

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería

**METODOS DE EXCAVACION EN ROCA PARA
TRABAJOS DE TERRACERIAS EN CARRETERAS
DE GUATEMALA**

TESIS

presentada a la Junta Directiva de la Facultad de
Ingeniería de la Universidad de San Carlos de
Guatemala,

por

MIGUEL ANGEL VETTORAZZI SARAVIA

al conferírsele el título de

INGENIERO CIVIL

**BIBLIOTECA CENTRAL-USAC
DEPOSITO LEGAL
PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO**

Guatemala, noviembre de 1968.

DL
08
T(88)

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

Decano	Ing. Amando Vides T.
Vocal 1°	Ing. Otto Becker M.
Vocal 2°	Ing. Francisco Ubieta B.
Vocal 3°	Ing. Leonel Pinot L.
Vocal 4°	Br. Rolando Llovera
Vocal 5°	Br. Víctor Hugo González W.
Secretario	Ing. Jorge Lazo M.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL
EXAMEN GENERAL PRIVADO

Decano en funciones	Ing. Otto Becker M.
Vocal	Ing. Leonel Pinot L.
Examinador	Ing. Rafael Aguilar de León
Examinador	Ing. José Basilio Monzón
Secretario	Ing. José Massanet P.

* * *

TESIS DE REFERENCIA
NO

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR:

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

"METODOS DE EXCAVACION EN ROCA PARA
TRABAJOS DE TERRACERIAS EN CARRETERAS
DE GUATEMALA"

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

DEDICO ESTE ACTO

A DIOS

A

la memoria de mis padres:

José Hilario Vettorazzi Gerardi

Rosa Saravia de Vettorazzi

A MI ESPOSA

Mirna Odette Oliva de Vettorazzi

A MI HIJO

Miguel Angel

A MIS HERMANOS

Juan de Dios Vettorazzi Saravia

Maritza Oliva González

Oscar Estuardo Oliva González

Víctor Hugo Oliva González

A MIS PADRES POLITICOS

Oscar Oliva M.

María Luisa G. de Oliva

A MI TIA

Argelia Saravia v. de Fumagalli

A mis compañeros

A la Facultad de Ingeniería

INTRODUCCION

Es el móvil de este trabajo, cuando menos abrir el camino para trabajos de investigación y estudio, sobre la excavación en roca, más profundos para lograr llegar lo más cerca posible de los rendimientos y costos reales aún cuando los costos varían con el tipo y estado del material, las condiciones topográficas y climatéricas, etc. Si se van desarrollando varios estudios de costos sobre cada tramo de un proyecto, se podrá llegar finalmente a la determinación más exacta del método adecuado para obtener máximos rendimientos y los costos para un buen número o por lo menos para los materiales más generalmente encontrados en las dís tintas regiones de Guatemala.

PLAN DE TRABAJO

1. CLASIFICACION DE SUELOS EN EL MOVIMIENTO - DE TIERRAS
 - 1.1 Material común
 - 1.2 Rocas
 - 1.2.1 Clasificación de rocas .
2. METODOS DE EXCAVACION EN ROCA: ESCARIFI - CACION Y EXPLOSIVOS
 - 2.1 Selección del método a emplearse
 - 2.2 Escarificación
 - 2.2.1 Determinación de la posibilidad de esca - rificación de una roca .
 - 2.2.2 Selección del equipo adecuado para el trabajo.
 - 2.2.3 Técnicas de escarificación empleadas.
 - 2.2.4 Estimación de la producción del equipo - escarificador.
 - 2.2.5 Estimación de los costos de escarificación
 - 2.3 Explosivos
 - 2.3.1 Rocas que requieren el uso de explosivos.
 - 2.3.2 Tipos de explosivos existentes- métodos - de detonación.
 - 2.3.3 Selección del tipo de explosivos y de las cargas requeridas así como de la coloca - ción y distribución de las mismas para re - sultados óptimos.
 - 2.3.4 Equipos de barrenación
 - 2.3.4.1 Selección del equipo adecuado
 - 2.3.5 Técnicas de barrenación y voladura
 - 2.3.6 Estimación de la producción del equipo - de barrenación.
 - 2.3.7 Costo de la barrenación
 - 2.3.8 Costo de la voladura
3. RESUMEN COMPARATIVO DE LOS METODOS
4. CONCLUSIONES
5. RECOMENDACIONES

1. CLASIFICACION DE SUELOS EN EL MOVIMIENTO DE TIERRAS

Aun cuando entre las diversas ciencias existen diversos criterios para la clasificación de los suelos, como el caso de la Geología, que considera como roca todos los componentes de la corteza terrestre; la Agricultura, que aplica el término Suelo, únicamente a la delgada capa superior de la corteza terrestre penetrada por las raíces de las plantas y de la cual ellas toman el agua y sus nutrientes; a nosotros nos interesa únicamente el criterio de la Ingeniería Civil orientada hacia los trabajos de terracerías que sólo reconocen dos clases de suelos o materiales, MATERIAL COMUN Y ROCA.

La edición preliminar de las ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCION DE PUENTES Y CARRETERAS publicada en agosto de 1956 por la Dirección General de Caminos, en su sección A-3-B, al clasificar las excavaciones, las define así:

1. Excavación de Roca:

Consiste en la excavación de todos los terrenos macizos incluyendo lava; los que no puedan removerse sin la ayuda de taladros y explosivos y todas las piedras y pedruzcos que tengan un volumen mayor de medio metro cúbico.

2. Excavación Común:

Consiste en la excavación de cualquier material, excepto los clasificados como excavación de roca.

Con base en la clasificación anterior, podemos dar la definición que aparece en los artículos siguientes:

1.1 Material Común:

Todo aquel material que puede ser removido utilizando maquinaria corriente como Tractores de Oruga equipados con cuchillas (Bull-dozer) Tractores cargadores (Pay loader), mototraíllas, traíllas, motoniveladoras, excavadoras, etc.

1.2 Roca:

Todo material que no puede ser removido por la maquinaria mencionada anteriormente, sin la ayuda de taladros y explosivos. Para este trabajo, solo nos interesa el material común, clasificado geológicamente como roca, y que requiere escarificación.

1.2.1 Clasificación de las Rocas:

Las rocas se clasifican generalmente, en tres tipos principales que son:

Rocas Igneas
Rocas Sedimentarias
Rocas Metamórficas

Rocas Igneas:

Son las formadas por la solidificación de masas -

fundidas, ocurrida en el interior de la tierra. Estas rocas nunca contienen fósiles y a menudo son caracterizadas por la presencia de cristales o de contenidos minerales y casi nunca presentan la forma estratificada, de franjas o laminada que caracteriza a otras rocas. Tipos de estas rocas se encuentran comunmente en los trabajos de movimiento de tierras, son los granitos, basaltos, vidrios volcánicos y otros. Son tal vez, los tipos de roca más duros y consolidados.

Rocas Sedimentarias:

Consisten de material derivado de rocas existentes con anterioridad. Se deben a la acción del viento, del hielo de los glaciares, pero en su mayor parte, a la acción del agua. Su rasgo más característico es la estratificación que presentan, es decir que están constituidas de capas de material, textura, color y espesor diversos existiendo diferencia, ya sea sólo entre algunas o bien entre todas las características anteriormente mencionadas. Es posible encontrarse, dentro de un mismo estrato, capas de textura, color y composición uniformes. Estas son llamadas laminaciones y su espesor puede variar desde el de una hoja de papel delgado, hasta varios cientos de pies.

Las rocas sedimentarias más comunes son la piedra caliza, piedra arenisca, conglomerados, pizarras y suelo blando arcilloso (también conocido como Caliche).

Rocas Metamórficas:

Se deben principalmente a la transformación de rocas preexistentes que han sido alteradas en su composi-

ción mineralo en su textura, o bien en ambas. Los agentes causantes del metamorfismo en las rocas son: Esfuerzos cor-
tantes, Presiones, acción química o líquidos y gases y la
temperatura. Los Gneiss, la cuarcita, los esquistos y la pi-
zarra, son rocas metamórficas muy comunes.

Todas las rocas mencionadas en las clasificacio-
nes anteriores, se encuentran en o cerca de la superficie de
la tierra y pueden presentarse como masas de conformación
homogénea o heterogénea.

Clasificación de Rocas en Guatemala:

En Guatemala, por parte de las autoridades de
caminos, no se ha puesto interés en el estudio de las rocas
que se encuentran en los proyectos, bajo el punto de vista
geológico. La explicación de esta práctica es clara: Para
la realización de un proyecto, lo que importa es si la roca
es económicamente aflojada por medio de escarificadores o
si es necesario el uso de explosivos. Aun en esto he encon-
trado dos criterios entre los profesionales:

1. Un grupo llama Roca a todo aquello que no pue-
de aflojarse sin el uso de los explosivos y clasi-
fica como material común duro, aquello que ne-
cesita y puede ser levantado con escarificadores.
Otro grupo considera dentro de la clasificación-
de Roca, las que pueden ser escarificadas y por
tanto requieren el uso de explosivos.

Pese a lo aseverado anteriormente y que el uso
del sismógrafo de refracción provee una informa-

ción sobre las características del suelo más confiable que la observación ocular o el conocimiento de la clase de suelo, en todo caso, es útil un conocimiento generalizado de las clases de rocas encontradas en Guatemala.

Los conocimientos en ese sentido en Guatemala son muy reducidos, hay algunos trabajos de investigación sobre el tipo de rocas o suelos encontrados en el país y de todos ellos puede mencionarse de manera general lo siguiente: Con base en el mapa geológico de Roberts & Irving (1957) se confeccionó un mapa geológico simplificado de nuestros grandes grupos de rocas. Este mapa se presenta a continuación y fue obtenido del atlas Preliminar de Guatemala y de él se deduce lo siguiente:

El marco rígido estructural en el centro del país, está formado por un arco de Rocas Metamórficas y Rocas Igneas intrusivas, el cual es cóncavo hacia el norte teniendo hacia el mismo lado una secuencia fuerte de rocas sedimentarias. Estas constituyen probablemente los grupos montañosos formados por los Cuchumatanes, Sierra de Chuacús, Sierra de las Minas y Montaña del Mico al norte de éstas —corren la Sierra de Chamá y Sierra de Santa Cruz, constituyendo estas dos últimas junto con la parte norte de los Cuchumatanes, la secuencia fuerte de rocas sedimentarias que mencionara anteriormente.

Un estudio sismográfico realizado por el laboratorio de suelos de la Dirección General de Caminos sobre toda la extensión de la carretera, hoy en construcción, desde el Rancho hasta Cobán, reveló la existencia de Roca talcosa en el cruce de las primeras montañas —desde el Km 40 hasta Purulhá o sea la formación que comprende la Sierra de las Minas; de Purulhá a Cobán se encuentra una ro-

ca generalmente caliza. Esto casi corrobora la descripción que se desprende del mapa geológico de Irving. El talco es considerado como producto de la "Alteración de Minerales ferromagnesianos", es decir material metamórfico; la roca caliza es una roca sedimentaria, así como el suelo blando arcilloso que fue encontrando cubriendo las rocas en casi todo el proyecto (rocas ígneas intrusivas) en el cruce de la Sierra de las Minas — ver mapa—.

Hacia el sur del arco metamórfico, se extienden rocas volcánicas, que es un tipo de rocas ígneas, en los Altos de Guatemala, se encuentra formada por vulcanitas terciarias que cubren las rocas metamórficas y sedimentarias. Limitando hacia el sur a las vulcanitas anteriores, tenemos la cadena de volcanes que constituye la prolongación de la Sierra Madre, la cual es una franja de rocas volcánicas reciente y separa los altiplanos de la planicie costera del Pacífico que está formada de sedimentos originados por la erosión de las rocas volcánicas de las tierras altas.

Por parte de las autoridades de Caminos, la única clasificación de material rocoso que se conoce es: roca masiva, cantos, grava y combinaciones de los tres primeros.

De la experiencia sobre proyectos ejecutados se conoce que uno de los tipos de roca más frecuentemente encontrados es la Piedra Caliza que predominó en la CA9 sección norte, la Pizarra —formación tática— se encontró mucha en la carretera de Esquipulas, granito en el proyecto de la CN-49 a Cobán; en la sección oriente de la CA1 se encontró Escoria Volcánica, pero en muy poca cantidad y tan suave que fue fácilmente escarificada. En la

ción sobre las características del suelo más confiable que la observación ocular o el conocimiento de la clase de suelo, en todo caso, es útil un conocimiento generalizado de las clases de rocas encontradas en Guatemala.

Los conocimientos en ese sentido en Guatemala son muy reducidos, hay algunos trabajos de investigación sobre el tipo de rocas o suelos encontrados en el país y de todos ellos puede mencionarse de manera general lo siguiente: Con base en el mapa geológico de Roberts & Irving (1957) se confeccionó un mapa geológico simplificado de nuestros grandes grupos de rocas. Este mapa se presenta a continuación y fue obtenido del atlas Preliminar de Guatemala y de él se deduce lo siguiente:

El marco rígido estructural en el centro del país, está formado por un arco de Rocas Metamórficas y Rocas Igneas intrusivas, el cual es cóncavo hacia el norte teniendo hacia el mismo lado una secuencia fuerte de rocas sedimentarias. Estas constituyen probablemente los grupos montañosos formados por los Cuchumatanes, Sierra de Chuacús, Sierra de las Minas y Montaña del Mico al norte de éstas —corren la Sierta de Chamá y Sierra de Santa Cruz, constituyendo estas dos últimas junto con la parte norte de los Cuchumatanes, la secuencia fuerte de rocas sedimentarias que mencionara anteriormente.

Un estudio sismográfico realizado por el laboratorio de suelos de la Dirección General de Caminos sobre toda la extensión de la carretera, hoy en construcción, desde el Rancho hasta Cobán, reveló la existencia de Roca talcosa en el cruce de las primeras montañas —desde el Km 40 hasta Purulhá o sea la formación que comprende la Sierra de las Minas; de Purulhá a Cobán se encuentra una ro-

sección Occidental de la misma CA-1, predominó una arenisca cementada relativamente suave hasta la altura de San Cristóbal Totonicapán y el mismo material —arenisca cementada— pero de un grado de consolidación mucho más alto, hasta el grado de que tuvo que ser barrenada y volada con explosivos; era una roca sumamente dura, en la Zona del Tapón.

2. METODOS DE EXCAVACION EN ROCA

Excavación es el conjunto de operaciones que se realizan en un suelo con objeto de remover el material, de su estado original, "En Banco", y trasladarlo, ya sea para conformar una rasante de características geométricas determinadas o para transformarlo para su uso como material de construcción, ya sea de carreteras, como base, sub-base, agregados para carpetas asfálticas o cualquier otra clase de materiales.

Cuando se trata de material común dada la consistencia relativamente baja de éste, la misma maquinaria que efectúa el transporte, como el caso de tractores equipados con cuchilla (Bulldozer), las mototraíllas, traíllas o también la maquinaria que realiza la carga como los tractores cargadores (Payloaders), las motopalas, dragas, excavadoras rotatorias o de rosario, etc.; tiene la capacidad suficiente para remover el material de su lecho o estado natural.

Sin embargo, tratándose de roca, es necesario el uso de operaciones previas que pongan el material en condiciones de ser económicamente removido y trasladado por la maquinaria de carga y transporte.

Durante mucho tiempo, el método general y que únicamente usado para aflojar la roca antes de ser manejada por la maquinaria corriente de carga y transporte era barrenar la roca y volarla con explosivos. Hacia 1930 R.G. LeTourneau se dió a conocer con la aparición del Es-

carificador tal como hoy lo conocemos, siendo reconocido como el padre del escarificador moderno.

Aunque la clasificación de la Dirección General de Caminos, solamente considera como Roca aquel material que no puede ser removido sin ser previamente fracturado y aflojado por medio de barrenación y voladura con explosivos, sin embargo, muchos materiales considerados por la geología como Rocas, pueden ser escarificados, como se verá más adelante.

El escarificador, no es una herramienta nueva. Se tiene conocimiento de su uso desde el Imperio Romano. Los Romanos usaban un escarificador similar a un arado montado sobre ruedas, y tirado por bueyes, para aflojar la tierra para los paleros y portadores de canastas en la construcción de la vía Apia.

En los Estados Unidos de Norte América, empezaron a usarse en la construcción de ferrocarriles entre 1860 y 1880.

Los modelos de escarificador de LeTorneau, tirados por tractores de oruga se usaron en 1931 en el proyecto de la Presa Hoover. En esa fecha tenían un peso de unos 3,400 Kg y eran accionados por tractores con potencia de unos 75 HP al volante y unos 13,600 Kg de peso total. Los principales defectos de los escarificadores remolcados, eran entonces como ahora, su dificultad para operarlos y su escasa penetración. Si se les agregaba peso suficiente para mejorar su penetración tal vez ésta se incrementaba pero entonces los tractores no tenían la fuerza suficiente para remolcarlos. Luego se llegó a ensayar la operación con tractores en tandem, hasta el punto de usar tres tractores

para remolcar o empujar un solo escarificador. En esta forma se usaba para incrementar la producción de mototraíllas, en terrenos suaves, pero tenían éxito muy limitado cuando operaban sobre pizarra, arcilla, piedra caliza, capas rocosas, grava cementada y hielo.

El escarificador montado sobre tractores, fue introducido hace menos de 17 años. Con esto se incrementó su capacidad, debido al peso adicional que podía ser apoyado sobre el mismo diente del escarificador. Con los ulteriores incrementos en el peso y potencia en la barra de los tractores, se incrementó en tal forma la capacidad de los escarificadores que a la fecha una roca difícilmente resiste a su acción.

Sin embargo, como veremos en capítulos siguientes, no todas las rocas son escarificables, por lo que el costoso método de barrenación y voladura, sigue siendo hasta la fecha necesario.

2.1 Selección del Método a Emplearse:

Para la selección del método a emplearse en un proyecto de excavación en roca, se requiere de mucha experiencia del contratista o del Ingeniero Jefe del proyecto, si éste ha de ejecutarse por administración. La forma más fácil de decidirse sería llevar un tractor pesado (de unas 20 a 25 toneladas) con su escarificador y ensayar para saber si puede o no ser escarificado el material; sin embargo, la transportación y operación del equipo sólo para probar resultaría costosísimo en el caso de que el material resultara inescarificable.

La operación de un tractor con su equipo escarificador, es más económica que la de todo un equipo de barrenación, detonación, suministros y materiales tales como fulminantes, explosivos, etc.; sin embargo, aunque ello es un factor determinante para inclinarnos por el primer método, si la roca no es escarificable, sería un fracaso insistir en utilizarlo ya que esto llevaría a elevar los costos por encima de los de barrenación y voladura.

De lo anteriormente expuesto, se llega a la conclusión, de que es imprescindible para el encargado del proyecto un conocimiento suficiente de geología que le permita determinar la clase de roca que comprende el proyecto, así como el estado en que ésta se encuentra ya que sabiendo cuáles tipos de roca son escarificables o no y pudiendo identificarlos en su estado natural y original, podrá saber qué método emplear y así preestimar aproximadamente los costos de excavación en el proyecto a su cargo.

Por ejemplo, entre las tres clases de roca, la más difícil de escarificar es la Roca Ignea debido a su carencia de planos de clivaje y de la estratificación, necesarias para ser escarificables económicamente; por otro lado las rocas más fácilmente escarificables son las rocas sedimentarias y algunos tipos de rocas metamórficas que tienen grado de estratificación y planos de clivaje favorables.

2.2 Escarificación:

Como ya se ha dicho anteriormente, la escarificación consiste en rasgar o desgarrar el material por resistentes y pesados dientes montados sobre tractores pesados que los hacen penetrar el material y al avance del tractor,

van desgarrándolo dejándolo en condiciones de ser manejados por la maquinaria corriente de carga y transporte.

La escarificación es en sí una operación más económica que la barrenación y voladura siempre y cuando se trate de rocas escarificables.

Cabe aclarar que si una roca puede ser escarificada pero a un costo más elevado que la barrenación y voladura, no puede decirse bajo el punto de vista económico que esa sea una roca escarificable.

2.2.1 Determinación de la posibilidad de Escarificación de una roca:

Actualmente, ya se cuenta con ciertos métodos que pueden ayudar al ingeniero o contratista a determinar la escarificabilidad de una roca sobre una base científica, sin embargo, es necesario que tenga ciertos conocimientos para que él solo pueda hacer una estimación previa de si vale la pena realizar los ensayos científicos; por ejemplo, si se encuentra una roca ignea sin nada de estratificación ni signo alguno de descomposición, seguramente esa roca tendrá que ser barrenada y volada con explosivos; lo mismo sucede con un material que consta de gran número de pedruzcos de regular tamaño ya que éstos presentan las mayores dificultades a la escarificación, de modo que siempre son barrenadas y voladas.

Las rocas bastante estratificadas, que lo son en capas delgadas y laminadas o descompuestas por la acción del tiempo, son escarificadas económicamente mientras que

las densamente estratificadas con laminaciones de más de 12 a 18 pulgadas presentan gran dificultad a la penetración del diente del escarificador, por lo que necesitan ser barrenadas y voladas para podérselas manejar.

A continuación se presentan las características que favorecen la escarificación las cuales han sido resumidas de lo mencionado anteriormente y son:

1. Fracturas, fallas y planos de debilitamiento de cualquier clase.
2. Desgaste resultante de los cambios de temperatura y humedad.
3. Naturaleza brillante y cristalina.
4. Alto grado de estratificación o laminación.
5. Grano de tamaño grande.
6. Arcillas pizarras y formaciones rocosas, permeables a la humedad.
7. Bajos esfuerzos a la compresión.

