



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**REDUCCIÓN DE COSTOS DE VOLADURA MEDIANTE LA  
UTILIZACIÓN DE CÁMARAS DE AIRE EN EL FONDO DEL  
TALADRO EN LA UNIDAD MINERA TOQUEPALA**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**PRESENTADA POR:**

**HILARIO MAMANCHURA SOSA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO - PERÚ**

**2025**



## Hilario Mamanchura Sosa

### REDUCCIÓN DE COSTOS DE VOLADURA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE CÁMARAS DE AIRE EN EL FONDO DEL TALA...

My Files

My Files

Universidad Nacional del Altiplano

#### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trncoid::8254488437385

83 páginas

Fecha de entrega

29 ago 2025, 10:53 a.m. GMT-5

12.661 palabras

Fecha de descarga

29 ago 2025, 11:27 a.m. GMT-5

65.805 caracteres

Nombre del archivo

3. HILARIO MAMANCHURA SOSA.docx

Tamaño del archivo

5.2 MB





## 15% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes sugeridas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

### Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

### Fuentes principales

- 13% Fuentes de Internet
- 14% Publicaciones
- 9% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de Integridad

#### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguir de una entrega original. Si advertimos algo anormal, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y lo revise.

Herbert Angel Quispe Colqueos  
CIP / N° 150390  
INGENIERO DE MINAS

Americo Artizaca Avalos  
Director de la Unidad de Investigación  
Facultad de Ingeniería de Minas





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

**REDUCCIÓN DE COSTOS DE VOLADURA MEDIANTE LA  
UTILIZACIÓN DE CÁMARAS DE AIRE EN EL FONDO DEL TALADRO  
EN LA UNIDAD MINERA TOQUEPALA**

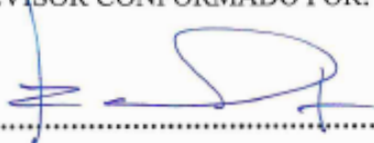
**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PRESENTADA POR:  
HILARIO MAMANCHURA SOSA**

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



**APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:**

**PRESIDENTE:**

  
.....  
Dr. ROBERTO CHAVEZ FLORES

**PRIMER MIEMBRO:**

  
.....  
Dr. WILBER PASTOR CONTRERAS

**SEGUNDO MIEMBRO:**

  
.....  
Ing. EVERY DAYSI CHOQUE QUISPE

**ASESOR DE TESIS:**

  
.....  
M.Sc. HERBERT ANGEL QUILCA GALLEGOS

**ÁREA :** Ingeniería de minas.

**TEMA:** Métodos de extracción de yacimientos minerales metálicos y no metálicos.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 25 de julio del 2025**



## DEDICATORIA

Este trabajo de investigación dedico a mis estimados padres que me inculcaron buenos valores y me brindaron su apoyo para ser un profesional de Ingeniería de minas

A mis queridos hermanos, que siempre estuvieron a mi lado apoyándome incondicionalmente en mis estudios universitarios.

**Hilario Mamanchura Sosa**



## AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento especial a la Universidad Nacional del Altiplano y a la Facultad de Ingeniería de Minas por haberme permitido sus ambientes de calidad para mi formación profesional.

Agradecimiento eterno a todos los docentes de Ingeniería de Minas quienes en cada sesión compartieron sus experiencias y conocimiento para poder tener una competencia adecuada.

Agradecimiento a los miembros del jurado calificador que con su apoyo se pudo mejorar y concluir la presente tesis.

**Hilario Mamanchura Sosa**



# ÍNDICE GENERAL

Pág.

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE ANEXOS**

**ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 15**

**ABSTRACT..... 16**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 17**

**1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ..... 18**

1.2.1. Problema general..... 18

1.2.2. Problemas específicos ..... 18

**1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN..... 18**

1.3.1. Hipótesis general ..... 18

1.3.2. Hipótesis específico ..... 18

**1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN..... 19**

**1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 20**

1.5.1. Objetivo general ..... 20



1.5.2. Objetivos específicos .....	20
------------------------------------	----

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

<b>2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>23</b>
2.2.1. Teoría de costos.....	23
2.2.2. Tipos de costos .....	24
2.2.3. Estrategias de reducción de costos .....	25
2.2.4. Voladura de rocas.....	26
2.2.5. Parámetros controlables de la voladura.....	26
2.2.6. Parámetros controlables de Explosivos.....	27
2.2.7. Condiciones de carguío de taladros.....	32
2.2.8. Voladura de rocas con cámaras de aire .....	34
2.2.9. Efectos de las cámaras de aire.....	35
2.2.10. Principio de acción de las cámaras de aire.....	37
2.2.11. Etapas del proceso de cámaras de aire .....	38
2.2.12. Macizo rocoso .....	40
2.2.13. Características geomecánicas del macizo rocoso y su influencia en los resultados de la voladura .....	41
2.2.14. Teoría de fragmentación de rocas .....	42
2.2.15. Importancia de fragmentación de rocas .....	46
<b>2.3. MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>47</b>

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO .....</b>	<b>49</b>
--	-----------



3.1.1. Ubicación .....	49
3.1.2. Accesibilidad.....	50
3.1.3. Geología general .....	50
3.1.4. Geología regional .....	52
3.1.5. Geología local .....	53
3.1.6. Geología económica.....	54
3.1.7. Reservas minerales.....	55
3.1.8. Sistema de planificación de minado.....	56
<b>3.2. PERIODO Y DURACIÓN DE ESTUDIO .....</b>	<b>59</b>
<b>3.3. PROCEDENCIA DE MATERIAL UTILIZADO .....</b>	<b>59</b>
<b>3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA .....</b>	<b>59</b>
<b>3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO Y METODOLÓGICO .....</b>	<b>59</b>
3.5.1. Tipo de investigación .....	59
3.5.2. Diseño de la investigación .....	60
3.5.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	60
<b>3.6. PROCEDIMIENTO .....</b>	<b>61</b>
<b>3.7. VARIABLES .....</b>	<b>61</b>

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. RESULTADOS .....</b>	<b>63</b>
4.1.2. Evaluación de los costos reales de voladura sin el empleo de cámaras de aire en el fondo del taladro de la unidad minera Toquepala .....	63
4.1.2. Determinación del ahorro por taladro y total del proceso de la voladura originados a consecuencia de la aplicación de cámaras de aire .....	66
4.1.3. Análisis de reducción de costos de voladura mediante la utilización de cámaras de aire en el fondo del taladro la unidad minera Toquepala .....	69



<b>4.2. DISCUSIÓN .....</b>	<b>70</b>
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>72</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>73</b>
<b>VII. REFERENCIAS.....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>78</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Escala de clasificación por grado de toxicidad .....	32
<b>Tabla 2</b> Ámbito del procedimiento .....	62
<b>Tabla 3</b> Resumen de costos en explosivos sin cámaras de aire .....	63
<b>Tabla 4</b> Resumen de costos de accesorio de voladura .....	64
<b>Tabla 5</b> Resumen de costos unitarios de perforación y voladura .....	65
<b>Tabla 6</b> Parámetros de malla para el proceso de voladura con cámaras de aire .....	66
<b>Tabla 7</b> Análisis comparativo de Ahorro por taladro .....	68
<b>Tabla 8</b> Datos de mallas cargados con cámaras de aire de 2 proyectos (Pala 09) ...	69
<b>Tabla 9</b> Reducción de costos por disparo .....	69
<b>Tabla 10</b> Resultado de reducción de costos de 5 meses (2019) de prueba .....	70



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Ubicación de la cámara de aire en el taladro de producción .....	34
<b>Figura 2</b> Efecto de la cámara de aire ubicada en el centro de la carga .....	36
<b>Figura 3</b> Perfil de fracturas de diferentes geométricas de cargas .....	37
<b>Figura 4</b> Primera etapa del proceso de cámaras de aire .....	38
<b>Figura 5</b> Segunda etapa del proceso de cámaras de aire .....	39
<b>Figura 6</b> Tercera etapa del proceso de cámaras de aire .....	40
<b>Figura 7</b> Cuarta etapa del proceso de cámaras de aire .....	40
<b>Figura 8</b> Características del macizo rocoso y variables controlables .....	42
<b>Figura 9</b> Modelo de flexión de la viga antes de la educación .....	44
<b>Figura 10</b> Modelo de flexión de la viga después de la detonación .....	44
<b>Figura 11</b> Orientación de tracción .....	45
<b>Figura 12</b> Ondas de tensión, rotura por flexión y expansión de gas .....	46
<b>Figura 13</b> Ubicación de la Unidad minera Toquepala (yacimiento Cuajone) .....	49
<b>Figura 14</b> Exploración geofísica del yacimiento Cuajone (Geología Regional) .....	53
<b>Figura 15</b> Mapa de mineralización Cuajone .....	56
<b>Figura 16</b> Diseño de carga tradicional sin cámaras de Aire (Cartuflex) .....	65
<b>Figura 17</b> Diseño de carga con cámaras de aire (Cartuflex) .....	67



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 1</b> Ficha técnica de Cartuflex .....	78
<b>Anexo 2</b> Reporte de Costos Unitarios .....	79
<b>Anexo 3</b> Evidencias Fotográficas .....	80
<b>Anexo 4</b> Declaración jurada de autenticidad de tesis .....	82
<b>Anexo 5</b> Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional .....	83



## ACRÓNIMOS

MEQ73	: Mezcla explosiva (Emulsión + combustible + Nitrato)
UM	: Unidad Minera
Df	: Densidad de roca
SAC	: Sociedad anónima cerrada
ET	: Energía de tensión
EB	: Energía de los gases



## RESUMEN

La presente investigación titulada “Reducción de costos de voladura mediante la utilización de cámara de aire en el fondo de taladro en la Unidad Minera Toquepala” donde el objetivo general es “reducir los costos de Voladura mediante la utilización de cámaras de aire en el fondo del taladro” garantizando la fragmentación optima requerido por la empresa, lo cual es desarrollado bajo la metodología de un tipo de investigación descriptiva y aplicativa, con un diseño de investigación cuasiexperimental y un enfoque cuantitativo basado en las estadística descriptiva e inferencial, donde el objeto de estudio como población son los tajos superficiales trabajados por la cantidad de 03 fases y la muestra se toma como un plan piloto a la fase 5 como un tajo intermedio de producción. El proceso de recolección de datos se utilizó mediante la técnica de la observación y análisis documental cuyos instrumentos son los reportes de perforación y antecedentes bibliográficos en el proceso de operación de la voladura los cuales fueron procesados descriptivamente demostrando en los resultados que los costos reales de la voladura sin el empleo de cámaras de aire en el fondo del taladro ascienden a 95 321.20 \$/disp., teniendo un costo unitario de voladura de 0.13 \$/Tm donde cada taladro tiene una capacidad de 735 kg en producción, 640 kr en taladros de amortiguamiento, teniendo como costo por taladro de 316.05 \$/tal , llegando a la conclusión: Se redujeron los costos de voladura mediante la utilización de cámaras de aire en el fondo del taladro desde 316.05 \$/tal a 270.9 \$/tal demostrando un ahorro de 38.25 \$/tal y en las pruebas de voladura con 4 992 taladros cargados se obtuvieron un ahorro de 190 944.00 US\$ realizado en 5 meses experimentales en la Unidad minera Toquepala.

**Palabras clave:** Cámaras, Costos, Reducción, Taladro, Voladura.



## ABSTRACT

The present investigation entitled "Reduction of blasting costs by using an air chamber at the bottom of the hole in the Toquepala Mining Unit" where the general objective is "to reduce blasting costs by using air chambers at the bottom of the drill "guaranteeing the optimal fragmentation required by the company, which is developed under the methodology of a type of descriptive and applicative research, with a quasi-experimental research design and a quantitative approach based on descriptive and inferential statistics, where the object of study As a population, they are the surface pits in worked by the number of 03 phases and the sample is taken as a pilot plan to phase 5 as an intermediate production pit. The data collection process was used through the technique of observation and documentary analysis, the instruments of which are the drilling reports and bibliographic antecedents in the blasting operation process, which were descriptively processed, demonstrating in the results that the real costs of the Blasting without the use of air chambers at the bottom of the hole amounts to \$ 95,321.20 / disp., having a unit blasting cost of \$ 0.13 / Tm where each drill has a capacity of 735 kg in production, 640 kr in drills of damping, with a cost per hole of \$ 316.05 / tal, reaching the conclusion: Blasting costs were reduced by using air chambers at the bottom of the hole from \$ 316.05 / tal to \$ 270.9 / tal, demonstrating savings of \$ 38.25 / such and in the blasting tests with 4,992 loaded drills, a saving of \$ 190,944.00 was obtained in 5 experimental months at the Toquep mining unit. to the.

**Keywords:** Cameras, Costs, Reduction, Drill, Blasting.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La intención de realizar voladura de rocas es lograr una fragmentación homogénea de los tamaños ya sea mineral o roca, evitando dañar las paredes o límites de la voladura y a un costo razonable, la gran mayoría de empresas mineras buscan reducir sus costos operativos donde la voladura es una actividad donde mayormente se destina presupuesto en comparación con las demás actividades.

Generalmente la energía de la carga explosiva utilizado en la columna del taladro no se distribuye de manera eficiente por varias razones, sin embargo, las cámaras de aire contribuyen en la distribución de la carga explosiva en sus diferentes variedades.

En la unidad minera Toquepala se tiene 3 fases de operación donde trabaja 09 palas, en lo cual se tiene diferentes terrenos y el costo de voladura es amplio en las fases de producción donde se tienen rocas de tipo Qq de dureza media que dependiendo a la malla de perforación oscilan entre 176 taladros a 308 taladros con tipos de mezcla explosiva MEQ73 – DF 1,15 gr/cc y una densidad de roca de 2,6 dr/cc , donde el reporte de voladura muestra un costo elevado de 798,76 dólares por tonelada y esto se concluye como un costo elevado.



## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema general**

¿En cuánto se reducen los costos de voladura mediante la utilización de cámaras de aire en el fondo del taladro la Unidad minera Toquepala?

### **1.2.2. Problemas específicos**

¿Cuáles son los costos reales de la voladura sin el empleo de cámaras de aire en el fondo del taladro la Unidad minera Toquepala?

¿En qué medida se ahorra los costos por taladro y total del proceso de la voladura originados a consecuencia de la aplicación de cámaras de aire?

## **1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1. Hipótesis general**

Los costos de voladura mediante la utilización de cámaras de aire en el fondo del taladro son reducidos significativamente la Unidad minera Toquepala

### **1.3.2. Hipótesis específico**

Los costos reales convencionales de la voladura sin el empleo de cámaras de aire en el fondo del taladro son elevados en la Unidad minera Toquepala



El ahorro por taladro y total del proceso de la voladura originados a consecuencia de la aplicación de cámaras de aire son significativamente reducidos a comparación del costo real convencional.

