

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



**CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN VÍAS
TERRESTRES**

**TESIS DE GRADO PREVIA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE MAGISTER EN VÍAS TERRESTRES**

**MANUAL TÉCNICO PARA EL USO DE EXPLOSIVOS
UTILIZADOS EN VOLADURAS A CIELO ABIERTO EN
VÍAS TERRESTRES**

AUTOR: Francisco Rubén Romero Naranjo

TUTOR: Ing. Msc. Francisco Mantilla

Ambato, Enero del 2009

APROBACION DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación sobre el tema “MANUAL TÉCNICO PARA EL USO DE EXPLOSIVOS UTILIZADOS EN VOLADURAS A CIELO ABIERTO EN VÍAS TERRESTRES” del estudiante Romero Naranjo Francisco Rubén, alumno del Programa de Maestría en Vías Terrestres, considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del jurado examinador designado por el H. Consejo de Postgrado.

Ambato, enero del 2009

EL TUTOR

Ing. Msc. Francisco Mantilla

AUTORIA DEL TRABAJO DE GRADO

Los criterios emitidos en el trabajo de investigación: “MANUAL TECNICO PARA EL USO DE EXPLOSIVOS UTILIZADOS EN VOLADURAS A CIELO ABIERTO EN VÍAS TERRESTRES” como también los contenidos, ideas, análisis, conclusiones y propuesta son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autor de este trabajo de grado.

Ambato, enero del 2009

EL AUTOR

Ing. Francisco Rubén Romero Naranjo

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO

MAESTRÍA EN VÍAS TERRESTRES

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: “MANUAL TÉCNICO PARA EL USO DE EXPLOSIVOS UTILIZADOS EN VOLADURAS A CIELO ABIERTO EN VÍAS TERRESTRES” del estudiante Romero Naranjo Francisco Rubén, alumno del Programa de Maestría en Vías Terrestres.

Ambato, enero del 2009

Para constancia firman

Ing. Msc. Fausto Garcés

Ing. Msc. Víctor Hugo Fabara

Ing. Msc. Víctor Hugo Paredes

DEDICATORIA

Gracias a la luz divina del señor, al amor, apoyo y comprensión de mis seres queridos:

Mis hijos: Francisco Andrés, y Francisco Nicolay; que son el eje principal de mi vida;
mi Padre, que con sus consejos ha sabido guiarme por el camino de la verdad;
mis Hermanos que son apoyo y comprensión en mi familia;
y mi Madre (+) que desde el cielo bendice el rumbo de mi vida....

Dedico lo que el trajinar del tiempo, la ciencia y el deber me han deparado. Lograr hacer realidad los anhelos y sentimientos, no es un sacrificio, cuando de esto depende el despertar de un mañana lleno de esperanza y bienestar.

Paco

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento al personal de la empresa EXPLOCEN C.A. a su Gerente Ing. Fabián Chico, al Ing. Marco Padilla, Lic. Mario Rosero Supervisor de Producción, al personal técnico de la empresa HOLCIM por el aporte técnico realizado en las prácticas de voladuras.

Al Ing. Mayor Egues por su aporte en calidad de Asesor técnico el mismo que con sus conocimientos de explosivos ha logrado realizar este manual técnico de explosivos.

A Jackita Acuña por su lealtad y apoyo desinteresado en la elaboración de este trabajo, tiempo valioso que ha permitido compartir y culminar de manera exitosa con los objetivos planteados.

A Juanito Naranjo, por su apoyo y por compartir las alegrías y tristezas en el devenir del tiempo con la esperanza de un día mejor.

Gracias a las Autoridades de la Universidad y a mis maestros por demostrar su profesionalismo durante el tiempo de formación académica.

INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

	PAG.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	2
ÍNDICE	3
RESUMEN EJECUTIVO	8
CAPITULO 1. EL PROBLEMA	
1.1 TEMA	9
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN	9
1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO	10
1.2.3 PROGNOSIS	11
1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	11
1.2.5 DELIMITACIÓN	11
1.2.5.1 DELIMITACIÓN TEMPORAL	11
1.2.5.2 DELIMITACIÓN ESPACIAL	12
1.3 JUSTIFICACIÓN	12
1.4 OBJETIVOS	13
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	13
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
CAPITULO 2. MARCO TEORICO	
2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	14
2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	15
2.2.1 EXPLOSIVOS	15
2.2.1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LOS EXPLOSIVOS	15
2.2.1.2 PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS	17
2.2.1.2.1 FUERZA O POTENCIA	17
2.2.1.2.2 VELOCIDAD DE DETONACION	18

2.2.1.2.3 DENSIDAD Y GRAVEDAD ESPECÍFICA	19
2.2.1.2.4 PRESION DE DETONACION	19
2.2.1.2.5 SENSIBILIDAD	20
2.2.1.2.6 RESISTENCIA AL AGUA	20
2.2.1.2.7 EMANACIONES	21
2.3 FUNDAMENTACION LEGAL	21
2.4 HIPOTESIS	22
2.5 CATEGORIAS FUNDAMENTALES	22
2.6 SEÑALIZACION DE VARIABLES	22
CAPITULO 3. METODOLOGIA	
3.1 MODALIDAD BASICA DE INVESTIGACION	23
3.2 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACION	23
3.3 POBLACION Y MUESTRA	23
3.4 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES	23
3.5 PLAN DE RECOLECCION DE LA INFORMACION	24
3.6 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION	24
CAPITULO 4. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS	
4.1 ANALISIS DE LOS RESULTADOS	25
4.2 VERIFICACION DE HIPOTESIS	25
CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1 CONCLUSIONES	26
CAPITULO 6. PROPUESTA	
6.1 DATOS INFORMATIVOS	29
6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA	29
6.3 JUSTIFICACION	29
6.4 OBJETIVOS	30
6.4.1 OBJETIVO GENERAL	30

6.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	30
6.5 FUNDAMENTACION	30
6.5.1 MANUAL TECNICO DE EXPLOSIVOS	31
6.5.1.1 PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS	32
6.5.1.1.1 VELOCIDAD DE DETONACION	33
6.5.1.1.2 DENSIDAD	36
6.5.1.1.3 PRESION DE DETONACION	36
6.5.1.1.4 RESISTENCIA AL AGUA	37
6.5.1.1.5 SENSITIVIDAD	39
6.5.1.1.6 HUMUS	40
6.5.1.1.7 POTENCIA	41
6.5.1.1.8 PODER ROMPEDOR	42
6.5.1.2 TIPOS DE EXPLOSIVOS	43
6.5.1.2.1 POLVORA NEGRA	43
6.5.1.2.2 DINAMITAS	43
6.5.1.2.3 GELES	44
6.5.1.2.4 PENTOLITAS	44
6.5.1.2.5 EMULSIONES	44
6.5.1.2.5.1 CARACTERISTICAS DE LAS EMULSIONES	46
6.5.1.2.5.1 TIPOS DE EMULSIONES	47
6.5.1.2.6 INICIADORES DE EXPLOSIVOS	51
6.5.1.2.7 AGENTES PARA VOLADURAS	52
6.5.1.2.7.1 ANFO NORMAL	52
6.5.1.2.7.2 ANFO ALIMINIZADO	52
6.5.1.3 ACCESORIOS DE VOLADURAS	52
6.5.1.3.1 SISTEMAS DE INICIACION A FUEGO	52
6.5.1.3.2 SISTEMAS DE INICIACION ELECTRICOS	54
6.5.1.3.3 SISTEMAS DE INICIACION NO ELECTRICOS	59
6.5.1.4 VIBRACIONES EN VOLADURAS	64
6.5.1.4.1 CARACTERISTICAS DE LAS VIBRACIONES	64
6.5.1.4.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE MONITOREO	64

6.5.1.4.3	COMO SE MIDE VIBRACION CAUSADA POR VOLADURAS	66
6.5.1.4.4	UBICACIÓN DE LOS SISMOGRAFOS	67
6.5.1.5	EXPLOSIVOS FABRICADOS EN ECUADOR	71
6.5.1.6	CARACTERIZACION DE LOS MACISOS ROCOSOS	73
6.5.1.6.1	DEFINICION DE ROCA Y SU CLASIFICACION	73
6.5.1.6.1.1	ROCAS IGNEAS	74
6.5.1.6.1.2	ROCAS SEDIMENTARIAS	74
6.5.1.6.1.3	ROCAS METAMORFICAS	74
6.5.1.6.2	SELECCIÓN DE ROCAS PARA VOLADURA	75
6.5.1.6.2.1	ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS	75
6.5.1.6.2.2	ROCAS SEDIMENTARIAS	75
6.5.1.6.2.3	EL PROBLEMA DE LA EXCAVACION EN ROCA	76
6.5.1.6.3	CARACTERISTICAS Y PELIGROS DE LAS ROCAS	77
6.5.1.7	GEOLOGIA Y SUS EFECTOS EN VOLADURA	78
6.5.1.7.1	PROCESO DE VOLADURA	78
6.5.1.7.2	FACTORES RELACIONADOS CON LA DISTRIBUCION DE LA CARGA EXPLOSIVA	79
6.5.1.7.3	FRAGMENTACION, ESPONJAMIENTO Y PROYECCION	82
6.5.1.7.3.1	MECANISMO DE ROTURA	82
6.5.1.7.3.2	FRAGMENTACIÓN	84
6.5.1.7.3.3	CARGA Y PERFORACION ESPECÍFICA	84
6.5.1.7.3.4	NORMAS PARA MEJORAR LA FRAGMENTACION	86
6.5.1.7.3.5	EL USO DE LA VOLADURA SECUNDARIA	86
6.5.1.7.4	PROCEDIMIENTO PARA LA PERFORACION EN VOLADURAS A CIELO ABIERTO.	89
6.5.1.7.4.1	PERFORABILIDAD DE UNA ROCA	90
6.5.1.7.4.2	TIPOS DE PERFORACION	90
6.5.1.7.4.2.1	PERFORACION PERCUSIVA	90
6.5.1.7.4.2.2	ROTACION Y CORTE	90
6.5.1.7.5	VOLADURAS EN OBRAS VIALES	91
6.5.1.7.5.1	CORTES A MEDIA LADERA Y TRINCHERAS.	92

6.5.1.7.5.2	CORTES A MEDIA LADERA.	93
6.5.1.7.5.3	VOLADURAS DE GRAN VOLUMEN POR GRAVEDAD .	95
6.5.1.7.5.4	VOLADURA PARA TALUDES.	96
6.5.1.8	COMO SELECCIONAR UN EXPLOSIVO.	97
6.5.1.9	FACTORES ECON. A CONSIDERAR EN UNA VOLADURA.	98
6.5.1.9.1	COSTO POR PERFORACION.	98
6.5.1.9.2	COSTO DE LOS EXPLOSIVOS.	99
6.5.1.9.3	COSTO DE LA CARGA DE LOS BARRENOS.	99
6.5.1.9.4	COSTOS POR VOLADURA SECUNDARIA.	99
6.5.1.10	PROCEDIMIENTO PARA SELECCIONAR EL METODO DE PERFORACION.	100
6.5.1.11	DISEÑO DE VOLADURAS A CIELO ABIERTO	101
6.5.1.11.1	VARIABLES DE DISEÑO DE UNA MALLA DE PERFORACION Y VOLADURA.	103
6.5.1.11.2	PARAMETROS NECESARIOS PARA EL DISEÑO DE UNA MALLA DE VOLADURA.	112
6.5.1.11.3	CONCENTRACION LINEAL DE LA CARGA	113
6.5.1.11.4	PRUEBAS DE CAMPO	114
6.5.1.12	PREVENCION DE RIESGOS AL USAR EXPLOSIVOS	118
6.5.1.12.1	CUIDADOS PARA USAR, ALMACENAR, Y TRANSPORTAR MATERIAL EXPLOSIVO.	119
6.5.1.12.2	SEGURIDAD EN PERFORACION, CONFINAMIENTO Y CARGA DE BARRENOS.	120
6.5.1.12.3	MEDIDAS DE SEGURIDAD POSTERIORES AL DISPARO	122
 C. MATERIALES DE REFERENCIA		
1.	BIBLIOGRAFIA	123
2.	ANEXOS	

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRÍA EN VÍAS TERRESTRES

**“MANUAL TÉCNICO PARA EL USO DE EXPLOSIVOS
UTILIZADOS EN VOLADURAS A CIELO ABIERTO EN VÍAS
TERRESTRES”**

Autor: Francisco Rubén Romero Naranjo

Tutor: Ing. Francisco Mantilla

RESUMEN EJECUTIVO:

La presente investigación tiene por objeto la elaboración de un manual que sirva de guía para la utilización de explosivos en los trabajos que se ejecutan en la construcción de vías terrestres, considerando los diversos factores que se puedan presentar en el terreno.

Se analiza un estudio de los explosivos, las diferentes clases de dinamitas existentes en el mercado; sus características físicas, una comparación de las dinamitas con las emulsiones y anfos.

Los agentes de voladuras, proceso de perforación, diseño de las mallas, las características del macizo rocoso, y resultados de la voladura en fragmentación, ruido, proyecciones y vibraciones. Un estudio de las rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, con la selección de rocas para voladuras, la geología y sus efectos en la voladura, los factores relacionados con la distribución de la carga explosiva para concluir con la voladura en obras viales, su optimización y la aplicación con ejemplos prácticos.

CAPITULO 1

EL PROBLEMA

1.1 TEMA:

“MANUAL TÉCNICO PARA EL USO DE EXPLOSIVOS UTILIZADOS EN VOLADURAS A CIELO ABIERTO EN VÍAS TERRESTRES”

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 CONTEXTUALIZACION

La industria de los explosivos comerciales ha evolucionado desde un inicio extremadamente rudimentario hasta llegar a ser sofisticada, ya sea basada en la investigación técnica de los países desarrollados los mismos que por los adelantos tecnológicos han logrado fabricar explosivos de alta generación mejorando en si la utilización de voladuras y optimizando los recursos en el campo vial.

Los países de Sudamérica como Brasil, Argentina, Chile, Perú y Ecuador, fabrican explosivos de acuerdo a la mejor tecnología, los cuales utilizan explosivos de última generación, en vista que tienen alianzas estratégicas con varias empresas de países desarrollados, siendo muy alta la competitividad.

En el Ecuador, la empresa EXPLOCEN C.A. fabricante de explosivos de igual manera ha ido tecnificando sus productos, debido a la alianza que mantiene con AUSTIN POWDER INC., manteniéndose al nivel de los fabricantes internacionales, ofreciendo

productos de calidad entre los que se destacan las dinamitas, pentolitas, cordón detonante, anfos, y mecha de seguridad.

Los Constructores viales continúan utilizando productos tradicionales de segunda y tercera generación pese a existir productos de cuarta generación, sin un procedimiento técnico que permita ser una guía para realizar los diferentes procesos en la manipulación, operación y transporte para el uso de las voladuras en las vías terrestres.

La optimización es un proceso complejo, que se lleva a cabo bajo condiciones físicas variables, para satisfacer una serie de criterios de éxito que también son variables. A veces los cambios en criterios son económicos en naturaleza e impulsados por el mercado. El pilar básico para la planificación de la construcción de una carretera en un suelo rocoso es tener un amplio conocimiento en voladuras y por consiguiente en el uso de explosivos, sin embargo esto casi nunca sucede. Por esta razón se ha pensado que en nuestro País es necesario un manual práctico para el uso y aperturas de vías donde se facilite su operatividad mejorando la parte técnica y económica del proyecto.

Los Constructores viales han ejecutado voladuras a cielo abierto, muchas veces de forma empírica, en vista que no ha existido un manual que rija un conocimiento profundo de los diferentes elementos que constituyen la práctica de voladuras; de igual manera se han creado productos nuevos como las emulsiones dejando atrás la dinamita, que al ser mas económicos, pueden simplificar las técnicas de voladuras, con menos material explosivo, mejorando y optimizando los recursos.

1.2.2 ANALISIS CRITICO

Es necesario generar cambios que sinteticen el mejoramiento de la calidad y utilización de los explosivos en la apertura de vías, orientada a la buena aplicación de los mecanismos técnicos, para mejorar la operatividad y seguridad en los trabajos.

Frente a este problema, es importante realizar este proyecto de investigación, con el propósito de lograr identificar los factores que tienen mayor incidencia, con el objeto de mejorar la calidad en la manipulación, transporte, y perforación de voladuras a cielo abierto, para facilitar los trabajos en el campo de la construcción vial y optimizar sus recursos.

1.2.3 PROGNOSIS

En caso de no llegar a realizar este proceso de investigación, seguirían utilizando los mecanismos actuales sometidos a las leyes y normas de otros países en desarrollo, e impidiendo el desarrollo de elementos que mejoren la aplicación de técnicas de nuestro país.

1.2.4 FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cuál será el manual técnico óptimo que sirva de guía para la correcta ejecución y aplicación de los procesos de la voladura aplicada en el campo vial, y permita fortalecer los procesos de planificación y diseño para una buena optimización de recursos por parte de los constructores viales?

1.2.5 DELIMITACION DEL OBJETO DE LA INVESTIGACION

1.2.5.1 Delimitación Temporal

El presente trabajo se desarrollará en un período comprendido entre los meses de junio a noviembre del 2008.

1.2.5.2 Delimitación Espacial

Esta investigación tendrá estudios de gabinete, los cuales se realizarán en base a la información existente en textos y cursos referentes al tema.

Para asistir a todas las fases de voladura en el campo, ésta se realizará en la empresa HOLCIM empresa ubicada en la vía Papallacta del cantón Quito Provincia de Pichincha como clase práctica del séptimo curso internacional de voladuras a realizarse en la ciudad de Quito; y para conocimiento de los explosivos que se fabrican en el Ecuador se realizará una pasantía en las instalaciones de la fábrica “Explocen” la misma que se encuentra ubicada en la parroquia Poaló del Cantón Latacunga Provincia de Cotopaxi, y se complementarán con el trabajo de oficina en la Ciudad de Latacunga.

Anexo: Certificaciones de prácticas realizadas.

1.3 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACIÓN

Establecer un manual de utilización de explosivos en voladuras a cielo abierto aplicadas en vías terrestres, permitiría mejorar, optimizar y reducir costos, para de esta manera satisfacer las expectativas del Constructor vial.

Aplicar desde el punto de vista técnico-científico, la metodología de la investigación y la técnica de voladura a cielo abierto.

Por ésta razón el manual será una herramienta necesaria e indispensable para todo el personal que está inmerso en el campo de la apertura de vías utilizando material explosivo

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 GENERAL

Elaborar y presentar un manual técnico para el uso de explosivos, que permita optimizar el material explosivo a ser usado en la construcción de vías.

1.4.2 ESPECIFICOS

- Establecer una comparación técnica del material explosivo aplicado en diferentes tipos de rocas, la perforación y resultados de la voladura.
- Analizar los diferentes componentes que tiene la voladura y el material explosivo.
- Realizar pruebas de campo para analizar propiedades del material explosivo.
- Desarrollar las comparaciones técnicas para verificar la optimización del material explosivo en las voladuras a cielo abierto.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

La perforación de voladuras en vías terrestres es tratada en algunos manuales de voladura, sin embargo, el tema no se ha desarrollado de manera amplia para las condiciones particulares de nuestro país, puesto que estos documentos son de otros países.

Los trabajos de investigación de explosivos están orientados a la actividad minera de explotación de yacimientos, en relación a voladuras para vías terrestres no se ha encontrado investigaciones recientes.

El desconocimiento de los profesionales de la construcción vial relacionado a la aplicación correcta de los explosivos en voladuras a cielo abierto, hace necesario la contratación de técnicos especiales en perforación, técnicos en explosivos, para la realización del diseño, y aplicación de los diferentes elementos constitutivos de la perforación y voladuras en la apertura de vías.

En el décimo seminario internacional de perforación y voladuras realizado en el mes de abril/2007 en la ciudad de Quito, se analizado técnicas de perforación y voladuras, como también la aplicación de emulsiones, siendo muy necesario tener un conocimiento de las rocas, su composición (manto rocoso), su optimización, la utilización de los diferentes elementos que conforman la perforación y voladura de rocas; las diferentes aplicaciones con productos de cuarta generación como son las emulsiones; las herramientas necesarias que existen en el mercado para la perforación; y la seguridad con las normas que rigen la transportación segura de los diferentes compuestos con el fin de evitar

accidentes que pueden ocasionar pérdidas humanas; es necesario tomar en cuenta que con el uso de explosivos “el primer error es el último”.

2.2 FUNDAMENTACIÓN TEORICA.

2.2.1 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.

2.2.1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LOS EXPLOSIVOS

La introducción de la dinamita en 1868, 242 años después de la introducción de la pólvora en 1627 hizo necesario que se comenzaran a realizar pruebas de comportamiento de los explosivos con el fin de establecer comparaciones de desempeño.

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.

Un posterior desarrollo substituye el nitrato de potasio por clorato de potasio, y luego por nitrato de sodio, estos cambios resultaron en un explosivo mucho más potente. La pólvora puede fabricarse solamente con carbón y azufre, pero como es un explosivo combustible necesita oxígeno, por lo que para estallar en un barreno necesita una tercera sustancia (clorato de potasio, Nitrato de sodio o el nitrato de potasio) que con el calor se descomponga desprendiendo oxígeno.

La nitroglicerina fue descubierta hacia el año 1840 por el químico italiano Ascani Sobrero. Este explosivo (compuesto de glicerol, ácido nítrico y sulfúrico) resultó ser muy potente pero a la vez muy sensible a la presión y temperatura, que lo hace muy peligroso; unos años después de este descubrimiento, el químico Sueco Alfred Nobel resolvió el problema de sensibilidad de la nitroglicerina al mezclar esta con una sustancia inerte que puede ser una tierra diatomácea, a esta nueva sustancia se le llama dinamita nitroglicerina.

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.

Luego, con la introducción de ANFO en 1955 y poco después los slurries y emulsiones en la década de los 60 y 70 respectivamente se ha hecho muy necesario establecer pruebas de laboratorio y de campo de mayor rigor científico dadas las diferentes formas en que funcionan estos agentes de voladura.

Actualmente los explosivos se utilizan extensivamente en todo el mundo en canteras a cielo abierto, minas en subterráneas y canteras de materiales.

Los explosivos también se utilizan en diversas obras civiles como en la construcción de presas, sistemas de conducción eléctrica, gasoductos, oleoductos, sistemas de drenaje, vías, canales, túneles, compactación de suelos y muchas otras aplicaciones.

Los detonadores electrónicos constituyen una herramienta muy útil en el avance tecnológico de los explosivos y en la medida en que su comercialización los haga más asequibles su uso aportará grandes beneficios.

2.2.1.2 PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS

Cada tipo de explosivo tiene características propias definidas por sus propiedades, para el mismo tipo de explosivo las características pueden variar dependiendo del fabricante; el conocimiento de tales propiedades es un factor importante en el diseño de voladuras.

Las propiedades más importantes de los explosivos son: fuerza, densidad de empaque, velocidad de detonación, sensibilidad, resistencia al agua, emanaciones e inflamabilidad, estas se tratarán a continuación.

2.2.1.2.1 FUERZA O POTENCIA

La fuerza en un termino tradicionalmente usado para describir varios grados de explosivos, aunque no es una medida real de la capacidad de estos de realizar trabajo; a

este termino en ocasiones se le llama potencia y se origina de los primeros métodos para clasificar dinamitas.

La fuerza es generalmente expresada como un porcentaje que relaciona el explosivo estudiado con un explosivo patrón (nitroglicerina).

