

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**OPTIMIZACIÓN DE PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA EL CONTROL DE LA
SOBREROTURA APLICANDO MODELO MATEMÁTICO AREAS DE INFLUENCIA
U.M. CARAHUACRA**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADA POR:

REYNALDO VILCA COAQUIRA

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



OPTIMIZACIÓN DE PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA EL CONTROL DE LA
SOBREROTURA APLICANDO MODELO MATEMÁTICO AREAS DE INFLUENCIA U.M.
CARAHUACRA

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PRESENTADO POR:

REYNALDO VILCA COAQUIRA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

APROBADO POR:

PRESIDENTE :

Ing. David Velásquez Medina

PRIMER MIEMBRO :

Ing. Agustín Pérez Quispe

SEGUNDO MIEMBRO:

M.Sc. Lucio Raúl Mamani Barraza

TEMA: Perforación y Voladura

ÁREA: Ingeniería de minas

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 20 de noviembre del 2019

DEDICATORIA

A mi esposa e hijas por ser mi motivación personal para seguir superándome diariamente a nivel personal y profesional.

A mi madre por el apoyo incondicional y comprensión durante mi vida universitaria y la vida diaria.

A mis hermanos por su apoyo incondicional en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A mi esposa e hijas por ser mi motivación, a mi madre y hermanos por el apoyo incondicional en todo momento.

A la Facultad de Ingeniería de Minas, especialmente a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas y a su plana de docentes.

A la Unidad Minera Carahuacra de Volcán S.A. en especial a la empresa especializada Administración de Empresas S.A. - AESA por haberme brindado la oportunidad y la información para desarrollar este artículo científico, y a los ingenieros que laboran en esta empresa quienes me compartieron sus conocimientos y experiencias.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ACRÓNIMOS

RESUMEN.....	9
1. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Antecedentes de la investigación	10
1.2. Planteamiento del problema de investigación.....	10
1.3. Hipótesis	11
1.4. Objetivos.....	11
2. MATERIALES Y MÉTODOS	11
2.1. Ubicación de la mina	11
2.2. Materiales utilizados	11
2.2.1. Explosivos, accesorios y equipos electrónicos	11
2.3. Modelo matemático	12
2.3.1. Nueva teoría para calcular el burden	12
2.3.2. Reformulación Modelo Matemático.....	12
2.3.3. Burden nominal “Bn” (formula general)	13
2.4. Bases teóricas.....	16
2.4.1. Sobrerotura.....	16
2.4.2. Formas de evitar la sobrerotura.....	16
2.4.3. Las fallas o errores de perforación.....	17
2.4.4. Geomecánica en la perforación y voladura.....	17
2.4.5. Voladura convencional	18
2.4.6. Voladura controlada.....	18
2.5. Técnicas de recolección de datos	19
3. RESULTADOS	19
4. CONCLUSIONES	20
5. RECOMENDACIONES	20
6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	21

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Datos geomecánicos - Mina Carahuacra.....	17
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de influencia de un taladro después de la voladura.....	12
Figura 2. Representación gráfica del área de influencia de un taladro	12
Figura 3. Área de influencia del taladro con relación al burden y espaciamiento.	13
Figura 4. Arranque utilizado.	13
Figura 5. Estándar de malla de perforación y voladura 3.5x3.8m. RMR 31-40	15
Figura 6. Estándar de malla de perforación y voladura 3.5x3.8 m RMR 41-50	15
Figura 7. Desviaciones por el perímetro de la sección.....	16
Figura 8. Esquema de pintado de la gradiente y punto de dirección.....	16
Figura 9. Influencia de la voladura convencional	18
Figura 10. Influencia de la voladura controlada.....	19
Figura 11. Resultado mensual de avance por disparo	19
Figura 12. Resultado mensual de sobrerotura	19

ACRÓNIMOS

m³: Metro cúbico

m²: Metro cuadrado

m: Metro

mm: Milímetro

Bn: Burden nominal

TM: Tonelada métrica

RMR: Rock Mass Rating

S.A.: Sociedad Anónima

FP: Factor de potencia

U.M.: Unidad Minera

Kg: Kilogramos

Págs.: Paginas



Optimización de perforación y voladura para el control de la sobrerotura aplicando modelo matemático áreas de influencias U.M. Carahuacra

Bach. Reynaldo Vilca Coaquira

Universidad Nacional del Altiplano - Puno, Facultad de ingeniería de minas: Av. Floral 1153, Ciudad Universitaria

reynaldo.vilca09@gmail.com, 951279592

<https://orcid.org/0000-0001-7004-0401>

RESUMEN

En el presente artículo científico titulada optimización de perforación y voladura para el control de la sobrerotura aplicando modelo matemático áreas de influencias se basa en la aplicación de un nuevo modelo matemático para diseñar un arranque y malla de perforación y voladura, calculando el área de influencia por taladro con la nueva teoría para calcular el burden, la investigación se realizó en la U. M. Carahuacra en los meses de julio a setiembre del 2019, tiene como objetivo mejorar la eficiencia por disparo y controlar la sobrerotura, los materiales que se usara en la investigación son el emulnor 3000 1 1/4 X 12, emulnor 1000 1 1/4 X 12, detonador no eléctrico, carmex, cucharillas, tubos de PVC, perforadora jumbo de dos brazos – DD321 y para realizar el artículo científico tesis, artículos científicos relacionados a perforación y voladura; La metodología, se hace mención el ámbito de estudio, enfoque de la investigación, diseño de la investigación, técnicas e instrumentos de recolección de datos, como resultado se mejoró el avance de 3.15m. a 3.47m. y sobrerotura se reduce de un 11% a 7% de julio a setiembre y como conclusión con la aplicación de un nuevo modelo matemático con el que se diseñó el arranque y malla de perforación y voladura y aplicación de la voladura controlada de recorte se mejoró el avance y se redujo la sobrerotura.

