



61
29

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**ANALISIS Y ESTUDIOS DE
CONSTRUCCION EN SUELOS ROCOSOS**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
JORGE LUIS GIL CASTELAN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D. F.

1991



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ANALISIS Y ESTUDIOS DE CONSTRUCCION EN SUELOS ROCOSOS.

INDICE

I.	INTRODUCCION.	
I.1	GEOLOGIA.	2
I.2	GEOLOGO Y EL INGENIERO CIVIL.	2
I.3	HISTORIA DE LA EXCAVACION.	3
I.4	FUNDAMENTOS DE INGENIERIA TECTONICA EN MEXICO.	4
II.	PROPIEDADES GEOMETRICAS Y MECANICAS DE LAS ROCAS.	
II.1	PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS ROCAS.	5
II.2	RESISTENCIA COMO ROCA INTACTA.	7
II.3	LAS CLASIFICACIONES GEOMECHANICAS.	8
II.4	PROYECCION ESTEREOGRAFICA.	10
II.5	CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO.	11
II.6	MODELIZACION DE LOS MACIZOS ROCOSOS.	13
III.	EXPLORACION.	
III.1	CRITERIOS GENERALES DE EXPLORACION.	14
III.2	METODOS DE EXPLORACION DIRECTOS.	16
III.3	METODOS DE EXPLORACION INDIRECTA.	29
IV.	CONSTRUCCION DE CIMENTACIONES.	
IV.1	EXCAVACION.	35
IV.2	PROCEDIMIENTO DE EXCAVACION.	36
IV.3	EXCAVACIONES A CIELO ABIERTO Y LADERAS NATURALES.	43
IV.4	EXCAVACIONES SUBTERRANEAS.	44
IV.5	SISTEMAS DE SOPORTES.	46
IV.6	INSTRUMENTACION.	49
V.	USO DE EXPLOSIVOS.	
V.1	PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS.	57
V.2	CLASIFICACION.	61
V.3	INICIADORES Y ACCESORIOS.	64
V.4	MECANISMO DE FRAGMENTACION.	69
V.5	CONSIDERACIONES LEGALES DE SEGURIDAD SOBRE EL USO DE LOS EXPLOSIVOS.	71
VI.	CONCLUSIONES.	82

1. INTRODUCCION

1.1 GEOLOGIA

Geología (del griego geo "tierra" y logos "tratado") es la ciencia que estudia la tierra. La estudia tanto en lo que respecta a su constitución, estructura y arquitectura, como en lo relativo a todos aquellos fenómenos que en orden cronológico han venido a modificarla, modificación debido a los esfuerzos originados dentro de ella (Geodinámica interna) y al trabajo incesante de los diversos agentes de intemperismo, erosión y sedimentación.

La geología estructural, -rama de la geología- es el estudio sistemático de los rasgos estructurales de las masas de roca. La palabra estructura se refiere al arreglo producido en los cuerpos de roca por la presencia de fenómenos tales como capas, lentes o vetas, que se deben a diferencias en el material; por la manera en la cual se apoyan unos cuerpos de roca contra otros aún se intercalan; y por grietas, zonas de cisallamiento, y venas rellenas de minerales que cruzan a través de ellos.

1.2 GEOLOGO Y EL INGENIERO CIVIL

El geólogo, por su formación académica eminentemente naturalista, estudia y describe la estructura de las rocas desde un punto de vista cualitativo, mientras que el ingeniero civil cuya formación académica es de base físico-matemática, busca en las rocas su descripción cuantitativa.

Las características naturales de las rocas que interesan al Ingeniero Civil son:

- Resistencia.
- Deformabilidad.
- Permeabilidad.
- Fragmentación natural.
- Estado natural de esfuerzos.
- Dureza y abrasividad.
- Tenacidad.
- Alterabilidad.

El geólogo de construcción y el ingeniero civil cooperan en la selección del mejor material de construcción, agregados, canteras, etc., así como en la solución de problemas que presente la roca como material estructural y estudios petrográficos del concreto y del clinker del cemento portland.

1.3 HISTORIA DE LA EXCAVACION

La historia de la excavación en roca está escrita en los corazones del hombre que combatieron y vencieron los obstáculos de la naturaleza. Los tipos más antiguos de excavaciones en roca fueron los que hizo el hombre para protegerse así mismo excavando un refugio en la ladera de un acantilado. La historia indica que los romanos aplicaron métodos "avanzados" para disgregar las formaciones rocosas, tanto para la construcción de caminos como para la explotación de canteras. Los antiguos egipcios construyeron las pirámides disgregando densas formaciones rocosas a la forma de bloques masivos para

construcción, y sobreponiéndolos luego para dar forma a las grandes pirámides.

Los túneles han existido durante varios milenios. Las primeras civilizaciones excavaron túneles para extraer metales preciosos. Tales túneles se abrían en la roca firme subyacente o en la roca superficial y las primeras experiencias determinaron la necesidad de crear algún tipo de ademe para poder trabajar en su interior con relativa seguridad.

1.4 FUNDAMENTOS DE INGENIERIA TECTONICA EN MEXICO

Las provincias morfotectónicas de la configuración de México son consecuencia de la interacción de tres placas tectónicas mayores y de otras menores, que han actuado simultáneamente desde el cretácico superior tardío, el terciario y el cuaternario: (1) La placa continental de norteamérica con desplazamiento hacia el occidente y al sur-occidente. (2) La placa oceánica del pacífico en subducción, con rumbo general al noreste. (3) La placa oceánica del caribe con movimiento inicial al noreste y posteriormente al oriente.

En las provincias del centro del país del Golfo de México, del Caribe y del Istmo de Tehuantepec, se conjuraron varios esfuerzos tectónicos distensivos, compresivos y de cizallamiento sumamente complejos que interactuaban simultáneamente al desplazarse la placa continental norteamericana hacia el W-SW, y el bloque maya deslizándose por el sistema Motagua-Polochic, así como la placa de Cocos que generaba esfuerzos compresivos, distensivos y de cizallamiento con dirección hacia el noreste.

II. PROPIEDADES GEOMETRICAS Y MECANICAS DE LAS ROCAS

II.1 PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS ROCAS

Las propiedades básicas ingenieriles de las rocas, son su composición, textura, fábrica, propiedades físicas, índice de alteración, solubilidad, corrosión, resistencia a la erosión y al interperismo, etc.

Las propiedades físicas más importantes de las rocas desde el punto de vista de la construcción son: peso volumétrico seco, porosidad, absorción, alterabilidad, solubilidad, permeabilidad, resistencia en compresión uniaxial, resistencia en tensión y su módulo de elasticidad.

En ingeniería se ha definido un índice de calidad de la roca, RQD (Rock Quality Designation) es el cociente de la longitud que resulta de sumar únicamente los trozos de roca mayores de 10 cm y la longitud de avance del sondeo. La roca se clasifica de acuerdo con los valores del RQD, Tabla II.1.

<u>RQD en %</u>	<u>Calidad</u>
0 - 25	muy pobre
25 - 50	pobre
50 - 75	aceptable
75 - 90	bueno
<u>90 - 100</u>	<u>excelente</u>

Tabla II.1 Relación entre el RQD y la calidad de la roca.

Contenido de agua. Al aumentar el contenido de agua de una muestra de roca, disminuye su resistencia a la compresión simple.

Alteración y alterabilidad. El grado de alteración se relaciona con la resistencia y deformabilidad de la roca; mayor grado de alteración, menor resistencia y mayor deformabilidad del material. También el efecto de escala disminuye al crecer el grado de alteración. Esto implica que la alteración, al aumentar, opaca el carácter discontinuo de la matriz rocosa y que, para valores grandes del índice de alteración, el comportamiento de la roca tiende al de un suelo en que el efecto de escala es reducido.

Sensitividad. Es el cociente de las permeabilidades medidas en condiciones de flujo radial divergente a presión de 1 kg/cm² y el flujo radial convergente a una presión de 50 kg/cm².

Resistencia y deformabilidad. La resistencia y deformabilidad de la matriz rocosa ocasionalmente pueden ser de utilidad directa para el diseño de las obras (pilares de excavaciones subterráneas, vi.gr.). Ver Tabla II.2.

Efecto de escala. El efecto de escala es un factor fundamental para el diseño de los pilares de excavaciones subterráneas. El factor de escala disminuye al aumentar la presión confinante que actúa sobre la muestra, pues induce el cierre de las fisuras preexistentes y, por tanto, pierde importancia el carácter discontinuo de la roca.

Familia	Roca	Resist. últ. %
I. Rocas densas-duras	Granito	80
	Gneis	80
	Caliza	80
II. Rocas porosas	Dolomita	50
	Arenisca Darley	50
	Caliza	35
	Granodiorita	27
	Alabastro	30
III. Rocas plásticas blandas	Arenisca Peunaut	20
	Potasa	25

Tabla 11.2 Resistencia última de varias rocas.

11.2 RESISTENCIA COMO ROCA INTACTA

Se entiende por roca "intacta" aquella de la cual puede tomarse muestras para su ensayo en laboratorio, no presentando características estructurales de gran escala, como diaclasas, planos de estratificación, fracturas y zonas milonitizadas.

La clasificación se basa en dos propiedades importantes de la roca: la resistencia a compresión simple y el módulo de elasticidad (E.). La roca se clasifica en una de las cinco categorías de resistencia, tabla 11.3.

Clase		Regist. a comp. simple (kg/cm ²)
A	Resistencia muy alta	> 2.250
B	Resistencia alta	1.120 - 2.250
C	Resistencia media	560 - 1.120
D	Resistencia baja	280 - 560
E	Resistencia muy baja	< 280

Tabla 11.3 Clasificación de la roca intacta.

11.3 LAS CLASIFICACIONES GEOMECANICAS

El conocimiento de las propiedades geomecánicas de las rocas tiene como objeto el comprender el comportamiento estructural de los macizos rocosos durante la ejecución de obras de ingeniería tales como cimentaciones, excavaciones subterráneas o a cielo abierto, taludes artificiales o naturales.

Estas propiedades geomecánicas de las rocas se obtienen mediante ensayos de laboratorio y de campo, tanto estático como dinámico.

A continuación se indican algunas de estas propiedades:

- Por ciento de recuperación de barrenación.
- Por ciento de recuperación de barrenación modificado (RQD).
- Permeabilidad de la masa rocosa.
- Composición mineralógica.
- Textura.
- Estructura.
- Densidad.

- Peso volumétrico.
- Porosidad.
- Índice de alteración.
- Permeabilidad al agua.
- Resistencia en compresión simple.
- Resistencia en tensión simple.
- Resistencia en tensión bajo flexión (módulo de ruptura).
- Resistencia en corte simple, doble y punzonado.
- Resistencia en corte directo.
- Resistencia al corte bajo compresión triaxial.
- Relación de Poisson.
- Módulo elástico en especímenes de laboratorio.
- Módulo de deformabilidad de campo.
- Módulo elástico dinámico.
- Velocidad sónica.
- Resistividad eléctrica.

Aplicaciones:

- a) Determinación de la capacidad de carga de la roca para efectos de diseño de cimentaciones, (edificios, cortinas de concreto).
- b) Diseño de excavaciones subterráneas y a cielo abierto.
- c) Diseño de sistemas de soporte (anclajes, marcos, concreto lanzado, revestimiento de concreto, camisas metálicas, etc.).
- d) Tratamiento de la roca para consolidación o impermeabilización, mediante la inyección de mezclas de cemento y productos químicos.

- e) Proyecto de sistemas de drenaje.
- f) Proyecto de sistema de excavación.
- g) Diseño de voladuras.

11.4 PROYECCION ESTEREOGRAFICA

La proyección estereográfica constituye uno de los métodos más útiles para representar las relaciones angulares entre características planares y lineales de las estructuras geológicas.

En los salientes de roca donde se observe el grado y forma de fisuramiento del macizo, se deberán anotar todas las características de las discontinuidades observadas, como son:

- rumbo
- echado
- rugosidad
- grado de alteración del material a ambos lados de la discontinuidad y del existente entre las paredes.

Intersección de planos. Dos superficies planas no paralelas se intersectan siempre en una recta. La orientación de esta línea de intersección puede determinarse dibujando los dos círculos mayores que representan los dos planos. Estos círculos se cortan en un punto que da la intersección lineal.

Angulo entre líneas y Angulo entre planos. Para medir el ángulo entre dos líneas no paralelas se proyectan en primer lugar sobre la red los puntos representativos de estas líneas. A continuación

se gira el papel cubridor hasta que los dos puntos se sitúen sobre un solo círculo máximo. La distancia angular entre estos dos puntos, medida a lo largo de este círculo máximo es el ángulo entre las líneas.

11.5 CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO

Los macizos rocosos pueden, de una manera relativamente simplista, considerarse como paquetes compactos de bloques (de agregados minerales), de composición, forma y tamaños diversos, separados por discontinuidades.

Las moléculas que forman los cristales minerales, la matriz rocosa en general, son atraídas entre sí por fuerzas electromagnéticas de magnitudes diversas, que originan la "resistencia".

La matriz rocosa. Roca es todo agregado de minerales consistente. En el caso de las rocas ígneas, a partir de una mezcla líquida desordenada (magma), los átomos van uniéndose, durante el enfriamiento que conlleva a la solidificación, para formar edificios moleculares (cristales) de varios tipos; cada tipo estando caracterizado por una misma composición y una misma arquitectura moleculares.