Así también podemos presentar a continuación las condiciones características que indican la imposibilidad o mucha dificultad a la escarificación, que son las siguientes:

1. Formación masiva y homogénea.
2. Naturaleza no cristalina y carente de brillo.

3. Ausencia de plano de debilitamiento.
4. Naturaleza de grano fino con agente cementante sólido.
5. Contenido de humedad que a veces consolida la formación, aunque una vez expuesto al aire se desintegra, siendo fácilmente removido por cuchilla empujadora o trailla.

Como puede presumirse, esas formas de determinar la escarificabilidad de un material, son puramente visuales y requieren de una basta y profunda experiencia del profesional, pero esto aún no ayuda cuando se trata de condiciones y características que no son visibles.

La dureza de una roca, es un índice de la escarificabilidad de una roca. Aquella, que al ser lanzada contra la superficie dura y sólida, se rompe, puede ser escarificable en cambio aquella que rebota con un sonido metálico, sin romperse probablemente no podrá ser escarificada. Puede ser que la uña del dedo o una navaja de bolsillo sea un auxiliar, puesto que éstos pueden indicar rayabilidad y por tanto dureza o no dureza. De gran utilidad resulta en este caso la ESCALA DE DUREZA DE MOH'S que se presenta a continuación, con ciertos datos adicionales auxiliares que se usan con frecuencia en el campo para determinar la escarificabilidad. Ellos son: la dureza de la uña de un dedo, es ligeramente más alta que 2, una moneda de cobre tiene una dureza aproximadamente de 3 y la hoja de una navaja de bolsillo es de una dureza un poco mayor de 5.

Con un poco de práctica, puede determinarse ra

pidamente la dureza de las rocas por la facilidad con que puede rayárselas.

Las rocas que pueden ser rayadas con la uña o con una moneda de cobre, son tan suaves que pueden ser es-carificadas sin importar la formación de la roca, pero hay rocas más duras tales como la piedra caliza o la piedra arenosa, no pueden ser rayadas con la uña o una moneda, más no por eso vamos a calificarlas como inescarificables, es necesario examinar la consolidación general de toda la formación rocosa.

Si se encuentra alguna posibilidad de escarificación, se presenta la necesidad de un método sencillo y poco costoso que indique con mayor seguridad y sobre una base más científica, si la roca puede ser económicamente es-carificada o no, pues si bien el método más seguro, que es el tratar de escarificar la roca, representa grandes ahorros sobre la barrenación y voladura, en caso de que la roca sea es-carificable; los elevados costos de transportar el equipo al lugar y operarlo y luego regresarlo, en caso de fracaso - representa un duro golpe económico para la compañía. Es pues necesario, contar con el método menos costoso y más sencillo de que hablamos anteriormente. Por mucho tiempo, se pensó que el Ensayo de Abrasión de los Angeles, cuya descripción, puede verse en cualquier texto de mecánica de suelos o en la publicación de la AASHO MS 10-SOILS MANUAL podría servir para dar un índice de la es-carificabilidad, pero presenta ciertas deficiencias como el hecho de que la es-carificabilidad es altamente afectada por la formación de la roca.

Por ejemplo, si un canto rodado denso se coloca en el tambor, al terminarse el ensayo, es seguro que habrá

pérdido muy poco peso, dando un indicio de muy baja escarificabilidad en tanto que en la realidad, una formación consistente de cantos rodados, no muy grandes, presenta apreciables facilidades para la escarificación. Esas deficiencias, inclinaron a los profesionales a abandonar este método.

A la fecha el método menos costoso, más sencillo y de base más científica, es el método sismográfico que se base en el sismógrafo de Refracción y se describe a continuación.

Sismógrafo de Refracción:

Desarrollado en 1958 para el fin de determinar la escarificabilidad de las rocas, obtiene información de factores tales como Dureza de la roca, estratificación, grado de fracturación y grado de descomposición o desgaste a agentes atmosféricos.

El principio del análisis sísmico es sencillo. Se basa en la característica de que las ondas sísmicas viajan a través de cada clase de material (suelo, grava, pizarra, roca, etc,) a una velocidad particular para cada clase. La velocidad, en una roca dura y consolidada, es alta hasta — 20,000 pies por segundo — en un suelo suelto, es tan bajo — como 1,000 pies por segundo—. De esta forma podemos determinar el grado de consolidación de los materiales, midiendo la velocidad de una onda sísmica a través de varias capas de material.

A partir de esta información, podemos determinar el equipo apropiado para manejarlo.

La onda sísmica es producida por golpes de un mazo contra un plato de acero que se coloca a distancias distintas de un geófono receptor. Este geófono es sensible únicamente a la primera onda sísmica que llega a él. De esta manera el geófono puede ser accionado ya sea por la onda sísmica que viaje por la trayectoria más corta o bien por otra que siga una trayectoria más largo pero la cual incluya un segmento de alta velocidad.

El intervalo de tiempo transcurrido entre el golpe del martillo y la llegada de la primera onda sísmica al geófono se lee en el tablero indicador del geófono.

En la figura No. 1 las líneas continuas muestran las ondas sísmicas que son detectadas por el geófono. Asumiendo en esa figura que las velocidades a través del suelo superficial, roca desgastada y lecho rocoso, son de 1,000, 3,000 y 6.000 pies por segundo respectivamente, podremos observar que ondas sísmicas viajando por trayectorias más largas pueden alcanzar primero el geógrafo y así ser ellas las registradas en él. Las líneas punteadas muestran las trayectorias que tienen mayor tiempo de viaje y por tanto no son registradas por el geógrafo.

En figura No. 2 presenta un gráfico de tiempo vs. distancia en el cual la pendiente de los segmentos rectos, indica las velocidades de la onda sísmica, al viajar a través de las distintas capas. Ese gráfico se obtuvo espaciando las fuentes de la onda sísmica a intervalos de 3 metros. La velocidad de la onda sísmica se obtiene de la simple y conocida expresión del movimiento uniforme:

$$V = \frac{D}{T}$$

D representa la distancia entre el geófono y la fuente de la onda y T es el tiempo transcurrido. Todos los puntos caen en una línea para cada tipo de material ya que las velocidades de propagación son las mismas para un grado similar de consolidación. Las líneas rectas dibujadas a través de puntos adyacentes muestran tres tipos de material. Los segmentos menos pendientes, corresponden a materiales de mayor grado de consolidación.

Los datos de velocidad obtenidos sobre un ensayo de un material en un proyecto nuevo, puede ser comparado con los obtenidos en ensayos anteriores sobre rocas cuya facilidad de escarificación es bien conocida. Se ha establecido un índice de la escarificabilidad de las rocas comúnmente encontradas en los proyectos, en términos de velocidad de onda de choque. En la figura No. 3 se muestra la velocidad de la onda sísmica que indica escarificabilidad en cada material, así como también las que son demasiado altas para ser escarificables. Han avanzado tanto los trabajos en este sentido, que para las rocas conocidas indicadas en la figura No. 3, la escarificabilidad puede ser predeterminada con razonable grado de precisión. A medida que mayores datos sean acumulados, la evaluación de materiales tales como pizarra, piedra arenosa y caliche, podrá ser mejorada y además podrá agregarse nuevos materiales a la lista.

Un análisis real de los materiales en el proyecto mismo es sencillo. Se requiere de diez a veinte minutos para realizar cada ensayo y determinar las velocidades de la onda sísmica. De una comparación entre las velocidades de onda obtenidas y las encontradas para un material similar - en proyectos anteriores, dará una buena indicación del funcionamiento y producción que pueden ser esperados. En los proyectos donde se ha seguido este procedimiento y se ha

observado los resultados, la determinación de la escarificabilidad se ha logrado con marcada precisión.

Además para determinar el grado de consolidación o escarificabilidad de cada capa es posible determinar el espesor de cada una de ellas, Es muy útil para el ingeniero conocer hasta qué profundidad trabajará con tal material. La fórmula siguiente expresa la profundidad a la cual ocurre un cambio en la consolidación:

$$d = \frac{X}{2} \sqrt{\frac{V_1 - V_2}{V_1 + V_2}}$$

Donde D, es la profundidad o espesor de la capa, X la distancia a lo largo del eje de distancia (en el gráfico tiempo-distancia) desde el origen hasta el punto de intersección de líneas o segmentos. V_1 es la velocidad en la capa inmediata superior, V_2 la velocidad en la capa inmediata inferior. Las profundidades de las capas sucesivamente más profundas, se determina en forma similar.

De esa forma, dos factores importantes para el ingeniero de carreteras o el contratista como son a) consolidación del material que incluye el proyecto y b) el espesor de las capas, pueden ser obtenidos por medio del sismógrafo de refracción.

La aplicación del método sísmico representa un mejor sistema que la operación de ensayos con la maquinaria y establece una base científica para la determinación del sistema de excavación a emplearse.

Las fotografías siguientes, ilustran diversos tipos de rocas escarificables y no escarificables, así como el equi

po que compone el sismógrafo de refracción.

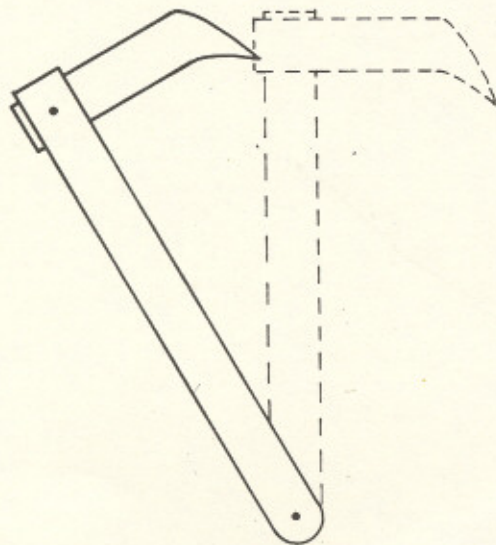
2.2.2. Selección del Equipo adecuado para el Trabajo.

Salta a la vista, que es imprescindible seleccionar el equipo adecuado para obtener el mejor rendimiento y la máxima producción. En la mayoría de los trabajos rudos de escarificación si se principia con equipo mal seleccionado, el fracaso es seguro.

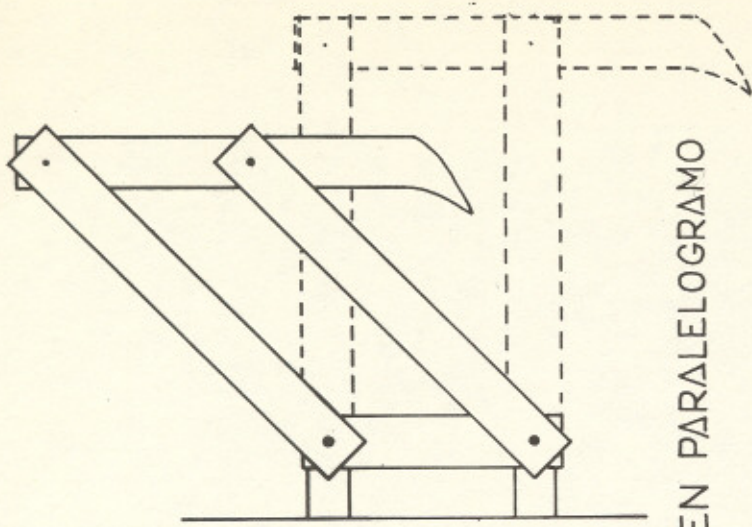
Tres factores son primordiales en la selección del equipo, siendo imprescindible un buen balance entre los tres; uno sólo que sea inadecuado, nos producirá un rendimiento y producción muy bajo del valor óptimo. Esos tres factores son:

1. Presión hacia abajo sobre la punta del diente que determina si es posible lograr la penetración de éste dentro del material.
2. Caballaje del tractor, necesario para hacer avanzar los dientes a través de la formación rocosa, una vez éstos han penetrado en ella.
3. Peso del tractor, determinante para el desarrollo de la tracción necesaria para el avance, como también de la presión de penetración. Si el peso del tractor sobre los dientes no es suficiente, en vez de que el diente penetre, el tractor se levantará por su parte trasera, apoyado sobre los mismos dientes del escarificador.

ILUSTRACIONES Y ANEXOS, CONSULTAR
UNICAMENTE EN TESIS FISICA



DE GOZNE



EN PARALELOGRAMO

FIGURA 4

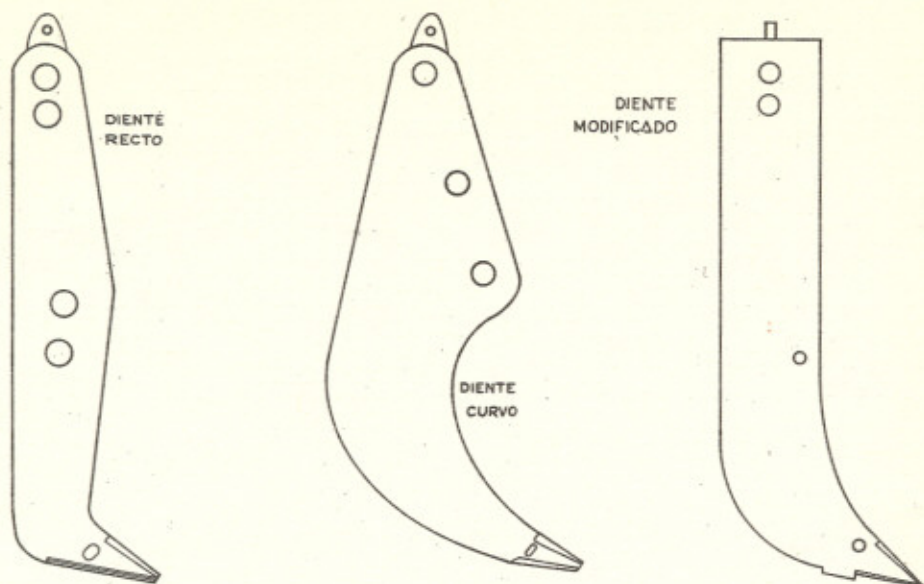


FIGURA 5

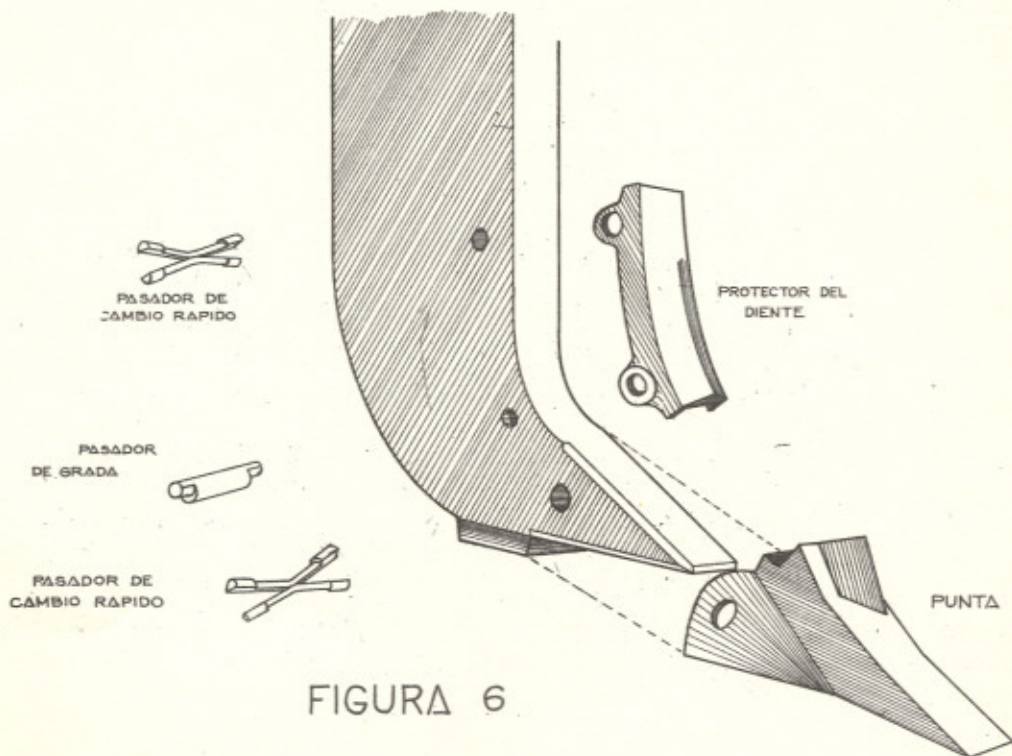


FIGURA 6

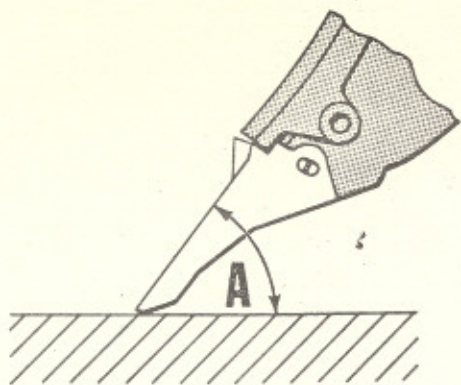


Fig. 8

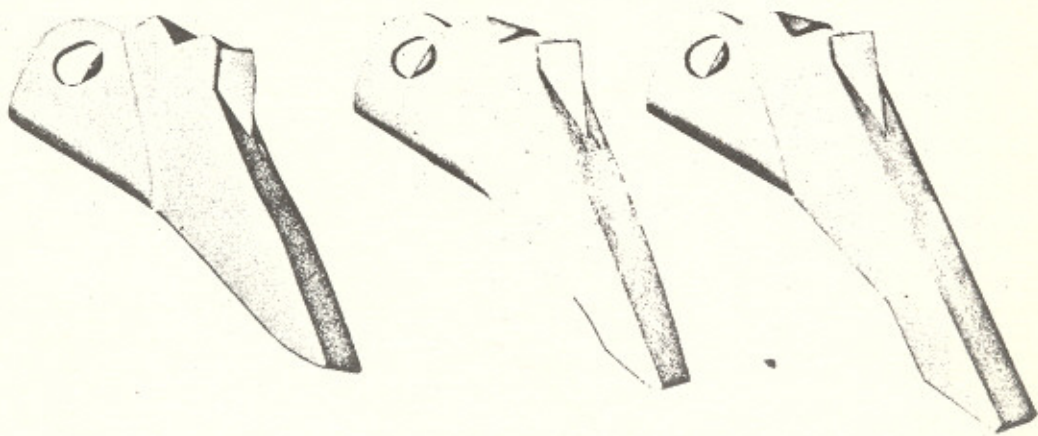


Fig. 9 Tipos de Puntas

Corta

Mediana

Larga

El diseño de los accesorios de instalación y control, que son todos hidráulicos, casi no varía nada de un fabricante a otro. Hay dos sistemas predominantes en el diseño básico que son:

1. La viga que sostiene los dientes, puede girar con todo y éstos, las cuales van rigidamente empotrados y aquella, por lo que el ángulo de la punta del diente con respecto a la superficie del suelo va cambiando a medida que se va logrando la penetración dentro de la formación rocosa a escarificar.
2. Un sistema de barras articuladas que trabajan manteniéndose siempre paralelas entre sí, lo que permite que el ángulo entre el diente y la superficie del suelo permanezca constante durante toda la carrera de penetración.

Los dos sistemas se ilustran en su forma básica en la figura No. 4.

La diferencia real entre los dos sistemas, puede notarse estudiando los diferentes tipos de abrazaderas, dientes, desgarradores y sus puntas.

El propósito de la abrazadera es proporcionar la montura para instalar el diente al tractor. Se han desarrollado las abrazaderas giratorias con el objeto de que el operador pueda levantar los dientes para facilitar el giro del tractor y además, cuando se avanza sobre formaciones que tienen partes más duras que el resto de la formación, pueda reducir la penetración levantando un poco los dientes para seguir éstos la trayectoria de menor resistencia.

Otra función importante de la abrazadera u horquilla es proporcionar un medio de ajuste para los dientes del escarificador que pueda hacerse fácilmente y a mano.

Los ajustes pueden hacerse tanto para la magnitud de la penetración como para el ángulo del diente con relación al suelo, para los diversos tipos de material que puedan encontrarse en el proyecto. El éxito o fracaso en una operación de excavación en roca, depende de la penetración y del ángulo de escarificación. Previamente a la iniciación formal del trabajo y siempre que sea posible debe ensayarse con varias penetraciones y diversos ángulos para determinar aquel que trabaja en la mejor forma y con el material local.

Dientes:

En cuanto a los dientes, se los divide en tres clasificaciones: (ver figura No. 5).

Rectos

Curvos

Modificados

Los Dientes Rectos:

Han sido los más generalizados gracias a su buen funcionamiento con una gran variedad de materiales. Es el mejor tipo de diente para usarlo en materiales conformados en bloques o losas.

Los Dientes Curvos:

Son los más indicados para trabajar en materiales

no estratificados ni laminados, en los que se requiere acción arrancadora para dar una buena fractura.

A veces es inefectivo en formaciones en bloque o lajas, pues el material sigue el lado inferior del diente hacia la parte superior de la curvatura, forzando el diente hacia afuera de la formación.

El Diente Modificado:

Es un diente recto que ha sido modificado en su perfil para que combine las mejores características de los dientes rectos y de los curvos. Provee efectiva acción extractora que se necesita para materiales densamente y bien laminados trabajando también con eficiencia en materiales con formación en bloques o en lajas.

Para esta última clase de dientes, se ofrece protectores opcionales, que instalados en el filo del diente, lo protegen contra el desgaste ocasionado por materiales abrasivos.

Estos protectores prolongan considerablemente la vida de los dientes y se cambian fácilmente por medio de pasadores de cambio rápido.

