



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

“INFLUENCIA DE LA DOBLE INICIACIÓN DECK EN LA FRAGMENTACIÓN Y REDUCCIÓN EN LA VIBRACIÓN DURANTE LA VOLADURA EN UN TAJO DE UNA MINA DE ORO EN CAJAMARCA, 2020”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Wilder Villanueva Castrejon

Asesor:

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León
<https://orcid.org/0000-0001-8466-6616>

Cajamarca - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Miguel Ricardo Portilla Castañeda	172707
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Rafael Ocas Boñon	169542
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Oscar Vásquez Mendoza	207418
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

DEDICATORIA

Dedico este presente trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y el conocimiento que me permite el haber llegado hasta este momento tan importante y fundamental para seguir completando mi formación profesional.

Wilder

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, doy infinitamente gracias a Dios, por haberme dado fuerza, conocimiento y valor para culminar esta etapa de mi vida.

Agradezco también la confianza y el apoyo brindado por parte de mi madre, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me ha demostrado su amor incondicional, corrigiendo mis faltas, celebrando mis triunfos y lo más importante ayudándome a levantarme en las caídas a lo largo de mi formación profesional.

Mi agradecimiento también va dirigido a mi asesor de tesis Ing. Víctor Eduardo Alvarez León, por haberme brindado su apoyo y la oportunidad de poder recurrir a sus conocimientos y capacidad intelectual, así como haberme tenido la paciencia para asesorarme durante el desarrollo de mis tesis.

Y para finalizar agradezco a mis compañeros y amigos por motivarme y sobresalir a los obstáculos que se presentan en esta vida día a día.

Wilder

Tabla de contenido

JURADO CALIFICADOR.....	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Realidad problemática.....	9
1.2. Formulación del problema	18
1.3. Objetivos	19
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	21
CAPÍTULO III. RESULTADOS	28
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	38
REFERENCIAS.....	41
ANEXOS.....	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores Máximos Permisibles de los niveles de vibración	25
Tabla 2: Comparativo de análisis de fragmentación.....	31
Tabla 3: Niveles de vibración obtenida con la doble iniciación Deck	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de la carga explosiva con Deck.....	24
Figura 2: Detonación con y sin Deck.....	24
Figura 3: Frente de minado con Deck.....	26
Figura 4: Diseño de Carga de Línea Base (sin doble iniciación).....	28
Figura 5: Análisis de fragmentación de Línea Base (sin doble iniciación).....	29
Figura 6: Diseño de Carga con doble iniciación.....	30
Figura 7: Análisis de fragmentación con doble iniciación.....	30
Figura 8: Gráfico comparativo de los niveles de vibración obtenidos en el año 2020 Vs 2021	37

RESUMEN

La tesis que se presenta a continuación, se realizó con la finalidad de medir la influencia de la doble iniciación Deck en la fragmentación y reducción en la vibración durante el proceso de voladura en una empresa minera, para lo cual se analizó los registros de las detonaciones realizadas. Para lograr la fragmentación requerida se realizó un primer diseño de malla y carga como referencia 0, a partir de esta línea base se desarrollaron diseños más puntuales de acuerdo a la configuración de la roca, 8 filas de taladros, de 7 taladros por fila en donde se diseñó en paquetes simultáneos de 3 para lograr uniformidad de corte y movilización de la roca para evitar el amarrado de la roca y evitar la dificultad de su extracción. La fragmentación fue óptima considerando que es una voladura para producción de escollera, se presenta roca de tamaño requerido en 95% de lo planificado.

El uso de la doble iniciación Deck permitió homogenizar la distribución granulométrica ante la ausencia de explosivo en la parte superior del taco (para una roca muy dura, con $UCS > 150$ Mpa), pero no significó una reducción significativa del material volado, según muestran las Pruebas 1 y 2, en las pruebas 3 y 4 se usó una sola carga de columna y los resultados fueron más uniformes y con mejoras en la fragmentación. Por otro lado, la evaluación de los niveles de vibración generados como pico máximo obtenidos estuvieron en el rango de 1.22 – 9.95 PPV, que en comparación con los longitudinales, transversales y verticales estuvieron en rangos de 0.08 – 7.6 PPV, 0.8 – 9.7 PPV y 0.15 – 6.2 PPV respectivamente, con diferencias en comparación al año anterior de hasta 20 PPV.

Palabras clave: Doble iniciación, Deck, fragmentación, vibración, granulometría, voladura.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El presente trabajo de investigación se realizó con la finalidad de medir la influencia de la doble iniciación Deck en la fragmentación y reducción en la vibración durante el proceso de voladura en una empresa minera, para lo cual se analizó los registros de las detonaciones realizadas. El sistema tradicional evidencia inconvenientes con respecto al tamaño de fragmentación y venía generando altos niveles de vibración al efectuarse la detonación.

Los antecedentes a considerarse en la investigación, a nivel internacional son los siguientes, según Zuñiga (2015) en su tesis “Diseño de tronaduras y su impacto en el costo mina compañía Cerro Negro” la cual tuvo como objetivo principal implementar nuevas metodologías operacionales que entreguen como resultado roca fragmentada con las características granulométricas requeridas en los procesos aguas abajo. Concluyendo que, la aplicación de estos cambios significó una disminución del sobretamaño resultante para las diferentes mallas, desde un máximo de 19 % a un mínimo de 9 %. Se logró también disminuir el factor de carga desde valores superiores a los 300 (g/t) en mineral a valores entre 220 (g/t) y 290 (g/t); mientras que, en el caso del estéril, se alcanzaron valores inferiores a 200 (g/t). Esto último se tradujo en una disminución de los metros perforados y del consumo de explosivos en el rajo, factores que son los de mayor incidencia en el costo global de P&T. Además, se logró controlar el nivel de vibraciones, imponiendo la condición que cada pozo se inicie con un tiempo único diferente del resto y que el retardo entre tiros sea siempre menor a 25 ms, condición que también contribuye a mejorar la granulometría del producto de la tronadura.

Así mismo, a nivel nacional Choqueña (2009), en su trabajo de investigación “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.”, el objetivo de optimizar la fragmentación de roca mediante las características geomecánicas y doble iniciación no electrónica en la perforación y voladura de bancos con software Wip frag 2010 en Unidad Minera Apumayo SAC. Para optimizar la fragmentación de roca mediante la doble iniciación no electrónica en la perforación y voladura de bancos con software Wip frag 2010 en Unidad Minera Apumayo SAC, se ha realizado un total de 8 pruebas de P80 en 2014 con iniciación simple no electrónica. Concluyendo que con la aplicación de software Wip frag 2010 es 3.70 Pulgadas, los resultados indican que no se ha logrado alcanzar al valor de P80 óptimo de 3.405 sin embargo se puede considerar que existe una gran reducción de tamaño de fragmentación respecto al tamaño de fragmentación P80 con Wip frag 2010, en el escenario 1 el P80 que es 4.03 pulgadas, 3.58 pulgadas, 5.38 pulgadas, respectivamente.

De igual manera Hinostroza (2014), en tesis “Optimización de la fragmentación en las rocas con la aplicación de la doble iniciación electrónica en la explotación de cobre porfirítico a cielo abierto”, señala que los estudios e investigaciones para poder demostrar la importancia y necesidad de colocar un iniciador con detonador electrónico más y así poder lograr optimizar la fragmentación de la roca en zona de mineral; posteriormente se realizó varias pruebas de voladura con doble iniciación electrónica, a la vez se ha modificado algunos parámetros ya establecido como el diseño de malla, el diseño de carga, y los tiempos de secuencia de salida del disparo, realizando una mejora, para lograr nuestro objetivo principal que es optimizar la

fragmentación en zona de mineral usando la doble iniciación electrónica. En las pruebas de voladura con doble iniciación electrónica se obtuvo una reducción hasta un 36 % en el P80 según los análisis realizados, además de obtener una reducción en tiempo de carguío de la pala hasta un 31%.

Como parte del marco teórico se consideró algunas definiciones básicas relevantes en el trabajo de investigación, las cuales se detallan a continuación. La voladura es un proceso tridimensional, en el cual las presiones generadas por explosivos confinados dentro de los taladros perforados en la roca, originan una zona de alta concentración de energía que produce dos efectos dinámicos, como son: fragmentación y desplazamiento (Poma, 2012).

Por ello, una buena voladura, es aquel capaz de lograr una buena fragmentación, con niveles de vibraciones que no perjudiquen las paredes ni la estabilidad de los taludes, y que asimismo, es capaz de no emitir gases nitrosos o contaminantes al medio ambiente, por otro lado, existen otras variables de medición, como un análisis visual a través de los llenados de las tolvas de los volquetes, de los tiempos de carguío de las palas, después del análisis de fragmentación después de la voladura a través de software de voladura (Hinostroza, 2014).

Es importante ubicar el cebo en el lugar de mayor confinamiento del taladro, es decir en el fondo, o también por encima de la longitud de la sobre perforación con el fin de disminuir las vibraciones del terreno y las posibilidades de un piso irregular. En si no existen reglas claras y concisas respecto de la mejor ubicación del cebo, en líneas generales es conveniente ubicar donde la roca presente las condiciones más difíciles

de fragmentación, que comúnmente es en el fondo del taladro y en las longitudes intermedias de los taladros de las crestas de los bancos (Hinostroza, 2014).