Palabras claves: Sobrerotura, avance, burden.

Optimization of drilling and blasting for the control of breakage by applying mathematical model areas of influence U.M. Carahuacra

ABSTRACT

In the present scientific article entitled drilling and blasting optimization for the control of over-stress applying mathematical model areas of influence is based on the application of a new mathematical model to design a starting and drilling and blasting mesh, calculating the area of influence by Drill with the new theory to calculate the burden, the investigation was carried out in the UM Carahuacra in the months of July to September of 2019, it aims to improve the efficiency by firing and control over-breaking, the materials that will be used in the investigation are the emulnor 3000 1 1/4 X 12, emulnor 1000 1 1/4 X 12, non-electric detonator, carmex, teaspoons, PVC pipes, two-arm jumbo drill - DD321 and to make the thesis scientific article, scientific articles related to performance and value; The methodology refers to the field of study, research approach, research design, techniques and data collection tools, as a result the progress of 3.15m was improved. at 3.47m. and overload is reduced from 11% to 7% from July to September and as a conclusion with the application of a new mathematical model with which the starting and drilling and blasting mesh was designed and the application of controlled cutting blasting was improved breakthrough and overshoot reduced.

Keywords: Overload, feed, load.

1. INTRODUCCIÓN

Esta investigación de optimización de perforación y voladura para el control de la sobrerotura aplicando modelo matemático áreas de influencias se basa en la aplicación de un nuevo modelo matemático para diseñar un arranque y malla de perforación y voladura, calculando el área de influencia por taladro con la nueva teoría para calcular el burden, surge de un análisis de área de influencia de un taladro, que se genera en la voladura.

Donde la modificación de nuestro arranque utilizando el nuevo modelo matemático para diseñar un arranque mejoro nuestras eficiencias por disparo, así mismo utilizando el mismo criterio para los taladros de los hastiales y corona se reduce el marcado de sección de perforación y aplicando la voladura controlada de recorte se reduce la sobrerotura en la U.M. Carahuacra y finalizando la investigación con los resultados, conclusiones y recomendaciones.

1.1. Antecedentes de la investigación

En la tesis presentado en la Universidad Nacional del Altiplano “**Optimización de la perforación y voladura con nuevo diseño de malla en el crucero 10014 de la Empresa Minera Marsa**”, teniendo como **problema principal** ¿Cómo se puede optimizar la perforación y voladura mediante un nuevo diseño de malla de perforación y carga explosiva adecuada en el crucero 10014 en la Empresa Minera Marsa?, llega a la **conclusión principal** de que con el nuevo diseño de malla

de perforación y voladura se pudo maximizar la programación mina que era de 75 a 95 metros lineales de avance con un tonelaje de desmonte de 3500 a 4082.4 TM. (Ludtwin-Caceres, 2017).

En la tesis en la Universidad Nacional del Centro del Perú “**Optimización de la voladura controlada aplicando un modelo matemático en la Unidad Minera Paraíso – Ecuador**”, teniendo como **problema principal** ¿Diseñar mallas de perforación y voladura subterránea, aplicando un modelo matemático que optimizará el ciclo de minado?, llega a la **conclusión principal** de que a través del diseño de malla empleando el modelo matemático de R. Holmberg y Chiapetta se optimizo los estándares de las operaciones unitarias específicamente de perforación y voladura. (Mendoza-Muñoz, 2014).

1.2. Planteamiento del problema de investigación

Ante la deficiencia en los avances y la sobrerotura en las labores se plantea la aplicación de un nuevo modelo matemático para diseñar un arranque y malla de perforación y voladura, calculando el área de influencia por taladro con la nueva teoría para calcular el burden, y también eliminando las fallas o errores de perforación y carguío.

Con esto mejorar nuestras eficiencias en avances por disparo con un seguimiento a diario del estándar de mallas de perforación y voladura y disminuir la sobrerotura en nuestras labores disminuyendo la sección de perforación

según el tipo de roca de cada labor y realizando una voladura controlada de recorte.

1.3. Hipótesis

Es posible mejorar las eficiencias de los avances y disminuir la sobrerotura con la aplicación del modelo matemático de áreas de influencia en la U.M. Carahuacra. La evaluación de la calidad del macizo rocoso permitirá el diseño adecuado de la malla de perforación y selección del explosivo para controlar la sobrerotura.

1.4. Objetivos

Mejorar la eficiencia por disparo y controlar la sobrerotura aplicando el modelo matemático área de influencia para el cálculo del burden nominal (área de influencia).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación de la mina

La mina de Carahuacra, políticamente está ubicada en el distrito de Yuli, provincia del mismo nombre, departamento de Junín. Geográficamente se encuentra en el flanco este de la Cordillera Occidental de los Andes Centrales del Perú; a 110 km en línea recta, de la ciudad de Lima. Sus coordenadas geográficas son: 76° 05' de longitud Oeste 11° 43' de latitud Sur sus coordenadas U.T.M. 8 704 000 N - 388 000 E y ubicada a una altitud media de 4 700 metros sobre el nivel del mar.

2.2. Materiales utilizados

2.2.1. Explosivos, accesorios y equipos electrónicos

- **EMULNOR® 3000 1 1/14 X 12.** - 5700 m/s velocidad de detonación, 93 Kbar de presión de detonación, 100% de potencia relativa en peso y excelente resistencia al agua.
- **EMULNOR® 1000 1 1/14 X 12.** - 5800 m/s velocidad de detonación, 95 Kbar de presión de detonación, 85% de potencia relativa en peso y excelente resistencia al agua.
- **Detonador no eléctrico.** - Se hará uso de fanel de 2,000 m/s de velocidad de detonación.
- **Cordón detonante.** - Color amarillo de 6,650m/s mínimo de velocidad de detonación.
- **Carmex.** - Vienen ya ensambladas y se emplea dos en cada voladura por si fallase una.
- **Cucharillas.** - Hechas de fierro corrugado que se emplea para la limpieza de los taladros.
- **Tubos de PVC.** - Utilizados en el arrastre, se introduce a los taladros para evitar que se tapen después de la perforación y darle velocidad al carguío. También son usados para la voladura de los taladros del contorno, permite mantener la carga desacoplada en el taladro.

