



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



**REDUCCIÓN DE COSTOS DE SOSTENIMIENTO CON PERNOS  
AIRBOLT Y MALLA ELECTROSOLDADA EN LA GALERÍA  
SANTA ISABEL DE LA UNIDAD MINERA RAURA - HUÁNUCO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**DAVID CALCINA QUISPE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO - PERÚ**

**2024**



NOMBRE DEL TRABAJO

REDUCCIÓN DE COSTOS DE SOSTENIMI  
ENTO CON PERNOS AIRBOLT Y MALLA  
ELECTROSOLDADA EN LA GALERÍA SAN  
TA I

AUTOR

DAVID CALCINA QUISPE

RECuento DE PALABRAS

12042 Words

RECuento DE CARACTERES

67528 Characters

RECuento DE PÁGINAS

77 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

1.4MB

FECHA DE ENTREGA

May 6, 2024 6:58 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

May 6, 2024 6:59 AM GMT-5

● 17% de similitud general

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

- 17% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% 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
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)

  
M.Sc. Amilcar G. Teran Dianderas  
CATEDRÁTICO FIM - UNA  
CODIGO 2007913





## DEDICATORIA

*A mi distinguido padre Roberto Calcina, y Teófila Quispe, por su abnegada labor a favor de mi persona en cada etapa de mi vida estudiantil lo que permitió desarrollar mis conocimientos para mi formación profesional como Ingeniero de Minas.*

*A mis hermanos, quienes me apoyaron desinteresadamente para la culminación de mi carrera profesional hasta lograr mi profesión.*

**David Calcina Quispe**



## AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar, mi agradecimiento a Dios, creador del universo y la vida, quien con su amor infinito permitió realizar mis estudios profesionales.*

*Agradecer a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno y sus autoridades por permitir su infraestructura académica para realizar mis estudios superiores hasta lograr mi anhelada profesión.*

*A la carrera profesional Ingeniería de Minas, al personal docente por impartir sus sabias enseñanzas para mi formación profesional como Ingeniero de Minas.*

**David Calcina Quispe**



## ÍNDICE DE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE DE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>13</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>16</b>
1.2.1 Pregunta general.....	16
1.2.2 Preguntas específicas .....	16
<b>1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>17</b>
1.3.1 Hipótesis general .....	17
1.3.2 Hipótesis específicas .....	17
<b>1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>17</b>
1.4.1 Objetivo general .....	17
1.4.2 Objetivos específicos .....	18
<b>1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>18</b>



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

<b>2.1.</b>	<b>ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>23</b>
2.2.1	El sostenimiento en minería subterránea.....	23
2.2.2	El sostenimiento y su durabilidad .....	25
2.2.3	Métodos de diseño de refuerzos y soportes.....	26
2.2.4	Clasificación geomecánica de Bieniawski (1979) .....	27
2.2.5	Clasificación índice “Q” .....	29
2.2.6	Índice de resistencia geológica (GSI) .....	30
<b>2.3.</b>	<b>SOSTENIMIENTO POR ANCLAJES .....</b>	<b>30</b>
2.3.1	La longitud de los pernos de roca .....	31
2.3.2	La funcionalidad de los pernos de roca.....	32
2.3.3	Sostenimiento con pernos Hydrabolt .....	34
2.3.4	Sostenimiento con pernos Airbolt.....	37
2.3.5	Malla electrosoldada .....	40
<b>2.4.</b>	<b>COSTOS Y GASTOS .....</b>	<b>41</b>
2.4.1	Costos.....	41
2.4.2	Tipos de costos .....	42
2.4.3	Costos de operación .....	43
2.4.4	Asignación de los costos .....	43
<b>2.5.</b>	<b>DEFINICIONES DE TERMINOS .....</b>	<b>44</b>



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1. UBICACIÓN .....</b>	<b>46</b>
<b>3.2. ACCESIBILIDAD .....</b>	<b>46</b>
<b>3.3. DISEÑO METODOLÓGICO.....</b>	<b>47</b>
3.3.1 Tipo de investigación .....	47
3.3.2 Enfoque de la investigación .....	47
3.3.3 Diseño de investigación .....	48
<b>3.4. POBLACIÓN .....</b>	<b>49</b>
<b>3.5. MUESTRA.....</b>	<b>49</b>
3.5.1. Tipo de muestreo.....	49
<b>3.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....</b>	<b>50</b>
3.6.1 Variable independiente.....	50
3.6.2. Variable dependiente.....	50
<b>3.7. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....</b>	<b>51</b>
3.7.1. Técnicas para el procesamiento de la información .....	51

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>52</b>
<b>4.2. RESULTADOS OBTENIDOS SEGÚN LOS OBJETIVOS .....</b>	<b>53</b>
<b>4.3. SISTEMA DE SOSTENIMIENTO CON PERNOS HYDRABOLT Y MALLA ELECTROSOLDADA.....</b>	<b>54</b>
<b>4.4. COSTO DE COMPRA DE LOS PERNOS HYDRABOLT Y MALLA ELECTROSOLDADA.....</b>	<b>55</b>



<b>4.5. COSTO DE INSTALACIÓN DE SOSTENIMIENTO CON PERNOS HYDRABOLT Y MALLA ELECTROSOLDADA.....</b>	<b>57</b>
<b>4.6. COSTO DE SOSTENIMIENTO CON PERNOS AIRBOLT Y MALLA ELECTROSOLDADA.....</b>	<b>60</b>
<b>4.7. COSTO DE COMPRA DE PERNOS AIRBOLT Y MALLA ELECTROSOLDADA.....</b>	<b>61</b>
<b>4.8. COSTO DE INSTALACIÓN DE SOSTENIMIENTO CON PERNOS AIRBOLT Y MALLA .....</b>	<b>61</b>
<b>4.9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CON OTRAS FUENTES.....</b>	<b>63</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>66</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>67</b>

**ÁREA:** Ingeniería de Minas

**TEMA:** Análisis de costos mineros y comercialización de minerales

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 10 de mayo del 2024.



## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1</b>	Clasificación Geomecánica de Bieniawski (1979). ..... 28
<b>Tabla 2</b>	Características y especificaciones técnicas del perno Hydrabolt ..... 34
<b>Tabla 3</b>	Características y resistencia de la malla electrosoldado liso ..... 41
<b>Tabla 4</b>	Características y resistencia física de la malla electrosoldada galvanizada 41
<b>Tabla 5</b>	Accesibilidad por vía terrestre hasta la Unidad Minera Raura - Huánuco . 47
<b>Tabla 6</b>	Operalización de variables ..... 50
<b>Tabla 7</b>	Caracterización geomecánica para el sistema de sostenimiento ..... 53
<b>Tabla 8</b>	Tipo de roca en la que se evalúa e implementa el sistema de sostenimiento ..... 53
<b>Tabla 9</b>	Tiempo promedio de instalación de perno Hydrabolt y malla electrosoldada. .... 54
<b>Tabla 10</b>	Costo de mano de obra con hydrabolt T. C. 1 US\$ = S/. 3,74 ..... 58
<b>Tabla 11</b>	Costo de equipo de sostenimiento por guardia. .... 58
<b>Tabla 12</b>	Costo de materiales de sostenimiento..... 58
<b>Tabla 13</b>	Costo implementos de seguridad..... 59
<b>Tabla 14</b>	Tiempo promedio de instalación con perno Airbolt y malla ..... 60
<b>Tabla 15</b>	Costo de mano de obra Tipo de cambio 1 US\$ = S/. 3,74 ..... 61
<b>Tabla 16</b>	Costo de equipo de sostenimiento ..... 61
<b>Tabla 17</b>	Costo de materiales de sostenimiento..... 62
<b>Tabla 18</b>	Costo implementos de seguridad..... 62
<b>Tabla 19</b>	Resumen diferencia de costos de sostenimiento con pernos Hydrabolt y Airbolt..... 63



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Diseño de sostenimiento en labores mineras subterráneas.....	28
<b>Figura 2</b> Longitud de perno de roca respecto a la zona de anclaje. ....	31
<b>Figura 3</b> Longitud de perno de anclaje respecto a la apertura. ....	32
<b>Figura 4</b> Resistencia al corte o cizalladura de los pernos de roca.....	33
<b>Figura 5</b> Indicador de carga de hydrabolt .....	36
<b>Figura 6</b> Partes del sistema Airbolt.....	38
<b>Figura 7</b> Proceso de inflado de Airbolt.....	40
<b>Figura 8</b> Diseño de malla electrosoldada y pernos Hydrabolt. ....	56
<b>Figura 9</b> Diseño de la colocación de los pernos Hydrabolt y malla electrosoldada en la galería Santa Isabel en la Mina Raura – Huanuco.....	57



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO 1.</b> Ubicación de la Unidad Minera Raura – Huánuco.....	72
<b>ANEXO 2.</b> Sostenimiento con Pernos Hydrabolt y Malla Electrosoldada .....	73
<b>ANEXO 3.</b> Cotización de los pernos Hydrabol, pernos Airbolt y malla electrosoldada. .....	74
<b>ANEXO 4.</b> Galeria Santa Isabel de la unidad minera Raura – Huanuco. ....	75
<b>ANEXO 5.</b> Declaración jurada de autenticidad de tesis.....	76
<b>ANEXO 6.</b> Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional.....	77



## ACRÓNIMOS

S.A.:	Sociedad Anónima
Tm:	tonelada métrica
m:	metro
mm <sup>2</sup> :	milímetro cuadrado
m <sup>2</sup> :	metro cuadrado
cm <sup>2</sup> :	centímetro cuadrado
m <sup>3</sup> :	metro cúbico
Mpa:	Mega pascales
RMR:	<i>Rock Mass Rating</i>
RQD:	<i>Rock Quality Designation</i>
U.T.M:	<i>Universal Transversal Mercator</i>
US\$/m <sup>2</sup> :	dólares por metro cuadrado



## RESUMEN

La Unidad Minera Raura de la Compañía Minera Raura S.A. - Huánuco, es una empresa que explota minerales polimetálicos como son el Zinc, Cobre, Plata y Plomo, utilizando el método de explotación de corte y relleno ascendente mecanizado. Y para el sostenimiento de sus labores subterráneas utilizó el sistema de sostenimiento con pernos Hydrabolt y malla electrosoldada, al realizar una evaluación de costos a este sistema en la Galería Santa Isabel cuya sección es de 2,50 x 3,0 m y una longitud proyectada de 420 m, se presentó problemas de elevados costos de sostenimiento. El costo unitario de sostenimiento en la mina fue de 32,03 US\$/m<sup>2</sup>. El objetivo del estudio de investigación fue reducir los costos de sostenimiento aplicando el sistema de soporte con pernos Airbolt y malla electrosoldada en la Galería Santa Isabel. La metodología aplicada en el estudio presenta un enfoque cuantitativo, longitudinal, tipo de investigación descriptivo, diseño pre experimental y comparativo porque posteriormente se comparan los resultados con el sistema de sostenimiento anterior. El proceso para realizar el estudio de investigación consistió en evaluar el sistema de sostenimiento con pernos Hydrabolt y Airbolt ambos con malla electrosoldada, dichos datos se recopilaron en distintos formatos y en base a estos datos. Posteriormente, mediante un análisis de costos de los dos tipos de sostenimiento se obtuvo los siguientes resultados, los costos de sostenimiento mediante la aplicación del nuevo sistema con pernos Airbolt y malla electrosoldada se redujo de 32,03 US\$/m<sup>2</sup> a 28,61 US\$/m<sup>2</sup>, con una reducción de 3,42 US\$/m<sup>2</sup>. Se concluye que, con el nuevo sistema de soporte, los costos de sostenimiento se podrían reducir en la Galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura – Huánuco.

**Palabras clave:** Airbolt, malla, Hydrabolt, pernos, reducción, sostenimiento.



## ABSTRACT

The Raura Mining Unit of the Compañía Minera Raura S.A. - Huánuco is a company that exploits polymetallic minerals such as Zinc, Copper, Silver and Lead, using the mechanized upward cut and fill exploitation method. And to support its underground work, it used the support system with Hydrabolt bolts and electro-welded mesh, when carrying out a cost evaluation of this system in the Santa Isabel Gallery, whose section is 2,50 x 3,0 m and a projected length of 420 m, there were problems of high maintenance costs that amount to 32.03 US\$/m<sup>2</sup>. The objective of the research study was to reduce maintenance costs by applying the support system with Airbolt bolts and electro-welded mesh in the Santa Isabel Gallery of the Raura Mining Unit – Huánuco. The methodology applied in the study presents a quantitative, longitudinal approach, descriptive type of research, pre-experimental and comparative design because the results are subsequently compared with the previous support system. The process to carry out the research study consisted of evaluating the support system with Hydrabolt bolts and electrowelded mesh, as well as for Airbolt bolts and electrowelded mesh, said data were collected in different formats and based on these data. Subsequently, through a cost analysis of the two types of support, the following results and conclusions were obtained: the maintenance costs through the application of the new system with Airbolt bolts and electro-welded mesh were reduced from 32,03 US\$/m<sup>2</sup> to 28,61 US\$/m<sup>2</sup>, with a difference of 3,42 US\$/m<sup>2</sup> in the Santa Isabel Gallery of the Raura Mining Unit – Huánuco.

