



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



**OPTIMIZACIÓN DE COSTOS DE INSTALACIÓN DE TOLVAS DE  
MADERA MEDIANTE BUZONES Y ANILLOS METÁLICOS EN  
LA UNIDAD MINERA ESPERANZA – AREQUIPA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. BRIGHAN ALEXANDER CHOQUECOTA MONTALVO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO - PERÚ**

**2019**



## DEDICATORIA

A mis queridos padres, por su apoyo incondicional y dedicación hacia mi persona para culminar mis estudios superiores y lograr mi profesión como Ingeniero de Minas.

A mis hermanos y primos, quienes me apoyaron y alentaron en los momentos más difíciles de mi vida estudiantil y concluir mis estudios universitarios.



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a Dios por concederme salud y vida para concluir mis estudios universitarios y lograr mi profesión como ingeniero de Minas.

A mi Alma Mater la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, por brindar los claustros universitarios para realizar mis estudios superiores y adquirir conocimientos para mi vida profesional.

A la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas al personal docente y administrativo por haberme transmitido los conocimientos y orientación vocacional para mi formación profesional y así cumplir con la sociedad.

Mi Especial agradecimiento a la Unidad Minera Esperanza - Arequipa por haberme brindado la oportunidad para realizar el presente estudio de investigación.



## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	
<b>INDICE DE ACRONIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>11</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>12</b>

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>14</b>
1.2.1. Pregunta general .....	14
1.2.2. Preguntas específicas .....	14
<b>1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....</b>	<b>15</b>
1.3.1. Hipótesis general.....	15
1.3.2. Hipótesis específicas.....	15
<b>1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>15</b>
<b>1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>16</b>
1.5.1. Objetivo general.....	16
1.5.2. Objetivos específicos .....	16

### CAPÍTULO II

#### REVISIÓN DE LITERATURA

<b>2.1. ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2. BASES TEÓRICAS .....</b>	<b>18</b>
2.2.1. Masa rocosa .....	18
2.2.2. Condiciones de la masa rocosa .....	19
2.2.3. Mecánica de rocas.....	19
2.2.4. Caracterización del macizo rocoso .....	20
2.2.5. Características geométricas de la excavación .....	22
2.2.6. Caracterización físico – mecánica de la roca intacta .....	22



2.2.7.	Geomecánica.....	23
2.2.8.	Beneficios de la geomecánica.....	23
2.2.9.	Estimación de RQD y RMR .....	24
2.2.10.	Madera y sus características .....	27
2.2.11.	Clases de madera .....	28
2.2.12.	Defectos no permitidos en la madera para uso minero.....	28
2.2.13.	Armadura de madera.....	28
2.2.14.	Selección de la madera para uso minero.....	29
2.2.15.	Construcción de echaderos .....	29
2.2.16.	Diseño de tolvas en los tajeos de explotación.....	30
2.2.17.	Principales agentes que afectan en el desgaste de las tolvas de madera... 31	
2.2.18.	Dimensionamiento del tamaño de la tolva.....	32
2.2.19.	Diseño de la geometría de los elementos de la tolva. ....	32
2.2.20.	Construcción de parrillas .....	32
2.2.21.	Construcción de la tolva de madera.....	33
2.2.22.	Ubicación de las tolvas .....	33
2.2.23.	Tolvas de madera .....	34
<b>2.3.</b>	<b>DEFINICIONES CONCEPTUALES.....</b>	<b>35</b>

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1.</b>	<b>UBICACIÓN .....</b>	<b>38</b>
<b>3.2.</b>	<b>ACCESIBILIDAD.....</b>	<b>38</b>
<b>3.3.</b>	<b>DISEÑO METODOLÓGICO.....</b>	<b>39</b>
<b>3.4.</b>	<b>POBLACIÓN.....</b>	<b>40</b>
<b>3.5.</b>	<b>MUESTRA.....</b>	<b>40</b>
<b>3.6.</b>	<b>OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....</b>	<b>40</b>
3.6.1.	Variable independiente.....	40
3.6.2.	Variable dependiente .....	40
<b>3.7.</b>	<b>TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....</b>	<b>41</b>
3.7.1.	Técnicas para el procesamiento de la información.....	41



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>42</b>
<b>4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>42</b>
4.2.1. Análisis de costos unitarios en la instalación de la tolva de madera .....	42
4.2.2. Costos de instalación de las tolvas de madera.....	43
4.2.3. Resumen de costos de tolvas de madera.....	45
4.2.4. Duración de las tolvas de madera.....	46
4.2.5. Tiempo de instalación de la tolva de madera .....	47
<b>4.3. COSTOS DE INSTALACIÓN DE LOS BUZONES Y ANILLOS</b>	
<b>METÁLICOS .....</b>	<b>48</b>
4.3.1. Análisis de los costos unitarios en la instalación del buzón y anillos metálicos .....	48
4.3.2. Costos de instalación de la tolva metálica .....	49
4.3.3. Resumen de costos de tolvas metálicas .....	50
4.3.4. Tiempo de instalación de la tolva metálica .....	50
4.3.5. Duración de las tolvas metálicas .....	51
4.3.6. Resumen de costos de la tolva de madera y buzón metálico.....	51
4.3.7. Discusión de resultados con otras fuentes .....	52
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>55</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>57</b>

**Área:** Ingeniería de Minas

**Tema:** Análisis de costos mineros

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 12 de octubre del 2019



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Relación RQD – Calidad de roca.....	25
<b>Tabla 2.</b> Valores de clasificación del RMR .....	27
<b>Tabla 3.</b> Ruta de acceso a la Mina Esperanza de Caraveli.....	39
<b>Tabla 4.</b> Operacionalización de variables .....	41
<b>Tabla 5.</b> Costos de madera .....	42
<b>Tabla 6.</b> Análisis de costos unitarios: Puntal de línea 8" y 6" .....	43
<b>Tabla 7.</b> Análisis de costos unitarios: Enablado .....	43
<b>Tabla 8.</b> Análisis de costos unitarios: Enrejado.....	44
<b>Tabla 9.</b> Análisis de costos unitarios: Tolva de madera.....	44
<b>Tabla 10.</b> Tablas y puntales requeridos para la tolva de madera .....	45
<b>Tabla 11.</b> Costos de madera.....	45
<b>Tabla 12.</b> Costos de instalación y madera.....	45
<b>Tabla 13.</b> Tiempo de instalación de las tolvas de madera.....	47
<b>Tabla 14.</b> Descripción de buzones y anillos metálicos .....	48
<b>Tabla 15.</b> Costos de anillos metálicos, rieles, clavos y otros .....	48
<b>Tabla 16.</b> Análisis de costos unitarios: Buzón metálico .....	49
<b>Tabla 17.</b> Análisis de costos unitarios: Anillo forrado .....	49
<b>Tabla 18.</b> Costos de instalación y materiales metálicos.....	50
<b>Tabla 19.</b> Tiempo de instalación del buzón metálico .....	50
<b>Tabla 20.</b> Costo total de estructura de la tolva de madera y buzón metálico.....	51



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Tolva de madera .....	35
<b>Figura 2.</b> Costo de las tolvas.....	52



## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1 Diseño de la tolva de madera

Anexo N° 2 Tolva de madera vista frontal

Anexo N° 3 Dimensiones del buzón metálico

Anexo N° 4 Índice de resistencia geológica (GSI)

Anexo N° 5 Índice de resistencia Geológica (GSI)



## INDICE DE ACRONIMOS

UNAP	Universidad Nacional del Altiplano
FIM	Facultad de Ingeniería de Minas
SHUTS	Echaderos de Mineral
RMR	Rock Mass Rating (Clasificación de Masa Rocosa)
RQD	Rock Quality Designation (Designación de Calidad de Roca)
R <sub>c</sub>	Resistencia a la compresión
R <sub>t</sub>	Resistencia a la tracción
E	Modelo de deformación



## RESUMEN

La Unidad Minera Esperanza – Arequipa, se encuentra ubicado en la Cordillera Occidental de los Andes dentro de la jurisdicción de distrito de Atico, Provincia de Caravelí y Departamento de Arequipa, actualmente viene explotando el yacimiento aurífero, mediante el método de explotación de Corte y Relleno Ascendente Convencional. Para el pase del mineral acumulado en el nivel superior al nivel inferior mediante los “shuts” o echaderos caen por gravedad a los niveles inferiores donde se recepciona en las tolvas y mediante la evaluación realizada se tiene problemas de elevados costos de instalación y desgaste prematuro de las tolvas de madera. El objetivo principal del estudio de investigación es optimizar los costos de instalación de tolvas de madera mediante buzones y anillos metálicos en la Unidad Minera Esperanza – Arequipa. La metodología para desarrollar el estudio de investigación ha consistido en su primera fase en evaluar todos los procesos y costos de instalación de las tolvas de madera, volumen del mineral, tamaño de la tolva, tiempo de duración y la incidencia en los costos de acarreo del mineral. Los datos se han recolectado en las fichas de control. Posteriormente en el estudio de investigación se ha diseñado los buzones metálicos en donde se ha considerado los costos de materiales, costos de instalación, el tamaño del buzón, volumen del mineral, el tiempo de duración y la incidencia en los costos de acarreo del mineral. Finalmente se ha realizado el análisis comparativo de los costos de instalación de las tolvas de madera y los costos de instalación de los buzones metálicos y también se ha considerado el tiempo de duración del sistema anterior y actual, llegando a los siguientes resultados y conclusiones, los costos de instalación de las tolvas de madera se han optimizado de 684,24 US\$/unidad a 637,50 US\$/unidad, utilizando las tolvas metálicas con una diferencia de 46,74 US\$, en la Unidad Minera Esperanza - Arequipa.

**PALABRAS CLAVES:** Optimización, costos, tolvas, madera, buzones metálicos.



## ABSTRACT

The Minera Esperanza - Arequipa, is located in the Western Cordillera of the Andes within the jurisdiction of the Atico district, Caravelí Province and Arequipa Department, and is currently exploiting the gold deposit, using the Cut and Fill method Conventional Ascendant For the passage of the mineral accumulated in the upper level to the lower level through the "shuts" or casters fall by gravity to the lower levels where it is received in the hoppers and through the evaluation performed there are problems of high installation costs and premature wear of the wooden hoppers. The main objective of the research study is to optimize the installation costs of wooden hoppers through mailboxes and metal rings in the Esperanza Mine Unit – Arequipa. The methodology to develop the research study has consisted in its first phase in evaluating all the processes and costs of installation of the wooden hoppers, volume of the mineral, hopper size, duration time and the incidence in the hauling costs of the mineral. The data has been collected in the control cards. Subsequently in the research study has been designed metal mailboxes where it has considered the costs of materials, installation costs, the size of the mailbox, volume of the mineral, the duration and the impact on the costs of carrying the mineral. Finally, a comparative analysis of the installation costs of the wooden hoppers and the installation costs of the metal mailboxes has been carried out, and the duration of the previous and current system has also been considered, reaching the following conclusions: installation of the wooden hoppers have been optimized from 684.24 US \$ / unit to 637.50 US \$ / unit using the metal hoppers with a difference of 46.74 US \$, in the Esperanza - Arequipa Mining Unit.