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

En el proceso de la voladura el principal objetivo es lograr una buena fragmentación del macizo rocoso que será resultado de una distribución adecuada de la carga explosiva, evitando todo daño a los límites de la sección o paredes de las rocas encajonantes y a un costo mínimo, ya que para toda empresa es importante la reducción de sus costos operacionales donde la voladura es el proceso donde mayor se invierte a diferencia de otros procesos.

En la unidad minera Toquepala se observa amplio costo de voladura donde se tienen rocas de tipo Qq de dureza media que dependiendo a la malla de perforación oscilan entre 176 taladros a 308 taladros con tipos de mescal explosiva MEQ73 – DF 1,15 gr/cc y una densidad de roca de 2,6 dr/cc , donde el reporte de voladura muestra un costo elevado, existiendo la necesidad de reducir el costo de perforación y voladura en la explotación de forma inmediata, originado por causas anteriormente indicadas y de esta manera generar productividad.

Motivo por el cual el trabajo de investigación se justifica para su ejecución, cabe resaltar que es importante para la Unidad Minera Toquepala así mismo para realizar las operaciones de voladura similares al trabajo de investigación, aun costos bajo en las actividades de voladura, generando utilidad para la empresa. Por otro lado, espero que la investigación sirva de base para posterior estudio sobre la importancia de emplear las cámaras de aires en el fondo del taladro.



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

### **1.5.1. Objetivo general**

Reducir los costos de voladura mediante la utilización de cámaras de aire en el fondo del taladro la Unidad minera Toquepala

### **1.5.2. Objetivos específicos**

Evaluar los costos reales de la voladura sin el empleo de cámaras de aire en el fondo del taladro la Unidad minera Toquepala

Determinar el ahorro por taladro y total del proceso de la voladura originados a consecuencia de la aplicación de cámaras de aire.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Según Gonzales (2019) determinó una reducción de costo por disparo 23.6 %, generando un ahorro en el consumo de explosivo ya que se mejoró la distribución de la carga explosiva en la longitud del taladro en la galería Carmen Nv 3040, donde su costo operativo fue 223.28 US\$/ml. y su objetivo principal fue optimizar los estándares de operación en dicha galería.

Por otra parte, Cumpa (2016) se planteó como objetivo determinar el efecto de las cámaras de aire en el fondo del taladro de producción, con la finalidad de mejorar la fragmentación del macizo rocoso y minimizar el nivel de las vibraciones. Llegando a la conclusión de que el disparo Taponex logró de 20.83% a 24.96% mejorar la fragmentación del macizo rocoso de las mallas entre P20 a P80.

En su investigación de Machuca (2018) donde encontró que al usar la voladura de manera convencional el Dig Rate fue 4,549t/h, 3,247t/h y 2,405t/h para el Aquadeck y Cartuflex lo que quiere decir que el incremento del Dig Rate convencional se logra 35% cuando se utiliza el Cartuflex sin embargo se logra el 85% cuando se utiliza Aquadeck.

Según Quispe (2014) las cámaras de aire flexibles con tapón interior Taponex en la minería de superficie permite su uso en plataformas de perforación tanto en seco y con agua, lo que reduce los niveles de ruido y vibraciones, reduciendo la contaminación explosiva por material de botón y hacer posible reducir factor de carga. Donde se ahorró con el uso de cámaras de aire en el proyecto en un \$119,282.00 entre julio y septiembre



de 2014 en actividades de perforación y voladura, es decir, reducir el coeficiente carga sin la necesidad de modificar los indicadores de operación en los diferentes equipos de carguío.

Así mismo en su estudio de Muñoz (2014) titulada “Optimización de la voladura controlada aplicando un modelo matemático en la unidad minera Paraíso-Ecuador”, Con el fin de idear mallas que sirven para realizar perforaciones y voladuras en forma de subterránea, utilizando un modelo de matemática. En conclusión: Voladura tradicional: 6,92 kilogramos que producía una fuerza de detonación de 1 250 Mpa, para una fuerza de detonación de 245 Mpa. a la Voladura con óptimo grado de seguridad Y se consiguió la disminución de un 38,07% con respecto a la rotura superior.

Bedoya (2019) en su trabajo de investigación concluyó que, si logró reducir la longitud de carga explosiva de 2m a 1m, gracias a la aplicación de las cámaras de aire, así mismo se logró reducir para el tipo de roca de dureza media. Por otra parte, el factor de la carga explosiva en voladura convencional se redujo de 0.28Kg de explosivo/TM a 0.22Kg de explosivo/TM en la roca de una dureza dura y de 0.20Kg de explosivo/TM a 0.16Kg de explosivo/TM en roca de una dureza media lo que se refleja en una reducción en los costos de perforación y voladura.

Vilca (2019) concluye que para la reducción de los costos se basó en una modificación de las dimensiones del espaciamiento y del burden mediante la aplicación del método de Pearse, Con la finalidad de formar una malla de perforación de forma cuadrada ocasionando > área de influencia por cada taladro, logrado un mayor tonelaje de rotura por taladro incrementando de 67,80 a 97,40TM/tal esto quiere decir un incremento en un 30% en TM/tal. Cabe recalcar que la implementación de la malla de perforación cuadrada genera una reducción en la cantidad de taladros y la longitud



perforada en 44% respecto a la programación ahorrando en promedio S/. 20477,08 por mes por metro lineal perforado.

Chipana (2015) concluye que al aplicar un diseño de malla de perforación donde consiste en la estandarización de burden y espaciamiento se logra una reducción en la cantidad de taladros y es reflejado en el costo de perforación reduciendo de 98,48\$ a 87,25\$ así mismo se redujo en voladura de 196,42\$ a 148,39\$.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Teoría de costos**

La definición clásica de costo contiene variaciones interesantes, introducidas por W. Beatty y posteriormente explicadas por Smith, quien especificó, entre otras formas de determinar el valor, su argumento, que el precio o valor natural es igual a la suma de salarios, beneficios y renta, aunque también afirma que el valor lo determina la obra. Por otro lado, Ricardo, en su forma deductiva, introdujo una teoría del valor basada en el trabajo, absorbió algunas de las definiciones de Smith e introdujo el costo como un aspecto importante. Después de Ricardo, Marx afirma que el costo de producción es la forma monetaria a la que se aplica el costo del trabajo y del capital, lo que indica una similitud entre Ricardo y Marx porque argumentan que el valor depende de la cantidad de trabajo físico presente en los bienes o servicios, mientras que los precios están determinados por el valor y afectados por otras variables del mercado. Para ellos, la fuerza de trabajo es una mercancía cuyo precio de mercado está determinado, y los salarios son una forma de valor mutable y variable. Los teóricos neoclásicos argumentan que la teoría clásica del valor no explica



adecuadamente los precios de los bienes porque existen valores extremos que no pueden asumirse satisfactoriamente (Chino, 2018).

Por lo tanto, argumentan que mayores costos de producción no necesariamente conducen a mayores precios finales, porque el valor depende del comportamiento de los actores económicos y los usos creados en el futuro, y no en el pasado, es decir, el precio del pozo cuando se pone. El mercado dependerá de la utilidad que el comprador espera obtener por su consumo, es decir, la demanda. Lo que revitaliza la teoría neoclásica es la discusión de si son los factores los que crean el valor del bien final, o viceversa, si es el bien final el que determina el valor del mediador. Los marginalistas explican que el valor de los factores está determinado por la utilidad marginal del bien final producido a partir de esos factores, pero que estos factores a su vez no lo son. Dar valor a los bienes finales. Así, para los modelos neoclásicos, el error de los modelos anteriores es que el precio no depende de la utilidad total o de la utilidad media sino de la utilidad marginal. El desarrollo de la teoría de los costes de producción hace necesario su análisis, por su importancia, en la toma de decisiones en las empresas (Gonzales, 2019).

### **2.2.2. Tipos de costos**

#### **2.2.2.1 Costos operativos**

Los costos operativos están relacionados directamente con las ventas, es conveniente distribuir según la responsable que está a cargo de las ventas con la finalidad de lograr la eficiencia de las actividades e inversiones, esto quiere decir a la designación de sus funciones de gastos de la operación (Muñoz, 2019).



### **2.2.2.2 Costos directos**

El costo directo consiste en observar la variación directa del elemento del costo con el volumen de producción, además son los que se pueden identificar claramente con la actividad, producto o proceso (Hoyos, 2017).

### **2.2.2.3. Costos indirectos**

Los costos indirectos se pueden definir ya sea por su naturaleza así mismo por su posibilidad de poder identificar porque no es posible designarlo a un solo producto, proceso o departamento, las cuales deberán repartirse entre varios beneficiarios, es decir para realizar la producción es necesario la intervención de supervisores, maquinaria que se desprecia, pagar el alquiler entre otros (Hoyos, 2017).

### **2.2.3. Estrategias de reducción de costos**

En la actualidad existen diferentes estrategias de reducción de costos, por ende, no existe una estrategia óptima que pueda generalizarse para todas las empresas, no obstante, a lo largo de los años se ha desarrollado técnicas y herramientas que contemplan este aspecto que buscan la eficacia y eficiencia de costos logrando generar reducciones significativas de costos.

Según Vergara y Vergara-Mesa (2018), plantea que para reducir los costos de una empresa es importante tomar en cuenta lo siguiente:

- Análisis de la cadena de valor
- Reingeniería de procesos y de negocios
- Administración de la calidad total



- Reducción justo a tiempo
- Benchmarking
- Costo objetivo

#### **2.2.4. Voladura de rocas**

La voladura de rocas se puede definir como la operación encargada al proceso de generar una fragmentación del mineral o del macizo rocoso obteniendo taludes estables sin ningún riesgo en el proceso productivo, ya que se realiza un carguío parado (camión fábrica) de manera mecanizada utilizando en los taladros explosivos (HEAVY ANFO Y ANFO) según a las características del terreno ya sea el caso. Generalmente las voladuras se realizan según al diseño de la malla de perforación, carga explosiva en la columna, secuencia de detonación y otros, ya sea para el desmonte o mineral, se debe tener en consideración un control para las vibraciones, factor de carga, control de fly rock y el costo por tonelada removida (Gutierrez, 2014).

#### **2.2.5. Parámetros controlables de la voladura**

El Manual de Voladura EXSA S.A (2019), los parámetros controlables es la voladura se agrupa según a los requerimientos reales condiciones del terreno y del trabajo donde podemos mencionar las siguientes:

- Geométricos: largo del banco, altura, ancho y talud, cara libre.
- De perforación: longitud del taladro, diámetro y malla de perforación.
- de carga: columna explosiva, densidad, longitud de taco, características fisicoquímicas de los explosivos.



- De tiempo: secuencia de salidas de los disparos y tiempos de retardo entre taladros.

## **2.2.6. Parámetros controlables de Explosivos**

### **2.2.6.1 Densidad**

Se la conoce por la relación entre la magnitud de un objeto y su volumen en centímetros cúbicos, o sea, la masa en gramos de un material con un volumen de 1 cm<sup>3</sup>. En lo que se refiere a las explosivos, tiene un gran efecto sobre la rapidez y la sensibilidad del procedimiento de detonación.

### **2.2.6.2. Velocidad de detonación**

La velocidad de detonación generalmente es una de las mejores de barómetro que sirve para estimar la performance y consistencia de formulaciones de explosivos, además este parámetro concreta el ritmo de liberación de energía. Un incremento de la VOD genera un incremento de la energía de tracción (ET) y por consiguiente una reducción de la energía de los gases (EB), ya que la suma de ambas se mantiene constante (Mendoza, 2014).

La detonación es la explosión generada por una onda que al colisionar tiene el poder de romper por el aumento de presión y calor que esta posee. La velocidad de la onda expansiva está entre 1500 m/s y 1900 m/s, por lo que la reacción resultante es muy rápida. Esta velocidad varía según el tipo de explosivo, ya que cada explosivo está hecho de un componente específico, algunos pueden viajar a gran velocidad mientras



que otros pueden experimentar baja humedad y volver a disminuir la velocidad (Bernaola, Castilla, & Herrera, 2013).

Por otro lado, según Mendoza (2014), menciona que la velocidad de detonación depende de factores como es el diámetro de carga, el confinamiento, la iniciación y el envejecimiento, generalmente las velocidades para explosivos confinados habitualmente en gases toman valores desde 1800 m/s hasta 3000 m/s. Las velocidades típicas de los explosivos sólidos suelen estar entre 4000 m/s y 10300 m/s. Si el explosivo está confinado antes de la explosión, como dentro de un proyectil, la fuerza generada se concentra en un área mucho más pequeña y la presión aumenta drásticamente. Esto da como resultado una tasa de detonación más alta que si los explosivos fueran detonados al aire libre.

### **2.2.6.3. Transmisión y simpatía**

EXSA (2019) menciona que al generar una detonación un cartucho este puede implicar en la detonación de otro cartucho alrededor por “simpatía”. Además, en las dinamitas que tienen una alta sensibilidad esta transmisión de la detonación se puede simbolizar a una distancia de centímetros, para generar la detonación de una columna explosiva mucho depende que exista una buena transmisión.

La transmisión depende de la localización del detonador columna y puede ser las siguientes:

- La transmisión directa es cuando el detonador debe estar colocado axialmente ordenado y con su carga orientado hacia la > longitud



de la carga explosiva, lo que habitualmente ocurre al depositar el cebo en la profundidad del taladro.

- La transmisión inversa o indirecta es transmitida por el 50% aproximadamente de la energía que origina la directa.

Por otro lado, Cumpa (2016), expone que la transmisión es mediante la generación de la onda de detonación en toda la columna explosiva. La existencia de una buena simpatía asegurará la explosión completa de la columna de carga explosiva.

#### **2.2.6.4. Resistencia al agua**

Se define a la resistencia que posee a la exposición de agua, es decir, resiste a la prolongada exposición en agua sin poder perder sus propiedades, ya que rechaza la penetración del agua, la tenacidad al agua ordinariamente es medido por el tiempo en el que el explosivo se encuentra sumergido y después puede ser detonado manteniendo su performance original (Cumpa, 2016)

Por otro lado, EXSA (2019), menciona que las dinamitas plásticas, las emulsiones los slurries o las cargas iniciadoras coladas presentan una resistencia al agua ya que no presentan porosidad rechazando la filtración del agua, además en los explosivos granulares friables se refiere al aforo de sus granulas de no dejarse diluir por el agua o de impugnar su filtración internamente, conservando su estado detonables aun a pesar de ella.