**Keywords:** Airbolt, mesh, Hydrabolt, bolts, reduction, support.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La Unidad Minera Raura de la Compañía Minera Raura S.A. - Huánuco, ha utilizado el sistema de sostenimiento con pernos Hydrabolt y malla electrosoldada hasta los 20 metros de la galería Santa Isabel proyectada en 420 m.

En el contexto de la industria minera, la eficiencia operativa y la reducción de costos son aspectos cruciales para mantener la viabilidad económica y la competitividad de las operaciones mineras. En este sentido, la optimización de los métodos de sostenimiento en las labores subterráneas representa un área de interés primordial. La presente investigación se enfoca en el análisis de la reducción de costos mediante el empleo de pernos Airbolt y malla electrosoldada en la galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura, ubicada en la región de Huánuco. Este estudio se propone explorar los beneficios económicos y técnicos de esta innovadora tecnología de sostenimiento, así como evaluar su impacto en la seguridad y la estabilidad de las labores mineras subterráneas.

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Unidad Minera Raura de la Compañía Minera Raura S.A. - Huánuco, viene explotando un yacimiento de minerales polimetálicos de Cu, Ag, Pb y Zn aplicando el método de Corte y Relleno Ascendente Mecanizado y para reforzar la galería en interior mina se utilizó el sostenimiento con pernos Hydrabolt y malla electrosoldada, y al realizar la evaluación de costos en la Galería Santa Isabel con una sección de 2,50 m x 3,0 m y una longitud proyectada de 420 m, estando ya en los 20 m. de galería, se detectó problemas de elevados costos de sostenimiento, uno de los principales problemas que se



había presentado son el alto costo de los materiales que se utilizó los pernos Hydrabolt.. Existen diversas alternativas para un sistema de sostenimiento que ofrecen igual o mejores resultados a un costo menor.

En base al análisis del costo de sostenimiento con pernos Hydrabolt y malla electrosoldada resultó en 32,03 US\$/m<sup>2</sup>, de persistir este problema la empresa se verá afectados directamente costos de operación, inclusive perjudicando la extracción de minerales de menor ley ya que estos son recuperados en base a un costo por tonelada métrica (US\$/Tm) y este está definido por cada uno de los costos unitarios.

Como alternativa de solución al problema se podría implementar el sostenimiento con pernos Airbolt y malla electrosoldada, dicha aplicación resultaría muy favorable en la fortificación de las labores mineras y generaría mejores resultados económicos para la Unidad Minera Raura de la Compañía Minera Raura S.A. – Huánuco.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Pregunta general**

¿Cuánto es la reducción de costos de sostenimiento con pernos Airbolt y malla electrosoldada en la galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura – Huánuco?

### **1.2.2 Preguntas específicas**

a) ¿Cuánto es el costo de sostenimiento con pernos Hydrabolt y malla electrosoldada en la galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura – Huánuco?

b) ¿Cuánto es el costo sostenimiento con pernos Airbolt y malla electrosoldada en la galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura – Huánuco?



c) ¿Cuánto es la reducción de costos de sostenimiento con los pernos Airbolt y malla electrosoldada en la galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura - Huanuco?

### **1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

#### **1.3.1 Hipótesis general**

Existe una reducción de costos de sostenimiento con pernos Airbolt y malla electrosoldada en la galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura – Huánuco.

#### **1.3.2 Hipótesis específicas**

Al determinar los costos del sistema de pernos Hydrabolt y malla electrosoldada, se da a conocer en cuanto se gastó por metro cuadrado, en los costos de sostenimiento en la galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura - Huánuco.

Al determinar los costos de sostenimiento con pernos Airbolt y malla electrosoldada, se da a conocer en cuanto reduce los costos por metro cuadrado, en los costos de sostenimiento en la galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura – Huánuco.

### **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.4.1 Objetivo general**

Reducir los costos de sostenimiento con pernos Airbolt y malla electrosoldada en la galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura – Huánuco.



#### 1.4.2 Objetivos específicos

Determinar los costos de sostenimiento con pernos Hydrabolt y malla electrosoldada en la galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura – Huánuco.

Determinar los costos de sostenimiento con pernos Airbolt y malla electrosoldada en la galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura – Huánuco.

Dar a conocer la reducción de los costos de sostenimiento, en la galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura – Huánuco.

#### 1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La Unidad Minera Raura de la Compañía Minera Raura S.A. – Huánuco, explota un yacimiento polimetálico, aplicando el método de explotación de Corte y Relleno Ascendente Mecanizado. En las reservas minerales, se identifican 496 857 toneladas métricas de minerales probados y 248 429 toneladas métricas de minerales probables, con un promedio de 0,25% de cobre, 2,61 onzas por tonelada de plata, 2,18% de plomo y 4,50% de zinc. La extracción de este yacimiento mineral requiere múltiples operaciones subterráneas, que pueden ser horizontales o verticales y para el sostenimiento de estas labores mineras subterráneas, utilizó el sistema de sostenimiento con pernos Hydrabolt y malla electrosoldada, según la evaluación realizada en el tramo inicial de 20 metros, se tiene problemas de elevados costos en sostenimiento.

Al realizar la evaluación, el costo de sostenimiento con pernos Hydrabolt y malla electrosoldada, el precio unitario del perno Hydrabolt de 7 pies fue de 17,70 US\$/unidad y el costo por metro cuadrado de la malla electro soldada fue de 9,2 US\$/m<sup>2</sup> y los demás costos asociados a los costos de instalación que en total suman 32,03 US\$/m<sup>2</sup> como el costo de sostenimiento total, este costo resulta elevado y para solucionar este problema,



esta investigación da como alternativa se da a conocer otro tipo de sostenimiento con el sistema de pernos Airbolt y malla electrosoldada, ya que este sistema contempla un mejor resultado en el sostenimiento a un menor costo.

El presente estudio de investigación dará mucha importancia para la empresa minera porque permitirá generar mejores resultados económicos al optimizar los costos de sostenimiento de labores mineras en base a las características de la roca, lo que justificó la ejecución del presente trabajo de investigación para la Unidad Minera Raura de la Compañía Minera Raura S.A. – Huánuco.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACIÓN

**Oscalla (2023)** en su trabajo de investigación tenía como objetivo principal reducir los costos de sostenimiento por medio de la aplicación de un nuevo sistema de sostenimiento. La metodología empleada fue en una primera fase evaluar los costos del sistema de sostenimiento anterior para posteriormente aplicar el nuevo sistema de sostenimiento y comparar los resultados para poder probar su hipótesis. Llega a la conclusión de que, mediante la aplicación del sistema de sostenimiento con pernos Omegabolt y malla electrosoldada, los costos de sostenimiento se minimizaron de 21,36 US\$/m<sup>2</sup> a 19,56 US\$/m<sup>2</sup>, obteniendo un ahorro de 1,80 US\$/m<sup>2</sup> en la Rampa San Ignacio de la Unidad Minera Pallancata – Ayacucho.

**Chagua (2023)** en su trabajo de investigación, tenía como objetivo optimizar los costos de sostenimiento aplicando un nuevo sistema de sostenimiento. Haciendo uso de la metodología de la evaluación de costos de los dos sistemas de sostenimiento. Llega a la conclusión de que, los costos de sostenimiento al aplicar el nuevo sistema de sostenimiento el cual son los pernos Omegabolt y malla electrosoldada el costo se optimizó de 18,20 US\$/m<sup>2</sup> a 16,66 US\$/m<sup>2</sup>, logrando un beneficio de 1,54 US\$/m<sup>2</sup> en la Rampa 100 de la Mina Animón.

**Alarcón (2019)** en su trabajo de investigación tenía como objetivo principal optimizar los tiempos de instalación de los pernos Omegabolt, y probar que la resistencia del perno al ensayo de pull test cumpla con lo requerido. Aplicando la metodología del ensayo con diferentes pernos en cada área de explotación. Concluye que, se logró una



mejora del 69 % en el tiempo de instalación, y la resistencia al pull test alcanzó las 12 toneladas, superando los requisitos mínimos establecidos por la mina. La implementación del adaptador AMPI no solo optimizó el tiempo de instalación, sino que también garantizó que la resistencia del perno cumpliera con los estándares de la mina. Al mismo tiempo, se verificó una mejora en la adherencia de la malla electrosoldada al macizo rocoso, lo que contribuye a mejores condiciones de seguridad para los trabajadores.

**Guillermo (2019)** en su estudio de investigación tenía como objetivo reducir los costos operativos. Haciendo uso de la metodología evaluó en un inicio todo el sistema de sostenimiento utilizando cuadros de madera. Este análisis incluyó los costos asociados con la madera, transporte, instalación y la vida útil del material. La conclusión fue que al utilizar el sistema de pernos Hydrabolt y malla electrosoldada en lugar de los cuadros de madera, los costos operativos (OPEX) y los costos de capital (CAPEX) del sostenimiento se optimizaron de 47,63 US\$/m<sup>2</sup> a 42,92 US\$/m<sup>2</sup>. Esto representó un beneficio de 4,71 US\$/m<sup>2</sup> en la Rampa San Marcos de la Empresa Minera Arapa S.A.C.

**Quispe (2018)** en su trabajo de investigación tenía como objetivo principal reducir costos de sostenimiento aplicando un nuevo sistema de sostenimiento. Al utilizar la metodología de la evaluación de costos para diferentes tipos de sostenimiento, obtuvo los siguientes resultados: La aplicación del sostenimiento con cuadros de madera implicó un costo total de 22,35 US\$/Tm. Por otro lado, al emplear el sistema de pernos helicoidales, el costo total se redujo a 20,07 US\$/Tm. Esto representó una diferencia de 2,28 US\$/Tm. Al disminuir los costos de sostenimiento, se logró un ahorro de 91 930 US\$/año.

**Blanco (2018)** en su trabajo de investigación, empleó la metodología de caracterización geomecánica de la masa rocosa, que implicaba la descripción, valoración y análisis utilizando índices geomecánicos. Posteriormente, evaluó el tipo adecuado de



sostenimiento, considerando la resistencia de anclaje de pernos como Split Set, Hydrabolt y Swellex. Los resultados indicaron que los anclajes de Split Set y Hydrabolt mostraron una uniformidad en el anclaje, mientras que las Barras Helicoidales, especialmente cuando se instalan con cemento, mostraron un comportamiento irregular. Además, se concluyó que los pernos Hydrabolt tenían la mayor resistencia, seguidos por los Split Set. En términos de costos de sostenimiento, se encontró que variaban desde 10,95 US\$/m<sup>2</sup> para Hydrabolt hasta 50,67 US\$/m<sup>2</sup> para las Barras Helicoidales, siendo Hydrabolt el método más económico y las Barras Helicoidales el más costoso.

**Escalante (2017)** en su trabajo de investigación haciendo uso de la metodología de la evaluación de costos de sostenimiento. Concluyó que el sostenimiento con cuadros de madera y puntales en las operaciones de explotación implicaba un costo total de 20,27 US\$/Tm, mientras que el sistema de sostenimiento mecanizado con pernos Split Set y malla electrosoldada tenía un costo total de 19,04 US\$/Tm. La diferencia entre estos costos era de 1,23 US\$/Tm.

**Narváez (2017)** en su estudio mediante la evaluación de costos de sostenimiento y el equipo utilizado ha llegado a los siguientes resultados: al utilizar el Jumbo Axera J-15 retráctil como equipo principal de sostenimiento, los costos unitarios de sostenimiento se han optimizado de 23,60 US\$/perno a 19,28 US\$/perno, con una diferencia de 4,32 US\$/perno.

**Pantigozo (2013)** en su trabajo de investigación su objetivo principal era la evaluación comparativa del desempeño entre los pernos Swellex e Hydrabolt para determinar la elección más eficaz para su implementación como sistemas de sostenimiento activo en las operaciones subterráneas de minería, considerando sus características como elementos de fricción y su capacidad para proporcionar un soporte



inmediato.

**Torres (2011)** Concluyó que con la metodología de la evaluación de costos de los sistemas de sostenimiento y rendimiento ha llegado a los siguientes resultados que el sistema de sostenimiento con pernos Split Set y malla electrosoldada es más económico que el uso de puntales de madera en el sostenimiento de labores en la Unidad Minera El Cofre.