**KEY WORDS:** Optimization, costs, hoppers, wood, metal mailboxes.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La Unidad Minera Esperanza – Arequipa, actualmente viene utilizando para almacenar el mineral las tolvas de madera instalados en los niveles de explotación, cuya función principal es de almacenar el mineral extraído y posteriormente mediante una compuerta se descarga el mineral por diferentes medios de transporte, estas tolvas cumplen una función muy importante para la extracción del mineral de mina subterránea. El acarreo y transporte de mineral en interior mina se realiza con frecuencia y el material acumulado en los echaderos caen por gravedad al nivel inferior donde se recepcionan en estas tolvas y luego desde allí se descargan a otro sistema de transporte que puede ser las locomotoras provistas de carros mineros u otro sistema de transporte utilizado en la minería subterránea.

El estudio de investigación se ha dividido en Cuatro capítulos, en el Capítulo I, se considera la introducción del estudio de investigación, en el Capítulo II, se ha considerado la revisión de literatura, analizando las bases teóricas fundamentales y definiciones conceptuales que serán la base para realizar el estudio de investigación, en el Capítulo III, se describe los materiales y métodos utilizados en la investigación, en el Capítulo IV, se muestra los resultados y discusiones del sistema de buzones metálicos utilizados en la Unidad Minera Esperanza – Arequipa.

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad la Unidad Minera Esperanza de Caravelí –Arequipa, viene desarrollando la explotación del yacimiento aurífero mediante el método de explotación de Corte y Relleno Ascendente Convencional y para el traslado del mineral acumulado en los tajeos de explotación del nivel superior al nivel inferior se realiza mediante los



echaderos de mineral, los mismos que caen por gravedad a los niveles inferiores y se recepciona en las tolvas de madera y mediante la evaluación realizada en estas tolvas, se tiene problemas de elevados costos de instalación debido al desgaste prematuro de la madera y por la humedad se honguean y requiere el cambio inmediato de la pieza de madera que en sumatoria ocasionan elevados costos de estas tolvas de madera, como resultado se tiene menores beneficios económicos y baja rentabilidad de la Empresa Minera y como alternativa se ha planteado el uso de las tolvas metálicas para la acumulación y traslado de mineral en las labores de explotación de la Unidad Minera Esperanza- Arequipa.

La función de las tolvas de madera en minería subterránea es la de almacenar mineral o desmonte para posteriormente descargar mineral hacia diferentes medios de transporte por lo que estas tolvas se usan frecuentemente en toda mina subterránea en todo el proceso de extracción del mineral.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Pregunta general**

¿Cómo optimizamos los costos de instalación de las tolvas de madera mediante los buzones y anillos metálicos en la Unidad Minera Esperanza - Arequipa?

### **1.2.2. Preguntas específicas**

- a) ¿Cuáles son los costos de instalación de las tolvas de madera en la Unidad Minera Esperanza - Arequipa?
- b) ¿Cuáles son los costos de instalación de los buzones y anillos metálicos en la Unidad Minera Esperanza - Arequipa?



### **1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

#### **1.3.1. Hipótesis general**

Mediante la instalación de Buzones y Anillos metálicos se optimiza los costos de instalación de las tolvas de madera en la Unidad Minera Esperanza – Arequipa.

#### **1.3.2. Hipótesis específicas**

- a) Los costos de las tolvas de madera son excesivos a los costos de instalación de las tolvas metálicas en la Unidad Minera Esperanza - Arequipa.
- b) Los costos de las tolvas metálicas son menores a los costos de instalación de las tolvas de madera en la Unidad Minera Esperanza – Arequipa.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La Unidad Minera Esperanza- Arequipa, según el estudio y cubicación de reservas de mineral tiene un potencial de 746 236 Tm de mineral probado y 373 118 Tm de mineral probable, con una ley promedio de 6,75 g Au/Tm y para el acarreo y transporte de mineral resultado de la explotación de los tajeos, se requiere echaderos y tolvas de madera para almacenamiento y posterior descarga de mineral o desmonte a otro sistema de transporte, como consecuencia de estas operaciones mineras se tiene problemas de elevados costos de instalación de las tolvas de madera debido a las deficiencias y poca durabilidad de la madera.

La madera generalmente debido a la humedad se honguea y presenta una serie de desventajas tales como poca duración, desgaste prematuro, también presentan grietas, rajaduras y requieren el cambio de puntales, lo que ocasiona pérdidas económicas a la Empresa Minera.



Para evitar estos problemas se ha planteado el uso de tolvas metálicas en reemplazo a las tolvas de madera, lo que generará mayor rentabilidad económica a la Empresa Minera.

## **1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1. Objetivo general**

Optimizar los costos de instalación de las tolvas de madera mediante los buzones y anillos metálicos en la Unidad Minera Esperanza – Arequipa.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- a) Determinar los costos de instalación de las tolvas de madera en la Unidad Minera Esperanza - Arequipa.
- b) Determinar los costos de instalación de los buzones y anillos metálicos en la Unidad Minera Esperanza - Arequipa.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACIÓN

**Abarca, W. (2007)**, Tolvas de madera, son estructuras que se construye de madera escuadrada o redondos de mayor diámetro, formados por siete elementos principales y tres elementos auxiliares bien unidos sus empalmes con destajes cabeza de toro sometidos a esfuerzo de comprensión.

**Bravo, G. A. (2005)** Diseño de tolvas, es necesario conocer un criterio aproximado sobre el diseño de almacenamiento de mineral, se sabe que las tolvas de gruesos generalmente tienen la forma de un paralelepípedo con un plano inclinado en el fondo para facilitar la descarga de mineral.

**Delgado, R. (2008)** Tolvas de mineral. Una tolva es una estructura de almacenamiento de mineral ya sea de mineral grueso o fino, la cual se compone de dos partes: Una sección convergente situada en su parte inferior a la que se conoce como boquilla, la cual puede ser de forma cónica o en forma de cuña, y una sección vertical superior que es la tolva propiamente dicha, la cual proporciona la mayor parte del volumen de almacenamiento de mineral.

**Jáuregui, A. (2009)**, En su tesis Reducción de costos operativos en mina mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura, Pontificia Universidad Católica del Perú, Concluye que la reducción de los costos operativos en una empresas minera, los estándares óptimos se logra con un sistema de control y medición exhaustiva de las operaciones y se sintetizan en la supervisión y capacitación continua.



**Paye, T. (2018)**, En su tesis Reducción de costos de tolvas de madera mediante buzones y anillos metálicos en la Unidad de producción Chalhuane de la Empresa Minera Soledad S.A.C. – Arequipa. Concluye que el costo de las tolvas de madera es US\$ 604.90 y el costo de buzones y anillos metálicos es de US\$ 502,30, haciendo una diferencia total de US\$ 102,60.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Masa rocosa**

Es el medio in-situ que contiene diferentes tipos de discontinuidades como diaclasas, estratos, fallas y otros rasgos estructurales.

Que comúnmente forman, por ejemplo, la caja techo y caja piso de una veta. Para conocer la masa rocosa, hay necesidad de observar en el techo y las paredes de las labores mineras, las diferentes propiedades de las discontinuidades, para lo cual se debe primero lavar el techo y las paredes.

A partir de estas observaciones se podrán sacar conclusiones sobre las condiciones geomecánicas de la masa rocosa. (Maldonado, Z., 2008).

Debido a la variación de las características de la masa rocosa, el supervisor deberá realizar en forma permanente una evaluación de las condiciones geomecánicas, conforme avanzan las labores, tanto en desarrollo como en explotación, utilizando el presente manual como una herramienta de clasificación de la masa rocosa.(Ramirez, S. ,2000).

En situaciones especiales, el supervisor deberá realizar un mapeo sistemático de las discontinuidades, denominado mapeo geomecánico, utilizando métodos como el “registro lineal”, para lo cual debe extender una cinta métrica en la pared rocosa e ir registrando todos los datos referidos a las propiedades de las discontinuidades, teniendo cuidado de no incluir en ellos las fracturas producidas por la voladura.( Ramirez, S.,



2000).

Los datos se irán registrando en formatos elaborados para este fin, luego serán procesados y presentados en los planos de las labores mineras.

### **2.2.2. Condiciones de la masa rocosa**

De acuerdo a cómo se presenten las características de la masa rocosa, ésta tendrá un determinado comportamiento al ser excavada.

Si la roca intacta es dura o resistente y las discontinuidades tienen propiedades favorables, la masa rocosa será competente y presentará condiciones favorables cuando sea excavada.

Si la roca intacta es débil o de baja resistencia y las discontinuidades presentan propiedades desfavorables, la masa rocosa será incompetente y presentará condiciones desfavorables cuando sea excavada.

Habrán situaciones intermedias entre los extremos antes mencionados donde la roca tendrá condiciones regulares cuando sea excavada.

### **2.2.3. Mecánica de rocas**

Es la ciencia teórica y aplicada que trata del comportamiento mecánico de las rocas, estudia el comportamiento mecánico de las masas rocosas que se encuentran bajo la acción de fuerzas producidas por fenómenos naturales o impuestos por el hombre, búsqueda cualitativa y cuantitativa de los fenómenos naturales y su relación con el comportamiento de los materiales. La problemática de la ingeniería mecánica en todos los diseños estructurales es la predicción del comportamiento de la estructura bajo las cargas actuantes o durante su vida útil. La temática de la ingeniería de mecánica de rocas, como una práctica aplicada a la ingeniería de minas, es concerniente a las aplicaciones de los principios de la ingeniería mecánica al diseño de las estructuras de roca generadas por



la actividad minera. Determinar el estado de tensiones en el interior del macizo rocoso significa conocer la intensidad, dirección y el sentido de las tensiones, donde se ha de realizar la excavación. Por esta razón, las direcciones de las tensiones principales, y sus intensidades, deben ser, por regla general determinadas a través de ensayos “in situ”. (Suarez, B. y Ludger, O., 2013)

Los esfuerzos que existen en un macizo rocoso inalterado están relacionados con el peso de las capas suprayacentes y con la historia geológica del macizo. Este campo de esfuerzos se altera cuando se realiza una excavación subterránea y, en muchos casos, esta alteración introduce esfuerzos suficientemente grandes que pueden sobrepasar la resistencia de la roca. En esos casos, el debilitamiento de la roca adyacente a los límites de la excavación puede llevar a la inestabilidad de ésta, manifestándose por el cierre gradual de la excavación, desprendimiento del techo y de las paredes o explosiones de rocas. (Ramirez, S.J., 2000).

#### **2.2.4. Caracterización del macizo rocoso**

Debido a la variación de las características del macizo rocoso, se requiere de un buen detalle de la información geológica, para ello se deben confeccionar modelos geológicos y posteriormente modelos geomecánicos que requiere contar con la información de campo, lo cual consiste en:

- **Orientación.** Es la posición de la discontinuidad en el espacio y comúnmente se registra por un rumbo y buzamiento. Cuando un grupo de discontinuidades se presentan con similar orientación o aproximadamente paralelas, se dice que estas forman un sistema o una familia de discontinuidades.
- **Espaciado.** Es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes. Esto determina el tamaño de los bloques de la roca intacta.



