UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

OPTIMIZACIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN DE ROCA EN EL NIVEL 1515 MEDIANTE EL USO DE EMULSIONES ENCARTUCHADAS EN LA MINA SAN VICENTE – CÍA. MINERA SAN IGNACIO DE MOROCOCHA S.A.A., JUNÍN – 2019

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. Juan Venancio Salas Cutipa

Para optar el título profesional de:
INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA – PERÚ
2020

UNAM

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA DE MINAS

Folio N° 035

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Según Resolución de Comisión Organizadora Nro. 707-2020-UNAM que aprueba la fecha de sustentación de Tesis.

El Jurado Dictaminador ha calificado la defensa de la tesis:

TITULADA:

OPTIMIZACIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN DE ROCA EN EL NIVEL 1515 MEDIANTE EL USO DE EMULSIONES ENCARTUCHADAS EN LA MINA SAN VICENTE – CÍA. MINERA SAN IGNACIO DE MOROCOCHA S.A.A., JUNÍN – 2019.

Asesor Principal:

MSc. Christ Jesus Barriga Paria

Asesor Externo:

.....

Tesista:

Bach. Juan Venancio Salas Cutipa

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA - EPIM -

Dictamina como: APROBADO por UNANIMIDAD

La defensa del tema de la tesis y se aprueba con nota: dieciséis (16)

Por lo que SI opta el título profesional de Ingeniero de Minas.

Siendo las 08:45 horas a los 12 días del mes de noviembre del año 2020 se procede a la firma con conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

.....

Presidente

MGR. ING. JORGE LUIS FLOREZ SALAS

.....

Primer Miembro

MGR. LIC. CARLOS EDUARDO JOO GARCIA

.....

Segundo Miembro

ING. ELIZABETH CATHELINE MEJIA NARRO

.....

Bachiller

JUAN VENANCIO SALAS CUTIPA

DEDICATORIA

A Dios por nuestra existencia, a mi familia y mis padres que siempre me brindaron su apoyo incondicional para poder desarrollarme como profesional; a mis docentes universitarios y compañeros de trabajo que me aconsejaron y me brindaron sus conocimientos.

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradezco a Dios por velar por mi salud y mi bienestar, y a mi familia por su ayuda, su apoyo incondicional y los ánimos que me dieron para seguir siempre adelante y nunca rendirme.

A la Universidad Nacional de Moquegua, a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas y a los docentes por brindarme los conocimientos para realizar este estudio y ser un profesional.

Expreso mi agradecimiento a la Compañía Minera San Ignacio de Morococha por haberme brindado la oportunidad de haber experimentado nuevas experiencias, aprendiendo y mejorando mis destrezas, formándome como profesional en la industria minera.

Así mismo, agradezco de manera muy especial a los trabajadores y/o compañeros de mina quienes me apoyaron, me enseñaron, me aconsejaron y me brindaron su amistad, a quienes valoro y respeto.

RESUMEN

El proceso de perforación y voladura constituye una etapa fundamental dentro de la operación minera en la mina San Vicente; la cual permite poder cumplir con los programas de avance y producción, y al mismo tiempo, alcanzar una calidad de mineral con los requerimientos para procesarlos en planta. Como implementación de mejoras se acordó que se desarrollaría un estudio en optimización de rocas y un análisis de costos. Se definió que este estudio tiene como finalidad la optimización en la fragmentación de rocas en labores donde se realizaran las pruebas de voladura, así mismo se evaluara y comparara la aplicación de emulsiones encartuchadas para la mejora de fragmentación de roca, usando el software WipFrag evaluando y analizando la fragmentación de roca con el estándar establecido y el estándar propuesto. Por lo cual, en el presente trabajo veremos los resultados de las pruebas realizadas, y su comparación técnica y económica en la unidad minera. Teniendo en cuenta que al realizar las pruebas de voladura en minería subterránea tenemos que considerar la seguridad de personal encargado que realiza la voladura, de acuerdo a las pruebas y análisis que se realizó en la unidad minera, para el carguío de taladros, se tiene un estándar establecido, y los resultados conllevarían a la mejora del estándar establecido, y la comparación granulométrica de la fragmentación de roca con el software WipFrag, los resultados conllevarían a la disminución de los costos operativos y el mejoramiento del estándar establecido en el área de perforación y voladura.

ABSTRACT

The drilling and blasting process constitutes a fundamental phase within the mining operation at the San Vicente mine; which enables to be able to accomplish with the advance and production programs, and at the same time, achieves a mineral quality with the necessary requirements to process them in the mining processing plant. As an implementation of improvements, it was agreed that a rock optimization study and a cost analysis would be developed. It was defined that this study aims to optimize the fragmentation of rocks in openings where blasting tests will be performed, likewise, the application of emulsions for the improvement of rock fragmentation is evaluated and compared, using the WipFrag software and analyzing rock fragmentation with the established standard and the proposed standard. Therefore, in this assignment we will see the results of the tests performed, and their technical and economic comparison in the mining unit. Taking into account that when performing blasting tests in underground mining we have to consider the safety of the labor force in charge of blasting, according to the tests and analysis that were performed in the mining unit, for the loading of drills, there is an established standard, and the results would lead to the improvement of this one and the granulometric comparison of the rock fragmentation with the WipFrag software, the results will lead to a reduction in operating costs and an improvement in the established standard in the drilling and blasting area.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA i

AGRADECIMIENTO ii

RESUMEN iii

ABSTRACT iv

1. CAPÍTULO I 1

INTRODUCCIÓN 1

1.1. Descripción y formulación del problema 1
1.1.1. Interrogantes de la investigación 2
1.2. Antecedentes 3
1.2.1. A nivel internacional 3
1.2.2. A nivel nacional 4
1.2.3. A nivel local 7
1.3. Objetivos 8
1.3.1. Objetivo general 8
1.3.2. Objetivo especifico 9
1.4. Justificación e importancia 9
1.5. Hipótesis 11
1.5.1. Hipótesis General 11
1.5.2. Hipótesis Específica 11
1.6. Variables 11
1.6.1. Variable independiente 11
1.6.2. Variable dependiente 12

2. CAPÍTULO II 14

MARCO TEÓRICO 14

2.1. Bases teóricas sobre el nivel del tema 14
2.1.1. Ingeniería de explosivos 14
2.1.2. Proceso de fragmentación de rocas 18
2.1.3. Otras teorías de la mecánica de fragmentación de la roca 24
2.2. Bases teóricas 27

2.2.1. Definición de terminos 27
2.2.2. Propiedad de los explosivos 37
2.2.3. Tipos de explosivos 39
2.2.4. Accesorios de voladura 43
2.2.5. Parámetros de voladura 46
2.2.6. Geomecánica 46
3. CAPÍTULO III 49
METODOLOGÍA 49
3.1. Tipo y nivel de investigación 49
3.1.1. Tipo 49
3.1.2. Diseño 49
3.1.3. Nivel de investigación 49
3.2. Ámbito temporal y espacial 50
3.3. Población y muestra 52
3.3.1. Población 52
3.3.2. Muestra 52
3.4. Instrumentos 53
3.4.1. Técnicas 53
3.4.2. Materiales 53
3.5. Procedimientos 57
3.6. Análisis de datos 58
3.7. Representación de resultados 59
3.8. Parámetros y pruebas de voladura. 63
Análisis de costos 67
4. CAPÍTULO IV 69
RESULTADOS 69
4.1. Resultados 69
4.1.1. Análisis y comparación de los taladros, y emulsiones utilizadas de las pruebas de voladura con el estándar establecido y el estándar propuesto 70
4.1.2. Análisis y comparación de costos 71

5. CAPÍTULO V 73
DISCUSIÓN DE RESULTADOS 73
5.1. Comparación y análisis de costos 73
5.2. Comparación y análisis de fragmentación 76
6. CAPÍTULO VI 79
CONCLUSIONES 79
7. VII. RECOMENDACIONES 81
8. VIII. REFERENCIAS 82
9. Bibliografía 82
10. ANEXOS 86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Primera fase – Fracturas radiales (Brisance) 20

Figura 2. Segunda Fase – Empuje hacia adelante (Heave). 21

Figura 3. Tercera fase - Fragmentación 23

Figura 4. Fases de la fragmentación de roca 24

Figura 5. Interacción de las propiedades de las rocas y variables controlables con las operaciones mineras. 27

Figura 6. Esquema del método de explotación corte y relleno 33

Figura 7. Esquema del método de explotación cámaras y pilares 34

Figura 8. Mineralización tipo cebra 35

Figura 9. Mineral (Zinc) del Tajo 632 con mineralización tipo masivo. 36

Figura 10. Clasificación de emulsiones encartuchadas 40

Figura 11. Accesorios de voladura y emulsiones encartuchadas 45

Figura 12. Amarre de malla y accesorios de voladura. 45

Figura 13. Ubicación de la Mina San Vicente 51

Figura 14. Faneles de periodo cortó (MS) y Faneles de periodo largo (LP). 54

Figura 15. Pentacord o Cordón Detonante 54

Figura 16. Carmex 55

Figura 17. Mecha rápida 56

Figura 18. Tacos de Arcilla 56

Figura 19. Software WipFrag 57

Figura 20. Pintado de Malla de Perforación 60

Figura 21. Preparación de Materiales para Carguío de Taladros..... 61

Figura 22. Regado y desate de rocas 62

Figura 23. Fragmentación de la voladura..... 62

Figura 24. Comparación de costos operativos con el estándar establecido y estándar propuesto. 74

Figura 25. Resultado del p80 de las pruebas de voladura 77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables 13

Tabla 2 Tipo de explosivo, densidad y resistencia al agua. 16

Tabla 3 Teorías de fragmentación de roca. 25

Tabla 4 Clasificación de emulsiones encartuchadas 39

Tabla 5 Características técnicas del Emulnor Famesa Explosivos S.A.C. 41

Tabla 6 Índice de calidad de roca 47

Tabla 7 Clasificación del RMR Geomecánica de Bieniawski 1969 48

Tabla 8 Labores donde se realizó las pruebas de voladura en el Nivel 1515. 69

Tabla 9 Análisis y comparación de taladros, y emulsiones realizadas en las pruebas de voladura 70

Tabla 10 Costos directos de las pruebas de voladura 71

Tabla 11 Resultados del p80 de las pruebas de voladura 72

Tabla 12 Diferencias de costos operativos con el estándar establecido y el estándar propuesto 73

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción y formulación del problema

La compañía minera San Ignacio de Morococha es titular de la Unidad Económica Administrativa San Vicente donde se desarrolla principalmente actividades de exploración y explotación minera. En la actualidad el yacimiento polimetálico de San Vicente se explota por los métodos convencionales y mecanizados, para poder incrementar las reservas de minerales se viene profundizando las labores de exploración, desarrollo y preparación consistentes en cortadas, galerías, cruceros, chimeneas y rampas.

Durante las operaciones unitarias de perforación y voladura no se obtienen los resultados esperados, entre los principales problemas detectados en las operaciones unitarias de perforación y voladura: se obtiene material con granulometría muy gruesa, existe estándares de mallas de perforación y carguío de voladura, deficiencias en el modo de perforación, inadecuada carga explosiva, utilización de tacos de arcilla para sellar los taladros, la mala distribución de carga explosiva, la sobre-trituración, la sobre-excavación y la presencia de bancos después de la voladura, ocasionando disminución en el rendimiento de los equipos de

acarreo y transporte al disminuir el factor de llenado de los equipos de carguío este afecta a la programación de la producción.

Como consecuencia de los problemas mencionados, el costo de voladura y costo de producción se incrementan debido a la sobre-voladura (12% bolonería en desmonte, y 14% bolonería en mineral), que se debe realizar, es decir que al trasladar hacia la planta tienen que ser reducidos los bancos hasta alcanzar la granulometría adecuada para poder pasar al chancado primario.

1.1.1. Interrogantes de la investigación

Interrogante general

¿Cómo aplicar las emulsiones encartuchadas para la mejora de la fragmentación de roca en la mina San Vicente – Cía. Minera San Ignacio de Morococha S.A.A.?

Interrogante especifica

¿Cómo implementar el uso de emulsiones encartuchadas para optimizar la fragmentación de roca en el nivel 1515 de la mina San Vicente – Cía. San Minera San Ignacio de Morococha S.A.A.?

¿Cómo mejorar la fragmentación de roca a una granulometría adecuada en el nivel 1515 de la mina San Vicente – Cía. Minera San Ignacio de Morococha S.A.A.?

1.2. Antecedentes

1.2.1. A nivel internacional

Según Barrera (2017), demostró que los resultados reales son muy parecidos a los que el modelo predijo, y pudo describir cada para parámetro de voladura y su influencia en la fragmentación. El uso del modelo permite evitar fragmentación secundaria, y se comprobó la facilidad de uso del método digital para la medición de la fragmentación, y se pudo obtener una fragmentación que se ajuste a curvas límite preestablecidas usando el modelo.

Según Sánchez (2012), la malla de perforación que se propuso en la tesis, determina que es necesario utilizar explosivos que posean elevada velocidad de detonación para reducir el número de taladros (de 62 a 48), y la cantidad de sustancia explosiva requerida en cada voladura, mejoras que disminuirán el tiempo destinado a la barrenación y al cargado. Y que la aplicación de la malla de perforación propuesta en este trabajo, significa para el Elipse S.A. el ahorro de US$85.12 en cada voladura debido a la reducción de la cantidad de sustancias explosivas requerida y con ello la disminución del costo de explotación.

Según Music (2007), el objetivo general de este estudio fue efectuar un diagnostico técnico de las operaciones de Perforación y Tronadura de desarrollo horizontal en la “Mina Reservas Norte” de Codelco Chile División el Teniente, específicamente en el Nivel de Producción (Teniente Sub-6).

Como instrumento de investigación se utilizó las fotografías de los disparos antes y después de cada tronadura, para posterior digitalización en *software 2DFace* y el monitoreo de las vibraciones producto de la tronadura.

1.2.2. A nivel nacional

Según Mamani (2019), se concluye que es relevante el diseño de malla de perforación y voladura en distintas alteraciones, y al analizar los resultados de trabajo, podemos demostrar la fragmentación por la clasificación del diseño de malla por alteraciones, logrando una fragmentación. Cuando existe mayor cantidad en dimensiones de malla por alteración, y cantidad de explosivos adecuados se obtiene una mejor fragmentación.

Según Tipo (2019), se concluye que se ha optimizado la fragmentación de rocas de un P80 con un pasante a parrilla de 10pulg, y se ha modificado el parámetro de perforación de una malla cuadrada a triangular con dimensiones de burden y espaciamiento, y se minimizó el costo de producción de mineral.

Según Quispe (2018), se concluye que con el nuevo diseño de malla de perforación, se obtiene una reducción de costo por disparo. Donde se ahorró un porcentaje de los explosivos, porque se mejoró la adecuada distribución de los taladros, y se determinó la distribución integral de los taladros donde se mejoró el factor de carga, y con el nuevo diseño de malla

de perforación es muy favorable para el Crucero 340 NW en la empresa minera Yansur S.A.C.

Según Carrasco (2015), se realizó el diseño de la malla de perforación y voladura aplicando el método *Holmberg* mediante un análisis exhaustivo que garantiza la mejora del diseño de malla de perforación, y se logró obtener la eficiencia de la voladura que se realiza en la Unidad Parcoy, mediante una distribución de energía en el macizo rocoso que asegura una eficiencia de voladura de 92%. Con la aplicación de la voladura controlada de pre-corte y el uso adecuado de explosivos en la Unidad Parcoy se ha permito controlar y reducir la sobre-excavación.

Según Chambi (2011), se concluye que la optimización obtenida en perforación y voladura en la ejecución de la rampa 740, de la unidad Vinchos de Cerro de Pasco, es reducir dos taladros por frente y ahorrar kilogramos de explosivo por disparo, y así lograr una mejora en la reducción de costos operáticos en la unidad Vinchos de Cerro de Pasco.

Según Ticlavilca (2010), la realización permanente de trabajos de perforación y voladura ha permitido ajustar los parámetros del diseño de la malla de perforación a las características del macizo rocoso, y que constantemente se monitoreo los parámetros adecuados de trabajo de los equipos de perforación, así como también el material perforado en cada voladura para utilizar el tipo de acero de desgaste requerido y la malla más adecuada.

Según Cenzano (2010), se logró optimizar las operaciones de la empresa, generando máximas tasas de rentabilidad por la explotación de minerales auríferos de vetas o filones angostos, logrando un adecuado control de costos y aplicando tecnología de bajo costo operativo, logrando una mecanización similar a la de mediana mina.

Según Lupaca (2009), concluye que los costos directos totales (perforación, voladura y limpieza) por disparo del corte vertical son mayores que las del corte horizontal, y la existencia de diversos métodos para estimar los costos de acuerdo a la necesidad, hacen que se puedan llevar un buen control de todos los costos unitarios que se emplean en minería.

Según Jauregui (2009), Concluye en la reducción de los costos operativos en una empresa minera, y estándares óptimos se logra con un sistema de control y mención exhaustivo de las operaciones y que se sintetizan en la supervisión y capacitación continua, y que el consumo de explosivos depende del número de taladros disparados realizados en una voladura".

Según Frisancho (2006), concluye que la perforación y voladura es la primera y tal vez la más importante operación minera unitaria en siglo total de minado. Los diseños de voladura inadecuados y defectuosos podrían tener graves consecuencias a lo largo de todo el ciclo de minado, empezando por la voladura misma y prosiguiendo a través de las operaciones de carguío y acarreo.

Según López (2003), los fabricantes emplean los valores de energía junto con otras propiedades como una medida del buen funcionamiento de los explosivos, de modo que los usuarios entienden que al emplear un explosivo con mayor energía disponen de mayor energía para desarrollar contra la roca.

1.2.3. A nivel local

La empresa inició sus operaciones el 6 de agosto de 1942. Su objetivo social es el desarrollo de todo tipo de actividades mineras, así como servicios de gerencia y administración. La actividad económica de la empresa es la exploración, explotación, concentración de minerales y comercialización de concentrados de zinc y plomo. La historia de la unidad minera San Vicente se remota a la década del 50 donde se presenta el primer denuncio minero llamado San Vicente, del cual empezó a obtener pequeños lotes de mineral de plomo.

En 1996 la Cía. Minera San Ignacio de Morococha S.A.A. se interesó en el yacimiento San Vicente, y tomo bajo contrato las concesiones, reiniciando los trabajos de exploración y desarrollo de la mina San Vicente. Desde Mayo de 1970, la Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A. dirige las operaciones en la mina San Vicente, produciendo concentrados de zinc y plomo. Se aplica el método de explotación cámaras y pilares, el cual consiste como su nombre lo indican, en la explotación de caserones separados por pilares de sostenimiento del techo. La recuperación de los

pilares puede ser parcial o total, en este último caso, la recuperación va acompañada del hundimiento controlado del techo que puede realizarse junto con la explotación o al final de la vida del yacimiento, lógicamente el hundimiento del techo en este caso es totalmente controlado.

El uso de explosivos en minería y construcción data de 1627 a 1865, el explosivo utilizado era la pólvora negra; este es un explosivo muy diferente a los que se utilizan hoy en día. En 1865 Alfredo Nobel inventó, en Suecia, la dinamita sobre la base de la nitroglicerina. Más tarde, en 1866, invento las dinamitas gelatinosas. Estos nuevos productos eran más energéticos que la pólvora negra y se utilizaban de diferente manera, ya que no había necesidad de confinar el explosivo para obtener buenos resultados, cómo en el caso de la pólvora negra. Desde 1867 hasta la mitad de los años 1950, la dinamita se convirtió en el caballo de batalla de la industria de los explosivos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la aplicación de emulsiones encartuchadas para la mejora de fragmentación de roca en el nivel 1515 en la mina San Vicente – Cía. San Ignacio de Morococha S.A.A.

1.3.2. Objetivo especifico

Implementar el uso de emulsiones encartuchadas con distribución adecuada de la carga explosiva en el nivel 1515 mina San Vicente Cía. Minera San Ignacio de Morococha S.A.A.

Optimizar la fragmentación de Macizo Rocoso a una granulometría adecuada en el nivel 1515 mina San Vicente Cía. Minera San Ignacio de Morococha S.A.A.

1.4. Justificación e importancia

La compañía minera San Ignacio de Morococha en su unidad San Vicente posee gran potencial de reservas minerales para su explotación, y es necesario profundizar las labores de explotación del yacimiento, y obtener mayores niveles de rentabilidad para la Compañía Minera a bajos costos de producción, realizando una evaluación del proceso de voladura de operaciones unitarias según las características del yacimiento, dicho análisis será de mucho beneficio para la unidad Minera San Vicente, y por ende la Compañía Minera San Ignacio de Morococha.

En la actualidad en la Unidad Minera en estudio, las operaciones unitarias de perforación y voladura se realiza empíricamente, el presente proyecto de investigación propone la implementación de uso de emulsiones encartuchadas para mejorar la fragmentación de rocas en función a la energía que genera un explosivo, por ende optimizar el proceso.

El presente proyecto de investigación justifica su ejecución y es de mucha importancia para la compañía y servirá como modelo para la evaluación de las operaciones unitarias y mejora de la fragmentación de rocas en la explotación de yacimientos similares.

En la comparación técnica y económica, de acuerdo a las pruebas y análisis que se realizó en la Unidad Minera San Vicente, para el carguío de taladros en perforaciones horizontales en tajos y rampas, se tiene un estándar establecido:

- Para los Tajos en *Bresting*, *Realce*, *Desquinche*, entre otros; se tiene como estándar utilizar 06 emulsiones por taladro; y para las Rampas – en frentes con secciones de 4.50x4.00; 4.00x4.00; 3.50x3.00; 3.00x3.00 se tiene como establecido utilizar de 7 a 9 emulsiones por taladro.

Para el estándar propuesto:

- Para los Tajos en *Bresting*, *Realce, Desquinche*, entre otros; se propone utilizar 05 emulsiones por taladros; y para las rampas - frentes con secciones de 4.50x4.00; 4.00x4.00; 3.50x3.00; 3.00x3.00; se propone reducir 01 emulsión por taladro.

Los resultados conllevarían a la comparación de la granulometría con el estándar actual, y el estándar propuesto, con el software WipFrag, y esto reflejaría una disminución en los costos.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

La aplicación de emulsiones encartuchadas permite optimizar la fragmentación de roca en el nivel 1515 mina San Vicente de la Cía. Minera San Ignacio de Morococha S.A.A.

1.5.2. Hipótesis Específica

La implementación de emulsiones encartuchadas, contribuye en la mejora de fragmentación de roca en el nivel 1515 mina San Vicente de la Cía. Minera San Ignacio de Morococha S.A.A.

La mejora de fragmentación de roca a una granulometría adecuada permite lograr la reducción de costos de voladura en el nivel 1515 mina San Vicente Cía. Minera San Ignacio de Morocha S.A.A.

1.6. Variables

1.6.1. Variable independiente

La aplicación de emulsiones encartuchadas.

DIMENSIONES

- Grado de fragmentación.
- Geología.

- Velocidad de detonación.

1.6.2. Variable dependiente

La optimización de fragmentación de macizo rocoso.

DIMENSIONES

- Granulometría.
- Costo por taladro cargado.
- Proyección de ahorro

Esta comparación se muestra en la Tabla 1 mostrando la operacionalización de variables con sus respectivos indicadores.

Tabla 1

Operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	HERRAMIENTAS
VARIABLE INDEPENDIENTE		Grado de Fragmentación	Mineral Regular: P80>7.5pulg. Buena: P80<7.5pulg. Desmonte Regular: P80>12pulg. Buena: P80<12pulg.	Cámara fotográfica y software para el análisis granulométrico. Software (WipFrag).
Aplicación de emulsiones encartuchas.	La aplicación emulsiones mejoran dos características: la potencia y la resistencia al agua. Una emulsión es un sistema bifásico en forma de una dispersión estable de un líquido inmiscible en otro (Famesa S.A.C., 2019, p.156).	Mineralogía	Características de la roca (roca regular), esfalerita (sulfuro de zinc), galena (sulfuro de plomo), dolomita (carbonato de calcio y magnesio.	Propiedades del macizo rocoso, comportamiento, entre otros.
		Velocidad de detonación	Emulnor 5000: Bajo: 4200 m/s. Alto: 5500 m/s. Emulnor 3000: Bajo: 4400 m/s. Alto: 5700 m/s.	Características técnicas del Emulnor Famesa.
VARIABLE DEPENDIENTE		Granulometría	Regular: p80 $\geq$ 6 pulg Optimo: p80 $\leq$ 6 pulg	Cámara fotográfica y análisis granulométrico con el Software (WipFrag).
Optimización de fragmentación de roca.	La distribución granulométrica es una herramienta básica dentro del proceso de optimización de voladura, ya que es el único medio de comparación de la fragmentación obtenida cuando se procede a realizar un estudio de sensibilidad de los parámetros de diseño. (Famesa S.A.C., 2019, p.378).	Costo por taladro cargado ($).	Dólares por taladro cargado ($/tal).	Hoja de cálculo Excel.
		Proyección de ahorro ($).	Margen de ahorro producto de la utilización de las emulsiones.	Hoja de cálculo Excel.

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas sobre el nivel del tema

2.1.1. Ingeniería de explosivos

Los materiales explosivos son compuestos o mezclas de sustancias en estado sólido o líquido, que por medio de reacciones químicas de óxido-reducción, son capaces de transformarse en un tiempo de una fracción de microsegundo en productos gaseosos y condensados, cuyo volumen inicial se convierte en una masa gaseosa que llega a alcanzar muy altas temperaturas, y en consecuencia muy elevadas presiones. Todo explosivo debe tener como resultante la siguiente Ecuación 1:

$$\boldsymbol{Oxidantes + Combustibles \rightarrow\ CO_2 + H_2O + N_2} \qquad (1)$$

Propiedades físicas de los explosivos

Potencia

Define la energía disponible para producir efectos mecánicos, el parámetro de medida en las dinamitas es con el porcentaje de nitroglicerina, actualmente se mide con la potencia relativa por peso y volumen.

Densidad

La densidad en la mayoría de los explosivos varía entre 0.8 $\mathrm{gr/cm^3}$ y 1.6 $\mathrm{gr/cm^3}$, factor muy importante para el cálculo de carga necesaria para una voladura, mayor sea la densidad del explosivo, tanto mayor será su eficiencia.

Sensibilidad

Es la facilidad de iniciación de un explosivo o del detonador mínimo requerido, variando de acuerdo a la composición del explosivo, diámetro, temperatura, presión del ambiente:

- La dinamita es sensible a la capsula detonadora de potencia N°8 o al cordón detonante.
- Los agentes explosivos, no son sensibles a la capsula detonadora de potencia N°8, necesita detonador (*booster*).

Estabilidad Química

Capacidad para mantenerse químicamente estable y retener su sensibilidad cuando ha sido almacenado bajo las condiciones especificadas, los factores que afectan la estabilidad química incluyen: calor, frio, humedad, materias primas de calidad, contaminación, envases e instalaciones de almacenamiento. Los signos del producto son cristalización, aumento de viscosidad y aumento de densidad.

Resistencia al agua

Capacidad del explosivo de resistir a la explosión del agua sin perder sensibilidad ni eficiencia. Esta comparación se muestra en la Tabla 2 mostrando 5 tipos de explosivos y sus características.

Tabla 2

Tipo de explosivo, densidad y resistencia al agua.

