

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**VOLADURA CONTROLADA Y REDUCCIÓN PORCENTUAL DE
DILUCIÓN Y COSTOS EN TAJEO CON USO DE EXSABLOCK EN LA
MINERA AURÍFERA RETAMAS S.A. - 2019**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach.: YHONNY ELY VILCA CALLATA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

**VOLADURA CONTROLADA Y REDUCCIÓN PORCENTUAL DE
DILUCIÓN Y COSTOS EN TAJEO CON USO DE EXSABLOCK EN LA
MINERA AURÍFERA RETAMAS S.A. - 2019**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. YHONNY ELY VILCA CALLATA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

APROBADA POR LOS JURADOS:

PRESIDENTE:

.....
M.Sc. Esteban Marín Paucara

PRIMER MIEMBRO:

.....
M.Sc. Lucio Quea Gutierrez

SEGUNDO MIEMBRO:

.....
M.Sc. Lucio Raúl Mamani Barraza

DIRECTOR / ASESOR:

.....
Ing. David Velásquez Medina

ÁREA: Ingeniería de Minas

TEMA: Reducción de costos

FECHA DE SUSTENTACIÓN 27 DE DICIEMBRE DEL 2019

DEDICATORIA

A Dios, por darme bendiciones y guiarme cada día y a lo largo de mi vida. A mis padres con todo el cariño y aprecio, quienes han hecho posible la realidad de mi profesión.

Con cariño a mis hermanas por el apoyo moral y aliento en todo momento de mi vida para la culminación del presente trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios supremo y eterno, por concederme vida y salud para continuar trabajando por el bienestar de mi familia.

A mi Alma Mater la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, por brindar la oportunidad para realizar mis estudios superiores.

A la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas y personal docente por haberme transmitido los conocimientos, experiencias y orientación vocacional para mi formación profesional como Ingeniero de Minas.

Mi agradecimiento en especial a la Contrata Minera Alfa S.A. que actualmente viene trabajando en la Minera Aurífera Retamas S.A. por haberme brindado la oportunidad de realizar el presente estudio de investigación.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
RESUMEN	10
ABSTRACT	11

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.2	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2.1	Pregunta general	13
1.2.2	Preguntas específicas.....	13
1.3	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.3.1	Objetivo general	14
1.3.2	Objetivos específicos.....	14
1.4	FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	14
1.4.1	Hipótesis general	14
1.4.2	Hipótesis específicas	14
1.5	JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	15

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	16
2.2	BASES TEÓRICAS	17

2.2.1	Perforación en roca.....	17
2.2.2	Voladura en roca	19
2.2.3	Voladura controlada	19
2.2.4	Voladura convencional.....	20
2.2.5	Explosivos para la voladura	22
2.2.6	Explosivo Semexsa.....	33
2.2.7	Explosivo Exsablock.	33
2.2.8	Teoría de costos	34
2.2.9	Costos directos de funcionamiento.....	37
2.2.10	Costos indirectos	37
2.2.11	Imprevistos	37
2.2.12	Explotación.....	38
2.2.13	Selección del método de minado.....	38
2.2.14	Caracterización geomecánica del macizo rocoso	41
2.2.15	Clasificación geomecánica de la masa rocosa.....	41
2.2.16	Zonificación geomecánica.....	41
2.2.17	Propiedades y comportamiento del macizo rocoso	41
2.2.18	Otros factores de influencia.....	42
2.2.19	Análisis de estabilidad de las excavaciones asociadas al minado	42
2.2.20	Clasificación del macizo rocoso.....	42
2.3	DEFINICIONES CONCEPTUALES	43

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	46
3.1.1	Tipo de investigación.	46
3.1.2	Diseño de investigación.....	47
3.2	REVISIÓN RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PRELIMINAR	48
3.3	POBLACIÓN	48
3.4	MUESTRA	48
3.5	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	48

3.5.1	Variable independiente.....	48
3.5.2	Variable dependiente.....	48
3.6	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	48
3.6.1	Técnicas.....	48
3.6.2	Instrumentos de recolección de datos.....	49

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	RESULTADOS	50
4.1.1	Datos y resultados de altura de minado.....	50
4.1.2	Cálculo de dilución en tajeos.....	51
4.1.3	Cálculo del factor de carga.....	53
4.1.4	Cálculo del factor de potencia.....	54
4.1.5	Cálculo de costos de voladura.....	55
4.1.6	Resultados de costos en perforación y voladura	56
4.1.7	Resultados de costos en sostenimiento.....	58
4.1.8	Resultados de costos de limpieza	60
4.2	DISCUSIÓN.....	62
	CONCLUSIONES.....	65
	RECOMENDACIONES	66
	REFERENCIAS	67
	ANEXOS.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 : Diferencia entre voladura convencional y controlada	21
Tabla 2 : Ventajas y desventajas de la voladura controlada.	21
Tabla 3 : Densidad de explosivo.....	26
Tabla 4 : Categoría de resistencia al agua.....	28
Tabla 5 : Características de Semexsa.....	33
Tabla 6 : Características de Exsablock	34
Tabla 7 : Altura de minado con Semexsa 65 %	50
Tabla 8 : Altura de minado con Exsablock.....	51
Tabla 9 : Resumen altura de minado con Semexsa 65 % y Exsablock	51
Tabla 10 : Costo unitario de los explosivos y accesorios	55
Tabla 11 : Costo de perforación y voladura con Semexsa 65 %	56
Tabla 12 : Costo de perforación y voladura con Exsablock	57
Tabla 13 : Resumen de costo en perforación y voladura.....	57
Tabla 14 : Costo de sostenimiento con cuadro de madera 1,2 m x 1, 5 m usando Semexsa 65 % en la voladura	59
Tabla 15 : Costo de sostenimiento con cuadro de madera 1,2 m x 1, 5 m usando Exsablock en la voladura	59
Tabla 16 : Resumen de costo en sostenimiento	60
Tabla 17 : Costo de limpieza usando Semexsa 65 % en la voladura.....	61
Tabla 18 : Costo de limpieza usando Exsablock en la voladura.....	61
Tabla 19 : Resumen de costos en la limpieza	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 : Esquema de voladura convencional	20
Figura 2 : Esquema de voladura controlada	20
Figura 3 : Explotación Método de Corte y Relleno Ascendente	39
Figura 4 : secuencia de explotación Corte y Relleno Ascendente.....	40
Figura 5 : secuencia detallado de explotación Corte y Relleno Ascendente	40
Figura 6 : Resumen del % de dilución con Semexsa 65 % y Exsablock.....	52
Figura 7 : Resumen de costo en perforación y voladura	58
Figura 8 : Resumen de costo en sostenimiento.....	60
Figura 9 : Resumen de costos en la limpieza.....	62
Figura 10 : Ubicación de la Minera Aurífera Retamas S.A.....	70
Figura 11 : Plano geológico local.	70
Figura 12 : Sostenimiento anterior del tajeo con Semexas 65 %	71
Figura 13 : Sostenimiento actual del tajeo con Exsablock	71
Figura 14 : Granulometría, calidad del mineral.....	72

RESUMEN

La Minera Aurífera Retamas S.A., se encuentra ubicada en la Cordillera Oriental de los Andes, dentro de la jurisdicción del distrito de Parcoy, provincia de Pataz y región de La Libertad, actualmente está explotando el yacimiento aurífero, mediante el método de explotación de Corte y Relleno Ascendente Convencional. Mediante la evaluación realizada en los tajeos de producción se detectó la mala selección del explosivo Semexsa 65 % para la voladura convencional, debido a su mayor potencia de detonación, ocasiona como resultado problemas de sobre rotura y aumento de altura de minado, mayor porcentaje de dilución, y elevados costos de sostenimiento y limpieza de mineral, cuyo objetivo es, aplicar la voladura controlada usando Exsablock para la reducción porcentual de dilución y costos en tajeo de la Minera Aurífera Retamas S.A. La metodología para desarrollar el estudio ha consistido en su primera etapa en el control y seguimiento de los disparos realizados con la voladura convencional con el explosivo Semexsa 65 % los datos se han registrado en sus respectivas fichas de control y posteriormente se ha realizado la voladura controlada con Exsablock, cuyos resultados se han recopilado en las fichas de control, finalmente se ha realizado el análisis comparativo, llegando como resultado en la voladura controlada con Exsablock, la dilución se ha reducido de 52 % a 47 %, con una diferencia de 5 %, los costos en perforación y voladura se ha reducido de 208,40 \$/m³ a 192,78 \$/m³, con una diferencia de 15,62 \$/m³, los costos de sostenimiento se ha reducido de 671,58 \$/m a 655,40 \$/m con una diferencia de 16,17 \$/m. y los costos de limpieza se ha reducido de 69,38 \$/m³ a 62,60 \$/m³. Con una diferencia de 6,78 \$/m³, en los tajeos de la Minera Aurífera Retamas S.A. - 2019.

Palabras Clave: Sostenimiento, limpieza, reducción, costos, explosivos.

ABSTRACT

The Minera Aurífera Retamas SA, is located in the Cordillera Oriental de los Andes, within the jurisdiction of the Parcoy district, Pataz province and La Libertad region, the goldfield is currently being exploited, through the method of exploitation of Corte y Conventional Ascending Filling. The evaluation of the Semexsa 65 % explosive for conventional blasting, due to its greater detonation power, resulted in problems of breakage and increase in mining height, higher dilution percentage, was detected through the evaluation carried out in the production slashes. , and high maintenance and cleaning costs of ore, whose objective is to apply controlled blasting using Exsablock for the percentage reduction of dilution and clearance costs of Minera Aurífera Retamas S.A. The methodology to develop the study has consisted in its first stage in the control and monitoring of the shots made with the conventional blasting with the Semexsa 65 % explosive. The data has been recorded in their respective control sheets and subsequently the controlled blasting has been carried out. with Exsablock, whose results have been compiled in the control sheets, the comparative analysis has finally been carried out, resulting in the blasting controlled with Exsablock, the dilution has been reduced from 52 % to 47 %, with a difference of 5 % , drilling and blasting costs have been reduced from \$ 208,40 / m³ to \$ 192,78 / m³, with a difference of \$ 15,62 / m³, support costs have been reduced from \$ 671,58 / m \$ 655,40 / m with a difference of \$ 16,17 / m. and cleaning costs have been reduced from \$ 69,38 / m³ to \$ 62,60 / m³. With a difference of \$ 6.78 / m³, in the mines of Minera Aurífera Retamas S.A. - 2019.

KEY WORDS: Maintenance, cleaning, reduction, costs, explosives.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La Minera Aurífera Retamas S.A., se encuentra ubicada en la Cordillera Oriental de los Andes a una altitud de 3950 m.s.n.m. que viene trabajando, sus tajeos de producción, estos tajeos son de mucha importancia para la Minera Aurifera Retamas S.A. porque nos permitirá extraer el mineral con menor porcentaje de dilución, en la operación anterior se aplicó voladura convencional usando explosivo semexsa 65% y la actual voladura controlada usando con explosivo exsablock, en la voladura anterior no se ha llegado a analizar las propiedades físicos y químicos del explosivo semexsa 65% lo cual genera la sobre rotura aumentando la altura de minado, el porcentaje de dilución y costos en tajeos, en la voladura actual se ha analizado las propiedades físicos y químicos del explosivo exsablock de menor potencia que la del anterior, evitando la sobre rotura, reduciendo la altura de minado, el porcentaje de dilución, y cotos en tajeos.

El estudio se ha dividido en cuatro capítulos, en el Capítulo I, se considera la introducción del estudio de investigación. En el Capítulo II, se ha desarrollado la revisión de literatura, analizando las bases teóricas y definiciones conceptuales para realizar el estudio de la investigación, en el Capítulo III se ha descrito los materiales y métodos utilizados en la investigación, en el Capítulo IV, se muestra los resultados y discusiones.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Minera Aurífera Retamas S.A. actualmente viene explotando el yacimiento aurífero, mediante el método de Corte y Relleno Ascendente Convencional, utilizando las labores subterráneas tales como: galerías, niveles y chimeneas.

Durante la explotación actual del yacimiento mineral, se ha realizado la evaluación de las operaciones de minado en los cuales se ha encontrado problemas de sobre rotura, mayor porcentaje de dilución y elevados costos, debido al comportamiento de la roca

encajonante con RMR de 52, por lo cual se ha realizado una evaluación geomecánica in situ, esto debido a una inadecuada elección de explosivos y además la falta de control de los parámetros de perforación y voladura, por lo cual se produce la sobre rotura y el aumento del porcentaje de dilución y costos en los tajeos y para resolver este problema se ha planteado reducir el porcentaje de dilución en tajeo aplicando la voladura controlada utilizando Exsablock en la Minera Aurífera Retamas S.A. - 2019.

El estudio de investigación se ha realizado para identificar los principales factores que influyen en la perforación y voladura para la reducción del porcentaje de dilución y costos en los tajeos, principalmente en los métodos de corte y relleno ascendente y tajeos largos, los cuales se ven alterados debido al comportamiento de la roca encajonante con RMR de 52 (Granito, IIIB) en el macizo rocoso como también en la mineralización, por lo cual se viene realizando una evaluación geomecánica in situ diario, esto debido a una inadecuada elección de explosivos y además la falta de control de los parámetros de perforación y voladura, por lo cual se produce la sobre rotura y el aumento del porcentaje de dilución y costos en los tajeos de la Minera Aurífera Retamas S.A.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Pregunta general

¿Cómo se aplica la voladura controlada con uso de Exsablock y la reducción porcentual de dilución y costos en tajeo de la Minera Aurífera Retamas S.A. - 2019?

1.2.2 Preguntas específicas

¿Cómo es la reducción porcentual de dilución en tajeo con uso de voladura controlada utilizando Exsablock en la Minera Aurífera Retamas S.A. - 2019?

¿Cuáles son los factores que intervienen directamente en la voladura controlada en el tajeo y reducción de costos con uso de Exsablock en la Minera Aurífera Retamas S.A. -2019?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo general

Aplicar la voladura controlada usando Exsablock para la reducción porcentual de dilución y costos en tajeo de la Minera Aurífera Retamas S.A. - 2019.

1.3.2 Objetivos específicos

Reducir el porcentaje de dilución en tajeo aplicando la voladura controlada utilizando Exsablock en la Minera Aurífera Retamas S.A. - 2019.

Identificar los factores que intervienen directamente en la voladura controlada en el tajeo y reducción de costos utilizado Exsablock en la Minera Aurífera Retamas S.A. - 2019.

1.4 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

1.4.1 Hipótesis general

Aplicando la voladura controlada utilizando Exsablock se reducirá el porcentaje de dilución y costos en tajeo en la Minera Aurífera Retamas S.A. 2019.

1.4.2 Hipótesis específicas

Aplicando la voladura controlada y utilizando explosivos Exsablock se reducirá el porcentaje de dilución en tajeos en la Minera Aurífera Retamas S.A. - 2019.

