

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

Optimización de voladura controlada para minimizar la dilución en el tajo Valeria de la
Unidad Minera Anama – Empresa Minera Anabí-2019

Presentado por:

Yosep Fortunato Nina Dávila

Para optar el título de Ingeniero de Minas

Abancay, Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

“OPTIMIZACIÓN DE VOLADURA CONTROLADA PARA MINIMIZAR LA
DILUCIÓN EN EL TAJO VALERIA DE LA UNIDAD MINERA ANAMA –
EMPRESA MINERA ANABÍ-2019”

Presentado por YOSEP FORTUNATO NINA DAVILA para optar el Título de:
INGENIERO DE MINAS

Sustentado y aprobado el 31 de diciembre del 2021, ante el jurado:

Presidente:

Ing. Hilario Carrasco Kolque

Primer Miembro:

Ing. Edgar Crispin Huacac Farfán

Segundo Miembro:

Ing. Darwin Duhamel Loayza Encalada

Asesor (es) :

Ing. Giovanni Frisancho Triveño

Agradecimiento

En primer lugar, a Dios por permitirme tener vida y salud, para lograr el primer objetivo primordial en la vida. A mi familia quienes estuvieron a mi lado en todo momento apoyándome y dándome fuerzas para culminar uno de mis principales sueños en mi vida profesional.



Dedicatoria

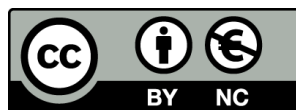
Este presente trabajo de investigación se la dedico a mis padres Jesús Nina, Cecilia Dávila, por brindarme amor, Apoyo, comprensión y educación, quienes sin dar un paso al costado afrontaron en los momentos difíciles de este largo camino de la vida construyendo en mí una virtud de perseverancia.



“Optimización de voladura controlada para minimizar la dilución en el Tajo
Valeria de la Unidad Minera Anama – Empresa Minera Anabí-2019”

Línea de investigación: minería y procesamiento de minerales

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
RESUMEN.....	2
ABSTRACT	3
CAPÍTULO I.....	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 Descripción del problema	4
1.2 Enunciado del problema	5
1.2.1 Problema general	5
1.2.2 Problemas específicos	5
1.3 Justificación de la investigación	5
CAPÍTULO II.....	6
OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	6
2.1 Objetivos de la investigación	6
2.1.1 Objetivo general.....	6
2.1.2 Objetivos específicos	6
2.2 Hipótesis de la investigación	6
2.2.1 Hipótesis general.....	6
2.2.2 Hipótesis específicas	6
2.3 Operacionalización de variables (variable, dimensión, indicador)	7
CAPÍTULO III.....	8
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	8
3.1 Antecedentes de la investigación	8
3.1.1 Internacionales	8
3.1.2 Nacionales.....	9
3.2 Marco teórico.....	10
3.2.1 Ubicación	10
3.2.2 Acceso.....	11
3.2.3 Descripción Geológica.....	11
3.2.4 Diseño de tajo	12



3.2.5 Plan de minado.....	13
3.2.6 Proceso de actividades de operación mina.....	13
3.2.7 Beneficio.....	16
3.2.8 Medio ambiente	17
3.2.9 Distribución de la carga explosiva.....	17
3.2.10 Explosivos y agentes de voladura.....	18
3.2.11 Mecanismo de fragmentación de la roca por explosivos	24
3.2.12 Secuencias de iniciación	27
3.3 Marco conceptual.....	30
CAPÍTULO IV	33
METODOLOGÍA	33
4.1 Tipo y diseño de la investigación.....	33
4.1.1 Tipo de la investigación.....	33
4.1.2 Diseño de la investigación	33
4.2 Población y muestra.....	33
4.2.1 Población	33
4.2.2 Muestra	33
4.3 Procedimiento de la investigación	33
4.4 Material De Investigación.....	33
4.4.1 Instrumentos de investigación.....	34
4.5 Plan de tratamiento de datos	34
4.6 Metodología de la investigación	34
4.6.1 Optimización de voladura controlada	34
4.6.2 Minimización de la dilución	34
4.6.3 Resultado que se quiere llegar	35
CAPÍTULO V.....	36
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	36
5.1 Planeamiento.....	36
5.2 Geología Mina	36
5.3 Geotecnia	37



5.4	Marcado de malla.....	38
5.5	Diseño estándar de Voladura	44
5.5.1	Diseño de carga y secuencia de amarre	44
5.5.2	Parámetros de voladura.....	45
5.6	Análisis de voladura antes de optimización.....	47
5.7	Optimización de diseño de perforación y voladura.....	49
5.7.1	Designación de diseño de malla de perforación y voladura por Alteraciones	49
5.7.2	Análisis de voladura tomando en cuenta los parámetros de perforación y voladura	54
5.7.3	Características del terreno.....	54
5.7.4	Representación geológica del terreno a detonar.....	54
5.7.5	Diseño de malla de perforación	55
5.7.6	Diseño de carga explosivo	56
5.7.7	Diseño de amarre	60
5.7.8	Resultado de leyes del Blast Hole.....	60
5.7.9	Secuencia de salida	62
5.8	Optimización de la voladura controlada	63
5.9	Reducción de dilución.....	66
5.10	Discusión de resultados.....	67
	CAPÍTULO VI	69
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
6.1	Conclusiones.....	69
6.2	Recomendaciones	70
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
	ANEXOS	74



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 — Operacionalización de la variable	7
Tabla 2 — Ruta 01: Lima - Cusco	11
Tabla 3 — Ruta 02: Por la Panamericana	11
Tabla 4 — Parámetros de diseño.....	13
Tabla 5 — Propiedades de los explosivos a granel	20
Tabla 6 — Constante TH por tipo de Roca	29
Tabla 7 — Resultado por retardos.....	29
Tabla 8 — Porcentaje de alteraciones en tajo, densidad y dureza.....	39
Tabla 9 — Densidad de roca y clase	40
Tabla 10 — Formulario Sílice masivo	41
Tabla 11 — Formulario Sílice granular	42
Tabla 12 — Formulario Sílice Alunita.....	43
Tabla 13 — Parámetros de Malla por Alteraciones	50
Tabla 14 — Cuadro de comparación.....	67
Tabla 15 — Matriz de consistencia	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 — Ubicación de la mina	10
Figura 2 — Diseño del tajo Valeria	13
Figura 3 — Transporte de Material.....	15
Figura 4 — Botadero mina Lado Oste y Lado Norte Respectivamente.....	16
Figura 5 — Planta de beneficio ANAMA.....	16
Figura 6 — Detonadores de Mecha	21
Figura 7 — Mechas de mina	22
Figura 8 — Cordón Detonante.....	23
Figura 9 — Características de un tubo de choque.....	23
Figura 10 — Iniciador Nonel con retardo de profundidad.....	24
Figura 11 — Rotura radial como efecto de la onda de detonación a las paredes de un taladro	25
Figura 12 — Detonación de un taladro con cara libre	25
Figura 13 — Grietas radiales alrededor del taladro en detonación	26
Figura 14 — Movimiento de material hacia adelante	26
Figura 15 — Secuencia de perforación por leyes	36
Figura 16 — Secuencia de perforación por Alteraciones	37
Figura 17 — Secuencia de perforación zonificada	37
Figura 18 — Perforación primaria con DM-45.....	38
Figura 19 — Secuencia de perforación	44
Figura 20 — Nomenclatura, Diseño de carga	45
Figura 21 — Plano Resultado de leyes Banco 4680	47
Figura 22 — Vista del proyecto antes de la voladura	48
Figura 23 — Secuencia de salida inicial	48
Figura 24 — Vista del proyecto después de voladura.....	49
Figura 25 — Designación de malla y Explosivo según la Alteración.....	51
Figura 26 — Designación de malla y Explosivo según la Alteración.....	52
Figura 27 — Nomenclatura, Diseño de Amarre	53
Figura 28 — Representación geológica del terreno a detonar	55
Figura 29 — Diseño de malla de perforación	56
Figura 30 — Proyecto de voladura banco 4648 py 33	56
Figura 31 — Diseño de carga explosiva para la Alteración Sílice Masivo.....	57
Figura 32 — Diseño de carga explosiva para la Alteración Sílice Granular	58
Figura 33 — Diseño de carga explosiva para la Alteración Sílice Alunita.....	59
Figura 34 — Plano Resultado de leyes Banco 4648	61
Figura 35 — Secuencia de salida	62

Figura 36 — Secuencia de amarre JK Simblast Banco 4648 py 33.....	63
Figura 37 — Secuencia de amarre JK Simblast Banco 4736 py 17.....	64
Figura 38 — Secuencia de inicio de voladura.....	65
Figura 39 — Plano de área de influencia.....	66
Figura 40 — Voladura selectiva entre el Mineral y Desmonte.....	66
Figura 41 — Voladura selectiva entre el Mineral y Desmonte.....	67
Figura 42 — Limpieza de Plataforma de Perforación BC 4656.....	76
Figura 43 — Armado de malla de perforación.....	76
Figura 44 — Perforación con DM-45.....	77
Figura 45 — Proyecto de voladura.....	77
Figura 46 — Mapeo de Alteración.....	78
Figura 47 — Medición de taladro.....	78
Figura 48 — Proceso de carguío de taladro.....	79
Figura 49 — Proceso de carguío de taladros con camión fabrica.....	79
Figura 50 — Voladura.....	80
Figura 51 — Carguío de mineral Excavadora 390.....	80
Figura 52 — Carguío de mineral Excavadora 345.....	81
Figura 53 — Transporte de material con volquetes de 22 m3.....	81



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación abordara la operación de voladura encontrados en los tajos de Valeria, la dilución generada por la voladura, causan problemas en los pats de mineral y por consiguiente incremento de costos en estas operaciones, los cuales motivaron el estudio y verificación de los parámetros de perforación y voladura controlada.

La voladura de rocas es un campo de la ingeniería de Minas en la cual deben concurrir los diseños teóricos y el ajuste experimental. La explotación del Mineral se realiza a tajo abierto, donde la operación de voladura causa efectos operacionales no favorables, como una dilución de minerales óxidos con los sulfuros, lo cual dificulta para un buen tratamiento posterior y baja lay de mineral, trayendo en consecuencia costos elevados para una recuperación baja, siendo necesario que la voladura sea optimizada para mejorar estas deficiencias.

Actualmente, las tecnologías disponibles y el adecuado diseño de las voladuras permiten mejorar los problemas operacionales. En este trabajo de investigación se tiene el objetivo principal de determinar la optimización de la voladura controlada para minimizar la dilución en el tajo Valeria de la Unidad Minera Anama, para ello se describen y se realiza los patrones de voladura, en la carga de la columna explosiva.

Parra llegar al objetivo planteado en la siguiente tesis la organización comienza con la observación, documentación y recopilación de datos insitu, posteriormente se realizarán trabajos en gabinete y así poder realizar los cálculos necesarios que permitirá la obtención de los resultados esperado.

RESUMEN

El trabajo de tesis tiene como objetivo la optimización de voladura controlada para minimizar la dilución en el Tajo Valeria de la Unidad Minera Anama – Empresa Minera Anabí, donde se tuvo anteriormente un solo diseño de perforación y voladura esta última afectando en el rendimiento de equipos, % de recuperación en planta, altos costos operativos. Por tal motivo se realizó la optimización de la voladura controlada realizando trabajos en campo para conseguir dicha optimización. Los procedimientos que se siguieron están estructurados de la siguiente forma. Primero: Se realizó trabajos de geo-mecánica en la zona donde se realizará trabajos de la optimización de la voladura controlada. Segundo: Se efectuó el diseño de mallas de perforación de acuerdo para cada tipo de alteración existente en el tajo donde se realizarán las pruebas (Sílice masivo B=3.30 E=3.80), (Sílice granular B=4.00 E=4.60), (Sílice Alunita B=4.4 E=5.00) respectivamente. Tercero: Respecto al carguío de explosivos se cargan los taladros de acuerdo a la alteración identificada, donde estos agentes de voladura están especificados para cada tipo de trabajo. (Sílice Masivo HA_55), (Sílice Granular HA_46), (Sílice Alunita HA_37) Cuarto: con el diseño de secuencia de salida se realiza una voladura selectiva utilizando tiempos de retardo desde 25 hasta 109 ms de acuerdo al resultado que se requiere obtener. Quinto: se obtuvieron resultados deseados, donde la voladura controlada con la ayuda de los explosivos seleccionados para cada tipo de alteración y un diseño adecuado de voladura selectiva redujo la dilución de 16% a 9%. Se tiene como conclusión general que el uso de los agentes de voladura con el diseño de la malla de perforación, diseño de la secuencia de salida donde estos se empleen adecuadamente estas optimizan la voladura y por ende minimizara la dilución en el Tajo Valeria de la Unidad Minera Anama. Haciendo la mejora de rendimiento de equipo, ley de mineral, % recuperación en planta, bajos costos operativos.

Palabras clave:

Alteración, dilución, Optimización, perforación y voladura.

ABSTRACT

The objective of the thesis work is to optimize controlled blasting to minimize dilution in the Valeria Pit of the Anama Mining Unit - Empresa Minera Anabí, where there was previously only one drill and blast design, the latter affecting the performance of equipment, % recovery in plant, high operating costs. For this reason, the controlled blast optimization was carried out by carrying out field work to achieve said optimization. The procedures that were followed are structured as follows. First: Geomechanical work was carried out in the area where work will be carried out on the optimization of controlled blasting. Second: The drilling mesh design was carried out according to each type of alteration existing in the pit where the tests will be carried out (Massive silica B = 3.30 E = 3.80), (Granular silica B = 4.00 E = 4.60), (Silica Alunite B = 4.4 E = 5.00) respectively. Third: Regarding the loading of explosives, the drills are loaded according to the identified alteration, where these blasting agents are specified for each type of work. (Massive Silica HA_55), (Granular Silica HA_46), (Alunite Silica HA_37) Fourth: with the exit sequence design, a selective blast is carried out using delay times from 25 to 109 ms according to the result that is required to be obtained. Fifth: desired results were obtained, where controlled blasting with the help of the explosives selected for each type of alteration and a suitable selective blasting design reduced the dilution from 16% to 9%. The general conclusion is that the use of blasting agents with the design of the drilling mesh, design of the exit sequence where these are used appropriately, optimizes the blasting and therefore minimizes dilution in the Valeria Pit of the Unit. Anama Mine. Making the improvement of equipment performance, mineral grade, % recovery in plant, low operating costs.

Keywords:

Alteration, dilution, optimization, drilling and blasting.



CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

La formación geológica del tajo Anama, está compuesta por rocas dacíticas con comportamiento de domos y tufos en contacto con rocas andesíticas, las alteraciones encontradas en el “tajo Anama” es una mineralización epitermal de alta sulfuración, que contiene mineralización de oro diseminado que está constituida por minerales óxidos, las cuales al momento de realizar la voladura se tienen problemas por la excesiva dilución que se genera, afectando la producción, operaciones mina, como en carguío de mineral, rendimiento de la excavadora, ocasionando pérdidas considerables al bajar las leyes de mineral de interés a causa de la dilución.

La primera fase del control de dilución en el tajo Valeria, es definir puntos básicos. Como contactos estériles mineral, determinar el diseño de voladuras y precisar un especial control de una o más masas de mineral entre un cuerpo rocoso estéril o mineral, en este caso minerales óxidos con sulfuros. Esto se determina por los muestreos en cada barreno de voladura o bien de barrenos de investigación (que atraviesan los bancos de voladura) y complementando con la información geológica y topográfica del banco superior en ese mismo punto.

Tenemos que determinar el comportamiento del material volado en las condiciones de nuestro proyecto. Se realiza con un modelo de desplazamiento, donde los profesionales de voladura, coordinando con el área de geología y topografía, realizan la predicción del desplazamiento de la roca volada, no solo en la intemperie sino también en el interior de lo modelado.

El objetivo de esta tesis de investigación es proponer técnicas para el diseño de una voladura controlada con el fin de minimizar la dilución en el tajo Valeria, donde se tiene problemas frecuentes, bajas leyes a causa de la contaminación de los sulfuros a los óxidos.

1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿En qué medida la optimización de la voladura controlada minimizará la dilución en el Tajo Valeria de la Unidad Minera Anama?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo se mejorará la ley de mineral con la optimización de la voladura controlada en el Tajo Valeria de la Unidad Minera Anama?
- ¿Cómo se determinará el diseño de perforación y voladura, para minimizar la dilución en el tajo Valeria de la unidad Minera Anama?

1.3 Justificación de la investigación

Con la optimización de la perforación y voladura controlada en el tajo Valeria de la unidad minera Anama se mejorarán los tiempos, ciclos de minado, haciendo que el mineral este fácilmente identificable con el tamaño deseado y realizar de forma rápida los trabajos de operación carguío y transporte.

Con la optimización de voladura controlada se busca minimizar la dilución entre minerales óxidos y sulfuros, de esta manera controlar la ley de mineral por tonelada y así mejorar la rentabilidad y viabilidad de la explotación de tajo Valeria.

Este trabajo de tesis se justifica puesto que lo que se busca es mejorar los trabajos de perforación y voladura para que no haya dilución en los diferentes escenarios que se pueda presentar al realizar esta tarea,

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Determinar la optimización de la voladura controlada para minimizar la dilución en el tajo Valeria de la Unidad Minera Anama

2.1.2 Objetivos específicos

- Mejorar la ley de mineral con los parámetros de optimización de la voladura controlada en el Tajo Valeria de la Unidad Minera Anama.
- Determinar el diseño de perforación y voladura para minimizar la dilución en el tajo Valeria de la unidad minera Anama.

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1 Hipótesis general

Se optimizo la voladura controlada para minimizar la dilución en el tajo Valeria de la Unidad Minera Anama

2.2.2 Hipótesis específicas

- Se mejoró la ley de mineral con la optimización de la voladura controlada, en el Tajo Valeria de la Unidad Minera Anama
- Se determinó el diseño de perforación y voladura, para minimizar la dilución en el tajo Valeria de la Unidad Minera Anama

2.3 Operacionalización de variables (variable, dimensión, indicador)

Tabla 1 — Operacionalización de la variable

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable independiente	Optimización de voladura controlada	Ley de mineral	Contenido en gramos por tonelada
		diseño de perforación y voladura	Diseño y control de los parámetros de P & V. Paralelismo y longitud de los taladros. Densidad y velocidad de detonación de los explosivos
Variable dependiente	Minimizar la dilución en el Tajo Valeria	Tipo de alteración	Porcentaje de material estéril
			Presencia de alteraciones en la mineralización.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes de la investigación

3.1.1 Internacionales

- a) Según: Montiel R. (2014), en su tesis “Optimización del Diseño de Perforación y Voladura Aplicando Cámara de Aire con el explosivo Fortis Extra, Mina Paso Diablo, Carbones del zulia s.a, Estado Zulia.” El objetivo general de este estudio fue efectuar Optimizar los diseños de perforación y voladura, en función de las características del macizo rocoso, la mezcla explosiva para mejorar la fragmentación del material volado, en la Mina Paso Diablo, Carbones del Zulia S.A., estado Zulia. Cuando se obtiene sobre fragmentación de la roca, se está incurriendo en un gasto innecesario ya que se ha utilizado una cantidad de explosivo mayor a la necesaria. Si, al contrario, los resultados son grandes bloques de rocas mal fragmentados, se estaría afectando la productividad de forma negativa para los equipos de carga y acarreo, además de incurrirse en pérdidas de producción. Actualmente en la Mina Paso Diablo existen variaciones en la fragmentación de la roca, se presume que esta desviación se debe a algunas características, propiedades de la roca y del explosivo que no se ha tomado en consideración para llevar a cabo las voladuras. Dicho problema podría disminuirse optimizando los diseños de perforación y voladura, empleando criterios como propiedades y características de la roca, propiedades de la mezcla explosiva Fortis Extra y la técnica con cámara de aire, los cuales no se han tomado en cuenta en los diseños aplicados actualmente en el yacimiento.

