



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”**



**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y METALURGIA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

**TESIS**

**OPTIMIZACION DE LA VOLADURA CON EL EMPLEO DE  
DETONADORES ELECTRONICOS EN LA COMPAÑÍA MINERA  
CHINALCO PERÚ S.A. - 2021**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**Presentado por:**

**Bach. POMA MORENO, Richard Ruggeri**

**Asesor:**

**Dr. Quiñones Poma Juan Roger**

**HUARAZ – PERÚ**

**2021**





UNIVERSIDAD NACIONAL  
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS,  
GEOLOGÍA Y METALURGIA



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL**

En la ciudad de Huaraz, siendo las nueve horas con veinte minutos de la mañana (09:20 a.m.) del día once de Agosto del Dos mil Veintitres (11/08/23), se reunieron los miembros del jurado Evaluador nominados según Resolución Nro. 022-2022-FIMGM/D, de fecha 09 de Febrero del 2022, integrado por los siguientes Docentes: **Dr. LUIS ALBERTO TORRES YUPANQUI, como Presidente; Dr. GUSTAVO ROBERTO BOJORQUEZ HUERTA, como Secretario y el M.Sc. Ing. WALTER NICOLAW ROMERO VEGA, como Vocal;** para la sustentación de la tesis Titulado: **"OPTIMIZACIÓN DE LA VOLADURA CON EL EMPLEO DE DETONADORES ELECTRONICOS EN LA COMPAÑÍA MINERA CHINALGO PERU S.A. - 2021"**, presentado por el Bachiller **RICHARD RUGGERI POMA MORENO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo", se procedió con el acto de sustentación bajo las siguientes consideraciones, el Presidente del Jurado calificador, invitó a los docentes, alumnos y público en general a participar en este acto; luego invitó al Secretario del Jurado calificador a dar lectura de la Resolución N°022-2022-FIMGM/D de fecha 09 de Febrero del 2022. Acto seguido se invitó al sustentante a la defensa de su tesis por un lapso de veinte minutos (20), concluida con la misma, se procedió con el rol de preguntas de parte de los miembros del Jurado Calificador, finalmente se invitó al público en general a hacer abandono del Auditorium de la FIMGM por un lapso de diez (10) minutos con el propósito de deliberar la nota del sustentante, **ACORDANDO: APROBAR CON EL CALIFICATIVO (\*)de: DIECISIETE (17). Aprobado con Distinción.** Siendo las diez horas y cinco minutos (10:05 a.m.) del mismo día, se dio por concluida el acto de sustentación. En consecuencia, queda en condición de ser calificado **APTO** por el Consejo de Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" y recibir el Título de **INGENIERO DE MINAS** de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la UNASAM.

Dr. LUIS ALBERTO TORRES YUPANQUI

Presidente

Dr. GUSTAVO ROBERTO BOJORQUEZ HUERTA

Secretario

M.Sc. Ing. WALTER NICOLAW ROMERO VEGA

Vocal

Dr. JUAN ROGER QUIÑONES POMA

Asesor

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



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

*"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"*

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS,  
GEOLOGÍA Y METALURGIA**



**ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS**

Los Miembros del Jurado, luego de evaluar la tesis titulada: **"OPTIMIZACIÓN DE LA VOLADURA CON EL EMPLEO DE DETONADORES ELECTRONICOS EN LA COMPAÑIA MINERA CHINALGO PERU S.A. - 2021"**, presentado por el Bachiller **RICHARD RUGGERI POMA MORENO**, y sustentada el día 11 de Agosto del 2023, por Resolución Decanatural N° 022-2022-FIMGM/D, la declaramos **CONFORME**.

En consecuencia queda en condiciones de ser publicada.

Huaraz, 11 de Agosto del 2023

  
-----  
**Dr. LUIS ALBERTO TORRES YUPANQUI**  
Presidente

  
-----  
**Dr. GUSTAVO ROBERTO BOJORQUEZ HUERTA**  
Secretario

  
-----  
**M.Sc. Ing. WALTER NICBLAW ROMERO VEGA**  
Vocal

  
-----  
**Dr. JUAN ROGER QUIÑONES POMA**  
Asesor

Anexo de la R.C.U N° 126 -2022 -UNASAM  
**ANEXO 1**  
**INFORME DE SIMILITUD.**

El que suscribe (asesor) del trabajo de investigación titulado:

Presentado por: \_\_\_\_\_

con DNI N°: \_\_\_\_\_

para optar el Título Profesional de: \_\_\_\_\_

Informo que el documento del trabajo anteriormente indicado ha sido sometido a revisión, mediante la plataforma de evaluación de similitud, conforme al Artículo 11 ° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de : ..... de similitud.

**Evaluación y acciones del reporte de similitud de los trabajos de los estudiantes/ tesis de pre grado (Art. 11, inc. 1).**

Porcentaje		Evaluación y acciones	Seleccione donde corresponda <input checked="" type="radio"/>
Trabajos de estudiantes	Tesis de pregrado		
Del 1 al 30%	Del 1 al 25%	Esta dentro del rango aceptable de similitud y podrá pasar al siguiente paso según sea el caso.	
Del 31 al 50%	Del 26 al 50%	Se debe devolver al estudiante o egresado para las correcciones con las sugerencias que amerita y que se presente nuevamente el trabajo.	
Mayores a 51%	Mayores a 51%	El docente o asesor que es el responsable de la revisión del documento emite un informe y el autor recibe una observación en un primer momento y si persistiese el trabajo es invalidado.	

Por tanto, en mi condición de Asesor/ Jefe de Grados y Títulos de la EPG UNASAM/ Director o Editor responsable, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software anti-plagio.

Huaraz,



\_\_\_\_\_  
FIRMA

Apellidos y Nombres: \_\_\_\_\_

DNI N°: \_\_\_\_\_

Se adjunta:

1. Reporte completo Generado por la plataforma de evaluación de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**Tesis Final\_Richard Poma M\_docx**

RECUENTO DE PALABRAS

**20076 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**103477 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**100 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**4.9MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jul 25, 2023 3:33 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jul 25, 2023 3:34 PM GMT-5****● 20% de similitud general**

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

- 19% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 14% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Bloques de texto excluidos manualmente

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Eugenio y Judith, por su apoyo constante en todo momento de mi vida.

A mis hermanos Reimond y Renzo por su respaldo y aliento.



## AGRADECIMIENTO

Mi profundo agradecimiento a mi familia en general, por enseñarme y guiarme por el camino del bien, por inculcarme valores de responsabilidad y perseverancia.

De manera especial a mi Tío Sergio Poma Cáceres, por su apoyo constante brindado desde el inicio de mi vida universitaria.

Agradecimiento especial a mi asesor por su contribución y por el tiempo dedicado como referente en el desarrollo del presente trabajo.

A mis primos Sergio, Ricardo, y Lloyd, familiares que me apoyaron con su experiencia y por sus comentarios en el desarrollo de la tesis.

Agradezco a la Compañía Minera Chinalco Perú S.A. por los datos obtenidos por intermedio del jefe general de Geotecnia.

Poma Moreno Richard Ruggeri

### III



## RESUMEN

El propósito principal que persigue la investigación es descubrir la influencia del empleo de detonadores electrónicos en el proceso de voladura, con esto se espera que, la influencia registrada sea positiva, a un nivel que optimice el proceso en general. La investigación tiene lugar en los límites industriales de la compañía minera Chinalco Perú S.A. Se planteo para tal objetivo, un esquema y un régimen minucioso que garanticen la comprobación de la hipótesis general, la cual es en efecto, que se logra la optimización de la voladura a partir del empleo de detonadores electrónicos en la compañía minera Chinalco.

En un primer nivel en la consecución de la optimización de la voladura, se cronograma un estudio de corto plazo. Este estudio estará relacionado a los requerimientos operativos de la empresa.

Uno de los requerimientos operativos que se deslumbró fue el de mejorar la fragmentación de roca producto de la voladura. Como sugerencia, se plantea extender algunas recomendaciones en el proceso, en caso la propuesta inicial no sea la adecuada.

La población de estudio en la investigación, están representados por la totalidad de bancos de producción que se encuentran operativos en el Tajo Toromocho. El banco 4698 servirá como muestra para comprobar nuestros supuestos, para ello se registra en este mismo, un conjunto de disparos con detonadores no electrónicos y electrónicos en igual cantidad.

De manera preliminar podemos decir que existe una mejora en un 17.3% en la granulometría del P80 entregada a planta, por otro lado, se registra un aumento de la productividad de la pala en un 7.1%. Además, se logra optimizar el proceso de conminución en la chancadora primaria y la molienda en un 6.8% respectivamente.

Consecuentemente se comprueba los supuestos iniciales de la investigación, optimizando el proceso unitario de voladura en la compañía minera Chinalco Perú S.A.

## PALABRAS CLAVE

Optimización de la Voladura, detonadores electrónicos.



## ABSTRACT

The main purpose of the research is to discover the influence of the use of electronic detonators in the blasting process, with this it is expected that the influence registered will be positive, at a level that optimizes the process in general. The research takes place in the industrial limits of the mining company Chinalco Peru S.A. For this purpose, a scheme and a detailed regime were proposed to guarantee the verification of the general hypothesis, which is, in fact, that the optimization of blasting is achieved by the use of electronic detonators in the mining company Chinalco.

In a first level in the achievement of blasting optimization, a short term study is scheduled. This study will be related to the operational requirements of the company.

One of the operational requirements that was dazzled was to improve the fragmentation of rock produced by blasting. As a suggestion, it is proposed to extend some recommendations in the process, in case the initial proposal is not adequate.

The study population in the research is represented by all the production benches that are operating in the Toromocho pit. Bench 4698 will serve as a sample to check our assumptions, for this purpose, a set of shots with non-electronic and electronic detonators in equal quantity is recorded in this bench.

Preliminarily, we can say that there is a 17.3% improvement in the granulometry of the P80 delivered to the plant; on the other hand, there is a 7.1% increase in the productivity of the shovel. In addition, the comminution process in the primary crusher and milling is optimized by 6.8% respectively.

Consequently, the initial assumptions of the research are proved, optimizing the unitary blasting process in the mining company Chinalco Perú S.A.

## KEYWORDS

Blasting optimization, electronic detonators.

## INTRODUCCION

La industria minera es una de las actividades económicas que son especialmente intensivas en tecnología, herramientas como 5g, Smart mining, internet de las cosas y otras están siendo incorporadas en el seno de las operaciones rutinarias de las principales empresas extractivas de nuestro territorio. Debido a este panorama es que se alienta la profundización de presupuestos que desarrollen investigación en I+D. Los minerales son muy importantes para la supervivencia del ser humano, por ello la digitalización o el uso de herramientas modernas que aumenten la productividad, son siempre necesarias.

A partir de aquí, delimitamos nuestra investigación en el marco del contexto antes descrito. A través de la optimización de la voladura utilizando detonadores electrónicos buscamos una mejora en la productividad de la compañía minera Chinalco, que se encuentra ubicada en la localidad de Morococha, Yauli-Junín.

Particionamos la investigación en cuatro capítulos, y la descripción de los mismos se detallan a continuación:

**Capítulo I:** Se describe un poco las generalidades de la investigación, como, por ejemplo: el entorno físico, ubicación geográfica, topografía y accesos a la mina. Por otro lado, se mencionan temas relacionados a los ámbitos geológicos del terreno, a nivel local y regional. La muestra será un banco de producción, entonces debemos reproducir las condiciones de la geología estructural y económica de los límites del tajo.

**Capítulo II:** Este capítulo presenta las bases teóricas de las cuales se apoyará la investigación, se describirá las definiciones de las variables, con sus principales autores expertos en la materia. Por otro lado, se apuntalan algunos antecedentes que sirven como base.

**Capítulo III:** Se mencionan aquí las directrices de la investigación, estas están contextualizadas dentro de procesos que conforman la metodología del estudio. Además, este capítulo engloba a la realidad problemática, la formulación del problema, los objetivos, las justificaciones y por últimos los alcances que se busca llegar con la tesis. Del mismo modo, se presenta las hipótesis generales

y específicas, que dan respuesta a las variables involucradas, la técnica de recolección de datos y los instrumentos que se utilizarán para tal hecho, también se encuentran presentes en este apartado.

**Capítulo IV:** Se culmina la investigación con este capítulo, dándose a conocer los resultados, que son producto de la manipulación de las variables en el conjunto de métodos que se describieron en el apartado anterior, además se analiza y interpreta esta información para llegar a las conclusiones y recomendaciones finales. Aquí, por tanto, se comprueba la veracidad de la hipótesis general.



## INDICE

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**RESUMEN**

**ABSTRACT**

**INTRODUCCIÓN**

**ÍNDICE**

### CAPITULO I

<b>GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
1.1 ENTORNO FÍSICO.....	1
1.1.1 UBICACIÓN Y ACCESO.....	1
1.1.2 TOPOGRAFÍA .....	3
1.1.3 RECURSOS NATURALES .....	3
1.1.4 OTROS.....	4
1.2 ENTORNO GEOLÓGICO .....	5
1.2.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	5
1.2.2 GEOLOGÍA LOCAL .....	5
1.2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	6
1.2.4 GEOLOGÍA ECONÓMICA.....	6

### CAPITULO II

<b>FUNDAMENTACION .....</b>	<b>8</b>
2.1 MARCO TEÓRICO .....	8
2.1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	8

## VIII



2.1.2	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	10
2.1.3	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	14
2.1.3.1	TAJO TOROMOCHO.....	14
2.1.3.2	LA VOLADURA.....	17
2.1.3.3	LOS EXPLOSIVOS .....	25
2.1.3.4	GEOMETRÍA DEL DISPARO .....	26
2.1.3.5	SISTEMA DE INICIACIÓN.....	32
2.1.3.6	SECUENCIA DE INICIACIÓN.....	37
2.1.3.7	CONTROLES.....	40
2.1.3.8	DESCRIPCIÓN DE DETONADOR ELECTRÓNICO – SISTEMA I-KON .....	43
2.1.3.9	SEGURIDAD DEL SISTEMA .....	49
2.1.3.10	OPERACIÓN.....	52
2.1.3.11	DISPARO.....	55

### CAPITULO III

<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>56</b>
3.1 EL PROBLEMA.....	56
3.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	56
3.1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	57
3.1.3 OBJETIVOS .....	57
3.1.3.1 OBJETIVO GENERAL .....	57
3.1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	57
3.1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	58
3.1.5 LIMITACIONES .....	58
3.1.6 ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN .....	58
3.2 HIPÓTESIS.....	59
3.3 VARIABLES.....	59
3.3.1 VARIABLE DEPENDIENTE .....	59

### IX



3.3.2	VARIABLE INDEPENDIENTE .....	59
3.4	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	59
3.4.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	59
3.4.2	NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	59
3.4.3	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	60
3.4.4	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	60
3.4.5	TÉCNICAS, INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	60
3.4.6	FORMA DE TRATAMIENTO DE DATOS.....	61

## CAPITULO IV

<b>RESULTADOS DE LA INVESTIGACION.....</b>	<b>62</b>
4.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD Y PROCESAMIENTO DE DATOS .....	62
4.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN .....	79
4.3 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	82
4.4 APORTES DE TESISTA.....	83
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>84</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>85</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>86</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>89</b>



## CAPITULO I

### GENERALIDADES

#### 1.1 ENTORNO FÍSICO

##### 1.1.1 UBICACIÓN Y ACCESO

El proyecto Toromocho se encuentra ubicado en los distritos de Morococha y Yauli, departamento de Junín. La región en la que se encuentran las concesiones presenta una topografía accidentada, con altitudes que varían entre 4400 y 5000 m. con excepción de algunas cumbres aisladas como Yanashinga, que tiene una altitud de 5290 metros de altitud o el nevado Anticonca con una altitud de 5120 metros de altitud.

La accesibilidad al proyecto Toromocho, se realiza desde la ciudad de Lima por la Carretera Central, a través de una vía asfaltada hasta Morococha (142 km), así como mediante el Ferrocarril Central (173 km). Ambas vías también unen la zona del Proyecto con la ciudad de La Oroya ubicada a aproximadamente 32 km por carretera y aproximadamente 35 km por ferrocarril. Con fines referenciales se elaboró el siguiente cuadro que muestra las distancias lineales y a través de las vías de acceso, desde el centro del tajo abierto propuesto para el Proyecto y diferentes puntos de interés.

**Cuadro N° 01.** Rutas de acceso a la Minera Chinalco Perú S.A

Punto de referencia	Línea recta (km)	Camino de acceso (km)
Río Pucará (punto más cercano)	8,6	11,6
Río Yauli (punto más cercano)	9,3	19,2
Embalse Hualmish	10,1	11,9
Laguna Huascacocha	3,7	5,3
Carretera Central (punto más cercano)	0,97	1,7
Actual ciudad de Morococha	1,0	2,7
Futura ciudad de Morococha (Hacienda Pucará)	9,2	13,7
Centro poblado San Francisco de Asís de Pucará	6,7	7,6
Ciudad de Yauli	8,9	22,8
Centro poblado Pachachaca	13,5	16,2
Campamento minero Alpamina	4,4	6,2
Centro poblado Manuel Montero	9,8	19,4
Ciudad de Lima	116,3	142
Ciudad de La Oroya	26,5	32

Fuente: Minera Chinalco Perú S.A.

**Figura N° 01.** Plano de ubicación del Proyecto Toromocho



**Fuente:** Minera Chinalco Perú S.A



### 1.1.2 TOPOGRAFÍA

La región en la que se encuentran las concesiones presenta una topografía accidentada, con altitudes que varían entre 4 400 y 5 000 m, exceptuando algunas cumbres aisladas como Yanashinga, que alcanza los 5 290 m de altitud o el nevado Anticona de 5 120 m de altitud. El Proyecto involucra principalmente a la cuenca del río Rumichaca y a la cuenca Huascacocha, las cuales drenan hacia la cuenca del río Yauli y finalmente hacia el océano Atlántico a través de los ríos Mantaro y Amazonas.

El área de estudio se encuentra dentro del ámbito geomorfológico de la Cordillera de los Andes. Está constituida por un conjunto de elevaciones que corren alineadas en cadenas paralelas. La Cordillera de los Andes, configura un gran macizo antiguo, que responde al clásico esquema de plegamiento en el Primario, erosión en el Secundario, formando dilatadas penillanuras y sobre elevación en bloques durante el Terciario debido a la Orogenia Andina.

### 1.1.3 RECURSOS NATURALES

El área de estudio se encuentra caracterizada por una flora y fauna adaptada a las condiciones de alta montaña del entorno. La vegetación está caracterizada principalmente por hierbas de escaso porte, mientras que la fauna está principalmente representada por aves alto andinas.

#### **Flora y vegetación**

Cuenta con la presencia de 191 especies de plantas. Estos conjuntos de especies se agrupan en 84 géneros y 29 familias botánicas, distribuidas en 8 formaciones vegetales. En toda el área de estudio se identifican las siguientes formaciones vegetales: Matorral, Totoral, Pradera muy húmeda, Roquedal, Pedregal, Pajonal, Césped de Puna y Bofedal; así como las respectivas asociaciones entre ellas. Todos estos tipos de cobertura vegetal con excepción del Totoral, se distribuyen en el área de emplazamiento directo del Proyecto. El pajonal ocupa el 23%, seguido por el roquedal/pedregal (16%) y el pajonal + roquedal (14%); asimismo, el pajonal + césped de puna ocupa el 10% del total del AELBA.

## **Fauna terrestre**

Para el caso de la avifauna, cuantitativamente un total de 11 transectos y 13 cuerpos de agua (lagunas, embalses, bofedales), La fauna es correspondiente a mamíferos, anfibios y reptiles a diferencia del grupo de aves, En el área de estudio de línea base se registraron 75 especies de vertebrados terrestres, de las cuales 65 corresponden al grupo de avifauna, encontrándose distribuidas en 13 órdenes y 24 familias.

El mayor número de especies incluye el orden Passeriformes, la familia más numerosa la Furnariidae. Para el grupo de los mamíferos se registra un total de 8 especies pertenecientes a tres órdenes taxonómicos y seis familias; mientras que, tanto para los anfibios como para los reptiles, se registró 1 especie.

Se registran individuos de *Orestias empyareus* “chalhua” con una marcada mayor abundancia en las estaciones ubicadas en ambientes lénticos (laguna San Antonio y laguna Tunshuruca) y “trucha” *Oncorhynchus mykiss*, en la laguna Tunshuruca y embalse Huarmicocha.

### **1.1.4 OTROS**

#### **Clima**

La posición altitudinal en la que se encuentra el tajo Toromocho es aproximadamente 4500 metros de altitud en promedio. Con una latitud entre los 11 y 12° de latitud al sur y la continentalidad o posición con respecto al océano. Los aspectos mencionados intervienen de manera determinante en los rasgos climáticos.

#### **Paisaje**

En términos generales, el paisaje del área presenta diferencias marcadas en cuanto al grado de intervención humana. De esta manera, la cuenca de Morococha se encuentra influenciada por perturbaciones de origen antropogénico mientras que la cuenca Tunshuruco no evidencia significativos cambios relacionados con actividades humanas. Estas diferencias en el paisaje se deben principalmente a la alteración de la cobertura vegetal, modificación de suelos, movimiento de tierras y presencia de infraestructura urbana y minera. En cuanto

al área proyectada para el emplazamiento de la planta concentradora en la quebrada Rumichaca no existen evidencias significativas de actividades humanas que resten calidad paisajística al entorno. (*Resumen ejecutivo del estudio de impacto.pdf*, s. f.-b)

## **1.2 ENTORNO GEOLÓGICO**

### **1.2.1 GEOLOGÍA REGIONAL**

El distrito de Morococha ocupa el centro del intrusivo del periodo Terciario con mineralización asociada de skarn, hornfels y brechas. Los principales grupos o formaciones sedimentarias son el Excelsior, Mitu, Pucara, Goyllarisquizga y Machay con intrusiones acidas e intermedias. Se desarrolla en sedimentos calcáreos del grupo Pucará del Jurásico sobre el flanco occidental del anticlinal regional con buzamiento semiplano ( $45^{\circ}$ – $50^{\circ}$ ) que se encuentra localizado entre el gran intrusivo pre-mineral andesítico (“diorita”) hacia el oeste y rocas volcánicas (Catalina) del periodo Pérmico – Triásico hacia el este a lo largo del eje del anticlinal regional.

### **1.2.2 GEOLOGÍA LOCAL**

El yacimiento de Toromocho está ubicado dentro de la zona central de cobre del distrito de Morococha con buena zonificación polimetálica de Cu/Pb-Zn/Pb-Ag. El yacimiento mineral forma un centro de skarn y brecha asociada con la mineralización, alteración e intrusión del pórfido feldespático y la granodiorita de hace 7 millones de años.

La mayor parte de la mineralización de cobre de alta ley está dentro de una zona altamente fracturada y relativamente suave de skarn de actinolita con alteraciones de arcilla. Lo restante se encuentra dentro de rocas intrusivas más compactas con alteraciones de biotita. La mineralización primaria de calcopirita está enriquecida secundariamente con calcocita especialmente en las porciones superiores del yacimiento donde frecuentemente más del 50 por ciento del cobre es soluble en los ensayos de cobre secuencial de lixiviación en cianuro y ácido.

### 1.2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El yacimiento primario está superpuesto por la mineralización primaria pirítica de la última etapa, la alteración de arcilla y serpentina y el enriquecimiento de calcocita supergénica y covelita. El enriquecimiento moderado a débil, irregular y estructuralmente controlado de calcocita se extiende desde la superficie y desde el tope de los sulfuros dominantes hacia el fondo del enriquecimiento, 200 a 400 m debajo de la actual superficie.

La zona de sulfatos conteniendo diseminaciones de anhidrita y venillas se presenta muchos cientos de metros por debajo del fondo del enriquecimiento. Una porción significativa de la cobertura original lixiviada sobre la zona enriquecida fue probablemente erosionada por la glaciación del Pleistoceno. La mitad superior de la zona enriquecida en muchos lugares contiene más del 50% de cobre lixiviable de acuerdo a los análisis de cobre secuencial. La mitad inferior del manto sobre el fondo del enriquecimiento y en la parte superior de la zona primaria está débilmente enriquecida y contiene de 15 a 50% de cobre lixiviable de acuerdo al análisis secuencial.

### 1.2.4 GEOLOGÍA ECONÓMICA

#### Origen del yacimiento

El depósito de Toromocho es un complejo ensamble de venas mineralizadas, de vetas, stockworks, manto tipo bodies y sulfitas diseminadas del tipo general de cobre pórfido. La mineralización de Toromocho fue depositada en la roca caliza Jurásica de la formación de Pucara, junto con las intrusivas terciarias incluyendo dioritas, granodioritas, Cuarzo, monzonitas y pórfidos de cuarzo.

El depósito de Toromocho es una masa cilíndrica fuertemente vertical, pero en el detalle es una forma compleja. Los cuerpos intrusivos cortan los lechs de piedra caliza formando calc-silicate metamórficos. El grado de cobre es usualmente más alto en la tactita formando cuerpos tipo mantos largos y apilados de grado más alto. Algunas de estas relaciones han sido sobreimpresas por el desarrollo de una brecha intrusiva larga que es contemporánea con la mineralización de cobre.

