Los resultados son similares al estudio realizado por Corrales (2019) en donde concluye que mediante el sistema de sostenimiento con pernos Split Set y malla electrosoldada los costos se redujeron de 22,39 US\$/m² a 20,19 US\$/m², con una diferencia de 2,20 US\$/m² en la Galería San Fernando de la Unidad Minera Esperanza de Caravelí – Arequipa.



En el presente trabajo de investigación, utilizando el sistema de reforzamiento con cuadros de madera los costos fueron de 27,03 US\$/m² en la Rampa San Andrés de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa Los resultados son similares al estudio realizado por Escalante (2016) en donde concluye que mediante el sistema de sostenimiento con cuadros de madera los costos fueron de 20,27 US\$/Tn en la Unidad Minera.

En el presente trabajo de investigación, mediante el sistema de reforzamiento con cuadros de madera los costos fueron de 24,85 US\$/m² en la Rampa San Andrés de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa, los resultados son similares al trabajo realizado por Antúnez (2010) en donde concluye que mediante el sistema de sostenimiento con pernos helicoidales los costos se redujeron de 22,43 US\$/m² 20,37 US\$/m² en la Unidad Minera Esperanza de Caravelí – Arequipa.



V. CONCLUSIONES

- Con el sistema de reforzamiento de pernos Hydrabolt y malla electrosoldada, los costos se minimizaron de 27,03 US\$/m² a 24,85 US \$/m², obteniendo un beneficio de 2,18 US \$/m² en la Rampa San Andrés de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa.
- Utilizando el sistema de cuadros de madera, los costos de reforzamiento fueron de 27,03 US\$/m², en la Rampa San Andrés de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa.
- Con el sistema de pernos Hydrabolt y malla electrosoldada, el costo de reforzamiento se minimizó a 24,85 US\$/m² en la Rampa San Andrés de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa.



VI. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio geomecánico detallado de las diferentes labores mineras subterráneas, para determinar el sistema de reforzamiento adecuado para cada labore subterránea de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa.
- Se recomienda realizar un estudio de las características de los diferentes tipos de pernos de roca para el sostenimiento mecanizado según las características geomecánicas del macizo rocoso de las labores subterráneas de la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa.
- Realizar el estudio de rentabilidad del método de explotación de Corte y Relleno Ascendente Mecanizado en la Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. – Arequipa.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alva, M. (2019). *Optimización del sostenimiento con barras helicoidales y pernos Split set de 5 pies mediante el control de calidad antes, durante y después de la instalación en la Empresa Minera Marsa – Parcoy – Trujillo.*
<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/13398>
- Antúnez, (2010). *Sostenimiento con pernos helicoidales, empleando Jumbos Electrohidráulicos de brazo retráctil en la Mina Palca - Cia Minera Santa Luisa.*
- Canahua, L. (2021). *Análisis y diseño del sostenimiento en la galería 815, Esperanza Norte para evitar accidentes por caída de rocas y optimizar el ritmo de producción en la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa.* <https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.05>
- Capacitación y Servicio Técnico Minero E.I.R.L. (2010), *Estabilizador de fricción Split set cementado.*
- Corrales, Z. (2019). *Reducción de costos de sostenimiento mediante el análisis comparativo de madera vs. pernos Split Set y malla electrosoldada en labores subterráneas de la Mina Esperanza – Arequipa.*
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/13273>
<http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3280334>
- Escalante, G. (2016). *Mejoramiento del sistema de sostenimiento con madera mediante pernos split set y malla electro soldada en labores de explotación de la empresa MACDESA – Arequipa.*
- Espinoza, O. (2009). *Tipos de roca y sostenimiento a aplicarse en la U.E.A. Paula.*
- Flores, S. (2001). *Análisis y diseño de soporte en minería subterránea, Pernos de anclaje más resina en la rampa 623, Mina San Rafael, Puno.*
- Gonzales, A. (2018). *Reducción de costos de sostenimiento para labores temporales en roca tipo III B, con la implementación del sistema de sostenimiento de pernos Split set y malla electrosoldada – labor U – 80, en la Unidad Minera Huanzalá – 2018.*
<http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3477>



- Industria de Fortificación Minera S.A.C. (2010). *Split set en línea. International Rollforms Inc.*
- Laurente, V. (2014). *Cambio del tipo de sostenimiento en la explotación para reducir los costos en la Unidad Minera Americana- Cía minera Casapalca S.A. – Ayacucho.*
<http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/2170>
- Maldonado, Z. (2008). *Aplicaciones geomecánicas en Mina Chungar, Cerro de Pasco.*
- Mejía (2020). *Sistemas de sostenimiento para mejorar la producción en la Galería principal del nivel 2650 de la Concesión Séptima Maravilla II - Chalamarca.*
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/53213>
- Mining Rock, (2011). *Empresa Tipo Split set- Chile.productora de elementos metálicos para fortificación.*
- Muñoz, L. (2012). *Modelo de Costos para la Valorización de planes mineros.*
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/112524>
- Narvaez, S. (2017). *Optimización de costos en sostenimiento con Pernos helicoidales usando Jumbo Retractil en el Pique Circular de la Unidad Minera Casapalca S.A.*
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5126>
- Patrick, S. y Alza, A. (2009). *Sostenimiento en minas subterráneas mediante mallas romboidales de alambre de acero de alta resistencia.*
- Promec Fortificaciones S.A. (2010). *Catálogo de productos, proveedora de mecanizados San Bernardo- Chile.*
- Quilca, A. (2005). *Sostenimiento en minería subterránea COSUDE- proyecto GAMA.*
- Ramírez, H. (2005). *Sostenimiento, módulo de capacitación técnico, Empresas Minera MACDESA.*
- Ramírez, S. (2000). *Parámetros geomecánicos para sostenimiento en minería subterránea, Área de planeamiento, Mina Catalina Huanca.*
- Ros, E. (2 006). *Proyecto, manual de anclaje para sostenimiento en minería y obra civil, Universidad Politécnica de Cartagena.*