- b) De acuerdo con De Nicola, (2015), en su investigación menciona que si podría disminuir su impacto de dilución realizando estudios respecto de los tiempos de iniciación y la orientación de salida de las voladuras, de manera tal que el material quede segregado y no mezclado.

3.1.2 Nacionales

- a) Omar, (2014) en la ponencia del Perumin con el tema de “Técnicas Modernas de Voladuras Controladas en Minería a Cielo Abierto” menciona que, la aplicación de voladuras controladas a corto, mediano y largo plazo, es la opción más rentable y sostenible en el tiempo para una empresa minera de clase mundial. Sobreponiendo el cuidado del entorno social y el sólido desarrollo de las propias operaciones. La aplicación de voladuras controladas permite desarrollar los trabajos de profundización con factores de seguridad elevados.
- b) Medina, (2014) en su tesis titulada “Evaluación Técnico-Económica-Ecológica de los Resultados de las Pruebas Realizadas Usando Emulsiones Gasificadas en Cuajone – Southern Peru” describe que, en Cuajone se viene realizando diversas pruebas con una nueva mezcla explosiva comercial, que tiene como principal característica su mayor poder energético, pudiendo sustituir a las mezclas explosivas usadas en esta unidad como es el caso del Heavy ANFO, en sus distintos tipos (HA37, HA45/55 ó HA64). Así mismo el ingreso de esta nueva tecnología a la operación unitaria de voladura puede ser una estrategia para la reducción de costos, aprovechando las propiedades del explosivo y modificando las mallas de perforación y voladura, lo cual ocasionara la disminución del factor de carga, y con ello los costos totales reflejados en el indicador dólares por tonelada fragmentada.
- c) De acuerdo con Basilio (2014), La aplicación de la técnica Voladura Bajo Manto logró reducir la dilución del material limpio de 4.63% a 1.93%, lo que significó una mejora de 41.68%. Por su parte la dilución del material carbonoso pasó de 25.62% a 14.03%, lo que representó una mejora de 54.76%.
- d) De acuerdo con Zea, y otros (2021), menciona que después de la implementación de los nuevos diseños de malla de perforación y voladura, en la cual también se incluyó la voladura controlada, el tamaño medio de los fragmentos de 6,56 pulgadas; es un 18% menos de las 8 pulgadas requeridas y asegura menores costos en la preparación para su tratamiento en la planta concentradora.

- e) Según Mendoza (2018), en su trabajo de investigación menciona la facilidad de diseño de secuencia de salida de voladura, de acuerdo a los manuales establecidos en donde indican las secuencias a utilizar, para una óptima fragmentación y reducción de daños a causa de las vibraciones generadas por voladuras

3.2 Marco teórico

3.2.1 Ubicación

Anama (2022), en su pagina menciona que el proyecto de investigación está ubicado en el tajío Valeria de la Unidad Minera Anama – Empresa Minera Anabí. El yacimiento de Anama se encuentra en los parajes de los cerros Japutani – Chicorone, del distrito de Huaquirca, provincia de Antabamba, departamento de Apurímac, entre las coordenadas 738373 E, 8416300 N y 745464 E, 8410280 N, UTM (WGS 84, zona 18S), con una altitud promedio entre 4600 a 4800 m.s.n.m.



Figura 1 — Ubicación de la mina
Extraído de Google Earth

3.2.2 Acceso

Se tienen 2 rutas por donde se puede acceder a la unidad minera

Tabla 2 — Ruta 01: Lima - Cusco

Ruta	Km	Tipo de Vía	Tiempo (Moras)
Lima - Cuzco		Aérea	1
Cuzco - Abancay	183	Pavimentada	4
Abancay - Santa Rosa	66	Pavimentada	1
Santa Rosa - Antabamba	71	Afirmada	2
Antabamba - Desvío Anama	68	Semi Afirmada	2
Desvío Anama - Proyecto Anama	17	Trocha	1
Total	405		11

Tabla 3 — Ruta 02: Por la Panamericana

Ruta	km	Tipo de Vía	Tiempo (horas)
Lima - Nazca	444	Asfaltado	06
Nazca-Desvío hacia Ayacucho-Apurímac	400	Asfaltado	7,5
Santa Rosa-Antabamba	71	Afirmado	2,5
Antabamba-Proyecto Anama	60	Trocha Carrozable	04
Total	975	-----	20

3.2.3 Descripción Geológica

La propiedad Anama se encuentra en el flanco este de la Cordillera Occidental de los Andes del Sur y Centro del Perú (departamento de Apurimac). La cordillera se formó como resultado de la subducción de la Placa Sudamericana combinados con periodos de esfuerzos compresionales.

La base de la estratigrafía comprende sedimentos del Jurásico Superior a Cretáceo Inferior correspondiente al Grupo Yura y este es dividido en tres formaciones:



Formación Piste, Formación Chuquibambilla y Formación Soraya. Sobreyace a la precedente las capas rojas de la Formación Mara que se considera como una guía regional de interpretación estratigráfica. Calizas de la Formación Ferrobamba del Albino–Cenomano sobreyacen a los sedimentos precedentes. Sedimentos clásticos de origen continental del Grupo Puno pertenecientes al Terciario inferior (paleógeno) se encuentra sobre los sedimentos del Cretáceo. Volcano–Sedimentarios y derrames andesíticos y dacíticos del Grupo Tacaza (oligoceno-mioceno) sobreyacen al Grupo Puno y anteriores. Volcánicos jóvenes del Plioceno al Cuaternario completan la secuencia con los volcánicos post Tacaza (Cerro Cullimayoc), Sencca, Grupo Barroso y Santo Tomás.

Intrusivos de diferentes naturalezas, tales como granodiorita, tonalita, monzonita y diorita del Cretáceo superior al Terciario correspondientes al Batolito de Apurímac se localizan al norte de la Propiedad de Anama. Intrusiones de stocks hipabisales del mioceno también están presentes.

Las rocas precedentes han sufrido tres fases de deformaciones compresivas durante la orogenia andina y finalmente el levantamiento “vertical” de la Cordillera de los Andes con las consecuencias de intensa erosión y profundización de valles.

3.2.4 Diseño de tajo

En base al pit óptimo se ha realizado el diseño operativo del tajo abierto considerando parámetros geotécnicos de taludes, y parámetros de operación. Para el diseño se utilizaron herramientas del software Minero.

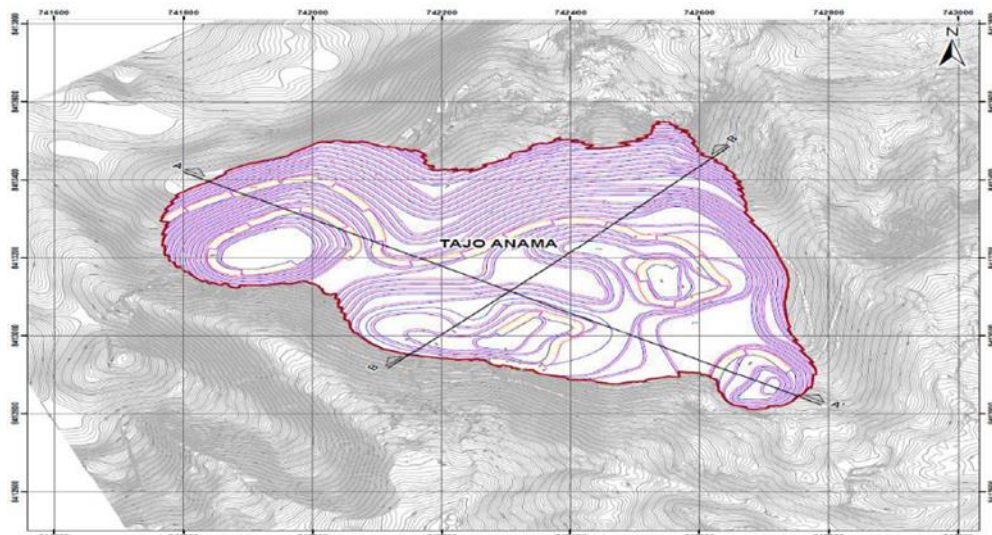


Figura 2 — Diseño del tajo Valeria
 Extraído de planeamiento mina Anama

Tabla 4 — Parámetros de diseño

Ancho de Rampa	12m
Gradiente de Rampa	10%
Mura de Banco	8 m
Talud de Banco	65°-70°
Ancho de Berma	4.27 m

Extraído de planeamiento mina Anama.

3.2.5 Plan de minado

Anama (2022), determino un total de 5 475 000 t material recuperado con una ley de 0.48 g/t de Au y 2 737 500 t de material de desmonte.

3.2.6 Proceso de actividades de operación mina

En la unidad minera el proceso productivo estará controlado por un plan de minado, donde estén contempladas las actividades directamente involucradas al proceso de minado.

3.2.6.1 Perforación

Anama (2022), Para la actividad de perforación se emplearon perforadoras DM45E, el diámetro del taladro es de 7 7/8” y 8.5 m de longitud de perforación, el cual tiene 0.5 m de sobre perforación.

3.2.6.2 Voladura

Anama (2022), Para este proceso la iniciación se da utilizando boosters de 1 libra, con líneas no eléctricos, para el amarre troncal se emplea el retardo en superficie fanel (ctd). La carga de columna de taladros es mecanizada se utiliza un camión fábrica que hace la mezcla de ANFO y EMULSION se realiza el taqueo de los taladros con 3 metros de longitud.

3.2.6.3 Carguío

Anama (2022), realizar el carguío de material entre el mineral y desmonte para ello se utiliza equipos pesados tales como: excavadoras alimentar a los volquetes de 22 m³. Los equipos de carguío son:

- Excavadora CAT 390 – 4.8 m³
- Excavadora CAT 365 – 4.0 m³
- Excavadora CAT 345 – 3.0 m³

3.2.6.4 Transporte

Anama (2022), traslada el material extraído del tajo al pad de lixiviacion si es mineral o al botadero cuando es material estéril (Desmonte). Utilizando para este proceso volquetes de 22 m³ de capacidad.

Respecto a la descarga del material el mineral es depositado en el pad de lixiviacion a su vez el desmonte es depositado en el Botadero cumpliendo a cabalidad los parámetros de diseño establecido. Se transporta el material por una rampa con pendiente máximo de 10% y 12 m de ancho mínimo para ello se utiliza:

- 24 volquetes Operativos
- 02 volquetes en stand by



Figura 3 — Transporte de Material
Extraído de Operaciones mina

3.2.6.5 Botaderos

Anama (2022), menciona que el Botadero está ubicado al Oeste del tajo. La operación del botadero se desarrollará mediante el almacenamiento de desmonte procedente de las labores de mina del tajo. La colocación del material en el botadero se efectuará al volteo. Para una adecuada operación del botadero de desmonte se consideran las siguientes obras:

Una berma de protección en el pie del botadero, un sistema de sub - drenaje en toda el área del depósito, poza de monitoreo de calidad de agua de sub-drenaje y un sistema de colección de efluentes.

Parámetros operacionales

- Altura del lift : 15 m
- Ancho de banqueta : 12 m
- Angulo de talud lift : 37°
- Angulo de talud final : 22°



Figura 4 — Botadero mina Lado Oste y Lado Norte Respectivamente
Extraído de Operaciones mina Anama

3.2.7 Beneficio

Anama (2022), menciona que el desarrollo del proyecto Anama, en el marco de su desarrollo considera el tratamiento de un mineral de oro aplicando el proceso de lixiviación en pilas y recuperación del oro en solución con planta Merrill Crowe, el mineral a tratarse será bajo el sistema ROM y chancado, el producto final a obtenerse son barras metálicas tipo DORE, que consiste en una aleación de oro, plata.



Figura 5 — Planta de beneficio ANAMA
Extraído de Área de Beneficio.

3.2.8 Medio ambiente

Anama (2022), La empresa ha asumido el compromiso de proteger el medio ambiente en sus áreas de influencia mediante programas de educación del personal y procedimientos, orientados al monitoreo del agua, aire, conservación de suelo y reforestación. En Anama, se trabaja bajo una estricta supervisión de procesos y procedimientos, los cuales siguen las más exigentes normas internacionales de seguridad, calidad y cuidado medio ambiental, así como nuestros propios estándares, desarrollados en función de la especificidad que requiere cada una de nuestras operaciones.

3.2.9 Distribución de la carga explosiva

3.2.9.1 Columna explosiva

Según Oviedo, (2017) en su tesis titulada “Diseño De Mallas De proyecto Perforación realizando Uso Del Software Drill And Blast Vulcan 8.0 para llegar a un resultado optimo de fracmentacion En E.E. Ajani Unidad Minera Anabi” indica que la columna explosiva es la zona activa del taladro de voladura, llamada también “longitud de carga” donde se ocasiona la reacción explosiva como también la presión inicial de los gases contra las paredes del taladro. la longitud de esta columna es de 2/3 de la longitud total del taladro.

3.2.9.2 Carga de fondo (CF)

Osso, 2003 en el texto de conceptos basicos sobre voladura menciona que, esta carga es la que inicia todo el proceso de voladura que aloja al iniciador. Su longitud es normalmente equivalente a la del burden más la sobre-perforación:

B; luego:

$$CF = (1,3 \times B)$$

La longitud varía de acuerdo a las características geomecánicas de la roca, esta variación va desde 30 Ø para roca fácil a 45 Ø para muy dura.

3.2.9.3 Carga de columna (CC)

Konya, (2018) en el libro de perforación y voladura esta carga esta compuesta normalmente ANFO convencional, ANFO Pesado

$$CC = L - (CF + T)$$

Estos se preparan por camiones fábricas, las cuales cargan ANFO Pesado en relaciones de 10/90 a 60/40, con una longitud de (10/15) Ø al fondo y completar la carga de columna con ANFO normal.

3.2.9.4 Cargas segmentadas o espaciadas

Oviedo (2017) en su tesis mencina que las cargas segmentadas normalmente se emplean cargas continuas en taladros de pequeña o mediana longitud, pero en taladros largos o en aquellos que se requiera disminuir la energía, pero manteniéndola distribuida en toda su longitud, se emplean cargas espaciadas con tacos inertes intermedios y con un iniciador en cada una para garantizar su salida. Estas cargas pueden ser del mismo tipo de explosivo o emplearse uno de mayor densidad o potencia en la primera carga al fondo. Las salidas pueden ser simultáneas o con diferentes tiempos de salida para cada una, mediante retardos en orden ascendente o descendente, según el diseño de la voladura o los efectos que se quieran obtener.

3.2.10 Explosivos y agentes de voladura

Famesa, (2018) en el libro de manual de perforacion y voladura define que los materiales explosivos están compuestos por una mezcla química que al ser accionados liberan una energía de choque liberando gases las cuales son las que fragmentan la roca.



3.2.10.1 ANFO a granel

Huiman, (2005) en su revista Manejo de Explosivos, define que es un agente de voladura la cual se prepara in-situ y se carga a los taladros mediante los camiones fabrica.

3.2.10.2 Emulsiones

Babor, (1968) en la publicacion, define que es un material que contiene dos fases líquidas naturalmente inmiscibles entre sí, una de las cuales es dispersa como pequeñas gotas dentro de la otra.

- Son seguras a la fricción, al impacto y fuego.
- Son altamente resistentes al agua.

3.2.10.3 ANFOs pesados vaciables

Oviedo, (2017) en su tesis define que es una combinación de Emulsión y ANFO, que tiene las principales propiedades de ambos componentes: alta Energía, excelente generación de gases, densidad alta y, en algunos casos, resistencia al agua. Se utiliza en voladuras de superficie. En particular si es posible el uso de sistemas mecanizados de carga, en perforaciones secas o con presencia de agua. Los productos son abastece a granel, con equipos mezcladores móviles (camión tipo Auger o Quadra).

3.2.10.4 ANFO pesado sensibilizado

Mendoza, (2014) en su tesis define que es un agente de voladura a granel, fabricado en base a una mezcla ANFO / emulsión que se utiliza en perforaciones de diámetros sobre 5½ pulgadas, sensibilizada al momento del mezclado y carguío en las perforaciones. Se abastece en forma mecanizada con equipos mezcladores móviles (camión fábrica tipo Auger o Quadra), si el volumen de consumo así lo amerite.

3.2.10.5 Heavy ANFO aluminizado

Valencia, (2013) en su tesis “Uso de Emulsión Gasificable para reducir Costos de perforación-voladura en minería Superficial y subterránea” define que son combinaciones de emulsión y ANFO, contenida aluminio en su formulación, lo que les atribuye una mayor energía, buena resistencia al agua, generación de gases y alta densidad.

Tabla 5 — Propiedades de los explosivos a granel

Producto	Densidad (g/cc)	VOD (m/s)	Presión de detonación (Kbar)	Energía (Kcal/kg)	Resistencia al Agua	Diámetro mínimo	Volumen de gases de 1 Kg.
ANFO	0.80	3200	32	912	nula	1 1/2 “	1050
HANFO 37	1.00	3920	40	630	nula	4“	1075
HANFO 46	1.20	3950	47	803	4 horas.	5“	1085
HANFO 45/55	1.30	4200	57	789	4 horas.	5“	1089
HANFO 55	1.30	4150	56	776	8 horas.	6“	1094

Extraído de tesis universitaria OVIEDO, 2017

3.2.10.6 Iniciadores y rompedores

Oviedo, (2017) en su tesis define que son productos a base de Pentrita (PETN) y TNT, mezcla que se denomina Pentolita, las principales propiedades.

- Velocidad de Detonación Alta (sobre 7000 m/s)
- Mayor resistencia al fuego, impacto y fricción
- Efecto direccional, en el caso de los rompedores.

3.2.10.7 Boosters para agentes de voladura APD

Huiman, (2005) en su revista Manejo de Explosivos, define que los iniciadores cilíndricos APD contienen (Alto Poder de Detonación) son productos explosivos con mayor potencia y gran seguridad por ser insensibles a los golpes o roces. Estos productos es el más eficaz iniciador de agentes de voladura que se fabrica y es especialmente recomendable para diámetros medianos y grandes.



3.2.10.8 Sistemas de iniciación

Oviedo, (2017) en su tesis, define que los sistemas de iniciación son un mecanismo que permite transferir una energía taladro en taladro para iniciar la detonación en un tiempo determinado. La selección de un sistema de iniciación adecuada es un factor importante para el éxito de una buena voladura, porque no solo controla la secuencia de iniciación de cada taladro, sino que también afecta:

- La cantidad de vibraciones generadas
- La cantidad de fragmentación producida.
- El sobre-quebre y la violencia con que esto ocurre.

3.2.10.9 Detonador a mecha

Famesa, (2018) en el libro de manual de perforacion y voladura define es una capsula que contiene carga primaria, una secundaria y un mixto de ignición, son sensibles al fulminante N°8.

- Carga Primaria: 220mg de PRIMTEC
- Carga Secundaria: 600 mg. de PETN
- Mixto de Ignición: 50 gr.



Figura 6 — Detonadores de Mecha
Extraído de Catalogo de Famesa

3.2.10.10 Mecha para Minas

Huiman, (2005) en su revista Manejo de Explosivos, define que es la que se encarga de llevar la chispa hacia los detonadores, está compuesta por un núcleo de pólvora, cubierto por una serie de tejidos y una capa de plástico.

- Mecha plástica: para ambientes secos.
- Mecha Plastec: para ambientes húmedos / Tiempo de combustión: 140 a 160 s/m.



Figura 7 — Mechas de mina
Extraído de Catalogo de Famesa

3.2.10.11 Cordón detonante

Famesa, (2018) en el libro de manual de perforacion y voladura define es un medio de transporte de energia que sirve para activar el detonador, el tubo interior esta compuesta por pentrita, su velocidad de detonación es cercana a 7,400 m/s.



