

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE MINAS



TESIS

**Efectos del confinamiento al usar tacos en la voladura, en la
Empresa Minera San Simón S.A. Unidad Minera La Virgen
La Libertad**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor: Bach. Jhorgiño MARCOS ESTEBAN

Asesor: Mg. Teodoro Rodrigo SANTIAGO ALMERCÓ

Cerro de Pasco - Perú - 2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE MINAS



TESIS

**Efectos del confinamiento al usar tacos en la voladura, en la
Empresa Minera San Simón S.A. Unidad Minera La Virgen
La Liberta**

Sustentada y aprobada por los miembros del jurado:

Mg. Edwin Elías SANCHEZ ESPINOZA
PRESIDENTE

Mg. Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA
MIEMBRO

Ing. Toribio GARCIA CONTRERAS
MIEMBRO

DEDICATORIA

A mis Padres y personas más cercanas a mí, por haberme motivado siempre para forjarme como la persona y el profesional que soy en el presente. En gran parte mis éxitos y logros se los debo a ustedes en el cual incluye este proyecto. Mis valores y ética como persona son gracias a ustedes que siempre creyeron en mí pese a cualquier dificultad que hubo.

Gracias a todos, los amo infinitamente.

RECONOCIMIENTO

Quiero dar un profundo agradecimiento a quienes hicieron posible este sueño, quienes estuvieron a mi lado siempre apoyándome de todas las maneras posibles, y siempre fueron motivación y fortaleza para mi persona. Esta mención en especial es para DIOS, para mis PADRES, para mi HERMANA, para mi NOVIA y para mis MEJORES AMIGOS DE LA UNIVERSIDAD. Infinitas gracias a ustedes por apoyarme en todos mis sueños y siempre querer lo mejor para mí.

Mi agradecimiento también, a la UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN, a la FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, mi gratitud sincera al asesor de mi tesis Mg. TEODORO SANTIAGO ALMERCÓ, y gracias a cada docente que compartieron sus conocimientos y experiencias para mi formación profesional.

Gracias a todos.

RESUMEN

La siguiente tesis titulada “EFECTOS DEL CONFINAMIENTO AL USAR TACOS EN LA VOLADURA, EN LA EMPRESA MINERA SAN SIMÓN S.A. UNIDAD MINERA LA VIRGEN LA LIBERTAD” tuvo la finalidad de establecer que consecuencias se obtiene en la voladura al usarse determinados tipos de tacos.

En cuanto al nivel y tipo propongo una investigación de carácter MIXTO, debido a que cubre satisfactoriamente los objetivos y la naturaleza de esta investigación. El nivel en el que se desarrolla esta investigación es APLICATIVO, con alcance descriptivo y explicativo. Con la finalidad de evaluar todas las partes que participaran de la problemática planteada se utilizó una técnica inductiva, deductiva con análisis y síntesis.

Como resultados hallados tenemos:

- Los efectos que se consiguieron con el uso de tacos colocados correctamente son:

- Incremento del efecto de trituración de la roca y del desplazamiento de los fragmentos
- Reducción del consumo de explosivos
- Control de la proyección de piedras volantes
- Supresión del soplo de flama por la boca del taladro
- Control de la liberación de polvo fino al medio ambiente
- Regulación de la formación de gases tóxicos
- Protección de la carga explosiva del taladro contra riesgos de detonación prematura

La evaluación de la voladura en la mina usando tacos se realizó en dos etapas. Por un lado, en la primera evaluación de la primera etapa las pruebas de voladura fueron realizadas con una carga de explosivo de 350gr. Por otro lado, en la segunda evaluación de la primera parte se empleó una carga explosiva de 280 gr por taladro. En la segunda etapa se realizó usando tapones de tierra, gravilla y tapones Stentite.

- Los resultados de las evaluaciones en la primera prueba fueron los siguientes: Burden aumentado de 50 a 70 cm, carga 350 gr por taladro, CON TACO. Se bajaron de 600 a 429 taladros por frente de 100 m. Economía de explosivo 130Kg. El costo de explosivo y accesorios bajó de 303.12 a 234.41 US\$ resultando \$ 68.71 menos por cada 100 m de Frente (ahorro mensual US\$ 2633.08). Además, se mejoró la fragmentación. en cuanto a ahorro de personal fue de US\$ 1515.16 y en materiales brocas se ahorró 43 brocas que representa un ahorro de 774 \$/mes; haciendo un total de ahorro al usar taco de 4,923.04 \$/mes.

- Los resultados de las evaluaciones en la segunda prueba fueron: Burden aumentado de 50 a 70 cm, carga reducida a 280 gr por taladro, taco bien controlado manteniendo 429 taladros por frente, el costo en explosivo bajó de US\$ 229.27 resultando US\$ 83.85 menos por cada 100 m de Frente (ahorro mensual US\$ 3214.15); fragmentación similar, también mejorada.

Con la disminución de taladros se redujo personal (ahorro \$ 1515.16/mes y 43 brocas menos /US\$ 774/mes); teniendo un ahorro mensual de 5.503.4 \$/mes.

- En la segunda etapa de evaluación al usar tacos en la voladura se tuvo las siguientes conclusiones, se usó tres tipos de tacos, de Material de Suelo, Gravilla Triturada, Detritus de Perforación con Tapón STEMTITE, obteniéndose lo siguiente, en el Análisis de la fragmentación Se consiguió 50% de incremento en la fragmentación del mineral con tacos de cono-detrito. al usar Taco de tierra: Fragmentación pobre, irregular, eyecciones y presencia de grandes rocas. con **Taco de gravilla**: Mejor fragmentación; sin embargo, con presencia de pedrones al nivel del taco, y Taco **cono stemtite**: Excelente fragmentación, la presencia de pedrones eventuales se limitó a la cara libre del banco.

Las Mediciones de VOD al nivel del collar con tacos de tierra demostraron rápida disminución de la presión de detonación; mientras que con los conos ésta se incrementa notoriamente, mejorando el rendimiento efectivo del explosivo.

En el Control de vibraciones para evitar daños asociados al mayor confinamiento. Con los conos se observó mayor nivel de vibraciones (7%) que, con la tierra, pero ambos estuvieron en el mismo rango de daño.

Costo global de voladura (abril-diciembre 2020) fue de Costo de voladura 96.7%, Costo adicional de tapones 3.3% Reducción General de Costo (año 2020) = US\$ 471,861/año.

PALABRAS CLAVES: Tacos. Voladura, costos, efectos, taqueo.

ABSTRACT

The following thesis titled "EFFECTS OF CONFINEMENT WHEN USING STUCKS IN BLASTING, IN THE MINING COMPANY SAN SIMON S.A. MINING UNIT LA VIRGEN LA LIBERTAD" had the purpose of establishing what consequences are obtained in the blasting when using certain types of blocks.

As for the level and type, I propose a research of MIXED character, because it covers satisfactorily the objectives and the nature of this research. The level at which this research is developed is APPLICATIVE, with descriptive and explanatory scope. In order to evaluate all the parts involved in the problem, an inductive and deductive technique with analysis and synthesis was used.

As results found we have:

- The effects that were achieved with the use of correctly placed cleats are:
- Increase of the crushing effect of the rock and the displacement of the fragments
- Reduction of explosives consumption
- Control of flying stones projection
- Suppression of flame blast from the mouth of the drill hole
- Control of the release of fine dust into the environment
- Control of the formation of toxic gases
- Protection of the explosive charge of the drill against the risk of premature detonation.

The evaluation of blasting in the mine using lugs was carried out in two stages. On the one hand, in the first evaluation of the first stage, blasting tests were carried out with an explosive charge of 350 gr. on the other hand, in the second evaluation of the first part, an explosive charge of 280 gr per drill hole was used. The second stage was carried out using soil plugs, gravel and Stemtite plugs.

- The results of the evaluations in the first test were as follows: Burden increased from 50 to 70 cm, load 350 gr per hole, WITH TACO. Lowered from 600 to 429 holes per 100 m face. Economy of explosive 130Kg. The cost of explosive and accessories dropped from 303.12 to 234.41 US\$ resulting in \$ 68.71 less per 100 m of face (monthly savings US\$ 2633.08). In addition, fragmentation was improved. In terms of personnel savings, US\$ 1515.16 and in drill bit materials, 43 drill bits were saved, which represents a savings of US\$ 774/month, making a total savings of US\$ 4,923.04/month.

- The results of the evaluations in the second test were: Burden increased from 50 to 70 cm, load reduced to 280 gr per drill, well controlled taco maintaining 429 drills per face, the cost of explosive decreased from US\$ 229.27 resulting in US\$ 83.85 less per 100 m of face (monthly savings of US\$ 3214.15); similar fragmentation, also improved.

With the reduction of drills, personnel was reduced (savings of US\$ 1515.16/month and 43 drills less /US\$ 774/month); having a monthly savings of US\$ 5,503.4/month.

- In the second stage of evaluation when using plugs in the blasting, the following conclusions were reached, three types of plugs were used, Soil Material, Crushed Gravel, Drilling Detritus with STEMTITE Plug, obtaining the following, in the analysis of fragmentation 50% increase was achieved in the fragmentation of the mineral with cone-detritus plugs. when using earth plug: Poor fragmentation, irregular, ejections and presence of large boulders. with gravel plug: Better fragmentation; however, with presence of boulders at the level of the plug, and stemtite cone plug: Excellent fragmentation, the presence of eventual boulders was limited to the free face of the bench.

VOD measurements at the collar level with earth blocks showed a rapid decrease in detonation pressure, while with cones it increased significantly, improving the effective performance of the explosive.

Vibration control to avoid damage associated with greater confinement. With cones, a higher level of vibrations was observed (7%) than with earth, but both were in the same range of damage.

Overall blasting cost (April-December 2020) was 96.7% blasting cost, additional plug cost 3.3% overall cost reduction (year 2020) = US\$ 471,861/year.

KEY WORDS: plugs. Blasting, costs, effects, plugging.

PRESENTACIÓN

Vemos que el retacado o taco es un parámetro del diseño de perforación y voladura de rocas. Normalmente se rellena con material inerte cuya misión es la de retener los gases producto de la explosión, durante fracciones de segundos, suficientes para evitar que los gases fuguen por la boca del taladro, de esta manera trabaje por completo en el proceso de la fragmentación de la roca.

Se tiene bien definido que:

- Si no hay taco los gases escaparán a la atmosfera arrastrando gran cantidad de energía que debería actuar en la fragmentación de la roca.
- Si el taco es insuficiente habrá problemas de fuerte ruido por onda aérea, de craterización y proyecciones.
- Si el taco es excesivo, se obtendrá gran cantidad de bloques procedentes de la parte superior del banco, por tanto, fragmentación irregular, poco esponjamiento de la pila del material y un nivel de vibración muy alto.

Normalmente, para el taco, se emplea detritus producto de la perforación, debido a su disponibilidad. También es común utilizar arcilla, piedra chancada fina y angulosa, y hasta cartón. En ocasiones, en taladros inundados, se deja el agua para que cumpla la función del taco.

Viendo estos aspectos sobre este factor de la voladura haremos una evaluación del uso de tacos con el propósito de reducir el consumo de explosivo, incrementar la fragmentación del mineral en las labores de explotación de la Compañía.

Teniendo en cuenta estos aspectos se plantea el presente estudio para poder mejorar nuestras operaciones de perforación y voladura.

EL AUTOR

ÍNDICE

DEDICATORIA

RECONOCIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

PRESENTACIÓN

ÍNDICE

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN 1

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO 4

2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO 4

2.2 BASES TEÓRICAS - CIENTÍFICAS 7

2.2.1 Voladura superficial 8

2.2.2 Voladura de bancos 9

2.2.3 Parámetros 10

2.2.4 Elementos de la voladura de banco 10

2.2.5 Factores que condicionan el avance de una voladura 12

2.2.6 Ciclo básico de excavación 12

2.2.7 Factores que influyen en la voladura 13

2.2.8 Carga y cebado de taladros 14

2.2.9 Carga de taladros 17

2.2.10 Control de proyecciones de bancos 22

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS 24

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN 27

3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN..... 27

3.2 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN. 27

3.3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN..... 27

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA..... 28

 3.4.1 Población..... 28

 3.4.2 Muestra 28

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS..... 28

 3.5.1 Técnicas..... 28

 3.5.2 Instrumentos..... 28

3.6 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS..... 28

3.7 ORIENTACIÓN ÉTICA..... 29

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS..... 30

4.1 PRESENTACIÓN, ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS..... 30

 4.1.1 La Empresa Minera San Simón- Unidad Minera La Virgen..... 30

 4.1.1.1 Ubicación 30

 4.1.1.2 Accesibilidad..... 31

 4.1.1.3 Clima y Vegetación..... 32

 4.1.2 Uso de tacos en La Empresa Minera San Simón- Unidad Minera la Virgen . 33

 4.1.2.1 Concepto 33

 4.1.2.2 Uso de tacos 34

4.1.2.3 Tipos de tacos	35
4.1.2.4 Cargas espaciadas con tacos	39
4.1.2.5 Aplicación de tacos mejorados	42
4.1.2.6 Tacos no convencionales	47
4.1.3 Efecto económico.....	51
4.1.3.1 Significación económica del taqueo.....	51
4.1.3.2 Efectos positivos del taqueo	53
4.1.4 Longitud de los Tacos	53
4.1.4.1 Factores que condicionan la longitud de los tacos	54
4.1.4.2 Calculo de la longitud del taco	56
4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	57
4.2.1 Primera evaluación del uso de tacos en la voladura.....	57
4.2.1.1 Condiciones de la voladura.....	57
4.2.1.2 Propósito de las pruebas	57
4.2.1.3 Prueba de evaluación	57
4.2.1.4 Resultados económicos.....	59
4.2.2 Segunda evaluación del uso de tacos en la voladura.....	61
4.2.2.1 Objetivos	61
4.2.2.2 Alternativas de Taqueo.....	61
4.2.2.3 Evaluación de los resultados	62
4.2.2.4 Costo asociado a la optimización de voladura	64
4.2.2.5 Reducción total de gasto por la ampliación de malla	65

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Categorías de volabilidad.....	56
Tabla N° 2. Costos explosivos y accesorio	59
Tabla N° 3. Costo de ahorro de personal.....	60
Tabla N° 4. Costo de ahorro en Material.....	60
Tabla N° 5. Resumen de costos	61
Tabla N° 6. Fragmentación de la voladura	63
Tabla N° 7 Niveles de velocidad de partícula PPV.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Problemas de voladura	7
Figura N°2. Elementos de un banco	10
Figura N°3. Diseño de una voladura	11
Figura N° 4. Diseño de un banco a volar.....	11
Figura N° 5. Taladro corto.....	13
Figura N° 6. Taladro al piso	13
Figura N° 7. Taladro con Sobreperforacion.....	14
Figura N° 8. Carga y cebado de taladros para diámetros menores	14
Figura N° 9. Preparación de boosters de pentonita para diámetro mayores	15
Figura N° 10. Cebo de dinamita y boosters de pentonita	15
Figura N° 11. Preparación de cebo o boosters de emulsión.....	16
Figura N° 12. Carga de taladros	17
Figura N° 13. Carga de taladros en diferentes condiciones.....	17
Figura N° 14. Carga para voladura controlada en superficie	18
Figura N° 15. Voladura de Precorte	18
Figura N° 16. Precorte sin disparo	19
Figura N° 17. Para diámetros de 50 a 75 mm	19
Figura N° 18. Para diámetros de 100 a 150 mm	20
Figura N° 19. Para diámetros de 250 a 300 mm	20
Figura N° 20. Para diámetros de 150 a 200 mm cargas equiespaciadas	21
Figura N° 21. Para diámetros de 150 a 200 mm cargas desacoplada continua	21
Figura N° 22. Taqueo de taladros	22

Figura N° 23. Vista de un taqueo del taladro.....	22
Figura N° 24. Tipos de tacos.....	23
Figura N° 25. Mecánica de rotura en cachorreo y plastas.....	23
Figura N° 26. Ubicación de La Unidad Minera La Virgen y su proximidad a importantes yacimientos auríferos en La Libertad.....	31
Figura N° 27. Acceso a la Unidad Minera La Virgen	32
Figura N° 28 Vista de un taladro con su correspondiente taco.....	33
Figura N° 29. Ubicación del taco intercalado con el explosivo	34
Figura N° 30. Efecto en la retención de los gases por el uso de taco.....	35
Figura N° 31. Tacos de piedra chancada angulosa.....	35
Figura N° 32. Ejemplos de taqueo	36
Figura N° 33. Condiciones adversas al no colocar tacos	37
Figura N° 34. Soplo de un taladro al no usar taco.....	38
Figura N° 35. Uso de taco como cartuchos duros	38
Figura N° 36. Uso dl taco para reducir el efecto canal	39
Figura N° 37. Uso del taco cuando el cebo esta en la boca del taladro.....	39
Figura N° 38. Taco distribuido uniformemente a lo largo del taladro	40
Figura N° 39. Taco ubicado en tramos irregulares	40
Figura N° 40. Tacos intercalados para reducir impacto a la roca	40
Figura N° 41. Taco para reducir el nivel de vibraciones	41
Figura N° 42. Taqueo de taladro con detritos de perforación	43
Figura N° 43. Camión cargador de piedra triturada.....	45
Figura N° 44. Sistema de taco típico cónico.....	46

Figura N° 45 Tipos de tacos.....	48
Figura N° 46. Tacos de cono plástico	50
Figura N° 47. Ubicación del taco de cono plástico	50
a) Fractura miento IN SITU < 1 %.....	52
b) Rotura 15%.....	52
c) Desplazamiento 4 %	52
d) Trituración alrededor del taladro 1.5 - 2 %	52
e) Proyección de fragmentos < 1 %	52
f) Deformación de la roca sólida después del disparo < 1%.....	52
g) Vibración del terreno 40 %.....	52
h) Concusión del aire (AIR BLAST) 35 - 38%.....	52
Figura N° 48. Relación entre el taco, tipo de roca y explosivo.....	54
Figura N° 49. Efecto del Cordón detonante sobre el taco	55
Figura N° 50. Taco con tapón cónico	64

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Entre los principales factores para un adecuado “Diseño de Perforación y Voladura” se encuentra el “taco o retacado”. Usualmente este relleno se realiza con un material neutral. Su finalidad es impedir la fuga de gases tras la detonación. El taco funciona por menos de un segundo cuando los gases se expanden con gran violencia y pueden fugarse por el orificio de la parte taladrada. Para ello se procede a rellenar la boca taladrada, de esta manera se produce una concentración óptima de la explosión.

