

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO EN EL PROCESO DE PERFORACIÓN Y
VOLADURA EN EL TAJO QUECHER MAIN – CAJAMARCA – 2021”**

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

AUTOR:

Bach. María Estefani Portal Vargas

ASESOR:

M. Cs. Victor Ausberto Arapa Vilca

Cajamarca – Perú

2021

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento al Padre Todopoderoso, por guiarme por el buen camino.

A mi madre, abuela, hermana y tías por todo el apoyo que siempre me brindaron, por los buenos valores que me inculcaron, por sus sabios consejos y su amor incondicional.

A Gianella por siempre estar conmigo en los días difíciles y en los buenos.

A los grandes profesionales de Minera Yanacocha que me apoyaron en adquirir nuevos conocimientos e inspiraron en ser mejor.

A mis profesores de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas y Geológica de la Universidad Nacional de Cajamarca por sus enseñanzas y consejos.

A mi asesor, el Ing. Victor Arapa Vilca por guiarme y tener la paciencia para la elaboración de este trabajo.

Al Ing. Yorhinio León por el apoyo en la elaboración de este trabajo sin el cual no hubiera sido posible.

DEDICATORIA

A mi madre, abuela y hermana,
por ser los pilares de mi vida, por
enseñarme los buenos valores y
ser la mujer fuerte que soy, por
todo el esfuerzo que han puesto
en mí.

Brigida Vargas Rodríguez

Dona Rodríguez Izquierdo

Mariela Abanto Vargas

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	II
DEDICATORIA.....	III
LISTA DE ABREVIATURAS	XI
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
CAPITULO I INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO II MARCO TEÓRICO	3
2.1 Antecedentes Teóricos.....	3
2.1.1 Internacionales.....	3
2.1.2 Nacionales.....	3
2.2 Bases Teóricas.....	4
2.2.1 Factor Geológico que influye en la Perforación y Voladura.....	4
2.2.2 Diseños de malla de Perforación y Voladura.....	6
2.2.3 Vibraciones por Voladura.	26
2.2.4 Mecanismo de Fragmentación de la Roca	27
2.2.5 Costos de Perforación y Voladura.....	28
CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS	33
3.1 Minera Yanacocha.....	33
3.1.1 Ubicación Geográfica	33
3.1.2 Accesibilidad	34
3.1.3 Historia de la Mina.....	34
3.1.4 Clima y Fisiografía.....	35
3.1.5 Flora y Fauna	35
3.1.6 Contexto Geológico.....	36
3.1.7 Operaciones Unitarias en Minera Yanacocha	48

3.2	Metodología de la Investigación	53
3.2.1	Tipo la Investigación.....	53
3.2.2	Nivel de Investigación.....	53
3.2.3	Diseño de Investigación	53
3.2.4	Método de Investigación.....	53
3.2.5	Población de estudio.....	53
3.2.6	Muestra	54
3.2.7	Unidad de análisis.....	54
3.2.8	Variables	54
3.2.9	Técnicas e Instrumentos Recolectados de Datos.....	54
3.3	Procedimientos	55
3.3.1	Etapa de campo	55
3.3.2	Etapa de gabinete	55
3.4	Presentación De Datos.....	56
3.4.1	Datos de Zonificación de Geología	56
3.4.2	Costos de Voladura.....	57
3.4.3	Diseño de malla.....	58
CAPITULO IV	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	86
4.1	Resultados de la Investigación	86
4.1.1	Análisis de la fragmentación y de Velocidad de Excavación	88
4.1.2	Análisis de Vibraciones.....	91
4.2	Análisis del Costo de Perforación y Voladura.....	91
CAPITULO V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
5.1	Conclusiones	93
5.2	Recomendaciones.....	93
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla N° 1: Acceso a la Unidad Minera Yanacocha.....	34
Tabla N° 2: Equipos de Carguío para Tajo Quecher Main	51
Tabla N° 3: Equipos Auxiliares para Tajo Quecher Main	52
Tabla N° 4: Tipo de densidad según el tipo de roca.....	56
Tabla N° 5: Costos de Agentes y Accesorios de Voladura.....	57
Tabla N° 6: Diseño actual de perforación en el banco 4010.....	60
Tabla N° 7: Diseño actual de voladura en el banco 4010.....	61
Tabla N° 8: Diseño actual de perforación en el banco 4010.....	61
Tabla N° 9: Diseño actual de voladura en el banco 4010.....	62
Tabla N° 10: Diseño actual de perforación en el banco 4010.....	62
Tabla N° 11: Diseño actual de voladura en el banco 4010.....	63
Tabla N° 12: Dig Rates.....	63
Tabla N° 13: Parámetros de Pull Down.....	68
Tabla N° 14: Datos de Pull Down en banco 4010	69
Tabla N° 15: Descripción de Proyecto 068.....	70
Tabla N° 16: Distancia de fracturamiento con la nueva malla	71
Tabla N° 17: Datos de carga	72
Tabla N° 18: Diseño de Carga en Silice Granular malla 10 5/8 (8.5 m x 9.5m).....	73
Tabla N° 19: Diseño propuesto de perforación en el banco 4010	74
Tabla N° 20: Diseño propuesto de voladura en el banco 4010	75
Tabla N° 21: Diseño propuesto de perforación en el banco 4010	76
Tabla N° 22: Diseño propuesto de voladura en el banco 4010	77
Tabla N° 23: Diseño propuesto de perforación en el banco 4010	78
Tabla N° 24: Diseño propuesto de voladura en el banco 4010	79
Tabla N° 25: Dig Rate con la malla 8.5m x 9.5m.....	81
Tabla N° 26: Promedio de Dig Rate	81
Tabla N° 27: Parametros de DIN 4150 Alemana.....	83
Tabla N° 28: Costo de Agentes.....	84

Tabla N° 29: Costo de Perforación con malla 7.5m x 8.5m.....	84
Tabla N° 30: Costo de Voladura con malla 7.5m x 8.5m.....	84
Tabla N° 31: Costo de Perforación con malla 8.5m x 9.5m.....	85
Tabla N° 32: Costo de Voladura con malla 8.5m x 9.5m.....	85
Tabla N° 33: Comparación de número de taladros.	86
Tabla N°34: Comparación de Cantidad de MEQ-73 (kg) entre malla actual y malla ampliada	87

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura N° 1: Diseño de forma de Mallas.....	9
Figura N° 2: Diseño Triangular Tresbolillo.....	10
Figura N° 3: Constante kb para la fórmula de Ash	18
Figura N° 4: Mapa de ubicación de Minera Yanacocha.....	33
Figura N° 5: Zona sílicea de textura granular, asociada a estructura de brecha hidrotermal.	38
Figura N° 6: Intercalaciones de alteraciones de Sílice granular y Argílico avanzado.	38
Figura N° 7: Canal de brecha hidrotermal con alteración sílice granular en las paredes, alteración argílico avanzado (alunita).	39
Figura N° 8: Alteración sílice granular en brecha freática (presencia de líticos).....	39
Figura N° 9: Contacto gradacional de sílice granular a Argílico avanzado (alunita)...	40
Figura N° 10: Sílice granular en brecha freática.....	40
Figura N° 11: Perforadora Roc L8-30.....	49
Figura N° 12: Perforadoras Pit Viper 271	49
Figura N° 13: Reporte del factor potencia de la semana 6 y 7	58
Figura N° 14: Reporte del dólar por Tonelada de la semana 6 y 7.....	59
Figura N° 15: Velocidad de Excavación de la Pala Hit 5500 EX.....	64
Figura N° 16: Porcentaje del Tiempo de Velocidad de Excavación (Dig Rates) - Hit 5500EX	64
Figura N° 17: Ubicación de la zona de estudio Banco 4010 Quecher Main	66
Figura N° 18: Diseño de carga de taladro de producción.....	67
Figura N° 19: Gráfica de análisis de Pull Down.....	68
Figura N° 20: Distribución de Energía	72
Figura N° 21: Terreno pre-voladura en el banco 4010	80
Figura N° 22: Terreno pos-Voladura en el banco 4010	80
Figura N° 23: Porcentaje de Velocidad de Excavación (Dig Rates) con malla 8.5m x 9.5m.....	82
Figura N° 24: Comparación de número de taladros por tipo de roca.....	87

Figura N° 25: Comparación de Cantidad de MEQ-73 (kg) entre malla actual y malla ampliada	87
Figura N° 26: Granulometría P80 4.336in.....	88
Figura N° 27: Granulometría P80 4.02in.....	89
Figura N° 28: Granulometría P80 6.81in.....	89
Figura N° 29: Granulometría P80 7.73in	89
Figura N° 30: Comparación de Velocidad de Excavación (Dig Rates)	90
Figura N° 31: Comparación de Costo por taladro.....	91
Figura N° 32: Comparación de Costo Global	92

LISTA DE PLANOS

- PLANO 01. SECCIONES TOPOGRÁFICAS.
- PLANO 02. SECCIONES GEOLÓGICAS

LISTA DE ABREVIATURAS

EXSA	:	Exposición Asociación del sur de África
SRL	:	Sociedad Comercial de Responsabilidad Limitada
tn	:	Toneladas
KPI	:	Indicador Clave de Desempeño
g/t	:	gramos por tonelada
US\$:	dólares
L	:	Largo
H	:	Altura
B	:	Burden
SP	:	Sobre perforación
mm	:	Milímetros
E	:	Espaciamiento
CF	:	Carga de fondo
CC	:	Carga de columna
CE	:	Carga específica
V	:	Volumen
VOD	:	Velocidad de detonación
PVC	:	Cloruro de Polivinilo
PPV	:	Velocidad Pico Partícula

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la empresa Minera Yanacocha S.R.L. y tuvo como finalidad analizar técnica y económicamente el proceso de perforación y voladura en el tajo Quecher Main para proponer alternativas de mejora y optimizar el proceso de perforación y voladura. En la etapa inicial la empresa Exsa, se encarga de realizar la voladura en Minera Yanacocha, y es la responsable de recopilar la información del diseño de voladura y los resultados obtenidos. Luego se procedió al análisis, depuración y procesamiento de la información.

Los resultados obtenidos con el nuevo diseño de malla y de carga se compararon con las condiciones técnicas requerida por el área de Carguío y Acarreo y por el área de procesos. Con el nuevo diseño de malla (B X E) 8.5m x 9.5m, se obtuvo mejores resultados referente a la velocidad de excavación (Dig Rate) ya que se obtuvo un resultado de 589.93 tn/hr por encima al target, y se logró mantener el nivel de vibraciones por debajo al límite, 2.64 mm/s. El número de taladros empleado fue de 295, con un factor de potencia de 0.206 kg/ton. Logrando que la cantidad de explosivo en Kg (MEQ-73) sea 10,220.00kg menor al de la malla inicial. La ampliación de malla generó un ahorro total de \$13,765.42 lo que representa el 14.1% menos ante la malla anterior.

Palabras Claves: factor potencia, diseño de malla, costo de perforación y voladura.

ABSTRACT

This present research work was carried out at the mining company Yanacocha S.R.L. and its purpose was to analyze technically and economically the drilling and blasting process in the Quecher Main pit. and propose improvement alternatives to optimize the drilling and blasting process of the Quecher Main pit. The methodological procedure is based in the field and the office. In the initial stage, the Exsa company oversees carrying out the blasting at the Yanacocha mining and is responsible for collecting the information on the blasting design and the results obtained. Then we proceeded to the analysis, purification, and processing of the information.

The results obtained with the new mesh and loading design were compared with the technical conditions required by the Loading and Hauling area and by the process area. With the new mesh design (BXE) 8.5mx 9.5m, better results were obtained regarding the Dig Rate since a result of 589.93tn / hr was obtained above the target, and it was possible to keep the level of vibrations below the limit, 2.64 mm / s. The number of drills used was 295, with a 0.206 kg/ton power factor. Achieving that the quantity of explosive MEQ-73 (Kg) is 10,220.00kg less than that of the initial mesh. The mesh expansion generated a total saving of \$ 13,765.42, which represents 14.1% less compared to the previous mesh.

Keywords: power factor, mesh design, drilling and blasting costs.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La empresa Minera Yanacocha S.R.L. es una de las minas más grandes de Sudamérica la cual produce oro y plata, se ubica en la ciudad de Cajamarca.

De acuerdo al área de costos y presupuestos, en el área de operaciones mina una de las actividades que demanda mayor costo es la perforación y voladura. Por ello es necesario reducir costos y evitar la dilución del mineral teniendo en cuenta la seguridad de la operación.

En el tajo Quecher Main se viene presentado una oportunidad de mejor con respecto al cumplimiento del Factor de Potencia ya que se está teniendo F.P. de 0.24 – 0.27 Kg/Tn debido a la baja densidad del material que obliga al diseño a tener que aumentar el área sin contacto directo con explosivo (taco), haciendo que esto genere un costo adicional en el área de Perforación y Voladura debido a que se está utilizando mallas más cortas.

Por lo cual se plantea hacer cambios del diseño de la malla de perforación y voladura considerando la geología e información del Pull Down (información de dureza e información de zonas críticas), lo cual permitirá realizar el diseño de cargas y la dirección del amarre de los cordones detonantes.

De tal manera que en la presente investigación se plantea la siguiente pregunta:
¿Qué factores influyen técnico y económicamente en la Perforación y Voladura en el Tajo Quecher Main?

Para una buena voladura es esencial en la operación minera, buscar una buena fragmentación de la roca y el mineral de acuerdo con el requerimiento establecido, un adecuado control de vibraciones y evitar costos adicionales a lo presupuestado.

Es por ello este trabajo de investigación analizara costo y la mejora técnica del proceso de perforación y voladura en el tajo Quecher Main.

La investigación tiene como objetivo analizar técnica y económicamente el proceso de perforación y Voladura en el tajo Quecher Main, y como objetivo específico: evaluar los aspectos técnicos del proceso de perforación y voladura del tajo Quecher Main; analizar los costos del proceso de diseño de perforación y voladura del tajo Quecher Main. y proponer alternativas de mejora para optimizar el proceso de perforación y voladura del tajo Quecher Main.

Los capítulos de la investigación están organizados de la siguiente manera: Capítulo I, introducción; Capítulo II, antecedentes teóricos, bases teóricas; Capítulo III, ubicación geográfica de la zona donde se realizó la investigación, materiales y metodología utilizada; Capítulo IV, análisis y discusión resultados obtenidos; y Capítulo V, conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Teóricos.

2.1.1. Internacionales.

Según Zúñiga, (2015) En su proyecto “Diseño de Tronadura y su Impacto en el Costo Mina de Compañía Minera Cerro Negro” cuyo trabajo de investigación fue publicado por la Universidad de Chile – Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería de Minas. Su estudio consiste en ajustar las mallas de tronadura por sectores y litologías de Tajo. Comparando los diseños propuestos con el diseño actual, en el cual se obtuvo una disminución de sobretamaño 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 200 (g/t) y 290 (g/t); mientras que, en el caso del estéril, se alcanzaron valores inferiores a 200 (g/t); este último se tradujo en una disminución de los metros perforados y del consumo de explosivos en el tajo. Con estas nuevas metodologías se logró una utilización más eficiente del explosivo, conclusión que se obtienen la disminución de 2 (US\$/t Mineral) del costo global de Perforación y Tronadura. Por otro lado, el impacto de costo de Perforación y Voladura en el costo mina bajo en un 3,8%.

2.1.2. Nacionales

Según Pacahuala, (2015) En su estudio “Reducción de Costos Operativos en Desarrollos Mediante Actualizaciones de Estándares en Perforación y Voladura, caso de

la Empresa Especializada Mincotrall S.R.L”. Cuyo trabajo de investigación fue publicado por la Universidad Nacional del Antiplano. Concluye que la prioridad de esta investigación es mejorar los estándares de perforación y voladura que tenga incidencia en los costos unitarios de operación. En el cual hizo una actualización en sus estándares de 6 pies a 8 pies, influyendo de forma positiva disminuyendo de 348 a 311 US\$/ML. Se obtuvieron resultados favorables en el rendimiento y la productividad de un 41%.

Según Aguilar & Chilón, (2017) En su estudio “Estimación de Presiones Dinámicas Inducidas por Voladura para definir Distancias Críticas para Detonadores Electrónicos”. Concluyo que para los taladros de producción de 10 5/8” usados en el nivel 3228 de La Quinoa hallo que las distancias entre taladros de para el diseño de malla deben estar en un rango de 1.6 a 4 metro de longitud dependiendo de la altura de carga, lo que representa las distancias críticas de operación segura para no afectar los detonadores por efecto de la presión dinámica. El efecto de presión dinámica y que este efecto produzca algún tipo de deformación y/o falla en la cápsula de los detonadores, está en directa relación con el diseño de carguío y la implementación de los diseños.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1. Factor Geológico que influye en la Perforación y Voladura.

La perforación y voladura es una técnica aplicada a la extracción de roca en terrenos competentes, donde los medios mecánicos no son aplicables de una manera rentable. El empleo del diseño de mallas y el tipo de explosivo empleado siempre es

definiendo por las condiciones geológicas de la roca, así como por el campo de aplicación de cada uno de los explosivos. (Bernaola , Castilla, & Herrera, 2013)

Según Ayamamani, (2016) algunos de los factores que intervienen son los siguientes.

➤ **Parámetros de la roca**

1. Propiedades físicas:

- Dureza: Indica aproximadamente la dificultad de perforarla.
- Tenacidad: Indica aproximadamente entre la dificultad de romperse bajo el efecto de fuerza de compresión, tensión e impacto, variando entre los rangos de friable. Intermedia a tenaz.
- Densidad: Indica aproximadamente entre la dificultad para volarla, rocas densas requieren también explosivos rápidos para romperse, se calcula de acuerdo con la Ecuación.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}} \text{ (g/cm}^2\text{)}$$

- Textura: Forma de amarre de los cristales o granos y sus grados de concentración o cohesión, también relacionada con su facilidad de rotura.
- Porosidad: Proporción de poros u oquedades y su capacidad de captar agua.
- Variabilidad: las rocas no son homogéneas en su composición y textura, tiene un alto índice de anisotropía o heterogeneidad.
- Grado de alteración: Deterioro producido por efecto del intemperismo y aguas freáticas, además de fenómenos geológicos que las modifican o transforman.

2. Resistencia dinámica de las rocas.

- Frecuencia Sísmica: Velocidad con la que estas ondas atraviesan las rocas.
- Resistencia mecánica: Resistencia a la fuerza de compresión y tensión.
- Fricción interna: Habilidad de las superficies internas para deslizarse bajo esfuerzos (rocas estratificadas).
- Módulo de Young: Resistencia elástica a la deformación. (Ayamamani, 2016)
- Impedancia. Relación de la velocidad sísmica y densidad de la roca versus la velocidad de detonación y densidad de explosivo, Las con alta frecuencia sísmica requieren explosivos de alta velocidad de detonación.

3. Condiciones geológicas:

- Estructura: Es la forma de presentación de las rocas y está en relación con su origen y formación (macizo, estrato, etc).
- Grado de fisuramiento: Indica la intensidad y amplitud del fracturamiento natural de las rocas, son importantes la orientación (rumbo y buzamiento) de los sistemas de fisuras y el espaciamiento entre ellos, así como la apertura y los tipos de relleno en las discontinuidades.
- Presencia de Agua. Define incluso el tipo de explosivo a utilizar.

2.2.2. Diseños de malla de Perforación y Voladura.

Para realizar un correcto diseño de malla de perforación se tiene que tener en cuenta sus parámetros.

- Parámetros de perforación: Diámetro de taladro, espaciamiento, burden, altura promedio de banco, sobre perforación, profundidad promedio del taladro, inclinación de perforación.
- Parámetros de Voladura: Carga de fondo, taco intermedio, carga intermedia, cámara de aire, taco final, tipo de explosivo por taladro, densidad del explosivo, factor de la roca, cantidad de explosivo por metro. (Mucho, 2013)

A. Perforación

El propósito de la perforación es el de abrir en la roca huecos cilíndricos destinados a alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores. La eficiencia en perforación consiste en lograr la máxima penetración al menos costo. En perforación tienen gran importancia; la resistencia al corte o dureza de la roca y a la abrasividad. (Exsa, 2019)

La perforación se efectúa por los siguientes medios:

- Percusión, con efecto de golpe y corte como el de un cincel y martillo.
- Percusión/rotación, con efecto de golpe, corte y giro, como el producido por las perforadoras neumáticas, comunes.
- Rotación con efecto de corte por fricción y rayado con material muy duro.
- Fusión mediante un dardo de llama que funde roca y mineral extremadamente duro como la taconita, método aplicado en algunos yacimientos de hierro de Norteamérica.

B. Condiciones de Perforación

La perforación es de muy importante es por ello que debe de ejecutarse con buenos criterios. El taladro para perforar está determinado por cuatro condiciones: (Exsa, 2019)

- Diámetro. Depende del tipo de aplicación en que el taladro será utilizado. Como regla general, el de “menor diámetro factible” será el más adecuado y económico de realizar.
- Longitud: Influye mucho en la elección de la capacidad del equipo perforador y naturalmente en el avance del disparo (profundidad del taladro).
- Rectitud: Varía con el tipo de roca, método de perforación y características del equipo perforador. Deben tener la mayor rectitud y alineamiento para que el explosivo sea apropiadamente distribuido.
- Estabilidad: Los taladros deben mantenerse abierto hasta el momento de su empleo. En terrenos sueltos tienden a desmoronarse por lo que puede ser necesario revestirlos interiormente con tubos especiales para poderlos cargar o hacer otro taladro adyacente al obturado.

C. Malla de perforación.

Es la forma en la que se distribuyen los taladros de una voladura, considerando básicamente a la relación de burden y espaciamiento y su directa vinculación con la profundidad de taladros. (Exsa, 2019).

La malla o distribución de los taladros actuales es ejecutada teniendo en cuenta los resultados de múltiples voladuras y por la experiencia de los explosivistas a cargo. (Martínez & Correa, 2017)

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.