Con respecto a las rocas sedimentarias, la diversidad de orígenes, de composiciones y de modos de formación es muy grande, por lo que la gama de magnitudes de fuerzas de atracción entre las moléculas constitutivas, y por ende de "resistencia" y

deformabilidades también lo es. Sin embargo, formándose todas las rocas sedimentarias en capas horizontales por la acción de la gravedad, puede afirmarse que constituyen el caso típico de direccionalidad (paralela y perpendicularmente a los planos de estratificación) de la heterogenidad, de la anisotropía y de la discontinuidad.

Para la estabilidad de un proyecto de un macizo rocoso, la importancia de las discontinuidades, de la heterogenidad y de la anisotropía, depende de las dimensiones de la obra. A este fenómeno se le conoce como "Efecto de Escala".

En las rocas metamórficas, la composición ígnea o sedimentaria original sufre modificaciones como consecuencia de las altas temperaturas y presiones a que es sometida. Entre dichas consecuencias, está la formación de estructuras minerales planas, perpendiculares a la dirección del empuje.

Resistencia, deformación y ruptura. Debe considerarse que la aparición de fisuras en una roca, implica una disminución de las fuerzas que mantienen unida su estructura molecular, es decir, implica mayor deformabilidad y menor resistencia a la ruptura.

Discontinuidades. Las primeras fisuras ocasionadas por un estado de esfuerzos, al interior del volumen afectado por dicho estado, son paralelas y oblicuas al esfuerzo principal mayor, y forman una familia de discontinuidades paralelas y escalonadas entre sí.

11.6 MODELIZACION DE LOS MACIZOS ROCOSOS

La modelización de un macizo rocoso persigue fines ingenieriles muy diversos, entre los que se pueden citar:

- La evaluación de filtraciones bajo una presa.
- El diseño de un programa de inyecciones de impermeabilización, o de consolidación.
- La determinación de la posición y orientación más económica para una excavación (profunda).
- El análisis de estabilidad de la cimentación de una presa.
- El análisis de estabilidad de los cortes en excavaciones.
- El análisis de estabilidad de las laderas de un embalse.
- y el diseño de modos constructivos.

El modelo analítico que para cualquiera de dichos fines se elabore, deberá servir para:

- a) Probar las hipótesis sobre la estructura geológica (naturaleza, comportamiento, etc.).
- b) Analizar la influencia de los diferentes parámetros y combinaciones considerados (análisis paramétricos).
- c) Estudiar la eficacia relativa de las diferentes soluciones.
- d) Analizar el comportamiento de conjunto del macizo rocoso.
- e) Analizar los posibles modos de ruptura.

III. EXPLORACION

III.1 CRITERIOS GENERALES DE EXPLORACION

Los métodos de exploración geológica se llevan a cabo de acuerdo a los fines que persigue la investigación, ya sea propiamente geológica o aplicada a cualquier obra de ingeniería civil. La aplicación de la geología en las obras de ingeniería civil esta en el conocimiento integrado del macizo rocoso, este conocimiento involucra la clasificación geológica e ingeniería de las rocas.

Se resume algunas recomendaciones que deben comprender los estudios de investigación geológica:

Mapas Geológicos. De escala, según la etapa y propósito del estudio. Debe contener información geomorfológica, distribución de tipos de roca, edades, relaciones estratigráficas, componentes estructurales. Propiedades físicas e ingenieriles. Condiciones de erosión, alteración y condiciones geohidrológicas.

Investigación del subsuelo. Exploración directa implica observaciones directas de las rocas, incluye perforaciones, lumbreras, trincheras y socavones. Exploración indirecta interpreta las condiciones basadas sobre las medidas de ciertas propiedades físicas; utiliza técnicas geofísicas.

Perforación y muestreo. Perforación rotaria y de pulseta. Se utiliza comúnmente en la exploración de bancos de materiales, y estructuras cimentadas en suelos y rocas completamente alteradas.

Da información sobre perforabilidad, velocidad de perforación, contactos suelo-roca.

Perforación con recuperación. Es la técnica más frecuentemente utilizada para propósitos de investigación profunda del subsuelo, la muestra puede ser examinada para determinar el tipo de roca, condiciones de alteración, tipo, espaciamiento y condiciones de las fracturas, calidad de roca, evidencias de estructuras mayores como zonas de plegamiento, de falla y condiciones hidrogeológicas.

Investigaciones geofísicas. Los métodos geofísicos miden algunas propiedades específicas de la masa rocosa de las cuales son interpretadas en términos geológicos. Para las investigaciones geofísicas se utilizan varios métodos. Las técnicas sísmica que miden la velocidad de propagación de las ondas en roca y las técnicas de resistividad eléctrica que miden la resistividad eléctrica de las rocas.

Investigaciones de laboratorio. Las pruebas, en forma general, para rocas, son: pruebas de esfuerzo y deformación (elasticidad y creep), parámetros de resistencia (cortante), dureza y permeabilidad son básicas.

Tipos de sondeos.

Métodos de exploración de carácter preliminar.

- a) Pozos a cielo abierto, con muestreo alterado o inalterado.
- b) Perforaciones con posteadora, barrenos helicoidales o

métodos similares.

- c) Métodos de lanzado.
- d) Método de penetración estándar.
- e) Método de penetración cónica.
- f) Perforaciones en boleos y gravas (con barretones, etc.).

Métodos de sondeo definitivo

- a) Pozos a cielo abierto con muestreo inalterado.
- b) Métodos con tubo de pared delgada.
- c) Métodos rotatorios para roca.

Métodos geofísicos

- a) Sísmico.
- b) De resistencia eléctrica.
- c) Magnético y gravimétrico.

111.2 METODOS DE EXPLORACION DIRECTOS

Los métodos de exploración directa. Son aquellos que obtienen muestras, para someterlas a pruebas de laboratorio. Las muestras pueden ser representativas alteradas o inalteradas.

Muestras representativas alteradas. Son aquellas cuyo acomodo estructural está afectado en forma significativa por el muestreo; sirven para hacer determinaciones de propiedades índice y para pruebas de permeabilidad y mecánicas.

Muestras representativas inalteradas. Son aquellas cuyo acomodo estructural está afectada en forma significativa para el muestreo; sirve para hacer determinaciones de propiedades índice

y mecánicas.

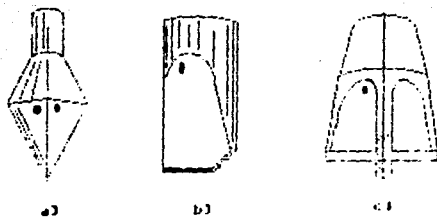
Pruebas de campo. Son aquellas que se realizan en el sitio para determinar directamente alguna propiedad del suelo.

Muestreo alterado. Su obtención permite definir su estratigrafía y determinar en el laboratorio, sus propiedades índice para clasificar los suelos. Las muestras alteradas se pueden obtener manualmente de pozos a cielo abierto, cortes y zanjas.

Métodos manuales. Las muestras se toman a medida que progresa la excavación, conservándolas en bolsas de lona sino interesa mantener el contenido natural de agua y en bolsas de polietileno o frasco de vidrio de cierre hermético si es significativo conservar la humedad natural.

La exploración mediante pozos a cielo abierto es procedimiento que con la profundidad se hace muy lento y costoso.

Método de lavado. La perforación se hace con un trépano o cincel de percusión que simultáneamente con los impactos inyecta un fluido de perforación que erosiona y arrastra a la superficie el material cortado.



Trépanos de percusión.

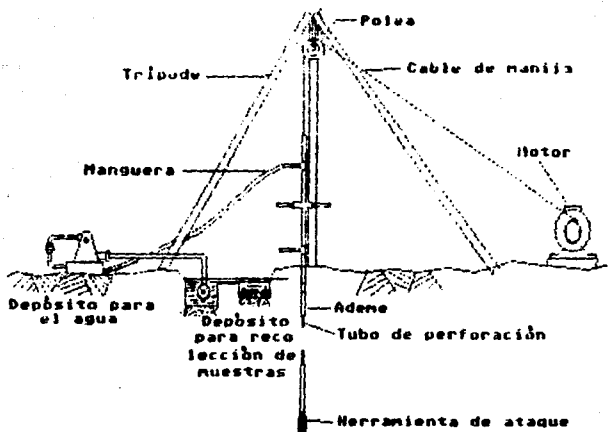


Fig. III.1 Perforación para lavado

El equipo necesario (fig. 111.1) consiste de un malacate de fricción para cable de manila, una bomba para agua o lodo con accesorios, tripié con polea, barras y trépanos de perforación y ademe metálico (opcional).

Perforación a rotación con agua o lodo. Esta técnica consiste en cortar el suelo con broca que penetra a rotación y presión, inyectando simultáneamente agua o lodo para enfriar a la broca y arrastrar el material cortado hasta la superficie.

El equipo necesario (fig. 111.2) consiste en una perforación rotatoria con sistemas hidráulicos de carga, una bomba para el manejo de lodo de perforación y herramienta con broca, además de barras de perforación.

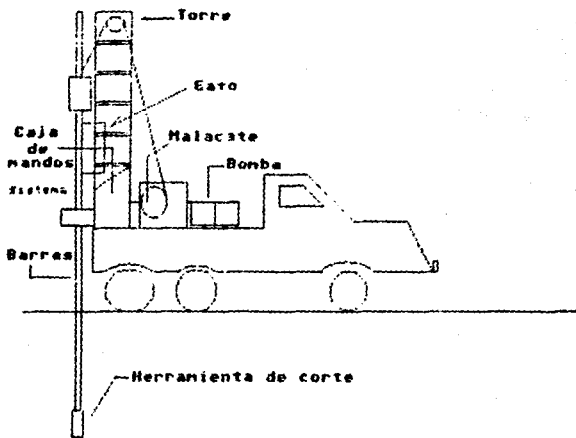


Fig. 111.2 Equipo de perforación a rotación

Perforación en seco. Es la técnica más recomendable para realizar sondeos arriba del nivel freático, porque no altera el contenido del agua del suelo; abajo del nivel freático, es también recomendable porque alcanza mayor eficacia que los métodos anteriores.

Para esta técnica se requiere contar con una perforadora rotatoria con mecanismo hidráulico. Las barras helicoidales se unen con pernos de presión que transmiten la rotación en cualquier sentido. La broca de corte consiste simplemente en un conjunto de buriles de carburo de tungsteno que continúan el plano de la helicoide.

El ademe espiral se enroscan entre sí y llevan un perno lateral que permite girar esta herramienta en cualquier sentido.

Prueba de penetración estándar. El penetrómetro estándar consiste de un tubo muestreador que se hinca a percusión y rescata muestras alteradas para identificar los suelos y realiza pruebas índice; el número de golpes necesarios para incarlo se correlaciona con la resistencia al corte del suelo.

El equipo necesario para realizar la prueba incluye un malacate ligero y tuberías de perforación.

Muestreo inalterado. Los objetivos que se buscarán con un sondeo inalterado son: definir la estratigrafía del sitio y obtener muestras que conserven la estructura del suelo (muestras inalteradas) para realizar con ellas pruebas mecánicas que permitan interpretar su comportamiento bajo las condiciones de

trabajo que se impondrán. Su extracción se puede hacer con métodos manuales o con muestreadores adecuados a las diferentes condiciones que pueden presentarse.

Métodos manuales. Consisten en labrar muestras cúbicas en pozos a cielo abierto, cortes o zanjas, con herramienta manual. Se requieren picos, palas, espátulas, parafina, manta de cielo, brochas y etiqueta de identificación de muestras. Fig. III.3.

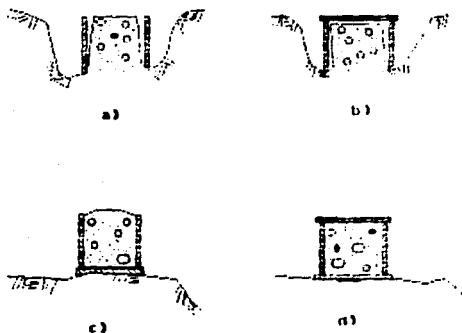


Fig. III.3 Procedimiento de obtención de muestras cúbicas.

Tubo de pared delgada (Shelby). Se hince a presión en el suelo para recuperar muestras relativamente alteradas.

Está constituido por un tubo metálico, usualmente acero o latón, montado en una cabeza que la une a la columna de barras

con que se hinca, aplicando presión desde la superficie. La cabeza tiene perforaciones laterales para aliviar la presión dentro del muestreador y una válvula para proteger a la muestra de las presiones hidrodinámicas que se generan al extraerlo, fig. III.4.

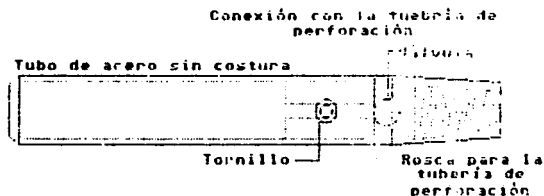


Fig. III.4 Tubo Shelby

Barril tipo Denison. Consta de dos tubos concéntricos montados en una cabeza con baleros; el tubo exterior gira para cortar el suelo mientras que el interior permanece sin girar y por presión toma la muestra. Durante el muestreo se inyecta agua o lodo que circula entre los dos tubos, enfriando así a la broca y arrastrando al exterior el material cortado, fig. III.5.