- **Persistencia.** Es la extensión en área o tamaño de una discontinuidad. Cuanto menor sea la persistencia, la masa rocosa será más estable y cuanto mayor sea esta, será menor estable.
- **Rugosidad.** Es la áspera o irregularidad de la superficie de la discontinuidad. Cuanto menor rugosidad tenga una discontinuidad, la masa rocosa será menos competente y cuanto mayor sea esta, la masa rocosa será más competente.
- **Apertura.** Es la separación de las paredes rocosas de una discontinuidad, a menor apertura, las condiciones de la masa rocosa serán mejores y a mayor apertura las condiciones serán más desfavorables.
- **Relleno.** Son los materiales que se encuentran dentro de la discontinuidad. Cuando los materiales son suaves, la masa rocosa es menos competente y cuando estos son más duros entonces es más competente.
- **Resistencia de la roca.** Considerando la resistencia de la roca a romperse con golpes de la picota la guía práctica de la roca es la siguiente:
  - **Resistencia muy alta,** solo se astilla con varios golpes de la picota, mayor a 250Mpa.
  - **Resistencia alta,** se rompe con tres golpes de la picota, 100- 250 Mpa.
  - **Resistencia media** se rompe con uno o tres golpes de la picota, 50- 100 Mpa.
  - **Resistencia baja,** se indenta superficialmente con punta de la picota, 25-50 Mpa.
  - **Resistencia muy baja,** se indenta profundamente con punta de la picota, 5-25 Mpa.
- **Agua subterránea.** Filtraciones en la pared rocosa de una galería subterránea, baja la calidad de la roca.
- **Tamaño de bloques.** Esquema de formas de bloques: bloqueado, irregular, tabular y columnar.



### - Grado de la fracturamiento de la masa rocosa.

- Masiva levemente fracturada (2 a 6 fracturas /m).
- Moderadamente fracturada (6 a 12 fracturas/m).
- Muy fracturada (12 a 20 fracturas/m).
- Intensamente fracturada (mayor de 20 fracturas).

### 2.2.5. Características geométricas de la excavación

En base a las dimensiones y forma del yacimiento se define las características geométricas de las excavaciones que incluyen en el diseño del de sostenimiento, las cuales son:

**Forma.** Depende del diseño que se da en el planeamiento de explotación de la mina que puede ser: circular, rectangular y otros.

**Tamaño.** Depende del tamaño de las reservas de mineral y cantidad de mineral a extraer y el equipo a utilizar en la extracción.

**Orientación.** Depende de la forma, rumbo y buzamiento del yacimiento mineral.

### 2.2.6. Caracterización físico – mecánica de la roca intacta

Las principales características físicas a tener en cuenta son los siguientes:

- Densidad
- Peso específico
- Porosidad y permeabilidad.

Sobre la base teórica definida por Hooke y el criterio de ruptura de Mohr Coulomb, la geomecánica establece parámetros intrínsecos para calificar las propiedades de resistencia y deformación de las rocas:



- Resistencia a la compresión ( $R_c$ )
- Resistencia a la tracción ( $R_t$ )
- Módulo de deformación ( $E$ )

### **2.2.7. Geomecánica**

La Geomecánica aplicada al diseño subterráneo constituye en la actualidad la base científica de la ingeniería minera, puesto que esta a diferencia de la ingeniería civil, tiene sus propias peculiaridades, guiados por el concepto vida económica, junto con el beneficio económico con márgenes ajustados de seguridad, lo cual crea problemas de diseño que son únicos a la explotación de minas. En este contexto la geomecánica involucra seguridad y economía. (Maldonado, Z.L., 2008).

### **2.2.8. Beneficios de la geomecánica**

Garantizar la seguridad durante la excavación de las labores mineras, a través del análisis de deformaciones, niveles de presiones, tensiones, etc. Definición de las aberturas máximas y tiempos de auto soporte de las excavaciones mineras: ejecutadas y las futuras a ejecutarse.

Determinación de la estabilidad estructuralmente controlada de las labores de preparación y explotación, verificando en cada una de ellas la formación de bloques y cuñas inestables.

Permitirá definir las orientaciones más favorables para el minado de las labores de preparación y desarrollo a ejecutarse.

Permitirá definir las secuencias de explotación, tanto a nivel global como particularmente. (Ramirez, S., 2000).

Permitirá definir las categorías de sostenimiento a aplicarse, determinando



estándares de sostenimiento en función a los tiempos de exposición de las labores mineras: explotación y desarrollo. Permitirá la estandarización del tipo y cantidades de sostenimiento a aplicarse en cada una de las labores mineras, así como el tipo de relleno. Permitirá seleccionar y diseñar alternativas de nuevos métodos de explotación en las futuras zonas de explotación. Así como establecer algunas variantes en el método de explotación utilizado. Permitirá mediante el monitoreo verificar y validar suposiciones adoptadas durante las fases de diseño inicial del laboreo minero. ( Maldonado, Z. 2008).

### **2.2.9. Estimación de RQD y RMR**

Para una mejor comprensión de las clasificaciones geomecánicas y su aplicación describiremos los más utilizados en la industria minera, y de fácil aplicación.

#### **A. RQD.**

En 1962 Deere propuso un índice cuantitativo de la calidad de roca basado en la recuperación de núcleos con perforación diamantina, denominado el sistema Rock Quality Designation (RQD). Este índice de calidad de roca se ha usado en todas partes, comprobándose de mucha utilidad en la clasificación del macizo rocoso, para la selección de refuerzo en labores subterráneas. RQD se define como el porcentaje de núcleos que se recuperan en piezas esteras de 10 cm. O más, de largo total de barreno. (Bieniawski, 2010). Por tanto:

$$RQD (\%) = 100 \times \frac{\text{longitud.de.los.nucleos.>.10cm}}{\text{largo.del.barreno}}$$

El RQD debería ser calculado únicamente para testigos individuales, usualmente mayores a 1.5 metros de longitud. Todos estos trozos enteros de testigo o estas partes de roca fracturada se miden y se contabilizan para entonces aplicarlos a una fórmula de cálculo.



**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: Túneles y diseño de excavaciones subterráneas de la UNA – FIM

El RQD puede ser estimado a partir del espaciamiento promedio de las discontinuidades en base a la siguiente ecuación propuesta por Priest y Hudson (1976) experimentalmente, se cumple que la curva de distribución es del tipo exponencial negativa en un gráfico Frecuencia -Espaciamiento:

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

Donde:

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

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

El error comprobado es de +/-5%

A partir de la definición del índice de calidad de roca RQD propuesto por Deere en 1964, se propone una simple clasificación de la calidad de la roca en 5 categorías. La definición de RQD la clasificación de la roca, la relación entre el factor de carga de Terzagui y RQD (propuesta por Cording et al, 1972) y la propuesta de Merrit (1972) para decidir el tipo de sostenimiento en función del RQD.



**Crítica:** El índice RQD forma parte de otros sistemas más elaborados de clasificación (RMR, Q) pero en sí mismo es insuficiente para describir el macizo rocoso. No tiene en cuenta, por ejemplo, la influencia del relleno de juntas, ni su orientación, ni la presencia de agua o su presión. Por otra parte, en “rocas blancas” masivas el RQD puede aproximarse a 100. (Deere et al, 1964).

Fórmula alternativa (cuando no hay sondeos):  $RQD = 115 - 3.3J_v$ ,  $J_v$ : número de juntas identificadas en el macizo rocoso por  $m^3$ .

## **B. RMR.**

Este sistema fue desarrollado por Z.T. Bieniawski en los años 70 siendo reformado en numerosas ocasiones y siendo la actual por el momento la de 1989 que coincide con la de 1979 en bastantes cosas, es un sistema empírico basado en más de 300 casos reales de túneles, galerías, minas, cavernas, cimentaciones y taludes, y usada extensamente por todo el mundo para el sostenimiento de estas construcciones. Se basa en la suma de una serie de parámetros del terreno para evaluar su capacidad y por tanto el sostenimiento necesario, estos parámetros son los siguientes:

- (1) Resistencia a la compresión simple de la roca inalterada
- (2) RQD (existe un sistema basado en este mismo parámetro)
- (3) Espaciamiento discontinuidades (fisuras, diaclasas)
- (4) Estado de las fisuras
- (5) Presencia de agua subterránea
- (6) Orientación de las discontinuidades

$$RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) + (6)$$

Clasificación de RMR (oscila entre 0 y 100)



**Tabla 2.**

*Valores de clasificación del RMR*

RMR	Descripción	Clase	Tiempo medio de auto sostenimiento	Angulo de fricción de masa rocosa	Cohesión de Kpa
0 - 21	Muy pobre	V	30 min./1m de Aper.	<15°	<100
21-40	Pobre	IV	10 horas/2.5m de Apert.	15-25°	100-200
40-60	Regular	III	1 sem. /5m de Apert.	25-35°	200-300
61-80	Bueno	II	1 año/10m de Apert.	35-45°	300-400
81-100	Muy bueno	I	20 años/15m de Aper.	>45°	>400

Fuente: Enciclopedia libre “Clasificación Geomecánica de Bienawiski o RMR

### 2.2.10. Madera y sus características

Es un material que se usa comúnmente en las minas subterráneas, tiene las siguientes ventajas: es ligera, gran flexibilidad para trabajar a cualquier tipo de labor, fácilmente transportable, permite reemplazarlo fácilmente. En el Perú la madera que más se usa es el eucalipto.

La madera puede ser utilizada en sección cuadrada o redonda, cuando se emplea redonda es conveniente quitarle la corteza para evitar en gran parte la podredumbre.(Gonzales, R. 2003)

Para evitar la rápida descomposición de la madera es necesario curarla con preservativos químicos y entre los procesos tenemos:

- Tratamiento con brocha
- Método del tanque abierto.
- Proceso a presión.

Es un material de sostenimiento más accesible, dotado de alta resistencia mecánica, elasticidad y buena maniobrabilidad.



Los principales defectos que debilitan a una madera son:

- Las hinchiduras, pueden ser debido al secado rápido o hielo.
- Podredumbres y deformaciones producidas por parásitos.
- Las fibras torcidas. (Fouler, A. 2002)

#### **2.2.11. Clases de madera**

- a) Rollizos.** Son todas aquellas maderas de árboles de hoja perenne, que se emplea en labores de interior mina, cortados a tamaños determinados en su forma circular original o hendida en toda su longitud con corteza o sin ella.
- b) Acerrada.** Son los cuadros o guadoras empleadas en balanzas, escalas, tablas y tablones y los troncos acerrados en dos o cuatro de sus caras que emplea para llaves.

