

087(418)C
MFN: 1498

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

“USO DE EXPLOSIVOS
EN LA EXCAVACION DE TUNELES”



TESIS

Presentada a la Junta Directiva

de la

Facultad de Ingeniería

de la

Universidad de San Carlos de Guatemala

POR:

CARLOS HUMBERTO SUCHINI PAIZ

al conferírsele el título de

INGENIERO CIVIL

Guatemala, Noviembre de 1976.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

**JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Decano: Ing. Raúl Molina Mejía
Vocal Primero: Ing. Julio Campos P.
Vocal Segundo: Ing. Roberto Barrios
Vocal Tercero: Ing. Leonel Aguilar G.
Vocal Cuarto: Br. Jorge Guzmán B.
Vocal Quinto: Br. Alejandro Berganza R.
Secretario: Ing. Carlos E. Cabrera G.

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO**

Decano: Ing. Hugo Quan Má
Examinador: Ing. José Luis Robles
Examinador: Ing. Eduardo Molina
Examinador: Ing. César Fernández
Secretario: Ing. Manuel Angel Castillo

TESIS DE REFERENCIA
NO
SE PUEDE SACAR DE LA BIBLIOTECA
BIBLIOTECA CENTRAL - USAC

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR:

Cumpliendo con lo reglamentado por la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, mi trabajo de tesis, titulado:

**“USO DE EXPLOSIVOS EN LA
EXCAVACION DE TUNELES”**

tema que me fuera asignado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería.

ACTO QUE DEDICO:

A DIOS

A MIS PADRES:

Ricardo Suchini López
Etelvina Paiz Sandoval

A MIS TIOS

EN GENERAL, ESPECIALMENTE: Servelio Sandoval Paiz

A MIS HERMANOS:

Emma Alicia, Héctor Hugo, Osvaldo,
César Leonel, Nineth Amaly,
Ricardo Otoniel, Vilma Aracely

A MI ESPOSA:

Sandra Elizabeth Paredes de Suchini

A LAS FAMILIAS:

Suárez Guerra, Dávila Calderón,
Hernández Samayoa, Arévalo Alvizú, Paredes de León

A MIS COMPAÑEROS Y

AMIGOS EN GENERAL, ESPECIALMENTE:

Ing. Carlos Hernández
Ing. Miguel Angel Dávila
Ing. Hugo Dagoberto Vásquez

A la Unidad Ejecutora de Saneamiento de la Ciudad de Guatemala, Municipalidad de Guatemala.

A la Facultad de Ingeniería.

Al Instituto Nacional para Varones de Oriente (I.N.V.O.)

SUMARIO:

1. INTRODUCCION
2. ESTRATIGRAFIA ENCONTRADA AL EXCAVAR UN TUNEL
3. GENERALIDADES DE LOS EXPLOSIVOS
4. DISPOSITIVOS DE INICIACION
5. CIRCUITOS DE VOLADURA
6. METODOLOGIA DEL USO DE EXPLOSIVOS EN TUNELES
7. RENDIMIENTOS DE AVANCES CON EXPLOSIVOS
8. MEDIDAS DE SEGURIDAD EN MANEJO Y USO DE EXPLOSIVOS
9. FACTORES EXTERIORES QUE AFECTAN A UN TUNEL AL EXCAVARSE POR MEDIO DE EXPLOSIVOS
10. RECOMENDACIONES
11. CONCLUSIONES
12. BIBLIOGRAFIA

I. INTRODUCCION

La construcción de túneles debió haber sido una de las primeras obras del hombre; es muy posible que los túneles naturales y otros accidentes producidos por la acción del agua, dieran al hombre primitivo, la idea de abrirse paso artificialmente a través de las rocas, arcillas, arenas, etc. Cualquiera que hubiera sido la inspiración; las viviendas y templos subterráneos, que fueron los primeros túneles; se hallan en muchas de las civilizaciones estudiadas en estos últimos años. Los tramos excavados bajo tierra fueron utilizados muy pronto con distinto objetivo del de procurar habitación; el desagüe fue uno de los primeros objetivos utilitarios, para el que se construyeron especialmente galerías. También se utilizaron los túneles en trabajos para los mismos y otros fines, ya que facilitan el transporte terrestre y se utilizan en la conducción de agua, tanto para generar energía en plantas hidroeléctricas, como para abastecimientos en general. Los túneles primitivos se excavaban por lo general, en los tipos más blandos de roca sólida, pero algunos lo fueron en terrenos sueltos, por lo que necesitaron su inmediato revestimiento para asegurar su estabilidad.

Los romanos se destacan entre los primeros constructores de túneles, lo mismo por la magnitud de las obras que por los adelantos en los métodos. Introdujeron el uso del fuego, utilizando el principio de que una roca calentada y luego enfriada de súbito, se agrieta hasta cierto punto, haciendo más fácil su excavación. Se cree probable que emplearan vinagre en vez de agua como agente de enfriamiento, cuando trabajaban en caliza o rocas similares, aprovechando la naturaleza ácida del vinagre, para desintegrar la roca química y físicamente. Para ventilación utilizaron pozos verticales e incluso galerías inclinadas, para la ventilación de sus túneles más largos.

En la edad media no se hicieron avances en la técnica de perforación de túneles, e incluso la invención de la pólvora (usada

por primera vez con tal fin durante el período de 1679 a 1681) tuvo poco efecto inmediato. Los antiguos trabajos, aunque tan rudamente hechos y simples en su concepción, dependían fundamentalmente de las condiciones geológicas, no solo en su trazado sino también en los medios de perforación, como por ejemplo, la posibilidad del empleo del vinagre y la utilización como herramientas de materiales tan duros, como el pedernal y el corindón.

El trazo exacto del túnel y los métodos que habrán de emplearse, dependen de la clase de material en la que hay que trabajar, de donde, es de importancia capital en la construcción de túneles, hacer un profundo estudio geológico antes de comenzar los trabajos.

El presente trabajo de Tesis, tiene como propósito fundamental, dar una orientación a los que trabajan en las duras tareas de la excavación de túneles, contribuyendo con los principios básicos para el uso adecuado de los explosivos y las medidas de seguridad que deben tomarse al emplearlos.

2. ESTRATIGRAFIA ENCONTRADA AL EXCAVAR UN TUNEL

Para iniciar cualquier trabajo del tuneleo, es necesario conocer la estratigrafía que se va a encontrar a lo largo del mismo. El estudio estratigráfico es tan importante que ello determinará la conveniencia de llevar a cabo el proyecto sobre la línea establecida. Para el estudio estratigráfico se encuentran muchos métodos geofísicos como: a) Sísmicos, b) Resistividad eléctrica, c) Magnéticos, etc., que dan con bastante precisión los diferentes materiales que se van a encontrar en distintas profundidades. Pero estos estudios se hacen como preliminares, recomendándose efectuar perforaciones para corroborar el material que se va a encontrar, a lo largo del túnel. Ya conociendo el tipo de material a encontrar, así como la sección del túnel, se elegirá el método de excavación a utilizar.

2.1 MATERIALES EXCAVABLES POR MEDIOS MECANICOS:

Después de haber efectuado el estudio geológico perteneciente a la línea adoptada, se pueden considerar como materiales excavables por medio de picos; las tierras arenosas, arcillas arenosas y otros similares.

Cuando se encuentran materiales más consistentes que los anteriores, se puede utilizar pistolas mecánicas, que son accionadas por medio de aire comprimido.

2.2 MATERIALES EXCAVABLES POR MEDIO DE EXPLOSIVOS:

Existe una gran variedad de rocas que para su excavación es indispensable la utilización de explosivos en sus distintas potencias, dependiendo de que la roca sea muy blanda, blanda, media, semi-dura, duras y muy duras.

2.2.1 MATERIALES EXCAVABLES POR MEDIO DE POLVORA NEGRA:

Cuando se trata de masas rocosas que se encuentran profundamente quebrantadas, puede bastar el uso de pólvora negra, aunque en túneles, no es recomendable, por la cantidad de gases producida.

3. GENERALIDADES DE LOS EXPLOSIVOS

Los explosivos comerciales son sustancias sólidas o líquidas que puedan transformarse instantáneamente en grandes volúmenes de gases, ya sea por frotamiento, calentamiento o choque, mediante la aplicación de chispa eléctrica o de otros elementos. La transformación del explosivo en gases, es mucho mas rápida que la del agua en vapor, pero el fenómeno es esencialmente similar al desflagar o detonar y asumen una forma totalmente gaseosa, que genera un volúmen mucho mayor que el original. Este aumento de volúmen ejerce en el material circundante un efecto compuesto de choque y de presión, efecto que se aprovecha para obtener las voladuras. Aunque la presión actúe uniformemente en todo sentido, el gas busca su salida por la vía de menor resistencia, ocasionando en esta forma, agrietamientos en el terreno. Todos los explosivos actúan en forma similar y deben colocarse con gran cuidado, para que el gas producido quede confinado, de manera que obligadamente actúe sobre el material a volar.

Para realizar su trabajo, el encargado de la voladura debe saber escoger el explosivo más conveniente, los elementos detonadores, los métodos de perforación y las cargas a usar.

Es necesario además, conocer las propiedades de los explosivos tales como:

SENSIBILIDAD:

La sensibilidad de un explosivo o de un agente explosivo, es una medida de su capacidad de propagación. La sensibilidad de una dinamita se mide por la distancia en pulgadas, a la que la mitad de un cartucho de 1 1/4 por 8 pulg., propagará la otra mitad del mismo cartucho cuando ambas partes, teniendo los extremos cortados frente a frente, estén envueltas en un tubo de papel y se disparan al aire.

Las dinamitas deben ser lo suficientemente sensibles para asegurar la detonación de toda la columna de explosivos. Por esta razón, la sensibilidad especialmente es crítica, en barrenos de pequeño diámetro del rango de 1 a 1 1/2 pulgadas. Sin embargo, las dinamitas no deben ser tan sensibles que su manejo y uso sean excepcionalmente peligrosas. Algunos tipos de explosivos son suficientemente sensibles, para que las cargas colocadas en barrenos adyacentes bajo el agua, se propaguen a través de considerables distancias, dependiendo del material que se está rompiendo, tipo y potencia del explosivo, tamaño de la carga, profundidad del agua y otros factores.

VELOCIDAD:

La velocidad es una medida de la rapidez con que viaja la onda de detonación a través de una columna de explosivos. Los datos de velocidad se refieren a una columna de un diámetro de 1 1/4 pulg.

Las dinamitas varían en su velocidad desde 4,000 pies/seg. hasta 23,000 pies/seg. A medida que se aumenta la velocidad, el explosivo generalmente produce un mayor efecto de fragmentación en materiales duros. La densidad y potencia también influyen en esta acción, de tal modo, que deben considerarse las tres propiedades al efectuar la selección final de un explosivo.

DENSIDAD:

La densidad de la dinamita se expresa de un modo conveniente por el número de cartuchos de 1 1/4 por 8 pulg. que contiene una caja de 50 lbs. En la mayoría de los agentes explosivos de gran diámetro, la densidad se compara con la del agua y se expresa en gramos por C.C.

RESISTENCIA AL AGUA.