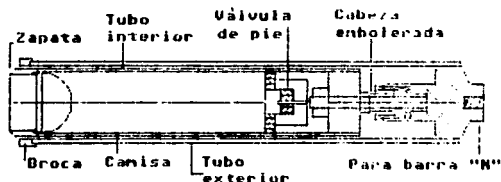


Fig. III.5 Barril tipo Denison.

Sondeos en roca.

Es la recuperación de muestras mediante perforaciones con las siguientes características: inalteradas (intactas), verdaderamente representativas del material con alto porcentaje de recuperación y capaces de permitir identificar las características de la roca y su fracturamiento, la estratigrafía del sitio, tamaño y espaciamiento de fracturas, grado de alteración y presencia de materiales de relleno en ellas. La obtención eficiente de las muestras de roca se realiza con la ayuda de barriles muestreadores. Cuando en parte del sondeo se encuentran las rocas blandas, deben adoptarse los métodos descritos anteriormente.

a) Barriles muestreadores. Son tubos que llevan en su extremo inferior una broca de insertos de carburo de tungsteno o de diamantes industriales, que por rotación cortan anularmente la muestra de roca; está queda alojada en el tubo que soporta la broca o bien en otro tubo interior protector. Para mejorar la calidad del muestreo se deben usar los llamados barriles no convencionales.

Barriles muestreadores convencionales. Pueden ser utilizados en rocas duras a semiduras.

Barril sencillo o simple. Es útil en los trabajos de inyección o anclaje, cuando solo importa el barreno producido. Para muestreo tiene la inconveniencia de que el fluido de perforación está en contacto directo con la muestra, originándole

torsiones y erosión del agua que provoca roturas y desprendimiento del material que la forma. Fig. III.6.

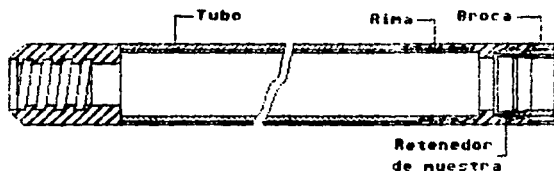


Fig. III.6 Barril simple

Barril doble. Con este se elimina la acción erosiva del fluido de perforación y se obtiene un mayor porcentaje de recuperación de muestra que con el sencillo. Consiste esencialmente de un tubo exterior y uno interior en donde se recupera el núcleo; se fabrica en dos tipos:

Barril doble tubo rígido. En este tipo, el tubo interior está rigidamente unido a la cabeza del muestreador de tal forma que gira junto con el tubo exterior (fig. III.7).

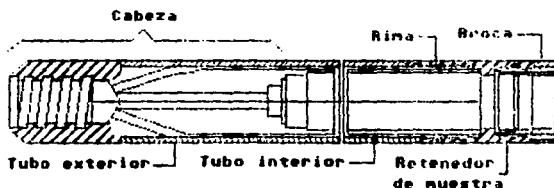


Fig. III.7 Barril doble rígido.

Barril doble tubo giratorio. El mecanismo de este tipo, permite al tubo interior permanecer estático eliminando así los esfuerzos de torsión que presentan en los anteriores, por lo que es más recomendable que los anteriores (fig. III.6).

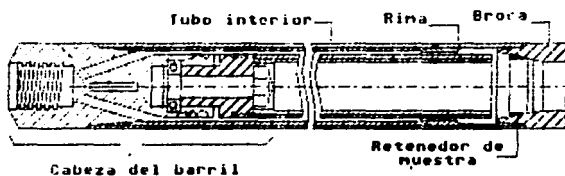
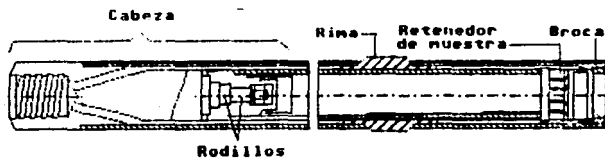
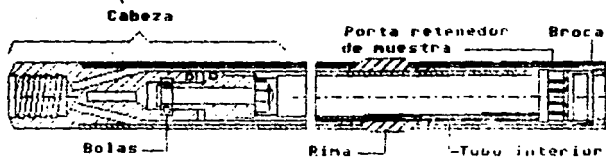


Fig. III.6 Barril doble giratorio.

Barriles no convencionales. Se muestran en las figs. III.9 a) y b). Serie M. Se diferencia básicamente de los convencionales porque tienen una extensión del tubo interior que llega casi hasta la broca, con lo que se logra que el fluido de perforación entre en contacto solo con una pequeña parte de la muestra antes de que ésta penetre al tubo interior.



a) Tipo de rodillos



b) Tipo de bolas

Fig. III.9 Barriles del grupo "M".

b) Localización, profundidad y orientación de los sondeos.

Los sondeos se localizan de acuerdo con el conocimiento previo de las condiciones geológicas, obtenido por los métodos indirectos y los levantamientos geológicos superficiales, atendiendo en especial los sitios que presentan anomalías.

En el caso de excavaciones profundas la estabilidad de taludes es el factor predominante se recomienda llevar los sondeos hasta una profundidad igual al ancho del fondo de la excavación. Si se trata de túneles, la profundidad siempre deberá alcanzar por lo menos el nivel de la plantilla del túnel.

Los sondeos se orientarán, por lo general, según la vertical. Se recomienda utilizar sondeos horizontales o inclinados, para explorar los valles sepultados, las zonas de falla o el subsuelo de las estructuras ya existentes.

La herramienta de corte (broca y rina) es de acero con diamantes industriales, su procedimiento de fabricación permite gran variedad de diseño. Tabla III.1.

Recomendaciones para diamantes y matrices								Petrografía			
Matriz	Tamaño de la Piedra Diamante	Calidad de la Piedra Diamante	Forma	Estructura	Abra- sividad	Dureza					
Alto E. C. O. S. P. A.											
MPC 30-40 DURA											
INSTAL. MPC 30-10											
30-60											
30-15											
15-20											
10-15											
Ferrosa											
Ferrita											
Etica											
DENSIDAD											
RESISTENCIA											
ESTRUC. MET.											
QUIMICA											
ALMACENAMIENTO											
EXPOSICION											
TEMPERATURA											
ESTRUC. MET.											
QUIMICA											
ESTRUC. MET.											
QUIMICA											
ESTRUC. MET.											
QUIMICA											

Tabla III.1 Cuadro para la selección de coronas de diamante.

Pozos a cielo abierto, trincheras y excavaciones.

Son métodos de exploración que mediante excavaciones ya sea con herramientas manuales, equipo neumático, cortadoras o explosivos, permitiendo contar con una exposición de las rocas, permitiendo un estudio directo y visual de las condiciones geológicas del subsuelo. Estas técnicas tienen como objeto la determinación del tipo de formación, sus características de fracturamiento y el estudio de las fallas existentes, además de la obtención de muestras cúbicas.

Pozos a cielo abierto. Son excavaciones desde la superficie del terreno en sentido vertical.

Trincheras. Es una excavación desde la superficie del terreno pero en su forma alargada.

Socavones y galerías. Son excavaciones efectuadas sensiblemente horizontal, a partir de las laderas o cortes de la obra.

c) Otras técnicas usadas en la exploración mediante sondeos.

Se han desarrollado en los últimos años nuevos métodos para el estudio del subsuelo, mediante el uso de cámaras de fotografía y televisión.

Cámara de fotografía. Esta diseñada para fotografiar las superficies interiores del pozo con el propósito de detectar imperfecciones en la roca. Esta proporcionan un registro continuo del pozo mediante fotografías de un cilindro desenrollado de tal calidad que pueden detectarse variaciones claras en la coloración y fracturas tan pequeñas como 0.01 pulg. Se pueden fotografiar pozos secos o con agua.

Cámaras de T.V. Han sido usadas para observar las condiciones in situ de las rocas para la proyección en un circuito cerrado de pantallas de televisión y registrando las imágenes en cinta magnéticas para su reproducción y estudio.

III.3 METODOS DE EXPLORACION INDIRECTA

Los métodos Geofísicos son técnicas indirectas para la caracterización de cuerpos y estructuras geológicas, por parámetros físicos, como auxiliares en la planeación, construcción, conservación de obras civiles y en particular de las vías terrestres. Son equipos portátiles y de fácil operación que permiten conocer la estratigrafía y las características de los materiales.

Los métodos geofísicos son diversos y se pueden clasificar de varias maneras:

a) Tiempo. Estáticos: Cuando el campo estudiado no varía sustancialmente con el tiempo;

Relación: La variable medida es dependiente del tiempo y el campo estudiado es invariante en el tiempo; y

Dinámicos: Si el fenómeno investigado es variable en el tiempo.

b) Aplicabilidad. Mayores: Cuando las áreas de aplicación usual son varias; y

Menores: Si se emplea para resolver problemas muy específicos.

c) Sistema operativo. Terrestres: Cuando las lecturas se toman en la superficie del terreno;

Marinos: En la superficie de masas de agua;

Subterráneos: En el interior de las cavidades; y

Aéreas: Sobre la superficie terrestre.

d) Objetivo. Detector de cuerpos: Si el objeto de interés es restringido lateralmente, y de superficies cuando lo buscado presenta rasgos de horizontalidad y de extensión lateral grande.

e) Origen de campo. Natural: Si el campo estudiado existe y Artificial: Si es creado para la toma de datos.

f) Escala. Someros y profundos dependiendo de la profundidad de investigación del método.

g) Técnica: Gravimetría, Magnetometría, Sísmicos, Eléctricos, Electromagnéticos, Registros de Focos, Radiometría, Percepción Remota.

Método Gravimétrico. Es la determinación de cuerpos que producen efectos gravitacionales de atracción por existir discrepancia entre la densidad de ellos y el medio que los rodea. La interpretación de los datos es doble: cualitativa y cuantitativa.

Se aplica este método sobre todo para detectar la presencia de cavidades naturales, debidas a la disolución de rocas yesíferas o calcáreas o de cavidades artificiales tales como minas de arena, pozos, galerías, canalizaciones, etc.

Método magnético. Es el método más antiguo de todos los métodos geofísicos. Estudia no solo el campo vertical, sino las otras componentes o la intensidad total.

El método determina el valor del campo magnético terrestre en diferentes puntos, correlacionándolo con las formaciones geológicas que ejerzan influencia local.

Método Sísmico. Este método se basa en medir las velocidades de propagación de las ondas elásticas en los diferentes medios del lugar, provocando artificialmente perturbaciones dinámicas en un punto de suelo que dan origen a: ondas longitudinales y transversales, que permiten deducir por el estudio de sus reflexiones y refracciones: las profundidades, espesores de capas y calidad de los materiales.

Sísmico de Reflexión. Mide el tiempo que invierte una onda en hacer el trayecto entre el origen de las oscilaciones y el geófono, después de reflejarse en una superficie de contacto entre dos formaciones de naturaleza distinta; o produce un disturbio la superficie del terreno y registra en un sísmograma de varios segundos, las reflexiones de las ondas que llegan a la superficie.

Sísmico de Refracción. El método se basa en el hecho de que una onda elástica que atraviesa una frontera entre materiales diferentes se refracta hacia el plano de dicha frontera cuando entra a un material que transmite la onda con velocidad mayor que la que tenía en el medio original, y se refracta hacia un plano perpendicular a la frontera cuando la velocidad de propagación es menor en el material a que entra que la que tenía en el medio por el que se venía propagando. Los geófonos (figs III.10 a) y b)) se colocan a distancias variables del punto de explosión, generalmente alineados respecto a dicho punto. Es necesario para el desarrollo de este método de tres partes básicas: un mecanismo generador de la onda, un conjunto de geófonos y el aparato

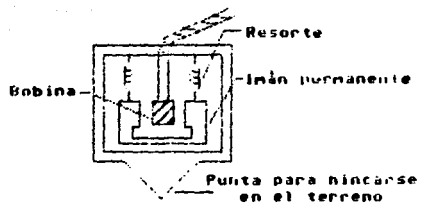


Fig. III 10 a) Esquema de un geófono tipo electromagnético

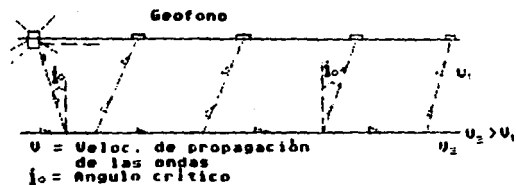


Fig. III.10 b) Propagación de las ondas sísmicas

generador, (fig. III.11).

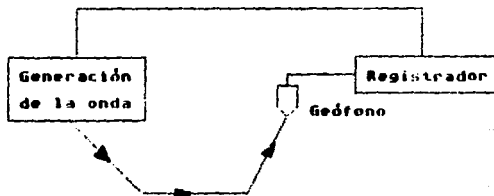


Fig. III.11 Esquema del equipo sísmográfico

Generación de Onda. Se genera con la explosión de una carga de dinamita con detonador instantáneo colocada en una perforación; la detonación también es registrada simultáneamente mediante un microinterruptor.

Gebfonos. Son dispositivos electromagnéticos que captan las oscilaciones del suelo y las transforman en señales eléctricas. Los Gebfonos, comúnmente empleados registran solo la componente vertical del movimiento (ondas longitudinales), son de construcción robusta y tienen una punta en el eje vertical para hincarse en el suelo, fig. III.10 a).

