

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS PROFESIONAL

**INFLUENCIA ECONÓMICA POR LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN
GASIFICADA SANG APU EN LOS TALADROS DE VOLADURA DE MINERA
COIMOLACHE S.A**

Para optar el Título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Presentado por:

Bach. César Augusto Ugaz Castañeda

Asesor:

M. Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.

Cajamarca – Perú

2021

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso por guiarme en su camino.

Dedicado a mi madre María Violeta Castañeda Solano y a mi padre César Augusto Ugaz Solórzano, que gracias a ellos con su amor y apoyo moral incondicional he podido culminar mi carrera profesional.

Ugaz Castañeda, César A.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a la Universidad Nacional de Cajamarca por abrir sus puertas, a mi alma mater la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas, a mis docentes, y en especial al ingeniero Roberto Gonzales Yana por el asesoramiento constante del presente trabajo.

Agradezco a la Empresa Minera Coimolache S.A, por la oportunidad de realizar el presente trabajo, en especial al área de operaciones Mina.

Deseo extender mi agradecimiento al Ing. José Ricaldi Callupe, jefe de Mina de minera Coimolache S.A, el cual me ha orientado profesionalmente y académicamente.

A todos ellos, mi más infinita gratitud.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xiii
RESUMEN	xivv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes teóricos de la investigación	3
2.1.1. Antecedentes internacionales	3
2.1.2. Antecedentes nacionales	3
2.1.3. Antecedentes locales	4
2.2. Bases teóricas.....	5
2.2.1. Perforacion de rocas	5
2.2.1.1 Percusión	6
2.2.1.2 Percusión/ rotación.....	6
2.2.1.3 Rotación con efecto de corte por fricción y rayado con material muy duro.....	6
2.2.1.4 Fusión.....	6

	Pág.
2.2.2. Voladura de rocas	6
2.2.3. Voladura amortiguada	7
2.2.4. Parámetros de voladura en banco.....	8
2.2.4.1. Banco	9
2.2.4.2. Altura de banco	9
2.2.4.3. Ángulo del frente	9
2.2.4.4. Piedra o Burden.....	9
2.2.4.5. Espaciamiento	9
2.2.5. Variables controlables de una voladura de rocas.....	9
2.2.5.1. Diámetro de perforación	9
2.2.5.2. Retacado.....	10
2.2.5.3. Sobreperforación.....	10
2.2.5.4. Inclinación de perforación.....	10
2.2.5.5. Cara libre	10
2.2.5.6. Longitud de carga.....	10
2.2.5.7. Secuencia de detonación	10
2.2.5.8. Tipo de explosivo	11
2.2.6. Variables no controlables de una voladura de rocas.....	11
2.2.6.1 Litología.....	11
2.2.6.2 Mecánica de rocas	11

	Pág.
2.2.6.3	Estratificación 12
2.2.6.4	Fracturamiento 12
2.2.6.5	Contactos 12
2.2.6.6	Rumbo y buzamiento de estratos y fallas..... 12
2.2.6.7	Presencia de agua..... 12
2.2.6.8	Mineralogía..... 13
2.2.7.	Explosivos y accesorios de voladura..... 13
2.2.7.1.	Nitrato de amonio..... 14
2.2.7.2.	ANFO 14
2.2.7.3.	Hidrogel..... 15
2.2.7.4.	Emulsión..... 15
2.2.7.5.	ANFO pesado 16
2.2.7.6	Emulsión gasificable..... 17
2.2.7.7	SANG APU 17
2.2.7.8	Solución sensibilizante 18
2.2.7.9	Esponjamiento..... 18
2.2.7.10	Booster 19
2.2.7.11	Detonador electrónico 20
2.2.7.12	Detonador no eléctrico 20
2.2.8.	Fragmentación..... 21

	Pág.
2.2.9. Pasante P80.....	21
2.2.10. Categoría de humos.....	22
2.2.11. KPIs de una voladura de rocas.....	23
2.2.11.1 VOD.....	23
2.2.11.2 factor de potencia.....	24
2.2.11.3 Ratio US\$/Ton.....	25
2.2.11.4 Dig rate.....	25
2.2.11.5 Densidad lineal.....	26
2.3. Definición de términos básicos.....	26
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.	28
3.1. Ubicación.....	28
3.2. Accesibilidad.....	28
3.3. Geología.....	29
3.3.1 Geología regional.....	30
3.4. Clima.....	31
3.5. Vegetación.....	32
3.6. Diseño de perforación y voladura de rocas.....	32
3.7. Método de trabajo.....	34
3.7.1. Trabajo de campo.....	34
3.7.1.1 Medidas de retacados finales.....	34
3.7.1.2 Controles de densidades.....	35

	Pág.
3.7.1.3	Mediciones de VOD..... 36
3.7.1.4	Fotografías para medición de fragmentación 37
3.7.1.5	Tiempos de carguío de material volado..... 38
3.7.1.6	Reportes de carguío de taladros 38
3.7.2.	Trabajo de gabinete..... 38
3.7.2.1	Análisis de fragmentación 38
3.7.2.2	Análisis de computadora de VOD..... 40
3.7.2.3	Estimación de factor de potencia..... 40
3.7.2.4	Estimación de costo por tonelada volada 41
3.7.2.5	Estimación de Dig rate 41
3.8.	Metodología de investigación. 41
3.8.1.	Población..... 42
3.8.2.	Muestra 42
3.8.3.	Unidad de análisis 42
3.8.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos 42
3.8.4.1.	Equipos 43
3.8.4.2.	Instrumentos de medición 44
3.9.	Procesamiento de datos 47
3.10	Análisis de datos 47

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	48
4.1. Análisis de resultados	48
4.1.1 Aplicación de SANG APU ne voladura de rocas.....	48
4.1.2 Mitigación de humos naranjas	50
4.1.3 Análisis técnico del uso de SANG APU en Minera Coimolache S.A.	51
4.1.3.1 Fragmentación	51
4.1.3.2 Dig rate.....	52
4.1.3.3 Factor de potencia.....	53
4.1.3.4 Costo por tonelada volada.....	53
4.1.3.5 VOD.....	54
4.1.3.6 Análisis económico del uso de SANG APU en minera Coimolache .	55
4.2. Discusión de resultados	56
4.3. Contrastación de hipótesis.....	57
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	58
5.1. Conclusiones.....	58
5.2. Recomendaciones	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	60

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Emulsión matriz pre acondicionada.....	17
Tabla 2. VOD según tipo de mezcla explosiva y por diámetro	24
Tabla 3. Accesibilidad a minera Coimolache S.A	28
Tabla 4. Malla de voladura utilizada en minera Coimolache S.A.....	33
Tabla 5. Capacidad de equipos de carguío de minera Coimolache	52
Tabla 6. Mediciones de VOD de SANG APU.	54

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de una voladura amortiguada y de producción.	8
Figura 2. Esquema de una malla de perforación.....	11
Figura 3. Esquema de evolución de esponjamiento en el tiempo.	18
Figura 4. Booster de pentolita.	19
Figura 5. Blaster y logger de detonador electrónico.	20
Figura 6. Detonador no eléctrico.	20
Figura 7. Límites máximos permisibles de gases tóxicos por voladura	22
Figura 8. Plano de ubicación de Minera Coimolache S.A.	29
Figura 9. Plano de geología regional de Minera Coimolache S.A.	31
Figura 10. Diseño de malla de voladura de Minera Coimolache S.A.	33
Figura 11. Diseño de carga de voladura de Minera Coimolache S.A.....	34
Figura 12. Esquema de retacados iniciales y finales.....	35
Figura 13. Muestra de SAG APU sobre balanza en proceso de gasificación.....	36
Figura 14. Equipo Microtrap con cable coaxial.....	37
Figura 15. Escalas de fragmentación en material volado.....	37
Figura 16. Material fragmentado delineado con software Split Desktop.....	39
Figura 17. Estimación de P80 con software Split Desktoop.	39
Figura 18. Estimación de VOD con software Microtrap.....	40
Figura 19. Reporte de tonelajes acumulados por horas operativas.	41

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 20. Reporte de proyecto de voladura pág 01.	45
Figura 21. Reporte de proyecto de voladura pág 02.	46
Figura 22. Esponjamiento de SANG APU.	49
Figura 23. Ficha técnica de SANG APU.	50
Figura 24. Emisión de gases en proceso de voladura con SANG APU.	50
Figura 25. Evolución de fragmentación 2019.	51
Figura 26. Comparativo de Dig rate con SANG APU vs ANFO pesado.	52
Figura 27. Comparativo de factor de potencia con SANG APU vs ANFO pesado.	53
Figura 28. Comparativo de costos por tonelada volada con SANG APU vs ANFO pesado.	53
Figura 29. Evolución de VOD de SANG APU en función a la densidad	54
Figura 30. Comparativo de costos totales de SANG APU y ANFO pesado.	55

LISTA DE ABREVIATURAS

E. G	: Emulsión Gasificada
H.A	: Heavy ANFO
Kg	: Kilogramo
K.P.I	: Key Performance Indicator (Indicador clave de desempeño)
m.	: Metro.
M.S.N.M	: Metros sobre el nivel del mar
M.E. Q	: Mezcla explosiva quantex
mm.	: Milímetro.
N. A	: Nitrato de amonio
N30	: Nitrito de sodio, agente gasificante
s.	: Segundo.
S.A	: Sociedad anónima
S.A.N.G	: Solución acuosa de nitrato de amonio gasificado
Ton	: Tonelada
U.P	: Unidad productiva
US\$.	: Dólares Americanos.
V.O.D	: Velocity of detonation (Velocidad de detonación)

RESUMEN

Esta investigación se llevó a cabo en la unidad minera Coimolache S.A, localizada en la Comunidad Campesina el Tingo, en el distrito y provincia de Hualgayoc, al noroeste de la ciudad de Cajamarca a una distancia aproximada de 90 Km a una altitud que varía entre los 3 750 y 4 050 m.s.n.m, esta empresa minera se destaca por sus operaciones extractivas de oro y plata, en el cual se realizan trabajos de perforación y voladura como parte de su ciclo de minado. Estos trabajos requieren mejoras constantes. Dado que de esta depende el nivel de fragmentación, apilamiento del material, el cual será excavado posteriormente y con el desafío de reducir costos. Por tal motivo durante los meses de junio y julio del 2019 se hizo la implementación de prueba de la emulsión gasificada SANG APU. El cual es un agente explosivo considerado uno de los mejores del mercado nacional, gracias a su gran poder energético que posee y a su versatilidad de trabajo para distintos tipos de macizos rocosos. Lo cual nos genera el siguiente planteamiento de problema, ¿Cómo la aplicación de la emulsión gasificada SANG APU en los proyectos de voladura de Coimolache S.A U. P Tantahuatay influye económicamente?, la respuesta a este problema tendrá que ser sustentada además con aspectos técnicos como: Nivel de fragmentación obtenido, costos por tonelada volada, dig rate y VOD.

Palabras clave: SANG APU, fragmentación, VOD, Dig rate, costos, tonelada.

ABSTRACT.

This research was carried out in the Coimolache SA mining unit, located in the El Tingo Campesino Community, in the district and province of Hualgayoc, northwest of the city of Cajamarca at a distance of approximately 90 km at an altitude that varies between 3 750 and 4 050 masl, this mining company stands out for its gold and silver extractive operations, in which drilling and blasting work is carried out as part of its mining cycle. These jobs require constant improvement. Since the level of fragmentation, stacking of the material depends on this, which will be excavated later and with the challenge of reducing costs. For this reason, during the months of June and July 2019, the test implementation of the SANG APU gasified emulsion was carried out. Which is an explosive agent considered one of the best in the national market, thanks to its great energetic power and its versatility of work for different types of rock massifs. Which generates the following problem statement, How does the application of the SANG APU gasified emulsion in the blasting projects of Coimolache SA UP Tantauatay influence economically? The answer to this problem will also have to be supported with technical aspects such as: Level fragmentation obtained, costs per ton flown, dig rate and VOD.

Keywords: SANG APU, fragmentation, VOD, Dig rate, costs, ton.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La Unidad minera Coimolache S.A. U.P Tantahuatay ubicada en la ciudad de Cajamarca, realiza trabajos de extracción y aprovechamiento de metales como oro y plata, para lo cual dentro de su proceso productivo ejecuta operaciones como perforación y voladura de rocas, una de las actividades donde la unidad minera desea mejorar el nivel de eficiencia del área. Es decir, reducir costos sin comprometer la fragmentación.

La alternativa que la unidad minera está considerando es la aplicación de la emulsión gasificada SANG APU como agente de voladura. Este al combinarse con agentes gasificantes como el N30 y otros accesorios (booster y detonadores) conforman un explosivo mucho más potente que los comerciales (Heavy Anfo) y a menor costo. Es por tal que Coimolache S.A, desea analizar esta alternativa basándose en aspectos técnicos y económicos.

Por tanto, después de analizar lo anterior se pretende resolver la pregunta. ¿Cómo la aplicación de la emulsión gasificada SANG APU en los proyectos de voladura de Coimolache S.A. U.P Tantahuatay influye económicamente?

Toda la jefatura de operaciones mina sabe que las operaciones de perforación y voladura requieren de planificación y de un diseño adecuado, para tener los resultados esperados, la aplicación de emulsiones gasificadas como el SANG APU es una alternativa para poder mejorar todos los KPIs que se tienen en cuenta en una voladura y reducir costos; sin embargo puede que existan complicaciones por la geología de la unidad minera ,es por tal que se tiene que realizar un análisis técnico y económico del resultado de las voladuras con la aplicación de SANG APU.

Esta Investigación se realizó en los proyectos de voladura de la unidad minera Coimolache S.A. U.P Tantahuatay, ubicada a 85 Km al noroeste de la ciudad de Cajamarca. Resaltando que, por motivos coyunturales de la unidad minera, no se puede emitir la información completa de la investigación.

El objetivo en general que se pretende lograr con la presente investigación es realizar el análisis de la influencia económica de la implementación de la emulsión gasificada SANG APU en el área de perforación y voladura de la unidad minera Coimolache S.A U.P Tantauatay, apoyándose específicamente en la descripción de la aplicación de la emulsión gasificada SANG APU en voladura de rocas, además de contrastar su desempeño técnico basado en comparaciones en fragmentación Dig Rate, Factor de carga, ratio US\$/Ton y VOD respecto a la no aplicación de este, para finalmente realizar una comparación económica al usar la emulsión gasificada SANG APU respecto a la no aplicación de este.

Por tanto, la presente investigación ha sido dividida en cinco capítulos. Introducción, marco teórico, materiales y métodos, análisis y discusión de resultados y por ultimo conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Chugá (2017) en su investigación denominada: Análisis comparativo entre el método de voladura convencional y gasificada utilizada en la mina Cuajone – Southern Perú; realiza una comparación de los resultados de las voladuras con métodos de voladura convencional y con tecnología gasificada basándose además en las durezas de la litología presente en la unidad minera. Donde se concluye que la voladura gasificada es una nueva mezcla explosiva que permite la mejora continua en los procesos de extracción, a la vez, con la ayuda de detonadores electrónicos admiten mayor precisión en la ejecución de volado generando tiempo exacto de encendido. Sin embargo, para roca Andesita y Latita, la mejor opción es la voladura convencional, que generó costos mínimos con fragmentos de roca condicionados para su explotación. Mientras que existe mejores costos con fragmentos de roca condicionada con la voladura Gasificada MEQ73 únicamente para Aglomerado y Roca Riolita Alterada

2.1.2 Antecedentes nacionales

Llacma (2017) en su obra: Evaluación técnico económica con el uso de emulsión gasificada en voladura mina Cuajone; realiza una evaluación técnica económica de la aplicación de la emulsión gasificada Quantex en minera Cuajone y además compara el desempeño del HA tradicional con el de la mezcla explosiva gasificada Quantex 73 basándose en aspectos técnicos como fragmentación (P80), VOD (velocidad de detonación), Dig Rate (velocidad de carguío) y el impacto económico en el área de perforación y voladura de minera Cuajone , el cual concluye que desde que se inició la aplicación de Quantex la fragmentación ha sido reducida en un 7.1 %, aumentó de la velocidad de minado en un 10%, el VOD mejoró en un 20% comparado con el uso de HA tradicional, se redujo

considerablemente el nivel de gases naranjas(gases nitrosos) debido al mejor nivel de balance de oxígeno. Al reemplazar al 100% el HA por mezcla gasificada se presenció una reducción anual de US\$ 5, 780,157 el cual representa el 9% de los costos generales del área de perforación y voladura de minera Cuajone.

Pocoy (2017) en su investigación denominada: Análisis de la factibilidad para el uso de Anfo Pesado a base de emulsión gasificable en la UNACEM periodo 2015; comparó la eficiencia de la del HA gasificable a base de emulsión gasificada SAN G y la del Heavy ANFO tradicional , llegando a la conclusión que con la aplicación del HA gasificable todos los aspectos técnicos y económicos mejoraron, como es el caso de la fragmentación (P80) que mejoró en un 13% , la velocidad de detonación (VOD) fue de 5581.9 m/s el cual supera a cualquier HA tradicional, en términos económicos los ratios de costo de tonelada volada se redujo de 0.13 US\$ /Ton a 0.11 US\$/Ton.