Las puntas de los escarificadores, son disponibles en varios tamaños y formas. En el diseño deben considerarse tres criterios necesarios:

1. Buena penetración.
2. Buenas características de fractura.
3. Razonable duración.

Todos los conocedores están de acuerdo en que la penetración depende de la presión hidráulica ejercida por el sistema de control respectivo, pero la mayoría de las autoridades de la materia sostienen y aseguran que el éxito en ello también depende del ángulo de penetración, el cual es el ángulo formado por la cara frontal superior de la punta del diente con la superficie en el momento en que se inicia la penetración. Angulo "A" en la figura No. 6.

No puede decirse cuál es el mejor ángulo de penetración para un material dado; puede variar dentro de una misma formación, de uno a otro punto, dependiendo de la consolidación y del estado de descomposición del material. Quizás la mejor solución para la mayoría de las condiciones pueda ser obtenida no usando un ángulo fijo.

Las buenas características de fractura son determinadas principalmente por el ancho de la punta del diente y la magnitud de la acción extractora o hacia afuera que ejerce sobre el material. Sin embargo, el factor predominante, lo constituyen las características de fractura PROPIAS DEL MATERIAL. A menudo es necesario efectuar ensayos de tanteo para determinar el mejor tipo de diente a usarse, ya que unos materiales se fracturan más fácilmente que otros,

El desgaste de una punta de diente, depende del tratamiento que se ha dado al material de que está construido y de las características del material que se va a escarificar. Los fabricantes de esta clase de equipo tienen que alcanzar un material que reúna suficiente dureza para resistir el desgaste y tenacidad para resistir roturas.

En algunos materiales altamente abrasivos, no puede esperarse una vida útil para la punta de los dientes -

de más de dos o tres horas. Por otra parte, en cambio se conoce más de un caso en que se haya logrado para los mismos, una vida útil de más de mil horas, trabajando en pizarra densamente consolidada.

Algunos consideran más económico reconstruir - las puntas gastadas, que comprar nuevas. Si se consideran todos los costos, el reconstruirlas, resulta tan caro o más tal vez que comprar nuevas. Muchos contratistas opinan - que es más económico desperdiciar o abandonar las puntas gastadas a perder tiempo en su reconstrucción y correr el - riesgo de que se rompan que es lo que probablemente ocurrirá.

Dientes y Puntas Disponibles corrientemente:

Cada casa productora ofrece diversas combinaciones variando muy poco de una marca a otra. Por ejemplo: Caterpillar ofrece cuatro combinaciones de punta y bota y de puntas de una pieza.

1. Punta Autoafilable:

Se ofrece para los dientes modificados y adaptadores para dientes de dos tamaños —corto y largo—. Su excelente penetración y larga vida, lo convierten en una punta ideal, prácticamente para todas las condiciones de escarificación. Otras características que la favorecen son su bajo costo inicial, el pasador de cambio rápido y su alta resistencia.

2. Punta de Alta Penetración:

Es idealmente empleada en el amplio campo de

materiales donde las condiciones de abrasión y de impacto son moderadas y se requiere gran penetración. Este tipo de punta incorpora la característica de autoafilable, que le permite desgastarse casi hasta la cavidad del diente sin desafilarse.

3. La Punta de Impacto:

Para uso donde las cargas de impacto son las más severas. Es de un forjado casi irrompible, lo que probará su valor en proyectos donde la resistencia es la consideración más importante.

4. La Punta Abrasiva:

Diseñada para ser usada con una bota, presta el servicio más económico en materiales altamente abrasivos - donde las condiciones de impacto son moderadas.

Se ofrecen adaptadores para dientes, para adaptar las puntas fabricadas a dientes Caterpillar de modelos - más antiguos o de otras marcas. Esos adaptadores, pueden ser soldados en el lugar, a cualquier otro diente de tamaño comparable, para utilizar las puntas de diseño más moderno y superiores características en dientes de diseños anteriores o antiguos. La experiencia en el campo, sobre esos adaptadores, ha demostrado que ellos son prácticos y económicos.

Tipo de Transmisión adecuado para el Tractor Escarificador:

Anteriormente a la aparición del sistema ("Power Shift") de Servo-transmisión, la transmisión directa e-

ra considerada como la más satisfactoria para trabajos de escarificación. Los motivos eran, que ella proporciona una velocidad de avance más constante con menos vibraciones bajo cargas variables, que el convertidor hidráulico de torque. Además ella produce las más altas cargas de impacto que se necesitan para fracturar y romper materiales tenaces.

Los que se inclinan por el convertidor de torque alegan que éste tipo produce más fuerza sobre la punta del diente; debido a la multiplicación del torque, pero este argumento pasa por alto el hecho de que en la mayoría de los casos de escarificación, el factor que limita la fuerza de avance sobre el diente es la tracción.

También aluden que absorbiendo, como lo hace el convertidor de torsión, los choques procedentes de la transmisión reduce los costos de mantenimiento; sin embargo, la experiencia de los contratistas que han trabajado con ambas transmisiones en los mismos trabajos, no ha revelado diferencias apreciables en los costos totales por hora.

La servo-transmisión, combina las ventajas de la transmisión directa y del convertidor de torque, permitiendo además incrementos apreciables en el rendimiento tanto del operador como de la máquina. Los reportes del campo revelan incrementos en la producción en escarificación de hasta 25% con la servo-transmisión, con relación a las transmisiones empleadas anteriormente.

Tamaño de las Carriles:

Este es otro problema que frecuentemente enfrentan los contratistas, jefes de proyectos o propietarios de

tractores. Generalmente se opina que para el trabajo con materiales rocosos lo más conveniente e indicado es usar carriles angostos, lo cual es cierto cuando únicamente se ha de trabajar en roca, pero la mayoría de las veces, las máquinas han de ser operadas en una gran variedad de proyectos de distintas clases de material. Considerando esta condición, que indica la necesidad de elegir al ancho de carriles que mejor se adapte y funcione en todo trabajo, se concluye que lo más conveniente es el uso de Carril Normal.

Consideraciones Preliminares Previas a la Selección del Equipo Adecuado:

Antes de pasar mucho tiempo en la planificación del equipo para un trabajo de escarificación, es atinado atender unas pocas consideraciones preliminares. No podemos obtener las máximas ventajas y rendimiento de un equipo escarificador, si no hemos tomado en cuenta los siguientes factores:

1. ¿ Para qué vamos a usar el material o qué vamos a hacer con él? y
 2. ¿ Qué tipo de equipo utilizaremos para transportarlo o moverlo?
1. Hasta donde el uso nos concierne, el material es carificado puede pertenecer a cualquiera de las otras tres clases siguientes:
1. Material graduado (selecto)
 2. Material de relleno.
 3. Material de desperdicio

El material graduado más conocido en los trabajos de construcción de carreteras como material selecto o conocido como agregado en trabajos de concreto o asfalto, es el material que se tritura para reducirlo a un tamaño que reúna las especificaciones establecidas o requeridas para tipos particulares de construcción como es, el material selecto para la sub-base de una carretera o el agregado para un concreto, etc. El tamaño máximo al cual el escarificador debe dejar el material, es el que pueda manejar la trituradora. Mientras menor es el tamaño máximo que acepta la trituradora, el número de pasadas del escarificador será mayor.

El tamaño de los materiales de relleno queda determinado por las especificaciones que gobiernan el proyecto, las cuales indican también cuáles materiales pueden o no ser utilizados como material de relleno. A menudo los materiales de roca, pueden ser empleados como material de relleno, pero deben ser previamente quebrados a tamaños que reúnan las especificaciones del proyecto. Como en el caso anterior, el tamaño permisible del material escarificado será el que determine el número de pasadas del escarificador. Usualmente el material rocoso deberá ser mezclado con suelo para alcanzar la compactación apropiada.

En cuanto al material de desperdicio, el problema simplemente se reduce a si el material puede ser escarificado o no. El tamaño del producto de la escarificación es de pequeña importancia interesando únicamente que la hoja de empuje del tractor pueda manejarse limitado al tamaño que la hoja del tractor pueda empujar, hacia el lado de un banco en desuso o inservible.

2. En lo que al equipo y método empleado en el transporte del material se refiere, hay un buen número de solucio-

nes entre las cuales podemos elegir y para llegar al método y equipo seleccionados es necesario haber hecho consideraciones como las siguientes:

- a) cantidad de material a remover;
- b) método más económico;
- c) equipo de que se dispone;
- d) existencia de pendientes fuertes en los caminos de trabajo.
- e) distancia a la cual los materiales deben ser movidos.

Los cuatro métodos principales disponibles son los siguientes:

1. Palas y unidades de transporte:

Los materiales que serán cargados por palas necesitan ser tan pequeños para que pasen fácilmente por el cucharón de la pala. Las dragas de cucharón de almejas usualmente pueden manejar únicamente material menor que una pala provista de un cucharón de capacidad equivalente. En algunos casos debe ser el material lo suficientemente pequeño para ser manejados por pequeñas unidades de transporte tales como camiones de volteo de 3 o 4 metros cúbicos de capacidad.

2. Tractor con cuchilla:

Cuando el material escarificado va a ser removido por un tractor con cuchilla únicamente se necesita que sea de un tamaño que la hoja pueda manejar. Para incrementar la producción usualmente se pueden usar menos pasadas y un tractor con cuchilla en U cuando va a usarse este

sistema.

3. Traíllas Cargadoras:

En muchos casos el movimiento de roca suave puede ser considerablemente acelerado utilizando traíllas. Cuando esto es posible, el precio de la excavación será abaratado considerablemente en comparación con la voladura y carga con pala. Dos factores influyen grandemente el uso de traíllas en roca; primero es la producción. Para que la roca pueda ser cargada en una traílla, debe estar en tamaños suficientemente pequeños para que la operación de carga sea fácil y también lograr cargas más pesadas sin espacios vacíos excesivos. No se deben utilizar traíllas si el material no puede ser escarificado y reducido a tamaño muy fino ya que cuando se trata de cargar rocas de 60 a 90 cms. de diámetro por traíllas junto con otros materiales, ellas tienden a mantener la compuerta de carga parcialmente abierta permitiendo así la pérdida o derrame de los materiales más finos, durante el viaje de acarreo.

El segundo factor que afecta el uso de las traíllas es su vida útil seguramente reducida cuando se usa la traílla sobre rocas grandes. Esto sucede tanto con las llantas como con la traílla misma. Así, solamente si el material es escarificado dejándolo en tamaños menores, será más fácil de cargar, más fácilmente retenido en la traílla y permitirá mayor vida útil para el equipo.

4. Fajas Transportadoras:

Cuando se usa fajas transportadoras estacionarias, el material escarificado deberá quedar tan pequeño como sea posible para prolongar la vida de la faja y hacer el ma-

material fácil de mover a través de las secciones inclinadas del transportador. Los transportadores móviles requieren material pequeño, por esa misma razón además del hecho que el material debe ser de consistencia tal que el cargador pueda ser tirado fácilmente. Cuando se usa escarificación para facilitar la operación con fajas transportadoras, la producción puede ser sensiblemente incrementada con la consecuente reducción en el costo por metro cúbico.

2.2.3 Técnicas de Escarificación

Es difícil si no imposible, describir la mejor técnica a emplearse para cualquier trabajo de escarificación. Generalmente es necesario proceder haciendo ensayos con distintas técnicas hasta encontrar la que afloja el material en forma más fácil, rápida y con el menor esfuerzo, tanto para el operador como para la máquina. Sin embargo, la experiencia adquirida en proyectos anteriores ejecutados con las mismas clases de material, que el proyecto por iniciarse, ahorrará muchos ensayos.

Generalmente, deberá considerarse entre los factores que incluyen las técnicas diversas de escarificación, los siguientes, entre otros:

1. Engranaje con el cual ha de operar la máquina propulsora.
2. Número de dientes que deberá usar el escarificador.
3. Profundidad de penetración con la que ha de trabajarse.
4. Espaciamiento entre las pasadas del escarificador.

5. Dirección del movimiento de escarificación o sea dirección en que ha de avanzar la máquina propulsora.
6. Inconveniencia o conveniencia de escarificar en direcciones perpendiculares.
7. Remoción del material escarificado.
8. Escarificación en Tandem, cuando es necesaria o aconsejable.
9. Programación de máquinas.
10. Explosivos previamente a escarificación

1. Engranaje con el cual ha de operar la Máquina Propulsora:

Considerando que la más alta velocidad a la cual es práctica operar el equipo, es de 1.6 a 2.5 KPH, el engranaje con el cual se opera será el de la primera, con lo cual se logrará la máxima potencia de tiro del tractor. El más ligero incremento en la velocidad produce una reducción en la producción e incrementa considerablemente el desgaste de la punta de los dientes. Es mucho mejor, cuando las condiciones son menos severas usar dos o tres dientes en vez de uno, que usar velocidades mayores.

2. Número de Dientes que deberá usar el Escarificador:

En la mayoría de los casos lo más ventajoso es principiar con un diente. Si él penetra facilmente y quiebra el material en piezas de tamaño satisfactorio, puede probarse a trabajar con dos dientes. Tres dientes solo pueden usarse en material muy fácil de escarificar tales como capas de suelo duro o pizarra.

En materiales con tendencia a quebrarse en lajas delgadas de tamaño grande, lo más aconsejable es usar solamente un diente, lo cual forza las grandes lajas ya sea a romperse o pasar por los lados del diente. Cuando se usan dos o tres dientes, éstos tienden a trabajar como una rastra y retienen las lajas grandes bajo el montante del escarificador; es común oír la siguiente aseveración: "si no puede ser escarificada con 2 dientes, es impráctico escarificarla." Este dicho en realidad está lejos de la verdad, muy a menudo aunque el material pueda ser manejado con 2 dientes, la producción será incrementada si se usa solamente uno. Habrá menos patinadas y reducciones bruscas de la velocidad del motor, además que será más fácil lograr una operación uniforme.

Cuando se usan 2 dientes en materiales relativamente difíciles ocurrirá que un diente después del otro puede encontrarse con puntos de material más duro; lo que impone cargas exéntricas severas sobre la viga y la montura del escarificador y sobre la caja de transmisiones del tractor. En cambio, el uso de solamente un diente centrará la carga tanto para la viga como para la montura.

3. Profundidad de Penetración con la que ha de trabajarse:

En la mayoría de los casos lo deseable es escarificar tan profundamente como sea posible. Sin embargo, en áreas de considerable estratificación está práctica tal vez no sea la mejor. Es a veces mejor escarificar a una profundidad parcial y remover el material en sus capas naturales, que tratar de hacer pasadas a completa profundidad. Una pasada inicial a profundidad media puede romper el material del suelo de modo que la segunda pasada pueda

hacerse a profundidad total con mucho menos trabajo.

Otra consideración en la profundidad apropiada de escarificación es cuanta penetración puede obtenerse sin que el diente sea forzado hacia afuera del terreno. Cuando el diente no penetra a toda profundidad, la parte trasera - del tractor generalmente será levantada; trayendo como consecuencia una pérdida en la tracción total efectiva, lo que hace mucho más difícil la escarificación. Además de esto hará que sobre los rodos frontales actúe un peso mayor causando esfuerzos y desgastes indebidos.

Cuando van a ser usadas traíllas, es necesario - que la escarificación se realice a una profundidad uniforme para eliminar secciones duras de roca que forzarán la hoja del escarificador hacia arriba y fuera de la tierra. Esto es muy perjudicial para traíllas particularmente los filos de corte y reducirá la vida útil de la unidad. En esta clase de trabajos la regla será: "no debe escarificarse en todo el campo de trabajo a una profundidad mayor de la que es posible lograr en la parte más difícil del área."

4. Espaciamiento entre las pasadas del Escarificador:

El tamaño final del material es un factor importante en la determinación del espaciamiento entre pasadas; este deberá ser más cerrado cuando el tamaño final requerido sea relativamente pequeño, mientras que cuando el material simplemente va a ser desperdicio, el espaciamiento podrá ser mayor. En materiales donde pueda obtenerse penetración completa, es usualmente satisfactorio un espaciamiento de 0.9 a 1.5 metros.

Materiales de tamaño grande:

Para materiales que tienden a romperse y dividirse finamente, es indicado un espaciamiento de 6 a 8 pies. El espaciamiento entre pasadas para materiales con apariencia de lajas delgadas, variará con el tamaño de las lajas. Si las lajas se rompen en tamaños de unos 8 pies de ancho, el espaciamiento deberá ser más o menos de centro a centro de cada laja.

El espaciamiento entre pasadas determina en forma amplia la producción, ya que indica con que rapidez puede ser escarificada un área particular. El máximo espaciamiento entre pasadas mantendrá un costo más bajo por metro cúbico.

5. Dirección del movimiento de escarificación o sea dirección en que ha de avanzar la máquina propulsora.

Generalmente la dirección de la escarificación es dictada por la planificación del proyecto. Sin embargo, hay ciertas condiciones por las cuales la dirección de la escarificación afectará considerablemente la producción y los resultados.

Cuando el material escarificado va a ser cargado y transportado por traíllas, es ventajoso usualmente escarificar en la misma dirección en que las traíllas van a ser cargadas. Esto permite al escarificador una función doble más efectiva: como empujador y como escarificador, a la vez que mantiene el corte limpio para el movimiento de las traíllas. En ocasiones una formación rocosa resultará que tie-

ne laminaciones verticales que corren paralelas al corte; lo que obligará a que el material deba ser a veces escarificado en dirección transversal al movimiento del corte para obtener una rotura más apropiada del material.

Esto sostiene la razón de que siempre que sea posible la escarificación se haga pendiente abajo para usar el peso del tractor y así incrementar la producción.

Si el material es laminado y el plano de las laminaciones es inclinado con relación a la superficie de la tierra, lo mejor es escarificar desde el extremo de las laminaciones delgadas (donde éstas salen a la superficie) hacia el extremo profundo.

Esto tenderá a mantener la punta dentro del terreno. Si la escarificación se hiciera de la dirección opuesta, la punta del diente tendería a deslizarse por sobre las laminaciones y será forzado hacia afuera de la tierra.

6. Inconveniencia o conveniencia de escarificar en direcciones perpendiculares:

La escarificación en direcciones perpendiculares entre sí "escarificación en cruz" hace el trabajo más difícil y es más severo para las traillas o cualquier otra maquinaria de excavación, por lo que debe evitarse cuantas veces sea posible. Sólo deberá usarse cuando la escarificación en una dirección no afloje adecuadamente la formación. Únicamente en los materiales sumamente tenaces se ha visto que este sistema incrementa la eficiencia de carga de tractores con cuchilla o traillas lo suficiente para sobrepasar el tiempo y costo incrementando de esta forma la escarificación.

Sin embargo, la escarificación en cruz ayuda a romper el material que tiende a romperse en grandes lajas ó aflojará el material en el que las pasadas en una dirección-única producirá grietas profundas. Cuando el material es extremadamente difícil de penetrar, la escarificación en cruz frecuentemente separa los planos de fractura dejados por la pasada inicial.

Aunque esta forma de escarificación requiere tanto como el doble o más de las pasadas de escarificación en una dirección, ello muchas veces permitirá que un escarificador pueda ser usado donde en otra forma sería necesario usar explosivos.

7. Remoción del material escarificado:

Nunca debe usarse un tractor con cuchilla o traílla antes de escarificar el material a una profundidad mayor. Siempre debe mantenerse por lo menos algunas pulgadas de material escarificado sobre o por encima de la formación aún no escarificada para proveer un colchón de material para el tractor con objeto de proporcionar tracción. El coeficiente de fricción entre roca y roca, es considerablemente más elevado que entre roca y los carriles de acero del tractor.

8. Escarificación en tándem, cuando es necesaria o aconsejable:

Cuando se agrega un segundo tractor ya sea para empujar o para halar el tractor escarificador, se logra una combinación que incrementa el campo de acción del escarificador dentro de los materiales más duros. Muchas veces solo una pequeña parte del total de roca en un proyecto, es tan duro que un tractor solo con su escarificador pueda ma-

nejarlo. Resulta más barato agregar un segundo tractor que provea la fuerza que le falta al primero que usar la barrenación y voladura para terminar el trabajo. Cuando la producción en escarificación cede a 115 o 150 metros cúbicos por hora o menos, puede decirse que la operación es marginal, agregando el segundo tractor casi dobla los costos, pero si la producción es incrementada en unas 3 o 4 veces, como a menudo sucede, la economía es evidente.

La clase de situación que podrá garantizar el uso de operaciones en tándem, fue experimentada por un contratista en una formación de roca bien consolidada. Él empezó escarificando el corte con un Caterpillar D9 equipado con escarificador número 9, pero la roca era cada vez más difícil hasta llegar a bajar la producción a 115 metros cúbicos por hora. Entonces él tomó otro D9 asignado a una operación de desmonte y lo puso a trabajar empujando al primero y la producción en tandem sobrepasó los 380 metros cúbicos por hora. Cuando las áreas difíciles fueron escarificadas, el empujador fue devuelto a su operación anterior y el primer tractor continuó el trabajo sin ayuda. Aquí doblando la potencia y la presión de penetración, produjo un rendimiento $3\frac{1}{3}$ de veces mayor.

La producción incrementada fue obtenida con considerablemente menos desgaste que el producido en el tractor escarificador cuando estaba trabajando al límite más bajo de producción. En este ejemplo el costo del segundo tractor debe ser carga contra la operación de escarificador solamente por el tiempo que él fue usado realmente, por tanto el costo promedio del trabajo total de escarificación, no sería mucho más alto que para el tractor escarificador.

Un tractor con cuchilla con control hidráulico en

la parte trasera del tractor agrega fuerza de penetración sobre el escarificador cuando él está equipado con una plancha de empuje. El tractor con cuchilla operado con cable suma por lo menos el peso de la hoja. La experiencia ha mostrado que halar el tractor equipado con escarificador es más eficiente que empujar sobre el mismo escarificador. Esto es debido a que la hoja tiende a empujar el diente del escarificador de lado a lado, más bien que permitir que él siga la trayectoria de mínima resistencia.