Los altos explosivos difieren ampliamente en su capacidad para resistir los efectos del agua. Las dinamitas y

gelatinas son las mejores a ese respecto. Algunas de las dinamitas amoniacaes de alta densidad, poseen una resistencia al agua, mientras que las dinamitas amoniacaes de baja densidad tienen muy poca o ninguna resistencia al agua. Por tanto, cuando se encuentra agua en algunas voladuras, es necesario un explosivo que tenga por lo menos, algo de resistencia al agua.

INFLAMABILIDAD:

Esta propiedad se refiere a la facilidad con la que un explosivo o agente explosivo puede incendiarse.

EMANACIONES:

Los gases que se obtienen como resultado de la detonación de explosivos o agentes explosivos comerciales son principalmente dióxido de carbón, nitrógeno y vapor, y estos no son tóxicos en el sentido ordinario. Además se producen otros gases venenosos, incluyendo el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno. Para trabajos a cielo abierto las emanaciones generalmente no son de cuidado, pero para trabajos subterráneos se exige que se dé una cuidadosa importancia a la selección del explosivo, cantidad del mismo que se va a utilizar, condiciones de la voladura y, lo más importancia, a la ventilación.

La exposición al monóxido de carbono o a los óxidos de Nitrógeno puede ser fatal.

SENSITIVIDAD:

Se confunde con la sensibilidad, pero la sensibilidad es la medida de la habilidad de iniciación.

3.1 SU CLASIFICACION:

Al seleccionar los explosivos puede escogerse entre: Pólvora negra y explosivos violentos; esta última categoría comprende todas las dinamitas y gelatinas.

3.1.1 POLVORA NEGRA:

Explosivo deflagrante, es decir, de detonación por ignición, cuyos gases se generan progresivamente a medida que se efectúa la combustión de la carga. Las pólvoras están compuestas de mezclas muy íntimas de azufre, carbón y un nitrato que puede ser de potasio o de sodio, de donde nace la clasificación de pólvoras "A" y "B" respectivamente.

Las pólvoras negras son las más lentas de todos los explosivos. Tienen una acción de empuje y de corte que produce un material grande y de fragmentos firmes. Deben cargarse cuidadosamente y confinarse mucho. Las pólvoras negras se fabrican en granos finos y en granos gruesos; los últimos son más convenientes en su uso y más seguros en su manejo que las pólvoras de grano más pequeño, ya que existe menor peligro producido por los derrames. La pólvora de granos gruesos es pólvora negra prensada en cilindros de 2 pulgadas de longitud y de diámetro variable desde 1 1/4 hasta 2 pulg. Cada cilindro tiene un orificio central de 3/8" de diámetro, para permitir que la mecha pase a través del cartucho o para insertar un encendedor eléctrico. La pólvora negra tipo "A" es más cara, que la tipo "B" y solo se recomienda para trabajos en canteras; mientras que la segunda se utiliza en carreteras.

3.1.2 EXPLOSIVOS VIOLENTOS:

Por explosivos violentos se entienden todas las dinamitas y gelatinas. Estos son explosivos detonantes que se disparan por un agente intermedio llamado "Detonador", y en ella la conversión de sólido en gas es más rápido que en las pólvoras.

3.1.2.1 DINAMITAS:

Las dinamitas se clasifican según la proporción de nitroglicerina (por peso) que contienen; por ejemplo, la dinamita del 40o/o contiene el 40o/o de nitroglicerina como agente activo o explosivo y aserrín de madera como agente pasivo. Las

propiedades y características de las dinamitas, pueden modificarse o diseñar para producir compuestos que proporcionen una acción de voladura óptima, para cada tipo de trabajo.

Al seleccionar una dinamita para algún fin específico, y especialmente para trabajo subterráneo, deben tomarse en consideración muchos factores. Las consideraciones más importantes involucran el material que se va a romper, su densidad, dureza, friabilidad, etc., el grado de fragmentación deseada, si los barrenos están húmedos o secos, la cantidad de ventilación en los lugares de trabajo subterráneos; y si existen o no gases o polvos combustibles.

Cada voladura presenta alguna combinación de éstas condiciones y por lo tanto, debe seleccionarse una dinamita con la combinación adecuada de propiedades y con un empaque conveniente.

Las dinamitas se empaquetan en una amplia variedad de diámetros y longitud. En tamaños pequeños, desde 7/8" hasta 2" de diámetro, los diámetros de 1 1/8" hasta 1 1/4" y longitudes de 8" son los más comerciales aunque se fabriquen en longitudes hasta 24".

Pueden obtenerse dinamitas de hasta 10" de diámetro, pero los diámetros mayores más comunes son de 4 a 6". Las longitudes varían desde 8 hasta 36".

El cartucho de mayor tamaño que puede empacarse respetando los reglamentos de la Comisión de Comercio Interestatal (ICC) es de 65 lbs. de peso total, con diámetro máximo de 12". La máxima longitud es de 36", excepto para dinamitas que contienen menos del 10% de nitroglicerina, en cuyo caso no existe limitación en longitud.

Se utilizan cartuchos o envolturas como recipientes de las dinamitas, lo cual protege al explosivo contra la humedad.

Para los cartuchos de dinamita que tienen un diámetro de 2" o menos; el tipo más común de cartucho está hecho de papel manila. Este papel se parafina antes de fabricar el cartucho. Bajo algunas condiciones, los explosivos empacados en estos cartuchos fuertemente parafinados, pueden producir cantidades indeseables de monóxido de carbono. Para diámetros mayores y para algunas aplicaciones específicas en diámetros pequeños, se fabrica un cartucho de papel en espiral. Este tipo de cartucho puede estar rociado con parafina o tener alguna barrera incorporada para prevenir el manchado por nitroglicerina y proporcionar protección contra la humedad. Existen además cartuchos de plástico, bolsas, etc., para condiciones especiales.

Se utilizan también cartuchos perforados en todos los tipos de voladura en donde es deseable o necesario una elevada densidad de cargado; ha sido práctica común el rajar los cartuchos para que la dinamita pueda compactarse en el barreno mediante el atacador. Sin embargo, no es necesario rajar los cartuchos perforados, los que se proporcionan en rangos de diámetros pequeños de 2" y menores.

El cartucho perforado es incorporado en varias hileras de perforaciones: El objetivo es permitir que el papel se rompa con el atacador fácilmente en un barreno.

Los cartuchos perforados ofrecen las siguientes ventajas:

- a) Se ahorra el tiempo anteriormente consumido en el rajado.
- b) Se elimina el explosivo expuesto contra la pared del barreno en la operación de taqueado, mejorando las condiciones de seguridad.
- c) Se reduce el desmoronamiento de los explosivos en los barrenos hacia arriba.
- d) Se elimina el contacto del usuario con la dinamita, tanto en el rajado como en el cargado.

Es necesario conocer las propiedades particulares de la dinamita, por ejemplo, que se trata de un líquido aceitoso, de olor débil, punto de solidificación 20°C ., se funde a 11°C . y empieza a cristalizar a 8°C ., sabor dulce y venoso. Poco soluble en el agua: uno por 800; soluble en los disolventes orgánicos, alcohol, cloroformo, etc. Puede ser absorbido por la piel y ocasionar envenenamiento.

El choque, la elevación brusca de temperatura, y los rayos del sol, determinan su explosión.

3.1.2.2 AGENTES EXPLOSIVOS:

Un agente explosivo comercial es un compuesto o mezcla química insensible al fulminante, que no contiene ingredientes explosivos y que puede hacerse detonar cuando se inicia con un cebo explosivo de alta potencia. Los agentes explosivos necesitan para su iniciación, detonadores y cebos especiales.

Existen dos grupos especiales de compuestos insensibles a la cápsula, que hacen disponible a este tipo de producto en un amplio rango de densidades, con un contenido de energía variable y con diferente resistencia al agua. En el primer grupo están clasificados los materiales oxidantes, debido a que no contienen altos explosivos y se conocen como nitrocarbano-nitratos, ejemplo: Nitramón. En el segundo grupo especial de compuestos insensibles a la cápsula, está: el Nitramex. Además de la seguridad, las otras ventajas importantes de estos dos grupos son:

- a) Se empacan en recipientes metálicos sellados, de tal modo que su resistencia al agua es ilimitada, siempre y cuando las latas se manejen y se carguen de un modo adecuado.
- b) No producen dolores de cabeza, no solo debido a la naturaleza de su empaqueo, sino también a la falta de nitroglicerina.
- c) No se congelan;

d) En muchos casos, ofrecen ahorros apreciables al usuario, a causa de su mejor confiabilidad y acción en el disparo.

Existen además, agentes explosivos granulados, que han estado a la venta durante varios años y no fue sino hasta el advenimiento de los compuestos de nitrato de amonio en granos y del equipo para manejo a granel, que los agentes explosivos granulados se volvieron materiales importantes en las voladuras comerciales. Las razones para el cambio a agentes explosivos granulados son principalmente económicos y de seguridad, aunque la facilidad de cargado es también un factor importante en muchas operaciones; no solo son menos costosas que los explosivos y los agentes explosivos convencionales, sino que también permiten mayores economías en la operación de cargado.

Aunque los agentes explosivos granulados generalmente son de menos densidad que los productos encartuchados y por lo tanto, tienen menos potencia en volumen, el hecho es que llenan el barreno completamente y esto dá como resultado una aceptable densidad de carga en el barreno. Esto, con el hecho de que el agente explosivo se acople a la pared del barreno, proporcionando un nivel de ejecución adecuado.

Los productos granulados se encuentran disponibles con densidades que varían desde 0.45 g/cc hasta 1.15 g/cc, pero la mayoría de ellos tienen una densidad de 0.85 g/cc. El amplio rango de densidades permite una selección de los productos que satisfacen casi cualquier necesidad o condición de voladura.

En todos los agentes explosivos granulados, la presencia de ingredientes finos, tienen un efecto adverso sobre las propiedades de vaciado y en la aglomeración. A menudo es necesario perder propiedades de fluidez, para obtener otras características deseadas en el explosivo. La mayoría de los agentes explosivos granulados, también contienen una pequeña cantidad de agentes inertes, que ayudan a reducir lo aglutinante y pegajoso.

4. DISPOSITIVOS DE INICIACION

En cualquier operación de voladura se obtiene mejores resultados, si los dispositivos de iniciación se seleccionan cuidadosamente como el explosivo.

Los dispositivos para la iniciación, son productos utilizados para:

- a) Iniciar las cargas de explosivos.
- b) Proporcionar o transmitir la flama para iniciar una explosión, o
- c) Llevar una onda de detonación de un punto a otro, o de una carga de explosivos, a otra.

