

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DEL USO DE EXPLOSIVOS EN LA
CONSTRUCCION DE TUNELES VIALES.

Realizado por:

Pedro Manuel Rodríguez Toledo.
Reinaldo Ramón González Borjas.

Monografía de Grado presentado ante La Universidad de Oriente como
Requisito Parcial para optar al Título de:

INGENIERO CIVIL

Barcelona, Octubre del 2008

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DEL USO DE EXPLOSIVOS EN LA
CONSTRUCCION DE TUNELES VIALES.

Realizado por:

Pedro M. Rodríguez T.

Reinaldo R. González B.

Revisado y Aprobado por:

Ing. Esteban Hidalgo
Asesor Académico

Barcelona, Octubre de 2008

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DEL USO DE EXPLOSIVOS EN LA
CONSTRUCCION DE TUNELES VIALES.

JURADO CALIFICADOR:

Ing. Belkis Sebastiani
Jurado Principal

Ing. Luís González
Jurado Principal

Ing. Enrique Montejo
Jurado Principal.

Barcelona, Octubre de 2008

RESOLUCIÓN

De acuerdo al Artículo 57 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“Para la aprobación definitiva de los cursos especiales de grado como modalidad de trabajo de grado, será requisito parcial la entrega a un jurado calificador, de una monografía en la cual se profundice en uno o mas temas relacionados con el área de concentración.

DEDICATORIA

A dios en primer lugar por guiarme en cada paso que doy, así como por sus bendiciones y por la protección que me ha brindado que me mantiene con vida y así lograr esta meta, una de las tantas de mi vida.

A mis padres Luís José González y Eucaris Borjas, que siempre estuvieron junto a mi apoyándome para salir adelante en esos momentos fuertes que viví dentro esta universidad, aquellos momentos donde perdía la fuerza de seguir adelante con este sueño de ser ingeniero, ese apoyo incondicional que siempre me dieron fue la diferencia entre haber triunfado o haber fracasado y es por ello que hoy día puedo decir que triunfe.

A mi hermana Liliana que aunque se encuentre lejos también fue un gran apoyo y un ejemplo a seguir. A mi tía Inés, Antonia, a mi tío Alejandro que han sido como otros padres para mi y que siempre me han brindado todo su apoyo, así como a mi tía Merquis, mi tío Cesar y todos mis otros familiares que siempre han estado pendiente de mi y de lo que hago. Y por supuesto a mi novia Diosilus por su especial apoyo en gran parte de mi carrera.

Reinaldo González

DEDICATORIA

Primeramente a mi señor DIOS todopoderoso por guiarme siempre por el camino del bien, por llenarme de muchas bendiciones y sobre todo por haberme permitido, tener la dicha de alcanzar tan importante meta.

A mi Madre adorada María Toledo, que me dio la vida, que me ayudo en todo momento tanto moral como económicamente, quien me enseñó el valor de las cosas, y que estas se obtienen con muchos sacrificios y esfuerzos, a no desesperarme, porque las cosas llegan a su debido tiempo. A ese ser tan especial muchas gracias mujer luchadora porque siempre me brindaste tu apoyo incondicional.

A mi Padre Douglas Rodríguez, le doy gracias por ser parte de lo que soy, por formarme como hombre de bien.

A mis hermanas, Maria, Andreina y Alejandra, por confiar en mí desde que inicie mi carrera, y que con este logro les enseñó, que con constancia y mucho esfuerzo se pueden lograr las metas trazadas.

A mi novia Yulvic, gracias por estar en los momentos buenos y malos, por brindarme su amor y cariño. Por su comprensión, por siempre tener esa palabra de aliento en los momentos difíciles.

Pedro Rodríguez

AGRADECIMIENTO

Al profesor Esteban Hidalgo por todo su apoyo brindado lo cual hizo posible la elaboración de esta monografía.

A los profesores Luís González, Enrique Montejo y Belkis Sebastiani, quienes aceptaron la responsabilidad de dictar el curso de áreas de grado, ofreciéndonos sus conocimientos y experiencias las cuales serán de gran utilidad en nuestra vida profesional.

A los doctores Iván Agdala, Daniel Salcedo y Clemente Acosta por su receptividad para con nosotros y brindarnos parte de su tiempo de trabajo para suministrarnos su experiencia en el campo de la ingeniería, específicamente en la construcción de túneles mediante voladura.

A todos nuestros compañeros del grupo de las áreas, que luego de mucho esfuerzo logramos finalmente nuestro objetivo y compartimos gratos momentos durante este periodo, naciendo de esta manera una gran amistad.

Y por ultimo les damos las gracias a todos nuestros compañeros (Karol, Paúl, Roselyn, José, Yran, Cubito, Reibert, Iliana, Mary Carmen, Rosa, Ramón, Stefano, Yeni, Yaneth, Luís Mora, Josbel, Emilia, Raúl, Mariani, Eduardo que compartieron con nosotros a lo largo de la carrera y que por ende son participe de nuestro logro; gracias por hacer mas alegre nuestra estadía en la UDO, una vez mas gracias mi gente.

CONTENIDO

RESOLUCIÓN.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO	VII
CONTENIDO.....	VIII
RESUMEN	XIV
CAPITULO I.....	16
INTRODUCCION	16
1.1 INTRODUCCIÓN	16
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.3 OBJETIVO DEL ESTUDIO.....	19
CAPITULO II	20
MARCO TEÓRICO	20
Definiciones.....	20
2.1 VOLADURAS.....	20
2.2 TIPOS DE VOLADURAS	20
2.3 ELEMENTOS DE VOLADURA.....	20
2.3.1 <i>Explosivos</i>	21
2.3.1.1 Dinamitas.	21
2.3.1.2 Geles.....	22
2.3.1.3 Gel Explosivo.	22
2.3.1.4 Straight Gel.....	22
2.3.1.5 Gel Amoniacal.....	22
2.3.1.6 Semigeles.	22
2.3.1.7 Hidrogeles	23
2.3.1.8 Agentes Explosivos.	23
2.3.1.9 Agentes Explosivos Secos (ANFO).....	23
2.3.1.10 ANFO Pesado.....	23
2.3.1.11 Lechadas Explosivas.....	24
2.3.1.12 Emulsiones Explosivas.	24

2.3.1.13 Criterios para la Selección de los Explosivos	24
2.3.1.14 Características Generales De Los Explosivos.....	24
2.3.1.15 Estabilidad Química.	25
2.3.1.16 Sensibilidad.	25
2.3.1.17 Velocidad de Detonación.....	25
2.3.1.18 Potencia Explosiva.	26
2.3.1.19 Densidad de Encartuchado.	26
2.3.1.20 Densidad y Gravedad Específica.	27
2.3.1.21 Resistencia al Agua.	27
2.3.1.22 Emanaciones o Humos.	27
2.3.1.23 Inflamabilidad	27
2.3.1.24 Selección del Explosivo.....	28
2.3.2 <i>Fulminante</i>	28
2.3.3 <i>Conectores</i>	28
2.3.4 <i>Detonadores</i>	28
2.3.4.1 Detonadores no Eléctricos.	28
2.3.4.1.1 Fulminantes	28
2.3.4.2 Detonadores Eléctricos.	29
2.3.4.2.1 Estopines Eléctricos.	29
2.3.4.2.2 Estopines Eléctricos Instantáneos.....	30
2.3.4.2.3 Estopines Eléctricos De Retardo.	31
2.3.4.2.3.1 Tipos de Estopines De Retardo.	32
2.3.4.2.3.1.1 Estopines De Retardo "MS"	32
2.3.4.2.3.1.2 Estopines De Retardo Mark V.	32
2.3.5 <i>Guía de Seguridad</i>	32
2.3.6 <i>Punzón Para Preparar El Cebo</i>	32
2.3.7 <i>Atacador</i>	33
2.3.8 <i>Cordón de Ignición o Mecha Rápida</i>	33
2.4 CARA LIBRE.	33
2.5 ZONAS DE UNA VOLADURA EN TÚNELES VIALES.	33
2.5.1 <i>Cuele</i>	33
2.5.2 <i>Contracuele</i>	34
2.5.3 <i>Destroza</i>	34
2.5.4 <i>Zapatera</i>	34
2.5.5 <i>Contorno</i>	34
2.6 TÉCNICAS PARA EFECTUAR BARRENOS PERIMETRALES.	34

2.6.1 <i>El Recorte</i>	34
2.6.2 <i>El Precorte</i>	35
2.7 PRINCIPALES OBJETIVOS DE LA VOLADURA.....	35
2.7.1 <i>La Roca Debe Tener La Granulometría Deseada</i>	35
2.7.2 <i>Consumo Mínimo De Explosivos Para Fracturar La Roca</i>	35
2.7.3 <i>Mínima Barrenación Posible</i>	35
2.7.4 <i>Mínimas Proyecciones De Las Rocas</i>	36
2.7.5 <i>Facturación Mínima De La Roca No Volada</i>	36
2.8 VOLADURAS ESPECIALES.....	36
2.9 PROPIEDADES DE LAS ROCAS.....	37
2.9.1 <i>Densidad</i>	37
2.9.2 <i>Resistencias Dinámicas De Las Rocas</i>	38
2.9.3 <i>Porosidad</i>	38
2.9.3.1 <i>La Intergranular O Deformación</i>	38
2.9.3.2 <i>La Disolución O Post-Formación</i>	38
2.9.4 <i>Fricción Interna</i>	39
2.9.5 <i>Conductividad</i>	39
2.10 PROPIEDADES DE LOS MACIZOS ROCOSOS.....	40
2.10.1 <i>Litología</i>	40
2.10.2 <i>Fracturas Preexistentes</i>	41
2.10.3 <i>Tensiones De Campo</i>	41
2.10.4 <i>Presencia De Agua</i>	41
2.10.5 <i>Temperatura Del Macizo Rocoso</i>	42
CAPITULO III.....	43
USO DE EXPLOSIVOS EN LA CONSTRUCCION DE TUNELES.....	43
3.1 TIPOS DE EXPLOSIVOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES.....	43
3.1.1 <i>Clasificación De Los Explosivos En Cuanto A Su Densidad Y Velocidad De Detonación:</i>	44
3.1.1.1 <i>Explosivos De Alta Densidad Y Alta Velocidad De Detonación</i>	44
3.1.1.2 <i>Explosivos De Baja Densidad Y Baja Velocidad De Detonación</i>	44
3.1.2 <i>CAVIM (Compañía Anónima Venezolana de Industrias Militares)</i>	45
3.1.2.1 <i>Anfo</i>	45
3.1.2.2 <i>Anfoal</i>	46
3.1.2.3 <i>Magnafrac Plus</i>	46

3.1.2.4 Magnum	47
3.1.2.5 Booster De Pentolita Biodegradable “Geoprime”: Petrolero	47
3.1.2.6 Booster De Pentolita Para Minería	48
3.1.3 <i>Sistemas De Iniciación:</i>	48
3.1.4 <i>Emulsión Encartuchada</i>	50
3.1.5 <i>Explosivos A Granel</i>	50
3.2 VIABILIDAD DEL USO DE EXPLOSIVOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES.	50
3.2.1 <i>Represa De Bocono En El Estado Portuguesa, Venezuela</i>	51
3.2.2 <i>Construcción De Túneles Paralelos En San Cristóbal, Santiago De Chile</i>	52
3.2.2.1 Diseño Estructural Activo De Los Túneles Paralelos	53
3.2.2.2 Geología Del Terreno Excavado En La Construcción De Los Túneles Paralelos.....	53
3.2.2.3 Los Jumbos Sandvik Utilizados En La Construcción De Los Túneles Paralelos.....	54
3.2.2.4 Explosivos Utilizados En La Construcción De Los Túneles Paralelos.....	55
3.2.3 <i>Construcción De Un Túnel Vial En Ciudad Calera, Chile</i>	57
3.3 USO DE LOS EXPLOSIVOS PARA EL MEJOR RENDIMIENTO EN LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES.	62
3.3.1 <i>Cuele En Paralelo (Cuele De Barrenos Paralelos)</i>	62
3.3.2 <i>Cuele En Diagonal O En Ángulo</i>	64
3.3.3 <i>Cuele Quemado</i>	65
CAPITULO IV	68
COMENTARIOS FINALES	68
BIBLIOGRAFIA	70
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:	71

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Selección y propiedades de los explosivos más comunes.

