

“REDISEÑO EN LAS FILAS DE PROCEDIMIENTO
DE LA MALLA DE PERFORACIÓN PARA
OPTIMIZAR LA OPERACIÓN DE VOLADURA EN
UNA MINA SUPERFICIAL, 2021”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Enrique Guadalupe Diaz

Asesor:

Mg. Ing. Miguel Ricardo Portilla Castañeda

<https://orcid.org/0000-0002-3676-7137>

Cajamarca - Perú

2024

JURADO EVALUADOR

Presidente(a) del Jurado	Elmer Ovidio Luque Luque	91130
	Nombre y Apellidos	Nº Colegiatura

Miembro del Jurado	Victos Álvarez León	132270
	Nombre y Apellidos	Nº Colegiatura

Miembro del jurado	Wilder Chuquiruna Chávez	116723
	Nombre y Apellidos	Nº Colegiatura

INFORME DE SIMILITUD

REDISEÑO EN LAS FILAS DE PROCEDIMIENTO DE LA MALLA DE PERFORACIÓN PARA OPTIMIZAR LA OPERACIÓN DE VOLADURA EN UNA MINA SUPERFICIAL

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	7%
2	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	2%

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar hasta aquí, regalándome salud, fuerza y la paciencia necesaria en los momentos más difíciles que se presentan en la vida. A mi esposa Tania y mis hijos Camila y Sergio, por darme la motivación y la comprensión en los momentos de estrés y ausencia familiar generados por compartir el tiempo entre el ser padre, el trabajo y el sueño de ser profesional. A mi madre que en su avanzada edad sonríe desde el fondo de su alma por los logros de todos sus hijos, siendo ella en gran parte el artífice de este, por los valores inculcados en mi niñez.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Privada del Norte, por darnos la oportunidad de obtener un título profesional, a través del programa Working, modalidad que comprende las necesidades de las personas que laboramos bajo régimen de trabajo atípicos y distantes, como los del rubro minero.

A mis compañeros de trabajo y línea de supervisión de la empresa EXSA, por su apoyo incondicional, muchas veces cubriendo mi puesto laboral cuando necesitaba rendir una evaluación o sustentar un trabajo y sobre todo por las palabras de aliento brindadas en los momentos que el cansancio se dibujaba en mi rostro, después de una larga jornada de estudios; a la supervisión que siempre estuvo dispuesta a compartir conocimientos, experiencias laborales, consejos de vida y mucho apoyo.

TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	12
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	13
1.1. Realidad problemática	13
1.2. Formulación del problema	28
1.3. Objetivos	28
1.3.1. Objetivos generales	28
2.3.2. Objetivos específicos	28
1.4. Hipótesis	28
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	29
Con respecto a los aspectos éticos a tomarse en cuenta el	39
CAPÍTULO III: RESULTADOS	40

3.1. Parámetros operacionales de la malla de perforación en las filas de procedimiento y producción en diseño tradicional Rediseño actual	40
3.2 Parámetros de diseño de mallas del banco 4021	44
3.2.1 Sílice masiva Diseño Tradicional Julio – octubre 2021	47
3.2.2 Sílice masiva Rediseño – BN 3802 mes diciembre	52
3.2.3 Control de Taludes	56
3.2.4 Vibraciones	66
3.2.5 Costos	70
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	77
REFERENCIAS	82
ANEXOS	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de la selección de artículos de investigación.....	33
Tabla 2: Características geomecánicas de la roca - Sílice Masiva	37
Tabla 3: Características geomecánicas de la roca - Sílice Granular.....	38
Tabla 4: Parámetros del Rediseño 01 de malla - Banco 3802.....	41
Tabla 5: Parámetros del Rediseño 02 de malla - Banco 3802.....	42
Tabla 6: Parámetros del Rediseño 01 de malla - Banco 4021	44
Tabla 7: Parámetros del Rediseño 02 de malla - Banco 4021	46
Tabla 8: Costos de Perforación y Voladura Total	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de diseños de mallas	18
Figura 2: Parámetros de diseños de malla en bancos	20
Figura 3: Diseño de malla según el tipo de banco	21
Figura 4: Factores que influyen en la voladura de bancos	22
Figura 5: Causas y efectos de la voladura de bancos	23
Figura 6: Mineral volado en el BN 4021.....	31
Figura 7: Instrumento de medición de granulometría - Portametrics.....	32
Figura 8: Formato 01 - Parámetros de diseño de mallas	35
Figura 9: Formato 02 - Caracterización geomecánica S. Granular y Masiva	36
Figura 10: Formato 03 - Datos Costos de Perforación y Voladura.....	36
Figura 11: Gráfico comparativo de los parámetros de perforación Malla actual Vs Rediseño 01 – BN 3802.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 12: Perfil de Carga del Rediseño 01 de malla - Banco 3802	41
Figura 13: Gráfico comparativo de los parámetros de perforación Malla actual Vs Rediseño 02 – BN 3802.....	42
Figura 14: Perfil de Carga del Rediseño 02 de malla - Banco 3802	43
Figura 15: Gráfico comparativo de los parámetros de perforación Malla actual Vs Rediseño 01 – BN 4021	44
Figura 16: Perfil de Carga del Rediseño 01 de malla - Banco 4021	45
Figura 17: Gráfico comparativo de los parámetros de perforación Malla actual Vs Rediseño 02 – BN 4021	45

Figura 18: Perfil de Carga del Rediseño 02 de malla - Banco 4021	46
Figura 19: Análisis granulométrico de la fragmentación Diseño Tradicional - BN 3802 .	47
Figura 20: Análisis Granulométrico Diseño Tradicional BN 3802 - P80: 6.97 in.....	49
Figura 21: Análisis Granulométrico Diseño Tradicional BN 3802 - P80: 9.80 in.....	49
Figura 22: Análisis Granulométrico Diseño Tradicional BN 3802 - P80: 8.94 in.....	50
Figura 23: Análisis Granulométrico Diseño Tradicional BN 3802 - P80: 9.69 in.....	51
Figura 24: Análisis Granulométrico Diseño Tradicional BN 3802 - P80: 7.99 in.....	52
Figura 25: Análisis Granulométrico Diseño Tradicional BN 3802 - P80: 7.40 in.....	52
Figura 26: Análisis granulométrico de la fragmentación Rediseño - BN 3802 /diciembre	53
Figura 27: Análisis Granulométrico Rediseño BN 3802 - P80: 4.53 in.....	54
Figura 28: Análisis Granulométrico Rediseño BN 3802 - P80: 5.47 in.....	54
Figura 29: Análisis Granulométrico Rediseño BN 3802 - P80: 5.87 in.....	54
Figura 30: Análisis Granulométrico Rediseño BN 3802 - P80: 6.57 in.....	55
Figura 31: Análisis Granulométrico Rediseño BN 3802 - P80: 4.49 in.....	55
Figura 32: Análisis Granulométrico Rediseño BN 3802 - P80: 5.43 in.....	56
Figura 33: Modelo Campo cercano Holmberg Persson – BN 3802.....	57
Figura 34: Criterio de daño PPV máximo – BN 3802	57
Figura 35: Diseño del Control - BN 3802.....	58
Figura 36: Modelo Campo cercano Holmberg Persson – BN 4021.....	59
Figura 37: Criterio de daño PPV máximo – BN 4021	60
Figura 38: Diseño del Control - BN 4021	60
Figura 39: Conciliación del nivel 4050	63
Figura 40: Conciliación del nivel 4070	64

Figura 41: Control de talud nivel 4050	65
Figura 42: Control de talud nivel 4070	65
Figura 43: Distribución de equipos de monitoreo de vibraciones - BN 3802.....	66
Figura 44: Registro de vibraciones de los geófonos 1 y 2 - BN 3802	67
Figura 45: Registro de vibraciones del geófono 3 - BN 3802.....	67
Figura 46: Distribución de equipos de monitoreo de vibraciones - BN 4021.....	68
Figura 47: Registro de vibraciones de los geófonos 1 y 2 - BN 4021	69
Figura 48: Registro de vibraciones del geófono 3 - BN 4021.....	70
Figura 49: Comparación \$/Ton Rediseño 01 - BN 3802	71
Figura 50: Comparación \$/Ton Rediseño 02 - BN 3802	71
Figura 51: Comparación \$/Ton Rediseño 01 - BN 4021	72
Figura 52: Comparación \$/Ton Rediseño 02 - BN 4021	73

RESUMEN

La presente tesis tuvo por finalidad determinar los parámetros operacionales de la malla de perforación en las filas de procedimiento y producción en diseño tradicional y el actual. La metodología aplicada consideró las técnicas de revisión documentaria para recopilar antecedentes y la observación directa en campo, en donde se evidencio problemas con la granulometría del mineral volado como instrumento se empleó el software Portametric. Concluyendo que la fragmentación se obtuvo según análisis un P80 promedio de 5.35 in en el frente de minado, del 63 % del material analizado pasan por mallas menores a 4 in. Los tiempos de retardo evitan un acoplamiento de ondas y por lo tanto reducen la amplificación de vibraciones de taladros en zonas de procedimiento o filas de control, determinando como eficientes en la mina estudiada 90ms para la fila 600, 135ms en la fila 700 y para la producción entre 3ms y 11ms. La estabilidad de paredes, reducción de niveles de vibración hasta en 20% en la zona de futura cresta. El costo total en la 500 se reduce del 12.5% Sílice masiva y 47.3% en sílice granular, al ampliarse su burden y espaciamiento equivalente a taladros de producción, reducción de la profundidad de perforación, como también la ampliación de malla en los taladros de control (600, 700).

PALABRAS CLAVES: Rediseño, malla, perforación, fragmentación, costo, vibración, conciliación.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El diseño tradicional de las mallas de perforación en la mina en estudio consta en primer lugar de cuatro filas de procedimiento 900 como pre corte o filtro, 700 como adyacente y 600 y 500 como procedimiento o filtro, seguidas de las filas de producción con un burden y espaciamiento mayor al procedimiento. Las cargas para la fila 500 y 600 consisten en 3.00 m y cámaras de aire para llegar a los 5.0 m de taco, para la fila 700 se tiene 1.5 m de explosivo y cámaras de aire para llegar a los 5.00 m de taco, este diseño en la actualidad causa inestabilidad en la pared del talud y una fragmentación gruesa considerando que la mina en estudio tiene como K_{pi} 's de fragmentación de 4" para mineral y 6" para desmonte. El objetivo de la investigación es rediseñar las filas de procedimiento de la malla de perforación para ampliar su burden y espaciamiento convirtiendo la fila 500 de procedimiento en primera de producción, así como también se eliminará la sobre perforación con la finalidad que la detonación de este no dañe la cresta del banco inferior. Las filas 600 y 700 también serán ampliadas. La investigación es experimental con diseño cuasi experimental porque se compara los resultados de la fragmentación con el diseño de malla tradicional y el rediseño, esperando obtener un mejor control de la pared del talud y un mejoramiento en la fragmentación del material volado (Pacco, 2019).

Así mismo se considera al diseño de malla un aspecto fundamental para la obtención de una fragmentación óptima, acompañado de otros parámetros como tipo de roca, cantidad de explosivos, accesorios, tipo de corte, etc. Según el tipo de terreno (geología y geomecánica) el diseño de la malla puede variar, sumado a la dimensión de la labor en la cual se está operando (TECSUP, 2020).

Actualmente, el proceso de diseño de mallas para las operaciones de perforación y voladura se ha posicionado como un factor de gran importancia para la secuencia del ciclo de minado, lo cual es imperativo en todos los proyectos mineros, por lo cual se deben implementar mejores continuas que sumen estándares que incrementen la productividad de las operaciones de perforación y voladura, no obstante siempre estarán presentes problemas que interfieran con los avances y generen cambios en los costos (Ladera y Quispe, 2020).

Castro y Rodríguez (2016), en su estudio “Reducción de la Sobrerotura en el Crucero 3910 del Nivel 2360 de la Mina “Pec” de la Cía. Consorcio Minero Horizonte”, indicaron que: “En la mina Proyecto Especial Compartido del Consorcio Minero Horizonte se viene realizando labores de preparación y desarrollo, como son el caso de cruceros y/o bypass. El costo unitario de esta labor suele aumentar por la sobre rotura, obligando a utilizar más tiempo extra en limpieza en relación a la labor, los transportes internos y externos de la mina y más sostenimiento. La sobre rotura redujo en un 17,44% al utilizar la voladura controlada de pre corte en la corona de las mallas de perforación utilizando de explosivos cartucho de exsablock de 7/8“x7”. Para ello se aplicaron técnicas de tubos de PVC ensamblado para tener mejores controles al

desacoplar en cuarenta centímetros de los cartuchos de explosivo y espaciando los taladros a una menor distancia de cuarenta centímetros. Los resultados fueron provechosos, al reducirse la sobrerotura en 17,44%, lo que generó menores costos de estos cuarenta dólares metro de avance.

Montesinos (2017), en su estudio "Voladura Controlada para Talud Final en la Construcción de la Carretera Lima - Canta - La Viuda Unish", señaló la realización de las perforaciones y voladuras es esencial para el cuidado de la pared final del talud, debido a que esta puede verse afectada debido al fracturamiento hacia atrás que se da por la voladura y plantea aplicar la voladura controlada en la construcción de la carretera Lima – Canta – La Viuda Unish, progresiva 33+000 al 33+100, se logra la obtención de cada resultado aceptable, técnicos-normativos en construcciones de vías, así también se logran la reducción de los niveles de vibración producidos por los desacoples de la voladura de avance y esencialmente se evitó los daños de cuñas en las caras del talud final.

Ramos(2017), su estudio donde se planteó el diseño y evaluación de la voladura de pre-corte en el Tajo Pomarani – Untuca de la empresa Coripuno S.A.C., trabajo realizado en el año 2016, donde los autores describen que la operación en la zona de Pomarani son a tajos abiertos y las explotaciones se dan en taludes con dos rumbos distintos, donde se presenta una problemática en los taludes, puesto que las explotaciones cortas de cada estructura del macizo rocoso de forma diagonal y de no existir en los controles de las voladuras se generan daños en la pared del talud final, el autor indicó que el taladro de pre corte se viene a ejecutar sin considerar la

característica geomecánicas de la roca, parámetro de los explosivos, taladro de pre corte con burden y espaciamiento igual al taladro de producción, sin generar diseños adecuados para los pre cortes con el objetivo de diseñar la reducción de la sobre rotura así como evitar el bloque suspendido de la pared del talud final del tajo, dicho diseño estará en relación de cada característica geomecánica de la roca, concluyendo que la distancia óptima es de 1.0 m de taladro a taladro para voladura de pre corte con cargas explosivas de 3.2 kg por taladro, asimismo, que las presiones de los taladros deben estar en relación a las resistencias de las compresiones del macizo rocoso y el resultado fue satisfactorio, donde logro reducir la sobre rotura.

Chambi (2018), indico que el estudio: "Aplicación de Flexigel en voladura de control – Orica Mining Services S.A. – Mina Cerro Verde" evalúa el uso Flexigel para reemplazar el uso HA 37 para que el análisis de la reducción de vibración utilizando el Flexigel en comparación al HA 37, y describe que en la unidad minera Cerro Verde todas las perforaciones de voladura de contorno, producción, rampa y borde se realizan con diámetro de 10 5/8", a excepción en el pre corte que los perforados con diámetros de 5", e igual que el Buffer se carga con Anfo pesado, HA 37, con mezclas 30% de emulsión y 70% nitrato de amonio, asimismo, el taladro de producción se carga con HA 50, con la mitad de la emulsión y la otra mitad con Nitrato de amonio y los pre cortes es cargados con explosivos encartuchados, concluyendo que la utilización del Flexigel incrementando el costo del explosivo en un 5.74% con respecto a la utilización de HA 37, asimismo, el beneficio es mayor que permitirá el ahorro en perforación para voladura secundaria, carguío, reducción de bolones y acarreo, además

de mayores ahorros en todos los procesos de chancado y molienda por la reducción de la fragmentación.

El estudio de Carhuacho, (2011), señala que: La finalidad de la voladura es romper el rocoso macizo, pero si éste no se desarrolla adecuadamente, la fragmentación no será óptima . Por lo que para realizar la fragmentación de forma óptima es necesario realizar voladuras secundarias, las cuales se conocen como cachorreos y añaden un gasto importante al proceso Por esta razón, es crucial realizar investigaciones preliminares o que toda empresa minera mantenga un enfoque técnico - sistemático en un centro de disparos y voladuras con la ayuda de modelos tecnológicos o matemáticos que ayuden a una mejor interpretación de un centro de disparos con un orden en el secuencia de voladuras , evitando así voladuras secundarias y gastos financieros y de horas de trabajo innecesarios .

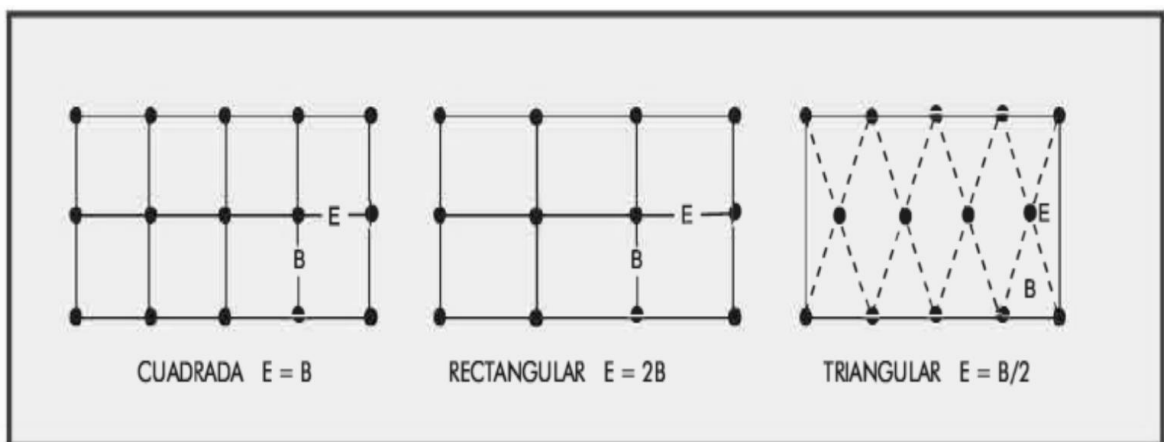
Los problemas principales que suceden debido a un mal diseño de las mallas de perforación suelen desencadenar en una mala fragmentación del mineral, tiros cortados, dificultades en los avances, un exceso de factor de carga, lomos en piso, pared del talud inestable, etc. Rodríguez (2019). En trabajo de investigación, Correa (2016) señala que los procedimientos que consideran los siguientes aspectos deben ser empleados para diseñar la voladura en mina. La trayectoria de cuatro disparos, el volumen del flujo de material, la fragmentación y el costo general de la colisión. volumen de flujo, fragmentación y costo general de colisión. Sin embargo, el avance de la volatilidad no es siempre persigue con la intención de beneficiar a la empresa, sino también para evitar perjudicar cuestiones relacionadas con el medio ambiente y

la población en general. Perseguido con la intención de beneficiar a la empresa, pero también para evitar perjudicar cuestiones relacionadas con el medio ambiente y la población en general.

La malla, es la manera en la que se distribuye el talado de la voladura, se considera básico para las relaciones del burden, espaciado y su vínculo directo con las profundidades del taladro. En el diseño de una voladura de banco se puede aplicar diferentes trazos para la perforación, denominándose malla cuadrada, rectangular y triangular o alterna, basándose en la dimensión del burden (Exsa, 2018).