TIPO DE EXPLOSIVO	DENSIDAD	RESISTENCIA AL AGUA
Gelatina 75	1.38 g/cm^3	Buena
Semexsa 65	1.12 g/cm^3	Moderada
Semexsa 65	1.08 g/cm^3	Baja
Exadit 65	1.04 g/cm^3	Pobre
Exadit 45	1.00 g/cm^3	Muy Pobre

Fuente: Optimización de la voladura controlada aplicando un modelo matemático en la Unidad Minera Paraíso - Ecuador (Mendoza Muñoz, 2014).

Velocidad de detonación

Es el parámetro que define el ritmo de liberación de energía. La velocidad de detonación es considerada como el mejor “barómetro” para estimar la performance y consistencia de formulaciones de explosivos. Un aumento de la velocidad de detonación implica un aumento de la energía de tensión (ET) y por consiguiente una disminución de la energía de los gases (EG), porque, la suma de ambas performance es constante.

Impedancia

Para el explosivo, la impedancia se refiere al producto de la densidad en el taladro y a la velocidad de detonación, mientras que en la roca la impedancia se define como el producto de la velocidad de las ondas “P” y

la densidad. Basado en el deseo de igualamiento de las impedancias, rocas masivas y de alta resistencia (con velocidades P en el rango de 4500 m/s a 6000 m/s) se fragmentan mejor con un explosivo con alta densidad y alta velocidad de detonación. La impedancia de los explosivos nunca alcanza la impedancia máxima de la roca, debido a la baja densidad de los explosivos comerciales.

Muchas rocas, sin embargo, más que fragmentación requieren desplazamiento y para este tipo de rocas la utilización de la energía de choque es de importancia secundaria comparada con la generación y utilización de la energía de levantamiento (*heavy*). Estas rocas se benefician del uso de explosivos de baja velocidad de detonación y es en esta aplicación que el uso de explosivos aluminizados se adecua mejor. Esto se detalla en la Ecuación 2 mostrando la densidad del explosivo más la velocidad de detonación:

$$\boldsymbol{\rho_{explosivo} + VOD \quad \rightarrow \quad \rho_{rock} + \rho_{wv}} \qquad (2)$$

Donde:

$\rho_{explosivo}$ = Densidad explosivo.

VOD = Velocidad de detonación del explosivo.

ρ_{rock} = Densidad de la roca.

ρ_{wv} = Velocidad de propagación de la onda a través del macizo rocoso.

Características de humos

Los explosivos al detonar pueden generar humos no tóxicos como el Dióxido de Carbono (CO_2) y como el Hidróxido (HO); y tóxicos como el Óxido de Nitrógeno (NO), Dióxido de Nitrógeno (NO_2) y el Monóxido de carbono (CO), los factores que aumentan la generación de gases son: falta de confinamiento, humedad, composición inapropiada del explosivo, tiempos inadecuados y reacción adversa con la roca (mineral de sulfuro o carbonato).

Algunas condiciones de voladura pueden producir vapores tóxicos aun cuando el explosivo este balanceado de oxígeno. Algunas de estas condiciones son: diámetro de la carga insuficiente, resistencia al agua inadecuada, cebado deficiente y pérdida prematura del confinamiento.

2.1.2. Proceso de fragmentación de rocas

Para poder obtener una buena fragmentación, resultado de las operaciones mineras unitarias de perforación y voladura, el proceso del fracturamiento de rocas debe ser bien entendido.

Así por ejemplo Frank Chiappeta (1992), ha propuesto que el proceso de fracturamiento de rocas sea enfocado desde un punto de vista de eventos.

Tal como sigue:

IE1 = Detonación.

IE2 = Propagación de la onda de choque o comprensiva.

IE3 = Expansión de la presión de los gases.

IE4 = Movimiento de macizo rocoso, etc.

Etapas del proceso de fracturamiento

La mayoría de los investigadores están de acuerdo en que 3 son las etapas o fases principales que toman lugar en el proceso del fracturamiento de rocas por la acción de una mezcla explosiva comercial:

Primera fase – Fracturas radiales (*Brisance*)

Cuando cualquier mezcla explosiva comercial que se encuentra cargada dentro de un taladro y es detonada, se producen ondas compresivas o de choque.

La forma y magnitud de estas ondas compresivas que viajan a altas velocidades cuyo rango esta entre 3,000 m/s – 5,000 m/s, dependerá del tipo de mezcla explosiva comercial, del tipo de roca, del número y posición de los *boosters*, altura de carga, diámetro del taladro y la relación de la velocidad de detonación con la velocidad de propagación de las ondas a través del macizo rocoso. Esta fase se muestra en la Figura 1 mostrando la vista en planta de la fase I, con las posiciones de ondas compresivas emergentes.



Figura 1. Primera fase – Fracturas radiales (*Brisance*)

Fuente: Optimización de la voladura controlada aplicando un modelo matemático en la Unidad Minera Paraíso – Ecuador (Mendoza Muñoz, 2014).

Segunda fase – Empuje hacia adelante (*Heave*)

Las altas presiones de los gases, hacen que estos produzcan las ondas compresivas las cuales serán refractadas y reflejadas. Las ondas compresivas reflejadas cambiaran de signo (negativo), y se convertirán en ondas tensionales. Esta transformación ocurrirá cuando las ondas compresivas arriben a una cara libre, cuando la masa rocosa cambie de densidad o cuando ellas encuentran fallas geológicas o planos estructurales, entre otros.

El fracturamiento de la roca comenzara en la cara libre o en cualquier discontinuidad donde las ondas compresivas son reflejadas. Esta fase se muestra en la Figura 2 mostrando la vista en planta de la fase II, con las posiciones de las ondas compresivas emergentes y reflejadas.

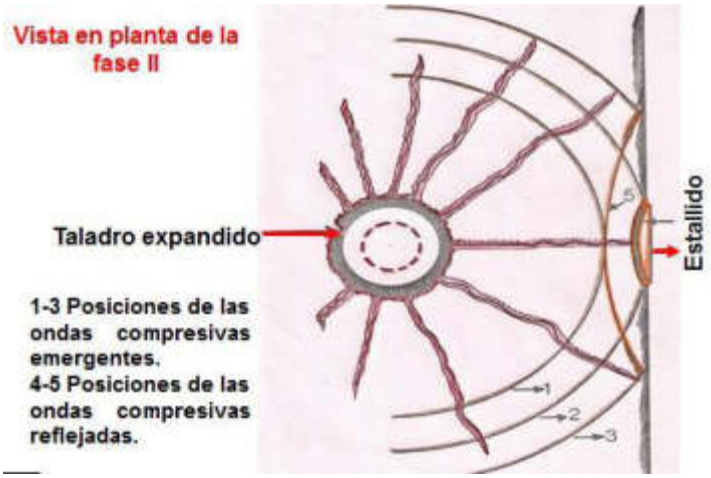


Figura 2. Segunda Fase – Empuje hacia adelante (Heave).

Fuente: Optimización de la voladura controlada aplicando un modelo matemático en la Unidad Minera Paraíso - Ecuador (Mendoza Muñoz, 2014).

Cuando las ondas compresivas cambian de signo y se convierten en ondas tensionales; ellas regresan de la cara libre o cualquier discontinuidad estructural, hacia el punto de origen de la detonación fracturando el macizo rocoso; porque esta falla más fácilmente por efecto de las ondas tensionales que por el de las ondas compresivas. En general, es muy conocido que la resistencia tensional dinámica de cualquier tipo de roca es menor que su resistencia compresiva dinámica. Las ondas tensionales producirán el empuje hacia delante (*heave*) del macizo rocoso en la zona más cercana a la cara libre (*burden*).

El empuje hacia delante (*heave*) entre otros factores dependerá de lo siguiente: Tipo de roca, cantidad y calidad de la mezcla explosiva comercial, las mallas de perforación y voladura a ser usadas en el disparo primario, entre otros.

Tercera fase – Fragmentación

En esta etapa se produce la fragmentación total de la roca, según Johansson & Persson (1970), menciona “Bajo la influencia de las altas presiones de los gases producidos por la detonación de cualquier mezcla explosiva comercial; las primeras fracturas radiales son extendidas, la cara libre falla y esta es movida hacia el frente”, según Santos Preciado (2020), menciona en el libro Geografía General I “El motor de la fragmentación reside en las variaciones de temperatura, que puede actuar de forma directa o indirecta.

Como en el caso del empuje hacia adelante (*heave*); la primera parte del macizo rocoso es movida hacia adelante y la nueva cara libre reflejara lo restante de las ondas de choque producidas por las ondas compresivas. Luego, las ondas producirán la suficiente energía para fracturar el macizo rocoso disparado. Este proceso continuara hasta que las ondas tensionales requeridas terminen el fracturamiento del macizo rocoso. Finalmente el macizo rocoso volverá a su estado original (reposo). Esta fase se muestra en el Figura 3 mostrando la vista en planta de la fase III, el macizo rocoso se fragmenta por la acción de las ondas sensoriales y el macizo rocos desprendido se mueve hacia adelante.

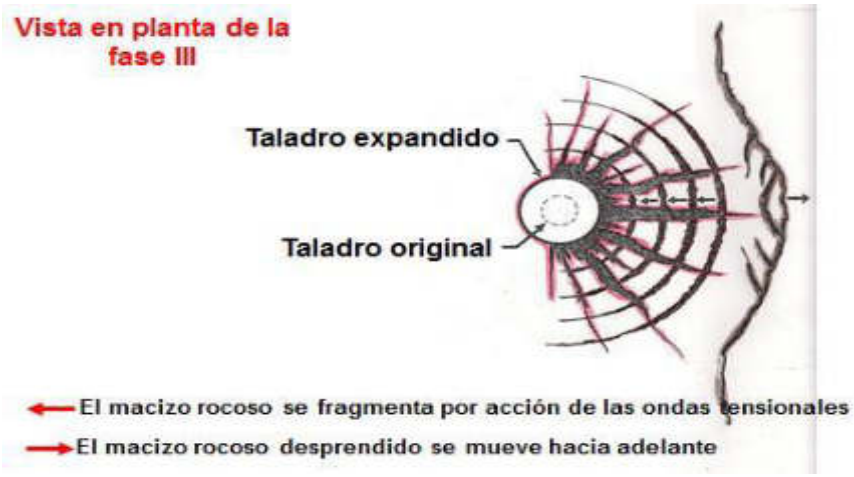


Figura 3. Tercera fase - Fragmentación

Fuente: Optimización de la voladura controlada aplicando un modelo matemático en la Unidad Minera Paraíso - Ecuador (Mendoza Muñoz, 2014).

Muchos investigadores han dicho: La fragmentación es la más importante y única variable que debe ser tomada en cuenta para evaluar los resultados de un disparo desde un punto de vista técnico económico ecológico. Es debido a que la fragmentación es la única variable que Inter-relaciona a todas las operaciones mineros metalúrgicos que conforman el ciclo total de la extracción del mineral (pre minado, minado propiamente dicho, procesamiento de minerales, y venta de los productos minerales). En la Figura 4 se mostrara las fases de la fragmentación de roca.

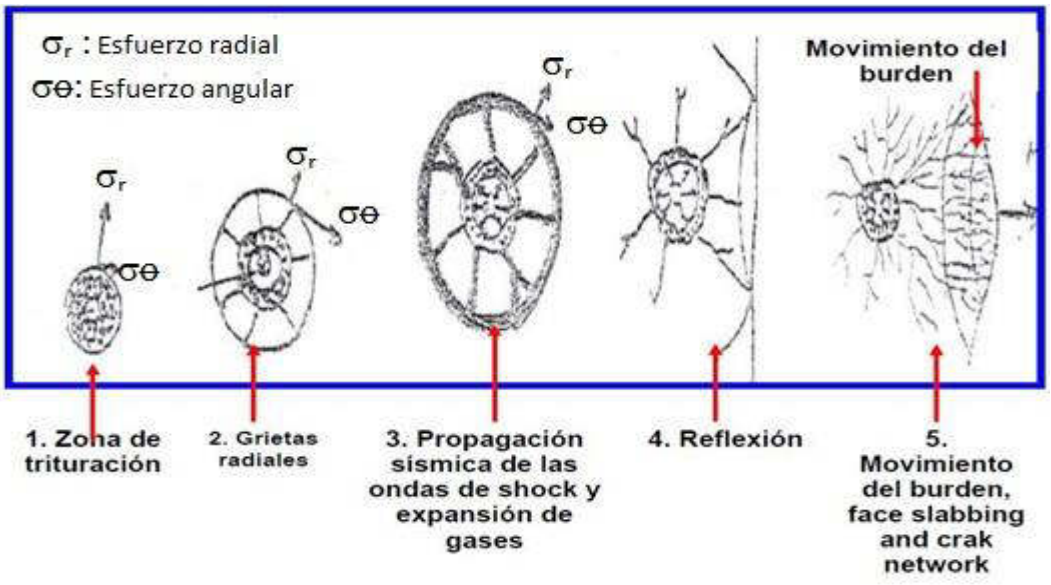


Figura 4. Fases de la fragmentación de roca

Fuente: Optimización de la voladura controlada aplicando un modelo matemático en la Unidad Minera Paraíso – Ecuador (Mendoza Muñoz, 2014).

2.1.3. Otras teorías de la mecánica de fragmentación de la roca

Estas teorías se basan en criterios sobre distribución de energía, acción de fuerzas de compresión-tensión, reflexión de ondas de choque en la cara libre, efectos de corte y cizallamiento por movimiento torsional entre taladros, presión de gases súbitamente aplicados sobre la roca y liberación de cargas, ruptura de material rígido por flexión, integración o nucleación de micro-fracturas en fisuras y fallas, colisión de fragmentos en el aire y otros, sustentados y basándose en especulaciones, investigaciones en laboratorios especializados y campos de prueba, modelos físicos y matemáticos, pruebas experimentales y de producción controladas por fotografía de alta velocidad y monitoreo sísmico y otros. Estas teorías se

muestran en la Tabla 3 mostrando 8 tipos de mecanismos de rotura con sus acciones de energía.

Tabla 3

Teorías de fragmentación de roca.

TIPO	MECANISMO DE ROTURA	ACCIÓN CASUAL
1	Trituración de la roca	Energía de tensión
2	Formación de la onda de choque	Energía de tensión
3	Reflexión de la onda de choque	Energía de tensión
4	Extensión y apertura de grietas radiales	Energía de burbuja
5	Fracturación por liberación de carga	Energía de tensión y burbuja
6	Fractura por cizallamiento	Energía de tensión
7	Rotura por flexión	Energía de burbuja
8	Rotura por colisión	Energía de burbuja

Fuente: Optimización de la voladura controlada aplicando un modelo matemático en la Unidad Minera Paraíso - Ecuador. (Mendoza Muñoz, 2014).

Este mecanismo aún no está plenamente definido, existiendo varias teorías que tratan de explicarlo entre las que se pueden mencionar, son las siguientes:

- Teoría de reflexión (ondas de tensión reflejadas en un cara libre).
- Teoría de expansión de gases.
- Teoría de ruptura flexural (por expansión de gases).
- Teoría de torque (torsión) o de cizallamiento.
- Teoría de caracterización.
- Teoría de energía de los frentes de onda de compresión y tensión.
- Teoría de liberación súbita de cargas.
- Teoría de nucleación de fracturas en fallas y discontinuidades.

Macizo rocoso

Las voladuras que hasta épocas recientes venían considerándose como “arte” ha nacido de la experiencia y pericia de los artilleros, ha ido transformándose paulativamente en una técnica basada en los análisis detallados y racionales del conjunto de parámetros que intervienen en los procesos de rotura de la roca. Así, podemos diferenciar tres grupos de variables:

- Propiedades de la roca
- Propiedades del explosivo
- Geometría de la voladura y secuencia de iniciación.

En la Figura 5 se establece la interdepencia que existe entre las propiedades de las rocas, las variables controlables y algunas de las operaciones básicas que constituyen el ciclo minero.

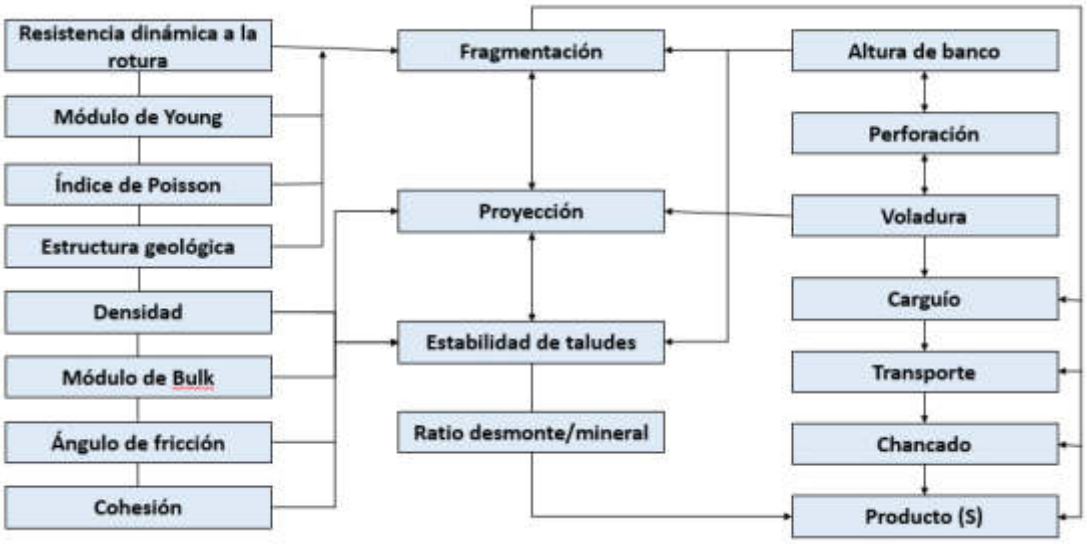


Figura 5. Interacción de las propiedades de las rocas y variables controlables con las operaciones mineras.

Fuente: Interacción de las propiedades de las rocas y variables controlables con las operaciones mineras (Modificado López Jimeno , 1982)

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Definición de terminos

Emulsión encartuchada

La emulsión es un sistema que contiene dos fases líquidas naturalmente inmiscibles entre sí, una de las cuales es dispersa como pequeñas gotas dentro de la otra. La emulsión se puede encontrar de forma encartuchada y a granel (Enaex, 2019, p.29).

Optimización

Optimización se refiere a la capacidad de poder realizar actividades de la manera más eficiente, y en el mejor de los casos utilizar la menor cantidad de recursos (Ausenco, 2017).

Macizo rocoso

Macizo rocoso es una masa de roca de volumen mayor, donde se puede observar, las discontinuidades (fallas, fracturas), puede observarse meteorización, agua y presiones hipostáticas (Cetemin, 2019, p.6).

Fragmentación

La fragmentación de rocas por voladura comprende a la acción de un explosivo y a la consecuente respuesta de la masa de roca circundante, involucrando factores de tiempo, energía termodinámica, ondas de presión, entre otros. La fragmentación es el comienzo de un proceso para poder recuperar mineral. Al fragmentar la roca, este adquiere un tamaño que hace posible su transporte de una manera eficiente (Exsa, 2016, p.17).

Velocidad de detonación

Es la velocidad con la que una onda de detonación se propaga a través del explosivo, y por lo tanto es el parámetro que define el ritmo de liberación de energía. Es también la velocidad con que viaja la onda a lo largo de una columna explosiva, sea el aire libre o en confinamiento dentro de un taladro de voladura (Exsa, 2016, p.38).

Granulometría

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado, tal como se determina por análisis de tamices. La

granulometría es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica con fines de análisis tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas (EcuRed, 2020).

Costos

Costos es fundamentalmente un concepto económico, que influye, en el resultado de una empresa, y se refiere al esfuerzo económico que se debe realizar para obtener un producto o servicio.

Taladro cargado

Taladro es una perforación que se realiza en un frente o cara libre, el cual consiste en realizar agujeros para posteriormente cargarlos con explosivos.

Malla

Malla 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, 2016, p.163).

Perforación

La perforación es la primera operación en la preparación de una voladura, su propósito es el de abrir en la roca agujeros cilíndricos

destinados a alojar al explosivo y estos denominados “taladros” (Exsa, 2016, p.73).

Voladura

Voladura es un proceso tridimensional, en el cual las presiones generadas por explosivos confinados dentro de taladros perforados en la roca, originan una zona de alta concentración de energía que produce dos efectos dinámicos: fragmentación y desplazamiento (Exsa, 2016, p.147).

Subterránea

Es la excavación natural o hecha por el hombre debajo de la superficie de la tierra.

Parámetro

Los parámetros son los diferentes ratios que se obtiene en el campo y la práctica. Son determinantes, debiendo los explosivos y sus métodos de aplicación adecuarse a las condiciones de la roca (Exsa, 2016, p.147).

Grado de acoplamiento

El grado de acoplamiento es el radio del diámetro de carga a diámetro de taladro. El acoplamiento físico entre la carga explosiva y la roca permite la transferencia de la onda de choque entre ellas, teniendo un carácter muy significativo sobre el rompimiento (Exsa, 2016, p.148).

Desacoplamiento

El desacoplamiento es recomendable sólo para la voladura controlada, donde forma un colchón de aire que amortigua el impacto con lo que disminuye la fragmentación (Exsa, 2016, p.148).

Factor de carga

Es la relación entre el peso de explosivo utilizado y el volumen del material roto. El factor de carga es la cantidad de explosivo utilizado poder fragmentar la roca. El factor de carga va a depender del tipo de roca a romper y la sección a excavar (Exsa, 2016, p.158).

Burden

El burden también denominada como línea de menor resistencia. Es la distancia perpendicular hacia la cara libre, el burden es uno de los factores más importantes para el diseño de la voladura (Exsa, 2016, p.154).

Espaciamiento

El espaciamiento es la distancia que hay entre taladros de una misma fila, el espaciamiento es uno de los factores más importantes para el diseño de una voladura (Exsa, 2016, p.156).

Fanel

El fanel es un sistema de iniciación no eléctrico, que posee cualidades como sincronización sin riesgo, eliminando toda posibilidad de conexiones erróneas (Famesa, 2020).

Método de explotación corte y relleno ascendente

El método de explotación corte y relleno ascendente es utilizado en todas las labores de la mina San Vicente, este método es empleado para los yacimientos mineralizados que tienen una roca encajonante y el mineral de baja competencia geomecánica. Es un método altamente selectivo, por lo que permite tener altas recuperaciones (>90%) y baja dilución (<2%). Pero por otro lado, por el empleo del relleno y su baja productividad es un método de alto costo unitario (US$/t). Es aplicable para cuerpos mineralizados de altos buzamientos, y grandes extensiones. Es aplicable en rocas de estabilidad buena a moderada. Este esquema se muestra en la Figura 6 mostrando las características del método de explotación corte y relleno.

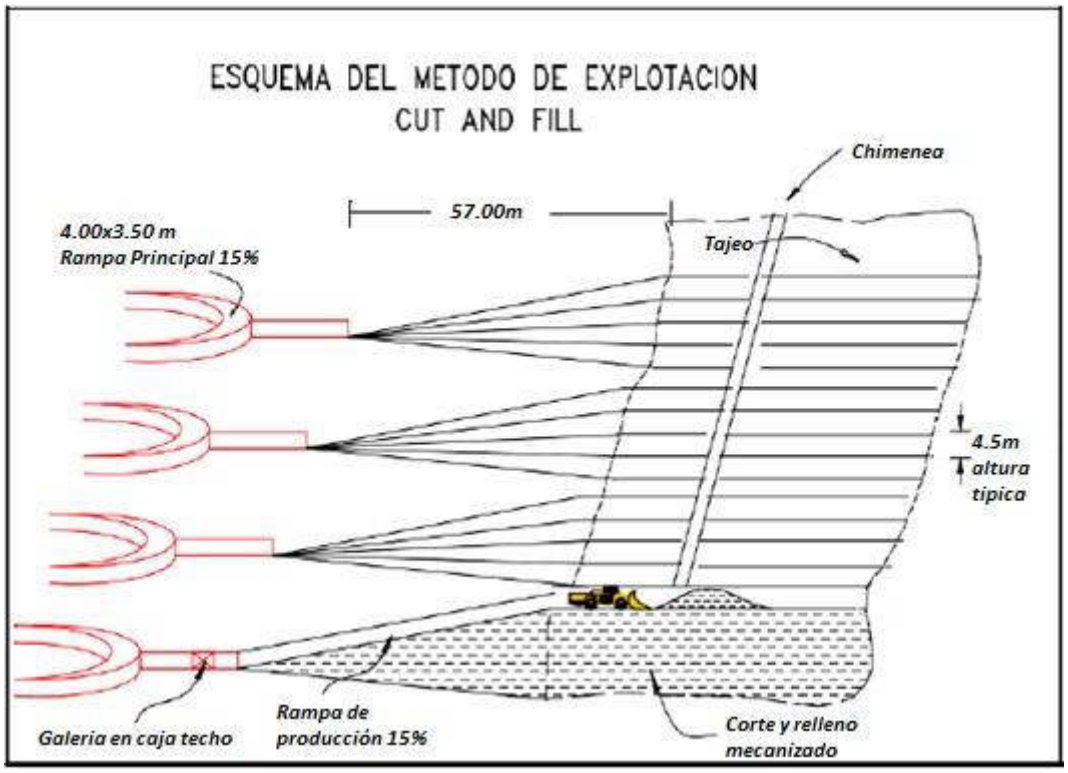


Figura 6. Esquema del método de explotación corte y relleno

Fuente: Control de avances y tajos (perforación y voladura) en el área de operaciones mina - Junín (Giarnelly Quiñones, 2019).

Método de explotación cámaras y pilares

El método de explotación cámaras y pilares utilizados en todas las labores de la mina San Vicente, este método se aplica en cuerpos mineralizados de posición horizontal o que tenga una pequeña inclinación. Se abren múltiples tajeos o cámaras, dejando zonas intactas para que actúen como pilares para sostener la carga vertical. Este esquema se muestra en la Figura 7 mostrando las características del método de explotación corte y relleno.

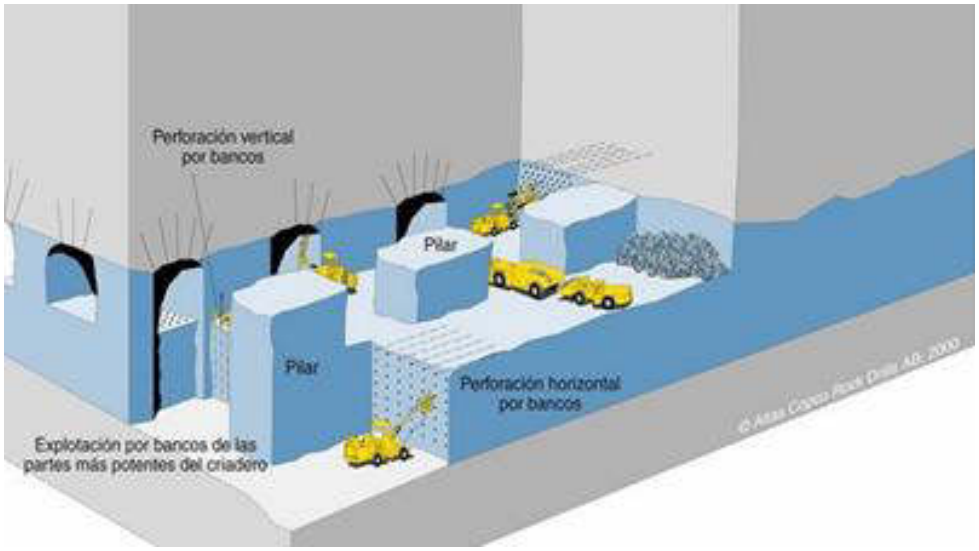


Figura 7. Esquema del método de explotación cámaras y pilares

Fuente: Diseño de pilares mediante el método del área tributaria (Motta Andrea, 2016)

Tipo de mineralización

- **Tipo cebra**

Es la típica mena bandeada; en donde el sulfuro principal es la esfalerita de color marrón, gris, amarilla, entre otros, de cristalización fina no ferrífera (Blenda Rubia). La estructura 'Cebra' consiste en venas paralelas de esfalerita y dolomita. En la Figura 8 se mostrara la mineralización tipo cebra. (Departamento de Geología, Mina San Vicente).