Así mismo, cuando detonamos una carga explosiva, se genera gran cantidad de energía. Si la voladura está bien diseñada se usará la mayoría de esta carga explosiva para fragmentar y desplazar la roca, pero si la voladura está mal diseñada, se desperdicia esta energía transformándose en vibración. También se produce vibración por condiciones geológicas como fracturas internas y otras condiciones. La vibración es un movimiento de onda que se propaga a medida que se va alejándose del taladro, donde las partículas de tierra oscilan como respuesta a la llegada de la onda; esta oscilación se conoce como movimiento de la partícula que se clasifica en 2 categorías: ondas de cuerpo que viajan dentro de la masa rocosa y ondas superficiales que viajan sobre la superficie (Hinostroza, 2014).

De igual forma, la secuencia de iniciación o de voladura define el orden de detonación de los taladros dentro de una malla. Entre los principales factores que influyen para elegir una secuencia de voladura tenemos, la cantidad y ubicación de las caras libres, la orientación de fallas y diaclasas principales, dirección de desplazamiento de material a fragmentar y cuidado de las paredes de talud final. Para el disparo de una malla se le colocan un tiempo de retardo a cada detonador de cada taladro, por las siguientes razones: Influye en la fragmentación, en el desplazamiento del material a disparar, en el grado de daño en el talud final después del disparo y en los niveles de vibración (Romero, 2016).

Por ello, muchas teorías han sido propuestas para mostrar como la roca se fragmenta resultado de una explosión. En general se pueden distinguir dos tipos de energía durante el proceso de fragmentación. Primero ocurre una energía de choque (ondas de esfuerzo) que se mueven por la roca a una velocidad cercana a la velocidad de onda compresional (V_p). Después que este frente de esfuerzo ha pasado, la presión de gas (energía de gas) realiza el proceso de fragmentación de la roca. Las diferentes teorías le dan diferentes importancias a la energía de choque y/o gas en la fragmentación de rocas de acuerdo a sus experiencias particulares y pruebas realizadas. Para efectos del curso mencionaremos una teoría (bastante aceptada) para describir el proceso de fragmentación de la roca. En general, la importancia de la energía de choque o la energía de gas dependerá de muchos factores (algunos controlables), como, por ejemplo: tipo de explosivo, grado de confinamiento, parámetros de la roca, etc. Para poder tener claro que variables pueden incidir en mayor o menor grado, debemos tener claro que, para todo trabajo de tronadura, existen variables controlables y variables no controlables (Choqueña, 2017).

Además, cabe recalcar que la fragmentación es la rotura de la roca a través de la acción de explosivos. El grado de fragmentación del material disparado o el tamaño promedio requerido de los fragmentos depende del trabajo en que se van a emplear, pero por lo general la fragmentación demasiado gruesa o demasiado menuda son inconvenientes. Debe observarse el porcentaje de rocas grandes que tendrán que ser reducidos posteriormente. La fragmentación tiene relación directa con la facilidad de paleo y transporte y con sus costos (Manual EXSA, 2019).

También, la frecuencia de fracturas en la masa rocosa es alta, es más fácil de obtener fragmentación fina y los factores de energía asociados con la voladura tienden a ser bajos. Rocas duras altamente diaclasadas o fracturadas se comportan muy similar a rocas más blandas y más débiles. La combinación de roca y discontinuidades se puede considerar y modelar como una ruma de bloques mantenidos juntos por una combinación de la cohesión de la superficie de las diaclasas, el coeficiente de fricción de las superficies de las diaclasas y los esfuerzos actuando en los bloques (ya sea esfuerzos hidrostáticos en aplicaciones de superficie o una combinación de esfuerzos hidrostáticos o tectónicos en aplicaciones subterráneas profundas) (Poma, 2012).

Por otro lado, no olvidemos que las configuraciones de tiempos de retardo, y el secuenciamiento de la voladura, son los que determinan, el grado de apilamiento, acomodo de material, la dirección, el perfil del material, el control de vibraciones, veamos un diseño de voladura, con su configuración tiempos de retardo (Hinostroza, 2014).

Además, los retardos ayudan a la fragmentación al introducir una acción de corte entre los taladros adyacentes. Si una fila de taladros se inicia simultáneamente, las grietas que crecen entre los taladros se favorecen, con poco crecimiento delante de los taladros hacia la cara libre. Bajo estas circunstancias, el Burden tenderá a moverse como una hoja de roca, con poca fragmentación en el Burden. Al retardar la detonación de un taladro adyacente, un taladro debe cortar un segmento de roca lejos de la masa principal de roca, proporcionando una fragmentación mejorada (Choqueña, 2017).

Por ello, en la práctica, la velocidad del movimiento de la roca depende fuertemente del módulo de la roca y del grado de diaclasamiento. Tipos de rocas muy duras, masivas, se moverán con una velocidad más alta que una masa rocosa débil, altamente fracturada. Los parámetros de perforación con burden pequeño también tendrán altas velocidades de burden en relación con mallas con burden más grandes. La masa rocosa y la malla, por lo tanto, determinan el intervalo óptimo para la fragmentación. El control de la fragmentación requiere que los taladros detonen en una secuencia controlada. La selección de los retardos por lo tanto está influenciada por el sistema de iniciación usado. Por ejemplo, el uso de un retardo de superficie de 17ms en combinación con uno dentro del taladro de 1000ms no es aconsejable, puesto que la dispersión de la unidad dentro del taladro probablemente excederá el intervalo del retardo de superficie, lo que resultará que el taladro detone fuera de secuencia (Poma, 2012).

El sistema de iniciación traslada la señal de detonación de taladro a taladro en un tiempo determinado que generalmente es preciso. En tal sentido, seleccionar el sistema de iniciación es crucial para el éxito de la voladura. En este sentido, el sistema de iniciación no solamente realiza la función de controlar el disparo de los taladros; sino que esta afecta de forma directa a la cantidad de vibración ocasionada por la voladura, el tamaño de fragmentación producida, sobre rotura y la violencia que puede ocurrir (Huerta, 2019).

Según Huerta (2019), la doble iniciación deck es un término es empleado cuando en la columna explosiva se dispone el uso de dos (02) sistemas de iniciación. En términos de tiempos de detonación, estos deben ser iguales a fin de evitar un posible tiro

quedado. De igual modo, si por diseño, uno de los iniciadores debe situarse dentro de una segunda carga (taladros con Deck), el tiempo deberá ser igual al iniciador de la primera carga (carga de fondo). Aplicando la doble iniciación electrónica se optimizará la fragmentación de la roca en la zona de mineral sobre todo en la parte del taco del taladro, reduciendo el P80 y garantizando que el ciclo de minado sea eficiente y lograr una mayor producción de mineral en planta. “Alto explosivo utilizado para mejorar la detonación de la columna explosiva (sustentar la velocidad de detonación). Por lo general se utilizan explosivos de alta velocidad de detonación, como el booster de pentolita”

Si la distancia a la cara libre razonable es demasiado grande (burden's excesivos), mucha de la energía de la explosión se va a disipar en chancado excesivo de la roca que está inmediatamente cercana al taladro y se va a liberar mucha más energía en la forma de vibraciones. Debido a la falta de libertad de movimiento no puede ocurrir una extensión de las grietas por los gases de la explosión, y, por lo tanto, la fragmentación y la pila se ven afectadas. Un Burden insuficiente hace que los gases a alta presión de la explosión se descarguen prematuramente, resultando en air-blast y en fragmentos de roca (Huerta, 2019).

En el tiempo de secuenciamiento, posiblemente no hay cuestión sobre la que exista mayor desacuerdo en el mundo de la voladura que el retardo para obtener la fragmentación más fina. Los retos más importantes en lo que afecta a la granulometría de la roca fragmentada parecen ser los entre taladros y entre filas, dado que mediante ellos se puede ajustar la intensidad de las tensiones en varias partes de la voladura. “Los retardos entre decks se emplean generalmente para el control de las

vibraciones o de la forma de la pila”, más que para el control de la distribución de la pila (Poma, 2012).

El Control de Vibraciones cuando detonamos una carga explosiva, se genera gran cantidad de energía. Si la voladura está bien diseñada se usará la mayoría de esta carga explosiva para fragmentar y desplazar la roca, pero si la voladura está mal diseñada, se desperdicia esta energía transformándose en vibración (Hinostroza, 2014).

Las vibraciones producidas por la voladura y el conocimiento de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso, permiten estimar la probabilidad de ocasionar daño en el macizo para de esta forma llevar el mejor control en las operaciones de minado (Cruz, 2013)

Por ello, el control de vibraciones requiere el uso de retardos para asegurar que dichas vibraciones (en suelos y aéreas adyacentes a un taladro) se disipen antes que detone el taladro siguiente. De esta forma, los efectos en taladros individuales son independientes y no puede haber un reforzamiento de los niveles de vibración. El período de persistencia de vibración de un taladro simple, está controlado por la masa rocosa. A medida que el módulo de Young de la roca aumenta, el período de persistencia disminuye. Tipos de rocas muy competentes, quebradizas, requieren intervalos de retardos más cortos que las rocas blandas y altamente fracturadas (Oviedo, 2017).

