



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Trabajo de Investigación

Aplicación de iniciadores electrónicos Digishot Plus para optimizar la fragmentación de rocas en el tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay

para optar el Grado Académico de Bachiller en
Ingeniería de Minas

**Marcos Roberto Portada Illacutipa
Juan Carlos Aimituma Lopez**

Arequipa, 2018



Repositorio Institucional Continental

Trabajo de Investigación



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedicamos a nuestras familias por el apoyo incondicional y la comprensión que nos brindaron en estos años como estudiantes y nos motivan a alcanzar todas nuestras metas.

Gracias por estar siempre con nosotros.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por estar siempre con nosotros y guiar nuestros pasos.

A la Universidad Continental por habernos acogido en sus aulas y brindarnos los conocimientos necesarios para alcanzar nuestras metas, a nuestros profesores que nos guiaron y orientaron en nuestro camino a ser profesionales. Al ingeniero Edwin José Bernedo Tito por los conocimientos impartidos en el curso de perforación y voladura y posterior asesoría en el presente trabajo de investigación.

A nuestras familias que nos apoyaron de manera incondicional en este camino para alcanzar nuestros objetivos. Además, a nuestros amigos que a lo largo de la carrera nos brindaron su amistad y apoyo incondicional.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación aplicación de iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS trata sobre las ventajas de la aplicación de iniciación electrónica en el proceso de fragmentación del macizo rocoso. Planteándose la hipótesis de que el uso de iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS optimiza la fragmentación de rocas en el Tajo Norte de la Unidad Minera Antapaccay. Para lograr los objetivos de la investigación se eligió como población todos los taladros ejecutados en el banco del Tajo Norte ubicado en el nivel 3840 en el frente de minado de la Unidad Minera Antapaccay, tomando como muestra los taladros ejecutados entre los días 12/11/2018 al 19/11/2018 en el nivel 3840 del frente de minado Tajo Norte, (zona monzonita). Esta investigación se desarrolló en dos partes, la primera está constituida por los primeros cuatro días (12/11/2018 al 15/11/2018) donde se aplicaron iniciadores convencionales, y la segunda parte estaba constituida por voladura realizada con iniciación electrónica DIGISHOT PLUS entre los días /15/11/2018 al 16/11/2018), trayendo como resultado una buena fragmentación del macizo rocoso. Obteniendo incremento en la cantidad de material fino enviado a planta, de enviar 50.16 TMS/día se pasó a enviar 66.12 TMS/día mejorando en un 31.89 %. En cuanto a los costos de perforación y voladura se tenía antes de la aplicación de iniciación electrónica un costo de 74 130.77 \$ y posterior a ella se obtuvo 77 169.39 \$, obteniéndose una diferencia de 3 0.8.62\$, dicho costo es ampliamente cubierto en las operaciones posteriores como en el carguío y acarreo donde se optimiza la operación de los equipos, se reduce los tiempos de ciclado y aumenta la vida útil de estos. Del análisis de estos costos obtenemos una reducción de 22.85% en el costo de procesamiento de mineral en planta. Además, se concluye que el incremento de los costos en el proceso de perforación y voladura son insignificantes en relación a los beneficios obtenidos en los costos de recuperación en planta. Por lo tanto, se determinó que la aplicación de iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS optimiza la fragmentación de rocas en el tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay.

ABSTRAC

The present work of investigation application of electronic initiators DIGISHOT PLUS treats on the advantages of the application of electronic initiation in the process of fragmentation of the rock mass. Posing the hypothesis that the use of electronic primers DIGISHOT PLUS optimizes the fragmentation of rocks in the North Pit of the Antapaccay Mining Unit. To achieve the goals of the investigation, all the drills executed in the Tajo Norte bank located at level 3840 on the mining front of the Antapaccay Mining Unit were chosen as a population, taking as sample the drills executed between 12/11 / 2018 to 11/19/2018 at level 3840 of the Tajo Norte mining front, (monzonite zone). This investigation was developed in two parts, the first is constituted by the first four days (12/11/2018 to 11/15/2018) where conventional initiators were applied, and the second part was constituted by blasting carried out with electronic initiation DIGISHPOT PLUS between the days / 15/11/2018 to 11/16/2018), bringing as a result a good fragmentation of the rock mass. Obtaining an increase in the amount of fine material sent to the plant, from sending 50.16 TMS / day, it was sent to send 66.12 TMS / day, improving by 31.89%. As for the costs of drilling and blasting, before the electronic initiation application, a cost of \$ 74,130.77 was obtained and after that, \$ 77,169.39 was obtained, obtaining a difference of \$ 3,862, which is widely covered in subsequent operations such as loading and hauling where the operation of the equipment is optimized, cycle times are reduced and their useful life is increased. From the analysis of these costs we obtain a reduction of 22.85% in the cost of mineral processing in plant. In addition, it is concluded that the increase in costs in the drilling and blasting process are insignificant in relation to the benefits obtained in the costs of recovery in the plant. Therefore, it was determined that the application of electronic primers DIGISHOT PLUS optimizes the fragmentation of rocks in the north pit of the Antapaccay Mining Unit.

INDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
RESUMEN	IV
ABSTRAC	V
INDICE	VI
INDICE DE FIGURAS.....	X
INDICE DE CUADROS.....	XI
INDICE DE FOTOGRAFIAS.....	XII
INTRODUCCION	XIII
CAPITULO I.....	1
PLANEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	1
1.1. Planteamiento del Problema.....	1
1.2. Formulación del Problema	1
1.2.1. Problema General.....	2
1.2.2. Problemas Específicos.....	2
1.3. Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivo Especifico.....	2
1.4. Justificación e Importancia.....	2
1.5. Hipótesis y Descripción de Variables.....	3
1.5.1 Hipótesis General.....	3
1.5.2 Hipótesis Especificas	3
1.6. Variables	4
1.6.1. Variable Independiente	4
3.2.2. Variable Dependiente.....	4

1.7. Operacionalización de Variables.....	4
CAPITULO II.....	5
MARCO TEORICO	5
2.1 Antecedentes del Problema	5
2.1.1 Antecedentes Locales.....	5
2.1.2 Antecedentes Nacionales	6
2.2.3 Antecedentes Internacionales.....	6
2.2 Bases teóricas	8
2.2.1. Proceso de Fragmentación del Macizo Rocoso.....	8
2.2.2. Factores que Afectan la Fragmentación del Macizo Rocoso	8
2.2.3. Medición de la Fragmentación	9
2.2.4. Aplicación de Detonadores Electrónicos en el Proceso de Fragmentación...9	
2.2.5. Iniciador Electrónico DIGISHOT PLUS.....	10
2.2.5.1. Características de DIGISHOT PLUS.....	11
2.2.5.2. Componentes del Sistema DIGISHOT PLUS.....	13
2.2.5.3. Propiedades de iniciador electrónico DIGISHOT PLUS.....	17
2.2.5.4. Beneficios de DIGISHOT PLUS	17
CAPITULO III.....	19
UNIDAD MINERA ANTAPACCA Y	19
3.1. Ubicación y acceso	19
3.1.1. Ubicación	19
3.1.2. Accesibilidad	19
3.2. Geología.....	21
3.2.1. Geología general.....	21
3.2.2. Geología regional.....	21
3.2.3. Geología local	21
3.2.4. Mineralogía	22

3.3. Situación operacional en la Unidad Minera Antapaccay	22
3.3.1. Método de explotación en la mina Antapaccay.....	22
3.3.2. Plan de minado.....	23
3.3.3. Programa de producción.....	23
3.3.4. Ciclo de Minado	24
3.3.4.1. Perforación.....	24
3.3.4.2. Voladura.....	24
3.3.4.3. Carguío	25
3.3.4.4. Acarreo.....	25
CAPITULO IV.....	26
METODOLOGIA	26
4.1. Métodos y alcance	26
4.1.1. Método de investigación.....	26
4.1.2. Alcance de la investigación.....	26
4.1.3. Nivel de investigación	27
4.1.3.1. Descriptivo	27
4.1.3.2. Explicativo.....	27
4.1.4. Tipo de investigación	27
4.2. Diseño de la investigación	27
4.3. Técnica de investigación.....	27
4.4. Población y muestra.....	28
4.4.1. Población	28
4.4.2. Muestra	28
CAPITULO VI.....	29
APLICACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	29
5.1. Aplicación de Iniciación Electrónica DIGISHOT PLUS	29
5.1.1. Elección y Delimitación del Área de Estudio.....	29

5.1.2. Datos Generales del Área de estudio	30
5.1.3. Costos de Fragmentación del Macizo Rocoso.....	31
5.1.3.1. Iniciadores Electrónicos DIGISHOT PLUS	34
5.1.3.2. Iniciadores Convencionales	34
5.1.4. Costos Globales y Fragmentación Obtenida por la Aplicación de Iniciadores Electrónicos DIGISHOT PLUS	34
5.1.5. Ciclo de Carguío y Acarreo (Pala P&H 2800XPB – Camión 793 D) Ruta Tajo Norte Antapaccay – Chancadora Primaria Antapaccay	37
5.2. Análisis e Interpretación de datos	39
5.2.1. Fragmentación	39
5.2.2. Ciclo de Carguío	40
5.2.3. Costos Globales del Proceso de Minado	40
CONCLUSIONES	41
RECOMENDACIONES.....	42
BIBLIOGRAFÍA	43
ANEXO 1	45
ANEXO 2	46
ANEXO 3	47
ANEXO 4	48
ANEXO 5	49
ANEXO 6	50

INDICE DE FIGURAS

Figura N°: 1	Fases de la mecánica de roca.....	8
Figura N°: 2	Caracterización del macizo rocoso.....	9
Figura N°: 3	Sistema de iniciación electrónica.....	10
Figura N°: 4	Estación base	14
Figura N°: 5	Etiquetador CE4	14
Figura N°: 6	Iniciador DIGISHOT.....	15
Figura N°: 7	Smartkey rojo	16
Figura N°: 8	Smartkey amarillo.....	16
Figura N°: 9	Sistema DIGISHOT PLUS.....	18
Figura N°: 10	Plano de ubicación de la Unidad Minera Antapaccay	20
Figura N°: 11	Columna estratigráfica Antapaccay.....	22
Figura N°: 12	Tajo Norte - banco 3840.....	29

INDICE DE CUADROS

Cuadro N: 1	Propiedades DIGISHOT PLUS.....	17
Cuadro N: 2	Clasificación de las rocas - Antapaccay.....	21
Cuadro N: 3	Flota de Carguío Antapaccay.....	25
Cuadro N: 4	Flota de Acarreo Antapaccay.....	25
Cuadro N: 5	Información general.....	30
Cuadro N: 6	Costo de perforación.....	31
Cuadro N: 7	Costo de voladura.....	32
Cuadro N: 8	Costo accesorios de voladura convencional.....	32
Cuadro N: 9	Costo de accesorios de voladura electrónica.....	33
Cuadro N: 10	Tonelada de roca rota.....	33
Cuadro N: 11	Fragmentación con iniciación electrónica.....	34
Cuadro N: 12	Fragmentación con iniciación convencional.....	34
Cuadro N: 13	Target granulométrico requerido por planta.....	35
Cuadro N: 14	Granulometría del 12 al 19 de noviembre 2018.....	35
Cuadro N: 15	Mineral menor a 1" ingresado a planta.....	36
Cuadro N: 16	Costos de planta vs fragmentación.....	36
Cuadro N: 17	Variación de costos globales.....	37
Cuadro N: 18	Tiempos de ciclado.....	38
Cuadro N: 19	Tiempo de ciclado post aplicación de DIGISHOT PLUS.....	38

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1	Fragmentación pre-aplicación de iniciación electrónica	30
Fotografía 2	Fragmentación post-aplicación de iniciación electrónica	31

INTRODUCCION

Para desarrollar una buena fragmentación en el proceso de minado es necesario contar con los medios y logística necesaria. Es así que ante la problemática sobre la mala fragmentación del macizo rocoso de la Unidad Minear Antapaccay se buscó alternativas de solución, aplicándose la iniciación electrónica DIGISHOT PLUS para mejorar esta.