#### **2.2.6.5. Energía del explosivo**

Se puede dar en cal/g o J/g resuelta sobre la base de su enunciación, adaptable para valorar su capacidad de trabajo (Cumpa, 2016).

#### **2.2.6.6. Volumen normal de gases**

Cada explosivo requiere un detonador mínimo o un detonador para activarse (a menudo denominado fusible n.º 8 para calificar como explosivo alto (sensible) y un detonador 21 (insensible), por lo que requiere un cebo más fuerte) (Cumpa, 2016).

El volumen de gases es expresado en litros de gas por kilo del explosivo se calcula mediante la ecuación de reacción química (EXSA, 2019).

#### **2.2.6.7. Presión del taladro**

Se conoce como la presión que generan los gases sobre las paredes del taladro antes de iniciarse la deformación de la roca.

La presión de perforación depende de la intensidad de la carga, por ejemplo, en el caso de un pozo total o completamente lleno, la presión de perforación será teóricamente igual a la presión de explosión. En la práctica, sería un poco menor porque la presión de perforación teórica es igual a la presión de explosión, suponiendo un fenómeno instantáneo en el que el explosivo se convierte realmente en gas en alrededor de un milisegundo o menos. Este retraso da como resultado una ligera pérdida de presión como lo indican las curvas de presión versus tiempo (EXSA, 2019).



#### 2.2.6.8. Categoría de humos

El humo son todos los productos producidos por la explosión, incluidos el gas, el vapor, el polvo en suspensión, etc. Estos humos dominan gases nocivos como humos de nitrógeno, monóxido de carbono, etc. En la voladura al cielo abierto su presencia no cobra importancia, no obstante, en caso de la minería subterránea o lugares de poca ventilación puede generar molestias e intoxicaciones muy graves a los trabajadores que no verifican la presencia de los gases. Para las actividades subterráneas la composición del explosivo debe tener una proporción suficiente de oxígeno capaz de certificar la combustión completa (Larijo, 2019).

Según EXSA (2019), la detonación de explosivos comerciales genera polvo, vapor de agua, óxidos de nitrógeno, óxidos de carbono y, si contienen azufre o aluminio, también gases de azufre y aluminio. Entre los gases inofensivos generados, siempre hay una cierta proporción de productos irritantes tóxicos o fatales que se denominan colectivamente "vapores", como el monóxido de carbono y el dióxido de nitrógeno.

Como se menciona en párrafos anteriores, la proporción que contiene estos gases tóxicos se ha establecido en escalas de clasificación según al grado de toxicidad, cuya equivalencia métrica según ISO es:

**Tabla 1**

*Escala de clasificación por grado de toxicidad*

<b>Categoría</b>	<b>Volúmenes de gases Nocivos (CO, NO<sub>2</sub>)</b>
<b>1<sup>ra</sup></b>	De 0 a 4.53dm <sup>3</sup>
<b>2<sup>da</sup></b>	De 4.53 a 9.34 dm <sup>3</sup>
<b>3<sup>ra</sup></b>	De 9.34 a 18.96 dm <sup>3</sup>

Fuente: recuperado de EXSA (2019)

### **2.2.7. Condiciones de carguío de taladros**

Según EXSA (2019) en su manual de voladura menciona que existe las siguientes condiciones de carguío:

- Diámetro de la carga: llamado también diámetro de taladro es la condición que incide de manera directa al rendimiento del explosivo y en la malla de perforación, asimismo todo explosivo tiene diámetro crítico.
- Geometría de la carga: comprende a la relación de largo de la carga con su diámetro y el punto de inicio de la detonación, el cual es observable en el proceso de fragmentación y formación de zonas de fracturación en las cargas cilíndricas de los taladros de voladura (Cumpa, 2016).
- Grado de acoplamiento: Consiste en una mezcla física de carga explosiva y roca, que permite la transmisión de ondas de choque entre ellas, que tiene un carácter muy importante en la ruptura.
- Densidad de carguío: es la medida del llenado de taladro, que por lo general del llenado del taladro de su espacio ocupado por el explosivo tendremos  $D_c = 0,92$ .
- Distribución de la carga en el taladro: La carga explosiva puede ser de un tipo en todo el pozo (carga única) o tener primero un explosivo más fuerte e intenso (carga de fondo) y luego un explosivo menos denso (carga de



columna). También pueden ser varias cargas del mismo tipo o de distinta naturaleza separadas entre sí por metales inertes (cargas separadas o puentes).

- Tipos y ubicación del cebo: se puede usar un solo cebo, varios cebos en serie en la misma columna o cebos espaciados en diferentes decks. El cebado longitudinal (axial) suele realizarse con cordón detonante o pentacord.
- Distribución de energía, kcal/tonelada de roca: La energía aplicada a la roca depende de la distribución de carga en el pozo, la densidad de carga, el punto de partida y el tipo de explosivo utilizado, mientras que está relacionada con el consumo de energía útil. al confinamiento y duración de la ruptura antes de la liberación de gases al medio ambiente.
- Intervalo de inicio de carga (sincronización): las brocas deben dispararse manteniendo una secuencia ordenada y precisa, para crear las caras en blanco requeridas a medida que sale cada taladro, esto se logra mediante fusibles lentos o el método tradicional de encendido secuencial.
- Variables de perforación: tienen un impacto importante en los resultados de la voladura: la profundidad de la perforación relativa a la altura del hielo sobre la superficie y la estimación de avance en el túnel. La cuadrícula de perforación, la relación de carga y la distancia entre los agujeros son importantes para la interacción entre ellos. El diámetro del taladro, que es la base para determinar la cantidad de carga y el consumo de explosivos. Otros factores a considerar al planificar la detonación son el costo de la perforación y el costo de los explosivos, con base en la cantidad total de explosivos gastados por metro cúbico o tonelada de roca transportada

(factor de carga en  $\text{kg/m}^3$ ). Además, para algunos explosivos, su vida útil (fecha de vencimiento).

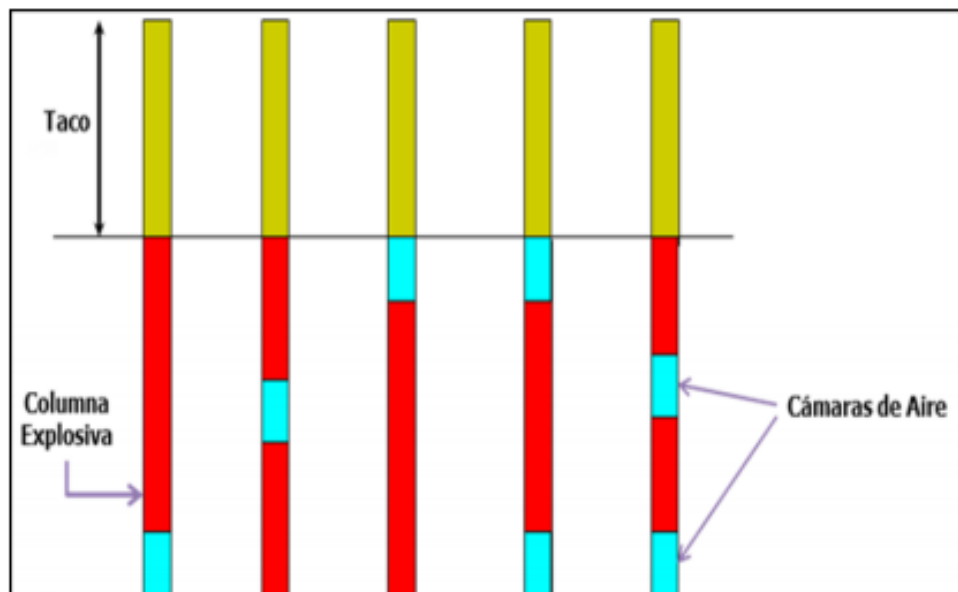
### 2.2.8. Voladura de rocas con cámaras de aire

La cámara de aire es conocido como el espacio de aire que se genera por medio del “taponamiento” del taladro utilizando un accesorio especial, el cual se encuentra favorablemente dentro del taladro de la voladura (Salas, 2011)

La voladura de rocas con cámaras de aire generalmente se encuentra en la parte inferior, superior o media de la carga explosiva teniendo en cuenta el objetivo. Además, se pueden ubicar 02 cámaras de aire en un solo taladro ocupando el 40% por volumen del total de la columna explosiva. Por otro lado, el tamaño y la posición de las cámaras de aire cambian la fragmentación y la expansión de la voladura (Salas, 2011).

#### Figura 1

*Ubicación de la cámara de aire en el taladro de producción*



Fuente: Salas (2011)



La utilización de cámaras de aire es una técnica que se utiliza con mayor frecuencia en la actualidad para realizar la voladura de bancos. Su principal objetivo es minimizar o eliminar la pasadura y reemplazar por una cámara de aire al menos un metro de carga de la base del taladro (Araya, 2007).

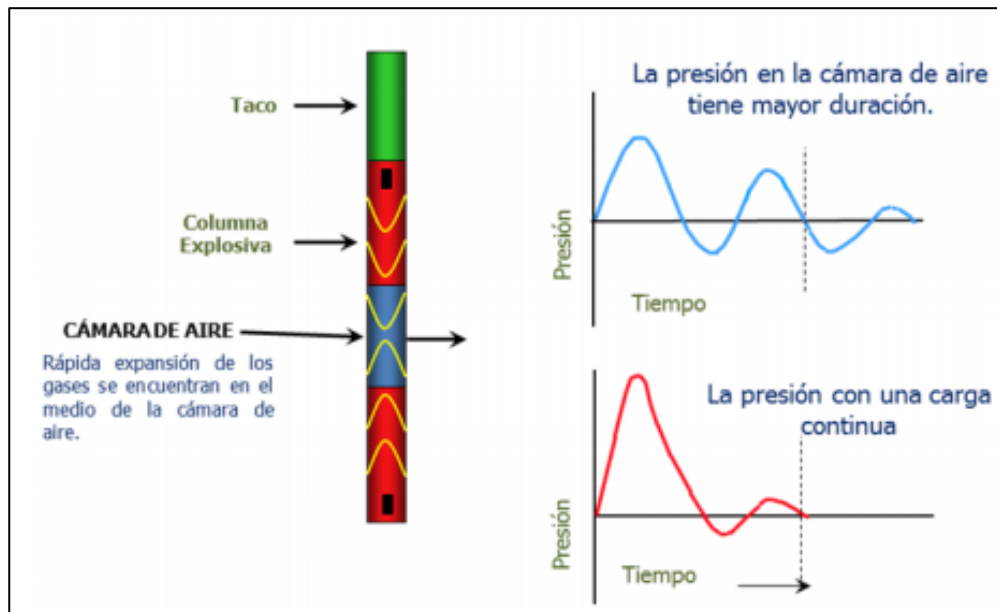
#### **2.2.9. Efectos de las cámaras de aire**

Según Salas mencionado por Cumpa (2016), menciona que la aplicación de cámaras de aires genera los siguientes efectos, ya que ocasiona pulsos reducidos pero prolongados originando incremento de fracturas:

- El pulso es menos intenso que el de una columna sólida, pero las ondas de choque y presión efectivas se distribuyen sobre una masa de roca más grande.
- Diversas investigaciones concluyeron que las cámaras de aire aumentan la permanencia de la acción de las ondas de choque sobre la roca, de 2 a 5 veces.

## Figura 2

*Efecto de la cámara de aire ubicada en el centro de la carga vs la carga continua*

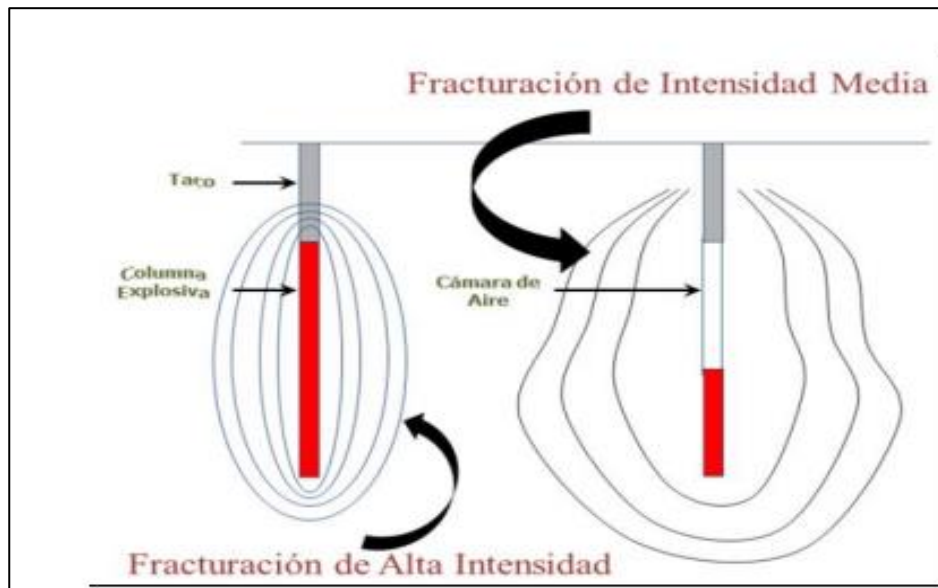


Fuente: Salas citado por Cumpa (2016)

En la Figura 2 se observa una comparación entre los niveles de presión y los tiempos que perduran los efectos de dicha presión sobre las rocas a volar. Además, se observa que la cámara de aire desarrolla un rápido esparcimiento de los gases que se localizan en el centro de la columna explosiva.

### Figura 3

*Perfil de fracturas de diferentes geométricas de cargas*



Fuente: Salas citado por Cumpa (2016)

Por otro lado, se podemos observar las diferentes geometrías y el perfil que se forman después de la voladura. (Cumpa, 2016)

#### 2.2.10. Principio de acción de las cámaras de aire

Según Salas citado por Cumpa (2016) los principios de acción de las cámaras de aire son las siguientes:

- Las cámaras de aire incrementan la continuidad del impacto de la onda de choque en el entorno, generando una serie de pulsos resultantes del reflejo de las ondas de presión generadas inmediatamente después del disparo del taladro.
- Las cámaras de aire reducen la tensión máxima sobre la roca circundante en comparación con el uso de explosivos en columnas continuas.
- Con el cámara de aire ayuda a reducir la presión inicial utilizada por la carga explosiva, pero aumentando la duración del pulso de presión,

haciendo que esta reduzca la energía aplicada para fragmentar la roca adyacente al taladro, asimismo, aumenta la cantidad de energía transmitiéndola a mayor distancia dentro de la roca.