Aplicando la voladura controlada utilizando Exsablock se identificará los factores que intervienen directamente en la reducción de costos en tajeo en la Minera Aurífera Retamas S.A. - 2019.

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La Minera Aurífera Retamas S.A, mediante el estudio de cubicación de reservas de mineral, posee un potencial de 465 286 Tm de mineral probado y 232 643 Tm de mineral probable con minerales de oro filoneano con una ley promedio de 7,65 g Au/Tm.

Con el presente estudio de investigación se ha minimizado la sobre rotura, porcentaje de dilución y costos en los tajeos, mediante la voladura controlada con el explosivo Exsablock en la Minera Aurífera Retamas S.A. - 2019.

A través de una investigación minuciosa podremos conocer a fondo las buenas y malas prácticas en la Minera Aurífera Retamas S.A., a partir de ello mejorar la situación actual. Además, las actividades de perforación y voladura son las principales operaciones que se realizan en una explotación subterránea.

La implementación y aplicación de los estándares de trabajo en las operaciones unitarias de perforación y voladura tal como el cambio de explosivo Semexsa 65% a Exsablock para la voladura tiene como objetivo exponer la factibilidad de la reducción del porcentaje de dilución y costos operativos, aplicando para ello estándares óptimos y mejoras operativas de trabajo en las principales operaciones unitarias de minado que son la perforación y voladura, acotándose como una de las recomendaciones la vital importancia que representa la capacitación continua al personal en las técnicas de perforación y voladura y sobre todo el rol que juegan estas como el núcleo de todo el sistema, asegurando de esta manera el éxito de todo el ciclo de minado.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Mendoza, (2014) en su tesis indica que, la mayor reducción de costo operativo se obtuvo en la operación unitaria de voladura a 59,70 \$/m (30,81% de la reducción total), seguido por la perforación 30,07 \$/m (42,41% de la reducción total), la limpieza-acarreo de 7,63 \$/ton se redujo en 1,17 \$/t (9,51 % de la reducción total), una importante mejora en el ciclo de extracción, se minimizo el sostenimiento y beneficios económicos interesantes no mapeados en este trabajo.

Castro & Rodriguez, (2016) indica en su investigacion que con la aplicación de voladura controlada mediante el sistema de precorte y espaciamento de cargas desacopladas se ha logrado reducir la sobre rotura de 22,76 % a 5,33 %. Y el daño ocasionado al contorno de la excavación del frente se ha reducido debido al uso de voladura controlada de precorte con menor espaciamento y desacople de carga dentro del taladro cada 0,40m entre cartuchos.

Cardenas, (2013) es su tesis, indica que el pedido de explosivo realizado sin observar detalladamente la malla de perforación que se dispara origina un pedido excesivo en explosivo generando elevado consumo y por ende penalizaciones por aumento en el factor de carga y de voladura.

Avila, (2004) en su tesis titulado “Aplicación de voladura controlada en labores lineales de sección de 7 x 8 pies en tipo de roca IIIA y la relación con los costos de operación en la unidad minera san Andrés en Minera Aurífera Retamas S.A Marsa” determino que, por efecto de la voladura controlada, el porcentaje de sobre rotura disminuyo de 15 % a 10 % y como consecuencia influyo en la reducción de los costos de extracción y sostenimiento.

Ruiz, (2017) en su tesis, indica en su conclusión que el empleo de espaciadores de agua en voladura controlada reduce también fracturas por metro generadas en el macizo rocoso circundante a las labores lineales de excavación producto de la voladura.

Huamaní & Soto, (2018) en su tesis de investigación indica en sus conclusiones que con la aplicación de voladura controlada utilizando el explosivo Exsablock y cojín de agua se logró reducir el costo total de sostenimiento en el método de explotación de corte y relleno ascendente de S/. 55,95 /t a S/. 34,70 /t logrando disminuir el costo en un total de 14 %, en el método de explotación de tajos largos se logró reducir el costo de S/. 34,67 /t a S/. 28,89 /t logrando disminuir el costo en 12 %.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Perforación en roca

La perforación de las rocas dentro del campo de las voladuras es la primera operación que se realiza y tiene como finalidad abrir uno huecos, con la distribución y la geometría adecuada dentro de los macizos, donde se aloja a las cargas de explosivo y sus accesorios iniciadores. López, (2003).

Los sistemas de penetración de la roca que han sido desarrollados y clasificados por orden de aplicación son:

- Mecánicos
 - Percusión
 - Rotación
 - Rotopercusión
- Térmicos
 - Soplete o lanza térmica
 - Plasma
 - Fluido caliente
 - Congelación
- Hidráulicos
 - Chorro de agua
 - Erosión
 - Cavitación

- Sónicos - Vibración de alta frecuencia
- Químicos - Microvoladura
- Disolución
- Eléctricos - Arco eléctrico
- Inducción magnética
- Sísmicos - Rayo laser
- Nucleares - Fusión
- Fisión

Perforación rotopercusiva

El principio de perforación de estos equipos se basa en el impacto de una pieza de acero (pistón) que golpean a un útil que a su vez transmite la energía al fondo del barreno por medio de un elemento final (broca). Los equipos rotopercusivos se clasifican en dos grandes grupos, según donde se encuentren colocado el martillo:

- Martillo en cabeza: en estas perforadoras dos de las acciones básicas, rotación y percusión se producen fuera del taladro, transmitiéndose a través de una espiga y del varillaje hasta la broca de perforación. Los martillos pueden ser de accionamiento neumático o hidráulico.
- Martillo de fondo: la percusión se realiza directamente sobre la broca de perforación mientras que la rotación se efectúa en el exterior del barreno. El accionamiento del pistón se lleva a cabo neumáticamente, mientras que la rotación puede ser neumática o hidráulica.

Fundamentos de la perforación rotopercusiva

La perforación rotopercusiva se basa en la combinación de:

- Percusión: los impactos producidos por el golpeo del pistón originan unas ondas de choque que se transmiten a la broca a través del varillaje (en el martillo a la cabeza) o directamente (en el martillo en fondo).

- Rotación: con este movimiento se hace girar la broca para que los impactos se produzcan sobre la roca en distintas posiciones
- Empuje: para mantener en contacto el útil de perforación con la roca se ejerce un empuje sobre la sarta de perforación.
- Barrido: el fluido de barrido permite extraer el detritus del fondo del taladro.

2.2.2 Voladura en roca

La perforación y voladura forman un conjunto. El hueco perforado correctamente no sirve de nada, si en la fase de voladura este se carga con explosivos de potencia y cantidad equivocadas. Lo mismo ocurre cuando la carga del explosivo es adecuada pero el taladro en su profundidad, paralelismo y densidad no es el correcto.

Gelatinas y Agentes Explosivos. Las dinamitas pueden ser regulares (basadas en nitroglicerina) o amoniacaes (basadas en nitrato de amonio).

Los explosivos gelatinosos son dinamitas regulares o amoniacaes que han sido gelificadas mediante la aplicación de nitrocelulosa para que adquiera una textura gomosa y darle mayor resistencia a la acción del agua. Ejemplos la gelatina regular, gelatina amoniacaal, semigelatinas.

Los explosivos comerciales son mezclas conteniendo nitrato de amonio y/o nitroglicerina como el principal ingrediente explosivo. Se clasifican en Dinamitas, (Famesa Explosivos, 2008)

2.2.3 Voladura controlada

Una voladura controlada se desarrolla con el empleo de cargas explosivas lineales de baja energía colocadas en taladros con espaciadores tacos de detritus, que se disparan en forma simultánea. Además, se controla la formación de una grieta o plano de rotura, que limite la superficie final de un corte o excavación el objetivo principal de la voladura controlar es evitar la sobre rotura.(Mendoza, 2016)

2.2.4 Voladura convencional

Una voladura convencional se desarrolla con el empleo de cargas explosivas lineales de baja o mayor energía colocadas en taladros muy cercanas entre sí sin el empleo de espaciadores tacos de detritos,(Mendoza, 2016).

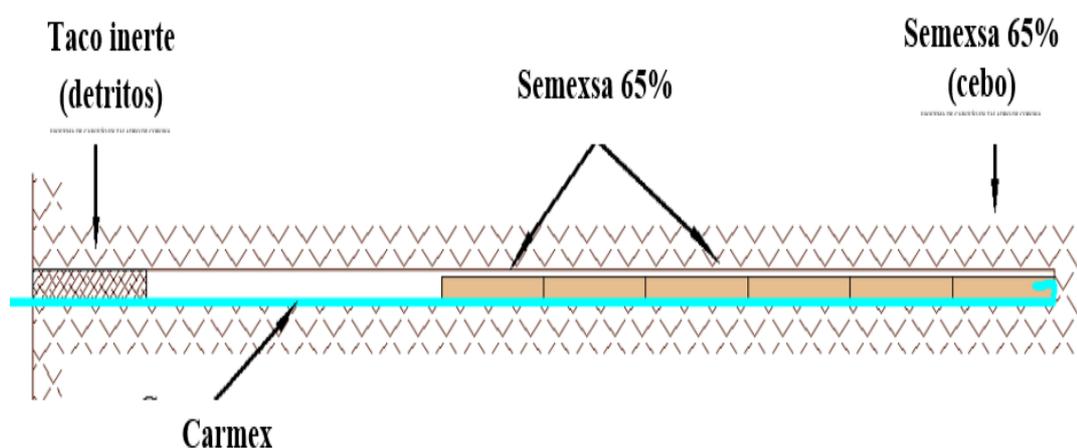


Figura 1 : Esquema de voladura convencional

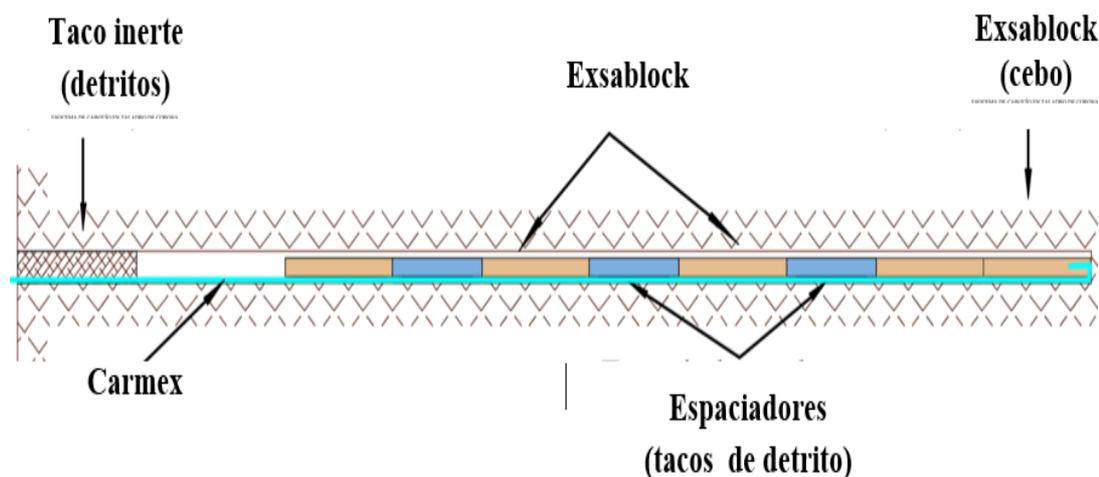


Figura 2 : Esquema de voladura controlada

Tabla 1 : Diferencia entre voladura convencional y controlada

Voladura convencional	Voladura controlada
La relación de espaciamiento a burden: $e = 1.3$ a $1.4 b$	La relación de espaciamiento de burden es menor: $e = 0.5$ a $0.7 b$
Disparo de todos los taladros de la voladura siguen un orden de salida, espaciados en tiempo de acuerdo a un esquema de secuencias.	Disparo simultaneo de todos los taladros de la línea de corte, sin retardos entre sí.
Empleo de explosivo con mayor potencia explosiva o efectividad para la rotura y mayor influencia de la relación energía/coste	Empleo de explosivo de baja velocidad de detonación y baja potencia explosiva.
La carga del explosivo ocupa los $2/3$ de la longitud del taladro.	Carga explosiva linear distribuida a todo lo largo del taladro.
Uso del taco inerte	Uso de taco inerte para mantener al explosivo dentro del taladro, no para confinarlo.

Fuente: (Famesa Explosivos, 2008)

Tabla 2 : Ventajas y desventajas de la voladura controlada.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Reduce la vibración de la voladura principal y la sobre excavación.	En presencia de material detrítico incompetente o deleznable no llegaría a producir buenos resultados.
Es una alternativa para la explotación de estructuras débiles e inestables.	Costo relativamente mayor que la voladura convencional.

Fuente: (Famesa Explosivos, 2008)

2.2.5 Explosivos para la voladura

Un explosivo es una sustancia que, cuando es incitada por un impulso que puede ser el calentamiento, fricción u onda de choque, produce en algunos milisegundos, una rápida reacción exotérmica liberando calor y una gran cantidad de gases, bajo enorme presión, los cuales al calentarse y dilatarse producen trabajo mecánico. Después de la detonación del explosivo contenido en un taladro se produce una onda que viaja a la velocidad promedio de 400 m/s y que impacta en la roca generando fisuras radiales que parten desde la ubicación del taladro.

Si la onda de choque llega a una cara libre se reflejará, creándose una onda de tensión. Una roca es menos resistente a la tensión que a la compresión, y posteriormente se desarrollan otras fisuras, para finalmente los gases ingresan en dichas fisuras a una presión elevada completándose la rotura.

Generalmente los explosivos tienen en su composición los componentes combustibles carbono e hidrógeno, y oxidantes, así como oxidantes como el oxígeno unido a nitrógeno. Todos los explosivos son poco estables y bajo un estímulo externo pueden pasar a un estado más estable.

El impulso inicial producido por el fulminante hace que el explosivo salga de su estado de equilibrio y se inicia la detonación que se propaga rápidamente por la energía liberada sucesivamente. (Famesa Explosivos, 2008)

Explosivos químicos.

Los explosivos químicos son materiales que causan las reacciones químicas muy rápidas para liberar productos gaseosos y energía. Estos gases bajo altas presiones liberan fuerzas sobre las paredes del taladro, lo que provoca que la roca se fracture.

Los elementos que forman los explosivos, generalmente se consideran ya sea elementos combustibles o elementos oxidantes. Los explosivos usan el oxígeno como elemento

oxidante. El nitrógeno es un elemento común en los explosivos y se encuentra en forma líquida o sólida, pero una vez que reacciona forma nitrógeno gaseoso.

Los explosivos pueden contener otros ingredientes que en realidad no aportan nada a la energía de los explosivos en sí. Estos ingredientes se los añade a los explosivos para bajar la sensibilidad o incrementar el área de contacto. Ciertos ingredientes tales como el carbonato de calcio o el óxido de zinc funcionan como antiácidos para incrementar la vida en almacén del explosivo.