4.1 DISPOSITIVOS ELECTRICOS

La forma principal es un estopín eléctrico que está equipado con sistemas eléctricos de ignición, de tal modo que pueda dispararse con una corriente eléctrica. En sí, son detonadores que se incendian por medio de una corriente eléctrica, son de diámetro bastante reducido para que su carga sea lo suficientemente larga para actuar en la mayor cantidad del explosivo. Se encuentran diseñados y fabricados para explotar. Para evitar una detonación prematura no debese m e t e r s e a abusos, exponerlos a fuentes de electricidad extraña, o golpearlas de ningún modo. Los alambres de los estopines pueden ser de cobre o de hierro, bien aislados, de una longitud suficiente para sobresalir unos centímetros de la boca del barreno y siempre que sea posible, llegar a los alambres de los barrenos contiguos. Por lo general, los alambres de los barrenos contiguos. Por lo general, los alambres de cobre vienen con una longitud de 1.3 a 6.1 mts. Los estopines con alambres de hierro, se usan poco aún siendo más baratos debido a que su resistencia es seis veces mayor que las de cobre; sus longitudes varían de 0.6 a 2.5 mts.

Los estopines eléctricos impermeables, son especiales para el uso debajo del agua, por los ingredientes que los caracterizan. Sus fallas se deben frecuentemente, a la pérdida de corriente en los alambres, más que a la humedad de la carga detonadora, aún cuando el barreno sea seco, puede contener sales minerales; bastan diminutas cantidades de éstas en solución, para que la conductividad eléctrica aumente cuando falla. Estos estopines pueden emplearse en agua hasta unos 10 mts. de profundidad.

Los estopines eléctricos de tiempo, se usan para disparar series de barrenos en secciones o bien en rotación, ahorrando tiempo, porque no hay que regresar al frente de ataque para disponer lo necesario antes de volar la sección siguiente. Permiten disparar varios barrenos en rotación, con un solo juego de alambres y una sola aplicación de la corriente eléctrica, sin que exista el peligro de que los primeros grupos de barrenos rompan los alambres dispuestos para los grupos siguientes; como ocurre con estopines eléctricos instantáneos. Como estos últimos disparan tan pronto como les llega la corriente, se utilizan en los barrenos que han de hacer explosión en primer lugar. Ahora bien; los estopines eléctricos de tiempo, se accionan en períodos o intervalos de hasta once segundos, después de los primeros.

4.2 DISPOSITIVOS NO ELECTRICOS:

Los fulminantes regulares y sus accesorios, proporcionan un método no eléctrico de iniciar cargas explosivas. Los fulminantes regulares son detonadores que están diseñados para disparar por medio del fuego o chispa, producidos por el quemado de la mecha de seguridad. El extremo de la mecha, se enciende con un cerillo común o con un encendedor especial. No es posible encender todas las mechas exactamente en el mismo instante; y aunque fuera así, no puede confiarse el quemado de la mecha, a una velocidad idéntica.

La mecha de seguridad, es el medio a través del cual se transporta la flama a un régimen continuo, para el disparo directo de la carga explosiva.

La mecha de seguridad está formada por un tren de pólvora negra de nitrato de potasio, y se encuentra fuertemente envuelta y protegida contra la abrasión y penetración del agua por cepas de cinta. La velocidad promedio de una mecha de seguridad puede calcularse a razón de 60 cms./min; disminuyendo proporcionalmente con la presión atmosférica, en un promedio de 16 mm/seg. por km. de altura sobre el nivel del mar.

4.3 CEBADO:

El cebo es aquella porción de la carga que contiene el dispositivo de disparo y sirve para iniciar la carga entera de explosivos con los que se está en contacto. El cebo puede ser simplemente un cartucho de dinamita con un fulminante (eléctrico o no eléctrico) o un cordón detonante insertado y fijado adecuadamente.

4.3.1 CEBO CON FULMINANTE:

La longitud de la mecha debe ser calculada, de manera que el personal encargado de efectuar las explosiones, tenga el tiempo necesario de ponerse a salvo y que estallen las cargas en rotación si es necesario. Al tomar un fulminante del estuche se debe hacer con suma precaución, evitando hacerlo con otro objeto que no sean las manos. La mecha debe encajarse de manera que penetre hasta la carga del fulminante; si estuviera achatada, se debe de rodar entre el índice y el pulgar para redondearla. No se debe retorcer la mecha en el fulminante ni proceder con violencia. El fulminante se fija a la mecha, prensándola con una tenaza especial cerca del extremo abierto, porque de hacerse en otra parte, puede ocurrir explosión. Si se va a usar bajo agua, debe impermeabilizarse para efecto seguro.

Al cebar un cartucho con fulminante se puede hacer:

- a) Abriendo un agujero recto en el extremo del cartucho con el extremo de las tenazas, a una profundidad suficiente para el fulminante y una parte de la mecha; fijándola así: (Ver Fig. No.1)

b) Cebando lateralmente, abriendo el agujero unos 3 ó 4 cms. a partir del extremo. El agujero debe apuntar hacia adentro, quedando lo más posible el fulminante paralelo a los lados del cartucho fijándose del modo siguiente. (Ver fig. No.2).

4.3.2 CEBO CON ESTOPIN ELECTRICO:

Se puede preparar más adecuadamente de la siguiente forma:

a) Cebando por el extremo, mediante un agujero oblicuo a partir del centro del extremo del cartucho, de modo que termine en el lado opuesto a unos 5 cms. del mismo. Se introducen en él, los alambres doblados del estopín, formando una gaza y abriendo después otro agujero en el extremo para la cápsula, como se muestra en la fig. No.3.

Se tiene así un cebador, cuyos alambres no se cruzan en ningún punto con la cápsula colocada casi en la línea central y el cebador en posición vertical del cartucho.

b) Cuando el diámetro no permite hacer lo anterior, se puede cebar lateralmente, procurando que la cápsula detonante quede vuelta hacia el centro de la carga como se detalla. (Ver fig. No.4).

Los alambres de los estopines eléctricos no deben nunca atarse en torno a los cartuchos por medio de un nudo corredizo, pues bastaría un fuerte tirón para romper los alambres o desgarrar el aislante.

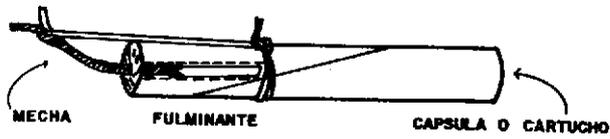


FIG. No 1



FIG. No 2

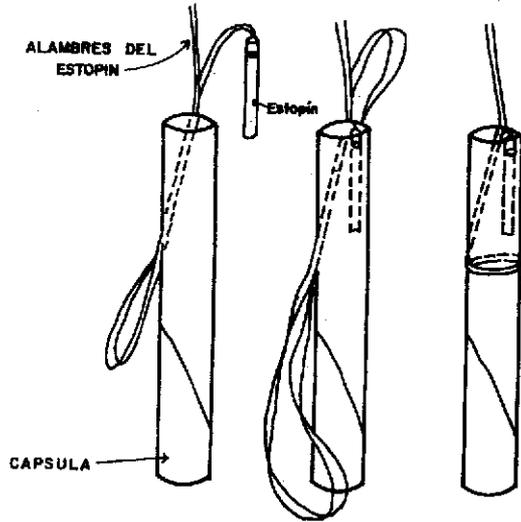


FIG. No 3

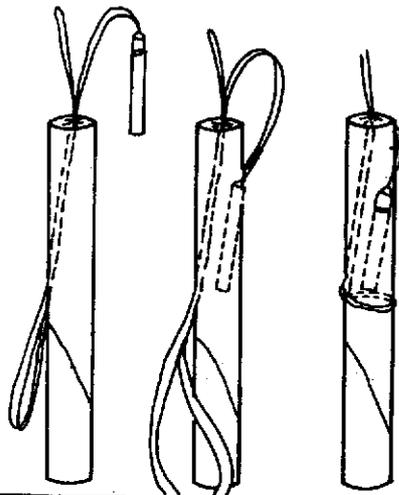


FIG. No 4

(COPIA DE TEXTO:
LAS DINAMITAS.
APLICACION EN INGENIERIA,
USO DE UN POLVORIN)

5. CIRCUITOS DE VOLADURA

Los circuitos eléctricos de voladura deben diseñarse para satisfacer los requisitos específicos de los estopines eléctricos utilizados en el disparo. La conexión de los alambres de los circuitos de detonación deben hacerse con mucho cuidado y en debida forma, para obtener el máximo de seguridad en el disparo, ya que se pueden presentar: a) Entre los alambres de estopines y los alambres intermedios; b) Entre los anteriores y los alambres conductores; y c) Entre los últimos y el generador. Al efectuar cualquier conexión deben de estar los extremos por unir, desnudos y raspados; los cuales deberán enlazarse con un empalme retorcido, arrollándolos uno sobre el otro; debiendo quedar bien apretados a fin de que la resistencia al paso de la corriente sea lo menos posible. Si es entre alambre grueso y delgado, al primero solo se le hace un dobléz arrollando el delgado en él. Esto nos dá empalmes rápidos, apretándose aún más, cuando por cualquier motivo se tira de él. La conexión de los alambres conductores en la máquina se efectúan por los bornes, los que pueden tener tuerca o resorte. Las uniones descubiertas de los circuitos deben siempre protegerse de la posibilidad de corto circuito o contacto entre ellos; levantándolos, o por medio de cinta adhesiva, cuando se trabaja bajo la lluvia.

CIRCUITOS DE VOLADURA

Los tres circuitos básicos comunmente utilizados en disparos múltiples son: En serie, en paralelo y en series paralelas (mixto).

5.1 CIRCUITOS EN SERIE:

Proporciona una sola trayectoria para la corriente a través de cada estopín del circuito. (Ver fig. No.5).

Se enlazan los alambres de las cargas de manera que no queden más que dos extremos libres, conectándose al alambre

conductor. El amperaje de la corriente debe ser de 1.5 Amperios. Aplicando la ley de Ohm: "Voltaje igual a la resistencia del circuito multiplicada por la intensidad de la corriente" ($V=RxI$), se obtiene la tensión a usar. (Ver tabla No.1 y 2)

A manera de ilustración se desarrolla el siguiente ejemplo:

conectados 20 estopines eléctricos instantáneos provistos de alambre de cobre de 10 pines en serie, por medio de alambres conductores No.14 de 350 pines de largo, tendremos una tensión entre bornes.

$$20 \times 1.5 = 30 \text{ Ohmios (Resistencia en tabla)}$$

$$2 \times 350 \times 2.525 / 1000 = 1.77$$

$$R = 31.77$$

$$V = RxI = 31.77 \times 1.5 = 47.65 \text{ Volt.}$$

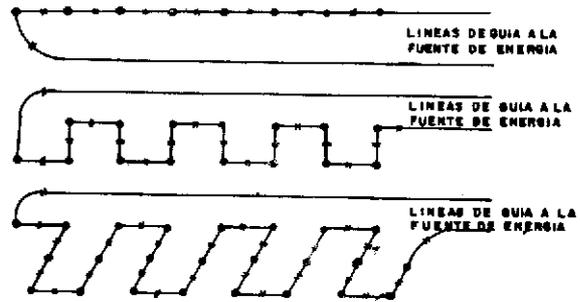


FIG. No 5 METODO DE CONECTAR UNA O MAS HILERAS DE BARRENOS, EN UNA SOLA SERIE



FIG. No 6

TABLA No. 1

**RESISTENCIA NOMINAL DE ESTOPINES ELECTRICOS EN
OHMS POR ESTOPIN**

ALAMBRES DE COBRE			ALAMBRE DE HIERRO		Longitud del alambre en pies
Longitud del alambre en pies	estopines instantaneos	estopines de retardo	estopines instantaneos	estopines de retardo	
4	1.26	1.16	2.10	2.00	4
6	1.34	1.24	2.59	2.49	6
7	-----	-----	2.84	-----	7
8	1.42	1.32	3.09	2.99	8
9	-----	-----	3.34	-----	9
10	1.5	1.4	3.59	3.49	10
12	1.58	1.48	4.09	3.99	12
14	1.67	1.57	4.58	4.48	14
16	1.75	1.65	5.08	4.98	16
20	1.91	1.81	6.08	5.98	20
24	2.07	1.97	-----	-----	24
30	1.71	1.61	-----	-----	30
40	1.91	1.81	-----	-----	40
50	2.12	2.01	-----	-----	50
60	2.32	2.22	-----	-----	60
80	2.72	2.62	-----	-----	80
100	3.13	3.03	-----	-----	100
120	3.54	3.44	-----	-----	120
150	4.14	4.04	-----	-----	150
200	5.16	5.06	-----	-----	200
250	6.19	6.09	-----	-----	250
300	7.19	7.09	-----	-----	300
400	9.22	9.12	-----	-----	400