- **Equipo.** - Perforadora jumbo de dos brazos – DD321.
- **Laptop.** - Usado para procesar los datos (gestor de referencias mendeley, tesis y artículos científicos relacionados a perforación y voladura e información del nuevo modelo matemático para diseñar malla de perforación y voladura).

2.3. Modelo matemático

2.3.1. Nueva teoría para calcular el burden

Es un nuevo modelo matemático para diseñar malla de perforación y voladura, calculando el área de influencia por taladro y este método nace del de diseño siguiente Figura:

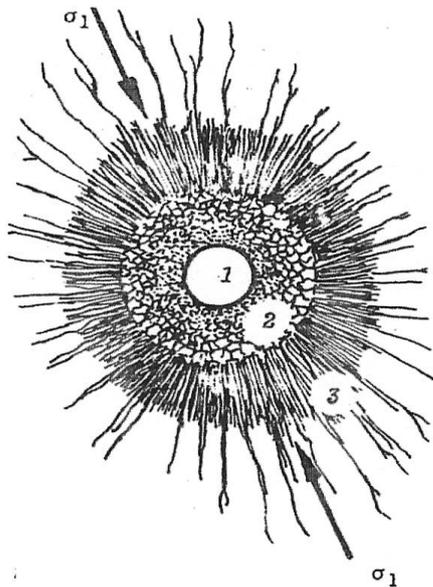


Figura 1. Área de influencia de un taladro después de la voladura

Fuente: E. Hoek / E.T. Brown, “Excavaciones subterráneas en roca”

En donde la zona 1; es el diámetro del taladro, la zona 2 es la zona pulverizada por el

explosivo y la zona 3 es el área de influencia del taladro después de una voladura.

Díaz-martínez, Guarín-aragón, & Jiménez-builes (2012) Menciona que “Para el diseño de las voladuras es necesario realizar ciertos cálculos matemáticos y tener en cuenta varias consideraciones, que hacen de este, una operación compleja. Debido a lo anterior, es necesario idear un método que permita obtener un diseño de voladura más sencillo y en menor tiempo”.

2.3.2. Reformulación Modelo Matemático.

La reformulación se realiza para la utilización de cargas de fondo y de columna de un taladro, en donde el área de influencia es calculada usando con dos tipos de explosivo de fondo y de columna.

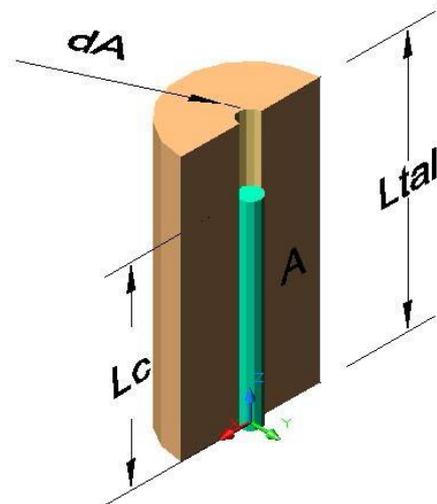


Figura 2. Representación gráfica del área de influencia de un taladro

Fuente: Nueva teoría para calcular el burden, “IV CONEINGEMMET” en Huancayo 2003.

2.3.3. Burden nominal “Bn” (formula general)

$$B_n = \phi * \left(\frac{P_o D_{tal}}{F_s * \sigma_r * RQD} + 1 \right)$$

Autor: E. Hoek / E.T. Brown

Fórmula utilizada en el cálculo del Excel realizado para el cálculo del burden nominal.

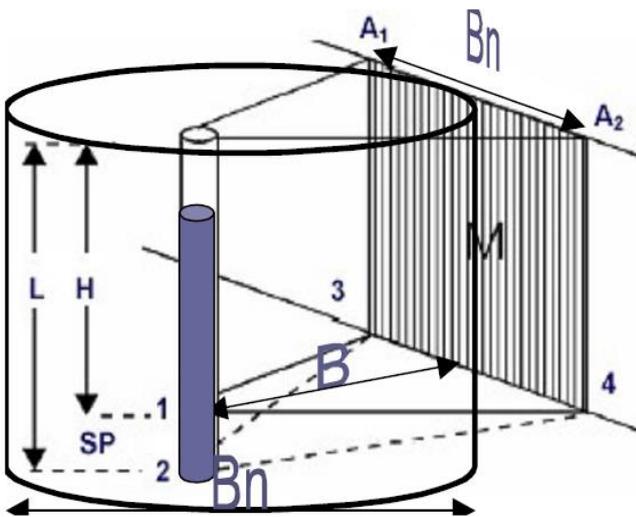


Figura 3. Área de influencia del taladro con relación al burden y espaciamiento.

Fuente: Nueva teoría para calcular el burden, “IV CONEINGEMMET” en Huancayo 2003

Donde:

Bn = Burden nominal (m)

Sn = Espaciamiento nominal (m)

ϕ = Diámetro del taladro (m)

PoDtal = Presión de detonación en el taladro (Kg/cm²)

RQD = Índice de calidad de la roca

σ_r = Resistencia a la compresión de la roca o mineral, (Kg/cm²)

Fs = Factor de seguridad

Para el diseño se utilizará los parámetros de perforación (diámetro del taladro, diámetro de alivio, longitud de taladro, longitud de carga, taco, desviación de perforación). En parámetro de explosivo (densidad, velocidad, presión de detonación, y dimensiones del explosivo) y en parámetro de roca (resistencia de la roca o minera y RQD). Que se usaron para calcular el burden y espaciamiento en el diseño de mallas, estos datos son obtenidos in situ de la mina, para la perforación con equipo Jumbo.