**Sanca (2009)** concluye que para la estabilización de labores se emplean el sostenimiento con cuadros de madera y pernos de anclaje, previa evaluación geotécnica empleando el sistema GSI. La estrategia empleada para llevar a cabo el estudio implicó la evaluación del coste, la instalación, la duración, así como las ventajas y desventajas del uso de madera. Luego, se procedió a examinar el sostenimiento utilizando pernos de anclaje, teniendo en cuenta los costes asociados con los pernos, su instalación y la duración. Por último, se llevó a cabo una comparación de los costos de sostenimiento entre ambas metodologías.

**Flores (2001)** en su estudio de investigación, haciendo uso de la metodología de la comparativa de los diferentes tipos de sostenimiento con pernos de anclaje. Llegó a la conclusión de que, mediante el análisis del sistema de sostenimiento con pernos de anclaje, evaluando su costo de instalación, duración y efectividad, se obtuvieron los siguientes hallazgos: El costo de sostenimiento fue de 21,50 US\$/Tm.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1 El sostenimiento en minería subterránea**

Según Antúnez (2010) el sostenimiento se describe como el proceso de aplicar un refuerzo estructural para garantizar la estabilidad y preservar la



capacidad de carga del macizo rocoso en torno a una excavación subterránea. Este procedimiento tiene como objetivo conservar la resistencia natural de la roca, permitiéndole mantenerse por sí misma. El sostenimiento puede ser tanto temporal como permanente.

Chávez (2014) indica que, en base a la función para controlar las inestabilidades de la masa rocosa, los elementos de sostenimiento se dividen en dos categorías: sostenimiento activo o por refuerzo, y sostenimiento pasivo o por soporte. Esta clasificación se basa en cómo se aplican los elementos de sostenimiento en relación con su disposición en la masa rocosa. Pueden utilizarse como soporte interno (sostenimiento por refuerzo) o como soporte externo (sostenimiento por soporte). La elección de cada opción de soporte depende de la complejidad de las inestabilidades en la masa rocosa (características geomecánicas) y de la disponibilidad operativa de la compañía minera.

**a) El sostenimiento activo o por refuerzo**

Esta categoría de sostenimiento implica el uso de elementos de soporte ubicados dentro de la masa rocosa. Se consideran los principales elementos de sostenimiento para las labores de avance, como son el Shotcrete, las mallas y los pernos de anclaje (Chávez, 2014).

En función del mecanismo de anclaje en la masa rocosa, los pernos se dividen en dos tipos:

- Pernos de anclaje por adherencia
- Pernos de anclaje por fricción



### **b) El sostenimiento pasivo o por soporte**

Esta categoría de sostenimiento implica el uso de elementos de soporte colocados fuera de la masa rocosa (Chávez, 2014). Los principales elementos de este tipo de sostenimiento son:

- Arcos de acero
- Cuadros de madera
- Gatas hidráulicas y otros dispositivos similares

## **2.2.2 El sostenimiento y su durabilidad**

### **a) Sostenimiento temporal**

Se conoce como sostenimiento temporal a aquel que tiene una vida útil inferior a un año y se caracteriza por ser instalado de inmediato después de cada detonación. Su propósito es crear un entorno de trabajo seguro tanto para el personal como para los equipos, además de prevenir el deterioro rápido de la masa rocosa. Este tipo de sostenimiento incluye elementos como los pernos de anclaje, los pernos de fricción, las mallas electrosoldadas, entre otros (Torres, 2011).

### **b) Sostenimiento permanente**

Este tipo de sostenimiento se instala para asegurar la estabilidad de las galerías, y se coloca después de los disparos iniciales del frente de trabajo. Estos elementos permanecen en su lugar durante toda la duración del proyecto minero. Entre estos elementos se encuentran los pernos con resina o cemento, los cables de acero, el Shotcrete, las Cimbras, entre otros (Torres, 2011).

### 2.2.3 Métodos de diseño de refuerzos y soportes

El diseño del soporte para las labores subterráneas puede realizarse mediante diversos métodos, incluyendo enfoques analíticos, numéricos, observacionales y empíricos.

#### a) Método analítico

Este método se fundamenta en las propiedades elastoplásticas de la roca, estableciendo una relación entre las presiones internas y la deformación radial de la excavación. El tipo de sostenimiento elegido debe ser capaz de resistir esta presión interna.

#### b) Método numérico

Parte discretizando el macizo rocoso a través de elementos finitos, simulando los procesos de deformación inducidos por la excavación y determinando el tipo de sostenimiento necesario para controlar dichas deformaciones.

#### c) Método observacional

Este enfoque implica medir tensiones y convergencias en las excavaciones, y luego aplicar los resultados en los métodos analíticos o numéricos para calcular el tipo de sostenimiento requerido.

#### d) Método empírico

Estos son los considerados enfoques aproximados para el diseño del sostenimiento, que se basan en clasificaciones geomecánicas como el Índice "Q", "RMR" y GSI. Además, consideran varios factores que afectan la



estabilidad, como la orientación de las fracturas, la presencia de agua, las tensiones, las aberturas, el uso de labores, las voladuras y entre otros aspectos.

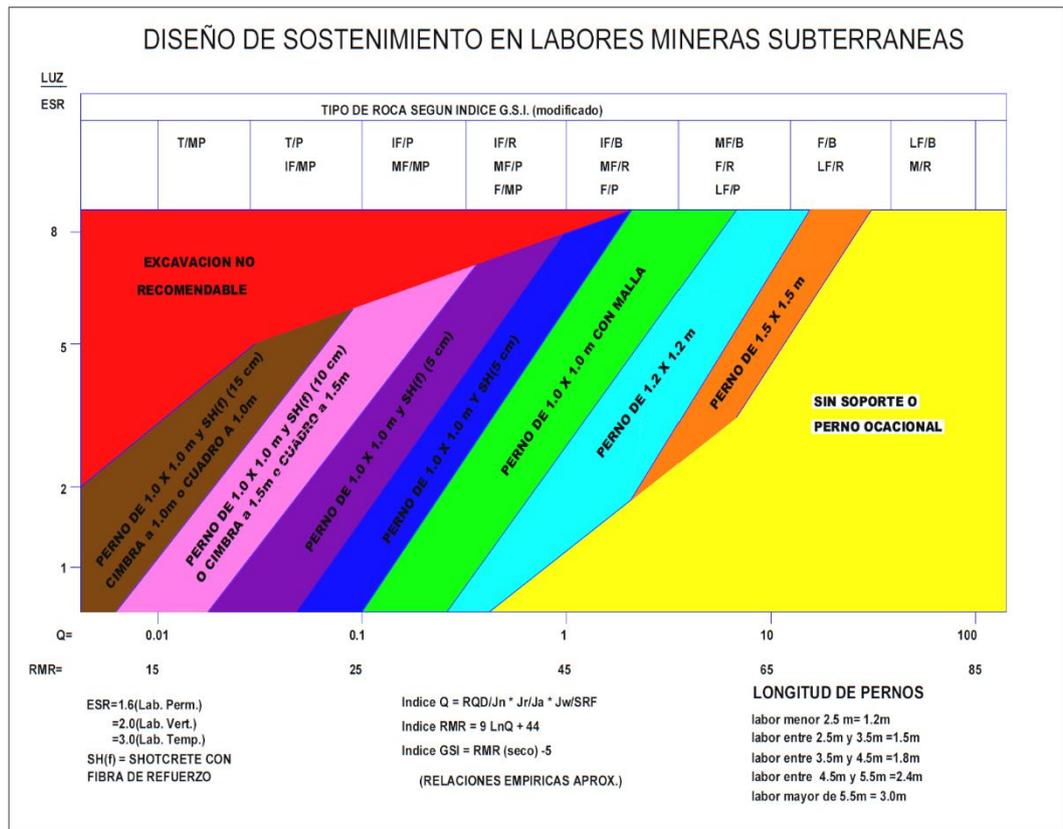
#### **2.2.4 Clasificación geomecánica de Bieniawski (1979)**

El método de evaluación del macizo rocoso, RMR (*Rock Mass Rating*), también llamado Clasificación Geomecánica, fue creado por Bieniawski y se basa en cinco factores fundamentales (Blanco, 2018).

- Resistencia de la roca in-situ.
- Índice de calidad de roca (RQD).
- Humedad o presencia de agua subterránea.
- Estado de las discontinuidades.
- Espaciamiento de discontinuidades.

**Figura 1**

*Diseño de sostenimiento en labores mineras subterráneas*



Nota: extraído y adaptado de Bieniawski (1979).

El RMR se calcula sumando las puntuaciones asignadas a cada uno de los seis parámetros, y varía en un rango de 0 a 100. Un valor más alto indica una mejor calidad de la roca (Blanco, 2018). Bieniawski clasifica las rocas en cinco tipos o categorías según el valor:

**Tabla 1**

Clasificación Geomecánica de Bieniawski (1979).

Tipo de roca	Clasificación	RMR
tipo I	Muy buena	>80
tipo II	Buena	60 - 80



tipo III	Media	40 - 60
tipo IV	Mala	20 - 40
tipo V	Muy mala	<20

Nota: Clasificación Geomecánica de Bieniawski (Bieniawski 1979).

### 2.2.5 Clasificación índice “Q”

Creada por Barton, Lien y Lunde en 1974 tras analizar numerosos túneles, esta metodología clasifica los macizos rocosos y facilita la estimación de parámetros geotécnicos para diseñar sistemas de sostenimiento en túneles y cavernas subterráneas. El índice Q se calcula mediante una evaluación numérica de seis parámetros, según la fórmula dada (Blanco, C. 2018).

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

Donde:

$J_n$  = Grado de fracturación del macizo rocoso.

$J_r$  = Rugosidad de las discontinuidades o juntas.

$J_a$  = Alteración de las discontinuidades.

$J_w$  = Coeficiente reductor por la presencia de agua.

$SRF$  = (*Stress Reduction Factor*); influencia tensional del macizo rocoso.

Cada uno de estos factores representan lo siguiente:

$(RQD/J_n)$  : dimensión de los bloques

$(J_r/J_a)$  : resistencia de corte entre bloques

$(J_w/SRF)$  : influencia del estado tensional



### 2.2.6 Índice de resistencia geológica (GSI)

En el enfoque original, se reconocen 6 categorías de masas rocosas. Para conciliar este enfoque con el método RMR y las pautas de clasificación, el índice de resistencia geológica se basa en dos factores: la integridad estructural de la masa rocosa y su condición superficial (Blanco, 2018).

- a) La estructura de la masa rocosa evalúa el nivel de fracturación o la densidad de fracturas (discontinuidades) por metro lineal. En función de esto, se establecen cinco categorías: masiva o con fractura leve, moderadamente fracturada, muy fracturada, intensamente fracturada y triturada.
- b) La condición superficial de la masa rocosa abarca la resistencia de la roca no alterada y las características de las discontinuidades, como su resistencia, apertura, rugosidad y llenado, así como el grado de meteorización o alteración. Estos aspectos se definen de la siguiente manera: muy buena, buena, regular, mala y muy mala. Además, es importante señalar que existen relaciones matemáticas para correlacionar los distintos criterios de clasificación geomecánica (Blanco, 2018).

### 2.3. SOSTENIMIENTO POR ANCLAJES

Este tipo de sostenimiento es provisional y puede volverse permanente si se combina con otros métodos. Se coloca inmediatamente después de la voladura en el frente, proporcionando seguridad inmediata al personal y a los equipos, y evitando el desgaste prematuro del macizo rocoso. Ejemplos: pernos con anclajes, pernos de fricción, mallas, entre otros. (Atlas Copco, 2003).

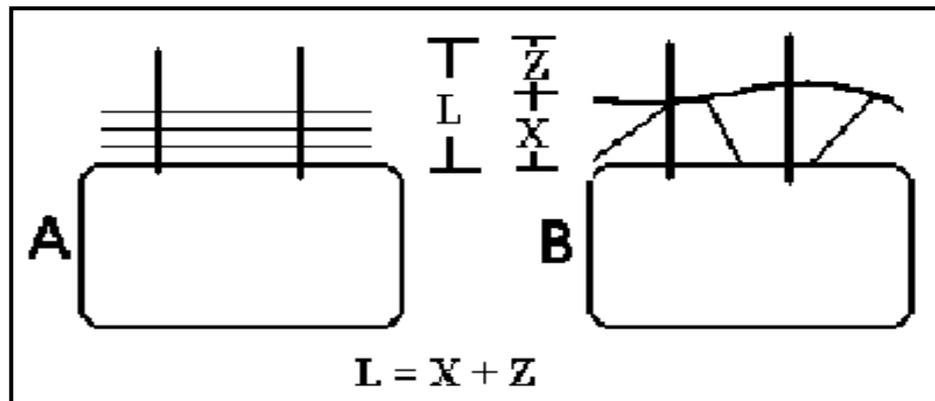
### 2.3.1 La longitud de los pernos de roca

- a) La longitud de un perno de roca está definida por la siguiente expresión:

$$L = X \text{ (profundidad de la capa)} + Z \text{ (zona de anclaje)}$$

**Figura 2**

*Longitud de perno de roca respecto a la zona de anclaje.*



Nota: (Huamán, T. 2014).