#### **2.2.12. Defectos no permitidos en la madera para uso minero**

Son los siguientes:

- Fracturas transversales
- Cavidades en la cabeza de los puntales
- Hongos y podredumbres
- Agujeros largos
- Rajaduras longitudinales ( más de 10 cm)
- Grietas en anillos o acebolladura

#### **2.2.13. Armadura de madera**

Casi toda la madera de mina necesita armadura, es decir debe ser cortado a la medida, entallada, remoción de la corteza de la madera redonda. Si la operación de perforación y voladura se planea en forma apropiada, será necesario un mínimo de



armadura subsecuente subterránea. Cuando la madera tratada es alterada antes de su instalación, la superficie recién expuesta debe ser pintada con un preservativo. (Lanao, D. 2001).

El equipo de armadura es aprovechable en una gran variedad, para los cuales han sido diseñadas máquinas para cortar las uniones de conjuntos de cuadros y otras labores complicadas. Para operadores menores y para grandes minas, se recomienda herramientas manuales, sierras de cadenas, sierras circulares. Estas herramientas pueden ser operadas con aire comprimido y electricidad.

Un aserradero debe tener una sierra de péndulo para cortes extremos y montado en forma permanente una sierra mecánica para fabricar cuñas. Será necesario equipo adicional para cuadrar y cortar tablas para revestimientos y bloqueo.

#### **2.2.14. Selección de la madera para uso minero**

Es necesario conocer las propiedades

La selección de la madera para uso minero es de suma importancia, la madera generalmente presenta defectos y deficiencias, en la mayoría de los casos se manifiesta estando en el mismo árbol en pie, mientras que las otras deficiencias aparecen en el momento de talado del árbol.

Para realizar una adecuada selección de la madera es necesario conocer las propiedades físicas de la madera, detectado algunas anomalías y defectos. Las reglas de clasificación según las recomendaciones de la Junta del acuerdo de Cartagena con su proyecto Andino de desarrollo tecnológico en el área de recursos forestales tropicales, permiten determinar y seleccionar la madera en forma óptima. (Delgado, R. 2008).

#### **2.2.15. Construcción de echaderos**

Los echaderos son aberturas construidas en forma de chimeneas pequeñas, por las



que conduce el mineral y en su parte inferior tiene instalado la tolva, por lo que el echadero y la tolva son un complemento necesario. Luego de haber ubicado el lugar exacto donde se construirá la tolva, se procede a romper el mineral o desmonte, siguiendo una altura, dirección e inclinación adecuada; si el echadero se ubica en un tajeo de explotación, se romperá todo el material necesario que incluirá la altura adecuada del sub nivel del tajeo a explotar. (Abarca, W. 2007)

Los echaderos contruidos tienen las dimensiones de 1.2 x 12m para una tolva simple y para una tolva de doble compartimiento son de las dimensiones de 1.2 x 2.40 con una inclinación de 35° a 45°, pudiendo variar en algunas zonas.

#### **2.2.16. Diseño de tolvas en los tajeos de explotación.**

Las tolvas instaladas en los tajeos de explotación, cumplen la función principal de descargar el mineral o desmonte que provienen del tajeo y están ubicadas en el nivel inferior, principalmente en todas las galerías de explotación cumplen esa función primordial.

En la explotación de minerales en minas subterráneas es de uso frecuente las tolvas de madera, éstas resultan ser un sistema cómodo para descargar el mineral.

La compuerta de descarga de la tolva se dimensiona de acuerdo al tipo de transporte que se tenga en este caso los carros mineros U-35, de tal forma que garantice el llenado rápido, el ancho de la boca de la tolva debe ser aproximadamente la mitad del largo del sistema al que se descarga el mineral o desmonte. (Bravo, A. 2005).

La inclinación de las tolvas varían entre 35° y 45°, el mismo que depende del ángulo de reposo del mineral o desmonte que circula por dicha tolva.



### **2.2.17. Principales agentes que afectan en el desgaste de las tolvas de madera**

En una mina subterránea una tolva de madera de madera está expuesto a un desgaste prematuro que son ocasionados por agentes físicos, biológicos y químicos.

#### **a) Agentes físicos**

Son aquellos agentes que actúan directamente en la parte interna de la tolva, ocasionado por el grado de abrasabilidad del material, dureza, peso específico y granulometría, por tanto el desgaste de las tolvas varía de una mina a otra el mismo que depende de las características del mineral o desmonte que circula por dicha tolva. (Staley, W. 2001).

#### **b) Agentes biológicos**

Los agentes biológicos ocasionan relativamente la pudrición de las maderas, sobre todo en zonas de poca ventilación en donde se han observado maderas malogradas en estado de pudrición, pasado los doce meses de exposición continua a los hongos; existen insectos del tipo polilla que socavan las maderas de interior mina.

Las maderas se desgastan en interior mina por efectos biológicos, ocasionando la pudrición de la madera por la acción de hongos, insectos y en algunas minas secas por efectos de las polillas, la madera es socavada y debilitada en su integridad. (Abarca, W. 2007).

#### **c) Agentes químicos**

Las reacciones químicas que ocurren en las soluciones que escurren, producto de filtraciones subterráneas y que éstos de un modo lento afectan al buen estado de las maderas.

En época de lluvias, la mina sufre de abundante filtración, por lo que las aguas



que escurren traen consigo, soluciones sulfatadas y óxidos, que afectan lentamente el buen estado de las maderas en interior mina. .(Abarca, W. 2007).

#### **2.2.18. Dimensionamiento del tamaño de la tolva**

El tamaño de las tolvas se dimensionan teniendo en cuenta el flujo de mineral o desmonte que circulará por día, mes y año, luego se determinará el peso total que soportará la tolva a diseñar, además se debe tener en cuenta el tipo de transporte al que se descargará el material acumulado que puede ser a los carros U-35 de 1.25 toneladas, vehículos de bajo perfil, volquetes u otro sistema de transporte, por lo que cada uno de estos sistemas de transporte deben tener una tolva y descarga adecuada. (Delgado, R. 2008).

#### **2.2.19. Diseño de la geometría de los elementos de la tolva.**

Las dimensiones reales de los elementos de la tolva, se determinará considerando lo siguiente:

Carga viva y muerta, momento máximo, esfuerzos en límite proporcional de la madera, resistencia al corte, el pre dimensionamiento que es el resultado de las experiencias en construcción de otras tolvas similares.

En el dimensionado de la carga viva que actúa sobre la tolva se debe considerar el peso del mineral del tajeo analizado la altura del mineral que incide con un peso del mineral del tajeo no actúa directamente sobre la tolva sino sobre las paredes del echadero asimilan tal peso. .(Staley, W. 2001).

#### **2.2.20. Construcción de parrillas**

Las parrillas se construyen con el fin de evitar que trozos grandes de material pasen a través del echadero, los mismos que pueden dañar las paredes del echadero y la tolva.



Las parrillas se construyen de rieles invertidas de 25 lbs/yd. Son colocados sobre puntales de boca, los puntales utilizados son de 8” para la resistencia que estén asegurados en patillas de una profundidad de 25 cm de profundidad en las paredes del echadero, los rieles se deben colocar con un máximo de 20cm de luz, asegurándose a los puntales con clavos de riel de 3 pulgadas.(Abarca,W. 2007).

#### **2.2.21. Construcción de la tolva de madera**

Una tolva de madera se construye de acuerdo al flujo de mineral o desmonte que circulará por el echadero y la recepción en la tolva, y estará diseñada con elementos dimensionados correctamente que soporten la carga y flujo de material; sin embargo, es sumamente importante supervisar la construcción correcta de la tolva, para la que se debe contar con persona de experiencia y conozca trabajo en madera. (Bravo, A. 2005).

#### **2.2.22. Ubicación de las tolvas**

Las tolvas se ubican generalmente en todas las galerías de explotación subterránea, que generalmente es a cada 30 a 40 metros, tolvas de doble compartimento que tiene dos funciones, uno es el camino para el acceso del personal y el otro para el almacenamiento del mineral o desmonte y tolvas simples que solo sirve para el almacenamiento de mineral o desmonte.(Bravo, A. 2005).

Las tolvas en interior mina se ubican de acuerdo a la necesidad que requiera el acarreo, transporte de material, método de explotación y la producción requerida.

#### **- En tajeos de explotación**

En los tajeos de explotación las tolvas se ubican teniendo en consideración el método de explotación que se emplea y de los movimientos suplementarios de los materiales hasta los echaderos que constituyen los puntos de descarga hacia las tolvas. En la mayoría de los casos las tolvas se ubican cada 30 metros, se han ubicado bajo las



siguientes consideraciones. (Bravo, A. 2005).

Tipo de transporte disponible Método de explotación utilizado Carros mineros  
por tajeo Producción programada.

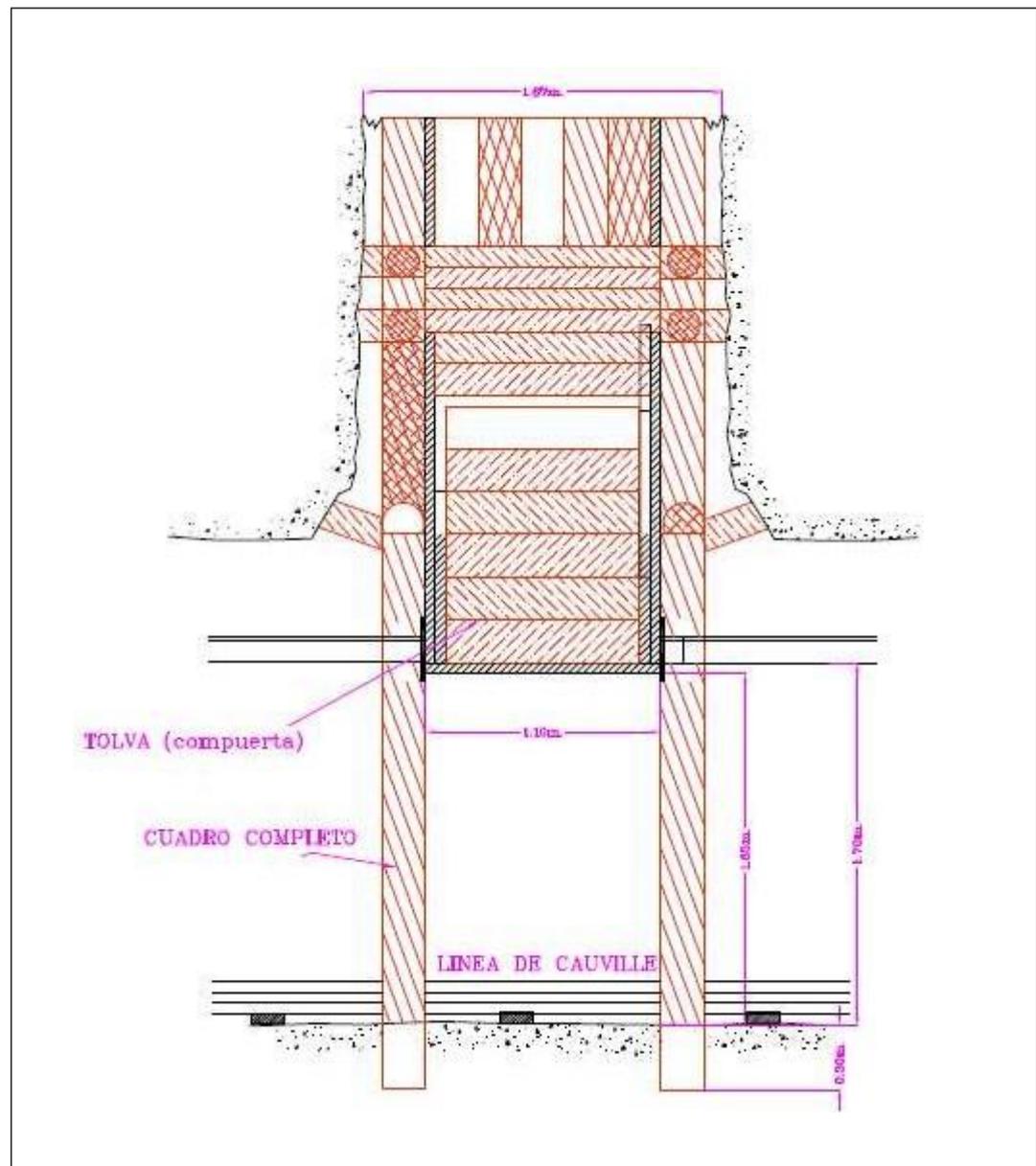
### **2.2.23. Tolvas de madera**

Las tolvas de madera cumplen una función muy importante en la minería subterránea, se construyen según las necesidades del flujo de mineral extraído de los tajeos de explotación.