Iglesias (2016) en su investigación denominada: Estudio técnico económico del uso de la mezcla explosiva Quantex 73 en la unidad minera Toquepala-SPCC; donde compara el desempeño de la mezcla explosiva Quantex 73 con la del HA tradicional, concluyendo que con la aplicación de la mezcla explosiva gasificada Quantex 73. los índices técnicos de voladura mejoran significativamente como es el grado de fragmentación que mejoró en un 26 % comparado con el uso de HA tradicional, en términos ambientales la emisión de gases nitrosos se redujo significativamente, la velocidad de carguío se mejoró en 4.8 % y reduciendo un 20% los costos generales del área de perforación y voladura de minera Toquepala.

2.1.3 Antecedentes locales

Reyes (2017) en su investigación denominada: Mejoramiento del proceso de voladura mediante la aplicación de técnicas en distribución de carga utilizando emulsión gasificada SAN G en el tajo Chalarina de la mina Shahuindo – Cajabamba; analiza la mejora en la fragmentación al reemplazar HA 46 con la emulsión gasificada SAN G. Concluyendo que los KPIs Post Voladura mejoraron el nivel de fragmentación y Dig Rate generando una reducción de costos en el

proceso global de minado. Así mismo se verificó que la emulsión SAN G posee menor nivel de energía que el HA 46 pero de mejor aprovechamiento.

Salcedo (2015) en su investigación denominada: Evaluación técnica y económica de la emulsión gasificada en minera Yanacocha SRL; realiza una comparación de los resultados de las voladuras cargadas con la emulsión gasificada G y Heavy ANFO donde concluye: “Las emulsiones gasificadas son más resistentes a la presencia de agua producidas por los niveles freáticos de la unidad minera y las lluvias en comparación de los HA tradicionales” además, indica que no existen diferencias notables en su aplicación en términos de fragmentación y de velocidad de excavación, sin embargo la aplicación de la emulsión gasificada G es viable por el costo más reducido en comparación al de Heavy ANFO.

Vilela (2014) en su investigación denominada: Análisis de factibilidad para el uso de Anfo Pesado a base de Emulsión gasificable en minera Yanacocha; concluye que con la aplicación de HA 73 gasificado se mejora los resultados de las voladuras basados en aspectos técnicos, operativos, seguridad y medio ambientales comparados con el uso de HA 46 y HA 64; demuestra que se mejora en un rango de 3 a 23 % la velocidad de carguío, además que con la aplicación de emulsiones gasificadas se reduce notablemente la emisión de gases nitrosos, en términos económicos se pudo apreciar un ahorro de \$ 8 por taladro comparado con el uso de HA 46 y \$14.5 comparado con el uso de HA 64 en zonas con presencia de agua.

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Perforación de rocas

La perforación es la primera operación en la preparación de una voladura. Su propósito es el de abrir en la roca huecos cilíndricos destinados a alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores, denominados taladros, barrenos, hoyos o blast holes.

Se basa en principios mecánicos de percusión y rotación, cuyos efectos de golpe y fricción producen el astillamiento y trituración de la roca en un área equivalente

al diámetro de la broca y hasta una profundidad dada por la longitud del barreno utilizado. La eficiencia en perforación consiste en lograr la máxima penetración al menor costo.

En perforación tienen gran importancia la resistencia al corte o dureza de la roca (que influye en la facilidad y velocidad de penetración) y la abrasividad. Esta última influye en el desgaste de la broca y por ende en el diámetro final de los taladros cuando esta se adelgaza (brocas chupadas).

La perforación se efectúa por los siguientes medios:

2.2.1.1 Percusión

Con efecto de golpe y corte como el de un cincel y martillo. Ejemplo, el proporcionado por los martillos neumáticos pequeños y rompe pavimentos.

2.2.1.2 Percusión/rotación

Con efecto de golpe, corte y giro, como el producido por las perforadoras neumáticas comunes, tracdrills, jumbos hidráulicos.

2.2.1.3 Rotación con efecto de corte por fricción y rayado con material muy duro (desgaste de la roca, sin golpe)

Como el producido por las perforadoras diamantinas para exploración.

2.2.1.4 Fusión (jet piercing)

Mediante un dardo de llama que funde roca y mineral extremadamente duro como la taconita (hierro), método aplicado en algunos yacimientos de hierro de Norteamérica (EXSA S.A,2000).

2.2.2 Voladura de rocas

De acuerdo a los criterios de la mecánica de rotura, la 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.

El primero se refiere al tamaño de los fragmentos producidos, a su distribución y porcentajes por tamaños, mientras que el segundo se refiere al movimiento de la masa de roca triturada.

Una adecuada fragmentación es importante para facilitar la remoción y transporte del material volado y está en relación directa con el uso al que se destinará este material, lo que calificará a la “mejor” fragmentación. Así, en la explotación de minerales se busca preferentemente fragmentación menuda, que facilita los procesos posteriores de conminución en las plantas metalúrgicas, mientras que en la de rocas algunas veces se requiere que sea en grandes bloques, como los que se emplean para la construcción de ataguías o rompeolas. El desplazamiento y la forma de acumulación del material volado se proyecta de la manera más conveniente para el paleo o acarreo, de acuerdo al tipo y dimensiones de las palas y vehículos disponibles. Teniendo en cuenta los diversos criterios que involucra un trabajo de voladura, como el propósito o uso final del lugar a excavar o el del material a obtener el volumen a ser excavado, el grado de fragmentación promedio requerido, si la roca excavada se quedará in situ o será transportada a otro lugar, el tipo y la dimensión del equipo de remoción y acarreo disponible, la proximidad a instalaciones importantes que puedan ser afectadas por vibraciones o proyecciones, además de otros, es pues necesaria una planificación cuidadosa de la voladura considerando todos los detalles que puedan influir en sus resultados. Existe una serie de factores o variables que intervienen directa o indirectamente en la voladura, que son mutuamente dependientes o que están relacionados uno u otro; unos son controlables y otros no. Son controlables, por ejemplo, las variables de diseño, de perforación o del explosivo a emplear, mientras que no podemos modificar la geología o las características de la roca (EXSA S.A,2000).

2.2.3 Voladura amortiguada

Es prácticamente una voladura convencional, pero en la que se ha modificado el diseño de la última fila, tanto en su esquema geométrico que es más reducido, como en las cargas de explosivo que deben ser menores y desacopladas. El disparo es normalmente en una sola etapa. La voladura amortiguada también

denominada suave o cushion blasting, recientemente ha incrementado sus posibilidades con el desarrollo de nuevas técnicas como la de ADP (Air Deck Presplitting) y la de cargas especiales de baja densidad tipo ANFO combinado con prills de polietileno, aunque en este caso se presentan problemas de segregación en el carguío neumático por diferencias de densidad. También se considera dentro de esta técnica a la “perforación en línea” o control de fractura límite, en la que una fila de taladros de pequeño diámetro, estrechamente espaciados y sin carga explosiva crean un plano de debilidad que producirá el corte como efecto de la voladura principal. El plano actuará como una cortina que limita el paso de las ondas explosivas hacia atrás. (EXSA S.A,2000).

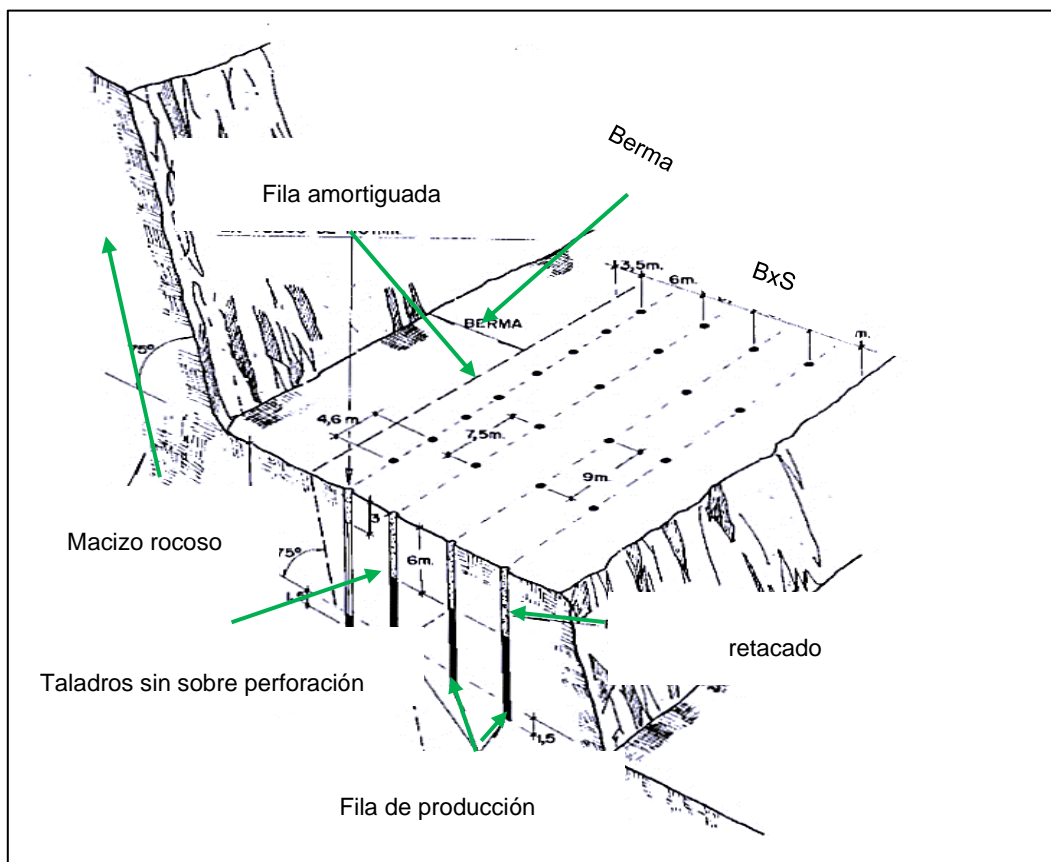


Figura 1. Esquema de una voladura Amortiguada y de Producción

Fuente: Salas 1983.

2.2.4 Parámetros de voladura en banco

Antes de introducir cada uno de los conceptos anteriores es necesario establecer las definiciones de aquellos conceptos que se van a emplear de aquí en adelante

en el desarrollo del diseño de voladuras. De este modo, para una voladura a cielo abierto se pueden definir, entre otros conceptos, los siguientes (Bernola, Castilla, Herrera, 2013):

2.2.4.1 Banco

Lugar donde se ubican los barrenos de voladura que viene definido por la planificación establecida, así como el método de explotación.

2.2.4.2 Altura de banco

Distancia vertical entre dos bancos adyacentes.

2.2.4.3 Ángulo del frente

Ángulo del talud definido entre dos bancos adyacentes. Puede expresarse bien con respecto a la vertical, o bien respecto a la horizontal.

2.2.4.4 Piedra o Burden

Distancia entre el barreno y la cara libre.

2.2.4.5 Espaciamiento

Distancia entre dos barrenos adyacentes en la misma fila.

2.2.5 Variables controlables de una voladura de rocas

Son todos aquellos parámetros de la voladura de rocas en la que se tiene control y se puede modificar en función a los resultados que deseamos obtener, estas variables son:

2.2.5.1 Diámetro de Perforación

Es el diámetro que posee cada barreno o taladro de voladura este dependerá: Altura de Banco, economía del proceso de perforación y voladura, restricciones de los equipos de perforación (Salas,1983).

2.2.5.2 Retacado

Es la longitud del taladro o barreno que en la parte superior se rellena con un material inerte y tiene la misión de confinar y retener los gases producidos en la explosión para permitir que se desarrolle por completo el proceso de fragmentación de la roca. Si el retacado es insuficiente se produce un escape prematuro de los gases a la atmósfera, generándose problemas de onda aérea y riesgo de proyecciones. Por el contrario, con un retacado excesivo se obtendrá una fragmentación no adecuada (Salas, 1983).

2.2.5.3 Sobre perforación

Es la longitud del taladro o barreno por debajo del nivel del piso que se necesita romper la roca a la altura del banco y logra una fragmentación y desplazamiento adecuado que permita al equipo de carga alcanzar la cota de excavación prevista. Si la sobre perforación es pequeña no se producirá el corte en la rasante proyectada, resultando la aparición de toes con un considerable aumento de costos de carga (Salas, 1983).

2.2.5.4 Inclinación de Perforación

Se considera al ángulo que se forma entre la horizontal y el eje de perforación.

2.2.5.5 Cara libre

Es el espacio en vacío que tiene el talud o banco para el desplazamiento del material volado.

2.2.5.6 Longitud de Carga

Es la longitud del taladro en la que esta contendrá carga explosiva.

2.2.5.7 Secuencia de Detonación

Se considera a la forma de aplicación de la energía explosiva al macizo rocoso en distintos intervalos de tiempo. El cual incrementará el nivel de fragmentación y desplazamiento del material volado.

2.2.5.8 Tipo de explosivo

Es aquella mezcla explosiva que será la responsable de emitir energía en los taladros de voladura para el fracturamiento del macizo rocoso, esta mezcla será seleccionada a partir de las condiciones geológicas y necesidades de la operación. Basándose en las propiedades fisicoquímicas que posee.

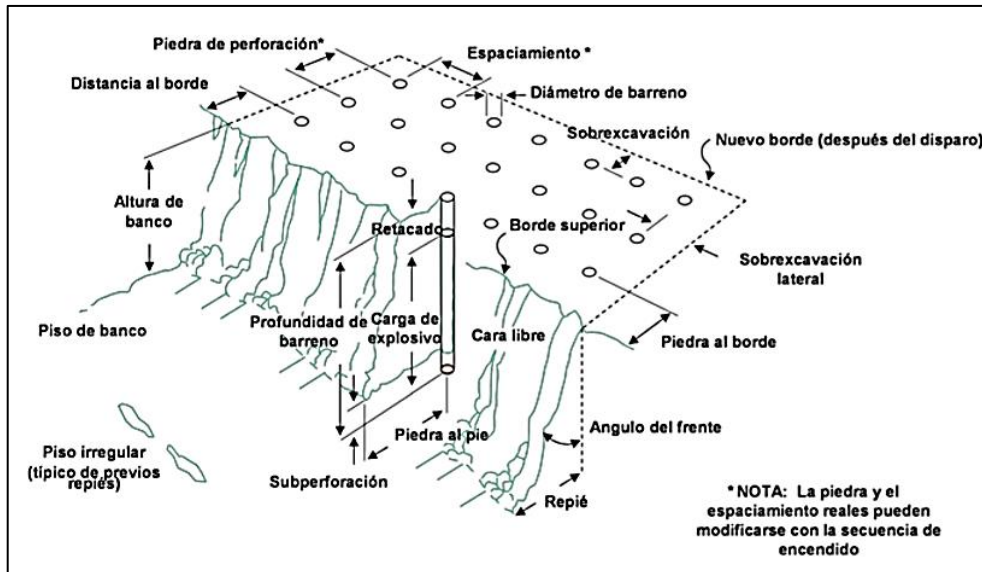


Figura 2. Esquema de una Malla de Perforación

Fuente: Bernola 2013.

2.2.6 Variables no controlables de una voladura de rocas

Son todos aquellos parámetros que participan en una voladura de rocas en la que no se tiene un control directo, los cuales representan todos aquellos aspectos geológicos característicos de cada unidad minera.

2.2.6.1 Litología

Toda aquella caracterización geológica relevante sobre el tipo de roca presentes en las labores de minado de una unidad minera.

2.2.6.2 Mecánica de Rocas

Aquellas características mecánicas relevantes para los proyectos de voladura como son: Dureza, plasticidad, densidad de roca, etc.

2.2.6.3 Estratificación

Planos que dividen a las capas o estratos de las rocas sedimentarias de iguales o diferentes características físicas (litológicas); también ocurren en ciertos casos de disyunción en rocas granitoides. Generalmente ayudan a la fragmentación (EXSA S.A,2000).

2.2.6.4 Fracturamiento

En las rocas, en las que no hay desplazamiento, se presentan en forma perpendicular o paralela a los planos de estratificación o mantos en derrames ígneos, con grietas de tensión (diaclasas), grietas de enfriamiento (disyunción) y otras. El espaciamiento entre ellas es variable y en algunos casos presentan sistemas complejos entrecruzados. La abertura, también variable, puede o no contener material de relleno (EXSA S.A,2000).

2.2.6.5 Contactos

Planos de contacto o discontinuidades entre estratos o capas del mismo material o de diferente tipo de roca. (EXSA S.A,2000).

2.2.6.6 Rumbo y buzamiento de estratos y fallas

El rumbo indica la dirección de la estructura (con relación a los puntos cardinales o norte geográfico) y el buzamiento el ángulo de inclinación con respecto a la horizontal. Ambos indican cuando o no los taladros atravesarán perpendicular o transversalmente a las estructuras (EXSA S.A,2000).

2.2.6.7 Presencia de agua

Característica común en muchas unidades mineras, que hace referencia a aguas subterráneas y las formadas por lluvias.

2.2.6.8 Mineralogía

Hace referencia a los minerales presentes en los frentes de trabajo de las unidades mineras, los cuales pueden dificultar las labores por las reacciones exotérmicas que pueden generar al tener un contacto directo con el oxígeno, el agua y los agentes explosivos.

2.2.7 Explosivos y accesorios de voladura

Los materiales explosivos son compuestos o mezclas de sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso, que por medio de reacciones químicas de óxido-reducción, son capaces de transformarse en un tiempo muy breve, del orden 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.