Aparato Registrador. Es un oscilógrafo, cuyos elementos sensibles son pequeños galvanómetros que vibran al recibir la señal de los gebfonos. Los galvanómetros llevan adheridos pequeños espejos, en los que inciden rayos de una fuente luminosa fija y los reflejan a papel fotosensible para registrar el arribo de las ondas.

Método Eléctrico. Consiste en crear artificialmente un campo eléctrico estacionario por contactos galvánicos (electrodos) y medir los potenciales generados en otros puntos para obtener el valor de la resistividad eléctrica.

Método de Resistividad. Consiste en la determinación de las resistividades aparentes de cada estrato, generando un campo eléctrico mediante el uso de un dispositivo cuadrípolar que mide tanto la intensidad (I) creadora del campo, para visualizar en forma independiente o global la imagen de la estructura geológica

del subsuelo, fig. III.12.

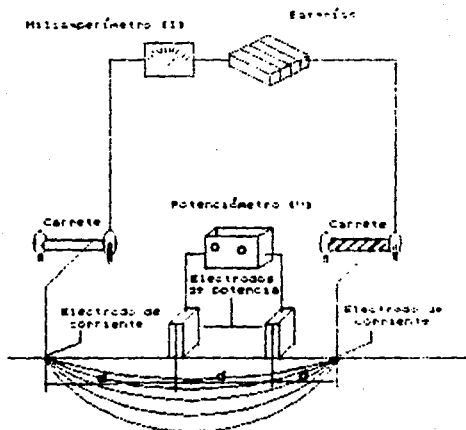


Fig. III.12 Esquema del dispositivo para exploración geofísica

IV. CONSTRUCCION DE CIMENTACIONES

IV.1 EXCAVACION

Prácticamente en toda la altiplanicie del país, en vastas zonas al sur del Istmo de Tehuantepec, así como amplias zonas del norte, encontramos formaciones igneas del tipo extrusivo, como son basaltos, andesitas, riolitas, etc., y podemos asegurar que en general todas ellas están fracturadas.

Se dice de un cuerpo geológico es homogéneo cuando está constituido en todas sus partes en la misma forma y, por tanto, cada uno de sus puntos tiene las mismas características físicas. Se dice de un cuerpo que es isótropo, cuando el material que lo compone tiene iguales características en todas las direcciones del espacio bajo la misma intensidad y, consecuentemente, puede hablarse de un cuerpo homogéneo anisótropo, cuando hablamos de permeabilidad o bien de resistencia a la compresión, tracción o cizalleo.

Esta distinción es importante, ya que ayuda a determinar en cada caso la acción de los explosivos o los procedimientos mecánicos para efectuar una excavación. La acción indebida de los explosivos, o la exposición prolongada de una excavación abierta al intemperismo, pueden hacer cambiar las características de resistencia de una formación en una o varias direcciones; por lo tanto, se debe hacer cuidadoso en los sistemas de excavación y, fundamentalmente, cuando éstas deben hacerse a base de explosivos. En general, las formaciones de roca sana, debido a

las fuerzas de cohesión tan tremendas que las mantienen en su estado natural, requieren de fuerzas externas muy intensas para excavarlas y, así adaptarlas a las necesidades de cimentación de las estructuras. Para grandes cortes, ejecutados en formaciones rocosas hay una variedad inmensa de factores que determinan dicha estabilidad, pero uno de los más importantes puede ser el sistema de excavación adoptado. El sistema de excavación que se elija, deberá tomar en cuenta la distribución de fallas o fisuras, el echado de los mantos, la composición de la formación.

IV.2 PROCEDIMIENTOS DE EXCAVACION

Los sistemas de construcción de una cavidad subterránea suelen clasificarse en dos grupos: aquellos en que la construcción se hace avanzando a sección llena y aquellos en que la sección se excava y reviste por fases o áreas parciales.

Las galerías previas o de avance. Facilitan la construcción del ensanche o resto de la sección, a veces permiten la extracción de los detritus con menos interferencias con las otras actividades, pueden servir para abrir varios frentes de trabajo simultáneos, y constituyen un magnífico reconocimiento previo del terreno, así como drenaje de las aguas existentes y en el caso de que aparezcan imprevistos durante su excavación dan más tiempo para reaccionar readaptando los procedimientos constructivos y, son las siguientes:

Método Inglés. Se inicia la sección con una larga galería de avance inferior que sirve para el transporte. Desde ella se abren

chimeneas hacia arriba, y desde estas se perforan galerías de trabajo en ambos sentidos para excavar la clave de la sección total. Posteriormente, por tramos, se ensancha la galería superior y finalmente se ensancha la galería de avance inferior, de modo que cuando se ha completado un tramo de 3 a 6 m de longitud se coloca la totalidad del revestimiento de abajo hacia arriba, fig. IV.1.

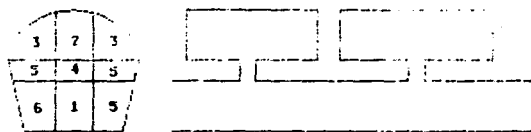


Fig. IV.1 Método inglés de excavar un túnel por fases con varios frentes de ataque independientes de galería inferior de transporte de "debris"

Método Austriaco (Clásico) o de la Destroza. La excavación de la sección se inicia con una galería de avance en clave, que a continuación se ensancha hasta completar toda la parte superior, seguidamente se baja un escalón excavando en la parte central de la sección y se ensancha dicho nivel, se continúa con un nuevo escalón excavando el centro de la parte baja y se ensancha completando así toda la sección, para colocar el total del revestimiento de abajo a arriba, fig. IV.2.

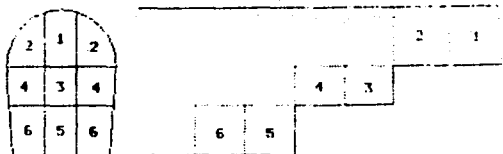


Fig. IV.2 Método austriaco de excavación descendiendo por bancos, utilizado frecuentemente en roca sana, y que permite el hormigonado el revestimiento en anillos completos.

Método Belga. Se comienza por una galería en clave para seguidamente proceder al ensanche, completando la excavación de toda la corona o parte alta de la sección, y a continuación se realiza el revestimiento definitivo de toda la bóveda. Cuando el frente de trabajo se ha alejado bastante se hace la destroza, es decir la excavación del centro de la parte inferior, que en general suele incluir la mayor parte de volumen de terreno posible. Posteriormente se ensancha la parte inferior excavando los tacones de ambos lados de un modo discontinuo, mediante bataches, a fin de no descalear totalmente la bóveda del revestimiento, y tras hormigonar la parte de hastial correspondiente, se excavan los bataches intermedios que quedaban. De este modo la bóveda se apoyará transitoriamente en unos tacones de terreno, después en los tacones alternos de hormigón y finalmente ya de un modo continuo en los hastiales acabados, fig.IV.3.

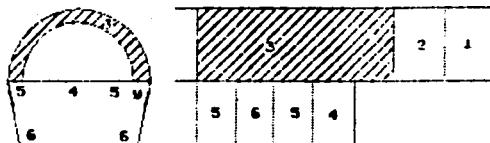


Fig. 10.3 Método belga de excavación por fases, con hormigonado adelantado de la bóveda.

Método Alemán. Se inicia la excavación mediante dos galerías en sendos laterales de la base, para hormigonar los hastiales del revestimiento. Seguidamente se excava una galería en clave y se ensancha, hormigonando la bóveda, que queda bien apoyada en los hastiales. Finalmente, se excava el centro de la sección. Al tener tres galerías en lugar de una exige un plazo y un costo mayor. En túneles cortos el concreto de los hastiales puede macizar por completo las galerías excavadas al efecto, debiendo colocar para ello en retirada, tras finalizar la excavación de toda la longitud de las galerías, obligando a alargar ligeramente el plazo, y con la ventaja de reducir el tamaño de dichas galerías a lo estricto.

En excavaciones altas o esbeltas, la galería de cada hastial debe descomponerse en varias sucesivas, cada una encima de la anterior, para así completar la parte vertical del revestimiento, antes de proceder a la excavación de la zona de la bóveda,

fig. IV.4.

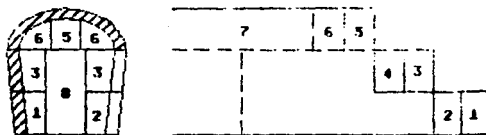


Fig. IV.4 Método alemán con excavación y hormigonado previo de los hastiales para obtener un buen apoyo de la bóveda, utilizado con grandes luces o en terrenos malos.

Método Italiano. La primera galería se excava en el centro de la base, para hormigonar en primer lugar una contrabóveda, procediendo a continuación con la misma secuencia del método alemán: galerías laterales, hormigonado de hastiales, galería en clave, ensanche de esta galería y hormigonado de la bóveda bien cimentada sobre los hastiales. La realización inicial de la contrabóveda es una operación engorrosa que interfiere y retrasa el resto de las operaciones por el fraguado del concreto. Es un procedimiento que solo se emplea en túneles poco estables y con grandes empujes horizontales, fig. IV.5.

Un método ideado recientemente para grandes excavaciones es el de las costillas previas o de pre-refuerzo (fig. IV.6). Si la luz es grande, la entibación no será suficiente y es preciso hacer previamente el revestimiento, pero como las dimensiones de éste lo hacen antieconómico, se recurre a un revestimiento

discontinuo, a base de arcos o contrafuerte de concreto. Esta costillas se excavan y macizan con concreto armado previamente y suele incluso estar separados de la cavidad final, de modo que el método consiste realmente en un refuerzo de la roca. Tras finalizar el refuerzo de la roca y el hormigonado de las costillas se procede a la excavación de la caverna iniciándola en la cabeza y con bancos descendentes.

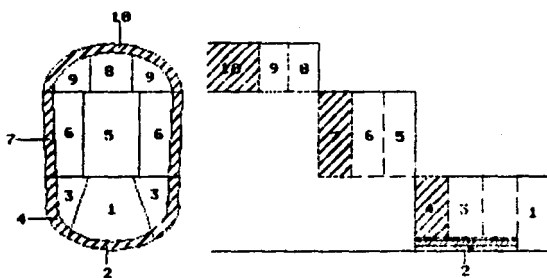


Fig. 10.5 Método italiano, con excavación y hormigonado previo de la contrahueda, utilizado en terrenos con grandes empujes horizontales.

Nuevo Método austriaco. La idea principal consiste en que sea la propia roca de alrededor del túnel la que se autosoporte al máximo posible, teniendo la entibación y el revestimiento definitivo una misión de confinamiento o de piel, y siendo lo más ligero posible que sea compatible con el empuje reducido que actúe sobre ellos. Para lograr este autosoporte debe formarse un arco de descarga en la roca, lo cual requiere que las

deformaciones radiales alcancen una cierta magnitud gracias a la flexibilidad y lo reducido de la entibación; de este modo se consigue a su vez una disminución considerable de las presiones sobre el revestimiento con la economía consiguiente.

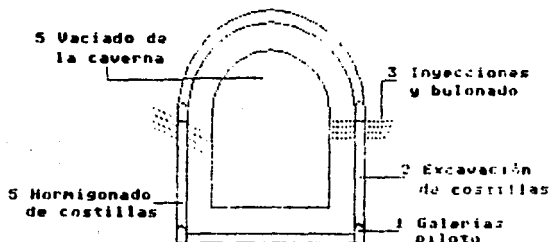


Fig. 10.6 Excavación previa de costillas, tratamiento de refuerzo de la roca mediante anclajes e inyecciones, macizado con hormigón de las costillas y vaciado final de la gran cavidad inferior.

Para lograr el autoaporte de la roca es necesario evitar su aflojamiento y degradación, debiendo colocarse el soporte provisional rápidamente, muy próximo al frente de excavación, y ceñido a la roca para evitar la desintegración del macizo, lo que suele iniciarse con la apertura de fisuras y caída de bloques muy pequeños.

El soporte provisional debe ser continuo, es decir, debe estar cerrado con una contrabóveda, para que pueda trabajar como un anillo y sea resistente gracias a su forma con un espesor

reducido, y poder evitar la rotura total o grandes deformaciones plásticas con el aflojamiento de la roca consiguiente: un arco sin cierre inferior no asegura contra las deformaciones laterales.

El método recurre a la excavación a sección llena para formar el anillo resistente completo y para acelerar el proceso constructivo, factor este último muy importante a la hora de evitar el aflojamiento excesivo del terreno.

IV.3 EXCAVACIONES A CIELO ABIERTO Y LADERAS NATURALES

Es cuando el acceso físico a la roca en la localización de la excavación se torna una necesidad. En vista de que a la postre se va a necesitar algún acceso subterráneo, la excavación de un socavón o de un pozo a cielo abierto, es generalmente la mejor manera de tener acceso a la formación en esta fase del proyecto. Si se mantiene los pozos y túneles de acceso reducido, es cuando ya existe una decisión firme sobre la ejecución del proyecto y cuando se necesita un acceso para la construcción y para el equipo desde la primera fase del proyecto. En este caso se puede hacer un pozo o un túnel de acceso más grande y utilizarlo para proporcionar información geológica al mismo tiempo que como acceso.

Los pozos a cielo abierto excavados en materiales poco estables, deberán adosarse con marcos estructurales de madera y cuando se excaven más abajo del nivel freático del sitio deberá instalarse un sistema de bombeo para extraer el agua.