Hay escarificadores contruídos especialmente para operación en tándem.

Esta forma de operación, produce esfuerzos anormalmente altos sobre los cilindros y barras de los pistones de los escarificadores montados, debido a que la fuerza agregada sobre la punta y el diente del escarificador reacciona a través del sistema de palancas del diente produciendo mayores fuerzas hacia arriba sobre los componentes hidráulicos.

También puede imponer severas fuerzas hacia abajo sobre las barras de los pistones cuando el frente del tractor delantero se levante y el escarificador es mantenido dentro de la tierra por el tractor trasero. Para proteger los partes hidráulicas contra estos daños debe colocarse una cadena o cable alrededor de la viga del escarificador para limitar la extensión de la barra del pistón.

Esas fuerzas pueden ser mantenidas a un mínimo localizando el punto de empuje tan bajo como sea posible el escarificador. La escarificación a profundidades de no más de 50 cms. es también una buena medida cuando se opera en tándem. Una profundidad uniforme de solamente 25 cms. es usualmente más recomendable que profundi-

des variando de 25 a 60 cms., particularmente si se usan traíllas.

9. Programación de Operación de Máquinas

Los tractores escarificadores pueden ser programados para otro trabajo tan pronto como han alcanzado su cuota. En muchas obras ellos pueden ser usados parte del tiempo para empujar o accionar cuchillas y aun mantener material escarificado disponible. Esto es donde el segundo tractor puede ser necesario solamente para una pequeña parte de la roca más tenaz.

10. Explosivos previamente a escarificación:

Las rocas demasiado difíciles de escarificar pueden a menudo ser ligeramente aflojadas previamente con una ligera carga de explosivos y entonces exitosamente escarificar.

La experiencia con esta técnica de escarificación es muy limitada y envuelve comparaciones más cuidadosas del costo. Es generalmente empleada y recomendada en trabajos donde se desea usar traíllas para cargar y transportar el material. Así un costo relativamente pequeño de una carga ligera afloja la roca lo suficiente para permitir la escarificación. Así la escarificación habilita a las traíllas para la operación.

Se cree que esta práctica puede usarse ampliamente para lograr economías en el costo del movimiento de formaciones rocosas altamente consolidadas.

2.2.4 Estimación de la Producción del Equipo de Escarificación:

Es imposible anticipar, con cierta precisión la producción que se obtendrá del equipo escarificador en un proyecto dado por emprenderse; generalmente, ello solo es posible, cuando se tiene experiencia de proyectos ejecutados anteriormente sobre materiales semejantes. Sin embargo, es imprescindible cuando se va a presentar una oferta, poder preestimar con razonable aproximación el costo de los renglones de excavación de roca, ya que siendo éstos - los más elevados, serán determinantes en el costo total, salvo que los materiales rocosos representen apenas una mínima parte del volumen total de tierra comprendida por el proyecto. De todas maneras, la excavación en roca, comprende un renglón apreciable en todo proyecto.

Cuando se está planificando el equipo, para atacar el proyecto, es necesario determinar para los renglones de roca, después de saber si ésta es escarificable, si los costos de escarificación son más bajos, iguales o más altos que los de barrenar y volar con explosivos; en caso de resultar lo último podría decirse como lo he expresado anteriormente, que la roca "no es escarificable" bajo el punto de vista económico y práctico. Si los costos resultan más bajos, se planificará el equipo decidiendo el uso de tractores equipados con escarificador.

Ahora bien, para poder preestimar los costos, se necesita la conjugación de dos grandes factores:

1. Producción del equipo escarificador.
2. Costos de operación del equipo escarificador.

RENDIMIENTOS ALCANZADOS CON ESCARIFICACION EN VARIOS PROYECTOS

Material	Equipo	Producción
Piedra Arenosa	Cat. D 9- No. 9	425 yd. ³ /hora
	D9G-No. 9B	256 " "
Pizarra	D9G- No. 9B	1210 " "
	D9G- No. 9B	2010 " "
Piedra Arenosa	D9G- No. 9B	400 " "
Piedra Caliza	Tandem D9G- No. 9B	2100 " "
Pizarra	D8H - No. 8B	1500 " "

NOTA: Los datos presentados en este cuadro fueron extraídos de la publicación de Caterpillar titulada: "Handbook of Ripping - A guide to greater profits".

Como ya lo he expresado en el prólogo del presente trabajo, la recabación de datos reales basados en la realidad nacional sobre estos dos factores, ha sido el móvil que inspiró e impulsó el tema del presente trabajo.

Sin experiencias obtenidas sobre proyectos realizados con anterioridad conteniendo materiales similares a los del proyecto para atacar, no es posible hacer preestimaciones con razonable precisión, por lo que debemos registrar todas las producciones y costos de equipos de excavación en cada proyecto ejecutado. Hay tres formas de llevar el control de la producción:

La primera, que es la mejor por basarse más en la realidad, consiste en nivelaciones a base de secciones transversales, antes y después de la escarificación tomando el tiempo empleado por el equipo para aflojar el volumen que nos arrojó el cálculo basado en las dos nivelaciones. Dividiendo ese volumen por el tiempo empleado, obtenemos la producción en metros cúbicos por hora para todo el equipo y si ésta la dividimos a su vez por el número de unidades escarificadoras, obtendremos la producción por unidad en metros cúbicos/hora/unidad.

Una segunda forma consiste en contar en un período dado, el número de traillas o unidades de transporte cargadas y estimando el volumen promedio por unidad, se obtendrá el volumen total removido durante ese período de tiempo. Como en el caso anterior, dividiéndolo por el número de horas comprendidas, obtendremos el volumen removido por hora ($\text{mt.}^3/\text{hora}$) y asimismo, dividiendo ese resultado por el número de unidades escarificadoras llegaremos a obtener el rendimiento en $\text{mt.}^3/\text{hora/unidad}$.

Otra tercera forma, menos precisa que las dos anteriores, pues da resultados incrementados en un 10 o 20% pero que es muy comunmente empleado, es el que se describe a continuación:

Observando una unidad en pleno trabajo, se anotan los siguientes datos:

1. Midiendo la distancia o longitud de cada pasada, se toma así un promedio de la velocidad de avances del tractor considerando todos los retrasos como patinadas, reducciones en la velocidad ocasionadas por parches de material duro, tiempo necesario para levantar el escarificador, girar, volver a bajarlo para empezar la siguiente, etc. Se mide la distancia entre pasadas y la penetración del diente. Con estos datos, estamos en capacidad de estimar la producción por unidad en mt.³/hora, y lo ilustraremos con un ejemplo: Tenemos un tractor D9 con escarificador No. 9 de un solo diente de su operación tomamos los siguientes datos:

Velocidad 1.6 kph
 Espaciamiento entre pasadas: 1 metro
 Longitud de la pasada: 100 metros
 Tiempos vuelta etc. 1/4 min.
 Penetración 60 cms.

Velocidad = 1.6 kph
 Tiempo por pasada:
 Variables = $\frac{100 \text{ mt}}{1.600 \div 60} = 3.75 \text{ min.}$

Fijos (1/4 m.) $\frac{0.25 \text{ "}}{4.00 \text{ min.}}$

Total 4.00 mins.

Si el operador trabaja 45 minutos/hora. No. pasadas por hora $\frac{45}{4} = 11$ pasadas/hora.

Volumen aflojado en cada pasada:

$$V = 100 \times 1 \times 0.60 = 60 \text{ mt.}^3 / \text{pasadas}$$

$$\text{Producción} = 60 \times 11 = 660 \text{ mt.}^3 / \text{hora.}$$

Recordando que, como se dijo anteriormente, los resultados obtenidos por este método son superiores a los obtenidos por el primero —es más exacto— en un 10 a 20%, si asumimos entonces un 15% la producción más probable será $\frac{660}{1.15} = 575$ metros cúbicos por hora

A continuación se presentan algunos datos de producción obtenidos en Estados Unidos sobre diversos materiales y con distintos equipos, pero estos solo se incluyen para llegar después de una comparación con los resultados obtenidos en trabajos de excavación de roca en Guatemala.

En vista de que la Dirección General de Caminos, siempre suele contratar como Excavación no clasificada, ningún contratista ha medido o estimado las cantidades de excavación en roca escarificable y roca que requiere voladura en forma separada, lo que casi imposibilita determinar la cantidad de roca excavada por ambos procedimientos en un período dado. Además, ellos acostumbran no planificar ya definitivamente si usarán escarificador o bien usarán explosivos; los contratistas asignan a todo proyecto -

de excavación, un tractor equipado con escarificador; prueban a escarificar y si ello resulta imposible, usan los explosivos con el correspondiente equipo de barrenación; dentro del equipo de barrenación, siempre se incluye algún número de martillos perforadores ya que aunque puedan operar las carretillas perforadoras, siempre, sobre todo en el acabado de taludes y al iniciarse la excavación en terrenos muy escarpados, son los martillos perforadores de mano los únicos que pueden operar. Por todo lo anterior resulta imposible, además de determinar la cantidad de roca correspondiente a una excavación (mensual o anual) sino también también separar la cantidad que fue escarificada de la que se removió con explosivos.

Se tuvo pues necesidad de recurrir al tercer método mencionado o sea el de observar la velocidad, penetración y espaciamiento entre pasadas de un tractor operado con escarificador.

El tractor era un Caterpillar D8H equipado con escarificador No. 8 B de vástago múltiple de tipo de gozne que estaba operando con 2 dientes. El espaciamiento entre los dientes era de 2.337 mts. La penetración media estimada era aproximadamente 40 cms. El espaciamiento entre las pasadas era de aproximadamente 1.16 mts. (aproximadamente la mitad de la distancia entre dientes, de modo que uno de los dientes rasgaba entre las dos líneas de acción de la pasada anterior.) El ancho total de la faja que estuvo escarificando durante la observación era de 16 mts. Durante tres observaciones de una hora cada una que se efectuaron a distinto tiempo, el tractor promedió 36 pasadas por hora, de 20 metros de largo. El material era piedra caliza.

En una hora o sea 36 pasadas, el tractor cubrió -

un ancho de 42 metros o sea que ya avanzó el área siguiente. Cubriendo un área total de $42 \times 20 = 840$ mts.² que con una profundidad media de penetración del diente, de 40 cms. representa un volumen por hora de $840 \times 0.40 = 336$ metros cúbicos. Considerando que este método de estimación, produce resultados con un error en exceso de 10 a 20 por ciento se deduce una producción efectiva estimada de unos 280 mts.³/ hora.

2.2.5 Estimación de los Costos de Escarificación:

Como se dijo en el punto anterior, los costos de escarificación por metro cúbico de material escarificado, son determinados por dos factores únicos:

- a) Producción del equipo en metros cúbicos o toneladas de material, por unidad de tiempo-hora, día, semana, etc. y
- b) Costos de posesión y operación del equipo por unidad de tiempo, debiendo tomarse para ésta, las mismas unidades que se tomaron para medir la producción-hora, día, semana, etc.

Habiendo discutido ya, en el punto anterior - 2.2.4 - la forma de estimar la producción del equipo toca ahora, entrar a estudiar los costos de operación del mismo.

Como para toda clase de equipo mecánico, los costos de operación del equipo escarificador, se dividen en:

Costos fijos

Costos Variables

Costos Fijos:

Comprenden depreciación, intereses, seguros, - impuestos, almacenaje, etc.

Estos son costos fijos a lo largo del año o mes y se reducen a costos por hora, de acuerdo a las horas trabajadas por año, que son variables de un equipo y proyecto a otro, así como es también variable el número de horas de vida útil del equipo lo que hará que la depreciación por hora sea mayor o menor según que el número de horas útiles sea menor o mayor respectivamente.

Según las condiciones de operación varía la vida útil del equipo. La vida útil varía también con el equipo y unidades de que se trate. A continuación se presenta un cuadro donde se indica la vida útil de diferentes partes o unidades del equipo escarificador y para diferentes condiciones de operación: vida útil en hora -entre paréntesis años-

<u>Unidad</u>	<u>Condiciones</u>		
	<u>Excelentes</u>	<u>Medias</u>	<u>Severas</u>
Tractor de Oruga	12000 (6)	10000 (5)	8000 (4)
Escarificador	12 000 (6)	10000 (5)	8000 (4)
Controles	12000 (6)	10000 (5)	8000 (4)
Puntas de dientes escarificador	240	8	1

En condiciones muy severas, cuando se escarifica sólo con un diente, a menudo se estima una vida útil de una hora para las puntas de los dientes.

Además, cabe recordar, que en el cálculo de la escarificación debe tomarse en cuenta el precio o valor total del equipo puesto ya en condiciones de operar en el proyecto así como también si el equipo podrá ser vendido, una vez terminado el trabajo y su valor de rescate.

Cuando se presenta el caso de partes del equipo con vida útil muy diferente al resto como el caso de las puntas de los dientes cuya vida varía dentro de un valor medio de 1 hora, mientras que para el resto es de unas 8000 horas, para servicio severo, deben tratarse por separado, encorrrar se su costo por hora luego sumarlo a los costos por hora del resto del equipo.

En cuanto a los intereses, seguros, impuestos, etc. son también costos fijos a lo largo del año y se reducen a costos por hora en la misma forma que los anteriores. Cabe la aclaración que los impuestos de importación siendo considerados en el precio del equipo, puesto en condiciones de trabajo en la sede del proyecto, se incluyen dentro de la depreciación.

Los intereses se calculan sobre la base del capital promedio. El almacenaje es fijo, casi sin importar el valor de la maquinaria sino solamente el espacio que ocupa y la clase de protección que requiere.

Los costos variables comprenden, propiamente los costos de operación y mantenimiento, que varían con el número de horas trabajadas. (Los costos fijos, aunque se

reducen a costos por hora, son como ya se dijo, constantes durante todo un año; no importando cuántas horas se trabaje en el año (1500, 1800 o 2000 horas, el costo anual será siempre el mismo).

Los costos variables comprenden:

- Combustibles: Diesel
- Gasolina motor de arranque

- Lubricantes: Aceite de motor
- Aceite de transmisiones
- Grasas de cojintes

- Mantenimiento y Repar. Filtros
- Otras piezas que deben ser cambiadas, etc.

- Mano de obra de operación
- Mano de obra de dirección y supervisión.

El consumo de combustibles varía con la potencia de la máquina y con el tiempo efectivo de operación: A costúmbrese considerar la potencia requerida del motor, para realizar el trabajo y no la potencia máxima que puede producir la máquina ya que es sumamente remoto que una máquina sea forzada al 100% de su capacidad. Para estimar la potencia requerida se introduce un factor conocido como factor de operación y que es el producto del factor mecánico de la máquina, o sea la fracción decimal de su po-

tencia máxima a que está trabajando y el factor de tiempo que trabaja, expresado también en fracción decimal. Los tiempos efectivos trabajados por hora son aproximadamente para tractores de oruga, los siguientes:

	<u>Min. trabajados por hora</u>	<u>Factor tiempo</u>
Jornada diurna	50	0.83
Jornada nocturna	45	0.75

Es opinión personal, que no debe considerarse la reducción de potencia del motor debido a la altura sobre el nivel del mar, a la cual opera, pues la eficiencia, analizando su significado, representa o expresa, La porción de la energía suplida por cada libra o litro de combustible quemado por la máquina que es aprovechada o entregada por ésta al volante o más bien a la barra de tiro.

Es decir, que el hecho de que la potencia que el tractor pueda desarrollar a determinada altura sobre el nivel del mar, se debe a una reducción en la eficiencia mecánica del motor y no significa que forzosamente se reduzca el consumo de combustible pues habrá, será una reducción en el número de HP por libra o litro de combustible consumida por hora.

Para estimar el consumo de combustible de una máquina puede partirse del hecho que: (Un motor de gasolina consume por hora, aproximadamente 0.06 gals. por HP. (0.23 lt/HP)).

El consumo por hora de un motor de Diesel es aproximadamente 0.04 gal/HP (0.15 lt/HP).

Si una máquina de Diesel está operando al 80% de su capacidad máxima 240 HP -y el factor de tiempo es - 0.75 o sea que el operador trabaja 45 minutos efectivos por hora, el factor de operación sería $0.80 \times 0.75 = 0.60$, la potencia que está siendo requerida es $0.60 \times 240 = 144$ HP y su consumo será en consecuencia $0.04 \times 144 = 5.75$ gal/h.

El costo de lubricantes puede dividirse en costo de los lubricantes consumidos en la operación y costo de los cambios de lubricantes realizados, para mantener siempre - buena lubricación.

El consumo de lubricantes es aproximadamente de 0.006 lbs. por HP y por hora para un factor de operación - de 1.00.

El costo de los cambios, varía con las condiciones de operación que dictan la frecuencia con que éstos - han de ser llevados a cabo y de la capacidad del depósito de lubricante.

Otros lubricantes son los de las cajas de transmisiones, aceites para sistemas hidráulicos de control, grasa para cojinetes y otros usos, etc.

Las reparaciones, para los trabajos de escarificación que imponen condiciones sumamente severas, tienen - costos del orden del 100% de la depreciación y en casos donde se trabaja en roca altamente abrasiva, esos costos se - rán mayores del 100%.

En la mano de obra, se presenta un caso especial: cada máquina tiene un operador, cuyo salario por hora incluyendo las prestaciones laborales la cuota patronal

del IGSS es cargado a esa máquina, pero hay cierto personal que debe ser cargado al grupo entero de máquinas bajo su control como es el caso del personal de dirección y supervisión del frente en que trabajan, el personal auxiliar como peones, ayudantes, etc. y el personal de mantenimiento como mecánicos, ayudantes de mecánicos, engrasadores, etc.

Al calcular la depreciación se toma en cuenta, junto con el tractor, el escarificador, los controles y en general las partes que tienen una vida útil semejante a la del tractor pero las puntas intercambiables, cuya vida útil ya se dijo era de una hora, más o menos, para condiciones de servicio pesado, deben considerarse aparte, deducir su costo por hora y sumarse a los costos variables. A continuación se presenta un resultado en el cual se muestran los costos fijos y variables obtenidos para Guatemala traducido también a costo por metro cúbico.

Obtenidos los costos de operación por hora del equipo y con base en la producción también por hora, del equipo según se vió en el punto anterior, estamos en condiciones de calcular el costo por metro cúbico de roca aflojada, dividiendo el costo de operación Q/hora por la producción m^3/hora .

Costo de operación de un D8H con escarificador:

Precio en Guatemala	Q. 80,000.00
Vida útil: 4 años (8000 horas)	

Depreciación por año Q.20 000.00

Depreciación por hora 10.00

$$\% \text{ de inversión } \frac{4 + 1}{4 \times 2} = 62.5$$

Capital promedio de inversion Q.50 000.00

Gastos de inversion 13% = 6 500.00

Depreciación por año Q.20 000.00 10.00/h

Gastos de inversión 6 500.00

Costos fijos por año Q.26,500.00

Costos fijos por hora 13.25

Costos variables:

Combustibles:

Diesel: $0.04 \times 270 \text{ HP} \times 0.80 = 8.64 \text{ gal/h.}$

a Q.0.21/galón 1.82

Gasolina motor de arranque 0.05

Lubricantes: Aceite carter

$$\frac{0.006 \times 270 \times 0.8}{7.4} = 0.1875$$

= 0.17 + 0.06" 0.23 gal/h a 1.. 0.37

Aceite para sistemas hidráulicos 0.05

Grasa 0.05 lb/hora a 0.27 lb. 0.02

Total lubricantes	0.44
Combustibles	1.87/h
Lubricantes	0.44
Total combustibles y lubricantes	2.31
Reparaciones y mantenimiento:	
100% de Depreciación	<u>10.00</u>
Total máquina	<u>25.56</u>
Operador (incluyendo prestaciones)	<u>1.10</u>
Total por hora	Q. <u>26.66</u>

Conociendo ya la producción de un equipo escarificador en metros cúbicos por hora, y el costo de operación por hora para el mismo, estamos ya en capacidad de determinar el costo de producción por metro cúbico.

Habíamos determinado analizar un caso real, al final del punto 2.2.4, la producción de un tractor D8H equipado con escarificador de vástago múltiple.

La producción estimada fue de 280 mt.³/hora.

El costo de operación por hora para el mismo tractor es de Q.66.66/hora, sin considerar imprevistos y gastos generales. Tampoco se incluye utilidad, ya que éta propiamente dicha, ya no representa un costo para el que construye.

En estas condiciones, el costo de dejar un metro cúbico de roca, en condiciones de ser manejado por el equipo de carga y transporte es de:

$$\frac{66.66}{280} = Q.0.24$$

Originalmente se había obtenido un costo de ... Q.26.66, pero al agregar el costo de las puntas de los dientes del escarificador se obtuvo:

Vida útil: 41 horas (se asume condiciones severas)	
Son dos dientes; valor aproximado de las puntas	20.00
Costo total de las puntas por hora	40.00
Costo total por hora	Q.66.66

2.3 Explosivos:

La historia de los explosivos es bastante incierta. El primer uso de la pólvora, ha sido atribuido a los chinos, indúes y a los arabes; en el siglo XIII Roger Bacon (en Inglaterra) preparó escritos conteniendo instrucciones para la preparación de la pólvora negra.

Durante los tres siglos subsiguientes a Bacon, nadie se interesó por investigar la utilidad de la pólvora negra como fuente de energía para producir trabajo útil al hombre. Hasta el siglo XVII cuando principió a ser usada en explotación minera, sólo se la había usado en armas de fuego. En 1613, Morton Weigel, sugirió su uso en minas, pero nadie llevó a la práctica tal sugerencia. Sin embargo, sí existen registros claros de que un Tirolés llamado Kaspar Weindl hizo explotar un tiro en las minas Reales de Schemnitz en Ober-Beberstollen, Hungría en febrero de 1627. Después se usó la pólvora negra en las minas de estaño en Cornwall, Inglaterra.