Así, los explosivos comerciales son una mezcla de sustancias, combustibles y oxidantes que, incentivadas debidamente, dan lugar a una reacción exotérmica muy rápida, que genera una serie de productos gaseosos a alta temperatura y presión, químicamente más estables, y que ocupan un mayor volumen, aproximadamente 1 000 a 10 000 veces mayor que el volumen original del espacio donde se alojó el explosivo. Estos fenómenos son aprovechados para realizar trabajo mecánico aplicado para el rompimiento de materiales pétreos, en lo que constituye la “técnica de voladura de rocas”. Los explosivos constituyen una herramienta básica para la explotación minera y para obras de ingeniería civil. Los procesos de reacción según su carácter fisicoquímico y el tiempo en que se realizan se catalogan como (EXSA S.A,2000):

Combustión: Puede definirse como tal a toda reacción química capaz de desprender calor pudiendo o no, ser percibida por nuestros sentidos, y que presenta un tiempo de reacción bastante lento.

Deflagración: Es un proceso exotérmico en el que la transmisión de la reacción de descomposición se basa principalmente en la conductividad térmica. Es un fenómeno superficial en el que el frente de deflagración se propaga por el explosivo en capas paralelas, a una velocidad baja, que generalmente no supera los 1000 m/s. La deflagración es sinónimo de una combustión rápida. Los explosivos más lentos al ser activados dan lugar a una deflagración en la que las reacciones se propagan por conducción térmica y radiación.

Detonación: Es un proceso físico-químico caracterizado por su gran velocidad de reacción y por la formación de gran cantidad de productos gaseosos a elevada temperatura, que adquieren una gran fuerza expansiva (que se traduce en presión sobre el área circundante).

2.2.7.1 Nitrato de Amonio

El nitrato de amonio (NH_4NO_3) es una sal inorgánica de color blanco cuya temperatura de fusión es de 160.6 °C. Aisladamente, no es un explosivo, pues solo adquiere tal propiedad cuando se mezcla con una pequeña cantidad de un combustible y reacciona violentamente con el aportando oxígeno. Frente al aire que contiene 21% de oxígeno, el NA posee el 60 %.

Aunque el NA puede encontrarse en diversas formas, en la fabricación de explosivos se emplea aquel que se obtiene como partículas esféricas o prills porosos, ya que es el que posee mejores características para absorber y retener a los combustibles líquidos y es fácilmente manipulable sin que se produzcan apelmazamientos y adherencias (Salas, 1983).

2.2.7.2 ANFO

En 1947 tuvo lugar una desastrosa explosión de nitrato de amonio en Texas City (Estados Unidos), ya que esta sustancia se había intentado proteger con parafinas, y solo un 1% de esta ya constituía un buen combustible sensibilizante del NA. Aparte de la propia catástrofe, este hecho hizo centrar la atención de los fabricantes de explosivos en el potencial energético del NA y de sus posibilidades como explosivo dado a su bajo precio. Cualquier sustancia combustible puede usarse con el NA para producir un agente explosivo. En Estados Unidos a finales de los años 50 se empleaba polvo de carbón, pero posteriormente fue sustituido

por combustibles líquidos ya que se conseguían mezclas más íntimas y homogéneas con el NA. El producto que más se utiliza es el gas-oíl, que frente a otros líquidos como la gasolina, keroseno, etc. Presenta un punto de volatilidad no tan bajo y por consiguiente presenta un riesgo muy bajo de explosiones de vapor (Salas, 1983).

2.2.7.3 Hidrogel

Los hidrogeles exentos de materia explosiva propia en su composición no reaccionan con el fulminante y se califican como “agentes de voladura hidrogel, slurries o papillas explosivas”, requiriendo de un cebo reforzado o primer-booster para arrancar a su régimen de detonación de velocidad estable; de lo contrario, no arrancan o lo hacen a bajo régimen con velocidades deficientes, dando bajo rendimiento energético, razón por la que en un principio también se les denominaba explosivos de seguridad. También son conocidos como water gels.

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

Su aplicación está dirigida mayormente a taladros de mediano a gran diámetro en tajos abiertos, tanto como carga de fondo reforzador para taladros muy confinados y para nivelación de pisos, o como carga completa para taladros con agua. Normalmente se suministran en fundas o mangas plásticas. Su textura es homogénea, viscosa, relativamente ligosa, lo que les permite contenerse adecuadamente en taladros altamente fisurados, sin pérdidas por filtración, lo que garantiza mantener el factor de carga calculado, y también permite cargarlos al taladro soltándolos sin su funda o manga de polietileno. Su alta densidad desplaza fácilmente al agua presente en los taladros. Por otro lado, su viscosidad es incompatible para carguío mecanizado por bombeo y para la mezcla con ANFO (EXSA S.A,2000).

2.2.7.4 Emulsión

En forma similar, los agentes de voladura emulsión carecen de un elemento explosivo en su composición (eventualmente se sensibilizan con micro esferas)

por lo que también requieren ser detonadas con un cebo reforzador de alta presión de detonación. Su aplicación también está dirigida a taladros de mediano a gran diámetro en tajos abiertos, como carga de fondo de alta densidad o como carga de columna (total o espaciada) en taladros con agua, o perforados en roca muy competente.

A diferencia de los hidrogeles su viscosidad puede ser graduada desde una emulsión líquida similar a una leche de magnesia hasta una viscosidad semejante a una margarina, lo que permite su carga al taladro, tanto en forma encartuchada como a granel mecanizada, por bombeo directo al fondo del mismo para desplazar al agua.

Una ventaja importante es su facilidad de mezcla con el ANFO para formar ANFO Pesado.

Por otro lado, su vida útil es menor que la de los hidrogeles (EXSA S.A,2000).

2.2.7.5 ANFO pesado

Son mezclas de emulsión y ANFO en diferentes proporciones, que permiten:

Bajar el costo y potencia de una emulsión pura, para voladura en rocas difíciles, secas o húmedas.

Darle resistencia al agua al ANFO, al saturar con emulsión los espacios libres entre los prills o perlas del nitrato.

Estos ANFOs pesados se pueden preparar en diferentes relaciones de acuerdo a los requerimientos de la voladura y la presencia de agua, entre 10% a 90% de emulsión y la diferencia ANFO, siendo las ratios más difundidos 30-70, 50-50, 60-40 y 80-20.

Normalmente las mezclas con menos de 50 % de emulsión no son resistentes al agua, pero se incrementa notablemente la potencia del explosivo, y las mayores de 50 % emulsión son progresivamente más resistentes al agua (EXSA S.A,2000).

2.2.7.6 Emulsión Gasificable

Emulsión matriz especialmente pre acondicionada para un proceso de gasificación.

Tabla 1. Emulsión matriz pre acondicionada.

Propiedades de la emulsión Gasificable Común	
Densidad (g/cm ³)	1.38 a 1.34
Viscosidad (cp.)	15000 a 90 000

Fuente: EXSA S.A 2009.

2.2.7.7 SANG APU

Un producto de última generación para operaciones de voladura en minería a tajo abierto es SANG APU. Se trata de un agente preparado en base a emulsión, que se transporta a minas como un producto inerte y no detonable. Se sensibiliza antes de ser cargado a los taladros mediante una solución gasificante, produciendo una mezcla explosiva de menor densidad y mayor velocidad de detonación que los Anfos pesados. Es altamente resistente al agua. Está compuesto de la emulsión matriz gasificable que, al mezclarse con el sensibilizador N-30, forma burbujas de nitrógeno, cuyo tamaño y distribución determinan la velocidad de detonación del agente. Ofrece enormes ventajas técnico económicas respecto al tradicional ANFO pesado. Su uso garantiza seguridad porque se trata de un producto no explosivo antes de ingresar a los taladros. La densidad de la SANG APU ya sensibilizada varía de 0.9 a 1.2 gr/cm³ y puede ser regulada en función de la concentración de su sensibilizador, aspecto que permite usar el producto en diferentes tipos de roca, como secas, húmedas e inundadas. Su menor densidad respecto del ANFO pesado 35/65 permite utilizar para la misma altura de carga un menor peso del nuevo agente (130 kg versus 160 kg para un taladro de 8.5 m de profundidad por 5¾ pulg.) aspecto que permite ampliar las plantillas de perforación, reducir el factor de potencia y disminuir los costos de perforación y voladura. Entre sus principales ventajas se encuentra un incremento en la velocidad de detonación (VOD), de 4,800 m/s a

5,800 m/s en comparación con el rango de 3,700 m/s a 4,400 m/s que alcanza el ANFO pesado. También encontramos una disminución del costo unitario de perforación y voladura. Además, al no usar nitrato de amonio (NA) ni petróleo, se evita asumir el importante costo financiero que representa mantener stocks de estos productos en mina. (García,2017)

2.2.7.8 Solución sensibilizante.

Solución acuosa de sales de nitrito de sodio, que en contacto con la matriz gasificable, inicia de inmediato su reacción de gasificación.

Sensibilización de la “EG” –Gasificación. Es la producción de burbujas de gas nitrógeno (N₂), debido a la reacción química entre la emulsión matriz y el sensibilizante (García, 2017).

2.2.7.9 Esponjamiento.

Debido a la producción de burbujas de nitrógeno hay un incremento de volumen. Y la densidad de la EG va disminuyendo hasta estabilizarse. (García, 2017).

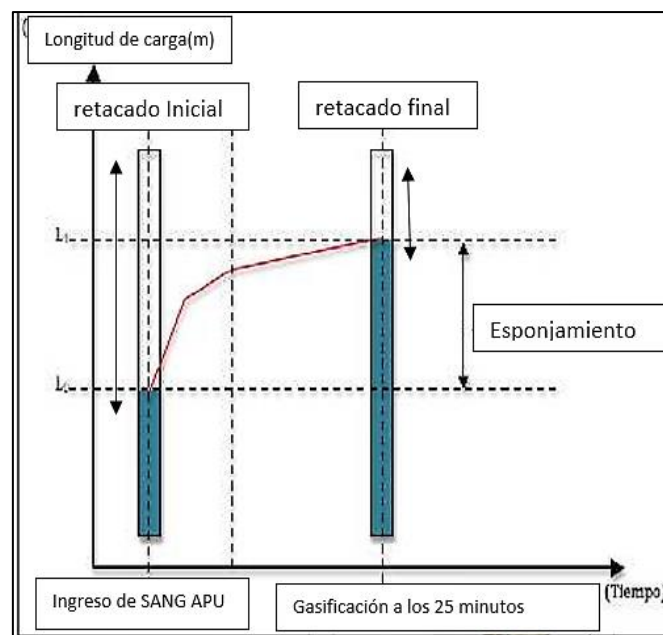


Figura 3. Esquema de evolución de esponjamiento en el tiempo

Fuente: García 2017.

2.2.7.10 Booster

El booster también es conocido con el nombre de “primer”, “cebo” o “cast booster” estando compuesto principalmente por pentolita. Es utilizado para iniciar explosivos insensibles o agentes de voladura de tipo slurries, ANFO y nitracarbonitratos, donde un fulminante común o el poder explosivo de un cordón detonante no los activa. Son cargas explosivas de alta potencia y gran seguridad, destinadas a la iniciación de agentes de voladura. Su envase de plástico protege a la mezcla explosiva que contiene, permitiéndole ser más insensible a los golpes o roces, así como una mayor resistencia al ataque del agua presente en algunas perforaciones. Es el más eficiente iniciador de agentes de voladura que se fabrica y es especialmente recomendable para diámetros medianos y grandes (Garcia,2017).



Figura 4. Booster de Pentolita

Fuente: García 2017.

2.2.7.11 Detonador electrónico

Es un sistema de iniciación moderno, cuya función es iniciar una columna explosiva a acompañado de un Booster. A diferencia de otros sistemas de iniciación esta es mucho más precisa y exacta, evitando distribuciones de energía fuera de tiempo.



Figura 5. Blaster y Logger de detonador electrónico

Fuente: Enaex ,2019.

2.2.7.12 Detonador no eléctrico

Es un sistema integrado de accesorios de voladura, que cubre los requerimientos de iniciación tradicional y otros conceptos modernos de voladura. Está compuesto por un fulminante número 12, un tubo de choque de alta resistencia a la tracción y abrasión, un conector plástico resistente “J” y etiqueta. Cuenta con dos puntos de identificación (en el clip y en la etiqueta) (García,2017).



Figura 6. Detonador Pirotécnico con tubo de choque

Fuente: García 2017.

2.2.8 Fragmentación

La fragmentación del macizo rocoso es causada inmediatamente después de la detonación. El efecto de impacto de la onda de choque y de los gases en rápida expansión sobre la pared del taladro, se transfiere a la roca circundante, difundiéndose a través de ella en forma de ondas o fuerzas de compresión, provocándole sólo deformación elástica, ya que las rocas son muy resistentes a la compresión. Al llegar estas ondas a la cara libre en el frente de voladura causan esfuerzos de tensión en la masa de roca, entre la cara libre y el taladro. Si la resistencia a la tensión de la roca es excedida, esta se rompe en el área de la línea de menos resistencia (burden). En este caso las ondas reflejadas son ondas de tensión que retornan al punto de origen creando fisuras y grietas de tensión a partir de los puntos y planos de debilidad naturales existentes, agrietándola profundamente, lo que se denomina un efecto de craquelación. Casi simultáneamente, el volumen de gases liberados y en expansión penetra en las grietas iniciales ampliándolas por acción de cuña y creando otras nuevas, con la que se produce la fragmentación efectiva de la roca. Si la distancia entre el taladro y la cara libre está correctamente calculada la roca entre ambos puntos cederá. Luego los gases remanentes desplazan rápidamente la masa de material triturado hacia adelante, hasta perder su fuerza por enfriamiento y por aumento del volumen de la cavidad formada en la roca. En este momento en que los fragmentos o detritus caen y se acumulan para formar la pila de escombros o material volado, concluyendo de esta forma el proceso de voladura (Garcia,2017).

2.2.9 Pasante P80

Es un indicador de la granulometría de una muestra de mineral que nos da una idea si la muestra de material, en general, tiene fragmentación gruesa o fina. El P80 es obtenido a partir de la curva granulométrica, y representa al tamaño de partícula, tal que, el 80% de todos los fragmentos son menores a este tamaño. Así, por ejemplo, si el P80 de una distribución granulométrica es 254 mm, quiere decir que el 80% de todos los fragmentos son menores a 254 mm (Garcia,2017).

2.2.10 Categoría de humos

La detonación de todo explosivo comercial produce polvo, vapor de agua (H₂O), óxidos de nitrógeno (NO-NO₂) óxidos de carbono (CO-CO₂) y eventualmente gases sulfurosos (H₂S, SO₃ y AlO₂) si contenía azufre o aluminio. Entre los gases inocuos generados hay siempre cierto porcentaje de productos irritantes tóxicos o letales llamados en conjunto “humos”, como el monóxido de carbono y el bióxido de nitrógeno. De acuerdo a la proporción contenida de estos gases tóxicos se ha establecido escalas de clasificación por grado de toxicidad para la exposición del personal trabajador después del disparo, teniendo como ejemplo a la siguiente del USBM (Buró de Minas de USA):

CATEGORÍA	VOLUMEN DE GASES NOCIVOS (CO, NO ₂)
1 ^{ra}	de 0 a 0,16 pie ³
2 ^{da}	de 0,16 a 0,33 pie ³
3 ^{ra}	de 0,33 a 0,67 pie ³
Cuya equivalencia métrica según el ISO es:	
CATEGORÍA	VOLUMEN DE GASES NOCIVOS (CO, NO ₂)
1 ^{ra}	de 0 a 4,53 dm ³
2 ^{da}	de 4,53 a 9,34 dm ³
3 ^{ra}	de 9,34 a 18,96 dm ³

Figura 7. Límites máximos Permisibles de Gases tóxicos por Voladura

Fuente: García 2017.

Estas cifras se refieren a los gases producidos por el disparo de ensayo de un cartucho de 1 ¼” x 8” (200 g) con su envoltura de papel, en la denominada “cámara” o “bomba Bichel”. Según esta categorización del USBM aceptada por el Instituto de Fabricantes de Explosivos (EMI, ISEE) y otras instituciones, los explosivos de primera categoría pueden ser empleados en cualquier labor subterránea, los de segunda sólo en las que garantizan buena ventilación, usualmente con tiro forzado, y los de tercera sólo en superficie. Tal es el caso

que el empleo de ANFO y otros nitrocarbonatos granulares en minería subterránea requiere de un permiso oficial del Ministerio de Energía y Minas.

Por lo general, se considera que los explosivos de uso civil deben estar por debajo de los siguientes valores:

CO: 0,02 % NO₂: 0,003 %

Los agentes explosivos como el ANFO eventualmente son más tóxicos que las dinamitas y emulsiones, porque generan mayor proporción de óxidos de nitrógeno. Como referencia adicional, el Buró de Minas ruso estima que la toxicidad del NO₂ puede ser hasta 6,5 veces mayor que la del CO a una concentración molar dada (Garcia,2017)

2.2.11 KPLs de una voladura de rocas.

Son aquellas ratios, que indican el nivel de eficiencia de una voladura de rocas. De estos tenemos:

2.2.11.1 Velocidad de detonación (V.O.D).

Se describe la velocidad de detonación como: “la velocidad a la que la onda de detonación se propaga a través del explosivo y, por lo tanto, es el parámetro que define el ritmo de liberación de energía”. La liberación de energía mencionada, en forma de sonido, calor y gases en un instante de tiempo, es la que se aprovecha para la fragmentación de la roca.

El trabajo útil que puede brindar cada explosivo, también entendido como efecto triturador, está ligado a la onda de choque durante la detonación, y ésta a su vez a la densidad y velocidad de detonación. Por este motivo, se puede utilizar la velocidad de detonación para determinar la eficiencia de una reacción explosiva). De tener un valor menor a lo especificado, significa que el explosivo no está cumpliendo las especificaciones técnicas y por ende su performance está siendo afectado.