Figura 8 — Cordón Detonante
Extraído de Catalogo de Famesa

3.2.10.12 Sistemas no eléctricos (pirotécnicos)

Mendoza, 82014) en su tesis define que estos sistemas emiten una onda de choque de baja velocidad, (aproximadamente 2000 m/s) que se transmite por un tubo de plástico en que contiene una película delgada de explosivo de 20 mg/m, la cual es transmitida hacia el detonador.

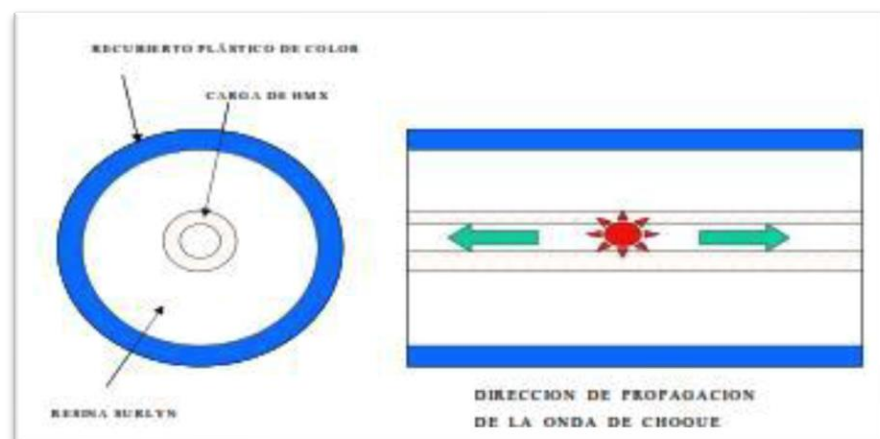


Figura 9 — Características de un tubo de choque
Extraído de tesis Oviedo

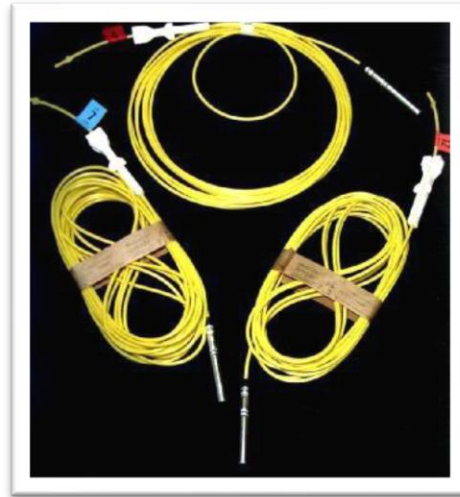


Figura 10 — Iniciador Nonel con retardo de profundidad
Extraído de Catalogo Famesa

3.2.11 Mecanismo de fragmentación de la roca por explosivos

Es el proceso de fragmentación de roca empleando explosivos, existen 4 etapas que se definen a continuación como (Lopez, 2003)

3.2.11.1 Detonación

Es el proceso de inicio de la voladura que se da inicio usualmente con el fulminante número 8 y consiguientemente a la carga de columna. (Lopez, 2003)

3.2.11.2 Propagación de las ondas de choque y/o de esfuerzo

Linares, (2013) en su tesis que titula “Estudio sobre la medida de la velocidad de detonación) define que la expansión de las ondas de choque son la fase que continúa a la detonación es propagación de ondas de choque y de esfuerzo a través del macizo rocoso. Esta alteración u onda de presión, transmitida a través del macizo rocoso, es resultado, en parte, de la rápida expansión del gas y las altas presiones, lo cual produce el impacto en las paredes del taladro y la presión de detonación.

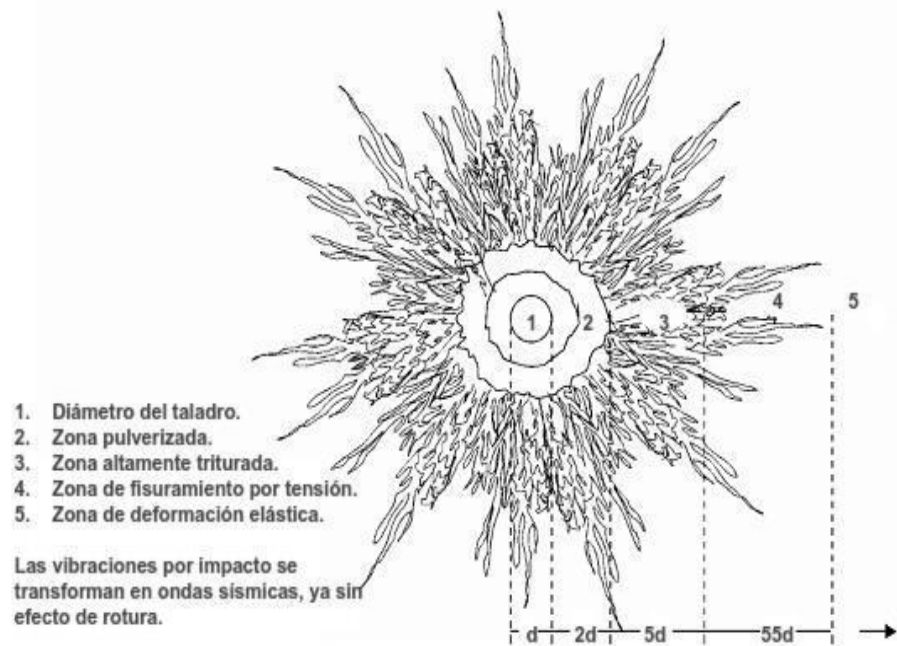


Figura 11 — Rotura radial como efecto de la onda de detonación a las paredes de un taladro

Extraído de Manual de Perforación y Voladura López Jimeno

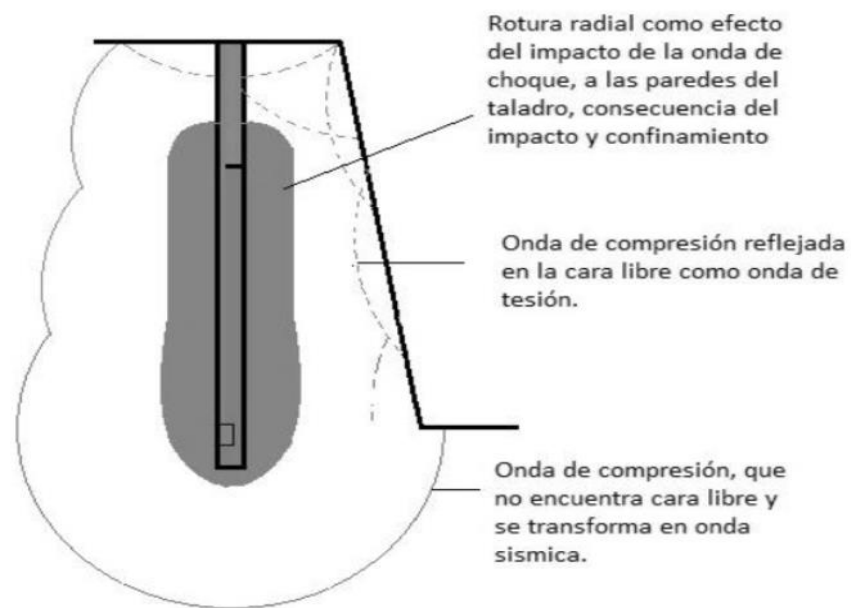


Figura 12 — Detonación de un taladro con cara libre

Extraído de Manual de Perforación y Voladura López Jimeno

3.2.11.3 Expansión del gas a presión

Romero, (2016) en su revista “Teoría de Voladura: Fragmentación de la Roca” define que la expansión del Gas. Durante, y/o después de la propagación de la onda de esfuerzo, los gases a alta presión y

temperatura, generan un campo de esfuerzo en el taladro que expande el taladro original, generando grietas radiales. (Figura 13).

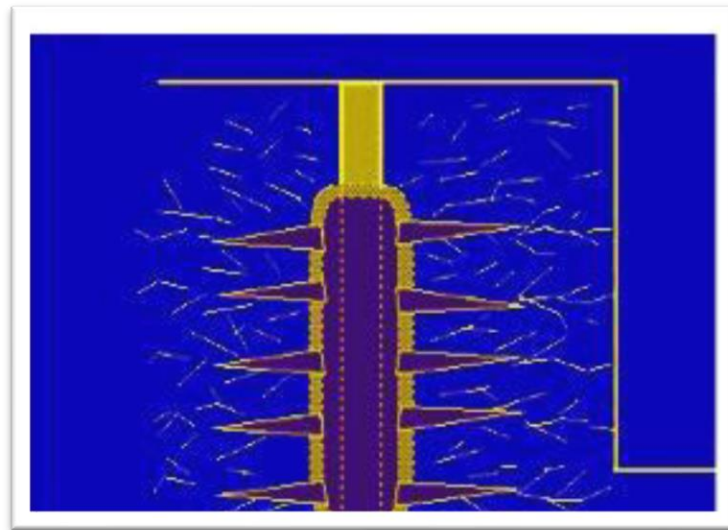


Figura 13 — Grietas radiales alrededor del taladro en detonación

Extraído de Manual de Perforación y Voladura Exsa

3.2.11.4 Movimiento del material hacia adelante

Romero, (2016) en su revista “Teoría de Voladura: Fragmentación de la Roca” define que el movimiento del material es la última etapa en el proceso de voladura, donde el material es suelto y manipulable para su caguio (Figura 14).



Figura 14 — Movimiento de material hacia adelante

Extraído de Manual de Perforación y Voladura López Jimeno

3.2.12 Secuencias de iniciación

Lopez, (2003) en su libro de manual de perforacion y voladura define que es una de las etapas más importantes del diseño de voladura, esta secuencia indica el proceso de salida de cada disparo, para lograr esto se ponen retardos en superficie, esto se realiza para tener los siguientes resultados:

- Fragmentar la roca en tamaños adecuados
- Desplazarla y soltarla en una pila minable fácilmente
- Minimizar el daño al Talud

3.2.12.1 Importancia de la secuencia de iniciación

a) Control de fragmentación

Lopez, (2003) en su libro de manual de perforacion y voladura define que los retardos ayudan al proceso de fragmentación, porque introducen una acción de corte entre taladros adyacentes. Una fila de taladros que se inicie simultáneamente, intensifica el surgimiento de grietas entre ellos, con bajo crecimiento delante de los taladros hacia la cara libre.

b) Control del perfil de la pila

Lopez, (2003) en su libro de manual de perforacion y voladura define que la velocidad del movimiento de la roca quebrada desde la cara del banco, depende del grado de interacción con los taladros adyacentes. Si éstos se disparan simultáneamente y están lo suficientemente juntos uno de otro, permitirá que la roca se mueva a mayor velocidad que en un solo taladro. Disminuir el tiempo de retardo entre taladros (intervalo de retardo entre los taladros de una misma fila) producirá un aumento general en el desplazamiento.

c) Sobre-rompimiento y control de daño

Lopez, (2003) en su libro de manual de perforacion y voladura define que el Sobre-rompimiento y el daño, frecuentemente aumentan cuando los intervalos de retardo son muy cortos, ya sea por vibración o por sobre confinamiento como se señaló anteriormente.

d) Control de vibraciones y sobrepresión

Lopez, (2003) en su libro de manual de perforacion y voladura menciona que el control de vibraciones requiere el uso de retardos para asegurar que dichas vibraciones (en suelos y aéreas adyacentes a un taladro) se disipen antes que detone el taladro siguiente. De esta forma, los efectos en taladros individuales son independientes y no puede haber un reforzamiento de los niveles de vibración. Selección del retardo

Konya, (2018) en su libro de diseños de perforacion y voladura menciona la correcta selección del intervalo de retardo es una de las tareas más difíciles en el diseño de voladura. El retardo tiene la capacidad de influenciar cada aspecto de la voladura, como la fragmentación, estabilidad, excavabilidad, impacto ambiental y sobre quiebre. La detonación de taladros individuales (o de grupos de taladros) puede retardarse por las siguientes razones:

- Para mejorar fragmentación de la pila.
- Proporcionar mayor control sobre el desplazamiento de la pila.
- Reducir el grado de sobre quiebre y daño y los niveles de vibración del suelo y la sobre presión.
- Reducir los niveles de vibración del suelo y la sobrepresión.

e) **Criterio de Konya- Criterio tradicional**

Konya, (2018) en su libro de diseños de perforacion y voladura menciona que para selección de tiempos entre taladros se puede considerar la siguiente relación:

$$th = T_h \times S$$

Donde:

th = Retardo entre taladros (ms)

Th= Constante de retardo entre taladros

S = Espaciamiento (m)

Tabla 6 — Constante TH por tipo de Roca

Constante Th (ms/m)	Tipo de roca
6.5	Arena. Margas . carbón
5.5	Algunas calizas .Esquistos
4.5	Calizas compactas y mármoles, algunos granitos y Basaltos. cuarcita. algunos gneis
3.5	Feldespatos porfídicos, gneis compactos y mica

Extraído de manual de Konya 1998

Para la selección de tiempos en tres filas se puede considerar la siguiente relación:

Donde:

tr = Retardo entre filas (ms)

Tr= Constante de retardo entre filas

B = Burden (m)

Tabla 7 — Resultado por retardos

Constante Th (ms/m)	Resultado
6.5	Alta vibración v onda Aérea, rompimiento trasero
8	Pila de material alta cercana a la cara, sobre presión y rompimiento moderado
11.5	Altura de la pila promedio, sobrepresión y rompimiento promedio
16.5	Pila de material dispersa con rompimiento trasero mínimo

Extraído de Manual de Konya 1998



3.3 Marco conceptual

- a) **Malla.** Es la forma en la que se distribuyen los taladros de una voladura, considerando básicamente a la relación de burden y espaciamiento y su dirección con la profundidad de taladros (Mendoza, 2014).
- b) **Perforación.** Es la primera actividad que se realiza con la finalidad de realizar taladros la cuales alojara la carga explosiva. (Santana, 2014)
- c) **Voladura.** La voladura es un proceso donde las presiones generadas por explosivos confinados dentro del taladro, genera alta concentración de energía los que realizaran la fragmentación y desplazamiento” (Mendoza, 2014).
- d) **Factor de Potencia.** Es la cantidad de explosivo en kilogramos (Kg), necesaria para fragmentar una tonelada métrica (TM) de roca. (Oviedo, 2017)
- e) **Frente.** Superficie libre en una voladura (Lopez, 2003)
- f) **Parámetros.** Se denomina así a las diversas ratios obtenidas en la práctica, a través de la observación en el lugar de trabajo (Mendoza, 2014)
- g) **Acoplamiento.** Es el contacto y la presión que la carga explosiva se confina en el taladro, llenado todos los espacios vacíos, este permite tener mejores resultados de voladura. (Mendoza, 2014).
- h) **Concentración de carga lineal.** La concentración de explosivo, medida en kg/m, a lo largo de un pozo de tronadura. El término puede ser independiente de diámetro del pozo (por explosivos desacoplados), o dependiente del diámetro (explosivos totalmente acoplados (Konya, 2018)
- i) **Diámetro de taladro (\emptyset).** Es el ancho del orificio que fue generado en el proceso de perforación, este dependerá del tipo y diámetro de broca empleado para este fin. (Mamani, 2014)
- j) **Longitud o profundidad de taladro (L).** La longitud de taladro tiene comprende la longitud de perforación mas la longitud de sobre perforación. (Oviedo, 2017)
- $L = (0,3 \times B)$ Donde:
 - L: longitud de taladro
 - B: burden
- k) **El sobre-perforación (SP).** Esta sobre perforación tiene que tener la longitud necesaria para mantener la rasante del banco y continuar el proceso de perforación y voladura de forma uniforme. (Oviedo, 2017)

- l) **Longitud de taco (T).** Es la parte que se llena con materia inerte o detritos una vez terminada el cargado con los agentes explosivos, generalmente la longitud del taco es la tercera de la longitud del taladro (Lopez, 2003)
- m) **Altura de banco (H).** Distancia vertical desde la superficie horizontal superior (cresta) a la inferior (piso). La altura es función del equipo de excavación y carga, del diámetro de perforación, de la resistencia de la roca de la estructura geológica y estabilidad del talud, de la mineralización y de aspectos de seguridad. (Lopez, 2003)
- n) **Burden (B).** Es la distancia desde el eje del taladro a la cara libre perpendicular más cercana, esto nos permite tener una dirección de salida de taladros. (SMM, 2017)
- o) **Desacoplamiento.** Se refiere a la práctica de usar una carga de diámetro más pequeño que la del pozo de tronadura a cargar. Un menor diámetro sirve primero al propósito de reducir la presión efectiva de la detonación realizando daño casi insignificante. (Mendoza, 2014).
- p) **Factor de carga.** Es la cantidad de explosivo usado para romper un volumen o peso unitario de roca. El factor de carga se indica mediante unidades de kg/m³ o kg/ton. (Famesa, 2018)
- q) **Potencia.** Define la energía disponible para producir efectos mecánicos, el parámetro de medida en las dinamitas es con el porcentaje de nitroglicerina, actualmente se mide con la potencia relativa por peso y volumen (Famesa, 2018)
- r) **Densidad.** La densidad en la mayoría de los explosivos varía entre 0.8 y 1.6 gr/cm³, factor muy importante para el cálculo de carga necesaria para una voladura, mayor sea la densidad del explosivo, tanto mayor será su eficiencia (Famesa, 2018)
- s) **Estabilidad química.** Capacidad para mantenerse químicamente estable y retener su sensibilidad cuando ha sido almacenado bajo las condiciones especificadas, los factores que afectan la estabilidad química incluyen: calor, frío, humedad, materias primas de calidad, contaminación, envases e instalaciones de almacenamiento. (Famesa, 2018)
- t) **Velocidad de detonación.** Es la velocidad con la cual la onda de detonación viaja por el explosivo, puede ser expresada para el caso de explosivos confinados como no confinados; por sí misma es la propiedad más importante cuando se desea clasificar un explosivo. (Osso, 2003)

- u) **Características de humos.** Los explosivos al detonar pueden generar humos no tóxicos (CO₂, HO) y tóxicos (NO,NO₂, CO), los factores que aumentan la generación de gases son: falta de confinamiento, humedad, composición inapropiada del explosivo, tiempos inadecuados y reacción adversa con la roca (mineral de sulfuro o carbonato). (Mendoza, 2014)
- v) **Densidad y gravedad específica.** La densidad del explosivo es usualmente indicada en términos de gravedad específica, la gravedad específica de explosivos comerciales varia de 0.6 a 1.7. Los explosivos densos usualmente generan mayores velocidades de detonación y mayor presión; estos suelen ser utilizados cuando es necesaria una fina fragmentación de la roca. Los explosivos de baja densidad producen una fragmentación no tan Fina y son usados cuando la roca esta diaclasada o en canteras en las que se extrae material grueso. (Osso, 2003)
- w) **Presión de detonación.** La presión de detonación, depende de la velocidad de detonación y de la densidad del explosivo, y es la sobrepresión del explosivo al paso de las ondas de detonación. La amplitud de la onda –de esfuerzo– transmitida al medio (roca) en una explosión está relacionada con la presión de detonación. (Osso, 2003)
- x) **Sensibilidad.** Es la medida de la facilidad de iniciación de los explosivos, es decir, el mínimo de energía, presión o potencia para que se active el proceso de iniciación. (Osso, 2003)
- y) **Resistencia al agua.** La resistencia al agua en un explosivo es medida como la habilidad de resistir el agua sin deterioro o pérdida de sensibilidad, más precisamente, es el número de horas que el explosivo puede estar sumergido en agua y a ‘un ser detonado. (Osso, 2003)
- z) **Ley de mineral.** Es la concentración mineralógica que contiene un mineral en específico, puede ser del de oro, plata, cobre, estaño, etc. Presentes de diferentes ocurrencias mineralógicas (MinMineria., 2021)

CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

4.1 Tipo y diseño de la investigación

4.1.1 Tipo de la investigación

El tipo de investigación es aplicada, el estudio tiene en cuenta la economía de la empresa mediante la optimización de la voladura controlada.