Por tal motivo ante la pregunta ¿La aplicación de iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS podrá optimizar la fragmentación de rocas en el Tajo Norte de la unidad minera Antapaccay? se desarrolló el presente trabajo de investigación.

El método empleado para la presente investigación fue el científico, buscando definir un conocimiento objetivo y veraz, el presente trabajo de investigación se desarrolló en cinco capítulos de manera esquemática como se detalla a continuación:

En el primer capítulo se hace el planteamiento del problema, los objetivos, justificación, importancia, alcances y limitaciones de la investigación.

En el segundo capítulo se redacta el marco teórico; el cual está compuesto de los antecedentes, bases teóricas donde se describe ampliamente los iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS.

En el tercer capítulo se realiza una breve descripción de la Unidad Minera Antapaccay; ubicación, accesos, geología, plan de minado y ciclado

En el cuarto capítulo se presenta la metodología con la cual se desarrolló el presente trabajo de investigación, teniendo presente el método alcance y nivel de investigación conjuntamente con la población y la muestra contemplada en el presente estudio.

En el quinto capítulo se desarrolla la aplicación, análisis e interpretación de resultados productos de la aplicación de iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS.

Finalmente se hace redacción de conclusiones y recomendaciones productos de la investigación realizada en el presente trabajo de investigación.

CAPITULO I

PLANEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento del Problema

En la actualidad la minería busca obtener una productividad de bajo costo que sea sostenible y segura con calidad en todos sus procesos. Por ello conseguir una buena fragmentación del macizo rocoso es de suma importancia, debido a que un material más fragmentado y homogéneo reduce los costos de trituración, mejora flujos horarios y aumenta el tonelaje tratado en molienda primaria. Trayendo como consecuencia una reducción en los costos en el ciclo de minado.

Actualmente la Unidad Minera Antapaccay, presenta un problema en cuanto a la mala fragmentación del macizo rocoso producto de una deficiente voladura (bolonería). Esta mala fragmentación conlleva a tener que realizar una voladura secundaria trayendo como consecuencia un sobre costo en todo el ciclo de minado.

Es por ello que; el objetivo de la presente investigación es estudiar la voladura con iniciadores electrónicos para optimizar la fragmentación del macizo rocoso en la unidad minera objeto de estudio.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿La aplicación de iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS podrá optimizar la fragmentación de rocas en el Tajo Norte de la unidad minera Antapaccay?

1.2.2. Problemas Específicos

¿Cómo se puede determinar en qué medida la aplicación de iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS mejora el ciclo de minado en el Tajo Norte de la Unidad Minera Antapaccay?

¿Cómo se puede reducir los costos globales del proceso de minado mediante la aplicación de iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS en el Tajo Norte de la unidad minera Antapaccay?

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar como la aplicación de iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS podrá optimizar la fragmentación de rocas en el Tajo Norte de la Unidad Minera Antapaccay.

1.3.2 Objetivo Especifico

- Determinar en qué medida el uso de iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS mejora el ciclo de minado en el Tajo Norte de la Unidad Minera Antapaccay.
- Reducir los costos globales del proceso de minado mediante el uso de iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS en el Tajo Norte de la Unidad Minera Antapaccay

1.4. Justificación e Importancia

Ante la problemática existente en la Unidad Minera Antapaccay, con respecto a la mala fragmentación del macizo rocoso (bolonería) y buscando optimizar los estándares de

fragmentación de la roca para lograr una mayor productividad y minimizar los costos en el ciclo de minado.

Nace el presente proyecto de investigación teniendo como objetivo principal; estudiar como la aplicación de iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS podrá optimizar la fragmentación del macizo rocoso en la Unidad Minera Antapaccay.

La importancia de esta investigación se basa en dos aspectos fundamentales para la minería, los cuales se detallan a continuación:

- **Factor Económico:** La optimización en el proceso de fragmentación del macizo rocoso mediante la aplicación de iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS, podrá disminuir significativamente los costos del proceso de minado (carguío, transporte, chancado, molienda y el proceso de recuperación).
- **Factor Operacional:** La aplicación de iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS conjuntamente con el explosivo para lograr aprovechar la energía rompedora de estos y mejorando la fragmentación de la roca mineralizada, reduce los tiempos de carguío, incrementando la operatividad de los equipos mineros y la producción del mineral en planta, trayendo como consecuencia mayor rentabilidad para la unidad minera.

1.5. Hipótesis y Descripción de Variables

1.5.1 Hipótesis General

El uso de iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS optimiza la fragmentación de rocas en el Tajo Norte de la Unidad Minera Antapaccay.

1.5.2 Hipótesis Específicas

- El uso de iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS mejora el ciclo de minado en el Tajo Norte de la Unidad Minera Antapaccay.
- El uso de iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS reduce los costos globales del proceso de minado en el Tajo Norte de la Unidad Minera Antapaccay

1.6. Variables

1.6.1. Variable Independiente

- Características geomecánicas del macizo rocoso

3.2.2. Variable Dependiente

- Detonadores electrónicos "DIGISHOT PLUS"
- Fragmentación del macizo rocoso.

1.7. Operacionalización de Variables

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	TECNICAS	INSTRUMENTO
INDEPENDIENTE: Características geomecánicas del macizo rocoso.	FISICA: Caracterización geomecánica	Índice RMR de Bienianwski	Observación In Situ	Flexómetro Índices y ensayos de campo
DEPENDIENTE: Implementación de los detonadores electrónicos "DIGISHOT PLUS" Fragmentación del macizo rocoso.	ECONÓMICA: Reducción del costo global en el ciclo de minado	Costo por Tonelada	Ecuaciones Matemáticas Razón de Concentración	Recuperación metalúrgica
	OPERATIVA: Reducción del tiempo de carguío y acarreo de los equipos mineros	Tiempo de carguío	Ecuaciones matemáticas Software especializado DISPACHT	Ciclo de carguío

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes del Problema

Como antecedentes de este problema se tienen los siguientes estudios:

2.1.1 Antecedentes Locales

PAREDES PONCE, R. 2014. *Empleo de detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación en el sector yeso anhidrita en mina modelo a tajo abierto – Toquepala*. Universidad Nacional San Agustín. La conclusión es: “El uso de detonadores electrónicos en voladura con respecto a la seguridad es de un 100%, garantiza una detonación ordenada de acuerdo al diseño planificado, mejorando los parámetros de perforación y voladura y mejorando la fragmentación del macizo rocoso en un 13.0%, disminuyendo la bolonería en un 43.0%. Los detonadores electrónicos en voladura permitieron la reducción de del factor de carga hasta 9.0%, reduciendo el costo por tonelada métrica volada. Además, se ha tenido un ahorro en voladura y minado de 29 162.56 US\$, permitiendo proyectar un ahorro anual de 1 425 034.35 US\$ para el año 2014 en costos globales de minado”. (1)

2.1.2 Antecedentes Nacionales

ROMERO PAUCAR, R. 2016. *Voladura con detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación y seguridad en el tajo Toromocho – Minera Chinalco Perú S.A.* Universidad Nacional del Centro del Perú. La conclusión es: “Los estudios realizados en la Minera Chinalco con respecto a la voladura con detonadores electrónicos permiten optimizar la fragmentación del macizo rocoso, reduciendo el P_{80} en la zona oeste 5%, zona este 16.7% con respecto a la voladura con detonadores pirotécnicos. Trayendo como consecuencia una mejora en la producción de 2.1% (zona oeste) y 7.0% (zona este) generando mayor rentabilidad para la mina”. (2)

CHOQUEÑA CALLATA, 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.* Universidad Nacional del Altiplano. La conclusión es: “Se ha realizado 8 pruebas P_{80} el año 2014 dando como resultado un P_{80} de 7.9387 pulgadas, en busca de una mejor fragmentación de se aplicó el software *Wip Frag 2010* para realizar 3 pruebas en el banco 4112 Proyecto 5, dando como resultado un P_{80} de 4.03, 3.58 y 5.38 pulgadas respectivamente, sacando un promedio de fragmentación de P_{80} de 3.405 pulgadas como tamaño óptimo de fragmentación”. (3)

HINOSTROZA SIERRA, J. 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.* Universidad Nacional Mayor de San Marcos. La conclusión es: “Los estudios e investigaciones realizados en mina Toquepala demuestran la importancia del uso de los iniciadores electrónicos para la fragmentación de la roca en la zona mineralizada. Esta implementación conjuntamente con las modificaciones de los parámetros en el diseño de mallas y cargas de los taladros incremento los costos de perforación y voladura, pero, al mejorar la fragmentación del macizo rocoso hasta en un 36 % se tendrá una mayor producción de mineral y reducir los costos totales del ciclo de minado”. (4)

2.2.3 Antecedentes Internacionales

BERNAOLA ALONSO, J; CASTILLA GOMEZ, J; HERRERA HERBERT, J. 2013. *Perforación y Voladura de Rocas en Minería.* En: Universidad Politécnica de Madrid. *Detonadores Electrónicos.* Madrid, pp 117. Dice: “Los detonadores electrónicos son la

última evolución de los sistemas de iniciación para voladuras. Su desarrollo comenzó hace bastantes años, pero todavía el uso de este tipo de sistema está centrado a ciertas aplicaciones donde se buscan unos resultados específicos.” (5) La diferencia entre un detonador electrónico y cualquier otro, es que la pasta pirotécnica que determina el tiempo de retardo ha sido sustituida por un circuito electrónico, que está compuesto por un microchip que es el encargado de activar el dispositivo en el tiempo deseado. Cada detonador electrónico tiene un código alfanumérico que sirve para su posterior programación y disparo. Las características explosivas de un detonador electrónico son las mismas que otros sistemas de iniciación, pero su precisión es mayor que otros detonadores de retardo pirotécnico.

SANZ CONTRERAS, J. 1993. Manual para el Control y Diseño de Voladuras en Obras de Carreteras. En: Ediciones Informatizadas S.A. *Accesorios para la Iniciación de Explosivos*. Madrid, pp 119. “El explosivo necesita ser activado, mediante un detonador el cual puede estar emplazado dentro de un cartucho cebo en contacto con el resto de la carga o bien mediante un cordón detonante que va a transmitir su detonación al resto de la carga explosiva. Cuando el detonador es de tiempo (retardo o microretardo) lleva incorporado un elemento retardador o relé de tipo pirotécnico, constituido por un casquillo metálico en cuyo interior se ha colocado una pasta retardadora de precisión” (6)

DAVEYTRONIC. 2014. Sistema de Detonación electrónica Daveytronic SP Aplicaciones s en el Perú. En: Davey Bickford High-tech Intiation Company. *Aplicaciones en la Minería Peruana*. Santiago, pp 33 – 66. La conclusión es: “El equipo Davey Bickford en julio del 2012 inicio pruebas del detonador Daveytronic IV en el tajo La Quinoa – Tapado Oeste en Yanacocha simulando un conjunto de escenarios, variando el tiempo entre pozos, filas, punto de inicio, dirección y desplazamiento en un ordenador con la finalidad de eliminar acoplamientos y demás fallas en la secuencia de detonación. En este proceso se alcanzó una fragmentación pasante al 80% de 2.60 pulgadas, tamaño característico de 3.54 pulgadas y un índice de uniformidad de 1.53 pulgadas en el frente de minado. Concluyendo que los detonadores electrónicos son una solución a los problemas de fragmentación, siendo una herramienta eficiente de control. Además, el mayor precio de un detonador pirotécnico convencional y las ventajas mencionadas van en beneficio de una reducción de costos globales en el ciclo de minado”. (7)