TABLA No. 2

RESISTENCIA DEL ALAMBRE DE COBRE

Calibre AWG No.	Ohms por 1000 pies
8	0.628
10	0.999
12	1.588
14	2.525
16	4.02
18	6.39
20	10.15
22	16.14

En conexiones en serie, se puede omitir el alambre intermedio, pero a pesar de tener una conexión menos, resulta más cara, debido a que requiere estopines con los alambres más largos. Es muy efectiva cuando la conexión es entre 2 ó más hileras de barrenos, usando estopines de tiempo como se muestra en la Fig. No. 6.

5.2 CONEXION EN PARALELO:

Especial para la voladura por medio de la corriente tomada de un circuito de alumbrado o fuerza, siendo muy conveniente calcular con 0.6 amperios por detonador. (Ver Fig. No. 7) Como ejemplo de lo anterior, si tuvieramos un circuito de 40 estopines eléctricos instantaneos con alambre de cobre de 20 pies, estando conectados en paralelo a intervalos de 10 pies con alambre No. 20, permaneciendo éste enlazado a su vez, con alambre conductor No. 12 de 320 pies; el voltaje necesario será:

$$I = 40 \times 0.6 = 24 \text{ Amperios}$$

$$1.91/40 = 0.048 \text{ ohmios (resistencia de tabla)}$$

$$10.15 \times 40 \times 10 \times 2/1000 \times 2 = 4.06 \text{ Ohmios (Resistencia de tabla)}$$

$$2 \times 320 \times 1.588/100 = 1.02 \text{ Ohmios (resistencia tabla)}$$

$$R = 5.128 \text{ Ohmios}$$

$$V = R \times I = 5.128 \times 24 = 123.07 \text{ Ohmios}$$

5.3 MIXTO:

Los circuitos en series paralelas, consta de dos o más circuitos en serie conectados en paralelo, no pudiéndose emplear en este caso más que corriente de alumbrado o de fuerza y disponer de 1.5 amperios de corriente por cada serie. Para calcular la tensión del circuito, se procede combinando los ejemplos anteriores. (Ver Fig. No. 8).

Para saber si un circuito de detonación se halla en buen estado para una voladura o si se halla abierto debido a malas conexiones o a la rotura de alambres, se puede usar un

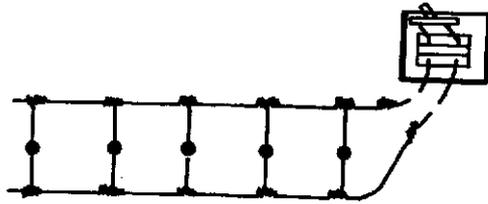


FIG. N.º 7 CONEXION EN PARALELO

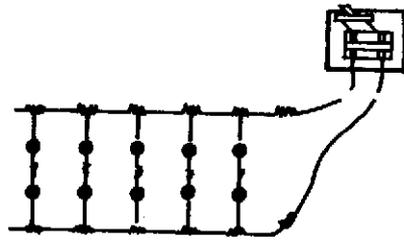


FIG. N.º 8 CONEXION EN SERIE PARALELA

galvanómetro de voladura, pues ayuda a determinar la existencia de pérdidas, corto circuitos, y a la resistencia aproximada del circuito.

DISPARO:

Se entiende como tal, el hecho de hacer detonar las cargas; lo que se lleva a cabo cuando se tiene seguridad que todos los barrenos están bien cargados y atacados y de que la gente se halla a buena distancia.

TACOS:

Cuando se utilizan explosivos muy rompedores e interesa ahorrar tiempo, como ocurre en la perforación de túneles, se omite el taco. El taco aumenta el efecto rompedor y protege la carga en el intervalo anterior a la pega. En la mayoría de los casos dá buen resultado una mezcla húmeda de arena y arcilla preparada en cartuchos envueltos en papel de color, para distinguirlos de los otros explosivos; es aconsejable por razones de seguridad. Su función más importante, es confinar la carga y obtener la mejor eficiencia posible del explosivo.



6. METODOLOGIA DE USO DE EXPLOSIVOS EN TUNELES

Los túneles varían de acuerdo con su fin. Aquella que se utiliza para abastecimiento de agua, drenaje y servicios diversos, pueden ser tan pequeños como de 4 pies de diámetro, en tanto que los que se emplean para desviar agua, ferrocarriles y paso de vehículos, pueden ser tan grandes como de 60 pies de diámetro.

Para todos los casos, es recomendable el uso de barrenación húmeda para reducir el polvo de la roca. Para túneles grandes se emplean equipos portátiles con varias perforadoras para hacer más práctica la barrenación.

Se emplea equipo de alta velocidad para retirar la roca y todo el equipo móvil. Caminos y rieles deben diseñarse con cuidado y conservarse en buen estado para un transporte rápido y seguro. La mano de obra es uno de los más altos reglones en túneles de alta velocidad y una fuente de pérdida de tiempo es debido al uso inadecuado de ventilación. Por lo general, se emplea ventiladores reversibles que pueden utilizarse para entregar aire fresco directamente al frente, durante el ciclo de trabajo y pueden invertirse para extraer el humo y polvo. Con los ventiladores continuos, el humo y el polvo deben pasar a través de todo túnel.

6.1 METODOS DE PERFORACION DE TUNELES

Históricamente la selección del método utilizado para perforar un túnel fue dada principalmente, por el tipo de formación de roca y tamaño de la abertura. Sin embargo, con el desarrollo de quipos modernos, incluyendo perforadoras y jumbos, hay ahora mucha mayor flexibilidad en el procedimiento que se debe adoptar para cualquier proyecto en particular. Por ejemplo, el método de avance superior y banqueo, fue casi estandar durante un tiempo, en la perforación de túneles grandes en un buen terreno promedio, en tanto que en la actualidad, el método de frente completo es mucho más corriente. A

continuación, se describen cuatro esquemas normalmente utilizados para perforar túneles, incluyendo barrenaciones típicas para dos de ellos.

6.1.1 METODO DEL FRENTE COMPLETO

Como el nombre lo indica, éste método utiliza una barrenación diseñada para romper la totalidad del área de la sección del frente en un disparo. Este procedimiento ha sido siempre utilizado para túneles pequeños. Sin embargo, durante años recientes, la introducción de jumbos más grandes y eficientes, de equipo y brocas de barrenación que han sido mejorados, así como el equipo de rezagado más pesado, han contribuido todos a una aplicación más amplia de la técnica de frente completo. En consecuencia, se emplea ahora para prácticamente todos los túneles sin importar el tamaño, a menos que se encuentren en malas condiciones de terreno y que ellas necesitan otro método, tales como el de frente superior y banqueo. Por lo regular, se involucran en el diseño considerable estudio y esfuerzo y construcción de un jumbo eficiente, así como la barrenación mejor adecuada para el equipo. Sin embargo, la experiencia indica que el tiempo invertido se recupera con creces en una mayor velocidad de avance, una vez que se empieza a trabajar. (Ver Figura No. 9)

La Fig. 9 muestra una barrenación típica para un túnel de 16 pies de diámetro. Se muestran 2 barrenos quemados de 5 pulgadas de diámetro. Con mucha frecuencia se utiliza un solo barreno quemado de 8 pulgadas de diámetro. Los números indican el período de retardo en cada barreno. Las barrenaciones de este tamaño, normalmente se perforan con un jumbo de seis máquinas, con una máquina adicional para perforar los barrenos quemados, y casi siempre producen un avance de 8 a 10 pies por disparo. (Ver Figura No. 10)

En la Fig. 10 se muestra una barrenación típica para túnel carretero de 22x32 pies con 91 barrenos. Normalmente, una barrenación como la mostrada avanzará de 13 a 15 pies.

Si se encuentran tramos cortos de terreno débil o inestable en un túnel de frente completo, puede ser necesario reducir la profundidad de la barrenación para dar, no más del avance necesario para acomodar dos marcos de acero o madera, o aún uno solo.

6.1.2 METODO DE FRENTE SUPERIOR Y BANQUEO:

Fue estandar durante muchos años en la mayoría de los túneles y aún se utiliza en terreno débil y en algunos túneles muy grandes. Consiste en perforar un frente en la parte superior del túnel, la que toma una porción de altura determinada y la anchura completa. La porción inferior se ataca en uno o más bancos con barrenos verticales u horizontales.

El frente superior puede perforarse con una barrenación que utiliza cualquiera de las cuñas de tipo estandar. Normalmente, el frente se termina y aún se recubre antes de excavar el fondo. (Ver Figura No. 11)

6.1.3 METODO DEL TUNEL PILOTO:

Este método se ha utilizado en la perforación de muchos túneles grandes. Se perfora un pequeño socavón o túnel piloto por la línea de centros del túnel propuesto, mediante metodos convencionales y, por lo regular, se completa de portal a portal. Los barrenos para el resto del túnel, generalmente se perforan en anillos a partir de columnas y barras, a medida que se avanza el túnel piloto. Los anillos, normalmente están espaciados de 4 a 5 pies y los barrenos se colocan en "abanico", para que terminen con una separación de 3 a 4 pies entre centros en el perímetro del túnel terminado. Debe proporcionarse una plantilla o algun otro método de control para barrenar con exactitud.

Bajo ciertas condiciones, puede ser preferible terminar la excavación de la sección, mediante barrenos paralelos a la linea central. Este método es de ventaja particular en donde se debe evitar el sobre-rompimiento y sacudimiento de los muros. Con

este método se cortan estaciones en el lado del tunel piloto, hasta el diámetro completo del tunel terminado. Estas estaciones se separan a intervalos predeterminados y se utilizan para perforar los largos barrenos paralelos para la operación de agrandado.

Al disparar las cargas en varios anillos, pueden formar una voladura. Cuando se disparan barrenos largos, el empleo de estopines de retardo es casi obligatorio para obtener una fragmentación aceptable y un mínimo de sobrerompimiento.