4.1.2 Diseño de la investigación

El estudio es de una estrategia experimental de Causa y Efecto, donde la causa es la optimización de la voladura controlada y el efecto será los resultados que se tienen después de la voladura si es o no aceptable.

4.2 Población y muestra

4.2.1 Población

Está comprendida en toda la amplitud del proyecto en los tajos de la Unidad Minera Anama donde se realizan trabajos de perforación y voladura

4.2.2 Muestra

Es en el tajo donde el problema es muy frecuente, este tajo se denomina, tajo Valeria, donde se prioriza la optimización de la voladura controlada.

4.3 Procedimiento de la investigación

Los procedimientos de investigación de datos estuvieron en función al cronograma establecido del proyecto de tesis.

- **Procedimiento general:** Análisis y comparación
- **Procedimiento específico:** específico: Observación y medición

4.4 Material De Investigación

Se tienen los reportes del área de voladura, reportes del área de geología, reportes del área de pad lixiviación y planta, donde se realizan los análisis correspondientes para saber la ley del mineral articulado.

Se utilizará los programas diferentes de minería para calcular los siguientes cálculos:

- Procesadores de Texto.

- Hojas de Cálculo.
- Bases de Datos.
- Graficadores: Autocad, Autocad civil 3d, jksimblas, etc.

4.4.1 Instrumentos de investigación

Los instrumentos usados en la presente investigación fueron los informes y reportes, los datos bibliográficos y cuadros de resumen y estadísticos.

4.5 Plan de tratamiento de datos

Con los datos obtenidos se procedió a realizar las estimaciones estadístico representativo para realizar un modelamiento de la voladura controlada

4.6 Metodología de la investigación

4.6.1 Optimización de voladura controlada

Se hizo seguimiento desde el año 2017 analizando todos los procesos operativos de la mina, a fin de determinar las posibles causas básicas del problema de dilución. Revisando bibliografía existente, acerca de problemas similares en otras mineras, se pudo observar que una de las causas recurrentes es la mala distribución de la carga explosiva y el diseño de voladura, los avances y fragmentación del material volado (específicamente por temas de voladura), así que se tuvo un especial cuidado en el análisis de este proceso. Se procederá a realizar pruebas hasta llegar a los resultados deseados.

4.6.2 Minimización de la dilución

Se busca Controlar la pérdida mineral y la dilución, es fundamental para todas las operaciones mineras del tajo Valeria. Al hacerlo de manera incorrecta puede producir anualmente decenas de millones de dólares en pérdidas por ingresos. Por ello se busca técnicas adecuadas en la voladura para controlar la dilución realizando pruebas en el diseño de carga explosiva y secuencia de amarre.

4.6.3 Resultado que se quiere llegar

Se busca contar con niveles de productividad sustentables y comparar estos niveles de productividad con empresas similares, el resultado final de este trabajo busca mejorar los niveles de producción controlando la dilución mediante una voladura controlada, resumiéndose así en la búsqueda constante del incremento de las utilidades para la empresa minera.

CAPÍTULO V RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Planeamiento

El área de planeamiento proporciona información de secuencia de proyectos de perforación donde nos indica lugar tipo de material, tonelaje y ley.

La secuencia de perforación está en función del plan de minado de todo el tajo el cual debe ser balanceado a las reservas globales para no minar leyes altas y dejar para el final leyes bajas.

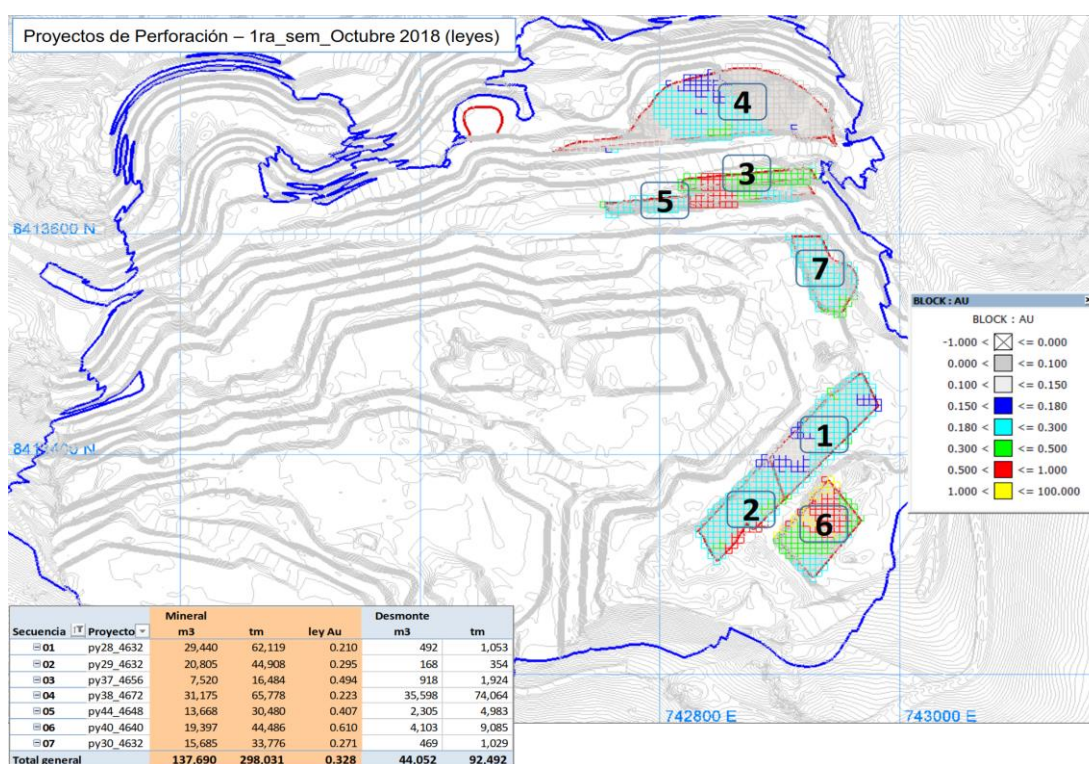


Figura 15 — Secuencia de perforación por leyes
Extraído de Planeamiento

5.2 Geología Mina

El área de geología mina brinda la información de alteraciones existentes en cada proyecto como la Sílice Masiva, Sílice Granular, Sílice Alunita, Sílice Clay.



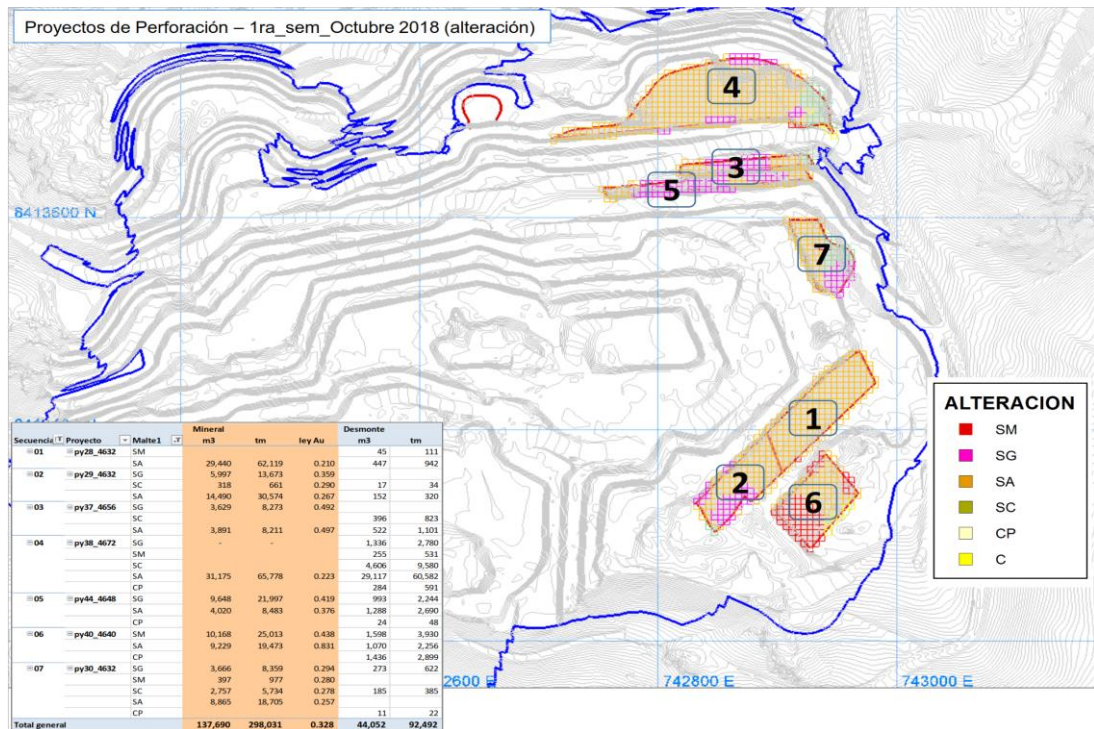


Figura 16 — Secuencia de perforación por Alteraciones

Extraído de Geología mina

5.3 Geotecnia

El área de geotecnia es la encargada de Proporcionar la información identificada las durezas de la roca mediante muestreos en campo.

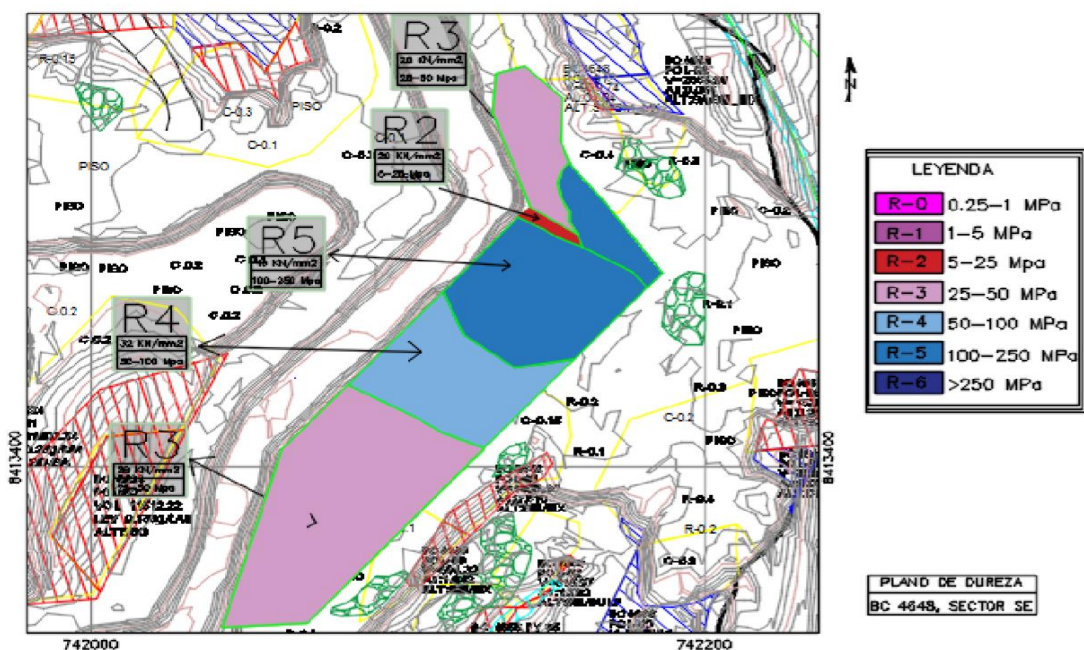


Figura 17 — Secuencia de perforación zonificada

Extraído de Geotecnia Unidad Minera Anama



5.4 Marcado de malla

En el Proyecto Minero Anama la perforación se realizará con 1 perforadora rotativa DM45E, el diámetro de perforación será de 6 ¾” y 8,5 m de altura total de perforación, el cual incluye 0.5 m de sobre perforación para obtener un piso uniforme. La penetración de la broca en la roca se logrará por parámetros de presión de empuje (pull down) y velocidad de rotación; el barrido del detritus se realiza mediante aire comprimido. La malla empleada dependerá de la densidad de la roca, densidad del explosivo y la formación del macizo rocoso. Las mallas a utilizar están en función de parámetros técnicos los cuales serán:



Figura 18 — Perforación primaria con DM-45

H. taladro	: 8 m
Diámetro del taladro	: 6 ¾ '' ~ 17.145 cm
Malla en SM MX	: 3.0 m x 3.5 m
Malla en SM	: 3.3 m x 3.8 m
Malla en SG	: 4.0 m x 4.6 m
Malla en SA	: 4.4 m x 5.0 m

Cálculo de mallas de perforación

Para realizar el diseño de mallas de perforación y voladura por alteraciones, se debe calcular primero el burden utilizando los modelos matemáticos (Andersen langefors y ash), alteraciones que existe en modelo de bloques de largo plazo tienen una distribución de la siguiente manera:

Tabla 8 — Porcentaje de alteraciones en tajo, densidad y dureza

ALTERACIONES	% DE ALTERACIÓN EN TAJO	DENSIDAD (Tn/m3)	DUERZA DE ROCA (Mpa)
Sílice masivo (SM)	15%	3.2	300
Sílice granular (SG)	45%	2.3	250
Sílice alunita (SA)	35%	2.2	150
Sílice clay (SC)	5%	2	50

Extraído de Perforación Voladura Unidad Minera Anama

Las alteraciones mencionadas tendrán su propio diseño de malla y la cantidad de explosivo.

Burden y espaciamento: Para el cálculo de burden y espaciamento se calculará en base a 3 modelos matemáticos:

- **Andersen**

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

Donde: B : Burden
 \emptyset : Diámetro del taladro (Pulgadas)
 L : Longitud del taladro (pies)

- **Langerfors**

$$B = (db/33) \sqrt{\frac{P * S}{c * f * (E/B)}}$$

Donde: B : Burden
 db : Diámetro de broca
 P : grado de compactación que puede estar (1,0 - 1,6 kg/dm3)
 S : Potencia relativa del explosivo
 c : Constante para la roca
 f : Grado de fractura. Para taladro vertical el valor es de 1
 E/B : Relación de espaciamento a burden



- Ash

$$B = \frac{kb * \phi}{12}$$

Donde: B : Burden
 ϕ : Diámetro del taladro
 kb : Constante, según el siguiente cuadro

Tabla 9 — Densidad de roca y clase

Clase de roca	Densidad (g/cm3)	Clase de roca		
		Blanda	Media	Dura
Baja densidad y potencia	0.8-0.9	30	25	20
Densidad y potencia media	1.0-1.2	35	30	25
Alta densidad y potencia	1.2 - 1.6	40	35	30

Extraído de Perforación Voladura Unidad Minera Anama



Tabla 10 — Formulario Sílice masivo

PRIMER PASO: "FORMULISMO CLÁSICO"						
Antecedentes		Burden y Espaciamiento según distintos modelos teóricos				PROMEDIO
	SM		Andersen	langefors	Ash	
Tipo de roca x alteración	2					
Tipo de malla (cudrada o triangular)	no					
Desea representar la linea Buffer (si / no)	10				25	
Número de pozos por corridas	10				valoracion	
Número de corridas	6 3/4	inch	B = 3.5	3.6	3.6	3.4 m
D = (diámetro del pozo)	1		E = 4.0	4.1	4.1	3.9 m
f = (factor de fijación)	5.5	m	Ts =			
Cc =(carga columna)	2	HA-37				
Ecc = (explosivo carga columna)	1.10	grs/cc				
dc = (densidad explosivo)	3.20					
dr = (densidad roca)	0.85					
PRP=(Potencia relativa en peso del explosivo)	123.0					
PRV =(Potencia relativa en vol del explosivo)	1.00					
E/B =(Razón E/B (* ver recomendación)	1					
c = (constante de roca)	1.45					
Ks = (Razón espaciamento)	8	m				
H = (Altura del banco)	0.5	m				
SP = Sobreperforacion						
SEGUNDO PASO: "AJUSTE OPERACIONAL"						
			B =	3.3 m		
			E =	3.8 m		

Extraído de Perforación Voladura Unidad Minera Anama

Tabla 11 — Formulario Sílice granular

PRIMER PASO: "FORMULISMO CLÁSICO"						
Antecedentes		Burden y Espaciamiento según distintos modelos teóricos				PROMEDIO
	SG		Andersen	langefors	Ash	
Tipo de roca x alteración	2					
Tipo de malla (cudrada o triangular)	no					
Desea representar la línea Buffer (si / no)	10				25	
Número de pozos por corridas	10				valoracion	
Número de corridas	6 3/4	inch	B = 4.2	4.3	4.3	4.1 m
D = (diámetro del pozo)	1		E = 4.8	4.9	4.9	4.7 m
f = (factor de fijación)	5.5	m	Ts =			
Cc =(carga columna)	2	HA-37				
Ecc = (explosivo carga columna)	1.10	grs/cc				
dc = (densidad explosivo)	2.30					
dr = (densidad roca)	0.85					
PRP=(Potencia relativa en peso del explosivo)	123.0					
PRV =(Potencia relativa en vol del explosivo)	1.00					
E/B =(Razón E/B (* ver recomendación)	1					
c = (constante de roca)	1.45					
Ks = (Razón espaciamiento)	8	m				
H = (Altura del banco)	0.5	m				
SP = Sobreperforacion						
SEGUNDO PASO: "AJUSTE OPERACIONAL"						
			B =	4.0 m		
			E =	4.6 m		

Extraído de Perforación Voladura Unidad Minera Anama

Tabla 12 — Formulario Sílice Alunita

PRIMER PASO: "FORMULISMO CLÁSICO"						
Antecedentes		Burden y Espaciamiento según distintos modelos teóricos				PROMEDIO
	SA		Andersen	langefors	Ash	
Tipo de roca x alteración	SA					
Tipo de malla (cudrada o triangular)	2					
Desea representar la línea Buffer (si / no)	no				25	
Número de pozos por corridas	10				valoracion	
Número de corridas	10					
D = (diámetro del pozo)	6 3/4	inch	B = 4.6	4.7	4.6	4.4 m
f = (factor de fijación)	1		E = 5.3	5.4	5.3	5.1 m
Cc =(carga columna)	5.5	m	Ts =			
Ecc = (explosivo carga columna)	2	HA-37				
dc = (densidad explosivo)	1.10	grs/cc				
dr = (densidad roca)	2.20					
PRP=(Potencia relativa en peso del explosivo)	0.85					
PRV =(Potencia relativa en vol del explosivo)	123.0					
E/B =(Razón E/B (* ver recomendación)	1.00					
c = (constante de roca)	1					
Ks = (Razón espaciamento)	1.45					
H = (Altura del banco)	8	m				
SP = Sobreperforacion	0.5	m				
SEGUNDO PASO: "AJUSTE OPERACIONAL"						
			B =	4.4	m	
			E =	5.0	m	

Extraído de Perforación Voladura Unidad Minera Anama

5.5 Diseño estándar de Voladura

5.5.1 Diseño de carga y secuencia de amarre

Luego de ejecutarse la operación de perforación se continúa con la operación de voladura cuyo objetivo es fragmentar el macizo rocoso a través de agentes de voladura. La operación de voladura consiste primeramente en el carguío de explosivos en los taladros.

En el Proyecto Minero Anama los taladros serán cargados de la siguiente manera: Para la iniciación de la carga explosiva se utilizará 1 booster de 450 g con líneas descendentes no eléctricos/eléctrico, con tiempos medidos en milisegundos, posteriormente se cargará el Heavy Anfo y para el amarre troncal se utilizará faneles de retardo en superficie de diferentes tiempos.