Las tolvas de madera tienen una duración promedio de 6 a 8 meses de trabajo continuo, luego empiezan a abrirse grietas y rajaduras, también los entablados se desgastan debido a la fricción constante al acumular y descargar el mineral o desmonte durante este tiempo.

Las tolvas utilizadas en la Unidad Minera Esperanza – Arequipa, tienen la forma de cajas rectangulares especie de un canal en un plano inclinado, el fondo es cónico.

Estas tolvas cumplen la función de almacenamiento y posterior descarga del mineral hacia diferentes medios de transporte. Las tolvas están directamente ensambladas a los echaderos por donde el material cae por gravedad a los niveles inferiores donde se reciben en las tolvas, para luego desde allí descargar a otro sistema de transporte en forma rápida, eficiente y segura (Wilhelm, 2013).



**Figura 1.** Tolva de madera

Fuente: Minera Esperanza – Arequipa.

### 2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

#### 1. Sostenimiento

Son los procedimientos para soporte de rocas, para mejorar la estabilidad y mantener la capacidad de resistir las cargas que producen las rocas cerca al perímetro de la excavación subterránea.



## **2. Labor**

Nombre general para todos los trabajos mineros subterráneos, tales como: túnel, socavón, galería, chimenea, sub nivel, rampa etc.

## **3. Geomecánica**

Es la ciencia aplicada al comportamiento mecánico del macizo rocoso al campo de fuerzas de su entoreno físico.

## **4. Cuadros de madera**

Es un armazón de madera que pueden ser cónicos, rectos y cojo, que se usan en el sostenimiento de los hastiales de una labor minera.

## **5. Puntales**

Son rollizos de madera que se usan para formar cuadros de madera y para sostenimiento de labores mineras.

## **6. Perforación**

Es una operación mecánica que consiste en realizar taladros en el macizo rocoso o mineral.

## **7. Falla**

Resquebrajadura en la corteza terrestre por fuerzas tectónicas que afecta al macizo rocoso ocasionando desplazamiento a lo largo de la falla.

## **8. Fisura**

Es la grieta, rotura o fractura que se presenta en la superficie del macizo rocoso.

## **9. Macizo rocoso**

Es el conjunto de bloques de la matriz rocosa y de las discontinuidades que se



presenta en la naturaleza.

## **10. Tolvas de madera**

Son aquellas construidas íntegramente con material de madera, en las minas se ha generalizado el uso de la madera de eucalipto.

## **11. Costos**

Son los recursos económicos que se utilizan para la producción de bienes o servicios.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN

La mina Esperanza de Caraveli, se encuentra ubicada en la Cordillera Occidental de los Andes dentro de la jurisdicción de:

Distrito : Atico  
Provincia : Caravelí  
Departamento : Arequipa

La zona de estudio corresponde a la zona catastral 18-S, hoja 32-o banda L, dentro de las siguientes coordenadas UTM y geográficas.

#### **Coordenadas U.T.M.**

Norte : 8 263 000  
Este : 618 500

#### **Coordenadas geográficas**

Latitud Sur: 15° 42' 00"  
Longitud Oeste: 73° 53' 30"

#### **Altitud**

1600 m.s.n.m. a 1 970 m.s.n.m.

#### 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 siguiente ruta (Ver Tabla 1)



**Tabla 3.**

*Ruta de acceso a la Mina Esperanza de Caraveli*

<b>Vía</b>	<b>Distancia ( km)</b>	<b>Tiempo (Horas)</b>
Puno - Arequipa	220	5
Arequipa - Atico	413	6
Atico – km 40	40	1
Km 40–Mina Esperanza	34	1
<b>Total</b>	<b>707</b>	<b>13</b>

Fuente: Mina Esperanza de Caravelí.

### 3.3. DISEÑO METODOLÓGICO

Según las características de estudio de investigación es de tipo descriptivo, se refiere a la optimización de costos de instalación de tolvas de madera mediante buzones y anillos metálicos en la Unidad Minera Esperanza – Arequipa, en labores de explotación de la Unidad Minera Esperanza – Arequipa.

La metodología para desarrollar el estudio de investigación ha consistido en su primera fase en evaluar todos los procesos y costos de instalación de las tolvas de madera, volumen del mineral a almacenar, tamaño de la tolva, tiempo de duración y la incidencia en los costos de acarreo del mineral.

Los datos se han recolectado en sus respectivas fichas de control. Posteriormente en el estudio de investigación se ha diseñado los buzones metálicos en donde se ha considerado los costos de materiales, costos de instalación, el tamaño del buzón, volumen del mineral a almacenar, el tiempo de duración y la incidencia en los costos de acarreo del mineral. Finalmente se ha realizado el análisis comparativo de los costos de instalación de las tolvas de madera y los costos de instalación de los buzones metálicos, también se ha considerado el tiempo de instalación del sistema anterior y actual en la Unidad Minera Esperanza – Arequipa.



### **3.4. POBLACIÓN**

La Población considerada en el estudio de investigación está constituida por 05 tolvas de madera que se encuentran en el Tajeo de explotación Santa Rosa de la Unidad Minera Esperanza – Arequipa.

### **3.5. MUESTRA**

La muestra para el presente estudio de investigación se ha considerado la tolva de madera ubicada en el Tajeo de explotación Santa Rosa del nivel 1 725 m.s.n.m. de la Unidad Minera Esperanza – Arequipa.

### **3.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

#### **3.6.1. Variable independiente**

Rendimiento y durabilidad de los buzones y anillos metálicos en los tajeos de explotación de la Unidad Minera Esperanza- Arequipa.

#### **3.6.2. Variable dependiente**

Optimización de los costos de instalación de tolvas en la Unidad Minera Esperanza- Arequipa.

**Tabla 4.**

*Operacionalización de variables*

VARIABLES MEDICIÓN	INDICADORES	ESCALA DE
<b>Variable independiente:</b>		
Rendimiento y durabilidad		
de los buzones y anillos metálicos en los tajeos de explotación de la Unidad Minera Esperanza-Arequipa.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Toneladas de mineral</li><li>• Tiempo de duración</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• TM/día</li><li>• Mes, año</li></ul>
<b>Variable dependiente :</b>		
Optimización de los costos de instalación de tolvas en la Unidad Minera Esperanza- Arequipa.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Rendimiento</li><li>• Costo de instalación</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• m<sup>3</sup>/guardia</li><li>• US\$</li></ul>
Fuente: Elaboración propia.		

### 3.7. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Es muy importante las técnicas a aplicar, así como el análisis estadístico y porcentual, la observación del comportamiento del sostenimiento, reporte del control operacional mensual y diario de la mina.

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

Se han aplicado instrumentos y procedimientos de acuerdo a lo siguiente:

- Cuadros estadísticos.
- Revisión de los datos.
- Tipo de sostenimiento

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La optimización de costos de instalación de tolvas de madera mediante buzones y anillos metálicos se ha realizado en el tajeo de explotación Santa Rosa del nivel 1725 m.s.n.m. en la Unidad Minera Esperanza – Arequipa.

#### 4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

##### HIPÓTESIS I

Los costos de las tolvas de madera son excesivos a los costos de instalación de las tolvas metálicas en la Unidad Minera Esperanza - Arequipa.

##### 4.2.1. Análisis de costos unitarios en la instalación de la tolva de madera

**Tabla 5.**

*Costos de madera*

Madera	Costo Unitario en S/.	Tipo de Cambio 1\$US = 3.32
		Costo Unitario en US\$
Redondos de 8"	55,50	16,72
Redondos de 7"	48,50	14,61
Redondos de 6"	42,50	12,80
Tablas	42,00	12,65
Escaleras	48,00	14,46

Fuente: Minera Esperanza – Arequipa.

#### 4.2.2. Costos de instalación de las tolvas de madera

**Tabla 6.**

*Análisis de costos unitarios: Puntal de línea 8" y 6"*

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario en soles	Vida útil guardia	Costo por guardia s/.
Arco de sierra	01	Unidad	21,00	150	0,14
Hoja de sierra	01	Unidad	4,00	03	1,33
Combo de 8 lb	01	Unidad	94,00	180	0,52
Corvina	01	Unidad	290,00	80	3,63
Flexómetro	01	Unidad	8,50	120	0,07
Barretilla	01	Unidad	75,00	100	0,75
Alicate	01	Unidad	18,00	180	0,10
Pico	01	Unidad	32,00	150	0,21
Lampa	01	Unidad	32,00	150	0,21
Puntas agudas	01	Unidad	17,00	16	1,06
Maestro	01	2 horas	80,00	01	20,00
Ayudante	01	2 horas	65,00	01	16,25
<b>SUB TOTAL</b>					<b>44,27</b>
Imprevistos 10%					<b>4,43</b>
Leyes sociales 65%					<b>23,56</b>
<b>TOTAL</b>					<b>72,26</b>

Fuente: Minera Esperanza – Arequipa.

**Tabla 7.**

*Análisis de costos unitarios: Entablado*

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unitario En Soles	Vida útil Guardia	Costo por Guardia S/.
Arco de sierra	01	Unidad	21,00	150	0,14
Hoja de sierra	01	Unidad	4,00	03	1,33
Combo de 8 lb	01	Unidad	94,00	180	0,52
Corvina	01	Unidad	290,00	80	3,63
Flexómetro	01	Unidad	8,50	120	0,07
Barretilla para des.	01	Unidad	75,00	100	0,75
Clavos de 5" y 6"	0,50	Kilos	7,50	01	3,75
Puntas agudas	01	Unidad	17,00	16	1,06
Maestro	01	3 horas	80,00	01	30,00
Ayudante	01	3 horas	65,00	01	24,38
<b>SUB TOTAL</b>					<b>65,63</b>
Imprevistos 10%					<b>6,56</b>
Leyes Sociales 65%					<b>35,35</b>
<b>TOTAL</b>					<b>107,54</b>

Fuente: Minera Esperanza – Arequipa.