2.2. Bases teóricas

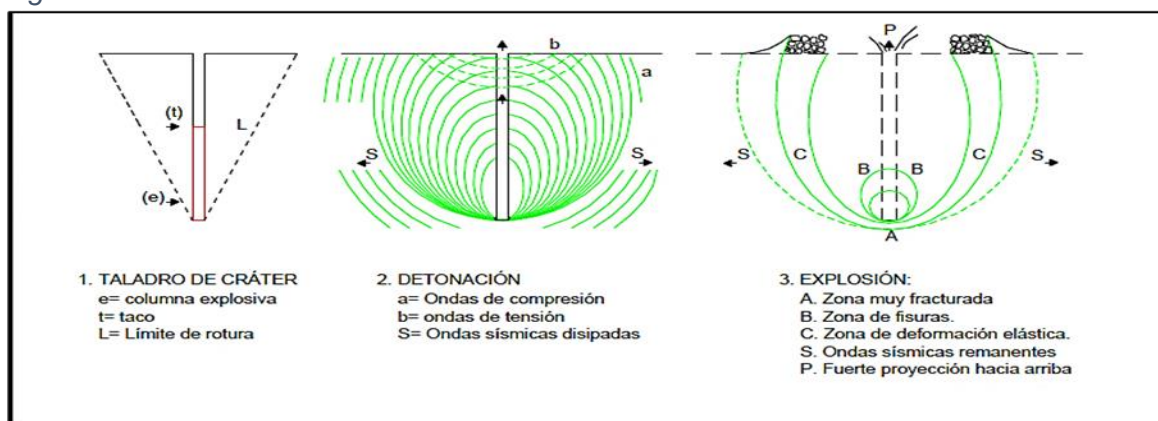
2.2.1. Proceso de Fragmentación del Macizo Rocoso

El proceso de fragmentación ya sea superficial o subterránea se da por el mecanismo de transferencia de energía liberada producto de la aplicación del detonador electrónico DIGISHOT PLUS conjuntamente con un explosivo determinado. En este proceso se distinguen dos fases:

- La onda de choque que produce un fuerte impacto.
- La expansión violenta de gases producto de la explosión.

Además, “Esta primera onda de choque recorre el macizo rocoso a velocidades que oscilan entre los 3000 y 5000 m/s y producto de ello la resistencia a la tracción del macizo rocoso es de 10 a 100 veces menos que su resistencia a la compresión”. (5)

Figura N°: 1 Fases de la mecánica de roca



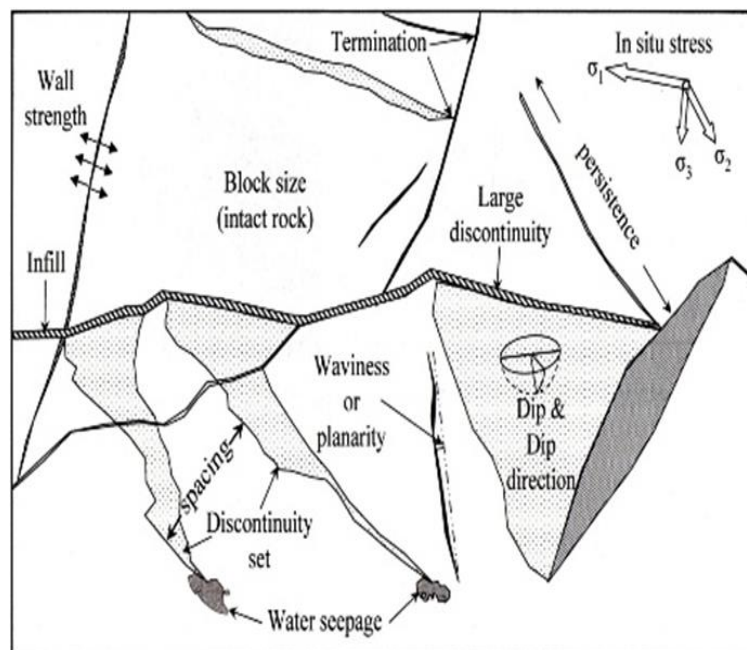
Fuente: Métodos de iniciación (8)

2.2.2. Factores que Afectan la Fragmentación del Macizo Rocoso

Los factores que afectan la fragmentación del macizo rocoso producto de la aplicación de iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS son numerosas, pero las más importantes son:

- La resistencia del macizo rocoso y juntas presentes en el mismo.
- La capacidad de absorción de energía del macizo rocoso.

Figura N°: 2 Caracterización del macizo rocoso



Fuente: Konya, J. Diseño de voladura (9)

2.2.3. Medición de la Fragmentación

La medición se realiza para analizar el ciclo de carguío (pala / camión) y los costos globales del ciclo de minado (Incluido el proceso de recuperación en planta). Mediante los siguientes pasos:

- Granulometría (análisis de imágenes y zarandeo).
- Rendimiento de la pala – Dispatch.
- Producción de la chancadora.
- Producción de molino SAG.
- Recuperación en la lixiviación.

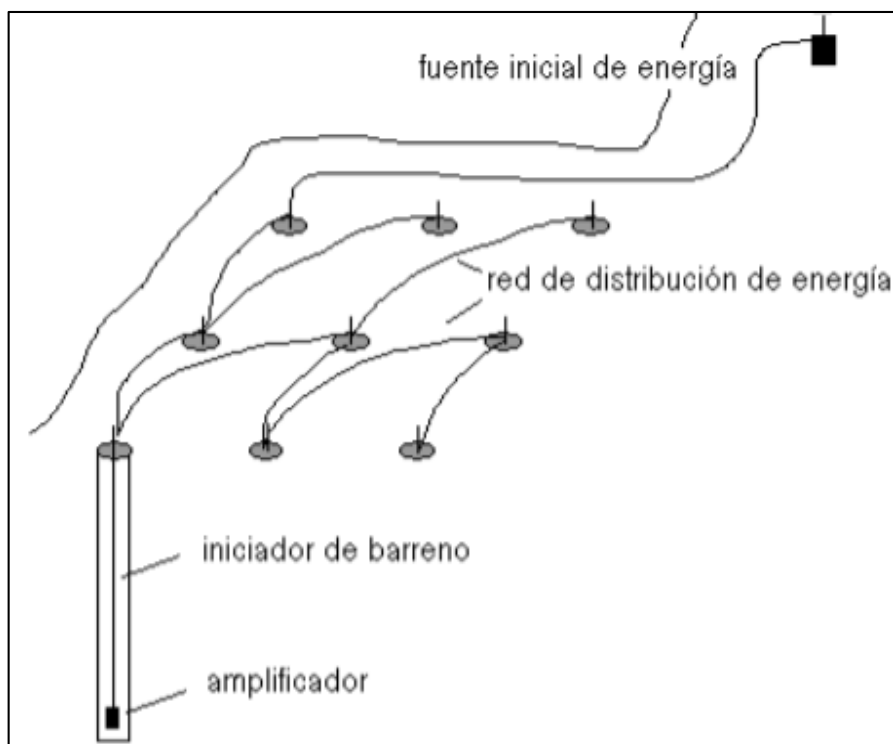
2.2.4. Aplicación de Detonadores Electrónicos en el Proceso de Fragmentación

Para que el proceso de detonación se inicie correctamente es necesario el uso de medios y técnicas que permitan iniciar el proceso de detonación del explosivo y consecuentemente de logre una buena fragmentación del macizo rocoso.

En la iniciación de una voladura se presentan diferentes diseños para la aplicación de detonadores electrónicos que van desde el uso de uno o cientos de ellos con una secuenciación adecuada para lograr los resultados esperados en el proceso de fragmentación del macizo rocoso.

“Los detonadores electrónicos son la última evolución de los sistemas de iniciación para voladuras. La diferencia fundamental entre el detonador electrónico y cualquier otro es la pasta pirotécnica que determina el tiempo de retardo ha sido sustituida por un circuito electrónico, en el cual un microchip es el encargado de realizar la descarga de un condensador en el instante deseado. Cada detonador electrónico está identificado con un código alfanumérico que sirve para su posterior programación y disparo”. (5)

Figura N°: 3 Sistema de iniciación electrónica



Fuente: Konya, J. Diseño de voladura (9)

2.2.5. Iniciador Electrónico DIGISHOT PLUS

“DIGISHOT PLUS es un producto de sistema de iniciación electrónica de Dyno Nobel el cual presenta una precisión de tiempos de retardo exacta y está

diseñado para aplicarse en cualquier condición climática, debido a su rápido despliegue con un cable descendente reforzado y conectores a superficie. Este sistema es completamente programable, flexible y amigable con el usuario”. (9 pág. 1)

“Los detonadores pueden conectarse a la línea troncal en cualquier orden práctico, no sólo en el orden de iniciación. Además, se les puede asignar diferentes tiempos de retardo a cada uno para obtener una mejor secuencia de salida”. (9 pág. 1)

2.2.5.1. Características de DIGISHOT PLUS

a) Etiquetador amigable

“El Etiquetador CE4 es un dispositivo de mano liviano, inherentemente seguro, que se utiliza para seleccionar y almacenar la ubicación del orificio de explosión en el detonador. El Etiquetador CE4 se puede usar para probar un detonador individual, parte del patrón o todo el circuito antes de abandonar el banco”. (10)

b) Confiabilidad Robusta

“La línea descendente del detonador sobre extruido y el robusto conector garantizan una comunicación confiable entre el detonador electrónico DIGISHOT PLUS, la caja de pruebas y el etiquetador CE4”. (10)

c) Mejor Control de la Vibración

“La precisión y las capacidades de sincronización precisas del sistema dan como resultado una reducción significativa en los niveles de vibración durante el proceso de voladura, lo que hace que el sistema de iniciación electrónico programable DIGISHOT PLUS sea adecuado para su aplicación en áreas ambientalmente sensibles”. (10)

d) Software Fácil de Usar

“Se minimiza el tiempo de entrenamiento mediante una interfaz de software sencilla y controlada por menús, junto con la capacidad de conectar detonadores en cualquier orden, lo convierte en un sistema fácil de usar que minimiza la capacitación”. (10)

e) Seguridad

“El sistema está protegido por contraseña y requiere una SmartKey, incrustada con una señal codificada, para disparar la explosión”. (10)

f) Escalabilidad Blast

“El sistema de iniciación electrónico DIGISHOT PLUS es capaz de iniciar hasta 1800 detonadores por explosión en modo independiente y 7200 detonadores en modo sincronizado, con soporte para hasta 15 detonadores por orificio”. (10)

g) Dispositivo de Voladura Simple

“Los detonadores se conectan directamente al equipo de voladura sin la necesidad de equipos intermediarios. Bench Box incluye 6 canales, cada uno con capacidad para 300 detonadores, lo que permite un despliegue simple”. (10)

h) Disparo Remoto

“El sistema ofrece una capacidad máxima de disparo remoto de hasta 3000 m de visibilidad (6000 m con un repetidor opcional)”. (10)

i) Mejor Despliegue y Asignación de Tiempos

“La asignación de demora se ejecuta desde la caja de banco, ya sea automáticamente a través de View Shot (software de diseño de tiempo), o manualmente, seleccionando los tiempos para cada detonador individual en la caja de banco. El diseño del tiempo puede ajustarse en cualquier etapa después de esto, hasta el momento de la voladura. Si el usuario requiere ajustes, no es necesario volver a visitar el detonador para lograr esto”. (10)

El sistema de iniciación electrónico DIGISHOT PLUS también ofrece adicionalmente las siguientes características:

- Puede realizarse el disparo de manera remota.
- Posee una amplia capacidad para iniciar voladuras (hasta 1800 detonadores).

- Es compatible con su PC o PC para descargar los diseños realizados mediante software especializado para sistemas de iniciación electrónica.
- Los detonadores DIGISHOT PLUS son verificables en comunicación de dos vías (voladura o punto de disparo), facilitándose la identificación de fallas y facilitando su reparación.
- Los detonadores DIGISHOT PLUS se pueden verificar de manera individual, por filas o por todo el patrón antes de ser conectado al equipo de disparo.