El carguío de Heavy Anfo de los taladros será mecanizado utilizando un Camión Fábrica de capacidad de 5.5 TM que realiza las mezclas de Anfo mas Emulsion que permitirá utilizar diferentes tipos de explosivos, según las consideraciones del material a fragmentar y el porcentaje de contenido de agua.

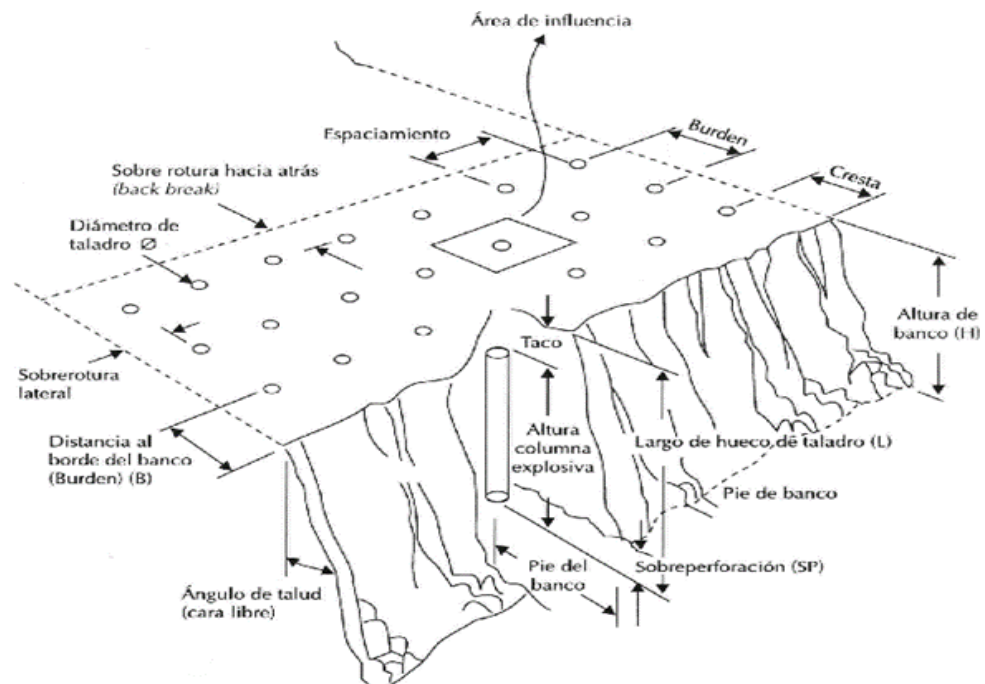


Figura 19 — Secuencia de perforación

Extraído de Perforación Voladura Unidad Minera Anama



Figura 20 — Nomenclatura, Diseño de carga

Extraído de Perforación Voladura Unidad Minera Anama

5.5.2 Parámetros de voladura

Altura de banco: $H_b = 8\text{m}$

Sobreperforación: Para obtener un piso uniforme:

$$Sp = 3 * \emptyset$$

Donde: Sp : Sobre perforación

\emptyset : Diámetro del taladro

$$Sp = 3 * 17.145\text{ cm}$$

$$Sp = 51.435\text{ cm} \sim 0.50\text{ m}$$

Longitud de taladro: Será la suma de la altura de banco con la sobre perforación.

$$Lt = H_b + Sp$$

$$Lt = 8.50\text{ m}$$



Taco: El material es detritos de la perforación y atacado con listón de madera para su confinación calculado

$$T = 0.7 * B$$

Donde: T : Long. De taco
B : Burden

Tonelaje roto por taladro: Se calcula con la siguiente fórmula

$$Tr = B * E * Hb * dr$$

Donde: Tr : Tonelaje roto por taladro
B : Burden
E : Espaciamiento
Hb : Altura de banco
dr : Densidad de la roca

Carga lineal con producto HA (Heavy Anfo): Se calcula. Mediante la fórmula de Konya.

$$Dc = De * \phi^2 * \pi / 4000$$

Donde: Dc : Densidad de carga lineal
De : Densidad del explosivo
 ϕ : Diámetro del taladro
 π = 3.14

Carga de columna: Es la cantidad de carga de explosivo por taladro a detonar.

$$Cc = Dc (Ht - T)$$



Donde: Cc : Carga de columna
 Dc : Densidad de carga lineal
 Ht : Altura de taladro
 T : Longitud de taco

Factor de potencia: La cantidad de explosivo necesario para romper el material

$$Fp = Kg/Tn$$

5.6 Análisis de voladura antes de optimización

Anteriormente en el proyecto U.E.A. Valeria – Anabi S.A.C. se realizaba voladuras no selectivas con amarres tradicionales o convencionales sin considerar la contaminación o dilución existente entre el mineral y desmonte.

En el proyecto Banco 4680 py 34 se muestra los polígonos entre el mineral desmonte, ley de mina valores obtenida de los resultados del muestreo del blast hole.

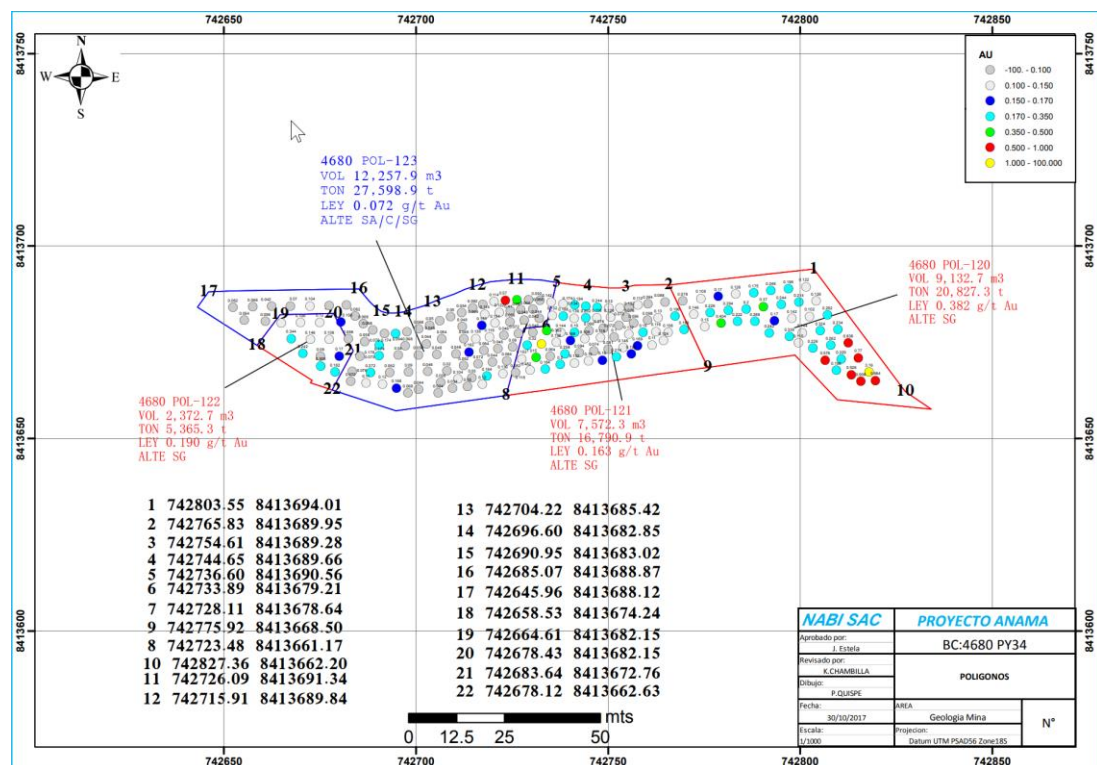


Figura 21 — Plano Resultado de leyes Banco 4680

Extraído de Geología mina Unidad Minera Anama



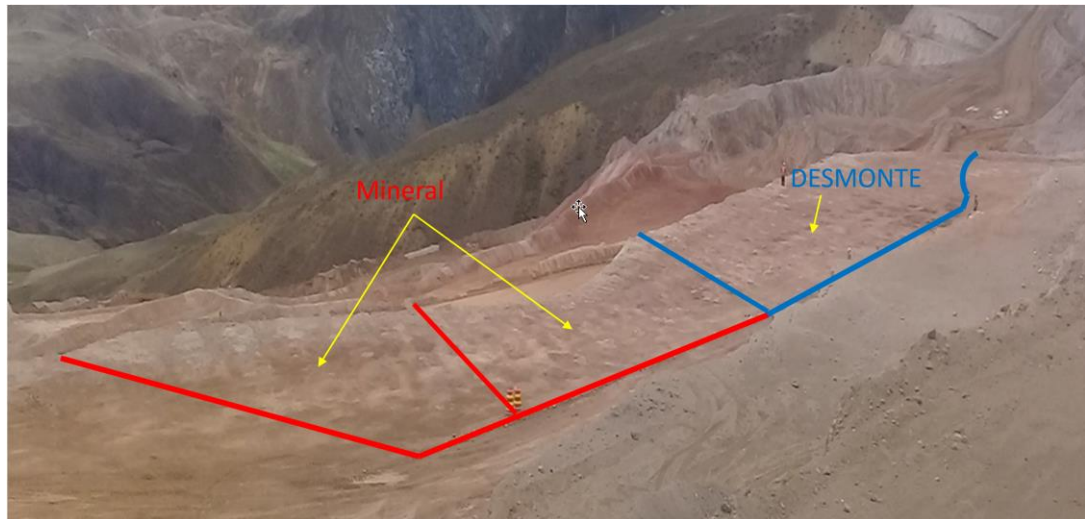


Figura 22 — Vista del proyecto antes de la voladura

Secuencia de amarre:

El amarre de la malla de voladura se hace de manera convencional, usando un punto de salida sin considerar la diferenciación entre desmonte y mineral:

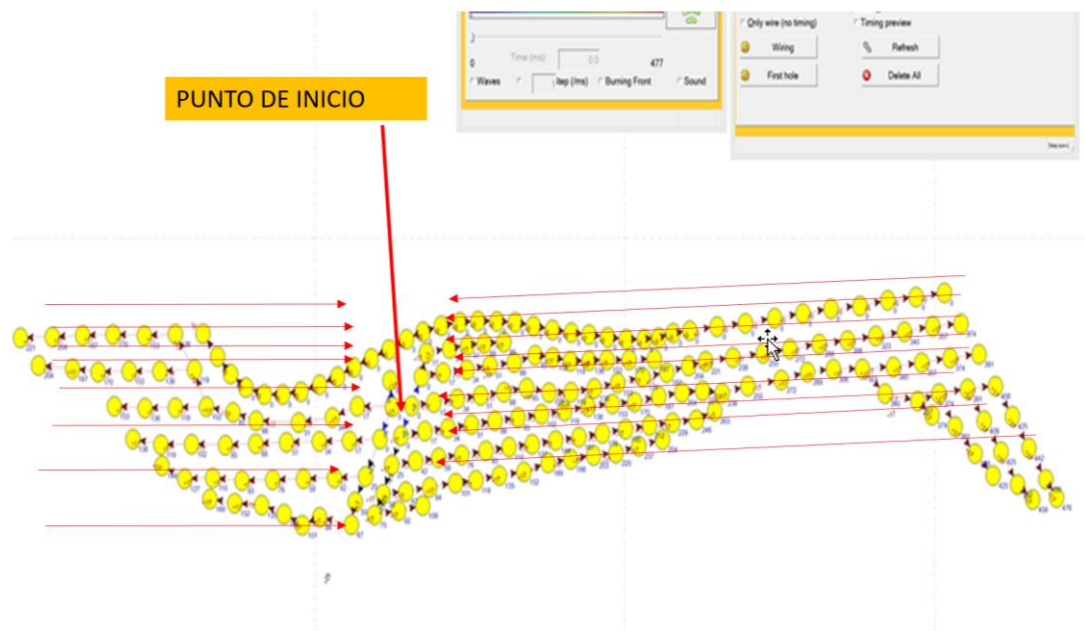


Figura 23 — Secuencia de salida inicial

Extraído de Perforación Voladura Unidad Minera Anama



Figura 24 — Vista del proyecto después de voladura

La dilución se determina comparando o haciendo la conciliación del modelo de bloques de corto plazo del polígono a minarse versus valores de muestreo del blast hole versus el valor de muestreo del (Pad lixiviación ya cuando el mineral llega a la zona de descarga). Teniendo un resultado de dilución de un 16%.

5.7 Optimización de diseño de perforación y voladura

5.7.1 Designación de diseño de malla de perforación y voladura por Alteraciones

Cada proyecto de perforación y voladura tiene su alteración propia puede ser entre sílice masivo, sílice granular, sílice alunita, sílice clay.

Tabla 13 — Parámetros de Malla por Alteraciones

ALTERACION	Burden (m)	Epaciamiento (m)	Taco (m)	PRODUCTO	Altura de Banco (m)	Diámetro de taladro (pul)	sobre perforación (m)	Dureza de la Roca MPA.
Sílice Masivo	3.3	3.8	2.5	HA_55	8	6 3/4	0.5	300
Sílice Granular	4.0	4.6	3.0	HA_46	8	6 3/4	0.5	250
Sílice Alunita	4.4	5.0	3.5	HA_37	8	6 3/4	0.5	150
Sílice Clay	4.7	5.4	3.5	HA_28	8	6 3/4	0.5	50
Diseño Anterior	5.0	5.7	3.0	HA_37	8	7 7/8	0.5	300-0

Extraído de Perforación Voladura Unidad Minera Anama

✚ Ejemplo 01 Banco 4648 PY 25 se designa la Malla y Explosivo

ALTERACION	COLOR	Burden (m)	Epaciamiento (m)	Taco (m)	PRODUCTO	Altura de Banco (m)	Diametro de taladro (pul)	sobre perforacion(m)	Dureza de la Roca MPA.
Silice Masivo	Red	3.3	3.8	2.5	HA_55	8	6 3/4	0.5	300
Silice Granular	Purple	4.0	4.6	3.0	HA_46	8	6 3/4	0.5	250
Silice Alunita	Orange	4.4	5.0	3.5	HA_37	8	6 3/4	0.5	150
Silice Clay	Yellow	4.7	5.4	3.5	HA_28	8	6 3/4	0.5	50

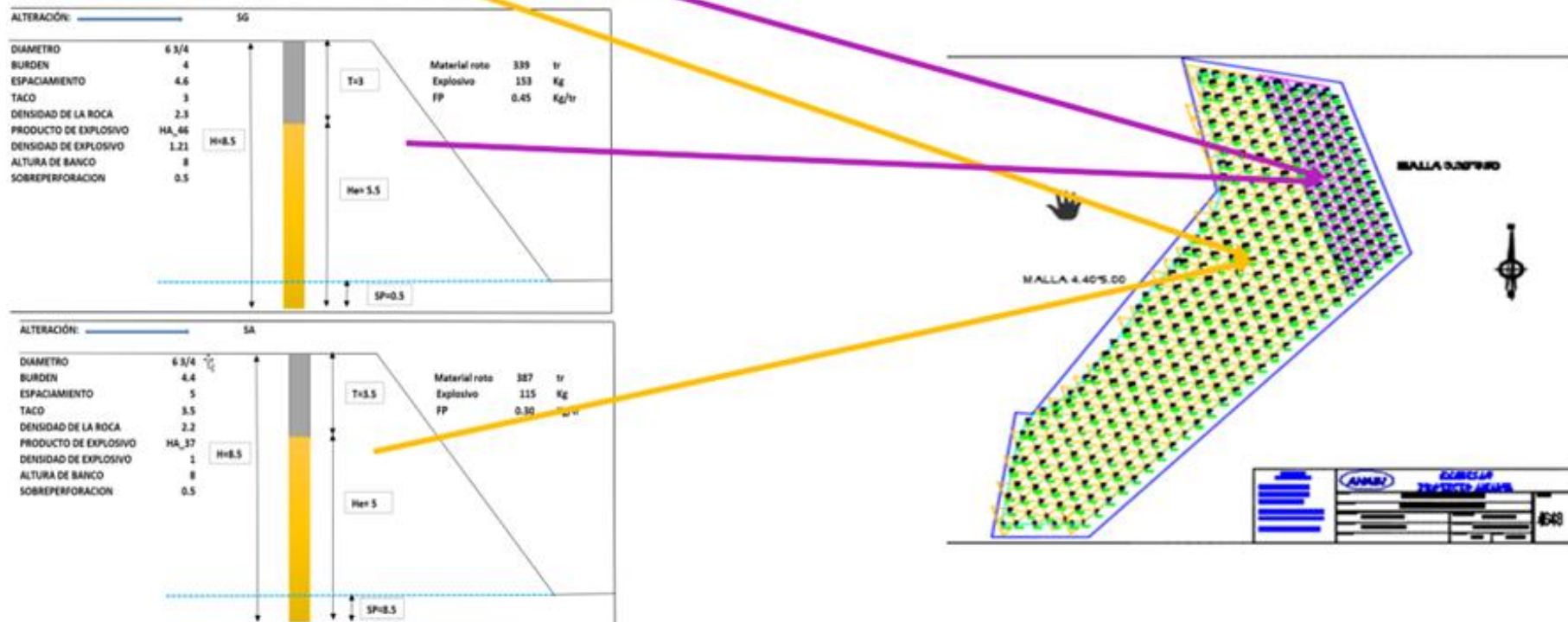


Figura 25 — Designación de malla y Explosivo según la Alteración

✚ Ejemplo 02 Banco 4736 PY 13 se designa la Malla y Explosivo

ALTERACION	COLOR	Burden (m)	Epaciamiento (m)	Taco (m)	PRODUCTO	Altura de Banco (m)	Diametro de taladro (pul)	sobre perforacion(Dureza de la Roca MPA.
Silice Masivo		3.3	3.8	2.5	HA_55	8	6 3/4	0.5	300
Silice Granular		4.0	4.6	3.0	HA_46	8	6 3/4	0.5	250
Silice Alunita		4.4	5.0	3.5	HA_37	8	6 3/4	0.5	150
Silice Clay		4.7	5.4	3.5	HA_28	8	6 3/4	0.5	50

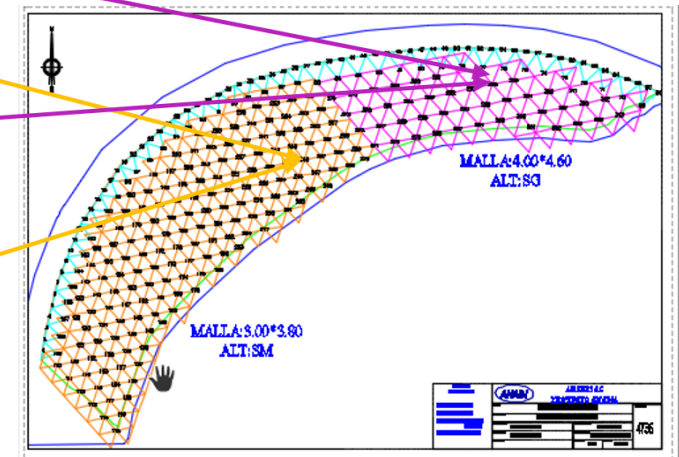
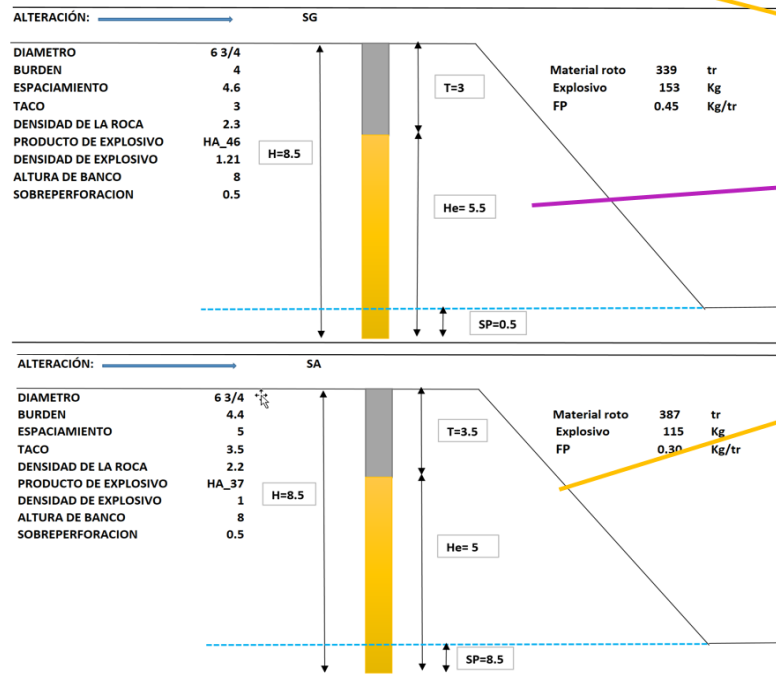


Figura 26 — Designación de malla y Explosivo según la Alteración

✚ Ejemplo 03 distribuciones de tiempos de retardo en superficie y en fondo.