## Mineralización

Como se ha mencionado anteriormente, los límites de la mineralización primaria significativa de cobre en Toromocho no están bien definidos dentro del centro del intrusivo Terciario y en los alrededores del hornfels y skarn. Importantes extensiones del yacimiento en los lados noreste y sureste del tajo abierto propuesto han sido exploradas con perforaciones diamantinas que indican que existe mineralización.

La mineralización primaria con ley más alta de cobre se encuentra en los "mantos" de magnetita y sulfuros masivos dentro de los skarns de los sedimentos del Pucará y en las vetas con contenidos de cuarzo y piritita con buzamientos parados dentro de los intrusivos y los Volcánicos Catalina. La mineralización de cobre diseminado y de tipo stockworks tiene una ley más alta en el skarn, originalmente más reactivas en comparación con los intrusivos y hornfels los menos reactivos que son de más baja ley. Los valores más altos del arsénico registrados por sobre las 1000 ppm se encuentran concentrados en las zonas estructurales dentro las zonas intrusivas fuertemente enriquecidas. Los valores de arsénico en la zona primaria son sólo cerca de 130 ppm. Valores intermedios de 200 a 500 ppm se encuentran presentes en la zona débilmente enriquecida entre ellos.

Sin embargo, es posible que estos patrones de arsénicos reflejen principalmente la zonificación hipogénica de la mineralización enargita y tenantita tardía ascendente, tal como se describe anteriormente.

## CAPITULO II

### FUNDAMENTACION

#### 2.1 MARCO TEÓRICO

##### 2.1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

**Miranda (2019)**, “Estudio del Rendimiento entre Detonadores Electrónicos y no Electrónicos e Implicancia en Economía del Proceso y Seguridad en Tajo Abierto. Arequipa”, su investigación siguió como objetivo principal explicar la relación entre el uso de detonadores electrónicos y no electrónicos en su rendimiento sobre los costos unitarios y los sistemas de seguridad en voladura.

Obtuvo como resultados un conjunto de condiciones favorables para el uso de detonadores electrónicos, así se resalta un 8% de aumento en el rendimiento de los costos, además de, un diferencial de 78 TM en la voladura por taladro usándose detonadores eléctricos. Así mismo, concluye que los detonadores electrónicos se potencian en el tipo de voladura de producción con respecto a la de precorte.

**Zenteno (2018)**, “Cambio de detonador electrónico para la disminución de cortes en la línea descendente en taladros de gran diámetro en explotación minera de cobre a cielo abierto”, realizó un estudio comparativo descriptivo entre dos tipos de detonadores, mismos que lo denomina como “A” y “B”, el detonador de tipo “A” es un detonador estándar y el “B” es reforzado.

Se obtuvo como resultados, que el cambio de detonador no repercutió en la cantidad de detonadores requeridos mensualmente, es decir, la demanda se mantenía intacta. Por otro lado, se evidencia de disminuye la probabilidad de accidentes en voladura, esta probabilidad se calculó en 0.006% al mes.

**Benites (2017)**, “La distancia mínima entre taladros para evitar los daños de los detonadores electrónicos por presión dinámica, en mina Lagunas Norte”, en su tesis busco como objetivo resolver el espaciamiento adecuado entre taladro en la cual se evita grandes presiones dinámicas, que producen a su vez la falla de detonadores electrónicos.

Obteniendo como resultado, una ecuación para disminuir el impacto de las presiones entre taladro. Para esto utilizó un método de regresión exponencial en el macizo rocoso de la zona en estudio.

**Hinostroza (2014)**, “Optimización de la fragmentación en las rocas con la aplicación de la doble iniciación electrónica en la explotación de cobre porfirítico a cielo abierto”, en su investigación se propuso comprobar el grado de influencia al incorporar un detonador electrónico adicional en la iniciación de la voladura. Este planteamiento tuvo objetivo el de mejorar la fragmentación.

Obteniéndose como resultados, una mejora en el P80, reduciéndose el tamaño de partícula en el material volado, un aumento de la velocidad del carguío de las palas, finalmente se registra un incremento en la producción diaria. Así mismo, se logra reducir el consumo de energía en planta.

**Paredes (2014)**, “Empleo de detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación en sector yeso anhidrita en mina modelo a tajo abierto – Toquepala”, realiza algunas comparativas con respecto a los detonadores electrónicos, donde concluye lo siguiente:

- Los detonadores electrónicos reducen a cero los tiros cortados, debido a la detección temprana de estos mismos en los límites del banco.
- Garantía de una secuencia estructurada del disparo según lo planificado en el plan de minado.
- Control de tiempos en los taladros
- Disminución de bolones en un 43%
- Aumento del 13% en el rendimiento de la fragmentación
- Aumento de la velocidad de minado en un 7%

**Poma (2013)**, “Importancia de la fragmentación de la roca en el proceso Gold Mill (Caso minera Yanacocha)”, la investigación tiene como objetivo optimizar la fragmentación de roca en voladura. La zona de estudio presenta ocurrencia de un gran contenido de sílice, este compuesto proviene del tajo llamado el Tapado en minera Yanacocha.

Los resultados al cual aterrizó en su investigación fueron, en primer lugar, cambiar el diseño de la malla de perforación, el carguío de explosivos en taladro y también las secuencias de detonación. Se utilizó para esto detonadores electrónicos.

**Huamán (2010)**, “Implementación de un Nuevo Sistema de Iniciación Electrónica en Perú, Seguridad y Versatilidad”, en su estudio se planteó como objetivo la descripción de las cualidades operativas que tienen los detonadores electrónicos, demuestra a través de sus experiencias en campo que los detonadores eléctricos brindan mucha seguridad en la manipulación de explosivos, además de su versatilidad, menciona también su exactitud, precisión y flexibilidad en el entorno del proceso de minado.

Así mismo, Huamán argumenta ventajas en:

- La fragmentación de roca en partes periféricas
- Homogeneidad de la granulometría de la pila
- Optimización del rendimiento en el carguío de mineral
- Reducción de los tiempos de espera en el transporte de mineral a planta
- Reducción de tiempos de espera en la etapa de conminución primaria
- Desaparición de bancos o bolones del material volado
- Disminución de voladura secundaria

### 2.1.2 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- **Carga Explosiva**

Kilogramos de explosivo que se encuentran en el interior de un taladro. Los esquemas de carguío de la carga pueden ser manuales o mecanizados, y dependiendo del objetivo que se intenta conseguir con la voladura, la carga puede ir en intervalos de decks o taponeados con tacos de diversa composición.

- **Detonador**

Es un componente del proceso de la voladura que tiene como finalidad iniciar con la secuencia de impactos producidos en el interior de los distintos taladros. Contiene un fulminante, el mismo que es sensible a determinados cordones detonantes a los cuales está



unido. Pueden ser de dos tipos, tanto eléctricos y no eléctricos. Algunos poseen retardo y otros son instantáneos.

➤ **Detonador electrónico**

Son tipos de detonadores remotos, es decir que, se pueden activar sin necesidad de la presencia de un manipulador en situ, sino que por el contrario se puede dirigir a metros del punto de la voladura.

Un detonador electrónico está revestido por una cápsula de aluminio, la cual se encuentra cerrada, por un lado. En su estructura interna podemos encontrar un condensador, un chip y un inflamador. Por otro parte, como componentes explosivos tenemos a un explosivo iniciador primario y seguidamente tenemos al explosivo base, también llamado secundario.

➤ **Factor de carga**

Representa la proporción entre los kilogramos de explosivo que se usan para remover una tonelada métrica de roca en situ.

➤ **Fragmentación**

En minería la fragmentación se entiende como el tamaño de partícula que se obtiene como producto del proceso de voladura. La fragmentación en mina esta estandarizada, de acuerdo a parámetros operativos pedidos por planta, generalmente a este tipo de fragmentación estandarizada en planta se le denomina con las siglas “P80”.

➤ **Humos**

El humo en minería es un factor que nos indica la calidad de la voladura. Por ejemplo, si visualizamos un humo de color negro u oscuro entenderemos que no se ha producido una voladura correcta, ya que el balance de oxígeno en ese caso no fue el ideal, por el contrario si obtenemos un humo de color mas claro, será indicativo un proceso de voladura óptimo.

La calidad del humo también será respaldo para los compromisos medioambientales de la empresa.

➤ **Macizo rocoso**

El macizo rocoso es un término geológico que hace referencia a uno o varios bloques de rocas unidos por una matriz y su estructura. Por un lado, la matriz representa a la roca principal del conjunto que preferentemente esta intacta, y por otro lado, la estructura esta descrita por sus discontinuidades que presenta en su entorno próximo.

➤ **Proceso de voladura**

Una de las etapas mas importantes del ciclo de minado. En la voladura se obtiene la materia prima que será llevada a planta para su posterior procesamiento. La voladura se subdivide a la ves en procesos tales como: perforación, carguío de explosivos e iniciación. Luego de la finalizada la voladura se tiene que inspeccionar los resultados de la misma a través de algunos parámetros como, la granulometría, la sobre excavación, fallas inducidas, taladros cortados, etc.

➤ **Presión de detonación**

La presión de detonación es un tipo de presión que tiene lugar en los límites del plano Jouget-Chapman de la onda expansiva, esta onda se produce en los momentos iniciales de la voladura. Por lo tanto, la presión de detonación es la responsable de las primeras grietas radiales producidas en la roca.

La presión de detonación será mayor cuanto mayor será la densidad del explosivo que aloja el taladro, además, su intensidad depende de la velocidad de detonación del explosivo.

➤ **Proyección de rocas**

La proyección de rocas representa una dispersión desordenada y no calculada del material volado, esta dispersión atañe diversos problemas en el diseño de la voladura, además de ser perjudicial para las comunidades cercanas al centro de operación de la mina.

➤ **Peligro**

Son actos o condiciones subestándar que son capaces de aumentar la probabilidad del riesgo, y el riesgo puede traducirse en accidentes de todo tipo.

➤ **Seguridad**

La seguridad es el sentimiento de protección frente a carencias y peligros externos que afecten negativamente la calidad de vida; en tanto y en cuanto se hace referencia a un sentimiento, los criterios para determinar los grados de seguridad pecarán de tener algún grado de subjetividad.

➤ **Tajo**

Está conformado por un conjunto de labores de producción en forma de taludes llamados bancos, el diámetro del tajo puede ser variable en cada mina y la gradiente de la misma dependerá del factor de seguridad que se requiera alcanzar.

➤ **Tiro quedado (TQ)**

Tiro quedado es el taladro o taladros cargados con explosivo que no detona durante el disparo de toda una malla. El TQ es el peligro más latente y de alto riesgo que se puede presentar en el proceso de voladura, por lo que implementar controles para evitarlo es muy necesario y de suma importancia.

➤ **Velocidad de Detonación**

Velocidad de detonación (VOD) es una medida de la razón a que la reacción de la detonación procede, por la columna del explosivo. Se considera un indicador del potencial de fragmentación de un explosivo, con el potencial creciente para un VOD creciente.

## 2.1.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1.3.1 TAJO TOROMOCHO

#### Historia

El tajo Toromocho se encuentra circunscrito en un área con una rica historia minera, desde mediados del siglo pasado, por ejemplo, la empresa Cerro de Pasco Corporation ha venido operando a través de una serie de exploraciones en las zonas de interés y anomalías geoquímicas.

Específicamente producto de una concesión de derechos, es como minera Chinalco Perú S.A. aparece en la escena nacional minera, recibe por parte de Centromín la propiedad en una transferencia celebrada un 5 de mayo del 2008.

El titular minero en Chinalco está representado por el propietario institucional, Aluminum Corporation of China Ltd.

A modo de línea de tiempo, se registra en el período incaico grandes campañas de exploración y explotación en la zona minera de Morococha. Los principales minerales que se utilizaban en esa época fueron la plata y el oro, los cuales, por sus propiedades químicas, fueron de utilidad para la defensa o construcción de herramientas de arado.

Adentrado en la época de la conquista española, la explotación de minerales se amplió hacia la obtención de zinc y plomo.

De acuerdo a Antonio Raymondi (1902), la región de Morococha presenta grandes anomalías que pueden dar origen a recursos mineralógicos de importancia comercial.

En 1894, comenzó una exploración a gran escala a cargo de un grupo de mineros encabezados por Proaño, Valentine y Stuart.

En 1908, se constituye formalmente la empresa a nombre de: “Compañía minera Morococha”, acreditando como titulares de la razón social a; La Cerro de Pasco Syndicate y la compañía Backus & Johnston del Perú.

Para 1915, la compañía Morococha se fusiona con la Cerro de Pasco Corporation, tras la nacionalización de Cerro de Pasco en 1974, la línea de producción de la mina pasa a manos de Centromín.

Geológicamente, Toromocho sale a conocimiento público en 1928, cuando en este año se descubre una región mineralizada en el Cerro San Francisco. Esta región contenía cobre de baja ley, en forma de stocks de granodiorita.

Entre los años consecutivos a 1966 y 1976, se continuaron con exploraciones progresivas a cargo de la razón social Cerro de Pasco Corporation y Centromín. Para agosto de 1980 se confirma la mineralización existente en la zona, a través de, estudios de factibilidad a cargo de la contrata Kaiser ingenieros International Inc. y de Consultores Minero Metalúrgicos S.A.

Los estudios revelaron una estimación de 365 millones de toneladas de mineralización en:

- 0.67% de cobre
- 0.4% de Zn
- 0.03% de Mo
- 12g Ag/tn
- Cutoff de 0.5% en cobre

Para ya el 2003, la empresa se desata de la titularidad estatal a través de Centromín, la titularidad estatal no podría continuar, ya que, se registraba pérdidas e ineficiencias generalizadas. Mp Copper, fue la empresa responsable de reestructurar el yacimiento, con la intención de volver hacer una mina operativa y rentable, la empresa realizó nuevas exploraciones diamantinas del tipo Brownfield. Se obtuvo a partir de aquí, la ocurrencia de un gran yacimiento de cobre.

Adentrado en siglo XXI, para los años 2007 y 2007, se procedió con la recopilación de información metalúrgica, que permitiera un plan de minado de acuerdo a su estructura geomecánica, geológica, hidrológica, ambiental, recursos y de proyección social hacia las comunidades cercanas.

## Método de explotación

El método de explotación es a través del minado a cielo abierto o también como se conoce en sus siglas en inglés “Open pit”. La determinación de esta metodología esta circunscrita debido a sus circunstancias geotécnicas del macizo rocoso.

## Reservas

Se registra en el tajo Toromocho unos 1520 millones de toneladas de reservas probadas y probables. La ley promedio de cobre fue de 0.48%, la de molibdeno fue considerablemente pequeña. de un 0.019%, finalmente la ley de plata registrada oscilo en los 6.88 gr/tn.

## Planeamiento de minado

- **Ley de corte (cut off)**

El cutoff en cobre se situó en los 0.538%, 0.013% de Mo y 6.42 gr/tn de Ag.

- **Relación de desbroce**

La cantidad de mineral removido para el desbroce de la capa superficial fue de un total de 97 161 millones de toneladas. Por lo tanto, la relación de proporción resultó de 1.4. La interpretación de este último número puede ser descrito como por cada tonelada de mineral obtenido se necesita remover 1.4 toneladas de desmonte.

- **Diseño de open pit**

Como consecuencia de los estudios de modelamiento empleando el software MineSight, con la información de la geometría y características del depósito mineral, el diseño del Pit se ha determinado con los siguientes parámetros:

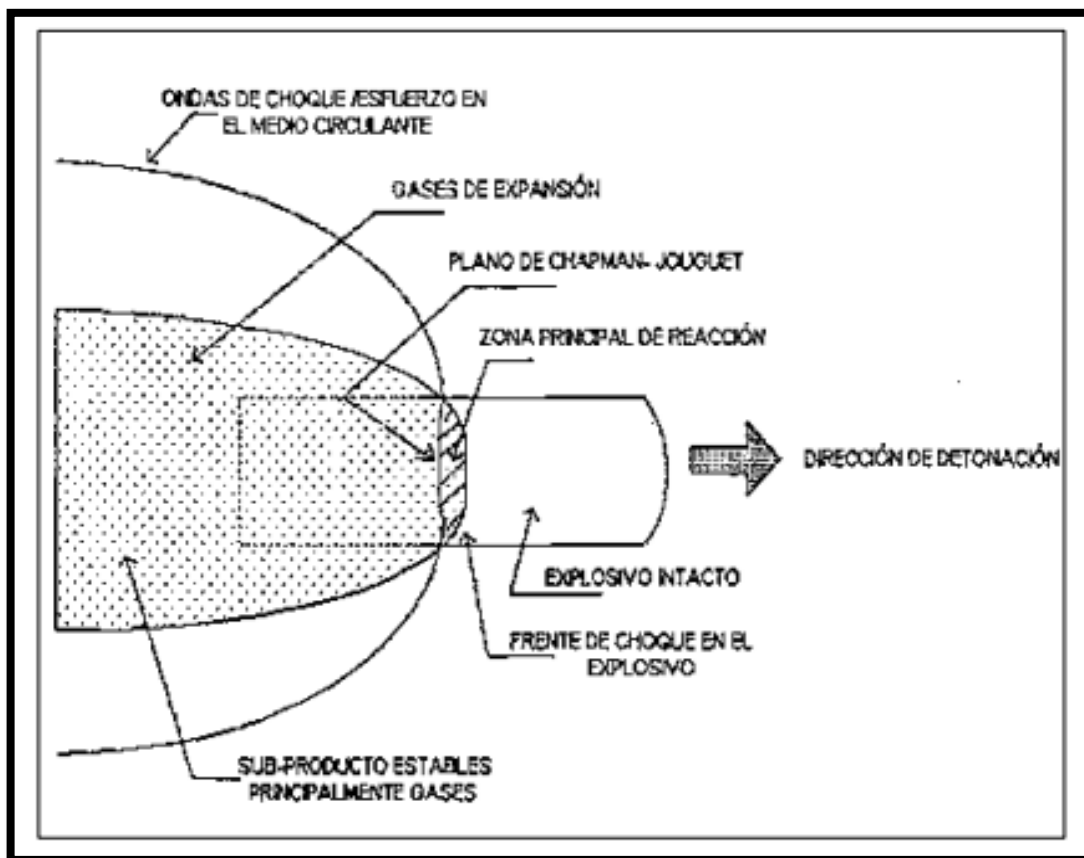
- Angulo de cara de banco: 65°
- Altura de banco: 15 m
- Ancho de bermas: 8.5 m
- Ancho de rampa: 40 m
- Pendiente de rampa: 10 %

## 2.1.3.2 LA VOLADURA

### 2.1.3.2.1 Proceso de detonación

El proceso comienza con una serie de reacciones de composición química, todo esto tiene lugar en el interior del taladro y sucede en órdenes de los milisegundos. Como productos se pueden obtener una gran cantidad de gases en expansión que dañan a la composición de la roca. Esta acumulación de gases produce lo que se conoce como presión de detonación, si esta presión supera el límite de resistencia de la roca, entonces hablamos de un proceso de detonación exitoso.

Figura N° 02. Proceso de detonación.

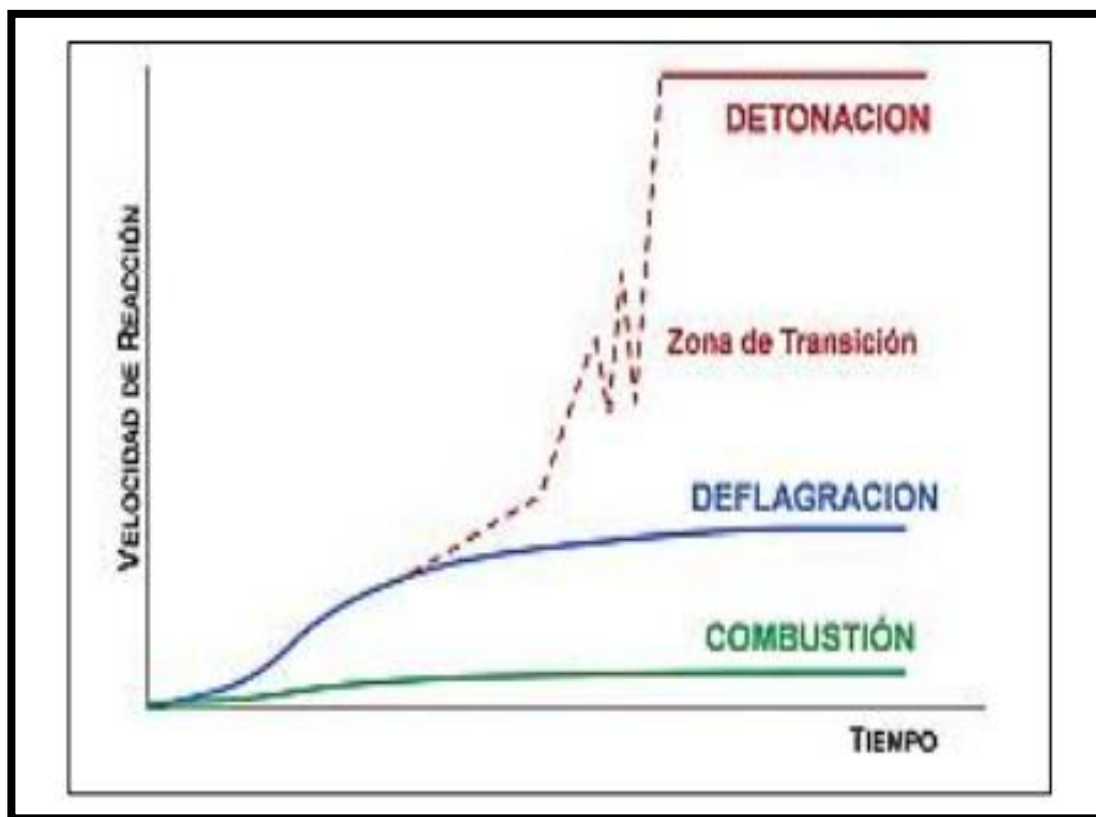


Fuente: Ames Lara, V. (2012) Tecnología de Explosivos

Los gases en expansión producen presión, la presión a su vez produce energía, esta energía se refleja sobre las paredes de la roca en forma de energía de choque y de gas. Esta energía se describe como una onda de choque que recorre el largo del taladro donde se aloja, el

recorrido de esta onda activa consecutivamente al resto de explosivos dentro de la columna, provocando una reacción en cadena. Esta propiedad de reaccionar en cadena a causa de un estímulo es única del explosivo, y se le conoce como simpatía.

**Figura N° 03.** Desarrollo de una detonación.



**Fuente: Bernaola, Castilla, Herrera. (2013)  
Perforación y Voladura de Rocas en Minería. Madrid.**

Para Konya (1998), La presión de detonación es sólo un ápice del total de la energía disponible o útil de un explosivo, cubre alrededor de un 10% o 15%. Por el contrario afirma, el resto de energía útil se distribuye en presión de gas.



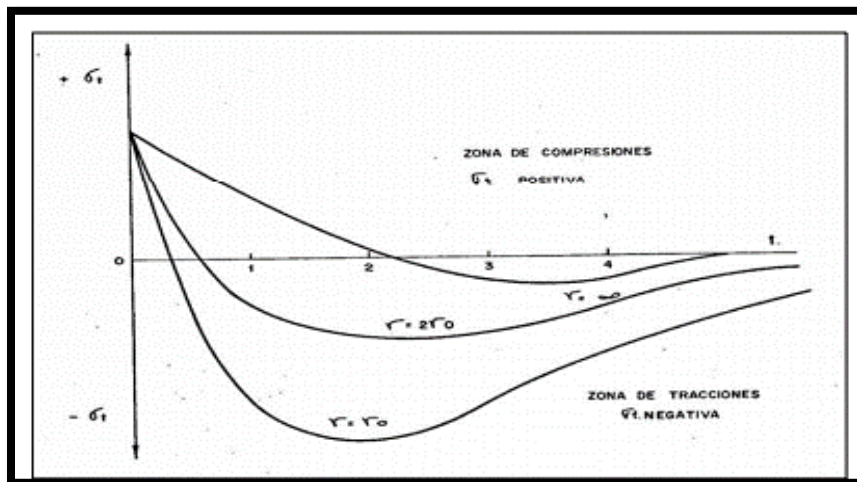
### 2.1.3.2.2 Mecanismo de fragmentación de la roca

De manera sencilla se puede describir a la detonación como un conjunto de dos fases muy bien distinguibles: Una compuesta por un fuerte impacto (Onda de choque) y otra debido a la actuación de los gases en expansión (Volumen y temperatura).

Si hablamos de la primera energía provocada por la onda de choque, entonces podemos decir que la naturaleza de los esfuerzos que provoca es principalmente de compresión, esta compresión a su vez se refracta al llegar a las cercanías del taladro de alivio o cara libre. Por lo tanto, otro esfuerzo reconocible en la onda de choque es el de tracción.

Castilla y Herrera (2013), mencionan que la onda que choque se propaga en un orden de los 3000 a 5000 m/s, esta velocidad dependerá del tipo de explosivo. Además, apuntalan que lo que ocasiona la fractura final de la roca, es el diferencial que existe entre la resistencia de tracción con respecto a la de compresión, esta diferencia es de 10 a 100 veces menor respectivamente.