Figura 8. Mineralización tipo cebra

Fuente: Elaboración Propia

- **Tipo brecha**

Está caracterizada por fragmentos angulosos de esfalerita masiva, esfalerita bandeada y dolomita, cementados con venas de calcita y/o dolomita. (Departamento de Geología, Mina San Vicente).

- **Tipo masivo**

Consiste en esfalerita gris oscuro, de grano fino, distribuida en pequeños lentes compactos con dolomita gris clara recristalizada. Este tipo de mineralización se mostrara en la Figura 9 el cual está ligada a mantos de gran potencia y con alto contenido de Zinc. (Departamento de Geología, Mina San Vicente).



Figura 9. Mineral (Zinc) del Tajo 632 con mineralización tipo masivo.
Fuente: Elaboración Propia

Exploración

Numerosos estudios se han llevado a cabo en la Unidad San Vicente los cuales incluyen sedimentología estructural, geoquímica, geología isotópica y paragénesis. Estos estudios han determinado un potencial geológico aun enorme por explorar.

En el año 2017 se prueba la existencia de dos nuevos corredores mineralizados denominados Ayala Inferior ubicado entre la zona Norte Baja y Nuevo Rhamys, y corredor Manganeso ubicado al extremo sur de la mina Uncush. Estas son actualmente explotadas por la compañía misma y por contrata.

Perforación y diamantina

La compañía cuenta con máquinas diamantinas propias como LM-75, H-200, 1B-100, además también se encargó con máquina de contrata. En el año 2018 se realizaron 46 436 m de perforación siendo esta mayor a lo planeado.

Perforación y voladura

Se basa en la ejecución de perforaciones en la roca, donde posteriormente se colocarán explosivos que, mediante su detonación, transmiten la energía necesaria para la fragmentación del macizo rocoso a explotar. La rotura de rocas requiere condiciones fundamentales como confinamiento del explosivo, cara libre, relación entre diámetro del taladro a distancia óptima a la cara libre (burden), relación burden - altura de banco, profundidad del taladro y condiciones geológicas, parámetros del taladro y explosivo para generar el fisuramiento cilíndrico radial y la consecuente rotura flexural.

2.2.2. Propiedad de los explosivos

Velocidad de detonación

Es la velocidad a la que la onda de detonación se propaga a través del explosivo, y por tanto es el parámetro que define el ritmo de liberación de energía. Es también la velocidad con que viaja la onda a lo largo de una

columna explosiva, sea al aire libre o en confinamiento dentro de un taladro de voladura (Exsa, 2016, p38).

Densidad y gravedad específica

La densidad es la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo expresada en g/cm^3. Prácticamente expresa la masa en gramos de una sustancia contenida en un volumen de $1 cm^3$ (Exsa, 2016, p.44).

La gravedad específica es una comparación de la densidad de una sustancia con la densidad del agua. Prácticamente se expresa el radio de la masa de la roca a la masa de un volumen igual de agua, en g/cm^3 (Exsa, 2016, p.61).

Presión de detonación

La presión de detonación es la generada por la reacción del explosivo en su detonación. Es función de la velocidad y de la densidad propia del explosivo (Exsa, 2016, p.85).

Sensibilidad

Es la medida de la facilidad con la que se puede iniciar una reacción explosiva fortuita o no prevista. El que un explosivo sea más o menos sensible depende de su composición molecular, densidad, confinamiento, tratamiento, entre otros factores (Exsa, 2016, p.47).

2.2.3. Tipos de explosivos

Emulnor

El emulnor o emulsión explosiva encartuchada, se caracteriza por tener una envoltura plástica que posee propiedades de seguridad, resistencia al agua y buena calidad de los gases de voladura. Las emulsiones para voladura son del tipo agua en aceite, en que la fase interna está compuesta por una solución de sales oxidantes que se dispersan como gotas microscópicas en la fase externa (Famesa Explosivos S.A.C., 2020).

Tipos y usos del emulnor

Para satisfacer los requerimientos del mercado, Famesa Explosivos S.A.C., cuenta con los siguientes tipos. En la Tabla 4 y la Figura 10 se muestra y detalla la clasificación de los 4 tipos emulsiones.

Tabla 4

Clasificación de emulsiones encartuchadas

EMULNOR 500	EMULNOR 1000	EMULNOR 3000	EMULNOR 5000
Para la voladura de rocas muy suaves.	Para la voladura de rocas suaves a intermedias.	Para la voladura de rocas intermedias a duras.	Para la voladura de rocas muy duras.

Fuente: (Famesa Explosivos S.A.C., 2020)



Figura 10. Clasificación de emulsiones encartuchadas

Fuente: (Famesa Explosivos S.A.C., 2020)

Su uso está orientado a cualquier tipo de trabajo: En explotaciones y desarrollos mineros, en obras de ingeniería civil, en canteras, en taladros secos, húmedos e inundados, con una modalidad de aplicación similar a las dinamitas convencionales, pudiendo trabajar como columna explosiva o como “cebos” de iniciación de columnas de nitro carbonitratos.

Debido a la buena calidad de los gases residuales y al no contener nitroglicerina en su composición, permite que el personal reingrese a la labor en menor tiempo; obteniéndose mejoras en los ciclos de trabajo, sin comprometer a la seguridad. Las características técnicas se detallaran en la Tabla 5.

Tabla 5

Características técnicas del Emulnor Famesa Explosivos S.A.C.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS				
		EMULNOR 1000	**EMULNOR 3000**	**EMULNOR 5000**
Densidad Relativa (g/cm^3)		1.13	1.14	1.16
Velocidad de Detonación (m/s)	Confinado	5800	5700	5500
	Sin Confinar	4500	4400	4200
Presión de Detonación $(kbar)$		95	93	88
Energía (k/cal)		785	920	1010
Volumen normal de gases (L/kg)		920	880	870
Potencia relativa en peso $(\%)$		85	100	105
Potencia relativa en Volumen $(\%)$		120	145	155
Sensibilidad al fulminante		N°8	N°8	N°8
Resistencia al agua		Excelente	Excelente	Excelente
Categoría de humos		Primera	Primera	Primera

Fuente: (Famesa Explosivos S.A.C., 2020)

Nitrato de amonio

Componente básico de la mayoría de los explosivos industriales. El nitrato de amonio es poroso tiene su más amplia aplicación con la mezcla de gasolina, El nitrato de amonio (NH_3NO_4) se produce la reacción de amoniaco (NH_3) con ácido nítrico (HNO_3). (Famesa Explosivos S.A.C., 2020).

Anfo

Consiste en una mezcla de nitrato de amonio y un combustible derivado del petróleo. Estas mezclas son muy utilizadas principalmente por las empresas mineras, Las cantidades de nitrato de amonio y combustible varían según la longitud de la cadena hidrocarbonada del combustible utilizado. Los porcentajes van del 90% al 97% de nitrato de amonio y del 3% al 10% de combustible (Famesa Explosivos S.A.C., 2020).

Dinamita

La dinamita es un explosivo muy potente compuesto por nitroglicerina, una sustancia explosiva líquida a temperatura ambiente y muy inestable que al ser absorbida en un medio sólido se convierte en un explosivo más estable (Famesa Explosivos S.A.C., 2020).

Hidrogeles

Los hidrogeles son agentes explosivos constituidos por soluciones acuosas saturadas de NA, a menudo con otros oxidantes como el nitrato de sodio y/o el de calcio, en las que se encuentran dispersos los combustibles, sensibilizantes (Famesa Explosivos S.A.C., 2020).

2.2.4. Accesorios de voladura

Cordón detonante

Constituido por un núcleo granulado fino y compacto de un alto explosivo llamado pentrita que se encuentra recubierto con fibra sintética, y una cobertura exterior la cual puede variar según sea simple o reforzado (Famesa Explosivos S.A.C., 2020).

Fulminante

Está conformado por un casquillo cilíndrico de aluminio cerrado en uno de sus extremos, en cuyo interior lleva una carga primaria de un explosivo sensible y otra carga secundaria de alto poder explosivo (Famesa Explosivos S.A.C., 2020).

Pentacord

Es un accesorio de voladura, que posee características como: Alta velocidad de detonación, facilidad de manipuleo y seguridad. Está formado por un núcleo de pentrita (*PETN*), el cual está recubierto con fibras sintéticas y forrado con un material plástico (Famesa Explosivos S.A.C., 2020).

Fanel

Es un accesorio de voladura con características mejoradas en la tracción y abrasión de la manguera fanel, haciéndolo apropiado para todas las aplicaciones de la minería (Famesa Explosivos S.A.C., 2020).

Carmex

Carmex ha sido concebido y desarrollado como un seguro y eficiente sistema de iniciación para efectuar voladuras convencionales (Famesa Explosivos S.A.C., 2020).

Famecorte

Es una emulsión explosiva de bajo poder rompedor, especialmente diseñado para trabajos de voladura controlada (Famesa Explosivos S.A.C., 2020). Estos accesorios de voladura se muestran en la Figura 11 y la Figura 12 mostrando sus características y sus diseños.



Figura 11. Accesorios de voladura y emulsiones encartuchadas.

Fuente: Elaboración Propia



Figura 12. Amarre de malla y accesorios de voladura.

Fuente: Elaboración Propia

2.2.5. Parámetros de voladura

Factor de carga

Mediante este término se describe la cantidad de explosivo usado para romper un volumen o peso unitario de roca, el factor de carga se indica mediante unidades de $(\mathrm{kg/cm^3})$ (Enaex, 2019, p.7).

Factor de potencia

El factor de potencia es la cantidad de explosivo usado y la tonelada de material roto en la voladura, esto con relación al avance por disparo que se obtuvo, el factor de potencia se indica mediante unidades de $(\mathrm{kg/ton})$.

Factor de avance

El factor de avance es la cantidad de explosivos usados, esto con relación al avance por disparo que se obtuvo en la voladura, el factor de avance se indica mediante unidades de $(\mathrm{kg/ml})$.

2.2.6. Geomecánica

Implica el estudio geológico del comportamiento del suelo y rocas. Son las dos principales disciplinas de la geomecánica: mecánica de suelos y mecánica de rocas.

Rock quality designation (*RQD*)

Toma en consideración la calidad de la roca en testigos de sondajes. Es una modificación del porcentaje de recuperación del sondaje que considera apenas pedazos de testigos iguales o mayores que 100 mm. No toma en consideración parámetros importantes como orientación y calidades de las discontinuidades. Basándose en rangos de valores de RQD, el medio rocoso es caracterizado según su calidad de acuerdo a la Tabla 6.

Tabla 6

Índice de calidad de roca

RQD (%) – CALIDAD DE ROCA	
< 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 – 100	Muy buena

Fuente: Indicie RQD, desarrollado por el geólogo Deere entre los años 1963 y 1967.

Rock mass rating (*RMR*)

Es un sistema de clasificación geomecánica que fue presentado por el Ing. Bieniawski en el año de 1973. Permite hacer una clasificación de un macizo rocoso "*in-situ*". El RMR se obtiene estimando cinco parámetros, desarrollada por Bieniawski. Principales parámetros:

- Espaciamiento entre discontinuidades
- Resistencia a la compresión uni-axial de la roca

- Calidad de las discontinuidades
- Presencia de agua en el macizo rocoso
- La suma de los parámetros varían de 0 – 100

Tabla 7

Clasificación del RMR Geomecánica de Bieniawski 1969

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4 - 2	2 - 1	Compresión simple (MPa)		
		Compresión simple	>250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25-5	5-1	<1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		> 2m	0,6 - 2 m	0,2 - 0,6 m	0,06-0,2 m	<0,06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	>20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5 mm	>5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5 mm	Relleno duro >5 mm	Relleno blando <5 mm	Relleno blando >5 mm		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	<10 litros/min	10 25 litros/min	25 - 125 litros/min	>125 litros/min		
		Relación: Presión de agua/tensión principal mayor	0	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	>0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		

Corrección por la orientación de las discontinuidades

Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Fuente: Sistema de valoración de la masa rocosa – RMR (según Bieniawski, 1973)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo

El proyecto de investigación es de tipo aplicativo y el método de manipulación de datos es cuantitativo, debido a que los conocimientos de voladura de rocas y fragmentación de roca han sido aplicados a una determinada realidad y en un determinado periodo de tiempo, una vez realizado la evaluación de los resultados, se busca optimizar la fragmentación de roca.

3.1.2. Diseño

El diseño de investigación es de tipo descriptivo, ya que se recolectara datos, con el propósito de poder describir las variables y analizar a las posibles soluciones para la implementación de una optimización de fragmentación de roca.

3.1.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación consiste en un estudio de alcance descriptivo, porque señala como es, como se manifiesta, como se

comporta, como se mide y evalúa los resultados de las fragmentaciones de roca en la minera San Vicente – Cía. San Ignacio de Morococha.

3.2. Ámbito temporal y espacial

La Compañía Minera S.A.A. San Ignacio de Morococha, se encuentra ubicada en la provincia de Chanchamayo, departamento de Junín entre los 500 m.s.n.m. a 1930 m.s.n.m., la compañía minera se encuentra a 17 Km al Sur de la ciudad de San Ramón, en el flanco occidental de la cordillera oriental, sus coordenadas geográficas son 11°03’06”S – 75°19’46”O, limita por el Norte con el departamento de cerro de Pasco y a 220 Km al NO del departamento de Lima.

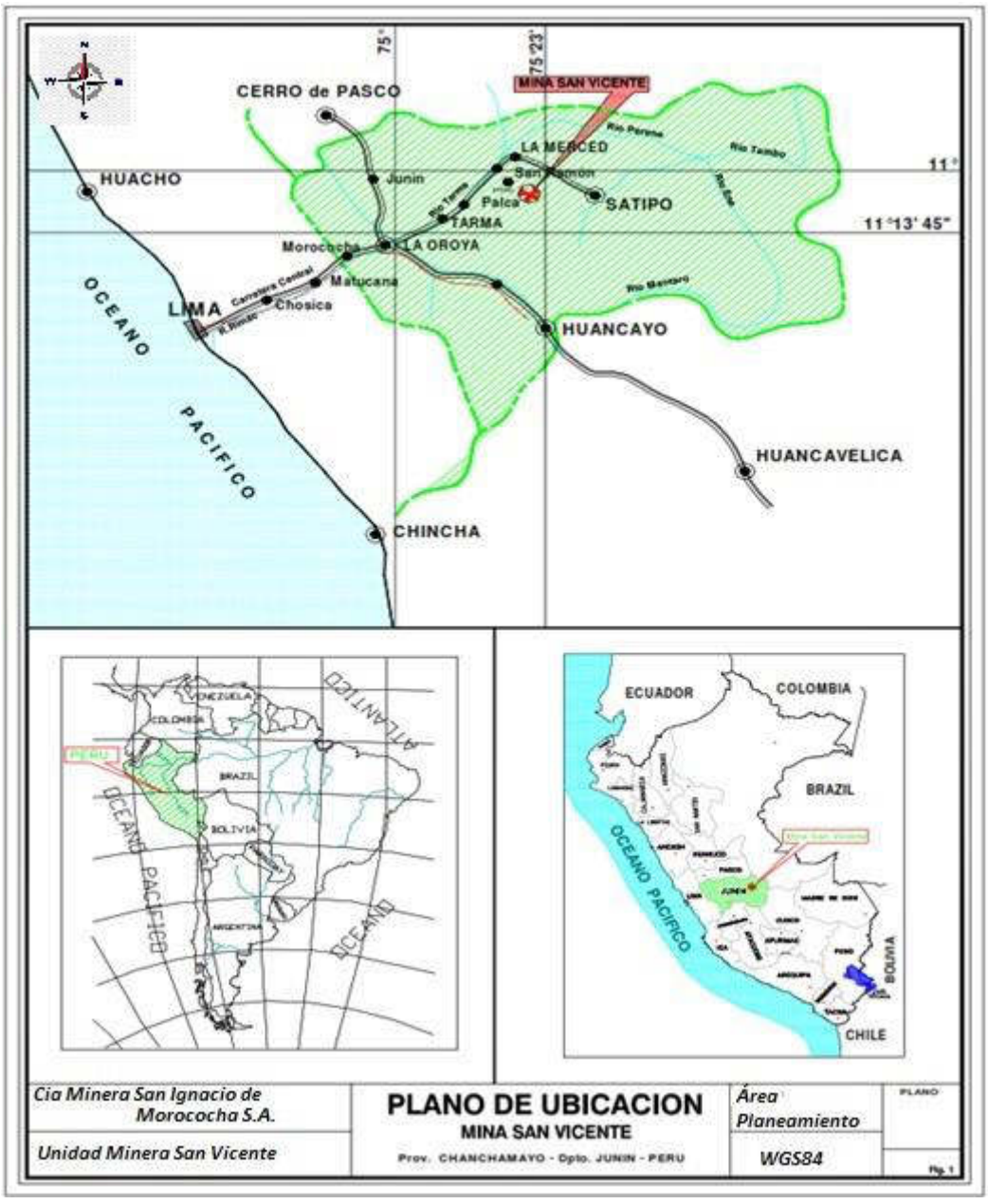


Figura 13. Ubicación de la Mina San Vicente.

Fuente: Departamento de Planeamiento, Unidad Minera San Vicente.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población está constituida por las pruebas realizadas de voladura, estas pruebas se realizaron en el nivel 1515 en la Rampa 640, Rampa 8010, Tajo 632, Tajo 8093, Tajo 8011. Estas pruebas fueron de 2 tipos:

En las rampas se realizaron las pruebas de voladura en frentes de avance con secciones de 4.50m x 4.00m, 4.00m x 4.00m, 3.50m x 3.00m, y el material que se obtuvo fue desmonte.

En los tajos se realizaron las pruebas de voladura tipo *Bresting*, *Realce, Desquinche*, las secciones de este tipo de voladuras no contaba con una sección determinada, y el material que se obtuvo fue mineral.

3.3.2. Muestra

Para la investigación de la muestra se observó y se analizó los resultados de las voladuras realizadas en las rampas y tajos, para posteriormente tomar las muestras respectivas para poder analizarlos en el software.

3.4. Instrumentos

3.4.1. Técnicas

La técnica empleada para la recopilación de la información se efectuó mediante reportes y toma de datos, supervisión, registros y muestras tomadas con la cámara.

Se establecieron parámetros de medición (toma de datos y fotografías), el cual será comparado con datos recopilados de la línea base, y con ellos determinar la optimización de la fragmentación, y determinar las ventajas técnicas y económicas que puede aportar la utilización de las emulsiones.

3.4.2. Materiales

Se utilizaron los siguientes materiales para desarrollar el proyecto de investigación:

Accesorios de voladura

Faneles

Los faneles se utilizaron para colocarlos dentro de las emulsiones encartuchadas, el número de faneles depende de cuantos taladros hay en el frente o cara libre. En la Figura 14 se mostrara los faneles de periodo corto y de periodo largo.

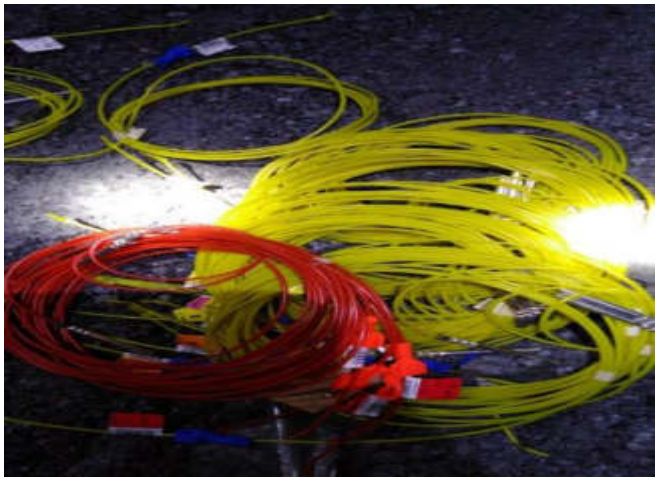


Figura 14. Faneles de periodo cortó (MS) y Faneles de periodo largo (LP).
Fuente: Elaboración Propia

Pentacord

Se utilizó *pentacord* o también llamado cordón detonante, para poder realizar el amarre de los faneles. En la Figura 15 se mostrara el amarre del pentacord.



Figura 15. Pentacord o Cordón Detonante.
Fuente: Elaboración Propia

Carmex

Se utilizó el *carmex* para poder realizar el amarre al *pentacord* o también llamado cordón detonante esto para poder iniciar la voladura. En la Figura 16 se muestra la iniciación del chispeo en el carmex.



Figura 16. Carmex
Fuente: Elaboración Propia

Mecha rápida

La mecha rápida o mecha de seguridad, se utilizó para poder iniciar el chispeo, la mecha rápida es el conector del *Carmex*, el que a la vez asegura el eficiente encendido de la mecha de seguridad. En la Figura 17 se muestra a la mecha rápida en sus 2 presentaciones.



Figura 17. Mecha rápida

Fuente: Famesa Explosivos S.A.C., 2020

Tacos de arcilla

Los tacos de arcilla, tienen la función de retener dentro del taladro los gases productos de la explosión. En la Figura 18 se muestra a los tacos de arcilla que serán colocados dentro de los taladros.



Figura 18. Tacos de Arcilla

Fuente: Elaboración Propia

Software Wipfrag

El software WipFrag se utilizó para medir y analizar la fragmentación de las pruebas de voladura que se realizaron en las rampas y tajos, este software nos permitirá analizar los resultados de los disparos, y ver si la fragmentación tomada es óptima. El la Figura 19 se muestra el interfaz del software WipFrag.



Figura 19. Software WipFrag
Fuente: Elaboración Propia

3.5. Procedimientos

La metodología de investigación es de tipo cuantitativo, no experimental, transaccional, correlacional y se ceñirá a los siguientes procedimientos:

- Se realizó una recopilación y procesamiento de información bibliográfica que será necesaria.
- La sistematización de la información sobre la perforación y voladura, fragmentación de rocas, entre otros.

- Una revisión histórica y análisis de los disparos que realizaron en el área de voladura, y las pruebas que fueron realizadas por empresas especialistas en voladura.
- Un mapeo geológico, geomecánico y toma de muestras representativas.
- Una construcción de modelo geológico, geomecánico y matemático correspondientes.
- El diseño del disparo, la selección de los explosivos, y las pruebas de disparo realizadas.
- El análisis de los disparos que fueron más representativos con los registros respectivos de velocidad de detonación y fragmentación.
- La evaluación de la eficacia y eficiencia de fragmentación de roca.
- Las conclusiones y recomendaciones.

3.6. Análisis de datos

Validación y edición

Con la línea base creada en base a los datos históricos del área de voladura se eliminó los datos que no cumplían con lo establecido como los: datos de densidad, fragmentación y registro de velocidad de detonación.

Codificación

Se codificó los resultados de los datos históricos para enlazarlos con las propuestas de los resultados obtenidos.

Introducción de datos

Los datos fueron introducidos y manejados en los libros Excel. Es importante mencionar que los resultados finales fueron procesados en un software especializado disponible.

Tabulación y análisis estadísticos

Se obtuvo como resultado esperado una mejora en los resultados post voladura, pero con un nuevo diseño de carga y parámetros de perforación, sin embargo se obtuvo una fragmentación moderada la cual cumple con los requerimientos de planta.

3.7. Representación de resultados

Para la presentación de resultados se evidencio los registros de campo. A continuación, se presentarán algunas imágenes, para identificar el proceso para iniciar las pruebas de voladura.

- Nos movilizamos hacia a la zona que se nos designó para realizar la prueba de voladura, y al llegar a la zona donde nos designaron nos percatarnos que la labor este libre, y que no se encuentre en alguna otra actividad como limpieza o sostenimiento. Ya habiendo

ingresado a la zona de trabajo llenamos el IPERC. Luego se realizó el regado y desate de roca, para evitar la caída rocas y causen accidentes de trabajo.

- Se continuó con el pintado de la malla en el frente a perforar, esto para que el operador del Jumbo se guie y realice la perforación de taladros correctamente. En la Figura 20 se muestra el pintado de malla que se usó para la perforación de taladros.

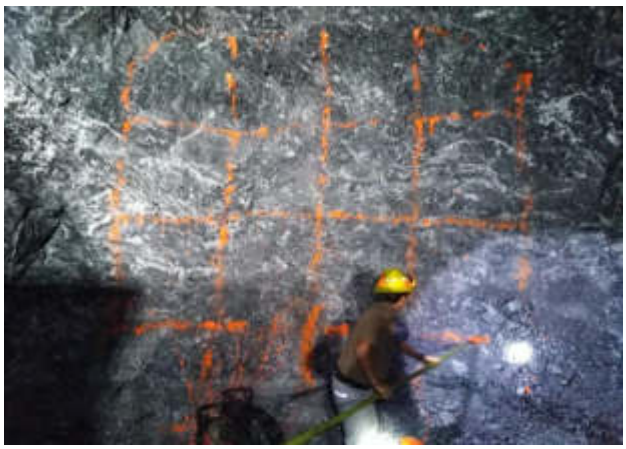


Figura 20. Pintado de Malla de Perforación

Fuente: Elaboración Propia

- Ya terminando la perforación del frente, se preparó y alisto los materiales, y se realizó el carguío de los taladros. En la Figura 21 se mostrara las emulsiones encartuchadas, los faneles, el famecorte, el cordón detonante y el carmex que usaremos para el carguío de taladros.



Figura 21. Preparación de Materiales para Carguío de Taladros

Fuente: Elaboración Propia

- Luego se hizo el carguío de taladros, y ya cargado todos los taladros se realizó el chispeo de la labor. Una vez realizado el chispeo, esperamos de 30 minutos a 45 minutos a que se ventile la zona donde realizamos el disparo, para posteriormente realizar el regado y desatado de rocas. En la Figura 22 se muestra el regado de la labor después de haber realizado la voladura.



Figura 22. Regado y desate de rocas

Fuente: Elaboración Propia

- Luego se regó y desatado adecuadamente, y se observó el resultado del disparo, y se procedió a verificar el material producto de la voladura, se tomó muestras y fotografías del resultado de la voladura, luego se realizó el análisis en el software. En la figura 23 de muestra el resultado producto de la prueba de voladura.



Figura 23. Fragmentación de la voladura

Fuente: Elaboración Propia

3.8. Parámetros y pruebas de voladura.

En esta sección se realizó el análisis de las pruebas de voladura que se realizaron con sus respectivos parámetros, sus datos generales, los rendimientos, y los datos generales fueron evaluados y se muestran en el Anexo 1.