Los esquemas más efectivos son los denominados Tresbolillo y entre ellos el mejor es el que forma triángulos equiláteros, por distribuir mejor la energía entre la roca. En este esquema produce la mejor fragmentación con un $S = 1.61257B$. (Minera Yanacocha, 2020)

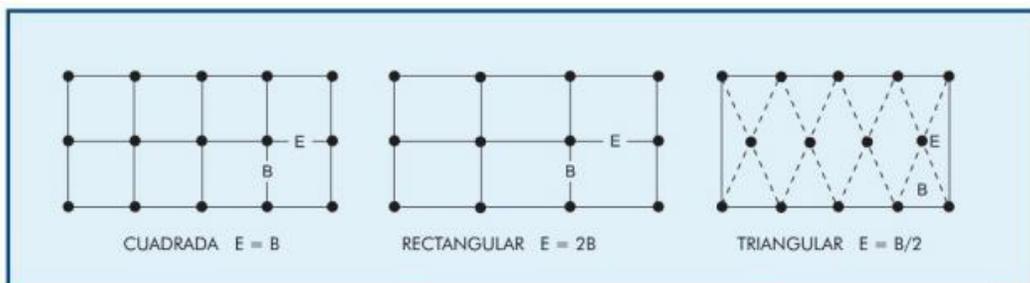


Figura N° 1 Diseño de forma de Mallas (Exsa, 2019)

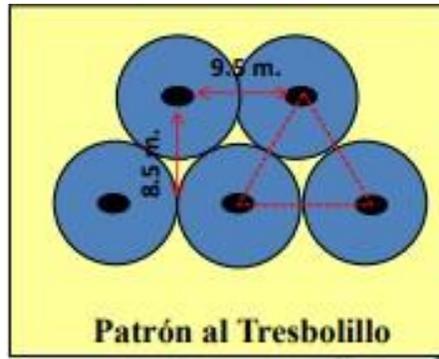


Figura N° 2 Diseño Triangular Tresbolillo (Minera Yanacocha, 2019)

D. Voladura

Se entiende por voladura de rocas en superficie, a los trabajos de explotación en bancos de canteras y tajos abiertos, obras de ingeniería civil y vial como: excavaciones, canales, zanjias, cortes a media ladera y trabajos especiales como rotura secundaria de padrones, demoliciones y voladuras controladas, pero fundamentalmente se concreta en bancos. (Cruzado & Díaz, 2017)

Entre una de las actividades importantes en la minera encontramos a la voladura la cual comprende la voladura en bancos. (Exsa, 2019)

E. Voladura en bancos

La característica principal de la voladura en bancos es tener dos caras libres (la superior y la frontal).

F. Elementos para el diseño de Voladura en bancos

1. Dimensión de la voladura:

$$L \times A \times H = \text{Volumen total}$$

L: largo, en m.

A: ancho, en m.

H: altura, en m.

Para obtener el volumen en toneladas se multiplica por la densidad (densidad de la roca que se desea volar kg/m³) y por 1000.

2. Parámetros dimensionales.

- Diámetro de taladro (\emptyset). Para tener un diámetro óptimo se necesita; la disponibilidad y aplicabilidad del equipo de perforación en el trabajo proyectado, la altura de banco proyectado y la amplitud o envergadura de las voladuras a realizar, la distancia límite de avance proyectada para el banco. (Exsa, 2019)

El máximo diámetro para adoptar depende de la profundidad a la que puede ser perforado un taladro, la mínima profundidad a la que puede ser perforado un taladro depende del diámetro. (Exsa, 2019)

$$L = 2\emptyset$$

En Minera Yanacocha la empresa Exsa utiliza el criterio de utilizar diámetros de Taladros (mm) igual a la altura del banco (m) multiplicado por 8, el diámetro máximo del taladro (mm) para una altura de banco conocida, debería multiplicarse la altura de banco (m) por 15. Los taladros de menor diámetro distribuyen mejor la energía explosiva, en embargo su costo es elevado mientras que, si el diámetro aumenta los costos de perforación, carga y explosivos disminuyen.

- Longitud o profundidad de taladro (L).

Para taladros verticales.

$$L = H + 0.3B$$

H: altura del banco

B: burden.

Para taladros inclinados.

$$L = H/\text{Cos}(\alpha) + 1 - (\alpha/100) \times \text{SP}$$

Donde:

L: longitud de taladro.

H: altura de banco.

(α): ángulo con respecto a la vertical, en grados.

SP: sobreperforación.

- La sobreperforación (SP). Si la sobreperforación es muy corta podemos tener lomos, pero si es excesiva se producirá incremento de vibraciones y elevando los costos de perforación. Debemos tener en cuenta el tipo de roca: blanda a media de 10 a 11 \emptyset y para dura o muy dura 12 \emptyset . También se puede usar la relación SP: 0.3B, en donde B es burden. (Exsa, 2019)
- Longitud de taco (T). En los taladros no se llena la parte superior o collar, la cual se llena con material inerte, la cual tiene como función retener los gases generados durante la detonación. Para ello podemos utilizar las siguientes formulas.

$$T = L + \text{SP}/3 \text{ ó } T = B$$

Si el taco es insuficiente, además de la fuga parcial de gases se producirá proyección de fragmentación, craterización y fuerte ruido por onda aérea; y si el taco es excesivo, la energía se concentrará en fragmentos al fondo del taladro, dejando gran cantidad de bloques o bolones en la parte superior, especialmente si el fisuramiento natural de la roca es muy espaciado, resultando una fragmentación irregular y poco esponjada y adicionalmente se generará fuerte vibraciones.

En la práctica la longitud es de $1/3$ de largo total del taladro. Si tenemos en cuenta al burden y resistencia de la roca el taco varío entre $T=0.7B$ para material muy competente y $T= B$ para material incompetente con fisuras y fracturas abiertas.

También podemos tener en cuenta la relación con el diámetro.

- Rocas blanda o intermedia: $T=33 \text{ } \emptyset$ a $35 \text{ } \emptyset$
- Roca dura a muy dura: $T = 30 \text{ } \emptyset$ a $32 \text{ } \emptyset$

Pero en bancos con mayor diámetro varía entre 40 para roca blanca y 25 para roca dura.

3. Altura de banco (H).

La altura de banco va en relación con los parámetros y condiciones mina. En función del equipo de excavación y carga, del diámetro de perforación, de la resistencia de la roca de la estructura geológica y estabilidad de talud, de la mineralización y de aspectos de seguridad.

Se puede estimar la altura del banco con la siguiente fórmula:

$$H = 10 + 0.57(C-6)$$

Donde:

C: es la capacidad del cucharón de la excavadora m³.

Si tenemos en cuenta el diámetro del taladro de voladura en relación con la resistencia de la roca se estima que para roca suave alcanzaría a unos 50 diámetros y para roca muy dura a unos 35 diámetros.

Para calcular la altura más adecuada o económica en forma práctica hay que tener en cuenta lo siguiente: H (en m) = $4 \varnothing$ (\varnothing en pulgadas).

También se debe tener en cuenta que si la altura de banco es igual al burden (1:1) la fragmentación resultara gruesa. Si la altura es de (2:1) la fragmentación mejorara. Si la altura de banco es de (3:1) la relación H/B permitirá la flexión, logrando fragmentación menuda y eliminación de otros efectos.

Otra relación indica que la altura de banco debe ser mayor que el diámetro de las cargas explosivas, es decir:

$$H \text{ (en m)} = \varnothing \text{ (en mm)} / 15.$$

Índice de Rigidez:

- Si H/B es ≥ 3 Resultados Óptimos
- Si H/B es ≤ 1 Fragmentación gruesa con problemas de repiés y sobreexcavación.
- Si H/B es = 2 se aminorarán estos efectos.

4. Burden (B):

Se refiere la dimensión lineal entre el taladro y la cara libre y se mide perpendicular a la dirección de la línea de taladros. (Delgado , 2014).

El burden depende del diámetro de perforación, de las propiedades de la roca, altura de banco y las especificaciones del explosivo a emplear. Se determina en razón del grado de fragmentación y al desplazamiento del material colado que se quiere conseguir. (Exsa, 2019).

La forma empírica para obtener la dimensión del burden es la siguiente; \emptyset (en pulgadas) = B (en m).

También se aplica las siguientes relaciones prácticas según Languedors; $B = 0.046 \emptyset$ (mm).

Tomando en cuenta la resistencia a compresión de la roca, el burden varía entre 35 y 40 veces el diámetro para roca blanda y entre 33 a 35 veces el diámetro para roca dura a muy dura.

Teniendo en cuenta el explosivo:

- Con dinamita:
 - En roca blanda: $B=40 \emptyset$
 - En roca muy dura: $B =38 \emptyset$

- Con emulsiones e hidrogel:
 - En roca blanda: $B=38 \text{ } \emptyset$
 - En roca muy dura: $B =30 \text{ } \emptyset$
- Con Examon o Anfo:
 - En roca blanda: $B=28 \text{ } \emptyset$
 - En roca muy dura: $B =21 \text{ } \emptyset$

Para rocas blanda a valor con dinamita en taladros de 3" de diámetro tenemos:

$$B = 40 \times 3 = 120 \times 2.54 = 3.05 \text{ (igual a 3m)}$$

Usualmente se considera:

$$B=40 \text{ } \emptyset$$

Por otro lado, se consideran dimensiones típicas en minería y canteras a las siguientes relaciones:

$$B=32 \text{ } \emptyset$$

Para roca con densidad promedio menor de 3.3 g/cm³, (\emptyset es el diámetro de carga).

$$B=26 \text{ } \emptyset$$

Con criterios más técnicos se han propuesta varias fórmulas para el cálculo del burden.

a. Fórmula de Andersen.

$$B = \sqrt{\emptyset \times L}$$

Donde:

- B: burden

- \emptyset : diámetro del taladro, en pulgadas
- L : longitud del taladro, en pies.

La relación longitud de taladro-burden o altura de banco, influye sobre el grado de fragmentación.

b. Fórmula de Langerfors

$$B = \frac{(db)}{33} \times \frac{\sqrt{PXS}}{cxfx\left(\frac{E}{B}\right)}$$

Donde:

- B: burden, en metros.
- P: grado de compactación que puede estar entre 1.0 y 1.6kg/dm³.
- S: potencia relativa del explosivo.
- c: constante para la roca, generalmente entre 0.45 y 1.0.
- f: grado de fractura. Para taladro vertical el valor es de 1.
- E: espaciamiento entre taladros.
- E/B: radio de espaciamiento a burden.
- db: diámetro de broca.

c. Fórmula de C. Konya

$$B = 3.15 \emptyset_e \times \sqrt[3]{\frac{\rho_e}{\rho_r}}$$

Donde:

- B: burden, en pies
- \emptyset_e : diámetro del explosivo, en pulgadas
- ρ_e : densidad del explosivo.
- ρ_r : densidad de la roca

d. Fórmula de Ash

$$B = \frac{(kb)}{12} \times \varnothing$$

- B: burden.
- \varnothing : Diámetro de taladro.
- Kb: constante, según el siguiente cuadro.

Clase de roca	Densidad (g/cm ³)	Clase de roca		
		Blanda	Media	Dura
Densidad y potencia bajas	0.89 a 0.9	30	25	20
Densidad y potencia medias	1.0 a 1.2	35	30	25
Densidad y potencia altas	1.2 a 1.6	40	35	30

Figura N° 3 Constante kb para la fórmula de Ash. (Exsa, 2019)

5. Espaciamiento (E):

“Es la distancia entre taladros de una misma fila que se dispara con un mismo retardo o con retardos diferentes y mayores en la misma fila”. (Exsa, 2019).

Si el espaciamiento es muy pequeño producen exceso de trituración y craterización en la boca del taladro, lomos al pie de la cara libre y bloques de gran tamaño en el tramo del burden. Por otro lado, espaciamientos excesivos producen fracturación inadecuada, lomos al pie del banco y unas nuevas caras libres frontal muy irregular.

En la práctica, normalmente es igual a burden para malla de perforación cuadrada $E = B$ y de $E = 1.3$ a $1.5B$ para malla rectangular o alterna. (Exsa, 2019).

6. 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. Usualmente comprende de $\frac{1}{2}$ a $\frac{2}{3}$ 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 según los requerimientos incluso de cada taladro de una voladura. (Exsa, 2019)

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 (C.F) y la carga de columna (C.C). (Exsa, 2019)

- Carga de Fondo: Es la carga explosiva de mayor densidad y potencia requerida al fondo del taladro para romper la parte más confinada y garantizar la rotura al piso, para, junto con la sobreperforación, mantener la rasante, evitando la formación de resaltos o lomos y también limitar la fragmentación gruesa con presencia de bolones. Su longitud es normalmente equivalente a la del burden más la sobreperforación: $B + 0.3B$, luego: $C.F.= 1.3B$. Si se toma en consideración la

resistencia de la roca y el diámetro de la carga, la longitud de la carga de fondo variará entre 30 Ø para roca fácil a 45 Ø para muy dura. (Exsa, 2019).

- Carga de Columna: Se ubica sobre la carga de fondo y puede ser de menos densidad, potencia o concentración ya que el confinamiento de la roca en este sector del taladro es menor. La altura de la carga de columna se calcula por la diferencia entre la longitud del taladro y la suma la carga de fondo más el taco: $CC = L - (CF + T)$, usualmente $CC = 2.3B$. Se puede emplear mezcla de emulsión-Anfo de diferentes proporciones en los camiones mezcladores-cargadores, es común carga con Anfo Pesado en relaciones de 10/90 a 60/40, con una longitud de (10/15) Ø al fondo y completar la carga de columna con Anfo normal. (Exsa, 2019).
- Cargas segmentadas o espaciados: Normalmente se emplean cargas continuas en taladros de pequeña o mediana longitud, pero en taladro largos o en aquellos que se requiera disminuir la energía, pero manteniéndola distribuida en toda su longitud, se emplean cargas espaciados con tacos inerte intermedios y con un iniciador en cada una para garantizar su salida. Estas cargas pueden ser del mismo tipo de explosivos o emplearse uno de mayor densidad o potencia en la primera carga a fondo. Las salidas pueden ser simultáneas o con diferentes tiempos de salida para cada una, mediante retardos en orden ascendentes o descendente, según el diseño de la voladura o los efectos que se quieran obtener. (Exsa, 2019)

- Carga específica (CE): Llamada también consumo específico o factor de carga. Es la cantidad de explosivo necesaria para fragmentar 1m³ o yd³ de roca. Se expresa en Kg/m³ o lb/yd³.

$$CE = \frac{\text{total de explosivo utilizado, en kg}}{\text{total de m}^3 \text{ rotos cubíados}}$$

- La carga específica es una excelente unidad referencial para el cálculo de la carga total de un disparo, pero no es el mejor parámetro de por sí, ya que la distribución de este explosivo en la masa de la roca mediante los taladros tiene gran influencia en los efectos de fragmentación y desplazamiento, es decir, en el resultado de la voladura. (Exsa, 2019)

En voladura, la cantidad de explosivo utilizado deberá ser muy próxima a lo mínimo necesario para desprender la roca. Menos carga significa tener una voladura deficiente y, por el contrario, un exceso de carga significa mayor gasto y mayores riesgos de accidentes, debiéndose tenerse en cuenta que el exceso de carga colocado en el taladro origina una proyección cuya energía es proporcional a dicho exceso por m³, estimándose que el centro de gravedad de la masa de la voladura podría desplazarse varios metros hacia adelante por cada 0,1 kg/m³ de exceso de carga, siendo aún mayor el riesgo de proyección de trozos pequeños a distancias imprevisibles (flying rock). (Exsa, 2019)

- Estimación de cargas: Volumen a romper por taladro.

$$V = B \times E \times H = m^3 \text{ por taladro}$$

- Volumen de explosivo: Diámetro de taladro por longitud de la columna explosiva (columna continua) o por la suma de las cargas segmentadas.

$$Ve = \emptyset \times Ce, \text{ en } m^3$$

- Factor de carga (FC): Es la relación entre el peso de explosivo utilizado y el volumen de material roto.

$$FC = \frac{We}{V}$$

G. Explosivos de Voladura.

Los explosivos se clasifican en químicos y nucleares. Los explosivos químicos actúan por procesos de reacción química de detonación producidos por efecto de una onda de choque. Están mayormente vinculados a compuestos nitrados y son los de aplicación común en minería y construcción civil. Los nucleares están vinculados a la desintegración de materiales como uranio 235 y plutonio, proceso donde se desprenden inmensas cantidades de energía. (Exsa, 2019)

1. Hidrogeles o slurries:

Los hidrogeles no reaccionan con el fulminante y se califican como “agentes de voladura hidrogel, slurries o papillas explosivas”, requiriendo de un cebo reforzado o primer-booster para arrancar a su régimen de detonación de velocidad estable; de lo contrario, no arrancan o lo hacen a bajo régimen con velocidades transientes dando bajo rendimiento energético, razón por la que en su principio también son conocidos como wáter gels. (Exsa, 2019)

Sus cualidades principales son: alta velocidad de detonación y alta densidad que les dan enorme poder rompedor y elevada resistencia al agua, por lo que resultan excelentes sustitutos del Anfo, para voladura de rocas tenaces y de taladros inundados, incluso con agua dinámica.

Su aplicación está dirigida mayormente a taladros de mediana o gran diámetro en tajos abiertos. (Exsa, 2019)

2. Emulsiones:

En forma similar, los agentes de voladura emulsión no son sensibles al detonador por lo que también requieren ser detonadas con un cebo reforzador de alta presión de detonación. Su aplicación también está dirigida a taladros de mediano a gran diámetro en tajos abiertos, como carga de fondo de alta densidad o como carga de columna (total o espaciada) en taladros con agua, o perforados en roca muy competente. La característica principal es su facilidad de mezcla con el ANFO para formar ANFO Pesado. Siendo el medio más utilizado para sensibilizarlo. (Exsa, 2019)

3. Slurrex-G:

Emulsión a granel inerte no detonable, su principal objetivo es garantizar la sensibilidad del producto como emulsión pura o como Anfo Pesado, en zonas donde se generan mayor cantidad de gases nitrosos, consecuencia de la merma de un porcentaje de nitrato de amonio poroso producida al disolverse en contacto con el agua, disminuyendo de esta forma su sensibilidad y detonabilidad. (Exsa, 2019)

4. Slurrex Q:

La emulsión Slurrex Q de Exsa es una emulsión sensibilizada químicamente por la adición de una solución gasificable, el cual al estar en contacto con la emulsión genera burbujas de nitrógeno, que lo hace sensible a un iniciador de alta potencia. La emulsión matriz ofrece a la mezcla explosiva, la propiedad de alta resistencia a medios acuosos y presencia de aguas dinámicas inclusive, propiedad que la protege de la inmiscibilidad.

Principal agente para la fabricación de la tecnología Quantex, cuya proporción se emplea en un 70%. (Exsa, 2019)

H. Mezcla Explosiva Quantex- MEQ 73:

Es una mezcla de una emulsión gasificada (Slurrex Q) y un nitrato altamente denso (Quantex) el cual proporcionara mayor presión de trabajo a la mezcla.

Esta tecnología se basa en dos energías desarrolladas:

- La primera energía de impacto desarrollada por reacción de la emulsión gasificada que origina la fractura radial a las paredes del taladro.
- Y la segunda energía de expansión desarrollada por la presión de gases que se originan por reacción y sublimación (paso de sólido a gas) instantánea de nitrato de amonio denso Quantex, debido a la alta temperatura liberada por la reacción de la emulsión gasificada al momento, ampliando las fracturas y desplazando la roca fragmentada.

I. Propiedades de los explosivos.

Según Cruzado & Díaz, (2017) Las características que tienen los explosivos son importantes para entender la utilidad potencias de un explosivo específico para una utilidad en especial.

- Velocidad de Detonación. Es una medida cuando la reacción de la detonación procede por la columna del explosivo. Típicamente, el VOD variará entre 3000 m/s para ANFO en pozos de tronadura de diámetros pequeños y 6000 m/s para emulsión en pozos de tronadura de diámetros más grandes.

- Densidad. Es una unidad importante en el diseño de barrenos, mide los kilogramos de explosivos por unidad de volumen en g/cc.
- Fuerza o Potencia. Se considera como la capacidad de trabajo útil de un explosivo.
- Inflamabilidad. Se define como la facilidad con la que un explosivo puede iniciarse por medio de calor.
- Resistencia al agua. La capacidad o resistencia del explosivo que puede soportar en horas, cuando se encuentra cargado en agua y aun sin ser detonado.
- Presión de detonación. Es considerada como la presión en la zona de choque delante de la zona de reacción.
- Diámetro Crítico. Es el diámetro mínimo al cual un explosivo puede ser detonado.
- Sensitividad. Es la propiedad de un explosivo para ser detonado por iniciadores convencionales, ya sea cordón detonante, fulminante, iniciadores no eléctricos.
- Sensibilidad. Es la facilidad de iniciación de los explosivos por la mínima energía o potencia que se necesita.
- Emanaciones. Se denomina emanaciones a los gases tóxicos que se origina de la detonación de explosivos, tales como, bióxido de carbono, nitrógeno, vapor de agua.

J. Accesorios de Voladura.

Para que un explosivo pueda detonar es necesario iniciarlo, lo que se efectúa normalmente mediante los denominados “accesorios de voladura”, que comprenden a los fulminantes o detonadores, mecha de seguridad y mecha rápida, conectadores,

retardadores, cordones detonantes, cables, explosores e instrumentos de control como ohmímetros y otros.

1. Tipo de accesorios de iniciación:

- Mecha lenta: Está constituida por un núcleo de pólvora negra rodeado de varias capas de hilados y materiales impermeabilizantes que la hacen resistente a la humedad, abrasión y esfuerzos mecánicos a los que pueden estar sometidos. (Quispe, 2016)
- Cordón detonante: Su núcleo de pentrita va rodeado de varias hilos y fibras textiles, y de un recubrimiento exterior de cloruro de polivinilo (PVC). Pueden ser de 1,2 y hasta 3 hebras. (Quispe, 2016)
- Tubo de choque: Tubo de plástico de pequeño diámetro que en su capa más interna (de un total de 3) posee una cobertura de HMX. (Quispe, 2016)

2. Tipo de Detonadores.

- Detonador a fuego: fuente de ignición (mecha lenta).
- Detonadores eléctricos. Fuente ignición (eléctrica) y material de retardo (pirotécnico).
- Detonadores electrónicos: Fuente ignición (eléctrica) y material de retardo (chip electrónico).