**Figura N° 04.** Esfuerzo en función del tiempo a diferentes distancias al centro del barreno.



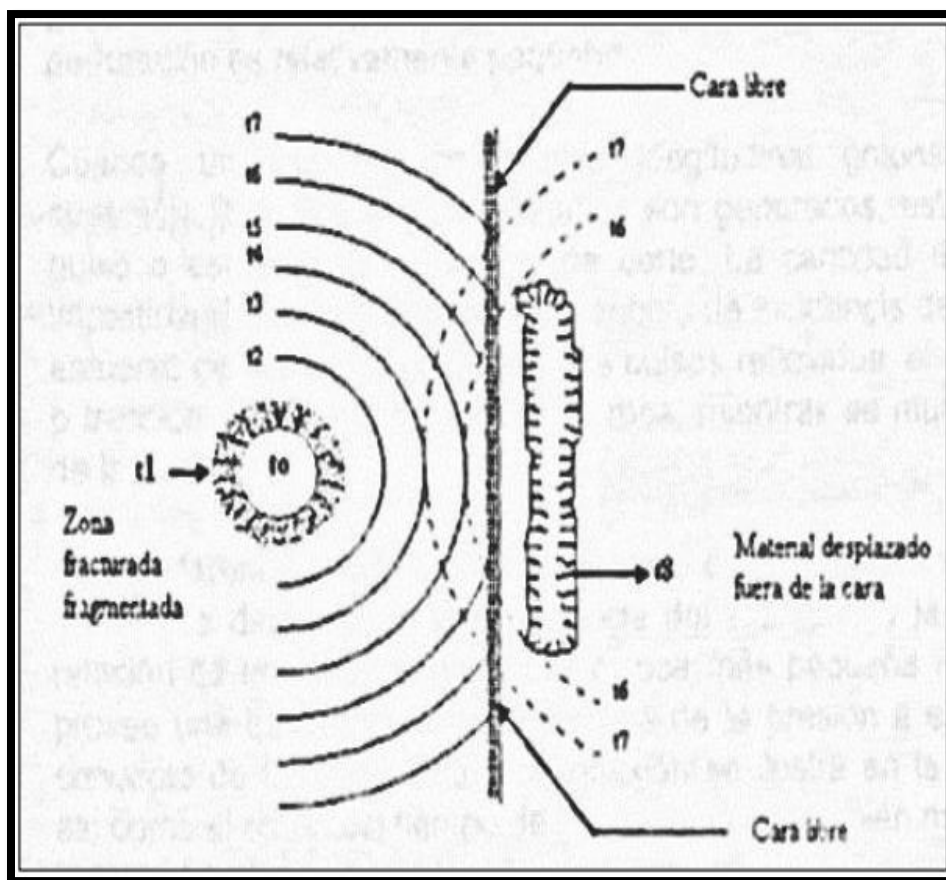
**Fuente: Bernaola, Castilla y Herrera. (2013)**  
**Perforación y Voladura de Rocas en Minería. Madrid.**

### 2.1.3.2.3 Teoría de la reflexión

Esta teoría describe uno de los procesos relevantes del momento de la propagación de la onda de choque. Para entenderlo, demos mencionar primero que la resistencia a tracción de

una roca es menor que la resistencia a compresión de la misma. Esta diferencia produce que al llegar la onda de choque a los límites de la cara libre, una parte de la energía liberada regrese, realizando un esfuerzo de tracción sobre la roca, produciendo de esta manera la fragmentación.

**Figura N° 05.** Teoría de reflexión.



**Fuente:** Ames Lara, V. (2012) *Perforación y Voladura de Rocas I*

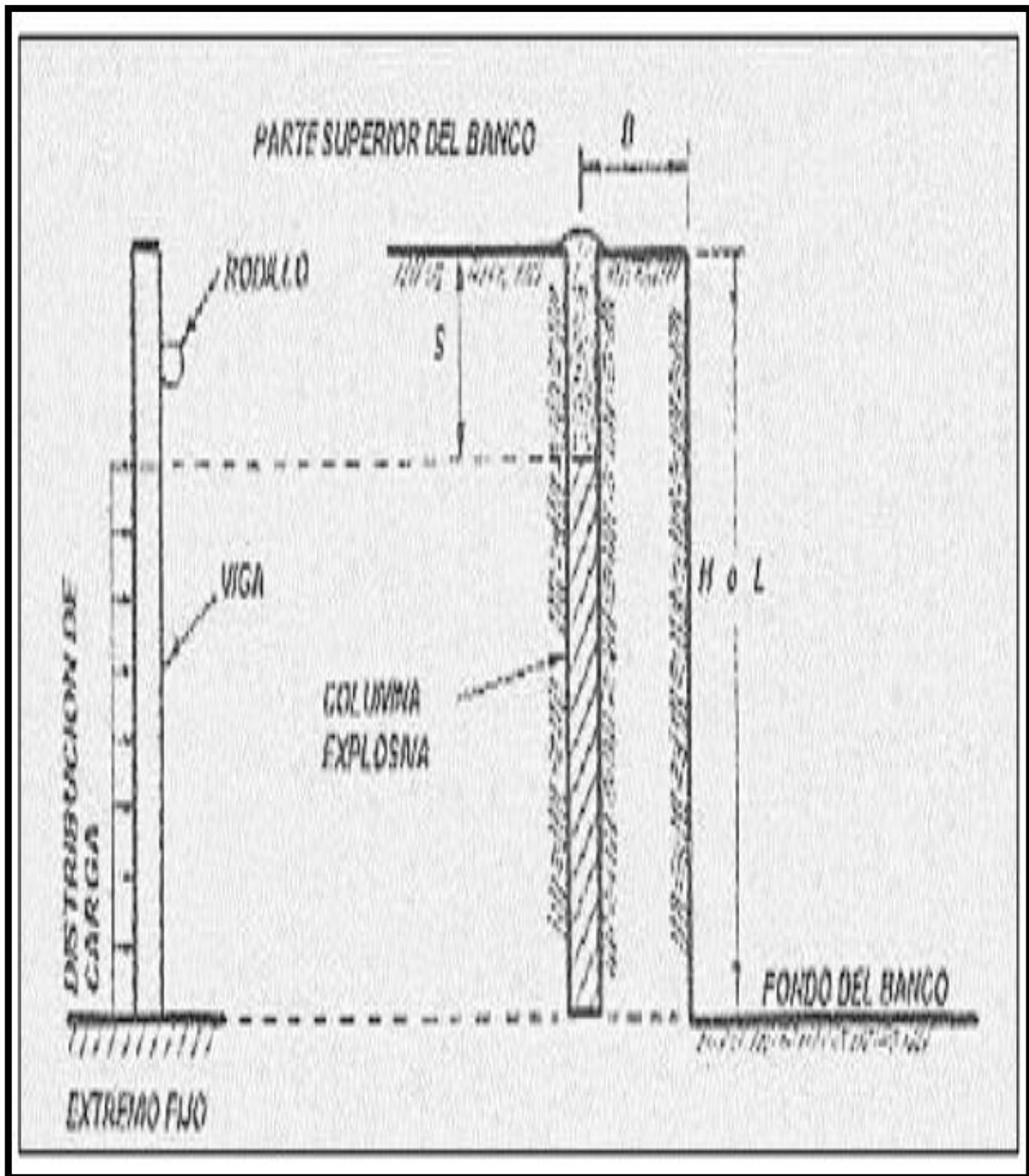
#### 2.1.3.2.4 Teoría de la expansión de los gases

Son dos puntos que destaca esta teoría producidos por la presión de los gases en expansión. Primero, las grietas se inician a una distancia de 2 taladros radiales fuera del taladro y estas grietas se extienden hacia el centro del taladro y hacia la cara libre. Segundo, el desplazamiento del material fragmentado, por la acción de los gases en gran volumen, se da una vez que las grietas llegan a la cara libre.

### 2.1.3.2.5 Rotura por flexión

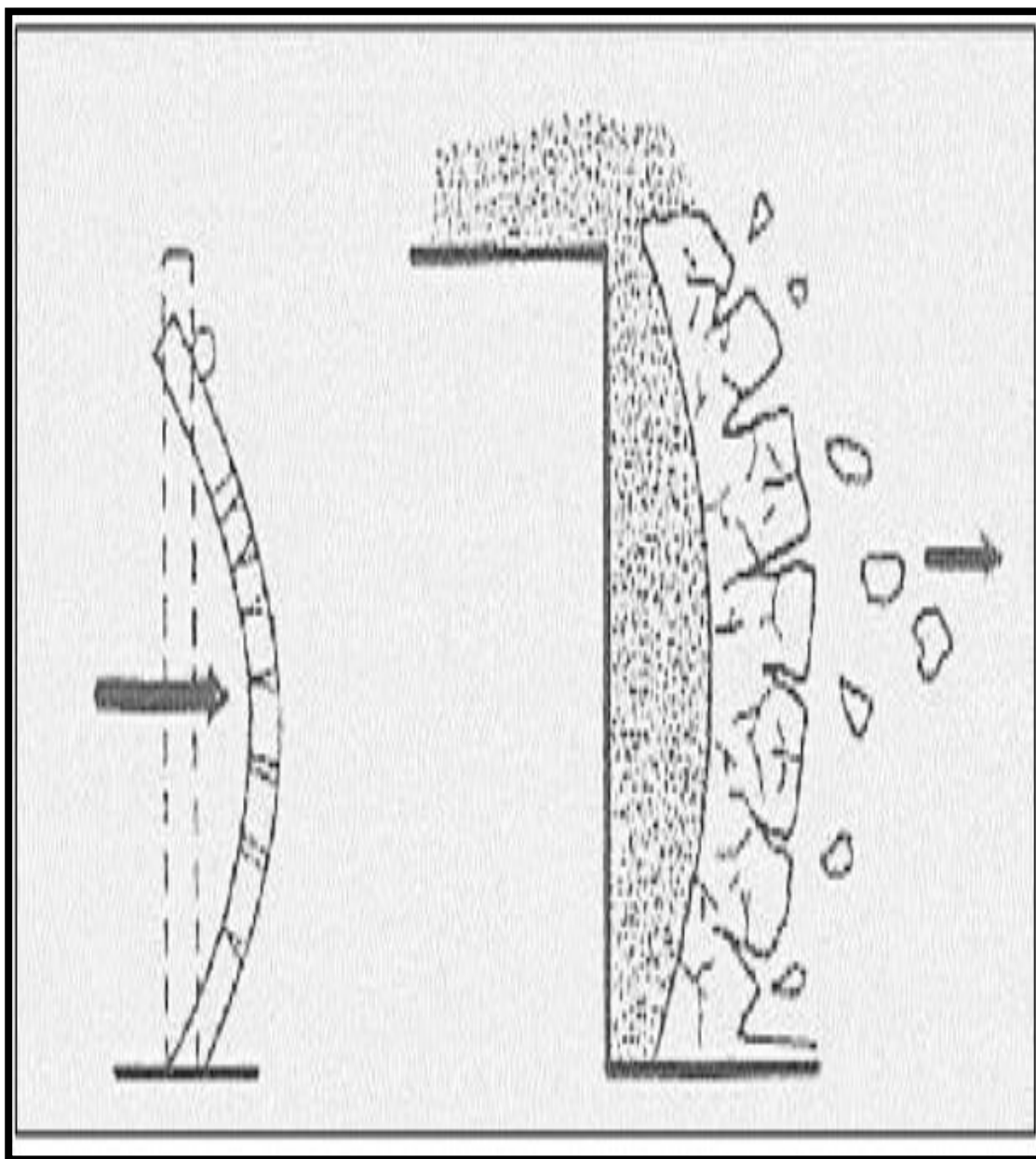
La rotura de flexión se entiende mejor si tratamos a la roca como un modelo ideal, de forma rectangular, al cual debemos doblar o romper.

**Figura N° 06.** Modelo de flexión de la viga antes de la detonación.



Fuente: Ames Lara, V. (2012) Perforación y Voladura de Rocas I.

**Figura N° 07.** Modelo de flexión de la viga después de la detonación.

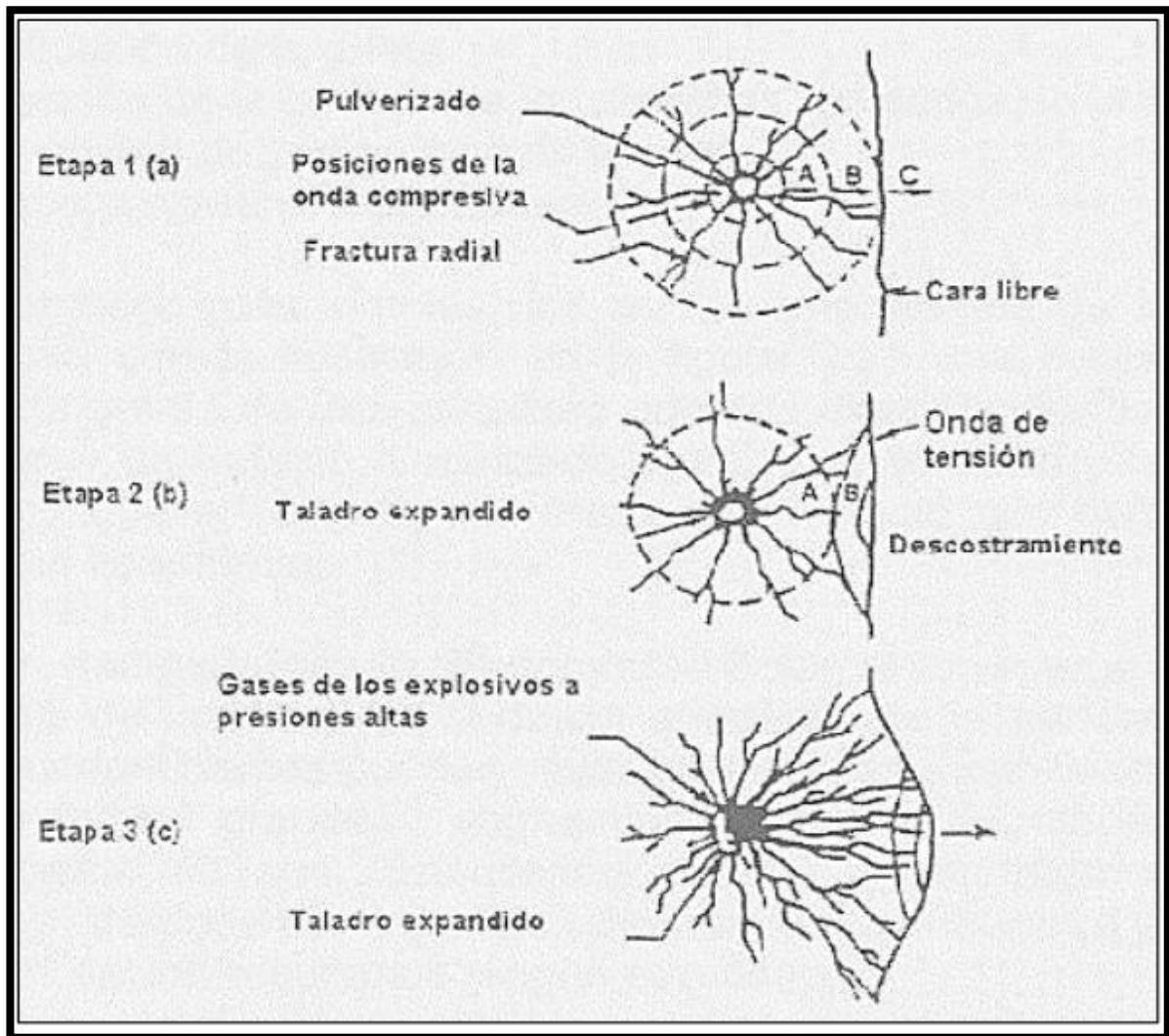


**Fuente:** Ames Lara, V. (2012) *Perforación y Voladura de Rocas I*

#### 2.1.3.2.6 Teoría combinada

Combina las teorías antes vistas en tres etapas. Primero, el explosivo detona ya la alta presión de taladro agrieta el área adyacente del taladro. Segundo, las ondas de compresión al alcanzar una cara libre se reflejan en ondas de tensión. Tercero, La presión de los gases en expansión amplía las grietas primarias y desplazan al material fragmentado.

**Figura N° 08.** Teoría combinada: Ondas de tensión, rotura por flexión y expansión de gas.

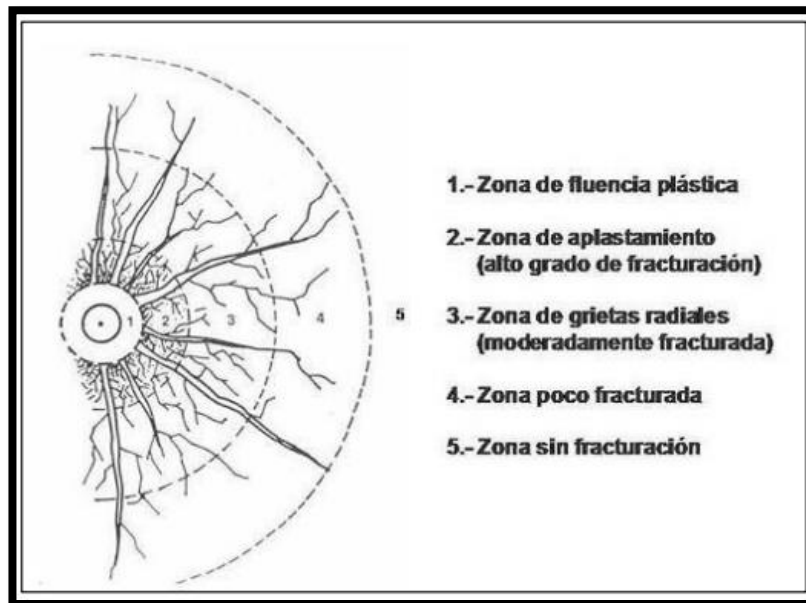


**Fuente: Ames Lara, V. (2012) Perforación y Voladura de Rocas I**

Por otro lado, a manera de colofón identificamos los procesos generales por lo que siempre transcurre un ciclo de detonación, los cuales son: detonación del explosivo, propagación de la onda de choque, incidencia del gas a altas presiones y temperaturas y finalmente fragmentación de material rocoso.

Existen fenómenos que tienen lugar en los primeros instantes del contacto de la onda de choque con la roca. Por un lado se produce un ensanchamiento del taladro, por otro lado, se crean todo tipo de fisuras radiales alrededor del mismo.

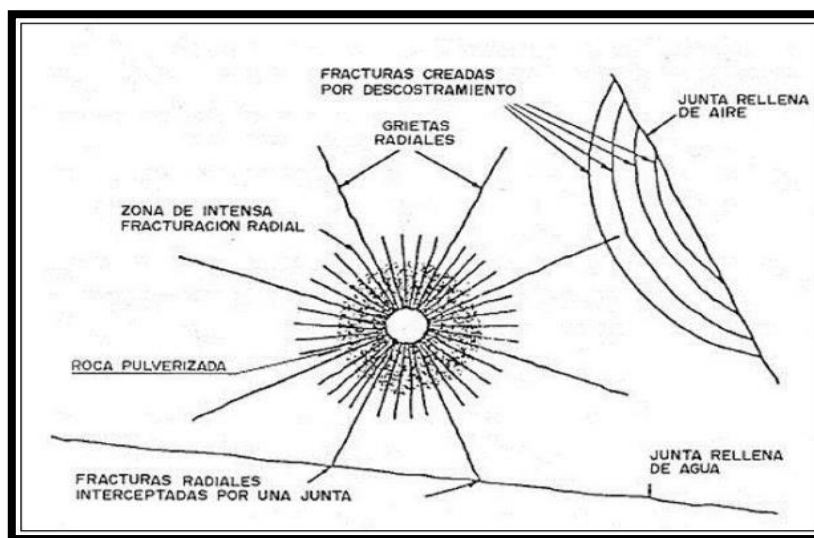
**Figura N° 09.** Tipos de fisuras en las proximidades del taladro.



**Fuente: Bernaola, Castilla, Herrera. (2013)  
Perforación y Voladura de Rocas en Minería. Madrid.**

Una vez generadas las fisuras en la roca, le sigue una segunda fase donde los gases producidos penetran estas fisuras. Recordemos que los gases se encuentran a una presión y temperatura elevadas, esta segunda fase completa el proceso de detonación produciendo la fragmentación y proyección total del material volado.

**Figura N° 10.** Agrietamiento radial y rotura por reflexión de la onda de choque.



**Fuente: ITGM -España. (1991). Manual de Perforación y Voladura de Rocas.**

### 2.1.3.3 LOS EXPLOSIVOS

#### 2.1.3.3.1 Sustancia explosiva

Ames (2012). Propone una definición para la sustancia explosiva o en adelante explosivo, el cual lo describe como un compuesto químico o mezcla de componentes químicos que poseen capacidad de producir energía exotérmica. Esta energía exotérmica se traduce en gases en expansión que se encuentran en grandes volúmenes, presiones y temperatura. Estas características termodinámicas le confieren al explosivo cualidades destructivas.

Otras características son:

- La reacción exotérmica lleva el nombre de detonación
- Necesitan de un oxidantes y un combustible
- El oxidante mas conocido es el nitrato de amonio
- El combustible mas usado es el petróleo
- El combustible es el que se encarga de sensibilizar al explosivo
- En la elaboración industrial de explosivos se utilizan agua, gomas y agentes enlazadores.
- Existen explosivos lentos y deflagrantes
- Explosivos rápidos que cuentan con velocidades de detonación de alrededor de 2000 a 7000 m/s
- Los explosivos deflagrantes tienen otros usos que no son la minería en específico

#### 2.1.3.3.2 Propiedades de los explosivos

##### **Densidad**

Es el peso por unidad de volumen y se expresa en términos de gramos por centímetro cúbico (g/cc). La densidad de un explosivo es una propiedad muy importante, porque, determina su sensibilidad, su velocidad de detonación y su diámetro crítico de carga.

##### **Presión de explosión o de taladro**

Es la presión sobre las paredes del taladro que ejercen los gases en expansión. Esta presión es también conocida como la presión de explosión de volumen constante.

International Society of Explosives Engineers (2008), indica que “La presión de explosión, en teoría representa el 45% de la presión de detonación”.

### Presión de detonación

Es la presión al inicio de la zona de reacción. Cuando un explosivo detona, inmediatamente libera una presión tremenda traducida en forma de una onda de choque. Se expresa en kilobares (kbar).

### Velocidad de detonación

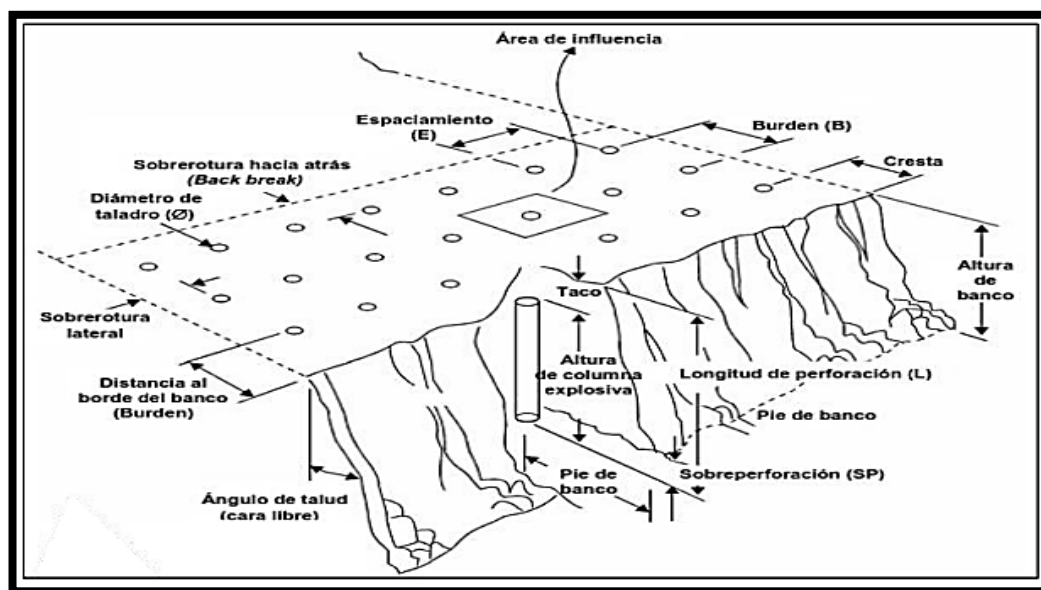
Es la velocidad de propagación de la onda de detonación que viaja a través de la columna explosiva. Por definición es mayor a la velocidad del sonido. Es importante, porque, se emplea para calcular la presión de detonación. Muchos factores que afecta la velocidad de detonación, por ejemplo; tipo de explosivo, diámetro de la columna explosiva, prima o cebo, confinamiento, temperatura, entre otros. Se expresa en m/s.

## 2.1.3.4 GEOMETRÍA DEL DISPARO

### 2.1.3.4.1 Diseño de voladura

Se puede distinguir a continuación de manera gráfica los componentes de las variables de diseño.