Figura 1

Tipos de diseños de mallas



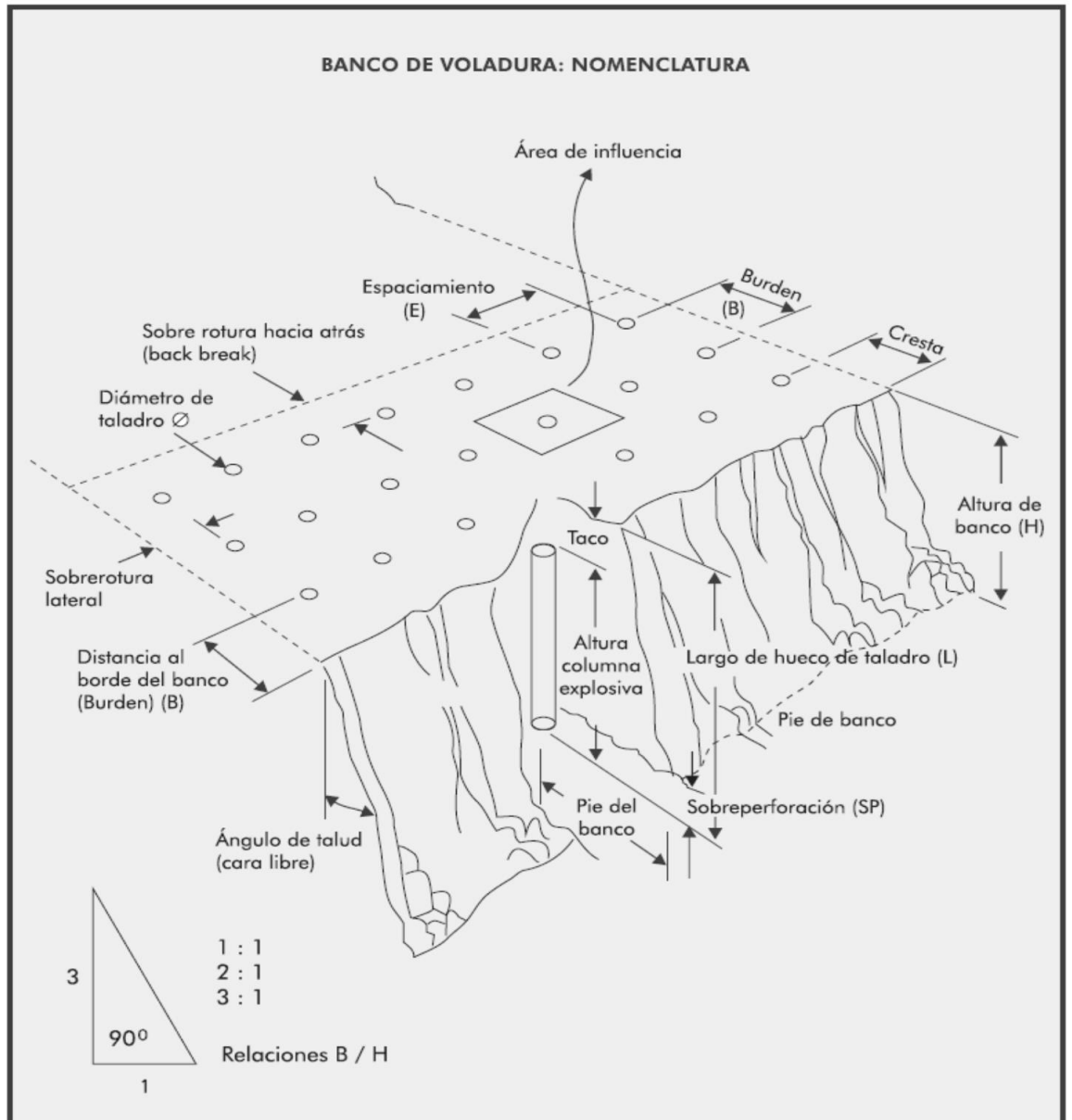
Fuente: Manual de Práctico de Voladura (Exsa, 2018).

El diseño de una voladura debe adherirse a los principios básicos de una idea de diseño (Konya, 1990), que se ajustan según sea necesario para compensar las condiciones geotécnicas únicas. El diseño de una voladura debe adherirse a los principios básicos de una idea de diseño (Konya, 1990), que se ajustan según sea necesario para compensar las condiciones geotécnicas únicas de la ubicación. evaluar en su totalidad, siendo necesario evaluar cada variable o dimensión a desarrollarse y revisarse paso a paso. La configuración del taladro puede tener muchas maneras, pero las más usadas son fila única, arreglos rectangulares regulares, y barrenos en patrón escalonado. También se utilizan patrones de arreglos semi-regulares o irregulares en áreas donde no se puedan utilizar patrones regulares. Los parámetros principales en las configuraciones de los taladros son Burden y Espaciamiento (Gaona, 2015).

El burden, también denominado piedra, bordo o línea de menor resistencia o lo coro libre. Es lo distancia desde el pie o eje del taladro o lo coro libre perpendicular más cercano. También lo distancia entre filos de taladros en una voladura. Se considera el parámetro más determinante de la voladura. Depende básicamente del diámetro de perforación, de las propiedades de la roca, altura de banco y las especificaciones del explosivo o emplear. (Exsa, 2018).

Figura 2

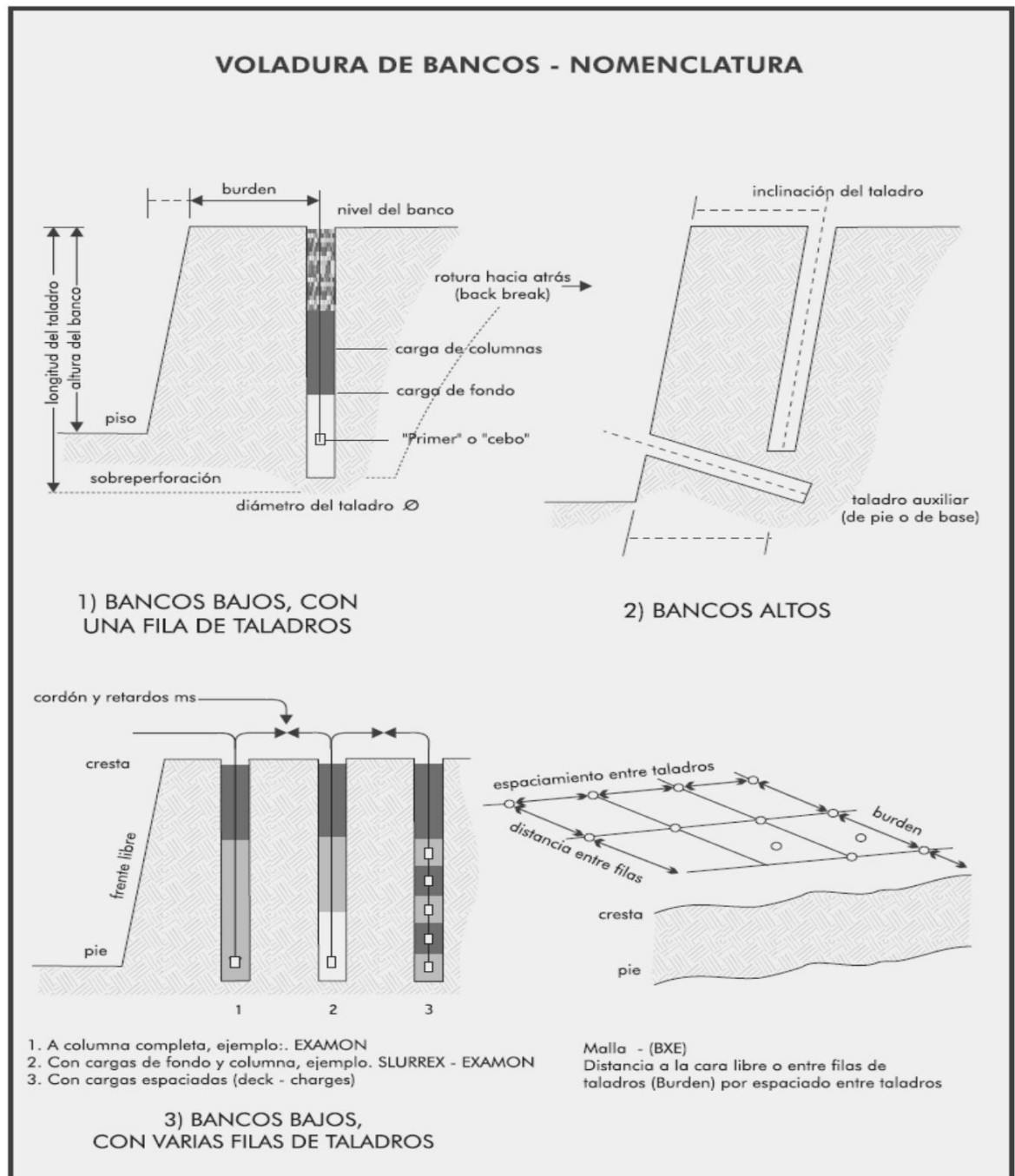
Parámetros de diseños de malla en bancos



Fuente: Manual de Práctico de Voladura (Exsa, 2018).

Figura 3

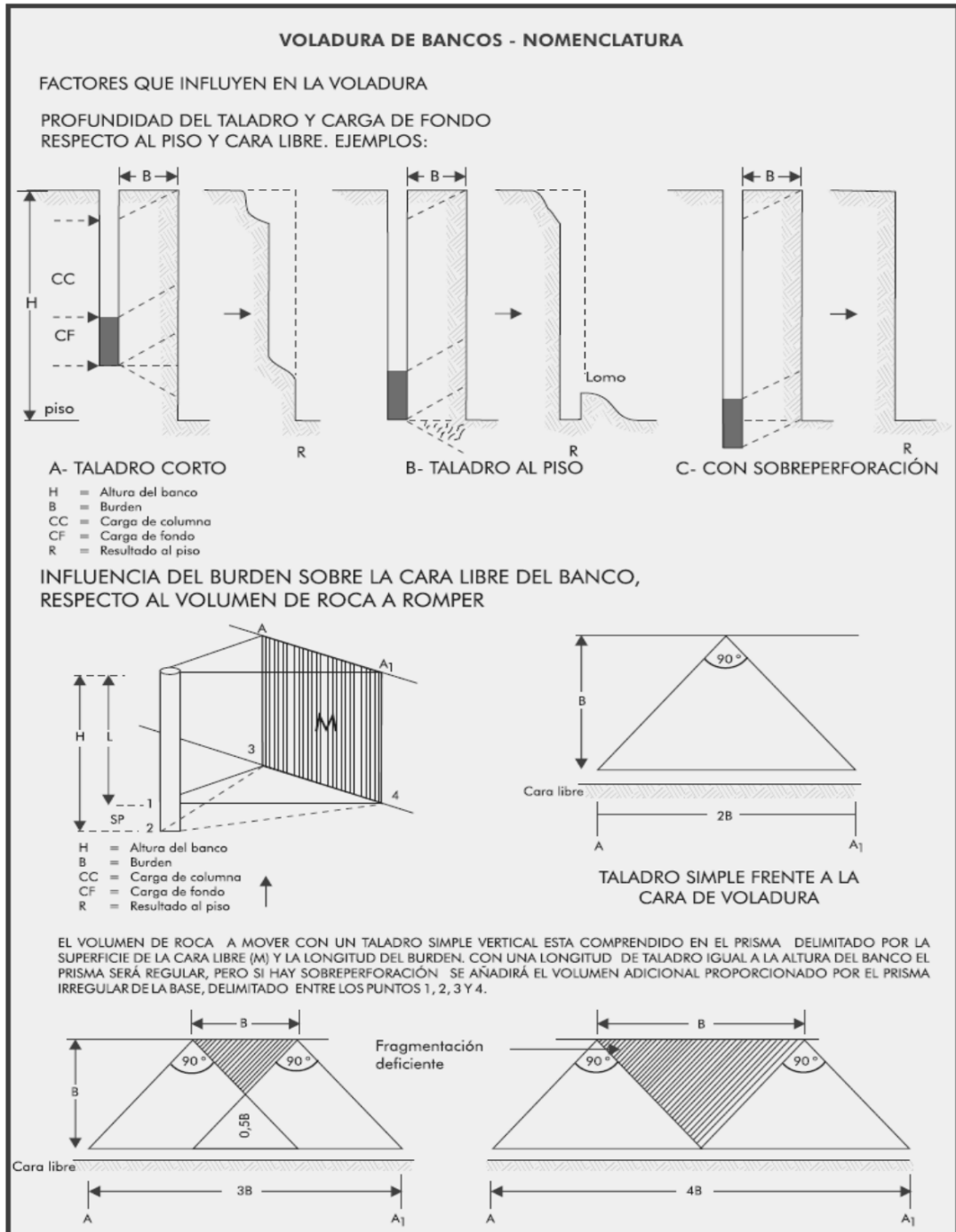
Diseño de malla según el tipo de banco



Fuente: Manual de Práctico de Voladura (Exsa, 2018).

Figura 4

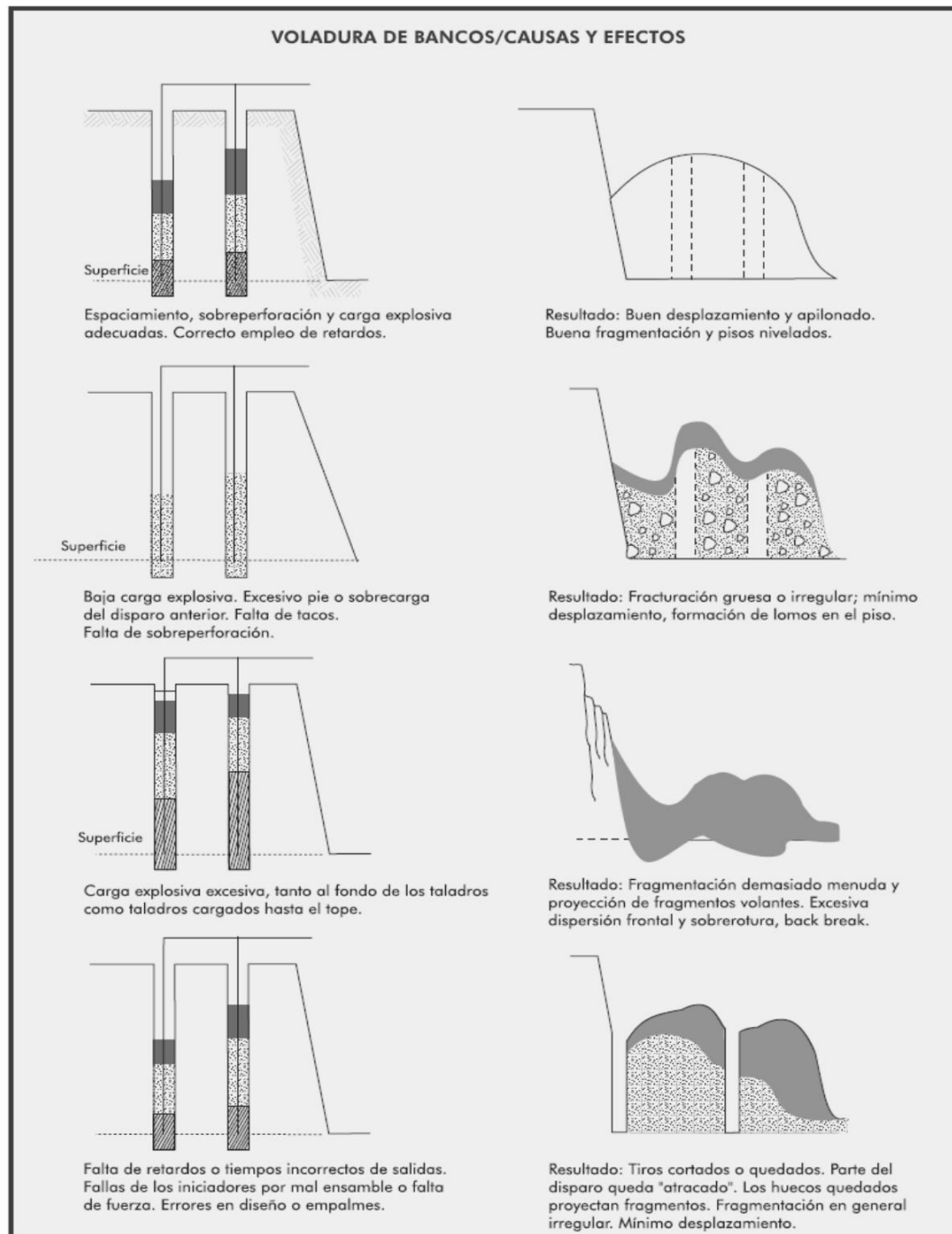
Factores que influyen en la voladura de bancos



Fuente: Manual de Práctico de Voladura (Exsa, 2018).

Figura 5

Causas y efectos de la voladura de bancos



Fuente: Manual de Práctico de Voladura (Exsa, 2018).

El tamaño al que se rompe la roca en una voladura depende de la forma en que la energía se distribuye tanto entre barrenos como entre hileras. Esto se conoce como fragmentación. El tiempo de iniciación también afecta la posición de los barrenos. Si el inicial tiempo y el espacio momento están fuera de lugar, se observará fragmentación, y el espacio están apagados, se observará fragmentación. Identificar los efectos que el momento de la barrera a inicio de barrera la iniciación tiene sobre la fragmentación y las diversas recomendaciones que se pueden encontrar en la literatura sobre el momento ideal de inicio sobre la fragmentación y las diversas recomendaciones que se pueden encontrar en la literatura sobre el momento ideal de inicio (Gaona, 2015).

Los antecedentes considerados en la tesis se detallan a continuación, a nivel internacional Según Barrera (2017), en su tesis “Validación del modelo Kuz-Ram para optimizar la fragmentación de roca por voladura”. En el trabajo se pudo describir cada parámetro de voladura y su influencia en la fragmentación, el modelo Kuz-Ram no es indispensable el uso de una base de datos ni de parámetros obtenidos de tablas dando fiabilidad y facilidad a su programación. En la metodología se llevó a cabo una predicción para una voladura en la cantera de la planta de producción de agregados para la construcción de AGREMEX Silao. Se demostró que los resultados reales son muy parecidos a los que el modelo predijo, variando estos en parte por el método de análisis de la fragmentación usado (digital). Para el tamaño al 80% del acumulado se obtuvo 47.94 cm en la predicción, mientras que los resultados finales de la operación de voladura arrojaron 42.71 cm.

Así mismo, a nivel nacional Chahuares (2012), en su tesis: "Nuevo diseño de la malla para mejorar la perforación y voladura en proyectos de explotación y desarrollo, Mina el Cofre". Para realizar el presente trabajo de investigación se ha considerado las bases teóricas y prácticas siguiendo una metodología de la investigación para su ejecución. En su etapa inicial se ha analizado los costos de perforación y voladura. Para lo cual realizó la optimización del número de taladros en malla que permita una mejor distribución de energía aumentando la longitud del taladro.

Asimismo Yana (2017), en su investigación sobre la Evaluación del agente explosivo Quantex 73, en los resultados de la fragmentación del mineral para la reducción de los costos de voladura de la mina Toquepala, concluye que, en la prueba de voladura realizada en la fase 4 del proyecto 146, sobre una roca tipo dacita porfirítica utilizando el explosivo Quantex 73, realizada en una malla de 7.5 m x 8.5 m, menciona que el tonelaje de cada taladro que debe romper es de 1654.97 TM, con un factor de carga en taladros de producción de 0.35 kg/TM, con un costo por taladro de producción de 0.31 US\$/TM, reduciéndose la fragmentación en 1.02%. También se obtuvo otros beneficios como menor vibración y menor fly rock y el cuidado del medio ambiente (p.14).

Igualmente, Gaona (2015) en su tesis "Optimización de la voladura, mina la virgen - de la compañía minera San Simón S.A. - Huamachuco Trujillo". La requerida fragmentación se logra aplicando una relación de carga a espacio menor a uno en forma de triángulo, el incremento del factor de potencia y la detonación de cada taladro en

diferentes momentos. Se logra aplicando una relación de carga a espacio menor a uno en un patrón de centro comercial triangular , aumentando el factor de potencia y la detonación de cada taladro en diferentes momentos. Además, la distribución de carga en el taladro tiene un impacto significativo en el resultado impacto en el resultado de la fragmentación de la roca. fragmentación de fa roca. La malla triangular se utiliza en roca dura y es bastante efectiva, dado que proporciona la mejor distribución de energía del explosivo en la roca, una diferencia de mallas para diferentes tipos de rocas.