Diseño de malla de voladura

En el Tajo 632-N, el 15 de Marzo del 2019, se hizo la prueba de voladura tipo bresting, con el estándar establecido, para está voladura se hizo el diseño de malla de perforación, este diseño se mostrara en el Anexo 2, la sección perforada tiene una sección de 3.15m x 2.30m, se hizo 23 taladros con una perforación efectiva de 3.15m, en esta labor se usó 06 emulsiones por taladro, haciendo un total de 138 emulsiones, la cantidad de emulsiones se mostrara en el control de voladura que se encuentra en el Anexo 7.

En el Tajo 632-N, el 25 de mayo del 2019, se hizo la prueba de voladura tipo bresting, con el estándar propuesto, para esta voladura se realizó el diseño de malla de perforación, este diseño se mostrara en el Anexo 2, la sección perforada tiene una sección de 3.75m x 1.60m, se hizo 13 taladros con una perforación efectiva de 3.05m, en esta labor se usaron 05 emulsiones por taladro, haciendo un total de 65 emulsiones, la cantidad de emulsiones se mostrara en el control de voladura que se encuentra en el Anexo 8.

En la Rampa 8010, el 18 de marzo del 2019, se realizó la prueba de voladura en el frente de avance, con el estándar establecido, para esta voladura se realizó el diseñó de malla de perforación, este diseño se mostrara en el Anexo 3, la sección de esta labor es de 4.50m x 4.00m, se realizaron 48 taladros de las cuales 44 taladros tienen una perforación efectiva de 3.11m, y los otros 04 taladros son las rimadoras que tienen una perforación efectiva de 3.15m. En este frente se usaron 354 emulsiones, la cantidad de emulsiones se mostrara en el control de voladura que se encuentra en el Anexo 9.

En la Rampa 8010, el 20 de marzo del 2019, se realizó la prueba de voladura en el frente de avance, con el estándar propuesto, para esta voladura se realizó el diseño de malla de perforación, este se diseñó se mostrara en el Anexo 3, la sección de esta labor es de 4.50m x 4.00m, se realizaron 46 taladros de las cuales 42 taladros tienen una perforación efectiva de 3.23m, y los otros 04 taladros son las rimadoras son las rimadoras que tienen una perforación efectiva de 3.31m. En este frente se usaron 324 emulsiones, en el cual se redujo la cantidad de taladros, la reducción se efectuó en la corona al reducir 02 taladros y la cantidad de emulsiones se mostrara en el control de voladura que se encuentra en el Anexo 10.

En la Rampa 640, el 10 de abril del 2019, se realizó la prueba de voladura en el frente de avance, con el estándar establecido, para esta

voladura se realizó el diseñó de malla de perforación, este diseño se mostrara en el Anexo 4, la sección de esta labor es de 4.00m x 4.00m, se realizaron 49 taladros de las cuales 44 taladros tienen una perforación efectiva de 3.10m, y los otros 05 taladros son las rimadoras que tienen una perforación efectiva de 3.05m. En este frente se usaron 340 emulsiones, la cantidad de emulsiones se mostrara en el control de voladura que se encuentra en el Anexo 11.

En la Rampa 640, el 11 de abril del 2019, se realizó la prueba de voladura en el frente de avance, con el estándar propuesto, para esta voladura se realizó el diseño de malla de perforación, este se diseñó se mostrara en el Anexo 4, la sección de esta labor es de 4.00m x 4.00m, se realizaron 44 taladros de las cuales 40 taladros tienen una perforación efectiva de 3.14m, y los otros 04 taladros son las rimadoras que tienen una perforación efectiva de 2.98m. En este frente se usaron 291 emulsiones, en el cual se redujo taladros, la reducción de taladros se efectuó en la ayuda de corona el cual se redujo 02 taladros, y en la ayuda de hastiales se redujo 02 taladros, esto se mostrara en el control de voladura que se encuentra en el Anexo 12.

En la Rampa 640, el 16 de abril del 2019, se realizó la prueba de voladura en el frente de avance, con el estándar establecido, para esta voladura se realizó el diseñó de malla de perforación, este diseño se mostrara en el Anexo 5, la sección de esta labor es de 4.00m x 4.00m, se

realizaron 49 taladros de las cuales 44 taladros tienen una perforación efectiva de 3.09m, y los otros 05 taladros son las rimadoras que tienen una perforación efectiva de 3.02m. En este frente se usaron 334 emulsiones, la cantidad de emulsiones se mostrara en el control de voladura que se encuentra en el Anexo 13.

En la Rampa 640, el 17 de abril del 2019, se realizó la prueba de voladura en el frente de avance, con el estándar propuesto, para esta voladura se realizó el diseño de malla de perforación, este se diseñó se mostrara en el Anexo 5, la sección de esta labor es de 4.00m x 4.00m, se realizaron 49 taladros de las cuales 44 taladros tienen una perforación efectiva de 3.16m, y los otros 05 taladros son las rimadoras que tienen una perforación efectiva de 3.10m. En este frente se usaron 332 emulsiones, en esta labor se redujo las emulsiones en los taladros, esto se mostrara en el control de voladura que se encuentra en el Anexo 14.

En el Tajo 8093-N, el 29 de mayo del 2019, se realizó la prueba de voladura en el frente de avance, con el estándar propuesto, para esta voladura se realizó el diseño de malla de perforación, este se diseñó se mostrara en el Anexo 6, la sección de esta labor es de 3.50m x 3.00m, se realizaron 33 taladros de las cuales 29 taladros tienen una perforación efectiva de 2.93m, y los otros 04 taladros son las rimadoras que tienen una perforación efectiva de 2.97m. En este frente se usaron 220 emulsiones,

en esta labor se redujo las emulsiones en los taladros, esto se mostrara en el control de voladura que se encuentra en el Anexo 15.

En el Tajo 8093-N, el 30 de mayo del 2019, se realizó la prueba de voladura en el frente de avance, con el estándar establecido, para esta voladura se realizó el diseñó de malla de perforación, este diseño se mostrara en el Anexo 6, la sección de esta labor es de 3.50m x 3.00m, se realizaron 33 taladros de las cuales 29 taladros tienen una perforación efectiva de 2.95m, y los otros 04 taladros son las rimadoras que tienen una perforación efectiva de 2.98m. En este frente se usaron 230 emulsiones, la cantidad de emulsiones se mostrara en el control de voladura que se encuentra en el Anexo 16.

Los datos obtenidos fueron extraídos en la supervisión y el control de las voladuras realizadas, en estas pruebas se muestra que la voladura con el estándar propuesto se logra reducir emulsiones en cada frente, y por ende se logra mejorar los costos operativos.

Análisis de costos

Para esta sección, se realizó el análisis de los costos operativos, se evaluó y analizó el costo de las emulsiones y los accesorios de voladura que se utilizó para realizar las pruebas de voladura.

Para el Tajo 632-N, el costo de la prueba de voladura con el estándar establecido es de $88.31, y el costo de la prueba de voladura con el

estándar propuesto es de $45.59. En estos costos se incluyó las emulsiones y los accesorios de voladura.

Para la Rampa 8010, el costo de la prueba de voladura con el estándar establecido es de $207.24, y el costo de la prueba de voladura con el estándar propuesto es de $195.17. En estos costos se incluyó las emulsiones y los accesorios de voladura.

Para la Rampa 640, el costo de la prueba de voladura con el estándar establecido es de $206.91, y el costo de la prueba de voladura con el estándar propuesto es de $183.15. En estos costos se incluyó las emulsiones y los accesorios de voladura.

Para el Rampa 640, el costo de la prueba de voladura con el estándar establecido es de $205.83, y el costo de la prueba de voladura con el estándar propuesto es de $204.22. En estos costos se incluyó las emulsiones y los accesorios de voladura.

Para el Tajo 8093-N, el costo de la prueba de voladura con el estándar establecido es de $149.18, y el costo de la prueba de voladura con el estándar propuesto es de $144.44. En estos costos se incluyó las emulsiones y los accesorios de voladura.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Resultados

Las labores donde se realizaron las pruebas de voladura con sus respectivas características, se muestran detalladamente en la Tabla 8.

Tabla 8

Labores donde se realizó las pruebas de voladura en el Nivel 1515.

NIVEL	LABOR	FECHA	TIPO DE ROCA	TIPO DE VOLADURA
1515	Tj 632-N	15/03/2019 25/05/2019	RMR 58 - Roca suave	Bresting
1515	Rp 8010	18/03/2019 20/03/2019	RMR 58 - Roca suave	Frente
1515	Rp 640	10/04/2019 11/04/2019	RMR 58 - Roca suave	Frente
1515	Rp 640	16/04/2019 17/04/2019	RMR 58 - Roca suave	Frente
1515	Tj 8093-N	29/05/2019 30/05/2019	RMR 58 - Roca suave	Frente

Fuente: Elaboración Propia

Estas pruebas de voladura fueron realizadas en un tipo de roca suave – RMR 58, en total se realizaron 10 pruebas de voladura, de las cuales 05 de pruebas de voladura fueron realizados con el estándar establecido, y las otras 05 pruebas de voladura fueron realizadas con el estándar propuesto.

4.1.1. Comparación de los taladros, y emulsiones utilizadas de las pruebas de voladura con el estándar establecido y el estándar propuesto

Los datos obtenidos fueron extraídos de las pruebas de voladura que se realizó en el nivel 1515, en este análisis se está mostrando la comparación de las mallas de perforación elaboradas con el estándar establecido y con el estándar propuesto, esta comparación se muestra en la Tabla 9 mostrando la diferencia de los taladros realizados y las emulsiones utilizadas.

Tabla 9

Análisis y comparación de taladros, y emulsiones realizadas en las pruebas de voladura

LABORES	ESTÁNDAR ESTABLECIDO		ESTÁNDAR PROPUESTO		DIFERENCIA	
	Taladros	Emulsiones	Taladros	Emulsiones	Taladros	Emulsiones
Tj 632-N	23	138	13	65	10	73
Rp 8010	44	354	42	324	2	30
Rp 640	44	340	40	291	4	49
Rp 640	44	334	44	332	0	2
Tj 8093-N	29	230	29	220	0	10

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que en la comparación de taladros, y emulsiones se obtiene una diferencia significativamente a favor, ya que la diferencia entre el estándar establecido y estándar propuesto muestra una diferencia significativa y es muy rentable.

4.1.2. Análisis y comparación de costos

Para el resultado de análisis de costos, se tomará en cuenta las emulsiones utilizadas, los accesorios de voladura como el famecorte, fanel, pentacord, carmex, mecha rápida, tacos de arcilla, esta comparación se detalla en la Tabla 10 mostrando los costos directos de las pruebas de voladura.

Tabla 10

Costos directos de las pruebas de voladura

LABOR		COSTO DIRECTO DE LOS EXPLOSIVOS								COSTOS
		Emulsión 5000	Emulsión 3000	Famecorte	Fanel	Pentacord	Carmex	Mecha rápida	Tacos de arcilla	
Tj 632-N	Estándar	$0.00	$60.72	$0.00	$23.46	$3.00	$1.09	$0.04	$0.00	**$88.31**
	Propuesto	$0.00	$28.60	$0.00	$13.26	$2.60	$1.09	$0.04	$0.00	**$45.59**
Rp 8010	Estándar	$21.56	$122.34	$13.50	$44.80	$3.60	$1.40	$0.04	$0.00	**$207.24**
	Propuesto	$21.56	$109.44	$13.50	$42.78	$3.45	$1.40	$0.04	$3.00	**$195.17**
Rp 640	Estándar	$21.56	$116.32	$13.50	$48.84	$2.25	$1.40	$0.04	$3.00	**$206.91**
	Propuesto	$21.56	$95.25	$13.50	$44.80	$2.70	$1.40	$0.04	$3.90	**$183.15**
Rp 640	Estándar	$21.56	$113.74	$13.50	$48.84	$2.25	$1.40	$0.04	$4.50	**$205.83**
	Propuesto	$21.56	$112.88	$13.50	$48.84	$1.50	$1.40	$0.04	$4.50	**$204.22**
Tj 8093-N	Estándar	$19.60	$70.74	$13.50	$33.69	$1.81	$1.40	$0.04	$8.40	**$149.18**
	Propuesto	$15.68	$69.88	$13.50	$33.69	$1.55	$1.40	$0.04	$8.70	**$144.44**

Fuente: Departamento de costos, Unidad Minera San Vicente 2019

Según el análisis comparativo de costos directos, para el TJ 632-N hay una diferencia de $42.72, para la Rp 8010 hay una diferencia de $12.07, para la Rp 640 hay una diferencia de $12.00 y para el Tj 8093-N hay una diferencia de $4.74. Esto refleja que hay una optimización de los costos de voladura entre el estándar establecido y el estándar propuesto de las diferentes labores donde se hicieron las pruebas de voladura.

4.1.2.1. Análisis y comparación de la fragmentación

Para el resultado de análisis y comparación de la fragmentación de roca se tomó en cuenta el tipo voladura, el estándar que se usó. Estos resultados serán detallados en la Tabla 11 donde se mostrara el p80 de las pruebas de voladura.

Tabla 11

Resultados del p80 de las pruebas de voladura

LABOR	TIPO VOLADURA	TIPO ESTÁNDAR	RESULTADO P80	
Tj 632-N	Bresting	Establecido	9.76	cm
		Propuesto	10.03	cm
Rp 8010	Frente	Establecido	8.15	cm
		Propuesto	9.65	cm
Rp 640	Frente	Establecido	17.67	cm
		Propuesto	21.33	cm
Rp 640	Frente	Establecido	19.03	cm
		Propuesto	17.34	cm
Tj 8093-N	Frente	Establecido	23.98	cm
		Propuesto	27.05	cm

Fuente: Elaboración Propia

Según el análisis comparativo del p80 de la fragmentación de rocas, refleja que la fragmentación de roca es óptima ya que para cada labor donde realizo las pruebas de voladura, estas tienen un p80 establecido de 15cm promedio, y el resultado de las pruebas de voladura nos dieron una fragmentación promedio de 19cm. La diferencia entre el estándar establecido y el estándar propuesto dan una diferencia de 4cm, por lo que es rentable usar el estándar propuesto.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Comparación y análisis de costos

EL cálculo de los costos de voladura se ha desarrollado en el libro Excel, los resultados de los análisis de costos operativos por labor, donde se realizaron las pruebas de voladura se mostraran en la Tabla 12 y la Figura 24:

Tabla 12

Diferencias de costos operativos con el estándar establecido y el estándar propuesto

LABOR	TIPO VOLADURA	NRO EMULSIONES ESTÁNDAR (und)	NRO EMULSIONES PROPUESTO (und)	COSTO ESTÁNDAR ($)	COSTO PROPUESTO ($)	DIFERENCIA ($)
Tj 632-N	Bresting	138	65	88.31	45.59	**42.72**
Rp 8010	Frente	354	324	207.24	195.17	**12.07**
Rp 640	Frente	340	291	206.91	193.15	**13.76**
Rp 640	Frente	334	332	205.83	204.22	**1.61**
Tj 8093-N	Frente	230	220	149.17	144.43	**4.74**

Fuente: Departamento de costos, Unidad Minera San Vicente 2019.

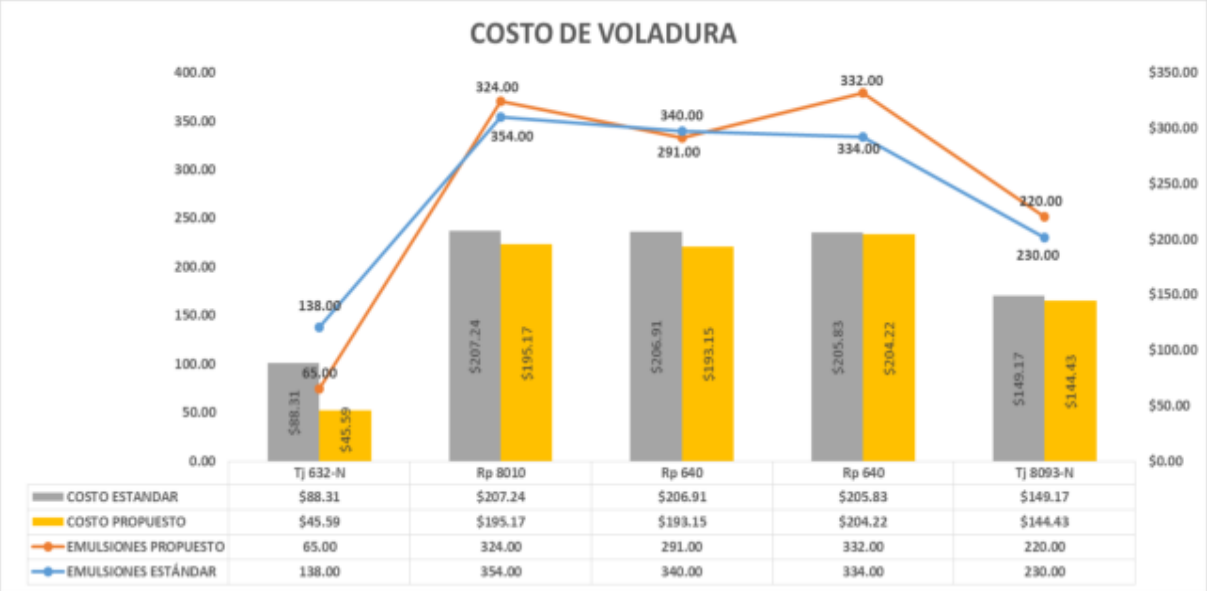


Figura 24. Comparación de costos operativos con el estándar establecido y estándar propuesto.

Fuente: Elaboración Propia

- Para el tajo 632-N, la diferencia de costos de la prueba de voladura entre el estándar establecido y el estándar propuesto, se tuvo un ahorro de $42.72. Este resultado se obtuvo por la dimensión de la sección, la reducción de taladros y la reducción de emulsiones. Esta diferencia se mostrara control de voladura en el Anexo 7 y Anexo 8.

- Para la rampa 8010, la diferencia de costos de la prueba de voladura entre el estándar establecido y el estándar propuesto, se tuvo un ahorro de $12.07. Este resultado se obtuvo por la reducción de 02 taladros en la corona. Esta diferencia se mostrara control de voladura en el Anexo 9 y Anexo 10.

- Para la rampa 630, la diferencia de costos de la prueba de voladura entre el estándar establecido y el estándar propuesto, se tuvo un

ahorro de $23.76. Este resultado se obtuvo por la reducción de 02 taladros en la ayuda de corona y 02 taladros en la ayuda de hastiales. Esta diferencia se mostrara control de voladura en el Anexo 11 y Anexo 12.

- Para la rampa 630, la diferencia de costos de la prueba de voladura entre el estándar establecido y el estándar propuesto, se tuvo un ahorro de $1.61. Este resultado se obtuvo por la reducción de emulsiones en los taladros. Esta diferencia se mostrara control de voladura en el Anexo 13 y Anexo 14.

- Para el tajo 8093-N, la diferencias de costos de la prueba de voladura entre el estándar establecido y el estándar propuesto, se tuvo un ahorro de $4.74. Este resultado se obtuvo por la reducción de emulsiones en los taladros. Esta diferencia se mostrara control de voladura en el Anexo 15 y Anexo 16.

5.2. Comparación y análisis de fragmentación

Se tomaron diferentes fotografías del material producto de la prueba voladura, con el objeto de poder determinar la curva granulométrica de cada una de las pruebas de voladura que se realizó, y poder comparar los tamaños. Estas fotografías fueron analizadas por el software WipFrag, luego del análisis de fragmentación que produjo cada una de las pruebas de voladura, se tiene como resultado promedio un p80 de 16.40cm como indican los resultados del Software WipFrag.

El resultado de la fragmentación producto de las pruebas de voladura que se realizaron en el nivel 1515, la diferencia entre la fragmentación estándar y la fragmentación propuesta tiene una diferencia de 2cm a 4cm. La variación es significativa en la fragmentación por lo que es óptimo y efectivo. Esta variación se muestra en la Figura 25, el cual se detalla la fragmentación estándar y la fragmentación propuesta.



Figura 25. Resultado del p80 de las pruebas de voladura

Fuente: Elaboración Propia

Para el tajo 632-N, se realizó el análisis de fragmentación de roca producto de las pruebas de voladura. El resultado de la fragmentación de roca con el estándar establecido se obtuvo un p80 de 9.76cm, este análisis se mostrara en el Anexo 17. Y el resultado de la fragmentación de roca con el estándar propuesto se obtuvo un p80 de 10.03cm, este análisis se mostrara en el Anexo 18.

Para la rampa 8010, se realizó el análisis de fragmentación de roca producto de las pruebas de voladura. El resultado de la fragmentación de roca con el estándar establecido se obtuvo un p80 de 8.15cm, este análisis se mostrara en el Anexo 19. Y el resultado de la fragmentación de roca con

el estándar propuesto se obtuvo un p80 de 9.65cm, este análisis se mostrara en el Anexo 20.

Para la rampa 640, se realizó el análisis de fragmentación de roca producto de las pruebas de voladura. El resultado de la fragmentación de roca con el estándar establecido se obtuvo un p80 de 17.67cm, este análisis se mostrara en el Anexo 21. Y el resultado de la fragmentación de roca con el estándar propuesto se obtuvo un p80 de 21.33cm, este análisis se mostrara en el Anexo 22.

Para la rampa 640, se realizó el análisis de fragmentación de roca producto de las pruebas de voladura. El resultado de la fragmentación de roca con el estándar establecido se obtuvo un p80 de 19.63cm, este análisis se mostrara en el Anexo 23. Y el resultado de la fragmentación de roca con el estándar propuesto se obtuvo un p80 de 17.34cm, este análisis se mostrara en el Anexo 24.

Para el tajo 8093-N, se realizó el análisis de fragmentación de roca producto de las pruebas de voladura. El resultado de la fragmentación de roca con el estándar establecido se obtuvo un p80 de 23.98cm, este análisis se mostrara en el Anexo 25. Y el resultado de la fragmentación de roca con el estándar propuesto se obtuvo un p80 de 27.05cm, este análisis se mostrara en el Anexo 26.

.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

Se evidenció y evaluó que la optimización de fragmentación de roca usando las emulsiones encartuchadas aplicando la reducción de emulsiones con el estándar propuesto, se obtuvo una fragmentación óptima, ya que se reduce los costos operativos, y la fragmentación de roca tiene una diferencia de 4cm con el estándar propuesto, el cual viene a ser rentable el uso del estándar propuesto.

Se determinó una mayor eficiencia con el estándar propuesto, a comparación del estándar establecido, ya que se verificó que la fragmentación de roca de las labores donde se realizó las pruebas de voladura dieron un p80 promedio de 16.40cm, estando muy cerca del estándar que es de 15.00cm. Para analizar si la fragmentación es buena, esta no debe sobrepasar los 30.00cm ya que esta tendría que pasar por un proceso de trituración. Se verifico un buen esponjamiento con poca bolonería, por lo que es eficiente realizar la implementación del estándar propuesto con su distribución adecuada de carga explosiva.

Se consiguió optimizar la fragmentación de roca a una granulometría óptima y adecuada, ya que la fragmentación que se obtuvo con el estándar propuesto en comparación con el estándar establecido se obtuvo una diferencia de p80 de 4cm el cual esta fragmentación es aceptable, y se determinó que al usar las emulsiones con el estándar propuesto permite optimizar costos de voladura manteniendo un p80 moderado en los frentes de minado. Y los costos se reducen al usar el estándar propuesto obteniendo un ahorro promedio de $10.55 por labor.

VII. RECOMENDACIONES

De la experiencia recogida en este trabajo o relacionado a la fragmentación de roca, se ha logrado realizar y desarrollar las pruebas de voladura. Es conveniente desarrollar charlas informativas al personal que está encargado del carguío de taladros, esto para que el personal pueda cumplir y asegurar el correcto cumplimiento del estándar. Esto permitirá poder modificar y mejorar el procedimiento pets, y el aseguramiento de la utilización correcta del carguío y uso correcto de los explosivos.

Analizar y realizar más pruebas de voladura en los diferentes niveles y labores de la unidad minera. Ya que estos análisis permitirán que se pueda optimizar y mejorar la fragmentación de rocas en los demás niveles, y así poder estudiar el comportamiento de las rocas y el uso adecuado para realizar futuras pruebas de voladura. Está claro que el estudio realizado es parcial, puesto que solo se analizó y realizó pruebas de voladura en determinadas labores. Por lo que es necesario experimentar y realizar pruebas en las diferentes labores y niveles de la unidad minera, esto para poder lograr la mejora continua de la empresa.

.

VIII. REFERENCIAS

Bibliografía

Ausenco. (2017). *Servicios obtenidos de optimización para la produción*. Obtenido de https://www.ausenco.com/es/Optimizaci%C3%B3n-de-la-producci%C3%B3n

Barrera Palacio, L. (2017). *Validación del modelo Kuz-Ram para optmizar la fragmentación de roca por Voladura.* Ciudad Universitaria, Cd. Mx.

Carrasco Rojas, P. (2015). *Aplicación de Método Holmberg para optimizar la Malla de Perforación y Voladura en la Unidad Parcoy – Cía. Consorcio Minero Horizonte S.A.* Ayacucho, Perú.

Carreon Q., J. (2001). *Optimización de Perforación y Voladura en la Rampa Principal 523 Sistema Mecanizado Mina San Rafael.* Puno, Perú.

Cenzano D., C. (2010). *Optimización de Operaciones en la empresa Minera Cenzacont S.R.L. Mina Ana María.* Puno, Perú.

CETEMIN, I. (2019). *Manual del Estudiante.*

Chambi Flores, A. (2011). *Optimización de perforación y voladura en la ejecución de la rampa 740 – Unidad VINCHOS – VOLCÁN S.A.A., Cerro de Pasco.* Puno, Perú.

Chauraes Sairitupa, F. (2012). *Nuevo diseño de malla para mejorar la perforación y voladura en proyectos de explotación y desarrollo, Mina "EL COFRE".* Puno, Perú.

Chiappeta Frank. (1992). Proceso de Fracturamiento de Rocas. En O. Bolaños Vásquez, & J. Guevara Mariscal. Cajamarca.

Concepción, M. (2015). *Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Solidos de la Provincia Concepción*. Obtenido de http://muniConcepcion.gob.pe/wp-content/uploads/2017/05/PIGARS-FINAL.pdf

Construmine. (28 de 05 de 2018). *Construmine Chile*. Obtenido de https://construmine.webnode.cl/l/macizo-rocoso-clasificacion-segunda-parte/

EcuRed. (2020). Obtenido de https://www.ecured.cu/Granulometr%C3%ADa

Enaex. (2019). *Manual de Tronadura.*

Estudios Mineros del Perú S.A.C. (2019). *Manual de minería.* Lima, Perú.

Exsa. (2016). Manual Practico de Voladura. En Exsa.

Exsa. (2019). *Manual Practico de Voladura.*

Famesa Explosivos S.A.C. (2019). *Manual de Perforación y Voladura.*

Famesa Explosivos S.A.C. (2020). Obtenido de http://www.famesa.com.pe/en/

Frisancho Triveño, G. (2006). *Diseño de Mallas de Perforación en Minería Subterránea.*

Genber Mamani, T. (2017). *Optimización de costos de producción en las operaciones unitarias de la empresa minera Cori Puno S.A.C. – UNTUCA.* Puno, Perú.