Figura N° 11. Parámetros de la voladura en banco.



Fuente: EXSA S. A. Manual Práctico de Voladura. Lima



#### 2.1.3.4.2 Diámetro de taladro

El diámetro de taladro, en muchos casos, es el parámetro más importante en el diseño de perforación y voladura de rocas, porque los demás parámetros están relacionados con esta dimensión. Debe ser evaluada desde dos partes. Primero, es la parte económica de la perforación. Segundo, es el efecto del diámetro en la voladura (fragmentación, proyección de roca, vibración).

Según McKenzie (1994), los factores principales a evaluar para elegir el diámetro de taladro son:

- Costo específico de la voladura ( $\$/m^3$  de roca voladura).
- Fragmentación y la relación entre el espaciamiento de los taladros y de las fracturas.
- Control de la exactitud de la perforación, y su efecto en la fragmentación, seguridad e impacto ambiental.
- Tamaño de la perforadora y la accesibilidad al sitio.
- Altura del banco y la proporción del taladro requerido para el taco.

El diámetro de taladro es frecuentemente relacionado con la altura de banco o longitud de taladro, esto debido a la desviación es menor en taladros cortos y la desviación se incrementa con taladros largos. Entonces cuanto más grande es el diámetro de taladro la perforación es más exacta.

El costo de perforación tomará mayor importancia cuando el espaciamiento las fracturas del macizo rocoso no son un factor crítico.

No obstante, se debe señalar, que, si bien un diámetro grande reduce el costo en perforación y voladura, se pierde algo de control sobre el daño e impacto ambiental porque requieren un factor de carga más alto que mallas perforadas con taladros más pequeños.

McKenzie (1994) sostiene que, “el diámetro de taladro deberá estar entre 0.5% y 1% del largo requerido de taladro (por ej. una longitud máxima de taladro = 100 a 200 veces el

diámetro). Taladros de diámetro más pequeño que esto (y su correspondiente burden y espaciamiento más pequeño) entregará mejor fragmentación, menores vibraciones y permitirán el uso de perforadoras más livianas y móviles, pero probablemente aumentarán el costo de perforación”.

Donde:

Hb: altura de banco (m).

d: diámetro del taladro (m)

$$Hb = 150 d \quad (\text{Ecuación 1})$$

Despejando “d” de la ecuación 1, tenemos:

$$d = Hb/150 \quad (\text{Ecuación 2})$$

#### 2.1.3.4.3 Burden

El burden es muy importante en el diseño de una malla de perforación, ya que garantiza una correcta proyección del material volado, así mismo, controla el tamaño de partícula para la fragmentación requerida.

El burden se puede definir como la distancia del taladro a la cara libre o punto de alivio en una perforación subterránea.

A partir de aquí, podemos plantear los siguientes escenarios:

- Cuando el burden es muy pequeño: Ocurre una proyección no adecuada de la roca, excesiva presión sobre los taladros adyacentes, lo que produce a su vez una fragmentación muy fina.
- Cuando el burden es muy grande: Se produce una sobre rotura en la cara final, proyección hacia atrás de la roca, ocurrencia de Fly rocks, aparecen cráteres, aumenta la vibración y fragmentación gruesa.

Calvin J. Konya modificó la fórmula de R. L. Ash, en la siguiente fórmula:

$$B = 3.15 * De * \sqrt[3]{\frac{\delta e}{\delta r}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

B = burden (pies)

De = diámetro del explosivo (pulg)

$\delta e$  = densidad del explosivo (g/cc)

$\delta r$  = densidad de la roca (g/cc)

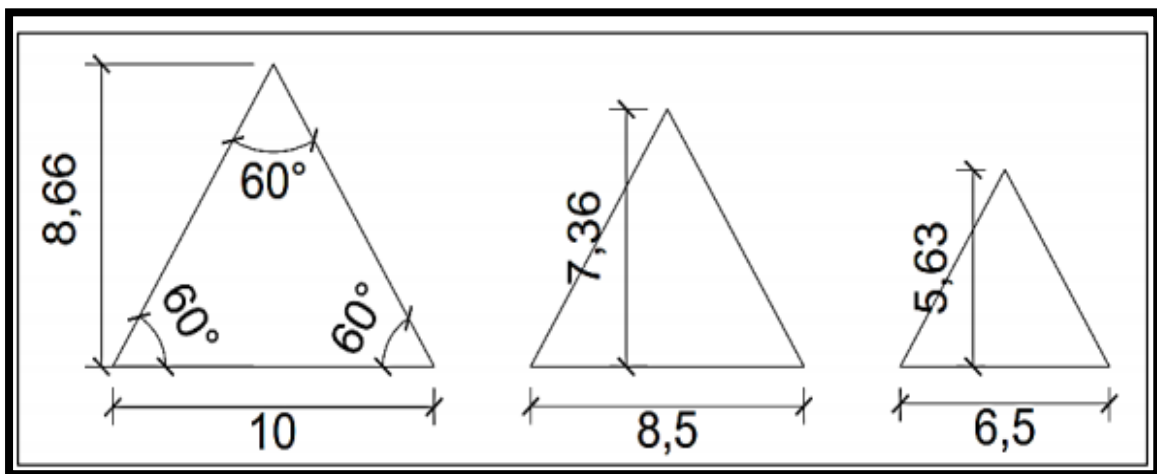
#### 2.1.3.4.4 Espaciamiento

Se recomienda usar una malla triangular equilátera, y no una malla cuadrada, porque aporta más efectividad en la fragmentación de la roca. Por tal razón, el espaciamiento se relaciona, generalmente, con el burden.

McKenzie (1994), sostiene que “evidencias teóricas y prácticas sugieren que la relación óptima S/B para operaciones normales en bancos con mallas trabadas (triangulares equiláteros) está en el rango de 1.1 a 1.4”.

La relación S/B para el tajo Toromocho es de 1.15. Se perforan mallas triangulares equiláteras, según la roca que se tiene por zonas, de las siguientes dimensiones:

**Figura N° 12.** Mallas triangulares equiláteras.



**Fuente:** Orica Mining Services

De la figura 12 se tiene la tabla 1.

**Tabla 1.** Burden y Espaciamiento.

	Burden (m.)	Espaciamiento (m.)
Malla de 10	8.7	10
Malla de 8.5	7.4	8.5
Malla de 6.5	5.6	6.5

**Fuente:** Orica Mining Services

#### 2.1.3.4.5 Taco

El taco es el relleno de la parte superior del taladro con material estéril. Su misión es la de retener los gases producto de la detonación del explosivo, durante fracciones de segundos, suficientes para evitar que los gases fuguen por la boca del taladro, de esta manera trabaje por completo en el proceso de la fragmentación de la roca

- Si no hay taco los gases escaparán a la atmosfera arrastrando gran cantidad de energía que debería actuar en la fragmentación de la roca.
- Si el taco es insuficiente habrá problemas de fuerte ruido por onda aérea, de caracterización y proyección de rocas (fly rock).
- Si el taco es excesivo, se obtendrá gran cantidad de bloques procedentes de la parte superior del banco, por tanto, fragmentación irregular, poco esponjamiento de la pila del material y un nivel de vibración muy alto.

Normalmente, para el taco, se emplea detritus producto de la perforación, debido a su disponibilidad. También es común utilizar arcilla, piedra chancada fina y angulosa. En ocasiones, en taladros inundados, se deja el agua para que cumpla la función del taco. Para la determinación del taco se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El tipo y tamaño del material a utilizar, y
- La longitud de taco.

McKenzie (1994), sostiene que “El material óptimo para el taco es un árido granulado (gravilla angulosa) con un tamaño medio aproximadamente igual a un décimo o un quinceavo del diámetro del hoyo. Luego, un hoyo de 100 mm de diámetro debería utilizar un árido de 10 a 12 mm. Bajo estas condiciones, el largo del taco frecuentemente se puede reducir a casi 20 a 25 veces el diámetro del hoyo”.

La experiencia práctica considera que el taco debería ser como máximo el 50% de la altura de banco. Para calcular la Longitud de Taco (T) tenemos diversos modelos:

- Según la Teoría y Modelo Matemático de Richard L. Ash:

$$T = (0.5 \text{ a } 1.0) B \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde: B = Burden.

- Según la Teoría de Calvin. J. Konya:

$$T = B \quad (\text{Ecuación 5}); \text{ roca estratificada.}$$

$$T = 0.72 B \quad (\text{Ecuación 6}); \text{ roca masiva.}$$

Dónde: B = Burden

#### 2.1.3.4.6 Sobreperforación

Para obtener una fragmentación adecuada al nivel del piso es necesario realizar una sobreperforación. Esto quiere decir que la sobreperforación es perforar una longitud adicional a la de la altura de banco, o perforar por debajo del nivel del piso de banco.

Se entiende que la sobreperforación permite, en el momento de la detonación de la columna explosiva, que la onda de choque se encuentre en su máximo nivel justo en la cota del pie de banco.

$$L = 0.3 B \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde: L: Largo de la sobreperforación (m),

B: Burden (m)

Las variables negativas que produce la sobreperforación son: impacto en los costos unitarios de la perforación, mayor consumo de explosivos, pisos desnivelados, fracturamiento deficitario, molestias en el carguío de explosivos en las áreas desniveladas, mayores registros de vibración, tonelaje por debajo del previsto en los planes de minado y baja productividad en las maquinarias.

### **2.1.3.5 SISTEMA DE INICIACIÓN**

El sistema de iniciación transfiere la señal de detonación de taladro a taladro en un tiempo preciso. La selección del sistema de iniciación resulta crítica para el éxito de una voladura. El sistema de iniciación no sólo controla la secuencia de disparo de los taladros, sino que también afecta la cantidad de vibración generada por una voladura, el tamaño de la fragmentación producida y el rompimiento trasero. Aunque el costo de los sistemas de iniciación es una consideración importante dentro del proceso de selección, debe ser una consideración secundaria, especialmente si el sistema de iniciación más económico causa problemas como: vibración, rompimiento trasero o poca fragmentación. Será un error el seleccionar un sistema de Iniciación basándose estrictamente en el costo.

#### **2.1.3.5.1 Detonadores no eléctricos o pirotécnicos**

Los detonadores no eléctricos, o pirotécnicos, se componen de una cápsula de aluminio, que contiene en su interior una carga base de pentrita, una carga primaria de azida de plomo, un elemento cilíndrico metálico portador de la pasta de retardo llamado portarretardo, un sistema amortiguador de onda de detonación y un tapón de goma semiconductor que sirve como elemento de engarce al tubo de transmisión.

El tubo de transmisión (tubo de choque) consiste en un tubo de plástico laminado multicapa que contiene en su cara interna una finísima capa de material reactivo (18 mg/m +/- 5 mg/m de HMX y Al). Dicho tubo, una vez iniciado, conduce la onda de detonación de baja energía a una velocidad de aproximadamente 2 000 m/s. Este fenómeno de onda de choque se propaga con toda fiabilidad a través del mismo, aunque en él existan dobleces, nudos o cocas. Esta onda de detonación no tiene influencia sobre la columna de explosivo contenida en el taladro, permitiendo la iniciación en el fondo del mismo, ya que la cantidad de materia

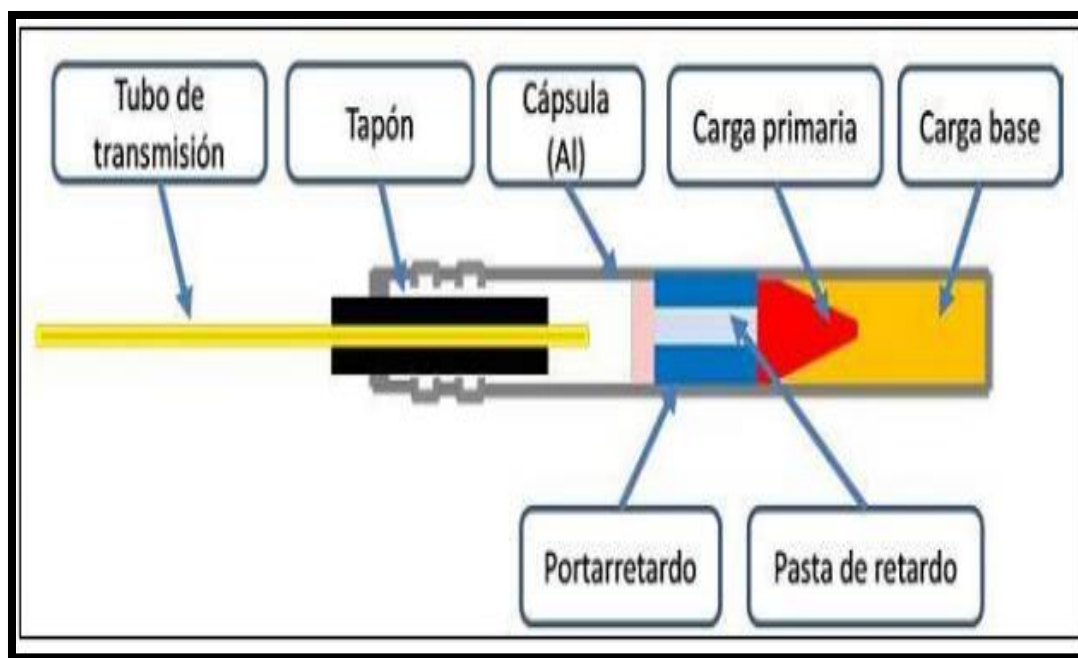
reactiva contenida en él es tan pequeña que la superficie exterior del tubo queda intacta durante el paso de la mencionada onda de detonación.

El tubo de choque no es de naturaleza eléctrica, no puede ser iniciado por ondas de radiofrecuencia, electricidad estática, corrientes erráticas o llama, o las fricciones o impactos comunes en la actividad normal de carga de voladuras.

El elemento portarretardo es de aluminio y contiene una mezcla pirotécnica, que es la que da el tiempo de retardo al detonador. La composición de la parte pirotécnica por su calidad y por el control a la que es sometida, da tiempos de combustión muy precisos y uniformes. El portarretardo recibe la energía de iniciación desde el tubo de transmisión a través de una composición iniciadora situada en la parte superior del mismo que asegura la iniciación adecuada de la mezcla pirotécnica.

Los explosivos que están en primera línea toman la energía del portarretardo, y estas lo transmiten hacia la carga base. Luego la carga base posee la función de activar el booster (alto explosivo).

**Figura N° 13.** Partes de detonador pirotécnico.



**Fuente: Bernaola, Castilla y Herrera. (2013)  
Perforación y Voladura de Rocas en Minería. Madrid.**

- **Partes de un detonador no eléctrico**

**Carga Explosiva:** El extremo inferior del detonador contiene una carga base de PETN y una carga primaria de Azida de Plomo. La suma de las dos cargas define la fuerza del detonador.

**Cushion Disk:** Está diseñado para otorgar una gran resistencia al impacto por simpatía.

**Tren de retardo:** Formado por uno, dos o tres elementos pirotécnicos.

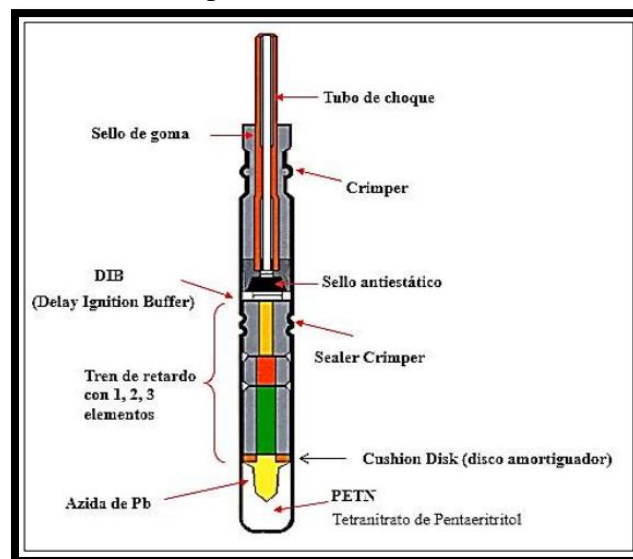
**Sealer Crimper:** Asegura un buen sello interno y un buen alojamiento de los elementos en el interior del detonador.

**Delay Ignition Buffer:** Dinamiza la energía suministrada, algunas de sus bondades son el de generar una mayor precisión, además de evitar la acción reversiva de la onda de choque.

**Sello Antiestático:** Herramienta que sirve para disminuir el riesgo de ocurrencia de una iniciación prematura a causa de alguna descarga estática.

**Crimper y Sello de goma:** Sirve como tapón que evita el ingreso de elementos extraños al detonador.

**Figura N° 14.** Partes de detonador pirotécnico.



**Fuente:** Orica Mining Services



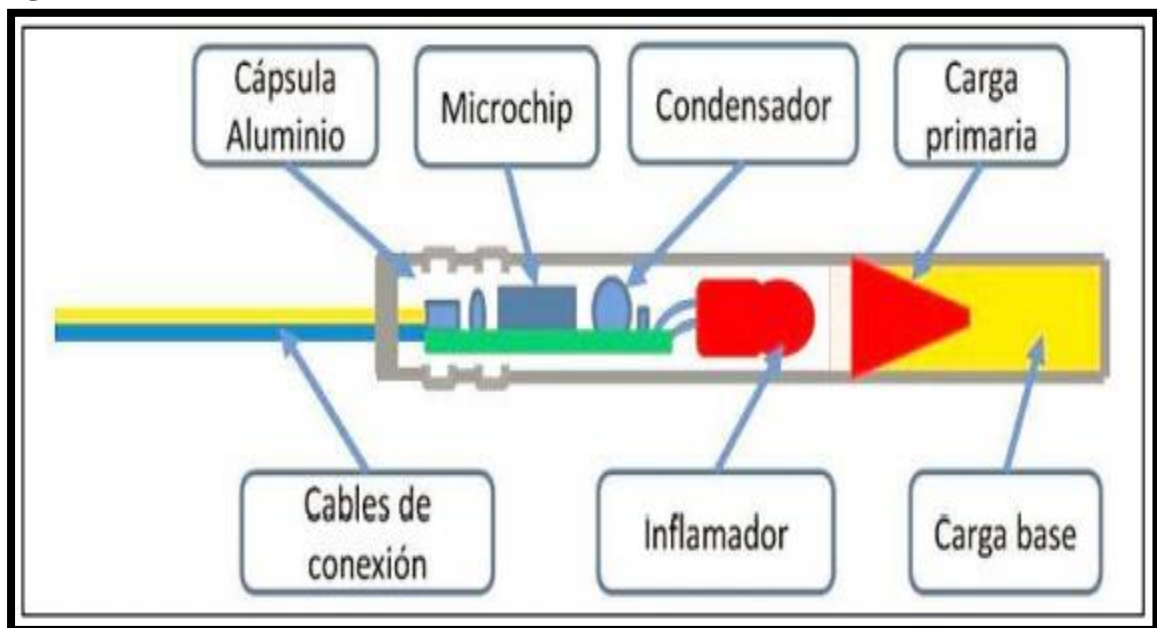
### 2.1.3.5.2 Detonadores electrónicos

Este tipo de detonadores se parecen en estructura a los detonadores pirotécnicos, dentro de su composición podemos encontrar una cápsula de aluminio, un condensador, un chip, un inflamador. Además, podemos encontrar un explosivo primario y un explosivo base. Una de las cualidades más importantes son su seguridad y precisión en el proceso de detonación.

De los distintos tipos de detonadores que encontramos en el mercado, todos presentan algún dispositivo capaz de suministrar energía eléctrica que sirve para programar el chip en su interior. Este chip electrónico es el causante de originar los tiempos de retardo.

A diferencia de los tipos de detonadores convencionales, los detonadores electrónicos no utilizan energía pirotécnica para su iniciación y retraso.

**Figura N° 15.** Partes de detonador electrónico.



**Fuente: Bernaola, Castilla y Herrera. (2013)  
Perforación y Voladura de Rocas en Minería. Madrid.**

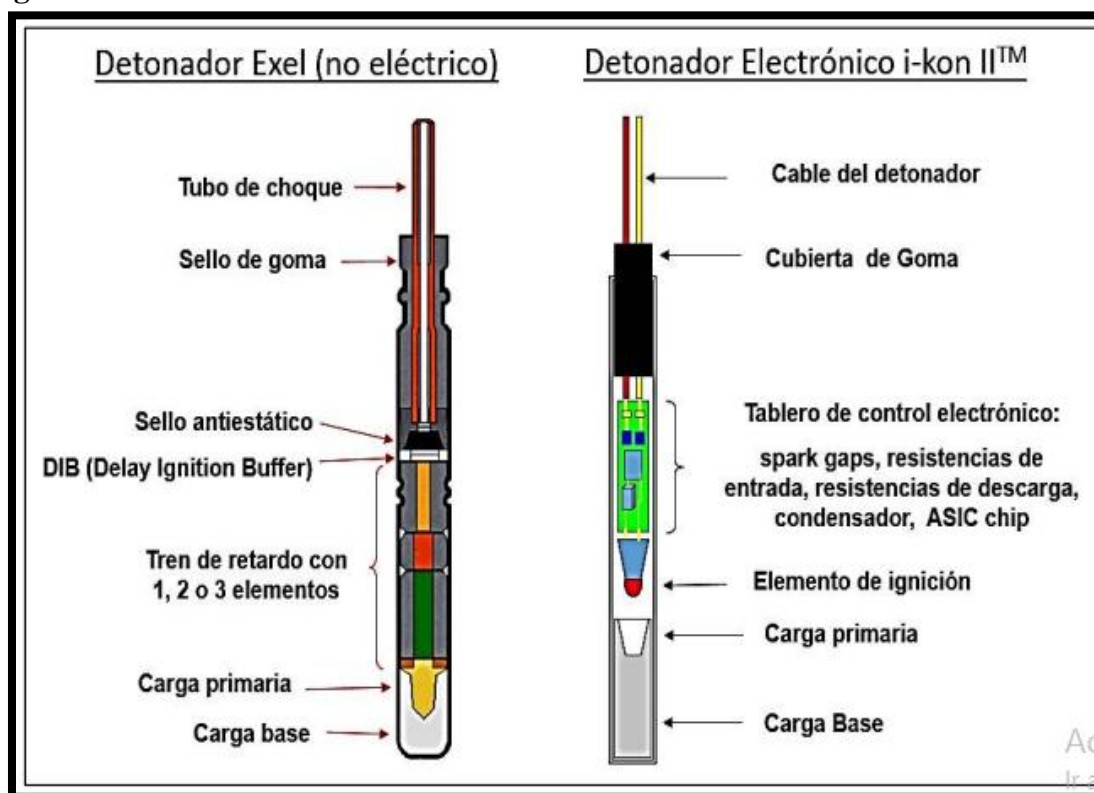
Una de las diferencias que se puede sustraer de los dos tipos de detonadores, es la posición del iniciador. Por ejemplo, en el detonador electrónico, encontramos el iniciador por debajo del módulo de retraso,

Otro diferencial del detonador electrónico es, la utilización de un condensador el módulo de retardo. Por otro lado, el diseño en la construcción de un detonador electrónico cambia según el fabricante.

Lo que, si debemos resaltar en la elección de un detonador u otro, es el precio de cada tipo de detonador. Ya que, el precio de un detonador pirotécnico es mucho mas módico que uno electrónico. Representa casi la quinta parte en cuanto a su costo en el mercado, y estos precios a su vez pueden variar según el fabricante.

Sin embargo, si bien el detonador electrónico es caro con respecto a su otra opción pirotécnica, compensa en otras variables de la voladura que resultan indispensables en la optimización del proceso. Por ejemplo, impacta en la seguridad y lo mas importante, en la fragmentación de roca. Se ahorra de esta manera en voladuras secundarias, que sirven de apoyo cuando no se obtienen un tamaño de roca requerido. Otros impactos en los costes se reflejan en: el carguío, acarreo, chancado y en la molienda de mineral en planta.

**Figura N° 16.** Diferencias de construcción.



Fuente: Orica Mining Services

Existen dos clases de programación en la utilización de un detonador electrónico:

- Clase 01: Instalación programado. – Representa un tiempo de retardo fijo para el diseño de detonación.
- Clase 02: Instalación programable. – Los retardos se pueden programar en campo, de esta manera se ajustan a los requerimientos del manipulador y al diseño de la voladura.

Estos detonadores permiten optimiza el proceso de voladura en su conjunto, por ejemplo, se pueden hacer simulaciones desde la oficina, y controlar de esta manera todas las variables involucradas. Todo esto se puede llevar a cabo gracias a que estos detonadores vienen con un paquete de software añadido.

Otras de las bondades que ofrece este sistema son las siguientes:

- Seguridad.
- Mejor fragmentación.
- Mejor apilamiento del material volado.
- Mejora la productividad de los equipos de minado.
- Mejor control de proyección de rocas (fly rock).
- Mejor control de la estabilidad de taludes.
- Mejor control de las vibraciones.
- Mejor control de la carga operante.

### 2.1.3.6 SECUENCIA DE INICIACIÓN

La secuencia representa el orden de salida de los explosivos en los taladros. Dentro de una malla de perforación, la secuencia de salida determina un menor daño en las paredes o contornos del banco de explotación. Los factores que influyen en un correcto secuenciamiento son: caras libres (cantidad y ubicación), orientación de fallas y diaclasas, dirección de la proyección de roca, etc.