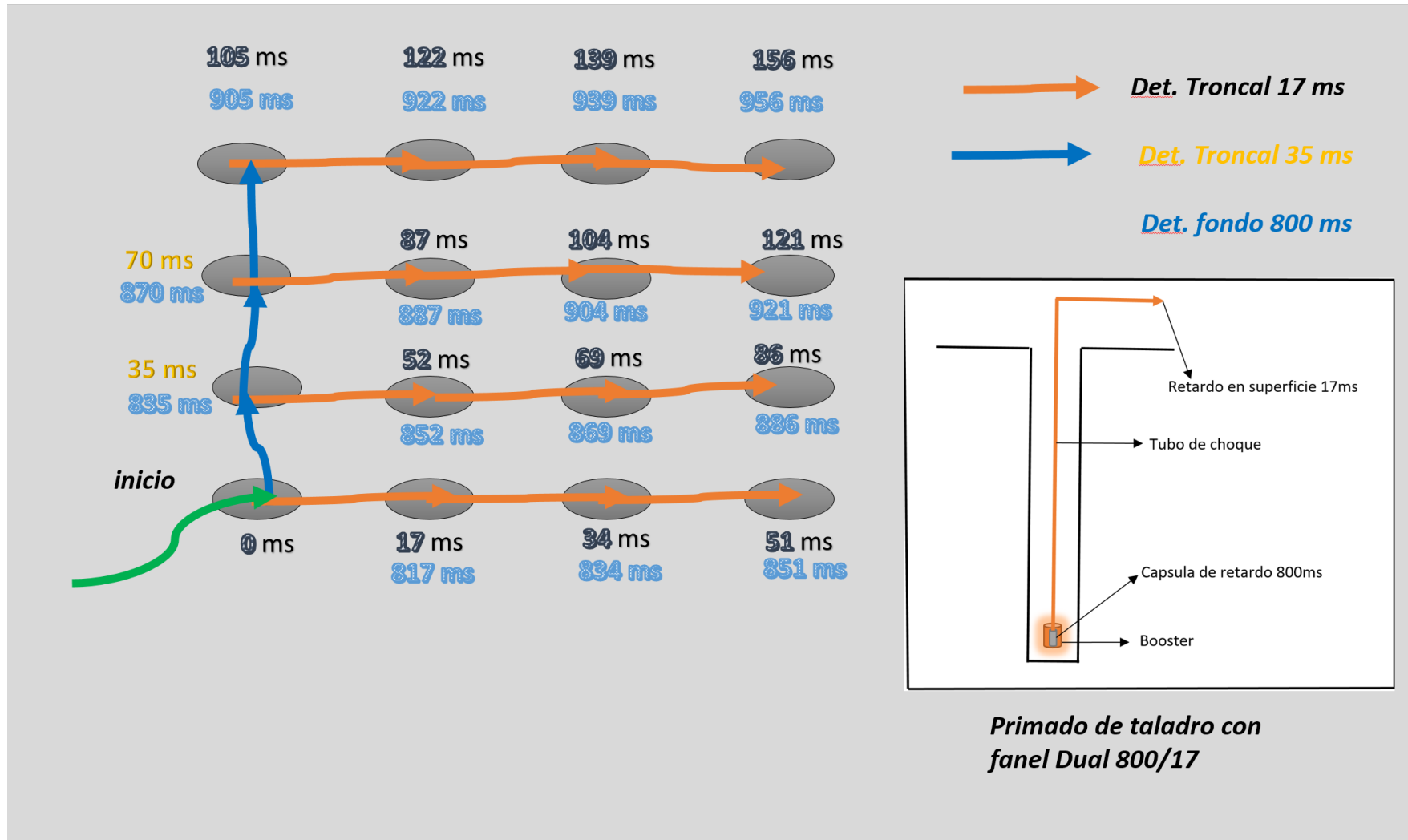


Figura 27 — Nomenclatura, Diseño de Amarre

En la figura 27, se observa la distribución de tiempos a utilizarse un dato muy importante a tomar en cuenta para este caso se trabaja con fanal dual 800/17, 800ms que es el tiempo de retardo en el fondo del taladro 17 en superficie. Los tiempos a conectarse en superficie no deberán superar los 800ms para evitar posibles tiros cortados.

5.7.2 Análisis de voladura tomando en cuenta los parámetros de perforación y voladura

En el presente análisis se tomará en cuenta todos los parámetros de perforación y voladura para realizar una voladura selectiva utilizando diseño de secuencia de salida para cada tipo de material entre desmonte y mineral para tal efecto se pondrá en prueba el banco y proyecto de voladura siguiente.

El nuevo diseño se puso a prueba en el proyecto **BC 4648 PY 33**

5.7.3 Características del terreno

Tajo	: Anama
Banco	: 4648
Proyecto	: 33
Fecha	: 09-04-18
Hora programada	: 12:00 P.M.
Tipo de iniciación	: Detonador No electrónico
Tipo de malla	: Triangular
Numero de taladros	: 201 Tal

5.7.4 Representación geológica del terreno a detonar

Para poder obtener una buena fragmentación de la voladura se tomará en cuenta las Alteraciones existentes en el proyecto con ello realizar el diseño de malla de perforación por alteraciones y el uso apropiado de producto de explosivo para cada alteración.

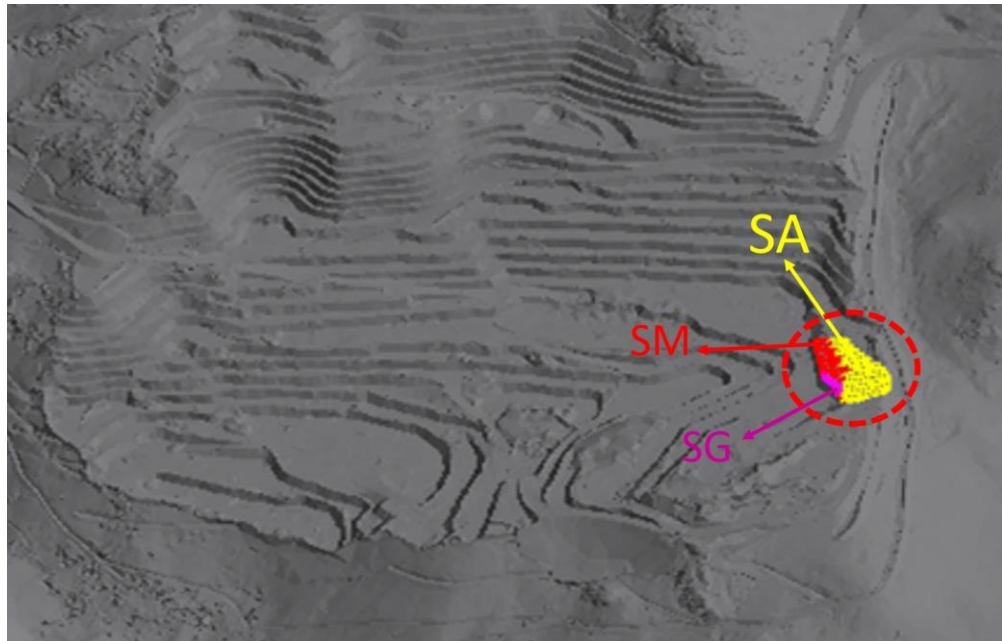


Figura 28 — Representación geológica del terreno a detonar

Extraído de Geología Unidad Minera Anama

En el caso de la voladura del proyecto BC 4648 PY 33, los porcentajes de alteración son las siguientes:

Sílice alunita (SA)	: 55%
Sílice granular (SG)	: 15%
Sílice Masivo (SM)	: 30%

Se puede ver la predominancia de Sílice Alunita, por lo cual se tomará como principal influyente para algunos cálculos posteriores.

5.7.5 Diseño de malla de perforación

En este caso, para el diseño de la malla de perforación consideramos las características de la geología de la zona, como se encontró tres tipos de alteración en el proyecto se utilizará el marcado de malla de perforación utilizando los parámetros correspondientes a sílice masivo malla (3.3*3.8), sílice granular malla (4.0*4.6), sílice alunita malla (4.4*5.0) respectivamente.

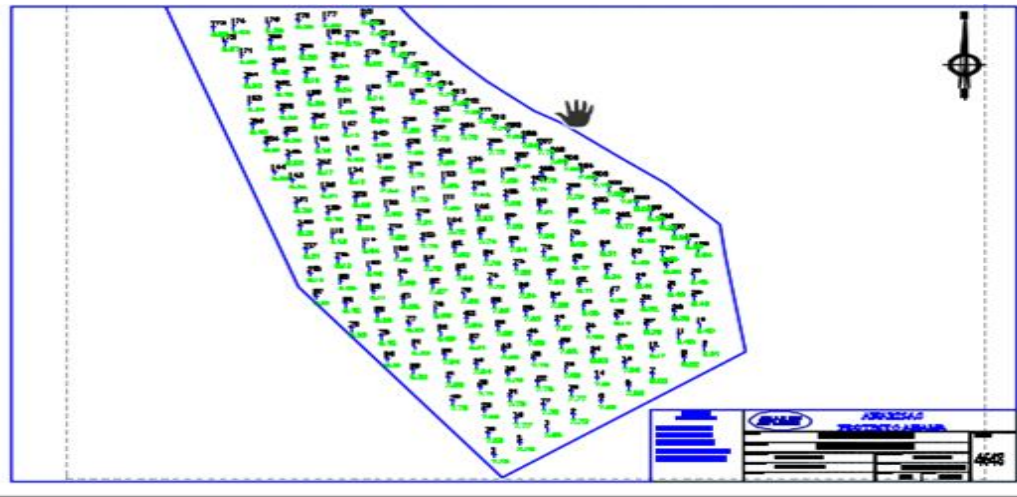


Figura 29 — Diseño de malla de perforación

Extraído de Topografía Unidad Minera Anama



Figura 30 — Proyecto de voladura banco 4648 py 33

5.7.6 Diseño de carga explosivo

El diseño de carga explosiva se realiza bajo los parámetros del diseño del proyecto de perforación por alteraciones de tal manera que, sílice masiva se utiliza la mezcla explosiva HA_55, sílice granular HA_46, sílice alunita HA_37 respectivamente a continuación se tendrá una ilustración de carga para cada alteración.

+ Sílice masivo

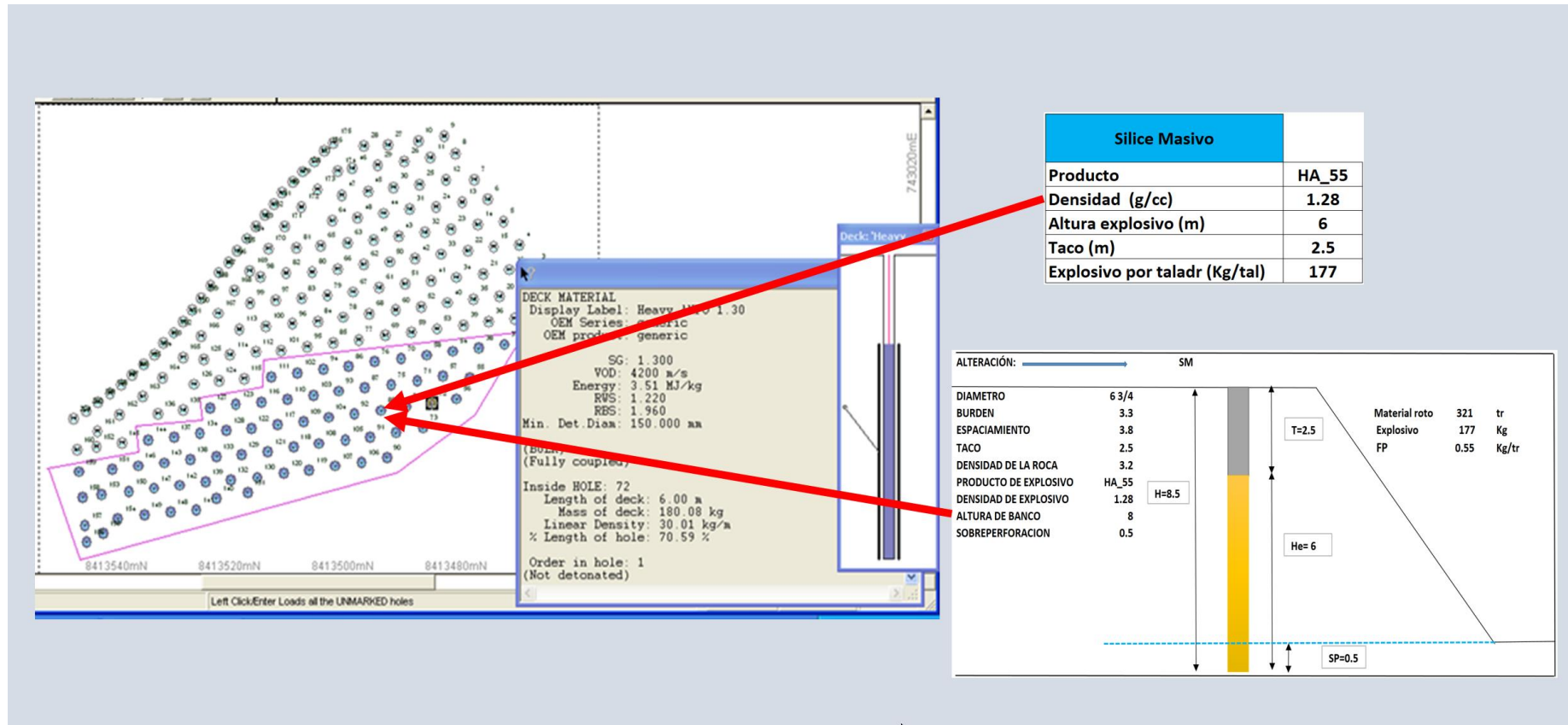


Figura 31 — Diseño de carga explosiva para la Alteración Sílice Masivo

Como se muestra en el plano lo seleccionado se carga con HA- 55 teniendo en cuenta una Alteración de SM, 177 kg de explosivo/tal, factor de potencia 0.55 kg/tr.

✚ Sílice Granular

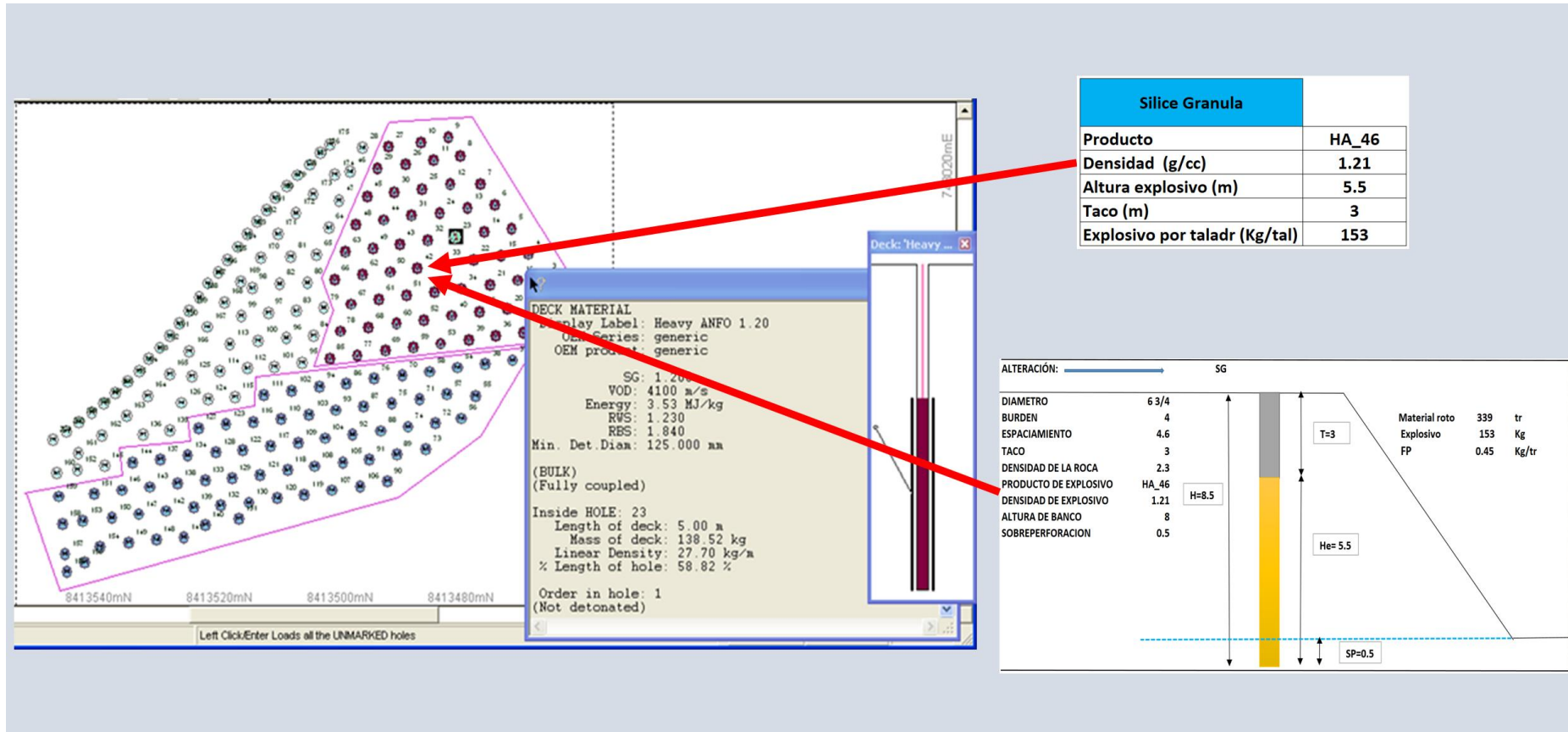


Figura 32 — Diseño de carga explosiva para la Alteración Sílice Granular

Como se muestra en el plano la figura geométrica seleccionado se carga con HA- 46 teniendo en cuenta una Alteración de Sílice Granular, 153 Kg de explosivo/tal, factor de potencia 0.45 kg/tr.