- En la presencia del H<sub>2</sub>O, el uso de cámaras de aire tiene como resultado que son óptimos, considerando al agua como un excelente conductor de ondas de choque (Cumpa, 2016).

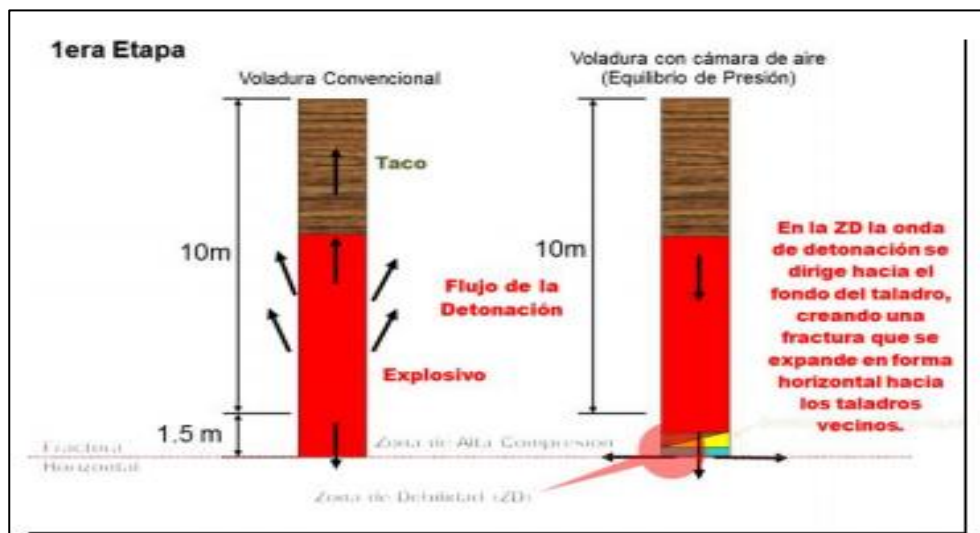
### 2.2.11. Etapas del proceso de cámaras de aire

La cámara de aire de fondo presenta principalmente cuatro etapas en el proceso:

- **Primera etapa:** la cámara de aire obliga a equilibrar la presión, dirigiendo al detonador hacia el fondo del taladro, generando una fractura que se propaga en forma horizontal donde los taladros colindantes.

**Figura 4**

*Primera etapa del proceso de cámaras de aire*



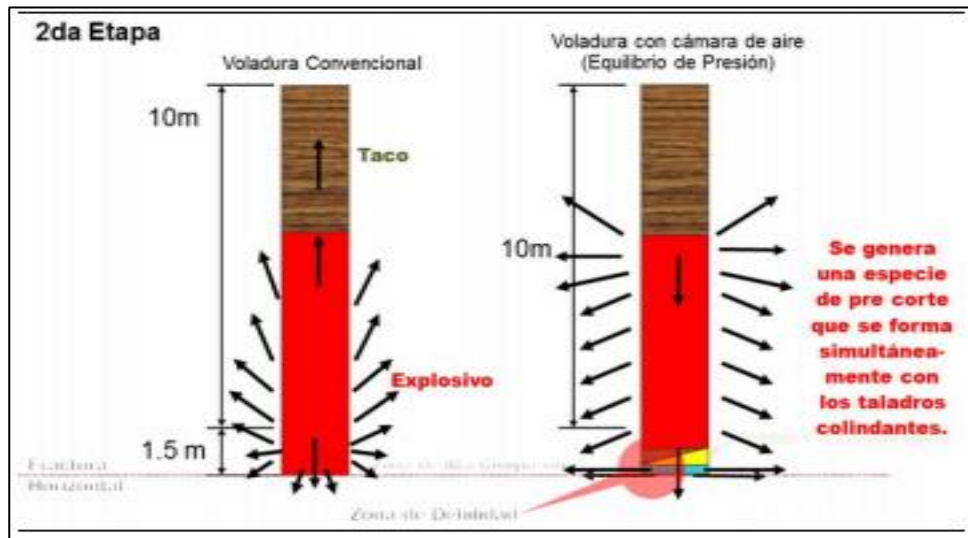
Fuente: Salas citado por Cumpa (2016)

- **Segunda etapa:** se forma una especie de pre-corte que se genera simultáneamente con los taladros vecinos, donde las ondas reflectivas

colisionan con las ondas procedentes de la voladura. Una gran cantidad de ondas de choque secundarias son divulgadas al centro en forma de pulsos.

### Figura 5

*Segunda etapa del proceso de cámaras de aire*

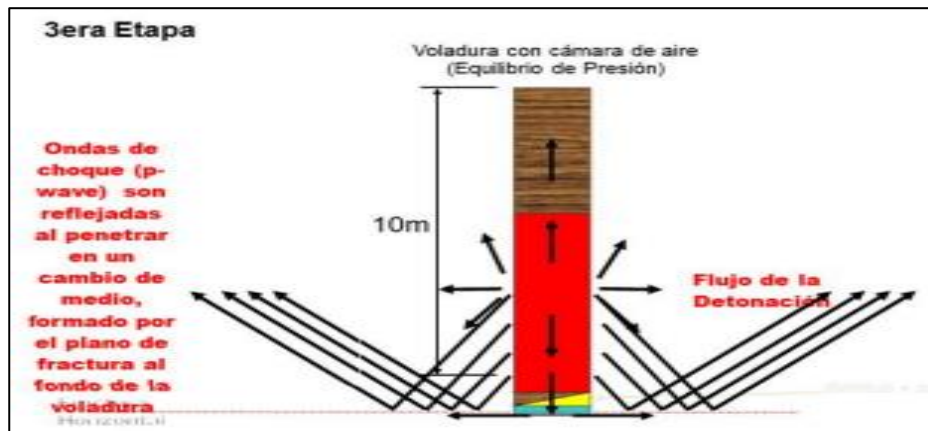


Fuente: Salas citado por Cumpa (2016)

- **Tercera etapa:** La onda de choque es reflejada por un medio variable, formado por el plano de falla horizontal en la base de la explosión. La onda de choque se refleja más fuertemente como una onda de voltaje.

**Figura 6**

*Tercera etapa del proceso de cámaras de aire*

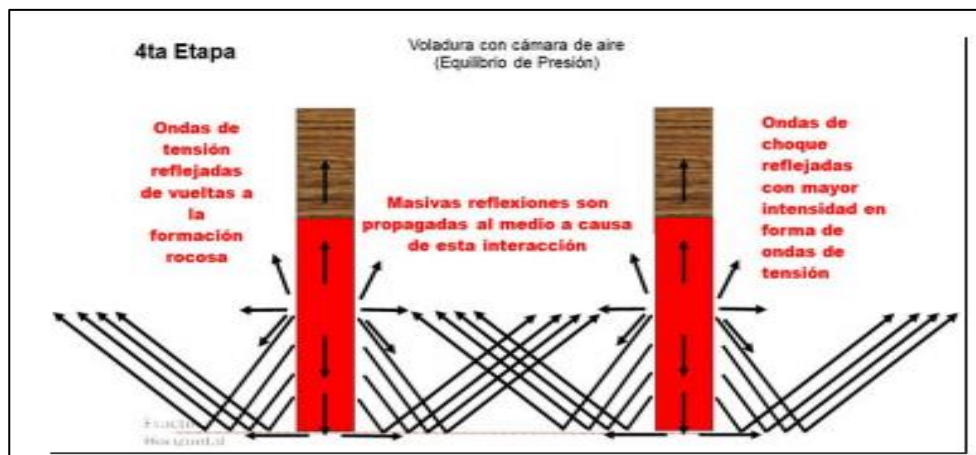


Fuente: Salas citado por Cumpa (2016)

- **Cuarta etapa:** las ondas de tensión y choque son irradiadas devuelta a la alineación, asimismo interaccionan con las ondas de tensión ocasionadas por el proceso de los taladros colindantes.

**Figura 7**

*Cuarta etapa del proceso de cámaras de aire*



Fuente: Salas citado por Cumpa (2016)

## 2.2.12. Macizo rocoso

Según Orellana (2016) el macizo rocoso es llamado también masa rocosa, es el contorno in – situ que domina diversos tipos de fracturas como diaclasas, fallas, estratos y otros rasgos en la estructura, en la cual su comportamiento frente



a la operación minera depende de cómo se manifiesta estas fracturas o rasgos estructurales dentro del macizo rocoso. Por otra parte, Yance (2013) Recuerde que todas las rocas de la matriz y las discontinuidades de diferentes tipos afectan el entorno de la roca. Los macizos rocosos son mecánicamente discontinuos, anisótropos y heterogéneos.

### **2.2.13. Características geomecánicas del macizo rocoso y su influencia en los resultados de la voladura**

Las características geomecánicas del macizo rocoso son las siguientes:

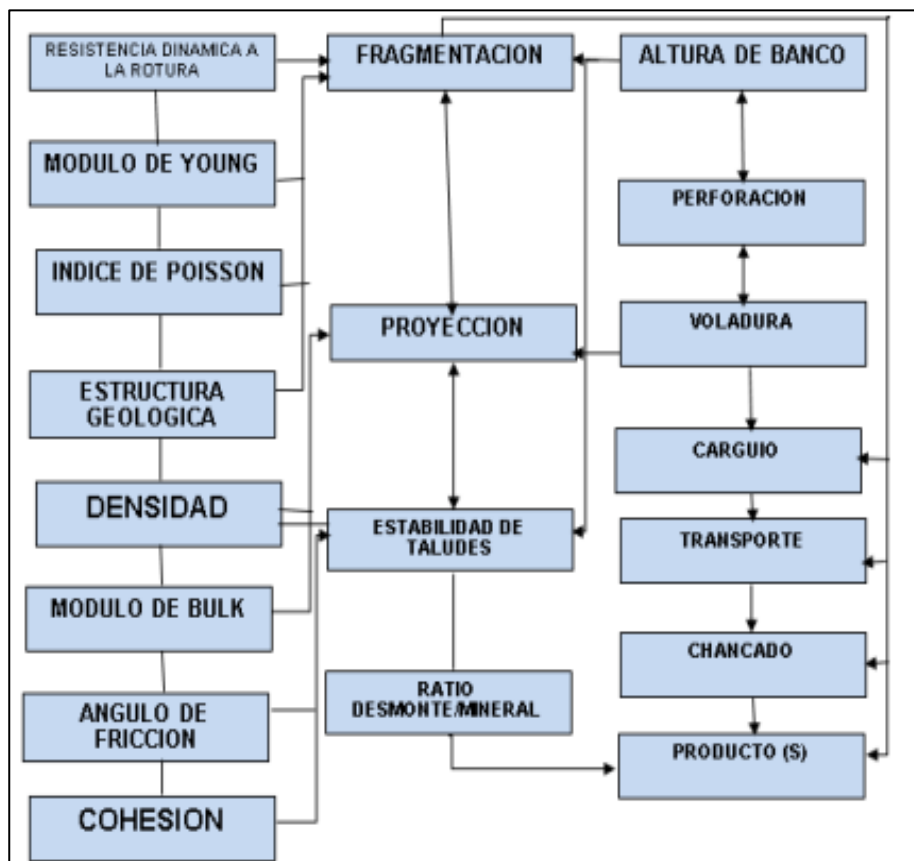
- El macizo rocoso posee propiedades las cuales tienen importancia en las operaciones unitarias de perforación y voladura, ya que es el medio donde operará el explosivo.
- Las propiedades del macizo rocoso forman las principales variables en la vía hacia una voladura óptima, por lo cual influye en los resultados de la voladura.
- Los minerales contienen ciertas características que está a cargo de su origen y de los diferentes procesos geológicos posteriores que ejercieron sobre ellos.
- Todos estos fenómenos dan lugar a un entorno específico, determinadas rocas con heterogeneidad debida a ensamblajes minerales policristalinos y discontinuidades en el macizo rocoso (poros y fisuras), y una estructura geológica con un gran número de discontinuidades (capas planas, fallas, diaclasas), etc.). Por otro lado, es necesario conocer las características del macizo rocoso ya que presentan diferencias muy significativas hasta en las

rocas de una misma zona en una determinada minera, ya que esta parte será analizada en referente a sus principales propiedades de la roca.

A continuación, se muestra la figura sobre la interacción de las características de del macizo rocoso y variables que son posibles controlar en las operaciones mineras:

**Figura 8**

*Características del macizo rocoso y variables controlables*



Fuente: López citado por Cumpa (2016)

#### 2.2.14. Teoría de fragmentación de rocas

##### Teoría de la reflexión

La teoría de la reflexión establece que las ondas de compresión generadas por una voladura explosiva a través de la roca y, al llegar a una superficie libre, se



reflejan como una onda de arrastre. Las ondas de compresión rompen las rocas levemente, mientras que las ondas de tracción son los principales factores que rompen y mueven el material (Choqueña, 2017).

### **Teoría de la expansión de los gases**

Según esta teoría menciona que la fragmentación de rocas se da mediante dos puntos generados por la presión de los gases en esparcimiento.

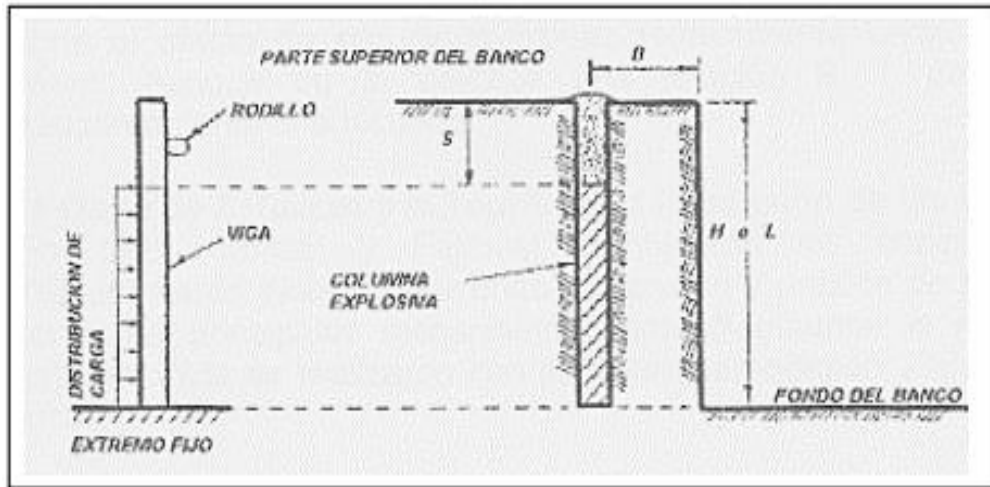
- El primer punto, las grietas comienzan a una distancia de 2 taladros radiales en la parte externa del taladro y estas grietas se desarrollan hacia la parte central del taladro y hacia la cara libre.
- El segundo punto, el lanzamiento del material triturado, por la acción de los gases en gran volumen, se genera después que las grietas logran reflejarse en la cara libre.