La secuencia de detonación tiene su influencia también en:

- Optimiza la fragmentación de roca
- Influye en la proyección de mineral
- Evita daños en las paredes del talud final
- Disminuye la vibración en los contornos del banco

La secuencia a su vez, estará diseñada de acuerdo a los requerimientos que se desea controlar. Un retardo óptimo dependerá en última instancia de las características de la roca.

#### 2.1.3.6.1 Retardo de taladro a taladro

$$tH = TH * S \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

tH: Retardo de taladro a taladro.

TH: Constante de retardo de taladro a taladro.

S: Espaciamiento.

**Tabla 2.** Constante de retardo de taladro a taladro

Tipo de roca	Constante $T_H$ (ms/m)
Arenas, Margas, Carbón	6.5
Algunas Calizas, Esquistos	5.5
Calizas compactas y mármoles, algunos granitos y basaltos, Cuarzita, algunos gneis	4.5
Feldespatos Porfídicos, gneis compactas y mica, magnetitas	3.5

**Fuente:** Calvin, J. Konya. (1998) Diseño de Voladuras

### 2.1.3.6.2 Retardo de fila a fila

Debemos tener en cuenta lo siguiente al momento de la elección de los retardos por fila:

- Un retardo corto genera un volumen de roca más alto y pegada al talud
- Un retardo corto provoca mayor desgaste trasero
- Un retardo corto origina mas violencia de impacto, mayor presión de aire y aumenta las vibraciones del terreno.
- Un retardo corto tiene el potencial de originar fly rocks

$$tF = TF * B \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde: tF: Retardo ente filas.

TF: Constante de retardo entre filas.

B: Burden.

**Tabla 3.** Constante de retardo de fila a fila.

Resultado	Constante T <sub>F</sub> (ms/m)
Violencia, sobrepresión de aire excesiva, rompimiento trasero.	6.5
Pila de material alta cercana a la cara, sobrepresión y rompimiento moderados.	8.0
Altura de pila promedio, sobrepresión y rompimiento promedio.	11.5
Pila de material dispersión con rompimiento trasero mínimo.	16.5

**Fuente:** Calvin, J. Konya. (1998) Diseño de Voladuras.

## 2.1.3.7 CONTROLES

### 2.1.3.7.1 Control de la fragmentación

Para obtener una buena fragmentación es vital que los taladros de una malla detonen en una secuencia asignada. Si se le asignara un solo tiempo a toda una fila de taladros, las grietas crecerán entre taladros, pero no hacia la cara libre.

Entonces el burden se moverá como una gran hoja de roca, con insuficiente fragmentación en el burden. Si se le asigna un tiempo diferente a cada taladro, la detonación de un taladro fragmenta a la roca circundante que le corresponde, y del mismo modo todos los taladros de una fila.

Una óptima asignación de un tiempo de retardo a los taladros se relaciona con la velocidad en que se mueve la roca fragmentada. Si el movimiento de la masa rocosa es lento se requiere intervalos de tiempo entre taladros más largos.

Sin embargo, si el intervalo de tiempo es demasiado largo que el necesario no contribuye a la fragmentación. Rocas duras y masivas se mueven a una velocidad muy alta, comparado con una roca débil y altamente fracturada. De lo que podemos concluir que el movimiento de la roca fragmentada depende del grado de fracturamiento y la resistencia de la roca.

La velocidad de movimiento de la roca fragmentada de una malla de burden pequeño es más alto que una malla con burden más grande.

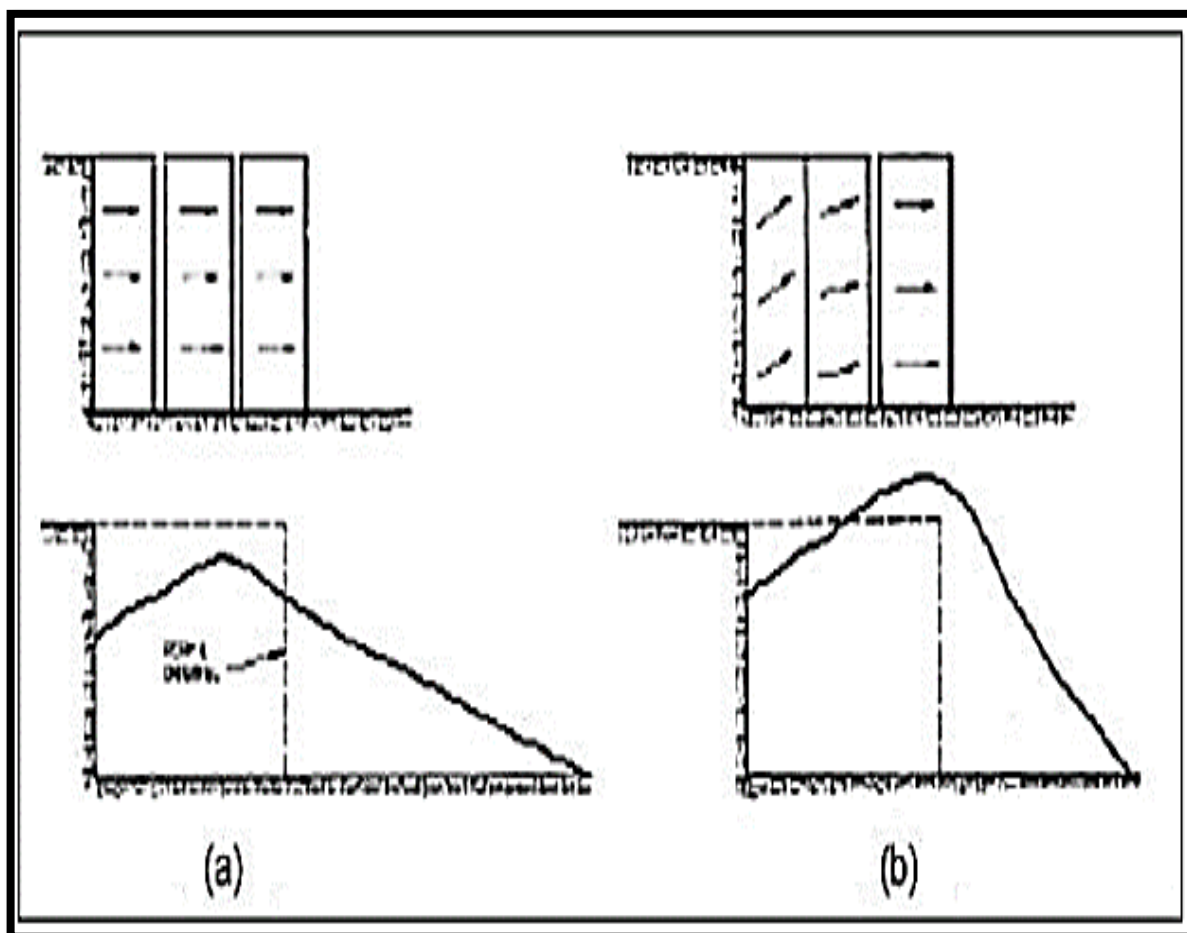
### 2.1.3.7.2 Control de perfil de pila

El tiempo asignado entre filas controla el desplazamiento y apilamiento del material volado. Si el tiempo entre filas es demasiado largo, el material volado se desplaza fila por fila, permitiendo el movimiento del material fragmentado hacia enfrente.

Si el tiempo es demasiado corto, la roca fragmentada será proyectada verticalmente y hasta puede provocar un apilamiento en la parte superior del banco.

Entonces es importante asignar tiempos adecuados entre filas para que el desplazamiento sea de acuerdo a nuestro requerimiento.

**Figura N° 17.** Comparación del perfil del apilamiento en dos diseños de voladura con distinto retardo entre filas.



**Fuente:** Calvin, J. Konya. (1998) *Diseño de Voladuras*.

- a) Si el tiempo de retardo es muy largo, entonces el confinamiento será deficitario.
- b) Intervalos de tiempos cortos entre filas genera desplazamientos verticales.

### 2.1.3.7.3 Sobre quiebre y control de daño

El sobre quiebre se refiere a al daño que se provoca a la nueva cara del banco. Esto se debe principalmente a tiempos cortos. Se explica este fenómeno porque si la última fila de taladros, pegado a la nueva cara del banco, tiene tiempos cortos entonces en el momento de

su detonación se encontrará demasiada confinada por el material ya fragmentado, entonces la expansión de los gases será de forma vertical. Ya que la expansión de los gases comienza en el fondo del taladro formando un cráter causa fracturamiento en la nueva cara del banco.

Entonces el principal factor para el sobre quiebre es la expansión de los gases, y este efecto se puede minimizar asignándoles tiempos largos a los taladros de la última fila, de esta manera disminuir el confinamiento de estos taladros.

También se debe tener en consideración que las altas vibraciones causan daños al nuevo talud. Al ser la vibración un esfuerzo dinámico y si éste esfuerzo aumenta entonces también el grado de daño al macizo rocoso. Por lo tanto el tiempo asignado a cada taladro debe ser único con el objetivo de que detone un taladro a la vez, uno tras otro, y de esta manera controlar el daño al nuevo talud y taludes ya existentes.

#### **2.1.3.7.4 Control de proyección de rocas (fly rock)**

Fly rock es la proyección de rocas a distancias muy lejanas a las cuales no deberían llegar. Para cuidar a los equipos de la proyección de rocas se les aleja generalmente, en un radio de 200 o 300 metros, y las personas deben estar fuera de un radio de 500 metros en línea recta desde el punto de disparo.

Para prevenir accidentes por proyección de rocas el DS 024-2016- EM en su Artículo 267 señala que “El carguío de taladros podrá hacerse tanto de día como de noche, mientras que el amarrado y el disparo sólo podrá realizarse durante el día. (...) teniendo especial cuidado de comprobar que los trabajadores hayan sido evacuados fuera del área de disparo en un radio de seguridad de quinientos (500) metros”.

La proyección de roca o fly rock es influenciado directamente por el tiempo de retardo en los taladros. Tiempos excesivamente cortos entre filas aumenta los problemas de fly rock. Éste fenómeno se explica porque la primera fila al salir no le deja tiempo necesario para moverse cuando la segunda fila sale, por lo que la segunda fila tendrá una resistencia añadida, lo que provocará que la energía se proyecte verticalmente lanzando rocas al aire.



#### **2.1.3.7.5 Control de vibración**

Cuando detona una carga explosiva, en nuestro caso, un taladro o una malla completa, instantáneamente la carga produce energía de gas y de choque. La onda de choque, en mayor proporción es el responsable de las vibraciones. La onda de choque a su vez está compuesta de ondas compresionales, ondas transversales y ondas superficiales. Estas ondas viajan a diferentes velocidades y con sus respectivas características de movimiento, produciendo deformaciones y tensiones lo que a su vez generan una perturbación a la roca, edificaciones y personas circundantes a la voladura.

Para controlar la vibración durante la voladura es necesario que los tiempos de retardo a cada taladro sean tal que aseguren que las vibraciones de la detonación de un taladro se disipen antes que detone el taladro siguiente taladro. Es de esta manera se controla que los efectos de taladros sean independientes y que no sumen entre dos o más sus niveles de vibración.

Como observación práctica, las rocas competentes y quebradizas requieren tiempos de retardo más cortos que rocas blandas y altamente fracturadas.

#### **2.1.3.8 DESCRIPCIÓN DE DETONADOR ELECTRÓNICO – SISTEMA I-KON**

I-kon es un moderno y preciso Sistema de Iniciación Electrónica, que puede controlar la energía desprendida por una voladura optimizando la fragmentación, disminuyendo el daño por vibraciones y controla la dilución. Este sistema redefine los conceptos de precisión, exactitud, flexibilidad y seguridad.

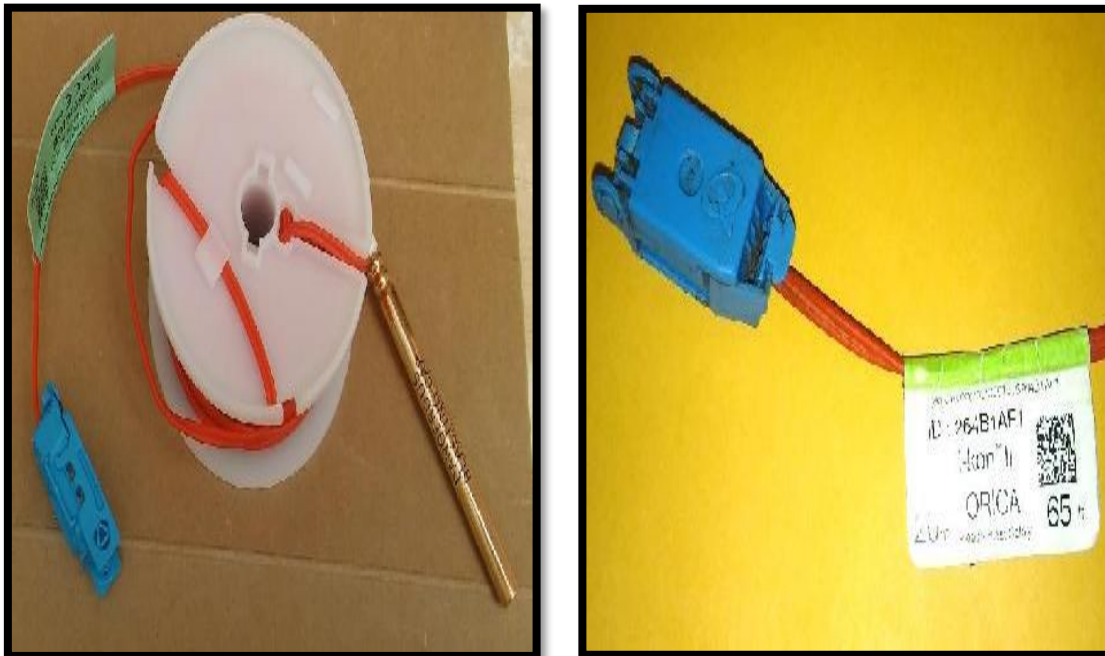
##### **2.1.3.8.1 Detonador I-kon**

Cada detonador tiene un número único de identificación de fábrica (ID), que está escrito electrónicamente en la memoria del chip y que es asignado una vez que se han completado exitosamente todos los test de seguridad y de funcionamiento. El número ID va impreso en los cables conductores. A través de una etiqueta en el cable, se describe según un código de colores, este código está dispuesto según la longitud del cable. Los detonadores tienen la capacidad de comunicarse bidireccionalmente.

### Características:

- Identificación única (ID).
- Precisión  $\pm 0.003\%$
- Potencia 900 mg de pentrita.
- Resistencia a la presión dinámica hasta 100 MPa.
- Fácil de programar, desde 0 a 30 000 ms (en incremento de 1 ms).
- Comunicación bidireccional entre el control del equipo y detonador.

Figura N° 18. Detonador electrónico I-kon.



Fuente: Orica Mining Services

#### 2.1.3.8.2 Logger

Congrega los número ID de hasta un máximo de 200 detonadores, asigna así mismo, a cada detonador un número de secuencia y un retardo.

El logger supervisa por así decirlo la comunicación entre detonadores, y detecta probables fugas corrientes.

**Figura N° 19. Logger**



**Fuente: Orica Mining Services**

### **2.1.3.8.3 SURBS: Sistema de detonación de superficie por control remoto**

Permite la activación remota de la detonación, esto salvaguarda la seguridad del encargado de iniciar el proceso de voladura. Esta equipado por: Caja de detonación a control remoto denominado SURBB, y un blaster 2400R.

- **SURBB**

Complementa al blaster en su iniciación, es el encargado de recibir las señales originadas en el blaster y suministra la energía de detonación a logger.

- **Blaster**

Herramienta encargada de iniciar la voladura, sus funciones son:

- Manipular el SURBB.
- Comprueba el estado de los detonadores y a partir de esto reproduce un informe.

- Optimiza la comunicación a través de la prueba en varios lugares remotos antes de la detonación.
- Sabe reconocer cualquier error, muestra el tipo de error en el que se incurrió y paraliza el proceso de detonación si las circunstancias lo ameritan.
- El Blaster envía la orden de activar al SURBB.
- Funciones:
  - ✓ Calibra los detonadores.
  - ✓ Programa los detonadores.
  - ✓ Carga los detonadores.
  - ✓ Reporta errores.
  - ✓ Secuencia regresiva para disparar.
  - ✓ Disparo (remoto y con cable).
- Capacidad:
  - ✓ Blaster 2 400: 12 Loggers (2 400 detonadores).
  - ✓ Blaster 400: 2 Loggers (400 detonadores).

**Figura N° 20.** SURBB (izquierda) y Blaster (derecha).



**Fuente: Orica Mining Services**

### ➤ **Principio de funcionamiento**

La SURBB se sitúa cerca del detonador y de los Loggers. El Blaster controla la SURBB desde un lugar seguro para la detonación. Utilizando módems de datos alojados dentro de cada dispositivo, un enlace establece la comunicación. Estas conexiones de radio funcionan como un "cable de detonación" para transmitir datos entre los detonadores, los Loggers, la SURBB y el Blaster. La SURBB genera un código de encriptación único al activarse y lo transmite al Smart Dongle. El Blaster2400R establece una comunicación bidireccional entre el Blaster y la SURBB cuando el Dongle de la SURBB se inserta en el puerto Dongle del Blaster.

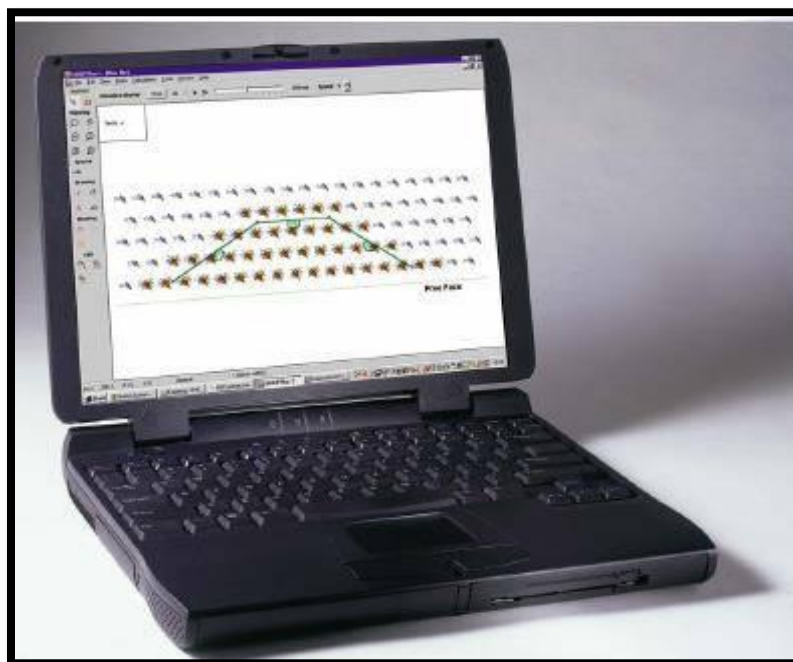
### ➤ **Límites**

- Hasta 12 Loggers cada uno con hasta 200 detonadores (2400 detonadores) pueden ser conectados al SURBB.
- La distancia de radio es de 2.5 km en línea con las antenas de suministro.
- Durante la programación remota controlada de los detonadores, el SURBB opera a 24 V.
- El voltaje máximo en el cable de detonación es de 4V, así como cada Logger debe abastecerse con 20 V. Cualquier voltaje adicional causaría fuga de corriente.

### ➤ **ShotPlus-i**

- Herramienta para el diseño digital de la voladura.
- Permite trabajar con los planos de diseño y programar los tiempos.
- Simula la voladura.
- Analiza la secuencia de detonación.
- Permite descargar el diseño a los Loggers.

**Figura N° 21.** ShotPlus.

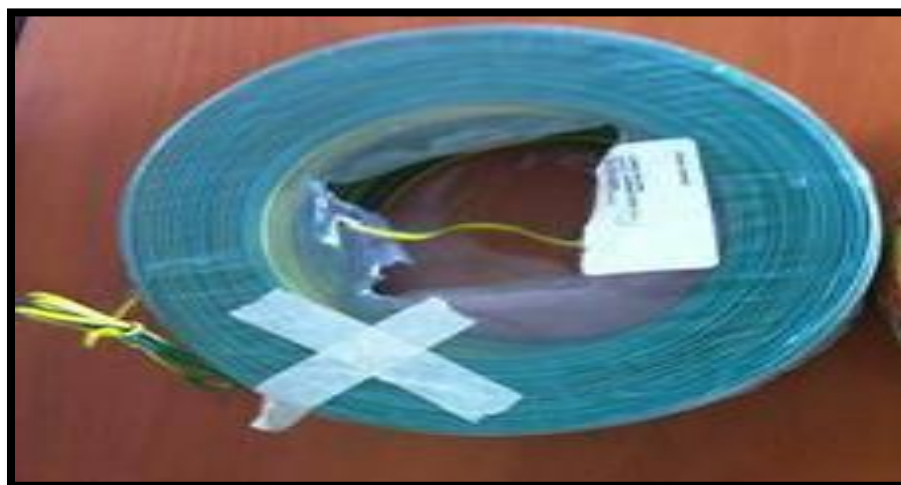


**Fuente:** Orica Mining Services

➤ **Cable de conexión**

Cable dúplex de cobre utilizado para conectar los detonadores electrónicos de la pantalla de descarga al Logger. Se suministra en bobinas de 400 metros. Tiene una resistencia de 130 /Km (en condiciones óptimas y sin fugas).

**Figura N° 22.** Cable de conexión.



**Fuente:** Orica Mining Services

### 2.1.3.9 SEGURIDAD DEL SISTEMA

#### ➤ **Back Up**

Es la utilización y conexión de respaldo no eléctrico:

- En el caso que, durante el proceso de registro o testeo final de los detonadores, alguno de estos no presente señal de respuesta por posible daño del cable del detonador o excesiva fuga de corriente, se procede a la utilización del respaldo no eléctrico (back up).
- La salida del taladro utilizando el respaldo, se debe realizar a través de otro detonador electrónico conectado en superficie al tubo de choque del detonador no eléctrico. Este detonador electrónico debe llevar un tiempo cero de tal manera que salga antes de la secuencia de disparo.
- El taladro en donde se realiza un Back Up, será identificado correctamente en campo y en plano.
- Después del disparo, se demarcará con conos y banderolas la ubicación del Back Up. Y el personal de ingeniería alimentará al sistema de navegación de las palas la ubicación de estos.

#### ➤ **Causas de falla**

- Desconexión de cables: El conector de los detonadores se desconecta al cable de conexión debido a una deficiente manipulación, provocándose problemas de conductividad o la desconexión de los conductores.
- Daño en aislación: Ocurre principalmente durante el proceso de “Carguío” o “Tapado de Taladros”, esto debido a que, al depositar el explosivo o el material de tapado, se produce un roce entre el conductor y el material, lo cual ocasiona que el aislante de los conductores del detonador se deteriore o se corte. Lo que producirá fugas de corriente o pérdidas de voltaje.
- Interferencias: Es causada por fuertes radiaciones electromagnéticas externas a la malla de voladura, esta radiación afecta la comunicación entre Logger y Blaster o entre Logger y detonadores. Las fuentes de radiación pueden ser antenas de comunicación

(wifi, celular, comunicación de radio) o fuentes de alta tensión, como cables alimentadores de palas eléctricas o perforadoras.

- Daño de fábrica: Como su nombre lo indica, el daño viene desde la fábrica, el nivel de esta falla a diferencia de los casos anteriores depende de cuándo se detecta y que tan fácil es reemplazar el dispositivo defectuoso.
- Daño de operación: Se refiere a los problemas ocasionados meramente por manipulación y por no seguir el estándar de operación.
- 

➤ **Detalle de falla: causas, efectos y soluciones**

A continuación, se desarrolla cada falla, especificando sus causas, efectos, y las medidas usadas para componer la falla.

- **Fallas de comunicación:**

Esta falla se presenta en distintas partes del proceso y se debe principalmente a una desconexión de los cables que impide la comunicación entre detonador y Logger o entre Blaster y Logger.

Si reconectar el cable no soluciona el problema entonces se procede a cambiar el detonador electrónico por uno pirotécnico (back up).

- **Error de datos:**

Este error se produce usualmente cuando existe conexión entre los equipos, pero la comunicación entre ellos no es fidedigna. Esto se debe a: interferencias de señales electromagnéticas o daños en la aislación del cable conductor del detonador.

Si la falla es causada por un daño en la aislación en la etapa de registro, reemplazar inmediatamente el detonador electrónico por uno pirotécnico (back up).

Ahora el error ocurre en la “Prueba de Funcionamiento”, en la “Programación” o en el “Disparo”, la falla es más crítica. En este caso se debe realizar una búsqueda de los



detonadores que podrían estar causando este efecto y reemplazarlos por detonadores pirotécnicos.

Si la falla es la interferencia de fuentes de energía de alrededor de la voladura, como, por ejemplo, los cables de alimentación de los equipos usados en la mina, o torres de alta tensión, o fuentes de señal de comunicación; despejar la fuente de energía o reorientar los cables que se ven afectados.