Los elementos básicos o ingredientes que producen trabajo directamente en las voladuras, son aquellos que generan gases cuando reaccionan, tales como: el carbón, el hidrógeno, el oxígeno y el nitrógeno.

Cuando el carbón reacciona con el oxígeno, puede formar ya sea, monóxido o bióxido de carbono. Para poder obtener la máxima temperatura de una reacción, deseamos que los elementos se oxiden completamente, en otras palabras, que se forme bióxido de carbono en vez de monóxido de carbono. Para poder liberar el máximo de energía de la reacción explosiva, los elementos deben reaccionar y formar los siguientes productos.

- El carbono reacciona para formar bióxido de carbono.
- El hidrogeno reacciona para formar agua.
- El nitrógeno, solido o líquido, reacciona para formar nitrógeno gaseoso.

Si se mezclan dos ingredientes, tales como el nitrato de amonio y el diésel y se agrega diésel en exceso a la mezcla, se dice que la reacción explosiva tiene balance de oxígeno negativo. Esto significa que no hay suficiente oxígeno para combinarse totalmente con el carbón y el hidrógeno y formar los productos finales deseados. En cambio, lo que ocurre es que queda carbón libre, así que se liberara monóxido de carbono.

Si se le agrega poco combustible a la mezcla de nitrato de amonio y diésel, entonces esta tiene oxígeno en exceso, el cual no puede reaccionar con el carbón y el hidrógeno.

A esto se le llama reacción con balance de oxígeno positivo. Lo que ocurre es que el nitrógeno, que generalmente es un gas inerte, reaccionara formando óxidos de nitrógeno si estos se forman, aparecerán gases de color ocre y se reducirá la energía de la relación. La energía se reduce ya que los productos de la reacción ideal liberan calor al formarse; los óxidos de nitrógeno, en cambio, absorben calor cuando se forman. El agua y el bióxido de carbono tienen un signo negativo que significa que aportan calor cuando se forman. Los óxidos de nitrógeno, en cambio absorben calor cuando se forman.

El resultado final es que la reacción ocurrirá a una temperatura más baja. La presión del gas se reduce si la temperatura de la reacción disminuye. (Konya, 2000).

Tipos de explosivos industriales.

Los explosivos químicos se clasifican en dos grandes grupos según la velocidad de su onda de choque.

Explosivos rápidos y detonantes.

Los explosivos detonantes se dividen en primarios y secundarios según su aplicación; los primarios por su alta energía y sensibilidad se emplean como iniciadores para detonar a los secundarios; estos son los que efectúan en arranque y rotura de las rocas y aunque son menos sensibles que los primarios desarrollan mayor trabajo útil. Estos explosivos tienen velocidades entre 2 000 y 7 000 m/s.

Explosivos lentos y deflagrantes.

Los explosivos deflagrantes comprenden a las pólvoras, compuestos pirotécnicos y compuestos propulsores para artillería y cohetería, casi sin ninguna aplicación en la minería o ingeniería civil; es importante mencionar que el único uso es la pólvora que es utilizada para el núcleo de la mecha de seguridad. Estos explosivos tienen menores a 2 000 m/s. (EXSA, 2001)

Propiedades de los explosivos.

Cada explosivo tiene ciertas características específicas o propiedades, concerniente al proceso de detonación de un explosivo, así como las propiedades más importantes de los mismos y como son medidas. Estas propiedades son.

Velocidad de detonación.

Es conocida como la rapidez a la cual viaja la onda de detonación a través de una columna de explosivos, siendo esta igual o mayor que la velocidad sónica del material y constituye una de las variables más importantes para el cálculo de la presión de detonación de un explosivo. Muchos factores afectan la velocidad de detonación, dentro de los más importantes citaremos al tipo de producto, diámetro, confinamiento, temperatura y cebado.

Un concepto importante de conocer para los explosivos es el grado de confinamiento, el confinamiento de un explosivo aumenta su velocidad de detonación y reduce el diámetro crítico; según el tipo de explosivo, el grado de confinamiento puede afectar la velocidad del explosivo tanto como el aumento del diámetro de la columna.

Densidad.

La densidad de un explosivo es una de las propiedades más importantes a considerar en el momento de diseñar una voladura; el conocimiento de la misma es necesario para el cálculo de taladros de cualquier tamaño con el óptimo factor de carga y distribución de la misma. Consiste en la comparación de la densidad del explosivo con la densidad del agua y se expresa en unidades de gr/cc la densidad de la mayoría de los explosivos comerciales se encuentra en un intervalo de 0,8 gr/cc hasta 1,6 gr/cc.

En general los explosivos en sacos y aquellos a granel, productos de nitrato de amonio y combustibles, son de baja densidad y se encuentran en el rango desde 0,8 gr/cc. a 1,15 gr/cc, los explosivos encartuchados tales como los acuageles o dinamitas, son de

alta densidad y se encuentra en el rango de 0.90 gr/cc 1.35 gr/cc. Es importante destacar que, en el momento de cargar los huecos de la voladura, la densidad de los explosivos sufre un aumento al comprimirse, debido al confinamiento o en función del método de carga utilizado, esta nueva densidad es denominada densidad de carga y varía de acuerdo al tipo de explosivo desde un 10% hasta un 25% de la densidad original.

El aumento excesivo de la densidad de un explosivo puede ocasionar que este no detone esta medida de densidad se denomina normalmente como densidad crítica, y es muy común en los explosivos pulverulentos utilizados en huecos muy profundos o con la presión hidrostática es por ello que a grandes profundidades con fines geofísicos o de exploración, se empleen explosivos en envases especiales.

Tabla 3 : Densidad de explosivo

Tipo de explosivo	Densidad	Observaciones
Gelatina 75 %	1,38	Para roca muy dura
Semexsa 65 %	1,12	Para roca dura
Semexsa 45 %	1,08	Para roca semi dura
Exadit 65 %	1,04	Para roca suave
Exadit 45 %	1,00	Para roca muy suave

Fuente: Pinas (2007)

Presión de detonación.

Consiste como la presión generada en la zona de choque, al frente de la zona de reacción en el proceso de detonación. Cuando un explosivo detona, esta presión es liberada instantáneamente en una onda de choque de muy corta duración proporcionándole al explosivo una propiedad denominada “brisance”, lo cual no es más que el efecto de corte o fractura que produce el explosivo, instantáneamente sobre algún elemento. Este brisance también es denominado poder de fracturamiento. La presión de detonación es una función de la densidad, la velocidad de detonación de partícula de un explosivo.

Potencia y energía.

La potencia es, desde el punto de vista de aplicación industrial, una de las propiedades físicas más importante, ya que define la energía disponible para producir efectos mecánicos.

Existen diferentes formas de expresar la potencia de un explosivo. En las antiguas dinamitas era el porcentaje de nitroglicerina el parámetro de medida de la potencia. Posteriormente, con la sustitución parcial de la nitroglicerina por otras sustancias, y la realización de ensayos comparativos de laboratorio, se pasó a hablar de potencia relativa por peso y potencia relativa por volumen. Así es frecuente referir la potencia de un explosivo en tanto por ciento de otro que se toma como patrón, goma pura, Anfo, etc., el cual se le asigna el valor de 100.

Existen varios métodos prácticos para medir la potencia o la energía disponible de un explosivo, todos ellos muy discutibles debido a la peculiaridad que presentan y a su repercusión en los resultados cuando se comparan con los rendimientos obtenidos en las voladuras. (Proaño, 2010).

Resistencia al agua.

Es la habilidad para resistir una prolongada exposición al agua sin perder sus características explosivas, esta resistencia se expresa en función del tiempo (horas) que el explosivo puede estar sumergido en agua y después aun pueda ser detonado manteniendo su potencia, velocidad, y simpatía. Varía de acuerdo a la composición del explosivo y generalmente en el caso de las dinamitas y gelatinas, está vinculada a la mayor proporción de nitroglicerina o aditivos que contengan, estos último son más resistentes. Por otra parte, entre el grupo de los agentes de voladura podemos indicar a los slurries y las emulsiones.

Para todos los explosivos la presencia de agua dentro de los taladros tiende a producir un desbalance químico, pierden su sensibilidad, así como retardan la acción de la

elevación de la temperatura. El agua provee H₂ y O₂ adicional, por lo tanto, requerirá una temperatura adicional para vaporizarla. Si se utiliza explosivos en taladros que presentan simplemente una humedad, se puede emplear prácticamente todos los explosivos siempre que el tiempo de permanencia del explosivo cargado dentro del taladro sea breve o bien, sea cargado con una cobertura que proteja a los mismos de la humedad. (Camac, 2005).

Tabla 4 : Categoría de resistencia al agua.

Tipo de explosivo	Densidad	Resistencia al agua
Gelatina 75 %	1,38	Buena
Semexsa 65 %	1,12	Moderada
Semexsa 45 %	1,08	Baja
Exadit 65 %	1,04	Pobre
Exadit 45 %	1,00	Muy pobre

Fuente: Pinas (2007)

Sensibilidad.

Es la característica que tiene un explosivo para propagar la reacción a todo lo largo de la carga, esta puede ser medida al determinar el diámetro crítico de un explosivo. Todos los compuestos explosivos tienen un diámetro crítico, este puede variar en dependencia del compuesto de 1 a 100 mm.

Por otro lado, la sensibilidad también puede ser definida como una medida de la habilidad del explosivo para propagar la reacción de explosivo a explosivo, asumiendo que el diámetro es superior al crítico. Se puede expresar como la distancia máxima de separación en centímetros entre un explosivo cebado (iniciador) y uno sin cebar (receptor), donde la transferencia de la detonación ocurrirá.

Emanación de gases.

Los gases resultantes de la detonación de los explosivos comerciales y agentes de voladuras, en su mayoría no son tóxicos, tales como el bióxido de carbono, nitrógeno y

vapor de agua; sin embargo, con ellos también se generan, aunque en menor proporción, gases altamente tóxicos como el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno. La presencia de gases tóxicos en la reacción explosiva es la más importante restricción para su empleo en minería subterránea, ya que implica un gran riesgo de envenenamiento para el personal que labora en ellas.

Inflamabilidad.

La inflamabilidad se refiere a la facilidad con la que un explosivo se puede encender por calor, chispa, flama o fuego; siendo importante para su almacenamiento, transportación y uso.

Los productos a base de agua tienen un potencial de detonación significativamente menor que la dinamita cuando se los somete a una llama, pero se debe remarcar que este es solamente un margen mayor de seguridad y no implica que se puedan autorizar prácticas inseguras. Todos los compuestos explosivos deben ser tratados como

Altamente flamables.

Los explosivos comerciales pueden ser afectados en su desempeño si se almacenan bajo temperaturas extremas arriba de 32,2 grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), muchos compuestos se descomponen lentamente o cambian sus propiedades y la vida de anaquel disminuye. (Konya, 2000).

Estabilidad química.

Se refiere a la propiedad de un explosivo de permanecer inalterado químicamente durante el tiempo en almacenamiento. En general, los explosivos industriales son muy estables, pudiéndose mantener almacenados, bajo condiciones favorables de empaque y temperatura, durante largos periodos de tiempos sin sufrir alteración. La medida establecida para los explosivos comerciales, determina su tiempo máximo de almacenamiento, sirviendo como guía para el usuario al establecer el plan de rotación de inventarios.

Balance de oxígeno.

El oxígeno que interviene en la reacción química de un explosivo es tomado de su propia composición química, debido a que por la rapidez y violencia de la misma no da tiempo a tomarlo del ambiente. La suficiencia de las moléculas de oxígeno en la mezcla, determina la toxicidad de los gases generados por la reacción. De allí, que los fabricantes de explosivos hayan desarrollado fórmulas químicas con sustancias portadoras de oxígeno tales como el nitrato de amonio, con el fin de garantizar la oxidación completa de las moléculas de carbono, hidrógeno y nitrógeno. (Cámac, 2005).

Criterios de selección del explosivo.

La elección adecuada del tipo de explosivo forma parte importante del diseño de voladura y por consiguiente del producto final a obtener. Los criterios más utilizados para una buena elección del explosivo son: precio del explosivo, diámetro de carga, características geomecánicas de la masa rocosa, volumen de roca a volar, presencia de agua en los barrenos, condiciones de seguridad, atmósferas explosivas y problemas de suministro. (Proaño, 2001).

Precio del explosivo.

El precio del explosivo es lo más importante al momento de seleccionar el producto para la compra. Lo recomendable es seleccionar el explosivo más barato pero que le sirva para realizar exitosamente el trabajo planificado y que represente el menor costo de voladura. El explosivo más barato del mercado siempre ha sido el nitrato de amonio y por esa razón es el más utilizado.

Volumen de roca a volar.

Los volúmenes de excavación a realizar y ritmos de trabajo marcan los consumos de explosivo a efectuar dentro de las operaciones de arranque. En las obras de mayor envergadura las cantidades de explosivo pueden llegar aconsejar su utilización a granel

ya que posibilitan la carga mecanizada desde las propias unidades de transporte, se reducen los costos de mano obra dedicada a dicha operación y se aprovecha mejor el volumen de roca perforado.

Condiciones atmosféricas.

Las bajas temperaturas influyen en los explosivos que contienen nitroglicerina, ya que tienden a congelarse a temperaturas inferiores a 8° C, Las altas temperaturas también generan inconvenientes que hacen el manejo del explosivo peligroso como es el caso de la exudación. El Anfo no es afectado por las bajas temperaturas si el cebado es eficiente, pero en ambientes calurosos se necesita controlar la evaporación del combustible líquido.

Presencia de agua.

Cuando el Anfo está en un ambiente con una humedad superior al 10% produce alteración que impide su detonación.

Si la presencia de agua es pequeña, el Anfo triturado se encartuchará dentro de fundas de plástico, alcanzándose densidades próximas a 1,1 g/cm³; el cebado deberá ser axial.

Humos.

Muchos explosivos están preparados para que tengan un equilibrio de oxígeno que maximice la energía desarrollada y minimice los gases tóxicos de detonación, es inevitable la formación de humos nocivos con un cierto contenido en gases nitrosos y CO, Los humos intervienen como criterio de elección solo en los trabajos subterráneos y es preciso señalar que más que un problema propio del explosivo suele ser un problema de insuficiencia de ventilación de las labores. (Cámac, 2005).

La presencia de fundas de plástico, diámetros de carga inadecuados o iniciaciones ineficientes pueden dar lugar a un elevado volumen de humos.

Los hidrogeles sensibles al detonador dan generalmente gases con buenas características, mientras que con los hidrogeles a granel hay que tomar ciertas precauciones, lo mismo que con el Anfo que produce una elevada concentración de gases nitrosos, Los explosivos gelatinosos son generalmente buenos, pero no así las dinamitas con alto contenido en nitrato de amonio.

Problemas de contorno.