**Tabla 8.**

*Análisis de costos unitarios: Enrejado*

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unitario En Soles	Vida útil Guardia	Costo por Guardia S/.
Arco de sierra	01	Unidad	21,00	150	0,14
Hoja de sierra	01	Unidad	4,00	03	1,33
Combo de 8 lb	01	Unidad	94,00	180	0,52
Corvina	01	Unidad	290,00	80	3,63
Flexómetro	01	Unidad	8,50	120	0,07
Alicate	01	Unidad	18,00	180	0,10
Barretilla para des.	01	Unidad	75,00	100	0,75
Puntas agudas	01	Unidad	17,00	16	1,06
Maestro	01	2 horas	80,00	01	20,00
Ayudante	01	2 horas	65,00	01	16,25
<b>SUB TOTAL</b>					<b>43,85</b>
Imprevistos 10%					<b>4,39</b>
Leyes Sociales 65%					<b>23,56</b>
<b>TOTAL</b>					<b>71,80</b>

Fuente: Minera Esperanza – Arequipa.

**Tabla 9.**

*Análisis de costos unitarios: Tolva de madera*

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unitario en Soles	Vida útil Guardia	Costo por Guardia S/.
Arco de sierra	01	Unidad	21,00	150	0,14
Hoja de sierra	01	Unidad	4,00	03	1,33
Combo de 8 lb	01	Unidad	94,00	180	0,52
Corvina	01	Unidad	290,00	80	3,63
Flexómetro	01	Unidad	8,50	120	0,07
Barretilla para des.	01	Unidad	75,00	100	0,75
Clavos de 5" y 6"	0.50	Kilos	7,50	01	3,75
Alicate	01	Unidad	18,00	180	0,10
Pico	01	Unidad	32,00	150	0,21
Lampa	01	Unidad	32,00	150	0,21
Puntas agudas	01	Unidad	17,00	16	1,06
Maestro	01	12 horas	80,00	01	120,00
Ayudante	01	12 horas	65,00	01	97,50
<b>SUB TOTAL</b>					<b>229,27</b>
Imprevistos 10%					<b>22,93</b>
Leyes Sociales 65%					<b>141,38</b>
<b>TOTAL</b>					<b>393,58</b>

Fuente: Minera Esperanza – Arequipa.

**Tabla 10.***Tablas y puntales requeridos para la tolva de madera*

Dimensiones de la tolva (m)	Material requerido (Unidades)	Tiempo de instalación	de	Duración de tolvas
Largo 1.60 m Ancho es 1.10 m Altura es 0.65 m	15 tablas de 3 metros 7 puntales de 8" 13 puntales de 6"	La instalación de la tolva dura 2 días de una sola guardia.	de	7 meses, después empieza las rajaduras y deformación de la madera.

Fuente: Minera Esperanza – Arequipa.

**Tabla 11.***Costos de madera***Tipo de Cambio 1\$US = 3.32**

Madera	Cantidad	Costo Unitario en S/.	Costo total en Soles	Costo total en US\$
Redondos de 8"	08	55,50	444,00	133,73
Redondos de 6"	13	42,50	552,50	166,42
Tablas	15	42,00	630,00	189,76
<b>TOTAL</b>			<b>1626,50</b>	<b>489,91</b>

Fuente: Minera Esperanza – Arequipa.

#### 4.2.3. Resumen de costos de tolvas de madera

**Tabla 12.***Costos de instalación y madera*

Descripción	Costo en Soles	Costo en US\$	Costo total en US\$
Puntal de línea 8"y 6"	72,26	21,77	21,77
Entablado	107,54	32,39	32,39
Enrejado	71,80	21,62	21,62
Tolva de madera	393,58	118,55	118,55
Madera	1626,50	489,91	489,91
<b>TOTAL</b>	<b>2271,68</b>		<b>684,24</b>

Fuente: Minera Esperanza – Arequipa



#### 4.2.4. Duración de las tolvas de madera

La duración de las tolvas de madera en minería subterránea depende del tipo de madera utilizada y las condiciones de la labor minera que puede ser seco o húmedo, el mismo que influye en la duración de la madera.

Las tolvas de madera tiene una duración aproximada de 6 a 8 meses de trabajo continuo, después del tiempo transcurrido las maderas empiezan a presentar algunos inconvenientes, generalmente debido a la humedad presentan rajaduras.

El mineral que se traslada se acumula en estas tolvas diariamente y hace que en el tramo inicial empieza a desgastarse los entablados lo que ocasiona grietas y rajaduras en donde el mineral fino empieza a salir por estas pequeñas aberturas de estas tolvas de madera.

En general las tolvas de madera debido al uso diario todo el armazón empieza a desgastarse con el mineral que se acumula, resultado de la explotación del tajeo, cuyas deficiencias de la madera requiere el cambio inmediato, generando costos adicionales a la Empresa Minera.



#### 4.2.5. Tiempo de instalación de la tolva de madera

**Tabla 13.**

*Tiempo de instalación de las tolvas de madera*

OPERACIÓN	TIEMPO DE INSTALACION
DESCRIPCIÓN	MINUTOS
<b>Primer día</b>	
Ventilación	35 Minutos
Regado y desatado	35 Minutos
Tiempo de armado del puntal de línea	140 Minutos
Tiempo total armado entablado	200 Minutos
Tiempo total armado enrejado	130 Minutos
<b>TIEMPO TOTAL: ( En horas)</b>	<b>9,0 Horas</b>
<b>Segundo día</b>	
Ventilación	35 Minutos
Regado y Desatado	35 Minutos
Tiempo de armado de yugo y mesa	200 Minutos
Tiempo de armado chalecos.	135 Minutos
Tiempo de armado compuerta	130 Minutos
Tiempo de armado encamado	135 Minutos
<b>TIEMPO TOTAL : (En horas)</b>	<b>11,0 Horas</b>
<b>TIEMPO TOTAL DE INSTALACIÓN DE LA TOLVA DE MADERA</b>	<b>20,17 Horas efectivas</b>

**Fuente:** Minera Esperanza – Arequipa.

## HIPÓTESIS II

Los costos de las tolvas metálicas son menores a los costos de instalación de las tolvas de madera en la Unidad Minera Esperanza – Arequipa.

### 4.3. COSTOS DE INSTALACIÓN DE LOS BUZONES Y ANILLOS METÁLICOS

**Tabla 14.**

*Descripción de buzones y anillos metálicos*

<b>Dimensiones del buzón</b>	<b>Material requerido (Unidades m<sup>2</sup>)</b>	<b>Tiempo de instalación</b>	<b>de</b>	<b>Duración de buzón</b>
Largo 1.60 m Ancho es 1.10m Altura es 0.65 m	4 planchas 01 riel de 3 m de 30 lb 20 pernos	La instalación de la tolva dura 2 días de una sola guardia.		Un promedio de 3.5 años

Fuente: Minera Esperanza – Arequipa.

#### 4.3.1. Análisis de los costos unitarios en la instalación del buzón y anillos metálicos

**Tabla 15.**

*Costos de anillos metálicos, rieles, clavos y otros*

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad Unidades</b>	<b>Costo Unitario en S/.</b>	<b>Costo total en Soles</b>	<b>Costo total en US\$</b>
Plancha Met.	04	160,00	640,00	192,77
Anillo Met.	01	475,00	475,00	143,07
Pernos	20	5,00	100,00	30,12
Rieles	01	240,00	240,00	72,29
Clavo	20	1,40	28,00	8,43
Puntal de 6"	04	42,50	170,00	51,20
<b>TOTAL</b>			<b>1 653,00</b>	<b>497,88</b>

Fuente: Minera Esperanza – Arequipa.

#### 4.3.2. Costos de instalación de la tolva metálica

**Tabla 16.**

*Análisis de costos unitarios: Buzón metálico*

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unitario En Soles	Vida útil Guardia	Costo por Guardia S/.
Arco de sierra	01	Unidad	21,00	150	0,14
Hoja de sierra	01	Unidad	4,00	03	1,33
Combo de 8 lb	01	Unidad	94,00	180	0,52
Corvina	01	Unidad	290,00	80	3,63
Flexómetro	01	Unidad	8,50	120	0,07
Barretilla para des.	01	Unidad	75,00	100	0,75
Alicate	01	Unidad	18,00	180	0,10
Pico	01	Unidad	32,00	150	0,21
Lampa	01	Unidad	32,00	150	0,21
Puntas agudas	01	Unidad	17,00	16	1,06
Maestro	01	05 horas	80,00	01	50,00
Ayudante	01	05 horas	65,00	01	40,63
<b>SUB TOTAL</b>					<b>98,65</b>
Imprevistos 10%					<b>9,87</b>
Leyes Sociales 65%					<b>58,91</b>
<b>TOTAL</b>					<b>167,48</b>

Fuente: Minera Esperanza – Arequipa.

**Tabla 17.**

*Análisis de costos unitarios: Anillo forrado*

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unitario En Soles	Vida útil Guardia	Costo por Guardia S/.
Arco de sierra	01	Unidad	21,00	150	0,14
Hoja de sierra	01	Unidad	4,00	03	1,33
Combo de 8 lb	01	Unidad	94,00	180	0,52
Corvina	01	Unidad	290,00	80	3,63
Flexómetro	01	Unidad	8,50	120	0,07
Alicate	01	Unidad	18,00	180	0,10
Barretilla para des.	01	Unidad	75,00	100	0,75
Puntas agudas	01	Unidad	17,00	16	1,06
Maestro	01	2 horas	80,00	01	20,00
Ayudante	01	2 horas	65,00	01	16,25
<b>SUB TOTAL</b>					<b>43,85</b>
Imprevistos 10%					<b>4,39</b>
Leyes Sociales 65%					<b>23,56</b>
<b>TOTAL</b>					<b>71,80</b>

Fuente: Minera Esperanza – Arequipa.

### 4.3.3. Resumen de costos de tolvas metálicas

**Tabla 18.**

*Costos de instalación y materiales metálicos*

Descripción	Costo en Soles	Costo en US\$	Costo total en US\$
Buzón metálico	167,43	50,43	50,43
Anillo forrado	71,80	21,63	21,63
Materiales	1 653,00	497,88	497,88
Armado buzón, mesa, compuerta	224,30	67,56	67,56
<b>TOTAL</b>	<b>2 116,53</b>		<b>637,50</b>

Fuente: Minera Esperanza – Arequipa.

### 4.3.4. Tiempo de instalación de la tolva metálica

**Tabla 19.**

*Tiempo de instalación del buzón metálico*

OPERACIÓN INSTALACIÓN DESCRIPCIÓN	TIEMPO DE MINUTOS
<b>Primer día</b>	
Ventilación	35 Minutos
Regado y desatado	35 Minutos
Tiempo de armado puntal de línea	130 Minutos
Tiempo de armado buzón metálico	250 Minutos
Tiempo de armado anillo forrado	130 Minutos
<b>TIEMPO TOTAL : (En horas)</b>	<b>9,7 Horas</b>
<b>Segundo día</b>	
Ventilación	35 Minutos
Regado y desatado	35 Minutos
Tiempo de armado de buzón	130 Minutos
Tiempo de armado de mesa	125 Minutos
Tiempo de armado de aletas y compuerta.	210 Minutos
<b>TIEMPO TOTAL : (En horas)</b>	<b>8,9 Horas</b>
<b>TIEMPO TOTAL INSTALACIÓN DE TOLVA</b>	<b>18,6 Horas efectivas</b>

Fuente: Minera Esperanza – Arequipa.