2.2.3. Vibraciones por Voladura.

Se entiende por vibraciones los fenómenos de transmisión de energía mediante la propagación de un movimiento ondulatorio a través de un medio. El fenómeno de vibraciones queda caracterizado por una fuente o emisor, esto es, un generador de

vibraciones, y por un objeto o receptor de las mismas. El fenómeno de las vibraciones se manifiesta mediante un movimiento ondulatorio. (Pérez, 2019) (Ayamamani, 2016)

La detonación de una carga de explosivo, en el interior de un barreno, genera instantáneamente un extraordinario volumen de gases, provocando un elevado gradiente de presión y temperatura. La presión que ejercen los gases sobre las paredes del sondeo origina una onda de presión o de choque que se trasmite a través del macizo rocoso, y también de las atmósferas. En ambos casos se generan perturbaciones de carácter ondulatorio y transitorio que se extinguen en un breve periodo de tiempo. (Pérez, 2019)

La magnitud e intensidad de las vibraciones dependen de una serie de factores que se pueden dividir en dos grupos: parámetros controlables y parámetro incontrolable. Los parámetros controlables están relacionados con las características de los explosivos e iniciadores utilizados en la voladura. Por otro lado, los parámetros que no se pueden controlar están relacionados con las características geológicas y estructurales del macizo rocoso. (Pérez, 2019)

2.2.4. Mecanismo de Fragmentación de la Roca.

La fragmentación de la roca se debe a estos dos fenómenos: reflexión de las ondas de compresión y expansión de los gases.

Cuando una onda de compresión llega desde un medio de mayor impedancia característica a otra menor impedancia, parte de ella trasmite a éste como onda de

compresión, pero otra parte se refleja hacia atrás como onda de tracción. (Bernaola , Castilla, & Herrera, 2013)

La fragmentación de rocas por voladura comprende a la acción de un explosivo a la consecuente respuesta de la masa de roca circundante, involucrando factores de tiempo, energía termodinámica, ondas de presión, mecánica de rocas y otros, en un rápido y complejo mecanismo de interacción.

Existen varias teorías acerca de la fragmentación de la roca pero según Exsa, (2019) se resumen en las siguientes etapas.

- a. Detonación del explosivo y generación de la onda de choque.
- b. Transferencia de la onda de choque a la masa de la roca iniciando su agrietamiento.
- c. Generación y expansión de gases a alta presión y temperatura que provoca el fracturamiento y movimiento de la roca.
- d. Desplazamiento de la masa de roca triturada para formar la pila de escombros o detritos.

2.2.5. Costos de Perforación y Voladura

Los costos en la perforación y voladura son valores de recursos reales o financieros utilizados para la producción en un determinado tiempo, para el análisis de costos se dividen en costos fijos y costos variables. (Mamani, 2016)

La perforación es realizar una cantidad de taladros y localizados estratégicamente para que contenga una cantidad de explosivo; la actividad de perforación es la más costosa pues se involucran varios factores los cuales involucran costos variables tomando en cuenta las variables aleatorias como es el macizo rocoso, si la perforación no se hace adecuadamente no importa que si el explosivo es de alta potencia la voladura final resultara deficiente.

La maquinaria para la actividad de la perforación es uno de los bienes de capital más costoso; por ello quien posee ésta debe tener en cuenta que el capital que ha investido en su adquisición, debe de ser un dinero susceptible de ser recuperado con una utilidad razonable. (Mamani, 2016)

2.2.5.1. Costos fijos.

Los costos fijos permanecen constantes frente a cualquier volumen de producción. (Chiliquinga & Vallejos, 2017)

Los costos fijos son los gastos que se consideran independientes de la producción. Los costos fijos pueden variar con el nivel de producción proyectado, pero no directamente con la producción obtenía. (Quispe, 2018)

a. Valor de adquisición (Va)

Es el precio actual en el mercado y se obtiene solicitando cotizaciones a los proveedores sobre la venta de maquinaria. Este costo depende si el equipo es de fabricación nacional ensamblado o extranjera, y se debe tener en cuenta todo el gasto

incurrido en la adquisición de la maquinaria tales como: fletes, seguros, embalajes, impuestos, aduana, etc. (Mamani, 2016)

b. Vida Económica útil (VEU)

La vida económica útil de una máquina para minería y construcción pueden definirse como el periodo durante el cual dicha máquina trabaja con un rendimiento económicamente justificable. Generalmente, los manuales de los fabricantes y libros técnicos estiman la vida útil en horas totales. (Mamani, 2016)

c. Depreciación (D)

La máquina al trabajar se desgasta y por consiguiente se devalúa, tanto así que aun no trabajando la maquinaria se devalúa; para cubrir esta devaluación progresiva, está la depreciación (anual, mensual, diaria y horaria), que deberá ser obtenida del mismo resultado económico que esa maquinaria consigue con su trabajo, cuya acumulación hasta el final de la vida útil de la misma deberá proporcionar fondos para adquirir otra, llegando ese día final. La depreciación se refleja en los balances de las empresas como se puede apreciar en los activos fijos de un balance. . (Mamani, 2016)

2.2.5.2. Costos variables

Los costos variables tienen un comportamiento directamente proporcional al volumen de producción. A mayor cantidad mayor costo, a menor cantidad menos costo.

Los costos variables o directos son los costos primarios de la operación y consisten, en las aportaciones del personal y de materiales. (Quispe, 2018)

- Personal
 - De operación.
 - De supervisión de la operación.
 - De mantenimiento
 - De supervisión de mantenimiento.
- Materiales.
 - Repuestos y materiales de reparación.
 - Materiales para el tratamiento.
 - Materias primas.
 - Consumibles: combustible, electricidad, agua, etc.

a. Combustible.

Este es un consumible muy importante debido a su alto valor; la cantidad y precio de los combustibles consumidos varían con la potencia, ubicación, clase de trabajo y tipo de maquinaria a utilizarse, el consumo de combustible también dependerá de la habilidad del operador, por lo que resulta importante capacitarlos periódicamente cada vez que se adquieran nuevos equipos. (Mamani, 2016)

b. Explosivos y accesorios.

Los explosivos utilizados de alguna forma no son ajenos a la variación de sus costos pues estos van sujetos a la variable aleatoria como es el macizo rocoso entonces depende de este la cantidad de explosivo o el costo de explosivos a utilizarse, el cálculo que se hace solo es referencial pues siempre en voladura ocurre algunos contratiempos. . (Mamani, 2016)

c. Aceros de perforación.

El costo de los aceros de perforación es sin duda el costo que más varían en estas operaciones pues esta depende de varios factores, desde la habilidad del operador hasta las condiciones geomecánica del terreno y la disponibilidad y eficacia del equipo en conjunto. (Mamani, 2016)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Minera Yanacocha.

3.1.1. Ubicación Geográfica

La mina Yanacocha se encuentra ubicada al norte del Perú, en el departamento de Cajamarca, provincia de Cajamarca, distrito de la Encañada a lo largo de la división Andina Continental, en un rango de elevación que varía entre 3600 y 4000 m.s.n.m; y a una distancia de 25 Km. de la ciudad de Cajamarca.

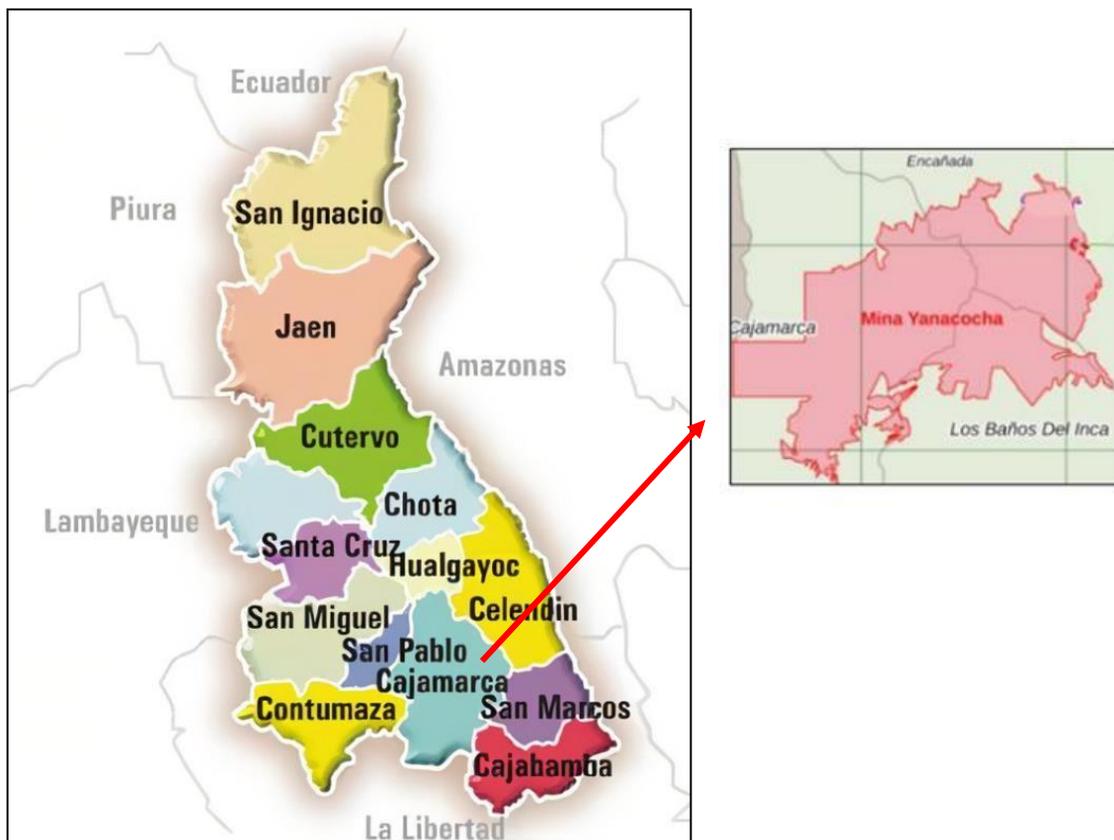


Figura N° 4 Mapa de ubicación de Minera Yanacocha. (Vásquez, 2021)

3.1.2. Accesibilidad

Para acceder a la Unidad Minera Yanacocha, se cuenta con 2 rutas.

Tabla N° 1: Acceso a la Unidad Minera Yanacocha.

Tramo	Distancia	Tiempo	Tipo de Carretera
Lima- Cajamarca	566 Km	1 hora	Aérea
Lima- Cajamarca	566 Km	14 horas	Terrestre (asfaltado)
Cajamarca- Huandoy	37 Km	1 hora y 15 min	Terrestre (asfaltado)
Huandoy - Mina	5Km	10 min	Terrestre (afirmado)

Fuente: Elaboración Propia

3.1.3. Historia de la Mina.

Minera Yanacocha S.R.L. es una empresa minera ubicada en la Provincia del Departamento de Cajamarca, la cual ha sido explorada desde la década del 60. En 1981 se descubrió depósitos aprovechables, por lo cual la Compañía de Minas Buenaventura, Newmont Mining Corporation, y la Corporación Financiera Internacional se asociaron y formaron la empresa Minera Yanacocha S.R.L. para iniciar la explotación de este yacimiento la cual inicio su operación en agosto de 1993 con la ejecución del Proyecto Carachugo; posteriormente entraron en operaciones los Proyectos Maqui Maqui (1994), Cerro Yanacocha (1997), La Quinoa (2001) y Cerro Negro (2003). (MWH Perú S.A., 2006)

3.1.4. Clima y Fisiografía

El clima del distrito de Yanacocha es frígido llegando a temperaturas menores a 3 °C, dando lugar a continuas heladas en la temporada de lluvia. En la temporada seca se tiene intenso sol, fuertes vientos y temperaturas mayores a 20°C.

La fisiografía de la zona tiene una superficie de erosión, estarían conformados por todas las cumbres, los cuales se encuentran entre los 3800 y 4150 m.s.n.m La más alta corresponden a la “Superficie Puna”. Las Pampa Larga a 4000 m.s.n.m y Pampa Negra a 3600 m.s.n.m. corresponden a dos niveles de la superficie Puna (Mioceno). También cuenta con una superficie de erosión glacial, destacando algunas geoformas semicirculares de circos glaciares erosionados. Algunas zonas modeladas por la glaciación son el Cerro Yanacocha y Plateros, Cerro Chaquicocha, la quebrada Encajon y las morrenas de la Quinua. Las quebradas que bordean las superficies de erosión del área de Yanacocha, forman un drenaje juvenil con cañones abruptos y tributarios principales. (Merino, 2015)

3.1.5. Flora y Fauna

La vegetación nativa en el área de estudio está dominada por la vegetación alpina tropical, incluidos prados, zonas boscosas, arbustos y tierras pantanosas. La zona ecológica a lo largo de la línea divisoria andina entre la zona más seca de Paramo al norte y más húmeda de Puno al sur, se llama Jalca. Sobre los 3 300m, la vegetación de jalca es principalmente de prados, y el pasto predominante es el ichu. La fauna nativa incluye sapos, lagartijas, aves, mamíferos pequeños y venados.

Esta región ha sustentado residentes dedicados al pastoreo durante más de 3 000 años. La zona de la Jalca se usa principalmente para pacer ganado vacuno y ovejas. Las menores alturas de la Jalca se usan a menudo para cultivar cosechas nativas e introducidas. Los cultivos andinos nativos incluyen tubérculos, representados por distintos tipos de papas, frejoles y cereales.

3.1.6. Contexto Geológico.

1. Geología Regional.

La mineralización de oro en el distrito de Yanacocha forma parte del cinturón de depósitos polimetálicos que están ubicados a lo largo de la cordillera de los Andes, y el cual está asociado al volcanismo Cenozoico y las rocas intrusivas. (Turner, 1997).

Los Andes Peruanos son el resultado de la subducción de la litósfera oceánica (placa de Nazca) debajo de la litósfera continental (placa Sudamericana). La primera actividad magmática ocurre en el Terciario Inferior y es representado por un volcanismo efusivo de tipo lávico andesítico, correspondiente al volcánico Llama (Benavides, 1956 y Noble, 1990). Contemporáneamente se inicia la primera pulsación intrusiva en la región, correspondiente a intrusivos dioríticos (stocks Michiquillay y Picota) datadas del Eoceno medio (BRGM, 1995).

La segunda manifestación magmática ocurre durante el Mioceno inferior (fase Quechua I) y corresponde al emplazamiento de numerosos stocks, entre ellos los pórfidos de: Chailhuagón, Perol, Mishacocha, Corona, Jesús y Yanacocha, todos ellos datados (K/Ar) entre 11 y 20 Ma (Borredón, Nobre, Turner y BRGM). La composición

evoluciona desde una micro diorita con hornablenda hasta micro granodioritas y pórfidos cuarzo feldespático. Paralelamente a esta fase intrusiva se desarrolló la depresión volcánico tectónica de Yanacocha (20 x 20 km), compuesta de derrames lávicos y flujos piroclásticos de composición dacítica-andesítica y asociado a domo porfiríticos andesíticos, cuyas edades varían desde el Mioceno inferior a medio entre 10 y 19 Ma (Longo, 2002; Turner, 1997). Este volcanismo es el principal albergante de la mineralización epitermal de Au-Ag y está asociado a stocks porfiríticos del tipo pórfidos, diatremas y brechas pipes.

Posterior a la gran actividad volcánico-plutónica Miocénica se produce el levantamiento Andino y erosión, seguidamente se deposita el volcanismo de la Formación Huambos (Noble et 1989), constituido por coladas piroclásticas de composición andesítica-dacítica que recubren valles y depresiones del distrito de Yanacocha. Finalmente, en el Pleistoceno ocurre una fuerte etapa de glaciación que erosiona el depósito de Yanacocha dando lugar a la depositación de morrenas y gravas del depósito La Quinua.

2. Geología Local.

d. Alteración Hidrotermal.

Las alteraciones hidrotermales son típicas de un ambiente epitermal de alta sulfuración marcada por un zoneamiento lateral y vertical entre sus alteraciones, se pueden diferenciar hasta 04 grupos bien marcados desde zonas totalmente silicificadas gradando a zonas argílicas avanzadas y argílicas hasta zonas periféricas propilíticas y

rocas frescas. Las alteraciones no se restringen a un tipo de litología preferencial si no se pueden desarrollar en cualquiera de ellas. (Minera Yanacocha, 2021)



Figura N° 5: Zona silíceica de textura granular, asociada a estructura de brecha hidrotermal. (Minera Yanacocha, 2021)



Figura N° 6: Intercalaciones de alteraciones de Sílice granular y Argílico avanzado. (Minera Yanacocha, 2021)



Figura N° 7: Canal de brecha hidrotermal con alteración sílice granular en las paredes, alteración argílica avanzado (alunita). (Minera Yanacocha, 2021)



Figura N° 8: Alteración sílice granular en brecha freática (presencia de líticos). (Minera Yanacocha, 2021)



Figura N° 9: Contacto gradacional de sílice granular a Argílico avanzado (alunita).
(Minera Yanacocha, 2021)



Figura N° 10: Sílice granular en brecha freática. (Minera Yanacocha, 2021)

- Alteración Silíceas.: Es la más abundante en el proyecto se presenta generalmente asociada a los cuerpos de brecha y rocas volcánicas, apareciendo de manera más restringida en la unidad intrusiva. Se caracteriza por el ensamble

de cuarzo en contenidos mayores a 80% con presencia de óxidos y/o sulfuros y presencia de alunita principalmente, en cantidades menores. (Minera Yanacocha, 2021)

- Sílice Masiva: Es la principal y más abundante alteración silíceas, se caracteriza por presentar textura masiva con contenidos mayores a 80%, presenta diferentes tonalidades de cuarzo que varían de un color gris predominante hasta cuarzos cremosos y blanquecinos, Se manifiesta en superficie en la parte oeste de manera restringida en cuerpos de BxP, presentando su mayor desarrollo en zonas que no afloran, su límite no se ha determinado llegando hasta el nivel 3550 msnm que equivale a 460.00m por debajo de la superficie, donde la alteración continúa. Presenta mineralización de Au en diferentes niveles.
- Sílice Oquerosa: Es la alteración de menor desarrollo en el proyecto, se caracteriza por presentar textura oquerosa y ocurre de manera restringida en la parte sur del proyecto en los niveles superiores, está relacionado a la unidad volcánica Ult.
- Sílice Granular: Se manifiesta en la parte central del proyecto con textura de sílice granular, es deleznable y sacaroide en varias zonas. Ocurre a manera de nivel sub horizontal con una potencia máxima de 170.00m y se ubica en el contacto el cuerpo de brecha y la unidad intrusiva, este nivel podría representar el litholcap del sistema epidermal. Presenta débil anomalía de Au.
- Alteración Argilica Avanzada: Está definido por el ensamble de los minerales de Qz-Al-Kaol-Smec-Pyroph-Ser-III en diferentes proporciones, estas alteraciones se ubican en la parte norte del proyecto principalmente asociada a la unidad

intrusiva. La discriminación entre alunita y arcillas visualmente es difícil por la ocurrencia de la textura fina de ambos grupos de minerales. Presenta contenidos de óxidos y sulfuros variables.

- Sílice Alunita: Es definida por el ensamble de Qz-Al +/-Clays, la alunita se encuentra reemplazando a los feldspatos primarios de la unidad intrusiva de manera selectiva. Presenta diferentes grados de intensidad referidos al contenido de alunita principalmente, el cual se encuentra asociado principalmente con contenidos de pirofilita, caolín y pirofilita. Generalmente está asociada con contenidos de óxidos, pero en los niveles profundos es asociado con sulfuros de manera restringida.
- Sílice Clay: Es definida por el ensamble de Qz-Clays +/-Al, ocurre como gradación lateral y vertical de la alteración sílice alunita, las principales arcillas definidas son el caolín, sericita, illita y esmectita con presencia de cuarzo y alunita. El caolín es el mineral más característico de esta alteración. La presencia de sulfuros (pirita) presenta mayor contenido con esta alteración, quedando zonas restringidas de óxidos. Normalmente presenta débil a moderada ocurrencia de Au.
- Alteración Argilica: Presenta el ensamble de Smec-Kaol +/-al+/-Qz, las arcillas dominan esta alteración. La esmectita es el mineral más característico de este ensamble, ocurre en la zona norte principalmente bordeando a las alteraciones sílice alunita y Sílice Clay. Asociado con sulfuros (pirita). Presenta débil a moderada anomalía de Au.

- Alteración Propilítica y Roca Frescas: Ocurre de manera restringida, como zonas aisladas en el proyecto, debido a zonas con débil alteración hidrotermal asociada a la unidad intrusiva o a cuerpos tardíos que se desarrollan posteriores al sistema hidrotermal principal. No presenta mineralización de Au. (Minera Yanacocha, 2021)

e. Estructuras.

Las estructuras reconocidas en el proyecto incluyen tendencias y Trends de orientación NE y NW como principales estructuras, asimismo se han identificado estructuras de tendencias EW y NS como secundarias. Estas estructuras se encuentran controlando tanto la litología, alteración hidrotermal y la mineralización económica de Au. Las estructuras incluyen zonas de falla, zonas de contacto, zonas de relleno, venillas entre las principales estructuras. Las interpretaciones realizadas incluyen observaciones detalladas a diferentes escalas de manera regional, distrital hasta local o de proyecto, la data proviene principalmente del mapeo superficial y del logueo de los testigos de perforación. A lo largo del tiempo estas estructuras han sufrido reactivaciones dificultando muchas veces las relaciones entre ellas. (Minera Yanacocha, 2021)

➤ Trend NW.