Las principales perturbaciones que inciden sobre el área próxima a las voladuras son la vibraciones y onda aérea próxima a las voladuras son las vibraciones y onda aérea, desde el punto de vista del explosivo, aquellos que presentan una elevada energía de tensión son los que dan lugar a un mayor nivel de vibraciones. Así, si es factible, será mejor utilizar Anfo que hidrogeles. El seccionado y secuenciado de cargas se puede realizar también con explosivos a granel y encartuchados aplicando diferentes técnicas de iniciación.

Condiciones de seguridad.

Un punto de equilibrio, a veces no es fácil de lograr en un explosivo, es el binomio sensibilidad-seguridad. Los explosivos gelatinosos tienen una alta sensibilidad, pero si en la pila de escombros queda por algún motivo restos de explosivo y es necesario el empleo de maquinaria pesada, puede producirse la detonación con riesgo para el personal de operación. Este problema se ha resuelto con el empleo de los hidrogeles y emulsiones y estímulos subsónicos, pero poseen un grado de sensibilidad adecuada para la iniciación.

Problemas de suministro.

Hay que tener en cuenta las posibilidades reales de suministro en función de la localización de los trabajos y puntos de abastecimiento de los explosivos y accesorios, Asimismo, si se dispone de polvorines propios será necesario considerar los tiempos de almacenamiento y las variaciones de las características explosivas de algunos productos.

2.2.6 Explosivo Semexsa

Dinamita semigelatinosa muy versátil, de alto poder rompedor y muy buena resistencia al agua, para uso en rocas intermedias a duras. Se suministra en varios tipos cuyas propiedades se muestran en el cuadro comparativo adjunto, por su gran rendimiento, adaptabilidad y seguro manipuleo se usa ampliamente en minería subterránea, túneles y muchas otras aplicaciones.

Tiene excelente comportamiento en labores confinadas como rampas, chimeneas, piques y otros desarrollos también se utilizan como cebo para la iniciación de los agentes de voladura Examón y Anfo. Semexsa, son sensibles al detonador N°. 8 se suministra en explosivos de papel parafinado, en cajas de cartón de 25 kg neto. (Famesa Explosivos, 2008)

Tabla 5 : Características de Semexsa

Especificaciones	Semexsa 80%	Semexsa 65%	Semexsa 60%	Semexsa 45%
Densidad en g/cm ³	1.18	1.12	1.1	1.08
Velocidad de detonación en m/s	4 500	4200	4000	3800
Potencia por peso, en %	76	74	72	68
Resistencia al agua	Sobresaliente	Muy buena	Muy buena	Buena
Vida útil	18 meses	18 meses	18 meses	18

Fuente: (Famesa Explosivos, 2008)

2.2.7 Explosivo Exsablock.

Debido a su densidad y velocidad de detonación relativamente baja, junto a una reacción química endotérmica, este producto ofrece una potencia rompedora suficiente para generar las fracturas y el plano de rotura continua en la roca, sin dañar el área superficial de las labores subterráneas.

Tabla 6 : Características de Exsablock

Especificaciones Técnicas	Unidad	Exsablock
Densidad	g/cm ³	0.91 +/- 5%
Velocidad de detonación	m/s	2800 +/- 200
Presión de detonación	kbar	23
Energía	Kj/Kg	1720
RWS	%	47
RBS	%	54
Volumen de gases	l/Kg	771
Resistencia de agua	Horas	nula
Categoría de humo	Categoría	1 era

Fuente: (Famesa Explosivos, 2008)

Asegura la estabilidad de la roca próxima minimizando la ampliación de la red de fractura preexistente reduciendo los riesgos de desprendimiento del techo y asegurando la integridad de las personas, instalación y equipo. (Famesa Explosivos, 2008)

2.2.8 Teoría de costos

Estimación de los costos de operación

El costo de operación depende del sistema de explotación, tamaño de yacimiento, su forma, grado de irregularidad, resistencia del mineral, resistencia de las cajas, carga de los terrenos, método de acceso y de preparación, tamaño de la producción y también el nivel de salarios. El sistema de explotación influye mucho sobre los trabajos de tajeo y de preparación y parcialmente sobre el transporte del mineral. Se debe buscar un compromiso entre los siguientes valores: precio de costo, factor de recuperación, factor de dilución. (Lupaca, 2009)

Los índices de consumo de mano de obra, materiales y energía dependen de las propiedades de las rocas, de la mecanización de los trabajos y de la escala de producción. El consumo de explosivo en tajeo y preparación aumenta en roca dura. La carga de los terrenos es un factor de inseguridad de mantenimiento elevado y rendimiento mediocre. El valor del costo depende también de la amortización de las inversiones, cuya norma se fija en relación con el tamaño y vida de la mina y de los gastos generales, cuyo valor

absoluto se determina sobre todo por el tamaño de la producción, su estructura y las condiciones naturales.

Esas dificultades se centran en la búsqueda de correlaciones aceptables entre costos y métodos de explotación. Debido a la gran variedad de componentes de los costos totales de operación y las características tan particulares de cada una de las operaciones mineras, los estimadores de costos se encuentran con grandes problemas parara la determinación de los mismos. No obstante, se pueden utilizar los siguientes métodos: (Cruz, 2015)

- Método del proyecto similar
- Método de la relación costo – capacidad
- Método de los componentes del costo
- Método del costo detallado

Método del proyecto similar

Consiste en suponer que el proyecto, procesos o objeto de estudio es semejante a otro ya existente del cual se conocen los costos. Aunque se disponga de una información detallada existen circunstancias y condiciones como son la geología local, el equipo en operación y la estrategia de la empresa hacen que se aparten mucho del proyecto en estudio. Por ello se utiliza otro sistema que consiste en aprovechar parte de los datos disponibles, como son los costos del personal y estimar los costos totales a partir de las relaciones conocidas entre los diversos componentes.

Método de la relación costo – capacidad

Este método se basa en el empleo de gráficos o formulas en los que se han correlacionado los costos con las capacidades de producción de diferentes explotaciones. Esencialmente es el mismo método que se utiliza en la estimación de los costos de capital. La base estadística de la que se parte si no es homogénea amplia y puede dar lugar a la introducción de errores con este procedimiento de estimación. Los datos que han servido para la elaboración de tales relaciones deben estar referidos a un método de explotación específico, con condiciones geográficas y geológicas semejantes.

La extrapolación de los costos a partir de los correspondientes a una capacidad de producción conocida se efectúa con fórmulas iguales a las del costo capital. Sin embargo la variación de los costos de operación es más compleja que la de los costos de capital y requiere una descomposición de los mismos.

Método de los componentes del costo

Cuando el proyecto ha progresado hasta el punto en que se conoce la plantilla de personal, las obras de infraestructura, los consumos de materiales, los equipos necesarios, es posible desarrollar un sistema de estimación de costos basado en los gastos unitarios o elementales tales como: dólares/metro, dólares/tonelada

Método del costo detallado

Finalmente, los costos de operación deben deducirse a partir de los costos principales. Para ello es necesario conocer índices tales como consumo de combustible por hora de operación, vida de los útiles de perforación, consumos específicos de explosivo, accesorios de voladura y otros.

En primer lugar, se fijan los criterios básicos de organización relativos a días de trabajo año, relevos al día y horas de trabajo por relevo. Seguidamente para los niveles de producción previstos se establecen los coeficientes de disponibilidad y eficiencia con los cuales se determinan la capacidad de los equipos necesarios y el número de estos. Por último, para cada grupo de máquinas se elabora una tabla detallada indicando las distintas partidas que engloba el costo horario de funcionamiento: personal, materiales, consumos, desgastes, mantenimiento y servicios. Conociendo el número de horas necesarias para una determinada producción el costo horario de la máquina que intervienen en dicho proceso se obtiene de manera inmediata el costo de operación, este procedimiento constituye el único método seguro para estimar los costos de operación de un proyecto.

2.2.9 Costos directos de funcionamiento

- Consumos
- Energía eléctrica
- Reparaciones
- Neumáticos
- Elementos de desgaste
- Operador

2.2.10 Costos indirectos

- Amortización
- Intereses del capital
- Seguros
- Impuestos

2.2.11 Imprevistos

El porcentaje de imprevistos se aplica sobre los costos de operación (directos, indirectos y generales) para tener en cuenta alguna eventualidad durante el periodo de trabajo. Estos problemas son debidos a condiciones climatológicas adversas, colapsos de terrenos, inundaciones. Las cifras que se utilizan varían entre el 10 a 25%, dependiendo del nivel de detalle de estimación de los costos.

Para el análisis de costos se utilizará los siguientes costos:

- Costos unitarios
- Costos directos
- Costos indirectos
- Costos totales.

2.2.12 Explotación

Trabajo realizado para extraer el mineral de las labores mineras. Las explotaciones mineras pueden clasificarse genéricamente en dos grandes grupos: subterráneas y a cielo abierto. Existen casos intermedios en los que se combinan o coexisten técnicas propias de cada uno de los grupos y se dice que son explotaciones mixtas

2.2.13 Selección del método de minado

En el pasado la selección de método de minado minero para explotar un yacimiento nuevo se basaba en la revisión de las técnicas aplicadas a otras minas y en las experiencias conseguidas sobre yacimiento similares, dentro de un entorno próximo. Actualmente como las inversiones de capital que se precisan para abrir una nueva mina o para cambiar el método de explotación existen, son muy elevadas y la influencia que estos tienen sobre los costos de extracción son muy importantes es necesario que dicho proceso de selección responda a un análisis sistemático y global de todos los parámetros específicos del yacimiento: geometría del depósito y distribución de leyes, propiedades geomecánicas del mineral y roca encajonantes factor económico, limitaciones ambientales, condición social etc. El diseño de una mina tiene múltiples facetas y objetivos entre los que cabe destacar, la selección del método de explotación el dimensionamiento geométrico de la mina, la determinación de ritmo de producción. La secuencia de extracción y el equipo a utilizar.

Método de Corte y Relleno Ascendente

La Minería Aurífera Retamas Marsa utiliza el método corte y relleno ascendente con la variante de diseñar pequeños pilares naturales en los extremos de los blocks y que luego son recuperados cuando el relleno utilizado está confinado además sirven de puntos para la instalación de tabiques para rellenar según progresa la explotación. MARSA. (2011).