### **Rotura por flexión**

La teoría de rotura por flexión postula que la roca, tratada como una viga rectangular, se fractura al ser flexionada por la presión del taladro. Si bien esta presión es esencial inicialmente, la presión del gas, sostenida durante más tiempo, aporta el 90% de la energía necesaria para la fragmentación de la roca.

### Figura 9

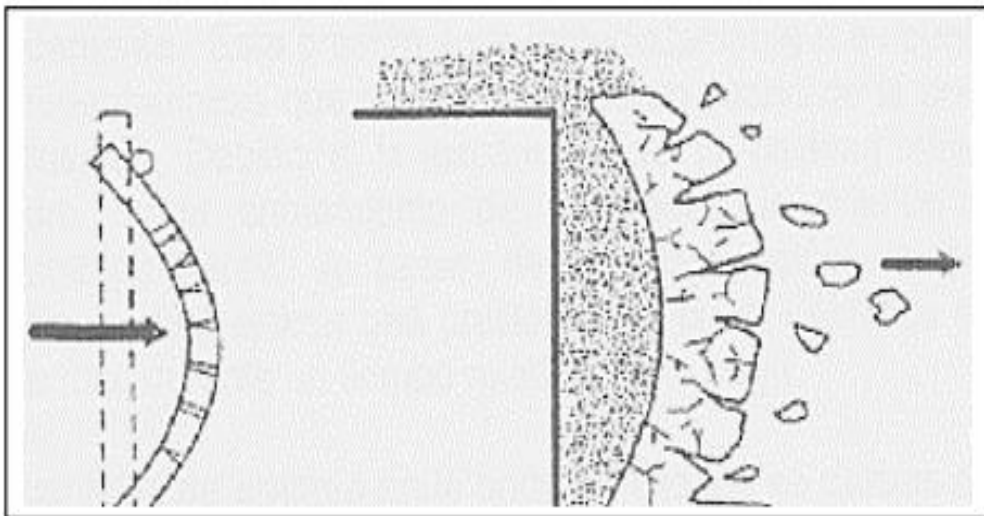
*Modelo de flexión de la viga antes de la detonación*



Fuente: Paucar (2014)

### Figura 10

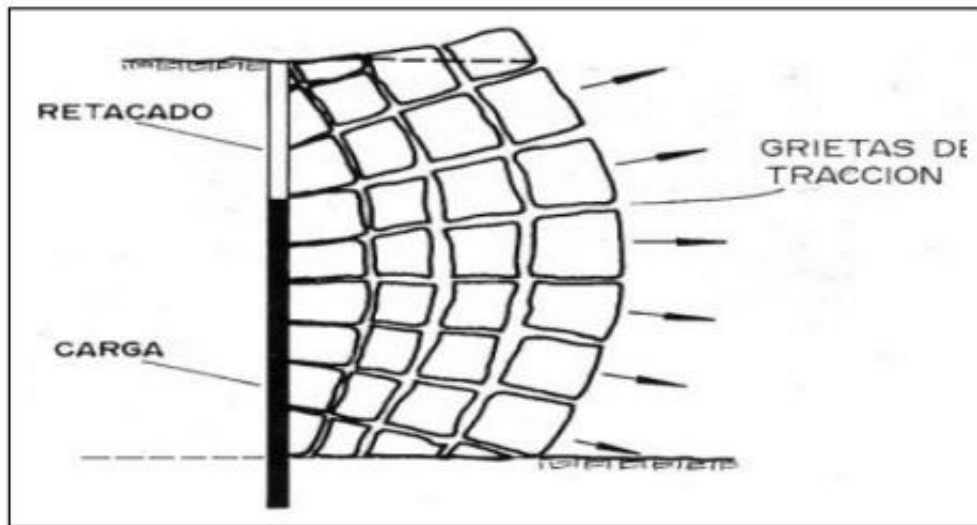
*Modelo de flexión de la viga después de la detonación*



Fuente: Paucar (2014)

## Figura 11

### *Orientación de tracción*



Fuente: Paucar (2014)

### **Teoría combinada**

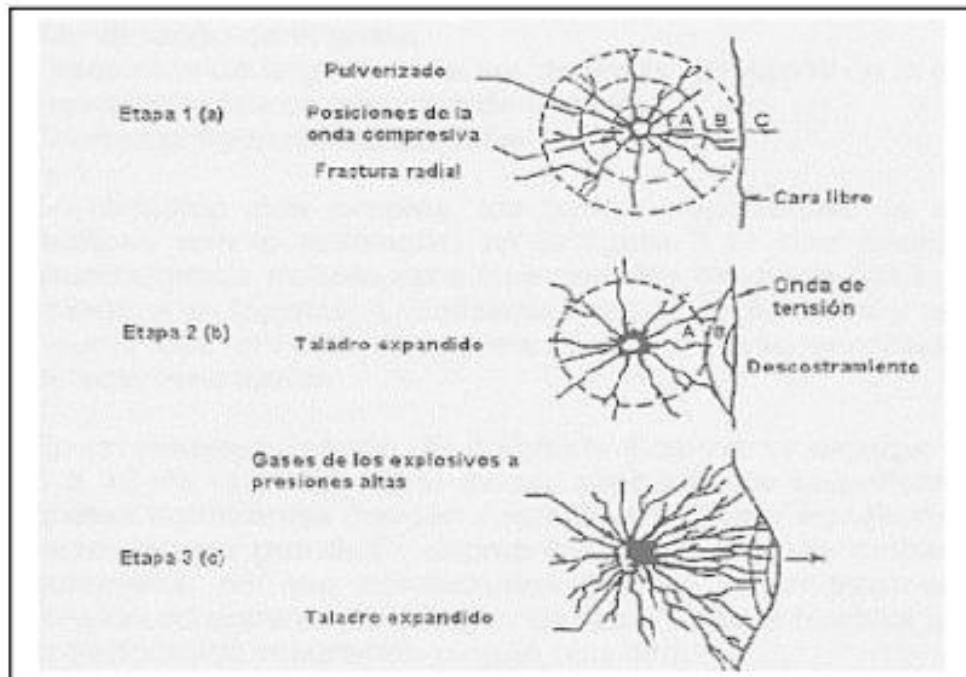
Esta teoría combina de las teorías está representada en tres etapas:

- Primero, el explosivo una vez detonado y la alta presión de taladro fractura el área colindante del taladro.
- Segundo, las ondas de compresión generadas por la detonación cuando alcanzan una cara libre son reflejadas en ondas de tensión.
- Tercero, la presión de los gases en expansión incrementa las fracturas primarias y trasladan al material triturado o fragmentado.

A continuación, se presenta en la imagen en la cual se observa la combinación de ondas de tensión, la rotura de flexión y expansión de gas.

## Figura 12

*Teoría combinada: Ondas de tensión, rotura por flexión y expansión de gas*



Fuente: Paucar (2014)

### 2.2.15. Importancia de fragmentación de rocas

La fragmentación de rocas es muy importante para poder lograr los rendimientos más óptimos que mejoren la productividad, el cual se consigue mediante la realización una voladura óptima y fragmentado el macizo rocoso, para ello es necesario aplicar las características de voladura que requerimos para poder lograr una fragmentación que nos facilite una medida óptima para el procesamiento del material, y de esta forma lograr mayor utilidad debido a la minimización del tiempo de producción favorecido por el factor de carga, contaminación mínima, mayor rendimiento en la producción en el carguío por palas, de igual manera mayor cantidad de mineral o desmonte acarreado por los volquetes en menos tiempo en el ciclo, en resumen aporta a la reducción de los costos de operaciones mineras de una empresa (Flores, 2019).



## **2.3. MARCO CONCEPTUAL**

### **Avance**

La palabra avance comprende al acción o acto y resultado de avanzar, en este caso es el hecho de mejorar o aumentar las ganancias o costos.

### **Barreno**

Los barrenos, también conocidos como varillas, son tubos o varillas de un material de acero adherible que transmiten la fuerza de impacto del martillo a la broca, ubicada en un extremo. Además, los agujeros pueden ser tubulares, hexagonales, macizos, entre otros, y sus conexiones roscadas, de hilo continuo, de cuerda, de cono rosa, de cono de casquillo ordinario, y un número conspicuo de otros agujeros.

### **Broca**

Las brocas son herramientas puntiagudas, generalmente hechas de acero de alto impacto, endurecidas en sus bordes con insertos o mangos de un material duro y resistente al desgaste.

### **Mano de Obra**

La fuerza de trabajo es la fuerza indirectamente involucrada en el proceso de transformación del producto, es decir, representa a los trabajadores asignados a trabajos generales directamente relacionados con la producción de un producto, en general, es más esfuerzo mental que físico.

### **Perforación**



Es la actividad mecánica donde se el objetivo principal es generar un taladro para así almacenar una cantidad de explosivo.

### **Taladro**

Es el agujero generado después de la perforación, tiene una forma cilíndrica que sirve para almacenar una carga explosiva.

### **Trabajador minero**

Es la persona que realiza diferentes actividades en las operaciones mineras, según los procedimientos y estándares aplicadas en las unidades mineras.

### **Voladura**

La voladura es un proceso químico donde se liberan los gases de los explosivos, generando ondas expansivas en el macizo rocoso.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

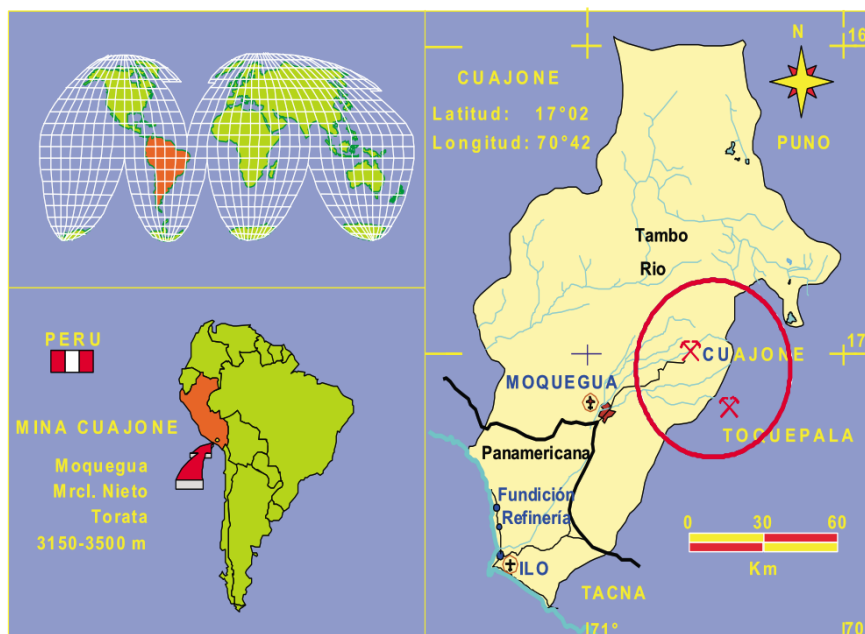
##### 3.1.1. Ubicación

La ubicación de la Unidad Minera de Toquepala se encuentra cerca de la mina Cuajone el cual es propiedad de Southern Perú del Grupo México, empresa que se dedicada al rubro de la explotación de concentrados de cobre, y molibdeno.

El yacimiento de Cuajone se ubica en el departamento de Moquegua en el flanco de la Cordillera Occidental de los Andes del Sur peruano entre 3,150 y 3,500 m.s.n.m. en promedio a 42 km. (Fig. 13)

#### Figura 13

*Ubicación de la Unidad minera Toquepala (yacimiento Cuajone)*



Fuente: Concha y Valle (2014)



La mina Cuajone produce actualmente 200.000 TC de material/día y se encuentra entre las 10 minas más grandes del mundo por volumen. Para llevar a cabo esta producción se requiere una excavadora con capacidad de 80 TC y un camión con capacidad de 240 TC. Todos los movimientos de los equipos de minería son monitoreados y controlados por Truck Dispatch, lo que permite que los informes automáticos detecten lo que sucede al instante en todo momento.

### **3.1.2. Accesibilidad**

La unidad Minera de Toquepala se encuentra a 92 Kilómetros en línea recta de Tacna, 85 Kilómetros de Ilo y 35 Kilómetros de Moquegua, los medios de acceso a la minera son por vía terrestre siguiendo por la Panamericana Sur hasta el punto llamado Camiara, que se localiza a la altura del Km 1120, en el departamento de Tacna, donde existe un desvío donde parte carretera afirma el cual llega al campamento minero de Toquepala en una hora recorriendo 58 Kms. Otra vía de acceso es por el puerto de Ilo, donde se encuentra una línea férrea aproximadamente de 167 km de distancia, medio por el cual se transporta los concentrados a la fundición y refinería.

### **3.1.3. Geología general**

La unidad Minera se localiza en un terreno que ha presentado la intensidad de las actividades Igneas, asimismo presente diferentes hechos eruptivos que fueron registrados desde hace 70 millones de años, dichas actividades produjeron materiales volcánicos a gran escala, por lo que se fue acumulando muchos mantos de lava, llegando a tener de 1500 m de espeso, conformado la base regional, el cual se encuentra conformado por derrames alternados de Riolitas,



aglomeraciones y andesitas que se encuentran inclinados de manera ligera hacia el Oeste que en la actualidad se denomina grupo Toquepala.

Después, las actividades ígneas fueron intrusivas generando masas de rocas enormes, fundiendo y rompiendo las lavas enfriadas del grupo Toquepala, dichas rocas componen la apófisis del batolito andino las cuales han sido emplazadas en diferentes fases, ya que proceden de un magma de composición química cambiante, originando diversos tipos de rocas.

Por otro lado, la base tectónica regional se encuentra conexas con la formación de la Cordillera de los Andes, que de manera estructural se encuentra representada en el área de Toquepala entre la falla Micalaco y el alineamiento Toquepala, entre la intersección de estas dos fallas se localiza la mina.

Posterior a estos hechos, se presenta las soluciones hidrotermales con alta temperatura producto de una variación magmática, que fluyen mediante las rocas que existen, produciendo cambios y destruyendo la composición química convirtiéndolos en permeables.

Otro aspecto que se toma en cuenta es el evento ígneo considerado como tardío, que tuvo repercusión al norte del yacimiento, que se caracteriza por presentar erupciones explosivas e hidrotermal compuesta por un diatrema con rellenos de fragmento de rocas preexistentes y un magma compuesto por Dacítica, denominado Pórfido de Dacita Aglomerado. Una vez cerrado el ciclo de actividad intrusiva se presentaron diques que se emplazaron por las líneas de Toquepala atravesando rocas que existían.