Son las estructuras más antiguas del área, se manifiestan como compresionales y extensionales con un rumbo entre 290°-320° y una inclinación sub vertical, siendo su comportamiento normal. Estas estructuras se encuentran controlando principalmente a las rocas intrusivas a lo largo de la parte norte del proyecto y en la parte sur el contacto de las rocas volcánicas con los cuerpos de brechas. Se han identificado 06 estructuras

principales que obedecen a estructuras distritales en Yanacocha y principalmente en esta área se encuentran limitando la mineralización de Au a lo largo del Trend NE. Las estructuras principales de este Trend son las siguientes:

- Estructura Alta Rica: Esta estructura se ubica en la parte sur del proyecto, la cual está dividiendo la mineralización de Quecher Chaquicocha-Carachugo. Se encuentra controlando la mineralización NW de Au en un Trend que proviene desde la parte sur en Chaquicocha hasta la parte norte en Carachugo. Es una estructura regional no se ha identificado en sondajes.
- Estructura Karla: Ubicada en la parte norte, esta se encuentra limitando la ocurrencia del cuerpo de brecha freática, asimismo la ocurrencia de alteración silíceas en superficie como en profundidad. Está limitando la mineralización de Au en su parte norte.
- Estructura Kesha: Ubicada en la parte central del proyecto, se encuentra dividiendo al cuerpo de Au en dos zonas con un plunge de 36° , donde los cuerpos que aparecen son paralelos entre sí.
- Estructura Millet: Se ubica en la zona norte, su control principal es el de limitar el cuerpo de Au de alta ley en la parte norte, a partir de estructura la ocurrencia de los cuerpos intrusivos es más continua.
- Estructura Vanesa: Ubicada en la parte centro-norte del proyecto junto con la estructura Kesha, esta estructura hace dividir el cuerpo de Au hacia un nivel más alto con respecto a los cuerpos del sur, principalmente relacionado a cuerpos intrusivos con mineralización Argílica avanzada y Argílica.

- Estructura Vianca: Es la estructura que se ubica en la parte más norte del proyecto, se encuentra controlando cuerpos intrusivos sin mineralización económica de Au. (Minera Yanacocha, 2021)

➤ Trend NE.

Presentan un comportamiento netamente extensional, con un rumbo entre 35°-60° y una inclinación sub vertical, las cuales se manifiestan como fracturas abiertas y tienen un comportamiento normal. Estas estructuras se enmarcan generalmente entre estructuras paralelas de orientación NW. Se ha evidenciado 08 estructuras a lo largo de este Trend como las principales que controlan la dirección de la mineralización de Au.

Entre las principales estructuras tenemos a las siguientes:

- Estructura Almudena: Se ubica en la parte este del proyecto, se manifiesta con algunos lineamientos de brechas hidrotermales de manera muy restringida similar a la estructura Cristina, en profundidad en los sondajes también se encuentran zonas con brechas hidrotermales con mineralización económica de Au de manera restringida y poco continua.
- Estructura Belén: Se ubica en la parte más al oeste del proyecto, limita el contacto entre el cuerpo de brecha freática y las unidades intrusivas. Limita la mineralización de Au hacia el oeste. En los sondajes se identifica por controlar cuerpos de brecha hidrotermal sin mineralización de Au.
- Estructura Cristina: Se ubica en la parte más al este del proyecto, se manifiesta con algunos lineamientos de brechas hidrotermales de manera muy restringida, en profundidad en los sondajes también se encuentran zonas con brechas

hidrotermales con mineralización económica de Au, asociadas con alteración SM.

- Estructura Elsa: Se ubica en la parte central del proyecto, en el contacto del cuerpo de brecha freática y la unidad intrusiva en superficie. Es la estructura principal con el control de mineralización de Au de alta ley, en profundidad controla la continuidad de cuerpos de brecha hidrotermal. Ha sido intercepta en varios sondajes.
- Estructura Kasandra: Al igual que la estructura Belén se ubica en la zona oeste del proyecto, limita el contacto entre el cuerpo de brecha freática y la unidad intrusiva en dicho contacto se evidencian cuerpos de brecha hidrotermal tanto en superficie como en profundidad, ha sido bien reconocida en los sondajes.
- Estructura Olenka: Se ubica al este de la estructura Elsa, también se encuentra controlando el cuerpo de Au de alta ley, en superficie se evidencia por estar alineado las alteraciones SG, SA y SC en dicha área.
- Estructura Quecher: Se ubica en la parte central del proyecto, prácticamente en la parte sur se emplazan en dicha dirección los cuerpos de Brecha, mientras en la parte norte la unidad intrusiva. En alteración en la zona norte controla la alteración Argílica.
- Estructura Scarlet: Esta estructura limita al este el cuerpo de oro de alta ley. En litología se evidencia por controlar el contacto este del cuerpo de brecha freática y la unidad intrusiva, en alteración hidrotermal limita al este el contacto entre las alteraciones sílice granular y la alteración sílice Clay. (Minera Yanacocha, 2021)

f. Características de las zonas de falla.

Las zonas identificadas como fallas se manifiestan tanto en superficie como en sondajes. Las características que presentan es que su potencia es en promedio de 1.20m llegando hasta 5.40m como máximo, generalmente se presentan con material de gouge, el competente principal determinado es caolinita. También se puede observar en zonas de contacto de litología y contacto de alteraciones hidrotermales alineado a las estructuras. Existe gran parte del proyecto que se encuentra cubierto con material cuaternario por lo que su identificación en caso es dificultosa. El contenido de Au en estas zonas es variable, presentándose los valores más altos de Au en las zonas más profundas. En algunas ocasiones en las perforaciones se han interceptado zonas donde la recuperación es nula o muy baja, también en cambios de alteración de zonas de Sílice masiva compacta a zonas totalmente trituradas con fragmentos silíceos principalmente.

El alineamiento de las estructuras en los taladros marca una tendencia NE principalmente paralelas entre sí, concentrándose en la parte central la mayor cantidad de datos, mientras en las partes laterales se presenta de manera más restringida. La estructura Elsa, Quecher, Olenka son las más interceptadas en los sondajes, así como la estructura Belén en el oeste. Algunas estructuras se manifiestan por rellenos de brechas hidrotermales y por la aparición de diques o cuerpos intrusivos tardíos con alteración Argílica principalmente. (Ruiz, Ojalora, & Rodríguez, s.f.)

3.1.7. Operaciones Unitarias en el Tajo Quecher Main.

El proceso se da inicio con la perforación, voladura, carguío y finaliza con el acarreo.

3.1.7.1. Perforación.

Se basa en principios mecánicos de percusión de percusión y rotación, cuyos efectos de golpe y fricción producen el astillamiento y trituración de la roca en un área equivalentemente al diámetro de la broca y hasta una profundidad dada por la longitud del barreno utilizado. La eficiencia en perforación consiste en lograr la máxima penetración al menor costo. (Exsa, 2019)

La calidad de los taladros al ser perforados está determinada por cuatro condiciones: diámetro, longitud, rectitud y estabilidad.

En Minera Yanacocha -Tajo Quecher Main se utiliza la perforadora Roc L8-30, la cual es una perforadora roto-percutiva, que realiza actividades de perforación de bancos para tronadura y perforación de bolones y pisos en procesos de extracción y las perforadoras Pit Viper 271 y DML NEW las cuales perforan pisos y bancos utilizando el método de perforación rotativa con triconos, lo que implica perforar taladros de producción, procedimiento y pre cortes.



Figura N° 11: Perforadora Roc L8-30. (Minera Yanacocha, 2020)



Figura N° 12: Perforadoras Pit Viper 271. (Minera Yanacocha, 2020)

3.1.7.2. Voladura.

Se entiende por voladura la disposición de un grupo de barrenos, en los que se ha colocado una cierta carga de explosivo y se inicia con una secuencia tal que se consiguen los resultados de fragmentación y desplazamiento deseados, sin afectar a elementos ajenos a la misma. (Bernaola , Castilla, & Herrera, 2013).

El tipo de explosivo básicamente lo determina las propiedades de las rocas que se desean fragmentar y el tipo de explosivos que se encuentran en el mercado. Cuando se trabaja en roca masiva se debe emplear un explosivo de mayor potencia y velocidad de detonación. En rocas intensamente fracturadas o estratificadas se deben emplear de baja velocidad de detonación y de baja densidad. (Minera Yanacocha, 2019).

En minera Yanacocha se utiliza el Quantex control el cual es un explosivo de Emulsión con perlas de poliestireno, con la finalidad de tener un producto de muy baja densidad. Las perlas de poliestireno favorecen generación de puntos calientes y a la disminución de la densidad del producto el cual puede llegar a ser hasta 0.8 gr/cc; adicionalmente se le agregara nitrito de sodio para llevar a la mezcla explosiva (mediante el esponjamiento del producto) a una densidad que fluctuó en el rango de 0.6 a 0.75 gr/cc (dependiendo de la densidad requerida). (Minera Yanacocha, 2019)

3.1.7.3. Carguío

Esta operación unitaria se realiza utilizando palas hidráulicas que tienen la capacidad de cargar un camión 793 en 6 pases, las excavadoras que tienen la principal

función de perfilar y cargar frentes duros y cargadores frontales. Estos equipos tienen capacidad para cargar camiones de 238 ton.

Los equipos son:

Tabla N° 2: Equipos de Carguío para el Tajo Quecher Main

EQUIPO	CÓDIGO	MARCA	CAPACIDAD M3
Pala Hidráulica	SH005	Hitachi EX5500	50 t
Pala Hidráulica	SH007	Hitachi EX5500	50 t
Excavadora	SH006	Hitachi EX2500	28t
Excavadora	SH008	Hitachi EX2500	28t
Excavadora	SH009	Hitachi EX2500	28t
Excavadora	SH010	Hitachi EX2500	28t
Cargador Frontal	LD017	CAT 994D	30t
Cargador Frontal	LD018	CAT 994F	30t

3.1.7.4. Acarreo.

Esta operación unitaria se realiza utilizando camiones gigantes que tienen una capacidad de 238tn, los cuales transportar el mineral del tajo al pad de lixiviación o al Hopper, y el desmote a los botaderos. Tenemos 32 camiones CAT 793C y CAT 793D en operación.

3.1.7.5. Actividades Auxiliares.

La flota de equipo auxiliares de Minera Yanacocha para el Tajo Quecher Main, son de la marca Caterpillar. Estos equipos son los encargados de las condiciones subestándar.

Los equipos son:

Tabla N° 3: Equipos Auxiliares para el Tajo Quecher Main

Equipo	Marca	Código
Rodillos	CAT CS533E	RD001
Rodillos	CAT CS533E	RD003
Motoniveladora	CAT 24H	GR020
Motoniveladora	CAT 24H	GR021
Motoniveladora	CAT 24H	GR022
Motoniveladora	CAT 24H	GR023
Motoniveladora	CAT 24H	GR024
Cisterna de agua	CAT 777 WT	WT040
Cisterna de agua	CAT 785 WT	WT047
Cisterna de agua	CAT 785 WT	WT051
Camabaja	CAT 793B	CB111
Tractor de ruedas	CAT 844	RT031
Tractor de Oruga	CAT D10	DZ031
Tractor de Oruga	CAT D11	DZ017
Tractor de Oruga	CAT D11	DZ018

3.2 Metodología de la Investigación.

3.2.1. Tipo la Investigación

Es de tipo Descriptivo – Correlacional transversal, descriptiva porque se detallará las condiciones del estudio y transversal porque se ha tomado un tiempo para la realización del estudio. (Hernández, Fernandez, & Baptista, 2010)

3.2.2. Nivel de Investigación

El nivel de investigación es Correlacional-Causal; porque se describe la relación entre dos o más variables en un momento determinado. (Hernández, Fernandez, & Baptista, 2010)

3.2.3. Diseño de Investigación

El diseño de investigación es no experimental ya que se basa en la observación de los fenómenos para después analizarlos. (Hernández, Fernandez, & Baptista, 2010)

3.2.4. Método de Investigación

El método por utilizar es el Método Cuantitativo porque usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico. (Hernández, Fernandez, & Baptista, 2010)

3.2.5. Población de estudio.

Empresas Mineras Yanacocha S.R.L., mina a tajo abierto.

3.2.6. Muestra

En el tajo Quecher Main, en el banco 4010 de producción.

3.2.7. Unidad de análisis.

Proceso de Optimización en Perforación y Voladura.

3.2.8. Variables

- a. Variables Independientes
 - Factor geológico que influye en la Perforación y Voladura
 - Diseño de malla de perforación y voladura en el Tajo Quecher Main.
- b. Variables dependientes
 - Costo total de perforación y Voladura en el Tajo Quecher Main.

3.2.9. Técnicas e Instrumentos Recolectados de Datos.

Para nuestro análisis económico técnico, se tomará en cuenta todos los datos de Perforación y Voladura en el tajo Quecher Main nivel 4010.

a. Instrumentos de Recolección de datos.

- Reporte operacional semanal.
 - Cantidad de explosivo utilizado y número de taladros.
 - Explosivo utilizado.
 - Número de horas operadas de los equipos.
 - Diseño de perforación.

b. Técnicas para el procesamiento de la información.

- Basado en la técnica y controles que utiliza la empresa EXSA.
- Información del Sistema MineOps.

c. Instrumentos de Recolección de datos

- Cuadros estadísticos.

3.3 Procedimientos.

Esta primera etapa consiste en la planificación de los trabajos a realizar en la investigación; revisión de bibliografía y recopilación de la información.

3.3.1. Etapa de campo.

En esta etapa la empresa Exsa, encargada de realizar la voladura en Minera Yanacocha, fue la responsable de la recopilación de información del diseño de voladura y los resultados obtenidos.

No pudimos presencias la perforación y voladura en campo, por el problema de salubridad que atraviesa el mundo actual, por lo cual la recopilación de la información en campo fue enviada a mi persona para su análisis por medio del correo.

3.3.2. Etapa de gabinete.

A partir de la toma de datos que la empresa Exsa realizo en campo se procedió al análisis, depuración y procesamiento de la información.

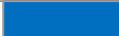
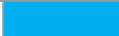
Los resultados obtenidos con el nuevo diseño de malla y de carga se compararon con las condiciones técnicas requerida por el área de Carguío y Acarreo, y por el área de proceso con respecto a las vibraciones. Se comparó el costo de la nueva malla de perforación y voladura con respecto a la malla anterior.

3.4 Presentación de datos.

3.4.1. Datos de Zonificación de Geología

El área de geología es la encargada de analizar el tipo de roca que se encuentra en la zona según el factor de roca del tajo Quecher Main, la investigación de la tesis se llevara a cabo en roca con dureza suave y media (Argilico, Sílice granular, Sílice Alunita y Sílice Clay).

Tabla N° 4: Tipo de densidad según el tipo de roca.

DENSITY 2020					
ORE CONTROL	DOMAINS			QM	
Shape Hard	Alteration Tipe	Code	Color	BP20-FQ1	GM 2020
Very Hard / Hard	Silica Massive (SM)	1		2.08	2.28
Hard	Silica Vuggy (SV)	2		2.08	1.98
Hard	Silica Diaspora (SD)	3			
Hard	Silica Pyrophilitic (SD)	4			
Hard/Medium	Silica Granular 2 (SG2)	5		2.08	1.94
Medium	Silica Granular 3 (SG3)	6		2.03	1.47
Hard/Medium	Silica Alunita (SA)	7		2.03	2.24
Hard/Medium/Soft	Silica Clay (SC)	8		2.03	2.13
Medium/Soft	Propylitic (PRO)	9		2.03	2.29
Soft	Clay 3 (ARG)	10		1.94	1.93
Soft	Fill	11		1.94	1.75

3.4.2. Costos de Voladura

Para el análisis de la investigación tendremos en cuenta el costo de los agentes y accesorios de voladura por taladro establecidos por Exsa, encargados de realizar la voladura en Minera Yanacocha, Teniendo en cuenta que el precio varía.

Tabla N° 5: Costos de Agentes y Accesorios de Voladura.

Precio de Agentes	US\$/kg
Slurrex Q	0.627
Nitrato Quantex	0.548
Precios de Accesorios	
Exanel (\$pza)	2.2
Booster (\$/pza)	3.56
Retardo Superficial (\$/pza)	3.89
MEQ (\$/kg)	0.503
Cable de disparo (\$/m)	1.14
Detonador Electrico Digishot	19.5
Taponex (\$/pza)	0
Cordon Det. (\$/m)	0.25
Separator Blasting	2.68
Explodeck	8.45

3.4.3. Diseño de malla.

- Antecedente de Ampliación de malla.

La semana 6 y 7 se realizaron disparos en la zona sur oeste del tajo Quecher Main con una malla de 7.5m x 8.5m el cual presentó un incremento en el dólar por tonelada sobre el target, aunque no se tuvo problemas con los niveles de piso el factor de potencia se encontraba entre 0.24- 0.27 Kg/Ton. Los parámetros del diseño se muestran a continuación.

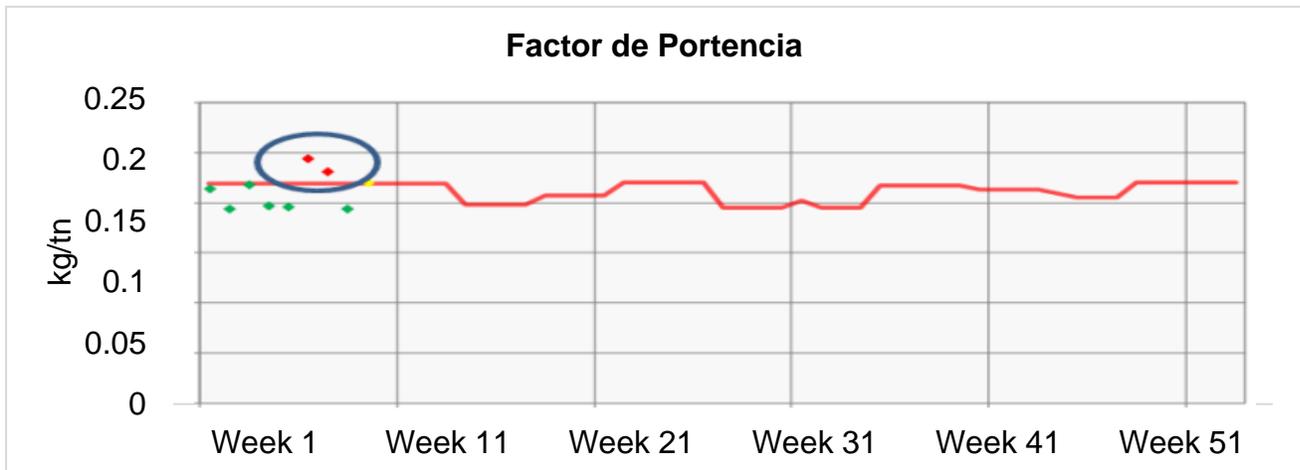
- Factor Potencia.

Cálculo de factor de potencia

$$\text{F.P.} = \text{Cant. de explosivo} / \text{toneladas rotas por taladro}$$

$$\text{F.P.} = 302.26 / 1236.75$$

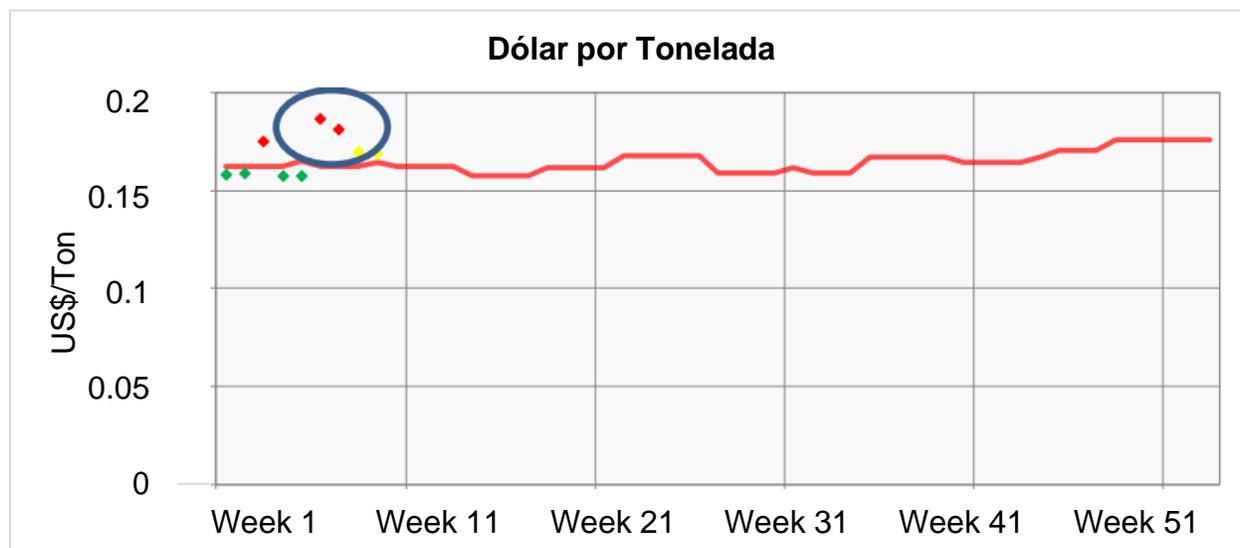
$$\text{F.P.} = 0.245$$



	Week	MTD	Q1	Q2	Q3	Q4	YTD
Actual	0.22	0.20	0.21				0.21
Planificado	0.22	0.22	0.22				0.22
Diferencia	0.00	-0.02	-0.01				-0.01

Figura N° 13: Reporte del factor potencia de la semana 6 y 7

En la figura N° 13 los puntos de color rojo pertenecen al factor de potencia de la 1era y 2da semana de febrero.



	Week	MTD	Q1	Q2	Q3	Q4	YTD
Actual	0.17	0.16	0.17				0.17
Planificado	0.16	0.16	0.16				0.16
Diferencia	0.01	0.00	0.01				0.01

Figura N° 14: Reporte del dólar por Tonelada de la semana 6 y 7

En la figura N° 14 los puntos de color rojo pertenecen al factor de potencia de la 1era y 2da semana de febrero.

- a. Diseño del banco Nv 4010 condición actual en roca granular.