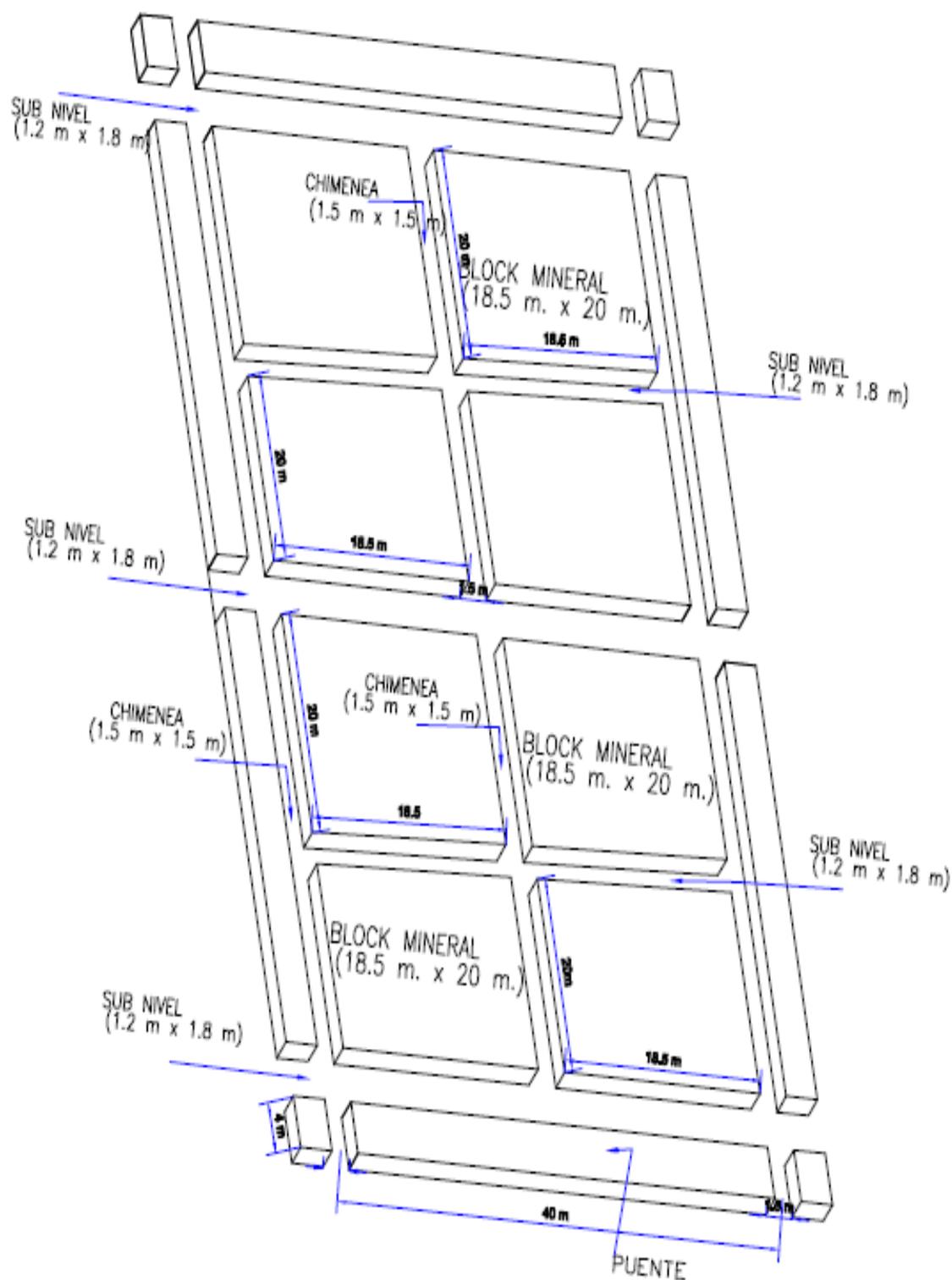


Figura 3 : Explotación Método de Corte y Relleno Ascendente

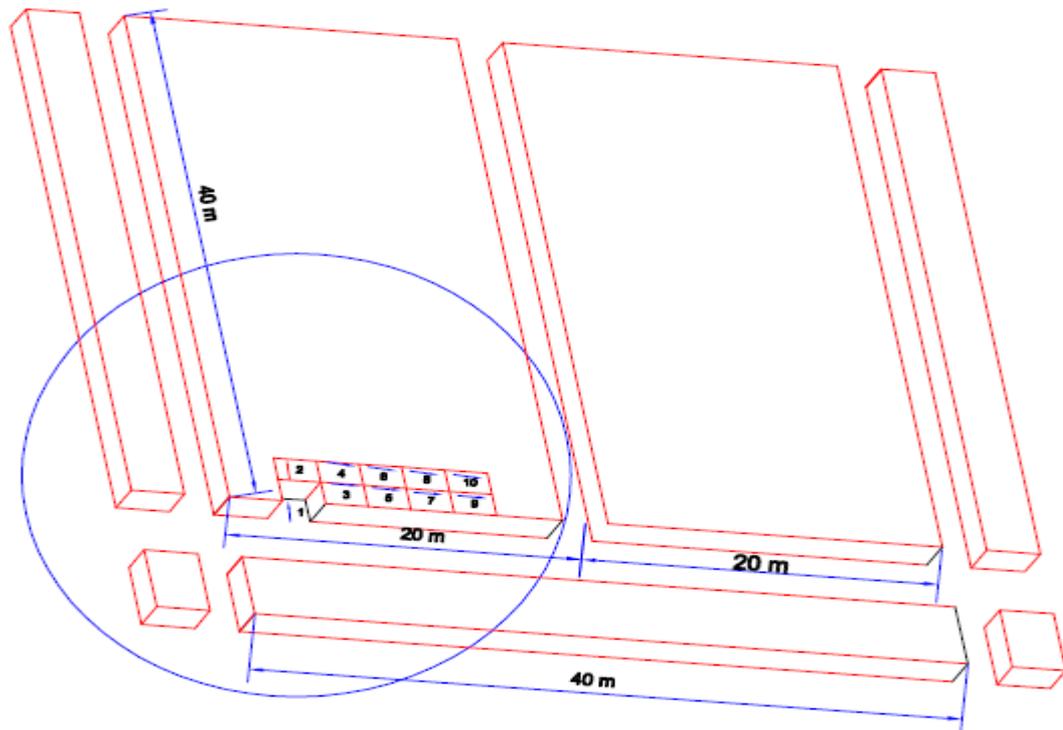


Figura 4 : secuencia de explotación Corte y Relleno Ascendente

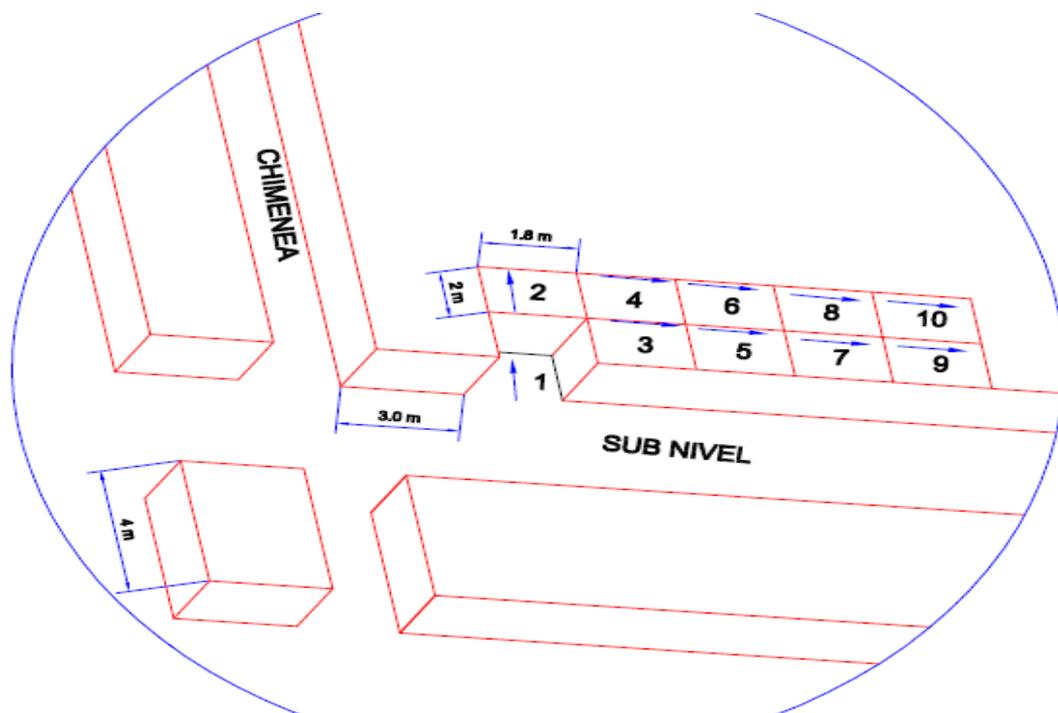


Figura 5 : secuencia detallado de explotación Corte y Relleno Ascendente

2.2.14 Caracterización geomecánica del macizo rocoso

Se caracterizó el macizo rocoso (roca Granito, IIIB) desde el punto de vista litológico y estructural. En la información estructural, se han considerado a las estructuras mayores, fallas y contactos; a las estructuras menores, diaclasas. Las características geomecánicas de estas discontinuidades han sido establecidas mediante mapeos geomecánicos de las labores subterráneas.

El análisis de la distribución de discontinuidades, se realizó procesando los datos de orientación de las discontinuidades con técnicas estereográficas y las características estructurales de los sistemas de discontinuidades se establecieron mediante tratamiento estadístico convencional de la data del mapeo geomecánico. (MARSA, Geomecanica marsa, 2014)

2.2.15 Clasificación geomecánica de la masa rocosa

Se ha clasificado el macizo rocoso del área de estudio mediante la utilización del Sistema RMR (Rock Mass Rating – Valoración de la masa rocosa) de Bieniawski (1989), también se ha utilizado el índice de caracterización GSI (Geological Strength Index – Índice de Resistencia Geológico) de Hoek et al. (1994 – 2002).

2.2.16 Zonificación geomecánica

La zonificación de acuerdo a la agrupación espacial de la clasificación geomecánica producto del mapeo geomecánico en las diferentes excavaciones subterráneas. Mediante esta actividad se determinó los dominios estructurales (zonas de similar características geomecánicas), los cuales son delimitados tomando en cuenta los aspectos litológicos, estructurales y de calidad de la masa rocosa. Esta información, es muy importante para los análisis de diseño. (MARSA, Geomecanica marsa, 2014)

2.2.17 Propiedades y comportamiento del macizo rocoso

La evaluación de las propiedades mecánicas de la roca intacta y el macizo rocoso, se realiza los procedimientos alternativos, según las normas de la ISRM. Las alternativas

para determinar las propiedades mecánicas de la roca son: la ejecución de ensayos con el martillo de geólogo (picota) y la ejecución de ensayos de laboratorio (propiedades físicas, carga puntual y compresión triaxial). Finalmente, la utilización del criterio generalizado de Hoek & Brown (2002-2006) para estimar los parámetros de resistencia de la roca intacta y de la masa rocosa. Estas propiedades son determinadas para cada tipo de roca determinados dentro del dominio estructural correspondiente. (MARSA, Geomecanica marsa, 2014)

2.2.18 Otros factores de influencia

Se evalúa otros factores como el agua subterránea y los esfuerzos, que podrían influir en las condiciones de estabilidad de las excavaciones asociadas al minado.

2.2.19 Análisis de estabilidad de las excavaciones asociadas al minado

Según el análisis las condiciones de estabilidad de las excavaciones: abiertos máximos, tiempos de auto-soporte, y la influencia de las discontinuidades estructurales y de los esfuerzos en las condiciones de estabilidad de las excavaciones asociadas al minado.

2.2.20 Clasificación del macizo rocoso.

RMR.

Este índice de calidad juega un papel importante para seleccionar el sostenimiento en la excavación subterránea a partir de los testigos mayores de 10 cm a través de las recuperaciones llevadas a cabo mediante sondeos, o a partir del índice volumétrico de diaclasas J_v (número de discontinuidades) por metro cúbico determinado en un afloramiento ($RQD = 115 - 3,30 J_v$). (Bieniawski, Índice de RMR, 1998)

La clasificación geo mecánica para determinar la calidad del macizo a través del denominado RMR. Una vez conocido dicho valor es reajustado por la orientación de las juntas con la labor, se decide el método de excavación y se dimensiona el soporte.

2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES

Perforación

Para realizar la voladura es necesario efectuar el confinamiento del explosivo, para esto es necesario perforar la roca a esta operación de agujerea en la roca se le denomina perforación y a los agujeros se le conoce con el nombre de taladros, usualmente cuanto más suave es la roca más, es la velocidad de penetración, por otro lado cuanto más resistente sea a la compresión, mayor fuerza y torque serán necesarios para perforarla.

Malla de perforación

Es la forma en la que se distribuyen los taladros de una voladura, considerando básicamente a la relación de burden y espaciamiento y su dirección con la profundidad de taladros.

Frente

Es el lugar en donde se emplaza personal y máquina de perforar para realizar el avance de una galería o crucero, mediante perforación y voladura

Dilución

Por ser el yacimiento filoneano y lenticular, con potencias de 0,70 a 0,85 m se mezcla el estéril con el mineral al ensanchar la labor hasta el ancho mínimo de trabajo de 1 m. con el método de corte y relleno ascendente se puede realizar un mejor control de la caja techo ya que se tiene definido en todo el corte el comportamiento de la veta tanto en potencia y en valores de ley el tipo de roca predominante al ser el método en retirada se puede realizar una mejor selectividad del desmonte al tener mayor cara libre esta va quedando detrás de la barrera, en forma de rumas o pircas.

Residuos de roca de bajo grado, inevitablemente retirados con el material en el proceso de minería, que contribuyen a bajar la ley del mineral explotado. Hace referencia al

porcentaje de material estéril o de baja ley que se mezcla con el mineral producido por el método de explotación utilizada, y las operaciones complementarias. Castro, (2011)

Parámetros

Se denomina así a las diversas ratios obtenidos en la práctica, a través de la observación en el lugar de trabajo.

Burden

Distancia desde el barrenado al frente libre de la roca, medida perpendicular al eje del taladro.

También denominado piedra, bordo o línea de menor resistencia a la cara libre. Es la distancia desde el pie o eje del taladro a la cara libre perpendicular más cercana. También la distancia entre filas de taladros en una voladura.

Espaciamiento

Es la distancia entre taladros cargados con explosivos de una misma fila o de una misma área de influencia en una malla de perforación de un frente.

Arranque

Son taladros perforados y cargados; primero en ser chispeados para generar una cara libre.

Explosivos

Son productos químicos que encierran un enorme potencial de energía, que bajo la acción de un fulminante u otro estímulo externo reaccionan instantáneamente con gran violencia.

Factor de carga

Es la cantidad de explosivo usada por m³ de roca volada.

Macizo rocoso

Es el conjunto de los bloques de la matriz rocosa y de las discontinuidades.

Voladura

Es un fenómeno físico químico de la mezcla exclusiva que al explosionar rompe un trozo de roca o minera

Costos operativos o de producción mina

Los costos de operación se definen como aquellos generados en forma continua durante el funcionamiento de una operación minera y están directamente ligados a la producción, pudiéndose categorizarse en costos directos e indirectos.

Costos directos

Conocidos como costos variables, son los costos primarios en una operación minera en los procesos productivos de perforación, voladura, carguío y acarreo y actividades auxiliares mina, definiéndose esto en los costos de personal de producción, materiales e insumos, equipos.

Costos indirectos

Conocidos como costos fijos, son gastos que se consideran independiente de la producción. Este tipo de costos puede variar en función del nivel de producción proyectado, pero no directamente con la producción obtenida.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología usada para el desarrollo del estudio, ha consistido en 3 etapas:

Primera etapa, se ha recolectado la información consistente en la cantidad de explosivos utilizados (Semexsa 65 %), número de cartuchos por cada taladro, el diseño de carguío de cartuchos de explosivo, la distribución de taladros, reporte diario, control de costos e ingresos.

En la segunda etapa, ha consistido en el diseño de la voladura controlada en los tajeos TJ 1-A, TJ 2-A, TJ 3-A, utilizando explosivo Exsablock, el diseño de carguío con tacos de detrito.

La tercera etapa, ha consistido en controlar los resultados de los parámetros de la voladura del sistema de convencional con explosivo Semexsa 65 % y la voladura controlada con explosivo Exsablock, y finalmente, se ha determinado el porcentaje de dilución y la sobre rotura, y costos de ambos sistemas de voladura utilizada, en los tajeos TJ 1-A, TJ 2-A, TJ 3-A, de la Minera Aurífera Retamas S.A.

3.1.1 Tipo de investigación.

El tipo de investigación es descriptivo, en la que se realizó en forma sistemático las características de una población, situación o área de interés. Aquí se recopiló los datos mediante un reporte diario de los supervisores de turno, sobre la base de una hipótesis o teoría, se dio a conocer el resumen de la información de manera cuidadosa de los datos analizados minuciosamente los resultados a fin de extraer las cantidades de explosivos usados y el volumen roto.

Según la finalidad es de investigación descriptiva por tener como finalidad primordial dar solución inmediata a los problemas del estudio de investigación.

Según el tratamiento de datos es cuantitativo, porque en el estudio se cuantificará los explosivos utilizados, costos de sostenimiento y limpieza, porcentaje de dilución, en los tajeos TJ 1-A, TJ 2-A, TJ 3-A, de la Minera Aurífera Retamas S.A.

3.1.2 Diseño de investigación.

La presente investigación utilizada fue un diseño experimental, es una investigación correlacional porque es el más adecuado para determinación el tipo y la cantidad de explosivos a usar en tajeos convencionales, realizado los análisis estadísticos de acuerdo a los reportes y datos tomados en campo y finalmente se realizó la comparación de los resultados.

Para el estudio de la reducción del porcentaje de dilución y costos en Minera Aurífera Retamas S.A. se tomaron como muestra los tajeos. Se realizó el control en todos los tajeos de la zona Chilcas bajo de los niveles 3125, 3075, y 2950.

Para lograr los objetivos planteados en el trabajo de investigación se ha realizó el análisis de la reducción del porcentaje de dilución y costos comparativos en el proceso de la voladura convencional con explosivos Semexsa 65 % y la actual voladura controlada utilizando Exsablock en los tajeos de la Minera Aurífera Retamas S.A.

- Estudio preliminar del proyecto
- Recopilación de informaciones sobre geomecánica de la roca y los explosivos
- Diseño de malla de perforación teniendo en cuenta los parámetros geomecánicos
- Aplicación de la voladura convencional y voladura controlada
- Recopilación de datos post evento
- Cálculo de ratios de producción y del grado de dilución con voladura convencional y la voladura controlada

3.2 REVISIÓN RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PRELIMINAR

Se realizó una planificación según las metodologías a aplicar para ejecutar el proyecto de investigación, se recopiló y reviso información bibliográfica relacionada al tema de investigación.

3.3 POBLACIÓN

La Minera Aurífera Retamas S.A. tiene identificado 10 tajeos con características similares dentro de su área de producción y en sus diferentes Niveles de trabajo, Nivel-3125, Nivel-3075, Nivel-2950, todo ello viene a constituir la población del presente estudio de investigación en la Minera Aurífera Retamas S.A.