### 3.1.4. Geología regional

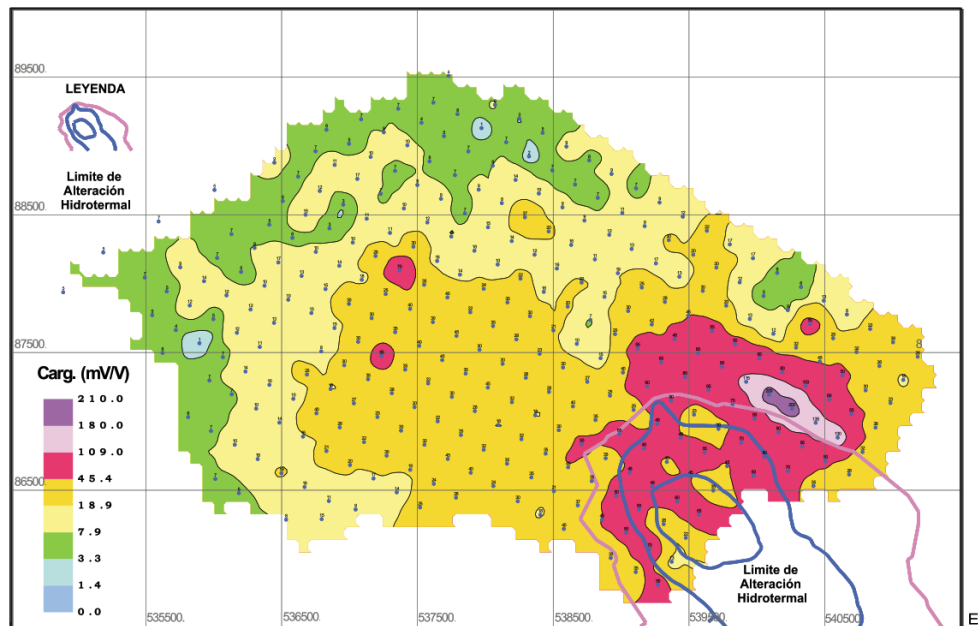
Regionalmente la Unidad Minera Toquepala se encuentra localizado en la región que es parte de la faja sísmica de los Andes Sur Occidental, que desde su historia ha soportado diferentes situaciones eruptivas intensas, donde los remanentes son los conos volcánicos, después los intrusivos luego el batolito andino, que tiene una formación acida a intermedia que repercutió las rocas encajonantes. Posterior se presenta una erosión, originando la formación de superficies irregulares teniendo un relleno de flujos volcánicos recientes. Existe una variación de edad en el cretáceo superior al reciente. En síntesis, la unidad litológica involucra rocas con orígenes volcánicos e intrusivos.

Entre las rocas volcánicas que se localiza en el grupo de Toquepala se caracteriza por la presencia de rocas volcánicas, donde predomina los derrames intercalados de Riolitas y andesitas, formando el basamento regional y poseen potencias de millones de metros, por tanto, se determina que pertenece al cretáceo superior y terciario inferior.

Entre las rocas intrusivas se caracteriza la formación de Apófisis stocks del batolito andino que forma la cordillera sur Occidental de los Andes, entre ellas se resalta la Latita, Diorita, Dacita, Granodiorita, Andesita intrusiva, entre otros.

**Figura 14**

*Exploración geofísica del yacimiento Cuajone (Geología Regional)*



Fuente: Concha y Valle (2014)

### 3.1.5. Geología local

Localmente se determina la presencia de rocas volcánicas producto del cretáceo superior y terciario inferior, que son parte del grupo Toquepala, series Toquepala, formación Quellaveco y alta, los mismos que se caracterizan por derrames alternados de Andesitas, Riolitas y aglomerados, guardando una diferente entre sí por sus particularidades petrográficas y estratigráficas.

Con relación a las rocas volcánicas, de la formación Quellaveco se encuentran cinco elementos, pero solo afloran tres que son pórfido cuarcífero Quellaveco, Serie Toquepala que se clasifica en cuatro unidades que son Dolerita Toquepala, pórfido Cuarcífero Toquepala, Andesita Toquepala y Riolita Toquepala; en la serie Alta que comprende las siguientes unidades Alta Andesita, Alta Riolita, Riolita aglomerádica y el aglomerado andesítico.



Entre las Rocas Intrusivas que se encuentran en el área es la composición diorítico granodiorítico que son parte de batolito andino las cuales se han instruido mediante el basamento de derrames, por tanto, se resaltan la Diorita, Dacita porfirítica, Dacita aglomerádica y Latita porfiríticos.

Asimismo en la geológica local se encuentran tres brechas, que son la Turmalina que se originó producto de la explosión, fragmentación de diorita, la dacita porfirítica y deposición de Turmalina mediante la fracturación; La brecha Angular donde su existencia se asocia a hechos explosivos donde los fragmentos son angulares y se localizan cementados por una mineralización de Cuarzo, Pirita, Bornita y finalmente la brecha de Guijarros, generalmente se presenta en las chimeneas fragmentando la Dacita Aglomerada donde se encuentra el cráter.

### **3.1.6. Geología económica**

Para entender la geología económica es importante partir desde su génesis, es decir desde la teoría de deposición del mineral con origen hidrotermal, exactamente el mesotermal, que consta de tres determinantes y son las siguientes: las fuentes de solución de minerales que se encarga de estudiar la geoquímica de la diferenciación magmática, como segundo determinante la existencia de canales mediante el cual chorrean dichas soluciones y el tercero como la existencia de áreas para la deposición de minerales y ganga, estos dos últimos implican la estructura en sí y la razón de su origen.

En consideración a que esta clase de sitio arqueológico la apertura se genera a causa de la expulsión de pedazos del techo de la cámara magmática, consecuencia de la reducción del volumen generado a causa de la erosión que genera los fluidos termales. En estos modelos la actividad volcánica, normalmente



está desamparada y, si hubiere sido presente, no tiene un vínculo con la chimenea de orilla.

Los fondos meso termales se generan a partir de temperaturas y consecuencias medias, es decir, en condiciones de influenciadas por Lindgren, los depósitos se encuentran alrededor de 200° a 300° C a partir de soluciones que posiblemente tienen una relación con la superficie. Los reservorios esparcidos de cobre reciben el nombre de mesotermales.

### **3.1.7. Reservas minerales**

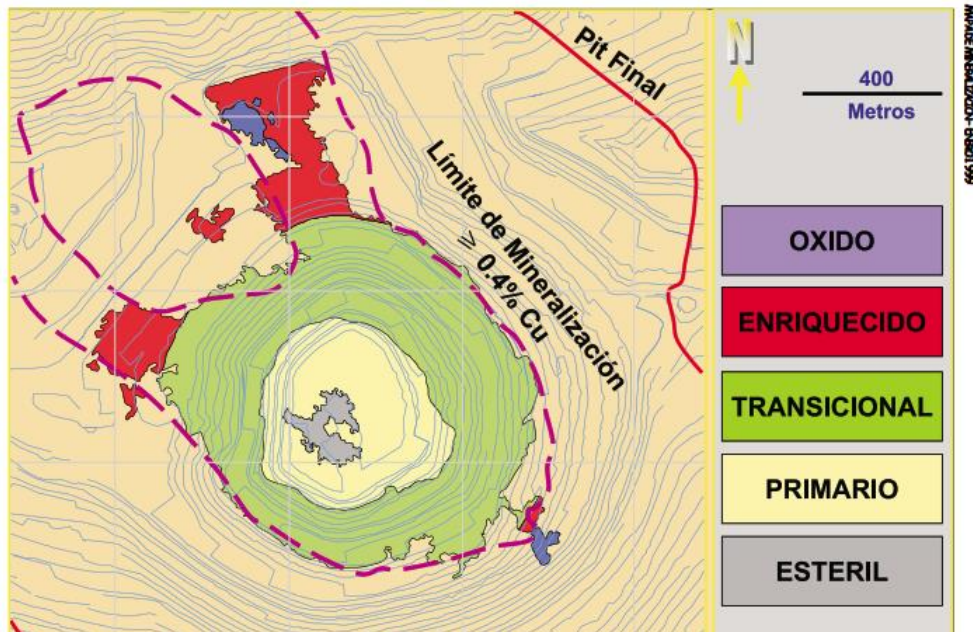
Es un aspecto que se mantiene en reserva, sin embargo, se realiza estimaciones, mediante el cual se estima que las reservas minerales de la minera Toquepala se ira incrementado el tonelaje de mineral extraído reduciendo los desmontes.

Asimismo, las reservas minerales se encuentran vinculadas a la variación del precio del cobre acorde al mercado internacional, debido que el precio del cobre se calcula de acuerdo con los mercados de metales.

- Geometría del cuerpo mineral  $\geq 0,4\%$  Cu.
- Comportamiento vertical de la Ley de Cu.
- Geometría del cuerpo mineral  $\geq 0,4\%$  Cu.
- Comportamiento vertical de la Ley de Cu.
- Espaciamiento de taladros diamantinos

**Figura 15**

*Mapa de mineralización Cuajone*



Fuente: Concha y Valle (2014)

### 3.1.8. Sistema de planificación de minado

Método de explotación en la mina Toquepala

La metodología que se utilizan en la explotación de minería es a tajo abierto llamado también Open Pit, que consiste en realizar actividades de manera mecanizada, el método de explotación que se utiliza se selecciona de acuerdo con la función de cómo se presenta el cuerpo mineralizado en superficie, asimismo se caracteriza por pórfido de cobre con distribuciones diseminadas en cuanto a los contenidos metálicos y leyes.

#### Planeamiento de minado: programa de producción

El planeamiento de minado se realizar mediante el software Mine Sight ya sean para el planteamiento corto, mediano y largo plazo, el cual desarrolla con datos no hechos de procedencia estándar y extender dicha indagación hasta el



punto de derivarse a un programa de producción. Los datos y las operaciones sobre los mismos son:

- Operaciones con datos de sondeos y digitalizados.
- Operaciones con compuestos.
- Modelamiento.
- Diseño y evaluación económica de Pits.
- Programa de producción.

### **Operaciones unitarias en el proceso de minado**

El desarrollo general de las operaciones unitarias de la mina (perforación, voladura, carga, descarga y transporte) está a cargo de Southern Peru, todo desarrollado teniendo en cuenta los procesos de trabajo, incluida la ejecución de la misión con todos los estándares de seguridad y productividad.

#### Sistema de despacho

Es un sistema de gestión de minas a gran escala que utiliza el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), la última tecnología informática y de comunicación de datos para proporcionar asignaciones óptimas y automatizadas de equipos y minería en el cielo. El sistema optimiza las operaciones mineras utilizando información y bases de datos en tiempo real. Esta mejora ayuda a la mina a aumentar la producción y reducir los costos operativos.

Actualmente, existe un sistema Mine Star, que constantemente recibe, devuelve y almacena datos. Use datos históricos y en tiempo real para actualizar archivos para informes y decisiones de referencia. Sin embargo, el sistema proporciona algunos elementos adicionales a la mina para aumentar la



productividad y reducir los costos operativos de la mina. Estos elementos son, entre otros:

- GPS para palas y perforadoras.
- Monitoreo en tiempo real de datos vitales del equipo.
- Recolección y archivo de datos para mantenimiento y equipos auxiliares.
- Seguimiento del mantenimiento de equipos.
- Administración de personal.
- Informes de producción exhaustivos.

### **Diseño de parámetros de banco y tajo**

Por la forma y características de la mina, la mina de Toquepala fue diseñada utilizando la tecnología de "cono flotante" (Lerchs - Grossmann). El cuerpo metálico se modeló en el software Mine Sight, a partir del cual se definieron los siguientes criterios de diseño:

- Ángulo de cara del banco: 65°.
- Altura del banco: 15 m.
- Ancho de bermas: 8,5 m.
- Ancho de rampa: 36 m.
- Pendiente de rampas: 8-10%.

### **Los parámetros de diseño adicionales para cada tajo**

- Banco superior: 3550 m s. n. m.
- Banco inferior: 2710 m s. n. m.



### **3.2. PERIODO Y DURACIÓN DE ESTUDIO**

El estudio tuvo una duración de 11 meses, la presentación del proyecto hasta su aprobación fue de 3 meses, la ejecución tuvo duración de 6 meses y la sistematización y redacción del informe fue de 2 meses.

### **3.3. PROCEDENCIA DE MATERIAL UTILIZADO**

Para la presente investigación se utilizó materiales bibliográficos, de campo, asimismo los materiales para la ejecución del estudio fueron solicitados y proporcionado por la Unidad Minera Toquepala, con excepción de algunos materiales como es el uso de software.

### **3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA**

La población está constituida por la cantidad de 09 fases productivas en el tajeo general de la Unidad Minera Toquepala donde se tiene diversas durezas de roca y por criterios de exclusión e inclusión se tiene a excluir las fases que tienen mayor cantidad de producción para no afectar cualquier error y se tiene como plan piloto de experimentación o muestra a la fase 5 y es por lo cual se tiene a trabajar en dicha fase y se toma como muestra representativa.

### **3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO Y METODOLÓGICO**

#### **3.5.1. Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo Descriptiva donde según Hernández et. al. (2014) menciona que las investigaciones descriptivas consisten en “describir fenómenos, situaciones, contextos y sucesos y así detallar como son y se manifiestan” (p.92). Además, la investigación es de tipo Aplicativo clasificado



según Carrasco (2005) donde menciona “que esta investigación distingue por tener propósitos prácticos inmediatos bien definidos, es decir, se investiga para actuar, transformar, modificar o producir cambios en un determinado sector de la realidad”.

### **3.5.2. Diseño de la investigación**

En este ámbito la investigación se clasifica en cuasiexperimental donde según Hernández et. al. (2014) menciona que este diseño de investigación es para manipular variables con ciertos parámetros estabilizados donde se podrá evaluar la preprueba y la posprueba a la experimentación y así ver la significancia de los cambios. Esto también es respaldado por Alarcón (2008) que clasifica a la investigación como Diseño Pretest – Postest en un solo grupo donde “este diseño evalúa un antes y un después de administrar el tratamiento, luego se comparan las dos mediciones, para determinar si se ha producido algún cambio” (p. 195)

### **3.5.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Las técnicas utilizadas para recolectar los datos fueron la observación estructurada y el análisis empírico y documentado de cada experimento en el proceso de voladura confirmada. Cabe señalar que, para cada instalación de cámaras de aire, se debe verificar que estén ajustadas a la altura prevista, de ser así, filtran o crean algún tipo de complejidad en el montaje.