Si la falla persiste en el proceso de “Disparo” la voladura debe suspenderse.

- **Fuga de corriente:**

Se producen por causa de daño en el cable del detonador o cable de conexión. Si el cambio del cable conexión no soluciona el error, entonces proseguir con la verificación del cable del detonador. Si la fuga de corriente ya no se puede pasar por alto, y el taladro ya fue cargado y tapado, se debe intentar minimizar la fuga cambiando la polaridad del conector. Si la fuga de corriente es mayor y no es posible despejarla o minimizarla, será necesario cambiar el detonador electrónico por el pirotécnico (back up).

Si la falla se presenta en la “Prueba de Funcionamiento” o en la “Programación”, realizar lo mencionado antes.

Si la falla se presenta en el “Disparo” la voladura debe suspenderse.

- **Problemas en dispositivos:**

Esta falla se puede dar tanto por problema de fábrica o por un daño provocado en la operación. El Logger, Blaster y los Detonadores son los dispositivos que se ven afectados por estos problemas.

Si en el proceso de “Registro de Detonadores” el problema es del detonador, se debe reemplazar el detonador electrónico por el pirotécnico (back up).

Si el error es el Logger o el Blaster, reemplazar inmediatamente los dispositivos y continuar con el proceso. Si no existe repuesto para cambiar los dispositivos se debe suspender la voladura hasta que se tenga acceso a dispositivos funcionales.

- **Registro repetido:**

Esta falla se produce cuando se conecta y desconecta un detonador en la etapa de “Registro de Detonadores”, esto puede ser causado por una conexión insegura y sólo basta volver a conectar el detonador y continuar con la operación. Si la falla persiste implica que el cable del detonador está malo o destruido por lo que se debe reemplazar el detonador por uno pirotécnico (back up).

- **Cables desconectados:**

Esta falla se debe a una conexión mal hecha. El problema se presenta en la conexión entre Logger y Blaster. Basta con realizar nuevamente la conexión. Si la falla persiste entonces el cable de conexión se deben reemplazar.

- **Falla de operación:**

Ocurre en el “Primado” o en el “Carguío”, es por una caída de la prima (Booster y Detonador Electrónico) o por un golpe severo que significa el corte del cable del detonador. Se debe volver a primar el taladro.

### 2.1.3.10 OPERACIÓN

➤ **Antes de ir al proyecto de la voladura**

Asegúrese de lo siguiente antes de dirigirse al proyecto de chorreado: - El equipo está completamente cargado y dispone de todos sus conectores.

- El aparato está en perfecto estado de funcionamiento.

- El diseño de la explosión se ha impreso y está disponible para su uso en el lugar de trabajo.

- El software Shot Plus proporciona una impresión del plan de explosión que verifica la siguiente información:

- Número de barreno.
- Periodos de retardo.
- Dirección del tirante.

➤ **Durante la operación**

Para comenzar a configurar el registro de detonadores, seleccione la opción Registrar Detonadores del Menú del Registrador. El Logger está ahora preparado para registrar un detonador. Para conectar o registrar un detonador, el cable debe insertarse en los puertos terminales del conector. Al cerrar el conector, se corta el aislamiento y los cables hacen contacto con los terminales. Esto permite al Logger comunicarse por cable con el detonador. El conector del detonador electrónico está lubricado para evitar que la humedad llegue a los terminales y evitar así la posibilidad de un derrame. Si la conexión es sólida y el detonador responde, el operador lo verifica emitiendo tres breves sonidos. El tiempo de retardo requerido para cada detonador se introduce en la memoria del Logger y se escribe junto con el ID del detonador y la posición secuencial de la conexión. Cualquier excepción al plan de explosión (como un orificio cerrado o sin perforar, un detonador que falta, una fuga de corriente, una copia de seguridad, una fuga excesiva o modificaciones en los cables) debe anotarse en el plan.

**Figura N° 23.** Conexión del conector al cable de conexión.



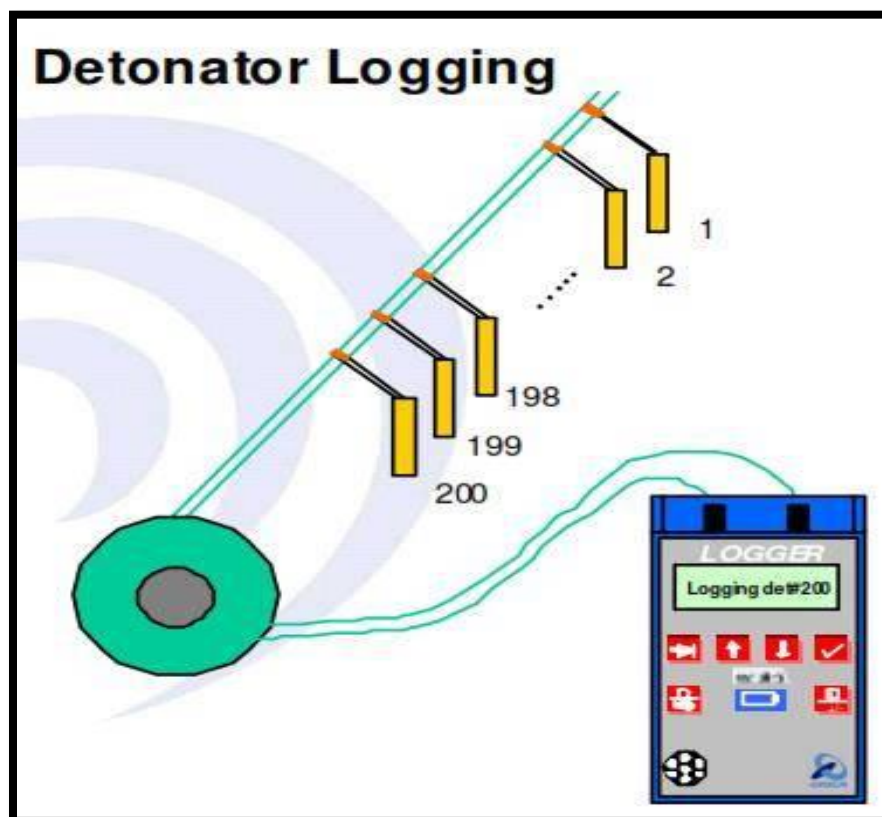
**Fuente:** Orica Mining Services

**Figura N° 24.** Conexión y registro de los detonadores.



**Fuente:** Orica Mining Services

**Figura N° 25.** Conexión de los Detonadores al Logger.



**Fuente:** Orica Mining Services

### 2.1.3.11 DISPARO

#### ➤ **Antes de disparar**

- Evaluaciones finales antes de la detonación.
- Pruebe los detonadores. Si hay errores, corregirlos.
- Medir las fugas. Si hay una fuga, asegúrese de que se cumplen las especificaciones del sistema.
- Asegúrese de que los Loggers están desactivados antes de conectarlos al Blaster.
- Antes de conectar el Blaster y comenzar la programación, asegúrese de que todo el personal de la mina está seguro y que la zona de explosión está despejada.

#### ➤ **Disparo**

- Si no se han encontrado errores de programación, el Blaster se pone en descarga. - El disparo se produce a la señal y aprobación del ingeniero de perforación y voladura. Para descargar, debe pulsar simultáneamente dos teclas de disparo.

Si la explosión debe ser cancelada durante o después de la programación del detonador, espere siempre cinco minutos antes de entrar en la zona de voladura. Transcurrido este tiempo, se descargará el condensador del detonador.

## CAPITULO III

### METODOLOGIA

#### 3.1 EL PROBLEMA

##### 3.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En la actualidad la minería necesita que los procesos de voladura sean de gran precisión y eficiencia puesto que este proceso es primordial para la producción minera. Producto de estas razones, nacen los detonadores electrónicos, que en la actualidad abarcan prácticamente la totalidad de la Gran Minería.

Las voladuras electrónicas por su mayor precisión tienen efectos secundarios positivos en distintos procesos posteriores, permitiendo ahorrar hasta un 30% de los costos aguas abajo, esto se debe principalmente a la mejor fragmentación que otorga este tipo de iniciación. Sabemos que los equipos de voladura electrónica tienen un mayor costo y necesitan mayor cuidado, pero estos costos resultan ser una inversión debido a los beneficios de este método.

Los detonadores de retardo electrónico tienen mucha mayor precisión respecto a los de voladura pirotécnica, tienen mayor eficiencia y rendimiento técnico debido a la capacidad de control y monitoreo sobre las operaciones.

Minera Chinalco es una mina cuprífera. Cuenta con una planta concentradora que procesa 117,200 toneladas diarias de mineral y producirá, durante los 36 años de vida de la operación, un promedio de 1838 toneladas diarias de concentrado de cobre y 25.7 toneladas diarias de óxido de molibdeno.

La optimización de la voladura con el empleo de detonadores electrónicos traerá grandes beneficios a la operación con en el minado, chancado y molienda, obteniendo mejores resultados en el costo global mina.

### **3.1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El requerimiento de la planta concentradora de Toromocho, con respecto a la fragmentación es como P80 de 4 pulg de tamaño de roca. Esta fragmentación no es posible obtener en las voladuras con detonadores no electrónicas.

La muestra de estudio, de dureza 3-4, con litología predominante Pórfido graniorítico, el P80 es de 5.80 pulg.

En cuanto al costo, el detonador no eléctrico cotiza en 6.15 \$ (dólares) mientras que el detonador electrónico cotiza en 22.77 \$ (dólares); esto varía según el proveedor. El alto costo del detonador electrónico se ve retribuido en una óptima voladura, lo que a su vez optimiza el carguío, acarreo de mineral, chancado y molienda

Por lo tanto, con el presente trabajo de investigación se desea estudiar y brindar información de cómo se logra optimizar la voladura empleando detonadores electrónicos.

#### **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿De qué manera influirá la optimización de la voladura con el empleo de detonadores electrónicos en la Compañía Minera Chinalco Perú S.A. – 2021?

### **3.1.3 OBJETIVOS**

#### **3.1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar de qué manera el empleo de detonadores electrónicos optimiza la voladura en la Compañía Minera Chinalco Perú S.A. - Morococha, Yauli – Junín

#### **3.1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer las propiedades de los detonadores electrónicos.
- Definir los procedimientos, conceptos y prácticas para la utilización de detonadores electrónicos.

- Determinar en qué medida la voladura con detonadores electrónicos optimiza la productividad de las operaciones mineras.

### **3.1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Tiene como justificación que voladura empleando detonadores no electrónicos, no presenta un rendimiento muy positivo ni mucho menos alentador a futuro, por lo que la productividad no es el más óptimo en los equipos de carguío, de acarreo y chancadora.

Estudiar las ventajas y desventajas de los detonadores electrónicos y determinar el efecto que tiene para optimizar la voladura en la Compañía Minera Chinalco Perú S. A., de la misma manera lograr obtener futuros resultados y contribuir al factor humano comprometido con la productividad de la misma.

### **3.1.5 LIMITACIONES**

Las limitaciones que se presentaron en el desarrollo del presente proyecto de investigación son de carácter económico y bibliográfico, puesto que resulta difícil obtener datos confidenciales de la empresa, principalmente del área de voladura.

### **3.1.6 ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente tema de investigación tiene un alcance dirigido hacia los futuros profesionales de Ingeniería de Minas y afines al campo de la ingeniería, es diseñado para la Compañía Minera Chinalco Perú S.A., con la predisposición de contribuir a la utilización de detonadores electrónicos para optimizar la voladura, y de este modo obtener mayor productividad y menor impacto ambiental además de la aplicación a otras mineras.



## **3.2 HIPÓTESIS**

La optimización de la voladura influirá significativamente con el empleo de detonadores electrónicos en la Compañía Minera Chinalco Perú S.A.

## **3.3 VARIABLES**

### **3.3.1 VARIABLE DEPENDIENTE**

Optimización significativa de la voladura.

### **3.3.2 VARIABLE INDEPENDIENTE**

Empleo de detonadores electrónicos.

## **3.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Este estudio cumple los requisitos metodológicos de un estudio aplicado.

Porque las aportaciones pretenden arrojar luz sobre la comprensión y/o resolución, en su caso, de algún fenómeno o aspecto de la realidad en el ámbito de una disciplina científica concreta.

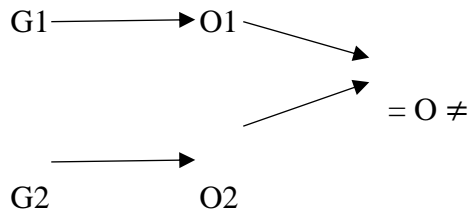
### **3.4.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

El nivel de investigación es descriptivo.

Porque especifica cómo es y cómo se manifiesta un fenómeno o acontecimiento, cuando pretende medir y evaluar aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno estudiado.

### 3.4.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación es descriptivo comparativo, por lo que el diseño será:



Donde:

G1: Grupo 1

O1: Observación 1.

G2: Grupo 2.

O2: Observación

### 3.4.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

#### POBLACIÓN

La población son los bancos de producción en el tajo Toromocho.

#### MUESTRA

La muestra será el banco 4698 del tajo.

### 3.4.5 TÉCNICAS, INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Como instrumentos de recolección de datos de información se utilizará la base de datos del informe de voladura realizada en el tajo, por intermedio de jefe de Geotecnia de la empresa. Así mismo se revisará la bibliografía relacionada a los detonadores electrónicos.

### 3.4.6 FORMA DE TRATAMIENTO DE DATOS

Como consecuencia de la información recopilada, se utilizarán cálculos como la estadística descriptiva para procesar los datos en este proyecto de investigación. Para su posterior análisis de los datos adquiridos entre una voladura con detonadores pirotécnicos y otra con detonadores electrónicos, así como su repercusión en las operaciones posteriores a la voladura.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

#### 4.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Los procesos de voladura deben ser extremadamente precisos y eficaces en la minería moderna, ya que este proceso es esencial para la producción minera. Como consecuencia de estos factores, se crearon los detonadores electrónicos, que ahora se utilizan en prácticamente todas las operaciones mineras a gran escala.

Mínera Chinalco es una mina de cobre ubicada a 4,500 msnm en el distrito de Morococha, provincia de Yauli, región de Junín. Se trata de una mina a cielo abierto.

El uso de la voladura electrónica por parte de Chinalco tiene efectos colaterales positivos en varios procesos posteriores, permitiendo reducciones de costos de hasta un 30%, principalmente debido a la mejor fragmentación que proporciona esta forma de iniciación. Somos conscientes de que los aparatos de voladura electrónica son más caros y requieren más cuidados, pero las ventajas de este método hacen que estos costos merezcan la pena.

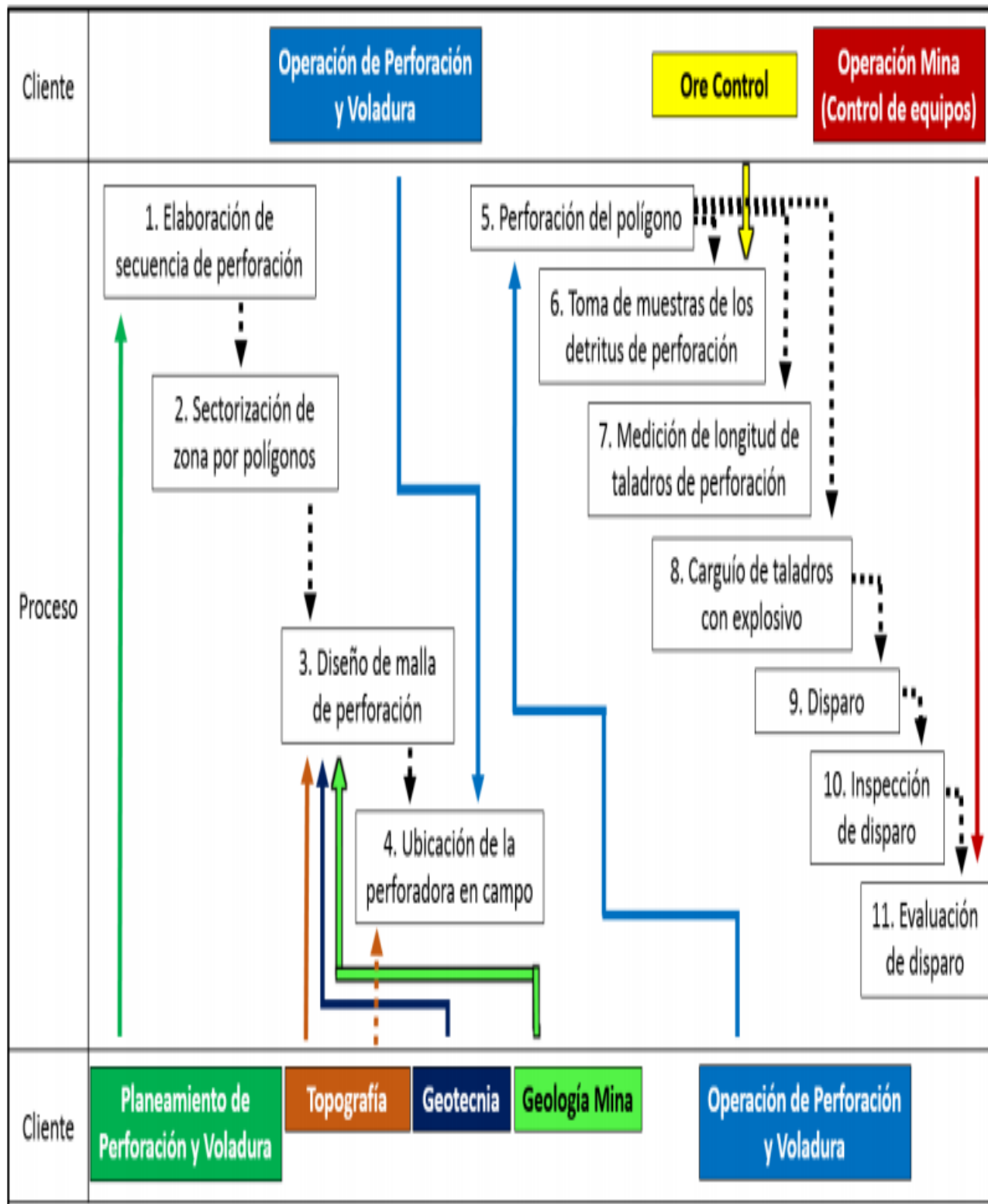
Los detonadores electrónicos de retardo son significativamente más precisos que los detonadores pirotécnicos de voladura, tienen mayor eficacia y rendimiento técnico como resultado de su capacidad para controlar y supervisar las operaciones y, por lo tanto, son superiores a los detonadores pirotécnicos de voladura.

La utilización de detonadores electrónicos para optimizar las voladuras genera importantes beneficios para las operaciones de minería, trituración y molienda, reduciendo así el costo global de la minería.

#### **Procesamiento de datos**

Para realizar el procesamiento de los datos es necesario tener en cuenta el proceso de perforación y voladura propuesto. Este proceso nos servirá de guía para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

**Figura N° 26.** Proceso de Peroración y Voladura



Fuente: Orica Mining Services

El proceso de perforación y voladura:

1. Elaboración de secuencia de perforación.
2. Sectorización de zona por polígonos
3. Diseño de malla de perforación.
4. Ubicación de la perforadora en campo.
5. Perforación del polígono.
6. Toma de muestras de los dentritus de perforación.
7. Medición de longitud de taladros de perforación.
8. Carguío de taladros con explosivo.
9. Disparo.
10. Inspección de disparo.
11. Evaluación de disparo.

#### 4.1.1. Costo por 100 taladros de detonadores no eléctricos vs electrónicos

**Tabla 4.** Costo por 100 taladros de detonadores no eléctricos.

<b>DETONADOR NO ELECTRONICO</b>				
	NUMERO DE TALADROS	CANTIDAD	COSTO	COSTO TOTAL
		UNIDAD	US\$/U	US\$
Booster 2Lb	100	1	11.72	1172.00
Detonador No electrónico	100	2	6.15	1230.00
Conectadet	100	1	3.49	418.80
Linea Exel TD	100	1	11.68	11.68
<b>TOTAL</b>				<b>2832.48</b>

**Fuente: Elaboración Propia.**

**Tabla 5.** Costo por 100 taladros de detonadores electrónico.

<b>DETONADOR ELECTRONICO</b>				
	NUMERO DE TALADROS	CANTIDAD	COSTO	COSTO TOTAL
		UNIDAD	US\$/U	US\$
Booster 2Lb	100	1	11.72	1172.00
Detonador Electrónico (i-kon)	100	1	22.77	2277.00
Cable de conexión	100	1	3.77	11.31
Detonador no electrónico	100	1	6.15	615.00
<b>TOTAL</b>				<b>4075.31</b>

**Fuente: Elaboración Propia.**

#### **4.1.2. Voladuras empleando detonadores no eléctricos y electrónicos**

La voladura con el empleo de detonadores electrónicos, ya sea a corto, mediano o largo plazo, es la opción más sostenible con una buena rentabilidad en el tiempo para la empresa Minera Chinalco S.A.

Por ello, brindamos información que concierne a una evaluación entre una voladura empleando detonadores electrónicos, y no electrónicos. El tajo de la Zona Este, que presenta una dureza 3 y 4, con una predominante litología de Pórfido graniorítico. Para la evaluación de las voladuras sólo se tomó en cuenta la dureza de la roca.

Los resultados de la voladura con detonadores no eléctricos y electrónicos se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 6. Detalles de las voladuras, roca de dureza 3 y 4.

FECHA	INICIACIÓN	LUGAR	NIVEL	PROYECTO	TIPO DE MALLA	DIAMETRO DE TALADRO	ALT. DE TALADRO	CANT. EXPLOSIVO	ALT. DE CARGA	TACO	BURDEN	ESPACIAMIENTO	TIPO DE EXPLOSIVO	CANTIDAD DE EXPLOSIVO	FACTOR DE CARGA	TIEMPO ENTRE TAL.	TIEMPO ENTRE FILAS	TONELAJE ROTO	P 80	PALA	THROUGHPUT EN CHANCADORA PRIMARIA	THROUGHPUT EN MOLIENDA SAG	NUMERO DE TALADROS
						pulg	m	Kg	m	m	m	m		Kg	Kg/Th	ms	ms	Th	pulg	Ton/Hr	TMH	TMH	
3-Jun	P	CT	4710	13	P	12 1/4	17.5		9	8.5	8.7	10	HA 46	192612	0.27	17	100	713565	5.84	8340.6	3963.3	3942.8	236
12-Jun	P	F1	4965	3	P	12 1/4	16.5		8	8.5	7.4	8.5	HA 46	188670	0.30	17	100	620298	6.25	8376.7	4196.9	4047.4	256
8-Set	P	F1	4680	15	P	12 1/4	17.5		10	7.5	6.9	8	FES5	130966	0.44	17	65	299981	5.57	8151.9	4208.4	4046.7	144
1-Oct	P		4665	12	B	12 1/4	16.5	400	8	8.5	7.8	9	HA 37	131803	0.24	17	100	541372	6.51	8293.5	4101.5	4098.2	201
8-Oct	P	F1	4665	15	P	12 1/4	16.5		10	6.5	5.6	6.5	FES5	267732	0.75	17	65	356265	5.70	8161.6	4162.2	4057.3	261
12-Oct	P	F1	4665	19	P	12 1/4	17		8.5	8.5	6.9	8	HA 46	91158	0.33	17	100	272492	5.88	8318.4	4152.8	4039.6	117
																			<b>5.96</b>	<b>8273.78</b>	<b>4130.85</b>	<b>4038.67</b>	
12-Jun	E	CT	4710	18	P	12 1/4	17		8.5	8.5	8.7	10	HA 46	208562	0.27	4	180	762798	4.83	8861.2	4415.3	4435.3	276
28-Jul	E	F1	4680	3	P	12 1/4	17		8.5	8.5	7.4	8.5	HA 46	140212	0.30	8	99	464286	4.88	8852.2	4442.8	4364.6	179
11-Set	E	F1	4680	16	P	12 1/4	17.5		10	7.5	6.9	8	FES5	218504	0.44	2	60	493718	4.74	8873.6	4429.1	4256.2	237
2-Oct	E		4665	14	B	12 1/4	16	600	8	8	7.8	9	HA 37	51022	0.24	12	150	215909	4.89	8856.5	4457.3	4243.5	97
12-Oct	E	F1	4665	16	P	12 1/4	16.5		10.5	6	5.6	6.5	FES5	82842	0.76	2 y 3	65	108326	4.67	8851.3	4406.4	4338.4	80
15-Oct	E	F1	4665	20	P	12 1/4	17		8.5	8.5	6.9	8	HA 46	84394	0.33	12	150 - 107	254150	5.56	8855.6	4317.6	4232.7	122
																			<b>4.93</b>	<b>8858.4</b>	<b>4411.42</b>	<b>4311.8</b>	
																			<b>-17.3</b>	<b>7.1</b>	<b>6.8</b>	<b>6.8</b>	

Fuente: Área de Geotecnia - Compañía Minera Chinalco S.A.



Para la evaluación de los resultados de la voladura, con detonadores no eléctricos y electrónicos, se realizó mediante el DIG RATE, el cual mide el rendimiento de la pala (Toneladas por Hora).