+ Sílice Alunita

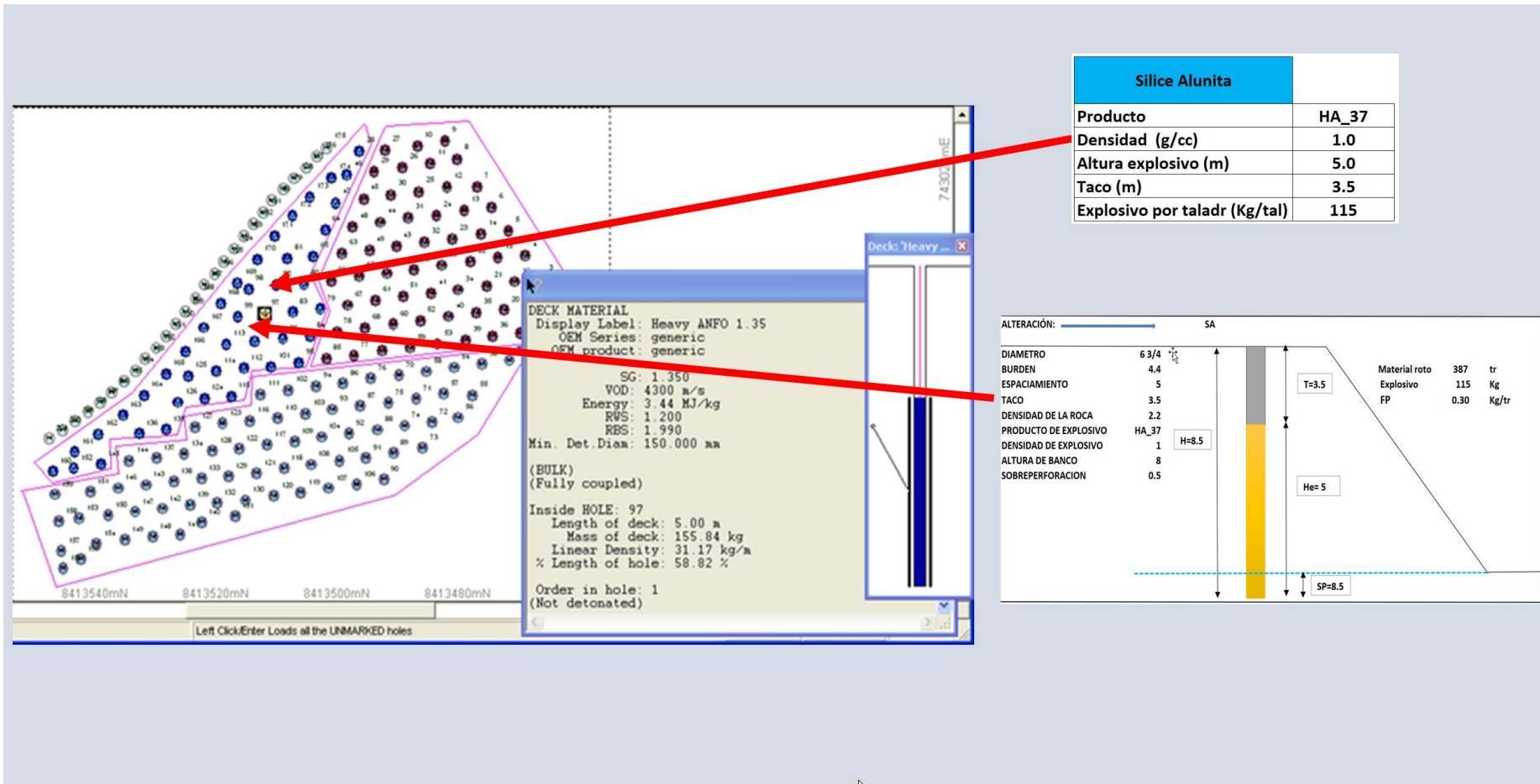


Figura 33 — Diseño de carga explosiva para la Alteración Sílice Alunita

Como se muestra en el plano la figura geométrica seleccionado se carga con HA- 37 teniendo en cuenta una Alteración de Sílice Alunita, 115 Kg de explosivo/tal, factor de potencia 0.30 kg/tal.

5.7.7 Diseño de amarre

Para el diseño de amarre, se tiene como objetivo realizar una voladura selectiva teniendo en cuenta el diseño de salida primero el desmonte después el mineral usando tiempos de retardo en superficie desde 25-109 ms.

5.7.8 Resultado de leyes del Blast Hole

En el plano siguiente se muestra los resultados obtenidos del muestreo de los taladros del Blast Hole en donde se observa polígono de mineral y desmonte con sus respectivas leyes.

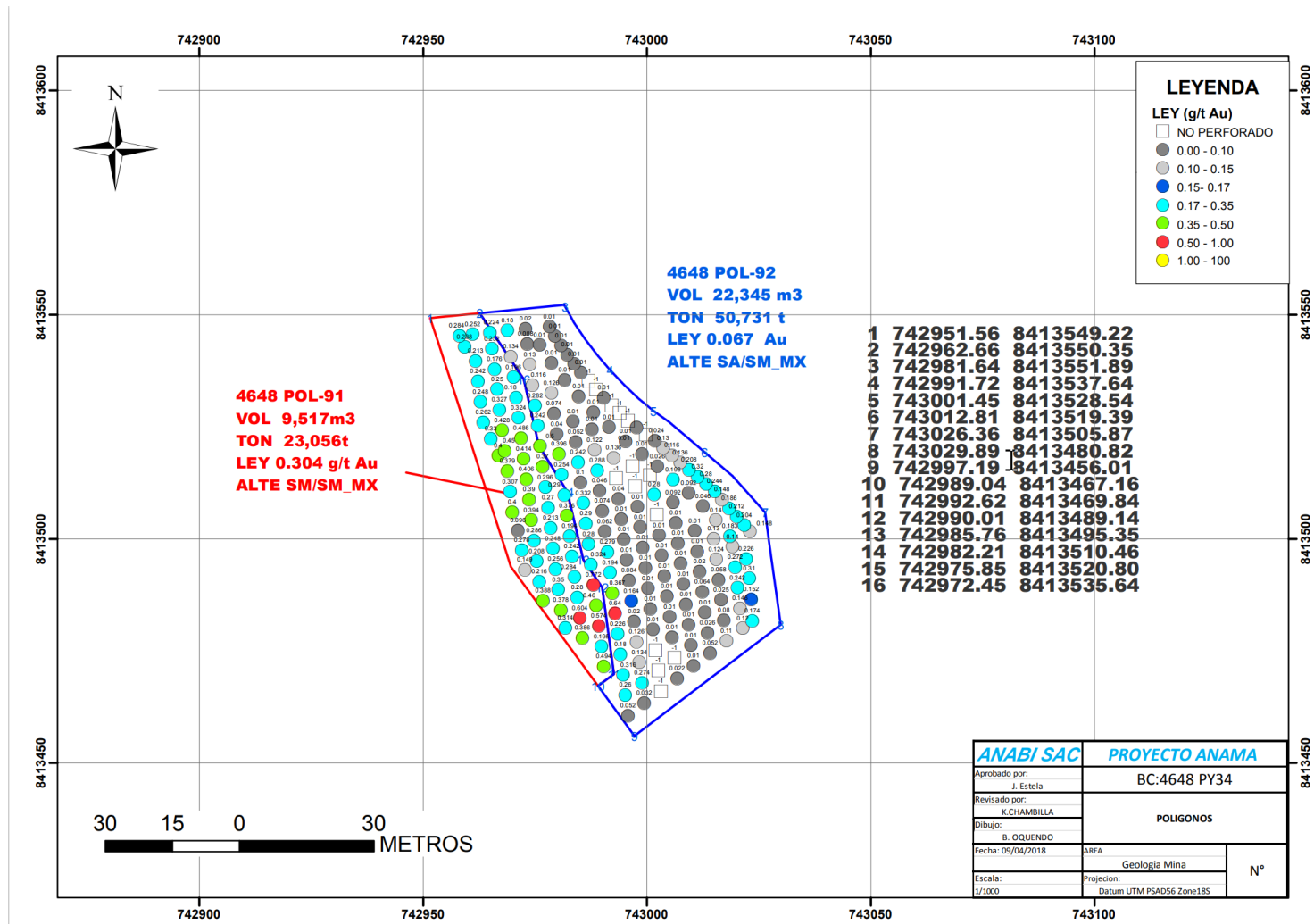


Figura 34 — Plano Resultado de leyes Banco 4648

Extraído de Geología Mina Unidad Minera Anama

5.7.9 Secuencia de salida

En este proyecto se realiza voladura controlada y secuenciada de acuerdo a los bloques de mineral y desmonte presentes en el banco.

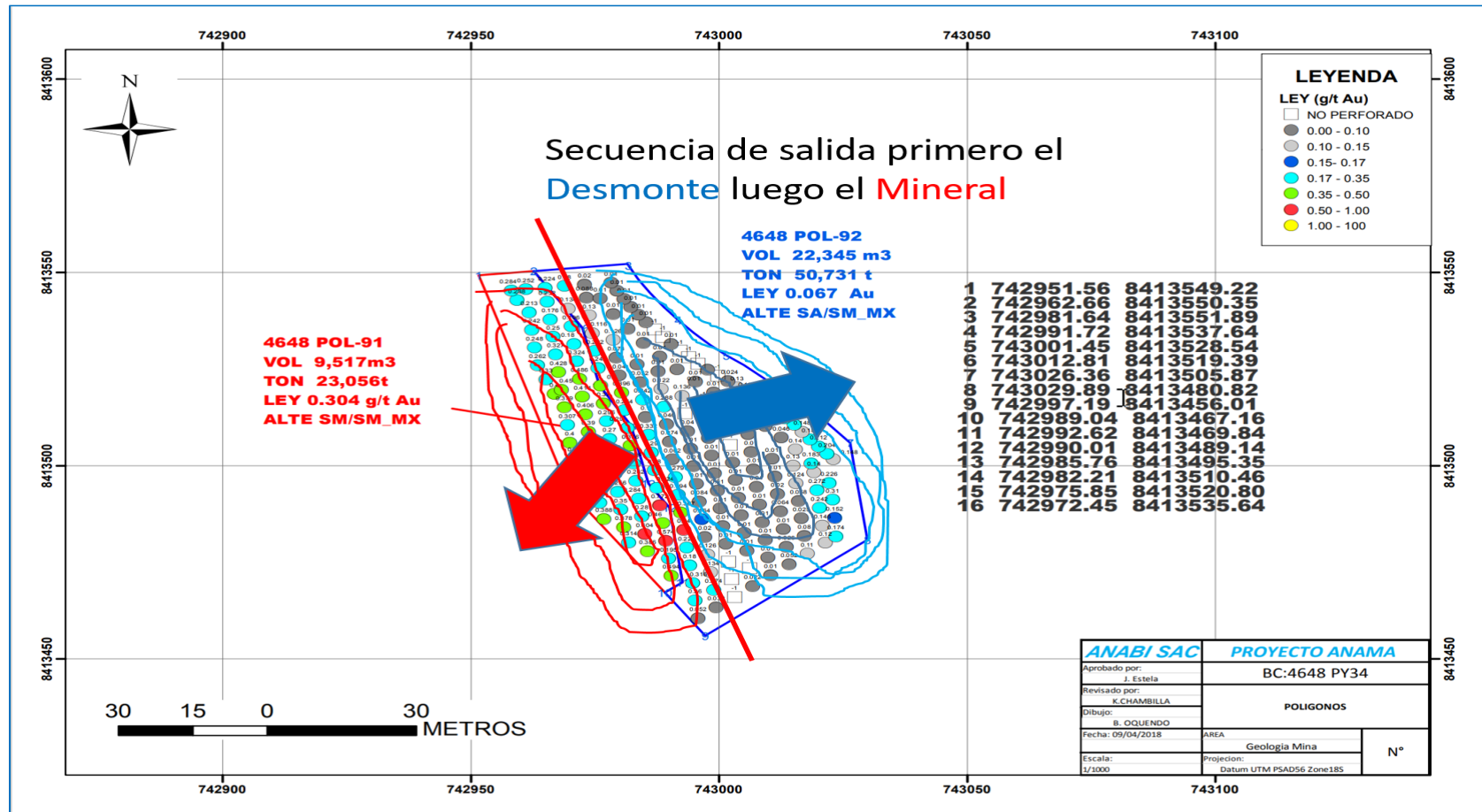


Figura 35 — Secuencia de salida

Fuente: Geología Mina Unidad Minera Anama

Para este proyecto se diseñará un modelo personalizado de amarre de la malla de perforación, considerando la ubicación del mineral y desmote, que como resultado de la voladura diferenciar en terreno ambas secciones por separado.

5.8 Optimización de la voladura controlada

Diseño de secuencia de salida aplicando 2 puntos de iniciación, de tal forma que podemos orientar tanto el mineral como el desmote hacia posiciones distintas y así poder diferenciar con mayor facilidad a la hora del traslado.

Secuencia de Amarre Banco 4648 PY 33

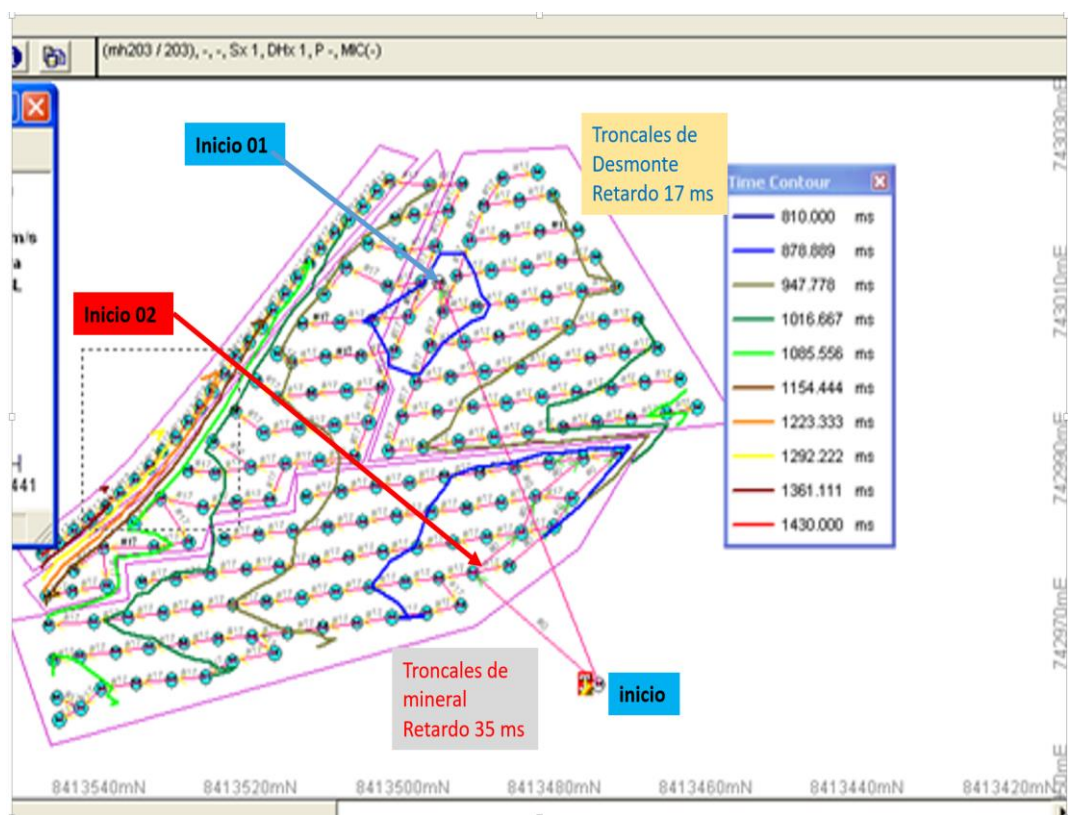


Figura 36 — Secuencia de amarre JK Simblast Banco 4648 py 33

Secuencia de Amare Banco 4736 PY 17

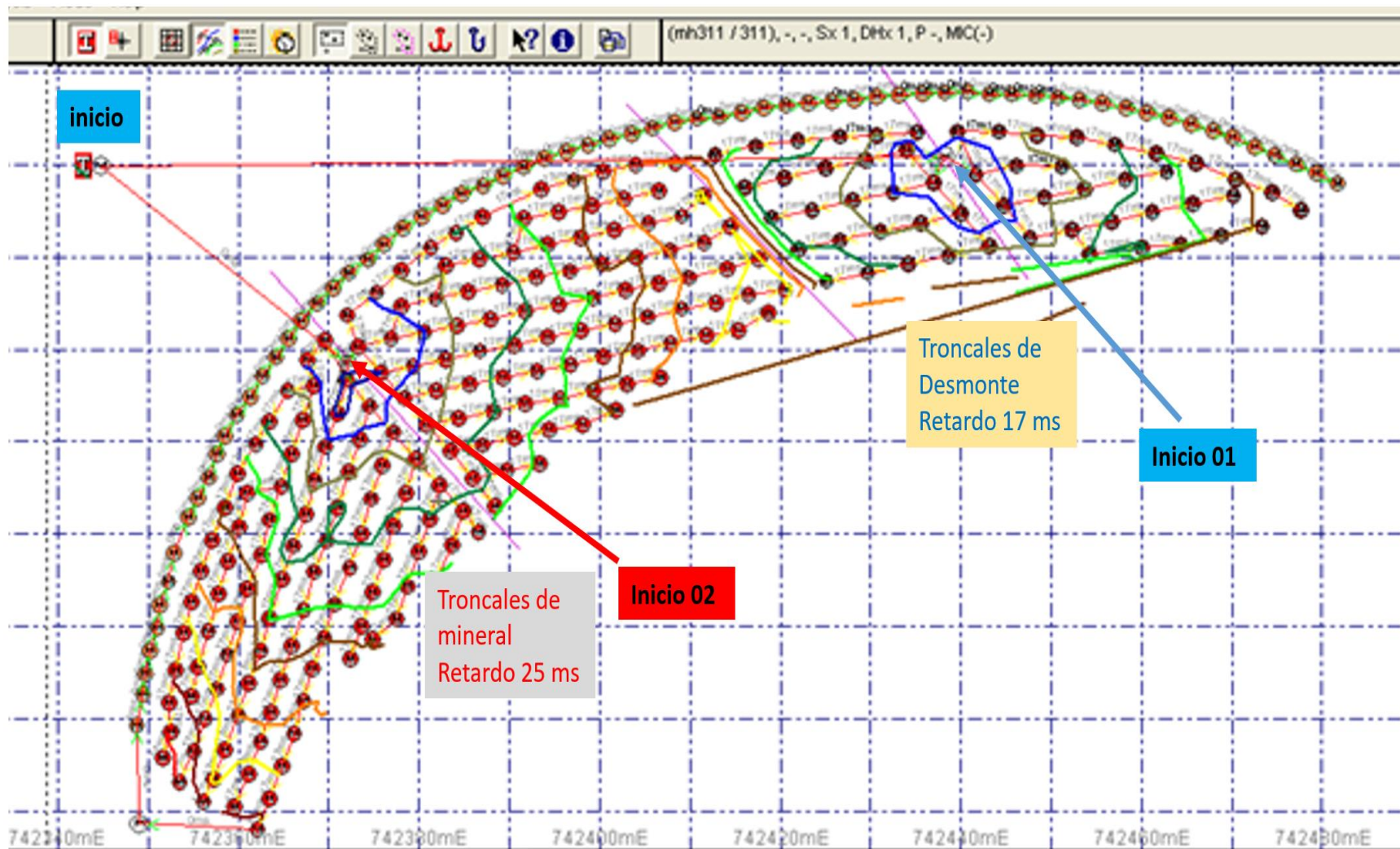
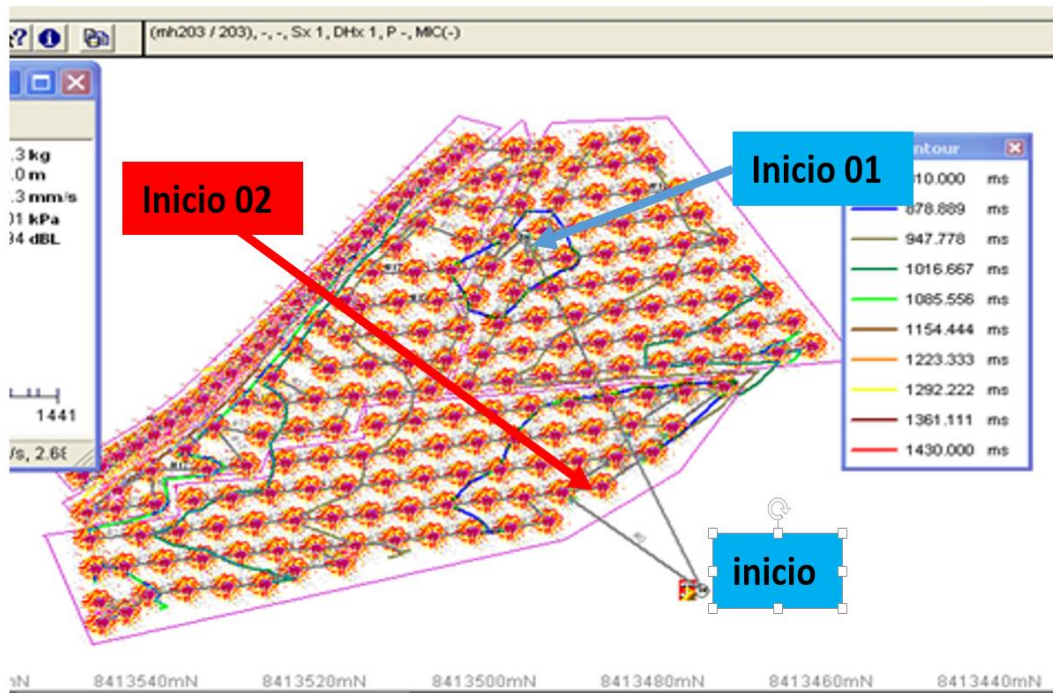