Además, es compatible con la banda de frecuencia de 900 MHz, el sistema también puede configurarse para funcionar en la banda de 2.4 GHz.

2.2.5.2. Componentes del Sistema DIGISHOT PLUS

a) Estación base/ caja de banco

Caja de banco

- Caja de voladura conectada al cable del mazo de cables y colocada a una distancia segura cerca del banco.
- Recibe el comando de disparo de la estación base.
- Seis canales, cada uno tiene capacidad para 300 detonadores.
- Se puede usar en modo independiente para disparar hasta 1800 detonadores.

Estación base

- Se coloca en el punto de seguridad y controla de forma remota el encendido sincronizado de las cajas de banco.
- Los menús de pantalla fáciles de seguir guían al bláster a través de todas las opciones de demora y disparo.
- La unidad requiere una contraseña para activar la explosión.
- Una estación base puede controlar 4 cajas de banco para una explosión de detonador 7200.

La caja de banco y la estación base son intercambiables

Figura N°: 4 Estación base



Fuente: Dyno Nobel Inc. (10)

b) Etiquetador CE4

El CE4 Tagger es una innovación líder de Detnet y la mejor de su tipo en la industria.

- Prueba y asigna ubicaciones a los detonadores.
- Pruebas de fugas y solución de problemas del banco.
- Pruebe hasta 300 detonadores a la vez y etiquetas 1800 detonadores en total.
- Excelente tecnología de gestión de la batería y carga USB estándar.
- Prueba automática del detonador durante el etiquetado, que verifica el nivel de respuesta, el consumo de corriente, la fuga y el cabezal del fusible.

Figura N°: 5 Etiquetador CE4



Fuente: Dyno.Nobel Inc. (10)

c) Detonador Electrónico DIGISHOT PLUS

- Un detonador electrónico totalmente programable que se adapta a todos los tipos de operaciones de voladura.
- Verificación del voltaje de disparo suficiente en el detonador más lejano, antes de que el usuario presione la tecla de disparo.
- La cáscara del detonador de cobre encaja en un refuerzo estándar.
- Milisegundos de precisión de tiempo.

Figura N°: 6 *Iniciador DIGISHOT*



Fuente: *Dino Nobel Inc. (10)*

d) SmartKey rojo

- Se usa para voladuras remotas desde una estación base y, en este caso, se debe emparejar con la SmartKey amarilla en uso.
- Se utiliza para voladuras locales directamente desde una caja de banco y, en este caso, es el último enlace físico en el circuito de voladuras.
- La explosión se puede abortar eliminando la SmartKey de la caja de banco o la estación base.
- PIN protegido.
- El comando de disparo del detonador se almacena en la SmartKey y la voladura no es posible hasta que se inserta la llave.

Figura N°: 7 Smartkey rojo



Fuente: Dino Nobel Inc. (10)

e) SmartKey amarillo

- Utilizado para voladuras remotas.
- Último enlace físico en circuito de explosión en caja de banco.
- La explosión se puede abortar retirando la SmartKey de la caja de banco.
- PIN protegido.
- Debe emparejarse con una SmartKey roja a juego.

Figura N°: 8 Smartkey amarillo



Fuente: Dino Nobel Inc. (10)

2.2.5.3. Propiedades de iniciador electrónico DIGISHOT PLUS

Cuadro N: 1 Propiedades DIGISHOT PLUS

Propiedades		MSDS #1152			
Cápsula	Cobre				
Color del cable	Verde de alta visibilidad				
Resistencia a la tracción	374 N / 84 lbs				
Temperatura de funcionamiento (rango)	-20° to +50°C -4° to +122°F				
Fuerza del Detonador	#12				
Cantidad neta de explosivo (por 100 units)	0.0885 kg / 0.1951 lbs				
Retardo máximo	20,000 ms				
Máximo Detonadores por Bench Box	1800*				
<small>*Utilizing DIGISHOT PLUS1800 Bench Box</small>					
Máxima Longitud del cable de superficie	2.5 km / 1.55 mi				
Embalaje	Longitud (m)		Cantidad por caja	Peso Bruto	
	Metros	Pies		kg	lbs
	6	20	110	12,3	27,2
	9	30	84	12,9	28,4
	15	50	60	14,0	30,9
	18	60	50	14,6	32,2
	24	80	40	15,0	33
	30	100	32	14,9	32,8
	37	120	24	13,5	29,8
	46	150	24	16,2	35,7
	55	180	18	15,5	34,2
75	245	15	17,0	37,5	
<small>Longitudes redondeadas a enteros metro</small>					
Clasificación de riesgo para el transporte					
Detonador, eléctrico, 1.4B, UN 00255 PG II					

Fuente: Detnet (11)

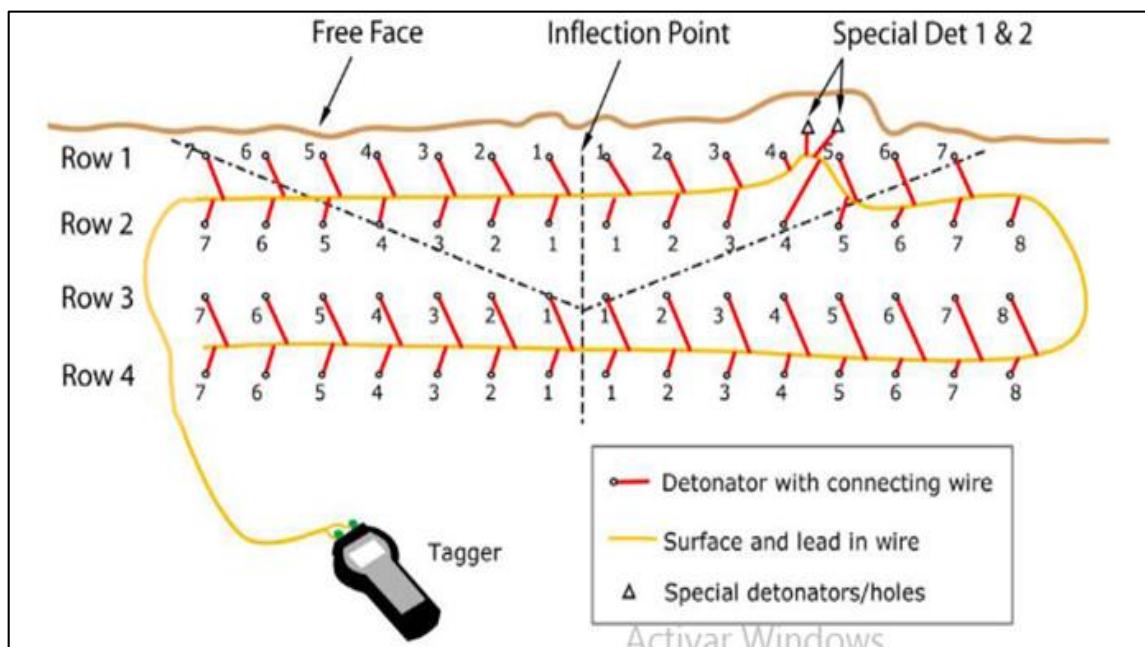
2.2.5.4. Beneficios de DIGISHOT PLUS

- “La precisión electrónica de este permite una buena fragmentación, mejor rendimiento del chancador y molino, reducción de las vibraciones y/o mejoradas en la frecuencia”. (9 pág. 2)
- “Con las mejoras del sistema DIGISHOT PLUS, la voladura puede ser iniciada de 2 maneras y siempre desde un lugar seguro: usando el

modo de disparo remoto inalámbrico (RF) o la típica iniciación por cable”. (9 pág. 2)

- “Software con menú paso a paso, con los softwares de diseño de voladuras BenchMark y ViewShot de Dyno Nobel, los diseños de voladura y tiempos se pueden transferir fácilmente desde el PC o Laptop al Bench Box DIGISHOT PLUS”. (9 pág. 2)
- “El Bench Box DIGISHOT PLUS facilita el diseño de voladura, que puede ser precargado en el Bench Box separado de los detonadores o después de la conexión desde un lugar seguro”. (9 pág. 2)
- “Mínimos componentes en la voladura sólo el detonador electrónico DIGISHOT PLUS (en el pozo) y el cable troncal de 2-vías”. (9 pág. 2)
- “El Tagger DIGISHOT PLUS asigna una posición a cada detonador (número fila y pozo) cuando se carga y testea en el pozo. El sistema DIGISHOT PLUS es completamente programable permite retardar cada detonador de forma individual y también ofrece un proceso de asignación de retardos automático”. (9 pág. 2)

Figura N°: 9 Sistema DIGISHOT PLUS



Fuente: Detnet(11)

CAPITULO III

UNIDAD MINERA ANTAPACCAY

3.1. Ubicación y acceso

3.1.1. Ubicación

“La Unidad Minera Antapaccay se encuentra ubicada a 4100 m.s.n.m. en el distrito de Yauri, provincia de Espinar – Cusco, aproximadamente a 256 Km al sureste de la ciudad de Cusco, a 260 Km de la ciudad de Arequipa.

Antapaccay es la operación cuprífera de más reciente creación entre las unidades mineras de GLENCORE que operan en el Perú. Inicio sus operaciones en noviembre del 2012 con una inversión de USD 1.500 millones. Su producción principal son los concentrados de cobre.” (12)

3.1.2. Accesibilidad

Por tierra:

- Carretera afirmada de Cusco hasta Sicuani (132 Km) y asfaltada de Sicuani a Antapaccay.
- Carretera Asfaltada de Arequipa hasta Imata (125 Km) y afirmada desde Imata hasta Antapaccay

Por aire:

- Aterrizaje en un pequeño aeropuerto para naves ligeras, ubicado a 2.5 Km al este Espinar (Yauri).

Figura N°: 10 Plano de ubicación de la Unidad Minera Antapaccay



Fuente: Glencore

3.2. Geología

3.2.1. Geología general

“La mina Antapaccay es un depósito de tipo pórfido – Skarn de Cu, Au, Ag y Mo, la mineralización se encuentra emplazada en los cuerpos intrusivos como diseminado, rellenando fracturas y hacia el contacto con las rocas sedimentarias (calizas)”. (11)

Cuadro N: 2 Clasificación de las rocas - Antapaccay

TIPOS DE ROCA MINA ANTAPACCAY		
Mineral		
Tipo de Roca	Abreviatura	Densidad
Monzonita	MZ	2.58
Desmonte		
Tipo de Roca	Abreviatura	Densidad
Aluvial - Morrena	ALU	2.27
Andesita	AND	2.58
Calcita	CAL	2.65
Caliza	CZ	2.65
Diorita	DIO	2.64
Endoskarn	END	2.86
Dacita	DAC	2.46
Latita	LAT	2.58
Skarn	SK	2.86

Fuente: Unidad Minera Antapaccay

3.2.2. Geología regional

“Compuesta de una gruesa secuencia sedimentaria cretácica plegada durante las deformaciones andinas e influidas por stock, sills y diques del batolito Andahuaylas-Yauri, cubierto por depósitos lacustrinos, volcánicos micénicos y cuaternarios. Presentan un comportamiento dúctil con tendencia fracturamiento y alta permeabilidad secundaria”. (11)