6.1.4 METODO DEL TUNEL PIONERO:

Al perforar tuneles largos, es práctica común perforar lumbreras a lo largo de la línea del túnel, para abrir frentes adicionales de trabajo y de este modo reducir el tiempo total de construcción.

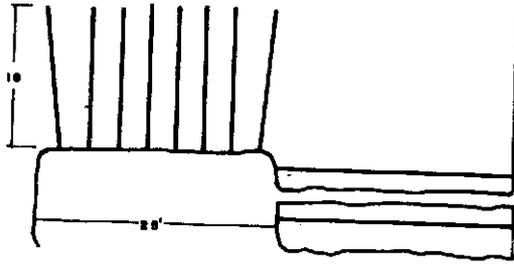
6.2 BARRENACIONES:

Las barrenaciones normalmente se nombran por el tipo de cuña que se utiliza para abrirlas, por ejemplo, una barrenación con cuña quemada. El tipo de cuña empleada, la longitud de la barrenación y el número de barrenos por disparo, dependen del tamaño del frente que se está trabajando y de la dureza del material que se debe romper; además del equipo disponible para el trabajo. En frentes muy pequeños la barrenación puede consistir únicamente de la cuña, un par de ayudantes y los barrenos de tabla; en tanto que, en frentes grandes, la barrenación puede incluir la cuña, varios juegos de ayudantes, varias líneas de segundos ayudantes y los barrenos de tablas.

Es imposible mostrar barrenaciones específicas que satisfagan todas las condiciones que se encontrarán bajo tierra. Al trabajar un frente puede ser necesario cambiar el patrón de barrenación varias veces, debido a las diferentes formaciones que se localicen.

La práctica usual al hacer las barrenaciones, es barrenar la cuña de tal modo que rompan aproximadamente 6 pulgadas más

SECCION



FRENTE

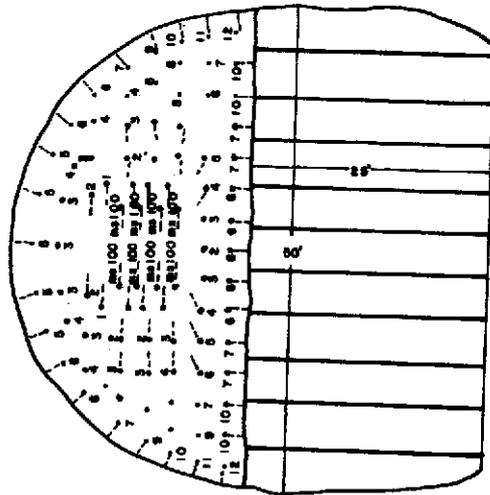


FIG. N.º 11 BARRENACION DE FRENTE SUPERIOR Y BANQUEO

que el resto de la barrenación. Esto proporciona más alivio en el fondo del barreno, facilitando que el resto de los barrenos rompan hasta el fondo. En barrenaciones con cuñas en ángulo, los primeros ayudantes nunca deben tener más de 2 pies de separación en el fondo del barreno. Cuando se utiliza una cuña quemada, es necesario tener cuidado que los primeros ayudantes queden lo suficientemente retirados de la cuña para que no se propaguen; pero lo bastante cerca, para que se puedan romper sin interrumpir el límite de la cuña. Por lo general, el primer ayudante debe tener un fondo aproximado a 12 pulgadas de la cuña. Para tener una idea del costo total presentamos a continuación dos cuadros que nos permiten estimar el tiempo empleado, suponiendo cambios de broca cada 24 pulgadas. (Ver Figura No. 20 y 21)

NOTA:

Se llaman ayudantes: a las perforaciones auxiliares de las barrenaciones principales (cuñas): Su distinción consiste en la profundidad de barrenación; ya que las cuñas se barrenan hasta la longitud aproximada que puede romper (dependiendo de si es cuña en ángulo o quemada), así: los primeros ayudantes, a una longitud aproximada de 12 pulgadas del fondo de la cuña; los segundos ayudantes aproximadamente a 6 pulgadas de los primeros ayudantes y, los terceros ayudantes a 5 pulgadas del fondo de los segundos ayudantes.

Los barrenos de tabla son los que pueden llevar como máximo 2 candelas de dinamita.

6.2.1 CUÑAS:

Son fundamentales en todas las voladuras subterráneas en frente de desarrollo. El primero y más difícil paso, necesario para avanzar en cualquier frente, es hacer una abertura en terreno sólido, generalmente el centro de la cara, y tan profunda como se requiera para avanzar en un disparo. Esta abertura se llama la "cuña" y aunque pueden abrirse mediante varios métodos de

perforación y voladuras, ya que el resto de los barrenos no pueden romper con efectividad, a menos que la cuña se omita totalmente profundizando los barrenos. Unos cuantos minutos adicionales empleados en perforar adecuadamente una cuña pueden significar la diferencia entre tener un avance completo o solamente una parte de él.

Las barrenaciones en un frente consisten en: 1) barrenos de cuña, 2) primeros ayudantes, 3) segundos ayudantes y 4) barrenos de tabla.

Existen tres tipos de cuñas: 1) La cuña en ángulo, en la cual, los barrenos se hacen formando un ángulo con el frente, para proporcionar la mayor libertad de movimiento que sea posible para la roca quebrada, 2) la cuña quemada o fragmentadora, en la cual se hacen varios barrenos muy próximos entre sí y perpendiculares al frente, y en la que solamente algunos de ellos se disparan para romper hacia el espacio abierto proporcionado por los barrenos vacíos, y 3) combinaciones de estos dos.

En la actualidad, las cuñas quemadas se utilizan casi exclusivamente en los frentes pequeños. Aún en tuneles más grandes, como los empleados para tránsito de vehículos y para desvío de agua, se está volviendo cada vez más necesario, utilizar una máquina grande de perforación, con el fin de hacer uno o más barrenos de 4 pulg, o más, de diámetro, como cuña. Esto proporciona un mayor volumen vacío de alivio para el disparo, y por lo tanto, una cuña más confiable, distribuyendo más adecuadamente la carga de barrenación, en el resto de las máquinas que trabajan en el frente.

6.2.1.1 CUÑAS EN ANGULO:

Las cuñas en ángulo utilizan menos barrenos por disparo y usualmente su consumo de explosivos es menor por pie de avance. La cuña V es una de las más antiguas cuñas en ángulo y se utiliza todavía. Cada V consiste de dos barrenos hechos a partir

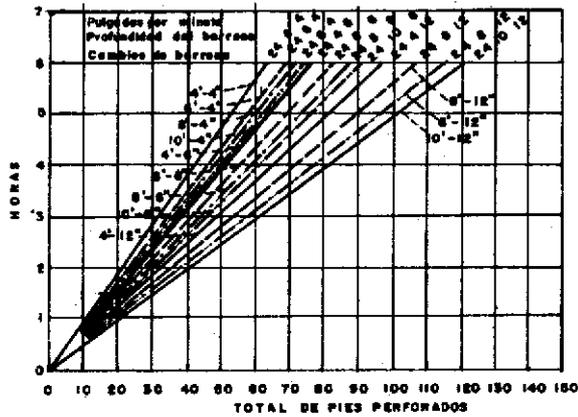


FIG. No 20 LONGITUD ESTIMADA, PERFORADA CON PERFORADORA , SUPONIENDO CAMBIOS DE BARRENA CADA 24" (60 cm.), BARRENOS DE 4, 6, 8 Y 10 PIES (1.2, 1.8, 2.4 Y 3 m.) DE LONGITUD Y AVANCES DE 4", 6" Y 12" (101, 152 Y 304 mm) POR MINUTO.

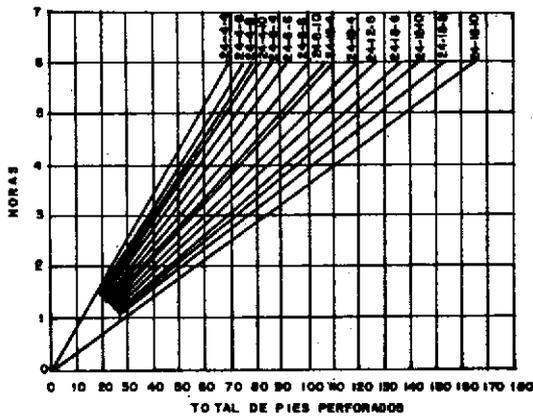


FIG. No 21 LONGITUD ESTIMADA, PERFORADA CON MARTILLO, SUPONIENDO CAMBIOS DE BARRENA CADA 24" (60 cm.) BARRENOS DE 4, 6, 8 Y 10 PIES (1.2, 1.8, 2.4 Y 3 m.) DE LONGITUD Y AVANCES DE 4", 6", 12" Y 18" (101, 152, 304 Y 457 mm.) POR MINUTO. (COPIA ELEMENTOS DE MINERIA)

de dos puntos tan retirados como sea posible sobre el frente para juntarse o casi hacerlo, en los fondos de los barrenos. (Ver Figura No. 12).

La cuña puede consistir de una o varias V, perforadas paralelamente una a la otra. (Ver Figuras Nos. 13, 14, 15, 16).

Una modificación de la cuña en V, conocida como la cuña martillo, es también frecuentemente usada. Está lejos del centro del frente y a menudo los barrenos se hacen de modo que no se encuentren. Es la más común, aunque puede encontrarse en la parte superior o a un lado de la barrenación. Es particularmente útil en pequeñas frentes (menores de 6x6 pies) donde la barrenación se hace con frecuencia con pistola montada en piernas, y donde, debido a la falta de espacio, es difícil perforar una cuña en el centro de la cara.

Las cuñas en ángulo menos usadas, se conocen como cuñas piramidales. Estas, constan de tres a seis barrenos, hechos para encontrarse en un punto común, cerca del centro del frente.

6.2.1.2 CUÑAS QUEMADAS:

También se conocen como cuñas fragmentadoras, michigan o Cornish. Las cuñas quemadas, hacen posible aumentar la profundidad de la barrenación mucho más, de lo que es posible con cuñas en ángulo. Las cuñas quemadas, por lo regular necesitan más barrenos por disparo y una cantidad de pólvora algo más elevado; pero, al aumentar el avance por disparo se obtiene economía, ya que se puede tomar ventaja de la profundidad óptima de barrenaciones, acomodándose así al ciclo mas económico de barrenación y voladura.

Es de lo más importante que los barrenos de una cuña quemada, se hagan exactamente paralelos y a la distancia adecuada entre sí. También la cuña quemada debe perforarse aproximadamente de 6 a 12 pulg. más largas, que los otros barrenos de la voladura. El hacer barrenos paralelos con pistolas

montadas sobre jumbos o piernas, necesitan habilidad considerable, pero aún los operarios relativamente inexpertos, pueden hacerlo con la ayuda de una plantilla. (Ver Figura No. 17)

Normalmente la cuña se perfora perpendicular a la cara y algo fuera del centro de ella; por razones de seguridad, la posición debe variar en el siguiente disparo, para evitar la necesidad de barrenar la siguiente cuña en el fondo de la cuña anterior.