Tabla N° 6: Diseño actual de perforación en el banco 4010

	Diseño	Malla Actual (7.5m x 8.5m)
Parámetros de Perforación	Dureza de Roca	Suave
	Tipo de Roca	Sílice Granular
	Densidad de Roca (ton/m3)	1.94
	Burden (m)	7.5
	Espaciamiento (m)	8.5
	Altura de Banco (m)	10
	Sobreperforación (m)	1
	Prof. De Taladro (m)	11
	Diámetro de Tal. (pulg.)	10 5/8
	Cant. De Taladros Perforados	279

Tabla N° 7: Diseño actual de voladura en el banco 4010

Diseño		Malla Actual (7.5m x 8.5m)
Parámetros de Voladura	Densidad Lineal (kg/m)	77.84
	Cant. De Explosivo (kg)	302.8
	Toneladas / Taladro	1,236.75
	Factor de Carga (Kg/m ³)	0.475
	Factor de Potencia (Kg/ton)	0.245
	Factor de energía (MJ/ton)	0.704
	Toneladas Rota	344,053.25

- b. Diseño del banco Nv 4010 condición actual en roca alunita.

Tabla N° 8: Diseño actual de perforación en el banco 4010

Diseño		Malla Actual (7.5m x 8.5m)
Parámetros de Perforación	Dureza de Roca	Suave
	Tipo de Roca	Sílice Alunita
	Densidad de Roca (ton/m ³)	2.24
	Burden (m)	7.5
	Espaciamiento (m)	8.5
	Altura de Banco (m)	10
	Sobreperforación (m)	1
	Prof. De Taladro (m)	11
	Díámetro de Tal. (pulg.)	10 5/8
	Cant. De Taladros Perforados	79

Tabla N° 9: Diseño actual de voladura en el banco 4010

	Diseño	Malla Actual (7.5m x 8.5m)
Parámetros de Voladura	Densidad Lineal (kg/m)	77.84
	Cant. De Explosivo (kg)	302.8
	Toneladas / Taladro	1,428.00
	Factor de Carga (Kg/m ³)	0.475
	Factor de Potencia (Kg/ton)	0.245
	Factor de energía (MJ/ton)	0.704
	Toneladas Rota	112,145.60

- c. Diseño del banco Nv 4010 condición actual en roca masiva.

Tabla N° 10: Diseño actual de perforación en el banco 4010

	Diseño	Malla Actual (7.5m x 8.5m)
Parámetros de Perforación	Dureza de Roca	Suave
	Tipo de Roca	Sílice Masiva
	Densidad de Roca (ton/m ³)	2.28
	Burden (m)	7.5
	Espaciamiento (m)	8.5
	Altura de Banco (m)	10
	Sobreperforación (m)	1
	Prof. De Taladro (m)	11
	Diámetro de Tal. (pulg.)	10 5/8
	Cant. De Taladros Perforados	16

Tabla N° 11: Diseño actual de voladura en el banco 4010

Diseño		Malla Actual (7.5m x 8.5m)
Parámetros de Voladura	Densidad Lineal (kg/m)	77.84
	Cant. De Explosivo (kg)	302.8
	Toneladas / Taladro	1,453.50
	Factor de Carga (Kg/m ³)	0.475
	Factor de Potencia (Kg/ton)	0.245
	Factor de energía (MJ/ton)	0.704
	Toneladas Rota	23,934.30

- Reporte de Velocidad de Excavación.

Tabla N° 12: Dig Rates

Velocidad de Excavación (Dig Rates) (Ton/Hr) target	5500
Velocidad de Excavación (Dig Rates) (Ton/Hr) por encima del Target	398
Promedio de Velocidad de Excavación (Dig Rates) (Ton/Hr) Real	5,898.00

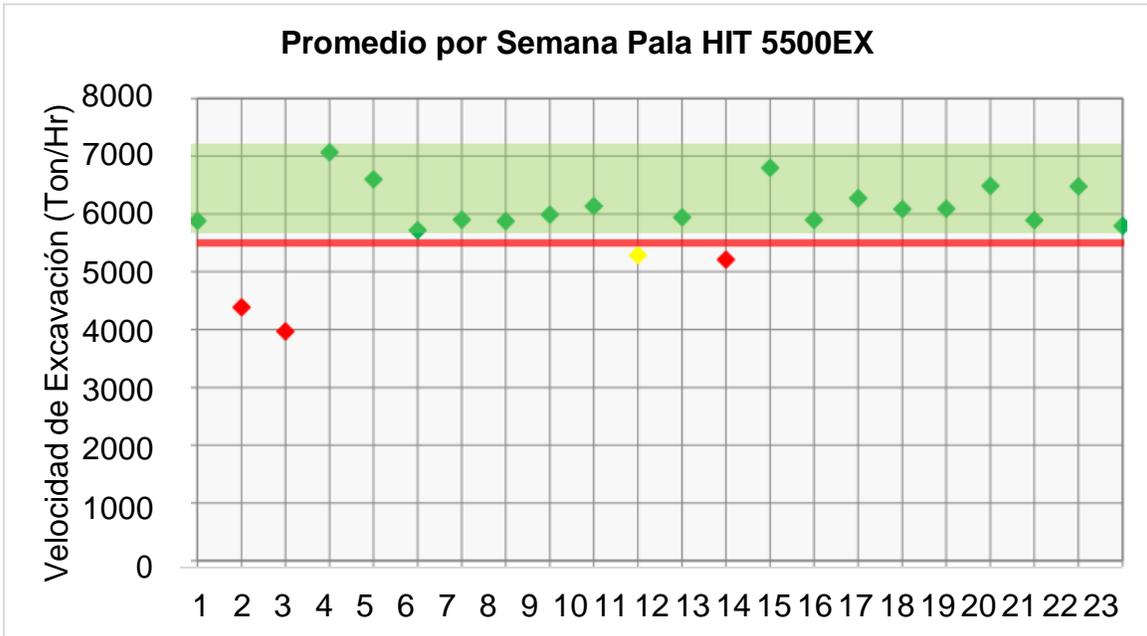


Figura N° 15: Velocidad de Excavación de la Pala Hit 5500 EX.

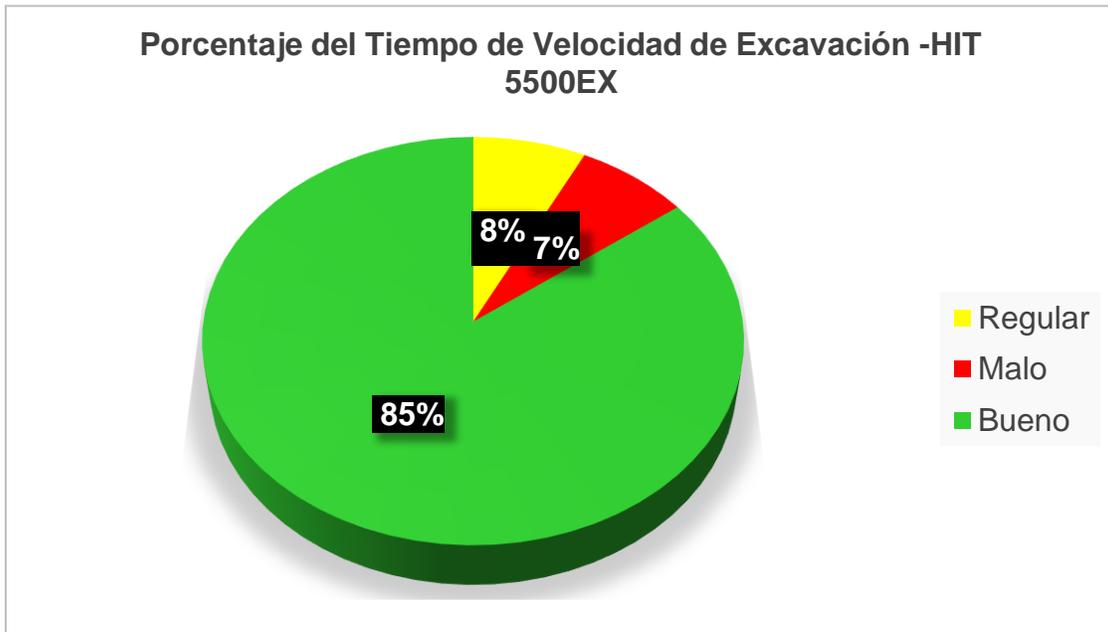


Figura N° 16: Porcentaje del Tiempo de Velocidad de Excavación (Dig Rates) - Hit 5500EX.

➤ Identificación de la zona de estudio

La zona en donde se llevó a cabo la evaluación de la viabilidad de reducción de costo mediante la optimización de la malla en zona de dominio granular, se ubica en el banco 4010 al sur oeste (SW) de tajo Quecher Main.

Al realizar las perforaciones no solo se encontró dominio granular.

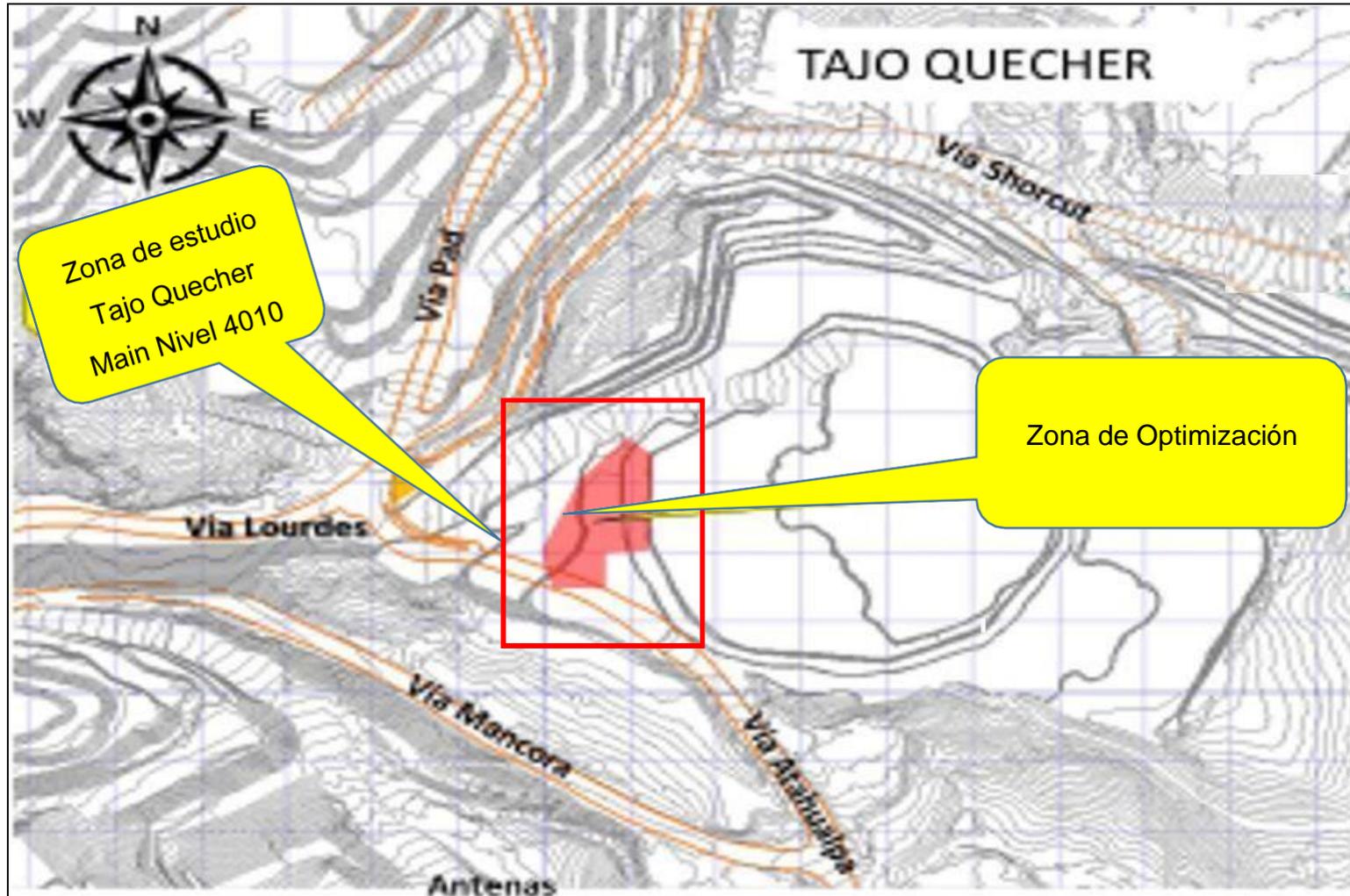


Figura N° 17: Ubicación de la zona de estudio Banco 4010 Quecher Main. (Minera Yanacocha, 2020)

b.1. Banco 4010 – Malla 068_069_070

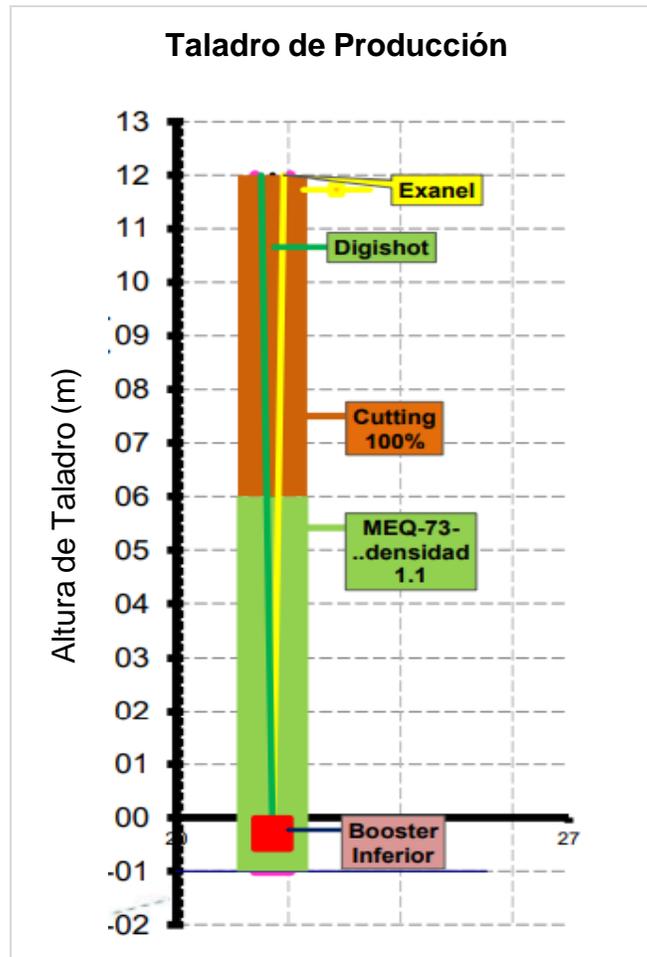


Figura N° 19: Diseño de carga de taladro de producción. (Minera Yanacocha, 2020)

- Diseño Propuesto

Para el diseño propuesto se obtuvo información de Pull Down, el cual es un sistema creado por la empresa Yanacocha para obtener datos más exactos con respecto a la dureza del terreno que se va a volar, el cual tiene los siguientes parámetros.

Tabla N° 13: Parámetros de Pull Down

Diámetro de broca 10 5/8				PSI PV 271 (Max)
Material Duro	73000	Libras	50-90 RPM	3400-2600
Material Medio	55000	Libras	90-100 RPM	2600-1400
Material Suave	30000	Libras	100 - 110RPM	1400-0

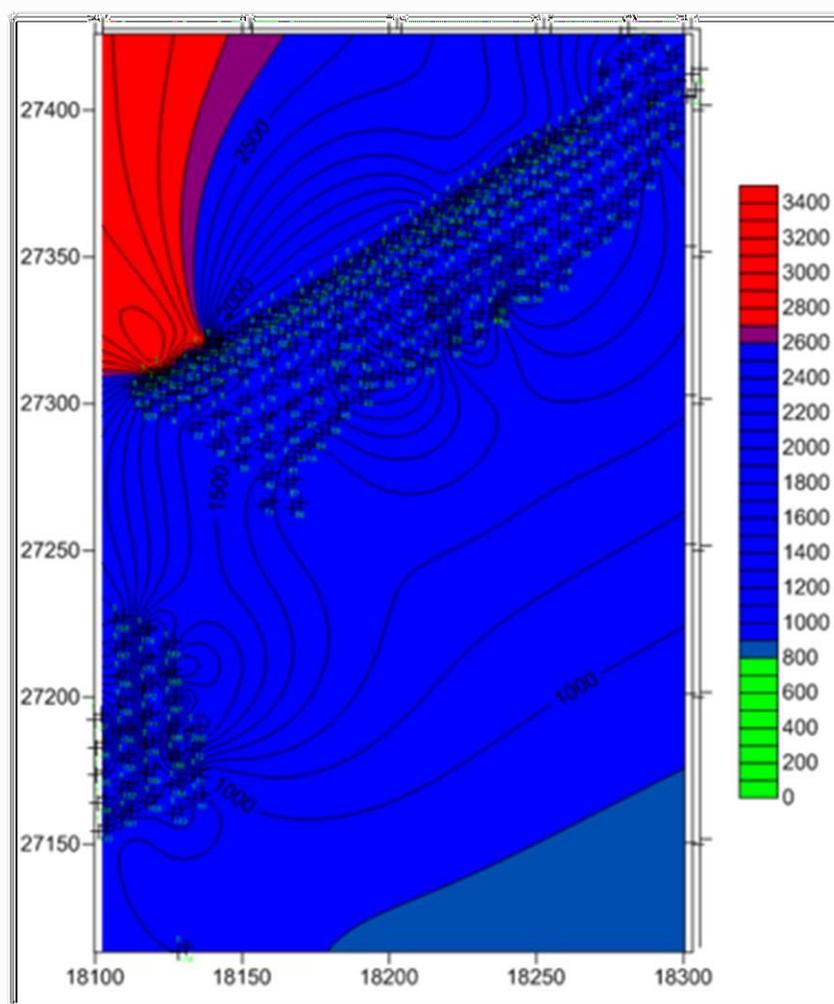


Figura N° 20: Gráfica de análisis de Pull Down. (Minera Yanacocha, 2020)

La información del pull down es recopilada a través del sistema MineOps, luego que los operadores ingresen al sistema las condiciones del terreno al perforar, obtuvimos un material de dureza media de acuerdo con la tabla.

Tabla N° 14: Datos de Pull Down en banco 4010

Promedio de Duración	Promedio de Velocidad de penetración	Altura promedio	Pulldown	Tipo
5.01 min/tal	142.45 mts/hr	12.2	1517.2	Material de dureza media

➤ Calcular del espaciamiento.

$$S = 1.1612578B$$

$$S = 1.16125 * (8.5m)$$

$$S = 9.8m$$

$$S = 9.5m$$

➤ Descripción del Proyecto 068

Tabla N° 15. Descripción de Proyecto 068

Descripción del Proyecto 068	
Burden	8.5m
Espaciamiento	9.5m
Diámetro	10 5/8"
Profundidad del taladro	11m
Densidad de la roca	1.94
Tipo de Voladura	Electrónico
Esponjamiento	2.5m
Iniciación electrónica	17 ms
Tiempo/taladro Producción	169ms
Tiempo/fila del Producción	

➤ Calculado de las toneladas rotas por taladro.

$$\text{Tonelada / Taladro} = (B * E * H) * \rho_{roca}$$

$$\text{Toneladas rotas por taladro} = 8.5\text{m} \times 9.5\text{m} \times 10\text{m} \times 1.94\text{ton/m}^3$$

$$\text{Toneladas rotas por taladro} = 1\ 556.55$$

➤ Cálculo de factor de potencia

$$\text{F.P.} = \text{Cant. de explosivo} / \text{toneladas rotas por taladro}$$

$$\text{F.P.} = 322.26 / 1556.55$$

$$\text{F.P.} = 0.2057$$

➤ Cálculo de factor de carga

F.C. = Cant. de explosivo / m³ rotas por taladro

$$F.C. = 322.26 / (8.5m \times 9.5m \times (10-1))$$

$$F.C. = 0.399$$

➤ **Distribución Energética.**

Para la distribución se utiliza el JK SIMBLAST.

En la Horizontal: En la vista se aprecia que la zona de fracturamiento intenso alcanza 3.70m y la zona de generación de grietas (impacto), alcanza 4.60m.

En la Vertical: En la vista de perfil se aprecia que la zona de fracturamiento intenso alcanza 1.60m y la zona de generación de grietas (impacto), alcanza 3.10.

Tabla N° 16: Distancia de fracturamiento con la nueva malla

	Horizontal(m)	Vertical(m)
Fracturamiento intenso	3.7	1.6
Generación de grietas	4.6	3.1

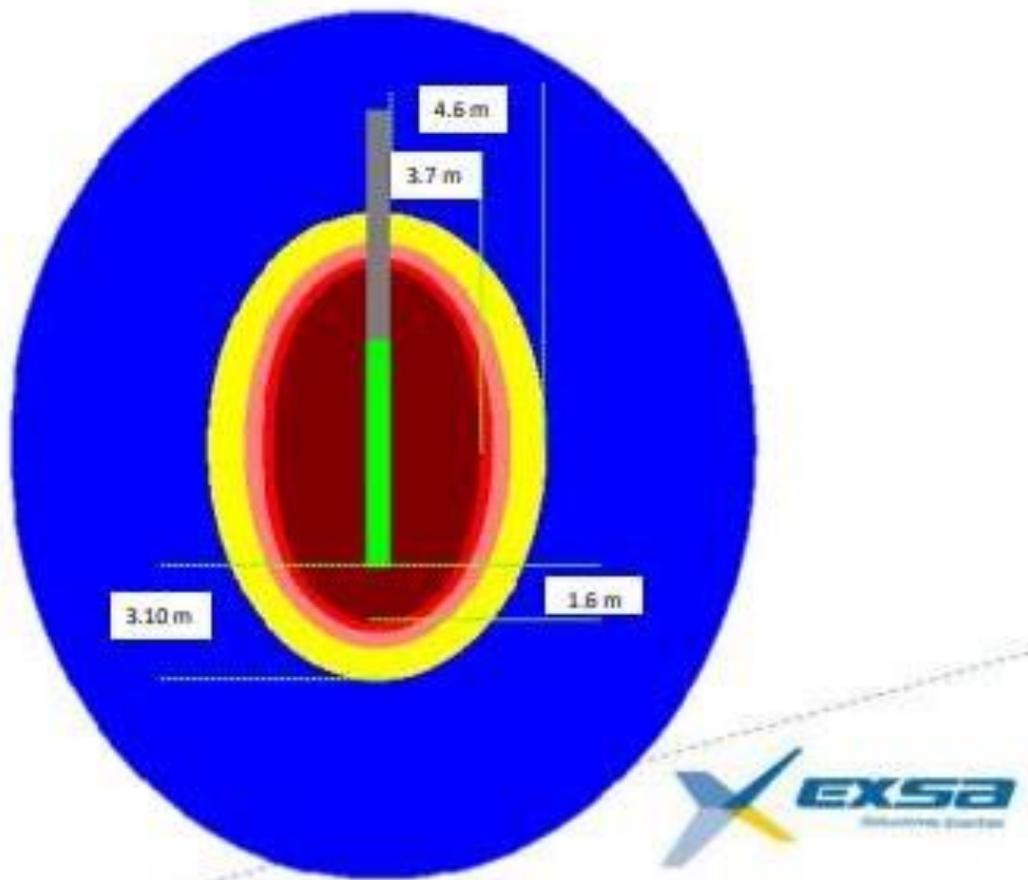


Figura N° 21: Distribución de Energía. (Minera Yanacocha, 2020)

- Diseño de Carga en Sílice Granular QM_Nv_4010_14/03/2020

Tabla N° 17: Datos de carga

Explosivo	
T. de Explosivo	MEQ-73
Densidad Inicial	1.36
Densidad Final	1.1
F. Esponjamiento	21

En la tabla N°18 se aprecia el diseño de la carga para material sílice granular, en la cual encontramos la longitud de taladro, taco final, carga superior, carga inferior, aire al taco, aire al fondo, factor de potencia, kilogramos por taladro, carga inferior inicial y el taco inicial.