Con respecto a los sistemas de soporte en excavaciones a cielo abierto y laderas naturales, se tiene que: la fuerza estabilizadora que se suministra mediante las anclas se deduce de un análisis previo. Antes del análisis se define, a partir de un modelo geológico, la geometría y la posición de la masa inestable. Tomando como base esta información se calculan las características siguientes del anclaje: longitud, orientación, espaciamiento, capacidad de carga, diámetro de las perforaciones, tipo y número de anclas.

IV.4 EXCAVACIONES SUBTERRANEAS

El sistema corriente de excavación es el de hacer una serie de perforaciones o barrenos, e introducir en las mismas cargas de dinamita debidamente calculadas. Mediante la detonación de las mismas, se producen gases que, debido a su fuerza de expansión, fragmentan la roca, facilitando así su remoción por medios mecánicos.

Las actividades a realizar una excavación (un túnel) por el método convencional, son las siguientes:

- I. Barrenación
- II. Carga con explosivos y conexión eléctrica
- III. Retiro del equipo, voladura y ventilación
- IV. Rezaga del material producto de la voladura
- V. Protección de la excavación

1. Barrenación. Esta actividad consiste en efectuar las perforaciones necesarias en el frente de trabajo, distribuidas según un diagrama de barrenación previamente elaborada y calculado, para obtener el producto de la voladura con la fragmentación deseada.

Los diagramas de barrenación, constan de cuatro tipos de barrenos:

1. barrenos de cuña
2. barrenos ayudantes
3. barrenos de corte
4. barrenos de piso

1). Carga con explosivos y conexión eléctrica. Esta actividad representa una de las más importantes en un ciclo de excavación. Para cargar un frente podemos enunciar las siguientes actividades:

a). Manejo de los explosivos hasta que llegan al frente de trabajo. Nunca deberán manejarse juntos dinamita y estopines.

b). Preparación y cargas propiamente dichos, de los explosivos en la barrenación.

c). Conexión eléctrica. Consiste en conectar las "guías" de los estopines entre sí. Normalmente en túneles, las conexiones se hacen en paralelo y no en serie, pues en esta última forma es muy difícil en un momento dado detectar una falsa conexión.

III. Retiro de equipo, voladura y ventilación.

a). Retiro de equipo. Previamente a la voladura, se tendrá que retirar todo el equipo con el cual se llevó a cabo la barrenación, y deberá ser colocado a una distancia tal, que el producto del disparo no afecte este equipo.

b). Voladura. Teniendo perfectamente verificados todos los circuitos, todo el personal deberá ser retirado del frente y nunca quedarse de pie a mitad de la sección, sino que deberá pararse de espaldas a las paredes del túnel.

IV. Rezaga del material producto de la voladura. Esta actividad, consiste en la carga del material tronado a las vagonetas o botes sobre paltaformas, para que posteriormente sean transportadas y vaciadas en las alcancias localizados en el fondo de las lumbreras y de aquí llevar (mantear) el material al exterior.

Esta actividad consta de cuatro partes.

1. Carga en el frente del material producto de la voladura a carros mineros.

2. Transporte en carros mineros, del frente hasta la lumbreira.

3. Vaciado de este material a las tolvas receptoras en la lumbreira.

4. Izado (manteo) del material del fondo de la lumbreira, a la superficie en botes especiales de vaciado automático.

V. Protección de la excavación (ademe). Esta actividad consiste en proteger la zona excavada previamente, mediante el procedimiento y elementos adecuados, de acuerdo con el tipo de material que se presente. A continuación se enumeran algunos:

1. Marcos metálicos y retaque de madera.

El retaque de madera consiste en dos partes:

- a). Asegurar (castigar) el marco propiamente.
- b). Retaque de madera entre el marco anterior y el colocado.





2. Pernos de soporte. Esta protección consiste en colocar pernos de soporte, (anclas para roca) del tipo adecuado de longitud suficiente ligadas entre si con fierro canal con o sin malla de alambre. La idea básica es colocar estos pernos antes de que la roca o terreno empiece a sufrir deformaciones, soportándola o comprimiéndola, para que no pierda su estructura.

3. Concreto lanzado. Es un método que mediante máquinas especiales llamadas "lanzadoras", se aplica al concreto utilizando aire comprimido inyectado a la propia máquina y a través de una manguera y un chiflón, por donde se inyecta el agua para completar la mezcla y así hacer reaccionar el cemento y aditivos y acelerantes de fraguados.

4. Tratamientos. Son sistemas en que a base de aplicación de inyecciones de cemento, de aditivos y abatimiento de temperatura (congelación), produce una consolidación de una masa de terreno de roca, facilitando o permitiendo excavación del túnel en condiciones seguras.

IV.5 SISTEMAS DE SOPORTES

El soporte temprano de un corte de roca previene que se desarrollen los esfuerzos serios a la definición de un plano de falla.

FORMA DEL SOPORTE PRIMARIO	TIPOS DE SUELOS Y METODO DE EXCAVACION
<p>A</p> 	<p>A CIRCULAR SIMPLE. Suelos blandos y el piso. Arcillas blancas (2)</p> <p>Limos y arenas en estado suelto, con baja o nula cohesión.</p>
<p>B</p> 	<p>B CIRCULAR COMPUESTA. Suelos de mediana consistencia en la clave y el piso:</p> <p>(2) Arcillas de consistencia media a dura. Limos y arenas semi compactas, con cohesión baja o nula.</p>
<p>C</p> 	<p>C CIRCULAR COMPUESTA ABIERTA. Excavación a media sección con frente inclinado. Suelos de alta consistencia, en el piso y media a alta en la clave:</p> <p>PISO: limos y arenas compactos, con cohesión media alta u arcillas muy duras (2)</p>
<p>D</p> 	<p>D HERRADURA. Igual que el caso anterior.</p> <p>CLAVE: Consistencia media alta. Excavación a sección completa, frente vertical o inclinado, según el suelo.</p>

IV.6 INSTRUMENTACION

La instrumentación, comúnmente mide lo que se llama, efectos físicos y significativos. estos son: fuerzas, presiones y esfuerzos, o deformaciones y desplazamientos. Se miden con instrumentos que, en general, dentro de la ingeniería constan de tres partes fundamentales: un captador de la señal que se quiere medir, un transmisor de señal y un registrador.

Adicionalmente de cada instrumento es necesario señalar algunas de sus principales características: 1) rango, que está definido por los valores extremos que puede medir el instrumento, es decir, de donde a donde puede registrar el instrumento alguna medida; 2) sensibilidad del instrumento, definida por la cantidad más pequeña que puede ser leída en el mismo, 3) grado de aproximación, el cual se define como la medida de las diferencias entre los valores medidos con el instrumento y el valor real de la magnitud que se quiere obtener.

A continuación se describen algunos instrumentos:

1. Piezómetros. El piezómetro registra una presión de agua existente a la profundidad en que se instala la punta captadora de la presión. La masa del subsuelo en la cual se requiere conocer su condición hidráulica, puede estar formada por partículas gruesas o finas, para cada caso se tiene la aplicación de un cierto tipo de piezómetro, en el primero se utiliza el piezómetro abierto o Casagrande (fig. IV.7) y en el segundo el piezómetro neumático (fig. IV.8).

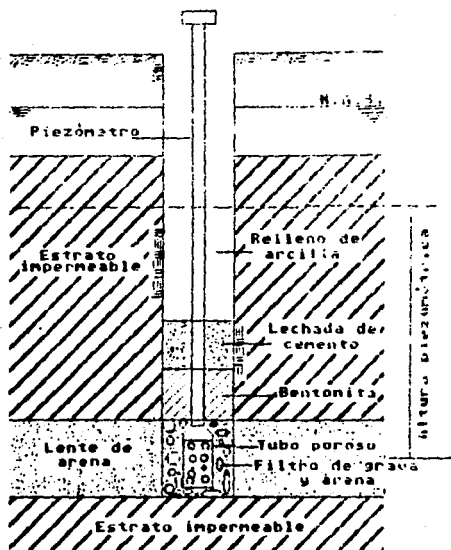


Fig. 10.7 Piezómetro abierto

2. Longímetro. El longímetro es un instrumento que registra la distancia entre dos puntos de referencia, tomando como lectura cero ó lectura base de comparación a la primera lectura que se realice entre los puntos, a partir de estas se comparan las lecturas subsiguientes y de esta manera se podrán registrar los movimientos que definan por un lado, si los puntos se separan, ó se juntan entre sí con el paso del tiempo y por otro, si estos movimientos son o no de consideración, fig. IV.6.

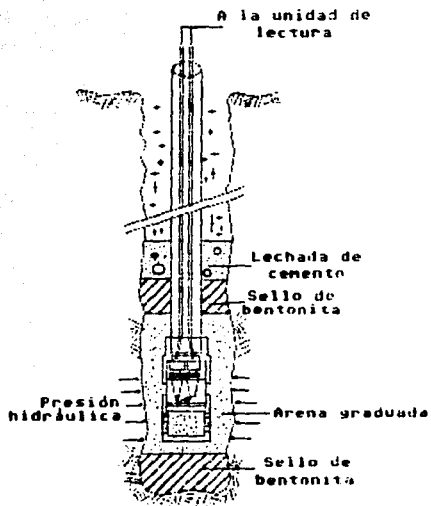
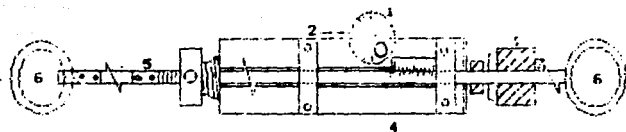


Fig. 10.8 Piezómetro neumático

3. Inclinómetro, es para medir las deformaciones horizontales que se presentan en las paredes del túnel por el paso de la excavación. De hecho, el inclinómetro es un instrumento provisto de deformímetros eléctricos fijados a un péndulo, que acoplado a un puente de medición y calibrado previamente con él, mide las desviaciones angulares del eje longitudinal del aparato con respecto a la vertical. Fig. 10.10.



- 1 Micrómetro
- 2 Soporte activador del micrómetro
- 3 Tornillo para aplicar tensión
- 4 Escala de Vernier para fijar la cinta
- 5 Cinta invar de longitud constante
- 6 Argolla para fijarse al punto de medición
- 7 Cinta invar con longitud de 25 mts.

Fig. IV.9 Longinmetro

4. Extensómetro. Este tipo de instrumento mide el desplazamiento relativo entre dos o más puntos. De acuerdo a su funcionamiento, existen diversos tipos de extensómetro, el más empleado es aquel que posee una forma de lectura directa a través de un micrómetro de carátula nombrado extensómetro mecánico. El instrumento consiste básicamente de unas anclas, alambre de acero inoxidable que se sujeta a cada ancla y una bocina de registro con un número de cantilivers igual al de las anclas instaladas en el barreno, provista de su elemento de salida, así como de su registro y tapa. Fig. IV.11.

Carrete e Inclinómetro

Péndulo

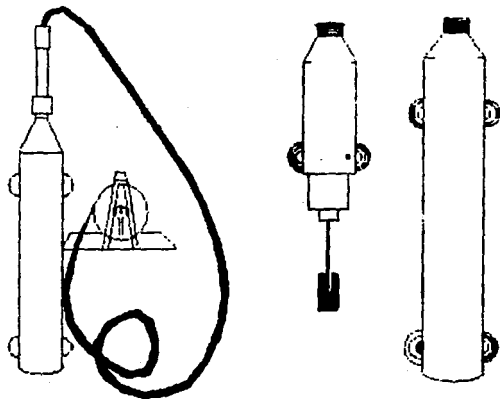


Fig. IV.10 Inclinómetro

5. Nivelaciones. Para registrar los asentamientos en la superficie del terreno, que se presentan debido a la excavación del túnel, se debe colocar una serie de puntos estables distribuidos en la superficie y nivelarlos topográficamente en forma periódica. Cuando en la superficie se tiene la presencia de concreto ó asfalto, es suficiente la colocación de tornillos cabeza de gota como inclinadores de los puntos que deberán nivelarse, para el caso en que se tenga directamente la presencia del suelo convendrá la colocación de una mojonera, que consiste

en un cubo de concreto en cuya superficie se ahogará el tornillo cabeza de gota.

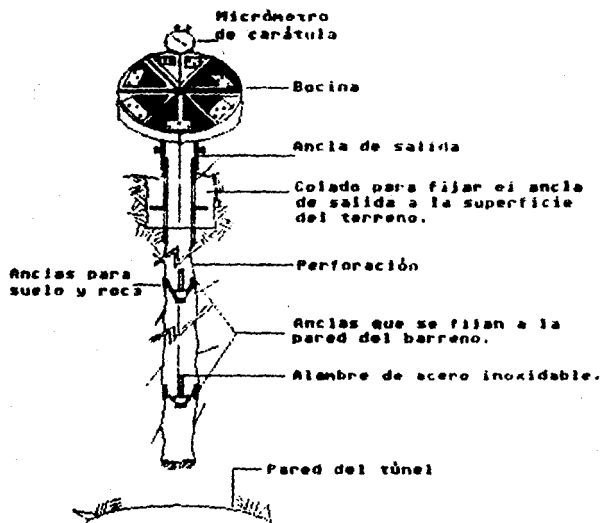


Fig. IV.11 Extensómetro

B. Celda de carga. Para determinar la carga actuante en los marcos de acero que forman parte del revestimiento de un túnel, se utilizan las celdas de carga diseñadas para resistir condiciones adversas que normalmente se pueden tener presentes en las excavaciones tuneleras, como pueden ser, cambios de humedad y temperatura, así como posibles daños que pudieran ser ocasionados por explosiones. Fig. IV.12.