Debido a ello es se considera la velocidad de detonación un factor crítico que determinará el rendimiento de un explosivo y que a su vez posee un método de

medición sencillo. Por otro lado, hay diversos factores que afectan la velocidad de detonación como la densidad de carga, diámetro, confinamiento, iniciación y tiempo de espera dentro del taladro (Vilela,2014).

En la siguiente tabla se detallan valores aproximados de velocidad de detonación para diferentes agentes de voladura.

Tabla 2. VOD según tipo de mezcla explosiva y por diámetro.

Diámetro \ Agente	32 mm	76 mm	229 mm
	Emulsión a Granel	4000 - 4600	4300 - 4900
ANFO Cargado Neumáticamente	2100 - 3000	3700 - 4300	4300 – 4600
ANFO Vaciado	1800 - 2100	3000 - 3400	4300 – 4600
ANFO Encartuchado	-	3000 - 3700	4300 – 4600
ANFO Pesado	-	-	3400– 5800

Fuente: Vilela 2014.

2.2.11.2 Factor de Potencia.

Es el cociente que resulta dividir la cantidad de kilogramos de explosivos usados por cada tonelada de roca volada. El cual debe compararse teóricamente con lo usado en campo.

Factor de Potencia (Kg/Ton) = Kg de explosivos/Toneladas rotas

2.2.11.3 Ratio US\$ /Ton.

Es el cociente que resulta dividir el costo total de voladura de un proyecto determinado respecto al total de toneladas rotas. El cual debe compararse teóricamente con lo usado en campo.

Ratio US\$/Ton = US\$ costo total de voladura /Toneladas rotas totales

US\$ costo total de voladura= CA+CME+CET+CM+CCF

Donde:

CA: costo total de accesorios de voladura.

CME: costo total de mezcla explosiva.

CET: costo de material de retacado.

CM: costo de mano de obra.

CCF: costo de camión fabrica y otros equipos.

2.2.11.4 Dig Rate.

Es un indicador que mide el nivel de velocidad de excavación de una excavadora al momento de minar. Es considerado dentro de los indicativos de una voladura.

$$Dig Rate \left(\frac{TM}{h} \right) = \frac{3600 * c.c * F.e * FL}{T.C}$$

Donde:

c.c: capacidad de cuchara(m³)

F.e: Factor de eficiencia de la pala

FL: factor de llenado de cuchara

T.C: tiempo de ciclo de carguío

$$T.C = tiempo de espera + \left(\frac{\text{número de cucharadas}}{\text{camión}} - 1 \right) * \frac{\text{tiempo}}{\text{cucharada}}$$

2.2.11.5 Densidad lineal.

Es un indicador que mide la cantidad de Kilogramos de explosivo usados por metro lineal de un determinado taladro. Este indicador está en función a la densidad del explosivo. Longitud del taladro, taco y diámetro de perforación.

Densidad Lineal (Kg/m) = Kg usados en un taladro/ longitud de carga.

2.3. Definición de términos básicos

Stemming: Material inerte que se utiliza para rellenar los taladros con un fin de confinamiento de energía, es de suma importancia establecer este parámetro correctamente para obtener una voladura satisfactoria y segura.

Cámara de aire: Accesorio que se coloca en partes estratégicas de los taladros con el fin de disminuir cargas explosivas y así el índice de vibraciones, costos por explosivos y generando casi la misma fragmentación deseada. **MTI (2012).**

Sobre pie: Irregularidad de la topografía de los bancos inferiores, el cual es ocasionado por la poca interacción de ondas de energía de la mezcla explosiva.

Vibraciones Producidas por las voladuras de rocas:

Se entiende por vibraciones los fenómenos de transmisión de energía mediante la propagación de un movimiento ondulatorio a través de un medio. El fenómeno de vibraciones queda caracterizado por una fuente o emisor, esto es, un generador de vibraciones, y por un objeto receptor de las mismas. El fenómeno de las vibraciones se manifiesta mediante un movimiento ondulatorio. La aparición brusca de una presión elevada sobre las paredes de los taladros actúa como un choque o impacto brusco que se manifiesta como onda de deformación a través de la masa rocosa a esto le denominamos vibraciones de voladura. (Bernola, Castilla, Herrera, 2013).

Geófono: instrumento que capta las intensidades y frecuencias de las vibraciones producidas por las voladuras de rocas.

Sismógrafo: instrumento que cuantifica la intensidad y la frecuencia de las vibraciones y las ondas acústicas producidas por las voladuras de rocas (Garcia,2017).

Microtrap: Equipo electrónico, utilizado en minería para la medición del VOD de una mezcla explosiva.

Software Split Desktop: Programa digital desarrollado por SPLIT ENGINEERING diseñado para la estimación de fragmentación de una voladura.

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. Ubicación

La unidad minera Coimolache S.A, está ubicada en la Comunidad Campesina, El Tingo, en el distrito de Hualgayoc, provincia de Hualgayoc, al noroeste de la ciudad de Cajamarca a una distancia aproximada de 85 Km a una altitud que varía entre los 3 750 y 4 050 m.s.n.m.

Políticamente pertenece:

- Región : Cajamarca
- Departamento : Cajamarca
- Provincia : Hualgayoc
- Distrito : Hualgayoc

3.2. Accesibilidad

Su acceso desde la ciudad de Cajamarca, consta de dos tipos de vías, la primera es asfaltada de un tramo de 85 Km y la segunda es de 5 Km, veamos la siguiente tabla y plano adjunto que resume la accesibilidad de la mina desde la ciudad de Cajamarca.

Tabla 3. Accesibilidad a minera Coimolache S.A

RUTA	DISTANCIA(K m)	TIEMPO	TIPO DE VIA
Cajamarca-Desvío Ramírez	85	2.00 horas	Asfaltada
Desvío Ramírez- Mina Coimolache S. A	5	15 minutos	Trocha

Fuente: U. M. Coimolache S.A,2020.

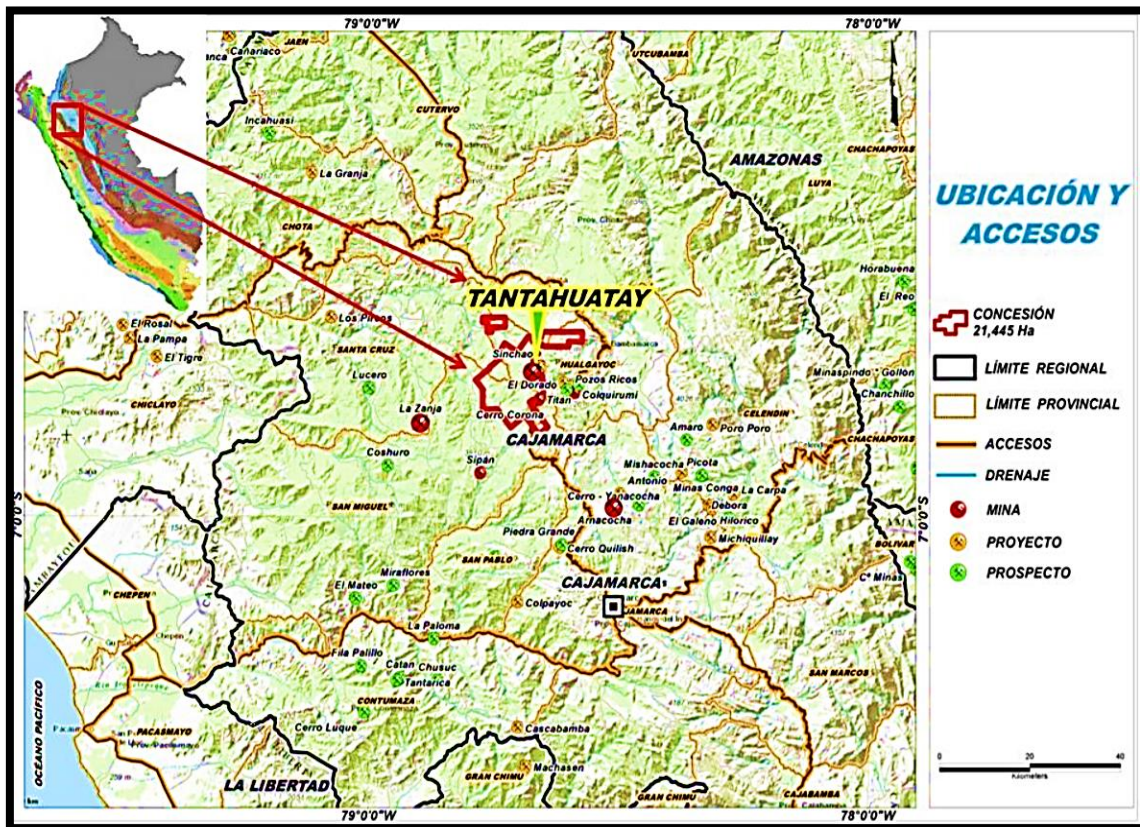


Figura 8. Plano de ubicación de Minera Coimolache S.A

Fuente: PERUMIN 2015

3.3. Geología

Está conformado por un complejo de domos de composición andesítica y la ocurrencia de brechas hidrotermales emplazadas como diatremas o cuellos volcánicos dentro de una secuencia predominantemente volcano-magmática. El Yacimiento Tantahuatay es de Oro diseminado, de filiación epitermal de alta sulfuración (Au-Ag) se tiene cuerpos someros relacionados a óxidos, sílice y brechas hidrotermales con dimensión de 500 m x 300 m y una profundidad de 60 m a 120 m. El área está enmarcada dentro del flanco oriental del batolito de la costa donde ocurren intrusivos dioríticos paleoceno, afectando rocas sedimentarias del Cretácico y rocas volcánicas micénicas. Las rocas del área de estudio pertenecen al Grupo Calipuy (Volcánico Llama) y localmente reciben el nombre de Volcánico Tantahuatay, Además, estas rocas han sido cortadas por cuerpos sub volcánicos de composición andesítica y por brechas hidrotermales (Pérez, 2008).

3.3.1 Geología Regional

En el Perú hay un límite convergente, un margen activo del tipo continental, donde la placa de Nazca se introduce en una zona de subducción bajo la placa Sudamericana. La subducción lleva a las rocas y sedimentos a profundidades de la corteza terrestre donde la temperatura y presión producen la fundición de la roca. El magma origina rocas plutónicas y volcánicas de composición intermedia a ácida (por ejemplo, granitos, andesitas, riolitas). Este material fundido tiene una baja densidad si se compara con las rocas circundantes y por lo tanto tiende a ascender, empezando un proceso de intrusión, a fin de conseguir un balance fisicoquímico. El producto geomorfológico de este proceso es un arco volcánico. Durante la fase del ascenso del magma, este es enfriado y se liberan fluidos, reaccionando y lavando las rocas circundantes. El enfriamiento y la interacción de estos fluidos con las rocas cercanas a la superficie (1-2 km de profundidad) es el proceso de formación de los depósitos de oro en Tantahuatay (Pérez, 2008).

La estratigrafía regional está conformada por el substrato del Arco Volcánico Cenozoico constituido por unidades estratigráficas cretácicas de origen marino y continental que corresponden al relleno de la cuenca mesozoica Cajamarca. Las secuencias sedimentarias están constituidas por los sedimentos marinos pelíticos carbonatados del Cretácico medio a superior representada por las formaciones Inca, Chúlec, Pariatambo, Pulluicana, y Chota y la columna regional estratigráfica del área del proyecto está conformada por formaciones sedimentarias del Cretáceo-Terciario, volcánicas del Terciario y sedimentos del Cuaternario. La posterior actividad del arco volcánico cenozoico ha originado que se depositen en discordancia angular sobre el substrato cretácico las secuencias volcánicas continentales del Grupo Calipuy diferenciada localmente como formación Llama. Sobre el Calipuy yace en discordancia la secuencia piroclástica el Volcánico Huambos (Rosas y Calizaya) (BISA, 2006).

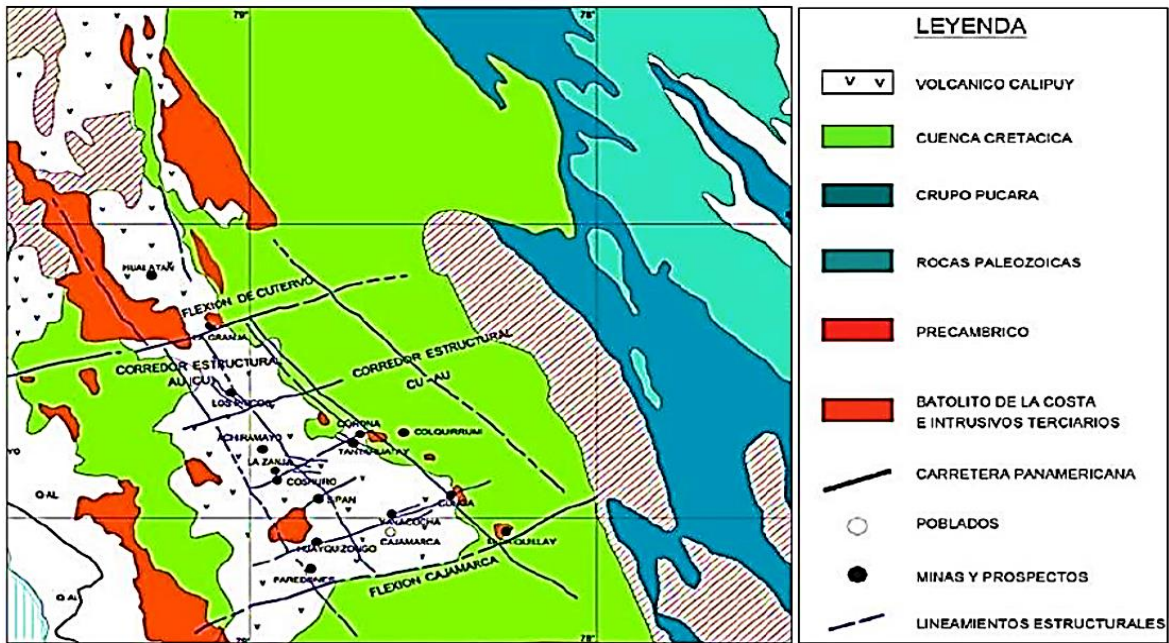


Figura 9. Plano de geología regional de Minera Coimolache S.A

Fuente: Vélez 2016

3.4. Clima

Se obtuvo información de dos estaciones meteorológicas, Hualgayoc y Carolina. En la estación Hualgayoc las temperaturas promedio anuales (1972 – 1979) fluctuaron entre 7,2°C y 8,4°C. La temperatura mínima promedio (2,9°C) se registró en el mes de julio y la máxima promedio (12,3°C) en el mes de noviembre. En la estación Carolina (2001 – 2004), la temperatura media anual registrada fue de 8,4°C, muy próxima a la media anual de Hualgayoc que fue de 8,0°C para ese mismo periodo.

Así mismo se consideraron las estaciones meteorológicas de Hualgayoc, Bambamarca, Llapa, Quebrada Honda, Carachugo, Maqui Maqui y Yanacocha. El análisis de los datos de estas estaciones estableció que la estación regional de Hualgayoc presenta los datos pluviométricos más representativos por ser la que geográficamente se ubica más cerca al área del proyecto y por presentar una serie de registros confiables a lo largo de un período de veintidós años (1961 – 1983). Para esta estación (1964 – 2005) se tiene una precipitación anual promedio de 1 336,0 mm. La máxima precipitación anual registrada asciende a 1 658,2 mm y la mínima precipitación anual es de 948,5 mm.

En cuanto a la precipitación mensual para Hualgayoc (1964 – 2005), se observa que, para el año promedio, el 80% de la precipitación ocurre entre octubre y abril, mientras que el 20% de la precipitación se presenta entre los meses de mayo y septiembre. Los datos de la mina Carolina, no fueron utilizados en el presente análisis debido al corto período de información con el que se cuenta. Se tomaron como referencia los valores de la estación Carolina. La humedad relativa es alta y en promedio se mantiene por encima del 79% aumentando durante los meses que llueve. La media anual es de 83,8% (Knight Piésold Consultores S.A,2008)

3.5. Vegetación

Se ha logrado determinar hasta nivel de género, a 111 especies de plantas, las que pertenecen a 40 familias botánicas. Las familias que presentaron el mayor número de especies fueron Asteraceae con 21 especies, Poaceae con 19 especies y Cyperaceae con 6 especies. Con respecto a la abundancia de individuos, las familias con mayor número de individuos muestreados fueron: Poaceae con 692 individuos, Asteraceae y Juncaceae con 97.

La formación vegetal más utilizada por la población local es el pajonal de puna, pues constituye la fuente de alimento del ganado bovino. Los bofedales y pajonales húmedos son importantes como reserva alimenticia para el ganado durante los meses más secos. La vegetación saxícola es utilizada como fuente de plantas medicinales y alimenticias. Se han registrado 29 especies que reciben algún uso (forrajero y medicinal) por parte de la población. Estas especies corresponden a 24 géneros y 15 familias. (Knight Piésold Consultores S.A,2008)

3.6. Diseño de Perforación y voladura de rocas.

Mina Coimolache S.A, posee 5 diseños de malla de perforación dentro de sus operaciones, correspondiente a cada tipo de geología presente en la unidad.