Fundamentalmente, todas las variaciones de la cuña quemada utilizan el mismo principio. A diferencia de las cuñas en ángulo, que están diseñadas para romper una pirámide o un cono de material, las cuñas quemadas se diseñan para romper y pulverizar la roca; rompiéndola en pequeños fragmentos que salen lanzados por las voladuras para dejar una abertura más o menos cilíndrica. Las cuñas quemadas consisten de barrenos hechos paralelamente entre sí y a la línea de centros del tunel, así como a una distancia predeterminada entre sí. (Ver Fig. No. 18)

La Fig. 18 muestra varios de los patrones más comunes. La práctica usual es dejar uno o más barrenos descargados para proporcionar espacio abierto hacia el cual puedan romper los barrenos que sí tienen carga. Es ahora práctica común, tener estos barrenos descargados con un diámetro mayor al de los otros en la cuña quemada.

Por lo general se obtienen los mejores resultados, cuando los barrenos cargados no se disparan simultáneamente, ya que se obtiene mayor acción limpiadora si se utiliza algún tipo de disparo por retardos dentro de la cuña.

Toda la roca se expande al romperse, y entre más fina se rompa, mayor será la cantidad de material obtenido.

Muchos operadores han adaptado diversas combinaciones de tamaño de barreno en las cuñas quemadas, una de las cuales consiste en hacer uno o más barrenos grandes muy próximos

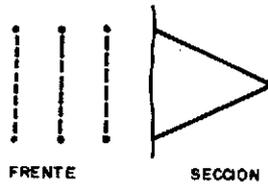


FIG. N.º 12 CUÑA EN V TÍPICA

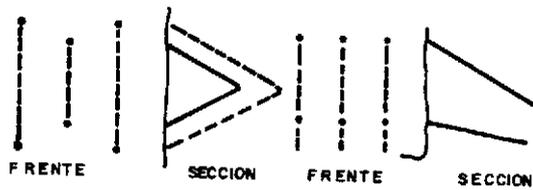


FIG. N.º 13 CUÑAS DOBLE V
MOSTRANDO UNA
CUÑA CHICA

FIG. N.º 14 CUÑA DE MARTILLO

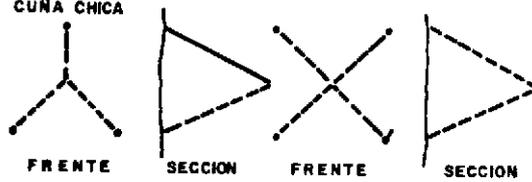


FIG. N.º 15 CUÑA PIRAMIDAL
DE TRES BARRENOS

FIG. N.º 16 CUÑA PIRAMIDAL
DE CUATRO BARRENOS

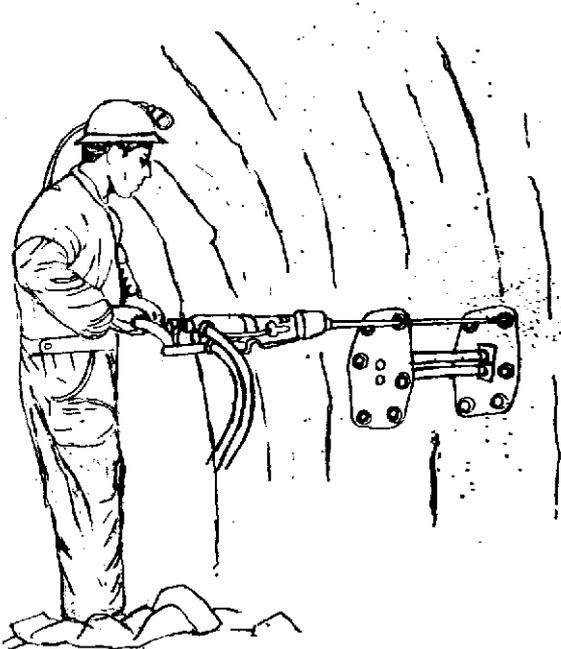


FIG. no 17 PLANTILLA PARA CUÑAS QUEMADAS

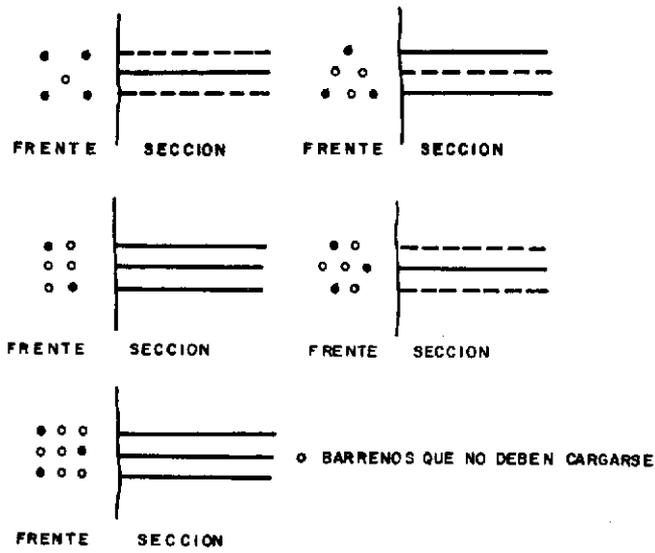


FIG. N.º 18 CUÑAS QUEMADAS

entre sí y paralelos a los otros barrenos más pequeños de la cuña. Estos barrenos pueden variar en tamaño y ser hasta de 5 o 6 pulg. de diámetro, y en la mayoría de los casos, esto requiere máquinas y brocas más grandes. Esto tiende a retrasar la barrenación, pero incrementa la rapidéz de avance. En consecuencia, el método ha sido preferido principalmente en túneles de alta velocidad. (Ver Figura No. 19)

6.3 CARGA DE EXPLOSIVOS EN BARRENOS:

La primera consideración a tener en cuenta es la dureza y otras características físicas del tipo medio de roca que ha de ser arrancada. Una roca muy dura es más difícil de arrancar que una roca suave. Es preciso considerar además; las dimensiones del frente y la profundidad probable del avance por pega. Se calcula la cubicación, el consumo específico de explosivo para la clase seleccionada y se calcula el peso necesario. Se estudia la distribución de barrenos, teniendo en cuenta el equipo de perforación. El peso de explosivo calculado, dividido por el número de barrenos, dará la carga media por barreno; los barrenos de cuña quemada o ángulo en "V" se cargan de ordinario más fuertemente, que los primeros segundos y terceros ayudantes.

La condición y profundidad de todos los barrenos deben revisarse cuidadosamente antes de intentar cargas explosivos. Tanto los barrenos vertiles como horizontales, deben limpiarse para utilizar el espacio disponible para los explosivos, con el fin de facilitar en general el cargado. El lodo o arenillas, que quedan dentro de los barrenos, son capaces de provocar una falla parcial o total al barreno, debido al encampanamiento o separación de la carga, o por el daño provocado a la mecha de seguridad o a los alambres de los estopínes eléctricos. Los barrenos pueden limpiarse mediante aire comprimido o agua o, si el lodo es pesado, mediante una combinación de los dos.

A menudo es necesario un atacador construido adecuadamente para colocar la carga; el que tambien es útil para

hacer una última revisión del barreno, precisamente antes de cargar. Un punto áspero o una caverna, requieren especial cuidado en su manejo. El atacador es necesario que sea lo suficientemente largo para que llegue al fondo del barreno y no debe contener piezas de metal expuestas.

Alguno de los llamados metales antichispas y ciertos plásticos, no son apropiados para utilizarse como atacadores, debido al riesgo potencial de fricción.

El mejor material para atacador es madera dura de grano recto; los atacadores deben de ser redondos, o casi redondos, y ser de un diámetro suficientemente pequeño, para entrar con facilidad en el barreno. Por lo general el mejor tamaño para su uso es de 1 1/4 ó 1 1/2", a menos que el barreno sea demasiado pequeño. El atacador debe conservarse en buenas condiciones y no permitirse que el extremo se astille o que adquiera punta, producido por un uso excesivo.

Para el cargado, la dinamita viene por lo general empacada en cartuchos que facilitan su operación. Estos pueden ser de 8, 12, 16 ó 24 pulgadas de longitud, y varían bastante en diámetro, de acuerdo con el tamaño del barreno. Por lo general se desea la máxima densidad de carga, cuando menos en el fondo del barreno; y los cartuchos deben ser tan grandes como lo permita el barreno, para un cargado rápido y seguro.

Casi siempre es suficiente una holgura de 1/4 a 1/2 de pulgada aunque los barrenos ásperos necesitan mas espacio, especialmente para los cartuchos más largos

Normalmente, el explosivo no debe sacarse de los cartuchos durante el cargado, a menos que el barreno esté cerrado, haciéndose necesario recurrir a un procedimiento especial. En este caso, el riesgo del cargado aumenta ya que puede mezclarse el explosivo con las cortaduras del terreno. En algunos casos, parte de la potencia explosiva se pierde al desechar el papel de envoltura, y en otros, ciertos gases nocivos se incrementan después de la detonación, lo que debe tomarse en consideración en operaciones subterráneas.

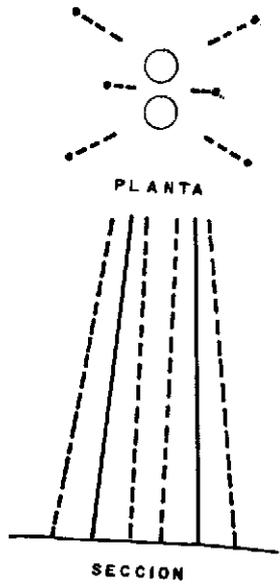


FIG. N.º 19 CUÑA QUEMADA PROFUNDA, CON
ARRASTADORES

La operación de compactar la carga en el barreno se conoce como, atacado. Este proceso se facilita mucho, rajando el cartucho precisamente antes de cargarlo, a menos que el papel ya venga perforado. Con la pólvora negra sucede lo que casi siempre se presenta con las dinamitas granuladas encartuchadas, ya que se abren fácilmente y el rajado provoca un derrame excesivo.

Al cargar barrenos verticales y horizontales, lo recomendable es no insertar más de dos cartuchos al mismo tiempo, si se desea obtener máxima densidad y si la carga se ataca sólidamente. Esto, por supuesto, no es aplicable a pólvora negra y explosivos similares; en donde la compactación no solo es indeseable sino que la deformación del cartucho está prohibido por el código federal de seguridad en minas. Estos explosivos son relativamente insensibles y la carga completa, incluyendo el cebo, deben colocarse precisamente adentro de la boca del barreno y empujarse hasta el fondo como una sola unidad. Esto dá una columna continua con todos los cartuchos en contacto íntimo. Asegurarse que el cebo no se separará de la carga al halar los alambres del estopín durante la aplicación del taco.

Al atacar una pequeña carga de dinamita, como por ejemplo, dos cartuchos, por lo regular, dos o tres golpes ligeros del atacador son suficientes para producir una buena compactación. En algunos casos, sólo se necesita una presión constante con el atacador; pero en cualquier caso, el operador puede por lo regular, determinar con la experiencia y por el "toque" del atacador, una buena compactación.

El cebo nunca debe forzarse o atacarse, debiéndose únicamente empujar o bajar con cuidado hasta su posición, de preferencia con un cartucho que actúe como amortiguador entre el cebo y el atacador. La posición del cebo no es crítica cuando se dispara instantáneamente en cuanto a barrenos robados.