#### 4.3.5. Duración de las tolvas metálicas

La duración promedio de las tolvas metálicas es de 3,5 años es decir que el material metálico es altamente resistente al material de mina que se requiere almacenar y transportar a diario según el volumen de mineral producido en los tajeos de explotación y requiere menor costo de mantenimiento que las tolvas de madera.

Al utilizar las tolvas metálicas se genera mejores beneficios económicos y mayor rentabilidad para la Empresa Minera Esperanza de Caravelí – Arequipa.

#### 4.3.6. Resumen de costos de la tolva de madera y buzón metálico

**Tabla 20.**

*Costo total de estructura de la tolva de madera y buzón metálico*

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COSTO EN SOLES</b>	<b>COSTO EN DOLARES</b>
Costo para la instalación de estructura de la tolva de madera + costo de materiales	2 271,68	684,24
Costo para la instalación de estructura de buzón y anillo metálico + costo de materiales	2 116,53	637,50
<b>DIFERENCIA</b>	<b>155,15</b>	<b>46,74</b>

Fuente: Minera Esperanza – Arequipa.

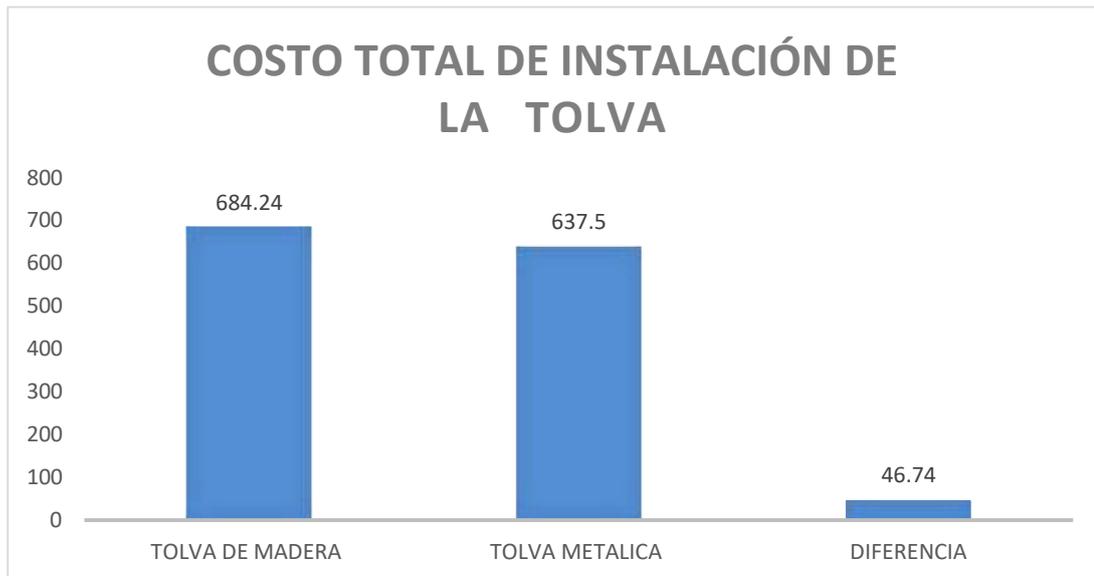


Figura 2. Costo de las tolvas

Fuente : Elaboración propia

Utilizando las tolvas de madera se ha incurrido en un costo de 684,24 US\$ por cada tolva instalada sin incluir los gastos de reparación y mantenimiento mientras que el costo de instalación de una tolva metálica ha ascendido a 637,50 US\$, es decir con una diferencia de 46,74 US\$, demostrando que al utilizar las tolvas metálicas se obtiene mayor beneficio económico para la Empresa Minera Esperanza-Arequipa.

Además las tolvas de madera tiene una duración promedio de 7 meses mientras que la tolvas metálicas tiene una vida útil de 3,5 años, lo cual genera mayor rentabilidad para la Empresa Minera.

#### 4.3.7. Discusión de resultados con otras fuentes

Utilizando las tolvas metálicas, los costos de instalación de las tolvas de madera se han optimizado de 684.24 US\$/unidad a 637.50 US\$/unidad, cuyos resultados son similares a la tesis Reducción de costos de tolvas de madera mediante buzones y anillos metálicos en la Unidad de producción Chalhuané de la Empresa Minera Soledad S.A.C. – Arequipa, en donde concluye que el costo en tolvas de madera



más el mantenimiento es de US\$ 803,20 y el costos de buzones y anillos metálicos es de US\$ 502,30, haciendo una diferencia total de US\$ 300.90 (Paye, T.V. 2 018).

La instalación de las tolvas de madera, concerniente a la estructura y materiales ha tenido un costo total de 684.24 US\$ por cada tolva instalada en la Unidad Minera Esperanza - Arequipa., cuyo resultado es similar a la tesis Reducción de costos de tolvas de madera mediante buzones y anillos metálicos en la Unidad de producción Chalhuané de la Empresa Minera Soledad S.A.C. – Arequipa, en donde concluye el que el costo de la tolva de madera más su mantenimiento asciende a US\$ 604,90. (Paye, T.V. 2 018).

La instalación de los buzones y anillos metálicos y la estructura metálica y materiales ha ascendido a un costo total 637,50 US\$ por cada tolva metálica instalada, cuyo resultado es similar a la tesis Reducción de costos de tolvas de madera mediante buzones y anillos metálicos en la Unidad de producción Chalhuané de la Empresa Minera Soledad S.A.C. – Arequipa, en donde concluye que el costo de la tolva metálica asciende a 502,30 US\$. (Paye,T.V., 2018).



## V. CONCLUSIONES

Los costos de instalación de las tolvas de madera se han optimizado de 684,24 US\$/unidad a 637,50 US\$/unidad, utilizando las tolvas metálicas con una diferencia de 46,74 US\$, en la Unidad Minera Esperanza - Arequipa.

La instalación de las tolvas de madera, concerniente a la estructura y materiales ha tenido un costo total de 684,24 US\$ por cada tolva instalada en la Unidad Minera Esperanza - Arequipa.

La instalación de los buzones y anillos metálicos, concerniente a la estructura metálica y materiales ha ascendido a un costo total 637,50 US\$ por cada tolva metálica instalada en la Unidad Minera Esperanza - Arequipa.



## VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un estudio detallado de las características de los buzones y estructura metálica utilizada a un costo menor y mejorar los beneficios económicos a la Empresa Minera Esperanza - Arequipa.

Mediante el presente estudio de investigación se ha determinado elevados costos de instalación de tolvas de madera, por tanto se recomienda como alternativa utilizar las tolvas metálicas en la Unidad Minera Esperanza – Arequipa.

Realizar el estudio de tiempos de instalación de las tolvas metálicas para optimizar los tiempos perdidos en cada etapa de su instalación y así mejorar la rentabilidad de la Empresa Minera Esperanza - Arequipa.



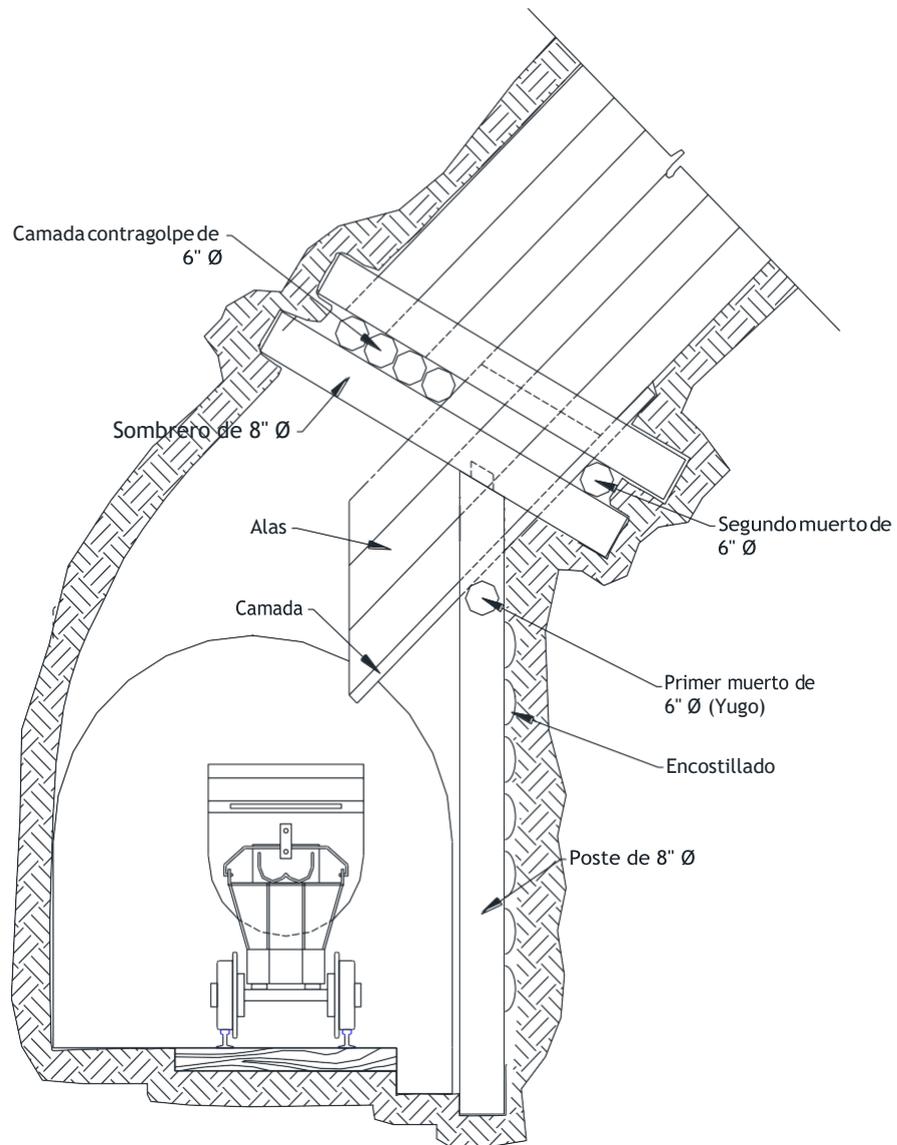
## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, (2007). *Tolvas de madera*. Santiago de Chile: Zig zag.
- Bieniawski, (2010), *Clasificación geomecánica o valoración de la masa rocosa*.
- Bravo, (2005). *Diseño de tolvas*. Recuperado el 30 de noviembre de 2017, de <http://www.pitbabes.es/filtro/19380/procesamiento-de-minerales-en-un-tolva/>
- Chávez, (2001) *Diagramas para el diseño de armaduras de madera*
- Deere, et al, (1964), *Índice RQD para estimar la calidad de la masa rocosa*.
- Delgado, (2008). *Caracterización de tolvas de mineral*.
- Donaires, (2001). *Sostenimiento de minas subterráneas*, Lima - UNI
- Fouler, (2002), *Madera y sus propiedades físico mecánicas*. Mexico.
- Gonzales, (2003), *Madera y conservación*, Lima UNI
- Jáuregui, (2009). *Reducción de costos operativos en mina, mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de Perforación y Voladura*, .  
Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Lanao, (2001). *Trabajos de enmaderado en el sostenimiento de una galería*. Lima UNI.
- Maldonado, (2008), *Aplicaciones geomecánicas en Mina Chungar- Cerro de Pasco*
- Mena, (2012). *Planeamiento de Minado Subterráneo para Vetas Angostas. Mina Esperanza de Caravelí de Compañía Minera Titán S.R.L.* Arequipa: EDIMAG.
- Muñoz, (2012). *Modelo de costos para la valorización de planes mineros*. Santiago:  
Universidad de Chile.
- Paye, (2018), *Reducción de costos de tolvas de madera mediante buzones y anillos metálicos en la Unidad de producción Chalhuane de la Empresa Minera Soledad S.A.C. – Arequipa*.
- Ramirez, (2000), *Parámetros geomecánicos para sostenimiento, mina Catalina Huanca*.
- Suarez, y Ludger, (2013), *Descripción del macizo rocoso, Medellín - Colombia*.