Tabla 2.2. Corriente de disparo mínima y de diseño

Tabla 3.1 .Carga y diámetro de los barrenos.

Tabla 3.2.Dimensión, densidad y velocidad de detonación.

Tabla 3.3.Dimensión, densidad y velocidad de detonación.

Tabla 3.4.Dimensiones por peso.

Tabla 3.5.Dimensiones por peso.

LISTA DE FIGURAS

- Fig. 2.1. Estructura de un fulminante.
- Fig. 2.2. Estopines eléctricos.
- Fig. 2.3. Estructura de un estopín eléctrico instantáneo.
- Fig. 3.1. Diagrama de perforación para túnel circular de 6,80 m.
- Fig. 3.2. Diagrama de disparo Jumbo.
- Fig. 3.3. Diagrama de disparo Jumbo.
- Fig. 3.4. Cuele de cuatro secciones.
- Fig. 3.5 Voladura con cuele en cuña.
- Fig. 3.6. Cuele quemado.
- Fig. 3.7. Sistema de avance en la excavación de túneles y galerías

RESUMEN

En resumen podemos decir que el método de perforación con voladura, es el más utilizado para túneles en roca y el único posible cuando la roca es muy abrasiva, muy resistente o se encuentra en estado masivo. Básicamente consiste en efectuar unos taladros en el frente de excavación, cargarlos con explosivos y hacerlos detonar. La reacción explosiva genera una energía en forma de presión de gases y energía de vibración, capaz de quebrantar la estructura de la roca.

Puesto que el uso del método de perforación con voladura para la excavación de túneles, se debe tomar con toda seriedad, eligiendo en todo momento el explosivo mas idóneo siempre tomando como punto de referencia la densidad y velocidad de detonación que estos tengan, las características de la roca y condiciones del suelo; ya que se cuenta con una serie de explosivos de diferentes poder de detonación en el mercado. La ejecución del proceso de voladura contará con la aprobación y supervisión de la empresa CAVIM que es la encargada de regir dicha materia.

Con la información obtenida de varios libros, páginas Web y especialistas en la materia se pudo obtener elementos muy importantes sobre la perforación con voladuras, como por ejemplo que se debe contar con un buen sistema de avance, un buen diseño de la sección del frente de ataque del túnel en lo referente a una mejor ubicación del cuele para poder contar con un cavidad inicial y del contracuele de manera que se puedan hacer las posteriores explosiones con un tiempo de retardo que permita crear mas caras libres para seguir avanzando en dicha excavación y a su vez

obtener el rendimiento deseado para llevar a un feliz termino la ejecución del proyecto.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 Introducción

En el proceso de excavación y perforación de túneles, donde se emplean voladuras, es indispensable el uso de explosivos, sobre todo en terrenos, donde la roca es de gran dureza, muy tenaz y se encuentre en su estado masivo. Ya que la elección de un explosivo bien sea dinamita, geles y agentes explosivos, va a depender directamente del tipo de suelo y de las propiedades y características de las rocas que se desea fragmentar, siempre tomando en cuenta los distintos tipos de explosivos que se encuentren en el mercado.

En zonas donde las rocas se hallen en su estado masivo, se hace necesaria la utilización de explosivos con mayor potencia y superior velocidad de detonación; Por el contrario en rocas intensamente fracturadas o estratificadas se van a utilizar explosivos de baja densidad y de menor velocidad de detonación. Ya que el ciclo básico de excavación y perforación con el método de voladura no es mas que la perforación de barrenos, carga de explosivos, disparo de las voladuras, evacuación de los humos y la ventilación, carga y transporte del escombro, el saneo de los hastiales y el replanteo de la nueva pega, tomando en cuenta los tipos de voladuras y la función para las cuales están destinadas.

En el presente trabajo se realizará un estudio referente a la factibilidad del uso de explosivos en túneles viales, analizando los diferentes tipos

explosivos que se utilizan para tal fin; y determinar su mejor aplicación, para a su vez obtener un mejor rendimiento de los mismos. Estableciendo un análisis que permita precisar con exactitud cual es la viabilidad que ofrecen los explosivos para la construcción de túneles destinados al tránsito vehicular.

1.2 Planteamiento del problema

La sustancia más antigua utilizada como explosivo es la pólvora negra que consiste en una mezcla formada por 75% de nitrato de potasio, 10% de carbón y 15% de azufre. Esta sustancia fue presumiblemente desarrollada por los chinos y en un comienzo era utilizada exclusivamente en exhibiciones pirotécnicas relacionadas con sus celebraciones.

Es probable que la pólvora se introdujera en Europa procedente del Oriente Próximo; la primera referencia detallada del proceso de fabricación de este explosivo en Europa data del siglo XII en escritos del monje Roger Bacon. Hacia el siglo XIV gracias al monje Alemán Berthold Schwarz, este producto fue utilizado en actividades militares. Europa fue el lugar donde este material se utilizó por primera vez con fines benéficos en las áreas de la construcción y la minería.

Durante los últimos 60 años el nitrato de amonio ha desempeñado un papel cada vez más importante en los explosivos. Se usó primeramente como ingrediente de la dinamita y, hace aproximadamente un cuarto de siglo, comenzó a emplearse en una sencilla y económica mezcla con el Diesel que ha constituido una revolución en la industria de los explosivos y que, hoy día, cubre aproximadamente el 80% de las necesidades de los explosivos.

En los últimos 20 años se han desarrollado explosivos de geles de agua con base de nitrato de amonio. Estos explosivos contienen sensibilizadores , tales como los nitratos de amina , el TNT y el aluminio, así como agentes de gelificación y otros materiales, con el fin de alcanzar un grado de sensibilidad deseado.

Actualmente los explosivos como dinamita, geles y agentes explosivos entre otros, se emplean en canteras a cielo abierto, también se utilizan en diversas obras civiles como en la construcción de presas, sistemas de riego, redes de conducción eléctrica, gasoductos, oleoductos, sistemas de drenaje, vías de comunicación, cimentaciones de estructuras, canales, túneles, compactación de suelos y muchas otras aplicaciones.

Hay que tomar en cuenta que las naciones están creciendo vertiginosamente, en cuanto a su densidad de población, a los desarrollos industriales, crecimientos urbanísticos, entre otros. Por estas razones existe la imperiosa necesidad de crear nuevos accesos viales entre países, estados, pueblos, debido a que existen zonas con topografía accidentada y de difícil acceso, por lo que es necesaria la construcción de túneles para interconectar unas vías con otras.

En la actualidad el pensum de la carrera de ingeniería civil no contempla una asignatura específica, que haga referencia a proyectos de construcción de túneles, sin embargo los ingenieros civiles ocasionalmente en el ejercicio de su profesión pueden ejecutar proyectos viales, que contemplen la construcción de túneles mediante el uso de explosivos, por lo tanto, esta monografía servirá como punto de referencia para otros profesionales de la ingeniería civil.

1.3 Objetivo Del Estudio

OBJETIVO GENERAL

Estudiar la factibilidad del uso de explosivo en la construcción de túneles viales.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Verificar la viabilidad del uso de explosivos en la construcción de túneles viales.
2. Analizar los distintos tipos de explosivos utilizados en la construcción de túneles viales.
3. Determinar la mejor aplicación del uso de los explosivos, para obtener su mejor rendimiento en la construcción de túneles viales.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

Definiciones

En todo proyecto de investigación se deben manejar definiciones y ciertos conceptos relacionados con dicho trabajo, a tal efecto mencionamos a continuación los que han sido considerados para una mejor comprensión y entendimiento del mismo.

2.1 Voladuras

Es un proceso que consiste en hacer volar un determinado objeto, mediante el empleo de explosivos.

2.2 Tipos De Voladuras

Voladuras en banco.

Voladuras de túneles y galerías.

Voladuras en pozos y chimeneas.

Voladura subterránea de producción en minería y obra pública.

Voladuras de contorno.

Voladuras subacuática.

2.3 Elementos De Voladura

Para la voladura se requiere los siguientes materiales y accesorios:

- Explosivos.
- Fulminantes.
- Conectores.
- Detonadores
- Guía de seguridad.
- Punzón para preparar el cebo.
- Atacador.
- Mecha rápida.

2.3.1 Explosivos

Un explosivo es un compuesto químico o mezcla de componentes que, cuando es calentado, impactado, sometido a fricción o a choque, produce una rápida reacción exotérmica liberando una gran cantidad de gas y produciendo altas temperaturas y presiones en un breve instante de tiempo.

Existen varios tipos de explosivos que son utilizados en canteras y en minería superficial, entre ellos están:

2.3.1.1 Dinamitas.

En esta catalogación entran todas las mezclas de nitroglicerina, diotomita y otros componentes; existen varios tipos como: nitroglicerina dinamita, Dinamita amoniacal de alta densidad (dinamita extra), dinamita amoniacal de baja densidad.

2.3.1.2 Geles.

Este explosivo generalmente tiene una consistencia plástica y es de de alta densidad. Entre los cuales existen:

2.3.1.3 Gel Explosivo.

Este explosivo tiene altas velocidades de detonación y un excelente comportamiento de resistencia al agua, pero emite un gran volumen de humo. Este es el explosivo comercial más potente.

2.3.1.4 Straight Gel.

Este tipo de explosivos es usado cuando se necesita fragmentar rocas muy duras, o en el fondo del barreno como inicializador de un agente explosivo.

2.3.1.5 Gel Amoniacal.

Este gel explosivo se puede comparar con el straight gel en cuanto a su fuerza; el explosivo fue desarrollado como un reemplazo económico del straight gel. El gel amoniacal es fabricado con una fuerza por peso que varia entre 30% y 80 % aproximadamente.