El termino fuerza fue aplicado cuando las dinamitas eran una mezcla de nitroglicerina y un relleno inerte (normalmente diatomita o también llamada tierra dictomacea), entonces una dinamita al 60% contenía 60% de nitroglicerina por peso de dinamita y era tres veces mas fuerte que una dinamita de 20 %. Las dinamitas nuevas contienen rellenos activos tales como el nitrato de sodio, esto hace que ellas sean hasta 1,5 veces más potentes que las antiguas.

Usualmente en las dinamitas se trabaja con la fuerza por peso, mientras que las gelatinas con la fuerza por cartucho. La fuerza no es una buena base para comparar explosivos, un mejor indicador que permite comparar explosivos es la presión de detonación (Dick, 1968)

2.2.1.2.2 VELOCIDAD DE DETONACIÓN

Es la velocidad con la cual la onda de detonación viaja por el explosivo, puede ser expresada para el caso de explosivos confinados como no confinados; por si misma es la propiedad más importante cuando se desea clasificar un explosivo. Como en la mayoría de casos el explosivo esta confinado en un barreno, el valor de velocidad de detonación confinada es el más importante.

La velocidad de detonación de un explosivo depende de la densidad, de sus componentes, del tamaño de las partículas y del grado de confinamiento. Al disminuir el tamaño de las partículas dentro del explosivo, incrementar el diámetro de la carga o incrementar el confinamiento aumentan las velocidades de detonación.

Las velocidades de los explosivos inconfiados son generalmente del orden del 70% al 80% respecto a las velocidades de explosivos confinados.

2.2.1.2.3 DENSIDAD Y GRAVEDAD ESPECÍFICA

La densidad del explosivo es usualmente indicada en términos de gravedad específica, la gravedad específica de explosivos comerciales varia de 0.6 a 1.7. Los explosivos densos usualmente generan mayores velocidades de detonación y mayor presión; estos suelen ser utilizados cuando es necesaria una fina fragmentación de la roca. Los explosivos de baja densidad producen una fragmentación no tan fina y son usados cuando la roca esta diaclasada o en canteras en las que se extrae material grueso.

La densidad de los explosivos es importante en condiciones de alta humedad, ya que una densidad alta hace que el explosivo sea poco permeable. Un explosivo con gravedad específica menor a 1.0 no se entrapa en agua.

2.2.1.2.4 PRESIÓN DE DETONACIÓN

La presión de detonación, depende de la velocidad de detonación y de la densidad del explosivo, y es la sobrepresión del explosivo al paso de las ondas de detonación; generalmente es una de las variables utilizadas en la selección del tipo de explosivo.

Existe una relación directa entre la velocidad de detonación y la presión de detonación; esto es, cuando aumenta la velocidad aumenta la presión.

Una alta presión de detonación (alta velocidad de detonación) es utilizada para fragmentar rocas muy duras como el granito (7 en la escala de Mohs y una densidad aproximada de 2.5), mientras que en rocas suaves como los esquistos (rocas sedimentarias y metamórficas con menos de 4 en la escala de Mohs) puede ser necesaria una baja presión de detonación (baja velocidad de detonación) para su fragmentación.

2.2.1.2.5 SENSIBILIDAD

Es la medida de la facilidad de iniciación de los explosivos, es decir, el mínimo de energía, presión o potencia necesaria para que ocurra la iniciación. Lo ideal de un explosivo es que sea sensible a la iniciación mediante cebos (estopines) para asegurar la detonación de toda la columna de explosivo, e insensible a la iniciación accidental durante su transporte y manejo.

Adicionalmente para comparar las sensibilidades entre diferentes productos se utilizan fulminantes de diferente potencias, cuanto más alto sea el número de la cápsula mayor será la sensibilidad del explosivo.

2.2.1.2.6 RESISTENCIA AL AGUA

Es el número de horas en que un explosivo puede ser cargado en agua y aún detonar en forma segura, confiable y precisa. La resistencia al agua de un explosivo depende de la condición del cartucho (empaquete y habilidad inherente de resistir al agua), edad del explosivo y las condiciones del agua como son la presión hidrostática (profundidad), temperatura y naturaleza (estática o en movimiento)

En dinamitas a pesar del empaque impermeable, los cartuchos absorben poco a poco la humedad y deben por ellos ser empleados lo más pronto posible después de su fabricación,

2.2.1.2.7 EMANACIONES

La detonación de explosivos comerciales produce vapor de agua, dióxido de carbono y nitrógeno, los cuales, aunque no son tóxicos, forman gases asfixiantes como monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno.

2.2 FUNDAMENTACION LEGAL

El trabajo de investigación, está respaldado por la ley de fabricación, importación, exportación, comercialización y tenencia de armas, municiones, explosivos y accesorios.

Ley: 3757, de entre los artículos más importantes citamos los siguientes:

Art. 4.- Se somete al control del Ministerio de Defensa Nacional a través del Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas, la importación, exportación, internamiento, almacenamiento comercio interior y fabricación de armas de fuego, municiones, fuegos, de artificio, pólvora o toda clase de explosivos, así como también las materias primas para fabricación de explosivos; los medios de inflamación tales como guías para minas, fulminantes y detonadores, productos químicos elementos de uso en la guerra química o adaptables a ella.

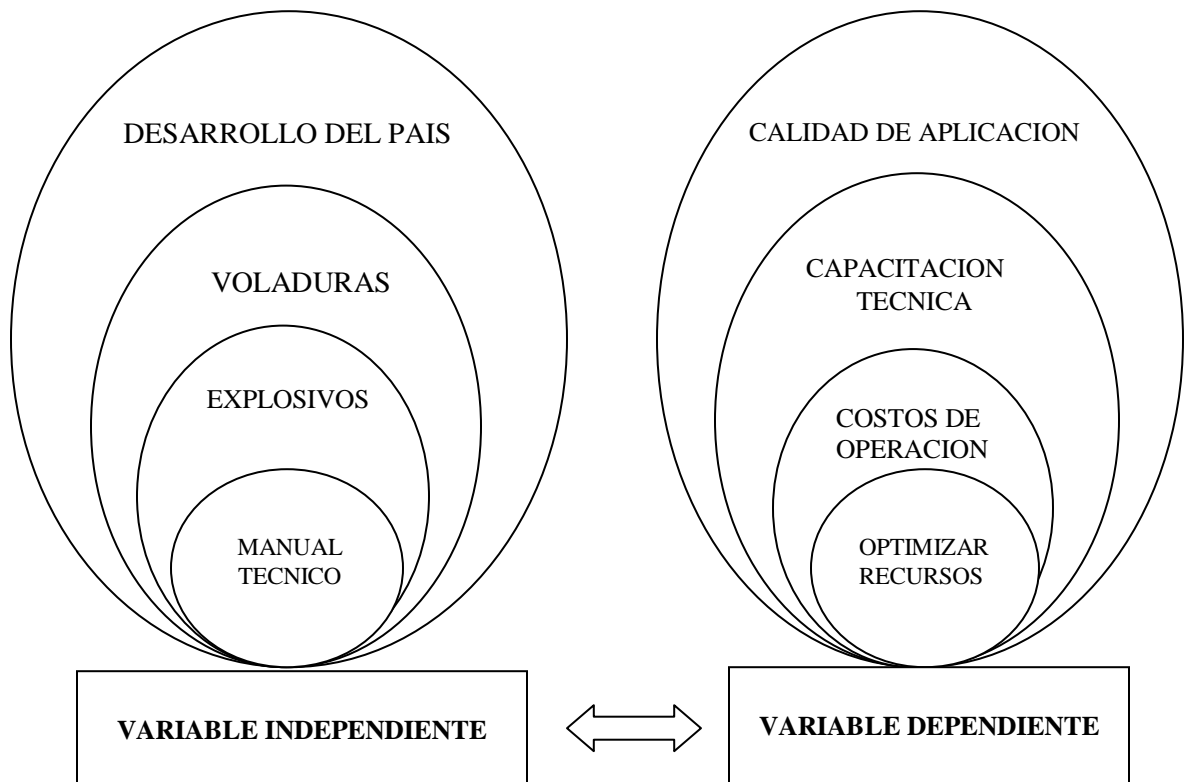
Art. 11.- Previo informe favorable del Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas, el Ministerio de Defensa podrá autorizar la importación y exportación de armas, municiones y explosivos de uso civil para la comercialización, o a las personas para su uso particular.

Art. 25.- Los fabricantes, comerciantes, y demás personas naturales o jurídicas autorizadas para tener, transportar, o comercializar armas de fuego, municiones, explosivos y accesorios, están obligados a observar las normas que para su transporte y almacenamiento establece el reglamento de esta Ley.

2.3 HIPOTESIS

El manual técnico del uso de explosivos para la utilización de voladuras a cielo abierto, será la solución para su correcta aplicación en la construcción de vías terrestres optimizando los recursos y su operatividad.

2.4 CATEGORIAS FUNDAMENTALES



2.5 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

Variable independiente: Manual técnico para el uso de explosivos en voladuras a cielo abierto en vías terrestres.

Variable dependiente: Optimización de recursos en la construcción vial.

CAPITULO 3

METODOLOGÍA

3.1 MODALIDAD BASICA DE LA INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación será de campo y bibliográfico.

3.2 NIVEL Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación será exploratorio, descriptivo y explicativo.

3.3 POBLACION Y MUESTRA

Población: Tipos de explosivos y rocas a investigarse:

DINAMITAS

DINAMITAS GELATINOSAS

DINAMITAS SEMIGELATINOSAS

ACCESORIOS PARA LA ACTIVACION DE EXPLOSIVOS

ANALISIS DE ROCAS (DURAS, SEMIDURAS, BLANDAS)

Muestra: La aplicación técnica e emplearse será analizando la composición y utilización de los explosivos, como también con formularios de encuesta a Constructores viales.

3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable Independiente: Manual técnico del uso de explosivos en la utilización de voladuras a cielo abierto.

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS BÁSICOS	TECNICAS E INSTRUMENTOS
Manual técnico de explosivos. -Guía práctica para identificar todos los procesos del uso, aplicación y la utilización de explosivos en voladuras a cielo abierto en vías terrestres.	Identificación de explosivos Identificación de caminos y mantos rocosos. Conocer el sistema de las voladuras	. Explosivos . Tipo de rocas . Taludes . Vías	Que explosivos van analizarse? Que elementos son evaluados?	- Observación - Entrevista - Encuesta

Variable Dependiente: Optimización de recursos en la construcción de vías terrestres.

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS BÁSICOS	TECNICAS E INSTRUMENTOS
Optimización de recursos en la construcción de vías terrestres.	Base de datos con resultados.	. Explosivos . Vías	Que explosivos son los mas convenientes?	-Observación - Entrevista - Encuesta

3.5 PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para ejecutar este proyecto, se realizó un análisis de los diferentes tipos de explosivos, sus aplicaciones técnicas, los mismos que se ejecutaron en la fábrica Explocen y la práctica de voladuras en la empresa HOLCIM.

El trabajo de gabinete para el análisis y comprobación de resultados, se realizó en la oficina de la ciudad de Latacunga.

3.6 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Una vez terminado y revisado la documentación respectiva, se ha procedido a elaborar la respectiva propuesta, sintetizando las actividades cumplidas, los logros alcanzados y el nuevo manual de aplicación de explosivos en voladuras a cielo abierto con optimización de recursos, aplicado a vías terrestres.

CAPITULO 4

ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANALISIS DE LOS RESULTADOS

De acuerdo a las encuestas realizadas a profesionales de la Ingeniería civil vinculados a la apertura de vías y conocimiento de explosivos, se tiene los siguientes resultados:

Encuestas realizadas: 30 Profesionales Ing. Civiles

Tienen conocimiento de explosivos: 06 Profesionales

Que conocen en un 50% el sistema de voladuras: 05 Profesionales

No conocen el sistema de voladuras: 19 Profesionales

4.2 VERIFICACIÓN DE HIPOTESIS

El manual es de importancia en el campo de la Ingeniería Civil, para conocimiento y guía de los profesionales de la construcción.

CAPITULO 5

5.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Se realiza una comparación entre emulsiones y dinamitas, teniendo los siguientes resultados.

CARACTERISTICAS	EMULSION		DINAMITA
	A granel	Encartuchada	
Seguridad	Muy alta	Muy alta	Moderada
Cargado mecanizado	Si	No	No
Densidad de carga	Alta	Moderada	Moderada
Resistencia al agua	Alta	Alta	Casi nula
Ingredientes que produzcan dolor de cabeza	No	No	Si
Facilidad de almacenar	Alta	Alta	Moderada
Velocidad de detonación	Alta	Alta	Moderada
Volumen de gases	Medio	Moderada	Alto
Flexibilidad en manipulación	Alta	Moderada	Alta
Estabilidad	Alta	Alta	Moderada

2. Las emulsiones comparadas con los Anfos tienen mayor porcentaje de energía de choque y menor cantidad de gas. Por esto las emulsiones están indicadas para rocas duras y masivas, y los Anfos, para rocas blandas, medias y fisuradas.
3. Los resultados en el terreno frecuentemente muestran que cuando se usa emulsión en rocas blandas, medias y fisuradas, si bien la roca se rompe puede permanecer en el sitio (no hay desplazamiento) produciéndose dificultades en el equipo de cargue como palas y cargadores. No pasa así con el Anfo cuya

característica principal es la de desplazar el material volado, facilitando su cargue y transporte.

4. Este cuadro ilustra sobre el uso adecuado de Agentes de Voladura según tipo de roca.

EXPLOSIVO	MEJOR USO	PEOR USO
EMULSION PURA	Masivo o sin fisuras, Duro, y formaciones húmedas.	Granos sueltos, blanda y formaciones secas.
MEZCLA 60/40 A 70/30 (*)	Algo fisuradas, Medianamente duras, y formaciones húmedas	Granos sueltos, blanda y formaciones secas.
MEZCLA 35/65 A 45/55 (*)	Algo fisuradas, de mediana a dura, formaciones que se puedan desaguar.	Condiciones extremadamente húmedas (no puede ser bombeada).
ANFO MEZCLA 20/80 (*)	Bastante fisuradas, de suave a media, formaciones secas.	Masiva o no fisuradas, dura y formaciones húmedas.
MEZCLA 70/30 (*)	Algo fisuradas, medianamente duras, formaciones húmedas.	Granos finos sueltos, blanda y formaciones secas.
MEZCLA 20/80 (*)	Granos finos sueltos, blandas y formaciones secas donde el lanzamiento de la roca es esencial.	Masiva o fisuradas, dura y formaciones húmedas.

(*) Relación Emulsión/Anfo.

La selección adecuada del agente de voladura para el tipo de roca se traduce en óptimos beneficios para el proceso.

5. Las emulsiones explosivas, no contienen componentes explosivos. Debido al retardo de la reacción de gasificación química, el producto final sólo se convierte en explosivo después de haber sido bombeado al barreno, es decir después de la etapa final de su manipulación.
6. Con la tecnología mecanizada para las emulsiones a granel, no existe ninguna manipulación de explosivos y como el producto no se convierte en explosivo

hasta después de haber sido cargado al barreno, el riesgo de cualquier incidente es prácticamente nulo.

7. El uso de micro retardos mantienen la roca agrupada, de tal forma que la roca volada por el frente, forma una proyección natural contra la siguiente hilera; (retardos no mayores a 100 milisegundos).
8. El taco mínimo debe ser igual o mayor al espaciamiento entre los huecos; pues sino las rocas pueden ser lanzadas hacia la superficie (por presión de los gases), al tratar de buscar la zona de menor resistencia.
9. El tipo de explosivo a usar deberá ser aquel que tenga un menor costo por m³ de roca volada. Ya elegido el explosivo, se procurará usar el mínimo de explosivos en la carga de los barrenos que produzca los resultados requeridos, esto redundará en el aspecto económico de la voladura.
10. Se debe perseguir hacer una distribución adecuada de los barrenos procurando tener una longitud de barrenación mínima, lo que conducirá a ahorrar tiempo y recursos influyendo también en la economía de la voladura.
11. Es conveniente que las proyecciones (lanzamientos de fragmentos de roca al aire) de roca sean mínimas, pues son producto de un uso inútil de la energía del explosivo y además pueden ocasionar daños.
12. Los explosivos densos generan mayores velocidades de detonación y mayor presión; estos son utilizados cuando es necesaria una fina fragmentación de la roca. Los explosivos de baja densidad producen una fragmentación no tan fina y son usados cuando la roca esta diaclasada o en canteras en las que se extrae material grueso.

CAPITULO 6

PROPUESTA

6.1 DATOS INFORMATIVOS

La aplicación de explosivos se utilizará en las vías de todo el país. Su correcta ejecución dependerá de un buen diseño de voladuras, de la buena selección de la roca y del equipo utilizado.

La propuesta tiene por objeto un conocimiento de todos los componentes que tienen la voladura, diseño de mallas, un estudio de rocas y normas de seguridad en la explotación de las voladuras a cielo abierto.

6.2 ANTECEDENTES DEL LA PROPUESTA

Se realiza el presente manual, tomando en consideración la falta de capacitación y actualización de conocimientos de los profesionales que manejan explosivos, ya que se incumplen los procedimientos técnicos para su uso y las normas de seguridad respectivas.

6.3 JUSTIFICACIÓN

La buena utilización de los materiales y equipos, optimiza los recursos teniendo un ahorro considerable en la construcción y más que todo en la seguridad ya que el primer error en explosivos es el último.

El presente manual sirva de herramienta necesaria para el personal que está inmerso en el área técnica de voladuras y apertura de vías.

6.4 OBJETIVOS

6.4.1 GENERAL

Presentar un manual técnico de explosivos de voladuras a cielo abierto, para un adecuado conocimiento del personal técnico inmerso en el área de la construcción vial.

6.4.2 ESPECÍFICOS

- Desarrollar las comparaciones técnicas para verificar la optimización del material explosivo en las voladuras a cielo abierto.

6.5 FUNDAMENTACIÓN

La fundamentación técnica de este trabajo de investigación, se realiza mediante el análisis del manual técnico de explosivos, con conocimientos básicos hasta ejemplos prácticos de diseño de voladuras.

6.5.1 MANUAL TÉCNICO DE EXPLOSIVOS

Un explosivo tiene tres características básicas:

Es un compuesto o mezcla química iniciado mediante calor, golpe, impacto, fricción o una combinación de estas;

Después de la ignición este se descompone muy rápidamente en una detonación, y después de la detonación hay una liberación rápida de calor y grandes cantidades de gases de alta presión, los cuales se expanden rápidamente con fuerza suficiente para vencer las fuerzas confinantes.

Esquema de reacción de un explosivo.

Para que actúe un explosivo, se requiere de la iniciación, la explosión y el resultado.



Fuente: Ing. Jorge Loya "EXPLOCEN"

En voladuras la energía liberada por la detonación de explosivos produce:

- Fragmentación de la roca;
- Desplazamiento de la roca;

- Vibración del suelo; y
- Golpe de aire.



Fuente: Ing. Jorge Loya “EXPLOCEN”

La determinación de las propiedades sirven para:

- Verificar la calidad del producto y
- Predecir el efecto de la explosión

6.5.1.1 PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS

- Velocidad de detonación,
- Densidad,
- Presión de detonación,
- Resistencia al agua,
- Sensitividad, sensibilidad,
- Humos,

- Potencia
- Composición inicial,
- Balance de oxígeno,
- Composición final,
- Volumen de los gases,
- Calor específico de explosión,
- Temperatura máxima de explosión,
- Presión específica teórica y
- Densidad límite de carga

6.5.1.1.1 VELOCIDAD DE DETONACIÓN

Es la velocidad a la cual la onda de detonación viaja a través de la columna de un explosivo, expresada en m/s. La velocidad es la variable importante usada para calcular la presión de detonación de un explosivo.

Los factores que afectan a la velocidad de detonación son:

- Tipo de producto
- Diámetro del producto
- Grado de confinamiento del producto
- Efecto de la temperatura
- Cebado

Tipo de producto.- Dependiendo del tipo de explosivo, tienen cada uno una velocidad de detonación ideal máxima.

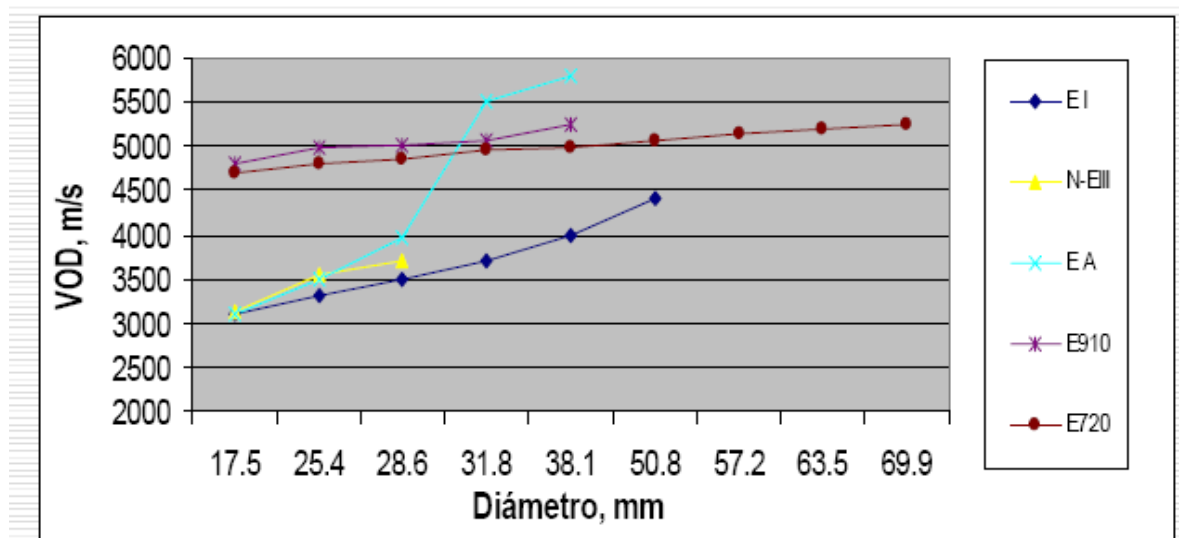
Producto		VOD, m/s
Dinamita		2500 a 5800
Emulsión		4500 a 5500
Cordón detonante y pentolita		Mayor a 7000

Diámetro del Producto.- Existe una relación directa entre el diámetro y la velocidad de detonación, entre más grande el diámetro, mas alta la velocidad, hasta la velocidad ideal, cuando la máxima velocidad del explosivo es alcanzada.

Cada explosivo tiene también un “diámetro crítico”, el cual es el diámetro mínimo en el que el proceso de detonación se mantiene por sí mismo en la columna.

En diámetros menores al crítico, la detonación no se mantendrá y se extinguirá.

Velocidad de detonación en función del diámetro del cartucho



Cuadro cortesía Ing. Jorge Loya (EXPLOCEN)

Grado de confinamiento del producto.- Generalmente, cuanto más grande sea el confinamiento de un explosivo, más alta será la velocidad de detonación.

Efecto de la temperatura.- Dependiendo del tipo de explosivos, los cambios en su temperatura afectan la velocidad del explosivo. Una disminución en la temperatura disminuirá la sensibilidad de cualquier explosivo.

Cebado.- El cebo es la carga explosiva dentro de la cual se inserta un fulminante o cordón detonante y cuyo propósito es iniciar la carga principal. Un cebado adecuado asegura que el explosivo alcance su máxima velocidad tan rápidamente como sea posible, bajo las condiciones de uso.