En los días de la colonia, los Americanos dependen en gran parte, de la caza y por esa razón la fabricación de la pólvora se desarrolló rápidamente. En Milton, Massachusetts, se erigió un molino para su fabricación y en 1675 Edward Randall informó a Inglaterra que los colonos americanos estaban fabricando una pólvora tan buena y potente, como la Inglesa.

Ingenieros y mineros alemanes, empleados en las minas de Simsbury entre 1712 y 1739 se hicieron notables por su indudable familiaridad con el uso de la pólvora.

En el siglo XVIII y primera mitad del XIX, se des

cubrieron otros varios explosivos, pero la pólvora negra se guña siendo el de uso general.

Algunos canales azolvados fueron dragados con explosiones en Estados Unidos entre 1790 y 1850 siendo el más impresionante el Canal de Erie, el de Chesapeake y el de Ohio. Otro número de ferrocarriles estaba en construcción entre 1830 y 1850.

En 1831, William Bickford, en Inglaterra, al inventar la mecha de seguridad prestó una valiosísima contribución al uso civil de los explosivos.

En 1802, se inició la fabricación comercial de la pólvora negra, usando una composición similar a la empleada unos 150 años antes y era aproximadamente 75% de salitre, 15% de carbón vegetal y 10% de azufre.

En 1857 se produjo una mejora de gran importancia técnica y económica: Lamot du Pont sustituyó el nitrato de Potasio que era costoso, por el nitrato de sodio sa litre chileno — que era mucho más barato.

Por la misma época, en Suecia, Alfredo Nobel, siguiendo el descubrimiento de la Nitroglicerina, ocurrido en 1846 por Sobrero que la abandonó, y con la idea de reducir al mínimo los riesgos en su manejo, llegó a inventar la primera espoleta segura y eficiente que era una cápsula de estaño (más tarde de cobre) llena con fulminante de mercurio. Después Nóbél volvió sus actividades a lograr el propósito original de su antecesor y así en 1866 mezcló la nitroglicerina con la tierra de infusorios, cuya propiedad de absorber la nitroglicerina descubrió él mismo, con lo que logró transformarla, de un líquido muy difícil y sumamente

peligroso de mover, a una substancia sólida, sensitiva a la acción de un detonador pero relativamente insensibie a un golpe ordinario.

En 1870 se logró otro avance con relación a la potencia de la dinamita. Hasta entonces, la desarrollada por Nóbél tenía un 25% de material inerte (tierra de infusorios o diatomita) que no tomaba parte en la explosión. En ese año, James Gowden preparó otra mezcla en que sustituyó la diatomita por azúcar, carbonato de magnesio y nitrato de potasio obteniendo un explosivo mejor y más potente.

El primer trabajo de gran magnitud en el cual se empleó la dinamita fue la perforación del tunel Musconnetcong a unas 15 millas de Easton, Pennsylvania, para el ferrocarril del Valle Lehigh. Este tunel de un poco menos de 1.6 kms. de longitud, se principió en 1872 y en su perforación llegó a emplearse hasta 17,000 libras de dinamita por mes y se alcanzó un avance de 40 metros al mes.

En 1875, Alfredo Nóbél hizo otro descubrimiento de gran alcance. El disolvió algodón de Colodión en nitroglicerina y obtuvo una masa gelatinosa de un poder explosivo mucho más alto que la dinamita desarrollada por él; esta es esencialmente nuestra gelatina explosiva y precursor de las dinamitas gelatinas.

Las gelatinas explosivas, según los registros que tienen, fueron usadas en cantidad por primera vez, en la perforación del segundo acueducto de Croton para el abastecimiento de agua a Nueva York, construido de 1884 a 1890.

En 1935, apareció un nuevo explosivo: el Nitramon, que no contiene nitroglicerina. El componente principal de este nuevo producto es el nitrato de Amonio y tiene la característica de ser insensible a la acción de detonares comerciales, golpes, fricción y aun al impacto de una munición de arma de fuego, debiendo ser detonado con una carga impulsora. Hay varios tipos comerciales de este tipo de explosivos, según para el uso que sean necesarios.

Con respecto al uso de explosivos en Guatemala, el primer uso del que se tiene conocimiento para obras civiles, fue en la construcción del ferrocarril por el año de 1890. En construcción de carreteras, sin embargo, no fue sino hasta aproximadamente en 1920 cuando empezó a usarse los explosivos; para entonces se usaba la pólvora negra y la barrenación se hacía por medio de los llamados "Barrenos de golpe" o bien los "Barrenos de pulso", y fue en trabajos de ampliación y en la construcción de la carretera de Sanarate a Jalapa; con este sistema se trabajó hasta aproximadamente 1930, cuando se introdujo el uso de la Dinamita y de la compresora. De 1940 al 50 se incrementó el uso de dinamita y compresora, con taladros de mano. En 1950 en adelante, se principiaron a emplear las carretillas Perforadoras (Wagon Drills) y a su vez fue introducido el nitrato de Amonio como explosivo de usos civiles.

2.3.1 Rocas que requieren el uso de Explosivos

Se dijo anteriormente, que la Dirección General de Caminos clasifica como Roca todo aquel material que necesita ser barrenado y volado con explosivos para hacer posible su manejo por la maquinaria corriente de movimiento de tierras. Se dijo también que sin embargo, hay mate-

riales que siendo geologicamente clasificados como roca, como es el caso de pizarras bien estratificadas en laminaciones delgadas —menores de 10" a 12"— pueden ser escarificadas a costos razonables.

De todos modos, la respuesta para la pregunta — Cúales son las rocas que requieren el uso de explosivos? — es más que sencilla; esas rocas son las que no pueden ser escarificadas, asunto que ya fue tratado en el punto 2.2.1.

2.3.2 Tipos de Explosivos Existentes — Métodos de Detonación.

Haciendo un resumen del punto 2.3, podemos llegar a un resumen y decir, que los tipos de explosivos pueden dividirse primer en dos grupos principales:

Explosivos Deflagrantes y Explosivos Violentos.

Explosivos Deflagrantes o lentos:

Son aquellos que producen presión por inflamación progresiva. Practicamente el única que existe a la fecha, es la Pólvora negra. Se compone principalmente de Sa litre, cargón vegetal y asufre. Esta se fábrica en dos formas:

- 1) Pólvora de grano común.
- 2) Pólvora de gránulo esférico.

Este tipo de explosivos, son de relativamente poca potencia para ser usados en roca; su uso más común ha sido en las minas de carbón pero la gran cantidad de gases no

civos que produce, han hecho que se vaya abandonando en trabajos subterráneos. En vista de que como se ha aseverado, no es lo suficientemente potente, para su uso en roca, no nos ocuparemos más en ella.

Explosivos Violentos:

Son aquellos que explotan bajo la acción de un detonador, en forma sumamente rápida, casi instantánea.- Los tipos principales en uso son:

Dinamita
Dinamita Gelatina
Nitramón

Dinamita:

Es un explosivo violento cuyo componente principal es la nitroglicerina que absorbida por alguna sustancia sólida y absorbente la hace menos peligrosa en su manejo y transporte. La sustancia que la absorbe, divide las dimitas en dos clases:

- a) Dinamita preparada con nitroglicerina absorbida en material inerte, como la diatomita—dinamita original, de Nobel— aserrín de madera, etc.
- b) Dinamita preparada con nitroglicerina y materiales activos como azúcar, carbonato de magnesio, nitrato de potasio y otros.

Tales materiales toman también parte en la explosión por lo que el resultado es una dinamita más poderosa que la descrita en punto a).

Actualmente, ya se está empleando en mayor escala, una dinamita preparada, sustituyendo una parte de la nitroglicerina por una cantidad tal de nitrato de amonio - que permite mantener una potencia equivalente a dinamitas puras de grado 20 a 60%. Esos explosivos, resultan más económicos, menos peligrosos y preparados con ingredientes especiales, son prácticamente impermeables para la mayoría de los propósitos prácticos.

Otro tipo de dinamitas son las Dinamitas Gelatinosas que se producen disolviendo algodón pólvora en nitroglicerina, su propiedad característica es su consistencia - que varía desde la de un líquido grueso y viscoso hasta la de un producto duro como el hule. Es altamente impermeable, emite muy pocos gases nocivos en grado hasta 60%. Su poder es equivalente a las otras dinamitas a base de nitroglicerina pura.

Últimamente se está empleando en cantidades progresivamente crecientes el Nitrato de Amonio de tipo fertilizante que se usa como Agente Explosivo, ésto es que explota bajo la explosión de una carga inicial de un explosivo de grado más alto, como por ejemplo de una candela de dinamita de grado alto. El nitrato de amonio, por ser de forma granulada es simplemente vaciado dentro de los barrenos perforados, lo que lo hace muy práctico para barrenos ensanchados o de forma irregular permitiendo un mejor llenado y es usado sólo o bien mezclado con aceites combustibles lo que produce una mezcla explosiva más potente. La proporción más empleada es generalmente 94% de nitra-

to de amonio con 6% de aceite combustible y es la proporción de saturación.

Tipos de Detonadores:

Los métodos o tipos de detonadores que se usan para producir la explosión, dependen del tipo de explosivos a usarse.

Mecha de Seguridad:

Cuando se usa pólvora negra, como explosivo, no se usa más que una mecha que consiste de un núcleo de pólvora negra envuelta en productos textiles e impermeabilizantes. Una característica principal de toda mecha, debe ser la velocidad controlada de propagación de la llama que varía siendo más o menos de (98 a 130 segundos/metro) 46 a 61 cms. por minuto. La velocidad de propagación de la llama, varía con muchas y diversas condiciones como la altura sobre el nivel del mar, condiciones climatéricas y dentro de los barrenos con las condiciones del atacado o taqueo. Cabe aclarar, que una mecha es un dispositivo de propagación de una llama, no un detonador; lo cual no se requiere para inflamar la pólvora negra.

En otros tipos de explosivos, se requiere de un detonador de los que veremos adelante.

Fulminantes:

Son tubos o casquillos cerrados en un extremo -

que contienen una carga de uno o más explosivos altamente sensibles. Se usan cuando se emplea mecha de seguridad, - con cuya chispa detonan. Por ejemplo algunos fulminantes llevan en el fondo una carga de alta velocidad como tetrilo con una carga cebadora de azida de plomo y sobre ellas la carga de ignición. Encuentran más frecuente uso donde se requieren disparos de rotación.

Espoletas Eléctricas:

Estos son fulminantes diseñados y fabricados para detonar por el calor generado por una corriente eléctrica. - Al igual que los fulminantes de mecha llevan una carga base de tetrilo y otro explosivo muy sensible, un cebo de azida de plomo y una carga de ignición ya sea suelta o de tipo píldora. El dispositivo de encendido consta de dos alambres debidamente aislados y sostenidos en posición por un tapón de hule y un puente de alta resistencia de alambre anticorrosivo que une los extremos interiores de los dos alambres, debajo del tapón. El aislamiento de los alambres es de plástico. La ignición ocurre cuando pasa una corriente que a través de la alta resistencia genera la cantidad de calor suficiente para ponerla incandescente inflamando la carga de ignición y detonando la espoleta. Entre la espoleta eléctrica se puede distinguir también tres tipos a saber:

a) Espoletas Eléctricas Instantáneas:

Son las corrientes que producen la detonación en el instante en que pasa la corriente por el puente de alta resistencia.

b) Espoletas Eléctricas de Tiempo:

Son semejantes a las anteriores, pero difieren de aquellas en que entre la carga de ignición y el puente, se coloca un elemento de retraso que es un recipiente de metal que contiene un compuesto de pólvora que casi no produce gases al quemarse. De este tipo hay varias clases con diferentes intervalos de retardo así: 1) regulares, con períodos de retardo variando entre 1 y 2 segundos y 2) con mili segundos de retardo.

Cordón o Mecha Detonante:

Es un cordón que se usa para propagar una detonación iniciada por uno o más fulminantes o espoletas a to da la carga contenida en una perforación. Consiste en un cordón que tiene un núcleo de un producto explosivo altamente detonante, por ejemplo: Niperita (tetrinitrato de Pentacritritol) que es usado por fabricantes acreditados y que da velocidades de detonación de hasta 6,400 mts/seg., se acostumbra como práctica adecuada, hacerla detonar co locándole uno o dos fulminantes o espoletas eléctricas a lo largo del cordón y adheridas a él por medio de cinta adhesiva. La humedad no lo altera, sin embargo, cuando la ro ca está mojada, donde se iniciara la detonación, solo debe detonarse con un reforzador o con medio cartucho de dinamita gelatina de un grado aproximadamente 80%. Siempre que se usan fulminantes o espoletas, deberán colocarse de tal modo que el fondo de la cápsula apunte hacia la direc ción en que ha de propagarse la detonación.

2.3.3. Selección del tipo de Explosivos y de la Carga requerida, así como la colocación y distribución de las mismas para resultados óptimos.

En la selección del tipo de explosivos a emplearse, deben ser considerados varios factores que son:

Dureza de los materiales a ser removidos:

Los cuales nos llevarán a la determinación del grado del explosivo que habrá de usarse. Este como ya vimos anteriormente, representa la potencia comparada con el % de nitroglicerina contenida en una dinamita corriente. Otra característica del explosivo a emplearse, que es gobernada por la clase de material y la forma y tamaños finales en que éste debe romperse es la velocidad de la onda de la explosión. Cuanto mayor sea la acción rompedora que se requiera, mayor deberá ser la velocidad del explosivo. La densidad o sea cantidad de cartuchos de dinamita de 1-1/4" de diámetro y 8" de longitud, que contiene una caja de 50# es también determinada por la clase de material. Dinamitas de baja densidad son empleadas para materiales suaves, usándose las de alta densidad, para los muy resistentes.

Condiciones de humedad de los materiales y el medio en que se trabaja:

Cuando se trate de trabajos en lugares muy húmedos donde se llenan de agua los barrenos y bajo agua deben seleccionarse explosivos con características de impermeabilidad tales que las cargas exploten en cualquier estado, según las condiciones del terreno. Las dinamitas gela-

finas son las más indicadas para trabajar en lugares muy húmedos.

Condiciones de Salubridad:

Cuando se trabaja al aire libre, la producción de gases nocivos no representa peligro alguno para la salud de los trabajadores, pudiendo usarse cualquier tipo de explosivo que tenga capacidad y resistencia para el medio ambiente en el cual se trabaje, pero cuando se trabaja bajo tierra como en la excavación de túneles, es necesario emplear explosivos de mínima producción de gases nocivos. También son indicadas en este caso, las dinamitas geletinas por su mínima producción de gases nocivos.

La Temperatura de Congelación:

Representa muy pocos problemas en Guatemala, sin embargo, siempre se hace mención sobre la conveniencia de usar explosivos con temperatura de congelación inferior a las temperaturas mínimas registradas en las zonas de los proyectos.

Para ilustrar algo lo anteriormente expuesto sobre los factores de selección de explosivos, se dirá por ejemplo, que en trabajos a cielo abierto y sin problemas de humedad con materiales de mediana dureza, se ha hecho popular el uso de la dinamita de nitroglicerina y un poco de nitrato de amonio, de 40% de potencia. En materiales suaves como caliza, yeso, sal, archilla, etc., a cielo abierto y también sin humedad, puede usarse la dinamita amoniaca pero con proporción elevada de nitrato de amonio con

menor cantidad de nitroglicerina. Cuando se trabaja en condiciones de humedad muy rigurosas, en túneles o más - aún donde se suman ambas, es más indicado el uso de dinamitas geletinas amoniacaes.

Para la determinación de las cargas y su distribución debe considerarse el estado y consolidación del material y el estado en que necesitamos quede éste, después de la explosión para su manejo y el uso que le vayamos a dar. Mientras más consolidado esté el material, mayores serán las cargas a usarse por mt^3 de material a romperse. Para su cálculo puede usarse la siguiente expresión:

$$Q = M 12 R^3 K C$$

Q = cantidad de explosivo, en Kg.

R = distancia de acción del explosivo medida desde la superficie del material a volar - hasta el centro de la carga.

K = Constante que depende del material a romperse.

C = factor que depende de la localización y del atacado de la carga.

M = Factor que depende del tipo y grado de la dinamita empleada. Para dinamita corriente 40% M= 1.00.

Ver figuras y tables en páginas siguientes.

Cantidades usadas corrientemente son de 1.0 a $1\frac{1}{2}$ libras por metro cúbico de roca, de dinamita 40% para - cortes en trinchera en condiciones normales, considerando-

como material desde roca estratificada o pizarra, roca caliza semi dura o arenisca y en el caso más drástico, roca dura. - Cuando hay que volar pedruzcos grandes y aislados, conviene usar unas 2 libras de dinamita por metro cúbico. Cuando hay que usar perforaciones tan profundas como de 6 a 12 metros conviene usar cargas de $1\frac{1}{2}$ a $2\frac{1}{2}$ libras de dinamita - por metro cúbico de material a mover según la formación y potencia de la dinamita a emplearse.

La Dirección General de Caminos, por medio del Departamento de Construcciones, dentro de las "disposiciones Generales para el uso de explosivos" en la circular #004-68 y en punto 4 dice textualmente: En todo proyecto debe tomarse como base para la explotación un rendimiento de 1 metro cúbico por libra de explosivo, con un límite de tolerancia del 6%." Sin embargo, en el punto 5 de la misma circular dice: "en todo caso deberá prevalecer el criterio profesional en la aplicación del punto 4 de las presentes disposiciones."

Distribución de las Cargas:

La distribución de las cargas que naturalmente es la misma que la de los barrenos, depende del tipo y tamaño de perforadoras a emplearse, la profundidad de las perforaciones, la clase de roca y el uso final que se dará al material explotado, así como el sistema y equipo empleado para su transporte.

Si nos interesa obtener pedazos pequeños como - para producir agregado, las perforaciones deberán planearse de modo que los agujeros queden con poco espaciamiento entre sí, haciendo así que el producto de la voladura sean pe

dazos, de roca lo suficientemente pequeños, para ser cargados por una excavadora, como por ejemplo una pala mecánica o que pasen a través de la abertura de entrada de la trituradora. Lo mismo podría decirse para el caso cuando se han de usar para el transporte del material traíllas o mototraíllas, las cuales sólo pueden cargar material del tamaño menos posible y uniforme. Sin embargo, para lograr esto, el costo del número excesivo de perforaciones y explosivos, puede resultar tan alto que bajo el punto de vista económico se acepta la producción de algunos pedazos de roca de tamaño mayor.

Los agujeros de pequeño diámetro espaciados a poca distancia llevan una mejor distribución de los explosivos resultando de ello una fractura de la roca más uniforme, sin embargo, recalcando lo dicho anteriormente, un espaciamiento cerrado no se justifica si el costo de las perforaciones excede el valor de los beneficios que resultara de una mejor fractura.

Cuando el material ha de ser desperdiciado y movido por tractores de oruga con cuchilla, tomando en cuenta que lo único que interesa es que el tractor pueda mover los pedazos, lo indicado es el uso de perforaciones de gran diámetro que permitiendo cargas mayores de explosivos por agujero hacen factible un espaciamiento mayor entre barrenos, lo que reduce el costo de las perforaciones.

En el análisis de un proyecto para preparar las operaciones de perforación y voladura deben considerarse los tres factores siguientes:

1. El volumen de roca en m^3 por cada metro lineal de perforación.

2. La cantidad de explosivo en libras por m^3 de roca.
3. Las libras de explosivo por pie lineal de perforación.

Podemos estimar con anticipación un valor aproximado para cada uno de los tres factores mencionados anteriormente, pero posiblemente éstos serán modificados después de ejecutar perforaciones experimentales para lograr mejores resultados.

Las relaciones entre esos tres factores se ilustran en la tabla que se presenta a continuación titulada Datos de Perforación y Voladura. Los volúmenes de roca por metro lineal de agujero se basan en la profundidad útil de las perforaciones y no incluyendo los frecuentemente necesarios sub-taladros.

Las libras de explosivos por metro lineal de perforación son basados en un llenado completo de los agujeros con dinamita de 60%. Las libras de explosivo por metro cúbico de roca se basan en agujeros llenos a 100, a 75 y 50% de su capacidad total con dinamita. Cuando un barreno no se llena completamente con dinamita, el volumen restante debe ser atacado.

El tipo de roca a remover determina también el espaciamiento entre perforaciones que debemos usar. Por ejemplo, ciertas rocas que tienen tendencia a quebrarse en partículas pequeñas, en otras palabras, a desmenuzarse, permiten el uso de mayores espaciamientos sobre perforaciones, en cambio rocas que se parten dificultosamente necesitan espaciamientos más o menos cerrados dependiendo del tamaño final que deba tener el material después de ser volado.

2.3.4 Equipos de Barrenación:

La barrenación es la operación de perforar los agujeros dentro de los cuales se han de colocar las cargas de explosivos. Podemos dividir los equipos de barrenación en dos clases generales:

- a) Perforación a mano, y
- b) Perforación con equipos mecánicos.

El método de perforación a mano es, naturalmente el más antiguo, en él puede usarse: cincel y martillo, que es aún usado en trabajos de muy poca magnitud y categoría; barretas, barreno de golpe que es una cosa similar al cincel; barreno de pulso que similarmente a la barreta se opera dejándolo caer sucesiva y periódicamente sobre el mismo punto, hasta lograr la profundidad de barreno deseada.

La perforación mecánica se puede decir que nació con la aparición de la compresora, aunque también puede usarse el vapor o la electricidad para accionar los barrenos propiamente dichos. Sin embargo, la perforadora de vapor ha desaparecido casi totalmente y las eléctricas se emplean sólo cuando se cuenta con energía eléctrica a bajo costo y pueden lograrse las instalaciones sin dificultad y sin peligro de destrozos en los cables.