Para incrementar el grado de confiabilidad de los modelos predictivos, es importante contar con mayor cantidad de registros de vibraciones a diferentes distancias de la

voladura de preferencia menores o igual a 30 metros para aproximar el comportamiento de las vibraciones en campo cercano (Dueñas, 2018).

Por ello es importante la realización de la aplicación de la doble iniciación Deck para optimizar la fragmentación de las rocas en la zona de mineral y reducir las vibraciones en la voladura, la cual se va a demostrar usando la doble iniciación Deck, los cuales deben colocarse a determinadas distancias en el taladro aprovechando la colisión de energías que ambas primas producen al detonar, al mismo tiempo poder fracturar la roca tanto en el fondo del taladro como en la parte superior del taco, de esta manera optimizar la fragmentación en la roca, reducir la vibración producida por la energía de ondas, mejorando el tiempo del ciclo de carguío e incrementando la producción de mineral (Dueñas, 2018).

Montesinos (2017) menciona en sus tesis. Con la aplicación del método de voladura controlada y doble deck se logró reducir la rotura de la pared final del talud, obteniendo también ventajas como menor proyección de rocas, reducción de vibraciones propias a la voladura y la disminución de los costes en movimiento de tierras en el proyecto carretera Lima – Canta.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la influencia del uso de la doble iniciación Deck en la fragmentación y reducción en la vibración durante la voladura en un tajo de una mina de oro en Cajamarca, 2020?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la influencia del uso de la doble iniciación Deck en la fragmentación y reducción en la vibración durante la voladura en un tajo de una mina de oro en Cajamarca, 2020.

1.3.2. Objetivos específicos

Realizar un análisis comparativo del tamaño de la fragmentación al implementar el uso de la doble iniciación Deck con el sistema de iniciación actual durante el proceso de voladura en un tajo de una mina de oro en Cajamarca.

Evaluar los niveles de vibración generados al hacer uso de la doble iniciación Deck durante el proceso de voladura en un tajo de una mina de oro en Cajamarca, con el uso de geófonos como instrumento de monitoreo.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

El uso de la doble iniciación Deck presenta resultados significativos en la fragmentación y reducción de vibración durante la voladura en un tajo de una mina de oro en Cajamarca.

1.4.2. Hipótesis específicas

El uso de la doble iniciación Deck influye significativamente en la fragmentación de la roca durante la voladura en un tajo de una mina de oro en Cajamarca.

Se obtiene resultados significativos en cuanto a la reducción de vibración durante la voladura, con el uso de la doble iniciación Deck, en un tajo de una mina de oro en Cajamarca.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El presente proyecto corresponde a una investigación de tipo Aplicada, del tipo Experimental, la cual tiene como objetivo principal evaluar la influencia de la doble iniciación Deck en la fragmentación y reducción en la vibración durante la voladura de un tajo en una mina de oro en Cajamarca, para al final realizar una comparación entre los datos obtenidos y determinar si el efecto es positivo para las operaciones de mina, lo cual permitió determinar el explosivo más adecuado para el proceso de voladura y que contribuye a la optimización principalmente de los costos generados en el proceso sin afectar la calidad de la fragmentación del material.

El tipo de investigación aplicada se centra en el análisis y solución de problemas de varias índoles de la vida real, así como también se nutre de avances científicos y se caracteriza por su interés en la aplicación de los conocimientos. Indica que el tipo de investigación Aplicada es una forma de conocer las realidades con una prueba científica; requiere obligatoriamente de un marco teórico, sobre el cual se basará para generar una solución al problema específico que se quiera resolver (Vargas, 2009).

Palella y Martins, (2012) “El diseño experimental es aquel según el cual el investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas. Su objetivo es describir de qué modo y porque causa se produce o puede producirse un fenómeno. Busca predecir el futuro, elaborar pronósticos que una vez confirmados, se convierten en leyes y generalizaciones tendentes a incrementar el cúmulo de conocimientos pedagógicos y el mejoramiento de la acción educativa” (p.86).

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

Todos los bancos de voladura del frente de minado de la empresa minera de Au en estudio.

2.2.2. Muestra

2 bancos nivel (2905 – 2920) de la empresa minera de Au de Cajamarca, 2019.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas utilizadas fueron la observación directa, el análisis documental y la recolección de datos en campo:

Observación directa

Se realizó la observación directa en campo, mediante la visita a los bancos donde se venía realizando la voladura en los cuales se pudo notar algunas deficiencias en el proceso que perjudicaban la fragmentación y la vibración durante la voladura era significativa debido al tipo de iniciación que se venía utilizando.

Análisis documental

Se investigaron antecedentes anteriores al trabajo de investigación que tienen relación con las ventajas y medición de influencia de la doble iniciación Deck sobre la fragmentación del material volado y la reducción de las ondas vibratorias durante el proceso de voladura. De igual forma, se revisaron informes relacionados al desempeño de la doble iniciación Deck en

yacimientos de Au explotados a tajo abierto, para tener referencias de su comportamiento ante la presencia de yacimientos de este tipo.

Recolección de datos de campo

La toma de datos se realizó diariamente, con la finalidad de registrar las características de cada uno de los bancos de voladura y los taladros correspondientes para posteriormente analizar la influencia de la doble iniciación Deck en la fragmentación y la vibración durante el proceso de voladura. Se utilizaron instrumentos de medición como: cámara fotográfica (para la toma de imágenes y su posterior análisis para registrar la calidad de fragmentación) y geófonos (para medir las ondas vibratorias durante el proceso de voladura).

2.4. Procedimiento

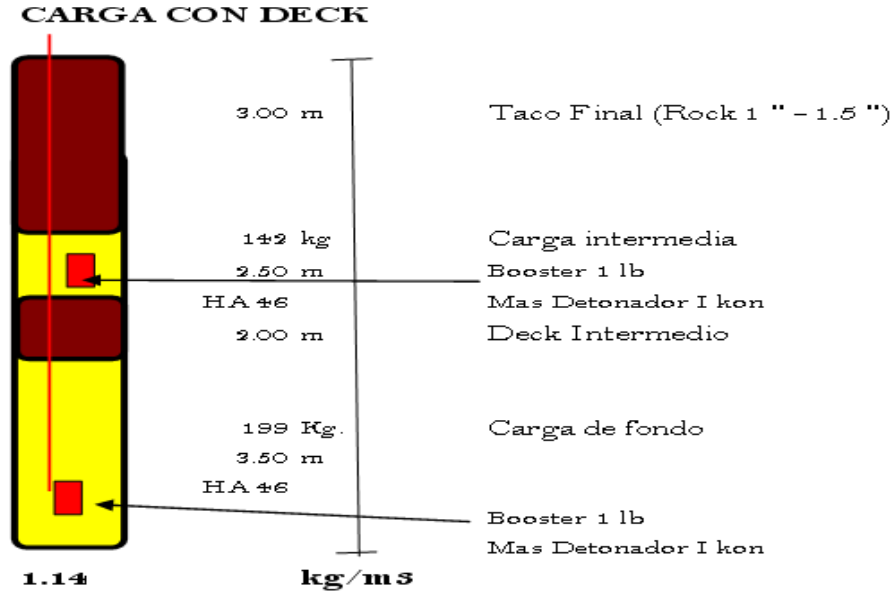
2.4.1. Etapa I: Gabinete

Inicialmente se procede a la revisión de antecedentes, estudios previos, realizados respecto al tema, en los diferentes ámbitos, tanto local, nacional como internacional, para lo cual se recurrió a los repositorios virtuales.

El DECK nos permite mejorar la fragmentación tanto en la parte superior como en la parte inferior debido a que se generan dos Halos de Energía por el doble carguío que se está usando. Como el terreno presente bloques compactos dentro de un macizo rocoso suave las rocas grandes de la parte superior son demolidas gracias al DECK.

Figura 1

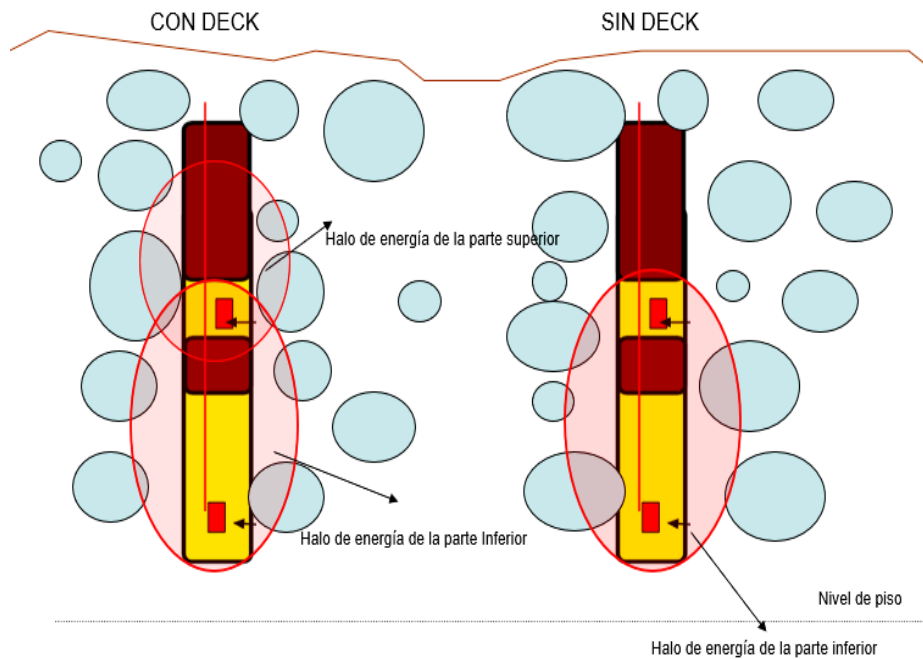
Esquema de la carga explosiva con Deck



Fuente: Yanacocha (2021).