Determinación de la velocidad.- Se obtiene mediante la medición del tiempo requerido por la onda de detonación para viajar una distancia medida longitudinalmente a través de una columna de explosivo.

En la Planta Industrial de Explocen se utiliza el cronógrafo - contador, que está basado en la medida del tiempo con una exactitud de 0.1 microsegundos que tarda en recorrer la onda explosiva entre dos puntos perfectamente definidos.



Cronógrafo contador para determinar VOD.

6.5.1.1.2 DENSIDAD

Densidad real o absoluta, ρ , que es el peso por unidad de volumen o gravedad específica, sin intersticios de aire; expresada en g/cm³, referida al agua.

La densidad de un explosivo determina si este se hundirá en el agua y cuantos kilogramos puede ser cargado por metro de barreno. La densidad de la mayoría de los explosivos fluctúa entre 0.8 y 1.6 g/cm³

La densidad aumenta linealmente con la velocidad de detonación, hasta la densidad crítica luego de lo cual al ser excedida y aún con un cebo de iniciación de gran calidad puede la sensibilidad ser reducida o destruida, es decir puede no detonar el explosivo.

Densidad de carga, Δ , se define como el peso del explosivo que está contenido en la unidad de volumen del recinto en que tiene lugar la explosión es decir el peso del explosivo mas o menos comprimido. Esta densidad es más importante y depende de la densidad real.

6.5.1.1.3 PRESIÓN DE DETONACIÓN

Cuando detona un explosivo, esta tremenda presión es liberada, prácticamente en forma instantánea, en una onda de choque, la cual existe solamente una fracción de segundos en cualquier lugar dado, dando una fragmentación; a este fenómeno se conoce como poder fragmentador Brisense que depende de la liberación de los productos gaseosos.

La presión de detonación es una función de la densidad y la velocidad de detonación al cuadrado. Así, puede ser calculada en forma aproximada mediante la siguiente fórmula:

$$P = 2.5 \times (10 - 6\rho (VOD))^2$$

Donde:

P = Presión de detonación, kbar

ρ = Densidad, g/cm³

VOD= Velocidad de detonación, m/s

Fuente: Manual técnico EXSA.

Importancia de la Presión de detonación.

La presión está relacionada con el nivel de esfuerzo en el material que va ser volado, lo cual puede ser un factor importante en la fragmentación.

Es importante en el cebado, para una iniciación efectiva y confiable, en que la presión de detonación del cebo deberá exceder a la presión de detonación de la carga explosiva principal.

6.5.1.1.4 RESISTENCIA AL AGUA



Es el número de horas en que un explosivo puede ser cargado en agua y aún detonar en forma segura, confiable y precisa. La resistencia al agua de un explosivo depende de la condición del cartucho (empaques y habilidad inherente de resistir al agua), edad del explosivo y las condiciones del agua como son la presión hidrostática (profundidad), temperatura y naturaleza (estática o en movimiento)

No existe una clasificación generalizada. No obstante, se tiene una clasificación que se toma de referencia.

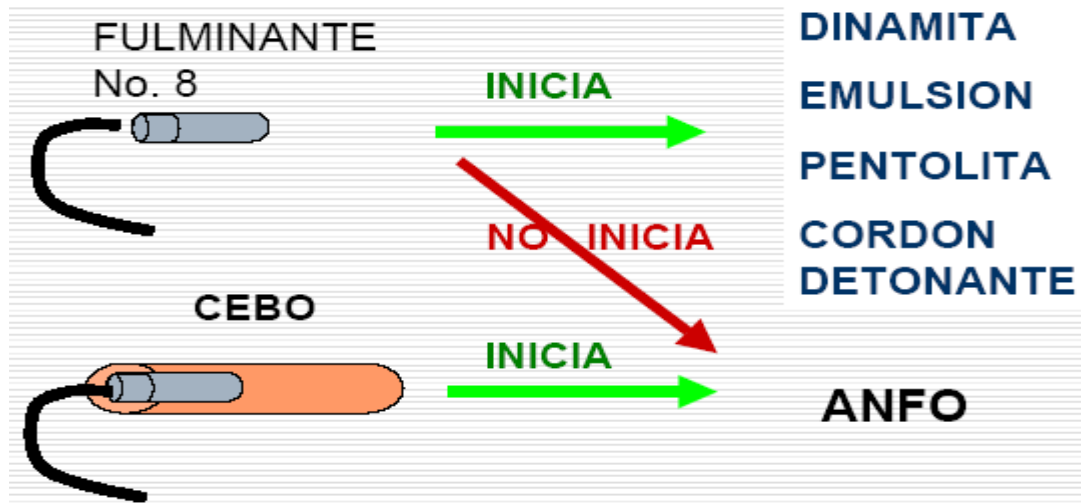
**CLASIFICACIÓN DE RESISTENCIA AL AGUA DE LOS
CORRESPONDIENTES PRODUCTOS ELABORADOS POR EXPLOCEN.**

CLASIFICACION	RESISTENCIA AL AGUA (horas)	PRODUCTO
Pobre	1 a 2	Explogel III
Aceptable	2 a 8	Explogel I
Satisfactorio	8 a 24	
Bueno	24 a 75	Explogel Amón y Sísmica
Excelente	Mayor a 75	Emulsión y pentolita

En dinamitas a pesar del empaque impermeable, los cartuchos absorben poco a poco la humedad y deben por ellos ser empleados lo más pronto posible después de su fabricación,

En emulsiones, estas poseen una excelente resistencia al agua, debido a la naturaleza protectora de la membrana de aceite y cera que rodea las gotas de nitrato; siendo las emulsiones explosivas la mejor opción para barrenos con agua.

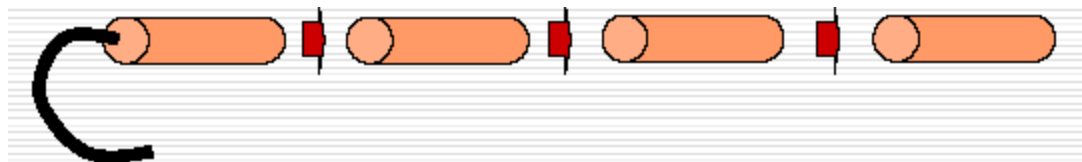
6.5.1.1.5 SENSITIVIDAD



Es una medida de la energía mínima, presión o poder requerido para la iniciación. En la industria de los explosivos se expresa como la capacidad para reaccionar con el fulminante o detonador, por ejemplo explosivos que se inician con el fulminante No. 8.

Sensibilidad Propagación o simpatía

Es la medida del poder de propagación (coeficiente de auto excitación) de cartucho a cartucho bajo ciertas condiciones de prueba.

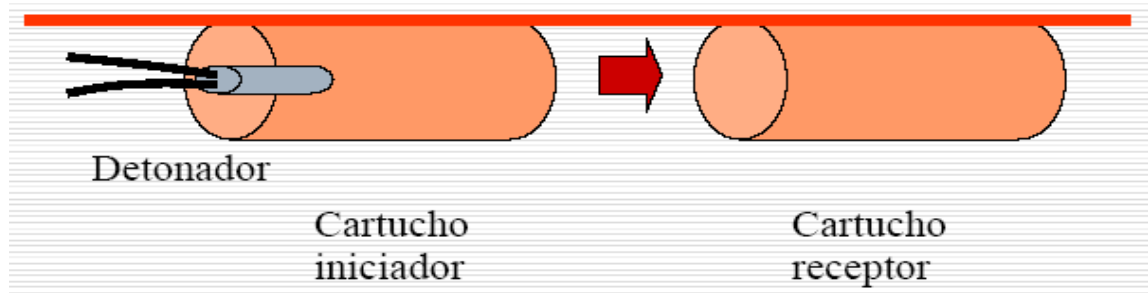


Propagación o simpatía Ensayo.

El ensayo de transmisión de la detonación consiste en hacer detonar un cartucho del explosivo a ensayar (receptor) bajo la influencia de un cartucho cebado (iniciador). Los

dos cartuchos se fijan en la misma línea, siguiendo su eje longitudinal, a una varilla suspendida en el aire.

Determinación de la transmisión de la detonación.



6.5.1.1.6 HUMOS

La composición de los humos producida por la detonación de un explosivo puede ser encontrado por el cálculo de las reacciones termodinámicas de descomposición o detonando el explosivo en cuestión en condiciones experimentales seguido por el análisis de gas de los humos.

Siempre debe asumirse que los humos explosivos tienen una magnitud tóxica por la formación de óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono, resultantes de la detonación de todos los explosivos, los cuales pueden causar efectos dañinos al personal.

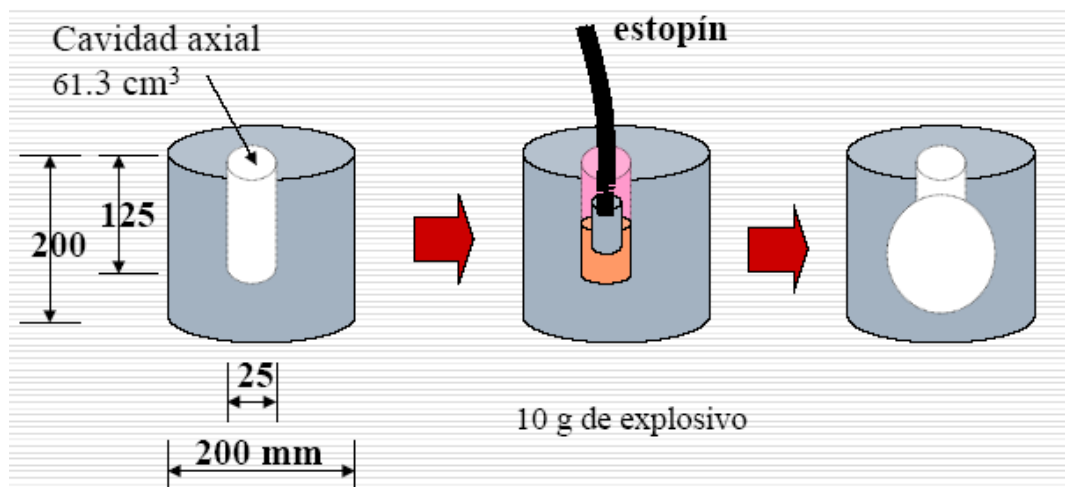
Al detonar un explosivo la coloración de los humos puede relacionarse con el balance de oxígeno y la condición de los gases.

Clasificación de los gases:

COLOR	BALANCE DE OXIGENO	CONDICION
Rojo	Muy Positivo	Gases nitrosos altamente tóxicos.
Amarillo	Positivos	Gases nitrosos tóxicos
Blanco	Neutro	Gases deseados
Blanco gris	Negativo	Gas CO en pequeñas cantidades
Negro	Negativo	Gas CO en gran cantidad

6.5.1.1.7 POTENCIA

Es la estimación relativa del efecto útil de los explosivos mediante la determinación del índice de Trauzl. Depende en alto grado de la capacidad rompedora la cual, se determina mediante la prueba de Trauzl-Ensayo de explosivos en bloque de plomo, que consiste en la medida y comparación de ensanchamientos producidos por muestra de 10 gramos de explosivo al hacer explosión en el interior de una cavidad axial de un bloque de plomo.



El índice de Trauzl corresponde al ensanchamiento útil en un bloque de plomo, producido por 10 gramos de explosivo, en relación con 7 gramos de ácido pícrico puro.

Clasificación de la potencia

Clasificación	Rango
Baja potencia	0 a 1
Media potencia	1 a 2
Alta potencia	Mayor a 2

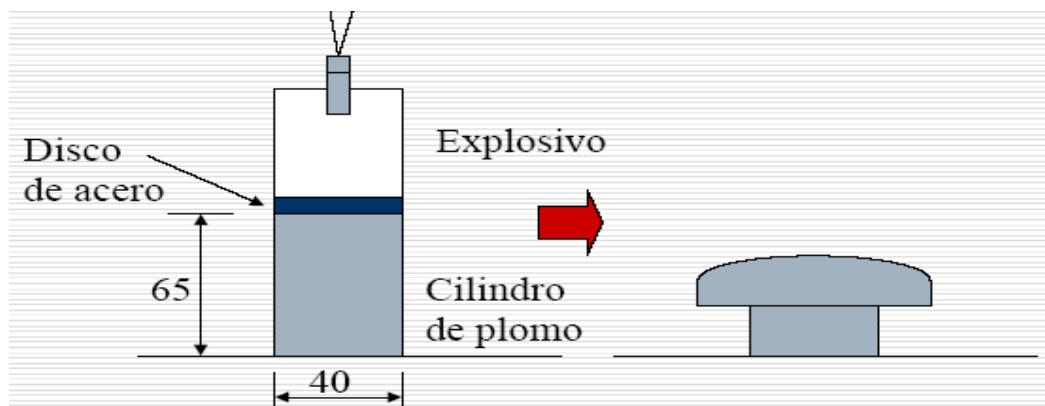
6.5.1.1.8 PODER ROMPEDOR

Indica la fuerza destructora. Existen ensayos que nos dan una idea del poder rompedor de los explosivos como es el Método de Hess, que está basado en el aplastamiento producido en un cilindro de plomo por la detonación de una carga explosiva colocada sobre el mismo.

El poder rompedor depende principalmente de tres factores:

1. La densidad o concentración de carga,
2. La energía o capacidad de trabajo, y
3. La velocidad de detonación.

Cuanto más altos sean estos valores, tanto mayor será su poder rompedor.



El aplastamiento obtenido, medido en mm de contracción se obtiene mediante la diferencia entre la altura inicial del cilindro de plomo y la altura después de la detonación. Mientras mayor sean los mm de contracción, mayor será el poder rompedor.

Determinaciones en Explocen para la calidad de un explosivo

- Análisis químico
- Medida de la velocidad de detonación
- Determinación de la densidad
- Pruebas de sensibilidad de propagación

6.5.1.2 TIPOS DE EXPLOSIVOS

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

6.5.1.2.1 PÓLVORA NEGRA.

Es una mezcla de nitratos, azufre y carbón; fue utilizada generalmente para celebraciones religiosas. Su fabricación es muy peligrosa teniendo altos índices de accidentes, requiriendo mucho control y su fabricación es muy costosa.

6.5.1.2.2 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

La dinamita no solamente era más poderosa que la pólvora negra, sino que tenía una velocidad de detonación más alta, era más efectiva para romper la roca. Como resultado, rápidamente reemplazó a la pólvora negra en la mayoría de las voladuras.

6.5.1.2.3 GELES

Entre estos se encuentran los geles explosivos, que son fabricados a partir de nitrocelulosa y nitroglicerina; el straight gel, fabricado a partir de los geles explosivos y combustibles gelatinizados. Este explosivo generalmente tiene una consistencia plástica y es de alta densidad; otro es el gel amoniacal (gel extra) y los semi-geles.

6.5.1.2.4 PENTOLITAS

Se usa como carga de fondo, como multiplicador para el desarrollo de la detonación total. En el mercado nacional la pentolitas podemos encontrar como cilindros de pentolita, como booster, como rompedores cónicos, pentolita sísmica que sirven para la exploración sísmica.

6.5.1.2.5 EMULSIONES

Aparecen en los años 70 y 80; es un alto explosivo agua en aceite sin Nitroglicerina, muy triturador y resistente al agua, teniendo las siguientes características:

- Combustibles y oxidantes en forma líquida
- Mezcla mucho más íntima de los ingredientes.
- Alta resistencia al agua.
- Optima utilización de la energía química.
- Sensibilidad adecuada para el funcionamiento.

Las emulsiones se basan en los siguientes principios:

1. Basadas en la tecnología de la emulsión de agua en aceite (w/o), esto es: “Una emulsión es una íntima mezcla de dos líquidos inmiscibles, con una fase solvente dispersa uniformemente a través de una segunda fase oleosa”
2. Las propiedades físicas de las emulsiones explosivas pueden cambiar de acuerdo a su aplicación; estas emulsiones son formuladas con rangos de viscosidad razonablemente bajos para que sean fácilmente bombeadas, sin embargo, pueden ser espesadas si es requerido para encartuchamiento.
3. La temperatura del explosivo, también afecta la viscosidad que normalmente es controlada por la naturaleza de la fase oleosa (aceite, cera y emulsificante), así; un aceite de baja viscosidad producirá emulsiones bombeables mientras que aceites pesados producirán emulsiones encartuchables.
4. La sensibilidad de la emulsión a la detonación y su densidad, pueden sufrir variación añadiendo o creando espacios vacíos en la masa, bien por adición de micro-esferas huecas de vidrio o mediante un proceso de gasificación química que genera burbujas de gas.
5. Una importantísima propiedad de las emulsiones consiste en su capacidad de mezclarse con el ANFO en todas las proporciones, obteniéndose una gama de productos cuyas propiedades varían entre las del ANFO y las emulsiones, en función de la proporción de ambos componentes, cuyas potencias superan a la de la emulsión matriz.
6. Cuando el contenido en emulsión supera el 60% el aspecto de estas mezclas es el de una emulsión por lo que reciben el nombre de mezclas de emulsión explosiva o bien de emulsiones explosivas, pudiendo ser sustituido el ANFO, total o parcialmente.

6.5.1.2.5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS EMULSIONES

1. ENERGÍA TERMOQUÍMICA.-

La adición de aluminio o ANFO puede ser usado para incrementar su energía (cal/g). El aluminio no aumenta significativamente la sensibilidad de las emulsiones pero con un 5% de este material, teóricamente la energía se incrementa en un 25 – 30%; un 10% de aluminio incrementa la energía 40 – 60%, sobre ese porcentaje, sólo se obtendrá gasto innecesario. El ANFO añadido a las emulsiones puede incrementar la energía en un 5% por cada 10% de adición con la ventaja de producir mayor volumen de gas haciendo más eficiente una voladura.

2. SEGURIDAD.

Las emulsiones son sumamente seguras, no reaccionan a las pruebas de impacto y fricción estandarizadas para explosivos industriales, no se inician por el impacto de proyectiles y no detonan durante la quema a no ser que estén contaminadas con materiales extraños como dinamitas, polvo de aluminio o detonadores. En operaciones de bombeo, se debe cuidar que las bombas no funcionen en seco o se tapone el sistema, en ambos casos la temperatura podría incrementarse hasta causar la detonación.

3. VELOCIDAD.

Está establecido que a menor tamaño de partícula de los ingredientes de un explosivo mayor será su velocidad de detonación (VOD). Como el tamaño de las gotas de las emulsiones es muy pequeño, la velocidad es muy alta- muy cerca de la teórica. La VOD decrece conforme el diámetro de carga disminuye o sólidos como aluminio o nitrato de amonio son adicionados, pero generalmente permanece alta comparada con dinamitas o geles explosivos.

4. PRESIÓN DE DETONACION.

Como las emulsiones tienen una gran velocidad de detonación y una razonable densidad, también como consecuencia de eso disponen de una relativamente alta presión de detonación. Las mediciones realizadas a diferentes tipos de emulsión, indican que las

presiones están entre 100 y 120 Kbares lo cual es particularmente apropiado para mejorar la fragmentación en rocas duras y para ser usadas como iniciador para ANFO.

5. SENSIBILIDAD.

Las emulsiones tienen diferente grado de sensibilidad, desde las que son sensibles al fulminante No. 8 hasta las insensibles que requieren un cebo (booster) para su iniciación.

La sensibilidad de las emulsiones es proporcionada por micro-esferas huecas de vidrio, agentes de gasificación química, perlita, plástico expandido o hasta los granos de Nitrato de Amonio.

Dependiendo de la sensibilidad, las emulsiones pueden ser encartuchadas en diámetros que van desde 7/8 hasta 4 pulgadas; la sensibilidad aumenta con la disminución de la densidad.

6. RESISTENCIA AL AGUA.

La resistencia al agua de un explosivo es la capacidad de ser sumergido en agua y aún detonar en forma segura, confiable y precisa. Como la fase oleosa recubre a la solución, la emulsión es extremadamente resistente al agua y es la mejor opción cuando se encuentran barrenos humedecidos o con agua porque ésta puede permanecer reposando bajo el agua por semanas o meses y mantiene un desempeño satisfactorio.

6.5.1.2.5.1.2 TIPOS DE EMULSIONES

EMULSIONES A GRANEL (EMULGREL 3000).

Es una emulsión a granel, bombeable mediante un vehículo planta. Fabricada a base de nitrato de amonio grado explosivo con un hidrocarburo, el producto está sensibilizado por micro esferas; Emulgrel 3000 corresponde a un agente de voladura no sensible al detonador.

Su uso es en la minería, obras civiles, construcción vial ya sea como carga de fondo o de columna en barrenos que contengan agua o no y en sitios donde existan buenas condiciones de acceso para el vehículo planta hacia el frente del trabajo.

Estas emulsiones son recomendadas para mejorar la fragmentación y movimiento en la roca en barrenos de 3" (76 mm) o diámetros mayores. Particularmente especiales para ser usados en fuertes condiciones de invierno. Las series de EMULGREL 3000 se bombean al fondo del barreno desplazando el agua y asegurando el 100% de carga.

Los productos EMULGREL se ceban con booster o pentolita cuyo tamaño depende del diámetro de los barrenos.

Entre las ventajas de este producto tenemos:

- Alta resistencia al agua
- Alta seguridad por ser un agente de voladura, presenta un mínimo riesgo de detonación por el impacto-choque-combustión-fricción-chispa.
- Bombeable al fondo del barreno para máxima densidad y eficiencia.
- Cargado mecanizado, se obtiene un cargado rápido y seguro en grandes cantidades de producto, con el empleo de menor cantidad de personas en comparación con los métodos tradicionales.
- Facilidad de mezcla, con Anfo para formar Anfo pesado (ANEMUL 100)
- Ausencia de Infraestructura de almacenamiento no se requiere infraestructura de almacenamiento, ya que las emulsiones a granel se entregan directamente en el sitio de utilización (banco)
- La carga a granel asegura el llenado completo de los barrenos.
- Seguro, fácil de almacenar, no es sensible al detonador.
- La carga a granel reduce costos por la expansión de los parámetros de perforación.

ANEMUL 100 (ANFO PESADO).

Es una mezcla de emulsión y Anfo en diferentes proporciones de acuerdo a los requerimientos de la voladura y a la presencia de agua; puede ser cebado con efectividad por booster de pentolita,

Este es un excelente producto para voladuras en canteras, obras civiles que se cargan en forma mecanizada, directamente en el frente de trabajo mediante un camión planta de 3 tm de capacidad.

Anemul 100	Proporción Emulgrel 3000	Proporción Anfo	Observaciones
Anemul 100 (10/90)	10%	90%	Buena potencia del explosivo, pero poca resistencia al agua.
Anemul 100 (30/70)	30%	70%	
Anemul 100 (50/50)	50%	50%	
Anemul 100 (60/40)	60%	40%	Buena resistencia al agua
Anemul 100 (80/20)	80%	20%	Excelente resistencia al agua.

Entre las ventajas de este producto tenemos:

- Diversificación en la resistencia al agua en función de la proporción utilizada.
- Alta seguridad por ser un agente de voladura, presenta un mínimo riesgo de detonación por el impacto-choque-fricción-chispa.
- Cargado mecanizado, se obtiene un cargado rápido y seguro en grandes cantidades de producto, con el empleo de menor cantidad de personas en comparación con los métodos tradicionales.
- Mayor energía total, hasta un 40% de energía total de barreno mayor que ANFO. Amplia selección de mezclas, las que pueden ser formuladas en el sitio de carga.