Se tiene bien definido que:

- ✓ El retacado tiene como finalidad evitar que se pierda la energía de la explosión por algún orificio no rellenado, lo que produciría rocas parcialmente fragmentadas.
- ✓ Además, otro criterio a considerar es que si el relleno no es completo se produce un problema de fuerte impacto en las ondas aéreas o “fuerte ruido”.
- ✓ Pero, si por el contrario se excede en el relleno se tendrán fragmentos irregulares de material de arriba del banco. Adicionalmente, se producirá una vibración muy alta y un material final muy poco “esponjoso”.

Es común utilizar material de desecho producto de la perforación para hacer los rellenos. En otro caso se usa “material arcilloso, piedra chancada fina y angulosa, o cartón”. Inclusive, cuando la perforación se realiza con taladros de inundación, el agua funciona como taco.

La presente investigación fue realizada en la EMPRESA MINERA SAN SIMÓN-UNIDAD MINERA LA VIRGEN, LA LIBERTAD. Y se desarrolló en un periodo que duro de Julio a Diciembre del 2020; en el cual evaluamos factores determinantes como: aspectos de perforación, voladura, uso de tacos, efectos económicos, efectos técnicos, tipos de tacos.

Viendo estos aspectos sobre estos factores de la voladura haremos una evaluación del uso de tacos con el propósito de reducir el consumo de explosivo, incrementar el mineral fragmentado, con el fin de maximizar las operaciones y efectos económicos de explotación de la empresa.

La presente investigación, contribuirá a mejorar las condiciones del proceso de voladura; pudiendo minimizar el Índice de Accidentabilidad (IA) y evitará la recurrencia de accidentes. Lo cual evitara paralizaciones de trabajos, sanciones establecidas por ley, cierres, costos del accidentado y una mala imagen externa perjudicial en la captación de nuevos clientes. Además, se mejorará el ambiente de trabajo, ofreciendo a los trabajadores condiciones seguras y confianza para poder realizar sus actividades, lo que generará un bienestar físico y mental al trabajador y con ello a su familia.

Considerando estos aspectos propongo plantear como válida la tesis que se desarrolla a continuación.

Nuestra tesis comprende cuatro capítulos:

El capítulo I se orienta a la parte introductoria de la problemática de nuestra investigación; el problema sobre uso de los tacos en la voladura, sus efectos, las limitaciones y justificaciones, delimitándolo al ámbito de la EMPRESA MINERA SAN SIMÓN S.A. UNIDAD MINERA LA VIRGEN LA LIBERTAD.

El capítulo II, analiza los antecedentes relacionados a nuestro problema, para poder orientar nuestra investigación, también remarcamos en el sustento teórico sobre voladura de tajo abierto, tacos en voladura, para plantear la hipótesis, concluyendo con la terminología sobre voladura en tajo abierto.

El capítulo III sobre metodología y técnicas, planteamos el tipo y nivel de investigación, el método, el diseño, la población y la muestra, las técnicas e instrumentos a emplear, concluyendo con el procesamiento de datos.

El capítulo IV resultados, hacemos un análisis de los datos obtenidos y presentamos los datos en base al trabajo de campo, y evaluando los costos con el uso de los tacos y mostrar finalmente las conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

En relación a esta tesis se puede ver que hay muy poca información escrita sobre el tema. Pero, en la práctica minera se emplea el uso de tacos de forma continua con diversos resultados y características en cada mina. Así tenemos algunas consideraciones:

CÁLCULO DE LA LONGITUD DE TACO:

Se entiende que un taco optimo debe tener una longitud máxima del 50% en relación a la altura de banco.

- a. **Para calcular la longitud del taco, se tiene como igualdad inicial:**

Longitud de Carga + Longitud del Retacado \leq Longitud de Taladro

- b. **Para calcular la Longitud de Taco (T) tenemos diversos modelos**

- Para el Matemático de Richard L. Ash la longitud se calcula así:

T = (0.5 a 1.0) B	B = Burden
--------------------------	-------------------

- Para C. J. Konya la longitud se calcula de esta manera:

T = B ; roca estratificada
T = 0.72 B ; roca masiva
B = Burden

- Según el Diámetro del Taladro, tenemos:

T = (33 a 35) D ; roca blanda a intermedia

T = (30 a 32) D ; roca dura

D = Diámetro de taladro

➤ En Desbroce:

T = 0.7 B + SC/2 SC = Espesor de Carga
--

Se debe tener en cuenta que bajo condiciones deficientes de diseño doblar, triplicar o cuadruplicar la longitud de taco, no asegura que los taladros funcionen correctamente.

En la tesis de **(CHAVEZ, 2019)** sobre el uso de Stemming de 2" como taco, se realiza el estudio con dos tipos de tacos, uno con material detrítico y otro con grava, realizándose la voladura en 4 bancos, teniendo como resultados los siguientes.

- En cuanto a la retención de energía con material detrítico fue de 146.25 ms y taco de grava fue de 237.86 ms, esto permite una mayor fragmentación de la roca y reduce el lanzamiento de la roca cuando se usa como taco el material de grava.
- En cuanto a las vibraciones con material detritus su velocidad pico fue de 70.98 mm/seg y cuando se usa grava como taco fue de 133.45 mm/seg. siendo este último mucho mayor, con una vibración mayor.
- La velocidad de detonación con material detrítico fue de 5516.35 m/s, y en grava fue de 5665.55 m/s.
- El tamaño del material fue con material detrítico fue de 10.64" y con grava 7.69" lo que mejora la fragmentación.

En la tesis **(PEREZ, 2016)** en dicha investigación se realizó la voladura usando cámaras de aire en cada uno de los taladros, realizándose cinco pruebas de voladura, como conclusión se llegó a lo siguiente el uso de cámaras de aire reduce las vibraciones en un 3.7 % en relación a las voladuras convencionales, consiguiéndose una mayor fragmentación, reducción de costos en la perforación y voladura, teniendo en promedio 0.48 \$/Tn, también se redujo la proyección del material y una mayor eficiencia en el carguío, transporte y tratamiento metalúrgico.

La tesis de **(MACHUCA, 2018)** la investigación se realizó en la mina Yanacocha, realizándose las voladuras en 6 bancos para lo cual se usó como tacos cámaras de aire para poder incrementar la tasa de excavación (Di grate) lo que permitió reducir costos.

Para lo cual se realizó 9 pruebas voladuras, en tres de ellas no se usó cámaras de aire y en seis se usó como tacos materiales como cartoflex, aquadeck, teniendo como resultados que la tasa de excavación en voladuras convencionales fue de 2,405 T/h, con el uso de cartoflex fue de 3,247 T/h, y con tacos de aquadeck fue de 4,549 T/h; concluyendo que el uso de cámaras de aire es positivo, generando un ahorro anual de 154,000 \$ y con tacos de aquadeck y de 144,350 \$ con tacos cartoflex.

La tesis de **(ARBIZU, 2020)** realizándose la investigación en la mina Toromocho, en la cual se usó como taco el material pebbles, se investigó con el objeto de reducir la granulometría del material.

En el experimento se usó material detritus, pebbles, material zarandeado; como conclusión se tiene que el material zarandeado es el mejor taco, pero su costo de obtención hace prohibitivo su uso llegando a un 30% de incremento; lo que se optó por escoger como taco el material pebbles para la reducción de la granulometría en un 0.5 pulgadas, también contribuye a la retención de la energía lo cual evita la eyección vertical del material.

PROBLEMAS DE LA VOLADURA:

Cuando se realiza la voladura en las diferentes minas se reducen una serie de inconvenientes, estos problemas se pueden presentar en los siguientes aspectos:

- Eyección de los taladros
- Lanzamiento del material
- Poco retacado
- Mala pirotecnia
- Trayectoria del material
- Velocidad
- Poco retacado
- Granulometría
- etc.

En la figura siguiente se muestra algunos de estos problemas.

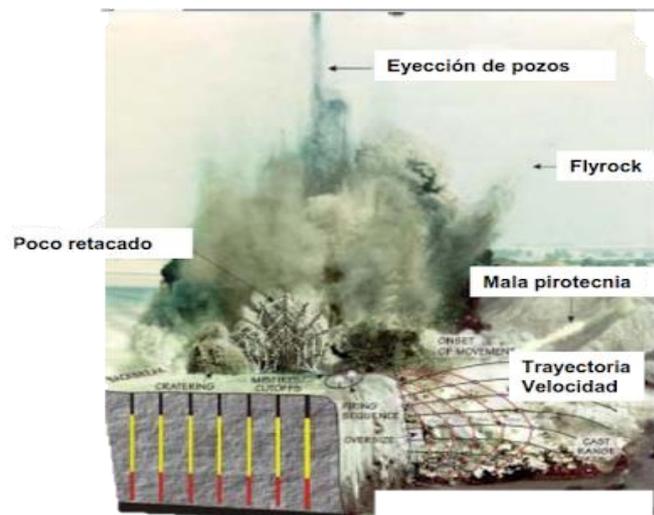


Figura N° 1. Problemas de voladura

2.2 BASES TEÓRICAS - CIENTÍFICAS

Durante el desarrollo de la presente Tesis haremos uso de una serie de información tanto bibliográficos y de campo, que darán evidencia sobre la presente investigación. Dentro de la información que haremos uso tenemos:

- Voladura subterránea
- voladura superficial
- Aspectos básicos
- Voladura de bancos
- Factores que condicionan la voladura
- Ciclo básico de excavación
- Trazos de perforación
- Condiciones fundamentales de los taladros
- Carga y cebado de los taladros
- Tipos de voladura
- Uso de tacos
- Evaluación de la voladura.

2.2.1 Voladura superficial

La voladura superficial es la voladura que se lleva a cabo en la superficie de la tierra y que comprende una serie de procesos o elementos, como detallamos a continuación.

1. Bancos para explotación minera y preparación de agregados para construcción.
2. Excavaciones en obras de ingeniería civil: zanjas, canales, cimentaciones.
3. Obras de ingeniería vial: cortes a media ladera, terraplenes, piedra dimensionada para escolleras y otros.
4. Pre-voladuras de aflojamiento para remover terreno sin desplazarlo.
5. Demoliciones y reducción de pedrones
6. Voladura de máximo desplazamiento para proyectar un gran volumen de roca a distancia.
7. Voladura de cráter con taladros cortos de gran diámetro para desbroce.

Entre otras características podemos mencionar:

- La voladura superficial se efectúa con dos o más caras libres a diferencia de la subterránea que tiene una sola cara libre.
- Por su menor confinamiento el consumo de explosivos por metro cúbico de roca movida es mucho menor que en subterráneo. Igualmente, a mayor dimensión de voladura, menor consumo de explosivo.
- Las condiciones básicas para voladura de superficie deben haber:
 - Alivio o cara libre inicial (relief).
 - Relación de diámetro-burden-altura de cara libre. Distribución de los taladros (alignment).
 - Tipo y distribución de la carga explosiva (charge).
 - Secuencia de salidas (timing), para el desplazamiento de los fragmentos, normalmente de retardo corto. **(EXSA S.A., s.f.)**

2.2.2 Voladura de bancos

Entre las características que tiene una detonación de bancos en un tajo abierto podemos mencionar que se tratan de excavaciones en escalones sobre superficie dejando dos caras libres como mínimo.

Según EXSA S.A. se puede clasificar de la siguiente manera:

Según sus dimensiones pueden ser:
Voladuras con taladros de pequeño diámetro, de 65 a 165 mm.
Voladuras con taladros de gran diámetro, de 180 a 450 mm.
Según su aplicación pueden ser:
Voladura convencional: Busca la máxima concentración, esponjamiento y desplazamiento del material roto (explotación minera).
Voladura de escollera: Para obtener piedras de gran tamaño.
Voladura de proyección (cast blasting): Para proyectar gran volumen de roca a gran distancia, usual en tajos de carbón.

2.2.3 Parámetros

Según el “Instituto Geológico y Minero de España” son dimensiones que guardan entre ellas las distintas partes de un banco, entre las más importantes se tiene:

Parámetro de dimensiones de un banco
Superficie del banco.
Altura de banco
Burden
Espaciamiento.
Profundidad del taladro.
Sobreperforación.
Longitud y distribución de columna explosiva.
Longitud de taco.
Volumen de roca a romper

(Instituto Geológico y Minero de España, 1987)

2.2.4 Elementos de la voladura de banco

Los elementos o nomenclatura de una voladura de banco se pueden observar en las gráficas líneas abajo.

Figura N°2. Elementos de un banco



Figura N°3. Diseño de una voladura

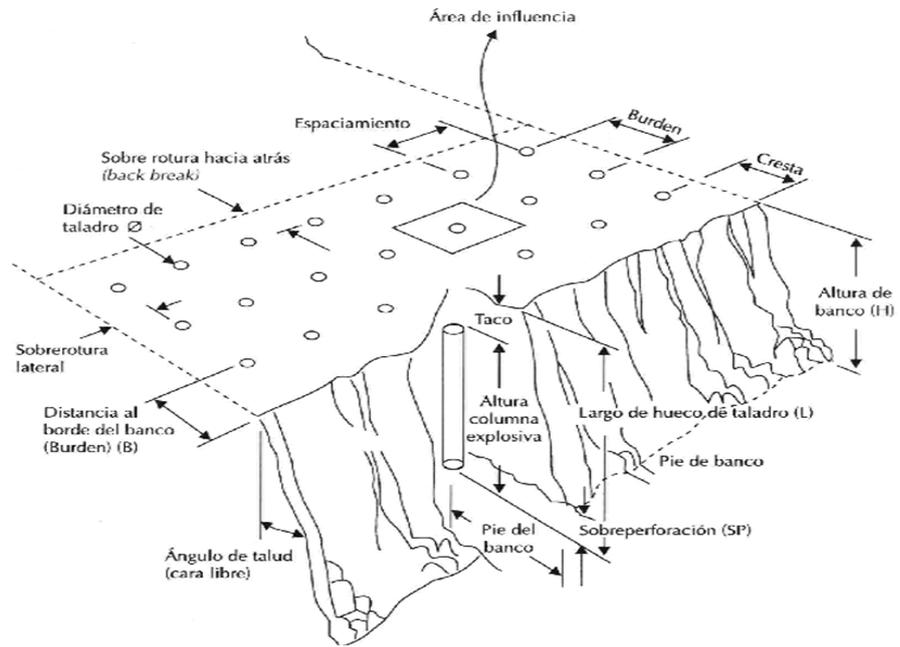
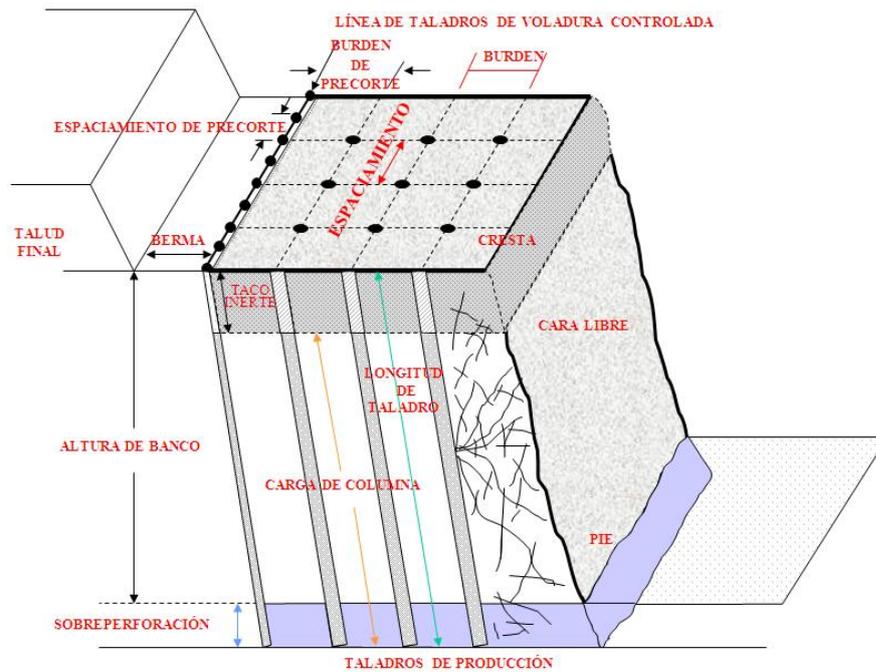


Figura N° 4. Diseño de un banco a volar



2.2.5 Factores que condicionan el avance de una voladura

Entre los factores que condicionan una voladura tenemos.

- Tipo de roca y condiciones del terreno.
- Condiciones de fisuramiento del banco.
- Equipo de perforación empleado (el diámetro de taladro es el parámetro básico).
- Habilidad del personal
- Abastecimiento oportuno de materiales y equipos.
- Carga manual o mecanizada de explosivos.
- Tiempo disponible para la ejecución.
- Uso final del material arrancado.
- Características del trazo, calidad de perforación, tipo de explosivos y efectividad del sistema de iniciación.
- Tipo y dimensiones del equipo de carguío y transporte del material roto.

(Instituto Geologico y Minero de España, 1987)

2.2.6 Ciclo básico de excavación

El ciclo básico de excavación con perforación y voladura, comprende las siguientes fases:

Perforación de los taladros, Cebado y carga de explosivo, Tendido o amarre del sistema de iniciación, Despeje del área de voladura, Disparo, Control de riesgos para el reingreso a la evaluación del disparo. Retiro del material volado, **(Instituto Geologico y Minero de España, 1987)**.

2.2.7 Factores que influyen en la voladura

Dentro de los factores que influyen en la voladura tenemos la longitud de los taladros pudiendo ser taladros cortos, taladros al piso, taladros con sobre perforación como se puede observar en las gráficas.