De la misma forma, a nivel local, Romero (2020), en su tesis "Diseño de la malla de perforación en dominios de sílice masiva y granular para reducir los costos de perforación y voladura en una mina a tajo abierto en Cajamarca", tuvo como finalidad diseñar la malla de perforación en dominios de sílice masiva y granular, para reducir los costos de perforación y voladura en una mina a tajo abierto en Cajamarca. La metodología que se consideró corresponde a una investigación Aplicada, del tipo Experimental con diseño cuasi experimental y la muestra que se tomó en cuenta fueron las mallas de perforación y voladura en dominios de sílice masiva y sílice granular en el nivel 4070 de la mina en estudio. Concluyendo que de los resultados obtenidos se puede observar que ampliando la malla de voladura con burden y espaciamiento desde 8.0 m x 9.0 m a una malla propuesta de 8.5 m x 9.5 m en dominios de sílice masiva y granular, se reduce los costos de perforación y voladura, permitiendo un ahorro del 4.76% en el dominio de sílice masiva y del 3.74% en el dominio de sílice granular. Se concluye que la malla propuesta produce un fracturamiento intenso y zona de

generación de grietas haciendo que la distribución de energía sea más homogénea con la cual se logra una adecuada fragmentación de la roca.

El presente estudio se realiza debido a los constantes problemas que se presentan en los taludes o pared fina: Estabilidad, fragmentación, en los tajos de explotación minera, además de la necesidad permanente de reducir costos operativos que contribuyan en el objetivo de desarrollar una operación sostenible.

Con el anterior diseño los resultados obtenidos en el proceso de voladura evidencian una fragmentación no recomendable, con el rediseño de malla permitirá reducir el material grueso, mejorando la granulometría del material volado, cumpliendo así con los requerimientos de minado y recuperación del mineral a través de la lixiviación.

Además de mantener estable el factor de seguridad del ángulo del talud, el cual es de suma importancia para mantener los criterios de estabilidad de taludes. Así mismo la buena distribución de energía una vez iniciada la detonación, con el rediseño de malla mantendrá los niveles de vibración dentro de los rangos de límites máximos permisibles según normativa nacional. Adicionalmente al eliminar una fila de taladros de procedimiento, los costos de las operaciones de perforación y voladura se reducen. Esta investigación presenta un tema innovador por primera vez aplicado en las operaciones de perforación y voladura con respecto a la influencia de la distribución de taladros y malla no solo en fragmentación, sino también en la seguridad del talud asociado a la estabilidad del mismo, por lo cual es un referente para mejoras óptimas de la operación en futuras investigaciones.

1.2. Formulación del problema

¿En qué medida el rediseño en las filas de procedimiento de la malla de perforación optimizará la operación de voladura en una mina superficial de Cajamarca en el año 2021?,

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivos generales

Realizar el rediseño en las filas de procedimiento de la malla de perforación para optimizar la operación de voladura en una mina superficial de Cajamarca, 2021.

2.3.2. Objetivos específicos

Determinar los parámetros operacionales de la malla de perforación en las filas de procedimiento y producción en diseño tradicional y el actual.

Evaluar la granulometría de material obtenido con el diseño tradicional y actual.

Describir la variación de Kpi's de voladura con el diseño tradicional y el actual.

1.4. Hipótesis

Se optimizará la operación de voladura con el rediseño en las filas de procedimiento de la malla de perforación en una mina superficial de Cajamarca.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El presente proyecto corresponde a una investigación Aplicada, ya que permitirá analizar la relación entre las variables de los parámetros de perforación de las mallas y la granulometría del mineral volado. Vargas (2009), señala que el tipo de estudio es aplicado, basándose en la generación de soluciones para el fin específico que se quiere dar resolución. Está centrada en el analítica y solución del problema de diferente índole de la vida real, siendo referentes de investigaciones futuras.

El estudio tiene un enfoque cuantitativo, basándose en parámetros de perforación de las mallas y los datos de la granulometría del mineral volado, los datos serán tratados por medio de gráficos, histogramas y correlaciones.

Presenta un diseño no experimental descriptivo ya que el trabajo de investigación analiza las variables de estudio que son manipuladas en condiciones controladas y según los lineamientos del método científico. Y es de corte longitudinal ya que la investigación y recopilación de datos se harán a lo largo de un periodo de tiempo, octubre – diciembre 2021.

2.2. Población y muestra

Población

La población que se ha considerado en el trabajo de investigación, son todos los bancos con diseños de pared final o de fase del tajo en estudio con presencia de sílice granular y masiva.

Muestra

La muestra asumida fueron el banco 3802 con presencia de sílice masiva y el banco 4021 con presencia de sílice granular, durante el periodo octubre – diciembre 2021.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Recopilación de la información documental

La primera técnica empleada fue la revisión documentaria, ya que se revisaron los reportes de la operación de voladura durante el periodo octubre diciembre en los cuales se evidencio la variación de las variables en estudio para la malla tradicional y el rediseño. La segunda técnica empleada para la recolección de datos fue la observación directa en campo, en donde se evidencio problemas con la granulometría del mineral volado, ya que había presencia de volones que requerían chancado, además producto del proceso la pared del talud se veía afectada.

Figura 6

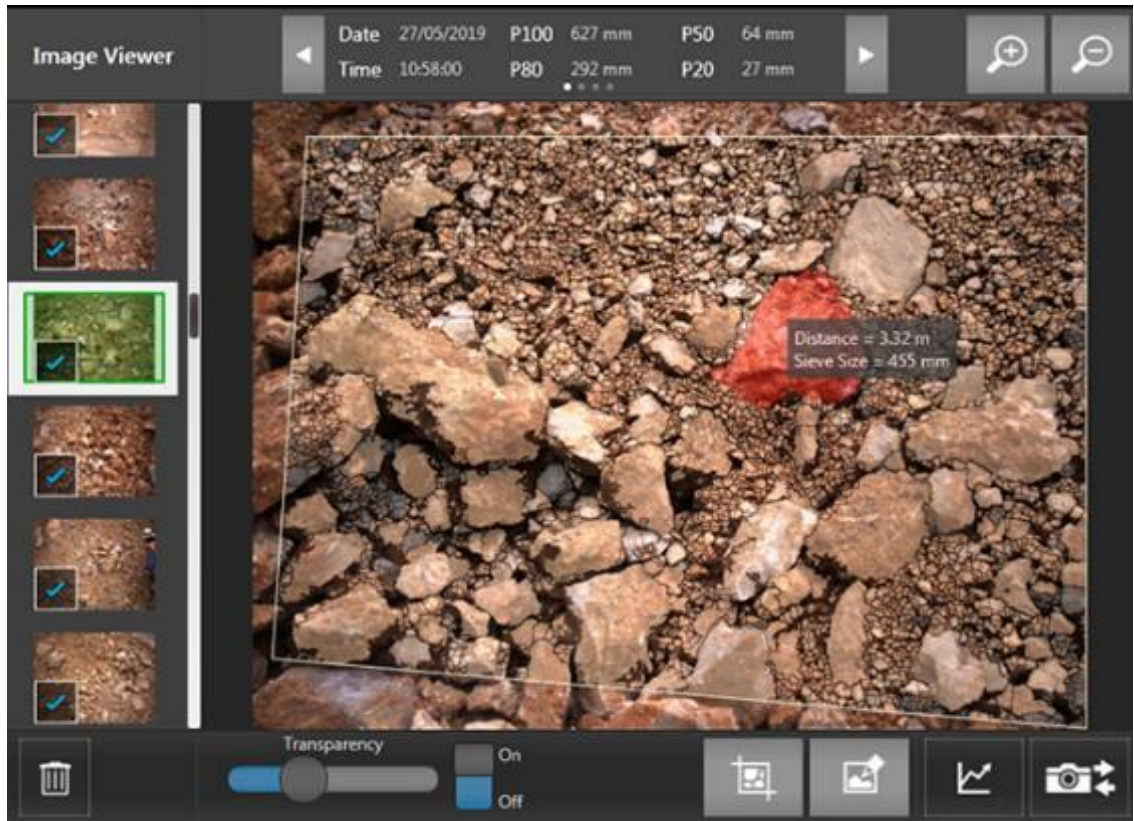
Mineral volado en el BN 4021 Sílice Granular



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7

Instrumento de medición de granulometría - Portametrics



El instrumento para la recolección de datos es la ficha de observación de granulometría (ver figura 7) fue el software Portametrics validado y utilizado por la empresa minera del proyecto en estudio y la guía de análisis documental. Este software esta validado por el Administrador Técnico de Contratos Enaex, Benjamín Ramos (2021), el cual señaló que “Recomienda PortaMetrics a todas aquellas empresas que necesiten una solución para evaluar los resultados de fragmentación por voladura. Es la forma más sencilla y segura de medir el tamaño de las partículas en el frente: solo tienes que hacer fotos a una distancia segura y el dispositivo hará el resto”.

Para lograr que el presente trabajo cumpla con los tiempos establecidos y de manera correcta, se programaron las siguientes etapas de estudio”.

Inicialmente en la primera etapa “Pre-campo”, 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. Se analizaron y estudiaron las evidencias encontradas en diferentes páginas online, repositorios virtuales de diversas universidades nacionales e internacionales y bases de datos (Ebsco, Alicia Net y Google Académico); en relación al tema de influencia del diseño de mallas de perforación y voladura en minería superficial.

Tabla 1

Resumen de la selección de artículos de investigación

Año	Referencia	Aporte
2011	Carhuancho	La voladura existe con el fin de fragmentar el macizo rocoso, pero si esta no se desarrolla de manera adecuada la fragmentación no será óptima, por lo tanto, en la obligación de realizar la fragmentación de manera óptima se es necesario realizar voladuras secundarias
2012	Chahuares	Indica que, con el nuevo diseño de malla de perforación logró reducir el número de taladros, de 41 taladros a 36 taladros, siendo la profundidad del taladro de 1.45 metros y en la voladura se ha reducido el consumo de explosivo de 18 kg/disparo a 1.51 kg/disparo.

“Rediseño en las filas de procedimiento de la malla de perforación para optimizar la operación de voladura en una mina superficial de Cajamarca, 2021”

2015	Gaona	<p>La fragmentación es el tamaño al que se rompe la roca en una voladura, depende de la manera en que la energía trabaja tanto entre barrenos cómo entre hileras, se verá afectada si el espaciamiento y el tiempo de iniciación están mal.</p>
2016	Correa	<p>Señala que el diseño de la voladura en mina debe ser ejecutada por procedimientos, los cuales consideran los siguientes aspectos: Avance del 4 disparo, el volumen movido del material, fragmentación y costo total del disparo</p>
2018	Chinchay	<p>Al realizar el diseño de malla de perforación tomando como referencia los modelos geo mecánicos, podrá optimizarse eficientemente una buena voladura, la cual se traduciría en una fragmentación adecuada, buena estabilidad de las labores, buen avance del trabajo y una excelente proyección de roca para su posterior acarreo.</p>
2019	Rodríguez	<p>Un mal diseño de las mallas de perforación suele desencadenar en una mala fragmentación del mineral, tiros cortados, dificultades en los avances, un exceso de factor de carga, lomos en piso, pared del talud inestable, etc.</p>

2020	Tecsup	El diseño de las mallas cambia según el tipo de terreno y también según las dimensiones de la labor que se trabaja
2020	Ladera y Quispe	El diseñar una malla de perforación y voladura se ha convertido en vital importancia para continuar un ciclo de minado y fundamental para toda empresa minera; por lo que se deben implementar estándares establecidos en lo que respecta al área de perforación y voladura

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente en esta etapa se elaboraron los formatos de recolección de datos para posteriormente con los mismos poder realizar el análisis y procesamiento de resultados.

Figura 8

Formato 01 - Parámetros de diseño de mallas

TALADROS	700	600	PROD 01	PROD 02
Altura de banco (m)				
Ancho de Berma (m)				
Diámetro del taladro (in)				
Taco (m)				
Aire (m)				
Carga superior (m)				
Carga Inferior (m)				
Explosivo (Kg.)				
Factor de Carga				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9

Formato 02 - Caracterización geomecánica S. Granular y Masiva

Carcteríticas	Valores
Tipo de Roca	
Densidad (KN/m ³)	
Módulo de Young (Gpa)	
Resistencia a la compresión no confinada (Mpa)	
Fuerza Tensional (Mpa)	
Coefficiente de Poison	
Frecuencia de fractura	
RQD	
RMR	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10

Formato 03 - Datos Costos de Perforación y Voladura

Diseño	Caso base 700	Propuesta 700	Caso base 500	Propuesta 500
Costo accesorios (\$)				
Costo de voladura (\$)				
Costo de voladura (\$/ton)				
Costo de Perforación				
Costo de perforación (\$/m)				
Costo por taladro (\$)				
Costo perforación (\$/ton)				
Costo de Perforación y voladura (\$)				
Costo de Perforación y voladura (\$/ton)				

Fuente: Elaboración propia.

Durante la segunda etapa “Campo”, se recopiló la información de campo referente a los parámetros de perforación del diseño tradicional y rediseño, empleados en los Bancos 3802 y 4021. Inicialmente se identificaron las características geomecánicas de la sílice granular y masiva.

Tabla 2

Características geomecánicas de la roca - Sílice Masiva

Características	Valores
Tipo de Roca	SM
Densidad (KN/m3)	2.45
Módulo de Young (Gpa)	15.7
Resistencia a la compresión no confinada (Mpa)	110
Fuerza Tensional (Mpa)	13.22
Coefficiente de Poison	0.25
Frecuencia de fractura	10 F/m aprox, depende el grado de alteración de la roca
RQD	34.9
RMR	46

Fuente: Área de geología.

Tabla 3

Características geomecánicas de la roca - Sílice Granular

Características	Valores
Tipo de Roca	SG
Densidad (KN/m3)	1.9
Módulo de Young (Gpa)	0.96
Resistencia a la compresión no confinada (Mpa)	23.42
Fuerza Tensional (Mpa)	2.7
Coefficiente de Poison	-
Frecuencia de fractura	16 - 24 F/m aprox,
RQD	5.17
RMR	45

Fuente: Área de geología.

3.2.2 Prueba de vibraciones campo cercano. Se estableció la prueba estadística de correlación para variables cuantitativas (Correlación de Pearson), para identificar con cual parámetro del diseño está directamente relacionada la variable de vibraciones.

3.2.3 Conciliación de taludes. Se revisará los reportes emitidos por el área de geología del titular minero referente a la conciliación de taludes, para verificar el cumplimiento del diseño de planeamiento (ancho de berma, cresta de talud y toe)

En la tercera etapa "Gabinete", los datos recolectados en campo referente a los parámetros de perforación de los diseños de mallas y granulometría se organizaron en una base de datos digitalizada en el programa Excel, no se trabajará con estadísticos ya que el trabajo de investigación es descriptivo. Los datos del monitoreo de vibraciones se presentarán en gráficos de modelamiento de PPV obtenido del programa Blastware. Para los kpi's y costos se emplearán gráficos estadísticos que representen la diferencia de estos parámetros con el uso de la malla tradicional y el rediseño.

Con respecto a los aspectos éticos a tomarse en cuenta el presente trabajo se realizó mediante el formato que maneja la Universidad Privada del Norte, y ante todo, el investigador debe adherirse a las normas institucionales que rigen la investigación como derechos de autor ; en segundo lugar, divulgar las fuentes y los hallazgos informativos tomados en cuenta para el trabajo actual ; tercero, proporcionar información abierta y completa en beneficio de la comunidad científica , cuyos resultados se mostrarán de forma compartida para nuevas y futuras investigaciones ; y cuarto, proporcionar un resumen claro y comprensible de todo el trabajo, recalculando la metodología, el análisis y la interpretación de los hallazgos. de acuerdo con las normas APA . Se tiene permiso parcial de la empresa, por lo cual algunos datos han sido modificados de tal manera que no afecte los resultados del trabajo de investigación.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Parámetros operacionales de la malla de perforación en las filas de procedimiento y producción en diseño tradicional Rediseño actual

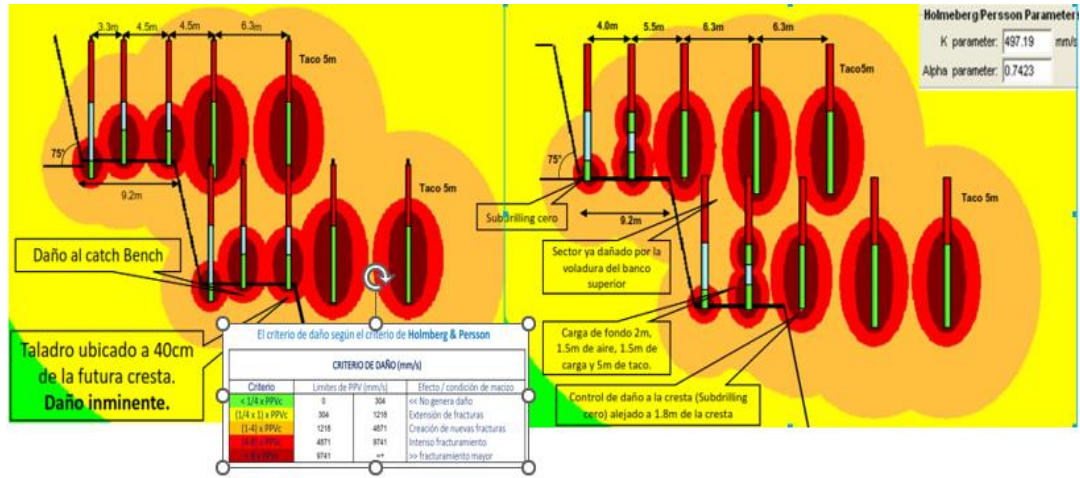
A continuación, se presentan los datos correspondientes a los parámetros de perforación de las mallas tradicionales y el rediseño con las que se trabajaron en los bancos 3802 y 4021, con presencia de sílice masiva y granular respectivamente.

3.1.1. Parámetros de diseño de mallas del banco 3802

En el banco 3802 se tiene presencia de sílice masiva, por lo cual los parámetros de perforación que se presentan seguidamente están en relación con las características geomecánicas del tipo de material antes mencionado.

Figura 11

*Gráfico comparativo de los parámetros de perforación Malla actual Vs Rediseño
01– BN 3802*



Fuente: Área de Perforación y Voladura.

Tabla 4

Parámetros de diseño actual de malla Sílice Masiva - Banco 3802

TALADROS	700	600	500	PROD 01
Altura de banco (m)	10	10	10	10
Ancho de Berma (m)	9.2	9.2	9.2	9.2
Diámetro del taladro (in)	10 5/8	10 5/8	10 5/8	10 5/8
Taco (m)	5	5	5	4.5
Aire (m)	4.5	3	3	0
Carga superior (m)	0	0	0	0
Carga Inferior (m)	2	3	3.5	6
Explosivo (Kg.)	134	200	235	412
Factor de Potencia	0.270	0.340	0.340	0.366

Fuente: Área de Perforación y Voladura.