Un equipo de barrenación a aire comprimido, consta esencialmente de: compresores con sus tanques de aire y tuberías para la conducción de éste; una bomba para el agua de refrigeración también con sus respectivas tuberías y depósito y las pistolas taladros.

La compresora y bombas para el agua de refrigeración

ración, dependen en su tipo y capacidad de la cantidad y tipo de taladros que han de accionar. Entre los taladros se distinguen 2 tipos generales que son:

Taladros de Percusión, Taladros de Abrasión o Rotativos y Perforación por fusión:

Taladros de Percusión:

Es un taladro que desintegra la roca en partículas muy pequeñas por el impacto de golpes de aire repetidos. A este tipo corresponden las perforadoras de mano, también llamadas Martillos Perforadores que son taladros de tipo de percusión operados por aire, de un tamaño y peso tales que pueden ser sostenidos por las manos de un operario mientras está en operación.

Son clasificados de acuerdo a su peso tal como digamos: de 45 libras a de 55 libras. Una unidad completa de perforación consiste de: un martillo, barras de barreno y la broca o corona.

A medida que el aire comprimido circula por el martillo neumático, comunica a un pistón un movimiento alternativo con una frecuencia de unos 2200 impactos por minuto produciendo así el efecto de martillo. La energía de este pistón se transmite a la broca o corona por medio de la barra barrenadora. Cierta porción de aire circula por un conducto en la barra barrenadora para remover el material desmenuzado del agujero y enfriar la corona. Ese mismo conducto se usa para hacer circular agua en vez de aire cuando la perforación se hace en húmedo. Con cada golpe de pistón, la corona se hace girar un poco para evitar o reducir desgaste anormal.

Estos taladros generalmente se usan para perforaciones de hasta 3.00 metros de profundidad (10 pies). El diámetro mayor de agujero que puede perforarse con este tipo de taladros es de $2\frac{1}{2}$ " (6.35 cms.).

Perforadoras de Galería:

Son perforadoras similares en construcción y funcionamiento a las anteriores pero van montadas para perforar en dirección vertical hacia arriba o hacia abajo y en dirección horizontal, su peso varía entre 75 y 260 lbs. y pueden perforar agujeros de hasta $4\frac{1}{2}$ " (11.4 cms.).

Carretillas Perforadoras:

Este tipo es una variación de las anteriores pero son montadas en árboles; a su vez van montados sobre ruedas para proporcionar movilidad, son capaces de perforar hasta 30 pies (.9 mts.) o más de profundidad y hasta $4\frac{1}{2}$ " (114 mm) de diámetro. Puede perforarse con ellas a cualquier dirección desde verticalmente hacia abajo hasta ligeramente arriba de la horizontal.

Barrenas Batidoras o de Cable:

Son brocas de acero colocadas en barras pesadas que son suspendidas por cable y operan dejándolas caer, es decir por la energía potencial de su peso hasta de 5000 lbs. a la altura sobre la cual se sueltan (varios pies), sobre el agujero que debe mantenerse lleno de agua. Se consiguen para diámetros de aproximadamente 6" a 12" (15 a 30 cms.) pudiendo perforar hasta profundidades de 200 pies (60 mts.) y pueden perforar roca de casi cualquier grado de dureza.

Perforadoras de Pistón:

De reciente desarrollo es de funcionamiento similar a la carretilla perforadora, con la diferencia que la barra perforadora que es un tubo de 3-3/4 (95 mms.) de diámetro interior es fija al pistón y se mueve con él aplicando aproximadamente 200 impactos por minuto. La carrera y rotación del pistón es ajustable para lograr el mejor funcionamiento en el tipo de roca que sea. La broca se obtiene en diámetros entre 5-1/4 y 6" (13 y 15 mm.). La profundidad máxima de perforación que puede alcanzarse es de 70' (20 mts.). Los materiales desmenuzados son extraídos y expulsados por aire comprimido, al igual que con las carretillas perforadoras.

Taladros Rotarios:

Barrenos Neumáticos Autopropulsados (Blasthole Drills).

Estos son taladros autopropulsados montados sobre camiones u orugas. La perforación se consigue por una broca tricónica tipo rotatorio conectada al extremo inferior de un tubo perforador. Mientras la broca está girando dentro del agujero, se forza a través del tubo y la broca, un chorro de aire comprimido para remover el material desmenuzado y enfriar la corona. Con éstos puede perforarse agujeros hasta profundidades de 300 pies (90 metros), puede perforarse agujeros de diferentes diámetros y rocas suaves - piedrastales como la dolomita y piedra caliza dura, pero no es apta para rocas ígneas más duras.

Taladro de Municiones:

Son taladros que operan gracias a la acción abra

siva de municiones de acero templado, penetrando así entre la roca. Se usan para perforaciones muy grandes, de grandes diámetros y su velocidad de perforación es muy baja.

Perforación por Fusión:

Consiste en aplicar a la roca a perforar una llama producida por la inflamación de una mezcla de Oxígeno y un combustible como Kerosina. Debido a la alta temperatura (2200 °C) la roca se astilla o descascara. Algunos otros tipos de roca se funden al flujo del combustible. Un chorro de agua inyectado, dirigido contra la roca caliente, la rompe en fragmentos muy pequeños, expulsados fuera del agujero por la expansión del vapor.

En pruebas en el campo, sobre granito grueso, - perforando agujeros de 9" de diámetro se logró rendimientos de 20 pies por hora con un consumo de 2600 pies³ de oxígeno, 300 galones de agua y 65 libras de combustible.

2.3.4.1 Selección del Equipo Adecuado:

En todo proyecto, previo a la selección del equipo de barrenación, debe tomarse en cuenta información tal como clase de roca, cantidad de roca a ser manejada por hora y el tamaño final requerido, de la roca fragmentada; para seleccionar el diámetro y profundidad, su espaciamiento y de allí el equipo adecuado que es el que realiza el trabajo a los costos más bajos.

En la selección del equipo que producirá el trabajo con los costos más bajos, entran varios factores, entre los cuales se cuentan:

1. Naturaleza del terreno: Si la superficie del terreno es demasiado accidentada se deberá seleccionar para iniciar los cortes, herramientas portadas manualmente. Una vez se obtiene suficiente ancho y acceso se usan carretillas perforadoras (Wagon drills).
2. Profundidad requerida de los barrenos.
3. Dureza de la Roca.
4. Extensión a la cual debe quebrarse o fracturarse la formación.
5. Volumen del proyecto.
6. Tomajo final a que deben quebrarse las rocas para su manejo o tratamiento.
7. Disponibilidad de agua necesaria para la perforación.

Si el agua es escasa, la selección debe inclinarse por métodos de perforación en seco.

Para proyectos tales que las cargas de explosivos sean pequeñas, requiriendo por tanto diámetros pequeños hasta $4\frac{1}{2}$ " (114 mm) lo indicado está entre martillos, neumáticos y carreterillas perforadas. Entre ellas, la selección dependerá del volumen del proyecto y del estado o naturaleza y topografía del terreno. Si el proyecto es de un volumen lo suficientemente grande para que los gastos de transporte y adquisición, si tal es el caso, por metro cúbico resulten bajos y, si el terreno permite su movili-

ción fácil y rápida, la selección se inclinará por las carretilas perforadoras (Wagon drills), de mayor rendimiento - que los martillos neumáticos o taladros de mano. Si el terreno es tan escabroso que imposibilite construir acceso para las carretilas o el volumen del proyecto es tan reducido que los costos de transportación y adquisición de carretilas hagan subir mucho el costo unitario de barrenación, in dudablemente tendrá que decidirse por los taladros de mano (Jackhammers) sean cual sean las demás condiciones.

Cuando se requiere agujeros entre 5" y 7" (120 y 178 mm) de diámetro los taladros más empleados según el tipo y dureza de la roca a perforar, son barrenos neumáticos autopropulsados y las perforadoras de cable.

Si la profundidad de las perforaciones no excede de 70 pies (20 mts.) y la dureza de la roca es mediana, la decisión podrá recaer en cualquiera de ellas, dependiendo de otros factores. Los barrenos autopropulsados no trabajan satisfactoriamente en rocas de mayor dureza que las calizas y dolomitas.

Para perforaciones de más de 70 pies de profundidad en rocas más duras, con diámetros entre los límites - mencionados (5 y 7" - 120 y 178 mm) la perforadora de cable, es la más indicada. Entre ellas la de mayor producción es el barreno neumático autopropulsado.

2.3.5 Técnicas de Barrenación y Voladura

Hablar de una técnica definida de barrenación y voladura para cada caso que se presente, es algo sumamente difícil, si no imposible. Cada caso, requiere un estudio

particular de todas las condiciones que se presentan en él; en construcción de carreteras, se presentan cuatro casos ge
nerales a saber:

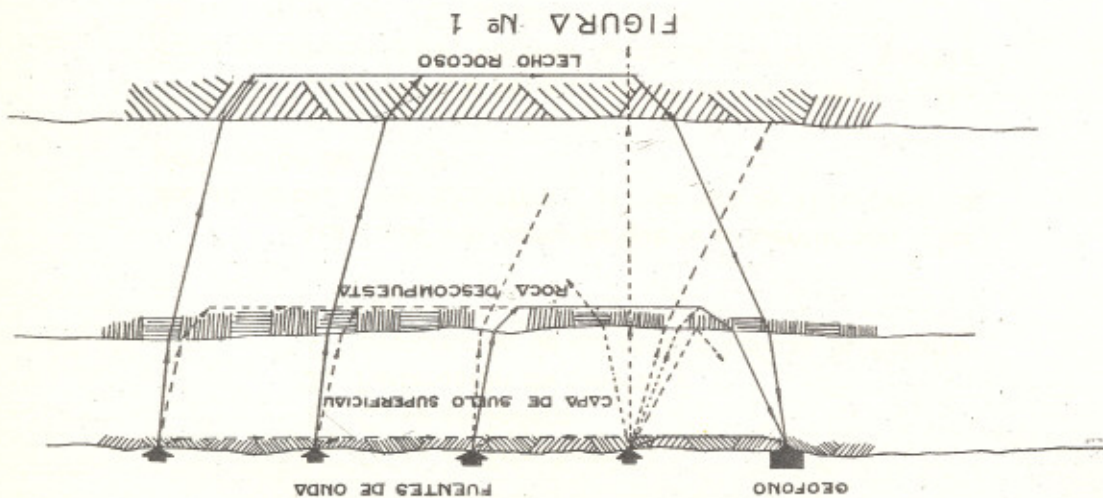
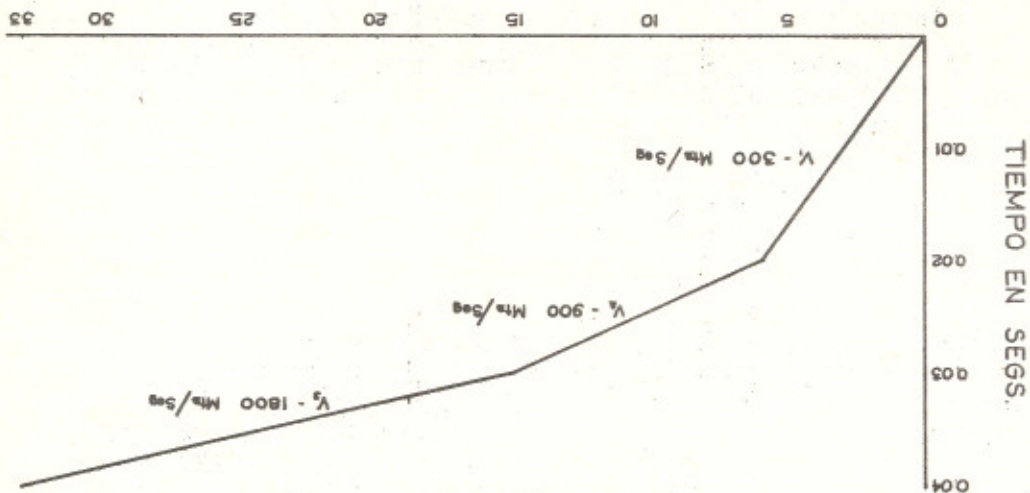
1. Corte en Trinchera
2. Corte en ladera
3. Perforación de túneles y
4. Explotación de canteras o bancos de materiales.

Los casos más comunes que se presentan son los dos primeros, luego el último y el más raro es el tercero o perforación de túneles.

La tendencia general en las barrenaciones y voladas es naturalmente, obtener la mayor eficiencia posible de los explosivos. En cortes en trinchera, no se cuenta al principio con una cara vertical libre que facilite la voladura, por lo que en las voladuras en pisos a nivel, la explosión tiende a elevar el material aflojado reduciendo así la efectividad.

Ante eso es necesario tratar de formar caras yerticales libres que al ser voladas, sean impulsadas hacia el espacio libre a un lado, con lo que se aprovechará más la fuerza impulsora de la detonación del explosivo. Esto se logra de la manera siguiente: como se ilustra en la figura 2.3.5.1 se perforan 2 pares de hileras de barrenos, 2 hileras A y 2 hileras B. Si los barrenos de las 2 hileras A son disparados con un adelanto de un corto intervalo de tiempo, sobre los barrenos B, al dispararse éstos últimos, como ya tienen el lado que da frente al otro par de hileras, a flojado por el primer disparo, la efectividad del explosivo, será mayor. Una vez que la maquinaria de carga y trans-

FIG. 2 GRÁFICA DISTANCIA-TIEMPO
(Fuente al Geofono)



porte ha removido el material aflojado por los dos primeros disparos, se tendrá ya dos frentes con caras verticales para mayor efectividad en los futuros disparos.

La altura de las caras dependerá de las profundidades de los barrenos. Podría decirse que eso es todo lo que puede generalizarse sobre técnicas de barrenación y voladura, pues como se dijo anteriormente, el tamaño y profundidad de los barrenos, así como su espaciamiento, depende del material, del tamaño final del material fragmentado, de la potencia de los explosivos de que se dispone. Si el material ha de ser despediciado, es decir que el tamaño final de los pedazos de roca fragmentada, sólo es necesario que sean manejados con cuchillas, puede usarse agujeros con gran espaciamiento y cargados con cargas fuertes, pudiendo usarse los agujeros ensanchados en el fondo lo que se logra reventando una o más candelas de dinamita, una por una, en el fondo de cada barreno, antes de llenarlos con su verdadera carga.

Esto permite aplicarles cargas fuertes a agujeros barrenados con taladros de diámetros menores y a mayores espaciamientos lo que trae una reducción en los costos de barrenación en roca muy dura. Mayores detalles sobre el procedimiento del ensanche de barrenos se encuentran en diversos libros sobre el tema y en la tesis titulada "Las Dinamitas, su aplicación en la Ingeniería, Diseño de un Polvorín, del Ing. Juan José de la Cruz Moreno.

Los barrenos se llenan generalmente hasta cierto porcentaje de su profundidad, con la carga de explosivos y resto se llena con material extraído del mismo durante la perforación y se aprieta contra el explosivo y las paredes del agujero lo más fuertemente posible, con objeto de que

la fuerza de explosión se aplique contra las paredes y material macizo y no se escape por la parte floja del agujero. Esta operación de gran importancia para la eficiencia del explosivo, se conoce como "atacado" y debe ser realizada con un trozo de madera, con firmeza pero mucho cuidado. Cuando los barrenos se llenan con bajo porcentaje de explosivos y se necesita distribuir éste en mejor forma a lo largo de toda la longitud del barreno, se colocan trozos alternados de explosivos con material de atacado, quedando naturalmente el extremo superior atacado.

Con respecto a la voladura, cada caso requiere un estudio para la técnica a emplearse. En general, el sistema de disparar cargas con intervalos de tiempo retrasados una con respecto a otras, da buenos resultados como en el caso mencionado al principio; en el caso de paredes verticales o caras ya abiertas o existentes, si se disparan con cortos intervalos de retraso, reventándose primero los más próximos a la cara vertical abierta y así en su orden sucesivamente hacia las hileras de barrenos más alejados, dará buenos resultados ya que al encontrar cada explosión una cara más débil, tenderá con mayor eficiencia a impulsar el material aflojada hacia ese lado, lográndose el uso de menores cargas.

En todos los casos mencionados anteriormente, la tendencia general es colocar cargas lo suficiente fuertes para fragmentar el material y dejar que la maquinaria de carga y transporte sea la que lo mueva; sin embargo, en algunos casos de corte en ladera, donde el material va a ser desperdiciado arrojándolo por un lado, puede resultar más económico el uso de cargas potentes disparadas en serie, empezando por las de la orilla del barranco, que arrojan por su propia fuerza el material fragmentado, reduciendo a un

ILUSTRACIONES Y ANEXOS, CONSULTAR
UNICAMENTE EN TESIS FISICA

VELOCIDAD DE PERFORACION EN VARIOS TIPOS DE ROCA

Tamaño Agujero plgs.	Clase Roca	Velocidad pies/hora	
		Martillos	Carretillas
1-3/4	Suave	15 - 20	20 - 35
	Media	10 - 15	25 - 30
	Dura	5 - 10	15 - 25
2-3/8	Suave	10 - 15	30 - 50
	Media	7 - 10	20 - 30
	Dura	4 - 8	12 - 22
3	Suave		30 - 50
	Media		15 - 30
	Dura		5 - 15
4	Suave		10 - 20
	Media		5 - 10
	Dura		2 - 6

mínimo el material que deba ser arrojado con -
cuchillas.

2.3.6 Estimación de la Producción del Equipo de Barrenación

Realmente, el rendimiento de un taladro o equipo de barrenación se mide solamente en metros de perforación por hora. A continuación se presenta una tabla con rendimientos de varias clases de perforadoras y en varios tipos de roca para Estados Unidos tomado del libro "Construction Panning Equipment and Methods" de Peurifoy (Tabla 11-8, pág. 260) que a su vez será comparada con datos de rendimientos obtenidos en Guatemala.

Aun cuando en este estudio nos interesan rendimientos por metro cúbico de roca, la perforación se mide en metros lineales por hora. Para estimar la producción requerida, medimos los metros lineales de perforación necesarios en un volumen dado de metros cúbicos y así puede hacerse la reducción que es útil sólo para efectos de estimar la capacidad necesaria del equipo a seleccionar. Por ejemplo necesitamos dinamitar un corte en trinchera de 18,000 mt.³ y tenemos para su barrenación 25 días hábiles disponibles. La profundidad promedio de los agujeros será de 15 mts., la longitud del corte será de 60 mts. y el ancho de 20 mts.; con espaciamiento de 2 X 2 mts. se requerirá 10 hileras de 30 barrenos cada una o sea 300 agujeros de 15 mts. de profundidad o sea 4500 mts. (14,760 pies) de barreno, con un tiempo de 25 X 8 = 200 horas, se requerirá -
 $4500/200 = 22.5$ metros por hora (74 pies por hora). Si el material es roca dura y el diámetro de las perforadoras es de 10 cm. (4") con carretillas perforadoras, el rendimiento

es de 0.60 a 1.80 mts. por hora, asumiendo una producción de 1.20 mts. por hora necesitamos $22.5/1.20 = 19$ carretillas perforadoras.

Resumiendo, se necesita $4500/18000 = 0.25$ mts. de barreno por metro cúbico de roca.

Podemos estimar también si calculamos su influencia a partir de su espaciamento así:

$$\begin{aligned} \text{sección } 2 \times 2 &= 4 \text{ mts.}^2 \\ \text{volumen } 4 \times 15 &= 60 \text{ mts.}^3 \end{aligned}$$

$15/60 = 0.25$ mts. de barreno por mt.^3 entonces para $18,000 \text{ mt.}^3$ la longitud total de barrenos será $18,000 \times 0.25 = 4500$ mts. resultado igual al anterior.

Sin embargo, la producción real, para efectos de costo, sólo se puede obtener después de que la voladura y remoción del material volado, por medio de una nivelación, que comparada con otra que se realizó antes de iniciarse las operaciones, nos da el volumen real volado y removido, toda vez que al contratista no se le va a pagar por metro barrenado sino por metro cúbico de roca excavada. Sólo podría presentarse la excepción de que el contratista subcontrate el trabajo de barrenación, pero en tal caso, los costos de barrenación por metro lineal puramente, solo interesan al subcontratista.

Como se dijo al final del punto 2.2.4, es casi imposible obtener registros sobre excavación en roca, y que en la construcción de carreteras, la excavación no se mide por separado para roca o para material común, sino se mide excavación "no clasificada" ya que así se contrata

por razones prácticas de conveniencia. Los datos aproximados que a continuación se presentan, se eligieron como se expresa a continuación:

De la hoja de "Análisis de ejecución" de las cantidades de trabajo reportadas en estimación dada para un período dado, de un mes, ya aprobada por la Supervisora respectiva, se tomó una cantidad de excavación correspondiente a una sección típica tal que de la observación ocular en ese estacionamiento, el material no rocoso únicamente comprendía una delgada capa superficial que para el mes a que corresponde el reporte había sido removida.

De los reportes sobre barrenación y explosivos - presentados por el contratista, se obtuvieron para esa sección y para el mismo mes:

- a) Cantidades de agujeros perforados.
- b) Cantidades de metros lineales perforados.
- c) Cantidades de candelas de dinamita empleadas.
- d) Kgs. de nitrato de amonio utilizados.
- e) Cantidad de fulminantes.
- f) Metros de mecha detonante (Primacord).

De los datos anteriores se llegó a determinar:

Longitud media para agujeros en mts.³ de roca por met. de barreno.

Además del total de metros barrenados en todo el mes, considerando que se trabajó en 2 turnos de 10 horas - casi todos los días - en total 54 turnos - lo que hizo un total de 540 horas, se dedujo el rendimiento medio de barre-

nación.