2.3.1.6 Semigeles.

La fuerza por peso de este tipo de explosivos varia entre el 60% y 65 %. Este explosivo tiene las mismas propiedades que el gel amoniacal; los

semigeles son usados como reemplazo de los geles amoniacaes cuando es necesaria una mayor resistencia al agua.

2.3.1.7 Hidrogeles

También llamados papillas explosivas, están formados por un oxidante, generalmente un nitrato y un reductor junto a los gelatinizante y estabilizante, que le dan una buena consistencia e impiden la difusión dentro de el, por lo que resiste muy bien la humedad y el agua de los barrenos.

2.3.1.8 Agentes Explosivos.

Los agentes explosivos consisten en una mezcla de combustible y agentes oxidantes, entre ellos tenemos:

2.3.1.9 Agentes Explosivos Secos (ANFO).

El Agente explosivo seco mas utilizado es una mezcla de nitrato de amonio granuloso (similar al de los abonos) y combustible (diesel), a este explosivo se le llama ANFO por sus siglas en inglés "Ammonium Nitrate Fuel Oil".

2.3.1.10 ANFO Pesado.

Es un nuevo explosivo conseguido mediante la mezcla adecuada de una emulsión explosiva y un ANFO.

2.3.1.11 Lechadas Explosivas.

Este tipo de agentes explosivos contiene nitrato de amonio en una solución acuosa. Dependiendo de los ingredientes pueden ser clasificados como agentes explosivos o como explosivos.

2.3.1.12 Emulsiones Explosivas.

Son unas soluciones estables de dos líquidos, una solución acuosa y un compuesto orgánico aceitoso, inmisible entre si pero con un emulsionante se mantienen en estado disperso.

2.3.1.13 Criterios para la Selección de los Explosivos

- Precio de los explosivos a utilizar.
- Diámetro de carga.
- Características de la roca.
- Volumen de la roca a fragmentar.
- Condiciones atmosféricas.
- Presencia de agua.
- Problema de entorno.
- Humos.
- Condiciones de seguridad.
- Atmósferas explosivas.
- Problema de suministros.

2.3.1.14 Características Generales De Los Explosivos.

Cada explosivo tiene características específicas definidas por sus propiedades, para el mismo tipo de explosivo las características pueden variar dependiendo del fabricante, el conocimiento de estas propiedades es un factor importante para el buen diseño de voladuras, además permiten elegir el más adecuado de ellos para algún caso específico. A continuación mencionaremos las más importantes propiedades de los explosivos.

2.3.1.15 Estabilidad Química.

Aptitud que posee para mantenerse químicamente inalterado durante un corto tiempo. Las pérdidas de estas aptitudes se suelen dar por largos almacenamientos en lugares con poca ventilación.

2.3.1.16 Sensibilidad.

La sensibilidad de un explosivo es la mayor o menor facilidad que tiene éste para ser detonado. Lo ideal de un explosivo es que sea sensible a la iniciación mediante cebos para asegurar la detonación de toda la columna de explosivos, e insensible a la iniciación accidental durante su transporte, manejo y uso.

2.3.1.17 Velocidad de Detonación.

La velocidad de detonación (VOD) es la velocidad expresada en metros por segundo a la que ocurre la reacción química entre el combustible y el oxidante, y se genera a lo largo de la columna del explosivo, Teniendo un rango de 1.500 a 7.500 m/s para los explosivos de uso industrial.

2.3.1.18 Potencia Explosiva.

La potencia se refiere al contenido de energía de un explosivo, que, a su vez, es la medida de la fuerza que puede desarrollar y su habilidad o capacidad para hacer el trabajo de fragmentación y proyectar la roca o el mineral que se quiera romper. En pocas palabras suele considerarse como la capacidad de trabajo útil de un explosivo. Por un lado va a depender de la composición del explosivo, pese a que siempre es posible mejorar la potencia con una adecuada técnica de voladura. La fuerza es generalmente expresada como un porcentaje que relaciona el explosivo estudiado con un explosivo patrón (nitroglicerina). Las dinamitas puras o nitroglicerinas, fueron medidas por el porcentaje de nitroglicerina en peso que contenía cada cartucho, por ejemplo, la dinamita nitroglicerina de 40% de fuerza, contiene un 40% de nitroglicerina mientras que una de 60%, indica que contiene 60% de nitroglicerina, etc. La fuerza de acción de este tipo de explosivo se toma como base para la comparación de todas las demás dinamitas. Así pues la fuerza de cualquier otra dinamita, expresada en tanto por ciento, indica que estalla con tanta potencia como otra equivalente de dinamita nitroglicerina en igualdad de peso

2.3.1.19 Densidad de Encartuchado.

La densidad de encartuchado es también una característica importante de los explosivos, que depende en gran parte de la granulometría de los componentes sólidos, y tipo de materias primas empleadas en su fabricación. La densidad de empaque de los explosivos se expresa como el número de cartuchos por caja de 25 kilogramos.

2.3.1.20 Densidad y Gravedad Específica.

Este parámetro es muy importante, ya que los explosivos se compran, almacenan y utilizan en base al peso. La densidad se expresa normalmente en términos de gravedad específica, que relaciona la densidad del explosivo con la densidad del agua, y determina el peso de explosivo que puede cargarse dentro de una perforación

2.3.1.21 Resistencia al Agua.

Es la habilidad que éste tiene para soportar el contacto con el agua sin sufrir deterioro en su desempeño, sin necesidad de una envoltura especial, manteniendo sus propiedades de uso inalterables en contacto con el agua.

2.3.1.22 Emanaciones o Humos.

Los gases que se originan de la detonación de explosivos principalmente dióxido de carbono, nitrógeno y vapor de agua, los cuales no son tan tóxicos, pero también pueden formarse gases venenosos como el monóxido de carbonoso y óxidos de nitrógeno. En trabajos a cielo abierto las emanaciones se pueden dispersar rápidamente por el aire, por lo que provocan poca preocupación, pero en trabajos subterráneos o espacios confinados deben considerarse detenidamente.

2.3.1.23 Inflamabilidad

Es la facilidad con la cual un explosivo o agente de voladura puede iniciarse por medio de llama o calor.

2.3.1.24 Selección del Explosivo

Es sumamente indispensable tener en cuenta su costo y sus propiedades. Deberá escogerse aquel que proporcione la mayor economía y los resultados deseados.

2.3.2 Fulminante.

Es una cápsula cilíndrica de aluminio o cobre cerrada en un extremo, en cuyo interior lleva una cantidad de explosivo muy sensible a la chispa de la guía y otro de alto poder que puede iniciar a la dinamita.

2.3.3 Conectores.

Es una cápsula de aluminio parecida al fulminante en cuya parte inferior tiene un corte de 2.38 mm de ancho y es paralelo a la base.

2.3.4 Detonadores.

También conocidos como dispositivos de iniciación, que contienen una pequeña carga detonante, usada para accionar o hacer iniciar un explosivo. Los cuales se clasifican de la siguiente manera:

2.3.4.1 Detonadores no Eléctricos.

2.3.4.1.1 Fulminantes

Los fulminantes o cápsulas detonadoras son casquillos metálicos cerrados en un extremo en el cual contienen una carga explosiva de gran

sensibilidad, ya que el otro extremo esta abierto para facilitar la introducción de la mecha que iniciara la explosión.

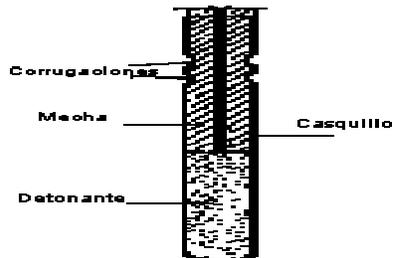


Fig. 2.1. Estructura de un fulminante.

Fuente: Internet

2.3.4.2 Detonadores Eléctricos.

2.3.4.2.1 Estopines Eléctricos.

Están formados por un casco metálico cilíndrico que contiene varias cargas de explosivos. Los estopines eléctricos son fulminantes elaborados de tal manera que pueden hacerse detonar con corriente eléctrica. Con ellos pueden iniciarse al mismo tiempo varias cargas de explosivos de gran potencia, y se puede controlar con precisión el momento de la explosión, lo que no sucede con los fulminantes por la variación de la velocidad de combustión de la mecha.



Fig. 2.2. Estopines eléctricos. Fuente: Internet

Los estopines eléctricos tienen una corriente mínima y otra de diseño, la primera es aquella a partir de la cual puede ser suficiente para detonar el estopín, y la segunda la corriente con la que se asegura la detonación del mismo. Como se muestra a continuación:

Tabla 2.1. Corriente de disparo mínima y de diseño.

ESTOPINES	CORRIENTE	
	MINIMA	PARA DISEÑO
INSTANTANEOS	0.3 A	2.0 A
DE TIEMPO	0.4 A	2.0 A

Fuente: Internet

2.3.4.2.2 Estopines Eléctricos Instantáneos.

Los estopines eléctricos instantáneos tienen una carga de ignición, una carga primaria y una carga detonante. Su casquillo es de aluminio y tienen dos alambres de cobre calibre 20 ó 22, generalmente uno rojo y el otro amarillo. Estos dos colores distintos son de gran ayuda al hacer las conexiones.

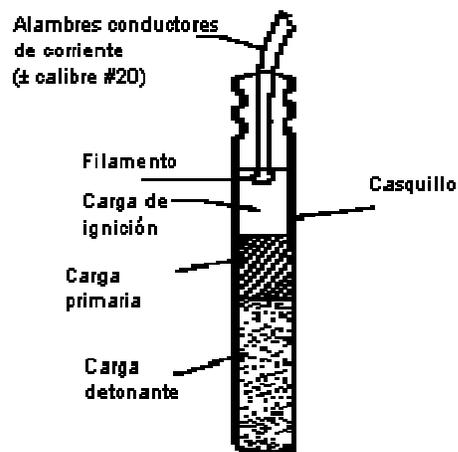


Fig. 2.3. Estructura de un estopín eléctrico instantáneo.

Fuente: Internet

2.3.4.2.3 Estopines Eléctricos De Retardo.

Los estopines eléctricos de retardo, también llamados de tiempo son similares a los instantáneos, con la diferencia que tienen colocados entre el filamento y la carga de detonación un elemento de retardo el cual contienen pólvora lenta.

Estos estopines tienen una etiqueta de color que muestra el número de período de retardo y que sirve para su identificación.