- Ausencia de Infraestructura de almacenamiento, no se requiere infraestructura de almacenamiento ya que al igual que las emulsiones se entregan directamente en el sitio de utilización (banco).
- Mas económico, que las dinamitas y las emulsiones encartuchadas

EMULSEN 720

Es una emulsión sensible al fulminante No. 8 y muy resistente al agua; contiene aluminio y es envasada en cartuchos de plástico. Las emulsiones son utilizadas en gran variedad de trabajos como carga de fondo y de columna, en barrenos con o sin agua, tanto en voladura subterránea como a cielo abierto. Tiene un tiempo de vida útil de seis meses.

EMULSEN 910

Es una emulsión sensible al fulminante No. 8 y muy resistente al agua; contiene aditivos y es envasado en cartuchos de plástico. Las emulsiones son utilizadas en gran variedad de trabajos como carga de fondo y de columna, en barrenos con o sin agua, tanto en voladura subterránea como a cielo abierto. Tiene un tiempo de vida útil de seis meses.



6.5.1.2.6 INICIADORES DE EXPLOSIVOS

INICIADORES A.P.S (BOOSTER)

Son cilindros de Pentolita, (mezcla de PENT y TNT); sensibles al fulminante No. 8, catalogados como APD – alto poder de detonación, debido a que el explosivo que los constituye tiene alta densidad, es muy veloz y desenvuelve grandes presiones de detonación.

Los iniciadores APD se utilizan como cebos de minería, explotación de canteras, obras civiles y otros, para iniciar explosivos y agentes de voladuras en barrenos.

ROMPEDORES CÓNICOS.

Son cuerpos cónicos, llenos de pentolita, mezcla de PENT y TNT, sensibles al fulminante No. 8. Los rompedores cónicos APD por su diseño geométrico poseen un efecto direccional desde la cima hasta la base del cono lo cual permite ser usado en voladuras secundarias.

PENTOLITA SÍSMICA.

Es sensible al fulminante sísmico y envasada en cilindros plásticos que permiten acoplar un número limitado de cargas. Está catalogada como explosivo de alto poder de detonación (APD), debido a su alta densidad, velocidad y presión de detonación. Entre sus características de presentación puede ser normal o dirigida.

La pentolita sísmica ha sido diseñada para trabajos de exploración geofísica. Sus propiedades físico-químicas, determinan una alta resistencia a la presión lo que no permite la deformación de sus cargas en el interior del barreno a una profundidad considerable, además su alta resistencia al agua y energía aseguran un producto adecuado para obtener óptimos resultados en prospección sísmica de gas y petróleo.

6.5.1.2.7 AGENTES PARA VOLADURAS

En la actualidad se fabrican dos tipos de ANFO: Anfo normal y Anfo aluminizado.

6.5.1.2.7.1 ANFO NORMAL

Es una mezcla a base de nitrato de amonio y un hidrocarburo que en proporciones adecuadas, da como resultado un agente de voladura que es utilizado como carga de columna.

6.5.1.2.7.2 ANFO ALUMINIZADO

Es una mezcla a base de nitrato de amonio, un hidrocarburo y aluminio, lo que aumenta su densidad y energía con respecto a los ANFOS normales.

Se utiliza en obras civiles, canteras, minería subterránea como carga de columna en todo tipo de voladuras. No se recomienda utilizar ANFO en barrenos con presencia de agua, ya que el nitrato de amonio es higroscópico.

6.5.1.3 ACCESORIOS DE VOLADURA

6.5.1.3.1 SISTEMA DE INICIACIÓN A FUEGO.

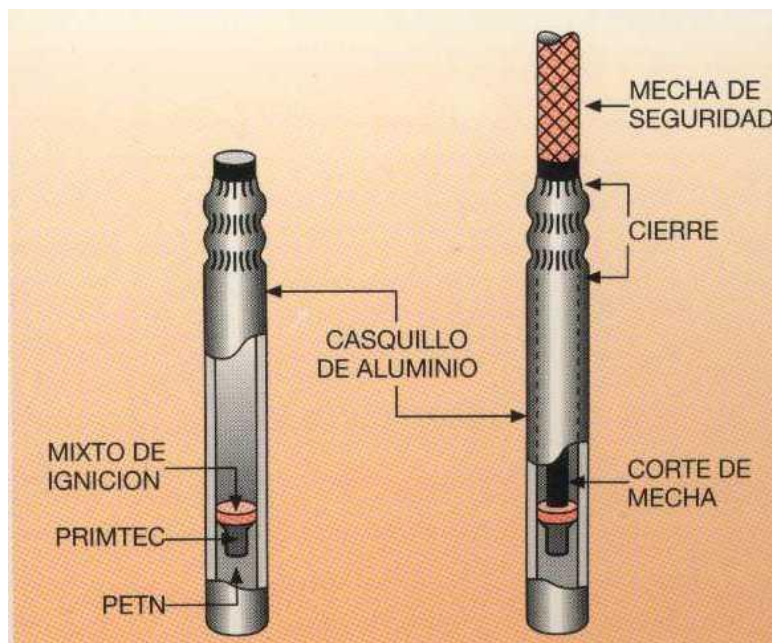
También conocido como sistema deflagrante se compone de los siguientes elementos:

- Mecha de seguridad
- Fulminante N° 8
- Mecha rápida
- Conectores de mecha rápida
- Explosivo

FULMINANTE ORDINARIO O COMUN (Detonators)

Está constituido por una cápsula cilíndrica de aluminio cerrada en uno de sus extremos, en cuyo interior lleva un explosivo primario muy sensible a la chispa y otro secundario de alto poder explosivo.

Es usado para iniciar la Dinamita, Cordón Detonante, Emulsión Encartuchada y otros explosivos sensibles a este accesorio.



MECHA RÁPIDA.

Es un accesorio de voladura formado por una masa pirotécnica, dos alambres y una cobertura exterior de material plástico; en conexión con el conector para mecha rápida tiene como objetivo principal eliminar el encendido o “chispeo” individual de las “armadas” o “primas”, evitar la exposición del operador a labores con presencia de humos y permitir la evacuación segura del personal ante la posibilidad de una iniciación prematura, ya que usándola adecuadamente proporciona el tiempo suficiente al operador para retirarse a un lugar seguro.



CONECTOR PARA MECHA RÁPIDA.- Es un complemento de la MECHA RÁPIDA (Igniter Cord), de la cual recibe el calor necesario para encenderse y activar el encendido de la mecha de seguridad; viene a ser un casquillo de aluminio con ranura, representado por un corte paralelo a su base, la cual se presenta pintada de rojo para diferenciar el conector para mecha rápida del fulminante común.



6.5.1.3.2 SISTEMAS DE INICIACIÓN ELÉCTRICOS

- Fulminantes eléctricos Instantáneos
- Fulminantes eléctricos de retardo
- Fulminantes eléctricos Sísmico



DETONADORES ELÉCTRICOS

Inflamador electro pirotécnico va alojado en un dispositivo antiestático y soldado a dos alambres conductores.

Carga Primaria: nitruro de plomo.

Carga Base: Pentrita.

INFLAMADOR.- El inflamador esta formado por dos electrodos separados por una pieza de plástico, cuyos extremos están unidos entre si por un filamento metálico calibrado, con una sustancia inflamadora y protegido por un tapón antiestático.



FULMINANTE ELECTRICO INSTANTÁNEO.-

Consiste en una cápsula de aluminio que contiene en su interior un explosivo brizante y otro de explosivo primario; esta última se encuentra en contacto con la gota eléctrica, que a su vez está fijada a los alambres conductores de energía. El Fulminante es activado por acción de la corriente eléctrica, la que se transmite por los alambres para iniciar la gota eléctrica y luego a la carga explosiva del fulminante.

Está diseñado para detonar inmediatamente después de aplicar la suficiente intensidad de corriente, permitiendo la iniciación simultánea de un buen número de cargas explosivas, teniendo en cuenta la capacidad del explosor.

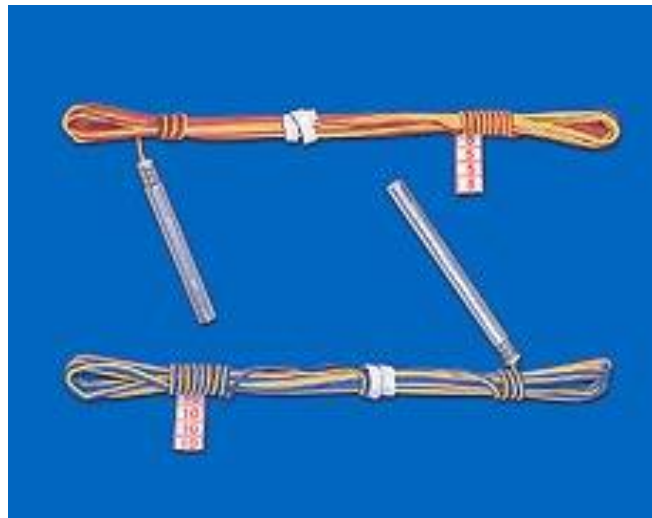


FULMINANTE ELÉCTRICO DE RETARDO.-

Está conformado por una cápsula de aluminio conteniendo el explosivo brizante, la carga primaria, el elemento de retardo y la gota eléctrica, que se encuentra unida a los alambres conductores de energía. Al paso de la energía eléctrica la gota se inflama y activa al elemento de retardo y éste a su vez la carga del fulminante.

Ventajas de uso:

- Los tiempos de retardo permiten realizar secuencias en la formación de caras libres de una voladura, optimizando así el disparo.
- La iniciación retardada dentro del taladro optimiza la fragmentación del material volado.
- Los retardos permiten realizar voladuras de una gran cantidad de taladros que explotan de acuerdo a los tiempos previstos, lo que ayuda a minimizar las vibraciones del terreno en el área circundante.
- Facilita el control de ruido, evitando anomalías en las áreas de trabajo e inmediaciones.
- La precisión de los tiempos de retardo proporciona economía y seguridad.
- Los circuitos eléctricos permiten chequear los sistemas de iniciación, haciendo uso de instrumentos adecuados, antes de iniciar el disparo.



FULMINANTE ELÉCTRICO DE RETARDO

TIPOS

De acuerdo a la sensibilidad de la gota eléctrica:

- Amperaje Normal (A.N.)

De acuerdo al tiempo de retardo:

- Escala milisegundo de periodo corto
- Escala milisegundo de periodo normal
- Escala milisegundo de periodo largo

FULMINANTE ELÉCTRICO SISMOGRÁFICO

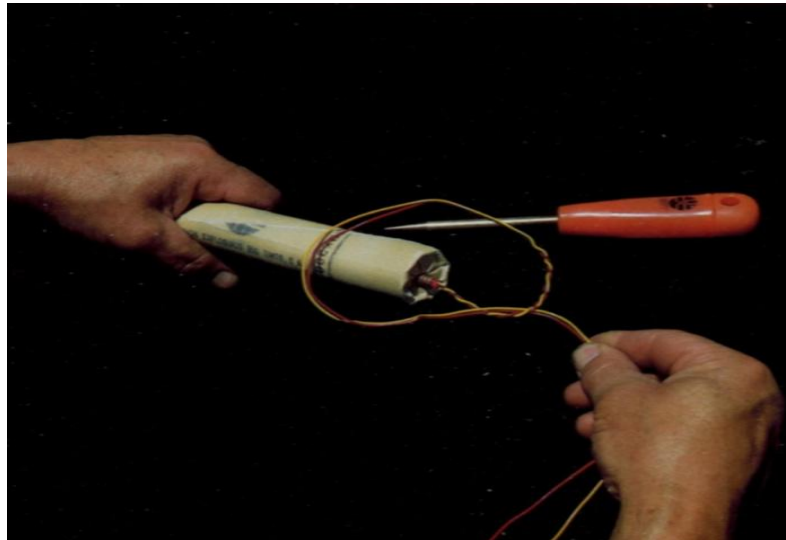
Consiste en una cápsula de aluminio que contiene en su interior una parte de explosivo brizante y otra de explosivo primario. Esta última se encuentra en contacto con la gota eléctrica, que a su vez está fijada a los conductores de energía. Es activada por la corriente eléctrica, la que transmite por los conductores hasta iniciar la carga primaria.

Se utiliza en prospección sísmica, donde actúa como iniciador de cargas explosivas en profundidad, y para este fin se le dota de una alta resistencia a la presión hidrostática.



ESQUEMA DE INICIACIÓN.

CARGA EXPLOSIVA



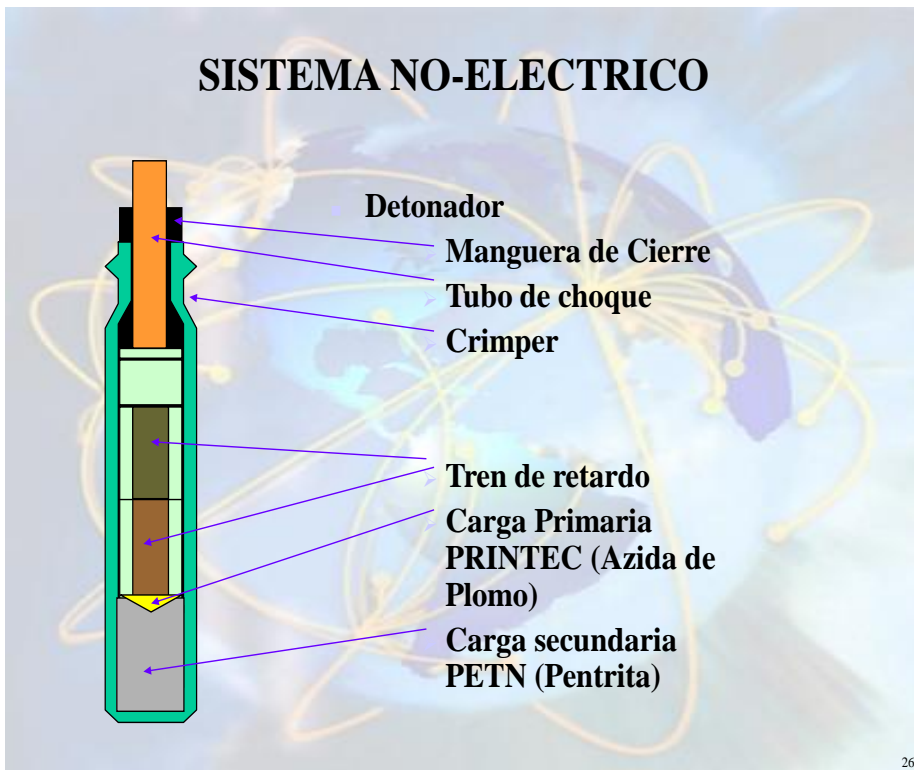
EXPLOSOR

Constituyen el método más racional para energizar los fulminantes eléctricos.



6.5.1.3.3 SISTEMAS DE INICIACION NO ELÉCTRICOS.

- Fulminantes no eléctricos
- Conectores de retardo en superficie



FULMINANTE NO ELÉCTRICO DE RETARDO

Es un sistema de iniciación para usos convencionales en voladuras subterráneas, subacuáticas y superficiales. Consta básicamente de 4 componentes:

- **Fulminante de Retardo**
- **Manguera** fabricada con un material termoplástico de alta resistencia mecánica
- La manguera roja: Para el período corto.
- La manguera amarilla: Para el período largo.
- **Etiquetas** : Indica el número de serie y el tiempo de retardo de cada período.
- **Conector Simple** : Es un block de plástico especialmente diseñado para facilitar la conexión segura.



RETARDO CON FULMINANTE NO ELÉCTRICO PARA CORDÓN DETONANTE (MS Conector).

Está compuesto por una MANGUERA de 45cm. (18 pulg.) de longitud en cuyos extremos se encuentran ensamblados fulminantes con idéntico tiempo de retardo, cada uno de los cuales está alojado dentro de un cuerpo plástico. Este sistema está

especialmente diseñado para amarrar en ambos extremos el Cordón Detonante en el punto en el cual se desea retardar la detonación.

El Retardo para Cordón Detonante MS CONECTOR es bidireccional, provee el tiempo adecuado de retardo en milisegundos y puede indistintamente usarse en disparos con taladros retardados individualmente o en una fila de taladros. También puede usarse combinando ambos métodos de conexión. El diseño del cuerpo plástico que aloja la cápsula del elemento de retardo permite amarrarlo fácilmente al Cordón Detonante.



RETARDO PARA CORDÓN DETONANTE.-

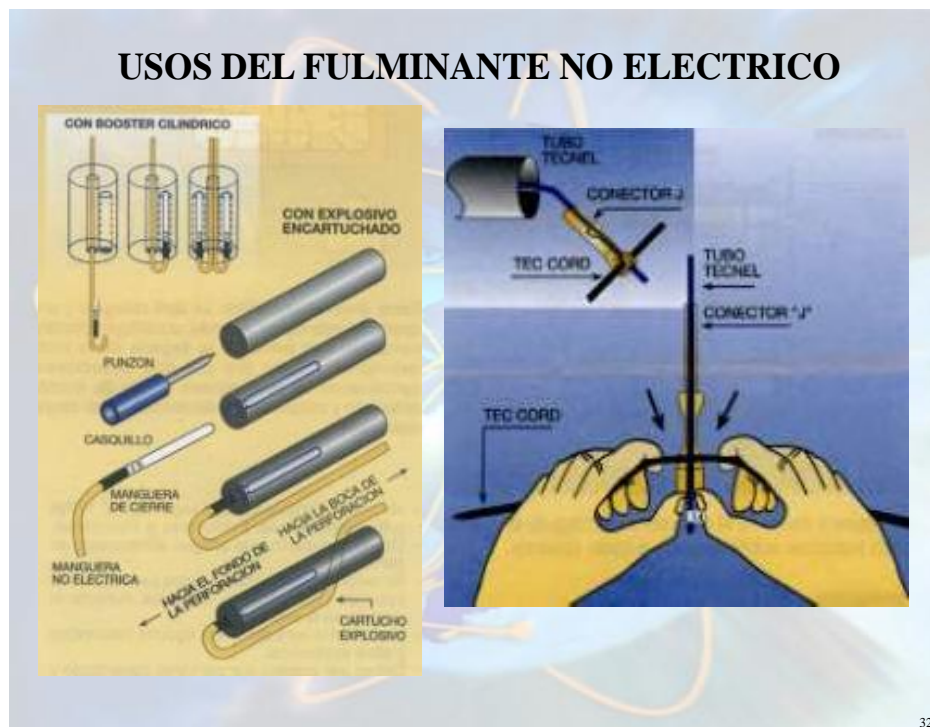
Es un accesorio de voladura conformado por un protector de plástico moldeado adecuadamente, dentro del cual va ensamblada una cápsula de aluminio que contiene el elemento de retardo y el Fulminante respectivo. En ambos extremos del protector hay un dispositivo que permite ubicar el Cordón Detonante en forma de "U", el cual será fijado por sus respectivas cuñas de seguridad.

Este tipo de retardo está diseñado para trabajar indistintamente en las dos direcciones, puesto que el Cordón Detonante Pentacord está en contacto en ambos extremos de la

cápsula. Este accesorio se utiliza para retardar la iniciación de los taladros dando secuencia a la formación de las caras libres y es colocado en las líneas troncales de Cordón Detonante Pentacord, de las redes de voladuras en minería superficial, canteras y cualquier trabajo de remoción de rocas. Su operatividad es sumamente fácil y rápida.

La selección adecuada de los retardos da como resultado una mejor fragmentación y mínima proyección del material volado; además proporciona un mejor control de rotura hacia atrás en la última fila y de los niveles de vibración del área circundante.

Su característica de <<no eléctrico>> hace que pueda ser usado en cualquier condición de terreno y tiempo sin los riesgos de una iniciación prematura. La variedad en los períodos de retardo permite utilizarlos en filas o individualmente en cada taladro.



32

6.5.1.4 VIBRACIONES EN VOLADURAS

La vibración es un fenómeno de transmisión de energía mediante la propagación de un movimiento ondulatorio a través de un medio. Las voladuras son una forma de generación de vibraciones en las actividades de:

- Construcción de obras civiles.
- Extracción de materiales en canteras y minas.
- Demoliciones

6.5.1.4.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS VIBRACIONES

Entre las características de las vibraciones tenemos:

- Velocidad de partícula
- Velocidad de propagación
- Amplitud de Vibración
- Velocidad Pico de Partícula (PPV)
- Frecuencia
- Aceleración

6.5.1.4.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE MONITOREO

El sistema de monitoreo esta dado por los siguientes componentes:

TRANSDUCTORES

Tipos de sensores que miden diversos tipos de fenómenos vibratorios de distinto comportamiento, entre los que tenemos:

Medidores de Desplazamiento.

Medidores de Velocidad de Vibración.

Medidores de aceleración o acelerómetros.

EQUIPO DE REGISTRO Y ALMACENAJE DE DATOS

Preferentemente que sea de registro continuo y de tipo digital; con frecuencia de muestreo alta; que analice las ondas en términos de valores pico y frecuencia predominante, que permita la aplicación de los distintos criterios de las normas internacionales; tenga robustez, ergonomía, comodidad de uso y autonomía.



CAPACIDADES DE ANÁLISIS (Software)

- Capacidad de generar reportes.
- Manipulación de la data.
- Análisis de secuencia de tiempos
- Valores mínimos y máximos

- Procesamiento de las ondas sísmicas
- Análisis de frecuencia
- Capacidad de exportar la data.

6.5.1.4.3 CÓMO SE MIDE LA VIBRACIÓN CAUSADA POR VOLADURAS?

La magnitud del movimiento de partículas causado por la onda sísmica se mide con un sismógrafo, los mismos que detectan vibraciones por medio de un geófono que contiene 3 sensores los cuales miden el movimiento de partículas en 3 direcciones:

- Vertical (arriba y abajo),
- Transversal (izquierda y derecha), y
- Longitudinal (frente y atrás)



Entre los beneficios de la aplicación de un sismógrafo tenemos:

- Monitorear, registrar, analizar, desplegar e imprimir las vibraciones y el golpe de aire que son resultado de un evento.
- Medir las curvas sísmicas de energía que son transferidas de un punto a otro.
- Son compactos y ligeros; operados con batería de larga duración para el uso en campo.
- Funcionan con un auto chequeo de operación y calibración.
- Incorporan programas de análisis de vibración en las computadoras.

6.5.1.4.4 UBICACIÓN DE LOS SISMÓGRAFOS

- Los sismógrafos deben ser colocados fuera de las estructuras a monitorear.
- En caso de que deba ser colocado dentro de la estructura, se debe realizar un análisis completo del efecto de amplificación de la estructura.
- Cuando se monitorea dentro de la estructura o extremadamente cerca de la voladura, un conjunto de sismógrafos debe ser usado en varias ubicaciones para asegurar que se registren lecturas apropiadas.