Tabla N° 18: Diseño de Carga en Sílice Granular malla - 10 5/8 (8.5 m x 9.5m)

Longitud Taladro (m)	Taco Final (m)	Carga Superior Final (m)	Carga Inferior Final (m)	Aire al taco (m)	Aire al Fondo (m)	FP (Kg/Ton)	Kg/tal	Carga Inferior Inicial (m)	Taco Inicial (m)
9.5	4.5	0.0	5.0	0.0	0.0	0.205	321.65	4.1	5.4
10.0	5.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.205	321.65	4.1	5.9
10.5	5.5	0.0	5.0	0.0	0.0	0.205	321.65	4.1	6.4
11.0	5.0	0.0	5.0	1.0	0.0	0.205	321.65	4.1	5.9
11.5	5.5	0.0	5.0	1.0	0.0	0.205	321.65	4.1	6.4
12.0	6.0	0.0	5.0	1.0	0.0	0.205	321.65	4.1	6.9
12.5	6.0	0.0	5.5	1.0	0.0	0.226	353.82	4.5	7.0

- Parámetros obtenidos de Perforación y Voladura para roca Sílice Granular.

Tabla N° 19: Diseño propuesto de perforación en el banco 4010

	Diseño	Propuesta (8.5m x 9.5m)
Parámetros de Perforación	Dureza de Roca	Suave
	Tipo de Roca	Sílice Granular
	Densidad de Roca (ton/m3)	1.94
	Burden (m)	8.5
	Espaciamiento (m)	9.5
	Altura de Banco (m)	10.00
	Sobreperforación (m)	1.00
	Prof. De Taladro (m)	11.00
	Diámetro de Tal. (pulg.)	10 5/8
	Cant. De Taladros Perforados	220

Tabla N° 20: Diseño propuesto de voladura en el banco 4010

	Diseño	Propuesta (8.5m X 9.5m)
Parámetros de Voladura	Dens. Copa Explosivo (gr/cc)	1.10
	Dens. Media Explosivo (gr/cc)	1.126
	Densidad Lineal (kg/m)	77.84
	Cant. De Explosivo (kg)	322.26
	Toneladas / Taladro	1,566.55
	Factor de Carga (Kg/m ³)	0.399
	Factor de Potencia (Kg/ton)	0.206
	Factor de energía (MJ/ton)	0.591
	Toneladas Rota	344,641.00

- Parámetros obtenidos de Perforación para roca Sílice Alunita

Tabla N° 21: Diseño propuesto de perforación en el banco 4010

Diseño		Propuesta (8.5mX9.5m)
Parámetros de Perforación	Dureza de Roca	Suave
	Tipo de Roca	Sílice Alunita
	Densidad de Roca (ton/m3)	2.24
	Burden (m)	8.5
	Espaciamiento (m)	9.5
	Altura de Banco (m)	10.00
	Sobreperforación (m)	1.00
	Prof. De Taladro (m)	11.00
	Diámetro de Tal. (pulg.)	10 5/8
	Cant. De Taladros Perforados	62

Tabla N° 22: Diseño propuesto de voladura en el banco 4010

	Diseño	Propuesta (8.5mX9.5m)
Parámetros de Voladura	Dens. Copa Explosivo (gr/cc)	1.10
	Dens. Media Explosivo (gr/cc)	1.126
	Densidad Lineal (kg/m)	77.84
	Cant. De Explosivo (kg)	322.26
	Toneladas / Taladro	1,808.80
	Factor de Carga (Kg/m ³)	0.399
	Factor de Potencia (Kg/ton)	0.206
	Factor de energía (MJ/ton)	0.591
	Toneladas Rota	112,145.60

- Parámetros obtenidos de Perforación para roca Sílice Masiva

Tabla N° 23: Diseño propuesto de perforación en el banco 4010

	Diseño	Propuesta (8.5mX9.5m)
Parámetros de Perforación	Dureza de Roca	Suave
	Tipo de Roca	Sílice Masiva
	Densidad de Roca (ton/m3)	2.28
	Burden (m)	8.5
	Espaciamiento (m)	9.5
	Altura de Banco (m)	10.00
	Sobreperforación (m)	1.00
	Prof. De Taladro (m)	11.00
	Diámetro de Tal. (pulg.)	10 5/8
	Cant. De Taladros Perforados	13

Tabla N° 24: Diseño propuesto de voladura en el banco 4010

	Diseño	Propuesta (8.5X9.5)
Parámetros de Voladura	Dens. Copa Explosivo (gr/cc)	1.10
	Dens. Media Explosivo (gr/cc)	1.126
	Densidad Lineal (kg/m)	77.84
	Cant. De Explosivo (kg)	322.26
	Toneladas / Taladro	1,841.10
	Factor de Carga (Kg/m ³)	0.399
	Factor de Potencia (Kg/ton)	0.206
	Factor de energía (MJ/ton)	0.591
	Toneladas Rota	23,934.30

- Fragmentación de roca.

Se puede apreciar en la figura 21 el terreno pre-voladura y en la figura 22 se observa buena fragmentación del terreno pos-voladura.



Figura N° 22: : La zona resaltada con el circulo blanco terreno pre-voladura en el banco 4010.



Figura N° 23: La zona resaltada con el circulo blanco representa el terreno pos-Voladura en el banco 4010.

- Velocidad de Excavación (Dig Rates) Real.

Se crearon 8 polígonos entre desmonte, argílico y minerales, que se minaron desde el 23/05/2020 hasta el 30/05/2020.

Tabla N° 25: Velocidad de Excavación (Dig Rates) con la malla 8.5m x 9.5m

Pala	Polígono	Dig Rate Real	Dig Rate Target
SH005	QM4010C159/L	5,805.62	5,500.00
SH005	QM4010C161/D	5,690.47	5,500.00
SH005	QM4010C162/L	6,321.30	5,500.00
SH005	QM4010C164/D	6,183.06	5,500.00
SH005	QM4010C165/L	6,443.00	5,500.00
SH005	QM4010C166/A	6,322.71	5,500.00
SH005	QM4010C167/L	6,010.14	5,500.00
SH005	QM4010C168/L	5,938.83	5,500.00
Total		6,089.39	5,500.00

Tabla N° 26: Promedio de Velocidad de Excavación (Dig Rates)

Dig Rates (Ton/Hr) target	5500
Dig Rates (Ton/Hr) por encima del Target	589.39
Promedio de Dig Rates (Ton/Hr) Real	6,089.39

- 85% del tiempo el Velocidad de Excavación (Dig Rates) supera los 5500 ton/Hr
- 7% se mantuvo entre el 95% y 100% del target.
- 7% por debajo del 95% del target.

Porcentaje del Tiempo de Excavación -HIT 5500EX

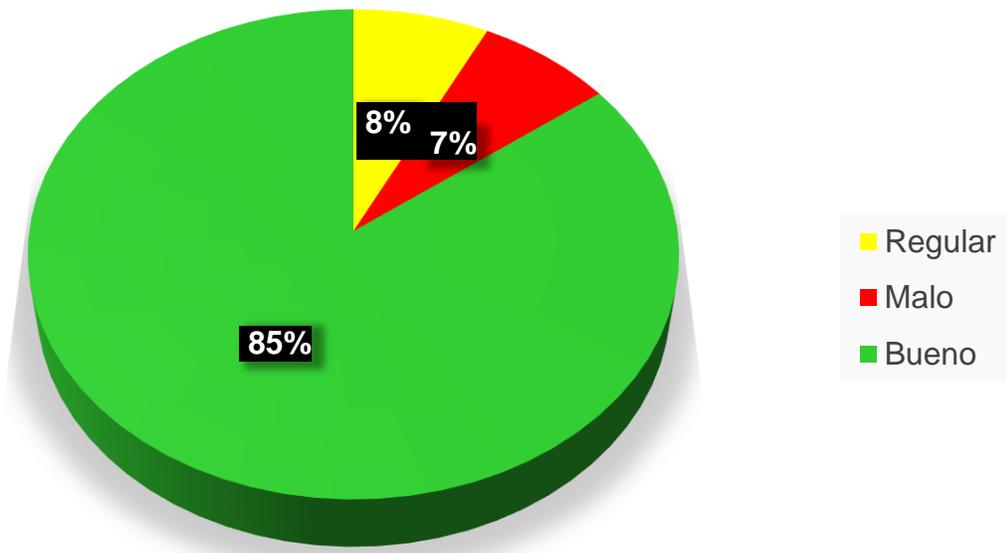


Figura N° 24: Porcentaje de Velocidad de Excavación (Dig Rates) con malla 8.5m x 9.5m

➤ **Datos Obtenidos por vibraciones con respecto a Pozas Carachugo.**

Teniendo en cuenta la norma de DIN 4150 Alemana y lo indicado por el fabricante de la bomba se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla N° 27: Parámetros de DIN 4150 Alemana

Tipo de estructura	Frecuencia en HZ	Frecuencia en Hz	Frecuencia en HZ
	0-10	10-50	50-100
Edificios resistentes a vibraciones	20 mm/s	20-40 mm/s	40-50 mm/s
Viviendas	5 mm/s	5-15 mm/s	15-20 mm/s
Construcciones históricas sensibles a vibraciones	3 mm/s	3-8 mm/s	8-10 mm/s

El Geófono se instaló a 771m del disparo electrónico, la empresa Exsa considera el pico más alto mas no el vector suma y considera que la estructura a cuidar corresponde a la industrial, el cual según la tabla anterior estaría en 20 mm/s pero según detalles del fabricante de la bomba el PPV Pico Max de Bomba es de 4.5 mm/s y se obtuvo un Pico Max de voladura de 2.64 mm/s, por lo cual se observa que se encuentra por debajo de lo permitido.

- **Costo de perforación y Voladura en la malla 7.5m x 8.5m.**

Debemos tener en cuenta que el tonelaje roto es de 480,720.90tn.

Tabla N° 28: Costo de Agentes

Precio de Agentes	US\$/kg	MEQ73
Slurrex Q	0.527	70%
Nitrato Quantex	0.448	30%
D2		0%
Nitrato de Sodio		0.40%
Costo (US\$/kg)	0.503	

Tabla N° 29: Costo de Perforación con malla 7.5m x 8.5m

Costo de Perforación	(7.5m X 8.5m)
Costo (\$/m)	8.00
Costo/Taladro (\$/tal)	88
Costo de Perforación	32,912.00
Costo Perforación (\$/Ton)	0.068

Tabla N° 30: Costo de Voladura con malla 7.5m x 8.5m

Costo de Voladura	(7.5m x 8.5m)
Quantex (\$/kg)	0.503
Quantex Total (\$)	56,978
Detonadores Electrónicos & pirotécnicos (\$)	7,929
Costo de Voladura (\$/ton)	0.14

- Costo de perforación y Voladura en la malla 8.5m x 9.5m.

Debemos tener en cuenta que el tonelaje roto es de 480,720.90tn.

Tabla N° 31: Costo de Perforación con malla 8.5m x 9.5m

Costo de Perforación	(8.5m x 9.5m)
Costo (\$/m)	8.00
Costo/Taladro (\$/tal)	88
Costo de Perforación	25,960.00
Costo Perforación (\$/Ton)	0.054

Tabla N° 32: Costo de Voladura con malla 8.5m x 9.5m

Costo de Voladura	(8.5m x 9.5m)
Quantex (\$/kg)	0.503
Quantex Total (\$)	51,840
Detonadores Electrónicos & pirotécnicos (\$)	6,254
Costo de Voladura (\$/ton)	0.12

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Resultados de la Investigación.

De acuerdo con la investigación, se realizó la evaluación del diseño de malla de 7.5m x 8.5m con diámetro de 10 5/8” en un tipo de roca granular, alunita y masiva, en el cual se emplea 374 taladros con un factor de potencia de 0.245kg/ton, lo que estaría elevando el KPI's y el dólar por tonelada, por tal motivo se realizó una optimización en el diseño de malla a 8.5m x 9.5m donde se empleó 295 taladros con un factor de potencia de 0.205 kg. En la tabla se muestran los valores con respecto al número de taladros por cada tipo de roca y la cantidad de explosivo empleado.

Tabla N° 33: Comparación de número de taladros en el banco 4010 – Tajo Quecher
Main.

Número de taladros	Malla 7.5m x 8.5m	Malla 8.5m x 9.5m
Granular	279	220
Alunita	79	62
Masiva	16	13

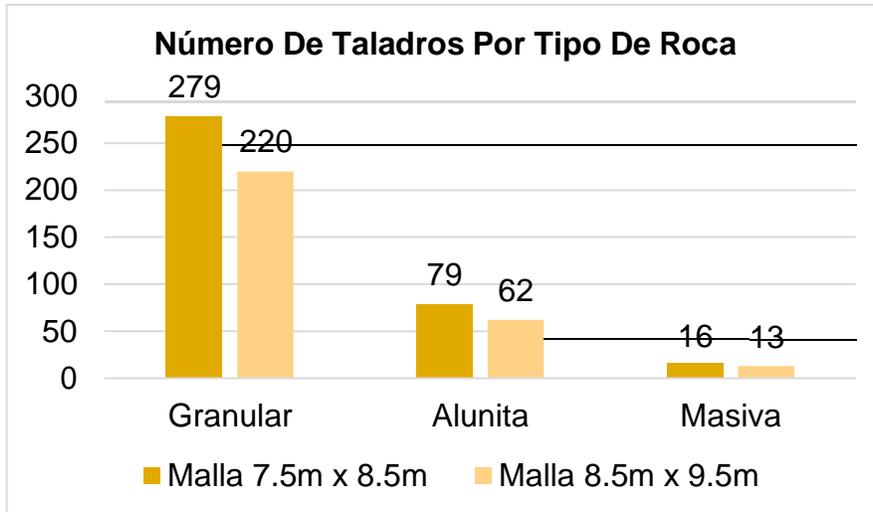


Figura N° 25: Comparación de número de taladros por tipo de roca.

Tabla N° 34: Comparación de Cantidad de MEQ-73 (kg) entre malla actual y malla ampliada.

	Malla 7.5m x 8.5m	Malla 8.5m x 9.5m
Cantidad de MEQ-73 (Kg)	113,322.00	103,102.00

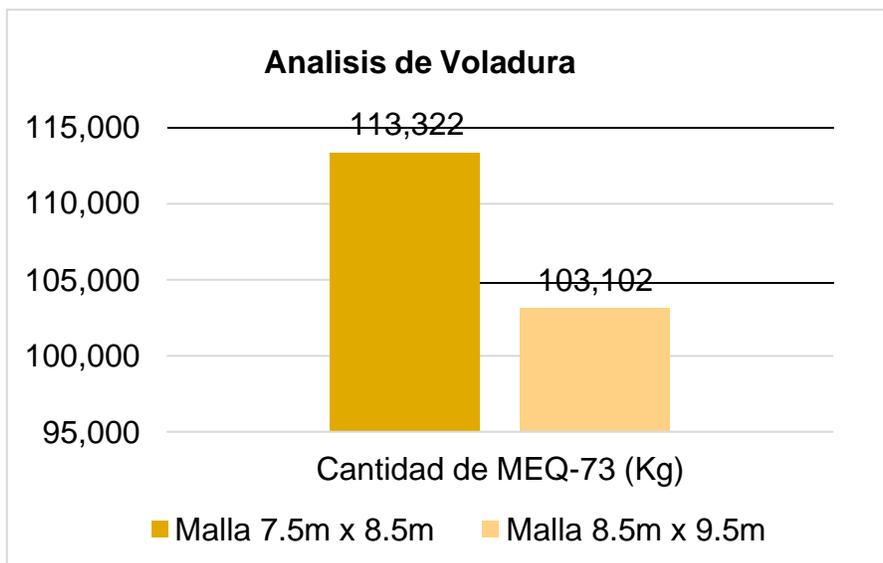


Figura N° 26: Comparación de Cantidad de MEQ-73 (kg) entre malla actual y malla ampliada.

4.1.1. Análisis de la fragmentación y de Velocidad de Excavación.

El análisis granulométrico del terreno con una malla de 7.5m x 8.5m el cual presenta una alteración Sílice Masiva, dato obtenido por geología.

El agente explosivo MEQ – 73 a una densidad final de copa de 1.10 gr/cm³ en taladro de producción.

Se obtuvo en el análisis un P80 de 6.30in en el frente de minado. Donde el 55% del material analizado pasa por mallas menores a 4in. El polígono analizado fue el OGL C170.

El resultado de la Velocidad de Excavación (Dig Rates) donde la pala SH005 fue la encargada de realizar el minado, la cual tiene un target de 5500ton/Hr, fue de 5,898 ton/Hr, 398 ton/Hr arriba del target. Además, durante todo el YTD, el 82% del tiempo minado esta sobre el target con buenos resultado, tal y como se muestra en la *figura 23*.

SAMPLE LOGS

EXSA_PM2146

2020/05/29 @ 11:47:49

P100	10.71 in
P90	6.30 in
P80	4.33 in
P50	2.28 in
P20	0.79 in

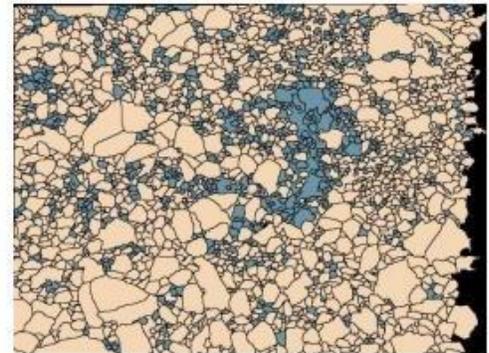


Figura N° 27: Granulometría P80 4.336in

EXSA_PM2146
2020/05/29 @ 11:47:52

P100	9.49 in
P90	5.28 in
P80	4.02 in
P50	2.36 in
P20	1.26 in

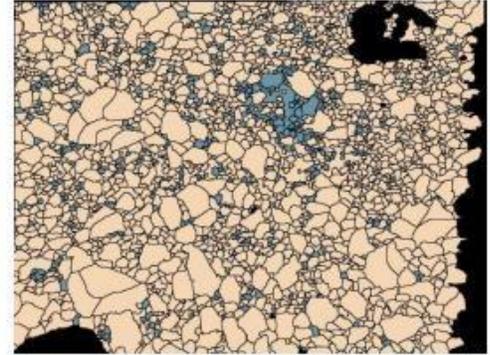


Figura N° 28: Granulometría P80 4.02in

EXSA_PM2146
2020/05/29 @ 11:48:27

P100	14.92 in
P90	7.60 in
P80	6.81 in
P50	4.80 in
P20	2.83 in

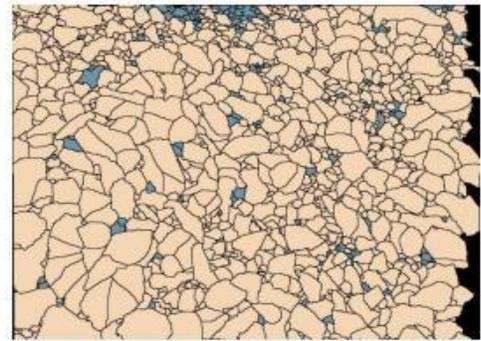


Figura N° 29: Granulometría P80 6.81in

EXSA_PM2146
2020/05/29 @ 11:48:30

P100	10.63 in
P90	8.46 in
P80	7.73 in
P50	4.69 in
P20	2.68 in

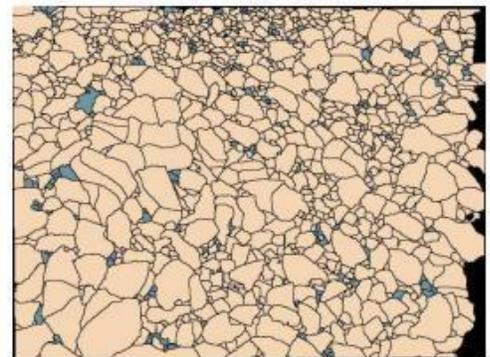


Figura N° 30:Granulometría P80 7.73in

Según reporte de la empresa Exsa en la zona donde se realizó la ampliación de la malla 8.5m x 9.5m no se pudo realizar el análisis granulométrico ya que en dicha zona estaba restringido el ingreso por la reactivación de actividades en mina y además el

material post voladura presento finos, de igual manera no se realizó el control de pisos debido a que el área de topografía actualmente no se encuentra realizando ese trabajo, pero cabe resaltar que no se reportó pisos elevados por parte del área de Dispatch

En análisis de global de Velocidad de Excavación (Dig Rates) donde la pala SH005 fue la encargada de realizar el minado, la cual tiene un target de 5500ton/Hr, fue de 6,098.391 ton/Hr, 589 ton/Hr arriba del target. Además, el 85% del tiempo minado esta sobre el target con buenos resultado, el 7% se mantuvo entre 95% y 100% del target y el 7% por debajo del 95% del target.