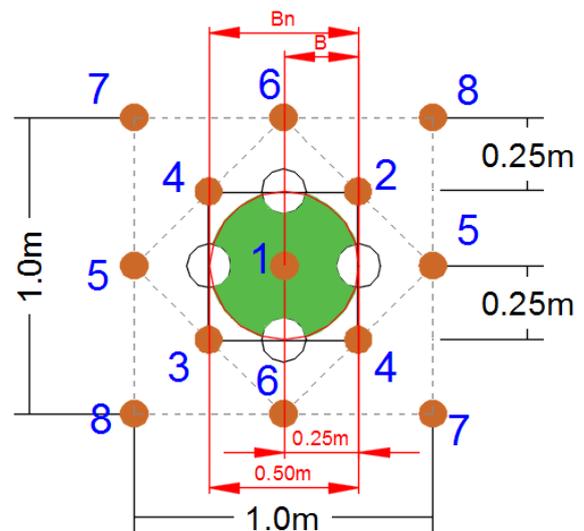


Figura 4. Arranque utilizado.

Fuente: Nueva teoría P. y V. Carahuacra

DISEÑO DE MALLAS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

DISEÑO:	AC
LUGAR:	Mina Carahuacra
Ancho de la labor:	3,50 m.
Alto de la labor:	3,80 m.
Distancia a una zona crítica:	100,00 m.

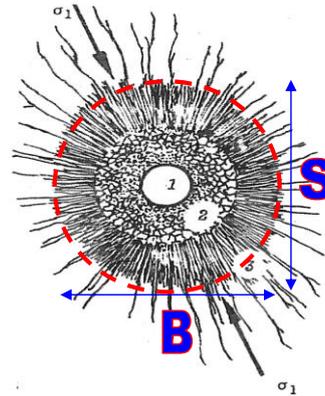
$$B_n = \phi * \left(\frac{P_o D_{tal}}{F_s * \sigma_r * RQD} + 1 \right)$$

Datos de campo:

PARAMETRO DE PERFORACION	
Diametro del taladro:	1,77 pulgadas
Diametro de Alivio:	4,13 pulgadas
Longitud del barreno:	14,00 pies
Eficiencia de perforacion:	92,00 %
Eficiencia de voladura:	95,00 %
Tipo de barreno:	barra (Barra, Estabilizador, DTH)

$$B_n = S_n$$

PARAMETRO DE EXPLOSIVO	
Carga de fondo	
Tipo:	EMULNOR® 3000
Densidad del explosivo C.F.:	1,14 g/cc
Presion de detonacion de C.F.:	93,00 Kbar
Diametro del explosivo C.F.:	31,75 mm
Longitud del explosivo C.F.:	300,00 mm
Nº de cartuchos/tal C.F.:	1,00 cartuchos/tal
% de Acoplamiento C.F.:	75,00 %
% de Acoplamiento minimo:	70,62 %
Carga de columna	
Tipo:	EMULNOR® 3000
Densidad del explosivo C.C.:	1,14 g/cc
Presion de detonacion de C.C.:	93,00 Kbar
Diametro del explosivo de C.C.:	31,75 mm
Longitud del explosivo de C.C.:	300,00 mm
Nº de cartuchos/tal de C.C.:	11,00 cartuchos/tal
% de Acoplamiento de C.C.:	80,00 %
% de Acoplamiento minimo:	70,62 %



PARAMETRO DE ROCA Y/O MINERAL	
Tipo:	Desmante
Densidad de la roca	2,85 TM/m ³
Resistencia a la Compresion:	1300,00 kg/cm ²
RQD:	55,00 %

RESULTADOS:	
Nº de taladros con carga:	5,00 ;Según el diseño grafico de la malla!
Presion de detonacion en el taladro:	42,53 Kbar
Longitud del taladro:	3,93 m.
Longitud de CC confinado:	2,57 m.
Longitud de CF confinado:	0,27 m.
longitud de carga:	2,84 m. Lc/Ltal: 0,72
Avance/disp:	3,73 m. A _v Max: 3,65
Volumen roto	49,60 m ³
TM rotas	141,37 TM
Peso de explosivo/tal	3,249 kg
Total de explosivo	16,25 kg
Factor de carga	0,11 kg/TM
Factor de carga	0,33 Kg/m ³
Diametro de Alivio maximo	158,98 mm
Diametro de Alivio minimo	45,00 mm
Numero max. de Tal alivio:	2,00 Taladros de alivio
Espaciamiento min. entre Tal alivio:	0,25 m.
Angulo min. entre Tal alivio:	57,30 grados
Longitud del taladro máximo	4,58 m.
Desviacion con Barra/Tal:	0,07 m.
Distancia Escalada:	24,81 m/Kg ^{1/2} Dist. Equi. Min: 22.7 m/Kg ^{1/2} por retardo
Velocidad de Particula:	4,19 mm/s Vel. Part. Max: 4.83 mm/s por retardo

Burden	F _s	Burden B _n (m.)	B _i (m.)	S _i (m.)	Taco "T _{min} " (m.)
Arranque	6	0,50	0,43	0,43	0,23

MAILLA SECCIÓN 3.5 X 3.8 PARA ROCA CON RMR 31 - 40 - (BARRA 14 PIES)