Geología Web. (2020). *Geologia Web*. Obtenido de https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/macizo-rocoso/

Giarnelly Quiñones, G. A. (2019). *Control de avances y tajos (perforación y voladura) en el área de operaciones mina*. Junin: Informe de prácticas Pre-Profesionales.

Ingeopres. (2014). Tuneles y Obras subterraneas. *Ingeopres*, 16.

Jauregui Aquino, O. A. (2009). *Reducción de los costos operativos en mina, mediante la optimización de estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura.* Lima, Perú.

López Jimeno , E. (1982). Interacción de las propiedades de las rocas y variables controlables con las operaciones mineras. En *Influencia de las Propiedades de las rocas y de los macizos rocosos en el diseño y resultado de las voladuras.* (pág. 419).

López Sánchez, L. (2003). *Evaluación de la energía de los explosivos mediante modelos termodinámicos de detonación.*

Lupaca Marca, J. (2009). *Costos en Operaciones Mineras Unitarias Subterráneas.*

Mamani Challco, P. (2019). *Optimización de la fragmentación y diseño de malla por alteración en perforación y voladura de U.E.A. Valeria – ANABI S.A.C.* Puno, Perú.

Mendoza Muñoz, N. (2014). Optimización de la voladura controlada aplicando un modelo matemático en la Unidad Minera Paraiso - Ecuador. Huancayo, Perú: Tesis.

Motta Andrea. (Mayo de 2016). *Diseño de pilares mediante mediante el método del área tributaria*. Obtenido de https://app.emaze.com/@ACLOOCTC#1

Music Garrido, A. (2007). *Diagnostico y Optimización de Disparos en Desarrollo horizontal Mina el Teniente.* Santiago, Chile.

Persson, J. &. (1970). *Detonics oh high explosives.* New York: Academic Press.

Quispe Cáceres, H. (2018). *Reducción de costos de perforación y voladura con nuevo diseño de malla en el frente Crucero 340 NW de la empresa minera Yansur S.A.C. – Rinconada.* Puno, Perú.

Rodriguez Velásques, R. (2011). *Mejoramiento de operaciones unitarias en labores de desarrollo en minería subterránea convencional - unidad minera EL COFRE.* Puno, Perú.

Sánchez Villareal, Y. V. (2012). *Optimización en los procesos de perforación y voladura en el avance de rampas en la mina Bethzabeth.* Quito.

Santos Preciado, J. (2020). *Geografía General I.* Madrid.

Ticlavilca Paredes, E. (2010). *Diseño de Perforación y Voladura en el Tajo Susan de la Unidad Minera Corihuarmi Compañía Minera I. R. L.* Puno, Perú.

Tipo Chambi, R. (2019). *Optimización de fragmentación de rocas modificando los parámetros de perforación en la Unidad Minera Tacaza – CIEMSA.* Puno, Perú.

ANEXOS

ANEXO 1.

Parámetros y pruebas de voladura

	Tj 632-N		Rp 8010		Rp 640		Rp 640		Tj 8093-N	
	Estándar Establecido	Estándar Propuesto	Estándar Establecido	Estándar Propuesto	Estándar Establecido	Estándar Propuesto	Estándar Establecido	Estándar Propuesto	Estándar Establecido	Estándar Propuesto
Fecha	15/03/2019	25/05/2019	18/03/2019	20/03/2019	10/04/2019	11/04/2019	16/04/2019	17/04/2019	30/05/2019	29/05/2019
Sección	3.15m x3.50m	3.75m x 1.60m	4.50m x 4.00m	4.50m x 4.00m	4.00m x 4.00m	4.00m x 4.00m	4.00m x 4.00m	4.00m x 4.00m	3.50m x 3.00m	3.50m x 3.00m
Nro. Taladros	23 tal	13 tal	48 tal	46 tal	49 tal	44 tal	49 tal	49 tal	33 tal	33 tal
Nro. Faneles	23 fan	13 fan	44 fan	42 fan	44 fan	40 fan	44 fan	44 fan	29 fan	29 fan
Total Kg. Explosivo	40.12 Kg	18.9 Kg	99.27 Kg	90.55 Kg	95.2 Kg	80.96 Kg	93.46 Kg	92.88 Kg	60.23 Kg	63.2 Kg
Total Emulsiones	138 Und	65 Und	354 Und	324 Und	340 Und	291 Und	334 Und	332 Und	220 Und	230 Und
Tipo de roca	Roca Suave	Roca Suave	Roca Suave	Roca Suave	Roca Suave	Roca Suave	Roca Suave	Roca Suave	Roca Suave	Roca Suave
Tipo de material	Mineral	Mineral	Desmonte	Desmonte	Desmonte	Desmonte	Desmonte	Desmonte	Mineral	Mineral
Tipo de voladura	Bresting	Bresting	Frente	Frente	Frente	Frente	Frente	Frente	Frente	Frente
Factor Potencia	0.41 Kg/ton	0.38 Kg/ton	0.68 Kg/ton	0.65 Kg/ton	0.76 Kg/ton	0.66 Kg/ton	0.75 Kg/ton	0.72 Kg/ton	0.68 Kg/ton	0.69 Kg/ton
Factor Avance	-	-	32.65 Kg/ml	31.22 Kg/ml	32.05 Kg/ml	27.35 Kg/ml	32.12 Kg/ml	29.86 Kg/ml	21.51 Kg/ml	22.17 Kg/ml
Factor Carga	1.23 Kg/m3	1.15 Kg/m3	1.84 Kg/m3	1.76 Kg/m3	2.04 Kg/m3	1.77 Kg/m3	2.03 Kg/m3	1.94 Kg/m3	2.05 Kg/m3	2.08 Kg/m3
Costos	$88.31	$45.59	$207.24	$195.17	$206.91	$183.15	$205.83	$504.22	$144.43	$149.17
Perf. Efectiva	3.15 m	3.05 m	3.11 m	3.23 m	3.1 m	3.14 m	3.09 m	3.16 m	2.93 m	2.95 m

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 2.

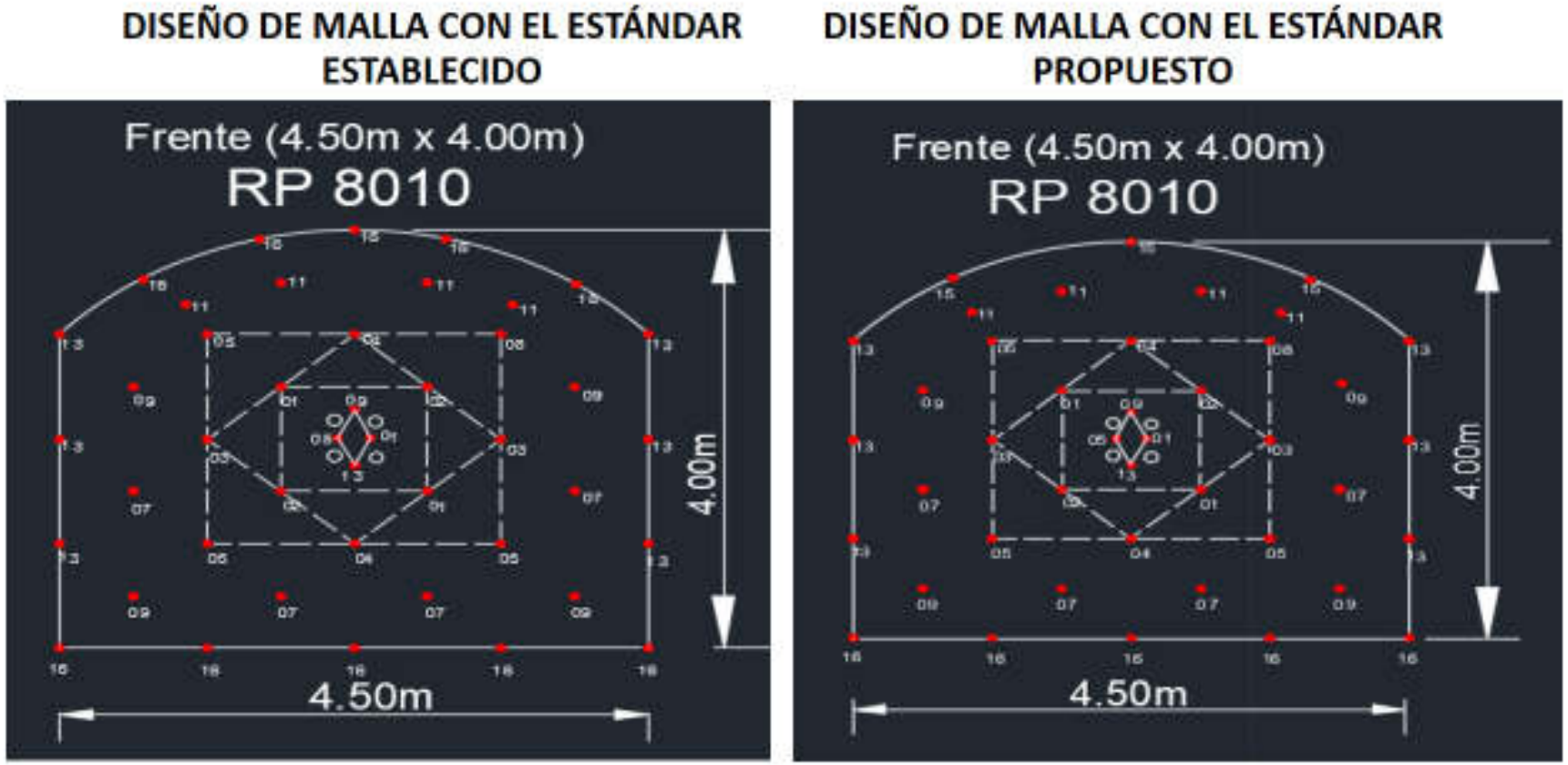
Malla de perforación con el estándar establecido y el estándar propuesto del Tj 632



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 3.

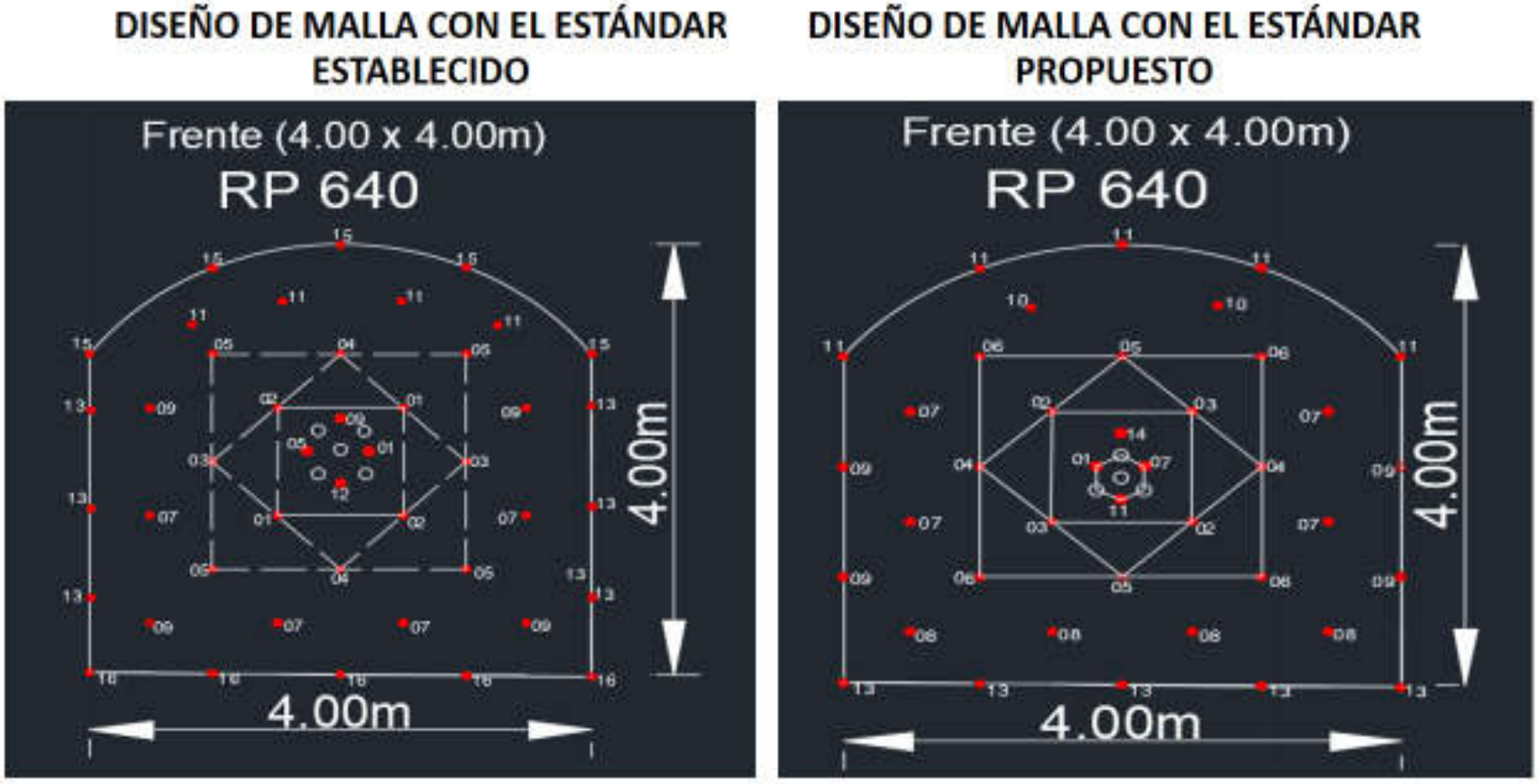
Malla de perforación con el estándar establecido y el estándar propuesto de la Rp 8010.



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 4.

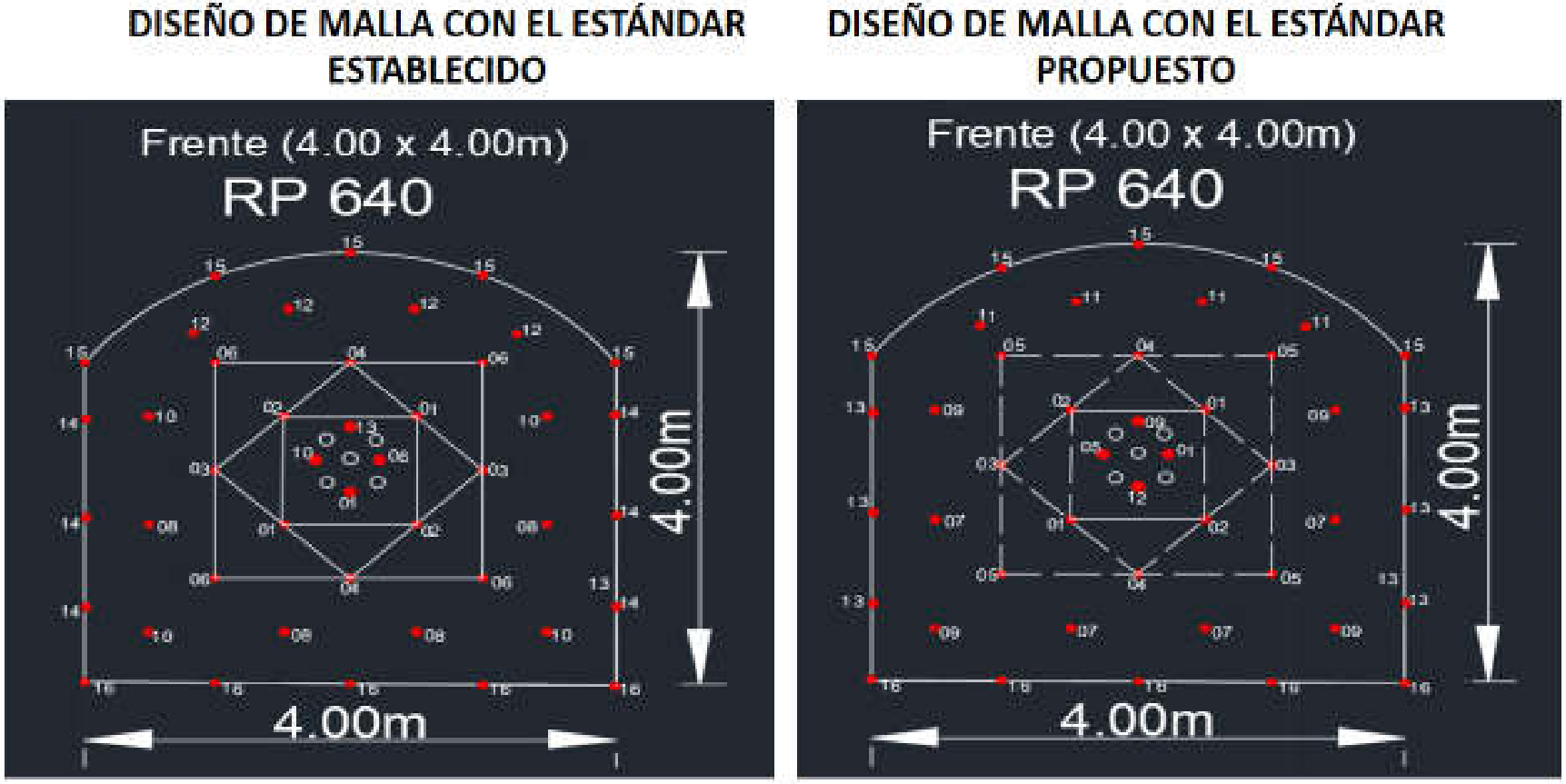
Malla de perforación con el estándar establecido y el estándar propuesto de la Rp 640.



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 5.

Malla de perforación con el estándar establecido y el estándar propuesto de la Rp 640



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 6.

Malla de perforación con el estándar establecido y el estándar propuesto del Tj 8093-N.



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 7.

Control de voladura del Tj 632-N, Unidad Minera San Vicente

CONTROL DE VOLADURA COMPAÑÍA MINERA SAN IGNACIO DE MOROCOCHA S.A.A

Supervisor: JUAN VENANCIO SALAS Guardia: _____

PARAMETROS TECNICOS			
FECHA	viernes, 15 de Marzo de 2019		
LABOR	Tj 632 N		TAJO
SECCIÓN	3.10	3.50	(m*m)
TIPO DE ROCA	III RMR 58		
TIPO DE MATERIAL	MINERAL		
PESO ESPECIFICO	3		
OPERADOR JUMBO	J. Huaman		
MAESTRO CARGADOR	Mauro Flores		
AYUDANTE CARGADOR	Luis Torres		
BOOMER	Jumbo 321		

PERFORACION		
N° TOTAL DE TALADROS	31	und
N° DE TAL. PERF 45 mm Ø	31	und
N° DE TAL. PERF 4" Ø	0	und
N° DE TAL. CARGADOS	23	und
PERF.EFECT TAL 45 mmØ	3.15	mts
PERF. EFECT RIMAD 4"Ø	0.00	mts
EFICIENCIA DE VOLADURA	0%	%
MTS. PERF. TAL 45 mm	97.65	mts
MTS. PERF. TAL 4"	0	mts

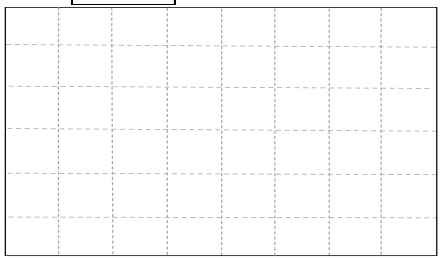
RENDIMIENTOS DE PERFORACIÓN		
TIEMPO DE PERFORACION TOTAL	1.19	Hrs
TIEMPO DE PERFORACION RIMADO	0.00	Hrs
TIEMPO POR TALADRO	1.67	min/tal
TIEMPO TALADRO RIMADO	0.00	min/tal
VELOCIDAD DE PERFORACIÓN	1.89	m/min
VELOCIDAD DE PERFORACIÓN (2)	113.33	m/Hora
TONELADAS POR TALADRO	4.24	Ton/Tal

ACCESORIOS DE VOLADURA		
FANELES	23	pza
PENTACORD	17	mt
CARMEX	2	und
MECHA RAPIDA	0.1	mt
CAÑAS DE BAMBU	0	Und
TACOS DE ARCILLA	0	Und
TUBOS PVC (1 1/4" x4m)	0	Und

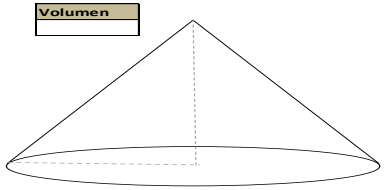
RENDIMIENTOS DE VOLADURA		
AVANCE POR DISPARO	0.00	ml
VOLUMEN ROTO	32.50	m3
TONELADAS ROTAS	97.50	ton
KG. EXPLOSIVO USADO	40.12	kg
FACTOR DE AVANCE		
FACTOR DE CARGA	1.23	kg/m3
FACTOR DE POTENCIA	0.41	kg/ton
SECCIÓN OBTENIDA	3.50	3.00
PRESENCIA DE TACOS	50.00	%
SOBREROTURA	-3	%
GRANULOMETRIA		
1. BUENA	10"-20"	25%
2. REGULAR	2"-10"	68%
3.MALA	<2"	7%

PRESIONES DE PERFORACION		
PRESION ROTACION	50	80
PRESION PERCUSION	120	180
PRESION AVANCE	50	80

Arranque



Volumen



SECUENCIA DE SALIDA	DISTRIBUCIÓN DE TALADROS	TALADROS CARGADOS	EMULNOR 5000 1 1/8" * 16"		EMULNOR 3000 1 1/8" * 16"		FAMECORTE 1 1/8" * 16"		EXPLOSIVOS USADOS (KG)	LONGITUD (mts)	
			N° CART	KG	N° CART	KG	N° CART	KG		con taco	sin taco
1	1RA FILA	5	0	0.00	6	8.72		0.00	8.72		
2	2DA FILA	4	0	0.00	6	6.98		0.00	6.98		
3	3ra FILA	4	0	0.00	6	6.98		0.00	6.98		
4	4ta FILA	5	0	0.00	6	8.72		0.00	8.72		
5	5ta FILA	5	0	0.00	6	8.72		0.00	8.72		
6	6ta FILA			0.00		0.00		0.00	0.00		
7	7ma FILA			0.00		0.00		0.00	0.00		
8	8va FILA			0.00		0.00		0.00	0.00		
9	9na FILA			0.00		0.00		0.00	0.00		
10	10ma FILA			0.00		0.00		0.00	0.00		
11	11ma FILA			0.00		0.00		0.00	0.00		
	TOTAL	23	0	0.00	138	40.12	0	0.00	40.12		

TOTAL KG. EXPLOSIVO	40.12
TOTAL DE CARTUCHOS	138

U. EFECTIVO
3.58
U. NETO
2.39

PIES PERF
268.53

Operador Cargador Cargador

Fuente: Departamento de costos, Unidad Minera San Vicente

ANEXO 8.

Control de voladura del Tj 632-N, Unidad Minera San Vicente

CONTROL DE VOLADURA COMPAÑÍA MINERA SAN IGNACIO DE MOROCOCHA S.A.A

Supervisor: JUAN VENANCIO SALAS Guardia:

SIMSA

PARAMETROS TECNICOS			
FECHA	sábado, 25 de Mayo de 2019		
LABOR	Tj 632 - N		TAJO
SECCIÓN	3.75	1.60	(m*m)
TIPO DE ROCA	III RMR 58		
TIPO DE MATERIAL	Mineral		
PESO ESPECIFICO	3		
OPERADOR JUMBO	E. Suarez		
MAESTRO CARGADOR	Lopez		
AYUDANTE CARGADOR	Gutierrez		
BOOMER	Jumbo 321		

PERFORACION		
N° TOTAL DE TALADROS	13	und
N° DE TAL. PERF 45 mm Ø	13	und
N° DE TAL. PERF 4" Ø	0	und
N° DE TAL. CARGADOS	13	und
PERF.EFECT TAL 45 mmØ	3.05	mts
PERF. EFECT RIMAD 4"Ø	0.00	mts
EFICIENCIA DE VOLADURA	0%	%
MTS. PERF. TAL 45 mm	39.65	mts
MTS. PERF. TAL 4"	0	mts

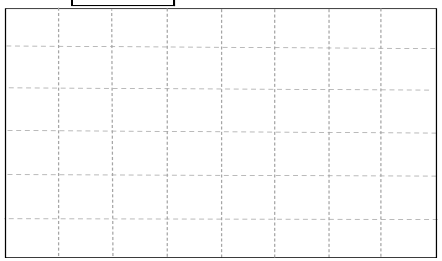
RENDIMIENTOS DE PERFORACIÓN		
TIEMPO DE PERFORACION TOTAL	0.37	Hrs
TIEMPO DE PERFORACION RIMADO	0.00	Hrs
TIEMPO POR TALADRO	1.33	min/tal
TIEMPO TALADRO RIMADO	0.00	min/tal
VELOCIDAD DE PERFORACIÓN	2.29	m/min
VELOCIDAD DE PERFORACIÓN (2)	137.25	m/Hora
TONELADAS POR TALADRO	3.81	Ton/Tal

ACCESORIOS DE VOLADURA		
FANELES	13	pza
PENTACORD	4.8	mt
CARMEX	2	und
MECHA RAPIDA	0.1	mt
CAÑAS DE BAMBU	0	Und
TACOS DE ARCILLA	0	Und
TUBOS PVC (1 1/4" x4m)	2	Und

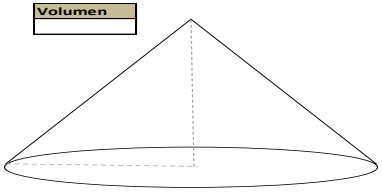
RENDIMIENTOS DE VOLADURA		
AVANCE POR DISPARO	0.00	ml
VOLUMEN ROTO	16.50	m3
TONELADAS ROTAS	49.50	ton
KG. EXPLOSIVO USADO	18.90	kg
FACTOR DE AVANCE		
FACTOR DE CARGA	1.15	kg/m3
FACTOR DE POTENCIA	0.38	kg/ton
SECCIÓN OBTENIDA	3.50	3.00
PRESENCIA DE TACOS	50.00	%
SOBREROTURA	75	%
GRANULOMETRIA		
1. BUENA	10"-20"	25%
2. REGULAR	2"-10"	68%
3.MALA	<2"	7%

PRESIONES DE PERFORACION		
PRESION ROTACION	50	80
PRESION PERCUSION	120	180
PRESION AVANCE	50	80

Arranque



Volumen



SECUENCIA DE SALIDA	DISTRIBUCIÓN DE TALADROS	TALADROS CARGADOS	EMULNOR 5000 1 1/8" * 16"		EMULNOR 3000 1 1/8" * 16"		FAMECORTE 1 1/8" * 16"		EXPLOSIVOS USADOS (KG)	LONGITUD (mts)	
			N° CART	KG	N° CART	KG	N° CART	KG		con taco	sin taco
1	1RA FILA	5	0	0.00	5	7.27	0	0.00	7.27		
2	2DA FILA	5	0	0.00	5	7.27	0	0.00	7.27		
3	3ra FILA	3	0	0.00	5	4.36	0	0.00	4.36		
4	4ta FILA		0	0.00	5	0.00	0	0.00	0.00		
5	5ta FILA								0.00		
6	6ta FILA								0.00		
7	7ma FILA								0.00		
8	8va FILA								0.00		
9	9na FILA								0.00		
10	10ma FILA								0.00		
11	11ma FILA								0.00		
	TOTAL	13	0	0.00	65	18.90	0	0.00	18.90		
	TOTAL KG. EXPLOSIVO	18.90									
	TOTAL DE CARTUCHOS	65									

U. EFECTIVO
1.12
U. NETO
0.75

PIES PERF
348.59

Operador Cargador Cargador

Fuente: Departamento de costos, Unidad Minera San Vicente

ANEXO 9.