Figura 2

Detonación con y sin Deck



Fuente: Yanacocha (2021).

Los niveles de vibración según la normativa nacional son importantes durante el proceso de monitoreo, los valores se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 1

Valores Máximos Permisibles de los niveles de vibración

Línea	Tipo de estructura	Valores máximos v, en mm/s			
		Vibración en la cimentación			Vibración Horizontal en la planta más alta
		1 - 10 Hz	10 - 50 Hz	50 - 100 Hz	Todas las frecuencias
1	Edificios para uso comercial, industrial o diseños similares.	20	20 - 40	40 - 50	40
2	Edificios asimilables a viviendas.	5	5 - 15	15 - 20	15
3	Estructuras que por su particular sensibilidad a la vibración no pueden ser clasificados en las líneas 1 y 2 (Ejm. Edificios históricos).	3	3 - 8	8 - 10	8

Fuente: “Valores Admitidos por la Norma Alemana DIN 4150”. Peralta (2018).

2.4.2. Etapa II: Campo

Se realizó la toma de datos en campo correspondiente a la fragmentación empleando la doble iniciación Deck y se recopiló la información relacionada a

los índices de vibración generada durante el proceso de la voladura en los bancos asignados.

El DECK es el nuevo carguío que se usó en el proyecto minero, las pruebas comenzaron en el Nivel 3920 después que en el nivel 3930 se tuvieron muchos problemas de frente duro.

Figura 3

Frente de minado con Deck



Fuente: Elaboración propia.

2.4.3. Etapa III: Gabinete (análisis de datos)

Se realizó el procesamiento de los datos de campo obtenidos para lo cual se utilizó el programa Excel. Mediante cuadros y gráficos se comparó los resultados correspondientes entre la iniciación tradicional y la doble iniciación Deck, esto con la finalidad de poder demostrar si lo obtenido era favorable o desfavorable para la mejora de fragmentación de material volado y la generación de vibraciones durante el proceso de voladura.

2.5. Aspectos éticos

En el presente trabajo de investigación se han tomado en cuenta las investigaciones realizadas por otros autores referido la voladura de roca en minería superficial, en este sentido se mencionará los aportes en cada uno de los investigadores, el tema materia de investigación reconociendo los derechos del autor a cada uno de los autores. Además se realizará de acuerdo con el formato que maneja la Universidad Privada del Norte, por ello el investigador en primer lugar está sujeto a cumplir la normatividad institucional que rigen una investigación como derechos de autor; en segundo lugar, revelar las fuentes y hallazgos informativos considerados para el presente trabajo; en tercer lugar, brindar información abierta y completa en beneficio de la comunidad científica, cuyos resultados serán mostrados y compartidos para nuevas y futuras investigaciones; en cuarto lugar, presentar un contenido entendible de todo el trabajo, recalando metodología, análisis e interpretación de resultados. Finalmente, citar acorde a la norma APA, de manera correcta.

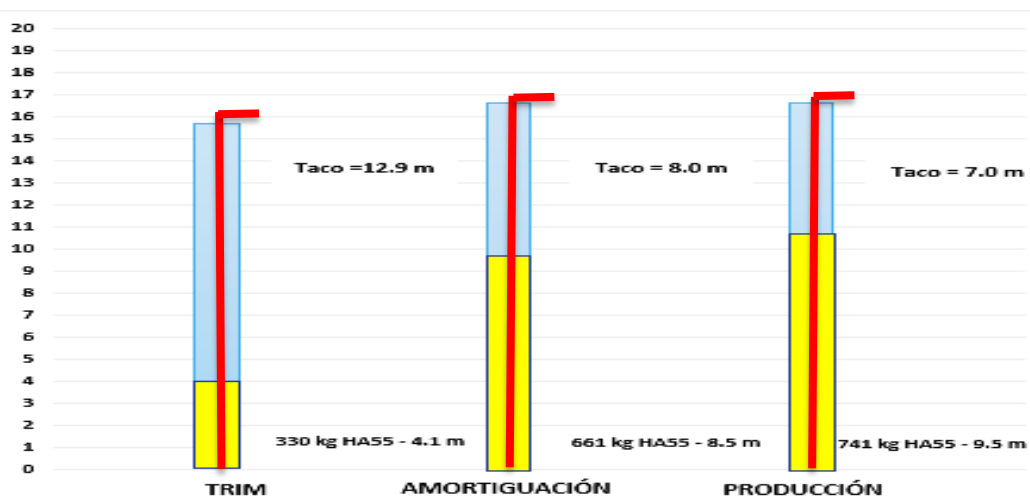
CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Análisis comparativo de la fragmentación al implementar el uso de la doble iniciación Deck con el sistema de iniciación actual durante el proceso de voladura en un tajo de una mina de oro en Cajamarca

La columna explosiva es la parte activa del taladro de voladura, también denominada “longitud de carga” donde se produce la reacción explosiva y la presión inicial de los gases contra las paredes del taladro. Es importante la distribución de explosivo a lo largo del taladro, según las circunstancias o condiciones de la roca. Usualmente comprende de 1/2 a 2/3 de la longitud total y puede ser continua o segmentada. Así pueden emplearse cargas sólo al fondo, cargas hasta media columna, cargas a columna completa o cargas segmentadas (espaciadas, alternadas o Deck charges) según los requerimientos incluso de cada taladro de una voladura. La columna continua normalmente empleada para rocas frágiles o poco competentes suele ser del mismo tipo de explosivo, mientras que para rocas duras, tenaces y competentes se divide en dos partes: La carga de fondo (CF) y la carga de columna (CC).

Figura 4

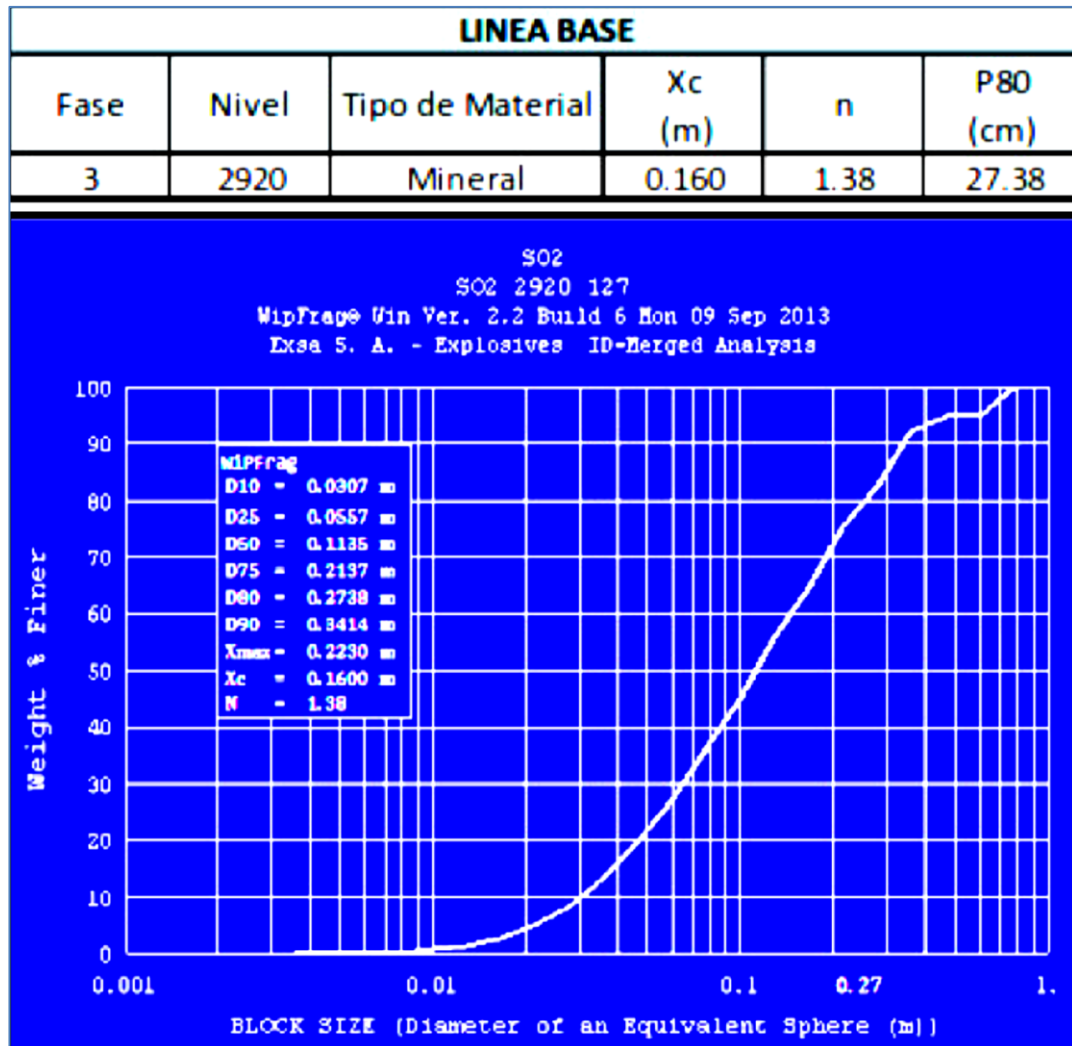
Diseño de Carga de Línea Base (sin doble iniciación)



Fuente: Datos de campo.