Los resultados fueron los siguientes:

Total de metros barrenados: 9147 mts.

Rendimiento de barrenación: 16,93mt/h

El equipo consistía en 2 carretillas perforadoras, (Wagon drills) y 3 martillos neumáticos de mano (Jackhammers), accionados por 2 compresoras Ingelsoll-Rand GYRO FLO 600 de 600 pies cúbicos por minuto.

La relación media individual resultó así: Para las carretillas perforadoras marca Gardner Denver de propulsión propia, la velocidad media de 5.64 mt/hora cada una.

La de las perforadoras de mano 1.84 mt/hora cada una.

De los reportes tomados para la sección seleccionada, se tienen los siguientes datos:

Volumen total excavado: 4,308 mt.³

Cantidad de agujeros excavados: 150

Metros lineales de barrenado: 437

De estos datos se deduce:

Longitud media por perforación: 2.91 mts.

Volumen de roca por metro barrenado: 9.85 mt³

Producción de barrenado por hora: (en volumen)

Para carretillas perforadoras $5.64 \times 9.85 = 55 \text{ mt}^3/\text{h}$

Para perforadoras manuales: $16.93 \times 9.85 = 166.76 \text{ mt}^3/\text{h}$

Para el equipo completo: $16.93 \times 9.85 = 166.76 \text{ mt}^3/\text{h}$

VALORES DE "RADIO DE BRECHA" Y FACTOR "K"
 PARA EL CALCULO DE CARGAS DE BRECHA.

Material	"R"	"K"
Tierra ordinaria	Todos los valores	0.10
Pizarra y madera	Todos los valores	0.45
Mampostería y Roca.	Menor de 0.91	0.70
	0.91 a 1.50	0.55
	1.50 a 2.10	0.50
	Mayor de 2.10	0.45
	Menor de 0.91	0.90
Hormigón denso	0.91 a 1.50	0.75
	1.50 a 2.10	0.65
	Mayor de 2.10	0.55
	Menor de 0.91	1.40
Hormigón Armado	0.91 a 1.50	1.10
	1.50 a 2.10	1.00
	Mayor de 2.10	0.85
	Menor de 0.91	

2.3.7 Costo de la Barrenación

Es estudio de los costos de barrenación no difiere básicamente de los costos para otro equipo. Si se tiene los costos por unidad de longitud de barreno, basados en experiencias en otros proyectos similares y se necesita preestimar el costo total de barrenación para un trabajo con explosivos, el trabajo se traduce a estimar cuántos metros de barreno se necesitan y luego calcular el costo de barrenado por simple multiplicación del costo por metro lineal de barreno por la longitud de barreno en metros. Si se ha terminado un trabajo de voladura, y se desea saber cuál fue su costo de barrenación, para usarlo en la preestimación de proyectos futuros similares, el trabajo consiste en determinar también la longitud total de barreno por metro cúbico de excavación. Dividir el costo total de barrenación por:

1. La longitud total de barrenación en metros - con lo que se obtendrá el costo en quetzales por metro lineal de barreno; y
2. El volumen total, excavado en esa operación en metros cúbicos, con lo que obtendrá el costo de barrenación en quetzales para cada metro cúbico de roca excavada.

Resumiendo, en expresiones matemáticas tenemos:

$$1. = \frac{L}{V}$$

$$q.1 = \frac{Qb}{L}$$

$$q_e = \frac{Q_b}{V}$$

Donde:

- L = Longitud total, en metros, que se barrenó en la operación.
- V = Volumen total real de roca, en metros cúbicos - que se excavó.
- Q_b = Costo/total de la barrenación, en quetzales.
- q_l = Costo real de la barrenación por metro perforado en quetzales.
- q_e = Costo real de perforación por metro cúbico excavado, en quetzales.

En trabajos de barrenación, el costo de operación por hora, podemos dividirlo en:

- a) Costos del equipo de relativamente larga duración, como las compresoras con su motor; las perforadoras, de menor duración que las anteriores (aproximadamente la mitad).
- b) Costos de piezas de muy corta duración, que se usan un corto tiempo y luego se eliminan como el caso de las brocas.

Sin embargo, éstas pueden ser evaluadas directamente en costo por metro ya que una broca, se inutiliza al cabo de tantos metros de perforación, según el material de que está contruida la broca y la dureza y el grado de abrasibilidad de la roca.

Las brocas de acero pueden perforar desde unos pocos centímetros hasta unas 9 a 12 metros dependiendo del tipo de roca. Estos tipos de brocas pueden ser reafilados - hasta unas 6 veces, debiendo considerarse el costo del afilado cuando ese es el caso.

Las brocas de carburo (carbide-insert Bits) son considerablemente más caras que las de acero pero su vida útil es mucho mayor. En granito se han logrado un promedio entre 7.62 y 9.00 metros de perforación por broca. En algunos proyectos donde las brocas de acero apenas alcanzan a perforar de 1.25 a 5 cms. antes de inutilizarse, las brocas de carburo alcanzaron un rendimiento de 59 metros - por broca (tomado del libro de Peurifoy-Construction Planning, Equipment and Methods). Para rendimiento en Guatemala puede verse los ejemplos al final.

Los costos de propiedad y operación por hora de las compresoras, que incluyen: depreciación, gastos de inversión, almacenaje, etc.; dependen del valor y por tanto del tamaño de la compresora. Los costos de operación incluyen: combustibles y lubricantes que dependen de la potencia del motor y por tanto también del tamaño o capacidad de la compresora, mantenimiento y Reparaciones, repuestos, salarios de mano de obra, etc.

El tamaño de la compresora o sea su capacidad, dependen del número de taladros que sean empleados, el tipo de éstos, ya que éste determina los requerimientos de aire comprimido lo mismo que el factor de diversidad. La tabla siguiente muestra los consumos aproximados de aire para algunos tipos de taladros.

CONSUMO DE AIRE

Tipo de Taladro	Tamaño							
Martillos Neu- máticos	Peso Kg	Prof. Aguj. Mts.			pie ³ /min.	mt ³ /min.	lt/min.	lt./min.
Jackhammers	4.5	0-0.60	15	25	0.425	0.708	425	708
	6.8	0-0.60	20	35	0.566	0.991	566	991
	11.3	0.6-2.4	30	50	0.849	1.415	849	1415
	15.9	2.4-3.6	55	75	1.557	2.124	1557	2124
	20.4	3.6-4.8	80	100	2.265	2.832	2265	2832
	25	4.8-7.2	90	110	2.548	3.114	2548	3114
	34	2.4-7.2	150	175	4.247	4.955	4247	4955
			Diámetro mm.					
Carretillas Per- foradoras (Wa- gon Drills)	3" ^W	(76.2)	150	175	4.25	4.955	4250	4955
	3½" ^W	(88.9)	180	210	5.097	5.946	5097	5946
	4" ^W	(101.6)	225	275	6.371	7.787	6371	7787

La potencia necesaria para producir la cantidad de aire comprimido que demanda el equipo completo, se puede estimar usando la fórmula siguiente:

$$hp = 0.1479 V \log_{10} \frac{P_2}{P_1}$$

donde V= volumen en pies³ por metro, de aire aspirado. P₂ y P₁ siendo una relación, son las presiones absolutas en cualquier unidad: Kg/cm², lbs/pulg², lbs/pies², etc.

Esta expresión ha sido deducida para una compresión isotérmica.

Si las condiciones de la compresión, no son esas, la compresión será aproximadamente entre adiabática e isotérmica pero no isotérmica. La fórmula entonces sería:

$$hp = \frac{n}{n-1} 0.0643 V \frac{P_2}{P_1} \frac{n-1}{n} -1$$

Para la compresión adiabática el valor de n es 1.4 para el aire.

Para reducir la potencia requerida cuando el volumen de aire se expresa en mt³/min. se multiplican los valores obtenidos de las fórmulas anteriores por la constante 35.314 que son los pies³ que contiene 1 mt³.

El consumo de combustible se estima sobre la misma base de todos los motores de combustión interna: 0.04 galones por hora y por HP. desarrollado para motores Diesel y 0.06 galones por hora y por HP para motores de gaso-

lina. El consumo de lubricantes también sobre la misma ba
se que se vió para tractores (Ver punto 2.2.5).

Hay que tener presente que el consumo de las -
perforadoras es m^3/min de aire ya comprimido mientras las
expresiones dadas anteriormente para la potencia requerida
se basen en el volumen de aire aspirado, por minuto a las
condiciones atmosféricas —a la presión y temperatura atmos
férica—.

En consecuencia, es necesario calcular el volu
men de aire que la compresora debe aspirar de la atmósfera,
para llenar los requerimientos de aire comprimido por parte
del equipo neumático. Esta reducción puede lograrse por
el uso de las leyes de los gases perfectos:

$$PV = MRT$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad V_1 = \frac{P_2 T_1}{P_1 T_2} V_2$$

Si :

- $V_1 =$ Volumen del aire a las condiciones atmosféricas.
- $P_1 =$ Presión atmosférica = 1.033 Kg/cm^2
- $T_1 =$ Temperatura absoluta atmosférica $^{\circ}\text{C} + 273$
- $V_2 =$ Volumen de aire comprimido, requerido del com
presor para alimentar el equipo barrenador.
- $P_2 =$ Presión absoluta a que debe servirse el aire com
primido que para esta clase de equipo es de más
o menos 6.0 a 7.533 kg/cm^2
- $T_2 =$ Temperatura del aire comprimido.

De esa manera tendríamos la expresión siguien-

calcular el total de mano de obra para todo el equipo y sumarlo al total de posesión y operación del total del mismo. El ejemplo ilustrado se presenta en valores imaginarios sólo con fines de ilustración así:

10	carretillas perforadoras de 4", con un costo por hora de Q.0.50 c/u	Q. 5.00	
2	compresoras portátiles de 600 pies ³ /min, con un costo de operación de Q.4.10 cada una		8.20
10	mangueras de 3/4" a Q.0.18 c/u	Q.1.80	
1	manguera de 1½" 0.20	0.20	<u>2.00</u>
	Total equipo	Q. 15.20	

Mano de obra:

10	operadores carretillas a Q.0.30	Q.3.00	
1	operador compresora	0.50	
1	mecánico y 2 ayudantes	<u>1.50</u>	
	Total mano de obra	Q. 5.00	
	Total costos/hora	<u>Q. 20.20</u>	

Para compresoras, las reparaciones representan a proximadamente un 75 u 80% de su depreciación.

En taladros las reparaciones equivalen también a un 80%.

La vida útil estimada para esta clase de equipos

es:

Compresoras portátiles eléctricas	8 años
Compresoras portátiles gasolina o diesel	6 años
Compresoras de camión	5 años
Barrenos rotatorios, montados	8 - 10 años
Barrenos neumáticos	3 años
Barrenos eléctricos	3 años

Como una ilustración se presenta una hoja típica como se usan para la determinación de los costos de barrenación.

A continuación se presenta, un ejemplo ilustrativo de cálculo de costo de barrenación, que se hizo para un trabajo de carreteras en Estados Unidos y que será comparado con costos reales obtenidos para Guatemala y que se presenta inmediatamente después del primero y corresponde al ejemplo mencionado en el punto 2.3.6.

Equipo Perforador : Taladro Gardner Denver 5½" montado sobre tractor de orugas.

Costo taladro por hora	\$ 11.27
Operador taladro, por hora	4.08
Combustible (5 gls/hora a Q.0.15 gl.)	<u>0.75</u>
Total operación del taladro, por hora	\$ 16.10

con una producción de 427 yda³/hora.
con un costo de \$ 16.10/hora.

tendríamos un costo por yda³ de $\frac{16.10}{.427} = \$ 0.04$

Según estimación del contratista, el costo de brocas, es por yda ³	<u>\$ 0.01</u>
Total costo de barrenación	<u><u>\$ 0.05/yda³</u></u>

Costo de barrenación:

Compresora de 17 mt³/minuto (600 pies cúbicos por minuto)

Precio en Guatemala Q.20 000.00

Vida útil 8000 horas.

Trabajando 20 horas al día —2 turnos de 10 horas resultaron en el mes 54 turnos de 10 horas o sea 540 horas — por mes, equivalentes a 6480 horas por año, resultando una vida útil en años de 1.25.

Depreciación por hora	Q. 2.50
Depreciación por año	16 200.00
% inversión : 90	
Capital promedio	18 000.00
gasto de inversión anuales	
13% de capital promedio	2 340.00
Depreciación por año	<u>16 200.00</u>
Costos fijos anuales	Q.18 540.00
Costos fijos por hora	2.87

Los costos variables, tomados del reporte mensual se tomarán en conjunto.

Carretillas perforadoras (Jackhammers)

Precio de venta aproximadamente	Q. 600.00
Vida util 6000 horas aproximadamente	
Costos fijos por hora	<u>0.12</u>

Barras de barreno con coupling y con una vida útil aproximadamente de 450 mts. cuestan por hora Q.1.60, y con base en 16.93 mts/hora cuestan por metro Q.0.09.

Brocas o coronas

Con vida util semejante a las barras de barreno - cuestan 0.91 por hora, y por metro 0.05

Resumen equipo completo:

2 compresoras a Q.2.87 cada una	Q. 5.74
2 carretillas perforadoras a Q.3.50 cada una	Q. 7.00
3 martillos a 0.12 cada una	<u>Q. 0.36</u>
Total fijos por hora	Q. 13.10
Para 540 horas son:	Q.7 074.00

Variables: del reporte mensual

Diesel 5626 gls.	Q.1 462.76
Aceite 30 120.58 gls.	192.93

Aceite Regal B 55.00 gls.	Q.	69.30
Aceite Rock Drill 55.00 gls.		69.30
Grasa 120 lbs.		<u>36.00</u>
Total combustibles y lubricantes	Q.	1 830.29

Reparaciones :

Compresoras	449.32	
Carretillas	190.83	
Martillos	<u>355.26</u>	995.41
Total costos variables		<u>Q.2 825.70</u>
Total equipo		Q.9 899.70

Mano de obra :

6 encargados de martillos a Q.0.40/ hora	Q.	2.40
2 operadores de carretilla a 0.60 / hora		<u>1.60</u>
	Q.	5.20
1 encargado general		<u>1.20</u>
	Q.	6.40
Total 540 horas 6.40 x 540 =		<u>3 456.00</u>
Costo total del mes		<u>13 355.70</u>

Se barrenó en el mes una longitud total de 9147 mts. dando un costo de barrenado por metro lineal de:

$$\frac{13355.70}{9147} = 1.46 \qquad 1.46$$

Sumando a este resultado:

Costo aproximado de barras de barreno, por metro lineal	0.09	
Costo de coronas	<u>0.05</u>	0.14
Costo total por metro barrenado	<u>1.60</u>	1.60

Con un rendimiento volumétrico observado -ver punto 2.3.6- de 9.85 metros cúbicos por metro de barreno- resulta un costo de barrenado por metro cúbico de roca de

$$\frac{1.60}{9.85} = 0.163 \text{ por mt.}$$

2.3.8 Costo de la Voladura

Realmente, el costo de la voladura incluye los costos de barrenación que constituye operación previa, inherente a toda voladura.

Habiendo sido tratado en los dos puntos anteriores, producción en 2.3.6 y costos por hora y por unidad de producción en 2.3.7, para la barrenación, nos toca ahora estudiar los costos para la voladura propiamente dicha.

En el análisis de estos costos, como en casos anteriores debemos reconocer una división que es:

- Costos de Equipo
- Costos de Suministros
- Costos de mano de obra
- Costos generales

Por equipo entendemos todo aquello que se deprecia en un período de tiempo más o menos largo o corto - pero que nos sirve para varias aplicaciones consecutivas, es decir, no queda inutilizado después del primero y único disparo como el caso de:

Explosores

Galvanómetros y otros accesorios para probar las espoletas, los circuitos, las propias máquinas explósivas, etc.

Equipo usado para el transporte de suministros.

Bajo suministros se incluye todo aquello que sirve para un disparo y se desintegra o desaparece por transformación química o mecánica, tal como:

Explosivos

Espoletas y otra clase de detonadores

Cordón Detonante

Mecha de seguridad

Conductores eléctricos

Combustibles, etc.

La mano de obra, cubre todo el personal encargado de explosivos, como: dinamiteros, ayudantes, piloto-de vehículos para transporte y distribución de los explosivos, supervisión, etc.

El renglón de costos generales diversos en la forma modelo que se presenta a continuación, cubre costos como el de remoción de la capa de suelo superficial, que generalmente debe hacerse por un tractor equipado con cuchilla empujadora, (se hace ver que esta operación es prèvia a barrenación, es también necesaria para lograr mayor rendi-

miento, en el caso de la escarificación) gastos de almacenaje de los explosivos, pago al representante del Ministerio de la Defensa y los custodios. Debe incluirse seguros por daños a terceras personas, que pudieran ser ocasionados por un disparo de explosivos, el costo del vehículo que transporta explosivos, ya que se mencionó bajo "equipo".

El modelo de forma que se presenta a continuación, cubriendo costos de barrenación y de explosivos, se llena con datos para mejor ilustración. Esos costos son calculados con base en los precios de equipo, suministros y mano de obra, actuales en Guatemala, así como algunos gastos legales, etc.

Análisis de los costos de voladura para el caso cuya producción y costo de barrenación fue ya analizado en los puntos 2.3.6 y 2.3.7.

Como ya se indicó en los puntos mencionados de las hojas de análisis de ejecución, se eligió para un mes de terminado una sección típica tal que de la observación ocular en el terreno, se dedujo que el material excavado ese mes, era únicamente roca. De los reportes de barrenación y explosivos para ese mes y el estacionamiento comprendido en la misma sección típica, se obtuvo los siguientes datos:

Explosivos	Candelas	peso kg.	prec. unit.
Candelas de dinamita Dinamita Gelamite #2 (65%) densidad 100 - candelas por caja de - 50 lib.	31.55	716	23.86 c/c.

Nitrato de amonio	1860	12 ¢ kg.
Metros de Primacord	2122	23 ¢ kg.
No. de fulminantes	6	50 ¢ c/u

El costo del material explosivo empleado, es el siguiente:

Candelas de dinamita	3155	752.80
Nitrato de Amonio	1860 kg.	213.90
Primacord	2122 mts.	488.10
Fulminantes	6 un.	<u>3.00</u>

Q.1 457.80

Almacenaje	10.00
Transporte	<u>10.00</u>

Q.1 477.80

Mano de obra:

6 hombres a 0.40/hora durante	
30 horas	72.00
Pago custodios	<u>24.00</u>

1 encargado general que ya se sumó en barrenación

Total voladura Q.1 573.80

Habiéndose volado 4308 mt.³ resulta un costo por metro cú bico de:

$$\frac{1573.80}{4308} = Q.0.365$$

Costo de barrenación	<u>0.163</u>
Costo total aflojar roca/mt. ³	0.528

Tanto estos costos como los obtenidos para escarificación, no incluyen el transporte del material aflojado - de su lugar nativo al lugar donde ha de ser depositado, a lo que aún debe sumársele gastos generales e imprevistos. Estos últimos se considerarán siempre que se trate de hacer una estimación previa para un proyecto futuro y su valor, expresado como un porcentaje del costo, varía de acuerdo con el grado de precisión con que se hayan estimado los renglones conocidos. Si éstos han sido calculados con bastante alta exactitud, el porcentaje de imprevistos a aplicarse será bajo tal vez un 5%, si se ha estimado sobre bases dudosas, podrá subir hasta 15% o 20%. Un valor promedio, usado es 10%.

El costo de transporte, varía con la distancia de acarreo y con el equipo que ha de ser usado, Resultará más bajo para distancias tan cortas como 20 metros usando tractores con cuchilla que cuando deba usarse pala y camiones o vagones para el acarreo, un promedio de Q.1.00/mt.³ - de transporte dará un costo total de 1.53/mt.³. Si a esto le sumamos:

Imprevistos 10%	15
Gastos Generales 10%	17
Tendremos un total de	1.85 mt. ³

Un caso sumamente especial, es el que se describe a continuación:

Se trata de la explotación de una cantera en -

Guatemala, donde casi todo el equipo esta totalmente depreciado; es decir que su valor en libros ya es cero; sin embargo, debido a un buen mantenimiento, su rendimiento es bueno y sin costos de depreciación, su costo de operación es bajo.

Naturalmente, en un contrato de construcción de carreteras, es muy raro que el contratista se lance a un proyecto con maquinaria ya depreciada, es más común que él adquiera el equipo necesario después de analizar el proyecto y entonces el caso será que el equipo deba depreciarse totalmente en el proyecto para el que se adquirió debiendo así pagar su depreciación total con el mismo proyecto.

El trabajo mencionado anteriormente, es el que se describe a continuación:

Material: Piedra caliza silicosa.

Equipo : compresora: marca: Gardner Denver
Modelo 600
Motor Cat 333 D
Capacidad: 600 pies³
/min (16.98 mt³/min)

perforadora: carretilla perforadora Gardner Denver

Diametro de perforaciones: 3½ (88.9 mm.)
Rendimiento promedio: 170³/dña 8 horas (51 mts/dña)
: 21.25³ hora (.6.4 mt-hora).

Espaciamiento entre agujeros 3.80 mts.

Espaciamiento entre líneas 3.20 mts.

Profundidad media de per. 12.00 mts. (40³).

Volumen por agujero 136 mts³ (407 Tons).