Figura 11

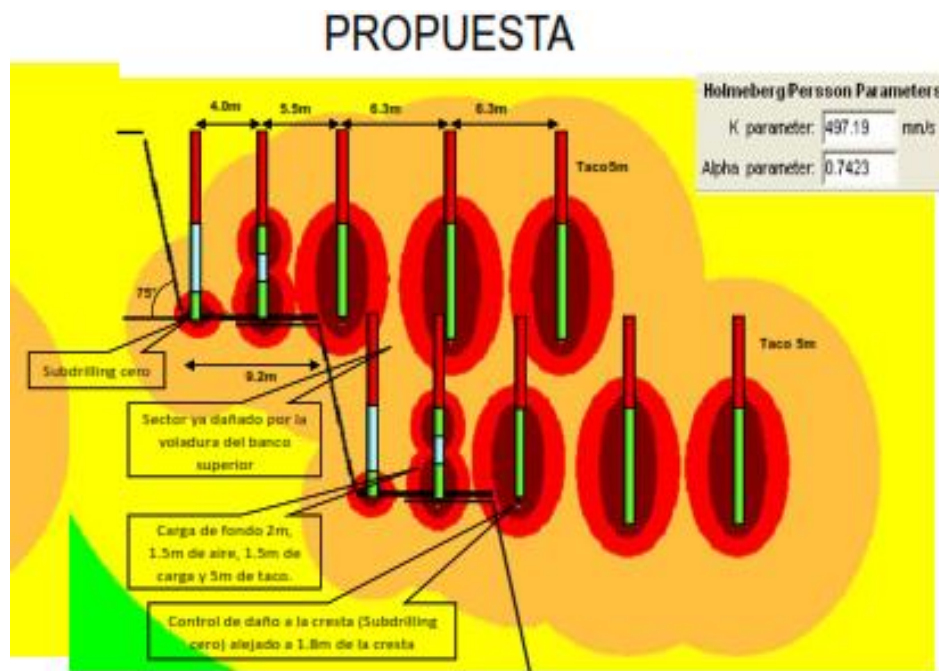
Perfil de Carga actual 01 de malla - Banco 3802

*El gráfico muestra el rediseño de perforación, donde la detonación de (500) afecta la cresta de banco
Primera de producción (Burden 4.5m X Espaciamiento 5.4m).
Adyacente 700 (Burden 3.3 m X Espaciamiento 4.5m)
Procedimiento 600 (Burden 4.5m X Espaciamiento 5.4m).*

Fuente: Área de Perforación y Voladura.

Figura 12

Gráfico comparativo de los parámetros de perforación Malla actual Vs Rediseño 02 – BN 3802



Fuente: Área de Perforación y Voladura.

Tabla 5

Parámetros del Rediseño 02 de malla - Banco 3802

TALADROS	700	600	PROD 01	PROD 02
Altura de banco (m)	10	10	10	10
Ancho de Berma (m)	9.2	9.2	9.2	9.2
Diámetro del taladro (in)	10 5/8	10 5/8	10 5/8	10 5/8

Taco (m)	5	5	5	4.6
Aire (m)	4.5	2	2	0
Carga superior (m)	0	1.5	0	0
Carga Inferior (m)	2	2	5	6.4
Explosivo (Kg.)	134	235.3	376	412
Factor de Carga	0.330	0.270	0.334	0.366

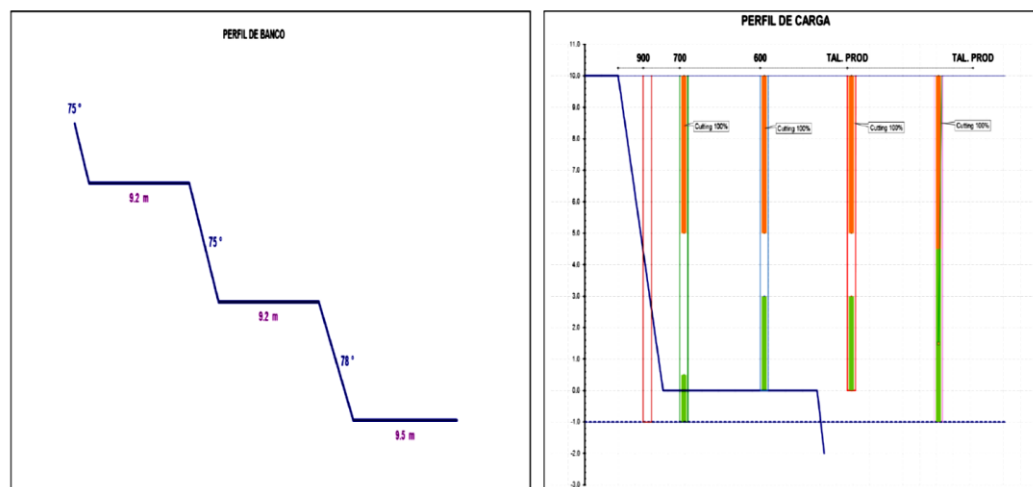
Fuente: Área de Perforación y Voladura.

Figura 13

Perfil de Carga del Rediseño 02 de malla - Banco 3802

Dominio Geotécnico	Altura de Banco (m)	Ángulo Inter Rampa (°)	Ángulo de Cara de Talud (°)	Ancho de Banqueta (m)
Silice Masiva / Diáspora / Silice Vuggy	20	54	75	9.2

$$\phi \text{ Hole (in)} = 10 \ 5/8 \quad | \quad \rho \text{ F. Explosivo } 1.10$$



Fuente: Área de Perforación y Voladura.

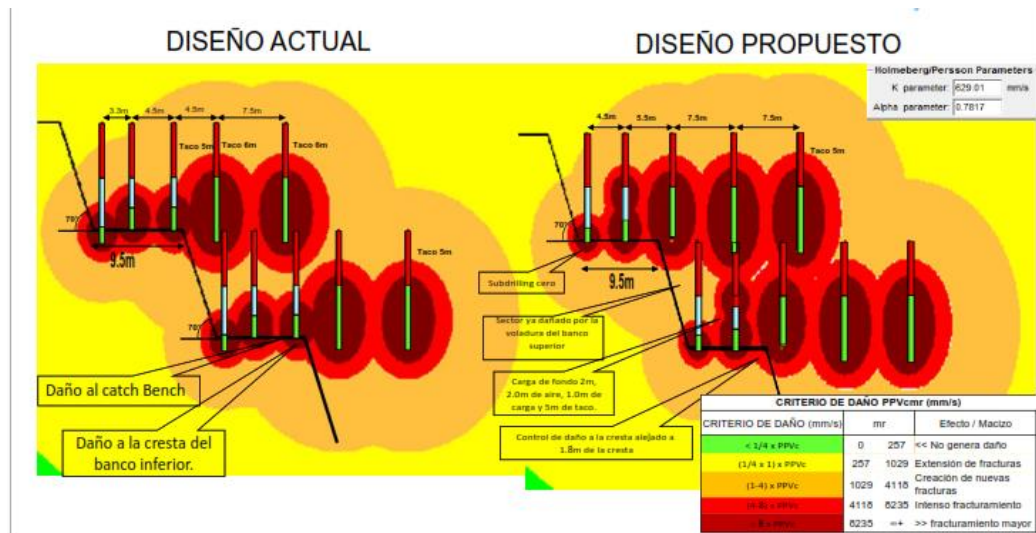
*El gráfico muestra el rediseño de perforación, donde la detonación de la primera producción (Ex 500) ya no afecta la cresta de banco Primera de producción (Burden 6.3m X Espaciamiento 7.3m).
Adyacente 700 (Burden 4.0 m X Espaciamiento 5.3m)
Procedimiento 600 (Burden 5.5m X Espaciamiento 6.7m).*

3.2 Parámetros de diseño de mallas del banco 4021

En el banco 4021 se tiene presencia de sílice granular, por lo cual los parámetros de perforación que se presentan seguidamente están en relación con las características geomecánicas del tipo de material antes mencionado.

Figura 14

Gráfico comparativo de los parámetros de perforación Malla actual Vs Rediseño 01 – BN 4021



Fuente: Área de Perforación y Voladura.

Tabla 6

Parámetros de diseño de malla actual Sílice granular – Banco 4021

TALADROS	700	600	500	PROD 01
Altura de banco (m)	10	10	10	10
Ancho de Berma (m)	9.5	9.5	9.5	9.5
Diámetro del taladro (in)	9 7/8	9 7/8	9 7/8	9 7/8
Taco (m)	5	5	5	6
Aire (m)	4.5	3	3	0
Carga superior (m)	0	0	0	0
Carga Inferior (m)	1.5	3	3	5
Explosivo (Kg.)	82.7	115	115	275.8
Factor de Potencia	0.245	0.220	0.220	0.218

Fuente: Área de Perforación y Voladura.

Figura 15

Perfil de Carga actual 01 de malla - Banco 4021



Fuente: Área de Perforación y Voladura.

El gráfico muestra el diseño de perforación actual, donde la detonación de 500 afecta directamente la cresta de banco.

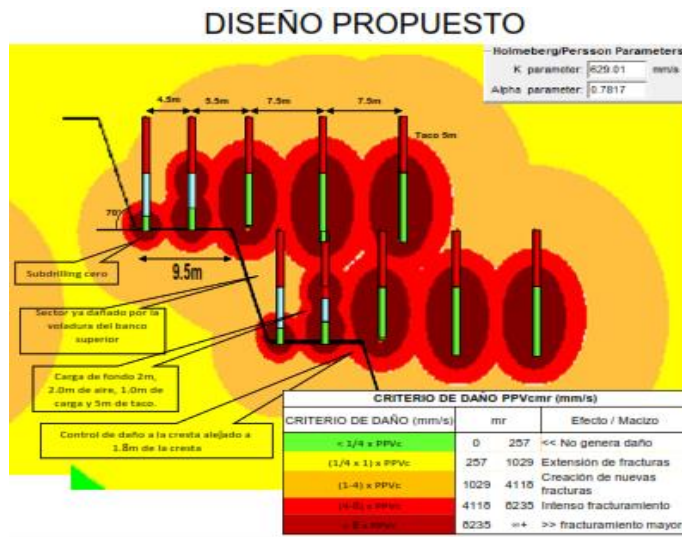
Adyacente 700 (Burden 3.3 m X Espaciamiento 5.3m)

Procedimiento 600 (Burden 4.5m X Espaciamiento 6.0m).

Procedimiento 500 (Burden 4.5m X Espaciamiento 6.0m).

Figura 16

Gráfico comparativo de los parámetros de perforación Malla actual Vs Rediseño 02 – BN 4021



Fuente: Área de Perforación y Voladura.

Tabla 7

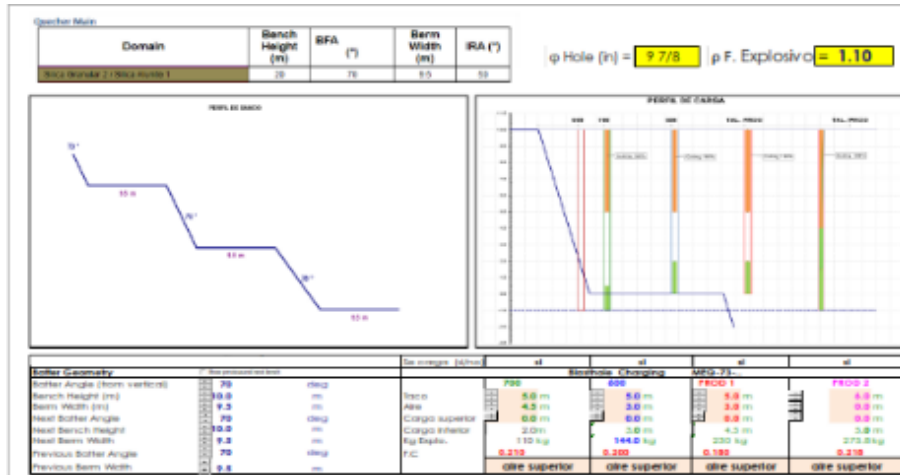
Parámetros del Rediseño 02 de malla - Banco 4021

TALADROS	700	600	PROD 01	PROD 02
Altura de banco (m)	10	10	10	10
Ancho de Berma (m)	9.5	9.5	9.5	9.5
Diámetro del taladro (in)	9 7/8	9 7/8	9 7/8	9 7/8
Taco (m)	5	5	5.5	5
Aire (m)	4.5	3	3	0
Carga superior (m)	0	0	0	0
Carga Inferior (m)	2	3	4.5	6
Explosivo (Kg.)	110	144	230	275.8
Factor de Potencia	0.210	0.200	0.180	0.218

Fuente: Área de Perforación y Voladura.

Figura 17

Perfil de Carga del Rediseño 02 de malla - Banco 4021



Fuente: Área de Perforación y Voladura.

El gráfico muestra el rediseño de perforación, donde la detonación de la primera producción (Ex 500) ya no afecta la cresta de banco.

Adyacente 700 (Burden 4.5 m X Espaciamiento 5.9m)

Procedimiento 600 (Burden 5.5m X Espaciamiento 6.8m).

Primera de producción (Burden 7.5m X Espaciamiento 8.7m).

3.2. Granulometría de material obtenido con el diseño tradicional

3.2.1 Sílice masiva Diseño Tradicional Julio – octubre 2021

Se realizó el análisis granulométrico de las voladuras realizadas en los meses de Julio a octubre del tajo ubicado en el BN 3802, en donde se cargó con un factor de carga de 0.366 Kg/Ton (412 Kg), en una malla de 6.3x7.3 m2 con ϕ de 10 5/8” para producción, 4.5x5.4m2 para procedimiento 500-600 con ϕ de 10 5/8” (200 kg) y 3.3x4.5 en la 700 (134 kg). Cargadas con MEQ 73 a una densidad final de copa de 1.10 gr/cm3. Se obtuvo con el análisis un P80 de 8.39 in en el frente de minado. El 33 % del material analizado pasan por mallas menores a 4 in.

Figura 18

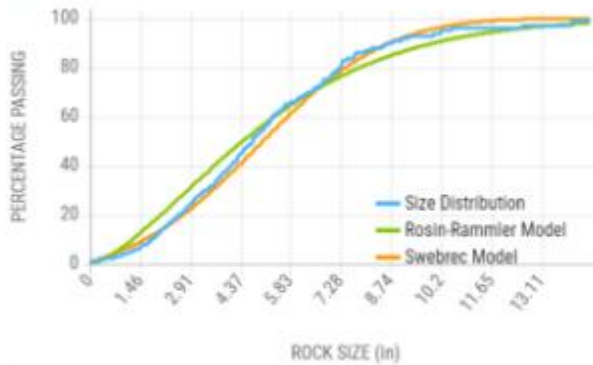
Análisis granulométrico de la fragmentación Diseño Tradicional - BN 3802 sílice masiva -julio

VOLADURA CU_280/21-2 Analysis

DATE RANGE: 2021/08/04 @ 07:51:19 - 2021/08/04 @ 07:52:39

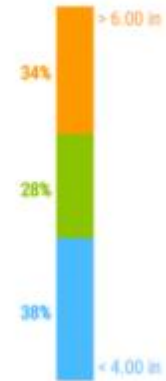
LOGS ANALYZED: 4

SIZE DISTRIBUTION



P-VALUES

P100	14.57 in
P90	8.96 in
P80	7.28 in
P70	6.42 in
P60	5.35 in
P50	4.76 in
P40	4.17 in
P30	3.39 in
P20	2.64 in
P10	1.81 in

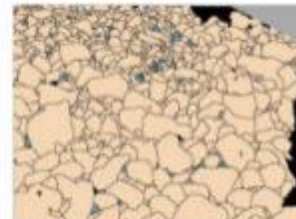


Rosin-Rammler Model	Size Modulus (Xc)	5.88 in
	Distribution Modulus (K)	1.480
Swebrec Model	Maximum Size (Xmax)	14.57 in
	Characteristic Size (Xc)	5.06 in
	Exponential Constant (b)	3.027

EXSA_PM2146

2021/08/04 @ 07:51:09

P100	14.57 in
P90	8.92 in
P80	7.36 in
P70	6.80 in
P20	2.87 in



P80: 7.36 in

EXSA_PM2146

2021/08/04 @ 07:52:39

P100	10.04 in
P90	8.08 in
P80	8.58 in
P70	6.69 in
P20	3.92 in



P80: 8.58 in

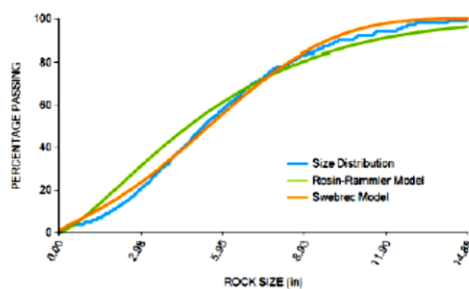
Fuente: Área de Perforación y Voladura

Figura 19

Análisis Granulométrico Diseño Tradicional BN 3802 - P80: 6.97 in

DATE RANGE: 2021/10/13 @ 08:50:53 - 2021/10/13 @ 08:54:55
LOGS ANALYZED: 6

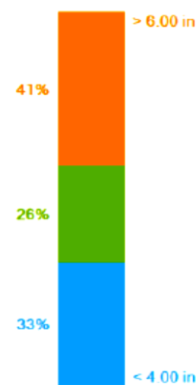
SIZE DISTRIBUTION



Rosin-Rammler Model	Size Modulus (Xc)	6.19 in
	Distribution Modulus (K)	1.339
Swebrec Model	Maximum Size (Xmax)	14.88 in
	Characteristic Size (Xc)	5.44 in
	Exponential Constant (b)	2.497

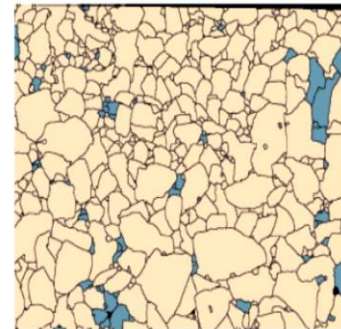
P-VALUES

P100	14.88 in
P90	10.67 in
P80	8.39 in
P70	7.09 in
P60	6.14 in
P50	5.28 in
P40	4.53 in
P30	3.74 in
P20	2.95 in
P10	1.93 in



EXSA_PM2146
2021/10/13 @ 08:50:53

P100	10.00 in
P90	8.50 in
P80	6.97 in
P50	4.76 in
P20	2.95 in



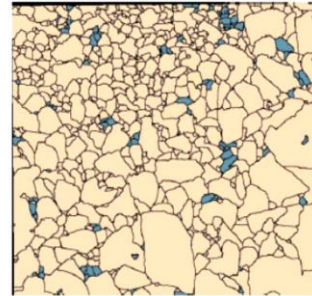
Fuente: Área de Perforación y Voladura.