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/>

- Sanca, M. (2009). *Ejecución y sostenimiento de labores de desarrollo en la Unidad Minera Paula S.A.C.*
- Sonco, C. (2005). *Informe de trabajo profesional, Experiencias del empleo de sostenimiento práctico minero en la Cia Minera Huarón.*
- Torres, C. (2011). *Análisis del sistema de sostenimiento con perno Split set y malla electrosoldada aplicado en labores de explotación en la Unidad Minera EL COFRE- CIEMSA.*
- Torres, Y. (2004). *Capacidad de anclaje de los pernos de roca.*
- Tubos y Perfiles (2010). *Accesorios- Malla electrosoldada, Empresa de fabricación y distribución de productos para fortificación minera.*



ANEXOS

Anexo 1. Índice de resistencia geológica (GSI)

CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO SEGUN GSI MODIFICADO Se basa en la cantidad de fracturas por metro lineal, medidas insitu con una wincha. La resistencia se determina golpeando o indentando la roca con una picota. Se toma en cuenta la rugosidad, alteración de las paredes y relleno de las discontinuidades.		CONDICIÓN SUPERFICIAL MUY BUENA (extremadamente resistente, fresca) superficie de las discontinuidades muy rugosas e inalteradas, cerradas, (Rc > 250 MPa) (se astilla con golpes de picota) BUENA (muy resistente, levemente alterada) discontinuidades rugosas, lev. alterada, manchas de oxidación, lig. abierta. (Rc 100 a 250 MPa) (se rompe con varios golpes de picota) REGULAR (resistente, levemente alterada) discontinuidades lisas, moderadamente alterada, ligeramente abierta. (Rc 50 a 100 MPa) (se rompe con uno o dos golpes de picota) POBRE (moderadamente resist. moderam. alter.) superficie pulida o con estriaciones, muy alterada, relleno compacto o con fragmentos de roca. (Rc 25 a 50 MPa), (se indenta superficialmente) MUY POBRE (blanda, muy alterada) Superficie pulida y estriada, muy abierta, con relleno de arcillas blandas. (Rc < 25 MPa) (se disgrega o indenta superficialmente)					
ESTRUCTURA							
	LEVEMENTE FRACTURADA Tres a menos sistemas de discontinuidades muy espaciadas entre sí (RQD 75 - 90%) (2 a 6 fracturas por metro) (RQD = 115 - 3.3 Jn)	LF/MB	LF/B	LF/R	LF/P	LF/MP	
	MODERADAMENTE FRACTURADA Muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales. (RQD 50 - 75%) (6 a 12 fracturas por metro)	F/MB	F/B	F/R	F/P	F/MP	
	MUY FRACTURADA Moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades. (RQD 25 - 50%) (12 a 20 fracturas por metro)	MF/MB	MF/B	MF/R	MF/P	MF/MP	
	INTENSAMENTE FRACTURADA Plegamiento y fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando bloques angulosos o irregulares. (RQD 0 -25%) (Más de 20 fracturas por metro)	IF/MB	IF/B	IF/R	IF/P	IF/MP	
	TRITURADA O BRECHADA Ligeramente trabada, masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables, angulosos y redondeados. (Sin RQD)	T/MB	T/B	T/R	T/P	T/MP	

Anexo 2. Puntales de madera.



Anexo 3. Vista frontal del cuadro de madera.



Anexo 4. Instalación de malla electrosoldada





Anexo 5. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Emma Espillico Chura
identificado con DNI 46127281 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería de Minas

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado
 Título Profesional denominado:

"Minimización de costos de reforzamiento con pernos Hydrabolt y malla electrosoldada
en la rampa San Andrés de la empresa minera aurífera estrella de Chaparra S.A. - Arequipa"
Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 13 de Julio del 2023

Emma Espillico Chura
FIRMA (obligatoria)



Huella



Anexo 6. Autorización para el depósito de tesis o trabajo de investigación en el repositorio institucional



Universidad Nacional del Altiplano Puno



Vicerrectorado de Investigación



Repositorio Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Emma Espillico Chura, identificado con DNI 46127281 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería de Minas

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado

Título Profesional denominado:

"Minimización de costos de reforgamiento con Pernos Hydrabolt y malla electrosoldada en la rampa San Andrés de la empresa Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. Arequipa"
" Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 13 de Julio del 2023

Emma
FIRMA (obligatoria)



Huella