Esta celda trabaja en forma hidráulica introduciendo en el

interior de la misma aceite hidráulico previamente desairado así cualquier presión aplicada al captador se transmite al aceite y éste a su vez provoca una lectura en el manómetro de precisión.

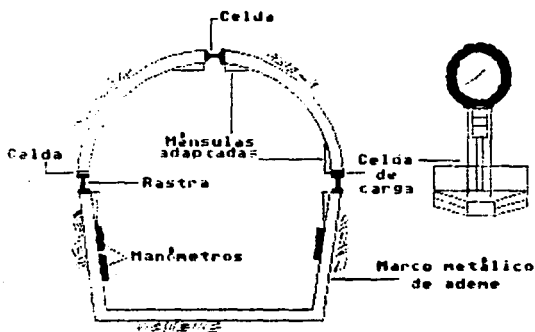


Fig. 10.12 Celda de carga.

7. Celda de presión. Ha sido diseñada para la medición de presiones en una masa de suelo, buscando una relación diámetro-espesor en la celda lo más grande posible, con objeto de reducir la influencia de la rigidez de la celda en el medio compresible en que se instala.

8. Gato Plano. Sirve para conocer los esfuerzos reales actuantes en las paredes de un túnel excavado. El gato plano es un instrumento que está formado por dos láminas de acero inoxidable soldadas en toda su periferia, en su interior se

coloca aceite hidráulico, desairado, el cual será el encargado de transmitir a través de una manguera flexible de alta resistencia, la presión captada por la celda hacia un manómetro de alta precisión conectado en uno de los extremos de la misma, Fig. IV.13. El gato plano tiene una válvula check de entrada, para aplicar presión (por intervalos) en su interior al conectarle una bomba hidráulica.

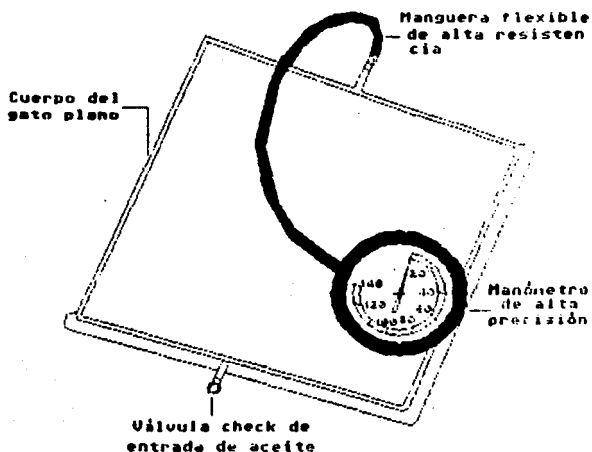


Fig. IV.13 Gato plano.

V. USO DE EXPLOSIVOS

El uso de los explosivos es más una técnica que un arte. Es el método más económico para fragmentar la roca.

La teoría está soportada por la práctica, de tal manera que el diseño de voladuras se realiza más por la relación entre parámetros que mediante fórmulas teóricas. Es necesario comprender como trabaja el explosivo en la roca, para lo cual se requiere del conocimiento de las propiedades de los elementos, la roca y los explosivos.

V.1 PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS

Un explosivo se descompone liberando fuerte cantidad de gases o vapores y energía; si su descomposición es relativamente lenta y su onda de choque no se propaga a más de unos centenares de metros por segundo, el explosivo se considera deflagrante o propulsor (como la pólvora y la piroxilina); es detonante o rompedor si su descomposición es muy rápida y su onda de choque alcanza a kilómetros por segundo (como el trinitrotolueno y la dinamita).

% EN PESO	DENSIDAD	VEL CONFIN pies/seg	RESIST DEL AGUA	CALIDAD DE GASES
60	1.3	19,000	Buena	Pobre
50	1.4	17,000	Regular	Pobre
40	1.4	14,000	Regular	Pobre
30	1.4	11,000	Pobre	Pobre
20	1.4	9,000	Pobre	Pobre

Propiedades de dinamitas puras de nitroglicerina.

COMPONENTES	PORCENTAJE EN PESO				
	20	30	40	50	60
Nitroglicerina	20.2	28.0	39.0	49.0	56.8
Nitrato de sodio	59.3	53.3	45.5	34.4	22.6
Aceite vegetal	15.4	13.7	13.8	14.6	18.2
Azufre	2.9	2.0	--	--	--
Antiácido	1.3	1.0	0.8	1.1	1.2
Humedad	0.9	1.0	0.9	0.9	1.2

Composición de las dinamitas puras de nitroglicerina.

% EN PESO	DENSIDAD	VEL CONFIN pies/seg	RESIST DEL AGUA	CALIDAD DE GASES
60	1.3	12,500	Regular	Buena
50	1.3	11,500	Regular	Buena
40	1.3	10,500	Regular	Buena
30	1.3	9,000	Regular	Buena
20	1.3	8,000	Regular	Buena

Propiedades de dinamitas de amonio de alta densidad.

COMPONENTES	PORCENTAJE EN PESO				
	20	30	40	50	60
Nitroglicerina	12.0	12.6	16.5	16.7	22.5
Nitrato de sodio	57.3	46.2	37.5	25.1	15.2
Nitrato de amonio	11.8	25.1	31.4	43.1	50.3
Aceite vegetal	10.2	8.8	9.2	10.0	8.6
Azufre	6.7	5.4	3.6	3.4	1.6
Antiácido	1.2	1.1	1.1	0.8	1.1
Humedad	0.9	0.8	0.7	0.9	0.7

Composición de las dinamitas de amonio de alta densidad.

La mayor parte de los explosivos comerciales son mezclas de compuestos que contienen cuatro elementos básicos: carbón, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno. En seguida se mencionarán las propiedades más importantes de los explosivos.

Fuerza. Llamada también potencia, se considera como la capacidad de trabajo útil de un explosivo.

Densidad de empaque. Se expresa como el número de cartuchos por caja de 25 kilogramos.

Densidad (Peso volumétrico). Este dato nos sirve, al diseñar un barreno, para estar seguro que el espacio destinado a los explosivos es suficiente para alojar los kilogramos calculados.

Velocidad de detonación. Es la velocidad expresada en metros por segundo, con la cual la onda de detonación recorre una

columna de explosivo. La velocidad puede ser afectada por el tipo de producto, su diámetro, el confinamiento, la temperatura y el cebado.

La propiedad más importante a considerar al evaluar la potencia de un explosivo es su velocidad sónica y puede ser confinada o no confinada. La velocidad de detonación confinada es una medida de la velocidad con que viajan las ondas de compresión a través de una columna de explosivo dentro de un barreno u otro espacio confinado, mientras que la velocidad no confinada se obtiene cuando se detona el explosivo a cielo abierto.

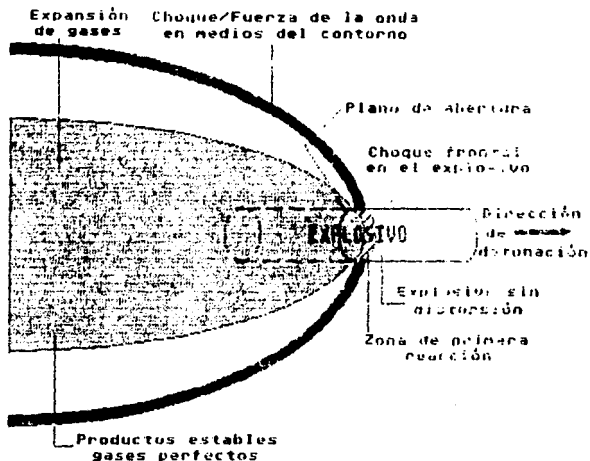


Fig. U.1 Ilustración de una detonación ideal.

Sensibilidad. Es la medida de la facilidad de iniciación de los explosivos, es decir, el mínimo de energía, presión o potencia que es necesaria para que ocurra la iniciación.

Resistencia al agua. Se define como la capacidad del explosivo para soportar la penetración del agua. Más precisamente, la resistencia al agua es el número de las horas que el explosivo puede hallarse cargado con agua y aún ser detonado.

Emanaciones. En este medio se le denominan emanaciones a los gases tóxicos. Los gases que se originan en la detonación de explosivos.

Inflamabilidad. Se define como la facilidad con la cual un explosivo o agente de voladura puede iniciarse por medio de llama o calor.

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

V.2 CLASIFICACION

Los ingredientes usados en la fabricación de los explosivos se define como: explosivos bases, oxidantes, antiácidos y absorbentes.

Un explosivo base es un sólido o líquido que bajo la acción de suficiente calor o impacto se transforma en un producto

gaseoso con acompañamiento de energía calorífica. Los combustibles y oxidantes se agregan para lograr el balance del oxígeno.

Un antiácido se agrega para incrementar la estabilidad en almacenamiento y un absorbente se agrega para absorber o proteger los explosivos bases.

Un agente explosivo es cualquier material o mezcla compuesto por un combustible y un oxidante, de tal modo que ninguno de sus ingredientes sea explosivo base. Los agentes explosivos pueden ser clasificados como -agentes explosivos secos- o -agentes explosivos "slurry"-.

Hidrogel. Contiene alta proporción de nitrato de amonio, parte del cual está en solución acuosa y dependiendo del resto de los ingredientes, puede ser clasificado como agente explosivo o explosivo.

Los agentes explosivos contienen ingredientes no sensibilizadores, como aceite combustible, carbón, azufre o aluminio, y no constituyen cápsulas-sensitivas, mientras que los explosivos hidrogel si contienen ingredientes como TNT que los transforma en cápsulas-sensitivas, el TNT sólo es una cápsula-sensitiva. Las mezclas del nitrato de amonio y los aceites o los sensibilizadores se espesan o gelatifican con gomas para proporcionar resistencia al agua.

Dinamita pura. La dinamita pura está compuesta por: nitroglicerina (NG) y sílice (SiO₂).

INGREDIENTES	FORMULA	FUNCION
Nitroglicerina (NG)	$C_3H_5(NO_2)_3$	Explosivo base
Trinitrotolueno (TNT)	$C_6H_2CH_3(NO_2)_3$	Idem
Dinitrotolueno (DNT)	$C_6H_4O_2H_2$	Idem
Glicol de etileno dinitrato (EGDN)	$C_2H_4(NO_2)_2$	Idem. anticongelante
Nitrocelulosa	$C_6H_7(NO_2)_3O_2$	Idem. gelatilizante
Nitrato de amonio (NA)	NH_4NO_3	Idem + oxidante
Clorato de potasio	$KClO_3$	Idem + oxidante
Perclorato de potasio	$KClO_4$	Idem + oxidante
Nitrato de sodio (SN)	$NaNO_3$	Oxidante, reduce congelación
Nitrato de potasio	KNO_3	Oxidante
Pulpa de madera	$C_6H_{10}O_5$	Absorbente, combusti- ble
Aceite combustible	CH_2	Combustible
Parafina	CH_2	Idem
Aceite para lámpara	C	Idem
Gis	$CaCO_3$	Antiácido-estabiliza- dor
Oxido de zinc	ZnO	Idem
Aluminio (metal)	Al	Catalizador
Magnesio (metal)	Mg	Catalizador
Kieselgur	SiO_2	Absorbente anti-cake diatomeas o infu- sorios
Oxigeno liquido	O_2	Oxidante
Azufre	S	Combustible
Sal	$NaCl$	Anti-inflamante
Compuestos orgánicos nitrosos		Explosivos base, sensibilizadores, anticake

TABLA 1. Ingredientes usados en los explosivos

V.3 INICIADORES Y ACCESORIOS

Son los dispositivos o productos empleados para cebar cargas explosivas, suministrar o transmitir una llama que inicie la explosión, llevar una onda detonadora de un punto a otro o de una carga explosiva a otra y los necesarios para probar las conexiones y disparar los explosivos.

Iniciadores. Son productos que dan principio o inician una explosión, son: la mecha de seguridad, el ignitacord y cordón detonante.

Mecha de seguridad. Es el medio a través del cual es transmitida la flama a una velocidad continua y uniforme, para hacer estallar al fulminante o a una carga explosiva.

Ignitacord. Es un cordón incendiario que arde a una velocidad uniforme con una vigorosa flama exterior. Consiste de un núcleo de fermita en polvo (mezcla que produce elevadas temperaturas) recubierto de entorchados textiles, tiene diámetro pequeño, 1.5 mm.

Detonadores. Son dispositivos que sirven para disparar una carga explosiva. Pueden ser eléctricos y no eléctricos - (estopines y fulminantes respectivamente).

Fulminantes. Los fulminantes ó cápsulas detonadoras son casquillos metálicos cerrados en un extremo en el cual contienen una carga explosiva de una gran sensibilidad, por ejemplo fulminato de mercurio. Están hechos para detonar con las chispas del tren de fuego de la mecha de seguridad.

Corrugadoras para fulminantes. Hay dos tipos de corrugadoras: las pinzas corrugadoras y las máquinas corrugadoras. Con ambas, se pueden hacer hendiduras a los casquillos del fulminante cerca del extremo abierto de éste, logrando una unión firme e impermeable entre la mecha y el fulminante.