Figura 20

Análisis Granulométrico Diseño Tradicional BN 3802 - P80: 9.80 in

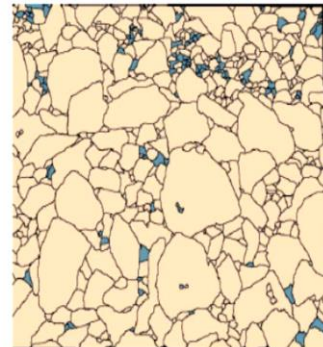
EXSA_PM2146
2021/10/13 @ 08:51:21

P100	14.88 in
P90	12.68 in
P80	9.80 in
P50	5.67 in
P20	3.15 in



EXSA_PM2146
2021/10/13 @ 08:51:53

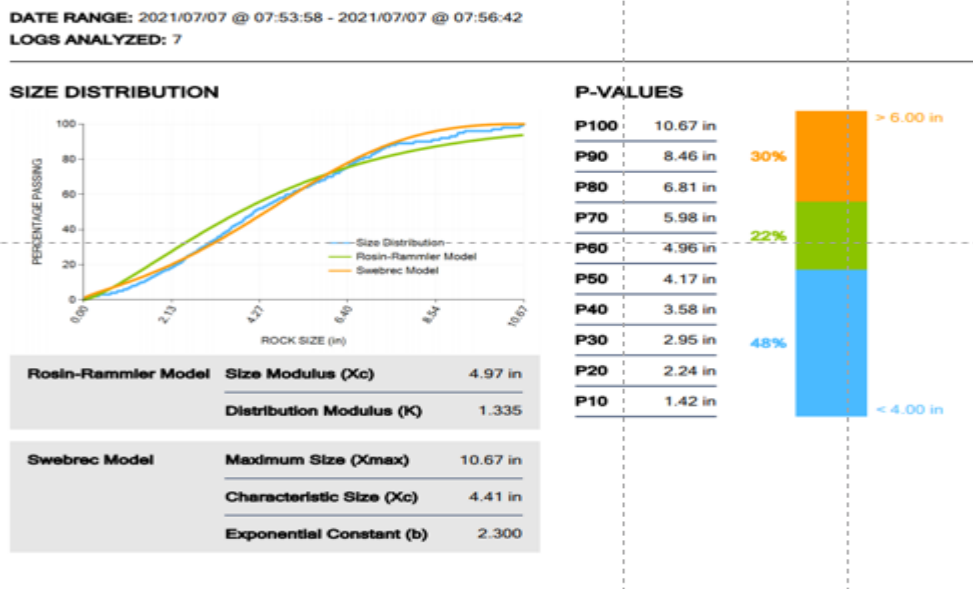
P100	12.99 in
P90	10.91 in
P80	8.94 in
P50	5.31 in
P20	2.91 in

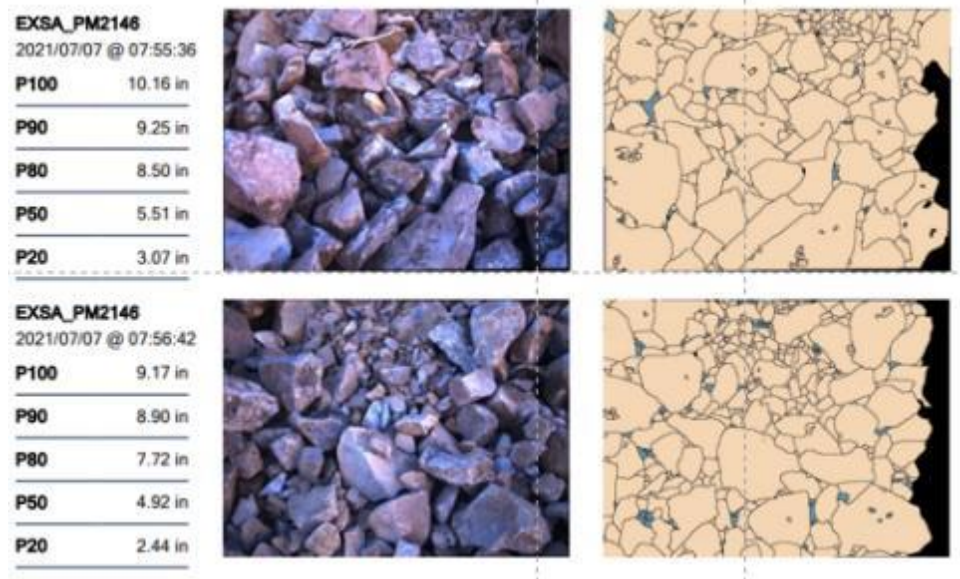


Fuente: Área de Perforación y Voladura.

Figura 21

Análisis Granulométrico Diseño Tradicional - julio BN 3802 - P80: 8.94 in

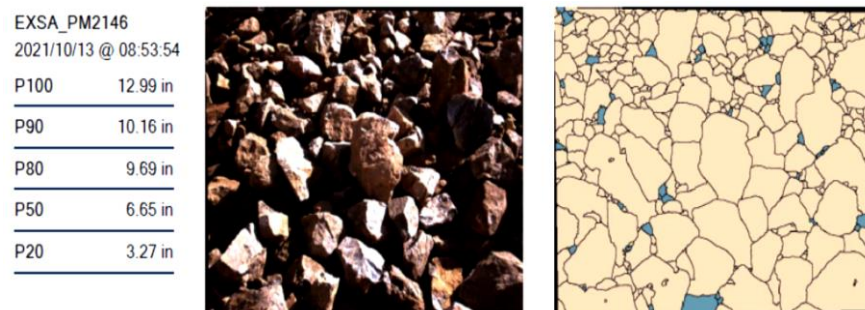




Fuente: Área de Perforación y Voladura.

Figura 22

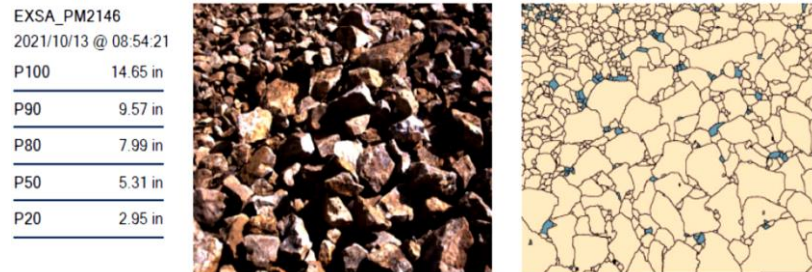
Análisis Granulométrico Diseño Tradicional BN 3802 - P80: 9.69 in



Fuente: Área de Perforación y Voladura.

Figura 23

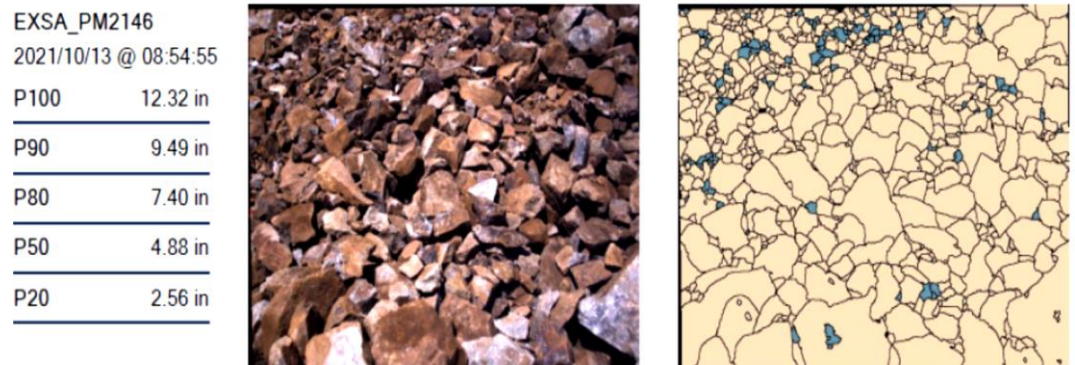
Análisis Granulométrico Diseño Tradicional BN 3802 - P80: 7.99 in



Fuente: Área de Perforación y Voladura.

Figura 24

Análisis Granulométrico Diseño Tradicional BN 3802 - P80: 7.40 in



Fuente: Área de Perforación y Voladura.

3.2.2 Sílice masiva Rediseño – BN 3802 mes diciembre

Se realizó el análisis granulométrico de los disparos del 05/12/2021 y 19/12/21 del tajo ubicado en el BN 3802, en donde se cargó con un factor de carga de 0.366 Kg/Ton (412 Kg), en una malla de 6.3 x 7.3 m con \varnothing de 10 5/8” en taladros de producción, para la primera de producción (Ex 500) en una malla de

6.3 x 7.3m se cargó con Kg/Ton (376Kg), procedimiento 600 (235 kg)y en los taladros de la 700 con ampliación de 4.0 x 5.2 con (134Kg);a una densidad final de MEQ-73 a una densidad final de copa de 1.10 gr/cm³.

Se obtuvo con el análisis un P80 promedio de 5.35 in en el frente de minado, del 63 % del material analizado pasan por mallas menores a 4 in. El polígono asignado al lugar analizado fue el OGW C163 minados por la SH009 con un Dig Rate en promedio de 2776.54 Ton/Hr. que está sobre el target que es 2,500 Tn/Hr.

Figura 25

Análisis granulométrico de la fragmentación Rediseño Sílice masiva - BN 3802 /diciembre 2021

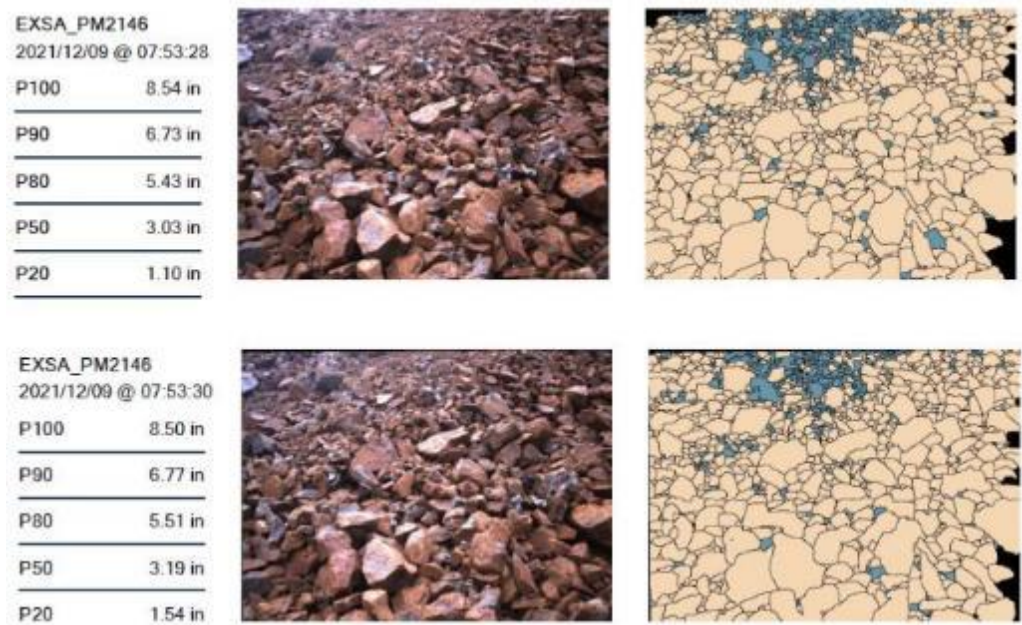


Fuente: Área de

Perforación y Voladura.

Figura 26

Análisis Granulométrico Rediseño BN 4031 - P80: 5.43, 5.51 in



Fuente: Área de Perforación y Voladura.

Figura 27

Análisis Granulométrico Rediseño BN 3802 - P80: 5.47 in

Fuente: Área de Perforación y Voladura.

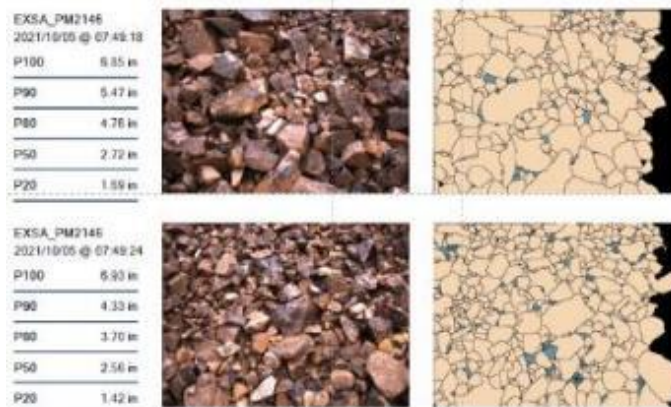
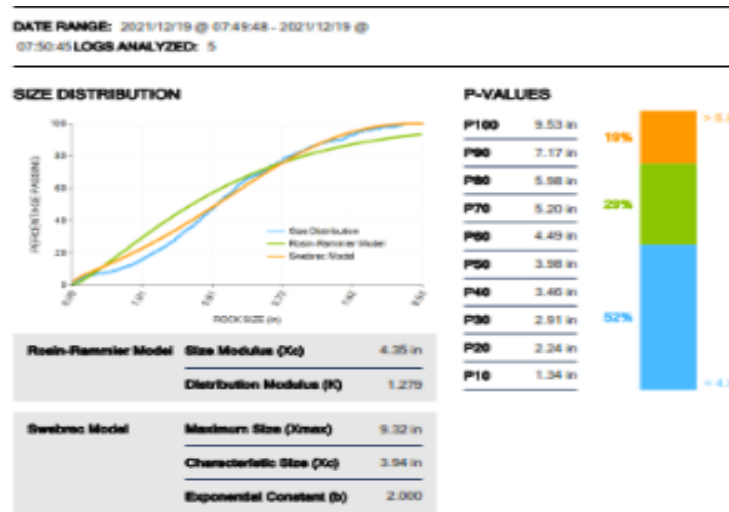


Figura 28

Análisis Granulométrico Rediseño BN 3802 - P80: 5.87 in



Fuente: Área de Perforación y Voladura.

Figura 29

Análisis Granulométrico Rediseño BN 3802 - P80: 6.38 in



Fuente:

Área de Perforación y Voladura.

Figura 30

Análisis Granulométrico Rediseño BN 3802 - P80: 5.39 in



Fuente: Área de Perforación y Voladura.

Figura 31

Análisis Granulométrico Rediseño BN 3802 - P80: 5.55 in



Fuente: Área de Perforación y Voladura.

3.3. Variación de Kpi's de voladura con el diseño tradicional y el actual

3.2.3 Control de Taludes

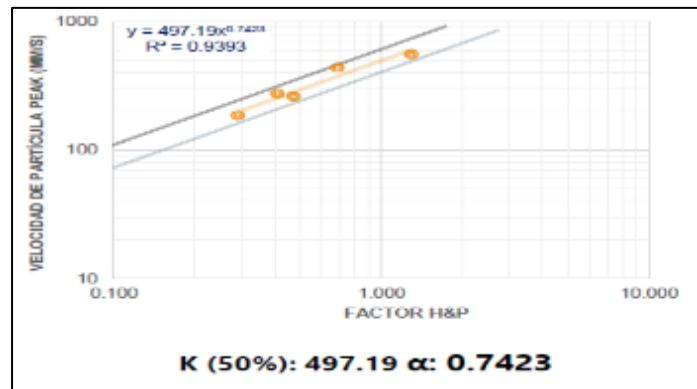
3.2.3.1 Sílice Masiva – BN 3802

Se realizó el estudio especial de campo cercano para desarrollar la propuesta de diseño de P&V, con la finalidad de optimizar el control de taludes, en las zonas de sílice masiva que

presentan pérdida según el reporte de conciliación de taludes del área de geotecnia.

Figura 32

Modelo Campo cercano Holmberg Persson – BN 3802



Fuente: Área de Geotecnia.

La Velocidad de onda P (V_p), a través de las técnicas de Cross Hole fue 1446.0 m/s. La velocidad Pico Partícula Crítica, para determinar el umbral de daño fue 1218.0 mm/s. El diseño alternativo propuesto para filas de control, mediante simulación de contorno de vibraciones e información geomecánica de la sílice masiva incrementando en 25 % el Burden y Espaciamiento para la zona de Buffer. La reducción a -1.0 de SD en las filas de la zona de buffer con finalidad de minimizar el impacto a la futura cresta.

Figura 33

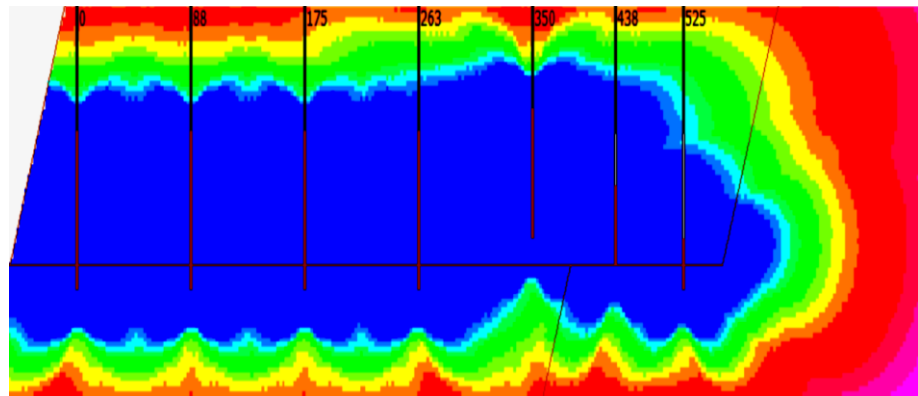
Criterio de daño PPV máximo – BN 3802

CRITERIO DE DAÑO PPV _{cmr} (mm/s)			
RANGOS DE CRITERIO DE DAÑO PPV _{cmr} (mm/s)	Escalado al RMR		Efecto / condición de macizo
< 1/4 x PPV _c	0	304	<< No genera daño
(1/4 x 1) x PPV _c	304	1218	Extensión de fracturas
(1-4) x PPV _c	1218	4871	Creación de nuevas fracturas
(4-8) x PPV _c	4871	9741	Intenso fracturamiento
> 8 x PPV _c	9741	∞+	>> fracturamiento mayor

Fuente: Área de Geotecnia.

Figura 34

Diseño del Control - BN 3802



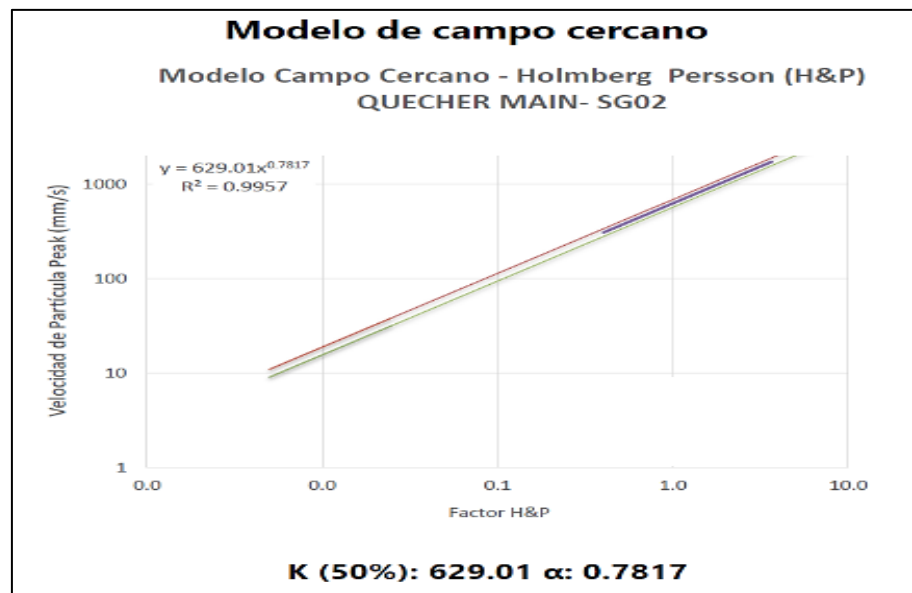
Fuente: Área de Geotecnia.

3.2.3.2 Sílice Granular – BN 4021

Se realizó el estudio especial a campo cercano para desarrollar la propuesta de diseño de P&V que permita optimizar el control de taludes, en las zonas de pérdida según el reporte SOP del área de geotecnia.

Figura 35

Modelo Campo cercano Holmberg Persson – BN 4021



Fuente: Área de Geotecnia.

La Velocidad de onda P (V_p), a través de las técnicas de Cross Hole fue 609.0 m/s. La velocidad Pico Partícula Crítica, para determinar el umbral de daño fue 1029.0 mm/s. El diseño alternativo propuesto para filas de control, mediante simulación de contorno de

vibraciones e información geomecánica de la sílice Granular incrementado en 29 % el Burden y Espaciamiento para la zona de buffer. La reducción a -1.0 de SD en la fila ex 500 y 600 de buffer con finalidad de minimizar el impacto a la futura cresta.

Figura 36

Criterio de daño PPV máximo – BN 4021

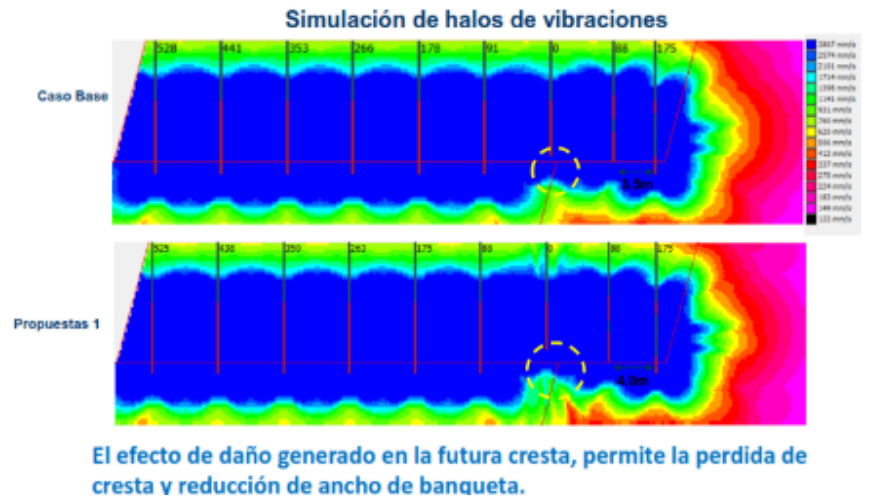
CRITERIO DE DAÑO PPV _{cmr} (mm/s)			
RANGOS DE CRITERIO DE DAÑO PPV _{cmr} (mm/s)	Escalado al RMR		Efecto / condición de macizo
< 1/4 x PPV _c	0	257	<< No genera daño
(1/4 x 1) x PPV _c	257	1029	Extensión de fracturas
(1-4) x PPV _c	1029	4118	Creación de nuevas fracturas
(4-8) x PPV _c	4118	8235	Intenso fracturamiento
> 8 x PPV _c	8235	∞+	>> fracturamiento mayor

Fuente: Área de Geotecnia.