Control de voladura de la Rp 8010, Unidad Minera San Vicente

CONTROL DE VOLADURA COMPAÑÍA MINERA SAN IGNACIO DE MOROCOCHA S.A.A

Supervisor: JUAN VENANCIO SALAS Guardia: _____

PARAMETROS TECNICOS			
FECHA	lunes, 18 de Marzo de 2019		
LABOR	Rp 8010		
SECCIÓN	4.50	4.00	16.71
TIPO DE ROCA	III Regular		
TIPO DE MATERIAL	Desmonte		
PESO ESPECIFICO	2.7		
OPERADOR JUMBO	M. Gonzales		
MAESTRO CARGADOR	Eriberto Ellisca		
AYUDANTE CARGADOR	Cristian Mansilla		
BOOMER	Jumbo 322		

PERFORACION		
N° TOTAL DE TALADROS	48	und
N° DE TAL. PERF 45 mm Ø	44	und
N° DE TAL. PERF 4" Ø	4	und
N° DE TAL. CARGADOS	44	und
PERF.EFECT TAL 45 mmØ	3.11	mts
PERF. EFECT RIMAD 4"Ø	3.15	mts
EFICIENCIA DE VOLADURA	98%	%
MTS. PERF. TAL 45 mm	136.84	mts
MTS. PERF. TAL 4"	12.6	mts

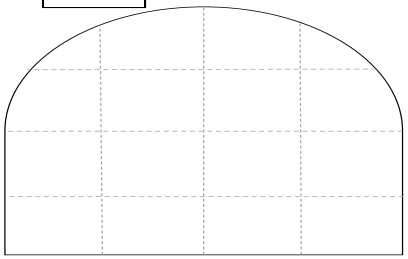
RENDIMIENTOS DE PERFORACIÓN		
TIEMPO DE PERFORACION TOTAL	2.28	Hrs
TIEMPO DE PERFORACION RIMADO	0.33	Hrs
TIEMPO POR TALADRO	1.75	min/tal
TIEMPO TALADRO RIMADO	4.09	min/tal
VELOCIDAD DE PERFORACIÓN	1.78	m/min
VELOCIDAD DE PERFORACIÓN (2)	106.90	m/Hora
TONELADAS POR TALADRO	3.31	Ton/Tal

ACCESORIOS DE VOLADURA		
FANELES	44	pza
PENTACORD	24	mt
CARMEX	2	und
MECHA RAPIDA	0.1	mt
CAÑAS DE BAMBU	0	Und
TACOS DE ARCILLA	0	Und
TUBOS PVC (1 1/4" x4m)	11	Und

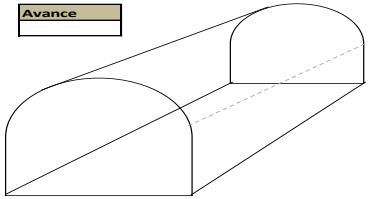
RENDIMIENTOS DE VOLADURA		
AVANCE POR DISPARO	3.04	ml
VOLUMEN ROTO	53.88	m3
TONELADAS ROTAS	145.46	ton
KG. EXPLOSIVO USADO	99.27	kg
FACTOR DE AVANCE	32.65	kg/ml
FACTOR DE CARGA	1.84	kg/m3
FACTOR DE POTENCIA	0.68	kg/ton
SECCIÓN OBTENIDA	4.55	4.10
PRESENCIA DE TACOS	50.00	%
SOBREROTURA	4	%
GRANULOMETRIA		
1. BUENA	10"-20"	25%
2. REGULAR	2"-10"	68%
3.MALA	<2"	7%

PRESIONES DE PERFORACION		
PRESION ROTACION	35	50
PRESION PERCUSION	120	180
PRESION AVANCE	50	90

Arranque



Avance



SECUENCIA DE SALIDA	DISTRIBUCIÓN DE TALADROS	TALADROS CARGADOS	EMULNOR 5000 1 1/8" * 16"		EMULNOR 3000 1 1/8" * 16"		FAMECORTE 1 1/8" * 16"		EXPLOSIVOS USADOS (KG)	LONGITUD (mts)	
			N° CART	KG	N° CART	KG	N° CART	KG		con taco	sin taco
1	ARRANQUE	4	9	10.71		0.00		0.00	10.71		
2	1° AYUDA	4	2	2.38	7	8.14		0.00	10.52		
3	2° AYUDA	4		0.00	8	9.30		0.00	9.30		
4	3° AYUDA	4		0.00	8	9.30		0.00	9.30		
5	4° AYUDA			0.00		0.00		0.00	0.00		
6	AYUDA DE HASTIALES	4		0.00	8	9.30		0.00	9.30		
7	HASTIALES	6		0.00	9	15.70		0.00	15.70		
8	AYUDAS DE CORONA	4		0.00	8	9.30		0.00	9.30		
9	CORONA	5		0.00	0.5	0.73	5	3.47	4.20		
10	AYUDAS DE ARRASTRES	4		0.00	8	9.30		0.00	9.30		
11	ARRASTRES	5		0.00	8	11.63		0.00	11.63		
	TOTAL	44	44	13.10	284.5	82.70	25	3.47	99.27		
	TOTAL KG. EXPLOSIVO	99.27									
	TOTAL DE CARTUCHOS	353.5									

U. EFECTIVO
7.83
U. NETO
5.22

PIES PERF
214.77

Operador Cargador Cargador

Fuente: Departamento de costos, Unidad Minera San Vicente

ANEXO 10.

Control de voladura de la Rp 8010, Unidad Minera San Vicente

CONTROL DE VOLADURA COMPAÑÍA MINERA SAN IGNACIO DE MOROCOCHA S.A.A

Supervisor: JUAN VENANCIO SALAS Guardia: _____

PARAMETROS TECNICOS			
FECHA	miércoles, 20 de Marzo de 2019		
LABOR	Rp 8010		
SECCIÓN	4.50	4.00	16.71
TIPO DE ROCA	III Regular		
TIPO DE MATERIAL	Desmonte		
PESO ESPECIFICO	2.7		
OPERADOR JUMBO	M. Gonzales		
MAESTRO CARGADOR	Eriberto Ellisca		
AYUDANTE CARGADOR	Cristian Mansilla		
BOOMER	Jumbo 322		

PERFORACION		
N° TOTAL DE TALADROS	46	und
N° DE TAL. PERF 45 mm Ø	42	und
N° DE TAL. PERF 4" Ø	4	und
N° DE TAL. CARGADOS	42	und
PERF.EFECT TAL 45 mmØ	3.23	mts
PERF. EFECT RIMAD 4"Ø	3.31	mts
EFICIENCIA DE VOLADURA	90%	%
MTS. PERF. TAL 45 mm	135.66	mts
MTS. PERF. TAL 4"	13.24	mts

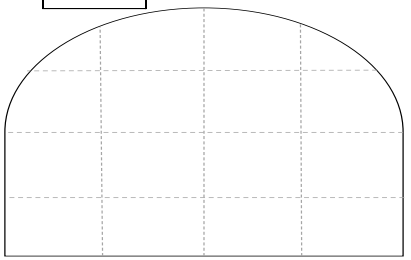
RENDIMIENTOS DE PERFORACIÓN		
TIEMPO DE PERFORACION TOTAL	2.31	Hrs
TIEMPO DE PERFORACION RIMADO	0.43	Hrs
TIEMPO POR TALADRO	1.58	min/tal
TIEMPO TALADRO RIMADO	5.45	min/tal
VELOCIDAD DE PERFORACIÓN	2.04	m/min
VELOCIDAD DE PERFORACIÓN (2)	122.57	m/Hora
TONELADAS POR TALADRO	3.30	Ton/Tal

ACCESORIOS DE VOLADURA		
FANELES	42	pza
PENTACORD	23	mt
CARMEX	2	und
MECHA RAPIDA	0.1	mt
CAÑAS DE BAMBU	0	Und
TACOS DE ARCILLA	10	Und
TUBOS PVC (1 1/4" x4m)	16	Und

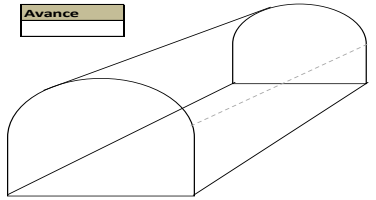
RENDIMIENTOS DE VOLADURA		
AVANCE POR DISPARO	2.90	ml
VOLUMEN ROTO	51.39	m3
TONELADAS ROTAS	138.77	ton
KG. EXPLOSIVO USADO	90.55	kg
FACTOR DE AVANCE	31.22	kg/ml
FACTOR DE CARGA	1.76	kg/m3
FACTOR DE POTENCIA	0.65	kg/ton
SECCIÓN OBTENIDA	4.55	4.10
PRESENCIA DE TACOS	50.00	%
SOBREROTURA	4	%
GRANULOMETRIA		
1. BUENA	10"-20"	25%
2. REGULAR	2"-10"	68%
3.MALA	<2"	7%

PRESIONES DE PERFORACION		
PRESION ROTACION	35	50
PRESION PERCUSION	120	180
PRESION AVANCE	50	90

Arranque



Avance



SECUENCIA DE SALIDA	DISTRIBUCIÓN DE TALADROS	TALADROS CARGADOS	EMULNOR 5000 1 1/8" * 16"		EMULNOR 3000 1 1/8" * 16"		FAMECORTE 1 1/8" * 16"		EXPLOSIVOS USADOS (KG)	LONGITUD (mts)	
			N° CART	KG	N° CART	KG	N° CART	KG		con taco	sin taco
1	ARRANQUE	4	9	10.71		0.00		0.00	10.71		
2	1° AYUDA	4	2	2.38	7	8.14		0.00	10.52		
3	2° AYUDA	4		0.00	8	9.30		0.00	9.30		
4	3° AYUDA	4		0.00	8	9.30		0.00	9.30		
5	4° AYUDA			0.00		0.00		0.00	0.00		
6	AYUDA DE HASTIALES	4		0.00	7	8.14		0.00	8.14		
7	HASTIALES	4		0.00	8	9.30		0.00	9.30		
8	AYUDAS DE CORONA	4		0.00	8	9.30		0.00	9.30		
9	CORONA	5		0.00	0.5	0.73	5	3.47	4.20		
10	AYUDAS DE ARRASTRES	4		0.00	7	8.14		0.00	8.14		
11	ARRASTRES	5		0.00	8	11.63		0.00	11.63		
	TOTAL	42	44	13.10	254.5	73.98	25	3.47	90.55		
	TOTAL KG. EXPLOSIVO	90.55									
	TOTAL DE CARTUCHOS	323.5									

U. EFECTIVO
8.22
U. NETO
5.48

PIES PERF
211.60

Operador Cargador Cargador

Fuente: Departamento de costos, Unidad Minera San Vicente

ANEXO 11.

Control de voladura de la Rp 640, Unidad Minera San Vicente

CONTROL DE VOLADURA COMPAÑÍA MINERA SAN IGNACIO DE MOROCOCHA S.A.A

Supervisor: _____ JUAN VENANCIO SALAS Guardia: H

PARAMETROS TECNICOS			
FECHA	miércoles, 10 de Abril de 2019		
LABOR	Rp 640		
SECCIÓN	4.00	4.00	14.86
TIPO DE ROCA	III Regular		
TIPO DE MATERIAL	Desmonte		
PESO ESPECIFICO	2.7		
OPERADOR JUMBO	M. Gonzales		
MAESTRO CARGADOR	Eriberto Ellisca		
AYUDANTE CARGADOR	Cristian Mancilla		
BOOMER	Jumbo 322		

PERFORACION		
N° TOTAL DE TALADROS	49	und
N° DE TAL. PERF 45 mm Ø	44	und
N° DE TAL. PERF 4" Ø	5	und
N° DE TAL. CARGADOS	44	und
PERF.EFECT TAL 45 mmØ	3.10	mts
PERF. EFECT RIMAD 4"Ø	3.05	mts
EFICIENCIA DE VOLADURA	96%	%
MTS. PERF. TAL 45 mm	136.4	mts
MTS. PERF. TAL 4"	15.25	mts

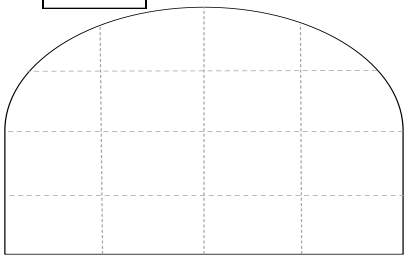
RENDIMIENTOS DE PERFORACIÓN		
TIEMPO DE PERFORACION TOTAL	1.33	Hrs
TIEMPO DE PERFORACION RIMADO	0.33	Hrs
TIEMPO POR TALADRO	1.87	min/tal
TIEMPO TALADRO RIMADO	5.03	min/tal
VELOCIDAD DE PERFORACIÓN	1.66	m/min
VELOCIDAD DE PERFORACIÓN (2)	99.64	m/Hora
TONELADAS POR TALADRO	2.86	Ton/Tal

ACCESORIOS DE VOLADURA		
FANELES	44	pza
PENTACORD	15	mt
CARMEX	2	und
MECHA RAPIDA	0.1	mt
CAÑAS DE BAMBU	0	Und
TACOS DE ARCILLA	10	Und
TUBOS PVC (1 1/4" x4m)	10	Und

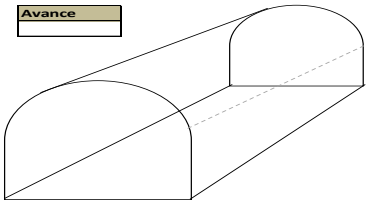
RENDIMIENTOS DE VOLADURA		
AVANCE POR DISPARO	2.97	ml
VOLUMEN ROTO	46.62	m3
TONELADAS ROTAS	125.87	ton
KG. EXPLOSIVO USADO	95.20	kg
FACTOR DE AVANCE	32.05	kg/ml
FACTOR DE CARGA	2.04	kg/m3
FACTOR DE POTENCIA	0.76	kg/ton
SECCIÓN OBTENIDA	4.10	4.03
PRESENCIA DE TACOS	50.00	%
SOBREROTURA	3	%
GRANULOMETRIA		
1. BUENA	10"-20"	25%
2. REGULAR	2"-10"	68%
3.MALA	<2"	7%

PRESIONES DE PERFORACION		
PRESION ROTACION	35	50
PRESION PERCUSION	120	180
PRESION AVANCE	50	90

Arranque



Avance



SECUENCIA DE SALIDA	DISTRIBUCIÓN DE TALADROS	TALADROS CARGADOS	EMULNOR 5000 1 1/8" * 16"		EMULNOR 3000 1 1/8" * 16"		FAMECORTE 1 1/8" * 16"		EXPLOSIVOS USADOS (KG)	LONGITUD (mts)	
			N° CART	KG	N° CART	KG	N° CART	KG		con taco	sin taco
1	ARRANQUE	4	9	10.71		0.00		0.00	10.71		
2	1° AYUDA	4	2	2.38	8	9.30		0.00	11.68		
3	2° AYUDA	4		0.00	8	9.30		0.00	9.30		
4	3° AYUDA	4		0.00	7	8.14		0.00	8.14		
5	4° AYUDA			0.00		0.00		0.00	0.00		
6	AYUDA DE HASTIALES	4		0.00	7	8.14		0.00	8.14		
7	HASTIALES	6		0.00	8	13.95		0.00	13.95		
8	AYUDAS DE CORONA	4		0.00	8	9.30		0.00	9.30		
9	CORONA	5		0.00	0.5	0.73	5	3.47	4.20		
10	AYUDAS DE ARRASTRES	4		0.00	7	8.14		0.00	8.14		
11	ARRASTRES	5		0.00	8	11.63		0.00	11.63		
	TOTAL	44	44	13.10	270.5	78.63	25	3.47	95.20		
	TOTAL KG. EXPLOSIVO	95.20									
	TOTAL DE CARTUCHOS	339.5									

U. EFECTIVO
5.00
U. NETO
3.33

PIES PERF
373.15

Operador Cargador Cargador

Fuente: Departamento de costos, Unidad Minera San Vicente

ANEXO 12.

Control de voladura de la Rp 640, Unidad Minera San Vicente

CONTROL DE VOLADURA COMPAÑÍA MINERA SAN IGNACIO DE MOROCOCHA S.A.A

Supervisor: _____JUAN VENANCIO SALAS Guardia: H

PARAMETROS TECNICOS			
FECHA	jueves, 11 de Abril de 2019		
LABOR	Rp 640		
SECCIÓN	4.00	4.00	14.86
TIPO DE ROCA	III Regular		
TIPO DE MATERIAL	Desmonte		
PESO ESPECIFICO	2.7		
OPERADOR JUMBO	M. Gonzales		
MAESTRO CARGADOR	Eriberto Ellisca		
AYUDANTE CARGADOR	Cristian Mancilla		
BOOMER	Jumbo 322		

PERFORACION		
N° TOTAL DE TALADROS	44	und
N° DE TAL. PERF 45 mm Ø	40	und
N° DE TAL. PERF 4" Ø	4	und
N° DE TAL. CARGADOS	40	und
PERF.EFECT TAL 45 mmØ	3.14	mts
PERF. EFECT RIMAD 4"Ø	2.98	mts
EFICIENCIA DE VOLADURA	94%	%
MTS. PERF. TAL 45 mm	125.6	mts
MTS. PERF. TAL 4"	11.92	mts

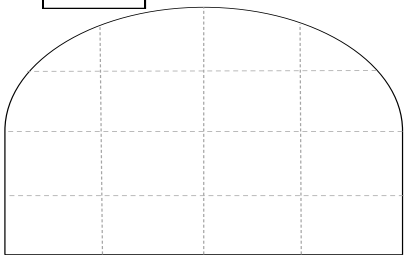
RENDIMIENTOS DE PERFORACIÓN		
TIEMPO DE PERFORACION TOTAL	1.28	Hrs
TIEMPO DE PERFORACION RIMADO	0.42	Hrs
TIEMPO POR TALADRO	1.85	min/tal
TIEMPO TALADRO RIMADO	5.02	min/tal
VELOCIDAD DE PERFORACIÓN	1.70	m/min
VELOCIDAD DE PERFORACIÓN (2)	101.84	m/Hora
TONELADAS POR TALADRO	3.08	Ton/Tal

ACCESORIOS DE VOLADURA		
FANELES	40	pza
PENTACORD	18	mt
CARMEX	2	und
MECHA RAPIDA	0.1	mt
CAÑAS DE BAMBU	0	Und
TACOS DE ARCILLA	13	Und
TUBOS PVC (1 1/4" x4m)	5	Und

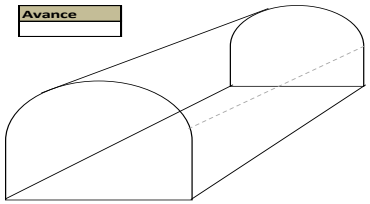
RENDIMIENTOS DE VOLADURA		
AVANCE POR DISPARO	2.96	ml
VOLUMEN ROTO	45.67	m3
TONELADAS ROTAS	123.31	ton
KG. EXPLOSIVO USADO	80.96	kg
FACTOR DE AVANCE	27.35	kg/ml
FACTOR DE CARGA	1.77	kg/m3
FACTOR DE POTENCIA	0.66	kg/ton
SECCIÓN OBTENIDA	4.02	4.04
PRESENCIA DE TACOS	50.00	%
SOBREROTURA	2	%
GRANULOMETRIA		
1. BUENA	10"-20"	25%
2. REGULAR	2"-10"	68%
3.MALA	<2"	7%

PRESIONES DE PERFORACION		
PRESION ROTACION	35	50
PRESION PERCUSION	120	180
PRESION AVANCE	50	90

Arranque



Avance



SECUENCIA DE SALIDA	DISTRIBUCIÓN DE TALADROS	TALADROS CARGADOS	EMULNOR 5000 1 1/8" * 16"		EMULNOR 3000 1 1/8" * 16"		FAMECORTE 1 1/8" * 16"		EXPLOSIVOS USADOS (KG)	LONGITUD (mts)	
			N° CART	KG	N° CART	KG	N° CART	KG		con taco	sin taco
1	ARRANQUE	4	9	10.71		0.00		0.00	10.71		
2	1° AYUDA	4	2	2.38	7	8.14		0.00	10.52		
3	2° AYUDA	4		0.00	8	9.30		0.00	9.30		
4	3° AYUDA	4		0.00	7	8.14		0.00	8.14		
5	4° AYUDA			0.00		0.00		0.00	0.00		
6	AYUDA DE HASTIALES	4		0.00	7	8.14		0.00	8.14		
7	HASTIALES	4		0.00	6	6.98		0.00	6.98		
8	AYUDAS DE CORONA	2		0.00	8	4.65		0.00	4.65		
9	CORONA	5		0.00	0.5	0.73	5	3.47	4.20		
10	AYUDAS DE ARRASTRES	4		0.00	7	8.14		0.00	8.14		
11	ARRASTRES	5		0.00	7	10.17		0.00	10.17		
	TOTAL	40	44	13.10	221.5	64.39	25	3.47	80.96		
	TOTAL KG. EXPLOSIVO	80.96									
	TOTAL DE CARTUCHOS	290.5									

U. EFECTIVO
5.10
U. NETO
3.40

PIES PERF
351.57

Operador Cargador Cargador

Fuente: Departamento de costos, Unidad Minera San Vicente

ANEXO 13.

Control de voladura de la Rp 640, Unidad Minera San Vicente

CONTROL DE VOLADURA COMPAÑÍA MINERA SAN IGNACIO DE MOROCOCHA S.A.A

Supervisor: _____JUAN VENANCIO SALAS Guardia: H

PARAMETROS TECNICOS			
FECHA	martes, 16 de Abril de 2019		
LABOR	Rp 640		
SECCIÓN	4.00	4.00	14.86
TIPO DE ROCA	III Regular		
TIPO DE MATERIAL	Desmonte		
PESO ESPECIFICO	2.7		
OPERADOR JUMBO	M. Gonzales		
MAESTRO CARGADOR	Eriberto Ellisca		
AYUDANTE CARGADOR	Cristian Mancilla		
BOOMER	Jumbo 322		

PERFORACION		
N° TOTAL DE TALADROS	49	und
N° DE TAL. PERF 45 mm Ø	44	und
N° DE TAL. PERF 4" Ø	5	und
N° DE TAL. CARGADOS	44	und
PERF.EFECT TAL 45 mmØ	3.09	mts
PERF. EFECT RIMAD 4"Ø	3.02	mts
EFICIENCIA DE VOLADURA	94%	%
MTS. PERF. TAL 45 mm	135.96	mts
MTS. PERF. TAL 4"	15.1	mts

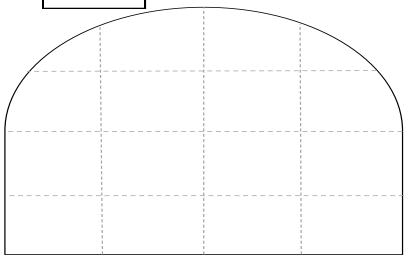
RENDIMIENTOS DE PERFORACIÓN		
TIEMPO DE PERFORACION TOTAL	1.28	Hrs
TIEMPO DE PERFORACION RIMADO	0.42	Hrs
TIEMPO POR TALADRO	1.85	min/tal
TIEMPO TALADRO RIMADO	5.02	min/tal
VELOCIDAD DE PERFORACIÓN	1.67	m/min
VELOCIDAD DE PERFORACIÓN (2)	100.22	m/Hora
TONELADAS POR TALADRO	2.82	Ton/Tal

ACCESORIOS DE VOLADURA		
FANELES	44	pza
PENTACORD	10	mt
CARMEX	2	und
MECHA RAPIDA	0.1	mt
CAÑAS DE BAMBU	0	Und
TACOS DE ARCILLA	15	Und
TUBOS PVC (1 1/4" x4m)	8	Und

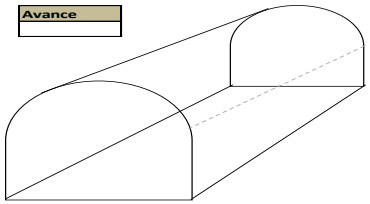
RENDIMIENTOS DE VOLADURA		
AVANCE POR DISPARO	2.91	ml
VOLUMEN ROTO	46.02	m3
TONELADAS ROTAS	124.25	ton
KG. EXPLOSIVO USADO	93.46	kg
FACTOR DE AVANCE	32.12	kg/ml
FACTOR DE CARGA	2.03	kg/m3
FACTOR DE POTENCIA	0.75	kg/ton
SECCIÓN OBTENIDA	4.10	4.06
PRESENCIA DE TACOS	50.00	%
SOBREROTURA	4	%
GRANULOMETRIA		
1. BUENA	10"-20"	25%
2. REGULAR	2"-10"	68%
3.MALA	<2"	7%

PRESIONES DE PERFORACION		
PRESION ROTACION	40	80
PRESION PERCUSION	120	180
PRESION AVANCE	50	90

Arranque



Avance



SECUENCIA DE SALIDA	DISTRIBUCIÓN DE TALADROS	TALADROS CARGADOS	EMULNOR 5000 1 1/8" * 16"		EMULNOR 3000 1 1/8" * 16"		FAMECORTE 1 1/8" * 16"		EXPLOSIVOS USADOS (KG)	LONGITUD (mts)	
			N° CART	KG	N° CART	KG	N° CART	KG		con taco	sin taco
1	ARRANQUE	4	9	10.71		0.00		0.00	10.71		
2	1° AYUDA	4	2	2.38	8	9.30		0.00	11.68		
3	2° AYUDA	4		0.00	8	9.30		0.00	9.30		
4	3° AYUDA	4		0.00	7	8.14		0.00	8.14		
5	4° AYUDA			0.00		0.00		0.00	0.00		
6	AYUDA DE HASTIALES	4		0.00	7	8.14		0.00	8.14		
7	HASTIALES	6		0.00	7	12.21		0.00	12.21		
8	AYUDAS DE CORONA	4		0.00	8	9.30		0.00	9.30		
9	CORONA	5		0.00	0.5	0.73	5	3.47	4.20		
10	AYUDAS DE ARRASTRES	4		0.00	7	8.14		0.00	8.14		
11	ARRASTRES	5		0.00	8	11.63		0.00	11.63		
	TOTAL	44	44	13.10	264.5	76.89	25	3.47	93.46		
	TOTAL KG. EXPLOSIVO	93.46									
	TOTAL DE CARTUCHOS	333.5									

U. EFECTIVO
5.10
U. NETO
3.40

PIES PERF
386.18

Operador Cargador Cargador

Fuente: Departamento de costos, Unidad Minera San Vicente

ANEXO 14.