3.2.3. Geología local

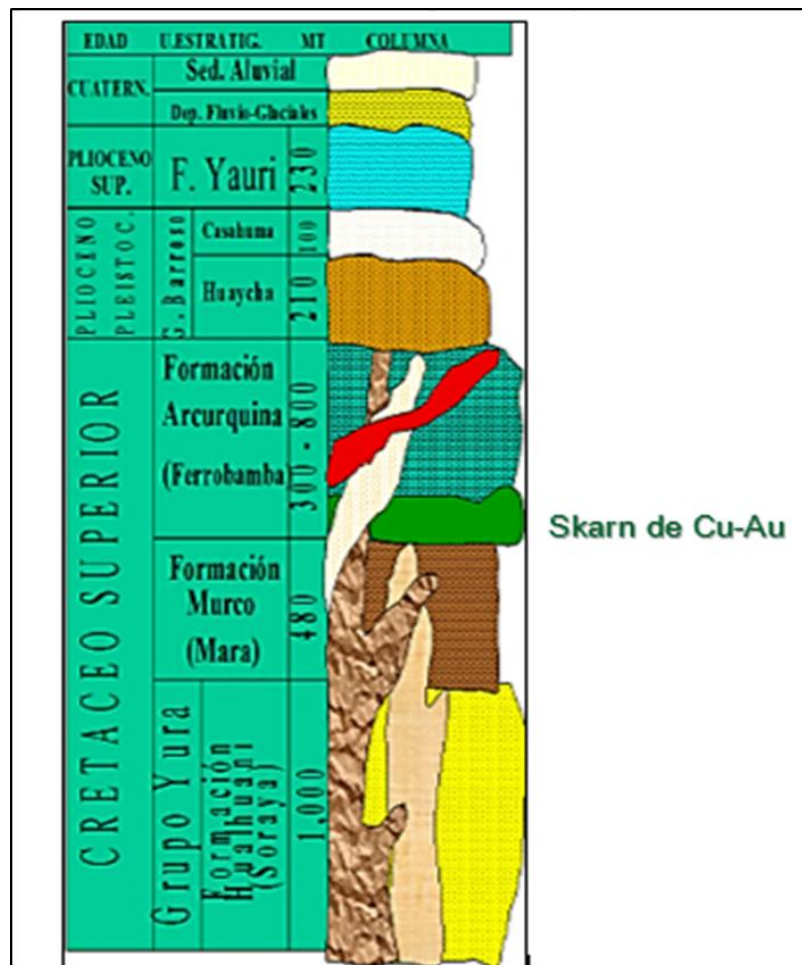
“La formación Murco ha sido reconocida por taladros diamantinos, en todos ellos se presenta metamorfismo predominando el hornfels de biotita sobre el piroxeno, de igual manera la formación Arcurquina (Ferrobamba) presenta metamorfismo predominando el mármol gris. Esta secuencia sedimentaria presenta pliegues con amplitudes asimétricas menores a un kilómetro, con ejes de

orientación NW y NNW que han sido cortados por fallas con rumbo NW-SE (Faya Cañipia) y el buzamiento SW". (11)

3.2.4. Mineralogía

Por su ubicación geográfica y características litológicas, la Unidad Minera Antapaccay presenta una mineralización característica compuesta por:

Figura N°: 11 Columna estratigráfica Antapaccay



Fuente: Unidad Minera Antapaccay

3.3. Situación operacional en la Unidad Minera Antapaccay

3.3.1. Método de explotación en la mina Antapaccay

Dadas las características estructurales y geomecánicas del macizo rocoso conjuntamente con la geología, ubicación, dimensiones y proximidad a la superficie

de cuerpo mineralizado; el método de explotación elegido en la Unidad Minera Antapaccay es el de Tajo Abierto Mecanizado.

3.3.2. Plan de minado

En la Unidad Minera Antapaccay para el planeamiento a corto mediano a largo plazo, se utiliza el software Mine Sight (Sistema de Diseño y Evaluación de Minerales)

Los datos y operaciones sobre los mismos son:

- Operaciones con datos de sondajes.
- Operaciones con datos digitalizados.
- Operaciones con compuestos.
- Operaciones de modelamiento.
- Diseño económico del pit.
- Evaluación del pit.
- Programa de producción.

3.3.3 Programa de producción

En la Unidad Minera Antapaccay para un adecuado cumplimiento de los programas de producción se hace uso del software DISPATCH (Software de Posicionamiento Global), en este software se interrelacionan todas las operaciones unitarias a desarrollarse en el ciclo de minado a fin de verificar en tiempo real la situación de cada uno de ellos, tratando de que el proceso productivo no se vea alterado y optimizando el proceso productivo de la mina.

El programa de producción es una operación continua y está dado por:

- Elaboración de planes semanales.
- Seguimiento a la productividad de las perforadoras.
- Evaluación de las velocidades de producción y capacidad requerida de la mina.
- Cálculo y almacenamiento de programas de mina anuales para el análisis económico.

3.3.4. Ciclo de Minado

3.3.4.1. Perforación

Consiste en apertura hoyos en la superficie del macizo rocoso siguiendo los patrones de diseño de mallas establecidos previamente, con la finalidad de alcanzar una buena fragmentación para su posterior traslado a la planta de beneficio, botadero o stock pile.

En esta operación se debe tener en cuenta las características físicas del macizo rocoso ya que estos determinaran el diseño de malla a elegir.

3.3.4.2. Voladura

Esta es la operación más relevante dentro del proceso de extracción del mineral, tiene como principal objetivo lograr la adecuada fragmentación del mineral, evitando el uso de perforación secundaria y reduciendo los costos del ciclo de minado para su posterior traslado a la planta de beneficio.

Esta operación en la actualidad en la Unidad Minera Antapaccay se realiza mediante la utilización del QUANTEX, el cual es una mezcla de:

- Emulsión G.
- Nitrito de Sodio.
- Petróleo.
- Aceite usado.

Además es complementado con la aplicación de accesorios de voladura como:

- Iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS.
- Boosters.
- Cable de disparo.
- Cordón detonante.

3.3.4.3. Carguío

En la Unidad Minera Antapaccay el carguío del material producto de la voladura se realiza mediante palas eléctricas y cargadores frontales de diferentes capacidades y dimensiones. Los cuales se detalla a continuación:

Cuadro N: 3 Flota de Carguío Antapaccay

FLOTA DE CARGUIO				
	DISPONIBILIDAD		UTILIZACION	
	Actual	Forecast	Actual	Forecast
CAT 7495	99	87	81	87
CAT 6060FS	89	82	89	80
2800 XPB	96	88	75	80

Fuente: Unidad Minera Antapaccay

Para que esta operación sea eficiente es necesario contar con una buena fragmentación del macizo rocoso. Siendo este último un factor determinante en el proceso de productividad del ciclo de minado.

3.3.4.4. Acarreo

Es la carga del material fragmentado (estéril o mineral) desde el yacimiento hasta un lugar previamente destinado (botaderos, planta concentradora, stock pile etc.). Esta operación está conformada por la flota de volquetes de la mina. Los cuales detallaremos a continuación:

Cuadro N: 4 Flota de Acarreo Antapaccay

FLOTA DE ACARREO				
	DISPONIBILIDAD		UTILIZACION	
	Actual	Forecast	Actual	Forecast
797 F	88	87	86	90
930 E	77	87	86	90
793 D	88	87	88	90
830 E	92	90	90	90

Fuente: Unidad Minera Antapaccay

CAPITULO IV

METODOLOGIA

4.1. Métodos y alcance

4.1.1. Método de investigación

Se refiere a los procedimientos, técnicas que tiene como finalidad recolectar la data para su posterior análisis mediante instrumentos de medición los cuales nos dará la información para verificar y/o analizar los resultados de los mismos.

El método a usar en la presente investigación será el método científico; el cual se define como un procedimiento ordenado mediante el cual se puede alcanzar un conocimiento objetivo y veraz de la realidad.

4.1.2. Alcance de la investigación

El alcance de la presente investigación está circunscrita al banco de minado ubicado en el Tajo Norte, nivel 3840 en zona monzonita de la Unidad Minera Antapaccay. Los resultados y conclusiones que se obtendrán tienen como fin demostrar los beneficios del uso de iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS.

4.1.3. Nivel de investigación

4.1.3.1. Descriptivo

En función a la aplicación de iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS en el proceso de voladura, para optimizar la fragmentación del macizo rocoso en la Unidad Minera Antapaccay.

4.1.3.2. Explicativo

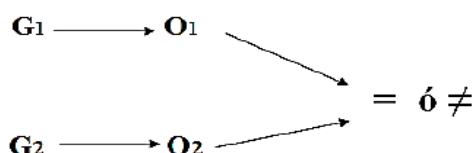
Explica el comportamiento de la variable (fragmentación) en función de la voladura mediante la aplicación de iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS debido a la relación causa y efecto de los mismos.

4.1.4. Tipo de investigación

La presente investigación reúne las condiciones metodológicas de una investigación aplicada.

4.2. Diseño de la investigación

El diseño de la presente investigación es descriptiva comparativa por lo que el diseño quedar definido de la siguiente manera:



Donde:

G₁: Banco sin aplicación de iniciación electrónica DIGISHOT PLUS.

O₁: Observación de resultados obtenidos.

G₂: Banco con aplicación de iniciación electrónica DIGISHOT PLUS.

O₂: Observación de resultados obtenidos. (2)

4.3. Técnica de investigación

- Reconocimiento del área donde se realizará el presente estudio (Tajo Norte).
- Análisis preliminar de datos (fragmentación de rocas del Tajo Norte).

- Delimitación del área donde se aplicará el iniciador electrónico (Nivel 3840).
- Elección de iniciador electrónico a aplicar.
- Aplicación de iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS (Nivel 3840 - Tajo Norte).
- Recolección de datos obtenidos por la aplicación del iniciador electrónico DIGISHOT PLUS en la fragmentación de la roca (Nivel 3840 - Tajo Norte).
- Toma de fotos para el análisis de fragmentación de la roca.
- Procesamiento de datos obtenidos en campo productos de la fragmentación.
- Evaluación estadística de los resultados obtenidos.

4.4. Población y muestra

4.4.1. Población

La población considerada para el presente estudio son todos los bancos de minado que se encuentran en el Tajo Norte de la Unidad Minera Antapaccay.

4.4.2. Muestra

La muestra extraída para el presente estudio está constituida por el banco ubicado en el nivel 3840 del Tajo Norte (zona monzonita), proyecto de la Unidad Minera Antapaccay entre los días 12/11/2018 y el 19/11/2018 donde se realizó la voladura de 310 taladros en área mineralizada. La selección de la muestra fue no probabilística.

CAPITULO V

APLICACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Aplicación de Iniciación Electrónica DIGISHOT PLUS

5.1.1. Elección y Delimitación del Área de Estudio

Figura N°: 12 Tajo Norte - banco 3840



Fuente: Unidad Minera Antapaccay

5.1.2 Datos Generales del Área de estudio

Cuadro N: 5 Información general

DATOS GENERALES DEL BANCO 3840		
	Unidad de Medida	Quantex
Diámetro del Taladro	Pulg.	12 1/4
Espaciamiento	m	8.3
Burden	m	7.2
Altura de banco	m	15
Sobre perforación	m	1.5
Taco	m	8
Long. De Carga	m	8.5
Profundidad del Taladro	m	16.5
Tipo de Roca	Mz - Dio	Mz - Dio
Densidad de Roca	Ton/m ³	2.66
Densidad de Explosivo	Ton/m ³	1.13
Densidad Lineal	Kg/ml	103.75

Fuente: Unidad Minera Antapaccay

- Toma de fotografías antes y después de la aplicación de iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS.
- Mediciones en campo de los resultados obtenidos.

Fotografía 1 Fragmentación pre-aplicación de iniciación electrónica



Fuente: Tesista

Fotografía 2 Fragmentación post-aplicación de iniciación electrónica



Fuente: Tesista

5.1.3. Costos de Fragmentación del Macizo Rocoso

Los costos indicados a continuación en los procesos de perforación y voladura son referenciales y genéricos, utilizándose solo los costos variables más no los costos fijos. Además, se está tomando como referencia costos históricos de la Unidad Minera Antapaccay debido a la confidencialidad que estos representan.