INSTALACIÓN EN CAMPO DE LOS SISMÓGRAFOS

- Ubicación y fijación del sensor
- Métodos de Acoplamiento
 - Enterrado
 - Fijación
 - Refuerzo con bolsas de arena
 - Enterrado superficial

Método de enterrado:



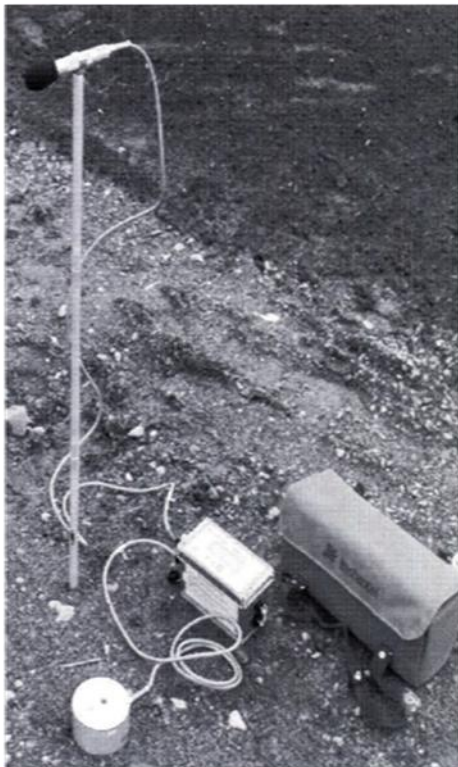
Método de refuerzo con bolsas de arena



NUNCA se debe colocar el sensor sin ningún tipo de acoplamiento.

Micrófono:

- Será instalado cerca del geófono.
- Se le colocará la pantalla contra el viento provista por el fabricante.
- **Altura:** Mínima 1.2 pulg ; Máxima 3.0 pies



Todas las voladuras causan vibraciones que viajan a través del suelo en forma de ondas similares a las que se forman al echar una roca a un pozo de agua.

El conocimiento del origen de las vibraciones, los fenómenos asociados a su transmisión, la medición de sus magnitudes y las legislaciones que las regulan sirven para controlarlas, reducirlas y hacerlas lo menos imperceptibles posible para las personas y las estructuras cercanas que pudieran verse afectadas por ellas.

La velocidad pico de partícula y la frecuencia son determinados por una variedad de parámetros, algunos de los cuales son controlables a través de procedimientos previos a la voladura. Los más importantes son el peso de explosivo por retardo y la distancia entre el tiro y el sitio a monitorear.

Durante la voladura, el sismógrafo graba tiempo, registra la forma de las ondas y mide velocidad de partícula en cada una de las tres direcciones (vertical, longitudinal y transversal). De esta forma la historia completa de una voladura se registra.

El desarrollo de los sistemas de medición ha hecho que estos sean más asequibles, manejables y fiables, así como los sistemas de análisis de vibraciones, que permiten obtener gran cantidad de información útil de las ondas registradas de forma rápida y automatizada.

La empresa EXPLOCEN C.A. da los servicios de medición de vibraciones usando sismógrafos, en caso de requerirlo para usos especiales.

6.5.1.5 EXPLOSIVOS FABRICADOS EN EL ECUADOR

La empresa EXPLOCEN C.A. fabrica y dispone de explosivos de acuerdo a las siguientes características técnicas:

DINAMITAS				
CARACTERÍSTICAS	EXPLOGEL I	EXPLOGEL III	EXPLOGEL III CONTORNO	EXPLOGEL AMON
Velocidad/ detonación	4000 m/s	3500 m/s	3300 m/s	5000 m/s
Resistencia al agua	1 a 5 horas	15 minutos	20 días	20 días
Densidad	1.26 g/cm ³	1.12 g/cm ³	1.12 g/cm ³	1.31 g/cm ³
Volumen de gases	857 l/kg	922 l/kg	922 l/kg	831 l/kg
Calor de explosión	992 Kcal/Kg	1013 Kcal/Kg	1013 Kcal/Kg	1143 Kcal/Kg
Potencial	4151 KJ/Kg	4238 KJ/Kg	4238 KJ/Kg	4781 KJ/Kg
Tamaño	Varios	Varios	Varios	Varios
Tipo de Dinamita	Semigelatinosa	Semigelatinosa	Semigelatinosa	Gelatinosa
Usos	Carga de fondo, voladuras: subterránea y cielo abierto.	Carga de fondo, voladuras: subterránea y cielo abierto.	Voladuras controladas. Canteras taludes del borde de liquidación.	Carga de fondo, voladura subterránea y cielo abierto

EMULSIONES				
CARACTERÍSTICAS	EMULGREL 3000	ANEMUL 100 (ANFO PESADO)	EMULSEN 720	EMULSEN 910
Velocidad detonación	5213 m/s		5115 m/s	4900 m/s
Resistencia al agua	24 horas		180 días	180 días
Densidad	1.21 g/cm ³		1.13 g/cm ³	1.12 g/cm ³
Presión de detonación	84 Kbar			
Vida útil del producto	3 meses		6 meses	6 meses
Potencial		Buena potencia del explosivo.	4150 KJ/Kg	3541 KJ/Kg
Usos	Emulsión a granel. Bombeable con vehículo planta	Variable de acuerdo a la proporción: Emulgrel/Anfo	Carga de fondo Voladuras: Subterráneas y cielo abierto.	Carga de fondo Voladuras: Subterráneas y cielo abierto.

CLASIFICACION	RESISTENCIA AL AGUA (horas)	PRODUCTO
Pobre	1 a 2	Explogel III
Aceptable	2 a 8	Explogel I
Satisfactorio	8 a 24	
Bueno	24 a 75	Explogel Amón y Sísmica
Excelente	Mayor a 75	Emulsión y pentolita

En dinamitas a pesar del empaque impermeable, los cartuchos absorben poco a poco la humedad y deben por ellos ser empleados lo más pronto posible después de su fabricación,

6.5.1.6 CARACTERIZACIÓN DE LOS MACIZOS ROCOSOS

La caracterización de un macizo rocoso constituye la fase inicial en todo estudio geológico-geotécnico e implica la descripción de las características particulares que intervienen y que juegan un papel importante en el comportamiento geomecánico del macizo frente a procesos de desestabilización, como pueden ser la ejecución de excavaciones a cielo abierto y subterráneas, o cualquier otro mecanismo que altere el estado inicial del macizo rocoso como elemento de construcción. Es importante mencionar que la caracterización de macizos rocosos, está fundamentalmente basada en las observaciones y descripciones hechas a partir de afloramientos y sondajes de perforación. En este sentido, dichas descripciones no solo tienen que tener un contenido geológico, sino que también, deben estar acompañadas de medidas y ensayos adicionales.

El comportamiento geomecánico de un macizo rocoso está relacionado a las propiedades de la roca intacta y de las discontinuidades, a las condiciones hidrogeológicas, al campo tensional, entre otras.

Por otra parte, al hablar de rocas, se tiene una gran variedad de materiales y, por lo tanto, una variedad de comportamientos; así, de acuerdo con el tipo de material en el macizo, éste se puede comportar de forma elástica, plástica o enasto-plástica, en función de la magnitud de las presiones actuantes.

6.5.1.6.1 DEFINICIÓN DE ROCA Y SU CLASIFICACIÓN

Probablemente, un geólogo aplicaría el término **roca** a todos los constituyentes de la corteza terrestre, pudiendo diferenciarles entre materiales no consolidados (suelos) y consolidados. Un ingeniero civil o geotécnico aplicaría este término a los materiales

duros y resistentes que forman parte de la corteza terrestre, y definiría al **suelo** como el producto derivado de la roca, como consecuencia de procesos meteorizantes.

Dada la amplitud de los conceptos geológicos, sólo como referencia se presenta una descripción elemental de los tres grupos en los que se ha clasificado por su origen y características en: Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.

6.5.1.6.1.1 ROCAS ÍGNEAS.

Proceden del magma interior fundido, presentándose preferentemente como intrusiones y lavas. Las rocas ígneas en general, son densas, duras y competentes, pero tienden a descomponerse por acción de intemperismo y otros procesos de alteración que paulatinamente las transforman en arcilla, caolín, sílice, y otros detritos.

6.5.1.6.1.2 ROCAS SEDIMENTARIAS.

Se han formado por la desintegración de rocas preexistentes, cuyos detritos fueron transportados, acumulados y compactados en extensas cuencas marinas durante muy largos períodos de tiempo. También por la descomposición y acumulación de vegetales y vida animal o por la precipitación química y decantación de soluciones minerales. Por tanto, aparte de los planos de separación entre capas, muestran complejos sistemas de fisuras de tensión (diaclasas), que indudablemente también influyen en la mecánica de la voladura.

6.5.1.6.1.3 ROCAS METAMÓRFICAS.

Resultan de la transformación profunda de rocas ígneas o sedimentarias por calor, grandes presiones y cambios químicos debidos a fenómenos geológicos de gran magnitud, como los de granitización.

6.5.1.6.2 SELECCIÓN DE ROCAS PARA VOLADURA

Para propósitos de voladura las rocas suelen ser clasificadas en dos grandes grupos:

6.5.1.6.2.1 ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS

Son usualmente las mas duras de perforar y difíciles de volar. Por su origen plutónico o volcánico están asociadas a disturbios tectónicos que las han contorsionado y fisurado, mostrando planes de clivaje no regulares y amplia variación de su estructura granular; pueden clasificarse en dos grupos:

- A. Cubre a las rocas de granulometría fina y aquellas cuyas propiedades elásticas tienden a absorber la onda de shock generada por la voladura antes que a quebrarse. Ejemplo: filitas, gneiss, micasquisos, hornfels.
- B. Cubre a las rocas de granulometría gruesa como el granito, diorita y algunas cuarcitas silisificadas, algunas veces difíciles de perforar y muy abrasivas por su contenido de sílice, pero que usualmente se fragmentan con facilidad en la voladura.

6.5.1.6.2.2 ROCAS SEDIMENTARIAS

En estas rocas el espesor del bandeamiento varía de acuerdo al tiempo de acumulación y la naturaleza de origen. Cuando mas masivas sean y cuanto mas definido y amplio el bandeamiento, mas difícil son de volar eficientemente. La perforabilidad dependerá más de sus propiedades abrasivas que de su misma dureza.

Algunas areniscas y calizas pueden presentar problemas difíciles de voladura. En particular las rocas de grano grueso con una matriz débil requieren consideraciones especiales porque en los disparos tienden más a compactarse o abovedar antes que romperse claramente.

6.5.1.6.2.3 EL PROBLEMA DE LA EXCAVACIÓN EN ROCA

Los medios necesarios para realizar una excavación varían con la naturaleza del terreno, que desde este punto de vista, se pueden clasificar en:

Terrenos: suelos, flojos, duros, de tránsito.

Roca blanda; Roca dura y Roca muy dura

I. Suelos sueltos a Semi-compactos.	Arenas, gravas, limos, tierra vegetal, arcillas medias con humedad media, escombros de roca. Se usa maquinaria de media a baja potencia: topadores frontales, excavadora universal.
II. Suelos compactos a roca blanda.	Arcillas duras, arcilla esquistosa, marga (roca blanda calizo-arcillosa), masa de roca altamente fisurada o estratificada, roca blanda y roca fragmentada por el uso de explosivos. Terrenos que necesitan disgregación con un escarificador o arado. Se usa maquinaria de media a alta potencia (más de 80 hp)
III. Roca de dureza media.	Roca caliza, pizarra, conglomerados y rocas medianamente estratificadas, rocas muy alteradas y minerales blandos. Se usan máquinas de más de 140 hp, siempre se necesitará disgregación mediante explosivos de baja potencia o escarificadores pesados.
IV Roca dura	Rocas calizas duras o silíceas, rocas ígneas y metamórficas y masas de rocas poco alteradas, cuarcita y minerales de baja densidad. Sólo pueden ser excavados por máquinas especiales para cada caso, se usan explosivos de media potencia.
V Roca muy dura	Rocas ígneas no alteradas como granito, diorita, diabasa, rocas metamórficas duras, minerales densos. Se necesitan máquinas especialmente diseñadas y el uso de explosivos de alta potencia.

6.5.1.6.3 CARACTERÍSTICAS Y PELIGROS DE LOS DISTINTOS TIPOS DE ROCA.

- a. **Caliza:** Fácil de excavar; consumo reducido de explosivos y barrenos. Pueden encontrarse cavernas, a veces de grandes dimensiones, y manantiales de agua importantes. No suelen hallarse gases peligrosos.
- b. **Arenisca:** Fácil de excavar; consumo de explosivos normalmente menor que en la caliza; mayor consumo de barrenos. No suele presentar discontinuidades ni se encuentran grandes manantiales de agua.
- c. **Pizarras:** De excavación fácil; según su naturaleza y de la inclinación de los estratos, suele encontrarse poca agua, aunque a veces se presentan manantiales importantes cuando la capa freática está sobre la excavación. Las pizarras pueden ir asociadas al yeso y al carbón; en el caso del segundo, puede existir el metano, gas explosivo muy peligroso; puede hallarse también el hidrógeno sulfurado, mortal, aunque en pequeñas cantidades.
- d. **Rocas graníticas:** Generalmente fáciles de excavar; no se necesita entibar y el revestimiento preciso es, normalmente, pequeño; el consumo medio de los explosivos es más del doble que en la arenisca normal; el de barrenos, depende de la naturaleza de la roca, que varía entre límites muy amplios; aunque, normalmente, las condiciones de esta roca son favorables, de vez en cuando pueden encontrarse manantiales de agua con grandes caudales.
- e. **Rocas volcánicas:** Las rocas volcánicas son costosas de barrenar y precisan importante consumo de explosivos; suelen encontrarse estratos de tobas descompuestas que dan lugar a grandes manantiales, como también gases peligrosos, tóxicos o explosivos.

6.5.1.7 GEOLOGÍA Y SUS EFECTOS EN VOLADURAS

6.5.1.7.1 PROCESO DE VOLADURA

El proceso de voladura es una de las operaciones unitarias más importantes dentro de la operación de extracción del mineral, porque de sus resultados depende en gran medida de las operaciones que vienen a continuación. Así por ejemplo una buena granulometría permitirá un alto rendimiento y bajos costos de las operaciones de carguío, transporte, chancado, y molienda.

Esta operación involucra la perforación de una serie de tiros en una determinada distribución dado en el macizo rocoso, su carguío con explosivo y su encendido secuencial de acuerdo a las circunstancias, visto de esta manera el proceso parece simple, pero sin duda están involucradas una serie de variables, de las que en cierta medida dependen sus resultados, y que pueden ser agrupados dentro de tres grandes categorías:

- a. **Tipo de Roca**, en la que se incluye su condición in-situ, grado de alteración, extensión y orientación de sus fracturas, etc.
- b. **Propiedades de los explosivos**, como velocidad, densidad, potencia, resistencia al agua, etc.
- c. **Distribución del explosivo**, que incluye variables como burden, espaciamiento, diámetro de perforación, distribución del explosivo en los tiros, número y posición de los iniciadores, retardos y secuencia de iniciación, etc.

La interacción entre estos parámetros es extremadamente compleja, e imposible de cuantificar por un algoritmo analítico simple. La óptima combinación de estas variables será función, del tipo de roca, el explosivo utilizado, de la magnitud y distribución de los retardos, de la presencia o no de aguas subterráneas, de las restricciones impuestas por el

medio respecto a vibraciones, proyecciones de roca, onda aérea etc. Todas estas determinan un número infinito de posibilidades con un óptimo que cambia en algunos casos que cambia entre voladura y voladura, y en las formulas teóricas de cálculos que solo proporcionan las condiciones iniciales de la investigación experimental que permitan tender hacia el óptimo, así como la dirección en que se deben hacer los ajustes después de cada prueba, que luego se aplican en cada una de las voladuras de producción, que en el fondo no son mas que la continuación de las pruebas iniciales.

6.5.1.7.2 FACTORES RELACIONADOS CON LA DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA EXPLOSIVA

Los factores más relevantes en el proceso de voladura son los siguientes:

DIÁMETRO DEL TIRO

La selección del diámetro de perforación, está relacionado con la especificación del equipo de perforación, burden, espaciamento, distribución del explosivo en el tiro y generalmente con la eficiencia y economía del proceso de excavación. Por ello la elección del diámetro de perforación no debe restringirse solo a consideraciones de mínimo costo de perforación y voladura

Las consideraciones más importantes para la determinación del diámetro óptimo de perforación son:

- Parámetros de la roca.
- Parámetros del explosivo
- Restricciones de cercanía de instalaciones (nivel de vibraciones).
- Factores de producción, relacionados con los equipos de carguío, transporte, chancado, etc...

Normalmente la calidad de los taladros a ser perforados está determinada por cuatro factores: diámetro, longitud, rectitud y estabilidad del equipo de perforación.-

El **diámetro** depende del tipo de aplicación en la que el taladro será utilizado. Como regla general, el de menor diámetro es el más adecuado, desde el punto de vista de velocidad, ya que el hueco puede ser más rápidamente ejecutado y con equipo de perforación menos costoso.

La profundidad del taladro influye en la elección del equipo de perforación. En lugares estrechos, solamente pueden ser usadas barras cortas implicando así el uso de equipo de extensión relativamente cortos. Al perforar en forma vertical, se debe incrementar un poco la profundidad del taladro debido a que el mismo siempre deber ser mayor que la altura del banco. (Sobreperforacion)

La **rectitud** del taladro varia con el tipo de roca, método de perforación y equipo, los taladros tratarán por ejemplo de desviarse siguiendo zonas de debilidad de las rocas. En la perforación horizontal o inclinada, sí peso de varillaje influye en la desviación del taladro. Los taladros para voladura deben tener la mayor rectitud a fin de que el explosivo sea apropiadamente distribuido, y el cálculo del explosivo para arrancar la roca esté conforme con lo calculado teóricamente.

Para compensar la desviación de los taladros, a veces es necesario perforar con menor espaciamiento entre hoyos, lo que redunda en un costo mayor. Un problema particular causado por un taladro con desviación es la posibilidad de que el taladro vecino se junte con éste y surja el peligro de que el acero de perforación se atasque y se pierda.

El riesgo es grande además cuando la distribución de carga explosiva no puede ser ejecutada de una manera apropiada. En conexión con distintos trabajos de preparación y construcción es a menudo necesario perforar taladros largos de precisión para propósitos tales como la colocación de tuberías, etc.

La **dirección** de un taladro no solo depende de la desviación, sino de la posición de la máquina y el emboquillado que también debe ser efectuado con mucho cuidado, (estabilidad del equipo)

TACO.

El taco es un material inerte que se coloca entre la parte superior de la columna de explosivos y el collar de la perforación, o entre cargas explosivas que se deseen que actúen independientemente.

Su función es la de confinar o retardar el escape de los gases producto de la detonación por el collar del tiro, con la cual la eficiencia del explosivo se ve mejorada. A su vez, un incremento en la eficiencia del explosivo se traduce en menor cantidad requerida de él. Por el contrario, un déficit en el confinamiento de los gases puede traer como resultante, proyecciones de rocas a gran distancias, aumentando el nivel de vibraciones y golpe de aire, lo cual indicaría una disminución de la eficiencia del explosivo y por consiguiente una disminución en la fragmentación (exceso de sobre tamaño).

ACOPLAMIENTO Y GRADO DE CONFINAMIENTO.

El desacoplamiento se define como la razón del diámetro del tiro al diámetro de la carga, por lo tanto, el acoplamiento entre la carga explosiva y el tiro tiene un efecto muy significativo en la quebradura de la roca. Este efecto es de real relevancia en la velocidad de detonación del explosivo y en la correcta transmisión de la presión de detonación de éste a la roca, la cual puede decrecer con un mayor desacoplamiento.

El grado de confinamiento que tiene el explosivo en un tiro, tiene un efecto muy importante sobre la fragmentación. Este efecto se relaciona con la velocidad de detonación, la cual es mayor a medida que el grado de confinamiento crece.

SECUENCIA DE INICIACIÓN.

La secuencia de iniciación en un disparo tiene incidencia directa sobre:

- Proyección
- Fragmentación
- Nivel de vibraciones
- Razón espaciamiento / Burden efectivos.

Según experiencias realizadas por Hagan, señala que cuando se trata de disparos en bancos de varias filas de tiros, la secuencia de iniciación debe ser diseñada de modo que se cumpla lo siguiente:

- Cada carga tenga una cara libre efectiva.
- La razón espaciamiento efectivo / burden efectivo (Se/Be), quede en un rango entre 3.0 y 8.0 (preferentemente entre 4.0 y 7.0).
- Los tiros se encuentren efectivamente escalonados con un alto grado de balance.
- Cuando el disparo tenga solo una cara libre, el ángulo entre tiros que salen con igual retardo quede entre 90 y 160 (preferentemente entre 120 y 140).
- Los ángulos entre(s), dirección(es), principal(es), del movimiento de la roca y el límite posterior del banco tengan los mayores valores posibles, a objeto de minimizar el agrietamiento de futuras caras libres.

6.5.1.7.3 FRAGMENTACIÓN, ESPONJAMIENTO Y PROYECCIÓN EN UNA VOLADURA

6.5.1.7.3.1 MECANISMO DE LA ROTURA.

Debido a que conocer el mecanismo de rotura de las rocas va a dar lugar a una mejor comprensión del fenómeno, se ha considerado necesaria una explicación al respecto:

Luego de algunas milésimas de segundo de haberse iniciado la detonación de un barreno, se libera la energía química del explosivo, transformándose este sólido en un gas caliente a enorme presión, el que al estar encerrado en el barreno, puede alcanzar y aún sobrepasar los 100,000 Bares (1.000,000 kg./cm²). Como la roca es menos resistente a la tensión que a la compresión las primeras grietas se forman principalmente bajo la influencia de los esfuerzos de tensión, dando como resultado grietas radiales.

Durante este primer período de agrietamiento no hay prácticamente rotura. El barreno ha sido ligeramente ensanchado a poco menos que el doble de su diámetro, por quebrantamiento y deformación plástica.

En una voladura, generalmente se tiene en el frente una cara libre de roca paralela a los barrenos.

Cuando las ondas de compresión se reflejan contra ella, se originan fuerzas de tensión que pueden producir un descostramiento de parte de la roca próxima a la superficie. El proceso es el mismo que cuando se golpea en un extremo una fila de bolas de billar: el golpe se transmite de bola a bola hasta que la última sale disparada con toda la fuerza, esto también ocurriría si las bolas estuvieran cementadas. El descostramiento tiene una importancia secundaria en las voladuras.

Estas dos primeras etapas del proceso de desprendimiento de la roca, agrietamiento radial y descostramiento son originadas por la onda de choque, sin embargo, la onda de choque no es la que provoca el desprendimiento de la roca, pues la energía que proporciona es mínima en comparación con la necesaria para que ello ocurra.

En la tercera y última etapa, bajo la influencia de la presión de los gases del explosivo, se extienden las primeras grietas radiales y la superficie libre de la roca cede y es lanzada hacia adelante. Cuando la superficie frontal se mueva hacia delante, se descarga la presión y aumenta la tensión en las grietas primarias que se inclinan oblicuas hacia afuera. Si la pata o berma no es demasiado grande, muchas de estas grietas se extienden

hasta la superficie libre y tiene lugar el desprendimiento completo de la roca. Para lograr el máximo efecto por barreno y cantidad de carga, el barreno deberá estar inclinado, de esta forma se consigue una salida natural de la roca, pero si el ángulo es vertical, el material quedará confinado y se producirán problemas en la salida del material.

6.5.1.7.3.2 FRAGMENTACIÓN.

Se refiere al tamaño en que queden los bloques rocosos después de efectuar la voladura. Para ello se debe tomar en cuenta el tamaño medio y el tamaño máximo de los bloques.

Existe una teoría según la cual la velocidad de detonación es aproximadamente igual a la velocidad con que se propagan las ondas de choque dentro de la roca; luego, a mayor velocidad de detonación habrá mayor velocidad de choque y mayor fragmentación.