Figura 37

Diseño del Control - BN 4021

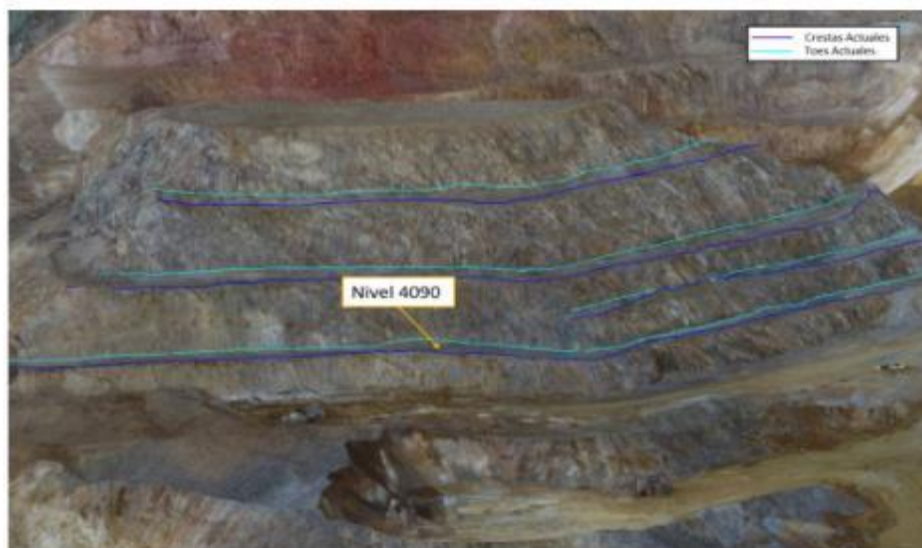
“Rediseño en las filas de procedimiento de la malla de perforación para optimizar la operación de voladura en una mina superficial de Cajamarca, 2021”



Fuente: Área de Geotecnia.

3.2.3.3 Antecedentes de control de taludes

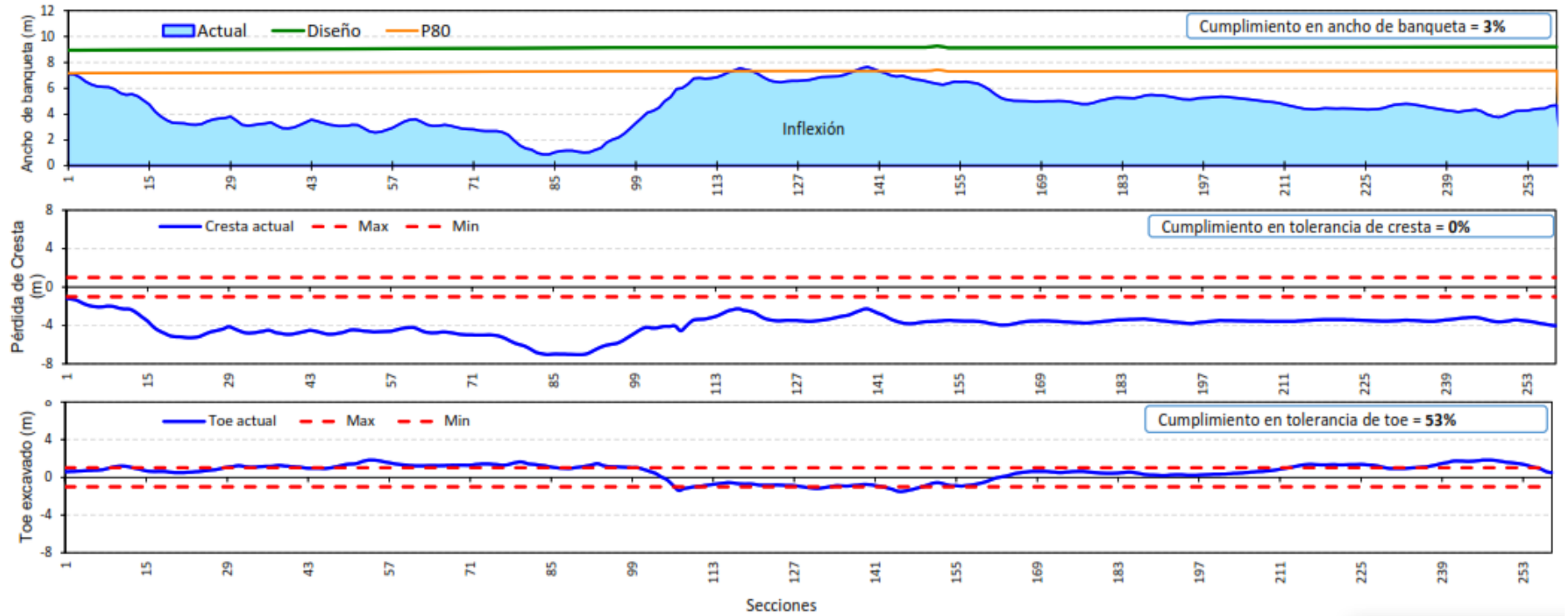
A continuación, se muestra antecedentes relacionados a la conciliación de diseños en los niveles 4090 y 4050.



“Rediseño en las filas de procedimiento de la malla de perforación para optimizar la operación de voladura en una mina superficial de Cajamarca, 2021”

Figura 38

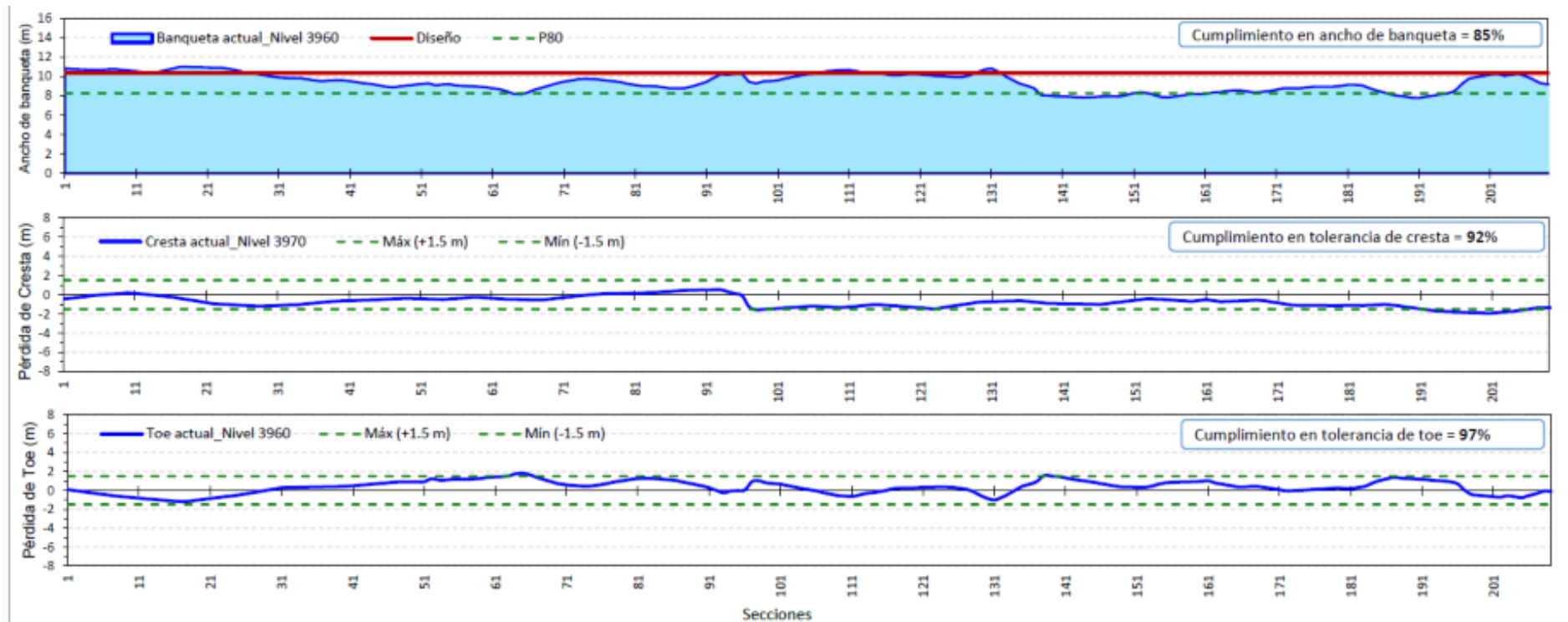
Conciliación del nivel 4050 diseño tradicional



Fuente: Área de Geotecnia.

Figura 39

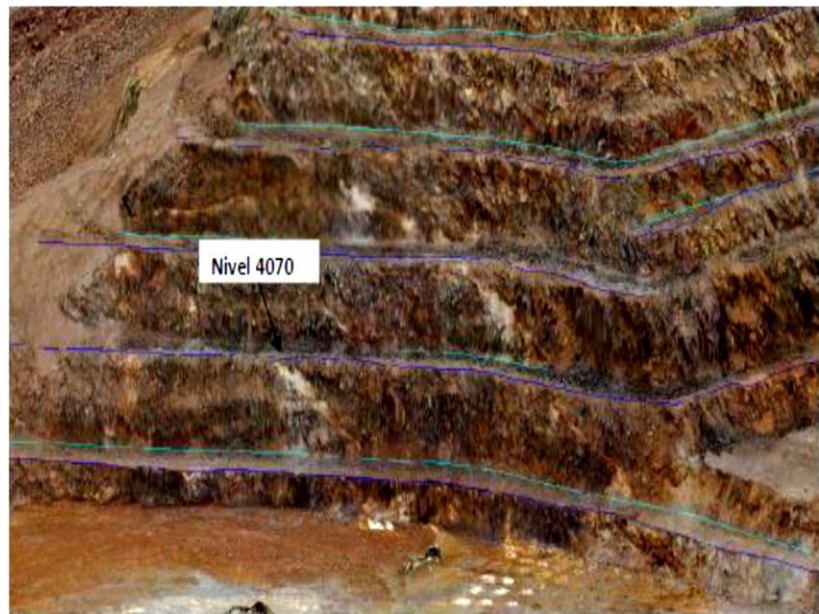
Conciliación del nivel 3960 aplicación del rediseño



Fuente: Área de Geotecnia.

Figura 40

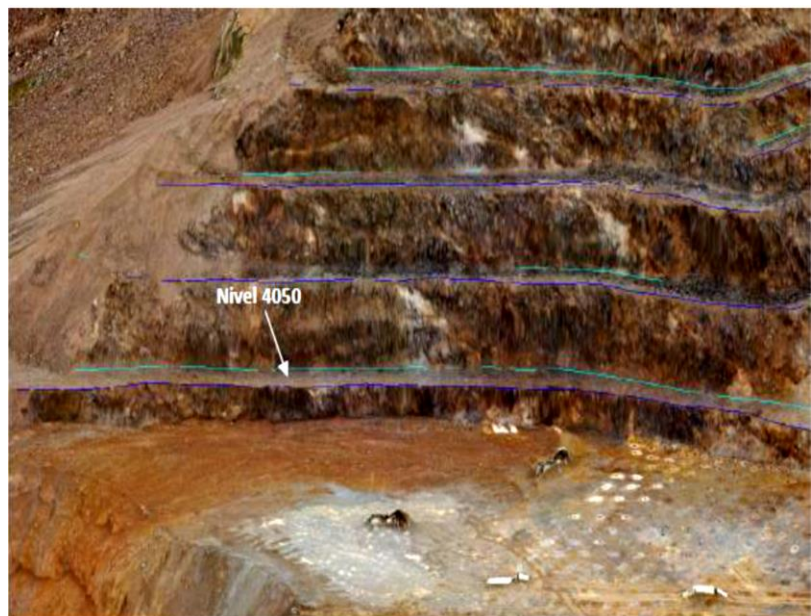
Control de talud nivel 4050



Fuente: Área de Geotecnia.

Figura 41

Control de talud nivel 4070



Fuente: Área de Geotecnia.

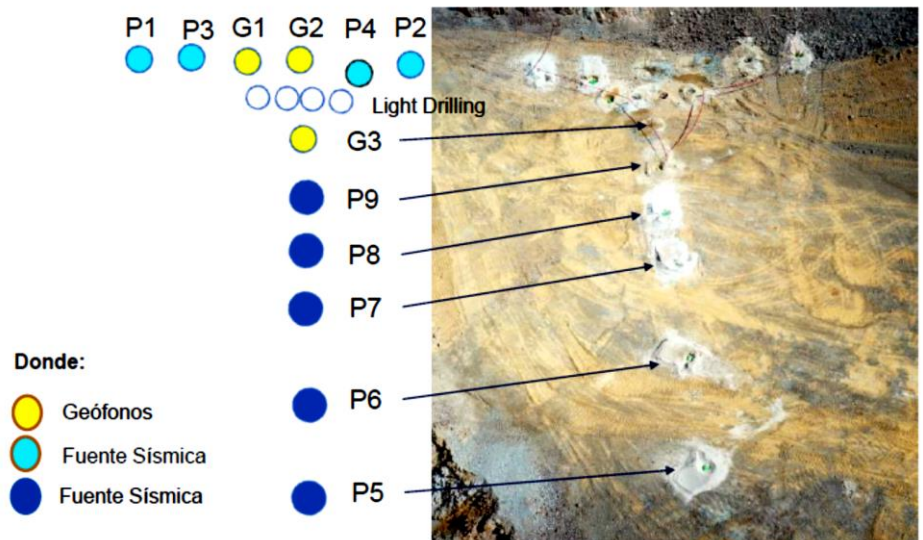
3.2.4 Vibraciones

3.2.4.1 Sílice Masiva – BN 3802

En conjunto con el área de P&V se definió el sector de la prueba especial nivel 3802, correspondiente a una zona ubicada dentro de la sílice masiva. El carguío se realizó utilizando explosivo MEQ73 a 1.10 g/cc de densidad, correspondiente al tipo de explosivo típico usado en el sector de prueba. A continuación, se muestra el esquema de la distribución de equipos de monitoreo en campo.

Figura 42

Distribución de equipos de monitoreo de vibraciones - BN 3802

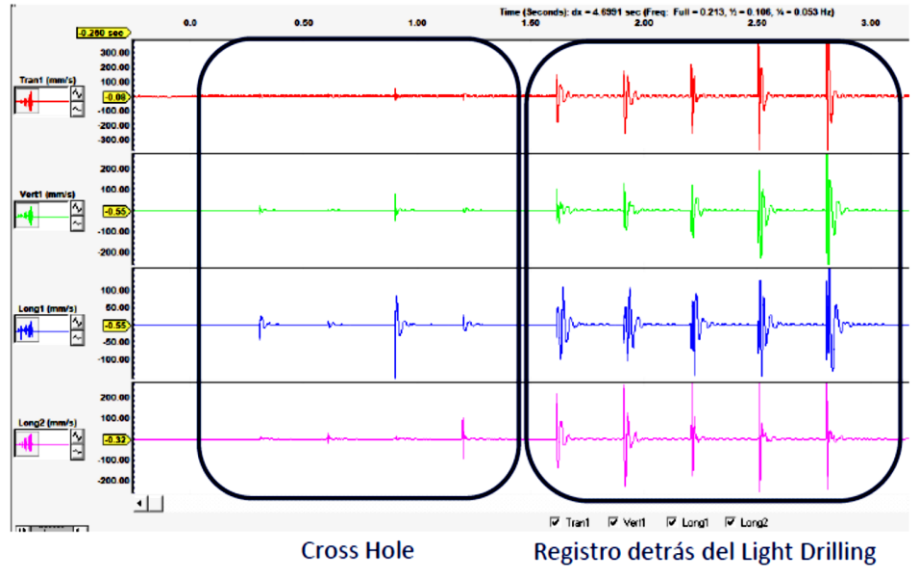


Fuente: Área de Perforación y Voladura.

Diámetro de 10 5/8", característico en perforación de filas de producción, el light drilling se perforó con el mismo diámetro.

Figura 43

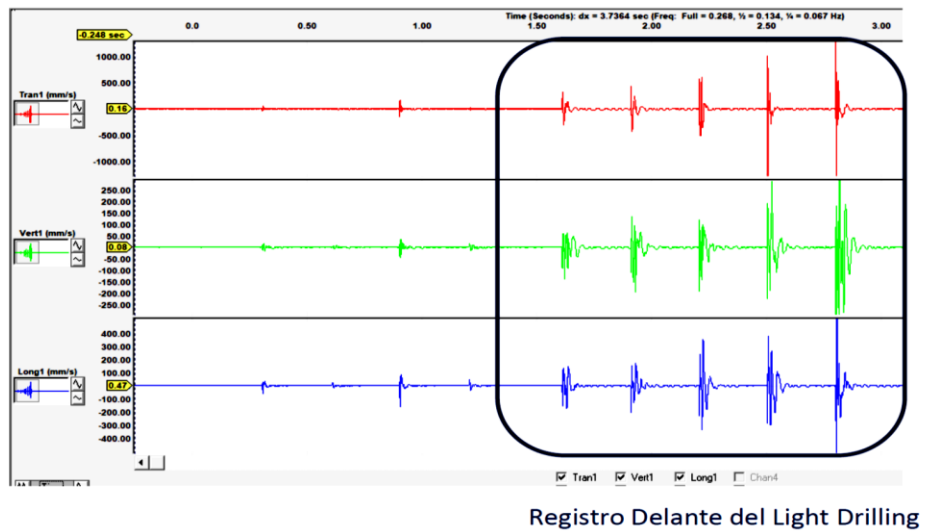
Registro de vibraciones de los geófonos 1 y 2 - BN 3802



Fuente: Área de Perforación y Voladura.

Figura 44

Registro de vibraciones del geófono 3 - BN 3802



Fuente: Área de Perforación y Voladura.

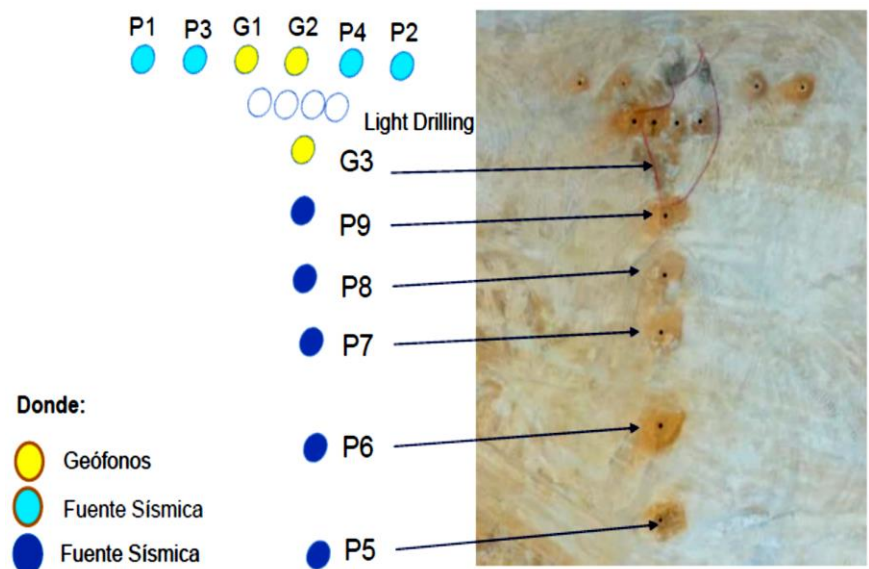
Los tiempos de retardo permiten un acoplamiento de ondas y por lo tanto reducen la amplificación de vibraciones de taladros de producción en 6ms.