Máquinas explosoras. Estas suministran la corriente necesaria para disparar los estopines eléctricos. Son de dos tipos: de generador y de descarga de condensador.

De generador. Se basan en un generador modificado que suministra una corriente pulsiva. Son de dos tipos: de giro o vuelta y de cremallera. Están diseñadas de tal manera que no producen corriente alguna hasta que el giro o el desplazamiento hacia abajo de la cremallera lleguen al final de su recorrido; instante en que la corriente es liberada hacia las líneas de disparo en magnitud muy cercana a su máximo asperaje y voltaje.

De descarga de condensador. Estas máquinas explosoras utilizan pilas secas para cargar un banco de condensadores que alimentan una corriente directa y de duración corta a los dispositivos de disparo eléctrico.

Instrumentos de pruebas. Son instrumentos diseñados para medir las características eléctricas de los circuitos de voladura, así como del área circundante para asegurar que la operación sea eficiente y segura.

Galvanómetro. Este aparato tiene una pila que proporciona la corriente necesaria para mover una manecilla en una escala graduada. Sirve para probar cada uno de los estopines eléctricos

y también para determinar si un circuito de voladura está cerrado o no y si está en condiciones para el disparo; además sirve para localizar alambres rotos, conexiones defectuosas y cortos circuitos, así como para medir la resistencia aproximada del circuito.

Multímetro. Es un aparato diseñado para medir resistencias, voltajes y corrientes en operaciones de voladuras eléctricas. Su sensibilidad es muy alta, por lo que tiene amplio alcance en sus mediciones.

Rebatato. Este instrumento se utiliza para probar la eficiencia de una máquina explosora de tipo generador. Está formado por una serie de bobinas de resistencia variable. Cada resistencia tiene una placa que indica su valor en ohms y su número equivalente de estopines eléctricos.

Mallas o redes. Las mallas pueden ser de alambre o alambrión y se utilizan para cubrir la voladura antes de efectuar el disparo, para capturar los fragmentos de roca procedente de la voladura e impedir que vuelen al aire con grandes proyecciones. Debe tenerse cuidado al colocar las mallas, porque pueden hacerse cortos circuitos si hay conexiones descubiertas del circuito de disparo que estén en contacto con la malla.

Cápsulas de detonación o estopines. Los estopines eléctricos son los accesorios más utilizados para iniciar o detonar los explosivos potentes. La cápsula puede insertarse directamente en el cartucho o sujetarse fuertemente al cordón detonante.

Una cápsula eléctrica consiste de dos alambres aislados insertados en una cápsula de metal que están conectados por un delgado filamento de alambre que forma un puente. Este alambre de puente a veces se pinta con una mezcla de fósforo que produce flama con los cerillos.

Quando se aplica la corriente eléctrica a los alambres el filamento de puente se calienta e inicia una carga instantáneamente de un explosivo altamente sensible al calor. La explosión del alambre detona una primera carga, la cual a su vez detona una carga de un explosivo potente en el fondo de la cápsula.

En las cápsulas eléctricas de retardos, un elemento retardante de explosivo en polvo se deposita entre filamento de puente y la carga potente del fondo.

Hay dos series básicas de retardos disponibles: de retardos cortos o milisegundos con incrementos de retardo de 25 m en el intervalo inferior y 50 m en el intervalo superior y, retardos largos a menudo llamados retardos lentos o simplemente retardos, con incremento de retardo de 0.5 seg y 1 seg.

Cordón detonante. Consiste de un tubo plástico resistente al agua, que se protege con una cubierta o forro foliificado con una combinación de textiles, plástico y alambre a prueba de agua.

Dentro del tubo de plástico está el núcleo o corazón constituido por un alto explosivo, usualmente PETN. La cantidad de PETN varia entre un gramo/pie a 400 gramos/pie, y se produce en diferentes potencias.

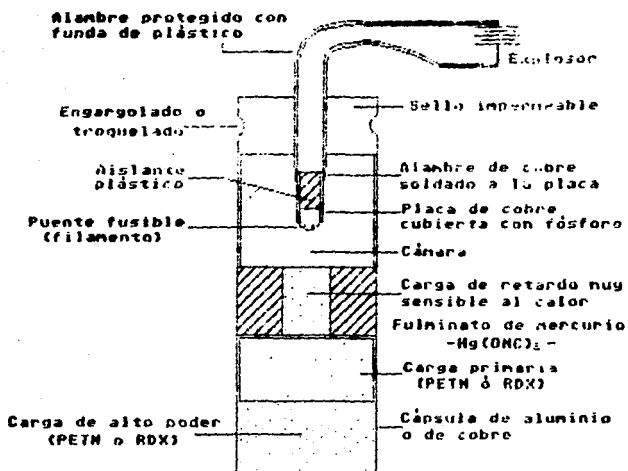


Fig. U.2 Cápsula eléctrica o estopin.

Cordón detonante Non-electric (NONEL). Este es un cordón detonante muy útil para voladuras subterráneas, pues se eliminan las fallas por electricidad estática. También se usa en voladuras a cielo abierto para evitar vibraciones detonando barreno por barreno al igual que el cordón detonante y en zonas altas donde se generen tormentas eléctricas.

V.4 MECANISMO DE FRAGMENTACION

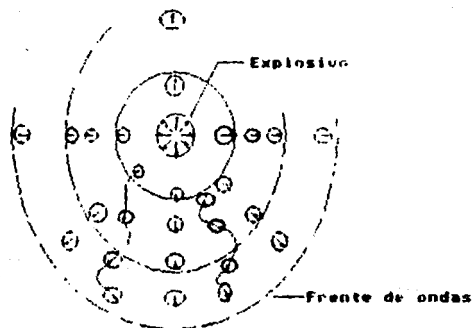
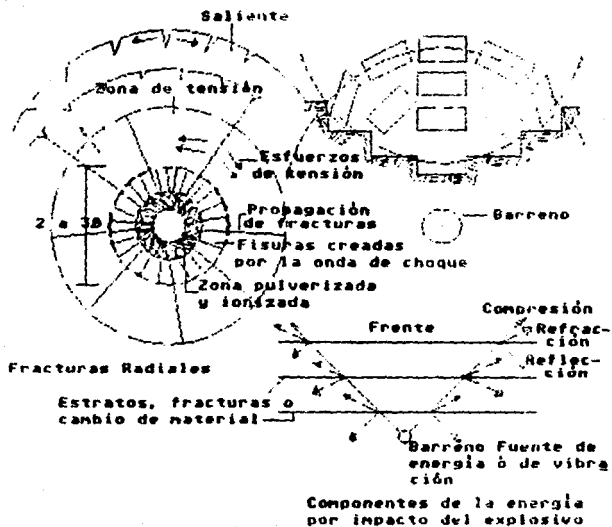
Las rocas normalmente son más resistentes en compresión y trituración que por tensión. Los explosivos y agentes explosivos utilizados producen presiones muy altas que reaccionan con velocidades entre 2500 a 8000 m/seg.

Quando el explosivo está dentro de un barreno circular, se ejerce igual presión en todas direcciones a lo largo de todo el perímetro del agujero. La roca en toda esa región es comprimida y pulverizada hasta una distancia limitada del orden de 1/4 de diámetro.

La aplicación súbita del impacto es seguida por la producción de alta presión que introduce ondas de esfuerzos compresionales que rápidamente penetran en forma de abanico a través del macizo rocoso como ondas elásticas. Esta acción se produce aún cuando las rocas son más frágiles, pero son algo elásticas. Las rocas densas dan lugar a altas velocidades y las rocas blandas porosas o ligeras, a bajas velocidades.

Los ángulos de reflexión son iguales a los que van hacia las fronteras. Los ángulos de refracción dependen de las características de los dos materiales.

De acuerdo con lo anterior, los mecanismos de fragmentación están diseñados para romper la roca por tensión, corte y flexión más que por compresión; es decir, que la resistencia en compresión simple es mucho mayor que la resistencia en tensión.



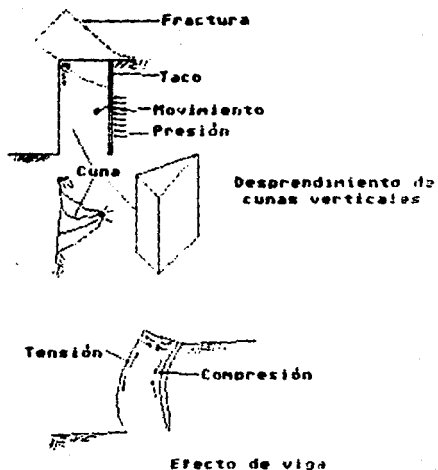


Fig. U.3 Mecanismo de fragmentación.

V.5 CONSIDERACIONES LEGALES DE SEGURIDAD SOBRE EL USO DE LOS EXPLOSIVOS.

Los aspectos legales, son los requisitos que debe cumplir cualquier persona física o moral que haga uso de los explosivos. Estos requisitos están contemplados en la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos y su Reglamento; que a la letra dice, en la Ley Federal, Título Tercero, Capítulo primero de disposiciones preliminares, artículo 41, sección III:

III. Pólvora y explosivos:

- a) Pólvoras en todas sus composiciones;
- b) Acido pícrico;
- c) Dinitrotuleno (DNT);
- d) Nitroalmidones;
- e) Nitroglicerina;
- f) Nitrocelulosa: tipo fibrosa, humectada en alcohol, con una concentración de 12.2% de nitrógeno como máximo y con un 30% de solvente como mínimo. Tipo cúbica (densa pastosa), con una concentración del 12.2% de nitrógeno como máximo y hasta el 25% de solvente como mínimo.
- g) Nitroguanidina;
- h) Tettil;
- i) Pentita (PETN) o Penta Eritrita Tetranitrada;
- j) Trinitrotolueno;
- k) Fulminato de mercurio;
- l) Nitruros de plomo, plata y cobre;
- m) Dinamitas y amatoles;
- n) Estifanato de plomo;
- o) Nitrocarbonitratos (explosivos al nitrato de amonio);
- p) Ciclonita (RDX);
- q) En general, toda substancia, mezcla o compuesto con propiedades explosivas .

IV. Artificios:

- a) Iniciadores;
- b) Detonadores;

- c) Mechas de seguridad;
- d) Cordones detonantes;
- e) Pirotécnicos;
- f) Cualquier instrumento, máquina o ingenio con aplicación al uso de los explosivos.

V. Substancias químicas relacionadas con explosivos:

- a) Cloratos;
- b) Percloratos;
- c) Sodio metálico;
- d) Magnesio en polvo;
- e) Fósforo.
- f) Todas aquellas que por sí solas o combinadas sean susceptibles de emplearse como explosivos.

En el capítulo VI, indica:

Art. 72. "La Secretaría de la Defensa Nacional, cuando lo estime necesario, inspeccionará las condiciones de seguridad de las instalaciones, talleres, almacenes, polvorines y vehículos destinados a las actividades a que se refiere este título".

En el capítulo XI del Reglamento dice:

Art. 62. "Las personas físicas o morales con permisos generales o extraordinarios, están obligados a dar aviso a la Secretaría dentro de las 72 horas hábiles siguientes de que tengan conocimiento..... cuando ocurra la descomposición de las materias y explosivos".

SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL

FORMA N. 11

DIRECCION GENERAL DEL REGISTRO FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS,
Lomas de Zotele, D.F.SOLICITUD DE ARCHIVO EXTRAORDINARIO PARA LA OBRERA DE FOLGON DE E -
FLOJONES, DE ARTIFICIOS O DE SUSTRACCION QUIMICA DE ARMAS CON LOS
MISMO (ARTICULO 57 DEL REGLAMENTO DE LA LEY FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y
EXPLOSIVOS)

(PARA LAS EMPLEADORAS)

PAIS DE PROCEDENCIA	RESERVA DE FUEGO	PRIMER NOMBRE	SEGUNDO NOMBRE
FECHA DE NACIMIENTO NACIONALIDAD SEXO LEY FEDERAL REFERENCION OFICIO U OCU			
DIA MES AÑO			
CALLE		NUMERO	CUIDAD, POBLACION O LOCALIDAD
MUNICIPIO O DELEGACION		ESTADO, TERRITORIO O DISTRITO	C.P. TELEFONO
REFERENCIAS DEL DOCUMENTO CUANDO LAS HUBIERA			
DATOS DE LA NEGOCIACION			
CONTINUACION O RAZON SOCIAL			
CALLE		NUMERO	CUIDAD, POBLACION O LOCALIDAD
MUNICIPIO O DELEGACION		ESTADO, TERRITORIO O DISTRITO	C.P. TELEFONO
ACTIVIDAD A LA QUE SE DEDICARA			
CANTIDADES Y CLASES DE MATERIALES EMPLEADOS POR OBRERA			
TIEMPO EN QUE SE CONSUMIRAN LOS MATERIALES SEÑALADOS EN EL FORMULARIO ANTERIOR			
PROTESTO, QUE LOS DATOS ANOTADOS SON VERIDICOS, QUE LA FIRMA ES AUTENTICA Y LA UNICA QUE UTILIZARE EN LOS DOCUMENTOS QUE EMITA A LA SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL.			
Lugar y fecha		Firma del solicitante	

INSTRUCCIONES AL REMITENTE.....