De los reportes de combustibles se observó:

- a) Horas trabajadas en total: 512 en 3 meses
metros perforados en 512 horas:

$$51 \times \frac{512}{8} = 3318 \text{ mts.}$$

Agujeros perforados en 512 horas:

$$\frac{3318}{12} = 276.5 \text{ agujeros}$$

Volumen correspondiente:

$$146 \times 276.5 = 40300 \text{ mt.}^3$$

$$= 112440 \text{ Tons. métricas}$$

Datos de costos:

Reparaciones - Compresor y Perforadora

<u>Mes</u>	<u>Valor en</u>	<u>Costo por ho-</u>
<u>Materiales</u>	<u>Quetzales</u>	<u>ra en Q.</u>

Julio Q. 37.36

Agosto 539.29

Sept. 0.00

Q. 576.65

Mano de obra:

Estimada en 10%

mat. 57.67

Q. 634.32

Q. 1.24

Combustibles (compresora)

Mes	Galones	Valor en - quetzales	Costo por ho- ra en quetz.
Julio	605.0	Q. 127.05	
Agosto	1194.3	250.81	
Sept.	1155.0	242.55	
	<u>2954.3</u>	<u>620.41</u>	<u>Q. 1.21</u>
		Q. 1254.73	<u>2.45</u>

Lubricantes:

Estimado de pot. del motor

0.175 gls/hora

89.6 gls x 1.54/gal.

Q. 137.970.27

Totales

Q. 1392.70

Q. 2.72

Mano de obra

1 operador: 3 meses a

207.34

Q. 622.02

1 ayudante: 3 meses a

100.10

Q. 300.30

Q. 922.32

Total mano de obra

Q. 922.32

Q. 1.80/h

Total M. de O. + equipo

Q. 2315.02

Q. 4.52/h

Costo de Brocas:

Brocas de Tungsteno con un precio de Q. 83.45 c/u

Reafiladas c/300^h a un costo de Q. 3.30 c/afilada,logrando una vida util total de 5000^h.

Costo = Q.0.10 por metro
 Q.1.20 por agujero
 Q.0.01 por mt.³

Total brocas Q.331.80

Q.0.65/hora

Resumen taladrado:		% de	% de	
Operación compresor y perforadora		Barrenado	B+ V	
Reparaciones	634.32	1.24/hora	24%	%
Combustibles	620.41	1.21/hora	24	
Lubricantes	137.97	0.27/hora	5	
Brocas	331.80	0.65/hora	12	
Mano de obra	922.32	1.80/hora	35	
Total	Q.2646.82	5.17/hora	100	

Explosivos :

Dinamita extra 75% - 25 Kg.	Q. 28.00
Supermexamón D 75 Kg. a 8.00/saco	24.00
Mecha explosiva 100' a 4 ¢ pie	4.00
Fulminantes ordinarios 2 de 8 ¢ c/u	0.16
Retardador 1 c/hoyo	0.83
	<hr/>
	56.99
Tomar	Q. 57.00 /per foración.

Cubriendo cada hoyo 146 mt.³
 Tenemos un costo de explosivos de Q.0.39/mt.³
 276 hoyos a Q.57.00 Q.15760.00
 Mecha de seguridad 10.00

Costo total de suministros Q. 15770.00

Costo explosivos por hora Q. 30.80/hora.

Mano de obra:

1 Dinamitero: 3 meses a Q. 300.00/mes Q. 900.00
2 choferes: 3 meses a Q. 90.00 c/u
mes 540.00
6 peones: 3 meses a 60.00 c/u mes 1080.00
Q. 2520.00

Asistencia militar: 1 coronel
2 soldados Q. 587.34

Total Q. 3107.34
Almacenaje explosivos 91.20
15 ¢ mes c/50 libras Q. 3198.54
Pick up dinamina Q. 5.00/hora 1280.00

Total suministros Q. 15770.00
Mano de obra 2520.00
Militares asistentes y al-
macenaje 678.54
Pick up acarreo 1280.00
Total Q. 20248.54 Diversos

Resumen total de explosivos

Suministros	Q. 15770.00	Q. 30.80/h	78%
Mano de obra	2520.00	4.92	12%
Diversos	1958.00	3.83	10%
	<u>Q. 20248.54</u>	39.55	100%

ILUSTRACIONES Y ANEXOS, CONSULTAR
UNICAMENTE EN TESIS FISICA

COSTOS TOTALES EN QUETZALES

	Total	Por cada metro lineal	Por barreno	Por Mt ³	Por Tonelada
Renglón:					
Barrenado	2 646.82	0.80	9.57	0.07	0.02
Voladura	20 248.54	6.10	73.23	0.50	0.18
Total	22 895.36	6.90	82.80	0.57	0.20

De los cuadros anteriores el primero muestra la distribución de los costos y sus respectivos porcentajes con relación a los totales y subtotales; el segundo representa los costos totales y por unidad de producción.

Como se dijo anteriormente, el equipo consistente de compresora y barreno así como también los detonadores ya están totalmente depreciados.

Como ese no es el caso común, sobre todo en la construcción de carreteras, vamos aquí a calcular costos con máquinas no depreciadas y así tendremos el siguiente ejemplo que es el que se usó para llenar la forma que mencionamos anteriormente.

Compresora:

Marca	: Chicago Pneumatic
Tipo	: Tornillo - Propulsado (Power Screw).
Modelo	: 600
Costo de compra	: Q.20000.00
Vida útil	: 5 años (10000 horas).
Los costos aparecen en el cuadro.	

Barreno:

Una carretilla Chicago Pneumatic cuyos generadores se ven en el cuadro.

Se trata de una carretilla autopropulsada, lo que

da costos muy altos.

Remoción de capa superficial:

Asumiendo que el espesor de la capa superficial de tierra común sea de unos 50 cms. si cada agujero cubre $3.80 \times 3.20 = 12 \text{ mt.}^2$ y son 276 agujeros, el área a limpiar era de 3312 mts.^2 y cubría un volumen de 1656 mt.^3 a un costo de unos Q.0.60 c/mt³ costó unos Q.994.00 que distribuido en 512 horas en que realmente se cubrió el trabajo dió un costo de Q.1.94/hora.

Al finalizar las operaciones en el cuadro llegamos a un resultado de 0.83 el mt.³ que comparado con 0.57 c/mt.³ vemos que el costo considerando la depreciación, es en un 45% mayor al costo de producción en la cantera mencionada. En este caso último y que es el corriente, los costos de barrenación por mt.³ suben hasta llegar a un 66% de los de voladura y un 40% del costo total, mientras que en el caso de operación con maquinaria depreciada el costo de barrenación apenas llega a 12.3% del costo total.

3. RESUMEN COMPARATIVO DE AMBOS METODOS

Vamos a analizar en el supuesto de que un tractor de 30 toneladas pudiera efectuar el trabajo, cuál sería el costo de producción.

Para ser más conciso, tomaré un tractor Caterpillar D-9G con escarificador No. 9 de un diente, penetrando una profundidad de 60 cms. y con un espaciamiento entre pasadas de 1 mt. La velocidad de avance de la máquina es de 1 Km/hora. El área a cubrir será de 3312 mts.² - más o menos digamos de 53 x 63 mts.

Adoptando la longitud de pasada de 53 mts. tardará los siguientes tiempos por cada ciclo:

$$c/pasada \text{ velocidad } \frac{1000}{60} = 16.6 \text{ mt/min}$$

$$\text{Tiempos variables } \frac{53}{16.6} = 3.2 \text{ mins.}$$

$$\begin{array}{l} \text{Tiempos fijos: girar} \quad 0.8 \text{ mins.} \\ \text{Total T.C.} \quad \underline{4.0 \text{ mins.}} \end{array}$$

Si el tractor trabaja 45/mins/hora.

$$\text{No. de pasadas } \frac{45}{4} = 11 \text{ pasadas/hora}$$

En cada pasada el tractor rasgará:

$$0.6 \times 1.00 \times 53 = 31 \text{ mt}^3/\text{pasada}$$

En una hora $31 \times 11 = 340 \text{ mt}^3/\text{hora}$.

El volumen total a mover es 40300 mt.³

$$\text{No. de horas tractor} = \frac{40300 \text{ mt}^3}{340 \text{ mt}^3/\text{hora}} = 118.5 \text{ horas}$$

Análisis del costo de operación del tractor:

Tractor Cat. D9G con escarificador No. 9

Precio en Guatemala Q. 95000.00

Vida útil 4 años (8000 horas) condiciones muy se
veras.

$$\% \text{ cap. promedio} = \frac{4 + 1}{4 \times 2} = \frac{5}{8} = 62.5\%$$

Capital promedio de inversión:

$$0.625 \times 95000 = 59375.00$$

Gastos de inversión = 13%	59375.00 = 7718.75
Depreciación por año	$\frac{95000}{4} = 23750.00$
	<u>Q.31468.75</u>

Total gastos fijos por año = Q.31468.75

Costos fijos por hora Q.15.74

Combustibles:

Consumo:

$$385 \times 0.04'' = 15.4 \text{ Gal/hora.}$$

Para un % de carga 80%
 12.3 Gals/hora a 0.25/galón = Q.3.08

Lubricantes:

Consumo:

$$\frac{0.006 \times 385}{7.4} + \frac{11.25}{50} =$$

0.31 + 0.23 = 0.54 gal/hora
 0.54 a Q.1.54 0.86
 Grasa p. tractor 0.05 #/hora
 a 0.25 ¢ libra 0.02
 Arranque 0.05

Costos Fijos		Q.15.74/hora
Combustibles	3.08	
Lubricantes arranque	0.98	4.06
100% de depreciación		
Reparaciones y mant.	15.74	
Total variables		<u>19.80/hora</u>
Costo total de operación		<u>35.54/hora</u>
Operador =	Q.1.50/hora	
Ayudantes 2 =	1.50/hora	
Total mano de obra		<u>3.00/hora</u>
Total final		<u><u>Q.38.54/hora</u></u>

Para una unidad que produce 340 mt³/hora, el costo por -
 mt³ será de $\frac{38.54}{340} = Q.0.12/\text{mt}^3$.

En este caso, vemos que el costo de la escarificación es casi $1/7$ del costo de la barrenación y voladura.

Si tubiéramos el caso de que al tractor le faltara fuerza supongamos que se necesitara de 60 toneladas métricas para hacer avanzar el escarificador, agregando otro tractor D9G ambos necesitarían desarrollar aproximadamente 30 toneladas cada uno.

Si consideramos que el coeficiente de tracción - para tractores de carriles sobre pisos de cantera es 0.55 y que el peso de un tractor D9G es de 30 toneladas métricas y el del escarificador es de 5 toneladas, el peso total del primer tractor sería de 35 toneladas y su tracción efectiva sería de $35 \times 0.55 = 19$ toneladas. No se logrará realizar nada usando 2 tractores D9G en tandem. Así mismo, usando 3 tractores D9G, teniendo que desarrollar cada uno 20 toneladas de tracción, ya habiendo visto que la máxima - desarrollable sería de 19 toneladas. Definitivamente podemos pues decir que donde un tractor de 35 toneladas de peso total, equipado no es capaz de avanzar con el diente - del escarificador enterrado, el procedimiento a seguir será la barrenación y voladura.

La topografía del lugar puede ser también factor decisivo. Un tractor con escarificador es incapaz de poder operar en lugares de pendientes muy fuertes y escarpadas, - debiendo usarse explosivos.

En cuanto a la dureza de la roca, el estudio sísmográfico combinado con el conocimiento del tipo de roca, puede indicarnos una división entre el campo de la escarificación y el de los explosivos. Los tres gráficos de la figura No.3 obtenidos a base de experiencia en el campo por

parte de fabricantes de equipo, nos indican esa división. - La roca Marginal es aquella cuyos costos de excavación son semejantes para los dos métodos.

En términos generales podría decirse, que donde un tractor de 30 toneladas y más o menos 400 HP al volante puede avanzar; el método de escarificación es bastante más económico que el de barrenación y voladura y esto puede ampliarse al uso de máquinas en tandem. Si el costo de operación de un tractor es de Q.38.54/ hora y para avanzar a 1 KPH, se necesitará de tres unidades más, el costo de las cuatro unidades sería $4 \times 38.54 = Q.154.16$ /hora y con una producción de 340 mt^3 /hora el costo por mt^3 sería de $\frac{154.16}{340} = 0.46/\text{mt}^3$.

Es indudable pues, que en rocas donde la escarificación es posible, ésta será mucho más económica que la barrenación y voladura. Sin embargo, hasta la fecha el número más alto de tractores operando en tandem que se ha usado es 3 y esto muy raramente.

Otra ventaja del escarificador es el hecho de no estar sujeto a las limitaciones, regulaciones y control legal que se ejerce sobre los explosivos en Guatemala.

Con respecto al peligro de explosión e incendio, parece ser que los combustibles, imprescindibles en toda operación de construcción mecanizada, son tanto o quizá más inflamables y peligrosos que los explosivos modernos a base de nitrato de amonio que requieren de detonadores especiales y muy violentos para hacerlos explotar.

Con respecto al peligro de daños a terceros oca-

sionados por las voladuras, también son más ventajosos los escarificadores que finalmente, permiten la operación continua de carga y transporte, mientras que en la excavación con explosivos, es imprescindible detener todas las operaciones y retirar el equipo y personal de la zona en que se excava, cada vez que se ha de efectuar un disparo.

4. CONCLUSIONES

- En Guatemala, no se ha tratado de hacer investigaciones sobre la relación entre velocidad de propagación - de una onda sísmica en un tipo de roca (geológicamente considerada como tal) y su disposición a ser escarificada.
- Debido a que el sistema de contratación en Guatemala solamente usa "Excavación no clasificada" el estado nunca separa los metros cúbicos de excavación en roca de los de excavación común, midiéndolo todo en globo, lo que hace imposible deducir un volumen medio mensual de excavación en roca.
- El costo de escarificación es más bajo que los costos de barrenar y volar con explosivos, siempre y cuando aquella sea posible para un solo tractor.
- La operación en Tandem no es económicamente práctica por la magnitud de la inversión requerida. Un tractor de 30 toneladas cuesta aproximadamente 95000.00 equipado con escarificador, que es aproximadamente - el valor de una compresora de $17 \text{ mt}^3/\text{minuto}$ (600 pies cúbicos por minuto) más 3 carretillas perforadoras cuya capacidad es aproximadamente de $3 \times 166.76 \text{ mt}^3/\text{hora}$ (ver punto 2.3.6: producción aproximada de una carretilla perforadora). La producción de un tractor de 30 toneladas y más o menos 400 HP al volante es de $340 \text{ mt}^3/\text{hora}$. Siempre, tomando en cuenta que un tractor pesado es imprescindible para la excavación común, es conveniente tener uno equipado con escarificador y antes de proceder a la barrenación, hacer en-

sayos para ver si es posible escarificar ya que el costo resultaría más bajo.

- Si se trata de adquirir todo el equipo para un proyecto dado, como el caso de una compañía nueva que se prepara para su primer contrato, la utilidad de estudios sísmográficos para relacionarlos con experiencias sobre escarificabilidad, resulta más notoria, toda vez que si el estudio diera datos satisfactorios y confiables, que combinados con la experiencia, indicaran la escarificabilidad del material en la totalidad del proyecto, como podría ser el caso en una zona poco montañosa, podría evitar la adquisición de equipo de barrenación y detonadores. En cambio, ya que un tractor pesado nunca puede ser omitido, lo único que se requiere es equiparlo con escarificador.
- Lo mismo puede decirse del caso en que, aunque la empresa ya tenga el equipo, éste debe ser transportado a una distancia muy larga donde los costos de transporte resultan muy elevados para cada unidad.
- Hay casos, en lugares sumamente montañosos en los cuales la topografía es tan accidentada que hace imposible la operación de un tractor pesado —no importando la dureza y estado del material— lo que impone la necesidad de iniciar el proyecto con explosivos.

5. RECOMENDACIONES

- 1 - Dedicar esfuerzos, tanto por parte del estado como de las compañías dedicadas a la venta, distribución y representación de maquinaria y equipo para construcción pesada, a la investigación geológica y sismográfica de los distintos tipos de materiales encontrados en las distintas regiones de Guatemala, relacionarlos y complementarlos con experimentación tanto sobre escarificación, como sobre barrenación y voladura para llegar a conclusiones sobre posibilidad, rendimiento y costos para cada tipo.
- 2 - Que el estado a través de la Dirección General de Caminos aproveche los trabajos que realice por administración para separar los renglones de excavación en roca y lleve los registros en la forma más exacta posible sobre rendimientos y costos así como también el tipo de material a que corresponden haciendo los estudios geológicos correspondientes.

BIBLIOGRAFIA

VIDES TOBAR, AMANDO

Análisis y Control de Costos de Ingeniería.

DE LA CRUZ MORENO, JUAN JOSE

Tesis - Las Dinamitas. Aplicación en Ingeniería. Diseño de un Polvorín.

R. L. PEURIFOY

Construction. Planning Equipment and Methods.

BLASTERS HANDBOOK

Dupont.

HANDBOOK OF RIPING

Caterpillar.

COSTOS DE BARRENACION Y VOLADURA

COMPRESORA

Marca Chicago Pneumatic Tipo De Tornillo Modelo 600
Costo de compra Q. 20 000.00 Vida útil 5 Años (10 000 horas)
Costo de deprec. / hora: Q. 2.84 Costo de Operación/hora: Q. 3.50
Costo Total del Compresor/hora: Q. 6.34

PERFORADORA

Marca Chicago Pneumatic Tipo Carretilla-Carriles Modelo G-900
Costo de compra Q. 25 000.00 Vida útil 8 Años (16 000 horas)
Costo por hora: Q. 5.00

BROCAS

Marca Jein Diámetro 3 1/2" Número _____
Costo de compra: Q. 83.45 Vida útil media 822 mt (130 horas)
Costo de brocas: por hora Q. 0.63 por metro Q. 0.10

EXPLOSIVOS, FULMINANTES, ETC.

Tipo de Explosivo Super Mexamón D + Din Extra 2% Costo por Kg (lb): Q. 1.12 + 0.32 = 1.44
Tipo de Detonador Mecha Explosiva + Fulminante (2) Costo por Unidad: Q. 4.00 / 0.16
Varios Retardador, Mecha p. Minas (10') Costo por Unidad: Q. 0.83
Unidades/Agujero: Explosivo 75 kg / 25 kg Detonador 1 y 1 Varios 1
Costo por Agujero: Q. 73.23 Mts³ por Agujero 146
Costo de Voladura por Mts³: Q. 0.50

MANO DE OBRA

Personal de Barrenación 1 hombres @ Q. 1.20 / hora: Q. 1.80
1 hombres @ Q. 0.60 / hora: Q. _____
Personal de Voladura 2 (Dist. Salario) hombres @ Q. _____ / hora: Q. 3.93
Costo Total por hora, de Mano de Obra: Q. 5.63

COSTOS DIVERSOS

Costos de Remoción de la Capa Superficial, por hora: Q. (1.63) 1.94
Camión transportador de Explosivos, por hora: Q. 5.00
Otros costos varios, por hora: Q. 1.33
Total costos diversos, por hora: Q. 8.27

COSTOS DE EQUIPO Y MANO DE OBRA

Compresor, por hora: Q. 6.34
Perforadora, por hora: Q. 5.00
Brocas, por hora: Q. 0.63
Mano de Obra, por hora: Q. 5.63
Costos Diversos: Q. 8.27
Total, costos por hora: Q. 25.89

PRODUCCION

Espaciamiento Agujeros. Mts 3.80 x 3.20 Profundidad: Mts 12
Volumen por agujero: Mts³ 146 Velocidad de perforación: Mts/hora 6.48
Producción en Mts³/hora 78.71

RESUMEN FINAL DE COSTOS

Costos de Equipo y Mano de Obra, por hora: Q. 25.89
Producción: Mts³/hora 78.71 Costo por Mts³ _____
Barrenado + Voladura: Costo por Mts³ Q. 0.33
Explosivos, fulminantes, etc. por Mts³: Q. 0.50
COSTOS TOTALES DE BARRENADO Y VOLADURA Q. 0.83 / Mts³

ILUSTRACIONES Y ANEXOS, CONSULTAR
UNICAMENTE EN TESIS FISICA



Tractor de Oruga con escarificador en acción



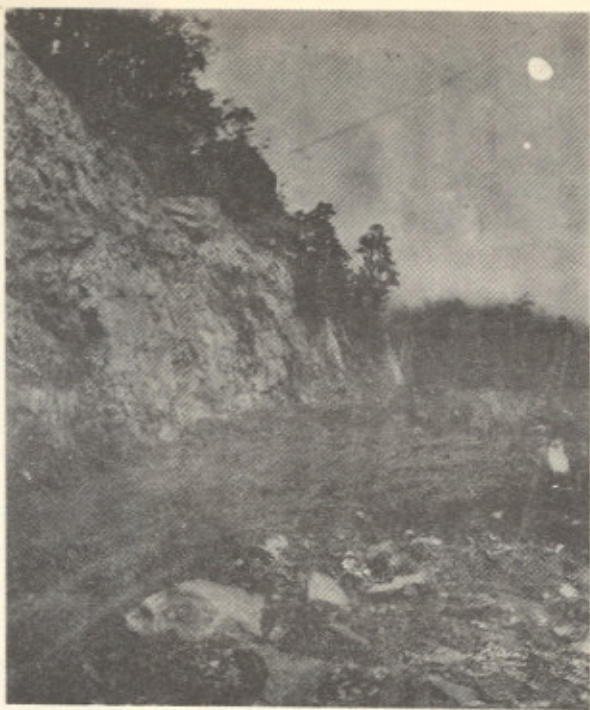


Casi cualquier roca estratificada como la que aquí se muestra, puede ser fácilmente escarificada.



Rocas como la mostrada en esta foto, son casi imposibles de escarificar, a menos que sean suaves o bien laminadas. Cuando las laminaciones son de más de 30 a 45 cms. de espesor, debe recurrirse al uso de explosivos.





2123T

APR 25

1944