Figura 5

Análisis de fragmentación de Línea Base (sin doble iniciación).

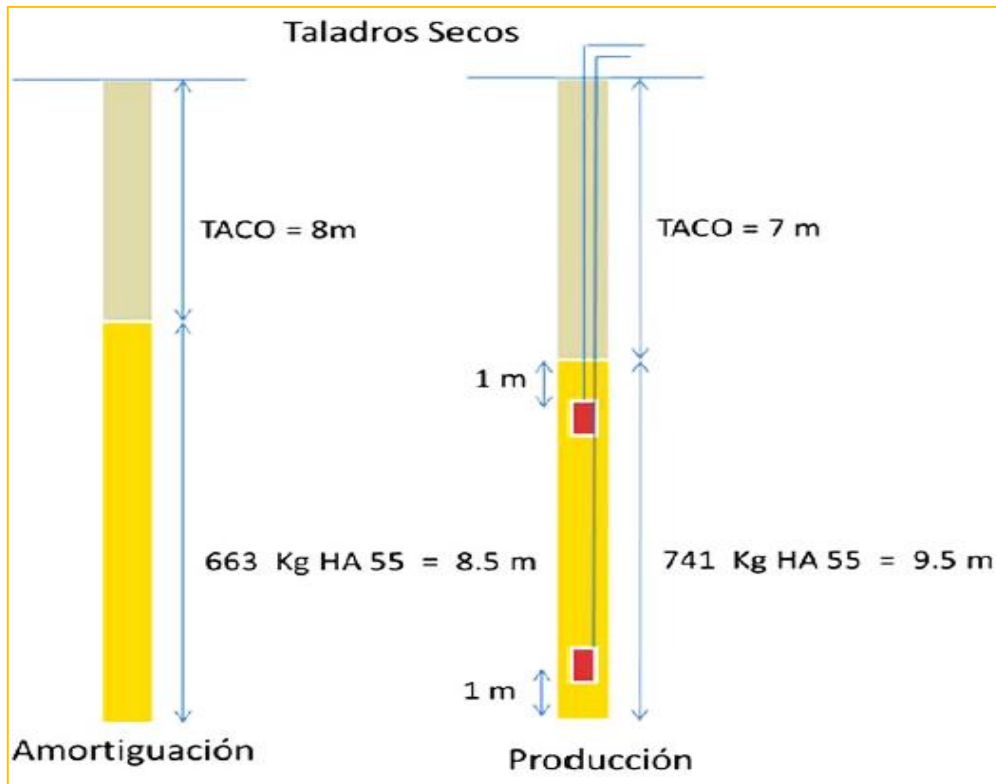


Fuente: Datos de campo.

Los resultados con las fotos obtenidas del software wip frag establece una fragmentación del mineral con un P80 de 27.38 cm

Figura 6

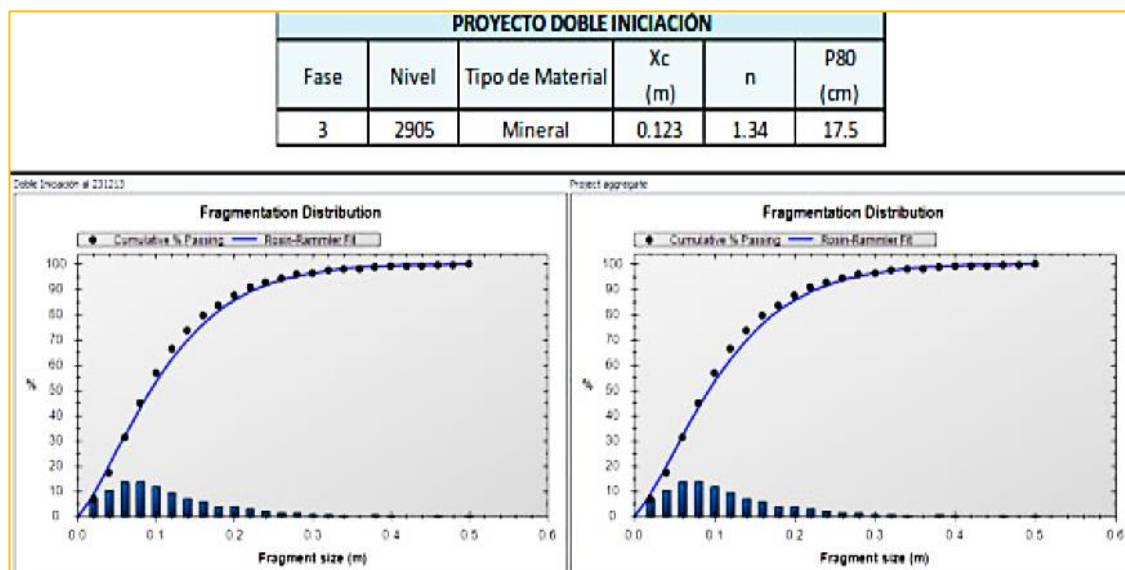
Diseño de Carga con doble iniciación



Fuente: Datos de campo.

Figura 7

Análisis de fragmentación con doble iniciación



Fuente: Datos de campo

Los resultados con las fotos obtenidas del software wip frag establece una fragmentación del mineral con un P80 de 17.5 cm.

Tabla 2

Comparativo de análisis de fragmentación

Datos	Valores
Tipo de material	mineral
P80 Línea base	27.38 cm
P80 Doble Iniciación	17.5 cm
% Variación de fragmentación	36.08

Fuente: Datos de campo

La fragmentación de las rocas ha mejorado, el P80 se ha reducido en 36.08%

3.2 Niveles de vibración generados al hacer uso de la doble iniciación Deck durante el proceso de voladura en un tajo de una mina de oro en Cajamarca

El estudio y mejoras realizadas al proceso de perforación y voladura se realizaron de manera ordenada, a fin de poder analizar cada cambio y ver su sostenibilidad a través de las voladuras. En todos los grupos de pruebas se usaron los detonadores electrónicos con el fin de obtener precisión en los tiempos asignados, ya que la secuencia de detonación también era una de las variables a evaluar; el tener mucha dispersión en los tiempos de detonación no nos permitiría analizar si los tiempos de detonación elegidos son los adecuados.

3.2.1. Prueba N° 01

En este primer grupo de pruebas, no hubo una modificación sobre los parámetros de perforación, sino hubo cambios sobre la redistribución de la energía explosiva a lo largo de la columna del taladro, haciendo un doble deck

(doble carga explosiva), con el fin de tener mayor material fragmentado a lo largo de la zona de taco. Se aumentó 0.5m. de carga explosiva (se eliminó 1.0m. de air deck y se aumentó 0.5m. total de taco) No hubo modificaciones ni de tiempos de detonación, ni de tipo de explosivo.

3.2.2. Prueba N° 02

En este grupo de pruebas se mantuvieron todos los parámetros de perforación y carguío de explosivos que se hicieron en la prueba 01, el único cambio que se realizó, fue la reducción de tiempos de detonación entre taladros de 6ms a 4ms; 60 esto con el fin de analizar el impacto de mejora de resultados en función a los tiempos de detonación.

3.2.3. Prueba N° 03

En este grupo de pruebas ya se hicieron cambios más drásticos, ya que se variaron los parámetros de perforación (se redujeron el burden y espaciamiento de 6.5m. x 7.5m. a 6.0m. x 7.0m.), a la vez que se modificó la mezcla explosiva usada (de HA 46 a HA 55), esto con el fin de trabajar con un explosivo energético más potente. Esta mezcla explosiva era la correspondiente al macizo rocoso, sin embargo, por temas específicos del proveedor de explosivos, la emulsión a granel que se proveía no lograba que la mezcla HA 55 logre un incremento significativo en la velocidad de detonación (VOD) del explosivo, por tanto, su uso no era aplicable. Para estas pruebas, el proveedor modifico su formulación y se optó por usar esta mezcla explosiva (previas mediciones de VOD) y se usó a lo largo de todas las pruebas, obteniendo resultados favorables.

Por tanto, el efecto rompedor debía ser generado por la energía del explosivo, mas no por los tiempos óptimos para la roca; por el contrario, se usaron tiempos altos (según análisis de tiempos de detonación para elevar la frecuencia de las ondas generadas por voladuras). Se volvió a usar el air deck con el fin de reducir la carga explosiva usada por tiempo de detonación.