3.4 MUESTRA

La muestra del presente estudio de investigación se ha realizado exclusivamente en los tajeos TJ 1-A, TJ 2-A, TJ 3-A, desarrollados en roca semidura (roca Granito, IIIB), de la Minera Aurífera Retamas S.A.

3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.5.1 Variable independiente

Identificar los factores que intervienen directamente en la voladura controlada en el tajeo utilizando Exsablock en la Minera Aurífera Retamas S.A.

3.5.2 Variable dependiente

Reducción porcentual de dilución y costos en tajeos de la Minera Aurifera Retamas S.A

3.6 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.6.1 Técnicas.

Para sustentar el presente trabajo se recopiló informaciones técnicas secundaria, relacionada al título del proyecto, publicados en artículos, libros, tesis de grados, revistas, informes especializados, páginas de Internet relacionadas con la voladura

controlada aplicadas en tajos, de esa manera realizando el análisis estadístico, cuyos datos se observan en la Tabla 9, Tabla 13, Tabla 16, Tabla 19.

3.6.2 Instrumentos de recolección de datos.

Los instrumentos utilizados para el estudio son la liquidación mensual para verificar el volumen roto en la zona chilcas bajo, el reporte diario de operación, reporte mensual de operación.

Reporte diario de operación.

- Numero de taladros perforados por tajo
- Consumo de explosivos y accesorios de voladura
- Volumen roto
- Altura de minado

Reporte mensual de operación.

- Consumo de explosivos y accesorios
- Número de taladros perforados en tajos
- Disparos soplados
- Volumen roto

Técnicas para el procesamiento de la información.

- Se aplicarán instrumentos y procedimientos de acuerdo a lo siguiente.
- Cuadros estadísticos.
- Revisión de los datos.
- Control de la eficiencia de perforación y voladura.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Datos y resultados de altura de minado

Las pruebas se realizaron en los tajeos de producción, usando explosivo Semexsa y Exsablock, para la reducción porcentual de dilución y costos, tomando como dato en campo las cantidades de taladros, cantidad de cartuchos por taladro, y la altura de minado como se muestra en la siguiente Tabla, obteniendo un resultado 2,00 m de altura promedio tal como se muestra la Tabla 9.

La Tabla 10 nos muestra el resultado obtenido en corte y relleno ascendente donde llegamos a reducir la altura de minado a 1,46 m de tal manera se reduce el porcentaje de dilución aplicando la voladura controlada con Exsablock.

En la Tabla 11 se puede llegar a diferenciar los resultados obtenidos con la voladura controlada y usando explosivos Semexsa 65% y Exsablock con respecto a la altura de minado en febrero llegamos a 2,00 m y el siguiente mes con el cambio de explosivo logramos reducir la altura de minado a 1,46 m.

Tabla 7 : Altura de minado con Semexsa 65 %

Labor	Cant.Tal	Cart./Tal	Cart/Disp	Alt. Minado
TJ 1-A	15	6	90	1,89
TJ 2-A	14	6	84	1,94
TJ 3-A	15	6	90	2,00
TJ 4-A	13	6	78	2,05
TJ 5-A	15	6	90	2,10
TJ 6-A	13	6	78	1,94
TJ 7-A	14	6	84	2,05
TJ 8-A	13	6	78	1,93
TJ 9-A	14	6	84	2,15
TJ 10-A	14	6	84	1,99
Promedio	14,00	6,00	84,00	2,00

Tabla 8 : Altura de minado con Exsablock

Labor	Cant.Tal	Cart./Tal	Cart/Disp	Alt. Minado
TJ 1-A	15	5	75	1,40
TJ 2-A	16	5	80	1,45
TJ 3-A	15	5	75	1,40
TJ 4-A	16	5	80	1,45
TJ 5-A	15	5	75	1,50
TJ 6-A	15	5	75	1,54
TJ 7-A	15	5	75	1,45
TJ 8-A	16	5	80	1,50
TJ 9-A	15	5	75	1,45
TJ 10-A	14	5	70	1,46
Promedio	15,00	5,00	76,00	1,46

Tabla 9 : Resumen altura de minado con Semexsa 65 % y Exsablock

Altura de minado Corte Relleno ascendente		
Febrero	Uso de Semexa 65%	2,00 m
Marzo	Uso de Exsablock	1,46 m

4.1.2 Cálculo de dilución en tajeos

A continuación, realizaremos el cálculo de la dilución teórica y la dilución operativa se calculará con las siguientes fórmulas matemáticas:

Dilución Teórica.

$$\% \text{ Dilución} = ((A_m - P) / A_m) * 100\%$$

Dilución Operativa.

$$\% \text{ Dilucion operativa} = \frac{(A_m - P_v) * D_2}{(A_m - P) * D_2 + (P * D_1)} * 100\%$$

Donde:

A_m = Altura de minado (m)

P = Potencia de veta (m)

D_1 = Densidad del mineral 3,10 t/ m³

D_2 = Densidad de desmonte 2,50 t/ m³

Cálculo de dilución en tajeo utilizando Semexsa 65 %.

$$\% \text{ Dilución} = ((A_m - P) / A_m) * 100\%$$

$$\% \text{ Dilución} = ((2,00 - 0,85) / 2,00) * 100\%$$

$$\% \text{ Dilución} = 85\%$$

$$\% \text{ Dilucion operativa} = \frac{(A_m - P_v) * D_2}{(A_m - P) * D_2 + (P * D_1)} * 100\%$$

$$\% \text{ Dilución operativa} = \frac{(2,00 - 0,85) * 2,50}{(2,00 - 0,85) * 2,50 + (0,85 * 3,10)} * 100\%$$

$$\% \text{ Dilución operativa} = 52\%$$

Cálculo de dilución en tajeos utilizando Exsablock.

$$\% \text{ Dilución} = ((A_m - P) / A_m) * 100\%$$

$$\% \text{ Dilución} = ((1,46 - 0,85) / 1,46) * 100\%$$

$$\% \text{ Dilución} = 42\%$$

$$\% \text{ Dilución operativa} = \frac{(A_m - P) * D_2}{(A_m - P) * D_2 + (P * D_1)} * 100\%$$

$$\% \text{ Dilución operativa} = \frac{(1,46 - 0,85) * 2,50}{(1,46 - 0,85) * 2,50 + (0,85 * 3,10)} * 100\%$$

$$\% \text{ Dilución operativa} = 47\%$$

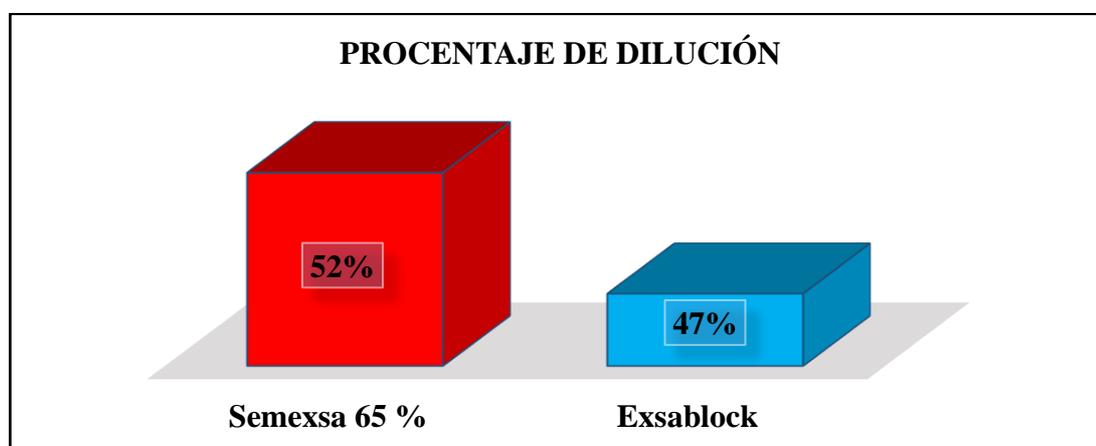


Figura 6 : Resumen del % de dilución con Semexsa 65 % y Exsablock

4.1.3 Cálculo del factor de carga.

El cálculo de factor de carga se ha realizado mediante las fórmulas que son aplicadas para cada experimento planteado anteriormente.

$$\text{Factor de carga} = \text{Carga explosiva (Kg)} / \text{Volumen roto (m}^3\text{)}$$

Donde el volumen roto se ha calculado de la siguiente manera

$$\text{Volumen roto (m}^3\text{)} = \text{Am} * \text{Al} * \text{Lp}$$

Donde:

$$\text{Am} = \text{Altura de minado (m)}$$

$$\text{Al} = \text{Ancho de labor (m)}$$

$$\text{Lp} = \text{Longitud de perforación (m)}$$

Cálculo del factor de carga del tajeo utilizando Semexsa 65 %

$$\text{Volumen roto (m}^3\text{)} = \text{Am} * \text{Al} * \text{Lp}$$

$$\text{Volumen roto (m}^3\text{)} = 2,00 \text{ m} * 1,85 \text{ m} * 6 \text{ pies}$$

$$\text{Volumen roto (m}^3\text{)} = 6,66 \text{ m}^3$$

$$\text{Factor de carga} = \text{Carga explosiva (Kg)} / \text{Volumen roto (m}^3\text{)}$$

$$\text{Factor de carga} = (84 * 0,082 \text{ Kg}) / 6,66 \text{ m}^3$$

$$\text{Factor de carga} = 1,03 \text{ Kg/ m}^3$$

Cálculo del factor de carga del tajeo utilizando Exsablock.

$$\text{Volumen roto (m}^3\text{)} = \text{Am} * \text{Al} * \text{Lp}$$

$$\text{Volumen roto (m}^3\text{)} = 21,46 \text{ m} * 1,95 \text{ m} * 6 \text{ pies}$$

$$\text{Volumen roto (m}^3\text{)} = 5,12 \text{ m}^3$$

$$\text{Factor de carga} = \text{Carga explosiva (Kg)} / \text{Volumen roto (m}^3\text{)}$$

$$\text{Factor de carga} = (76 * 0,082 \text{ Kg}) / 5,12 \text{ m}^3$$

$$\text{Factor de carga} = 1,22 \text{ Kg/m}^3$$

4.1.4 Cálculo del factor de potencia

Factor de potencia = Carga explosiva (Kg) / Toneladas de mineral (t)

Tm de mineral (Tm) = Volumen roto (m³) * D1

Donde:

D1 = Densidad del mineral (t/m³)

La densidad de mineral en marsa es: 3,10 t/m³

La densidad de desmonte es 2,50 t/ m³.

Cálculo del factor de potencia en el tajeos utilizando Semexsa 65 %

Toneladas de mineral (t) = Volumen roto (m³) * D1

Toneladas de mineral (t) = 6,66 m³* 3,10 t/m³

Toneladas de mineral (t) = 20, 65 t

Factor de potencia = Carga explosiva (Kg) /Toneladas de mineral (t)

Factor de potencia = 84 * 0,082 Kg / 20,65t

Factor de potencia = 0,33 Kg/t.

Cálculo del factor de potencia en tajeos utilizando Exsablock.

Toneladas de mineral (t) = Volumen roto (m³) * D1

Toneladas de mineral (t) = 5,12 m³* 3,10 t/m³

Toneladas de mineral (t) = 15,85 t

Factor de potencia = Carga explosiva (Kg) /Toneladas de mineral (t)

Factor de potencia = 76 * 0,082 Kg) / 20,65 t)

Factor de potencia = 0,39 Kg/t

4.1.5 Cálculo de costos de voladura

Costos de voladura = Cant. de explosivos + Sumatoria (acce. de voladura * precio)

Para realizar los cálculos de costos de voladura tomaremos en cuenta los precios unitarios de accesorios y explosivos tal como se muestra en la siguiente Tabla:

Tabla 10 : Costo unitario de los explosivos y accesorios

Explosivos/Accesorios	Und	P.u (Dolares.)	peso (kg/und)
Semexsa 65%	und	2,53	0.081
Exsablock	und	1,85	0.072
Carmex 7" x7/8"	und	7,92	
Mecha Rápida de ignizion Z-18 color verde	m	5,43	

Cálculo del costo de voladura en tajeos con semexsa 65 %.

Costos de voladura = Cant. de explosivos + Sumatoria (acce. de voladura * precio)

Costos de voladura = $(84 * 2,53) + ((15 * 7,92) + (11 * 5,43))$

Costos de voladura = 391,05 \$

Costo de voladura (\$/t) = Costo de voladura / t rotas

Costo de voladura (\$/t) = 391,05 \$ / 20,65 t

Costo de voladura (\$/t) = 18,95 \$/t

Cálculo del costo de voladura en tajeos con exsablock.

Costos de voladura = Cant. de explosivos + Sumatoria (acce. de voladura * precio)

Costos de voladura = $(76 * 1,85) + ((15 * 7,92) + (11 * 5,43))$

Costos de voladura = 319,13 \$

Costo de voladura (\$/t) = Costo de voladura / t rotas

Costo de voladura (\$/t) = 319,13 \$ / 15,87 t

Costo de voladura (\$/t) = 20,19 \$/t

4.1.6 Resultados de costos en perforación y voladura

En la Tabla siguiente llegaremos a observar los resultados de costos en perforación y voladura empleando Semexsa 65 % y se llega a un total de costos con 1 170.55 \$/Guardia tomando en cuenta las leyes sociales correspondientes y materiales a emplearse tal como se muestra en la Tabla siguiente.

Tabla 11 : Costo de perforación y voladura con Semexsa 65 %

Corte y Relleno Ascendemente con Semexsa 65%					
Descripcion	Cant.	Incid.	Precio \$	Parcial	
Mano de Obra	Maest.perforista	1	1	\$ 219,22	\$ 219,22
	Ayud. perforista	1	1	\$ 185,52	\$ 185,52
	Residente	1	0,015	\$ 507,35	\$ 7,61
	Supervisor	1	0,025	\$ 322,00	\$ 8,05
	Leyes sociales obreros	135%			\$ 168,15
Materiales	Barra cónica 4'	0,5	0,06	\$ 658,97	\$ 19,77
	Barra cónica 6'	0,45	0,06	\$ 845,20	\$ 22,82
	Broca de 36 mm	0,45	0,25	\$ 205,17	\$ 23,08
	Broca de 38 mm	0,5	0,25	\$ 224,24	\$ 28,03
	Herramientas	1	1	\$ 35,55	\$ 35,55
Equipos	Epps	2	1	\$ 2,50	\$ 5,00
	Perforadora neu. jackleg	1	0,00075	\$ 44,257,64	\$ 33,19
	Repuestos perforación				\$ 9,61
Voladura	Aceite	1	0,1556	\$ 89,31	\$ 13,90
	Dinamita semexa 65%	84		\$ 2,53	\$ 212,52
	Dinamita exablock			\$ 1,85	
	Mecha rapida color verde	11		\$ 5,43	\$ 59,73
	Carmex de 7'	15		\$ 7,92	\$ 118,80
Costo Total			=	\$ 1 170,55	

En la Tabla 12 llegaremos a observar los resultados de costos en perforación y voladura empleando Exsablock y se llega a un total de costos 1 082,67 \$/Guardia tomando en cuenta las leyes sociales correspondientes y materiales a emplearse lo cual nos permitirá diferenciar los resultados.