Tabla 4. Mallas de voladura utilizadas en Minera Coimolache

TIPO DE MALLA	BURDEN (m)	ESPACIAMIENTO (m)
Malla 1	4.8	5.5
Malla 2	5	5.8
Malla 3	5.3	6.1
Malla 4	5.5	6.3
Malla 5	5.7	6.5

Fuente: FAMESA 2019

Para los diseños de mallas de perforación y voladura se considera los polígonos de minado existentes, para esto el burden es efectuado a diseño respecto a la cresta ya existente. Así mismo se utiliza voladura amortiguada para los taladros aledaños a los taludes

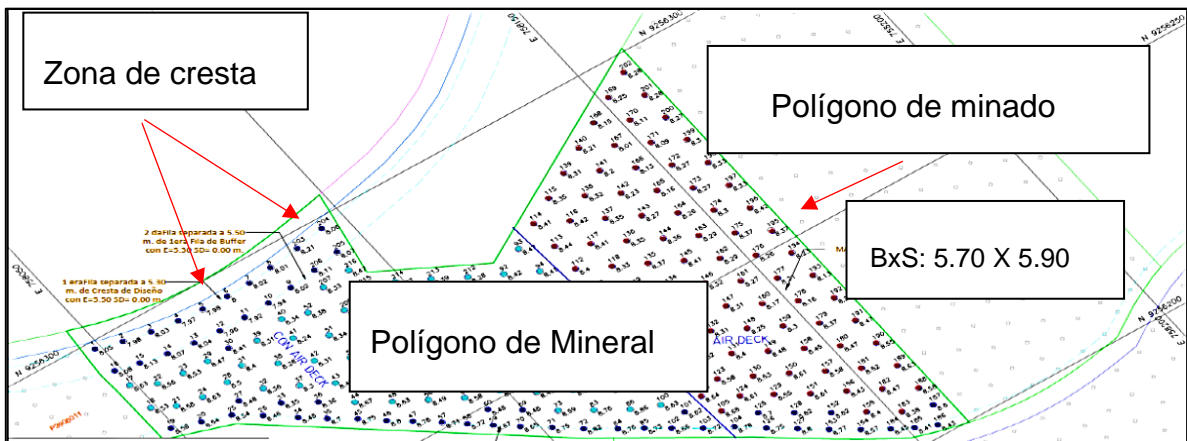


Figura 10. Diseño de malla de voladura Minera Coimolache S.A

Fuente: FAMESA 2019

Para el diseño de carga, se considera una sobre perforación de 0.5 m con un diámetro de perforación de 7 7/8 pulgadas, 0.5 m de cámara de aire en el fondo del taladro, una longitud de retacado de 2.8 m y una longitud de carga de 5.3 m.

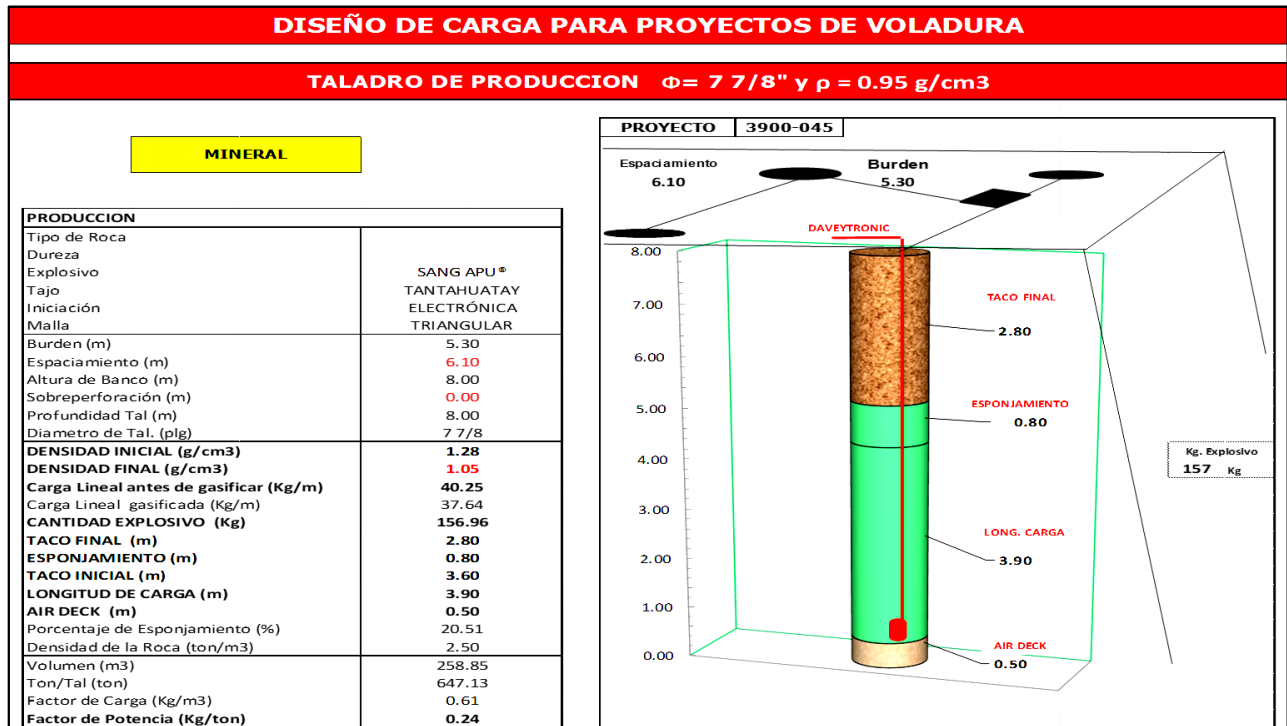


Figura 11. Diseño de carga de voladura en Minera Coimolache S.A

Fuente: FAMESA 2019.

3.7. Método de Trabajo

3.7.1 Trabajo de campo

Consiste en la medición y observación de los parámetros más relevantes en el estudio técnico y económico aplicando la emulsión gasificada SANG APU, comparada al uso de otras mezclas explosivas. Veamos cada una de ellas.

3.7.1.1 Medidas de retacados finales

Cuando se termine el carguío de la emulsión gasificada SANG APU en un taladro de voladura, se tomará el control de la longitud del retacado a esta primera medición se le denominara retacado inicial. Luego de 25 minutos, la emulsión gasificada SANG APU finalizara su proceso de esponjamiento, generando una nueva longitud de taco. A este se le denominara retacado final.

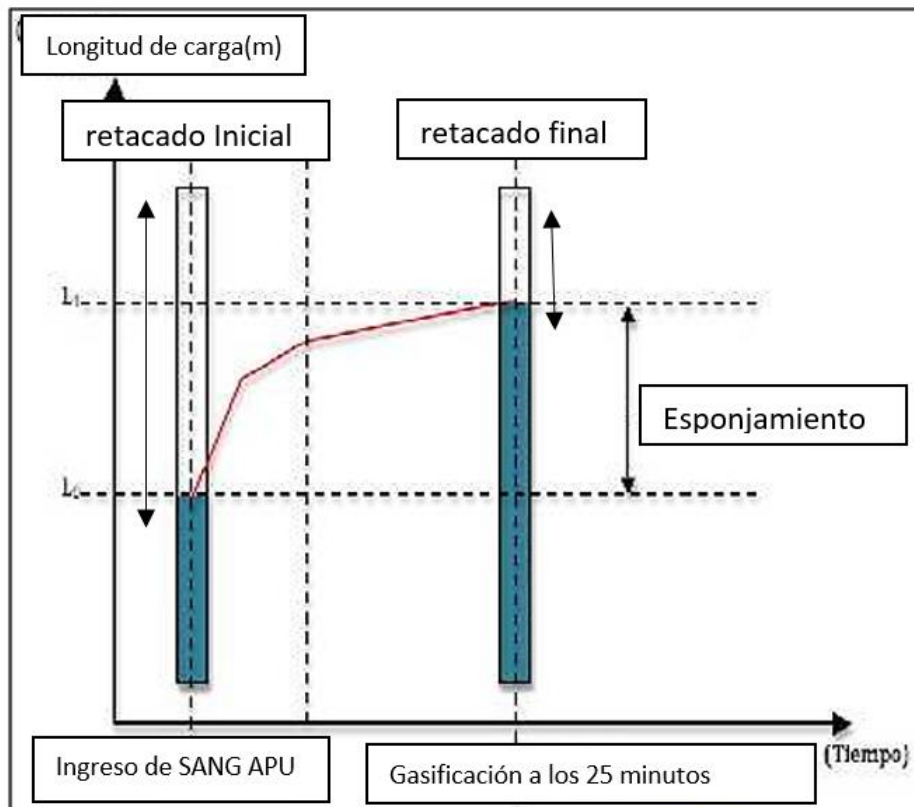


Figura 12. Esquema de tacos iniciales y finales.

Fuente: García 2017.

De la cual podemos resumir la siguiente expresión:

$$\text{Nivel de esponjamiento (m)} = \text{Retacado inicial (m)} - \text{Retacado final (m)}$$

3.7.1.2 Controles de densidades

Es la toma de densidades controlada cada 5 minutos de una misma muestra, por el proceso de gasificación se dará un incremento de volumen de la mezcla sin afectar su masa, esto permitirá reducir la densidad y ganar longitud de carga. Para esto se utilizó un kit de densidades el cual consta de 02 vasos metálicos, 01 espátula metálica y 01 balanza comercial de 03 dígitos.



Figura 13. Muestra de SANG APU sobre balanza en proceso de gasificación.

Fuente: FAMESA 2019.

3.7.1.3 Mediciones de VOD

Para realizar las mediciones de VOD, tendremos que colocar un cable resistivo de una capacidad de $10 \Omega/m$ a la altura del booster de un taladro piloto, este cable a su vez recorrerá toda la longitud del taladro, para luego ser conectada a un cable coaxial RG58, que se extenderá hasta una distancia prudente donde se conectará a su vez con el equipo MicroTrap. Para realizar esta medición es importante que el taladro piloto detone antes que todo el proyecto.

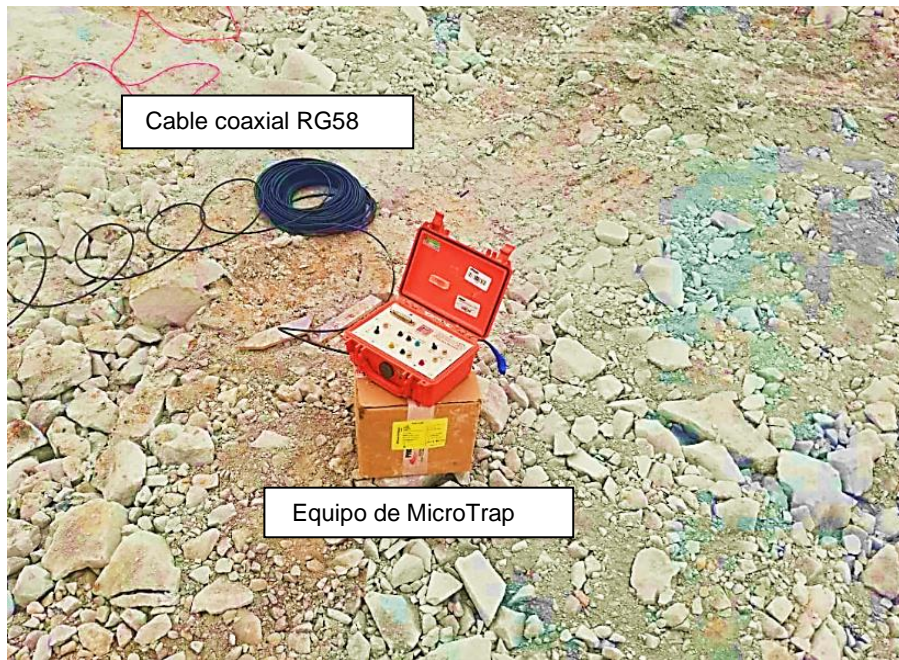


Figura 14. Equipo MicroTrap conectado a cable coaxial.

Fuente: FAMESA 2019.

3.7.1.4 Fotografías para medición de fragmentación

Después de cada voladura, se tomará fotografías del material fragmentado utilizando además “pelotas” de diámetro de 10 pulgadas cada una para utilizarlas como escalas, el cual se analizará en gabinete posteriormente con el software Split Desktop.



Figura 15. Escalas de fragmentación en material volado (Split Desktop)

Fuente: FAMESA 2019.

3.7.1.5 Tiempos de carguío de material volado

Mediante observación se apunta en una libreta los tiempos de excavación del proyecto detonado.

3.7.1.6 Reportes de carguío de taladros

Es el control de la masa de explosivo que ingresa en un taladro. Este se registra por cada taladro del proyecto.

Toda esta información será trasladada a lo que denominaremos en adelante “reportes de voladura”, el cual nos permitirá analizar la información en gabinete.

3.7.2 Trabajo de gabinete

En esta etapa los datos adquiridos son procesados. El cual nos permitirá calcular indicadores técnicos y económicos.

De esta manera evaluar el desempeño de la emulsión gasificada SANG APU comparado a otras mezclas explosivas.

3.7.2.1 Análisis de Fragmentación

Realizado la toma de fotografías de los proyectos detonados, estas se llevarán y se analizarán en gabinete utilizando el software Split Desktop. Donde se realiza una delineación de las rocas presentadas en las fotografías y utilizando algoritmos de estimación de tamaños Split Desktop determinará el pasante 80.

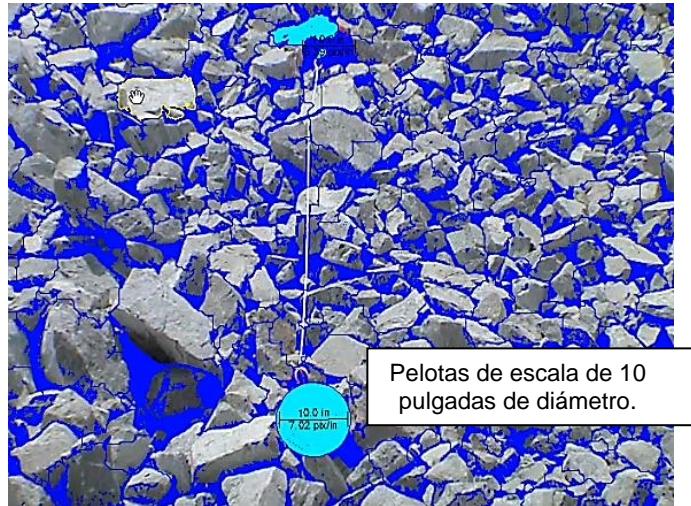


Figura 16. Material fragmentado delineado con software Split Desktop.

Fuente: FAMESA 2019.

Como podemos observar en la imagen, toda la roca presente en la fotografía ha sido delineados de color azul, así mismo se realizó la discriminación de las escalas (color celeste) con la finalidad de que el software por error lo considere como roca.

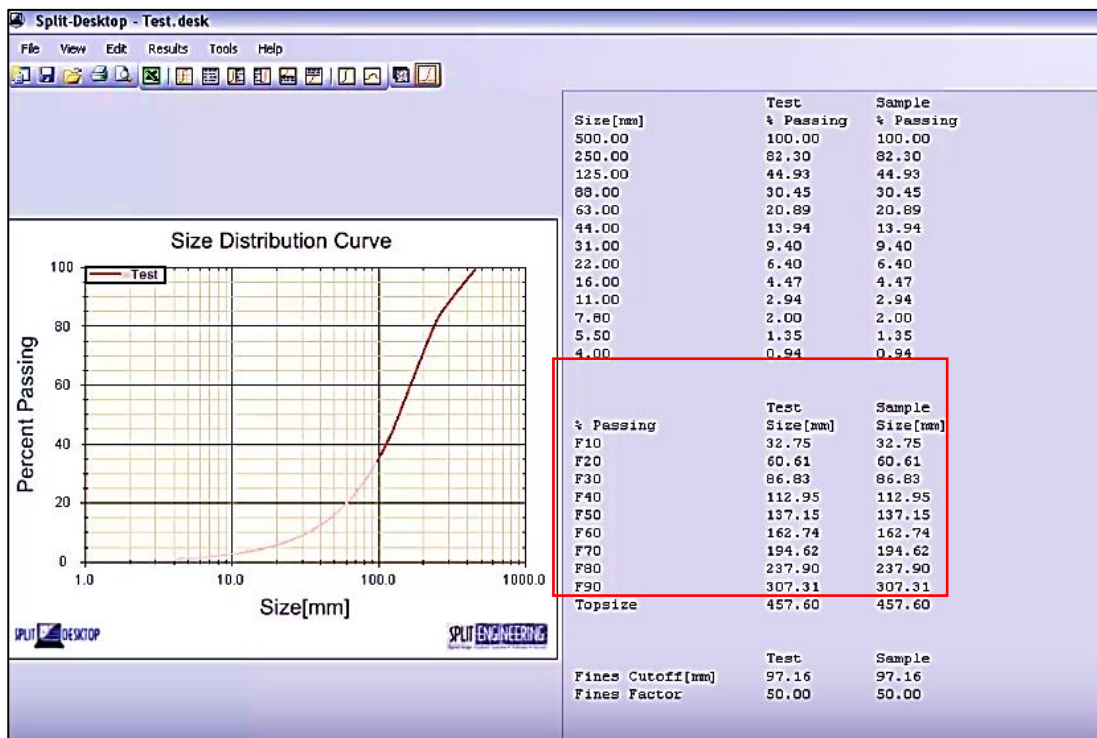


Figura 17. Estimación del P80 con software Split Desktop.

Fuente: FAMESA 2019.