3.2.4.2 Sílice Granular – BN 4021

En conjunto con el área de P&V se definió el sector de la prueba especial nivel 4021, correspondiente a una zona ubicada dentro la sílice granular diámetro 9 7/8. El carguío se realizó utilizando explosivo MEQ73 a 1.10 g/cc de densidad, correspondiente al tipo de explosivo típico usado en el sector de prueba. A continuación, se muestra el esquema de la distribución de equipos de monitoreo en campo.

Figura 45

Distribución de equipos de monitoreo de vibraciones - BN 4021

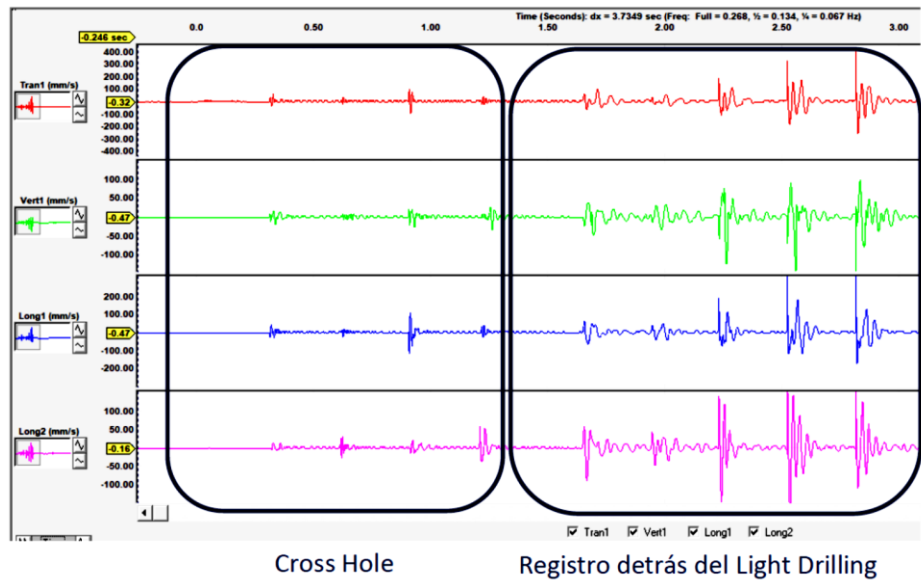


Fuente: Área de Perforación y Voladura.

El diámetro de 9 7/8”, característico en perforación de filas de producción, el light drilling se perforó con el mismo diámetro. Las fuentes sísmicas para el Cross Hole se hicieron con un diámetro de 5 Pulg.

Figura 46

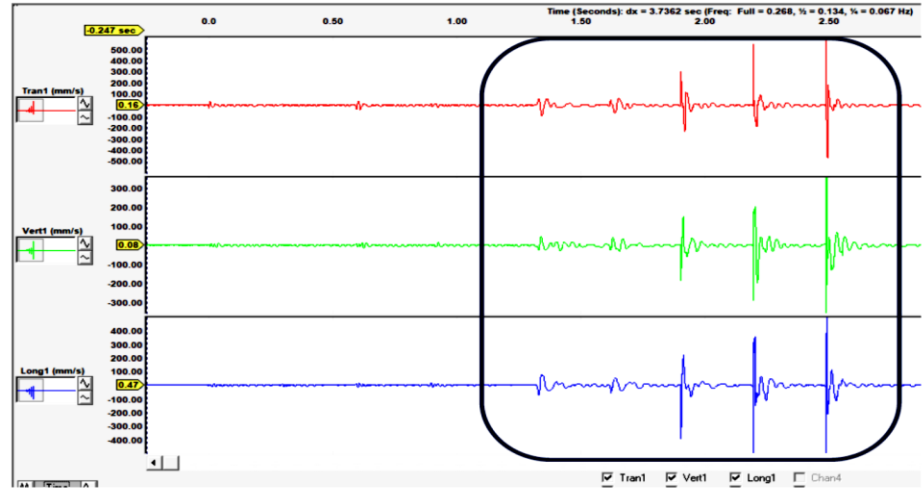
Registro de vibraciones de los geófonos 1 y 2 - BN 4021



Fuente: Área de Perforación y Voladura.

Figura 47

Registro de vibraciones del geófono 3 - BN 4021



Registro Delante del Light Drilling

Fuente: Área de Perforación y Voladura.

Los tiempos de retardo permiten un acoplamiento de ondas y por lo tanto reducen la amplificación de vibraciones de taladros de producción tiene tiempo de retardo de entre 3ms y 11 ms.

3.2.5 Costos

3.2.5.1 Sílice Masiva – BN 3802

A continuación, se presentan los resultados de la comparación en costos \$/ton con la aplicación de los rediseños para el banco 3802 con presencia de sílice masiva.

Figura 48

Comparación \$/Ton Rediseño 01 - BN 3802

Consumption estimation

Yanacocha Mine

Calculo Anual (Julio - Diciembre) 2021	Actual - 500	Propuesta 1 - Producc.
Plan Anual - Meses	6	
Plan de implementacion de escenario	100%	100%
Diseño de malla (BxE)	4.5m x 5.4m	6.3m x 7.3m
Material a Volar (Tn)	9,342,652.00	9,342,652.00
Cantidad de Taladros	15,692.71	8,291.64
Cant. de Explosivo (kg/Tal)	235.00	376.00
Factor de Potencia (kg/ton)	0.39	0.33
Cantidad de Explosivo (Tn)	3,687.79	3,117.66
Cantidad de Emulsion (Tn)	2,581.45	1,396.68
Cantidad de Nitrato (Tn)	1,106.34	598.58
Cantidad de Det. Electronico (Und.)	15,692.71	8,291.64
Cantidad de Booster (Und.)	15,692.71	8,291.64
Cantidad de Det. Pirotecnico (Und.)	15,692.71	8,291.64
Costo de Voladura (\$/ton)	0.272	0.201
Costo Perforacion (\$ /ton)	0.111	0.053
Costo Perf. Y Vol. (\$ /Ton)	0.383	0.255
Precio Anual de P&V (\$)	3,579,574.61	2,377,830.00
Pronostico de Ahorro (\$)		1,201,744.61
PRONOSTICO DE AHORRO %		33.6%

Fuente: Área de Perforación y Voladura.

Figura 49

Comparación \$/Ton Rediseño 02 - BN 3802

Yanacocha Mine

Calculo Anual (Julio - Diciembre) 2021	Actual - 600	Propuesta 1 - 600
Plan Anual - Meses	6	
Plan de implementacion de escenario	100%	100%
Diseño de malla (BxE)	4.5m x 5.4m	5.5m x 6.5m
Material a Volar (Tn)	9,342,652.00	9,342,652.00
Cantidad de Taladros	15,692.71	10,666.65
Cant. de Explosivo (kg/Tal)	200.00	235.00
Factor de Potencia (kg/ton)	0.34	0.27
Cantidad de Explosivo (Tn)	3,138.54	2,506.66
Cantidad de Emulsion (Tn)	2,196.98	1,396.68
Cantidad de Nitrato (Tn)	941.56	598.58
Cantidad de Det. Electronico (Und.)	15,692.71	21,333.30
Cantidad de Booster (Und.)	15,692.71	21,333.30
Cantidad de Det. Pirotecnico (Und.)	15,692.71	21,333.30
Costo de Voladura (\$/ton)	0.242	0.214
Costo Perforacion (\$ /ton)	0.101	0.069
Costo Perf. Y Vol. (\$ /Ton)	0.343	0.282
Precio Anual de P&V (\$)	3,203,576.93	2,638,180.07
Pronostico de Ahorro (\$)		565,396.87
PRONOSTICO DE AHORRO %		17.6%

Fuente: Área de Perforación y Voladura.

Comparación \$/Ton Rediseño 02 - BN 3802

Yanacocha Mine

Calculo Anual (Julio - Diciembre) 2021	Actual - 700	Propuesta 1 - 700
Plan Anual - Meses	6	
Plan de implementacion de escenario	100%	100%
Diseño de malla (BxE)	3.3m x 4.5m	4m x 5.3m
Material a Volar (Tn)	9,342,652.00	9,342,652.00
Cantidad de Taladros	25,678.97	17,987.39
Cant. de Explosivo (kg/Tal)	134.00	134.00
Factor de Potencia (kg/ton)	0.37	0.26
Cantidad de Explosivo (Tn)	3,440.98	2,410.31
Cantidad de Emulsion (Tn)	2,408.69	1,396.68
Cantidad de Nitrato (Tn)	1,032.29	598.58
Cantidad de Det. Electronico (Und.)	25,678.97	17,987.39
Cantidad de Booster (Und.)	25,678.97	17,987.39
Cantidad de Det. Pirotecnico (Und.)	25,678.97	17,987.39
Costo de Voladura (\$/ton)	0.303	0.212
Costo Perforacion (\$ /ton)	0.181	0.127
Costo Perf. Y Vol. (\$ /Ton)	0.484	0.339
Precio Anual de P&V (\$)	4,523,973.79	3,170,556.05
Pronostico de Ahorro (\$)		1,353,417.74
PRONOSTICO DE AHORRO %		29.9%

3.2.5.2 Sílice Granular – BN 4021

A continuación, se presentan los resultados de la comparación en costos \$/ton con la aplicación de los rediseños para el banco 4021 con presencia de sílice granular.

Figura 50

Comparación \$/Ton Rediseño 01 - BN 4021

"Rediseño en las filas de procedimiento de la malla de perforación para optimizar la operación de voladura en una mina superficial de Cajamarca, 2021"

Yanacocha Mine

Calculo Anual (Julio - Diciembre) 2021	Actual - 500	Propuesta 1 -
Plan Anual - Meses	6	
Plan de implementacion de escenario	100%	100%
Diseño de malla (BxE)	4.5m x 6m	7.5m x 8.7m
Material a Volar (Tn)	9,342,652.00	9,342,652.00
Cantidad de Taladros	17,836.30	7,380.54
Cant. de Explosivo (kg/Tal)	115.00	230.00
Factor de Potencia (kg/ton)	0.22	0.18
Cantidad de Explosivo (Tn)	2,051.17	1,697.52
Cantidad de Emulsion (Tn)	1,435.82	1,396.68
Cantidad de Nitrato (Tn)	615.35	598.58
Cantidad de Det. Electronico (Und.)	17,836.30	7,380.54
Cantidad de Booster (Und.)	17,836.30	7,380.54
Cantidad de Det. Pirotecnico (Und.)	17,836.30	7,380.54
Costo de Voladura (\$/ton)	0.192	0.120
Costo Perforacion (\$ /ton)	0.126	0.047
Costo Perf. Y Vol. (\$ /Ton)	0.318	0.167
Precio Anual de P&V (\$)	2,971,447.15	1,564,783.32
Pronostico de Ahorro (\$)		1,406,663.83
PRONOSTICO DE AHORRO %		47.3%

Fuente: Área de Perforación y Voladura.

Figura 51

Comparación \$/Ton Rediseño 02 - BN 4021

Yanacocha Mine

Calculo Anual (Julio - Diciembre) 2021	Actual - 600	Propuesta 1 - 600
Plan Anual - Meses	6	
Plan de implementacion de escenario	100%	100%
Diseño de malla (BxE)	4.5m x 6m	5.5m x 6.8m
Material a Volar (Tn)	9,342,652.00	9,342,652.00
Cantidad de Taladros	17,836.30	12,876.47
Cant. de Explosivo (kg/Tal)	115.00	144.00
Factor de Potencia (kg/ton)	0.22	0.20
Cantidad de Explosivo (Tn)	2,051.17	1,854.21
Cantidad de Emulsion (Tn)	1,435.82	1,396.68
Cantidad de Nitrato (Tn)	615.35	598.58
Cantidad de Det. Electronico (Und.)	17,836.30	12,876.47
Cantidad de Booster (Und.)	17,836.30	12,876.47
Cantidad de Det. Pirotecnico (Und.)	17,836.30	12,876.47
Costo de Voladura (\$/ton)	0.192	0.159
Costo Perforacion (\$ /ton)	0.126	0.091
Costo Perf. Y Vol. (\$ /Ton)	0.318	0.250
Precio Anual de P&V (\$)	2,971,447.15	2,337,953.63
Pronostico de Ahorro (\$)		633,493.52
PRONOSTICO DE AHORRO %		21.3%

“Rediseño en las filas de procedimiento de la malla de perforación para optimizar la operación de voladura en una mina superficial de Cajamarca, 2021”

Yanacocha Mine			
Calculo Anual (Julio - Diciembre) 2021	Actual - 700	Propuesta 1 - 700	
Plan Anual - Meses	6		
Plan de implementación de escenario	100%	100%	
Diseño de malla (BxE)	3.3m x 5.3m	4.5m x 5.9m	
Material a Volar (Tn)	9,342,652.00	9,342,652.00	
Cantidad de Taladros	27,534.59	18,138.61	
Cant. de Explosivo (kg/Tal)	82.70	110.00	
Factor de Potencia (kg/ton)	0.24	0.21	
Cantidad de Explosivo (Tn)	2,277.11	1,995.25	
Cantidad de Emulsion (Tn)	1,593.98	1,396.68	
Cantidad de Nitrato (Tn)	683.13	598.58	
Cantidad de Det. Electronico (Und.)	27,534.59	18,138.61	
Cantidad de Booster (Und.)	27,534.59	18,138.61	
Cantidad de Det. Pirotecnico (Und.)	27,534.59	18,138.61	
Costo de Voladura (\$/ton)	0.247	0.190	
Costo Perforación (\$/ton)	0.195	0.116	
Costo Perf. Y Vol. (\$/Ton)	0.442	0.307	
Precio Anual de P&V (\$)	4,128,569.20	2,866,233.69	
Pronostico de Ahorro (\$)		1,262,335.52	
PRONOSTICO DE AHORRO %		30.6%	

Fuente: Área de Perforación y Voladura.

Tabla 8

Costos de Perforación y Voladura Total

Diseño	Actual - 500	Propuesta 1 - Producc.
Parámetros de Perforación		
Dureza de Roca	DURA	DURA
Tipo de Roca	silice masiva	Silice masiva
Densidad de roca (ton/m3)	2.45	2.45
Burden (m)	4.50	6.30
Espaciamiento (m)	5.40	7.30
Altura de Banco (m)	10.00	10.00
Sobreperforación (m)	1.00	
Prof. de Taladro (m)	11.00	10.00
Diametro de Tal. (pulg)	10 5/8	10 5/8
Toneladas/Taladro	595.35	1,126.76
Parámetros de Voladura		
Tipo de explosivo	MEQ73	MEQ73
%Emulsion	70%	70%
%Nitrato	30%	30%

% Diesel	0%	0%	
Densidad Inicial de explosivo (gr/cc)	1.350	1.350	
Dens. Copa Explosivo (gr/cc)	1.10	1.10	
Dens. media Explosivo (gr/cc)	1.642	2.190	
Densidad Lineal (kg/m)	66.30	66.30	
Factor de esponjamiento (cm/m)	0.15	0.15	
Cant. de Explosivo (kg/Tal)	235	376	
Taco Final (m)	5.00	5.00	
Taco Intermedio	-	-	
Aire Inferior	-	-	
Aire Superior	-	-	
Long. de Carga Inicial (m)	2.0	2.5	
Long. de Carga Final (m)	2.5	3.0	
Esponjamiento (m)	0.5	0.5	
Relacion de Rigidez	2.44	2.44	
Distribucion de energia vertical	50%	50%	
Factor de Confinamiento			
Factor de Carga (kg/m3)	0.967	0.818	
Factor de Potencia (kg/ton)	0.395	0.334	
Energia de explosivo (MJ/kg)	2.490	2.490	
Factor de energía (MJ/ton)	0.983	0.831	
Productividad Camion			
T. cargados por camion con nitrato		106	66
T. cargados por camion con emulsion		70	44
Costo de Voladura			
Explosivos (\$/kg)	0.51	0.51	
Explosivos (\$)	120.59	192.94	
Exsanel (\$/pza)	1.00	1.00	
Booster 1/2 Lb (\$/pza)	-	-	
Booster 1Lb (\$/pza)	1.00	1.00	
Booster 2Lb (\$/pza)	-	-	
Retardo Superficial (\$/pza)	-	-	

Cable de disparo (\$/m)	3.24	4.38
Detonador Electronico Ikon Rx (\$/pza)	-	-
Detonador Electronico Ikon Extreme (\$/pza)	1.00	1.00
Taponex (\$/pza)	-	-
Cordon Det 5P. (\$/m)	-	-
Cordon Det 10P. (\$/m)	-	-
Separator blasting Explodeck	1.00	-
Costo de Voladura (\$)	162.10	226.77
Costo de Voladura (\$/ton)	0.27	0.20
% de Total	71%	67%
Costo de Stemming		
Costo (\$/m)	-	-
Costo total (\$)	-	-
% de Total	0%	0%
Costo de perforación		
Costo Perforacion (\$ /m)	6.000	6.000
Costo por taladro (\$)	66.00	60.00
Costo Perforacion (\$ /ton)	0.111	0.053
% de Total	29%	21%
Costo Perf. Y Vol. (\$)	228.104	286.774
Costo Perf. Y Vol. (\$ /Ton)	0.383	0.255

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Los resultados del análisis de los parámetros de diseño de mallas según el rediseño propuesto señalan que la ampliación de mall en los taladros de control (Procedimiento 700 y 600) no habrá subdrilling y en primera de producción (ex 500) reducir 01 metro la profundidad con la finalidad de reducir el daño al talud.

En la fragmentación se obtuvo según análisis un P80 promedio de 5.35 pulgadas en el frente de minado, del 63 % del material analizado pasan por mallas menores a 4 pulgadas. El polígono asignado al lugar analizado tuvo un Dig Rate en promedio de 2776.54 Ton/Hr. que está sobre el target que es 2,500 Tn/Hr. Mediante estos resultados obtenidos, se observa una mejora en la fragmentación con el diseño propuesto, lo cual permite apoyar lo señalado por Yana (2017), el cual indica en sus resultados sobre la Evaluación del agente explosivo Quantex 73, en los resultados de la fragmentación del mineral para la reducción de los costos de voladura de la mina Toquepala, concluye que, en la prueba de voladura realizada en la fase 4 del proyecto 146, sobre una roca tipo dacita porfiritica utilizando el explosivo Quantex 73, realizada en una ampliación de malla de 7.5 m x 8.5 m, el tonelaje de cada taladro que debe romper es de 1654.97 TM, con un factor de carga en taladros de producción de 0.35 kg/TM, con un costo por taladro de producción de 0.31 US\$/TM, reduciéndose la fragmentación en 1.02%. También se obtuvo otros beneficios como menor vibración y menor fly rock y el cuidado del medio ambiente. Por otra parte, Castro y Rodríguez (2016), La sobrerotura reduce en un 17,44% al utilizar la voladura controlada de pre corte en la corona de la malla de perforación utilizando explosivos de cartucho de exsablock de 7/8"x7", ahorrando por disparo, y reduciendo costos.

Asimismo, Montesinos (2017), utilizo la aplicación de Flexigel en voladuras de control, donde el beneficio es mayor en relación con el costo, pues este permitirá ahorrar en perforaciones para voladuras secundarias, reducir los bolones, acarreo y carguío, de igual manera los procesos de molienda y chancado por la reducción de la fragmentación. De igual manera Carhuancho (2011), sustentó que una malla de perforación y voladura con apoyo del enfoque tecnológico o modelo matemático el cual ayuda al mejoramiento de las interpretaciones en una malla de perforación en las ordenes de secuencias de voladura, las cuales evitaban la voladura secundaria y gastos que pueden ahorrarse en mano de obra, mejorando la producción. En relación a ello, Rodríguez (2019), señaló que un mal diseño de las mallas de perforación suele desencadenar en una mala fragmentación del mineral, tiros cortados, dificultades en los avances, un exceso de factor de carga, lomos en piso, pared del talud inestable, entre otros problemas. Ante ello Correa (2016), sugiere que el diseño de la voladura en mina debe ser ejecutada por procedimientos, los cuales consideran los siguientes aspectos: Avance del disparo, el volumen movido del material, fragmentación y costo total del disparo.