3.2.4. Prueba N° 04

En este último grupo de pruebas, se mantuvieron los cambios en los parámetros de perforación hechos en los Test 3, así como se volvió a usar él HA 55 (para darle mayor energía a la masa explosiva contenida en el taladro). Se eliminó el uso de air deck, ya que las frecuencias generadas por las voladuras no afectaban la estabilidad de la Falla del, por tanto, la cantidad de explosivo detonado por unidad de tiempo no impactaba en temas de vibraciones. El tiempo de detonación entre filas paso de 150ms a 180ms. (por un tema de mejora en las frecuencias de vibraciones).

A continuación, se presenta los datos de campo correspondientes a los niveles de vibración obtenidos con las cuatro pruebas nates mencionadas durante el año 2021.

Tabla 3

Niveles de vibración obtenida con la doble iniciación Deck

Fecha	Nivel	Dist.	Pico Max		Longitudinal		Transversal		Vertical		Tipo geófono
			PPV (mm/s)	PPV (mm/s)	Frec. (Hz)	PPV (mm/s)	Frec. (Hz)	PPV (mm/s)	Frec. (Hz)		
1-Ene	4030	940	3.52	2.6	3.8	3.19	6.2	2.17	5.6	Portátil	
4-Ene	4030	820	3.8	3.04	4.3	3.8	5	2.25	73.8	Portátil	
7-Ene	3960	690	5.9	5.9	5.8	5.4	7.8	5.4	7.3	Portátil	
7-Ene	4020	1119	5.9	5.9	5.8	5.4	7.8	5.4	7.3	Portátil	
10-Ene	4020	1000	3.5	2.6	3.8	3.5	5.2	2.9	5.5	Portátil	
17-Ene	3950	788	10.1	8.49	3.9	10.1	6.2	6.47	6.3	Portátil	
21-Ene	4020	833	2.91	2.58	5.1	2.91	3.7	2.24	5.2	Portátil	
24-Ene	3950	699	4.56	4.56	15	3.23	13	3.6	10	Portátil	
26-Ene	3990	626	3.07	3.07	9.5	3.03	8.3	2.65	8.8	Portátil	
26-Ene	4030	1341	3.07	3.07	9.5	3.03	8.3	2.65	8.8	Portátil	
28-Ene	4020	857	-	-	-	-	-	-	-	Portátil	
30-Ene	4020	680	5.71	5.32	13	5.71	7.4	4.34	7.4	Portátil	
1-Feb	4020	1252	3.25	2.85	5.8	3.25	5.5	2.84	5.3	Portátil	
4-Feb	3940	736	8.44	7.68	5.2	8.44	6.4	7.4	8	Portátil	
7-Feb	3970	736	5.28	2.77	12	5.28	6	2.59	7.3	Portátil	
7-Feb	3980	736	5.28	2.77	12	5.28	6	2.59	7.3	Portátil	
10-Feb	3990	628	6.83	6.28	12	6.83	7.8	4.11	6	Portátil	
11-Feb	4010	1142	4.58	3.97	6	4.58	7	2.66	6.2	Portátil	
20-Feb	3980	1023	-	-	-	-	-	-	-	Portátil	
25-Feb	4020	1029	-	-	-	-	-	-	-	Portátil	
26-Feb	3970	724	3.25	2.16	5.6	3.25	9	2.83	6	Portátil	
1-Mar	3970	724	2.6	2.6	12	4.65	6.3	3.43	5.6	Portátil	
3-Mar	4020	1029	-	-	-	-	-	-	-	Portátil	
6-Mar	4010	500	-	-	-	-	-	-	-	Portátil	
8-Mar	4010	500	-	-	-	-	-	-	-	Portátil	
11-Mar	4010	677	-	-	-	-	-	-	-	Portátil	
13-Mar	4010	754	-	-	-	-	-	-	-	Portátil	
14-Mar	4010	10.29	1.52	1.27	9	1.14	6	1.52	6.9	Portátil	
15-Mar	4010	990	2.29	1.52	4.1	2.03	3.9	1.52	10	Portátil	
16-Mar	4010	920	3.46	1.78	8	3.17	4.1	2.03	6	Portátil	
18-Mar	3970	727	15.3	12.4	6.1	11.7	5.8	12.3	5.5	Portátil	
18-Mar	4010	870	15.3	12.4	6.1	11.7	5.8	12.3	5.5	Portátil	
3-Abr	3960	735	8.51	5.46	13	8.51	6.9	3.81	5.6	Portátil	

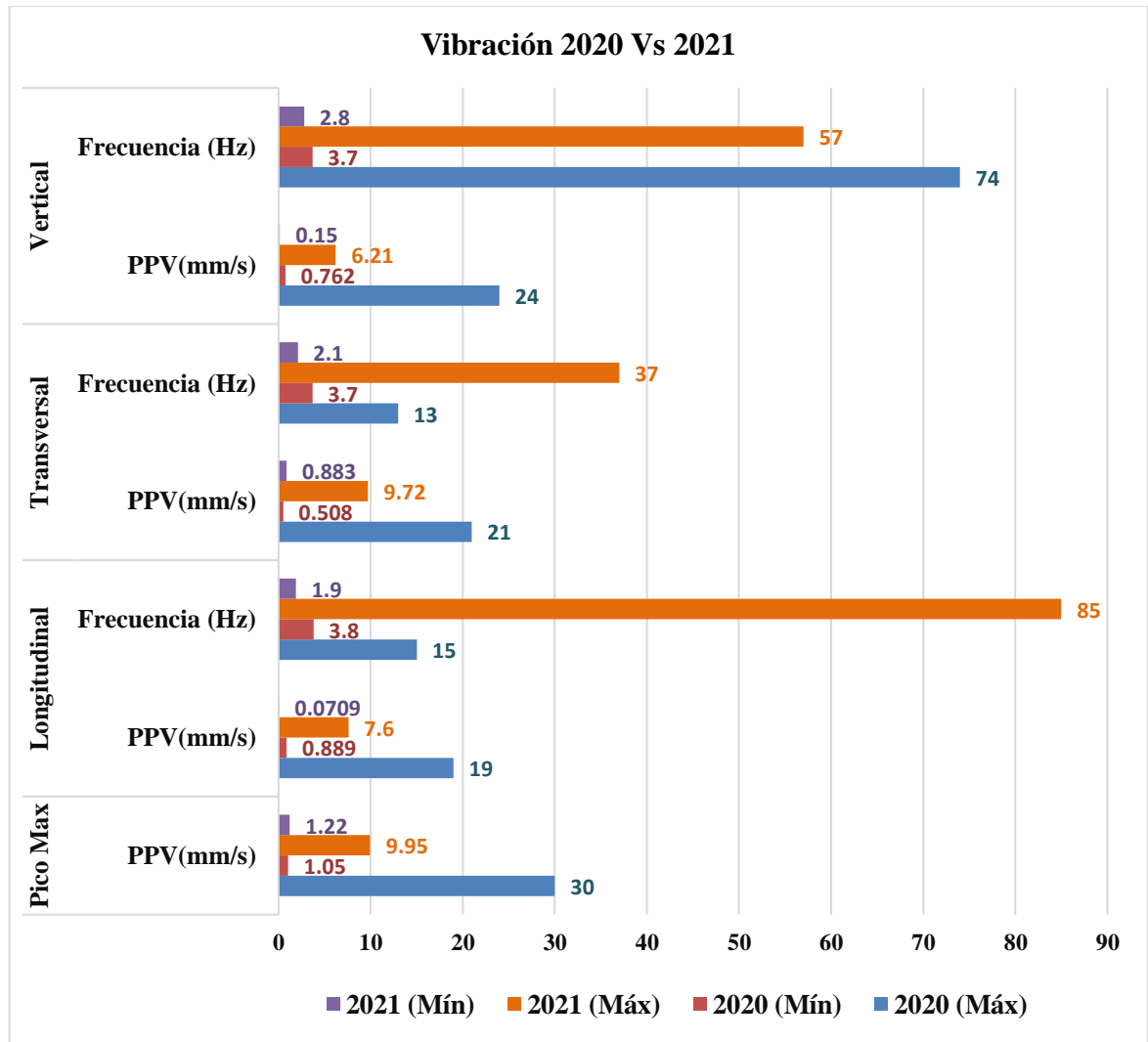
5-Abr	4020	1026	2.79	1.52	7.4	2.79	6.5	1.14	7.3	Portátil
9-Abr	4010	1198	2.92	1.78	11	2.92	6.6	2.03	7.5	Portátil
11-Abr	3950	930	6.6	3.6	5.6	6.6	7.2	4	6.6	Portátil
11-Abr	3960	930	6.6	3.6	5.6	6.6	7.2	4	6.6	Portátil
13-Abr	4010	1036	-	-	-	-	-	-	-	Portátil
15-Abr	3950	748	8.25	5.21	11	8.25	7	5.46	8.4	Portátil
22-Abr	3950	956	5.07	3.68	4.9	3.56	5.8	2.16	6.4	Portátil
24-Abr	3940	730	-	-	-	-	-	-	-	Portátil
25-Abr	3940	830	-	-	-	-	-	-	-	Portátil
26-Abr	3940	970	12.7	6.6	7.2	12.2	9.3	4.44	7.2	Portátil
28-Abr	3940	1000	18.9	18.9	7	11.3	7.3	4.57	4.7	Portátil
1-May	4010	1165	2.67	1.9	5.3	2.54	7.1	1.65	6.7	Portátil
4-May	3940	910	2.99	2.16	10	2.54	6.3	2.16	6.5	Portátil
4-May	3950	990	2.99	2.16	10	2.54	6.3	2.16	6.5	Portátil
5-May	3930	748	7.63	6.98	11	5.97	12	3.68	7.3	Portátil
7-May	4010	995	4.44	2.79	7.9	4.44	6.2	2.03	6.9	Portátil
9-May	3930	748	10.3	5.08	12	10.3	6	5.71	7.9	Portátil
11-May	4010	920	3.56	3.56	5.5	3.56	6.4	2.79	6	Portátil
16-May	4010	878	5.78	4.95	6.1	3.94	6.2	2.29	7	Portátil
18-May	3930	858	3.38	2.41	7.6	2.92	7	1.9	5.4	Portátil
19-May	4010	653	5.97	5.97	6.6	5.46	5.5	4.44	8.3	Portátil
23-May	4000	468								Portátil
27-May	4000	530	8.38	4.32	6.8	6.22	6.2	8.38	4.6	Portátil
29-May	3920	824	8.51	6.86	7.8	8.51	5.9	4.44	10	Portátil
30-May	4000	678	4.44	3.17	8.5	4.44	5.5	3.05	6.2	Portátil
4-Jun	4000	884	-	-	-	-	-	-	-	Portátil
9-Jun	4000	1020	1.05	1.02	7.2	0.508	7.9	0.762	N/A	Portátil
10-Jun	4000	1083	4.64	3.3	4.5	4.57	5.8	2.29	5	Portátil
14-Jun	4010	1252	1.44	0.889	8.7	1.14	6.9	1.02	7.5	Portátil
17-Jun	3990	498	10.9	7.75	8.7	10.9	6.3	8	6.8	Portátil
17-Jun	4000	390	10.9	7.75	8.7	10.9	6.3	8	6.8	Portátil
21-Jun	3990	524	6.22	4.95	7.1	6.22	6.6	4.83	4.8	Portátil
22-Jun	3990	524	8.25	6.86	6.2	8.25	6.9	3.43	9	Portátil
24-Jun	3990	716	16.5	16.5	6	9.78	11	6.98	3.7	Portátil
25-Jun	3910	789	18.7	6.1	8.4	18.7	7.1	15.6	7.8	Portátil
26-Jun	4000	1119	9.17	7.87	5.8	9.14	6.8	5.46	5.8	Portátil
1-Jul	3990	812	7.9	5.46	7.4	6.1	5.5	5.84	6.4	Portátil