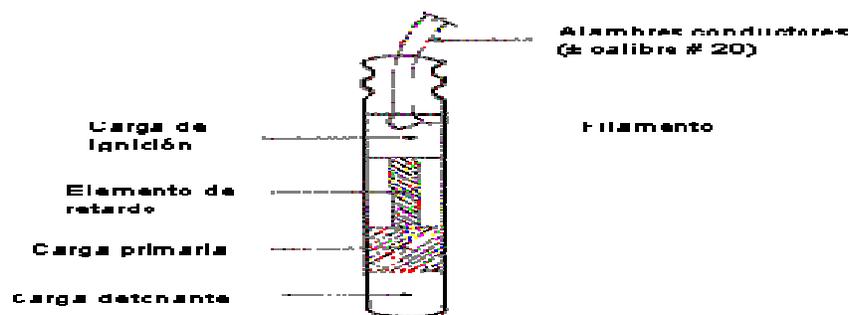


Fig. 2.4. Estructura de un estopín de tiempo. Fuente: Internet

2.3.4.2.3.1 Tipos de Estopines De Retardo.

2.3.4.2.3.1.1 Estopines De Retardo "MS".

Los estopines de retardo "MS" son los más ampliamente usados en canteras, trabajos a cielo abierto y proyectos de construcción. Se pueden obtener en diez períodos, cuyos números indican el tiempo en milésimas de segundo que tarda en producirse un disparo, a continuación se mencionan: MS-25, MS-50, MS-75, MS-100, MS-125, MS-150, MS-175, MS-200, MS-250, y MS-300.

2.3.4.2.3.1.2 Estopines De Retardo Mark V.

Los estopines de retardo Mark V se utilizan principalmente en trabajos subterráneos como túneles, galerías, pozos, etc. Se fabrican en diez períodos regulares de retardo: 0-25MS, 1-500MS, 2-1000MS, 3-1500MS, 4-2000MS, 5-3000MS, 6-3800MS, 7-4600MS, 8-5500MS Y 9-6400MS.

2.3.5 Guía de Seguridad.

Consiste en un pedazo de la guía ordinaria, de 3 pies de longitud, que sirve para control o como reloj, para chequear el tiempo.

2.3.6 Punzón Para Preparar El Cebo.

Instrumento utilizado para la compactación o confinamiento de una determinada carga explosiva dentro del barreno.

2.3.7 Atacador.

El diseño suele ser cilíndrico con superficies lisas y longitudes variables, terminando con una pieza troncocónica o cilíndrica de mayor diámetro usualmente los atacadores se usan de madera y otros materiales adecuados que no produzcan chispas o cargas eléctricas.

2.3.8 Cordón de Ignición o Mecha Rápida.

Es un accesorio de voladura denominado también mecha rápida, que está formado por una masa pirotécnica y dos alambres centrales, una de cobre y otro de hierro; este conjunto se encuentra cubierto por material plástico, con la finalidad de impermeabilizarlo.

2.4 Cara Libre.

Es el lugar hacia el cual se desplaza el material cuando es disparado, por la acción del explosivo.

2.5 Zonas de una voladura en túneles viales.

2.5.1 Cuele

Es la apertura de una cavidad inicial, destinada a crear una segunda cara libre de gran superficie para facilitar las siguientes roturas del resto de la sección.

2.5.2 Contracuele

Son las explosiones posteriores al cuele, que vienen dadas con un tiempo de retardo (milisegundos) entre una y otra para ir creando caras libres.

2.5.3 Destroza

Es la parte central y más amplia de la voladura.

2.5.4 Zapatera

Es la zona de la voladura situada en la base del frente, al ras de suelo

2.5.5 Contorno

Los contornos son muy importante porque de ello dependerá la forma perimetral de la excavación resultante.

2.6 Técnicas para efectuar barrenos perimetrales.

2.6.1 El Recorte.

Consiste en perforar un número importante de taladro paralelo al eje del túnel en el contorno, a la distancia conveniente (entre 45 cm y 100 cm) y con una concentración de explosivo pequeña e incluso nula.

2.6.2 El Precorte

Consiste en una perforación muy precisa que asegure un buen paralelismo y una homogénea separación entre los taladros. Perforando un mayor número de taladros perimetrales y paralelos entre sí a una distancia conveniente (entre 25 y 50 cm) con una concentración de carga explosiva entre 0,1 y 0,3 Kg/m.

2.7 Principales Objetivos De La Voladura

2.7.1 La Roca Debe Tener La Granulometría Deseada.

Se refiere a los tamaños de los fragmentos de rocas, muchas veces están limitados por ciertos factores tales como las clases y tamaño del equipo de excavación y acarreo o simplemente por el uso al que se va a destinar el material.

2.7.2 Consumo Mínimo De Explosivos Para Fracturar La Roca.

El tipo de explosivo a usar deberá ser aquel que tenga un menor costo por m³ de roca volada. Ya elegido el explosivo, se procurara el mínimo de explosivos en la carga de los barrenos que produzcan los resultados requeridos.

2.7.3 Mínima Barrenación Posible.

Se debe perseguir hacer una distribución adecuada de los barrenos procurando tener una longitud de barrenación mínima, lo que conducirá a ahorrar tiempo recursos influyendo también en la economía de la voladura.

2.7.4 Mínimas Proyecciones De Las Rocas.

No es más que el desprendimiento de fragmentos de rocas al aire libre, procedentes de la voladura. Es conveniente que las proyecciones de rocas sean mínimas, ya que pueden ocasionar daños.

2.7.5 Facturación Mínima De La Roca No Volada.

Debe evitarse lo más posible las fracturaciones de roca atrás de la línea de corte o proyecto.

2.8 Voladuras Especiales.

Se consideran voladuras especiales las siguientes:

- Grandes voladuras en las que la cantidad de explosivos disparados en la misma pega sea igual o superior a 500 kilogramos.
- Cuando estas voladuras se efectúen a cielo abierto y mediante barrenos igual o superior a 3 pulgadas, las autoridades competentes determinaran, en cada caso, la cantidad de explosivos que se desee disparar.
- Las que hayan de realizarse bajo columna de agua, tanto en cauces fluviales, en lagos naturales o artificiales, o en el mar.
- La demolición de edificios, estructuras en general o cimentaciones, las cuales, en función de su ubicación próxima a

núcleos habitados, de condicionantes del entorno o de su dificultad técnica, requerirán, salvo autorización expresa de la autoridad competente, un proyecto específico.

- Las voladuras cualesquiera que sea su tipo y la cantidad de explosivos a utilizar, que, por su proximidad, puedan llegar a afectar núcleos habitados, vías de comunicación, sistemas de transporte, presas y depósitos de agua y almacenamiento de materias peligrosas.
- Las voladuras próximas a centros de producción o transformación de energía eléctrica y redes de distribución, tanto de alta como de baja tensión.
- Las voladuras realizadas en las proximidades de emisoras de radio, televisión, radar o repetidores de radiofrecuencia.

2.9 Propiedades De Las Rocas.

Los materiales que constituyen los macizos rocosos poseen ciertas características físicas que son función de su origen y de los procesos geológicos posteriores que han actuado sobre ellos.

Dentro de estas propiedades tenemos las siguientes:

2.9.1 Densidad

Las densidades y resistencias de las rocas presentan normalmente una buena correlación. Las rocas de baja densidad se deforman y rompen con

facilidad, requiriendo un factor de energía relativamente bajo mientras que las densas precisan una mayor cantidad de energía para lograr una fragmentación satisfactoria así como un buen desplazamiento y esponjamiento.

2.9.2 Resistencias Dinámicas De Las Rocas

Las resistencias estáticas a compresión y a tracción se utilizaron en un principio como parámetros indicativos de la aptitud de la roca a la voladura. Así, se definió el índice de volatilidad como la relación RC/RT de modo que a un mayor valor resultaría más fácil fragmentar el material.

Cuando la intensidad de la onda de choque supera la resistencia dinámica a la compresión "RC" se produce una trituración de la roca circundante a las paredes del barreno por colapso de la estructura intercrystalina.

2.9.3 Porosidad

Estas comprenden dos tipos de porosidad:

2.9.3.1 La Intergranular O Deformación

2.9.3.2 La Disolución O Post-Formación.

Siendo la primera, cuya distribución en el macizo puede considerarse uniforme, provocando dos efectos:

- Atenuación de la energía de la onda de choque y reducción de la resistencia dinámica de la compresión y, consecuentemente, incremento de la trituración y porcentaje de finos.
- Mientras que la Post formación es la causada por los huecos y cavidades que resultan de la disolución del material rocoso o las aguas subterráneas (kars tificación). Los espacios vacíos son mucho mayores y su distribución es menos uniforme que la de la porosidad intergranular.

2.9.4 Fricción Interna

Como las rocas no constituyen un medio elástico, parte de la energía de la onda de tensión que se propaga a través de el se convierte en calor por diversos mecanismos. Estos mecanismos son conocidos como fricción interna o capacidad de amortización específica – SDC, que miden la disponibilidad de la roca para atenuar la onda de tensión generada por la detonación del explosivo.

2.9.5 Conductividad

Las fugas o derivaciones de corriente pueden ocurrir cuando las detonaciones se colocan dentro de los barrenos de rocas con cierta conductividad como por ejemplo los sulfuros complejos, magnetita, etc. Especialmente cuando las rocas son abrasivas y existe agua en el entorno de la pega se deben tomar unas ciertas previsiones que son las siguientes:

- Verificar que los cables de los detonadores disponen de aislamiento plástico en buen estado.

- Que todas las conexiones del circuito estén debidamente aisladas y protegidas. Para ello, se recomienda emplear conectores rápidos.
- La composición de la roca y las explosiones secundarias de polvo
- Las explosiones secundarias de polvo suelen producirse en minas de carbón y también de sulfuros metálicos, en áreas con alto contenido de piritas siendo cada día mas frecuente por la utilización de barrenos de gran diámetro.
- Las primeras cargas que se disparan en una voladura crean por un lado, una alta cantidad de finos que son lanzados a la atmósfera y por otro, remueven con las ondas aéreas y las vibraciones inducidas el polvo depositados en los hastiales y en el piso del hueco de las excavaciones.

2.10 Propiedades De Los Macizos Rocosos.

2.10.1 Litología.

Las voladuras en zonas donde se producen un cambio litológico brusco por ejemplo estéril y mineral y con una variación de las propiedades resistente de las rocas obliga a una reconsideración de diseño tomándose en cuenta dos casos:

- Esquemas iguales para los dos tipos de rocas y la variación de las cargas unitarias.
- Esquemas distintos pero con igual carga por barreno.

2.10.2 Fracturas Preexistentes.

Todas las rocas en la naturaleza presentan algún tipo de discontinuidad, micro fisuras y macro fisuras, que influyen de manera decisiva en las propiedades físicas y mecánicas de las rocas y consecuentemente en el resultado de la voladura.

2.10.3 Tensiones De Campo.

Cuando actúan las tensiones de campo residual, tectónicas y/o gravitacional (no hidrostática), el esquema de facturas generado alrededor de los barrenos puede estar influenciado por la concentración no uniforme de tensiones alrededor del mismo.

2.10.4 Presencia De Agua.

Las rocas porosas y los macizos intensamente fracturados cuando se encuentran saturados de agua presentan habitualmente ciertos problemas:

- Obligan a seleccionar explosivos no alterables por el agua.
- Producen la pérdida de barrenos por hundimientos internos.
- Dificultan la perforación inclinada.

- Por otro lado el agua afecta a las rocas y al macizo rocoso de la siguiente forma:
- Aumenta la velocidad de propagación de las ondas elásticas en terrenos porosos y agrietados.
- Reduce la resistencia de las rocas a compresión y a tracción al ser menor la fricción entre partículas.