Figura N° 5. Taladro corto

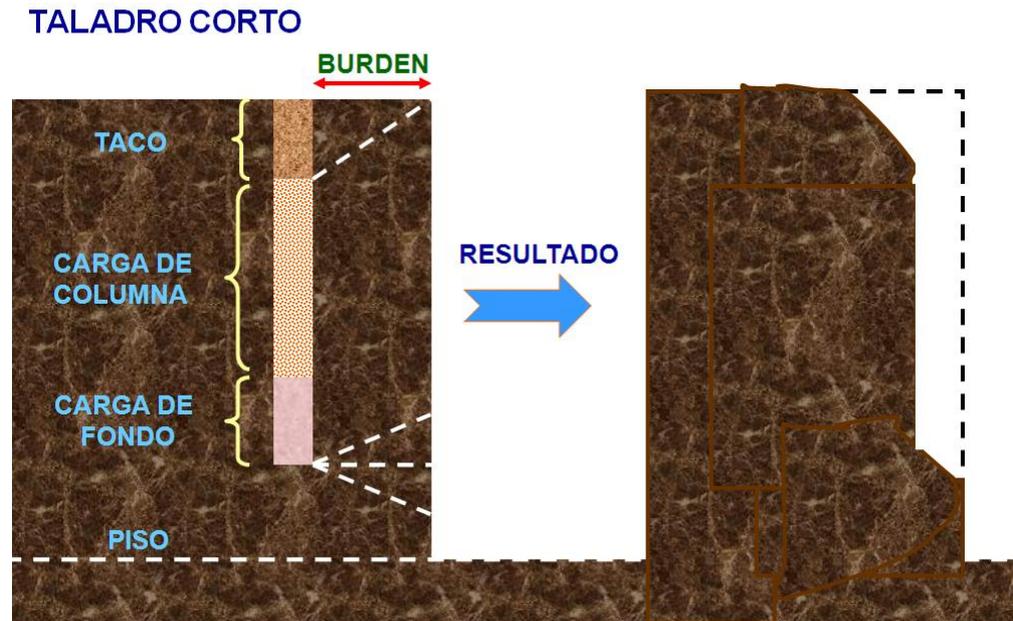


Figura N° 6. Taladro al piso

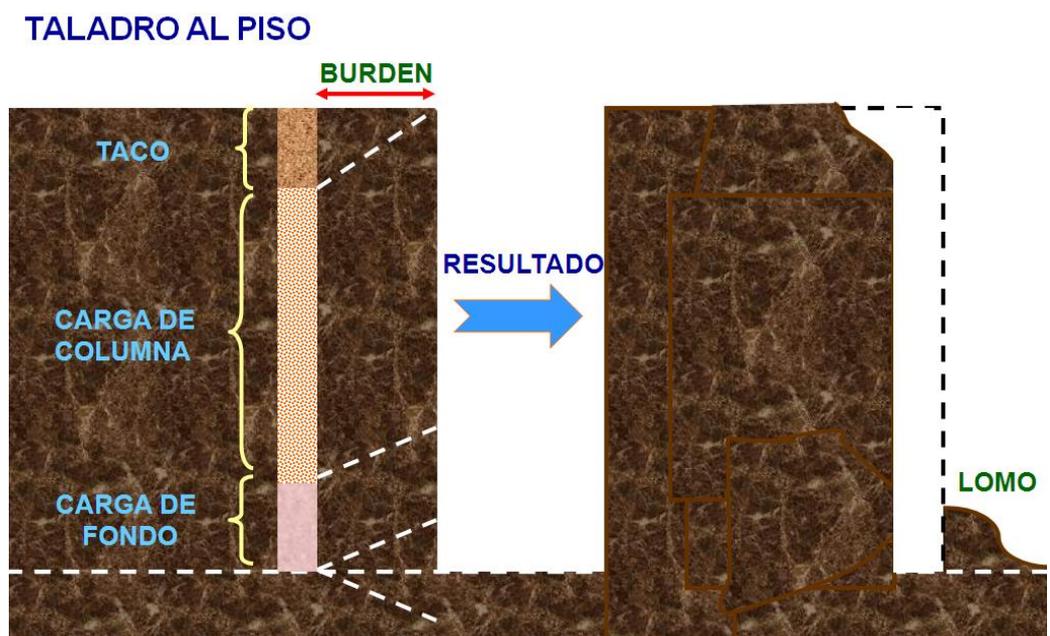
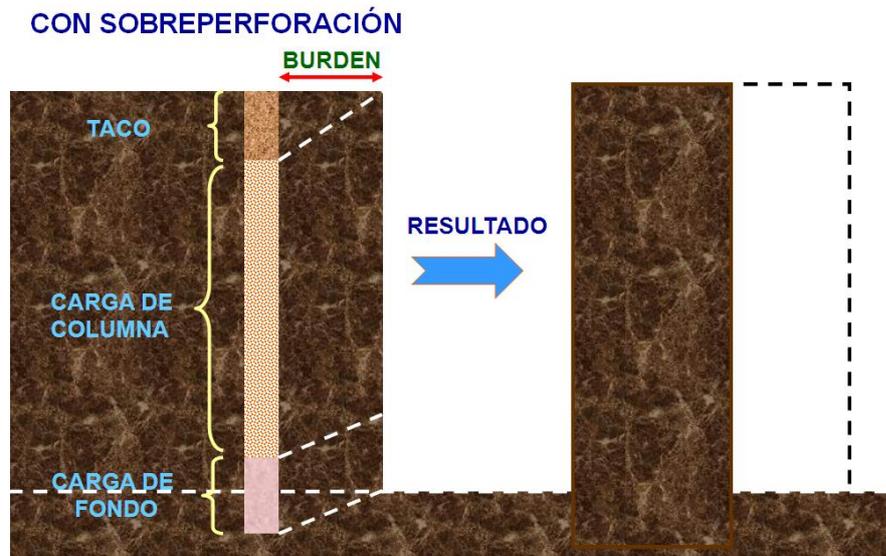


Figura N° 7. Taladro con Sobreperforación



2.2.8 Carga y cebado de taladros

Se debe tener en cuenta la carga y cebado de los taladros para los diversos diámetros de taladro tanto en labores subterráneas como en superficie, así como la ubicación del detonador, del cordón detonante, (EXSA S.A., s.f.)

Figura N° 8. Carga y cebado de taladros para diámetros menores

CARGA Y CEBADO DE TALADROS (PREPARACIÓN DE CEBOS)

PARA DIÁMETROS MENORES DE TALADRO (CANTERAS):

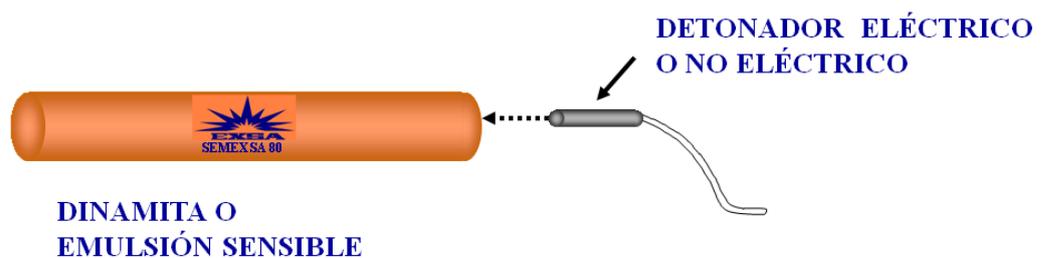
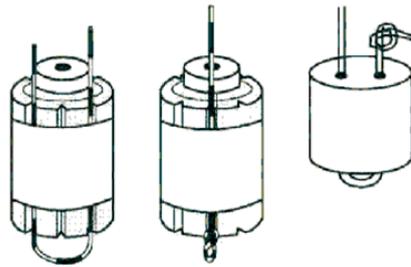


Figura N° 9. Preparación de boosters de pentonita para diámetro mayores

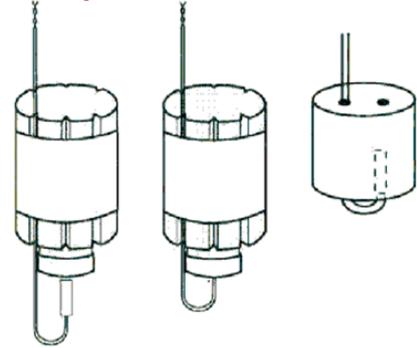
**CARGA Y CEBADO DE TALADROS
(PREPACIÓN DE CEBOS REFORZADORES O BOOSTERS DE
PENTOLITA)**

PARA DIÁMETROS MAYORES DE TALADRO (TAJOS):

1. Con cordón detonante.



2. Con detonador eléctrico o de tipo no eléctrico de retardo.



Primers APD colados o (cast primer) de pentolita.

Figura N° 10. Cebo de dinamita y boosters de pentonita



CEBO DE DINAMITA

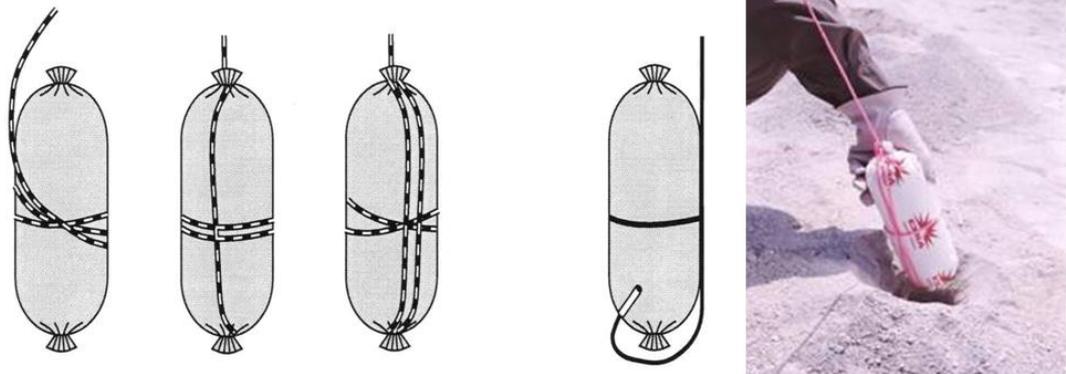
**BOOSTER DE
PENTOLITA**



Figura N° 11. Preparación de cebo o boosters de emulsión

**CARGA Y CEBADO DE TALADROS
(PREPARACIÓN DE CEBOS REFORZADORES O BOOSTERS DE
HIDROGEL O EMULSIÓN)**

PARA DIÁMETROS MAYORES DE TALADRO (TAJOS):



PRIMAGEL

Primers de emulsión o de hidrogel sensibles (slurry primer).

Recomendaciones de carguío:

- Seleccione el explosivo adecuado para cada tipo de roca y condición de taladro.
- Calcule siempre las cargas en relación con el máximo burden y con cierto margen de seguridad.
- Determine la distribución de las cargas en el taladro, teniendo en cuenta los aspectos geológicos.
- Verifique el confinamiento.
- Seleccione el tiempo de retardo de manera que se obtenga suficiente tiempo para que la roca se desplace libremente en cada tiro. Los primeros taladros son los más importantes. **(EXSA S.A., s.f.)**

2.2.9 Carga de taladros

Debemos tener en cuenta el taco, carga de columna, carga de fondo, el cebo y la forma como se disponen estos elementos, podemos observar en las figuras estas disposiciones.

Figura N° 12. Carga de taladros



Figura N° 13. Carga de taladros en diferentes condiciones

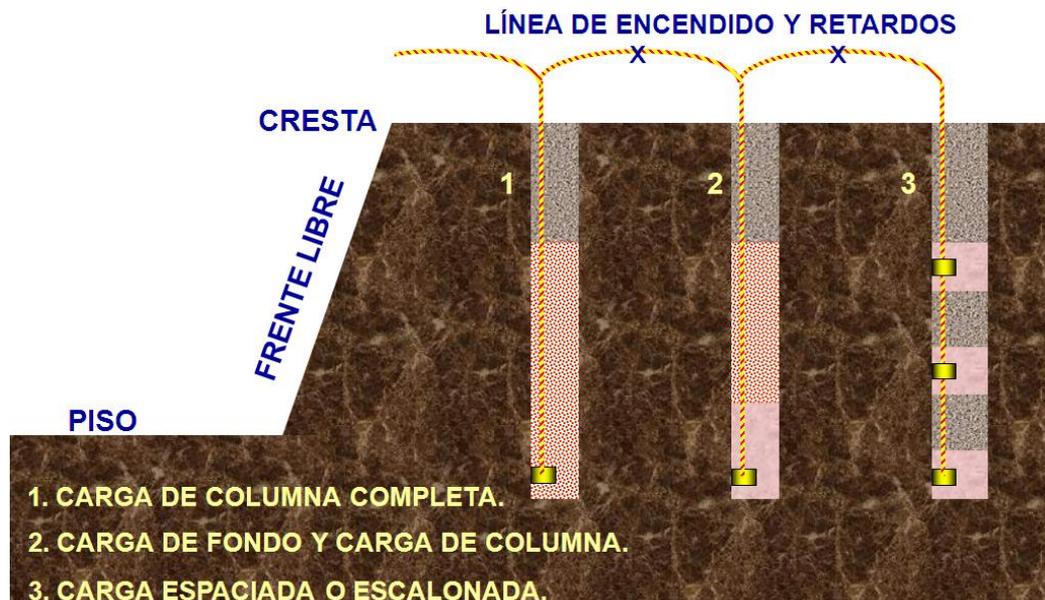


Figura N° 14. Carga para voladura controlada en superficie

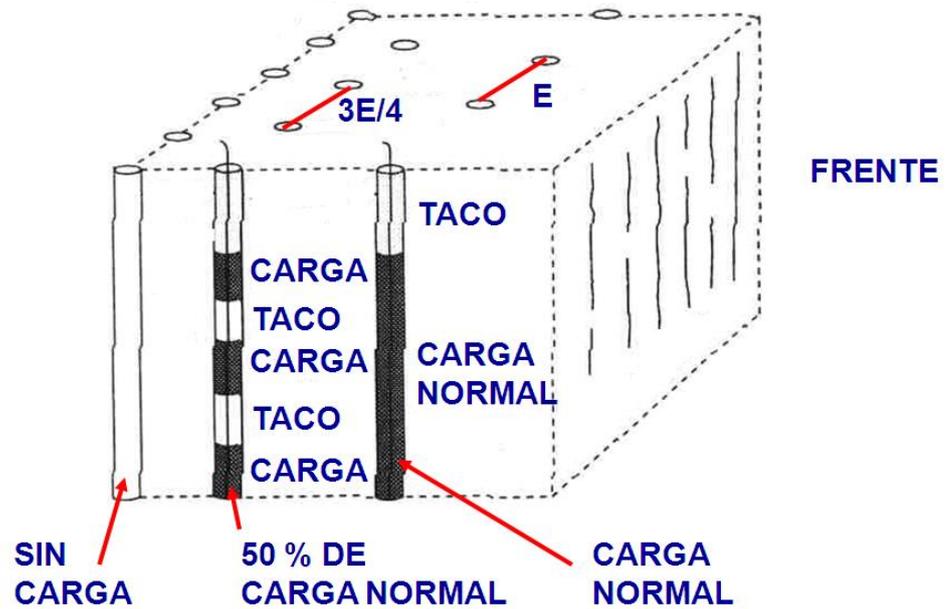


Figura N° 15. Voladura de Precorte

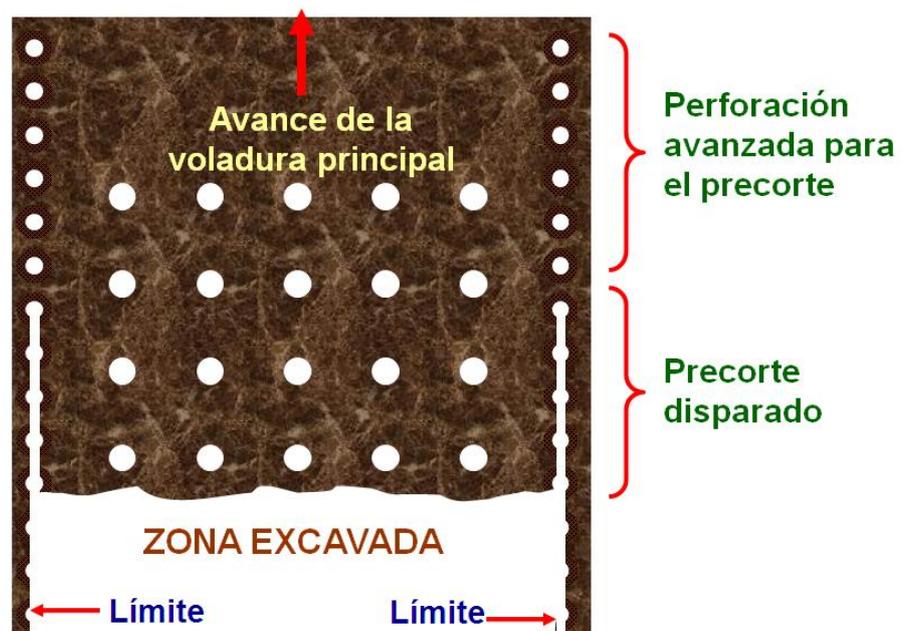
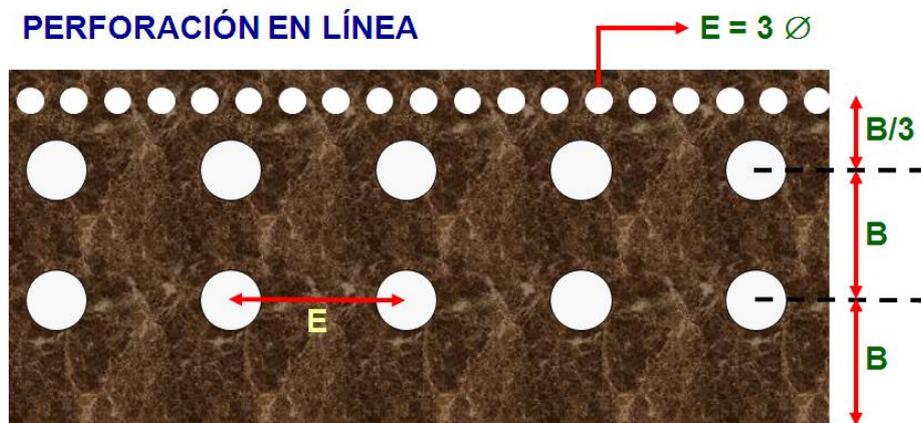


Figura N° 16. Precorte sin disparo

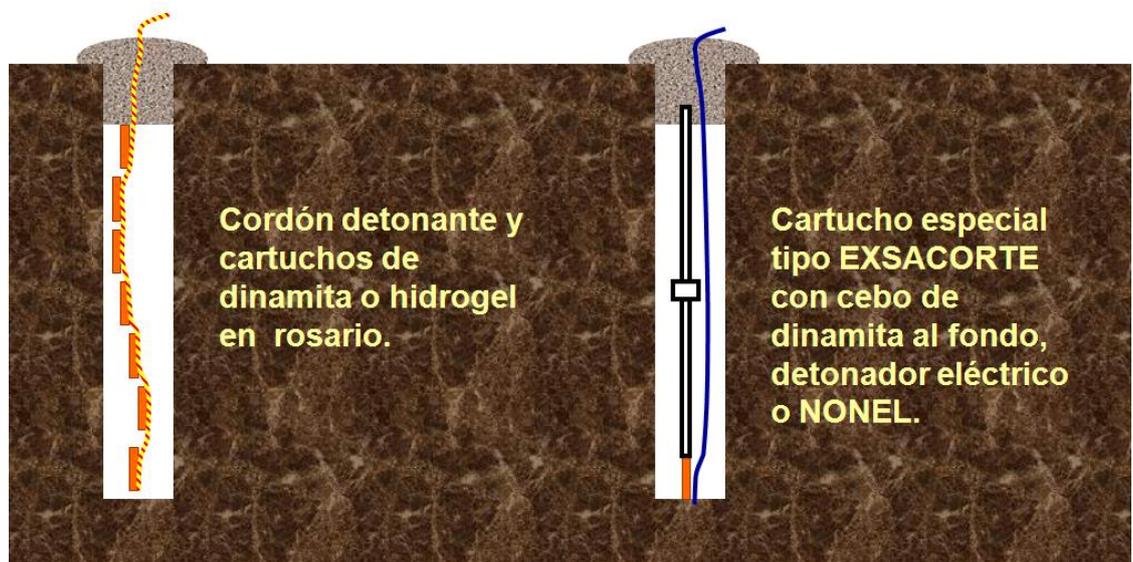


Una hilera de taladros de pequeños diámetros espaciados estrechamente crea un plano de debilidad, Normalmente los taladros no son cargados, pero el corte tiene lugar de acuerdo a dicha línea, con la voladura principal, (EXSA S.A., s.f.)