Para comparar el aumento en el uso de cámaras de aire durante las voladuras y su impacto en los costos, se recopilará información de voladuras donde no se utilizan cámaras de aire; Esta información será necesaria para futuras discusiones de los resultados.



Para desarrollar la investigación se utilizarán mallas de voladura  $6 \times 7$  y  $6,5 \times 7,5$  (carga útil y distancia) en terreno crítico y  $7 \times 8$  en terreno medio. Se decidió realizar pruebas con cámaras de aire: el uso de cámaras de aire se muestra en las imágenes; Posteriormente se analizará la fragmentación, vibración y control de masa en cada disparo, pero con mayor énfasis en evaluar la efectividad de cada cámara de aire durante el disparo.

### **3.6. PROCEDIMIENTO**

En el ámbito del procedimiento, se realizó diferentes actividades como la evaluación de la situación de costos y determinación de costos unitarios en la Unidad minera Toquepala.

Basado en los costos determinados para cada taladro se pudo determinar el diseño y el dimensionamiento de la carga explosiva para luego ponerlo de prueba.

Finalmente, una vez puesto a prueba el diseño con el empleo de cámaras de aire se hizo una prueba de 5 meses empezando en junio del 2019 a octubre del 2019 teniendo un total de 4 992 taladros cargados, ahorrando una cantidad considerable en al proceso de voladura de la unidad minera Toquepala.

### **3.7. VARIABLES**



**Tabla 2**

*Ámbito del procedimiento*

<b>Variables</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>
<b>Utilización de cámaras</b>	Dimensiones	Longitud de taco
		Longitud de columna explosiva
		Longitud de cámara de aire
	Tipo de taladro	Producción Amortiguación Taladro Trim
<b>Costos de voladura</b>	Costos unitarios	Costo unitario de perforación
		Costo unitario de voladura
	Costos de Explosivos	MEQ73 Accesorios

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS

##### 4.1.2. Evaluación de los costos reales de voladura sin el empleo de cámaras de aire en el fondo del taladro de la unidad minera Toquepala

Los costos reales de voladura sin el empleo de cámaras de aire en el fondo del taladro de la unidad minera Toquepala, donde se muestra en la tabla 2 el resumen de los costos en explosivos en las mallas cuando aún no fueron utilizados las cámaras de aire. Los costos ascienden a un total de 316.05 \$/taladro donde el costo del nitrato de amonio asciende a 400.00 \$/ton, seguido de la emulsión a 440.00 \$/ton y Diesel que también asciende a 827.86 \$/ton.

**Tabla 3**

*Resumen de costos en explosivos sin cámaras de aire*

Descripción	Costo
Nitrato de Amonio	400.00 \$/ton
Emulsión	440.00 \$/ton
Diesel	2.67 \$/gal
Diesel	827.86 \$/ton
MEQ73	430 \$/ton
MEQ73	0.43 \$/kg
MEQ73	44.72 \$/metro - lineal
MEQ73	316.05 \$/taladro



Tomando en consideración las unidades de conversión también se muestra las mezclas explosivas utilizadas en el taladro que son Nitrato de amonio más emulsión y combustible que se conoce como MEQ73 donde asciende a 430 \$/ton, cuyo precio de adquisición promedio es de 0.43 \$/kg. Lo cual mediante la multiplicación de factor de potencia alcanza un costo promedio 44.72 \$/m-lineal y 316.05 \$/taladro

Po otro lado, se muestra, los costos de accesorios de voladura, donde se utiliza Booster 2 Lb que asciende 5.40 \$/taladro; Fanel 600ms que asciende 1.60 \$/taladro; Detonador Electrónico que asciende a 19.00 \$/taladro en un sumatoria asciende un total de 26.00 \$/taladro (Tabla 3).

**Tabla 4**

*Resumen de costos de accesorio de voladura*

<b>Accesorios (unidad)</b>	<b>Costo</b>
Booster 2 Lb	5.40 \$/taladro
Fanel 600ms	1.60 \$/taladro
Detonador Electrónico	19.00 \$/taladro
Total	26.00 \$/taladro

La sumatoria de los costos en explosivos y los accesorios de voladura, determinan los costos mostrados en la tabla 4, donde el costo de voladura es de 95 321.20 \$/disp., y un costo unitario de voladura que asciende 0.13 \$/Tm, con un total de Material volado de 733 040.00 toneladas.

**Tabla 5**

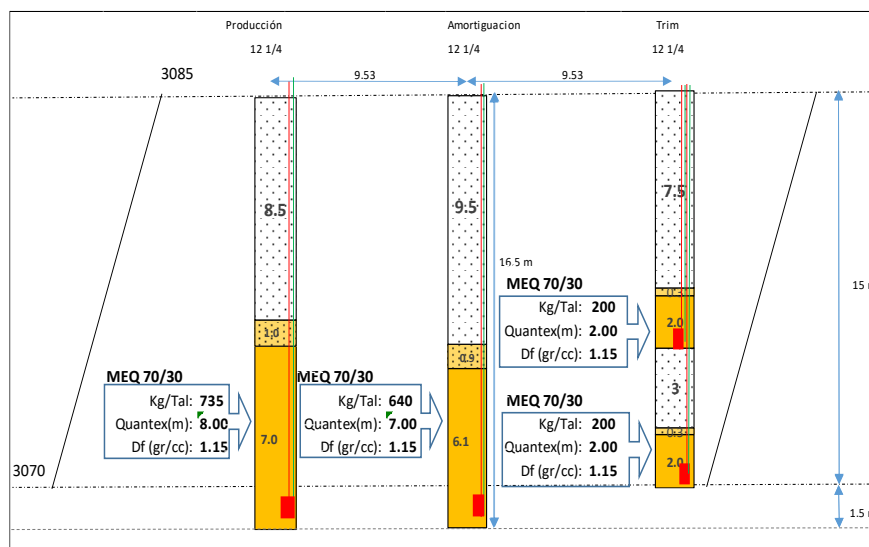
*Resumen de costos unitarios de perforación y voladura*

Descripción	Costos
Costo de voladura	95 321.20 \$/disp.
Costo de accesorios	26.00 \$/taladro
Costo de perforación \$/metro	95 295.20 \$/disp.
Costo unitario de perforación	0.18 \$/Tm
Costo unitario de voladura	0.13 \$/Tm
Material volado	733 040.00 toneladas

En la figura 16 se muestra el diseño de carga tradicional sin cámaras de aire (Cartuflex) donde se tiene a los taladros de producción con un taco de 8.5 metros, MEQ 73 con 7 metros con 1 metro de esponjamiento siendo un total de 16.5 metros de longitud de taladro, que tiene una capacidad de 735 Kg/tal con un Densidad final de explosivo de 1.15. gr/cc

**Figura 16**

*Diseño de carga tradicional sin cámaras de Aire (Cartuflex)*





Además, en el taladro de amortiguamiento se muestra una longitud de taco de 9.5 metros con 0.9 metros de esponjamiento, considerado para amortiguamiento y una carga explosiva de 6.1 metros en un total de 16.5 metros cuya capacidad de taladro con explosivos es de 640 Kg/taladro con una densidad final de 1.15 gr/cc.

Finalmente, los taladros trim tiene una función de cautelar el daño al talud siendo que la columna explosiva es menor que los otros, teniendo un total 400 Kg/taladro en 4 metros separados a 3 metros homogénea y finalmente se cierra el taco de 7.5 metros.

#### **4.1.2. Determinación del ahorro por taladro y total del proceso de la voladura originados a consecuencia de la aplicación de cámaras de aire**

**Tabla 6**

*Parámetros de malla para el proceso de voladura con cámaras de aire*

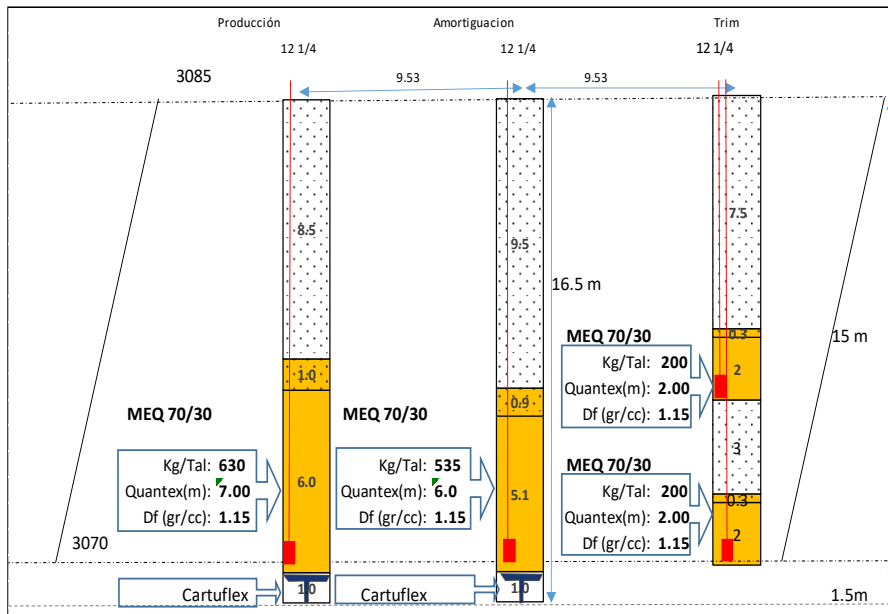
<b>Parámetros de malla</b>	<b>Valores</b>
Densidad de roca gr/cc	2,6 gr/cc
Tipo de roca	Suave
malla	11x11
Numero de taladros	176 unidades
Tonelaje roto por taladro	4 165 toneladas

En la tabla 5, se muestra los parámetros de malla para el proceso de voladura con cámaras de aire, donde la densidad de roca 2,6 gr/cc, tipo de roca suave, siendo las dimensiones de malla 11 metros por 11 metros y un numero de

176 taladros, cuyo diseño del empleo de cámaras de aire (Cartuflex) se utiliza en las cargas y sería de la siguiente manera.

**Figura 17**

*Diseño de carga con cámaras de aire (Cartuflex)*



En la figura 17, se muestra las dimensiones de la carga explosiva en taladros de producción con una columna explosiva de 6 metros considerando 1 metro de esponjamiento, donde la cámara de aire tiene una dimensión de 1 metro en el fondo del taladro cuya capacidad de carga es de 630 kilogramos por taladro con densidad final de explosivo de 1.15 gr/cc.

Además, se muestra en el taladro de amortiguación se emplea también un metro de cámara de aire en el fondo del taladro, cuando



**Tabla 7**

*Análisis comparativo de Ahorro por taladro*

<b>Descripción</b>	<b>Costo sin (Cartuflex)</b>	<b>Costo con (Cartuflex)</b>	<b>Ahorro</b>
Nitrato de Amonio	400.00 \$/ton	400.00 \$/ton	-
Emulsión Diesel	440.00 \$/ton	440.00 \$/ton	-
Diesel	2.67 \$/gal	2.67 \$/gal	-
Diesel	827.86 \$/ton	827.86 \$/ton	-
MEQ73	430 \$/ton	430 \$/ton	-
MEQ73	0.43 \$/kg	0.43 \$/kg	-
Kg taladros	735 kg/tal	630 kg/tal	105 kg/tal
Costo taladro	316.05 \$/tal	270.9 \$/tal	45.15 \$/tal

El ahorro se determina la diferencia de los costos (sin Cartuflex) por taladro y Costo (Cartuflex) siendo la siguiente formula:

$$Ahorro = Costo / tal(sin cart) - Costo / tal (cart)$$

Reemplazando los datos se tiene:

$$Ahorro = 316.05 \$/tal - 270.9 \$/tal = 45.15 \$/tal$$

A esto se restamos el costo de la cámara de aire que asciende a 6.90 \$ siendo el ahorro neto

$$Ahorro neto = 45.15 \$/tal - 6.90 \$/tal = 38.25 \$/tal$$

En ahorro neto, con cámara de aire es de 38.25 \$ por cada taladro siendo un ahorro significativo.

#### 4.1.3. Análisis de reducción de costos de voladura mediante la utilización de cámaras de aire en el fondo del taladro la unidad minera Toquepala

Para el análisis de reducción de costos se presenta los parámetros de malla de perforación como ejemplo

con 250 taladros prueba siendo de la siguiente manera:

**Tabla 8**

*Datos de mallas cargados con cámaras de aire de 2 proyectos (Pala 09)*

<b>Parámetros de malla</b>	<b>Valores</b>
Densidad de roca gr/cc	2,6 gr/cc
Tipo de roca	Suave
Malla	11x11
Número total de taladros	250 unidades
Número total de taladros cargados con Cartuflex	200 unidades
Tonelaje roto por taladro	4 165 toneladas

Fuente: Diseño de malla a prueba en la unidad minera Toquepala

De acuerdo con la tabla 7, determinamos el ahorro por disparo, siendo un ahorro calculado de 38.25 \$/tal, simplemente multiplicando la cantidad de 200 unidades.

**Tabla 9**

*Reducción de costos por disparo*

<b>Descripción</b>	<b>Valores</b>
Reducción de costos/taladro	38.25 \$/tal
Reducción de costos/disparo	7 650.00 \$/disp

Finalmente, en la Unidad minera Toquepala se comenzó a trabajar a prueba por un total de 5 meses empezando desde junio 2019 y terminando en octubre 2019 teniendo un total de 4 992 taladros cargados, ahorrando 516.67 toneladas de explosivo en 5 meses, teniendo una reducción total de 190.944.00 \$/disparo.

**Tabla 10**

*Resultado de reducción de costos de 5 meses (2019) de prueba*

Mes	Ahorro de Mezcla Explosiva (TN)	Tal. cargados con Cartuflex	Ahorro total (US\$)
Jun	40.78	394	15 070.5 US\$
Jul	165.08	1 595	61 008.75 US\$
Ago	177.71	1 717	65 675.25 US\$
Sep	112.40	1 086	41 539.5 US\$
Oct	20.70	200	7 650.0 US\$
<b>Total</b>	<b>516.67</b>	<b>4 992</b>	<b>190 944.00 US\$</b>

En los meses de prueba, en Jun del 2019 se cargó 394 taladros y se redujo 15 070.5 US\$, en julio se cargaron 1 595 taladros reduciendo un total de 61 008.75 US\$, en agosto se cargó 1717 taladros de Cartuflex 65 675.25 US\$, en septiembre se cargó 1086 ahorrando de 41 539.5 US\$ y en el mes de octubre 200 taladros ahorrando un total de 7 650.0 US\$ siendo una suma total de 190 944.00 US\$ ahorrados en total de 5 meses de prueba.