- b) Longitud del perno de sostenimiento con respecto a la apertura, se da por la siguiente expresión:

$$L = 1,4 + (0,18 * W)$$

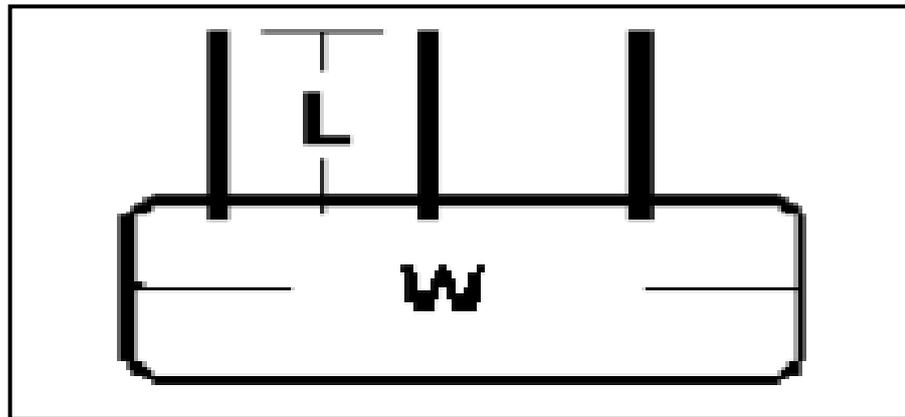
Donde:

L = longitud del perno de roca

W = ancho de apertura

### Figura 3

*Longitud de perno de anclaje respecto a la apertura.*



Nota: (Huamán, T. 2014).

#### 2.3.2 La funcionalidad de los pernos de roca

##### a) La resistencia a la tracción

Según Huamán (2014) el propósito fundamental de los pernos para roca es contrarrestar el desplazamiento o la dislocación del terreno. En las rocas duras, este desplazamiento ocurre principalmente debido a fallas y fracturas que se abren con el tiempo debido a la presión vertical u horizontal, el efecto de la gravedad en los bloques y las variaciones de temperatura y humedad en la roca sólida.

##### b) Resistencia al corte o cizalladura

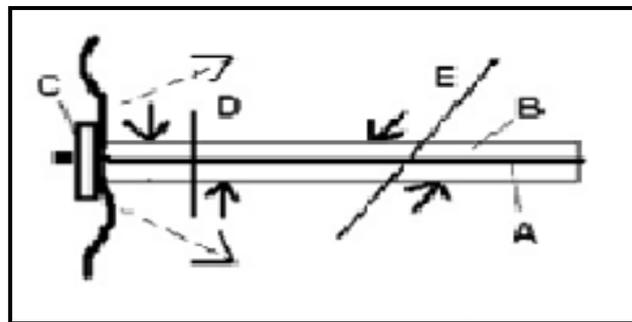
La resistencia al corte de un perno está determinada por varios factores:

- (A) el tipo de perno utilizado.
- (B) el tipo de lechada empleada o la falta de ella.

- (C) la aplicación de una tensión al perno añade resistencia a través de la fricción en las fracturas o capas de la roca.
- (D) la resistencia al corte de un perno a 90 grados suele calcularse entre el 50 y el 80 % de la resistencia a la tracción.

#### Figura 4

*Resistencia al corte o cizalladura de los pernos de roca.*



Nota: (Huamán, T. 2014).

#### c) Consolidación en terrenos fracturados

Huamán (2014) menciona que la función principal de los pernos de roca en áreas con fracturas es controlar la estabilidad de bloques y cuñas rocosas que podrían ser inestables.

#### d) Consolidación de terrenos laminados

De acuerdo a Huamán (2014) la implementación de pernos para roca en una configuración "laminada" proporciona refuerzo a los estratos. En terrenos laminados, la aplicación de pernos para roca bajo tensión ayuda a resistir mejor el disloque o el desplazamiento.

### 2.3.3 Sostenimiento con pernos Hydrabolt

Antúñez (2010) menciona que el perno Hydrabolt es un perno de fricción que se expande de 29 a 41 mm cuando se les inyecta agua a altas presiones de 25 a 30 Mpa (se considera la presión adecuada de inflado). Gracias a su válvula de no retorno, el agua se retiene en el interior del perno, generando una presión constante de forma radial y a lo largo de toda la longitud del taladro. Los Hydrabolt constituyen un tipo de soporte activo que entra en acción de inmediato una vez que se ha completado el inflado. Tienen un rango de expansión amplio y se instalan de forma rápida y sencilla. La instalación puede realizarse de manera segura a distancia. No requieren ningún tipo de aditivo, como cemento o resina; únicamente necesitan agua y aire comprimido de la mina. El Hydrabolt está equipado con un indicador de carga que solo se muestra si el perno ha sido inflado de manera adecuada. Además, viene en diferentes colores que indican su longitud (por ejemplo, un pin de plástico amarillo para el Hydrabolt de 7 pies). Esta característica facilita el trabajo del supervisor, ya que permite verificar si los pernos han sido instalados a la presión y longitud correctas.

**Tabla 2**

*Características y especificaciones técnicas del perno Hydrabolt*

Ítem	Características	Medidas	Unidad de medida
Diámetro	Plegado	29	mm
Diámetro recomendado	De taladro	36 -38	mm
Diámetro óptimo	De taladro	34 – 38	mm
Dimensiones del Casquilllete	De cabeza(cintura/cuello)	32,5 – 42,5	mm
Diámetro de casquillete	Superior	32.5	mm
Presión	De inflado	250 – 280	Bar



Rendimiento	Acero (carga)	10	Ton
Carga mínima	De rotura	10	Tm
Máxima carga	Acero	16	Ton
Máxima deformación	Axial (elongación)	21	%
Peso perno	con plato	2	Kg/m
Longitudes	Estándares	0,9-3,15 cada 0,3	m
<b>Aplicación</b>	<b>Toda dureza, uso temporal o permanente</b>		

Nota: explicar o brinde información acerca de la tabla, FORMIN S.A.C. (2019).

**a) Accesorios de instalación**

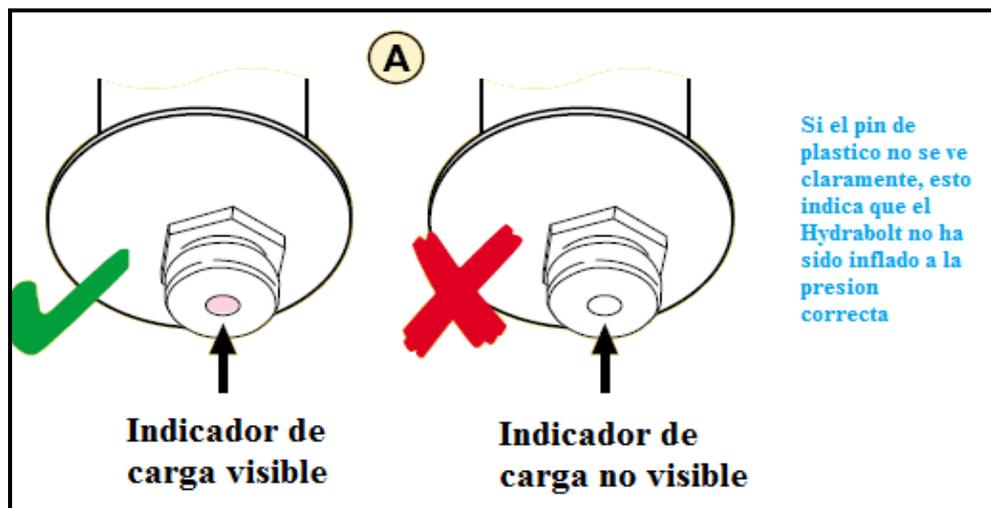
Los pernos Hydrabolt para su instalación requieren de los siguientes elementos:

- Bomba de aire de alta presión
- Pistola de seguridad
- Bomba de aire manual

El perno Hydrabolt está equipado con un indicador de presión de carga que solo se muestra cuando el perno ha sido inflado correctamente. Además, viene en diferentes colores que indican la longitud. Estas características son útiles para el supervisor, ya que le permiten verificar si los pernos han sido instalados correctamente en términos de longitud y presión. (Flores, 2001).

**Figura 5**

*Indicador de carga de hydrabolt*



Nota: Huamán (2014).

**b) Proceso de instalación del Hydrabolt.**

- Primero, se detectan las rocas sueltas y se desatan. Luego, se procede a medir y marcar la disposición de los pernos según la distribución establecida o el plan de trabajo.
- Después, se lleva a cabo la perforación de los taladros de forma perpendicular  $90^\circ$  a los planos de las discontinuidades utilizando el equipo de perforación yack leg.
- Luego, se lleva a cabo el traslado de todas las herramientas y equipos requeridos para la instalación de los pernos Hydrabolt. Además, se conectan las mangueras de agua y aire comprimido a las entradas de la bomba de inflado, asegurándose de que cada empalme esté protegido con cinta Band It. Durante este proceso, es esencial revisar cuidadosamente que los pernos Hydrabolt no hayan sufrido daños en su cuerpo o válvula durante el traslado.



- Después de reunir todos los equipos y materiales necesarios, se inicia el proceso de instalación. Esto implica insertar el perno Hydrabolt por completo en el taladro, retirar la protección plástica de la válvula y realizar un lavado adecuado del perno.
- Luego, se coloca la boquilla en la válvula del perno. Inicialmente, se abre la válvula de agua y posteriormente la válvula de aire comprimido. A continuación, se presiona el gatillo de la pistola de seguridad de alta presión a una distancia segura.
- Posteriormente, se sigue bombeando agua hasta que esta salga por la válvula de alivio de la pistola de seguridad. Luego, se verifica el indicador de carga, el cual debe mostrar un color específico correspondiente a la longitud del perno según la distancia de inflado deseada.
- Finalmente, una vez completada la instalación del perno, se cierra la válvula de aire en primer lugar, seguida de la válvula de agua. Luego, se presiona la pistola para despresurizar la bomba (DSI Underground, 2019).

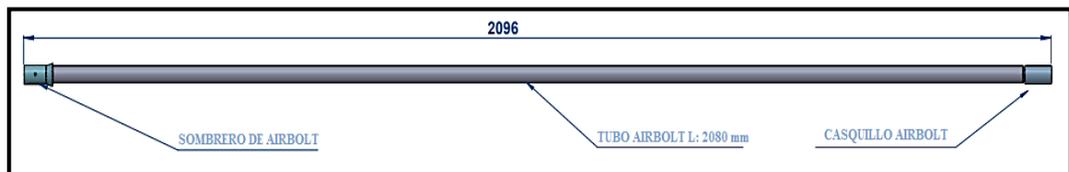
#### **2.3.4 Sostenimiento con pernos Airbolt**

Los pernos Airbolt, también conocidos como pernos de expansión o fricción “Swellex”, son utilizados como refuerzo principalmente para el techo en la construcción de túneles mineros. Estos pernos se insertan en agujeros en las paredes y se sujetan mediante fricción. Los pernos son un tipo de sistema de anclaje expansivo que funciona mediante la fricción. Están contruidos con acero

de alta resistencia y una capacidad expansiva considerable, así como una gran resistencia mecánica. Esta combinación permite generar una presión significativa sobre la pared interna de la perforación en la roca, lo que produce fricción. Además, este sistema cuenta con un diseño que facilita su instalación de manera rápida y segura. Utiliza un método de inflado con agua que asegura una adaptación óptima del perno a la estructura circundante. (FORMIN S.A.C. 2019).

### Figura 6

#### *Partes del sistema Airbolt*



Nota: FORMIN S.A.C. (2019).

#### a) **Proceso de instalación del Airbolt.**

- En primer lugar, se realiza la identificación de las rocas sueltas y se lleva a cabo el desatado. Luego, se procede a medir y marcar la distribución de los pernos de acuerdo con el plan establecido para su disposición.
- Después de estas tareas, se lleva a cabo la perforación de los taladros de manera perpendicular, a un ángulo de  $90^\circ$  respecto a los planos de las discontinuidades. Esto se realiza con el objetivo de proporcionar un soporte más efectivo.
- En la tercera fase, se realiza el traslado de todas las herramientas, materiales y equipos esenciales para la instalación de los pernos.