ACOMPAÑOS A ESTA SOLICITUD, SE REMITAN LOS DOCUMENTOS SIGUIENTES:

- A.- Copia certificada del Registro Civil del Acta de nacimiento del solicitante. Los extranjeros el documento que justifique su legal estancia en el País.
- B.- Opinión favorable del Gobernador del Estado o Territorio; del lugar -- donde estén establecidos los polvorines y donde se utilizará el material explosivo, o bien el Jefe del Departamento del Distrito Federal -- y del Delegado correspondiente en su caso.
- C.- Certificado de Seguridad de los polvorines y del lugar donde se pretenda usar el material explosivo expedido por la primera autoridad administrativa local, indicando que estos son adecuados, no ofrecen peligro para la seguridad y tranquilidad pública y están protegidos contra robos.
- D.- En caso de sociedades mercantiles, se remitirá copia certificada del acta constitutiva y cuando las solicitudes de permiso se hagan por conducto de apoderado, deberán acreditar su personalidad con poder notarial.
- E.- Referencias del lugar de consumo manifestándose en la "forma" reglamentaria.
- F.- Referencias de cada uno de los polvorines manifestándose en la "forma" reglamentaria.

NOTA: NO SE ATENDERÁ LA SOLICITUD SI NO ESTÁN CORRECTOS Y CLAROS LOS DATOS ANOTADOS, O SI FALTA ALGÚN DE LOS DOCUMENTOS SEÑALADOS EN EL INSTRUCTIVO.

SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL

DIRECCION GENERAL DEL REGISTRO FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS.
LUGAR DE JOTELO, D.F.

CERTIFICADO DE SEGURIDAD DEL LUGAR DE CONSUMO DE EXPLOSIVOS, ARTIFICIOS
O SUSTANCIAS QUIMICAS RELACIONADAS CON LOS MISOS, EFECTUADO POR LA PRIME-
RA AUTORIDAD ADMINISTRATIVA.

EL SUSCRITO: _____ PRIMERA AUTORIDAD
ADMINISTRATIVA DE: _____

NOSE CONETA Y CERTIFICA:

QUE _____

CON DOMICILIO EN: EDIFICIO o CASA No. _____

CALLE _____ NUMERO _____ CIUDAD, PUEBLICIDAD LOCALIDAD

MUNICIPIO O DELEGACION ESTADO, TERRITORIO O DISTRITO D.F. TELEFONO

EMPLERA LOS MATERIALES SIGUIENTES: (explosivos, dinamita, explosivos de tipo

ESTO SE EMPLEA, ARTIFICIOS, ARTESANOS, CIGARROS DE DYNAMITE, ETC.)

EN LABORES CONECTADAS CON LA: _____

(Explotación de canteras, industria de la

CONSTRUCCION, MINERIA, ARTESANOS, CEPILLERIA, SE CIGARROS, ETC.)

TRABAJOS QUE EFECTUARA PRECISAMENTE EN EL LUGAR DE CONSUMO UBICADO EN:

(Referido a puntos conocidos del terreno para su fácil localización)

EL CUAL POR SU SITUACION, NO REPRESENTA PELIGRO PARA LA SEGURIDAD Y TRAN-

QUILIDAD PUBLICA.

_____ de _____ de _____

Sello y firma

SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL

1950-0 82.

DIRECCION GENERAL DEL REGISTRO FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS,
CALLE DE SOTELO, D.F.REFERENCIAS DEL LUGAR DONDE EL SOLICITANTE CONSERVA O USARA LOS EXPLO-
SIVOS, ARTIFICIOS O SUBSTANCIAS QUIMICAS RELACIONADAS CON LOS MISMO, EN-
LAS OBRAS, OPERACIONES INDUSTRIALES O EXPLOTACION MINERA QUE SEÑALA EN
SU GESTION PREVIORA.

Denominación o razón social del solicitante _____
 SITUACION EXACTA DEL LUGAR DE CONSUMO: (Señalar a donde se consume del _____)
 Terreno para facilitar su localización) _____
 UBICADO EN: Municipio o Delegación _____ Estado, Territorio o Distrito _____
 DISTANCIAS MAS CORTAS, EN SUS ALREDEDORES AL: Casa habitación _____ HTE.
 Carreteras _____ HTE. Vías férreas _____ HTE. Líneas eléctricas _____ HTE.
 HENITE O NOM BARRERA DE PROTECCION AL: Casas habitación _____ Carreteras _____
 Vías férreas _____ Líneas eléctricas _____ Polígrafos _____

LUGAR Y FECHA

FIRMA

NOTA: "BARRERA DE PROTECCION", SIGNIFICA CUALQUIER ELEVACION NATURAL DEL
 TERRENO, MURALLA ARTIFICIAL DE ESPESOR NO MENOR DE UN METRO CON-
 TADURA CON TIERRA, ADOSAR O SACO TERRENO, O BOSQUE DE TAL DEN-
 SIDAD QUE LAS PARTES CIRCUNDAENTES QUE REQUIERAN PROTECCION NO PUEDAN
 VERSE DESDE EL LUGAR DE CONSUMO DE EXPLOSIVOS ANI CUANDO LOS ARBO-
 LES ESTEN DESPROVISTO DE HOJAS.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL

DIRECCION GENERAL DEL REGISTRO FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS.
Lomas de Soyote, D.F.

CERTIFICADO DE SEGURIDAD DE POLVORINES (O ALMACENES) EXPEDIDO POR LA
PRIMERA AUTORIDAD ADMINISTRATIVA.

EL SUSCRITO: _____ PRIMERA AUTORIDAD
(Nombre y Apellido) ADMINISTRATIVA DE: _____

HAZE CONSTAR Y CERTIFICAR:

QUE LOS POLVORINES UBICADOS EN: _____ (Referidos a puntos concedidos del terreno)

DADA SU FORMA DE IDENTIFICACION: _____

DESTINADOS PARA ALMACENAR: _____ (Pólvora, dinamita, explosivos al nitrato de a

Acero, artificios, ciclotos, nitrocelulosa, etc.)

QUE SERAN UTILIZADOS POR: _____ (Denominación o razón social)

CON DOMICILIO EN: _____

CALLE _____ NUMERO CIUDAD, POBLACION O LOCALIDAD: _____

MUNICIPIO O DELEGACION _____ ESTADO, TERRITORIO O DISTRITO _____ C.P. TELEFONO _____

EN LAS SIGUIENTES ACTIVIDADES: _____ (Explotación de canteras, industria de la

construcción, minera, metalúrgica, cerámica, de pinturas, etc.)

SON ADECUADOS, NO PRESENTAN PELIGRO PARA LA SEGURIDAD Y TRANQUILIDAD PÚ-
BLICA Y ESTAN PROTEGIDOS CONTRA ROBOS.

_____ a de _____ de 19__

Sello y firma

**SEGURIDAD POR DISTANCIA
(MATERIALES DECIDIVAMENTE EMPACADOS O EMPACADOS)**

DESCRIPCION DEL MAT.	PIED. DE A (PIED.)	MATERIAL EMPACADO O EMPACADO CON UNO DE LOS SIGUIENTES:				
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
1.-Dinamita, explosivos de alto poder de acción pulveriza respa y sin rama	0.0 0.1	128	100	100	100	11
	0.5 0.75	146	100	100	100	12
	1.0 1.0	160	100	100	100	14
	1.0 1.25	170	100	100	100	15
	1.25 1.5	180	100	100	100	17
	1.5 2.0	200	100	100	100	19
	1.5 2.5	220	100	100	100	20
	2.0 2.5	230	100	100	100	21
	2.5 3.0	240	110	100	100	22
	3.0 3.0	250	110	100	100	23
2.-Artículos explosivos, estorninos, proyectores, etc. con detonante etc.	0.0 7.0	275	122	100	100	27
	0.0 8.0	275	122	100	100	27
	0.0 9.0	275	122	100	100	27
	0.0 10.0	275	122	100	100	27
	10. 12	330	144	100	100	32
	12. 14	350	154	100	100	34
	14 16	370	160	100	100	36
	16 18	390	166	100	100	37
	18 20	404	172	100	100	39
	20 22	422	178	100	100	41
3.-Por lo que respecta a los materiales de seguridad, etc. que se refieren a los torpedos.	0.0 25	210	200	100	100	42
	25 30	220	200	100	100	43
	30 35	230	200	100	100	44
	35 40	240	200	100	100	45
	40 45	250	200	100	100	46
	45 50	260	200	100	100	47
	50 55	270	200	100	100	48
	55 60	280	200	100	100	49
	60 65	290	200	100	100	50
	65 70	300	200	100	100	51
4.-Morteros de 70 y 80 mm de calibre con peso de 100 libras por caja de 100 proyectiles del producto con una carga de 25 libras de dinamita y 50 libras de pólvora.	0.0 75	220	200	100	100	52
	75 100	270	270	100	100	53
	100 125	320	320	100	100	54
	125 150	370	370	100	100	55
	150 175	420	420	100	100	56
	175 200	470	470	100	100	57
	200 225	520	520	100	100	58
	225 250	570	570	100	100	59
	250 275	620	620	100	100	60
	275 300	670	670	100	100	61

Continúa.....

VI CONCLUSIONES

De acuerdo con las características particulares de la obra, en algunos casos podrán determinarse una o más zonas en las que provean condiciones críticas; por ejemplo, por ser mayor la magnitud de los esfuerzos que se transmitirán al subsuelo en esas zonas, o bien, por ser sencillamente mayor la importancia de una parte determinada de la obra. En estos casos deben enfocarse la atención en esas zonas y frecuentemente bastará con ello para decidir la ubicación de la excavación.

Las rocas son los materiales más viejos para construcción y sin embargo, son los menos entendidos.

En esta era de avance tecnológico y con la ayuda de herramientas poderosas y precisas a nuestras manos, es razonable emplear técnicas de análisis más sólidas para entender la ingeniería de rocas.

Las rocas como materiales ingenieriles son variables, ya que se pueden encontrar todos los tipos de comportamiento mecánico; además, las rocas difieren considerablemente de la mayoría de otros materiales, ya que estos contienen planos de debilidad que interrumpen la continuidad y la dividen en dominios de diferentes tipos.

La tecnología sobre la construcción de túneles y cavidades subterráneas se han superado continuamente lográndose optimizar los sistemas constructivos tradicionales y desarrollar nuevas técnicas para suelos inestables que en otros tiempos no hubiera

sido posible horadar.

Con el desarrollo hidroeléctrico manifestado en las últimas décadas, se han construido grandes cavidades subterráneas para alojar casas de máquinas con el sistema de túneles anexos que ello significa.

Los problemas de drenaje, resueltos con túneles profundos, permiten confirmar que la experiencia mexicana sobre este particular está a la altura de las mejores del mundo.

El empleo de los métodos geofísicos es una herramienta invaluable en el estudio del subsuelo, sea con fines de exploración o en la solución de problemas geotécnicos. Con la ayuda de perforaciones es posible abatir costos pues se puede extender a zonas vecinas la información obtenida en el barrero (litología, propiedad física). La elección a emplear es una tarea difícil de resolver pues hay que tomar en cuenta aspectos tan disimilares como económicos y técnicos. Los factores técnicos, que se deben tomar en cuenta para la correcta aplicación de un método geofísico son de índole diversa tales como: objetivo, información del área, propiedad física a emplear que define el método, elección de la modalidad a utilizar, técnica de topografía, geología, tiempo de ejecución del estudio, precisión en el objetivo, resolutivez del método, costo, logística, clima, etc.

La experiencia ha comprobado que la proyección estereográfica es una excelente herramienta para representar las

estructuras geológicas tridimensionales en dos dimensiones.

En estas condiciones, será posible representar las estructuras geológicas y sus relaciones. Este es el caso de los pliegues, fallas, fracturas, discordancias, foliación, estratificación, o cualquier tipo de discontinuidades y lineamientos relacionados a trabajos de ingeniería civil. Un ejemplo podrían ser los rebajes de taludes, orientación de perforaciones, etc.

La longitud de avance de la excavación y la altura de la cavidad por construir influyen de manera muy importante en la estabilidad del frente, la cual debe ser tomada en consideración ya que la ocurrencia de caídas en el frente involucra en ocasiones no poco frecuentes pérdidas de vidas humanas y equipo y en el mejor de los casos, retrasos importantes en la ejecución de la obra.

BIBLIOGRAFIA

- | | |
|---|---|
| 1. Construcción en Roca. | Colegio de Ingenieros Civiles de México. |
| 2. Diseño y Construcción de Túneles. | División de Educación Continua. F.I. UNAM. |
| 3. Geología Aplicada a la Ingeniería Civil. | División de Educación Continua. F.I. UNAM. |
| 4. Geotecnia y Cimientos II
Mecánica del Suelo y de las Rocas. | J.A. Jiménez S.
J.L. de Justo Alpañes
A. Serrano González |
| 5. Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos y su Reglamento. | Defensa Nacional. |
| 6. Mecánica de Rocas Aplicada a la Minería y a la Construcción. | División de Educación Continua. F.I. UNAM. |
| 7. Mecánica de Rocas en la Ingeniería Práctica. | Stagg-Zienkiewics. |
| 8. Trabajos de Construcción en Roca. | Robert Crimmins
Reuben Samuel J
Bernard P. Monahan. |
| 9. Voladuras de Rocas. | División de Educación Continua. F.I. UNAM. |