Para la evaluación de la planta el cual comprende a la Chancadora Primaria y la Molienda SAG, se tomaron los siguientes parámetros:

- TMH: Toneladas Húmedas por hora para el Troughput en Chancadora primaria.
- TMH: Toneladas Húmedas por hora para el Troughput en Molienda SAG.

#### 4.1.3. Dispersión de Tiempos entre detonadores no electrónicos vs electrónicos

**Tabla 7.** Tiempo de salida de detonadores no electrónicos

TALADRO	TIEMPO NOMINAL	SUPERFICIE	DISPERCION DE SUPERFICIE	FONDO	DISPERCION DE FONDO	TIEMPO REAL	DISPERCION SUPERFICIE + FONDO	INTERVALO DE SALIDA		
ID	ms	ms	%	ms	%	ms	%	ms	ms	ms
1	0	0	0	1000	10	1000	10.00	1010.00	990.00	20.00
2	17	17	0.68	1000	10	1017	10.68	1027.68	1006.32	21.36
3	17	34	0.68	1000	10	1034	10.68	1044.68	1023.32	21.36
4	17	51	0.68	1000	10	1051	10.68	1061.68	1040.32	21.36
5	100	100	4	1000	10	1100	14.00	1114.00	1086.00	28.00
6	17	117	0.68	1000	10	1117	10.68	1127.68	1106.32	21.36
7	130	130	5.2	1000	10	1130	15.20	1145.20	1114.80	30.40
8	17	147	0.68	1000	10	1147	10.68	1157.68	1136.32	21.36
9	17	164	0.68	1000	10	1164	10.68	1174.68	1153.32	21.36
10	17	181	0.68	1000	10	1181	10.68	1191.68	1170.32	21.36
11	17	198	0.68	1000	10	1198	10.68	1208.68	1187.32	21.36
12	100	200	4	1000	10	1200	14.00	1214.00	1186.00	28.00
13	17	215	0.68	1000	10	1215	10.68	1225.68	1204.32	21.36
14	17	217	0.68	1000	10	1217	10.68	1227.68	1206.32	21.36

15	17	232	0.68	1000	10	1232	10.68	1242.68	1221.32	21.36
16	17	234	0.68	1000	10	1234	10.68	1244.68	1223.32	21.36
17	17	249	0.68	1000	10	1249	10.68	1259.68	1238.32	21.36
18	17	251	0.68	1000	10	1251	10.68	1261.68	1240.32	21.36
19	130	260	5.2	1000	10	1260	15.20	1275.20	1244.80	30.40
20	17	268	0.68	1000	10	1268	10.68	1278.68	1257.32	21.36
21	17	277	0.68	1000	10	1277	10.68	1287.68	1266.32	21.36
22	17	285	0.68	1000	10	1285	10.68	1295.68	1274.32	21.36
23	17	294	0.68	1000	10	1294	10.68	1304.68	1283.32	21.36
24	100	300	4	1000	10	1300	14.00	1314.00	1286.00	28.00
25	17	302	0.68	1000	10	1302	10.68	1312.68	1291.32	21.36
26	17	311	0.68	1000	10	1311	10.68	1321.68	1300.32	21.36
27	17	317	0.68	1000	10	1317	10.68	1327.68	1306.32	21.36
28	17	328	0.68	1000	10	1328	10.68	1338.68	1317.32	21.36
29	17	334	0.68	1000	10	1334	10.68	1344.68	1323.32	21.36
30	17	345	0.68	1000	10	1345	10.68	1355.68	1334.32	21.36
31	17	351	0.68	1000	10	1351	10.68	1361.68	1340.32	21.36
32	17	362	0.68	1000	10	1362	10.68	1372.68	1351.32	21.36
33	17	368	0.68	1000	10	1368	10.68	1378.68	1357.32	21.36
34	17	385	0.68	1000	10	1385	10.68	1395.68	1374.32	21.36
35	130	390	5.2	1000	10	1390	15.20	1405.20	1374.80	30.40
36	100	400	4	1000	10	1400	14.00	1414.00	1386.00	28.00
37	17	402	0.68	1000	10	1402	10.68	1412.68	1391.32	21.36
38	17	407	0.68	1000	10	1407	10.68	1417.68	1396.32	21.36
39	17	417	0.68	1000	10	1417	10.68	1427.68	1406.32	21.36
40	17	419	0.68	1000	10	1419	10.68	1429.68	1408.32	21.36
41	17	424	0.68	1000	10	1424	10.68	1434.68	1413.32	21.36
42	17	434	0.68	1000	10	1434	10.68	1444.68	1423.32	21.36
43	17	436	0.68	1000	10	1436	10.68	1446.68	1425.32	21.36
44	17	441	0.68	1000	10	1441	10.68	1451.68	1430.32	21.36
45	17	451	0.68	1000	10	1451	10.68	1461.68	1440.32	21.36
46	17	458	0.68	1000	10	1458	10.68	1468.68	1447.32	21.36

47	17	468	0.68	1000	10	1468	10.68	1478.68	1457.32	21.36
48	17	475	0.68	1000	10	1475	10.68	1485.68	1464.32	21.36
49	17	485	0.68	1000	10	1485	10.68	1495.68	1474.32	21.36
50	17	492	0.68	1000	10	1492	10.68	1502.68	1481.32	21.36
51	100	500	4	1000	10	1500	14.00	1514.00	1486.00	28.00
52	17	502	0.68	1000	10	1502	10.68	1512.68	1491.32	21.36
53	130	517	5.2	1000	10	1517	15.20	1532.20	1501.80	30.40
54	17	519	0.68	1000	10	1519	10.68	1529.68	1508.32	21.36
55	17	520	0.68	1000	10	1520	10.68	1530.68	1509.32	21.36
56	17	534	0.68	1000	10	1534	10.68	1544.68	1523.32	21.36
57	17	536	0.68	1000	10	1536	10.68	1546.68	1525.32	21.36
58	17	537	0.68	1000	10	1537	10.68	1547.68	1526.32	21.36
59	17	551	0.68	1000	10	1551	10.68	1561.68	1540.32	21.36
60	17	553	0.68	1000	10	1553	10.68	1563.68	1542.32	21.36
61	17	554	0.68	1000	10	1554	10.68	1564.68	1543.32	21.36
62	17	568	0.68	1000	10	1568	10.68	1578.68	1557.32	21.36
63	17	571	0.68	1000	10	1571	10.68	1581.68	1560.32	21.36
64	17	585	0.68	1000	10	1585	10.68	1595.68	1574.32	21.36
65	17	588	0.68	1000	10	1588	10.68	1598.68	1577.32	21.36
66	100	600	4	1000	10	1600	14.00	1614.00	1586.00	28.00
67	17	602	0.68	1000	10	1602	10.68	1612.68	1591.32	21.36
68	17	605	0.68	1000	10	1605	10.68	1615.68	1594.32	21.36
69	17	617	0.68	1000	10	1617	10.68	1627.68	1606.32	21.36
70	17	619	0.68	1000	10	1619	10.68	1629.68	1608.32	21.36
71	17	634	0.68	1000	10	1634	10.68	1644.68	1623.32	21.36
72	17	636	0.68	1000	10	1636	10.68	1646.68	1625.32	21.36
73	130	650	5.2	1000	10	1650	15.20	1665.20	1634.80	30.40
74	17	651	0.68	1000	10	1651	10.68	1661.68	1640.32	21.36
75	17	653	0.68	1000	10	1653	10.68	1663.68	1642.32	21.36
76	17	667	0.68	1000	10	1667	10.68	1677.68	1656.32	21.36
77	17	668	0.68	1000	10	1668	10.68	1678.68	1657.32	21.36
78	17	684	0.68	1000	10	1684	10.68	1694.68	1673.32	21.36

79	17	685	0.68	1000	10	1685	10.68	1695.68	1674.32	21.36
80	17	700	0.68	1000	10	1700	10.68	1710.68	1689.32	21.36
81	17	701	0.68	1000	10	1701	10.68	1711.68	1690.32	21.36
82	17	702	0.68	1000	10	1702	10.68	1712.68	1691.32	21.36
83	17	717	0.68	1000	10	1717	10.68	1727.68	1706.32	21.36
84	17	718	0.68	1000	10	1718	10.68	1728.68	1707.32	21.36
85	17	719	0.68	1000	10	1719	10.68	1729.68	1708.32	21.36
86	17	734	0.68	1000	10	1734	10.68	1744.68	1723.32	21.36
87	17	736	0.68	1000	10	1736	10.68	1746.68	1725.32	21.36
88	17	751	0.68	1000	10	1751	10.68	1761.68	1740.32	21.36
89	17	753	0.68	1000	10	1753	10.68	1763.68	1742.32	21.36
90	17	768	0.68	1000	10	1768	10.68	1778.68	1757.32	21.36
91	130	780	5.2	1000	10	1780	15.20	1795.20	1764.80	30.40
92	17	785	0.68	1000	10	1785	10.68	1795.68	1774.32	21.36
93	17	797	0.68	1000	10	1797	10.68	1807.68	1786.32	21.36
94	100	800	4	1000	10	1800	14.00	1814.00	1786.00	28.00
95	17	802	0.68	1000	10	1802	10.68	1812.68	1791.32	21.36
96	17	814	0.68	1000	10	1814	10.68	1824.68	1803.32	21.36
97	17	817	0.68	1000	10	1817	10.68	1827.68	1806.32	21.36
98	17	819	0.68	1000	10	1819	10.68	1829.68	1808.32	21.36
99	17	831	0.68	1000	10	1831	10.68	1841.68	1820.32	21.36
100	17	834	0.68	1000	10	1834	10.68	1844.68	1823.32	21.36
101	17	836	0.68	1000	10	1836	10.68	1846.68	1825.32	21.36
102	17	848	0.68	1000	10	1848	10.68	1858.68	1837.32	21.36
103	17	851	0.68	1000	10	1851	10.68	1861.68	1840.32	21.36
104	17	868	0.68	1000	10	1868	10.68	1878.68	1857.32	21.36
105	17	885	0.68	1000	10	1885	10.68	1895.68	1874.32	21.36
106	17	900	0.68	1000	10	1900	10.68	1910.68	1889.32	21.36
107	17	902	0.68	1000	10	1902	10.68	1912.68	1891.32	21.36
108	17	917	0.68	1000	10	1917	10.68	1927.68	1906.32	21.36
109	17	919	0.68	1000	10	1919	10.68	1929.68	1908.32	21.36
110	17	934	0.68	1000	10	1934	10.68	1944.68	1923.32	21.36

111	17	936	0.68	1000	10	1936	10.68	1946.68	1925.32	21.36
112	17	951	0.68	1000	10	1951	10.68	1961.68	1940.32	21.36
113	17	968	0.68	1000	10	1968	10.68	1978.68	1957.32	21.36
114	17	985	0.68	1000	10	1985	10.68	1995.68	1974.32	21.36
115	100	1000	4	1000	10	2000	14.00	2014.00	1986.00	28.00
116	17	1002	0.68	1000	10	2002	10.68	2012.68	1991.32	21.36
117	17	1017	0.68	1000	10	2017	10.68	2027.68	2006.32	21.36
118	17	1019	0.68	1000	10	2019	10.68	2029.68	2008.32	21.36
119	17	1034	0.68	1000	10	2034	10.68	2044.68	2023.32	21.36
120	17	1051	0.68	1000	10	2051	10.68	2061.68	2040.32	21.36
121	17	1068	0.68	1000	10	2068	10.68	2078.68	2057.32	21.36
122	17	1085	0.68	1000	10	2085	10.68	2095.68	2074.32	21.36
123	17	1100	0.68	1000	10	2100	10.68	2110.68	2089.32	21.36
124	17	1102	0.68	1000	10	2102	10.68	2112.68	2091.32	21.36
125	17	1119	0.68	1000	10	2119	10.68	2129.68	2108.32	21.36
126	17	1117	0.68	1000	10	2117	10.68	2127.68	2106.32	21.36
127	17	1134	0.68	1000	10	2134	10.68	2144.68	2123.32	21.36
128	17	1151	0.68	1000	10	2151	10.68	2161.68	2140.32	21.36
129	17	1168	0.68	1000	10	2168	10.68	2178.68	2157.32	21.36
130	17	1185	0.68	1000	10	2185	10.68	2195.68	2174.32	21.36
131	17	1202	0.68	1000	10	2202	10.68	2212.68	2191.32	21.36
132	100	1217	4	1000	10	2217	14.00	2231.00	2203.00	28.00
133	17	1219	0.68	1000	10	2219	10.68	2229.68	2208.32	21.36
134	17	1234	0.68	1000	10	2234	10.68	2244.68	2223.32	21.36
135	17	1236	0.68	1000	10	2236	10.68	2246.68	2225.32	21.36
136	17	1251	0.68	1000	10	2251	10.68	2261.68	2240.32	21.36
137	17	1268	0.68	1000	10	2268	10.68	2278.68	2257.32	21.36
138	17	1285	0.68	1000	10	2285	10.68	2295.68	2274.32	21.36
139	17	1302	0.68	1000	10	2302	10.68	2312.68	2291.32	21.36
140	100	1317	4	1000	10	2317	14.00	2331.00	2303.00	28.00
141	17	1319	0.68	1000	10	2319	10.68	2329.68	2308.32	21.36
142	17	1334	0.68	1000	10	2334	10.68	2344.68	2323.32	21.36

143	17	1336	0.68	1000	10	2336	10.68	2346.68	2325.32	21.36
144	17	1351	0.68	1000	10	2351	10.68	2361.68	2340.32	21.36
145	17	1368	0.68	1000	10	2368	10.68	2378.68	2357.32	21.36
146	17	1385	0.68	1000	10	2385	10.68	2395.68	2374.32	21.36
147	17	1402	0.68	1000	10	2402	10.68	2412.68	2391.32	21.36
148	17	1419	0.68	1000	10	2419	10.68	2429.68	2408.32	21.36
149	100	1434	4	1000	10	2434	14.00	2448.00	2420.00	28.00
150	17	1436	0.68	1000	10	2436	10.68	2446.68	2425.32	21.36
151	17	1451	0.68	1000	10	2451	10.68	2461.68	2440.32	21.36
152	17	1453	0.68	1000	10	2453	10.68	2463.68	2442.32	21.36
153	17	1468	0.68	1000	10	2468	10.68	2478.68	2457.32	21.36
154	17	1485	0.68	1000	10	2485	10.68	2495.68	2474.32	21.36
155	17	1502	0.68	1000	10	2502	10.68	2512.68	2491.32	21.36
156	17	1519	0.68	1000	10	2519	10.68	2529.68	2508.32	21.36
157	17	1536	0.68	1000	10	2536	10.68	2546.68	2525.32	21.36
158	100	1551	4	1000	10	2551	14.00	2565.00	2537.00	28.00
159	17	1553	0.68	1000	10	2553	10.68	2563.68	2542.32	21.36
160	17	1568	0.68	1000	10	2568	10.68	2578.68	2557.32	21.36
161	17	1570	0.68	1000	10	2570	10.68	2580.68	2559.32	21.36
162	17	1585	0.68	1000	10	2585	10.68	2595.68	2574.32	21.36
163	17	1587	0.68	1000	10	2587	10.68	2597.68	2576.32	21.36
164	17	1602	0.68	1000	10	2602	10.68	2612.68	2591.32	21.36
165	17	1619	0.68	1000	10	2619	10.68	2629.68	2608.32	21.36
166	17	1636	0.68	1000	10	2636	10.68	2646.68	2625.32	21.36
167	17	1653	0.68	1000	10	2653	10.68	2663.68	2642.32	21.36
168	100	1668	4	1000	10	2668	14.00	2682.00	2654.00	28.00
169	17	1670	0.68	1000	10	2670	10.68	2680.68	2659.32	21.36
170	17	1685	0.68	1000	10	2685	10.68	2695.68	2674.32	21.36
171	17	1687	0.68	1000	10	2687	10.68	2697.68	2676.32	21.36
172	17	1702	0.68	1000	10	2702	10.68	2712.68	2691.32	21.36
173	17	1704	0.68	1000	10	2704	10.68	2714.68	2693.32	21.36
174	17	1719	0.68	1000	10	2719	10.68	2729.68	2708.32	21.36

175	17	1721	0.68	1000	10	2721	10.68	2731.68	2710.32	21.36
176	17	1736	0.68	1000	10	2736	10.68	2746.68	2725.32	21.36
177	17	1753	0.68	1000	10	2753	10.68	2763.68	2742.32	21.36
178	17	1770	0.68	1000	10	2770	10.68	2780.68	2759.32	21.36
179	100	1785	4	1000	10	2785	14.00	2799.00	2771.00	28.00
180	17	1787	0.68	1000	10	2787	10.68	2797.68	2776.32	21.36
181	17	1802	0.68	1000	10	2802	10.68	2812.68	2791.32	21.36
182	17	1804	0.68	1000	10	2804	10.68	2814.68	2793.32	21.36
183	17	1819	0.68	1000	10	2819	10.68	2829.68	2808.32	21.36
184	17	1821	0.68	1000	10	2821	10.68	2831.68	2810.32	21.36
185	17	1836	0.68	1000	10	2836	10.68	2846.68	2825.32	21.36
186	17	1838	0.68	1000	10	2838	10.68	2848.68	2827.32	21.36
187	17	1853	0.68	1000	10	2853	10.68	2863.68	2842.32	21.36
188	17	1855	0.68	1000	10	2855	10.68	2865.68	2844.32	21.36
189	17	1870	0.68	1000	10	2870	10.68	2880.68	2859.32	21.36
190	17	1887	0.68	1000	10	2887	10.68	2897.68	2876.32	21.36
191	17	1904	0.68	1000	10	2904	10.68	2914.68	2893.32	21.36
192	17	1921	0.68	1000	10	2921	10.68	2931.68	2910.32	21.36
193	17	1938	0.68	1000	10	2938	10.68	2948.68	2927.32	21.36
194	17	1955	0.68	1000	10	2955	10.68	2965.68	2944.32	21.36
195	17	1972	0.68	1000	10	2972	10.68	2982.68	2961.32	21.36
196	17	1989	0.68	1000	10	2989	10.68	2999.68	2978.32	21.36
197	17	2006	0.68	1000	10	3006	10.68	3016.68	2995.32	21.36
Promedio de dispersión										22.10

**Fuente: Área de Geotecnia - Compañía Minera Chinalco S.A.**

**Tabla 8.** Tiempo de salida de detonadores electrónicos

TALADRO	TIEMPO DE SALIDA FONDO	TIEMPO PROGRAMADO	DISPERSION DEL TIEMPO PROGRAMADO	INTERVALO DE SALIDA		
ID	ms	ms	%	ms	ms	ms
1	0	3000	0.090	3000.09	2999.91	0.180
2	17	3017	0.091	3017.09	3016.91	0.181
3	34	3034	0.091	3034.09	3033.91	0.182
4	51	3051	0.092	3051.09	3050.91	0.183
5	100	3100	0.093	3100.09	3099.91	0.186
6	117	3117	0.094	3117.09	3116.91	0.187
7	130	3130	0.094	3130.09	3129.91	0.188
8	147	3147	0.094	3147.09	3146.91	0.189
9	164	3164	0.095	3164.09	3163.91	0.190
10	181	3181	0.095	3181.10	3180.90	0.191
11	198	3198	0.096	3198.10	3197.90	0.192
12	200	3200	0.096	3200.10	3199.90	0.192
13	215	3215	0.096	3215.10	3214.90	0.193
14	217	3217	0.097	3217.10	3216.90	0.193
15	232	3232	0.097	3232.10	3231.90	0.194
16	234	3234	0.097	3234.10	3233.90	0.194
17	249	3249	0.097	3249.10	3248.90	0.195
18	251	3251	0.098	3251.10	3250.90	0.195
19	260	3260	0.098	3260.10	3259.90	0.196
20	268	3268	0.098	3268.10	3267.90	0.196
21	277	3277	0.098	3277.10	3276.90	0.197
22	285	3285	0.099	3285.10	3284.90	0.197
23	294	3294	0.099	3294.10	3293.90	0.198
24	300	3300	0.099	3300.10	3299.90	0.198
25	302	3302	0.099	3302.10	3301.90	0.198
26	311	3311	0.099	3311.10	3310.90	0.199
27	317	3317	0.100	3317.10	3316.90	0.199
28	328	3328	0.100	3328.10	3327.90	0.200
29	334	3334	0.100	3334.10	3333.90	0.200
30	345	3345	0.100	3345.10	3344.90	0.201



31	351	3351	0.101	3351.10	3350.90	0.201
32	362	3362	0.101	3362.10	3361.90	0.202
33	368	3368	0.101	3368.10	3367.90	0.202
34	385	3385	0.102	3385.10	3384.90	0.203
35	390	3390	0.102	3390.10	3389.90	0.203
36	400	3400	0.102	3400.10	3399.90	0.204
37	402	3402	0.102	3402.10	3401.90	0.204
38	407	3407	0.102	3407.10	3406.90	0.204
39	417	3417	0.103	3417.10	3416.90	0.205
40	419	3419	0.103	3419.10	3418.90	0.205
41	424	3424	0.103	3424.10	3423.90	0.205
42	434	3434	0.103	3434.10	3433.90	0.206
43	436	3436	0.103	3436.10	3435.90	0.206
44	441	3441	0.103	3441.10	3440.90	0.206
45	451	3451	0.104	3451.10	3450.90	0.207
46	458	3458	0.104	3458.10	3457.90	0.207
47	468	3468	0.104	3468.10	3467.90	0.208
48	475	3475	0.104	3475.10	3474.90	0.208
49	485	3485	0.105	3485.10	3484.90	0.209
50	492	3492	0.105	3492.10	3491.90	0.210
51	500	3500	0.105	3500.11	3499.90	0.210
52	502	3502	0.105	3502.11	3501.89	0.210
53	517	3517	0.106	3517.11	3516.89	0.211
54	519	3519	0.106	3519.11	3518.89	0.211
55	520	3520	0.106	3520.11	3519.89	0.211
56	534	3534	0.106	3534.11	3533.89	0.212
57	536	3536	0.106	3536.11	3535.89	0.212
58	537	3537	0.106	3537.11	3536.89	0.212
59	551	3551	0.107	3551.11	3550.89	0.213
60	553	3553	0.107	3553.11	3552.89	0.213
61	554	3554	0.107	3554.11	3553.89	0.213
62	568	3568	0.107	3568.11	3567.89	0.214
63	571	3571	0.107	3571.11	3570.89	0.214
64	585	3585	0.108	3585.11	3584.89	0.215
65	588	3588	0.108	3588.11	3587.89	0.215
66	600	3600	0.108	3600.11	3599.89	0.216
67	602	3602	0.108	3602.11	3601.89	0.216
68	605	3605	0.108	3605.11	3604.89	0.216
69	617	3617	0.109	3617.11	3616.89	0.217

70	619	3619	0.109	3619.11	3618.89	0.217
71	634	3634	0.109	3634.11	3633.89	0.218
72	636	3636	0.109	3636.11	3635.89	0.218
73	650	3650	0.110	3650.11	3649.89	0.219
74	651	3651	0.110	3651.11	3650.89	0.219
75	653	3653	0.110	3653.11	3652.89	0.219
76	667	3667	0.110	3667.11	3666.89	0.220
77	668	3668	0.110	3668.11	3667.89	0.220
78	684	3684	0.111	3684.11	3683.89	0.221
79	685	3685	0.111	3685.11	3684.89	0.221
80	700	3700	0.111	3700.11	3699.89	0.222
81	701	3701	0.111	3701.11	3700.89	0.222
82	702	3702	0.111	3702.11	3701.89	0.222
83	717	3717	0.112	3717.11	3716.89	0.223
84	718	3718	0.112	3718.11	3717.89	0.223
85	719	3719	0.112	3719.11	3718.89	0.223
86	734	3734	0.112	3734.11	3733.89	0.224
87	736	3736	0.112	3736.11	3735.89	0.224
88	751	3751	0.113	3751.11	3750.89	0.225
89	753	3753	0.113	3753.11	3752.89	0.225
90	768	3768	0.113	3768.11	3767.89	0.226
91	780	3780	0.113	3780.11	3779.89	0.227
92	785	3785	0.114	3785.11	3784.89	0.227
93	797	3797	0.114	3797.11	3796.89	0.228
94	800	3800	0.114	3800.11	3799.89	0.228
95	802	3802	0.114	3802.11	3801.89	0.228
96	814	3814	0.114	3814.11	3813.89	0.229
97	817	3817	0.115	3817.11	3816.89	0.229
98	819	3819	0.115	3819.11	3818.89	0.229
99	831	3831	0.115	3831.11	3830.89	0.230
100	834	3834	0.115	3834.12	3833.88	0.230
101	836	3836	0.115	3836.12	3835.88	0.230
102	848	3848	0.115	3848.12	3847.88	0.231
103	851	3851	0.116	3851.12	3850.88	0.231
104	868	3868	0.116	3868.12	3867.88	0.232
105	885	3885	0.117	3885.12	3884.88	0.233
106	900	3900	0.117	3900.12	3899.88	0.234
107	902	3902	0.117	3902.12	3901.88	0.234
108	917	3917	0.118	3917.12	3916.88	0.235