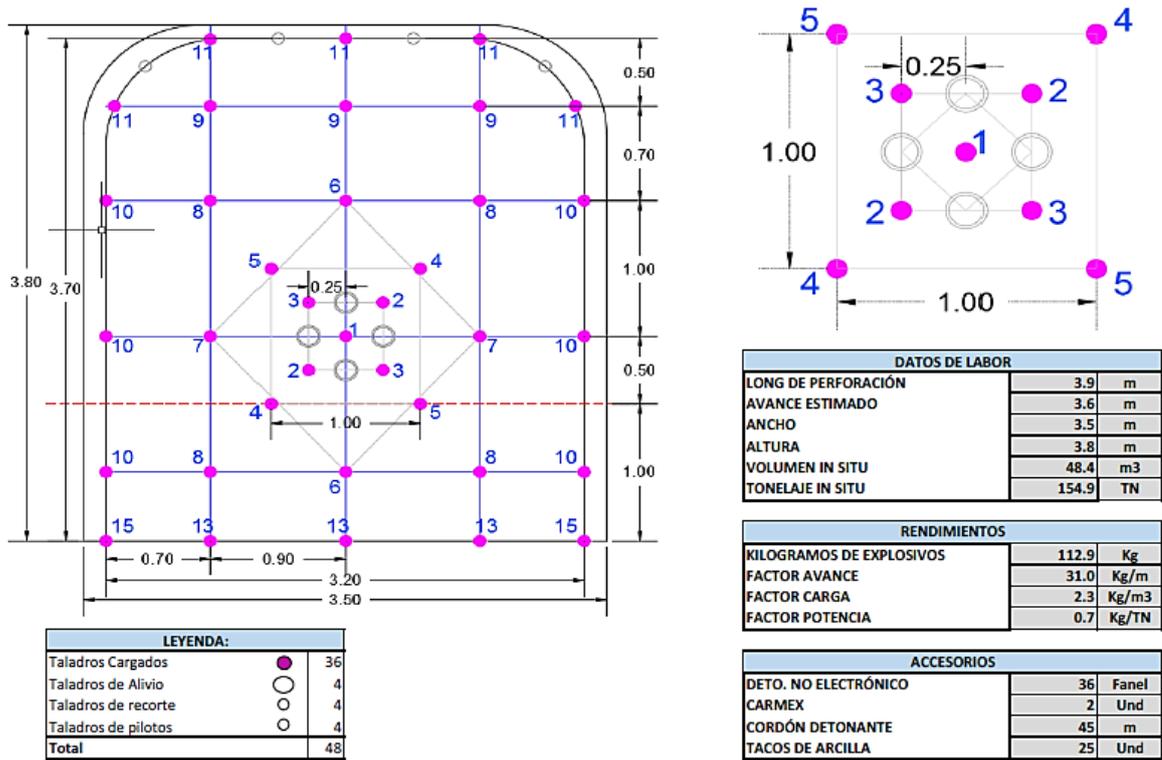


Figura 5. Estándar de malla de perforación y voladura 3.5x3.8m. RMR 31-40

Fuente: Nueva teoría P. y V. Carahuacra

MAILLA SECCIÓN 3.5 X 3.8 PARA ROCA CON RMR 41 - 50 - (BARRA 14 PIES)

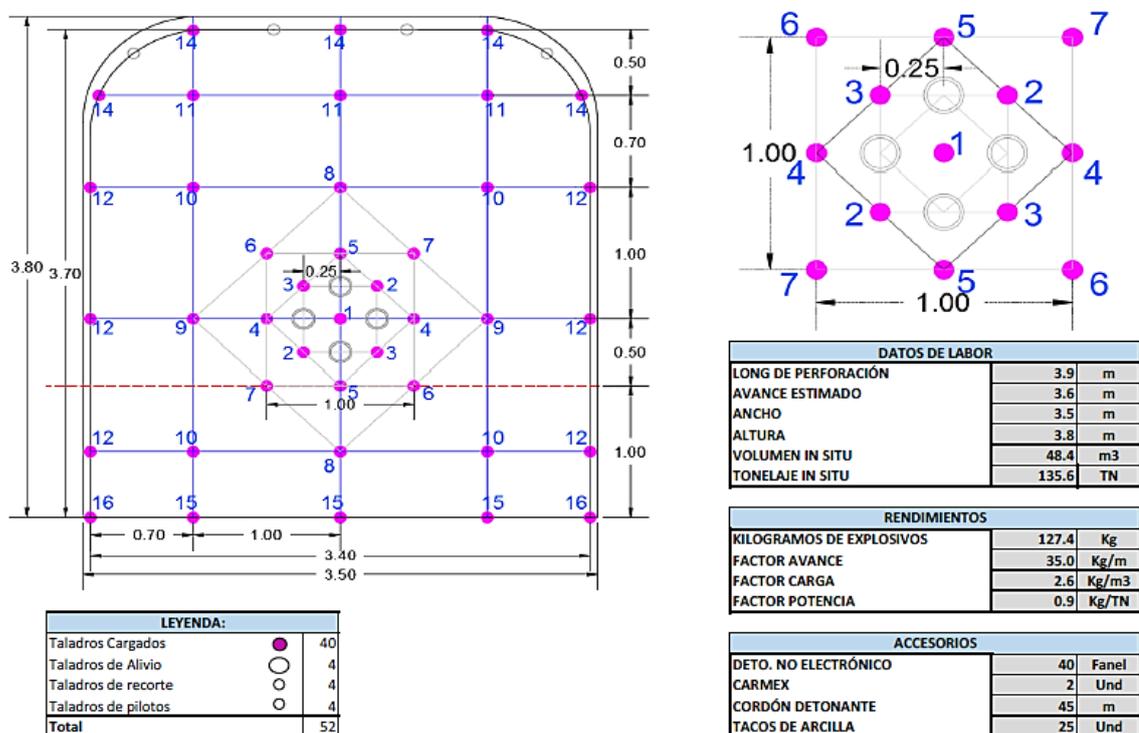


Figura 6. Estándar de malla de perforación y voladura 3.5x3.8 m RMR 41-50

Fuente: Nueva teoría P. y V. Carahuacra

2.4. Bases teóricas

2.4.1. Sobrerotura

La sobrerotura se genera en labores de desarrollo, preparación y producción debido a una voladura no controlada y/o mala aplicación de la voladura controlada, los factores influyentes que provocan la sobrerotura y caída de rocas en las labores son:

- Mal dimensionamiento de las secciones a excavar.
- Diseño de la malla de perforación inapropiada a la condición de la roca.
- Control del paralelismo en los taladros de perforación a falta del uso de guidores.
- Exceso de carguío de explosivos en los taladros.
- Inapropiada selección del explosivo, según el tipo y condición de la roca.

MÁXIMAS DESVIACIONES PERMITIDAS

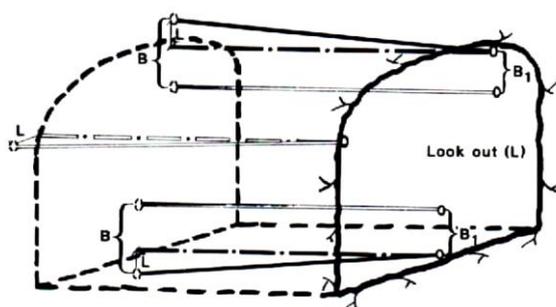


Figura 7. Desviaciones por el perímetro de la sección

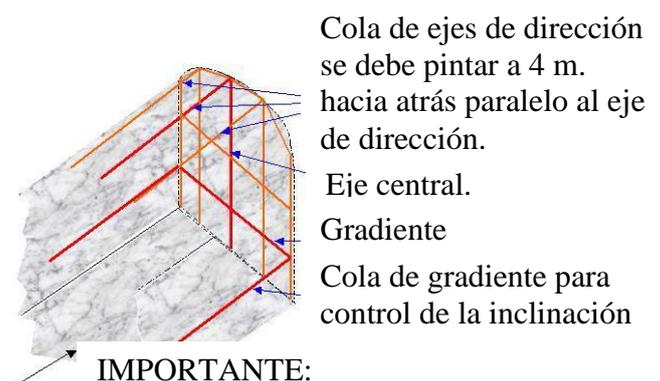
Fuente: Simposioun de taladros largos; Atlas Copco 2005

2.4.2. Formas de evitar la sobrerotura

Castañeda-Rojas (2019) Menciona “*La sobrerotura genera pérdidas del ciclo de minado*”, para evitar la sobrerotura en una labor se debe aplicar la voladura controlada (precorte o recorte) o amortiguada, teniendo las siguientes condiciones:

- Empleo de cargas explosivas lineales de baja energía
- Empleo de carga explosiva desacoplada y espaciado.
- Taladros muy cercanos entre sí, de acuerdo a la condición del terreno y al perfil que se desea obtener.
- Disparo simultaneo de todos los talados para crear una grieta o plano de rotura continua.
- Sin embargo, para poder evitar la sobrerotura se deben perforar más taladros en el contorno

ESQUEMA TRIDEMENCIONAL PARA LA PERFORACIÓN CON JUMBO



Cola de ejes de dirección se debe pintar a 4 m. hacia atrás paralelo al eje de dirección.

Eje central.

Gradiente

Cola de gradiente para control de la inclinación

IMPORTANTE:

El operador de jumbo debe tener en cuenta las colas de la gradiente y de dirección para el control del paralelismo en la perforación y evitar la sobrerotura.

Figura 8. Esquema de pintado de la gradiente y punto de dirección

2.4.3. Las fallas o errores de perforación

- **Arranques:** Insuficiente diámetro o número de taladros de alivio.
- **Desviaciones en el paralelismo:** En este caso el burden no se mantiene uniforme, resulta mayor al fondo lo que afecta a la fractura miento y al avance. Este problema es determinante en los arranques y en la periferia (techos) de túneles y galerías.
- **Espaciamientos irregulares entre taladros:** Propician fragmentación gruesa o soplo del explosivo.
- **La irregular longitud de taladros:** Influye en el avance (especialmente si el de alivio es muy corto) y también determina una nueva cara muy irregular.
- **Intercepción de taladros:** Afecta a la distribución de la carga explosiva en el cuerpo de la roca a romper.

2.4.4. Geomecánica en la perforación y voladura

Los modelos de clasificación geomecánica de macizos rocosos son una herramienta muy importante en labores de trabajos subterráneos, en especial en minería donde los continuos cambios a los cuales está sometido estos hacen que se presenten condiciones inestables en la roca; en las cuales se vuelve necesario el uso de sistemas de fortificación que eviten el colapso de los túneles. Los sistemas de clasificación geomecánica pueden ser utilizados para cualquier operación donde la calidad del macizo afecte la eficiencia de ésta, como lo es el caso de la perforación y voladura de roca (Ortega-Ramos, Jaramillo-Gil, & Molina-Escobar, 2016).