Esquema de carga para voladura controlada y amortiguada en bancos para diámetros de 50 a 75 mm.

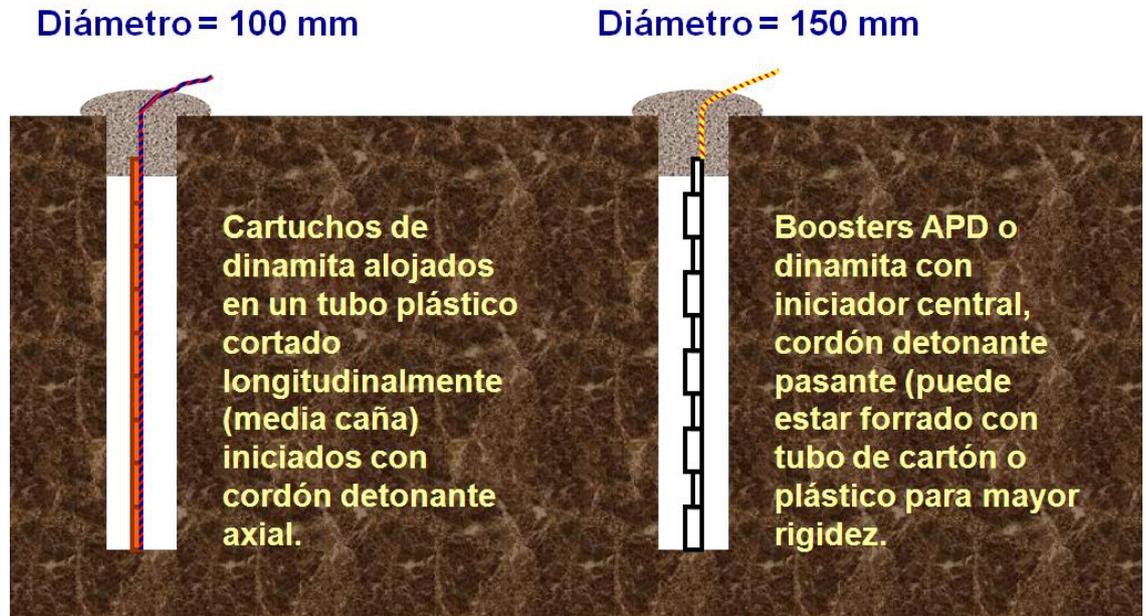
Figura N° 17. Para diámetros de 50 a 75 mm

Diámetros de 50 a 75 mm



Esquema de carga para voladura controlada y amortiguada en bancos para
diámetros de 100 a 150 mm.

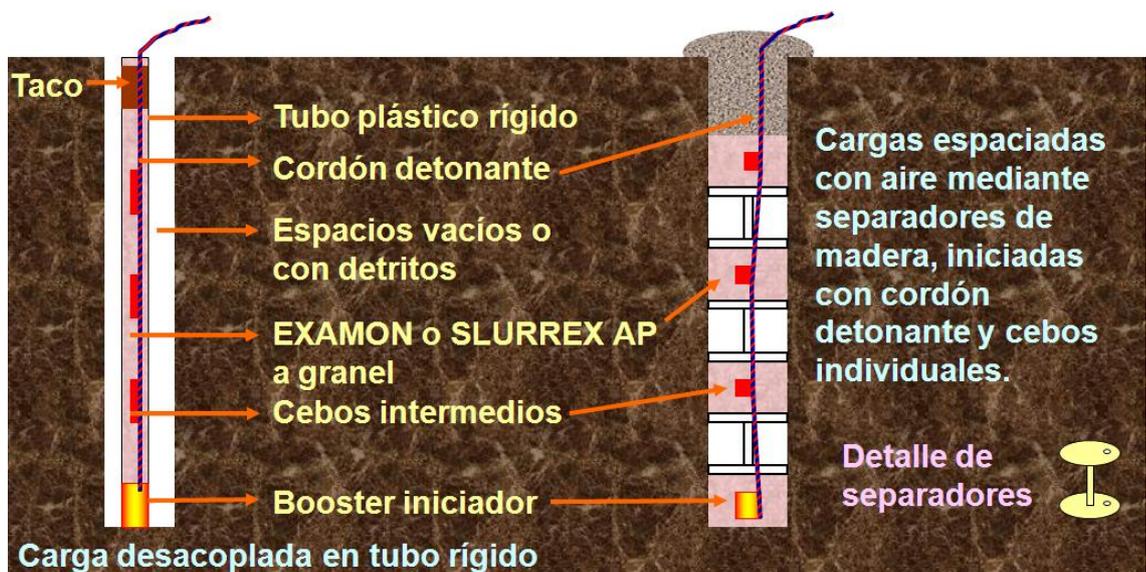
Figura N° 18. Para diámetros de 100 a 150 mm



Esquema de carga para voladura controlada y amortiguada en bancos para
diámetros de 250 a 300 mm.

Figura N° 19. Para diámetros de 250 a 300 mm

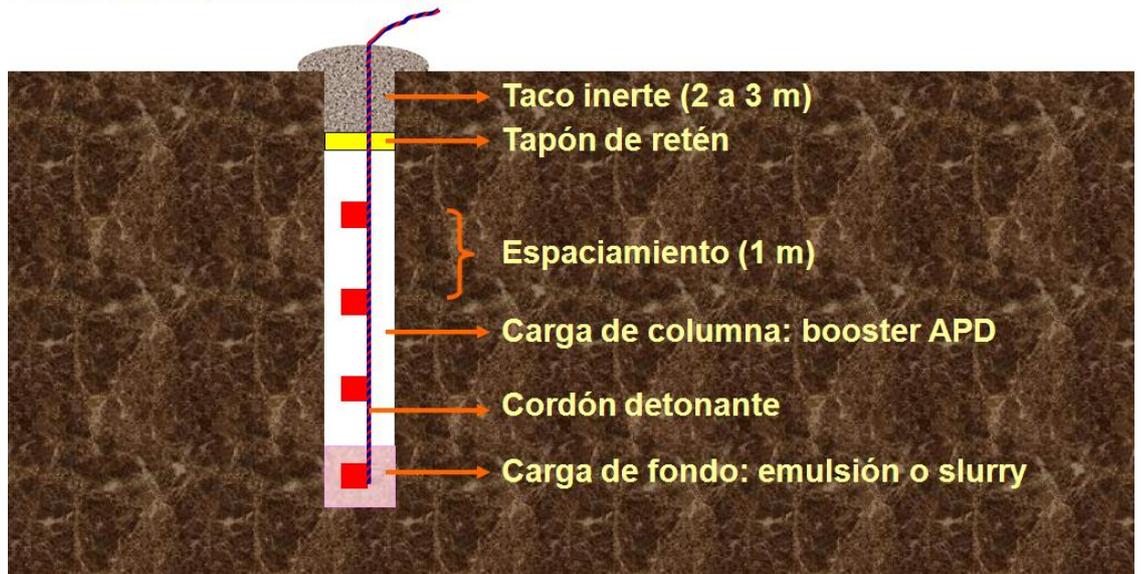
Diámetros de 250 a 300 mm



Esquema de carga para voladura controlada en taladros de producción de gran diámetro de 150 a 200 mm.

Figura N° 20. Para diámetros de 150 a 200 mm cargas equiespaciadas

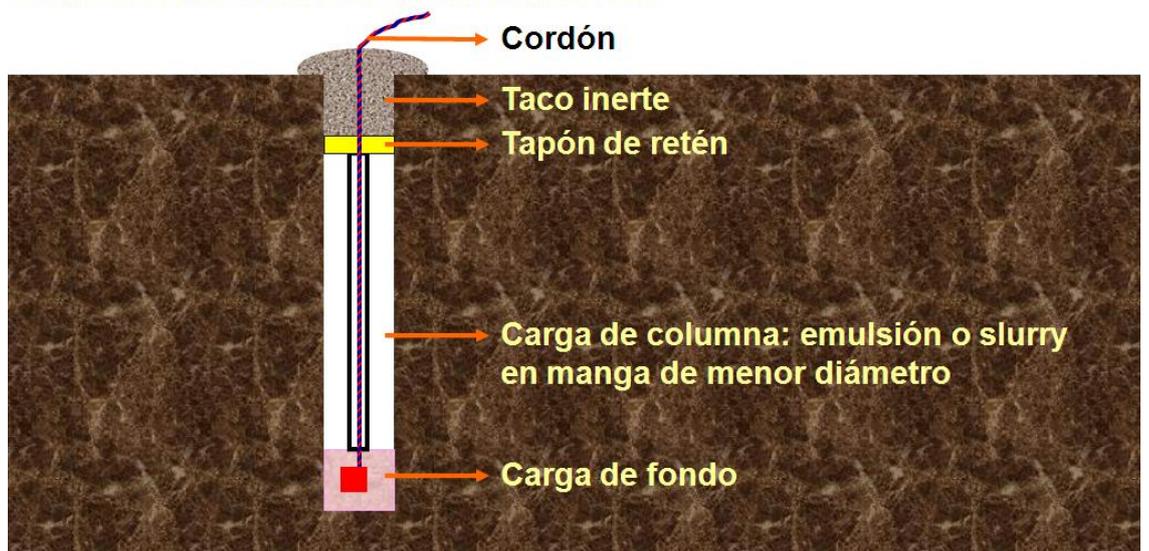
CARGAS EQUIESPACIADAS:



Esquema de carga para voladura controlada en taladros de producción de gran diámetro de 150 a 200 mm.

Figura N° 21. Para diámetros de 150 a 200 mm cargas desacoplada continua

CON CARGA DESACOPLADA CONTINUA:



2.2.10 Control de proyecciones de bancos

El control de las proyecciones de los bancos se realiza mediante los tacos, más conocidos como taqueo, estos tacos pueden estar constituidos por diversos elementos como, esfera sólida, cono expandible, bolsa de aire expandible, tapón de detritus, (EXSA S.A., s.f.)

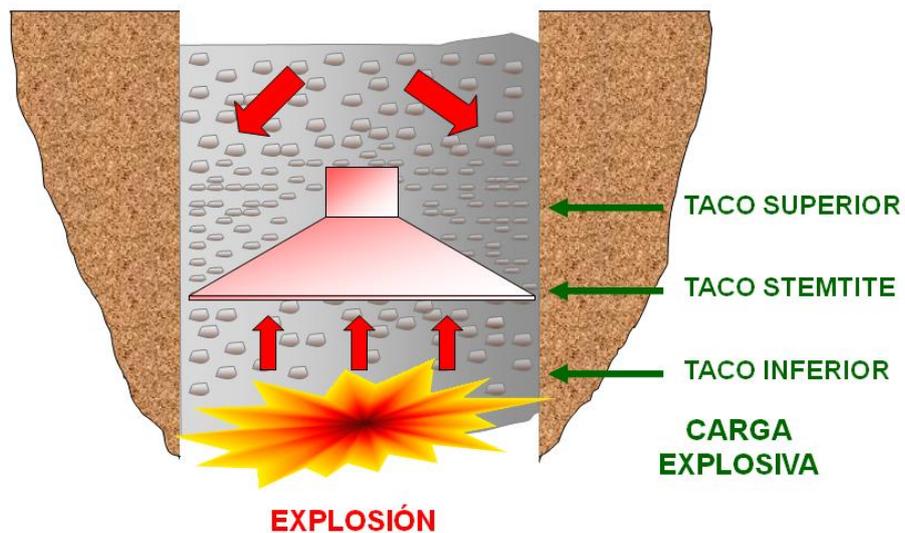
Figura N° 22. Taqueo de taladros

**MEDIANTE
TAQUEO**



Sistema de tapón típico cónico

Figura N° 23. Vista de un taqueo del taladro



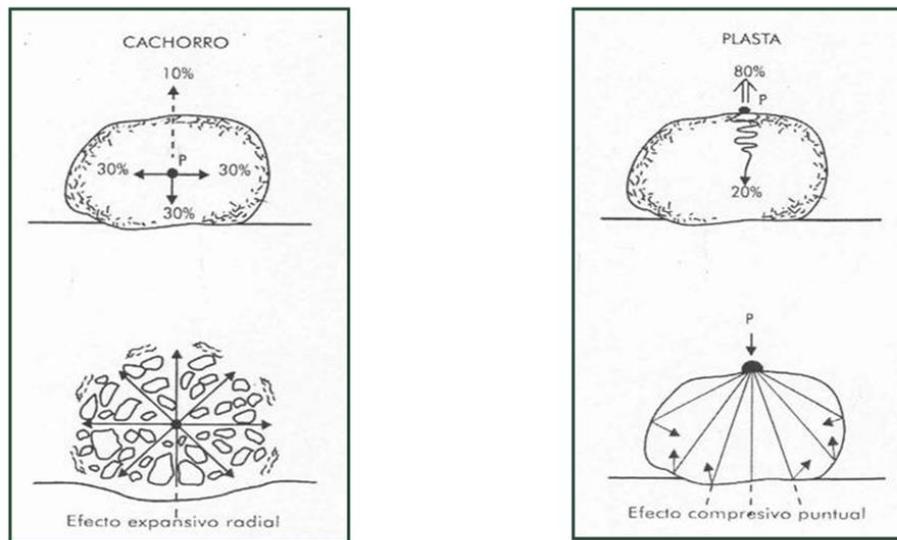
Configuración de los elementos reforzadores

Figura N° 24. Tipos de tacos



Control de proyecciones en bancos cachorro y plastas

Figura N° 25. Mecánica de rotura en cachorro y plastas



2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Para los fines de este documento, se aplican los términos y definiciones en cuanto a perforación y voladura usados en minería.

Cebo

Es un tipo de iniciador, compuesto por un explosivo con un fulminante conectado a un tipo de mecha.

Los cebos se diferencian de acuerdo a su preparación.

Así se tiene:

- a) Cebo preparado con dinamita, fulminante y mecha.
- b) Cebo preparado con explosivo potente, fulminante, mechas, cordón detonante o mangueras no eléctricas. (D.S. N° 024-2016-EM, 2016).

Detonador

Es todo dispositivo que contiene una carga detonante para iniciar un explosivo, al que normalmente se le conoce con el nombre de fulminante. Pueden ser eléctricos o no, instantáneos o con retardo. El término detonador no incluye al cordón detonante. (024-2016-EM, 2016)

Dinamita

“Es un explosivo sensible al fulminante que contiene un compuesto sensibilizador como medio principal para desarrollar energía. En la mayor parte de dinamitas el sensibilizador es la nitroglicerina y los nitratos son aditivos portadores de oxígeno” (024-2016-EM, 2016).

Conductor Eléctrico

“Es un material, usualmente en la forma de alambre o conjunto de alambres, cables y barras, capaz de conducir la corriente eléctrica. Puede ser descubierto, cubierto o aislado” (024-2016-EM, 2016).

Conductor Eléctrico Neutro

“Conductor de un sistema polifásico de 4 conductores eléctricos (p.e.: 380/220V) o de un sistema monofásico de 3 conductores eléctricos (p.e.: 440/220V) que

tiene un potencial simétrico con los otros conductores del sistema y es puesto a tierra intencionalmente” **(024-2016-EM, 2016)**.

Conector

Es un accesorio complementario de la mecha rápida, compuesto de un casquillo de aluminio, ranurado cerca de la base, y en su interior lleva una masa pirotécnica especial e impermeable al agua.

La mecha rápida es colocada en la ranura, se presiona la base para asegurar el contacto y, al encender la mecha rápida, el conector recibe la chispa, transmitiéndola a su vez a la mecha lenta o de seguridad **(024-2016-EM, 2016)**.

Cordón Detonante

“Es un cordón flexible que contiene un alma sólida de alto poder explosivo y resistencia a la tensión” **(024-2016-EM, 2016)**.

Fulminante común

“Es una cápsula cilíndrica de aluminio cerrada en un extremo, en cuyo interior lleva una determinada cantidad de explosivo primario muy sensible a la chispa de la mecha de seguridad y otro, secundario, de alto poder explosivo” **(024-2016-EM, 2016)**.

Gases

“Fluidos sin forma emitidos por los equipos diésel, explosivos y fuentes naturales, que ocupan cualquier espacio que esté disponible para ellos” **(024-2016-EM, 2016)**.

Explosivos

“Son compuestos químicos susceptibles de descomposición muy rápida que generan instantáneamente gran volumen de gases a altas temperaturas y presión ocasionando efectos destructivos” **(024-2016-EM, 2016)**.