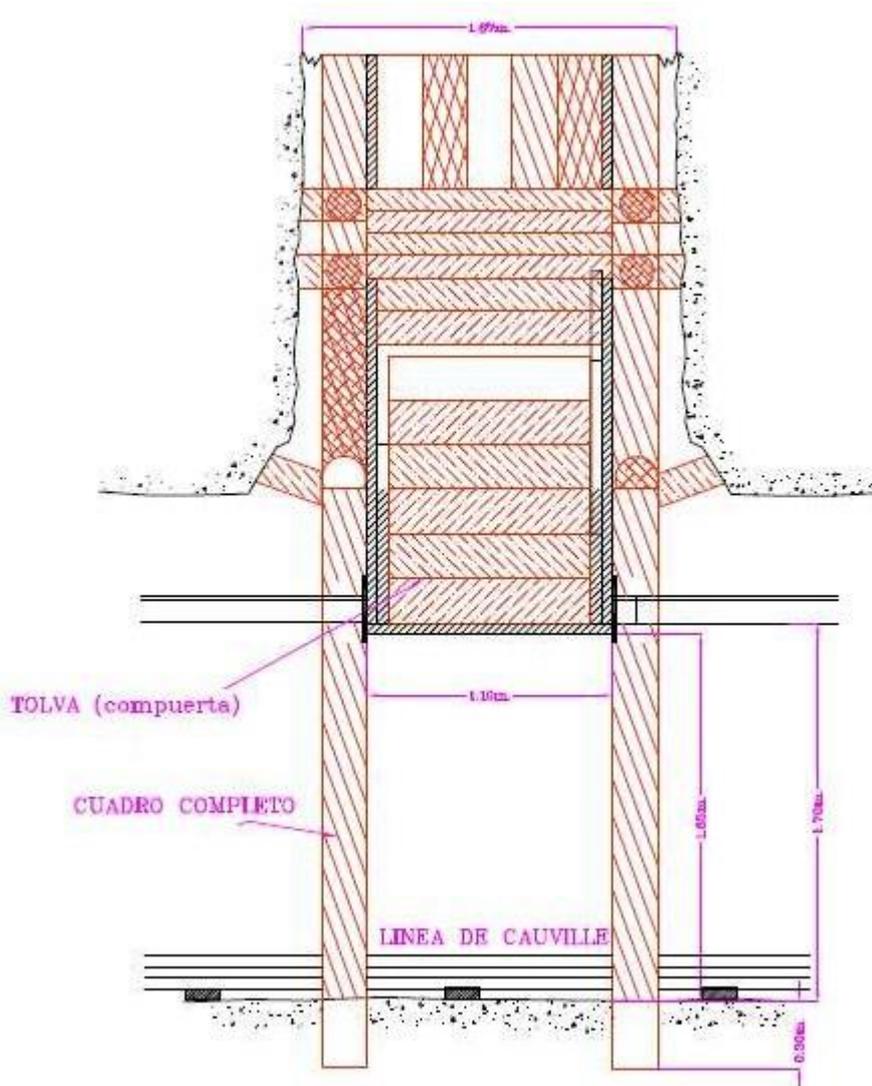


## ANEXOS

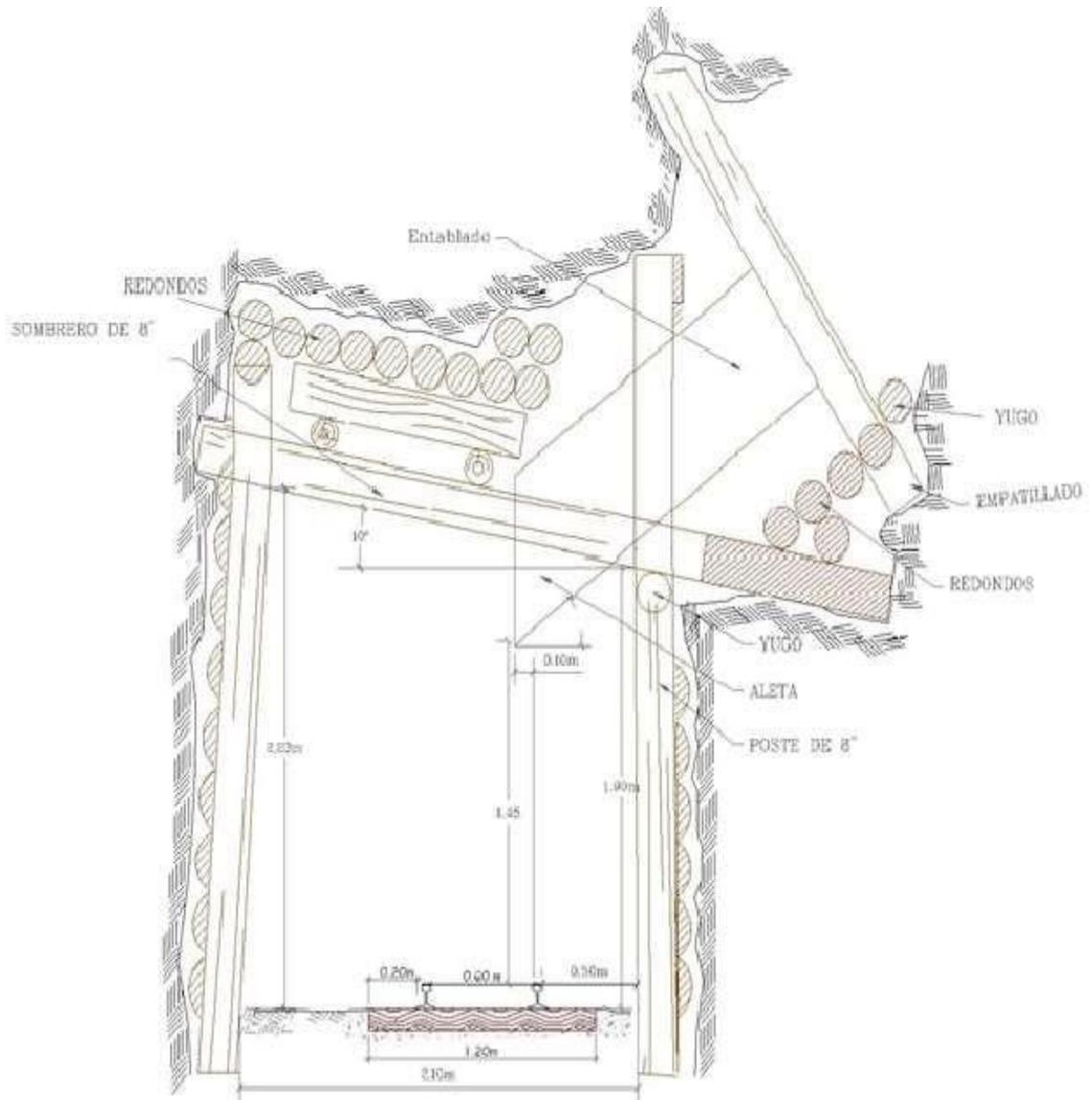
## ANEXO N° 1 DISEÑO DE LA TOLVA DE MADERA



## ANEXO N° 2 TOLVA DE MADERA : VISTA FRONTAL



### ANEXO N° 3: DIMENSIONES DEL BUZÓN METÁLICO



ANEXO N° 4

ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI)

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

ANEXO N° 5

ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI)

(GSI) MODIFICADO						
De los códigos de letra definidos que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades, seleccione el cuadro apropiado en esta tabla. Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia GSI, de los contornos que muestra la tabla. No trate de obtener un mayor grado de precisión. Indicar un rango de valores para GSI, por ejemplo de 36 a 42, es más realista que indicar un único valor por ejemplo 38.						
<b>ESTRUCTURA</b>		<b>CONDICIÓN SUPERFICIAL</b>				
		<b>MUY BUENA</b> (extremadamente resistente, fresca) superficie de las discontinuidades muy rugosas e inalteradas, cerradas, (Rc > 250 MPa) (se astilla con golpes de picota)	<b>BUENA</b> (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)	<b>REGULAR</b> (resistente, levemente alterada) discontinuidades lisas, moderadamente alterada, ligeramente abierta. (Rc 50 a 100 MPa) (se rompe con uno o dos golpes de picota)	<b>POBRE</b> (moderadamente resisL. moderam. alter.) superficie pulida o con estrías, muy alterada, relleno compacto o con fragmentos de roca. (Rc 25 a 50 MPa), (se indenta superficialmente)	<b>MUY POBRE</b> (blanda, muy alterada) Superficie pulida y estriada, muy abierta, con relleno de arcillas blandas. (Rc < 25 MPa) (se disgrega o indenta superficialmente)
	<b>LEVEMENTE FRACTURADA</b> Tres a menos sistemas de discontinuidades muy espaciadas entre sí (RQD 75 - 90%) (2 a 6 fracturas por metro) (RQD = 115 - 3.3 Jn)	95	90	85	80	75
	<b>MODERADAMENTE FRACTURADA</b> Muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales. (RQD 50 - 75%) (6 a 12 fracturas por metro)	80	75	70	65	60
	<b>MUY FRACTURADA</b> Moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades. (RQD 25 - 50%) (12 a 20 fracturas por metro)	65	60	55	50	45
	<b>INTENSAMENTE FRACTURADA</b> Plegamiento y fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando bloques angulosos o irregulares. (RQD 0 - 25%) (Más de 20 fracturas por metro)	50	45	40	35	30
	<b>TRITURADA O BRECHADA</b> Ligeramente trabada, masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables, angulosos y redondeados. (Sin RQD)	35	30	25	20	15
		20	15	10	5	0