Estos costos están determinados por diversos factores entre los que destacan:

a) Costo de Perforación

Cuadro N: 6 Costo de perforación

	\$/m	M. Perforados	Total
Broca	0.8	16.5	13.2
Barra	0.3	16.5	4.95
Martillo	0.7	16.5	11.55
TOTAL \$/Taladro			29.7

Fuente: Unidad Minera Antapaccay

Teniendo un costo total por malla de perforación de 155 taladros, la cantidad de 4 603.5 \$

b) Costo de Voladura

Cuadro N: 7 Costo de voladura

L. C. Explosivo (m)	8.5			
Constante	3.1416			
Dens. Explo. (Ton/m ³)	1.13			
\$/Kg Quantex	0.6			
Diametro	12 1/4"	Volumen m³	Masa (Tn)	\$/ Tal de Quantex
Radio	0.155575	0.646	0.730	438.207

Fuente: Unidad Minera Antapaccay

Teniendo un costo total por malla de perforación de 155 taladros la cantidad de 67 922.085 \$

c) Costo de Accesorios de Voladura Convencional

Cuadro N: 8 Costo accesorios de voladura convencional

	P. Unitario \$	Total
Booster	3.2	3.200
Detonados C	2.8	2.800
Conectadet	0.396	0.396
Crdon deton	0.24	3.960
TOTAL \$/TALADRO		10.356

Fuente: Unidad Minera Antapaccay

Teniendo un costo total por malla de perforación de 155 taladros la cantidad de 1 605.18 \$.

d) Costo de Accesorios de Voladura Electrónica

Cuadro N: 9 Costo de accesorios de voladura electrónica

	P. Unitario \$	total
Iniciador Electronico	20	20
Booster	3.2	3.2
Detonador No electronico	2.8	2.8
Cordon Detonante	0.24	3.96
TOTAL \$/ Taladro		29.96

Fuente: Unidad Minera Antapaccay

Teniendo un costo total por malla de perforación de 155 taladros la cantidad de 4 643.8 \$.

e) Toneladas de Roca Rota

Cuadro N: 10 Tonelada de roca rota

Burden (m)	7.2		
Espaciamiento (m)	8.3		
Dens. De Roca (Ton/m3)	2.66		
Longitud de Taladro (m)	16.5		
Sobreperforacion (m)	1.5		
		Total de Roca Rota (Ton)	2384.424

Fuente: Unidad Minera Antapaccay

Teniendo un costo total por malla de perforación de 155 taladros de 369 585.72 Toneladas de roca

5.1.3.1. Iniciadores Electrónicos DIGISHOT PLUS

Cuadro N: 11 Fragmentación con iniciación electrónica

FRAGMENTACION CON INICIACION ELECTRONICA			
	\$/ Taladro	Cantidad de	Total
Costo de Perforacion	29.7	155	4603.50
Costo de Voladura	438.207	155	67922.09
Costo de Accesorios	29.96	155	4643.80
TOTAL DE COSTOS DE P & V			77169.39
Tonelada de roca rota por taladro	2384.424	155	369585.72
Costo de Fragmentacion por Tonelada \$/Ton			0.21

Fuente: Unidad Minera Antapaccay

5.1.3.2. Iniciadores Convencionales

Cuadro N: 12 Fragmentación con iniciación convencional

FRAGMENTACION CON INICIACION CONVENCIONAL			
	\$/ Taladro	Cantidad de	Total
Costo de Perforacion	29.7	155	4603.50
Costo de Voladura	438.207	155	67922.09
Costo de Accesorios	10.356	155	1605.18
TOTAL DE COSTOS DE P & V			74130.77
Tonelada de roca rota por taladro	2384.424	155	369585.72
Costo de Fragmentacion por Tonelada \$/Ton			0.20

Fuente: Unidad Minera Antapaccay

5.1.4. Costos Globales y Fragmentación Obtenida por la Aplicación de Iniciadores Electrónicos DIGISHOT PLUS

En el siguiente cuadro se muestran los requerimientos por parte de planta y los límites permitidos del material fragmentado.

Cuadro N: 13 Target granulométrico requerido por planta

GRANULOMETRIA			
Variables de Control	Finos (0 - 1 in)	Intermedios (1 - 4 in)	Gruesos (>4 in)
		80.2	13

Fuente: Unidad Minera Antapaccay

En el siguiente cuadro se detalla la cantidad de mineral enviado a planta los días (12 – 19 de noviembre del 2018)

Cuadro N: 14 Granulometría del 12 al 19 de noviembre 2018

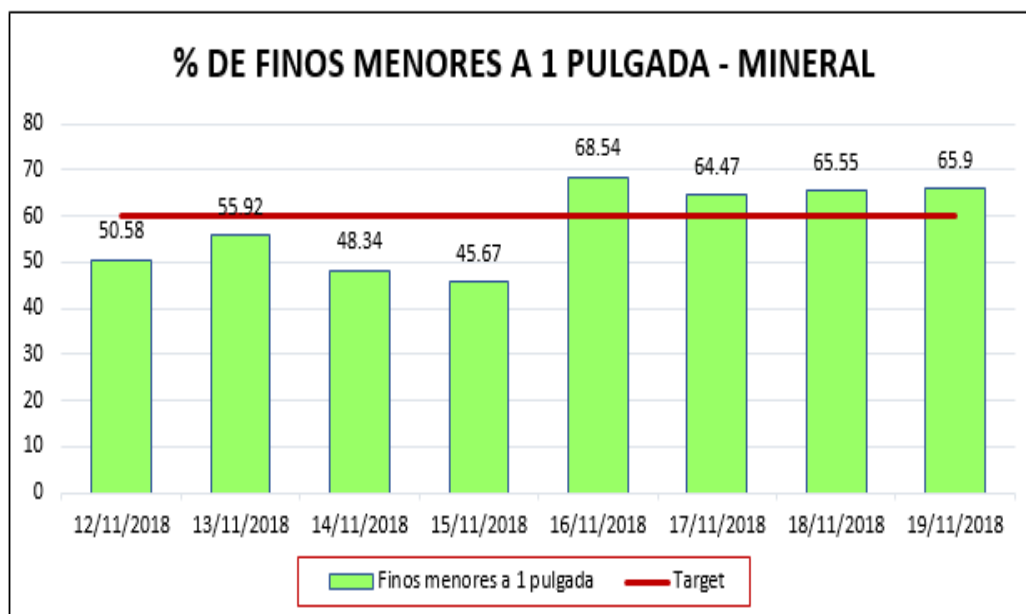
GRANULOMETRIA						
	FECHA	TMS / dia	Finos (0 - 1 in)	Intermedio 1 (1 - 2.5 in)	Intermedio 2 (2.5 - 4 in)	Gruesos (>4 in)
Iniciacion Convencional	12/11/2018	89.484	50.58	23.29	9.54	16.59
	13/11/2018	86.199	55.92	24.87	4.96	14.25
	14/11/2018	90.452	48.34	27.26	4.51	19.89
	15/11/2018	81.199	45.67	29.68	6.13	18.52
Iniciacion Electronica	16/11/2018	88.624	68.54	21.17	4.14	6.15
	17/11/2018	90.865	64.47	24.77	5.93	4.83
	18/11/2018	85.061	65.55	24.67	4.83	4.95
	19/11/2018	90.152	65.9	26.16	4.57	3.37

Fuente: Unidad Minera Antapaccay

Los datos del siguiente cuadro muestran la cantidad de fino menores a una pulgada recibidos en planta (12 – 19 de noviembre 2018).

Cuadro N: 15

Mineral menor a 1" ingresado a planta



Fuente: Unidad Minera Antapaccay

A continuación, se presenta una comparación de costos globales del proceso de minado, en el cual se toma en cuenta los costos de planta y fragmentación del macizo rocoso, la suma de estos representa el costo global del proceso de minado.

Cuadro N: 16

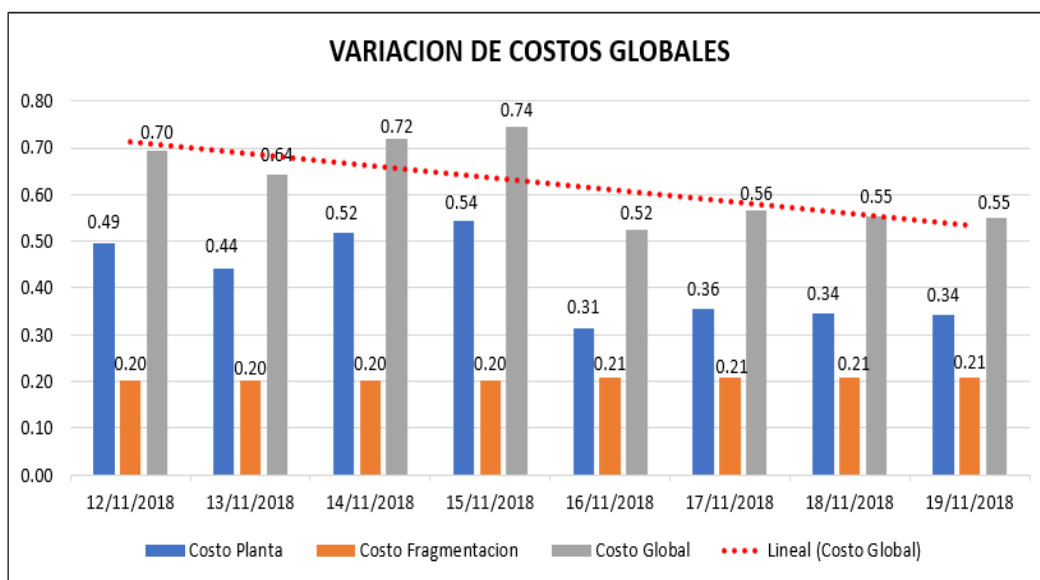
Costos de planta vs fragmentación

CUADRO DE COSTOS DE PLANTA vs FRAGMENTACION				
FECHA	FINOS (0 - 1 in) Ton	COSTO PLANTA \$/Ton	COSTO DE FRAGMENTACION \$/ton	COSTOS GLOBALES
12/11/2018	50.58	0.49	0.20	0.70
13/11/2018	55.92	0.44	0.20	0.64
14/11/2018	48.34	0.52	0.20	0.72
15/11/2018	45.67	0.54	0.20	0.74
16/11/2018	68.54	0.31	0.21	0.52
17/11/2018	64.47	0.36	0.21	0.56
18/11/2018	65.55	0.34	0.21	0.55
19/11/2018	65.9	0.34	0.21	0.55

Fuente: Unidad Minera Antapaccay

Finalmente se realiza una comparación para ver la variación de los costos globales del proceso de minado teniendo como agente de cambio la aplicación de los iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS.