1-Jul	4000	1090	7.9	5.46	7.4	6.1	5.5	5.84	6.4	Portátil
3-Jul	3980	653	25.1	18.2	7.8	19.3	5.7	24.4	6.8	Portátil
3-Jul	4000	662	25.1	18.2	7.8	19.3	5.7	24.4	6.8	Portátil
6-Jul	4000	390	9.98	6.73	4.6	7.37	7.2	3.68	8.5	Portátil
9-Jul	3900	786	24.8	9.91	7.2	21	6	15	5.8	Portátil
9-Jul	3980	522	24.8	9.91	7.2	21	6	15	5.8	Portátil
13-Jul	4000	882	4.95	2.29	8.7	4.96	8.3	2.67	7.1	Portátil
15-Jul	4000	1152	3.56	2.16	6.6	3.56	6.8	2.67	7.6	Portátil
16-Jul	3980	524	19.6	11.3	6.3	19.6	7.5	22.9	6.4	Portátil
16-Jul	3990	532	19.6	11.3	6.3	19.6	7.5	22.9	6.4	Portátil
18-Jul	3980	678	30	11.3	6.3	19.6	7.5	22.9	6.4	Portátil
20-Jul	3990	482	17.2	8.76	8.4	16.9	7.3	13.5	8.4	Portátil
21-Jul	4000_4010	950	5.23	2.67	6.2	4.7	6.6	4.32	6	Portátil
24-Jul	4000_4010	887	4.95	4.06	6.6	4.7	8.8	3.3	8.7	Portátil
25-Jul	3980	748	4.14	2.41	12	3.94	7.3	1.52	8.3	Portátil
27-Jul	3990	590	12.6	6.98	6.4	12.6	5.4	7.11	6.3	Portátil
29-Jul	3990	635	6.77	4.95	6.3	6.35	6.8	4.83	8	Portátil
31-Jul	3980_3990	897	12.6	4.32	5.3	12.4	5.3	6.22	6.8	Portátil
2-Ago	3970-3990	540	16.1	13.8	8.7	15.1	6.3	16.1	6.7	Portátil
3-Ago	3990	1046	<1.0	-	-	-	-	-	-	Portátil
5-Ago	3990	1046	4.96	3.3	6	2.03	6.8	4.57	5.1	Portátil
7-Ago	3990_4000	842	-	-	-	-	-	-	-	Portátil
7-Ago	3980	532	-	-	-	-	-	-	-	Portátil
9-Ago	3970_3980	550	10.1	6.38	6.6	9.31	6.3	6.96	5.8	Portátil
11-Ago	3980	832	8.19	5.59	4	7.65	5.3	5.26	6	Portátil
11-Ago	4000	514	8.19	5.59	4	7.65	5.3	5.26	6	Portátil
13-Ago	3990	636	6.43	3.52	9.8	5.85	8.7	4.15	5.6	Portátil
16-Ago	3990	842	6.94	2.67	8.1	6.86	6.1	2.67	9.7	Portátil
21-Ago	3980	532	-	-	-	-	-	-	-	Portátil
23-Ago	3990_4000	852	11.9	4.06	5.5	11.4	5.6	5.59	6.3	Portátil
25-Ago	3980	752	6.25	4.83	8.3	5.84	7.9	4.06	9.7	Portátil
28-Ago	3960	588	13.1	6.86	6.1	12.6	5.4	5.97	7.6	Portátil

Fuente: Datos de campo.

Figura 8

Gráfico comparativo de los niveles de vibración obtenidos en el año 2020 Vs 2021



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 10 se observa que los niveles de vibración monitoreados de forma longitudinal, transversal y vertical muestran una reducción de un promedio de 11 PPV, 12 PPV y 17 PPV respectivamente.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

En los resultados presentados de las diferentes pruebas que se han realizado de la doble iniciación se ha demostrado que la fragmentación de las rocas ha mejorado, el P80 ha reducido, la velocidad de carguío de las palas ha disminuido, y de manera visual se ha observado que el factor de llenado de las tolvas de volquetes es mejor produciendo menos espacios perdidos en las tolvas, la producción diaria del mineral ha incrementado. Lo cual permite apoyar lo señalado con Hinostroza (2014), en tesis “Optimización de la fragmentación en las rocas con la aplicación de la doble iniciación electrónica en la explotación de cobre porfirítico a cielo abierto” de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, los estudios e investigaciones para poder demostrar la importancia y necesidad de colocar un iniciador con detonador electrónico más y así poder lograr optimizar la fragmentación de la roca en zona de mineral; posteriormente se realizó varias pruebas de voladura con doble iniciación electrónica, a la vez se ha modificado algunos parámetros ya establecido como el diseño de malla, el diseño de carga, y los tiempos de secuencia de salida del disparo, realizando una mejora, para lograr nuestro objetivo principal que es optimizar la fragmentación en zona de mineral usando la doble iniciación electrónica. En las pruebas de voladura con doble iniciación electrónica se obtuvo una reducción hasta un 36 % en el P80 según los análisis realizados, además de obtener una reducción en tiempo de carguío de la pala hasta un 31%.

El tiempo de detonación entre filas paso de 150ms a 180ms. (por un tema de mejora en las frecuencias de vibraciones). Esto apoya lo señalado por Poma (2012), el cual

indica que en el tiempo de secuenciamiento, posiblemente no hay cuestión sobre la que exista mayor desacuerdo en el mundo de la voladura que el retardo para obtener la fragmentación más fina. Los retos más importantes en lo que afecta a la granulometría de la roca fragmentada parecen ser los entre taladros y entre filas, dado que mediante ellos se puede ajustar la intensidad de las tensiones en varias partes de la voladura. “Los retardos entre decks se emplean generalmente para el control de las vibraciones o de la forma de la pila”, más que para el control de la distribución de la pila.

Así mismo los niveles de vibración según datos de monitoreo en campo demuestran una reducción en comparación con el año 2020 siendo la diferencia de pico máximo un aproximado de 20 PPV, de igual manera en los valores obtenidos en la medición longitudinal, transversal y vertical con diferencias de 11 PPV, 12 PPV y 17 PPV respectivamente. Lo cual permite apoyar lo señalado por Montesinos (2017) menciona en sus tesis. Con la aplicación del método de voladura controlada y doble deck se logró reducir la rotura de la pared final del talud, obteniendo también ventajas como menor proyección de rocas, reducción de vibraciones propias a la voladura y la disminución de los costes en movimiento de tierras en el proyecto carretera Lima – Canta.