2.10.5 Temperatura Del Macizo Rcoso.

Los yacimientos que contienen piritas suelen presentar problemas de alta temperatura de la roca por efecto de la oxidación lenta de este mineral, haciendo que los agentes explosivos del tipo ANFO reaccionen exotermicamente con la pirita.

La sensibilidad de los explosivos tipo hidrogel depende también de la temperatura de la roca con la que esta en contacto. Una recomendación general cuando se presentan estos problemas es la de limitar el numero de barrenos por voladuras, a fin de disminuir el tiempo que transcurre entre la carga y el disparo.

CAPITULO III

USO DE EXPLOSIVOS EN LA CONSTRUCCION DE TUNELES.

3.1 Tipos De Explosivos En La Construcción De Túneles.

Para la construcción de túneles viales se emplean diversos tipos explosivos de acuerdo a las características geológicas del terreno donde se va a construir el mismo, entre los que pueden mencionarse como los más utilizados a nivel general y que se encuentran con más frecuencia en el mercado son los siguientes:

- Dinamitas
- Geles (gel explosivo, straight gel, gel amoniacal, semigeles e hidrogeles).
- Agentes explosivos secos (ANFO).
- ANFO pesado.
- Lechadas explosivas.
- Emulsiones explosivas.

3.1.1 Clasificación De Los Explosivos En Cuanto A Su Densidad Y Velocidad De Detonación:

3.1.1.1 Explosivos De Alta Densidad Y Alta Velocidad De Detonación.

Los cuales son empleados en terrenos de gran dureza donde la roca es muy abrasiva, tenaz y se encuentra en su estado masivo, entre ellos tenemos:

- Geles (Gel explosivo, Straight Gel, Gel amoniacal, Semigeles, Hidrogeles)

- ANFO pesado.

- Dinamita amoniacal (alta densidad y velocidad).

3.1.1.2 Explosivos De Baja Densidad Y Baja Velocidad De Detonación

Los cuales son empleados en terrenos que cuentan con la presencia de rocas duras o semiduras, entre ellos tenemos:

- ANFO.
- Emulsiones explosivas.
- Dinamita amoniacal (baja densidad y velocidad).

3.1.2 CAVIM (Compañía Anónima Venezolana de Industrias Militares).

Cabe destacar que en Venezuela la empresa CAVIM (COMPAÑÍA ANONIMA VENEZOLANA DE INDUSTRIAS MILITARES), es la encargada del suministro, control y supervisión de los explosivos. Dicha institución en la actualidad cuenta únicamente para el suministro en nuestro país con los siguientes explosivos:

3.1.2.1 Anfo

Especificaciones:

Densidad: 0,70 - 0,82 cm²

Velocidad de detonación confinada: 3.400 m/s

Tabla 3.1 .Carga y diámetro de los barrenos.

Carga:

Diámetro del Barreno		Carga por m/l (kg)
Cm	Pulg.	
2.54	1	0.434
5.08	2	1.741
7.62	3	3.900
10.16	4	6.969
12.7	5	10.880
15.24	6	15.681

Fuente: CAVIM.

3.1.2.2 Anfoal

Es un agente de voladura a base de nitrato de amonio y aluminio. Se usa igualmente como ANFO, con la diferencia de que se pueden expandir los patrones de voladura en algunos casos.

Especificaciones:

Densidad: 0,88 – 0,92 g/cm³

3.1.2.3 Magnafrac Plus

Emulsión sensibilizada para voladuras a cielo abierto. No contiene nitroglicerina por lo tanto evita los trastornos por aso dilatación.

Tabla 3.2. Dimensión, densidad y velocidad de detonación.

	Mínimo	Máximo	Dimensiones
Densidad (kg/l)	1.13	1.15	2 ½" x 16"
Veloc. De Deton. (km/s)	4.7	5.5	3" x 16"
RWS	99		3 ½" x 16"
RBS	133		4 ½" x 16"
Resistencia al agua	Excelente		
Almacenaje	1 año		

Fuente: CAVIM.

3.1.2.4 Magnum

Emulsión sensibilizada para voladuras subterráneas, pozos y aplicaciones especiales compatibles con sistemas de carga neumática

Tabla 3.3. Dimensión, densidad y velocidad de detonación.

	Mínimo	Máximo	Dimensiones
Densidad (kg/1)	2	1.15	1" x 8"
Veloc. de Deton. (km/s)	3	5.5	¼" x 8"
RWS	116		1 ½" x 16"
RBS	170		2 ½" x 16"
Resistência al água	Excelente		
Almacenaje	1 año		

Fuente: CAVIM.

3.1.2.5 Booster De Pentolita Biodegradable "Geoprime": Petrolero

Diseñada para labores de prospección geofísica con tecnología de bioremediación.

Tabla 3.4. Dimensiones por peso.

Peso	Dimensiones
1/2kg	2.5" x 9.4" 63.5mm x 238.8mm
1kg	2.5" x 13.9" 63.5mm x 353mm
2kg	2.5" x 23" 63.5mm x 584mm

Fuente: CAVIM.

3.1.2.6 Booster De Pentolita Para Minería

Consiste en reforzadores para pentolitas 60/40 de alta presión de detonación

Tabla 3.5. Dimensiones por peso

Tipos	Dimensiones	PESO
6 LU	1 ½" X 4 ¾" 38 x 120mm	156g
12 LU	2" x 4 ¾" 50 x 120mm	340g
16 LU	2 ¼" x 4 ¾" 57 x 120mm	454g

Fuente: CAVIM.

3.1.3 Sistemas De Iniciación:

Detonador exel LP periodo (0-15) x 10 pies.

Detonador exel LP periodo (0-15) x 12 pies.

Detonador exel LP periodo (0-15) x 16 pies.

Detonador exel LP periodo (0-15) x 18 pies.

Detonador exel LP periodo (0-15) x 20 pies.

Detonador exel MS periodo (0-15) x 16 pies.

Detonador exel MS periodo (0-15) x 20 pies.

Detonador exel MS periodo (0-15) x 30 pies.

Detonador exel MS periodo (0-15) x 40 pies.

Detonador exel MS periodo (0-15) x 50 pies.

Detonador exel MS periodo (0-15) x 60 pies.

Detonador exel MS periodo (0-15) x 70 pies.

Detonador exel MS periodo (0-15) x 80 pies.
Detonador exel MS periodo (0-15) x 90 pies.
Detonador exel MS periodo (0-15) x 100 pies.
Conector exel TD (17, 25, 42, 75, 100, 150, 200) ms x 10 pies.
Conector exel TD (17, 25, 42, 75, 100, 150, 200) ms x 20 pies.
Conector exel TD (17, 25, 42, 75, 100, 150, 200) ms x 30 pies.
Conector exel TD (17, 25, 42, 75, 100, 150, 200) ms x 40 pies.
Conector exel MS conector (17, 25, 42, 50) ms, 2 pies.
Detonador exel HANDIDET (17, 25, 42)/(350,500,700,1000) x 20 pies.
Detonador exel HANDIDET (17, 25, 42)/(350,500,700,1000) x 30 pies.
Detonador exel HANDIDET (17, 25, 42)/(350,500,700,1000) x 40 pies.
Detonador exel HANDIDET (17, 25, 42)/(350,500,700,1000) x 50 pies.
Detonador exel HANDIDET (17, 25, 42)/(350,500,700,1000) x 60 pies.
Detonador exel HANDIDET (17, 25, 42)/(350,500,700,1000) x 70 pies.
Detonador exel HANDIDET (17, 25, 42)/(350,500,700,1000) x 80 pies.
Detonador exel HANDIDET (17, 25, 42)/(350,500,700,1000) x 90 pies.
Detonador exel HANDIDET (17, 25, 42)/(350,500,700,1000) x 100 pies.
Conector exel CONECTADET (17, 25, 42, 75, 100, 150, 200) x 14 pies.
Conector exel CONECTADET (17, 25, 42, 75, 100, 150, 200) x 20 pies.
Conector exel CONECTADET (17, 25, 42, 75, 100, 150, 200) x 30 pies.
Conector exel CONECTADET (17, 25, 42, 75, 100, 150, 200) x 40 pies.
Conector exel TD (0)ms x 2.500 pies.
Detonador eléctrico sísmico insensible x 10 m.
Detonador eléctrico sísmico insensible x 12 m.
Detonador eléctrico sísmico insensible x 16 m.
Detonador eléctrico sísmico insensible x 18 m.
Detonador eléctrico sísmico insensible x 22m.
Booster minero pentex (150 gramos).
Booster minero pentex (225 gramos).

Booster minero pentex (450 gramos).

Booster sismico geoprime 1kg.

Booster sismico geoprime 0.5kg.

Booster sismico geoprime 155 gr.

3.1.4 Emulsión Encartuchada

Emulsión senatel magnafrac (25x200) x caja 25 kg.

Emulsión senatel magnafrac (22x200) x caja 25 kg.

Emulsion senatel magnafrac (40x200) x caja 25 kg.

Emulsion senatel magnafrac (40x400) x caja 25 kg.

Emulsion senatel magnafrac (65x400) x caja 25 kg.

Emulsion senatel magnafrac (75x400) x caja 25 kg.

Emulsion senatel magnafrac (115x400) x caja 25 kg.

Emulsion senatel magnum (25x200) x caja 25 kg.

Emulsion senatel magnum (32x200) x caja 25 kg.

Emulsion senatel magnum (40x200) x caja 25 kg.

Emulsion senatel magnum (40x400) x caja 25 kg.

Emulsion senatel magnum (65x400) x caja 25 kg.

Emulsion senatel powershear (25x400) x caja 25 kg.

3.1.5 Explosivos A Granel

ANFO emulsión a granel fortis coal/fortis advantage.

3.2 Viabilidad Del Uso De Explosivos En La Construcción De Túneles.

En zonas donde un estudio previo del suelo arrojó como resultado la presencia de rocas en su estado masivo, donde el proceso de excavación

por vía mecánica no brinda un rendimiento adecuado con respecto, al avance de la excavación del túnel. En comparación al progreso que se obtiene empleando el método de excavación con voladura el cual es el único que ofrece los resultados deseados para lo que es el avance del proyecto ya que el proceso de excavación mecánica en este caso es nulo, por lo que la viabilidad del proceso de excavación con voladura es del 100% en cuanto a la ejecución del proyecto ya que no hay otra forma tan eficiente que arroje unos mejores resultados.

A continuación se hará referencia de una serie de antecedentes donde se demuestra la viabilidad del uso de explosivos en la construcción de túneles viales:

3.2.1 Represa De Bocono En El Estado Portuguesa, Venezuela.

Las siguientes especificaciones fueron las utilizadas en la excavación del túnel circular para el desvío del caudal de agua, lo cual hizo posible el proceso de construcción de la represa para asegurar de esta manera el abastecimiento de agua de dicha zona; donde los resultados de las voladuras obtenidas fueron del 100% ya que por la presencia de rocas duras se hizo imposible el método de excavación por vía mecánica.

Diagrama de perforación para un túnel circular de 6,80 m de diámetro.