Los tiempos de retardo evitan un acoplamiento de ondas y por lo tanto reducen la amplificación de vibraciones, los taladros de procedimiento 600 y 700 tiene tiempos de 90ms y 135ms respectivamente. La estabilidad de paredes, reducción de niveles de vibración hasta en 20% en la zona de futura cresta. Los resultados obtenidos se apoyan en lo indicado por Valencia (2019), en su tesis titulada "Diseño de voladura para la optimización de fragmentación en mineral y desmonte, mediante el control de vibraciones y velocidad de detonación en Mina San Rafael Minsur S.A, señala que las vibraciones calculadas en promedio alcanzaron a 40 mm/s en diferentes tiempos promedios de 500 - 6000 s; la

velocidad de detonación del explosivo, dio un valor de 3640 m/s, en el tajo 4370-1225 del nivel 4390 con explosivo ANFO y diámetro de 64 mm.

Por otro lado, (2020), el diseño de mallas, incrementen la productividad de las operaciones de perforación y voladura, no obstante, siempre estarán presentes problemas que interfieran con los avances y generen cambios en los costos que se deben considerar. El ahorro en el costo total es del 47.3% en sílice granular y 33.6% en sílice masiva, en la reducción de SD (500) y conversión a producción de la misma; la ampliación de malla en los taladros de control (700 -600) genera en promedio un 30% de ahorro para los dos tipos de sílices evaluadas, lo cual se apoya en lo señalado por Romero (2020), Concluyendo que de los resultados obtenidos se puede observar que ampliando la malla de voladura con burden y espaciamiento desde 8.0 m x 9.0 m a una malla propuesta de 8.5 m x 9.5 m en dominios de sílice masiva y granular, se reduce los costos de perforación y voladura, permitiendo un ahorro del 4.76% en el dominio de sílice masiva y del 3.74% en el dominio de sílice granular. Se concluye que la malla propuesta produce un fracturamiento intenso y zona de generación de grietas haciendo que la distribución de energía sea más homogénea con la cual se logra una adecuada fragmentación de la roca.

La limitación del trabajo de investigación estuvo relacionada con recabar la información relacionada a variaciones de diseño en mallas de procedimiento o filas de control. En la recolección de los datos de campo, ya que al ser un trabajo experimental el reunir principalmente los datos de fragmentación se dificultaron debido a que el titular minero solo exige dos análisis de granulometría por mes, y no siempre son de voladuras en paredes finales o con filas de procedimiento, retrasando el proceso de elaboración de la tesis. En el aspecto geológico debido a los tipos de roca o alteración propios de cada operación minera,

antes de realizar la modificación o rediseño de la malla de perforación se debe realizar un estudio y pruebas respectivas.

4.2 Conclusiones

En relación al objetivo general, sobre la optimización del rediseño en las filas de procedimiento de la malla de perforación, se llegó a la conclusión que el análisis de fragmentación tiene un P80 promedio de 5.35 in en el frente de minado, del 60 % del material analizado pasan por mallas menores a 4 in. El polígono asignado al lugar analizado

Fue el OGW C163 minados por la SH009 con un Dig Rate en promedio de 2776.54 Ton/Hr.

Que está sobre el target que es 2,500 Tn/Hr.

Asimismo, podemos decir del primer objetivo específico, se concluye que en el banco 3802 se tiene presencia de sílice masiva, por lo cual los parámetros de perforación que se presentan seguidamente están en relación con las características geomecánicas del tipo de material, asimismo, en el banco 4021 se tiene presencia de sílice granular el ahorro es mayor, por lo cual los parámetros de perforación que se presentan seguidamente están en relación a las características geomecánicas.

Concluyendo con el segundo objetivo específico, donde se evalúa la granulometría de material, podemos decir que se obtuvo con el análisis un P80. En la evaluación en el frente de minado P80 de dos voladuras efectuadas en el mes de diciembre aplicando el rediseño se obtuvo que el 63 % del material analizado pasan por mallas menores a 4in de promedio de 5.35 in. Frente al P80 del diseño anterior que en promedio era de 8.39 in. que significa el

33% del material analizado pasa por mallas menores a 4 in. mejorando la productividad de los equipos de carguío.

Finalmente, concluyendo el tercer objetivo específico a la evaluación de los Kpi's del proceso de voladura, el rediseño de perforación y la optimización de la energía en la detonación del explosivo contribuye al cumplimiento del diseño geométrico del talud mejorándola estabilidad de los mismos permitiendo que sean más seguras y estables, otorgando mayor seguridad a los procesos que se desarrollan dentro de los tajos, contribuye a que el diseño de mina se cumpla y consecuentemente no se tendrá inconvenientes con la extracción de onzas proyectadas.

Se estimo el ahorro a futuro en costos de perforación y voladura al aplicarse el rediseño, contribuyendo a la sustentabilidad del negocio. Además, se concluye que la Velocidad de onda P (V_p), a través de las técnicas de Cross Hole fue 1446.0 m/s. La velocidad Pico Partícula Crítica, para determinar el umbral de daño fue 1218.0 mm/s. El diseño alternativo propuesto para filas de control, mediante simulación de contorno de vibraciones e información geomecánica de la sílice masiva incrementando en 25 % el Burden y Espaciamiento para la zona de Buffer. La reducción a -1.0 de SD en las filas de la zona de buffer con finalidad de minimizar el impacto a la futura cresta.

REFERENCIAS

- Barrera, L. (2017). *"Validación del modelo Kuz-Ram para optimizar la fragmentación de roca por voladura"*. (tesis pre grado). Universidad Nacional Autónoma de México. CD. México
- Carhuancho, E. (2011). *"Optimización de la fragmentación aplicando valores de energía en voladura al tajo Vidal, nivel 4190 cantera de caliza cerro palo cemento andino"*. (tesis pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú.
- Castro, J. y Rodriguez J. (2016). Reducción de la sobrerotura en el cruce 3910 del nivel 2360 de la mina "PEC" de la Cía. Consorcio Minero Horizonte. Trujillo, Perú: Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero de Minas. Universidad Nacional de Trujillo.
- Cayllahua, P. (2018). *"Diseño de malla de perforación en galerías de exploración, considerando la evaluación geomecánica en la Unidad Operativa Las Águilas – CIEMSA" en la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA*. (tesis pre grado). Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Correa, P. (2016). *"Diseño del sistema de perforación y voladura en los bancos d, e y f en la mina de caliza el tesoro, contrato de concesión ili-16111 ubicada en la vereda las caleras del municipio de Nobsa – Boyacá"*. (tesis pre grado). Sogamoso: Universidad pedagógica tecnológica de Colombia.

- Chahuares, F. C. (2012). "*Nuevo Diseño de Malla para Mejorar la Perforación y Voladura en Proyectos de Explotación y Desarrollo Mina EL COFRE*". (tesis pre grado). Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Chambi O. (2018), Aplicación de flexigel en voladuras de control – Orica Mining Services S.A.C. – Mina Cerro Verde, Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2018.
- Chinchay, J. (2020). "Diseño de malla de perforación basado en los modelos geomecánicos para optimizar la voladura en minería subterránea – 2018". (tesis pregrado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú.
- Exsa – Soluciones Exactas. (2018). "*Manual práctico de Voladura*". Recuperado de: https://www.academia.edu/8957420/LIBRO-Manual_PRACTICO_de_voladura
- Gaona, A. (2015). "*Optimización de la voladura, Mina la Virgen -de la compañía minera san simón s.a. - Huamachuco - Trujillo*". (tesis pre grado). Universidad Nacional de Piura. Piura, Perú.
- Gómez, W. (2016). "*Diseño de malla de perforación basado en la energía de mezclas explosivas, para optimizar costos de perforación y voladura en Aruntani SAC 2015*". (tesis pre grado). Universidad Nacional de Moquegua. Moquegua, Perú.
- Huarcaya, E. R. (2017). "*Optimización de avance lineal en la construcción del by pass San Ignacio mediante la evaluación de operaciones unitarias en la minera J.S. Natividad - La Rinconada*". (tesis pre grado). Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.

Konya. (1990). "Diseños de voladura". Recuperado de:

<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/10912/Capitulo3.pdf>

Ladera, D., & Quispe, M. (2020). *"Diseño de malla de perforación y voladura para la optimización de costos en la RP(+) 283-1 de la Empresa Minera Los Quenuales S. A. – Unidad Yauliyacu"*. (tesis pre grado). Universidad Continental. Huancayo-Perú.

Montesinos, E. (2017) Voladura Controlada Para Talud Final en la Construcción de la Carretera Lima – Canta – La Viuda Unish. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano de Puno-Perú].

Ramos R. (2017) Diseño y Evaluación de la Voladura de Pre-Corte en el Tajo Pomarani - Untuca - Coripuno S.A.C. 2016, Puno: Universidad Nacional del Altiplano , 2016.

Ramos, B. (2021). *"Portametrics mejora tu eficiencia en voladura"*, recuperado de: <https://www.motionmetrics.com/es/portametrics-2/>

Ramos, R. B. (2018). *"Influencia del diseño de malla en los costos de perforación y voladura en la compañía minera" Los Andes Perú Gold, Huamachuco – La Libertad"*. (tesis pre grado). Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú.

Ricse, K. (2020). *"Diseño de malla de perforación y voladura para mejorar la fragmentación de roca en mina Paola de Compañía Minera San Lucas S.A.C."*. (tesis pre grado). Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú.

Rodríguez, J. (2019). *"Diseño de mallas de perforación para optimizar el avance lineal del crucero 121 norte y sur del nivel 1600 en Mina Cerro Lindo, distrito Chavin,*

provincia de Chincha-Ica-año 2018". (tesis pre grado). Universidad Nacional de Moquegua. Moquegua, Perú.

Romero, G. (2020). "*Diseño de la malla de perforación en dominios de sílice masiva y granular para reducir los costos de perforación y voladura en una mina a tajo abierto en Cajamarca*". (tesis pre grado). Universidad Privada del Norte. Cajamarca, Perú.

Yana, F. Y. (2017). "*Evaluación del Agente Explosivo Quantex en los Resultados de Fragmentación para la Reducción de los Costos de Voladura en tajo de la Mina Toquepala*". Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5616>

ANEXOS

Anexo N° 01: Geología del proyecto

La geología del proyecto es conformada principalmente por secuencias volcánicas, cuerpos intrusivos y complejos de brechas, las cuales configuran un escenario favorable para la generación de un sistema epitermal. La columna volcánica está conformada por 04 unidades volcánicas; el LA es la unidad más antigua la cual es conformada por secuencias de flujo piroclástico de composición andesítica, seguida de esta unidad se presenta un nivel poco potente denominado TFT interceptado en pocos sondajes asociado a un nivel lacustrino, principalmente se ha definido como un tufo fino de composición andesítica, seguido se presenta la unidad Teut que es la unidad volcánica de mayor desarrollo con más de 300m de potencia reconocidos, generalmente es un tufo rico en cristales de composición andesítica, y finalmente la unidad más reciente denominada Ult en el topo de la secuencia, definido como un tufo lítico principalmente de composición andesítica a dacítica. Toda la secuencia volcánica es intruída por cuerpos sub-volcánicos denominados UphA, principalmente son flujos andesíticos de textura porfirítica de grano medio, presentando su mayor desarrollo en la parte norte, finalmente cortando a todas estas unidades se desarrolla un complejo de brecha conformada por 02 componentes un freático (BXP) y uno hidrotermal (BXH), los cuales presentan mayor correlación con la presencia económica de Au.

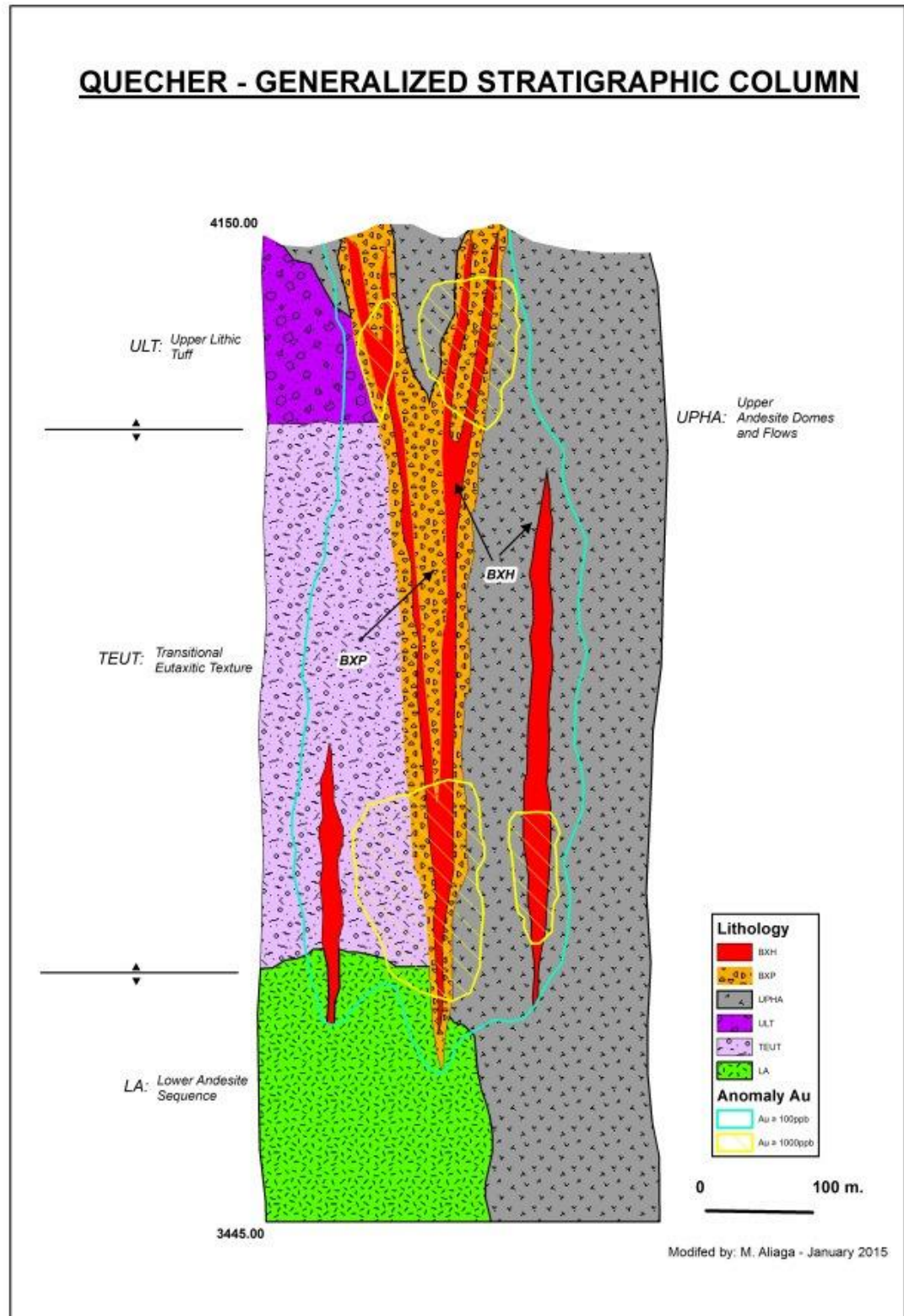
Las alteraciones hidrotermales son típicas de los depósitos epitermales de alta sulfuración. Estas ocurren en un zoneamiento gradacional desde la parte central hasta las zonas periféricas. En la parte central ocurre cuerpos de sílice con diferentes texturas desde masiva en la parte central, gradando a vuggy hasta finalmente en los niveles superiores sílice de textura granular, su ensamble es principalmente cuarzo, luego de este cuerpo silíceo se encuentra un ensamble Argílico Avanzado conformado por cuarzo-alunita-caolín-pirofilita-sericita en diferentes cantidades, el cuarzo-alunita-caolín son los principales minerales de esta alteración, así dependiendo si presenta mayor contenido de alunita se denomina Sílice-Alunita y si predomina caolín se denomina Sílice-Clay de manera general; en contacto con el cuerpo Argílico Avanzado se encuentra una zona Argílica conformada por un ensamble de cuarzo-caolín-esmectita relacionado a zonas superiores del sistema epitermal; y

finalmente se ubican zonas sin alteración hidrotermal con un ensamble de Plagioclasa-Feldespatos que corresponden a las composiciones originales de las andesitas, esta es poca común en el depósito. Todas estas alteraciones pueden estar en contacto entre sí, sin respetar el zoneamiento mencionado, pero ocurre de manera aislada y poco común.

Estructuras reconocidas principalmente son de tendencia NE, NW y NS. Las estructuras NE son las que se encuentran controlando el emplazamiento de los cuerpos de brecha y la ocurrencia de Au, generalmente estos lineamientos se presentan como zonas de debilidad las cuales son rellenas por brechas, o se encuentran limitando contactos litológicos y de alteraciones hidrotermales en superficie como en sondajes. La tendencia NW se encuentra controlando el emplazamiento de cuerpos intrusivos en la parte norte del depósito. Estructuras NS se manifiestan como lineamientos poco continuos y se encuentran controlando cuerpos de brechas hidrotermales en superficie.

La mineralización aurífera ocurre preferentemente de manera diseminada en todas las unidades del depósito, evidenciándose hasta 08 dominios de mineralización, relacionados a presencia de 1) Arcillas-Venillas Cuarzo-Venillas Alunita-Alunita, 2) Alunita- Cuarzo-Óxidos, 3) Inyección Sílice, 4) Bandas de Cuarzo-Óxidos, 5) Textura fina, 6) Sílice crema-Sulfuros, 7) Brechas-Óxidos y 8) Sulfuros los cuales están asociados a la ocurrencia de Au en diferentes etapas del desarrollo epitermal.

El Au ocurre generalmente como oro libre en las porosidades de cuarzo, también como inclusiones dentro de cristales de covelita asociado a presencia de baritina, pirita y goethita. Finalmente, estudios geoquímicos en el depósito indican una firma geoquímica típica de estos depósitos, relacionados con la ocurrencia de Au los principales elementos que se correlacionan son Ag-As-Ba-Bi-Sb-Hg-SnTe-Se, los cuales indican en un cambio fuerte de ley de estos, un cambio o contacto litológico, de alteración hidrotermal y alguna estructura que son las posibles fuentes de los fluidos epitermales. Todos estos elementos presentan una tendencia de N050°E con una inclinación de 25°SE y un plunge de 42°SE similar al del cuerpo de Au.



Anexo 02: Fotografías de Pre y Post Voladura



Foto 1: Pre Voladura

Foto 2: Tesista rodeado de mineral fragmentado de sílice masiva



Ficha guía de análisis

Diseño de malla						
Taladros	700	600	PROD 01		PROD 02	
Alturas de banco						
Ancho de Berma						
Diametro de taladro						
Taco						
Aire						
Carga superior						
Carga inferior						
Explosivo						
Factor de carga						

DINAMITA						
Especificación técnica	Unidad	Exsablock	Pulverulentas		SEMEXSA	
Densidad	g/cm ³					
Velocidad de detonación	m/s					
Presión de detonación	Kbar					
Resistencia al agua	Horas					
Categoría de humos	Categoría					
Roca	Tipo					

EMULSIÓN					
Especificación técnica	Unidad	EMULNOR		EMULEX	
Densidad	g/cm ³				
Velocidad de detonación	m/s				
Presión de detonación	Kbar				
Energía	Kj/kg				
Resistencia al agua	Horas				
Categoría de humos	Categoría				
Roca	Tipo				

Fuente. Elaboración propia