Además, se conectan las mangueras de agua y aire comprimido a las entradas de la bomba, asegurándose de que cada unión esté protegida con cinta Band It para su seguridad.

- El perno se introduce en el agujero perforado, colocándolo de manera perpendicular a la superficie de la masa rocosa.
- Una vez que el perno está en su lugar, se conecta al sistema hidroneumático para iniciar el proceso de inflado.
- Cuando se conecta el perno, comienza a expandirse a medida que comprime la roca circundante. El perno Airbolt se ajusta a la forma del agujero a medida que se expande.
- Después de alcanzar la presión adecuada, que varía según el modelo y dimensiones del perno, el anclaje proporciona refuerzo en las cajas desde ese momento en adelante (Sandvik Company, 2019).

**b) Ventajas del Airbolt.**

- Sostenimiento inmediato (Activo).
- Capacidad de adaptación a taladros de diferentes diámetros.
- Uso de bombas de alta presión eléctrica y neumática.

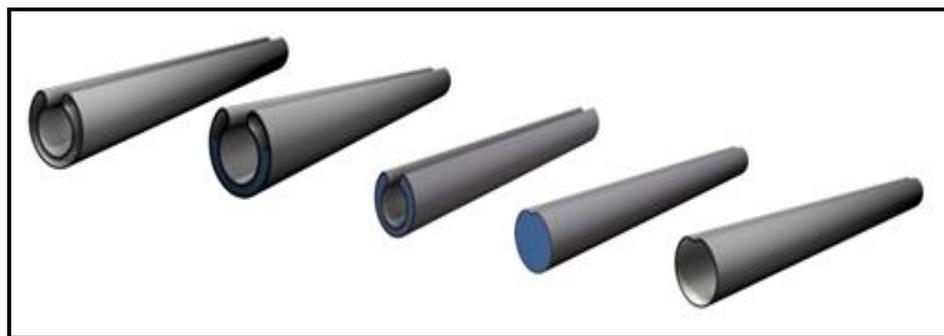
**c) Parámetros**

- **Diámetro del Airbolt:** 39 milímetros.

- **Resistencia:** de 1 a 2,0 Tm/pie, está directamente relacionado al diámetro del taladro.
- **Tipo de roca:** aplica perfectamente a roca regular, en roca fracturada y débil no se recomienda su uso.
- **Instalación:** es necesario una máquina Jackleg o un jumbo, con una presión de aire de 60 a 80 psi.

### Figura 7

*Proceso de inflado de Airbolt*



Nota: FORMIN S.A.C. (2019).

#### 2.3.5 Malla electrosoldada

Estas estructuras se componen de acero, formadas por barras dispuestas ortogonalmente y unidas mediante soldadura por fusión, lo que implica que no se añada ningún otro elemento para unir las barras. Este producto se fabrica conforme al reglamento "IRAM-IAS U 500-06", utilizando acero de calidad "T-500-01". Esto indica que el acero se lamina a bajas temperaturas y está disponible en una variedad de secciones, cuadrículas y diámetros de alambre, adaptados según la aplicación final de estos elementos (Torres, 2011).

La soldadura por fusión eléctrica produce uniones sólidas de alta calidad. Los puntos de soldadura a lo largo de las varillas aseguran una unión efectiva con el Shotcrete. El uso del acero "AT56-50H", conocido por su alta resistencia, permite reducir las secciones, lo que facilita la instalación rápida y sencilla de las mallas electrosoldadas (Torres, 2011).

**Tabla 3**

Características y resistencia de la malla electrosoldado liso

<b>Diámetro</b>	<b>Resistencia Kg/mm<sup>2</sup></b>	<b>Fluencia Kg/mm<sup>2</sup></b>	<b>Doblez #</b>	<b>Elongación %</b>	<b>Diámetro</b>
Nominal mm	Tol (+/-) % en peso	Mínima	mínima		
∅ < 3,15	0,08	49,49	39,29	1d	6
∅ 3,15 a ∅ 6,40	0,08	52,55	45,92	1d	6

Nota: ficha técnica Sandvik Company (2019).

**Tabla 4**

Características y resistencia física de la malla electrosoldada galvanizada

<b>Tipo</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Capa de Zinc</b>	<b>Resistencia Mecánica</b>
Duro	3,40 +/- 0,08	min 30 gr/m <sup>2</sup>	min 56 Kg/mm <sup>2</sup>
Simple	4,20 +/- 0,08		
Duro Triple	3,40 +/- 0,08	min 260 gr/m <sup>2</sup> min 275 gr/m <sup>2</sup>	min 56 Kg/mm <sup>2</sup>
	4,20 +/- 0,08		

Nota: ficha técnica Sandvik Company (2019).

## 2.4. COSTOS Y GASTOS

### 2.4.1 Costos

Según Iriarte (2012) se incurre en costos durante la ejecución de la labor y deben ser monitoreados de manera precisa y puntual para poder implementar las correcciones requeridas.



**a) Cuáles son los objetivos de los costos**

Según Durant (2017) quien plantea los costos en las operaciones mineras con los siguientes objetivos:

- Contribuir a un control y administración más efectivos de las operaciones y tareas mineras.
- Facilitar datos para cuantificar los ingresos y valorar el inventario.
- Ofrecer todos los datos necesarios para respaldar la planificación y la toma de decisiones gerenciales.

**2.4.2 Tipos de costos**

Esta clasificación es relevante debido a que posibilita la realización de análisis de planificación para supervisar las operaciones. Se enfoca en la variabilidad de los costos, considerando las diversas etapas de producción (Durant, 2017).

**a) Costos variables**

Los costos variables son llamados así debido a que su existencia y monto dependen directamente de la producción, es decir, solo surgen cuando se requieren y varían en función de la cantidad producida (Iriarte, 2012).

**b) Costos fijos**

Los costos fijos son denominados "fijos" debido a que se mantienen constantes incluso si no son necesarios, y su valor no varía en relación con la producción (Iriarte, 2012).



### 2.4.3 Costos de operación

Es fundamental realizar una identificación completa y comprender plenamente los costos de una empresa, ya que estos desempeñan funciones esenciales y tienen objetivos claros que incluyen:

- Facilita el control de las deficiencias operativas.
- Facilita la valoración de los inventarios.
- Impacta en la capacidad de tomar decisiones informadas.
- Mejora la gestión y el control gerencial de la empresa.

### 2.4.4 Asignación de los costos

#### a) Los costos directos

Según Iriarte (2012) se trata de costos que son directamente atribuibles a un producto de manera precisa y pueden medirse claramente en función de su relación con ese producto. No se requiere establecer criterios de asignación, ya que su distribución económica es evidente para determinar su costo unitario.

#### b) Los costos indirectos

Iriarte (2012) también manifiesta estos costos son los que impactan directamente en la producción de uno o varios productos de una empresa, pero no pueden ser atribuidos ni asignados a un producto específico, y tampoco se conoce en qué fase del proceso de producción afectan de manera precisa.



## 2.5. DEFINICIONES DE TERMINOS

**Sostenimiento:** se refiere a los procedimientos empleados para reforzar las rocas y mejorar su estabilidad, permitiendo que resistan las cargas cercanas a las excavaciones subterráneas.

**Labor:** es un término general que engloba todas las actividades mineras subterráneas, como túneles, socavones, galerías, chimeneas, subniveles, rampas, entre otros.

**Geomecánica:** es la disciplina que estudia el comportamiento mecánico de las masas rocosas frente a las fuerzas presentes en su entorno físico.

**Perforación:** es una operación mecánica que implica la creación de agujeros en el macizo rocoso o mineral.

**Pernos Hydrabolt:** son tubos de metal con dimensiones personalizadas que se expanden hidráulicamente, proporcionando una fuerza de anclaje superior para aplicaciones de carga a la tracción.

**Pernos Airbolt:** son anclajes expansivos que actúan por fricción, fabricados con acero de alta capacidad expansiva y resistencia mecánica, generando fricción al presionar contra la pared interna de la perforación en el macizo rocoso.

**Malla electrosoldada:** son estructuras planas de acero, formadas por barras dispuestas en forma cuadrada y unidas mediante soldadura eléctrica, sin aporte de material en los puntos de encuentro.

**Falla:** es una fractura en la corteza terrestre causada por fuerzas tectónicas, resultando en el desplazamiento de bloques rocosos a lo largo de la fractura.



**Fisura:** es una grieta, rotura o fractura que se presenta en la superficie del macizo rocoso.

**Macizo rocoso:** comprende tanto los bloques de la matriz rocosa como las discontinuidades presentes en la naturaleza.

**Costos:** son los recursos económicos utilizados en la producción de bienes o servicios.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN

El Unidad minera Raura S.A. se encuentra situado en la cordillera occidental del Perú, en la divisoria continental entre las cuencas del Pacífico y del Atlántico. Está ubicado en los departamentos de Huánuco, específicamente en el distrito de San Miguel de Cauri, provincia de Lauricocha. Es una Compañía Minera polimetálica que se dedica a la extracción de cobre (Cu), zinc (Zn), plomo (Pb) y plata (Ag).

- **Distrito** : San Miguel de Cauri
- **Provincia** : Lauricocha
- **Departamento** : Huánuco
- **Nivel** : 4700 m.s.n.m.
- **Coordenadas UTM-WGS84**
  - E : 309, 700
  - N : 8 845, 500

#### 3.2. ACCESIBILIDAD

El acceso hacia la Unidad Minera Raura – Huánuco, puede realizarse siguiente las siguientes rutas (Ver Tabla 4).

**Tabla 5**

Accesibilidad por vía terrestre hasta la Unidad Minera Raura - Huánuco

<b>Recorrido</b>	<b>Distancia km</b>	<b>Recorrido hr:min:sg</b>	<b>Tipo de Vía</b>	<b>Medio de transporte</b>
Juliaca – Lima	1271,0	23:00:00	Asfaltada	Bus
Lima – Huacho	160,0	02:40:00	Asfaltada	Bus
Huacho – Sayán	40,0	00:50:00	Asfaltada	Bus
Sayán – Churín	60,0	01:12:00	Carretera afirmada	Bus
Churín – Oyón	40,0	00:45:00	Carretera afirmada	Bus
Oyón – Raura	35,0	01:13:00	Carretera afirmada	Bus

Nota: El acceso partiendo desde la ciudad de Lima toma alrededor de 10 horas de viaje.

Fuente: elaboración propia.

### **3.3. DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **3.3.1 Tipo de investigación**

Este estudio de investigación se clasifica como descriptivo, ya que proporciona una descripción detallada de todo el proceso.

Hernández *et al.* (2014) indica que hay cuatro tipos de investigaciones, la presente investigación pertenece al tipo descriptivo; aplicado en el campo de la ingeniería. Según las características del presente trabajo de investigación, que se refiere a la reducción de los costos de sostenimiento con pernos Airbolt y malla electrosoldada vs. pernos Hydrabolt y malla electrosoldada en la Galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura – Huánuco.

#### **3.3.2 Enfoque de la investigación**

Este trabajo de investigación sigue un enfoque cuantitativo, fundamentado en la estadística no probabilística, ya que involucra la recolección de datos que



son principalmente mediciones numéricas. De acuerdo con Hernández et al. (2014), este enfoque cuantitativo sigue una serie de procedimientos de manera secuencial y con base en evidencia. Esto implica que todas las etapas deben ser seguidas rigurosamente en orden, aunque en ciertos casos particulares se puede reconsiderar la secuencia de algunas fases.

### **3.3.3 Diseño de investigación**

Para este estudio de investigación, se optó por un diseño de investigación preexperimental, longitudinal y comparativo. Esto se debe a que los controles se llevaron a cabo en un único grupo, que consiste en la Galería Santa Isabel.

El proceso de investigación se centró en evaluar los costos asociados con la fortificación utilizando pernos Hydrabolt y malla electrosoldada. Se analizaron las ventajas y desventajas de este sistema, considerando el costo de los materiales, la instalación, la duración y la seguridad proporcionada. La información se recopiló a partir de fichas de control. Además, se examinaron los costos y la seguridad del sistema de sostenimiento con pernos Omega Bolt y malla electrosoldada. Después de comparar ambos sistemas, se determinó que el sistema de pernos Omega Bolt y malla electrosoldada era más favorable para su implementación en la Unidad Minera Pallancata - Ayacucho.

Para calcular los costos de sostenimiento, se tuvieron en cuenta los gastos asociados con la mano de obra, la maquinaria y los materiales necesarios, que incluyen pernos de 7 pies, barrenos de 7 pies, arandelas, tuercas, malla electrosoldada y las herramientas requeridas.