La Velocidad de Excavación (Dig Rates) representa el 10% a favor de la nueva malla, estando 191.93tn/hr por encima de la malla anterior, como podemos observar en la gráfica.

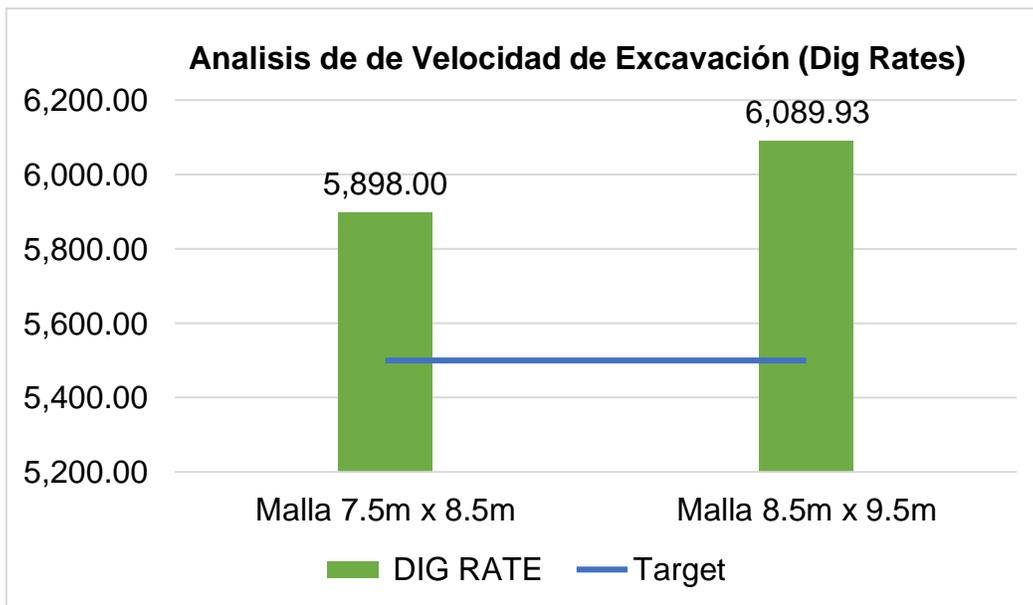


Figura N° 31: Comparación de Velocidad de Excavación (Dig Rates)

4.1.2. Análisis de Vibraciones.

Según detalles del fabricante de la bomba el PPV Pico Max de Bomba es de 4.5 mm/s y se obtuvo un Pico Max de voladura de 2.64 mm/s, por lo cual se observa que se encuentra por debajo de lo permitido, no representado problema para las bombas de PPV.

4.2 Análisis del Costo de Perforación y Voladura.

Se logró reducir el \$/ton, 0.014\$/ton en perforación y 0.015 \$/ton en voladura por taladro. En el nivel 4010 donde se realizó la investigación se obtuvo un ahorro para voladura de \$6,813.42 y en perforación de \$6,952.00, lo que representa un ahorro total de \$13,765.61, siendo este 14.1% menos ante la malla anterior, tal como se muestra en el gráfico.

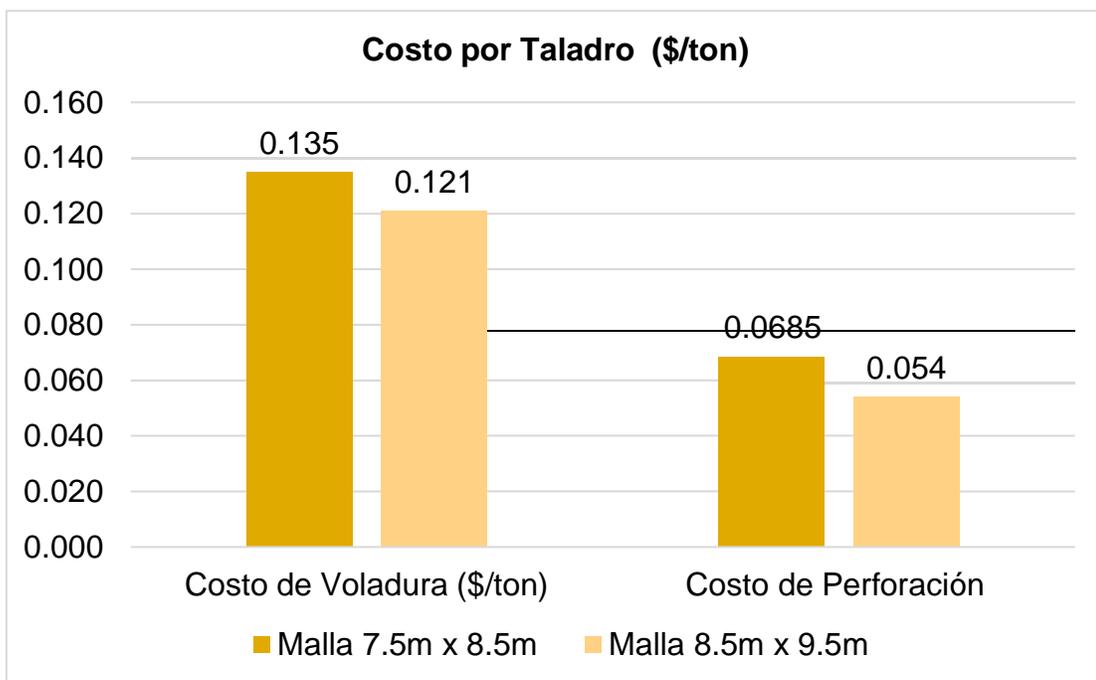


Figura N° 32: Comparación de Costo por taladro.

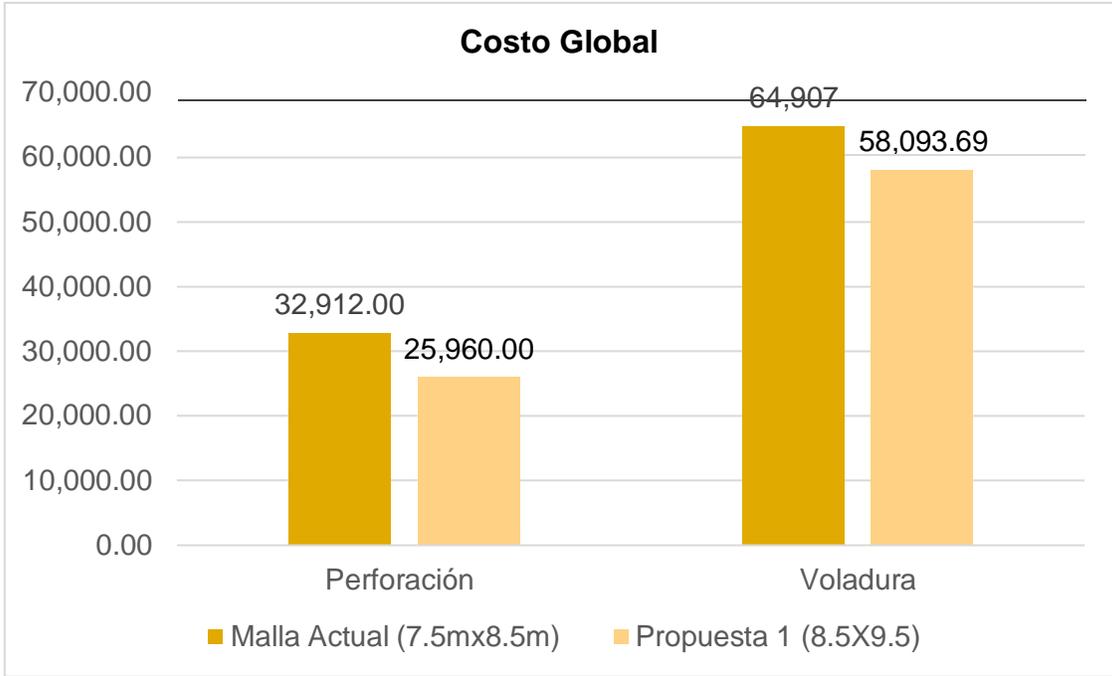


Figura N° 33: Comparación de Costo Global

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El diseño de malla inicial de 7.5m x 8.5m del tajo Quecher Main representa problema con respecto al factor de potencia cuyo valor es 0.245kg/ton lo que está generando un aumento en costos de perforación y voladura.

El diseño de malla (B X E) 8.5m x 9.5m, obtuvo mejores resultados referente a la Velocidad de Excavación (Dig Rate) ya que se obtuvo un resultado de 589.93tn/hr por encima al target, y se logró mantener el nivel de vibraciones por debajo al límite, 2.64mm/s. El número de taladros empleado fue de 295, con un factor de potencia de 0.206kg/ton. Logrando que la cantidad de explosivo MEQ-73 (Kg) sea 10,220.00kg menor al de la malla inicial.

La ampliación de malla genero un ahorro total de \$13,765.42 lo que representa el 14.1% menos ante la malla anterior, no se ha considerado el ahorro por tipo de productividad de palas y camiones, pero se estima que sea mayor ya que se obtuvo una Velocidad de Excavación (Dig Rates) más favorable.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda a la empresa Minera Yanacocha seguir realizando estudios de ampliaciones de malla en otro tipo de material y poder tener una mayor zonificación del

tajo, inclusive se puede seguir ampliando la malla en terreno granular. Hay que tener en cuenta que el tajo Quecher Main es nuevo y no se tiene diseños de mallas establecidos, es por ello de gran importancia seguir haciendo pruebas y poder zonificar la zona con diseños mejor establecidos.

Se recomienda establecer la malla de 8.5m x 9.5m como estándar en este tipo de alteración.

También se recomienda realizar monitoreo al sistema de Pull Down en las perforadoras, y evitar error de información.

Se recomiendo al público del sector minero que pueden aplicar la ampliación de mallas para optimizar costos previa evaluación del terreno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar , M. J., & Chilón, F. 2017. Estimación de Presiones Dinámicas Inducidas por Voladura para definir distancias críticas para detondores electrónicos Daveytronic en Tajo La Quinoa Yanacocha. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Ayamamani, C. 2016. Diseño de Perforación y Voladura y su Incidencia en los Costos Unitarios en Balcón III de la Corporación Minera Anane S.A. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Bernaola , J., Castilla, J., & Herrera, J. 2013. Perforación y Voladura de Rocas en Minería. Madrid: Universidad Politécnica de Madrd.
- Bernaola , J., Castilla, J., & Herrera, J. 2013. Perforación y Voladura de Rocas en Minería. Madrid: Universidad Politécnica de Madrd.
- Bravo, I. 2018. Estudio de Vibraciones Inducidas por tronadura en Minera Spence. Satiago de Chile: 2018.
- Chiliquinga, M., & Vallejos, H. 2017. Costos Modalidad Órdenes de Producción. IBARRA: Universidaa Técnica del Norte.
- Cruzado Mendoza, F., & Diaz Choroco, K. 2017. Análisis de la máxima carga carga operante en las vibraciones a campo lejano generadas por voladura, en Minera Cerro Negro S. A. Cajamarca-2017. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Delgado , M. A. 2014. Estrategias en el Diseño de Perforación y Voldura para estructuras aledañas controlando vibraciones y rocas al aire en Minas a Tajo Abierto. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Enaex. 2014. Enaex. Obtenido de Manual de Tronadura: <https://es.slideshare.net/AlfredoPangue/manual-de-tronadura-enaex>

Exsa. 2018. Exsa. Obtenido de Exsa: <https://exsa.net/productos/slurrex-tcg.php>

Exsa. 2019. Manual Práctico de Voladura. Exsa S.A.

Exsa. 2019. Manual Práctico de Voladura - 5ta Edición. Exsa Soluciones Exactas.

Exsa. s.f.. Guía del Explosivista. Lima.

Exsa. s.f. Manual de Perforación y Voladura.

Exsa Soluciones S.A. 2013. Manual Práctico de Voladura Exsa. PERU: CTVE, Centro Tecnológico de Voladura Exsa.

Mamani, I. R. 2016. Análisis y Optimización de Costos de Perforación y Voladura en la Construcción del Canal San Antonio de Miña. Puno: Universidad Nacional del Antiplano.

Martínez, A. D., & Correa, P. L. 2017. 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. Sagamoso: Universidad Pedagógica Tecnológica de Colombia.

Merino, D. A. 2015. Geología y Controles de Mineralización en el depósito Cerro Yanacocha, distrito de Yanacocha (Cajamarca- Perú). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Mucho, R. 2013. Voladura de Rocas para la Nueva Minería. Lima: Instituto de Ingenieros de Minas del Perú.

MWH Perú S.A. 2006. Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Suplementario Yanacocha Oeste. Lima.

Ortiz, O., Canchari, G., & Postigo, A. 2007. Incremento de la rentabilidad de operaciones mineras a cielo abierto por eliminación de la sobreperforación. Institucion de Investigaciones FIGMMG, 87.

Pacahuala, M. C. (2015). Reducción de Costos Operativos en desarrollo mediante actualización de Estándares en Perforación y Voladura, caso de la empresa Especializada Mincontrall S.R.L. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.

Pampacata, L. 2015. Analisis de Vibraciones Inducidos por la voladura de Rocas en Cantera Atocongo en zonas cercanas a poblaciones. Lima: Universidad Nacional de Ingeniria.

Pérez Cosío , J. 2019. Utilización de la medida de Vibraciones en Voladuras para el conocimiento de los daños al macizo de roca ornamental. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.

Quispe Arenas, C. D. 2016. Análisis de la Fragmentación Resultante de Voladura para la Evaluación de la Expansión de las mallas de Perforación Aplicando Sistema de iniciación Electrónico en Minera Coimolache-2016. Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

Quispe, H. 2018. Reducción de Costos de Perforación y Voladura con nuevo diseño de la malla en el frente crucero 340NW de la Empresa Minera Yansur S.A.C. Rinconada. Puno: Universidad Nacional del Antiplano.

Ruiz, D., Otalora, S., & Rodríguez, J. s.f.. Efecto de las Vibraciones generadas por Voladura en Minas sobre edificaciones Residenciales de Mampostería Simple en Colombia. SCIPEDIA.

Yanacocha. 2019. Diseño de Voladura, documento interno. Cajamarca.

Yanacocha. 2020. Aplicando Ampliación de Malla, documento interno. Cajamarca.

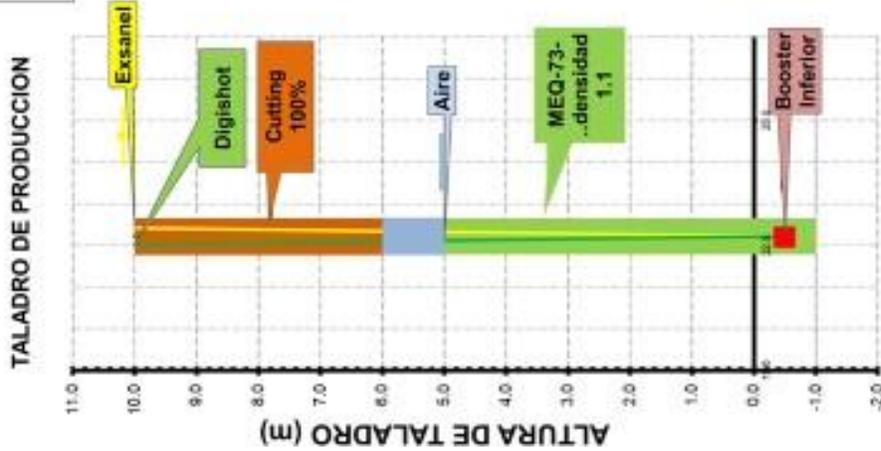
Zúñiga Torres, P. D. 2015. Diseño de Tronaduras y su Impacto en el Costo Mina de Compañía Minera Cerro Negro. Santiago de Chile: Universidad de Chile.

Vásquez, J. J. 2021. Análisis de los Parámetros Operativos de la Voladura para. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.

ANEXO

Yanacochoa

GRÁFICO 02
SILICE MASIVA
 Malla: (069_004)_ 10 5/8"
 (7.5 m x 8.5 m)



Longitud Taladro (m)	Taco Final Cutting (m)	Carga Superior Final (m)	Carga Inferior Final (m)	Taco intermedio (m)	Aire al fondo (m)	PP (Kg/Ton)	kg/tal	SD	Carga inferior inicial (m)	Taco inicial Cutting (m)
9.5	4.0	0.0	5.5	0.0	0.0	0.243	353.82	0.97	4.5	5.0
10.0	4.5	0.0	5.5	0.0	0.0	0.243	353.82	1.06	4.5	5.5
10.5	5.0	0.0	5.5	0.0	0.0	0.243	353.82	1.15	4.5	6.0
11.0	4.0	2.5	3.0	1.5	0.0	0.243	353.82	0.97	2.5	7.0
11.5	4.0	2.5	3.0	2.0	0.0	0.243	353.82	0.97	2.5	7.0
12.0	4.0	2.5	3.0	2.5	0.0	0.243	353.82	0.97	2.5	7.0
12.5	4.5	2.5	3.0	2.5	0.0	0.243	353.82	1.06	2.5	7.5
13.0	4.0	2.5	3.5	3.0	0.0	0.266	365.99	0.97	2.9	7.1
13.5	4.0	2.5	3.5	3.5	0.0	0.266	365.99	0.97	2.9	7.1

CARGUIO

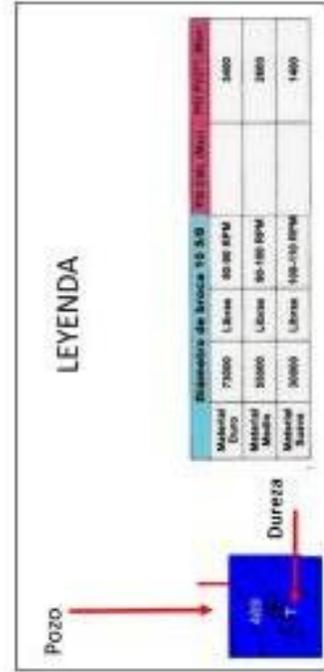
- Taladros con agua densidad final 1.1 g/cc, respetando diseño de carga.
- SI EL CORTE COINCIDE CON EL ESTAQUEO, LEVANTAR 30 cm EL BOOSTER.
- SI ENTRE EL CORTE Y EL ESTAQUEO HAY DIFERENCIA DE 1 m, LEVANTAR EL BOOSTER A 1.50 m.
- SI ENTRE EL CORTE Y EL ESTAQUEO HAY DIFERENCIA DE MAS DE 1 m, LEVANTAR EL BOOSTER A 1 m.
- EN TALADROS QUE LLEVEN AIRE AL FONDO, LEVANTAR 1.5 m EL BOOSTER.