3.7.2.2 Análisis en computadora de VOD

Una vez detonado el taladro piloto donde se instaló el cable resistivo, el equipo MicroTrap registrará el evento y lo almacenará en su memoria interna. Esta información será analizada únicamente con el software propio de Microtrap, denominado del mismo nombre.

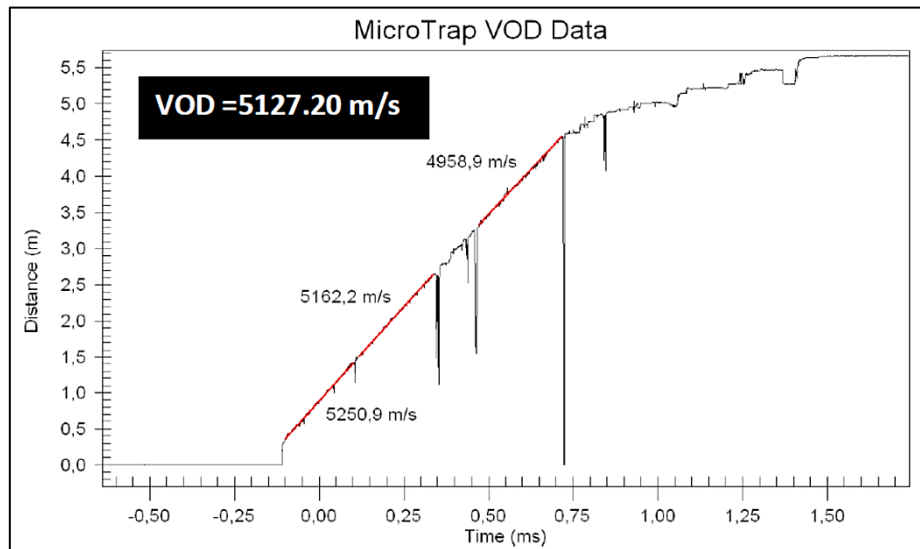


Figura 18. Estimación del VOD con software MicroTrap.

Fuente: FAMESA 2019.

Para el análisis de VOD, se realiza la descarga la información del equipo MicroTrap a la computadora que contenga el software de análisis, lo cual nos arroja una recta basada en 02 ejes, la vertical hace referencia a la longitud de carga y la horizontal al tiempo de detonación. La pendiente de dicha recta será el VOD.

3.7.2.3 Estimación de factor de potencia

Basado en los registros de consumo de explosivo utilizado en los proyectos y en los tonelajes volados. Se estimará el factor de potencia del proyecto. Obedeciendo la siguiente expresión:

$$\text{Factor de Potencia (Kg/Ton)} = \text{Kg de explosivo/Toneladas rotas}$$

3.7.2.4 Estimación de costo por tonelada volada

Una vez calculado el factor de potencia es fácil estimar el costo por tonelada volada. Obedeciendo la siguiente expresión:

$$\text{Ratio US\$/Ton} = \text{US\$ costo de explosivo} / \text{Toneladas rotas totales}$$

3.7.2.5 Estimación de Dig Rate

Calculando el tonelaje excavado en una hora de trabajo se puede estimar este indicador. Para la presente investigación se tomó registro de los tiempos operativos y de las toneladas minadas en dicho tiempo.

SEDE	MES	FECHA	COD EQUIPO	HORAS OPERATIVAS	BANCO	PROYECTO	EQUIPO DE CARGUIO	BANCO_PROYECTO	TMS
TANTAHUATAY II	01/06/19	18/06/19	V-1710-AL	7.00	THY2_F2_3908	026	RE-970-AL	THY2_F2_3908_026	682.59
TANTAHUATAY II	01/06/19	18/06/19	V-1710-AL	1.00	THY2_F2_3908	27R	RE-970-AL	THY2_F2_3908_27R	107.78
TANTAHUATAY II	01/06/19	18/06/19	V-1710-AL	2.00	THY2_F2_3908	027	RE-50	THY2_F2_3908_027	287.41
TANTAHUATAY II	01/06/19	18/06/19	V-1710-AL	8.00	THY2_F2_3908	027	RE-50	THY2_F2_3908_027	934.08
TANTAHUATAY II	01/06/19	18/06/19	V-1710-AL	2.00	THY2_F2_3908	028	RE-50	THY2_F2_3908_028	323.33
TANTAHUATAY II	01/06/19	18/06/19	V-1710-AL	1.00	THY2_F2_3908	029	RE-50	THY2_F2_3908_029	107.78
TANTAHUATAY II	01/06/19	18/06/19	V-1710-AL	9.00	THY2_F2_3908	028	RE-50	THY2_F2_3908_028	1,113.71
TANTAHUATAY II	01/06/19	18/06/19	V-1710-AL	3.00	THY2_F2_3908	027	RE-50	THY2_F2_3908_027	323.33
TANTAHUATAY II	01/06/19	18/06/19	V-1710-AL	5.00	THY2_F2_3908	27R	RE-50	THY2_F2_3908_27R	574.82
TANTAHUATAY II	01/06/19	18/06/19	V-1710-AL	2.00	THY2_F2_3908	27R	RE-50	THY2_F2_3908_27R	215.56
TANTAHUATAY II	01/06/19	18/06/19	V-1712-AL	5.00	THY2_F2_3908	028	RE-970-AL	THY2_F2_3908_028	431.11
TANTAHUATAY II	01/06/19	18/06/19	V-1712-AL	3.00	THY2_F2_3908	028	RE-970-AL	THY2_F2_3908_028	359.26
TANTAHUATAY II	01/06/19	18/06/19	V-1712-AL	11.00	THY2_F2_3908	028	RE-970-AL	THY2_F2_3908_028	1,149.63
TANTAHUATAY II	01/06/19	18/06/19	V-1712-AL	8.00	THY2_F2_3908	027	RE-50	THY2_F2_3908_027	934.08
TANTAHUATAY II	01/06/19	18/06/19	V-1712-AL	2.00	THY2_F2_3908	027	RE-50	THY2_F2_3908_027	215.56
TANTAHUATAY II	01/06/19	18/06/19	V-1712-AL	2.00	THY2_F2_3908	029	RE-50	THY2_F2_3908_029	143.70
TANTAHUATAY II	01/06/19	18/06/19	V-1712-AL	9.00	THY2_F2_3908	27R	RE-50	THY2_F2_3908_27R	1,113.71
TANTAHUATAY II	01/06/19	18/06/19	V-1713-AL	0.60	THY2_F2_3908	026	RE-970-AL	THY2_F2_3908_026	35.93

Figura 19. Reporte de tonelajes acumulados por horas operativas

Fuente: FAMESA 2019.

3.8. Metodología de la investigación

El Un trabajo de investigación se inicia desde la compilación de información bibliográfica, tecnología disponible, salidas al campo, aspectos económicos, así como la situación, localización y tiempo, todos los cuales influyen en la calidad de la investigación. El presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación descriptiva, con un diseño no experimental, de sección transversal, correlacionar y causal.

Descriptiva. Porque describirán situaciones evaluando diversos aspectos tanto en campo (VOD, Fragmentación y tiempos de carguío de material volado) como en gabinete (factor de potencia y costos).

Transversal. Porque se realiza en un periodo de tiempo (junio a julio del 2019)

Correlacional y Causal. Porque nos permitirá determinar la relación y correspondencia de las variables técnicas y económicas en la aplicación de la emulsión gasificada SANG APU.

3.8.1 Población

Proyectos de voladura de Minera Coimolache S.A. del año 2019

3.8.2 Muestra

Proyectos de voladura de Minera Coimolache S.A en los meses de mayo, junio y julio del 2019.

3.8.3 Unidad de análisis

Técnicas (VOD, Fragmentación y Tiempos de carguío de material volado) y económicas (Factor de potencia y ratios de costos por tonelada volada).

3.8.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En esta etapa se utilizó como técnicas de recolección de datos a la observación y a la medición de campo, donde se realizó la anotación información pertinente como densidad inicial de copa, densidad final de copa, medición de retacados, control de kilos de mezclas explosivas por taladros, código de taladro pilo para registros de VOD.

Adicionalmente se tomó registros de proyectos de voladura anteriormente detonados con la finalidad de obtener información como fotografías de fragmentación y control de tiempos de excavación de frentes de minado.

Toda esta información fue trasladada a los reportes de voladura donde adicionalmente en gabinete se realizó el análisis de información registrada.

3.8.4.1 Equipos

Wincha 10 m: Equipo que consiste en una cinta métrica que se encuentra dentro de una caja de plástico el cual se desenrolla y enrolla a gusto de cada usuario. Este equipo nos permitirá medir los tacos iniciales y finales durante el proceso de carguío de taladros de voladura.

Kit de densidades: Equipo utilizado para medir la densidad de las mezclas explosivas en campo. El cual consiste en una caja de plástico donde almacena de forma fija y permanente a una balanza, 04 vasos metálicos, una espátula metálica, 01 cronometro y 02 cartillas de densidades. Cada vaso tiene un código definido, cuando se saca una muestra de la mezcla explosiva este vaso se pesa en la balanza y según el peso y el código del vaso se estima la densidad gracias a las cartillas que contiene el Kit. En el caso de emulsiones gasificadas como es el caso del SANG APU, es importante controlar la densidad cada 5 minutos para el cual se utiliza el cronometro que incluye el kit.

Microtrap: Equipo fabricado por la empresa MREL, el cual nos permite realizar mediciones de VOD (velocidad de detonación) de una determinada mezcla explosiva y según un determinado diseño de carga. Este equipo consiste en una caja plástica de alta resistencia al impacto, el cual dentro contiene unos sensores, los cuales dejan registrado la velocidad de detonación de una mezcla explosiva en función al tiempo y a la distancia de quemado recorrida por la onda de choque producido en la detonación. Dentro de los taladros de voladura van instalados cables resistivos denominados PROCABLE los cuales van conectados al equipo Microtrap (este alejado de la detonación).

Laptop Dell Corei5: computadora que nos permitirá realizar la correlación de la información obtenida en campo y trasladarlo a los reportes de voladura, así mismo

estimar los indicadores técnicos y económicos que se evaluarán con el uso de la emulsión gasificada SANG APU.

Software Split Desktop: Programa digital desarrollado por SPLIT ENGINEERING diseñado para la estimación de fragmentación de una voladura.

Cámara fotográfica SONY 48MPx: equipo utilizado para la toma de fotografías del material volado el cual mediante el software Split Desktop se podrá calcular el nivel de fragmentación de los proyectos de voladura

3.8.4.2 Instrumentos de medición

3.8.4.2.1 Reportes de voladura.

Son hojas de cálculo Excel en el cual se resume toda la información trascendental de la voladura que se está realizando, como: Nombre del proyecto, fecha, banco, tajo, número de taladros, tipos de taladros, personal involucrado, tipo de roca, densidad de roca, toneladas detonadas reales, toneladas detonadas planeadas, longitud de taladro, longitud de retacados, tipo de explosivo, cantidad de explosivo usado, burden y espaciamiento, tipo de iniciación, densidad de explosivo, factor de potencia, factor de carga, registro de carguío por taladro y otros.

CIA MINERA COIMOLACHE S.A. U.P. TANTAHUATAY		REPORTE DE VOLADURA				San Martín		
FECHA	4/07/2019	TAJO	TANTAHUATAY 2					
HORA	12:48 p.m	BANCO	3900					
		PROYECTO	048					
TALADROS	DML	7 7/8"	B	E	DX-800	3 1/2"	B	E
PRODUCCION 1	125		5.5	6.3	0		0.0	0.0
PRODUCCION 2	0		0.0	0.0	0		0.0	0.0
BUFFER 1	13		5.7	5.5	0		0.0	0.0
BUFFER 2	12		4.8	5.5	0		0.0	0.0
AYUDA	3		4.5	5.2	0		0.0	0.0
AYUDA 1	0		0.0	0.0	0		0.0	0.0
AYUDA 2	0		0.0	0.0	0		0.0	0.0
TOTAL CARGADOS	153				0			
Metros perforados	1,233.7				Metros perforados	0		
Taladros Tapados					Taladros Tapados			
Taladros con agua					Taladros con agua			
PARAMETROS				FACTOR DE CARGA				
DENSIDAD DE ROCA	gr/cm ³		2.53		Kg/ton		0.26	
BCM / M. PERFORADO	bcm / m		32.2		Kg/m ³		0.65	
TON ROTAS DISEÑO	m		97,525		SANG-APU	gr/cm ³	0.95	
TON ROTAS REAL	m		100,617			gr/cm ³		
						gr/cm ³		
EXPLOSIVOS								
ANFO	Kg		-					
HEAVY ANFO 28	Kg		-	SAN-G	Kg		25,603	
HEAVY ANFO 37	Kg		-	N-30	Kg		352	
HEAVY ANFO 46	Kg		-	NITRATO DE AMONIO	Kg		-	
HEAVY ANFO 64	Kg		-	NITRATO QUANTEX	Kg		-	
QUANTEX HA 73	Kg		-	EMULSION MATRIZ	Kg		-	
SLURPREX G	Kg		-	PETROLEO DIESEL 2	Kg		-	
							25,955	
EMULEX 3"x 16"	Pz		-	EXALINE 1-1/2"x 16"	Pz		-	
	Kg		-		Kg		-	
ACCESORIOS INICIACION				ELECTRONICOS				
BOOSTER 1Lb	Pz		155	PRODUCCION	Pz		155	
EXANEL DUAL 17 /800 MS	Pz		-	INICIACION	Pz		-	
EXANEL 12 m 800ms P (cantid	Pz		155	BACK UP	Pz		-	

Figura 20. Reporte de proyecto de voladura, pág. 01.

Fuente: Minera Coimolache 2019.

Dicho reporte de voladura este compuesto además de 02 páginas, en la primera se detalla los aspectos generales del proyecto. En la segunda página se detalla el proceso de carguío y control de retacados.



REPORTE DE VOLADURA

CIA MINERA COIMOLACHE - TANTAHUATAY 2



FECHA: 04/07/2019

BANCO: 3900

OPERADOR: MANCILLA SALAS WILFREDO

TAJO: THY

PROYECTO: 048

PERFORADOR: DML EP 28

153	153	1,233	1,234							38,547	97,525	155	155	155	25,603	118
Nro	Taladro	H Diseñ	H Re	B m	E m	Taco Inic	taco fir	Densidad rc	Tipo taladro	M3	Tons	Booster (cantidad)	Davey tronic 15 m (cantid)	CAANCL 12 m 800mcs P (cantid)	SAN/G-API	AQUADEC K mt
97	105	8.07	8.10	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	262.3	663.6	1	1	1	134	
98	106	8.16	8.20	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	265.4	671.5	1	1	1	186	0.5
99	107	7.98	8.00	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	259.2	655.7	2	2	2	192	0.5
100	108	7.97	8.00	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	258.8	654.9	1	1	1	180	0.5
101	109	7.96	8.00	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	258.5	654.0	1	1	1	178	0.5
102	110	7.88	7.90	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	255.7	647.0	1	1	1	182	0.5
103	111	7.74	7.70	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	250.9	634.7	1	1	1	188	0.5
104	112	7.80	7.80	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	252.9	640.0	1	1	1	180	
105	117	7.74	7.70	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	250.9	634.7	1	1	1	177	
106	118	7.86	7.90	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	255.0	645.2	1	1	1	189	0.5
107	119	7.89	7.90	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	256.1	647.8	1	1	1	184	0.5
108	120	7.88	7.90	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	255.7	647.0	1	1	1	180	0.5
109	121	7.86	7.90	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	255.0	645.2	1	1	1	177	0.5
110	122	7.85	7.90	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	254.7	644.3	1	1	1	180	0.5
111	123	7.94	7.90	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	257.8	652.2	1	1	1	140	
112	124	7.86	7.90	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	255.0	645.2	1	1	1	132	
113	125	7.72	7.70	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	250.2	632.9	1	1	1	179	0.5
114	126	7.81	7.80	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	253.3	640.8	1	1	1	180	0.5
115	127	7.97	8.00	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	258.8	654.9	1	1	1	187	0.5
116	128	7.87	7.90	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	255.4	646.1	1	1	1	185	0.5
117	129	7.84	7.80	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	254.3	643.5	1	1	1	179	
118	134	7.82	7.80	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	253.6	641.7	1	1	1	184	
119	135	7.93	7.90	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	257.4	651.3	1	1	1	188	0.5
120	136	7.85	7.90	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	254.7	644.3	1	1	1	186	0.5
121	137	7.95	8.00	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	258.1	653.1	1	1	1	181	0.5
122	138	7.88	7.90	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	255.7	647.0	1	1	1	138	
123	139	7.99	8.00	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	259.5	656.6	1	1	1	140	0.5
124	140	7.94	7.90	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	257.8	652.2	1	1	1	179	0.5
125	141	7.96	8.00	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	258.5	654.0	1	1	1	187	0.5
126	142	7.83	7.80	5.50	6.30	3.80	2.80	2.53	PRODUCCION 1	254.0	642.6	1	1	1	179	0.5

Figura 21. Reporte de proyecto de voladura, pág. 02.

Fuente: Minera Coimolache 2019.

3.9 Procesamiento de datos

Los datos obtenidos son adquiridos de las observaciones y mediciones en campo (VOD, Fragmentación, tiempos de carguío de material volado, densidades, consumo de explosivo, longitud de tacos iniciales y finales), los cuales se trasladarán a los reportes de voladura y con esta información se realizará la correlación de información, cálculo de factor de potencia y costos por tonelada volada.