Explosivo potente

“Es un explosivo de alta densidad, velocidad y presión de detonación utilizada para iniciar taladros de gran longitud y diámetro, siempre que estén utilizando agentes de voladura” **(024-2016-EM, 2016)**.

Mecha Lenta

“Es un accesorio para voladura que posee capas de diferentes materiales que cubren el reguero de pólvora” **(024-2016-EM, 2016)**.

Mecha Rápida

Es un accesorio (cordón flexible) que contiene dos alambres, uno de fierro y el otro de cobre; uno de los cuales está envuelto en toda su longitud por una masa pirotécnica especial, y ambos a la vez están cubiertos por un plástico impermeable **(024-2016-EM, 2016)**.

Proceso de Voladura

Es un conjunto de tareas que comprende: el traslado del explosivo y accesorios de los polvorines al lugar del disparo, las disposiciones preventivas antes del carguío, el carguío de los explosivos, la conexión de los taladros cargados, la verificación de las medidas de seguridad, la autorización y el encendido del disparo **(024-2016-EM, 2016)**.

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.

El presente trabajo de investigación es de carácter CUALITATIVO, debido a que cubre satisfactoriamente los objetivos y la naturaleza de ese trabajo. El nivel en el que se desarrolla esta investigación es APLICATIVO, con alcance descriptivo y explicativo.

3.2 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.

Con la finalidad de evaluar todas las partes que participaran de la problemática planteada se utilizó una metodología inductiva, deductiva con análisis y síntesis.

3.3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

Se planteó elaborar un diseño de investigación enfocado en objetivos en base al esquema siguiente:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN		
OG	=	OBJETIVO GENERAL
HG	=	HIPÓTESIS GENERAL
CG	=	CONCLUSIÓN GENERAL

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1 Población

Nuestro grupo poblacional lo conforman todos los tajeos que se viene explotando en la **EMPRESA MINERA SAN SIMÓN- UNIDAD MINERA LA VIRGEN, LA LIBERTAD.**

3.4.2 Muestra

El grupo muestral está conformado por dos tajeos ubicados específicamente en el TAJO SUR-SUR.

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1 Técnicas

Las principales técnicas que utilizaré en la investigación son:

Entrevistas y Encuestas
Análisis Documental
Observación

3.5.2 Instrumentos

INSTRUMENTOS PRINCIPALES
Guía de entrevista
Cuestionario
Guía de Análisis Documental
Guía de Observación
Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.6 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

El procesamiento de datos lo haremos siguiendo el procedimiento que indica Bernal C. (2010) "La recopilación de información es un proceso que implica una serie de pasos" (p.194)

El procesamiento y análisis de los datos de nuestra investigación se realizó en base a los datos obtenidos durante el desarrollo de la investigación.

3.7 ORIENTACIÓN ÉTICA

La presente investigación se desarrollará dentro de los principios que rigen la ética profesional, considerando los valores, principios, criterios, que una investigación debe tener.

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 PRESENTACIÓN, ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1.1 La Empresa Minera San Simón- Unidad Minera La Virgen

4.1.1.1 Ubicación

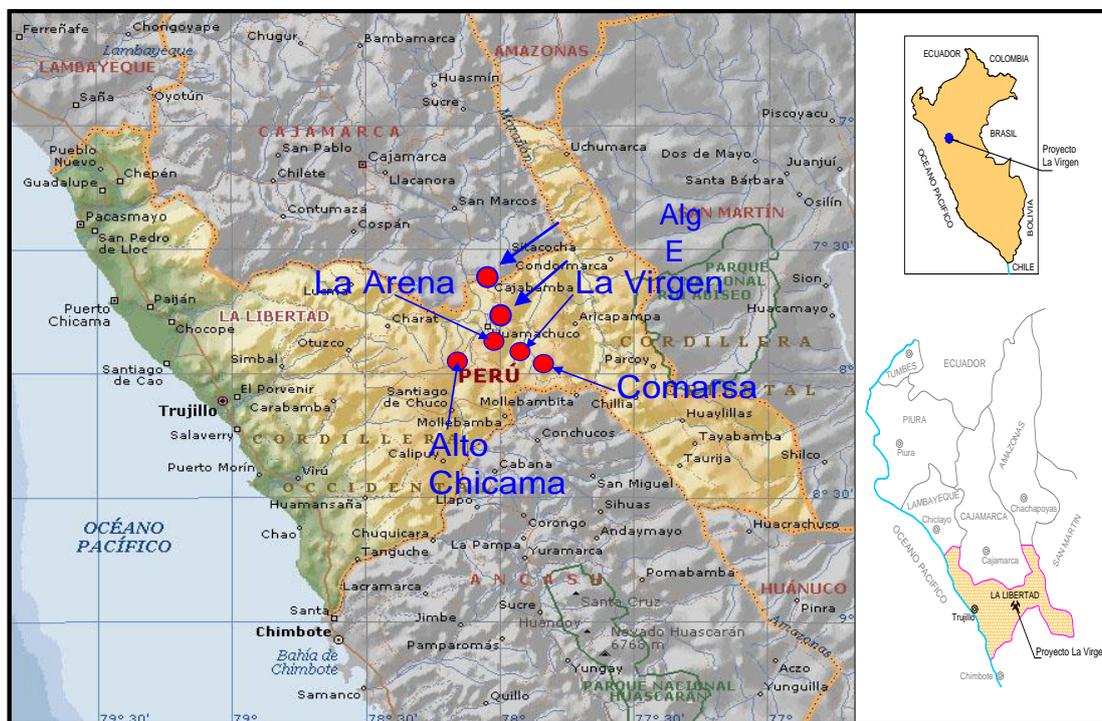
La Unidad Minera La Virgen se ubica a una distancia de 158 km al Este de la ciudad de Trujillo y a 27 km al Sur de la ciudad de Huamachuco, entre altitudes que oscilan entre 3,100 y 3,600 msnm.

Pertenece políticamente al Distrito de Cachicadán, Provincia de Santiago de Chuco, Departamento de La Libertad, en la hoja Cajabamba 16-G.

Las coordenadas UTM que definen el punto central del Proyecto son:

N 9'117 600; E 822,000 (COMPAÑIA MINERA SAN SIMON, 2007, p.7).

Figura N° 26. Ubicación de La Unidad Minera La Virgen y su proximidad a importantes yacimientos auríferos en La Libertad.



4.1.1.2 Accesibilidad

A la mina se puede acceder por:

Para acceder a la mina LA VIRGEN se debe tomar desde la ciudad de Trujillo la vía parcialmente asfaltada, en un tiempo de 4 horas y una distancia de 158Km.

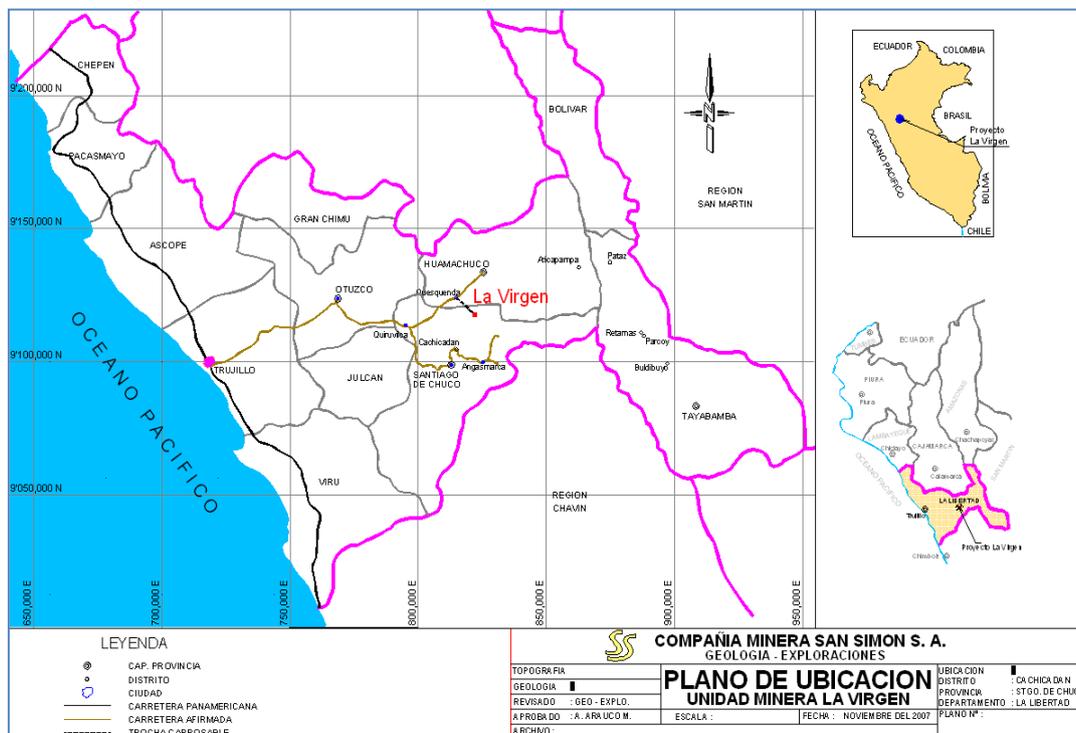
Las rutas de acceso principales son:

Lima	Trujillo	Quiruvilca	Quesquenda	Mina.
Lima	Huamachucho	Mina		

Por vía Aérea desde la Ciudad de Lima hasta al helipuerto de Tulpo (1.30 h) situado a 60 Km. al sureste de la unidad minera, desde este punto a la mina el recorrido por carretera toma

aproximadamente 2 horas (**COMPAÑÍA MINERA SAN SIMON, 2007**)

Figura N° 27. Acceso a la Unidad Minera La Virgen



4.1.1.3 Clima y Vegetación

El clima en la región varía de acuerdo a la altitud. En el fondo de los valles, así como en la parte inferior de los tributarios, existe un clima cálido y seco, con temperaturas que oscilan generalmente entre 20-30°C y baja pluviosidad.

En las partes altas denominada también Jalca el clima es templado a frío. Con temperaturas máximas 15-16°C y mínimas de 5-6°C; frecuentemente descienden durante las noches por debajo de 0°C.

En estas zonas altas las precipitaciones pluviales son abundantes durante los meses de diciembre a marzo (**COMPAÑÍA MINERA SIN SIMÓN 2007**).

4.1.2 Uso de tacos en La Empresa Minera San Simón- Unidad Minera la Virgen

4.1.2.1 Concepto

Referente a los tacos comentamos:

Taqueo es el efecto de confinamiento que se logra al colocar un taco o tapón de material inerte en la boca del taladro, para sellar la carga explosiva.

La función del taco es lograr la densidad de carga adecuada en cada taladro, comprimiendo al explosivo previamente cargado.

El objetivo del Taqueo es de retener la expansión de los gases de la explosión el mayor tiempo posible dentro del taladro, para utilizar más eficientemente su energía de impacto contra la roca.

Al no emplear tacos para confinar el explosivo en el interior del taladro de voladura, no se consigue el efecto y rendimiento esperado, (EXSA S.A., s.f.)

Figura N° 28 Vista de un taladro con su correspondiente taco



También se denomina taco al material inerte intercalado entre cargas explosivas de un mismo taladro, para separarlas.

Figura N° 29. Ubicación del taco intercalado con el explosivo



Esta separación con tacos se aplica para distribuir la columna explosiva y bajar la concentración de carga, o para dispararla en secuencias

4.1.2.2 Uso de tacos

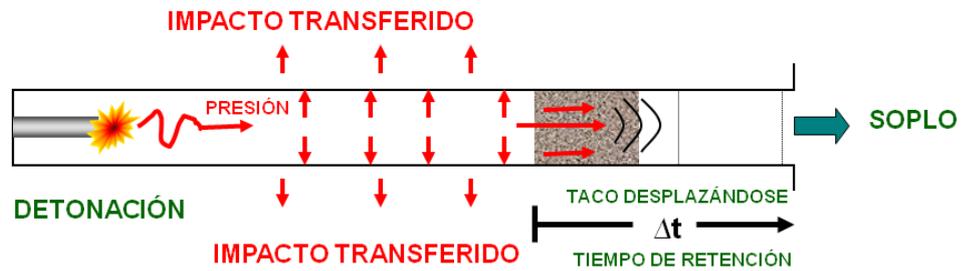
PRIMERA: Porque los explosivos industriales para minería y obras de ingeniería son fabricados especialmente para usarlos bajo condiciones de confinamiento.

Sólo en esta condición se conseguirán los efectos deseados según las especificaciones técnicas y características particulares de cada producto.

SEGUNDA: Porque el tiempo que el taco pueda retener a los gases en expansión, aunque se trate de milésimas de segundo, se traduce en mayor efecto de impacto contra la pared de taladro en toda la longitud de la columna explosiva, incrementando su efecto rompedor, (EXSA S.A., s.f.)

El efecto de impacto en la pared del taladro se transfiere directamente a la masa de roca circundante provocando su fracturamiento.

Figura N° 30. Efecto en la retención de los gases por el uso de taco



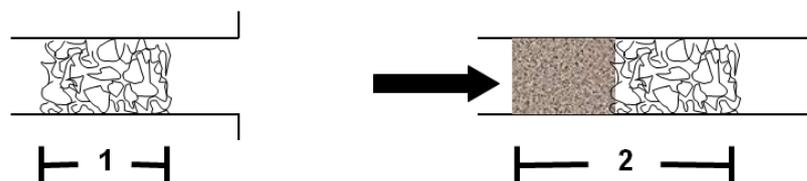
4.1.2.3 Tipos de tacos

El tipo de material depende de su propia disponibilidad en el área de trabajo, empleándose desde cartón, arcilla plástica, gravilla en incluso tacos expansibles especialmente fabricados. Algunos materiales trabajan mejor que otros en el taladro reteniendo los gases.

Agua, arcilla, detritos, granalla son fácilmente eyectables por su poca adherencia, actúan mayormente por su propia inercia.

Un material anguloso, menudo y seco, bajo la acción de los gases tiende a formar un arco de compactación que se ajusta a la pared del taladro, incrementando su capacidad de “resistencia” a la eyección. (ENAEX, s.f.)

Figura N° 31. Tacos de piedra chancada angulosa



En lo posible el material debería ser piedra chancada angulosa, densa, con tamaño de partícula de aproximadamente un doceavo del diámetro del taladro ($d/12$) Ej. 2 - 3 mm.

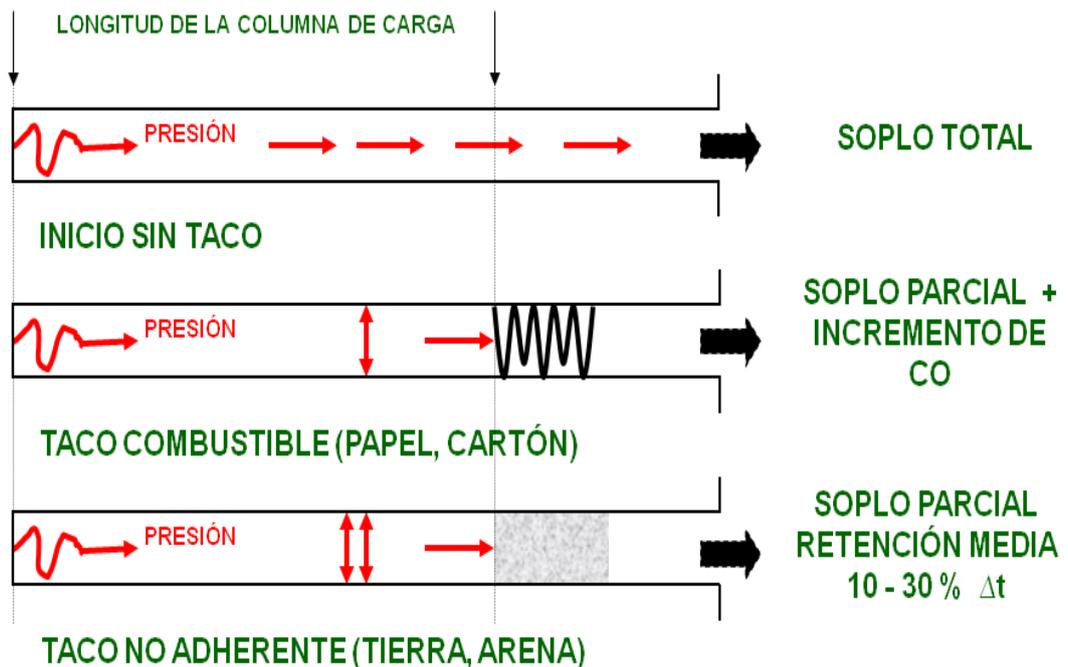
EJEMPLO: Arena gruesa de 2 - 3 mm. para taladro de 32 mm \varnothing – astillas de 8 mm para diámetro de 100 mm – agregado tamizado de 20 -30 mm para taladros de 250 - 380 mm \varnothing .

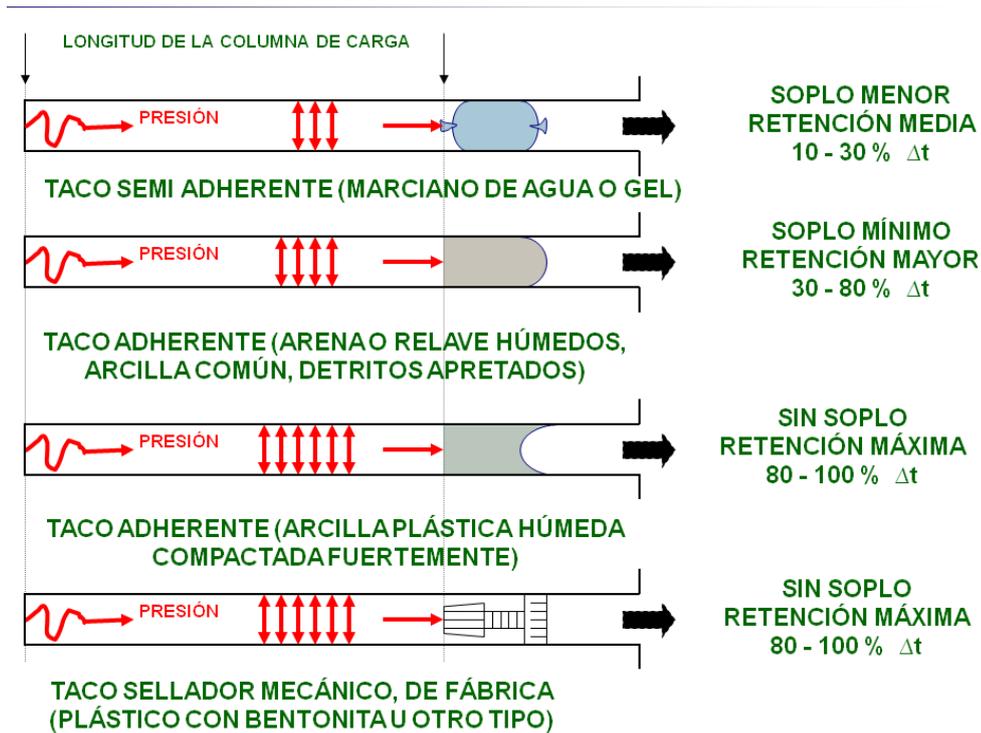
Fragmentos mayores de 30 mm no se recomiendan porque pueden dañar las líneas de cordón detonante, guías y mangueras de los detonadores no eléctricos.