Especificaciones del procedimiento de voladura:

- Largo del hueco (profundidad del barreno)= 2,40 m
- Numero de huecos excavados= 76
- Numero de fulminantes utilizados= 76

- numero de dinamitas empleadas por hueco= 5 pastas (cartuchos)
- Numero de dinamitas empleadas por disparo= 380 pastas (cartuchos)
- Peso de cada cartucho de dinamita= 0, 208 Kg
- Kilogramos de dinamitas empleadas por disparo= 79,04 Kg
- Metros cúbicos fragmentados por disparo= 89,74 m³
- Kilogramo de dinamita gastada por m³= 0,88 Kg
- Kilogramo de dinamita gastado por un m de avance= 32,93 Kg

continuación se muestra el siguiente esquema de perforación:

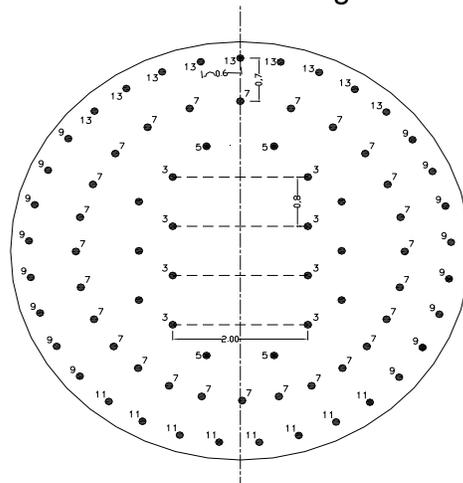


Figura: 3.1. Diagrama de perforación para túnel circular de 6,80 m.

Fuente: propia.

3.2.2 Construcción De Túneles Paralelos En San Cristóbal, Santiago De Chile.

Especificaciones y detalle del procedimiento de ejecución de los túneles.

El túnel San Cristóbal unirá las comunas del norte de Santiago de Chile (Huechuraba y Recoleta) con Providencia y Las Condes. Se trata de una

conexión vial que incluye un túnel de 1,8 km bajo el Cerro San Cristóbal y la ejecución de 2,2 kilómetros de conexiones al nudo vial Américo Vespucio-El Salto, al de Kennedy-Lo Saldes, y a la Avenida El Cerro, totalizando 4 kilómetros de extensión. El proyecto forma parte de la variante Américo Vespucio-El Salto-Kennedy adjudicada a la concesionaria Sociedad Concesionaria Túnel San Cristóbal S.A. en noviembre de 2004.

El túnel de San Cristóbal consta de dos túneles de dos carriles cada uno, de 3,5 m de ancho con mediana de ancho variable y bermas de 1,5 metros, ambos en sentido unidireccional, con restricciones de trazado para una velocidad de proyecto de 80 km/hora, con una pendiente longitudinal de 2,5%.

3.2.2.1 Diseño Estructural Activo De Los Túneles Paralelos

Para la construcción de los dos túneles unidireccionales, que totalizan 3.656 metros, se utilizó la metodología del Diseño Estructural Activo (DEA), que básicamente considera el empleo de cálculos tenso- deformacionales sumamente afinados. Éstos se retroalimentan durante la construcción, por medidas de convergencias para comprobar y mejorar las previsiones de cálculo. Los principios del DEA se sustentan en un buen conocimiento de las características del terreno, utilizando para ello la clasificación de Bieniawski para estimar las propiedades del macizo.

3.2.2.2 Geología Del Terreno Excavado En La Construcción De Los Túneles Paralelos

El sistema de excavación (mediante explosivos, mecanizada o mixta), los avances en metros y la tipología de los sostenimientos utilizados en la

construcción del túnel, varía según el tipo de roca que presenta el macizo. Entonces, el primer paso consistió en el análisis del tipo de material que compone la geología del Cerro San Cristóbal. Se detectó una sucesión de andesitas, tobas y brechas volcánicas, rocas intrusivas, depósitos cuaternarios no consolidados (suelo), depósitos aluviales, depósitos de falda y de fondo de quebrada. Entre las conclusiones sobresale que el lado norte (Américo Vespucio) y el sur (El Cerro) presentan notables diferencias en la composición rocosa. A través de sondeos y estudios geoelectrónicos se evaluó la calidad de la roca que varía según su humedad, resistencia a la compresión y fractura. En el norte las rocas tienen gran consistencia, mientras en el sur predominan los elementos fracturados con depósitos con material de baja calidad

3.2.2.3 Los Jumbos Sandvik Utilizados En La Construcción De Los Túneles Paralelos.

El detallado estudio del terreno y aplicación de nuevas tecnologías permitieron un rápido avance en la construcción del túnel San Cristóbal. La rapidez en la construcción se explica por la utilización en perforación de tecnología de punta como jumbos de perforación subterránea y la aplicación de sistemas en base a explosivos, mecánicos y mixtos, según las características del terreno.

Para el proyecto del túnel San Cristóbal, se adquirieron tres maquinarias de perforación Sandvik, dos de las cuales son Axera T11 y un Paramatic H 205-90. Su operación es completamente computacional. Se cargan en su memoria los diagramas de barrenos y éstos se ejecutan en forma perfecta. No hay margen de error por acción humana. En caso de existir alguna modificación de último momento, el operador puede intervenir

el programa. Sus tres brazos logran perforaciones impecables, es una maquinaria silenciosa, cuenta con avanzados programas computacionales, posee poderosas perforadoras hidráulicas y requiere un solo operador. Los diagramas promedio por voladura son de 100 barrenos de 4 m de largo. Esta faena el jumbo la ejecuta en una hora y media. El rendimiento de este equipo explica en buena parte los niveles de avance que alcanza la obra, con unos 8 m diarios, a través de dos voladuras cada 24 horas. Estos resultados se han obtenido en el lado norte, superando las expectativas originales.

Se utilizó un jumbo Axera T11 por portal cubriendo los dos frentes de ataque. Se han realizado dos disparos por día en cada frente en promedio, y cada jumbo debía atender a los dos frentes de ataque por portal. Los ciclos de perforación eran de aproximadamente tres horas. Para dar cumplimiento a las necesidades de perforación se requerían 12 horas efectivas de jumbo por día aproximadamente. El tercer jumbo, el H 205-90, realiza colocación de pernos de sostenimiento en taludes exteriores y de reserva en caso de problemas de los equipos principales, que en realidad han sido mínimos.

3.2.2.4 Explosivos Utilizados En La Construcción De Los Túneles Paralelos.

Se definieron dos sistemas de excavación para los túneles. En el sector sur, se construyó principalmente de manera mecánica empleando martillo hidráulico y pala excavadora. Se fortificaba el túnel con cerchas metálicas TH-29 y gunita. Este método fue aplicado hasta alcanzar roca de mejor calidad que permitiera el uso de explosivos y fortificación con pernos y gunita. En cambio, en el lado norte por la mayor consistencia del macizo, se utilizaba excavación con explosivos. Se aplicaron diagramas de disparo a sección completa (70 m²) con 96 a 102 barrenos y avances de perforación

desde 1,8 a 4,6 m dependiendo de las restricciones de ruido a generar, calidad de la roca y Cercanía a fallas.

El explosivo consiste en una emulsión PDBG para la carga de columna, más Tronex Plus de Enaex como carga de fondo y Softron para el recorte. Se empleaban tres tipos de detonadores según la voladura. Para la explosión estándar se usaban los detonadores Nonel serie MS y LP, más cordón detonante y mecha compuesta (sin restricción de ruido y vibraciones). Para voladura controlada se aplicaban los Nonel EZTL más cordón detonante y mecha compuesta (restricción de vibraciones) con descarga barreno a barreno. Por último, para explosión silenciosa se utilizaban los Nonel EZTL más racimos de tubos de iniciación Nonel y mecha compuesta (restricción de ruidos).

El explosivo Tronex Plus ha sido usado en especial en el sector norte de la obra, donde los especialistas encontraron macizos de roca de gran consistencia. Una carga de Tronex Plus puede abrir boquetes en paredes de 30 a 40 centímetros de grosor. Se trata de un explosivo tipo dinamita-semigelatina. Se le califica como de alto rendimiento, muy versátil y con alto estándar de seguridad cuando lo manejan expertos. No obstante, por contener nitroglicerina, puede convertirse en un elemento de suma inestabilidad si no se cumplen altas normas de almacenamiento.

Se empleaban tres detonadores distintos, porque una de los grandes desafíos de esta obra consistía en disminuir el impacto acústico. Las emulsiones son similares, la diferencia radica en los detonadores y por eso las constructoras probaron todas las tecnologías disponibles para realizar con eficiencia las faenas pero también para disminuir el nivel de ruido

En el sector norte las zonas residenciales cercanas a la obra son Bosques de La Pirámide (1.600 m) y El Salto (700 m), además del parque industrial de Huechuraba a 600 metros. Inicialmente se restringieron las voladuras a horario diurno y con menor intensidad. A medida que se avanzó con la ejecución del túnel se pudo aumentar la carga de explosivos, para finalmente hacer voladura sin restricción. No obstante se realizaron restricciones de horarios para no causar una mayor molestia a los vecinos en la noche, porque la disminución del ruido de fondo provoca un aumento en la percepción de la voladura

3.2.3 Construcción De Un Túnel Vial En Ciudad Calera, Chile

Las siguientes especificaciones fueron las utilizadas en la excavación del túnel vial; que cuenta con una sección de diseño de 16 m² donde los resultados de las voladuras obtenidas fueron del 100% ya que por la presencia de rocas duras se hizo imposible el método de excavación por vía mecánica.

Diagrama de perforación para un túnel vial con una sección de 16 m².
Frente (A-A')

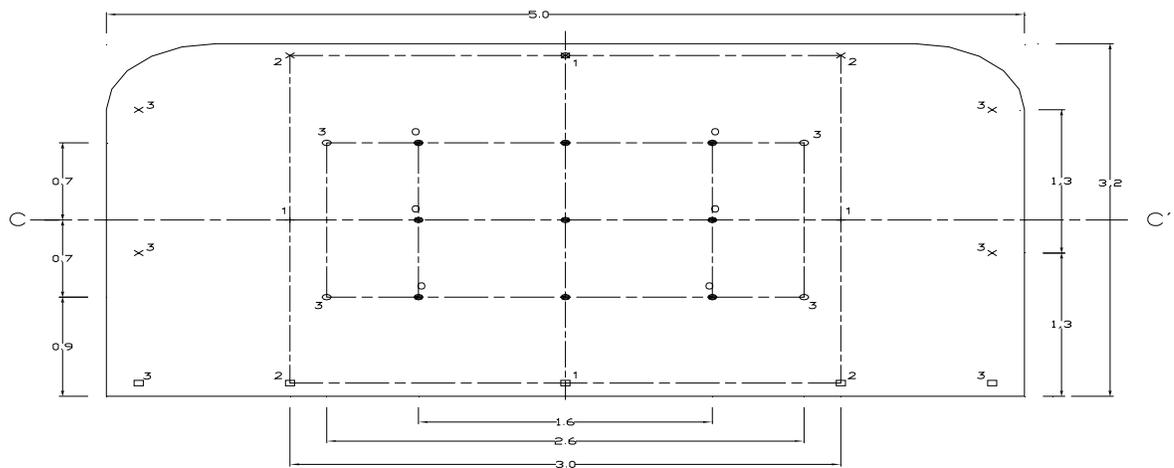


Fig. 3.2. Diagrama de disparo Jumbo. Fuente: propia.