### **3.4. POBLACIÓN**

La población seleccionada para la investigación incluyó todas las rampas con secciones de 2,50 m x 3,00 m, ubicadas en una formación rocosa semidura, con una densidad promedio de 2,70 t/m<sup>3</sup>, en la Unidad Minera Raura - Huanuco. Según Hernández (2014), la población se define como el conjunto de todos los casos que cumplen con ciertas especificaciones.

### **3.5. MUESTRA**

La muestra consiste en la Galería Santa Isabel, con una sección de 2,50 m x 3,00 m y una longitud de 420 m, ubicada en una formación rocosa semidura con una densidad promedio de 2,70 t/m<sup>3</sup> en la Unidad Minera Raura - Huanuco. De acuerdo con Hernández & Sampieri (2014), la muestra se define como un subgrupo de la población, es decir, un conjunto de elementos que forman parte de la población definida previamente.

#### **3.5.1. Tipo de muestreo**

El tipo de muestra corresponde al muestreo probabilístico ya que cada una de las Galerías de secciones 2,50 m x 3,0 m desarrollados en roca tipo III, tenían la probabilidad de ser elegidos para los fines del presente estudio de investigación. Hernández *et al.* (2014) refiere que una muestra probabilística es una técnica de selección de la muestra en la cual cada elemento de la población tiene una probabilidad conocida y no nula de ser incluido en la muestra. En este tipo de muestreo, se utiliza un enfoque aleatorio que permite que cada unidad de la población tenga una oportunidad precisa de ser seleccionada, lo que garantiza que la muestra sea representativa y que los resultados obtenidos puedan generalizarse de manera más confiable a la población completa.

### 3.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.6.1 Variable independiente

El sistema de sostenimiento con pernos Airbolt y malla electrosoldada en Galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura – Huánuco.

#### 3.6.2. Variable dependiente

Costos de sostenimiento en la Galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura – Huánuco.

**Tabla 6**

Operalización de variables

<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Escala de medición</b>
<b>Variable independiente:</b>		
El sistema de sostenimiento con pernos Airbolt y malla electrosoldada en Galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura – Huánuco.	- Eficiencia	- Tm/m <sup>2</sup>
	- Rendimiento	- Tm/m <sup>2</sup>
	- Sección	- m <sup>2</sup>
<b>Variable dependiente:</b>		
Costos de sostenimiento en la Galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura – Huánuco.	- Costo de sostenimiento	- US\$
	- Costo de pernos	- US\$/m <sup>2</sup>
	- Costo de la malla	- US\$/m <sup>2</sup>
	- Costos de instalación	- US\$/m <sup>2</sup>



### **3.7. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Se emplearon técnicas de recolección de datos que incluyeron la inspección y observación del sitio de trabajo, así como el registro de los controles operativos diarios y mensuales.

#### **3.7.1. Técnicas para el procesamiento de la información**

Se aplicó instrumentos y procedimientos de acuerdo a lo siguiente:

- Los datos recopilados del mapeo geológico de la galería Santa Isabel, se utilizaron para elaborar el diseño de sostenimiento de las labores subterráneas.
- Análisis de documentos.
- Inspección y observación del lugar de trabajo
- El diseño del sistema de sostenimiento y la evaluación de los costos de inversión necesarios.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La investigación se llevó a cabo en la Galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura en Huanuco. Se evaluó el uso de dos tipos de pernos para el sostenimiento, los pernos Hydrabolt y Airbolt, junto con la malla electrosoldada correspondiente.

Para la discusión de los resultados, se comenzó calculando los costos de sostenimiento utilizando pernos Hydrabolt y malla electrosoldada. Luego, se calcularon los costos asociados con el sistema de sostenimiento de pernos Airbolt y la correspondiente malla electrosoldada. Finalmente, con los datos obtenidos, se llevó a cabo el análisis correspondiente en la Galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura en Huanuco.

El tipo de roca en el que fue evaluado e implementado el sistema de sostenimiento corresponde:

**Tabla 7**

Caracterización geomecánica para el sistema de sostenimiento

<b>Parámetros</b>	<b>Puntuación de valores</b>	<b>Valoración</b>	
Compresión uniaxial (Mpa)	100 – 250	12	
Índice de calidad de roca (RQD%)	50 – 75	17	
Espaciamiento (m)	0,6 – 2	15	
Condición de las juntas	Persistencia	1 – 3 long.	4
	Apertura	< 0,1 mm	5
	Rugosidad	Muy rugosa	6
	Relleno	Duro <5mm	4
	Alteración	Lig. Alterado	5
Agua subterránea	Húmedo	10	
Valor Total de RMR	Básico	78	
Ajuste de orientación estructural	Favorable (-3)	-3	
<b>valor total Ajustado RMR</b>		<b>75</b>	

Nota: Área de geomecánica Minera Raura.

**Tabla 8**

Tipo de roca en la que se evalúa e implementa el sistema de sostenimiento

<b>Tipo de roca</b>	<b>Calidad</b>	<b>RMR</b>
tipo III	Regular	41 - 60

Nota: Área de geomecánica Minera Raura.

## 4.2. RESULTADOS OBTENIDOS SEGÚN LOS OBJETIVOS

### OBJETIVO ESPECÍFICO I

Determinar los costos de sostenimiento con pernos Hydrabolt y malla



electrosoldada en la Galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura - Huánuco.

#### 4.3. SISTEMA DE SOSTENIMIENTO CON PERNOS HYDRABOLT Y MALLA ELECTROSOLDADA

Para implementar el sostenimiento de la labor minera utilizando pernos Hydrabolt y malla electrosoldada, se procedió primero a cortar la malla electrosoldada de acuerdo con la sección de la labor que requería sostén. Luego, se llevaron a cabo perforaciones para insertar los pernos siguiendo una distribución planificada conforme a las indicaciones y sugerencias proporcionadas por el departamento de geomecánica de la Unidad Minera.

Los tiempos promedio de ciclo de minado La Unidad Minera Raura de la Compañía Minera Raura S.A. – Huánuco.

**Tabla 9**

Tiempo promedio de instalación de perno Hydrabolt y malla electrosoldada.

<b>Hydrabolt</b>	<b>Tiempo (segundos)</b>
Tiempo de posicionamiento de la viga	30
Tiempo de perforación	262,5
Tiempo de retorno de la barra	10
Tiempo de presentación de malla	30
Tiempo de levantado de malla	30
Tiempo de emboquillado del adaptador	30
Tiempo de inyección de perno al taladro	28
Tiempo de inflado de perno	80
Tiempo muerto por mal inflado por cambio de sello	80
<b>Tiempo total</b>	<b>580,5</b>

Nota: En la Tabla 9, se especifica los tiempos promedio para la instalación de un perno Hydrabolt, en este caso es 580,5, segundos, promedio de 10 minutos.

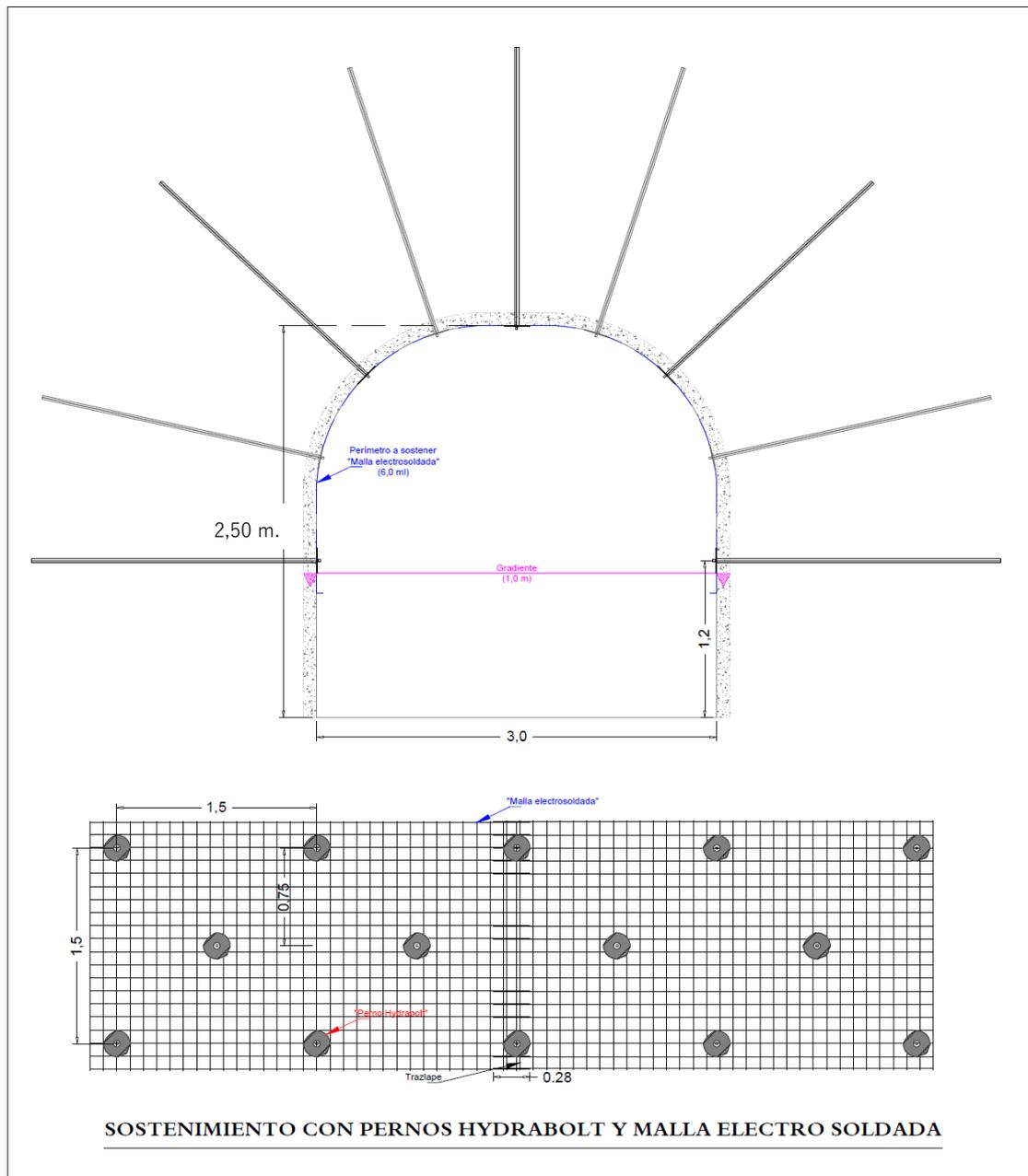


#### **4.4. COSTO DE COMPRA DE LOS PERNOS HYDRABOLT Y MALLA ELECTROSOLDADA**

El costo de perno Hydrabolt de 7 pies incluido la placa fue de 17,70 US\$/unidad y el costo de la malla electrosoldada de un rollo de 25 metros de longitud por 2 metros de ancho se adquirió a un costo de 230,00 US\$. Y el costo por metro cuadrado de la malla electro soldada fue de 4,6 US\$/m<sup>2</sup>.

## Figura 8

### Diseño de malla electrosoldada y pernos Hydrabolt.



Nota: Diseño de la colocación de los pernos Hydrabolt y malla electrosoldada en la Galería Santa Isabel de la Mina Raura – Huanuco.

## Figura 9

*Diseño de la colocación de los pernos Hydrabolt y malla electrosoldada en la galería Santa Isabel en la Mina Raura – Huanuco.*

Nota: Foto tomada en la Galería Santa Isabel, con los pernos Hydrabolt instalados, .



### **4.5. COSTO DE INSTALACIÓN DE SOSTENIMIENTO CON PERNOS HYDRABOLT Y MALLA ELECTROSOLDADA.**

Para estimar los gastos asociados a la instalación del sistema de sostenimiento utilizando pernos Hydrabolt, se han tenido en cuenta los costos relacionados con la mano de obra, el costo del equipo de perforación, el costo de los materiales utilizados para el sostenimiento, así como los gastos en equipos de seguridad necesarios.



**Tabla 10**

*Costo de mano de obra con hydrabolt.*

*T. C. 1 US\$ = S/. 3,74*

<b>Mano de obra directa</b>	<b>N° de personal</b>	<b>Jornal (soles)</b>	<b>Incidencia (%)</b>	<b>Costo US \$/guardia</b>
Supervisor	1	100	20	26,74
Maestro de sostenimiento	1	90	100	24,06
Ayudante de sostenimiento	1	80	100	21,40
Sub total				<b>73,2</b>
Leyes sociales	102,86 %			<b>75,29</b>
<b>Total</b>				<b>148,49</b>

Nota: En la Tabla 10, se detalla los costos de mano de obra al realizar el sistema de sostenimiento con pernos Hydrabolt y malla electrosoldada, cuyo costo fue de 148,49 US\$/guardia.