En la Tabla 13 se llega a observar la diferencia que existe aplicando la voladura controlada y realizando el cambio de explosivo por menor potencia y costo se llega a

reducir de 208,40 \$/m³ a 192,78 \$/ m³ teniendo una diferencia de 15,62 \$/ m³ tomando como referencia el estándar de volumen a romper por disparo es 5,616 m³ en el proceso de perforación y voladura.

Tabla 12 : Costo de perforación y voladura con Exsablock

Corte y Relleno Ascendente con Exsablock					
Descripcion	Cant.	Incid.	Precio \$	Parcial	
Mano de Obra	Maest.perforista	1	1	\$ 219,22	\$ 219,22
	Ayud. perforista	1	1	\$ 185,52	\$ 185,52
	Residente	1	0,015	\$ 507,35	\$ 7,61
	Supervisor	1	0,025	\$ 322,00	\$ 8,05
	Leyes sociales obreros	135%			\$ 168,15
Materiales	Barra cónica 4'	0,5	0,06	\$ 658,97	\$ 19,77
	Barra cónica 6'	0,45	0,06	\$ 845,20	\$ 22,82
	Broca de 36 mm	0,45	0,25	\$ 205,17	\$ 23,08
	Broca de 38 mm	0,5	0,25	\$ 224,24	\$ 28,03
	Herramientas	1	1	\$ 35,55	\$ 10,22
Equipos	Epps	2	1	\$ 2,50	\$ 10,22
	Perforadora neu. jackleg	1	0,0008	\$ 44,257,64	\$ 35,41
	Repuestos perforación				\$ 11,55
	Aceite	1	0,1556	\$ 89,31	\$ 13,90
Voladura	Dinamita semexa 65%			\$ 2,53	
	Dinamita exablock	76		\$ 1,85	\$ 140,60
	Mecha rapida color verde	11		\$ 5,43	\$ 59,73
	Carmex de 7'	15		\$ 7,92	\$ 118,80
Costo Total			=	\$ 1 082,67	

Tabla 13 : Resumen de costo en perforación y voladura

Resumen de costo en perforación y voladura con las dinamitas Semexsa 65 % y Exsablock.	
Perforacion y voladura con Semexsa 65%	208,40 \$/m ³
Perforacion y voladura con Exsablock	192,78 \$/ m ³

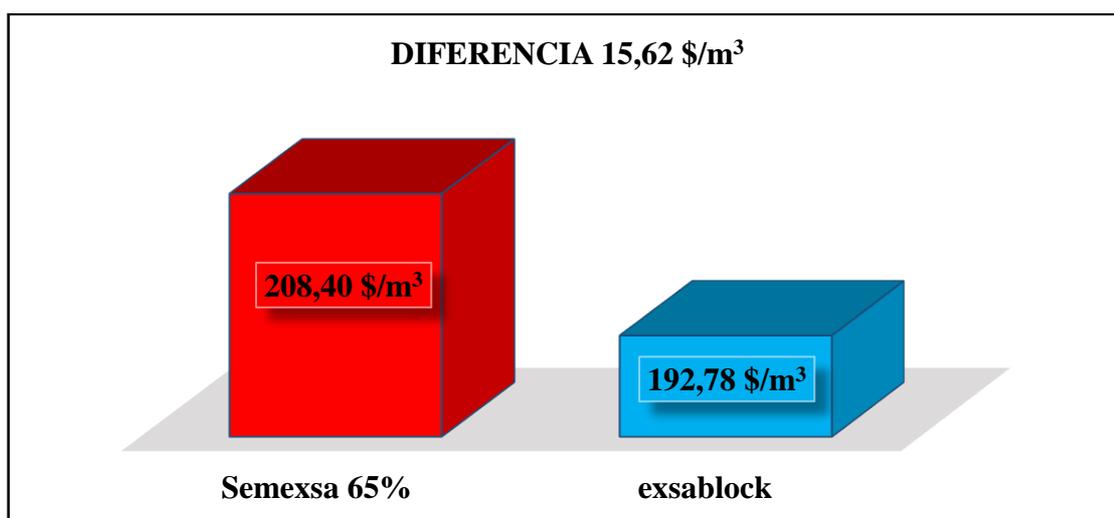


Figura 7 : Resumen de costo en perforación y voladura

4.1.7 Resultados de costos en sostenimiento

En la Tabla 14 llegaremos a observar la valorización de sostenimiento en el método de corte y relleno ascendente aplicando la voladura convencional con Semexsa 65 % llegando a valorizar 1 135, 95 \$/m en cuadros de 1,2 m x 1,5 m y 53,83 \$/m por vueltas de guarda cabeza (cribing) tal con se muestra en la Tabla 14.

En la Tabla 15 llegaremos a observar la valorización de sostenimiento en el método de corte y relleno ascendente aplicando la voladura controlada con Exsablock llegando a valorizar 627, 34 \$/m en cuadros de 1,2 m x 1,5 m y 45,74 \$/m por vueltas de guarda cabeza (cribing) tal con se muestra en la Tabla 15.

En la Tabla 16 nos muestra la diferencia que se obtiene al aplicar la voladura controlada en vez de la voladura convencional y usando explosivos Exsablock en vez de Semexsa 65%, llegando a reducir el costo de sostenimiento de 671,58 \$/m a 655,40 \$/m teniendo como dato el espaciamiento de cuadro en tajeos es de 1,5 m. llegando a valorizar con una diferencia de 16,18 \$/m como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 14 : Costo de sostenimiento con cuadro de madera 1,2 m x 1, 5 m usando Semexsa 65 % en la voladura

Descripcion		Cant.	Incid.	Precio	Parcial
Mano de Obra	Maestro perforista	1	0,5	\$ 212,75	\$ 106,37
	Ayudante perforista	1	0,5	\$ 184,51	\$ 92,25
	Residente	1	0,015	\$ 567,31	\$ 8,51
	Supervisor	1	0,025	\$ 319,31	\$ 7,98
	Leyes sociales obreros	135%			\$ 103,91
Materiales	Redondos de 8" x 2,0m	3	1	\$ 121,32	\$ 363,96
	Redondos de 6" x 3,0m	0	1	\$ 107,84	\$ -
	Redondos de 6" x 2,4m	2	1	\$ 101,10	\$ 202,20
	Herramientas	1	0,5	\$ 34,41	\$ 17,20
	Implementos de seguridad	2	0,5	\$ 12,10	\$ 12,10
Costo Total				=	\$ 914,49

Guarda cabezas por vueltas

Descripcion		Cant.	Incid.	Precio	Parcial
Mano de Obra	Maestro perforista	1	0,05	\$ 212,75	\$ 10,64
	Ayudante perforista	1	0,05	\$ 184,51	\$ 9,23
	Residente	1	0,015	\$ 567,31	\$ 8,51
	Supervisor	1	0,025	\$ 319,31	\$ 7,98
	Leyes sociales obreros	135%			\$ 17,19
Materiales	Redondos de 8" x 2,0m	6	0,05	\$ 121,32	\$ 36,40
	Herramientas	1	0,05	\$ 34,41	\$ 1,72
	Implementos de seguridad	2	0,05	\$ 12,10	\$ 1,21
	Costo Total				=

Tabla 15 : Costo de sostenimiento con cuadro de madera 1,2 m x 1, 5 m usando Exsablock en la voladura

Descripcion		Cant.	Incid.	Precio	Parcial
Mano de Obra	Maestro perforista	1	0,5	\$ 212,75	\$ 106,37
	Ayudante perforista	1	0,5	\$ 184,51	\$ 92,25
	Residente	1	0,015	\$ 567,31	\$ 8,51
	Supervisor	1	0,025	\$ 319,31	\$ 7,98
	Leyes sociales obreros	135%			\$ 103,91
Materiales	Redondos de 8" x 2,0m	3	1	\$ 121,32	\$ 363,96
	Redondos de 6" x 3,0m	0	1	\$ 107,84	\$ -
	Redondos de 6" x 2,4m	2	1	\$ 101,10	\$ 202,20
	Herramientas	1	0,5	\$ 34,41	\$ 17,20
	Implementos de seguridad	2	0,5	\$ 12,10	\$ 12,10
Costo Total				=	\$ 914,49

Cribinng por vueltas

Descripcion		Cant.	Incid.	Precio	Parcial
Mano de Obra	Maestro perforista	1	0,05	\$ 212,75	\$ 10,64
	Ayudante perforista	1	0,05	\$ 184,51	\$ 9,23
	Residente	1	0,015	\$ 567,31	\$ 8,51
	Supervisor	1	0,025	\$ 319,31	\$ 7,98
	Leyes sociales obreros	135 %			\$ 17,19
Materiales	Redondos de 8" x 2,0m	2	0,05	\$ 121,32	\$ 12,13
	Herramientas	1	0,05	\$ 34,41	\$ 1,72
	Implementos de seguridad	2	0,05	\$ 12,10	\$ 1,21
Costo Total				=	\$ 68,61

Tabla 16 : Resumen de costo en sostenimiento

Resumen de Costo en Sostenimiento con los Explosivos Semexsa 65 % y Exsablock.

Costo Total en Sostenimiento. Con Semexsa 65 %	671,58 \$/m
Costo Total en Sostenimiento Con Exsablock	655,40 \$/m

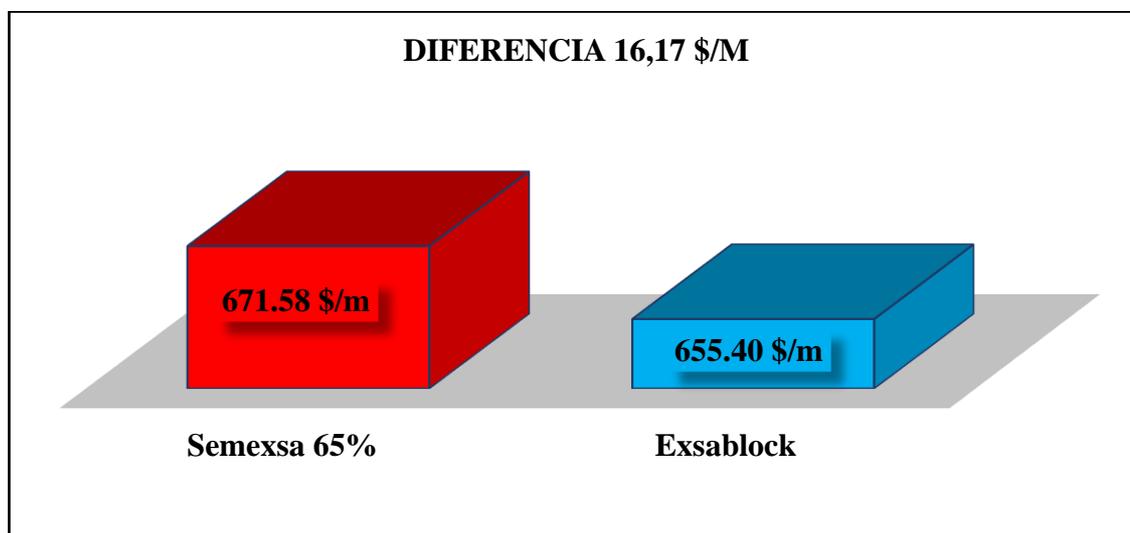


Figura 8 : Resumen de costo en sostenimiento

4.1.8 Resultados de costos de limpieza

En la siguiente Tabla observamos la valorización de limpieza en el método de corte relleno ascendente utilizando voladura convencional con Semexsa 65 % llegando a valorizar 69,38 \$/m³ tal como se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla 17 : Costo de limpieza usando Semexsa 65 % en la voladura

Descripcion	Cant.	Incid.	Precio	Parcial	
Mano de Obra	Maestro perforista	1	0,54	\$ 212,75	\$ 114,88
	Ayudante perforista	1	0,54	\$ 184,51	\$ 99,63
	Residente	1	0,015	\$ 567,31	\$ 8,51
	Supervisor	1	0,025	\$ 319,31	\$ 7,98
	Leyes sociales obreros	135 %			\$ 103,91
Materiales	Herramientas	1	1	\$ 37,91	\$ 37,91
	Implementos de seguridad	2	1	\$ 8,43	\$ 16,85
Costo Total			=	\$ 389,68	

En la Tabla siguiente observamos la valorización de limpieza en el método de corte relleno ascendente utilizando voladura controlada con Exsablock llegando a valorizar 62,60 \$/ m³ tal como se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla 18 : Costo de limpieza usando Exsablock en la voladura

Descripcion	Cant.	Incid.	Precio	Parcial	
Mano de Obra	Maestro perforista	1	0,45	\$ 212,75	\$ 95,74
	Ayudante perforista	1	0,45	\$ 184,51	\$ 83,03
	Residente	1	0,015	\$ 567,31	\$ 8,51
	Supervisor	1	0,025	\$ 319,31	\$ 7,98
	Leyes sociales obreros	135 %			\$ 103,91
Materiales	Herramientas	1	1	\$ 35,55	\$ 35,55
	Implementos de seguridad	2	1	\$ 8,43	\$ 16,85
Costo Total			=	\$ 351,57	

En la siguiente Tabla nos muestra la diferencia que se obtiene al aplicar la voladura controlada en vez de la voladura convencional y usando explosivos Exsablock en vez

de Semexsa 65% llegando a obtener una diferencia de 6,78 \$/ m³ tal como se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla 19 : Resumen de costos en la limpieza

Resumen de Costo en limpieza Semexsa 65% y Exsablock.	
Con Semexsa 65%	69,38 \$/m ³
Con Exsablock	62,60 \$/ m ³

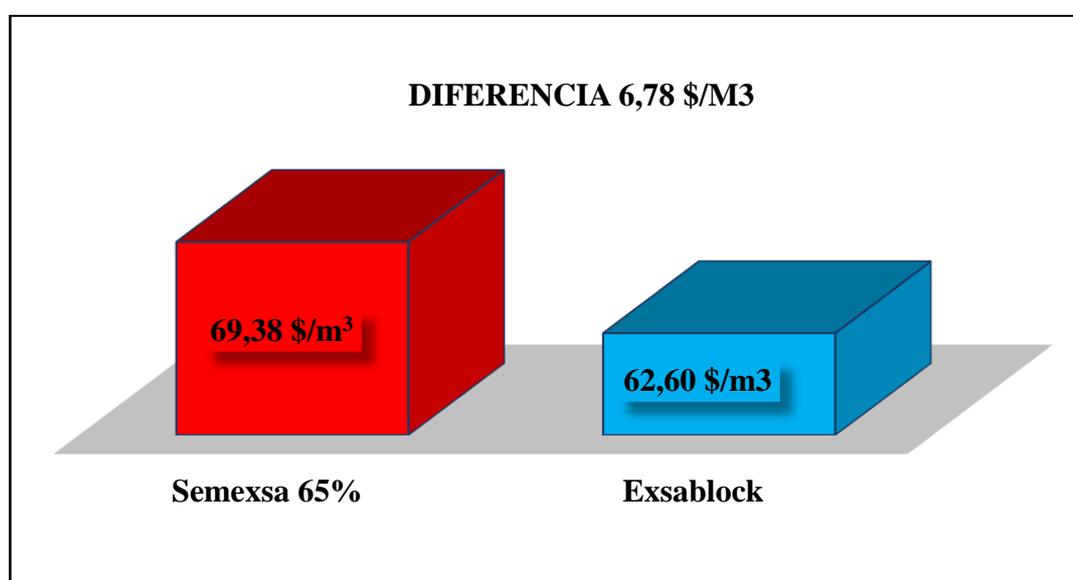


Figura 9 : Resumen de costos en la limpieza

4.2 DISCUSIÓN

Según el antecedente de la investigación, se citó a Mendoza, (2014) en su tesis “optimización de la voladura controlada aplicando un modelo matemático en la unidad minera paraíso-ecuador.” Indica que, la mayor reducción de costo operativo se obtuvo en la operación unitaria de voladura a 59,70 \$/m (30,81 % de la reducción total), seguido por la perforación 30,07 \$/m (42,41 % de la reducción total), la limpieza-acarreo de 7,63 \$/ton se redujo en 1,17 \$/ton (9,51 % de la reducción total).