Control de voladura de la Rp 640, Unidad Minera San Vicente

CONTROL DE VOLADURA COMPAÑÍA MINERA SAN IGNACIO DE MOROCOCHA S.A.A

Supervisor: _____ JUAN VENANCIO SALAS Guardia: H

PARAMETROS TECNICOS			
FECHA	miércoles, 17 de Abril de 2019		
LABOR	Rp 640		
SECCIÓN	4.00	4.00	14.86
TIPO DE ROCA	III Regular		
TIPO DE MATERIAL	Desmonte		
PESO ESPECIFICO	2.7		
OPERADOR JUMBO	M. Gonzales		
MAESTRO CARGADOR	Eriberto Ellisca		
AYUDANTE CARGADOR	Cristian Mancilla		
BOOMER	Jumbo 322		

PERFORACION		
N° TOTAL DE TALADROS	49	und
N° DE TAL. PERF 45 mm Ø	44	und
N° DE TAL. PERF 4" Ø	5	und
N° DE TAL. CARGADOS	44	und
PERF.EFECT TAL 45 mmØ	3.16	mts
PERF. EFECT RIMAD 4"Ø	3.10	mts
EFICIENCIA DE VOLADURA	98%	%
MTS. PERF. TAL 45 mm	139.04	mts
MTS. PERF. TAL 4"	15.5	mts

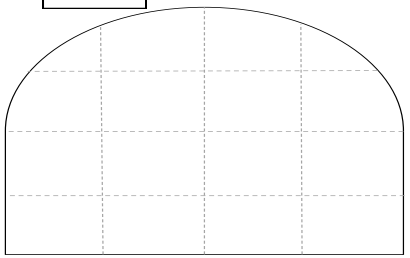
RENDIMIENTOS DE PERFORACIÓN		
TIEMPO DE PERFORACION TOTAL	1.28	Hrs
TIEMPO DE PERFORACION RIMADO	0.42	Hrs
TIEMPO POR TALADRO	1.85	min/tal
TIEMPO TALADRO RIMADO	5.02	min/tal
VELOCIDAD DE PERFORACIÓN	1.71	m/min
VELOCIDAD DE PERFORACIÓN (2)	102.49	m/Hora
TONELADAS POR TALADRO	2.94	Ton/Tal

ACCESORIOS DE VOLADURA		
FANELES	44	pza
PENTACORD	10	mt
CARMEX	2	und
MECHA RAPIDA	0.1	mt
CAÑAS DE BAMBU	0	Und
TACOS DE ARCILLA	15	Und
TUBOS PVC (1 1/4" x4m)	8	Und

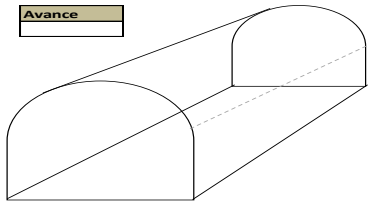
RENDIMIENTOS DE VOLADURA		
AVANCE POR DISPARO	3.11	ml
VOLUMEN ROTO	47.86	m3
TONELADAS ROTAS	129.21	ton
KG. EXPLOSIVO USADO	92.88	kg
FACTOR DE AVANCE	29.86	kg/ml
FACTOR DE CARGA	1.94	kg/m3
FACTOR DE POTENCIA	0.72	kg/ton
SECCIÓN OBTENIDA	4.08	3.97
PRESENCIA DE TACOS	50.00	%
SOBREROTURA	1	%
GRANULOMETRIA		
1. BUENA	10"-20"	25%
2. REGULAR	2"-10"	68%
3.MALA	<2"	7%

PRESIONES DE PERFORACION		
PRESION ROTACION	40	80
PRESION PERCUSION	120	180
PRESION AVANCE	50	90

Arranque



Avance



SECUENCIA DE SALIDA	DISTRIBUCIÓN DE TALADROS	TALADROS CARGADOS	EMULNOR 5000 1 1/8" * 16"		EMULNOR 3000 1 1/8" * 16"		FAMECORTE 1 1/8" * 16"		EXPLOSIVOS USADOS (KG)	LONGITUD (mts)	
			N° CART	KG	N° CART	KG	N° CART	KG		con taco	sin taco
1	ARRANQUE	4	8	9.52	1	1.16		0.00	10.69		
2	1° AYUDA	4	3	3.57	7	8.14		0.00	11.71		
3	2° AYUDA	4		0.00	8	9.30		0.00	9.30		
4	3° AYUDA	4		0.00	7	8.14		0.00	8.14		
5	4° AYUDA			0.00		0.00		0.00	0.00		
6	AYUDA DE HASTIALES	4		0.00	6	6.98		0.00	6.98		
7	HASTIALES	6		0.00	8	13.95		0.00	13.95		
8	AYUDAS DE CORONA	4		0.00	7	8.14		0.00	8.14		
9	CORONA	5		0.00	0.5	0.73	5	3.47	4.20		
10	AYUDAS DE ARRASTRES	4		0.00	7	8.14		0.00	8.14		
11	ARRASTRES	5		0.00	8	11.63		0.00	11.63		
	TOTAL	44	44	13.10	262.5	76.31	25	3.47	92.88		
	TOTAL KG. EXPLOSIVO	92.88									
	TOTAL DE CARTUCHOS	331.5									

U. EFECTIVO
5.10
U. NETO
3.40

PIES PERF
395.08

Operador Cargador Cargador

Fuente: Departamento de costos, Unidad Minera San Vicente

ANEXO 15.

Control de voladura del Tj 8093-N, Unidad Minera San Vicente

CONTROL DE VOLADURA COMPAÑÍA MINERA SAN IGNACIO DE MOROCOCHA S.A.A

Supervisor: _____JUAN VENANCIO SALAS Guardia: H

PARAMETROS TECNICOS			
FECHA	miércoles, 29 de Mayo de 2019		
LABOR	Tj 8093 - N		
SECCIÓN	3.50	3.00	9.75
TIPO DE ROCA	III Regular		
TIPO DE MATERIAL	Mineral		
PESO ESPECIFICO	3		
OPERADOR JUMBO	M. Escobar		
MAESTRO CARGADOR	Jesus Solorzano		
AYUDANTE CARGADOR	Samuel Romero		
BOOMER	Jumbo 322		

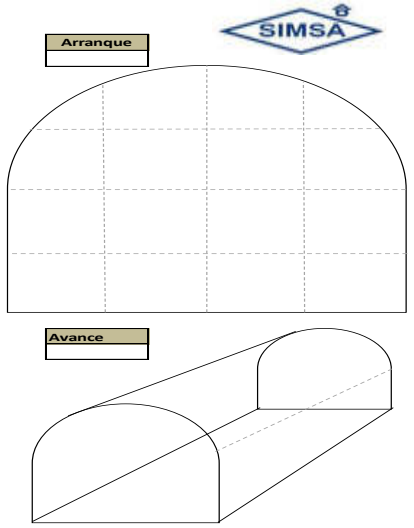
PERFORACION		
N° TOTAL DE TALADROS	33	und
N° DE TAL. PERF 45 mm Ø	29	und
N° DE TAL. PERF 4" Ø	4	und
N° DE TAL. CARGADOS	29	und
PERF.EFECT TAL 45 mmØ	2.93	mts
PERF. EFECT RIMAD 4"Ø	2.97	mts
EFICIENCIA DE VOLADURA	96%	%
MTS. PERF. TAL 45 mm	84.97	mts
MTS. PERF. TAL 4"	11.88	mts

RENDIMIENTOS DE PERFORACIÓN		
TIEMPO DE PERFORACION TOTAL	1.77	Hrs
TIEMPO DE PERFORACION RIMADO	0.35	Hrs
TIEMPO POR TALADRO	1.75	min/tal
TIEMPO TALADRO RIMADO	4.20	min/tal
VELOCIDAD DE PERFORACIÓN	1.67	m/min
VELOCIDAD DE PERFORACIÓN (2)	100.46	m/Hora
TONELADAS POR TALADRO	3.04	Ton/Tal

ACCESORIOS DE VOLADURA		
FANELES	29	pza
PENTACORD	11.25	mt
CARMEX	2	und
MECHA RAPIDA	0.1	mt
CAÑAS DE BAMBU	0	Und
TACOS DE ARCILLA	29	Und
TUBOS PVC (1 1/4" x4m)	6	Und

RENDIMIENTOS DE VOLADURA		
AVANCE POR DISPARO	2.80	ml
VOLUMEN ROTO	29.40	m3
TONELADAS ROTAS	88.19	ton
KG. EXPLOSIVO USADO	60.23	kg
FACTOR DE AVANCE	21.51	kg/ml
FACTOR DE CARGA	2.05	kg/m3
FACTOR DE POTENCIA	0.68	kg/ton
SECCIÓN OBTENIDA	3.60	3.07
PRESENCIA DE TACOS	50.00	%
SOBREROTURA	5	%
GRANULOMETRIA		
1. BUENA	10"-20"	25%
2. REGULAR	2"-10"	68%
3.MALA	<2"	7%

PRESIONES DE PERFORACION		
PRESION ROTACION	35	50
PRESION PERCUSION	120	180
PRESION AVANCE	50	90



SECUENCIA DE SALIDA	DISTRIBUCIÓN DE TALADROS	TALADROS CARGADOS	EMULNOR 5000 1 1/8" * 16"		EMULNOR 3000 1 1/8" * 16"		FAMECORTE 1 1/8" * 16"		EXPLOSIVOS USADOS (KG)	LONGITUD (mts)	
			N° CART	KG	N° CART	KG	N° CART	KG		con taco	sin taco
1	ARRANQUE	4	8	9.52		0.00		0.00	9.52		
2	1° AYUDA	4		0.00	9	10.47		0.00	10.47		
3	2° AYUDA	4		0.00	8	9.30		0.00	9.30		
4	3° AYUDA	4		0.00	8	9.30		0.00	9.30		
5	4° AYUDA			0.00		0.00		0.00	0.00		
6	AYUDA DE HASTIALES	0		0.00		0.00		0.00	0.00		
7	HASTIALES	4		0.00	7	8.14		0.00	8.14		
8	AYUDAS DE CORONA	0		0.00		0.00		0.00	0.00		
9	CORONA	5		0.00	0.5	0.73	5	3.47	4.20		
10	AYUDAS DE ARRASTRES	0		0.00		0.00		0.00	0.00		
11	ARRASTRES	4		0.00	8	9.30		0.00	9.30		
	TOTAL	29	32	9.52	162.5	47.24	25	3.47	60.23		

TOTAL KG. EXPLOSIVO	60.23
TOTAL DE CARTUCHOS	219.5

U. EFECTIVO
6.35
U. NETO
4.23

PIES PERF
179.86

Operador Cargador Cargador

Fuente: Departamento de costos, Unidad Minera San Vicente

ANEXO 16.

Control de voladura del Tj 8093-N, Unidad Minera San Vicente

CONTROL DE VOLADURA COMPAÑÍA MINERA SAN IGNACIO DE MOROCOCHA S.A.A

Supervisor: _____ JUAN VENANCIO SALAS Guardia: H

PARAMETROS TECNICOS			
FECHA	jueves, 30 de Mayo de 2019		
LABOR	Tj 8093 - N		
SECCIÓN	3.50	3.00	9.75
TIPO DE ROCA	III Regular		
TIPO DE MATERIAL	Mineral		
PESO ESPECIFICO	3		
OPERADOR JUMBO	M. Escobar		
MAESTRO CARGADOR	Jesus Solorzano		
AYUDANTE CARGADOR	Samuel Romero		
BOOMER	Jumbo 322		

PERFORACION		
N° TOTAL DE TALADROS	33	und
N° DE TAL. PERF 45 mm Ø	29	und
N° DE TAL. PERF 4" Ø	4	und
N° DE TAL. CARGADOS	29	und
PERF.EFECT TAL 45 mmØ	2.95	mts
PERF. EFECT RIMAD 4"Ø	2.98	mts
EFICIENCIA DE VOLADURA	97%	%
MTS. PERF. TAL 45 mm	85.55	mts
MTS. PERF. TAL 4"	11.92	mts

RENDIMIENTOS DE PERFORACIÓN		
TIEMPO DE PERFORACION TOTAL	55.07	Hrs
TIEMPO DE PERFORACION RIMADO	0.29	Hrs
TIEMPO POR TALADRO	1.38	min/tal
TIEMPO TALADRO RIMADO	3.02	min/tal
VELOCIDAD DE PERFORACIÓN	2.13	m/min
VELOCIDAD DE PERFORACIÓN (2)	127.95	m/Hora
TONELADAS POR TALADRO	3.14	Ton/Tal

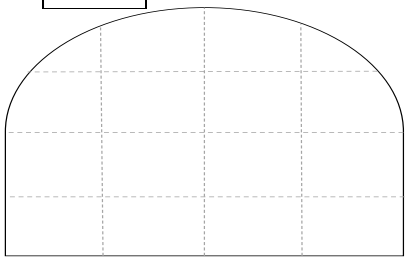
ACCESORIOS DE VOLADURA		
FANELES	29	pza
PENTACORD	12.05	mt
CARMEX	2	und
MECHA RAPIDA	0.1	mt
CAÑAS DE BAMBU	0	Und
TACOS DE ARCILLA	28	Und
TUBOS PVC (1 1/4" x4m)	7	Und

RENDIMIENTOS DE VOLADURA		
AVANCE POR DISPARO	2.85	ml
VOLUMEN ROTO	30.38	m3
TONELADAS ROTAS	91.15	ton
KG. EXPLOSIVO USADO	63.20	kg
FACTOR DE AVANCE	22.17	kg/ml
FACTOR DE CARGA	2.08	kg/m3
FACTOR DE POTENCIA	0.69	kg/ton
SECCIÓN OBTENIDA	3.62	3.10
PRESENCIA DE TACOS	50.00	%
SOBREROTURA	7	%
GRANULOMETRIA		
1. BUENA	10"-20"	25%
2. REGULAR	2"-10"	68%
3.MALA	<2"	7%

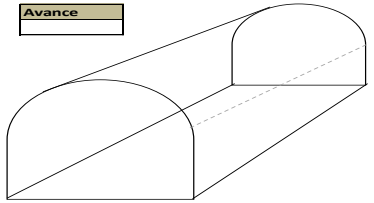
PRESIONES DE PERFORACION		
PRESION ROTACION	35	50
PRESION PERCUSION	120	180
PRESION AVANCE	50	90

SIMSA

Arranque



Avance



SECUENCIA DE SALIDA	DISTRIBUCIÓN DE TALADROS	TALADROS CARGADOS	EMULNOR 5000 1 1/8" * 16"		EMULNOR 3000 1 1/8" * 16"		FAMECORTE 1 1/8" * 16"		EXPLOSIVOS USADOS (KG)	LONGITUD (mts)	
			N° CART	KG	N° CART	KG	N° CART	KG		con taco	sin taco
1	ARRANQUE	4	10	11.90		0.00		0.00	11.90		
2	1° AYUDA	4		0.00	9.5	11.05		0.00	11.05		
3	2° AYUDA	4		0.00	8	9.30		0.00	9.30		
4	3° AYUDA	4		0.00	8	9.30		0.00	9.30		
5	4° AYUDA			0.00		0.00		0.00	0.00		
6	AYUDA DE HASTIALES	0		0.00		0.00		0.00	0.00		
7	HASTIALES	4		0.00	7	8.14		0.00	8.14		
8	AYUDAS DE CORONA	0		0.00		0.00		0.00	0.00		
9	CORONA	5		0.00	0.5	0.73	5	3.47	4.20		
10	AYUDAS DE ARRASTRES	0		0.00		0.00		0.00	0.00		
11	ARRASTRES	4		0.00	8	9.30		0.00	9.30		
	TOTAL	29	40	11.90	164.5	47.82	25	3.47	63.20		
	TOTAL KG. EXPLOSIVO	63.20									
	TOTAL DE CARTUCHOS	229.5									

U. EFECTIVO
166.06
U. NETO
110.71

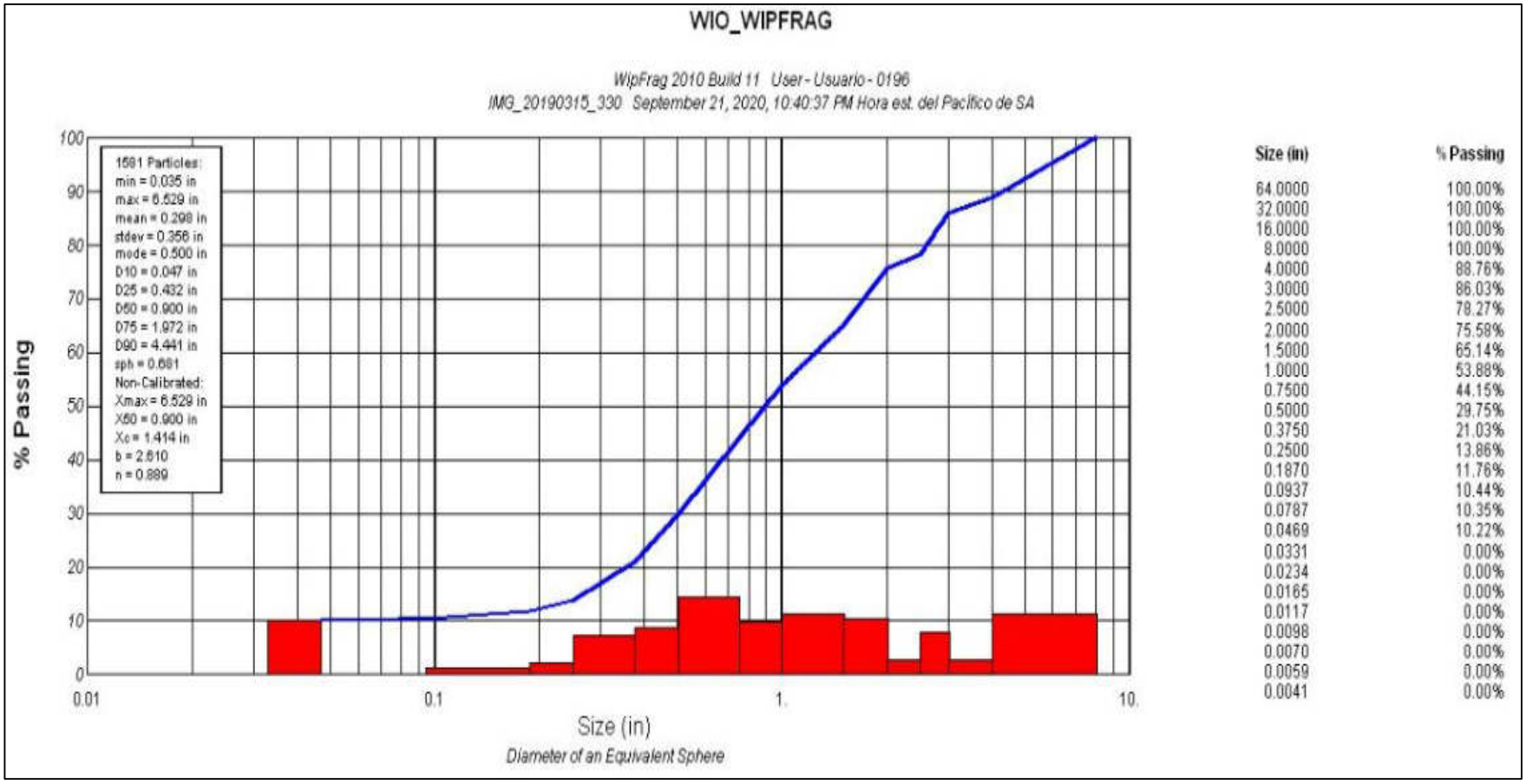
PIES PERF
5.81

Operador Cargador Cargador

Fuente: Departamento de costos, Unidad Minera San Vicente

ANEXO 17.

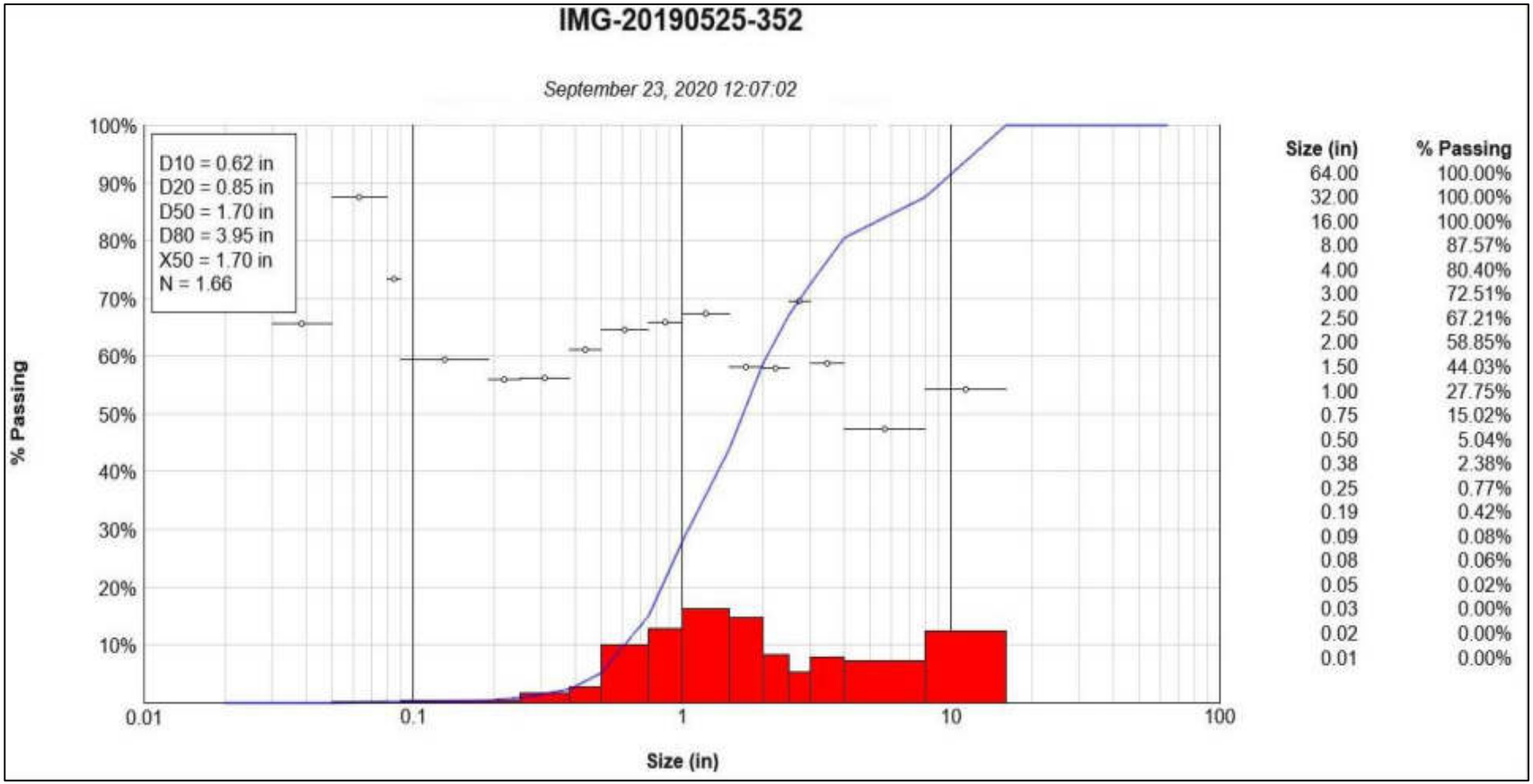
Análisis de fragmentación de roca con el estándar establecido para el Tj 632-N.



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 18.

Análisis de fragmentación de roca con el estándar propuesto para el Tj 632-N.

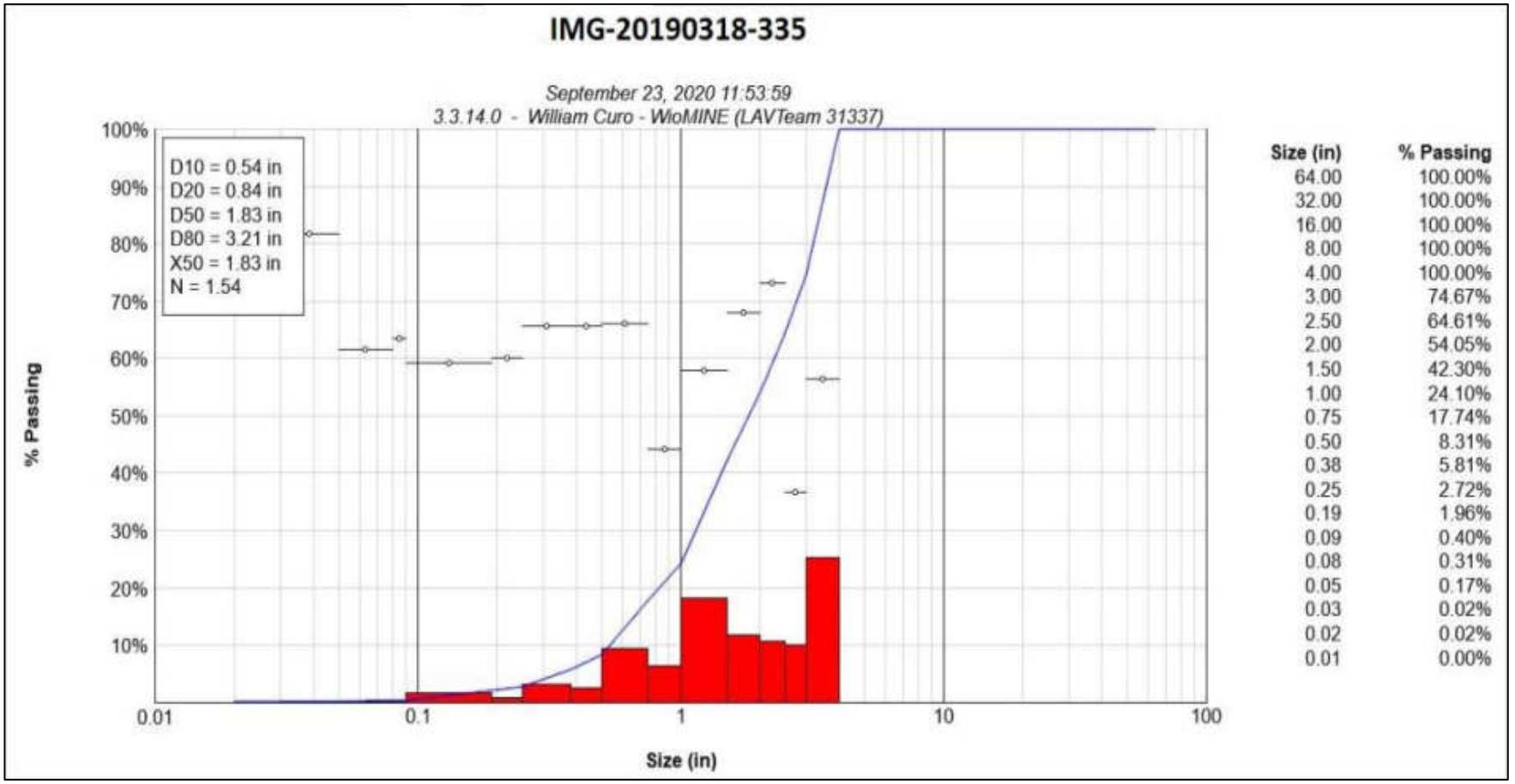


Size (in)	% Passing
64.00	100.00%
32.00	100.00%
16.00	100.00%
8.00	87.57%
4.00	80.40%
3.00	72.51%
2.50	67.21%
2.00	58.85%
1.50	44.03%
1.00	27.75%
0.75	15.02%
0.50	5.04%
0.38	2.38%
0.25	0.77%
0.19	0.42%
0.09	0.08%
0.08	0.06%
0.05	0.02%
0.03	0.00%
0.02	0.00%
0.01	0.00%

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 19.