Es importante que la fragmentación influya en los trabajos posteriores y debe estar adecuada a dichos trabajos, en especial trabajos de: Machaqueo, capacidad de descombro del hueco, desgaste de herramientas o materiales. En realidad esto tiene que ver con el aspecto económico de una voladura.

Existe dificultad en relacionar la fragmentación con la cantidad de carga explosiva en los barrenos; puesto que hay otros factores que también influyen, tales como:

6.5.1.7.3.3 CARGA Y PERFORACIÓN ESPECÍFICA.

En general, si se quiere mantener el mismo esquema de perforación; se puede aumentar la carga de columna para obtener mayor fragmentación.

Generalmente en la zona con carga de fondo, la fragmentación es mayor que la parte con carga de columna, por cuanto debe existir una mayor concentración lineal de carga por metro perforado al fondo.

Solo si la roca es homogénea completamente, se podría calcular con seguridad la fragmentación ideal de la roca con diferentes cargas.

Esa carga extra viene dada por la expresión:

$$Q \text{ Esponjamiento} = 0.03 \times (H - (2 \times S)) + 0.4/A_v \quad (*)$$

Donde:

S = Distancia entre huecos (mts)

A_v = anchura de la voladura

H = altura del banco

Ejemplo de aplicación:

Un banco confinado, si su altura es de 12 mts. y vamos a disparar 4 filas con una malla de 3 mts entre los huecos.

$$H = 12,00 \text{ m.} \quad S = 3,00 \text{ m.} \quad A_v = 12,00 \text{ m.}$$

Luego:

$$Q \text{ Esponjamiento} = 0.03 (12 - (2 \times 3)) + 0.4/12$$

$$Q \text{ Esponjamiento} = 0.18 + 0.03 = 0.21 \text{ Kg./mts}^3$$

Si la carga normal = 0.35 Kg./m³ ; para esta voladura se debe adicionar la carga de esponjamiento:

$$\text{Total} = 0.35 + 0.21 = 0.56 \text{ Kg./m}^3$$

(*) Fórmula tomada del décimo seminario internacional de perforación y voladuras 2007

6.5.1.7.3.4 NORMAS PARA MEJORAR LA FRAGMENTACIÓN

Seguir las normas según la estratificación. Utilizar una malla de tipo "pata de gallina" en lugar de malla cuadrada; uso de micro retardos adecuados (por cada metro de borde entre 5 a 10 milisegundos)

Esponjamiento: Cuando se efectúa una voladura, la roca tronada necesita de un mayor espacio (volumen) que cuando se encontraba en su estado natural; siendo así, la roca se ve forzada a ir hacia la superficie superior; en voladuras encerradas (**sin cara libre**).

Las voladuras donde debe tomarse en cuenta el esponjamiento son:

- a. Voladura en zanja
- b. Voladura en bancos profundos y estrechos.
- c. Voladuras en túnel

Para lograr un buen esponjamiento, debe añadirse en esos casos una carga explosiva auxiliar. Las rocas van a presentar grados distintos de esponjamiento.

Las rocas blandas tienen un menor grado de esponjamiento por lo cual serán difíciles de volar.

6.5.1.7.3.5 EL USO DE LA VOLADURA SECUNDARIA; FACTORES ECONÓMICOS A CONSIDERAR EN UNA VOLADURA

EL USO DE LA VOLADURA SECUNDARIA:

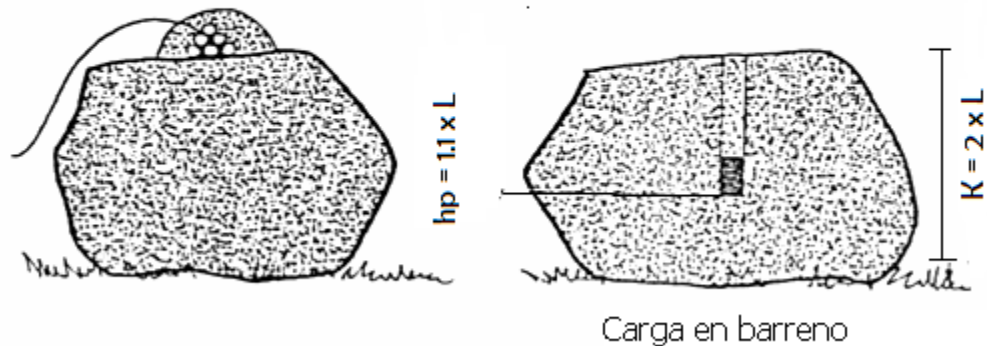
También se la denomina comúnmente "cachorro" (se llama a las voladuras destinadas a romper bloques de piedras demasiado grandes).

Se debe en general evitar su realización, por el costo adicional que representa a los gastos totales y por cuestiones de seguridad.

Debido a que estos bloques ya han sufrido cierta tensión producida por la voladura inicial, son mucho más fáciles de romper que una roca normal (requerirán en general de una carga específica más baja). Preferentemente su perforación debe realizarse en donde se encuentren fisuras o zonas de debilidad, con la finalidad de facilitar su fragmentación.

Es más fácil de romper un bloque redondo (equi-dimensional) que uno alargado y de dimensiones no similares.

Se puede realizar de dos maneras:



1. Colocando a manera de "parches" cargas cónicas sobre la roca (cargas conformadas o carga superficiales).
2. Introduciendo cargas dentro del hueco, previa su perforación.

En ningún momento, la perforación debe exceder la $1/2$ del espesor del bloque; pues la carga debe quedar en el centro del mismo.

Alternativas de cálculo.-

- a. Si se usa un parche, la carga colocada debe por lo menos ser de 1 Kg./m³., pues existe mucha disipación de energía.
- b. Si la roca es perforada, se pueden usar cargas específicas de un promedio entre 0.03 Kg./m³ hasta 0.1 kg./m³
- c. Si se utilizan varios barrenos en un mismo bloque, el encendido debe hacerse "instantáneamente", pues si fuese retardado, podría causar mucha proyección, y rotura entre los cordones de amarre.

En general en bloques equi-dimensionales tenemos las siguientes fórmulas de aplicación:

$$hp = 1.1 \times L \text{ (*)}$$

$$K = 2 L$$

Donde:

hp = Altura perforada.

L = Distancia entre hueco o al filo de la piedra

K = Altura del bloque.

(*) Fórmula tomada del décimo seminario internacional de perforación y voladuras 2007

Ejemplo de aplicación:

Se tiene un bloque casi cuadrado que mide de lado 2mts., se quiere usar una sola perforación, si el consumo específico requerido es de 0.1 Kg./m³. Calcular la profundidad de perforación y la cantidad de explosivo a usar.

$$L = 1.00 \text{ m.}$$

$$hp = 1.1 \times L = 1.1 \times 1.00 = 1.10 \text{ m.}$$

$$K = 2 \times L = 2 \times 1.00 = 2.00 \text{ m.}$$

$$\text{Volumen total del bloque} = \text{lado al cubo} = 2.00 \times 2.00 \times 2.00 = 8.00 \text{ m}^3.$$

$$\text{Consumo específico} = 0.1 \text{ Kg./m}^3$$

$$\text{Entonces tenemos que la cantidad de explosivo es: } 0.1 \text{ kg/m}^3 \times 8\text{m}^3 = 0,8 \text{ Kg}$$

Luego debe hacerse el cálculo del hueco en base a la cantidad de explosivo que cabe en el barreno, según su diámetro.

Si el barreno es de 2 1/2 " y se usa ANFO se tiene que:

En 1 metro lineal caben 2,53 Kg.

1 m. x 2.53 Kg (ANFO) por regla de tres en 0.80 Kg (ANFO) se requerirán de 0.30 m. de profundidad de barrenación.

$$\text{Taco} = 1.10 - 0.30 = 0.80 \text{ m (80cm)}$$

6.5.1.7.4 PROCEDIMIENTO PARA LA PERFORACIÓN EN VOLADURAS A CIELO ABIERTO

La perforación de producción es un término utilizado en la explotación de vetas de minerales o material rocoso en canteras. Este método es usado tanto en trabajos subterráneos como a cielo abierto, este sistema es similar al de perforación de banco.

6.5.1.7.4.1 PERFORABILIDAD DE UNA ROCA

Para conocer el grado de facilidad o de dificultad de perforación de una roca, deberá hacerse un análisis de los minerales que conforman la misma y de esta manera determinar la dureza que debe poseer la herramienta de perforación para que a la roca le ocasione el menor deterioro posible y tenga una mejor vida útil.

La abrasividad de una roca luego es función de los minerales que ella posea y por lo tanto es necesario hacer un análisis de la DUREZA de estos minerales para determinar la perforabilidad de la roca.

6.5.1.7.4.2 TIPOS DE PERFORACIÓN

La clasificación de los métodos de perforación se pueden hacer mediante las bases de comparación que se estipulen: así por ejemplo pueden hacerse en base al tipo de minado, al tamaño del agujero, en base al tipo de energía utilizado en la perforación, en base a lo mecanizado o no de la operación, en base a la movilidad de la perforadora etc.

6.5.1.7.4.2.1 PERFORACIÓN PERCUSIVA

La perforación por percusión es el método más común y es usado en casi todos los tipos de roca, ya sea en perforación convencional o en la de martillo en el fondo (down-the-hole).

6.5.1.7.4.2.2 ROTACIÓN Y CORTE

La perforación por rotación y corte es hasta ahora empleada en perforación de formaciones rocosas, blandas y de una compresividad de hasta 1500 a 2000 bares, muy usadas en técnicas de exploración geológica y también en explotación.-

6.5.1.7.5 VOLADURA EN OBRAS VIALES

Se considera como obras viales a las carreteras de toda categoría. En su construcción y mantenimiento es frecuente el empleo de explosivos, que se aplican tanto con métodos “tradicionales” tanto con otros denominados “típicamente viales”.

Los métodos que podríamos definir como tradicionales son:

Banqueo convencional; mayormente aplicado en canteras para proveer materiales pétreos.

Apertura de carreteras (vías, túneles)

Voladura controlada; principalmente en las modalidades de precorte y recorte: para mantener la estabilidad de taludes de roca en cortes de ladera poco estables o muy altos, que después requerirán muy poco mantenimiento.

Estos métodos comprenden técnicas especialmente dirigidas al rompimiento de material preferentemente menudo y homogéneo, procurando tener el menor efecto de deterioro de la roca por impacto o vibración, por tanto requieren de exigente control y de mayor trabajo de perforación. Por lo general son repetitivos, es decir que cada disparo es igual o parecido al anterior, siguiendo patrones establecidos.

Por el otro lado, la gran longitud de tramo y las cambiantes condiciones de geometría y de propiedades de las rocas a arrancar a lo largo del trazo de las obras viales, imponen el diseño de cada disparo como si fuera un caso en particular adaptado al perfil del terreno denominándoseles por ello “métodos viales”, entre los que consideramos a:

- Cortes de ladera o media ladera, con taladros cortos o largos
- Excavación de trincheras (o cortes de montura)

- Voladura para nivelaciones y de remoción de material para relleno de depresiones.
- Excavaciones para rampas.
- Voladuras para zanjas y cunetas
- Voladuras a cielo abierto en general.

Estas voladuras no son mayormente exigentes en cuanto a la calidad de fragmentación ni a la homogeneidad del material arrancado, ya que por lo común este será simplemente empujado a un costado de la obra, o empleado como relleno de nivelación, pero en razón a que usualmente resulta una importante cantidad de pedrones sobredimensionados, demasiado grandes para poder ser desplazados con el equipo mecánico disponible, sus resultados usualmente también imponen el apoyo posterior de rotura secundaria con cachorro, plantas, cargas dirigidas, o martillos rompedores hidráulicos.

6.5.1.7.5.1 CORTES A MEDIA LADERA Y TRINCHERAS

Métodos típicos para carreteras y autopistas son los cortes a media ladera y trincheras, que normalmente se efectúan de una sola vez cuando la altura del corte se limita a 10 ó 12 m, y por etapas cuando es mayor. Como el diámetro del taladro está en relación con la altura de banco o de corte se requiere la relación:

$$\text{Øt} = (\text{H}/60) \quad (*)$$

Donde:

Øt : diámetro del taladro.

H : profundidad de la excavación.

La longitud de los taladros (L) depende de la altura de banco, de la sobreperforación que sea necesaria según la resistencia a rotura de la roca y de la inclinación de los mismos, que suele ser de 15 a 20°.

$$L = (H/\cos \alpha) + [(1 - (\alpha/100)) \times SP] \quad (*)$$

Donde:

α : ángulo con respecto a la vertical, en grados

H : profundidad de la excavación.

SP : sobreperforación, en equivalentes a diámetro

(\emptyset), de acuerdo a la resistencia de la roca, (cuadro estimado)

(*) Fórmulas tomadas del Manual Técnico de Ingeniería

6.5.1.7.5.2 CORTES A MEDIA LADERA

Pueden efectuarse mediante taladros verticales paralelos o en abanicos, mediante taladros horizontales (zapateros) o mediante una combinación de taladros horizontales y verticales, los trazos de perforación son similares a los de banqueo, con malla cuadrada o alterna y salidas en paralelo o en “V”.

La dirección de salida de la voladura puede ser paralela o perpendicular al rumbo o traza de la cara del talud. Si es perpendicular (normal) puede existir riesgo de rodadura incontrolada de piedras ladera abajo, si la pendiente es muy parada. En laderas elevadas se debe habilitar primero caminos de acceso y plataformas de trabajo (bancos), empleando para ello el mismo equipo de perforación disponible pero con taladros de pequeño diámetro, preferentemente horizontales, paralelos a la traza y en número suficiente como para dejar preparadas plataformas de trabajo de 5 a 10 m de ancho, desde donde se practicarán las perforaciones mayores para el corte de la ladera. Estas plataformas se preparan en varias etapas de perforación, disparo y limpieza, generalmente con tractor. De acuerdo a las condiciones del terreno será conveniente o necesario delimitar la excavación del corte con una hilera de precorte.

En voladuras con sólo taladros verticales se suele disparar en una sola etapa, como en banqueo, procurando adecuar la carga explosiva para conseguir un empuje del material arrancado semejante al que se obtiene con las voladuras de “máximo desplazamiento” (*Cast blasting*) lo que disminuirá el volumen de trabajo en el corte mismo.

En los disparos con taladros horizontales se aprovecha de la gravedad para bajar la parte superior de la carga a excavar, debiéndose tener en cuenta que ésta quedará *in situ*, con menor desplazamiento que en el anterior. Este método baja los costos de disparo pero incrementa los de limpieza, además presenta el inconveniente de fuerte proyección de fragmentos a distancia al actuar las cargas como en voladuras de cráter y que la pared remanente queda muy deteriorada, con rocas colgadas y en algunas ocasiones con taludes invertidos, lo es riesgoso para el personal y obliga a desquincar antes de efectuar la limpieza del desmonte.

Para el cálculo de espaciado con taladros horizontales se aplica la relación:

$$E = 3 \times \sqrt{(\emptyset \times L)} \quad (*)$$

Donde:

E : espaciado, en m

\emptyset : diámetro de taladro, en m

L : longitud de taladro, en m

(*) Fórmula tomada del Manual del Ingeniero

Si la altura del banco es inferior a 5 m sólo se utilizará una fila de taladros, dos filas de entre 5 y 8 m, dispuestos preferentemente en forma alterna y tres o más filas por encima de 8 m, con malla alterna o cuadrática, según el estado del terreno.

En las voladuras se combinan taladros horizontales y verticales; suele ser conveniente efectuar la excavación por fases, limpiando el desmonte del primer tiro antes de disparar

el segundo. Pero si tiene que efectuarse un solo disparo, debe darse salida primero a los horizontales ubicados al pie del corte y después a los verticales perforados desde la parte superior y situados por detrás del fondo de los horizontales. Las salidas serán en secuencia mediante retardos.

6.5.1.7.5.3 VOLADURA DE GRAN VOLUMEN POR GRAVEDAD

Están basadas en el derrumbe de grandes volúmenes de material mediante cargas explosivas concentradas, relativamente grandes, aprovechando la gravedad.

Entre ellas podemos considerar:

Voladura por colapso o desplome con taladros de pequeño diámetro.- Es conocido que el procedimiento de excavación de roca adoptado virtualmente en todos los trabajos por tajo abierto es el de actuar directamente sobre el cuerpo de roca por medio de bancos, utilizando explosivos cargados dentro de taladros de voladura verticales. Sin embargo hay algunos casos donde se obtienen resultados más convenientes haciendo que el cuerpo de roca se colapse, al removerle su base. El procedimiento en este caso consiste en cortar una pequeña pero bien definida parte de la roca para hacer que la mayor parte del cuerpo sobreyacente se desprenda y desplome bajo acción de la gravedad, corte que usualmente se efectúa mediante taladros de voladuras horizontales o inclinadas, de pequeño diámetro, distribuidos cercanamente unos a otros.

Este tipo de voladura no permite control sobre la geometría de excavación ni sobre la fragmentación, y se aplica por tanto sólo en circunstancias específicas, como las siguientes:

- a. En aquellos casos donde las condiciones geológicas estructurales sean particularmente adecuadas para aplicar esta técnica, por ejemplo cuando la estratificación del cuerpo de roca tiene diaclasamiento con buzamiento cercano a la vertical, y donde sea posible y relativamente fácil inducir el colapso

simplemente excavando la base. Su aplicación en estos casos sin embargo requiere de mucho cuidado, porque si el bloque es muy inestable podría deslizarse prematuramente cuando aún se esté trabajando en el corte con grave riesgo para los trabajadores, o por otro lado, también podría ocurrir que el bloque no se desplome inmediatamente después del disparo quedándose “colgado en el talud”, en peligrosa condición de inestabilidad y de desprendimiento posterior.

- b. En proyectos de corta duración o de menor envergadura, donde no se justifique trabajos preparatorios de infraestructura, como accesos, carreteras, banqueo, etc. Este tipo de situación se presenta en algunas obras de ingeniería civil, como es el caso de las canteras temporales para obtención de pedrones y de ripio para obras viales, o las que se preparan para acumular gran volumen de material para relleno, que sería muy lento de obtener con banqueo convencional.
- c. En proyectos de estabilización de taludes o de mejoramiento de tierras en lugares donde el cuerpo de roca sea inestable y peligroso para alguna población, planta eléctrica, carretera, vía férrea, etc.
- d. En aquellos casos donde es imposible ubicar los equipos de perforación en la cima del cuerpo de roca para trabajar en forma convencional, debido a imposibilidad de acceso por una topografía abrupta, por mucho riesgo, por elevados costos de infraestructura u otro impedimento.
- e. En situaciones de emergencia para defensa civil, por ejemplo cuando sea esencial desviar o bloquear temporalmente el curso de una riada o avalancha, en donde las condiciones geológicas y topográficas permitan el cierre de una quebrada en forma rápida.

6.5.1.7.5.4 VOLADURAS PARA TALUDES.

La **ruptura previa** es una técnica para producir una pared razonablemente lisa, sin fragmentar, libre de roca suelta. El objetivo es que el mantenimiento de pendientes y zanjas sea el mínimo. Los agujeros para la ruptura previa se perforan en una sola línea en un plano que será la cara final del talud o de la pared. También puede emplearse la perforación en línea con los agujeros espaciados más o menos dos diámetros de la barrena; pero para la ruptura previa el espaciamiento es mucho más grande. Se hace explotar la dinamita, esqui espaciada en el cordón detonador, para romper el alma entre los agujeros. Los fabricantes pueden surtir explosivos espaciales para ruptura previa.

Cuando se utiliza este tipo de explosivos, es más fácil llenar los barrenos, porque no se requiere cordón detonador. El ahorro de mano de obra compensará el costo adicional de explosivos.

6.5.1.8 COMO SELECCIONAR UN EXPLOSIVO?

Para seleccionar el explosivo a usarse en una situación determinada, es indispensable tener en cuenta su costo y sus propiedades. Deberá escogerse aquel que proporcione la mayor economía y los resultados deseados.

Como una orientación se presenta a continuación la tabla con las propiedades de los explosivos, y el uso sugerido.

Selección y propiedades de los explosivos más comunes en construcción.

TIPO	AGENTE EXPLOSIVO	FUERZA	VELOCIDAD	RESISTENCIA AL AGUA	EMANACIONES	USO
Dinamita, Nitroglicerina	Nitroglicerina	-----	Alta	Buena	Exceso de gases	Trabajos a cielo abierto.
Extra	Nitroglicerina y amoniaco	20 a 60%	Alta	Regular	Exceso de gases	Trabajos a cielo abierto.
Granulada	Amoniaco	25 a 65%	Baja	Muy mala	Exceso de gases	Trabajos a cielo abierto. (canteras)
Gelatina	Amoniaco	30 a 75%	Muy alta	De buena a excelente	De muy pocos gases a nulos	Sismología. Trabajos submarinos y subterráneos.
ANFO	Amoniaco	----	Alta	Ninguna	Muy pocos gases	Trabajos a cielo abierto y subterráneos.
Hidrógeles	Amoniaco	40 a 75%	Muy alta	Excelente	Muy pocos gases	Trabajos a cielo abierto y subterráneo.

6.5.1.9 FACTORES ECONÓMICOS A CONSIDERARSE EN UNA VOLADURA

Para conocer el valor de una tonelada de material explotado, es necesario ponderar muchos factores, no solamente lo que se refiere al arranque propiamente dicho; pues puede dar el caso que al usar una malla más cerrada de perforación o un explosivo más potente, si bien es cierto suben los costos de la voladura, pueden bajar notablemente los costos en lo que a carguío, transporte y trituración se refiere, es decir los costos totales.

Para estimar el costo deben considerarse los siguientes factores:

6.5.1.9.1 COSTO POR PERFORACIÓN.

Incluye depreciación del equipo, generalmente se hace a 10 años vida útil, salario y prestaciones del personal, costo del equipo de perforación, combustible, aceite, etc.

Este varia según el tipo de roca que se trate (malla de perforación); considerando que el consumo específico permanece constante; si variamos el diámetro de los huecos tendremos que a mayor diámetro disminuye el costo en lo que se refiere a perforación.

6.5.1.9.2 COSTO DE LOS EXPLOSIVOS.

Se incluye el costo del explosivo, accesorios de voladura y demás gastos indirectos. Estos variarán según el tipo de explosivo utilizado; generalmente resulta económico realizar voladuras con una carga de fondo potente y una carga de columna económica; a mayor diámetro disminuyen los costos por explosivos.

6.5.1.9.3 COSTO DE LA CARGA DE BARRENOS.

Los costos por operación son inferiores si se trabaja con diámetros grandes, pues se requiere de menos personal, y además de un menor tiempo para realizar la voladura. Estos incluyen costos de mano de obra y supervisión en dichas operaciones.

6.5.1.9.4 COSTOS POR VOLADURA SECUNDARIA.

Dependerá del equipo de carguío y de la trituradora. En muchos casos este valor puede ser mayor que la voladura misma cuando no se ha realizado un diseño técnico - económico adecuado, por último la voladura podrá afectar positiva o negativamente al desescombro, en general a mayor fragmentación, o menor tamaño en la roca, existe una mayor capacidad de desescombro de la voladura.

6.5.1.10 PROCEDIMIENTO PARA SELECCIONAR EL MÉTODO DE PERFORACIÓN.

El seleccionar una máquina en particular para la producción de hoyos es un problema de diseño que requiere juzgar muchos parámetros, entre ellos: la energía a usar, la rata de penetración, acero de perforación y el costo.