En disparos con retardos, es deseable colocar el cebo hasta el fondo del barreno, con el estopín apuntando hacia la

boca. Si se cargan antes del cebo uno o más cartuchos, pueden quedar separados del cebo por los cartuchos de la barrenación o por alguna caverna del agujero; el disparo de un cebo anterior puede enviar el cebo a la rezaga, provocando un barreno robado. Este significa que aunque el estopín dispare, existe posibilidad de dejar dinamita sin explotar, y cuando se barrena la siguiente ronda, el operador puede barrenar el explosivo, produciendo un accidente. (Ver Figura 20)

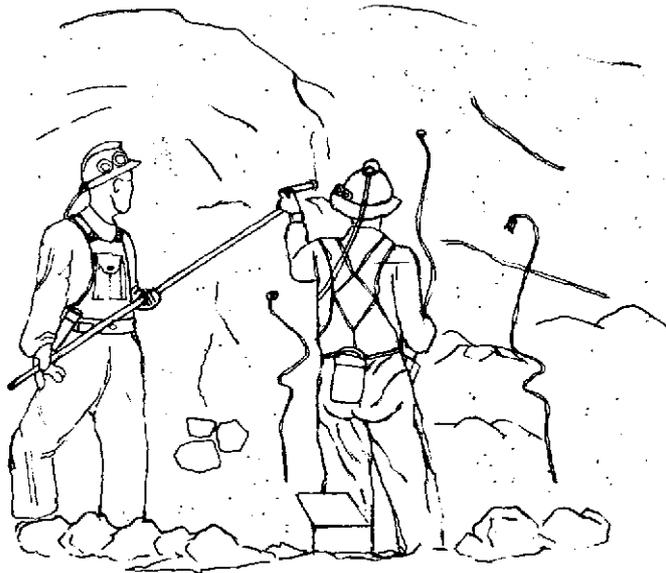


FIG. n.º 20 CARGADO DE BARRENOS DE PEQUEÑO DIAMETRO

7. RENDIMIENTOS DE AVANCES CON EXPLOSIVOS:

Las características físicas de una masa de rocas, que influye en el problema de su arranque son: la dureza, tenacidad, fragilidad, blandura o plasticidad de la roca misma, y la presencia de planos de estratificación, de puntos, grietas o quebraduras. Una roca puede ser al mismo tiempo dura y tenaz, o dura y frágil, frágil y blanda, blanda y plástica, o blanda y friable. Las rocas blandas se perforan y arrancan fácilmente, mientras que las duras y tenaces son difíciles de perforar y exigen grandes cantidades y diferentes clases de explosivos. Los materiales que se encuentran en labores subterráneas, varían desde los no coherentes, tales como tierra y arena o gravas, hasta los más firmes y coherentes como granitos, dioritas y diabasas. Las rocas muy blandas o incoherentes pueden ser arrancadas por medio de picos, piochas, palas o excavadores mecánicos, mientras que los moderadamente coherentes deben ser aflojadas y fracturadas con preferencia por medio de explosivos.

La dureza y tenacidad relativa de la mayoría de las rocas comunes, así como la energía por unidad de superficie para fracturarlas, se muestra en la tabla No. 3.

Al hacer uso de la tabla hay que tener en cuenta que el debilitamiento de una pieza rocosa, por la presencia de planos de fractura o cruceros, o por razones de cualquier otra naturaleza, tiene influencia importante en la fijación de la clase y cantidad de explosivos necesarios.

Así, una misma calidad de roca, puede variar desde el estado de absoluta compacidad, al de roca completamente fracturada; con todos los estados intermedios posibles. (Ver Fig. No. 22)

Para arrancar y romper determinada masa de roca, es necesario que el peso del explosivo guarde proporción con el volumen de la masa.

El peso del explosivo puede estar concentrado en una carga única, o distribuido en cierto número de cargas pequeñas en varios barrenos, colocados de tal manera que se equilibren los volúmenes que han de ser arrancados por cada carga.

Al disponer las voladuras debe tenerse en cuenta la resistencia de la masa y la clase de explosivos que se utiliza.

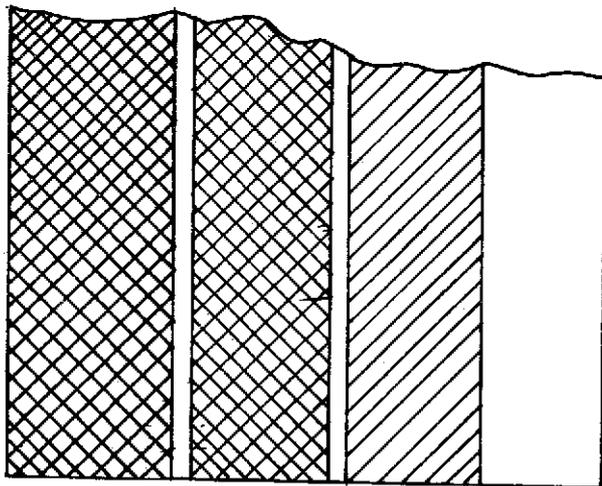
El caso de túneles es el más crítico, ya que solo posee una superficie libre. Cuando en el túnel utilizamos cuñas en ángulo para la perforación, la profundidad del avance suele ser corrientemente las $3/4$ partes de la dimensión mayor del frente; así por ejemplo, en una galería de 1.50 mts. por 2.10 mts. se toman 1.50 como dimensión mayor. En cambio, cuando utilizamos cuñas quemadas, permite alcanzar mayor profundidad del avance hasta 1 ó $1 \frac{1}{2}$ veces la mayor dimensión de la sección.

En los avances de túneles en roca dura, con secciones que varían de 9 a 18 m², se utilizan áreas de influencia por barreno, de 0.32 a 0.46 m²; con sección de 4.5 a 9 m² las áreas por barreno varían de 0.23 a 0.32 m².

En túneles pequeños de 2.7 a 4.6 m², el área es de 0.27 m² por barreno. En roca media, 0.37 a 0.46 m² por barreno y en roca fácilmente arrancable, de 0.65 a 0.74 m² por barreno.

El avance con barreno de cuña quemada de franqueo, o muy próximos entre sí, rompen a un tiempo y establecen una línea de debilitamiento, sobre los que rompen los primeros, segundos y terceros ayudantes.

En muchos casos, la mitad aproximadamente de los barrenos en cuña quemada, se perforan con mayor diámetro que los restantes.



SISTEMA
TRIPLE DE PLÁ-
NOS DE CRU-
CERO.

SISTEMA DE
DOBLE FLA-
NOS DE CRUCE-
RO.

SISTEMA SIM-
PLE DE PLA-
NOS DE CRU-
CERO

MASA BO-
COSA HO-
MOGENEA.

FIG. N.º 22

TABLA No. 3

PROPIEDADES FISICAS DE LAS ROCAS

ROCA	Tenasidad relativa	Dureza relativa	Kgm. por m ² de sup. de fractura	Densidad
Diabasa Fresca	3.0	2.19	8.026	2.95
Diabasa Alterada	2.4	2.11	6.420	-----
Basalto	2.3	2.05	6.453	2.90
Esquisto de Hornablenda	2.1	2.00	5.618	3.00
Diorita	2.1	2.17	5.618	2.90
Granito de Hornablenda	2.1	2.20	5.618	2.76
Riolita	2.0	2.14	5.350	2.60
Cuarcita	1.9	2.20	5.082	2.67
Gneis de biotita	1.9	2.03	5.082	2.76
Diorita de Augita	1.9	2.13	5.082	2.98
Basalto Alterado	1.7	1.87	4.548	-----
Gabro	1.6	2.45	4.279	3.00
Chert	1.5	2.33	4.012	2.50
Arenisca Calcárea	1.5	1.00	4.012	2.66
Granito	1.5	2.17	4.012	2.65
Pizarra	1.2	1.38	3.209	2.70
Andesita	1.1	1.65	2.912	2.50
Caliza	1.0	1.53	2.676	2.70
Micasquisto	1.0	2.08	2.676	2.80
Anfibolita	1.0	2.27	2.676	3.00
Dolomita	1.0	1.77	2.676	2.70
Granito de Biotita	1.0	2.03	2.676	2.64
Gneis de Hornablenda	1.0	2.05	2.676	3.02

7.1 CANTIDAD DE EXPLOSIVOS A USAR, DEPENDIENTE DEL TIPO DE MATERIAL:

El conocimiento de la cantidad de explosivo que se precisa, para arrancar 1 m³ de material, es un dato de gran utilidad para calcular las cargas. Esta cifra varía según el tipo de explosivo y el grado de fragmentación que se desee.

Cuando mayor es la fragmentación, mayor es el consumo de explosivo. La energía de un explosivo, la posición de las cargas y la resistencia de la roca, determina de qué manera se rompe éste, por efecto de las cargas.

CONSUMO DE EXPLOSIVO EN TUNELES

Dureza de las rocas	Peso de explosivo kg/m ³	Explosivo utilizado	Gramos por m ³	Gramos de Nitro-glicerina equiv.
Muy Blandas	0.355	Dinamite 25o/o	354	88.7
Blanda	0.443	Dinamita 30o/o	443	132.9
Media	0.532	Dinamita 30o/o	532	159.6
Semi Duras	0.622	Dinamita 40o/o	622	248.8
Duras	0.710	Dinamita 40o/o	710	284.0
Muy dura	0.710	Dinamita 60o/o	710	426.0

Los consumos indicados en la tabla, se refieren a trabajos en zonas secas, pero son igualmente aplicables a zonas húmedas, utilizando explosivos adecuados.

7.1.1 LIMITACIONES EN SU USO:

El tamaño de los bloques arrancados, no debe exceder de cierto límite, ya que de lo contrario resulta imposible manejarlos sin nueva reducción de tamaño. En la mayoría de los explosivos subterráneos, los bloques de tamaño excesivo, son taqueados para fraccionarlos tanto como sea posible; y pueden variar de 27 a 45 cms. en la dimensión menor.

8. MEDIDAS DE SEGURIDAD EN MANEJO Y USO DE EXPLOSIVOS:

El manejo y almacenamiento de los explosivos, agentes explosivos y accesorios, en todas las etapas de su manipuleo, requieran procedimientos y métodos adecuados que cumplan con la ley, atendiendo la protección y preservación de vidas y materiales.

8.1 SU TRANSPORTACION:

Para la transportación de explosivos en Guatemala, se ha tomado como base el reglamento de seguridad de transporte de E.E.U.U., y algunas limitaciones creadas en determinados proyectos; por ejemplo, el Acueducto Nacional Xaya-Pixcaya, que para su construcción aplicó las medidas recomendadas por el Reglamento de Seguridad de E.E.U.U., y además creó las que considero convenientes para la ejecución del proyecto, de acuerdo a las condiciones del lugar.

En el presente trabajo, daremos a conocer algunas de las medidas consideradas de importancia en Guatemala.