En el presente trabajo se analizó y se llegó a reducir los costos en sostenimiento, limpieza, en el método de corte relleno ascendente, en sostenimiento con cuadro se ha llegado a reducir de 671,58 \$/m a 655,40 \$/m con una diferencia de 16,17 \$/m. y en limpieza de 69,38 \$/m³ a 62,60 \$/m³. Con una diferencia de 6,78 \$/m³.

Según el antecedente de la investigación, se citó a Castro & Rodríguez, (2016) indica en su investigación que con la aplicación de voladura controlada mediante el sistema de precorte y espaciamiento de cargas desacopladas se ha logrado reducir la sobre rotura de 22,76 % a 5,33 %.

Realizando la voladura controlada en esta investigación también se logró reducir en este caso el grado de dilución en tajeos de corte y relleno ascendente 52 % a 47 % con una diferencia 5 %, y así el mineral extraído y trasladado llegue con buena ley a la planta concentradora.

Según el antecedente de la investigación, se citó a Ruiz, (2017) en su tesis indica en su conclusión que el empleo de espaciadores de agua en voladura controlada reduce también fracturas por metro generadas en el macizo rocoso circundante a las labores lineales de excavación producto de la voladura.

Realizamos pruebas con los cojines de agua esta incrementaría más el costo de perforación voladura, no es recomendable porque al momento de cargar los explosivos con espaciadores de cojines de agua suelen romperse (revienta) y cuando esto pasa generalmente se aumenta un cartucho más de explosivo en el taladro, recomendable usar tacos de detrito.

Según el antecedente de la investigación, se citó a Cardenas,(2013) es su tesis, indica que el pedido de explosivo realizado sin observar detalladamente la malla de perforación que se dispara origina un pedido excesivo en explosivo generando elevado consumo y por ende penalizaciones por aumento en el factor de carga y de voladura.

Para el presente estudio de investigación, llegamos a supervisar los vales de explosivo, donde indica el nombre del tajeo, las cantidades de explosivo, y accesorios utilizados,

donde se observó el exceso consumo de explosivo, para lo cual realizamos a capacitar al personal en perforación, voladura, carguío de explosivos con el nuevo diseño.

Según el antecedente de la investigación, se citó a Avila, (2004) en su tesis, indica que determinó, por efecto de la voladura controlada, el porcentaje de sobre rotura disminuyo de 15% a 10% y como consecuencia influyo en la reducción de los costos de extracción y sostenimiento.

Como indicamos en las anteriores discusiones con Mendoza, (2014) y Castro & Rodriguez, (2016) realizando la voladura controlada con uso de Exsablock, reducimos el porcentaje de dilucion y los costos en sostenimiento y limpieza.

Según el antecedente de la investigación, se citó a Huamaní & Soto, (2018) en su tesis de investigación indica en sus conclusiones que con la aplicación de voladura controlada utilizando el explosivo Exsablock y cojín de agua se logró reducir el costo total de sostenimiento en el método de explotación de corte y relleno ascendente de S/ 55,95 /t a S/ 34,70 /t logrando disminuir el costo en un total de 14 %, en el método de explotación de tajos largos se logró reducir el costo de S/ 34,67 /t a S/ 28,89 /t logrando disminuir el costo en 12 %.

No es recomendable el uso de los cojines de agua, al momento de realizar el carguío de explosivos estas llegan a romperse y lo cual se aumenta un cartucho adicional, generando el exceso consumo de explosivo.

CONCLUSIONES

Mediante la voladura controlada usando Exsablock el porcentaje de dilución se ha reducido de 52 % a 47 %, con una diferencia de 5 %, los costos en perforación y voladura se ha reducido de 208,40 \$/m³ a 192,78 \$/m³, con una diferencia de 15.62 \$/m³, los costos en sostenimiento se ha reducido de 671,58 \$/m a 655,40 \$/m con una diferencia de 16,17 \$/m. y en limpieza de 69,38 \$/m³ a 62,60 \$/m³. Con una diferencia de 6.78 \$/m³, en los tajeos de la Minera Aurífera Retamas S.A. - 2019.

Aplicando la voladura controlada utilizando explosivos Exsablock el porcentaje de dilución se ha reducido de 52 % a 47 %, con una diferencia de 5 % en la Minera Aurífera Retamas S.A. - 2019.

Los factores que han intervenido directamente en la voladura controlada son: las propiedades de explosivo Exsablock de menor potencia y los tacos de detritos que han sido colocados en forma alternada en los tajeos TJ 1- A, TJ 2- A, TJ 3- A, de la Minera Aurífera Retamas S.A. 2019.

RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar la voladura controlada empleando Exsablock, con tacos de detrito alternadas como espaciadores en los tajeos de explotación en la Minera Aurífera Retamas S.A.

Se recomienda realizar el cálculo los costos totales de la explotación de los tajeos de producción utilizando explosivos Exsablock, en la Minera Aurífera Retamas S.A.

Se recomienda realizar un estudio detallado de las características físicas y químicas de los explosivos Semexsa 65 % y Exsablock para seleccionar el mejor explosivo de menor potencia, en la Minera Aurífera Retamas S.A.

REFERENCIAS

- Avila, M. (2004). *Aplicación de la voladura controlada en labores lineales de sección 7 x 8 Pies en tipo de roca IIIA y la relación con los costos de operación en la unidad, minera san Andrés*. TRUJILLO: S/E.
- Cámac, A. (2005). *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*. Puno: FIM-UNA.
- Cárdenas, V. (2013). *Influencia de los estándares de perforación y voladura en las fuentes de avance en la optimización de costos de la empresa especializada Mincotrall S.R.L. MARSA*. TRUJILLO: S/E.
- Castro, R. (2011). *Rol y fuente de dilución en Minería subterránea, Chile*
- Castro, N. & Rodríguez, P. (2016). *Reducción de la sobre rotura en el crucero 3910 del nivel 2360 de la mina PEC de la Cia. Consorcio*. Trujillo.
- Cruz, J. (2015). *Disminución del grado de dilución en tajos mecanizados*. TRUJILLO: S/E.
- EXSA (2001) *Manual Práctico de Voladura*, Perú: Edición Especial.
- Famesa Explosivos, (2008). *Seguridad asociada a la manipulación y uso de explosivos en minera subterránea*.
- Huamaní, F. & Soto R. (2018). *Aplicación de la voladura controlada para reducir el porcentaje de dilución y costos en tajos convencionales (Corte y Relleno Ascendente y Tajos Largos) utilizando explosivos Exsablock y cojines de agua, en Minera Aurífera Retamas S.A. Marsa 2019*. Abancay: S/E.

Konya, C. (2015). *Manual de perforación y voladura de rocas*, manual. Perú: Edición 2015. 25,30.

López, J. (2003). *Manuel de Túneles y Obras Subterráneas Madrid*, Gráficas Arias Montano. Edición 2003.

Manual Perforación y Voladura de rocas (2003). Presentada a la Facultad de Ciencias Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú.

Mendoza, M. (2014). *Optimización de la voladura controlada aplicando un modelo matemático en la U. M. Paraíso*. Ecuador

Mendoza, J. (2006), *Perforación y voladura*, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. Edición 2006.

Proaño, D. (2010). *Voladura controlada en labores de desarrollo y preparación de la mina Animon Chungar S.A.C.*

Ruiz, C. (2017). *Reducción de costos usando espaciadores de agua en reemplazo de carrizo y cordón detonante en la voladura controlada de la mina marsa-retamas*. Trujillo.

Sotelo, C. (2015). *Control de dilución optimizando los procesos*. LIMA: S/E.

ANEXOS

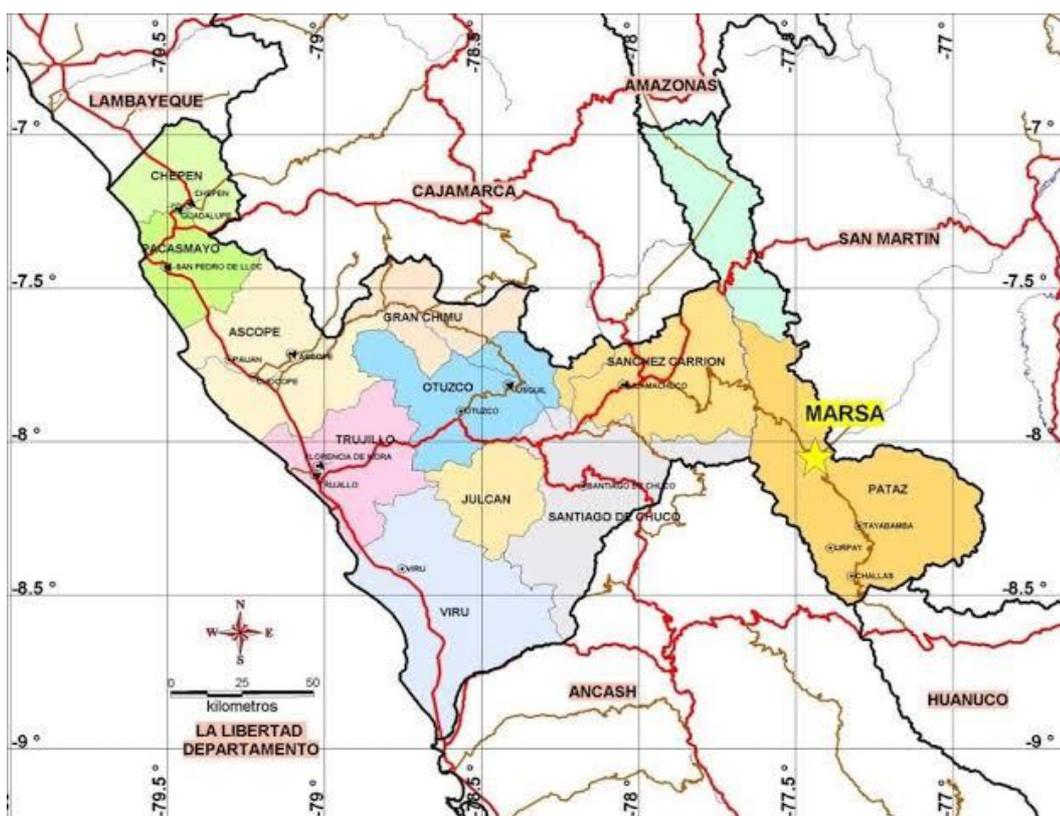


Figura 10 : Ubicación de la Minera Aurífera Retamas S.A.

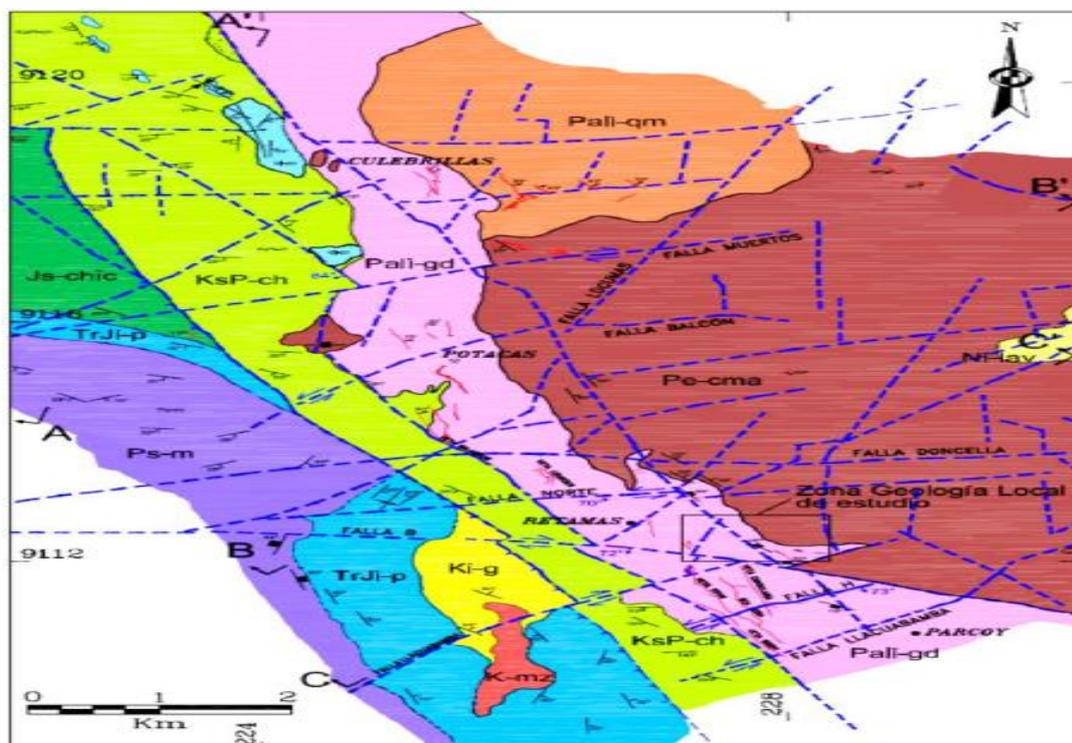


Figura 11 : Plano geológico local.



Figura 12 : Sostenimiento anterior del tajeo con Semexas 65 %



Figura 13 : Sostenimiento actual del tajeo con Exsablock



Figura 14 : Granulometría, calidad del mineral