Cuadro N: 17 Variación de costos globales



Fuente: Unidad Minera Antapaccay

5.1.5. Ciclo de Carguío y Acarreo (Pala P&H 2800XPB – Camión 793 D) Ruta Tajo Norte Antapaccay – Chancadora Primaria Antapaccay

A continuación, se analizará los tiempos de carguío y acarreo de minerales. Los cuales se realizarán mediante el uso de la siguiente formula

$$TC\ C-A = (TC + TR + TM + TD) \times FE \quad \dots (11)$$

“Donde:

- TC C-A = Tiempo del ciclo de carguío – acarreo.
- TC = Tiempo de carguío.
- TR = Tiempo de recorrido (ida + retorno).
- TM = Tiempo de maniobras.
- TD = Tiempo de descarga.
- FE = factor de eficiencia del acarreo.” ... (11)

Según el estudio realizado se obtuvieron los siguientes datos:

Cuadro N: 18 *Tiempos de ciclado*

Tiempo de carguío	50 segundos	0.83 minutos
Tiempo de acarreo (ida + vuelta)		38.25 minutos
Tiempo de maniobras 28 segundos		0.47 minutos
Tiempo de descarga	80 segundos	1.33 minutos
Factor de eficiencia (histórico)		1.07

Fuente: *Unidad Minera Antapaccay*

Al realizar los cálculos correspondientes el tiempo de ciclo de carguío y acarreo promedio, antes de la aplicación de los detonadores electrónicos DIGISHOT PLUS es:

$$TC\ C-A = (0.83\ min + 38.25\ min + 0.47\ min + 1.33\ min) * 1.07$$

TIEMPO DE CICLO CARGUIO – ACARREO	= 43.74 minutos = 0.73 horas
--	---

Cuadro N: 19 *Tiempo de ciclado post aplicación de DIGISHOT PLUS*

Tiempo de carguío	40 segundos	0.68 minutos
Tiempo de acarreo (ida + vuelta)		38.25 minutos
Tiempo de maniobras	28 segundos	0.47 minutos
Tiempo de descarga	80 segundos	1.33 minutos
Factor de eficiencia (histórico)		1.07

Fuente: *Unidad Minera Antapaccay*

Finalmente, el tiempo de ciclo de carguío y acarreo después de la aplicación de iniciadores electrónicos es:

$$TC\ C-A = (0.68\ min + 38.25\ min + 0.47\ min + 1.33\ min) * 1.07$$

TIEMPO DE CICLO CARGUIO – ACARREO	= 43.58 minutos = 0.72 horas
--	---

5.2. Análisis e Interpretación de datos

A continuación, se analizarán los datos obtenidos en cuanto a la fragmentación del macizo rocoso, la mejora del ciclo de carguío y acarreo y los costos globales en el proceso de minado antes y después de la aplicación de los iniciadores electrónicos DIGISHOT PLUS.

Se tiene dos escenarios:

- Antes de la aplicación del iniciador electrónico DIGISHOT PLUS (12/11/2018 – 15/11/2018)
- Después de la aplicación del iniciador electrónico DIGISHOT PLUS (16/11/2018 – 19/11/2018)

5.2.1. Fragmentación

Para realizar el análisis de la fragmentación del macizo rocoso se tomó como referencia los reportes de la planta de recuperación en cuanto al requerimiento de material fino (cuadro N 14), desde el 12/11/2018 hasta el 19/11/2018 donde se obtuvo:

- Antes de la aplicación de iniciación electrónica se tenía un promedio de 50.13 TMS /día de finos menores 1 pulgada enviados a planta, después de la aplicación de iniciación electrónica se obtuvo 66.12 TMS /día mejorando en un 31.89% la cantidad de material fino enviado.
- En cuanto a los costos de perforación y voladura en la fragmentación antes de la aplicación de iniciación electrónica se obtuvo 478.263 \$/taladro y 497.867 \$/taladro posterior a ella, existiendo una diferencia de 19.6 \$/taladro a favor de la iniciación convencional, pero al realizar el análisis en cuanto al costo de fragmentación por tonelada se obtiene 0.201 \$/ton (I Convencional) cuadro N°10 y 0.21 \$/ton (I Electrónica) cuadro N°9. Se puede concluir que los costos en cuanto a perforación y voladura con iniciación electrónica son superiores a la iniciación convencional, pero al analizar el costo de fragmentación \$/ton la diferencia es de aproximadamente 1U\$D.

- Finalmente se sabe que los costos elevados del proceso de perforación y voladura son recuperados en los procesos subsiguientes, debido a la fragmentación obtenida la cual facilita el carguío y acarreo del mineral, la concentración y recuperación del mismo.

5.2.2. Ciclo de Carguío

En cuanto al proceso de carguío y acarreo se tomó como referencia a la pala P&H 2800XPB y el camión 793D en la ruta Tajo Norte Antapaccay – chancadora primaria Antapaccay (Anexo 2) donde después de realizar los cálculos respectivo en cuanto al tiempo de ciclo de carguío se obtuvo:

- Antes de la aplicación de la iniciación electrónica se obtuvo un tiempo de 43.74 minutos o 0.73 horas por ciclo de carguío - acarreo.
- Después de la iniciación electrónica se obtuvo un tiempo de ciclo carguío – acarreo de 43.58 minutos o 0.72 horas

Si bien es cierto los tiempos obtenidos tienen una diferencia mínima, no hay que olvidar que se trata solo del ciclo de un vehículo. Este tiempo al ser acumulativo tiene una alta repercusión en el proceso antes mencionado en el proceso global de la mina.

5.2.3. Costos Globales del Proceso de Minado

Para analizar los costos globales se tuvo como referencia la suma del costo de planta más el costo de fragmentación del macizo rocoso (Cuadro N°14). Se realizó un análisis comparativo entre los días (12/11/2018 – 15/11/2018) y (16/11/2018 – 19/11/2018). Obteniéndose el costo de 0.7 \$/ton antes de la aplicación de iniciación electrónica y 0.54 \$/ton después de la aplicación de esta (Cuadro N°15).

Del análisis de estos costos obtenemos una reducción de 22.85% en el costo de procesamiento de mineral en planta. Además, se concluye que el incremento de los costos en el proceso de perforación y voladura son insignificantes en relación a los beneficios obtenidos en los costos de recuperación en planta.

CONCLUSIONES

En resumen, con respecto a lo presentado en el presente trabajo de investigación, podemos concluir el uso de iniciadores electrónicos es muy recomendado, dadas las siguientes razones:

- Presenta mayor capacidad de disparo, estando dependiente al sistema que se elija.
- Voladura remota, favoreciendo a reducir exponencialmente, las condiciones inseguras para los trabajadores encargados de llevar a cabo los disparos.
- Diseño de la voladura. Mayor flexibilidad al coordinar la voladura en consideración a la selección adecuada y secuencia de los retardos, siendo estas variables desde algunos cuantos milisegundos a varios segundos los cuales son dependientes del sistema elegido a utilizar todo esto gracias a la asistencia del software adecuado para generar una mayor facilidad de precisión y uso.
- Incremento en la fiabilidad, siendo estos más seguros dado que no se podrán iniciar por estímulos tales como, presencia de agua, ondas de radio o descargas eléctricas.
- Se puede corroborar fácilmente el funcionamiento correcto, varios de estos sistemas presentan la posibilidad de monitorear el correcto funcionamiento e instalación de estos equipos.
- Simplicidad en el uso, al hacer uso de software propio y especializado hace su manejo más simple y el entrenamiento de los usuarios más eficaz.
- Como se ha venido demostrando anteriormente, con una correcta planificación para el uso de estos equipos, el uso y la implementación de iniciadores electrónicos puede generarnos un ahorro significativo a los costos operativos a mediano plazo.
- Por todo lo expuesto podemos concluir, teniendo en consideración los aspectos, operacionales, de seguridad, facilidad en el manejo, uso y precisión mostrados, lo cual nos indica que el uso de los iniciadores electrónicos sea destinado hacia un nuevo estándar para ser usado en minería y áreas afines donde se requiera o implique el uso de voladura.

RECOMENDACIONES

- Capacitar continuamente sobre las actualizaciones del uso perfeccionamiento en la aplicación de iniciadores electrónicos.
- Capacitar al personal I nuevo adecuadamente al personal nuevo sobre el uso eficiente y la correcta manipulación de los iniciadores electrónicos
- Continuar con la investigación para optimizar la fragmentación de los disparos por aplicación de nuevos sistemas y componentes en voladura.
- Realizar las pruebas necesarias para su uso adecuado dependiendo de las diferentes aplicaciones en la voladura.
- Capacitar al personal nuevo adecuadamente al personal nuevo sobre el uso eficiente y la correcta manipulación de los iniciadores electrónicos

BIBLIOGRAFÍA

1. **PAREDES PONCE, R.** *Empleo de detonadores electronicos para optimizar la fragmentacion en sector yeso - anhidrita en mina modelo a tajo abierto - Toquepala.* Arequipa : Universidad Nacional San Agustin, 2014. ISBN.
2. **ROMERO PAUCAR, R.** *Voladura con detonadores electronicos para optimizar la fragmentacion y seguridad en el tajo Toromocho - Minera Chinalco Peru S.A.* Huancayo : Univerisdad Nacional del Centro del Peru, 2016. ISBN.
3. **CHOQUEÑA CCALLATA, J.** *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. .* Puno : Universidad Nacional del Altiplano, 2017. ISBN.
4. **HINOSTROZA SIERRA, J.** *Optimización de la fragmentación en las rocas con la aplicacion de la doble iniciacion electronica en la explotacion de cobre porfirítico a cielo abierto.* Lima : Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2014. ISBN.
5. **BERNAOLA ALONSO, J, CASTILLA GOMEZ, J y HERRERA HERBERT, J.** *Perforacion y Voladura de Rocas en Minería.* Madrid : Universidad Politecnica de Madrid, 2013. ISBN.
6. **SANZ CONTRERAS, J.** *Manual para el Control y Diseño de Voladuras en obras de Carreteras.* Madrid : Ediciones Informativas S.A., 1993. 8474338972.
7. **DAVEYTRONIC.** *Sistema de detonacion electronica DAVEYTRONIC SP aplicaciones en el Peru.* Santiago - Chile : Davey Bickford High-tech Intiation Company, 2014. ISBN.
8. **KONYA, J.** *Diseño de Voladura.* Madrid : s.n., 1998.
9. **Dyno Nobel Inc.** www.dynonobel.com. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiN_qnnxYvfAhWQxFkKHfwWCPAQFjAAegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fwww.dynonobel.com%2Fsouth-america%2F~%2Fmedia%2FFiles%2FDyno%2FResourceHub%2FTechnical%2520Information%2FLat.
10. **Detnet** www.detnet.com/products/underground-mining/digishot-plus. www.detnet.com/products/underground-mining/digishot-plus. [En línea] Copyright DetNet South Africa (Pty) Ltd.,

2018. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiN_qnnxYvfAhWQxFkKHfwWCPAQFjAFegQIBBAB&url=http%3A%2F%2Fwww.detnet.com%2Fproducts%2Funderground-mining%2Fdigishot-plus&usg=AOvVaw0IXBKzg-yg0gn8HbouWWUo.

11. **BARRETO TAIFE, L.** *Optimización del número de camiones 785C CAT y cargador frontal 992K CAT mediante el Match Factor en la ruta mineral - Stock Pile Antapacay - chancadora Tintaya San Martín contartistas generales S.A.* Arequipa : Universidad Nacional San Agustín, 2017. ISBN.

12. **EXSA.** *Metodos de Iniciacion.* [aut. libro] DIAZ NAVEA F. *LIBRO- Manual Practico de Voladura.* Lima : EXSA, 2015.

13. **SEPULVEDA JARA, M.** *Plan de negocios para empresa de servicios a la minería consistente en la internacionalización de un nuevo proceso de tronadura .* Santiago de Chile : Universidad de Chile, 2015. ISBN.

14. **ARTIZAS Z, M.** *Diseño de patrones de perforación y voladura para normalizar la fragmentación del material resultante de la mina Choco 10 Empresa PMG S.A. El Callao, Estado de Bolívar.* Caracas : Universidad Central de Venezuela, 2011. ISBN.

15. **MONJE ALVAREZ, C.** *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa.* Neiva : Universidad Surcolombiana, 2011. ISBN.