A) El vehículo debe marcarse en sus lados con la palabra "explosivos" con letras no menores de cuatro pulgadas de alto, pintadas de tal manera que contraste con el fondo de la pintura del vehículo, o bién, chocar una bandera roja de 24 pul. cuadradas como mínimo y la palabra explosivos con letras no menores de 3 pulgadas de alto y además colocar la palabra "peligro" con letras de 6 pulgadas de alto.

B) Debe de transportarse en el vehículo, una sola clase de explosivos; y además con ellos no debe llevarse ninguna herramienta de metal, aceites, fósforos, armas de fuego, ácidos, substancias inflamables y similares.

El vehículo además no debe de ir sobrecargado. En ningún caso debe hacerse pilas altas con ellos.

Si el vehículo está destapado, debe cubrirse con una lona encerada para cubrir los explosivos.

C) Al vehículo debe de hacerse un chequeo completo de frenos, sistema eléctrico aislado, que no existan acumulaciones de grasas y aceites en el chasis. El tanque de combustible y línea de conducción, deben estar perfectamente seguros y libres de fugas; además, el vehículo debe llevar 2 extinguidores de incendio adecuados. El piso debe ser bien ajustado y hermético, evitando también que ningún cuerpo de metal pueda tener contacto con los paquetes de explosivos.

D) El vehículo que transporta explosivos no debe llevar pasajeros u otra persona que no haya sido autorizada. El vehículo será guiado por un conductor con licencia y que esté en buen estado de salud, no debe fumar, ni llevar fósforos y similares.

E) Ningún vehículo que transporte explosivos deberá ser llevado a taller o garaje para su reparación o servicio.

F) En el transporte Subterráneo, todos los explosivos o agentes explosivos en tránsito, deberán ser llevados al lugar de uso o almacenamiento sin demora.

F-1 Únicamente la cantidad estimada para la voladura deberá ser llevada al frente.

F-2 Los explosivos y agentes explosivos deberán ser cargados, transportados y bajados en carros especiales para explosivos, pudiendo viajar en el, el operador, su ayudante y el dinamitero.

F-3 Ningún explosivo será transportado en locomotora. Por lo menos, dos largos de carro deberán separar la locomotora del carro con explosivos.

F-4 No deberán transportarse explosivos o agentes explosivos por peatones.

F-5 El carro o equipo que contenga explosivos debe ser tirado, no empujado.

8.2 SU ALMACENAJE:

Los explosivos y detonadores deben ser almacenados separadamente en lugares distintos, secos, ventilados, a prueba de balas y resistencia al fuego, lejos de otros edificios, líneas férreas y carreteras.

La bodega para almacenaje de explosivos se le llama comunmente polvorín. Un polvorín en términos generales, debe ser construido de tal manera, que pueda mantener fresca la dinamita durante períodos largos de tiempo, en climas diferentes.

Si la dinamita no permanece fresca, debe de aislarse antes de usarse, pues el peligro de una detonación prematura, es mucho mas grande, cuando no está en su estado normal.

9. FACTORES EXTERIORES QUE AFECTAN A UN TUNEL AL EXCAVARSE POR MEDIO DE EXPLOSIVOS

Ofrece mayor peligro la electricidad extraña, que es la energía eléctrica no deseada, que puede entrar a los circuitos eléctricos de voladura, proveniente de cualquier fuente. Las fuentes de esta electricidad son de dos categorías: aquellas generadas por la naturaleza; incluyen el rayo, la estática y la acción galvánica. Las generadas por el hombre, comprenden a las corrientes inducidas por equipo eléctrico impropriadamente instalado o en malas condiciones de trabajo, corrientes magnéticas y electrostáticas inducidas, descargas de líneas de transmisión de alto voltaje y fuertes corrientes de tierra originadas por líneas de fuerza o rieles cercanos al sitio de la voladura. Las fuentes producidas por el hombre se hacen cada vez más numerosas, ya que cada año se tienden millas de líneas de transmisión y nuevo equipo eléctrico. Al mismo tiempo, el uso de estopines eléctricos es cada vez mayor. Como resultado de esta combinación de circunstancias, los riesgos de la electricidad extraña, relacionados con los circuitos eléctricos de voladura, son un motivo de preocupación cada vez más importantes.

REYOS:

Si un rayo toca a un circuito de voladura, su detonación es muy probable. Aún, un rayo cercano, será probablemente causa de detonación. Rayos que han caído a varias millas de distancia de un circuito de voladura, han inducido cargas eléctricas suficientemente grandes para hacer detonar estopines eléctricos. El riesgo de los daños aumenta considerablemente si existe cerca de una línea de transmisión, una corriente de agua que conduzcan la electricidad entre la tormenta y el punto de disparo. Como consecuencia, las operaciones de voladura, en la superficie, bajo tierra o en el agua, deberán suspenderse y todo el personal retirarse del área de voladura, cuando se acerque una tormenta eléctrica. Es necesario diseñar un sistema estandar de señales para prevenir al personal.

El rayo no es el único peligro asociado con las tormentas. En la vecindad de una tormenta eléctrica, la atmósfera puede almacenar peligrosas cargas de electricidad estática, a distancias considerables del centro de la tormenta. La carga estática puede almacenarse en cualquier cuerpo conductor, como por ejemplo, en un hombre aislado de la tierra y es posible que descargue a través del alambre del estopín, si éste toca el cuerpo cargado.

El movimiento de partículas, especialmente bajo condiciones secas, son capaces de generar electricidad estática, ya sea que estén en suspensión o dentro de un material en movimiento, tal como en una banda de motor. Las partículas pueden ser polvo o nieve movidas por fuertes vientos o vapor a presión.

LINEAS DE TRANSMISION DE ALTO VOLTAJE Y POTENCIA:

El riesgo principal asociado con las operaciones cercanas a líneas de transmisión, es el peligro de electrocución de personal, si un alambre del estopín o alambre de guía fuera arrojado por la voladura hasta hacer contacto con una línea de energía viva.

SE RECOMIENDA:

- 1) El punto de voladura nunca debe estar localizado más cerca a una línea de transmisión o de potencia, que la distancia igual a la longitud de ambos alambres del estopín.
- 2) Si no puede localizarse un punto de disparo que cumpla con la anterior, es indispensable utilizar, en lugar de estopínes eléctricos y alambres de guía, los retardos, cordones detonantes estandar o cordones detonantes de baja carga explosiva. El uso de un fulminante y mecha de seguridad para iniciar los cordones detonantes anteriores, proporciona un sistema no eléctrico.
- 3) Si no se encuentran disponibles cordones detonantes estandar, o cordones detonantes de baja carga, los alambres del estopín deben anclarse firmemente en, o cerca del lugar del disparo.

4) Si los alambres del estopín o una línea de guía, vuelan hasta tocar una línea de energía, la cuadrilla de voladura no debe intentar retirar el alambre. Es indispensable pedir a la compañía eléctrica que lleva a cabo la operación.

Antes de efectuar operaciones eléctricas de voladura en la vecindad de líneas de transmisión, es buena práctica investigar si hay corrientes erráticas. Debe tenerse cuidado, al efectuar estas pruebas, de evitar hacer contacto entre las líneas de alto voltaje y el alambre o el equipo de prueba. Los peligros involucrados en la investigación de estos riesgos, pueden ser, a menudo, más severos que los primeros.

ENERGIA DE RADIOFRECUENCIA:

Antes de comenzar cualquier operación que involucre el manejo de estopines electricos, debe efectuarse una investigación para determinar si existen fuentes potencialmente peligrosas de energía de radiofrecuencia; entre ellas, radio, televisión, o transmisores de radar.

10. RECOMENDACIONES

- 1) No llevar cantidades excesivas de explosivos al interior del túnel.
- 2) No utilizar pólvora negra o granulada, junto con explosivos permisibles o dinamita, en el mismo barreno.
- 3) No preparar cebos cerca de cantidades excesivas de explosivos, o en cantidades mayores de lo necesario.
- 4) No forzar un fulminante o un estopín eléctrico en un cartucho de dinamita. Inserte el fulminante dentro del agujero efectuado en el cartucho, por medio de un punzón adecuado para este fin.
- 5) Revisar cuidadosamente la superficie que se va a barrenar, para determinar la posible presencia de explosivos sin disparar.
- 6) No almacenar explosivos sobrantes, cerca de áreas de trabajo durante el cargado.
- 7) No rajarse, dejar caer, deformar o abusar del cebo. No suelte un cartucho de diámetro grande y pesado directamente sobre el cebo.
- 8) Revisar cuidadosamente todo el equipo de barrenación, instalaciones eléctricas, equipo de ventilación y otros.

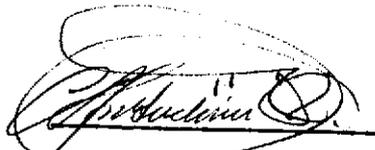


11. CONCLUSIONES

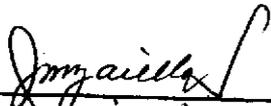
- 1) Para perforación de túneles con alto rendimiento de avance es necesario el uso de explosivos, utilizando el método de perforación más adecuado; en la actualidad, el método del frente completo es el más recomendable.
- 2) La barrenación con cuña quemada, ha dado mejores resultados para el mejor avance en cada disparo, seguido de primeros, segundos y terceros ayudantes.
- 3) Para perforación de todo túnel, es necesario conocer las condiciones geológicas de la línea, para poder saber previamente, el método de perforación, explosivo a utilizar, esquema de perforación, así como saber la cantidad de explosivo a utilizar para el arranque de determinado volumen.
- 4) Para toda voladura, es necesario utilizar Agentes explosivos por razones de seguridad, aunque su costo sea mayor.
- 5) Siendo los explosivos, materiales peligrosos; deben tomarse todas las medidas de seguridad necesarias, para la protección del personal dentro y fuera del túnel.

12. BIBLIOGRAFIA

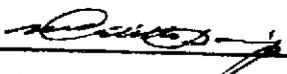
1. GEOLOGIA PARA INGENIEROS Por Roberto F Legget. Tercera Edición. Editorial Gustavo Gili, S A (1969).
2. ELEMENTOS DE MINERIA Por George J. Young Editorial Gustavo Gili, S.A. segunda Edición (1961)
3. LAS DINAMITAS,, APLICACION EN INGENIERIA. DISEÑO DE UN POLVORIN. Tesis Ing Juan José de la Cruz Moreno. (1959).
4. BLASTER'S HAND BOOK, Fourteenth dition. Du Pont (1955).
5. CONSTRUCCION DE CARRETERAS ESPECIFICACIONES METODOS Y EQUIPO. Tomo 1 y 2. Ing. Armando Vides Tobar. (1970)
6. Especificaciones Generales de Construcción del Acueducto Nacional Xaya-Pixcaya. (1971)
7. MANUAL PARA EL USO DE EXPLOSIVOS. DU PONT Editorial Continental. México, D.F. (1973).
8. POLVORAS Y EXPLOSIVOS. Por A. tettbacher. Editorial, Gustavo Gili, S.A. (1961).


Carlos Humberto Suchini Paiz
SUSTENTANTE

Vo.Bo.


Ing. Jorge Mario Barillas Quiñones
ASESOR

Vo.Bo.


Ing. Manuel Angel Castillo Barajas
DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Vo.Bo.


Ing. Raúl Molina Mejía
DECANO