109	919	3919	0.118	3919.12	3918.88	0.235
110	934	3934	0.118	3934.12	3933.88	0.236
111	936	3936	0.118	3936.12	3935.88	0.236
112	951	3951	0.119	3951.12	3950.88	0.237
113	968	3968	0.119	3968.12	3967.88	0.238
114	985	3985	0.120	3985.12	3984.88	0.239
115	1000	4000	0.120	4000.12	3999.88	0.240
116	1002	4002	0.120	4002.12	4001.88	0.240
117	1017	4017	0.121	4017.12	4016.88	0.241
118	1019	4019	0.121	4019.12	4018.88	0.241
119	1034	4034	0.121	4034.12	4033.88	0.242
120	1051	4051	0.122	4051.12	4050.88	0.243
121	1068	4068	0.122	4068.12	4067.88	0.244
122	1085	4085	0.123	4085.12	4084.88	0.245
123	1100	4100	0.123	4100.12	4099.88	0.246
124	1102	4102	0.123	4102.12	4101.88	0.246
125	1119	4119	0.124	4119.12	4118.88	0.247
126	1117	4117	0.124	4117.12	4116.88	0.247
127	1134	4134	0.124	4134.12	4133.88	0.248
128	1151	4151	0.125	4151.12	4150.88	0.249
129	1168	4168	0.125	4168.13	4167.87	0.250
130	1185	4185	0.126	4185.13	4184.87	0.251
131	1202	4202	0.126	4202.13	4201.87	0.252
132	1217	4217	0.127	4217.13	4216.87	0.253
133	1219	4219	0.127	4219.13	4218.87	0.253
134	1234	4234	0.127	4234.13	4233.87	0.254
135	1236	4236	0.127	4236.13	4235.87	0.254
136	1251	4251	0.128	4251.13	4250.87	0.255
137	1268	4268	0.128	4268.13	4267.87	0.256
138	1285	4285	0.129	4285.13	4284.87	0.257
139	1302	4302	0.129	4302.13	4301.87	0.258
140	1317	4317	0.130	4317.13	4316.87	0.259
141	1319	4319	0.130	4319.13	4318.87	0.259
142	1334	4334	0.130	4334.13	4333.87	0.260
143	1336	4336	0.130	4336.13	4335.87	0.260
144	1351	4351	0.131	4351.13	4350.87	0.261
145	1368	4368	0.131	4368.13	4367.87	0.262
146	1385	4385	0.132	4385.13	4384.87	0.263
147	1402	4402	0.132	4402.13	4401.87	0.264

148	1419	4419	0.133	4419.13	4418.87	0.265
149	1434	4434	0.133	4434.13	4433.87	0.266
150	1436	4436	0.133	4436.13	4435.87	0.266
151	1451	4451	0.134	4451.13	4450.87	0.267
152	1453	4453	0.134	4453.13	4452.87	0.267
153	1468	4468	0.134	4468.13	4467.87	0.268
154	1485	4485	0.135	4485.13	4484.87	0.269
155	1502	4502	0.135	4502.14	4501.86	0.270
156	1519	4519	0.136	4519.14	4518.86	0.271
157	1536	4536	0.136	4536.14	4535.86	0.272
158	1551	4551	0.137	4551.14	4550.86	0.273
159	1553	4553	0.137	4553.14	4552.86	0.273
160	1568	4568	0.137	4568.14	4567.86	0.274
161	1570	4570	0.137	4570.14	4569.86	0.274
162	1585	4585	0.138	4585.14	4584.86	0.275
163	1587	4587	0.138	4587.14	4586.86	0.275
164	1602	4602	0.138	4602.14	4601.86	0.276
165	1619	4619	0.139	4619.14	4618.86	0.277
166	1636	4636	0.139	4636.14	4635.86	0.278
167	1653	4653	0.140	4653.14	4652.86	0.279
168	1668	4668	0.140	4668.14	4667.86	0.280
169	1670	4670	0.140	4670.14	4669.86	0.280
170	1685	4685	0.141	4685.14	4684.86	0.281
171	1687	4687	0.141	4687.14	4686.86	0.281
172	1702	4702	0.141	4702.14	4701.86	0.282
173	1704	4704	0.141	4704.14	4703.86	0.282
174	1719	4719	0.142	4719.14	4718.86	0.283
175	1721	4721	0.142	4721.14	4720.86	0.283
176	1736	4736	0.142	4736.14	4735.86	0.284
177	1753	4753	0.143	4753.14	4752.86	0.285
178	1770	4770	0.143	4770.14	4769.86	0.286
179	1785	4785	0.144	4785.14	4784.86	0.287
180	1787	4787	0.144	4787.14	4786.86	0.287
181	1802	4802	0.144	4802.14	4801.86	0.288
182	1804	4804	0.144	4804.14	4803.86	0.288
183	1819	4819	0.145	4819.14	4818.86	0.289
184	1821	4821	0.145	4821.14	4820.86	0.289
185	1836	4836	0.145	4836.15	4835.85	0.290
186	1838	4838	0.145	4838.15	4837.85	0.290

187	1853	4853	0.146	4853.15	4852.85	0.291
188	1855	4855	0.146	4855.15	4854.85	0.291
189	1870	4870	0.146	4870.15	4869.85	0.292
190	1887	4887	0.147	4887.15	4886.85	0.293
191	1904	4904	0.147	4904.15	4903.85	0.294
192	1921	4921	0.148	4921.15	4920.85	0.295
193	1938	4938	0.148	4938.15	4937.85	0.296
194	1955	4955	0.149	4955.15	4954.85	0.297
195	1972	4972	0.149	4972.15	4971.85	0.298
196	1989	4989	0.150	4989.15	4988.85	0.299
197	2006	5006	0.150	5006.15	5005.85	0.300
Promedio de Dispersión						0.236

**Fuente: Área de Geotecnia - Compañía Minera Chinalco S.A**

## **4.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Realizamos la comparación de los costos y del mismo modo la fragmentación, con detonadores no eléctricos y detonadores electrónicos.

### **4.2.1. Costos de los detonadores**

#### **➤ Empleando detonadores no electrónicos:**

Los costos del detonador no electrónico, el costo para 100 taladros con detonador no eléctrico y los demás accesorios requeridos es de 2832.48 dólares.

#### **➤ Empleando detonadores electrónicos:**

Los costos del uso del detonador electrónico, el costo para 100 taladros con detonador electrónico y los demás accesorios requeridos es de 4075.31 dólares.

Realizando la comparación de costos del uso de detonador electrónico es mayor en 1242.83 dólares, definitivamente comprendemos que la tecnología moderna no puede ser de menor costo a la tecnología obsoleta.

En el siguiente desarrollo se demuestra que en una voladura el empleo de detonadores electrónicos es más económico que los detonadores no eléctricos, pese a que la cotización tenga una variación considerable.

#### **4.2.2. Fragmentación obtenida de la voladura**

##### **➤ Empleando detonadores no electrónicos:**

El promedio P80 de la prueba con detonadores no eléctricos es 5.96 pulgadas.

La productividad de la pala es 8273.78 Ton/Hr

La chancadora primaria procesa 4130.85 TMH (Toneladas Húmedas por Hora).

La molienda procesa 4038.67 TMH (Toneladas Húmedas por Hora).

##### **➤ Empleando detonadores electrónicos:**

El promedio P80 de la prueba con detonadores electrónicos es 4.93 pulgadas. Mejoró en 17.3% comparado a de la voladura con detonadores no eléctricos.

La productividad de la pala es 8858.4 Ton/Hr. Mejoro en 7.1% comparado a de la voladura con detonadores no eléctricos.

La chancadora primaria procesa 4411.42 TMH (Toneladas Húmedas por Hora). Mejoro en 6.8% comparado a de la voladura con detonadores no eléctricos.

La molienda procesa 4311.78 TMH (Toneladas Húmedas por Hora). Mejoro en 6.8% comparado a de la voladura con detonadores no eléctricos.

Se puede determinar con los resultados posteriores de la voladura, que el empleo de detonadores electrónicos manifiesta una buena rentabilidad.

### 4.2.3 Dispersión de Tiempos:

#### ➤ Empleando detonadores no electrónicos:

Se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

En la Tabla 7. En la primera columna están los números de taladros por secuencia de salida.

En la segunda columna es el tiempo nominal del retardo de superficie.

La cuarta columna es la dispersión (4%) del retardo de superficie.

La quinta columna es el retardo del detonador de fondo (en la operación se trabaja con detonadores de 1000ms de retardo de fondo).

La sexta columna muestra la dispersión (1%) del retardo de fondo. La séptima columna muestra el tiempo nominal del taladro (la suma del retardo de fondo y de superficie).

La octava columna muestra la dispersión por taladro (suma de la dispersión de superficie y la dispersión de fondo). La novena y décima columna muestra el intervalo de tiempo (en ms) de salida de cada taladro. El promedio de la dispersión de tiempo por taladro es de 22.10 ms.

#### ➤ Empleando detonadores electrónicos:

En la tabla 8. En la primera columna están los números de taladros por secuencia de salida. En la segunda columna se muestra el tiempo de salida (en ms) de programación inicial.

En la tercera fila tenemos el tiempo (en ms) de programación real de cada taladro. En este caso se inicia en 3 000 ms, existe una importante razón para esta decisión. Seguridad, si hubiera un back-up se conecta el detonador electrónico al tubo de choque del detonado pirotécnico. Al detonador electrónico se programa con tiempo 0 ms (cero milisegundos), para que este taladro salga primero y se pueda observar en el video de registro.

En la cuarta fila está la dispersión del tiempo programado. Siendo de 0.003% de precisión según catálogo. El promedio de la dispersión de tiempo por taladro es de 0.236ms.

## **4.3 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

### **4.3.1. Resultados obtenidos de la fragmentación**

Analizado los datos y presentándose los resultados obtenidos de fragmentación de las voladuras con detonadores electrónicos contrastado con los detonadores no electrónicos son mejores desde el primer disparo.

La mejoría de la fragmentación con un P80 óptimo en todas las zonas del tajo, este tiene como consecuencia una mejora también de la productividad de las actividades posteriores, las cuales son, los equipos de carguío, acarreo, chancadora y molienda.

### **4.3.2. Resultados obtenidos de la productividad de los equipos de carguío**

Analizado los datos y presentándose los resultados obtenidos, la pala aumenta su productividad de 8273.78 Ton/H a 8858.4 Ton/H, siendo 7.1% la mejora con voladuras de detonadores electrónicos con respecto a las voladuras con detonadores no eléctricos.

### **4.3.3. Resultados obtenidos de la productividad de la chancadora**

Analizado los datos y presentándose los resultados obtenidos, con voladura empleando detonadores no electrónicos es de 4130.85 TMH y con detonadores electrónicos es de 4411.42 TMH, concluyendo que la chancadora tiene una productividad del 6.8%.

### **4.3.4. Resultados obtenidos de la productividad de la molienda**

Analizado los datos y presentándose los resultados obtenidos, la molienda incrementa su productividad de 4038.67 TMH a 4311.78 TMH, el cual viene a ser el 6.8% de mejora entre el empleo de detonadores no electrónicos y electrónicos.



#### **4.3.5. Resultados de la evaluación económica**

Analizado los datos y con los resultados obtenidos, el precio alto de los detonadores electrónicos con respecto a los detonadores no eléctricos se ve compensado en una buena fragmentación después de realizado la voladura, adicionalmente esta evaluación se ve reflejada en la mejora de los procesos posteriores.

En consecuencia, el beneficio económico de utilizar detonadores electrónicos en la voladura, se manifiesta claramente en el desarrollo de la tesis.

#### **4.4 APORTES DE TESISISTA**

En la actualidad el tamaño de la fragmentación resultado de la perforación y voladura en minería superficial es muy importante para lograr mejores resultados económicos en ganancias, porque el tamaño de la fragmentación repercute directamente en la velocidad de carguío y transporte de minerales.

El presente trabajo de investigación aporta un registro de fragmentación, basada en la comparación de voladuras empleando detonadores no eléctricos y electrónicos, que quedará como base o guía para futuros trabajos, por lo tanto, a partir de este antecedente se puedan evaluar e implementar detonadores electrónicos en minas de características similares.

## CONCLUSIONES

1. La fundamentación de las propiedades de los detonadores electrónicos concluye con gran relevancia, puesto que estas propiedades influyen en gran medida en el proceso de voladura en el campo de la minería.
2. Se concretizó los procedimientos, conceptos y prácticas adecuadas en la utilización adecuada de los detonadores electrónicos en las actividades mineras del proyecto.
3. La productividad en la voladura optimiza el P80; el P80 mejoró en 17.3% comparado a de la voladura con detonadores no electrónicos, la pala aumenta su productividad en 7.1%, empleando detonadores electrónicos con respecto al uso de los detonadores no electrónicos, la chancadora aumenta su productividad en 6.8%, en ambos casos respecto al uso de los detonadores no electrónicos, la molienda aumenta su productividad en 6.8%, en ambos casos respecto al uso de los detonadores no electrónicos.

## RECOMENDACIONES

1. A los trabajadores que se encuentren involucrados brindarles capacitaciones en cuanto a voladura, en la manipulación y operación del sistema de detonadores electrónicos, así como en la solución de problemas operacionales.
2. Seguir con el empleo de los detonadores electrónicos en todas las operaciones de voladura y actualizar de manera periódica los procedimientos.
3. De acuerdo a los resultados mostrados para las voladuras, el empleo de detonadores electrónicos debe ser acompañado de un soporte continuo de ingeniería que permitirá ir adaptando los diseños a las diferentes situaciones encontradas en la mina
4. A la empresa Minera Chinalco S.A. continuar contribuyendo al desarrollo de los trabajos de investigación, ello servirá a que muchos profesionales se puedan desenvolver en el rubro, potenciar sus conocimientos y de ese modo fortalecer el desarrollo de la empresa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Vera Quispe, D. (2019). “Mejora de la fragmentación en voladuras controladas”
- Zenteno Collado, J. P. J. (2018). “Cambio de detonador electrónico para la disminución de cortes en la línea descendente en taladros de gran diámetro en explotación minera de cobre a cielo abierto”
- Quispe Arena, C. D. (2018). “Análisis de la fragmentación resultante de voladura para la evaluación de la expansión de las mallas de perforación aplicando sistema de iniciación electrónico en minera Coimolache-2016”
- Maritza Janeth, A. A. Y Fernanda Chilón, A. (2017). “Estimación de presiones dinámicas inducidas por voladura para definir distancias críticas para detonadores electrónicos daveytronic en tajo la quinua Yanacocha”
- Benites Correa, A. G. (2017). “La distancia mínima entre taladros para evitar los daños de los detonadores electrónicos por presion dinámica, en mina Lagunas Norte”
- Choqueña Ccallata, J. J. (2017). “Optimización 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.”

- Figueroa Urbano, J. A. (2017). “Diseño de perforación y voladura aplicando la teoría de Richard Ash, para la mejora de la fragmentación en la compañía minera Antamina S.A.”
- Romero Paucar, R. (2016). “Voladura con detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación y seguridad en el tajo Toromocho – Minera Chinalco Perú S.A.”
- Tomas Cristóbal, M. E. Y Pizarro Vilcatoma, E. (2015). “Optimización de la voladura mediante el uso de detonadores de microrretardo en explotaciones mineras subterráneas en consorcio minero Horizonte S.A.”
- Hinostroza Sierra, J. R. (2014). “Optimización de la fragmentación en las rocas con la aplicación de la doble iniciación electrónica en la explotación de cobre porfirítico a cielo abierto”
- Paredes Ponce, R. M. (2014). “Empleo de detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación en sector yeso anhidrita en mina modelo a tajo abierto – Toquepala”
- Poma Fernández, J. L. (2013).” Importancia de la fragmentación de la roca en el proceso Gold Mill (Caso minera Yanacocha)”
- Huamán, U. B. (2010). “Implementación de un Nuevo Sistema de Iniciación Electrónica en Perú, Seguridad y Versatilidad”

- Miranda, S. Y. (2019). “Estudio del Rendimiento entre Detonadores Electrónicos y no Electrónicos e Implicancia en Economía del Proceso y Seguridad en Tajo Abierto. Arequipa”
- Romero, N. F. (2009). “Manual para el Uso de Explosivos Utilizados en Voladuras a Cielo Abierto en Vías Terrestres”.
- Ortega Albornoz, C. G. (2009). “Mejoramiento de la fragmentación y rendimiento del equipo de carguío mediante la utilización de detonadores electrónicos en minera Yanacocha S.R.L
- Detonadores electrónicos, descripción, disponible en:

<http://explosivos.wikidot.com/detonadores-electronicos>

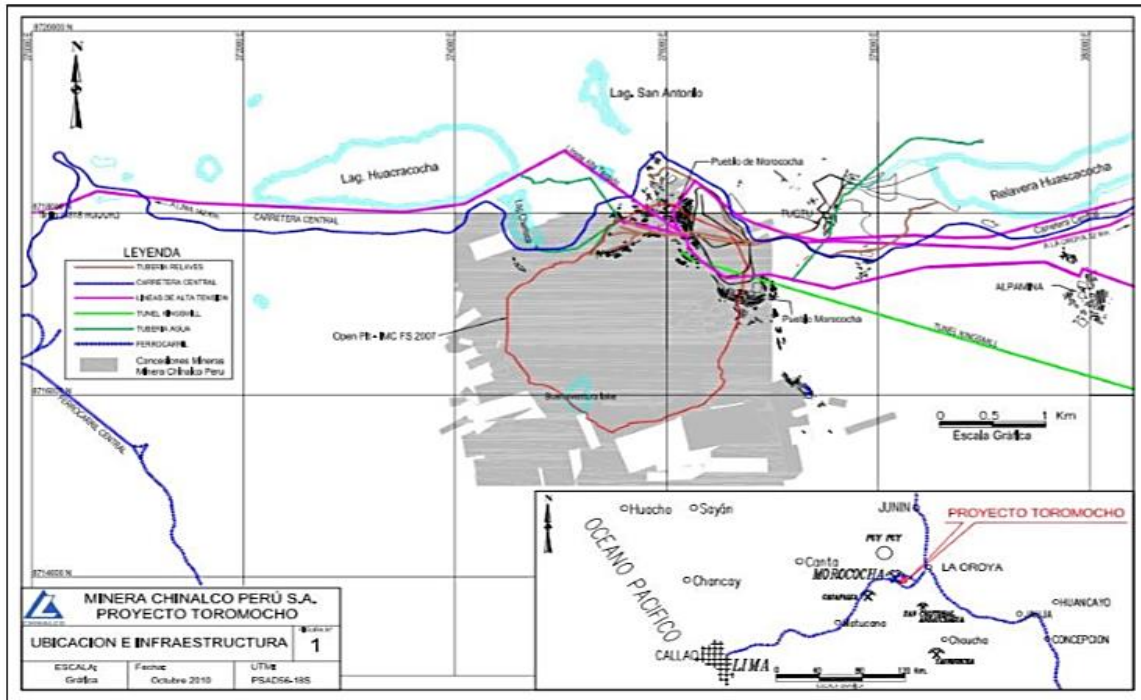
## ANEXOS

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

#### **Título: “Optimización de la voladura con el empleo de detonadores electrónicos en la Compañía Minera Chinalco Perú S.A. - 2021”**

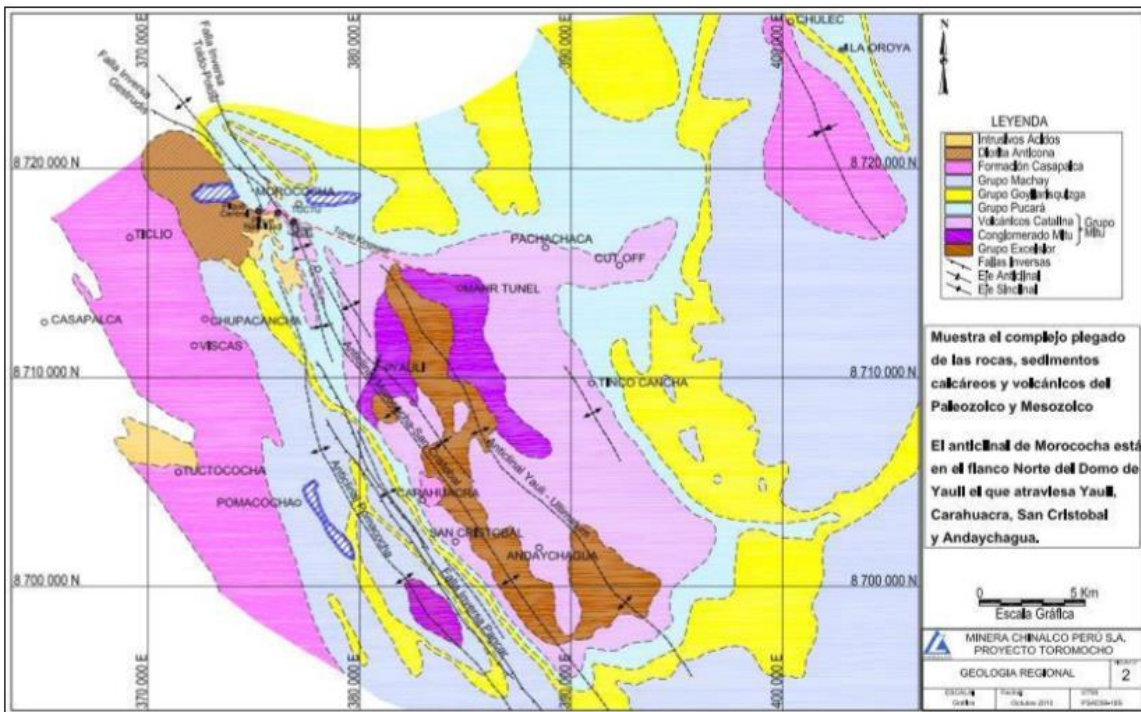
PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEORICO	HIPOTESIS Y VARIABLE	METODOLOGÍA
<p><b>PROBLEMA GENERAL:</b> ¿Cómo influirá la optimización de la voladura con el empleo de detonadores electrónicos en la Compañía Minera Chinalco Perú S.A. - 2021?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS:</b> - ¿Sera el más optimo el empleo de detonadores no electrónicos en la voladura? - ¿En qué medida la voladura con detonadores electrónicos optimiza la productividad de las operaciones mineras en el tajo Toromocho – Minera Chinalco Perú S.A.?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL:</b> - Determinar cómo el empleo de detonadores electrónicos optimiza la voladura en la Compañía Minera Chinalco Perú S.A. - Morococha, Yauli – Junín</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</b> Establecer las propiedades de los detonadores electrónicos.  Definir los procedimientos, conceptos y prácticas para la utilización de detonadores electrónicos.  Determinar en qué medida la voladura con detonadores electrónicos optimiza la productividad de las operaciones mineras.</p>	<p><b>ANTECEDENTES</b>  Según MIRANDA SALAS, YOSHIRO (2019) “Estudio del rendimiento entre detonadores electrónicos y no eléctricos e implicancia en la economía del proceso y seguridad en tajo abierto”.</p> <p>Según HINOSTROZA SIERRA, JAIME (2014), “Optimización de la fragmentación en las rocas con la aplicación electrónica en la explotación de cobre porfirítico a cielo abierto”</p> <p><b>MARCO TEORICO REFERENCIAL:</b>  Paredes Ponce, R. M. (2014). “Empleo de detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación en sector yeso anhidrita en mina modelo a tajo abierto – Toquepala”</p>	<p><b>HIPOTESIS GENERAL:</b>  La optimización significativa de la voladura con el empleo de detonadores electrónicos en la Compañía Minera Chinalco Perú S.A.</p> <p><b>VARIABLES:</b>  <b>Variable Dependiente:</b> Optimización significativa de la voladura.  <b>Variable Independiente:</b> Empleo de detonadores electrónicos.</p>	<p><b>Tipo de investigación:</b> investigación aplicada.</p> <p><b>Nivel de investigación:</b> Descriptiva.</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> Descriptivo comparativo.</p> <p><b>Población:</b> La población son los bancos de producción en el tajo Toromocho.</p> <p><b>Muestra:</b> La muestra será el banco 4698 del tajo.</p> <p><b>Técnicas e instrumentación de recolección de datos:</b> Como instrumentos de recolección de datos de información se utilizará la base de datos del informe de voladura realizada en el tajo, por intermedio de Jefe de Geotecnia de la empresa. Así mismo se revisó la bibliografía relacionada a los detonadores electrónicos.</p> <p><b>Forma de tratamiento de datos</b> Para procesar los datos en el presente trabajo de investigación se utilizará cálculos como la estadística descriptiva a raíz de la información obtenida. Para su posterior análisis de los datos obtenidos entre una voladura empleando detonadores pirotécnicos y detonadores electrónicos, además de su influencia en las operaciones posteriores a la voladura.</p>

## ANEXO N° 01. MAPA DE UBICACIÓN DE PROYECTO TOROMOCHO



Fuente: Minera Chinalco Perú S.A

## ANEXO N° 02. GEOLOGIA REGIONAL DE PROYECTO TOROMOCHO



Fuente: Minera Chinalco Perú S.A