Figura 37 — Secuencia de amarre JK Simblast Banco 4736 py 17

Secuencia de iniciación Banco 4648 PY 33, Banco 4736 PY 17

SECUENCIA DE INICIACIÓN JK SIMBLAST Bc 4648 PY 33



SECUENCIA DE INICIACIÓN JK SIMBLAST Bc 4736 PY 17

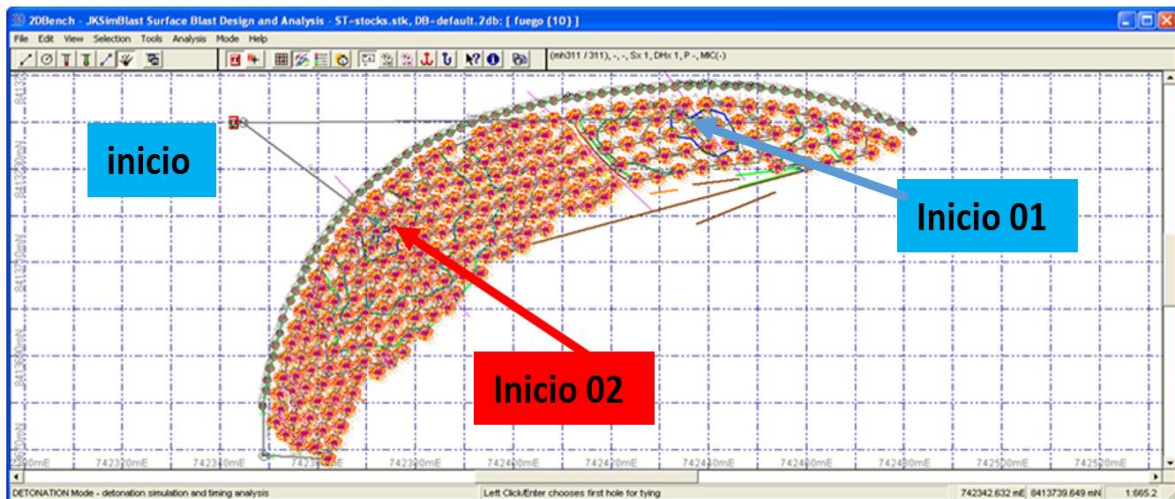


Figura 38 — Secuencia de inicio de voladura

✚ Plano de influencia del Área de voladura

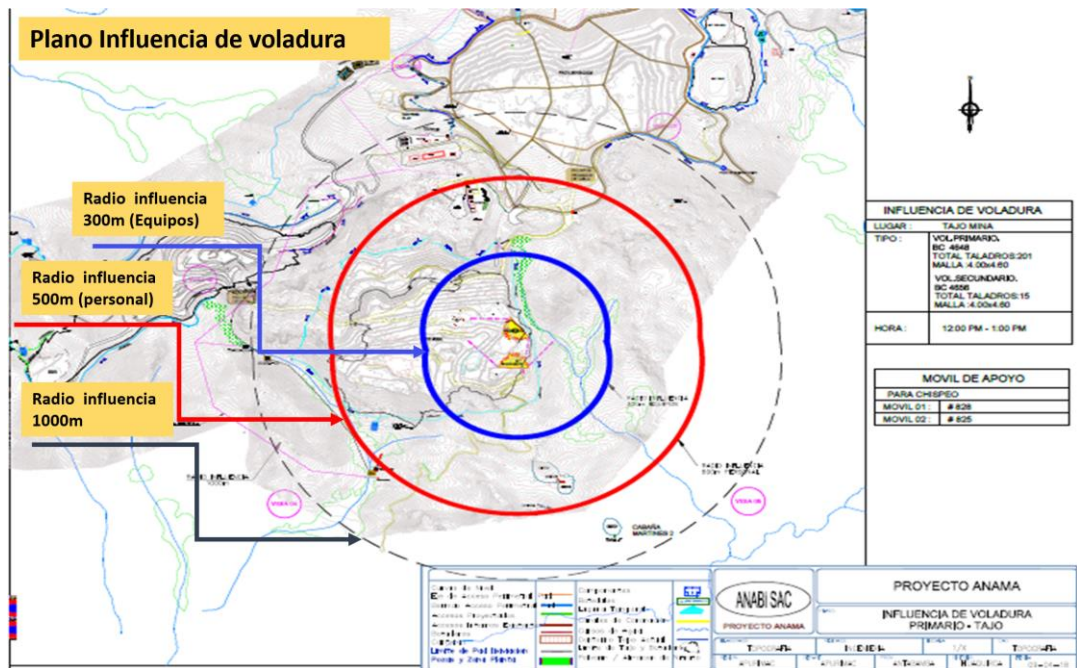


Figura 39 — Plano de área de influencia

5.9 Reducción de dilución

En la unidad minera ANAMA se realizó voladura selectiva usando tiempos de retardo en superficie desde 25-109 ms los mismos que fueron aplicados para cada disparo donde se consigue la reducción o se minimiza la dilución existente a un 9%.

En las imágenes siguientes se muestra como el mineral es separada en bloque o en paquete del desmonte o estéril que no es económicamente aprovechable.

✚ Voladura selectiva banco 4648 PY 33

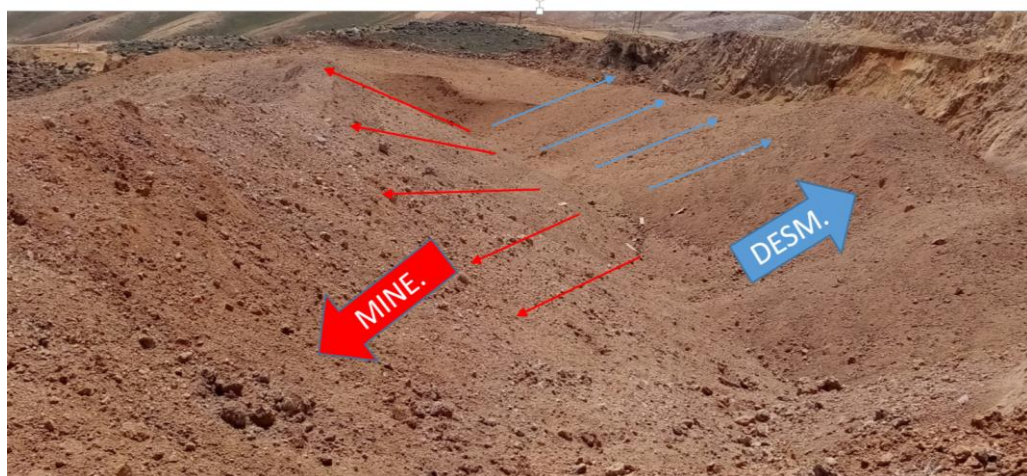


Figura 40 — Voladura selectiva entre el Mineral y Desmonte

✚ Voladura selectiva banco 4648 PY 33



Figura 41 — Voladura selectiva entre el Mineral y Desmante

5.10 Discusión de resultados

Tabla 14 — Cuadro de comparación

Alteración	Burden (m)	Espaciamiento (m)	Taco (m)	Producto	Altura de Banco (m)	Diámetro de taladro (pul)	sobre perforación (m)	Retardo en superficie (ms)
Sílice Masivo	3.30	3.80	2.5	HA_55	8.00	6 3/4	0.50	25
Sílice Granular	4.00	4.60	3.0	HA_46	8.00	6 3/4	0.50	35
Sílice Alunita	4.40	5.00	3.5	HA_37	8.00	6 3/4	0.50	35
Sílice Clay	4.70	5.40	3.5	HA_28	8.00	6 3/4	0.50	42
Diseño Anterior	5.00	5.70	3.0	HA_37	8.00	7 7/8	0.50	35

Con el diseño de perforación y voladura por alteraciones esta varia en comparación del diseño anterior, Burden (5.0-4.1), Espaciamiento (5.7-4.7), diámetro del taladro (7 7/8-6 3/4) producto de explosivo de (HA_37-HA46)

Con el diseño de secuencia de salida utilizando tiempos de retardo se logra realizar una voladura selectiva en donde se tendrá que sacar en un primer bloque el desmante luego el mineral esta última diferencia de tiempo en mili segundos (ms)



Con la optimización entre parámetros de perforación y voladura haciendo una voladura selectiva se llega a minimizar la dilución de 16% a 9% logrando la mejora de rendimiento de equipos de carguío, mejora de ciclos de transporte, mejora de % de ley, % de recuperación en planta y bajos costos operativos.



CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Como conclusión uno, optimizando la voladura controlada el porcentaje de dilución se ha minimizado de 16% a 9%, con una diferencia de 7% en el tajo Valeria de la Unidad Minera Anama.

Como conclusión dos, Se determinó los parámetros de optimización de la voladura controlada de acuerdo a los tipos de alteración mejorando la fragmentación y (la ley de mineral en el contacto entre el mineral y desmonte) en el Tajo Valeria de la Unidad Minera Anama.

Como conclusión tres, Se determina el diseño de voladura controlada para minimizar la dilución tomando en cuenta los límites de mineralización entre el mineral y desmonte existentes en el tajo Valeria de la unidad Minera Anama.

6.2 Recomendaciones

Con los resultados obtenidos de la voladura controlada donde se minimizo la dilución del tajo Valeria, se recomienda aplicar estos resultados como modelo para las unidades mineras que tiene la empresa, obviamente que tenga las mismas características geológicas donde la dilución es un problema constante.

Se recomienda hacer capacitaciones periódicas a todo el personal sobre los parámetros de optimización de la voladura controlada.

Se recomienda revisar la conexión total, taladro por taladro para evitar posibles tiros cortados.

Se recomienda realizar control de densidades de los productos de explosivo como HA_55, HA_46, HA_37, HA_28.

Se recomienda tener monitoreo y control sobre el diseño de la voladura por que pueden existir errores por parte del personal y garantizar un buen resultado de la voladura controlada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anama. 2022. [En línea] Anddes, 2022. [Citado el: 11 de Noviembre de 2022.] <https://anddes.com/proyecto/anama/>.

Babor, Joseph A. 1968. www.ecured.cu. www.ecured.cu. [En línea] 15 de Abril de 1968. [Citado el: 20 de Mayo de 2019.] https://www.ecured.cu/EcuRed:Enciclopedia_cubana.

Famesa. 2018. FAMESA, EXPLOSIVOS SAC. *FAMESA, EXPLOSIVOS SAC*. [En línea] 17 de OCTUBRE de 2018. <https://3278-pe.all.biz/goods>.

Huiman, Ramírez. 2005. <http://geco.mineroartesanal.com>. <http://geco.mineroartesanal.com>. [En línea] 10 de Agosto de 2005. [Citado el: 20 de Mayo de 2019.] http://geco.mineroartesanal.com/tiki-download_wiki_attachment.php?attId=388.

Konya, Calvin J. 2018. SCRIBD. *SCRIBD*. [En línea] 23 de OCTUBRE de 2018. [Citado el: 07 de Febrero de 2019.] <https://es.scribd.com/doc/30213148/Manual-de-Voladura-KONYA>.

Linares, Carrasco Nadia Sira. 2013. oa.upm.es. oa.upm.es. [En línea] Escuela Tecnica Superior de Ingeniero De Minas, 3 de Septiembre de 2013. [Citado el: 21 de febrero de 2019.] http://oa.upm.es/21540/1/PFC_Nadia_Sira_Linares_Carrasco.pdf.

Lopez, Jimeno Carlos. 2003. *Manual De Perforacion Y Voladura De Rocas*. LIMA : CARLOS LOPEZ JIMENO, 2003.

Mamani, Edson Isaac. 2014. es.scribd.com. es.scribd.com. [En línea] ANTAMINA, 07 de Diciembre de 2014. [Citado el: 16 de Mayo de 2019.] <https://es.scribd.com/document/249385761/Diametros-de-Taladros-en-Mineria-Superficial>.

Medina, Cortez Robert Osmar. 2014. cybertesis.uni.edu.pe. cybertesis.uni.edu.pe. [En línea] UNI, 16 de Octubre de 2014. [Citado el: 20 de Febrero de 2019.] http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1273/1/medina_cr.pdf.

Mendoza, Muñoz Norma. 2014. *“Optimización De La Voladura Controlada Aplicando Un Modelo Matemático En La Unidad Minera Paraiso-Ecuador.”*. HUANCAYO : UNCP, 2014.



MinMineria. 2021. www.minmineria.cl. [En línea] MinMineria, 2021. [Citado el: 17 de Septiembre de 2021.] <https://www.minmineria.cl/glosario-minero-1/ley-de-mineral/>.

Omar, E. Cueva Arauzo, Ing. PAE. MBA. Dr. (c). 2014. convencionminera. *convencionminera*. [En línea] TECNICAS MODERNAS DE VOLADURAS CONTROLADAS EN MINERÍA A CIELO ABIERTO, 05 de septiembre de 2014. [Citado el: 22 de Enero de 2019.] <https://www.convencionminera.com/perumin32/doc/conferencias/tecnologia/ocueva.pdf>.

Osso. 2003. osso.org.co. *osso.org.co*. [En línea] 22 de Noviembre de 2003. [Citado el: 7 de Febrero de 2019.] <http://www.osso.org.co/docu/tesis/2003/vibracion/B.pdf>.

Oviedo, nina luis franco. 2017. “*Diseño De Mallas De Perforación Y Voladura Haciendo Uso Del Software Drill And Blast Vulcan 8.0 Para Obtener Una Óptima Fragmentación En E.E. Ajani Unidad Minera Anabi*”. AREQUIPA : UNSA, 2017.

Romero, Royer. 2016. voladura.blogspot. *voladura.blogspot*. [En línea] TEORÍA DE VOLADURA, 18 de Noviembre de 2016. [Citado el: 28 de Febrero de 2019.] <http://royer92voladura.blogspot.com/2016/11/teoria-de-voladura-fragmentacion-de-la.html>.

Santana, Orellana Leonard Eliel. 2014. repositorio.uncp. *repositorio.uncp*. [En línea] uncp, 7 de Julio de 2014. [Citado el: 20 de Octubre de 2018.] <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1340/TESIS%20DISE%20C3%91O%20DE%20MALLA%20PARA%20PERFORACI%20C3%93N%20Y%20VOLADURA%20DE%20FRENTE%20UTILIZANDO%20MODELO%20MATEM%20C3%81TICO%20DE%20HOLM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Serin, Alvites Roger Genix. 2017. “*Reducir El Porcentaje De Dilución, Mediante Voladura Controlada En Los Tajos De Produccion En La Mina Marsa-Retamas*”. Universidad Nacional De Trujillo , Trujillo, Perú : 2017.

SMM, Seminario minería y metalurgia. Casali, Aldo y Rubio, Enrique. 2017. 11, Santiago de Chile : Fcfm, 2017, Vol. 1.



Valencia, Chavez Elvis William. 2013. cybertesis.uni.edu. *cybertesis.uni.edu*. [En línea] 22 de Noviembre de 2013. [Citado el: 20 de Mayo de 2019.] http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/10636/1/guerra_sr.pdf.

Vilca, Callata Yhonny Ely. 2019. *Voladura Controlada Y Reducción Porcentual De Dilución Y Costos En Tajeo Con Uso De Exsablock En La Minera Aurífera Retamas S.A.* - 2019. Universidad Nacional Del Altiplano, Puno, Perú : 2019.



ANEXOS



ANEXO 1

Tabla 15 — Matriz de consistencia

“OPTIMIZACIÓN DE VOLADURA CONTROLADA PARA MINIMIZAR LA DILUCIÓN EN EL TAJO VALERIA DE LA UNIDAD MINERA ANAMA – EMPRESA MINERA ANABÍ-2019”					
Problema	objetivos	hipótesis	variables	dimensión	indicadores
<p>Problema general</p> <p>¿En qué media la optimización de la voladura controlada minimizara la dilución en el Tajo Valeria de la Unidad Minera Anama?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar la optimización de la voladura controlada para minimizar la dilución en el tajo Valeria de la Unidad Minera Anama</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>Se optimizo la voladura controlada para minimizar la dilución en el tajo Valeria de la Unidad Minera Anama</p>	<p>Variable independiente</p> <p>Optimización de voladura controlada</p>	<p>Ley de mineral</p> <p>Diseño de perforación y voladura</p>	<p>Contenido en gramos por tonelada</p> <p>Diseño y control de los parámetros de P & V.</p> <p>Paralelismo y longitud de los taladros.</p> <p>Densidad y velocidad de detonación de los explosivos</p>
<p>Problemas específicos</p> <p>¿Cómo se mejorará la ley de mineral con la optimización de la voladura controlada en el Tajo Valeria de la Unidad Minera Anama?</p> <p>¿Cómo se determinará el diseño de perforación y voladura, para minimizar la dilución en el tajo Valeria de la Unidad Minera Anama?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>Mejorar la ley de mineral con los parámetros de optimización de la voladura controlada en el Tajo Valeria de la Unidad Minera Anama.</p> <p>Determinar el diseño de perforación y voladura, para minimizar la dilución en el Tajo Valeria de la Unidad Minera Anama.</p>	<p>Hipótesis específicas</p> <p>Se mejoró la ley de mineral con la optimización de la voladura controlada, en el Tajo Valeria de la Unidad Minera Anama</p> <p>Se determinó el diseño de perforación y voladura para minimizar la dilución en el tajo Valeria de la Unidad Minera Anama</p>	<p>Variable dependiente</p> <p>Minimizar la dilución en el Tajo Valeria.</p>	<p>Tipo de alteración</p>	<p>Porcentaje de material estéril</p> <p>Presencia de alteraciones en la mineralización.</p>

ANEXO 2 REGISTRO FOTOGRÁFICO.



Figura 42 — Limpieza de Plataforma de Perforación BC 4656



Figura 43 — Armado de malla de perforación



Figura 44 — Perforación con DM-45



Figura 45 — Proyecto de voladura



Figura 46 — Mapeo de Alteración



Figura 47 — Medición de taladro



Figura 48 — Proceso de carguío de taladro



Figura 49 — Proceso de carguío de taladros con camión fabrica



Figura 50 — Voladura



Figura 51 — Carguío de mineral Excavadora 390



Figura 52 — Carguío de mineral Excavadora 345



Figura 53 — Transporte de material con volquetes de 22 m³