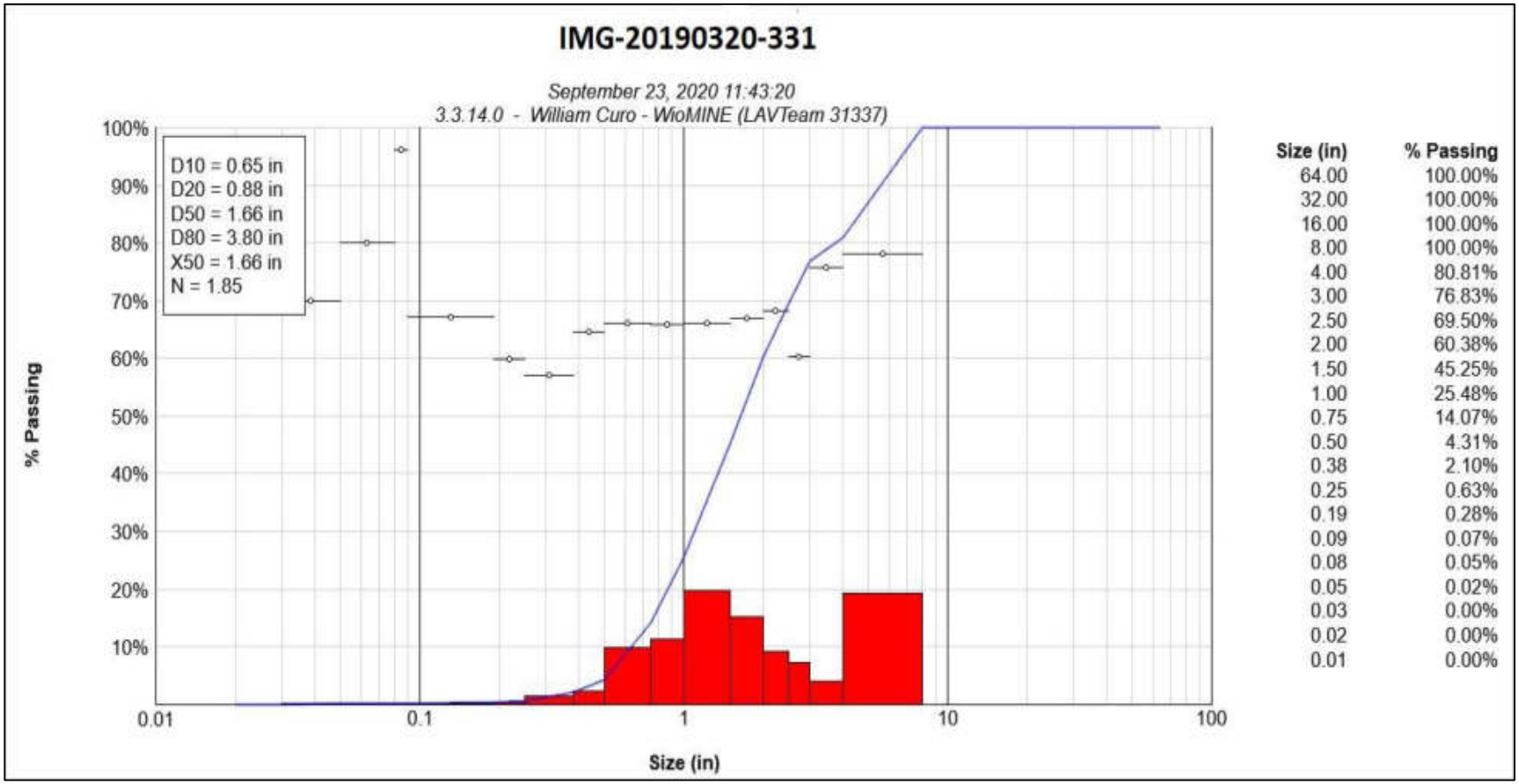
Análisis de fragmentación de roca con el estándar establecido para la Rp 8010.



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 20.

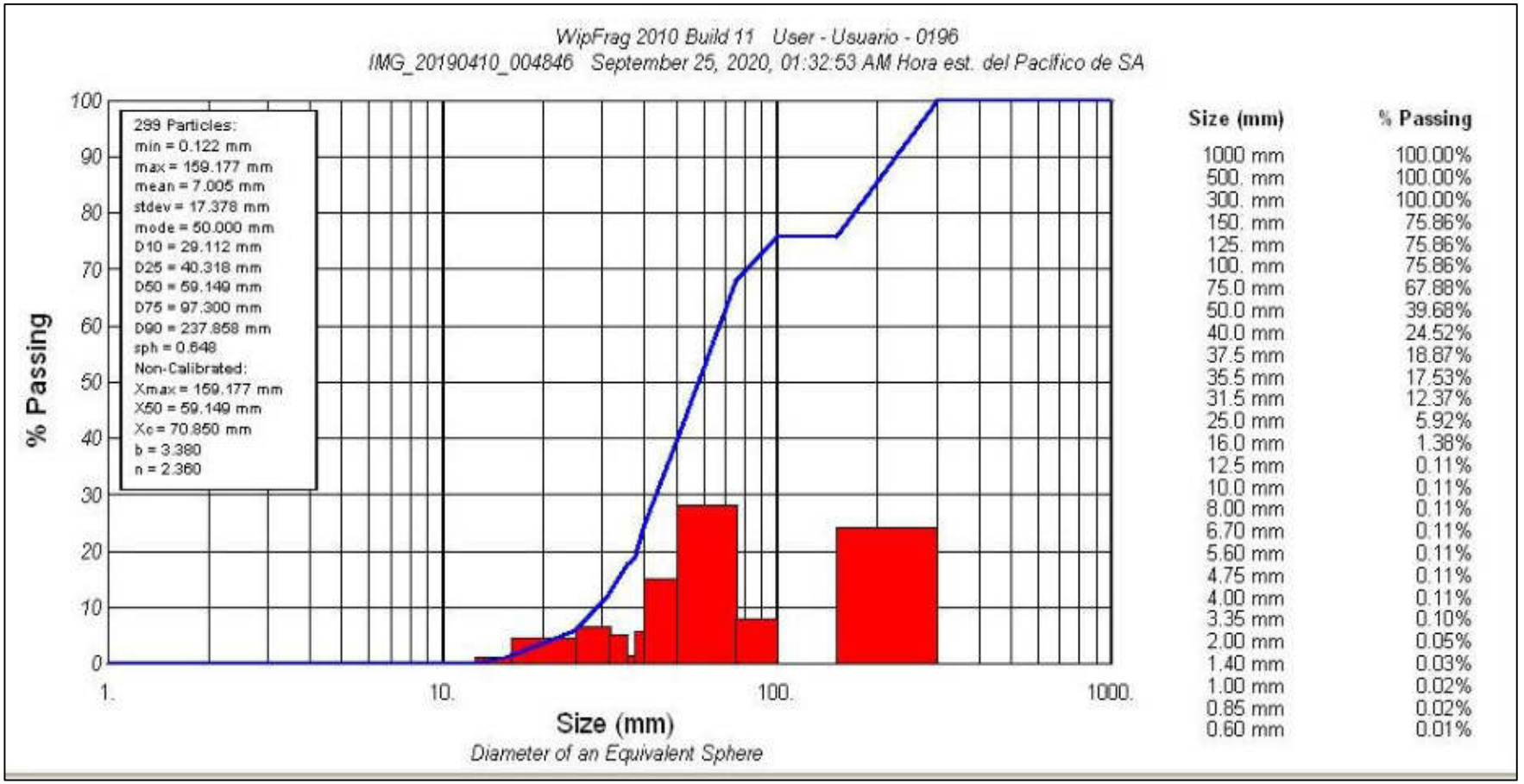
Análisis de fragmentación de roca con el estándar propuesto para la Rp 8010.



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 21.

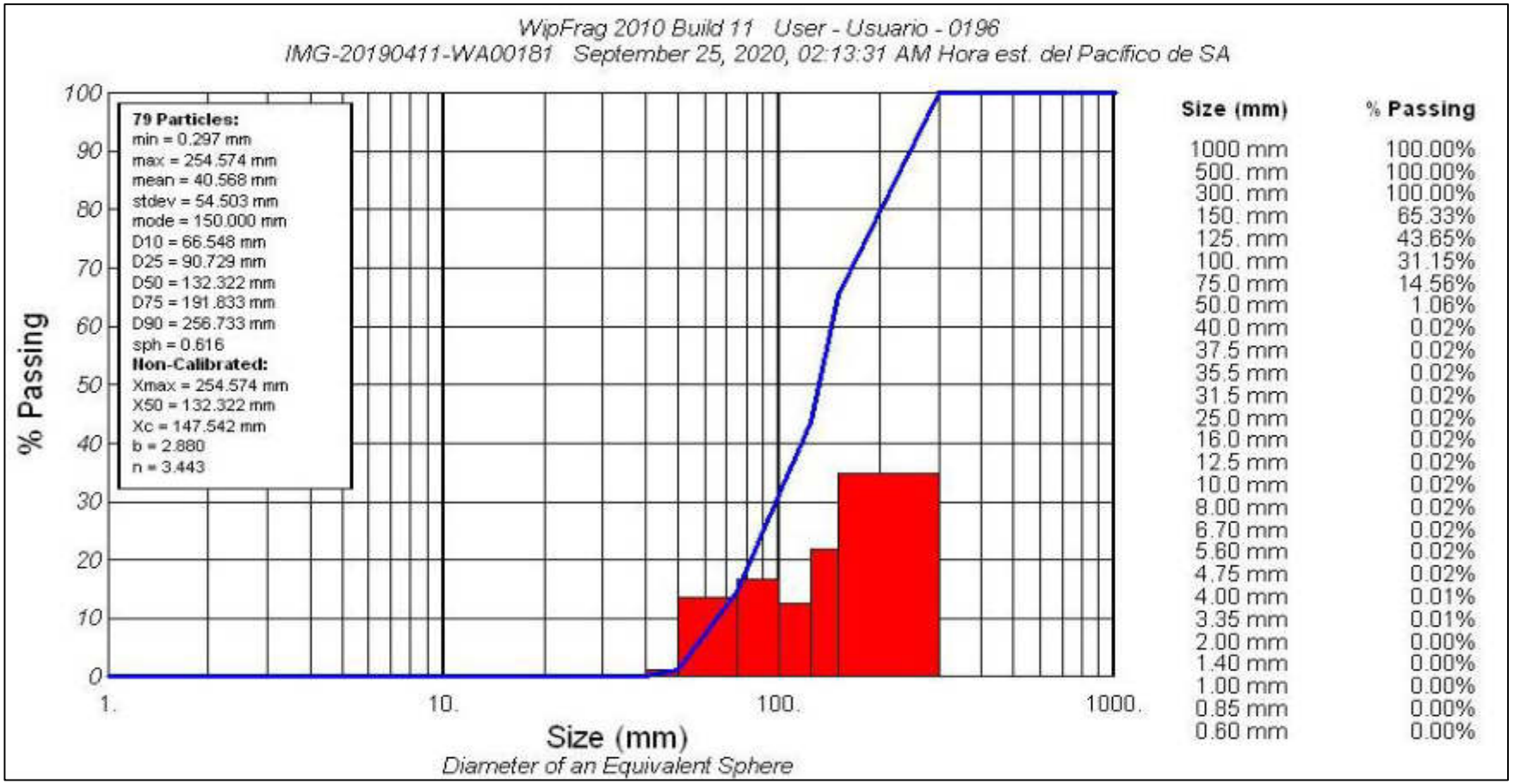
Análisis de fragmentación de roca con el estándar establecido para la Rp 640.



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 22.

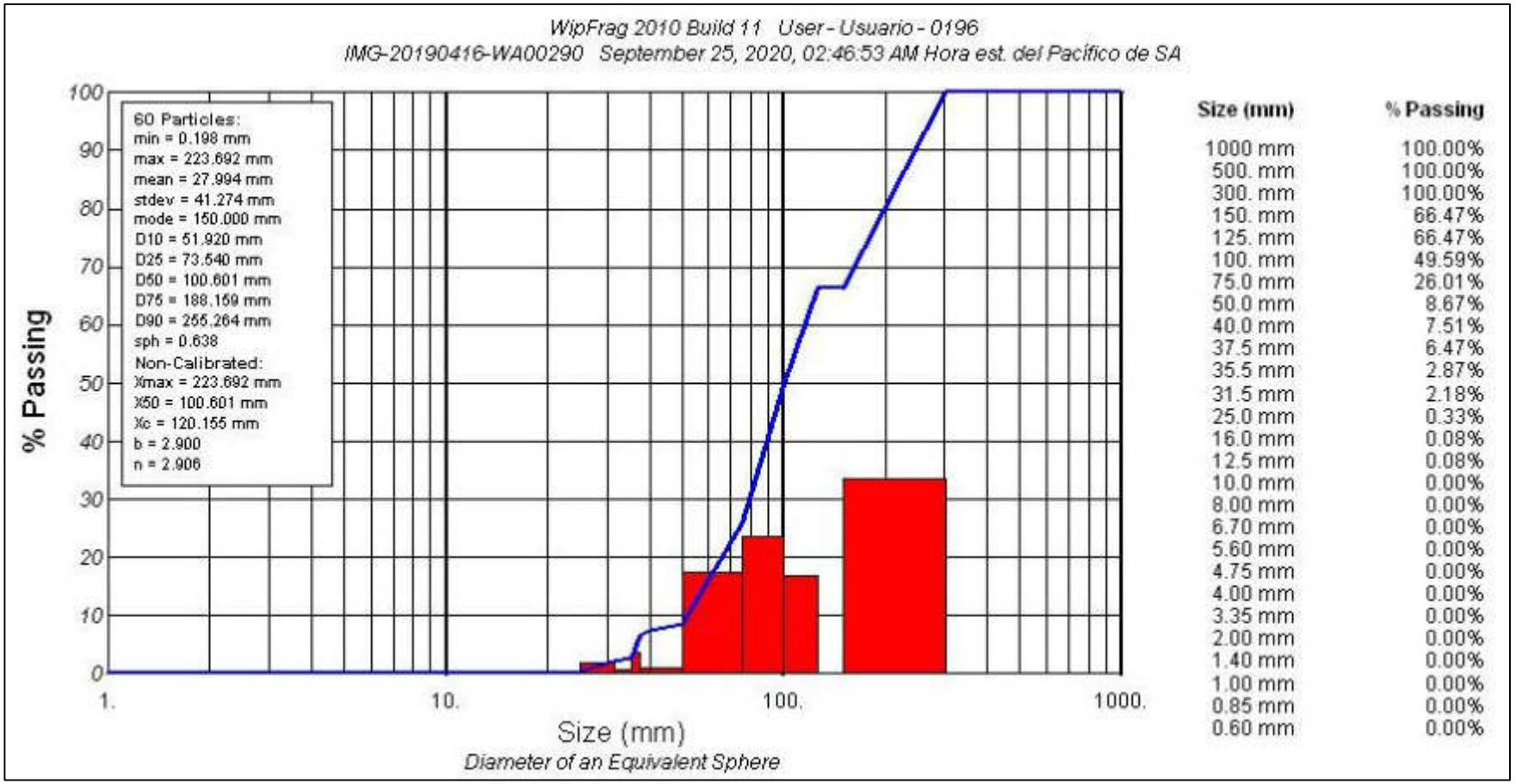
Análisis de fragmentación de roca con el estándar propuesto para la Rp 640.



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 23.

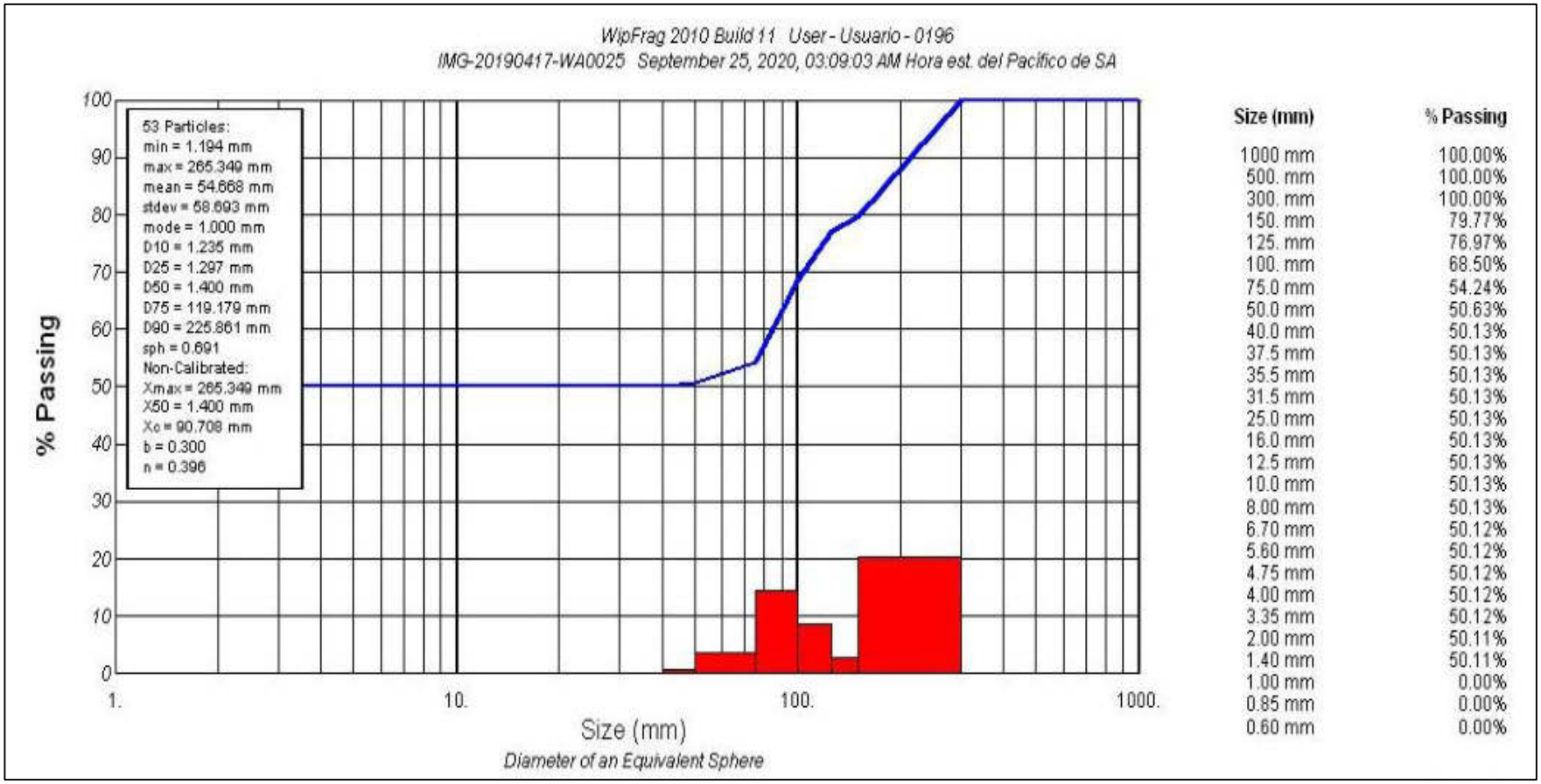
Análisis de fragmentación de roca con el estándar establecido para la Rp 640.



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 24.

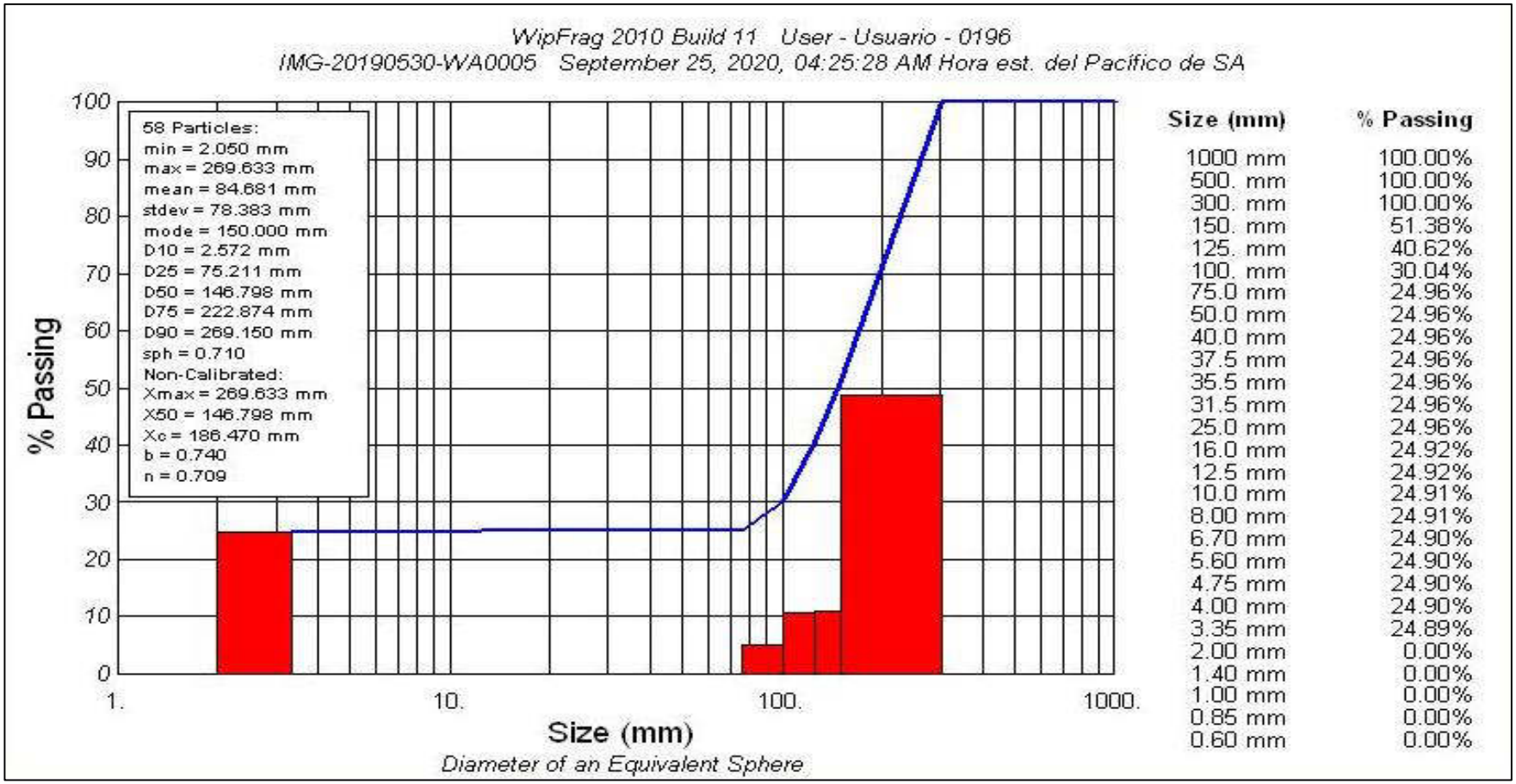
Análisis de fragmentación de roca con el estándar propuesto para la Rp 640.



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 25.

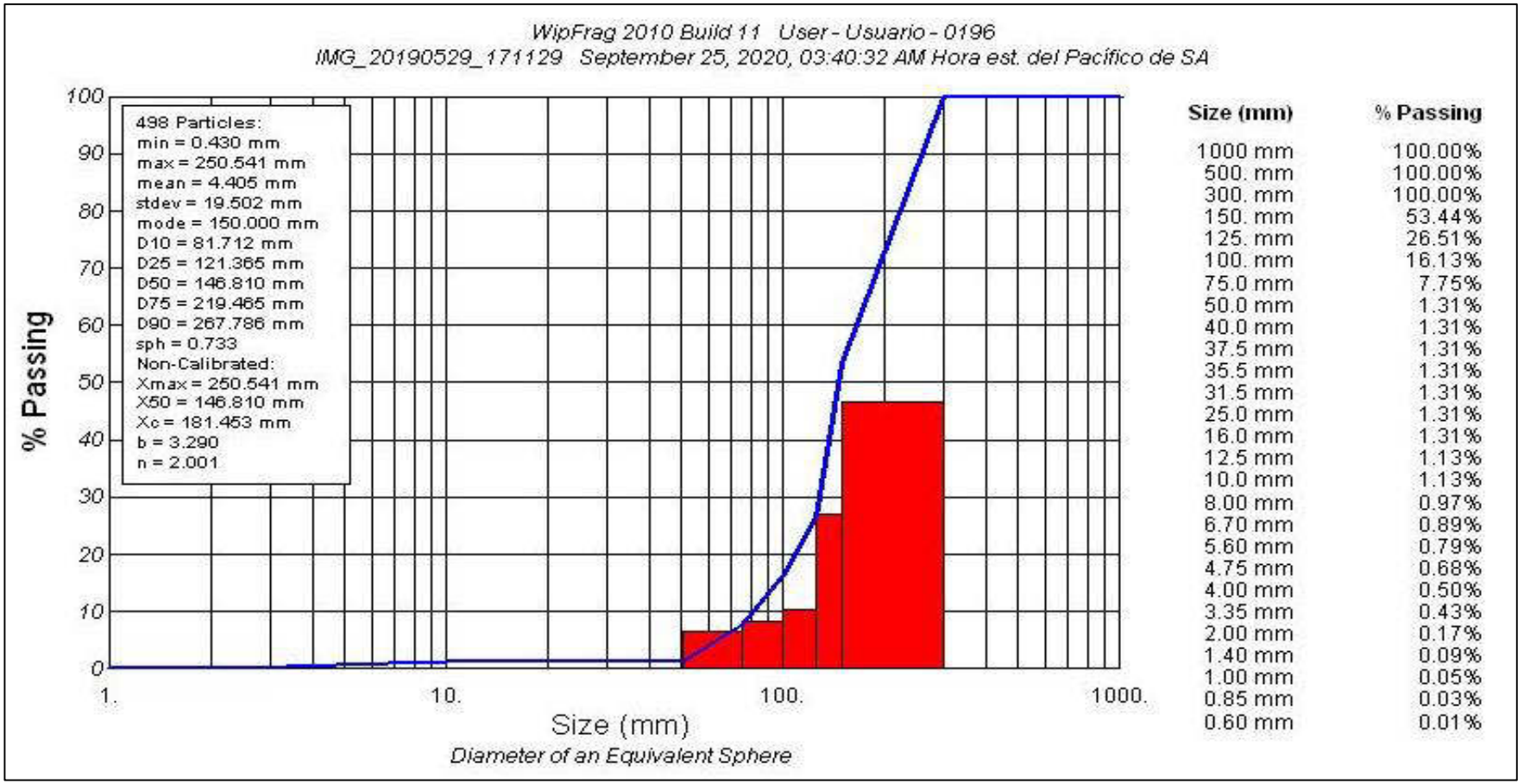
Análisis de fragmentación de roca con el estándar establecido para el Tj 8093-N.



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 26.

Análisis de fragmentación de roca con el estándar propuesto para el Tj 8093-N



Fuente: Elaboración Propia