Tabla 1. Datos geomecánicos - Mina Carahuacra

NIVEL	LABOR	LITOLOGIA	RESISTENCIA A LA COMPRESION	RQD	GSI	RMR	TIPO DE ROCA	DESCRIPCION
820	SN_80_4E	Filita	50 - 100 Mp	50 - 75%	F/R	44	III - B	REGULAR "B"
920	AC365	Dacita	50 - 100 Mp	50 - 75%	F/R	41	III - B	REGULAR "B"
970	BP139	Dacita	50 - 100 Mp	50 - 75%	F/R	46	III - B	REGULAR "B"
1020	SN_03_E	Filita	50 - 100 Mp	25 - 50%	MF/R	36	IV - A	MALA "A"

Fuente: Geomecánica U.M. Carahuacra

2.4.5. Voladura convencional

La voladura convencional en túneles y galerías de mina, dejan perfiles irregulares según el sistema de diaclasamiento de la roca, normalmente afecta a la estructura remanente llegando a profundidades de 1.5 a 2 metros aproximadamente, la roca maltratada y debilitada según su tipo y condición, puede tener consecuencias de inestabilidad o desprendimiento con el tiempo:

- Genera sobrerotura por el diseño de malla inapropiada a la condición de la roca.
- No se tiene un buen auto sostenimiento.
- Las labores poseen agrietamientos excesivos.
- Los costos de sostenimiento resultan demasiado altos para la operación.
- Como medidas de solución se debe hacer el empleo de la voladura controlada o amortiguada.



Figura 9. Influencia de la voladura convencional

Fuente: Manual de perforación y voladura (Cons. Min. Horizonte S.A, 2016, págs. 91,92)

2.4.6. Voladura controlada

Consiste en distribuir linealmente la carga explosiva de baja energía colocada en taladros muy cercanos entre sí, que se disparan en forma simultánea para crear y controlar la formación de una grieta o plano de rotura continuo, que límite la superficie final de un corte o excavación.

En términos generales, si el disparo para este corte es anterior a la voladura principal o producción, se le denomina precorte y si es posterior se le conoce como recorte. Entonces los objetivos de la voladura controlada son:

- Evitar agrietamientos.
- Lograr una mejor estabilidad.
- Obtener superficies de corte lisas.
- Disminuir la dilución del mineral.
- Evitar la sobrerotura.

Voladura de recorte

Utilizado actualmente en la U.M. Carahuacra, consiste en la voladura de una sola fila de taladros cercanos con carga de explosivo desacoplada, pero después de la voladura principal.

El diseño de voladuras de contorno por recorte mediante este criterio permite, además, obtener contornos más sanos, estables y seguros debido a que se reduce el daño (las fisuras) en las rocas cercanas al contorno del túnel.(Diéguez-García, Otaño-Noguel, & Sargentón-Romero, 2014)(Sargentón-Romero, 2018).

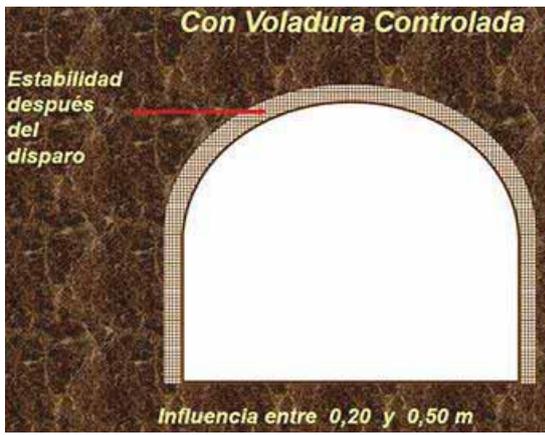


Figura 10. Influencia de la voladura controlada

Fuente: Manual de perforación y voladura (Cons. Min. Horizonte S.A, 2016, págs. 91,92)

2.5. Técnicas de recolección de datos

La técnica de recolección de datos que se utilizó consiste en un análisis documental, de la data histórica de la mina, generada por el trabajo conjunto de Perforación y Voladura, Topografía Mina y Productividad. Al procesar estos datos y convertirlos en información ayudan a establecer una línea base, que es el punto de partida de la presente investigación. Consideramos labores de un RMR de 41 a 50 según la clasificación de Bieniawski. Para los disparos de las voladuras de recorte, se usó la observación directa de los resultados en cada uno de los disparos, realizando la medición del avance y la sección de la labor.

3. RESULTADOS

El resultado se muestra según los objetivos trazados, en los últimos meses se observa mejoras en la eficiencia por disparo y el control de la sobrerotura por debajo del 10% permitido siendo posible Diseñar mallas de perforación y

voladura con la Nueva teoría para calcular el burden aplicando el modelo matemático de áreas de influencia.

3.1. Resultados de la mejora de la eficiencia del avance por disparo

El burden hallado con el modelo matemático área de influencias (Nueva teoría para calcular el burden) hubo mejoras en los últimos meses del avance por disparo (Julio, agosto, Setiembre) como se muestra en la siguiente figura:

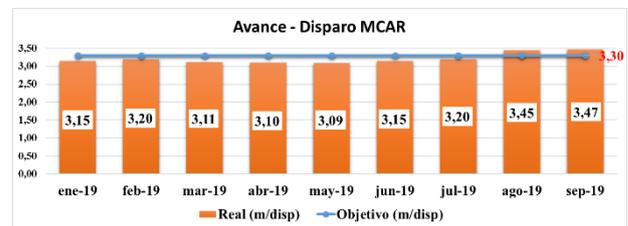


Figura 11. Resultado mensual de avance por disparo

Fuente: Productividad U.M. Carahuacra

3.2. Resultados del control de sobrerotura

Los resultados de la aplicación y uso del modelo matemático de área de influencia para el marcado de la sección de perforación según el tipo de roca y de la voladura controlada de recorte, se obtuvieron los resultados que se muestra a continuación, donde se puede observar el control de la sobrerotura cumpliendo el objetivo general.