El rendimiento en cada caso será diferente, dependiendo también de su longitud.

EJEMPLOS DE TAQUEO, (EXSA S.A., s.f.)

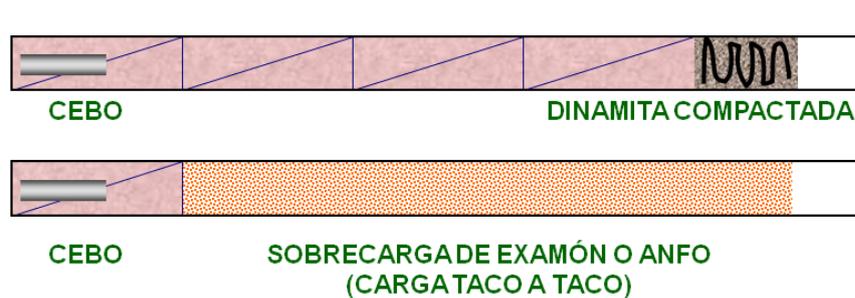
Figura N° 32. Ejemplos de taqueo





Por otro lado, una **CONDICIÓN ADVERSA** es la de colocar cartuchos de dinamita compactados como taco, o no usar taco y llenar explosivo hasta la boca del taladro.

Figura N° 33. Condiciones adversas al no colocar tacos

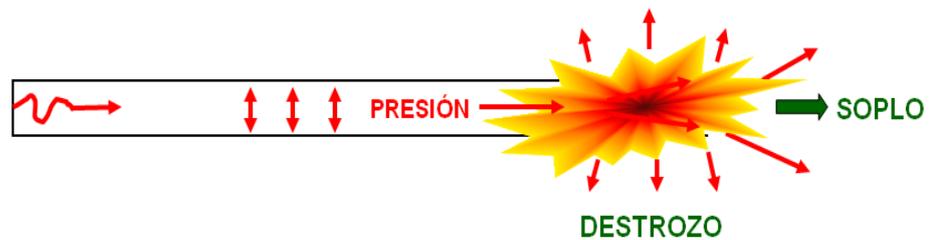


Los resultados suelen ser contrarios a lo esperado:

- Soplo excesivo con gran pérdida de explosivo al aire.
- Posibilidad de cortar guías o mangueras de los demás taladros, predisponiendo a tiros fallados.
- Exceso de impacto en la roca remanente circundante

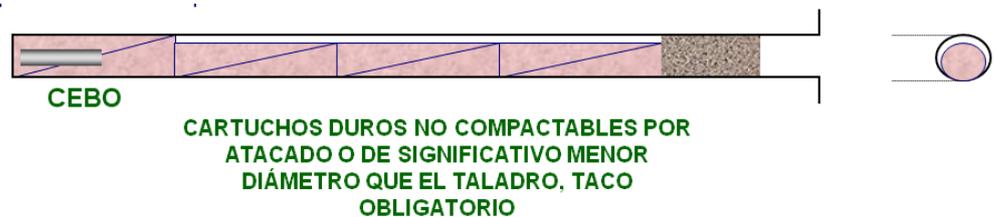
- Éste último punto genera riesgo de desplome de piedras y planchones.
- También incrementa los costos de sostenimiento posterior al disparo.

Figura N° 34. Soplo de un taladro al no usar taco



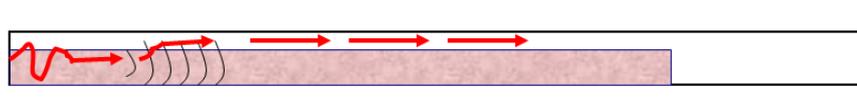
- El taco también actúa en casos puntuales como en taladros cargados con cartuchos duros, donde compensa en parte la pérdida de eficiencia por falta de acoplamiento.

Figura N° 35. Uso de taco como cartuchos duros



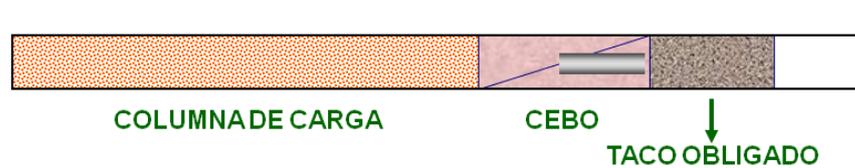
- En condiciones de desacoplamiento por diferencia de diámetros entre explosivo y taladro, el taco reducirá la posibilidad del **“EFECTO CANAL”**

Figura N° 36. Uso dl taco para reducir el efecto canal



- También debe ser obligatorio cuando se emplea el cebado en la boca del taladro, para evitar pérdida de energía iniciadora fuera del taladro.

Figura N° 37. Uso del taco cuando el cebo esta en la boca del taladro



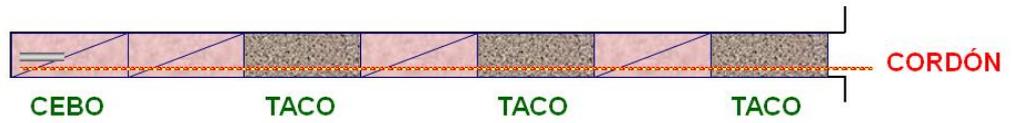
- El “**ATACADO**” de los tacos debe ser vigoroso para fijarlos, pero no excesivo para no afectar a la columna explosiva ni a la línea de transmisión del iniciador (guía, manguera).
Por otro lado, recordemos que el atacado de la columna explosiva se hace para lograr su acoplamiento al taladro, pero si es excesivo puede afectar a su sensibilidad a iniciación, (**ENAEX, s.f.**)

4.1.2.4 Cargas espaciadas con tacos

Se efectúan por los siguientes motivos:

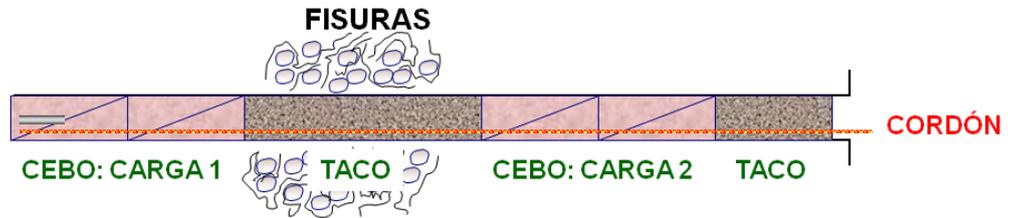
- 1.- Para distribuir una carga determinada uniformemente a lo largo del taladro.

Figura N° 38. Taco distribuido uniformemente a lo largo del taladro



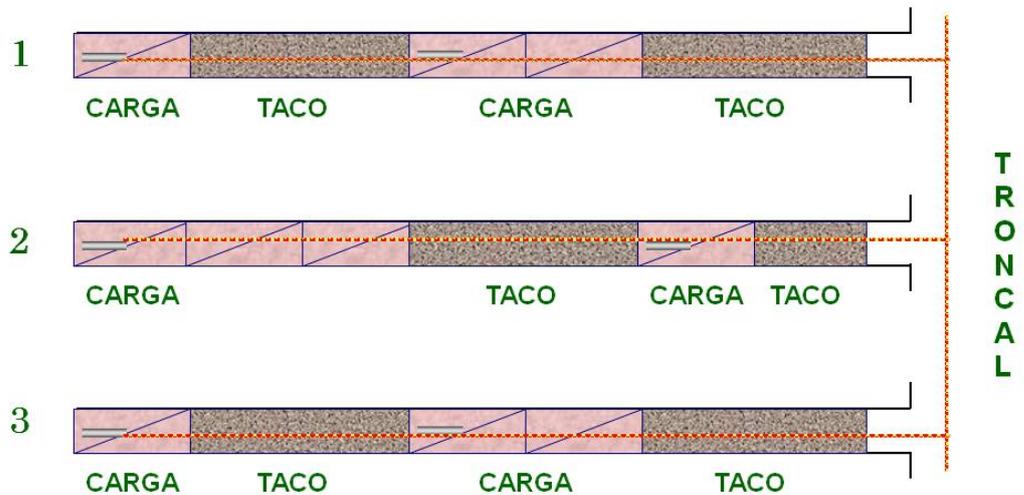
2.- Para separa la carga en los tramos irregulares detectados en el taladro que puedan facilitar la fuga de los gases (fisuras, fallas, bandas de roca dura intercaladas, etc.).

Figura N° 39. Taco ubicado en tramos irregulares



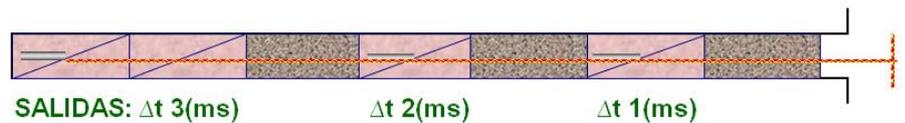
3.- Para intercalar y reducir los efectos de impacto a la roca entre los taladros largos cercanos, ejemplo: disparos en abanico y LHB.

Figura N° 40. Tacos intercalados para reducir impacto a la roca



4.- Para conseguir una reducción de carga por retardo a ser disparada con el fin de reducir el nivel de vibraciones.

Figura N° 41. Taco para reducir el nivel de vibraciones



- En los dos primeros casos las cargas pueden ser iniciadas simultáneamente mediante cordón detonante o independientemente.
- En los dos últimos es importante que los decks se disparen en diferentes tiempos, secuencialmente.
- Si la longitud del taco no es adecuada, el disparo puede desensibilizar al siguiente deck, o por lo contrario iniciarlo simultáneamente anulando su propósito.
- Los explosivos encartuchados (dinamita/emulsiones) consiguen su grado de compactación y acoplamiento por el “atacado”, pero tienden a expandirse nuevamente perdiendo parte de lo logrado. Esto no ocurre si se coloca y confina el taco inmediatamente después de cargar y atacar los cartuchos.
- Por otro lado, hay también criterios de que no hay ventaja alguna al usar taco en taladros cargados con ANFO, porque es AUTOATACANTE.
- Es decir que su naturaleza granular llena totalmente el espacio, acoplándose fácilmente al taladro, sobre todo con el

carguío neumático que además incrementa la DENSIDAD DE CARGA.

- Esto no es tan simple, hay diferencia de conceptos entre ACOPLAMIENTO o acomodo axial logrado con el atacado; y CONFINAMIENTO o ajuste mecánico puntual logrado con el taco.
- En un taladro correctamente cargado ambos efectos se complementan para retener el máximo de energía y transferirla a la roca.
- Esto es válido para todo explosivo incluyendo al ANFO y similares, y se refleja definitivamente en el grado de fragmentación.

4.1.2.5 Aplicación de tacos mejorados

OBJETIVOS

- Incremento de rendimiento (fragmentación y tonelaje).
- Limitación de proyecciones y onda de concusión aérea.
- Mayor rapidez y facilidad de paleo y acarreo.
- Reducción de costos globales de operación.

TIPOS DE TACOS EMPLEADOS EN TALADROS DE TAJO Y CANTERA

a. DE RELLENO SIMPLE

- Con detritos de perforación.
- Con tierra seleccionada.
- Con piedra triturada.

b. DE TIPO COMPUESTO.

Con detritos de perforación retenidos con tapones especiales de acción mecánica (STEMMING PLUGS).

c. TACO DE DETRITOS

Devolver los detritos de perforación de taladro manualmente con lamperos, o con máquinas tapadoras acondicionadas: pluggers; son las formas más fáciles de taquear.

Cuando es manual:

Requiere: Tareas de uno o más lamperos y supervisión.

Ventajas: Se utiliza material in situ, sin costo adicional.

Desventaja: Trabajo lento, distribución irregular, poca adherencia del material; si es seco y fino se sopla fácilmente con la explosión.

Cuando es con maquinaria:

Requiere: Máquina y operador para trabajo exclusivo.

Ventaja: Más rápido, menos personal; usualmente mejor compactación.

Desventaja: También con baja adherencia por el tipo de material fino. Costos adicionales de combustible, mantenimiento, operador y de horas de equipo parado entre disparos.

En ambos casos existe riesgo de proyección de piedras mezcladas con el material de taco.

Figura N° 42. Taqueo de taladro con detritos de perforación



d. TACO DE TIERRA SELECCIONADA

Empleo de material seleccionado, como brecha, relave húmedo, suelo vegetal (top soil) o arcillas; más adherente y compactable.

Requiere: Los mínimos medios de trabajo referidos para el caso anterior.

Ventajas: Mayor adherencia del taco, se mejora la fragmentación y disminuye el riesgo de piedras volantes.

Desventaja: Mayor costo operativo por la extracción y transporte del material seleccionado hasta los taladros (tareas adicionales de operadores de pala y volquete, combustible, mantenimiento).

e. TACO DE PIEDRA TRITURADA

Preferentemente de roca dura triturada a un tamaño específico (normalmente de 1/4" a 1/2"), con bordes angulosos.

Requiere: Cantera de roca y chancadora móvil, zaranda, faja o pala y volquete cargador llenador con parrilla y canaleta para descargar el cascajo directamente a los taladros.

Ventajas: Mayor agarre del cascajo al taladro, más tiempo de retención resultante en:

- Mejor fragmentación, menor costo de paleo y acarreo final.
- Menor costo de personal en tajo (un solo operador).
- Posibilidad de ampliación de malla y reducción de consumo de explosivo por su mayor performance.

Reducción de proyecciones y concusión aérea.

Desventaja: Mayores costos en preparación y transporte del cascajo, perforación, explosivos, combustible y/o energía de chancado y del camión, operadores y mantenimiento. Más tiempo de trabajo a mayor distancia de la cantera.

Figura N° 43. Camión cargador de piedra triturada

CAMIÓN CARGADOR DE PIEDRA TRITURADA



f. TACO COMPUESTO

Comprende al detrito de perforación intercalado con un accesorio generalmente de material plástico denominado **stemming plug**, que actúa como un reforzador de agarre del taco contribuyendo a su mejor desempeño.

El objetivo de su empleo es de:

- Mejorar el confinamiento del explosivo para incrementar su eficiencia.
- Mejorar la fragmentación, principalmente al nivel del collar del taladro.
- Limitar la eyección del taco y de roca del collar para evitar la proyección de piedras y onda de concusión.
- Los resultados obtenidos con la piedra triturada y asentada son superiores a los conseguidos con el taqueo convencional; aunque el costo operativo es mayor, el resultado lo justifica.

El taco compuesto detritos/tapón ha resultado aún más conveniente, ya que retiene en igual o mayor forma y tiene menor costo operativo; sólo adquirir el tapón.

Actualmente existen varios tipos de “stemming plugs”, pero uno de los que ha logrado mejores resultados es el STEMTITE, cono de polietileno de alto impacto con 1 500 psi de resistencia a la compresión, de diámetro muy cercano al del taladro y que se coloca entre dos porciones de detritos, sellando al explosivo.

Forma de trabajo:

Cuando la onda explosiva alcanza al cono, éste se expande y ocupa todo el diámetro del taladro; la parte inferior del taco de detritos no puede escapar pues el cono la retiene, mientras que a la vez la parte superior del taco lo presiona y detiene, añadiendo simultáneamente mayor fuerza friccional contra la pared del taladro confinando aún más a la explosión, que así incrementa su tiempo de acción rompedora dentro del taladro.

Figura N° 44. Sistema de taco típico cónico



4.1.2.6 Tacos no convencionales

En la mina, realizaron un programa de pruebas para mejorar los tacos y conseguir mayor tiempo de retención a fin de incrementar la fragmentación de la arenisca Weber, maciza y con muy poca variación en dureza y granulometría.

Se probaron diferentes configuraciones de taco e implementos selladores, evaluándose finalmente las siguientes:

- Taco con esfera plástica sólida
- Taco con cono plástico.
- Taco con tapón de aire expansible.
- Taco con detritos angulosos.

El rendimiento fue cuantificado en términos de:

- Tiempo de confinamiento del taco.
- Velocidad de eyección del taco.
- Velocidad del desplazamiento del terreno (escombros).
- Concusión del aire (Air Blast).
- Formación del cráter.

El banco comprendía series de 34 taladros de 12 pies de profundidad, diámetros de 3" y 3.5" distribuidos con malla de 30x30 pies.

Cada taladro fue cargado, disparado y monitoreado individualmente, para asegurar la precisión en la evaluación, a modo de interpretar posteriormente su trabajo en conjunto.

Las pruebas fueron monitoreadas con los siguientes equipos:

- Cámara de alta velocidad (500 tomas por segundo).
- Cámara de video digital (30 imágenes por segundo).

- Monitor de vibraciones digital (sismógrafo) con tres canales de registro para ondas sísmicas y uno para sobrepresión de la onda sónica (Air Blast) con capacidad de 2 048 registros por segundo.

Se emplearon básicamente cuatro elementos reforzadores para los tacos (esfera, cono, manga expansible-air deck, detrito anguloso-reject rock).