**Tabla 11**

*Costo de equipo de sostenimiento por guardia.*

<b>Equipo</b>	<b>Costo de trabajo (US\$/hora)</b>	<b>Tiempo de perforación/perno (seg)</b>	<b>Total, de pernos (Unidad)</b>	<b>Costo total US\$/guardia</b>
-Comprensora				
-Máquina perforadora	90	262.5	42	90.00
-Bomba				
<b>Total</b>				<b>90.00</b>

Nota: En la Tabla 11, se observa el costo de perforación para 42 pernos Hydrabolt, dicho costo fue de 90,00 US\$/guardia.

**Tabla 12**

*Costo de materiales de sostenimiento.*

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo (US \$/unidad)</b>	<b>Costo total (US \$/guardia)</b>
Malla electrosoldada	18,00 m <sup>2</sup>	9.2	165,6
Perno Hydrabolt	42 unidades	17,70	743,40
<b>Total</b>			<b>909,00</b>

Nota: En la Tabla 12, se detalla el costo de materiales de sostenimiento con el sistema de pernos Hydrabolt y malla electrosoldada, cuyo costo fue de 909,00 US\$/guardia.

**Tabla 13***Costo implementos de seguridad*

Descripción	Medida		Costo US \$/unidad	Vida Útil (días)	Costo US \$/guardia
Botas de jebe	Pares	3	21,75	180	0,36
Protector	Unidad	3	13,78	365	0,11
Gautes de seguridad	Pares	3	5,35	25	0,64
Correas porta lámpara	Unidad	3	5,76	300	0,06
Lámpara de batería	Unidad	3	117,25	365	0,96
Mamelucos	Unidad	3	25,15	180	0,42
Respiradores	Unidad	3	23,48	180	0,39
Filtro de respiradores	Pares	3	4,77	15	0,95
Tapón de oídos	Pares	3	2,53	120	0,06
Ropa de jebe	Unidad	2	33,86	180	0,38
Lentes de seguridad	Unidad	3	12,75	120	0,32
<b>Costo total</b>					<b>4,65</b>

Nota: El costo de los EPP, de los trabajadores que realizan los trabajos de instalación.

Sumando los costos de mano de obra, equipos, materiales y EPP, se tiene un costo total de instalación y se saca en metros cuadrados.

$$\text{Costo total de instalación: } 148,49 + 90,00 + 909 + 4,65 = 1\ 152,14 \text{ US\$}$$

$$\text{Costo total de instalación en US\$/m}^2 = 32,03 \text{ US\$/m}^2$$

**OBJETIVO ESPECÍFICO II**

Reducir los costos de sostenimiento con pernos Airbolt y malla electrosoldada en la galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura – Huánuco.



#### 4.6. COSTO DE SOSTENIMIENTO CON PERNOS AIRBOLT Y MALLA ELECTROSOLDADA

Para la instalación del sistema de sostenimiento con pernos Airbolt y malla electrosoldada, primero se realiza la perforación en realce a toda el ala derecha o izquierda y es necesario indicar que esta perforación en realce para ambos casos se realiza con arranque o aprovechando las chimeneas de relleno como cara libre, después de la voladura y se comienza con la limpieza, sostenimiento, perforación y voladura, estas últimas se realiza horizontalmente (breasting).

Los tiempos promedio de instalación por perno en la galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura – Huánuco (Ver Tabla 9.)

**Tabla 14**

*Tiempo promedio de instalación con perno Airbolt y malla*

<b>Hydrabolt</b>	<b>Tiempo (segundos)</b>
Tiempo de posicionamiento de la viga	30
Tiempo de perforación	262,5
Tiempo de retorno de la barra	10
Tiempo de presentación de malla	30
Tiempo de levantado de malla	30
Tiempo de emboquillado del adaptador	30
Tiempo de inyección de perno al taladro	28
Tiempo de inflado de perno	80
Tiempo muerto por mal inflado por cambio de sello	80
<b>Tiempo total</b>	<b>580,5</b>

Nota: En la Tabla 14, se especifica los tiempos promedio para la instalación de un perno Airbolt y el tiempo necesario fue de 580,5 segundos un aproximado de 10 minutos.



#### 4.7. COSTO DE COMPRA DE PERNOS AIRBOLT Y MALLA ELECTROSOLDADA

El costo de perno Airbolt de 7 pies incluido la placa fue de 28,80 US\$/unidad y el costo de la malla electrosoldada de un rollo de 25 metros de longitud por 2 metros de ancho fue de 230,00 US\$ y el costo por metro cuadrado es de 9,2 US\$/m<sup>2</sup>.

#### 4.8. COSTO DE INSTALACIÓN DE SOSTENIMIENTO CON PERNOS AIRBOLT Y MALLA

**Tabla 15**

*Costo de mano de obra Tipo de cambio 1 US\$ = S/. 3,74*

<b>Mano de obra directa</b>	<b>N° de personal</b>	<b>Jornal (soles)</b>	<b>Incidencia (%)</b>	<b>Costo US \$/guardia</b>
Supervisor	1	100	20	26,74
Maestro de sostenimiento	1	90	100	24,06
Ayudante de sostenimiento	1	80	100	21,40
Sub total				<b>73,2</b>
Leyes sociales	102,86 %			<b>75,29</b>
<b>Total</b>				<b>148,49</b>

Nota: En la Tabla 15, se precisa los costos de mano de obra al realizar el sistema de sostenimiento con pernos Airbolt y malla electrosoldada dicho costo fue de 148,49 US\$/guardia.

**Tabla 16**

*Costo de equipo de sostenimiento*

<b>Equipo</b>	<b>Costo alquiler (US\$/hora)</b>	<b>Tiempo de perforación/perno (seg)</b>	<b>Total, de pernos (Unidad)</b>	<b>Costo total US\$/guardia</b>
-Comprensora.				
-Máquina perforadora.	90	262,5	42	90,00
- Bomba.				
<b>Total</b>				<b>90,00</b>

Nota: En la Tabla 16, se observa el costo de perforación para 35 pernos Airbolt, cuyo costo fue de 90,00 US\$/guardia.

**Tabla 17***Costo de materiales de sostenimiento*

Descripción	Cantidad	Costo (US \$/unidad)	Costo total (US \$/guardia)
Malla electrosoldada	18,00 m <sup>2</sup>	9,2	165,6
Perno Airbolt	42 unidades	14,80	621,6
<b>Total</b>			<b>786,90</b>

Nota: Se detalla el costo de materiales de sostenimiento con el sistema de pernos Airbolt y malla electrosoldada, cuyo costo fue de 786,90 US\$/guardia.

**Tabla 18***Costo implementos de seguridad*

Descripción	Medida		Costo US \$/unidad	Vida Útil (días)	Costo US \$/guardia
Botas de jebe	Pares	3	21,75	180	0,36
Protector	Unidad	3	13,78	365	0,11
Guantes de cuero	Pares	3	5,35	25	0,64
Correas porta lámpara	Unidad	3	5,76	300	0,06
Lámpara de batería	Unidad	3	117,25	365	0,96
Mamelucos	Unidad	3	25,15	180	0,42
Respiradores	Unidad	3	23,48	180	0,39
Filtro de respiradores	Pares	3	4,77	15	0,95
Tapón de oídos	Pares	3	2,53	120	0,06
Ropa de jebe	Unidad	2	33,86	180	0,38
Lentes de seguridad	Unidad	3	12,75	120	0,32
<b>Costo total</b>					<b>4,65</b>

Nota: se muestra el costo de los implementos de seguridad.

Sumando los costos de mano de obra, equipos, materiales y EPP, se tiene un costo total de instalación y se saca en metros cuadrados.

**Costo total de instalación: 148,49 + 90,00 + 786,90 + 4,65= 1030,04 US\$**

**Costo total de instalación en US\$/m<sup>2</sup> = 28,61 US\$/m<sup>2</sup>**

**Tabla 19***Resumen diferencia de costos de sostenimiento con pernos Hydrabolt y Airbolt*

<b>Descripción</b>	<b>Pernos Hydrabolt US\$/m<sup>2</sup></b>	<b>Pernos Airbolt US\$/m<sup>2</sup></b>	<b>Diferencia US\$/m<sup>2</sup></b>
Sostenimiento con pernos y malla	32,03	28,61	3,42
<b>Total</b>			<b>3,42</b>

#### 4.9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CON OTRAS FUENTES

En el presente estudio de investigación mediante la aplicación del sistema de sostenimiento con pernos Airbolt y malla electrosoldada los costos se podrían reducir desde 32,03 US\$/m<sup>2</sup> hasta 28,61 US\$/m<sup>2</sup>, con un beneficio de 3,42 US\$/m<sup>2</sup> en la Galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura – Huánuco. Estos resultados son similares a los de (Oscalla, 2023), quien aplicando una metodología similar. Concluyó que al aplicar el sistema de sostenimiento con pernos Omegabolt y malla electrosoldada, los costos de sostenimiento se redujeron de 21,36 US\$/m<sup>2</sup> hasta 19,56 US\$/m<sup>2</sup>, obteniendo un ahorro de 1,80 US\$/m<sup>2</sup> en la Rampa San Ignacio.

Este resultado es similar al obtenido por Guillermo (2019) quien en su estudio de investigación tenía como objetivo reducir los costos operativos. Haciendo uso de la metodología evaluó en un inicio todo el sistema de sostenimiento utilizando cuadros de madera. Este análisis incluyó los costos asociados con la madera, transporte, instalación y la vida útil del material. La conclusión fue que al utilizar el sistema de pernos Hydrabolt y malla electrosoldada en lugar de los cuadros de madera, los costos operativos (OPEX) y los costos de capital (CAPEX) del sostenimiento se optimizaron de 47,63 US\$/m<sup>2</sup> a 42,92 US\$/m<sup>2</sup>. Esto representó un beneficio de 4,71 US\$/m<sup>2</sup> en la Rampa San Marcos de la Empresa Minera Arapa S.A.C.



Los costos de sostenimiento mediante la aplicación del sistema de sostenimiento con pernos Airbolt y malla electrosoldada se redujo hasta 3,42 US\$/m<sup>2</sup>, en la Galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura – Huánuco. Este resultado es similar al de Chagua (2023) quien, en su trabajo de investigación, tenía como objetivo optimizar los costos de sostenimiento aplicando un nuevo sistema de sostenimiento. Haciendo uso de la metodología de la evaluación de costos de los dos sistemas de sostenimiento. Llega a la conclusión de que, los costos de sostenimiento al aplicar el nuevo sistema de sostenimiento el cual son los pernos Omegabolt y malla electrosoldada el costo se optimizó de 18,20 US\$/m<sup>2</sup> a 16,66 US\$/m<sup>2</sup>, logrando un beneficio de 1,54 US\$/m<sup>2</sup> en la Rampa 100 de la Mina Animón.



## V. CONCLUSIONES

- El costo de sostenimiento utilizando los pernos Hydrabolt y malla electrosoldada en la galería Santa Isabel de la unidad minera Raura – Huanuco, es de 32,03 US\$/m<sup>2</sup>, un costo de todo el procedimiento para la instalación de los pernos Hydrabolt.
- El costo de sostenimiento utilizado con los pernos Airbolt y malla electrosoldada en la galería Santa Isabel de la unidad minera Raura – Huanuco, es de 28,61 US\$/m<sup>2</sup>, un costo de todo el procedimiento para la instalación de los peros Airbolt.
- Mediante la aplicación del sistema de sostenimiento con pernos Airbolt y malla electrosoldada los costos se redujeron de 32,03 US\$/m<sup>2</sup> hasta en 28,61 US\$/m<sup>2</sup>, con un beneficio de 3,42 US\$/m<sup>2</sup> en la Galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura – Huánuco.