El procedimiento sugerido para su selección es el siguiente:

1. Determinar las condiciones bajo las cuales va a ser utilizada la maquinaria (manuales, vagón-drill, track-drill).
2. Estudios en base al ciclo de producción (geometría del yacimiento, esquema de trituración, cuota de producción, fragmentación etc.) en la máquina que deberá de realizar las labores de quebrado de la roca; deberá considerarse: diámetro de huecos. profundidad, distancia entre huecos (piedra, espaciamiento) etc.
3. Determinar anticipadamente el tipo de roca en que se va a trabajar, para determinar plenamente el grado de perforabilidad de la misma y poder seleccionar la perforadora más apta, y el acero de perforación mas adecuado.
4. Comparación de los parámetros y de los costos por diferentes métodos, incluyendo depreciación de perforadoras, brocas, mantenimiento etc.
5. Selección del sistema de perforación el cual debe satisfacer los requerimientos y obtener el menor costo que sea posible.

6.5.1.11 DISEÑO DE VOLADURAS A CIELO ABIERTO.

DEFINICION DE TÉRMINOS A UTILIZARSE EN EL CÁLCULO DE UNA VOLADURA.

ALTURA DE BANCO (H).- Es la distancia en el terreno cuya magnitud se mide verticalmente desde la superficie horizontal inferior a la superficie horizontal superior en metros.

PIEDRA MAXIMA (V).- Es el diámetro máximo que puede tener la piedra producto de la voladura; o, distancia horizontal a los barrenos entre filas de éstos.

PIEDRA PRACTICA (BURDEN).- Por razones practicas esta definida como la distancia perpendicular existente entre una fila de barrenos y la siguiente en el fondo del barreno.

ESPACIAMIENTO (S).- Es la distancia entre dos barrenos contiguos de una misma hilera, medidos superficialmente.

PROFUNDIDAD DEL BARRENO (L).- Es la longitud del barreno en metros que considerando su inclinación y la sobreperforación, es mayor que la altura del banco.

SOBREPERFORACION (J).- Es la longitud del barreno que se perfora por debajo del fondo del banco.

CARGA DE FONDO .- Es la carga concentrada que se requiere en el fondo del barreno para trozar y arrancar la formación de roca confinada en la parte inferior del banco, y se expresa en Kg/m..

CARGA DE COLUMNA.- Se sitúa sobre la carga de fondo y puede estar menos concentrada y es necesaria para colaborar con la proyección y trozadura de la roca, y se expresa en Kg/m.

RETACADO (Taco) (T).- Es la parte superior del barreno en la que se coloca arcilla, arena o tierra como sello.

CARGA ESPECIFICA.- Es la relación entre la cantidad de explosivos utilizado por m³ de roca volada y se expresa en Kg/m³.

CARGA TOTAL.- Es la suma de la carga de fondo y de la carga de la columna, se expresa en Kg/barreno.

DIAMETRO DEL BARRENO.- Es el diámetro nominal de la broca expresado en mm.

PERFORACION ESPECIFICA.- Es la relación de la sumatoria de las profundidades de los barrenos de una hilera y el volumen de roca desprendida, se expresa en m/m³.

CEBO.- Carga de explosivo de alta potencia y sensibilidad en la que se sitúa el iniciador y que sirve para aumentar el rendimiento de otros explosivos.

AGENTE EXPLOSIVO.- Mezcla de sustancias combustibles y oxidantes que no son intrínsecamente explosivas por separado.

BANCO.- Unidad básica de explotación en forma de gran escalón constituido por un plano vertical o frente y un plano horizontal o plataforma de trabajo

CEBADO AXIAL.- Sistema de iniciación de una carga explosiva mediante un cordón detonante a los largo de ella.

ESTOPIN.- iniciador del explosivo, unión de la mecha lenta con fulminante.

6.5.1.11.1 VARIABLES DE DISEÑO DE UNA MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA.

Variables de Diseño:

H = altura de banco

D = Diámetro del barreno

L = Longitud del barreno

d = Diámetro de la carga

B = Piedra nominal (Burden)

S = Espaciamiento

L_v = Longitud de voladura

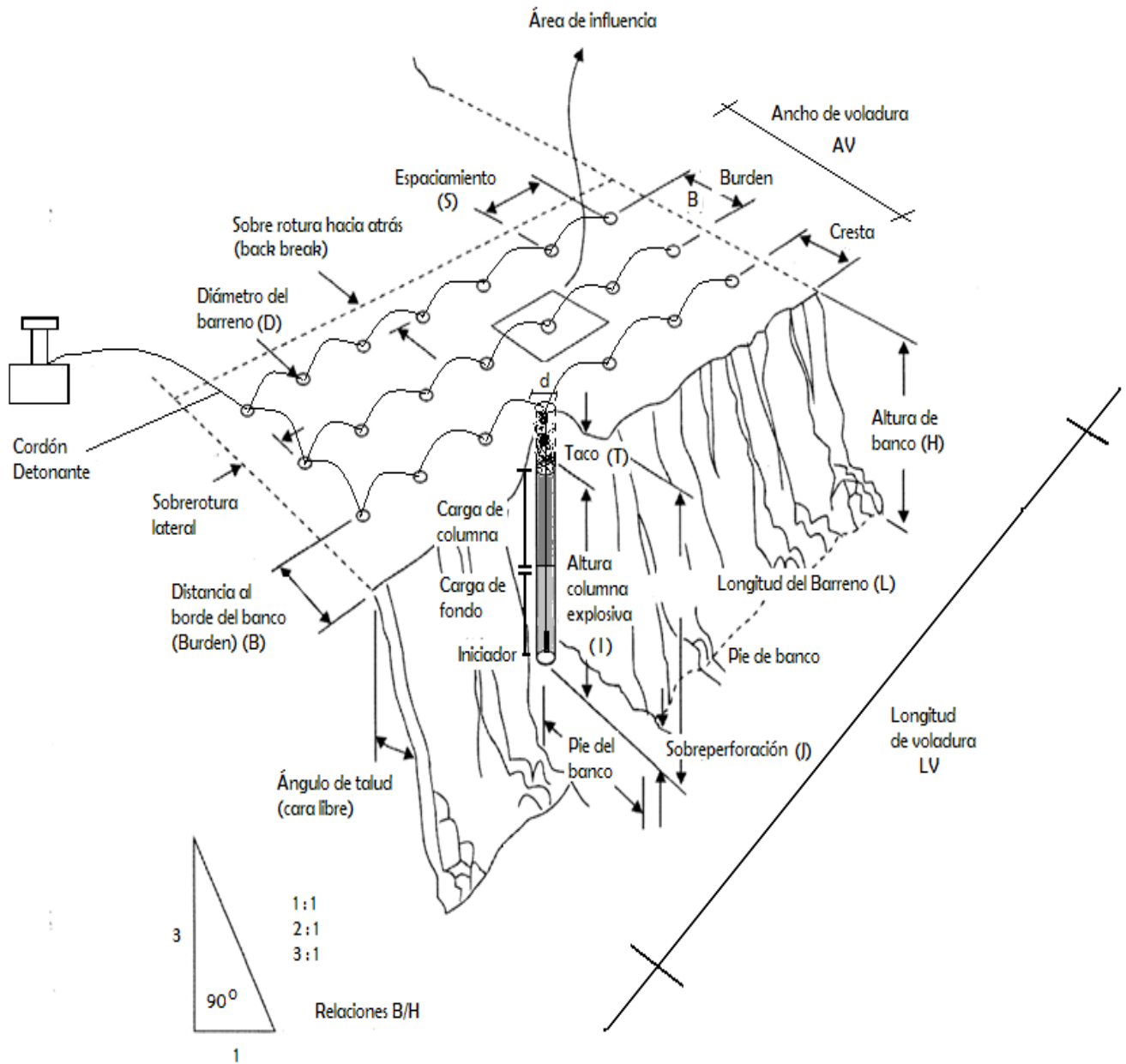
A_v = Anchura de la voladura

T = Retacado (Taco)

J = Sobreperforacion

I = Longitud de Carga

BANCO DE VOLADURA: NOMENCLATURA



DIÁMETROS DE LOS BARRENOS.

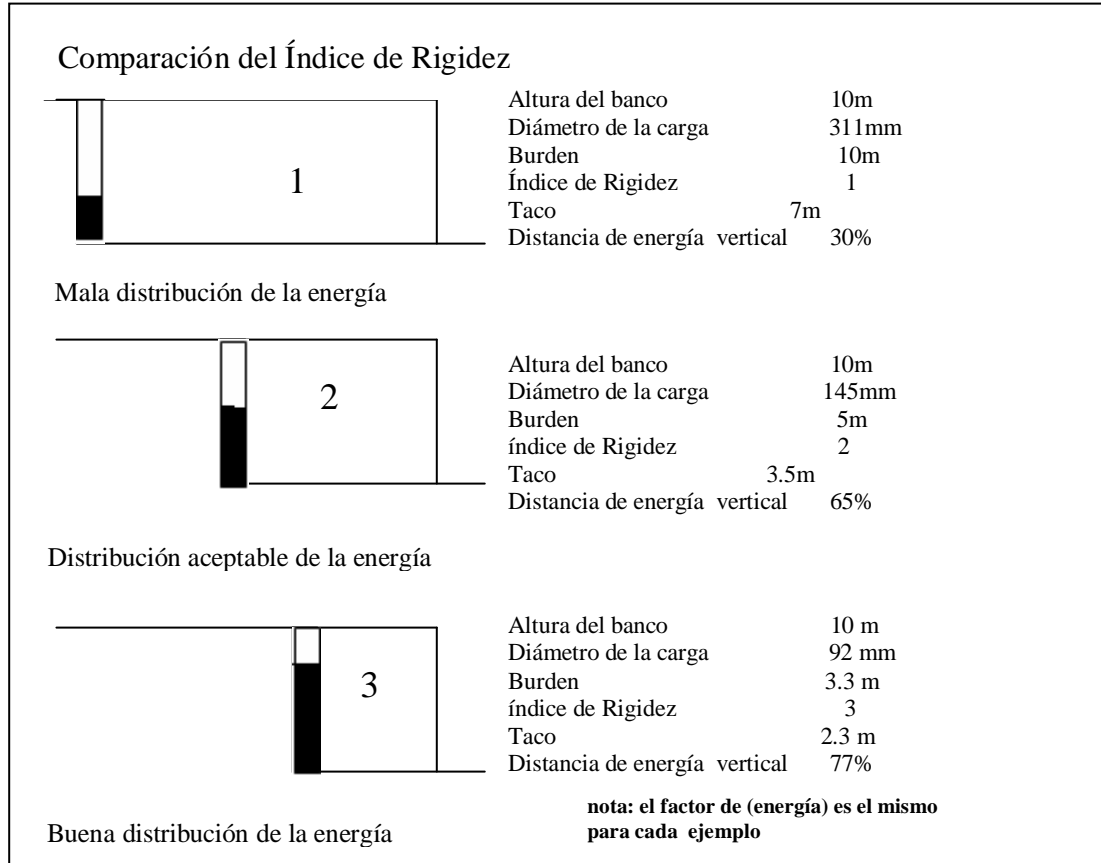
La longitud de retacado “T” aumenta con el diámetro de perforación, pudiendo llegar a constituir la parte alta del barreno una fuente potencial de formación de bloques.

En rocas masivas, cuando la longitud de carga “I” y el diámetro “D” presentan valores “ $I/D < 60$ ”, un incremento de este parámetro tiende a aumentar la fragmentación. Esto se explica por el efecto de rotura de los extremos de las cargas cilíndricas poco alargadas. Conforme “ I/D ” tiende hacia 60”, la importancia de las regiones hemisféricas decrece. Cuando “ $I/D > 60$ ”, un incremento de “D” obliga a elevar el consumo específico, si se quiere mantener la fragmentación.

ALTURA DE BANCO.

Si $H/B = 1$, se obtendrá una fragmentación gruesa con problemas de sobre excavación.

Con $H/B = 2$ se aminoran estos efectos, eliminándose en su totalidad con $H/B \geq 3$.



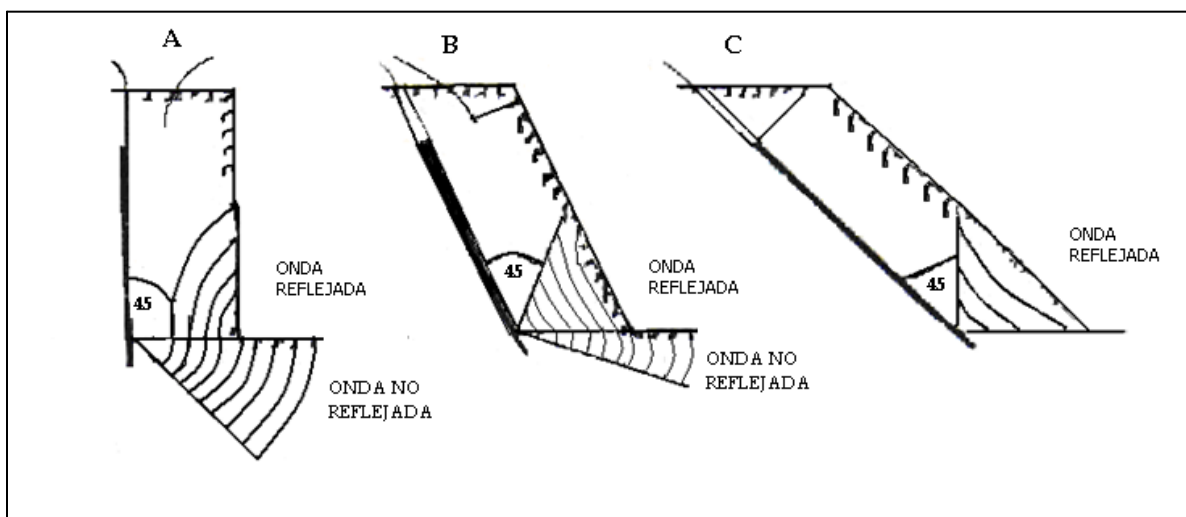
La condición $H/B \geq 3$ se cumple generalmente en canteras. pero no en minería metálica puesto que la altura de banco viene impuesta por:

- El alcance de la máquina de carga, y
- La dilución del mineral.

INCLINACIÓN DE LOS BARRENOS.

Las ventajas que presenta la perforación inclinada son:

- Mejor fragmentación, desplazamiento y esponjamiento de la pila de material, ya que se mantiene mas uniforme el valor de la piedra “B” a lo largo del barreno y aumenta el ángulo de la trayectoria de proyección.
- Menores problemas de descabezamiento de barrenos, disminuyendo así los cortes y fallos en las voladuras
- Taludes mas sanos y seguros en los nuevos bancos creados.
- Mayor rendimiento de las palas cargadoras de ruedas debido a la menor altura y mayor esponjamiento de la pila.



Fuente: Tecnovoladuras

Ventaja de los barrenos inclinados:

- Menor sobreperforación y mejor aprovechamiento de la energía del explosivo con la consiguiente disminución del nivel de vibraciones producido.
- Menor consumo específico de explosivo al reflejarse de forma más eficiente la onda de choque en el pie del banco y posibilidad de aumentar la dimensión de la piedra con menor riesgo de aparición de repies.

RETACADO.

El retacado es la longitud de barreno que en la parte superior se rellena con un material inerte y tiene la misión de confinar y retener los gases producidos en la explosión para permitir que se desarrolle por completo el proceso de fragmentación de la roca.

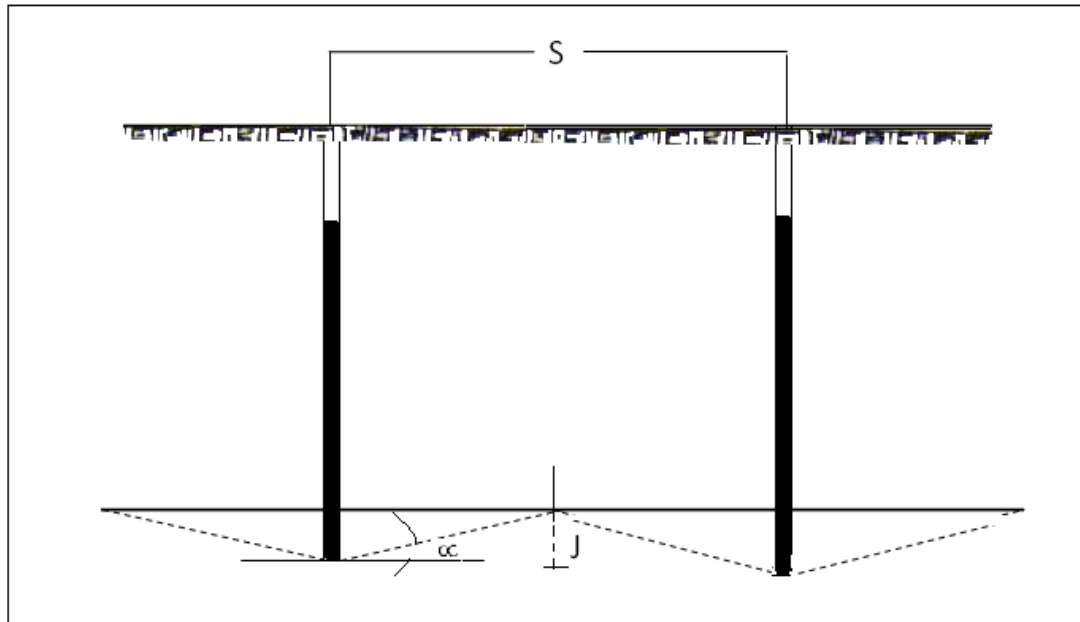
El retacado más eficaz se alcanza para tamaños de partícula entre “1/17 D” y “1/25 D”.

En la práctica las longitudes óptimas de retacado aumentan conforme disminuyen la competencia y calidad de la roca, variando entre “20 D” y “60 D”. Siempre que sea posible debe mantenerse una longitud de retacado superior a “25 D” para evitar los problemas de onda aérea, proyecciones, cortes y sobreexcavaciones.

SOBREPERFORACIÓN.

La sobreperforación “J” es la longitud de barreno por debajo del nivel del piso que se necesita para romper la roca a la altura del banco y lograr una fragmentación y desplazamiento adecuado que permita al equipo de carga alcanzar la cota de excavación prevista.

La rotura en el fondo del barreno se produce en forma de conos invertidos cuyos ángulos con la horizontal dependen de la estructura del macizo y de las tensiones residuales. Normalmente, varían entre 10 ° y 30 °.



Fuente: Tecnovoladuras

El valor de la sobreperforación para que se produzca la intersección de las superficies cónicas al nivel de banco vale normalmente “ $J = 0,3 B$ ”

BURDEN O PIEDRA

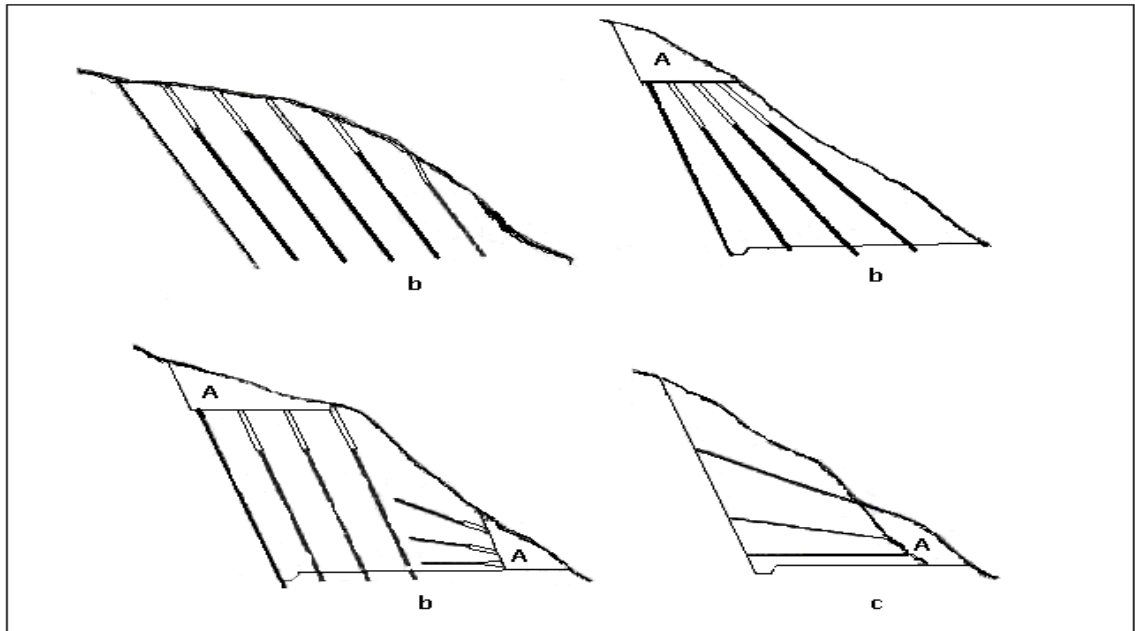
El Burden o piedra (B) es la distancia mínima desde el eje de un barreno al frente libre.

ESPACIAMIENTO.

El espaciamiento “S” es la distancia entre barrenos de una misma fila.

Se han propuesto numerosas formulas de cálculos de la piedra que tienen en cuenta uno o varios de los parámetros indicados, pero todas proporcionan valores que se sitúan en el rango de “25 a 40 D”, dependiendo fundamentalmente de las propiedades del macizo rocoso.

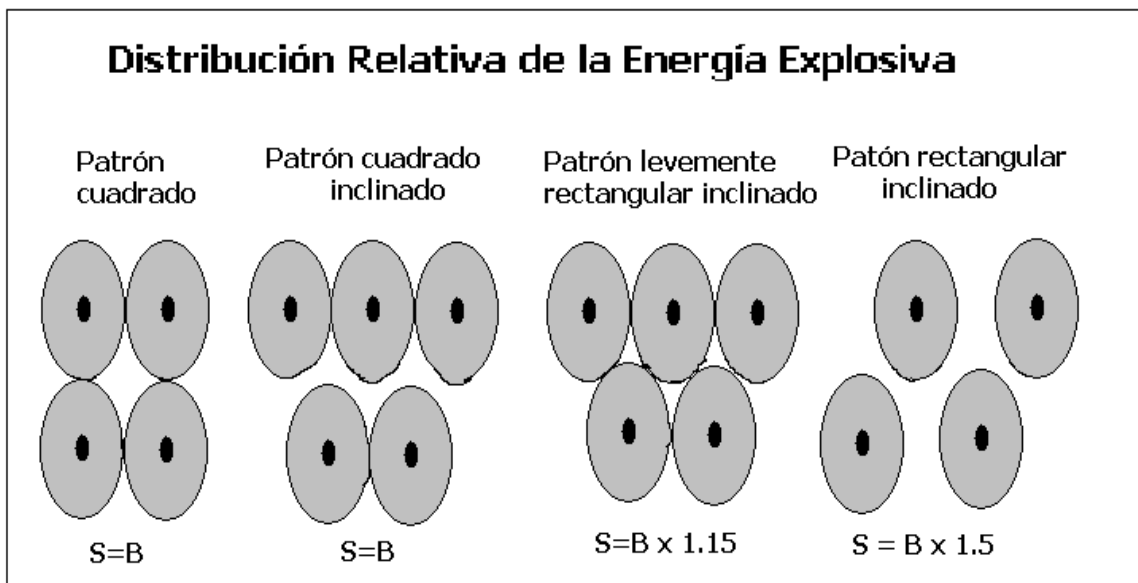
PERFORACIÓN.