La limitación del trabajo de investigación fue la dificultad de trabajar con una muestra reducida ya que por motivos de confidencialidad de datos no se pudo asumir una muestra mayor a la de 2 bancos, lo cual hubiese servido para reforzar las conclusiones de la tesis.

4.2 Conclusiones

Se realizó un análisis comparativo del tamaño de la fragmentación al implementar el uso de la doble iniciación Deck con el sistema de iniciación actual durante el proceso de voladura en un tajo, para lograr la fragmentación requerida se realizó un primer diseño de malla y carga como referencia 0, a partir de esta línea base se desarrollaron diseños más puntuales de acuerdo a la configuración de la roca, 8 filas de taladros, de 7 taladros por fila en donde se diseñó en paquetes simultáneos de 3 para lograr uniformidad de corte y movilización de la roca para evitar el amarrado de la roca y evitar la dificultad de su extracción. La fragmentación fue óptima considerando que es una voladura para producción de escollera, se presenta roca de tamaño requerido en 95% de lo planificado.

El uso de la doble iniciación Deck permitió homogenizar la distribución granulométrica ante la ausencia de explosivo en la parte superior del taco (para una roca muy dura, con $UCS > 150$ Mpa), pero no significó una reducción significativa del material volado, según muestran las Pruebas 1 y 2, en las pruebas 3 y 4 se usó una sola carga de columna y los resultados fueron más uniformes y con mejoras en la fragmentación.

La evaluación de los niveles de vibración generados como pico máximo obtenidos estuvieron en el rango de 1.22 – 9.95 PPV, que en comparación con los longitudinales, transversales y verticales estuvieron en rangos de 0.08 – 7.6 PPV, 0.8 – 9.7 PPV y 0.15 – 6.2 PPV respectivamente, con diferencias en comparación al año anterior de hasta 20 PPV.

REFERENCIAS

- Centeno, E. (2014). *“Optimización en la estimación de recursos y límite de explotación en el proyecto Michiquillay”*. (tesis pre grado). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú.
- Espíritu, M. (2018). *“Obtención del cemento de cobre mediante la descomposición de chatarra de hierro para la recuperación de cobre en Volcan compañía minera, unidad Paragsha -Pasco – 2018”*. (tesis pre grado). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Cerro de Paso, Perú.
- Lovera, D. et al. (2005). “Cinética de la reacción de cementación de cobre a partir de minerales sulfurados del complejo Marañón”. Revista del Instituto de Investigación FIGMMG. Vol. 8, N° 16: 44-50. Lima, Perú.
- Montesinos, P.(2017). *Voladura controlada para talud final en la construcción de la carretera Lima - Canta - La Viuda Unish* (Universidad Nacional del Altiplano).
- Oviedo, L. (2017). *“Diseño de mallas de perforación y voladura haciendo uso del software drill and Blast Vulcan 8.0 para obtener una óptima fragmentación en E.E. Ajani Unidad Minera Anabi”*. (tesis pre grado). Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.
- Palella, S. & Martins, F. (2012). *Metodología de la investigación cuantitativa*, Florencia, Venezuela. Recuperado de <https://www.doccity.com/es/disenio-tipo-nivel-y-modalidad-de-palella-y-martins/2733947/>

Rojas, F. (2019). *“Diseño y cálculo de un sistema motriz para un reactor rotativo para la cementación de cobre, en conjunto de una valorización del sistema”*. (tesis pre grado).

Universidad Técnica Federico Santa María. Valparaíso, Chile.

Suero, P. (2012). *“Optimización técnica y económica de la obtención del cemento de cobre a nivel de planta piloto”*. (tesis pre grado). Universidad Nacional del Callao. Callao,

Perú.

Tejada, F. (2019). *“Evaluación Experimental de la Cinética de cementación en soluciones ácidas de cobre”*. (tesis pre grado). Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa,

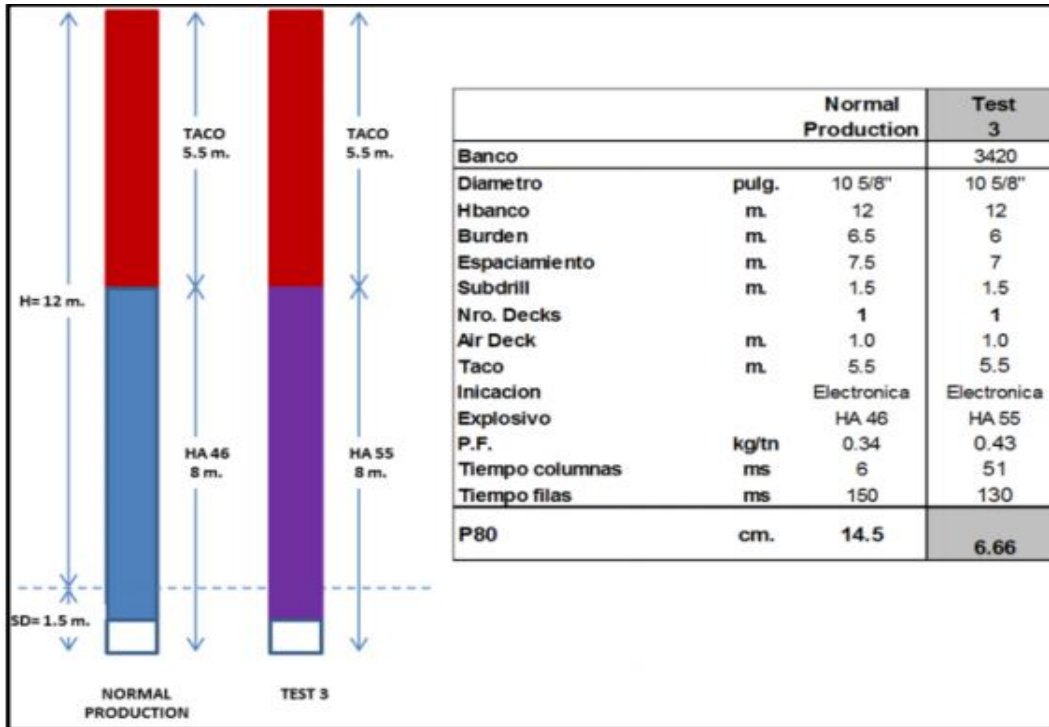
Perú.

Vargas, R. (2009). *La Investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. Vol. (33), p.161.*

Zuñiga, P. (2015). *“Diseño de tronaduras y su impacto en el costo mina de Compañía Minera Cerro Negro”*. (tesis pre grado). Universidad de Chile.

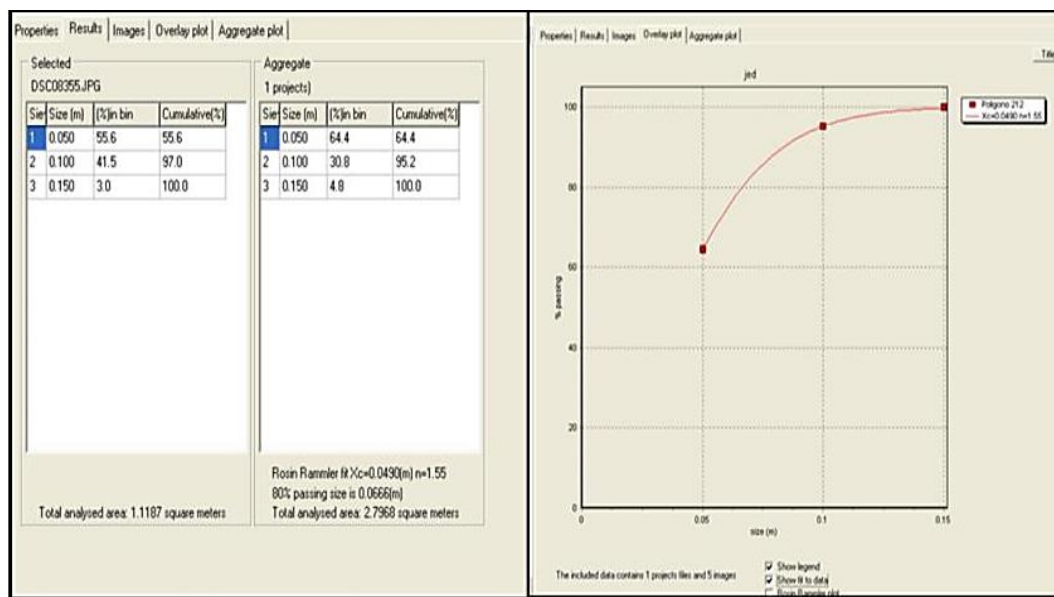
ANEXOS

Anexo N° 01: Parámetros de perforación y voladura comparativas entre Línea Base (Normal Producción) y la Prueba 03.



Fuente: Datos de campo.

Anexo N° 02: Análisis granulométrico en material volado para Prueba 3 Según software.



Fuente: Datos de campo.

Anexo N° 03: Antes y después del uso de doble deck en voladura

Veamos los problemas anteriores



En la actualidad



Fuente: Elaboración propia