## VI. RECOMENDACIONES

- La parte administrativa de la unidad minera Raura – Huanuco, debe buscar un buen asesoramiento de profesionales que tienen conocimiento en los costos e instalaciones de los diferentes pernos de anclaje, que se utiliza para el sostenimiento de labores subterráneas, teniendo consideración de los costos de los materiales y herramientas a utilizar.
- A la unidad minera Raura – Huanuco, se le recomienda utilizar los pernos Airbolt y malla electrosoldada en la galería Santa Isabel, por que redujera los costos de materiales e instalación.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón Ch. (2019). *Optimización en la instalación convencional de pernos Swellex, caso mina "San Ramon"*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Del Altiplano - Puno]. Obtenido de: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/15814>
- Bisquerra R. (2004). "*Metodología de la Investigación*"
- Atlas, C. (2003). *Compresores de aire eléctricos transportables*.
- Huamán, T. (2014). "*Longitud de perno de roca respecto a la zona de anclaje*"
- Iriarte, A. (2003). "*Costos y gastos: Conceptos, clasificación y control*"
- Blanco, C. (2018). *Caracterización geomecánica para el análisis de pernos hydrabolt en el sostenimiento de labores subterráneas Compañía Minera Casapalca*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. [http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/565/1/T026\\_46307439\\_T.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/565/1/T026_46307439_T.pdf)
- Bieniawski, Z. (1979). *Clasificación del macizo rocoso según la clasificación geomecánica RMR*.
- Capacitación y servicio técnico minero E.I.R.L. (2010). *Estabilizador de fricción Split set cementado*.
- Underground DSI. (2019). *Procesos de instalación de Pernos Hydrabolt*.
- FORMIN S.A.C. (2019). *Partes del sistema Airbolt*.
- Chávez, F. (2014). *Análisis y Optimización del Sostenimiento en labores de Avance y Producción en Minería Aurífera Cuatro de Enero S.A. MACDESA U.E.A CUATRO HORAS*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Agustín de Arequipa]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b03370eb-7e78-4307-b3b7-f864fb6cfe2f/content>
- Calderón M. (2018) *Caracterización Geomecánica para la Determinación del Tipo de Sostenimiento en la Galería Gavilán de Oro de la UEA Ana María*.
- Deere et al. (1967). *Clasificación geomecánica de Deere. Índice RQD*.



- Durant, B. (2005). *Manual de ingeniería de costos*. Puno: FIM UNA.
- Escalante, G. (2017). *Mejoramiento del Sistema de Sostenimiento con Madera mediante la aplicación de pernos Split Set y malla electrosoldada en labores de explotación de la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano Puno].  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/6129>
- 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*.
- Guillermo, C. (2020). *Optimización de CAPEX y OPEX en Sostenimiento de Labores Mineras Mediante Pernos Hydrabolt y Malla Electrosoldada en la Empresa Minera ARAPA S.A.C. – Arequipa – 2019*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano Puno].  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/14699>
- Guzmán, F. (2000). *Costos de producción en operaciones mineras Subterráneas Industria de Fortificación minera S.A.C. (2010). Split set en línea*.
- Hernández, Fernández & Baptista (2014). *Metodología de la Investigación, McGraw - Hill Interamericana de Editores S.A. - México*.
- Huamani, D. (2014). *Optimización del Sostenimiento Mediante el Uso de Hydrabolt Unidad Minera Bateas - CONGEMIN JH S.A.C*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Agustín de Arequipa].  
<https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/18fad272-06be-4118-8729-382b7f598e52/content>
- Jhony, B. (2013). *Costos de producción y la teoría de costos de operación en una mina subterránea*. PERU.
- Maldonado, Z. (2008). *Aplicaciones geomecánicas en Mina Chungar*. Cerro de Pasco.
- Mining Rock, (2011). *Empresa productora de elementos metálicos para fortificación. Tipo Split set- Chile*.



- 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.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano Puno]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5126>
- Ozain, C. (2007). *Manejo de Costos y Producción*, Perú.
- Pantigozo J. (2013). *Comparación de Rendimiento entre Omegabolt e Hydrabolt en el Sostenimiento en Minas Subterráneas para Elección Óptima.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Obtenido de: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3902>
- Promec Fortificaciones S.A. (2010). *Catálogo de productos, proveedora de mecanizados San Bernardo- Chile.*
- Quilca, A. (2005). *Sostenimiento en minería subterránea COSUDE- proyecto GAMA.*
- Quispe, M. (2018) *Optimización de costos en sostenimiento con pernos helicoidales en la Unidad de Producción Chalhuane de la Empresa Minera Soledad S.A.C. – Arequipa.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano Puno]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/14699>
- 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. (2006). *Proyecto, manual de anclaje para sostenimiento en minería y obra civil*, Universidad Politécnica de Cartagena.
- Sandvik, C. (2019). *Sistemas de sostenimiento: <https://www.home.sandvik/es-la/>*
- Schwiser, P. y Alza, A. (2009). *Sostenimiento en minas subterráneas mediante mallas romboidales de alambre de acero de alta resistencia.*
- Suasnabar & Ugarte (2019). *Análisis técnico para la optimización del sostenimiento en los frentes de la Compañía Minera Casapalca S.A.*



- Soncco, C. (2005). *Informe de trabajo profesional, experiencias del empleo de sostenimiento práctico minero en la Cía. Minera Huarón.*
- Soni, A. (2000). *Analysis of Airbolt Performance and a Standardized Rockbolt Pull Test Datasheet and Database.*
- Técnica, N. (2015). *Elementos para la determinación de costo horario de los equipos y maquinarias.* Ministerio de construcción.
- 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.*
- Vega, A. (2022). *Caracterización Geomecánica para la Aplicación de pernos Hydrabolt y Shotcrete en el sostenimiento de labores mina Animón – 2022.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga - Ayacucho]. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/4852>.



## ANEXOS

**ANEXO 1.** Ubicación de la Unidad Minera Raura – Huánuco.

Raura está ubicada entre los distritos de San Miguel de Cauri (provincia Lauricocha, región Huánuco) y de Oyón (provincia Oyón, región Lima), a una altura de 4700 msnm.

Capacidad de 2 880 toneladas por día (tpd).

Procesos de producción Minado, planta, comercialización.

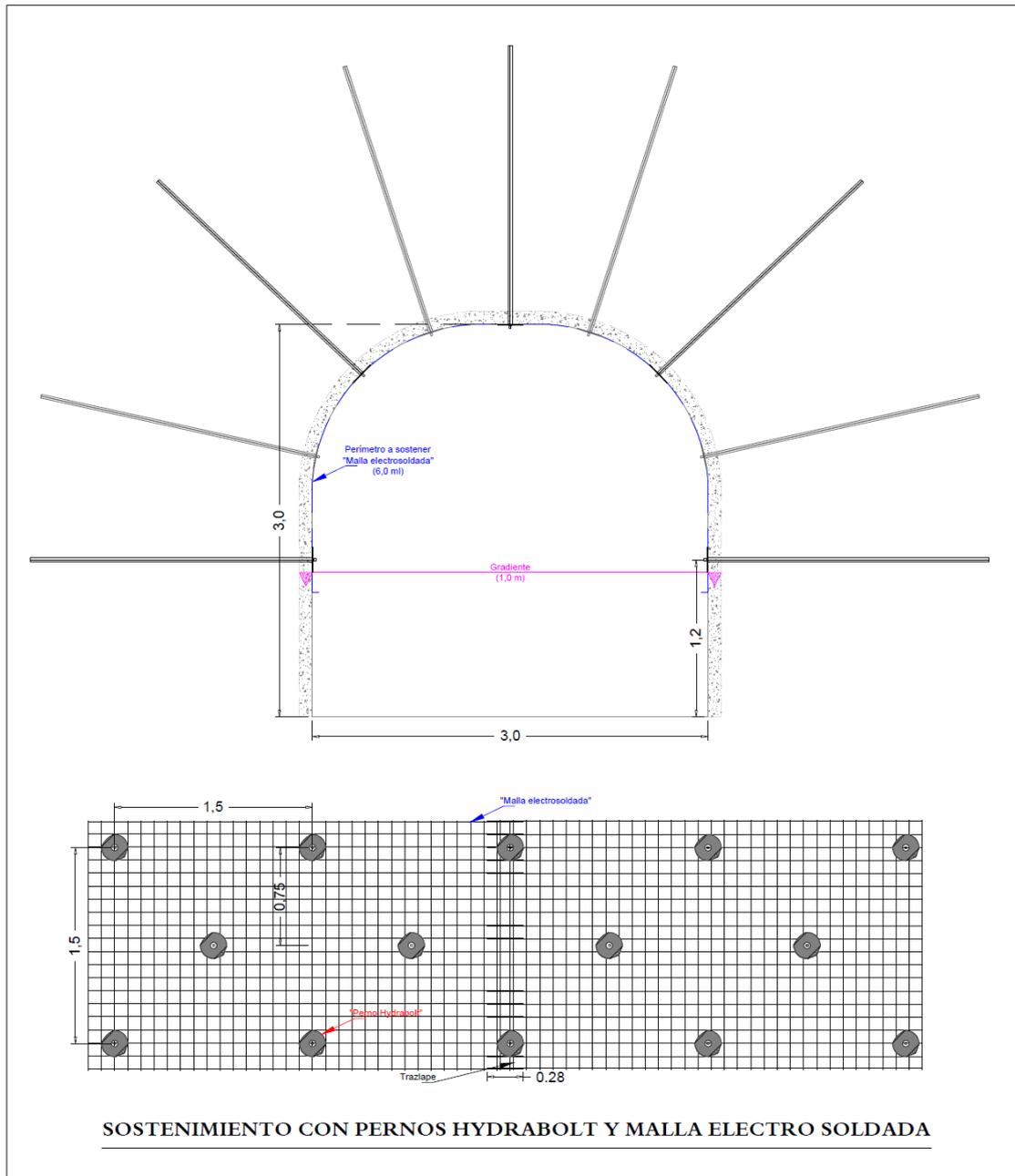
Generación eléctrica Central Hidroeléctrica de Cashaucro.

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

Empresa: COMPAÑIA MINERA RAURA S.A. - HUÁNUCO	Fecha: Enero - 2022
Título: Ubicación General Unidad Minera Raura	Lamina: A4
Departamento: Huánuco	Provincia: Lauricocha
Dirección: San Miguel de Cauri	Escala: 1:20
Lamina: <b>03</b>	



## ANEXO 2. Sostenimiento con Pernos Hydrabolt y Malla Electro soldada



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO</b>			
	FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS			
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS			
	Empresa: COMPAÑIA MINERA RAURA S.A - HUÁNUCO			
Plano: Sostenimiento Con Perno Hydrabolt y Malla Electro soldada		Fecha: Enero - 2022	Formato: A4	Lamina:
Departamento: Huánuco	Provincia: Lauricocha	Distrito: San Miguel de Cauñ	Escala: 1:20	<b>01</b>



### ANEXO 3. Cotización de los pernos Hydrabolt, pernos Airbolt y malla electrosoldada.

+ (511) 7584483  
ventas@promineperu.com  
903196281 / 968712557  
www.promineperu.com

## COTIZACIÓN

N°2024 - 000135



**AREQUIPA 03 DE MARZO DEL 2024      20604991863**

CLIENTE: CALCINA QUISPE DAVID      RUC: 10473838279  
CONTACTO:  
TELÉFONO:  
E-MAIL:  
DIRECCIÓN: Puno

ITEM	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNID.	P.UNIT.	P.TOTAL
1	030426	PERNO AIRBOLT 7 PIES CON PLACA	842	UNIDADES	\$ 14.80	\$ 12,461.60
2	030437	PERNO HYDRABOLT 7 PIES CON PLACA	842	UNIDADES	\$ 17.70	\$ 14,903.40
3	030438	MALLA ELECTROSOLDADA COCADA 4X4 N°8 -ALAMBRE NEGRO DE 2X25 MTRS	1	UNIDADES	\$ 230.00	\$ 230.00
SUB - TOTAL:						\$27,595.00
DESCUENTO:						
IGV (18%):						\$4,967.10
<b>TOTAL:</b>						<b>\$32,562.10</b>

TIPO DE MONEDA: <u>Dólares Americanos</u>
TIEMPO DE ENTREGA: 8 días hábiles
VALIDEZ DE OFERTA: 7 días hábiles

LUGAR DE ENTREGA: <u>Almacén Promine Arequipa</u>
FORMA DE PAGO: <u>Contado</u>

**VIVIAN GUTIERREZ**  
EJECUTIVA DE VENTAS  
903196281



191 - 2624208 - 1 - 60  
00219100262420816057



0011 - 0910 - 17 - 0100019811  
011 - 370 - 000100019811 - 17

De tener alguna consulta, por favor, póngase en contacto con un asesor.

**ANEXO 4.** Galeria Santa Isabel de la unidad minera Raura – Huanuco.





## 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 David Colina Quispe  
identificado con DNI 47383822 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 denominada:  
" Reducción de Costos de Sostenimiento con pernos Airbolt  
y Mallo electrosoldada en la galería Santo Isabel de la  
Unidad Minera Raura - Huancu "

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 03 de Mayo del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella



## ANEXO 6. Autorización para el depósito de tesis 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 David Calcina Quispe  
identificado con DNI 47383827 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 denominada:

" Reducción de costos de sostenimiento con pernos Airbolt y Malla electrosoldada en la Galería Santa Isabel de la Unidad Minera Raura - Huanuco "

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

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 03 de Mayo del 20 24



FIRMA (obligatoria)



Huella