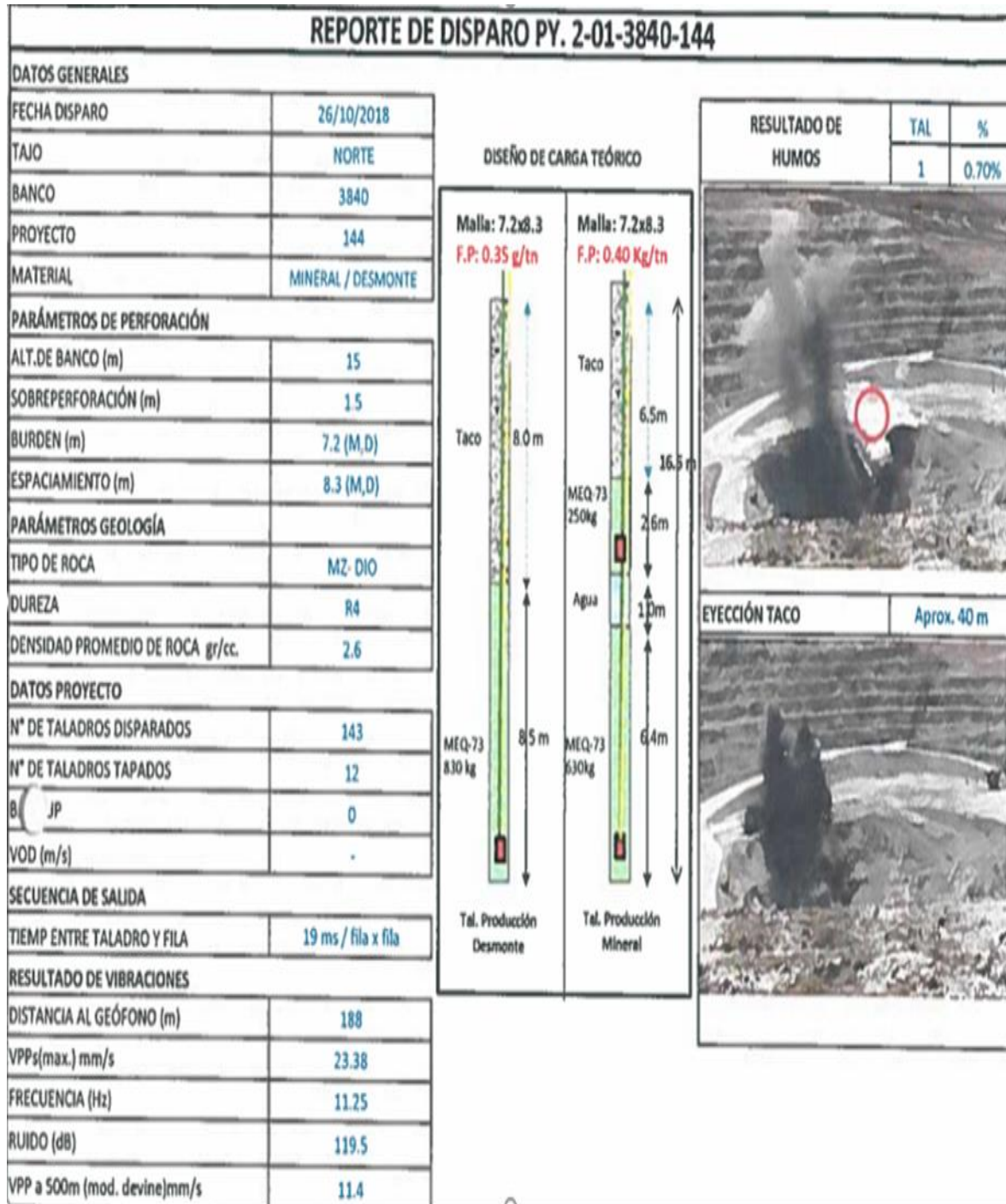
16. **ARTIGAS, M.,.** *Diseño de patrones de perforación y voladura, para normalizar la fragmentación del material resultante de la mina Choco 10 Empresa PGM S.A. El Callao, estado de Bolívar.* Caracas : s.n., 2011.

17. **HINOSTROZA, J.** *Optimización de la fragmentación en las rocas con la aplicación de la doble iniciación electrónica en la explotación de cobre Porfirito a cielo abierto.* Lima : s.n., 2014.

18. **FERREIRA ROCHA, A.** *Sistema de interacción familiar asociado a la autoestima de menores en situación de abandono moral o prostitución.* Lima : Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2013. ISBN.

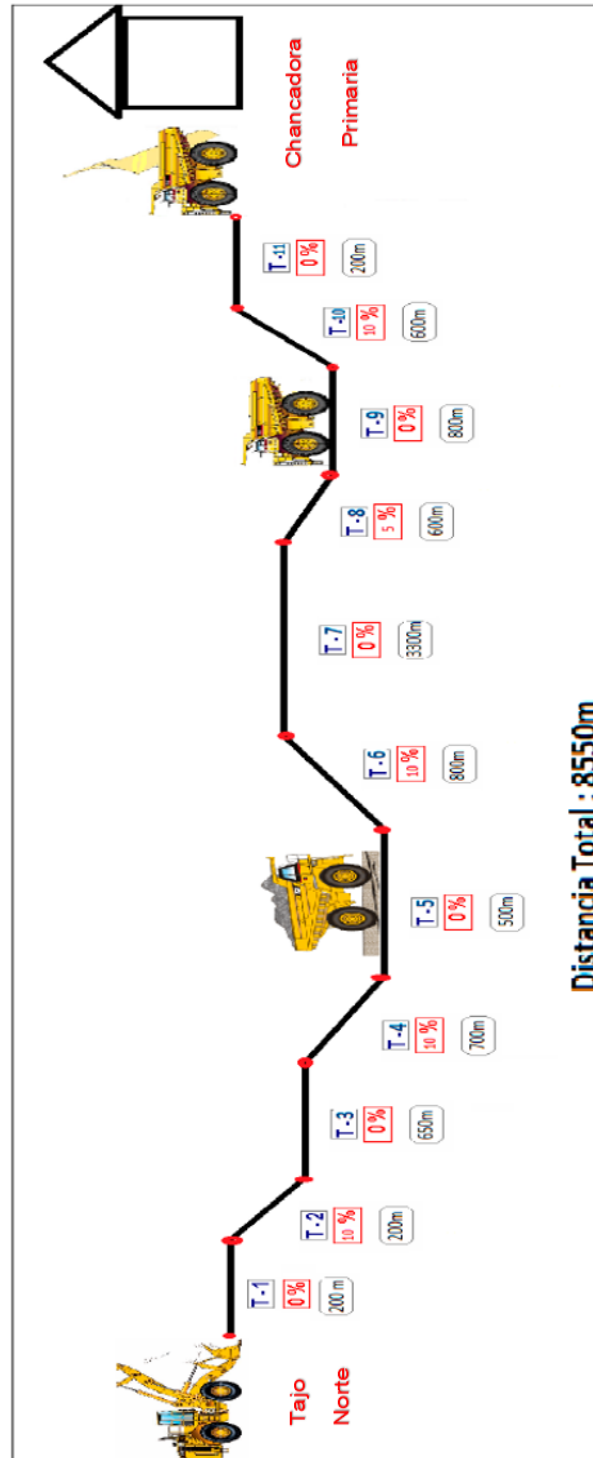
ANEXO 1

Reporte de disparo banco 3840



ANEXO 2

Vista de perfil de ruta de acarreo de mineral



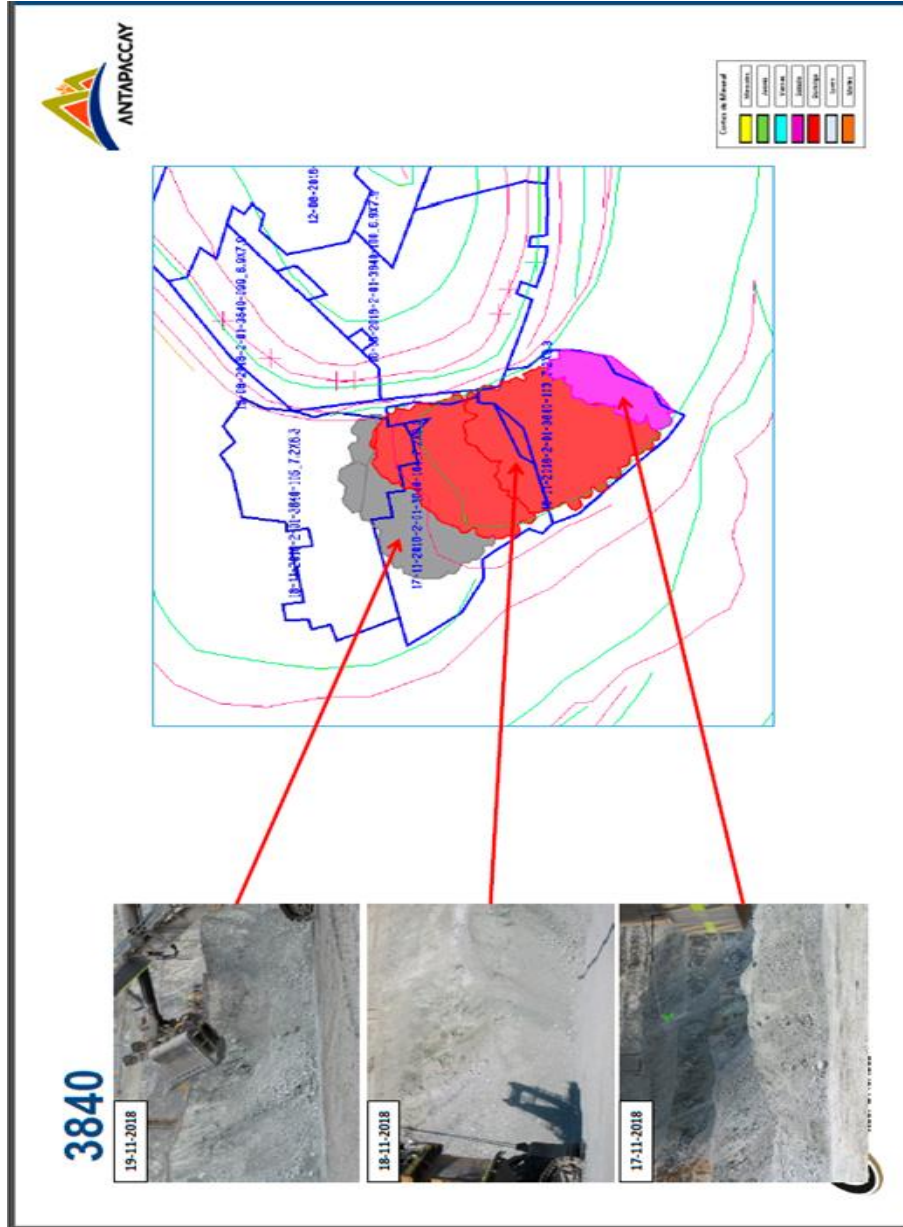
ANEXO 3

Carguío y acarreo de mineral



ANEXO 4

Material fragmentado - Nivel 3840



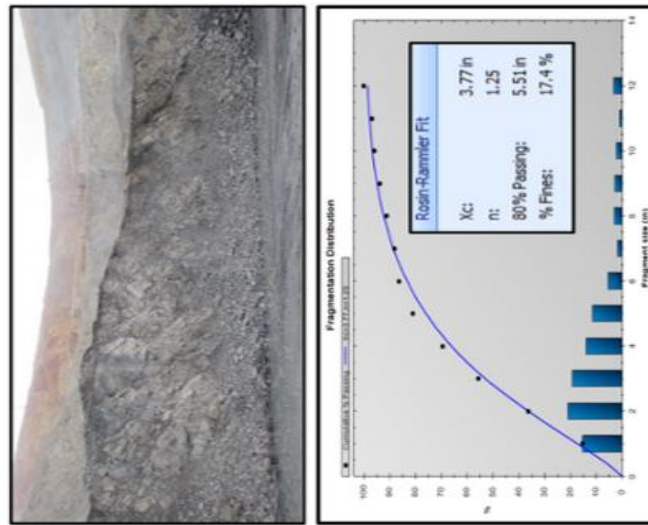
ANEXO 5

Análisis de fragmentación pre aplicación de iniciación electrónica DIGISHOTPLUS



Análisis de Fragmentación:

Nivel 3840 (Monzonita)



Diámetro del Balón = 9.45 pulg



ANEXO 6

Análisis de fragmentación post aplicación de iniciación electrónica DIGISHOT PLUS



Análisis de Fragmentación:

Nivel 3840 (Monzonita)



Diámetro del Balón = 9.45 pulg