INFORMACION DE PULLDOWN QM_4010

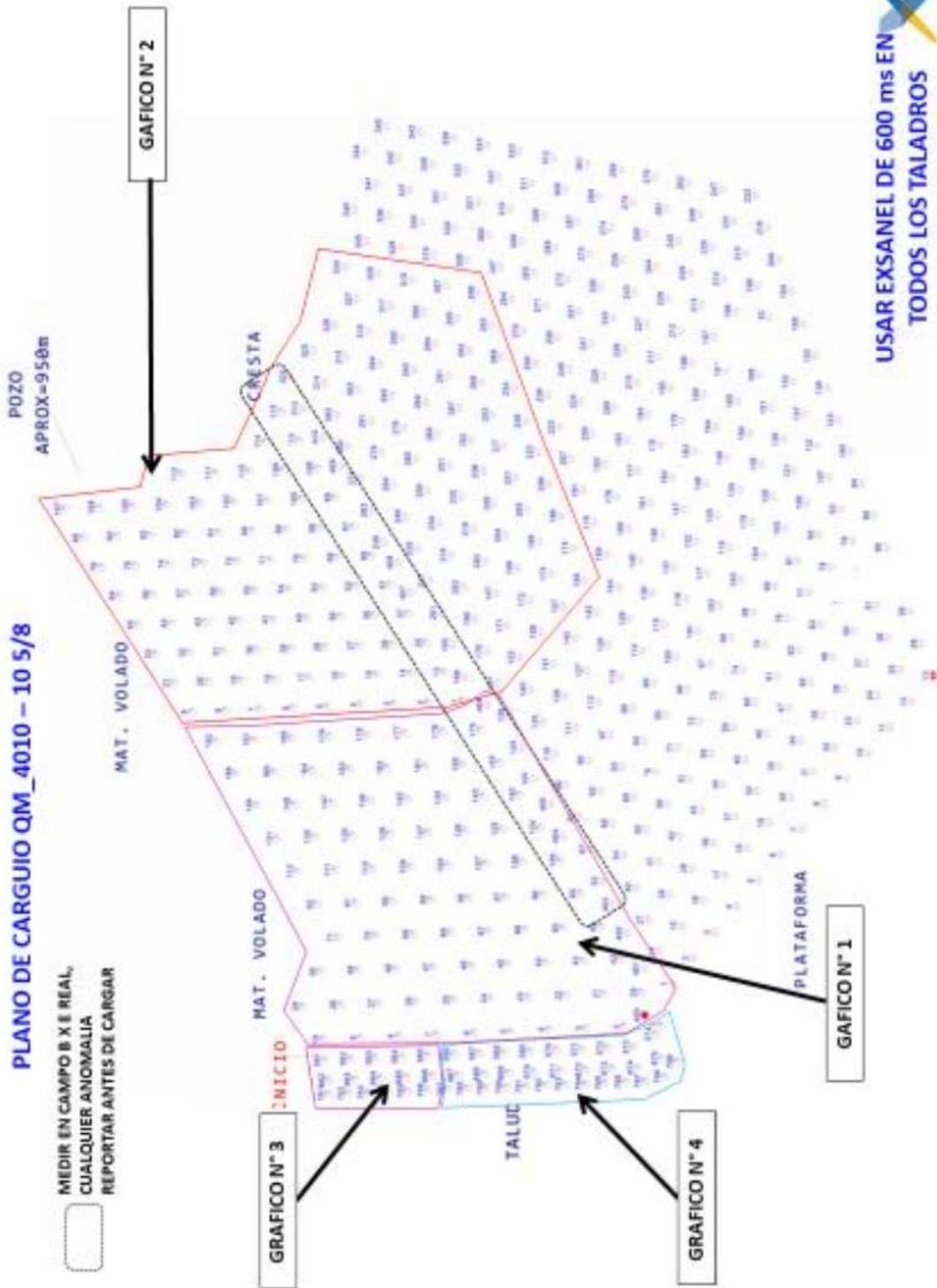


NO SE CUENTA CON SERVIDOR ACTIVO



PLANO DE CARGUIO QM_4010 – 10 5/8

MEDIR EN CAMPO B X E REAL,
CUALQUIER ANOMALIA
REPORTAR ANTES DE CARGAR



USAR EXSANEL DE 600 ms EN
TODOS LOS TALADROS

TALADRO DE PRODUCCION

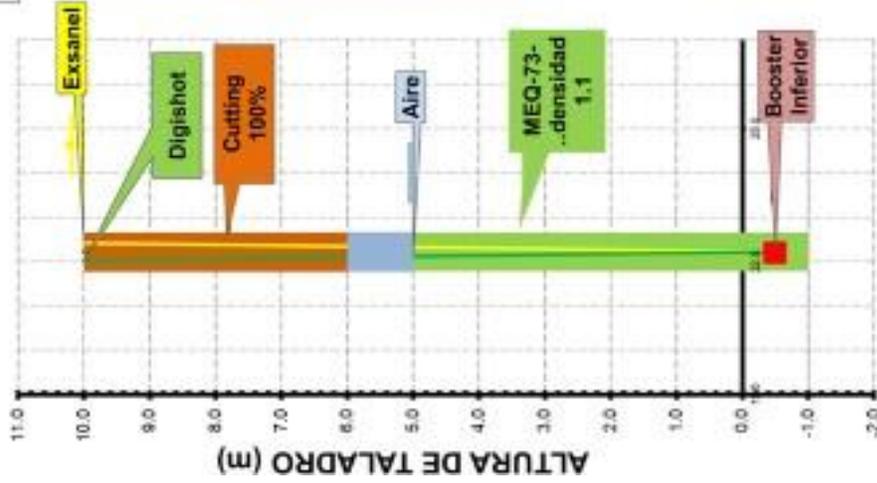


GRÁFICO 03

SILICE GRANULAR

Malla: (068_069_070)_10 5/8"
(8.5 m x 9.5 m)

Yanacochoa

Longitud Taladro (m)	Taco Final Cutting (m)	Carga Superior Final (m)	Carga Inferior Final (m)	Taco Intermedio (m)	Aire al fondo (m)	FF (Kg/ton)	kg/tal	SD	Carga Inferior Inicial (m)	Taco Inicial Cutting (m)
9.5	4.5	0.0	5.0	0.0	0.0	0.205	321.65	1.06	4.1	5.4
10.0	5.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.205	321.65	1.15	4.1	5.9
10.5	5.5	0.0	5.0	0.0	0.0	0.205	321.65	1.24	4.1	6.4
11.0	5.0	0.0	5.0	1.0	0.0	0.205	321.65	1.15	4.1	5.9
11.5	5.5	0.0	5.0	1.0	0.0	0.205	321.65	1.24	4.1	6.4
12.0	6.0	0.0	5.0	1.0	0.0	0.205	321.65	1.33	4.1	6.9
12.5	6.0	0.0	5.5	1.0	0.0	0.226	353.62	1.33	4.5	7.0

CARGUIO

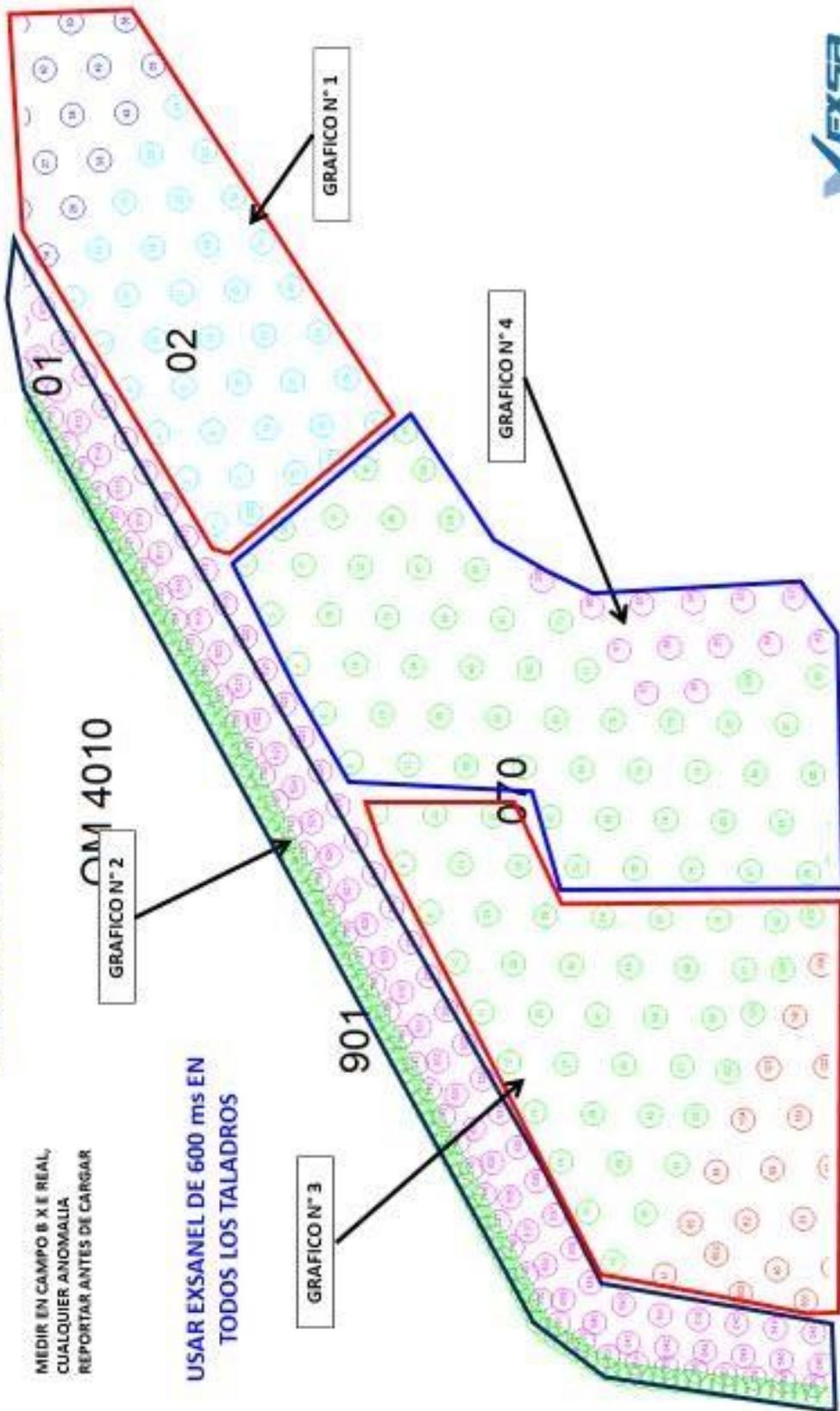
- Taladros con agua densidad final 1.1 g/cc, respetando diseño de carga.
- SI EL CORTE COINCIDE CON EL ESTAQUEO, LEVANTAR 30 cm EL BOOSTER.
- SI ENTRE EL CORTE Y EL ESTAQUEO HAY DIFERENCIA DE 1 m, LEVANTAR EL BOOSTER A 1.50 m.
- SI ENTRE EL CORTE Y EL ESTAQUEO HAY DIFERENCIA DE MAS DE 1 m, LEVANTAR EL BOOSTER A 1 m.
- EN TALADROS QUE LLEVEN AIRE AL FONDO, LEVANTAR 1.5 m EL BOOSTER.



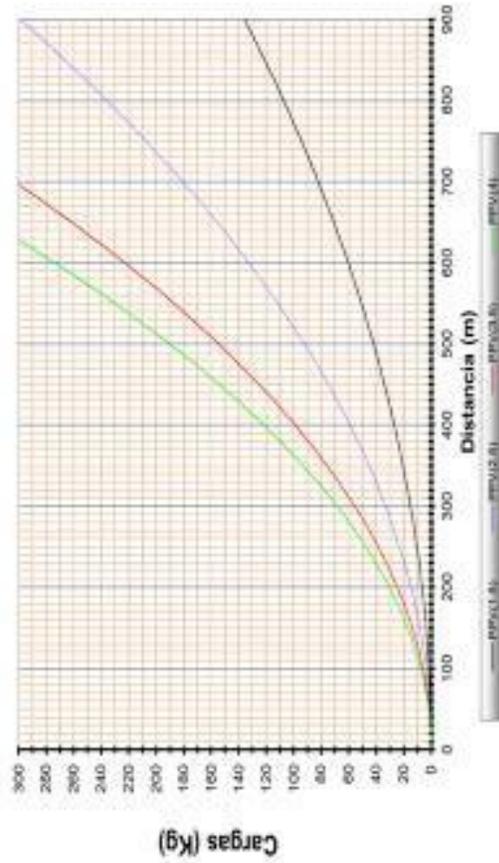
PLANO DE CARGUIO QM_4010 - 10 5/8

MEDIR EN CAMPO B X E REAL,
CUALQUIER ANOMALIA
REPORTAR ANTES DE CARGAR

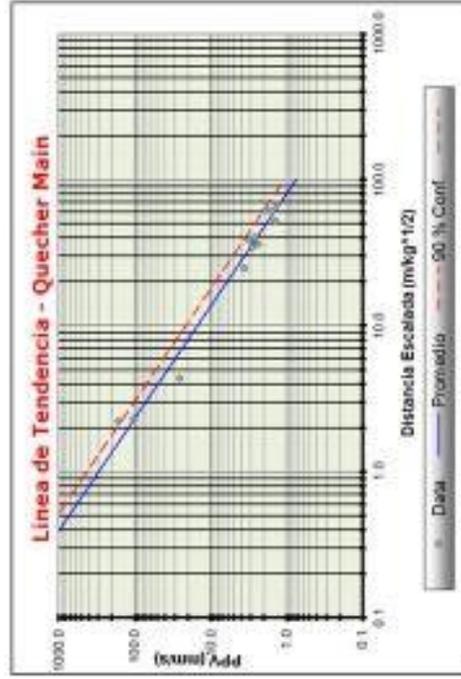
USAR EXSANEL DE 600 ms EN
TODOS LOS TALADROS



ANALISIS DE CARGA PPV vs DISTANCIA



Max Peso Expl. (kg)
 Usando Kporom 309
 Usando K90% 309



Min dist desde ironadura (m) = 771.0
 Max Expl por relando (kg) = 350

Velocidad Peak de Particula (mm/s)
 Usando Kporom 3.8 mm/s
 Usando K90% 3.8 mm/s

- De acuerdo a la distancia y al ppv máximo que no se debe llegar (3.5 mm/s), el análisis del modelo a campo lejano nos indica cargar y detonar un máximo de 309 kg de explosivo por retardo de tiempo.
- De acuerdo al diseño la cantidad de explosivo detonado por retardo de tiempo será de 350 Kg , por lo cual se espera un PPV de 3.8 mm/s



TALADRO DE PRODUCCION

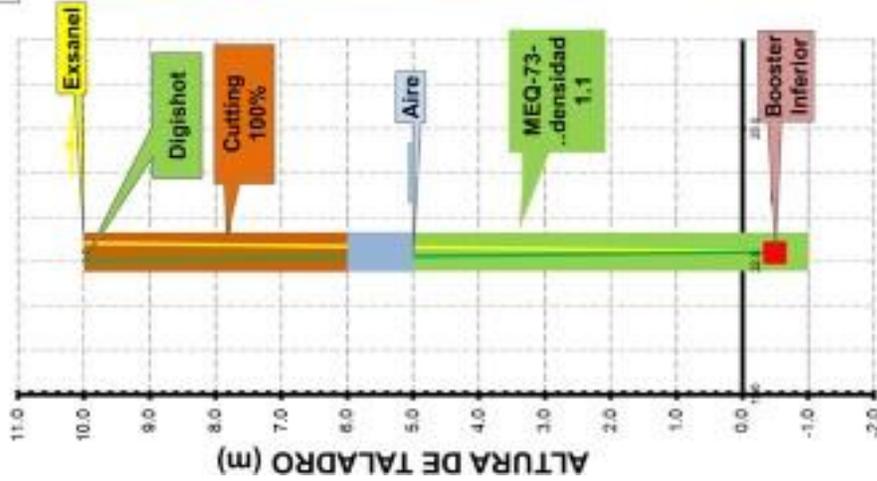


GRÁFICO 01

SILICE GRANULAR

Malla: (068_069_070)_10 5/8"
(8.5 m x 9.5 m)

Yanacochoa

Longitud Taladro (m)	Taco Final Cutting (m)	Carga Superior Final (m)	Carga Inferior Final (m)	Aire al taco (m)	Aire al fondo (m)	FP (Kg/Ton)	kg/hal	SD	Carga Inferior Inicial (m)	Taco Inicial Cutting (m)
9.5	4.5	0.0	5.0	0.0	0.0	0.205	321.65	1.06	4.1	5.4
10.0	5.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.205	321.65	1.15	4.1	5.9
10.5	5.5	0.0	5.0	0.0	0.0	0.205	321.65	1.24	4.1	6.4
11.0	5.5	0.0	5.5	0.0	0.0	0.226	353.82	1.24	4.5	6.5
11.5	6.0	0.0	5.5	0.0	0.0	0.226	353.82	1.33	4.5	7.0
12.0	5.5	0.0	5.5	1.0	0.0	0.226	353.82	1.24	4.5	6.5
12.5	6.0	0.0	5.5	1.0	0.0	0.226	353.82	1.33	4.5	7.0

CARGUIO

- Taladros con agua densidad final 1.1 g/cc, respetando diseño de carga.
- SI EL CORTE COINCIDE CON EL ESTAQUEO, LEVANTAR 30 cm EL BOOSTER.
- SI ENTRE EL CORTE Y EL ESTAQUEO HAY DIFERENCIA DE 1 m, LEVANTAR EL BOOSTER A 1.50 m.
- SI ENTRE EL CORTE Y EL ESTAQUEO HAY DIFERENCIA DE MAS DE 1 m, LEVANTAR EL BOOSTER A 1 m.
- EN TALADROS QUE LLEVEN AIRE AL FONDO, LEVANTAR 1.5 m EL BOOSTER.



Pre Voladura

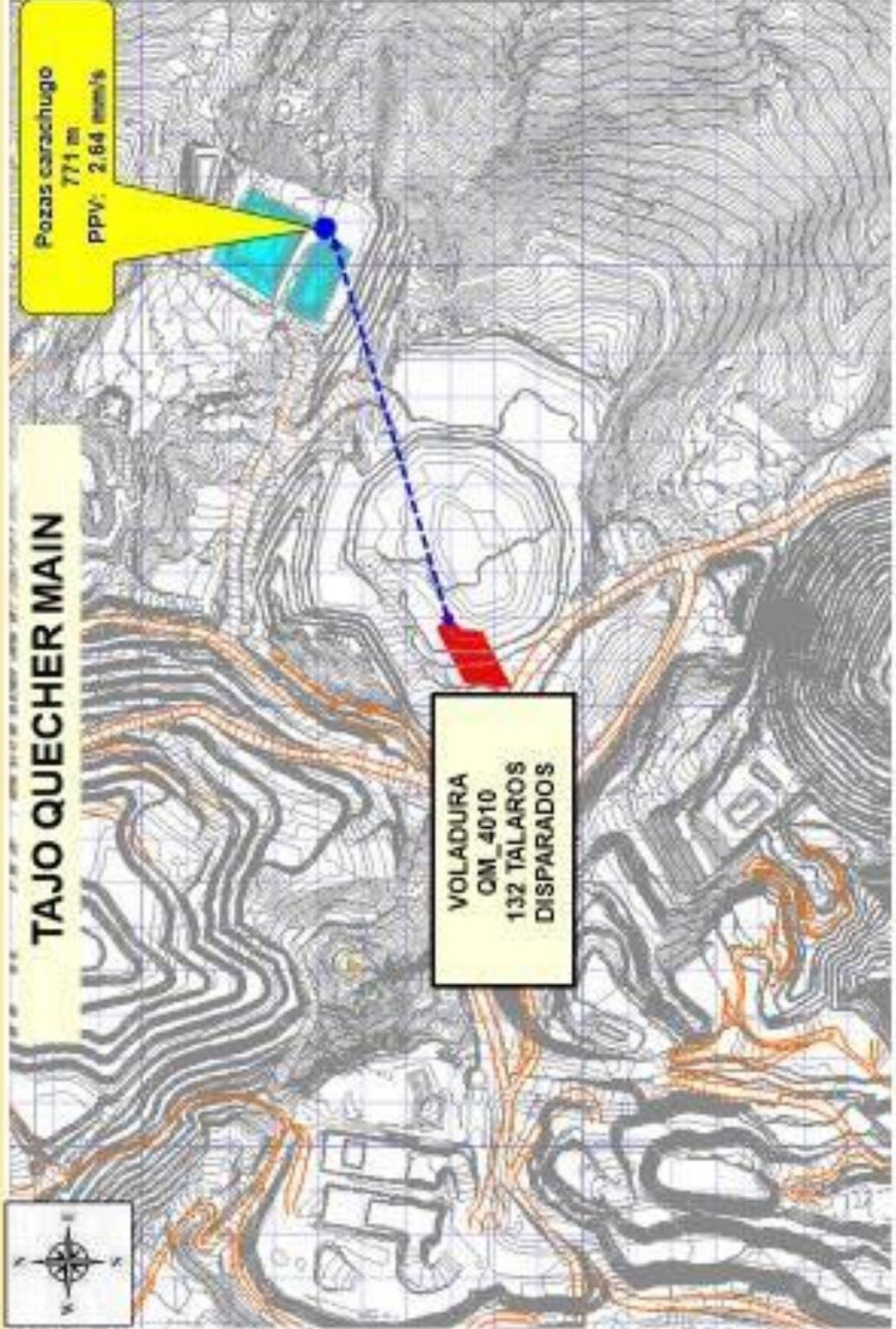


Post Voladura



**UBICACIÓN PUNTOS DE MONITOREO DE VIBRACIONES
QM_NV_4010_14/03/2020**

Yanacocha



RESULTADOS DEL MONITOREO QM_NV_4010_14/03/2020

Yanacocha

Sismógrafo instalado en DIRECCIÓN A POZAS CARACHUGO

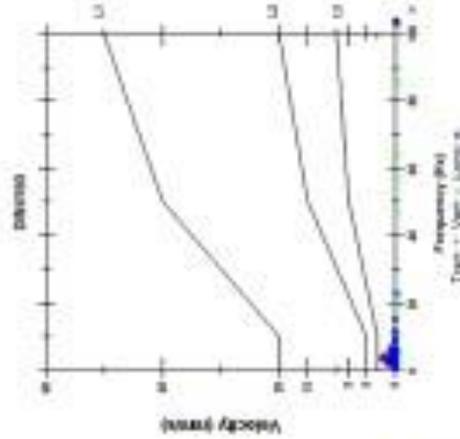
Start Time: 14/03/2020 14:20:20
 Program Name: SPT12004 V 10.19 Instrumenta Pro B
 Range: 1.00 mm/s
 Record File: 28511001
 Record Time: 18/3/2020 10:24:01
 Job Number: 5
 Operator/Setup: Operator: Yanacocha
 Units:
 Location:
 Client:
 Company:
 Service:

Serial Number: SPT12004 V 10.19 Instrumenta Pro B
 Battery Level: 2.8 Volts
 User Calibration: December 6, 2019 by Impulse
 User Calibration: 01/30/08, December 6, 2019 by Impulse
 File Name: "SPT12004"

PPV
 20 Freq: 2.56 3.2 4.0 5.0 6.3 8.0
 Time (ms) to Peak: 2.367 0.820 0.667 0.487 0.407 0.337
 Peak Acceleration: 0.0823 0.0579 0.0519 0.0519 0.0519 0.0519
 Peak Displacement: 0.150 0.2027 0.2789 0.3789 0.4789 0.5789
 Sensor Check: Passed Passed Passed
 Transparency: 7.8 7.4 7.8 7.8 7.8 7.8
 Overturning Ratio: 3.4 3.8 3.8 3.8 3.8 3.8
 Peak Vector Sum: 0.03 mm/s @ 1.254 Hz

Tipo de estructura	Frecuencias en HZ	Frecuencias en HZ	Frecuencias en HZ
Edificios resistentes a vibraciones	0-10	10-50	50-100
Vibración	20 mm/s	20-40 mm/s	40-50 mm/s
Construcciones industriales sensibles a vibraciones	3 mm/s	3-12 mm/s	15-20 mm/s
	3 mm/s	3-8 mm/s	8-10 mm/s

Para este análisis se está considerando el pico más alto más no el vector suma y considerando que la estructura a cuidar corresponde a una industrial, obtenemos que la PPV máxima aceptable debería ser 20 mm/s, más en el detalle del fabricante de la bomba indica que la PPV máxima aceptable debería ser de 4.5 mm/s, con lo cual concluimos que para esta voladura los resultados de vibraciones se encuentran por debajo de lo permitido por la norma DIN 4150 Alemana y lo indicado por el fabricante de la bomba.



Coordenadas:
X: 17551.092
Y: 28551.092
Z: 3994

PPV Pico Max de Bomba = 4.5 mm/s
PPV Pico Max de voladura = 2.64 mm/s
GEOFONO INSTALADO A 771 m DEL DISPARO ELECTRÓNICO