Frente (B-B')

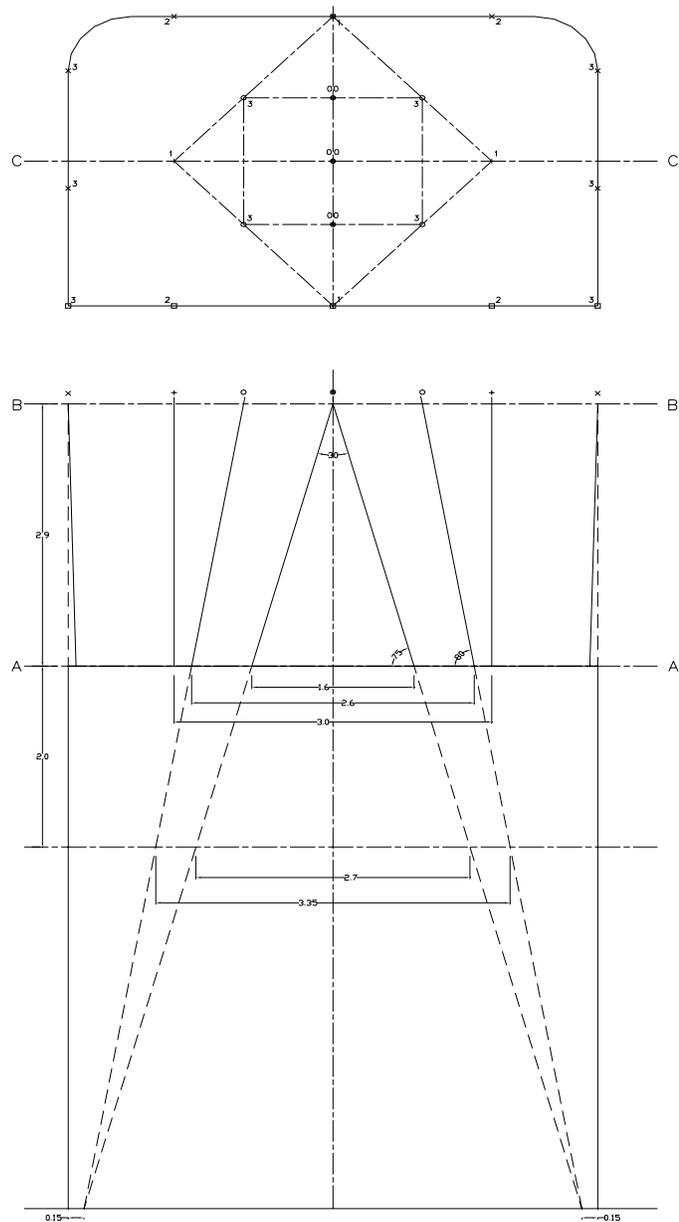


Fig. 3.3. Diagrama de disparo Jumbo. Fuente: propia.

Especificaciones del procedimiento de voladura:

CARACTERISTICA-DISPARO.

Sección excavada: $5.0 \times 3.2 = 16.0 \text{ m}^2$

Avance Máximo= 2.9 m

Toneladas por Disparo= 125 toneladas

Diámetro de Perforación= 2"

Nº de tiros= 24

Longitud-Tiros= 3,05

Metros perforados= 73.2 m

Rendimiento de perforación= 1.7 Tons/m. perf

Rendimiento de perforación = 43.1 Tons/m avance

Explosivo= 133.7 Kgs

Rendimiento del explosivo= 1.071 Kgs/Ton

Rendimiento del explosivo=1.83 Kgs/m perf.

Rendimiento del explosivo= 46.1 Kgs/m Avance

FULMINANTES

Todos los barrenos con fulminante al fondo, menos las zapateras, que llevan uno al fondo y otro al taco.

Barrenos= fulminantes milisegundos

Resto-Barreno= fulminante corrientes

Milisegundos

0: 6 fulminantes

___4_ fulminantes___

S. total 10 fulminantes

Corrientes

1: 5 fulminantes

2: 6 fulminantes

3: 8 fulminantes_____

S. total 19 fulminantes

Milisegundos: 10 fulminantes

Corrientes: _19 fulminantes__

29 fulminantes

EXPLOSIVOS.

Taco: 0,40 m

Carga de fondo: A.P.D. 125

A.G. 80% 1 3/4" x 8"

Todos los tiros con 1 A.P.D. y la cantidad indicada de cartuchos al fondo, menos las zapateras que llevan 3 cartuchos al fondo y 3 cartuchos al taco.

Resto de carga: sancar

Tabla 3.6. Cantidad de explosivo utilizado

	Explosivos/barreno			Explosivo total	
	A.G. Cart.	Sancar M	Barrenos #	A.G. Cart	Sancar M
Rainura	3	2.0	6	18	12.0
A y da	3	2.0	4	12	8.0
Corona	3	2.0	1	3	2.0
central					
Zapateras	6	1.4	5	30	7.0
Ayudas	1	2.4	2	2	4.8
Contorno	1	2.4	6	6	14.4
			24	71	48.2

Fuente: Cavim

A.G. : 71 x 0.41= 29.1 Kgs

A.P.D. : 24 x 0.15= 3.6 Kgs

Sancar : $48.2 \times 2.1 = 101.0$ Kgs_
133.7 Kgs

Cabe destacar que para la excavación de túneles, en terrenos donde exista la presencia de rocas de gran dureza y que se encuentren en su estado masivo, la única forma posible para avanzar en dicha construcción, es mediante el uso del proceso de voladura ya que este es mas viable con respecto a la puesta en practica del proceso de excavación mecánica.

3.3 Uso De Los Explosivos Para El Mejor Rendimiento En La Construcción De Túneles.

Cabe resaltar que el rendimiento de los explosivos en el proceso de voladura va asociado a los métodos de colocación de los barrenos, en cuanto a la distancia entre uno y otro y el retardo de explosión entre cada carga explosiva para de esta manera producir mas caras libres y obtener el mayor avance posible que a su vez se traduzca en un máximo rendimiento.

3.3.1 Cuele En Paralelo (Cuele De Barrenos Paralelos).

Cuele y contra cuele

La distancia entre el barreno central de expansión y los barrenos de la primera sección, no debe exceder de "1,17 D2" para obtener una fragmentación y salida satisfactoria de la roca para producir un mejor rendimiento. Como se muestra a continuación:

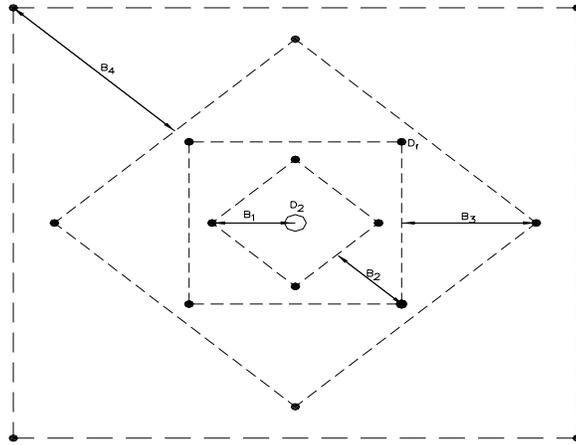


Fig. 3.4. Cuele de cuatro secciones.

Fuente: Manual de perforación y voladuras de rocas [2].

Las condiciones de fragmentación varían mucho, dependiendo del tipo de explosivo, característica de la roca y distancia entre el barreno cargado y el vacío. La secuencia de voladura va a comprender tres fases:

- En la primera son disparados casi simultáneamente los taladros de arranque para crear la cavidad cilíndrica.
- En la segunda los taladros de ayuda del núcleo rompen por colapso hacia el eje del hueco central a lo largo de toda su longitud ampliando casi al máximo de su diseño la excavación del túnel, tanto hacia los lados como hacia el fondo.
- Por último salen los taladros de la periferia (alza, cuadradores y arrastres del piso) perfilando el túnel con una acción de descoste.

3.3.2 Cuele En Diagonal O En Ángulo

Cuele en "V" o en cuñas

En este tipo de corte los avances que se consiguen oscilan entre el 45 y el 50% del ancho del túnel. En túneles anchos, estos avances se ven afectados por la desviación de los barrenos, que generalmente es del orden de los 5 %, lo cual puede causar problema de detonación por simpatía con otras caras próximas.

El ángulo del vértice interior de la cuña no debe ser inferior al 60% pues de lo contrario las cargas estarían muy confinadas y se precisaría mayor cantidad de explosivo para obtener una buena fragmentación y a su vez un mayor rendimiento. Como se muestra a continuación:

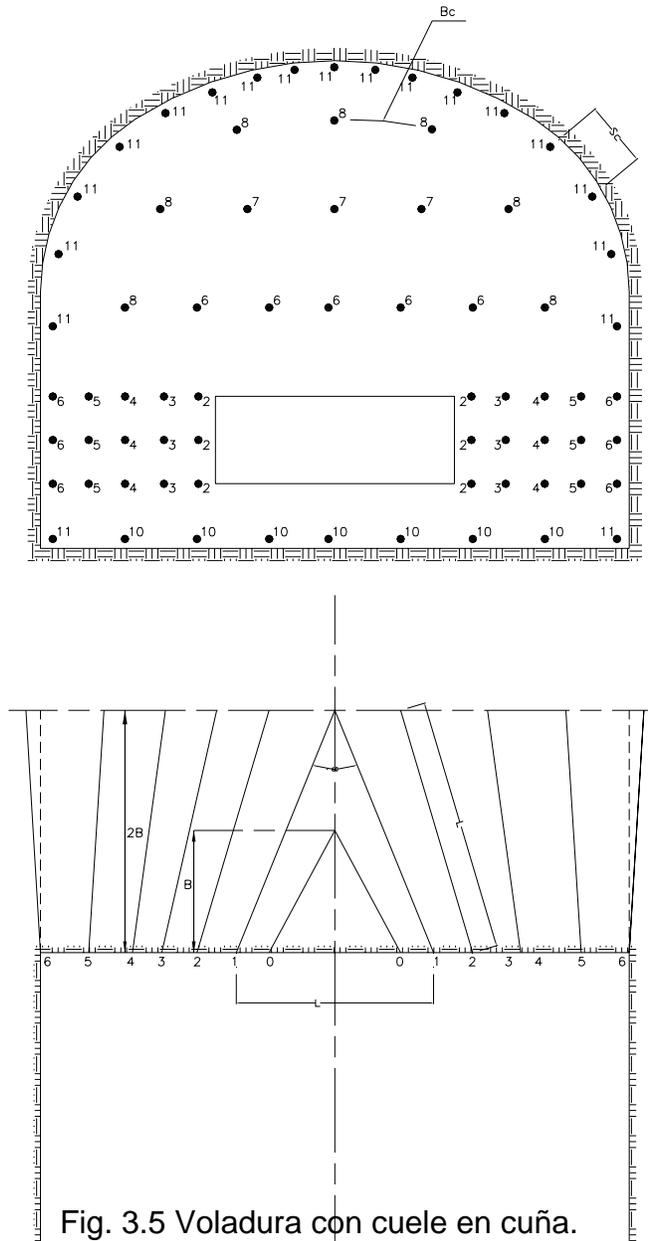


Fig. 3.5 Voladura con cuele en cuña.