3.10 Análisis de datos

Para el análisis de datos se consideran los reportes de voladura de mayo, junio y julio del 2019 en las cuales se utilizaron Heavy ANFO 37 y la emulsión gasificada SANG APU, se realizará un comparativo de:

Costos por tonelada volada

Tiempos de carguío de material volado

Fragmentación

VOD

Lo cual nos permitirá determinar que mezcla explosiva es la más óptima para la unidad minera Coimolache S.A.

CAPÍTULO IV.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

4.1 Análisis de resultados

El desarrollo de la investigación se realizó durante los meses de junio y julio del 2019 donde se utilizó SAN-G APU. Se realizaron 27 voladuras en diferentes durezas de roca y condiciones con un total de 4,312 taladros cargados y un factor de potencia de 0.27 Kg/Ton, así mismo se observó un incremento en el rendimiento en todos los equipos de carguío con respecto a los disparos con Heavy ANFO en el mes de mayo.

4.1.1 Aplicación de Sang Apu en voladura de rocas

La SAN-G APU es una emulsión gasificable formada por una solución microscópica oxidante dispersa en una fase combustible continua y estabilizada por un emulsificante. La SAN-G APU puede ser sensibilizada en las operaciones mineras antes de su carguío en los taladros con la solución gasificante, produciendo una mezcla explosiva de menor densidad, resistente al agua, muy viscosa y de mayor velocidad de detonación que otras mezclas explosivas, también puede ser sensibilizada con ANFO en diferentes proporciones y ser gasificada.

La SAN-G APU puede ser cargada mediante bombeo o por gravedad directamente desde los camiones fábrica hacia el interior de los taladros. Una vez cargado los taladros se deja transcurrir unos 20 minutos para la colocación del “retacado” en el taladro. Entre las ventajas de usar esta mezcla explosiva se tiene:

Puede utilizarse en terrenos secos, húmedos o inundados y con rocas de diferente dureza.

Al cargar los taladros, las columnas explosivas se acoplan por completo, desarrollando con dicha condición toda la energía que se deposita en ellas.

Su uso representa un trabajo seguro, toda vez que la emulsión matriz se sensibiliza al final de la unidad mecanizada; vale decir que se trata de un producto no explosivo antes de ingresar en los taladros.

Puede ser cargado a diferentes densidades y energías, para cumplir siempre con el objetivo de producir una buena fragmentación y mejorar la productividad desde la mina hasta su molienda en la planta o su disposición en las canchas de lixiviación.

Por su alto poder rompedor es posible ampliar las plantillas de perforación y de reducir los costos involucrados.

Permite reducir el tiempo del carguío por su practicidad.

El nivel de esponjamiento para los taladros de voladura de CIA MINERA COIMOLACHE S.A en diámetros de 7 7/8 Pulg son de 60 a 80 cm, según la densidad deseada, que oscila entre 1.1 a 0.9 g/cm³.

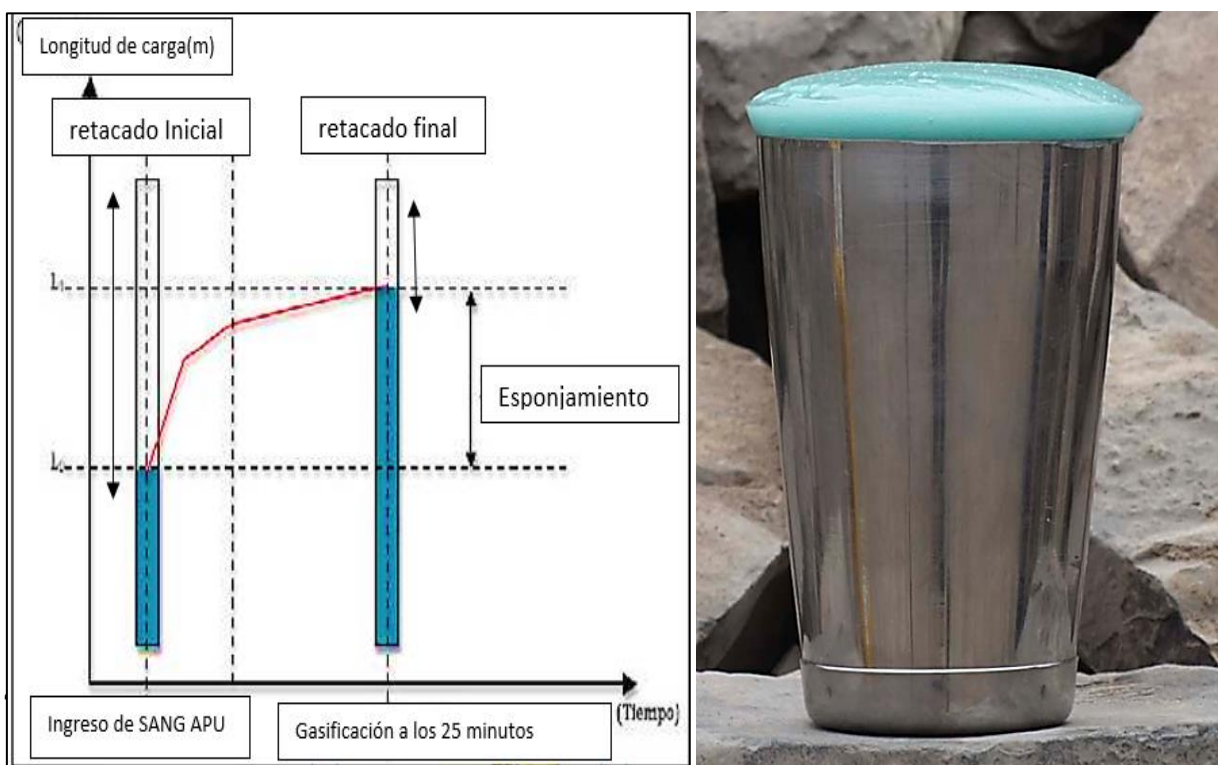



Figura 22. Esponjamiento de SANG APU.

Fuente: García 2017.

Para esto se debe respetar los parámetros de combinación de aditivos especificados en la ficha técnica del producto.



SAN-G APU®
EMULSIÓN / HIDROGEL A GRANEL NO SENSIBILIZADA

Descripción y composición

La SAN-G APU® es una emulsión gasificable formada por una solución microscópica ordenada dispuesta en una fase combustible continua y estabilizada por un emulsificante.

La SAN-G APU® puede ser sensibilizada en las operaciones mineras antes de su cargado en los taladros con la solución gasificante, produciendo una mezcla explosiva de menor densidad, resistente al agua, muy viscosa y de mayor velocidad de detonación que el ANFO, también puede ser sensibilizada con ANFO en diferentes proporciones y ser gasificada.

Tipos y usos

La SAN-G APU® se ha diseñado especialmente para ser usado en minería subterránea en matrices rocosas cuya temperatura esté comprendida entre 0 °C y 40 °C.

La SAN-G APU® debe ser cargada por camiones fábrica de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. que a diferencia de las unidades convencionales que cargan ANFO pesado, están provistas de un sistema de gasificación de la emulsión matriz, constituido por una unidad de programación lógica (PLC) que permite programar la cantidad de emulsión matriz, Anfo, solución gasificante y agua a

dosificar, así como controlar en tiempo real la temperatura del agente y la presión de bombeo. Posee un sistema de seguridad que detiene automáticamente el proceso de bombeo y gasificación cuando la presión de la bomba de trabajo alcanza 160 psi.

La SAN-G APU® puede ser cargado mediante bombeo o por gravedad directamente desde los camiones fábrica hacia el interior de los taladros. Una vez cargado los taladros se deja transcurrir unos 20 minutos para la colocación del "toco" en el taladro.

Entre las ventajas de usar la SAN-G APU® se tiene:

- Puede utilizarse en terrenos secos, húmedos o inundados y con rocas de diferente dureza.
- Al cargar los taladros, las columnas explosivas se aceptan por completo, desahorando con dicha condición toda la energía que se deposita en ellas.
- Si su uso representa un trabajo seguro, todo vez que la emulsión matriz se sensibiliza al final de la unidad mecanizada, vale decir que se trata de un producto no explosivo antes de ingresar en los taladros.
- Puede ser cargado a diferentes densidades y energías, para cumplir siempre con el objetivo de producir una buena fragmentación y mejorar la productividad desde la mina hasta su moliente en la planta o su disposición en las canchales de levadura.
- Por su alto poder compacto es posible ampliar las plantillas de perforación y de reducir los costos involucrados.
- Permite reducir el tiempo del cargado por su practicidad.

• La SAN-G APU® sensibilizada debe ser iniciado por una prima conformada por un booster HDP, de un peso concordante con el peso de las columnas explosivas usadas y con un detonador FANEL®.

• También puede ser sensibilizado con ANFO en diferentes proporciones para formar ANFO PESADO y ANFOS PESADOS GASIFICABLES.

Características técnicas


Densidad relativa de la matriz (g/cm ³)	1.32 ± 3%
Densidad relativa de la matriz sensibilizada (g/cm ³)	0.80 a 1.20
Viscosidad de la matriz en condiciones normales, (cP) (*)	Min. 12 000
Velocidad de detonación de la matriz sensibilizada (m/s) (**)	4 800 a 5 800
Presión de detonación (kbar)	51 a 88
Energía (kcal/kg)	805
Volumen normal de gases (L/kg)	1 025
Potencia relativa en peso (%) (***)	90
Potencia relativa en volumen (%) (***)	152
Resistencia al agua	Excelente
Categoría de humos	Primera
Diámetro crítico (mm)	76 (3 pulgadas)
Tiempo de permanencia en el taladro (días)	7


(*) Medido en el viscosímetro BROOKFIELD HA CVI a 50 RPM.
(**) Confinado en tubo de PVC de 6 pulgadas de diámetro.
(***) Potencias relativas referidas al ANFO, con potencia convencional de 100.

Presentación

La SAN-G APU® es presentada a granel y transportada en forma segura en camiones cisternas.

Transporte Clase: 5
División: 5.1
N° ONU: 3218





MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Este producto es altamente inflamable y puede ser sensible al impacto y al frotamiento. Se debe almacenar en un lugar fresco y seco, lejos de fuentes de calor y de fuego. Se debe almacenar en un lugar seguro y protegido de la intemperie. Se debe almacenar en un lugar seguro y protegido de la intemperie. Se debe almacenar en un lugar seguro y protegido de la intemperie.

ATENCIÓN

Este producto es altamente inflamable y puede ser sensible al impacto y al frotamiento. Se debe almacenar en un lugar fresco y seco, lejos de fuentes de calor y de fuego. Se debe almacenar en un lugar seguro y protegido de la intemperie. Se debe almacenar en un lugar seguro y protegido de la intemperie. Se debe almacenar en un lugar seguro y protegido de la intemperie.




Figura 23. Ficha técnica de SANG APU.

Fuente: FAMESA 2019.

4.1.2 Mitigación de humos naranjas

A través del uso de la emulsión gasificable SANG APU, la cual es correctamente balanceada químicamente. Dicho producto se probó en minera Coimolache S.A eliminando la probabilidad de emisión de humos naranjas en los disparos. No se evidencio ninguna presencia de humos naranjas durante el periodo de investigación.



Figura 24. Emisión de gases en proceso de voladura con SANG APU

Fuente: FAMESA 2019.

4.1.3 Análisis técnico del uso de SANG APU en minera Coimolache S.A

Durante todo el periodo de investigación sobre la aplicabilidad de SANG APU en CIA MINERA COIMOLACHE S.A se analizaron los aspectos técnicos descritos a continuación. Estos resultados fueron cotejados con el uso de Heavy ANFO que se utilizó en los meses de enero al 19 de junio de 2019.

4.1.3.1 Fragmentación (Pulg.)

Para tener una referencia del grado de fragmentación se realizó un muestreo y análisis sobre la pila volada teniendo una proyección preliminar de la distribución granulométrica y uniformidad que se reflejará en la secuencia de minado. Sin duda el grado de fragmentación en el interior del disparo será mejor debido al confinamiento, distribución y nivel de energía del explosivo. A continuación, los resultados del muestreo:

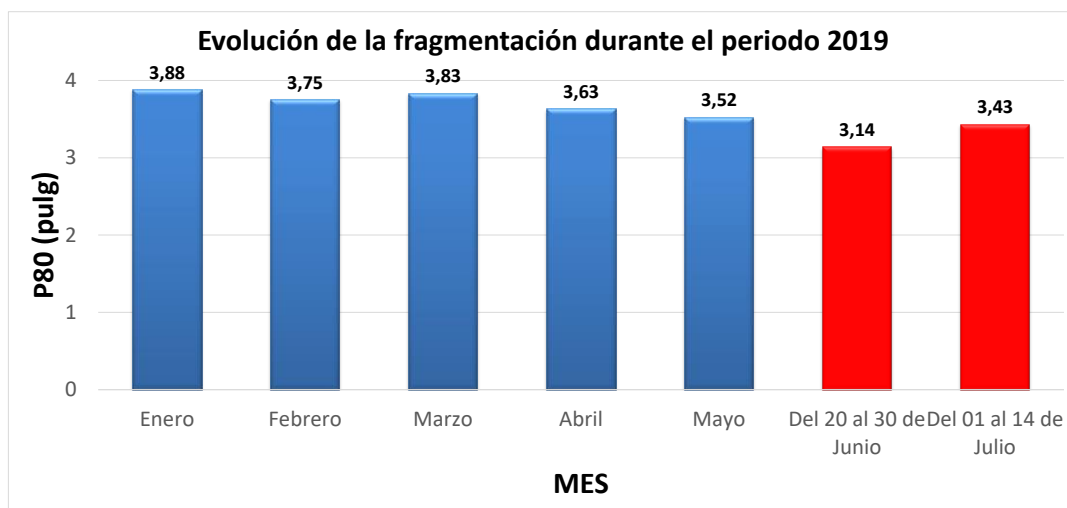


Figura 25. Evolución de fragmentación 2019.

Fuente: FAMESA 2019.

Como se puede observar se logró reducir en un 6.8 % el nivel de fragmentación durante los periodos del 20 junio al 14 de julio donde se utilizó la emulsión gasificada SANG APU. Es importante mencionar que el nivel de fragmentación se encuentra por debajo de lo solicitado por CIA MINERA COIMOLACHE S.A el cual es de 4 Pulgadas.

4.1.3.2 Dig Rate (Tn/Hr)

Desde el inicio de la aplicación de SANG APU, se apreciaron mejoras en el rendimiento de los equipos de carguío RE-27, RE-40, RE-50, RE-970AL con respecto al uso de ANFO PESADO en el mes de Mayo; como se aprecia en el siguiente gráfico.

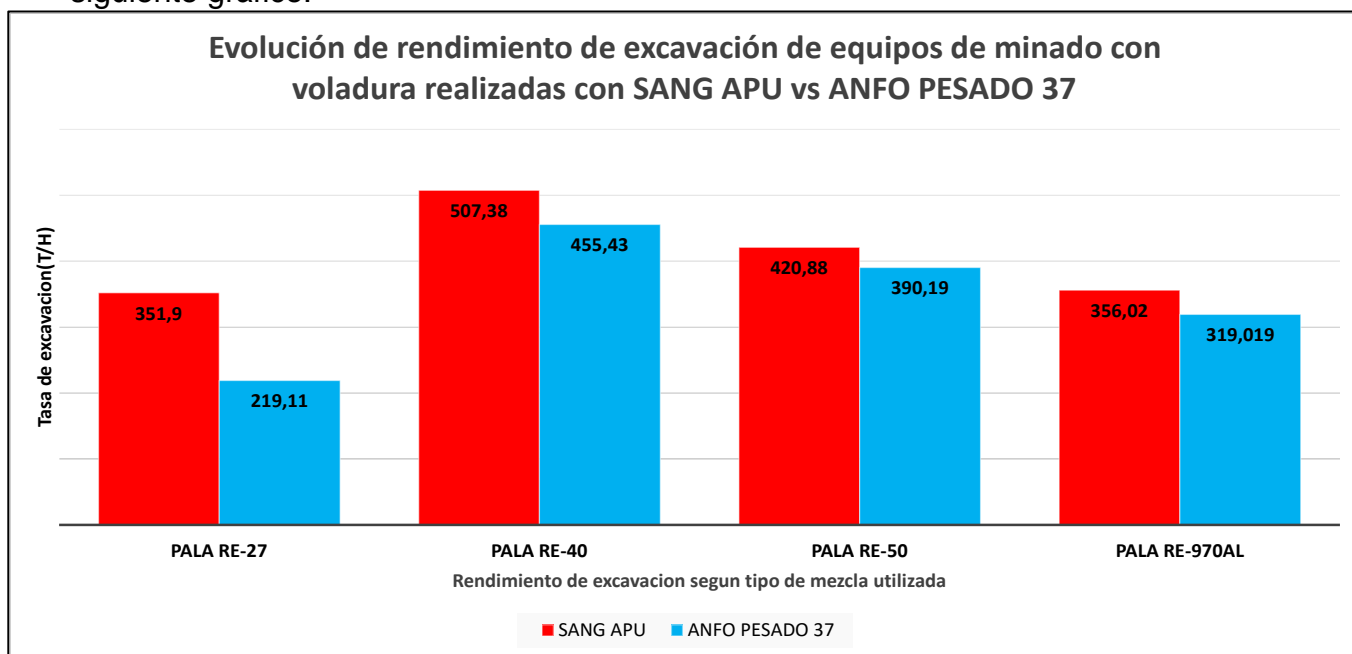


Figura 26. Comparativo de Dig Rate con SANG APU VS ANFO PESADO 37

Fuente: FAMESA 2019

Para el cual además se detalla la capacidad de minado de cada uno de estos equipos de carguío anteriormente mencionados.