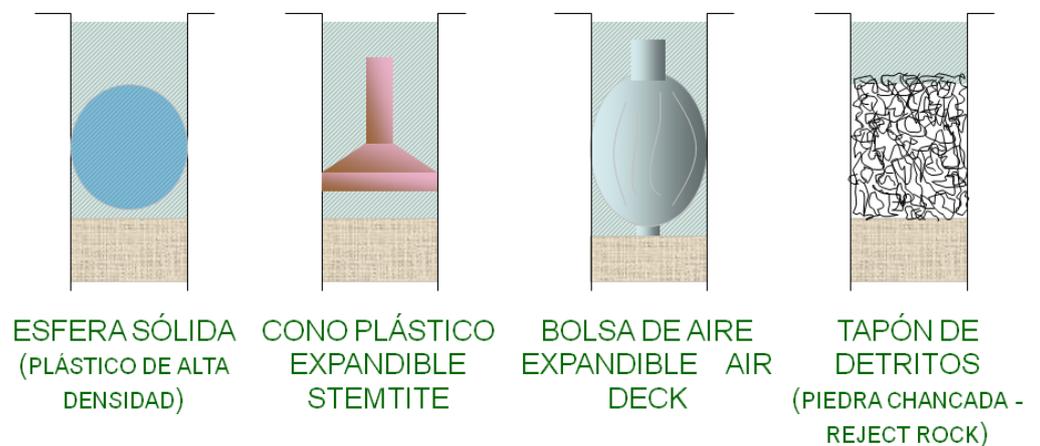
El material "Base" para control fue el detrito de perforación con una variante de granulometría de polvo (100 mesh a 1/8").

Las pruebas se efectuaron con los elementos por separado para conocer su performance individual, y en diferentes combinaciones con detritos, para evaluar su comportamiento operativo y su rango de efectividad para el propósito de aplicarlos en la voladura de producción.

CONFIGURACIÓN DE LOS ELEMENTOS

REFORZADORES

Figura N° 45 Tipos de tacos



Los taladros de 3.5"Ø se cargaron con los siguientes esquemas:

CARGA EXPLOSIVA

ARREGLO DEL TACO

5 pies de ANFO --- 5 pies de detritos

5 pies de ANFO --- 5 pies de detritos y esfera plástica

5 pies de ANFO --- 5 pies de detritos y cono plástico

5 pies de ANFO --- 5 pies de piedra chancada (reject rock)

El primer control visual fue la formación de cráter en superficie, con la siguiente calificación:

- a) **Crater Tipo 1.-** No formó cráter, sólo grietas, radiales visibles en la boca del taladro.
- b) **Crater Tipo 2.-** Sin cráter abierto, solo bloques quebrados y levantados alrededor del taladro.
- c) **Crater Tipo 3.-** Cráter no definido, bloques elevados y empujados alrededor del taladro, abertura visible.
- d) **Crater Tipo 4.-** Cráter bien definido, con bloques pequeños circundantes y soplo del tapón.

Paralelamente se efectuaron las filmaciones para registrar el tiempo de retención del taco, su velocidad de eyección y la velocidad de dispersión de la roca proyectada.

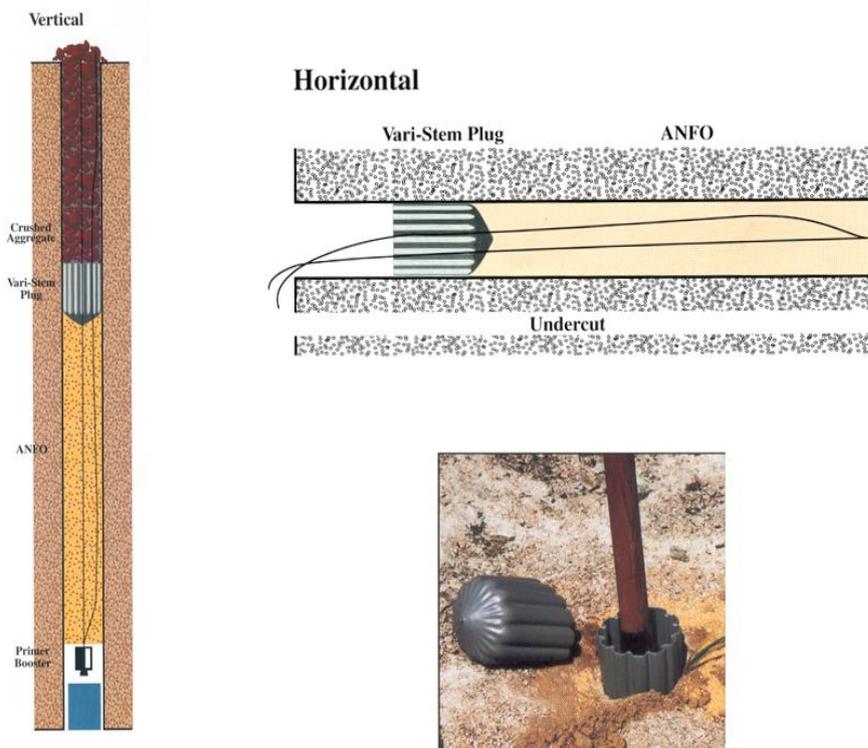
Simultáneamente se efectuó el registro de vibraciones y de la onda sónica.

Se llevó una hoja de registro y análisis para cada taladro disparado, a fin de tener promedios ponderables para cada tipo de taco.

Figura N° 46. Tacos de cono plástic



Figura N° 47. Ubicación del taco de cono plástic



4.1.3 Efecto económico

4.1.3.1 Significación económica del taqueo

- A mayor tiempo de retención mayor transferencia de impacto; por tanto, mayor trituración y desplazamiento de la roca.
- Mayor trituración significa mayor productividad del disparo, ya que una mayor proporción de fragmentos menores “ideales” representa ahorros sustanciales en las fases subsecuentes a la voladura como:
 - Mayor facilidad y rapidez en el paleo y menor desgaste de los componentes mecánicos de los equipos de carguío (índice de excavabilidad).
 - Menor tiempo en horas-hombre laboradas en la operación total de minado y acarreo.
 - Menor número de viajes para acarrear el volumen de roca arrancada, al llenarse más compactamente las tolvas y cucharas de los volquetes, scoops y carros mineros.
 - Menor número de viajes significa menor consumo de combustible, energía, horas de tarea y gastos de mantenimiento por menor maltrato que el que ocurre al levantar y acarrear material “grueso”.
 - Menor necesidad de voladura secundaria o de empleo de martillos rompedores para fragmentos sobredimensionados.
 - Además, el costo y riesgo de voladura secundaria es siempre alto.
 - El empleo de tacos eficientes ajusta el consumo de explosivo por taladro a la carga estrictamente necesaria, eliminando la necesidad de una costosa sobrecarga.

- Contribuye a racionalizar el balance total de energía transmitida a la roca (no la generada por el explosivo) teniendo en cuenta que ésta se reparte como sigue.

a) Fractura miento IN SITU < 1 %
b) Rotura 15%
c) Desplazamiento 4 %
d) Trituración alrededor del taladro 1.5 - 2 %
e) Proyección de fragmentos < 1 %
f) Deformación de la roca sólida después del disparo < 1%
g) Vibración del terreno 40 %
h) Concusión del aire (AIR BLAST) 35 - 38%

La mayor ventaja de un Taqueo eficiente es que posibilita reducir el número de taladros por disparo, por el mejor control de la energía.

Menor número de taladros significa también menor consumo de brocas, aire comprimido, energía para perforación y ventilación.

Un aspecto importante de la fragmentación menuda, está en la alimentación a la chancadora para el posterior proceso de conminución

Alimentándola con tamaños menores al 75 - 85 % de la apertura de ingreso, se disminuye el consumo de energía eléctrica, desgaste de piezas, costos de mantenimiento, supervisión y otros. Lo que se traduce en un significativo ahorro pocas veces tomado en cuenta.

Menor tamaño de piedra facilita el flujo de chancado.

4.1.3.2 Efectos positivos del taqueo

A) Incremento del efecto de trituración de la roca y del desplazamiento de los fragmentos para formar la pila de escombros.

B) Reducción del consumo de explosivos por su mejor performance.

C) Control de la proyección de piedras volantes y de la concusión de la onda sónica.

D) Supresión del soplo de flama por la boca del taladro (riesgo serio para las minas carboníferas con presencia de gas grisú inflamable).

E) Control de la liberación de polvo fino al medio ambiente – Ej. tacos húmedos.

F) Regulación de la formación de gases tóxicos. Una reacción incompleta por deficiente confinamiento causa pérdida de energía y excesiva producción de gases tóxicos.

G) Protección de la carga explosiva del taladro contra riesgos de detonación prematura por accidente (impacto, fuego, manipuleo).

4.1.4 Longitud de los Tacos

En principio equivale a 1/3 de la longitud del taladro, pero en la práctica depende de:

- Tipo de material empleado.
- Condiciones de la roca.
- Características de la carga explosiva

4.1.4.1 Factores que condicionan la longitud de los tacos

1) RESISTENCIA DE LA ROCA:

Normalmente una roca dura, tenaz, se fractura mejor que una suave o elástica, especialmente en el collar del taladro.

2) VOD DEL EXPLOSIVO:

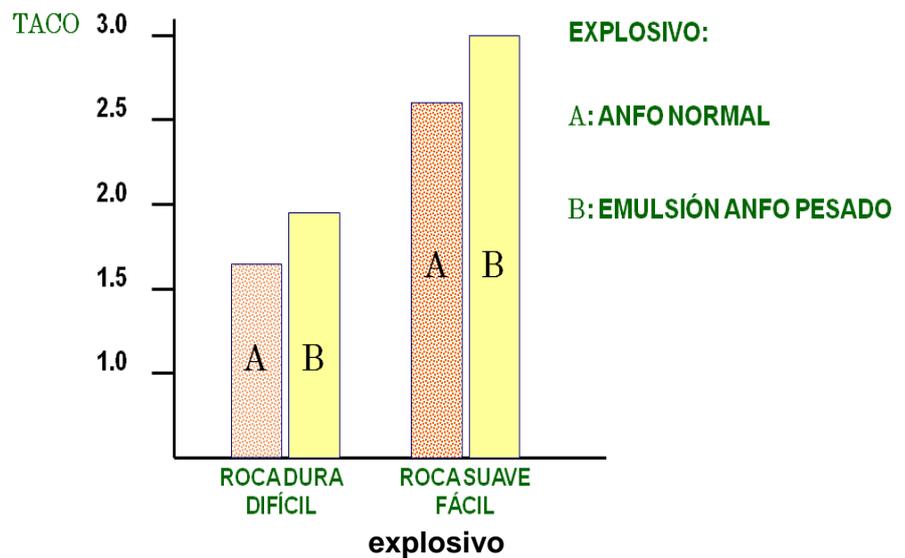
Los explosivos lentos requieren más taqueo que los de alta velocidad de detonación.

3) ENERGÍA Y DENSIDAD DE LA CARGA EXPLOSIVA:

Conforme estos factores se incrementan; la longitud del taco también lo requiere, como, por ejemplo:

Taladro Largo, Vertical, Diámetro 100 mm., Longitud 10 – 12 m

Figura N° 48. Relación entre el taco, tipo de roca y



4) La proyección de roca volante (FLY ROCK) que pueda ser tolerada en el lugar.

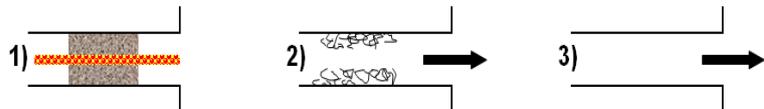
5) LA UBICACIÓN DEL CEBO (PRIMA):

El cebo ubicado en el tope o collar actúa más rápido contra el taco, que cuando está al fondo del taladro, sopládolo.

6) EFECTO DEL CORDÓN DETONANTE SOBRE EL TACO:

Al atravesar longitudinalmente al taco, el cordón detonante puede reducir notablemente su efectividad al crear un a “chimenea axial” por la que pueden escapar los gases, aún antes de que el taco mismo sople.

Figura N° 49. Efecto del Cordón detonante sobre el taco



Por esta razón se lograron reducir las proyecciones, ruido y polvo con sólo reemplazar el cordón detonante por detonadores no eléctricos de manguera plástica, que no maltratan al taco.

A mayor columna explosiva mayor taco, a mayor taco mayor eficiencia, hasta un punto, después del cual aumentarlo ya no es beneficioso o necesario. Este punto depende de varios factores como: el tipo de explosivo, radio burden-taco, método de iniciación y propósito del taqueo.

La longitud del taco es independiente del factor de carga, siempre que éste sea adecuado a los requerimientos del trabajo. Pero un factor de carga muy bajo significa que el taqueo es críticamente necesario.

4.1.4.2 Cálculo de la longitud del taco

Considerando que el material de taco seleccionado sea adecuado, la longitud se puede estimar con la siguiente ecuación, basada en la Teoría de Cráter:

$$T = Z \times 12/A \times (W \times E/100)^{1/3}$$

Donde:

T= longitud de taco, en m.

Z= Factor de proyección de rocas:

= 1.0 cuando no es problema.

= 1.2 cerca de puentes, caminos, postes.

= 1.5 cerca de edificios habitados.

A= Factor de Roca (ver tabla a continuación)

W= Masa explosiva en 8 diámetros de taladro (Kg) – (ó en el taladro, si la longitud de la carga es menor que 8 diámetros).

E= Potencia Relativa en peso (RWS) de los explosivos (ANFO=100).

Tabla N° 1 Categorías de volabilidad

CATEGORÍA DE VOLABILIDAD*	ROCA TÍPICA	FACTOR DE ROCA
DURA (+200 Mpa)	andesita, dolerita, granito, magnetita.	12.0 - 14.0
MEDIA (100-200 Mpa)	dolomita, hornfels, cuarcita, serpentina, esquistos.	10.0 - 11.0
SUAVE (50-100 Mpa)	arenisca, caliza, lutitas.	8.0 - 9.0
MUY SUAVE (-50 Mpa)	carbón, yeso	6
* UCS= Resistencia Compresiva Uniaxial (Mpa)		

Recomendaciones:

Habiéndose establecido la longitud óptima de taco, debe mantenerse un estricto control sobre el trabajo de los operarios cargadores para verificar que se cumpla, en todos los casos.

4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.2.1 Primera evaluación del uso de tacos en la voladura

4.2.1.1 Condiciones de la voladura

Pruebas con tacos preparados BENTAMP (manga plástica perforada conteniendo bentonita) de 170 mmL x 40 y 80 mmØ y de 150 mmL x 25 mmØ. Costo unitario US\$ 0.100.

Voladura Promedio: 600 taladros por cada 100 m de frontón, diámetro 28 mm, longitud 1.5 m, costo explosivo y accesorios US\$ 303.12/disparo.

Estructura mineral:

- Veta superior, potencia promedia 24 cm
- Capa intermedia de roca Norita, dura, potencia 50 cm.
- Veta inferior, potencia 96 cm.

4.2.1.2 Propósito de las pruebas

- Reducir el consumo de explosivo.
- Aumentar la distancia entre taladros.
- Incrementar la granulometría del mineral.

4.2.1.3 Prueba de evaluación

- Pruebas de evaluación efectuadas: 12
- Parámetros de perforación y carga (3 filas de taladros)
 1. Profundidad de taladros 1.50 m (paralelos).
 2. Diámetro promedio 28 Mm. (32 inicial, 26 final).
 3. Distancia del techo a la primera fila de taladros = 26 cm.
 4. Distancia del techo a los taladros centrales = 76 cm

5. Distancia del suelo a la tercera fila de taladros = 38 cm.
6. Distancia entre taladros (espaciamiento) = 50 cm.
7. Carga explosiva por taladro en veta = 350 g.
8. Carga explosiva por taladro en roca intermedia = 700 g.
9. Iniciación: Guía armada (1.50 m) fulminante # 8- conector.
10. Altura promedio de excavación = 170cm.

Las pruebas se hicieron en secciones de 21 taladros.

Primera Serie

Burden aumentado de 50 a 70 cm, carga 350 gr por taladro, CON TACO. Se bajaron de 600 a 429 taladros por frente de 100 m. Economía de explosivo 150.15 Kg. El costo de explosivo y accesorios bajó de 303.12 a 234.41 US\$ resultando US\$ 68.71 menos por cada 100 m de Frente (ahorro mensual US\$ 2633.08). Además, se mejoró la fragmentación.

Segunda Serie

Burden aumentado de 50 a 70 cm, carga reducida a 280 g por taladro, taco bien controlado manteniendo 429 taladros por frente, el costo en explosivo bajó de \$229.27 resultando \$ 83.85 menos por cada 100 m de Frente (ahorro mensual US\$ 3214.15); fragmentación similar, también mejorada.

Con la disminución de taladros se redujo personal (ahorro \$ 1515.16/mes y 43 brocas menos /US\$ 774/mes) que se muestra en el cuadro adjunto.