Patrón de Perforación:

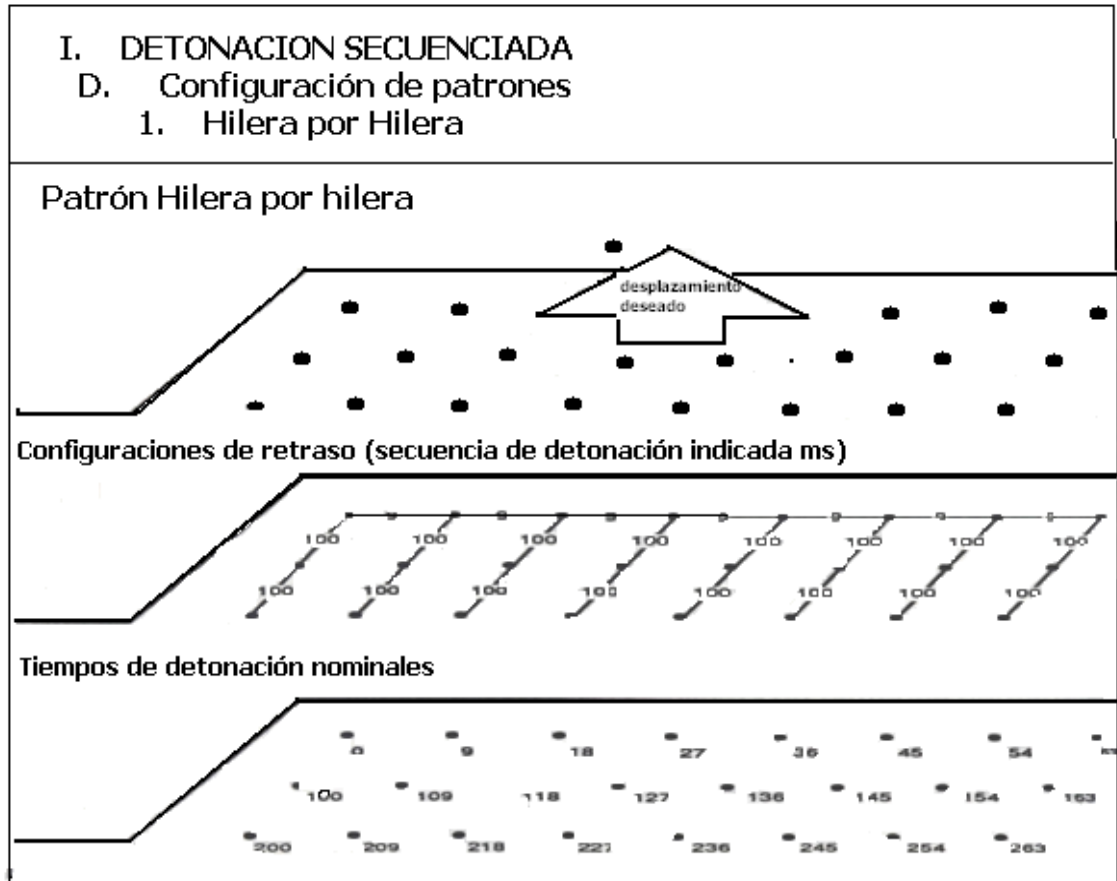
Cuadrado rectangular

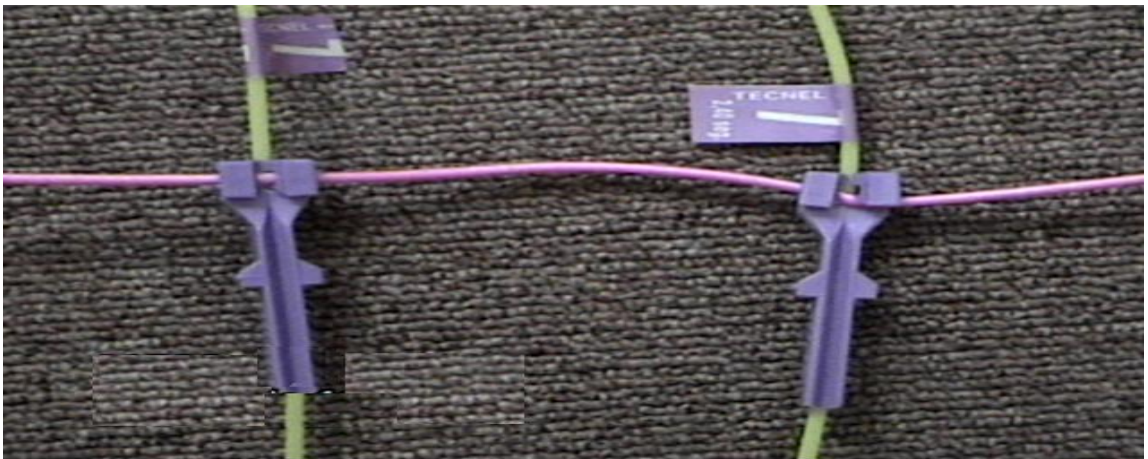
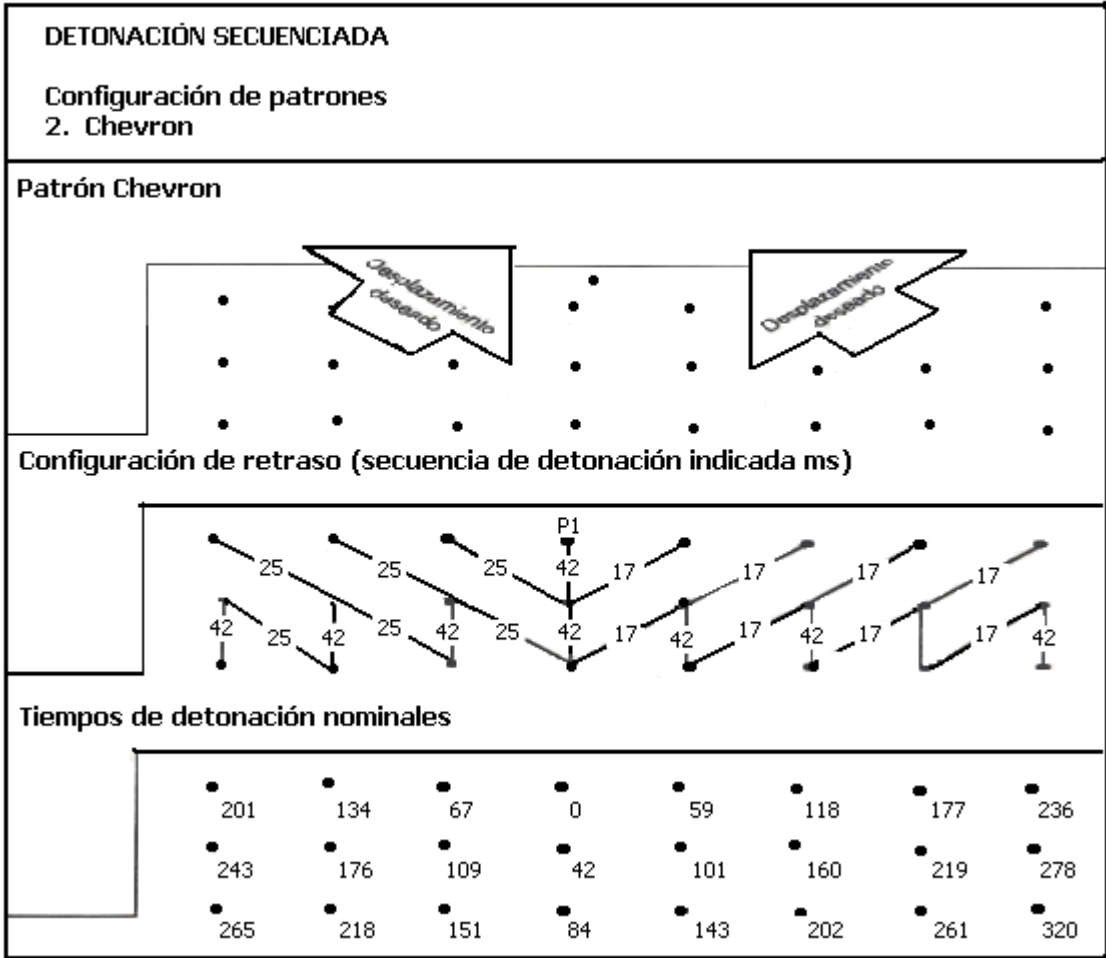
Inclinado rectangular inclinado o tresbolillo



Fuente: Tecnovoladuras

TIEMPOS DE DETONACIÓN.





La condición $H/B \geq 3$ se cumple generalmente en canteras, pero no en minería metálica puesto que la altura de banco viene impuesta por:

- El alcance de la máquina de carga, y
- La dilución del mineral.

6.5.1.11.2 PARAMETROS NECESARIOS PARA EL DISEÑO DE UNA MALLA DE VOLADURA.

Metodología y ejemplo de cálculo:

Datos:

Altura del banco $H = 15$ mt.

- Diámetro (Pulg) = $H/3 \Rightarrow 15 \text{ mt.} = 5''$ (125 mm)
- Burden (m) $\Rightarrow (0.5 \text{ a } 1) \times D_{EX} \Rightarrow 0.75 \times 5'' \Rightarrow 3.75 \text{ mt.}$
- Espaciamiento (m) $\Rightarrow (1 \text{ a } 1.8) \times B \Rightarrow 1.3 \times 3.75 \Rightarrow 5.00 \text{ mt.}$
- Sobre perforación (m) $\Rightarrow (0.2 \text{ a } 0.5) \times B \Rightarrow 0.3 \times 3.75 = 1.13 \Rightarrow 1.00 \text{ mt.}$
- Taco (m) $\Rightarrow (0.7 \text{ a } 1.3) \times B \Rightarrow 1 \times 3.75 \Rightarrow 3.75 \text{ mt.}$
- Long. de Barreno (m) $\Rightarrow H + L_s \Rightarrow 15.00 + 1.00 = 16.00 \text{ mt.}$
- Long. de Carga (mt) $\Rightarrow LB - LT \Rightarrow 16.00 - 3.75 \Rightarrow 12.25 \text{ mt.}$
- Carga de explosivo por metro de Barreno(Kg)

$$C_{EM} = 0.5065 \times d_{EX} * d^2 \Rightarrow .85 \times (5)^2 \Rightarrow 10.76 \text{ Kg/m}$$

- Carga de explosivo por barreno (Kg) $\Rightarrow C_{EB} = LC \times CEM$

$$12.25 \text{ mt.} \times 10.76 \text{ Kg/m} = 132 \text{ Kg.}$$

- Volumen de Roca por Barreno (m^3) $\Rightarrow V_R = B \times E \times H_b$

$$3.75 \times 5.00 \times 15.00 = 281 \text{ m}^3$$

- Toneladas de Roca por Barreno (Ton) $\Rightarrow T_R = V \times d_R$

$$281 \text{ m}^3 \times 2.4 \text{ gr/cm} = 674.40 \text{ Ton}$$

$$\text{Fac. de Carg (Kg/Ton)} = C_{EB}/T_R \Rightarrow 132\text{Kg} / 674.4 \text{ Ton} = 0.19\text{Kg/Ton}$$

6.5.1.11.3 CONCENTRACIÓN LINEAL DE CARGA.

Para calcular la concentración lineal de carga del explosivo, se tiene la siguiente relación:

$$Q_{bk} = 0,078539 \times d \times D_e^2 \quad (*)$$

Donde:

Q_{bk} = Concentración de carga (kg/m)

d = Densidad del explosivo (gr/cm^3)

D_e = Diámetro del explosivo (cm)

Se aplicado a los diferentes productos tanto dinamitas, emulsiones y anfos:

CONCENTRACION LINEAL DE CARGA (kg/m)

Diámetro barreno		Anfo normal	Anfo Al	Emulsen 910	Emulsen 720	Emulgrel 3000	Nuevo Explogel III	Explogel I	Explogel Amon	Unidades
Pulg.	mm	0,88	0,89	1,17	1,17	1,21	1,33	1,37	1,39	gr/cm³
1	25,40	0,45	0,45	0,59	0,59	0,61	0,67	0,69	0,70	kg/m
2	50,80	1,78	1,80	2,37	2,37	2,45	2,70	2,78	2,82	kg/m
3	76,20	4,01	4,06	5,34	5,34	5,52	6,07	6,25	6,34	kg/m
4	101,60	7,13	7,22	9,49	9,49	9,81	10,78	11,11	11,27	kg/m
5	127,00	11,15	11,27	14,82	14,82	15,33	16,85	17,35	17,61	kg/m
6	152,40	16,05	16,23	21,34	21,34	22,07	24,26	24,99	25,36	kg/m
7	177,80	21,85	22,10	29,05	29,05	30,04	33,02	34,02	34,51	kg/m
8	203,20	28,54	28,86	37,94	37,94	39,24	43,13	44,43	45,08	kg/m
8 1/8	206,38	29,44	29,77	39,14	39,14	40,48	44,49	45,83	46,50	kg/m
8 1/4	209,55	30,35	30,69	40,35	40,35	41,73	45,87	47,25	47,94	kg/m
8 3/8	212,73	31,28	31,63	41,58	41,58	43,00	47,27	48,69	49,40	kg/m

(*) Fórmula tomada del décimo seminario internacional de perforación y voladuras 2007

6.5.1.11.4 PRUEBAS DE CAMPO DE LOS PRODUCTOS ELABORADOS POR EXPLOCEN.

Con el fin de GARANTIZAR la calidad del producto que fabrica la empresa EXPLOCEN, la empresa realiza pruebas de campo con el fin de medir las propiedades como son velocidad de detonación, que es una de las propiedades más importantes en el análisis respectivo de estos productos.

1. Se ha procedido a medir la velocidad de detonación de los productos EXPLOGEL I, EXPLOGEL III, EXPLOGEL AMON, obteniéndose resultados favorables ya que se encuentran dentro de los rangos permitidos del producto.
2. De igual manera de ha realizado pruebas del cordón detonante, determinándose que un tramo no se quemó concluyendo que es necesario revisar la producción y elaboración de mencionado producto.

Estas se realizaron en el campo de pruebas de a empresa ubicada en el sector del corazón del cantón Machachi.



Prueba del cordón detonante (sin revestimiento)



Preparación de prueba explogel



Preparación de prueba de emulsión



Anclaje del cordón detonante



Medición de la velocidad de detonación.



Prueba de dinamitas (explogel III, explogel amon)

6.5.1.12 PREVENCIÓN DE RIESGOS AL USAR EXPLOSIVOS.

INTRODUCCIÓN:

En el uso de los explosivos se debe procurar la seguridad absoluta de todo el personal que opera mencionados productos, como también de todas las personas que, laboran, transitan, viven o tienen necesidad de estar lo bastante cerca de los lugares donde se realizan operaciones de cualquier tipo con estas sustancias y sus afines.

Todos los explosivos son peligrosos, por lo que deben ser manejados y usados por personal competente y experimentado y bajo vigilancia estricta de estos. El personal que maneja explosivos tiene la responsabilidad de conocer y poner en práctica todas las medidas de seguridad, ya que un error en el uso y aplicación de las normas podría traer consecuencias fatales, con las consecuentes pérdidas económicas y humanas.

El Personal Técnico que maneja material explosivo, debe recordar que cuenta con una energía muy potente y que existen varios accesorios y métodos para poderla controlar. De igual manera debe comprender que esta energía mal controlada, puede herirse él y sus compañeros de trabajo. Al usar explosivos, sus resultados son positivos cuando estos son manejados correctamente, e ineficaces cuando se carece de los conocimientos básicos.

Al manipular explosivos, la seguridad en el trabajo es responsabilidad tanto de las autoridades como de los empleadores y los trabajadores. Es decir desde la alta Gerencia con la planificación de las políticas de seguridad. Resulta evidente que es imposible incluir precauciones o métodos aprobados para todas y cada una de las situaciones que pudieran presentarse; se incluyen recomendaciones para evitar las causas más comunes de los accidentes a todas aquellas personas que trabajan directamente en los diferentes frentes de obras de la construcción.

6.5.1.12.1 CUIDADOS E INSTRUCCIONES PARA USAR, ALMACENAR, PERFORAR, Y TRANSPORTAR MATERIALES EXPLOSIVOS

Todos los explosivos y accesorios de voladura están fabricados para detonar y por lo tanto todos son potencialmente peligrosos. Los explosivos inician o activan con los detonadores, pero pueden reaccionar y explotar por otros motivos como son:

GOLPE O IMPACTO.- Ejemplo: con una herramienta metálica, por caída de piedras, choque del vehículo de transporte, por impacto del barreno de perforación o impacto de bala.

COMPRESIÓN.- Aplastamiento por un vehículo o un equipo pesado en movimiento.

CALOR O LLAMA ABIERTA.- Contacto con la llama de un soplete de soldar, con el fuego de un incendio, o fósforos encendidos.

Con excesivo calor, cerca de estufas y calderos, en depósitos herméticamente cerrados.

FRICCIÓN.- Por rozamiento contra metal en el vehículo de transporte. Fricción en una faja transportadora.

CONTACTO.- Contacto casual con cordón detonante activado con cargas eléctricas de alta tensión, fuegos artificiales o cohetes que impacten a explosivos.

SIMPATÍA.- La mayoría de los explosivos reaccionan a distancia por efecto de la onda de choque de otro explosivo que ha detonado, así un cartucho de dinamita puede activar a otro incluso hasta a más de 20 cm de distancia al aire libre, y un fulminante a varios centímetros.

INDUCCIÓN ELÉCTRICA.- Los fulminantes o detonadores (especialmente los eléctricos) pueden ser activados por corrientes eléctricas estáticas o vagabundas

presentes en el ambiente o cerca de motores, transformadores y líneas eléctricas. También por caída cercana de rayos o relámpagos.

USO.- Recuerde leer cuidadosa y detenidamente todas las instrucciones que emite el fabricante antes de usar cualquier material explosivo, ríjase únicamente a las normas de seguridad así se conseguirá prevenir los accidentes. El mal uso de cualquier material explosivo puede matar o herir, al usuario o a otras personas; por lo tanto es necesario planificar adecuadamente y usar los procedimientos pertinentes al manipular este material.

6.5.1.12.2 SEGURIDAD EN PERFORACIÓN, CONFINAMIENTO Y CARGA DE BARRENOS.

El más común de los accidentes que ocurre durante la carga, es la detonación no intencional de un barreno individual o de todos los barrenos de la pega. La razón de iniciación involuntaria puede ser: daño mecánico al explosivo, al detonador, o una iniciación involuntaria al detonador eléctrico.

Un riesgo que existe en la carga mecanizada, tanto con cartuchos explosivos como con ANFO a través de mangueras, es que se producen cargas electrostáticas causadas por el transporte del material explosivo dentro de la manguera. Esto puede producir una iniciación involuntaria por lo cual se hace necesario utilizar una manguera que sea adecuada y aprobada para este tipo de operaciones. Esto significa que para un equipo cargador de cartuchos la manguera debe ser antiestáticamente tratada y para el cargador de ANFO la manguera debe ser conductiva.

Es necesario tomar las siguientes precauciones:

- Verifique la presencia de explosivos en la superficie o en las cercanías antes de taladrar.

- Nunca taladre en explosivos o en hoyos que han contenido explosivos.
- Durante la carga neumática tome precauciones para evitar la acumulación de energía estática.
- Nunca coloque cualquier parte del cuerpo frente a los huecos, a no ser cuando requiera operar.
- Nunca mantenga más cantidad de explosivo que la necesaria en el área de trabajo.
- Nunca se debe cargar un barreno con explosivos después de cesantear (ensanchar el barreno con explosivos) o al terminar la perforación, sin antes cerciorarse de que este fresco y no contenga metal caliente ni material ardiente o humeante, (las temperaturas en exceso de 66°C son peligrosas).
- Nunca debe empujarse con fuerza los cartuchos u otros explosivos para introducirlos en el barreno o para pasarlos por una obstrucción en el barreno.
- Nunca debe forzarse la inserción de un fulminante común o estopín eléctrico en un cartucho de dinamita. Insértese en un orificio hecho con perforador especial para este objeto.
- Nunca debe henderse, deformarse o maltratarse el cebo.
- Nunca se debe perforar a través del material de retacado que cubra una carga fallida.
- Siempre debe cortarse del carrete el cordón detonante que penetra en el barreno, antes de meter el resto de la carga explosiva siempre debe conectarse los fulminantes comunes o estopines eléctricos al cordón detonante de acuerdo a los métodos recomendados.
- Siempre que se cargue un barreno, es recomendable que el detonador sea ubicado en su fondo, de esta manera tenemos mayor seguridad de que el explosivo ubicado en su base ha detonado, mientras que si se ubica en la parte superior, y de producirse una interrupción en la detonación quedaría remanencia de explosivo en el fondo del mismo.

- Siempre que se ha producido un disparo fallido donde gran parte de los barrenos todavía contienen explosivos y es necesario realizar nuevas perforaciones, se hace necesario entonces soplarlos para extraer el explosivo remanente; para lo cual se utilizará agua a presión o aire comprimido, antes de iniciar la nueva perforación.
- Para cargar utiliza taco de madera, y NO barrenos o elementos metálicos

6.5.1.12.3 MEDIDAS DE SEGURIDAD POSTERIORES AL DISPARO

- Se accederá luego de 30 minutos después de la señal.
- No se regresará al lugar hasta que la visibilidad sea completa y hayan desaparecido el polvo, gases y humos de la detonación.
- Se esperará un tiempo prudencial para que se estabilice la pila de escombros y taludes residuales.
- Se inspeccionará la posible existencia de tiros fallidos.

6.6 BIBLIOGRAFÍA.

- BLASTER HANDBOOK, (1983), Manual para uso de explosivos, Dieciseisava edición, Ed. E.I. DU PONT DE NEMOURS AND COMPANY, INC, México
- EXSA, Manual práctico de voladura, Cuarta edición, INC, España
- DR. CALVIN J., ING. ENRIQUE ALBARRAN, (1998), Diseño de Voladuras, Primera edición, México
- EXPLOCEN, (2006), Noveno curso internacional de voladuras, Lima
- EXPLOCEN, (2007), Décimo curso internacional de voladuras, Quito
- FUSTER CASAS JOSE MARIA, MARTÍNEZ STRONG PABLO, Geología Básica en Ciencia e Ingeniería, Ediciones OMEGA.
- WATT ALEC (1982), Diccionario Ilustrado de la Geología, Editorial EVEREST, Colombia.
- DAPPLES E. C (1093), Geología Básica en Ciencia e Ingeniería, Traducción FUSTER CASAS JOSE M., Editorial OMEGA, Barcelona 1963.
- LANGEFORS V., KIMLSTROM B.(1976), Técnica Moderna de Voladura de Rocas, traducción HUIDODRO J.J, TORNOS J., ARROSPIDE J., Ediciones UNMO, España
- MERRIT FREDERIC S. (1976), Manual del Ingeniero Civil, Tomo II, Ediciones MC GRAW HILL, Primera Edición en español, México.
- SANDVIK COROMANT, ATLAS COPCO, Manual de Perforación de Rocas.

- EXPLOCEN, Guía de Prevención de Accidentes, Especificaciones Técnicas de los Productos de Explocen, folletos.

ANEXOS

- Certificaciones de prácticas realizadas