#### 4.2. DISCUSIÓN

Según los resultados mostrados en la evaluación de los costos reales de voladura sin el empleo de cámaras de aire en el fondo del taladro se tiene un costo unitario de 0.13\$/Tm y el costo de voladura 95 321.20\$/disparo. Por otra parte, Chipana (2015) sugiere que se debe estandarizar el burden y espaciamento para generar alguna reducción de taladros y costo de voladura. Así mismo Cumpa (2016) planteó que las cámaras de aire tienen un efecto de mejorar la fragmentación del macizo rocoso de 20.83% a 24.96%.



Los resultados en la determinación del ahorro por taladro y el total del proceso de la voladura originados a consecuencia de la aplicación de cámaras de aire se tiene 38.25\$/tal. Caso muy similar al de Bedoya (2019) que al aplicar cámaras de aire logró reducir la carga explosiva por taladro de 0.28Kg/TM a 0.22Kg/TM lo cual es reflejado en la reducción de costos de voladura.

El resultado general nos muestra una reducción de costos de voladura mediante la utilización de cámaras de aire en el fondo del taladro, 38.25\$/tal y 7650.00\$/disp. Del mismo modo que Quispe (2014) al utilizar cámaras de aire flexibles con tapón interior Taponex generó un ahorro de 119,282.00\$ en tres meses. Al similar que Gonzales (2019) el cual generó una reducción por disparo del 23.6% después de optimizar los estándares operativos.



## V. CONCLUSIONES

**PRIMERA:** A nivel general se logró reducir los costos de voladura mediante la utilización de cámaras de aire en el fondo del taladro de la Unidad Minera Toquepala desde 316.05 \$/tal a 270.9 \$/tal demostrando un ahorro de 38.25 \$/tal y en las pruebas de voladura con 4 992 taladros cargados se obtuvieron un ahorro de 190 944.00 US\$ realizado un seguimiento durante 5 meses en la Unidad minera Toquepala.

**SEGUNDA:** Se logró evaluar los costos reales de la voladura sin el empleo de cámaras de aire en el fondo del taladro de la Unidad Minera Toquepala, donde ascienden a 95 321.20 \$/disp., teniendo un costo unitario de voladura de 0.13 \$/Tm ya que cada taladro tiene una capacidad de 735 kg en producción, 640 kr en taladros de amortiguamiento, teniendo un costo por taladro de 316.05 \$/tal de la Unidad minera Toquepala.

**TERCERA:** Se logró determinar el ahorro por taladro de 105 kg/tal lo cual asciende a un ahorro de 38.25 kg/tal y el ahorro total del proceso de la voladura originados a consecuencia de la aplicación de cámaras de aire fue de 7 650.00 \$/disp en una malla 11x11 con 250 taladros a prueba en la Unidad Minera Toquepala.



## VI. RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** A nivel general se recomienda que se debe realizar todo tipo de experimentos de perforación y voladura en áreas que no son de producción, para luego aplicar en los bancos de mineral.

**SEGUNDO:** Se sugiere que se debe conocer el diagnóstico de todo tipo de investigación antes de aplicar algún tratamiento en la muestra de estudio, con la finalidad de realizar la comparación de los resultados.

**TERCERA:** Se sugiere realizar una medición después de aplicar algún tratamiento alguno en la muestra d estudio, para conocer si existió algún cambio



## VII. REFERENCIAS

- Araya, E. (2007). *Aplicacion de cámaras de aire en minas los colorados*. Atacama: Informe Técnico Orica.
- Bedoya, A. (2019). *Reducción de los costos de chancado aplicando las cámaras de aire en la fragmentación de mineral de la U.M. Constancia – Hudbay Perú S.A.C.* Puno: Universidad Nacional del Altiplano. Recuperado el 8 de julio de 2019, de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/10677>
- Bernaola, J., Castilla, J., & Herrera, J. (2013). *perforación y voladura de Rocas en Minería*. Madrid: ETS Madrid.
- Carrasco, S. (2005). *Metodologia de Investigacion Cientifica: pautas metodologicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación*. ( Primera edicion ed.). Perú: Editorial San Marcos. doi:ISBN. 9972-34-242-5
- Chino, E. (2018). *Costos de produccion y la fijación de precios de los productos de cerámica en arcilla en la asociacion de artesanos virgen del Carmen Pucará 2017*. Cusco: Tesis de la Univerisdad Andina del Cusco.
- Chipana, R. (2015). *Diseño de perforación y voladura para reducción de costos en el frente de la galeria progreso de la contrata minera Cavilquis-Corporación minera Ananea S.A.* Puno: Universidad Nacional del Altiplano. Recuperado el 8 de Julio de 2020, de [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1937/Chipana\\_Tito\\_Rud\\_y\\_Milton.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1937/Chipana_Tito_Rud_y_Milton.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Choqueña, J. (2017). *Optimizacoin de la fragmentación de la roca mediante las características geomecánicas y doble iniciación no electrónica en la perforación y voladura de bancos-U.M. Apumayo S.A.C.* Puno: Tesis de la Universidad Nacional del Altiplano.
- Concha, O., & Valle, J. (2014). *Prospección, Exploracion y desarrollo del yacimiento de Cuajone*. Arequipa: U.



- Condori, C. (2018). *Diseño de perforación voladura de precorte mediante las características de Macizo Rocosos para evitar desprendimiento de Bolones de la pared en banci de producción en U.M. Tacaza - CIEMSA*. Puno: tesis de la Universidad Nacional del Altiplano.
- Cumpa, J. (2016). *Efecto de las Cámaras de Aire en Taladros de Producción para Mejorar la Fragmentación del Material y Reducir el Nivel de Vibraciones por Voladura en Minería a Tajo Abierto en el Norte del Perú*. Cajamarca: Universidad Cesar Vallejo.
- EXSA. (2019). *Manual practico de Voladura* (5ta ed.). Perú.
- Flores, D. (2019). *determinacion de los parametros de voladura para optimizar la fragmentacion en zona de mineral en la unidad minera Cuajone*. Arequipa: Tesis de la Universidad Tecnológica del Perú.
- Gonzales, J. (2019). *Reducción de costos operativos en labor Carmen NV. 3040 mediante la optimización de estándares de perforación y voladura, CIA. minera Poderosa S.A.* Abancay: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. Recuperado el 01 de Julio de 2020, de [http://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/832/T\\_0522.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/832/T_0522.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Gutierrez, E. (2014). *diseño de voladura y prediccion de la fragmentacion en zonas de mineral para optimizar las operaciones unitarias en mina Toquepala*. Arequipa: Tesis de la Universidad Nacional de San Agustín Arequipa.
- Hernandez, R., Fernandez, H., & Baptista, P. (2014). *Metodologia de la investigacion* (6ta Edicion ed.). Mexico: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hoyos, A. (2017). *Contabilidad de costos I. Manual Autoformativo I*. Huancayo: CENDOC UC.
- Larijo, R. (2019). *minimización de costos de perforacion y voladura mediante el nuevo diseño de Malla en el desarrollo del Crucero 627 de la minería Yanaquihua S.A.C. - Arequipa*. Puno: Tesis de la Universidad Nacional del Altiplano.




- Machuca, P. (2018). *Efecto de la cámara de aire en la voladura a tajo abierto para incrementar la tasa de excavación (dig rate) en el tajo tapado oeste de minera Yanacocha*. Cajamarca: Universidad Privada Del Norte. Recuperado el 06 de Julio de 2020, de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/13781/Machuca%20Cotrina%20Paola%20Yaquelin.PDF?sequence=1&isAllowed=y>
- Mendoza, N. (2014). *optimización de la voladura controlada aplicando un modelo matemático en la Unidad Minera Paraiso - Ecuador*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Mendoza, N. (2014). *Optimización de la voladura controlada aplicando un modelo matemático en la unidad minera Paraíso-Ecuador*. Huancayo: Universidad Nacional Del Centro del Peru. Recuperado el 05 de Julio de 2020, de [http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1339/TESIS\\_%20OPTIMIZACI%C3%93N%20DE%20LA%20VOLADURA%20CONTROLADA%20APLICANDO%20UN%20MODELO%20MATEM%C3%81TICO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1339/TESIS_%20OPTIMIZACI%C3%93N%20DE%20LA%20VOLADURA%20CONTROLADA%20APLICANDO%20UN%20MODELO%20MATEM%C3%81TICO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Muñoz, D. (2019). *Contabilidad de costos* . Iquitos : Universidad Nacional de la Amazonia Peruana.
- Muñoz-Bernal, M., Espinoza-Toalombo, R., Zuñiga-Santallán, X., & Guerrero-Rivera, A. (2017). *Contabilidad de Costos para la Gestión Administrativa* (1ra ed.). Ecuador: Ediciones Holguín S.A.
- Orellana, E. (2016). *Influencia de la calidad del macizo rocoso en accidentes por caída de rocas en minas subterráneas*. Huancayo: Tesis de la Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Paucar, B. (2012). *diseño de malla de perforación y voladura en frentes para optimizar la voladura en la mina San Genaro de la CIA. Minera Castrovirreyña S.A.* Huancayo: Tesis de la Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Poma, J. (2012). *Importancia de la fragmentación de la roca en el proceso Gold Mill (Caso MInera Yanacocha)*. Lima: Tesis de la Universidad Católica del Perú.



- Quispe, J. (2014). *Reducción de costos en perforación y voladura por la aplicación de camaras de aire en la U.M. Constancia – Hudbay Peru S.A.C.* Arequipa: Universidad Nacional de San Agustin. Recuperado el 03 de julio de 2020, de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3913>
- Salas, J. (2011). *Aplicación de las cámaras de aire en la voladura de mina Pierina .* BARRICK.
- Vergara, J., & Vergara-Mesa, G. (2018). *estrategias para reduccion de costos en latinoamerica.* Colombia: Universidad de San Buenaventura Cali.
- Vilca, R. (2019). *Reducción de costos mediante la optimización de las variables del diseño de perforación y voladura para la explotación de caliza - Cantera Mercedes.* Puno: Universidad Nacional del Altiplano. Recuperado el 7 de julio de 2020, de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/11498>
- Yance, E. (2013). *Estudio geomecánico en el diseño de Malla de perforación del Crucero 300, Nivel 16 en la Compañía Minera Casapalca S.A.* Huancayo: tesis de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

## ANEXOS

### Anexo 1. Ficha técnica de Cartuflex



**CARTUFLEX**  
CARTUCHOS FLEXIBLES S.A.C.

## Cartuflex Wayra Fast

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:**



Código	Diámetro (Pulg)	Espesor (mm)	Altura (Mts)
CWF1225	12 1/4"	3.5	1.0

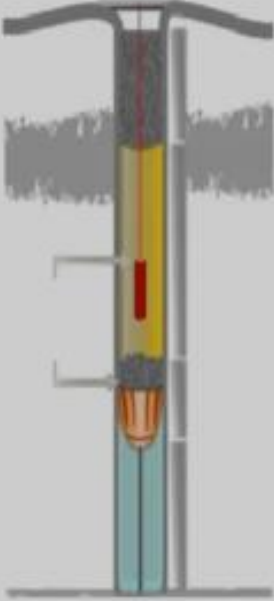
**PROPIEDADES:**

- ❖ Alta resistencia a la tensión, abrasión, ruptura y rasgado.
- ❖ Fácil manipuleo y rapidez de ingreso.
- ❖ 2 piezas armables amarillas y anaranjadas.

**VENTAJAS:**

- ❖ Generador de cámara de aire (Air Deck) de fondo.
- ❖ Reduce el tiempo de colocado versus otros accesorios.
- ❖ Reduce el consumo de explosivo.
- ❖ Aprovecha la energía cinética del explosivo en el sub drilling.
- ❖ Diámetros y Longitudes según lo requiera el usuario.
- ❖ Reduce el tiempo de minado (Pala, Acarreo y Molino).
- ❖ Reduce hasta el 100% el Sub Drilling.
- ❖ Resistencia al peso > 1.5 TN





---

Podemos fabricar Cartuflex Wayra Fast en medidas especiales, bajo consulta previa

Av. La Paz Mza. A Lote 10 C.P. Santa María de Huachipa – Lurigancho  
Telf.: 468-0118 / Cel.: 993-584-767  
e-mail: [mberrospi@cartuflex.com](mailto:mberrospi@cartuflex.com) / [ventas@cartuflex.com](mailto:ventas@cartuflex.com)



## Anexo 2. Reporte de Costos Unitarios

	<b>Tn</b>	<b>COSTO (US\$)</b>
<b>Ahorro de Mezcla Explosiva</b>	<b>0.1035</b>	<b>45.15</b>
<b>Ahorro de Emulsión</b>	<b>0.083</b>	<b>36.62</b>
<b>ANFO</b>	<b>0.021</b>	<b>8.53</b>
<b>Ahorro de Nitrato</b>	<b>0.020</b>	<b>8.03</b>
<b>Ahorro de Combustible</b>	<b>0.001</b>	<b>0.50</b>

	<b>Unidades</b>	<b>COSTO (US\$)</b>
<b>Costo Total de <u>Wayra Fast</u></b>	<b>1</b>	<b>6.90</b>

<b>AHORRO POR TALADRO</b>	<b>38.25 US\$/Tal</b>
---------------------------	-----------------------

<b>AHORRO TOTAL</b>	<b>38.25 US\$</b>
---------------------	-------------------

### Anexo 3. Evidencias Fotográficas



Nota: Capacitación al personal



Nota: Presentación del Producto Wayra Fast



Nota: Colocado de Wayra Fast en el Taladro



Nota: Resultados del frente de minado de la pala de aplicación de Wayra Fast



## Anexo 4. 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 HILARIO MAMANCHURA SOSA  
identificado con DNI 46093036 en mi condición de egresado de:

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

INGENIERIA DE MINAS

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

"REDUCCION DE COSTOS DE VOLADURA MEDIANTE LA UTILIZACION  
DE CAMERAS DE AIRD EN EL FONDO DEL TALADRO EN  
LA UNIDAD MINERA TOQUEPALO"

Es un tema original.

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

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

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

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

Puno 13 de AGOSTO del 2018

  
FIRMA (obligatoria)



Huella



## Anexo 5. 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 HILARIO MAMANCHUA SOJA,  
identificado con DNI 46093036 en mi condición de egresado de:

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

INGENIERIA DE MINAS

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

" REDUCCION DE COSTOS DE VOLADURA MEDIANTE LA UTILIZACION DE CAMARAS DE AIRE EN EL FONDO DEL TALADRO EN LA UNIDAD MINERA TORUEPALA "

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 13 de AGOSTO del 2025

  
FIRMA (obligatoria)

  
Huella