No se incluye los ahorros en transporte chancado y conminución en planta, logrados por la fragmentación

4.2.1.4 Resultados económicos

Resultados en cuanto a ahorro en explosivos y accesorios

Tabla N° 2. Costos explosivos y accesorio

EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS			
	METODO TRADICIONAL SIN TACO	USANDO TACOS (350 gr/tal)	USANDO TACOS BIEN CONTROLADOS(280gr/tal)
# de Taladros	600 taladros por frente de 100m	429 taladros por frente de 100m	429 taladros por frente de 100m
Carga explosiva	Taladros superiores 200 x 0.350 =70kg	429 x 0.350 =150.15 kg	429 x 0.280 =120.12 kg
	Taladros centrales 200 x 0.700 =140kg		
	Taladros inferiores 200 x 0.350 =70kg		
	total de 280 kg		
Costo de explosivo	\$ 0.504 x 280 = \$ 141.12	\$ 0.504 x 150.15 = \$ 75.78	\$ 0.504 x 120.12 = \$ 60.54
Mecha fulminante	\$ 0.270 x 600 = \$ 162	\$ 0.270 x 429 = \$ 115.83	\$ 0.270 x 429 = \$ 115.83
Tacos	\$ 0	\$0.100 x 429 =\$ 42.90	\$0.100 x 429 =\$ 42.90
Costo total	\$ 303.12	\$ 234.41	\$ 219.27
Ahorro por frente en 100m	\$0	\$68.71	\$83.85
Ahorro mensual de explosivos y accesorios	\$0	\$68.71 x 23000/600	\$83.85 x 23000/600
	\$ ----	\$ 2,633.88	\$ 3,214.25
Nota: se perforo 23000 taladros al mes, en dos turnos /dia y 40 turnos aprox./mes			

Resultados en cuanto a personal

Tabla N° 3. Costo de ahorro de personal

Costos de personal	Costo	Usando tacos 350 g/taladro	Usando tacos 280 g/taladro
El equipo de perforación alcanza un promedio de 100 taladros por turno, se tiene 1 operador y 1 ayudante por turno, es decir 2 operadores y 2 ayudantes por día	\$ 454.55 x 2	\$ 909.10	\$ 909.10
El costo potencial mensual por turno es 2 operadores de perforación y 2 ayudantes de perforación	\$ 303.03 x 2	\$ 606.05	\$ 606.05
Costo total		\$ 1,515.16	\$ 1,515.16

Resultados en cuanto a material

Tabla N° 4. Costo de ahorro en Material

Costos de material	Usando tacos 350 g/taladro	Usando tacos 280 g/taladro
<p>El único ítem de material posible de demostrar un ahorro inmediato son las brocas, el promedio de vida útil por broca en la mina es de 380 m. Se perforan taladros de 1.50 m, por lo tanto.</p> <ul style="list-style-type: none"> - vida útil de una broca es de $380\text{m}/1.50 = 253.33$ taladros. - Ahorro de taladros /turno = $600 - 429 = 171$ t/turno - Taladros por mes $171 \text{ t/turno} \times 40 \text{ turnos} = 10,840$ taladros - Ahorro de brocas $10,840 \text{ t} / 253.33 = 43$ brocas <p>Costo por broca \$ 18.0</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ahorro por mes \$18 x 43 	774 \$/mes	774 \$/mes

Resúmenes económicos

Tabla N° 5. Resumen de costos

Resumen económico	Usando tacos	Usando tacos
	350 g/taladro	280 g/taladro
-Explosivos y accesorios	\$ 2,633.88	\$ 3,214.25
-Personal	\$ 1,515.16	\$ 1,515.16
-Material brocas	\$ 774.00	\$ 774.00
TOTAL \$/mes	\$ 4,923.04	\$ 5,503.41

4.2.2 Segunda evaluación del uso de tacos en la voladura

4.2.2.1 *Objetivos*

- Incrementar la eficiencia del explosivo, por confinamiento.
- Mejor aprovechamiento de los sistemas de fisuramiento de la roca.
- Incrementar la fragmentación para bajar costos de operación, especialmente al nivel del collar de los taladros.
- Retardar la eyección de los tacos y limitar las proyecciones

4.2.2.2 *Alternativas de Taqueo.***Tipos de material experimentado**

- Material de Suelo (Paleorrelleno):** con exceso de finos y alta proporción de trozos de roca sueltas mostró baja resistencia a la eyección y tendencia a producir cortes en las líneas de disparo
- Gravilla Triturada:** angulosa de 1 ¼" y 1,65 Tn/m³ de densidad, mostró alta eficiencia como taco incrementando significativamente la fragmentación y el control de eyección;

sin embargo, el tiempo de operación por taladro fue mayor, con exceso de finos y alta proporción de trozos de roca sueltas mostró baja resistencia a la eyección y tendencia a producir cortes en las líneas de disparo

c. Detritus de Perforación con Tapón STEMITE: con el esquema descrito anteriormente mostró la mayor eficiencia como taco, mejor fragmentación, baja proyección, menos tiempo y menos complicación en la operación. El costo de los tapones fue ampliamente justificado con la reducción global en mina.

4.2.2.3 Evaluación de los resultados

Se emplearon los siguientes medios:

- Análisis de la fragmentación.
- Performances del equipo de paleo y acarreo.
- Medición de velocidad de detonación (VOD) en los taladros.
- Medición de vibraciones.
- Inspecciones visuales de los escombros

1.- Análisis de la fragmentación.

Se basó en el porcentaje de paso de los fragmentos medios (30% passing) y de tamaños máximos (100% passing) en el chancado.

Se consiguió 50% de incremento en la fragmentación del mineral con tacos de cono-detrito.

% PASSING	TACO DE TIERRA	TACO DE GRAVILLA	TACO CON STEMITE
P 80	0.82	0.50	0.24
P100	1.58	0.90	0.60

Tabla N° 6. Fragmentación de la voladura

2.- Performances del equipo de paleo y acarreo.

El análisis de performance de carguío se basó en los índices de excavabilidad de la pala (diggilability), los resultados con el cono indicaron 8.3% de reducción del tiempo de carga por camión respecto al taco de gravilla y 21.3% comparado con el de tierra.

3.- Medición de velocidad de detonación (VOD) en los taladros.

Mediciones de VOD al nivel del collar con tacos de tierra demostraron rápida disminución de la presión de detonación; mientras que con los conos ésta se incrementa notoriamente, mejorando el rendimiento efectivo del explosivo

4.- Medición de vibraciones.

Control de vibraciones para evitar daños asociados al mayor confinamiento. Con los conos se observó mayor nivel de vibraciones (7%) que con la tierra, pero ambos estuvieron en el mismo rango de daño.

Tabla N° 7 Niveles de velocidad de partícula PPV.

NIVELES REGISTRADOS DE VELOCIDAD DE PARTÍCULA: PPV			
VOLADURA	GEOFONO 1 mm/s	GEOFONO 2 mm/s	TACO
4 315 - 265	562.3	534.4	Suelo
4 285 - 175	607.9	539.3	Stemite

5.- Inspecciones visuales de los escombros.

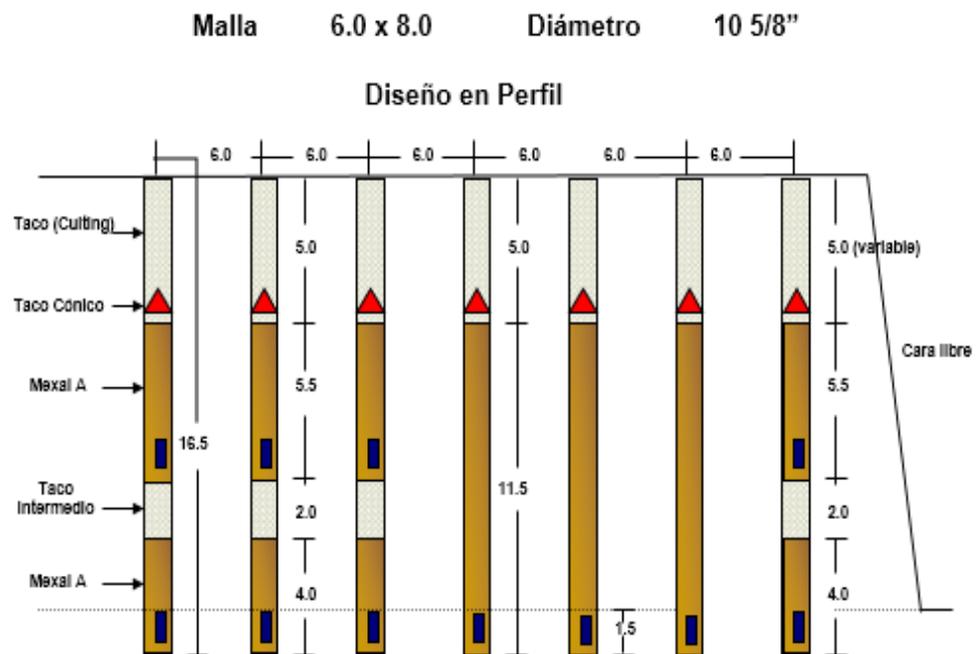
Registros visuales y fotográficos de diferentes pruebas durante el tiempo de estudio resumen lo siguiente:

a) **Taco de tierra:** Fragmentación pobre, irregular, eyecciones y presencia de grandes rocas.

b) **Taco de gravilla:** Mejor fragmentación; sin embargo, con presencia de pedrones al nivel del taco

c) **Taco con cono stemtite:** Excelente fragmentación, la presencia de pedrones eventuales se limitó a la cara libre del banco.

Figura N° 50. Taco con tapón cónico



4.2.2.4 Costo asociado a la optimización de voladura

Costo global de voladura (abril-diciembre 2019)

- Costo de voladura 96.7%
- Costo adicional de tapones 3.3%

100%

El incremento de fragmentación, permitió estudiar la alternativa de ampliar la malla, pero sin afectar la fragmentación obtenida (6x7 a 7x8 m) logrando reducir sus costos de perforación y voladura.

4.2.2.5 Reducción total de gasto por la ampliación de malla

Reducción de costo logrado en Voladura	= \$ 523,741
Reducción de costo logrado en Perforación	= \$ 182,120
Total	= \$ 705,861 -
Menos Gasto anual en tapones stemtite	= \$ 315,000
Reducción de Costo Efectivo en Voladura	= \$ 390,861 +
Más Beneficio adicional por ahorro en no hacer perforación de taladros auxiliares secundarios	= \$ 81,000
Reducción General de Costo (año 2019)	= \$ 471,861/año
Reducción Real de Costo de Voladura (2019)	= \$ 0.005/tn

CONCLUSIONES

1. Los efectos que se consiguieron con el uso de tacos colocados correctamente son:
 - Incremento del efecto de trituración de la roca y del desplazamiento de los fragmentos.
 - Reducción del consumo de explosivos.
 - Control de la proyección de piedras volantes.
 - Supresión del soplo de flama por la boca del taladro.
 - Control de la liberación de polvo fino al medio ambiente.
 - Regulación de la formación de gases tóxicos.
 - Protección de la carga explosiva del taladro contra riesgos de detonación prematura.
2. La evaluación de la voladura en la mina usando tacos se realizó en dos etapas, en la primera etapa, se realizaron dos pruebas de voladura, la primera con una carga de explosivo de 350 gr. y la segunda empleando una carga explosiva de 280 gr de explosivo por taladro. La segunda etapa se realizó usando tapones de tierra, gravilla, tapones stemtite.
3. En las pruebas de la primera etapa Pruebas se empleó tacos preparados BENTAMP (manga plástica perforada conteniendo bentonita) de 170 mmL x 40 y 80 mmØ y de 150 mmL x 25 mmØ. Costo unitario US\$ 0.100. con una Voladura Promedio: 600 taladros por cada 100 m de frontón, diámetro 28 mm, longitud 1.5 m.
4. Los resultados de las evaluaciones en la primera prueba fueron los siguientes: Burden aumentado de 50 a 70 cm, carga 350 gr por taladro, CON TACO. Se bajaron de 600 a 429 taladros por frente de 100 m. Economía de explosivo 150.15Kg. El costo de explosivo y accesorios bajó de 303.12 a 234.41 US\$ resultando \$ 68.71 menos por cada 100 m de Frente (ahorro mensual US\$ 2633.08). Además, se mejoró la fragmentación. en cuanto a

ahorro de personal fue de 1515.16 \$ y en materiales brocas se ahorró 43 brocas que representa un ahorro de 774 \$/mes; haciendo un total de ahorro al usar taco de 4,923.04 \$/mes.

5. Los resultados de las evaluaciones en la segunda prueba fueron: Burden aumentado de 50 a 70 cm, carga reducida a 280 gr por taladro, taco bien controlado manteniendo 429 taladros por frente, el costo en explosivo bajó de \$229.27 resultando \$ 83.85 menos por cada 100 m de Frente (ahorro mensual US\$ 3214.15); fragmentación similar, también mejorada.

Con la disminución de taladros se redujo personal (ahorro \$ 1515.16/mes y 43 brocas menos /US\$ 774/mes); teniendo un ahorro mensual de 5.503.4 \$/mes.

6. En la segunda etapa de evaluación al usar tacos en la voladura se tuvo las siguientes conclusiones, se usó tres tipos de tacos, de Material de Suelo, Gravilla Triturada, Detritus de Perforación con Tapón STEMTITE, obteniéndose lo siguiente, en el Análisis de la fragmentación Se consiguió 50% de incremento en la fragmentación del mineral con tacos de cono-detrito. al usar Taco de tierra: Fragmentación pobre, irregular, eyecciones y presencia de grandes rocas. con **Taco de gravilla**: Mejor fragmentación; sin embargo, con presencia de pedrones al nivel del taco, y Taco **con cono stemtite**: Excelente fragmentación, la presencia de pedrones eventuales se limitó a la cara libre del banco.

El análisis de performance de carguío se basó en los índices de excavabilidad de la pala, los resultados con el cono indicaron 8.3% de reducción del tiempo de carga por camión respecto al taco de gravilla y 21.3% comparado con el de tierra.

Las Mediciones de VOD al nivel del collar con tacos de tierra demostraron rápida disminución de la presión de detonación; mientras que con los conos

ésta se incrementa notoriamente, mejorando el rendimiento efectivo del explosivo.

En el Control de vibraciones para evitar daños asociados al mayor confinamiento. Con los conos se observó mayor nivel de vibraciones (7%) que, con la tierra, pero ambos estuvieron en el mismo rango de daño.

Costo global de voladura (abril-diciembre 2020) fue de Costo de voladura 96.7%, Costo adicional de tapones 3.3% Reducción General de Costo (año 2020) = \$ 471,861/año

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso de una carga de explosivo de 280 gr/taladro ya que representa menor costo en la voladura, en las mismas condiciones si se emplea 350 gr/taladro.
2. Se recomienda el empleo en lo posible el material anguloso, menudo y seco, porque bajo la acción de los gases tiende a formar un arco de compactación que se ajusta a la pared del taladro, incrementando su capacidad de “resistencia” a la eyección.
3. Habiéndose establecido la longitud óptima de taco, debe mantenerse un estricto control sobre el trabajo de los operarios cargadores para verificar que se cumpla, en todos los casos.
4. El “**ATACADO**” de los tacos debe ser vigoroso para fijarlos, pero no excesivo para no afectar a la columna explosiva ni a la línea de transmisión del iniciador (guía, manguera).
5. Fragmentos mayores de 30 mm no se recomiendan porque pueden dañar las líneas de cordón detonante, guías y mangueras de los detonadores no eléctricos

BIBLIOGRAFÍA

- 024-2016-EM, D. N. (2016). Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería.
- ARBIZU, W. (2020). *Uso de material pebbles como taco para reducir la granulometría del mineral disparado en la mina Toromocho, Morococha - 2019*. [tesis de licenciamiento Universidad Continental]repositorio institucional U. Continental.
- CHAVEZ, V. (2019). *APLICACIÓN DE STEMMING DE 2" UTILIZADA COMO TACO, PARA MEJORAR LA FRAGMENTACIÓN EN LAS ZONAS DE BRECHAS CON MINERAL DE ALTA LEY EN LA UNIDAD MINERA CUAJONE*. [tesis de licenciamiento, U.N. de Moquegua]repositorio institucional U.N.de Moquegua.
- COMPAÑIA MINERA SAN SIMON. (2007). Informe tecnico Mina La Virgen .
- MACHUCA, P. (2018). *EFFECTO DE LA CÁMARA DE AIRE EN LA VOLADURA A TAJO ABIERTO PARA INCREMENTAR LA TASA DE EXCAVACIÓN (DIG RATE) EN EL TAJO TAPADO OESTE DE MINERA YANACOCHA, CAJAMARCA 2017*. [tesis de licenciamiento U. Privada del Norte]repositorio institucional U. Privada del Norte.
- PEREZ, J. (2016). *REDUCCIÓN DE LAS VIBRACIONES POR EFECTOS DE LA VOLADURA SUPERFICIAL USANDO CAMARAS DE AIRE EN LA COLUMNA EXPLOSIVA, EN MINERA CORPORACIÓN DEL CENTRO, LA LIBERTAD, 2016*. [tesis de licenciamiento, U. Privada del Norte]repositorio institucional U. Privada del Norte.

ANEXOS

Instrumentos de recolección de datos

Anexo A.

Parámetros de perforación y voladura

Parámetros de perforación y carga		
N°	Parámetro	Valor
1	Profundidad de taladros	
2	Diámetro promedio	
3	Distancia del techo a la primera fila de taladros	
4	Distancia del techo a los taladros centrales	
5	Distancia entre taladros	
6	Carga explosiva por taladro en veta	
7	Carga explosiva por taladro en roca intermedia	
8	Iniciación: Guía	
9	Altura promedio de excavación	
10	Distancia del suelo a la tercera fila de taladros	

Anexo B.

Costos de explosivos y accesorios

Explosivos y accesorios		
Se perforo 23000 taladros mensuales, en dos turnos/día, 40 turnos/mes		
Explosivos y accesorios Método tradicional (sin Taco) .	Método propuesto (con tacos)	Ahorro usando tacos
Costo del explosivo \$ Mecha fulminante \$ Tacos Costo total = \$		
Ahorro por frente de 100 m con uso de tacos Ahorro Total mensual de explosivo y accesorios		

Anexo C.

Resultados en cuanto a personal

Costos de personal	Costo	Usando tacos 350 g/taladro	Usando tacos 280 g/taladro
<p>El equipo de perforación alcanza un promedio de 100 taladros por turno, se tiene 1 operador y 1 ayudante por turno, es decir 2 operadores y 2 ayudantes por día</p> <p>El costo potencial mensual por turno es 2 operadores de perforación y 2 ayudantes de perforación</p> <p>Costo total</p>			

Anexo D.

Resultados en cuanto a material

Costos de material	Usando tacos 350 g/taladro	Usando tacos 280 g/taladro
<p>El único ítem de material posible de demostrar un ahorro inmediato son las brocas, el promedio de vida útil por broca en la mina es de 380 m. Se perforan taladros de 1.50 m, por lo tanto.</p> <ul style="list-style-type: none"> - vida útil de una broca es de $380\text{m}/1.50 = 253.33$ taladros. - Ahorro de taladros /turno = $600 - 429 = 171$ t/turno - Taladros por mes $171 \text{ t/turno} \times 40 \text{ turnos} = 10,840$ taladros - Ahorro de brocas $10,840 \text{ t} / 253.33 = 43$ brocas <p>Costo por broca \$ 18.0</p>		

Anexo E.

Resúmenes económicos

Resumen económico	Usando tacos 350 g/taladro	Usando tacos 280 g/taladro
-Explosivos y accesorios		
-Personal		
-Material brocas		
TOTAL \$/mes		

Anexo F.

Fragmentación

Fragmentación de la voladura			
% PASSING	TACO DE TIERRA	TACO DE GRAVILLA	TACO DE STEMTITE
P 80			
P 100			

Anexo G.

Niveles de velocidad de partícula

NIVELES REGISTRADOS DE VELOCIDAD DE PARTÍCULA - PPV			
VOLADURA	GEOFONO 1, mm/s	GEOFONO 2, mm/s	TACO
4515 - 265			
4285 - 175			