Fuente: Manual de perforación y voladuras de rocas [2].

3.3.3 Cuele Quemado

En estos cueles todos los barrenos se perforan paralelos y con el mismo diámetro. Algunos se cargan con una gran cantidad de explosivos mientras que otros se dejan vacíos actuando como caras libres para la acción de los taladros con carga explosiva cuando detonan. Al ser tan

elevadas las concentraciones de carga, la roca fragmentada se sinteriza en la parte profunda del cuele. Como se muestra a continuación:

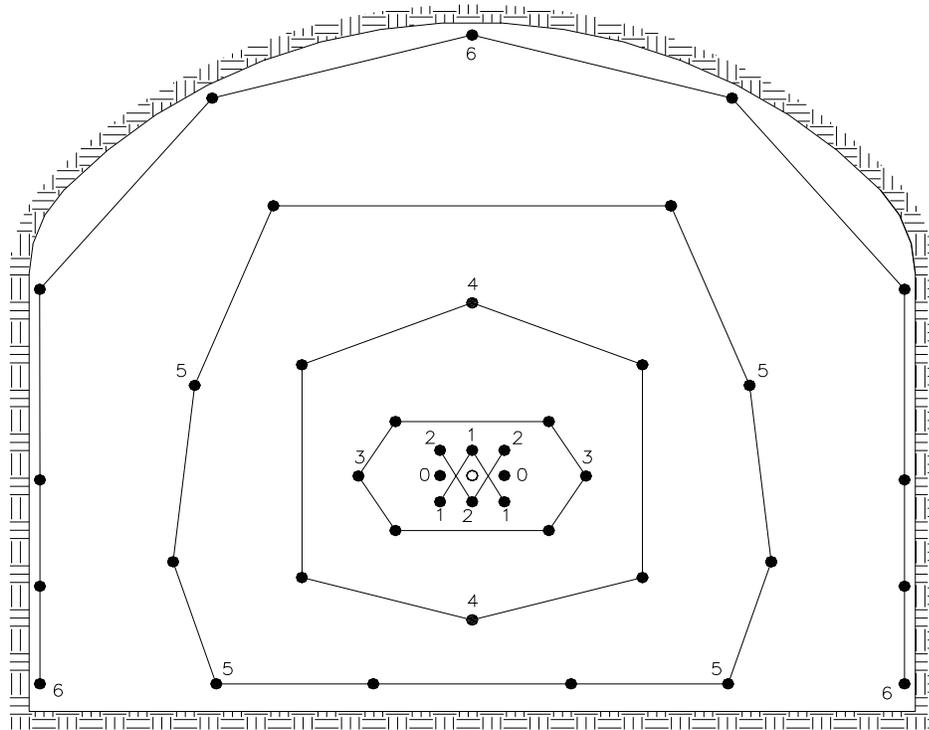


Fig. 3.6. Cuele quemado

Fuente: Manual de perforación y voladuras de rocas [2].

Vale la pena mencionar que el método de avance que genera mayor rendimiento en la ejecución de un túnel es el del cuele en paralelo o vertical (mas utilizado en Venezuela tanto en túneles ferroviarios y viales); mientras que el de cuele en “V” ofrece un menor rendimiento por lo que ha mermado su uso porque implica una gran laboriosidad en la perforación de los barrenos.

El procedimiento más idóneo en sistema de avance para la voladura en túneles va a consistir en dividir el túnel en dos partes, una superior o bóveda y otra inferior en banco o de destroza. La bóveda se excava como si se tratara de una galería y la destroza, que iría retrasada con respecto al avance de la bóveda, se lleva a cabo por banqueo. Ya que el banqueo horizontal permite la utilización del mismo equipo de perforación que se este empleando en dicha construcción. Cuando la calidad de la roca es mala es preciso, por lo general, dividir el túnel en varias secciones más pequeñas. Una de las técnicas que se emplean para este tipo es la de abrir en la bóveda una galería piloto con una o dos destrozas laterales. Como se muestra a continuación:

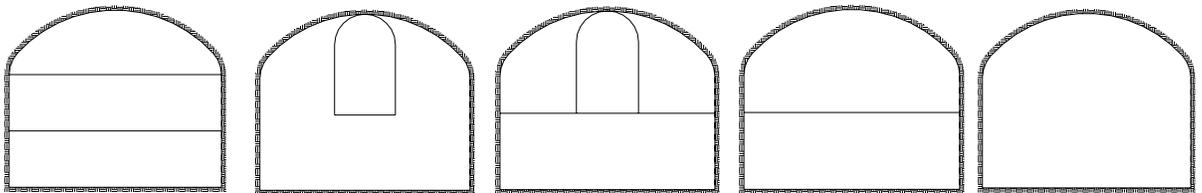


Fig. 3.7. Sistema de avance en la excavación de túneles y galerías.
Fuente: Manual de perforación y voladuras de rocas [2].

CAPITULO IV

COMENTARIOS FINALES

COMENTARIOS FINALES

1.-El proceso de voladura se emplea en rocas muy duras y cuando están en su estado masivo.

2.-Se debe realizar un estudio con previa antelación de las propiedades del tipo de suelo y del macizo rocoso que se desee fragmentar.

3.-Elegir el explosivo adecuado para determinada voladura, siempre tomando como punto de referencia las propiedades de la roca que se deseen fragmentar y de los explosivos disponibles en el mercado de manera de obtener un mayor rendimiento.

4.-A mayor diámetro de la sección del túnel se obtiene un mayor avance en la excavación del mismo.

5.-Se debe contar con una buena inclinación de los barrenos, dependiendo del tipo de roca y de donde se lleve acabo la voladura bien sea en lugares a cielo abierto o en espacios confinados.

6.-Realizar un adecuado espaciamiento entre los barrenos para obtener un buen rendimiento en el proceso de voladura para a su vez alcanzar el grado de fragmentación deseado en la roca.

7.-En túneles cortos pueden excavarse con perforación y voladura a sección completa, pero en túneles largos se utiliza la excavación por fase ya que la sección resulta demasiado grande para realizarlo a sección completa.

8.-Considerar el consumo mínimo de explosivo para fracturar la roca, partiendo del menor costo por metro cúbico de roca volada.

9.-Procurar la mínima expulsión de partícula de roca y polvo al aire libre, proveniente del proceso de voladura ya que pueden provocar daños a terceros.

BIBLIOGRAFIA

1. Túneles y obras subterráneas, editores técnicos asociados, S.A. Barcelona, España 1.972, (Jacques Veschamps) pag 342-344
2. Manual de perforación y voladuras de rocas, instituto geológico y minero de España, año 1.987, (EPM), estudios y proyectos mineros año 1.987
3. Manual del ingeniero civil, Frederick S. Merritt, editorial Mcgraw'Hill, tercera edición, tomo IV, año 1.992
4. www.mypfundaciones.com/index.php?5=perforacion=08
5. www.mypfundaciones.com/index.php?5=perforacion=&ss=06
6. www.mypfundaciones.com/index.php?5=perforacion=&ss=11
7. <http://arquitectuba.com.ar/diccionario-arquitectura-construccion/explosivo/>
8. http://www.revistabit.cl/body_articulo.asp?ID_articulo=1343

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

TÍTULO	“ESTUDIOS DE LA FACTIBILIDAD DEL USO DE EXPLOSIVOS EN LA CONSTRUCCION DE TUNELES VIALES”
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
RODRIGUEZ T. PEDRO M.	CVLAC: 14.633.482 EMAIL:concreto_pedro@hotmail.com
REINALDO R. GONZALEZ B..	CVLAC: 15.879.675 EMAIL:reinaldogonzalez14@gmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

- Voladura
- Explosivos
- Tuneles
- Excavacion

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS	INGENIERÍA CIVIL

RESUMEN

El método de perforación con voladura, es el más utilizado para túneles en roca y el único posible cuando la roca es muy abrasiva, muy resistente o se encuentra en estado masivo. Básicamente consiste en efectuar unos taladros en el frente de excavación, cargarlos con explosivos y hacerlos detonar. La reacción explosiva genera una energía en forma de presión de gases y energía de vibración, capaz de quebrantar la estructura de la roca.

Puesto que el uso del método de perforación con voladura para la excavación de túneles, se debe tomar con toda seriedad, eligiendo en todo momento el explosivo mas idóneo siempre tomando como punto de referencia la densidad y velocidad de detonación que estos tengan, las características de la roca y condiciones del suelo; ya que se cuenta con una serie de explosivos de diferentes poder de detonación en el mercado. La ejecución del proceso de voladura contará con la aprobación y supervisión de la empresa CAVIM que es la encargada de regir dicha materia.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:
CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / EMAIL				
	ROL	CA	AS (X)	TU	JU
Ing. Esteban Hidalgo	CVLAC:	12.575.113			
	E_MAIL	Ehidalgo21@hotmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU (X)
Ing. Luís González	CVLAC:	8.307.130			
	E_MAIL	lbggonzalez@cantv.net			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU (X)
Ing. Belkis Sebastiani	CVLAC:	4.363.990			
	E_MAIL	belkysebastiani@hotmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU (X)
Ing. Enrique Montejo	CVLAC:	8.279.503			
	E_MAIL	emontejo@cantv.net			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU (X)

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

AÑO MES DIA

2.008 10 16

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:
ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS.USODEEXPLOSIVOS.DOC	APPLICATION/MSWORD

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F
G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t
u v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: USODEEXPLOSIVO. UNIVERSIDAD DE ORIENTE.
(OPCIONAL)

TEMPORAL: Siete Meses (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

INGENIERO CIVIL

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

PREGRADO

ÁREA DE ESTUDIO:

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

INSTITUCIÓN:

UNIVERSIDAD DE ORIENTE/ NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

De acuerdo al Artículo 57 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“PARA LA APROBACIÓN DEFINITIVA DE LOS CURSOS ESPECIALES DE GRADO COMO MODALIDAD DE TRABAJO DE GRADO, SERÁ REQUISITO PARCIAL LA ENTREGA A UN JURADO CALIFICADOR, DE UNA MONOGRAFÍA EN LA CUAL SE PROFUNDICE EN UNO O MAS TEMAS RELACIONADOS CON EL ÁREA DE CONCENTRACIÓN”

Rodríguez, Pedro

AUTOR

González, Reinaldo

AUTOR

Hidalgo, Esteban

TUTOR

González, Luís

JURADO

Sebastiani, Belkis

JURADO

Montejo, Enrique

JURADO

POR LA SUBCOMISION DE TESIS

YASSER SAAB