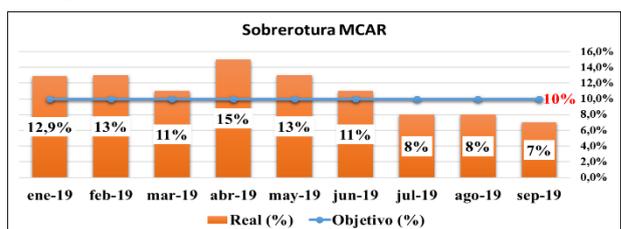


Figura 12. Resultado mensual de sobrerotura

Fuente: Productividad U.M. Carahuacra

3.3. Discusión

En los avances desde el mes de julio se tiene mejoras ya que según contrato nos median con 3.30m por disparo con perforación de barra de 14 pies. En la sobrerotura se controló a partir del mes de julio como se muestra eso ayudo a mejorar el ciclado y a cero penalidades por tema de sobrerotura y shotcrete ya que no se podía exceder del 10%.

Muñoz-Castro & Correa-Rodriguez, (2016) Menciona que *“La sobrerotura ha disminuido de 22.77% a 5.33%, haciendo uso de la voladura de precorte”*. En el caso nuestro con la voladura de recorte y el modelo matemático área de influencias ha disminuido a un 7% en el mes de setiembre.

Rodriguez Sanchez, (2017) Menciona que *“Se demuestra que diseñando la malla de perforación con el modelo matemático de área de influencia se pudo mejorar el avance lineal en el crucero 934 Sur”*, al igual que para mí investigación en la U.M. Carahuacra también fue posible diseñar mallas de perforación y voladura utilizando la nueva teoría para calcular el burden.

4. CONCLUSIONES

Se logra mejorar el avance por disparo que era el objetivo inicial en los meses de julio – setiembre donde se aplicó el modelo matemático área de influencia para el cálculo del burden nominal (área de influencia) donde como resultado es 0.50m. y se trabaja con un burden de 0.25m. para el arranque.

Con la aplicación de voladura controlada de recorte y espaciamiento de cargas desacopladas se ha logrado reducir la sobrerotura al 7% en el mes de setiembre también considerando el área de influencia de los taladros se consideró reducir el marcado de sección de perforación según el tipo de terreno en cada labor.

Como nueva propuesta para futuras investigaciones se está haciendo pruebas con el mismo arranque considerando 30cm de burden y con 60cm. de burden nominal (Área de influencia) para tipo roca de RMR 25-30 según se muestra en la clasificación del macizo rocoso RMR.

5. RECOMENDACIONES

El seguimiento de la voladura controlada debe hacerse en el campo por parte de supervisión para hacer cumplir los parámetros de cargas desacopladas por los maestros cargadores y la correcta perforación de hastiales, corona y tener en cuenta lo mencionado anteriormente las formas de evitar la sobrerotura.

También considerar lo mencionado de las fallas o errores de perforación donde lo más importantes es la falta de paralelismo siendo la causa principal de los disparos deficientes y la sobrerotura excesiva en las labores.

Lara-Baltazar (2013) Menciona que *“En los diseños de mallas de perforación se debe de tener en cuenta las áreas de influencia por cada taladro; utilizando los datos obtenidos correctamente para obtener buenos resultados*

y no asumirlos, como por ejemplo la resistencia de la roca o mineral.”

Se recomienda el uso de plantillas en el arranque con el burden establecido según el tipo de roca y evaluar el tipo de terreno antes del marcado de malla de perforación.

El tiempo que se le da para la perforación y carguío es muy importante para el resultado final de la voladura y poder cumplir con el estándar de malla de perforación y voladura.

6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Castañeda-Rojas, N. (2019). *Reducción de la sobrerotura mediante la mejora de los parámetros de voladura en la profundización de la Rampa 2705, en la unidad minera de Parcoy de Consorcio Minero Horizonte s.a. – La libertad* (Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco). Retrieved from <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/UNSAAC/4441>
- Díaz-martínez, J. C., Guarín-aragón, M. A., & Jiménez-builes, J. A. (2012). Análisis y diseño de la operación de perforación y voladuras en Minería de superficie empleando el enfoque de la programación estructurada. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, (32), 15–21. Retrieved from www.redalyc.org/articulo.oa?id=169525406003
- Diéguez-García, Y., Otaño-Noguel, J., & Sargentón-Romero, G. (2014). Diseño de voladuras de contorno en túneles. *Minería y Geología*, 30(3), 49–66. Retrieved from <http://redalyc.org/articulo.oa?id=223532481004>
- Lara-Baltazar, O. R. (2013). *Diseño de malla de perforación para optimizar la voladura en la Unidad Carahuacra de la Compañía Minera Volcan S.A.A.* (Universidad Nacional del Centro del Peru). Retrieved from <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/2173>
- Ludtwín-Caceres, N. (2017). *Universidad nacional del altiplano* (Universidad Nacional del Altiplano). Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4491>
- Mendoza-Muñoz, N. (2014). *Optimización de la voladura controlada aplicando el modelo matemático en la unidad minera Paraiso - Ecuador.* Universidad Nacional del Centro del Peru.
- Muñoz-Castro, J. J., & Correa-Rodríguez, J. M. (2016). *Reducción de la sobrerotura en el crucero 3910 del nivel 2360 de La mina PEC Consorcio Minero Horizonte* (Universidad Nacional de Trujillo). Retrieved from <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/5334>
- Ortega-Ramos, C. A., Jaramillo-Gil, A. F., & Molina-Escobar, J. M. (2016). Modificación de las mallas de perforación de voladuras a partir del índice de esfuerzo geológico (GSI), caso mina “La Maruja”, Colombia. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, 40(Julio), 32–38.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15446/rbct.n40.52199>

Rodriguez Sanchez, D. J. (2017). *Modelo matematico “Areas de influencia” aplicado en perforacion y voladura en el crucero 934 sur de la compañía minera Atacocha S.A. – 2017* (Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo). Retrieved from <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2024>

Sargenton-Romero, G. (2018). Diseño de voladuras de contorno por recorte con cordón detonante de alto gramaje en la excavación de túneles. *Minería y Geología*, 34(4), 384–404. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223556748012>