Tabla 5. Capacidad de equipos de carguío de minera Coimolache S.A

EQUIPOS DE CARGUIO TANTAHUATAY	
CODIGO	CAPACIDAD DE CUCHARON (m3)
RE-40	5.7
RE- 50	5.7
RE-27	4.6
RE- 970	3.2

Fuente: Coimolache S.A - FAMESA,2019.

4.1.3.3 Factor de potencia (Kg/T)

Durante el periodo de la investigación del 20 de junio al 23 de julio se dispararon 2,479,592 toneladas de roca con el uso de la SANG APU en CIA MINERA COIMOLACHE, dando como resultado un factor de potencia de 0.27 kg/Ton. Este resultado fue cotejado con los factores de potencia del mes de mayo 2019 donde se utilizó como mezcla explosiva a ANFO PESADO 37.

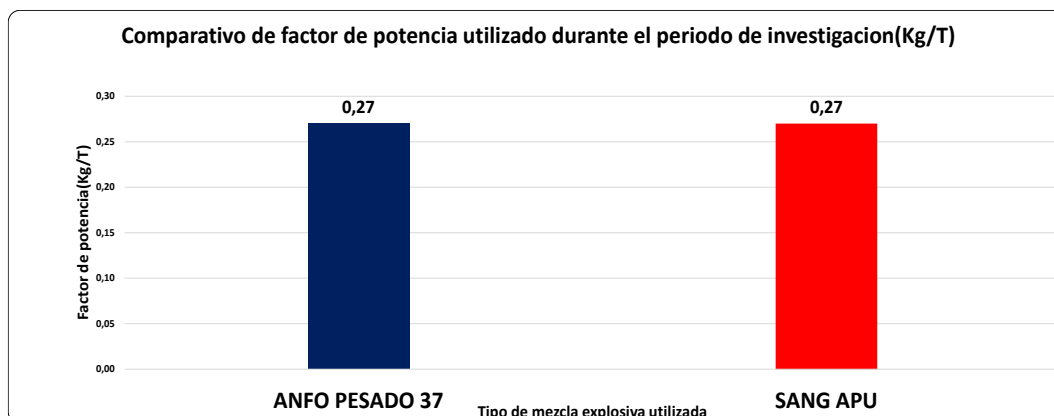


Figura 27. Comparativo de Factor de potencia con SANG APU VS ANFO PESADO.

Fuente: FAMESA 2019.

4.1.3.4 Costo por tonelada volada (U\$S/Ton)

Realizando un comparativo del mes de mayo donde se utilizó ANFO PESADO y el periodo de Pruebas del SANG APU, se determinó que hubo una reducción de costo por tonelada del 8.3%.

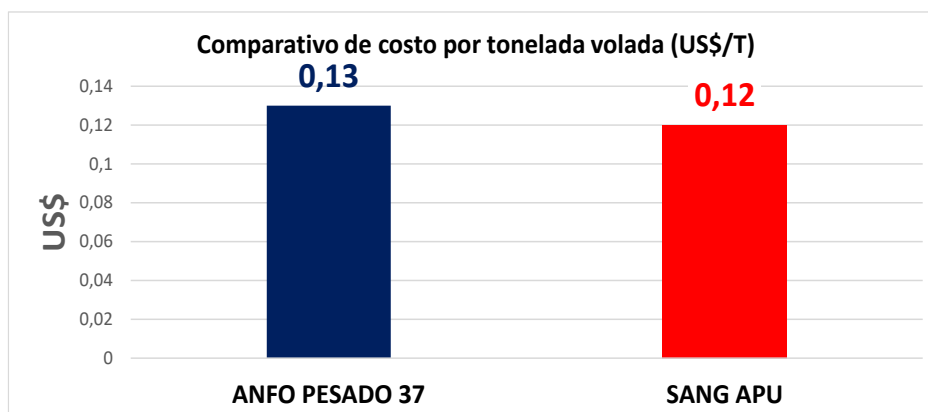


Figura 28. Comparativo de costos por tonelada volada con SANG APU VS ANFO PESADO.

Fuente: FAMESA 2019.

4.1.3.5 VOD (m/s)

El VOD de la SANG APU genera altas presiones de detonación, dando buenos resultados en todo tipo de roca. A continuación, los resultados de monitoreo de VOD.

Tabla 6. Mediciones de VOD de SANG APU

Fecha de Medicion	Densidad (gr/cc)	VOD(m/s)
23-jun.	0.85	4,682.20
28-jun.	0.94	5,097.20
20-jun.	0.95	5,127.20
24-jun.	0.95	5,213.40
21-jun.	0.96	5,349.50
27-jun.	1.06	5,431.20
17-Jul	1.09	5,624.73

Fuente: FAMESA 2019.

Como se puede apreciar el VOD de SANG APU está en función a la densidad. Los cuales superan ampliamente al del Heavy ANFO que no supera los 5300 m/s

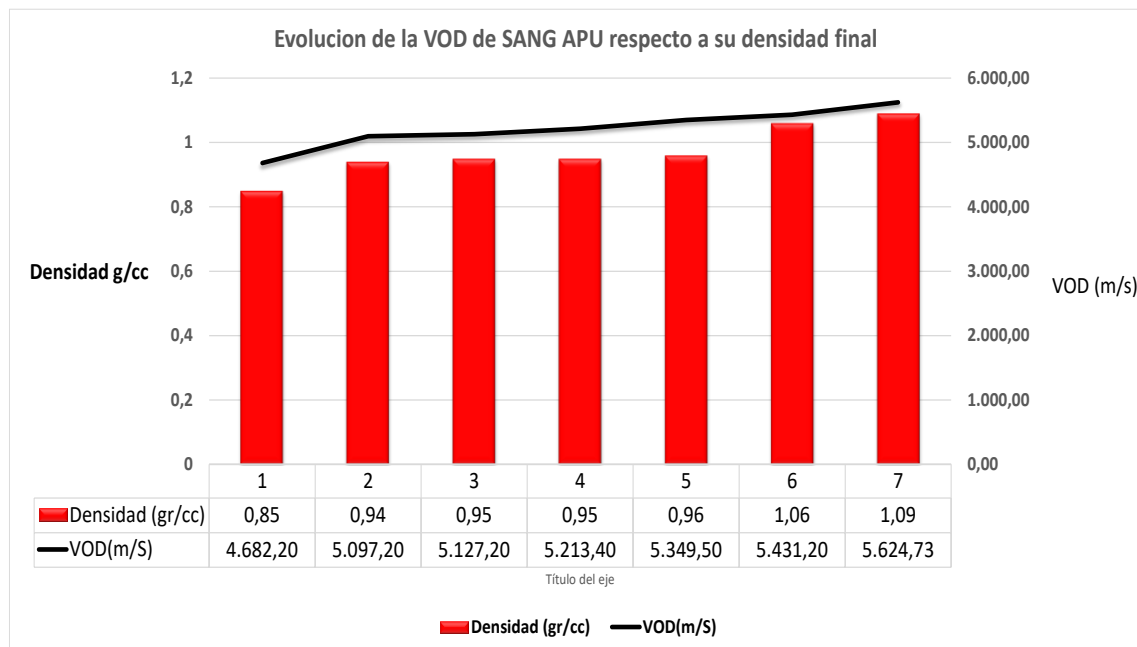


Figura 29. Evolución de VOD de SANG APU en función a la densidad.

Fuente: FAMESA 2019.

4.1.3.6 Análisis económico del uso de SANG APU en minera Coimolache S.A

Durante el periodo de la investigación del 20 de junio al 23 de julio se dispararon 2,479,592 toneladas de roca con el uso de la SANG APU en CIA MINERA COIMOLACHE, dando como resultado un Factor de Potencia de 0.27 kg/Ton. Donde se invirtió 304,690 US\$ solo en mezclas explosivas SANG APU. Este resultado fue simulado con el mismo factor de potencia para calcular los costos con mezclas explosivas tipo Heavy ANFO 37 dando como resultado una inversión de 312,316 US\$, generando un ahorro de 7,626 US\$. Esto se debe al costo reducido de la SANG APU comparado a las mezclas tipo Heavy ANFO.

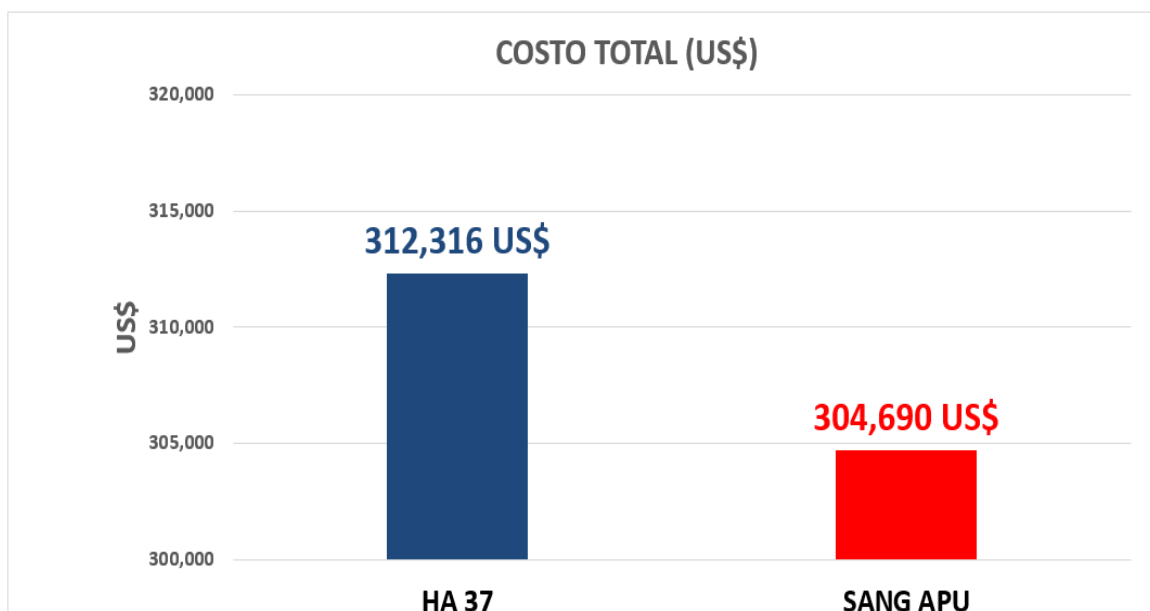


Figura 30. Comparativo de costos totales de SANG APU y ANFO PESADO

Fuente: FAMESA 2019.

Sin embargo, a pesar de las mejoras en tiempos de minado, para CIA MINERA COIMOLACHE, no se puede evidenciar un ahorro en costos de este tipo. Debido que este es tercerizado a empresas contratistas.

4.2 Discusión de resultados

Durante el proceso de implementación de la emulsión gasificada SANG APU se pudo evidenciar una mejora en fragmentación del 6.8%, entre el 7 al 38 % mejor rendimiento en los tiempos de excavación (Dig Rate), una reducción del 8.3% en el costo de tonelada volada, una mejora de VOD de hasta 5,624 m/s comparado los VOD de los Heavy ANFO que llegaron a un máximo de 5300 m/s. todo esto manteniendo el mismo factor de potencia el cual fue de 0.27 Kg/Ton. Esta información acompañadas a las investigaciones anteceditas de Chugá en el 2017 denominada Análisis comparativo entre el método de voladura convencional y gasificada utilizada en la mina Cuajone – Southern Perú a nivel internacional, a nivel nacional las investigaciones de LLacma en el 2017 denominado Evaluación técnico económica con el uso de emulsión gasificada en voladura mina Cuajone, Poccoy en el 2017 con su investigación denominada Análisis de la factibilidad para el uso de Anfo Pesado a base de emulsión Gasificable en la UNACEM Periodo 2015 ,Iglesias en el 2016 Estudio técnico económico del uso de la mezcla explosiva Quantex 73 en la unidad minera Toquepala-SPCC y a nivel local las investigaciones de Reyes en el 2017 denominada Mejoramiento del proceso de voladura mediante la aplicación de técnicas en distribución de carga utilizando emulsión gasificada San-G en el tajo Chalarina de la mina Shahuindo – Cajabamba y Vilela en el 2014 con su investigación Análisis de factibilidad para el uso de Anfo pesado a base de emulsión gasificable en minera Yanacocha; confirman que las emulsiones gasificadas mejoran los KPIs de una voladura a nivel técnico y económico. Volviéndola un agente de voladura con potencial a dominar el mercado nacional e internacional.

4.3 Contratación de hipótesis

La implementación de la emulsión gasificada SANG APU en taladros de voladura en minera Coimolache, es viable en aspectos técnicos y económicos, dado que permite la optimización de costos en el área de perforación y voladura, llegó a reducir en un 8.3% los costos por tonelada volada, una reducción general de 7,626 US\$ durante todo el periodo de implementación (20 de junio al 23 de julio), mejoró la fragmentación en un 6.8%, aumento el Dig rate entre 7 a 38% así mismo SANG APU demostró tener un VOD mucho más elevado (5,624 m/s) que otros agentes de voladura; como es el caso del Heavy ANFO cuyo VOD es de 5,300 m/s. manteniendo el mismo factor de potencia de 0.27 Kg/T.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 Conclusiones

Durante el periodo de implementación de la emulsión gasificada SANG APU en minera Coimolache S.A, se optimizó los costos en el área de perforación y voladura en 8.3 %, siendo un valor neto de 7,626 US\$ por lo que se convirtió en agente explosivo a usar en minera Coimolache S.A.

El control de la densidad de la emulsión gasificada SANG APU permite controlar la VOD, el cual a su vez es controlado por el nivel de N30, esto permite realizar operaciones de voladura en distintos tipos de macizos rocosos.

A comparación de los agentes explosivos tipo ANFO pesado se ha presenciado que la emulsión gasificada SANG APU permite realizar mejoras en el nivel de fragmentación hasta un 6.8% y un incremento de Dig Rate de hasta el 38%.

El uso de emulsión gasificada SANG APU en la unidad minera Coimolache ha logrado evidenciar una reducción de costos por tonelada volada de 8.3%, manteniendo el mismo factor de carga de 0.27 Kg/T.

Se verifico que, el nivel energético que posee la emulsión gasificada SANG APU, en comparación con otras, es mayor, lo cual genera mejoras en el nivel de fragmentación y por ende impactos en los tiempos de carguío.

El uso de la emulsión gasificada SANG APU en lugar de la ANFO pesado, representa una optimización económica no sólo en el área de perforación y voladura de minera Coimolache S.A, sino también en otras áreas de la unidad minera. Lo cual hace que la hipótesis planteada sea válida.

5.2 Recomendaciones

Técnica y económicamente la mezcla seleccionada para minera Coimolache es SANG APU, sin embargo, por condiciones de coyuntura actual ocasionada por el COVID-19 se perdió las conversaciones comerciales entre la empresa proveedora de explosivos y la unidad minera, por lo cual se recomienda a dichas empresas retomar la comunicación referente a este tema.

Realizar la implementación de equipos más sofisticados para la medición de fragmentación como es el caso de los equipos PORTAMETRICS, los cuales optimizan los tiempos de análisis de fragmentación.

Inculcar a los estudiantes afines a la minería realizar estudios técnicos y económicos de los diferentes agentes explosivos que se encuentran en el mercado nacional.

Se recomienda al alumnado de ingeniería de minas tomar interés por aprender los parámetros a considerar en la selección de agentes explosivos para el uso minero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Bernaola, J; Castilla, J; Herrera, J. 2013. Perforación y Voladura de rocas en Minería. 1 ed. Madrid. ESP. Universidad Politécnica de Madrid. 255 p.

Chuga, A. 2017. Análisis comparativo entre el método de voladura convencional y gasificada utilizada en la mina Cuajone – Southern Perú. Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador.297 p.

EXSA. 2000.Manual de Voladura de Rocas. Lima-Perú. 87 p.

Iglesias, L. 2016. Estudio técnico - económico del uso de la mezcla explosiva Quantex 73 en la unidad minera Toquepala – SPCC. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna-Perú. 234 p.

Instituto geológico y minero de España.1983. Manual de perforación y voladura de rocas. Madrid-España. 180 p.

Knight Piésold Consultores S.A.2008. Compañía Minera Coimolache S.A. Proyecto Tantahuatay Estudio de Impacto Ambiental. Lima – Perú. 121 p.

Llacma, O. 2017. Evaluación técnico económica con el uso de emulsión gasificada en voladura mina Cuajone. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa-Perú. 32 p.

Morán, I. 2012. Inicio de operaciones mina en tajo abierto Coimolache. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima-Perú. 283 p.

Pocoy, C. 2017. Análisis de la factibilidad para el uso de ANFO pesado a base emulsión gasificable en la UNACEM periodo 2015. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Máyo. Huaraz-Perú. 36 p.

Reyes, G. 2017. Mejoramiento del proceso de voladura mediante la aplicación de técnicas en distribución de carga utilizando emulsión gasificada San-G en el tajo Chalarina de la mina Shahuindo – Cajabamba. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo-Perú. 53 p.

Salcedo, E. 2015. Evaluación técnica y económica de la emulsión gasificada en minera Yanacocha SRL. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima-Perú. 27 p.

Vilela, W. 2014. Análisis de factibilidad para el uso de ANFO pesado a base de emulsión gasificable en minera Yanacocha. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima-Perú. 198 p.